

화학 면접구술고사 완벽 가이드

(서울대·포스텍용)

과학동아 2002년 11월~2009년 3월 연재분 통합 풀버전

과학동아에 연재되고 있는 '심층면접 완벽가이드'를 여러분이 보기 쉽게끔 전면편집해서 새로운 책자로 제작했습니다. 이번에 총 6개월 이상을 편집 및 교정에 매달린 끝에 수학·물리·화학·생물을 합해서 총 일천육백 페이지가 넘는 방대한 양을 완료하게 되었습니다. 그러나 원본(저해상도 그림파일)이 부실하기 때문에 오류가 발생했을 가능성이 높습니다. 이 책자로 공부하다가 내용상의 오류를 발견하면 제게 연락주시면 즉시 수정해서 새로 올리겠습니다.

네이버→(teuksusy/teuksusy), 다음→(teuksu/포스텍학부), 오르비→(teuksu/포스텍학부)

하나포스메일→teuksusy@hanafos.com, 네이버메일→teuksusy@naver.com

제가 이렇게 면접구술고사 대비용 책자를 제작하는 이유는 가정형편은 빈한하나 서울대·포스텍에 진학하고 싶은 열정에 사무친 일반고 학생들을 위함입니다. 우수한 내신은 공부를 열심히 하면 올릴 수 있지만, 면접구술고사는 실력만으로는 힘들며, 기본원리와 문제풀이과정을 이해해야 합니다. 즉, 무조건 암기식으로 공부해서는 곤란하다는 의미입니다.

그런 면에서 '심층면접 완벽가이드'시리즈(수학·물리·화학·생물)는 다양한 기출문제와 저자(거의 서울대 및 포스텍 출신 전문교육가들입니다.)들의 충실한 해설을 곁들인 명작으로서, 이 책자에 실린 내용들을 전부 이해하면 상당한 수준까지 면접구술고사에 대비할 수 있습니다.

그리고 이번 시리즈에서는 일체의 목차를 제공하지 않습니다. 그 이유는 실제 면접구술고사에서 어느 항목에서 출제될지 전혀 예상하지 못하는 상황에서 잠깐 문제를 보고 개요를 파악하고 풀이해야 하기 때문에 미리 그런 훈련을 쌓아야 한다고 생각했기 때문입니다.

그러므로 이 책자로 공부한다고 생각하면 안되고, 어디까지나 실전대비용으로 활용하기 바랍니다.

아무쪼록 열공해서 서울대·포스텍에 진학하는 기쁨이 있기를 기원합니다.

- 이명환 올림 -

2002년 11월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

1. 물은 생명 유지에 절대적으로 필요하며, 인간의 경우 구성성분의 약 70%가 물이다. 물(H_2O) 분자는 이산화탄소(CO_2)와 메탄(CH_4)과 비슷한 정도의 크기지만 상온에서 액체 상태로 존재한다. 물의 어떤 성질이 물분자를 상온에서 액체로 존재하게 만들며, 물의 이런 특성이 어떻게 생명 유지에 기여하는지를 설명하시오.

▶ 출제 의도

분자간 결합인 수소결합에 대해 얼마나 정확히 이해하고 있는지, 그리고 수소 결합을 하는 물 분자의 물리적 성질과 생체에서의 역할에 대해 깊이 있게 알고 있는지를 평가하는 문항이다. 구술고사의 화학 부분에서는 단연 가장 자주 출제되는 경향을 보이고 있다.

▶ 해설 및 모범답안

물분자는 2개의 수소 원자가 공유결합에 의해 한 개의 산소 원자에 연결돼 있다. 전기음성도 차이 때문에 공유 전자쌍을 산소 원자가 수소 원자 보다 강하게 끌어당겨 극성 공유결합을 형성한다. 그 결과 물분자 내에서 산소 원자 가까이에선 부분 음전하(δ^-)가 우세하고, 수소 원자 가까이에선 부분 양전하(δ^+)가 형성된다. 물분자의 양전하 부분인 수소 원자는 주변에 있는 또다른 물분자의 음전하 부분인 산소 원자와 공유결합보다는 약한 분자간 결합인 수소결합을 형성한다. 물분자 하나는 주변에 있는 네개의 물분자와 수소결합을 하며 이같은 물분자의 극성과 수소결합으로 인해 독특한 특성을 지닌다.

액체 상태의 물분자 사이의 수소결합은 아주 짧은 시간(10^{-14} 초) 동안만 유지되지만, 물분자는 끊임없이 수소결합을 형성하므로, 대부분의 액체보다 강한 응집력을 가진다. 이런 물의 응집력은 생명체에서 중요한 역할을 한다. 식물의 경우, 잎의 표면에서 물이 증발하면 잎맥에 있는 물을 끌어당기게 되고 응집력은 뿌리로부터 물이 중력의 반대 방향으로 이동할 수 있도록 하는데 원동력이 된다.

또다른 현상으로 표면장력을 들 수 있다. 표면장력은 물과 공기가 접촉하는 면에서 물분자 사이의 인력이 물과 공기 분자 사이의 인력보다 크기 때문에 나타난다. 물은 물분자 사이의 수소결합으로 인해 물 표면에 탄력 있는 타원형의 막과 둥근 모양의 물방울을 형성한다. 생명체와 관련된 또다른 물의 중요한 특성 중 하나는 비열이 높다는 것이다. 물은 수소결합에 의해 물분자들끼리 강한 결합을 하고 있기 때문에 분자간 수소결합을 파괴하는데 많은 열을 소비하므로 다른 물질에 비해 비열과 끓는점이 높다. 물의 높은 비열은 생물의 체온이 쉽게 올라가거나 내려가는 것을 막아준다. 또한 물은 증발되면서 상당한 열을 빼앗아 가므로 체온 조절에도 기여한다.

온도가 내려가면서 물분자는 서로 가까워져서 밀도가 점점 높아지는데, 4°C 에서 물의 밀도는 최대가 된다. 또한 액체 상태일 때보다 고체 상태일 때 물 분자 사이의 간격이 멀기 때문에 얼음의 밀도는 액체 상태의 물보다 낮다. 만일 고체 상태의 얼음이 액체 상태인 물보다 밀도가 높다면 모든 얼음이 강바닥에 가라앉게 되므로 강물 속의 물고기는 겨울을 넘기지 못할 것이다.

생체 내 함유량 중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 물은 생물체 내의 여러 물질을 용해시킬 수 있는 용매로서도 작용한다. 이런 용매로서의 물의 특성은 물의 극성에 기인한 것이다.

▶ 관련 문항

1. 얼음의 밀도가 물의 밀도보다 크다면 어떠한 일이 일어나겠는가?(서울대 의예과 2001)
2. 에탄올의 수소결합을 구조식을 이용해 나타내고, 수소결합 때문에 나타나는 에탄올의 특성에 대해 설명하시오.

2. 화학 평형이란 무엇인지 설명하고 평형을 변화시키는 요인에 대해서 언급하고 설명하시오.

▶ 출제 의도

화학 평형의 정의와 평형 이동 법칙에 대한 이해를 묻는 문항이다. 정반응과 역반응이 포함된 화학 평형 문제 또한 출제 빈도가 매우 높은 문제다. 화학 평형 문제는 가역 반응과 비가역 반응에 대한 내용도 함께 물어볼 수 있으므로 잘 정리해둬야 한다.

▶ 해설 및 모범답안

화학 평형이란 가역 반응에서 정반응속도와 역반응속도가 같은 동적 평형 상태로 전체적인 물질의 농도가 일정한 상태를 말한다. 화학 평형은 항상 자발적으로 이뤄지며 또 일단 평형에 도달하면 다른 외부 조건이 변하지 않는 한 그대로 유지된다.

화학 평형을 결정하는 요인은 물질의 에너지가 낮은 쪽으로 가려는 에너지 측면과 물질이 좀 더 무질서한 상태로 가려는 무질서도 측면이 있다. 에너지 측면에서 보면 에너지가 높은 상태에서 낮은 상태로 자발적으로 반응이 진행되면서 에너지를 방출하고 좀 더 안정한 물질로 변하면서 화학 평형이 이뤄지려고 한다. 이에 반해 무질서도는 분자의 몰수가 증가하거나 물질이 섞여 무질서도가 증가하는 방향으로 화학 평형이 진행되려고 한다. 자연계의 화학 반응은 항상 에너지가 낮은 상태로, 또 무질서도가 증가하는 쪽으로 반응이 진행된다.

가역 반응에서 평형 상태에 있을 때의 화학 평형은 온도와 압력, 농도에 영향을 받는다. 반응 조건을 변화시켜서 화학 평형을 조절하는 것을 르 샤틀리에의 원리(평형 이동의 법칙)라 한다. 이 원리는 화학 반응의 반응 조건이 변하면 변화를 줄이는 방향으로 반응이 진행된다는 것이다.

온도의 영향을 보면 발열 반응인 경우 반응 온도가 낮아질수록 정반응이 유리해지고, 반응 온도가 올라 갈수록 역반응이 유리해진다. 흡열 반응인 경우 이와는 정반대로 평형이 이동될 것이다. 그러나 온도 자체가 너무 낮아지면 분자의 움직임이 느려지므로 무질서도가 감소하는 문제가 발생한다.

물질의 농도를 증가시키면 증가한 물질의 농도를 낮추기 위해서 정반응 또는 역반응이 진행돼 새로운 평형이 만들어진다. 기체인 경우, 외부 압력이 높아지면 압력을 줄이기 위해서 기체의 몰수가 큰 쪽에서 작은 쪽으로 반응이 진행될 것이다. 그러나 고체나 액체의 반응은 압력에 영향을 받지 않는다.

참고로 촉매의 역할은 이와는 조금 다르다. 촉매는 화학 평형에는 영향을 주지 못하고 활성화 에너지에 관여해 반응속도를 빠르거나 느리게 하는 역할을 할뿐이다.

▶ 확장 문제

1. 암모니아를 공업적으로 생산하는 방법을 하버법이라고 한다. 이에 관한 반응식은 다음과 같다.



이 반응의 수득율을 높이는 방법을 화학 평형을 변화시키는 요인과 관련지어서 설명하시오 (서울대 공학 계열 2001).

3. 화학식은 물질을 구성하는 성분 원소의 종류와 수를 원자 기호와 숫자로 표시하는 것으로 실험식, 분자식, 시성식, 구조식 등이 있다.

1) 각각을 구분해서 설명하시오.

2) 미지의 화합물 4.6g을 완전히 연소했을 때 물과 이산화탄소가 각각 5.4g과 8.8g 얻어졌다. 이 화합물의 실험식과 분자식(분자량=46), 시성식을 구하라.

3) 이들 화합물을 구별할 수 있는 실험적인 방법들을 제시하시오.

▶ 출제 의도

화학식의 종류, 분자식을 구하는 방법, 구조식으로부터 분자의 화학적 성질과 구조와의 상호 관계를 이해하고 있는지를 묻는 문항이다. 같은 물질을 여러가지로 표현하는 이유를 파악하고 각각의 특징을 정확히 이해할 필요가 있다.

▶ 해설 및 모범답안

1) 실험식은 화합물을 구성하는 원자나 이온의 종류와 수를 가장 간단한 정수비로 나타낸 화학식이다. 이온결합 물질(NaCl , CuSO_4)은 분자가 존재하지 않으므로 이온의 비율을 가장 간단한 정수비인 실험식으로 화학식을 나타낸다. 또한 공유결정(원자결정) 물질인 다이아몬드와 흑연, 석영(SiO_2), 금속결정(Na , Fe)도 분자가 존재하지 않으므로 실험식으로 그 물질의 화학식을 나타낸다.

분자식은 분자를 구성하는 원자의 종류와 수를 원소 기호를 사용해 나타낸 화학식이다. 분자식은 원소 분석을 통해 얻어진 실험식을 이용해 구하며, 분자량은 분자를 구성하고 있는 원자들의 원자량의 합으로 구할 수 있다.

시성식은 분자 속에 화학적 성질을 지배하는 작용기가 있을 때, 이것을 중심으로 나타낸 화학식이다. 작용기란 몇 개의 원자가 결합해 한 단위를 이뤄 어떤 화학적 특성을 나타내는 원자단을 말한다. 구조식은 분자를 구성하는 원자들의 결합 모양과 배열 상태를 결합선을 사용해 나타낸 화학식이다.

2) 화합물 속에 포함돼 있는 각 성분 원소의 질량을 구하면,

$$\text{H의 질량} : 5.40 \times 2/18 = 0.60(\text{g})$$

$$\text{C의 질량} : 8.80 \times 12/44 = 2.40(\text{g})$$

$$\text{O의 질량} : \text{시료의 질량} - (\text{H} + \text{O})\text{의 질량} = 1.60(\text{g})$$

각 성분의 질량비를 몰수비로 전환하고 가장 간단한 정수비로 나타내면,

$$\therefore \text{실험식} : \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_1$$

실험식으로부터 분자식을 구하면,

분자식 = $n \times (\text{실험식})$

∴ 분자식 : $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_1$

가능한 작용기를 고려하면,

∴ 시정식 : $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 또는 CH_3OCH_3

- 3) 에탄올과 에테르는 분자식은 동일하지만 그 구조가 상이한 구조 이성질체다. 화합물의 고유한 성질을 고려하면, 에탄올과 에테르를 쉽게 구별할 수 있다.

에탄올은 히드록시기($-\text{OH}$)를 갖고 있으므로 분자간 수소결합을 형성한다. 그러므로 에탄올의 끓는점(78°C)은 에테르보다 끓는점(-23.6°C)이 높을 것이다.

에탄올은 금속(Na , K)과 반응해 수소 분자를 발생시키는데, 에테르는 $-\text{OH}$ 기가 없어 나트륨과 반응하지 않는다. 또한 산 촉매(진한 H_2SO_4)하에서 카르복시산과 축합반응을 통해 에스테르 화합물을 만든다(에스테르화 반응). 에탄올에 수산화 칼륨과 요오드를 가하면 요오드포름의 노란색 앙금이 형성된다(요오드포름 반응).

▶ 확장 문제

1. 탄화수소 화합물은 다양한 이성질체가 존재한다. 이들을 열거하고 예를 들어 설명하시오.

4. 주기율표를 보면 1백여종의 원소들이 일정한 규칙에 의해 배열돼 있다. 현재 사용되고 있는 주기율표에서는 원자량보다는 원자번호가 더 중요하다. 그 이유는 무엇인가?

▶ 출제 의도

현재 우리가 사용하고 있는 원소 주기율표가 어떠한 과정을 통해 만들어졌는지에 대해 역사적, 논리적으로 이해하고 있어야만 정확히 답할 수 있는 문항이다. 주기율표의 역사적 변천을 파악해야 원소들이 갖는 화학적 성질이 주기성을 띠는 이유를 알 수 있다.

▶ 해설 및 모범답안

처음으로 원소를 과학적으로 분류한 사람은 라부아지에다. 그는 31가지 원소를 열거했는데, 원소가 산소와 반응한 생성물의 성질에 따라 원소들을 분류했다. 그 뒤로 더 많은 원소들이 발견돼, 1826년 베르첼리우스가 발표한 표에는 49종의 원소가 등장했고, 1844년 경에는 58가지 원소가 알려졌다.

분젠과 키르히호프가 불꽃반응과 분광기를 도입해 선스펙트럼을 관찰한 1806년에는 모두 62가지의 원소가 밝혀졌다. 19세기 초에는 돌턴의 원자설이 나오고 원자량을 측정하는 방법도 개선돼 믿을만한 원자량을 알 수 있었다.

1862년 프랑스 지질학자 상쿠르투아는 원자량에 따라 원소들을 원통에 비스듬히 돌려가면서 배열했는데, 원자량 16마다 한 바퀴를 돌게 하면 비슷한 성질을 가진 원소가 위아래로 근접하게 된다는 점을 알아냈다.

멘델레예프는 1869년에 현재와 같은 주기율표를 처음 제안했다. 그는 원소들을 단순히 원자량의 크기 순서로만 배열하지 않고, 원소들의 물리·화학적 성질을 고려해 여섯 군데 빈자리를 남겨놓았고 새로운 원소의 성질을 예측했다. 멘델레예프는 주기율표를 발표할 때 텔루륨의 원자량은 1백28일 수 없고 1백23과 1백26 사이의 값을 가져야 한다고 주장했다. 원자량 순서로

하면 원자량 1백27인 요오드가 1백28인 텔루륨보다 먼저 와야 하지만 화학적 성질로 봐서 절대로 그럴 수 없다고 생각했다.

오늘날의 주기율표는 원소들을 원자량의 순서가 아니라 원자번호의 순서대로 배열한다. 원자번호는 원소의 양성자수이고, 양성자는 1920년에 러더포드에 의해 발견됐다. 놀랍게도 원자번호는 양성자가 발견되기 전인 1913년 모즐리에 의해 제안됐다. 1913년 보어는 러더포드의 핵 모델에 입각한 행성 모델이라고 하는 새로운 원자모델을 발표하면서, 원자핵에 제일 가깝게 있는 궤도에 있던 전자 하나가 높은 에너지를 받아서 빠져나갈 때 나오는 X선의 파장과 원자핵의 양전하와의 관계식을 구했다. 모즐리는 보어의 식을 보고 여러개의 원소에 대해서 원자핵 속의 양전하 값을 알아냈다. 측정한 양전하의 크기는 음전하의 크기의 정수배였고, 원자량과 달리 양전하는 정확히 1씩 증가했다. 그 뒤 양성자의 정체가 밝혀지면서 그 숫자가 핵에 들어 있는 양성자 수로 확인됐다.

원자량은 어떻게 정해졌을까. 1805년 돌턴은 수소의 원자량을 1로 가정하고 각 원소의 원자량을 정했다. 베르셀리우스는 1818년 산소의 원자량을 16으로 기준한 원자량을 발표했다. 1961년 이전까지 화학자들은 자연에 존재하는 산소 원자를 16으로, 물리학자는 $^{16}_8\text{O}$ 의 질량을 16으로 정해 원자량을 사용했다. 그러나 자연계에 존재하는 산소의 동위 원소는 세 종류로 구성되어 있어서 원자량이 차이나므로 1962년 국제순수 및 응용화학연맹(IUPAC)에서 원자 질량의 1/12을 원자량의 질량 단위로 사용하게 됐다.

▶ 관련 문항

1. 철은 원자량이 먼저 발견되었나, 원자 번호가 먼저 발견됐나? 그 이유는 무엇인가?(서울대 자연과학부 기초과학계-2001)
2. 주기율표상에서 원소들의 위치에 따른 금속성, 원자 반지름, 이온화 에너지 등의 경향성을 설명하라.(숙명여대 약학부-2002)

5. 화학결합은 크게 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 구별할 수 있다. 이들 결합의 공통점과 차이점에 대해 설명하시오. 공유결합으로 형성된 분자들 사이에는 다양한 인력이 작용한다. 이들에 대해 설명하시오. 또한 분자량이 비슷한 물(H_2O)과 메탄(CH_4)의 경우, 물의 끓는점이 훨씬 높다. 그 이유는?

▶ 출제 의도

화학 결합의 원리와 종류, 그리고 공유결합으로 형성된 분자들 사이에는 다양한 종류의 인력이 존재한다는 사실을 아는지 묻고 있다. 인력의 종류에 따라 각각의 결합이 어떤 특징을 갖는지 해당 물질을 비교함으로써 이해해둬야 한다.

▶ 해설 및 모범답안

원소들 사이의 결합인 화학결합은 크게 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 구별할 수 있다. 이들 화학결합의 종류는 결합에 참여하는 원소의 종류에 따라 결정할 수 있으며, 화학결합에 참여한 원소의 최외각 전자의 개수를 8개로 만족시킨다는 공통점을 지니고 있다.

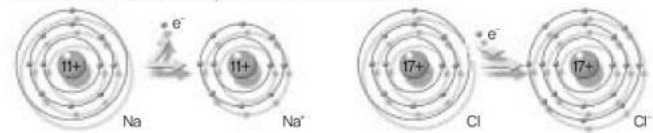
즉 결합의 종류에 따라 방법에는 차이가 있으나 화학결합 결과 결합에 참여한 원소들의 대부

분은 비활성 기체의 최외각 전자 개수와 같이 가장 바깥 전자 껍질을 8개의 전자로 채운다는 말이다. 이를 팔 전자계 규칙 혹은 옥텟 규칙이라고 한다. 이처럼 이온결합과 공유결합, 금속결합은 어떻게 옥텟 규칙을 만족시키는가에 따라 구분한 화학결합 방식이다.

이온결합은 전기음성도가 작은 금속 원소와 전기음성도가 큰 비금속 원소 사이에 이뤄지는 결합이다. 이 때 비금속 원소와 금속 원소의 전기음성도는 크게 차이므로 비금속 원소는 금속 원소의 전자를 빼앗아 음이온이 되고, 반대로 금속 원소는 전자를 잃고 양이온이 된다.

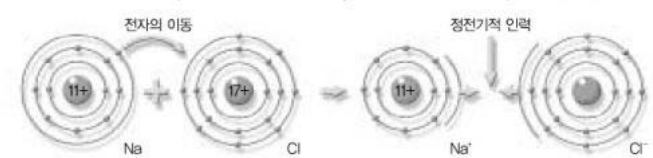
(그림 2) Na의 이온화와 Cl의 이온화

Na는 전자 하나를 잃어 Na^+ 가 되고, Cl은 전자 하나를 얻어 Cl^- 가 된다.



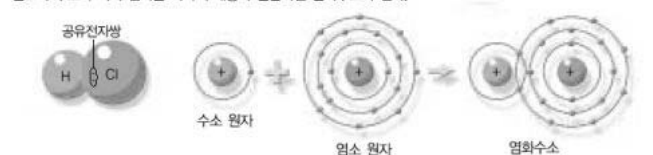
(그림 3) Na와 Cl의 결합

Na에서 전자 하나가 Cl로 이동하면 각각 Na^+ 와 Cl^- 가 되고, 두 이온 사이에 전기력이 작용해 소금(NaCl)이 된다.



(그림 4) 염화수소의 공유결합

염소와 수소가 각각 전자를 하나씩 내놓아 결합하면 염화수소가 된다.



즉 두 원소 사이의 큰 전기음성도 차이에 의해 전자가 일방적으로 이동함으로써 비금속 원소와 금속 원소의 최외각 전자의 개수가 8개로 만들어지는 것이다. 이처럼 양이온과 음이온이 형성된 후에 양전하와 음전하 사이의 정전기적인 인력에 의해 결합하는 것을 이온결합이라고 한다.

공유결합은 전기음성도가 큰 비금속 원소끼리의 결합이다. 비금속 원소의 경우 금속 원소에 비해 이온화 에너지가 크므로 전자를 받아들여 옥텟 상태가 되려고 한다. 그러나 원소들 사이에 전기음성도 차이가 크지 않으므로 이온결합에서처럼 전자를 얻어오기 어렵다. 따라서 각각의 비금속 원소가 지닌 홀전자를 두 원소가 서로 공유하는 방식으로 부족한 전자를 채워 옥텟 규칙을 만족시킨다.

마지막으로 금속 결합은 전기음성도가 작은 금속 원소 사이의 결합이다. 금속 원소들은 이온화 에너지가 매우 작아 전자를 잃고 금속 양이온이 되기 쉽다. 따라서 각 금속 원소들은 전자를 잃어 양이온이 되는 방식으로 옥텟 규칙을 만족시키며 금속 원소로부터 떨어져 나온 전자들은 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동한다. 이렇게 형성된 금속 양이온과 자유전자 사이에 작용하는 인력으로 인해 강한 금속결합이 형성된다.

공유결합은 극성 공유결합과 비극성 공유결합, 그리고 배위결합으로 나눌 수 있고, 공유결합 분자들 사이에는 네가지의 분자간 힘이 존재하며, 이들은 분자의 극성, 모양, 분자량 등에 따라 달라진다.

- 1) **이중극자-이중극자 힘** : 극성 분자들 사이에 작용하는 정전기적 인력으로 분자의 이중극자 모멘트가 클수록 강하다.
- 2) **이중극자-유발 이중극자** : 극성분자가 접근하면, 비극성 분자는 편극 현상이 일어나 분자 내에 부분 전하(δ^+ , δ^-)를 띠는 유발 이중극자가 형성된다. 유발 이중극자와 유발 이중극자를 유발한 극성 분자 사이의 정전기적 인력이다.
- 3) **분산력** : 무극성 분자에서 전자들의 분포는 극성을 나타내지 않는다. 그러나 어떤 순간에는 전자들이 한쪽으로 몰려 있어서 이중극자가 될 수 있다. 이러한 순간적인 이중극자에 의해 이웃 원자 또는 분자에 편극이 일어나서 이중극자가 유발되면, 두 원자들 또는 두 분자들 사이에 인력이 작용하는데 이 힘을 분산력이라고 한다. 분산력은 전자가 많을 수록, 분자량이 클수록 크며, 분자 사이의 접촉 면적이 클수록 증가한다.
- 4) **수소결합** : 극성 분자들 사이에 작용하는 힘으로 O, N, F와 같이 전기음성도가 큰 원자에

결합돼 있는 수소가 이웃한 다른 O, N, F 원자의 고립 전자쌍과 작용해 생기는 인력이다.

물은 수소와 산소의 전기음성도 차이 때문에 극성 분자이고, 전기음성도가 큰 산소 원자에 수소 원자가 결합돼 있어 물 분자 사이에 수소결합을 형성한다. 수소결합은 다른 분자간 인력보다 훨씬 강하다. 메탄 분자의 경우 무극성 분자이기 때문에 유발 이중극자-유발 이중극자 인력인 분산력이 분자간에 작용한다. 이것은 수소결합보다 훨씬 약한 힘이며, 따라서 물과 메탄은 분자량은 비슷하지만 물이 훨씬 높은 끓는점을 나타낸다.

▶ 관련 문항

1. 분자량이 비슷한 CH_4 , NH_3 , HF , H_2O 의 분자간 끓는점의 차이가 크게 다른 이유를 설명하시오.
2. 규소(Si)와 탄소(C)는 같은 족으로서 산소와 결합해 이산화규소(SiO_2)와 이산화탄소(CO_2)를 형성할 수 있다. 이산화규소는 이산화탄소와 마찬가지로 공유결합을 통해 형성된 화합물이지만 이산화탄소에 비해 녹는점이 높다. 그 이유는 무엇인가?
3. 할로젠 원소들의 전자 친화도와 전기 음성도의 경향성을 설명하라. 그 분자들의 끓는점과 상대적 반응성을 예측하고 그 이유를 설명하라. 또한 할로젠화 수소의 상대적인 산의 세기를 설명하시오.

6. 어두운 방에서 문틈으로 들어오는 햇빛의 진로가 밝게 보이고, 우유에 직사광선을 비추고 옆에서 보면 빛의 진로가 선명하게 보인다.
 - 1) 이런 현상이 일어나는 이유는? 설탕물에서 이런 현상이 관찰되지 않는 이유는 무엇인가?
 - 2) 우유 속의 작은 입자는 불규칙적인 운동을 한다. 그 이유는? 이 운동을 현미경으로 관찰한다면 어떻게 보이는지 그리시오.
 - 3) 공장 굴뚝에서 나오는 철 또는 알루미늄의 수산화물이 포함되어 있는 매연도 위와 같은 현상을 보인다. 이들을 전기이동 방법으로 제거할 수 있다. 그 원리는 무엇인가?
 - 4) 녹말과 같이 콜로이드 입자가 물에 대한 친화력이 큰 것을 친수 콜로이드라고 한다. 친수 콜로이드에 다량의 전해질을 가하면 용액 밑으로 가라앉는 염석 현상이 일어난다. 그 이유를 설명하고 이를 우리 생활 주변에서 활용하는 것의 예를 들어보시오.

▶ 출제 의도

콜로이드 입자의 크기와 표면적 때문에 나타나는 성질들에 관한 이해를 묻고 있다. 1)번 문항은 물리의 광학에 대한 이해까지를 평가하는데, 수험생이 혼동하기 쉬운 빛의 산란과 분산을 구별할 수 있어야 하고, 그 외 문항들은 교과 개념을 실생활에 어떻게 적용할 수 있는지를 묻고 있다.

▶ 해설 및 모범답안

일반적인 용액과 다르게 빛을 산란할 수 있을 정도의 크기를 갖는 입자가 분산된 용액을 콜로이드이라 한다. 콜로이드 용액은 분산매와 분산질의 상태에 따라 공기를 분산매로 하는 에어로졸(연기, 안개)과 액체에 고체가 분산된 졸(잉크, 녹말), 액체에 액체가 분산된 에멀전(우유, 크림) 등으로 분류할 수 있다. 또한 콜로이드 용액의 다양한 성질은 입자의 크기와 큰 표면적

때문에 나타난다. 다음과 같은 특징이 있다.

- 1) **틴들 현상** : 직경이 1-1백mm인 큰 입자가 가시광선을 산란시키기 때문에 빛의 진로가 관찰되는 현상이다. 설탕물 같은 용액은 용질입자가 빛을 산란시킬 정도의 크기(1mm 이상)가 되지 못하기 때문에 틴들 현상을 일으키지 않는다.
- 2) **브라운 운동** : 열 운동을 하는 분산매 분자들이 불규칙하게 콜로이드 입자에 충돌하기 때문에 콜로이드 입자들이 불규칙하게 운동하는 현상이다.
- 3) **흡착과 전기영동** : 매연도 공기를 분산매로 하는 에어로졸로서 콜로이드 용액의 한 형태다. 콜로이드 입자는 단위 질량당 표면적이 크므로 그 표면에 이온이나 전자를 흡착하는 성질을 갖는다. 그러므로 전하를 띤 콜로이드 입자에 직류 전류를 통하면 콜로이드 입자는 (-)극 또는 (+)극으로 이동하는 전기영동 현상이 일어난다. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 와 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 을 포함하는 콜로이드 용액인 매연은 (+)이온을 흡착한 형태로, 전기장을 걸어주면 (-)극으로 이동해 쌓인다.
- 4) **염석현상** : 녹말은 히드록시(OH) 작용기를 갖는 친수성 콜로이드로 표면에 많은 물분자가 둘러싸고 있어 쉽게 엉김이 일어나지 않는다. 다량의 전해질을 가하면 전해질의 이온에 의해 녹말 표면에 존재하는 물분자가 제거되고 친수성 콜로이드인 녹말분자들 사이에 수소결합이 인력으로 작용해 엉김 현상이 일어난다.

▶ 확장 문제

1. 확산과 용해의 공통점은 무엇이며, 차이점은 무엇인가?
2. 용매와 용질이 어떻게 섞이는지 설명하시오.(서울대 식품공학부 2000)
3. 깊은 바다 밑에서 화산이 폭발하면 바닷물의 온도는 물의 끓는점보다 훨씬 높아진다. 그럼에도 불구하고 바닷물이 기화되지 않고 액체 상태로 남아 있는 이유는?

7. 산 염기의 정의에 대해서 논하고 0.1M의 황산(H_2SO_4)과 0.1M의 아세트산($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$)을 구별하는 실험 방법들을 제시하시오.

아세트산 용액에 그 염인 아세트산 나트륨($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$)을 동일한 몰수를 가하고 0.01M의 NaOH 수용액을 가할 때 pH의 변화를 예측하고 그 이유를 설명하라.

▶ 출제 의도

산, 염기의 대표적 정의와 상대적 세기를 측정할 수 있는 방법을 알고 있는지, 그리고 완충 용액과 공통이온 효과에 의한 화학평형이 무엇인지를 묻고 있다.

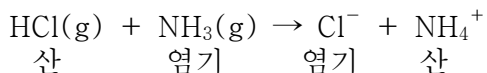
▶ 해설 및 모범답안

아레니우스(arrehenius)의 산-염기 정의는 산은 수용액에서 이온화해 수소이온(H^+)을 내는 물질이고, 염기는 수용액에서 이온화해 수산화이온(OH^-)을 내는 물질이다. 예를 들면 대표적인 산인 염산은 $\text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{H}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ 처럼 수용액 상에서 이온화되며, 대표적인 염기인 수산화나트륨은 $\text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$ 처럼 이온화된다.

참고로 수용액상에서 수소이온(H^+)은 홀로 존재하지 않고 물분자(H_2O)와 배위결합을 해 옥소

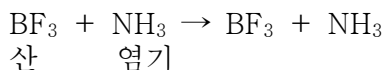
늄이온(H_3O^+) 형태로 존재한다. 그러나 아레니우스의 산-염기 정의는 수용액이 아닌 경우에 일어나는 산-염기 반응을 설명할 수 없는 한계를 갖는다. 예를 들어 염산증기($\text{HCl}(\text{g})$)와 암모니아 기체($\text{NH}_3(\text{g})$)가 묻은 숨을 유리관 양쪽에 놓으면 유리관 가운데 부분에 흰색의 연기가 발생하는데, 이는 염화암모늄 기체($\text{NH}_4\text{Cl}(\text{g})$)다. **하지만 이 현상은 아레니우스의 산-염기 정의로 설명할 수 없다.**

브뢴스테드-로우리는 산-염기에 대한 새로운 정의를 도입했다. 산은 양성자(H^+)를 내어놓을 수 있는 물질(분자 또는 이온)을 뜻하며, 염기는 양성자(H^+)를 받아들일 수 있는 물질을 뜻한다.



위의 산-염기 반응에 의하면 정반응에서는 HCl 이 산이 되고, 역반응에서는 NH_4^+ 가 산이 된다. HCl 과 Cl^- 그리고 NH_4^+ 과 NH_3 처럼 양성자의 이동에 의해 산과 염기가 되므로, 이를 짝산-짝염기라 한다. 그러나 브뢴스테드-로우리는 산-염기에 대한 정의는 양성자를 갖지 않는 화합물(BF_3 , AlCl_3 , SnCl_4)에 대해 적용할 수 없는 한계를 갖는다.

루이스(Lewis)는 비공유전자쌍 받계를 산, 비공유전자쌍 주계를 염기로 정의했다. 예를 들어 BF_3 와 NH_3 의 반응에서 BF_3 는 이온화할 수 있는 수소이온을 갖고 있지 않지만, 비공유 전자쌍을 받아들이기 때문에 산이고 암모니아는 비공유 전자쌍을 제공하므로 염기다.



산과 염기의 세기는 전기전도도를 측정함으로써 상대적인 세기를 알 수 있다. 수용액에서 전기전도도는 화합물의 이온화도(α), 이온의 개수, 이온의 하전량에 의존한다. 전해질의 이온화도(α)는 전해질의 전체 몰수에 대한 이온화된 몰수의 비로 정의한다.

염화나트륨(NaCl)처럼 물에 녹아 완전히 이온화돼 전기를 잘 통하는 물질을 강전해질이라고 하며, 설탕처럼 물에 녹아도 이온화되지 않아서 전기를 통하지 못하는 물질을 비전해질이라고 한다. 산과 염기의 세기는 이런 이온화도를 이용하면 설명 가능하다. 이온화도가 >0.5 인 것을 강산-강염기라 하고, 이온화도가 <0.1 인 것을 약산 - 약염기라 한다.

$$\text{이온화도}(\alpha) = \frac{\text{이온화된 몰수}}{\text{전해질의 전체 몰수}}$$

이온화도를 평형상수식에 적용하면,

$\text{HA}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{A}^-(\text{aq})$ 에서 평형상수 K 는 아래와 같다.

$$K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}][\text{H}_2\text{O}]}$$

물의 농도는 일정하기 때문에 $[\text{H}_2\text{O}]$ 를 양변에 곱하면, K_a 라는 산 이온화 상수를 얻게되는데, 이 값은 온도가 일정하면 그 물질의 농도에 관계없이 일정하다. K_a 값이 1보다 크면 강산이고, 1보다 작은 K_a 값을 가지면 그 산은 약산이다.

황산이 아세트산보다 강산인지를 확인하는 또다른 방법으로 가장 간단한 것은 pH측정기나 pH 시험지를 이용해 측정해 보는 것이다. 중화 적정 방법으로 적당한 지시약을 선택하고 농도를 알고 있는 염기를 이용해 적정실험을 직접 해보는 것이다. 산-염기의 적정실험을 통해서 적정곡선을 얻을 수 있고, 적정곡선에서 당량점의 위치를 비교하면 황산이 아세트산보다 강한 산임을 확인할 수 있다. 황산의 당량점은 아세트산보다 pH가 더 낮은 쪽에서 관찰될 것이다.

완충용액은 일반적으로 약산과 그 짝염기, 약염기와 그 짝산을 같은 농도로 섞어 만든 용액이다. 그러므로 CH_3COOH 와 CH_3COONa 를 섞어서 만든 용액은 완충용액이다.



이 용액에서 NaOH 을 더해주면 H^+ 가 OH^- 와 반응하므로 H^+ 의 농도가 감소하므로 공통이온 효과에 의해 정반응이 일어나 H^+ 의 농도를 증가시킨다. 이론적으로 H^+ 의 몰수와 동일한 OH^- 의 몰수가 가해질 때까지 pH값은 거의 변하지 않는다. 공통이온 효과란 이온화 평형 상태에 있는 약산(약염기) 용액에 동일한 종류의 이온을 가진 이온 화합물을 가하면, 이온화 평형이 첨가된 이온의 농도가 감소하는 방향으로 이동해 새로운 평형상태에 도달하게 되는 현상을 말한다. 약한 전해질의 이온화 평형도 화학평형 상태이므로 르 샤틀리에의 원리에 의해 외부 조건(농도, 압력, 온도)에 따라 평형이 이동된다. 약산인 아세트산 용액에 같은 종류의 이온을 갖는 아세트산 나트륨을 가하면, 가해진 CH_3CO_2^- 이온의 농도를 감소시키는 방향으로 반응이 진행된다.

▶ 확장 문제

1. 탄산과 염산의 세기는 어떻게 다른가? 그 이유를 설명하시오(서울대 자연대 2000).
2. 지시약 없이 용액의 pH를 어떻게 알아낼 수 있을까?(서울대 화학교육학과 2000)

2002년 12월호 - 대입 심층구술면접 대비책

2.화학 - 물질의 상태

| 글 | 최원호/중동고 교사 · whchoi@chungdong.or.kr |

물질의 상태 중 기체는 온도, 압력, 부피, 몰수의 네가지 변수가 서로 연관돼 있다. 이 연관성은 보일의 법칙, 샤를의 법칙, 이상기체 상태방정식으로 정리되고 이 법칙들은 기체의 정보를 알아내는데 이용된다. 기체, 액체, 고체는 온도와 압력으로 어떻게 정의되는지 알아보자.

문 : 풍선에 입안의 공기를 불어넣으면 커지는 이유가 뭐죠?

답 : 풍선 안으로 들어간 기체 분자들이 풍선 안쪽 면에 힘을 가하기 때문입니다.

문 : 압력을 가한다는 의미입니까?

답 : 네. 압력은 힘을 단위면적으로 나눈 물리량인데 풍선의 단위면적당 미치는 기체 분자의 힘을 압력이라고 할 수 있습니다.

문 : 그러면 풍선 안쪽의 기체들이 풍선 벽면에 가하는 압력은 어느 정도 되나요?

답 : 1기압입니다.

문 : 어떻게 그렇게 쉽게 알 수 있나요?

답 : 풍선은 대기압의 영향을 받고 있습니다. 만약 풍선 안쪽의 공기 분자들이 벽면에 가하는 압력이 1기압에 못미친다면 풍선은 대기압에 의해 찌그러질 것입니다. 하지만 풍선의 부피가 변하지 않고 일정하게 유지된다는 것은 안쪽 면에 가하는 압력이 대기압인 1기압과 맞먹기 때문입니다. 그래서 풍선 안의 압력을 1기압이라고 말할 수 있습니다.

문 : 아, 그렇군요. 그렇다면 실제로 기체의 압력은 어떻게 재죠?

답 : 기체의 압력은 수은을 이용해 잹니다. 길이 1m인 얇은 유리관에 수은을 가득 채운 다음 유리관의 열린 끝을 마개로 막고 수은이 담긴 용기를 거꾸로 세워 마개를 뺏으면 약간의 수은이 유리관에서 빠져 나오다가 어느 높이에 이르면 더 이상 수은의 높이가 변하지 않습니다. 이 현상은 수은이 들어있는 수조에 대기압이 가해져 유리관 안의 수은을 위로 밀어 올리는 것입니다. 수은 높이의 변화가 없는 것은 유리관 안의 수은이 수조의 수은 면에 가하는 압력과 대기압이 같기 때문입니다. 그래서 이 수은의 높이를 대기압으로 정하고 있습니다.

문 : 실제로 수은은 어느 정도의 높이까지 올라갑니까?

답 : 우리가 1기압으로 정하고 있는 높이는 수은이 7백60mm까지 올라간 것을 말합니다. 그래서 1기압 = 7백60mmHg로 쓰고 있으며, 실제로 기상 예보를 할 때 사용하는 단위인 헥토파스칼(hPa)과는 1기압=1013.25hPa의 관계를 갖고 있습니다.

문 : 그럼 풍선에 바람을 불어 입구를 묶어 놓으면 풍선 안의 압력은 1기압이 되겠군요?

답 : 네, 그렇습니다.

문 : 만약 풍선을 손으로 꼭 눌러 풍선의 부피를 줄여 놓아도 풍선 안의 압력은 1기압을 유지합니까?

답 : 아뇨, 그렇지 않습니다. 아까 말씀 드렸듯이 풍선 안의 압력은 외부 공기의 압력과 평형을 유지하는 만큼의 풍선 크기를 갖습니다. 외부의 압력이 줄어들면 상대적으로 풍선 안의 압력이 커지므로 풍선의 크기가 커지고 반대로 외부 압력이 커지면 풍선 안의 압력은 상대적으로 작아져 풍선의 크기가 줄어들게 되죠. 풍선을 손으로 누르는 경우도 손의 압력이 더해져 풍선 밖의 압력은 1기압이 넘습니다. 그래서 풍선의 부피는 외부의 늘어난 압력만큼 줄어들게 됩니다. 그런데 풍선의 부피가 줄어든다고 해도 풍선 안의 기체 분자들의 수에는 변화가 없기 때문에 풍선 벽면에 가해지는 압력은 증가하게 됩니다.

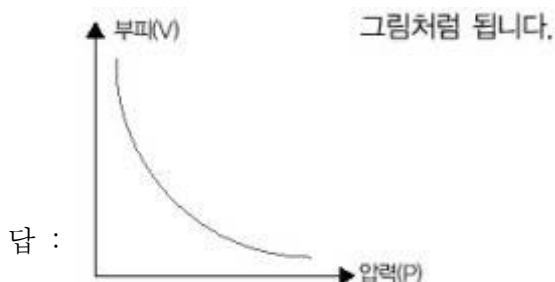
문 : 그러면 풍선에 가해지는 압력과 부피는 어떤 관계가 있다는 뜻이죠?

답 : 반비례 관계입니다. 풍선에 가해지는 압력이 커지면 풍선의 부피는 그 만큼 줄어들고 풍선에 가해지는 압력이 줄어들면 그 만큼 풍선의 부피는 커집니다. 그래서 기체에 가해지는 압력(P)과 부피(V)는 $P \times V = k$ (상수)의 관계를 가지며, 이 관계를 보일의 법칙이라고 합니다.

문 : $P \times V = k$ 의 공식은 항상 성립합니까?

답 : 아뇨, 기체의 압력과 부피는 온도에 영향을 받기 때문에 온도가 일정한 조건에서 성립하는 관계입니다. 물론 기체의 양도 변하지 않아야 하구요.

문 : 보일의 법칙을 그래프로 표현하면 어떤 모양이 되나요?



문 : 온도가 일정해야 한다고 했는데, 만약 기체의 온도가 달라지면 어떻게 되죠?

답 : 기체의 압력이 일정하다는 가정에서 기체의 온도와 부피의 관계를 말씀드리겠습니다. 기체의 온도와 부피의 관계를 처음으로 발견한 사람이 샤를인데, 샤를은 ‘일정한 압력에서 일정량의 기체 부피는 온도가 1℃ 높아질 때마다 0℃ 때 부피의 1/273만큼 증가하고, 온도가 1℃ 내려갈 때마다 1/273만큼 감소한다’라고 했습니다. 이것을 샤를의 법칙이라고 합니다.

문 : 샤를의 법칙도 간단한 공식으로 표현할 수 있나요?

답 : 특정 온도(t)에서의 부피(V)는 0℃ 때의 부피(V_0)의 $t/273$ 만큼 증가하므로,

$V = V_0 + (t/273)V_0$ 로 쓸 수 있습니다. 그리고 이 공식을 좀더 정리하면,

$V = (V_0/273)(273 + t)$ 가 되고

$T = 273 + t$, $k = V_0/273$ 로 치환하면,

$V = k \times T$ 라는 공식을 얻을 수 있습니다. 여기서 T는 절대온도로 섭씨온도에 2백73을 더한 값으로 K라는 단위를 사용합니다.

문 : 이 공식에 따르면 절대온도가 0K일 때 모든 기체의 부피가 0이 된다는 말인가요?

답 : 네, 샤를의 법칙에 의하면 압력이 일정할 때 모든 기체는 절대 0도인 -2백73℃에서 부피가 0이 됩니다.

문 : 이상하네요. 기체 분자가 갖고 있는 자체의 부피가 있기 때문에 아무리 기체 분자 사이의 거리가 가까워진다고 해도 부피가 0이 될 수 없을텐데요?

답 : 네, 맞습니다. 실제 기체는 절대 0도에서 기체의 부피가 0이 될 수 없습니다. 보일의 법칙과 샤를의 법칙은 실제 기체에서는 맞지 않습니다. 실제기체는 온도가 낮아지면 기체 상태가 액체와 고체 상태로 변하기 때문에 기체 상태에만 적용이 가능한 샤를의 법칙은 적용할 수 없습니다. 그리고 샤를의 법칙에 딱 들어맞는 이상적인 기체는 실제로는 존재하지 않습니다.

문 : 그럼 보일의 법칙과 샤를의 법칙에 딱 들어맞는 기체는 어떤 기체인가요?

답 : 그러한 기체를 이상기체라고 합니다. 이상기체는 첫째, 분자 사이의 충돌이 완전 탄성충돌이라서 분자 사이의 충돌로 에너지가 감소하지 않습니다. 둘째, 기체 분자가 가진 자체의 부피는 없습니다. 셋째, 분자간의 인력이 존재하지 않습니다.

문 : 실제로 이상기체가 존재하지 않으니 보일의 법칙과 샤를의 법칙은 사용할 수 없나요?

답 : 실제기체가 이상기체처럼 작용할 수 있는 조건을 만들어 그 법칙을 사용할 수 있습니다.

문 : 어떤 조건인가요?

답 : 먼저 실제 기체는 기체 분자 자체의 부피를 갖고 있기 때문에 실제기체를 이상기체처럼 취급하려면 용기 안의 압력을 가능한 작게 만들어야 합니다. 용기의 압력이 작다는 것은 용기 안에 존재하는 기체 분자수를 최대한 줄인다는 뜻입니다. 기체 분자수가 적으면 용기 전체의 부피에 비해 기체 분자 자체의 부피는 무시할 수 있을 정도로 작으므로 기체 분자 자체의 부피를 무시할 수 있습니다. 그리고 온도를 높여줘야 합니다. 실제 기체는 분자 사이에 인력이 존재하기 때문에 온도를 높여서 분자들의 운동에너지를 증가시켜주면 기체 분자 사이의 인력은 상대적으로 작아져 무시할 수 있습니다. 즉 실제기체를 이상기체처럼 취급하기 위해 압력은 작게, 온도는 높게 만들어 줍니다.

문 : 보일의 법칙과 샤를의 법칙은 모두 기체의 운동에 관한 법칙인데, 두 법칙을 한꺼번에 표현할 수는 없나요?

답 : 보일의 법칙과 샤를의 법칙을 한꺼번에 표현한 법칙이 보일-샤를의 법칙으로 다음과 같이 간단히 표현할 수 있습니다.

$$(P \times V)/T = k$$

이 공식은 기체의 압력과 부피는 반비례하고, 기체의 압력과 부피는 각각 기체의 절대온도에 비례한다는 뜻입니다.

문 : 일정한 온도와 압력에서 기체의 부피는 기체의 몰수에 비례하는데, 보일-샤를의 법칙에는 기체의 몰수가 나타나지 않아 사용하기 불편합니다. 기체의 몰수를 포함시킬 방법은 없나요?

답 : 일정한 온도와 압력에서의 기체의 부피는 기체의 몰수에 비례하기 때문에 상수 k를 기체의 몰수 n과 상수 R의 곱으로 나타낼 수 있습니다. 그래서 위 공식은 $PV = nRT$ 로 다시 쓸 수 있으며, 이 공식을 이상기체의 상태 방정식이라고 부릅니다.

문 : 이상기체 상태방정식의 상수 R은 어떤 값이죠?

답 : 우선 이 공식은 어떠한 상태에도 적용이 가능하기 때문에 특정한 상태의 데이터를 입력하면 기체상수 R을 구할 수 있습니다. 즉 1기압, 273K(0℃)와 그 상태에서 기체 1몰의 부피인 22.4L를 대입하면 기체상수 $R(=0.082\text{atm}\cdot\text{L}/\text{몰}\cdot\text{K})$ 을 구할 수 있습니다.

문 : 이상기체 상태방정식은 어떻게 이용할 수 있나요?

답 : 이상기체 상태방정식은 기체의 온도, 압력, 부피 그리고 몰수를 하나의 공식으로 표현했는데 의미가 있습니다. 즉 네가지의 변수는 서로 따로 움직이는 값이 아니라 서로 연관돼 있다는 뜻이죠. 그래서 네가지 변수 중 세가지 값을 알고 있을 때는 나머지 하나의 값을 이 공식으로 쉽게 알아낼 수 있습니다.

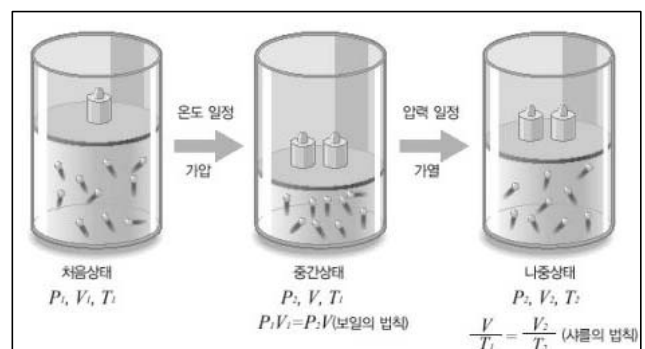
그리고 이상기체 상태방정식에는 나와 있지 않지만 기체의 몰수는 기체의 질량/분자량으로 표현할 수 있기 때문에 이 공식을 이용해 기체의 질량(w)을 아는 경우 기체의 분자량(M)을 구할 수 있습니다. 그리고 기체의 밀도(d)는 질량/부피로 표현이 가능하므로 기체의 밀도를 구할 수도 있습니다.

$$PV = nRT = (w/M)RT, PM = dRT$$

문 : 물질의 상태는 온도와 압력으로 정의할 수 있나요?

답 : 네. 온도와 압력 조건에 따라 물질의 상태를 표시한 그림을 상평형 그림이라고 합니다.

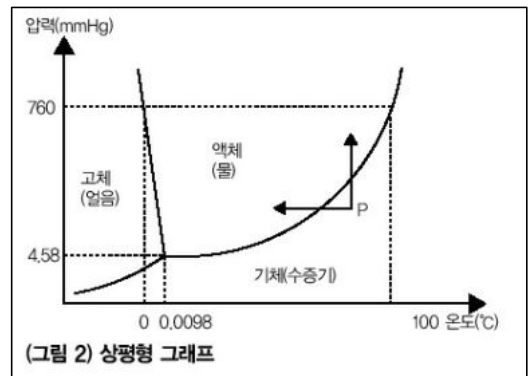
모든 물질은 그 특징에 따라 다른 모양의 상평형 그림을 그릴 수 있는데, 대부분의 물질들은 온도가 올라가면 분자들의 운동이 활발해지기 때문에 분자들 사이의 인력이 상대적으로 약해



<그림1> 이상기체 상태방정식

보일의 법칙과 샤를의 법칙, 아보가드로의 법칙을 종합해서 이상기체 방정식을 유도한다

저 그 상태가 고체 → 액체 → 기체로 변합니다. 하지만 압력의 영향은 물질들의 특징에 따라 그 상태변화 정도가 달라집니다. 물의 경우는 1기압 상태에서 압력을 가해주면((그림 2)의 P) 기체에서 액체로 상태변화시킬 수 있습니다.



문 : 고체, 액체, 기체의 상태에 따라 물질의 물리적인 성질에 차이가 있나요?

답 : 기체는 그 모양과 부피가 일정한 값을 갖지 못하고 유동적인 상태를 말합니다. 액체는 분자 사이의 인력이 증가해 부피는 일정한 값을 갖지만 그 모양은 물처럼 유동적인 상태를 말합니다. 그리고 고체는 분자 사이의 인력이 가장 커서 그 모양과 부피가 일정한 상태를 가집니다.

문 : 액체가 기체 상태보다 분자 사이의 인력이 크다고 했는데, 생활 주변에서 어떤 특성들을 관찰할 수 있죠?

답 : 물을 예로 들겠습니다. 액체가 일반적으로 그렇지만 물 역시 분자 사이의 인력 때문에 분자들이 서로 끌어당기려는 성질이 있습니다. 그래서 물 표면에 반지를 살짝 대었다가 떼어보면 물이 반지에 붙어 살짝 끌려 올라오는 현상을 관찰할 수 있습니다. 그리고 물 한방울을 평평한 바닥에 떨어뜨리면 둥근 모양을 만듭니다. 이것도 가장 바깥쪽의 분자를 끌어당기는 힘이 안쪽으로만 작용하기 때문에 둥근 모양이 만들어지는 것입니다. 이렇게 액체가 표면을 작게 하려는 성질을 표면장력이라고 합니다.

문 : 액체마다 표면장력이 다른가요?

답 : 네. 모든 분자들은 분자간 힘의 크기가 다르기 때문에 표면장력 또한 다릅니다. 무극성분자 보다는 극성분자가, 극성분자 중에서도 수소결합을 갖는 분자들이 분자간 힘의 세기가 크기 때문에 표면장력 또한 커집니다.

문 : 표면장력이 큰 분자들을 구별할 수 있는 다른 방법이 있나요?

답 : 증기압력을 이용해 구분할 수 있습니다. 분자간 힘의 세기가 큰 분자, 즉 표면장력이 큰 액체들은 분자 사이의 인력이 크기 때문에 동일한 온도의 다른 액체보다 잘 증발하지 않습니다. 그래서 분자간 인력이 작은 액체에 비해 증기압력이 작게 측정됩니다.

문 : 증발이 잘 안되는 액체는 끓는점도 높나요?

답 : 네, 증발이란 액체 표면에서 기화가 일어나는 현상을 말하고 끓음은 액체 내부에서도 기화가 일어나는 현상을 말합니다. 증발이 잘 일어나지 않는다는 의미는 액체 분자 사이의 인력이 크다는 것이므로 액체 내부 분자 사이의 인력을 끊어야 하는 끓음 현상도 일어나기 어렵습니다.

그래서 분자 사이의 인력이 큰 액체를 끓이기 위해서는 높은 온도가 필요합니다.

[요약]

물질의 상태는 온도와 압력에 따라 기체, 액체, 고체로 존재할 수 있다. 온도와 압력에 따라 물질의 상태를 표시한 그림을 상평형 그림이라고 하며, 그림의 형태는 물질의 종류에 따라 달라진다. 분자 사이의 인력이 가장 작아 분자들의 운동이 가장 활발한 상태를 기체라고 한다. 기체에 적용되는 법칙인 보일의 법칙, 샤를의 법칙, 이상기체 상태방정식에 잘 들어맞기 위해서는 실제기체의 온도를 올리고 압력을 낮추는 등의 이상적인 조건으로 만들어줘야 한다.

기체에 적용되는 법칙에 이론적으로 딱 들어맞는 기체를 이상기체라고 하며, 이상기체는 실제 기체와는 달리 그 분자 자체의 부피가 없고 분자 사이의 인력이 없어 충돌로 인한 에너지 손실이 없다. 액체들은 분자 사이의 인력이 커짐에 따라 표면장력이 증가하고 증기압력이 감소한다.

[관련단원]

중학교 1학년의 과학에서 물체의 세가지 상태와 상태변화와 에너지에서 이 내용을 배우며 고등학교 2학년의 화학II에서 물질의 세가지 상태에 관해 자세히 다룬다.

[생각해 볼 문제]

1. 높은 산에서 밥이 설익는 이유를 물의 증기압력과 관련지어 설명하라.
2. 헬륨으로 가득찬 풍선이 뜨는 원리와 높이에 따른 부피 변화를 설명해보라.

[심층코너]

이상기체가 갖는 조건에 따라 상태를 표시한 방정식을 이상기체 상태방정식이라고 한다.

$$PV = nRT, P = nRT/V$$

그런데 실제 기체는 이상기체와 달리 분자 자체의 부피를 갖기 때문에 기체의 밀도가 커지면 분자들 자체가 갖는 부피를 무시할 수 없게 된다. 결국 분자들이 돌아다니는 실제 공간은 용기의 부피보다 작아진다. 따라서 기체 분자 1몰이 차지하는 부피를 b 라고 한다면 기체 n 몰이 차지하는 실제 부피는 $V-nb$ 가 된다. 그래서 이상기체 상태방정식의 압력을 실제기체에 적용할 경우 다음과 같이 된다.

$$P = nRT/(V-nb)$$

그리고 실제기체는 이상기체에서 무시했던 분자들 사이의 인력을 갖고 있기 때문에 실제 기체의 압력은 이상기체가 갖는 압력보다 작다. 그래서 줄어드는 압력을 보정하면 다음과 같은 식이 된다.

$$P = nRT/(V-nb) - an^2/V^2$$

이 식을 반데르발스 방정식이라고 하며, 포함된 상수 a , b 는 물질의 종류에 따라 다르다.

2003년 01월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 출제 경향 및 과목 대비 방안

이번 호에서는 원자의 구조와 주기율표에 대한 기본적인 개념과 역사적 배경을 다룬다.

화학은 기본개념만 정확히 알면 심화·확장 문제를 쉽게 풀 수 있으며, 크게 네 분야로 접근하면 훨씬 효과적으로 면접에 대비할 수 있다.

교과서에 제일 먼저 나오는 것이 주기율표다. 주기율표를 완전히 이해하면 구술에서 30% 이상을 공부했다고 해도 과언이 아니다. 여기에는 주기율표가 만들어지는 역사적 배경과 주기율표에 있는 원자들의 물리·화학적 성질의 경향성까지 들어있다. 기본적으로 30여개의 원소에 대한 원자량과 원자번호, 족과 주기에 대해 잘 알고 있어야 한다.

그 다음으로는 물에 대한 개념을 이해하고 기체, 액체에 관한 성질과 용액의 성질에 대해 충분히 이해해야 한다.

세 번째 중요한 요소는 산-염기의 정의 및 평형의 개념이다. 또한 완충용액에 대한 성질을 잘 이해하고, 응용할 줄 알아야 한다.

마지막으로 산화-환원의 기본 개념과 전기화학의 내용을 이해하고 있어야 하며, 일상 생활에서 실제 응용되는 예들을 잘 파악하고 있어야 한다.

문제 1. 원자의 구성요소는 19세기와 20세기 초에 진행된 다양한 실험을 통해 양성자, 중성자, 전자라는 세개의 입자로 구성돼 있음이 밝혀졌다.

1) 전자, 양성자, 중성자의 성질에 대해서 설명하시오.

2) 이들을 밝혀낸 과학자와 실험을 근거로 해서 원자 모델의 변천 과정에 대해 역사적 순서대로 말해보시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

원자는 화합물을 구성하는 기본단위로서 원자의 개념과 구성요소를 밝힌 실험적 내용, 원자 모델의 변천 과정에 대한 역사적 배경을 묻는 문제다. 교과서에서 원자에 관해 자세히 설명돼 있기 때문에 출제 가능성이 매우 높다.

▶ 배경지식

현대 원자론의 역사적 배경으로는 돌턴의 원자설에서 현재 양자이론의 확립까지 원자설, α -선 산란 실험, 보어 이론, 양자 이론 등이 있다.

▶ 해설 및 모범답안

양성자는 (+)1개의 전하를 띠고 중성자는 전하를 띠지 않는 중성 입자이며, 전자는 (-)1개의 전하를 띠므로 전체적으로 원자는 전기적 중성이다. 양성자의 질량은 전자 질량의 1836배다. 중성자의 질량은 전자 질량의 1839배다. 실제 원자의 질량은 전자의 질량을 무시하고 양성자와 중성자의 개수에만 의존한다. 돌턴이 질량 보존의 법칙, 일정 성분비의 법칙, 배수 비례의

법칙을 설명하기 위해서 모든 물질은 더이상 쪼개지지 않는 입자로 구성되어 있다고 제안하고 이 입자를 원자라 했다.

1903년에 톰슨은 진공 상태에서 강한 전압을 음극관에 걸면 어떤 입자가 튀어나오는 현상을 발견했고, 이 입자를 전자라고 명명했다. 밀리컨은 전자의 전하량이 $1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ 이라고 계산했다. 톰슨은 원자의 모양을 푸딩에 건포도가 박혀 있는 것처럼 전체적으로 (+)전하를 띠고 있는 원자에 (-)전하의 전자가 박혀 있는 ‘건포도-푸딩 모형’으로 설명했다. 한편 1911년 러더퍼드는 대부분의 α -입자들이 금박을 통과하지만 몇 개의 α -입자가 휘어지거나 진행 방향과 반대로 튀어나오는 결과를 근거로 (α -입자 산란 실험), 중심에 (+)전하(원자핵)를 띤 입자가 모여있고 그 주위를 전자가 돌고 있는 ‘태양과 행성의 모형’을 도입했다.

이 모델에 대해 보어는 1913년, 전하를 띤 입자가 원운동을 하면 구심가속도가 생기며 지속적으로 에너지를 방출하므로 1초도 안되는 시간에 전자는 원자핵에 부딪힐 것이라고 이의를 제기했다. 보어는 이런 문제를 해결하기 위해 가설을 제시했다. 수소원자는 핵과 원운동하는 1개의 전자로 구성되어 있고, 전자는 정해진 에너지 상태에서만 존재(양자화)한다. 또한 원궤도를 도는 전자는 에너지의 출입이 없고, 궤도 사이를 이동할 경우 에너지의 흡수 또는 방출이 일어난다. 전자의 에너지는 원자핵에서 가까운 쪽부터 K, L, M껍질이라고 정의했다. 보어의 이런 가설은 수소원자의 선스펙트럼을 정확하게 설명할 수 있었다.

한편 하이젠베르크는 전자와 같이 작고 빠르게 움직이는 입자의 속도와 위치를 정확하게 측정한다는 것은 불가능하다는 불확정성의 원리를 발표했다. 이 이론에 의하면 전자가 정해진 궤도를 정확하게 돈다는 보어의 모형은 모순이었다. 현재는 전자의 위치를 시간에 따른 확률함수로 설명하고 있으며, 이 모형을 ‘전자구름 모형’이라 한다. 확률함수에 따라 전자가 발견될 확률공간을 오비탈이라 한다.

<관련문항>

1. 불꽃반응에 금속이 색깔을 띠는 원리를 설명하시오(포스텍 기출문제)

문제 2. 주기율표를 보면 1백여종의 원소들이 일정한 규칙에 의해 배열돼 있다. 현재 사용되고 있는 주기율표에서는 원자량보다는 원자번호가 더 중요하다. 그 이유는 무엇인가?

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

원소 주기율표가 어떤 과정을 통해 만들어졌는지에 대한 역사적 배경을 묻는 문제다. 실질적으로 주기율표에 관한 문제는 구술고사에서 2번에 1번꼴로 출제된다. 주기율표에서 원자번호와 원자량에 관한 내용, 그리고 원자의 주기적 성질은 기본적으로 반드시 알고 있어야 한다.

▶ 해설 및 모범답안

처음으로 원소를 과학적으로 분류한 사람은 라부아지에다. 원소가 산소와 반응해 만드는 생성물의 성질에 따라 31가지의 원소를 분류했다. 1826년에 베르첼리우스가 발표한 표에는 49종의 원소가 등장했고, 1844년경에는 58가지 원소가 알려졌으며, 분젠과 키르히호프가 불꽃반응과 분광기를 도입해 선스펙트럼을 관찰한 1866년에는 모두 62가지의 원소가 밝혀졌다.

1862년 프랑스 지질학자 상쿠르투아는 원자량에 따라 원소를 원통에 비스듬히 돌아가면서 배

열했는데, 원자량 16마다 한 바퀴를 돌게 하면 비슷한 성질을 가진 원소가 위아래로 근접하게 된다는 사실을 알아냈다. 이 연구를 이어 받은 멘델레예프는 1869년에 현재와 같은 주기율표를 처음 제안했다. 그는 원소를 단순히 원자량의 크기 순서로만 배열하지 않고, 원소의 물리·화학적 성질을 고려해 여섯 군데 빈자리를 남겨놓았고, 새로운 원소의 성질을 예측했다.

오늘날의 주기율표는 원소들을 원자량의 순서가 아니라 원자번호의 순서대로 배열한다. 원자번호는 원소의 양성자수이고, 양성자는 1920년 러더퍼드에 의해 발견됐다. 놀랍게도 원자번호는 양성자가 발견되기 전인 1913년 모즐리에 의해 발견됐다. 1913년 보어는 러더퍼드의 핵 모델에 입각한 행성 모델이라고 하는 새로운 원자모델을 발표하면서, 원자핵에 가장 가깝게 있는 궤도에 있던 전자 하나에 높은 에너지를 받아서 빠져나갈 때 나오는 X-선의 파장과 원자핵의 양전하와의 관계식을 구했다. 모즐리는 보어의 식을 보고 여러개의 원소에 대해서 원자핵 속의 양전하 값을 알아냈다. 측정한 양전하의 크기는 음전하 크기의 정수배였고, 원자량과 달리 양전하는 정확히 1씩 증가했다. 그 뒤 양성자의 정체가 밝혀지면서 그 숫자가 핵에 들어 있는 양성자 수로 확인됐다.

1805년 돌턴은 수소의 원자량을 1로 가정하고 원자량을 정했고, 1818년 베르셀리우스는 산소의 원자량을 16으로 기준한 원자량을 발표했다. 1961년 이전까지 화학자들은 자연에 존재하는 산소원자를 16으로, 물리학자는 $^{16}_8\text{O}$ 의 질량을 16으로 정해 원자량을 사용했다. 하지만 자연계에 존재하는 산소의 동위 원소는 세종류이므로 이렇게 할 경우 원자량에서 차이가 난다. 이 문제를 해결하기 위해 1962년 국제순수 및 응용화학연맹(IUPAC)에서 $^{16}_8\text{O}$ 원자 질량의 1/12을 원자량의 질량 단위로 사용하게 됐다.

▶ 관련 문항

1. 철의 원자량이 먼저 발견됐나, 원자번호가 먼저 발견됐나? 그 이유는 무엇인가?(서울대 기출문제)

문제 3. 다전자 원자에서 전자가 채워질 때 3가지 규칙을 따른다. 이들 규칙에 대해 설명하시오. 위의 규칙을 이용해 크롬($_{24}\text{Cr}$)의 바닥상태 전자배치를 쓰고 그 이유를 제시하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

현대의 원자 모델인 전자구름 모형에서 오비탈의 개념을 이해하고 핵 주위에 전자들이 배치될 때의 규칙들을 묻는 문제다. 원자의 최외각 전자 수는 전자배치를 통해 알 수 있기 때문에 그 원자의 화학적 성질, 금속의 산화 상태, 화합물의 형성을 예측할 수 있다.

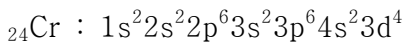
▶ 해설 및 모범답안

다전자 원자에 전자가 채워질 때 전자의 에너지 상태, 전자 구름의 모양 및 방향성은 4가지 양자수(n, l, m, s)에 의해서 결정되는 s, p, d, f 오비탈로 나타낼 수 있다. 여기서 양자수는 양자역학적 방정식을 푸는 과정에서 도입된 수로, 주양자수(n)는 전자의 에너지 준위를 나타낸다. 방위 양자수(l)는 전자의 각 운동량을 나타내며, 자기양자수(m)는 전자구름의 방향과 궤도면의 위치를 나타낸다. 스핀양자수(s)는 회전하고 있는 전자의 자전 에너지를 나타낸다. 즉 양자수는 전자의 에너지 상태를 나타내는 일종의 좌표이며, 오비탈은 전자가 원자핵 주위에서

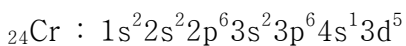
발견될 확률이 90% 이상인 등확률면을 뜻한다.

오비탈에 전자를 채워가는 첫번째 원리는 축조원리다. 이 원리는 전자를 에너지가 낮은 상태의 오비탈에서 순차적으로 높은 상태의 오비탈로 채워가는 것이다. 오비탈의 에너지 준위는 $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d \dots$ 의 순서로 채워진다. 두 번째 원리는 파울리의 배타원리다. 한 원자에서 4가지 양자수(n, l, m, s)가 동일한 전자는 존재할 수 없다. 다시 말하면 한 개의 오비탈에는 2개 이상의 전자가 존재할 수 없다는 말이다. 마지막 원리는 훈트의 규칙이다. 에너지 준위가 동일한 몇 개의 오비탈(2p, 3p, 3d 등)에 전자가 채워질 때 각각의 오비탈에 1개씩의 전자(홀전자)가 배치된 다음에 스핀이 반대인 전자가 들어가 쌍을 이루는 규칙이다. 이것은 동일한 수의 오비탈에 홀전자의 배치가 많은 쪽이 짝을 이룬 쪽보다 전자 사이의 반발력이 작아져서 에너지가 낮아지기 때문이다.

크롬(Cr)의 원자 번호는 24번이므로 24개의 전자를 3가지 규칙에 따라 오비탈에 배치해야 한다. 크롬의 바닥 상태의 전자 배치를 해보면 다음과 같이 될 것이라고 생각할 수 있을 것이다. 축조원리와 파울리의 배타원리만을 고려하면,



그러나 4s 오비탈의 전자 하나가 마지막으로 비어있는 3d 오비탈의 자리를 차지하면 홀전자가 전체적으로 6개가 되기 때문에 훈트의 규칙에 따라 좀더 유리한 전자상태가 돼 전체 원자의 에너지가 낮아진다. 그러므로 크롬은 다음과 같은 바닥상태의 전자 배치를 갖게 된다.



▶ 관련 문항

1. 나트륨의 전자배치를 설명하고, 나트륨 전등에서 황색 빛이 나오는 원리를 설명하시오.

문제 4. 화학식은 물질을 구성하는 성분 원소의 종류와 수를 원자 기호와 숫자로 표시하는 것으로 실험식, 분자식, 시정식, 구조식 등이 있다.

1) 각각을 구분해서 설명하시오.

2) 미지의 화합물 4.6g을 완전히 연소했을 때 물과 이산화탄소가 5.4g과 8.8g 얻어졌다. 이 화합물의 실험식, 분자식(분자량=46), 시정식을 구하라.

3) 이들 화합물을 구별할 수 있는 실험적인 방법들을 제시하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

화학식의 종류와 분자식을 구하는 방법, 그리고 구조식으로부터 분자의 화학적 성질과 구조와의 상호관계를 묻는 문제다. 미지의 화합물에 대한 원소 분석의 결과로부터 얻어지는 원소들(C, H, N, O)의 함량으로 그 분자의 분자식과 구조식을 밝히는 것은 중요한 문제다.

▶ 해설 및 모범답안

1) 실험식은 화합물을 구성하는 원자나 이온의 종류와 수를 가장 간단한 정수비로 나타낸 화학식이다. 이온결합(NaCl, CuSO₄)과 공유결정(원자결정) 물질인 다이아몬드와 흑연, 금속 결정(Na, Fe)은 분자가 존재하지 않으므로 이온의 비율을 가장 간단한 정수비로 나타낸 실

험식으로 표현한다. 한편 분자식은 분자를 구성하는 원자의 종류와 수를 원소기호를 사용해 나타낸다. 분자식을 이용하면 원자량의 합으로 분자량을 구할 수 있다. 시성식은 분자 속에 화학적 성질을 지배하는 작용기가 있을 때, 이것을 중심으로 나타낸 화학식이다. 구조식은 분자를 구성하는 원자들의 결합 모양과 배열 상태를 결합선을 사용해 나타낸 화학식이다.

2) 화합물 속에 포함돼 있는 각 성분 원소의 질량을 구하면,

$$\text{H의 질량} : 5.40 \times 2/18 = 0.60(\text{g})$$

$$\text{C의 질량} : 8.80 \times 12/44 = 2.40(\text{g})$$

$$\text{O의 질량} : \text{시료의 질량} - (\text{H} + \text{O})\text{의 질량} = 1.60(\text{g})$$

각 성분의 질량비를 몰수비로 전환하고 가장 간단한 정수비로 나타내면,

$$\therefore \text{실험식} : \text{C}_2\text{H}_4\text{O}$$

실험식으로부터 분자식을 구하면,

$$\text{분자식} = n \times (\text{실험식})$$

$$\therefore \text{분자식} : \text{C}_2\text{H}_4\text{O}$$

가능한 작용기를 고려하면,

$$\therefore \text{시성식} : \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \text{ or } \text{CH}_3\text{OCH}_3$$

3) 에탄올과 에테르의 분자식은 동일하지만 그 구조가 상이한 구조 이성질체다. 화합물의 고유한 성질을 고려하면, 에탄올과 에테르를 쉽게 구별할 수 있다. 끓는점을 비교하면 에탄올은 히드록시기($-\text{OH}$)를 갖고 있으므로 분자간 수소결합을 형성한다. 그러므로 에탄올의 끓는점(78°C)은 에테르(-23.6°C)보다 높을 것이다. 알코올은 금속(Na , K)과 반응해 수소분자를 발생시키는데, 에테르는 히드록시기($-\text{OH}$)기가 없어 나트륨과 반응하지 않는다. 또한 산 촉매(진한 H_2SO_4) 하에서 카르복시산과 축합반응으로 에스테르 화합물을 만든다.

2003년 02월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 출제 경향 및 단원 대비 방안

이번에는 주기율표에서 할로젠과 알칼리 원소 및 전이금속에 관한 기본적인면서도 중요한 내용을 다루고자한다. 이 단원에서 구술 면접에 자주 출제된 문제는 할로젠 원소의 기본적인 성질을 설명하는 단순하면서도 포괄적인 것이다.

또한 주기율표에 나타나는 주기적 성질들인 금속성의 경향성, 원자 반지름, 이온화 에너지와 전자친화도 및 전기음성도를 묻는 문제가 자주 출제된다.

교과서의 기본적인 내용을 잘 정리할 필요가 있다. 화학결합에 관한 문제도 기본적인 개념에서 벗어나 분자 간의 인력에 관한 내용, 분자의 모양을 근거로 끓는점과 녹는점에 관한 문제와 부가적으로 화학반응과 관련한 문제가 출제되고 있다. 최근 화학분야의 구술면접은 실생활과 관련 있는 문제보다는 학문자체의 중요한 내용을 다소 깊이 있게 묻는 문제가 많이 출제되고 있다.

문제 1. 주기율표의 족과 주기에 따라 원소들은 규칙적으로 변하는 물리적 성질과 화학적 성질의 주기성을 나타낸다.

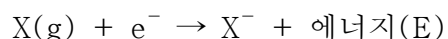
- 1) 주기율표에서 원소들의 전자 친화도, 이온화 에너지와 전기음성도의 경향성을 설명하라.
- 2) 주기율표에서 2족과 13족 그리고 15족과 16족으로 갈 때 이온화 에너지가 감소한다. 그 이유를 설명하시오.
- 3) 주기율표에서 17족을 할로젠족이라 하는데, 이 원소들의 전자친화도와 전기음성도의 경향성을 예측하고 그 이유를 설명하라.
- 4) 할로젠화 수소의 상대적인 산의 세기를 설명하고 그 이유를 제시하라.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

주기율표에서 전자 친화도, 이온화 에너지 및 전기음성도의 경향성을 이해하는 것이 중요하다. 특히 주기율표에서 알칼리금속과 비금속인 할로젠원소들의 전자친화도, 이온화 에너지 및 전기음성도의 경향성과 관련된 물리·화학적 성질에 대한 이해는 필수적이다.

▶ 해설 및 모범답안

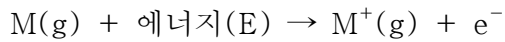
- 1) 전자친화도는 기체 상태에서 1몰의 원자가 전자 1몰을 받아들일 때 나타나는 에너지 변화로 정의한다.



전자친화도 값이 (+)이면 음이온이 될 때 에너지를 방출하며 그 값이 클수록 음이온이 안정하다. 그 값이 (-)이면 음이온이 될 때 에너지를 흡수해야 하므로 전자를 받아들이기 힘들다.

일반적으로 전자친화도는 주기율표의 동일 주기에서는 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 증가하고 같은 족에서는 위에서 아래로 갈수록 감소한다. 전체 주기율표의 원소들 중에서 할로젠족이 가장 큰 전자 친화도 값을 갖는다.

이온화 에너지는 기체 상태에서 1몰의 원자에서 전자 1몰을 떼어내는데 필요한 에너지로, 핵과 전자 사이의 인력에 의해 결정되며 주기성을 나타낸다.



이온화 에너지가 작을 수록 양이온이 되기 쉽고, 클수록 음이온이 되기 쉽다. 이온화 에너지를 결정하는 요소들은 핵의 하전과 핵과 전자사이의 평균거리가 중요하며 부가적으로 가리움 효과가 있다. 가리움 효과란 핵과 전자사이의 인력이 내부 전자에 의해 약해지는 현상으로 그 값이 작을 수록 이온화 에너지는 증가한다.

일반적으로 같은 족에서는 원자번호가 증가할 수록 전자껍질 수가 증가하므로 핵과 전자사이의 거리가 멀어져 이온화 에너지는 감소한다. 같은 주기에서는 원자번호가 증가할 수록 원자의 양전하가 증가하므로 핵과 전자사이의 인력이 증가해 이온화 에너지는 증가한다. 같은 주기 원소의 제1이온화 에너지는 원자번호가 증가할 수록 증가한다.

전기음성도는 공유결합 분자에서 원자가 공유 전자쌍을 끌어당기는 정도로 정의하며, 전자친화도와 이온화 에너지 합과 유사한 경향성을 주기율표에서 나타낸다. 전기음성도의 세기는 같은 주기에서는 원자번호가 증가할 수록 증가하고, 같은 족에서는 원자번호가 감소할 수록 증가한다.

- 2) 예외적으로 2족에서 13족, 15족에서 16족으로 가면 오히려 이온화 에너지가 감소한다. 그 이유는 2족에서 13족으로 갈 경우 2족의 원자가전자 배치는 ns^2 이며 13족은 ns^2np^1 를 가진다. np 오비탈은 ns오비탈보다 핵에서 멀리 존재하고 에너지 준위가 높기 때문에 p오비탈의 전자를 s오비탈의 전자보다 쉽게 떼어낼 수 있다. 그러므로 13족의 이온화 에너지가 2족보다 낮다. 또한 15족에서 16족으로 갈 경우 15족은 ns^2np^3 의 안정한 원자가 전자배치를 갖고, 16족은 ns^2np^4 의 원자가 배치를 가진다. 16족의 np오비탈에 존재하는 쌍을 이룬 두개 전자 사이의 반발력과 가리움 효과에 의해 한 개의 전자를 쉽게 떼어낼 수 있기 때문에 15족의 원소는 16족 원소보다 이온화 에너지가 높다.

- 3) 할로젠원소의 이름은 염을 만드는 물질이라는 그리스어에서 유래됐다. 할로젠 원소는 17족으로 불소(F), 염소(Cl), 브롬(Br), 아이오드(I) 등이며, 7개의 최외각 전자를 갖고 있어 한 개의 전자를 얻으면 옥텟 규칙을 만족시켜 안정한 비활성 기체의 전자배치를 갖는다. 따라서 음이온이 되려는 경향이 강하다.

전자친화도를 살펴보면 할로젠원소들 중에는 불소(F)가 가장 큰 전자친화도 값을 가질 것으로 추측되지만 실제로는 염소(Cl)가 가장 크다. 불소이온(F^-)은 네온(Ne)의 전자배치를 갖고, 염소이온(Cl^-)은 아르곤(Ar)의 전자배치를 가진다.

즉 불소이온은 염소이온에 비해 작은 공간에 많은 전자가 존재하므로 전자들 사이의 반발력이 핵과 전자 사이의 인력보다 우세하다. 그러므로 전자친화도는 불소(F)보다 염소(Cl)가 더 크다. 할로젠원소의 전자 친화도는 $Cl > F > Br > I$ 의 순서가 된다.

주기율표에서 전기음성도는 전자친화도와 이온화 에너지를 합친 양과 유사한 경향을 나타낸다. 같은 주기에서는 원자번호가 증가할 수록 증가하고 같은 족에서는 원자번호가 감소할 수록 증가한다. 그러므로 할로젠원소의 전기음성도는 $F > Cl > Br > I$ 의 순서가 된다.

- 4) 할로젠화 수소산(HF, HCl, HBr, HI)은 수소와 할로젠 원소 사이의 전기음성도 차이 때문에 극성 공유결합 화합물이다. 두핵과 공유 전자사이에 작용하는 쿨롱 인력을 살펴보면, $FHCl > HBr > HI$ 의 순서가 된다. 그러므로 할로젠화 수소산의 안정성은 $HF > HCl > HBr > HI$ 순이 되고 산의 세기는 HF^+ 을 내놓은 그 짝음이온이 얼마나 안정한가에 좌우된다. 음이온의 안정성은 그 이온의 단위 면적당 전하 밀도를 고려해 보면 $F > Cl > Br > I$ 순서다. 단위 면적당 전하 밀도가 클수록 불안정하므로 할로젠 음이온의 안정성은 $F^- < Cl^- < Br^- < I^-$ 순이 되고 산의 세기는 $HF < HCl < HBr < HI$ 순이 된다.

▶ 확장문제

주기율표에서 원소들의 위치에 따른 금속성, 원자 반지름, 이온화 에너지 등의 경향성을 설명하시오.

문제 2. 주기율표의 원소들은 전이원소와 전형원소 그리고 란탄 및 악티늄족으로 나눌 수 있다.

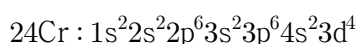
- 1) 전이원소와 전형원소에 대해 설명하시오.
- 2) 전이원소가 다양한 원자가를 갖는 이유는?
- 3) 전이원소의 이온이 되거나 착화합물을 형성했을 때 색깔을 띠는 이유는?
- 4) 12족에 위치한 아연(Zn)은 원자번호가 30이다. 왜 아연은 전이원소가 아닐까?
- 5) 원자번호가 24인 크롬(Cr)의 바닥상태의 전자배치를 쓰시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

전이금속은 알칼리 금속이나 할로젠 원소보다 출제빈도가 적고 교과서에서도 많이 다루고 있지 않지만, 대학 무기화학 분야에서 핵심적인 내용이므로 기본적인 개념과 전자배치에 대한 학습이 필요하다.

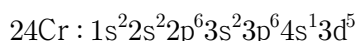
▶ 해설 및 모범답안

- 1) 주기율표의 3족에서 11족 원소들로서 부분적으로 채워진 d오비탈 또는 f오비탈을 갖는 원소들을 전이금속이라 정의한다. 전이금속의 특징은 같은 주기인 경우 족에 관계없이 원자가 전자수가 1-2개이므로 원소들의 성질이 비슷하다. 모두 금속이므로 열과 전기가 잘 통하고 밀도가 크며 녹는점과 끓는점이 높다. 같은 주기에서 d오비탈의 전자수가 증가하면 전자들 사이의 반발력과 핵과 전자 사이의 인력이 증가하므로 원소들의 원자 반지름과 이온화 에너지가 비슷하다. 전이금속은 s오비탈과 d오비탈에 있는 전자가 결합에 관여하므로 다양한 산화수를 가진다. 전이금속은 활성이 작아서 대부분 촉매로 많이 이용되며 이온이 되거나 화합물을 형성하면 대부분 색깔을 띤다. 전이원소의 전자배치는 마지막 전자가 d오비탈이나 f오비탈에 채워지며 전이원소가 이온이 될 때는 s오비탈의 전자가 먼저 떨어지고 나중에 안쪽 껍질의 d오비탈 전자가 떨어진다. 전형원소는 전이원소를 제외한 대부분의 원소들이다.
- 2) 전이원소는 안쪽 전자껍질에 부분적으로 채워진 d오비탈 또는 f오비탈이 존재하는데, 이 안쪽 전자껍질의 전자도 원자가전자의 역할을 하기 때문이다.
- 3) 원자 상태에서는 3d오비탈의 에너지가 모두 동일하지만, 이온이 되거나 화합물을 형성하면 3d오비탈의 에너지가 달라진다. 따라서 에너지가 낮은 3d오비탈로부터 에너지가 높은 3d오비탈로 이동할 때 가시광선을 흡수하므로 색을 띠게 된다.
- 4) 전이금속은 부분적으로 채워진 d오비탈을 갖지만, 12족 원소인 아연은 안쪽 껍질의 전자가 모두 채워진 상태에서 원자가전자가 ns²를 가지므로 전이원소에 포함시키지 않는다.
- 5) 크롬의 원자번호는 24번이므로 24개의 전자를 3가지 규칙에 따라 오비탈에 배치해야 한다. 크롬의 바닥상태의 전자배치는 다음과 같이 될 것이다. 이것은 축조원리와 파울리의 배타원리만 고려한 것이다.



하지만 만약 4s오비탈의 전자 하나가 마지막으로 비어 있는 3d오비탈의 자리에 차게 된다면 홀

전자가 전체적으로 6개가 되기 때문에 훈트의 규칙에 따라 더 유리한 전자상태가 돼 전체 원자의 에너지가 낮아지게 된다. 그러므로 크롬은 다음과 같은 바닥상태의 전자 배치를 갖게 된다.



▶ 확장문제

원자번호가 29인 구리(Cu)의 바닥상태 전자배치를 쓰고, 전자배치를 근거로 구리가 왜 전이금속인지를 설명하라.

문제 3. 주기율표에서 1족에 속하는 Li, Na, K, Rb, Cs을 알칼리금속이라고 하며, 알칼리라는 말은 원래 염기성을 띠는 물질이라는 뜻에서 유래했다.

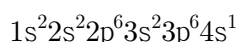
- 1) 알칼리금속인 K은 원자번호가 19이다. 칼륨 원소의 바닥상태 전자배치를 쓰시오.
- 2) 알칼리금속인 Na과 2족인 알칼리 토금속인 Mg의 전자친화도를 예측하고 그 이유를 설명하시오.
- 3) 알칼리금속을 확인할 수 있는 실험적 방법들을 설명하시오.
- 4) 나트륨 금속을 절단하면 은백색 광택을 띠지만 공기 중에 오랜 시간 동안 방치하면 절단면에 흰색 가루가 형성된다. 이 물질은 무엇이며 생성과정의 화학반응식을 쓰시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

알칼리금속은 수능능력 시험과 구술시험에 자주 출제되는 주제다. 알칼리금속의 기본적인 특성과 화학반응성을 이해하고 알칼리 토금속의 성질과 비교해서 정리할 필요가 있다.

▶ 해설 및 모범답안

- 1) 칼륨(K)은 원자번호가 19이므로 다전자 배치 규칙인 축조원리, 파울리의 배타원리 및 훈트 규칙에 따라 다음과 같은 바닥상태의 전자 배치를 가진다.



- 2) 알칼리금속인 나트륨(Na)의 전자배치는 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ 이므로 최외각 오비탈인 $3s^1$ 오비탈에 한 개의 전자만 존재하므로 나머지 한 개의 전자를 쉽게 받아들일 수 있다.

알칼리 토금속인 마그네슘(Mg)의 전자배치는 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ 이므로 이미 최외각 오비탈인 $3s^2$ 에 전자가 채워져 있으므로 첨가되는 전자는 $3p$ 오비탈에 들어가야 하고, $3p^1$ 오비탈의 전자는 내부의 $2s^2$ 오비탈의 두개의 전자에 의해 가려지므로 핵과 첨가된 전자사이의 인력은 감소된다. 결과적으로 전자친화도는 같은 주기에서 2족보다는 1족이 더 큰 경향성을 나타낸다.

- 3) 알칼리금속의 물리·화학적 성질을 보면, 상온에서 은백색 광택을 가지며 열과 전기가 잘 전달되는 양도체다. 알칼리금속은 물과 격렬히 반응해 수소(H_2)를 발생시키고 그 용액은 염기성이 된다. 할로젠원소(X)와 직접 반응해 할로젠화물(MX)을 형성한다[$2M(s) + X_2 \rightarrow 2MX(s)$].

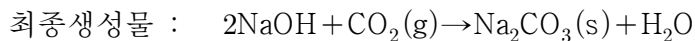
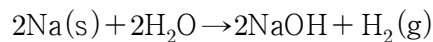
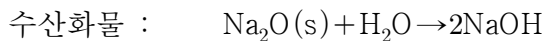
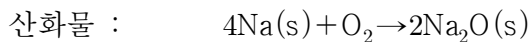
알칼리금속이나 알칼리금속 이온이 들어 있는 화합물은 대부분 무색이며 물에 잘 녹아 일반적인 방법으로 검출하기가 어렵기 때문에 불꽃반응으로 검출한다.

불꽃반응의 원리는 금속원자 내의 전자가 열에너지를 받으면 높은 에너지 준위로 전이했다

가 에너지를 방출하면서 다시 원래의 에너지 준위로 되돌아오는 것이다.

전이하는 전자는 금속 원소에 따라 특정한 에너지 준위 사이에서만 일어나므로 이 때 방출되는 에너지는 금속마다 특정한 고유의 에너지를 방출하고 그 에너지에 해당하는 특정 불꽃색을 나타낸다. 리튬은 빨간색, 나트륨은 노란색, 칼륨은 연한 보라색, 루비듐은 진한 빨간색, 세슘은 연한 파란색을 나타낸다.

- 4) 알칼리금속은 공기 중의 산소와 반응해 쉽게 산화돼 산화물을 형성한다. 산화물은 공기 중의 수분인 물과 반응해 수산화물을 형성한다. 또한 금속은 공기 중의 수분과 직접 반응해 수산화물을 형성한다. 수산화물은 염기성이므로 공기 중에 있는 산성 성분인 이산화탄소와 반응해 흰색의 탄산나트륨이 형성된다. 반응식은 다음과 같다.



▶ 확장문제

석회암의 주성분은 CaCO_3 이다. 수억년 동안 석회암 지대에서 CO_2 와 빗물의 작용으로 석회암 동굴이 형성됐다. 이 과정에서 일어난 화학반응식을 제시하시오.

문제 4. 화학결합은 크게 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 구별할 수 있다.

- 1) 이들 결합의 공통점과 차이점에 대해 설명하시오.
- 2) 공유결합으로 형성된 분자들 사이에는 다양한 인력이 작용한다. 이들에 대해 설명하시오.
- 3) 분자량이 비슷한 H_2O 와 CH_4 의 끓는점은 물이 훨씬 높다. 그 이유는?

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

주기율표에서 비활성 기체를 제외한 대부분의 원소들은 화학결합을 통해 다양한 화합물을 형성한다. 화합물의 화학결합의 원리와 종류, 공유결합으로 형성된 분자들 사이의 다양한 인력에 대한 이해는 대단히 중요하다.

▶ 해설 및 모범답안

- 1) 원소들 사이의 결합인 화학결합은 크게 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 구별할 수 있다. 이들 화학결합의 종류는 결합에 참여하는 원소의 종류에 따라 결정할 수 있으며, 화합 결합에 참여한 원소의 최외각 전자의 개수를 8개로 만족시킨다는 공통점을 지니고 있다.

즉 결합의 종류에 따라 방법에는 차이가 있으나 화학결합 결과, 결합에 참여한 원소들의 대부분은 비활성 기체의 최외각 전자 개수와 같이 최외각 전자 껍질을 8개의 전자로 채운다는 것이다.

이를 팔 전자계 규칙 또는 옥텟 규칙이라고 한다. 그렇다면 이온결합, 공유결합, 금속결합을 통해 옥텟 규칙을 만족하는 방법에는 어떠한 차이가 있을까?

첫째, 이온결합은 전기음성도가 작은 금속 원소와 전기음성도가 큰 비금속 원소 사이에 이뤄진다. 이 때 비금속 원소와 금속 원소의 전기음성도는 큰 차이가 존재하므로 비금속 원소는 금속

원소의 전자를 빼앗아 음이온이 되고, 반대로 금속 원소는 전자를 잃고 양이온이 된다.

즉 두원소 사이의 큰 전기음성도 차이에 의해 전자가 일방적으로 이동함으로써 비금속 원소와 금속 원소의 최외각 전자의 개수가 8개로 만들어진다. 이처럼 양이온과 음이온이 형성된 후에 양전하와 음전하 사이의 정전기적인 인력에 의해 강한 이온결합이 형성되는 것이다.

둘째, 공유결합은 전기음성도가 큰 비금속 원소끼리의 결합이다. 비금속 원소의 경우 금속 원소에 비해 이온화 에너지가 크므로 전자를 받아들여 옥텟 상태가 되려고 한다.

그러나 원소들 사이에 전기음성도 차이가 크지 않으므로 이온결합에서처럼 전자를 얻어오기 어렵다. 따라서 각각의 비금속 원소가 지닌 홀전자를 두원소가 서로 공유하는 방식으로 부족한 전자를 채우고 옥텟 규칙을 만족시킨다.

마지막으로 금속결합은 전기음성도가 작은 금속 원소 사이의 결합이다. 금속 원소들은 이온화 에너지가 매우 작아 전자를 잃고 금속 양이온이 되기 쉽다.

따라서 각 금속 원소들은 전자를 잃어 양이온이 되는 방식으로 옥텟 규칙을 만족시키며, 금속 원소로부터 떨어져 나온 전자들은 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동한다. 이렇게 형성된 금속 양이온과 자유 전자 사이에 작용하는 인력으로 인해 강한 금속결합이 형성된다.

2) 공유결합은 극성 공유결합과 비극성 공유결합 그리고 배위결합으로 나눌 수 있고, 공유결합 분자 사이에는 다음의 네가지의 분자간의 힘이 존재한다. 이 힘은 분자의 극성과 모양, 분자량 등에 따라 달라진다.

① 이중극자 - 이중극자 힘 : 극성분자들 사이에 작용하는 정전기적 인력으로 분자의 이중극자 모멘트가 클수록 강하다.

② 이중극자 - 유발 이중극자 : 극성분자가 접근하면 비극성분자는 편극 현상이 일어나 분자 내에 부분 전하(δ^+ , δ^-)를 띠는 유발 이중극자가 형성된다. 유발 이중극자와 유발 이중극자를 유발한 극성분자 사이의 정전기적 인력이다.

③ 분산력 : 무극성분자에서 전자의 분포는 극성을 나타내지 않는다. 그러나 어떤 순간에는 전자들이 한쪽으로 몰려 이중극자가 될 수 있다. 이런 순간적인 이중극자에 의해 이웃 원자 또는 분자에 편극이 일어나서 이중극자가 유발되면, 두원자들 또는 분자들 사이에 인력이 작용하는데 이 힘을 분산력이라 한다. 분산력은 전자가 많을수록 분자량이 클수록 크며, 분자 사이의 접촉 면적이 클수록 증가한다.

④ 수소결합 : 극성분자들 사이에 작용하는 힘으로 O, N, F와 같이 전기음성도가 큰 원자에 결합돼 있는 수소가 이웃한 다른 O, N, F 원자의 고립 전자쌍과 작용해 생기는 인력이다.

3) 물은 수소와 산소의 전기음성도 차이 때문에 극성 분자가 되고, 전기음성도가 큰 산소 원자에 수소원자가 결합돼 있어 물 분자사이에 수소결합을 형성한다. 수소결합은 다른 분자간 인력보다 훨씬 강하다. 메탄분자의 경우 무극성분자이기 때문에 유발 이중극자-유발 이중극자 인력인 분산력이 분자 간에 작용한다. 이것은 수소결합보다 훨씬 약한 힘이며, 따라서 물과 메탄은 분자량이 비슷하지만 물이 훨씬 높은 끓는점을 나타낸다.

▶ 확장문제

1. 분자량이 비슷한 CH_4 , NH_3 , HF , H_2O 분자간 끓는점의 차이가 크게 다른 이유를 설명하시오.

2003년 03월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 단원 출제 경향 및 대비 방안

이번 호에서는 분자 사이의 상호 작용을 바탕으로 한 탄화수소 화합물의 물리적 성질에 관한 내용을 다루고, 기체에 관한 법칙과 용액의 성질 및 용액의 농도에 대해 살펴보고자 한다. 탄화수소 화합물은 탄화수소와 탄화수소 유도체로 분류된다. 이 단원에서는 시사적인 문제와 관련해 대표적인 탄화수소 화합물인 원유를 분리하는 원리와 탄화수소 분자들의 물리적 성질에 대한 문제를 다룬다. 시사적인 문제는 항상 출제될 확률이 높다. 부가적으로 탄화수소 유도체에 관한 교과서의 기본적인 내용을 정리하는 것이 좋겠다. 이상기체 상태방정식에 관한 문제는 이상기체에 대한 정의와 이를 이용한 기체 법칙과 관련해 자주 출제된다. $PV=nRT$ 식의 의미를 잘 이해하는 것이 무엇보다 중요하다. 용액에 관련된 구술 문제는 참용액(용액)과 콜로이드 용액의 성질에 관한 문제와 이와 관련된 실생활 문제가 대부분 출제됐고, 간혹 용액의 농도와 관련된 문제가 출제된다. 용액의 총괄성과 콜로이드에 관한 내용은 반드시 정리하는 것이 좋다. 또한 용매에 의한 용질의 용해 현상과 확산 현상의 기초적인 공통점과 차이점에 대해 정리할 필요가 있다. 이런 기본적인 개념과 핵심 내용을 잘 정리하고 이해하는 것이 구술 고사를 대비하는 지름길이다.

문제 1. 탄화수소 화합물의 혼합물인 원유는 끓는점 차이를 이용해 여러가지 성분으로 분리할 수 있다.

- 1) 탄화수소들의 끓는점 차이에 대해 설명하시오.
- 2) 펜탄은 C_5H_{12} 의 분자식을 갖는 탄화수소 화합물이다. 펜탄은 원자들의 결합 순서에 의해 다양한 구조이성질체가 존재한다. 펜탄의 이성질체를 그려보시오.
- 3) 또한 그들의 끓는점에 대해 예측하고 그 이유를 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

주기율표에서 탄소 원자는 가장 많은 유도체 화합물을 형성할 수 있다. 탄화수소 화합물은 비극성 분자이며 대표적인 예가 석유다. 먼저 원유와 같은 비극성 분자의 물리적 성질에 영향을 주는 요소를 알아야 한다. 구조이성질체의 개념을 이해하고 동일한 분자식을 갖더라도 분자 구조에 의해 분자들의 물리적 성질이 다를 수 있음을 알아야 한다.

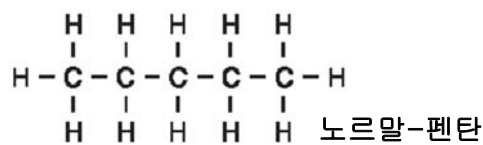
▶ 배경지식

분자식은 같으나 구조식이 다른 화합물을 구조 이성질체라고 한다. 비극성 분자의 분자간 인력은 분산력이다. 비극성 분자의 끓는점과 어는점은 분자량과 분자간의 인력인 분산력에 의존한다.

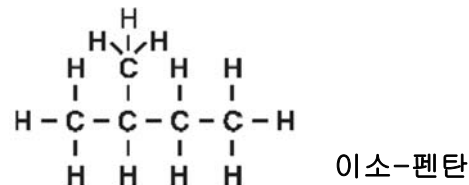
▶ 해설 및 모범답안

- 1) 비극성 분자의 끓는점은 분자량과 분산력(반데르 발스 인력)에 크게 좌우된다. 탄화수소 화합물은 탄소와 수소 원자사이의 전기음성도 차이가 거의 없기 때문에 비극성 분자다. 분산력은 유발 이중극자 사이의 인력으로 극성 분자 사이에 작용하는 분자간 힘에 비해 상대적으로 작다. 하지만 분산력은 분자 내에 전자가 많을 수록 분자량이 클수록 증가하며, 분자 사이의 접촉

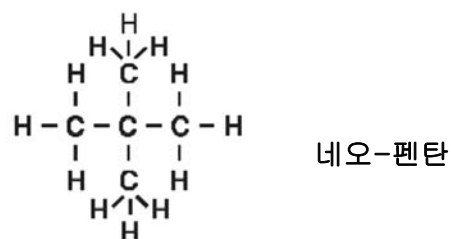
면적이 클수록 증가한다. 또한 탄화수소 화합물의 끓는점은 할로젠 분자들처럼 분자량이 증가할수록 높아진다. 따라서 탄화수소 화합물에서는 탄소 수가 증가할수록 분자 사이의 인력과 분자량이 증가하므로 끓는점이 높아진다. 원유를 분별 증류하면 끓는점에 따라 석유가스, 나프타, 등유 및 경유 순으로 분리할 수 있다. 일반적으로 탄화수소들은 탄소의 수가 증가함에 따라 상온에서 기체(C_1-C_4), 액체(C_5-C_{17}), 고체(C_{18} 이상)의 상태가 된다.



2) 구조이성질체는 분자식은 같으나 원자들의 결합 순서에 의해 구조식이 달라 성질이 다른 화합물이다. 펜탄은 탄소의 구조에 따라 노르말(n-), 이소(iso-), 네오(neo-) 펜탄의 3가지 구조이성질체가 존재한다.



3) 펜탄은 비극성 공유결합 분자이므로 끓는점은 분자량과 반데르 발스 인력(분산력)에 의해 좌우될 것이다. 펜탄의 구조이성질체에 대한 끓는점 비교에서 분자량은 영향을 미치지 못한다. 펜탄의 구조이성질체는 분자량이 동일하



기 때문이다. 그러므로 펜탄의 구조이성질체의 끓는점은 분자 사이의 인력인 반데르 발스 인력에 의존한다. 일반적으로 탄소와 수소 원자 수가 동일한 탄화수소 화합물의 경우 결합자가 많을수록 분자가 구형에 가까우므로 분자 간의 접촉 면적이 감소해 분자사이의 인력인 분산력이 감소한다. 즉 선형 분자가 구형분자보다 접촉 면적이 많으므로 끓는점이 높다. 결국 결합자가 없는 노르말-펜탄의 끓는점(36°C)이 가장 높고 결합자가 가장 많은 네오-펜탄(9.5°C)이 제일 낮다. 그리고 이소-펜탄의 끓는점은 28°C 정도다.

▶ 확장문제

탄소 화합물에는 다양한 이성질체가 존재한다. 이들에 대해 예를 들어 설명하시오.

문제 2. 가상의 기체인 이상기체의 성질은 기체 분자들 사이의 인력과 반발력이 작용하지 않고 분자의 충돌로 총 운동에너지가 보존되는 완전 탄성체며, 절대온도 0K에서 부피는 0이고 평균 운동에너지는 절대온도에 비례한다는 것이다.

- 1) 이상기체 상태방정식은 $PV=nRT$ 로 정의된다. 이상기체란 무엇인가?
- 2) 이 식을 이용해 기체에 관한 법칙들을 설명하시오.
- 3) 공원에 놀고 있는 꼬마가 헬륨(He)가스가 들어있는 고무풍선을 손에서 놓쳤다. 상공으로 올라가는 풍선에는 어떤 현상이 일어나는지 설명하시오.
- 4) 풍선 기구의 최초 비행은 1783년 프랑스의 몽골피에 형제에 의해 이뤄졌다. 그 후 샤를은 공기보다 가벼운 기체인 수소로 풍선 기구를 만들어 비행에 성공했다. 오늘날 열기구를 이용해 하늘을 날 수 있는 원리에 대해 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

이상기체 상태방정식으로 이상기체를 정의할 수 있고, 이 식을 이용해 다양한 기체 법칙들을

설명할 수 있어야 한다. 또한 기체와 관련된 실생활의 다양한 현상을 이상기체 상태방정식으로 설명할 수 있어야 하고 실제기체와 이상기체의 차이점도 알아야 한다.

▶ 배경지식

이상기체 상태방정식은 $PV=nRT$ 이다. 기체 법칙은 보일의 법칙, 샤를의 법칙, 보일-샤를의 법칙, 아보가드로의 법칙이다.

▶ 해설 및 모범답안

1) 어떤 조건(온도, 압력, 부피)에서도 이상기체 상태방정식($PV=nRT$)이 완벽하게 적용되는 가상의 기체라고 정의한다. 실제기체는 분자 사이의 인력과 분자 자체의 부피도 존재하므로 높은 압력과 낮은 온도에서는 이상기체와 크게 다르다. 그러나 실제기체도 높은 온도와 낮은 압력 조건에서는 이상기체에 가까운 성질을 나타낸다.

2) 이상기체 상태방정식에서 온도, 압력, 부피, 몰수를 고정시키면 기체에 관한 법칙인 보일의 법칙, 샤를의 법칙, 보일-샤를의 법칙과 아보가드로의 법칙을 얻을 수 있다.

·보일의 법칙 : $PV=nRT$ 에서 n 과 T 가 일정하면 nRT 값이 상수(k)가 되므로 $P_1V_1=P_2V_2=k$ 의 보일의 법칙이 얻어진다.

·샤를의 법칙 : $PV=nRT$ 에서 $V/T=nR/P$ 를 구할 수 있고 n 과 P 가 일정하므로 nR/P 값이 상수(k)가 되므로 $P_1V_1=P_2V_2=k$ 의 샤를의 법칙이 얻어진다.

·보일-샤를의 법칙 : 이상기체 상태방정식에서 $PV/T=nR$ 를 구할 수 있고 n 이 일정하므로 nR 은 상수(k)가 되므로 $P_1V_1/T_1=P_2V_2/T_2=k$ 의 보일-샤를의 법칙이 얻어진다.

·아보가드로의 법칙 : $PV=nRT$ 에서 $V=nRT/P$ 를 구할 수 있고 P 와 T 가 일정하므로 RT/P 는 상수(k)가 되므로 $V=nk$ 의 아보가드로의 법칙이 얻어진다.

참고로 기체에 관한 법칙들로 이상기체 상태방정식을 유도할 수 있어야 한다.

3) 지표면에서의 대기압(외부압력)은 1기압이지만 상공으로 올라 갈수록 5Km마다 약 절반 정도의 대기 압력이 감소한다. 풍선 속에 들어 있는 헬륨의 몰수(n)는 일정하고 온도 변화는 압력 변화에 비해 작으므로 온도가 일정하다고 가정하면 보일의 법칙으로 이해할 수 있다.

보일의 법칙 : $P_1V_1=P_2V_2=k$ (비례 상수)

보일의 법칙에 의하면 n 과 T 가 일정하면 PV 값이 상수가 된다. 지표면에서 풍선의 압력은 대기압과 고무풍선 자체의 장력과 평형을 이루고 있지만 상공으로 올라 갈수록 대기압이 감소한다. 즉 P_2 가 감소하므로 $P_1V_1=P_2V_2$ 를 만족시키려면 V_2 가 증가해야 한다. 그러므로 풍선이 상공으로 계속 올라가면 부피가 계속 커지다 결국 터지게 된다.

4) 뜨거운 공기를 사용하는 열기구의 부피는 거의 일정하고 아주 높이 올라가지 않는 한 압력 역시 일정하다. 이상기체 상태방정식($PV=nRT$)에서 $nT=PV/R$ 이 되고 P 와 V 가 일정하기 때문에 PV/R 은 상수가 된다.

그러므로 n 과 T 는 서로 반비례한다. 즉 열기구 내의 기체를 가열하면 기체의 몰수(n)가 감소하므로 열기구 내부의 밀도가 낮아진다. 이렇게 낮아진 밀도 때문에 풍선이 뜰 수 있는 것이다.

▶ 확장문제

팝콘이 되는 옥수수 알갱이에 바늘로 구멍을 뚫으면 팝콘이 튀겨지지 않는다. 그 이유를 이상 기체 상태방정식을 이용해 설명하라.

문제 3. 묽은 용액의 경우 용질의 종류에 관계 없이 용질의 입자수(몰수)에 따라 결정되는 성질이 있는데 이를 총괄성이라 한다.

1) 총괄성에는 어떤 것들이 있는지 열거하고, 그 원리에 대해 설명하시오.

2) 이 성질 중에서 실생활에서 응용한 예는 어떤 것들이 있는가?

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

묽은 용액의 성질 중에서 용질의 종류와는 무관하고, 용질의 입자의 수에만 의존하는 공통적인 성질을 총괄성이라고 한다. 용액의 총괄성은 라울의 법칙으로 설명할 수 있다. 용액의 성질은 실생활과 밀접한 관련이 있으므로 그 예를 잘 정리할 필요가 있다.

▶ 배경 지식

라울의 법칙은 묽은 용액에서 용액의 증기압 내림이 용질의 종류에 관계없이 용질의 몰분율에 비례한다는 것이다.

$$(\Delta P = f_A \times P^0)$$

용액의 총괄성은 증기압 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림, 삼투압이다.

▶ 해설 및 모범답안

1) 묽은 용액의 성질 중에서 용질의 종류(단 용질이 비휘발성인 것)와는 무관하고, 용질의 입자수에만 관계 있는 성질을 용액의 총괄성이라고 하며 순수한 용매에 대한 용액의 증기압 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림, 삼투압이 여기에 속한다.

① 증기압 내림과 라울의 법칙의 관계

순수한 용매에 비휘발성인 용질을 녹인 용액의 증기압은 순수 용매의 증기압보다 낮아진다. 이것은 ㉠ 용매 분자와 용질 분자 사이에서 인력이 작용하고, ㉡ 용질 분자가 기체와 접한 용액 표면을 가려서 용매 분자가 기화되는 것을 방해하는 효과가 생기기 때문이다.

라울의 법칙에 따르면 비휘발성이고 비전해질인 용질 A가 녹아 있는 묽은 용액의 경우, 용액의 증기압 내림은 용질의 종류에 관계없이 용질의 몰분율에 비례한다.

$$\Delta P = f_A \times P_0 (P : \text{용액의 증기압 변화}, f_A : \text{용질 A의 몰분율}, P_0 : \text{순수 용매의 증기압})$$

② 끓는점 오름

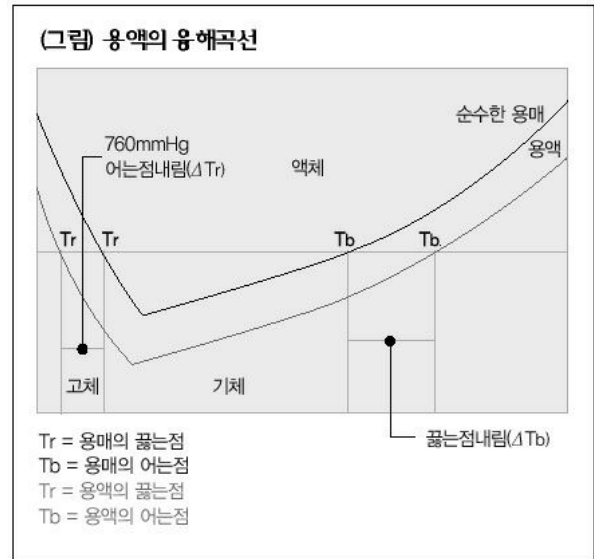
순수한 액체나 용액의 정상 끓는점은 그 증기압이 1기압이 되는 온도를 말한다. 용해된 용질이 증기압을 감소시키므로 용액의 온도가 증가돼야만 끓게 된다. 즉 용액의 끓는점은 순수한 용매의 경우보다 높아지게 된다. 이런 현상을 끓는점 오름이라고 하며, 용질의 종류와는 관계없다.

$$\Delta T_b = K_b \times m (\Delta T_b : \text{용액의 끓는점 변화}, K_b : \text{몰랄 오름 상수}, m : \text{몰랄 농도})$$

참고로 산에 올라가면 대기압이 낮아지기 때문에 끓는점도 낮아진다. 이것은 액체의 일반적 성질이고, 증기압 내림 그리고 끓는점 오름과는 다른 현상이다.

③ 용액의 어는점 내림

어는점에서는 고체가 액체로 되는 속도와 액체가 고체로 되는 속도가 같다. 순수한 물질의 경우에는 액체가 고체로 변하거나 고체가 액체로 변할 때 아무런 방해도 받지 않는다. 그러나 용매 속에 용질이 녹아 있는 경우에는 용매가 고체 표면에 도달하는 것이 순수한 용매에 비해 힘들어지고, 결과적으로 액체가 고체로 되는 속도는 줄어든다. 용액의 용해 곡선은 순수한 용매의 용해 곡선보다 아래쪽으로 이동하게 되고, 결과적으로 용액의 녹는점도 순수한 용매의 녹는점에 비해 낮아지게 된다. 이런 현상을 어는점 내림이라고 하며 용질의 종류와는 관계없다.



$\Delta T_f = K_f \times m$ (ΔT_f : 용액의 끓는점 변화, K_f : 몰랄 오름 상수, m : 몰랄 농도)

참고로 끓는점 오름과 어는점 내림에서 몰랄 농도를 사용하는 이유는 온도가 달라져도 변하지 않는 농도 개념이 필요하기 때문이다. 흔히 사용하는 몰농도는 ‘단위 부피당 몰수’를 뜻하는데, 이 경우 온도에 따라 부피가 변하면 농도가 달라진다. 이는 끓는점 오름과 어는점 내림처럼 온도 변화를 나타내는 값에는 사용할 수 없다.

따라서 새로운 개념의 몰랄 농도를 사용한다. 몰랄 농도는 용매 질량 1 Kg당 녹아 있는 용질의 몰수로 나타낸다. 용매의 질량을 기준으로 삼기 때문에 온도가 변해도 농도는 변하지 않는 게 특징이다.

④ 삼투 현상

용액의 용질 분자는 통과시키지 않고 용매 분자만을 선택적으로 통과시키는 성질의 막을 반투막이라 한다. 이런 반투막을 사이에 두고 순수한 물과 용액을 격리시키면 막을 통해 물이 용액 쪽으로 이동해 시간이 지남에 따라 평형상태에 이르게 되는데, 이런 현상을 삼투 현상이라 한다. 여기에는 반트 호프의 법칙이 적용된다. 비전해질이 녹아 있는 묽은 용액의 삼투압은 몰농도와 절대 온도에 비례하며, 용매나 용질의 종류와는 무관하다.

$\pi = cRT$ (π : 삼투압, c : 용액의 몰농도, R : 기체상수, T : 절대 온도)

- 2) 생활 주변에서 용액의 총괄성과 관련된 예는 겨울철 결빙된 도로에 염화칼슘을 뿌려서 얼음을 녹이는 작업을 들 수 있다. 어는점 내림 현상이다. 또한 자동차 부동액을 예로 들 수 있다. 겨울철에는 어는점 내림 때문에 부동액을 사용한 냉각수는 얼지 않게 된다. 또한 여름철에는 끓는점 오름 때문에 끓어 넘치지 않게 된다. 김장을 담글 때 배추를 소금으로 절이면 전보다 쪼글쪼글해진다. 이것은 삼투 현상으로 인해 배추에 들어 있는 수분이 소금 때문에 밖으로 빠져 나왔기 때문이다.

▶ 확장문제

깊은 바다 밑에서 화산이 폭발하면 바닷물의 온도는 물의 끓는점보다 높아진다. 그럼에도 불구하고 바닷물이 기화되지 않고 액체 상태로 남아 있는 이유는 무엇인가?

문제 4. 이온결합 화합물인 소금(NaCl)은 800℃ 이상으로 온도를 올려야 이온결합이 끊어진다. 그러나 소금을 증류수에 넣으면 쉽게 용해돼 음이온과 양이온으로 해리된다.

- 1) NaCl이 물에 용해되는 과정을 설명하라.
- 2) 5.85g의 NaCl을 1000g의 증류수에 완전히 해리시켰다면 이 용액의 몰농도(M)는?(단, 이 소금물의 밀도는 0.99g/mL이며 분자량은 58.50이다)
- 3) 이런 용해 현상을 확산 현상과 비교 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

용해 현상은 용질 분자와 용매 분자 사이의 상호작용 때문에 나타나는 현상이다. 용해의 원리를 이해하고 용액의 농도를 계산할 수 있어야 한다. 용해 현상과 확산 현상의 공통점과 차이점에 대해 반드시 이해해야 한다.

▶ 배경 지식

이온 화합물과 극성 공유결합 물질 사이의 인력은 이온-이중 극자(쌍극자) 상호작용이다. 몰농도는 용액 1L 속에 들어있는 용질의 몰수다. 몰랄 농도는 용매 1Kg(1000g) 속에 들어있는 용질의 몰수로 정의한다. 용해 현상과 확산 현상은 깁스 자유 에너지($\Delta G = \Delta H - T\Delta S$)와 관련이 있다.

▶ 해설 및 모범답안

- 1) 소금은 금속이온인 Na^+ 과 비금속이온인 Cl^- 사이의 정전기적 인력에 의해 결합된 이온결합 물질이므로 결합을 끊기 위해서는 800℃ 이상의 높은 온도가 필요하다. 하지만 물 속에서 이온결합 물질이 쉽게 해리되는 것은 염화나트륨과 극성 용매인 물분자 사이에 작용하는 인력을 비교함으로써 그 원리를 설명할 수 있다. 염화나트륨은 양이온(Na^+)과 음이온(Cl^-)이 정전기적인 인력에 의해 결합돼 있으며 규칙적인 배열을 하고 있다. 물분자는 산소 원자(O)와 수소 원자(H)의 전기 음성도 차이 때문에 산소 원자는 부분적 음전하(δ^-)를 띠고, 수소 원자는 부분적으로 양전하(δ^+)를 띤다. 소금이 물에 쉽게 녹는 것은 소금의 이온과 물 분자 사이의 인력이 작용하기 때문이다. 염화나트륨의 Na^+ 과 Cl^- 사이의 정전기적 인력은 물분자의 이중 극자(δ^+, δ^-)와 이온들 사이에 작용하는 이온-이중 극자 상호작용 때문에 약해진다. 즉 물분자의 부분적 음이온(δ^-)을 띠는 산소는 양이온인 Na^+ 이온-이중 극자 상호작용을 하고, 부분적 양이온(δ^+)을 띠는 수소는 음이온인 Cl^- 과 이온-이중 극자 상호작용을 한다. 그러므로 염화나트륨 이온들과 물분자 사이의 인력에 의해 염화나트륨의 이온결합은 상대적으로 약해지게 되고 이온들 사이의 결합이 쉽게 끊어져 용해되는 것이다.
- 2) 용매 1000g에 소금 5.85g이 녹아 있으므로 몰랄 농도(m)다. 몰랄 농도를 몰 농도로 바꾸려면 용액의 밀도(d)를 이용해 질량 단위를 부피 단위로 환산하고 용액 1L 속에 존재하는 용질의 몰수(n)를 알아내면 된다.

$$\text{용질의 몰수}(n) : n = \text{질량} / \text{분자량} = 5.85 / 58.50 = 0.10 \text{ mol}$$

용액의 부피(V) : $V = \text{용액의 질량} / \text{밀도} = 1005.85 / 0.99 = 1016.01 \text{ mL} = 1.016 \text{ L}$

용액의 몰 농도(M) : $M = \text{용질의 몰수} / \text{용액의 부피} = n / V = 0.10 / 1.016 = 0.098 \text{ (mol/L)}$

- 3) 용해란 간단히 말해 기체, 액체, 고체인 물질이 다른 기체, 액체, 고체와 혼합해 균일한 상태로 되는 현상이라 할 수 있다. 용매와 용질을 섞었을 때, 용매-용질 간의 인력이 용질 분자 간의 인력이나 용매 분자 간의 인력보다 클 때는 서로 섞이지만, 그렇지 않으면 용해는 일어나지 않는다. 확산이란 기체 속의 분자 또는 용액 속의 이온, 분자 또는 콜로이드 입자가 농도가 높은 곳에서 낮은 방향으로 이동하는 현상이다. 이동의 원인은 입자 또는 분자가 열운동을 하고 있기 때문이다. 따라서 입자나 분자, 이온의 크기가 작을 수록, 용매의 점성이 작을 수록, 또 농도차가 클수록 확산하기 쉽다. 담배 연기가 공기 중에 퍼지는 현상이 확산 현상의 대표적 예다. 용해나 확산 모두 서로 다른 물질이 고루 섞인다는 면에서는 같다. 그러나 용해와 확산은 본질적인 차이가 있다. 첫째 용해는 일정 정도 이상, 즉 그 온도에서의 용해도 이상의 용질을 넣게 되면 더이상 일어나지 않게 되는 반면, 확산은 물질을 얼마나 넣든 계속해서 일어난다. 다시 말해 용해는 그 한계가 존재하지만 확산은 한계가 존재하지 않는다. 둘째 용해는 용질과 용매 사이의 정전기적 상호작용에 의해 일어나지만, 확산은 상대 입자와 상대적으로 별 상호작용을 하지 않는다.

2003년 04월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 단원 출제 경향 및 대비 방안

이번 호에서는 원자나 분자가 반응해 새로운 화합물을 형성하는 화학반응, 이와 관련된 화학평형의 법칙과 반응속도에 관해 다루고자 한다. 화학반응의 기본적인 개념은 전자의 이동이다. 우리가 일상 생활에서 흔히 접하는 산-염기 반응과 산화-환원 반응이 화학반응의 대표적 예이다. 이 단원은 구술면접뿐만 아니라 수능에서도 주기율표와 관련된 문제와 더불어 가장 출제 빈도가 높은 곳이다.

화학반응에서는 산-염기에 대한 정의와 개념을 묻는 문제가 핵심을 이루고 여기에 화학평형의 개념과 반응속도의 개념을 적용해 심화된 문제들이 출제되고 있다. 또한 화학반응식과 연관시켜 화합물의 몰수 계산 문제도 간혹 출제되고 있다. 산-염기에 관련된 문제들 중에서 가장 심화된 문제는 완충 용액의 원리를 묻는 형태다. 따라서 교과서에서 배운 내용을 바탕으로 완충용액에 관한 내용들을 한단계 높은 참고서로 심화 학습할 필요가 있다.

산화-환원 문제는 산-염기 문제에 비해 상대적으로 출제 빈도가 낮다. 하지만 전기화학과 관련해 공업적으로 많이 응용되기 때문에 항상 출제될 확률이 높은 부분이다. 산화수의 개념은 반응식과 연관해 자주 출제되고 있다. 화학전지와 전기분해 반응에서 산화수를 이용한 반응식의 완결과 패러데이 법칙을 이용한 계산 문제를 학습할 필요가 있다. 화학평형 문제는 평형을 결정하는 인자와 르 샤틀리에의 원리를 묻는 것이 대부분이며, 부가적으로 평형상수와 관련된 문제도 가끔 출제된다. 반응속도의 문제는 반응속도에 영향을 주는 요인에 관한 것으로 그 기본적인 원리를 이해하면 답할 수 있다.

대부분의 구술 문제는 포괄적이면서도 그 핵심은 기본적인 개념과 원리에 있다는 것을 명심해야 한다. 참고로 화학과 관련 있는 물리, 생물, 지구과학 영역의 내용들을 함께 정리하면 구술에서 예상 밖의 좋은 결과를 얻을 수 있다.

문제 1. 화학반응은 가역반응과 비가역반응으로 나눌 수 있다. 비가역반응은 한쪽으로만 진행되는 반응으로 기체 생성 반응과 염 형성 반응 등이 있다. 가역반응은 화학평형을 이루면서 진행된다.

- 1) 화학평형이란 무엇인지 설명하시오.
- 2) 화학평형을 변화시키는 요인에 대해서 언급하고 그 원리를 설명하시오.
- 3) 다음의 평형반응에서 주어진 반응조건에 대해 이 반응의 평형이동 방향을 예측하시오.



$$\Delta H^\circ = 92.5 \text{ kJ}$$

(1) 온도를 올렸을 때, (2) 염소 기체를 반응 혼합물에 좀더 가했을 때, (3) 반응 혼합물에서 PCl_3 를 제거했을 때, (4) 기체의 압력을 증가시켰을 때, (5) 반응 혼합물에 촉매를 가했을 때.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

화학평형의 핵심 개념인 평형을 결정하는 요인과 평형상수의 의미, 평형이동의 법칙을 이해하고 있는지를 묻는 문제다.

▶ 배경지식

평형을 결정하는 인자는 에너지 변화와 무질서도다. 화학반응 조건을 변화시키면 그 변화를 줄이려는 방향으로 반응이 진행된다. 이것이 화학평형의 이동법칙인 르 샤틀리에의 원리다.

▶ 해설 및 모범답안

- 1) 화학반응을 크게 반응물질과 생성물질의 측면에서 살펴보면, 반응물에서 생성물이 생기는 반응을 정반응이라고 하고 반대 반응을 역반응이라고 한다. 정반응과 역반응이 반응조건, 즉 온도, 압력, 농도에 따라 모두 일어날 수 있는 경우를 가역반응이라고 하고 반응조건을 변화시켜도 역반응이 일어나기 힘든 반응을 비가역반응이라고 한다. 가역반응에서 정반응속도와 역반응속도가 같은 경우를 화학평형이라고 한다. 화학평형은 동적 평형상태로 반응이 멈춘다는 의미가 아니라, 지속적으로 반응물질이 생성물질로 변하는 만큼 생성물질이 반대로 반응물질로 되돌아가므로 전체적인 물질의 농도가 일정한 상태를 말한다. 화학평형은 항상 자발적으로 이뤄지며 또 일단 평형에 도달하면 다른 외부조건이 변하지 않는 경우에는 평형이 그대로 유지된다.
- 2) 화학평형을 결정하는 요인은 에너지 측면과 무질서도 측면이 있다. 에너지 측면에서 보면 에너지가 높은 상태에서 낮은 상태로 자발적으로 반응이 진행되면서 에너지를 방출하고 좀 더 안정한 물질로 변하려고 한다. 무질서도 측면에서 보면 분자의 몰수가 증가하거나 물질이 섞여 무질서가 증가하는 방향으로 화학평형이 진행되려고 한다. 화학반응은 항상 에너지가 낮은 쪽으로, 무질서도가 증가하는 쪽으로 진행된다. 가역반응에서 화학평형은 온도, 농도, 압력의 영향을 받는다. 반응조건을 변화시켜 화학평형을 조절하는 것을 ‘르 샤틀리에의 원리’(평형이동의 법칙)라고 한다. 화학반응의 반응조건이 변하면 변화를 줄이는 방향으로 반응이 진행된다는 것이다. 발열반응인 경우 반응온도가 낮을 수록 정반응이 유리해지고, 반응온도가 올라갈수록 역반응이 유리해질 것이다. 흡열반응인 경우는 이와 반대다. 그러나 온도가 너무 낮아지면 분자들의 움직임이 느려지므로 무질서도가 감소하는 문제가 발생한다. 물질의 농도가 증가하면 증가한 물질의 농도를 낮추기 위해서 정반응이나 역반응이 진행돼 새로운 평형이 만들어진다. 기체인 경우 외부 압력이 높아지면 압력을 줄이기 위해 기체의 몰수가 큰 쪽에서 작은 쪽으로 반응이 진행될 것이다. 그러나 고체나 액체의 반응은 압력의 영향을 받지 않는다. 참고로 촉매의 역할은 이들과는 조금 다르다. 촉매는 화학평형에는 영향을 주지 못하고 활성화 에너지에 관여해 반응속도를 빠르거나 느리게 할 뿐이다.
- 3) 평형이동 법칙으로 문제를 해결하면, 이 반응은 엔탈피 값($\Delta H^\circ = 92.5 \text{ kJ}$)이 양(+)이므로 흡열반응이다. 그러므로 온도를 올리면 평형은 오른쪽으로 이동한다. 혼합물에 염소 기체를 가하면 염소 기체가 증가하므로 평형은 왼쪽으로 이동한다. 혼합물에서 PCl_3 기체를 제거하면 PCl_3 가 감소하므로 평형은 오른쪽으로 진행된다. 혼합 기체의 압력을 증가시키면 기체의 총 몰수가 작은 쪽으로 반응이 유리해지므로 평형은 왼쪽으로 진행된다. 촉매는 활성화 에너지를 낮추거나 높여 반응속도를 빠르거나 느리게 하는 역할을 하기 때문에 화학평형에 영향을 주지 못한다.

▶ 확장문제

암모니아를 공업적으로 생산하는 방법을 '하버법'이라고 한다. 그에 관한 방정식은 다음과 같다.



이 반응의 수득률을 높이는 방법을 화학평형을 변화시키는 요인과 관련지어 설명하시오.

문제 2. 화학반응에서는 원자들 사이의 결합이 끊어지고 새로운 결합이 형성되므로 에너지가 흡수되거나 방출된다. 이런 반응이 일어나기 위해서는 반응 분자들이 적절한 배향을 가지고 충돌(유효충돌)을 해야 하며, 반응에 필요한 최소한의 에너지인 활성화 에너지 이상의 에너지를 가져야 한다. 이런 이론을 근거로 화학반응속도에 영향을 주는 인자들을 열거하고 그 이유를 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

화학반응의 속도에 영향을 주는 요인들과 그 원리를 이해하는지 묻는 문제로 비교적 쉽고 자주 출제되는 문제다. 하지만 활성화 에너지의 개념은 잘 이해하고 있어야 한다.

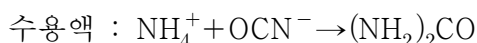
▶ 배경지식

반응속도에 영향을 주는 인자는 여러가지가 있으며, 활성화 에너지는 반응이 일어나기 위해 필요한 최소한의 에너지를 말한다.

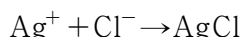
▶ 해설 및 모범답안

반응속도에 영향을 주는 요인은 반응물질의 종류, 농도(기체인 경우 압력), 온도, 촉매다.

화학반응이 일어날 때 반응속도는 반응물질에 따라 달라진다. 즉 원자 사이의 결합이 끊어지고 새로운 결합이 형성되는 공유결합 화합물은 반응속도가 느리다. 공유결합 물질은 결합력이 클수록, 그 수가 많을수록 반응이 느리게 진행된다.



이온결합 화합물은 결합의 재배열이 일어나지 않고 전자의 이동이나 단순한 해리, 또는 화합 과정이므로 반응이 빠르다.



일반적으로 반응속도는 10℃ 올라갈 때마다 2-3배 빨라진다. 그 이유는 활성화 에너지 이상의 에너지를 가지는 분자의 수가 2-3배만큼 증가하기 때문이다. 분자의 평균속력은 절대온도의 제곱근에 비례한다. 충돌 횟수의 증가는 온도가 10℃ 상승할 때 2% 정도이므로 반응속도에 큰 영향을 주지 못한다. 그러므로 온도 상승에 의한 반응속도의 증가는 분자의 평균속력이 아니라 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 속력이 매우 큰 분자의 수에 의존한다.

농도의 영향을 살펴보자. 화학반응이 일어나기 위해서는 반응물질 입자들 사이에 유효 충돌이 일어나야 한다. 반응물질의 농도가 높을수록 입자수가 증가해 충돌 횟수가 많아지므로 그만큼 유효 충돌 횟수도 증가하고 반응속도도 증가한다. 이런 원리에 의해 고체의 표면적을 증가시키거나 기체의 압력을 증가시키면 반응속도가 증가한다.

촉매는 화학반응이 일어날 때 자신은 변하지 않고 활성화 에너지를 변화시켜 반응속도에 영향을 준다. 정촉매를 넣으면 활성화 에너지가 낮아지기 때문에 반응할 수 있는 분자수가 증가해 반응속도도 증가한다. 부촉매는 활성화 에너지를 높여서 반응할 수 있는 분자의 수를 감소시켜 반응속도를 느리게 한다. 촉매는 활성화 에너지만 변화시켜 반응속도를 조절할 뿐 반응열이나

평형상태에는 영향을 미치지 않는다.

▶ 확장문제

축매와 효소의 공통점과 차이점에 대해서 설명하시오.

문제 3. 산과 염기의 정의에 대해서 논하고 0.1M의 황산(H_2SO_4)과 0.1M의 아세트산($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$)을 구별하는 실험 방법들을 제시하시오. 아세트산 용액에 그 염인 아세트산나트륨($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$)을 같은 몰수만큼 가하고 0.01M의 NaOH 수용액을 가할 때 pH의 변화를 예측하고 그 이유를 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

산-염기의 정의와 상대적 세기를 측정하는 실험적 방법을 묻는 문제로 구술 고사에서 가장 높은 출제 빈도를 나타낼 정도로 중요한 내용들이다. 화학평형의 개념으로 완충용액의 원리와 성질을 묻고 있는 문제다.

▶ 배경 지식

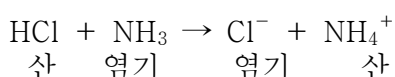
산-염기의 정의는 아레니우스, 브뢴스테드-로우리, 루이스의 3가지로 나눌 수 있다. 산의 세기는 전기전도도, 산-염기 세기, 해리도, 또는 평형상수 등으로 알 수 있다. 완충 용액은 약산과 그 짝염기, 약염기와 그 짝산을 같은 농도로 섞어서 만든 용액으로 일정량의 산이나 염기를 가해도 pH가 거의 변하지 않는다.

▶ 해설 및 모범답안

아레니우스(Arrhenius)의 산-염기 정의에 의하면 산은 수용액에서 이온화돼 수소이온(H^+)을 내는 물질이고, 염기는 수용액에서 이온화돼 수산화이온(OH^-)을 내는 물질이다. 예를 들면 대표적인 산인 염산은 $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ 처럼 수용액 상에서 이온화되며, 대표적인 염기인 수산화나트륨은 $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ 처럼 이온화된다. 참고로 수용액상에서 수소이온(H^+)은 홀로 존재하지 않고 물분자(H_2O)와 배위결합을 해 옥소늄이온(H_3O^+) 형태로 존재한다.

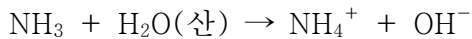
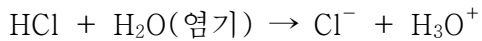
아레니우스의 산-염기 정의는 수용액이 아닌 경우에 일어나는 산-염기 반응을 설명할 수 없는 한계를 가지고 있다. 예를 들어 염산 기체 HCl과 암모니아 기체 NH_3 가 묻은 스푼을 유리관 양쪽에 놓으면 유리관 가운데 부분에서 흰색의 연기가 발생하는 것을 볼 수 있는데, 이는 염화암모늄 기체 NH_4Cl 이다. 이 현상은 아레니우스의 정의로 설명할 수 없다.

브뢴스테드(Brønsted)-로우리(Lowry)는 산-염기에 대한 새로운 정의를 도입했다. 산은 양성자(H^+)를 내놓을 수 있는 물질(분자 또는 이온)을 뜻하며, 염기는 양성자(H^+)를 받아들일 수 있는 물질(분자 또는 이온)을 뜻한다.



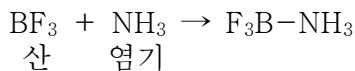
위의 산-염기 반응의 경우 정반응에서는 HCl이 산이 되는 것이고, 역반응에서는 NH_4^+ 가 산이 되는 것이다. 한편 HCl과 Cl^- , 그리고 NH_4^+ 과 NH_3 처럼 양성자의 이동에 의해 산과 염기가 되

므로 이를 짝산-짝염기라 한다. 물은 경우에 따라 산도 염기도 될 수 있다. 이런 물질을 양쪽성(amphoteric)물질이라고 한다.



브뢴스테드-로우리의 산-염기에 대한 정의는 양성자를 갖지 않는 화합물(BF_3 , AlCl_3 , SnCl_4)에 대해 적용의 한계성을 나타낸다.

루이스(Lewis)는 ‘비공유전자쌍 받개’를 산, ‘비공유전자쌍 주개’를 염기로 정의했다. 예를 들어 BF_3 와 NH_3 의 반응에서 삼플루오르화 붕소는 이온화할 수 있는 수소이온(H^+)을 가지고 있지 않지만 비공유전자쌍을 받아들이기 때문에 산이고, 암모니아는 비공유전자쌍을 제공하기 때문에 염기다.



산과 염기는 전기전도도를 측정해 상대적인 세기를 알 수 있다. 수용액에서 전기전도도는 화합물의 이온화도(α), 이온의 개수, 이온의 전하량에 의존한다. 전해질의 이온화도(α)는 전해질의 전체 몰수에 대한 이온화된 몰수의 비로 정의한다. 염화나트륨(NaCl)처럼 물에 녹아 완전히 이온화돼 전기를 잘 통하는 물질을 강전해질이라고 하며, 설탕처럼 물에 녹아도 이온화되지 않아서 전기를 통하지 못하는 물질을 비전해질이라고 한다. 산과 염기의 세기는 이러한 이온화도를 이용해 설명 가능하다. 이온화도가 >0.5 인 것을 강산-강염기라고 하고, 이온화도가 <0.1 인 것을 약산-약염기라고 한다.

이온화도(α)= n/N (n =이온화된 몰수, N =전해질 전체의 몰수)

이온화도(α)를 평형상수식에 적용해보자.

$\text{HA} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{A}^-$ 에서 평형상수 K 는 아래와 같다.

$$K = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]/[\text{HA}][\text{H}_2\text{O}]$$

물의 농도는 일정하므로 $[\text{H}_2\text{O}]$ 를 양변에 곱하면, K_a 라는 산 이온화 상수를 얻게 된다. 이 값은 온도가 일정하면 그 물질의 농도에 관계없이 일정하다. K_a 값이 1보다 크면 강산이 되는 것이며, 1보다 작으면 약산이 되는 것이다.

$$K_a = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]/[\text{HA}]$$

황산이 아세트산보다 강산인지 확인하는 또다른 방법 중 가장 간단한 것은 pH 측정기나 pH 시험지를 이용해 측정하는 것이다. 중화적정 방법으로 적당한 지시약을 선택하고 농도를 알고 있는 염기를 이용해 적정실험을 직접 해본다. 산-염기의 적정실험을 통해서 적정곡선을 얻을 수 있고, 적정곡선에서 당량점의 위치를 비교해 황산이 아세트산보다 강한 산임을 확인할 수 있다. 황산의 당량점이 아세트산보다 pH가 더 낮은 쪽에서 관찰되므로 황산이 아세트산보다 강산임을 알 수 있다.

완충용액은 일반적으로 약산과 그 짝염기, 약염기와 그 짝산을 같은 농도로 섞어서 만든 용액이다. 그러므로 CH_3COOH 와 CH_3COONa 를 섞어서 만든 용액은 완충용액이다.



이 용액에서 NaOH 을 더해주면 H^+ 가 OH^- 와 반응하므로 H^+ 의 농도가 감소하고 공통이온 효과에 의해 정반응이 일어나 H^+ 의 농도를 증가시킨다. 이론적으로 H^+ 의 몰수와 동일한 OH^- 의 몰수가 가해질 때까지 pH값은 거의 변하지 않는다. 공통이온 효과란 이온화 평형상태에 있는

약산(약염기) 용액에 동일한 종류의 이온을 가진 이온 화합물을 가하면, 첨가된 이온의 농도가 감소하는 방향으로 이온화 평형이 이동해 새로운 평형상태에 도달하는 현상을 말한다. 약한 전해질의 이온화 평형도 화학평형 상태이므로 르 샤틀리에의 원리에 따라 외부 조건(농도, 압력, 온도)에 의해 평형이 이동된다. 약산인 아세트산 용액에 같은 종류의 이온을 갖는 아세트산나트륨을 가하면 CH_3CO_2^- 이온의 농도를 감소시키는 방향으로 반응이 진행된다.

▶ 확장문제

탄산과 염산의 세기는 어떻게 다른가? 그 이유를 설명하시오.

문제 4. 산화-환원 반응은 우리 주변에서 아주 흔히 일어나는 화학반응으로, 그 범위가 화학 석 연료의 연소에서 가정용 표백제의 작용에까지 다양하다.

- 1) 산화-환원 반응을 설명해보시오.
- 2) 우리가 일상생활에서 널리 사용하는 화학전지도 산화-환원 반응의 대표적인 예들 중 하나다. 화학전지의 원리와 전기분해 반응의 원리를 비교·설명하시오.
- 3) AgNO_3 수용액의 전기분해 반응에서 일정 시간 후에 1.08g의 Ag가 침전했다.
 - (1) 음극에서 일어나는 반응을 쓰시오.
 - (2) 가능한 산화 반쪽반응은 무엇인가?
 - (3) 사용된 전기량을 쿨롱(C)으로 계산하라.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

산화수 개념에 의한 산화-환원 반응의 정확한 개념과 화학전지와 전기분해 반응의 기본적인 원리를 묻는 문제다. 이런 기본적인 문제는 패러데이 법칙과 결합돼 계산 문제로 출제될 수 있다.

▶ 배경 지식

산화-환원 반응은 항상 동시에 일어난다. 산화수가 감소하면 환원된 것이고, 산화수가 증가하면 산화된 것이다. 화학전지의 기본 원리는 금속의 이온화 경향의 차이에 의한 산화-환원 반응이다.

패러데이 법칙에 따르면 전기분해할 때 생성되는 물질의 양은 흘러준 전기량에 비례하며, 1패럿(F)의 전기량을 통했을 때 전자 1몰이 이동한 만큼의 물질이 생성된다($1\text{F} = \text{전자 } 1\text{몰의 전기량} = 96,500\text{C}$).

▶ 해설 및 모범답안

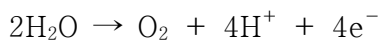
- 1) 산화-환원 반응의 설명은 좁게는 산소를 갖는 것과 잃는 것, 수소를 잃는 것과 갖는 것으로 말할 수 있다. 하지만 넓게 보면 산화란 원자, 분자, 이온 등이 전자를 잃는 것을 말하고 환원이란 원자, 분자, 이온 등이 전자를 얻는 것을 말한다. 공유결합 물질이 관여하는 산화-환원 반응은 단순히 전자의 흐름만을 가지고 설명하기 어렵기 때문에 산화수라는 개념을 사용한다. 산화수란 공유전자쌍이 그것을 더 세게 끌어당기는 원자에 속해 있다고 가정할 때, 원자가 가지는 전하를 말한다. 산화수가 감소하면 환원반응이고, 산화수가 증가하면 산화반응이라고 말하는 것이다.

2) 금속이 전자를 잃고 양이온이 되려는 경향을 이온화 경향이라고 하며, 이온화 순서는 $K > Ca > Na > Mg > Al > Zn > Fe > Co > Ni > Sn > Pb > (H) > Cu > Hg > Ag > Pt > Au$ 로 알려져 있다. 이온화 경향이 큰 금속은 이온화 경향이 작은 금속이온에 전자를 주고 자신은 산화되며, 이온화 경향이 작은 금속이온을 금속으로 환원시킨다. 화학전지의 기본 원리는 금속의 이온화 경향의 차이 때문에 일어나는 산화-환원 반응이다. 자발적인 산화-환원 반응을 이용해 화학에너지를 전기에너지로 바꾸는 것이 바로 화학전지인 것이다. (-)극은 이온화 경향이 큰 금속이므로 산화가 일어나고, (+)극은 이온화 경향이 작은 금속이므로 환원이 일어난다. 대표적인 예로 1차 전지인 볼타 전지, 다니엘 전지, 알칼라인 전지, 그리고 2차 전지인 Cd-Ni 전지, 납 축전지가 있다. 화학전지가 자발적인 화학반응을 전기에너지로 옮기는데 반해, 전기분해는 전기에너지를 이용해 비자발적 산화-환원 반응을 일으키는 것이다. 공급되는 전류와 형성되는 생성물 사이의 정량적인 관계는 패러데이 법칙에 의해 알 수 있다. 전해질의 용액에 직류전기를 흘려주면 음이온은 (+)극으로, 양이온은 (-)극으로 이동해 산화-환원 반응이 일어난다. (+)극에서는 산화가 일어나고, (-)극에서는 환원이 일어난다.

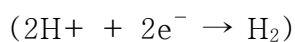
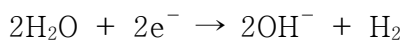
3) $AgNO_3$ 수용액의 전기분해 반응에서 NO_3^- 이온은 양극으로 끌려가서 산화되고 Ag^+ 이온은 음극으로 끌려가서 환원될 것으로 예상할 수 있다.

(1) 환원반응 : $Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$

(2) 산화반응 : NO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} 등은 양극으로 끌려가지만 산화되기 어려워 물, 또는 물의 전리로 생긴 OH^- 가 산화돼 산소가 발생한다.



참고로 수소보다 이온화 경향이 큰 금속(Li^+ , K^+ , Ba^{2+} 등)은 음극에서 환원되기 어렵기 때문에 물, 또는 H^+ 가 환원돼 수소가 발생한다.



(3) 반쪽 반응식에서 1F의 전기량은 1몰의 Ag^+ 이온을 Ag 금속으로 환원시키므로 Ag의 질량을 몰수로 환산하고 몰수에 해당하는 전하량을 패러데이 법칙을 이용해 쿨롱으로 환산하면 된다. $(1.08g) \times (1\text{몰}/108g) = 0.01\text{몰}$

$$(0.01\text{몰}) \times (1F/1\text{몰}) \times (96,500C/1F) = 965C$$

▶ 확장문제

철의 산화과정을 설명하고 녹슬지 않게 하는 방법들을 아는대로 열거하시오.

2003년 05월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

단원 출제 경향 및 대비 방안

이번 호에서는 다소 어렵거나 지면이 부족해 다루지 못했던 내용들 중 몇가지를 살펴보고자 한다. 심화된 내용을 묻는 대표적인 문제가 물에 관한 것이다. 물은 극성 공유결합 화합물로서 수소결합을 형성하므로 다양한 성질을 갖고 있다. 생명활동과 관련해서 물의 수소결합에 대해 잘 알고 있어야 한다. 우리 몸은 70%가 물이기 때문에 용매가 물인 용액이라고 생각할 수 있다.

대부분의 산-염기 반응은 수용액에서 일어나며 그 척도를 pH로 나타낸다. pH의 정의와 수소이온 농도 계산, 화학평형을 이용한 복합적인 문제는 출제 확률이 높다. 방향족 화합물의 종류와 반응, 아미노산에 대한 기본적인 구조식과 개념, 단백질의 펩티드결합에 관해서도 반드시 학습이 필요하다.

최근의 심층 구술면접 문제는 기존에 출제된 영역의 기본적인 개념은 그대로 유지하면서 다양한 분야와 연관된 복합적인 문제가 출제되고 있다.

문제 1. 인체의 약 70% 정도를 차지하고 있는 물은 생명 유지에 절대적으로 필요하다. 물(H_2O)분자는 이산화탄소(CO_2)나 메탄(CH_4)과 비슷한 크기지만 상온에서 액체상태로 존재한다. 어떤 성질이 물분자를 상온에서 액체로 존재하게 만들며, 물의 그러한 특성이 어떻게 생명 유지에 기여하는지를 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

극성 공유결합 물질인 물분자의 수소결합에 의해 나타나는 물리적 성질이 자연현상과 생명현상에 어떻게 연관되는지 묻는 총괄적인 문제다.

▶ 배경지식

분자간 결합인 수소결합 때문에 물은 끓는점이 높고, 어는점이 낮고, 비열과 용해도 및 응집력이 크며, 4°C 일 때 밀도가 가장 크다.

▶ 해설 및 모범답안

물(H_2O)분자는 2개의 수소원자가 공유결합에 의해 한 개의 산소원자에 연결돼 있다. 전기음성도 차이 때문에 공유전자쌍을 산소원자가 수소원자보다 강하게 끌어당긴다. 그 결과 물 분자 내에서 산소원자 가까이에선 부분 음전하(δ^-)가 우세하고, 두개의 수소원자 가까이에선 부분 양전하(δ^+)가 형성된다. 이와 같이 산소와 수소원자 사이에 형성된 불균등한 전자의 공유를 극성 공유결합이라고 한다. 물분자의 극성은 물분자 사이의 상호작용을 가능하게 한다. 물분자의 양전하 부분인 수소원자는 주변에 있는 또다른 물분자의 음전하 부분인 산소원자 사이에 분자간 결합을 형성한다. 이를 수소결합이라고 하며 공유결합보다는 약하다. 물분자 하나는 주변에 있는 네개의 물분자와 수소결합을 할 수 있다. 극성과 수소결합 때문에 물은 독특한 특성을 지닌다.

액체상태 물분자 사이의 수소결합은 아주 짧은 시간(10^{-14} 초) 동안만 유지된다. 하지만 물분자는 끊임없이 수소결합을 형성하기 때문에 늘 분자간 결합을 유지할 수 있다. 따라서 물은 대부분의

액체보다 강한 응집력을 나타내며 이런 물의 응집력은 생명체에서 중요한 역할을 한다. 예를 들면 식물의 뿌리에서 잎으로 물이 운반되는 과정에서 응집력이 상당한 영향을 미치고 있다. 즉 응집력은 물이 뿌리로부터 중력의 반대 방향으로 이동할 수 있게 하는 원동력이 된다.

물의 응집력 때문에 나타나는 또다른 현상으로 표면장력을 들 수 있다. 표면장력은 물과 공기가 접촉하는 면에서 물분자 사이의 인력이 물과 공기분자 사이의 인력보다 크기 때문에 나타난다. 물은 물분자 사이의 수소결합으로 인해 물 표면에 탄력있는 타원형의 막과 둥근 모양의 물방울을 형성한다.

생명체와 관련된 물의 중요한 특성 중 하나로 높은 비열이 있다. 물에 열을 가하면 분자간 수소결합을 파괴하는데 열을 소비하므로, 다른 물질에 비해 온도를 높이는데 많은 열을 가해야 한다. 따라서 물의 끓는점은 1백℃로 매우 높은 편이다. 지구 표면의 온도는 물의 끓는점보다 낮기 때문에 지표면에서 액체상태의 물을 흔히 볼 수 있다. 물의 높은 비열은 생물의 체온이 쉽게 올라가거나 내려가는 것을 막아준다. 또한 물이 증발되면서 상당한 열을 빼앗아가기 때문에 체온조절에 기여할 수 있다.

온도가 내려가면서 물분자는 서로 가까워져 밀도가 점점 높아진다. 4℃에서 물의 밀도가 최대, 즉 물분자 사이의 간격이 가장 가까운 것으로 관찰된다. 고체상태가 되면 물분자들 사이 간격이 멀어지므로 얼음의 밀도가 물보다 낮다. 따라서 겨울에 기온이 영하로 내려갔을 때 강물의 표면이 얼어도 깊은 곳의 물은 액체상태로 존재할 수 있다. 만일 고체상태의 얼음이 액체상태인 물보다 밀도가 크다면 겨울에 강물이 모두 얼어버려 물고기는 겨울을 넘기지 못할 것이다.

물은 생물체 내의 여러 물질을 용해시킬 수 있는 용매로 작용한다. 용매로서의 물의 특성은 극성에 의한 것이다. 소금을 물에 녹이면 이온으로 해리된다. 용액 중에서 이온에 느슨하게 결합된 물분자가 층을 이루는, 즉 수화껍질을 형성하려는 물의 성질에 의한 현상이다. 예를 들어 물분자의 양전하 부분인 수소는 염소와 같은 음전하 이온 쪽으로 배열해 염소이온(Cl^-) 주위에 수화껍질을 형성하고, 물분자의 음전하 부분인 산소는 나트륨이온(Na^+)에 끌리게 된다. 결과적으로 H_2O 분자가 나트륨이온과 염소이온을 둘러싸 분리시킴으로써 소금을 녹이는 것이다.

물은 이온뿐만 아니라 극성분자 주변에도 수화껍질을 형성해 용해시킨다. 포도당은 약한 극성을 띠는 수산기(OH^-)를 갖고 있어 물분자와 수소결합을 해 수화껍질을 형성한다. 수화껍질이 형성되면 포도당은 물에 용해된다.

▶ 확장문제

에탄올의 수소결합을 구조식으로 나타내고, 수소결합 때문에 나타나는 에탄올의 특성에 대해 설명하시오.

문제 2. 탄소-탄소 결합이 불포화결합을 이룬 고리모양 화합물을 방향족 탄화수소라고 한다. 분자 내에 벤젠고리를 가지는 탄화수소는 방향족 화합물이다.

- 1) 대표적인 방향족 화합물인 톨루엔, 페놀, 아nil린 분자의 구조식을 그려보라.
- 2) 톨루엔 용매 속에 페놀과 아nil린 분자가 유사한 양으로 섞여 있을 때 이들을 각각 순수하게 분리할 수 있는 실험방법을 설명하시오.
- 3) 세 화합물의 끓는점을 예측해보시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

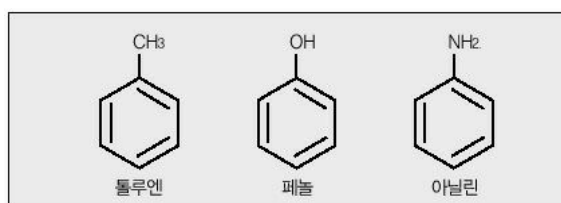
방향족 화합물인 벤젠 유도체들의 간단한 구조식, 산-염기 반응에 대한 이해, 용해도 개념과 관련된 화합물의 정제에 관한 원리를 묻는 문제다. 분자식을 근거로 물리적 성질인 끓는점을 예측할 수 있는지 묻고 있다.

▶ 배경지식

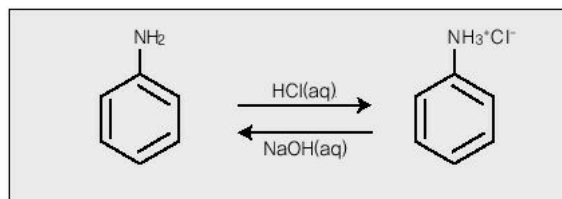
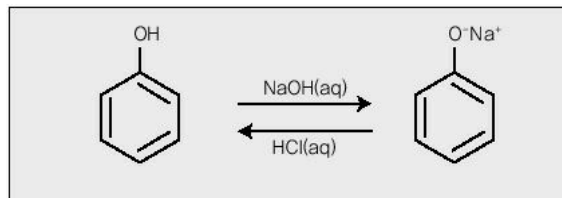
방향족 유도체들은 벤젠고리의 수소가 다른 원자나 원자단으로 치환된 것이며 이 치환기는 분자 내에서 작용기가 된다. 페놀은 산성을 띠며, 아닐린은 염기성을 나타낸다. 수소결합을 할 수 있는 분자는 상대적으로 끓는점이 높다.

▶ 해설 및 모범답안

- 1) 벤젠의 구조에서 한 개의 수소원자가 메틸기, 히드록시기, 아민기로 치환된 것이 각각 톨루엔, 페놀, 아닐린 분자다. 그 분자구조는 다음과 같다.



- 2) 톨루엔, 페놀, 아닐린은 유기용매인 클로로포름, 에테르, 알코올 등에 잘 용해되고, 물에는 약간 용해되거나 거의 용해되지 않는다. 그러나 페놀과 아닐린이 염의 형태가 되면 물에 쉽게 용해된다. 페놀은 약한 산성을 띠므로 염기성 시약인 수산화나트륨 수용액을 가하면 염을 형성하고 물에 용해돼 수층으로 이동한다. 이때 톨루엔은 염기와 반응할 수 있는 작용기가 없기 때문에 물에 용해되지 않는다. 아닐린의 작용기는 염기성이므로 수산화나트륨 수용액에 거의 영향을 받지 않는다. 염기성 수용액을 유기층(톨루엔과 아닐린)으로부터 분리하고 적절한 산성 수용액을 가해 pH가 5-7 정도 되게 한다. 끓는점이 낮고 페놀을 잘 용해시킬 수 있는 적절한 유기용매를 사용해 수층으로부터 페놀을 추출한다. 용매를 증발시키면 순수한 페놀을 얻을 수 있다. 톨루엔과 아닐린의 유기층에 염산 수용액을 가하면 아닐린의 아민 작용기는 염산과 반응해 염을 형성하므로 수용액 층으로 녹아 들어간다. 이때 톨루엔은 산과 반응할 수 있는 작용기가 없기 때문에 물에 용해되지 않는다. 수용액에서 톨루엔을 분리해내고 염기성 수용액을 가해 pH를 8-10 정도로 맞춘다. 끓는점이 낮고 아닐린을 잘 용해시킬 수 있는 적절한 유기용매를 사용해 수층으로부터 아닐린을 추출한다. 용매를 증발시키면 순수한 아닐린을 얻을 수 있다. 역으로 산성 수용액을 먼저 가해 아닐린을 분리한 후 염기성 용액을 가해 페놀을 분리해도 된다.



- 3) 분자량과 구조식을 비교하면 분자의 물리적 성질인 끓는점을 예측할 수 있다. 분자식을 근거로 계산하면 톨루엔의 분자량은 92.13, 페놀은 94.11, 그리고 아닐린은 93.11이다. 세 화합물의 분자량은 비슷하므로 끓는점에 영향을 미치지 못할 것으로 예측할 수 있다. 끓는점은 분자 사이에 작용하는 인력에 의해 좌우된다. 톨루엔은 거의 무극성 분자이므로 분산력이 분자 사이에 작용하는 인력이다. 따라서 끓는점이 제일 낮을 것으로 예측할 수 있다. 페

놀이 아닐린은 전기음성도가 큰 원자인 산소와 질소에 수소가 결합하고 있으므로 이들 분자 사이에는 수소결합이 존재할 것으로 예측할 수 있다. 페놀은 한 개의 히드록시 작용기를 갖고 있으므로 한 분자의 페놀은 인접한 2개의 분자와 수소결합을 2개 형성할 수 있을 것이다. 아닐린은 한 개의 아민 작용기를 갖고 있으므로 한 분자의 아닐린은 인접한 3개의 분자와 수소결합을 최대 3개 형성할 수 있을 것이다. 페놀과 아닐린의 끓는점 차이는 수소결합의 차이에 의해 아닐린이 페놀보다 다소 높다. 그러므로 세 화합물의 끓는점은 톨루엔(110.6℃), 페놀(182℃), 아닐린(184℃) 순으로 높아진다.

문제 3. 생화학적 대사과정에서 매우 중요한 역할을 하는 생체 고분자인 단백질은 아미노산의 축합 중합체다. 생화학 반응의 촉매인 단백질은 20여개의 아미노산으로 구성돼 있다.

- 1) 아미노산의 기본적인 구조식을 그려보시오.
- 2) 글리신을 제외한 아미노산들은 이성질체가 존재한다. 이에 대해 설명하라.
- 3) 글리신을 예로 들어 pH=2, pH=7, pH=12에서 주로 어떤 형태로 존재하는지 예측해보시오.
- 4) 단백질이 나선형 구조를 형성하는 이유를 설명하라.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

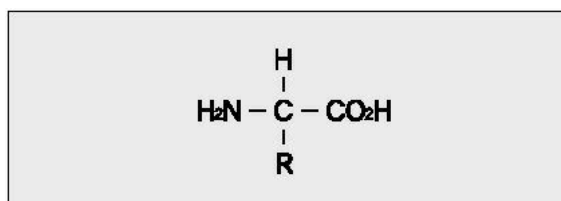
아미노산의 구조식과 이성질체에 대한 기본적 개념을 묻는 문제다. 이성질체는 중요한 개념이므로 잘 정리해야 한다. 또한 아미노산의 화학반응, 펩티드결합으로 형성된 생체 고분자인 단백질의 구조와 관련해 수소결합의 중요성을 묻고 있다.

▶ 배경 지식

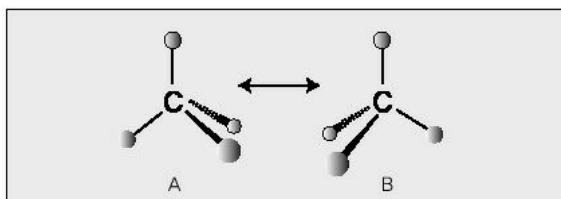
아미노산은 카르복시기와 아미노기를 함께 가지고 있다. 결과지인 R기의 종류에 따라 20개의 아미노산이 존재하며 펩티드결합을 통해 고분자인 단백질이 합성된다. 단백질 분자 내에는 수소결합이 존재한다.

▶ 해설 및 모범답안

1) 아미노산은 C, H, O, N 등의 원소로 이뤄져 있다. 일반적인 분자구조는 다음과 같다.



2) 아미노산의 중심 탄소는 4개의 다른 원자나 원자단이 결합한 비대칭 또는 키랄성 탄소이므로 광학이성질체가 존재한다. 광학 또는 거울상 이성질체는 사람의 왼손과 오른손처럼 결합 순서와 기하학적 구조가 완전히 같지만 겹쳐지지 않는다. 편광을 비췄을 때 각각의 이성질체를 통과한 빛이 회전하는 방향이 반대이며 회전 크기는 동일하다. 광학이성질체는 편광을 비췄을 때 회전 방향의 차이를 제외한 대부분의 물리적, 화학적 성질이 동일하다. 우측 그림의 A, B는 광학이성질체의 예다.

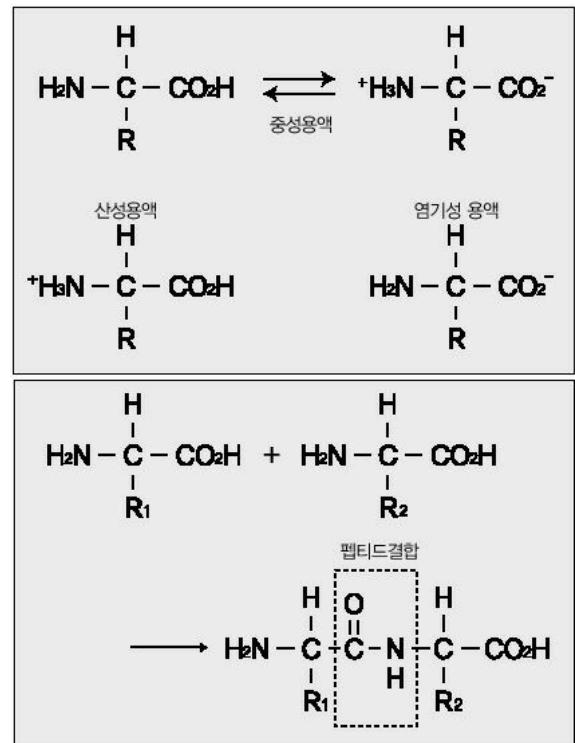


3) 아미노산은 한 분자 내에 염기성인 아미노기(-NH₂)와 산성인 카르복시기(-CO₂H)를 함께 갖고 있으므로 산, 염기와 모두 반응할 수 있는 양쪽성 화합물이다. 그러므로 아미노산은

pH에 따라 다양한 형태로 존재할 수 있다.

- 4) 단백질은 여러 종류의 아미노산의 축합 중합으로 이뤄진다. 한 아미노산의 카르복시기와 다른 아미노산의 아미노기가 반응해 펩티드결합($-\text{CONH}-$)을 형성한다. 이 펩티드결합이 반복된 폴리펩티드로 이뤄진 생체 고분자가 단백질이다.

단백질의 펩티드결합($-\text{CONH}-$)의 카르보닐기($-\text{C}=\text{O}$)는 탄소와 수소의 전기음성도 차이에 의해 탄소는 부분적 양이온(δ^+)이 되고 산소는 부분적 음이온(δ^-)이 돼 극성을 띤다. 펩티드결합의 아미노기($-\text{NH}-$)에서도 전기음성도가 큰 질소에 수소가 결합하고 있으므로 분자간 수소결합이 형성될 수 있다. 그러므로 펩티드결합 중 카르보닐기의 산소와 다른 펩티드결합 중 아미노기의 수소 사이에 수소결합이 생겨 단백질이 나선형 구조를 형성한다.



문제 4. 수용액 중 수소이온(H^+)과 수산화이온(OH^-)의 농도는 매우 작은 값이기 때문에 사용하기 불편하다. 그래서 1909년 덴마크 생화학자 소렌센(Sorensen)은 pH라는 척도를 제안했고 이것이 현재까지 편리하게 사용되고 있다.

- 1) pH를 정의해보시오.
- 2) 10M HCl 수용액의 pH를 계산하시오.
- 3) 0.02M $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 수용액의 pH를 계산하시오(단 $\log 2 = 0.30$).
- 4) 0.2M CH_3COONa 수용액의 수소이온 농도를 예측해보시오(단 가수분해 평형상수 (K_b) = 5.6×10^{-10}).

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

pH에 관한 정확한 개념, 산성이나 염기성 수용액의 pH 계산 능력을 묻는 문제다.

▶ 배경 지식

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

▶ 해설 및 모범답안

- 1) pH는 수소이온 농도(M)를 음(-)의 로그값으로 정의한다.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

pH > 7이면 염기성용액이고, pH = 7이면 중성용액이며 pH < 7이면 산성용액이다.

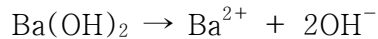
pH값은 1보다 작을 수도 있고 14보다 클 수도 있다.

2) 수소이온농도를 알면 pH를 구할 수 있다.

염산은 강산이므로 수용액에서 완전히 해리되기 때문에 수소이온의 농도는 10M이 되고 pH를 계산하면 -1이다.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log 10 = -1$$

3) 수산화바륨은 강염기이므로 완전히 해리된다. 하나의 수산화바륨으로부터 2개의 수산화이온이 생성된다.



그러므로 수용액 속의 수산화이온 농도는 0.04M이다. pOH를 계산하면,

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] = 2 - \log 4 = 1.4$$

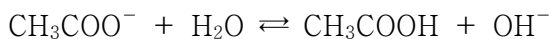
pH+pOH=14를 이용하면,

$$\text{pH} = 14 - 1.4 = 12.6$$

참고로 물의 자동이온화에 의한 수산화이온의 농도($1 \times 10^{-7}\text{M}$)는 0.04M에 비해 너무 작기 때문에 무시할 수 있다.

4) 아세트산나트륨은 수용액에서 완전히 해리돼 0.2M의 나트륨이온(Na^+)과 0.2M의 아세트산이온(CH_3COO^-)이 각각 생성된다. 나트륨이온은 더 이상 가수분해되지 않고 아세트산이온은 염기이므로 가수분해된다.

이때 물로부터 해리된 수소이온과 수산화이온은 아세트산이온에 비해 매우 낮은 농도이므로 무시할 수 있다. 평형상태의 화학반응식은 다음과 같다.



가수분해 평형상수 혹은 염기이온화상수(K_b)를 이용해서 평형상태에서의 수산화이온 농도를 구하고,

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

를 이용해서 pH를 구하면 된다.

$$K_b = \frac{([\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-])}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

평형상태에서의 수산화이온 농도를 x 라고 하면,

$$K_b = \frac{x^2}{(0.2-x)} = 5.6 \times 10^{-10}$$

이차방정식은 근의 공식 또는 근사법을 이용해 풀 수 있다.

여기서는 K_b 값이 매우 작고 초기 염기의 농도가 매우 크기 때문에 근사법을 적용해 $(0.2-x)$ 를 0.2로 계산한다.

$$\frac{x^2}{(0.2-x)} = \frac{x^2}{0.2} = 5.6 \times 10^{-10}$$

$$x^2 = 1.12 \times 10^{-10}$$

$$x = 1.06 \times 10^{-5}$$

수산화이온의 농도($[\text{OH}^-]$)는 1.06×10^{-5} 이다. pOH를 계산하고 pH를 계산하면,

$$\text{pOH} = -\log(1.06 \times 10^{-5}) = 4.97$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 9.03$$

그러므로 수소이온의 농도를 예측하면,

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 9.03$$

$$[\text{H}^+] = 9.33 \times 10^{-10} (\text{약 } 1 \times 10^{-9})$$

이 수용액에서 수소이온의 농도는 대략 1×10^{-9} 이 될 것이라고 예측할 수 있다.

▶ 확장 문제

1.0M CH_3COOH 와 1.0M CH_3COONa 를 포함하는 완충용액의 pH를 계산하라. 이 완충용액 1L에 0.1M HCl 을 가했을 때의 pH를 계산하라.

2003년 06월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 1학기 수시모집 구술화학 대비방안

이번 호에서는 주기율표와 관련해서 원자의 구성요소 발견의 역사적 사실에 대한 내용을 학습하고, 콜로이드 용액에 관한 기출문제의 형태를 변형한 심화문제를 다루고자 한다. 또한 산화수를 이용한 산화-환원의 개념과 화학반응식의 완결, 몰수의 계산 과정을 학습하고, 완충용액의 개념과 원리에 관한 내용을 생명현상과 연관지어 심화문제로 다룬다.

문제 1. 다음에 열거한 과학자들은 현재의 원자구조를 밝히는데 중요한 기여를 했다. 이들의 업적에 관해 설명하시오.

- 1) 톰슨(J. J. Thomson) 2) 밀리컨(R. A. Millikan) 3) 러더퍼드(E. Rutherford)
4) 골드슈타인(E. Goldstein) 5) 채드윅(J. Chadwick)

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

원자는 전자, 양성자, 중성자, 중간자로 이뤄져 있다. 이런 원자구조를 밝힌 과학자들의 업적과 이들이 행한 중요한 실험에 관해 묻는 문제다. 이 문제는 원자모형의 변천과정과 밀접한 관련이 있으므로 원자의 역사적 배경에 초점을 두고 전체적인 내용을 정리할 필요가 있다.

▶ 배경지식

음극선 실험을 통해 톰슨과 골드슈타인은 전자와 양성자를 발견했고, α 입자를 이용한 실험으로 러더퍼드와 채드윅은 원자핵의 존재와 중성자의 존재를 밝혔다.

▶ 해설 및 모범답안

- 1) 1903년 톰슨은 음극선 실험장치를 고안했다. 거의 진공인 유리관의 2개 금속판에 높은 전압을 걸면 음극에서 보이지 않는 복사선을 방출한다. 이 복사선은 양극으로 끌려가 코팅된 표면과 부딪칠 때 강한 형광 또는 밝은 빛을 낸다. 이 입자가 진행 방향에 있는 물레방아를 돌리는 것으로 보아 질량을 갖는 입자라고 생각했다. 이런 현상을 근거로 톰슨은 음전하를 띠고 질량을 갖는 입자인 전자의 존재를 밝혔다. 톰슨은 음극선관 외부의 전기장과 자기장 속에서 음극선의 성질에 관한 실험을 통해 전자 1개의 전하대 질량비(e/m)가 $-1.76 \times 10^8 \text{C/g}$ 임을 밝혔다. 이 값은 음극으로 사용되는 금속의 성질이나 관에 존재하는 미량의 기체 또는 관의 재료와 관계없이 일정했다.
- 2) 1911년 밀리컨은 전하를 띤 기름방울이 중력과 전기력이 균형을 이뤘을 때 공간상에 머무는 것로부터 전자 1개의 전하량이 $-1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 임을 계산했다. 또 이 값을 이용해서 전자 1개의 질량이 $9.1 \times 10^{-28} \text{g}$ 임을 밝혔다.

전자 1개의 질량 : m

질량당 전하량 : $-1.76 \times 10^8 \text{C/g}$

전자 1개의 전하량 : $-1.6 \times 10^{-19} \text{C}$

$1g : -1.76 \times 10^8 \text{C/g} = m : -1.6 \times 10^{-19} \text{C}$

$$m = (1.6 \times 10^{-19} \text{C}) / (1.76 \times 10^8 \text{C/g}) = 9.1 \times 10^{-28} \text{g}$$

- 3) 1911년 러더퍼드는 α 입자 산란 실험을 고안해냈다. 얇은 금박에 양전하를 띠고 있는 α 입자 (He^{2+})를 충돌시켰을 때 대부분 그대로 통과하지만 극히 일부분이 진로가 바뀌는 현상을 발견했다. 이 실험을 통해서 원자 안에는 전자가 차지하는 빈 공간이 있고, 중심에 양전하가 밀집해 있는 작은 덩어리가 존재하는 것을 알아냈다. 그리고 양전하를 띤 덩어리를 원자핵이라고 정의했다. 원자핵의 지름은 약 $1.0 \times 10^{-13} \text{cm}$ 고, 원자의 지름은 약 $1.0 \times 10^{-8} \text{cm}$ 다. 또한 이 실험결과로 러더퍼드는 새로운 원자모형을 제시했다. 즉 양전하를 띤 입자가 가운데에 모여있고 그 주위를 전자가 매우 빠르게 돌고있는 태양과 행성의 모형을 도입한 것이다.
- 4) 1886년 골드슈타인은 개량된 음극선관을 사용해 전자인 음극선과 양성자인 양극선이 동시에 생성되는 것을 밝혔다. 거의 진공인 관의 금속관에 높은 전압을 걸어주면 음극선이 생겨 양극 쪽으로 이동하며, 음극선을 이룬 전자는 방전관 속 잔류 기체와 충돌해 양이온을 형성하고 음극 쪽으로 끌려간다. 몇 개의 양이온은 음극의 구멍을 통과하고 진공관 끝 형광막에 충돌해 반짝이는 점으로 검출된다. 양극선의 전하대 질량비는 방전관 속에 잔류하는 기체의 종류에 따라 다르다. 양극선의 가장 큰 전하대 질량비는 잔류기체가 수소분자일 경우며 그 값은 $9.574 \times 10^4 \text{C/g}$ 이다. 이 값은 전자의 전하대 질량비의 1/1837배다. 양성자의 전하량은 전자의 전하량과 크기는 같고 부호만 반대이므로 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 이다. 이 값을 이용해 양성자의 질량(m)을 계산하면 수소원자의 질량과 비슷한 값인 $1.67 \times 10^{-24} \text{g}$ 을 얻을 수 있다.

$$1\text{g} : 9.574 \times 10^4 \text{C/g} = m : 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$$

$$m = (1.6 \times 10^{-19} \text{C}) / (9.574 \times 10^4 \text{C/g}) = 1.67 \times 10^{-24} \text{g}$$

그러므로 양성자는 전자보다 약 1,800배 무거운 입자다.

- 5) 1932년 채드윅은 베릴륨(Be) 얇은 박막에 α 선을 충돌시켰을 때 γ 선과 유사한 매우 높은 에너지를 가지는 복사선이 금속으로부터 방출되는 것을 실험을 통해 알아냈다. 그 복사선이 양성자보다는 약간 큰 질량을 가지며 전기적으로 중성인 입자이므로 중성자라고 정의했다. 중성자는 전자보다 약 1840배 더 무거운 입자다. 일반적으로 원자의 질량은 양성자와 중성자의 합과 거의 일치한다.

▶ 심화 문제

수소원자의 선스펙트럼을 보어(N.Bohr)의 원자모형으로 설명하시오. 또한 현재의 원자모형과 보어의 원자모형의 차이점을 간략히 설명하시오.

문제 2. 다음은 콜로이드 용액에 관한 질문이다.

- 1) 콜로이드 용액을 정의하시오.
- 2) 일반적인 용액인 참용액과 다르게 콜로이드 용액은 특이한 몇가지 성질을 나타낸다. 이에 대해 예를 들어 설명하시오.
- 3) 강과 바다가 만나는 강의 하구에는 삼각주와 같은 퇴적층이 잘 형성된다. 그 이유를 콜로이드의 성질과 관련해서 화학적으로 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

콜로이드 용액의 기본적인 개념과 성질에 관해 묻는 문제다. 참용액과 콜로이드 용액이 나타내

는 성질이 다른 이유는 입자의 크기 때문이다.

▶ 배경지식

분산질의 입자 크기와 분산매의 열운동에 의해 콜로이드 용액은 특이한 성질을 나타낸다. 또 표면적이 크고 전하를 띠기 때문에 틈들현상, 브라운운동, 흡착, 전기영동, 영김, 염석과 같은 현상도 나타난다.

▶ 해설 및 모범답안

1) 지름이 10^{-9} – 10^{-7} m인 빛을 산란할 수 있는 크기의 입자가 분산돼있는 용액을 콜로이드 용액이라고 정의한다. 입자의 지름이 10^{-9} m 이하인 용액은 참용액이라고 한다. 콜로이드 용액은 분산매(용매)와 분산질(용질)로 이루어진 분산계(용액)다. 분산매와 분산질의 상태에 따라 에어로졸(연기·구름·안개), 졸(먹물·녹말), 겔(젤리·실리카겔), 에멀전(우유·크림), 서스펜션(흙탕물)으로 나눈다. 또 용액의 입자가 한가지로 이뤄진 분자 콜로이드(단백질·녹말), 여러개 분자나 이온으로 이뤄진 회합 콜로이드(비누), 특수한 분산법으로 형성된 분자나 이온으로 이뤄진 분산 콜로이드(불용성 물질을 물속에 분산시킨 것)로 나눌 수 있다. 그 밖에 용매의 안정성에 따라 소수, 친수, 보호 콜로이드로도 나눌 수 있다.

2) 입자 크기에 의한 성질인 틈들현상은 직경이 1–1백nm인 큰 입자가 가시광선을 산란시키기 때문에 빛의 진로가 관찰되는 현상이다. 어두운 방에서 문틈으로 들어오는 햇빛의 진로가 밝게 보이고, 우유에 직사광선을 비취 옆에서 보면 빛의 진로가 선명하게 보이는 것을 예로 들 수 있다. 설탕물과 같은 참용액에서는 용질입자가 빛을 산란시킬 정도의 크기(1nm 이상)가 되지 않기 때문에 틈들현상이 일어나지 않는다.

또한 분산질의 크기에 의한 투석현상은 참용액의 용질입자는 반투막을 통과하지만 콜로이드 입자는 통과하지 못하는 현상이다. 이는 콜로이드 용액을 정제하는 방법으로 사용된다.

분산매의 열운동에 의해 나타나는 현상이 브라운운동이다. 콜로이드 입자들이 열운동을 하는 분산매 분자들과 충돌해 불규칙하게 운동하는 이 현상은 한외현미경으로 관찰할 수 있다. 불균일한 혼합물인 우유는 액체에 액체가 분산된 에멀전 형태의 콜로이드 용액이므로 브라운운동을 관찰할 수 있다.

흡착은 콜로이드 입자가 단위 질량당 표면적이 크기 때문에 그 표면에 이온이나 전자가 모이는 현상이다. 표면에 이온이 흡착되면 콜로이드 입자는 동일한 전하를 띠므로 서로 반발해 엉겨붙지 않는다.

전하를 띤 콜로이드 입자에 직류전류를 통하면 콜로이드 입자가 음극 또는 양극으로 이동하는 전기영동 현상이 일어난다. 예를 들어 철 또는 알루미늄 수산화물이 포함돼있는 매연을 강한 전기장에 통과하면 이온이 형성된다. 먼지나 에어로졸이 전기장을 지나갈 때 이온을 흡착해 전하를 띠면 전극 쪽으로 끌려가 점차 전극에 쌓이게 된다.

콜로이드 용액에 전해질을 가하면 콜로이드 입자가 앙금이 되는 현상을 영김이라고 한다. 콜로이드 입자 주위에 자신이 흡착한 이온과 반대 전하를 갖는 이온이 있으면 콜로이드 입자가 흡착했던 이온을 잃어버린다. 따라서 입자간 반발력이 사라져 서로 엉기게 된다. 이런 현상은 주로 소수성 콜로이드에서 일어난다.

소량의 전해질에 의해 앙금이 형성되지는 않는다. 하지만 과량의 전해질을 콜로이드 용액에

가하면 앙금이 생성되는데 이 현상을 염석이라고 한다. 염석은 주로 친수성 콜로이드에서 일어난다. 친수성 콜로이드는 입자 표면에 친수성 원자단을 가지므로 물분자에 둘러싸여 있다. 다량의 전해질을 가하면 전해질의 이온에 의해 콜로이드 표면에 존재하는 물분자가 제거되고 친수성 콜로이드 입자 사이에 작용하는 인력(수소결합) 때문에 엉킴현상이 일어난다. 두부를 만들 때 콜로이드 용액에 염화마그네슘(MgCl₂) 또는 염화칼슘(CaCl₂) 용액을 과량으로 가해 앙금을 형성하는 것이 한 예다.

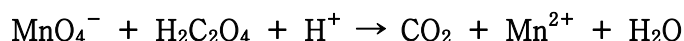
참고로 소수성 콜로이드에 친수성 콜로이드를 조금 가하면 친수성 콜로이드가 소수성 콜로이드 입자를 둘러싸서 안정화시켜 소량의 전해질을 가해도 엉킴이 일어나지 않는다. 이때 가해준 소량의 친수성 콜로이드를 보호 콜로이드라고 한다.

- 3) 흙탕물은 점토 또는 황토입자로 이뤄진 콜로이드 용액으로 대부분 그 표면에 음전하를 흡착하고 있다. 바다와 강이 만나는 강의 하구 지점에서 바닷물에 포함되어있는 양이온(Na⁺, K⁺, Ca²⁺)에 의해 점토 콜로이드는 표면의 음전하를 잃어버린다. 따라서 점토입자 사이의 반발력이 사라져 엉킴현상이 일어난다. 한편 강물의 유속이 느려지는 것도 퇴적이 쉽게 일어나고 삼각주가 발달하는 원인이 된다.

▶ 확장 문제

용매와 용질이 어떻게 섞이는지 설명하시오.

문제 3. 옥살산(H₂C₂O₄)은 식물이나 과일에 존재하는 화합물이다. 산성용액에서 과망간산칼륨(KmnO₄)은 옥살산과 다음과 같이 반응해 이산화탄소를 발생시킨다.



- 1) 위 반응에서 산화제와 환원제로 작용한 물질은 각각 무엇인가?
- 2) 위 반응식의 계수를 맞추고 과망간산칼륨 1몰이 소모됐을 때 이산화탄소는 몇 몰이 생성되는지 계산하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

산화-환원 반응에서 산화수의 개념과 정의를 이해하고 이를 바탕으로 산화제와 환원제의 정확한 정의를 묻는 문제다. 또한 화학반응식을 완결하는 방법과 반응식이 의미하는 내용을 묻고있다.

▶ 배경 지식

산화-환원 반응은 전자의 이동에 의한 반응이다. 화학반응식을 완결하는 방법은 산화수를 이용하는 방법과 반쪽반응을 이용하는 방법이 있고 반응식의 계수비는 몰수비와 같다.

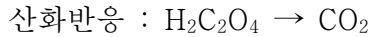
▶ 해설 및 모범답안

- 1) 산화-환원 반응은 항상 동시에 일어나는 반응으로 산화되는 물질이 있으면 반드시 환원되는 물질이 있다. 산화제는 자신은 전자를 받아 환원되고 다른 물질을 산화시키는 물질을 말하며, 환원제는 자신은 전자를 잃어 산화되고 다른 물질을 환원시키는 물질을 말한다. 화학 반응식에서 반응물질의 산화수가 생성물질의 산화수보다 증가하면 산화된 것이고, 감소하면

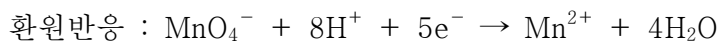
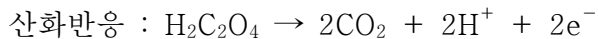
환원된 것이다. 즉 산화수가 증가한 물질은 환원제가 되고 산화수가 감소한 물질은 산화제가 된다.

위 반응에서 망간의 산화수는 $+7(\text{MnO}_4^-)$ 에서 $+2(\text{Mn}^{2+})$ 로 감소(전체 산화수는 -5 감소)하므로 망간은 환원됐고 산화제로 작용했다. 옥살산 탄소(2개)의 산화수는 $+3(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4)$ 에서 $+4(\text{CO}_2)$ 로 증가(전체 산화수는 $+2$ 증가)하므로 탄소는 산화됐고 환원제로 작용했다.

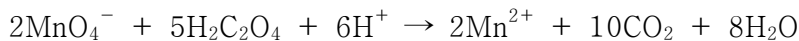
2) 산화-환원 반응식을 완결하기 위해서는 반쪽반응식이나 산화수를 이용한다. 여기서는 반쪽반응식을 이용해보자.



두 반쪽반응에서 전하수와 원자수가 반응 전후에 같도록 맞춘다.



산화반응과 환원반응의 전자 몰수가 같도록 하고 두 반쪽반응을 더해 전자를 소거하면,



화학반응식에서 계수비는 분자들의 몰수비므로 과망간산칼륨 1몰이 소모됐을 때 이산화탄소는 5몰이 생성된다.

문제 4. 사람 혈액의 pH는 7.4 정도다. pH가 7.0 이하거나 7.8 이상이면 생명이 위험하고, 그 변화량이 0.4 이상이면 사망할 수 있다.

pH가 7.0인 물에 오렌지주스를 넣으면, pH는 7.0 이하로 급격히 떨어진다. 이는 오렌지주스의 산성도 때문에 나타나는 결과다. 그러나 오렌지주스를 마셔서 생명이 위급해진 환자가 있다는 얘기는 들어보지 못했을 것이다. 이는 혈액의 pH가 급변하지 않았다는 것을 의미한다. 그렇다면 물과 혈액에 어떤 차이점이 있기 때문일까?

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

혈액이 완충용액임을 암시하면서 왜 혈액이 완충용액인지, 완충용액의 성질을 이해하고 있는지를 묻고 있다. 약산과 약염기의 화학반응은 평형과 관련이 있다.

▶ 배경 지식

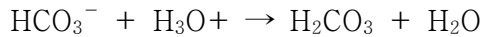
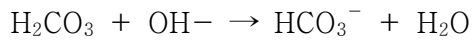
완충용액은 약산과 그 짝염기 또는 약염기와 그 짝산을 섞어 만든 용액이다. 혈액의 pH는 탄산과 인산, 단백질에 의해 조절된다.

▶ 해설 및 모범답안

사람의 혈액을 간단히 용액으로 생각하면 이 문제는 용액의 성질과 연관시킬 수 있다. 또 pH가 거의 변하지 않는다는 사실로부터 완충용액에 관한 문제임을 예측할 수 있다.

사람의 몸은 생체 내에 존재하는 탄산, 인산, 단백질의 작용으로 혈액의 pH를 일정하게 유지

하는 완충계다. 사람 혈액의 pH가 7.4 정도로 유지되는데 가장 중요한 역할을 하는 것은 세포로부터 배출된 이산화탄소(CO₂)가 혈액에 녹아 만들어지는 탄산(H₂CO₃)과 그 짝염기인 탄산수소이온(HCO₃⁻)이다. 이 한쌍의 짝산과 짝염기는 다음과 같이 수산화이온이나 수소이온과 반응해 혈액의 pH를 일정하게 유지시킨다.



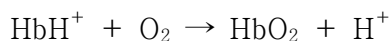
완충용액은 일반적으로 약산과 그 짝염기 또는 약염기와 그 짝산을 섞어 만든 용액으로 산이나 염기를 가했을 때 공통이온 효과에 의해 용액의 pH가 거의 변하지 않는다. 예를 들어, CH₃CO₂H와 CH₃CO₂Na를 섞어서 완충용액을 만들 수 있다.



이런 완충용액에 염산(HCl) 수용액을 가하면 수소이온(H⁺)이 많아지므로 공통이온 효과에 의해 역반응이 일어나 수소이온의 농도가 감소한다. 수산화나트륨(NaOH) 수용액을 가하면 수산화이온이 수소이온과 반응해 수소이온이 감소하지만, 정반응이 일어나 수소이온을 보충해 주기 때문에 pH는 거의 변하지 않는다. 공통이온 효과는 평형반응에서 이미 존재하는 이온을 더 첨가했을 때 첨가된 이온의 농도가 감소하는 방향으로 평형이 이동하는 것을 말한다(르 샤틀리에의 원리).

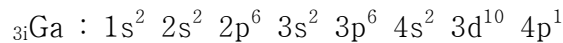
혈액은 짝산-짝염기에 의해 pH가 일정하게 유지되는 완충용액이다. 혈액 속에는 탄산보다 탄산수소이온이 더 많이 존재하므로 수산화이온보다는 수소이온을 제거하는 편이 좀더 효율적이다. 운동을 하면 근육에 젖산이 축적되는데 이를 효율적으로 제거하기 위해서 탄산수소이온이 좀더 많이 존재해야 한다.

혈액의 pH가 7.4 이하로 떨어지면 산성혈증, 7.4 이상으로 올라가면 알칼리혈증이라고 한다. 이런 상태가 되면 혈액 속의 헤모글로빈(Hb)이 산소를 운반하기 어려워진다.



소마다 파장이 다른 것을 발견하고 그 파장의 순서대로 번호를 붙여 정했다. 각 원소들의 물리적, 화학적 성질은 원자번호와 관련이 있다는 것이 이와 같은 모즐리의 X선 실험을 통해 밝혀졌다.

- 3) 주기율표의 성질을 이용하면 쉽게 원자번호를 유추할 수 있다. 1주기에는 2개의 원소가 존재하고 2주기와 3주기에는 8개의 원소가 존재하며 4주기에는 18개의 원소가 존재한다. 3주기의 마지막 원소인 Ar의 원자 번호가 18이므로 4주기에 있는 Ga의 원자번호는 31임을 유추할 수 있다. 중성 원자인 경우 원자번호는 양성자 수, 전자 수와 일치하므로 전자 배치를 축조 원리, 파울리의 배타 원리와 훈트 규칙으로 배열하면 다음과 같다.



- 4) 유전인자인 DNA는 4개의 염기인 아데닌, 구아닌, 시토신, 티민으로 구성되어 있으며 그 유전정보는 염기들의 서열에 의해 좌우된다. 이런 염기들을 구성하는 공통적인 원소는 수소, 탄소, 질소, 산소다.



▶ 심화 문제

인간의 생명현상과 밀접한 관련이 있는 원소를 주기율표에서 선택하고 그 이유를 적절히 설명하시오.

문제 2. 다음 각 화합물의 분자 모양을 예측하고 그 원리를 설명하라.

1) BCl_3 , PCl_3

2) CO_2 , SO_3

3) CH_4 , NH_3 , H_2O

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

분자의 기하학적 구조는 그 분자의 화학적, 물리적 성질에 영향을 준다. 공유결합 화합물의 모양을 유추하는 전자쌍 반발 이론의 개념을 묻는 문제다.

▶ 배경지식

전자쌍 반발 이론, 루이스 점전자 구조, 팔전자 규칙의 개념을 이해하면 쉽게 해결할 수 있다.

▶ 해설 및 모범답안

분자의 모양과 분자내의 화학결합은 분자의 성질을 좌우한다. 분자의 3차원적 모양은 전자쌍 반발 이론을 이용하는 방법과 혼성 오비탈 이론을 이용하는 방법으로 알 수 있다. 루이스의 점 기호는 주어진 원자의 원자가전자 수를 나타낸다. 공유결합 화합물에서 루이스 점전자 구조는 분자를 구성하는 각 원자의 원자가전자를 비공유 전자쌍과 공유 전자쌍이 팔전자 규칙(옥텟 규칙)에 만족하도록 나타낸 구조식이다.

전자쌍 반발 이론은 루이스의 점전자 구조 이론을 근거로 어떤 분자에서 그 중심 원자가 갖는 최외각 껍질의 전자쌍 개수를 알아냈을 때, 중심 원자 주위에 있는 전자쌍은 전자쌍들 사이의 반발력이 최소가 되도록 기하학적으로 배열된다는 가설이다. 이를 통해 분자의 기하학적 모양을 예측한다. 전자쌍 사이의 반발력의 크기는 비공유전자쌍과 비공유전자쌍의 반발, 비공유전자쌍과 공유전자쌍의 반발, 공유전자쌍과 공유전자쌍의 반발 순으로 감소한다.

분자의 모양은 중심 원자의 핵과 결합한 원자의 핵을 선으로 연결해 나타내며, 결합선의 중심

각을 결합각이라고 정의한다. 결합각의 크기는 전자쌍의 반발력에 따라 결정된다.

1) BCl_3 의 중심 원소인 붕소(B)는 3개의 공유전자쌍을 갖는다. 3개 공유전자쌍의 반발력이 최소가 되는 기하학적 구조는 평면 삼각형이다. 따라서 BCl_3 의 분자 모양은 평면 삼각형이 되며, 그 결합각은 120° 정도다. PCl_3 의 중심 원소인 인(P)은 3개의 공유전자쌍과 1개의 비공유전자쌍을 갖는다. 4개 전자쌍 반발력이 최소가 되는 기하학적 구조는 정사면체다. 하지만 비공유전자쌍과 공유전자쌍의 반발력의 차이 때문에 PCl_3 의 분자 모양은 정사면체 구조에서 약간 벗어난 삼각뿔 또는 삼각 피라미드가 된다. Cl-P-Cl 의 결합각은 109° 보다 작을 것이다.

2) 전자쌍 반발 이론에서 중심 원자가 다중결합(이중 또는 삼중결합)을 하고 있는 분자는 다중결합의 전자들이 두 원자 사이에 집중돼 있으므로 1개의 전자쌍처럼 취급한다. 그러므로 CO_2 의 중심 원소인 탄소(C)는 2개의 공유전자쌍(공유결합)을 갖고 있다. 두개의 전자쌍 반발력이 최소가 되는 기하학적 구조는 선형구조이며 결합각은 180° 다.

SO_2 의 중심 원소인 황(S)은 2개의 공유전자쌍과 1개의 비공유 전자쌍을 갖는다. 따라서 평면 삼각형 구조다. 하지만 비공유전자쌍과 공유전자쌍 반발이 공유전자쌍과 공유전자쌍 반발보다 우세하므로 결합각은 120° 보다 작을 것이다. 실험에 따르면 O-S-O 의 결합각은 109.5° 다.

3) 메탄(CH_4), 암모니아(NH_3), 물(H_2O)분자는 공통적으로 4개의 전자쌍을 가지므로 기본적인 전자쌍 배열은 정사면체일 것으로 예상할 수 있다. 메탄분자의 중심 원소인 탄소는 모두 4개의 공유전자쌍을 갖는다. 따라서 정사면체 구조를 이루며 H-C-H 의 결합각은 109.5° 다.

암모니아의 중심 원소인 질소(N)는 3개의 공유전자쌍과 1개의 비공유전자쌍을 갖는다. 비공유전자쌍과 공유전자쌍 반발력의 차이에 의해 그 기하학적 구조는 정사면체구조에서 약간 벗어난 삼각피라미드가 된다. H-N-H 의 결합각은 109.5° 보다 약간 작은 107° 정도다.

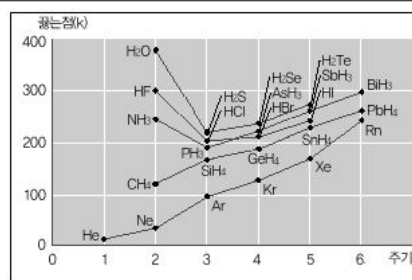
물은 중심 원소인 산소(O)가 2개의 공유전자쌍과 비공유전자쌍을 갖는다. 비공유전자쌍과 비공유전자쌍 반발력에 의해 정사면체의 구조에서 많이 벗어나 굽은 형태가 된다. H-O-H 의 결합각은 109.5° 보다 작은 104.5° 정도다.

혼성 오비탈 이론은 대부분 교과과정에서 간단히 소개하는 수준이고 양자역학적인 설명이 필요한 심화 학습이므로 여기서는 전자쌍 반발 이론을 이용하는 방법으로 분자 모형을 설명했다.

▶ 심화 문제

할로젠화수소의 쌍극자모멘트는 HF에서 HI로 갈수록 감소한다. 이런 경향성에 대해 설명하시오.

문제 3. 다음 그림은 화합물의 끓는점을 주기 및 족수에 따라 그래프로 나타낸 것이다. 분자량이 비슷한 메탄(CH_4), 암모니아(NH_3), 불소화수소(HF), 물(H_2O) 분자의 끓는점 차이가 큰 이유를 설명하시오.



▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

극성 공유결합 화합물의 특이한 성질인 분자간 수소결합에 관한 문제로 수소결합의 세기에 영향을 주는 요인을 묻고 있다. 다소 어렵지만 수소결합의 기본적인 개념만 알면 충분히 답할 수 있다.

▶ 배경지식

수소결합은 전기음성도가 큰 원자의 고립전자쌍과 수소원자 핵 사이의 정전기적 인력이다.

▶ 해설 및 모범답안

CH₄ 분자와 NH₃, HF, H₂O 분자간의 끓는점 차이는 분자 사이에 작용하는 힘의 차이 때문이다. CH₄ 분자는 비극성분자이므로 분자 사이에 작용하는 힘은 분산력이다. NH₃, HF, H₂O 분자간에 작용하는 힘은 수소결합이다. 수소결합은 전기음성도가 큰 질소(N), 산소(O), 불소(F)에 존재하는 비공유전자쌍과 수소원자 사이의 특별한 쌍극자-쌍극자 상호작용이다. 수소결합의 세기는 전기음성도가 큰 원자의 고립전자쌍과 수소원자 핵 사이의 정전기적 인력인 쿨롱 인력의 세기와 수소결합의 개수에 의해 좌우된다. 쿨롱 인력의 세기만 고려하면 HF가 끓는점이 가장 높고 그 다음이 H₂O, NH₃가 가장 낮을 것으로 예상된다. 1개의 HF 분자는 2개의 수소결합을 형성하지만 1개의 H₂O 분자는 최대 4개의 수소결합을 형성하기 때문에 H₂O가 HF보다 끓는점이 높은 것이다.

▶ 심화 문제

수소결합으로 인해 나타나는 물분자의 중요한 성질들을 설명하시오.

문제 4. 다음 네 문항 중에서 세 문항을 선택해 답하시오.

- 1) 금속결합 물질은 고체상에서 전기가 통하는데 이온결합 화합물은 그렇지 않은 이유는 무엇인가?
- 2) 겉모양이 똑같은 소금과 설탕을 맛보지 않고 구별할 수 있는 실험 방법을 제시하시오.
- 3) 이산화규소(SiO₂)와 이산화탄소(CO₂)는 산소와 동일한 결합을 이루지만 끓는점은 SiO₂가 훨씬 높다. 그 이유는 무엇인가?
- 4) 흑연과 다이아몬드는 모두 탄소로 이뤄진 화합물이지만 전기전도성에 큰 차이가 있다. 즉 흑연은 전도체지만 다이아몬드는 절연체다. 그 이유를 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

여러가지 화학결합의 차이점, 순물질의 고유한 성질을 이용해 화합물을 확인·분리·정제하는 실험 방법을 묻는 문제다. 공유결합 화합물의 공유결정과 분자결정의 차이점도 묻고 있다.

▶ 배경지식

공유결합, 금속결합, 이온결합, 분자결정, 공유결정의 개념을 알고 있어야 한다.

▶ 해설 및 모범답안

- 1) 금속결합은 핵과 자유롭게 움직이는 자유전자 사이의 인력에 의한 결합이다. 금속결합 물질에는 자유롭게 이동하는 전자가 있어 전기가 잘 통한다. 그러나 이온결합 물질은 양이온과 음이온의 정전기적 인력에 의해 강하게 결합돼 있으므로 이동이 불가능해 전기가 통하지 않는다. 하지만 이온화합물을 수용액에 녹이면 물분자에 의해 양이온과 음이온이 분리돼

자유롭게 움직일 수 있기 때문에 전기가 통한다.

2) 순물질은 고유한 물리적 성질인 끓는점, 어는점, 녹는점, 밀도, 용해도, 굴절률 등을 갖고 있다. 이런 성질은 순물질을 확인하거나 분리, 정제하는데 이용될 수 있다. 가열하면 설탕은 녹고 소금은 녹지 않는다. 소금은 이온결합 물질이므로 정전기력에 의한 인력이 매우 크므로 녹는점이 매우 높다. 설탕은 공유결합 화합물로 분자사이의 인력이 이온결합에 비해 약하기 때문에 녹는점이 낮다. 설탕은 물의 온도가 높을 수록 용해도가 증가하지만 소금은 물의 온도에 거의 영향을 받지 않는다. 또한 소금은 물에 용해돼 전해질로 작용하지만 설탕은 물에 녹여도 비전해질이다.

3) 이산화규소는 공유결정 또는 원자결정 화합물이고, 이산화탄소는 분자결정 화합물이다. 공유결정은 공유결합을 이룬 결정이 인접한 원자끼리 다시 연속적으로 공유결합을 형성해 모든 원자가 그물처럼 이어지는 구조다. 공유결정은 결정을 이루고 있는 모든 원자들이 강한 공유결합에 의해 연결돼 있으므로 결합력이 강하고 녹는점과 끓는점이 매우 높으며 승화열이 크다. 그러나 전기전도성은 액체와 고체 상태에서 모두 없다.

분자결정을 형성하는 공유결합 분자는 기체·액체·고체 상태에서도 분자 모양을 그대로 유지한다. 또 분자 사이의 인력에 의해 분자들이 규칙적으로 배열돼 결정을 이룬다. 비극성 분자결정에서 분자들 사이에 작용하는 힘은 분산력 또는 반데르발스 인력이다. 이런 분자간의 힘은 공유결합력에 비해 훨씬 약하므로 녹는점이 낮고 용융열이나 승화열이 낮다. 또 분자량이 클수록, 분자 사이의 접촉 면적이 클수록 증가한다. 이런 분자의 예가 요오드(I_2), 드라이아이스(CO_2), 나프탈렌($C_{10}H_8$)이다.

4) 다이아몬드와 흑연은 3차원 구조에서 차이가 있다. 다이아몬드는 1개의 탄소 원자에 4개의 다른 탄소 원자가 정사면체 구조를 이루면서 강하게 결합을 형성한다. 흑연은 정육각형 구조를 형성하며 탄소간 거리는 다소 가까우나 층과 층 사이는 결합력이 약해 쉽게 부스러진다. 또한 결합에 관여하는 전자가 자유전자와 같은 역할을 해 전기를 전도한다. 다이아몬드와 흑연은 원자결정 또는 공유결정 화합물이다.

▶ 심화 문제

원자번호가 26인 Fe이 공기 중에 방치하면 산화돼 녹이 스는 이유를 설명하고, 이를 방지하기 위한 방법들을 제시하시오.

문제 5. 다음 용액의 pH를 계산하라.

1) 1.0M CH_3CO_2H 와 1.0M CH_3CO_2Na 를 포함하고 있는 용액($K_a=2.0 \times 10^{-5}$, $\log 2=0.30$).

2) 이 용액 1.0L에 0.10몰의 HCl 기체를 가했을 때(HCl 기체 첨가에 의한 용액의 부피 증가는 무시한다).

3) 1.0M CH_3CO_2H 와 1.0M CH_3CO_2Na 를 포함하고 있는 용액 1백mL을 1.0M HCl 수용액 2백mL로 적정할 경우에 대해서 적정 곡선의 경향성을 설명해보시오($\log 3=0.48$, 물의 자체이온화는 무시한다).

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

완충용액의 성질을 이해하고 수소이온의 농도를 계산할 수 있는지를 묻는 문제다. 완충용액 문제는 다소 어렵지만 반드시 그 내용을 정리하는 것이 좋다.

▶ 배경지식

완충용액, 공통이온효과, 수소이온농도지수($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$)의 개념을 이해해야 한다.

▶ 해설 및 모범답안

- 1) 아세트산은 약산이므로 반드시 평형상태가 존재하며 평형상수와 식을 이용해 수소이온의 농도를 구하면 pH를 계산할 수 있다. 또한 이 용액은 약산인 아세트산과 그 염인 아세트산나트륨이 함께 존재하는 완충용액으로 소량의 산이나 염기를 가했을 때 pH가 거의 변하지 않는다. 완충용액은 공통이온효과에 의해 평형상태에서 약산인 아세트산의 이온화와 그 염인 아세트산나트륨의 가수분해를 무시할 수 있다. 그러므로 평형상태에서 아세트산과 아세트산나트륨의 농도는 다음과 같다.

$$[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] = 1.0\text{M}$$

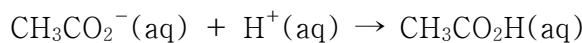
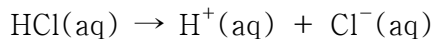
$$[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}] = 1.0\text{M}$$

$$\text{평형상수}(\text{K}_a) = ([\text{H}^+][\text{CH}_3\text{CO}_2^-]) / [\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] = 2.0 \times 10^{-5}$$

$$[\text{H}^+] = \text{K}_a [\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] / [\text{CH}_3\text{CO}_2^-] = (2.0 \times 10^{-5})(1.0) / (1.0) = 2.0 \times 10^{-5}$$

$$\text{pH} = -\log(2.0 \times 10^{-5}) = 5 - \log 2 = 5 - 0.30 = 4.70$$

- 2) 염산은 강산이므로 완전히 이온화되고 아세트산음이온(CH_3CO_2^-)에 의해 중화반응이 진행된다.



그러므로 초기 평형상태에서 아세트산과 아세트산음이온의 농도는 각각 1.0M이지만 0.1몰의 염산기체를 첨가하면 그 농도는 다음과 같이 변한다.

$$[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] = (1.0 + 0.1)\text{몰} = 1.1\text{몰}$$

$$[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}] = (1.0 - 0.1)\text{몰} = 0.9\text{몰}$$

$$\text{수소이온의 농도}([\text{H}^+]) = \text{K}_a [\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] / [\text{CH}_3\text{CO}_2^-] = (2.0 \times 10^{-5})(1.1) / (0.9) = 2.44 \times 10^{-5}$$

$$\text{pH} = -\log(2.44 \times 10^{-5}) = 5 - 0.38 = 4.62$$

실제로 염산 0.1몰을 용매인 물 1L에 용해시키면 0.1M 수용액이 되고 pH는 1.0 정도가 된다.

- 3) 1.0M $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ 와 1.0M $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$ 를 포함하고 있는 용액 1백mL의 pH는 4.70이다. 1.0M HCl 수용액 2백mL의 pH는 0.7이다. 완충용액은 공통이온효과에 의해 당량점이 되는 1.0M HCl 수용액 1백mL를 가할 때까지는 pH가 거의 변하지 않지만 계속해서 과량의 염산을 가하면 적정 곡선이 급격히 변한다. 1.0M HCl 수용액 2백mL를 가했을 때 pH는 1.52다.

▶ 심화 문제

탄산(H_2CO_3), 탄산수소나트륨(NaHCO_3), 탄산나트륨(Na_2CO_3)이 있다. $\text{pH} = 10.10$ 인 탄산 완충용액을 어떻게 만들 수 있는지 설명하시오(단, $\text{H}_2\text{CO}_3 : \text{K}_{a1} = 4.2 \times 10^{-7}$, $\text{NaHCO}_3 : \text{K}_{a2} = 4.8 \times 10^{-11}$)

2003년 08월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 2학기 수시모집 구술화학 대비방안

물질은 고체, 액체, 기체의 세가지 상태변화를 거친다. 집을 수 있는 모든 물건은 고체에 해당된다. 인체의 70%를 이루고 있는 물은 액체이며, 호흡에 필요한 공기는 기체다. 이처럼 우리 주변의 모든 물질은 고체, 액체, 기체 중 한가지 상태를 갖는다. 이번 호는 물질의 상태에 관한 내용을 정리하고, 아울러 용액에 관한 몇가지 현상을 함께 다뤄볼 것이다.

문제 1. 직접 보고 만질 수는 없지만 공기는 우리가 살아가기 위해 꼭 필요하다. 공기를 물질의 상태 측면에서는 기체라고 부른다. 기체와 관련된 아래의 질문에 답하시오.

- 1) 이상기체는 실제로 존재하는 것인지를 설명하시오. 만약 실제로 존재할 수 없다면 실제 기체가 이상기체와 같아지기 위해 필요한 조건을 설명하시오.
- 2) 모든 기체는 그것을 구성하는 분자 형태가 다름에도 불구하고 열팽창 정도는 같다고 한다. 그 이유는 무엇인가?
- 3) 팝콘을 튀길 때 바늘로 구멍을 낸 팝콘 알갱이는 제대로 튀겨지지 못한다. 그 이유는 무엇인가?

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

기체 이론에 관해 전반적으로 이해하고 있는가, 이상기체 상태방정식을 이해할 수 있는가를 묻는 문제다.

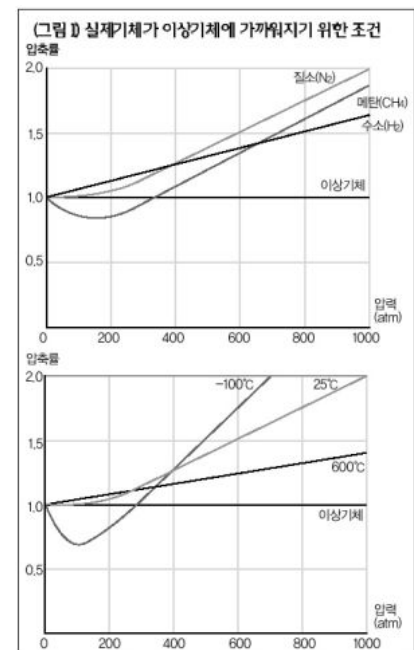
▶ 배경지식

기체분자 운동론, 이상기체 상태방정식, $PV=nRT$, $E_k=3/2nRT=1/2Mv^2$.

▶ 해설 및 모범답안

- 1) 이상기체란 기체 분자의 종류에 관계없이 빈 공간 속에서 자유롭게 운동하며 열에 의해서만 그 분자의 운동에너지가 변한다는 기체분자 운동론을 만족하는 가상의 기체다. 즉 질량과 에너지는 갖고 있지만, 기체 분자들 간에 인력이나 반발력이 전혀 작용하지 않고, 분자간 완전탄성충돌을 한다. 분자 자체의 부피가 없기 때문에 0K에서 부피가 0이며, 평균 운동에너지는 절대온도에 비례한다. 따라서 실제기체가 이상기체에 가까워지기 위해서는 온도가 높을 수록, 압력이 낮을 수록, 분자량이 작을 수록 좋다(그림1). 온도가 높고 압력이 낮을 수록 분자간 거리가 멀어지기 때문에 인력이 작아질 것이고, 분자량이 작을 수록 분자간 인력이 작기 때문에 분자간 인력을 무시할 수 있다.

- 2) 기체가 열팽창한다는 것은 온도가 높아짐에 따라 운동속도가



증가한 기체 분자들이 용기 벽을 더 많이 때리면서 밀어내는 것이다. 같은 온도에서 분자들의 운동속도는 분자량의 제곱근에 반비례한다. 따라서 온도를 올리면 분자량이 큰 분자의 속도는 분자량이 작은 분자의 속도가 증가하는 것보다 느리게 증가한다. 여기서 분자량이 작은 기체의 열팽창계수가 분자량이 큰 기체보다 클 것이라 여겨진다. 그렇지만 분자량이 작은 기체는 속도가 빨리 증가하는 대신에 질량이 작고, 분자량이 큰 기체는 속도가 천천히 증가하는 대신에 질량이 크다. 따라서 두 기체 분자들이 각각 용기의 벽면을 때리는 힘은 동일하게 나타나게 된다. 기체의 종류에 관계없이 일정한 온도 증가에 따른 열팽창 정도는 변하지 않는다.

- 3) 팝콘을 튀길 때 팝콘이 터지는 것은 내부에 존재하는 수분과 공기 때문이다. 온도가 올라가면(1백℃ 1기압), 물은 기체인 수증기가 된다. 그러면 팝콘 내부에 존재하는 기체는 온도가 올라감에 따라 부피가 증가한다(샤를의 법칙). 이때 더이상 부피를 확장할 수 없는 경지에 이르면 팝콘은 터지게 되고, 이를 팝콘이 튀겨졌다고 말하는 것이다. 만약 팝콘에 바늘로 구멍을 내면, 내부에 있던 기체 분자들은 그 구멍을 통해서 알갱이 외부로 빠져나가 제대로 튀겨지지 못한다.

문제 2. 물로 대표될 수 있는 액체에 관한 다음의 질문에 답하십시오.

- 1) 컵에 물을 따르면 물은 컵의 모양에 따라 다양한 모양으로 담긴다. 만약 우주선에서 물을 엮지른다면 물의 모양은 어떻게 될까?
- 2) 야영을 가서 코펠로 밥을 지을 때, 바닷가에서는 비교적 쉽게 밥을 지을 수 있지만 산에서는 밥이 잘 되지 않는다. 그 이유는 무엇인가?
- 3) 두 기둥 사이에 얼음덩어리를 떨어지지 않게 올려놓고, 양쪽 끝에 5백g, 1Kg, 2Kg의 추가 달린 노끈을 얼음덩어리 중간에 각각 걸쳐놓았다. 어느 정도 시간이 흐르자, 추가 2Kg, 1Kg, 5백g 순서로 바닥으로 떨어졌다. 하지만 얼음덩어리는 완전히 녹지 않고 처음처럼 두 기둥 사이에 놓여 있다. 이 현상을 설명하십시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

액체의 일반적인 성질과 증기압력, 그리고 물의 상평형 그림을 이해할 수 있다.

▶ 배경지식

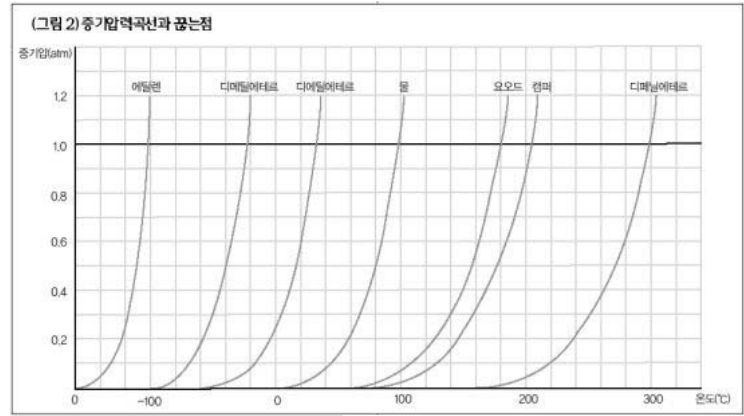
표면장력, 동적평형상태, 상평형.

▶ 해설 및 모범답안

- 1) 기체의 온도가 낮아지면 기체 분자의 평균속도가 느려진다. 또 기체의 압력이 커지면 기체 분자들 간의 평균거리가 가까워져 일정한 부피를 갖는 액체상태가 된다. 이처럼 액체는 여러개 분자가 매우 근접해 있기 때문에 분자들 간의 인력에 의해 독특한 성질을 보인다. 액체는 외부 압력에 의해 부피가 거의 변하지 않고 일정한 값을 갖는다. 그 값은 기체에 비해 아주 작다. 액체 분자들은 위치가 고정돼 있지 않기 때문에 일정한 모양이 없고, 담긴 용기에 따라 그 모양이 달라진다. 한편 액체는 표면장력이라고 하는 독특한 성질을 갖는다. 표면장력은 액체 표면에 있는 분자들이 분자간 인력에 의해 액체 내부로 끌려 액체 표면의 분자수를 최소화하려는 경향 때문에 생기는 것이다. 따라서 중력이 미약한 우주선에서는 일정량의 물이 최소의 표면적을 갖기 위해

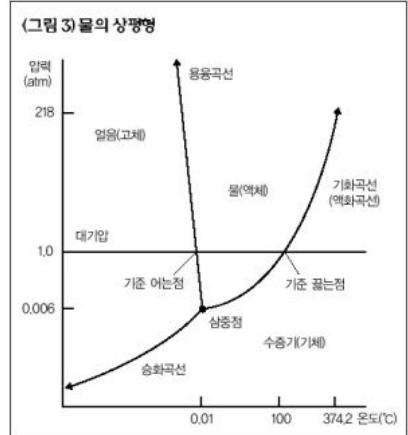
구형을 이루게 된다.

- 2) 액체상태에서는 분자들을 묶어둘 수 있는 인력이 존재한다. 하지만 그 중의 일부 운동에너지가 큰 분자들은 이를 극복하고 액체 표면으로부터 나와 기체상태가 된다. 이런 현상을 증발이라고 한다. 이와 반대인 현상은 응결이라고 한다. 밀폐 용기 안에서 증발 속도와 응결 속도가 같아지는 상태를



동적평형상태라고 한다. 이는 분자들이 활발히 이동하지만 거시적으로는 변화가 없는 상태를 말한다. 기체와 액체가 동적평형상태를 이뤘을 때 증기가 나타내는 압력이 바로 액체의 증기압력이다. 증기압력은 온도가 높아질수록, 휘발성이 큰 액체일수록 증가한다(그림2). 증기압력과 외부 압력이 같게 되는 점을 끓는점이라고 한다. 바닷가와 산은 각각 외부 압력이 다르다. 바닷가의 경우는 1기압인데 반해, 산에 올라가면 기압이 1보다 작아진다. 따라서 물의 끓는점이 1백°C보다 낮아진다. 낮은 온도에서 물이 끓어 없어지기 때문에 산에서는 쌀이 잘 익지 않는 것이다. 이런 현상을 극복하기 위해 코펠 뚜껑에 돌덩이와 같은 무거운 물체를 올려놓는다. 압력솥처럼 외부 압력을 높여 물의 끓는점을 높이기 위해서다.

- 3) 대기압에서 온도가 높아질수록 물의 상태는 얼음, 물, 수증기, 즉 고체, 액체, 기체 상태를 거친다(그림3). 또 삼중점 이하의 온도에서 압력을 높일수록 수증기, 얼음, 물 상태를 거친다. 이런 현상은 물의 경우에만 독특하게 나타난다. 일반적으로 물질의 상평형에서는 고체와 액체 사이의 용융곡선이 온도가 높아지면 압력도 증가하는 양수의 기울기를 갖는다. 하지만 물의 용융곡선 기울기는 음수다. 물과 수증기가 평형을 이루는 선을 기화 또는 액화곡선이라고 하며, 얼음과 수증기가 공존하는 온도와 압력을 나타내는 선을 승화곡선이라고 한다.



노끈의 양끝에 달려있는 추의 무게가 다르기 때문에 각각의 노끈이 얼음에 가하는 압력도 다르다. 즉 5백g, 1Kg, 2Kg 순서로 노끈이 얼음에 가하는 압력이 증가한다. 물의 상평형 그림에서 볼 수 있듯이 0°C의 동일한 온도에서 압력이 증가하면 얼음에서 물로의 상태 변화가 더 쉬워진다. 그러므로 얼음은 압력이 크게 작용하는 추가 매달린 노끈이 닿은 부분부터 녹는다. 따라서 추는 2Kg, 1Kg, 500g 순으로 떨어지게 된다. 추가 떨어져 압력을 가하는 요소가 사라지게 되면, 녹았던 부분이 다시 얼어붙는다. 따라서 얼음이 쪼개지지 않는 것이다. 스케이트를 탈 때도 사람 몸무게에 의한 작은 압력 변화로 얼음이 녹을 수 있는 상태, 즉 얼음이 녹기 직전의 온도에서 가장 빨리 달릴 수 있다. 스케이트 날이 지나간 부분은 압력이 증가하기 때문에 일시적으로 녹지만 몸무게가 누르는 압력이 제거되면 주변 온도가 낮기 때문에 다시 얼어붙는다.

문제 3. 일정한 부피와 형태를 갖는 고체상태의 물질은 크게 두가지로 나눌 수 있다. 결정성을 보이는 종류와 그렇지 않은 종류가 그것이다. 화학결합 방법에 따라 결정성 고체는 분자결정, 이온결정, 원자결정, 금속결정으로 나눌 수 있다. 각각에 대해 간략히 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

화학결합의 종류에 따라 고체를 정확히 분류할 수 있다.

▶ 배경지식

공유결합, 이온결합, 금속결합.

▶ 해설 및 모범답안

첫째, 분자결정은 결정의 단위가 분자다. 분자간 인력이 약하기 때문에 대부분 녹는점이 낮고, 상온에서 승화하는 성질을 갖는 것이 많다. 분자간 인력과 녹는점은 분자량에 비례하나, 물과 같이 극성이 큰 물질은 예외다.

둘째, 이온결정은 결정의 단위가 양이온과 음이온이다. 고체상태에서는 전기부도체지만, 용융상태와 용액상태에서는 도체와 같은 성질을 보인다. 정전기적 인력에 의해 이뤄진 결정이기 때문에 녹는점과 끓는점은 상당히 높다.

셋째, 원자결정은 결정을 이루는 모든 원자들이 공유결합으로 그물처럼 연결돼 있기 때문에 전체를 하나의 분자로 볼 수 있다. 휘발성이 없으며 구성 원자들 모두의 결합을 끊어 분리시켜야 하기 때문에 끓는점이 매우 높다. 대부분 전기부도체이지만, 흑연의 경우는 예외다. 마지막으로, 금속결정은 금속원자 자체가 결정의 기본적인 단위다. 녹는점은 낮은 것(수은 -39°C , 나트륨 1°C)부터 높은 것(텅스텐 $3,300^{\circ}\text{C}$)까지 다양하다. 특정 원자에 소속되지 않고 금속결정 전체에 소속돼 있어 결정 안의 원자 사이를 자유롭게 이동할 수 있는 자유전자가 존재하기 때문에 전기가 잘 통한다.

문제 4. 용질이 용매에 녹아서 균일한 상태의 혼합물이 된 상태를 용액이라고 한다. 용액의 특성을 고려해 다음과 같은 현상을 설명하시오.

- 1) 1백ml 비커 두개를 준비해 한쪽에는 3차 증류수를 담고, 다른 한쪽에는 설탕물을 70ml 씩 담아두었다. 며칠후 관찰할 수 있는 양상을 설명하시오.
- 2) 라면을 끓일 때 물만 먼저 끓이는 경우보다 라면스프를 넣고 끓이면 시간이 더 오래 걸린다. 이 현상에는 어떤 원리가 담겨 있는가?
- 3) 한국인의 식탁에서 빠지지 않는 것 중 하나가 김치다. 김장을 담글 때는 배추를 소금에 미리 절인다. 배추가 어떤 원리로 절여지는지, 그 형태가 어떻게 변하는지를 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

실생활에서 볼 수 있는 현상을 바탕으로 용액의 총괄성에 대해 이해할 수 있어야 한다.

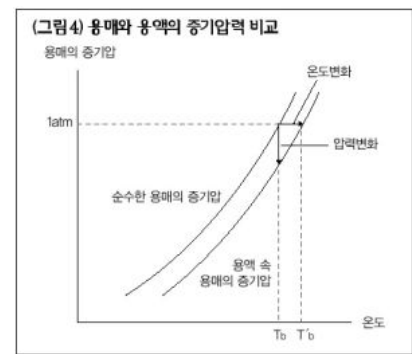
▶ 배경지식

증기압 내림, 끓는점 오름, 삼투현상.

▶ 해설 및 모범답안

- 1) 일정 온도의 용액 중에서 용매가 증발하는 속도는 순수한 용매가 증발하는 속도보다 늦다.

비휘발성 용질이 녹아있는 용액의 경우 순수한 용매와는 달리, 용액 표면에 용매 분자만 존재하는 것이 아니라 용질 분자도 함께 존재한다. 따라서 표면에 있는 용매 분자의 수가 상대적으로 적어 증발속도가 느려진다. 하지만 기체가 액체로 변하는 응결속도는 같기 때문에 평형에 도달할 때 용액의 증기압력은 순수한 용매의 증기압력보다 낮다(그림4). 따라서 3차 증류수가 담긴 비커에 있는 물의 양은 설탕물이 담긴 비커의 물의 양보다 더 많이 줄어들어 있는 것을 확인할 수 있다. 이런 현상을 증기압 내림이라 한다.



- 2) 비휘발성 용질이 녹은 용액의 끓는점은 용매의 끓는점보다 높아진다. 그 이유는 용매의 증기압력이 1기압이 되는 온도, 즉 기준 끓는점에서 용액의 증기압력은 1기압이 채 못된다. 따라서 온도를 더 높여야 용액의 증기압력이 1기압에 도달해 비로소 끓게 되는 것이다. 비휘발성 용질인 라면스프가 물에 녹아있으면 증기압력이 그만큼 낮아진다. 따라서 라면스프가 없는 경우보다 더 높은 온도가 돼야 비로소 물이 끓는다. 이를 용액의 끓는점 오름이라고 한다. 제설작업에서 많이 사용되는 염화칼슘의 경우에서 볼 수 있는 어는점 내림 현상도 이와 비슷하게 설명이 가능하다.
- 3) 액체의 증기압력은 분자가 액체로부터 벗어나는 속도를 나타내는 척도다. 비휘발성 용질에 의해 용매의 증기압력이 감소하는 이유는 용매분자가 용액을 벗어나는 속도가 감소하기 때문이다. 용액과 순수한 용매에서 용매 분자가 탈출하는 속도가 다르기 때문에 생기는 현상으로 삼투압이 있다. 삼투란 용액과 순수한 용매를 반투막으로 격리시키면 단위 시간에 막에 충돌하는 용매분자의 수가 용액 쪽보다 순수한 용매 쪽이 더 많기 때문에 용매가 용액 쪽으로 흘러 들어가는 현상을 말한다. 이때 용액 쪽에 더 큰 압력을 가하면 용매가 용액 쪽으로 흘러 들어가는 것을 억제할 수 있는데, 이를 삼투압이라고 한다. 김장을 할 때 소금물에 배추를 넣어두면 배추 내부에 존재하던 수분은 삼투현상에 의해 배추 외부로 나온다. 그 결과 세포 안에 존재하던 수분이 유실되면서 억센 형태의 배추가 흐물흐물해진 형태로 바뀌는 것이다.

문제 5. 초당순두부는 강릉의 특산물 중 하나다. 두부를 만드는 원리를 콜로이드 용액의 성질과 연관지어 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

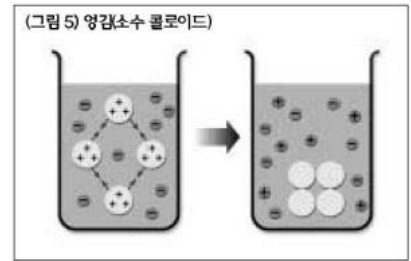
콜로이드 용액의 특성을 이해하고 실생활에서 적용되는 예를 설명할 수 있다.

▶ 배경지식

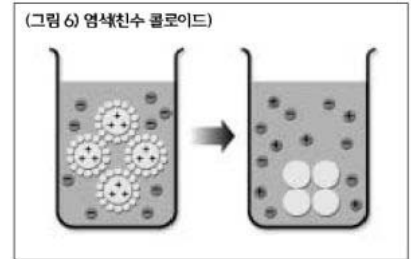
콜로이드 용액이란 빛을 산란할 수 있을 정도의 크기를 갖는 입자가 분산돼 있는 용액을 말하며, 설탕물처럼 투명한 참용액과 구분된다. 콜로이드 용액을 구성하는 입자는 대체로 지름이 10^{-7} ~ 10^{-5} cm로, 지름이 10^{-7} cm 이하인 참용액의 입자보다는 크다. 하지만 보통의 현미경으로는 관찰할 수 없다. 또 거름종이는 통과하나, 반투막은 통과하지 못한다.

▶ 해설 및 모범답안

소량의 전해질을 가할 경우 쉽게 침전되는 불안정한 콜로이드를 소수 콜로이드라고 하고, 이 현상을 영김이라고 한다(그림 5). 콜로이드 입자 주위에 자신이 흡착한 이온과 반대되는 전하를 띠는 이온들이 있으면, 콜로이드 입자가 흡착했던 이온들을 잃는다. 따라서 콜로이드 입자간의 반발력이 사라지고 영킨다. 일반적으로 주위에 있는 이온의 전하가 클수록 영김 효과는 더 커지게 된다.



이와 달리 소량의 전해질을 가할 때는 영기지 않지만, 다량의 전해질을 가할 경우 영기는 현상을 볼 수 있는 친수 콜로이드도 있다. 친수 콜로이드는 입자 표면에 친수성 원자단을 갖고 있어서 물분자에 의해 둘러싸여 있다. 그래서 쉽게 영기지 않는 안정한 콜로이드다. 하지만 다량의 전해질을 가하면 콜로이드 입자를 둘러싸고 있던 물분자들이 이온 때문에 떨어져 나가 영기게 되는데, 이런 현상을 염석이라고 한다(그림 6).



두부를 만들 때 사용하는 콜로이드 용액은 물분자가 에워싸고 있는 친수 콜로이드 상태다. 이 콜로이드 용액에 간수를 넣으면 양금이 생기고 그것이 영겨 두부가 만들어지는 것이다. 간수는 염화마그네슘(MgCl_2)으로 이뤄져 있다. 마그네슘이온(Mg^{2+})이 콜로이드 용액에 과량 투입되면, 원래 콜로이드 입자를 둘러싸고 있던 물분자는 이온에 의해 떨어져 나가고, 그 결과 입자들이 영기게 된다. 틀에 이 영긴 것을 넣으면 원하는 형태의 두부도 만들 수 있는 것이다.

2003년 09월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 2학기 수시모집 구술화학 대비방안

이번 호에서는 직접 눈으로 확인할 수는 없지만, 주변 모든 물질들을 구성하고 있는 가장 기본적인 요소에 대해 살펴보고자 한다. 물질을 계속 쪼개다 보면 어느 순간에 이르러서는 더이상 쪼갤 수 없는 가장 기본적인 입자에 도달할 것이다. 이를 원자(atom)라고 한다. 현재 우리 주위의 모든 것은 이런 원자들의 조합으로 이뤄져 있다.

원자의 존재는 19-20세기에 걸쳐 진행됐던 여러가지 실험을 통해 증명됐고, 이는 현대 화학이 발전하는데 큰 밑바탕이 됐다. 이번 호에서 다룰 문제들을 통해 가장 기본적인 입자인 원자를 쉽게 이해할 수 있길 바란다.

문제 1. 흔히 우리는 원소라는 용어와 원자라는 용어를 혼동해 사용하곤 한다. 이들을 구별해 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

원자의 개념을 정확히 파악할 수 있다.

▶ 배경지식

동위원소의 개념.

▶ 해설 및 모범답안

원소란 같은 원자번호를 갖는 원자들에 의해 만들어지는 물질로서, 일반적인 화학적 방법으로는 더욱 간단한 물질로 분해할 수 없는 것을 의미한다. 이에 반해 원자는 화학원소로서의 특성을 잃지 않는 범위 내에서 더이상 분해할 수 없는 가장 작은 단위의 입자를 말한다. 예를 들어 탄소라는 원소는 하나지만, 그 탄소를 구성하는 원자는 탄소의 동위원소를 고려해 두가지가 있는 것이다.

문제 2. 원자를 구성하는 요소와 그 발견 배경을 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

가장 작은 입자인 원자의 형태를 이해할 수 있다.

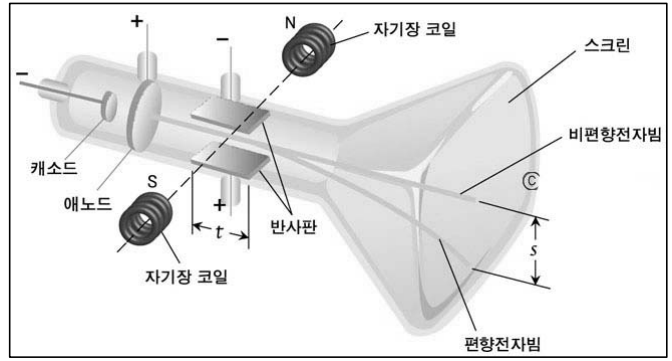
▶ 배경지식

양성자, 중성자, 전자의 발견 배경.

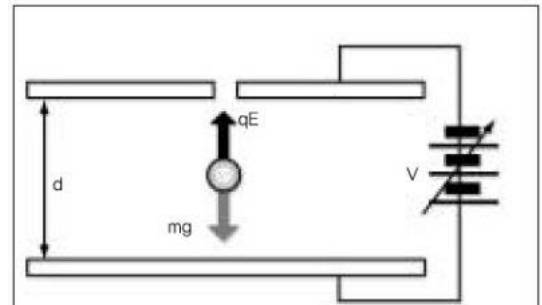
▶ 해설 및 모범답안

원자는 원자핵과 전자로 구성돼 있고, 원자핵 주위를 전자가 구름처럼 퍼져서 돌고 있다. 이런 전자의 배치 중 특히 원자가전자는 그 원자의 화학적 성질을 결정하는데 큰 역할을 한다.

1) 전자 : 원자의 구성 요소 중 가장 먼저 발견됐다. 1897년 톰슨(J. J. Thomson)은 음극선 실험(그림1)을 통해 음극선은 음(-)전하를 가진 입자의 흐름이며, 이 입자의 전하대 질량비(e/m) 값은 항상 $1.76 \times 10^8 \text{C/g}$ 임을 밝혀냈고, 이를 전자라고 명명했다. 전자는 1911년 밀리컨(R. A. Millikan)은 기름방울 실험(그림2)으로 부터 전자 1개의 전하량이 $-1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 임을 밝혔으며, 전자 1개의 질량이 $9.1 \times 10^{-28} \text{g}$ 임을 구했다.



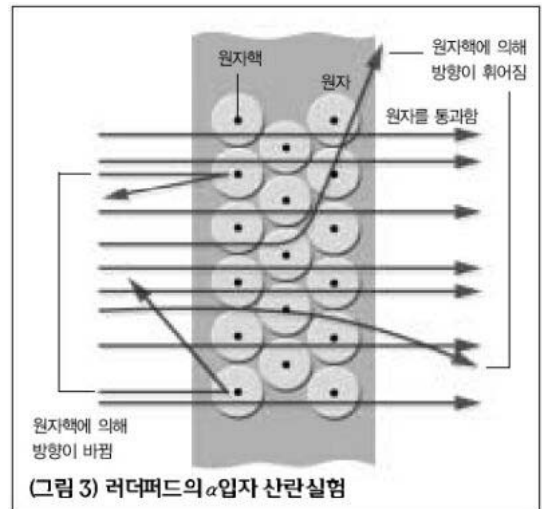
(그림 1) 톰슨의 음극선 실험



(그림 2) 밀리컨의 기름방울 실험

기름방울을 전압이 걸린 평행한 판 사이에 두면 중력과 전기력이 평형을 이뤄, 기름방울을 공중에 멈추게 할 수 있다. 이때 관련식을 이용해 기름방울의 전하량(q)을 구한다.

2) 원자핵 : 1911년 러더퍼드(E. N. Rutherford)는 얇은 금속박에 입자(He의 원자핵)를 충돌시켰을 때 대부분의 입자는 통과하는데 일부 입자의 진로가 변하는 것을 관찰했다(그림3). 이로써 원자 내부는 대부분이 빈 공간이고 그 중심에 양전하가 모여 있는 작은 덩어리가 존재하는 것을 알아내고 이를 원자핵이라 명명했다. 원자 1개의 지름은 10^{-8}cm 가량이고, 원자핵의 지름은 10^{-13}cm 가량이다. 원자핵을 구성하는 두 요소인 양성자와 중성자는 각각 골트슈타인의 양극선 실험과 베릴륨(Be) 박판에 α 선을 충돌시켜 전하가 없는 입자가 나오는 것을 발견한 채드윅의 실험으로 그 존재가 확인됐다. 양성자의 전하는 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 으로, 전자의 전하량과 크기는 같지만 부호는 반대이며, 질량은 $1.673 \times 10^{-24} \text{g}$ 으로 전자의 1천8백36배에 이른다. 중성자는 전하를 띠지 않으며, 질량은 $1.675 \times 10^{-24} \text{g}$ 으로 전자의 1,839배다. 따라서 원자의 질량은 대부분 양성자와 중성자에 의해 결정된다.



(그림 3) 러더퍼드의 α 입자 산란실험

▶ 심화 문제

중성자는 원자의 구성 요소 중 가장 늦게 그 존재가 확인됐다. 중성자가 존재하는 이유는 무엇인가?

문제 3. 입자는 고유한 질량을 갖는다. 원자도 고유의 질량을 갖는데, 이를 간단히 표현한 것을 원자량이라고 한다. 평균원자량에 대해 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

원자량의 도입 과정과 그 의미를 알 수 있다.

▶ 배경지식

원자량의 개념, 동위원소.

▶ 해설 및 모범답안

물질을 구성하고 있는 원자 1개의 질량을 측정하는 것은 매우 힘들다. 또한 원자의 실제 질량이 10^{-24} – 10^{-22} g이기 때문에 이를 그대로 사용하는 것은 실용적이지 못하다.

예를 들어 수소 원자 1개의 질량은 1.67×10^{-24} g이며, 산소 원자 1개의 질량은 2.66×10^{-23} g이다. 따라서 기준을 정하고 그 기준과의 상대적인 비를 통해 질량을 정하는데, 이를 원자량이라고 한다.

이때 기준으로 삼는 것은 질량수가 12인 탄소 원자(^{12}C) 1개다. 즉 탄소 원자 1개의 질량을 12.0으로 하고, 다른 원자들의 질량은 그 상대적인 비를 통해 구했다. 따라서 수소의 원자량이 1이라는 것은 수소 원자의 질량이 1g이란 것이 아니다. 즉 ^1H 의 원자량은 ^{12}C 원자의 1/12 만큼이라서 1이 된다는 것이며, 원자량의 단위는 없다. 자연계에는 질량수가 다른 동위원소가 존재한다. 이들은 화학적 성질이 같기 때문에 실제 화학반응에서는 동일하게 반응한다. 따라서 화학반응의 양적 관계에서는 이들의 평균치가 나타나기 때문에 주기율표에서도 이들의 평균치를 원자량으로 삼았다. 예를 들어 탄소의 평균원자량은 탄소의 동위원소 존재 비율을 고려해 구한다. ^{12}C 가 98.9%, ^{13}C 가 1.1%비율로 자연계에 존재하기 때문에 탄소의 평균원자량은 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\text{C의 평균 원자량} = 12 \times 0.989 + 13 \times 0.011 = 12.011$$

▶ 심화 문제

현재는 ^{12}C 가 원자량의 기준이 되고 있다. 원자량 기준의 변천 과정을 서술하시오.

문제 4. 원자가 어떤 형태로 존재할 것인가는 계속된 관심사였다. 원자모델의 변천과정을 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

원자모델의 변천 과정을 파악함으로써 각 모델이 지니고 있는 한계도 이해할 수 있다.

▶ 배경지식

돌턴의 원자설, 톰슨의 음극선 실험, 러더퍼드의 α 입자 산란실험, 선스펙트럼, 오비탈(전자밀도 함수).

▶ 해설 및 모범답안

고대 그리스 사람들은 모든 물질이 물, 불, 흙, 공기로 구성되어 있다고 생각했다. 19세기 초 돌턴이 질량보존의 법칙, 일정성분비의 법칙, 배수비례의 법칙을 설명하기 위해서 모든 물질은 더이상 깨어지지 않는 딱딱한 구 모양의 입자로 구성되어 있다고 제안하고 이 입자를 원자(atom)이라고 명명했다.

그러나 1903년에 영국 과학자 톰슨은 음극선 실험을 통해 음극관에서 어떤 입자가 튀어나오는 것

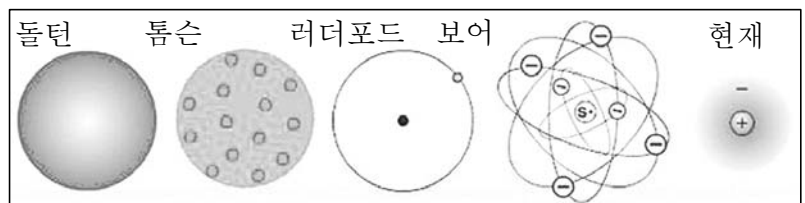
을 발견했다. 그는 이 입자가 양극으로 끌려가는 현상을 나타내므로 음(-)전하를 띠고 있다고 설명했다. 또 이 입자의 진행 방향에 물레방아를 두면 물레방아가 돌아가는 것을 보고 질량을 갖는 입자라고 생각하게 됐다. 톰슨은 이 입자를 전자(electron)라고 명명했다. 톰슨은 전체적으로 양(+)전하를 띠고 있는 원자에 음(-)전하를 띠고 있는 전자가 박혀 있는 모형으로 원자모형을 설명했다. 이는 마치 푸딩에 건포도가 박혀 있는 것과 같아 건포도-푸딩 모형이라고 한다.

1911년에 러더퍼드는 α 입자 산란실험을 고안해 냈다. 양(+)전하를 띠고 있는 α 입자를 얇은 금속 박막에 쏘 부딪히게 한 후 튀어나오는 것을 살펴보고자 했다. 톰슨의 원자 모형에 의하면 α 입자는 전체적으로 양(+)전하를 띠고 있는 금 원자에 부딪혀 진행 방향의 180° 방향으로 튀어나올 것이라고 생각했다. 그러나 실험 결과, 거의 대부분의 α 입자들이 금박을 그냥 통과했고 일부가 산란됐다. 즉 기존의 건포도-푸딩 모형으로 설명할 수 없는 실험 결과를 얻은 것이다. 그래서 러더퍼드는 양(+)전하를 띤 입자가 가운데에 모여 있고 그 주위를 전자가 돌고 있는 태양과 행성의 모형을 도입하게 됐다. 즉 가운데 원자핵 주위를 전자가 매우 빠르게 돌고 있는 모형이다.

1913년 보어는 러더퍼드의 행성 모형에 강한 이의를 제기하면서 새로운 원자모형을 도입했다. 전하를 띤 입자가 원운동을 하면 구심 가속도가 생기므로 지속적으로 에너지를 방출해 1초도 안되는 시간에 전자가 회전하는 에너지를 잃어버리고 원자핵에 부딪히는 문제가 발생한다. 보어는 이런 문제를 해결하기 위해 특별한 궤도를 설정하고 그 궤도에서 전자가 돌고 있으면 에너지를 뺏기지 않는다는 가정을 도입했다. 이를 전자가 양자화(quantum state)됐다고 설명했다. 그리고 원자핵 주위에는 전자껍질이 있는데 이를 원자핵에 가까운 쪽부터 1껍질, 2껍질...이라고 명명했다. 전자들이 이 껍질을 오르내리면서 빛(광양자)을 흡수 또는 방출한다는 것이다. 이 모형을 이용해 보어는 수소 원자의 선스펙트럼을 정확하게 설명할 수 있게 됐다.

그후 양자역학적인 개념을 바탕으로 두고 하이젠베르크는 전자와 같이 작고 빠르게 움직이는 입자의 속도와 위치를 정확하게 말한다는 것이 불가능하다는 불확정성의 원리를 설명하게 된다.

이 원리에 따르면 전자가 정확하게 정해진 궤도를 돈다는 보어의 모형은 불확정성의 원리에 모순된다. 따라서 현재는 전자의 위치를 시간에 따른 확률 함수로 설명하게 됐다. 이 모형을 전자구름 모형이라고 한다.



(그림4) 원자모형의 변천과정

다. 확률 함수에 의해서 얻어지는 전자가 발견될 확률 공간을 오비탈이라고 한다(그림4).

문제 5. 금속으로 불꽃 반응을 해보면 그 금속이 어떤 금속인지를 알 수 있다. 예를 들어 Li은 붉은색, Na는 노란색을 띤다. 또 분광계를 통해 보면 독특한 선스펙트럼을 볼 수 있다. 보어의 원자모형을 확립하는데 배경이 된 선스펙트럼을 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

보어의 원자모형을 확실히 이해할 수 있다.

▶ 배경지식

선스펙트럼의 의미, 불연속성.

▶ 해설 및 모범답안

햇빛을 이루고 있는 파장은 다양하다. 각각의 파장에 따라 다른 색을 나타내기 때문에 빛은 연속적인 스펙트럼을 보인다. 프리즘을 이용해 햇빛을 굴절시켰을 때 볼 수 있는 무지개 스펙트럼이 이런 현상이다. 그러나 수소에서는 햇빛과 같은 연속스펙트럼 대신 하나의 선스펙트럼이 관찰된다. 수소 기체를 방전시키면 수소 분자가 원자로 분해되면서 빛을 방출하는데 이때 관찰되는 것이 선스펙트럼이다. 스펙트럼이 나타나는 이유는 물질이 안정한 바닥상태를 유지하려고 하기 때문이다. 수소 원자의 스펙트럼을 통해 수소 원자의 에너지 준위를 알 수 있으며, 이를 근거로 해 보어는 원자모형을 확립할 수 있게 됐다.

수소 원자가 안정한 바닥상태를 유지하고 있다가 에너지를 흡수해 들뜬상태가 되면 다시 안정한 바닥상태로 돌아가려고 한다. 두 상태 간 차이에 해당하는 에너지가 빛으로 방출되는 것이다. 수소 원자의 에너지 준위는 연속적으로 이어져 있는 것이 아니라 계단과 같이 불연속적이다. 선스펙트럼으로 관찰되는 이유는 에너지 준위가 높은 상태에서 낮은 상태로 전자가 전이할 때 불연속적인 에너지 준위 상태 때문에 일정한 진동수의 빛만을 방출하기 때문이다. 이런 불연속적인 에너지 준위 상태는 보어의 원자궤도 함수와 밀접한 관련이 있다.

보어는 에너지와 파장의 관계를 고려해 다음과 같은 가설을 세워 수소 원자의 모형을 제시했다.

- 1) 수소 원자는 핵과 그 주위를 원운동하는 1개의 전자로 구성되어 있다.
- 2) 전자는 정해진 에너지(양자화) 상태에서만 존재하며 임의의 중간 에너지 상태는 없다.
- 3) 특정한 원 궤도를 도는 전자는 에너지를 방출 또는 흡수하지 않는다.
- 4) 전자가 궤도를 이동할 경우에는 두 궤도 사이의 에너지 차이만큼($E=E_2 - E_1$)의 에너지를 흡수 또는 방출한다(그림 5).

▶ 심화 문제

보어의 수소 원자모델 가설을 통해 러더퍼드 원자모델의 한계를 극복할 수 있다. 만약 이 모델이 타당하다면 더 이상 새로운 원자모델은 도입될 필요가 없을 것이다. 그러나 현재는 전자구름 모형이라는 원자모델을 가장 타당하게 여기고 있다. 보어의 모델이 갖는 한계가 무엇인지를 서술하시오.

문제 6. 전자는 원자핵 주위를 돌고 있다. 전자가 원자 내부로 배치될 때 따르는 법칙을 설명하고, P의 바닥상태 전자배치를 도시하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

바닥상태의 전자배치를 작성하고 이해할 수 있다.

▶ 배경지식

오비탈, 양자수(n, l, m, s)의 종류와 의미.

▶ 해설 및 모범답안

전자가 배치될 때는 에너지 준위가 낮은 오비탈(어떤 공간에서 전자가 발견될 확률 함수 또는 그 모양)부터 채워진다. 에너지 준위가 낮은 오비탈이 비어있는 상태에서 높은 에너지 준위의

오비탈에 전자가 채워지면 들뜬상태의 전자배치가 된다. 수소와 같이 전자가 1개만 있을 경우, 주양자수가 같은 오비탈의 에너지 준위는 모두 같으나, 다전자 원자에서는 주양자수가 같은 오비탈도 방위양자수가 다르면 에너지 준위가 달라진다. 다전자 원자의 에너지 준위는 $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p \dots$ 순으로 주양자수가 작은 3d 오비탈이 주양자수가 더 큰 4s 오비탈보다 에너지 준위가 더 높고, 그 결과 전자는 3d 오비탈보다 4s 오비탈에 먼저 채워진다(그림 6).

다전자 원자에서 전자를 채워갈 때 세가지 원리에 따라 바닥상태의 전자배치를 표현한다.

첫째, 축조원리(Aufbau principle)

다. 전자는 에너지가 낮은 상태에서부터 높은 상태 쪽으로 차례로 채워진다는 것이다. 때문에 $1s \ 2s \ 2p \ 3s \ 3p \ 4s \ 3d \ 4p \dots$ 순으로 채워진다.

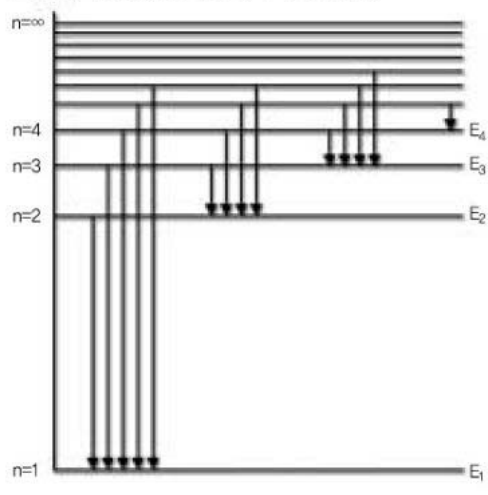
둘째, 파울리의 배타원리(Pauli's exclusion principle)다. 한 원자에는 n, l, m, s 의 네가지 양자수가

똑같은 전자는 존재할 수 없다는 것을 의미한다. 따라서 n, l, m 에 의해 결정되는 각각의 오비탈에는 스핀이 서로 반대인 전자 두개(한 개의 s 가 $+1/2$ 이면 다른 하나는 $-1/2$ 이어야 한다)까지만 들어갈 수 있다. 따라서 n, l, m 에 의해 결정되는 오비탈의 수는 n^2 개이기 때문에 주양자수가 n 인 오비탈에 허용되는 총 전자 수는 $2n^2$ 이다.

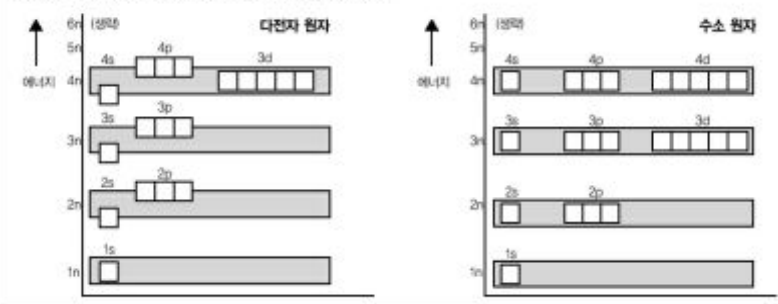
마지막으로 훈트의 규칙(Hund's rule)이다. 에너지 준위가 같은 몇 개의 오비탈에 전자가 들어갈 때는 각각의 오비탈에 1개씩의 전자가 배치된 다음 스핀이 반대인 전자가 들어가 쌍을 이루게 된다. 홀전자수가 많을 수록 전자들 사이의 반발력이 작아져 에너지가 낮아지기 때문이다.

이같은 규칙들을 염두에 두고 P의 바닥상태 전자배치를 도시해보자. P은 원자번호가 15이므로 15개의 전자를 갖고 있다. 따라서 전자배치는 $1s^2 \ 2s^2 \ 2p^6 \ 3s^2 \ 3p^3$ 이며, 마지막 3p 오비탈을 세분화하면 $1s^2 \ 2s^2 \ 2p^6 \ 3s^2 \ 3p_x^1 \ 3p_y^1 \ 3p_z^1$ 이 된다.

(그림 5) 수소 원자에서 전자의 에너지 준위



(그림 6) 수소 원자와 다전자 원자의 오비탈 에너지 준위 비교



▶ 심화 문제

- 1) ^{24}Cr 과 ^{29}Cu 의 바닥상태의 전자배치를 적고 설명하시오.
- 2) ^{26}Fe , Fe^{2+} , Fe^{3+} 의 바닥상태의 전자배치를 적고 설명하시오.

문제 7. 원자에 관한 기본 법칙으로는 질량보존의 법칙, 일정성분비의 법칙, 배수비례의 법칙 등이 있다. 돌턴의 원자설은 이들 법칙을 설명하기 위해서 제안됐다. 원자설에 대해 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

돌턴의 원자설이 갖는 의미와 한계를 파악할 수 있다.

▶ 해설 및 모범답안

돌턴의 원자설은 다음과 같다.

- 1) 모든 물질은 더이상 쪼갤 수 없는 원자로 구성된다.
- 2) 같은 원소의 원자들은 크기·모양·질량 등이 같다.
- 3) 화학변화시 원자들은 새로 생기거나 소멸되지 않는다.
- 4) 화합물은 서로 다른 원자가 정수비로 결합돼 만들어진다.

질량보존의 법칙은 2와 3을 통해, 일정성분비의 법칙은 3과 4를 통해 설명할 수 있다. 그러나 원자설로는 기체반응의 법칙을 설명할 수 없었다. 이는 원자설의 첫번째 가설인, 원자는 더이상 쪼개지지 않는다는 것에 위배되기 때문에 아보가드로의 분자설이 도입되는 결과를 낳았다.

그러나 현재 이 원자설 중 일부는 수정될 필요가 있다. 원자는 더이상 쪼개질 수 없는 입자가 아니라 더 쪼개져서 양성자, 중성자, 전자가 되며, 더 나아가 쿼크에까지 이른다. 또 동위원소가 발견됨으로써 같은 원소라고 하더라도 질량이 다른 형태가 존재함이 알려졌다.

게다가 핵융합과 핵분열과정을 통해 기존에 없던 원자가 새로 생성될 수 있다. 또한 반응 전에 있던 원자가 소멸될 수도 있다.

2003년 11월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 단원 출제 경향 및 대비 방안

이번 호에서는 화학원소들의 배열이라고 할 수 있는 주기율표에 담겨진 이야기들을 중심으로 살펴보고자 한다. 언제나 화학책의 첫장은 원소들이 빼곡하게 그려진 주기율표로 시작된다. 그만큼 주기율표는 화학을 이해하는데 필수적인 요소라고 할 수 있겠다. 주기율표를 채우고 있는 원소들의 독특한 성질들을 이해할 수 있다면, 화학반응의 기본을 이해할 수 있는 토대를 마련하는 것이다. 이번 호를 통해 현대화학의 근간인 주기율표가 만들어지게 된 배경부터 그것이 갖고있는 의미들을 이해하는 계기가 되길 바란다. 이번 호에서는 세권의 책을 소개하고자 한다.

문제 1. ‘1869년, 멘델레예프는 화학원소들에 대한 미해결 문제를 풀고 있었다. 이때까지 원소는 우주의 언어를 구성하는 알파벳으로 여겨졌고, 63개의 서로 다른 화학원소가 발견된 상태였다. 이것들은 선사시대부터 그 존재가 알려졌던 구리와 금을 필두로, 태양의 대기중에 존재한다고 새로 파악된 루비듐(Rb, 37번)까지 합쳐서 모두 63개였다. 각각의 원소들은 모두 다른 원자로 구성돼 있으며, 각 원소의 원자들은 그들만의 독특한 특성을 지니고 있었다. 그러나 몇몇 원소들은 분명치는 않으나 유사한 성질을 갖는 것으로 알려져 이 원소들끼리는 같은 군으로 분류했다. 또한 서로 다른 원소를 구성하는 원자들은 서로 다른 원자량을 갖는다는 사실도 이미 알려져 있었다. 과학자들은 질량과 성질에 기초를 둔 두 가지 방법 간에 어떤 연관성이 있으리라 생각하기 시작했고, 모든 원자들이 기초하는 숨겨진 구조와 분류 방법 간에 어떤 관계가 있을 것이라 믿었다.’

이 내용은 멘델레예프가 주기율표를 완성해 나가던 배경을 설명한 글이다. 고대의 원소설에서부터 멘델레예프가 완성한 주기율표에 이르는 과정을 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

주기율표의 완성 배경을 이해할 수 있다.

▶ 관련된 책 : 멘델레예프의 꿈

지은이 : 폴 스트레턴

출판사 : 몸과 마음

▶ 책 소개

화학이라는 학문이 세상에 태어나 발전의 토대를 닦을 때까지 화학의 기본이 되는 원소에 대해 인류가 보고, 느끼고, 이용하고, 연구해 온 이야기들을 흥미진진하게 그려놓은 책이다. 물질관에 대한 인류의 사고 변화를 읽을 수 있다. 화학을 전공하지 않은 사람이라도 흥미롭게 화학의 세계에 다가설 수 있게 도와줄 것이다.

▶ 해설 및 모범답안

만물의 근원에 대해 고민을 하던 사람으로 그리스 밀레토스학파의 시조인 탈레스가 있다. 그는 물이 생명을 위해 불가결한 것이며, 액체, 고체, 기체의 세가지 상태를 나타낸다는 것에서 추정해 물을 만물의 근원이라 생각했다. 그의 제자 중 아낙시메네스라는 사람은 탈레스의 견해에 의문을 제시하고, 근원적인 요소는 공기라고 생각했다. 그는 공기가 옅어지면 따뜻한 불이, 짙어지면 차가운 물이나 흙, 돌 따위가 생긴다고 봤다.

에페소스의 유명한 철학자인 헤라클레이토스는 만물의 근원이 불이라고 생각했다. 그에게 있어 세상은 흐름의 연속적인 상태였다. 그렇기에 불은 우주의 밑바탕이 되는 것 또는 질서를 이루는 것으로 생각됐고, 불은 변화되더라도 불 자체로 남아있는 것이다. 이는 오늘날의 에너지 개념과 비슷하다고 하겠다. 훗날 엠피도클레스는 물, 불, 흙, 공기가 만물의 근원이라는 4원소설을 제기했고, 이들에 의해 만물이 생성된다고 믿었다. 더 나아가 아리스토텔레스는 여기에 에테르까지 추가한 5원소설을 제기하기에 이르렀다.

중세에 이르러 연금술이 성행하면서 원소에 대한 관심이 커지고 많은 물질을 다루다보니 원소들이 하나씩 발견됐다. 1826년 베르셀리우스는 49종의 원소를 발표했다. 1844년 경에는 58종의 원소가 알려졌는데, 당시의 기술로서는 더 발견될 원소가 없다고 여겨졌다. 1860년까지 발견된 원소의 수에 큰 변화가 없다가 분젠과 키르히호프가 불꽃 반응과 분광기를 도입하면서 선스펙트럼의 관찰을 통해 세슘(Cs), 루비듐(Rb), 탈륨(Tl), 인듐(In)이 연속적으로 발견됐다.

원소들을 카드에 적어서 살펴보다가 멘델레예프는 원소와 카드게임 간의 유사성을 알아냈다. 페이지션스라는 카드놀이에서 카드는 모양과 숫자가 올라가는 순서에 따라 배열이 돼야 한다. 멘델레예프는 유사한 성질을 가진 군에 따라서 원소를 배열하는 패턴과 각각의 군에 속해 있는 원소들을 그 원자량에 따라서 배열할 때, 두 가지가 서로 유사함을 인식한 것이다.

문제 2. 멘델레예프는 이렇게 회상했다."나는 꿈속에서 모든 원소들이 정확히 있어야 할 위치에 자리잡고 있는 일람표를 봤다. 꿈에서 깨어나자마자 나는 즉시 그것을 기록했다." 그의 꿈에서 멘델레예프는 원소가 원자량 순서에 따라 나열되면 원소의 성질이 일련의 주기에 따라 반복된다는 사실을 깨달았다. 이런 이유로 그는 자신이 발견한 것을 '원소들의 주기율표'라고 명명했다.

멘델레예프의 주기율표가 이전에 나온 원소배열과 달리 의의를 갖는 점에 대해 설명하시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

멘델레예프 주기율표의 의미에 대해 이해할 수 있다.

▶ 관련된 책 : 멘델레예프의 꿈

▶ 해설 및 모범답안

처음으로 원소들을 과학적으로 분류한 사람은 라부아지에다. 원소의 산소반응생성물 성질에 따라 31가지의 원소들로 분류했다. 1826년에 베르셀리우스가 발표한 표에는 49종의 원소가 등장했고, 1844년경에는 58가지 원소가 알려졌으며, 분젠과 키르히호프가 불꽃반응과 분광기를 도입해 선스펙트럼을 관찰한 1869년에는 모두 62가지의 원소가 있었다. 1862년 프랑스 지질

학자 상쿠르투아는 원자량에 따라서 원소들을 원통에 비스듬히 돌아가면서 배열했는데, 원자량 16마다 한 바퀴를 돌게 하면 비슷한 성질을 가진 원소가 위아래로 근접하게 되는 것을 알아냈다.

멘델레예프는 화학적, 물리적 성질을 고려해 원자량 순으로 원소들을 배열했다(그림1).

그가 1869년 처음 주기율표를 발표할 때 바탕을 둔 것은 8가지 항에 이른다. 첫째, 원소들을 원자량에 따라 배열하면 주기성이 확실히 나타난다. 둘째, 화학적 성질이 유사한 원소들은 원자량이 유사하거나(백금(Pt), 이리듐(Ir), 오스뮴(Os)) 규칙적으로 증가한다(칼륨(K), 루비듐(Rb), 세슘(Cs)). 셋째, 원자량이 증가함에 따라 원자기도 증가한다. 넷째, 자연계에 넓게 분포돼 있는 원소들은 원자량이 작고 성질이 뚜렷한 대표적인 원소들이다. 다섯째, 원자량의 값이 원소의 성질을 결정한다. 여섯째, 여러개의 새로운 원소의 발견이 예상된다. 예를 들면, 알루미늄(Al)과 유사한 원자량이 68인 원소와, 실리콘(Si)과 유사한 원자량 70인 원소가 존재할 것이다(훗날 갈륨(Ga), 게르마늄(Ge)으로 밝혀졌다). 일곱째, 몇가지 원자량의 값은 수정될 것이다. 예를 들면, 텔루륨(Te)의 원자량은 128일 수 없고, 123과 126사이의 값을 가져야 한다. 여덟째, 주기율표는 원소들 사이의 과거에 생각하지 못했던 새로운 유사성을 보여준다. 이로써 화학이 기하학의 공리, 뉴턴의 물리학, 다윈의 생물학과 같은 과학의 범주에 들어갈 수 있게 된 것이다.

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ. ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

	Ti=50	Zr=90	?=180.
	V=51	Nb=94	Ta=182.
	Cr=52	Mo=96	W=186.
	Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,1.
	Fe=56	Ru=104,4	Ir=198.
	Ni=Co=59	Pd=106,8	Os=199.
	Cu=63,4	Ag=108	Hg=200.
H=1	Be=9,4	Mg=24	Zn=65,2
	B=11	Al=27,1	?=68
	C=12	Si=28	?=70
	N=14	P=31	As=75
	O=16	S=32	Se=79,4
	F=19	Cl=35,5	Br=80
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4
		Ca=40	Sr=87,6
		?=45	Ce=92
		?Er=56	La=94
		?Yt=60	Di=95
		?In=75,6	Th=118?
			Cd=112
			U=116
			Sn=118
			Sb=122
			Te=128?
			I=127
			Cs=133
			Tl=204.
			Ba=137
			Pb=207.

Д. Менделѣевъ

(그림1)

<그림2> 현재의 주기율표

1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	104	105	106												
Fr	Ra	Ac	Unq	Unp	Unh												

▶ 심화 문제

현재의 주기율표(그림2)는 멘델레예프의 주기율표와는 조금 다르다. 그 이유는 무엇이며, 그 이유가 갖는 의미는 무엇인가?

문제 3. 멘델레예프의 주기율표를 토대로 한 현대의 주기율표에서는 족과 주기에 따라 원소들이 규칙적으로 변하는 물리적 성질과 화학적 성질을 나타낸다.

- 1) 주기율표에서 원소들의 전자친화도, 이온화에너지와 전기음성도의 경향성을 설명하시오.
- 2) 주기율표에서 2족과 13족 그리고 15족과 16족으로 갈 때 이온화에너지가 감소하는데 그 이유를 설명하시오.
- 3) 주기율표에서 17족을 할로젠이라고 한다. 이 원소들의 전자친화도와 전기음성도의 경향성을 예측하고 그 이유를 설명하시오.
- 4) 할로젠화 수소의 상대적인 산의 세기를 설명하고 그 이유를 제시하라.

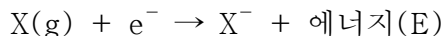
▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

주기율표에서 전자친화도, 이온화에너지, 전기음성도의 경향성을 설명할 수 있다.

▶ 관련된 책 : 멘델레예프의 꿈

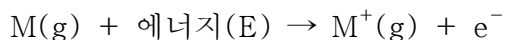
▶ 해설 및 모범답안

- 1) 전자친화도는 기체 상태에서 1몰의 원자가 전자 1몰을 받아들일 때 나타나는 에너지 변화로 정의한다.



전자친화도 값이 (+)이면 음이온이 될 때 에너지를 방출하며 그 값이 클수록 음이온이 안정하다. 전자친화도 값이 (-)이면 음이온이 될 때 에너지를 흡수해야 하므로 전자를 받아들이기 힘들다. 일반적으로 전자친화도는 주기율표에서 같은 주기에서는 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 증가하고, 같은 족에서는 위에서 아래로 갈수록 감소한다. 전체 주기율표 원소들 중 할로젠족이 가장 큰 전자친화도 값을 갖는다.

이온화에너지는 기체 상태에서 1몰의 원자에서 전자 1몰을 떼어내는데 필요한 에너지로, 핵과 전자 사이의 인력에 의해 결정된다.



이온화에너지가 작을수록 양이온이 되기 쉽고 이온화 에너지가 클수록 음이온이 되기 쉽다. 이온화에너지를 결정하는 요소들 중 핵의 전하, 핵과 전자 사이의 평균거리가 중요하다. 핵과 전자 사이의 인력이 내부 전자에 의해 약해지는 현상이 가리움 효과다. 이 값이 작을수록 이온화에너지는 증가한다. 일반적으로 같은 족에서는 원자번호가 증가할수록 전자껍질 수가 증가하므로 핵과 전자 사이의 거리가 멀어져 이온화에너지가 감소한다. 같은 주기에서는 원자번호가 증가할수록 원자의 양전하가 증가하므로 핵과 전자 사이의 인력이 증가해 이온화에너지도 증가한다. 같은 주기 원소의 제1이온화에너지는 원자번호가 증가할수록 증가한다. 또 제2이온화에너지는 제1이온화에너지보다 항상 높음을 알 수 있다. 이는 양이온 상태에서 전자와 원자핵 간의 인력이 원자 상태보다 더 강하게 이뤄지기 때문이다. 전기음성도는 공유결합 분자에서 원자가 공유전자쌍을 끌어당기는 정도로 정의하며, 전자친화도와 이온화에너지의 합과 유사한 경향성을 주기율표에서 나타낸다. 전기음성도의 세기는 같은 주기에서는 원자번호가 증가할수록 증가하고, 같은 족에서는 원자번호가 감소할수록 증가한다.

- 2) 예외적으로 2족에서 13족, 15족에서 16족으로 가면 오히려 이온화에너지가 감소한다. 그 이유는 2족에서 13족으로 갈 경우 2족의 원자가전자 배치는 ns^2 이며 13족은 ns^2np^1 가 된다. np오비탈은 ns오비탈보다 핵에서 멀리 존재하고 에너지 준위가 높기 때문에 p오비탈의 전자를 s오비탈의 전자보다 쉽게 떼어낼 수 있다. 그러므로 13족의 이온화에너지가 2족보다 낮다. 또한 15족에서 16족으로 갈 경우 15족은 ns^2np^3 의 안정한 원자가 전자배치를 갖고, 16족은 ns^2np^4 의 배치를 갖는다. 16족의 np오비탈에 존재하는 쌍을 이룬 두개 전자 사이의 반발력과 가리움 효과 의해 한 개의 전자를 쉽게 떼어낼 수 있기 때문에 16족 원소는 15족 원소보다 이온화에너지가 작다.
- 3) 할로젠 원소의 이름은 염을 만드는 물질이라는 그리스 언어에서 유래됐다. 할로젠 원소는 17족으로 F, Cl, Br, I 등이다. 7개의 최외각전자를 갖고 있어, 한 개의 전자를 얻어 옥텟규칙을 만족시켜 안정한 비활성 기체의 전자배치를 갖는 음이온이 되려는 경향이 강하다. 전자친화도를 살펴보면 할로젠 원소들 중에는 불소(F)가 가장 큰 전자친화도 값을 가질 것으로 추측된다. 그러나 실제로는 염소(Cl)가 가장 큰 전자친화도 값을 갖는다. 불소 이온(F^-)은 Ne의 전자배치를 갖고 염소 이온(Cl^-)은 Ar의 전자배치를 갖는다. 따라서 불소 이온은 염소 이온에 비해 작은 공간에 많은 전자가 존재하므로 전자들 사이의 반발력이 핵과 전자 사이의 인력보다 우세하다. 그러므로 전자친화도는 F보다 Cl이 더 크다. 할로젠 원소의 전자친화도는 $Cl > F > Br > I$ 의 순서가 된다. 주기율표에서 전기음성도는 전자친화도와 이온화에너지의 합과 유사한 경향성을 나타내고, 같은 주기에서는 원자번호가 증가할 수록 증가하고 같은 족에서는 원자번호가 감소할 수록 증가한다. 그러므로 할로젠 원소의 전기음성도는 $F > Cl > Br > I$ 의 순서가 된다.
- 4) 할로젠화 수소산(HF, HCl, HBr, HI)은 수소와 할로젠 원소 사이의 전기음성도 차이 때문에 극성 공유결합 화합물이다. 두 핵과 공유전자 사이에 작용하는 쿨롱 인력($F=k(q_1 \times q_2)/r^2$)을 살펴보면, $F < Br < Cl < I$ 의 순으로 할로젠 원소들의 반지름(r)이 증가하고, 양성자(H^+)와 할로젠 음이온의 하전량은 각각 +1과 -1이다. 수소와 할로젠 원소 사이의 인력은 결합 반지름에 의해 좌우되고 그 결합력은 $HF > HCl > HBr > HI$ 의 순서가 된다.
- 그러므로 할로젠화 수소산의 안정성은 $HF > HCl > HBr > HI$ 의 순서가 되고 산의 세기는 $HF < HCl < HBr < HI$ 순으로 나타나게 된다. 참고로 다른 측면에서 산의 세기를 설명하면 산의 세기는 수소이온(H^+)을 내놓은 그 짝염기 이온이 얼마나 안정한가에 의해 좌우된다. 음이온의 단위 면적당 전하 밀도를 고려해 보면 $F^- > Cl^- > Br^- > I^-$ 순서다. 단위 면적당 전하 밀도가 클수록 불안정하므로 할로젠 음이온들의 안정성은 $F^- < Cl^- < Br^- < I^-$ 순서가 되므로 산의 세기는 $HF < HCl < HBr < HI$ 순서가 된다.

문제 4. 주기율표에서 원소들은 크게 비금속과 금속으로 나뉘지며, 특히 금속원소들은 전이 원소와 전형원소 그리고 란타 및 악티늄족으로 나눌 수 있다.

- 1) 전이원소와 전형원소에 대해 설명하시오.
- 2) 전이원소가 다양한 원자가를 갖는 이유는 무엇이며, 전이원소가 이온이 되거나 착화합물을 형성했을 때 색깔을 띠는 이유는 무엇인지 설명하시오.
- 3) 원자번호가 29인 구리의 바닥상태 전자배치를 쓰시오.

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

주기율표를 구성하는 한 부분인 전이금속의 기본적인 개념과 전자배치를 이해할 수 있다.

▶ 관련된 책 : 자연과학의 세계

지은이 : 김희준

출판사 : 궁리

▶ 책 소개

흔히 나와있는 과학관련 서적들과는 달리 단순하게 지식을 전달하는 것이 아니라, 대화 형식을 통해 과학의 발전이 이뤄진 배경을 설명했다. 사고의 전개과정을 통해 사고력과 창의력을 키우는데 많은 도움이 될 것이다.

▶ 해설 및 모범답안

- 1) 주기율표 중 3족에서 11족 원소들로서 부분적으로 채워진 d오비탈 또는 f오비탈을 갖는 원소들을 전이금속이라고 정의한다. 전이금속의 특징은 같은 주기인 경우 족에 관계없이 원자가전자 수는 1-2개이므로 원소들의 성질이 비슷하다. 모두 금속이므로 열과 전기가 잘 통하는 양도체이며, 밀도가 크고 녹는점과 끓는점이 높다. 같은 주기에서 d오비탈의 전자수가 증가하면 전자들 사이의 반발력, 핵과 전자 사이의 인력이 증가하기에 원소들의 원자 반지름과 이온화 에너지가 비슷하다. 전이금속은 s오비탈과 d오비탈에 있는 전자가 결합에 관여하므로 다양한 산화수를 갖는다. 전이금속은 활성이 작아서 대부분 촉매로 많이 이용되며, 이온이 되거나 화합물을 형성하면 대부분 색깔을 띤다. 전이원소의 전자배치는 마지막 전자가 d오비탈이나 f오비탈에 채워지며 전이원소가 이온이 될 때는 s오비탈의 전자가 먼저 떨어지고 안쪽 껍질의 d오비탈 전자가 떨어진다. 전형원소는 전이원소를 제외한 대부분의 원소들이다.
- 2) 전이원소는 안쪽 전자껍질에 부분적으로 채워진 d오비탈 또는 f오비탈이 존재하는데, 이 안쪽 전자껍질의 전자도 원자가전자의 역할을 하기 때문이다. 원자 상태에서는 3d오비탈의 에너지가 모두 동일하지만, 이온이 되거나 화합물을 형성하면 3d오비탈의 에너지가 달라진다. 따라서 에너지가 낮은 3d오비탈로부터 에너지가 높은 3d오비탈로 이동할 때 가시광선을 흡수하므로 색을 띠게 된다.
- 3) 구리의 원자번호는 29번이다. 따라서 29개의 전자를 지난 호에서 살펴본 아우프바우의 축조원리(Aufbau principle), 파울리의 배타원리(Pauli's exclusion principle), 훈트의 규칙(Hund's rule)에 따라 오비탈에 배치해야 한다. 구리(29Cu)의 바닥상태 전자배치는 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^9$ 와 같을 것이라고 생각할 수 있다. 이는 축조원리와 파울리의 배타원리만을 고려한 것이다. 그렇지만 4s에 존재하는 전자 한 개는 3d오비탈로 이동하게 되는데, 이는 4번째 주기에 전자가 존재하는 것보다 3번째 주기에 전자가 존재하는 것이 핵에서의 거리가 더 가깝기 때문이다. 즉 전자를 채워나가는 데는 4s가 3d오비탈보다 에너지가 더 낮은 상태로 시작하지만, Cu처럼 하나의 오비탈을 완전하게 채우는 상태에서는 4s보다는 3d오비탈을 먼저 완전하게 채우는 것이다. 그래서 29Cu는 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^{10}$ 와 같은 바닥상태 전자배치를 갖게 된다.

문제 5. 화학을 이루는 분야 중에서 유기화학이라는 것이 있다. 이는 주기율표에서 원자번호 6에 해당하는 탄소를 중심으로 하는 화학이다. 오늘날 많이 발전한 분야지만, 알게 모르게 예전부터 이를 이용한 사례는 쉽게 볼 수 있다.

‘경남 합천에 있는 해인사에는 국보로 지정된 팔만대장경이 보관돼 있다. 경판이 보관돼 있는 장경각은 목판 보관에 필요한 온도, 습도, 통기 등의 균형이 이상적으로 조절돼 있다. 현대 건축기술로도 따라잡기 힘들만큼 정밀하게 만들어져 있어 불가사의한 건축물로도 손꼽힌다. 한 번은 문화재 보호의 일환으로 장경각에 있는 경판을 현대식 건물에 옮겨 보관한 일이 있었는데, 온도와 습도를 조절하는 항온항습기를 설치했음에도 불구하고 경판이 틀어지고 훼손됐다. 그래서 하는 수 없이 다시 제자리로 옮겨 보관하고 있다고 한다.’

장경각의 지하에서는 다량의 숯과 소금이 발견됐다고 한다. 이것이 갖는 의미는 무엇인가?

▶ 출제 의도와 구술 ADVICE

주기율표상의 6번에 해당하는 탄소의 효용을 문화 속에서 이해할 수 있다.

▶ 관련된 책 : 원소, 만물의 아이콘

지은이 : 최원호

출판사 : 도서출판 성우

▶ 책 소개

추상적으로 다뤘던 과학을 실제로 관찰할 수 있는 풍부한 예를 이용해, 그 예들이 어떤 과학적 배경을 갖고 있는지를 살펴볼 수 있게 해준다.

▶ 해설 및 모범답안

숯은 목재를 공기의 공급을 차단하고 가열하거나, 또는 공기를 아주 적게 해 가열했을 때 생기는 고체 생성물을 의미한다. 보통 우리나라에서는 축요제탄법이라는 방법으로 숯을 만들기도 하는데, 이는 숯가마를 쌓고 그 안에 목재를 넣어서 굽는 방법이다.

장경각을 지을 때는 숯을 깔면서 소금을 뿌리는 방법으로 기초를 다진 것이다. 숯 1Kg은 표면적이 약 3백m²로 무수한 구멍을 갖고 있다. 이 구멍들은 수분을 공급하고 저장하는 힘이 강하기 때문에 건물의 수분을 조절하기에 충분하다. 소금은 건물 기초의 물빠짐을 좋게 하고 숯의 수분 조절 기능을 도와준다. 숯의 환원성도 팔만대장경 보관에 큰 역할을 차지한다.

나무를 6백-9백℃에서 구운 숯은 탄소가 85%, 수분 10%, 미네랄 3%, 휘발성분 2%로 구성되며 표면에 작은 구멍이 수없이 나있다. 숯이 세균, 악취를 잘 빨아들이거나 해독작용을 하는 이유도 바로 이 구멍이 존재하기 때문이다. 이 구멍 속으로 물질이 들어가기 때문에 높은 흡착력을 갖는 것이다. 또 전자가 6개인 탄소로 구성돼 있지만, 다이아몬드처럼 강한 공유결합이 아닌 흑연과 같이 전자가 자유롭게 돌아다닐 수 있는 구조다. 따라서 자장을 형성해 음이온 상태로 있을 수 있기에 물질의 부패현상(산화작용)을 억제할 수 있다.

2003년 12월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 단원 출제 경향 및 대비 방안

이번 호에서는 11월호와 마찬가지로 구술면접에서 자주 출제됐던 문제들이 갖고 있는 원리를 이해하는데 도움이 되는 서적을 소개한다. 단순히 외우기만 했었던 내용들을 본 코너를 통해 원리부터 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 기출문제의 풀이와 관련해 소개되는 책들에는 생활 속에서 볼 수 있는 다양한 주변 현상들에 대한 예들도 많이 제시됐기에 한 번쯤 읽어봤으면 한다. 단, 기출문제와 관련된 풀이는 본문을 옮겨 두었다.

문제 1. 화학결합에 있어서의 근본원??무엇인가? 대표적 결합의 3가지 종류를 말하고, 그 중 한가지 결합의 특징을 예를 들어 설명하시오.(2003년 경희대 수시)

▶ 관련된 책 : 화학이 싫어지는 사람들을 위한 책(쉬운 화학 입문)

지은이 : 요네야마 마사노부 지음, 김범성 옮김

출판사 : 아카데미 서적



▶ 책 소개

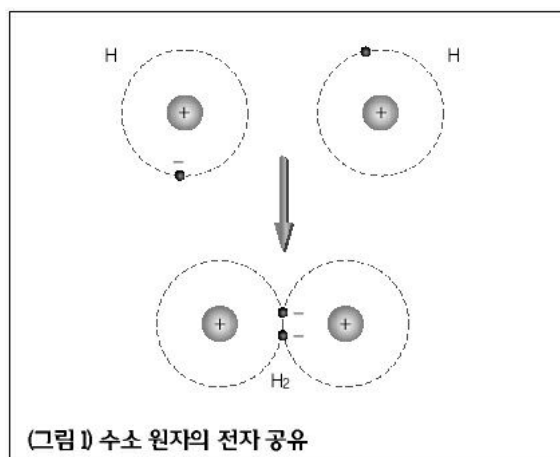
매년 수십만명의 학생들이 화학이라는 과학을 공부하고 있지만, 그 중의 상당수는 화학에 대한 기피증을 갖고 있다. 이런 학생들이 '좋아, 다시 한 번 화학에 도전해 보자'라는 생각을 가질 수 있도록 쓰여진 책이다. 우리에게 친숙한 예와 비유를 대화체로 설명하기 때문에 딱딱한 화학의 개념들을 소화하기 쉽게 도와줄 것이다. 책을 읽으면 화학이 '어려운' 과목이 아닌 '친근하고 재미있는' 과목으로 다가올 것이다.

▶ 본문 내용

| 제3장 원자의 나라 |

◇ 원자의 결합방법 1 : 부족한 것끼리는 무리를 이룬다(공유결합)

헬륨과 네온 원자는 수소원자와는 달리 쓸쓸함을 느끼지 않는 만족스러운 고독의 상태에 있어. 누군가를 바라보지 않고 혼자 있을 수 있는 거지. 그래서 이 무리를 불활성기체라고 해. 다른 것과 반응하는 일이 없기 때문에 절대 안전하지. 이 불활성기체 이외의 원자는 다른 원자와 접촉하면 결합해서 가능한 한 전자껍질의 구조를 불활성기체와 비슷하게 하려고 하지. 그리고 그러한 구조가 되면 안정적이고. 이것이 바로 화학의 비밀이야. 우주공간에 수소원자 한 개가 고독한 여행을 계속하고 있다고 하자.

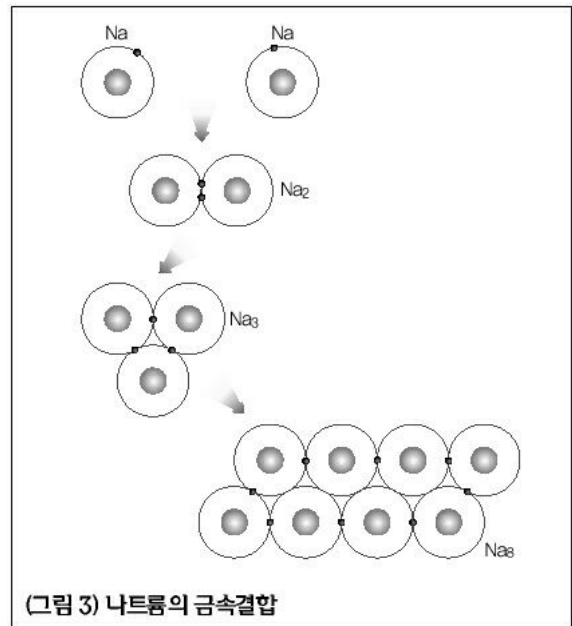


(그림 1) 수소 원자의 전자 공유

이 상태를 화학식으로 나타내면 H_2 지. 그런데 다른 1개의 수소와 만나면 서로 자신의 주위에 있는 전자가 상대의 주위를 돌도록 해서, 즉 2개의 전자를 서로 공유해서 전자껍질의 구조를 헬륨과 동일하게 하지(그림1). 서로 전자를 1개씩 내놓아서 전자쌍을 이루어 결합하는 원자와 원자간의 결합을 공유결합이라 해. 공유하는 전자가 2쌍이나 3쌍인 것도 있지. 지구상에서와 같은 물질 밀도 속에서는 안정적인 상태가 될 때까지 반응이 진행되기에 OH 같은 어중간한 화합물은 없다고 해도 좋아. 하지만 우주 공간에서는 이렇게 어중간한 화합물도 있을 수 있지.

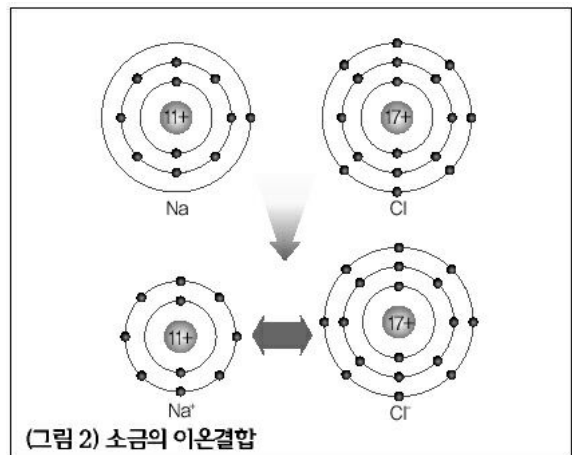
◇ 원자의 결합방법 2 : 주고받기(이온결합)

그런데, 그렇게 쌍을 이루지 않는 방법도 있어. 쌍을 이루는 경우는 전자를 필요로 하는 강도와 필요로 하지 않는 강도가 서로 같을 때야. 만일 한쪽은 필요로 하지 않는데 다른 한쪽이 반드시 필요로 하는 경우에는 쌍을 이룬다고 하기보다는 거래가 이루어진다고 생각할 수 있을 거야. 우리주변에서 흔히 볼 수 있는 소금, 즉 염화나트륨을 생각해 보기로 하자. 염화나트륨은 나트륨과 염소의 화합물이야. 나트륨 원자는 1개의 전자가 남고, 염소원자는 1개의 전자가 부족한 상태야. 그렇기에 나트륨은 전자 한 개를 잃어서 안정하게 되고(양이온), 염소는 전자 한 개를 얻어서 안정하게 돼(음이온)(그림2). 플러스와 마이너스의 전기의 인력으로 서로 잡아당기는 결합을 이온결합이라 해.



◇ 원자의 결합방법 3 : 금속원자들의 단단한 스크럼(금속결합)(그림3).

우선 우주 공간에서 1개의 나트륨 원자가 고독한 여행을 하고 있다고 하자(①). 3번째 전자껍질에 전자가 1개가 있기에 다른 나트륨 원자와 함께 갖게 돼(②). 그러나, 3번째 전자껍질은 8개의 전자로 채워져야 하기에 아직도 부족한 거야. 그렇기에 ③, ④번처럼 가게 돼. 그런데, ④처럼 되더라도 전자가 도는 전자껍질 1개의 원자핵 주위의 전자껍질로 정해진 것이 아니라, 처음에 속해 있던 원자핵과 떨어져 8개의 원자핵 주위를 자유롭게 돌아다니게 돼. 이를 자유전자라 하고, 공유결합과 다른 점이야.



문제 2. 철에 마그네슘을 연결하면 철이 부식되지 않는데 이는 산화반응인가, 환원반응인가? 그 이유는? 마그네슘 대신 나일론 끈을 이용하면 철은 어떻게 되겠는가? 그 이유는?(2002년 부산대 치의예)

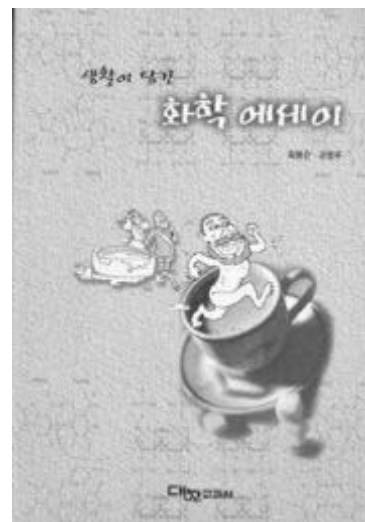
▶ 관련된 책 : 생활이 담긴 화학 에세이

지은이 : 최병순·강성주

출판사 : 대한교과서

▶ 책 소개

우리가 흔히 접할 수 있는 사물과 현상들을 화학 개념을 이용해서 쉽고 재미있게 풀어놓음으로써 사물을 보는 과학적인 눈을 갖도록 꾸며 놓았다. 이 책을 통해 자연 속에 숨어 있는 신비는 더이상 신비 그 자체로 남아있지 않고, 자연이 합리적이고 과학적으로 설명된다는 것을 깨달을 것이다.



▶ 본문 내용

◇ 녹이란?

철은 물과 산소가 있을 때 부식된다. 표면에 존재하는 철 원자는 물기가 있을 경우에 쉽게 이온으로 변하며 전자를 내놓는다. 이 전자는 산소와 만나서 철 이온이 산화철인 녹을 형성하는 것을 돕는다. 즉, 철이 녹스는 현상도 연료가 공기 중에서 연소하는 것과 마찬가지로 산화반응이다. 금속의 부식은 금속에 결함이 있으면 가속화된다. 또, 물에 소금을 넣으면 부식이 빨리 진행되는데, 이는 소금물이 전기를 잘 통하게 하기 때문이다. 추운 지방의 자동차가 더운 지방의 자동차보다 쉽게 녹스는 이유도 제설제에 소금과 같은 전해질 성분이 많이 있기 때문이다.

◇ 녹의 방지는?

부식을 방지하는 방법으로 금속 표면에 페인트를 칠하여 물과 산소의 접촉을 막는 방법이 있다. 또, 철보다 쉽게 산화하는 아연을 철의 표면에 입힐 경우에도 철의 부식을 방지할 수 있다. 아연이 공기에 노출되어 얇고 투명하며 단단한 산화아연층을 만들고, 이 층이 바로 공기와 물로부터 내부의 철을 보호하기 때문이다. 또다른 방법으로 음극화 보호가 있는데, 음극화 보호는 철 구조물에 아연이나 마그네슘처럼 이온화경향이 큰 금속을 연결하여 부식을 방지하는 방법이다.

◇ 녹슬지 않는 철

물에 녹슬지 않고 공기 중의 산이나 그 밖의 화학약품에 강한 특수 철을 스테인리스강(stainless steel)이라고 한다. 스테인리스강은 철, 크롬, 니켈을 녹여 만든 합금으로 우리 생활 주변에서 많이 볼 수 있다. 합금은 두 가지 이상의 서로 다른 금속이나 비금속을 녹여 만든 물질로서 본래의 금속과는 다른 성질을 가질 수 있기 때문에 그 용도가 다양하다.

문제 3. 수소를 방전시켜 스펙트럼을 얻는데 스펙트럼이 불연속적인 이유를 설명하라.(2002년 부산대)

▶ 관련된 책 : 김희준 교수와 함께하는 자연과학의 세계1

지은이 : 김희준

출판사 : 궁리

▶ 책 소개

흔히 나와있는 과학관련 서적들과는 달리 단순하게 지식을 전달하는 것이 아니라, 대화 형식을 통해 과학의 발전이 이뤄진 배경과 그 과정에서 이뤄지는 사고의 전개과정을 통해 이해하게 해준다. 사고력과 창의력을 키울 수 있게 하는데 많은 도움이 될 것이다.



▶ 본문 내용

광자 : 에너지의 양자화 중에서도 화학에서는 원자 내부의 전자에 에너지의 양자화가 아주 중요한 의미를 가지고 있다던데요.

보어 : 그렇고말고, 그런데 이야기를 하려면 수소의 선스펙트럼 이야기부터 시작해야 하네. 실제로 수소가 내는 빛을 보니까 빛이 분리되어 보이던가?

광자 : 네. 회절격자라는 얇은 필름을 기체 방전관과 눈 사이에 갖다 대니까 필름을 통해서 아주 멋진 선들의 배합을 볼 수 있었어요. 수소의 경우에는 빨강, 파랑, 남색 이렇게 세 가지 색의 선이 뚜렷하게 나타났어요. 남색 다음에 약한 보라색 선도 자세히 보면 볼 수 있었구요.

보어 : 선의 위치에 어떤 규칙성이 있던가?

광자 : 빨강과 파랑 사이의 간격이 제일 넓고, 파랑과 남색 사이는 좀 좁아지고, 남색과 보라는 거의 붙어있는 것 같았어요.

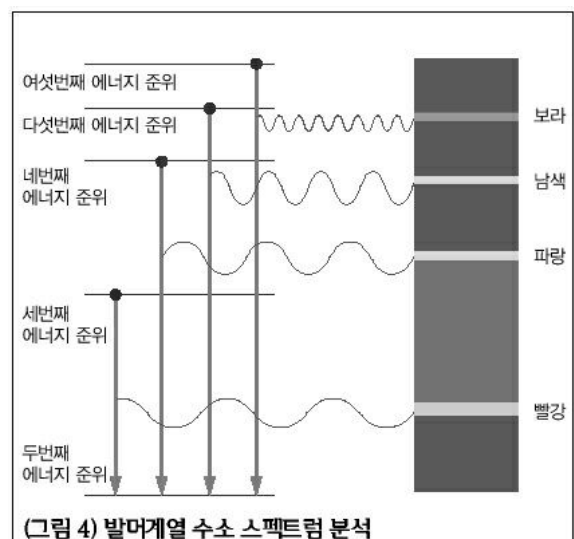
보어 : 가시광선 부분의 수소 스펙트럼을 발머계열(Balmer series)이라고 부르는 것은 알고 있겠지? 자외선 영역에는 라이먼계열(Lyman series), 적외선 영역에는 파셴계열(Paschen series)이 있고.

광자 : 보어 선생님은 발머계열의 수소 스펙트럼을 양자론을 도입해서 설명하고 리드베리 상수의 값을 전자의 전하, 질량 등 다른 값으로부터 유도해내셨지요? 그게 1913년이었던가요? 그 배경을 좀 말씀해주시지요.

보어 : 러더퍼드는 원자핵 주위를 전자가 행성들이 태양 주위를 돌듯이 돌고 있다고 생각했는데, 당시에는 핵에 들어있는 양전기를 띤 입자가 양성자라는 것도 몰랐고 물론 중성자는 더더구나 몰랐지. 아무튼 양전기를 띤 원자핵 주위를 돌고 있는 전자의 상태를 이해하는데 심각한 문제가 도사리고 있었어.

광자 : 심각한 문제라뇨?

보어 : 당시 물리학의 지식에 의하면 원자핵 주위를 회전 운동하는 전자는 전자파를 내면서 점차 에너지를 잃고 급기야는 양전기를 띤 원자핵으로 끌려 들어가게 되어 있던 말이야. 그렇다면 안정한 원자라는 것이 있을 수 없다는 말인데 우리 주위의 세계는 틀림없이 안정한 원자의 세계이거든.



광자 : 파인만 교수도 물질세계는 원자의 세계라는 점을 강조하셨지요. 그런데 그 문제는 어떻게 해결되었나요?

보어 : 우선 원자핵 주위를 원운동하는 전자의 각운동량이 양자화되어 있다, 다시 말해서 플랑크 상수의 정수배 값만을 가질 수 있다는 가정을 했지. 그랬더니 전자의 에너지는 불연속적인 값만을 가질 수 있다는 결론이 얻어졌어. 마치 전자를 책꽂이의 선반 위에만 올려놓을 수 있지 선반 사이에는 놓을 수 없듯이 말이야. 그 다음에는 어느 전자가 에너지를 받아서 높은 에너지 준위로 올라갔다가 다른 낮은 에너지 준위로 내려올 때 그 에너지 차이는 빛으로 나온다는 가정을 했어(그림4).

문제 4. 얼음의 밀도가 물의 밀도보다 크다면 어떠한 일이 일어나겠는가?(서울대 의예과 2001)

▶ 관련된 책 : 달콤한 물을 마시다!(선생님도 놀란 과학 뒤집기2)

지은이 : 최원호

출판사 : 도서출판 성우



▶ 책 소개

우리 주변에 있는 대부분의 물질들은 일반적인 상황(표준상태)에서 특정한 형태를 갖는다. 즉 고체, 액체, 기체 중의 한 형태로 존재한다는 것이다. 그렇지만 세가지 상태로 모두 존재하는 것이 있는데 바로 물이다. 지금껏 단편적으로 익혔던 물에 관한 이야기들에 실험적으로 다가설 수 있도록 도와줄 것이다.

▶ 본문 내용

◇ ‘빙산의 일각’ 속에 담긴 비밀

물은 보통의 온도와 압력에서 물질의 세 가지 상태를 다 가질 수 있는 유일한 물질이다. 고체, 액체, 기체로 형태가 변하는 동안 빙하, 바다, 구름 등 다양한 모습을 연출한다. 물이 상전이를 할 때는 숨은 열이 관여한다. 0℃의 얼음 1g이 물로 바뀌는데는 약 80cal의 열이 필요한데, 이는 0℃의 물 1g을 100℃로 만드는데 필요한 열량이 100cal임을 감안한다면 매우 크다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 물의 특이한 화학결합 때문이다. 물은 산소원자 한 개에 그보다 작은 수소원자 2개가 결합돼 이루어져 있다. 물분자는 V자 모양으로 그 꼭지점에 산소가 위치하고, 양끝에 수소 2개가 위치해 있다. 그런데 물분자는 산소가 수소 전자를 끌어당기는 힘이 강해, 부분적으로 수소원자 쪽은 양전기를 띠고 산소원자 쪽은 음전기를 띤다. 이웃의 다른 물분자들도 이와 같아서 한 물분자의 산소와 다른 물분자의 수소가 서로 끌어당기게 되는데, 이러한 분자간의 결합이 수소결합이다. 수소결합이 물분자들을 서로 끌어당겨 모아주기 때문에 물은 쉽게 증발해 버리지 않고 액체로 남아 있을 수 있다. 만일 수소 결합이 없다면 물분자는 기체로 뿔뿔이 흩어져, 지구상에는 액체 상태의 물을 발견하기 힘들 것이다.

물은 고체가 액체 위에 뜨는 특이한 물질이다. 즉 액체일 때보다 고체일 때가 밀도가 낮은 거

의 유일한 물질인 것이다. 얼음이 물에 뜨는 것도 수소결합 때문이다. 물이 온도가 낮아져서 얼음으로 변할 때 수소결합은 분자들을 더욱 단단히 붙잡아 고체를 형성한다. V자형의 꼭지점에 있는 산소원자는 원래 2개의 수소결합을 만들 수 있다. 때문에 다른 물분자들의 수소를 끌어당겨 산소원자 1개에 4개의 수소분자가 달라붙는 형국이 된다. 물분자들이 이런 식으로 얹히고 설켜 물은 액체로 있을 때보다 얼음이 될 때 부피는 더욱 커지고 밀도는 낮아진다. 물은 4℃일때 부피가 가장 작고, 이보다 온도가 낮아지면 오히려 부피가 커진다. 얼음이 되면 액체 상태일 때보다 약 10분의 1쯤 부피가 커지기 때문에 빙산이 바다 위로 10분의 1만 그 모습을 내보이고 있는 것이다. 따라서 빙산이 있는 곳을 향해하는 배들은 물 속에 숨어있는 나머지 10분의 9에 주의를 기울여야 한다.

문제 5. 0.1M HCl 한방울(약 0.05mL)속에 존재하는 염소이온(Cl^-)의 개수는?(서울대 자연과학부 기초과학계)

▶ 관련된 책 : 알고 보면 쉬운 화학반응식

지은이 : 요네야마 마사노부 지음, 송성호 옮김

출판사 : 이지북

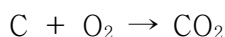
▶ 책 소개

과학은 좋아하면서도 외우는 건 질색이라서 화학이라는 과목을 꺼리는 사람들이 있다. 이 책을 통해 통째로 외우지 않고서도 분자식이나 반응식의 원리를 알아갈 수 있다. 만화나 이야기책처럼 부담 없이 접근해 화학에 흥미를 갖도록 해줄 것이다.



▶ 본문 내용

◇ 물이란?



12 : 32 : 44

문제 1 : 탄소 12g에서 생기는 이산화탄소는 몇g인가?

"이것으로 알겠지만 화학 반응식을 알면 원자량과 분자량을 이용해서 그 화학 반응에 관계하는 물질의 양을 계산할 수 있게 되다네. '몰'(mol)이란 개념을 공부해 보도록 하세. 위의 식에서 더 나아가 C 12g, O₂ 32g을 단위로 사용하면 더 편하지 않을까?

	탄소	산소
1입자 무게의 비율	12	32
2입자 무게의 비율	12×2	32×2
3입자 무게의 비율	12×3	32×3
⋮	⋮	⋮
n입자 무게의 비율	12n	32n

자, 이렇게 생각해 보세. 이렇게 n을 점차 늘려가서 N개라고 하는 어떤 수에 이르렀을 때, N

개의 탄소원자 무게가 12g, N개의 산소 원자 무게가 32g으로 되는 것을 생각할 수 있겠지?"

"아, 그럼 어떤 물질의 무게가 원자량과 분자량에 g을 붙인 만큼이 될 때 그 물질 속의 원자나 분자의 개수를 N개라고 한다는 거군요."

"그렇지, 바로 그거라네. 원자량과 분자량은 무게의 비율이니까 단위는 아니지. 원자량이 12인 탄소라고 해도 실제 탄소 원자가 얼마만큼의 양인지는 알 수 없지. 하지만, 탄소 12g이 있다고 하면 그 양이 확실하게 눈에 보이지 않겠나? 결과만을 말한다면 $N=6.02 \times 10^{23}$ 개라하고, 이를 화학의 세계에서는 1몰(mol)이라고 부른다네."

"그러면 몰이라는 것은 원자와 분자의 수를 맞춘 단위이지 무게 그 자체의 단위는 아니군요."

"그렇다네. 화학반응은 입자와 입자 사이에 이루어지는 반응이니까, 입자의 수를 기본으로 생각하면 편리하지. 물질의 입자 수와 무게를 관련지어 고안해낸 것이 바로 원자량과 분자량이지."

문제 2 : 숯 100g을 연소시켜 생기는 이산화탄소의 양을 조사했더니 352g이었다. 이 숯의 순도는 몇 %인가?

352g의 이산화탄소는 8몰, 8몰의 이산화탄소를 얻기 위해서는 탄소도 8몰이 있어야 하기에 96g의 탄소가 100g의 숯에 있기에 순도는 96%이다.

문제 3 : 한잔의 물(180ml)에 설탕($C_{12}H_{22}O_{11}$) 10g을 녹인 설탕물 속에는 물 몇 분자 사이에 설탕 분자 1개가 있을까?

2004년 01월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

●●새해가 시작되는 달인 1월은 각 대학이 입시로 분주할 때입니다. 이번호에서는 화학의 여러 단원들 중에서도 자주 출제됐던 원자와 주기율, 화학결합과 물질의 상태, 화학반응에 대해 다뤄보고자 합니다. 관련단원들은 특히 기출문제를 중심으로 살펴봤으며, 기출문제를 바탕으로 좀더 깊이있게 복습을 해둔다면, 곧이어 있는 구술면접에서도 좋은 결과를 얻을 것입니다. 더 나아가 이번호에서는 모두 다루지 못했지만, 물과 관련된 현상들, 산-염기 반응, 용액의 특성들도 관심있게 살펴보시기 바랍니다.

1. 원자의 세계 : 모든 물질은 기본적인 성질을 나타내는 분자들로 구성돼 있다. 또한 분자는 원자로 구성되며 이 원자들의 다양한 조합으로 서로 다른 특성을 띠게 된다. 원자의 특성을 나타내는 구조와 성질을 고려해 아래 물음에 답하시오.

1) 원자는 어떻게 구성돼 있는지 말하시오.(2004년 숙명여대 1학기 수시)

▶ 전문가 클리닉

물질을 구성하고 있는 가장 기본적인 요소는 바로 원자입니다. 그렇기에 매년 각 대학에서는 원자와 관련된 질문을 던지곤 합니다. 원자의 구성요소라든지 각 구성요소들의 발견 배경에 관한 질문들, 돌턴의 원자설 등과 같이 다양한 형태로 묻곤 합니다. 얼핏보면 원자와 관련된 질문은 단순히 암기력을 평가하는 것이라고 생각할 수도 있지만, 원자의 구조를 이해하는 것이 화학의 첫걸음이기 때문에 이런 질문은 계속 나올 것입니다. 2004년 숙명여대 수시와 관련된 질문도 원자의 구성요소에 대한 것입니다. 원자와 관련된 질문들에 대해서는 단순히 구성요소만을 답변하는 것보다 주기율표에서 드러나는 원소의 표현 형태를 바탕으로 각 구성요소를 설명하는 것이 더 좋습니다. 그리고 각 구성요소들이 갖는 특징적인 의미들, 예를 들어 전자는 화학결합과 밀접한 연관이 있다는 것과 같은 내용도 언급해 준다면 더 좋은 인상을 남길 것입니다.

▶ 예시답안

원자는 크게 원자핵과 전자로 구성돼 있으며 원자핵은 양성자와 중성자로 나눌 수 있습니다. 양성자는 (+1)개의 전하를 띠고 중성자는 전하를 띠지 않는 중성입자이며, 전자는 (-1)개의 전하를 띠므로 전체적으로 원자는 전기적 중성상태입니다. 양성자의 질량은 전자 질량의 1천8백36배이고 중성자의 질량은 전자의 1천8백39배이기 때문에 실제 원자의 질량은 전자의 질량을 무시하고 양성자와 중성자의 개수에만 의존하게 됩니다. 양성자의 개수와 전자의 개수는 동일하고 중성자의 개수가 달라서 그 질량이 다르게 나타나는 원소를 동위원소라고 합니다. 원소를 나타내는 방법으로는 주기율표에 표현된 방법을 주로 이용합니다. 원소 기호의 왼쪽 아래에는 원자번호를 적으며(이는 원자가 갖는 양성자의 개수와 동일), 왼쪽 위에는 질량수를 적는데, 이 값은 양성자와 중성자 개수의 합이 됩니다. 오른쪽 위에는 전하량을 적습니다. 단 전하량은 원자가 이온이 됐을 경우에만 적고, 오른쪽 아래에 적는 원자수 비도 원자가 분자로 존재할 경우에만 사용하기 때문에, 일반적으로는 질량수와 원자번호만을 기록하게 됩니다.

참고로 원자핵에 양성자와 중성자가 뭉쳐있을 수 있게 하는 힘을 강한 핵력이라고 합니다. 이

런 힘을 존재하게 하는 입자를 중간자라고 하고 그 질량은 전자의 약 2백배에 해당됩니다. 최근에는 양성자나 중성자들도 더 쪼개져서 새로운 입자들로 구분되는데, 이런 입자들을 쿼크라고 합니다.

▶ 추가문제

- 1) 원자를 구성하는 요소들의 발견 배경에 대해 설명하시오.
- 2) 원자핵의 구성요소 중 하나인 중성자의 존재이유는 무엇인지 설명하시오.
- 3) 원자세계에서 질량과 크기 중 어느쪽이 더 기본적인가?(2001년 서울대 기초과학계)

2. 주기율표의 의미

- 1) 주기율이란 무엇이며, 왜 나타나는가?
- 2) 이온화에너지란 무엇이며, 주기율표에서는 어떤 경향성을 보이는지 설명하시오.
- 3) 주기율표의 한 구성요소인 전이원소란 무엇인지 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

언제나 화학책 앞은 주기율표로 시작됩니다. 1백10여종에 이르는 원소들이 빼곡이 적혀있는 주기율표를 보는 순간 화학에 진저리를 치는 학생들도 많을 것입니다. 그렇지만 원소들의 모임인 주기율표는 원소들이 갖는 특징적인 성향들을 종합적으로 설명하고 있습니다. 원자들의 크기, 화학적 성질, 전자친화도, 전기음성도 등 화학결합과 연관지어 생각해볼 수 있는 것들을 모두 포함하고 있습니다. 그렇기에 주기율표를 제대로 이해한다면 화학결합이 그렇게 형성될 수밖에 없다는 것뿐만 아니라, 화학이라는 학문분야를 기초적으로 이해할 수 있습니다. 1)에서는 주기율의 의미를 간략하게 설명할 수 있어야 하며, 2)에서는 주기율표에서 볼 수 있는 원자들 간의 성향을 조리있게 설명해야 합니다. 3)에서는 촉매로서 많이 사용되는 전이원소의 정의와 그들만이 갖는 독특한 성질을 설명하면 좀더 좋은 답변이 될 것입니다.

▶ 예시답안

1) 원소를 원자번호 순으로 나열할 때, 물리적·화학적 성질이 비슷한 원소들이 주기적으로 나타나는데 이를 주기율이라고 합니다. 원자가전자의 수가 같은 원소는 물리적·화학적 성질이 비슷한데, 주기율은 바로 이 원자가전자 때문에 나타나는 것입니다.

2) 이온화에너지란 기체 상태의 원자 1몰로부터 전자 1몰을 떼어내는데 필요한 에너지로, 핵과 원자가전자 사이의 인력에 의해 결정되므로 주기성을 갖습니다. 금속은 이온화에너지가 작아 양이온이 되며, 비금속은 이온화에너지가 큰 원소이기에 음이온이 되기 쉽습니다.

같은 주기에서는 원자번호가 증가할 수록 원자핵 내의 양성자가 증가하기에 이온화에너지가 증가하게 됩니다. 반면 같은 족에서는 원자번호가 증가할 수록 전자껍질 수가 하나씩 증가해 반지름이 커지기에 이온화에너지는 감소합니다(그림1).

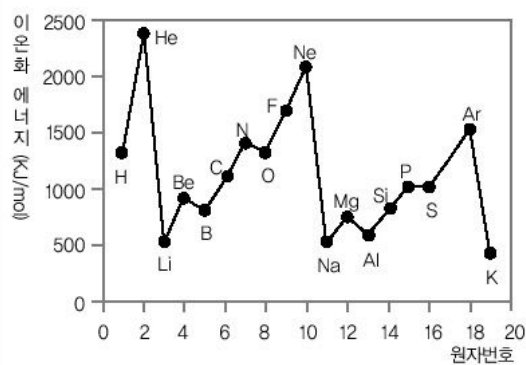
같은 주기 원소의 제1이온화에너지는 원자번호의 증가에 따라 증가하는데, 3족(3B)과 6족(6B)에서는 오히려 감소하는 것을 볼 수 있습니다. 이는 훈트의 규칙(홀전자가 많을 수록 더 안정한 전자배치 상태)에 따르기 때문입니다. 2족(2A)은 ns^2 상태, 3족(3B)은 ns^2np^1 상태이기

에 ns오비탈에 비해 np오비탈은 에너지 준위가 높고, 원자핵과의 평균 거리가 더 멀기 때문에 떼어내기가 쉬운 까닭입니다. 또 5족(5B)은 ns^2np^3 , 6족(6B)은 ns^2np^4 으로, np오비탈에 들어있는 2개의 전자는 반발력에 의한 가리움 효과 때문에 한 개의 전자를 쉽게 떼어낼 수 있습니다.

3) 전이원소란 부분적으로 채워진 d 또는 f오비탈을 갖고 있으며, 족에 관계없이 1-2개의 원자가 전자를 가져 같은 주기의 원소 간에는 성질이 비슷한 원소를 뜻합니다.

전이원소의 전자배치는 원자가전자가 ns²에 채워진 후에 안쪽 껍질(n-1)의 d오비탈에 전자가 채워집니다. 이들 중 6A와 1B족 원소는 원자가전자가 1개씩인데 이는 훈트의 규칙에 따라 더 안정한 전자배치 상태를 가지려는 경향 때문입니다. 장주기형 주기율표에서 3A-1B족 원소들에 해당하며, 활성이 작은 중금속이기에 자연계에서는 대체로 희토류 물질로 존재합니다. 전형원소와는 달리 최외각전자와 안쪽껍질의 d전자가 원자가전자 역할을 하기에 다양한 산화수를 갖습니다. 착이온이나 착화합물을 만드는 것이 많으며, 이온상태에서는 색을 띠는 것이 많고, 화학반응에서 촉매로 작용하는 것이 많습니다.

(그림 1) 주기와 족에 따른 이온화에너지의 변화



▶ 추가문제

- 1) 주기율표의 분류기준을 말하시오.(2001년 서울대 공대 응용화학부)
- 2) 할로젠 원소에 대해 설명하시오.(2001년 서울대 공대 응용화학부)

3. 화학결합이란?

- 1) 화학결합에 있어서의 근본원리는 무엇인가? 대표적 결합 3가지를 말하고, 그 중 한가지 결합의 특징을 예를 들어 설명하시오.(2003년 경희대 수시)
- 2) 전기음성도, 결합의 극성, 분자의 극성에 대하여 설명하시오.(2004년 성균관대 1학기 수시)

▶ 전문가 클리닉

우리가 숨을 쉴 때는 산소를 들이마시고, 이산화탄소를 내뿜습니다. 좀더 자세히 알고 있다면 혈액에 존재하는 적혈구 내부의 헤모글로빈이 호흡과정에 관여한다는 사실을 설명할 수 있을 것입니다. 물론 기체 간의 분압에 의해 기체의 이동이 있지만, 일산화탄소 같은 경우에는 미량이 있어도 호흡과정에 영향을 미치게 됩니다. 그 이유는 각 기체가 헤모글로빈과 결합하는 힘이 다르기 때문입니다. 우리 몸을 비롯한 화학의 세계는 다양한 원소들로 이뤄져 있습니다. 그리고 이런 원소들의 다양한 배열이나 결합들로 인해 서로 다른 모습으로 존재합니다. 그래서 결합의 의미와 종류에 대한 문제는 지속적으로 출제되는 분야입니다. 1)에서는 화학결합의 형태분류를 중점적으로 묻는 것이며, 2)는 그 중에서도 특히 공유결합과 관련된 답변을 원하는 것입니다. 각 결합이 갖는 독특한 성향과 특징을 파악해 두는 것이 필요하지 않을까요?

▶ 예시답안

- 1) 원자들 간에 일정한 규칙에 따라 결합하는 것을 화학결합이라고 합니다. 원소들 사이의 결합인 화학결합은 크게 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 구별할 수 있습니다. 화학결합의 종류는 결합에 참여하는 원소의 종류에 따라 결정할 수 있으나, 이들 결합은 모두 화학결합에 참여한 원소의 최외각전자의 개수를 8개로 만족시킨다는 공통점을 지니고 있습니다. 즉 결합의 종류에 따라 방법에는 차이가 있으나 화학결합 결과 결합에 참여한 원소들의 대부분은 비활성 기체의 최외각전자 개수와 같이 가장 바깥쪽 전자껍질을 8개의 전자로 채운다는 것입니다. 이를 옥텟 규칙이라고 합니다. 그렇다면 각각의 결합을 옥텟 규칙을 만족하는 방법에 따라 구분해 보겠습니다.

첫째, 이온결합은 전기음성도가 작은 금속원소와 전기음성도가 큰 비금속원소 사이에 이뤄지는 결합입니다. 이때 비금속원소와 금속원소의 전기음성도는 큰 차이가 있으므로 비금속원소는 금속원소의 전자를 빼앗아 음이온이 되고, 반대로 금속원소는 전자를 잃고 양이온이 됩니다. 즉 두 원소 사이의 큰 전기음성도 차이에 의해 전자가 일방적으로 이동함으로써 비금속원소와 금속원소의 최외각전자의 개수가 8개로 만들어지게 됩니다. 이처럼 양이온과 음이온이 형성된 후에 양전하와 음전하 사이의 정전기적인 인력에 의해 강한 이온결합이 형성되는 것입니다.

둘째, 공유결합은 전기음성도가 큰 비금속원소끼리의 결합입니다. 비금속원소의 경우 금속원소에 비해 이온화에너지가 크므로 전자를 받아들여 옥텟 상태가 되려고 합니다. 그러나 원소들 사이에 전기음성도 차이가 크지 않으므로 이온결합에서처럼 전자를 얻어오기 어렵습니다. 따라서 각각의 비금속원소가 지닌 홀전자를 두 원소가 서로 공유하는 방식으로 부족한 전자를 채우고 옥텟 규칙을 만족시키게 됩니다.

셋째, 금속결합은 전기음성도가 작은 금속원소 사이의 결합입니다. 금속원소들은 이온화에너지가 매우 작아 전자를 잃고 금속 양이온이 되기 쉽습니다. 따라서 각 금속원소들은 전자를 잃어 양이온이 되는 방식으로 옥텟 규칙을 만족시키며 금속원소로부터 떨어져 나온 전자들은 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동하게 됩니다. 이렇게 형성된 금속 양이온과 자유전자 사이에 작용하는 인력으로 인해 강한 금속결합이 형성됩니다.

- 2) 분자에서 원자가 공유전자쌍을 끌어당기는 능력을 전기음성도라고 하며, 같은 주기에서는 원자번호가 증가할 수록 전기음성도가 증가하며, 같은 족에서는 원자번호가 증가할 수록 전기음성도가 감소합니다. 전기음성도는 원자핵이 갖는 양성자의 수, 원자반지름과 밀접한 연관을 갖게 됩니다. 일반적으로 두 결합하는 원자 간 전기음성도가 차이가 나면 결합을 형성할 때 극성결합이 되고, 종류가 같은 두 원자 간의 결합처럼 전자의 치우침이 없으면 무극성결합이 됩니다. 전기음성도가 큰 쪽이 (-)를 띠게 되고 극성이 커질수록 이온결합적인 성질이 나타납니다. 전기음성도의 차가 1.7 이상이면 이온성 결합이 우세하고, 1.7보다 작으면 공유성 결합이 우세합니다. 더 나아가 극성공유결합의 경우 분자의 입체구조에 따라 무극성분자와 극성분자로 나뉘게 됩니다. 극성분자에서 전자쌍의 치우침으로 인해 생긴 부분적인 전하(+, -)를 쌍극자 또는 이중극자라고 합니다. 극성분자는 전기장·자기장 속에서 끌리거나 회전하며, 극성용매에 잘 녹고 분자량이 비슷한 무극성분자보다 끓는점과 녹는점이 높습니다.

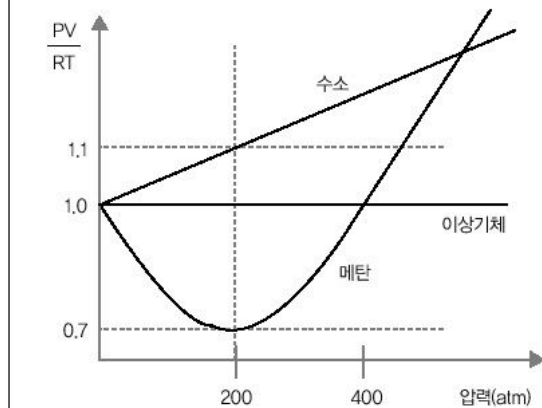
▶ 추가문제

1) 금속결합 물질은 고체상에서도 전기를 잘 흐르게 하지만, 이온결합 물질은 그렇지 못하다. 그 이유는 무엇인가?

4. 기체의 세계

높은 압력하에 있는 실제기체는 이상기체와는 달리 PV/RT 값이 일정하지 않다. 아래 그림은 27°C에서 수소와 메탄기체의 PV/RT (y축)와 압력(x축)의 관계를 나타낸 것이다. 1몰의 이상기체의 경우는 압력이 증가해도 PV/RT 는 항상 1이다. 아래의 물음에 답하시오.(P : 압력, V : 기체분자 1몰의 부피, R : 기체상수, T : 절대온도)(단, 기체상수 값은 계산의 편의를 위해 $0.08\text{L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)(2003년 한양대 2학기 수시)

(그림 2) 수소와 메탄의 압력과 $\frac{PV}{RT}$ 값 비교(27°C)



1) 2백기압(atm)에서 이상기체 1몰의 부피와 이상기체 분자 10개가 차지하는 부피를 각각 계산하시오.

2) 2백기압(atm)에서 수소 분자 10개, 그리고 메탄 분자 10개가 차지하는 부피를 각각 계산하시오. 그리고 그 계산값이 서로 다른 이유를 설명하시오.(그림2)

▶ 전문가 클리닉

우리 주변의 모든 물질은 세가지 상태 중의 하나로 존재합니다. 바로 고체, 액체, 기체입니다. 그 중 한 형태인 기체는 어느 한 모양으로 정의할 수 없으며, 상당히 유동적인 상태입니다. 기체와 관련된 법칙들이 여럿 있는데, 보일의 법칙, 샤를의 법칙이 그 예입니다. 그 중에서도 가장 중요하게 언급되는 것이 기체분자운동론을 바탕으로 하는 이상기체 상태방정식입니다.

비록 이상기체 상태방정식은 실존하는 기체가 아닌 이상적인 기체를 바탕으로 하지만, 이를 통해 많은 결과들을 얻어낼 수 있었습니다. 그렇기에 이상기체 상태방정식을 기본적으로 알아둬야 합니다.

1)은 이상기체 상태방정식을 통해서 원하는 결과를 계산해 얻을 수 있는가를 묻는 것입니다.

2)는 이상기체 상태방정식이 유용하게 쓰이면서도 왜 실제기체에서는 적용되지 않는다고 하는지를 알아보는 계기가 될 것입니다. 이를 통해 이상기체 상태방정식이 갖는 한계가 무엇이고, 좀더 나은 방법은 무엇일까 고민해 보는 계기가 됐으면 합니다.

▶ 예시 답안

1) $PV = nRT$ 라는 이상기체 상태방정식에서 부피 $V = \frac{nRT}{P}$ 라는 식을 얻을 수 있습니다. 여기에 각각의 값들을 변수 대신에 대입을 하면, 이상기체 1몰의 부피

$$V = \frac{1 \times 0.08 \times 300}{200} = 0.12\text{L} \text{임을 얻게 됩니다.}$$

한편 이상기체 분자 10개가 차지하는 부피

$$V_{10} = \frac{1 \times 0.08 \times 300}{6.02 \times 10^{23} \times 200} = 1.99 \times 10^{-24} \text{L}$$

라는 값을 얻게 됩니다.

- 2) 이상기체 분자가 10개일 때, 2백atm에서 차지하는 부피는 1)에서 구한 것처럼 $1.99 \times 10^{-24} \text{L}$ 입니다. PV/RT 값이 이상기체일 경우에는 1이고, 수소 기체일 경우에는 1.1, 메탄의 경우에는 0.7이라는 값을 보이고 있습니다. $V=nRT/P$ 를 이용할 때 1)의 이상기체 10분자일 때와 비교해 구하면, 수소 기체의 경우는 $1.99 \times 10^{-24} \text{L} \times 1.1 = 2.19 \times 10^{-24} \text{L}$ 이고, 메탄의 경우는 $1.99 \times 10^{-24} \text{L} \times 0.7 = 1.40 \times 10^{-24} \text{L}$ 의 값을 갖습니다. 이처럼 실제기체와 이상기체는 동일한 압력, 동일한 온도에서 차지하는 부피가 다를 수 있게 됩니다. 이는 이상기체에서 가정한 것과 실제기체는 차이가 있기 때문입니다. 실제기체는 분자가 부피를 갖고 있으며, 충돌하지 않을 때도 분자 간에 상호작용(인력이나 반발력)이 존재합니다. 따라서 이상기체 법칙이 성립하는 실제기체는 없습니다. 실제기체가 이상기체에 가까워지기 위해서는 온도는 될 수 있는 한 높은 것이 좋고, 압력은 될 수 있는 한 낮은 것이 좋으며, 분자량은 대체로 작을 수록 좋습니다. 온도가 높을 수록, 압력이 낮을 수록 분자 간 거리가 멀어져서 분자 간 인력이 매우 작게 될 것이기 때문입니다. 또한 분자량이 작으면 대체로 분자 간 인력이 작기에 분자 간 인력을 무시할 수 있기 때문입니다.

▶ 추가문제

- 1) 풍선이 상공으로 올라가면 부풀어서 터지겠는가, 아니면 작아지겠는가?(2000년 서울대 화학교육과)
- 2) 물을 가열하면 끓기 시작하면서 끓는 소리가 심하게 나다가 점점 그 소리가 작아진다. 그 이유는 무엇인가?

5. 화학반응의 세계로

$A + 3B \rightarrow 2C$ 라는 반응의 연구를 위해 동일한 크기의 용기 2개를 준비하고 <용기-가>에 반응물 A와 B를 넣고 <용기-나>에도 반응물 A와 B를 넣었다. 출발농도를 다르게 해 <용기-가>의 반응은 2백K에서, 그리고 <용기-나>의 반응은 1백K에서 진행했다. 반응시간과 농도에 대한 다음의 그래프를 보고 아래 질문에 답하시오.(단, A, B, C는 기체임)

- 1) 2백K와 1백K에서의 평형상수(K_c)를 각각 계산하고 화합물 C를 생성하는 반응이 발열 반응인지 흡열반응인지를 판별하시오.
- 2) 기체의 경우 각 성분의 농도 대신 분압을 사용할 수 있으며 이때의 평형상수를 K_p 라고 한다. K_p 의 수식 자체는 K_c 의 수식과 같으나 K_p 의 계산은 각 성분의 농도 대신 분압을 대입한다. <용기-나>에서의 평형에 대해 압력 평형상수인 K_p 값을 계산하시오.(단, 기체상수 값은 계산의 편의를 위해 $0.08 \text{L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 을 이용하시오.)(그림3)

▶ 전문가 클리닉

우리 주변의 모든 것들은 화학반응의 산물입니다. 음식을 요리하는 과정이라든가, 몸을 움직이는 과정 모두 화학반응을 통해 이뤄지는 것입니다. 체온을 일정하게 유지할 수 있는 것도 체내의 화학반응인 소화과정을 통해 얻은 에너지 때문입니다. 화학반응이 일어난다고 하면 반응하

는 물질과 생성되는 물질이 무엇인지를 알아야 합니다. 그리고 어떤 부수적인 변화가 있는지도 살펴봐야 합니다.

이 모두를 알기 쉽게 볼 수 있는 것이 화학반응식입니다. 화학반응식을 통해 반응이 어느 방향으로 더 진행되는지도 알 수 있고, 외부의 변화에 따른 반응의 진행 여부도 알 수 있습니다. 평형이라는 독특한 상태에서 화학반응식을 이용해 반응의 여부를 생각해 볼 수 있는 기회가 될 것입니다.

▶ 예시답안

1) 평형상수 식인 $K_c = [C]^2/[A][B]^3$

를 통해서 평형상수 값을 구할 수 있습니다. 각 온도에서의 평형 농도가 주어졌기에 평형농도를 평형상수 식에 대입해 구합니다. 우선 2백K에서의 평형상수 $K=16/40=0.4$ 이고, 1백K에서의 평형상수 $K=16/2=8$ 입니다. 온도가 감소할 경우에 평형상수 K값이 더 커졌고, 이는 반응이 더 잘 진행됨을 뜻합니다. 따라서 이 반응은 발열반응입니다.

2) $K_p = [P_c]^2/[P_a][P_b]^3$

이고, $PV=nRT$ 이기에, 압력을 구해 대입하면 됩니다. 또 $n/V=M$ 이기에 이런 요소를 모두 적용하면 $P= MRT$ 가 됩니다. 1백K에서의 P값들을 구하면, $P_a=2 \times 0.08 \times 100=16$ 이고, $P_b=1 \times 0.08 \times 100=8$ 이며, $P_c=4 \times 0.08 \times 100=32$ 입니다. 이 값들을 모두 대입해 K_p 값을 구하면 $K_p=32^2/16 \times 8^3=0.125$ 입니다.

▶ 추가문제

1) 화학평형의 원리를 설명하시오.

2004년 02월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

● 이번호에서는 화학 평형을 변화시킬 수 있는 요소, 물질이 갖는 성질에 대한 이해, 이상기체 상태방정식이 갖는 의미, 탄소화합물, 화학에서의 셈하기, 산-염기 반응에 관한 내용들을 다뤄볼 것입니다. 앞서 1월호에서 다루지 못했던 부분들뿐만 아니라 새롭게 주목받으리라 생각되는 탄소화합물과 같은 분야도 관심있게 살펴봤으면 합니다. 차근차근 준비해 가면서 화학 구술면접의 토대를 쌓는 기회가 됐으면 합니다.

1. [기출문제] 화학반응은 왜 일어날까?

1기압 하에서 온도가 0°C 보다 높을 때는 얼음이 녹는 것이 자발적이나 0°C 보다 낮을 때는 물이 어는 것이 자발적인 것처럼, 자발적 변화의 방향은 온도, 압력, 농도와 같은 조건에 따라 바뀔 수 있다. (2003년 서울대 정시)

- 1) 격렬한 발열반응은 흔히 자발적으로 진행된다는 사실과 한 용기 내에서 두 기체 사이를 분리하고 있는 칸막이를 제거하면 두 기체가 자발적으로 섞인다는 사실을 이용해 일반적인 화학반응의 자발성을 증가시키는 인자들을 말하시오.
- 2) 1기압 하에서 물이 어는 과정에서, 온도가 0°C 보다 높을 때는 비자발적이었다가 0°C 보다 낮을 때는 자발적으로 바뀌는 이유를 1번에서 답한 자발성을 증가시키는 인자들을 이용해 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

화학이라고 할 때 떠오르는 것은 바로 흰 연기가 모락모락 올라오는 것과 같은 반응입니다. 우리 주변에서 관찰할 수 있는 반응들은 모두 자발적으로 진행되고 있습니다. 식초병을 열어놓으면 식초 냄새가 방안을 가득 채운다든가, 겨울에는 물이 고체상태인 얼음이 되고 여름에는 다시 액체 상태로 존재하는 것이 모두 그런 예입니다. 자발적인 반응은 외부의 추가적인 도움 없이도 스스로 그런 형태로 가려고 하는 것입니다. 다시 말해서 자발적으로 진행된 결과가 주변 상황에 가장 적합하다는 것(새로운 평형상태)을 의미합니다.

2003년 서울대 정시에 출제된 자발적인 반응과 관련된 현상에 관한 문제는 주변에서 볼 수 있는 현상을 곱씹어서 살펴봤나를 묻고 있습니다. 즉 추운 겨울이면 물이 얼음이 되고, 다시 날씨가 풀리면 액체 상태인 물로 돌아가는 현상의 이유를 평소 생각해 봤는가를 묻는 것입니다. 따라서 반응의 방향을 변화시키는 요소인 온도, 압력, 농도 등의 주변요소들을 파악하고 그 변화와 반응은 어떤 관계를 갖는지를 알아둬야 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 어떤 평형계에서 변화가 일어났을 때 화학반응이 자발적으로 또는 비자발적으로 일어날지에 대해 예측하기 위해서는 그 변화가 반응물질이나 생성물질 중 어느 쪽에 어느 정도로 유리한가를 판단해야 합니다. 프랑스 화학자인 르 샤틀리에에 화학평형에 관해 실험한 많은 자료 중에서 규칙성을 찾았습니다. 그는 그 규칙성을 바탕으로 ‘만약 어떤 평형계가 변화를 일으킨다면 주어진 변화를 부분적으로 억제하려는 방향으로 반응이 일어난다’는 일반성을 만들었습니다. 이 일반성은 많은 계에 적용되므로 오늘날 이를 원리라고 부릅니다.

이런 르 샤틀리에 원리를 이용해보면 화학반응을 자발적으로 일어나게 하기 위한 요소에는 3가지가 있습니다. 농도, 압력, 온도가 그것입니다. 경우에 따라 이 3가지 요소를 변화시킴으로써 화학반응의 자발적인 성향을 증가시킬 수도 감소시킬 수도 있는 것입니다.



고체 상태인 얼음을 액체 상태인 물로 만들기 위해서는 일정량의 열(에너지)을 가해줘야 합니다. 액체 상태인 물을 기체 상태인 수증기로 만들기 위해 끓이는 것과 같은 이치입니다. 반응을 좀더 자발적으로 진행시키기 위해서 필요한 요소는 1)에서 답한 것처럼 농도, 압력, 온도입니다. 그런데 농도와 압력은 모두 일정한 상태이기에 반응의 자발성을 규정할 수 있는 것은 온도로 한정이 됩니다.

위 식에서 물의 고체상과 액체상 간의 관계에서 에너지 요소가 있는데 이 에너지는 온도와 밀접한 관계를 갖습니다. 즉 온도가 높아지면 반응은 그 영향을 줄이기 위한 정반응으로 진행되는 것이고, 온도가 낮아지면 반대로 역반응으로 진행되는 것입니다. 따라서 온도가 높을 때 물이 얼음이 되는 것은 비자발적인 반응인데 반해 온도가 낮으면 자발적인 반응이 되는 것입니다.

2. [예상문제] 물의 비밀

지구 표면의 70% 정도는 물로 뒤덮여 있으며, 우리 몸의 70% 정도도 물이 차지하고 있다. 물은 H_2O 라는 구조로 존재하며, 메탄이나 암모니아와 질량 면에서는 큰 차이가 없다. 그렇지만 상온에서는 서로 다른 상으로 존재한다. 이는 물만이 갖는 독특한 성향 때문이다. 물만이 갖는 성향의 원인을 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

물은 너무나도 흔하고 친숙한 물질이기 때문에 물이 매우 유별난 성질을 가진 물질임을 잊기 쉽습니다. 물이 독특한 성질을 갖는 이유는 일반적인 화합물에는 존재하지 않는 독특한 형태의 결합 양상을 보이기 때문입니다. 이를 수소결합이라고 합니다. 물이 분자량이 비슷한 다른 물질보다 끓는점과 어는점이 매우 높다는 사실, 얼음의 결정상태와 밀도 등도 이와 밀접한 연관을 갖습니다. 매년 물의 독특한 성질의 배경이 되는 수소결합과 연관된 문항은 지속적으로 출제되고 있습니다. 문항의 형태야 다르지만, 원하는 답은 수소결합의 특성이기에 미리 제대로 준비를 해둬야 합니다. 여기서는 물의 독특한 현상들을 하나씩 살펴보고자 합니다. 기본을 확실하게 다져둔다면 어떤 형태로 묻는다고 하더라도 어려움이 없을 것입니다.

▶ 예시답안

물분자(H_2O)는 2개의 수소원자가 공유결합에 의해 한 개의 산소원자에 연결돼 있습니다. 산소원자는 전기음성도 차이로 공유전자쌍을 수소원자보다 강하게 끌어당깁니다. 그 결과 물분자 내에서 산소원자 가까이에선 부분 음전하(δ^-)가, 두개의 수소원자 가까이에선 부분 양전하(δ^+)가 형성됩니다. 물분자와 같이 산소와 수소원자 사이에 형성된 불균등한 전자의 공유를 극성 공유결합이라고 합니다. 물분자의 극성은 물분자 사이의 상호작용을 가능하게 하며, 물분자의 양전하 부분인 수소원자는 주변에 있는 또다른 물분자의 음전하 부분인 산소원자 사이에 공유결합보다는 약한 분자간 결합을 형성하는데, 이를 수소결합이라고 합니다. 하나의 물분자는 네 개의 주변 물분자와 수소결합을 할 수 있습니다.

극성과 수소결합으로 인해 물은 독특한 특성을 갖습니다. 물은 대부분의 액체보다 강한 응집력을 갖고 있으며 이런 물의 응집력은 생명체에서 중요한 역할을 합니다. 예를 들어 뿌리에서 위로 물이 운반되는 과정에서 물의 응집력은 상당한 영향을 미칩니다. 잎의 표면에서 물이 증발하면 잎맥에 있는 물을 끌어당기게 되는데, 응집력은 뿌리로부터 물이 중력의 반대 방향으로 이동할 수 있도록 하는 원동력이 됩니다. 물의 응집력 때문에 나타나는 또다른 현상으로 표면장력을 들 수 있습니다. 표면장력은 물과 공기가 접촉하는 면에서 물분자 사이의 인력이 물과 공기분자 사이의 인력보다 크기 때문에 나타납니다. 물은 물분자 사이의 수소결합으로 인해 물 표면에 탄력있는 타원형의 막과 둥근 모양의 물방울을 형성합니다. 생명체와 관련된 물의 중요한 특성 중 또 하나는 높은 비열입니다. 물은 수소결합에 의해 물분자들끼리 강한 결합을 하고 있습니다. 때문에 열을 가하면 분자간 수소결합을 파괴하는데 열을 소비하므로 다른 물질에 비해 온도를 높이는데 많은 열을 가해야 합니다.

수소결합으로 인해 물의 증발이 서서히 일어나게 되므로 물의 끓는점은 1백℃로 매우 높습니다. 지구 표면의 온도는 물의 끓는점보다 낮기 때문에 지표면에서 액체 상태의 물을 흔하게 볼 수 있으며, 높은 비열은 생물의 체온조절에 기여합니다. 온도가 내려가면서 물분자는 서로 가까워져서 밀도가 점점 높아지는데, 4℃에서 물의 밀도는 최대이며, 4℃에서 0℃로 갈수록 물의 부피는 증가해 어느점에서 물이 얼음으로 변할 때는 부피가 9% 정도 증가합니다. 만일 고체 상태의 얼음이 액체 상태인 물보다 밀도가 크다면 겨울에 강물이 얼때 강물 속의 물고기는 겨울을 넘기지 못할 것입니다.

생체 내에서 가장 많은 부분을 차지고 있는 물은 생체 내의 여러 물질을 용해시킬 수 있는 용매로서 작용합니다. 이런 용매로서의 물의 특성은 물의 극성에 기인합니다. 소금을 물에 녹이면 소금은 이온으로 해리됩니다. 이는 용액 중에서 이온에 느슨하게 결합된 물분자가 층을 이루는 현상인 수화껍질을 형성하려는 성질에 의해 더욱 촉진됩니다. 예를 들어 물분자의 양전하 부분인 수소원자(δ^+)는 염소와 같은 음전하 이온을 향해 배열해 염소이온(Cl^-) 주위에 수화껍질을 형성하고, 물분자의 음전하 부분인 산소원자(δ^-)는 나트륨이온(Na^+)에 끌리게 됩니다. 결과적으로 H_2O 분자가 Na^+ 와 Cl^- 이온을 둘러싸서 분리시킴으로써 소금을 녹이는 것입니다. 물은 이온뿐만 아니라 극성분자 주변에도 수화껍질을 형성해 극성물질을 용해시킵니다.

3. [기출문제] 존재하지 않는 기체?

이상기체 상태방정식을 설명하시오.(2004년 숙명여대 1학기 수시)

▶ 전문가 클리닉

고체, 액체, 기체는 물질의 3가지 상태입니다. 그 중에서 가장 자유분방한 것이 기체입니다. 기체 상태에서는 각각의 구성입자들이 독립적이며, 병진, 회전, 진동운동과 같은 다양한 운동 형태를 보입니다. 기체 분자들은 분자들 간의 인력이 약하고, 빠른 속도로 운동을 하고 있기에 기체의 종류에 관계없이 공통적인 성질을 지니고 있습니다. 기체는 모이면 용액이 되고, 압력과 온도에 따라서 그 부피가 달라집니다. 보일의 법칙, 샤를의 법칙과 같은 기체와 관련된 법칙들이 밝혀졌습니다. 기체 상태는 물질의 세가지 상 중에서 가장 많은 관심을 갖는 분야입니다. 기체와 관련된 법칙의 정수라고 할 수 있는 이상기체 상태방정식이 갖는 의미를 파악하고, 왜 이상기체란 말이 붙은 것인지를 파악한다면 기체와 관련된 현상을 설명하는데 큰 도움이 될 것입니다.

▶ 예시답안

이상기체란 기체분자의 종류에 관계없이 빈 공간 속에서 자유롭게 운동하며 열에 의해서만 그 분자의 운동에너지가 변한다는 기체분자운동론을 만족하는 가상의 기체입니다. 그렇다면 기체분자운동론을 먼저 살펴봐야 할 것입니다. 기체분자운동론은 기체분자의 운동을 토대로 기체의 성질을 기술하는 이론을 뜻합니다. 이 이론은 4가지 요소를 담고 있습니다. 첫째, 기체분자들은 서로 멀리 떨어져 있으므로 기체분자들 자체가 차지하는 부피는 용기의 부피에 비해 무시할 수 있습니다. 둘째, 기체분자들은 계속해서 직선운동을 하고 용기의 벽이나 다른 분자들과 충돌합니다. 셋째, 충돌이 일어나더라도 기체분자들의 총에너지는 변하지 않습니다. 넷째, 충돌할 때를 제외하고는 분자들 사이에 인력이나 반발력이 작용하지 않습니다.

따라서 이런 기체분자운동론을 만족하는 이상기체는 질량과 에너지는 갖고 있지만, 기체분자들 간에 인력이나 반발력이 전혀 작용하지 않고, 분자 간 완전탄성충돌을 하며, 분자 자체의 부피가 없기 때문에 0K에서 부피가 0이며, 평균 운동에너지는 절대온도에 비례하게 됩니다. 이상기체는 보일이나 샤를, 돌턴, 그레이엄의 법칙 등 여러가지 기체 법칙들이 내포돼 있는 기체상태방정식 $PV=nRT$ 가 정확히 적용되며, 이를 명확하게는 이상기체상태방정식이라 합니다. 그렇지만 이상기체는 말 그대로 실존하지 않는 기체이며, 실제로 존재하는 실제기체는 이상기체 상태방정식에 그대로 적용될 수 없습니다. 실제기체가 이상기체에 가까워지기 위해서는 온도는 높을 수록, 압력은 낮을 수록, 분자량은 작을 수록 좋습니다. 온도가 높고 압력이 낮을 수록 분자 간 거리가 멀어지기에 분자간 인력이 작아질 것이고, 분자량이 작을 수록 분자 간 인력이 작기에 분자 간 인력을 무시할 수 있기 때문입니다.

4. [예상문제] 우리 주변의 탄소

분자식이 C_3H_8O 인 물질 A, B, C가 있다. A, B는 Na와 반응해 H_2 를 발생시키고, C는 이런 성질이 없다. 다음 물음에 답하시오.

- 1) A를 산화시키면 알데히드 D가 되고 다시 산화하면 E가 된다. A, D, E의 시성식을 쓰시오.
- 2) B를 산화시키면 케톤 F가 생긴다. B, F의 시성식을 쓰시오.
- 3) C의 구조식을 쓰시오.

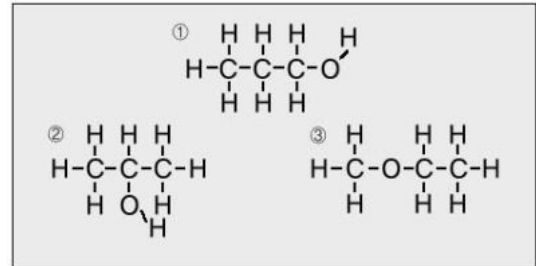
▶ 전문가 클리닉

탄소는 생물체를 구성하고 있는 가장 주된 원소입니다. 그렇기에 화학 중에서도 유기화학이라는 한 부분으로 다뤄지고 있습니다. 탄소화합물은 탄소를 주축으로 해 이뤄진 공유결합 물질입니다. 따라서 분자성 물질을 형성하기에 반데르발스 힘, 수소결합 등에 의한 성질을 나타내므로 유기용매에 잘 녹고 비전해질이며, 녹는점이 낮습니다. 탄소화합물은 결합의 형태에 따라서 모두 단일결합으로 구성된 포화 탄화수소와 다중결합이 있는 불포화 탄화수소로 나눌 수 있으며, 벤젠고리와 같은 특이성을 보이는 화합물을 방향족 탄화수소, 그렇지 않은 것을 지방족 탄화수소로 나누기도 합니다. 또 탄소화합물이 갖는 특징적인 작용기에 따라서 구분을 짓기도 합니다. 탄소화합물은 아직까지는 크게 관심을 끌지 못했지만, 생명과학분야가 점점 주목을 받기에 이 분야도 더 많은 관심 속에 성장할 것입니다. 그러므로 각 작용기에 따른 독특한 성향을 파악해둘 필요가 있습니다.

▶ 예시답안

1) 우선 C_3H_8O 의 결합 형태를 살펴봐야 합니다.

C_nH_{2n+2} 이기에 $n=3$ 을 대입하면 수소의 수는 8개가 됩니다. 물론 여기에서 산소의 수는 수소의 수 변화에 영향을 미치지 못합니다. 위 결과를 토대로 탄소 화합물은 모든 원자들이 단일결합으로 이뤄져 있음을 확인할 수 있습니다. 이를 토대로 가능한 화합물



의 형태는 (그림)과 같습니다. 그 중에서도 A는 Na라는 알칼리금속과 반응해 수소기체를 발생시키기에 알코올기가 있다는 것을 생각할 수 있습니다. 그리고 이를 산화시키면 알데히드 D가 되고, 계속해서 산화시키면 E가 되기에 A라는 탄소화합물은 1차 알코올임을 알 수 있습니다. 따라서 (그림) 중 ①번의 1-프로판올입니다. 계속해서 처음 산화돼 생성된 알데히드 D는 CH_3CH_2CHO 이며, 더 산화된 형태인 카르복실산 E는 CH_3CH_2COOH 입니다.

2) A와 마찬가지로 B도 알칼리금속인 Na와 반응해 수소기체를 발생시키기에 알코올기를 갖고 있습니다. 또 산화돼 케톤인 F가 형성되기에 B는 (그림)에서 ②번 모양인 2-프로판올(또는 이소프로판올)입니다. 그리고 산화과정을 거쳐서 생성된 케톤 F는 $CH_3C(=O)CH_3$ 형태의 프로파논(또는 아세톤)입니다.

3) C는 A, B와는 달리 Na와 반응해 수소기체도 배출하지 않고, 더이상의 산화과정을 거치지도 않기에 에테르 형태인 에틸메틸에테르입니다. 그리고 구조식은 (그림)에서 ③번과 같습니다.

5. [기출문제] 화학 속의 수학

시약병 A에는 16%의 에탄올이 4백mL, 시약병 B에는 4%의 에탄올이 2백mL 담겨져 있다. 시약병 A, B에서 각각 1백mL의 용액을 취해서, 취한 1백mL 용액 A는 남아있는 시약병 B에, 취한 1백mL 용액 B는 남아있는 시약병 A에 혼합했다. 혼합 후 시약병 A, B는 각각 몇 %의 에탄올이 되겠는가? 또한 $[A]_n$ 과 $[B]_n$ 을 위의 과정을 n 번 반복 후 각각의 혼합농도라 할 때 $[A]_n$ 과 $[B]_n$ 사이의 관계식을 구하고, 그 관계가 항상 일정함을 보이시오.(2003년 한양대 1학기 수시)

▶ 전문가 클리닉

화학에서의 셈하기는 수학에서의 계산보다 어렵지는 않습니다. 다만 사용하는 용어가 화학적인 것을 제대로 이해했는지가 관건입니다. 일반적으로는 화학반응식을 통해서 예상하는 값을 구하거나 평형과 관련된 식의 계산이 많이 출제되곤 합니다. 2003년 한양대 수시 문제는 수열과 관련된 일반식 유도를 해보는 것입니다. 수열의 일반항을 구하는 과정을 화학에서 적용해 본다는 마음으로 차분하게 접근하는 것이 좋습니다.

▶ 예시답안

A, B 각각에서 1백mL씩을 취해서 서로 반대쪽에 넣고 섞으면, 기존의 농도와는 다른 값을 갖게 됩니다. 우선 A는 16% 에탄올 3백mL와 4% 에탄올 1백mL를 섞는 경우이고, B는 16% 에탄올 1백mL와 4% 에탄올 1백mL를 섞는 경우입니다.

A의 경우 : $\{(16\% \times 300 + 4\% \times 100) / (300 + 100) \times 100(\%) = 13\%$ 의 에탄올로 바뀌게 됩니다.

B의 경우 : $\{(16\% \times 300 + 4\% \times 100) / (100 + 100) \times 100(\%) = 10\%$ 의 에탄올이 됩니다.

또한 $[A]_n$ 과 $[B]_n$ 을 위의 과정을 n 번 반복 후 각각의 혼합농도라고 하고, 수열을 이용해 둘 사이의 관계식을 구할 수도 있을 것입니다.

$$400 \times A_n = 300 \times A_{n-1} + 100 \times B_{n-1} \dots (1)$$

$$200 \times B_n = 100 \times A_{n-1} + 100 \times B_{n-1} \dots (2)$$

(1)-(2)를 통해 (3)식을 얻을 수 있으며, $3 \times (2) - (1)$ 를 통해 (4)식을 얻을 수 있습니다.

$$400 \times A_n - 200 \times B_n = 200 \times A_{n-1} \dots (3)$$

$$600 \times B_n - 400 \times A_n = 200 \times B_{n-1} \dots (4)$$

다시 (3)-(4)를 하면 (5)식을 얻을 수 있습니다.

$$4 \times (A_n - B_n) = A_{n-1} - B_{n-1} \dots (5)$$

더 나아가 $A_n - B_n = S_n$ 이라고 하면 좀더 쉽게 표현할 수 있으며, 이는 수열 중 등비수열에 해당됩니다.

즉 $S_n = S_1 \times (1/4)^{n-1}$ 이 됩니다.

그리고 $S_1 = A_1 - B_1 = 16 - 4 = 12$ 입니다.

따라서 $A_n - B_n = 12 \times (1/4)^{n-1}$ 이 되며,

n 값이 무한대로 증가하면 $A_n - B_n$ 값은 0에 가까워집니다. 즉 둘의 농도가 같아집니다.

6. [예상문제] 산-염기의 세계

수용액 중의 수소이온(H^+)과 수산화이온(OH^-)의 농도는 매우 작은 값이어서 사용하기에 불편하므로 1909년 덴마크의 생화학자 소렌센(Sorensen)은 pH 척도를 제안해 현재까지 편리하게 사용하고 있다.

1) pH를 정의해 보시오.

2) 0.1몰/L 황산(H_2SO_4) 수용액 30mL에 0.1몰/L 수산화나트륨($NaOH$) 수용액 15mL를 섞은 뒤 농도를 모르는 수산화칼륨(KOH) 수용액 45mL를 가했더니 용액의 pH가 7이 됐다. 수산화칼륨 수용액의 농도는 얼마인가?

▶ 전문가 클리닉

산-염기 반응의 기본이라고 할 수 있는 pH 개념을 이해하는 과정이라고 할 수 있습니다. 흔히 산-염기는 아레니우스의 정의(산 : H^+ 를 내놓는 물질, 염기 : OH^- 를 내놓는 물질), 브뢴스테드의 정의(산 : H^+ 를 내놓는 물질, 염기 : H^+ 를 받아들이는 물질), 루이스의 정의(산 : 홀전자쌍을 받는 물질, 염기 : 홀전자쌍을 주는 물질)로 구분했습니다. 한편 산-염기의 정도는 pH의 개념을 통해 좀더 쉽게 접근할 수 있습니다. pH라는 말은 많이 들었음에도 불구하고 그 개념을 확실하게 답하는 사람은 생각보다 적습니다. 이 문제는 pH의 개념을 확실히 정립하고 산-염기의 반응식을 이해할 수 있는 기회가 될 것입니다.

▶ 예시답안

1) 수용액에서 $[H^+]$ 나 $[OH^-]$ 는 너무 작은 값으로 나타나기 때문에 사용하기 불편합니다. 따

라서 용액의 액성을 나타내는데 수소이온지수(pH)를 사용합니다. pH는 수소이온 농도 (mol/L)의 음(-)의 로그값으로 정의합니다.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

pH는 수소이온 농도를 간단히 나타내는 것으로 pH>7이면 염기성 용액이고, pH=7이면 중성 용액이며, pH<7이면 그 용액은 산성입니다.

- 2) 용액의 pH가 7이라는 것은 중성 상태임을 의미합니다. 그러므로 기존에 있던 황산은 수산화나트륨과 수산화칼륨 수용액에 의해 완전히 중화됐음을 뜻합니다. 황산 수용액의 산의 농도는 $2 \times 0.1 \text{ mol/L} \times 30 \text{ mL} = 6 \text{ 밀리몰}$ 이 되고, 수산화나트륨과 수산화칼륨 수용액의 염기 농도는 $0.1 \text{ mol/L} \times 15 \text{ mL} + x \text{ mol/L} \times 45 \text{ mL}$ 에 해당합니다. 그리고 산의 농도와 염기의 농도는 같아야 합니다.

2004년 03월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

3월은 수험생들에게는 서로가 원하는 목표를 새롭게 가다듬고 그 목표에 도달하고자 자신을 추스르는 달이기도 합니다. 꾸준히 준비하고 자신감을 키운다면 점점 더 발전해가는 자신의 모습을 볼 수 있는 달입니다. 상반기에는 1학기 수시모집을 위한 구술면접을 중점적으로 대비할 것입니다. 이번 호에서는 용액과 관련된 특성들과 산화-환원반응, 화학식의 의미, 그리고 지난 호에서 다뤘던 산-염기에 대한 내용의 연장으로 산과 염기의 세기에 관해 살펴보고자 합니다. 항상 성실히 노력한다면 모두들 좋은 모습으로 발전할 것입니다.

1. [예상문제] 균일 혼합물의 세계

용액의 특성 중 용질의 종류와 무관하게 그 입자 수(몰 수)에 따라 결정되는 성질이 있는데 이를 용액의 총괄성이라고 한다.

1) 용액의 총괄성을 분류해보고 각 성질들이 갖는 원리를 설명하시오.

2) 1)에서 나열한 특성들의 예를 실생활에서 찾아 설명해보시오.

▶ 전문가 클리닉

용액이란 말이 쉽게 다가오지 않으면 머릿속에서 소금물을 떠올리면 됩니다. 소금이라는 용질과 물이라는 용매가 균일하게 섞여있는 소금물을 용액이라고 하는 것입니다. 그렇게 보면 용액은 균일 혼합물로서 투명한 상태를 유지해야 합니다. 흙탕물과 같은 불균일 혼합물이나 우유와 같은 에멀전과도 구분할 필요가 있습니다. 그렇지만 용액은 그 형태가 굳이 액체상태일 필요는 없습니다. 우리가 숨쉬는 공기도 바로 용액과 같은 상태니까요. 즉 용액의 보다 엄밀한 정의는 분산매와 분산질이 균일하게 혼합돼 있는 상태를 의미합니다. 그렇지만 보통 용액이라고 언급하는 것은 액체상태입니다. 용액이기에 갖는 독특한 특성이 용액의 총괄성입니다. 용액의 총괄성은 크게 4종류로 나눠 생각해 볼 수 있습니다. 주변에서 관찰할 수 있는 현상들을 토대로 용액의 총괄성 개념을 확실히 파악했으면 합니다.

▶ 예시답안

1) 용액의 총괄성은 크게 4종류로 구분할 수 있습니다. 순수한 용매에 대한 용액의 증기압 내림 현상, 끓는점 오름 현상, 어는점 내림 현상, 삼투 현상입니다.

① 증기압 내림

순수한 용매에 비휘발성인 용질을 녹인 용액의 증기압은 순수한 용매의 증기압보다 낮아 집니다. 이는 용매분자와 용질분자 사이에서 인력이 작용하고, 용질분자가 기체와 접한 용액 표면을 가려서 용매분자가 기화되는 것을 방해하는 효과가 생기기 때문입니다. 라울의 법칙에 따르면 비휘발성이고 비전해질인 용질A가 녹아있는 묽은 용액의 경우, 용액의 증기압 내림은 용질의 종류에 관계없이 용질의 몰분율에 비례합니다.

$$\Delta P = f_A \times P_0 \quad (\Delta P : \text{용액의 증기압 변화}, f_A : \text{용질A의 몰분율}, P_0 : \text{순수 용매의 증기압})$$

② 끓는점 오름

끓는점이란 용매의 증기압력과 외부의 압력이 같아지는 온도를 말하는데, 예를 들어 순수한 물의 끓는점은 1기압에서 1백℃입니다. 용액은 순수한 액체상태가 아니라, 용해된 용질이 존

재하기에 이것이 용매의 증기압을 감소시키게 됩니다. 그러므로 용액의 온도가 증가해야만 끓게 됩니다. 이런 현상을 끓는점 오름이라고 하며, 이는 용질의 종류와는 관계가 없습니다.

$$\Delta T_b = K_b \times m \quad (\Delta T_b : \text{용액의 끓는점 변화}, K_b : \text{몰랄 오름 상수}, m : \text{몰랄 농도})$$

③ 어는점 내림

어는점에서는 고체가 액체로 되는 속도와 액체가 고체로 되는 속도가 같습니다. 순수한 물질의 경우에는 상변화를 할 때 어떤 방해도 받지 않지만, 용매 속에 용질이 녹아있는 경우에는 용질이 용매분자 사이에 존재하기 때문에 용매의 상이 액체에서 고체로 상전이를 하는데 힘들어집니다. 그러므로 용액의 어는점은 순수한 용매의 어는점보다 낮아지게 되고, 이를 어는점 내림 현상이라고 하며, 용질의 종류와는 상관없이 없습니다.

$$\Delta T_f = K_f \times m \quad (\Delta T_f : \text{용액의 어는점 변화}, K_f : \text{몰랄 내림 상수}, m : \text{몰랄 농도})$$

참고로 끓는점 오름과 어는점 내림에서 그 식에 몰랄 농도(m)를 사용하는 이유는 몰 농도(M)는 '단위 부피당 몰 수'를 뜻하는데, 온도의 변화에 따라 부피가 변하고 농도가 변하기 때문입니다. 따라서 온도 변화와 무관한 농도 개념인 몰랄 농도를 사용합니다. 몰랄 농도는 용매의 질량 1Kg당 녹아있는 용질의 몰 수로 나타내며, 용매의 질량을 기준으로 삼기 때문에 온도가 변해도 농도는 변하지 않습니다.

④ 삼투 현상

용액의 용질분자는 통과시키지 않지만, 용매분자는 통과시키는 막을 반투막이라고 합니다. 이런 반투막을 사이에 두고 순수한 물과 용액을 격리시켜 두면 막을 통해 물이 용액 쪽으로 이동해 평형상태에 이르게 되는데, 이런 현상을 삼투현상이라고 합니다. 반 호프의 법칙이 적용되며, 용매나 용질의 종류와는 상관없이 없습니다.

$$\pi = cRT \quad (\pi : \text{삼투압}, c : \text{용액의 몰 농도}, R : \text{기체상수}, T : \text{절대온도})$$

- 2) 우리 생활 주변에서 용액의 총괄성과 관계된 예들을 들어보면, 설탕물을 탁자 위에 올려 놓았을 경우 순수한 물을 놓았을 때보다 증발돼 사라지는 물의 양이 더 적음을 볼 수 있고(증기압 내림 현상), 소금물을 끓일 경우 1백℃보다 더 높은 온도에서 끓고 소금을 많이 넣을 수록 끓는 온도가 계속 올라감을 확인할 수 있습니다(끓는점 오름 현상). 또 겨울철 결빙된 도로에 염화칼슘을 뿌려서 얼음을 녹이는 작업도 한 가지 예로 들 수 있습니다(어는점 내림 현상). 마지막으로 김장을 담글 때 배추를 소금으로 절이면 전보다 축 처지게 되는데, 이것은 소금으로 인한 삼투 현상으로 배추에 들어있는 수분이 밖으로 빠져 나왔기 때문입니다.

2. [기출문제] 철은 왜 녹슬까?

산화와 환원반응에 대해 설명하고, 그 예를 들어보시오.(2000년 서울대 응용화학부)

▶ 전문가 클리닉

화학에서 가장 많은 부분을 차지하는 것은 무엇보다도 화학반응이라고 하겠습니다. 그런 화학 반응의 일부를 차지하는 것이 바로 산화-환원반응입니다. 산화와 환원은 서로 상반된 반응이지만 어느 하나만 따로 떼어내 생각할 수는 없습니다. 어느 한쪽에서 산화반응이 일어나면, 다른 쪽에서는 환원반응이 일어나게 됩니다. 이런 반응들을 가장 쉽게 파악할 수 있는 것이 전지입니다. 모든 전지를 살펴보면 (+)극과 (-)극으로 나뉘어져 있는 것을 확인할 수 있으며, 전지를 사용하는 제품에는 이 순서를 지켜 전지를 끼워야 제대로 작동하게 됩니다. 전지는 산화

-환원반응을 이용해 화학에너지를 전기에너지로 바꾸는 장치입니다. 산화-환원을 단순히 산소와의 관계만으로 한정지어 생각한다면 왜 전지가 산화-환원반응을 이용하는 것일까 하고 의아해할 수도 있습니다. 하루에도 여러번 전지를 이용하는데, 그 원리도 제대로 알고 있으면 더 좋겠죠. 그렇다면 산화-환원반응의 의미부터 좀더 폭넓게 알아둘 필요가 있을 것입니다.

▶ 예시답안

산화-환원반응의 설명은 좁게는 산소를 갖는 것과 잃는 것으로, 수소를 잃는 것과 갖는 것으로 말할 수 있습니다. 그렇지만 여기서 이를 넓게 다뤄보면, 산화란 원자, 분자, 이온 등이 전자를 잃는 것을 말하며, 환원이란 원자, 분자, 이온 등이 전자를 얻는 것을 뜻합니다. 공유결합 물질이 관여하는 산화-환원반응에서는 단순히 전자의 흐름만으로 산화-환원반응을 설명하기가 어렵기 때문에 산화수라는 개념을 사용하게 됩니다. 산화수란 공유전자쌍이 그것을 더 세게 끌어당기는 원자에 속해 있다고 가정할 때, 원자가 갖는 전하를 의미합니다. 산화수가 감소하면 환원된 것이고, 산화수가 증가하면 산화됐다고 말합니다. 이런 산화수를 구하는 데는 규칙이 있습니다. 산화수를 구하는 규칙은,

- 1) 홑원소 물질을 구성하는 원자의 산화수는 0이다. 예) O_2 의 O, Cu의 Cu
- 2) 단원자 이온의 산화수는 그 이온의 전하와 같다. 예) Fe^{2+} : +2, F^- : -1
- 3) 알칼리 금속의 산화수는 +1이다. 예) NaCl의 Na
- 4) 할로젠 원소의 산화수는 -1이다. 예) HF의 F
- 5) 수소화합물에서 수소원자의 산화수는 +1이다. 예) HCl의 H
- (예외) 금속의 수소화합물일 경우 수소원자의 산화수는 -1이다. 예) NaH의 Na : +1, H : -1
- 6) 산소화합물의 산소원자의 산화수는 -2다.

예) CaO의 O

(예외) ㉠ 과산화물에서 산소의 산화수는 -1이다.

예) H_2O_2 의 O

㉡ OF_2 와 같은 경우 산소의 산화수는 +2다.

7) 화합물을 이루고 있는 각 원자들의 산화수 총합은 0이다. 예) CO_2 의 C : +4

8) 다원자이온을 구성하는 원자들의 산화수 총합은 그 이온의 전하 수와 같다. 예) NO_3^- 의 N : +5

위에서 설명한 산화수를 구하는 규칙에서는 앞서 언급된 규칙이 그 다음의 규칙보다 더 우선합니다.

이런 산화-환원반응의 예들을 살펴보면 생활에서 가장 많이 사용하는 전지가 있습니다. 'K>Ca>Na>Mg>Al>Zn>Fe>Co>Ni>Sn>Pb>(H)>Cu>Hg>Ag>Pt>Au'와 같은 금속의 이온화경향을 통해 두 금속의 산화-환원반응을 이용하는 것이 전지입니다. 또한 금속의 제련 과정이나 도금 과정도 모두 산화-환원반응을 이용한 것들이라고 하겠습니다.

3. [기출문제] 화학의 언어세계

화학식은 물질을 구성하는 성분 원소의 종류와 수를 원자기호와 숫자로 표시하는 것인데, 이에겐 실험식, 분자식, 시성식, 구조식 등이 있다. 각각을 구분해서 설명하시오.(2002년 숙명여대 약학부)

▶ 전문가 클리닉

우리는 한글이라는 고유의 언어체계를 갖고 있으며, 한글을 이용해 각 사물이나 사람들의 이름을 부름으로써 다른 것과 구분합니다. 만약 한글과 같은 언어체계가 존재하지 않는다면, 서로 간의 의사소통이 원활하지 못할 것입니다. 화학에서도 마찬가지입니다. 화학 분야에서 세계적으로 통용되는 고유의 언어체계가 존재해야 하며, 이런 언어체계를 익히는 것이 화학을 좀더 쉽게 이해하는 바탕이 됩니다. 화학에서의 기본적인 언어체계를 화학식이라고 합니다. 이는 물질을 이루는 기본 입자인 원자, 분자 또는 이온을 원소기호를 사용해 나타낸 식을 뜻합니다. 화학식에는 이온식, 실험식, 분자식, 시성식, 구조식 등이 있으며, 화학식은 그 물질의 입자를 나타내기도 하고 그 물질 자체를 나타내기도 합니다. 이 문제가 각 식들의 표현 방법과 그 의미를 이해하는 기회가 됐으면 합니다.

▶ 예시답안

실험식이란 물질을 이루는 원자나 이온의 종류와 수를 가장 간단한 정수비로 나타낸 식을 의미합니다. NaCl이나 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 와 같은 이온결합 물질에는 분자가 존재하지 않기에 이온의 비율을 가장 간단한 정수비로 나타낸 실험식이 화학식이 되며, 이온 수와 전하 사이에는 아래와 같은 관계식이 성립합니다.

$$(\text{양이온의 수}) \times (\text{양이온의 전하}) + (\text{음이온의 수}) \times (\text{음이온의 전하}) = 0$$

주로 이온결정 물질이나 원자결정 물질, 금속결정 물질에서 실험식을 이용하게 됩니다.

분자식은 원자의 종류와 수를 원소기호로 나타낸 식을 의미합니다. 보통 실험식에 n 배를 하면 분자식이 되는데, 실험식이 화합물을 구성하는 성분이 무엇인가만을 알 수 있는 정보를 제공한다면, 분자식을 통해서 한 분자를 구성하고 있는 원자의 종류뿐만 아니라 그 수까지 알 수 있습니다.

시성식은 분자의 화학적 성질을 지배하는 기능원자단(작용기)을 중심으로 나타낸 화학식을 뜻합니다. 특히 탄소화합물에서는 어떤 특별한 작용기에 의해 성질이 결정되기 때문에 시성식이 유용하게 사용됩니다. 시성식은 작용기를 따로 독립시켜 나타낸 화학식이므로 시성식을 통해 그 화합물이 갖는 독특한 성질이 어떤 것인지를 쉽게 추측해볼 수 있습니다.

끝으로 구조식은 분자를 구성하는 원자들의 결합 모양이나 배열 상태를 결합선을 이용해 나타낸 화학식을 의미합니다. 화합물을 구성하는 원자들은 원자가(어떤 원소의 원자 1개와 결합하는 수소원자의 수를 의미하며, 원자가는 원자 사이의 결합에 따라 공유 원자가와 이온 원자로 나눌 수 있습니다) 만큼의 결합선을 갖게 됩니다. 결합선은 원자와 원자 사이에 있어야 합니다. 구조식을 완성하기 위해서는 화합물에서 중심원자를 먼저 찾아야 하며, 그 중심원자에 결합하는 다른 원자의 수를 고려해 결합선을 그리면 됩니다.

4. [예상문제] 자신의 길만을 고집하는 용액

인체 혈액의 pH는 7.4 정도다. 만약 pH가 7.0 이하이거나 7.8 이상이면 생명이 위험하게 된다. pH가 7인 물에 식초를 넣으면, 그 물의 pH는 7 이하로 급격하게 떨어진다. 이는 식초의 산성도 때문에 나타나는 결과다. 그러나 식초를 섭취하더라도 생명이 위급해지지는 않는다. 이는 혈액의 pH가 급변하지 않았다는 것을 의미한다. 그렇다면 물과 혈액에 어떤 차이점이 있기 때문일까?

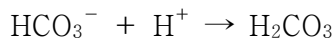
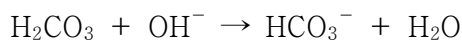
▶ 전문가 클리닉

인체는 화학반응의 결정체라고도 할 수 있습니다. 음식물을 섭취함으로써 살아가는 에너지를 얻는다는 점에서도 그렇고, 숨을 쉴 때 산소를 들이마시고 이산화탄소를 배출한다는 점에서도 그렇습니다. 또 적당한 양의 수분 섭취, 땀을 통한 배출 등도 모두 화학과 관련이 있습니다.

인체 내부에서 다양한 화학 관련 반응들이 적정하게 유지돼야 건강하게 생활할 수 있으며, 어느 한 부분이라도 그런 흐름이 깨진다면 우리 몸은 최고의 상태를 유지할 수 없을 것입니다. 음식을 짜게 먹은 날은 다른 때보다도 유달리 갈증을 많이 느끼게 됩니다. 이 역시 우리 몸이 일정한 상태를 유지하려는 성향이 강하기 때문입니다. 혈액도 마찬가지입니다. 혈액의 상태가 급변한다면 우리 몸은 그 변화를 쉽게 받아들이지 못할 것입니다. 언제나 일정한 상태를 유지하려고 하는 혈액을 통해 그 이면에 깔린 화학적 배경이 무엇인지를 살펴보는 계기가 됐으면 합니다.

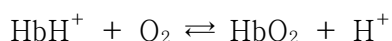
▶ 예시답안

혈액은 물과 달리 완충효과를 갖고 있습니다. 이런 성질을 이용해 인체는 항상성을 유지하는 것입니다. 인체 혈액은 이산화탄소(CO₂)가 혈액 속에 녹아서 형성된 탄산(H₂CO₃)과 그 짝염기인 탄산수소이온에 의해 그 pH가 일정하게 유지됩니다.



혈액처럼 짙산-짝염기에 의해 pH가 일정하게 유지되는 용액을 완충용액이라고 합니다. 혈액 속에는 탄산보다 탄산수소이온이 더 많이 존재하기 때문에 OH⁻보다는 H⁺를 제거하는 것이 좀 더 효율적입니다.

이는 인체의 특성을 고려한 것입니다. 왜냐하면 보통 우리가 운동을 하면 근육에 젖산이 축적되는데, 이들을 효율적으로 제거하기 위해서 탄산수소이온이 좀더 많이 존재해야 하는 것입니다. 만약 혈액의 pH가 7.4 이하로 떨어지면 산성혈증(acidosis), 7.4 이상으로 올라가면 알칼리혈증(alkalosis)라고 하며, 이들은 혈액 속의 헤모글로빈(Hb)이 산소를 운반하는 작용을 방해합니다.



그 결과 산성혈증은 피로, 두통, 의기소침 등을 유발하며, 심하면 혼수상태에 이르게 됩니다. 알칼리혈증은 혼치는 않으나 신경을 자극해 경련을 일으킬 수 있습니다.

완충용액은 일반적으로 약산과 그 짝염기를 같은 농도로 섞어서 만듭니다. 예를 들어 CH₃COOH와 CH₃COONa를 섞어서 만드는 것입니다.

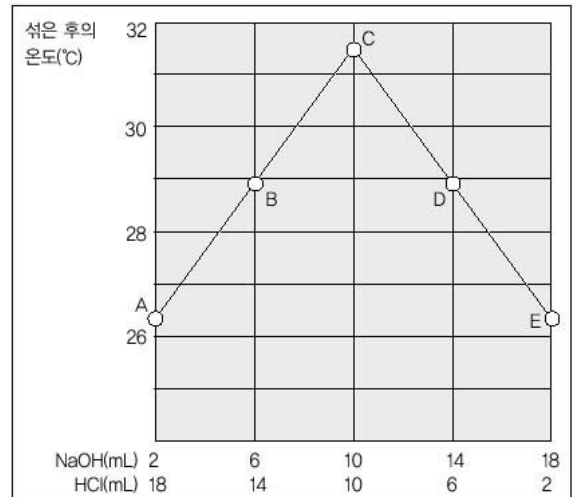


이 용액에서 HCl을 더해주면 H⁺가 많아지므로 공통이온효과에 의해 역반응이 일어나 H⁺의 농도를 감소시키며, NaOH를 더해주면 OH⁻가 H⁺와 반응을 하여 H⁺가 감소하나 정반응이 일어나 H⁺를 보충해 주기에 pH 변화는 거의 없습니다.

참고로 공통이온효과란, 반응에 이미 존재하는 이온을 더 첨가했을 때 용액의 이온화평형이 첨가된 이온의 농도가 감소하는 방향으로 이동해 새로운 평형상태에 도달하게 되는 것을 의미합니다. 이는 외부의 영향을 감소시키는 방향으로 반응이 진행된다는 르 샤틀리에의 원리로 쉽게 설명할 수 있습니다.

5. [기출문제] 이온화도란?

상온의 1몰/L HCl과 1몰/L NaOH를 여러가지 비율로 섞은 후 온도를 측정했더니 다음 그림과 같았다. 용액C의 온도가 그대로 유지될 때의 pH가 7보다 작을지, 같을지, 아니면 클지를 설명하라.



▶ 전문가 클리닉

산-염기는 지난호에서도 다뤘던 부분입니다. 물론 지난호를 통해 산-염기의 정의와 pH의 개념을 모두들 확실히 파악해 뒀으리라고 여겨집니다. 따라서 이제는 산-염기를 구분할 수 있을 뿐만 아니라 어떤 것이 더 강한 산이고 더 약한 산인지를 pH로 구분할 수 있어야 합니다. pH가 7일 때를 중성이라고 하며 그 값이 낮을 수록 더 산성에 가까운 것이고, 반대로 높을 수록 염기성이 강해지는 것입니다. 흔히 우리가 중성상태인 물의 pH를 7이라고 말하는데, 엄밀히 말한다면 이 값은 완전한 7이 아니라, 그 근처 값을 갖는 것입니다. 그렇다면 pH를 보다 엄밀하게 정의해보고, 그 값과 관계 있는 어떤 요소 때문에 그런 차이가 생기는 지를 알아보려고 합니다.

▶ 예시답안

염산(HCl)이나 수산화나트륨(NaOH)과 같이 물에 녹아 이온화해 전기를 통하는 물질을 전해질이라고 합니다. 그리고 전해질을 물에 녹일 때 전해질의 전체 몰수에 대한 이온화된 몰수의 비를 이온화도라고 합니다. 이온화도가 큰 산은 H^+ 를 많이 내기 때문에 강한 산성을 나타내며, 이온화도가 작은 산은 H^+ 를 적게 내기 때문에 약한 산성을 나타내는 것입니다. 염산이나 황산이 탄산이나 아세트산에 비해 강산인 까닭은 전자의 이온화도가 상당히 높기 때문입니다. 같은 물질의 경우 온도가 높을 수록, 농도가 묽을 수록 이온화도가 증가하는데, 이를 ‘오스트발트의 희석률’이라고 합니다.

$H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$ 에서 평형상수 K는 다음과 같습니다.

$$K = [H_3O^+][OH^-] / [H_2O]^2$$

이 식의 양변에 $[H_2O]^2$ 을 곱한 값을 물의 이온곱 상수 $K_w (=K[H_2O]^2 = [H_3O^+][OH^-])$ 라고 합니다. 이 값은 온도가 높아질수록 증가하는데 25°C 상온에서 1.01×10^{-14} 에 이릅니다. 그리고 30°C에서 이 값은 1.47×10^{-14} 입니다.

문제에서 30°C일 때 염산과 수산화나트륨의 농도가 같으므로 $K_w = [H_3O^+]^2$ 이 됩니다. $pH = -\log[H_3O^+]$ 이므로 양변에 로그를 취하면 결국 $-\log K_w = 2 \times pH$ 입니다. 물의 이온곱 상수 값을 대입하면 $pH = -0.5 \times \log(1.47 \times 10^{-14}) = 6.92$ 가 됩니다. 따라서 용액C의 온도는 31°C 정도이므로 이 때의 pH는 7보다 작을 것이라고 생각할 수 있습니다.

2004년 04월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

이번호에서는 화학식을 구성하는 방법과 화학반응의 조건, 혼합물의 분리 및 정제, 산화-환원 반응, 그리고 과학논술 문제를 다뤄 보았습니다. 점점 문제들이 다양한 형태의 모습을 갖추게 되지만, 언제나 기본적인 원리는 같다는 것을 인지하고 기초가 되는 개념을 충실하게 공부하셨으면 합니다.

1. [기출문제] 화학식 구성하기

공기 중에서 연소과정을 통해 미지의 화합물이 탄소, 수소, 산소로 돼 있는 이염기산임을 알았다. 이 화합물은 탄소 26.67%, 수소 2.22%, 산소 71.11%를 포함한다. 또한 이 화합물 0.3000g이 들어있는 수용액을 중화하는데 0.1000N NaOH 용액 66.65mL가 들었다. 아래 물음에 답하시오.(숙명여대)

- 1) 이 화합물의 실험식과 분자식은?
- 2) 이 화합물의 이름은 무엇인가?
- 3) 이 실험을 통해 확인할 수 있는 법칙은 무엇인가?

▶ 전문가 클리닉

물질의 화학식을 구성해보고, 그것과 관련된 여러가지 법칙을 함께 고찰해 보는 것은 과거에 많이 출제됐던 분야입니다. 이 문제는 원자와 분자의 개념뿐만 아니라, 원자에 관련된 여러가지 법칙인 질량보존의 법칙, 일정성분비의 법칙, 배수비례의 법칙, 돌턴의 원자설과 분자에 관련된 기체반응의 법칙, 아보가드로의 법칙, 아보가드로의 분자설을 모두 종합적으로 알고 있어야 해결할 수 있습니다. 부수적으로 탄소화합물의 명명법까지 물음으로써 좀더 종합적으로 화학적 지식을 알아보고자 했습니다. 이를 위해서는 흔히 지나치기 쉬운 탄소화합물의 명명법도 제대로 익혀두는 것이 필요할 것입니다.

▶ 예시답안

- 1) 화합물을 구성하고 있는 성분은 탄소, 수소, 산소뿐입니다. 그리고 각 성분의 질량은 26.67%, 2.22%, 71.11%를 차지합니다. 그러나 단순히 이 퍼센트 비율을 각 성분의 구성비라 생각하는 사람은 없을 것입니다. 이는 각 원소가 고유하게 갖는 원자량이라는 값이 다르기 때문입니다. 각 원자의 원자량값을 고려해야만, 실제적인 원자의 개수를 파악할 수 있습니다. 그렇기에 실제적인 각 원자의 개수 비율은 아래와 같이 구합니다.

$$\text{탄소} : \text{수소} : \text{산소} = 26.67/12 : 2.22/1 : 71.11/16$$

입니다. 이를 구하면,

$$\text{탄소} : \text{수소} : \text{산소} = 2.22 : 2.22 : 4.44$$

가 됩니다. 이를 제일 간단한 정수비로 구하면,

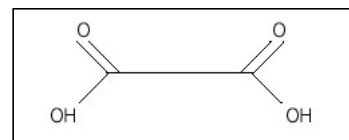
$$\text{탄소} : \text{수소} : \text{산소} = 1:1 : 2$$

가 됩니다. 따라서 실험식은 CHO_2 입니다.

분자식을 구하기 위해서는 산-염기의 중화과정을 이용해야 합니다. 산-염기 중화과정의 가

장 기본은 수소이온(H^+)과 수산화이온(OH^-)이 1:1의 비율로서 관여한다는 것입니다. 즉 알짜 이온 반응식은 $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$ 입니다. 앞선 화합물을 중화시키는데 0.1000N의 NaOH가 66.65mL 사용됐기에 이는 6.665mmol($0.1000N \times 66.65mL$)이 됩니다. 이 값이 바로 중화시 관여한 OH^- 의 몰 수입니다. 제시된 화합물은 이염기산이기에 0.3000g은 3.333mmol($1/2 \times 6.665mmol$)에 해당합니다. 화합물의 1mol에 해당하는 질량은 90.0에 이릅니다. 분자식은 실험식에 n배를 함으로써 얻을 수 있습니다. 분자식량 $90.0 = n \times \text{실험식량}$ [$12(C) \times 1 + 1(H) \times 1 + 16(O) \times 2 = 45$] 이란 식을 통해 $n=2$ 임을 알 수 있으며, 따라서 이염기산의 분자식은 $C_2H_2O_4$ 이 됩니다.

- 2) 제시된 염기산 화합물은 분자식이 $C_2H_2O_4$ 인 옥살산입니다. 참고로 이 화합물의 구조식은 오른쪽과 같습니다.



- 3) 이 실험을 통해 확인할 수 있는 법칙은 화합물을 구성하는데 각 성분의 질량은 일정한 비율로 이뤄졌다는 일정성분비의 법칙입니다. 참고삼아 말하자면, 밀폐된 용기 안에서 연소과정을 거쳤다면 질량보존의 법칙도 확인할 수 있었을 것입니다. 그러나 이 실험은 공기 중에서 연소과정을 거쳤기에 그 질량의 전체적인 변화양상을 관찰할 수는 없습니다.

▶ 추가문제

석회석(주성분은 $CaCO_3$) 1백g을 완전히 염산과 반응시켰더니 표준상태에서 20.16L의 이산화탄소가 발생했을 때, 석회석의 순도는 얼마인가?

2. [예상문제] 변화하는 화합물

과산화수소(H_2O_2)를 담아둔 시험관에 이산화망간(MnO_2)를 넣으면 거품이 일면서 기체가 발생하는데 이 기체를 수상치환과 같은 방법으로 포집해 모으고, 여기에 꺼져가는 성냥불을 넣으면 이내 확 타오르는 현상을 확인할 수 있다. 이는 산소를 발생시키는 화학반응의 한 형태다.

- 1) 화학반응이란 무엇이며, 어떤 조건이 필요한가?
- 2) 화학반응속도의 정의를 내리고, 반응속도를 변화시킬 수 있는 요소들을 설명하시오.

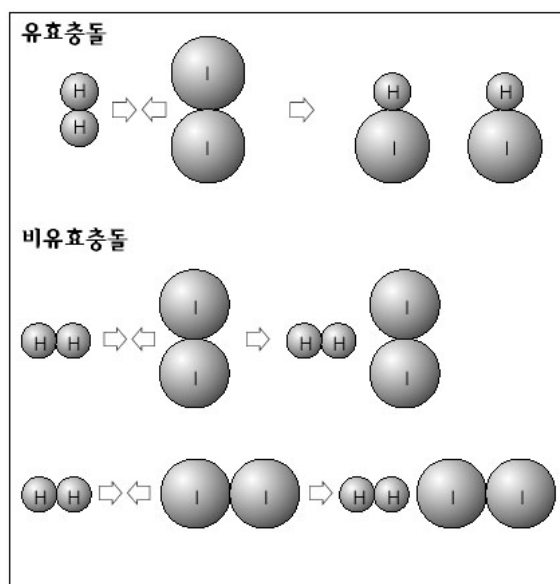
▶ 전문가 클리닉

우리 주변의 모든 것들은 물리적 또는 화학적 변화에 따른 것입니다. 물론 이 두 변화가 복합적으로 이뤄지는 것들이 대다수입니다. 예를 들어 물이 얼음이나 수증기가 되는 상태변화는 바로 물리적 변화에 해당되고, 수소와 산소가 만나서 물이 되는 것은 화학적 변화에 해당됩니다. 이런 화학적 변화를 바로 화학반응이라고 합니다. 이 문제 풀이를 통해서 화학반응의 의미를 제대로 이해하고, 화학반응이 이뤄지기 위해서는 어떤 상태여야 하는지를 파악할 수 있는 계기가 됐으면 합니다. 한편 이산화망간과 과산화수소 간의 반응처럼 빠르게 진행되는 화학반응이 있는 반면 철이 녹스는 것처럼 천천히 진행되는 반응도 있습니다. 화학반응의 속도를 조절할 수 있는 요소는 무엇이 있는지도 더불어 살펴보길 바랍니다.

▶ 예시답안

- 1) 화학반응은 기존에 있던 원자들 간의 결합이 끊어지고, 새롭게 결합이 형성되는 것을 의미합니다. 이 경우 반응물질과 생성물질 간의 에너지 함량이 다르기 때문에 항상 에너지의 출

입이 뒤따르게 됩니다. 이런 에너지는 열, 빛, 소리 등도 될 수 있습니다. 화학반응이 이뤄지기 위해서는 2가지 요소를 충족시켜야 합니다. 이와 관련된 이론을 충돌이론과 전이상태이론이라고 합니다. 화학반응이 일어나기 위해서는 반응물질의 분자가 충돌해야 한다는 것이 충돌이론입니다. 이때 반응물질의 분자는 아무렇게나 충돌하는 것이 아니라 분자 구조로 보아 반응을 일으킬 수 있도록 충돌해야 합니다. 화학반응이 일어나기 위해서는 알맞은 방향으로 충돌이 이뤄지는 것 말고도 반응물질의 분자들이 일정한 양 이상의 에너지를 가지고 있어야 합니다. 이 때 필요한 최소한의 에너지를 활성화 에너지(E_a)라고 합니다. 이 두 요건을 동시에 충족시키지 못한다면 화학반응은 이뤄지지 않습니다.



- 2) 화학반응이 일어날 때 단위 시간에 감소한 반응물질의 농도 또는 증가한 생성물질의 농도를 반응속도라고 하며, 단위는 $\text{mol/L}\cdot\text{s}$, $\text{mol/L}\cdot\text{분}$ 등이 있습니다.

$$\text{반응속도} = \text{감소한 반응물질의 농도/시간} = \text{증가한 생성물질의 농도/시간}$$

예를 들어 $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{HI}(\text{g})$ 에서 반응속도 v 를 표현하면,

$$v = -\Delta[\text{H}_2]/\Delta t = \Delta[\text{I}_2]/\Delta t = \Delta[\text{HI}]/\Delta t$$

입니다. 이때(-)부호는 농도의 감소를 의미합니다.

반응속도에 영향을 주는 요소들에는 반응물질의 종류, 온도, 농도(기체인 경우는 압력), 촉매가 있습니다. 새로운 결합이 생기는 경우, 결합의 재배열이 일어나는 것과 그렇지 않은 것에 따라 반응의 속도에 차이가 납니다. 결합의 재배열이 일어나지 않는 경우가 더 빠르게 반응이 진행됩니다. 또한 일반적으로 반응속도는 온도가 10°C 상승할 때마다 2-3배 빨라집니다. 이는 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자수가 그만큼 증가하기 때문입니다. 게다가 반응물질의 농도가 클수록 반응속도는 빨라지는데, 이는 반응물질의 농도가 증가하면 단위 부피 속의 분자수가 증가해 충돌 횟수가 늘어나기 때문입니다. 기체의 경우에는 압력이 증가하면 반응속도가 빨라지는 것도 같은 원리입니다. 참고로 서로 다른 상간의 경우에는 표면적을 늘릴수록 반응속도가 빨라집니다. 끝으로 촉매의 영향이 있습니다. 촉매는 반응의 속도만을 변화시키고, 자신은 반응 전후에 변화가 없는 물질을 말합니다. 촉매는 활성화 에너지의 높이를 변화시키기 때문에 반응을 빠르게 또는 느리게 진행시킬 수도 있습니다.

3. [기출문제] 혼합물의 분리

톨루엔, 에탄올, 아세트산의 물리화학적 특성을 비교하고, 이들이 섞여있을 때 분리할 수 있는 방법을 말해 보라.(서울대)

▶ 전문가 클리닉

물질이 섞여있을 때 이를 효율적으로 분리하는 것은 중요한 일입니다. 집에서 흔히 볼 수 있는 예로 밥을 짓기 전에 쌀을 씻는 것을 생각해 봅시다. 지금에야 그런 일이 적어졌지만, 간혹 밥을 먹을 때 돌을 씹는 일이 있습니다. 순수한 쌀과 돌을 제대로 분리하지 못해서 그런 현상이 일어나는

것입니다. 혼합물을 그 성분 물질들로 나누는 일을 분리라고 하며, 불순물을 제거해 순물질 얻는 조작을 정제라고 합니다. 혼합물을 효율적으로 분리하기 위해서는 혼합물을 구성하고 있는 각 성분들의 특성을 파악하고, 그 특성들 중의 가장 큰 차이점을 이용해야 합니다.

▶ 예시답안

톨루엔은 벤젠의 수소원자 1개가 알킬화반응을 거쳐 메틸기($-\text{CH}_3$)로 치환된 화합물입니다. 톨루엔과 같은 방향족 탄소 화합물은 독특한 냄새가 나는 무색, 휘발성 액체로 물의 끓는점 1°C 보다 더 높은 끓는점을 갖습니다. 톨루엔은 물에 녹지 않고, 알코올, 에테르, 아세톤 등의 유기용매에 잘 녹으며, 유기물질을 잘 녹입니다. 수소에 비해서 탄소가 많아 연소할 때 많은 산소를 필요로 하므로 공기 중에서 연소시 많은 그을음을 내면서 탑니다. 에탄올은 수소원자가 히드록시기($-\text{OH}$)로 치환된 알코올 화합물의 일종이며, 물에 녹아 이온화하지 않기에 중성상태입니다. 에탄올은 물에 용해되나, 탄소수가 많을 수록 알코올은 물에 대한 용해도가 작아집니다. 분자 간의 수소결합을 하기에 비슷한 분자량의 탄화수소에 비해서 녹는점, 끓는점이 높습니다. 알칼리 금속과 반응해 수소를 발생시키며, 산화반응을 거쳐 알데히드, 카르복실산 또는 케톤이 되며, 카르복실산과의 에스테르화 반응도 일어날 수 있습니다. 진한 황산과 함께 가열하면 온도에 따라 에틸렌과 에테르가 생성되는 탈수반응도 일어납니다. 또한 요오드와 KOH 수용액을 가하면 노란색 침전이 생기는 요오드포름 반응도 일어납니다.

아세트산은 탄화수소의 수소원자가 카르복실기($-\text{COOH}$)로 치환된 화합물로, 알코올을 초산발효시켜 얻습니다. 물에 녹으면 약한 산성을 나타내며, 산 촉매하에서 알코올과 축합반응을 해 에스테르를 형성합니다. 무색, 자극성의 액체로 순수한 것은 녹는점이 17°C , 끓는점은 118°C 입니다. 용매로 많이 쓰이며 의약품과 합성수지의 원료로도 사용됩니다.

톨루엔, 에탄올, 아세트산이 섞여있는 혼합물에 수산화나트륨 수용액을 넣어주는 추출법을 사용하면, 아세트산은 수산화나트륨 수용액과 중화반응을 거쳐 수용액 층으로 이동하게 되고, 유기용매 층에는 톨루엔과 에탄올이 있게 됩니다. 수용액 층에는 다시 염산을 첨가해 산성상태로 만들고, 끓는점이 낮은 유기용매를 넣은 뒤 물과 유기용매의 비중 차이를 이용한 분별깔대기법으로 아세트산을 얻을 수 있습니다. 톨루엔과 에탄올은 두 액체 사이의 끓는점 차이가 크기 때문에 분별증류법을 이용해 쉽게 분리할 수 있습니다.

4. [예상문제] 붉게 변한 철의 세계

좁은 의미에서의 산화-환원은 산소를 얻고 잃는 것을 의미한다. 철이 녹스는 것도 산화반응의 일종이다. 교량에 페인트를 칠하거나 합금을 이용해 코팅을 하는 방법들은 철의 산화과정을 억제하려는 것들이다. 그렇지만 넓은 의미에서의 산화는 전자를 잃는 것이며, 반대로 환원은 전자를 얻는 것을 의미한다.

1) $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{O}_2 + \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ 에서 아래 질문에 답하시오.

(1) 산화 환원 반응식의 계수를 맞춰서 완성하시오.

(2) 위의 반응에서 환원제는 무엇인가?

(3) 0.1몰/L KMnO_4 수용액 2백mL를 반응시키는데 필요한 0.1몰/L H_2O_2 의 부피는 얼마인가?

2) 질산은 수용액을 9.65A의 전류로 16분 4십초간 전기분해 시킬 경우, 양극과 음극에서 생성되는 물질과 환원과정을 통해 얻어지는 물질의 질량은?(Ag 1몰은 1백08g)

▶ 전문가 클리닉

어떤 물질이 산소와 결합하거나 수소를 잃거나 전자를 잃는 것을 산화라고 하며, 반대로 산소를 잃거나 수소나 전자를 얻는 것을 환원이라고 합니다. 산화-환원 반응은 어느 한쪽을 따로 떼어놓고 생각할 수 없으며, 산화가 일어나면 다른 쪽에서는 환원반응이 동시에 일어납니다.

1)번은 산화-환원 반응에서 산화수의 개념과 정의를 이해하고 이를 바탕으로 산화제와 환원제의 정확한 정의를 묻는 문제입니다. 또한 산화수를 이용해 화학반응식을 완결하는 법과 반응식이 의미하는 내용을 묻고 있습니다. 2)번은 1)번에서 다뤘던 반응식을 통해 패러데이의 법칙을 응용하는 내용입니다. 양극과 음극에서 일어나는 반응의 반응식을 작성할 줄 알아야 하고, 패러데이 법칙을 잘 알아둬야 합니다.

▶ 예시답안

1) 각 원자의 산화수를 우선적으로 살펴봐야 합니다. 산화수가 변한 것은 $\text{Mn}(+7 \rightarrow +2)$, H_2O_2 의 $\text{O}(-1 \rightarrow 0)$ 이고, 나머지는 변화가 없습니다.

(1) Mn의 산화수는 5만큼 감소했습니다(환원). 한편 과산화수소는 산화수가 1만큼 증가했습니다(산화). 따라서 Mn과 과산화수소의 비율은 1 : 5가 돼야 합니다.



가 되고, 이를 가장 간단한 정수의 비로 구하면,



(2) 환원제는 자기는 산화되면서, 다른 물질을 환원시키는 것을 의미합니다. 위의 반응에서 산화가 된 것은 H_2O_2 이고, 환원이 된 것은 Mn이기에 환원제는 H_2O_2 입니다.

(3) 완전히 반응을 시키기 위해서는 과망간산칼륨용액의 5배만큼의 과산화수소가 필요합니다. 동일한 몰수이기에 필요한 과산화수소는 1L에 이릅니다.

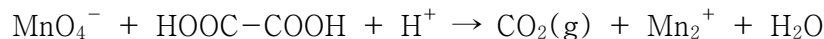
2) $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 를 전기분해 시키면, 음극에서는 전자를 받아 환원현상 $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s})$ 가 일어나며, 전자를 내놓는 양극에서는 $2\text{H}_2\text{O}(\text{aq}) \rightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{e}^-$ 가 됩니다.

한편 $9.65\text{A} \times 1000\text{s} = 9650\text{C}$ 로서, 0.1F에 해당합니다. 1F이 관여해서 1몰의 은이온을 은으로 환원시키는데, 이런 환원과정을 거쳐 음극에서 석출되는 은의 양은 0.1몰에 해당하는

10.8g입니다.

▶ 추가문제

옥살산($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)은 식물이나 과일에 존재하는 화합물이다. 산성 용액에서 과망간산 칼륨은 옥살산과 다음과 같이 반응해 이산화탄소를 발생시킨다.



- 1) 위 반응에서 산화제와 환원제로 작용한 물질은 각각 무엇인가?
- 2) 위 반응식의 계수를 맞추고 과망간산칼륨 1몰이 소모됐을 때 이산화탄소는 몇 몰이 생성되었는가?

5. [기출문제] 과학논술의 실제(2004년 성균관대 제시문Ⅱ)

모든 원자는 차지하는 부피는 작지만 원자 대부분의 질량을 차지하는 양전하를 띠는 원자핵을 갖고 있다. (이하생략)

- 1) There are three samples of radioactive nuclei A, B, C of equal amount N_0 . Their half-lives τ_A , τ_B , and τ_C are in the ratio of $\tau_A : \tau_B : \tau_C = 1 : 2 : 3$. Plot $N(t)$'s for all three nuclei into one graph and compare their decay behaviors.
- 2) The following experiments were performed in order to identify the particles emitted from the above radioactive nuclei A, B, and C.
 - (a) When the particles were incident on a thin wooden plate, the particles only from the A and C nuclei passed through the plate.
 - (b) When the particles were incident on a thin steel plate, the particles only from the A nuclei passed through the plate.

Identify each type of particles emitted from A, B, and C nuclei on the basis of these observations, and explain your reasoning.

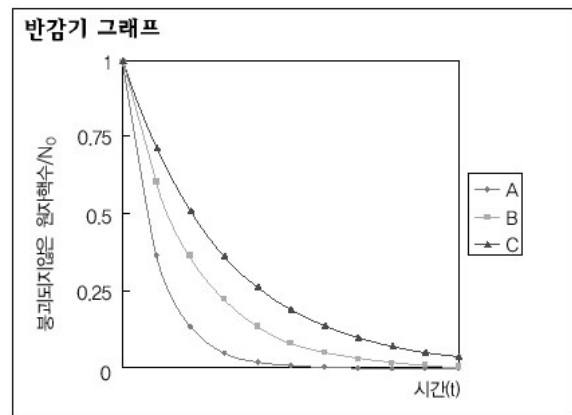
▶ 전문가 클리닉

2004년도 성균관대 입학문제는 영어해석을 바탕으로 해서, 과학적인 설명을 논술로 작성하는 것을 주된 평가의 기본으로 삼고 있습니다. 영어지문이야 일부대학에서도 간간히 출제되곤 했지만, 과학적인 지식을 요하는 문제는 그리 흔치 않은 경우입니다. 그러나 이공계의 중요성이 증가할 수록 이러한 형태의 과학논술도 점차 증가하리라고 생각됩니다. 1)에서는 A, B, C 3종류의 방사성 원자핵의 반감기를 함께 그려보고, 붕괴되는 특성을 비교하는 것입니다. 2)에서는 방사성 원자핵이 붕괴될 때 어떤 것이 차폐층을 통과할 수 있을 정도로 에너지가 높은 것인가를 판단하는 문제입니다. 지면이 짧은 관계로 제시문을 전부 실지는 못했지만, 인터넷을 이용해 제시문을 보면서 공부하시기 바랍니다.

▶ 예시답안

- 1) 반감기의 길이는 A
- 2) 방사성 붕괴를 통해 차폐물의 통과여부를 관찰하면, 나무판의 경우에는 A와 C가 나오는 것을 확인할 수 있지만, 금속판의 경우에는 오직 A만을 확인할 수 있습니다. 방사성 붕괴

가 어떠한 과정을 거치는지 설명이 필요합니다. 앞의 제시문에서는 α , β , γ 의 3종류 붕괴가 언급됐습니다. α 입자는 He의 핵이고, β 입자는 전자, 그리고 γ 입자는 고에너지입니다. 이들의 물질 통과를 고려하면 α 입자는 전자에 비해 질량이 매우 크기 때문에 공기 중에서 비행거리가 극히 짧아 종이 한장도 제대로 통과하지 못합니다. β 입자는 α 입자에 비해 질량이 극히 작기 때문에 산란되며, 깊이 투과하지 못하고 알루미늄 정도에서 차폐됩니다. 한편, γ 입자는 여기된 원자핵 내부에서 방출되는 파장이 아주 짧은 전자파이며, 납 정도가 되어야 차폐가 가능합니다. 따라서, A는 γ 붕괴, B는 α 붕괴, C는 β 붕괴를 따라 각각의 입자를 배출합니다.



2004년 05월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 이번호에서는 1학기 수시모집을 실시했던 대학들의 기출문제를 다뤄봤습니다. 화학의 기본단위라고 할 수 있는 몰의 개념을 묻는 문제, 화학반응식과 관련식의 완성, 그리고 화학반응의 원리에 대한 내용을 중점적으로 다뤘고, 기체의 성질과 관련된 여러 법칙들과 화학결합에 대한 내용도 다뤘습니다. 비록 이 순간은 어려울지 모르지만 조금만 더 참으며 열심히 공부하시길 바랍니다.

1. [기출문제] 화학의 기본단위

몰을 이해하는 기본 핵심은 1몰은 항상 같은 수의 입자를 포함하며 물질의 종류에는 무관하다는 것이다. 1몰에 들어있는 입자의 수는 6.022×10^{23} 개라는 아보가드로의 수로 알려져 있고 C-12의 정확한 12g에 들어있는 입자 수로 정의됐다. 즉, 탄소 1몰은 6.022×10^{23} 개의 탄소원자를 포함하며, C-12원자 1몰의 질량은 12.00g로 정의됐고, 따라서 C-12의 물질량은 12.00g/몰이다. 분자나 이온의 물질량은 성분 원소들의 물질량을 모두 합한 것과 같다. 다음 질문에 답하라(숙명여대 2003년 수시).

- 1) 유효숫자 한자리로 표시하면 수소원자 한 개의 질량은 대략 얼마인가?
- 2) 물 3mL 속에 들어있는 물분자의 수는?
- 3) 주기율표에 보면 탄소의 원자량(물질량)은 12.000g/몰이 아니고 12.011g/몰이다. 설명하시오.
- 4) 에테인의 분자식 C_2H_6 에서 아래첨자 2와 6이 나타내는 의미는 무엇인가?
- 5) 4)에서 에테인을 구성하고 있는 원자의 백분율 조성비를 계산하시오(유효숫자 두자리).

▶ 전문가 클리닉

보통 물건을 세는 단위로는 개, 병, 박스, 근, 손 등 여러가지가 있으며 사물의 종류에 따라서 유독 많이 쓰는 단위가 존재합니다. 화학에서도 그 양이 얼마가 되는지를 살펴볼 필요가 있으며, 그러기 위해서는 단위가 필요합니다. 언제까지 원자 1개, 분자 1개 등으로 개수를 셀 수는 없기 때문입니다. 그러기 위해서 사용하는 것이 몰(mol)입니다. 몰이라는 단위를 사용함으로써 서로 다른 화합물의 양을 비교할 수 있는 것입니다. 그런 점이 가능한 것은 모든 화합물의 1몰은 그것을 구성하는 개수가 동일하기 때문입니다. 1몰을 구성하는 수를 아보가드로의 수(NA)라고 하며, 이는 각 원소의 원자량을 원자 1개의 질량으로 나눈 값을 의미합니다.

▶ 예시답안

- 1) 아보가드로수 $6.022 \times 10^{23} = 1.00g/X$ (X =수소원자 1개의 질량)이기 때문에 수식을 변경해 X 값을 구하면 됩니다. 따라서, $X = 1.00g / (6.022 \times 10^{23}) = 1.66 \times 10^{-24}g/개$ 이며, 질문에서 요구한대로 유효숫자 한자리로 표현을 하면 $2 \times 10^{-24}g/개$ 가 됩니다.
- 2) 물 3mL는 물의 밀도가 1g/mL이기 때문에 3g에 해당합니다. 물은 H_2O 로 구성된 것이며, 물 1몰에 해당하는 질량은 18g입니다. 그렇기 때문에 3g에 해당하는 물은 1몰에 해당하는 질량의 1/6 배입니다. 아보가드로수에 1/6배를 하면 3mL에 들어있는 물분자의 수를 얻을 수 있으며, 그 수는 1.004×10^{23} 개입니다.
- 3) 탄소의 물질량은 12.000g/몰이라고 설명을 했습니다. 그렇지만 모든 화학책에 실려있는 주

기울표의 탄소를 찾아보면 그 물질량 값이 12.011g/몰로 나와있습니다. 이는 자연계 내에서 존재하는 탄소의 종류가 C-12만이 아니라 동위원소인 C-13도 존재하기 때문입니다. C-12와 C-13의 존재비율을 고려해 계산하면 $C-12 \times 98.89\% + C-13 \times 1.11\% = 12.011g/\text{몰}$ 값을 얻습니다.

4) 물질을 구성하는 기본 입자인 원자, 분자 또는 이온을 원소 기호를 이용해 나타낸 식을 화학식이라고 합니다. 화학식에는 실험식, 분자식, 구조식, 시정식이 있으며 그 중에서도 분자식은 분자를 구성하는 원자의 종류와 수를 원소기호로 나타낸 식을 의미합니다. 에테인의 분자식을 살펴보면 각 구성원자가 탄소와 수소이며, 탄소와 수소가 각각 2개와 6개입니다.

5) 에테인의 물질량은 $12.011 \times 2 + 1.008 \times 6 = 30.07g/\text{몰}$ 입니다.

탄소의 질량 백분율 = $12.011 \times 2 / 30.07 \times 100(\%) = 79.9\%$ 이며,

수소의 질량 백분율 = $1.008 \times 6 / 30.07 \times 100(\%) = 20.1\%$ 입니다.

이들을 각각 유효숫자 두자리로 맞추면 탄소는 80%, 수소는 20%의 질량백분율을 각각 차지하게 됩니다.

2. [예상문제] 기체상태

기체의 성질과 관련된 아래 질문에 답하시오.

- 1) 이상기체는 실제로 존재하는 것인지 설명하시오. 만약 실제로 존재할 수 없다면 실제 기체가 이상기체와 같게 되기 위해 필요한 조건을 설명하시오.
- 2) 27°C, 76cmHg에서 어떤 기체 3L의 질량이 3.6g이다. 이 기체의 분자량을 소수점 아래 한자리까지 구하시오(기체상수는 8.315J/mol·K 또는 0.082L·atm/mol·K).
- 3) 매년 돌아오는 어린이날에는 하늘 가득히 풍선을 날려보내곤 한다. 보통 이 풍선에는 헬륨 기체를 채우는데, 하늘로 날아오르는 풍선의 상태는 어떻게 변화할 것인지 설명하시오.
- 4) 일정 온도와 압력에서 어떤 기체 X를 60mL 분출하는데 10초가 걸렸다. 같은 조건에서 수소 기체 4백80mL를 분출하는데 20초가 걸렸다면 이 기체 X의 분자량은 얼마인가? 기체 X라고 짐작할 수 있는 기체는 무엇인가?

▶ 전문가 클리닉

주변의 모든 물질은 어떤 상태로 존재합니다. 즉 고체, 액체, 기체 상태이며 이들을 물질의 ‘세 가지 상’이라고 합니다. 그 중에서도 기체는 주변 환경의 변화에 따라 민감하게 반응합니다. 기체와 관련된 법칙에는 여러가지가 있습니다. 기체의 압력과 부피가 반비례한다는 보일의 법칙, 온도와 부피가 비례한다는 샤를의 법칙, 보일-샤를의 법칙, 온도와 압력이 같은 상태일 때 같은 부피에는 같은 몰수가 들어있다는 아보가드로의 법칙이 있습니다. 또한 이들 법칙의 핵심이라고 할 수 있는 이상기체상태방정식이 있습니다. 특히 이상기체 상태방정식은 기체와 관련된 현상을 설명하는데 상당히 유용하기에 정확히 이해해둬야 합니다. 이 밖에도 기체와 관련된 법칙으로 돌턴의 부분압력의 법칙과 그레이엄의 법칙도 있습니다.

▶ 예시답안

- 1) 이상기체란 기체 분자의 종류에 관계없이 빈 공간 속에서 자유롭게 운동하며 열에 의해서만 분자의 운동에너지가 변한다는 기체분자운동론을 만족하는 가상의 기체입니다. 비록 질

량과 에너지는 갖고 있지만, 기체 분자들 간에 인력이나 반발력이 전혀 작용하지 않고, 분자간 완전탄성충돌을 하며, 분자 자체의 부피가 없기 때문에 0K에서 부피가 0이며, 평균 운동에너지는 절대온도에 비례합니다. 따라서 실제기체가 이상기체에 가까워지기 위해서는 온도는 높을 수록, 압력은 낮을 수록, 분자량은 작을 수록 좋습니다. 온도가 높을 수록 압력이 낮을 수록 분자간 거리가 멀어지기 때문에 분자간 인력이 작아질 것이고, 분자량이 작을 수록 분자간 인력이 작아져서 분자간 인력을 무시할 수 있습니다.

2) 이상기체 상태방정식은 $PV=nRT$ 이며, $n=w/M$ (w : 질량, M : 몰질량)이기에, $PV=(w/M)RT$ 입니다.

식을 약간 변형하면 $M=wRT/PV$ 가 됩니다. 각 요소를 식에 대입하면 $M=(3.6 \times 0.082 \times 300)/(1 \times 3)=29.5\text{g/몰}$ 입니다.

3) 지표면에서의 대기압(외부압력)은 1기압이지만 상공으로 올라 갈수록 5Km마다 약 절반 정도의 대기 압력이 감소합니다. 풍선 속에 들어있는 헬륨의 몰수(n)는 일정하고 온도 변화는 압력 변화에 비해 작으므로 온도가 일정하다고 가정하면 보일의 법칙으로 이해할 수 있습니다.

보일의 법칙 : $P_1V_1=P_2V_2=k$ (비례 상수)

보일의 법칙에 의하면 n 과 T 가 일정하면 PV 값이 상수가 됩니다. 지표면에서 풍선의 압력은 대기압과 고무풍선 자체의 장력과 평형을 이루지만 상공으로 높이 올라갈수록 대기압은 감소합니다. 즉, P_2 가 감소하므로 $P_1V_1=P_2V_2$ 가 되려면 V_2 가 증가해야 합니다. 그러므로 풍선은 상공으로 계속 올라갈수록 부피가 계속 커지다가 결국 터집니다.

4) 1829년에 발표된 그레이엄의 법칙에 따르면 같은 온도와 압력에서 두 기체의 상대적인 유

출률은 분자량의 제곱근에 반비례한다고 했습니다. 즉 $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$ 에서 양변을 제곱해서 이

항하면 $M_2 = M_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 = 2 \times \left(\frac{24}{6}\right)^2 = 32\text{g/mol}$ (v_1 : 24mL/sec, v_2 : 6mL/sec, M_1 :2g/mol)

따라서 M 이라고 짐작할 수 있는 기체는 산소(O_2)라고 볼 수 있습니다.

3. [기출문제] 화학식 만들기

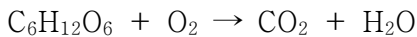
탄수화물 중의 하나인 글루코오스($C_6H_{12}O_6$, 분자량 : 180)는 사람의 활동에 중요한 에너지원이다. 글루코오스가 완전 연소되면 이산화탄소와 물이 발생하게 된다. 열량계를 사용해 글루코오스의 열량을 측정하려 한다. 90g의 글루코오스를 완전 연소시키기 위한 산소의 최소 부피(L)는 얼마인가?(단, 1기압, 27℃이고 전체적으로 이상기체 조건을 만족함)(한양대 2003년 수시)

▶ 전문가 클리닉

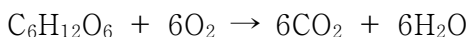
수를 셈하기 위해 필요한 것은 숫자를 아는 것입니다. 마찬가지로 화학반응을 이해하기 위해서는 화학식을 구성할 줄 알아야 합니다. 화학반응은 원자 자체는 파괴되거나 새로 생성되지는 않지만, 원자들간의 배열이 새롭게 짜여지면서 분자가 달라지는 현상입니다. 그러한 화학반응이 어떻게 진행되는가를 알 수 있는 것이 바로 화학반응식입니다. 화학반응식은 화살표를 중심으로 왼쪽의 반응물, 오른쪽의 생성물로 구분됩니다. 화학반응식을 작성하고 이해한다면 화학반응이 어떻게 흘러가는지를 명쾌하게 이해할 수 있습니다. 화학반응식은 반응물과 생성물의 화학식에 계수를 맞춰서 완성되는데, 몰 개념을 사용하면 보다 편하게 계산할 수 있습니다.

▶ 예시답안

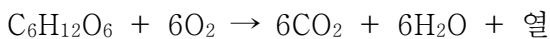
문제에서 글루코오스와 산소가 반응해 완전 연소를 한다면, 이산화탄소와 물이 생성된다고 했습니다. 따라서 화학반응식의 화살표 왼쪽에는 반응물인 글루코오스와 산소를 적고, 오른쪽에는 반응의 생성물을 적습니다.



위의 식에서 이상하게 느껴지는 것이 있을 것입니다. 그것은 화살표 왼쪽과 오른쪽의 원자 개수가 맞지 않기 때문입니다. 왼쪽과 오른쪽의 개수를 맞춰주기 위해서 적당한 계수를 취해줘야 합니다. 가장 쉬운 순서는 양쪽에서 한 번만 등장하는 탄소와 수소 계수를 먼저 고려하고 그 후에 산소의 계수를 정해줍니다. 그래서 얻어지는 완전한 화학반응식은 다음과 같습니다.



일반적으로 화학변화가 일어날 때는 열이나 빛, 소리와 같은 부수적인 에너지의 출입이 있습니다. 따라서 좀더 엄밀하게 화학반응식을 작성하면,



이 됩니다. 화학반응식을 통해 글루코오스 1몰을 연소시키기 위해서는 6몰의 산소가 필요하다는 것을 알 수 있습니다. 글루코오스 90g는 0.5몰에 해당하기 때문에 연소하는데 3몰의 산소가 필요하며, 그 양은 이상기체 상태방정식을 통해 얻을 수 있습니다.

따라서 그 부피는 $V=nRT/P=(3 \times 0.082 \times 300)/1=73.8\text{L}$ 가 됩니다.

4. [예상문제] 화학결합의 종류

화학결합은 원자들 사이의 인력과 척력의 합이 가장 작은 상태로 이뤄집니다. 이러한 화학결합은 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 나눌 수 있습니다. 아래의 물음에 답하십시오.

- 1) 공유결합으로 형성된 분자들 사이에는 다양한 인력이 작용한다. 이들에 대해 설명하십시오.
- 2) 이산화규소(SiO_2)와 이산화탄소(CO_2)는 산소와 동일한 결합을 이루지만 끓는점은 이산화규소가 훨씬 높다. 그 이유는?

▶ 전문가 클리닉

원소들 사이의 결합인 화학결합은 크게 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 구별할 수 있습니다. 화학결합의 종류는 결합에 참여하는 원소의 종류에 따라 결정할 수 있으나, 이들 결합은 모두 화합결합에 참여한 원소의 최외각전자의 개수를 8개로 만족시킨다는 공통점을 지닙니다. 즉 결합의 종류에 따라 방법에는 차이가 있으나 화학결합 결과 결합에 참여한 원소들의 대부분은 비활성기체의 최외각전자 개수와 같이 가장 바깥 전자껍질을 8개의 전자로 채웁니다. 이것을 ‘옥텟 규칙’이라고 합니다. 화학결합의 한 종류인 공유결합은 전기음성도가 큰 비금속 원소끼리의 결합입니다. 비금속 원소의 경우 금속 원소에 비해 이온화에너지가 커서 전자를 받아들여 옥텟 상태가 되려고 합니다. 그러나 원소들 사이에 전기음성도 차이가 크지 않으므로 이온결합에서처럼 전자를 얻어오기 어렵습니다. 따라서 각각의 비금속 원소가 지닌 홀전자를 두 원소가 서로 공유하는 방식으로 부족한 전자를 채우고 옥텟 규칙을 만족시킵니다.

▶ 예시답안

- 1) 공유결합은 극성 공유결합과 비극성 공유결합 그리고 배위결합으로 나눌 수 있습니다. 공유결합 분자들 사이에는 네가지의 분자간의 힘이 존재하는데, 이들은 분자의 극성, 모양, 분자량 등에 따라 구분됩니다.
 - a) 이중극자-이중극자 힘 : 극성 분자들 사이에 작용하는 정전기적 인력으로 분자의 이중극자 모멘트가 클수록 강합니다.
 - b) 이중극자-유발 이중극자 힘 : 극성 분자가 접근하면 비극성 분자는 편극 현상이 일어나 분자 내에 부분 전하(δ^+ , δ^-)를 띠는 유발 이중극자가 형성됩니다. 유발 이중극자와 유발 이중극자를 유발한 극성 분자 사이의 정전기적 인력입니다.
 - c) 분산력 : 무극성 분자에서 전자들의 분포는 극성을 나타내지 않지만, 어떤 순간에는 전자들이 한쪽으로 몰려 있어서 이중극자가 되기도 합니다. 이런 순간적인 이중극자에 의해 두 원자들 또는 두 분자들 사이에 인력이 작용하는데, 이 힘을 분산력이라고 합니다. 분산력은 전자가 많을 수록 분자량이 클수록 크며, 분자 사이의 접촉 면적이 클수록 커집니다.
 - d) 수소 결합 : 극성 분자들 사이에 작용하는 힘으로 전기음성도가 큰 O, N, F에 결합된 수소와, 이웃한 다른 O, N, F 원자의 비공유 전자쌍간에 미치는 힘입니다.
- 2) 이산화규소는 공유결정 또는 원자결정 화합물이고, 이산화탄소는 분자결정입니다. 공유결정은 공유결합을 이룬 결정이 인접한 원자끼리 연속적으로 공유결합을 형성해 모든 원자가 그물처럼 이어지는 결정 구조입니다. 공유결정은 결정을 이루고 있는 모든 원자들이 강한 공유결합에 의해 연결돼 있으므로 결합력이 강하고, 녹는점과 끓는점이 매우 높고, 승화열이 크며, 전기전도성은 액체 및 고체 상태에서도 없습니다. 분자결정을 형성하는 공유결합 분자는 기체, 액체, 고체 상태에서도 분자 모양을 그대로 유지하며, 분자 사이의 인력에 의해 분자들이 규칙적으로 배열돼 결정을 이룹니다. 비극성 분자결정에서 분자들 사이에 작용하는 힘은 분산력 또는 반데르발스 인력입니다. 이 힘은 공유결합력에 비해 훨씬 약하므로 상대적으로 녹는점이 낮고 용융열이나 승화열도 낮습니다. 분산력은 분자량이 증가할 수록, 분자 사이의 접촉 면적이 클수록 증가합니다. 예로는 요오드(I_2), 드라이아이스(CO_2), 나프탈렌($C_{10}H_8$) 등이 있습니다.

5. [기출문제] 변했을까? 안 변했을까?

1기압 하에서 온도가 0°C 보다 높을 때는 얼음이 녹는 것이 자발적이나 0°C 보다 낮을 때는 물이 어는 것처럼, 자발적 변화의 방향은 온도, 압력, 농도 등의 조건에 따라 바뀔 수 있다 (서울대 2003년).

- 1) 격렬한 발열반응은 흔히 자발적으로 진행된다는 사실과 한 용기 내에서 두 기체 사이를 분리하고 있는 칸막이를 제거하면 두 기체가 자발적으로 섞인다는 사실을 이용해, 일반적인 화학반응의 자발성을 증가시키는 인자들을 말하시오.
- 2) 1기압 하에서 물이 어는 과정 중 온도가 0°C 보다 높을 때는 비자발적이었다가 0°C 보다 낮을 때는 자발적으로 바뀌는 이유를 1번에서 답한 자발성을 증가시키는 인자들을 이용해 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

흔히 화학반응이 자발적으로 진행된다고 하면, 열을 내는 발열반응을 생각합니다. 일반적으로 발열반응이 자발적인 반응이지만, 이는 사실 부정확한 표현입니다. 화학반응의 자발성과 비자

발성을 구분하기 위해서는 깃스자유에너지의 개념을 알아두면 좋습니다. 반응열이 도입된 열화학 반응식에서는 엔탈피의 개념을 사용했습니다. 엔탈피는 어떤 물질 속에 축적된 열함량을 의미하며, 반응물과 생성물간의 엔탈피 변화를 통해 발열반응인지 흡열반응인지를 알 수 있고, 이를 통해 반응의 자발성을 고려하곤 했습니다. 마찬가지로 깃스자유에너지 개념에서도 이러한 엔탈피 개념은 적용됩니다. 그렇지만 엔탈피와 함께 엔트로피라는 무질서도의 개념도 사용됩니다. 엔탈피와 엔트로피를 함께 적용하면 소금과 같은 고체를 물에 녹이는 흡열반응도 자발성 반응으로 이해됩니다.

▶ 예시답안

1) 깃스자유에너지(G)=엔탈피(H)-절대온도(T)×엔트로피(S) 라는 식을 통해 얻을 수 있습니다. 깃스자유에너지가 음(-)의 값이면 반응이 자발적으로 진행된다는 것을, 반대로 깃스자유에너지가 양(+)의 값을 가지면 반응이 비자발적으로 진행된다는 것을 의미합니다. 자발적인 반응에서는 일반적으로 엔트로피, 즉 무질서도는 항상 증가하는 값을 갖습니다. 한편 엔탈피가 음(-)의 값을 갖는다면 언제나 깃스자유에너지 값은 음(-) 상태이기에 반응이 자발적으로 진행된다고 할 수 있습니다. 열화학 반응식에서 엔탈피값이 음이면 항상 자발적인 반응이라는 것은 이 때문입니다. 화학반응이 자발적으로 진행되기 위해서는 엔탈피가 음의 값을 갖고, 엔트로피 값이 커지는 쪽이면 됩니다. 또한 엔탈피가 양의 값을 갖더라도 엔트로피의 변화가 엔탈피 변화를 무시할 정도면 반응은 자발적으로 진행됩니다.

칸막이로 두 기체를 분리하다가 그것을 제거하면 당연히 두 기체가 섞이듯, 일반적인 반응에서도 반응의 자발성을 증가시키기 위해서는 먼저 반응은 항상 평형상태를 유지하려고 한다는 것을 염두에 두어야 합니다. 평형상태라는 것은 정반응과 역반응의 속도가 같아 겉보기에는 반응이 정지된 것처럼 보이는 상태를 의미합니다. 화학평형을 결정짓는 요소가 바로 앞서 설명했던 엔탈피와 엔트로피입니다. 자발적인 반응은 엔탈피가 낮아지는 쪽으로 진행되며, 엔트로피가 증가하는 쪽으로 진행됩니다. 그리고 화학평형 상태는 이 두 요인이 적절히 조화를 이루는 상태를 의미합니다. 화학평형을 변화시킬 수 있는 농도, 압력, 온도도 모두 이 같은 요소들의 영향 때문입니다.

2) 물이 얼음 상태로 변화하는 것은 엔탈피가 감소하는 것이며 엔트로피도 감소하는 방향입니다. 우선 엔탈피 측면을 고려한다면, $H_2O(s) + \text{열} \rightarrow H_2O(l)$ 이 되기에, 온도가 낮아지면 주변에서 열을 흡수해 얼음이 물이 되는 정반응이 일어나기보다는 역반응이 일어나기 쉽습니다. 한편 엔트로피를 감안할 경우, 온도가 낮아지면 분자의 운동에너지도 감소돼 분자의 운동성이 현격히 낮아지게 됩니다. 그것은 분자가 무질서하게 돌아다니는 확률이 낮아지는 것을 의미합니다. 일반적으로 기체, 액체, 고체의 순으로 무질서도가 작아집니다. 엔탈피와 엔트로피적인 요소를 종합적으로 고려해볼 때, 0°C 보다 온도가 낮게 되면 물이 얼어서 얼음이 되는 것이 자발적인 반응의 진행 양상입니다.

2004년 06월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 이번 달에는 화학1에서 많은 비중을 차지하지는 않지만 산-염기와 관련된 문제와 물의 성질과 탄소화합물의 특성을 다루고, 산성비와 관련된 현상과 원인, 철의 부식을 억제할 수 있는 방법과 원리에 대해 살펴볼 것입니다. 시간이 갈수록 입시생들은 조급해지겠지만 교과서 내용에 좀더 관심을 가졌으면 합니다. 문제의 형식만 다를 뿐이지 모든 내용은 교과서에 담겨 있기 때문입니다. 1학기 수시뿐만 아니라 2학기 수시, 정시 등 앞으로 다가오는 입시에서 좋은 결과가 있길 바랍니다.

1. [기출문제] 산과 염기도 측정하기

일반적으로 산의 세기는 산-이온화상수(K_a) 값의 크기로, 수용액에서 히드로늄이온 농도 $[H_3O^+]$ 는 pH 척도로 나타낸다. 용액의 농도는 용액 1L 속에 녹아 있는 용질의 몰수로 나타낸다. 예를 들면 수산화나트륨 1몰(40g)을 물에 녹여 1L를 만들 때 얻어지는 수산화나트륨 용액의 몰농도는 1M(1몰/L)이다. 다음 질문에 답하라(숙명여대 2003년 수시).

- 1) 수산화나트륨 0.2g을 물에 녹여 5백mL의 용액을 만들었다. 용액의 몰농도는 얼마인가?
- 2) 위 수용액의 pH는?
- 3) 이 용액 20mL를 중화시키는데 식초산 용액 40mL가 필요했다. 식초산 용액의 몰농도를 계산하라.
- 4) 가정에서 사용하는 식초의 함량을 측정하기 위해 NaOH 수용액으로 적정을 하고자 한다. 사용할 수 있는 지시약을 예를 들고 그 이유를 설명하라. 또한 실험에 필요한 기기 및 기구의 예를 들어라.
- 5) 순수한 물의 pH는 7이다. 이 용액에 $1 \times 10^{-8}M$ 염화수소(HCl) 소량을 가하면 수용액의 pH는 대강 얼마인가?

▶ 전문가 클리닉

사람들은 고대부터 산-염기를 알았습니다. 시큼한 맛이 나는 물질 만지면 미끈거리는 물질이라는 일상적 경험을 통해 이들의 간단한 성질들부터 독특한 성질들까지 알고 있었습니다. 아레니우스는 산은 수용액에서 이온화해 수소이온(H^+)을 내는 물질로, 염기는 수산화이온(OH^-)을 내는 물질로 정의했습니다. 브뢴스테드는 더 나아가 산은 양성자(H^+)를 내놓는 물질, 염기는 양성자(H^+)를 받아들이는 물질로 정의했습니다. 한편 루이스는 산이란 전자쌍을 받아들이는 물질, 염기는 전자쌍을 내놓는 물질로 정의했습니다. 이런 산-염기와 관련된 문제는 대개 pH와 농도에 관련된 문제들이 많이 출제됩니다. 따라서 각각의 개념들을 확실히 이해하고 있어야 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 몰농도는 용액 1L에 들어있는 용질의 몰수를 의미하는 것으로 이 값에 부피의 개념이 포함되므로 온도에 따라 약간씩 차이가 납니다.

수산화나트륨 수용액의 몰농도는

$$M = 0.2 / 40 \div 0.5 = 0.01 \text{ mol/L} = 0.01M \text{입니다.}$$

2) $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ 입니다. 한편 물의 이온화곱 상수 $K_w = 1.0 \times 10^{-14} = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$ 이기 때문에 이 식을 이용해서 $[\text{H}^+]$ 값을 구할 수 있습니다. $[\text{OH}^-] = 0.01$ 이기에 $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-12}$ 가 되고, $\text{pH} = 12$ 가 됩니다.

3) 중화적정은 산의 몰수와 염기의 몰수가 같게 되는 것을 의미하기에 $n\text{MV} = n'\text{M}'\text{V}'$ 식을 만족하면 됩니다. 한편 식초산은 양성자를 1개 내놓을 수 있는 산이기에 준 식은 다음과 같이 됩니다.

$$1 \times 0.01 \times 0.02 = 1 \times \text{M}' \times 0.04 \text{로 } \text{M}' = 0.005\text{M임을 알 수 있습니다.}$$

4) 3)에서 언급했듯이 중화적정을 통해 함량을 측정하기 위한 실험에서 적합한 지시약은 중화점의 변색 범위에 가까운 시약을 사용하는 것이 좋습니다. 중성에서 염기성으로 넘어갈 경우 이 현상을 확실하게 관찰할 수 있는 지시약은 페놀프탈레인이 있습니다. 이 시약은 산성이나 중성일 때는 무색을 띠고 있다가 염기성이 될 때 붉은색으로 변합니다.

5) $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ 를 이용해 구하면 되는데, 여기서 주의할 점은 이 수소이온 농도를 단순히 구해서는 안된다는 것입니다. 그냥 단순히 구하면 $1 \times 10^{-8}\text{M}$ 의 염화수소(HCl)를 가했기에 $[\text{H}^+] = 10^{-8}\text{M}$ 라는 값을 얻고 $\text{pH} = 8$ 이라고 답을 합니다. 그런데 염산을 가했는데도 불구하고 오히려 pH 는 염기성 쪽의 값을 얻었습니다. 상식적으로 생각해도 이해되지 않을 것입니다. 이런 답이 도출된 것은 순수한 물의 자동 이온화도를 간과했기 때문입니다. 순수한 물도 $\text{pH} = 7$ 이라고 하듯이 $[\text{H}^+] = 10^{-7}$ 을 포함하고 있습니다.

$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$ 에서 물에 의해 발생하는 $[\text{H}^+]$ 는 x 로, 염산에서 발생하는 $[\text{H}^+]$ 는 a 라고 놓으면 식은 아래처럼 변합니다.

$$[x+a][x-a] = 10^{-14}$$

a 값이 x 값보다 작다고 가정하면 준식은 $x^2 = 10^{-14}$ 가 되고 $x = 10^{-7}$ 이 돼 $\text{pH} = 7$ 이 됩니다. 앞서 살펴보았듯이 염산에서 내놓는 $[\text{H}^+]$ 는 순수한 물의 경우보다 작다는 것을 알 수 있으며, 공통이온 효과를 고려한다면 이 값은 더 작아질 것입니다. 그렇기 때문에 이와 같은 가정이 유효합니다.

2. [예상문제] 물의 신비

미국항공우주국(NASA)은 화성에서 물의 흔적이 발견됐다고 발표했습니다. 우리주변에서 흔하게 볼 수 있는 물을 멀리 떨어져 있는 행성에서 찾으려고 노력하고, 그 흔적을 발견하면 흥분을 합니다. 이는 물이 갖는 독특한 성질 때문입니다. 분자량이 비슷한 메탄(CH_4), 암모니아(NH_3)의 경우는 모두 상온에서 기체상태이지만, 물만은 액체 상태를 유지합니다. 물만이 갖는 독특한 성질에 관해 설명해 보시오.

▶ 전문가 클리닉

물은 생명체가 생겨나고 생명을 유지하는데 핵심적인 물질입니다. 물의 독특한 성질 때문에 과학자들은 물이 풍부한 지구에서 생명체가 만들어질 수 있었다고 추정하고 있습니다. 물의 존재 여부를 밝히는 것은 지구 이외의 다른 행성에 생명체가 존재하고 있는지, 그럴 가능성은 없는지를 알아보기 위한 하나의 방법입니다.

물은 다른 여타의 물질들과는 다른 현상을 보입니다. 예를 들어 고체인 얼음이 액체인 물 위에

뜨다던가, 해안 지역이 내륙 지역보다 밤낮의 온도차가 적다던가, 하루 중에 해풍과 육풍이 교대로 부는 등은 물의 성질 때문에 비롯된 자연현상입니다. 물과 관련된 문제는 작년까지도 지속적으로 출제됐습니다. 그러므로 물이 갖는 성질을 이해하고, 더 나아가 상평형그림에 대한 내용도 파악해 두면 좋겠습니다.

▶ 예시답안

물분자(H_2O)에는 2개의 수소원자가 한 개의 중심 산소원자에 공유결합으로 연결돼 있습니다. 공유결합을 형성하는 전자쌍을 두 원자간의 전기음성도 차이 (산소의 전기음성도>수소의 전기음성도) 때문에 산소원자가 수소원자 보다 강하게 끌어당깁니다. 그 결과 물분자 내에서 산소원자 쪽은 부분 음전하(δ^-)를 띠고, 두개의 수소원자는 부분 양전하(δ^+)를 형성하게 됩니다. 물분자와 같이 산소와 수소원자 사이에 형성된 불균등한 전자의 공유를 ‘극성 공유 결합’이라고 합니다. 이런 물분자의 극성은 물분자 사이의 상호 작용을 가능케 합니다.

물분자의 양전하 부분인 수소원자는 주변에 있는 또다른 물분자의 음전하 부분인 산소원자와 공유결합보다는 약한 분자간 결합을 형성하는데 이를 ‘수소결합’이라고 합니다. 물분자 하나는 주변에 있는 4개의 물분자와 수소결합을 할 수 있습니다. 물의 극성과 수소결합으로 인해 물은 독특한 특성을 지닙니다.

액체 상태의 물분자간의 수소결합은 아주 짧은 시간(10^{-14} 초)동안 유지되지만 물분자는 끊임없이 수소결합을 형성하며, 이를 통해 대부분의 액체보다 강한 응집력을 가집니다. 그리고 이런 물의 응집력은 생명체에서 중요한 역할을 합니다. 뿌리에서 위로 물이 운반되는 과정(중력의 반대방향으로 이동)과 표면장력이 그 예입니다. 표면장력은 물과 공기가 접촉하는 면에서 물분자 사이의 인력이 물과 공기 분자 사이의 인력보다 크기 때문에 나타나는 현상입니다. 물은 물분자 사이의 수소결합으로 인해 탄력 있는 타원형의 막과 둥근 모양의 물방울을 형성합니다.

생명체와 관련해 물의 중요한 특성 중의 하나는 비열이 높다는 점입니다. 물은 수소결합에 의해 물분자들끼리 강한 결합을 하고 있고, 분자간 수소결합을 파괴하는데 열을 소비하므로 다른 물질에 비해 온도를 높이기 위해 많은 열이 필요합니다. 따라서 물의 끓는점은 1°C 로 매우 높은 편입니다. 지구 표면의 온도는 물의 끓는점보다 낮기 때문에 지표상에서 액체 상태의 물을 흔하게 볼 수 있습니다. 물의 높은 비열은 생물의 체온이 쉽게 올라가거나 내려가는 것을 막아줍니다. 또한 물은 증발되면서 상당한 열을 빼앗아가므로 체온 조절에 이바지합니다.

온도가 내려가면서 물분자는 서로 가까워져 밀도가 점점 높아지는데, 4°C 에서 밀도가 최대값을 갖습니다. 만일 고체 상태의 얼음이 액체 상태인 물보다 밀도가 높다면 겨울이 돼 강물이 얼 경우 강물 속의 물고기는 겨울을 넘기지 못할 것입니다.

생체 내 함유량 중 가장 많은 부분을 차지고 있는 물은 생물체 내의 여러 물질을 용해시킬 수 있는 용매로도 작용합니다. 이런 용매로서의 물의 특성은 물의 극성에 기인한 것입니다. 소금을 물에 녹이면 이온으로 해리됩니다. 특히 물분자가 소금이온을 둘러싸고 수화해 해리를 더욱 촉진합니다. 예를 들어 물분자의 양전하 부분인 H^+ 은 염소와 같은 음전하 이온을 향해 배열해 Cl^- 주위에 수화껍질을 형성합니다. 그리고 물분자의 음전하 부분인 산소 원자는 Na^+ 에 끌립니다. 결과적으로 H_2O 분자가 Na^+ 와 Cl^- 이온을 둘러싸고 분리시킴으로써 소금을 녹입니다. 물은 이온뿐만 아니라 극성 분자 주변에도 수화껍질을 형성해 극성 물질을 용해시킵니다. 포도당은 약한 극성을 띠는 수산기(OH^-)를 갖고 있어 물분자와 수소 결합을 해 수화껍질을 형성합니다. 수화껍질이 형성되면 포도당은 물 속에 용해됩니다.

▶ 추가문제

- 1) 물의 상평형 그림을 그려보고, 이를 통해 알 수 있는 정보는 무엇인지 설명하시오.
- 2) 물이 다른 액체와 구별되는 특별한 성질은 무엇이며, 이런 성질이 증명될 수 있는 실생활의 예를 설명하시오.(2002년 서울대).
- 3) 물이 얼면 왜 부피가 증가하는지 설명하시오(2001년 서강대).

3. [기출문제] 탄소화합물의 세계

탄소화합물은 탄소 원자와 수소 원자를 기본으로 하는 화합물의 총칭으로 생물체를 구성하는 주요 성분이다. 인류는 오래 전부터 이런 탄소화합물을 생물체, 석유, 석탄 등으로부터 추출, 분리, 정제해 사용해 왔으며, 과학이 발달함에 따라 추출, 정제, 분리 등의 물리적인 방법뿐만 아니라 여러 종류의 화학반응법을 개발해 분자량, 작용기, 상태 등이 다른 수많은 물질들을 제조해 이용하고 있다. 생활용품, 의류, 의약, 농약, 연료 등으로 탄소화합물을 이용하기 위해서는 물질의 구조와 물리적, 화학적 성질간의 관계를 아는 것이 매우 중요하다.

탄소화합물 중 탄소와 수소로만 이뤄진 물질을 탄화수소라 부른다. 이들 탄소화합물 중 프로판(C_3H_8), 옥탄(C_8H_{18}), $C_{24}H_{50}$, 폴리에틸렌($[-CH_2CH_2-]_n$, n 은 수천 이상) 등이 상온, 상압에서 ($25^\circ C$, $1atm$) 존재하는 상태와 그런 상태를 갖는 이유를 말하시오(2002년 서울대).

▶ 전문가 클리닉

화학에서 탄소화합물은 과거에 크게 주목받지 못한 분야였습니다. 그렇지만 생명체를 구성하는 주된 성분이기 때문에 탄소화합물이 중요하게 취급되면서 이와 관련된 문제들도 출제되곤 합니다. 그러나 조금만 관심을 가지면 문제들을 충분히 이해할 수 있습니다. 탄소화합물에 관련된 복잡한 문제에 들어가기에 앞서 먼저 알아둬야 하는 것은 바로 탄소화합물의 특성과 종류입니다. 탄소와 수소가 주성분인 탄소화합물은 각 원소간 공유결합으로 이뤄져 있으며, 대체적으로 전기전도성이 없습니다. 탄소화합물은 자연계에 매우 많은 종류가 존재합니다. 그러므로 다양한 탄소화합물 각각의 구조와 특성을 잘 파악해 두는 것이 필요합니다.

▶ 예시답안

프로판은 가정용으로도 많이 사용하고 있는 LPG(액화 석유 가스)의 주성분으로 상온, 상압에서 기체 상태입니다. 한편 옥탄(C_8H_{18})은 자동차의 연료인 휘발유의 주성분으로서 상온, 상압에서 액체 상태입니다. 흔히 연료의 효율에 관련된 내용에서 언급되는 옥탄가의 옥탄입니다. 그리고 $C_{24}H_{50}$ 은 파라핀왁스의 형태로 고체상태로 존재하며, 폴리에틸렌은 분자량이 수천 이상인 고분자화합물로 고체 상태로 존재합니다.

지금까지 언급됐던 탄소화합물들이 상온, 상압에서 서로 다른 상으로 존재하는 이유는 각 물질마다 녹는점과 끓는점이 상이하기 때문입니다. 그리고 이런 물질의 물리적 특성이 다른 이유는 각 물질을 구성하는 분자간의 힘(인력)이 다르기 때문입니다. 앞선 탄소화합물은 무극성분자이기에 분자간 힘은 분자의 질량에 비례해 증가합니다. 프로판(C_3H_8)은 44, 옥탄(C_8H_{18})은 114, $C_{24}H_{50}$ 은 326, 폴리에틸렌은 수천 이상의 분자량을 갖기 때문에 각 물질의 녹는점 및

끓는점은 이 순서대로 증가하게 됩니다.

물질의 상태는 주변의 온도와 압력에 따라 변하고 물질의 상변화 곡선을 통해서 물질의 상태가 어떠한지를 확인할 수 있습니다. 물질의 녹는점과 끓는점이 높으면 높을 수록 상온, 상압에서 고체 상태로 존재하며, 그 값이 낮으면 낮을 수록 기체 상태로 존재합니다.

▶ 추가문제

탄소화합물의 정의와 특징에 대해 설명하시오(2003년 성균관대).

4. [기출문제] 답답한 하늘

산성비란 무엇인가? 그 원인, 발생과정, 피해양상, 경감대책을 설명하시오(2003년 성균관대).

▶ 전문가 클리닉

물의 산성, 염기성, 중성을 판단하는 것은 여러가지 지시약을 통해서 가능합니다. 예를 들어 페놀프탈레인 용액을 한 두 방울 떨어뜨렸을 때 색깔이 붉게 변하면 염기성이라는 것을 알 수 있습니다. 또한 리트머스종이를 이용해 산성인지 염기성인지를 색깔의 변화로 알 수 있습니다. 1L의 물에 염산을 1방울 떨어뜨린 용액과 10방울 떨어뜨린 용액은 모두 산성이지만, 앞선 방법들을 이용해서는 산성의 세기를 직접적으로 비교할 수 없습니다. 이런 문제를 해결하기 위해 고안된 것이 pH 개념입니다. 중성 상태인 물의 pH가 7임을 통해서 이보다 숫자가 크면 염기성, 낮으면 산성입니다.

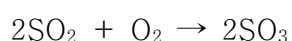
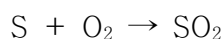
▶ 예시답안

내리는 비의 pH가 7보다 낮다고 해서 모두 산성비는 아닙니다. 왜냐하면 공기 중에 이산화탄소가 존재하고 있기 때문입니다. $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{l})$

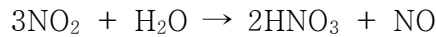
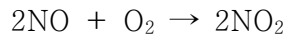
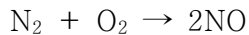
위의 화학식에서 보듯이 공기 중의 이산화탄소 일부가 물에 녹아서 탄산형태로 존재할 수 있기 때문에 비는 산성을 띠게 됩니다. 자연상태에서 깨끗한 비의 경우 pH는 이산화탄소의 영향으로 5.6이며, 이보다 더 낮을 경우가 산성비입니다. 따라서 빗물의 산성여부를 판단하는 기준은 pH5.6입니다.

산성비는 황산화물과 질소산화물 때문에 발생합니다. 황산화물은 공장이나 발전소 등에서 황이 함유된 연료를 연소시킬때 발생하며, 질소산화물은 자동차의 엔진 등에서 발생하는 열로 인해 공기 중의 질소가 산소와 반응해서 생깁니다.

1) 황산화물로부터 산성비가 되기까지 연료 속의 황성분은 연소되면서 이산화황이 만들어지고, 이는 공기 중에서 삼산화황으로 산화되기도 합니다. 그리고 이들은 물에 잘 녹아 아황산이나 황산이 됩니다.



2) 질소산화물로부터 산성비가 되기까지 고온, 고압의 자동차 엔진으로 흡입된 공기의 질소는 산소와 반응해 일산화질소가 되고, 이는 공기 중에서 쉽게 산화해 이산화질소가 됩니다. 그리고 이산화질소는 물에 쉽게 녹아 질산이 됩니다.



산성비때문에 토양이 산성화되며, 그 결과 식물생장에 필수적인 무기염류가 씻겨나가 버립니다. 결국 토양이 산성화, 황폐화되고 식물이 죽게 됩니다. 물론 산성비로 인해 수중생태계도 파괴됩니다. 게다가 토양에 존재하는 중금속이 식물에 흡수되면 먹이사슬에 따라 상위 소비자로 이동하고 체내에 농축돼 심각한 문제를 초래할 수 있습니다. 또한 철이나 대리석으로 만들어진 건축물은 산성비로 인해 부식작용이 일어납니다.

산성비의 피해를 줄이기 위해서는 무엇보다도 오염물질을 배출하지 않아야 합니다. 이를 위해 천연가스와 같은 황성분이 제거된 연료를 사용하던가 수력, 풍력, 태양열등의 무공해 천연에너지를 이용해야 합니다. 그리고 화석연료의 사용량을 줄이며 공장이나 발전소에 탈황장치나 이산화황제거장치를 설치하고, 자동차에 촉매 변환장치를 설치하면 오염물질의 양을 급감시킬 수 있습니다.

▶ 추가문제

봄철에 내리는 비는 다른 때보다도 빗물의 pH가 조금 더 높다는 결과를 얻었습니다. 이유는 무엇일까요?

5. [예상문제] 철의 부식 방지

우리의 주위를 둘러보면 금속들로 가득하다는 것을 알 수 있습니다. 금속의 특성을 염두에 두고 아래의 질문들에 답하시오.

- 1) 아연(Zn)이나 마그네슘(Mg)과 같은 금속을 철(Fe)에 연결시켜 두면 철의 녹슴을 더 지연시킬 수 있다. 그 이유를 설명하시오.
- 2) 금속의 부식을 막기 위해서 사용하는 방법에는 어떤 것들이 있는지 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

원소와 관련지어 설명하려고 할 때 주기율표는 꼭 필요합니다. 각 원소들을 주기와 족으로 구분지어 살펴보고, 그에 따라 독특한 성향을 살펴봐야 하기 때문입니다. 금속은 원자 주기율표의 한 부분을 구성합니다. 금속은 그들만의 공통적인 성질이 있는데, 가늘게 실처럼 뽑을 수 있는 연성과 두드려서 판처럼 넓게 펴 수 있는 전성이 있습니다. 그리고 대부분 고유의 광택을 띠고 있고, 두드리면 금속성의 소리가 납니다. 또한 열과 전기전도성이 큰 성향을 보입니다. 인류는 이와 같은 금속의 성질을 이용해 물질문명을 발달시켰습니다. 다른 화학결합처럼 금속의 각 원자들도 독특한 결합방법, 즉 ‘금속결합’으로 묶여 있습니다. 금속결합은 금속 양이온과 자유전자 사이의 정전기적 인력에 의한 결합을 의미합니다. 여기서 금속의 독특한 성질을 이해

하기 위해서는 자유전자가 무엇인지를 파악해야 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 금속의 부식은 금속이 공기 중의 산소와 수분에 의해서 녹이 스는 현상으로 산화-환원반응의 일종입니다. 금속은 일반적으로 양이온이 되는데, 이는 전자를 잘 내놓기 때문입니다. 즉 산화반응을 거친다는 의미입니다. 철이든 아연이든 마그네슘이든 간에 이들은 모두 전자를 내놓고 산화돼 Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} 의 상태가 됩니다.

그런데 철에 아연이나 마그네슘을 이어놓으면 철의 부식도를 낮출 수 있습니다. 이는 금속간의 이온화 경향이 다르기 때문입니다. 이온화 경향이란 금속이 전자를 잃고 양이온이 되려는 경향으로서 이온화 경향이 클수록 반응성이 커서 양이온의 형태로 존재하기 쉽습니다. $\text{K} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Ni} > \text{Sn} > \text{Pb} > (\text{H}) > \text{Cu} > \text{Hg} > \text{Ag} > \text{Pt} > \text{Au}$ 순이며, Zn이나 Mg은 Fe보다 반응성이 더 크기 때문에 철보다 먼저 산화돼 철의 부식을 막을 수 있습니다.

- 2) 금속의 부식을 막기 위한 몇가지 방법이 있습니다. 그 중 1)번에서 살펴봤던 방법은 ‘음극화 보호법’이라고 해서 보호해야 할 금속에 연결된 이온화 경향이 큰 희생금속을 대신 산화시켜 전자를 제공해 주고 보호 대상 금속이 산화되는 것을 막는 것입니다. 다른 방법으로는 기름칠이나 페인트칠을 함으로써 금속이 직접적으로 공기나 수분과 접촉하지 않도록 보호막을 형성시킬 수 있습니다. 즉 금속 표면을 덮음으로써 보호막을 형성해 내부금속을 보호하는 경우입니다. 또한 합금의 성질을 이용해서 금속의 부식을 방지할 수도 있습니다.

2004년 07월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

이번호는 1학기 수시모집을 총정리한다는 의미에서 6월호까지 다뤘던 내용과 1학기 수시문제들을 실었습니다. 빈번하게 출제되던 원자와 관련된 문제들, 화학결합의 원리, 기체상태 방정식, 물의 특성, 산-염기의 개념을 특별히 선정해서 언급했습니다. 지면이 짧은 관계로 지난 달에 다룬 산화-환원과 관련된 금속의 이온화경향과 탄소화합물의 성질을 이용한 분리 및 환경 문제 등은 학생 스스로 다시 한 번 살펴보시기 바랍니다. 특히 탄소화합물과 관련된 내용은 시사적인 자원, 원유 문제를 염두에 두고 정리해 둡시다.

1. [예상문제] 원자의 세계

원자의 구조를 간략히 설명하고, 원자 모델의 변천과정을 서술하시오.

▶ 전문가 클리닉

매년 각 대학에서는 원자와 관련된 질문이 출제됩니다. 원자의 구성요소, 각 구성요소들의 발견 배경에 관한 질문들, 돌턴의 원자설 등 다양한 형태로 제시되곤 합니다. 언뜻 보면 원자와 관련된 질문은 단순히 암기력을 평가하는 것이라고 생각할 수도 있지만, 사실 원자를 충분히 이해하고 있어야 합니다. 물질을 구성하는 가장 기본적인 입자는 바로 원자입니다. 원자의 구조를 이해하는 것이 화학의 첫걸음입니다. 따라서 이와 관련된 질문은 계속 출제될 것입니다. 2004년도 숙명여대 수시문제도 원자의 구성요소에 관한 것입니다. 원자와 관련된 질문에 단순히 구성요소만을 답하는 것보다는 주기율표를 근거로 각 구성요소를 설명하는 것이 더 좋습니다. 그리고 구성요소들이 갖는 특징들도 언급하면 더 좋은 인상을 남길 것입니다. 예를 들어 전자는 화학결합과 밀접한 연관이 있는 구성요소라 말할 수 있습니다.

▶ 예시답안

원자는 원자핵(1911년, 러더포드의 입자 산란 실험)과 전자(1897년, 톰슨의 음극선 실험)로 구성됐고, 원자핵은 후에 양성자와 중성자로 구성됐음이 밝혀졌습니다. 원자핵 주위를 전자가 구름처럼 퍼져서 돌고 있습니다. 이러한 전자 중 특히 원자가전자는 원자의 화학적 성질을 결정하는데 큰 역할을 합니다. 고대 그리스 사람들은 모든 물질이 물, 불, 흙, 공기로 구성된다고 생각했습니다. 19세기 초 돌턴은 질량보존의 법칙, 일정성분비의 법칙, 배수비례의 법칙을 설명하기 위해 모든 물질은 더이상 깨어지지 않는 딱딱한 구모양의 입자로 구성된다고 제안했습니다. 그리고 이 입자를 ‘원자’(atom)라고 명명했습니다.

그러나 1903년에 영국의 과학자 톰슨은 음극선 실험을 통해 음극판에서 어떤 입자가 튀어나오는 것을 발견했습니다. 이 입자는 양(+)극으로 끌려갔기 때문에 음(-)전하를 가진다고 설명했습니다. 또 이 입자는 진행 방향에 있는 물레방아를 돌렸기 때문에 질량을 갖는 입자라고 생각했습니다. 톰슨은 이 입자를 ‘전자’(electron)라고 명명했습니다. 그래서 톰슨은 원자 구조를 푸딩에 건포도가 박힌 것처럼 전체적으로 양(+)전하를 띤 원자에 음(-)전하를 띤 전자가 박혀 있는 건포도-푸딩 모형으로 설명했습니다. 그리고 후에 밀리컨이라는 과학자가 전자의 전하량 $1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ 이라고 밝혔습니다.

1911년에 러더포드는 α 입자 산란 실험을 통해 거의 대부분의 α 입자들이 그냥 금박을 통과하고, 일부만 진행 방향이 바뀌는 것을 확인했습니다. 즉 기존 톰슨의 건포도-푸딩 모형으로는 설명할 수 없는 실험 결과를 얻었습니다. 그래서 그는 양(+)전하를 띤 입자가 가운데 모여 있고, 그 주위를 전자

가 도는 태양과 행성의 모형을 도입했습니다. 그리고 가운데 양(+)전하의 입자를 ‘원자핵’이라고 명명했습니다. 즉 원자 모형은 원자핵 주위를 전자가 매우 빠르게 돌고 있는 모형으로 변했습니다.

1913년 보어라는 과학자는 러더포드의 행성 모형에 강한 이의를 제기하며, 새로운 원자 모형을 도입했습니다. 전하를 띤 입자가 원운동을 하면 구심가속도가 생기므로 지속적으로 에너지를 방출해서 1초도 안돼 전자는 에너지를 잃어버리고, 원자핵에 부딪히는 문제가 발생합니다. 보어는 이 문제를 해결하기 위해 특별한 궤도를 설정하고, 그 궤도에서 전자가 돌면 에너지를 잃지 않는다는 가정을 도입했습니다. 그리고 이를 ‘전자가 양자(quantum state)화 됐다’고 말했습니다. 또한 궤도를 원자핵에 가까운 쪽부터 1껍질, 2껍질이라고 명명하고, 전자들이 이 껍질들을 오르내리면서 빛(광양자)을 흡수 또는 방출한다고 설명했습니다. 이를 이용해 보어는 수소원자의 선스펙트럼을 정확하게 설명할 수 있었습니다. 후에 양자역학적인 개념을 근거로 하이젠베르크는 전자같이 작고 빠르게 움직이는 입자의 속도와 위치를 정확하게 측정하는 것이 불가능하다는 ‘불확정성의 원리’를 발견했습니다. 그러나 전자가 정해진 궤도를 돈다는 보어의 모형은 불확정성의 원리에 모순되므로 현재는 전자의 위치를 시간에 따른 확률 함수로 정정했습니다. 이를 ‘전자구름 모형’이라고 합니다. 그리고 확률 함수로 얻어진 전자가 발견될 확률 공간을 ‘오비탈’이라고 합니다.

▶ 추가문제

- 1) 러더포드가 실험하기 전에 예상했던 것은 무엇인가(2004년 이화여대 1학기 수시)?
- 2) 원자핵과 전자사이의 빈 공간이 모두 없어지도록 지구를 압축시킨다면 그 반지름은 얼마나 되겠습니까? 단 지구의 반지름은 약 6천4백Km입니다(2004년 이화여대 1학기 수시).
- 3) 원자는 어떻게 구성돼 있는지 말하십시오.
- 4) 중성자는 원자의 구성요소들 중에 가장 늦게 그 존재가 확인됐다. 중성자의 존재 이유는 무엇인가?
- 5) 주기율표에서 원소들의 위치에 따른 금속성, 원자 반지름, 이온화에너지 등의 경향성을 설명하십시오.

2. [기출문제] 화학결합의 원리

화학결합에 있어서의 근본원리는 무엇인가? 대표적 화학결합의 3가지 종류를 말하고, 그 중 1가지 결합의 특징을 예를 들어 설명하십시오(2003년 경희대 1학기 수시).

▶ 전문가 클리닉

각각의 원자들이 모여서 다양한 형태의 물질을 이루는 것은 화학결합을 통해서입니다. ‘구슬이 서 말이라도 꿰어야 보배’라는 속담이 있습니다. 아무리 진귀한 것이 있더라도 그에 알맞은 가치를 지니기 위해서는 추가적인 노력이 필요하다는 뜻입니다. 마찬가지로 다양한 원자(현재 1백13종)들을 켈 수 있는 실같은 것이 있어서 이들을 이어줘야 화합물이 됩니다. 원자들은 다양한 결합으로 새로운 물질들을 구성합니다. 화학결합의 원리와 종류 그리고 특징을 확실히 이해해 봅시다.

▶ 예시답안

원자들이 일정한 규칙에 따라 결합하는 것을 화학결합이라고 합니다. 화학결합은 크게 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 구별됩니다. 이들 화학결합의 종류는 결합에 참여하는 원소의 중

류에 따라 결정되나, 화합결합에 참여한 원소의 최외각전자 개수를 8개로 만족시킨다는 공통점이 있습니다. 즉 결합의 종류에 따라 방법에 차이가 있으나, 화학결합 결과 결합에 참여한 원소들의 대부분은 가장 바깥 전자껍질을 비활성 기체의 최외각전자 개수와 같은 8개의 전자로 채웁니다. 이를 ‘옥텟 규칙’이라고 합니다. 이제 각각의 결합을 설명하겠습니다.

첫째 이온결합은 전기음성도가 작은 금속원소와 전기음성도가 큰 비금속원소 사이에 이뤄지는 결합입니다. 비금속원소와 금속원소의 전기음성도의 차이는 크기 때문에 비금속원소는 금속원소의 전자를 뺏어 음이온이 되고, 반대로 금속원소는 전자를 잃어 양이온이 됩니다. 즉 두 원소 사이의 큰 전기음성도 차이 때문에 전자가 일방적으로 이동함으로써 비금속원소와 금속원소는 최외각전자 개수는 8개를 채웁니다. 그리고 양이온과 음이온이 형성된 후 양전하와 음전하 사이의 정전기적 인력에 의해 강한 이온결합이 형성됩니다.

둘째 공유결합은 전기음성도가 큰 비금속원소끼리의 결합입니다. 비금속원소는 금속원소에 비해 이온화에너지가 크기 때문에 전자를 수용해 옥텟상태가 되려고 합니다. 그러나 원소들간의 전기음성도 차이가 크지 않으므로 이온결합처럼 전자를 얻어오기 어렵습니다. 따라서 각각의 비금속원소는 홀전자를 두 원소가 서로 공유하는 방식으로 부족한 전자를 채우고 옥텟 규칙을 만족시킵니다.

셋째 금속결합은 전기음성도가 작은 금속원소 사이의 결합입니다. 금속원소들은 이온화에너지가 매우 작아 전자를 잃고, 금속 양이온이 되기 쉽기 때문에 각 금속원소들은 전자를 잃어 양이온이 되는 방식으로 옥텟 규칙을 만족시킵니다. 금속원소로부터 떨어져 나온 전자들은 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동합니다. 이렇게 형성된 금속 양이온과 자유전자 사이에 작용하는 인력으로 강한 금속결합이 형성됩니다.

▶ 추가문제

- 1) 공유결합의 한 종류인 분자결합에 관련된 힘의 종류를 설명하시오.
- 2) 전기음성도, 결합의 극성, 분자의 극성에 대해서 설명하시오(2004년 성균관대 1학기 수시).
- 3) 금속결합 물질은 고체상태에서도 전기가 잘 흐르지만, 이온결합 물질이 그렇지 못한 이유를 설명하시오.
- 4) 분자량이 비슷한 메탄, 암모니아, 수증기 분자간 끓는점의 차이가 큰 이유는 무엇인지 설명하시오.
- 5) 화학결합의 상대적 세기를 설명하시오.

3. [기출문제] 기체상태방정식

이상기체 상태방정식을 설명하시오(2004년 숙명여대 1학기 수시).

▶ 전문가 클리닉

고체, 액체, 기체는 물질의 3가지 상태입니다. 그 중에서 입자가 가장 자유분방하게 운동하는 상태가 기체입니다. 기체상태에서는 각각의 구성입자들이 독립적이며, 병진, 회전, 진동 운동 등의 다양한 운동 형태를 보입니다. 기체분자들은 분자들간의 인력이 약하고, 빠른 속도로 운동을 하기 때문에 기체의 종류에는 관계없이 공통적인 성질을 지닙니다. 기체는 3가지 상 중에서 가장 관심 받는 분야입니다. 압력과 온도에 따라 기체의 부피 변화를 설명하는 보일-샤를 법칙이 있습니다. 특히 이상기체 상태방정식을 이해하고, ‘이상기체’란 용어가 붙은 이유를 알아낸 후 이해하면 기체와 관련된 여러가지 현상을 설명할 수 있을 것입니다.

▶ 예시답안

이상기체란 빈 공간 속에서 자유롭게 운동하며, 기체의 종류에는 관계없이 열에 의해서만 분자의 운동에너지가 변하는 기체로 기체분자운동론을 만족하는 가상의 기체입니다. 우선 기체분자운동론을 살펴봅시다. 기체분자운동론은 기체 분자의 운동을 토대로 기체의 성질을 기술하는 이론을 말합니다. 이 이론은 다음의 4가지 조건을 전제로 합니다. 첫째 기체 분자들은 서로 멀리 떨어져 있으므로 기체 분자들 자체가 차지하는 부피는 용기의 부피에 비해 무시할 수 있습니다. 둘째 기체 분자들은 계속해서 직선 운동을 하며 용기의 벽이나 다른 분자들과 충돌합니다. 셋째 충돌이 일어나도 기체 분자들의 총에너지는 변하지 않습니다. 넷째 충돌할 때를 제외하고는 분자들 사이에 인력이나 반발력이 작용하지 않습니다. 따라서 기체분자운동론을 만족하는 이상기체는 질량과 에너지는 갖고 있지만, 기체 분자들 간에 인력이나 반발력이 전혀 작용하지 않고 분자간 완전탄성충돌을 합니다. 그리고 분자 자체의 부피가 없기 때문에 절대온도 0K에서 부피가 0이며 평균 운동에너지는 절대 온도에 비례합니다. 따라서 보일, 샤를, 돌턴의 법칙 그리고 그레이엄의 법칙을 내포하는 기체상태방정식 $PV=nRT$ 는 이상기체에 정확히 적용됩니다. 그리고 이것을 ‘이상기체 상태방정식’이라고 부릅니다. 그러나 이상기체는 말 그대로 실존하지 않는 기체이므로 실제기체에 이상기체상태방정식을 그대로 적용하면 안됩니다. 실제기체가 이상기체와 유사해지기 위한 조건은 온도는 높을 수록, 압력은 낮을 수록, 분자량은 작을 수록 좋습니다. 온도가 높고, 압력이 낮을 수록 분자간 거리가 멀어지기 때문에 분자간 인력이 작아집니다. 그리고 분자량이 작으면 분자간 인력도 작기 때문에 분자간 인력을 무시할 수 있습니다.

▶ 추가문제

- 1) 팝콘을 튀길 때 바늘로 팝콘 알갱이를 찌르면 제대로 튀겨지지 못한다. 그 이유는 무엇일까?
- 2) 하늘로 올라가는 풍선의 상태는 어떻게 변화할지 설명하시오.

4. [기출문제] 물의 특성

물은 왜 독특한 물리화학적 성질을 가지고 있는지 그리고 왜 좋은 용매인지를 설명하시오 (성균관대 1학기 수시).

▶ 전문가 클리닉

물은 생명체가 생겨나고 생명을 유지하는데 핵심적인 물질이기 때문에 과학자들은 물이 풍부한 지구에 생명체가 존재한다고 추측합니다. 지구 이외의 다른 행성에 생명체가 존재하는지를 알아보기 위해 물의 존재 여부를 밝히는 것은 하나의 방법입니다. 물은 다른 물질들과는 다른 독특한 현상을 보이는데 예를 들면 고체인 얼음이 액체인 물 위에 뜨고, 해안지역이 내륙지역보다 밤낮의 온도차가 적습니다. 하루 중에 해풍과 육풍이 교대로 부는 자연현상도 이런 물의 성질 때문입니다. 물의 성질을 이해하고, 더 나아가 상평형에 대해서도 파악해 봅시다.

▶ 예시답안

물분자(H_2O)는 2개의 수소원자가 1개의 중심 산소원자에 공유결합으로 연결돼 있습니다. 두 원자간의 전기음성도 차이에 의해(산소 전기음성도>수소 전기음성도) 산소원자가 수소원자보다 공유

결합을 형성하는 전자쌍을 강하게 끌어당깁니다. 그 결과 물분자 내에서 산소원자 쪽은 부분 음전하(δ^-)를 띠고, 2개의 수소원자는 부분 양전하(δ^+)를 띕니다. 물분자 같이 산소와 수소원자 사이에 형성된 전자의 공유를 '극성 공유결합'이라고 합니다. 물분자의 극성은 물분자 사이의 상호작용을 가능케 합니다.

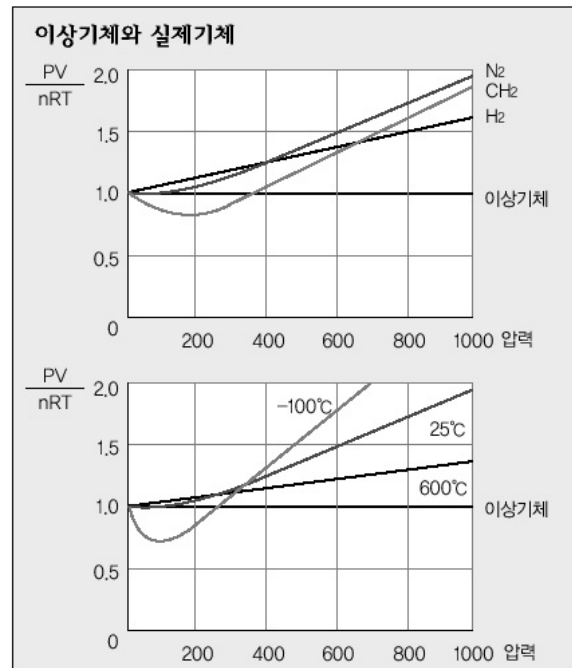
물분자에서 양전하를 띤 수소원자는 주변에 있는 또다른 물분자에서 음전하를 띤 산소원자와 공유결합보다는 약한 분자간 결합을 형성하는데 이를 수소결합이라고 합니다. 물분자 하나는 주변에 있는 4개의 물분자와 수소결합을 할 수 있습니다. 극성과 수소결합으로 물은 독특한 특성을 지닙니다.

액체 상태의 수소결합은 아주 짧은 시간(10^{-14} 초) 동안 유지되지만, 물분자는 끊임없이 수소결합을 형성합니다. 그러므로 대부분의 액체보다 강한 응집력을 가지며, 이것은 생명체에서 중요한 역할을 합니다. 뿌리에서 위로 물이 운반되는 과정(중력의 반대방향으로 이동)이나 표면장력이 그 예입니다. 표면장력은 물과 공기가 접촉하는 면에서 물분자 사이의 인력이 물과 공기 분자 사이의 인력보다 크기 때문에 나타나는 현상입니다. 물분자 사이의 수소결합으로 인해 물 표면에 탄력 있는 타원형의 막과 둥근 모양의 물방울이 형성됩니다.

생명체와 관련된 물의 중요한 특성 중의 하나는 비열이 높다는 점입니다. 물은 수소결합에 의해 물분자들끼리 강한 결합을 하기 때문에 열을 가해서 분자간 수소결합을 파괴하는데 많은 양의 열을 소비합니다. 따라서 다른 물질보다 온도를 높이는데 많은 열이 필요합니다. 수소결합으로 인해 물의 증발은 서서히 일어나게 되고, 물의 끓는점은 1백 $^{\circ}\text{C}$ 로 매우 높은 편입니다. 지구 표면 온도는 물의 끓는점보다 낮기 때문에 지표상에서 액체 상태의 물을 흔하게 볼 수 있습니다. 그리고 물의 높은 비열은 생물의 체온이 쉽게 올라가거나 내려가는 것을 막아줍니다. 또한 물은 증발되면서 상당한 열을 빼앗아가므로 체온 조절에 이바지합니다.

온도가 내려가면 물분자는 서로 가까워져서 밀도가 점점 높아지는데 4 $^{\circ}\text{C}$ 에서 물의 밀도는 최대값을 갖습니다. 만일 고체 상태의 얼음이 액체 상태인 물보다 밀도가 높다면 겨울에 강물은 밑에서부터 얼기 때문에 물고기는 겨울을 넘기지 못할 것입니다.

생체에서 가장 많은 부분을 차지하고 있는 물은 여러 물질을 용해시킬 수 있는 용매로도 작용합니다. 이런 용매로서의 물의 특성은 물의 극성에 기인한 것입니다. 소금을 물에 녹이면 이온으로 해리되는데, 이온에 느슨하게 결합된 물분자가 층을 이루면서 만든 수화껍질 때문에 더욱 촉진됩니다. 예를 들어 물분자의 양전하 부분인 수소원자는 염소같은 음전하 이온을 향해 배열해 Cl^- 주위에 수화껍질을 형성하고, 물분자의 음전하 부분인 산소원자는 Na^+ 에 끌리게 된다. 결과적으로 H_2O 분자가 Na^+ 와 Cl^- 이온을 둘러싸서 분리시킴으로써 소금을 녹이는 것입니다. 물은 이온뿐만 아니라 극성분자 주변에도 수화껍질을 형성해 극성 물질을 용해시킵니다. 예를 들어 포도당은 약한 극성을 띤 수산기(OH^-)를 갖고 있어 물분자와 수소결합을 해 수화껍질을 형성하며 물 속에 용해됩니다.



▶ 추가문제

1) 더운 여름이 되면 우리는 얼음을 많이 사용하게 된다. 그런데 얼음을 콜라 담은 잔에 넣을

때와 위스키 담은 잔에 넣을 때 서로 다른 행동 양상을 보인다. 어떻게 다르게 행동하며 그 이유는 (2004년 경희대 1학기 수시)?

2) 물이 다른 액체와 구별되는 특별한 성질은 무엇이며, 이런 성질이 증명될 수 있는 실생활의 예를 설명하시오(2002년 서울대).

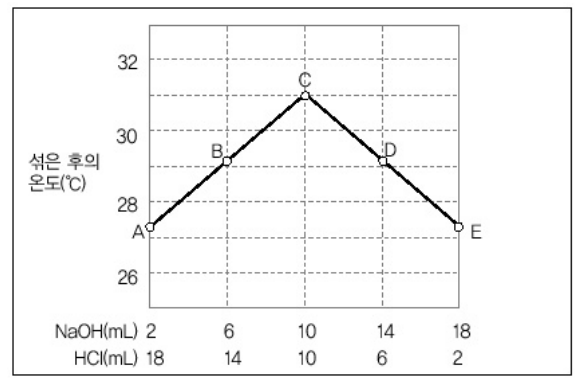
3) 물이 얼면 왜 부피가 증가하는지 설명하시오(2001년 서강대).

4) 물의 상평형 그림을 그리고 설명하시오.

5. [기출문제] 산-염기 개념

상온의 1몰/L 염산(HCl)과 1몰/L 수산화나트륨(NaOH)을 여러가지 비율로 섞은 후 온도를 측정했더니 오른쪽과 같았다.

용액 C의 온도가 그대로 유지될 때의 pH가 7보다 작을지, 같을지, 아니면 클지를 설명하라 (2004 서울대 수시).



▶ 전문가 클리닉

산-염기는 여러번 다뤘던 내용입니다. 산-염기의 정의와 pH의 개념을 바탕으로 산-염기를 구분하고, 어떤 것이 더 강한 산이고 더 약한 산인지는 pH 수치로 구분할 수 있을 것입니다. pH7이 중성이고 값이 낮을 수록 산성에 가까워지며, 반대로 값이 높을 수록 염기성이 나타납니다. 흔히 우리는 물이 중성이므로 pH7이라고 말하는데, 엄밀히 따지면 이 값은 정확히 7이 아니라 그 근처 값을 갖습니다. pH에 관여하는 다양한 요소를 고려해 차이가 생기는 이유를 알아보시다.

▶ 예시답안

염산이나 수산화나트륨 같이 물에 녹아 이온화돼 전기를 통하는 물질을 전해질이라고 합니다. 그리고 전해질을 물에 녹일때 전해질의 전체 몰수에 대한 이온화된 몰수의 비를 이온화도라고 합니다. 이온화도가 큰 산은 H⁺를 많이 내놓기 때문에 강한 산성이 되고, 이온화도가 작은 산은 H⁺를 적게 내놓기 때문에 약한 산성을 나타냅니다. 염산이나 황산은 탄산이나 아세트산에 비해 이온화도가 상당히 높기 때문에 강산입니다. 같은 물질의 경우에는 온도가 높을 수록, 농도가 묽을 수록 이온화도가 증가하는데 이를 ‘오스트발트의 희석률’이라고 합니다.

$\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$ 에서 평형상수 K는 다음과 같습니다.

$$K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]^2}$$

그리고 양변에 $[\text{H}_2\text{O}]_2$ 을 곱한 값을 물의 이온곱 상수 $K_w (=K[\text{H}_2\text{O}]_2)$ 라고 합니다. 이 값은 온도가 높아질수록 증가하는데, 25°C 상온에서 1.01×10^{-14} 에 이릅니다. 물의 이온곱 상수 K_w 값이 온도에 따라 변하는 이유는 물분자의 이온화도가 온도에 따라 달라지기 때문입니다. 30°C에서 이 값은 1.47×10^{-14} 입니다. $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ 이기 때문에 이때 $\text{pH} = 7 - 0.5 \times \log(1.47) = 6.92$ 가 됩니다. C의 경우는 31°C 정도이므로 pH는 7보다 작을 것이라고 예상됩니다.

2004년 08월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

이번호에서는 원자와 분자에 관한 내용, 용액의 농도와 성질, 산-염기의 중화적정, 산화수를 통한 산화-환원 반응의 이해 그리고 주기율표에 담긴 원리에 대해 다뤄 보았습니다. 지면이 한정돼 있기 때문에 깊게 다루지 못한 부분도 있을 것입니다. 그러나 여러분들이 관련 지식들을 적극적으로 찾아서 쌓아두셨으면 합니다.

1. [기출문제] 물질의 과학인 화학

값비싼 금을 손쉽게 얻고자 했던 연금술사들의 이론적 배경은 만물이 불, 공기, 물, 흙의 조합에 의해 생긴다는 아리스토텔레스의 4원소설이었다. 18세기 후반까지 4원소설을 지지하는 이론들 중 하나는 플로지스톤설(불꽃설)이었다. 불꽃설에 의하면 4원소 중 연소에 의해 불 성분이 빠져나가면서 나머지 성분만이 남아 재가 된다. 그러나 라부아지에는 연소에 의해 생긴 기체와 남은 재의 무게를 합하면 원래보다 무거워진다는 사실을 실험적으로 증명했다. 이와 같이 하나의 실험이 기존의 가설을 뒤집는 증거가 될 수도 있다.

1989년 과학계는 핵융합을 위해서는 대규모의 장치와 초고온이 필요하다는 기존의 학설을 뒤집는 실험결과 때문에 큰 소동이 일어났다. 유타 대학의 실험자들은 간단한 전기분해 장치로 상온에서 핵융합을 일으킬 수 있다는 가능성을 보고했다. 이후 텍사스 대학의 실험자들은 핵융합이 있었는지 여부의 핵심이 되는 삼중수소를 여러 실험 가운데 일부에서만 검출했다. 이로 인해 유타 대학의 실험자들은 충분한 반복 실험 없는 결과를 여러 학회에 보고해 비판을 받게 됐다. (2003년 이화여대)

- 1) 기존의 불꽃설과 라부아지에는 실험은 어떤 차이점을 가지고 있는지 말해보시오.
- 2) "과학자는 기존 관념을 뛰어넘어 객관적 사실에 입각한 사고를 할 책임이 있다"는 관점에서 라부아지에는와 핵융합 실험자들을 평가해 보시오.

▶ 전문가 클리닉

화학을 비롯한 과학일반에서는 한가지 기본적으로 통용되는 원칙이 있습니다. 바로 객관적 사실을 바탕으로 원리 또는 타당한 결과를 제시해야 한다는 것입니다. 한국에서 도출해냈던 실험 결과가 지구 반대편에 있는 남미의 한 실험실에서도 동일한 결과를 보여야 한다는 것입니다. 그리고 어떤 가설을 제시할 때는 객관적인 사실이나 관찰결과 등을 통해서만이 그 타당성을 증명할 수 있습니다. 2003년 이화여대의 기출문제는 그러한 과학 일반에 걸친 기본원칙을 이해하고 있는가에 관한 것입니다.

우선 지문에서 등장한 용어의 의미를 이해해 둡시다. 또한 올해에는 황우석 교수의 배아 관련 실험논문이 향간의 주목을 받았습니다. 그 실험과 관련시켜 과학 또는 과학자의 윤리에 관해 한 번쯤 생각해 두면 좋을 것입니다.

▶ 예시답안

- 1) 불꽃설은 물질이 연소될 때 물질에서 플로지스톤이라는 불 성분이 물질 밖으로 빠져 나가고 나머지 성분이 재로 존재한다는 이론입니다. 반면에 라부아지에는 물질의 연소에 대해

공기 중의 어느 기체 성분과 물질이 연소과정을 통해 결합하는 것으로 설명했습니다. 라부아지에는 그의 가설을 설명하고자 주석을 실험관에서 연소시키는 실험을 했습니다. 주석이 산화되면 까만 재(산화주석)가 생성됩니다. 이것의 총질량을 측정한 결과 연소 전의 주석보다 질량이 더 늘었음을 확인했고, 그 차이가 실험관의 공기 질량의 20%(산소)임을 정량적으로 확인할 수 있었습니다.

이런 실험결과가 도출될 수 있었던 것은 우선 라부아지에게 실험을 정밀히 수행했고, 기존의 불꽃설이 근거로 삼았던 실험은 나무의 연소였던 반면에 그는 주석을 이용했기 때문이다. 나무의 연소과정에서 이산화탄소와 수증기 그리고 재가 부산물로 생산되는데 이산화탄소와 수증기가 기체 상태로 날아가고 재만 남아 연소 후 질량이 줄어든다. 불꽃설처럼 불 성분이 날아가는 것이 아니다.

- 2) 불꽃설에 따르면 물질이 연소될 때 불 성분이 빠져나가서 남은 재의 질량이 줄어듭니다. 그러나 이 가설과 정반대의 결과가 라부아지에게 의해 실험적으로 증명됨으로써 기존의 불꽃설은 무너지게 되었습니다. 즉 라부아지에는 연소시 물질이 공기 중의 산소와 화합해 산화물과 빛, 열을 발생하는 과정을 실험이라는 객관적인 절차로 설명했습니다. 이런 실험은 누가 하더라도 동일한 결과를 얻을 수 있기 때문에 과학이론으로서 인정받습니다.

반면에 유타 대학의 실험자들은 기존의 고온 핵융합이라는 관념을 뛰어넘는 상온 핵융합이란 가설을 제시하고 실험의 성공을 주장했지만, 그 가설은 객관적인 실험으로 충분히 뒷받침되지 못해서 학계의 비판을 받았습니다. 그들은 실험자료가 보여주는 사실과 그들이 보고 싶어 하는 것을 구별하지 못하는 오류를 범했던 것입니다. 따라서 과학자들은 자신이 보고자 하는 것과 실험자료가 객관적으로 보여주는 사실을 엄격히 구분할 수 있어야 합니다. 또한 충분한 실험을 통해 객관적인 사실에 입각한 사고를 해야 합니다.

2. [예상문제] 용액만이 갖는 특성

1) 설탕($C_{12}H_{22}O_{11}$) 34.2g을 녹인 설탕물이 5백mL가 있다. 아래 물음에 답하시오.

(1) 27℃에서 이 용액의 삼투압을 구하시오.

(2) 이 용액의 어는점은 얼마인가? 단 용액의 밀도는 1.0g/mL이고, 물의 어는점내림상수는 $1.86^{\circ}C/mol \cdot Kg^{-1}$ 이다(소숫점 아래 두자리까지 구하시오).

2) 라울의 법칙에 대해 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

2종류 이상의 순수한 물질이 섞여 있는 것을 혼합물이라고 하며, 그 혼합물이 균일한 상태를 유지하고 있는 경우를 특히 용액이라고 합니다. 용액에서 녹이는 물질(대다수를 차지하는 물질)을 용매라고 하며, 녹는 물질(상대적으로 소수인 물질)을 용질이라고 합니다. 흔히 용액이라는 것은 대개 용매가 액체인 것을 의미하지만, 엄밀한 의미에서는 고체, 액체, 기체 상태의 용액이 모두 존재할 수 있습니다. 용액과 관련된 성질은 3월호에서도 한 번 다뤘습니다. 그러나 이는 주변에서 쉽게 관찰할 수 있는 현상들에서 발견되는 원리로 자주 출제되기 때문에 용액의 성질과 관련된 지식을 다시 확인해 두시기 바랍니다.

▶ 예시답안

1) 몰농도나 몰랄농도를 확인하기 위해서는 설탕($C_{12}H_{22}O_{11}$)의 분자량을 먼저 계산을 해야 합니다. 설탕의 분자량은 $12 \times 12 + 22 \times 1 + 11 \times 16 = 342$ 입니다. 1mol의 질량이 342g이기 때문에 문제에서 제시된 설탕은 0.1mol입니다.

(1) 삼투압을 구하기 위해서는 반트호프의 법칙을 이용하면 좋습니다. 즉 $\pi = CRT$ (π : 삼투압, C : 몰농도, R : 기체상수, T : 절대온도), 또는 $\pi V = nRT$ 라는 식을 이용하면 됩니다.

$$\pi = 0.1(\text{mol}) \times 0.082(\text{atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}) \times 300(\text{K}) / 0.5(\text{L}) = 4.92 \text{ atm}$$

(2) 용액의 끓는점오름이나 어는점내림과 같은 현상은 용액에 있는 용질의 양에 따라 달라집니다. 용질의 양에 따라 변화한다는 것은 농도의 영향을 받는다는 말입니다. 그 중에서도 몰랄농도가 이들 현상과 밀접한 관계를 갖습니다. 몰랄농도는 몰농도와 달리 온도의 영향을 받지 않습니다.

우선 설탕물의 몰랄농도를 구하겠습니다. 설탕물 5백mL에 해당하는 질량은 용액의 밀도가 1.0g/mL이기 때문에 5백g입니다. 그 중에서 설탕이 34.2g을 차지하고, 나머지 465.8g은 순수한 물이 차지하고 있습니다. 용액의 몰랄농도는 $m = 0.1(\text{mol}) / 0.4568(\text{Kg}) = 0.218$ 입니다.

용액의 어는점내림 관련식은 $\Delta T_f = K_f \times m$ 이기에 준 식에 모든 값을 대입하면, $\Delta T_f = -1.86 \times 0.218 = -0.41$ 이 되어 어는점은 영하 0.41℃가 됩니다.

2) 라울의 법칙이란 분자 모양이 비슷한 2가지 물질 A, B로 구성된 용액에서 A의 부분압력 P_a 는 순수한 증기압력 P_a° 에 그것의 물분율 f_a 를 곱한 것과 같다는 것입니다. $P_a = f_a \times P_a^\circ$, $P_b = f_b \times P_b^\circ$ 이기에 용액의 전체 증기압력은 $P = P_a + P_b = f_a \times P_a^\circ + f_b \times P_b^\circ$ 가 됩니다. 즉 분자 모양이 비슷한 2가지 물질로 액체 용액을 만들면 이 속의 분자들은 순수한 액체 속에 있을 때와 비슷한 양상을 보입니다. 라울의 법칙은 물질의 종류와 관련 없이 용질의 입자 수에 의해 결정되는 성질입니다. 이런 라울의 법칙이 잘 적용되는 용액을 이상용액이라고 하며, 실제 용액은 농도가 묽을 수록 이 법칙을 잘 따르게 됩니다.

3. [기출문제] 산-염기 측정하기

산이나 염기 용액의 농도를 알아내기 위해 시료에 적절한 지시약을 넣고 염기나 산의 표준용액으로 적정을 한다. 이때 사용되는 지시약은 용액의 pH에 따라 색이 변하는 약산들이다. 다음에 주어진 지시약들의 변색범위를 참고해 다음 물음에 답하시오.(2003년 포스텍)

지시약	산성용액	알칼리성 용액	변색범위(pH)
페놀프탈레인	무색	분홍	8.3~10.0
브롬티몰블루	노랑	파랑	6.0~7.0
메틸레드	빨강	노랑	4.2~4.6

1) 0.100M 암모니아 용액 25.0mL를 0.100M 염산 용액으로 적정할 때 들어간 염산 용액의 부피에 따른 용액의 pH 변화를 대략적으로 그려보시오.

2) 위 적정에서 가장 적합한 지시약은 어느 것인가? 그 이유를 설명하시오.

3) 지시약들이 용액의 pH에 따라 색이 변하는 이유를 설명하시오.

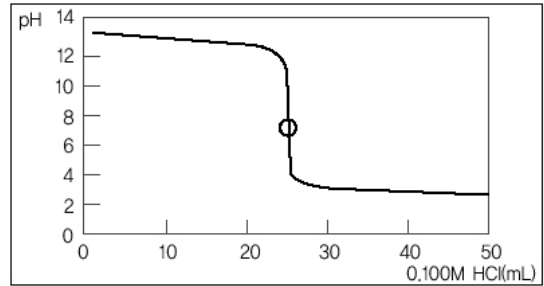
▶ 전문가 클리닉

산-염기 반응의 가장 기본이 바로 중화적정입니다. 중화적정이란 산과 염기를 이용해 중화를

일으키고 양적관계를 고려해 농도를 모르는 산·염기의 농도를 결정하는 것을 말합니다. 중화과정에 따른 용액의 pH변화곡선을 적정곡선이라고 하는데, 이 적정곡선은 적정하려고 하는 용액이 산인지 염기인지에 따라서 곡선의 형태가 달라집니다. 그리고 산-염기가 완전히 중화되는 점을 중화점 또는 종말점이라고 합니다. 산-염기의 조성형태에 따라서 4가지 형태의 서로 다른 중화점을 갖게 됩니다. 중화공식과 각각의 산-염기의 조성 형태에 따른 적정곡선을 한 번씩 다시 공부하고, 각각의 적정곡선을 통해 효율적인 지시약이 어떠한 것인지를 생각해 보시기 바랍니다.

▶ 예시답안

- 1) 옆의 그래프에서 중화점은 pH값이 7보다 조금 아래에 위치합니다.
- 2) 강산과 약염기의 중화적정에서는 중화점이 pH7보다 작기 때문에 지시약으로 메틸레드를 선택하는 것이 좋습니다. 종말점에 가까운 지시약을 사용해야 강산인 염산이 한 방울만 더 들어가더라도 pH가 급격하게 변화해 색도 변합니다. 따라서 중화점을 보다 더 정확히 알아내 실험 오차를 줄일 수 있습니다.
- 3) 지시약은 그 자체가 약산 또는 약염기입니다. 전형적인 지시약은 그 짝염기와는 다른 색을 갖는 약한 유기산이기에 산 또는 염기를 첨가할 경우에 산-염기 평형이동에 의한 화학반응으로 색이 변하게 됩니다. 예를 들어 리트머스 종이는 산성에서는 푸른색을 띠다가 짝염기성으로 바뀌에 따라 붉은색을 나타냅니다. 마찬가지로 지시약은 거의 일정한 영역에서 변화하는데 산과 염기로 나뉘서 산성지시약과 염기성지시약으로 구분하기도 합니다. 이런 지시약들은 변색과정이 신속하게 이뤄져야 하며, 반응이 가역적이어야 합니다.



4. [예상문제] 산화-환원의 세계

산화-환원 반응은 우리주변에서 아주 흔히 일어나는 화학 반응으로서 그 범위가 화석연료의 연소에서 가정용 표백제의 작용까지 다양하다.

- 1) 산화-환원 반응을 설명해 보시오.
- 2) 우리가 일상생활에서 널리 사용하는 화학전지도 산화-환원 반응의 대표적인 예들 중 하나다. 화학전지의 원리와 전기분해 반응의 원리를 비교 설명하시오.
- 3) 과망간산칼륨수용액($\text{KMnO}_4(\text{aq})$)은 진한 자주색이지만, 산 용액에서 환원반응이 이뤄지면 분홍색으로 바뀐다. 표준상태에서 과망간산의 환원전위는 $E^\circ=1.49\text{V}$ 이고, 아연의 환원전위는 -0.76V 이다. 이들이 각각 반쪽전지로 연결돼 있을 경우 아래 물음에 답하시오.
 - (1) 전체 반응식을 완성하시오.
 - (2) 표준상태에서 전위차 ΔE° 를 구하시오.

▶ 전문가 클리닉

넓은 의미의 산화-환원 반응에서 산화수 개념에 의한 정확한 개념과 화학전지와 전기분해 반응의 기본적인 원리를 묻는 문제입니다. 산화-환원 반응은 항상 동시에 일어나며 산화수가 감소하면 환원된 것이고, 산화수가 증가하면 산화된 것입니다. 이런 기본적인 문제는 패러데이

법칙과 결합시켜 계산 문제로 출제될 수도 있습니다. 화학전지의 기본 원리는 금속의 이온화경향의 차이에 의한 산화-환원 반응입니다. 패러데이 법칙에 따르면 전기분해할 때 생성되는 물질의 양은 흘려준 전기량에 비례합니다. 1패럿(F)의 전기량이 통했을 때 생성되는 물질의 양은 전자 1몰에 해당합니다(1F=전자 1몰의 전기량=9만6천5백C).

▶ 예시답안

1) 산화-환원반응이란 좁은 의미에서는 산소를 얻는 것과 잃는 것으로, 또는 수소를 잃는 것과 얻는 것이라고 말할 수 있습니다. 넓은 의미에서는 산화란 원자, 분자, 이온 등이 전자를 잃는 것을 의미하며, 환원이란 원자, 분자, 이온 등이 전자를 얻는 것을 의미합니다. 공유결합 물질이 관여하는 산화-환원반응은 단순히 전자의 흐름만을 갖고 설명하기가 어렵기 때문에 산화수라는 개념을 사용하게 됩니다. 산화수란 공유전자쌍이 그것을 더 세게 끌어당기는 원자에 속해 있다고 가정할 때 원자가 갖는 전하를 의미합니다. 산화수가 감소하면 환원 반응이고, 산화수가 증가하면 산화반응입니다.

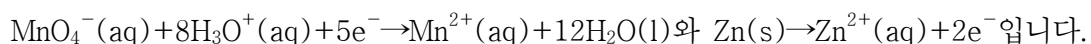
2) 금속이 전자를 잃고 양이온이 되려는 경향을 이온화경향이라고 합니다. 이온화 경향의 크기는 $K > Ca > Na > Mg > Al > Zn > Fe > Co > Ni > Sn > Pb > (H) > Cu > Hg > Ag > Pt > Au$ 입니다. 이온화경향이 큰 금속은 이온화경향이 작은 금속이온에 전자를 주고 자신은 산화되면서 금속이온을 금속으로 환원시키게 됩니다.

화학전지의 기본원리는 금속의 이온화경향 차이 때문에 일어나는 산화-환원 반응입니다. 자발적인 산화-환원반응을 이용해 화학에너지를 전기에너지로 바꾸는 것이 바로 화학전지입니다. (-)극은 이온화경향이 큰 금속이므로 산화가 일어나고, (+)극은 이온화경향이 작은 금속이므로 환원이 일어납니다. 대표적인 예로써 1차전지인 볼타전지, 다니엘전지, 알칼라인전지 그리고 2차전지인 Cd-Ni전지, 납축전지가 있습니다.

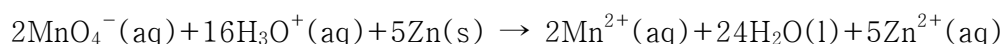
화학전지가 자발적인 화학반응을 전기에너지로 옮기는데 반해 전기분해는 전기에너지를 이용해 비자발적 산화-환원 반응을 일으키는 것입니다. 공급되는 전류와 형성되는 생성물 사이의 정량적인 관계는 패러데이 법칙에 의해 알 수 있습니다. 전해질의 용액에 직류전기를 흘려주면 음이온은 (+)극으로, 양이온은 (-)극으로 이동해 산화-환원 반응이 일어납니다. 즉(+)극에서는 산화가 일어나고, (-)극에서는 환원이 일어납니다.

3) $E^\circ(\text{MnO}_4^- | \text{Mn}^{2+}) = 1.49\text{V}$, $E^\circ(\text{Zn}^{2+} | \text{Zn}) = -0.76\text{V}$ 라고 지문에서 주어졌습니다.

(1) 과망간산이온은 양극(cathode)에서 환원반응이 이뤄지며, 아연은 음극(anode)에서 산화반응이 일어납니다. 각각의 반쪽반응식을 완성해보면(이때 각 반응식은 H_3O^+ 와 H_2O 를 첨가함으로써 완성할 수 있습니다),



위 두 식으로 전체반응식을 완성하면 아래와 같은 식이 됩니다.



(2) 표준전위차는 양극에서 일어나는 전위와 음극에서 일어나는 전위의 차를 의미하며,

$$\Delta E^\circ = E^\circ(\text{MnO}_4^- | \text{Mn}^{2+}) - E^\circ(\text{Zn}^{2+} | \text{Zn}) = 1.49\text{V} - (-0.76\text{V}) = 2.25\text{V} \text{입니다.}$$

앞선(1)번 문제에서는 전체반응식을 완성하기 위해 각각 2, 5만큼 곱했으나, 표준전위차를 구할 때에는 이런 과정과 무관하게 구합니다.

5. [예상문제] 주기율표에 담긴 원리

- 1) 할로젠화 수소의 상대적인 산의 세기를 설명하고, 그 이유를 제시하라.
- 2) 전이원소가 다양한 원자가를 갖는 이유는?
- 3) 전이원소의 이온이 되거나 착화합물을 형성했을 때 색깔을 띠는 이유는?
- 4) 크롬(Cr)의 바닥상태의 전자배치를 쓰시오.

▶ 전문가 클리닉

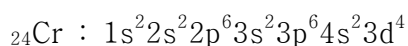
원소들을 원자번호가 증가하는 순으로 나열하면 일정한 간격을 두고 성질이 비슷한 원소들이 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이를 원소의 주기율이라고 합니다. 주기율표는 성질이 비슷한 원소를 같은 세로줄에 오도록 배치한 원소의 분류표입니다. 주기율표에서 전자친화도, 이온화에너지 및 전기음성도의 경향성을 이해하는 것은 중요합니다. 특히 주기율표에서 알칼리금속과 비금속인 할로젠원소들의 전자친화도, 이온화에너지, 전기음성도의 경향성과 관련된 화학적·물리적 성질에 대한 이해는 필수적입니다. 한편 전이금속은 알칼리금속이나 할로젠원소보다는 출제빈도가 적고, 교과서에서도 많이 다루고 있지는 않지만, 전이금속은 대학교 무기화학 분야에서 핵심적인 내용이므로 기본적인 개념과 전자배치에 대한 학습을 해뒀으면 합니다.

▶ 예시답안

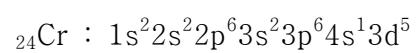
- 1) 할로젠화수소산(HF, HCl, HBr, HI)은 수소와 할로젠원소 사이의 전기음성도 차이 때문에 생성되는 극성공유결합 화합물입니다.

두 핵과 공유전자 사이에 작용하는 쿨롱 인력($F=k(q_1 \times q_2)/r^2$)을 살펴봅시다. 우선 $HF > HCl > HBr > HI$ 의 순서입니다. 그러므로 할로젠화수소산의 안정성은 $HF > HCl > HBr > HI$ 순서가 되고 산의 세기는 HF 참고로 다른 측면에서 산의 세기를 설명하면 산의 세기는 수소이온(H^+)을 내놓은 짝 음이온이 얼마나 안정한가에 좌우됩니다. 이온의 단위면적당 전하밀도는 $F^- > Cl^- > Br^- > I^-$ 순서입니다. 단위면적당 전하밀도가 클수록 불안정하므로 할로젠 음이온들의 안정성은 F^-

- 2) 전이원소는 안쪽 전자껍질에 부분적으로 채워진 d오비탈 또는 f오비탈을 갖는데, 이 전자껍질의 전자도 원자가전자의 역할을 하기 때문입니다.
- 3) 원자 상태에서는 3d오비탈의 에너지가 모두 동일하지만, 이온이 되거나 화합물을 형성하면 3d오비탈의 에너지가 달라집니다. 따라서 에너지가 낮은 3d오비탈로부터 에너지가 높은 3d오비탈로 이동할 때 가시광선을 흡수하게 되므로 색을 띠는 것입니다.
- 4) 크롬의 원자번호는 24번이며, 24개의 전자를 다음의 3가지 규칙에 따라 오비탈에 배치해야 합니다. 축조원리와 파울리의 배타원리를 고려해 크롬의 바닥상태의 전자 배치를 해보면 아래와 같이 되리라고 생각할 수 있을 것입니다.



하지만 만약 4s오비탈의 전자 하나가 마지막으로 비어 있는 3d오비탈의 자리를 채운다면 홀전자가 전체적으로 6개가 되기 때문에 훈트의 규칙에 따라 더 유리한 전자상태가 됩니다. 즉 원자의 전체 에너지가 낮아지게 됩니다.



2004년 09월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

이번호에서는 원자구조, 항상성, 빛의 산란, 1학기 수시문제로 언급된 기체분자운동론, 마지막으로 탄소화합물에 대한 내용을 살펴보고자 합니다. 여러번 반복해서 강조했지만 문제를 풀기 위한 기본적인 지식은 모두 교과서에 담겨 있다는 것을 다시 말씀드리고 싶습니다. 단편적으로 외우려고 하지 말고 교과서를 천천히 탐독하면서 관련 내용들까지도 이해하도록 노력하시기 바랍니다.

1. [기출문제] 원자모델의 변천사 - 관련단원 : 원자구조

지구를 포함해 우주상에 존재하는 모든 물질을 이루고 있는 가장 작은 단위입자(쿼크 제외)인 원자는 크게 원자핵(양성자와 중성자로 구성됨)과 전자로 구성되어 있다. 다음을 설명하시오.(2003년 성균관대)

- 1) 원자핵은 누가, 어떤 실험을 통해 발견했으며 양성자가 전자와 비교해 크게 다른 점 한 가지를 설명하시오.
- 2) 원자내의 전자를 특성화하는데 사용하는 네가지 양자수를 설명하고, 이들 중 어떤 양자수가 껍질과 에너지를 결정하는지 이야기해 보시오.

▶ 전문가 클리닉

물질을 구성하는 원자에 관한 비밀을 밝히기 위해 인류는 오랫동안 노력해 왔습니다. 지난호에 언급했던 아리스토텔레스의 4원소설부터 오늘날 쿼크의 존재에 이르기까지 꾸준한 노력으로 그 비밀의 껍질이 하나둘씩 벗겨지고 있습니다. 작년 이맘때쯤 과학동아에서도 핵·입자물리학에서 주목을 받는 5개의 쿼크 또는 반쿼크를 갖는 펜타쿼크의 발견과 4개의 쿼크 또는 반쿼크로 이뤄진 테트라쿼크의 발견 내용을 다뤘습니다. 현재는 원자핵을 이루는 더 작은 입자, 쿼크의 존재가 규명됐지만 불과 얼마 전까지만 하더라도 이런 존재에 대해서는 알지 못했습니다. 아리스토텔레스 시절부터 시작해 돌턴의 원자설, 톰슨의 원자모형을 거쳐 현대에 이르기까지 원자모델의 변천사를 한 번 정리해보고 각 모델의 특징을 기억해 뒀으면 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 러더퍼드는 1908년부터 1911년까지 실시한 실험에서 슬릿을 통해 α 선을 금속박에 투사시켜, 그 뒤쪽에 놓인 검출기로 α 입자의 산란방향을 조사했습니다. 이 실험에서 α 입자의 대다수가 금속박을 뚫고 그대로 지나쳤지만, 일부는 그 진행방향에서 다소 틀어져서 검출됐습니다. 그 중 극히 일부는 진행방향과 180° 방향으로 꺾어져 되돌아오는 것도 있었습니다. 이로써 러더퍼드는 톰슨이 제시한 원자모델이 잘못됐다는 것을 깨닫고 원자는 그 질량의 대부분을 차지하고 양전하를 띠는 작은 핵을 중심부에 갖고 있을 것이라고 예상했습니다.

한편 러더퍼드는 α 입자 산란실험을 통해 α 입자가 금속박막에 충돌할 때 양전하들 사이에 존재하는 반발력으로 입자가 산란돼 쌍곡선궤도를 그린다고 설명했습니다. 그리고 이로써 가이거 등의 각도분포 측정결과를 설명할 수 있다고 제안했습니다. 그의 산란분석을 통해 새로운 원자모형 및 원소의 원자번호가 확립됐습니다. 또 쿨롱힘에 의해서 산란이 된다는 사실을 적용해 원자핵 크기의 상한을 계산해냈습니다. 양성자는 원자번호를 결정하는데 사용됩니다. 그런데 이는 전자와는 달리 양성자가 갖는 특징입니다.

2) 양자수는 슈뢰딩거의 양자역학 방정식을 푸는 과정에서 도입됐습니다. 이는 전자의 에너지 상태와 전자구름 모양 및 방향성을 나타냅니다. 이런 양자수에는 주양자수, 방위양자수(각양자수), 자기양자수, 스핀양자수의 4가지가 있습니다. 이 중에서 주양자수가 전자껍질과 에너지를 결정하고, 방위양자수는 주양자수에 의존해 오비탈(전자분포모형)의 모양을 결정하며, 자기양자수는 주껍질에 속하는 여러개 오비탈의 공간배향을 나타냅니다. 마지막으로 스핀양자수는 +와 -의 2가지 종류가 있고, 전자의 스핀 상태를 나타냅니다.

▶ 추가문제

- 1) 바닥상태에서 원자의 전자배치를 위해 필요한 기본 원리를 설명하시오.
- 2) 원자번호 21번에 해당하는 Sc의 바닥상태 전자배치를 그려보시오.

2. [예상문제] 항상성의 중요성 - 관련단원 : 물의 특성

10년만에 찾아온 무더운 여름을 견뎌내면서 땀을 많이 흘렸을 것입니다. 또 후텁지근한 날씨로 짜증도 많이 났을 것입니다. 운동을 할 때 혹은 더운 날에는 유난히 땀을 많이 흘립니다. 그런데 땀을 왜 흘리는 것일까요? 땀을 흘림으로써 우리가 얻을 수 있는 효과를 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

모든 물체는 현재의 상태를 유지하려는 성향이 있습니다. 외부에서 주어지는 변화에 대해 그 영향을 줄이기 위해 노력을 합니다. 화학분야에서 르 샤틀리에 법칙과 완충용액의 성질도 외부 변화에 의한 영향을 최소화하려는 성향의 예들입니다. 인체도 외부에서 주어지는 자극에 대해 항상 일정한 상태를 유지하기 위해 각종 메커니즘을 작동시키고 있습니다. 더운 날이나 운동을 할 때 흘리는 땀도 한가지 예입니다. 과학동아 2003년 8월호에서는 ‘더위에 견디는 인체’라는 주제로 재밌는 글이 실렸습니다. 인간은 더위보다 추위에 더 취약하며 더위를 잘 견딜 수 있도록 진화했다는 내용입니다. 인체의 항상성 유지를 위해 땀의 배출 이외에도 여러가지 다른 형태가 존재하는데, 어떤 것들이 있는지 한 번 생각해 보시기 바랍니다.

▶ 예시답안

우리 몸은 단백질로 이뤄져 있습니다. 그런데 단백질은 고온에서 변성작용이 진행되므로 온도가 높아지면 우리 몸은 위험한 상태가 됩니다. 어린이나 아기가 열이 날 때 위험하다고 하는 이유도 이와 같습니다. 몸이 과열되면 열은 어떤 방법으로든지 외부로 발산돼야 합니다. 체온을 일정하게 유지해야 생존할 수 있기 때문입니다. 우선 몸의 열은 상대적으로 온도가 낮은 부위인 피부로 이동해 발산되는데, 이렇게 발산되는 열량은 전체의 15-20%에 해당합니다. 나머지 대부분의 열은 인체에 존재하는 2백만-3백만개의 땀샘을 통해 분비되는 땀이 수증기로 날아갈 때 발산됩니다.

인간 체온 정도의 온도에서 물 1g을 증발시키려면 거의 6백cal에 해당하는 열량이 필요합니다. 예를 들어 20℃ 물을 마신사람이 37℃에서 땀을 배출하면서 그냥 땀거나 흘려버릴 경우에는 1g당 17cal정도의 열량이 소모되지만, 땀이 증발하면 6백cal정도의 열량이 소모됩니다. 자전거를 야외에서 타면(맞바람 때문에 땀이 증발하기 쉬움) 실내에서 타는 것보다 덜 힘들게 느껴지는 것도 이 때문입니다. 이렇게 땀은 과열된 체온을 억제하는 인체의 가장 중요한 방어 메커니즘입니다.

땀은 99%가 물로 이뤄져 있고, 나머지는 Na, Cl, K, Mg, NH₃ 등의 이온으로 구성되어 있습니다. 그렇지만 대부분의 이온은 소금(NaCl)이기 때문에 땀은 물은 소금물이라고 할 수 있습니다. 땀 배출량은 계절과 신체활동 여부에 따라 차이가 나지만 보통 하루 평균 5백~7백ml 정도 됩니다. 그렇지만 장시간 더운 환경에 노출돼 있거나 강도 높은 운동을 하면 2~3L까지 배출되기도 합니다. 따라서 여름날이나 심한 운동을 하면 갈증이 많이 나는 것입니다. 이렇게 많은 땀을 흘릴 때 수분섭취가 제대로 이뤄지지 않으면 우리 몸의 상태는 급격히 악화되므로 주의해야 합니다.

▶ 추가문제

- 1) 시나이 사막에 사는 베드윈족은 검은색 천으로 된 헐렁한 옷을 입고 삽니다. 햇빛을 받으면 검은 물체가 흰 물체보다 더 뜨거워지는데 그들이 검은 천으로 된 옷을 입는 이유는 무엇일까요?
- 2) 인간이 땀 배출 이외에 체내의 열을 배출시키는 경로를 설명해 보시오.
- 3) 사람은 더우면 자주 씻어 더위를 건디기도 합니다. 집에서 키우는 개를 더운 여름날 자주 목욕시켜 주는 것이 개의 건강에 좋을까요?

3. [예상문제] 빛의 산란 - 관련단원 : 기체

맑은 가을하늘은 파란색을 띠지만, 저녁이 되면 붉게 물드는 노을을 볼 수도 있습니다. 또한 화산이 폭발한 다음에는 달빛이 파랗게 보이기도 합니다. 똑같은 것들인데 왜 때때로 다른 색으로 보이는 것일까요?

▶ 전문가 클리닉

우리가 물체의 색깔을 판별할 수 있는 것은 태양광선 때문입니다. 태양광선은 여러가지 종류의 빛이 섞여 있으며, 그 중에서도 가시광선 때문에 색을 판별할 수 있습니다. 태양광선을 프리즘에 통과시켜 보면 무지개 빛 스펙트럼으로 분리되는 것을 관찰할 수 있습니다. 자외선쪽 빛인 파란색은 파장이 짧고, 적외선쪽 빛인 붉은색은 파장이 길니다. 한편 태양광선은 공기분자나 먼지, 그 외의 다양한 물질들을 포함하는 지구의 대기를 통과해 지표에 도달합니다.

이 문제풀이를 통해 같은 하늘임에도 불구하고 시간에 따라 서로 다른 빛을 띠는 이유를 생각해 보는 기회가 됐으면 합니다.

▶ 예시답안

태양빛은 지구의 대기를 통과하는 도중에 대기가 포함하는 공기분자나 먼지 등 다양한 물질에 의해 산란과정을 거칩니다. 그 과정 중 붉은색과 녹색의 빛들은 비교적 파장이 길기 때문에 대기를 그대로 통과하지만, 파란색의 빛들은 파장이 짧아서 대기 중에 존재하는 산소나 질소분자에 의해서도 쉽게 산란됩니다. 이렇게 파란색 빛의 산란으로 인해서 하늘이 푸르게 보이는 것입니다.

하루동안 공기가 포함하는 먼지 양의 변화가 심해 하늘빛이 달라진다고 추측해볼 수도 있습니다. 그러나 공기 중에 존재하는 물질에 큰 변화가 없는 날에도 시간에 따라 하늘의 색깔은 달라집니다. 즉 동쪽에서 태양이 뜰 때 또는 저녁에 서쪽으로 태양이 질 때 하늘은 붉은색으로 물들지만, 낮에 하늘은 파란색으로 보입니다. 이와 같은 현상은 태양광선이 대기를 통과하는 거리에 따라 결정됩니다. 낮에는 빛이 비교적 수직으로 접근하기 때문에 태양광선이 대기를 통과하는 거리가 짧아집니다. 그래서 파란색 빛이 산란돼 푸른 하늘을 만들고, 녹색계통과 붉은

색계통의 빛은 대기를 통과해 두 계열의 빛이 섞여 태양을 노란색으로 만듭니다. 반면에 아침이나 저녁에 볼 수 있는 태양이 붉은 것은 태양광선이 대기를 통과하는 거리가 좀더 길어져 녹색계열 빛의 일부도 산란돼 붉은색을 띠게 되는 것입니다. 한편 황사처럼 공기 중에 먼지와 같은 물질이 많이 존재하면, 붉은색의 빛마저도 산란돼 하늘은 흰 빛을 띠게 됩니다.

정리하면 우리가 물질의 색을 관찰하는 것은 빛이 산란되기 때문에 가능한 것입니다. 그리고 빛이 한 종류가 아니라, 다양한 파장의 빛들이 복합적으로 구성돼 있기 때문입니다. 따라서 다양한 종류의 빛이 어떻게 산란되느냐에 따라 같은 물체라도 여러가지 색으로 보일 수 있습니다.

▶ 추가문제

- 1) 자동차의 브레이크등은 대개 붉은 플라스틱으로 덮여 있습니다. 왜 붉은색의 플라스틱만을 사용할까요?
- 2) 공기 중에 아무런 물질도 존재하지 않는다면 태양은 어떤 빛일까요? 또 하늘빛은 어떨까요? 그 이유는?

4. [기출문제] 기체분자의 운동세계 - 관련단원 : 기체

크기, 모양, 온도가 같은 4개의 구획으로 나뉜 공간이 있다. A에는 커피 가게, B에는 장난감 가게, C에는 핸드폰 가게, D에는 문방구가 입점해 있다. A에서 D까지의 거리는 S이다. 모든 구획이 칸막이로 완전히 분리돼 있으며, A구획에는 커피뿐만 아니라 빵도 같이 팔기에 이들 냄새로 가득 차 있다. 칸막이를 순식간에 제거하면 문방구에 있는 사람이 1분 후에는 커피 냄새를, 2분 후에는 빵 냄새를 맡았다. 다음의 가정을 이용해 문제에 답하시오 (2005년 성균관대 수시 1차 응용).

가정1. 커피 냄새와 빵 냄새는 각각 다양한 기체분자들의 조합을 코가 인식함으로써 맡게 되지만 본 문제에서는 커피와 빵 냄새가 각각 다른 한 종류의 분자에 의해서만 인식된다.

가정2. 커피 냄새와 빵 냄새를 일으키는 분자가 각각 N개, 2N개씩 있다.

가정3. 빵 냄새의 감도는 커피 냄새의 0.5배다.

- 1) 커피 냄새와 빵 냄새를 유발하는 분자가 이상기체처럼 움직인다고 할 때 두 냄새분자의 분자량의 비를 수식을 사용해 구하시오.
- 2) 1)에서는 각 냄새의 기체분자를 이상기체로 간주하고 수식을 구했다. 이상기체는 실제로 존재하는 것인지 설명하시오. 만약 실제로 존재할 수 없다면 실제기체가 이상기체와 같게 되기 위해 필요한 조건을 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

물질의 3가지 상태 중에 용액과 함께 가장 많이 연구된 것이 기체입니다. 기체상태에서 각각의 분자들은 독립적으로 움직이며, 병진, 회전, 진동 운동을 합니다. 이들 기체분자들은 서로간 인력이 약하고, 빠른 속도로 운동하기 때문에 기체 종류에 관계없이 공통적인 성질을 지니고 있습니다. 고체나 액체와 달리 기체는 주변 압력에 의해 그 부피가 크게 영향을 받으며, 또한 온도에 따라서도 큰 영향을 받습니다. 이런 기체의 성질들을 설명하기 위해 각종 법칙들이 있습니다. 여기 제시된 문제는 기체와 관련된 기본적인 가설, 기체분자운동론과 이상기체에 대한 것입니다. 기체와 관련된 여러가지 수식과 법칙을 이해하는 기회가 됐으면 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 기체는 끊임없이 운동을 하기 때문에 밀폐된 용기에 담겨야 합니다. A, B, C, D라는 독립적인 구역으로 나뉘어져 있다가 칸막이를 제거한다는 것은 한쪽 방향(D방향)으로 냄새 분자들이 지속적으로 운동할 수 있다는 것을 의미합니다. 다른 조건들이 같은 경우에 질량이 큰 물질이 작은 물질보다 더 느리게 이동하는 것처럼 기체 분자도 분자량이 큰 물질이 작은 물질보다 더 천천히 움직일 것입니다. 기체의 분자량과 이동속도와의 관계식은 1829년에 발표된 그레이엄의 법칙으로 설명할 수 있습니다. 그레이엄의 법칙이란 같은 온도와 압력에서 두 기체의 분출속도는 분자량의 제곱근에 반비례한다는 것입니다.

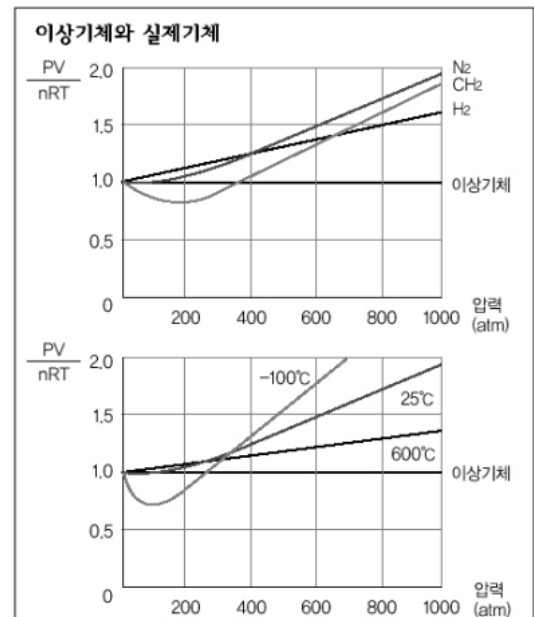
$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \quad (v : \text{분출속도}, M : \text{분자량})$$

한편 속도는 이동거리와 시간의 비입니다. 커피 분자의 분출속도를 v_c , 분자량을 M_c 라고 하고, 빵 분자의 분출속도를 v_b , 분자량을 M_b 라고 하면 그레이엄 법칙에 따라 $v_c/v_b = \sqrt{(M_b/M_c)}$ 가 됩니다. 그리고 $v_c = S/1\text{min}$, $v_b = S/2\text{min}$ 이 되기에 이를 다시 위 식에 적용하면 $M_b = 4M_c$ 가 됨을 알 수 있습니다. 즉 빵 분자의 분자량이 커피 분자 분자량의 4배가 됩니다.

- 2) 1)에서는 이상기체라는 가정 하에서 분자량의 비를 도출했었는데 실제 실험해서 구한 값은 이와 조금 차이가 납니다. 이는 각 기체가 이상기체가 아니기 때문입니다. 어떤 면에서 다른지를 알아보기 위해서 기체분자운동론을 먼저 살펴보겠습니다. 기체분자운동론은 자유롭게 날아다니는 기체 분자의 운동을 토대로 기체의 성질을 기술하는 이론입니다. 기체분자운동론은 다음처럼 서술할 수 있습니다.

- ① 기체분자들은 서로 멀리 떨어져 있으며, 기체 분자들 자체가 차지하는 부피는 용기의 부피에 비해 무시할 수 있다.
- ② 기체분자들은 계속해서 직선운동을 하고 용기의 벽이나 다른 분자들과 충돌한다.
- ③ 충돌이 일어나도 기체분자들의 총 에너지는 변하지 않는다.
- ④ 충돌할 때를 제외하고는 분자들 사이에 인력이나 반발력이 작용하지 않는다.

이런 기체분자운동론을 만족시키는 기체는 이상기체입니다. 그렇지만 실제기체는 높은 온도와 낮은 압력 상태에서만 이상기체처럼 행동합니다. 왜냐하면 압력이 높으면 기체분자운동론의 가정에서는 무시했던 기체분자 자체의 부피가 용기 부피에 비해 무시할 수 없기 때문입니다. 그리고 온도가 낮으면 분자간의 인력이 실제 기체에서는 각 분자의 운동에 영향을 미치기 때문입니다. 옆의 그래프는 이를 보여줍니다.



▶ 추가문제

- 1) 모든 기체는 구성하고 있는 분자형태가 다름에도 불구하고 열팽창 정도는 같다고 하는데 그 이유는 무엇인가?

5. [예상문제] 탄소화합물의 세계 - 관련단원 : 탄소화합물

- 1) 세수나 간단한 손빨래를 할 때 사용하는 비누와 합성세제의 차이점은 무엇인가?
- 2) 분자식이 $C_4H_8O_2$ 인 화합물을 가수분해했더니 A, B를 얻을 수 있었다. A는 Na와 반응해 수소기체를 발생시키고, A를 산화시키면 알데히드 C가 나오고, 더 산화가 진행되면 B가 생성된다. A, B, C의 화학식을 구하시오.

▶ 전문가 클리닉

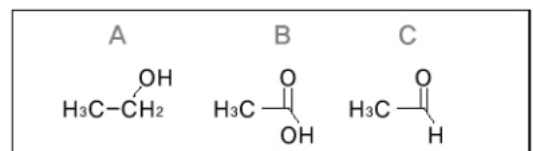
탄소는 생물체를 구성하고 있는 가장 주된 원소이며, 주변의 사물 중 많은 것들이 탄소화합물로 이뤄져 있습니다. 탄소화합물은 탄소를 주축으로 이뤄진 공유결합물질로서 분자를 형성합니다. 그리고 반데르발스 힘과 수소결합 등으로 인해 유기용매에 잘 녹고, 비전해질이며, 녹는점이 낮은 특징을 보입니다.

탄소화합물은 결합의 형태에 따라 단일결합으로 구성된 포화 탄화수소와 다중결합이 있는 불포화 탄화수소로 구분됩니다. 그리고 벤젠 고리와 같은 특이성을 보이는 화합물을 방향족 탄화수소, 그렇지 않은 것을 지방족 탄화수소로 분류하기도 합니다. 또 탄소화합물이 갖는 작용기에 따라 분류하기도 합니다. 탄소화합물이 관련된 비누의 작용원리에 대해서 생각해보고 특별한 작용기들로 구분되는 탄소화합물에 대한 특징도 파악해 보시기 바랍니다.

▶ 예시답안

- 1) 비누화란 에스테르에 수산화나트륨(NaOH)이나 수산화칼륨(KOH)과 같은 강한 염기를 가하고 가열할 때 지방산의 염과 알코올로 분해되는 반응을 의미합니다. 유지를 비누화 과정을 거쳐 얻는 지방산염이 바로 비누입니다. 바닷물과 같은 물(센물)에서는 비누가 잘 풀리지 않는데 이는 물 속에 이온들이 가득하기 때문입니다. 또 비누 수용액은 염기성이기에 염기에 약한 동물성 섬유의 세탁에는 적합하지 않습니다. 이런 단점을 극복한 것이 합성세제(중성세제)입니다. 대표적인 합성세제는 도데실벤젠술폰산나트륨으로 도데실 가지가 있으면 경성세제, 없으면 연성세제가 됩니다.
- 2) 기본적인 탄화수소 화합물은 C_nH_{2n+2} 라는 일반식을 갖습니다. 이 식에 $n=4$ 를 대입하면 수소의 개수는 10이 되지만, 문제에서 수소가 8개이기 때문에 그 차이의 반만큼 불포화도가 존재함을 알 수 있습니다. 즉 이중결합 1개가 있거나 아니면 고리형의 화합물일 수 있습니다. 그런데 이 화합물을 가수분해하면 2가지 물질로 나뉘질 수 있다고 했기에 이 화합물은 에스테르 결합을 형성함을 알 수 있습니다. 에스테르 결합에서 탄소와 산소는 하나의 이중결합을 갖고 있습니다.

에스테르 결합이 가수분해 과정을 거쳐 깨지면 카르복실산과 알코올로 나뉘집니다. 이때 A 물질이 알코올이며, B물질이 카르복실산입니다. 왜냐하면 A물질은 Na와 반응해 수소기체를 내고 산화과정을 거쳐 알데히드, 더 산화돼 카르복실산이 되기 때문입니다. 산화과정을 거치더라도 기본적인 탄소수는 변하지 않기 때문에 A와 B의 기본 탄소수는 동일합니다. 따라서 각각 2개의 탄소를 나눠 가지며 A는 에탄올, B는 아세트산, C는 아세트알데히드가 됩니다.

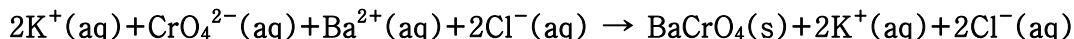


각 화합물의 구조는 오른쪽과 같습니다.

2004년 10월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

1. [예상문제] 염의 세계

염화바륨(BaCl_2)용액과 크롬산칼륨(K_2CrO_4)용액을 섞었을 때 다음과 같은 반응이 일어났다.



1) 전하는 어떻게 보존되는지 보이시오.

2) 알짜이온반응식을 다시 작성하시오.

3) 0.500M인 BaCl_2 3.00L와 0.200M인 K_2CrO_4 2.00L을 섞고 BaCrO_4 가 무시할 정도의 용해도를 갖는다고 할 때 침전이 끝난 후 존재하는 모든 이온들의 농도를 구하시오.

▶ 전문가 클리닉

고체를 액체에 넣으면 고체는 녹기 시작하며, 녹은 물질의 농도는 증가합니다. 고체를 더 넣을수록 용액의 농도는 진해지며, 어느 순간에 이르러서는 더이상 녹지 않습니다. 그 순간 녹인 고체 물질의 양을 용해도라 하며, 용해도 이상을 녹이면 포화상태가 됩니다.

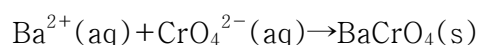
고체물질은 그 용해성에 따라 가용성, 불용성, 난용성으로 구분됩니다. 두개의 물질이 각각 가용성이라고 하더라도 두 용액을 섞으면 고체가 생성되는 현상을 볼 수 있습니다. 용액으로부터 고체가 형성되는 것을 침전이라고 하며, 이렇게 생성된 난용성염이 용해 평형을 이룬 경우 평형상수 값을 용해도곱 상수 K_{sp} 라고 합니다. 이 값이 작을수록 난용성의 성향이 더 커지게 됩니다.

▶ 예시답안

1) 화학반응식을 구성할 때 화학반응 과정을 거치면 분자는 변하지만, 원자는 보존된다는 원리를 이용했습니다(핵반응은 예외입니다). 이 원리는 이온을 포함하는 반응에도 그대로 적용됩니다. 물론 전하도 마찬가지입니다. 즉 화학반응에서 전하는 생성되거나 소멸되지 않으며, 반응물질들 사이의 총전하는 생성물질들 사이의 총전하와 같습니다.

주어진 문제의 화학반응식에서 화살표 좌측의 반응물질들(각 이온들)의 총전하를 구하면 $2 \times (+1) + 1 \times (-2) + 1 \times (+2) + 2 \times (-1) = 0$ 이고, 우측의 생성물질들의 총전하를 구하면 $1 \times (0) + 2 \times (+1) + 2 \times (-1) = 0$ 입니다. 화학반응이 일어나도 전하는 보존됨을 알 수 있습니다.

2) 위 화학반응식에 있는 모든 이온들이 반드시 반응에 참여하는 것은 아닙니다. 화학반응에서 실제로 반응을 일으키는 이온들만으로 구성된 반응식을 알짜이온반응식이라고 하며, 반응에 참여하지 않은 이온들을 방관자이온이라고 합니다. 문제에 주어진 화학반응식에서 반응물질쪽과 생성물질쪽을 살펴볼 때 K^+ , Cl^- 는 변화가 없음을 알 수 있습니다. 따라서 이들이 바로 방관자이온입니다. 방관자이온이 아닌 CrO_4^{2-} , Ba^{2+} , BaCrO_4 로 알짜이온반응식을 구성하면 아래와 같습니다.



3) 반응 전 각 이온들의 몰수를 구해보면 $\text{Ba}^{2+}(1.50\text{mol})$, $\text{Cl}^-(3.00\text{mol})$, $\text{K}^+(0.800\text{mol})$, $\text{CrO}_4^{2-}(0.400\text{mol})$ 입니다. 지문에서 BaCrO_4 는 무시할 정도의 용해도를 갖는다고 했는데 이는 침전반응 후 거의 고체 상태로 존재함을 말합니다. 이때 생성되는 침전물의 양을 결정하는 것은 몰수가 적은 CrO_4^{2-} 입니다. 두 수용액을 섞은 뒤 남아있는 이온들의 몰수는 각각 Ba^{2+}

$1.50 - 0.400 = 1.10\text{mol}$, Cl^- 3.00mol , K^+ 0.800mol , CrO_4^{2-} $0.400 - 0.400 = 0\text{mol}$ 입니다.

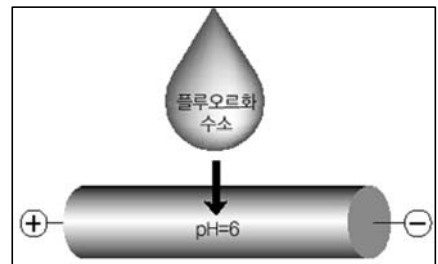
한편 두 수용액을 섞으면서 용액의 부피도 5.00L 로 늘었기 때문에 용액 내 존재하는 각 이온들의 몰농도를 구하면 Ba^{2+} 0.220M , Cl^- 0.600M , K^+ 0.160M 가 됩니다. CrO_4^{2-} 의 몰농도는 무시할 수 있습니다.

▶ 추가문제

소금처럼 물에 잘 녹는 물질도 있고, 녹말처럼 잘 녹지 않는 물질도 있듯이 물질마다 용해도 차이가 납니다. 물질의 용해도를 결정하는 조건은 무엇일까요?

2. [기출문제] 이온화도

상온에서 플루오르화수소(HF)의 이온화상수 $K_a = 1 \times 10^{-5}$ 일 때 플라스틱으로 만든 관에 $\text{pH} 6.0$ 인 완충용액을 채우고 관의 양쪽에 전압을 걸었다. 관의 중앙에 소량의 10^{-9}mol/L 플루오르화수소 수용액을 주입했다. (2004년 서울대 수시)



- 1) 이온화도와 이온화상수를 설명하시오.
- 2) 관에 주입된 플루오르화수소의 이온화도를 대략 추정하시오.
- 3) 플루오르화수소는 어떻게 움직일지 설명하시오.
 - (1) 모두 오른쪽으로 움직인다.
 - (2) 확산될 뿐이다.
 - (3) 모두 왼쪽으로 움직인다.
 - (4) 약 90%는 오른쪽으로, 나머지는 그 자리에서 확산된다.
 - (5) 약 90%는 왼쪽으로, 나머지는 그 자리에서 확산된다.

▶ 전문가 클리닉

산-염기와 관련된 문제는 거의 매해 각 대학에서 기출됐습니다. 처음에는 산-염기의 정의를 묻거나, 중화적정과 관련된 문제가 주로 출제됐으나 최근에는 pH , 평형상수와 관련된 문제나 염이 관련된 문제 또는 완충용액과 연관지어 생각해야 하는 문제 중심으로 출제됩니다. 산-염기는 꾸준히 다뤄졌기에 요즘은 단순히 산-염기에 국한된 질문이 아니라 약간씩 다른 분야의 내용과 연관된 문제가 유행합니다. 이 문제도 이온화도의 개념을 이용하고, 완충용액에서 어떤 변화가 일어나는가를 묻습니다. 이 문제를 풀기 위해서 완충용액의 기본적인 성질을 이해하고, 이온화상수와 관련된 평형상수의 개념을 파악해야 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 이온화도란 전해질을 물에 녹였을 경우 전해질의 전체 몰수에 대한 이온화된 몰수의 비를 의미합니다.

$$\text{이온화도}(\alpha) = (\text{이온화된 몰수}) / (\text{전해질의 총몰수})$$

이온화도가 큰 산은 수소이온을 많이 내기에 강한 산성을 띠며, 같은 물질인 경우에도 온도가 높을 수록, 농도가 묽을 수록 이온화도가 커지는데 이를 ‘오스트발트의 희석률’이라 합니다.

산(HA)이 물에 녹아 이온화평형을 이뤘을 때 $HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$ 평형상수 K 는 $[H_3O^+][A^-] / [HA][H_2O]$ 가 됩니다. 물의 농도가 일정하다는 점을 가정하고 이를 양변에 곱해 새로운 상수 K_a 를 얻는데, 이를 이온화상수라 합니다. 온도가 일정하면 물질의 농도에 관계없이 이온화상수는 일정하고, 이 값이 크면 정반응이 우세해 강산이 됩니다.

2) $HF + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + F^-$ 라는 반응식을 도출합니다.

이때 K_a 는 $[H_3O^+][F^-] / [HF] - [F^-]$ 가 됩니다. 그런데 플루오르화수소를 완충용액 속에 주입하므로 수소이온 농도만큼 이온화가 덜 됩니다(르샤틀리에 원리).

K_a 값과 $[H_3O^+]$ 값을 대입한 후에 식을 정리하면 $1 \times 10^{-5}([HF] - [F^-]) = 1 \times 10^{-6}[F^-]$ 가 되고, $[F^-] / [HF] = 10/11 = 0.91$ 이 됩니다. 즉 플루오르화수소의 이온화도(α)는 0.91입니다.

3) 관에 주입된 플루오르화수소의 이온화도는 0.91이고, 음이온이기에(+)극인 왼쪽으로 이동합니다. 플루오르화수소의 9%는 이온화되지 않았지만, 이온화된 플루오르화수소가 왼쪽으로 이동한 사이 남아있는 양(9%)의 91%가 다시 새롭게 이온화돼 왼쪽으로 이동하므로 결국 모든 플루오르화수소는 (+)전극이 있는 왼쪽으로 이동합니다.

▶ 추가문제

혈관을 따라 흐르는 혈액은 우리 몸의 항상성을 유지하는데 중요한 역할을 한다. 어떤 점에서 그러한지 설명하십시오.

3. [기출문제] 할로젠의 비밀

할로젠족에 관한 다음 물음에 답하십시오.(2003년 포스텍 수시)

- 1) NaI와 Br₂ 혼합물의 반응식을 쓰시오.
- 2) HCl과 HBr 중에서 결합에너지가 더 큰 쪽은?
- 3) 할로젠화은 AgX(X : F, Cl, Br, I)는 모두 무색이며 물에 난용성이다. 이는 사실인가 아니면 거짓인가?

▶ 전문가 클리닉

할로젠원소들은 7족으로 F, Cl, Br, I, At가 있지만 대개 F, Cl, Br, I만을 다룹니다. 원래 할로젠은 그리스어로 염을 만드는 물질이란 뜻으로 주기율표상 1족인 알칼리금속과 반응해 염을 형성합니다. 7족의 최외각전자는 7이며, 전자를 1개를 더 얻어 He과 같은 안정한 전자배치를 이뤄 전자친화도가 상당히 높습니다. 할로젠원소들은 반응성이 매우 큰데 보통 두 원자 간의 공유결합으로 이뤄져 있습니다. 또 특유한 색깔을 띠며 원자번호가 커질수록 그 색깔이 진해집니다. 원자번호가 커질수록 분자간 힘이 증가하므로 녹는점과 끓는점이 높아져 상온에서 F₂, Cl₂는 기체로, Br₂는 액체로, I₂는 고체로 존재합니다.

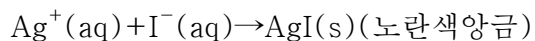
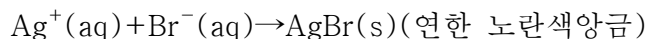
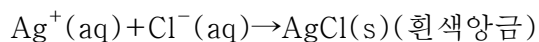
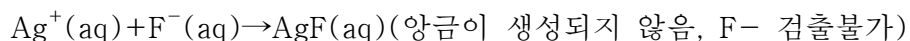
▶ 예시답안

1) 쉽게 환원되는 물질은 좋은 산화제라고 할 수 있습니다. 플루오르(불소)가 가장 센 산화제이고, 요오드가 제일 약한 산화제입니다. 그리고 요오드화이온은 환원제로 작용하지만, 플루오르화이온은 환원제로는 작용하지 못합니다(참고로 이는 산화환원반응의 E° 값을 통해 확인할 수 있습니다. $2F \rightarrow F_2 + 2e^-; E^\circ = -2.87V$, $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-; E^\circ = -1.36V$, $2Br \rightarrow Br_2 + 2e^-; E^\circ = -1.07V$, $2I \rightarrow I_2 + 2e^-; E^\circ = -0.53V$). 즉 할로겐원소의 반응성과 산화력은 $F_2 > Cl_2 > Br_2 > I_2$ 가 됩니다.

그러므로 $2NaI + Br_2 \rightarrow 2NaBr + I_2$ 가 됩니다. 알짜이온반응식으로 다시 작성하면 $2I^- + Br_2 \rightarrow I_2 + 2Br^-$ 가 됩니다. 위에서 살펴본 반응성에 따라 이 식의 정반응은 쉽게 이뤄지지만 역반응은 이뤄지기 어렵습니다.

2) 두 원자 사이의 전기음성도 차이가 크면 클수록 결합에너지는 강해집니다. 전기음성도는 공유전자쌍을 끌어당기는 상대적인 세기로 $F > Cl > Br > I$ 입니다. 따라서 $HF > HCl > HBr > HI$ 순이 되고 역순으로는 산의 세기가 증가합니다. 각 할로겐화수소의 결합에너지를 살펴보면 $HF : 5\text{백}67\text{KJ/몰}$, $HCl : 4\text{백}31\text{KJ/몰}$, $HBr : 3\text{백}66\text{KJ/몰}$, $HI : 2\text{백}99\text{KJ/몰}$ 입니다.

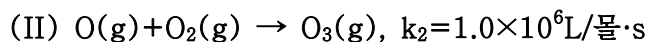
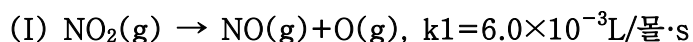
3) 할로겐화합물의 수용액에 질산은 ($AgNO_3$)수용액을 가하면 독특한 색깔의 앙금이 생성되므로 이 앙금의 색깔만으로도 할로겐이온을 검출할 수 있습니다.



따라서 질문에서 제시된 내용은 사실이 아닙니다.

4. [예상문제] 오존

오염된 공기 속에 존재하는 오존(O_3)은 다음 두 단계에 의해 얻어진다.



오염된 공기 속 $[NO_2] = 2.0 \times 10^{-8} \text{ 몰/L}$, $[O_2] = 1.0 \times 10^{-3} \text{ 몰/L}$ 다. 만일 산소원자가 생성되는 속도와 소모되는 속도가 같다고 할 때 아래 물음에 답하시오.

1) 오염된 공기 속에서 산소원자의 농도를 구하시오.

2) 오염된 공기 속에서 오존(O_3)이 생성되는 속도를 계산하시오.

3) 만일 오존의 생성속도가 일정하다면 25°C , 1기압의 공기 속에서 오존 1ppm을 생성하기 위해서는 얼마의 시간이 걸리겠는가?(단 이때 공기 농도는 0.041 몰/L 다.)

▶ 전문가 클리닉

화학반응이 일어나기 위해서는 반응물질의 분자가 충돌해야 하며 충돌시 반응물질의 분자구조도 중요합니다. 예를 들어 요오드분자(I_2)와 수소분자(H_2)가 반응해 요오드화수소분자(HI)를

형성할 때 두 분자가 옆으로 나란히 배열한 상태에서 충돌하면 하나의 요오드화수소분자가 만들어지고, 구조적으로 두 분자가 마주본 상태에서 충돌하면 두개의 요오드화수소분자가 만들어집니다. 또한 반응물질의 분자들이 일정 양 이상의 활성화에너지를 갖고 있어야 합니다. 화학반응이 일어날 때 단위시간에 감소한 반응물질의 농도 또는 증가한 생성물질의 농도를 반응속도라고 하며, 이때 단위는 $\text{mol/L}\cdot\text{s}$, $\text{mol/L}\cdot\text{m}$ 등을 사용합니다. 특히 반응속도에 가장 큰 영향을 미치는 단계를 속도결정단계라 하며, 이 단계의 반응속도가 가장 느립니다. 반응속도에 영향을 미치는 요소로는 반응물질의 종류, 온도, 농도, 촉매가 있습니다.

▶ 예시답안

- 1) (I)에서 생성되는 산소원자의 생성반응속도 $v_1=k_1[\text{NO}_2]$ 고, (II)에서 소모되는 산소원자의 소모반응속도는 오존의 생성반응속도와 같아서 $v_2=k_2[\text{O}][\text{O}_2]$ 가 됩니다. 그리고 산소원자의 생성속도와 소모속도가 같으므로 $v_1=v_2$ 입니다. 따라서 $k_1[\text{NO}_2]=k_2[\text{O}][\text{O}_2]$ 가 되고 다시 정리하면 $[\text{O}]=k_1[\text{NO}_2]/k_2[\text{O}_2]$ 가 됩니다. 여기에 수치들을 모두 대입하면 산소원자의 농도, $1.2\times 10^{-13}\text{mol/L}$ 을 얻어낼 수 있습니다.
- 2) 오존분자가 생성되는 속도는 $v_2=k_2[\text{O}][\text{O}_2]$ 이며, 1)에서 산소원자의 농도가 $1.2\times 10^{-13}\text{mol/L}$ 라는 점을 고려해 대입하면 $v_2=1.2\times 10^{-10}\text{mol/L}\cdot\text{s}$ 가 됩니다.
- 3) 2)에서 오존분자의 생성속도 $1.2\times 10^{-10}\text{mol/L}\cdot\text{s}$ 를 구했습니다. 오존농도가 전체 공기 속에서 1ppm이 된다는 것은 공기농도 1백만분의 1만큼이라는 의미입니다. $(1.2\times 10^{-10}\text{mol/L}\cdot\text{s}\times t)/(0.041\text{mol/L})=10^{-6}$ 이라는 식을 이용해 t 값을 구하면 3백42초가 됩니다.

5. [기출문제] 분자의 극성

두개의 뷰렛에서 각각 에탄올과 톨루엔을 흘려 내리고 있다. 명주 형짚에 비빈 유리막대를 뷰렛에서 흘러내리고 있는 에탄올과 톨루엔에 가까이 가져가면 각각 어떤 변화가 일어나겠는가?(2003년 서울대 공대)

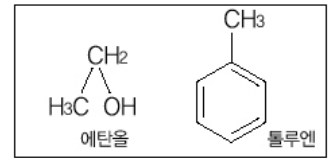
- 1) 왜 이런 변화가 일어나는가?
- 2) 톨루엔 대신에 초산이나 사염화탄소를 사용하면 실험결과에 각각 어떤 차이가 생기겠는가? 에탄올과 톨루엔의 경우와 비교해 설명하시오.
- 3) 1)에서 답한 화합물의 물성을 나타내기 위해 화합물이 갖춰야 하는 조건을 두개 들고, 에탄올과 톨루엔의 경우 어떻게 적용되는지 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

화학결합에는 공유결합, 이온결합, 금속결합, 수소결합이 있습니다. 각각의 결합에 대해 벌써 여러번 다뤘습니다. 여러분들은 각 결합의 특징들을 확실히 이해해야 합니다. 이번 문제는 결합들 중에서도 특히 공유결합과 관련된 것입니다. 공유결합은 하나의 결합을 이루는 두 원자가 전자를 나눠 가지면서 형성됩니다. 이때 형성되는 분자가 동일한 원자들로 구성되지 않았다면 전자들은 어떤 한 원자 쪽으로 더 끌립니다. 이는 각 원자들마다 전기음성도가 다르기 때문입니다. 이것을 이해한다면 문제에 수월하게 접근할 수 있을 것입니다.

▶ 예시답안

1) 에탄올과 톨루엔은 각각 옆 그림과 같은 분자구조를 갖습니다. 분자구조에서 보듯이 에탄올은 극성분자이고, 톨루엔은 무극성분자입니다. 형겅으로 유리막대를 문지르면 유리막대는 (+)전하를 띕니다. 따라서 에탄올은 산소원자가 유리막대 쪽을 향해 휘어져 떨어지고, 톨루엔은 아무런 변화 없이 아래로 떨어집니다.



2) 톨루엔 대신에 사용하는 초산이나 사염화탄소도 극성인지 무극성인지를 따져보면 됩니다. 초산은 극성분자이고, 사염화탄소는 무극성분자이기 때문에 초산은 에탄올처럼 유리막대 쪽으로 휘어져 떨어질 것이고, 사염화탄소는 톨루엔처럼 휘지 않고 떨어질 것입니다.

3) 공유결합을 형성할 때 두 원자는 전자를 공유합니다. 원자 간의 전기음성도가 달라서 공유결합을 이루는 공유전자쌍은 어느 한 원자 쪽으로 치우치게 됩니다. 이를 극성공유결합이라고 합니다. 반면에 두 원자가 같으면 공유전자쌍의 치우침이 없는데 이를 무극성공유결합이라고 합니다. 극성공유결합을 하는 분자는 대개 극성분자지만 반드시 그런 것은 아닙니다. 이산화탄소나 사염화탄소도 모두 극성공유결합을 형성하지만 이들은 무극성분자입니다. 이는 공유결합들에 작용하는 모든 힘의 합이 0이기 때문입니다(물리의 벡터 개념을 참고하세요).

정리하면 극성분자가 되기 위해서는 우선 결합을 형성하는 원자 간에 극성공유결합을 형성할 수 있도록 전기음성도 차이가 있어야 합니다. 둘째 극성공유결합에 작용하는 총 힘의 합이 0이 되지 않아야 합니다(대칭성이 없어야 합니다).

6. [예상문제] 원자의 전자배치법

다전자 원자에서 전자가 채워질 때는 3가지 규칙을 따른다. 이 규칙들에 대해 설명하시오. 철의 산화 상태는 +1가 이온(Fe^+) 또는 +2가 이온(Fe^{2+})보다는 +3가 이온(Fe^{3+})으로 많이 존재한다. 위의 규칙을 이용해 철($_{26}\text{Fe}$)의 바닥상태 전자배치를 말하고, 그 이유를 제시하시오.

▶ 전문가 클리닉

물질을 계속 쪼개어 나가면 어느 순간에 이르러 더이상 쪼갤 수 없는 가장 기본적인 입자에 도달합니다. 이를 원자(atom)라고 합니다. 물론 현재는 양성자, 중성자, 전자 개념을 넘어서 쿼크까지 다뤄지지만 우리 주위의 모든 것들은 원자들의 조합으로 존재합니다. 19-20세기 동안 이뤄진 실험으로 원자는 양성자와 중성자, 그리고 전자로 구성된다는 원자구조모델이 제시됐습니다. 이는 현대화학 발전에 큰 밑바탕이 됐습니다.

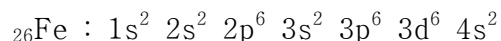
▶ 예시답안

다전자 원자에서 전자의 에너지상태, 전자구름의 모양과 방향성은 4가지 양자수(n, l, m_l, s)로 결정되는 s, p, d, f오비탈(orbital)로 나타낼 수 있습니다. 오비탈은 전자껍질을 이루는 에너지상태로 전자가 원자핵 주위의 어떤 공간에서 발견될 확률이 90% 이상인 등확률면입니다.

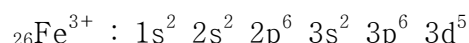
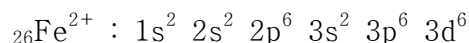
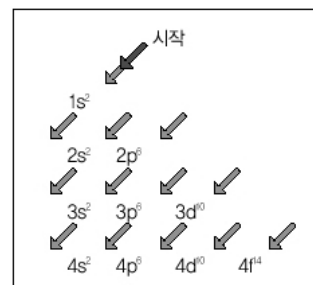
오비탈에 전자를 채우는 첫번째 원리는 축조원리(Aufbau principle)입니다. 이 원리는 전자를 에너지가 낮은 상태의 오비탈에서 순차적으로 높은 상태의 오비탈을 채워가는 것을 말합니다. 오비탈의 에너지 준위는 $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d \dots$ 이고, 이를 그림으로 나타내면 오른쪽 위와 같습니다. 둘째 원리는 파울리의 배타원리(Pauli's exclusion principle)로 한 원자에서 4가지 양자수(n, l, m_l, s)가 동일한 전자는 존재할 수 없다는 것입니다. 즉 1개의 오

비탈에는 2개 이상의 전자가 존재할 수 없습니다. 마지막 원리는 훈트의 규칙(Hund's rule)으로 에너지 준위가 동일한 몇 개의 오비탈(2p, 3p, 3d 등)에 전자가 채워질 때 각각의 오비탈에 홀전자가 1개씩 배치된 다음 스핀이 반대인 전자가 들어가 쌍을 이룬다는 규칙입니다. 이는 오비탈에 홀전자의 배치가 많을 수록 짝을 이룬 것보다 전자 사이의 반발력이 작아져서 에너지가 낮아지기 때문입니다.

철의 원자번호는 26번이므로 26개의 전자가 3가지 규칙에 따라 오비탈에 배치됩니다. 철의 바닥상태의 전자배치를 보면 다음과 같을 것으로 예상됩니다.



Fe의 전자배치에서 3d 오비탈의 전자가 4s 오비탈의 전자보다 늦게 채워지나 이온이 될 때는 4s 오비탈의 전자가 가장 바깥 껍질 전자이므로 먼저 떨어져 나가 Fe^{2+} 가 됩니다. Fe^{3+} 가 될 때는 3d 오비탈의 전자 중 쌍을 이룬 오비탈의 전자가 1개 떨어지는데, 이는 훈트의 규칙을 만족합니다. 즉 3d 오비탈에 홀전자가 전체적으로 5개가 되므로 훈트의 규칙에 따라 더 유리한 전자 배치상태가 돼 원자 전체의 에너지가 낮아집니다.



▶ 추가문제

도시의 야간 가로등으로 원자번호가 11번인 나트륨이 들어 있는 전등을 수은보다 많이 사용한다. 나트륨의 전자배치를 설명하고, 나트륨 전등에서 황색빛이 나오는 원리를 설명하시오. 나트륨원자에 있는 각 전자들에 대한 오비탈의 모양을 그리시오. 나트륨원자의 반지름은 1.86\AA 이다. 나트륨원자 반지름 이내에 3s 오비탈에서 전자의 분포확률이 0인 구면은 몇 개나 존재하는가?(2002년 포스텍)

2004년 11월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 이번호에는 화학반응, 화학결합을 다뤘으며 특히 물질의 상태에 중점을 뒀습니다.

1. [기출문제] 열화학반응식의 이해

열화학과 관련된 다음의 물음들을 생각해 보자.(2004년 1학기 수시 홍익대)

1) 다음의 25℃일 때 메탄올 연소반응식이 나타내는 의미를 설명하시오.



2) 25℃ 물의 기화열이 2.44kJ/g이면 물의 기화에 관한 식을 1)과 같은 형식으로 표현하시오.

3) 1)의 연소반응식에서 생성물 부분의 H₂O가 수증기가 아니라 액체상태인 물이라면 발생 열량이 얼마인가?

▶ 전문가 클리닉

물이 주변 온도에 따라 얼음, 물 또는 수증기 상태로 존재하는 것처럼 물질의 본질 자체는 변하지 않고 모양, 크기, 상태만 변하는 것을 물리적 변화라고 합니다.

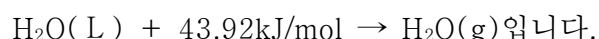
반면 화학변화는 물질의 본질 자체가 변하는 것입니다. 즉 화학변화 또는 화학반응이란 원자가 파괴되거나 새로 생성되는 것이 아니라 재배열됨으로써 분자가 달라지는 변화를 말합니다.

화학반응에 참여한 화합물질들의 관계식이 화학반응식입니다. 화학반응식은 반응물질과 생성물 질뿐만 아니라 이것들이 어떤 비율로 반응하고 생성되는지를 보여줍니다. 특히 열화학반응식은 반응과정에서 흡열, 발열처럼 열의 출입이 뒤따르는 반응식을 의미합니다.

▶ 예시답안

1) 주어진 식은 메탄올 2분자와 산소 3분자가 반응에 참가해 이산화탄소 2분자와 수증기 4분자 그리고 열 1천5백kJ을 발생하는 발열반응을 보여줍니다. 이 반응은 화학반응 중 복분해(또는 복치환)반응에 해당하며, 식에서 화살표 오른쪽에 발생한 열량이 표시되므로 발열반응임을 알 수 있습니다. 물론 앞서 언급했듯이 각 화합물의 비율도 알 수 있습니다. 에너지 보존법칙을 고려하면 반응물의 총에너지가 생성물의 총에너지보다 높기 때문에 활성화에너지만 충족되면 반응이 생성물 쪽으로 진행될 것임을 예상할 수도 있습니다.

2) 물이 수증기가 되려면 주변에서 열을 흡수해야 합니다. 이때 필요한 열은 기화열이라 불리며 이 반응은 흡열반응입니다. 25℃ 물의 기화열이 2.44kJ/g이므로 이를 고려해 물이 기화하는 반응식을 써보면(물 1mol은 18g)



3) 1)의 연소반응식에서 수증기 4mol이 생성되면서 1천5백kJ의 열이 발생했고, 2)에서는 1mol의 수증기를 생성하기 위해 43.92kJ의 에너지가 필요합니다. 이를 고려하면 액체상태의 물로 존재할 때 발생하는 열량을 손쉽게 구할 수 있습니다. 1500+43.92×4=1천6백75.68kJ 열이 발생할 것입니다.

▶ 추가문제

표준상태에서 1L의 산소를 무전 방전시켰더니 그 부피가 8백88mL로 감소했다. 이때 생성된 오존은 몇 g인가?

2. [예상문제] 용액의 농도

1) 0.1몰랄농도 요소수용액의 어는점은 -0.186°C 다. 어떤 화합물 A 4.5g을 물 1백g에 녹인 용액의 어는점은 -0.465°C 다(순수한 물을 사용했으며 요소와 화합물 A는 물에서 해리되거나 화합되지 않는다).

a) 화합물 A 용액의 몰랄농도를 쓰시오.

b) 화합물 A의 분자량을 쓰시오.

2) 전해질 AB_x 1몰을 물 1천5백g에 녹여 수용액의 어는점을 측정했더니 -7.44°C 였다. 물질의 이온화도가 1이라면 이 물질의 화학식은?(단 물의 몰랄내림은 1.86°C 다.)

▶ 전문가 클리닉

두종류 또는 그 이상의 순수한 물질이 섞여 있는 것을 혼합물이라 하며 혼합물 중에서도 균일 혼합물을 용액이라 합니다. 용액은 상태에 따라 기체용액, 액체용액, 고체용액으로 나뉘며 일반적으로 그냥 용액이라고 할 때는 액체용액을 뜻합니다. 용액에서 녹이는 물질을 용매, 녹는 물질을 용질이라고 합니다. 용매와 용질의 조성비를 나타낸 것을 용액의 농도라고 하는데 퍼센트농도, 몰농도, 노르말농도, 몰랄농도 등이 있습니다. 농도의 정의를 완벽하게 이해해야만 서로 다르게 표현되는 농도를 원하는 형태로 쉽게 바꿀 수 있습니다.

▶ 예시답안

1) a) 우선 몰랄농도는 용매 1Kg에 녹아 있는 용질의 몰수를 의미하며, 단위는 몰/Kg, 또는 m을 사용합니다. 이 기준은 용매의 질량이므로 온도에 무관하며, 묽은 용액에서는 몰농도와 거의 같습니다.

다음 비례식을 이용해서 몰랄농도를 구할 수 있습니다.

$$0.1\text{몰랄농도} : (-0.186) = x\text{몰랄농도} : (-0.465)$$

$x=0.25$ 이고 화합물 A 용액의 몰랄농도는 0.25m입니다.

b) 화합물 A 4.5g을 1백g의 물에 녹이는 것은 화합물 A 45g을 1Kg의 물에 녹인 것과 같습니다. 이때 몰랄농도가 0.25m이기에 45g에 해당하는 화합물 A는 0.25mol입니다. 화합물 A의 분자량은 $45\text{g} \times 4 = 1\text{백}80\text{g}$ 입니다.

2) 물에 녹아 이온이 되는 물질은 전해질이며 이런 물질의 용액을 전해질 용액이라 합니다. 전해질 용액은 이온화되므로 전기가 잘 통합니다.

전해질 용액의 총괄성은 전해질의 농도가 아닌 용액 안에 있는 용질 입자들의 전체 농도에 의해 결정됩니다. 전해질 AB_x 수용액의 어는점내림은 7.44°C 이고 물의 몰랄내림 상수는 1.86°C 이므로 이는 4m에 해당합니다.

한편 전해질의 이온화도가 1이므로 화합물 AB_x 는 완전히 해리됩니다. 따라서 이온화됐을 경우 수용액에 존재하는 용질입자의 전체 몰수는 $1+x$ 몰이며, 이것을 1.5Kg의 물에 녹이면

=4m이됩니다. 이를 해결하면 $x=5$ 이므로 전해질 AB_x 의 화학식은 AB_5 가 됩니다.

▶ 추가문제

- 1) 3.5%의 염화나트륨 수용액으로 가정된 바닷물의 어는점을 구하시오.
- 2) 25℃일 때 물의 증기압력은 23.8mmHg이다. 1.00m 설탕용액의 증기압력내림은 얼마인가?
- 3) 토끼의 헤모글로빈 50g을 녹인 1.0L의 수용액에 대해 삼투압을 측정했더니 2백98K에서 1.80×10^{-3} 기압이었다. 헤모글로빈의 분자량을 구하시오.

3. [기출문제] 화학결합의 종류

고체 염화나트륨이 물에 녹을 때 그 용액에서 전기가 통한다는 사실로 염화나트륨이 Na^+ 와 Cl^- 로 구성됐다는 것을 확신할 수 있다. 그러므로 나트륨과 염소가 반응해서 염화나트륨을 만들 때 전자가 나트륨 원자에서 염소 원자로 이동하면서 Na^+ 와 Cl^- 이온을 형성한 후 다시 뭉쳐서 염화나트륨을 형성한다. (2003년 숙명여대)

- 1) 위 글의 내용은 무엇을 설명하는가?
- 2) 화학결합의 다른 유형으로 공유결합이 있다. 공유결합에서 이뤄지는 결합 형성에 대해 설명하라.
- 3) 녹는점, 경도, 전기전도도 등 물리적 성질로 이온(결합)화합물과 공유(결합)화합물을 구분할 수 있는가?
- 4) 공유결합의 극성과 쌍극자모멘트를 설명하라.
- 5) 포화탄화수소는 일반적으로 반응성이 불포화탄화수소보다 떨어진다. 화학결합을 이용해 설명하라.

▶ 전문가 클리닉

원자들이 결합해 분자가 되고 분자들이 모여 물질이 됩니다. 이때 물질을 구성하는 입자들 사이에서 인력과 반발력이 작용하는데 결과적으로 안정한 에너지 상태가 됩니다. 또 전자배치는 0족인 비활성기체처럼 되기 위해 옥텟규칙을 따릅니다. 0족처럼 전자배치가 되는 것은 안정한 전자배치를 가지며 에너지도 낮기 때문입니다. 화학결합은 원자들의 배열로 이뤄지기에 결합하는 원자들의 종류에 따라 화학결합의 종류도 달라집니다. 이온결합, 금속결합, 공유결합 등이 그 예입니다.

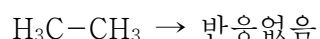
▶ 예시답안

- 1) 금속원소(양이온이 되기 쉬운 원소)와 비금속원소(음이온이 되기 쉬운 원소)가 화합물을 이룰 때 이온간에 형성되는 결합을 이온결합이라고 합니다. 나트륨과 염소가 이온상태를 거쳐 형성되는 염화나트륨은 이온결합을 설명하는 예입니다.
- 2) 공유결합에서는 전자를 내놓기보다는 받아들이기를 잘 합니다. 따라서 비금속원자들이 서로 접근해 전자(최외각전자=원자가전자)를 서로 공유해 0족 원소처럼 안정한 전자배치 상태를 유지합니다. 공유결합을 한 원소들은 원자들로 존재할 때보다 안정한 상태가 됩니다.
- 3) 이온결합 화합물은 녹는점이 높습니다. 그리고 고체 상태에서는 전기전도성이 나타나지 않

지만, 액체 상태에서는 이온이 존재하므로 전기가 잘 흐릅니다. 또 대체적으로 단단하지만 쉽게 부스러집니다.

공유결합 화합물은 원자 사이의 결합력은 강하지만 분자 사이의 결합력은 약하기에 녹는점이나 끓는점이 낮습니다. 예외로 공유결정을 이루는 다이아몬드, 석영 등은 녹는점이나 끓는점이 매우 높습니다. 전기전도성은 없으며 분자간 결합력이 약하기에 액체나 기체로 존재하는 것이 많지만 공유결정을 이루는 물질들은 매우 단단합니다.

- 4) 서로 다른 원소들이 공유결합으로 묶인 분자는 두 원자의 전기음성도 차이로 원자간에 존재하는 공유전자쌍이 어느 한쪽으로 좀더 치우치게 됩니다. 이로써 부분적인 양전하(δ^+)와 부분적인 음전하(δ^-)가 발생하는데 이처럼 부분전하를 갖는 공유결합을 극성공유결합이라고 합니다. 달리 표현하면 어느 정도 이온성을 지닌 공유결합이라고 할 수 있습니다. 쌍극자모멘트(μ)는 δ^+ , δ^- 처럼 크기는 같고 부호가 서로 다른 두 전하들이 분리돼 있는 것을 의미합니다. 따라서 쌍극자모멘트는 크기와 방향을 가진 벡터양으로 표현할 수 있습니다. 방향은 +에서 -방향이고 크기는 전하와 두 전하 사이의 거리를 곱한 것과 같습니다($\mu = \delta \times r$). 쌍극자모멘트는 결합의 극성의 크기, 이온성을 나타내는 척도입니다.
- 5) 포화탄화수소와 불포화탄화수소가 존재하는 플라스크에 적갈색의 브롬액체를 넣은 후 일정 시간이 지난 뒤 관찰하면 포화탄화수소가 있던 플라스크는 적갈색을 띠지만, 불포화탄화수소는 적갈색을 띠지 않습니다. 포화탄화수소는 결합력이 강한 σ 결합으로 이뤄졌으므로 브롬 분자와 결합을 형성할 수 없지만, 불포화탄화수소는 σ 결합 외에도 결합력이 약한 π 결합이 존재하기에 브롬분자와 새로운 σ 결합을 형성해 브롬의 적갈색을 탈색시킵니다.



▶ 추가문제

- 1) 화학결합의 근본원리는 무엇인가? 대표적 결합의 3가지 종류를 말하고, 그중 한가지 결합의 특징을 예로 들어 설명하시오.(2002년 경희대)
- 2) 분자량이 비슷한 CH_4 , NH_3 , H_2O 분자간 끓는점의 차이가 크게 다른 이유를 설명하시오.
- 3) 규소(Si)와 탄소(C)는 같은 족으로 산소와 결합해 이산화규소(SiO_2)와 이산화탄소(CO_2)를 형성할 수 있다. 이들은 모두 공유결합을 통해 형성된 화합물이다. 그러나 상온에서 존재하는 상태가 다르다. 그 이유는 무엇인가?
- 4) 생체분자 사이에 존재하는 4가지 비공유결합의 종류를 들고 특성을 설명하시오.(2005년 1학기 성균관대 수시)

4. [예상문제] 전체는 부분의 합

이산화질소를 상온에서 식히면 사산화이질소가 일부 생성된다. 고온에서 10.0L 플라스크에 18.4g의 이산화질소를 보관했는데 점차 식어서 25℃까지 떨어졌다. 플라스크 내부의 전체 압력이 0.500기압이라면 각각의 부분압력과 몰수는 얼마인가?

▶ 전문가 클리닉

기체 분자들은 각각의 구성 입자가 독립적이며, 병진, 회전, 진동 운동을 합니다. 각 분자들은 서로 인력이 약하고, 빠른 속도로 운동하므로 기체의 종류에 관계없이 공통적인 성질을 갖고 있습니다. 이런 기체의 성질에 관한 여러가지 법칙들이 존재합니다.

일정한 온도에서 기체의 압력과 부피는 반비례한다는 보일의 법칙, 일정한 압력 하에서 기체의 부피는 절대온도에 비례한다는 샤를의 법칙, 온도와 압력이 일정할 때 같은 부피에는 같은 몰수가 존재한다는 아보가드로의 법칙이 있습니다. 또 기체에 관련된 가장 기본적인 법칙으로 이상기체 상태방정식($PV=nRT$)도 있습니다. 이 외에도 돌턴의 부분압력법칙과 그레이엄의 법칙, 기체분자운동론 등도 잘 이해해 두어야 합니다.

▶ 예시답안

이산화질소와 사산화이질소의 화학반응식은 $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ 입니다. 초기에 이산화질소의 몰수는 $18.4/46=0.4$ 몰이고, 반응이 진행된 뒤에 존재하는 이산화질소는 $0.4-2x$ 몰이며, 반응 후의 사산화이질소는 x 몰이 됩니다. 따라서 반응이 진행된뒤 플라스크에 존재하는 기체분자의 총 몰수는 $0.4-x$ 몰입니다. 25°C , 10.0L , 0.500atm 을 이상기체상태방정식에 대입하면

$$0.500 \times 10.0 = (0.4 - x) \times 0.082 \times 298.15$$

위 이상기체상태방정식에서 x 값을 구하면 $x=0.195$ 몰입니다. 따라서 반응이 종료된 뒤 존재하는 이산화질소는 0.01 몰이고, 사산화이질소는 0.195 몰입니다.

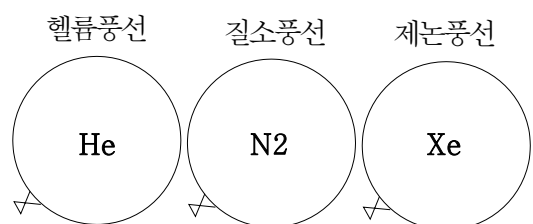
서로 반응하지 않는 두가지 이상의 기체가 혼합된 경우 각 기체가 나타내는 압력을 부분압력 또는 분압이라고 합니다. 이를 돌턴의 부분압력법칙이라 합니다. 혼합기체에서 한 성분 기체의 부분압력은 전체압력에 그 성분 기체의 몰분율을 곱한 값과 같습니다. 전체 기체 0.205 몰에서 이산화질소는 0.01 몰, 사산화이질소는 0.195 몰을 차지합니다. 따라서 각 성분 기체들의 몰분율은 $0.01/0.205$ 과 $0.195/0.205$ 이며 이것을 전체압력에 곱하면 각 기체의 부분압력을 구할 수 있습니다. 따라서 이산화질소의 부분압력은 0.024atm 이고, 사산화이질소의 부분압력은 0.476atm 입니다.

▶ 추가문제

27°C , 760mmHg 에서 어떤 기체 2L 의 무게가 3.58g 이다. 이 기체의 분자량을 소수점 아래 한자리까지 구하시오. 그리고 구한 분자량으로 가능한 기체는 어떤 것인지 말해보시오.

5. [기출문제] 이상기체의 비밀

25°C 에서 동일한 모양과 무게를 지닌 세개의 풍선에 각각 헬륨(He), 질소(N_2), 그리고 제논(Xe)을 넣어 동일한 크기가 되도록 만들었다. 이들을 각각 헬륨풍선, 질소풍선, 그리고 제논풍선이라 하자(모든 기체는 이상기체처럼 행동한다고 가정한다).(서울공대)



1) 세개의 풍선 속 압력을 비교 설명하라.

2) 헬륨풍선은 가벼워서 천장에 붙고, 질소풍선과 제논풍선은 바닥으로 가라앉는데 제논풍선이 훨씬 빠르게 가라앉는다. 풍선 속에 들어있는 각 기체 분자의 수를 비교하라.

▶ 전문가 클리닉

흔히 이상기체 상태방정식을 이용해 기체와 관련된 다수의 질문들을 해결합니다. 이상기체란 기체 분자의 종류에 관계없이 빈 공간 속에서 자유롭게 운동하고 열에 의해서만 운동에너지가 변하며 기체분자운동론을 만족하는 가상의 기체입니다. 즉 질량과 에너지는 있지만 기체 분자들 간에 인력이나 반발력이 전혀 작용하지 않고 분자 간 완전탄성충돌을 합니다. 또 분자 자체의 부피가 없어서 0K에서 부피가 0이며 평균운동에너지는 절대온도에 비례합니다. 따라서 실제기체가 이상기체에 가까워지기 위해서는 온도는 높을 수록, 압력은 낮을 수록, 분자량은 작을 수록 좋습니다. 온도가 높을 수록 압력이 낮을 수록 분자 간 거리가 멀어지기 때문에 분자 간 인력이 작아지고, 분자량이 작을 수록 분자 간 인력이 작기 때문입니다.

▶ 예시답안

- 1) 동일한 모양과 무게를 갖는 세개의 풍선에 각 기체를 넣어서 동일한 크기가 되도록 풍선을 만들면 각 풍선 속에 존재하는 기체의 압력은 같아집니다. 왜냐하면 풍선은 내부에 존재하는 기체의 압력과 외부의 대기압이 적절한 균형을 이룬 상태이기 때문입니다.
- 2) 아보가드로의 법칙에 따르면 온도와 압력이 일정할 때 같은 부피 속에는 같은 몰수의 기체가 있습니다. 3종류 기체들은 각각의 풍선 속에 동일한 몰수로 존재하지만 각 기체 분자들의 분자량은 서로 다릅니다. 따라서 분자량이 작은 헬륨이 든 풍선은 위로 떠오르고 분자량이 공기와 거의 비슷한 질소와 공기보다 무거운 제논은 아래로 가라앉게 됩니다.

▶ 추가문제

- 1) 모든 기체는 구성하고 있는 분자형태가 다름에도 불구하고 열팽창정도는 같다고 한다. 그 이유는 무엇인가?

2004년 12월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 이번 호에서는 주로 기출문제를 다뤘습니다. 용액의 총괄성, 화학평형, 원자의 구성요소, 산·염기의 의미, 그리고 우리 주변에서 관찰되는 현상에 관한 문제를 출제했습니다.

1. [기출문제] 얼지 않는 물

겨울에 자동차 냉각수가 얼지 않도록 사용하는 부동액 속에는 에틸렌글리콜(ethyleneglycol, 분자식 : $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$, 분자량 : 62, 끓는점 : 197°C)이 많이 들어 있다. 이 물질은 물에 아주 잘 녹고 휘발성이 거의 없는 것으로 알려져 있다. (2002년 서울대)

물의 몰랄 어는점내림상수(K_f) : $1.86^\circ\text{C}/m$

물의 몰랄 끓는점오름상수(K_b) : $0.52^\circ\text{C}/m$

- 1) 순수한 물을 사용하지 않고 에틸렌글리콜 혼합액을 사용하는 이유는 무엇인가?
- 2) 1.24Kg의 에틸렌글리콜을 물 2.0Kg속에 녹인 부동액은 몇 도에서 얼겠는가?
- 3) 에틸렌글리콜 대신 메탄올(methanol, 분자식 : CH_3OH , 분자량 : 32, 끓는점 : 65°C)을 사용한다면 동일한 효과를 내기 위해 물 2.0Kg에 얼마만큼의 메탄올을 넣어줘야 하는가?
- 4) 여름에 냉각수가 어는 것을 걱정할 필요가 없는데도 겨울에 사용했던 2)의 부동액을 그대로 사용한다. 부동액이 없는 경우에 비해 어떤 장점이 있기 때문인가?

▶ 전문가 클리닉

만약 냉각수가 순수한 물이라면 적절하지 않습니다. 왜냐하면 보통 물은 표준상태에서 100°C 에서 끓고, 0°C 에서 얼기 때문입니다. 따라서 부동액이라는 것을 사용하는데 이는 말 그대로 어는 것을 방지하는 용액이란 뜻입니다.

용액을 쉽게 이해하기 위해서 소금물을 예로 들어봅시다. 소금이라는 용질과 물이라는 용매가 균일하게 섞여있는 소금물을 용액이라 합니다. 용액은 균일혼합물로 투명해야 합니다. 이는 설탕물 같은 불균일혼합물이나 우유 같은 에멀전과 구분돼야 합니다. 그러나 용액은 꼭 액체 상태여야 하는 것은 아닙니다. 우리가 숨쉬는데 필요한 공기도 용액입니다. 좀더 엄밀한 정의로 용액은 분산매와 분산질이 균일하게 혼합돼 있는 상태를 의미합니다. 물론 일반적으로 용액이라고 언급했을 때에는 액체 상태를 가리킵니다. 용액이 갖는 독특한 특성, 용액의 총괄성에 대해 다시 한 번 정리해 두시기 바랍니다.

▶ 예시답안

- 1) 자동차의 냉각수로 순수한 물을 사용하면 물이 0°C 에서 얼기 때문에 겨울이 되면 많은 문제가 발생할 것입니다. 물이 얼면 부피가 팽창하는데 그러면서 관이 터지게 됩니다. 겨울철에 수도관이 종종 터지는 이유도 바로 이 때문입니다. 이런 현상을 막기 위해서 에틸렌글리콜 혼합액을 사용합니다. 에틸렌글리콜의 양에 따라 이 혼합액의 어는점이 그만큼 내려가기 때문입니다.
- 2) 에틸렌글리콜 1.24Kg은 20몰(mol)에 해당합니다. 몰랄농도는 용매 1Kg에 들어 있는 용질의 몰 수이므로 이 혼합액은 10몰랄농도입니다. 물의 K_f 가 1.86이므로 영하 18.6°C 에서 혼합액은 얼게 됩니다.

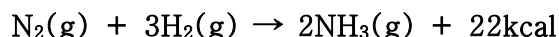
- 3) 에틸렌글리콜 대신에 메탄올을 사용하면 메탄올 20mol을 2Kg의 물에 넣어야 합니다. 메탄올 20mol은 0.64Kg에 해당합니다. 즉 메탄올 0.64Kg을 물 2Kg에 넣으면 2)와 동일한 효과를 얻습니다.
- 4) 여름에 냉각수가 얼 염려가 없음에도 불구하고 동일한 부동액을 사용합니다. 엔진의 열기를 식혀주는 냉각수는 주변의 열을 끌어와야 하는데 고온의 엔진을 식히는 과정에서 혼합액이 증발하면 안 됩니다. 냉각수가 증발하는 현상을 막기 위해 순수한 물보다는 에틸렌글리콜이 들어있는 혼합액을 사용하는 것이 좋습니다. 용액의 끓는점오름 현상이 작용하기 때문입니다.

▶ 추가문제

메탄올을 부동액으로 널리 사용하지 않는 이유는 무엇인가?

2. [예상문제] 화학반응에서의 평형

대기 중에서 질소는 80% 정도 차지하지만 지표상에서는 거의 존재하지 않는다. 뿌리혹박테리아 등 일부 식물에서 질소고정 작업을 하지만 필요한 양에 비하면 그 양은 미미하다. 대기 중에 있는 질소로 비료나 폭약 등의 중요한 공업제품을 만들려고 한다.



위와 같은 반응을 일으킬 수 있는 적절한 방법들을 제시하시오.

▶ 전문가 클리닉

오늘날 화학비료의 주성분인 질산염은 비료뿐만 아니라 다양한 공업제품의 원료로 이용되고 있습니다. 그러나 제1차 세계대전 이전 질소화합물의 주된 원천은 칠레에 있는 몇 개의 질산염 광산이었습니다. 그러다가 독일 화학자 하버에 의해 하버보쉬법이라는 방법으로 대기 중에 존재하는 엄청난 양의 질소를 사용하게 되었습니다. 흔히 하버법이라고도 불리는 이 방법은 앞서 제시된 화학반응을 이용하는 것입니다.

화학반응만 제대로 이해해도 인류문명에 큰 보탬을 줄 수 있을 것입니다. 특히 이 문제가 화학평형의 의미와 평형을 이동시킬 수 있는 요인에 대해 알아보는 계기가 됐으면 합니다.

▶ 예시답안

1923년에 루이스와 랜돌은 "평형이란 무한한 시간이 경과된 후 실험적으로 측정했을 때 그 계의 성질이 변하지 않은 상태를 말한다. 그것은 입자 하나하나가 변하지 않음을 의미하는 것은 아니다"라고 했습니다. 즉 화학평형은 거시적인 변화가 일어나지 않는다는 것뿐이지 미시적인 변화가 일어나지 않는다는 것은 아닙니다. 정반응속도와 역반응속도가 같아지면 동적평형상태에 도달하므로 미시적으로는 변화가 있어도 거시적으로는 변화가 없는 화학평형에 도달합니다. 그러나 주변 환경이 변해 화학평형이 깨지면 새로운 평형에 도달합니다.

화학평형에 영향을 주는 요인은 크게 두가지로 나뉘는데 에너지 함량과 무질서도입니다. 물질은 에너지가 낮은 쪽 그리고 좀더 무질서한 상태로 가려는 경향이 있습니다. 에너지 측면에서는 반응 후에 에너지가 높은 상태에서 좀더 낮은 상태로 변하면서 에너지를 방출하며 화학평형이 이뤄집니다. 한편 무질서도 측면에서는 분자수가 증가하는 방향 즉 몰수가 증가하는 방향으로 가려는 경향을 보입니다. 또 고체에서 액체로, 액체에서 기체로 변하는 방향 그리고 순물질에서 혼합물 쪽으로

반응이 진행됩니다. 자연계의 화학반응은 항상 에너지가 낮은 상태, 무질서도가 증가하는 쪽으로 반응이 진행됩니다. 이를 설명하는 원리가 바로 르샤틀리에 원리입니다.

르샤틀리에에는 화학평형 실험에서 얻은 많은 자료를 이용해 규칙성을 찾았는데 ‘만약 어떤 평형계에 변화를 일으키면 주어진 변화를 부분적으로 억제하려는 방향으로 반응이 일어난다’는 사실을 알아냈습니다. 화학평형의 이동에 영향을 미치는 요소는 물질의 농도, 온도, 압력입니다. 특정 물질의 농도가 높아지면 농도를 낮추는 방향으로, 온도가 높아지면 온도를 낮추는 방향으로, 압력이 높아지면 압력을 낮추는 방향으로 평형상태가 이동합니다.

르샤틀리에의 원리를 염두에 두고 암모니아 생성반응을 살펴보면 이 반응은 발열반응이고, 전체 기체의 분자가 감소해 압력이 줄어드는 반응임을 알 수 있습니다. 세 요소들을 각각 고려하면 농도에서는 암모니아가 생성되자마자 제거(물에 녹이거나, 액화과정을 거치게 함)하거나 항상 질소의 양을 풍부하게 제공해 정반응으로 진행시킬 수 있고, 온도는 낮을 수록 좋지만 온도가 너무 낮으면 화학반응이 늦어지므로 적정온도(공업적으로는 약 500℃에서 이뤄짐)에서 적당한 촉매를 사용합니다. 끝으로 압력은 높을 수록 좋지만 고압장비를 설치하는데 많은 비용과 위험성이 뒤따라므로 중간정도의 압력(공업적으로는 350기압)을 유지합니다.

3. [기출문제] 원자의 세계

모든 물질은 그 물질의 기본 성질을 나타내는 분자들로 구성되며 또 분자들은 원자들로 이뤄져 있다. 원자는 어떻게 구성돼 있는지 그리고 동위원소란 무엇인지 설명하시오.(2004년 숭실대 수시)

▶ 전문가 클리닉

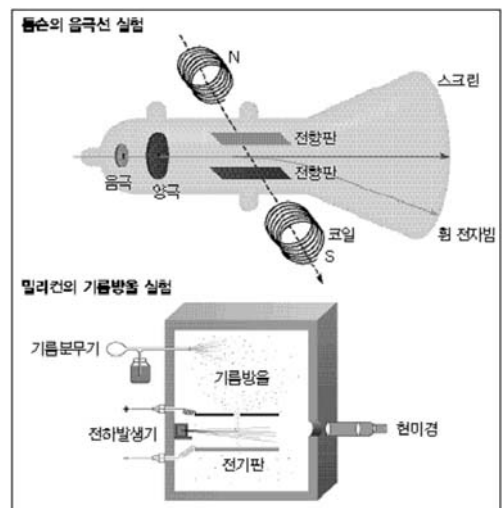
‘파인만씨 농담도 잘 하시네요’등 파인만 시리즈로 대중들에게 널리 알려진 리처드 파인만 교수가 이런 말을 했습니다. "만일 어떤 대재앙이 일어나 모든 과학 지식이 파괴된다고 할 때 후대에게 단 한 문장만을 전해줄 수 있다면 어떤 말을 해야 가장 중요한 내용을 압축해서 전달할 수 있을까? 나는 모든 사물은 약간 멀어지면 서로 당기고, 너무 가까워지면 밀치면서 항상 운동을 계속하는 작은 입자, 즉 원자들로 이뤄졌다고 하는 원자론을 택하겠다." 모든 물질의 근원인 원자의 중요성을 강조한 말입니다. 기본적인 원자 구조와 동위원소의 개념을 다시 정리해 봅시다.

▶ 예시 답안

원자는 크게 원자핵과 전자로 구성되고 원자핵 주위에 전자가 구름처럼 퍼져서 돌고 있습니다. 이런 전자 배치 특히 원자가전자는 원자의 화학적 성질을 결정하는데 큰 역할을 합니다.

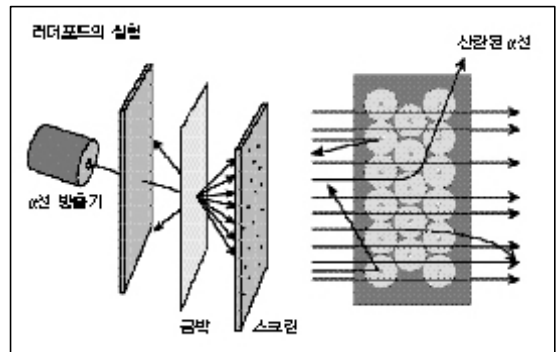
우선 전자는 원자의 구성 요소 중 가장 먼저 발견됐습니다.

1897년 톰슨의 음극선 실험에서 음극선은 (-)전하를 가진 입자의 흐름이며 이 입자의 전하대 질량비(e/m)값이 항상 $1.76 \times 10^8 \text{C/g}$ 임을 밝혀내면서 이를 전자라고 했습니다. 이후 1911년 밀리컨의 기름방울 실험(중력과 전기력이 균형을 이룰 때 기름방울이 중간에 머무는 것을 이



용한 실험)으로부터 전자 1개의 전하량이 $1.60 \times 10^{-19} \text{C}$ 임이 밝혀졌으며, 전자 1개의 질량이 $9.10 \times 10^{-28} \text{g}$ 임을 알게 되었습니다.

1911년 러더포드는 얇은 금속박에 α 입자(He의 원자핵)를 충돌시켰을 때 대부분의 α 입자는 통과하는데 일부 입자의 경로가 변하는 것을 관찰했습니다. 그는 원자의 대부분이 빈 공간이고 그 중심에 양전하가 모여 있는 작은 덩어리가 존재한다고 주장하고 이를 원자핵이라고 했습니다. 원자 1개의 지름은 10^{-8}cm 정도, 원자핵의 지름은 10^{-13}cm 정도입니다. 골트슈타인의 양극선 실험에 의해서 양성자 그리고 채드윅의 실험,



즉 베릴륨(Be) 박판에 α 선을 충돌시켜 전하가 없는 입자가 나오는 것을 발견함으로써 중성자의 존재를 확인했습니다. 양성자의 전하량은 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 로 전자의 전하량과 크기는 같고 부호는 반대이며, 질량은 $1.673 \times 10^{-24} \text{g}$ 로 전자의 1836배에 이릅니다. 중성자는 전하를 띠지 않으며, 질량은 $1.675 \times 10^{-24} \text{g}$ 로 전자보다 1839배 더 나갑니다. 따라서 원자 대부분의 질량은 원자핵을 구성하고 있는 양성자와 중성자에 의해 결정됩니다.

동위원소란 원자번호(양성자 수)는 같지만, 질량수(양성자 수 + 중성자 수)가 다른 원소를 의미합니다. 예를 들어 탄소의 원자번호는 6이지만, 질량수가 12인 것과 13인 것이 있습니다. 이때 질량수 13인 탄소원자를 동위원소라고 합니다. 화학책에 나온 주기율표에는 원자의 질량이 조그맣게 밑에 적혀있는데 탄소는 12.011입니다. 이를 다르게 표현하면 평균원자량이라 합니다. 이 값은 탄소원자의 동위원소 존재비율을 고려했기 때문에 간단한 정수로 나오지 않습니다. 즉 ^{12}C 가 98.9%, ^{13}C 가 1.1% 비율로 자연계에 존재하므로 탄소의 평균원자량은 아래처럼 구해집니다.

$$\text{C의 평균원자량} = 12 \times 0.989 + 13 \times 0.011 = 12.011$$

▶ 추가문제

- 1) 중성자는 그 존재가 원자의 구성요소들 중에서 가장 늦게 확인됐다. 중성자의 존재 이유는 무엇인가?
- 2) 원자모델의 변천과정을 설명하시오.
- 3) 돌턴의 원자설이 갖는 의미를 설명하고 그 한계는 무엇인지 서술하시오.

4. [기출문제] 산·염기의 의미

산과 염기는 가정과 산업체에서 널리 쓰이며 우리의 몸속에서 만들어지기도 하고 우리가 먹는 음식물 속에 포함되어 있기도 한다. (2002년 서울대 정시)

- 1) 산과 염기에 대한 아레니우스의 정의와 브뢴스테드-로우리의 정의를 밝히고, 그 차이점을 논하시오.
- 2) 임의의 온도에서 초산을 물속에 용해시켜 농도가 $x \text{ mol/L}$ 되게 했다. 이 초산 수용액이 평형을 이뤘을 때 초산이 이온화해 생성된 초산이온의 농도를 $a \text{ mol/L}$ 라 하자. 평형상태에서 초산의 이온화도(α)와 이온화상수(K_a)의 값은 얼마인가?
- 3) 위와 같은 평형상태에서 초산 수용액에 약간의 염산을 추가로 투입했다. 이 경우 초산의 이온화도와 이온화 상수 값은 어떻게 변하겠는가? 그 이유는 무엇인가?

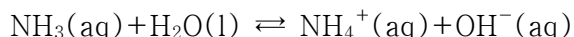
▶ 전문가 클리닉

수용액 상태의 화학반응에서 수소이온(H^+)과 수산화이온(OH^-)은 중요한 역할을 합니다. 화학자들은 두 이온의 농도를 변화시키는 물질을 옛날부터 산과 염기라는 이름으로 구별해 왔습니다. 시대에 따라 산과 염기의 정의가 조금씩 다르긴해도 모두 산과 염기의 독특한 특성을 근거로 했습니다. 산은 일반적으로 수소를 포함하며 용액상태에서 전기전도도가 우수하고 아연(금속)과 반응해 수소기체를 냅니다. 그리고 리트머스 종이에 닿았을 때 붉은색이 되며 신맛을 냅니다. 반면 염기는 용액상태일 때 산처럼 전기전도도가 우수하지만 붉은색리트머스 종이 색을 푸르게 변화시키고 산과 반응합니다. 또 손으로 만졌을 때 미끈거리며 혀를 찌르는 듯한 맛을 냅니다.

▶ 예시답안

- 1) 아레니우스는 수용액 상태에서 산은 수소이온을, 염기는 수산화이온을 내놓는 물질로 정의했습니다. 반면에 브뢴스테드-로우리는 산은 수소이온을 내놓는 물질로, 염기는 수소이온을 받아들이는 물질로 정의했습니다.

이들 정의의 차이점을 살펴보기 위해 암모니아(NH_3) 수용액을 살펴봅시다.



이 반응식에서 수산화이온이 나오므로 염기임을 알 수 있습니다. 그러나 암모니아수가 아닌 암모니아 자체에서 수산화이온이 나오는 것은 아니므로 아레니우스 정의에 따르면 암모니아는 염기가 아닙니다. 한편 $\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq})$ 이므로 브뢴스테드-로우리 정의에 따르면 암모니아는 염기입니다.

아레니우스의 정의에 따르면 수용액 상태가 아닌 암모니아를 염기로 규정할 수는 없지만, 브뢴스테드-로우리의 정의에 의하면 쉽게 암모니아가 염기임을 결정할 수 있습니다. 참고로 루이스는 산은 전자쌍을 받는 물질, 염기는 전자쌍을 주는 물질로 규정하면서 가장 포괄적으로 산과 염기를 정의했습니다.

- 2) $\text{HA} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{A}^-$ 에서 $K_a = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-] / [\text{HA}][\text{H}_2\text{O}]$ 가 됩니다(물의 농도는 거의 일정하므로 수식에서 생략가능).

이때 HA 의 농도는 평형상태의 농도입니다.

한편 산의 세기는 이온화도에 좌우되는데 이온화도가 클수록 더 강한 산이 됩니다.

이온화도(α)= $[H_3O^+]$ 또는 $[A^-]/[HA] \times 100$ 입니다. 이때 HA의 농도는 초기 상태입니다.

참고로 이온화도에 영향을 줄 수 있는 요소로 결합극성, 결합세기, 이온의 안정도가 있습니다. 따라서 이온화도는 $\alpha=a/x$ 가 됩니다. 그리고 이온화상수는 $Ka=\alpha^2x^2/(x-a)$ 가 됩니다.

- 3) 염산은 초산보다 강산이므로 약간의 염산이 가해지면 염산이 더 쉽게 이온화 과정을 거칩니다. 초산은 평형상태보다 적게 이온화되는 것이므로 이온화도가 감소합니다. 그러나 이온화상수의 값은 변함없습니다. 이온화상수는 동일 물질일 경우 온도에 따라 변하는 값이기 때문입니다.

▶ 추가문제

- 1) 평형조건에서 초산의 이온화도 α 는 초산의 농도 x 에 따라 어떻게 변하는지 수식으로 유도하라. 만약 물에 용해시킨 초산의 농도가 4배가 되면 초산의 이온화도는 어떻게 달라지는가?(서울대 정시)
- 2) 평형상태에 있고 부피가 1L인 두 초산 수용액이 각각 pH4와 pH5라 하자. pH4인 수용액의 초산 농도(mol/L)는 pH5인 수용액 초산 농도의 몇배인가?

5. [기출문제] 생활 속의 화학

식품을 익힐 때 흔히 가스레인지나 전자레인지를 이용하는데 두 기기는 서로 다른 가열방식을 가지며 그 결과 식품이 익는 과정도 다르다. 두 가열방식의 차이점에 대해 설명하시오.(2005년 동국대 수시)

▶ 전문가 클리닉

가스레인지와 전자레نج이는 많은 가정에서 유용하게 사용되는 기기입니다. 외부에서 에너지를 공급한다는 공통점이 있지만 두 기기는 그 원리가 서로 다릅니다. 따라서 각각의 조리과정이 달라집니다.

▶ 예시답안

가스레인지와 전자레인지를 이용해 음식을 데울 때 어디에서 열을 공급하는지가 핵심입니다. 가스레인지의 경우 가스를 연소함으로써 얻는 열이 프라이팬이나 냄비와 같은 주방기구를 달구면서 음식으로 전달됩니다. 즉 음식의 외부에서 내부로 열전달이 이뤄집니다. 대개 음식물 자체는 열전도도가 뛰어나지 않으므로 겉이 타더라도 속은 제대로 익지 않을 수도 있습니다.

반면 전자레نج이는 음식물 내부에 존재하는 수분을 이용해 음식물을 데웁니다. 음식물 내부에 존재하는 수분이 전자파의 에너지를 흡수해 열에너지로 변환시킵니다. 전자레نج이는 회전하면서 전자파의 진행 방향을 주기적으로 변화시키지만 물 분자들은 그 진행 방향을 제대로 따르지 못해 진동하거나 회전하며 분자 간 마찰을 일으켜 많은 열을 발생시킵니다. 그리고 여기서 발생하는 열이 음식을 데웁니다. 즉 음식물 내부에서 외부로 열이 진행합니다. 전자레인지를 이용한 음식이 가스레인지로 데운 음식보다 수분 함량이 떨어지는 것도 두 기기의 열전달 방식의 차이 때문입니다.

2005년 01월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 이번 호에는 주로 기출문제를 다뤘습니다. 기출문제들도 기본적인 내용은 예전에 한두 번쯤 다뤘지만, 표현방식이 약간 다르게 된 것입니다. 지금까지 공부해왔던 내용들을 차분히 정리하고, 특히 지난해에는 생명과학과 관련된 사항들이 많이 이슈화됐으므로 그동안은 잘 다뤄지지 않았던 탄소화합물에 대해서도 정리해 뒀으면 합니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 원자의 구성요소
- 2) 원자모델 변화과정과 연관된 실험들

1. 원자구조를 밝힌다

원자핵이 발견되기 전에는 톰슨의 푸딩모델이 원자의 구조에 대한 유일한 설명이었다. 푸딩모델이란 원자내에 양전기가 골고루 퍼져있고 그 사이 사이에 음전기를 띤 전자가 퍼져 있다는 것이다.

러더포드는 톰슨의 푸딩모델을 확인할 목적으로 얇은 금박에 높은 에너지의 알파입자를 충돌시키는 실험을 고안했다. 그는 금 원자 내부에 양전기와 음전기가 골고루 퍼져있다면 평균적으로는 전하가 없는 셈이고, 양전기를 띤 알파입자는 높은 에너지를 가졌으므로 모두 금박을 쉽게 통과하리라고 예상했다.

대부분의 경우에는 예상한 대로 결과가 나왔다. 그런데 실험을 오래 지켜본 결과 금박의 바로 뒤에서 약간 벗어난 위치에서 알파입자가 검출되기도 하고, 심지어 8천번에 한 번 정도는 알파입자가 완전히 180° 방향을 바꾸어 되돌아오기도 했다. 이런 실험을 통해 러더포드는 원자핵을 발견하게 된다.

러더포드의 원자모델은 지름이 1cm인 양전기를 띤 원자핵을 중심으로 그 주위에 지름이 1Km인 전자의 궤도가 있는 '태양계' 모형으로 비유될 수 있다. 원자핵의 발견은 우리가 보고 만지는 모든 것이 대부분 빈 공간이라는 사실을 알게 함으로써 물질세계를 바라보는 눈을 달라지게 했다. (이화여대 2004 수시1)

- 1) 원자를 구성하는 요소는 무엇인가?
- 2) 러더포드가 실험하기 전에 예상한 결과는 무엇이었는가?
- 3) 원자핵과 전자 사이의 빈 공간이 모두 없어지도록 지구를 압축시킨다면 그 반지름은 얼마가 되겠는가? 지구의 반지름은 약 6400Km이다.
- 4) 러더포드 모델이 갖는 커다란 한계는 무엇인가?

▶ 전문가 클리닉

원자와 관련된 문항은 비단 화학 구술면접뿐만 아니라 물리구술면접이나 본지에서도 그동안 수없이 다뤘습니다. 언제나 이와 관련된 기본적인 질문은 유사합니다. 원자의 구성요소나 원자모델, 원자설 등. 어찌 보면 더이상 다룰 것이 없게 느껴지기도 하지만, 원자에 대한 물음을

꾸준하게 던지는 이유는 이것이 화학의 기본이기 때문입니다.

물이 얼음이나 수증기가 되는 등의 물질상태적인 설명에는 분자 개념이 도입되지만, 분자를 구성하는 기본 단위가 바로 원자이기 때문에 원자는 화학의 주춧돌과 같은 것입니다. 이화여대 수시문제도 같은 맥락에서 출제된 것입니다. 각각의 원자구조모델이 나오게 된 배경실험을 꼼꼼히 살펴보고, 각 모델들이 가졌던 한계점도 살펴두시기 바랍니다.

▶ 예시답안

- 1) 고대 그리스의 철학자인 데모크리토스나 18~19세기 영국의 과학자 돌턴이 생각했던 원자는 더이상 쪼갤 수 없는 기본적인 입자였습니다. 그렇지만 1897년 톰슨의 음극선실험으로 전자의 존재가 밝혀졌고, 수소이온으로만 알고 있던 입자가 원자의 구성입자인 양성자이며, 1932년에 중성자의 존재가 밝혀진 상태입니다. 오늘날에 이르러서는 더 쪼개진 상태인 쿼크의 존재까지 밝혀졌습니다.
- 2) 원자를 전체적으로 보면 전기적 중성상태를 유지하고 있습니다. 원자의 각 구성요소들의 존재가 밝혀지고, 원자의 중성상태를 설명하기 위해서 톰슨은 양전하와 음전하가 원자전체에 골고루 퍼져있다는 푸딩모델을 생각했습니다. 러더포드는 톰슨의 원자모델이 타당한지 증명하기 위해서 흔히 알고 있는 알파입자 산란실험을 한 것입니다. 그는 톰슨의 모델이 타당하다면, 높은 에너지를 갖는 알파입자들은 얇은 금박을 모두 통과해 금박 맞은편에서 검출될 것이라고 생각했습니다.
- 3) 원자핵의 지름이 1cm이고, 원자의 지름은 1Km인 상황에서 원자핵과 전자 사이의 빈 공간이 없게 압축한다는 것은 원자핵의 지름은 거의 변화가 없는 상태에서 원자의 지름이 크게 감소하는 것을 의미합니다. 왜냐하면 원자핵은 양성자와 중성자가 강한 핵력으로 뭉쳐진 딱딱한 공과 같은 상태이기 때문입니다. 1Km가 1cm로 줄어드는 것은 1:100000비율로 감소하는 것입니다. 지구를 구성하고 있는 물질도 원자로 이뤄졌기에 같은 비율로 감소한다고 생각하면, 지구의 반지름은 6400cm, 즉 64m가 될 것입니다.
- 4) 러더포드의 모델에 따르면 원자의 중심에 원자핵이 작은 부분을 차지하고, 전자가 그 주위를 돌아다닌다고 했는데, 그러한 상황에서는 원자핵의 양성자와 전자간의 정전기적 인력이 강하게 작용하게 됩니다. 정전기적 인력이 작용하면 둘 사이의 거리는 점점 가까워지고, 그만큼 전자가 갖고 있던 에너지도 감소하게 됩니다. 에너지는 보존된다는 에너지 보존법칙처럼 감소하는 에너지는 다른 형태로 전환될 것이며, 빛에너지도 그 한 예가 될 것입니다. 만약 어떤 물질에 에너지를 가하면 물질은 빛을 내는데, 이를 측정한 것이 방출스펙트럼입니다. 원소의 불꽃 반응 실험이 좋은 예입니다. 불꽃의 색을 통해 미지금속을 알 수 있습니다. 예를 들어 리튬은 붉은색, 나트륨은 노란색을 띵니다. 분광계를 통해 보면 각각 독특한 선스펙트럼을 관찰할 수 있습니다. 러더포드의 모델에 따르면 에너지 변환은 지속적으로 이뤄지기에 관찰되는 스펙트럼도 햇빛을 프리즘에 통과시킨 것처럼 연속스펙트럼이어야 합니다. 하지만 위의 예처럼 선스펙트럼이 나오는 것은 특정한 단계의 에너지가 필요하다는 것을 의미합니다. 러더포드 모델의 한계를 극복한 것이 보어의 모델이고, 두 모델의 차이점은 보어모델은 전자들이 특정궤도를 따라 움직인다는 점입니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 화학결합의 의미

- 2) 분자의 극성
- 3) 수소결합의 원리

2. 왜 물은 다를까?

- 1) 대표적인 화학결합의 종류를 설명하시오.
- 2) 극성, 무극성결합은 어떤 결합에 해당하는 것이며, 그 의미가 무엇인지를 설명하시오.
- 3) 지구 표면의 70% 이상은 물로 덮여있다. 지구 환경이 생명체가 살기에 적합한 이유 중의 하나도 물의 독특한 성질 때문인데, 만약 물분자가 이산화탄소와 같은 구조를 갖는다면 어떤 현상이 벌어질까?(현상을 한 가지 이상 서술하시오.)

▶ 전문가 클리닉

모든 화학책의 첫 장이나 마지막 장에는 113종의 원소들이 나열된 주기율표가 있습니다. 현재까지 밝혀진 물질은 모두 주기율표를 구성하는 원소들로 이뤄진 것입니다. 단순히 원소로만 물질이 구성된다면 지구상에 존재하는 물질은 113종뿐일 것입니다. 그렇지만 주위를 잠깐 살펴봐도 그 수가 헤아릴 수 없이 많음을 알 수 있습니다. 이는 각 원소들이 서로 짝을 지어가며 새로운 형태의 물질이 만들어지기 때문입니다. 이 원소들을 이어주는 가교역할이 필요한데, 이것이 바로 화학결합입니다. 위에 언급된 문항들은 화학결합의 한 종류인 공유결합에 대한 특성을 주로 묻는 것입니다. 덧붙여 물이 갖는 수소결합의 의미도 알아뒀으면 합니다.

▶ 예시답안

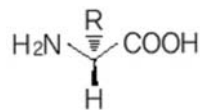
- 1) 화학결합은 원자간의 배열에 의해서 이뤄지는 것이기에 원자의 종류가 달라지면 화학결합의 종류도 달라지게 됩니다. 대표적인 화학결합으로 금속원소와 비금속원소가 화합물을 이룰 때의 이온결합, 비금속원소간에 이뤄지는 공유결합, 금속원자가 모여 이뤄지는 금속결합이 있습니다.
 - 2) 극성, 무극성 분자라는 말은 공유결합을 형성하고 있는 화합물 내에서 사용되곤 합니다. 공유결합에서는 두 원자들이 전자쌍을 공유하게 되는데, 수소분자나 산소분자처럼 결합하고 있는 두 원자가 같을 경우에는 각각이 전자쌍을 끄는 힘(전기음성도)이 같기에 전자쌍이 어느 한쪽으로 치우치지 않습니다. 그러나 HF처럼 두 원자의 전기음성도가 다른 경우에는 그 값이 큰 쪽으로 전자쌍이 치우치기에 한쪽이 (-)적인 성향을, 다른 쪽이 (+)적인 성향을 보이게 됩니다. 전자를 무극성결합, 후자를 극성결합이라고 합니다.
 - 3) 분자를 이루는 원자간의 결합이 무극성결합이면 무극성분자가 되지만, 극성 공유결합은 분자의 구조에 따라서 극성 분자가 되기도 하고, 무극성 분자가 되기도 합니다. 결합의 이중극자 모멘트의 벡터 합이 0이 아니면 극성분자가 되고, 0이면 무극성분자가 됩니다.
- 물분자는 약간 굽은형으로 존재하는데 반해 이산화탄소는 선형으로 존재합니다. 물분자가 선형으로 존재하게 되면, 이중극자 모멘트의 벡터 합이 0이 되기에 물분자는 무극성분자가 됩니다. 그러면 현재 갖고 있는 물의 독특한 성질도 많이 사라지게 됩니다. 예를 들어 소금과 같은 극성용질뿐만 아니라 다양한 용질을 녹일 수 없게 되고, 끓는점도 상당히 낮아질 것입니다. 6각형 모양이던 물분자가 소금과 같이 격자 모양처럼 될 것이기에 밀도가 커져 얼음이 물에 뜨는 현상도 사라질 것입니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 이성질체의 의미
- 2) 고분자화합물의 개념
- 3) 이온화상수의 개념

3. 인체의 구성성분

단백질은 생체 내에서 아주 다양한 역할을 수행하는 매우 중요한 천연고분자 화합물이다. 단백질은 20가지의 아미노산이 연결돼 만들어진다. 아미노산은 같은 분자 내에 카르복실기(COOH)와 아미노기(NH₂)를 갖고 있는 화합물이다.

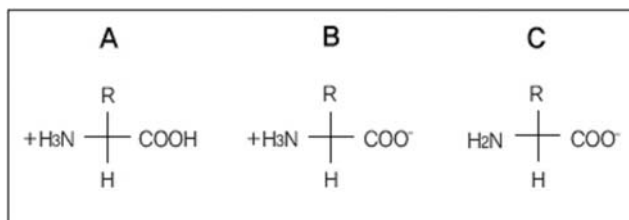
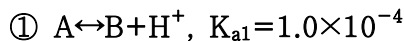


R	아미노산
-H	글라이신
-CH ₃	알라닌
-CH ₂ OH	세린
-CH ₂ SH	시스테인

R의 종류에 따라 달라지는 몇 가지 아미노산의 예는 위와 같다. (서울대 2003년 정시)

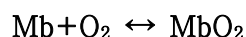
- 1) 위에 예로 든 아미노산 중에서 광학 이성질체를 갖지 않는 것은 무엇인가? 그 이유를 설명하시오.
- 2) 단백질과 나일론의 유사점은 무엇인가?
- 3) 수용액 상에서 아미노산은 다음과 같은 세가지 형태로 존재할 수 있다.

임의의 아미노산에 대하여 아래와 같은 산-염기 평형이 성립된다고 가정하자.



수소이온지수(pH)가 9인 용액에서 이 아미노산이 B와 C의 형태로 존재할 농도비는 얼마인가? 중성인 용액에서는 아미노산이 주로 어떤 형태로 존재하겠는가?

- 4) 헤모글로빈과 미오글로빈은 우리의 몸 속에서 산소의 운반과 저장에 중요한 역할을 하는 단백질이다. 헤모글로빈에 의해 근육으로 운반된 산소는 미오글로빈(Mb)과 결합해 저장된다. 이 반응의 평형상수를 K라고 하자.



미오글로빈이 산소와 결합한 형태로 존재하는 비(포화분율)를 s라고 정의했을 때, s를 평형상수와 산소 농도로부터 구하는 식을 구하라. s를 산소 농도의 함수로 그래프를 그렸을 때 얻어지는 결과를 도식적으로 그려보시오.

$$s \equiv \frac{[\text{MbO}_2]}{[\text{Mb}] + [\text{MbO}_2]}$$

▶ 전문가 클리닉

탄소 원자는 다양한 공유결합을 통해서 화합물을 형성합니다. 그렇기에 탄소화합물은 상당히 많은 종류로 존재하며, 특히 생물체의 화학에서 중요한 역할을 합니다. 우리 몸을 구성하는 것도 탄소화합물 상태이고, 우리가 먹는 음식물들도 탄소화합물인 것들이 많습니다. 뿐만 아니라 유용하게 사용하는 많은 의약품이나 물감, 향료, 섬유나 염료 등의 상당수도 탄소화합물입니다. 이처럼 우리 주변에서 탄소화합물을 제외한다면, 공기와 일부 금속물질밖에 존재할 수 없을 것입니다. 2003년 서울대 정시면접은 그 중에서 특히 단백질의 기본단위가 되는 아미노산과 관련된 내용입니다. 아미노산의 특징이라 할 수 있는 양쪽성에 대해 알아두면 좋겠습니다. 질문의 표현방식이 조금 어렵게 느껴지더라도 화학반응식과 평형상수의 의미를 기억하고 있다면 쉽게 해결할 수 있을 것입니다.

▶ 예시답안

1) 광학 이성질체란 비대칭 탄소를 갖고 있는 화합물로 서로 거울상은 되지만 겹쳐질 수는 없는 것을 말합니다. 특히 자연계에서는 아미노산에서 많이 얘기하는 편이며 비대칭탄소를 중심으로 각 가지들이 처한 상황에 따라 D형과 L형으로 나눌 수 있습니다. 즉 광학이성질체가 존재하기 위해서는 비대칭 탄소(4개의 가지가 서로 다른 탄소)가 있어야 되기에 글라이신을 제외한 알라닌, 세린, 시스테인은 모두 광학이성질체를 갖고 있습니다.

광학이성질체는 다른 이성질체와는 달리 결정모양, 비중, 끓는점과 같은 물리적·화학적 성질은 동일하나, 결정이나 용액에 편광을 통하면 편광면을 회전시키는 경향을 보입니다. 이를 선광성이라고 하며, 회전 방향은 서로 반대가 됩니다. 또한 생물체내에서 둘 중의 한쪽은 유익하게 이용되지만, 다른 쪽은 독으로 작용하기도 합니다.

2) 단백질과 나일론은 분자량이 보통 1만 이상이 되는 고분자 화합물입니다. 굳이 나누자면 단백질은 천연고분자, 나일론은 합성고분자가 되겠습니다. 단백질은 펩티드 결합을 형성하는 축합중합반응을 거치고, 나일론도 마찬가지로 축합중합반응을 거칩니다. 고분자 화합물은 결정으로 되기 어렵고, 분자량이 일정하지 않기에 녹는점도 일정하지 않습니다. 또 가열하면 기화하기 전에 분해되고, 일반적으로 용매에 녹이기 어렵고, 녹으면 콜로이드상태가 됩니다. 열, 전기, 공기 등에 대해 화학적으로 안정합니다.

3) ①에서 $K_{a1} = \frac{[B][H^+]}{[A]} = 1.0 \times 10^{-4}$ 이고, ②에서 $K_{a2} = \frac{[C][H^+]}{[B]} = 1.0 \times 10^{-10}$ 입니다.

두 식의 양변에 로그(log)를 취하면 준식은 $\log\left(\frac{[B]}{[A]}\right) - pH = -4$ 와 $\log\left(\frac{[C]}{[B]}\right) - pH = -10$ 이 되고, 다시 각 변을 정리하면, $pH = 4 + \log\left(\frac{[B]}{[A]}\right)$ 와 $pH = 10 + \log\left(\frac{[C]}{[B]}\right)$ 가 됩니다. pH가 9인 용액에서 B와 C의 농도비를 구하면

$-1 = \log\left(\frac{[C]}{[B]}\right)$ 가 되기에 B의 농도가 C농도의 10배에 이른다는 것을 알 수 있습니다.

한편 중성상태에서는 pH가 7이기에 A와 B의 농도비는 B가 A보다 1000배만큼 많이 존재하고, B와 C의 경우에는 C보다 B가 1000배 많이 존재하기에 아미노산은 B형태로 주로 존재함을 알 수 있습니다.

4) $s = \frac{[MbO_2]}{[Mb] + [MbO_2]} = \frac{1}{\frac{[Mb]}{[MbO_2]} + 1}$ 로 준식을 표현할 수 있습니다. 한편 산소와 마이오글로빈

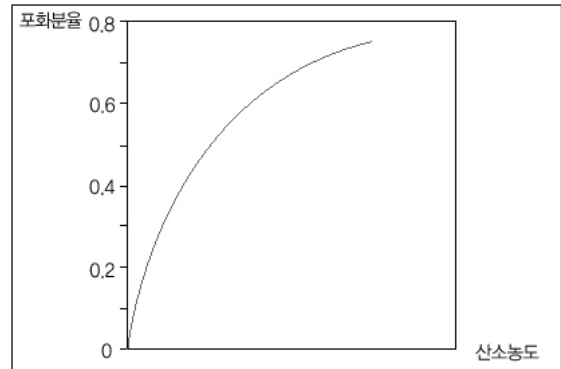
의 결합반응의 평형상수 K는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있습니다.

$$K = \frac{[MbO_2]}{[Mb][O_2]}$$

이 식의 양변에 산소의 농도를 곱하고 역수를 취하면 $\frac{[Mb]}{[MbO_2]} = \frac{1}{K[O_2]}$ 가 됩니다. 이를 위 식에 대입하면,

$$s = \frac{K[O_2]}{1 + K[O_2]} = \frac{1}{\frac{1}{K[O_2]} + 1}$$

을 s를 산소의 농도에 따른 함수그래프로 그리면 오른쪽처럼 우상향하는 모습을 볼 수 있습니다.



4. 왜 물은 얼음이 되기도 하고 수증기가 되기도 할까?

기체에 압력을 가하거나 온도를 내리면 액체가 된다. (동국대 2004 수시2학기)

- 1) 기체에 압력을 가하는 경우와 기체의 온도를 내리는 경우 어떻게 액체가 되는지를 분자 수준에서 각각 설명하시오.
- 2) 실린더 속의 압축된 기체를 대기 중에 분출시킬 때와 진공 속으로 분출시킬 때 기체의 온도는 각각 어떻게 되겠는가? 그 이유를 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

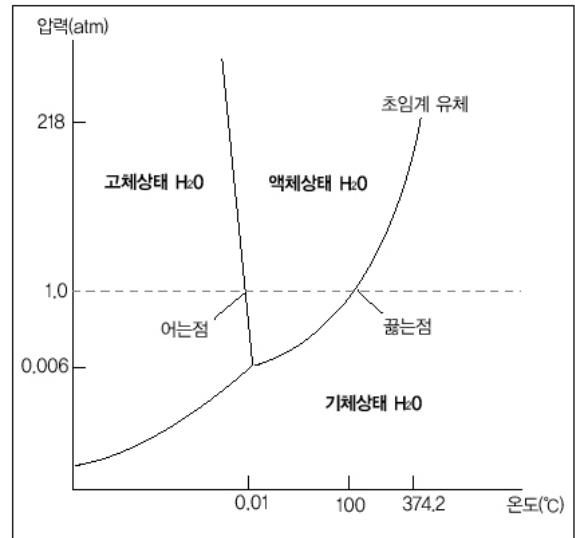
물질은 원자, 분자, 이온으로 구성돼 있습니다. 그런데 물질은 구성성분의 집합상태에 따라서 뚜렷이 구분되는 세가지의 다른 상태, 즉 기체, 액체, 고체로 존재합니다. 각 상태는 물질의 종류와 관계없는 속성을 갖고 있으며, 이러한 특성들은 입자의 집합상태와 관련지어 이해할 수 있습니다. 기체는 액체상태의 물질이 일정한 양의 열 에너지를 더 갖게 되면 상태변화를 거쳐 도달하게 되는 물질의 상입니다. 예를 들어 표준상태(25℃, 1기압)에서 100℃ 이상으로 온도를 올리면 물이 끓기 시작해 수증기 상태가 됩니다. 기체는 구성분자들간에 인력이 약하고, 빠른 속도로 운동하고 있으므로 기체의 종류에 관계없이 공통적인 성질을 갖고 있습니다. 압력과 온도에 따라서 기체의 부피가 달라지고 심지어 물질의 상태가 달라지기도 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 기체는 넓은 공간을 작은 분자들이 이리저리로 날아다니는 상태인데, 이를 토대로 기체의 성질을 기술하는 이론을 기체 분자 운동론이라고 하는데 다음과 같은 몇가지 가정을 통해 성립합니다. 첫째, 기체 분자들은 서로 멀리 떨어져 있으므로 기체 분자들 자체가 차지하는 부피는 용기의 부피에 비해 무시할 수 있습니다. 둘째, 기체 분자들은 계속해서 직선 운동을 하고 용기의 벽이나 다른 분자들과 충돌합니다. 셋째, 충돌이 일어나도 기체 분자들의 총 에너지는 변하지

않습니다. 넷째, 충돌할 때를 제외하고는 분자들 사이에 인력이나 반발력은 작용하지 않습니다. 한편 보일-샤를의 법칙에 따르면 일정량의 기체의 부피는 절대온도에 비례하고, 압력에 반비례한다는 것을 알 수 있습니다. 이 법칙에서 상수 k 를 구하면 기체의 온도, 압력, 부피 사이의 관계를 나타내는 상태방정식을 구할 수 있으며, $PV=nRT$ 인 기체상태방정식을 얻게 됩니다. 이 두가지로부터 $PV=2/3 E_k=nRT$ 가 됩니다.

동일한 온도에서 기체에 압력을 가하는 경우, 기체의 부피가 감소하면서 기체 분자간의 거리가 가까워져 분자간의 상호작용에너지가 증가해 액체가 됩니다. 한편 동일한 압력에서 기체의 온도를 내리면, 위 식에서 보듯이 기체의 운동에너지는 절대온도에 비례하므로 기체 분자의 운동에너지가 낮아져 액체상으로 됩니다. 이런 변화는 세 물질의 상평형 그래프에서도 확인할 수 있습니다.



- 2) 압축된 기체를 대기중으로 분출하면, 대기중에 존재하고 있던 다른 기체 분자들과 충돌하게 됩니다. 압축된 기체의 에너지 중 일부는 이 충돌 과정을 통해서 소모됩니다. 1)에서 살펴보았듯이 기체의 운동에너지와 절대온도는 비례하기에 감소된 운동에너지만큼 기체의 온도는 떨어지게 됩니다. 반면에 진공속에서 분출될 경우에는 공간에 존재하는 다른 입자가 없기에 따로 하는 일이 없게 되고, 기체의 온도는 유지됩니다.

▶ 추가문제

2005년 02월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

이번 호도 기출문제를 중심으로 함께 생각해 봤으면 하는 주제들을 선정했습니다. 여기에 소개하는 주제들에 안주하지 말고 다른 주제들에 대해서도 더 많은 사고력을 키웠으면 합니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- | | | |
|-------------|----------------|------------|
| 1) 원자의 구성요소 | 2) 동위원소의 의미 | 3) 원자량의 의미 |
| 4) 이온의 정의 | 5) 질량분석기의 측정방법 | |

1. 화합물 유추하기

화합물을 분석하는 기계로 질량분석기란 것이 있다. 아래 질문에 답하시오.(서울대 기출문제)

- 1) 질량분석기를 사용해 분자량에 해당하는 분자이온 피크들이 검출되는 위치와 그 피크들 크기의 비율로부터 동위원소를 함유한 물질을 쉽게 분석할 수 있다. 염소원자는 원자량 35인 것과 37인 두 동위원소가 약 3 : 1로 존재하는데, 예를 들어 클로로메테인(CH_3Cl)을 질량분석기로 분석할 경우 분자이온들의 피크가 50과 52의 위치에서 크기비율이 약 3 : 1로 검출돼, 이 화합물이 염소원자 하나를 함유했음을 추측할 수 있게 해준다. 디클로로메테인(CH_2Cl_2)을 질량분석기로 분석했을 경우 분자이온 피크들이 검출되는 위치와 그 상대적 크기들을 예측해 보아라.
- 2) 위 문제에서 분자이온들에 대해 탄소와 수소의 동위원소가 미치는 영향은 어떠하겠는가 (단, 탄소와 수소의 평균원자량은 각각 12.011, 1.008이다)?

▶ 전문가 클리닉

화합물이 어떤 종류의 원소들로 이뤄져 있는지를 알아내는 것도 중요한 화학의 분야입니다. 주기율표를 채우고 있는 하나하나의 원소들도 이런 과정들을 거쳐서 알게 된 것입니다. 화합물을 제대로 분석하기 위해서 인류는 많은 노력을 기울여 왔습니다. 그럼에도 불구하고 아직까지도 화학적 성질을 띠는 기본단위인 분자의 구조를 직접 눈으로 관찰할 수는 없는 단계입니다. 단지 지금껏 노력했던 일들의 결과물인 각종 기계를 이용해 화합물의 구조를 밝혀나갈 수 있는 것입니다. 질량분석기란 기계도 마찬가지입니다. 질량분석기는 분자의 질량 측정을 통해서 분자의 구조를 밝히는 데 한 획을 그어줬습니다. 깊은 의미까지 이해하진 않더라도 질량분석기의 기본원리를 이해하기 위해서는 분자의 이온화가 필수적이라는 점과, 분자가 이온화됐을 때, 자기장의 영향을 통해 회절되면서 질량에 따라 다양한 분자이온을 검출기에서 측정할 수 있다는 것을 알아둬야 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 염소의 경우를 중점적으로 살펴볼 때, 디클로로메테인은 염소원자가 두개로 구성되어 있습니다. 염소원자의 동위원소가 35와 37 두 종류가 있기에 각 동위원소가 동일한 비율로 존재한다면 1 : 2 : 1의 비율로 나타날 것입니다. 그렇지만 이들의 존재비율은 3 : 1이기에 원자량 35인 염소가 2개 존재할 확률은 $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{16}$ 이 됩니다. 원자량 35인 것과 37인 것이 각각 1개씩 존재할 확률은 $2 \times \frac{3}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{6}{16} = \frac{3}{8}$ 이 됩니다. 마지막으로 원자량 37인 염소들로만 구성될 확률은 $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$ 으로 예상되는 분자이온들의 상대적 크기는 9 : 6 : 1이 됩니다. 한편 질량분석기

는 분자에 강한 에너지를 가해 이온화시켜서 이를 자기장을 통과시키면, 자기장의 영향을 받아 분자이온이 굴절하는 것을 이용해 분자를 검출하는 것입니다. 분자의 질량이 작으면 자기장의 영향을 많이 받아 더 많이 휘게 될 것이고, 질량이 무거우면 덜 휘게 될 것입니다. 따라서 분자량이 84, 86, 88인 것들이 차례대로 9 : 6 : 1의 비율로 검출될 것입니다.

2) 탄소와 수소도 자연계에서 동위원소가 존재함에도 불구하고 1)에서는 염소원자를 중점적으로 살펴봤습니다. 왜냐하면 염소의 평균원자량이 35.453인 것과 탄소와 수소의 평균원자량이 12.011, 1.008인 것에서 볼 수 있듯이 자연계에서 존재하는 염소원자 동위원소의 비율에 비해서 탄소와 수소의 동위원소의 존재비율은 극히 미미하기 때문입니다. 그러므로 단순히 주된 피크 주변에 노이즈처럼 작게나마 검출되는 피크들 외에는 기본적인 분자 피크 구성에 탄소와 수소의 동위원소는 크게 영향을 미칠 수 없습니다.

▶ 추가문제

모든 물질은 그 물질의 기본적 성질을 나타내는 분자들로 구성돼 있으며, 분자들은 원자들로 이뤄져 있다. 그러면 원자는 어떻게 구성돼 있는지, 그리고 동위원소란 무엇인지 설명하시오. (숭실대 2004년 수시)

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 포화 또는 불포화 탄화수소화합물의 정의
- 2) 이성질체의 종류와 각각의 의미
- 3) 화합물의 녹는점을 결정하는 요인들

2. 식용유와 돼지비계의 차이점은?

탄화수소 화합물로 이뤄진 동물성 기름은 포화지방이고 식물성 기름은 불포화지방이다. 이들은 상온에서 각각 고체와 액체 상태로 존재한다. 그 이유를 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

탄소와 수소를 기본으로 하는 화합물은 주변에 수없이 많이 존재합니다. 이들을 통틀어 탄화수소화합물이라고 하며, 그 중 한 형태가 바로 3대영양소이기도 한 지방입니다. 흔히 볼 수 있는 돼지비계도 지방이고, 조리에 많이 사용하는 식용유도 지방입니다. 그렇지만 쉽게 보는 물질의 상은 서로 다릅니다. 돼지비계의 경우는 고체상으로 많이 관찰할 수 있는데 반해서 식용유는 액체상으로 많이 관찰할 수 있습니다. 이런 차이점은 각 지방의 존재형태가 상이하기 때문입니다. 일반적으로 동물성 지방은 포화지방으로 구성돼 있고, 식물성 지방은 이중결합이 존재하는 불포화지방으로 구성돼 있기에 녹는점에 차이가 나는 것입니다. 이 차이가 어떻게 녹는점의 차이를 만드느지를 이 문제를 통해서 알아내야 하는 것입니다.

▶ 예시답안

우선 탄화수소화합물은 탄소 수가 증가할 수록 분자량이 증가해 녹는점과 끓는점이 높아지는 효과가 있습니다. 이런 요인 외에도 탄화수소화합물의 물리적 성질인 녹는점과 끓는점은 분자 사이의 인력에 큰 영향을 받습니다. 일반적으로 탄화수소화합물은 분자량이 증가할 수록 분자간의 접촉 면적이 증가하는데, 그 결과 비극성 분자 사이의 인력인 반데르발스 힘이 증가합니다. 결국 탄소 수가 증가함에 따라 기체, 액체, 고체 상태로 존재하게 됩니다.

분자 사이의 인력에 영향을 주는 또하나의 인자는 분자 간의 규칙적인 배열상입니다. 이런 규칙적인 분자간의 배열, 즉 쌓임은 분자가 동일한 형태일 때 효율적으로 쌓이게 되며 분자 사이의 인력이 증가하기 때문에 녹는점이나 끓는점이 높아지게 됩니다.

동물성 기름은 포화지방이므로 규칙적 배열이 잘 형성돼 분자 간 접촉 면적이 증가하게 되고 비극성 분자들 사이의 인력인 반데르발스 힘에 의해 상온에서 고체 형태로 존재할 수 있습니다. 반면 식물성 기름은 불포화지방이므로 분자 내에 시스와 트랜스 이성질체가 공존하기 때문에 분자 간의 규칙적인 배열이 이뤄지기 어렵습니다. 결국 비극성 분자 간의 접촉 면적이 감소하게 되며, 반데르발스 힘이 작아져 상온에서 액체 상태로 존재하는 것입니다.

▶ 추가문제

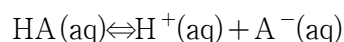
탄소가 5개인 포화탄화수소의 기본형태를 펜테인이라고 한다. 동일한 탄소와 수소를 갖고 있는 이성질체를 그리고, 각각의 끓는점의 경향을 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 평형상수, 특히 이온화상수의 개념 2) 르샤틀리에의 원리 3) pH의 정의

3. 이온화상수는 일정한 값일까?

우선 일반적인 산의 이온화 평형에 대해 알아보자. HA가 수용액에서 다음과 같이 이온화될 수 있다면,



이온화상수 K_a 는 아래와 같이 정의된다.

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

이온화상수 K_a 가 다음의 각 인자들의 변화에 따라 어떻게 변하는지 설명하시오.(서울대 2005년 기출문제)

- 1) 온도
- 2) 수소이온 농도

▶ 전문가 클리닉

염기를 이용하면 때를 좀더 쉽게 제거할 수 있다는 것을 안 것이나, 산은 시큼한 맛을 내고 음식을 좀더 오래 보관할 수 있게 한다는 점 등과 같이 산-염기는 고대부터 인류의 관심사 중 하나였습니다. 산-염기와 관련된 내용은 그동안 수차례나 심층면접 코너에서 다뤘습니다. 산-염기의 정의를 묻는 것이나 수소이온 농도의 의미와 적용, 중화적정 방법과 적용, 그리고 이온화상수의 의미와 다른 요인의 변화에 따라 그 값이 변하는지에 대한 얘기도 심층면접 코너에서 이미 다뤘던 내용입니다. 2005년도 서울대 수시전형 기출문제도 그동안 다뤘던 내용들을 되새겨 본다면 큰 어려움 없이 해결할 수 있을 것입니다.

▶ 예시답안

1) 물질은 온도가 올라갈수록 더 많은 에너지를 함유하게 됩니다. 그렇게 물질의 기본상을 유지하다가 적정 이상의 에너지를 함유하게 되면 물질을 구성하는 각 분자들은 독립적으로

활동하게 됩니다. 산의 이온화상수는 해리된 산의 양에 따라서 차이가 생깁니다. 더 많은 산 분자가 해리돼 수소이온을 내어놓을 수록 이온화상수 K_a 값은 커지며, pH 값은 작아집니다. 그러므로 온도가 올라갈수록 산 분자는 보다 쉽게 해리되며, 지문에 있는 이온화상수를 구하는 식에서 알 수 있듯이 이온화상수 K_a 값도 증가하게 됩니다. 이런 현상은 물분자의 경우에도 확인할 수 있습니다. 흔히 알고 있는 물의 해리상수 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ 입니다. 이 값은 25°C에서는 타당한 값이지만 그 외의 온도에서는 오차를 발생시킵니다. 0°C에서 $K_w = 0.114 \times 10^{-14}$ 이고, 60°C에서는 9.61×10^{-14} 값을 갖게 됩니다. 역으로 온도가 올라갈수록 물의 산성도는 증가한다는 사실도 함께 파악할 수 있습니다.

- 2) 동일한 온도에서는 수소이온 농도가 변한다 하더라도 이온화상수 값에는 변화가 없습니다. 왜냐하면 $HA(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + A^-(aq)$ 에서 알 수 있듯이 우향의 수소이온의 농도가 증가하면 외부의 영향을 줄이는 쪽으로 반응이 진행된다는 ‘르샤틀리에의 원리’에 따라 평형은 왼쪽(역방향)으로 진행되고, 그 결과 A^- 의 농도는 감소하게 됩니다. 수소이온의 농도가 증가하더라도 A^- 농도가 감소하기에 전체적인 K_a 값은 일정하게 유지됩니다. 역으로 수소이온의 농도가 감소하면 반응은 정방향으로 진행되고, A^- 의 농도는 증가해 역시 전체적인 K_a 값은 일정하게 유지됩니다.

▶ 추가문제

1. 아미드가 아민보다 훨씬 더 약한 염기인 이유를 설명하시오.
2. $PbBr_2$ 는 물에 녹아 이온화될 때, Pb^{2+} 와 Br^- 로 해리된다. $K_{sp} = 2.1 \times 10^{-6}$ 이고, 화학식량은 367.0일 때, 0.5L의 물에 녹을 수 있는 $PbBr_2$ 의 양은 얼마가 되겠는가? 또 0.06M의 NaBr 수용액 0.5L에서는 녹는 양이 얼마겠는가?

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 화학결합의 종류와 특성

4. 생체분자는 어떻게 이뤄질까?

생체분자 사이에 존재하는 4가지 비공유결합의 종류를 들고 특성을 설명하시오.(성균관대 2005년 수시 1학기)

▶ 전문가 클리닉

화합물을 쪼개어보면 원자단계까지 도달하게 됩니다. 주기율표를 채우고 있는 113종의 원소들이 서로 다양한 배열을 함으로써 주변의 서로 상이한 물질을 형성하는 것입니다. 이런 것이 가능한 이유는 각 원소(원자)들이 서로 유기적인 관계에 놓였기 때문입니다. 이와 같은 유기적인 관계를 의미하는 것이 바로 화학결합입니다. 각 구성 원자들 간에 존재하는 힘으로 인해서 하나의 독특한 물질이 구현되는 것입니다. 화합물의 결합은 크게 공유결합과 비공유결합으로 구분할 수 있습니다. 공유결합이란 원자들이 전자를 공유해 분자를 형성하는 결합을 뜻하며, 비공유결합이란 전자를 공유하지 않는 형태의 결합을 의미합니다. 수시 기출문제는 이러한 비공유결합이 생체 내에서는 어떤 종류들로 구현되는가를 물어보는 것입니다.

▶ 예시답안

생체분자들은 우선 탄소화합물로서 탄소가 최대 4개의 서로 다른 원자와 공유결합을 형성할

수 있습니다. 그렇지만 생체분자 간에는 주로 비공유결합이 이뤄지곤 합니다. 비공유결합은 약하기 때문에 낮은 열, 적정 압력(대기압), 적정 pH(중성)와 같은 제한된 환경에서 동적상호작용을 이룹니다. 그 결과 생물체는 제한된 환경에서밖에 생존할 수 없으며, 화학반응과는 달리 생체분자의 대사작용은 효소를 통해서만 가능하게 됩니다.

생체분자 간에 이뤄지는 4가지 비공유결합으로는 이온결합, 반데르발스 힘, 수소결합, 소수성 효과 또는 상호작용이 있습니다. 이온결합은 의미 그대로 이온과 이온 간의 결합을 뜻합니다. 반데르발스 힘은 비이온 간의 결합으로 극성과 극성분자, 극성과 무극성분자, 무극성분자간에 나타나는 힘을 뜻합니다. 특히 무극성분자 간에 구현되는 힘을 분산력(London dispersion force)이라고도 합니다. 수소결합은 불소(F), 산소(O), 질소(N)와 수소(H) 원자 간에 존재하는 약한 화학결합을 의미합니다. 소수성 효과 또는 상호작용은 분자간의 친화력에 의한 것이 아니라 무극성분자들이 물에 존재할 경우 생기는 열역학적 요인에 의해 발생하는 힘입니다. 이는 대개의 탄소화합물의 경우 소수성 성질이 강하기에 물과 용화가 어렵기 때문입니다.

▶ 추가문제

1. 생체분자에게 물은 상당히 소중한 존재다. 어떤 점에서 그런지 설명하시오.
2. 효소는 생체반응의 촉매다. 이런 효소의 활성화에 영향을 미칠 수 있는 요인에 대해 말하라.(부산대 2002년 수시)

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 산화-환원의 개념
- 2) 금속의 이온화 경향
- 3) 다니엘전지의 구조와 각 부분의 특징

5. 전지의 기본원리

전자를 잃는 이온화 경향은 금속마다 다르며, 아연, 철, 구리의 순서로 그 크기가 작아진다. (단국대 기출문제)

- 1) 철과 구리를 전극으로 해 다니엘전지를 만들었다면 어느 것이 (-)극, 어느 것이 (+)극이 됩니까?
- 2) 산화되는 것은 어느 전극이며, 환원되는 것은 어느 전극입니까?
- 3) 전극판을 철 대신 아연으로 바꿨다면 어떤 일이 일어납니까?
- 4) 위 다니엘전지에서 염다리가 없다면 어떻게 됩니까?

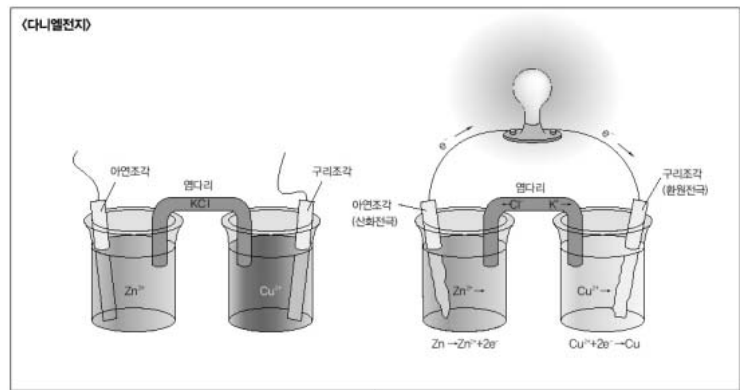
▶ 전문가 클리닉

모든 화학반응은 에너지의 변화를 수반하곤 합니다. 손쉽게 볼 수 있는 화학전지도 이런 화학적 변화 과정에서 수반되는 에너지를 전기에너지로 변환시킨 것입니다. 화학전지의 기본적인 원리는 산화-환원 과정을 통해 전기가 흐르게 되는 것입니다. 이런 화학전지의 기본원리를 이해하기 위해서는 산화-환원 개념의 이해가 뒷받침돼야 합니다. 가장 손쉬운 산화-환원의 개념은 철이 녹스는 것에서 보듯이 산소를 얻는 것과 잃는 것으로 정의할 수 있습니다. 조금 더 확장된 개념으로는 수소원자를 잃는 것이 산화, 얻는 것이 환원이 됩니다. 전기화학적인 개념을 도입하면 그 의미는 더 확장돼 전자를 잃는 것이 산화, 전자를 얻는 것이 환원이 됩니다. 산화-환원의 의미와 이온화 경향의 의미를 이해한다면 손쉽게 해결할 수 있는 문제입니다.

일반적인 다니엘 전지의 구성 : $(-)Zn|ZnSO_4(aq) \parallel CuSO_4(aq)|Cu(+)$

▶ 예시답안

- 1) 철과 구리를 이용해 다니엘전지를 만들면 철이 구리보다 이온화 경향이 더 크기에 구리보다 쉽게 전자를 내놓으려 합니다. 그러므로 철이 (-)극이 되고, 구리가 (+)극이 됩니다.



- 2) 전기화학적인 범주에서 산화란 전자를 잃는 것을 의미하고, 환원이란 전자를 얻는 것을 의미하기에 철을 전극으로 사용하는 쪽은 산화되는 전극이며, 구리를 전극으로 사용하는 쪽은 환원되는 전극입니다.
- 3) 아연의 경우는 철보다도 더 쉽게 이온의 형태를 가지려고 합니다. 그렇기 때문에 아연이 (-)극으로서 전자를 내놓아 산화되는 전극이 되며, 구리의 경우는 앞선 상태처럼 (+)극으로서 전자를 받아들여 환원이 이뤄지는 전극이 됩니다. 철을 전극으로 사용했을 때보다 아연을 전극으로 사용하면 이온화되는 힘이 더 크기에 더 많은 전류가 흐를 수 있게 됩니다.
- 4) 산화전극에선 계속적으로 Zn²⁺ 이온이 나오고 환원전극에선 Cu가 생성되면서 산화전극의 수용액은 양전하를 띠게 되고 환원전극의 수용액은 나머지 황산이온에 의해 음전하를 띠게 됩니다. 그렇지만 그 정도가 심해지면 더이상 반응이 일어나기 힘들어집니다. 그 이유는 르샤틀리에의 원리와 비슷하다고 생각하면 됩니다. 아연이온은 양전하를 띠는데 수용액이 양전하를 강하게 띠면 아연이온이 생성되기 힘들어집니다. 환원전극도 마찬가지입니다. 그래서 염다리를 설치해 양쪽 전하의 균형을 맞춰주는 것입니다. 하지만 여기서 중요한 것은 염다리를 통해서 양쪽 수용액에 있던 황산이온이나 아연이온이 반대편으로 넘어가는 것은 아니라는 점입니다. 염다리 내부는 한천과 전해질(염화칼륨 또는 질산칼륨)로 구성되어 있습니다. 양쪽 전하의 균형을 맞추기 위해서 염다리의 칼륨이온은 환원전극 쪽으로 이동합니다. 수용액으로 녹아들어가는 것이 아니라, 염다리 안에서 환원전극의 수용액 쪽으로 이동만 해 전하의 균형을 맞춥니다. 반대로 염화 또는 질산 이온은 산화전극의 수용액 쪽으로 이동합니다. 역시 수용액에 직접 녹지는 않고 염다리 안에서 전하의 균형만을 맞춰주는 역할을 합니다.

▶ 추가문제

1. 철에 마그네슘을 연결하면 철이 부식되지 않는데 이는 산화반응인가, 환원반응인가? 그 이유는? 마그네슘 대신 나일론 끈을 이용하면 철은 어떻게 되겠는가? 그 이유는?(부산대 2002년 수시)

2005년 03월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

이번 3월호에서는 올해 대입면접을 치를 고3 학생들을 대상으로 몇 개 대학에서 실제로 출제된 문제들만을 다뤄봤습니다. 과학동아를 꾸준히 봤던 학생들은 예전부터 틈틈이 접했던 내용들입니다. 아직도 어떻게 공부해야 할지 모르는 분들이 이번호를 통해서 조금씩 생각을 정리할 수 있는 계기를 만들었으면 합니다. 올 한해도 열심히 공부하시면서 좋은 일들 많이 생겼으면 합니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 물분자의 구조 2) 수소결합 3) 물질의 상평형 곡선의 이해 4) 밀도의 개념

1. 물의 신비

대부분의 물질은 고체 상태의 밀도가 액체보다 크다. (2003년 동국대 수시 1학기)

- 1) 물은 예외적으로 얼음보다 밀도가 큰데 그 이유를 제시하라.
- 2) 물의 밀도가 얼음보다 크다는 사실로부터 물-얼음 상평형 경계선의 기울기를 예측하라.
- 3) 2)의 답변을 이용해 0°C 이하에서 얼음을 녹이려면 어떻게 하면 되는지 답하시오.

▶ 전문가 클리닉

물은 우리 주변에서 흔하게 관찰할 수 있는 물질이지만, 그 중요성에 대해서는 간과하기 쉽습니다. 물이 독특한 성질을 갖는 것은 일반적인 화합물에는 존재하지 않는 독특한 형태의 결합 양상을 보이기 때문입니다. 이는 수소결합에서 기인합니다. 물이 분자량이 비슷한 다른 물질보다 끓는점과 어는점이 매우 높은 점, 얼음의 결정상태와 밀도 등도 이와 밀접한 연관을 갖습니다. 물의 독특한 성질의 배경이 되는 수소결합과 연관된 문항은 지속적으로 출제되고 있습니다. 문항의 형태야 다르지만, 원하는 답은 수소결합의 특성이기에 미리 제대로 준비를 해둬야 합니다. 물의 독특한 현상들을 하나씩 살펴보고자 합니다. 기본을 확실하게 다져둔다면 어떤 형태로 묻는다고 하더라도 어려움이 없을 것입니다.

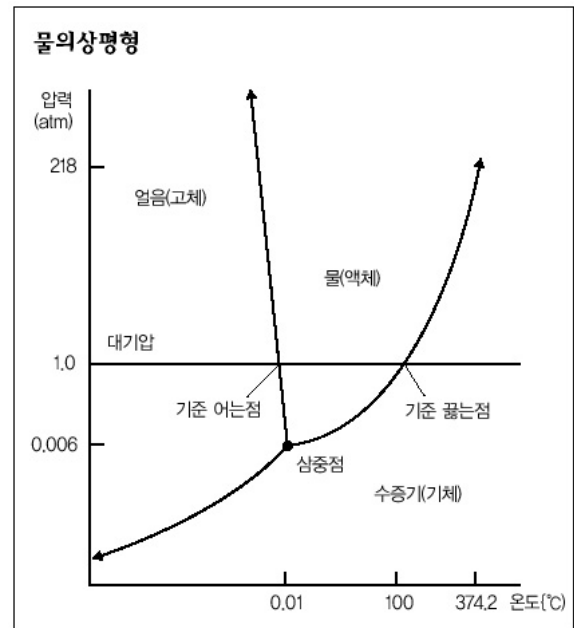
▶ 예시답안

1) 물분자(H_2O)는 두 개의 수소원자가 공유결합에 의해 중심에 위치한 한 개의 산소원자에 연결돼 있습니다. 산소원자는 전기음성도 차이로 공유전자쌍을 수소원자보다 강하게 끌어당깁니다. 그 결과 물분자 내에서 산소원자 가까이에는 부분 음전하(δ^-)가, 두 개의 수소원자 가까이에는 부분 양전하(δ^+)가 형성됩니다. 물분자와 같이 산소와 수소원자 사이에 형성된 불균등한 전자의 공유를 극성 공유결합이라고 합니다. 물분자의 극성은 물분자 사이의 상호작용을 가능하게 하며, 물분자의 양전하 부분인 수소원자와 주변에 있는 또다른 물분자의 음전하 부분인 산소원자 사이에 공유결합보다는 약한 분자간 결합이 형성되는데, 이를 수소결합이라고 합니다. 하나의 물분자는 세 개의 주변 물분자와 수소결합을 할 수 있습니다. 물의 극성과 수소결합으로 인해 물은 독특한 특성을 갖습니다. 그 결과로 물의 고체상인 얼음은 가운데 빈 공간이 생기는 육각 고리 모양을 이루게 됩니다.

밀도란 단위부피당 차지하는 g값을 의미하는 것인데, 고체인 얼음은 액체인 물보다 동일한 분자로 더 큰 부피를 형성하기 때문에 밀도가 예외적으로 액체보다 작게 됩니다. 참고로

4°C에서 물의 밀도는 최대이며, 4°C에서 0°C로 갈수록 물의 부피는 증가해 어느점에서 물이 얼음으로 변할 때는 부피가 9% 정도 증가합니다.

- 2) 기체상태에서 이런 내용을 설명하는 것이 보일의 법칙입니다. 물론 기체처럼 그 식이 정확하게 들어맞진 않지만, 액체나 고체에서도 동일 온도에서 압력이 증가하면 부피는 감소합니다. 한 예로 빵을 손으로 누를 경우, 누르기 전과 후의 빵의 부피는 달라집니다. 즉 외부의 압력 변화에 반응하기 위해서 내부 구성요소들 간의 공간을 줄이게 되는 것입니다. 고체인 얼음에 압력을 가하면 각 분자 간의 공간이 점점 줄어들어 가깝게 되고, 어느 순간이 지나면 액체상태인 물처럼 각 분자들이 인접하게 될 것입니다. 물의 상평형은 다른 물질의 상평형 곡선과는 달리 고체-액체의 용융곡선이 음(-)의 기울기를 갖습니다. 오른쪽은 물의 상평형 곡선입니다.



- 3) 물의 상평형 기울기는 2)의 그래프에서 보듯이 음이란 것을 알았습니다. 0°C 이하에서 물은 고체 상태인 얼음으로 존재합니다. 얼음을 액체상태인 물로 바꾸기 위해서는 압력을 올리면 됩니다. 앞선 그래프에서 고체상태인 한 지점을 잡고 압력이 증가하는 방향으로 선을 그어보면 액체상과의 계면인 용융곡선에 도달함을 알 수 있습니다.

스케이트장에서 스케이트를 탈 경우, 좁은 면적의 스케이트 날로 체중만큼의 압력이 추가적으로 가해지기에 그 부분의 얼음은 약간 녹게 됩니다. 이 같은 현상으로 스케이트를 탈 수 있는 것입니다. 따라서 얼음이 푹푹 어는 아주 추운 날보다는 체중으로 얼음이 살짝 녹을 수 있는 날이 스케이트 타기 더 좋은 것입니다.

▶ 추가문제

- 1) 물이 생명체에서 중요한 역할을 하는 이유는 물의 어떤 점 때문인지 설명하시오.
- 2) 얼음의 밀도가 물의 밀도보다 크다면 어떤 일이 일어나겠는가?(2001년 서울대 의예과)

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 원자의 구성요소
- 2) 원자모델과 오비탈의 개념
- 3) 다전자원자에서의 오비탈 에너지 단계
- 4) 전자배치의 기본원리(파울리의 배타원리, 훈트의 규칙)

2. 전자배치의 원리

훈트의 규칙을 구술하고, 어떤 물리적 상호작용에 기인하는지를 설명하라.(2005년 서울대 정시)

▶ 전문가 클리닉

올 정시에도 원자와 관련된 내용이 빠지지 않았네요. 이 문제는 다전자원자에서 전자배치는 어

떤 규칙에 따라서 이뤄지는가를 아는지 묻는 것입니다. 전자배치를 하기에 앞서 오비탈이 무엇 인지를 알아둬야 합니다. 물론 원자모델에 대한 기억도 떠올리면 좋겠죠. 그런 오비탈을 규정 지어주는 것이 바로 양자수입니다. 양자수란 전자의 에너지 상태, 전자구름 모양과 방향성을 나타내는 정수를 의미하며, 주양자수, 방위양자수(부양자수), 자기양자수, 스핀양자수 이렇게 4 가지가 있습니다. 주양자수(n)는 전자의 에너지 준위를 나타내는 것으로 전자껍질을 표시하며, 방위양자수(l)는 전자의 각운동량을 결정하는 것으로 오비탈의 모양을 결정합니다. 자기양자수 (m)는 전자구름의 방향과 궤도면을 결정하는 것으로 오비탈은 공간배향에 따라 $2l+1$ 개가 존재합니다. 마지막으로 스핀양자수(s)는 자전하고 있는 전자의 자전에너지를 결정하는 것으로, $s = +1/2, -1/2$ 의 두 종류가 있습니다.

▶ 예시답안

훈트의 규칙이란 에너지 준위가 같은 오비탈에 전자가 들어갈 때, 각각의 오비탈에 1개씩의 전자가 채워진 다음에 스핀이 반대인 전자가 채워진다는 것입니다. 전자는 음(-)전하를 갖는 원자의 구성요소입니다. 하나의 오비탈에 2개의 전자가 존재하면 두 전자 간에 정전기적 반발력이 생기게 됩니다.

만약 훈트의 규칙에 따르지 않고 전자가 채워진다면 한 오비탈 내에 존재하는 2개의 전자 간에 발생하는 반발력으로 인해 훈트의 규칙에 따른 전자배치보다 에너지 상태가 더 높아집니다. 원자의 전자배치는 바닥상태를 의미하는 것이기에 에너지를 가능한 한 낮추기 위해서는 훈트의 규칙에 따라서 동일한 에너지 상태일 때 각기 다른 오비탈에 전자들이 하나씩 채워지게 됩니다.

▶ 추가문제

- 1) 수소를 제외한 주기율표의 원소들은 다수의 전자를 갖고 있습니다. 이런 다전자원자들의 전자배치를 수소원자의 전자배치와 비교 설명하시오.
- 2) 다전자원자의 전자배치에 필요한 원리나 법칙을 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 주기율표
- 2) 주기와 족의 개념
- 3) 질량과 끓는점의 상관관계

3. 멘델레예프의 발견

주기율표는 원소들을 원자번호 순으로 배열하면서, 주기율을 이용해 성질이 비슷한 원소들이 같은 줄에 오게 만든 원소의 분류표다. (2005년 단국대 수시 2학기)

- 1) 주기율표의 같은 족과 주기에서 금속성은 어떻게 변하는지 설명하시오.
- 2) 주기율표의 같은 족과 주기에서 원자반지름은 어떻게 변하는지 설명하시오.
- 3) 할로젠 원소인 F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2 는 각각 7족의 1, 2, 3, 4주기 원소들이다. 이 원소들을 끓는점이 높은 것부터 순서대로 나열하시오.
- 4) 3)번 답의 이유를 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

멘델레예프는 "나는 꿈속에서 모든 원소들이 정확히 있어야 할 위치에 자리잡고 있는 일람표를 봤다. 꿈에서 깨어나자마자 나는 즉시 그것을 기록했다"고 말했다고 합니다. 꿈에서 멘델레예프는 원

소가 원자량 순서에 따라 나열되면 원소의 성질이 일련의 주기에 따라 반복된다는 사실을 깨달았습니다. 이런 이유로 그는 자신이 발견한 것을 ‘원소들의 주기율표’로 명명했습니다.

우리가 알고 있는 것은 X선 촬영을 통한 모즐리의 주기율표이지만, 멘델레예프의 주기율표가 아직도 의미가 있는 것은 화학적·물리적 성질을 고려해 원자량 순으로 원자들을 배열했다는 점 때문입니다. 멘델레예프의 주기율표를 토대로 한 현대의 주기율표는 족과 주기에 따라 규칙적으로 변하는 원소들의 물리적 성질과 화학적 성질의 주기성을 보여줍니다.

▶ 예시답안

1) 주기율표에서 같은 족의 원소들은 화학적 성질이 비슷합니다. 이는 원소들의 화학적 성질을 규정하는데 큰 역할을 하는 최외각전자의 수가 동일하기 때문입니다. 비록 원자가 포함하는 전자의 개수는 같은 족 내에서 원자번호가 커질수록 증가하지만, 금속성을 뜻하는 화학적 성질은 최외각전자의 수에 따르기 때문에 같은 족에서는 큰 변화가 없습니다. 반면 같은 주기의 원소들은 전자껍질의 수는 같지만 최외각껍질에 존재하는 전자의 수는 원자번호가 증가할 수록 증가합니다.

보통 원소가 금속성을 갖기 위해서는 최외각전자가 1~3개 정도여야 하며, 전자의 개수가 증가할 수록 비금속성을 갖게 됩니다. 그렇기에 같은 주기에서는 원자번호가 커질수록 비금속성의 성질을 보이게 됩니다.

2) 주기율표에서 같은 족 원소들 간의 원자반지름을 비교하면 원자번호가 클수록 원자반지름도 커지는 것을 알 수 있습니다. 이는 원자번호가 커질수록 원자가 갖는 전자껍질의 수가 증가하기 때문입니다. 반면 같은 주기 내에서 원소들 간의 원자반지름은 원자번호가 커질수록 작아집니다. 그 이유는 같은 전자껍질을 갖는데 원자번호가 커질수록 원자핵에 존재하는 양성자의 수가 증가하기 때문에 비록 전자껍질에 존재하는 전자의 수가 증가해 전자 간 반발력이 커지더라도 양성자와 전자간의 인력이 더 커서 원자핵 쪽으로 전자들이 당겨지기 때문입니다.

3) 할로젠 원소들의 끓는점은 요오드>브롬>염소>플루오르 순입니다.

4) 일반적으로 끓는다는 것은 각 분자단위들이 자유스럽게 운동하는 상태를 의미하며, 물질의 끓는점은 분자량에 따라 증가하게 됩니다. 플루오르, 염소, 브롬, 요오드의 네 가지 할로젠 원소들의 원자량은 각각 19.0, 35.5, 79.9, 127이기에 이들이 존재하는 분자상태는 각 분자량이 원자량의 두 배가 됩니다. 따라서 할로젠 원소의 끓는점은 요오드>브롬>염소>플루오르 순이 될 것입니다. 실제로 측정한 값도 요오드 184℃, 브롬 58.8℃, 염소 -34.1℃, 플루오르 -188℃입니다.

▶ 추가문제

1) 현재의 주기율표는 멘델레예프가 사용했던 주기율표와는 조금 다르다. 그 이유는 무엇이며, 그 이유가 갖는 의미는 무엇인가?

2) 주기율표에서 2족에서 3족 그리고 15족에서 16족으로 갈 때 이온화에너지가 감소하는데, 그 이유를 설명하시오.

3) 전이원소가 다양한 원자가를 갖는 이유는 무엇이며, 전이원소가 이온이 되거나 착화합물을 형성했을 때 색깔을 띠는 이유는 무엇인지 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 탄소화합물이란?

2) LNG와 LPG의 실생활 사례

4. 에너지원으로서의 탄소화합물

탄소화합물은 에너지원으로 일상생활에서 가장 많이 사용되고 있다. 탄소화합물 가스연료 중 LNG와 LPG의 차이를 설명하고, 그 차이점 때문에 일상생활에서 각각 어떻게 달리 사용되는지 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

국내 모회사의 CF 광고에는 ‘당신은 화학을 모르지만, 화학은 당신 곁에 있다’는 내용을 담고 있습니다. 마찬가지로 우리 주변의 탄소화합물이 없어진다면 어떻게 될까요? 탄소원자는 많은 수의 탄소원자뿐만 아니라 다른 원자들과도 결합해 상당수의 화합물을 만들어내곤 합니다. 비단 우리가 먹는 음식이나 우리 몸뿐만 아니라 생활에 사용하는 웬만한 것들은 모두 탄소가 함유된 탄소화합물입니다. 그 중 한 형태가 바로 연료, 즉 에너지원으로서의 탄소화합물입니다. 연료란 주로 열에너지를 얻기 위해 연소시키는 물질로, 탄소화합물이 연소반응을 거치면 이산화탄소와 수증기가 반드시 나옵니다.

▶ 예시답안

LNG(Liquified Natural Gas)는 액화천연가스라고 하며, 메탄이 약 90% 이상을 차지하고 있습니다. 이는 액화공정을 거치기 전에 탈황·탈습 과정을 거치기에 그 성질이 천연가스보다 더 뛰어나고 청결하며, 황 성분이 없기에 해가 없고, 고칼로리라는 점 등의 장점이 많습니다. 주성분인 메탄은 표준상태(1atm)에서 -161.5°C 이하로 온도를 낮추면 액체가 되는데, 이때의 부피는 표준상태의 1/600 정도이고, 비중은 0.42로 원유의 약 절반 정도 됩니다.

반면 LPG(Liquified Petroleum Gas)는 액화석유가스라고 하며, 프로판이나 부탄이 주로 차지하고 있습니다. 이 가스를 소형 압력용기(보통)에 충전해서 사용합니다.

LPG는 주 성분들의 끓는점이 비교적 높기에(프로판 : -47.1°C , 부탄 : -0.5°C) 액체상태로 보통에 보관되지만, LNG는 끓는점이 낮아 액화하기 어렵기에 관을 통해 기체상태로 공급합니다. 또한 LPG는 공기보다 무겁기 때문에 누출시 아래부터 쌓이게 되며 폭발 위험성이 큰데 반해서, LNG는 공기보다 가볍기 때문에 누출시 공기 중으로 확산돼 폭발 위험성이 비교적 적습니다. 이런 점들을 고려해 LNG는 주로 가정용 도시가스로 많이 사용되며, LPG는 택시 연료 등 차량용이나 업무용, 공업용으로 많이 사용되고 있습니다.

▶ 추가문제

우리나라 강원도에서 많이 채취되는 석탄이 연소될 때 LPG나 LNG에 비해 비교적 많이 생성되는 물질은 무엇이며, 그 이유는 무엇인지 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 용액의 총괄성이란?

2) 삼투압

3) 삼투현상 및 역삼투란?

5. 용액만이 갖는 고유한 특성

다음은 미생물로부터 미지 효소를 분리 정제한 후에, 삼투압을 이용해 분자량을 측정하는 실험에 관한 것이다. (기체상수 $R=0.082\text{L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)(2005년 서울대 정시)

- 1) 정제된 미지의 효소 1.0g을 100ml의 증류수에 녹인 용액의 삼투압이 27℃에서 $4.1\times 10^{-3}\text{atm}$ 이었다. 이 미지 효소의 분자량을 구하라.
- 2) 만약 이 효소가 순수 증류수에서는 침전 등으로 인해 불안정해 0.1M NaCl 수용액 100ml에 녹여야 했다면, 삼투압을 이용한 분자량 측정을 어떻게 하면 되겠는가?
- 3) 삼투현상을 이용해 미지 효소를 농축시킬 수 있는 방법을 설명하라.

▶ 전문가 클리닉

용액과 관련된 질문은 매년 거르지 않고 출제되곤 합니다. 물론 용액과 관련된 전반적인 내용 중에서 무엇을 중점적으로 보는 것인가가 차이가 날 수는 있지만 말입니다. 서울대 정시에 출제된 문제는 용액과 관련된 내용 중 특히 용액의 총괄성, 더 자세히는 삼투현상에 관한 질문입니다.

용액의 총괄성이란 용액이기에 갖는 독특한 특성을 의미합니다. 크게 용액의 총괄성은 네 종류로 나눠 생각해볼 수 있는데, 순수한 용매에 대한 용액의 증기압내림 현상, 끓는점오름 현상, 어는점내림 현상, 삼투현상입니다. 그 중 삼투현상은 반투막을 경계로 용매분자와 용질분자 중 용매분자만 이동이 가능하다는데서 비롯되는 것입니다.

▶ 예시답안

- 1) 용액의 용질분자는 통과시키지 않지만, 용매분자는 통과시키는 막을 반투막이라고 합니다. 이런 반투막을 사이에 두고 순수한 물과 용액을 격리시켜두면 막을 통해 물이 용액 쪽으로 이동해 평형상태에 이르게 되는데, 이런 현상을 삼투현상이라고 합니다. 반트 호프의 법칙이 적용되며, 용매나 용질의 종류와는 상관없이 없습니다.

$$\pi = cRT (\pi: \text{삼투압}, c: \text{몰농도}, R: \text{기체상수}, T: \text{절대온도})$$

기체상수 $R=0.082\text{L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 이고, 절대온도는 $T=273+27=300\text{K}$ 이기에, 위 식에 각각의 수치를 대입하면 $c=\frac{4.1\times 10^{-3}}{0.082\times 300}=\frac{1}{6}\times 10^{-3}\text{M}$ 입니다. 미지의 효소 1.0g은 $\frac{1}{6}\times 10^{-4}\text{mol}$ 에 해당합니다. 따라서 미지 효소의 분자량은 60000임을 알 수 있습니다.

- 2) 반투막을 경계로 용질분자는 자유로이 이동할 수 없지만 용매분자는 자유롭게 이동할 수 있습니다. 효소가 순수 증류수에서는 불안정해 0.1M의 NaCl(염화나트륨) 수용액에 녹여야 한다면 반투막 반대쪽도 동일한 환경을 조성해줘야 합니다. 즉 반투막 반대쪽도 0.1M의 NaCl 수용액으로 채워져 있어야 합니다. 그래야 NaCl 수용액에 대한 효과를 무시할 수 있게 됩니다.
- 3) 삼투현상은 반투막을 경계로 용매분자가 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 이동하는 현상을 의미하며, 농축은 반대로 액체 내의 수분을 제거해 농도를 진하게 하는 과정으로 삼투현상의 반대 개념입니다. 삼투현상을 이용해 효소를 농축시키기 위해서는 역삼투압 방식을 이용하면 됩니다. 역삼투압방식은 흔히 저농축이라고도 하며, 보통 식품제조에서 많이 사용되고 있습니다. 역삼투압방식은 고농도의 용액 쪽에 삼투압 이상의 압력을 가해서 삼투현상과는 달리 고농도 용액 쪽의 용매가 저농도 용액 쪽으로 이동하게 하는 것입니다. 참고로 실제 산업현장에서는 감압농축을 하기도 하는데, 압력을 낮추면 수분의 끓는점이 낮아져 낮은 온도에서도 물이 끓어 농축이 됩니다.

2005년 04월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

이번 호에는 금속의 산화-환원반응, 효소의 활성화, 평형상수, 기체와 관련된 법칙, 물질의 상변이와 관련된 내용들을 다뤘습니다. 관련된 내용 중 일부분만을 실었기에 이 내용들을 바탕으로 조금씩 가지를 쳐가면서 관련지식들을 점검해 보셨으면 합니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 산화-환원 반응

2) 금속의 반응성(이온화 경향)

1. 금속원자가 이온이 되는데도 순서가 필요하다?

지각의 8대 구성요소 중 하나인 철(Fe)은 우리 생활에서 유용하게 이용되곤 한다. 그렇지만 때로는 녹슬어서 제대로 그 힘을 발휘하지 못하기도 한다. 이는 화학의 어떤 현상을 말하는 것이며, 또 이런 과정을 막기 위한 방법은 어떤 것들이 있는지 말하시오.

▶ 전문가 클리닉

어렸을 적에 익히 들어왔던 전래동화 중 ‘금도끼 은도끼’라는 것이 있습니다. 착한 나무꾼이 도끼를 호수에 빠뜨렸다가 산신령에게서 금, 은, 쇠도끼 모두를 받게 된다는 내용이죠. 권선징악적인 교훈을 담은 전래동화를 듣고 착하게 지내야겠다는 생각이 들었겠지만, 화학을 공부한다는 입장에서 그것만으로 만족할 수는 없죠. 호수에서 산신령이 들고 나오는 금도끼, 은도끼야 별 문제가 없겠지만, 쇠도끼는 물과 닿으면 어떻게 될까요?

여기서 발생하는 문제는 오늘날까지도 우리 주변에서 비슷하게 찾아볼 수 있습니다. ‘어떻게 하면 좀더 오랜 기간 동안 철로 만든 물질을 사용할 수 있을까?’ ‘금속을 더 유용하게 사용하는 방법은 없을까?’ 이런 욕구들을 충족시키고자 몇가지 방법들이 알려져 있습니다.

▶ 예시답안

금속이 부식된다는 것은 금속이 공기 중의 산소와 수분에 의해 녹이 스는 현상으로 산화-환원반응의 일종입니다. 산화-환원반응에 대한 정의는 범주에 따라 크게 세 가지로 볼 수 있습니다. 산소를 얻는 것과 잃는 것, 수소를 잃는 것과 얻는 것, 전자를 잃는 것과 얻는 것으로 산화-환원을 정의할 수 있습니다.

금속은 일반적으로 이온이 될 때 양이온이 되는데 이는 전자를 잘 내놓기 때문입니다. 즉 전자를 내놓는 산화반응을 거친다는 의미입니다. 철이든 아연이든 마그네슘이든 금속은 그 종류에 관계없이 모두 전자를 내놓고 산화돼 Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} 의 상태가 됩니다. 철의 부식(산화) 과정을 막기 위해서는 몇가지 방법이 있습니다. 철에 아연이나 마그네슘을 이어놓으면 철의 부식도를 낮출 수 있습니다. 이는 금속 간 이온화 경향이 다르기 때문입니다.

이온화 경향이란 금속이 전자를 잃고 양이온이 되려는 경향으로써, 이온화 경향이 클수록 반응성이 커서 양이온의 형태로 존재하기 쉽습니다. 이온화 경향은 $\text{K} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Ni} > \text{Sn} > \text{Pb} > \text{H} > \text{Cu} > \text{Hg} > \text{Ag} > \text{Pt} > \text{Au}$ 순이며, Zn이나 Mg는 Fe보다 더 반응성이 크기에 철보다 먼저 산화되므로 철의 부식을 막을 수 있는 것입니다. 이를 음극화 보호법이라고 합니다. 보호해야 할 금속에 연결된 이온화 경향이 큰 희생금속이 대신 산화하면서 전자를 제

공해 보호 대상 금속이 산화되는 것을 막는 원리로 보통 선박에서 많이 이용되고 있습니다.

한편 금이나 은은 이온화 경향이 매우 낮기 때문에 산화되지 않습니다.

다른 방법으로는 기름칠이나 페인트칠을 함으로써 금속이 직접적으로 공기나 수분과 접촉하지 않도록 보호막을 입히는 방법도 있으며, 철보다 이온화 경향성이 약한 주석(Sn) 같은 다른 금속을 표면에 덮음으로써 보호막을 형성해 내부 금속을 보호하는 경우도 있습니다. 또한 탄소강이나 황동처럼 합금의 성질을 이용해서 금속의 부식을 방지할 수 있습니다.

▶ 추가문제

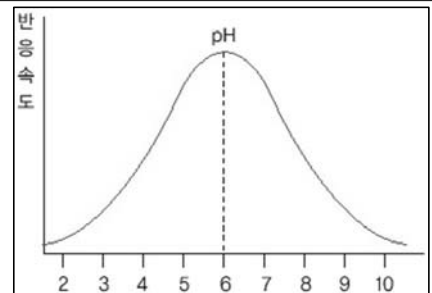
보통 순금을 24K라고 한다. 그런데 시중에서는 18K나 14K 금제품을 많이 팔고 있다. 만약 가격 차이가 근소하다면 18K나 14K 또는 24K중 어느 것이 잘 유통되겠는가? 그 이유는 무엇인가?

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 아미노산의 기본구조와 특성
- 2) pH, pKa의 의미
- 3) 촉매의 역할

2. 원하는 환경에서만 일을 하는 효소

파페인이라는 단백질은 일종의 프로테아제로서 펩티드 결합을 끊는 효소작용을 한다. 이 효소의 작용을 위해서는 25번째 아미노산인 시스테인과 159번째 아미노산인 히스티딘의 이온화 상태가 중요한 역할을 한다고 알려져 있다. 파페인이 효소로 관여하는 반응의 속도는 다음 그림과 같이 pH에 따라 변한다. (25번째 시스테인 R기의 $K_a=10^{-4}$ 이고, 159번째 히스티딘 R기의 $K_a=10^{-8}$ 으로 알려져 있음을 이용하라.)(2005년 서울대 정시)



- 1) 최적의 효소작용을 위해서는 25번째 시스테인과 159번째 히스티딘이 어떤 이온화 상태를 가져야 하는지를 예측하시오.
- 2) 최적의 pH에서 벗어나면 왜 반응속도가 느려지는지 효소가 촉매 역할을 한다는 사실을 바탕으로 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

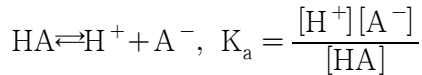
흔히 3대 영양소라 하면 탄수화물, 지방, 단백질을 말합니다. 이들 영양소에서 우리 몸은 에너지를 얻어 삶을 영위할 수 있죠. 그리고 이들은 모두 우리 몸을 구성하고 있는 성분이기도 합니다. 단백질은 고분자 화합물의 일종인데, 아미노산이라는 단위체들이 모여서 형성됩니다. 우리 몸도 수만종의 단백질로 구성되어 있는데, 이들을 잘게 쪼개어 보면 모두 20가지 단위체들의 조합으로 이뤄진 것을 알 수 있습니다.

20종의 단위체인 아미노산은 두 개의 작용기를 공통적으로 갖고 있습니다. 그 중 하나는 아미노기($-NH_2$)이고, 다른 하나는 카르복실기($-COOH$)입니다. 아미노산에 따라 이것 외에도 다른 작용기들이 존재하지만, 모든 아미노산은 이 두 가지 작용기를 필수적으로 갖고 있습니다.

이들 작용기의 상태에 따라 단백질의 성능이 제대로 발휘됩니다.

▶ 예시답안

1) 일반적으로 산 HA의 평형상수를 구하기 위해서는 아래의 화학식을 이용합니다.



위 식을 통해서 $\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{K_a}{[H^+]}$ 를 얻을 수 있습니다. 반응속도가 최적인 pH는 6으로 이때의 수소이온 농도는 10^{-6} 이 됩니다. 이들을 각각의 아미노산에 대입하면 25번 시스테인의 경우 $\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{10^{-4}}{10^{-6}} = 100$ 이 되고, 159번 히스티딘의 경우 $\frac{[A^-]}{[HA]} = \frac{10^{-8}}{10^{-6}} = 10^{-2}$ 이 됩니다.

시스테인의 경우에는 HA상태보다는 A^- 상태로 이온화가 돼있어야 하며, 반대로 히스티딘의 경우에는 이온화된 A^- 상태보다는 이온화가 돼있지 않은 HA 상태로 있어야 함을 알 수 있습니다.

2) 촉매란 자기 자신은 변화 없이 반응에 참여해 화학반응의 속도를 변화시키는 물질입니다. 그 역할에 따라 정촉매와 부촉매가 있습니다. 효소는 생물체 내에서 작용하는 촉매라 하겠습니다. 물론 효소는 기질특이성이라는 것이 있어서 특정한 물질에 대해서만 그 성질을 발휘합니다. 효소는 주로 단백질로 구성되어 있는데, 이들이 제 역할을 하기 위해서는 특별한 환경이 필요합니다. 그 중 하나가 바로 pH입니다.

문제1)에서 봤듯이 pH에 따라서 아미노산의 형태가 달라집니다. 아미노산의 형태가 달라지면 그것들의 중합체인 단백질도 모양이 달라집니다. 그 결과 효소작용도 영향을 받게 됩니다. 생물에서 배웠던 음식물 소화단계에서 각 소화기관별로 분비되는 소화효소가 다른 것도 그 한 예가 되겠습니다. 따라서 최적의 pH를 벗어나면 효소의 구조적인 변화를 통해 효소의 활성이 억제되고, 그 결과 반응속도가 감소하는 것입니다. 참고로 효소는 온도에 따라서도 반응속도에 영향을 받습니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 화학평형의 정의

2) 평형상수의 의미

3. 안정을 찾아가는 화학반응

포스겐($COCl_2$)이라는 물질은 일산화탄소(CO)와 염소기체(Cl_2)의 반응으로 생성된다. 초기에 일산화탄소와 염소기체가 각각의 부분압력이 2.2기압, 0.7기압이었다. $700^\circ C$ 에서 반응이 일어나 평형상태에 도달했을 때, 포스겐의 부분압력이 0.2기압에 해당하는 만큼 생성됐다. 이 반응의 평형상수 K 를 구하시오.

▶ 전문가 클리닉

화학평형의 사전적 의미는 가역반응에서 정반응의 속도와 역반응의 속도가 같을 때를 의미합니다. 가장 중요한 의미는 가역반응이라는 것입니다. 반응이 어느 한쪽으로만 100% 진행된다면 화학평형의 의미는 없습니다.

반응속도와 화학평형을 혼동하는 경우가 있는데, 반응속도는 화학반응이 진행되는 속도를 의미하며, 빠르기를 나타내는 정도로 단위시간 동안 생성물질의 변화량 또는 단위시간 동안 반응물

질의 변화량으로 나타냅니다. 즉 보통 단위시간에 대한 반응물질의 소실량(또는 농도 감소량) 또는 생성물의 생성량(또는 농도 증가량)으로 나타냅니다. 화학평형은 정반응과 역반응의 진행 속도가 같아 외견적으로 볼 때는 반응이 일어나지 않는 상태를 말하기에 화학평형상수는 정반응과 역반응의 반응속도상수의 비가 됩니다.

▶ 예시답안

$A+B \rightleftharpoons C+D$ 에서 평형상수 $K = \frac{[C][D]}{[A][B]}$ 입니다. 포스겐 생성 화학반응도 이 식처럼 표현할 수 있습니다. 단 이때 위 식은 각 물질의 농도를 이용했는데, 문제에서는 각 물질의 부분압력을 통해서 구해야 합니다. 화학평형상수는 단위가 없는 값이기에 식 오른쪽에 있는 값들은 모두 같은 단위를 가져야 합니다.

반응식은 $CO + Cl_2 \rightleftharpoons COCl_2$ 입니다. 초기 상태에서 CO는 2.2기압, Cl_2 는 0.7기압, $COCl_2$ 는 0기압이었으나, 반응이 진행돼 평형상태에 도달하면 $COCl_2$ 가 0.2기압만큼 생성됐다는 것을 확인할 수 있습니다. 0.2기압만큼의 $COCl_2$ 가 생성되면 CO와 Cl_2 는 각각 0.2기압만큼 감소합니다. 위 식에서 각각의 기체가 반응에 참여하는 비율이 1:1:1이기 때문입니다. 따라서 평형상태에서 CO는 2기압, Cl_2 는 0.5기압, $COCl_2$ 는 0.2기압만큼 존재합니다. 평형상수 $K = \frac{0.2}{2 \times 0.5} = 0.2$ 가 됩니다.

▶ 추가문제

화학평형과 관련된 법칙 중 ‘르 샤틀리에의 원리’란 것이 있다. $N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$ 반응에서 압력을 증가시키면 반응은 역반응으로 진행된다. 화학평형상수의 변화가 있어서인가? 아니면 다른 요인인지를 수식으로 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 아보가드로의 법칙
- 2) 이상기체의 정의
- 3) 이상기체와 실제기체의 차이점
- 4) 이상기체 상태방정식

4. 다르지만 같게 보이는 기체들

기체분자들 중에는 H_2 (수소)처럼 아주 작은 크기의 분자가 있는가 하면 C_4H_{10} (부탄)처럼 큰 분자로 이뤄진 종류도 있다. 그런데 아보가드로 법칙에 따르면 모든 기체는 같은 온도, 같은 압력일 때 같은 몰수면 그 부피가 같다. 어떻게 같은 수의 큰 분자로 이뤄진 기체와 작은 분자로 이뤄진 기체의 부피가 같을까?

▶ 전문가 클리닉

물질은 고체, 액체, 기체의 세 가지 상태를 갖습니다. 그 중에서도 기체나 액체와 관련된 내용들은 관계된 여러 법칙들이 있을 정도로 오랜 기간 동안 관심을 받아왔습니다. 특히 기체와 관련된 여러가지 법칙들이 있는데, 일정 온도에서 기체의 부피와 압력은 반비례한다는 법칙(보일의 법칙), 동일 압력에서 기체의 부피는 온도에 비례한다는 법칙(샤를의 법칙), 전체압력은 각 구성성분들의 부분압력의 합과 같다는 법칙(돌턴의 부분압력 법칙), 기체분자의 속도는 분자량

의 제곱근에 반비례한다는 법칙(그레이엄의 법칙) 등이 있습니다. 이런 법칙들 중에서 이상기체 상태방정식이 가장 중요하다고 생각됩니다. 위에서 언급한 각종 법칙들도 물론 알아둬야 하지만, 이상기체 상태방정식과 관련된 일련의 지시들도 다시 한 번 확인했으면 합니다.

▶ 예시답안

아보가드로의 법칙을 설명하기에 앞서 이상기체와 기체분자운동론에 대한 이해가 필요합니다. 이상기체란 기체분자의 종류에 관계없이 빈 공간 속에서 자유롭게 운동하며 열에 의해서만 그 분자의 운동에너지가 변한다는 기체분자운동론을 만족하는 가상의 기체입니다. 비록 질량과 에너지는 갖고 있지만, 기체분자들 간에 인력이나 반발력이 전혀 작용하지 않고, 분자 간 완전탄성충돌을 하며, 분자 자체의 부피가 없기 때문에 0K에서 부피가 0이며, 평균 운동에너지는 절대온도에 비례합니다.

아보가드로의 법칙에 따르면 기체는 종류에 관계없이 온도, 압력, 몰수가 동일하다면 차지하는 부피도 동일하다고 했습니다. 물론 분자 자체의 크기가 기체분자마다 다르기 때문에 이들의 영향을 고려하면 부피가 다른 것이 맞겠지만, 앞서 이상기체와 관련된 내용에서 봤듯이 분자 자체의 부피가 무시될 수 있는 수준에서는 아보가드로의 법칙에 따라 기체의 종류에 상관없이 동일한 부피를 갖게 됩니다.

따라서 실제기체가 이상기체에 가까워지기 위해서는 온도는 높을 수록, 압력은 낮을 수록, 분자량은 작을 수록 좋습니다. 압력이 낮을 수록 분자 간 거리가 멀어지기에 분자 간 인력이 작아질 것이고, 온도가 높을 수록, 분자량이 작을 수록 분자 간 인력이 작기에 분자 간 인력을 무시할 수 있기 때문입니다. 수소와 부탄의 경우에도 압력이 낮고 온도가 높은 상태에서는 두 분자의 크기 차이는 무시될 수 있습니다. 때문에 외형적인 전체 부피는 동일해지는 것입니다.

▶ 추가문제

- 1) 팍콘을 튀길 때 바늘로 팍콘 알갱이를 찌르면 제대로 튀겨지지 못한다. 그 이유는 무엇일까?
- 2) 하늘로 날아오르는 풍선의 상태는 어떻게 변화할 것인지 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 물질의 상평형곡선
- 2) 액체의 증기압력
- 3) 상전이에 필요한 에너지

5. 자유롭게 형태를 바꾸는 물질

물질은 고체, 액체, 기체의 세 가지의 상태로 존재할 수 있으며 서로 다른 상태로 전환된다. 상변화의 예로는 액체가 담긴 병뚜껑을 열어놓았을 때 액체가 증발하는 현상이다. 물, 에탄올, 에테르를 열린 용기에 담아놓았을 때 에테르가 가장 빨리 증발하게 된다. 이와 같은 상변화와 관련된 증발열의 개념을 설명하시오.(2004년 숙명여대 수시 2학기)

▶ 전문가 클리닉

물질은 고체, 액체, 기체라는 세 가지 상을 갖습니다. 물질이 상변화를 한다고 해서 물질이 갖는 고유한 성질이 변화하는 것은 아닙니다. 단지 물질을 구성하고 있는 단위구조(분자나 원자) 간 결합력의 변화가 생기는 것입니다. 예를 들어 물의 경우에 얼음, 물, 수증기를 구성하는 기

분구조는 H_2O 로 동일하지만, 각 물분자가 어떤 영향력 아래에 존재하는가의 차이로 인해 세 가지 상을 갖는 것입니다. 고체상은 각 기본구조들이 강하게 결속돼 있고, 액체는 고체보다는 약하지만 어느 정도의 결속력을 갖고 있으며, 기체는 각 기본구조들의 결속력이 미미한 상태입니다. 물질이 각 상에서 다른 상으로 전이될 때는 기본구조 간에 존재하는 결속력을 해소할 정도의 에너지가 필요합니다.

▶ 예시답안

증발열이란 어떤 물질이 기화될 때 외부에서 흡수하는 열을 뜻하며, 기화열 또는 증발잠열이라고도 합니다. 증발열이 큰 물질일수록 주변의 열을 많이 흡수하게 됩니다. 모든 액체가 기체로 될 때는 증발열이 필요한데, 증발온도가 주위온도보다 낮을 때는 주위로부터 열을 흡수해 주위가 시원해집니다. 보통 증발열은 일정한 온도에서의 단위질량당 또는 1mol당 열량으로 표시합니다. 증발열은 액체분자 사이의 힘을 제거해 분자를 따로따로 떨어뜨리기 위해 사용하는 에너지입니다. 따라서 온도를 상승시 키는 효과가 없는 숨은열의 일종이며, 온도에 따라 약간 변합니다. 이와 반대로 어떤 기체가 같은 온도의 액체로 변할 때는 증발열과 같은 양의 열을 방출하는데, 이것이 응축열입니다. 에테르가 물이나 에탄올보다 빨리 증발하는 이유는 같은 온도에서 액체분자들을 서로 떼어놓기 가장 쉽기 때문입니다. 흔히 증발열이 낮을 수록 끓는점이 낮다고 할 수 있습니다.

▶ 추가문제

- 1) 실내의 습도를 측정하기 위해서는 건습구 온도계를 이용하기도 한다. 어떤 원리를 이용한 것인지 설명하시오.
- 2) 땀을 많이 흘리는 더운 여름날에는 물로 자주 씻게 된다. 씻을 때 사용되는 물의 온도가 어떤 상태일 때 효과를 가장 많이 얻을 수 있을까? 그 이유는 무엇인지 설명하시오.

2005년 05월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 이번 호는 산-염기, 화학반응속도, 삼투압, 기체 관련 법칙, 생활 속의 화합물에 대해서 다뤄봤습니다. 문제만 보고도 핵심을 도출하는 자신만만한 모습을 기대합니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 산-염기의 정의 2) 산-염기 구분법 3) 산-염기의 실례 4) 수소이온농도의 의미

1. 산-염기가 무엇일까?

일반적으로 산은 신맛을 내고 청색 리트머스 시험지를 적색으로 변하게 하며, 염기는 주로 쓴맛을 내고 적색 리트머스 시험지를 청색으로 변하게 한다. 이 외에도 산과 염기에 관련된 아래 질문에 답하시오.

1) 산과 염기의 브뢴스테드-로우리(Bronsted-Lowry) 정의와 아레니우스 정의를 말하고 산, 염기를 한 가지씩 예시하시오(숙명여대 2004년 수시 2학기).

2) pH의 정의를 설명하고 이에 따른 산-염기를 구분하시오.

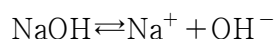
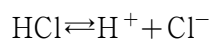
▶ 전문가 클리닉

인류는 산-염기의 존재를 기원전부터 알고 있었습니다. 물론 그것들이 나타내는 현상들의 원인은 확실히 인식하지 못했지만 말입니다. 오늘날 우리는 그런 현상들이 H^+ 와 OH^- 가 수용액에서 중요한 역할을 하기 때문임을 알고 있습니다. 이런 사실을 알게 된 화학자들은 이 두 이온의 농도를 변화시키는 물질을 산과 염기라는 이름으로 구별해왔습니다. 어떤 물질을 산이라고 부르고, 어떤 물질을 염기라고 부를지는 각 시대에 걸맞게 정의들이 나왔는데, 이 정의들은 산과 염기가 갖는 독특한 성질을 바탕으로 한 것입니다.

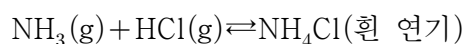
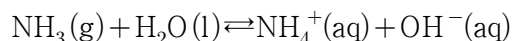
초등학교, 중학교 때 배웠던 내용들을 종합적으로 살펴보면, 산은 일반적으로 수소를 함유하고 용액상태가 되면 전기전도도가 우수하고 아연금속기체와 반응해 수소기체를 내보내고, 리트머스 색을 붉게 물들이며 신맛을 냅니다. 반면에 염기는 용액상태일 때 산처럼 전기전도도가 우수하고, 만졌을 때 미끈거리며, 산과 반응하고, 리트머스 색을 푸르게 변화시키며 수용액은 혀를 찌르는 듯한 맛을 냅니다.

▶ 예시답안

1) 아레니우스의 산-염기 정의에 따르면 산이란 수소이온(H^+)을 내놓는 물질이며, 염기란 수산화이온(OH^-)을 내놓는 물질입니다. 한편 브뢴스테드-로우리의 정의에 따르면 산은 아레니우스의 정의처럼 수소이온(H^+)을 내놓는 물질이지만, 염기는 수소이온(H^+)을 받아들이는 물질이라고 했습니다. 흔히 알고 있는 대표적 산-염기가 염산(HCl)과 수산화나트륨(NaOH)입니다. 이들은 각각 물에 녹을 때 H^+ 와 OH^- 를 내놓습니다.



이렇게 보면 굳이 브뢴스테드-로우리의 정의가 필요할까 하는 생각이 들겠지만, 수용액 상태가 아닌 상황에서는 아레니우스의 정의에 따라 산-염기를 구분할 수 없게 됩니다. 그 예로 많이 드는 것이 바로 암모니아(NH_3)입니다. 암모니아를 물에 녹이면 암모니아수가 돼 아레니우스의 정의에 따라 염기가 되지만, 기체상태에서 염화수소기체와 반응할 때는 염기로 정의하기가 어렵습니다.



그렇지만 브뢴스테드-로우리의 정의에 따르면 수소이온(H^+)을 내놓는가 받아들이는가에 따라서 산-염기를 정의합니다. 암모니아기체는 수소이온을 받아들이기 때문에 염기가 되는 것입니다. 참고로 산-염기의 가장 폭넓은 정의는 루이스의 정의입니다. 루이스는 전자쌍의 개념을 도입해 산-염기를 정의했는데, 산이란 전자쌍을 받아들이는 물질이고, 염기란 전자쌍을 제공하는 물질입니다.

- 2) 산-염기도 물질마다 위계질서가 있습니다. 더 강한 산이 있고, 더 강한 염기가 있는 것입니다. 염산은 강산에 속하며, 탄산은 약산에 속합니다. 이런 구분이 가능해진 것은 우리가 pH라는 개념을 이미 알고 있기 때문입니다.

pH는 수소이온농도를 의미하며, $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ 입니다. $-\log$ 의 정의에 따라 이 값이 크면 염기성이 강한 것이고, 값이 작을 수록 산성이 강한 것입니다. 흔히 물의 K_w 값이 1.0×10^{-14} 이라고 알고 있습니다. $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ 에서 $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$ 라는 식을 통해 값을 구하면 중성의 물은 pH가 7임을 알 수 있습니다. 단순히 pH 값만으로 산-염기를 구분한다면 pH가 7보다 작으면 산성, 7보다 크면 염기성입니다.

▶ 추가문제

- 1) 대기환경이 오염되면서 새로운 문제로 부각되는 것이 산성비다. 산성비란 무엇이며, 그 원인을 설명하고 산성비를 해소할 수 있는 대책이 있으면 말하십시오.
- 2) 봄철에 내리는 비는 다른 때보다 pH가 다소 높습니다. 그 이유는 무엇인지 설명하십시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 화학반응속도의 정의
- 2) 화학반응의 조건
- 3) 화학반응속도를 변화시킬 수 있는 요인

2. 화학반응을 빠르게 또는 느리게 하고 싶으면?

모든 가정집마다 빠지지 않고 있는 유용한 가전제품이 있다. 바로 냉장고다. 음식물을 구입했을 경우, 보통 냉장고에 보관하는 경우가 많다. 냉동실에 넣어 얼리기도 한다. 음식물을 좀더 오래 보관하기 위해서다. 이를 염두에 두고 화학반응속도를 변화시킬 수 있는 요인들을 설명하십시오.

▶ 전문가 클리닉

화학반응은 주변에서 우리가 알게 모르게 진행되고 있습니다. 반응이 급격하게 진행되는 경우도 있으며, 인식할 수 없을 정도로 천천히 진행되는 경우도 있습니다. 폭발이나 침전반응은 전자의 경우가 될 것이고, 철의 부식반응은 후자의 예가 될 수 있겠죠. 이런 화학반응속도는 일정시간 동안 변화된 반응물질이나 생성된 물질의 농도를 측정해 구합니다.

$$\text{반응속도} = (\text{반응물질의 농도변화}) / (\text{반응시간}) = (\text{생성물질의 농도변화}) / (\text{반응시간})$$

일반적인 화학반응식에서 반응속도는 주로 농도변화를 통해서 측정하는데, 이를 굴레베르그와 보르게의 질량작용의 법칙이라고 합니다.

$aA + bB \rightarrow cC + dD$ 에서 반응속도 v 는 반응물질 A, B의 농도에 비례하기에 비례상수 k 를 도입해 반응속도 식을 구하면, $v = k[A]^m[B]^n$ 이 됩니다.

▶ 예시답안

일반적으로 화학반응속도는 반응하는 물질의 구조와 성질에 따라 다릅니다. 또한 같은 물질의 반응에서도 반응물질의 표면적, 농도, 압력, 온도, 촉매 등에 따라 속도가 달라집니다.

첫째, 반응물질의 구조에 따라 화학반응의 속도가 달라집니다. 이온 간의 반응이 빠르게 진행되는데 반해 공유결합을 끊고 새로운 결합을 형성해야 하는 반응은 비교적 느리게 진행됩니다.

둘째, 반응물질의 표면적이 클수록 반응은 빠르게 진행됩니다. 액체나 기체상태의 반응에서는 별 상관이 없지만, 고체상태에서는 실제로 반응이 일어나는 것이 고체의 표면이기 때문에 반응물질의 표면적을 증가시키면 반응물질 사이의 유효충돌횟수가 증가해 반응속도가 빨라집니다.

셋째, 반응물질의 농도가 클수록 화학반응은 빠르게 진행됩니다. 반응물질의 농도가 크면 물질들 간의 충돌 횟수가 많아져 반응이 빠르게 진행됩니다. 물론 기체의 경우는 압력의 개념이 함께 도입되는데 압력이 커지면 부피가 감소해 상대적으로 농도가 증가하는 것처럼 보이기 때문입니다.

넷째, 온도가 높을 수록 반응속도는 증가합니다. 물질을 구성하는 입자들은 끊임없이 열운동을 하며 움직이고 있습니다. 이때 온도는 입자들이 갖는 운동에너지를 나타내는 척도가 됩니다. 높은 온도에 있는 입자들은 낮은 온도에 있는 입자들보다 에너지가 크며, 온도가 상승하면 활성화에너지보다 큰 에너지를 갖는 입자의 수가 증가하기에 화학반응속도가 빨라지게 됩니다. 냉장고가 갖는 의미도 여기서 나오는 것입니다.

다섯째, 촉매의 사용으로 화학반응속도를 변화시킬 수 있습니다. 두 가지의 촉매가 있는데, 정촉매는 활성화에너지(E_a)를 낮춰서 화학반응을 빠르게 진행시키는데 반해 부촉매는 정촉매 역할과는 반대로 행동해 화학반응을 느리게 진행시킵니다.

▶ 추가문제

- 1) 활성화에너지란 무엇인지 설명하고, 화학반응의 속도와는 어떤 관계가 있는지 말하시오.
- 2) 효소와 촉매의 공통점과 차이점을 설명하시오(서울대 약학과 2000년).

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 용액의 총괄성
- 2) 삼투압의 의미

3. 선택받은 자만이 통과할 수 있다

가을철 김장을 하기에 앞서 배추를 소금물에 절여 숨을 죽인다고 한다. 소금물에 절이면 수분이 빠져나와 부피가 줄어드는데 이는 삼투현상을 이용한 것이다. 삼투현상을 이용해 아래 질문에 답하시오.

- 1) 25g의 미지 단백질을 1.0L의 물에 녹였더니 25℃에서 삼투압이 10mmHg였다. 이 미지 단백질의 분자량을 구하시오.
- 2) 100mL의 물에 설탕(C₁₂H₂₂O₁₁)을 34.2g 녹였다. 이 용액의 온도가 27℃일 때, 용액의 삼투압을 구하시오.

▶ 전문가 클리닉

셀로판지나 세포막 등은 용매분자는 자유롭게 통과하게 두지만, 큰 용질 분자들은 통과시키지 않습니다. 이처럼 물질의 입자를 선택적으로 통과시키는 막을 반투막이라고 합니다. 반투막을 사이에 두고 서로 다른 농도의 용액이 있을 경우 농도가 낮은 쪽에 있는 용매 분자가 농도가 높은 쪽으로 이동을 하는데, 이를 삼투현상이라고 합니다.

삼투압은 삼투현상으로 인해 증가된 용액의 부피가 처음 부피와 같도록 증가된 부피에 가해진 압력입니다. 삼투압은 비휘발성, 비전해질인 용질이 녹아있는 묽은 용액의 증기압력내림, 끓는점오름, 어는점내림과 같이 모두 용질의 종류에는 관계가 없으며 일정량의 용액 속에 녹아있는 용질의 입자 수에만 비례합니다. 이런 것들을 용액의 총괄성이라고 합니다. 전해질 수용액의 경우 전해질이 이온화하기 때문에 같은 몰랄농도의 비전해질 수용액보다 입자 수가 더 많아져 용액의 총괄성 특성들이 더 크게 나타납니다.

▶ 예시답안

- 1) 일반적으로 비휘발성이며 비전해질인 용액이 녹아있는 묽은 용액의 삼투압은 용매나 용질에 관계없이 용액의 몰농도(C)와 절대온도(T)에 비례하는데, 이를 반트 호프의 법칙이라고 합니다.

$$\pi = CRT (R \text{은 기체상수, } R = 0.082 L \cdot atm \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1})$$

몰농도 $C = \frac{n}{V} mol/L$ 이므로 반트 호프 식을 목적에 맞게 변경하면 $\pi V = nRT$ 가 됩니다.

$n = \frac{w}{M}$ 이라는 점을 이용하면 식은 $\pi V = \frac{w}{M} RT$ 가 됩니다.

각 값들을 식에 대입하면 $\frac{10}{760} \times 1.0 = \frac{25}{M} \times 0.082 \times 298$ 이 됩니다. 이때 미지 단백질의 분자량 $M = 25 \times 0.082 \times 298 \times 76 = 46428.4$ 입니다.

- 2) 1)과 같이 반트 호프 식을 이용하면 삼투압을 구할 수 있습니다. 설탕의 물질량은 34.2g/mol, 절대온도는 300K, 부피는 0.1L임을 이용합니다.

$$\pi = CRT = \frac{wRT}{VM} = \frac{34.2 \times 0.082 \times 300}{0.1 \times 342} = 25.6 atm \text{입니다.}$$

▶ 추가문제

달걀 겉껍질을 벗긴 다음 물, 식염수, 바닷물에 달걀을 담가두면 어떤 현상이 벌어지겠는가?

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 이상기체 상태방정식
- 2) 돌턴의 부분압력 법칙
- 3) 화학반응식 완성하기

4. 기체에서의 반응

327℃에서 가로, 세로, 높이가 각각 10nm인 상자 안에 5개의 질소분자와 10개의 수소분자를 넣었다. 다음 물음에 답하시오(1nm는 10^{-9} m이며, 아보가드로수는 6.0×10^{23} 으로 한다).(한양대 2004년 수시)

- 1) 상자 안의 전체압력(기압)을 구하시오(단 질소분자와 수소분자는 이상기체로 가정한다. 기체상수는 $0.08 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$).
- 2) 상자 안의 질소분자와 수소분자들이 반응해 암모니아를 만들었다. 이 반응을 반응식으로 나타내시오.
- 3) 이때 암모니아 분자 2개가 생겼다. 각 기체의 부분압력과 전체압력(기압)을 구하시오(단 상자 크기의 변화는 없으며 모든 기체는 이상기체로 가정한다).

▶ 전문가 클리닉

물질은 세 가지 상을 갖고 있습니다. 그 중 하나가 바로 기체입니다. 기체는 오랜 시간 동안 과학자들의 관심을 받아왔고, 그 결과 다양한 법칙들이 알려졌습니다. 동일 온도에서 압력과 부피는 반비례한다는 보일의 법칙, 동일 압력에서 기체의 부피는 절대온도에 비례한다는 샤를의 법칙, 이들이 하나로 표현되는 이상기체 상태방정식 등이 널리 쓰이는 내용들입니다.

기체와 관련된 법칙은 이들로 국한되지는 않습니다. 기체의 분자량과 분출속도의 관계를 다룬 그레이엄의 법칙이나 각 기체들의 부분압력은 전체의 압력과 같다는 돌턴의 부분압력 법칙 등 다양한 내용의 기체 관련 법칙들이 있습니다. 2004년에 기출된 한양대 수시문제는 이런 다양한 법칙들 중에서도 이상기체 상태방정식과 돌턴의 부분압력 법칙에 관한 내용을 알고 있는가를 묻고 있습니다.

▶ 예시답안

- 1) 이상기체 상태방정식은 $PV=nRT$ 입니다. 이때 P는 압력(atm), V는 부피(L), n은 몰수(mol), R은 기체상수, T는 절대온도(K)를 뜻합니다. 상자에는 수소분자와 질소분자가 존재하기에 각 기체분자를 이상기체 상태방정식을 이용해 각 기체분자가 갖는 압력을 구한 뒤에 돌턴의 부분압력 법칙을 이용해서 전체적인 압력을 구할 수 있습니다.

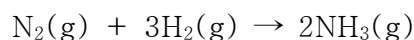
상자의 부피는 10^{-24} m^3 이고, 1 m^3 는 10^3 L 에 해당하기에 상자의 부피를 L로 변환시키면, 10^{-21} L 임을 알 수 있습니다. 마찬가지로 절대온도 $T = \text{섭씨온도}(^{\circ}\text{C}) + 273$ 이므로 600K입니다.

$$P_{\text{수소}} = \frac{nRT}{VM} = \frac{10^{-22}}{6} \times \frac{0.08 \times 600}{10^{-21}} = 0.8 \text{ atm}$$

$$P_{\text{질소}} = \frac{nRT}{V} = \frac{10^{-22}}{12} \times \frac{0.08 \times 600}{10^{-21}} = 0.4 \text{ atm}$$

따라서 $P_{\text{전체}} = P_{\text{수소}} + P_{\text{질소}} = 1.2\text{atm}$ 입니다.

- 2) 질소분자는 N_2 이고, 수소분자는 H_2 이며, 암모니아는 NH_3 라는 것을 알고 있으면 이들을 화학반응식 양쪽에 채워넣을 수 있습니다. 그리고 반응식 양쪽에 존재하는 질소원자와 수소원자의 개수를 맞추기 위해 적당한 계수를 찾으면 됩니다.



질소 1분자가 3분자의 수소와 반응해 위에서처럼 2분자의 암모니아를 생성합니다.

- 3) 암모니아 분자 2개가 생기는 반응으로 인해 각 분자가 차지하는 압력이 변합니다. 수소는 7개, 질소는 4개의 분자가 되며, 암모니아는 2분자가 존재하게 됩니다.

$$P_{\text{수소}} = \frac{nRT}{V} = \frac{7 \times 10^{-23}}{6} \times \frac{0.08 \times 600}{10^{-21}} = 0.56\text{atm}$$

$$P_{\text{질소}} = \frac{nRT}{V} = \frac{4 \times 10^{-23}}{6} \times \frac{0.08 \times 600}{10^{-21}} = 0.32\text{atm}$$

$$P_{\text{암모니아}} = \frac{nRT}{V} = \frac{2 \times 10^{-23}}{6} \times \frac{0.08 \times 600}{10^{-21}} = 0.16\text{atm}$$

따라서 $P_{\text{전체}} = P_{\text{수소}} + P_{\text{질소}} + P_{\text{암모니아}} = 1.04\text{atm}$ 입니다.

참고로 문제 1)에서 질소 5분자와 수소 10분자가 있을 경우에는 1.2기압에 해당됐지만, 수소 7분자, 질소 4분자, 암모니아 2분자가 있을 경우에는 1.04기압에 그쳤습니다. 이는 전체 기체분자 수가 15에서 13으로 감소했기 때문입니다.

▶ 추가문제

- 1) 모든 기체는 구성하는 분자 형태가 다름에도 불구하고 열팽창 정도는 같습니다. 그 이유는 무엇인지 설명하시오.
- 2) 이상기체는 말 그대로 이상적인 기체를 의미합니다. 실제기체가 이상기체처럼 행동할 수 있는 환경은 어떻게 조성돼야 할지 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 비누의 원리
- 2) 비누와 합성세제의 차이점

5. 생활속의 화학

비누와 합성세제의 기본적 존재목적인 때를 제거하는 과정을 언급하고, 이들의 차이점을 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

아침에 눈을 뜨고 난 뒤 다시 잠자리에 들기 전까지 우리는 치약, 비누, 의약품 등 다양한 화합물의 세계를 경험하곤 합니다. 생활의 편리함을 더 추구해 나가는 오늘날에는 과거보다도 더 많은 화합물이 존재하고 있으며, 미래에는 이보다도 더 많은 화합물이 우리 사회에 존재할 것입니다.

생활속의 화합물 중 널리 이용되는 것이 바로 비누와 합성세제입니다. 두 가지 모두 궁극적인 목적은 때를 제거하는 것입니다. 물론 비누와 합성세제가 없었던 과거에도 때를 제거하기 위한 수단이 없진 않았습니니다. 재를 물에 풀어서 사용하는 것도 한 방안이었습니니다. 그렇지만 그 효율 면에서는 오늘날의 비누나 합성세제를 따라올 수 없었습니다. 비누나 합성세제는 기본적으로 소수성기와 친수성기로 구성돼 있습니다. 이런 구조가 때를 제거하는데 유용한 역할을 하는 것입니다. 이런 독특한 구조가 비누가 계면활성제의 역할을 수행할 수 있게 해줍니다.

▶ 예시답안

비누는 동물성 또는 식물성 지방에 수산화나트륨(NaOH)이나 수산화칼륨(KOH)을 넣고 가열해 만듭니다. 반응식은 $(RCOO)_3C_3H_5 + 3NaOH \rightarrow 3RCOONa + C_3H_5(OH)_3$ 입니다. 이를 ‘비누화 반응’이라고 하며, 생성된 지방산의 나트륨염 또는 칼륨염이 바로 비누입니다.

비누는 물 분자와 친화력이 큰 친수성기(이온성 부분), 기름과 친화력이 큰 소수성기(탄화수소 부분)로 구성됩니다. 비누가 물에 녹으면 친수성기는 물과 잘 섞이지만, 소수성기는 물을 피해 기름 성분의 때와 잘 섞입니다. 이런 방법으로 비누 분자들은 기름때를 작은 조각으로 나눠 표면을 둘러싼 작은 공 모양(마이셀 구조)으로 용액에 퍼지게 됩니다. 이들 표면에는 전하를 띠는 부분($-COO^-$)이 있어 서로 반발해 뭉쳐지지 않고, 물에 씻겨나가 깨끗해지는 것입니다.

합성세제도 기본적인 구조는 소수성기와 친수성기로 구분해 살펴볼 수 있습니다. 그 결과 때를 제거하는 원리도 비누와 같습니다. 합성세제와 비누의 가장 큰 차이점은 센물에서의 세척능력입니다. 비누의 경우 센물에 있는 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} 등과 반응해 앙금을 형성하기 때문에 그 역할을 제대로 수행하지 못하는데 반해, 합성세제는 친수성 부분이 다른 형태이기 때문에 센물에서도 앙금이 형성되지 않고 세척력을 유지할 수 있습니다. 덧붙여 합성세제에는 세척능력을 더 높이기 위해 다양한 종류의 물질을 첨가하곤 합니다.

2005년 06월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 출제 경향 및 과목 대비 방안

이번 호에서는 화학평형의 이동, 나노과학의 응용, 기체 상태방정식, 분자의 모양, 화학전지와 전기분해라는 다섯 가지 주제를 다루겠습니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 가역반응 2) 화학평형상태 3) 화학평형의 법칙 4) 르 샤틀리에의 원리

1. 어느 쪽으로 가는 걸까? - 화학평형

식료품을 오랜 기간 동안 변질 없이 보존하는 것은 인류의 바램이었다. 각종 방법들이 개발됐지만, 오늘날에는 첨가제를 이용한 보존법이 많이 사용되고 있다. 방부제가 그 예인데 이를 사용함으로써 화학반응의 변화를 이끌어낸다. 이런 결과를 내는데 관여할 수 있는 요인들에 관해서 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

최근 들어서 많은 사람들은 김치에 대해 높은 관심을 보이고 있습니다. 항암효과에 된장만큼 높은 효과가 있다는 것은 예전부터 보고되곤 했지만 말이죠. 김치는 식물이 잘 자라지 못하는 겨울철에서부터 그 다음해 봄에 이르기까지 먹기 위해서 담그곤 했습니다. 그만큼 오랜 기간을 큰 변화 없이 상태를 유지하기 위해서는 나름대로의 보존법이 필요합니다.

흔히 식품이 상하는 것은 화학반응을 거쳐 변성이 됐다는 것을 뜻하며, 특히 산소와의 반응이 이 과정에서 큰 역할을 하곤 합니다. 오늘날에는 첨가제를 통해 이런 화학반응을 억제하곤 합니다. 첨가제의 투입은 평형상태에 있던 반응을 정반응의 진행도를 낮추는 쪽으로 진행시키기 위한 것입니다. 즉 첨가제의 투입으로 화학평형 이동이 발생한다는 것입니다. 첨가제의 투입은 어떤 점에서 평형이동을 야기할 수 있었는지, 평형이동을 일으킬 수 있는 다른 요소들은 없는지 생각해 봅시다.

▶ 예시답안

방부제의 사용은 식품이 변질되는 조건을 차단하기 위한 것입니다. 조건이 차단된다면 반응이 진행될 수 없기 때문입니다. 평형상태의 화학반응을 어느 한쪽으로 평형이동 시킬 수 있는 요소들로는 농도, 온도, 압력이 있습니다. 이 요인들이 변화하면 반응의 평형상태는 변화 요인의 영향이 감소하는 쪽으로 진행되곤 합니다.

농도의 경우 평형상태의 반응에서 반응물의 양을 늘리면 늘어난 반응물의 효과를 줄이기 위해 생성물의 양을 늘리는 쪽으로 진행되는 정반응이 우세하게 작용합니다. 반대로 생성물의 양을 늘리면 늘어난 생성물의 효과를 감소시키기 위해서 반응물의 양을 늘리는 역반응이 우세하게 작용해 새로운 평형상태에 도달하게 됩니다.

두 번째로 온도의 변화 조건에 따른 평형상태의 이동은 그 반응이 흡열반응인지 발열반응인지에 따라 달라집니다. 만약 반응이 흡열반응일 때 온도를 높인다면 높아진 온도를 제거하기 위한 정반

응으로 반응이 진행되지만, 발열반응일 때라면 역반응으로 진행돼 평형상태에 도달합니다.

세 번째로 압력의 변화에 따른 평형이동을 생각해볼 수 있습니다. 평형상태의 반응에서 압력을 높이면 압력의 효과를 감소시키는 방향, 즉 기체의 몰수가 감소하는 방향으로 진행됩니다. 반대로 압력을 낮추면 낮아진 압력의 효과를 감소시키기 위한, 즉 기체의 몰수가 증가하는 방향으로 평형이동이 일어납니다.

르 샤틀리에의 원리는 이 같은 평형이동을 일으킬 수 있는 요인들에 대한 설명을 하고 있습니다. 특정한 반응에서 원하는 물질을 높은 수율로 얻고자 할 때 화학반응의 구성요소들을 안다면 외부 조건의 변화를 통해 손쉽게 얻을 수 있습니다.

▶ 추가문제

- 1) 공통이온효과와 완충용액의 원리를 화학평형의 이동과 관련지어 설명하시오.
- 2) 화학평형을 결정하는 인자들로는 무엇이 있는지 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 나노의 정의

2) 나노기술의 응용분야

2. 나노과학의 응용 - 물질의 구조

‘나노란 10억분의 1을 나타내는 단위로 회랍어의 나노스(난쟁이)에서 유래했다. 1나노미터(nm)는 10억분의 1미터를 말한다. 나노기술은 물질을 나노 크기의 수준에서 조작, 분석하고 이를 제어할 수 있는 과학과 기술을 지칭한다. 1980년대에 개발된 주사형 검침현미경은 미세한 부분까지의 관찰을 가능하게 해 나노기술의 발전을 가져오는 결정적인 계기가 됐다. 나노과학을 크게 보면 나노 크기의 물질로 이뤄진 미세한 재료나 기계를 만드는 기술, 나노 크기의 영역에서 나타나는 새로운 물리 현상을 응용해 장비의 성능을 향상시키는 기술, 그리고 눈으로는 볼 수 없는 미세한 영역의 자연현상을 측정하고 예측하는 기술로 나뉘볼 수 있다. 나노 크기의 입자가 갖는 가장 큰 특징 중 한 가지는 일정한 부피 안에 존재하는 입자의 표면적이 기존의 재료에 비해 매우 크다는 것이다.’(2004년 이화여대 수시 2학기)

- 1) 한 변의 길이가 1mm인 정육면체를 잘게 나뉘서 한 변의 길이가 1nm인 정육면체를 10^{18} 개 만들면 전체 표면적은 몇 배로 늘겠는가?
- 2) 나노기술이 활용되는 다음 4가지의 경우에서 나노입자 또는 나노 크기의 구조물들이 제공하는 이점을 간단히 설명해 보시오.

- ① 나노입자 화장품
- ② 의료 분야에 사용되는 나노로봇
- ③ 환경 분야에 사용되는 나노필터
- ④ 항균·살균기능이 뛰어난 은으로 만든 나노입자

▶ 전문가 클리닉

흔히 21세기는 3T의 시대가 될 것이라고들 합니다. IT, BT, NT를 말하는 것이죠. 어찌 보면 화학은 이들 3T에 모두 해당이 되는 것 같네요. 화학이란 것이 원자나 분자 등에서 시작되니

까요. 그 중에서도 2004년 이화여대 수시에서는 NT와 관련된 질문을 던졌습니다.

NT의 발전으로 인해 우리 산업과 생활이 얼마나 발전이 있겠는가를 물어보는 것이죠. 노벨물리학상 수상자인 미국 콜롬비아대의 호르스트 스트뢰머 교수는 나노기술에 대해 다음과 같은 정의를 내리기도 했습니다.

"나노기술은 원자와 분자로 구성된, 자연이라 불리는 멋진 장난감을 다루는 핵심 기술이며 인류는 이것을 통해서 무한히 새로운 것들을 창조할 수 있다."

나노라는 단위는 우리가 짐작조차 할 수 없는 것입니다. 극미세현미경을 이용해야 간신히 그 차이를 볼 수 있을 정도니까요. 그 수준을 조절할 수 있다는 것은 우리 생활의 획기적 변화를 당연히 도출할 것입니다. 나노과학기술의 발달은 다방면에 파급효과가 크겠지만, 2)에서 물은 4가지 분야에서는 어떤 효과들이 있겠는지 생각해봤으면 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 한 변의 길이가 1mm인 정육면체의 표면적은 6mm^2 가 됩니다. 이 정육면체를 한 변의 길이가 1nm인 정육면체로 나눈다면, 총 10^{18} 개만큼의 새로운 정육면체가 생성됩니다. 한 변의 길이가 1nm인 정육면체의 표면적은 $6\text{nm}^2(6 \times 10^{-12}\text{mm}^2)$ 가 됩니다. 이런 정육면체가 10^{18} 개 존재하기에 정육면체들의 전체 표면적은 $6 \times 10^{-12} \times 10^{18}\text{mm}^2 = 6 \times 10^6\text{mm}^2$ 입니다. 1mm인 정육면체를 1nm인 정육면체로 쪼개면 전체의 부피는 동일하지만, 표면적은 10^6 배만큼 증가하게 됩니다.
- 2) ① 나노입자 화장품 : 피부를 희게 하는 미백 화장품, 자외선 차단 선크림, 주름살 제거 화장품 등 우리가 사용하고 있는 다양한 기능성 화장품에는 이미 나노물질이 들어있습니다. 나노 화장품의 원리는 10~200nm 크기의 나노 입자에 생리활성물질을 담아 피부조직으로 침투시키는 것입니다. 나노기술이 기능성 화장품 분야에 응용되는 까닭은 특정 성분을 피부 속에 전달하는 역할을 하는 나노 구조체가 피부 세포보다도 크기가 작기 때문입니다. 뿐만 아니라 나노 구조체는 미백이나 주름살 제거 기능을 발휘하는 생리활성 물질과도 쉽게 결합합니다. 생리활성물질과 결합한 나노 화장품을 바르면 미백 또는 자외선 차단 등 원하는 효과를 얻을 수 있습니다.
- ② 의료 분야에 사용되는 나노로봇 : 병을 치료하기 위해서 약물이나 수술 등의 방법을 이용하고 있습니다. 그렇지만 이들은 나노기술이 발전한다면 그다지 정밀하지 못한 방법이 될 것입니다. 보통 세포 크기는 수 μm 에 해당합니다. 나노로봇은 세포보다도 1000배가량 더 미세합니다. 나노로봇에 현미경을 달고 있으면 인체 내에서 자유롭게 움직이면서 병이 발생한 부위만을 찾아서 그 원인을 손쉽게 제거할 수 있을 것입니다.
- ③ 환경 분야에 사용되는 나노필터 : 나노필터를 이용하면 좀더 미세하게 거를 수 있기에 먼지나 진드기, 바이러스 등의 유해물질을 손쉽게 제거해 쾌적한 환경을 조성할 수 있을 것입니다.
- ④ 항균·살균기능이 뛰어난 은으로 만든 나노입자 : 은 (Silver)은 자연의 무기물으로써 인체에 아무런 영향을 주지 않는 친환경적 물질로 항균효과와 탈취효과가 우수한 무기항균제입니다. 나노 수준의 은 이온이 세균의 세포 안에 들어가 세포벽을 손상시키거나 세균의 단백질에 변성을 일으켜 세포의 활성화를 막고 결국 세포를 파괴해 살균작용을 합니다. 또 옷감에 코팅되는 것처럼 은 이온이 달라붙어 항균 역할을 합니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 기체분자운동론
- 2) 이상기체 상태방정식
- 3) 이상기체와 실제기체

3. 나도 너처럼 되고 싶어 - 기체

$(P + \frac{an^2}{V^2})(V - nb) = nRT$ 는 반데르발스 상태방정식입니다. 이 수식이 갖는 의미는 무엇인지 이상기체론과 관련지어 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

물질의 세 가지 상은 고체, 액체, 기체입니다. 다른 상들에서는 분자들의 운동이 제한적이지만 기체상에서는 자유롭게 운동을 합니다. 그렇기에 기체와 관련된 현상들을 설명하고 예측하는데 다양한 법칙들이 도입됐습니다. 압력과 기체의 부피 관계를 설명하는 보일의 법칙, 온도와 부피의 관계를 설명하는 샤를의 법칙이 있습니다. 이들 외에도 돌턴의 부분압력법칙, 기체분자의 확산운동을 설명하는 그레이엄의 법칙 등이 있습니다.

그 중 가장 중요하게 다뤄왔던 것은 이상기체 상태방정식입니다. 앞서의 법칙들은 모두 이상기체 상태방정식으로 설명이 가능하기 때문입니다. 그렇지만 실제의 기체는 이상기체와는 엄연히 다르기 때문에 이상기체 상태방정식만으로는 완벽하게 들어맞지 않게 됩니다. 그렇기에 이것의 보정작업이 필요하고, 그 산물이 바로 반데르발스 상태방정식입니다.

▶ 예시답안

이상기체란 기체분자운동론에 적합한 가상의 기체를 말합니다. 기체분자운동론은 기체분자가 자유롭게 운동을 하는 성질을 기술한 것입니다.

첫째, 기체분자들은 서로 멀리 떨어져 있으므로 기체분자들 자체가 차지하는 부피는 용기의 부피에 비해 무시할 수 있다.

둘째, 기체분자들은 계속해서 직선운동을 하고 용기의 벽, 다른 분자들과 충돌한다.

셋째, 충돌이 일어나도 기체분자들의 총에너지는 변하지 않는다.

넷째, 충돌할 때를 제외하고는 분자들 사이에 인력이나 반발력이 작용하지 않는다.

이런 네 가정에 적합한 가상의 기체가 이상기체이며, 흔히 알고 있는 $PV = nRT$ 는 엄밀히 말해서는 이상기체 상태방정식입니다. 이상기체는 기체분자들 간에는 인력이나 반발력이 작용하지 않으며, 분자의 충돌로 인해 총운동에너지가 감소하지 않는 완전탄성체이고, 0K에서 부피는 0이며, 평균운동에너지는 절대온도에 비례하는 성질을 갖습니다.

실제기체는 이상기체와는 달리 이상기체 상태방정식인 $PV = nRT$ 가 그대로 적용되지 않고, 높은 온도, 낮은 압력, 작은 기체분자량 상태에서만 잘 적용됩니다. 이런 문제를 보정한 것이 바로 반데르발스 상태방정식입니다. 이 식은 $(P + \frac{an^2}{V^2})(V - nb) = nRT$ 라는 형태를 갖습니다. 이 때 a, b는 기체상수로서 기체마다 고유의 값을 갖습니다.

분자 간 힘에는 짧은 거리에서 작용하는 반발력과 비교적 먼 거리에서 작용하는 인력이 있습니다. 위 식은 이런 요인들을 보정해주기 위한 것입니다.

반발력으로 인해 분자들이 서로 겹쳐지지 않습니다. 때문에 분자가 움직일 수 있는 부피는 용기의 부피 V 가 아니라 분자자체의 부피를 제외해줘야 합니다. 그래서 $(V-nb)$ 로 부피와 관련된 항이 수정된 것입니다. 압력의 측면에서 볼 때 분자 간 인력에 의해 분자들이 서로 잡아당기면 독립적으로 운동하는 분자의 유효개수는 감소하고, 분자가 벽에 충돌하는 횟수도 감소하게 됩니다. 이 영향으로 압력은 실제보다 작은 값을 갖는 것처럼 보입니다. 그렇기 때문에 이 만큼의 값을 보정해주기 위해 an^2 / V^2 만큼 더해줍니다. 낮은 압력, 높은 온도, 작은 분자량에서는 $(V-nb) \approx V$, $(P + an^2 / V^2) \approx P$ 가 돼 이상기체 상태방정식에 잘 부합하는 것입니다.

▶ 추가문제

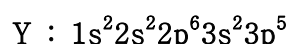
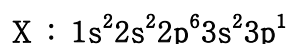
- 1) 이상기체 상태방정식으로 설명할 수 있는 기체 관련 식들을 설명하시오.
- 2) 풍선이 상공으로 올라가면 부풀어서 터지겠는가, 아니면 작아지겠는가? 그 이유를 설명하시오.(2000년 서울대 화학교육과)

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 화학결합의 원리와 종류
- 2) 루이스 전자점식과 옥텟규칙
- 3) 결합의 극성과 분자의 극성여부

4. 왜 이런 모양을 갖게 될까? - 화학결합

다음과 같은 전자배치를 갖는 원자 X, Y가 있다. X, Y가 화학결합을 할 때 다음 물음에 답하시오(2003년 포스텍 수시 2학기).



- 1) 화학결합에 의해 생성되는 가장 간단한 화합물의 분자식을 X와 Y를 이용해 표기하시오.
- 2) 화학결합 후 생성되는 분자의 모양과 결합각은?
- 3) 화학결합 후 생성된 분자는 극성분자인가, 무극성분자인가? 그 이유를 간단히 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

화학의 뜻은 새로운 물질을 합성하는 화학반응이 아닌가 싶습니다. 화학반응이 일어나서 새로운 물질이 생성된다는 것은 물질을 구성하는 원자들 간의 배열이 바뀌었다는 것을 뜻하며, 그것은 화학결합의 변화가 있다는 것을 말합니다. 화학결합은 원자 간 배열에 의해 이뤄지기 때문에 결합하는 원자들의 종류에 따라서 화학결합의 종류가 달라집니다. 또한 화학결합이 다른 물질이 갖는 성질도 달라집니다.

화학결합은 크게 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 나눌 수 있습니다. X와 Y의 전자배치를 고려해본다면 이들이 어떤 원소인지도 쉽게 알 수 있을 것입니다. 이들의 전자배치를 바탕으로

결합양상을 생각해보면 분자의 모양도 손쉽게 파악할 수 있을 것입니다. 왜냐하면 분자를 이루는 원자 간 결합수와 비공유전자쌍을 알면, 분자의 모양은 자연스럽게 그려지기 때문입니다.

▶ 예시답안

- 1) X의 원자가전자는 세 번째 전자껍질에 존재하는 3이고, 마찬가지로 Y의 경우는 7입니다. 각 원자들이 비활성기체처럼 안정한 전자배치 상태를 갖기 위해서는 옥텟규칙을 고려해야 하는데, 이를 만족시키기 위해서 X는 3개, Y의 경우는 1개의 전자가 반응에 참여할 것이라고 생각할 수 있습니다. 이 같은 X와 Y의 전자 비율을 고려하면 X와 Y의 간단한 결합 비율은 1 : 3으로 XY_3 가 될 수 있습니다.
- 2) 화합물 XY_3 에서 중심원자는 X가 되고, Y원자 3개가 X와 함께 결합에 참여하는 것입니다. 이때 X원자는 결합에 참여하지 않는 비공유전자쌍을 갖고 있지 않으며, 단지 Y원자와의 세 결합만이 있는 것입니다. 그렇기에 이 결합들이 반발력에 따라 각각의 영향을 최소화하기 위해서는 분자 모양이 평면삼각형(특히 정삼각형)이어야 합니다. 그리고 결합각은 120° 가 됩니다.
- 3) XY_3 는 평면삼각형의 분자구조를 갖기 때문에 분자 내의 전자분포가 각 결합에 고루 퍼지게 됩니다. X와 Y 사이 하나의 결합만을 생각하면 이는 극성결합에 해당하지만, 분자 전체에서 살펴보면 각 극성결합의 모멘트 합이 0이기에 무극성 분자가 되는 것입니다.

▶ 추가문제

- 1) Al_2Cl_6 의 분자구조는 어떤지 설명해보시오.
- 2) 금속결합 물질은 고체상과 액체 상태에서 전기를 통하지만, 이온결합 물질은 고체 상태에서만 전기를 흐르지 못한다. 그 이유는 무엇인지 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 산화·환원의 정의
- 2) 금속의 이온화 경향
- 3) 화학전지와 전기분해의 원리

5. 산화와 환원의 세계 - 산화·환원

우리가 일상생활에서 널리 사용하는 화학전지는 전기분해 반응이다. 화학전지의 원리를 설명하시오. 또한 전기분해 반응은 공업적으로 금속의 도금과 제련에 이용된다. 구리의 제련에 관해 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

산화-환원반응의 설명은 좁게는 산소를 갖는 것과 잃는 것으로, 수소를 잃는 것과 갖는 것으로 말할 수 있습니다. 좀더 넓게 보면 산화란 원자, 분자, 이온 등이 전자를 잃는 것을 말하며, 환원이란 원자, 분자, 이온 등이 전자를 얻는 것을 말합니다. 공유결합 물질이 관여하는 산화-환원반응은 단순히 전자의 흐름만으로 설명하기가 어렵기 때문에 산화수라는 개념을 사용합니다. 산화수란 공유전자쌍이 그것을 더 세게 끌어당기는 원자에 속해 있다고 가정할 때 원자가 갖는 전하를

말하는 것으로, 산화수가 감소하면 환원됐다고, 산화수가 증가하면 산화됐다고 말합니다.

▶ 예시답안

금속이 전자를 잃고 양이온이 되려는 경향을 이온화 경향이라고 합니다. 이온화 순서는 $K > Ca > Na > Mg > Al > Zn > Fe > Co > Ni > Sn > Pb > (H) > Cu > Hg > Ag > Pt > Au$ 로 알려져 있습니다. 이온화 경향이 큰 금속은 이온화 경향이 작은 금속이온에 전자를 주고, 자신은 산화되고 금속이온을 금속으로 환원시킵니다.

화학전지의 기본 원리는 금속의 이온화 경향의 차이 때문에 일어나는 산화-환원반응입니다. 자발적인 산화-환원반응을 이용해 화학에너지를 전기에너지로 바꾸는 것이 바로 화학전지입니다. (-)극은 이온화 경향이 큰 금속이므로 산화가, (+)극은 이온화 경향이 작은 금속이므로 환원이 일어납니다. 대표적인 예로 1차 전지인 볼타 전지, 다니엘 전지, 알칼라인 전지 그리고 2차 전지인 니켈-카드뮴 전지, 납 축전지가 있습니다.

화학전지가 자발적인 화학반응을 전기에너지로 옮기는데 반해 전기분해는 전기에너지를 이용해 비자발적 산화-환원반응을 일으키는 것입니다. 공급되는 전류와 형성되는 생성물 사이의 정량적인 관계는 패러데이 법칙으로 알 수 있습니다. 전해질의 용액에 직류전기를 흘려주면 음이온은 (+)극으로, 양이온은 (-)극으로 이동해 산화-환원반응이 일어나게 됩니다. (+)극에서는 산화가, (-)극에서는 환원이 일어나는 것입니다.

다양한 금속 불순물이 포함된 구리를 순수한 구리로 만들 때는 불순물이 포함된 구리를 양극, 순수한 구리를 음극으로 해 $CuSO_4$ 수용액에서 전기분해합니다. 불순물 중에 있는 Cu보다 이온화 경향이 큰 Fe, Zn, Al 등은 용액 속에 녹아들어가고, Cu보다 이온화 경향이 작은 Ag, Au, Pt 등이 양극 밑에 앙금으로 쌓이며, Cu^{2+} 이온은 음극으로 이동해 Cu로 환원됩니다.

▶ 추가문제

- 1) 산화-환원반응을 설명하고 그 예를 들어보라(2000년 서울대 응용화학부, 숙명여대 자연과학부).
- 2) 철에 마그네슘을 연결하면 철이 부식되지 않는데, 이는 산화반응인가, 환원반응인가? 그 이유는? 마그네슘 대신 나일론 끈을 이용하면 철은 어떻게 되겠는가? 그 이유는?

2005년 07월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

▶ 이번 호에서는 화학평형, 몰의 개념, 기체상태방정식, 오존층 파괴, 탄소화합물 그리고 공유 결합의 형성에 관한 내용을 다루겠습니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 평형상태의 정의
- 2) 평형상수의 성질

1. 무엇을 알 수 있을까? - 화학평형

평형이는 백설탕과 흑설탕을 이용해 화학평형의 상태를 공부하려고 한다. 먼저, 백설탕을 물에 녹여 포화상태가 되도록 했다. 그 다음 흑설탕을 백설탕의 포화용액에 넣고 시간이 흐르면서 용액에 생기는 변화를 기록했다. 모든 조건이 동일한 상황에서 평형이는 어떤 현상을 관찰할 수 있을까?

▶ 전문가 클리닉

우선 평형이가 설탕물 실험을 통해 얻을 수 있는 화학적 사실이 무엇인지 생각해 봅시다. 평형이는 이 실험으로 화학 평형 상태가 어떻게 유지되는지 확인하고자 했습니다. 화학평형을 정의하려면 먼저 정반응, 역반응 그리고 가역반응의 의미를 이해하는 것이 우선입니다. 평형상태에서는 반응물질과 생성물질이 모두 존재하고 일정한 농도를 유지합니다. 화학반응식에서 계수는 반응물질과 생성물질의 존재비와 관계가 없다는 사실 또한 기억해두면 좋습니다.

▶ 예시답변

화학반응식에서 반응물질로부터 생성물질로 가는 반응을 정반응, 생성물질로부터 반응물질로 가는 반응을 역반응이라고 합니다. 온도와 압력 등의 외부조건에 따라 정반응과 역반응이 모두 일어나는 반응은 가역반응이라고 합니다. 가역반응에서 정반응과 역반응의 속도가 같으면 겉으로는 반응이 일어나지 않는 것처럼 보이는데 이런 상태를 화학평형이라고 합니다. 실제로 반응이 정지된 것은 아니기 때문에 이것은 동적인 평형상태라고 할 수 있습니다. 화학평형 상태에서 온도나 압력 등을 변화시키지 않으면 반응물질과 생성물질의 농도는 일정하게 유지됩니다.

화학평형의 의미를 파악하고 나면 평형이가 관찰할 수 있는 현상을 쉽게 예상할 수 있습니다. 포화상태의 설탕물에 더 이상 설탕이 녹지 않는 것처럼 보이는 것은 용해와 석출의 속도가 같기 때문입니다. 따라서 평형이가 백설탕을 녹였을 때 투명했던 설탕물은, 흑설탕을 넣고 시간이 지날수록 색깔을 띠게 됩니다. 모든 조건들이 동일한 상황에서 화학평형 상태는 유지되기 때문에 끊임없이 설탕의 용해와 석출이 이뤄집니다. 이렇게 어느 정도의 흑설탕이 녹아들고, 그만큼의 백설탕이 석출되면서 설탕용액은 색깔을 띠는 것입니다.

참고로 평형상태에서 정반응과 역반응의 속도 중에서 어느 한 쪽이 빨라지게 되면 평형상태는 깨어지고 정반응과 역반응 중 한쪽 방향으로 반응이 진행됩니다. 이를 평형이동이라고 합니다. 이때 농도, 온도, 압력의 요인들이 반응속도를 변화시킬 수 있으며, 반응은 이들의 영향을 감

소시키는 방향으로 진행된다는 것이 ‘평형이동의 법칙’ 또는 ‘르 샤틀리에의 원리’입니다.

▶ 추가문제

사람의 세포내에서 이산화탄소는 물과 반응해 탄산이 됩니다. 체온에서 이 반응의 역반응속도 상수(k^{-1})는 정반응속도 상수(k_1)의 500배입니다. 혈액 속의 이산화탄소 농도가 0.012(몰/L)라고 할 때, 혈액 속에 존재하는 탄산의 평형농도를 구하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 몰의 개념과 단위
- 2) 몰과 화학식량의 관계

2. 물질의 기본단위를 어떻게 정할 수 있을까? - 몰

아보가드로수는 얼마이며 무엇을 의미하는가? 또 학생의 몸을 이루고 있는 원자의 개수를 추정해 보시오(2005년 숙명여대 수시1학기).

▶ 전문가 클리닉

어머니를 따라 시장을 가보면 물건마다 고유의 단위가 존재함을 알 수 있습니다. 배추 한 포기, 고등어 한 손, 김 한 톳, 쌀 한 되 등등. 이와 같은 단위는 물건의 개수를 보다 효율적으로 헤아리기 위해 사용합니다. 가게에 가서 "쌀알 만 개 주세요"라고 말한다면 파는 사람이나 사는 사람 모두 골치가 아파지겠죠. 이런 문제를 해결하기 위해 사람들은 각 물건에 적합한 단위를 정해놓고, 그 단위에 맞게 물건을 사고 팝니다. 화학에서도 마찬가지입니다. 원자를 하나하나 일일이 세어보면서 따질 수는 없기 때문에, 보다 간편하게 이해할 수 있는 특정한 단위를 도입합니다. 이때 사용하는 단위가 바로 몰(mol)입니다. 몰의 개념을 이해했다면 손쉽게 문제의 답을 알 수 있을 것입니다.

▶ 예시답안

원자, 분자, 그리고 이온처럼 매우 작은 입자의 질량은 몰(mol) 단위를 사용해 나타내면 양적 계산을 하는데 편리합니다. 원소의 경우 1몰은 원자량에 질량단위 g을 붙인 크기의 질량을 가 집니다. 따라서 각 원소의 원자량에 따라 1몰의 질량은 모두 다르지만, 그 속에 들어있는 원자의 수는 같습니다. 이 때 1몰에 들어있는 원자의 수를 N 이라고 하면,

원자 1몰의 질량(원자량[g])= $N \times$ 원자 1개의 질량이 됩니다. 여기서 N 의 값은 항상 6.02×10^{23} 이며, 이를 아보가드로수라고 합니다. 즉 원자, 분자, 이온의 경우 1몰에는 6.02×10^{23} 개의 입자가 존재합니다. 이처럼 몰 단위를 사용하면 입자의 질량과 개수, 화학식량과 몰수의 관계를 쉽게 알 수 있습니다. 원자, 분자, 이온 1몰의 질량은 원자량, 분자량, 이온식량에 그램(g)단위를 붙인 값으로, 이것은 각 입자가 아보가드로수 만큼 있을 때의 질량과 같습니다.

한 예로 몸을 구성하는 성분인 탄소를 사용해서 몸무게가 60Kg인 학생의 몸을 이루는 원자 개수를 대략적으로 구해보겠습니다. 탄소의 원자량은 12g으로 이 값은 아보가드로수 만큼의 탄소원자 질량에 해당합니다. 다음과 같은 간단한 비례식으로 몸 속의 탄소원자개수를 추정해봅시다.

$$12\text{g} : 6.02 \times 10^{23} = 60\text{Kg} : x$$

계산을 해보면 $x = 3 \times 10^{27}$ 이고, 이를 통해 학생의 몸을 구성하는 원소의 개수가 대략 3×10^{27} 개라는 것을 알 수 있습니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 기체상태론
- 2) 이상기체 상태방정식

3. 나보다 더 활동적이면 나와봐 - 물질의 상태 기체편

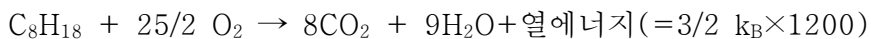
- 1) 자동차는 가솔린(C_8H_{18})을 실린더 내에서 연소시켜 바퀴를 돌릴 수 있다. 산소는 가솔린과 반응해 이산화탄소와 물을 생성하며 그 기체를 300K에서 1500K까지 가열하기에 충분한 에너지를 방출한다. 반응식을 완결하고 실린더 내의 기체에 의해 이뤄진 일이 기체의 몰수 변화로 생긴 압력 때문인지, 아니면 가열에 의한 압력 증가 때문인지 설명하시오.
- 2) 계절마다 적절한 수준의 타이어압력이 유지돼야 한다. 여름철에는 타이어 압력이 다른 계절보다 높는데, 그 이유를 분자운동론으로 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

물질의 세 가지 상중에 기체는 가장 많은 연구가 이뤄진 부분입니다. 기체상에서 각각의 분자들은 독립적으로 움직이며, 병진, 회전, 진동운동을 합니다. 이들 기체분자는 서로 간의 인력이 약하고, 빠른 속도로 운동하며, 기체의 종류에 관계없이 공통적인 성질을 지니고 있습니다. 고체나 액체와 달리 기체는 주변 압력과 온도가 그 부피에 크게 영향을 줍니다. 이런 기체의 성질을 설명하기 위해 각종 기체와 관련된 법칙들이 있습니다. 이번에 제시된 문제는 기체에 관련된 기본적인 가설인 기체분자운동론과 기체상태방정식을 다루고 있습니다. 기체와 관련된 여러 가지 수식과 법칙을 이해하는 동기가 됐으면 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 가솔린과 산소의 열화학연소반응식은 다음과 같습니다.



반응식에서 기체의 몰수가 조금 증가했습니다. 다른 조건이 동일하다면 이상기체 상태방정식에 따라서 압력은 약 50% 증가하는데 그칠 것입니다. 한편 화학반응 과정에서 열에너지가 발생하는데 열에너지와 운동에너지와의 관계식은 $1/2 m v^2 = 3/2 k_B \times 1200$ 이며 이를 통해 기체분자의 속력이 크게 증가함을 알 수 있습니다. 기체분자의 속력이 증가하면 압력도 증가하게 됩니다. 실린더 내부의 기체는 강력한 폭발이 이뤄지면서 급격하게 팽창을 하는데, 이는 연소반응을 통해 배출되는 열에너지 때문입니다.

- 2) 기체분자운동론은 기체분자의 운동을 토대로 기체의 성질을 기술하는 이론이며, 그 내용은 다음과 같습니다.

i) 기체분자 자체의 부피는 무시할 정도로 작다.

ii) 기체분자는 계속해서 운동을 하며, 끊임없이 다른 분자 등과 충돌한다.

iii) 충돌이 일어나도 기체분자의 총 에너지는 변하지 않는다.

iv) 충돌시를 제외하고, 분자간 인력이나 반발력은 작용하지 않는다.

이런 조건들을 만족시키는 것이 바로 이상기체이며, 흔히 알고있는 공식 $PV=nRT$ 가 이상기체의 상태방정식입니다. 1)의 결과와 같이 온도가 올라가면 그에 따른 운동에너지도 증가합니다. 운동에너지가 증가한다는 것은 분자의 속력이 증가함을 의미합니다. 이는 동일한 수의 분자가 존재하더라도 벽면을 때리는 횟수가 더 많다는 뜻입니다.

여름철 타이어의 압력이 증가하는 것과 관련이 있는 내용은 분자운동론의 2번과 3번항입니다. 속력이 증가한 기체분자는 끊임없이 운동을 하며 다른 분자나 타이어 내벽과 더 많은 충돌을 하고 그로 인한 에너지 감소는 없기 때문에 타이어 압력이 증가하게 되는 것입니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

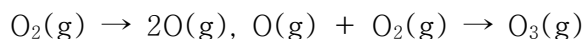
- 1) 화학반응속도
- 2) 촉매
- 3) 오존과 오존층

4. 가까이에서는 독이지만, 멀리서는 우리를 보호해 주는 친구 - 화학반응속도, 생활 속 환경
한때 냉장고의 냉매제로 사용된 프레온가스는 오존층 파괴의 한 요인으로 알려져 사용을 금지하고 있습니다. 이런 현상에 관여하는 NO, Cl과 오존의 반응메커니즘을 그려보시오.

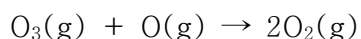
▶ 전문가 클리닉

오존은 산소의 동소체로 특이한 냄새를 갖습니다. 복사기를 사용할 때 비릿한 냄새를 맡을 수 있는데, 이것이 오존 냄새입니다. 오존은 지표면에서 20~25Km되는 곳에 집중적으로 모여 있는데, 이를 오존층이라고 합니다. 오존층은 계절에 따라서 변하며 태양활동과 밀접한 관계가 있기 때문에 기상변화연구에 중요한 자료를 제공해 줍니다. 무엇보다 오존층은 태양광선중의 일부인 자외선을 95~99% 흡수해 지구상에 생물이 생존할 수 있도록 돕는 중요한 역할을 합니다.

대기 중 산소분자가 파장이 짧은 (240nm이하) 자외선을 흡수해 산소원자로 분해되고, 이 원자가 다시 산소분자와 반응하면 오존이 생성됩니다.



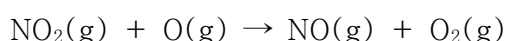
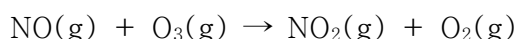
이렇게 생성된 오존이 다시 산소분자로 분해되는 것은 비교적 느린 속도로 진행됩니다.

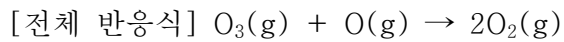


▶ 예시답안

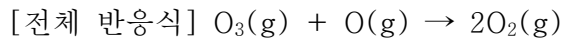
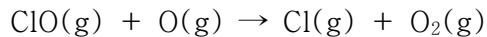
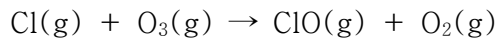
오존층에 미량의 NO나 Cl원자가 있으면 이들이 촉매로 작용해 오존의 분해를 빠르게 촉진시킵니다.

- 1) NO분자와 반응하는 메커니즘





2) Cl원자에 의한 메커니즘



▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 불포화탄화수소의 종류

2) 이성질체의 의미

5. 탄소화합물의 화학반응 - 탄소화합물

브롬기체 1 몰이 담겨 있는 플라스크에 무색의 아세틸렌(에틴, C_2H_2) 기체 1 몰을 넣었더니 플라스크 내부의 색이 적갈색에서 무색으로 변했다. 다음 물음에 답하시오(한양대 2004수시).

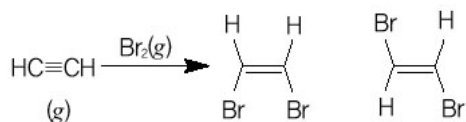
- 1) 반응 후 두 가지 종류의 화합물 A와 B가 생성됐으며, A와 B는 서로 이성질체의 관계에 있다. 반응과 생성물의 구조가 포함된 반응식을 쓰시오.
- 2) 1 몰의 적갈색 브롬기체가 들어있는 플라스크에 위의 생성물(A와 B)을 넣었더니 플라스크 내부의 색이 다시 무색이 됐다. 이때 만들어진 생성물 C의 구조를 그리시오.
- 3) 아세틸렌에서의 탄소원자, 생성물 A와 B에서의 탄소원자, 그리고 생성물 C에서의 탄소원자의 혼성오비탈은 각각 무엇이며, 이 혼성 오비탈들의 기하학적 모양은 무엇인지 그려보시오.

▶ 전문가 클리닉

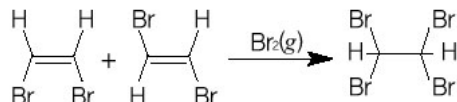
탄소화합물의 화학반응을 이해하고 그 형태를 예상할 수 있는지 묻는 문제입니다. 문제의 풀이를 위해 각 문항에 담겨있는 내용을 파악하는 것이 우선입니다. 1)에서 관련된 반응은 첨가반응인데, 이를 통해서 시스-트랜스의 이성질체가 생성 됩니다. 이것을 기하이성질체라고 합니다. 3)을 풀기 위해서는 혼성오비탈의 개념을 알고 적용할 줄 알아야 합니다. 혼성오비탈은 반응에 관여할 수 있는 모든 오비탈이 한꺼번에 섞인 뒤에 균일하게 나뉘어져 화학결합을 이루는 것이라고 간단히 생각할 수 있습니다.

▶ 예시답안

- 1) 아세틸렌(C_2H_2)기체 1몰과 브롬(Br_2)기체 1몰을 반응시키면, 1,2-이브로모에틸렌(에틴)이 형성 됩니다. 즉 브롬분자에서 원자 간의 결합이 끊어지고, 아세틸렌의 탄소와 새로운 결합을 형성합니다. 그러므로 플라스크 속 기체는 원래 브롬이 갖고 있던 적갈색이 사라지고 무색으로 변하게 됩니다. 아세틸렌의 탄소 간 삼중결합은 브롬과의 결합으로 인해 이중결합으로 바뀌게 됩니다. 브롬은 1번과 2번탄소에 각각 들어가는데, 이때 브롬이 이중결합과 같은 방향(시스)으로 들어갈 수 있고, 또 서로 반대 방향(트랜스)으로도 들어갈 수도 있습니다. 이를 기하이성질체라고 합니다. 아래는 반응물과 생성물의 구조가 포함된 반응식입니다.



- 2) 적갈색 브롬기체 1mol을 1)의 생성물과 반응시키면, 위와 같은 브롬첨가반응이 다시 한 번 일어나게 됩니다. 적갈색을 띠고 있던 브롬기체가 첨가반응으로 인해 소멸돼 기체 색깔은 다시 무색으로 변하며, 1)에서 만들어진 시스와 트랜스 두 가지 형태의 화합물은 이번 반응으로 인해 단일한 화합물이 됩니다. 이를 1,1,2,2-사브로모에탄이라 합니다.



여기서 탄소끼리의 결합은 1)의 결과와 달리 단일결합으로 이뤄져 있어 자유롭게 회전할 수 있습니다.

- 3) 탄소원자의 혼성 오비탈 종류는 sp^3 , sp^2 , sp 의 세 가지가 있습니다. 여기서 s와 p는 오비탈의 종류를 의미합니다. sp^3 는 탄소가 4개의 오비탈을 이용 4개의 가지를 만들어 서로 다른 원자와 결합을 형성하는 것이고, sp^2 는 3개의 오비탈을 이용해 결합을 형성하는 3개의 가지를 만드는 것을 의미합니다. sp 는 s오비탈 1개와 p오비탈 1개를 이용해 2개의 결합을 형성하는 것입니다.

혼성오비탈을 이용해 형성되는 것은 모두 동일한 상태를 뜻합니다. 탄소는 최대 4개의 결합을 형성할 수 있으므로, sp^3 혼성오비탈은 탄소원자가 4개의 단일결합으로 구성된다는 것을 뜻하며, sp^2 는 1개의 이중결합이 존재한다는 것을 의미합니다. 마찬가지로 sp 오비탈 구조는 1개의 삼중결합이 있다는 것을 뜻합니다.

각각의 결합이 모두 동등하게 작용하기에 sp^3 일 때는 4개의 결합이 동등한 정사면체 구조를 이뤄 각 결합간의 각도는 109.5° 를 유지하게 되고, sp^2 는 3개의 결합이 동등한 평면삼각형을 만들어 120° 의 각도를 형성합니다. 끝으로 sp 는 2개의 결합이 동등하게 있는 180° 직선형을 이룹니다.

아세틸렌은 삼중결합이 1개인 sp , A와 B는 이중결합이 1개인 sp^2 , C는 모두가 단일결합인 sp^3 혼성오비탈 구조를 각각 갖고 있습니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 공유결합이란?
- 2) 혼성오비탈
- 3) 분자의 모양

6. 동일한 힘으로 나눈다? - 화학결합 중 공유결합

메탄분자(CH_4)는 탄소와 4개의 수소가 동등한 결합을 형성하여 정사면체 구조를 갖는다고 알려져 있습니다. 탄소의 전자배치는 $1s^2 2s^2 2p^2$ 인데, 어떻게 그런 결합이 가능한지 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

언뜻 보면 탄소는 다른 원자와 공유결합을 형성할 때, 2p오비탈에 들어있는 두 개의 전자만이

결합에 참여할 것이라고 생각하기 쉽습니다. 그러나 대부분의 경우 탄소는 주위로 4개의 결합을 형성하고 있는데, 이는 2s 오비탈에 존재하는 전자도 결합에 참여한다는 것을 의미합니다. 그렇지만 s오비탈과 p오비탈은 오비탈 모양도 다르고, 원자핵과의 영향력에서도 차이가 납니다. 그러면 어떻게 탄소가 이루는 결합들이 동등하게 되는 걸까요? 이것의 해답은 혼성오비탈의 개념에서 찾을 수 있습니다.

▶ 예시답안

탄소원자는 들뜬 상태의 전자배치 $1s^2 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ 을 이용해 4개의 결합을 형성합니다. 여기서 결합에 사용되는 탄소 원자의 오비탈 중 하나는 s오비탈이고, 다른 셋은 p오비탈이므로 탄소와 수소간의 결합 중 어느 하나는 다를 것이라는 추측을 할 수 있습니다. 그렇지만 실제 측정에서는 탄소와 수소 사이에 이뤄지는 4개의 결합은 모두 동등하며, 이들의 결합각은 109.5° 가 됩니다. 이는 분자를 형성할 때 원자의 오비탈이 순수하게 유지되지 않는다는 것을 의미합니다. 다시 말해서 탄소원자가 홀로 있을 때 전자가 돌아다니는 공간은 s, p등의 오비탈로 규정지을 수 있지만 다른 원자들과 결합한 상태에서는 이들 전자의 공간에 대한 규정이 달라진다는 것을 의미합니다.

분자에서의 전자배치를 나타내기 위해서 각 원자의 오비탈을 섞어서 새로운 오비탈을 만들어내는 방법을 사용합니다. 이를 혼성오비탈이라고 합니다. 탄소원자의 경우 s오비탈 1개와 p오비탈 3개가 섞여 4개의 동등한 오비탈 sp^3 을 형성할 수 있습니다. 이 4개의 오비탈은 정사면체의 꼭지점을 향하고 있고, 이들 끝에서 수소원자의 1s오비탈과 결합을 형성합니다.

▶ 추가문제

BF_3 , BeF_2 의 분자구조는 어떤지 고려해 보시오.

2005년 08월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학] 세계의 기초, 원자 모델

기나긴 장마가 끝나고 본격적인 무더위가 시작되는 8월입니다. 여름방학을 맞아 수험생 개개인이 부족하다고 느끼는 부분을 인식하고 개선할 수 있는 좋은 기회입니다. 또 각 대학의 수시 1학기 모집이 진행되는 중요한 시기이기도 합니다. 다소 힘들고 지치겠지만 조금 더 기운내서 지금까지 열심히 해왔던 시간이 헛되지 않도록 꾸준히 노력하길 바랍니다.

수시1학기 모집을 대비해 원자모델과 원자의 구성요소, 공유결합을 형성하는 탄소원자의 특성, 화학평형을 변화시키는 요인, 용액의 총괄성의 4문항을 다뤘습니다. 물론 이상기체를 비롯한 기체단원과 산-염기 및 산화-환원반응도 중요하지만 두 분야는 지난 6, 7월 호에서 많이 다뤘기에 이번에는 생략했습니다. 특히 이번 달에는 추가문제를 기출문제 중심으로 실었으므로 함께 풀어보길 바랍니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 원자의 구성요소
- 2) 원자모델의 변천과정과 각 모델의 특징
- 3) 다전자원자에서의 전자배치 원리

1. 원자는 어떤 모양으로 있을까? - 원자모델

하이젠베르크의 불확정성 원리에 따르면 전자처럼 매우 작고 가벼우며 빠르게 움직이는 물체는 운동에너지와 위치에너지를 동시에 정확하게 측정할 수 없다. 둘 중 어느 하나를 측정하면 나머지는 확률로만 나타낼 수 있다. 이후 슈뢰딩거를 비롯한 학자들의 연구로 전자구름모형으로 원자모형이 확립됐다.

- 1) 오비탈은 전자분포확률을 의미하는데 이를 규정짓는 요소는 무엇인지 설명하시오.
- 2) 1)의 답변을 기초로 다전자원자의 경우 바닥상태의 전자배치는 어떤 형태로 이뤄지는지 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

오늘날 원자모델은 보어 모델의 한계를 보완하기 위해서 제시된 것입니다. 보어의 원자모델은 수소원자의 경우 선스펙트럼을 설명할 수 있을 정도로 탁월했지만 전자가 2개 이상인 다전자원자를 설명하기엔 부족합니다. 보어 모델은 뉴턴의 운동방정식을 근거로 하는데, 이는 입자의 위치와 운동량을 정확히 측정해야 합니다. 그런데 전자처럼 질량이 작은 입자는 시간에 따른 위치와 운동량을 정확히 측정할 수 없습니다. 질량이 작으면 물질이 갖는 입자성과 파동성 중 파동성이 매우 중요해지기 때문입니다. 따라서 전자를 단순히 입자로만 본 보어의 원자모델은 파동성을 고려하는 새로운 원자모델로 바뀌게 됩니다.

▶ 예시답안

- 1) 지문에서 언급했듯이 원자 내에서 빠른 속도로 움직이는 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 없지만 특정 위치에서 전자가 발견될 확률은 알 수 있습니다. 이런 확률공간을 나타내는 함수를 궤도함수 또는 오비탈이라고 합니다. 현대 원자모델의 핵심인 오비탈을 설명하

기 위해서는 양자수라는 개념을 도입합니다.

양자수는 4가지로 구분됩니다.

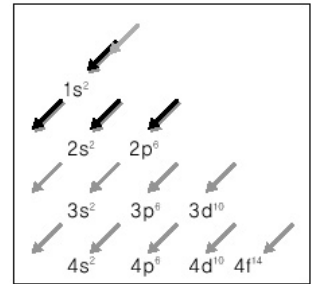
첫째, 주양자수(n)는 전자의 에너지 준위를 나타내는 것으로 전자껍질을 의미합니다.

둘째, 방위양자수(l)는 전자의 각운동량을 규정하는 것으로 부양자수라고도 합니다. 방위양자수는 오비탈 모양을 결정하며 주양자수만큼의 오비탈이 존재합니다.

셋째, 자기양자수(m)는 전자구름의 방향과 궤도면의 위치를 결정하며 오비탈은 공간배향에 따라 $2l+1$ 개가 존재합니다.

넷째, 스핀양자수(s)는 전자의 자전에너지를 결정하는 것으로 \pm 의 두 가지가 있습니다.

- 2) 다전자원자의 바닥상태 전자배치는 3가지 규칙에 따라 완성됩니다. 오비탈에 전자를 채워가는 첫 번째 원리는 축조원리로, 전자는 에너지가 낮은 상태의 오비탈에서 높은 상태의 오비탈로 순차적으로 채워진다는 것입니다. 오비탈의 에너지준위는 $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d \dots$ 의 순서로 채워지며 그림으로 표현하면 오른쪽과 같습니다.



두 번째 원리는 파울리의 배타원리입니다. 한 원자에서 4가지 양자수가 동일한 전자는 존재할 수 없습니다. 다시 말해 1개의 오비탈에는 2개 이상의 전자가 존재할 수 없다는 뜻입니다.

마지막 원리는 훈트의 규칙입니다. 에너지 준위가 동일한 몇 개의 오비탈($2p$, $3p$, $3d$ 등)에 전자가 채워질 때 각 오비탈에 전자가 1개씩 먼저 배치된 다음(홀전자) 스핀이 반대인 전자가 들어가 쌍을 이룬다는 규칙입니다. 이것은 동일한 수의 오비탈에 짝을 이룬 전자보다 홀전자의 배치가 많을수록 전자 사이의 반발력이 작아져서 에너지가 낮다는 것을 의미합니다.

▶ 추가문제

1. 원자를 구성하는 요소와 발견배경을 설명하시오.
2. 훈트의 규칙을 구술하고 어떤 물리적 상호작용에 기인하는지 설명하라(2005년 서울대 정시).
3. 원자가 어떤 형태로 존재하는지는 언제나 사람들의 관심사였다. 원자모델의 변천과정을 설명하시오.
4. Fe 원자와 Fe(III) 이온의 바닥상태 전자배치를 쓰고 그 이유를 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 공유결합의 정의
- 2) 혼성오비탈의 개념
- 3) 분자의 모양

2. 탄소는 왜 팔이 네 개일까? - 화학결합

탄소는 원자번호 6번으로 바닥상태의 전자배치는 $1s^2 2s^2 2p^2$ 다. 이를 보면 탄소는 2개의 공유결합을 형성해야 한다. 그렇지만 탄소는 4개의 다른 원자와 공유결합을 형성하는 것으로 알려져 있다. 탄소는 어떤 형태로 4개의 결합을 형성하는가?

▶ 전문가 클리닉

화학반응이 일어나 새로운 물질이 생성되는 것은 물질을 구성하는 원자 간의 배열이 바뀌었다

는 것을 뜻하며 이것은 원자 간 화학결합이 변했다는 것을 말합니다. 화학결합은 원자배열에 의해 이뤄지므로 결합하는 원자의 종류에 따라 화학결합의 종류가 달라집니다. 또 화학결합이 다르면 물질이 갖는 성질도 달라집니다.

화학결합은 크게 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 나눌 수 있습니다. 탄소는 다른 원소들과 전자를 함께 갖는 공유결합을 형성합니다. 즉 탄소가 갖고 있던 최외각전자들이 결합 형성에 참여함으로써 결합의 개수와 분자모양을 결정하게 됩니다.

▶ 예시답안

탄소의 바닥상태 전자배치는 $1s^2 2s^2 2p^2$ 입니다. 이 상태에서 탄소와 수소의 결합을 살펴보면 2p오비탈에 있는 전자 2개만 결합에 참여해 2개의 공유결합이 형성될 것입니다. 그러나 2s에 있던 전자가 2p오비탈로 이동해 결합한다면 4개의 공유결합을 형성할 것입니다. 이때 2s오비탈에 있던 전자와 공유결합을 이루는 수소, 2p오비탈에 있던 전자와 공유결합을 형성하는 수소는 서로 다른 상황에 놓이게 됩니다. 즉 1개의 수소와 3개의 수소가 구별됩니다. 그러나 메탄을 구성하는 탄소와 수소의 공유결합 4개는 모두 동등한 상태입니다.

이를 설명하기 위해서는 s오비탈과 p오비탈이 섞여 새로운 형태의 오비탈로 만들어지는 혼성 오비탈 개념을 도입해야 합니다. 4개의 동등한 sp^3 오비탈을 형성해 수소원자와 4개의 동등한 공유결합을 이루게 됩니다. 이때 분자모양은 정사면체이며 공유결합간의 중심각은 109.5° 입니다.

▶ 추가문제

1. 대표적인 화학결합의 종류와 특징을 설명하시오.
2. 물은 왜 독특한 물리화학적 성질을 가지며 왜 좋은 용매인지 설명하시오(성균관대 수시1학기).
3. 전기음성도, 결합의 극성, 분자의 극성에 대해 설명하시오(2004년 성균관대 수시1학기).
4. 공유결합으로 형성된 분자들 사이에 작용하는 다양한 인력에 대해 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 화학평형의 정의 2) 화학반응속도에 영향을 미치는 요인들 3) 르샤틀리에의 원리

3. 평형의 이동에 영향을 미치는 요인은? - 화학평형

화학반응속도를 변화시키는 요소 중 화학평형을 이동시킬 수 있는 요인은 어떤 것들이 있는지 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

일정 온도에서 가역반응이 평형상태를 이루면 정반응속도와 역반응속도가 같아져 겉으로는 아무런 변화가 없는 것처럼 보입니다. 그 순간에도 정반응과 역반응은 지속적으로 이뤄지는데 이를 동적평형상태라고 합니다.

그러나 외부조건이 변하면 정반응속도와 역반응속도가 서로 달라져 반응이 한쪽으로 치우치게 됩니다. 반응이 진행된 후에는 새로운 평형상태에 도달하는데 이를 화학평형이동이라고 합니다. 더불어 평형이동의 법칙인 르샤틀리에 원리도 이 문제에서 함께 확인해 봅시다.

▶ 예시답안

일반적으로 화학반응속도는 반응하는 물질의 구조와 성질에 따라 다릅니다. 또 같은 물질이라도 반응물질의 표면적, 농도, 압력, 온도, 촉매 등에 따라 반응속도가 달라집니다. 이같은 요인이 평형이동에 어떤 영향을 미치는지 살펴봅시다.

첫째 농도의 경우, 평형상태에 반응물질을 더 넣어주면 반응물질의 농도가 증가해 정반응속도가 역반응속도보다 빨라집니다. 그러면 정반응이 더 진행돼 평형이동이 나타납니다. 반대의 경우는 역반응이 이뤄져 평형이 이동합니다.

둘째 압력의 경우, 고체와 액체의 반응에서 압력은 큰 영향을 미치지 못하지만 기체는 압력에 따라 부피가 크게 달라지므로 평형이동에 많은 영향을 미칩니다. 압력을 증가시키면 분자수가 감소하는 쪽으로 반응이 진행돼 새로운 평형상태에 도달합니다. 즉 반응식에서 계수의 합이 작은 쪽으로 평형이 이동하게 됩니다. 반대의 경우는 분자수가 증가하는 쪽으로 반응이 진행됩니다.

셋째 온도의 경우, 농도나 압력이 변해도 평형상수는 변하지 않는 것과 달리 온도의 변화는 평형상수를 변화시킵니다. 흡열반응인지 발열반응인지에 따라 온도가 오르면 각각 정반응과 역반응이 진행돼 평형이 이동하고, 온도가 낮아지면 각각 역반응과 정반응이 진행돼 평형이 이동합니다.

넷째 촉매는 정반응의 활성화에너지와 역반응의 활성화에너지를 동시에 낮추기 때문에 정반응속도와 역반응속도가 동시에 증가합니다. 따라서 평형상태는 그대로 유지됩니다. 촉매는 평형이동에 영향을 미치지 않는지만 평형에 도달하는 시간을 단축하는 효과를 냅니다.

위 내용을 정리한 것이 르샤틀리에의 원리, 즉 평형이동의 법칙입니다. 평형이동의 법칙은 가역반응이 평형상태에 도달했을 때 온도, 압력, 농도와 같은 평형조건을 변화시키면 그 조건의 변화를 감소하는 방향으로 평형이 이동해 새로운 평형에 도달한다는 것을 뜻합니다.

▶ 추가문제

1. 인체 혈액의 pH는 7.4 정도로 pH7.0 이하나 pH7.8 이상이 되면 생명이 위험해진다. pH7인 물에 식초를 넣으면 식초의 산성도 때문에 물의 pH가 7 이하로 급격히 떨어진다. 그러나 사람은 식초를 섭취해도 혈액의 pH가 변하지 않는다. 물과 혈액의 어떤 차이 때문일까?(2003년 성균관대 수시2학기)
2. 평형상수 K와 반응지수 Q에 대해 설명하고 두 값의 크기에 따른 화학반응 진행방향에 대해 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 용액의 정의
- 2) 용액의 총괄성

4. 내안에선 모두가 평등해 - 용액

용액의 특성 중 용질의 종류에 무관하게 입자수(몰수)에 따라 결정되는 성질이 있는데 이를 용액의 총괄성이라 합니다.

- 1) 용액의 총괄성을 분류하고 각 성질이 갖는 원리를 설명하시오.
- 2) 1)에서 나열한 특성의 예를 실생활에서 찾아보시오.

▶ 전문가 클리닉

용액이란 말이 쉽게 다가오지 않으면 소금물을 머릿속에 떠올려 봅시다. 소금이라는 용질과 물이라는 용매가 균일하게 섞여있는 소금물은 대표적인 용액입니다. 이처럼 용액은 균일혼합물로 투명한 상태를 유지해야 하며 흙탕물 같은 불균일혼합물이나 우유와 같은 에멀전과 구분됩니다.

용액은 반드시 액체상태일 필요는 없습니다. 우리가 숨쉬는 공기도 바로 용액상태니까요. 즉 용액의 보다 엄밀한 정의는 분산매와 분산질이 균일하게 혼합돼 있는 상태를 의미합니다. 이와 같은 용액이 갖는 독특한 특성을 용액의 총괄성이라고 하며, 용액의 총괄성은 크게 네 종류로 나눌 수 있습니다. 주변에서 관찰할 수 있는 현상을 토대로 용액의 총괄성 개념을 확실히 파악해두길 바랍니다.

▶ 예시답안

1) 용액의 총괄성은 크게 네 종류가 있습니다. 순수한 용매에 대한 용액의 증기압내림, 끓는점오름, 어는점내림, 삼투현상이 바로 그것입니다.

① 증기압내림

순수한 용매에 비휘발성 용질을 녹인 용액의 증기압은 순수용매의 증기압보다 낮아집니다. 용매분자와 용질분자 사이에 인력이 작용하고, 용질분자가 기체와 접한 용액 표면을 가려 용매분자가 기화되는 것을 방해하기 때문입니다. 라울의 법칙에 따르면 비휘발성 비전해질인 용질A가 녹아있는 묽은 용액의 경우, 용액의 증기압 내림은 용질의 종류에 관계없이 용질의 몰분율에 비례합니다.

$$\Delta P = f_A \times P_0$$

(ΔP : 용액의 증기압 변화, f_A : 용질 A의 몰분율, P_0 : 순수용매의 증기압)

② 끓는점오름

끓는점이란 용매 내부의 증기압력과 외부의 압력이 같아지는 온도를 말하는데, 순수한 물의 끓는점은 1기압에서 100℃입니다. 용액은 순수한 액체가 아니고 용질이 용해돼 있어 용매의 증기압이 감소합니다. 그러므로 용액은 용질의 끓는점보다 높은 온도에서 끓게 됩니다. 이런 현상을 끓는점오름이라고 하며 이는 용질의 종류와는 관계없이 일어납니다.

$$\Delta T_b = K_b \times m$$

(ΔT_b : 용액의 끓는점 변화, K_b : 몰랄 오름 상수, m : 몰랄농도)

③ 어는점내림

어는점에서는 고체가 녹는 속도와 액체가 어는 속도가 같습니다. 순수한 물질의 경우 상변화에서 어떠한 방해도 받지 않지만 용매 속에 용질이 녹아있으면 용질이 용매분자 사이에 존재하기 때문에 용매의 상이 액체에서 고체로 전이하는데 방해가 됩니다. 그러므로 용액의 어는점은 순수한 용매의 어는점보다 낮아지는데 이와 같은 어는점내림 현상은 용질의 종류에 무관합니다.

$$\Delta T_f = K_f \times m$$

(ΔT_f : 용액의 끓는점 변화, K_f : 몰랄 내림 상수, m : 몰랄농도)

참고로 끓는점오름과 어는점내림의 식에서 몰농도를 쓰지 않고 몰랄농도를 사용하는 것은 온도 변화와 무관한 농도 개념을 사용해야 하기 때문입니다. 몰랄농도는 용매 1kg당 녹아있는 용질의 몰수로 나타내며 용매의 질량을 기준으로 삼기 때문에 온도가 변해도 농도는 변하지 않습니다.

④ 삼투현상

용액의 용질분자는 통과시키지 않지만 용매분자는 통과시키는 막을 반투막이라고 합니다. 순수한 물과 용액을 반투막으로 분리해 놓으면 막을 통해 물이 용액 쪽으로 이동해 평형상태에 이르게 되는데, 이것을 삼투현상이라 합니다. 삼투현상에는 반트호프의 법칙이 적용되며 용매나 용질의 종류에 무관합니다.

$$\pi = cRT$$

(π : 삼투압, c : 용액의 몰농도, R : 기체상수, T : 절대온도)

- 2) 생활 주변에서 용액의 총괄성과 관계된 예를 살펴봅시다. 설탕물을 탁자 위에 올려놨을 때 순수한 물보다 증발되는 양이 더 적습니다(증기압내림). 소금물은 100℃보다 더 높은 온도에서 끓고 그 온도가 계속 올라감을 확인할 수 있습니다(끓는점오름). 또 겨울철 결빙된 도로에 염화칼슘을 뿌려서 얼음을 녹이는 작업도 용액의 총괄성과 관련된 예입니다(어는점내림). 마지막으로 김장을 담글 때 배추를 소금으로 절이면 배춧잎이 축 처지는데 이것은 삼투현상으로 배추에 들어 있던 수분이 밖으로 빠져 나왔기 때문입니다.

▶ 추가문제

1. 다음은 미생물로부터 미지 효소를 분리·정제한 후 삼투압을 이용해 분자량을 측정하는 실험에 관한 것이다(2005년 서울대 정시).

- 1) 정제된 미지 효소 1.0g을 100mL의 증류수에 녹인 용액의 삼투압이 27℃에서 $4.1 \times 10^{-3} \text{ atm}$ 이었다. 이 미지 효소의 분자량을 구하라(단 기체상수는 $0.082 \text{ L} \cdot \text{atm} / \text{mol} \cdot \text{K}$ 다).
- 2) 만약 이 효소가 순수한 증류수에서는 침전 등으로 인해 불안정해 0.1M NaCl 수용액 100mL에 녹여야 했다면, 삼투압을 이용한 분자량 측정을 어떻게 하면 되겠는가?
- 3) 삼투현상을 이용해 미지 효소를 농축시킬 수 있는 방법을 설명하라.

2. 콜로이드 용액에 관한 다음의 질문에 답하시오.

- 1) 일교차가 큰 가을에는 새벽에 안개가 자욱하게 있는 현상을 종종 볼 수 있다. 안개는 에어로졸이라 부르는 일종의 콜로이드 상태다. 이와 같은 콜로이드 용액에서 관찰할 수 있는 현상들은 어떤 것들이 있는가?
- 2) 강릉의 특산물 중 하나가 초당순두부다. 초당순두부를 만드는 원리를 설명하시오.

2005년 09월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학] 내 몸안에도 촉매가 있다

어느덧 수험생 여러분들에게 큰 적이었던 여름이 지나갔습니다. 찌는듯한 무더위 속에서 꿈을 향해 한발한발 다가서기가 힘들었을 것입니다. 지난달 일부 대학에서는 1학기 수시모집이 치뤄졌습니다. 그 동안 준비해왔던 것을 바탕으로 기분 좋게 치뤘던 수험생도 있을 것이고 준비했던 것을 충분히 발휘하지 못해서 안타까워했던 수험생도 있을 것입니다. 그렇지만 아직도 여러 번의 기회가 있는 만큼 더욱 알차게 준비를 하여 그런 후회나 미련을 남기지 않도록 해야겠습니다.

이번 호에서는 화학반응식을 이용한 이상기체 상태방정식의 계산과 관련된 문제와 특히 화학 반응 단원에 대하여 많이 다루어봤습니다. 다가오는 2학기 수시나 정시에서는 1학기 수시 때와는 달리 조금 더 복합적인 내용들을 다루려고 합니다. 물론 여러분들이 교과서에서 배웠던 내용들입니다. 그 내용들을 얼마나 잘 포장할 수 있는가가 관건이 되는 것입니다.

그 중에서 화학반응 단원과 관련된 내용들은 여타의 다른 단원들과 연관 지을 수 있는 가능성이 제일 높기에 이 단원에 관한 질문들을 많이 실었습니다. 미국 대학의 졸업축사인 'Stay Hungry, Stay Foolish'라는 마지막 말처럼 끝까지 최선을 다하는 시간이 됐으면 합니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 화학반응에서 촉매의 역할

2) 효소의 구조

3) 화학반응식의 구성

1. 내 몸안에도 촉매가 있다? - 탄소화합물

1) 효소와 촉매의 공통점과 차이점은 무엇인지 설명하시오(2002년 서울대 약대).

2) 효소는 특정 환경에서만 그 효과를 발휘할 수 있다. 아래 식은 효소(E)가 반응물(S)을 생성물(P)로 변환시키는 과정을 의미하는 것이다.



이때 아래와 같이 생성물(P)이 생성되는 속도(V)와 반응물(S) 간의 관계식을 유도하고 개략적인 그래프를 그려보시오.

$$V = V_{\max} \frac{[S]}{[S] + K_M} \quad \left(\text{단 } K_M = \frac{k_2 + k_3}{k_1} \right)$$

▶ 전문가 클리닉

화학반응을 좀더 빠르게 진행시키기 위해서는 몇 가지 조건들을 바꿔야 합니다. 일반적으로 화학반응 속도는 반응하는 물질의 구조와 성질에 따라 다릅니다. 또한 같은 물질의 반응에서도 반응물질의 표면적, 농도, 압력, 온도, 촉매 등에 따라 그 속도가 달라집니다. 그 중에서도 촉매를 사용하면 반응의 활성화 에너지를 낮춰 반응이 빠르게 진행되게 하는 결과를 보여줍니다. 물론 정반응과 역반응의 속도가 둘 다 빨라지므로 전체적인 화학평형상수는 변하지 않습니다. 생체에서 촉매의 역할을 하는 것을 효소라고 하며 이 물질은 단백질이 그 주된 구성요소입니다.

▶ 예시답안

1) 화학반응을 빠르게 진행시키기 위해서는 온도를 높이는 등의 외부요인을 변화시켜야 합니다.

다. 그러나 단순히 촉매나 효소를 이용하면 외부요인을 급격히 변화시키는 수고 대신에 화학반응의 활성화 에너지를 낮춰서 정반응이 좀더 활발하게 진행할 수 있도록 도와줍니다. 비록 촉매와 효소가 동일한 역할을 하지만 이들의 가장 큰 차이점은 촉매는 일반 환경에서 사용되고 효소는 생체 내에서 작용한다는 점입니다. 또한 촉매가 무기물인데 반해 효소는 단백질의 일종이며 유기물로 구성되어 있습니다. 그러므로 촉매는 산, 온도 등의 영향을 그렇게 많이 받지 않지만 효소는 생체 내에서 작용하므로 이들의 조건이 적합한 상황에서만 효율적으로 작용할 수 있는 것입니다.

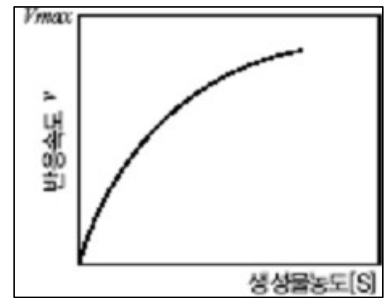
- 2) $E+S \rightarrow ES$ 에서 반응속도를 k_1 , $ES \rightarrow E+S$ 로 돌아가는 반응속도를 k_2 , $ES \rightarrow E+P$ 의 생성물로 넘어가는 반응속도를 k_3 라고 할 때, 생성물 P가 생성되는 속도 $V = k_3[ES]$ 가 됩니다.

효소와 반응물이 결합하는 ES의 생성율은 $k_1[E][S]$ 가 되고, 반응물이나 생성물로 변화되는 ES의 분해율은 $(k_2 + k_3)[ES]$ 가 됩니다. 이때 ES의 생성과 분해단계가 같다면 $k_1[E][S] = (k_2 + k_3)[ES]$ 가 되고, 이 식을 다시 정리하면 $[ES] = [E][S] = \frac{k_1}{k_2 + k_3} [ES] = \frac{[E][S]}{K_M}$ 가 됩니다. 한편 효소 E의 농도 $[E] = [E]_{\text{전체}} - [ES]$ 가 되므로 이를 위 식에 대입해 다음과 같은 식을 구할 수 있습니다.

$[ES]K_M = \{[E]_{\text{전체}} - [ES]\}[S]$ 가 되고 이를 정리하면 $[ES] = [E]_{\text{전체}} \frac{[S]}{K_M + [S]}$ 가 됩니다.

생성물 P가 생성되는 속도 $V = k_3[ES]$ 에 위 식을 대입하면

$V = k_3[E]_{\text{전체}} \frac{[S]}{K_M + [S]}$ 가 됩니다. 위 식에서 $k_3[E]_{\text{전체}}$ 는 V_{max} 가 됩니다. 왜냐하면 효소 전체가 반응에 참여해 생성물 P를 만들어내는 것이 반응의 최대값이기 때문입니다. 이를 참고로 식을 완성하면 지문에서 언급되었던 $V = V_{\text{max}} \frac{[S]}{[S] + K_M}$ 식이 됩니다.



▶ 추가문제

1. 최적의 pH에서 벗어나면 왜 반응속도가 느려지는지 효소가 촉매의 역할을 한다는 사실을 바탕으로 설명하시오(2005년 서울대 정시).
2. 헤모글로빈과 마이오글로빈은 우리의 몸 속에서 산소의 운반과 저장에 중요한 역할을 하는 단백질이다. 헤모글로빈에 의해 근육으로 운반된 산소는 마이오글로빈(Mb)과 결합해 저장된다. 이 반응의 평형상수를 K라고 하자. $Mb + O_2 \leftrightarrow MbO_2$

마이오글로빈이 산소와 결합한 형태로 존재하는 비(포화분율)를 s라고 정의했을 때, s를 평형상수와 산소 농도로부터 구하는 식을 구하라. s를 산소 농도의 함수로 그래프를 그렸을 때 얻어지는 결과를 도식적으로 그려보시오(2003년 서울대 정시).

$$s \equiv \frac{[MbO_2]}{[Mb] + [MbO_2]}$$

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 이상기체 상태방정식
- 2) 화학반응식의 의미

2. 기체방정식만 알면 다 문제없어 - 기체

기체반응식을 이용해 다음을 구하시오.

- 1) 1기압 27°C의 지표면에서 기구에 헬륨(He)기체를 $1.0 \times 10^4 \text{L}$ 만큼 채웠다. 기구가 하늘로 올라갔을 때, 주변 온도와 기압을 확인해 봤더니 0.6기압, -93°C 였다. 이때의 부피와 기구를 채우고 있는 헬륨의 질량을 구하시오(He의 분자량 : 4).
- 2) 이산화질소를 상온에서 식히면 이합체인 사산화이질소가 생성된다. 고온상태에서 23g의 이산화질소를 10L의 플라스크에 보관했다가 -30°C 로 식혔을 때, 전체 압력이 0.5기압이었다. 이때 각 기체의 부분압력과 몰분율을 구하시오.

▶ 전문가 클리닉

기체분자들은 각각의 구성 입자가 독립적이며 병진, 회전, 진동운동을 합니다. 각 분자들은 서로 간 인력이 약하고 빠른 속도로 운동하고 있으므로 기체의 종류에 관계없이 공통적인 성질을 갖고 있습니다. 이런 기체의 공통된 성질들을 이용한 여러 가지 법칙들이 있습니다.

일정한 온도에서 압력과 부피는 반비례한다는 보일의 법칙과 일정한 압력하에서 기체의 부피는 절대온도에 비례한다는 샤를의 법칙, 온도와 압력이 일정할 때 같은 부피에는 같은 몰 수가 존재한다는 아보가드로의 법칙과 기체와 관련된 가장 기본적인 법칙인 이상기체 상태방정식이 있습니다. 이 외에도 돌턴의 부분압력법칙과 그레이엄의 법칙, 기체분자운동론 등도 있으며 그 의미를 파악해 줘야 합니다. 덧붙여 화학반응식을 이용한 수식계산도 할 수 있는 기회가 됐으면 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 보일-샤를의 법칙에 따르면 $\frac{PV}{T} = \frac{P'V'}{T'}$ 가 됩니다. 위 식에 언급된 수치들을 대입하면 $\frac{1 \times 1.0 \times 10^4}{300} = \frac{0.6 \times V'}{180}$ 이 되고 $V' = 1.0 \times 10^4 \text{L}$ 가 됩니다.

이상기체 상태방정식을 따른다고 하면 $PV = nRT$ 에서 $n = \frac{PV}{RT} = \frac{0.6 \times 1.0 \times 10^4}{0.082 \times 180} = 4.07 \times 10^{-6} \text{mol}$ 이 됩니다. He의 분자량이 4이므로 이를 곱하면 $1.63 \times 10^{-5} \text{g}$ 입니다.

- 2) 우선 화학방정식을 완성해 보면 이산화질소와 사산화이질소의 화학방정식은 $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ 가 됩니다.

-30°C , 10.0L, 0.500기압을 이상기체 상태방정식에 대입합니다. 포기에 있던 이산화질소의 몰수는 $\frac{23}{46} = 0.5 \text{mol}$ 이며 반응이 진행된 후에 존재하는 이산화질소는 $(0.5 - 2x) \text{mol}$ 이므로 반응 후의 사산화이질소는 $x \text{mol}$ 이 됩니다. 그러므로 반응이 진행된 뒤에 플라스크에 존재하는 기체 분자의 총 몰수는 $(0.5 - x) \text{mol}$ 이 됩니다. $0.5 \times 10.0 = (0.5 - x) \times 0.082 \times 243$ 입니다.

위 이상기체 상태방정식에서 x 값을 구하면 $x = 0.249 \text{mol}$ 입니다. 반응이 종료된 후에 존재하는 이산화질소는 0.002mol 이고 사산화이질소는 0.249mol 입니다.

서로 반응하지 않는 두 가지 이상의 기체들이 혼합돼 있을 경우 각 성분 기체가 나타내는 압력을 각 성분 기체의 부분압력 또는 분압이라고 합니다. 이를 돌턴의 부분압력법칙이라고 합니다. 혼합 기체에서 한 성분 기체의 부분 압력은 전체 압력에서 그 성분 기체의 몰분율을 곱한 값과 같습니다.

전체 기체 0.251mol 에서 이산화질소가 차지하는 것은 0.002mol 이고 사산화이질소가 차지

하는 것은 0.249mol입니다. 따라서 각 성분 기체들의 몰분율은 0.008과 0.992가 되며 각각의 몰분율을 전체 압력에 곱하면 각 기체의 부분압력이 됩니다. 이산화질소의 부분압력은 0.004atm이고 사산화이질소의 부분압력은 0.496atm이 됩니다.

▶ 추가문제

진한 질산(HNO_3)에 구리(Cu)를 넣으면 이산화질소와 구리(II)이온이 생성된다. 화학반응식을 완성하시오.

만약 6.35g의 구리가 반응에 소모 됐을 때 1기압, 27°C 에서 이산화질소 포집을 했다면 포집한 이산화질소의 부피를 구하시오(Cu 의 분자량 : 63.5).

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) pH의 개념 2) 평형상수의 의미 3) 헨리의 법칙

3. 산성비의 의미 - 산, 염기

1) 산성비란 무엇인지 설명하시오.

2) 1)번의 답변 이유를 수식을 통해 설명하시오.

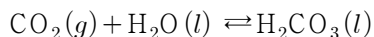
▶ 전문가 클리닉

산성인지 염기성인지를 판단하는 근거로 pH지수가 사용되곤 합니다. pH값이 7일 경우를 중성 상태, 이보다 작은 값이면 산성, 이보다 큰 값이면 염기성이라고 합니다. 그렇지만 빗물의 pH를 측정해보면 7의 값을 갖는 경우가 희박합니다.

봄철에는 황사의 영향으로 pH가 이보다 조금 더 높은 염기성 상태이고 대부분의 경우는 pH값이 이보다 낮게 나옵니다. 그러므로 빗물의 산성도 여부를 측정하기 위한 수치는 7이 아닌 5.6입니다. 만약 빗물의 pH값이 5.6보다 낮다면 산성비라고 합니다. 5.6이라는 기준 값이 나오게 된 이유를 수식을 통해 살펴봤으면 합니다.

▶ 예시답안

1) 내리는 비의 pH가 7보다 낮다고 해서 모두 산성비는 아닙니다. 왜냐하면 공기 중에는 이미 이산화탄소가 존재하고 있기 때문입니다.



위 화학식에서처럼 공기 중 이산화탄소는 일부가 물에 녹아 탄산의 형태로 존재하므로 내리는 비는 산성을 띠게 됩니다. 자연 상태에서 깨끗한 비의 경우 pH는 이산화탄소의 영향으로 5.6이며 이보다 더 낮을 경우가 산성비입니다. 따라서 빗물의 산성여부를 판단하는 기준은 pH5.6입니다.

산성비는 황산화물과 질소산화물 때문에 발생합니다. 황산화물은 공장이나 발전소 등에서 황이 함유된 연료를 연소시킬 때 발생하며 질소산화물은 자동차의 엔진 등에서 발생하는 고온으로 인해 공기 중의 질소가 산소와 반응해서 생깁니다.

이렇게 내리는 산성비로 토양이 산성화되며 그 결과 식물 생장에 필수적인 무기염류가 씻겨나가는 것뿐만 아니라 산성도 때문에 토양이 황폐화되고 식물이 죽게 됩니다. 또한 산성

비로 인해 수중생태계도 파괴됩니다. 게다가 토양에 존재하는 중금속이 식물에 흡수되면 먹이사슬을 따라 상위 소비자로 이동해 체내에 농축돼 심각한 부작용을 초래할 수 있습니다. 그리고 철이나 대리석으로 만들어진 건축물은 산성비로 인해 부식작용이 일어납니다.

이런 산성비의 피해를 줄이기 위해서는 무엇보다도 오염물질을 배출하지 않는 것이 필요합니다. 이를 위해 천연가스와 같은 황성분이 제거된 연료를 사용하거나 수력, 풍력, 태양열 등의 무공해 천연에너지를 이용해야 합니다. 그렇지만 이들이 손쉽게 이용될 수 있는 것은 아니므로 오염물질 배출을 감소시키는 방법이 필요합니다. 화석연료의 사용량을 줄이고 공장이나 발전소에 탈황장치나 이산화황 제거장치를 설치하고, 자동차에 촉매 변환장치를 설치하면 오염물질의 양을 급감시킬 수 있습니다.

- 2) 흔히 산성비의 기준을 pH5.6으로 잡습니다. 이는 공기 중에 존재하는 이산화탄소 때문인데 수식을 통해 5.6이라는 값을 아래처럼 구할 수 있습니다.

공기 중의 이산화탄소 농도는 0.035%이고 수증기압은 25℃에서 0.0313atm, 이산화탄소의 헨리상수는 $3.38 \times 10^{-2} \text{mol/L} \cdot \text{atm}$ 입니다. 공기 중의 이산화탄소 농도에 따른 부분압 $P_{\text{CO}_2} = (1 - 0.0313) \times 3.5 \times 10^{-4} = 3.39 \times 10^{-4} \text{atm}$ 이고 녹아있는 이산화탄소의 농도 $[\text{CO}_2] = 3.38 \times 10^{-2} \times 3.39 \times 10^{-4} = 1.146 \times 10^{-5} \text{M}$ 입니다. 그런데 이산화탄소가 물에 녹아 들어가면 $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ 가 됩니다. 한편 탄산의 이온화 상수 K_a

는 4.45×10^{-7} 으로 주어진 값이므로 $K_a = 4.45 \times 10^{-7} = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$ 가 됩니다. 그런데 공

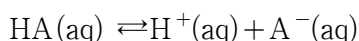
기 중의 이산화탄소 농도는 $1.146 \times 10^{-5} \text{M}$ 이므로 위 식을 풀어쓰면 $[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-] = 4.45 \times 10^{-7} \times 1.146 \times 10^{-5}$ 입니다. 여기서 이온화한 $[\text{H}^+]$ 와 $[\text{HCO}_3^-]$ 의 값은 같으므로 $[\text{H}^+]$ 를 구하면 $[\text{H}^+] = \sqrt{4.45 \times 1.146 \times 10^{-12}}$ 입니다. 따라서 pH=5.65가 됩니다.

▶ 추가문제

1. 다음 각 용액의 pH는?

- 2.0M $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ 와 2.0M $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$ 를 포함하고 있는 용액($K_a = 2.0 \times 10^{-5}$, $\log 2 = 0.30$ 이라고 하자).
- 이 용액 1.0L에 0.50M의 HCl 기체를 가했을 때(HCl 기체 첨가에 의한 용액의 부피 증가는 무시한다).
- 1.0M $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ 와 1.0M $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$ 를 포함하고 있는 용액 100mL를 1.0M HCl 수용액 50mL로 적정할 경우에 대해서 적정 곡선의 경향성을 설명해보시오($\log 3 = 0.48$, 물의 자체이온화는 무시한다).

2. 우선 일반적인 산의 이온화 평형에 대해 알아보자. HA가 수용액에서 다음과 같이 이온화될 수 있다면



이온화 상수 K_a 는 아래와 같이 정의된다.

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

이온화 상수 K_a 가 다음의 각 인자들의 변화에 따라 어떻게 변하는지 설명하시오.(2005년 서울대 기출)

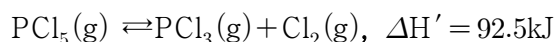
▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 화학평형의 의미
- 2) 평형을 이동시킬 수 있는 요인들
- 3) 평형이동법칙(르 샤틀리에의 원리)

4. 나는 멈춰있는 것이 아니야 - 화학평형

화학반응은 가역반응과 비가역반응으로 나눌 수 있다. 비가역 반응은 한쪽으로만 진행되는 반응으로 기체 생성 반응과 염의 형성 반응 등이 있다. 가역반응은 화학적 평형을 이루면서 반응이 진행된다.

- 1) 화학평형이란 무엇인지 설명하시오.
- 2) 화학평형을 변화시키는 요인에 대해서 언급하고 그 원리를 설명하시오.
- 3) 다음의 평형 반응에서 주어진 반응 조건에 대해 이 반응의 평형이동 방향을 예측하시오.



(1) 온도를 올렸을 때, (2) 염소기체를 반응 혼합물에 좀더 가했을 때, (3) 반응 혼합물에서 PCl_3 를 제거했을 때, (4) 기체의 압력을 증가시켰을 때, (5) 반응 혼합물에 촉매를 가했을 때.

▶ 전문가 클리닉

화학평형의 정의와 화학반응의 방향성을 유도하는 평형이동법칙에 대한 이해도를 충분히 설명할 수 있어야 합니다. 화학평형을 설명하기 위해서는 화학반응이 가역적이어야 한다는 점과 정반응, 역반응의 관계를 덧붙여 언급해야 합니다. 또한 반응의 방향을 변화시키는 요소들인 온도, 압력, 농도 등의 반응 주변요소들을 파악하고 그 변화와 반응은 어떠한 관계를 갖는지를 알아둬야 합니다. 이들을 설명할 수 있는 평형이동법칙인 르 샤틀리에의 원리를 충분히 인식해야 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 화학반응은 크게 반응물질과 생성물질의 측면에서 살펴보면 반응물에서 생성물이 생기는 반응을 정반응이라하고 반대로 생성물이 반응물로 돌아가는 반응을 역반응이라하고 합니다. 정반응과 역반응이 반응 조건 즉 온도, 압력, 농도에 따라서 모두 일어날 수 있는 경우를 가역반응이라하고 반응 조건을 변화시켜도 역반응이 일어나기 힘든 반응을 비가역반응이라하고 합니다.

가역반응에서 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 경우를 화학평형이라고 합니다. 이 화학평형은 동적 평형 상태로 생성물질이 반응물질로 되는 것이 멈춘다는 의미가 아닙니다. 즉 지속적으로 반응물질이 생성물질로 변하고 있으며 그 수만큼 반대로 생성물질이 반응 물질로 되돌아가므로 전체적인 물질의 농도가 일정한 상태를 의미합니다. 화학평형은 항상 자발적으로 이뤄지며 또 일단 평형에 도달하면 다른 외부 조건이 변하지 않는 경우에는 평형이 그대로 유지됩니다.

- 2) 화학평형을 결정하는 요인은 물질의 에너지가 낮은 쪽으로 향하는 에너지 측면과 물질이 좀

더 무질서한 상태로 가려는 무질서도 측면이 있습니다. 에너지 측면에서는 에너지가 높은 상태에서 낮은 상태로 자발적으로 반응이 진행되면서 에너지를 방출하고 좀더 안정한 물질로 변해 화학평형을 이루려고 합니다. 이에 반해서 무질서도는 분자의 몰수가 증가하거나 물질이 섞여 무질서가 증가하는 방향으로 화학평형을 진행하려는 것입니다. 자연계의 화학반응은 항상 에너지가 낮은 상태로 또는 무질서도가 증가하는 쪽으로 반응을 하려고 합니다.

가역반응에서 평형상태에 있을 때 화학평형은 온도, 압력, 농도에 영향을 받게 됩니다. 반응 조건을 변화시켜서 화학평형을 조절하는 것을 르 샤틀리에의 원리(평형 이동의 법칙)라고 합니다. 이 원리는 화학반응의 반응 조건이 변하면 변화를 줄이는 방향으로 반응이 진행된다는 것입니다.

예를 들어 온도의 영향을 보면 발열반응인 경우 반응 온도가 낮아질수록 정반응이 유리해지고 반응 온도가 올라 갈수록 역반응이 유리하게 됩니다. 흡열반응인 경우 이와는 정반대로 평형이 이동할 것입니다. 그러나 온도 자체가 너무 낮아지면 분자들의 움직임이 느려지므로 무질서도가 감소하는 문제가 발생하게 됩니다. 물질의 농도가 증가하면 증가한 물질의 농도를 낮추기 위해서 정반응 또는 역반응이 진행돼 새로운 평형이 만들어집니다. 기체인 경우 외부 압력이 높아지면 압력을 줄이기 위해서 기체의 몰수가 큰 쪽에서 작은 쪽으로 반응이 진행됩니다. 그러나 고체나 액체의 반응은 압력에 영향을 받지 않습니다.

- 3) 평형이동법칙으로 문제를 해결하면 이 반응은 엔탈피 값($\Delta H_r = 92.5\text{kJ}$)이 양(+)이므로 흡열반응입니다. 그러므로 온도를 올리면 화학평형은 정방향으로 진행합니다. 그리고 혼합물에 염소기체를 가하면 염소기체가 증가하므로 평형은 역방향으로 진행됩니다.

반대로 혼합물에서 PCl_3 기체를 제거하면 PCl_3 가 감소하므로 화학평형은 정방향으로 진행합니다. 만약 혼합 기체에 압력을 증가시키면 기체의 총 몰수가 작은 쪽이 반응이 유리해지므로 평형은 역방향으로 진행됩니다. 이 때 촉매는 활성화에너지를 낮추거나 높이는 역할을 하므로 반응을 빠르게 하거나 느리게 하는데 영향을 줍니다. 그러므로 촉매는 화학평형에서는 아무런 영향을 주지 못합니다.

2005년 10월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학] 물의 끓는점은 얼마일까

무더웠던 여름과 달리 천고마비의 계절, 가을은 선선한 날씨와 함께 이것저것 맛있는 것들을 맛 볼 수 있는 축복받은 시기입니다. 충분한 영양을 골고루 섭취하듯 화학도 부족한 부분을 찾아가며 골고루 공부하시길 바랍니다. 이번 호에서는 지난 9월호에서 다루지 못했던 내용들을 추가해 다뤄봤습니다. 완충용액의 성질을 보여주는 혈액과 액체의 끓는점이 갖는 의미와 물의 상평형, 탄소화합물의 열화학반응식에 대한 이해를 넓혀보길 바랍니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 화학평형과 공통이온효과

2) 르 샤틀리에의 원리

1. 누가 뭐래도 난 변치않아 - 화학평형, 산-염기 반응

우리 몸의 혈액은 pH 7.35~7.45인 약염기성으로 유지된다. 만약 혈액의 pH가 크게 변하면 효소가 원래 기능을 상실해 사람들은 생명을 잃을 수도 있다. 따라서 우리 몸은 혈액 내의 완충작용이라고 불리는 화학반응을 통해 혈액의 pH를 일정하게 유지한다. 다음 물음에 답하시오(2005년 한양대 수시 2학기).

1) 완충용액을 정의하고 만드는 방법을 설명하시오.

2) 체내 혈액 속에서 완충작용에 관여하는 탄산과 탄산수소이온 간의 화학반응식을 쓰시오.

3) 혈액 내에 강산 HCl이 소량 첨가됐을 때, 문항 2)의 화학반응은 어느 방향으로 진행되는지 설명하시오.

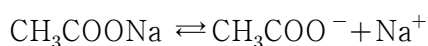
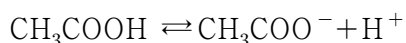
▶ 전문가 클리닉

pH를 급격히 변화시키는 요인을 첨가해도 pH가 급변하지 않는다는 것은 그 효과를 상쇄시킬 힘을 지니고 있다는 말입니다. 이런 힘을 지니는 용액을 ‘완충용액’이라고 합니다. 지문에서는 혈액이 완충용액의 성질을 지니고 있음을 보여줍니다. 혈액이 왜 완충용액인지 또 어떻게 완충용액으로서 행동하는지를 파악한다면 문항 출제의도에 잘 접근한 것입니다.

물론 화학평형의 개념을 항상 염두에 두어야 하겠습니다. 그리고 3)번 문항에 효과적으로 답하기 위해서는 공통이온 효과가 무엇인지 또는 르 샤틀리에의 원리란 무엇인지 덧붙여 언급하면 좋습니다.

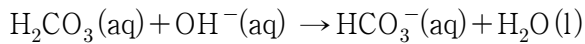
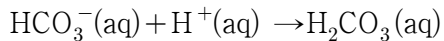
▶ 예시답안

1) 완충용액이란 약산에 그 약산의 염을 넣은 용액 또는 약염기에 그 약염기의 염을 넣은 용액입니다. 즉 산이나 염기를 가해도 용액의 pH가 공통이온효과 때문에 크게 변하지 않는 용액을 말합니다. 이런 완충용액은 일반적으로 약산과 그 짝염기를 같은 농도를 섞어 만듭니다. 예를 들면 CH_3COOH 와 CH_3COONa 를 섞어 완충용액을 만들어 줍니다.

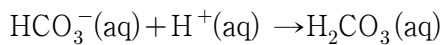


이 용액에서 HCl을 더해주면 H^+ 가 많아지므로 공통이온효과 때문에 역반응이 일어나 H^+ 의 농도를 감소시킵니다. NaOH를 더해주면 OH^- 가 H^+ 와 반응해 H^+ 가 감소하나 정반응이 일어나 H^+ 를 보충해 pH 변화는 거의 없습니다.

- 2) 혈액은 물과 달리 완충효과를 갖습니다. 이런 성질을 이용해 인체는 항상성을 유지합니다. 사람의 혈액은 이산화탄소(CO_2)가 혈액 속에 녹아 형성된 탄산(H_2CO_3)과 그 짝염기인 탄산수소이온에 의해 pH가 일정하게 유지됩니다.



- 3) 염산은 강한 전해질이므로 물에 들어가면 쉽게 해리돼 H^+ 와 Cl^- 가 됩니다. 한편 2)의 화학반응을 살펴보면



가 됩니다. 염산의 첨가로 수소이온(H^+)이 늘어나므로 공통이온효과와 르 샤틀리에의 원리에 따라 반응은 수소이온의 영향을 감소시키는 정방향으로 진행합니다.

▶ 추가문제

평형상수 K와 반응지수 Q에 대해 설명하고 두 값의 크기에 따른 화학반응의 진행 방향을 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 동적평형상태 2) 증기압력 3) 물의 상평형

2. 물의 끓는점은 얼마일까? - 물질의 상태(액체)

다음 물음에 답하시오.

- 표준상태에서 물 1mol이 들어있는 밀폐된 그릇을 계속 가열할 때 물의 끓는점은 어떻게 될까? 100℃가 유지될까?
- 0℃ 이하의 온도에서도 얼음을 녹일 수 있는 방법은 무엇인지 상평형 그림을 이용하여 설명하시오(2003년 동국대 수시 1학기).

▶ 전문가 클리닉

액체 표면에 있는 분자들은 제각기 서로 다른 운동에너지를 갖습니다. 액체 상태에서는 분자들을 한데 묶어 두는 분자 사이의 인력이 존재합니다. 그러나 운동에너지가 큰 분자들은 그 인력을 극복하고 기체상태인 수증기로 변하기도 합니다. 그리고 액체의 증기압력과 외부압력이 동등해져 액체 내부에서도 격렬한 기화과정이 일어나는 것을 끓는다고 말합니다. 물은 우리 주변에서 흔하게 관찰할 수 있는 물질이지만 그 중요성이 간과되기 쉽습니다. 물이 독특한 성질을 갖는 이유는 일반적인 화합물에는 존재하지 않는 독특한 형태의 결합 양상을 보이기 때문입니다. 이 독특한 결합은 바로 수소결합입니다. 그래서 물은 분자량이 비슷한 다른 물질에 비해 끓는점과 어는점이 매우 높습니다. 얼음의 결정상태와 밀도 등도 이와 밀접한 연관을 갖습니다. 물이 독특한 성질을 갖게하는 원인인 수소결합은 지속적으로 출제되고 있습니다. 해마다

문항의 형태는 다르지만 원하는 답은 수소결합의 특성이므로 정확히 이해해야 합니다. 그러므로 수소결합과 관련된 문제를 다양하게 접해 봐야 합니다.

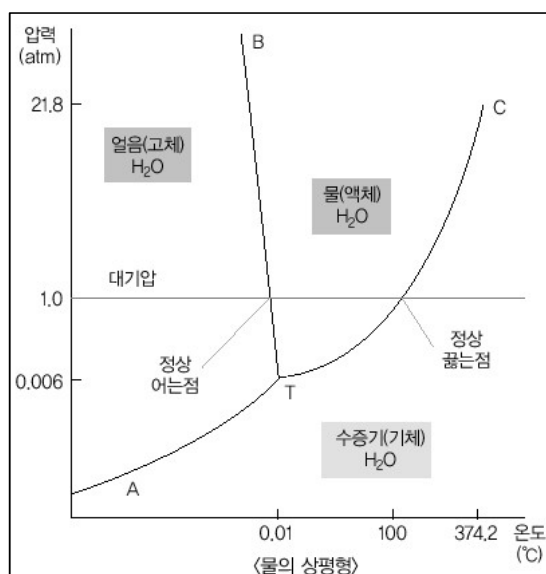
▶ 예시답안

- 1) 증기압력이란 기체와 액체가 동적평형을 이뤘을 때 증기가 나타내는 압력을 뜻합니다. 온도가 높아지면 분자의 운동이 활발해지고 분자간의 인력을 극복하기 쉬워 증기압력이 증가합니다. 그리고 같은 온도에서는 휘발성이 강할 수록 동일 온도에서 증기압력이 증가합니다. 특히 끓는다는 것은 외부압력과 증기압력이 같아져 액체 내부에서도 격렬하게 기화하는 것입니다.

그리고 액체가 끓을 때의 온도를 끓는점이라 합니다. 밀폐된 그릇의 물을 계속 가열하면 그릇 속의 증기압력이 계속 증가합니다. 이때 액체상태이던 물이 기체상태인 수증기로 변해 외부 압력이 증가합니다. 또한 늘어난 외부 압력의 영향으로 끓는점도 계속 높아집니다. 이는 압력솥의 끓는점이 100℃보다 높은 현상을 통해서도 관찰할 수 있습니다.

- 2) 얼음과 물의 상평형 기울기는 아래 그래프처럼 음의 값을 갖습니다. 물은 0℃ 이하에서 고체상태인 얼음으로 존재합니다. 이런 얼음을 액체상태인 물로 바꾸기 위해서는 압력을 올리면 됩니다. 아래 그래프에서 고체상태인 한 지점을 잡고 압력이 증가하는 방향으로 선을 그어보면 액체상과 경계면인 용융곡선에 닿는 것을 알 수 있습니다.

예를 들어 스케이트장에서 스케이트를 탈 경우 좁은 면적의 스케이트 날에 체중 압력이 추가로 가해지면 날 표면과 맞닿은 얼음은 녹아서 물이 됩니다. 이런 현상 때문에 우리는 얼음 위에서 스케이트를 탈 수 있는 것입니다. 따라서 얼음이 푹푹 어는 아주 추운 날보다 사람 체중으로 얼음을 살짝 녹일 수 있는 날에 스케이트를 타기 더 좋습니다.



▶ 추가문제

기체에 압력을 가하거나 온도를 내리면 액체가 된다(2004년 동국대 수시 2학기).

- 1) 기체에 압력을 가하는 경우와 기체의 온도를 내리는 경우 어떻게 액체가 되는지 분자수준에서 각각 설명하시오.
- 2) 실린더 속의 압축된 기체를 대기 중에 분출시킬 때와 진공 속으로 분출시킬 때 기체의 온도는 각각 어떻게 되겠는가? 그 이유를 설명하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 화학반응식의 완성
- 2) 이성질체의 종류와 의미
- 3) 분자간의 힘

3. 연료로 사용하는 탄소화합물-탄소화합물

액화천연가스(LPG)의 주성분 중의 하나인 부탄(C_4H_{10})은 공기 중에서 잘 타고 많은 열이 발생하므로 연료로 사용되고 있다. 다음 물음에 답하시오(2005년 한양대 수시 2학기).

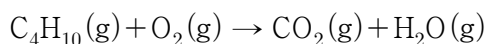
- 1) 부탄(C_4H_{10})의 연소반응에 대한 화학반응식을 계수를 포함해 쓰시오.
- 2) 17.4g의 부탄(C_4H_{10})과 41.6g의 산소(O_2)가 반응해 생성되는 이산화탄소(CO_2)의 최대량을 구하시오(부탄의 분자량:58, 산소의 분자량:32, 이산화탄소의 분자량:44).
- 3) 부탄의 두 이성질체의 구조를 그린 후 이들 중 끓는점이 더 높은 이성질체를 밝히고 그 이유를 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

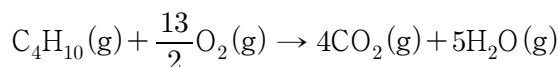
탄소원자는 최대 4개의 단일결합이나 다양한 공유결합을 통해서 화합물을 형성합니다. 그래서 탄소화합물은 상당히 많은 종류가 있습니다. 이렇게 다양한 종류의 탄소화합물은 결합 형태에 따라 나눌 수 있습니다. 즉 모두 단일결합으로 구성되어 있으면 포화 탄화수소, 다중결합이 존재하면 불포화 탄화수소입니다. 특히 벤젠고리처럼 특이성을 보이는 화합물을 방향족 탄화수소, 그렇지 않은 것을 지방족 탄화수소로 나누기도 합니다. 또 탄소화합물이 갖는 특징적인 작용기에 따라 구분을 짓기도 합니다. 탄소화합물은 탄소를 중심으로 이뤄진 공유결합물질로서 분자성 물질을 형성합니다. 이들은 반 데르 발스 힘, 수소결합 등에 의해 성질을 나타내므로 유기 용매에 잘 녹고 비전해질이며 낮은 녹는점을 보입니다. 특히 이 문제는 화학반응식을 작성할 줄 알고 이성질체의 개념을 알면 쉽게 해결할 수 있습니다.

▶ 예시답안

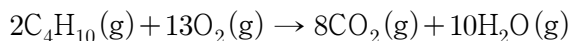
- 1) 부탄의 연소반응은 부탄분자와 산소분자가 화학반응을 일으키는 것을 말합니다. 그 결과 이산화탄소와 수증기가 생성됩니다. 이를 화학반응식으로 작성하면



가 됩니다. 이를 양쪽의 계수를 맞추면

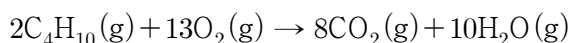


가 되고 이를 가장 간단한 정수비로 만들면



으로 화학반응식이 완성됩니다.

- 2) 1)에서 구한 부탄 연소반응의 화학반응식은



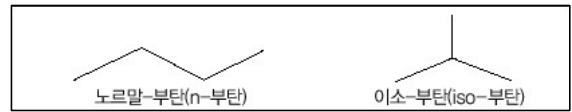
입니다. 식에서처럼 부탄이 연소하려면 2분자의 부탄분자가 13분자의 산소분자와 반응해야 함을 알 수 있습니다.

부탄 17.4g은 0.3mol에 해당하며 산소 41.6g은 1.3mol에 해당합니다. 이때 반응을 제한하는 상수는 산소의 양입니다.

산소 1.3mol이 모두 반응에 참여하는 대신에 부탄은 최대로 0.2mol밖에 참여할 수 없습니다. 그 결과 이산화탄소는 0.8mol, 수증기 1mol이 생성됩니다. 한편 이산화탄소 0.8mol은

$44 \times 0.8 \text{ mol} = 35.2 \text{ g}$ 에 해당합니다.

- 3) 이성질체란 구성원자의 수는 동일하나 결합을 형성하는 형태가 달라 양상이 달라지는 화합물 관계입니다. 그 종류는 구조이성질체, 기하이성질체, 광학이성질체 등이 있습니다. 구조이성질체는 구조가 달라서 성질이 다른 화합물을 의미합니다. 부탄의 경우 아래 그림과 같이 두 종류가 있습니다.



둘 중 끓는점이 높은 물질은 n-부탄입니다. 끓는점이 높다는 것은 분자간의 인력이 매우 커서 그 인력의 영향을 극복할 정도로 큰 열에너지가 필요하다는 말입니다. 또 분자 간 인력에 영향을 주는 주요한 요소는 규칙성을 띠는 분자들의 배열입니다. 이런 규칙적인 분자 배열, 즉 쌓임은 분자가 동일한 형태일 때 효율적으로 쌓이며 분자 사이의 인력이 늘어나 녹는점이나 끓는점이 높아집니다. 따라서 이소-부탄의 경우 프로판을 중심으로 가지가 하나 나와 있어서 n-부탄 보다 분자가 촘촘히 배열되지 않아 끓는점이 더 낮습니다.

▶ 추가문제

지방은 크게 식물성과 동물성으로 나눌 수 있습니다. 이들의 차이점은 무엇인지 설명하시오.

2005년 11월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학] 원자들을 이어주는 힘

나무가 봄에 잎을 내어 그 잎이 물들고 떨어지면서 1년을 마무리 하듯 이번 달은 지난 1년간 열심히 준비했던 일을 매듭짓는 달입니다. 수험생 여러분에게 그 일은 바로 대학수학능력시험입니다. 각 대학마다 다양한 전형과 면접이 있지만 무엇보다 수능시험의 영향이 큼니다. 그러므로 수험생 여러분은 얼마 남지 않은 시간을 하루하루 소중히 여기고 열심히 공부해서 만족스런 결과를 얻길 바랍니다. 이번 호에서는 용액의 총괄성, 화학결합, 산화-환원반응을 다뤘습니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 용액의 총괄성 2) 삼투현상과 반트호프식 3) 몰농도를 구하는 법

1. 개수가 중요하지 물질이 중요한 것은 아냐 - 용액의 총괄성

U자관 중앙의 반투막을 경계로 한쪽은 순수한 물을, 다른 한쪽은 설탕물을 같은 높이로 넣고 오래 두면 삼투현상 때문에 순수한 물과 설탕물의 높이가 달라진다. 다음 물음에 답하십시오 (2005년 한양대 수시 1학기).

- 1) 삼투현상이 무엇인지 설명하고 어느 쪽 수면이 높아지는지 답하십시오.
- 2) 반트호프(van't Hoff)는 묽은 용액의 삼투압, 농도, 그리고 절대온도 사이에 중요한 관계를 발견하고 식으로 나타냈다. 그 관계식을 쓰시오.
- 3) 반트호프의 법칙을 이용하면 고분자 물질의 분자량을 구할 수 있다. 반트 호프의 식에서 분자량을 구하는 공식을 유도하고 다음 삼투압 실험결과를 이용해 미지의 화합물 분자량을 구하십시오(물에 해리되지 않는 미지의 화합물 2.0g을 순수한 물 0.82L에 녹인 후 300K에서 삼투압을 측정하니 0.030atm이었다. 기체상수R은 0.082atm·L/ mol·K).

▶ 전문가 클리닉

물질의 상태와 관련된 기출문제는 주로 기체상에 집중됩니다. 이상기체 상태방정식을 기본으로 한 질문이 주를 이루고 기체상을 제외하면 물질의 상과 관련된 질문은 액체상이 대부분입니다. 액체상에서도 순수한 물의 특성에 관련된 질문을 제외하면 용액과 관련된 내용이 주를 이룹니다. 용액이란 용매와 용질분자가 고루 섞인 것을 말합니다. 이때 용액은 용질분자간의 인력보다 용매분자와 용질분자간의 인력이 같거나 클 경우에만 형성됩니다. 이런 용액은 나름의 독특한 성질을 갖는데, 이것이 바로 용액의 총괄성입니다. 용액의 증기압력 내림현상, 끓는점 오름현상, 어는점 내림현상, 삼투현상 등이 그 예에 해당합니다. 그 중 2005년 한양대 수시 1학기 기출문제는 삼투현상과 관련한 내용입니다.

▶ 예시답안

- 1) 용액의 총괄성은 용질 종류와 관계없이 용질의 입자수에 따라 결정됩니다. 삼투현상도 용액의 총괄성 중 하나입니다. 용액의 구성성분 중 용매분자는 쉽게 통과시킬 수 있으나 용질분자는 통과시킬 수 없는 선택적 막을 반투막이라 합니다. 이를 사이에 두고 순수한 용

매와 용액을 격리시키면 순수한 용매에서 용액 쪽으로 용매가 이동해 용액 쪽의 수면이 더 높아집니다. 이것이 바로 삼투현상입니다. 동일한 높이의 순수한 물과 설탕물을 반투막을 경계로 놔두면 물이 설탕물 쪽으로 이동해 설탕물의 수면이 높아집니다.

- 2) 반트호프는 묽은 용액에서 삼투압과 농도, 절대온도와의 관계식을 정립했습니다. 그 식은 $\pi = cRT$ 고 기체상수가 식에 관여합니다.
- 3) 2)에서 반트호프의 식이 $\pi = cRT$ 임을 알았습니다. 용액의 몰농도는 용액 1L에 녹아있는 용질의 몰 수를 의미합니다. 그러므로 용질의 몰 수 n 을 용액의 부피 V 로 나눠주면 $c = n/V$ 입니다. 이를 반트호프식에 대입해 정리하면 $\pi V = nRT$ 입니다. 여기서 용질의 질량을 w , 분자량을 M 이라 가정하면 $\pi V = wRT/M$ 입니다. 다시 M 에 관한 식으로 정리하면 $M = wRT/\pi V$ 가 됩니다. 각 수치를 대입해 미지 화합물의 분자량 M 을 구하면

$$M = \frac{2.0g \times 0.082L \cdot atm \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1} \times 300K}{0.030atm \times 0.82L}$$

이므로 미지 화합물의 분자량 M 은 2000입니다.

▶ 추가문제

- 다음은 미생물에서 미지 효소를 분리 정제한 후 삼투압을 이용해 분자량을 측정하는 실험이다. 기체상수는 $0.082atm \cdot L/mol \cdot K$ 이다(2005년 서울대 정시).
 - 정제된 미지의 효소 1.0g을 100mL의 증류수에 녹인 용액의 삼투압이 $27^\circ C$ 에서 $4.1 \times 10^{-3} atm$ 이다. 이 미지 효소의 분자량을 구하라.
 - 만약 이 효소가 순수 증류수에서 침전 등으로 불안정해 0.1M NaCl 수용액 100mL에 녹여야 했다면 삼투압을 이용한 분자량 측정을 어떻게 하면 되겠는가?
 - 삼투현상을 이용해 미지 효소를 농축할 수 있는 방법을 설명하라.
- 용액의 총괄성 종류를 말하고 각 성질들이 갖는 원리를 설명하시오. 또 그 종류를 실생활의 예로 들어보시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 화학결합의 정의와 종류 2) 분자간 힘의 종류 3) 분자의 극성과 분자모양

2. 원자들을 이어주는 힘 - 화학결합

화학결합은 원자 사이의 인력과 척력의 합이 가장 작은 상태로 이뤄집니다. 이런 화학결합은 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 나눌 수 있습니다. 아래의 물음에 답하시오.

- 공유결합으로 형성된 분자들 사이에는 다양한 인력이 작용한다. 이들을 설명하시오.
- 이산화규소(SiO_2)와 이산화탄소(CO_2)는 산소와 동일한 결합을 이루지만 끓는점은 SiO_2 가 훨씬 높다. 그 이유는?

▶ 전문가 클리닉

화학결합은 크게 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 구별합니다. 이 화학결합의 종류를 결합에 참여한 원소에 따라 결정할 수도 있습니다.

그러나 결합의 종류에 따라 방법의 차이가 있지만 화학결합에 참여한 원소들 대부분은 비활성 기체의 최외각전자 개수를 따라 가장 바깥 전자껍질을 8개의 전자로 채우는 공통점이 있습니다. 이것이 옥텟 규칙입니다. 그런 화학결합의 한 종류인 공유결합은 전기음성도가 큰 비금속 원소끼리의 결합입니다. 비금속 원소는 금속 원소에 비해 이온화에너지가 크므로 전자를 받아들여 옥텟 상태를 만족하려고 합니다. 그러나 원소들 사이에서는 전기음성도 차가 크지 않아 이온결합처럼 전자를 쉽게 얻지 못합니다. 따라서 결합에 참여하는 각 비금속 원소는 자신의 홀전자를 서로 공유해 부족한 전자를 채우고 옥텟 규칙을 만족합니다.

▶ 예시답안

- 1) 공유결합은 극성 공유결합과 비극성 공유결합, 배위결합으로 나뉩니다. 공유결합 분자 사이에는 다음과 같이 네 가지 분자간 힘이 존재하며 분자의 극성, 모양, 분자량 등에 따라 달라집니다.
 - a) 이중극자-이중극자 힘: 극성 분자 사이에 작용하는 정전기적 인력으로 분자의 이중극자 모멘트가 클수록 힘이 강합니다.
 - b) 이중극자-유발 이중극자: 극성 분자가 비극성 분자에 접근하면 비극성 분자에 편극 현상이 일어납니다. 그리고 비극성 분자 내에서 부분 전하($\delta+$, $\delta-$)를 띠어 유발 이중극자를 형성합니다. 그러므로 유발 이중극자와 이것을 유발한 극성 분자 사이의 정전기적 인력입니다.
 - c) 분산력: 무극성 분자에서 전자들은 극성을 나타내지 않습니다. 그러나 어떤 순간에 전자들이 한쪽으로 몰려 이중극자가 됩니다. 이런 순간적 이중극자가 이웃 원자 또는 분자에 편극을 유도해 이중극자가 유발되면 두 원자 또는 두 분자 사이에 인력이 작용합니다. 즉 이 힘이 분산력입니다. 분산력은 전자가 많을수록 분자량이 클수록 크고 분자 사이의 접촉 면적이 클수록 커집니다.
 - d) 수소결합: 극성 분자 사이에 작용하는 힘으로 전기음성도가 큰 O, N, F와 결합한 수소가 다른 분자의 O, N, F 중 한 원자와 연결될 때 형성됩니다. 두 전하 사이에 전기음성도 차가 상당히 크기 때문에 강한 정전기적 인력이 작용하며 이와 같은 인력으로 이뤄진 결합입니다.
- 2) 이산화규소는 공유결정 또는 원자결정 화합물이고 이산화탄소는 분자결정입니다. 공유결정은 공유결합을 이룬 결정이 인접한 원자끼리 연속적으로 공유결합을 형성해 모든 원자가 그물처럼 이어진 결정구조입니다. 공유결정은 결정을 이룬 모든 원자들이 강한 공유결합에 의해 연결돼 있어 결합력이 강하고 녹는점, 끓는점이 매우 높으며 승화열이 크고 전기전도성은 액체와 고체 상태에서도 없습니다.

분자결정을 형성하는 공유결합 분자는 기체, 액체, 고체 상태에서 분자 모양을 그대로 유지합니다. 이는 분자 사이의 인력으로 분자들이 규칙적으로 배열돼 결정을 이룹니다. 비극성 분자 결정에서 분자 사이에 작용하는 힘은 분산력 또는 반데르발스 인력입니다. 이 분자간 힘은 공유결합력에 비해 훨씬 약해 녹는점이 낮고 용융열이나 승화열이 낮습니다. 또 분자량이 증가할수록, 분자 사이의 접촉 면적이 클수록 증가합니다. 이러한 분자의 예로 요오드(I_2), 드라이아이스(CO_2), 나프탈렌이 있습니다.

▶ 추가문제

1. 물은 왜 독특한 물리화학적 성질을 갖는지 그리고 왜 좋은 용매인지 설명하시오(2004년 성균관대 수시 1학기).
2. 고체 염화나트륨이 녹아있는 물은 전기를 전달한다는 사실에서 염화나트륨이 Na^+ 와 Cl^- 로 구성되어 있는 것을 확신할 수 있다. 그러므로 나트륨과 염소가 반응해 염화나트륨을 만들 때 전자가 나트륨 원자에서 염소 원자로 이동하면서 Na^+ 와 Cl^- 이온을 형성하고 다시 뭉쳐 염화나트륨을 만든다(2003년 숙명여대).
- 1) 위 글의 내용은 무엇을 설명하는가?
- 2) 화학결합의 다른 유형으로 공유결합이 있다. 공유결합에서 결합의 형성에 대해 설명하라.
- 3) 녹는점, 경도, 전기전도도 등 물리적 성질로 이온(결합)화합물과 공유(결합)화합물을 구분할 수 있는가?
- 4) 공유결합의 극성과 쌍극자모멘트를 설명하라.
- 5) 일반적으로 포화탄화수소 반응성은 불포화탄화수소 반응성보다 떨어진다. 화학결합을 이용해 설명하라.

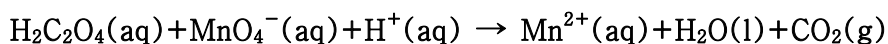
▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 산화-환원의 정의
- 2) 화학반응식 완성하기
- 3) 산화제와 환원제

3. 얼룩 제거에도 화학반응이 필요하다? - 산화-환원반응

과망간산칼륨(KMnO_4)은 인조견사를 제외한 대부분의 흰색 섬유에서 얼룩을 제거하기 위해 사용된다. 이 과정에서 생긴 과망간산염 얼룩은 옥살산($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$)으로 제거할 수 있다. 다음 물음에 답하시오(2005년 한양대 수시 2학기).

- 1) 반쪽 반응법을 이용해 다음의 산화, 환원 반응식을 완결하시오.



- 2) 1)의 반응에서 산화제와 환원제를 밝히시오.

▶ 전문가 클리닉

주변의 모든 현상은 어느 한 쪽이 증가하면 필연적으로 다른 쪽은 감소합니다. 에너지 보존 법칙도 그런 예 중 하나입니다. 전체적인 에너지는 불변하나 그것이 표현된 한 단면은 변할 수 있습니다. 산화-환원은 동전의 양면과 같습니다. 그러므로 어느 하나만 일어날 수 없습니다. 산화반응이 일어나면 다른 쪽은 필연적으로 환원반응이 일어납니다. 일반적으로 산화란 산소를 얻는 것이고 환원은 산소를 잃는 것입니다. 그 의미를 더욱 확장해보면 산화는 수소를 잃는 것, 전자를 잃는 것을 말하며 환원은 수소를 얻는 것, 전자를 얻는 것입니다. 간단히 말해 산화수가 증가하면 산화, 감소하면 환원입니다. 특히 이번 기출문제는 산화-환원의 가장 포괄적인 정의인 전자의 흐름에 맞춰 생각해야 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 우선 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq}) + \text{MnO}_4^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 식에서 반응 전후

에 산화수가 변한 것을 찾습니다. 망간의 경우 산화수가 +7에서 +2로 감소했습니다. 이것의 반쪽 반응식은 $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$ 입니다. 또 옥살산의 탄소의 경우 산화수가 +3에서 +4로 증가했습니다. 산화수를 고려하면 옥살산의 탄소량이 망간의 양보다 5배가 더 많이 존재해야 합니다. 그리고 반응식의 계수를 맞춰 보면 다음과 같습니다.

$2/5\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq}) + \text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 3\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 5\text{CO}_2(\text{g})$ 입니다. 옥살산의 경우 해리돼 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 형태로 존재해야 하는데 위 식에서 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 형태로 있으므로 그 만큼의 수소이온을 감소시켜 표현합니다. 그러므로 식은

$5\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq}) + 2\text{MnO}_4^-(\text{aq}) + 6\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow 2\text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 8\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 10\text{CO}_2(\text{g})$ 로 정리됩니다.

- 2) 화학반응에서 산화제란 자신은 환원되고 다른 물질을 산화시키는 물질입니다. 반대로 환원제는 자신은 산화하면서 다른 물질을 환원시키는 물질입니다. 과망간산이온은 산화수가 감소해 자신은 환원되고 옥살산을 산화시켰으므로 산화제입니다. 반대로 옥살산은 자신은 산화되고 과망간산을 환원시켰으므로 환원제입니다

2005년 12월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학]산과 염기, 기체의 확산과 팽창

한 해를 마무리 할 때가 왔습니다. 이제 수능도 끝났고 연말 분위기가 여러분의 마음을 들뜨게 할지도 모릅니다. 그러나 곧이어 각 대학의 정시모집이 진행되므로 마지막 순간까지 최선을 다 하시길 바랍니다. 이번 호는 이온화도와 관련된 산과 염기, 기체의 확산과 팽창, 화학반응식의 의미와 완성을 다뤄봅니다.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 이온화도의 정의 2) 이온화상수란? 3) 공통이온 효과와 반응의 진행방향

1. 내가 얼마나 센지 아니? - 산과 염기

- 1) 이온화도란 무엇인지 설명하시오.
- 2) 1몰의 아세트산(CH_3COOH)과 0.1몰의 염화수소(HCl)를 물에 녹여 1L의 수용액을 만들었다. 이때 아세트산의 이온화도를 구하시오(단, 아세트산의 $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$).
- 3) 2)의 용액에 아세트산나트륨 고체(CH_3COONa)를 넣으면 어떤 변화가 일어나겠는가?

▶ 전문가 클리닉

산, 염기는 거의 매년 출제되는 분야입니다. 그만큼 이 부분은 상당히 중요한 개념입니다. 또 우리 생활은 산, 염기와 밀접한 관계를 갖습니다. 다양한 물질들이 산과 염기로 나뉘어져 있고 이 특성을 이용해 특정한 반응을 할 수도 있습니다. 이 개념이 중요한 만큼 물질을 산과 염기로 구분할 수 있는 정의도 여러 개 있습니다. 그리고 그 정의의 특징이 무엇인지 알아둬야 합니다.

한편 같은 산이나 염기라도 물질마다 세기가 다르므로 강산, 약산 또는 강염기, 약염기를 판단할 수 있는 기준이 필요합니다. 그러므로 이온화도와 이온화상수에 대한 개념과 원리를 파악해 두는 것이 필수며 수소이온 농도(pH)의 의미도 함께 알아두면 좋습니다. 그 중에서도 다음 문제는 이온화도의 개념을 확실히 하는 문제입니다.

▶ 예시답안

- 1) 염화나트륨처럼 물에 녹아 이온화해 전류를 흐르게 하는 용액을 만드는 물질을 전해질이라 합니다. 반면 설탕처럼 물에 녹더라도 이온화하지 않고 중성분자로 해리돼 전류가 흐를 수 없는 용액을 만드는 물질을 비전해질이라 합니다.

전해질을 물에 녹였을 때 전해질의 총 몰수에 대한 이온화한 몰수의 비를 이온화도라 합니다. 따라서 이온화도 α 는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있습니다.

$$\text{이온화도 } \alpha = \frac{\text{전해질을 이온화한 몰수}}{\text{전해질의 총 몰수}}$$

참고로 이온화도가 큰 산은 수소이온을 많이 내므로 강 산성이고 이온화도가 작은 산은 수소이온을 적게 내 약 산성을 띱니다. 같은 물질일 경우 온도가 높을수록 농도가 묽을수록 이온화도가 더 큰데 이를 오스트발트 희석률이라 합니다.

- 2) 1몰의 아세트산과 0.1몰의 염화수소를 물에 녹일 때 염화수소가 아세트산보다 강산이므로 염화수소는 100% 이온화하지만 아세트산은 그렇지 않습니다.

아세트산의 이온화상수 K_a 는 아래 식으로 표현할 수 있습니다.

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

여기서 아세트산의 이온화도를 α 라 하면 $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = \alpha$, $[\text{CH}_3\text{COOH}] = 1 - \alpha$, $[\text{H}^+] = 0.1 + \alpha$ 입니다. 이 값을 준 식에 대입하면

$$K_a = \frac{\alpha(0.1 + \alpha)}{(1 - \alpha)} = 1.8 \times 10^{-5}$$

이 됩니다.

여기서 아세트산의 이온화도가 0.1이나 1에 비해 대단히 작을 것이라 가정하면 $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ 와 $[\text{H}^+]$ 에서 아세트산의 이온화도를 무시할 수 있습니다. 그러므로 준 식을 다시 정리하면

$$K_a = \frac{\alpha \times 0.1}{1} = 1.8 \times 10^{-5}$$

입니다.

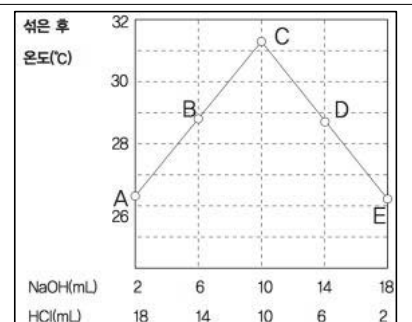
이를 계산하면 아세트산의 이온화도는 $\alpha = 1.8 \times 10^{-4}$ 이고 앞에서 세웠던 가정도 옳았음을 확인할 수 있습니다.

- 3) 2)의 용액에 아세트산나트륨 고체(CH_3COONa)를 넣으면 해리돼 아세트산이온과 나트륨이온이 생성됩니다. 기존 용액에도 아세트산이온이 있으므로 아세트산이온의 농도는 증가합니다.

그러므로 르 샤틀리에의 원리에 의해 처음에는 CH_3COO^- 의 농도가 감소하는 역반응이 진행됩니다. 이처럼 같은 종류의 이온을 가하면 용액의 평형은 첨가된 이온의 농도가 감소하는 방향으로 이동해 새로운 평형상태를 이룹니다. 이를 공통이온효과라 합니다. 그 결과 더 적은 양의 아세트산이 해리과정에 참여하고 이온화 수가 적으므로 이온화도는 더욱 감소합니다.

▶ 추가문제

상온에서 HCl 1mol/L과 NaOH 1mol/L를 여러 가지 비율로 섞은 후 온도를 측정했더니 다음과 같았다. 용액 C의 온도가 그대로 유지될 때 pH가 7보다 큰지 작은지 또는 같아지는지 보시오(2004년 서울대 수시).



▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 기체분자 운동론
- 2) 이상기체 상태방정식
- 3) 그레이엄의 법칙
- 4) 화학반응식의 완성

2. 난 쉽 없이 달리는 것이 좋아 - 물질의 상태(기체)

1) 암모니아(NH_3) 기체가 묻은 솜과 염화수소(HCl) 기체가 묻은 솜을 관의 양쪽 끝에 놓고 변화를 관찰해보자.

일정시간이 흐른 뒤 관의 가운데 부분에서 흰색 연기를 관찰 할 수 있다. 이 흰색 연기가 무엇인지 화학반응식으로 나타내고 정확히 관의 어느 부분에서 연기가 발생하는지 수치로 나타내시오.

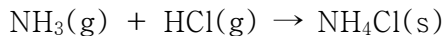
2) 1)의 답변에서 가정했던 것은 무엇인지 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

흔히 물질 상이라면 고체, 액체 그리고 기체를 떠올립니다. 그 중에서도 가장 많은 연구가 진행된 분야는 기체상입니다. 잠시 생각해 봐도 기체와 관련된 법칙들은 꽤 많이 떠오를 것입니다. 그 중에서도 중요한 것은 이상기체 상태방정식입니다. 왜냐하면 기체 관련 법칙 대부분이 이상기체에 기반을 두고 있기 때문입니다. 따라서 이상기체 상태방정식, 기체분자 운동론 등은 반드시 숙지해야 합니다.

▶ 예시답안

1) 암모니아(NH_3)를 묻힌 솜과 염화수소(HCl)를 묻힌 솜을 관의 양쪽 끝에 놓고 일정 시간동안 두면 관의 한 부분에서 흰색 연기가 생깁니다. 이는 암모니아 기체분자와 염화수소 기체분자가 결합해 염화암모늄이라는 고체가 생성된 것입니다. 이를 화학반응식으로 나타내면 다음과 같습니다.



이때 관 중간부분에 생긴 흰색연기는 두 기체분자가 이동해 특정 위치에서 위와 같은 화학 반응을 일으켰다는 것을 보여줍니다.

기체의 확산이나 분출과 관련된 그레이엄의 법칙에 따르면 같은 온도와 압력에서 두 기체의 분출 속도(v)는 분자량(M)의 제곱근에 반비례합니다. 그러므로 식으로 표현하면

$$\frac{\sqrt{M_{HCl}}}{\sqrt{M_{NH_3}}} = \frac{v_{NH_3}}{v_{HCl}} \text{ 이 됩니다.}$$

한편 관의 길이를 1이라 가정하고 암모니아 기체분자가 이동한 거리를 a 라 하면 염화수소 분자의 이동거리는 $1-a$ 입니다. 또한 거리는 시간과 속력의 곱이므로 준 식은 다음과 같습니다.

$$\frac{\sqrt{M_{HCl}}}{\sqrt{M_{NH_3}}} = \frac{a}{1-a}$$

암모니아의 분자량을 17, 염화수소의 분자량을 36이라 놓고 준 식을 a 에 대해 정리하면 $a = \frac{6}{6+\sqrt{17}} = \frac{6}{19}(6-\sqrt{17}) \approx 0.59$ 입니다. 즉 암모니아를 묻힌 솜으로부터 관 전체 길이의 59%만큼 떨어진 지점에서 흰색 연기를 관찰할 수 있습니다.

2) 1)의 답은 기체 확산속도와 분출속도가 동일할 것이라는 가정과 기체분자가 이상기체처럼 행동할 것이라고 예상한 상태에서 계산했으므로 실제 값은 이와 조금 차이가 있습니다.

이상기체란 기체 분자의 종류와 관계없이 빈 공간 속에서 자유롭게 운동하고 열에 의해서만 그 분자의 운동에너지가 변하는 기체분자 운동론을 만족하는 가상의 기체입니다.

기체분자 운동론은 기체분자의 운동을 토대로 해 기체성질을 기술하는 이론으로 다음과 같은 4가지 가정이 있습니다.

1. 기체 분자들은 서로 멀리 떨어져 있으므로 기체 분자 자체가 차지하는 부피는 용기의 부피에 비해 무시할 수 있다.
2. 기체 분자들은 계속해서 직선 운동을 하고 용기의 벽이나 다른 분자들과 충돌한다.
3. 충돌이 일어나더라도 기체 분자의 총 에너지는 변하지 않는다.
4. 충돌할 때를 제외하고는 분자들 사이에 인력이나 반발력이 작용 하지 않는다.

따라서 기체분자 운동론을 만족하는 이상기체는 질량과 에너지는 갖고 있지만 기체분자간 인력이나 반발력은 전혀 작용하지 않습니다. 그러므로 이상기체는 분자간 완전탄성충돌을 하며, 분자자체의 부피를 무시하기 때문에 0K에서 부피가 0이며, 평균 운동에너지는 절대 온도에 비례합니다.

참고로 실제기체는 높은 온도와 낮은 압력에서만 이상기체처럼 행동합니다. 반면 압력이 높을 때 분자간 거리가 가까워지므로 이상기체에서 무시했던 분자자체의 부피만큼 기체분자가 실제로 운동하는 부피는 줄어듭니다. 또 이상기체에서 무시했던 분자간 인력이 낮은 온도에서는 무시할 수 없을 만큼 커지므로 각 분자 운동에 영향을 미치게 됩니다. 그러므로 낮은

온도와 높은 압력에 있는 기체는 이상기체 상태방정식에 정확히 성립되지 않습니다.

▶ 추가문제

1. 이상기체 상태방정식을 설명하라(2004년 숙명여대 수시 1학기).
2. 전자레인지로 음식을 데우거나 조리할 땐 꼭 포장지의 일부분을 뜯은 채로 사용하라고 명시돼 있다. 그 이유가 뭘까?

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 화학반응식의 완성
- 2) 산-염기 반응

3. 몸속에서도 화학반응이? - 화학반응

사람의 위는 소화를 돕기 위해 염산을 분비하는데 염산이 너무 많이 분비되면 위가 상할 염려가 있다. 이때 과다한 염산의 작용을 완화시키기 위해 제산제를 사용한다. 제산제의 성분은 수산화마그네슘, 탄산칼슘 등이 있다. 다음 물음에 답하시오(2005년 한양대 수시 1학기).

- 1) 염산과 수산화마그네슘의 계수를 포함한 화학반응식을 쓰고 화학반응 결과 생성된 염은 무엇인지 쓰시오.
- 2) 염산과 탄산칼슘의 계수를 포함한 화학반응식을 쓰고 화학반응 결과 생성된 기체는 무엇인지 쓰시오.

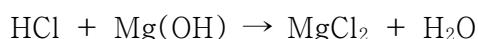
▶ 전문가 클리닉

화학반응이란 원자 자체가 없어지거나 또는 생성되지 않지만 원자의 재배열로 인해 물질이 변화하는 것을 말합니다. 이런 화학반응에 관계된 모든 원소와 화합물을 화학식으로 표현해 그 반응을 보여주는 것을 화학반응식이라 합니다. 화학반응식은 화살표를 기준으로 왼쪽에는 반응물질을 오른쪽에는 생성물질을 표현해 화학변화를 도시합니다. 이때 원자 수는 변화가 없으므로 양쪽 원자의 개수를 고려해 화학식의 계수를 정합니다.

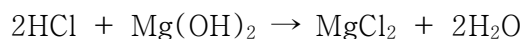
화학반응식이 주어지면 다양한 정보를 얻을 수 있습니다. 반응물질과 생성물질의 종류를 알 수 있고 몰수 비와 분자 수 비를 알 수 있습니다. 또 질량보존의 법칙, 일정성분비의 법칙, 기체 반응의 법칙 등을 이용해 반응물질과 생성물질간의 질량과 부피 관계를 알 수 있습니다. 그러므로 화학반응을 이해하기 위해 화학반응식을 완성할 줄 아는 것은 필수입니다.

▶ 예시답안

- 1) 염산과 수산화마그네슘이 반응하면 아래와 같은 화학반응식이 됩니다.

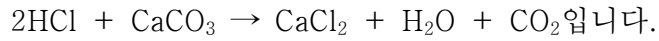


화학반응식의 계수를 맞춰 다시 완성하면 아래와 같습니다.



이 화학반응의 결과 생성된 염은 염화마그네슘인데 이 염은 물에 잘 녹습니다. 그러므로 물 속에서는 이온상태인 Mg^{2+} 와 Cl^- 상태로 존재합니다.

- 2) 염산과 탄산칼슘의 화학반응식을 계수를 맞춰 정리하면



이 화학반응을 통해 염화칼슘염이 생성되는데 이 염 역시 물에 잘 녹으므로 Ca^{2+} 와 Cl^- 의 이온형태로 존재합니다. 또한 발생하는 기체는 위의 화학반응식에서 알 수 있듯이 이산화탄소(CO_2)입니다.

▶ 추가문제

탄수화물의 하나인 글루코스($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, 분자량 : 180)는 사람의 활동에 중요한 에너지원이다. 글루코스가 완전 연소되면 이산화탄소와 물이 발생한다. 열량계를 사용해 글루코스의 열량을 측정하려 한다. 90g의 글루코스를 완전 연소시키기 위한 산소의 최소 부피(L)는 얼마인가? 1기압, 27°C고 전체적으로 이상기체 조건을 만족한다(2003년 한양대 수시).

2006년 01월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학] 나는 자유롭게 돌아다니지 - 기체

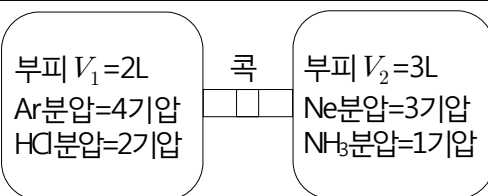
▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 보일-샤를의 법칙

2) 기체의 확산과 부분압력

3) 염의 생성반응

다음 그림과 같이 기체 혼합물들을 분리된 용기 속에 넣고 가운데 콕을 열어 섞이게 하면 압력이 어떻게 변화할까? 온도는 일정하게 유지된다고 하자(2005년 서울대 정시).

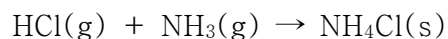


▶ 전문가 클리닉

고체, 액체, 기체를 물질의 세 가지 상이라고 합니다. 즉 모든 물질은 이 세 가지 형태 중 하나로 표현됩니다. 이 중에서도 가장 자유분방한 것은 바로 기체입니다. 지금까지도 기체에 대한 연구는 꾸준히 이뤄지고 있습니다. 우리가 알고 있는 이상기체 상태방정식 또한 기체를 모델로 하는 식이지요. 기출문제에서 많이 다뤄지는 부분인 기체. 여기에 담겨진 내용들을 충분히 알아둬야 하겠습니다. 특히 이 문제에서는 부분압력의 법칙과 기체확산에 대해 자세히 알고 있으면 도움이 될 것입니다.

▶ 예시답안

문제에서 외부의 온도가 일정하므로 이상기체 상태방정식을 이용해 각 기체의 몰수비를 알 수 있습니다. 콕을 기준으로 왼쪽 기체에는 아르곤(Ar)과 염화수소(HCl)이 각각 8a, 4a의 몰수로, 오른쪽 기체에는 네온(Ne)과 암모니아(NH_3)가 각각 9a, 3a의 몰수로 존재하고 있습니다 (a는 비례상수). 이때 콕을 열면 양쪽에 있는 기체분자들은 좌우로 자유롭게 이동해 어느 정도 시간이 흐르면 균일한 분포를 갖게 됩니다. 이는 아르곤, 네온과 같은 비활성기체들에게는 적합합니다. 그러나 나뉘어 있던 염화수소기체와 암모니아기체가 만나면 아래 반응식과 같은 화학반응이 일어나 새로운 물질이 생성됩니다.



즉 반응을 통해 염화암모늄(NH_4Cl)고체가 생성되는데 이는 기체의 압력에 영향을 미치지 않습니다. 따라서 콕을 연 후 남은 기체는 아르곤 8a몰, 네온 9a몰, 염화수소 1a몰, 암모니아 0몰이고 3a몰의 염화암모늄 고체가 생성됩니다. 콕을 열었을 때 전체용기의 부피는 5L이므로 각 기체의 분압은 $Ar=8/5$ 기압, $Ne=9/5$ 기압, $HCl=1/5$ 기압이 됩니다.

▶ 추가문제

글루코스($C_6H_{12}O_6$, 분자량 180)를 산소로 채운 부피 0.82L의 강철용기에 넣고 점화코일로 점화해 완전연소시켰다. 태운 글루코스의 질량이 18g이고 처음 강철용기를 채웠던 산소의 압력이 27기압, 반응 전의 강철용기의 온도는 $27^\circ C$ 라고 하자. 기체상수 R은 $0.082L \cdot atm/mol \cdot K$ 다(2005년 한양대 수시 1학기).

- 1) 글루코스의 연소반응에 해당하는 화학반응식을 계수를 포함해 쓰시오.
- 2) 반응 후 강철용기를 다시 27°C로 식혔을 때 강철용기 안의 압력은 얼마인가?
- 3) 이때 남아있는 산소의 분압은 얼마인가?
- 4) 이번에는 강철용기가 열용량 200kJ/°C의 열량계에 잠긴 상태에서 이 실험을 반복한다. 열량계와 외부 간에는 열교환이 일어나지 않는다고 가정하고, 반응 후에 열적평형이 이뤄진 다음 열량계의 온도가 1.4°C 상승했다면 글루코스의 연소열은 몇 kJ/mol인가?

[화학] 트랜스지방이 몸에 안좋나요? - 탄수화합물

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 탄수화합물이란?
- 2) 포화탄화수소와 불포화탄화수소의 정의
- 3) 이성질체의 종류와 의미

탄수화합물에 관한 다음의 문항에 답하시오.

- 1) 포화탄화수소와 불포화탄화수소를 구분지어 설명하시오.
- 2) 시스(cis)이성질체와 트랜스(trans)이성질체를 정의해 보시오.

▶ 전문가 클리닉

참살이(Well-Being)는 얼마 전부터 전 국민의 관심사로 급격히 떠올랐습니다. 몸짱에 대한 열망에서부터 시작돼 먹는 것에 이르기까지 그동안 참살이의 범위는 참 다양해졌습니다. 최근 뉴스를 보면 트랜스지방산에 대한 정보들이 언급되곤 합니다. 얼마 전까지만 해도 포화지방산과 불포화지방산 중 불포화지방산의 섭취가 중요하다는 얘기가 오갔는데 트랜스지방산을 피해야 한다는 요즘의 뉴스를 들으면서 건강의 관심분야가 점점 세밀해진다는 생각이 듭니다. 트랜스지방산은 자연계에 존재하지 않습니다. 시스지방산을 높은 온도로 녹였다가 급속히 식힘으로써 인위적으로 생성되는 지방산이죠. 그것이 왜 우리 몸속에서 좋지 않게 쓰이는지 한번 생각해 보셨으면 합니다. 트랜스지방산의 구조를 잘 이해하면 쉽게 답을 찾을 수 있겠죠?

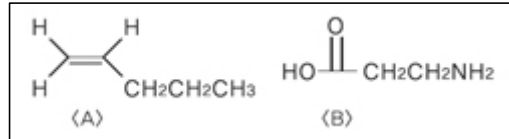
▶ 예시답안

- 1) 탄화수소는 탄소와 수소만으로 이뤄진 화합물로서 분자 내 수소의 포화도에 따라 포화탄화수소와 불포화탄화수소로 나눌 수 있습니다. 포화탄화수소란 각 원자 간의 모든 결합이 단일결합으로 이뤄진 탄화수소를 의미합니다. 반면 불포화탄화수소란 각 원자 간의 결합에 이중이나 삼중결합이 존재하는 탄화수소를 뜻합니다. 그러므로 동일한 탄소수일 경우 반데르발스힘에 의해 포화탄화수소의 녹는점이나 끓는점이 불포화탄화수소보다 더 높습니다.
- 2) 시스이성질체와 트랜스이성질체는 기하이성질체의 예들입니다. 기하이성질체란 분자내의 같은 원자나 원자단의 상대적인 위치 차이로 생기는 이성질체를 의미합니다. 이때 같은 종류의 원자나 원자단이 이중결합을 사이에 두고 같은 쪽으로 있는 것을 시스형, 서로 반대 쪽으로 있는 것을 트랜스형이라고 합니다.

▶ 추가문제

탄소화합물 중 고분자는 단위체를 중합해 만든다(서울대 기출문제).

- 1) 우측 그림과 같은 A와 B단위체를 각각 중합시켜 만든 고분자의 평균분자량이 10000g/mol이다. 이때 각각의 경우 약 몇 개의 단위체가 고분자를 형성하는가? 단 A와 B단위체의 분자량은 각각 70과 89이다.



- 2) A와 B단위체를 중합해 만든 고분자 중 녹는점이 높은 고분자는 어느 것이며 그 이유는 무엇인가?
- 3) A단위체와 B단위체를 중합하는데 이용하는 방법을 무엇이라 하는가?
- 4) 천연고무는 온도가 올라가면 끈적거리며 낮은 온도에서는 잘 부서진다. 이를 개선하는 방법과 원리를 설명하시오.

[화학] 소금이 물에 녹으면? - 화학결합

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 화학결합의 종류 2) 이온결합의 정의와 특징 3) 극성 또는 무극성간의 힘

이온결합화합물인 소금(NaCl)은 온도를 800℃ 이상으로 올려야 이온결합이 끊어진다. 그러나 소금을 증류수에 넣으면 쉽게 용해돼 양이온과 음이온으로 해리된다(2003년 포항공대 수시 2학기)

- 1) 소금이 물에 용해되는 과정을 설명하시오.
- 2) 5.85g의 소금을 1000g의 증류수에 완전히 해리시켰다면 이 용액의 몰농도 M은 얼마인가?(단 소금물의 밀도는 0.99g/mL이며, 분자량은 58.50이다)
- 3) 용해현상을 확산현상과 비교해 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

우리 주변에는 셀 수 없을 만큼 다양한 물질들이 존재하고 있습니다. 이 물질들은 어떤 성분으로 구성돼 있을까 또는 어떻게 만들어졌을까를 생각하다보면 머리가 아플 지경이죠. 그런데 화학시간에는 자연계에서 현재까지 밝혀진 원소의 종류가 100여종에 한정된다고 배웠습니다. 그렇다면 어떻게 그 많은 물질들이 모두 존재할 수 있을까요? 그 해답의 열쇠는 결합입니다. 원자 사이에 작용하는 다양한 결합으로 인해 수많은 종류의 물질이 존재하게 됩니다. 지난 호에서는 화학결합 중에서도 공유결합에 대해 많이 다뤘었는데 이번 문제는 또 다른 화학결합의 방법인 이온결합에 대한 예입니다. 금속원자와 비금속원자 간의 결합인 이온결합의 특징을 이해할 수 있는 좋은 계기가 됐으면 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 문제에서 언급됐듯 이온결합 화합물인 소금(NaCl)은 800℃ 이상의 높은 온도에서 이온결합이 끊어지지만 이를 증류수에 넣으면 낮은 온도에서도 쉽게 해리됩니다. 이것은 증류수에 소금이 온도를 안정화시킬 수 있는 힘이 존재함을 의미합니다. 다시 말해 소금이온과 물분자간의 인

력으로 소금을 이루는 두 원자 간의 정전기적 인력이 약화됩니다. 증류수를 구성하는 물분자는 극성분자입니다. 극성용매가 극성용질을 잘 용해시킨다는 것은 이미 알고 있는 사실입니다. 물분자를 구성하는 산소원자는 부분적인 음전하를 띠고, 수소원자는 부분적인 양전하를 띠고 있습니다. 즉 소금의 나트륨이온(Na^+)은 물속의 산소원자가 둘러싸서 안정화시키고, 염소이온(Cl^-)은 수소원자들이 둘러싸서 안정화시키기 때문에 쉽게 용해과정이 일어납니다.

2) 5.85g은 소금(NaCl) 0.1mol에 해당하는 양입니다. 한편 5.85g의 NaCl 을 1000g의 증류수에 녹일 경우 소금물의 질량은 1005.85g이고 밀도는 언급된 대로 0.99g/mL이므로 이를 통해 소금물 용액의 부피를 쉽게 구할 수 있습니다. 따라서 부피는 1016.01mL, 몰농도 M은 0.098mol/L입니다.

3) 용해란 어떤 물질이 다른 물질과 섞여 균일한 상태에 이르는 것을 뜻합니다. 보통 용해는 균일상태가 액체인 경우, 특히 액체에 기체 또는 고체가 혼합되는 것을 말하며 액체에 액체가 용해되는 경우는 혼합이라고 말합니다.

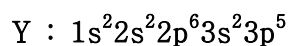
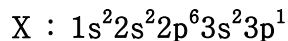
한편 확산이란 한 물질 속에 다른 물질이 점차 섞여 들어가는 현상입니다. 컵에 담긴 물에 잉크를 한 방울 떨어뜨리면 시간이 지남에 따라 잉크가 퍼져 결국에는 전체가 균일하게 섞이는 것이 확산의 한 예입니다. 이 같은 현상은 기체와 기체 사이에서도 볼 수 있고 때로는 기체와 고체, 액체와 고체 사이에서도 일어납니다. 또한 같은 종류의 기체나 액체에서도 부분적으로 밀도차가 있으면 자연적으로 확산이 일어나 전체 밀도를 균일하게 만듭니다.

용해와 확산은 모두 깃스자유에너지가 감소하는 과정이라는 공통점을 지니고 있지만 용해가 용질과 용매분자간의 정전기적 상호작용에 의해서 일어나는데 반해 확산은 상호작용이 존재하지 않습니다. 또 용해과정에서는 용해도 이상의 용질이 들어가면 용해되는 양과 석출되는 양이 같아지는 동적평형상태에 도달하지만 확산에서는 이런 현상이 일어나지 않습니다.

▶ 추가문제

1. 생체분자 사이에 존재하는 네 가지 비공유결합의 종류를 들고 특성을 설명하시오(2005년 성균관대 수시 1학기).

2. 다음과 같은 전자배치를 갖는 원자 X, Y가 있다. X, Y가 화학결합을 할 때 다음 물음에 답하시오(2003년 포항공대 수시 2학기).



1) 화학결합에 의해 생성되는 가장 간단한 화합물의 분자식을 X와 Y를 이용해 표기하시오.

2) 화학결합 후 생성되는 분자의 모양과 결합각은?

3) 화학결합 후 생성된 분자는 극성 분자인가, 무극성분자인가? 그 이유를 간단히 설명하시오.

2006년 02월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학]주기율에 대하여

2006년 달력도 벌써 두 번째 장을 맞이했습니다. 과학동아를 읽는 학생들에게 2월은 지나간 겨울방학을 마치며 새로운 학년을 앞두고 많은 것들을 준비하는 시기일 것입니다. 벌써부터 ‘어렵다’, ‘못하겠다’하는 생각을 갖는 사람들은 없겠죠? 어렵다고 느끼는 순간이 자신의 부족한 점을 알고 고쳐나가는 계기가 됐으면 합니다. 이제 시작한다는 생각으로 기운차게 지식의 폭을 넓혀갑시다. 이번 호에서는 2006년 서울대 수시 2학기 기출문제를 중점적으로 다루겠습니다.

2. 할로젠 산의 세기는? - 주기율

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 주기율표 2) 전자친화도 및 전기음성도 3) 분자의 극성

HI, HBr, HCl, HF의 산의 세기를 비교하시오(2006년 서울대 수시 2학기 특기자전형).

▶ 전문가 클리닉

원소들을 원자번호가 증가하는 순으로 나열하면 일정한 간격을 두고 성질이 비슷한 원소들이 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이를 원소의 주기율이라고 합니다. 주기율표는 성질이 비슷한 원소를 같은 세로줄에 오도록 배치한 원소의 분류표입니다. 주기율표에서는 전자친화도, 이온화 에너지 및 전기음성도의 경향성을 이해하는 것이 중요합니다. 특히 알칼리금속과 비금속인 할로젠원소들의 전자친화도, 이온화에너지 및 전기음성도의 경향성과 관련된 화학적·물리적 성질에 대한 이해는 필수입니다. 이 문제가 주기율에서 7족에 해당하는 할로젠원소에 대해 깊이 이해하는 계기가 됐으면 합니다.

▶ 예시답안

할로젠화수소산(HF, HCl, HBr, HI)은 수소와 할로젠 원소 사이의 전기음성도 차이 때문에 극성 공유결합 화합물입니다. 두 핵과 공유전자 사이에 작용하는 쿨롱인력($F=k(q_1 \times q_2)/r^2$)을 살펴보면 할로젠원소들의 반지름 r 이 $F < Cl < Br < I$ 순으로 증가하며, 양성자 H^+ 와 할로젠 음이온의 하전량은 각각 $+1$ 과 -1 입니다. 수소와 할로젠원소 사이의 인력은 결합반지름에 의해 좌우되고 그 결합력은 $HF > HCl > HBr > HI$ 의 순서입니다. 그러므로 할로젠화수소산의 안정성은 $HF > HCl > HBr > HI$ 순이고, 산의 세기는 $HF < HCl < HBr < HI$ 순입니다.

참고로 다른 측면에서 산의 세기는 수소이온(H^+)을 내놓은 짝음이온이 얼마나 안정한가에 좌우됩니다. 할로젠 음이온의 단위면적당 전하밀도는 $F^- > Cl^- > Br^- > I^-$ 순서입니다. 단위면적당 전하밀도가 클수록 불안정하므로 할로젠 음이온들의 안정성은 $F^- < Cl^- < Br^- < I^-$ 순입니다. 그러므로 산의 세기는 $HF < HCl < HBr < HI$ 순입니다.

▶ 추가문제

1. 전이원소가 다양한 원자가를 가지는 이유는 무엇인가?
2. 철이 자연계에 구리보다 많이 존재하는데도 청동기 시대가 철기 시대보다 먼저 나타난 이유는 무엇인가(2001년 서울대 자연과학부 기초과학계)?
3. 산 HA에서 음이온 A^- 가 안정할 수록 산의 세기는 어떻게 될 것인가(2006년 서울대 수시 2학기 특기자전형)?

1. 완충용액의 특성

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 공통이온효과
- 2) 완충용액의 의미
- 3) 이온화상수

순수한 물에 약간의 산이나 염기를 넣으면 pH가 크게 변한다. 그러나 약산과 그 짝염기의 염으로 된 용액이나 약염기와 그 짝산의 염으로 된 용액은 그 용액의 완충능력보다 적은 양의 산이나 염기를 넣을 경우 pH가 크게 변하지 않는다. 이러한 용액을 완충용액이라고 한다(2006년 서울대 수시 2학기).

- 1) 어떤 약산(HA) $[HA]_0M$ 과 그 짝염기(A^-) $[A^-]_0M$ 을 적당한 양의 증류수에 녹여 완충용액을 만들었다. 이 때 HA와 A^- 가 물속에서 각각 어떻게 평형을 이루는지 나타내고 HA의 이온화상수 K_a 와 A^- 의 이온화상수 K_b 에 대한 식을 구하시오.
- 2) 1)에서 HA의 이온화상수 K_a 가 A^- 의 이온화상수 K_b 보다 훨씬 클 때, 이 완충용액의 수소이온농도 $[H^+]$ 와 pH를 K_a , $[HA]_0$, $[A^-]_0$ 를 이용해 구하시오.
- 3) 사람의 혈액은 pH7.4를 유지하는 완충용액이다. 우리가 음식물이나 생체 내의 작용으로 산과 염기를 취하더라도 몸속의 완충용액은 이런 화합물을 처리해 일정한 pH를 유지하게 된다. 혈액의 완충작용을 살펴보면 주로 이산화탄소(CO_2)가 혈액에 녹으면서 생성된 탄산수소이온(HCO_3^-)과 탄산(H_2CO_3 , $K_a=4.4 \times 10^{-7}$)이 평형을 이루며 pH7.4를 유지하게 된다. 혈액이 어떻게 pH를 일정하게 유지할 수 있는지 설명하시오.
- 4) 어떤 약산과 그 짝염기를 이용해 pH7.4인 완충용액을 만들고자 한다. 외부에서 들어오는 산과 염기에 대해 이 용액의 완충능력을 최대로 만들고자 할 때 아래 세 가지 완충용액 중 어떤 것을 사용하는 것이 좋은가? 또 pH7.4인 완충용액을 만들기 위해 약산과 그 짝염기의 농도 비율을 얼마로 해야 하는가?

- $CH_3COOH(pK_a 4.4)/CH_3COO^-$
- $H_2PO_4^-(pK_a 7.4)/HPO_4^{2-}$
- $H_2CO_3(pK_a 6.4)/HCO_3^-$

▶ 전문가 클리닉

pH를 급격히 변화시킬 수 있는 요인이 투입돼도 pH가 급변하지 않는다는 것은 요인의 효과를 상쇄시킬 힘을 가지고 있다는 말입니다. 이러한 힘을 지니는 용액을 완충용액이라고 합니다. 올해 서울대 수시 2학기 기출문제에서는 완충용액에 대한 전반적인 내용을 묻고 있습니다.

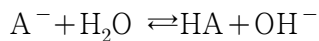
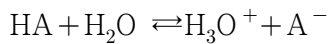
1)의 경우 산과 염기의 기본이라 할 수 있는 이온화상수식을 도출해내는 것이고 2)는 앞서 이

끌어냈던 이온화상수식으로부터 pH를 구할 수 있는지를 유도하고 있습니다. 계속되는 질문에서는 혈액이 완충용액으로서의 성질을 지니고 있음을 보여주고 있습니다. 혈액이 왜 완충용액인지, 또 어떻게 완충용액으로서 작용하는지를 파악한다면 출제의도에 잘 접근한 것입니다. 물론 화학평형의 개념을 항상 염두에 두어야 하는 것은 두말할 나위가 없겠죠?

문항 3)에 효과적으로 답하기 위해서는 공통이온효과가 무엇인지 또는 르샤틀리에 원리란 어떤 것인지에 대해 설명하면 좋겠습니다.

▶ 예시답안

1) 약산 HA와 그 짝염기인 A⁻를 물에 녹이면 아래와 같은 평형에 이르게 됩니다.



각각의 K_a와 K_b를 구하면 아래와 같은 식이 됩니다.

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}, \quad K_b = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]}$$

2) K_a ≫ K_b이므로 1)에서 구한 K_a를 이용해 식을 완성하면 됩니다.

K_a = [H₃O⁺][A⁻]/[HA]에서 HA와 A⁻의 농도는 큰 변화가 없는 상태이고 [H₃O⁺] = [H⁺]라면 준식은 아래와 같이 바뀌게 됩니다.

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]_0}{[HA]_0}$$

이를 수소이온농도에 관한 식으로 바꿔 주면 다음과 같습니다.

$$[H^+] = K_a \frac{[HA]_0}{[A^-]_0}$$

이를 pH에 관한 식으로 표현하면

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]_0}{[HA]_0}$$

입니다. 이를 ‘헨더슨-하셀바하식’이라고 합니다.

3) 2)에서 유도한 식을 통해 pH를 구할 수 있습니다.

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]_0}{[HA]_0} \text{를 탄산에 대해 변환하면}$$

$$pH = -\log(4.4 \times 10^{-7}) + \log \frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} \text{입니다.}$$

이 때 탄산수소이온과 탄산이 평형을 이뤄 pH7.4가 된다고 지문에서 언급했습니다. 이 값을 대입하면 탄산수소이온과 탄산의 평형비를 알 수 있습니다.

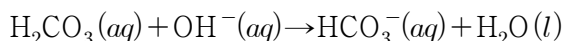
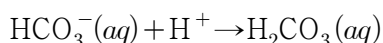
$$7.4 = -\log(4.4 \times 10^{-7}) + \log \frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} \text{에서}$$

$$\log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 7.4 + \log(4.4 \times 10^{-7}) = 1.04 \text{이므로}$$

$$\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 10^{1.04} = 10.96 \text{이 됩니다. 위 수식의 결과를 통해 탄산수소이온이 탄산보다}$$

약 11배 더 많이 존재하고 있음을 확인할 수 있습니다.

인체 혈액은 이산화탄소가 혈액에 녹아 형성된 탄산과 그 짝염기인 탄산수소이온에 의해 pH가 일정하게 유지됩니다.



위와 같은 평형과정을 통해 탄산수소이온과 탄산의 양이 일정하게 유지되고 그 비율이 약 11배이므로 혈액의 pH는 일정하게 유지됩니다.

- 4) 완충용액을 만들 때 가장 좋은 것은 원하는 pH와 용액의 pKa가 비슷한 값을 갖는 것입니다. 그래서 pH7.4의 완충용액을 만들 때에는 위에 언급된 세 가지 완충용액 중 인산 (H_2PO_4^- -(pKa7.4)/ HPO_4^{2-}) 완충용액을 사용하는 것이 좋습니다. 이 때 약산과 그 짝염기의 비율은 2)에서 유도된 헨더슨-하셀바흐식을 이용하면 됩니다. 따라서 약산과 그 짝염기의 농도비율은 1:1로 해야 합니다.

2006년 03월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학]콜로이드 용액, 우유

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 콜로이드 용액의 정의

2) 콜로이드 용액의 성질

우유는 칼슘 섭취에도 유용한 완전식품이라고 평가받고 있다. 우유와 같은 콜로이드 용액이 갖는 성질은 어떤 것들이 있는지 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

콜로이드 용액이란 빛을 산란할 수 있을 정도의 크기를 갖는 입자가 분산된 용액을 말합니다. 이것은 설탕물처럼 투명한 참용액과 구분됩니다. 콜로이드 용액을 구성하는 입자는 대체로 지름이 $10^{-7} \sim 10^{-5} \text{cm}$ 정도로, 참용액의 입자(10^{-7}cm 이하)보다는 크지만 보통의 현미경으로 관찰할 수 없고, 거름종이는 투과하지만 반투막은 통과할 수 없습니다. 이러한 콜로이드 용액의 독특한 성질로 인해 나타나는 현상들을 잘 알아두길 바랍니다.

▶ 예시답안

콜로이드 용액에서는 입자의 크기, 전하, 분산매의 열운동에 따라 특이한 현상을 관찰할 수 있습니다.

첫째, 입자의 크기에 따른 현상으로는 틴들현상과 투석이 있습니다. 콜로이드 용액에 빛을 비추면 빛의 진로가 뚜렷이 보이는 현상을 틴들현상이라고 합니다. 이는 큰 입자들이 가시광선을 산란시키기 때문으로 안개 속에서 빛의 진로가 보이는 이유이기도 합니다. 투석은 콜로이드 입자가 통과하지 못하는 반투막을 이용해 콜로이드 용액에 섞여 있는 용질 분자나 이온을 콜로이드 입자와 분리함으로써 콜로이드 용액을 정제하는 방법입니다.

둘째, 입자가 같은 전하를 띠는 때에 관찰할 수 있는 현상은 흡착, 전기이동, 영김, 염석 등이 있습니다. 콜로이드 입자는 단위질량당 표면적이 크기 때문에 입자 표면에 이온이나 전자 같은 다른 입자가 붙는데 이 현상을 흡착이라 합니다. 콜로이드 용액의 입자는 동일한 전하를 띠기 때문에 서로 달라붙어 엉기는 현상이 일어나지 않습니다. 콜로이드 용액에 직류전류를 흘려주면 콜로이드 입자는 (+)극 또는 (-)극으로 이동합니다. 이것은 콜로이드 입자가 음이온 또는 양이온을 흡착하기 때문에 보이는 현상이며 이를 전기이동이라 합니다.

소량의 전해질을 가할 경우 쉽게 침전되는 불안정한 콜로이드를 소수 콜로이드라 하는데 이렇게 침전되는 현상을 영김이라고 합니다. 콜로이드 입자 주위에 자신이 흡착한 이온과 반대되는 전하를 띠는 이온이 있으면 콜로이드 입자가 흡착했던 이온을 잃어서 입자간의 반발력이 사라지게 돼 콜로이드 입자들이 엉키기 때문입니다. 일반적으로 주위에 있는 이온의 전하가 클수록 영김 효과는 더 커지게 됩니다.

이와는 조금 다르게 소량의 전해질로는 엉기지 않지만 다량의 전해질을 가할 경우에는 엉기는 현상을 볼 수 있는 친수 콜로이드가 있습니다. 친수 콜로이드는 입자 표면의 친수성 원자단 때문에 물 분자에 둘러싸여 있어서 쉽게 엉기지 않는 안정한 콜로이드입니다. 하지만 다량의 전해질을 가하면 이온 때문에 물 분자들이 떨어져 나가서 입자들이 서로 엉기는데 이런 현상을 염석이라 합니다.

끝으로 브라운 운동은 분산매가 대류운동을 함으로써 관찰할 수 있는 현상입니다. 분산매가 대류운

동을 하면서 불규칙하게 콜로이드 입자에 충돌하면 콜로이드 입자 또한 불규칙하게 움직이게 됩니다. 틴들현상을 이용한 한외현미경을 통해 콜로이드 입자의 브라운 운동을 관찰할 수 있습니다.

[화학]오비탈과 전자배치

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 오비탈의 정의
- 2) 전자배치의 3가지 법칙
- 3) 결합의 극성여부와 분자의 극성
- 4) 혼성오비탈과 분자의 기하구조

다음의 질문에 답을 하시오(2005년 포항공대 수시).

- 1) 수소원자의 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 3d, 4p, 4d, 4f, 5s, 5p 오비탈을 각각의 에너지 준위 순서에 따라 =, < 기호를 사용해 재배열하라.
- 2) 다전자원자의 경우 위의 질문에 답하라.
- 3) B(붕소)와 F(불소)의 전자배치를 기술하고 두 원소들 간의 결합으로 인해 생성될 분자의 분자식과 루이스 구조(Lewis structure)를 그려라.
- 4) 전자쌍 반발 원리에 따라 3)에서 분자의 기하구조와 쌍극자 모멘트에 대해 기술하라.

▶ 전문가 클리닉

물질의 특성을 유지하는 가장 기본적인 단위는 분자입니다. 우리 주변에는 다양한 분자가 존재하고 있는데 이 분자들을 자세히 살펴보면 모두 110여종의 원자들로 구성돼 있습니다. 즉 110여종에 불과한 원자가 수없이 많은 물질들을 구성하는 것입니다. 어떻게 이런 일이 가능할까요? 바로 화학결합이 있기 때문입니다.

화학결합에 관계되는 원자의 구성요소는 바로 전자입니다. 전자의 구성형태에 따라 화학결합은 이온결합, 공유결합, 금속결합 등의 다양한 형태로 구분할 수 있습니다. 원자의 전자배치와 그에 따라 가능한 화학결합, 그리고 만들어진 분자의 모양이 어떻게 나오는지 차근차근 살펴보도록 합시다.

▶ 예시답안

- 1) 수소와 같이 전자가 한 개만 존재하는 경우 주양자수가 같은 오비탈의 에너지 준위는 모두 같습니다. 따라서 수소원자의 각 오비탈의 에너지 준위 순서는 다음과 같습니다.

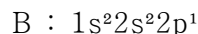
$$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f < 5s = 5p$$

- 2) 앞서 설명한 수소원자와는 달리 다전자원자의 경우에는 주양자수가 같은 오비탈이라도 방위양자수가 다르면 에너지 준위도 달라집니다. 그 결과 각 오비탈의 에너지 준위는 다음과 같습니다.

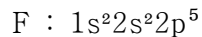
$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 4f$$

참고로 양자수란 양자역학적 방정식을 푸는 과정에서 도입된 수로 전자의 에너지 상태, 전자구름의 모양과 방향성을 나타냅니다. 양자수는 총 4개로 구분되는데, 주양자수는 전자의 에너지 준위를 나타내는 수로 전자껍질을 의미합니다. 방위양자수는 전자의 각운동량을 결정하는 것으로 부양자수라고도 불리며 오비탈의 모양을 결정합니다. 또 자기양자수는 전자구름의 방향과 궤도면의 위치를 결정합니다. 마지막으로 스핀양자수는 자전하고 있는 전자의 자전에너지를 결정하는 양자수입니다.

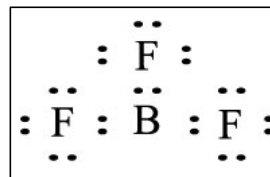
- 3) B는 원자번호 5번에 해당하는 원소로 전자 5개를 가지고 있습니다. 2)에서 살펴본 것처럼 다전자원자의 오비탈의 에너지 준위(축조원리)와 파울리의 배타원리, 훈트의 규칙에 따라 B의 바닥상태 전자배치를 완성하면 다음과 같습니다.



마찬가지로 원자번호 9번의 F에 같은 원리를 적용하면 다음과 같습니다.

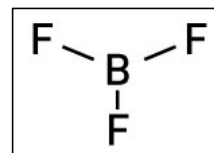


B와 F의 화학결합을 통해 생성되는 물질은 BF_3 이고 이 분자의 루이스 구조는 오른쪽과 같이 나타납니다.



- 4) 3)에서 살펴본 것처럼 F의 경우는 옥텟규칙을 만족하기 위해서 한 개의 전자가 추가로 있어야 합니다. B의 경우에는 5개의 전자가 더 있어야 합니다. 그런데 B는 최외각 전자껍질에 전자가 3개밖에 존재하지 않기 때문에 옥텟규칙을 만족할 수 없습니다(문제 3)의 루이스 구조 참고). 단지 B는 최외각 껍질에 있는 3개의 전자가 속한 오비탈들이 혼합되고 재분배되면서 동등한 오비탈을 형성하고 각 전자들이 그 오비탈에 속하게 됩니다.

이를 혼성오비탈이라고 합니다. 그 결과 각 전자는 각각 F와 공유결합을 형성하는데 이들의 분자모양은 오른쪽과 같습니다. 완전평면구조에서 3개의 결합이 모두 동등한 상태인 평면삼각형 구조를 가지고 각 결합각은 120° 입니다.



한편 원자 간의 전기음성도 차이가 존재하기 때문에 B와 F의 결합은 극성결합입니다. 하지만 B와 F가 이루는 세 개의 결합을 총체적으로 살펴보면 극성결합의 전체적인 모멘트 합은 0이 됩니다. 따라서 BF_3 는 극성결합을 갖지만 무극성분자가 됩니다.

▶ 추가문제

1. 훈트의 규칙을 구술하고 어떤 물리적 상호작용에 기인하는지를 설명하라(2005년 서울대 정시).
2. 전기음성도, 결합의 극성, 분자의 극성에 대해 설명하시오(2004년 성균관대 수시 1학기).

2006년 04월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학] 증발열과 증기압력 곡선

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 증발열과 증기압력 곡선

2) 용액의 정의

3) 용액의 총괄성

다음 물음에 답하시오(2005년 포항공대 수시).

- 1) 오른쪽 표는 몇 가지 화학 물질의 증발열을 나타낸 것이다. 주어진 빈 그래프에 온도 변화에 따른 증기압력 곡선을 그려라. 이 증기압력 곡선을 바탕으로 각 물질의 끓는점 경향을 끓는점이 낮은 물질부터 높은 물질 순으로 정렬하고 이 중에서 물과 암모니아가 끓는점 차이를 보이는 이유를 설명하라.

물질	화학식	증발열(kJ/mol)
염화수소	HCl	17.5
암모니아	NH ₃	25.1
에탄올	C ₂ H ₅ OH	39.3
물	H ₂ O	40.7

- 2) 일반적으로 순수한 용매보다 비휘발성 용질이 녹아있는 용매의 증기압력이 더 낮은 경향을 보이는데 그 이유를 설명하라.
- 3) 물 180g에 포도당(분자량:180g/mol)과 설탕(분자량:342g/mol)이 각각 45g, 171g씩 녹아있는 두 플라스크가 있다. 각 용액을 이상용액이라 가정하고 80℃에서 두 플라스크의 압력(mmHg) 차이를 계산하라(단, 물의 증기압력은 80℃에서 355.1mmHg다).

▶ 전문가 클리닉

‘어떤 것이 용액일까?’하는 생각이 들면 쉽게 소금물이나 설탕물을 떠올리게 됩니다.

소금이나 설탕 같은 용질과 물이라는 용매가 균일하게 섞인 상태를 용액이라 합니다. 이렇게 보면 용액은 균일 혼합물로서 투명한 상태를 유지해야 합니다. 흙탕물과 같은 불균일 혼합물이나 우유와 같은 에멀전과도 구분되어야 합니다.

하지만 용액은 그 상태가 굳이 액체일 필요는 없습니다. 공기도 바로 용액상태니까요. 즉 용액의 엄밀한 정의는 분산매와 분산질이 균일하게 혼합된 상태를 의미합니다.

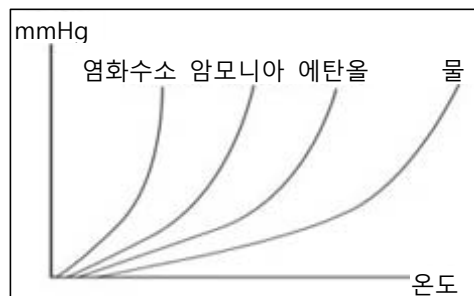
그렇지만 흔히 용액이라고 하면 앞서 말한 액체상을 가리킵니다. 용액이 갖는 독특한 특성이 용액의 총괄성입니다. 용액의 총괄성은 크게 네 종류로 순수한 용매에 대한 용액의 증기압내림, 끓는점오름 현상, 어는점내림 현상, 삼투현상이 있습니다.

▶ 예시답안

- 1) 우선 다음 그래프처럼 온도에 따른 각 물질의 증기압력 곡선을 간략히 그려봅시다.

이와 같은 그래프 모양은 각 물질의 증발열이 달라서 나타나는 형태입니다. 증발열이란 단위 몰 당 증발하기 위해서 필요한 에너지를 의미합니다. 그러므로 증발열이 높은 물질은 증발하기 위해서 더 많은 에너지를 필요로 합니다.

온도가 올라갈수록 더 많은 에너지가 공급돼 더 많은 양이 증발할 수 있고 이는 온도가 올라갈수록 물질의 증기압력이 증가함을 의미합니다. 그래서 물질의 증기압력 곡선은 오른쪽 위를



향하는 모양을 갖습니다. 물론 물질마다 증발열이 다르므로 각 그래프의 기울기는 달라집니다. 위 증기압력 곡선을 바탕으로 물질의 끓는점 순서를 쉽게 파악할 수 있습니다. 물질 내부에서도 증발현상이 일어나는 것을 끓는다고 정의하므로 동일한 증기압력 상태에 도달하기 위한 온도가 바로 끓는점입니다. 따라서 물질의 끓는점은 염화수소<암모니아<에탄올<물 순입니다.

암모니아와 물의 화학식을 통해서 알 수 있듯 두 물질의 분자량 차는 크지 않습니다(일반적으로 분자량이 증가할 수록 끓는점은 증가합니다). 그럼에도 불구하고 두 물질의 끓는점 차이가 큰 이유는 물 분자의 강한 수소결합 때문입니다.

- 2) 일반적으로 순수한 용매에 비해 비휘발성 용질이 녹은 용액은 증기압력이 낮습니다. 이것을 용액의 증기압내림 현상이라 합니다.

이런 현상이 나타나는 이유는 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 경우 용액 표면에 존재하는 용매 분자의 수가 순수한 용액과 비교해 적기 때문입니다. 그렇지만 기체가 액체로 바뀌는 응결속도는 같으므로 평형에 도달할 때 용액의 증기압력은 순수한 용매의 증기압력보다 낮게 됩니다. 전해질 용질이 녹아 있는 용액의 경우 이온화된 이온 수와 이온화 되지 못한 이온용질 입자 수를 합한 수로 증기압내림 정도가 결정됩니다. 이것을 용액의 총괄성이라 합니다.

- 3) 용매의 증기압과 용액의 증기압의 차 ΔP 를 증기압내림이라 합니다. 비휘발성 용질을 녹인 용액의 증기압내림 ΔP 는 용질의 종류에 무관하게 용질의 몰 분율에 비례합니다. 따라서 아래와 같은 식으로 표현할 수 있습니다.

$$\Delta P = f_B \times P_A^\circ \quad (f_B: \text{용질의 몰 분율}, P_A^\circ; \text{용매의 증기압력})$$

포도당, 설탕, 물의 몰수를 각각 구하면 포도당은 0.25mol, 설탕 0.5mol, 물 10mol입니다.

포도당용액에서 포도당이 차지하는 몰 분율은

$$0.25/10.25 \approx 0.024$$

설탕 용액에서 설탕이 차지하는 몰 분율은

$$0.5/10.5 \approx 0.048 \text{입니다.}$$

따라서 포도당 용액의 경우

$$\Delta P = 0.024 \times 355.1 \text{mmHg} = 8.52 \text{mmHg} \text{이고}$$

설탕 용액의 경우는

$$\Delta P = 0.048 \times 355.1 \text{mmHg} = 17.04 \text{ mmHg가 됩니다.}$$

따라서 포도당 용액의 증기압력은 $355.1 \text{mmHg} - 8.52 \text{mmHg} \approx 346.6 \text{mmHg}$ 이고

설탕 용액의 증기압력은 $355.1 \text{mmHg} - 17.04 \text{mmHg} \approx 338.1 \text{mmHg}$ 입니다.

그러므로 두 플라스크의 압력 차는 $346.6 \text{mmHg} - 338.1 \text{mmHg} = 8.5 \text{mmHg}$ 가 됨을 알 수 있습니다.

▶ 추가문제

1. 용액의 특성 중 용질의 종류와 무관하게 그 입자 수(몰수)에 따라 결정되는 성질이 있는데 이것을 용액의 총괄성이라 합니다.
- 1) 용액의 총괄성을 분류해보고 각 성질들이 갖는 원리를 설명하시오.
- 2) 1)에서 나열한 특성들의 예를 실생활에서 찾아보시오.

[화학] 원자의 구성성분

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 원자의 구성성분

2) 동위원소의 정의

모든 물질은 그 물질의 기본적 성질을 나타내는 분자들로 구성되어 있으며 또 분자들은 원자들로 이뤄져 있다. 그러면 원자는 어떻게 구성되어 있는지 그리고 동위원소란 무엇인지 설명하시오(2004년 숭실대 수시).

▶ 전문가 클리닉

원자와 관련된 문제는 화학 구술면접뿐만 아니라 물리에서도 수없이 다뤄졌습니다. 이제는 더 이상 다룰 것이 없어 보이겠지만 원자에 대한 물음은 꾸준히 출제될 것입니다. 원자는 바로 화학의 기본이기 때문입니다. 예를 들어 물이 얼음이나 수증기가 되는 상태변화에는 분자 개념이 도입되나 분자를 구성하는 기본 단위는 결국 원자이기 때문입니다.

이제 원자를 구성하는 성분들은 무엇인지 자세히 살펴보는 계기가 됐으면 합니다. 또한 원자모델과 관련된 각종 실험과 각 모델들이 갖는 한계가 무엇인지도 알아두면 좋겠습니다.

▶ 예시답안

원자는 원자핵과 전자로 구성되어 있고 전자가 원자핵 주위를 구름처럼 퍼져서 돌고 있습니다. 이러한 전자의 배치 특히 원자가전자는 그 원자의 화학적 성질을 결정하는데 큰 역할을 합니다.

1) 전자:원자의 구성요소 중 가장 먼저 발견되었습니다. 1897년 톰슨의 음극선 실험을 통해서 음극선은 음전하를 가진 입자의 흐름이며 이 입자의 전하대 질량비(e/m) 값은 항상 $1.76 \times 10^8 \text{C/g}$ 임을 밝혀냈고 이를 전자라고 명명했습니다.

이 전자는 1911년 밀리컨의 기름방울 실험(중력과 전기력이 균형을 이룰 때 기름방울이 중간에 머무는 것)에서 전자 한 개의 전하량이 $-1.60 \times 10^{-19} \text{C}$ 임을 밝혔으며 전자 한 개의 질량이 $9.10 \times 10^{-28} \text{g}$ 임을 구했습니다.

2) 원자핵:1911년 러더퍼드는 얇은 금속박에 α 입자(He의 원자핵)를 충돌시켰을 때 대부분의 α 입자는 통과하나 일부 입자는 진로가 변하는 것을 관찰했습니다. 그 결과 원자는 대부분이 빈공간이고 그 중심에 양전하가 모인 작은 덩어리가 존재한다는 것을 알아냈고 이를 원자핵이라 명명했습니다. 원자 1개의 지름이 10^{-8}cm 정도인데 원자핵의 지름은 10^{-13}cm 정도입니다.

원자핵을 구성하는 두 요소인 양성자와 중성자는 각각 골트슈타인의 양극선 실험과 채드윅이 Be박판에 α 선을 충돌시켜 전하가 없는 입자가 나오는 것을 발견함으로써 그 존재가 확인되었습니다. 양성자의 전하는 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 으로 전자의 전하량과 크기는 같지만 부호는 반대며 질량은 $1.673 \times 10^{-24} \text{g}$ 으로 전자의 1836배에 이릅니다.

중성자의 경우는 전하를 띠지 않으며 질량은 $1.675 \times 10^{-24} \text{g}$ 으로 전자보다 1839배나 더 나갑니다. 따라서 원자의 대부분의 질량은 원자핵을 구성하고 있는 양성자와 중성자에 의해 결정됩니다.

동위원소란 동일한 원자번호를 갖고 있지만 서로 다른 질량수를 갖는 원소들입니다. 즉 원자번호를 의미하는 양성자 수는 같지만 중성자수는 서로 다른 원소를 동위원소라고 합니다.

▶ 추가문제

1. 입자는 고유의 질량을 갖는다. 원자도 그 고유의 질량을 갖는데 이를 간단히 표현한 것을 원자량이라 한다. 평균원자량을 설명하시오.
2. 원자가 어떤 형태로 존재할 것인가는 계속된 관심사항이었다. 원자모델의 변천과정을 설명하시오.

[화학] 화학반응속도의 변화

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 화학반응의 정의

2) 화학반응속도를 변화시키는 수단

활동하다 보면 자신도 모르게 피부에 생채기가 나기도 합니다. 과산화수소는 상처부위에 뿌려지면 기체방울이 나타남을 볼 수 있습니다. 그냥 뒤도 과산화수소는 물과 산소로 나뉘지는 화학반응을 거칩니다. 간의 효소나 망간 등을 이용하면 과산화수소의 해리 현상이 더욱 빨라짐을 확인할 수 있습니다. 위에 언급한 두 가지 물질이 화학반응에서 어떤 역할을 하는지 둘의 차이점은 무엇인지 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

많은 화학반응이 생각보다 빠르게 진행되지는 않습니다. 반면 어떤 반응은 너무나도 격렬해서 반응속도를 현격하게 늦추고 싶을 때도 있습니다. 인류는 인위적으로 반응을 보다 빠르게 또는 느리게 진행시키기 위해 특정한 물질들을 첨가하면 된다는 것을 발견했습니다. 그것은 바로 촉매입니다. 촉매는 반응을 빠르게 진행시키는 정촉매, 느리게 진행시키는 부촉매로 구분하고 이것들은 반응 전후에 양이나 화학적 변화가 없는 것이 특징입니다. 하지만 기억해야 할 것은 촉매도 엄연히 화학반응에 관여하는 물질이라는 점입니다.

▶ 예시답안

화학반응을 빠르게 진행시키기 위해서는 온도를 높이는 등 외부요인을 변화시켜줘야 합니다. 그런데 단순히 촉매나 효소를 이용해 외부요인을 급격히 변화시키는 대신 화학반응의 활성화 에너지를 낮춰 정반응이 보다 활발하게 진행되도록 할 수 있습니다.

촉매와 효소가 동일한 역할을 합니다. 그러나 이들의 가장 큰 차이점은 촉매는 일반 환경에서 사용되고 효소는 생체내에서 작용한다는 점입니다.

또한 촉매가 무기물인데 반해 효소는 단백질의 일종이며 유기물로 구성되어 있습니다. 그러므로 촉매는 산, 온도 등의 영향을 많이 받지 않습니다. 그러나 효소는 생체내에서 작용하므로 조건이 적합한 상황에서만 효율적으로 작용합니다.

2006년 05월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학]염화수소 기체의 부피는?

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 기체 분자운동론
- 2) 이상기체 상태방정식
- 3) 이상기체와 실제기체의 차이점
- 4) 화학반응식 완성하기

다음 물음에 답하시오.

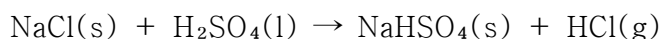
- 1) 염화수소 기체는 염의 형태인 A와 B를 이용해 고전적으로 얻었다. A와 B가 무엇인지 또 그 화학반응식을 완성하시오.
- 2) 500℃, 1atm에서 물질 A를 5.85kg 사용한다면 생성된 염화수소 기체의 부피는 얼마인가?
- 3) 2)의 답을 구하기 위해 가정한 것이 있다면 무엇인지 말하시오. 실제 값과 차이가 생기는 이유는 무엇인지 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

기체는 물질의 상태 중에서 가장 자유롭습니다. 기체 분자들은 분자간 인력이 약하고 운동 속도가 빠르기 때문에 기체의 종류에 관계없이 공통적인 성질을 갖습니다. 기체는 활발히 연구됐으며 그에 따라 기체와 관련된 보일, 샤를의 법칙 등이 등장했습니다. 가장 중요한 기체 법칙인 이상기체 상태방정식이 갖는 의미를 파악하면 기체와 관련된 현상을 설명하는데 큰 도움이 될 것입니다.

▶ 예시답안

- 1) 염화수소를 얻는 고전적인 방법에는 소금과 황산이 이용됩니다. 이들의 화학반응식은 다음과 같습니다.



- 2) 염화나트륨의 몰 질량은 58.5g/mol입니다. 한편 1)의 화학반응식에서 반응에 참여한 염화나트륨과 반응 후 생성된 염화수소의 몰수 비가 1:1임을 알 수 있습니다.

그러므로 반응에 참여한 염화나트륨의 양은 100mol이고 생성된 염화수소의 몰수도 100mol입니다. 따라서 이를 이상기체 상태방정식에 대입해 염화수소 기체의 부피를 구하면

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{100\text{mol} \times 0.082\text{L} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K} \times (500 + 273)}{1\text{atm}} = 6338.6\text{L} \text{입니다.}$$

- 3) 2)에서 얻은 값은 생성된 염화수소가 이상기체라 가정하고 얻은 결과입니다. 이상기체란 기체 분자운동론을 만족하는 가상의 기체입니다. 기체 분자의 종류와 관계없이 빈 공간 속에서 자유롭게 운동하며 열에 의해서만 그 분자의 운동에너지가 변하는 가상의 기체는 질량과 에너지를 갖더라도 기체 분자 사이의 인력이나 반발력이 전혀 작용하지 않습니다. 이들은 분자간 완전 탄성충돌을 해 분자 자체의 부피가 없기 때문에 0K에서 부피가 0이고 평균 운동에너지는 절대온도에 비례합니다. 따라서 실제기체가 이상기체에 가까워지기 위한 조건은 높은 온도, 낮은 압력, 작은 분자량입니다. 온도가 높고 압력이 낮을수록 분자간 거리가 멀어지고 그 거리가 멀어질수록 작용하는 분자간 인력은 작아집니다. 게다가 분자량이 작을수록 분자간 인력이 작아져 분자간 인력을 무시할 수 있습니다.

[화학] 위산의 작용을 약화시키는 제산제

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 산-염기의 정의 2) 화학반응식의 의미와 완성 3) 염의 정의

위는 소화를 돕기 위해 염산을 분비한다. 그런데 염산이 너무 많이 분비될 경우 위가 상할 염려가 있다. 과다한 염산의 작용을 완화시키기 위해 제산제를 사용한다. 제산제의 성분은 수산화마그네슘, 탄산칼슘 등이다. 다음 물음에 답하시오(2005년 한양대 수시 1학기).

- 1) 염산과 수산화마그네슘의 계수를 포함한 화학반응식 및 화학반응 결과 생성된 염은 무엇인지 쓰시오.
- 2) 염산과 탄산칼슘의 계수를 포함한 화학반응식 및 화학반응 결과 생기는 기체는 무엇인지 쓰시오.

▶ 전문가 클리닉

화학반응에서 산과 염기는 중요합니다. 대부분의 산-염기 문제는 산-염기의 중화반응을 많이 다루며 위 문제도 이에 벗어나지 않습니다. 중화반응의 여부를 관찰하기 위해 지시약이라는 독특한 물질을 사용합니다. 지시약은 특정 pH에서만 색깔이 변하므로 이를 통해 반응의 진행여부를 확인할 수 있습니다. 이것 외에 산-염기의 정의, 산-염기의 세기, pH의 의미 등도 알아둬야 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 화학반응식은 $2\text{HCl} + \text{Mg}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{MgCl}_2$ 며 반응 결과 생성된 염은 MgCl_2 입니다.
- 2) 화학반응식은 $2\text{HCl} + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ 이며 생성된 염은 CaCl_2 이고 발생하는 기체는 CO_2 입니다.

▶ 추가문제

다음 용액의 pH를 구하시오.

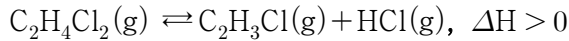
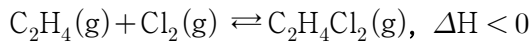
1.0M $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ 와 1.0M $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$ 를 포함하고 있는 용액 100mL를 1.0M HCl 수용액 50mL로 적정하려고 한다. 이 때 적정 곡선의 경향성을 설명하시오(단, $\log 3 = 0.48$ 이고 물의 자체이온화는 무시한다).

[화학] 에틸렌으로 비닐클로라이드 얻기

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 화학평형 상태 2) 흡열반응과 발열반응 3) 르 샤틀리에의 원리

화학산업에서 가장 유용한 탄소화합물은 에틸렌 C_2H_4 입니다. 아래의 두 화학반응식을 통해서 PVC(polyvinyl chloride)의 기본 단위인 $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$ (vinyl chloride)을 얻을 수 있습니다.

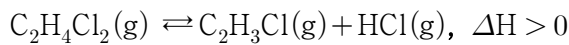
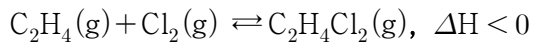


vinyl chloride란 물질을 산업적 측면에서 효율적으로 얻을 수 있는 방법은 무엇인지 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

화학반응을 할 때 정반응과 역반응이 균형을 이루면 화학평형이라 합니다. 이 때 화학반응식에 관여하는 요소에 변화를 주면 화학평형이 바뀌는데 이를 평형의 이동이라 합니다. 이것은 르 샤틀리에의 원리로 충분히 설명할 수 있습니다.

▶ 예시답안



효과적으로 vinyl chloride를 얻을 수 있는 요소 중 농도는 산업적인 면에서 효율적이지 않기 때문에 온도와 압력의 영향만 살펴보겠습니다.

우선 첫 번째 반응은 발열반응이므로 $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2(\text{g})$ 를 많이 얻으려면 온도가 낮아야 합니다. 정반응은 기체 전체 몰수가 감소하는 반응이므로 압력은 높을수록 좋습니다.

마찬가지로 두 번째 반응은 흡열반응이므로 $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}(\text{g})$ 를 많이 얻기 위해서 온도는 높아야 합니다. 또한 정반응은 기체 전체 몰수가 증가하는 반응이므로 압력은 낮을수록 좋습니다.

참고로 르 샤틀리에의 원리란 반응조건을 변화시켜 화학평형을 조절하는 것입니다. 화학반응의 반응조건이 변하게 되면 그 변화를 줄이는 방향으로 반응이 진행됩니다.

즉 발열반응인 경우 반응온도가 낮을수록 정반응이 유리하고 반응온도가 올라갈수록 역반응이 유리합니다. 흡열반응인 경우 이와는 정반대로 평형이 이동합니다. 물질의 농도가 증가하면 증가한 물질의 농도를 낮추기 위해 정반응 혹은 역반응이 진행돼 새로운 평형을 만듭니다. 기체인 경우 외부 압력이 높아지면 압력을 줄이기 위해서 반응은 기체의 몰수가 큰 쪽에서 작은 쪽으로 진행합니다.

▶ 추가문제

1. 평형의 이동에 관여하는 요소들은 반응속도에도 영향을 미칩니다. 화학 반응속도에 변화를 줄 수 있는 촉매는 화학평형을 변화시키는데 어떤 효과가 있는지 서술하시오.

2006년 06월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학]물질의 상평형, 이성질체

01_물질의 상평형

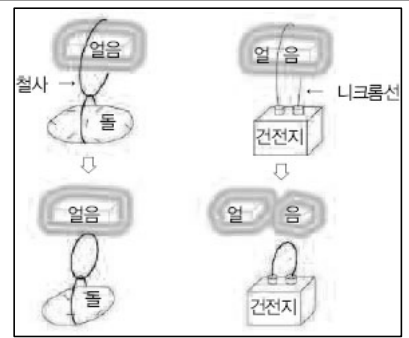
▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 상평형 그림

2) 물과 다른 물질의 차이점

3) 삼중점

다음 그림의 현상이 옳은가를 판단하고 이 현상에 대해 설명하시오(2005년 경북대 수시).



▶ 전문가 클리닉

물질은 세 가지 형태를 갖습니다. 고체, 액체, 그리고 기체입니다. 그동안 물질상은 각각 독자적인 형태로 면접에 출제됐으며 특히 고체상에 비해서 기체나 액체상은 출제비율이 더 높았습니다. 물질의 세 가지 상은 주위 조건에 따라 그 모습을 바꾸곤 합니다. 한 물질의 세 가지 상의 관계와 평형을 하나의 그림으로 나타낸 것이 바로 상평형 그림입니다. 이 그림에는 고체와 액체의 관계인 용융곡선, 액체와 기체의 관계인 증기압력곡선, 고체와 기체의 관계인 승화곡선과 고체, 액체, 기체가 공존하는 삼중점이 있습니다.

또한 기체의 액화가 가능한 가장 높은 온도인 임계온도와 임계온도에서 기체를 액화시키는데 필요한 가장 낮은 압력인 임계압력이 함께 표시되기도 합니다.

독특한 성질을 갖는 물의 상평형은 어떻게 나타나는지 살펴보는 기회가 됐으면 합니다.

▶ 예시답안

물의 상평형 그림을 보면 동일한 압력 하에서 온도가 높아질수록 물의 상태는 얼음-물-수증기, 즉 고체-액체-기체가 됩니다. 이런 현상은 물에서만 독특하게 볼 수 있습니다.

일반적으로 물질의 상평형에서는 고체와 액체 사이의 용융곡선이 온도가 높아지면 압력도 증가하는 양의 기울기를 갖습니다. 즉 물은 다른 물질과는 달리 용융곡선이 음의 기울기를 갖는 상태입니다. 또 같은 온도일 때, 예를 들어 0℃에서 압력이 높아질수록 수증기-얼음-물 상태를 거칩니다.

물과 수증기가 평형을 이루는 선을 증기압력 곡선, 얼음과 수증기가 공존하는 온도와 압력을 나타내는 선을 승화곡선이라 합니다.

다음 그림을 보면 얼음에 돌이 묶인 철사고리가 걸려있다가 얼음을 통과해 빠져 나온 것을 볼 수 있습니다. 왼쪽 그림은 철사에 매달린 돌의 무게로 인해 얼음에 압력이 가해지는 상황입니다. 상평형 그림에서 알 수 있듯이 용융곡선 상의 동일온도에서 압력이 높아지면 고체상인 얼

음에서 액체상인 물로 바뀝니다. 그래서 돌이 매달린 철사는 아래쪽으로 이동합니다.

철사가 얼음을 통과한 뒤, 압력이 증가하는 외부요인이 제거돼 액체상인 물은 다시 고체상인 얼음으로 상변이가 일어나 얼음이 쪼개지지 않습니다. 그 결과 왼쪽 그림처럼 돌이 매달린 철사가 통과하더라도 얼음은 처음 상태를 유지할 수 있습니다. 이런 현상은 겨울철에 스케이트를 탈 때도 볼 수 있습니다. 스케이트를 탈 때 가장 빠르게 달릴 수 있는 최적의 조건은 작은 압력 변화로 얼음이 녹을 수 있는 상태인 얼음이 녹기 직전의 온도입니다.

오른쪽 니크롬선에 연결된 건전지의 경우는 돌이 매달린 경우와는 상황이 조금 다릅니다. 니크롬선에 연결된 건전지가 얼음에 매달려 있는데 왼쪽의 경우와는 달리 니크롬선이 통과해 얼음이 쪼개진 것으로 그려져 있습니다.

왜냐하면 단순히 압력의 영향만이 존재하는 것이 아니라 니크롬선을 따라 건전지의 전류가 흘러 열이 발생하기 때문입니다. 즉 압력과 온도가 모두 작용하고 있습니다. 압력과 온도가 모두 증가하면 얼음은 녹아 물로 변하고 니크롬선은 점점 아래로 이동합니다. 그런데 왼쪽 경우와 마찬가지로 두 요소가 제거되면 처음과 같은 상태로 되돌아가야 합니다.

그러므로 지문에서와 같이 얼음이 쪼개지는 것이 아니라 쪼개지지 않은 얼음덩어리로 존재해야 합니다.

02_부탄의 분자구조와 끓는점

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 이성질체의 정의

2) 구조와 끓는점과의 관계

부탄(C_4H_{10})의 가능한 분자구조들을 그려보고 구조들이 많다면 이들의 관계와 끓는점의 크기 비교를 해 보시오.

▶ 전문가 클리닉

탄소는 생물체를 구성하는 가장 주된 원소입니다. 탄소화합물은 탄소를 주축으로 해 이뤄진 공유결합 물질입니다. 분자성 물질의 성질은 반데르발스힘, 수소결합 등의 영향을 받아 유기 용매에 잘 녹고 비전해질이며 낮은 녹는점을 갖습니다.

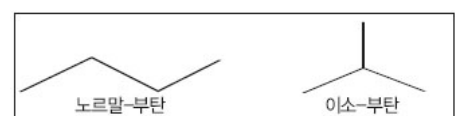
탄소화합물은 결합 형태에 따라 모두 단일결합들로 구성된 포화 탄화수소와 다중결합이 있는 불포화 탄화수소로 나눌 수 있습니다. 또 벤젠 고리와 같이 특이성을 보이는 화합물을 방향족 탄화수소 그렇지 않은 것을 지방족 탄화수소로 나누기도 합니다.

생명과학 분야에 대한 관심이 점점 증가하면서 탄소화합물 단원도 주목을 받고 있습니다. 그러므로 각 작용기에 따른 독특한 성향을 파악해 둘 필요가 있습니다.

▶ 예시답안

우선 C_4H_{10} 의 결합 형태를 살펴봐야 합니다. C_nH_{2n+2} 이므로 $n=4$ 를 대입하면 수소원자는 10개가 됩니다.

그 결과 탄소화합물은 모든 원자들이 단일결합으로 이뤄져 있다는 것을 알 수 있으며 가능한 화합물의 형태는 아래의 그림과 같습니다.



왼쪽 물질을 n-부탄, 오른쪽 물질을 iso-부탄(2-메틸프로판)이라 합니다. 이 두 물질은 분자식은 동일하지만 서로 다른 구조를 갖습니다. 이런 관계를 이성질체 특히 구조이성질체라 합니다.

한편 탄화수소화합물은 탄소수가 증가할 수록 분자량이 증가해 녹는점과 끓는점이 높아집니다.

이 외에도 분자 사이의 인력은 탄화수소 화합물의 물리적 성질인 녹는점과 끓는점에 큰 영향을 줍니다.

일반적으로 탄화수소화합물은 분자량이 증가할 수록 분자간의 접촉 면적이 증가해 비극성 분자사이의 인력인 반데르발스 힘이 증가합니다. 결국 탄소 수가 증가함에 따라 기체, 액체, 고체 상태로 존재합니다.

분자사이의 인력에 영향을 주는 또 하나의 인자는 분자간의 규칙적인 배열상입니다. 이러한 규칙적인 분자간의 배열 즉 쌓임은 분자가 동일한 형태일 때 효율적으로 쌓이며 분자사이의 인력이 증가하기 때문에 녹는점이나 끓는점이 높아집니다.

n-부탄에 비해서 iso-부탄은 옆에 딸린 메틸기의 존재로 인해 동일한 분자량을 갖습니다. 그러나 선형인 n-부탄은 규칙적인 배열상이므로 표면적이 더 넓고 전자가 골고루 분산됩니다. 그러므로 n-부탄에 비해 iso-부탄은 쌓임이 저해돼 분자간의 인력이 상대적으로 감소하며 끓는점이나 녹는점이 낮을 것으로 예상합니다.

참고로 n-부탄의 끓는점은 -0.5°C , iso-부탄의 끓는점은 -11.6°C 입니다.

▶ 추가문제

1. C_4H_8 의 경우, 예상되는 분자구조를 그려보시오.
2. 이성질체에는 기하이성질체와 광학이성질체가 있다. 이들이 구조이성질체와 어떻게 다른지 설명해 보시오.

원자사이 작용하는 화학결합 방식

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 화학결합의 정의

2) 화학결합의 종류

원자사이에 작용하는 화학결합 방식 3가지를 설명하시오(2006년 경북대 수시).

▶ 전문가 클리닉

모든 화학책에서 113종의 원소들로 구성된 주기율표는 기본적으로 다뤄지고 있습니다. 현재까지 밝혀진 물질들은 모두 주기율표를 구성하는 원소들로 이뤄진 것입니다. 만약 단순히 물질이 원소로만 구성된다면 지구상에 존재하는 물질은 113종뿐일 것입니다. 그렇지만 주위를 잠시만 살펴봐도 그 수는 헤아릴 수 없이 많습니다. 이는 각 원소들이 서로 짝을 지어가며 새로운 형태의 물질을 다시 만들어 내기 때문이며 화학결합을 통해 얻을 수 있습니다.

이처럼 원자간에 다양한 화학결합이 존재해 수없이 다양한 물질이 존재할 수 있습니다. 물질세계에서 존재하는 화학결합 방식에는 어떠한 것이 있는지 살펴봤으면 합니다.

▶ 예시답안

원자들 간에 결합이 이뤄지는 일정한 규칙을 화학결합이라 합니다. 원소들 사이의 결합인 화학결합은 크게 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 구별할 수 있습니다.

화학결합의 종류는 결합에 참여하는 원소의 종류에 따라 결정할 수 있습니다. 이들 결합은 모두 화학결합에 참여한 원소의 최외각전자의 개수를 8개로 만족시킨다는 공통점을 지니고 있습니다.

즉 결합의 종류에 따라 방법에는 차이가 있으나 화학결합 결과 결합에 참여한 원소들의 대부분은 비활성 기체의 최외각전자 개수와 같이 가장 바깥쪽 전자껍질을 8개의 전자로 채운다는 옥텟 규칙을 따릅니다. 그렇다면 옥텟 규칙을 만족하는 방법에 따라 각 결합을 구분해 보겠습니다.

첫째, 이온결합은 전기음성도가 작은 금속원소와 전기음성도가 큰 비금속원소 사이에 이뤄지는 결합입니다. 이때 비금속원소와 금속원소의 전기음성도 차이가 크므로 비금속원소는 금속원소의 전자를 빼앗아 음이온이 되고 반대로 금속원소는 전자를 잃고 양이온이 됩니다.

즉 두 원소 사이의 큰 전기음성도 차는 전자가 일방적으로 이동하게 해주고 비금속원소와 금속원소의 최외각전자의 개수를 8개로 만듭니다.

이처럼 양이온과 음이온이 형성된 후 양전하와 음전하 사이의 정전기적인 인력으로 이온결합이 형성됩니다. 이온결합 화학물의 예로 소금이 있습니다.

둘째, 공유결합은 전기음성도가 큰 비금속원소끼리의 결합입니다. 비금속원소의 경우 금속원소에 비해 이온화에너지가 크므로 전자를 받아들여 옥텟 상태가 되려고 합니다. 그러나 원소들 사이에 전기음성도 차이가 크지 않으므로 이온결합에서처럼 전자를 얻어오기 어렵습니다.

따라서 각각의 비금속원소가 지닌 홀전자를 두 원소가 서로 공유하는 방식으로 부족한 전자를 채우고 옥텟 규칙을 만족시킵니다.

셋째, 금속결합은 전기음성도가 작은 금속원소 사이의 결합입니다. 금속원소들은 이온화에너지가 매우 작아 전자를 잃고 금속 양이온이 되기 쉽습니다.

따라서 각 금속원소들은 전자를 잃고 양이온이 돼 옥텟 규칙을 만족시키며 금속원소로부터 떨어져 나온 전자들은 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동합니다. 이렇게 형성된 금속 양이온과 자유전자는 그들 사이에 작용하는 인력으로 강한 금속결합을 형성합니다.

▶ 추가문제

1. 공유결합으로 이뤄진 분자들 사이에는 다양한 인력이 작용한다. 이들에 대해 설명하시오.
2. 극성, 무극성결합은 어떤 결합에 해당하는 것이며 그 의미를 설명하시오.

2006년 07월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학]물, 금속, 화학 평형

1_물의 특징

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 기체반응의 법칙과 일정성분비의 법칙
- 2) 산-염기의 정의
- 3) 비누화 반응
- 4) 용액의 총괄성

다음 질문에 답하십시오(2006년 한양대 수시 1학기).

- 1) 물의 성분을 알아보기 위한 전기분해 장치에서 양(+)전극과 음(-)전극에 발생하는 기체는 각각 무엇인가? 그리고 발생된 기체를 확인하는 방법을 설명하십시오.
- 2) 암모니아(NH_3)가 순수한 물에 녹으면 그 용액은 산성인가, 염기성인가? 답에 대한 이유를 설명하십시오.
- 3) 물에 식용유를 몇 방울 떨어뜨리면 잘 섞이지 않는다. 섞이게 할 수 있는 화학적 방법을 제시하고 그 방법의 원리를 설명하십시오.
- 4) 순수한 물에 소금(NaCl)을 넣으면 끓는점이 올라가는가 아니면 내려가는가? 답에 대한 이유를 설명하십시오.

▶ 전문가 클리닉

지난달에 이어 물의 특징에 대해 더 자세히 알아보려고 합니다. 물은 우리 주변에서 흔하게 볼 수 있으며 그 성질은 다른 물질과 비교해 볼 때 상당히 독특합니다. 지난달에 실렸던 상평형 그림도 한 예가 되지요.

1)번은 물의 구성성분에 관한 것이고 2)번은 아레니우스 또는 브뢴스테드의 산-염기 개념을 확실히 파악하고 있는지를 묻는 내용입니다. 3)번에서는 비누화 반응을 이해하고 있는가를 묻고 있으며 4)번은 용액의 총괄성 중 끓는점 오름 현상을 아는지 확인하는 내용입니다.

▶ 예시답안

- 1) 물을 전기분해하면 수소와 산소가 2:1 비율로 분해됩니다. 그러므로 물은 이들로 이뤄진 화합물임을 알 수 있습니다.



이때 양(+)전극에서 포집된 기체는 산소, 음(-)전극에서 포집된 기체는 수소입니다. 각각의 기체를 확인하기 위해 꺼져가는 성냥불을 넣으면 산소 기체에서는 다시 활활 타오르고, 불꽃을 가져가면 수소 기체에서는 ‘펑’하는 소리가 납니다.

- 2) $\text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{NH}_4\text{OH}(\text{aq}) \leftrightarrow \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$

암모니아 기체를 물에 녹이면 위와 같은 반응식을 따릅니다. 반응식에서 알 수 있듯이 위 용액은 염기성을 띠고 있습니다. 이것은 두 가지 방법으로 설명할 수 있습니다.

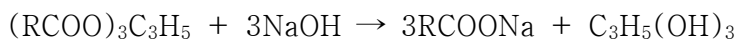
먼저 아레니우스의 정의에 따르면 산은 수용액에서 수소이온(H^+)을 내놓고 염기는 수산화이

온(OH⁻)을 내놓는 물질입니다. 암모니아를 물에 녹이면 수용액 상태에서 OH⁻가 나오므로 정의에 따라 염기가 됩니다. 그런데 암모니아 자체는 OH⁻를 내놓을 수 없습니다. 그러므로 수용액 상태가 아니라면 아레니우스의 정의보다 브뢴스테드의 정의로 설명하는 것이 타당합니다.

브뢴스테드의 정의에 따르면 산은 수소이온(H⁺)을 내놓는 물질, 염기는 수소이온(H⁺)을 받아들이는 물질입니다. 암모니아가 수소이온을 받아들여 위의 화학식처럼 암모늄(NH₄⁺)이온이 되므로 염기성이라고 할 수 있습니다. 그러므로 브뢴스테드에 의한 방법이 더 포괄적인 산-염기 정의라고 할 수 있습니다.

- 3) 물은 극성, 식용유는 무극성 물질이므로 쉽게 섞일 수 없습니다. 식용유에 물과 잘 어울릴 수 있는 부분(친수성기)이 존재하도록 하면 두 물질은 잘 섞입니다.

이런 현상을 유도할 수 있는 화학적 방법이 비누화 반응입니다. 물과 식용유가 섞여있는 용기에 수산화나트륨(NaOH)을 넣고 가열하면 아래 식처럼비누화 반응을 거쳐 두 물질이 잘 섞입니다.



- 4) 순수한 물에 소금(NaCl)을 넣으면 끓는점은 올라갑니다. 비휘발성 용질이 녹은 용액의 증기압력은 순수한 용매의 증기압력보다 낮습니다.

끓는다는 것은 증기압력과 대기압이 같아진다는 것인데 용액의 증기압력이 낮아지면 용매의 끓는점에서 용액은 끓지 못합니다. 그래서 용액의 온도를 더 높여 증기압력과 대기압이 같도록 해야 합니다. 그래서 끓는점은 올라갑니다.

이를 용액의 끓는점 오름 현상이라고 하며 이는 용질의 입자 수에 따라 결정되는 성질인 용액의 총괄성(용액의 증기압력 내림, 어는점 내림, 삼투현상)의 일종입니다.

▶ 추가문제

1. 동국이는 비누를 직접 제조해 세탁해봤다. 그러나 세탁물에 기름 성분이 너무 많아 직접 제조한 비누로는 세탁이 잘 되지 않았다. 기름 성분을 충분히 제거할 수 있는 비누를 제조하기 위해 고려해야 할 화학적 성질에 관해 설명하시오(2006년 동국대 수시).
2. 계란 프라이를 할 때는 프라이팬 바닥에 계란이 들러붙지 않도록 식용유를 두른다. 식용유의 대체물로 끓는점이 식용유와 같은 가상의 물(기존의 물과 끓는점 이외의 성질은 동일함)을 발명했다고 가정하자(2006년 동국대 수시).
 - 1) 평소의 경험을 기초로 계란이 들러붙는 것을 방지하는데 어느 물질이 더 효과적일지 설명하시오.
 - 2) 위 현상과 관련된 표면장력의 성질을 유추하시오(단, 물의 표면장력은 식용유보다 높고 물과 계란의 결합반응은 없는 것으로 가정한다).

02_알칼리 금속의 반응

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 주기율표 2) 금속결합과 금속결정 3) 금속의 이온화 경향 4) 에너지 준위와 파장

다음 물음에 답하시오(2006년 한양대 수시 1학기).

- 1) 알칼리 금속과 물이 격렬하게 반응해 수소기체를 발생시킨다. Li(리튬), Na(나트륨), K(칼륨) 중 반응성이 높은 순서를 결정하고 그 이유를 설명하시오.
- 2) 일반적으로 금속은 높은 전기전도성을 나타내는데 왜 이러한 현상이 일어나는지 설명하시오.
- 3) 금속들은 쉽게 산화돼 양이온이 되고 금속 양이온들은 환원이 되기도 한다. 황산구리 용액에 아연조각을 넣으면 어떤 반응이 진행되는지 설명하시오.
- 4) 불꽃 반응을 이용하면 원소를 확인할 수 있다. 그렇다면 왜 금속마다 불꽃반응 색깔이 다른지 설명하시오.

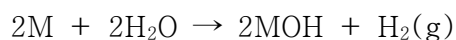
▶ 전문가 클리닉

구술면접에서 금속과 연관된 내용은 크게 주목받지 못했습니다. 단순히 금속의 이온화 경향에 대한 질문이 다뤄졌습니다.

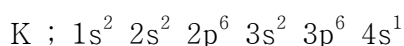
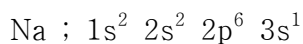
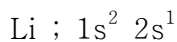
오랜만에 한양대 수시에서 금속과 관련된 문항이 출제됐는데 금속과 관련된 다양한 내용들을 정리해 볼 수 있는 기회가 됐으면 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 아래 화학식처럼 알칼리 금속 M은 물과 격렬하게 반응해 수소기체를 발생시키고 수산화금속염을 형성합니다.

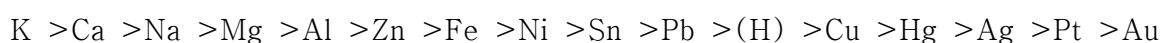


이 때 Li(리튬) < Na(나트륨) < K(칼륨)의 순으로 반응성이 증가합니다. 원자번호는 리튬, 나트륨, 칼륨의 순으로 증가하며 전자껍질의 수도 증가하고 있습니다.



알칼리 금속과 물의 반응은 금속이 최외각 전자를 잃고 양이온이 되는 과정입니다. 전자의 가리움 효과에 의해 칼륨의 최외각 전자를 떼어내는 것은 리튬이나 나트륨보다 더 쉽기 때문에 물과 더 격렬하게 반응합니다.

- 2) 금속은 금속 양이온이 전자들에 둘러싸인 채 금속결합(금속 양이온과 자유전자의 정전기적 인력에 의한 결합)을 이루며 규칙적인 배열을 이룬 상태입니다. 금속결합에는 자유전자(금속에서 나온 전자로 금속 양이온 사이의 공간을 자유롭게 이동하는 전자)가 존재하기 때문에 전성, 연성, 그리고 열과 전기전도성이 높습니다.
- 3) 금속이 전자를 잃고 양이온이 되려는 성질을 금속의 이온화 경향이라고 하며 그 순서는 다음과 같습니다.



금속을 다른 금속이온의 수용액에 넣을 경우 넣어준 금속의 반응성이 크면 반응이 일어나고, 반대로 수용액 속의 금속이온의 반응성이 크면 반응은 일어나지 않습니다.

문제에서 언급된 구리와 아연의 이온화 경향을 비교해 보면 $Zn > Cu$ 이므로 아연은 황산구리 수용액으로 녹아들어가 아연이온이 되고 수용액상의 구리이온은 구리로 석출됩니다.

4) 금속원자 내의 전자가 열에너지를 받으면 에너지 준위가 높아집니다. 이 때 전이되는 전자는 금속의 종류에 따라 일정한 에너지 준위 사이에서만 전이되므로 방출되는 에너지는 금속원소마다 특유의 불꽃색을 띵니다.

예를 들어 Li(빨간색), Na(노란색), K(연한 보라색), Rb(진한 빨간색), Cs(연한 파란색) 등은 독특한 색깔을 갖습니다.

▶ 추가문제

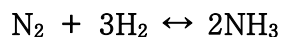
1. 철에 마그네슘을 연결하면 철이 부식되지 않는데 이는 산화반응인가, 환원반응인가? 그 이유는? 마그네슘 대신 나일론 끈을 이용하면 철은 어떻게 되겠는가? 그 이유는?(2003년 부산대 치의예)

03_활성화 에너지와 반응 속도

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

1) 화학평형의 의미 2) 평형이동에 영향을 미치는 요인 3) 활성화 에너지란?

다음과 같은 평형 상태의 반응이 있다.



반응물을 용기에 넣고 반응시킬 때 촉매를 넣어주면 촉매를 넣지 않았을 때보다 평형 상태에 더 빨리 도달한다. 그 이유는 촉매가 활성화 에너지를 낮춰 주기 때문이다. 활성화 에너지가 낮아지면 반응속도가 더 빠르게 되는 이유를 분자 운동론으로 설명하시오. 또 촉매를 넣어도 평형상수가 변하지 않는 이유를 설명하시오(2006년 경북대 수시).

▶ 전문가 클리닉

대부분의 화학반응에서 촉매는 반응속도를 빠르게 진행시키는 역할을 합니다. 촉매는 반응전후에는 변화가 없지만 엄연히 화학반응에 관여합니다. 화학평형을 변화시킬 수 있는 요인으로는 농도, 온도, 압력 등이 있습니다. 그러나 촉매는 평형을 이동시킬 수 없습니다. 그 이유가 무엇인지 생각해 봅시다.

▶ 예시답안

촉매는 농도, 온도, 압력 등의 요소와는 달리 화학평형의 이동과는 관계가 없습니다.

화학평형이 진행될 때 넘어야 하는 산인 활성화 에너지를 낮춰 반응이 빨리 진행되도록 합니다. 활성화 에너지가 낮아지면 반응을 일으킬 수 있는 분자 수가 많아져 정반응은 더 수월하게 진행됩니다.

그러나 역반응의 경우에 있어서도 똑같은 효과를 거둘 수 있습니다. 즉 반응에 참여할 수 있는 분자 수가 증가하는 효과를 통해 반응속도가 빨라지는 결과를 얻게 됩니다. 발열반응의 경우 역반응의 활성화 에너지가 정반응의 경우보다는 높지만 촉매를 사용하기 전보다 낮아졌기 때문에 더 많은 분자가 역반응에 참여할 수 있습니다.

화학평형은 정반응 속도와 역반응 속도의 비로 구하는데 촉매를 사용하면 두 반응속도가 모두 증가해 결과적으로 평형상태에 있는 화학반응의 평형을 이동시키지는 못합니다.

2006년 08월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학]기체 운동과 용해 이해

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념

- 1) 보일, 샤를의 법칙
- 2) 기체분자운동론과 이상기체상태방정식
- 3) 그레이엄의 법칙
- 4) 기체의 용해도

다음 질문에 답하시오(2006년 한양대 수시 1학기).

- 1) 온도가 일정할 때 기체의 압력과 부피의 관계를 설명하고, 압력이 일정할 때 기체의 온도와 부피의 관계를 설명하시오.
- 2) 0℃에서 부피가 1리터(1)인 기체를 일정한 압력에서 2리터(1)로 만들려면 온도를 몇 ℃ 올려야 하는가?
- 3) 일정한 압력, 25℃에서 메탄(CH₄)과 산소(O₂) 중 어느 것의 평균확산속도가 더 빠르나?
- 4) 일정한 온도와 압력에서 일산화탄소(CO)와 이산화탄소(CO₂) 중 어느 것이 물에 더 잘 녹는가?

▶ 전문가 클리닉

기체 분자는 분자간 인력이 약하고, 빠른 속도로 운동하며 기체 종류에 상관없이 공통적인 성질을 갖고 있습니다. 기체 관련 내용 중에 가장 중요한 부분이 기체분자운동론을 토대로 하는 이상기체상태방정식입니다. 이 식을 정확히 알면 교과서에서 다루는 기체 관련 모든 법칙을 이해할 수 있습니다.

▶ 예시답안

- 1) 온도가 일정할 때 기체의 압력과 부피의 관계는 보일의 법칙으로 설명할 수 있습니다. 기체의 부피가 감소하더라도 온도가 일정하면 기체 분자의 속력은 일정합니다. 따라서 분자의 단위면적당 충돌횟수가 증가해 압력이 커집니다. 즉 일정한 온도에서 일정량의 기체의 부피(V)는 압력(P)에 반비례합니다. 이것을 $PV=k$ 와 같이 표현합니다.

압력이 일정할 때 기체의 온도와 부피의 관계는 샤를의 법칙으로 설명할 수 있습니다. 일정한 압력에서 기체의 부피는 온도가 1℃ 올라갈 때마다 0℃일 때 부피의 1/273배만큼 증가합니다. 즉 기체의 부피는 절대온도(T)에 비례하며 $V \propto T$ 로 나타냅니다.

- 2) 일정한 압력에서 기체의 온도와 부피의 관계는 샤를의 법칙을 따릅니다. V_1/T_1 이므로 $1/0+273 = 2/t+273$ 이고 $t=273$ 이 됩니다. 즉 273℃만큼 온도를 올리면 기체의 부피는 2L로 증가합니다.

- 3) 1829년에 발표된 그레이엄의 법칙에 따르면 같은 온도와 압력에서 두 기체의 확산속도는 분자량의 제곱근에 반비례합니다.

즉 $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$ 에서 $\frac{v_{CH_4}}{v_{O_2}} = \sqrt{\frac{32}{16}} = \sqrt{2}$ 입니다. 따라서 메탄의 평균확산속도는 산소의 평균 확산속도의 $\sqrt{2}$ 배입니다.

- 4) 일반적으로 용질이 용매에 녹는 현상은 용질의 분자 크기와 극성으로 설명할 수 있습니다. 즉 용질의 분자 크기가 작고 극성이 클수록 극성 용매에 잘 녹습니다.

그런데 일산화탄소와 이산화탄소의 용해에는 이 원리가 적용되지 않는 것처럼 보입니다. 이산화탄소는 일산화탄소보다 분자가 크고 쌍극자 모멘트가 0으로 무극성이지만, 일산화탄소보다 물에 잘 녹기 때문입니다.

다음 수치는 물 100g에 녹는 CO₂와 CO의 g(그램)수를 나타냅니다.

온도	0	10	20
CO ₂	0.3346	0.2318	0.1688
CO	0.0044	0.0035	0.0028

이런 차이는 이산화탄소의 산소원자와 물의 수소원자가 수소결합을 하기 때문에 생깁니다. 또한 수용액 상태에서 수산화이온(OH⁻)과 이산화탄소가 반응해 생기는 탄산염이온(HCO₃⁻) 때문에 이산화탄소가 일산화탄소보다 물에 잘 녹는 것일 수도 있습니다.

아래의 질문에 답하십시오(2006년 한양대 수시 1학기).

- 1) 같은 분자수의 에탄(C₂H₆)과 아세틸렌(C₂H₂)을 완전연소시킬 때 어떤 물질이 산소를 더 필요로 하는가?
- 2) 이성질체를 정의하고 크실렌(Xylene, 또는 자이렌)의 이성질체 개수와 구조를 설명하십시오.
- 3) 고급 지방산과 글리세롤을 이용해 비누를 제조하는 과정에 필요한 반응들을 설명하십시오.
- 4) 카르복실기(-COOH)와 아민(-NH₂)기를 1개씩 가지고 있는 아미노산이 강염기성 수용액에 녹아 있다. 이 용액에 전극을 이용해 전기장을 걸어주면 아미노산은 양극(+)과 음극(-) 중 어느 쪽으로 끌려가겠는가?
선택한 답에 대한 이유를 설명하십시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

- 1) 화학반응식
- 2) 이성질체의 정의와 종류
- 3) 비누화 반응
- 4) 탄소화합물과 산-염기

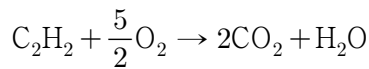
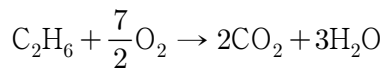
▶ 전문가 클리닉

탄소화합물은 탄소를 주축으로 해 이뤄진 공유결합 물질입니다. 탄소화합물은 반데르발스 힘과 수소결합 등의 성질을 가지며, 유기용매에 잘 녹고, 비전해질이며 비교적 낮은 녹는점을 가집니다.

탄소화합물은 분자내 수소 포화여부에 따라 포화 탄화수소와 불포화 탄화수소로 구분합니다. 또한 벤젠고리의 유무에 따라 방향족 탄화수소와 지방족 탄화수소로 구분합니다.

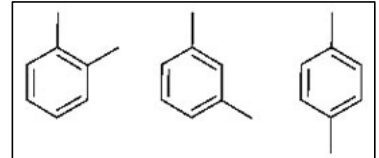
▶ 예시답안

- 1) 에탄(C₂H₆)과 아세틸렌(C₂H₂)을 완전연소시키면 똑같이 이산화탄소와 수증기가 생성됩니다. 각각의 화학반응식을 완성하면 다음과 같습니다.



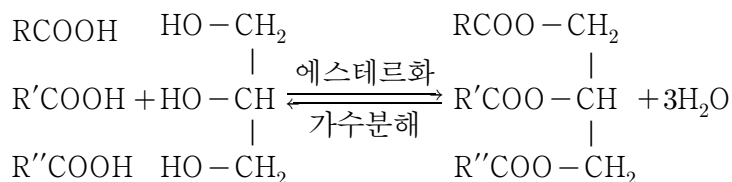
이 화학식으로 알 수 있듯이 에탄이 아세틸렌보다 산소 1분자를 더 필요로 합니다.

- 2) 분자식은 같으나 성질이 다른 화합물을 이성질체라고 합니다. 이성질체에는 구조이성질체, 기하이성질체, 광학이성질체가 있습니다. 크실렌(또는 자일렌)은 벤젠에 메틸기 2개가 연결된 화합물로 메틸기 2개의 상대적인 위치에 따라 그림처럼 3종류의 이성질체를 형성합니다. 이들처럼 분자식은 같지만 구조식이 달라 성질이 다른 화합물을 구조이성질체라고 합니다.

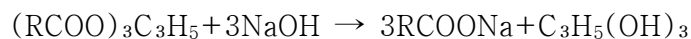


이 이성질체들은 각각 o(오르토)-크실렌(또는 자일렌), m(메타)-크실렌, p(파라)-크실렌이라고 부릅니다.

- 3) 탄소수가 많은 고급지방산과 글리세롤이 탈수반응의 일종인 에스테르화반응을 거치면 유지가 형성됩니다.



이렇게 생성된 유지를 수산화알칼리(NaOH, KOH)로 비누화반응시키면 고급지방산염과 글리세린이 형성됩니다. 이때 생성된 고급지방산염이 바로 비누입니다.



- 4) 카르복실기와 아민기를 1개씩 가지고 있는 아미노산을 강염기성 용액에 넣으면, 아민기는 NH_2 상태로 존재하고 카르복실기는 수소가 해리돼 COO^- 형태로 존재합니다. 따라서 강염기성 용액에 녹아있는 아미노산은 (-)전하를 띠게 됩니다.

이 용액에 전기장을 걸어주면 (-)전하를 띠게 된 아미노산이 정전기적 인력에 따라 (+)극으로 이동합니다.

아세트산의 이온화상수 K_a 는 1.8×10^{-5} 이며 pK_a 는 4.7이다. 0.1mol의 아세트산을 물에 녹여 식초 1.0l를 만들었다(2006년 포스텍 수시 2학기).

1) 이 식초의 pH를 구하시오.

2)이 식초에 아세트산나트륨 0.1mol을 녹였다. 이 용액의 pH를 구하시오.

3) 1)에서 만든 식초는 어느 점이 0.2°C 낮아졌다고 한다. 이때 2)에서 만든 용액의 어는점은 얼마일지 구하시오.

▶ 문제풀이에 꼭 필요한 개념원리

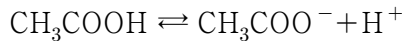
- 1) 산의 이온화상수의 개념 2) pH의 정의와 활용법 3) 용액의 총괄성

▶ 전문가 클리닉

일반적으로 산-염기를 정의하는데 아레니우스, 브뢴스테드-로우리, 루이스의 정의를 많이 씁니다.

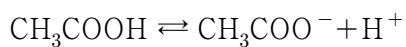
▶ 예시답안

- 1) 아세트산의 이온화상수 K_a 는 다음과 같은 화학식을 통해 얻을 수 있습니다.



$$\therefore K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

0.1mol의 아세트산을 물에 녹여 1.0 L의 용액을 만들면, 초기에 아세트산용액의 mol 농도는 0.1M이 됩니다. 이때 일부(x) 아세트산이 해리돼 수소이온을 내놓습니다.



	CH_3COOH	CH_3COO^-	H^+
초기농도	0.1	0	0
해리농도	x	x	x
평형농도	$0.1 - x$	x	x

따라서 $K_a = \frac{x^2}{[0.1 - x]} = 1.8 \times 10^{-5}$ 과 같은 식을 구할 수 있습니다. 이때 x 값이 0.1에 비해

무시할 수 있을 정도로 작다고 가정하면 앞의 식은 $K_a = \frac{x^2}{[0.1]} = 1.8 \times 10^{-5}$ 처럼 다시 쓸 수 있습니다. 따라서 $x = 1.34 \times 10^{-3}$ 이고, 이 값은 0.1에 비해 상당히 작기 때문에 가정이 유효함을 확인할 수 있습니다. 그래서 이 식초의 $\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 2.87$ 입니다.

- 2) 1)의 식초에 0.1mol의 아세트산나트륨을 넣으면 해리되는 아세트산의 양은 감소합니다(공통이온 효과). 이것을 표로 나타내면 다음과 같습니다.

	CH_3COOH	CH_3COO^-	H^+
초기농도	0.1	0	0
해리농도	x	x	x
평형농도	$0.1 - x$	x	x

그러므로 식도 $K_a = \frac{[0.1 + x]x}{[0.1 - x]} = 1.8 \times 10^{-5}$ 과 같이 표현됩니다. 1)에서와 마찬가지로 x 값이

0.1에 비해 무시할 수 있을 정도로 작다는 가정에서 $x = 1.8 \times 10^{-5}$ 이 되고, 이 값은 앞선 가정을 유효하게 해줍니다. 따라서 $\text{pH} = 4.74$ 입니다.

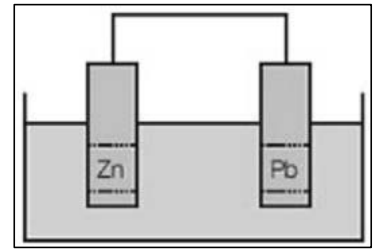
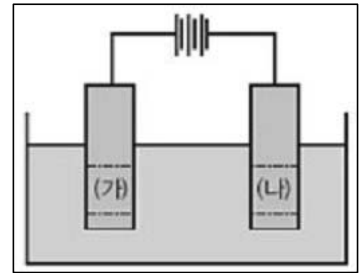
- 3) 용액의 총괄성은 물질의 종류에 상관없이 용질의 양에 의해 결정되는 성질을 말합니다. 1)에 존재하는 물질의 총 mol 수는 $0.1 + 1.34 \times 10^{-3}$ mol이고, 2)에 존재하는 물질의 총 mol 수는 $0.3 + 1.8 \times 10^{-5}$ mol입니다(아세트산나트륨 0.1mol이 해리돼 아세트산음이온 0.1mol과 나트륨이온 0.1mol이 생성되므로). 각각에서 무시할 수 있을 정도로 작은 부분을 빼면 1)의 용액에는 용질이 총 0.1mol, 2)의 용액에는 용질이 총 0.3mol 있다고 생각할 수 있습니다. 용액의 어는점내림은 용질의 총 mol 수에 비례하므로 1)에서 어는점이 0.2°C 낮아졌다면 2)에서는 어는점이 0.6°C 낮아지게 됩니다.

2006년 09월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학]금속의 산화-환원 반응

다음은 금속의 산화-환원 반응에 관한 문제이다(2006년 포스텍 수시 2학기).

- 1) 다음 그림은 아연(Zn) 금속판을 납(Pb)으로 코팅하기 위한 전기 화학 반응 모식도이다. 전해질로는 PbSO_4 수용액을 사용했다. (가), (나)에 해당하는 금속과 각 전극에서 일어나는 화학반응식을 써라.
- 2) 다음 그림과 같이 납과 아연 전극을 직접 연결해 PbSO_4 전해질 수용액에 담갔을 때와 H_2SO_4 가 같은 비율로 존재하는 혼합 전해질 수용액에 담갔을 때 각 전극에서 일어나는 화학 반응식과 전체 반응식을 각각 써라.
- 3) 문제 2)의 그림에서 H_2SO_4 만을 전해질로 사용할 경우 반응이 진행되면서 두 전극 사이의 전압은 감소한다. 그 이유를 설명하라. 또 이러한 전압 강하가 일어나지 않는 전지를 구상해 그 개략도를 그려라. (단, 새로운 전지에서는 서로 다른 두 가지 이상의 전해질을 사용할 것)



▶ 전문가 클리닉

화학의 다양한 분야 중 하나로 화학반응이 있습니다. 화학반응에서도 독립된 분야로 존재하는 것이 바로 산화-환원반응입니다.

산화란 산소가 붙는 것이라고 볼 수 있습니다. 철이 녹스는 현상이 산화의 대표적 예입니다. 환원은 산화와는 반대로 산소가 떨어지는 것을 의미합니다. 이렇게 보면 두 반응은 서로 반대되는 과정으로 함께 일어날 수 없는 것처럼 보일 수 있지만, 사실 산화와 환원은 어느 하나만 따로 떼어서 생각할 수 없는 관계입니다. 빛이 있으려면 어둠이 있어야 하는 이치와 같습니다.

어느 한쪽에서 산화반응이 일어나면, 반드시 다른쪽에서는 환원반응이 일어나게 됩니다. 이 때문에 산화반응과 환원반응을 한데 묶어 산화-환원반응이라고 부릅니다. 이러한 산화-환원반응을 찾아볼 수 있는 예가 바로 전지입니다.

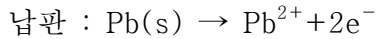
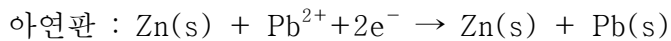
▶ 예시답안

- 1) 산화-환원의 정의는 산소를 얻는 것과 잃는 것으로 내릴 수도 있지만, 전지와 관련해 생각할 때는 전자를 잃는 것과 얻는 것으로 정의를 내리는 것이 좋습니다. 전기도금은 전기 분해의 원리를 이용해서 한 금속의 표면을 다른 금속의 얇은 막으로 입히는 것입니다.

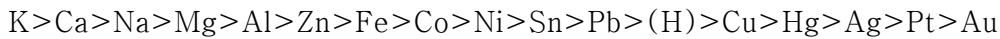
주어진 그림에서 금속판 (가)는 전지의 양(+)극에 연결돼 있고, 금속판 (나)는 전지의 음(-)극에 연결돼 있습니다. 그러므로 금속판 (가)에서는 전자를 내놓아 이온이 되는 산화반응이, 금속판 (나)에서는 전자를 받아들여 고체 금속이 석출되는 환원반응이 일어납니다.

아연 금속판을 납으로 코팅하기 위해서는 금속판 (가)에는 납이, 금속판 (나)에는 아연이 있어야 합니다. 그래야 금속판 (가)의 납이 납이온(Pb^{2+})으로 바뀌고, 금속판 (나)의 아연 표면에서는 납이온이 환원돼 납으로 코팅된 아연 금속판을 얻을 수 있습니다.

이때의 화학반응식은 다음과 같습니다.

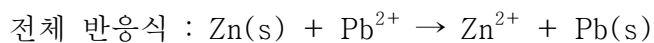
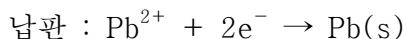
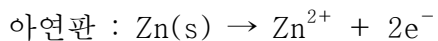


참고로 금속의 이온화 경향은 다음과 같습니다.



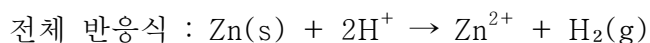
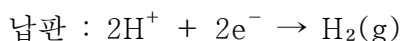
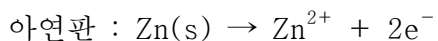
- 2) 금속이 이온으로 변하는 정도는 서로 비교할 수 있습니다. 이를 나열한 것이 금속의 이온화 경향이고, 여기서 아연이 납보다 이온화 경향이 크다는 사실을 확인할 수 있습니다.

PbSO₄의 전해질 수용액에 아연판과 납판을 전선으로 연결해서 담그면, 아연은 녹아들어가서 전자를 내놓고 아연이온(Zn²⁺)으로 하는 산화과정을 거칩니다. 반면에 전해질 수용액에 존재하던 납이온(Pb²⁺)은 아연이 내놓은 전자를 받아들여 납으로 석출됩니다.



H₂SO₄와 PbSO₄가 일대일로 존재하는 상황에서 아연과 납의 이온화 경향은 H보다 큽니다. 그러므로 아연과 납 모두 산화과정을 통해 이온이 될 것이라고 생각할 수도 있습니다. 하지만 이 경우 아연과 납판은 전선으로 이어져 있어서 두 금속판에서 동시에 산화반응이 일어날 수 없습니다.

대신 이온화 경향이 더 큰 아연판에서는 산화반응이 일어나서 아연이온(Zn²⁺)이 생성돼 녹아들어가고, 납판에서는 환원반응이 일어납니다. 이때는 앞선 경우처럼 납이온(Pb²⁺)이 납으로 석출되는 것이 아니라, 수소이온(H⁺)이 환원돼 수소기체(H₂)가 발생합니다.

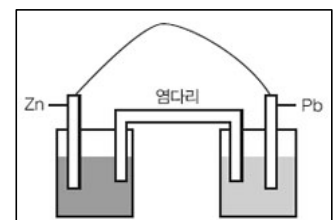


- 3) H₂SO₄만을 전해질로 사용할 경우에 시간이 지날수록 기전력이 감소합니다. 이는 분극작용 때문입니다. 분극작용은 납판에서 발생한 수소기체가 수소이온이 환원되는 것을 방해하고, 수소기체가 많을 경우에는 H₂ → 2H⁺ + 2e⁻ 반응이 일어나서 역기전력이 생기기 때문에 나타나는 현상입니다. 수소로 생기는 분극작용을 없애기 위해서 중크롬산칼륨(K₂Cr₂O₇), 이산화망간(MnO₂), 과산화수소(H₂O₂) 등의 감극제 또는 소극제를 사용합니다.

이는 수소를 산화시켜 분극작용을 억제하는 역할을 합니다.

전압강하가 일어나지 않게 고안한 전지 중 하나가 바로 다니엘 전지입니다. 다니엘 전지는 염다리를 이용해 분극작용을 없애므로 전압강하가 일어나지 않습니다.

오른쪽 그림은 다니엘 전지의 모식도입니다. 이때 아연판이 담긴 전해질 용액은 ZnSO₄(aq)이고, 납판이 담긴 전해질 용액은 PbSO₄(aq)입니다.



다음 물질들을 물에 잘 녹는 순서대로 나열하고 그 이유를 설명하라(2005년 한양대 수시 2학기).
메탄올(CH₃OH), 에테르(C₂H₅OC₂H₅), 헥산(C₆H₁₄)

▶ 전문가 클리닉

탄소는 생물체를 구성하는 주요원소입니다. 유기화학이라는 분야가 따로 있을 만큼 탄소는 화학에서 중요하게 다뤄지고 있습니다.

탄소화합물은 탄소를 주축으로 이뤄진 공유결합 물질입니다. 탄소는 탄소화합물이라는 분자성 물질을 형성하므로 반 데르 발스 힘, 수소 결합 등에 의한 성질을 나타냅니다. 탄소화합물은 일반적으로 유기 용매에 잘 녹고 비전해질이며, 낮은 녹는점을 보입니다.

탄소화합물은 결합 형태에 따라 단일결합으로만 구성된 포화 탄화수소와 다중결합을 포함하는 불포화 탄화수소로 나눌 수 있습니다.

그밖에 벤젠 고리를 가지는 탄소화합물을 방향족 탄화수소, 그렇지 않은 탄소화합물을 지방족 탄화수소로 나누기도 합니다. 또 탄소화합물이 갖는 특징적인 작용기에 따라서 탄소화합물을 구분하기도 합니다.

▶ 예시답안

탄소화합물 중 하나인 물과 기름은 특수한 물질(예를 들어, 비누 등)이 존재하지 않는 한 쉽게 용화되지 못합니다. 이는 물이 수소결합을 잘 형성하는데 반해, 기름은 수소결합을 형성할 수 없기 때문입니다. 수소결합을 형성하는 물은 극성 용질을 잘 녹입니다. 그러므로 메탄올, 에테르, 헥산의 화학식을 통해 이들이 물과 잘 섞일 수 있는가를 추측할 수 있습니다.

앞서 언급했듯이 탄소화합물과 물은 잘 섞이지 않습니다. 그렇지만 작용기의 존재와 영향에 따라서 탄소화합물의 성질이 바뀔 수도 있습니다.

헥산은 특정한 작용기를 가지지 않지만, 에테르에는 중간에 산소가 있고 메탄올에는 히드록시기라는 OH기가 있습니다. 메탄올에 존재하는 OH기는 물과 수소결합을 형성할 수 있습니다.

따라서 헥산이 물과 거의 섞이지 않는 데 반해서 메탄올은 물과 잘 섞입니다. 에테르도 물과 잘 섞이지는 않지만, 에테르에 존재하는 산소가물 분자의 수소와 수소결합을 형성하므로 헥산 보다는 물에 잘 섞입니다. 그러므로 물과 잘 섞이는 물질은 메탄올(CH_3OH) > 에테르($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$) > 헥산(C_6H_{14}) 순서입니다.

참고로 에테르나 헥산은 비중이 1보다 작으므로 물 층 위에 또 다른 하나의 층을 형성합니다.

화학결합 중 공유결합에 대해 간단히 설명하라. 또한 공유결합에는 시그마(σ)결합과 파이(π)결합이 있는데 각각을 설명하라(2006년 성균관대 수시 2학기).

▶ 전문가 클리닉

원소들 사이의 결합인 화학결합은 크게 이온결합, 공유결합, 금속결합으로 구분할 수 있습니다.

화학결합은 결합에 참여하는 원소의 종류에 따라 구분됩니다. 그러나 모든 화학결합은 결합에 참여한 원소의 최외각전자의 개수를 8개로 만족시킨다는 공통점을 지니고 있습니다.

결합방식에 따라 다소 차이는 있으나 화학결합결과 결합에 참여한 원소들 대부분은 비활성 기체의 최외각전자 개수와 같이 가장 바깥쪽의 전자껍질을 전자 8개로 채웁니다. 이를 옥텟 규칙이라고 합니다.

▶ 예시답안

공유결합은 전기음성도가 큰 비금속원소끼리의 결합입니다. 비금속 원소의 경우 금속 원소에

비해 이온화에너지가 크므로 전자를 받아들여 옥텟 상태가 되려는 경향이 강합니다.

그러나 비금속 원소들 사이의 전기음성도 차이는 크지 않습니다. 공유결합에서는 이온결합에서처럼 한 원자가 일방적으로 다른 원자의 전자를 얻어오기 어렵습니다. 따라서 각각의 비금속원소가 지닌 홀전자를 두 원소가 서로 공유하는 방식으로 부족한 전자를 채우고 옥텟 규칙을 만족시킵니다. 참고로 원소들이 공유결합을 형성할 때 방출되는 에너지를 공유결합에너지라고 합니다.

시그마(σ)결합과 파이(π)결합은 분자오비탈 측면에서 바라봐야 합니다. 두 개의 원자가 결합할 때 두 핵을 연결하는 축에 수직하게 자른 단면으로 시그마결합과 파이결합을 구분할 수 있습니다.

자른 단면이 원형처럼 보이고, 이 단면을 축으로 대칭을 이루는 분자오비탈을 시그마오비탈이라합니다. 그리고 이 결합을 시그마결합이라 부릅니다. 단일결합은 모두 시그마결합입니다. 시그마결합은 분자결합의 골격을 유지하는 결합입니다. 반면에 파이결합은 분자오비탈이 원자핵 사이의 결합 축에 수직으로 존재할 때 생기는 결합입니다. 단면을 자르면 파이결합은 아령과 같은 모양을 보입니다. 파이결합은 언제나 시그마결합이 존재할 때만 형성됩니다. 또한 파이결합은 시그마결합에 비해 에너지 측면에서 불안하므로 비교적 쉽게 끊어집니다.

2006년 10월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학]떠다니는 빙하

A^{2-} , B^{-} , C , D^{+} , E^{2+} 는 모두 아르곤(Ar)과 같은 안정한 전자배치를 갖고 있다. 이들 물질을 반지름의 크기순으로 나열하고, 전자를 1개 떼어낼 때 가장 많은 에너지가 필요한 물질은 무엇인지 말하라.

▶ 전문가 클리닉

거의 모든 화학책의 안쪽 표지에는 주기율표가 있습니다. 주기율표에는 110여 종에 이르는 원소가 들어있습니다. 주기율표는 원자들의 크기, 화학적 성질, 전자친화도, 전기음성도 등 화학 결합과 관련된 많은 요소들이 포함돼 있습니다. 주기율표를 제대로 이해하면 화학결합의 형성 원리를 이해할 수 있을 뿐 아니라 화학의 기초를 탄탄히 닦을 수 있습니다.

▶ 예시답안

반지름은 양성자와 전자, 전자와 전자 간의 정전기적 인력과 척력으로 결정됩니다. 이들 물질은 동일한 개수의 전자를 갖지만 각 물질의 원자핵에 존재하는 양성자의 개수는 다릅니다.

E^{2+} 쪽으로 갈수록 각 물질이 가지는 양성자 개수는 증가합니다. 양성자 개수가 많아지면 정전기적 인력이 그만큼 세져서 전자들이 원자핵 쪽으로 강하게 구속되므로 물질의 반지름은 작아집니다. 따라서 5개 물질의 반지름을 크기순으로 표현하면 $A^{2-} > B^{-} > C > D^{+} > E^{2+}$ 가 됩니다.

양성자 개수가 많아져서 전자들이 원자핵에 강하게 구속되면 전자를 떼어내는 데도 더 많은 에너지가 필요합니다. 따라서 양성자 개수가 가장 많은 E^{2+} 에서 전자를 떼어낼 때 가장 큰 에너지가 필요합니다.

▶ 추가문제

최외각 전자가 실제로 느끼는 유효핵전하는 핵전하보다 작다. 이를 바탕으로 다음 질문에 답하라 (2007년 건국대 수시 1학기 뉴리더십 전형).

- 1) 주기율표에서 같은 주기의 전형 원소들은 원자번호가 증가함에 따라 반지름이 작아진다. 그 이유를 설명하라.
- 2) Na 원자가 Na^{+} 이온이 되면 최외각 전자가 느끼는 유효핵전하가 더 커진다. 그 이유를 설명하라.

이산화탄소는 물에 녹아 톡 쏘는 맛을 내는 탄산을 생성한다. 탄산음료는 이 원리를 이용해 만들어진다. 우리는 차가운 탄산음료와 미지근한 탄산음료를 마실 때 톡 쏘는 정도가 많이 다르다는 것을 느낀다. 이런 현상에 대한 이유를 기체의 고유한 특성을 이용해 설명하라 (2007년 경희대 수시 1학기).

▶ 전문가 클리닉

기체는 우리 주변을 구성하는 물질의 한 형태입니다. 기체상에서 각각의 분자는 독립적으로 움직이며 병진·회전·진동 운동을 합니다. 또한 기체 분자들은 빠른 속도로 운동하며 서로 간의 인력이 매우 약합니다. 기체가 갖는 성질은 실생활에 다양하게 이용됩니다. 콜라나 사이다 같은 탄산음료는 이산화탄소를 녹여서 만듭니다. 탄산음료의 톡 쏘는 정도가 왜 온도에 따라 변하는지 기체의 용해도와 연관해 생각해봅시다.

▶ 예시답안

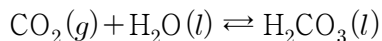
용질이 용매에 녹는 정도는 용질이나 용매의 종류에 따라 차이가 납니다. 일반적으로 극성용매는 극성용질을, 무극성용매는 무극성용질을 잘 녹입니다. 같은 용질과 용매일지라도 온도나 압력의 변화에 따라 녹는 정도는 다릅니다.

용질을 용매에 녹일 때는 용해열이 흡수되거나 방출됩니다. 만약 용해반응이 발열반응이면 온도를 낮출수록 용질이 더 많이 녹고(용해도가 커지고), 흡열반응이면 온도를 높일수록 용해도가 증가합니다.

고체의 용해과정은 대부분 흡열반응이므로 온도를 올릴수록 용해도가 증가합니다. 이에 반해 기체의 용해도는 온도를 올릴수록 감소합니다. 이는 기체의 용해과정이 대부분 발열반응이기 때문입니다.

기체 분자는 분자 간의 인력이 매우 작는데, 기체 분자가 액체에 녹으면 이들 간에 인력이 새롭게 생깁니다. 따라서 기체 분자가 용해될 때 에너지가 방출되므로 낮은 온도에서 기체의 용해도가 증가합니다.

문제에서도 언급했듯이 탄산음료의 특 쏘는 맛은 음료에 녹아있는 탄산 때문입니다. 탄산음료는 3~4기압을 유지하면서 이산화탄소를 녹인 수용액입니다. 물에 녹인 탄산은 다시 기체상의 이산화탄소와 물로 해리되는데, 이 과정은 다음 식으로 표현됩니다.



물에 녹아있는 탄산은 온도가 높아질수록 기체상의 이산화탄소와 물로 해리되는 경향이 강해집니다. 이 때문에 높은 온도에서 탄산음료의 특 쏘는 맛이 약해집니다.

참고로 기체의 용해를 설명하는 법칙에는 액체에 용해되는 기체의 양이 압력에 비례한다는 ‘헨리의법칙’이 있습니다. 헨리의 법칙은 일정한 온도에서 일정량의 용매에 녹는 기체의 질량은 압력에 비례하지만 부피는 압력에 관계없이 일정하다는 법칙입니다.

이 법칙은 난용성 기체에만 적용되며, 용매에 잘 녹는 기체에 대해서는 적용되지 않습니다. 즉 물에 잘 녹지 않는 기체가 낮은 압력에 있을 때만 헨리의 법칙을 적용할 수 있습니다. 이 법칙이 잘 적용되는 기체로는 수소, 산소, 질소, 이산화탄소 등이 있으며, 이 법칙이 잘 적용되지 않는 기체로는 암모니아, 염화수소 등이 있습니다. 그러므로 기체를 더 많이 용해시키기 위해서는 압력은 높이고 온도는 낮춰야 합니다.

▶ 추가문제

산업혁명 이후 도시 공기의 오염과 더불어 산성비는 중요한 사회문제로 대두돼 왔다. 이산화탄소는 산성비를 정의하는 데도 중요한 역할을 하고 있다.

산성비란 무엇이며, 이산화탄소가 산성비와 어떤 관계가 있는지 설명하라.

남극과 북극 근처를 떠다니는 대부분의 빙하는 바닷물 속에 잠겨 있다. 이런 현상을 바닷물과 빙하의 비중에 근거해 논리적으로 설명하라(2006년 동국대 수시 2학기).

▶ 전문가 클리닉

올해 ‘Be Scientists’ 3월호에서도 이와 유사한 내용을 다뤘습니다. 온도에 따라 순수한 물의 밀도에 변화가 생기고, 얼음이 물에 뜨는 현상을 설명하라는 내용이었습니다. 이런 현상은 물이 갖는 독특한 성질 때문에 나타납니다.

대부분의 물질은 고체가 액체보다 비중(밀도)이 더 큼니다. 그러나 물은 얼음(고체상태)일 때보다 액체상태일 때, 특히 4℃에서 비중이 가장 큼니다. 이는 물 분자가 이루는 수소결합 때문입니다. 물 분자가 이루는 수소결합을 확실히 알고 있다면 이와 관련된 문제는 쉽게 해결할 수 있습니다.

▶ 예시답안

밀도란 물질 고유의 특성을 나타내는 값 중 하나로 단위부피의 질량으로 정의됩니다. 밀도가 큰 물질과 작은 물질이 함께 있으면, 밀도가 작은 물질은 큰 물질 위에 뜨게 됩니다. 나뭇조각이나 기름이 물에 뜨는 현상, 쇠로 된 추가 물에 가라앉는 현상도 두 물질 간의 밀도가 다르기 때문에 나타나는 현상입니다.

바다 위로 드러난 빙하의 양보다 수면 아래에 있는 빙하의 양이 많긴 하지만, 빙하의 밀도는 바닷물의 밀도보다 작기 때문에 북극이나 남극의 빙하는 바다 위에 떠 있습니다.

빙하의 밀도는 물의 고체상인 얼음의 밀도이므로 물의 밀도와 큰 차이를 보이지는 않지만 물의 밀도인 1보다는 작은 값을 가집니다. 이는 물과 얼음에서 온도에 따른 수소결합의 비율이 달라지기 때문입니다.

얼음에서는 수소결합에 의해 빈 공간이 많이 생겨 부피가 늘어나기 때문에 밀도가 작아집니다. 어는점에서 물이 얼음으로 변할 때는 액체 부피의 약 9 %가 증가합니다. 물의 이런 특징으로 겨울철에는 수도관이 동파하는 사고가 일어나기도 합니다.

얼음의 밀도가 물의 밀도보다 작은 반면에 바닷물의 밀도는 물의 밀도보다 높습니다. 이는 순수한 물과는 달리 바닷물에 각종 염분이 녹아있기 때문입니다. 강보다 바다에서 우리 몸이 더 잘 뜨거나 염분 함량이 유난히 높아 사해라고 불리는 바다에서 더 잘 떠 있을 수 있는 이유도 바닷물의 밀도가 순수한 물의 밀도보다 크기 때문입니다. 마찬가지로 이유로 물보다 밀도가 낮은 빙하는 물보다 밀도가 높은 바닷물 위에 떠다닐 수 있습니다.

▶ 추가문제

1. 물이 생명체에서 중요한 역할을 하는 이유는 물의 어떤 특성 때문인지 설명하라.
2. 얼음의 밀도가 물의 밀도보다 크다면 어떤 일이 일어나겠는가(2001년 서울대 의예과)?
3. 콜라를 담은 잔에 얼음을 넣을 때와 위스키를 담은 잔에 얼음을 넣을 때 얼음은 어떻게 다르게 행동하겠는가? 또 그 이유는 무엇인가?

화학반응에서의 평형상수에 대해 간단히 설명하고, 평형상수를 바꾸기 위한 조건을 제시하라 (2005년 경북대 수시).

▶ 전문가 클리닉

화학평형이란 가역반응에서 정반응의 속도와 역반응의 속도가 같을 때의 상태를 의미합니다.

화학평형은 겉으로 볼 때는 반응이 일어나지 않는 것 같이 느껴집니다. 화학평형을 이해하는데 가장 중요한 개념은 가역반응입니다. 어느 한쪽으로만 100% 진행되는 반응에서는 화학평형 상태가 있을 수 없습니다.

반응속도란 화학반응이 진행되는 속도를 의미하며 빠르기를 나타내는 정도입니다. 반응속도는 단위시간 동안 생성물질의 변화량이나 단위시간 동안 반응물질의 변화량으로 나타냅니다. 화학

평형은 반응속도와 혼동하면 안 됩니다.

▶ 예시답안

화학반응이 평형상태에 있을 때는 반응물질과 생성물질의 농도가 일정하게 유지됩니다. 화학평형 상수란 이 때 반응물질과 생성물질 농도 곱의 비를 의미합니다. 예를 들어 $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ 반응이 평형상태에 있을 경우 평형상수 K를 다음과 같이 식으로 정의할 수 있습니다.

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

온도가 일정할 때 평형상수의 값은 변하지 않습니다. 평형상수 K값이 크면 생성물의 농도가 상대적으로 큼을 의미하므로 정반응이 우세한 반응이고, 반대로 K값이 작으면 반응물의 농도가 상대적으로 큼을 의미하므로 역반응이 우세한 반응입니다.

평형상태에 있는 화학반응에서 농도·온도·압력 가운데 어느 한 조건을 변화시키면 반응은 변화를 감소시키는 쪽으로 진행되는데, 이를 ‘평형이동의 법칙’(르 샤틀리에 법칙)이라고 합니다.

농도, 온도, 압력이 화학반응의 진행 방향에 어떤 영향을 주는지를 정리하면 다음과 같습니다.

1) 농도의 변화

- 반응물의 농도 증가, 생성물의 농도 감소 → 정반응 진행
- 반응물의 농도 감소, 생성물의 농도 증가 → 역반응 진행

2) 온도의 변화

· 발열반응에서

온도를 높일 경우 → 역반응 진행

온도를 낮출 경우 → 정반응 진행

· 흡열반응에서

온도를 높일 경우 → 정반응 진행

온도를 낮출 경우 → 역반응 진행

3) 압력의 변화

- 압력의 증가 → 기체 몰수의 합이 줄어드는 방향
- 압력의 감소 → 기체 몰수의 합이 늘어나는 방향

▶ 추가문제

1. 평형상수 K와 반응지수 Q에 대해 설명하고, 두 값의 크기에 따른 화학반응의 진행 방향에 대해 설명하시오.
2. 암모니아를 공업적으로 생산하는 방법을 하버법이라고 한다. 이에 관한 반응식은 다음과 같다.

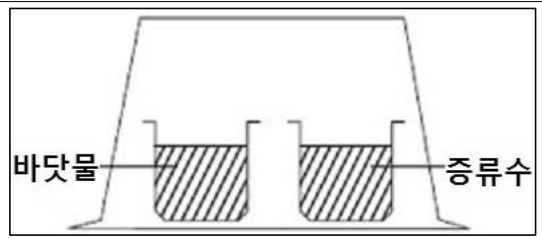


이 반응의 수득율을 높이는 방법을 화학평형을 변화시키는 요인과 관련지어 설명하시오 (2001년 서울대 공학 계열).

2006년 11월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학]증금속이 우리 몸에 들어온다면

바닷물 100mL가 담긴 비커와 증류수 100mL가 담긴 비커를 그림과 같이 밀폐된 용기 안에 넣어줬다. 이 용기를 며칠동안 방치한 뒤 관찰하면 어떤 변화를 볼 수 있을까. 또 그 이유는 무엇인가(2002년 KAIST 전문성 예시문항).



▶ 전문가 클리닉

액체 표면에 있는 분자들은 제각기 다른 운동에너지를 가집니다. 액체 상태일 때는 분자들을 한데 묶어주는 분자간의 인력이 존재하는데, 분자들 가운데 일부는 분자간의 인력을 극복할 만큼 큰 에너지를 가집니다.

이처럼 어느 정도 이상의 에너지를 가져서 분자간의 인력을 극복할 수 있게 된 액체 분자는 액체 표면에서 나와서 기체 상태로 바뀝니다. 이런 현상을 '증발'이라고 합니다.

역으로 증발된 분자가 에너지를 잃고 다시 액체 상태로 돌아가는 현상은 '응축' 또는 '응결'이라고 부릅니다.

▶ 예시답안

밀폐된 공간에서 충분한 시간이 흐른 뒤 물질의 증발속도와 응결속도가 같아지는 상태를 '동적 평형상태'라고 합니다. 이 상태에서는 끊임없이 분자가 증발 또는 응결 과정을 거치지만 외부적으로는 변화가 없는 것처럼 보입니다. 이처럼 기체와 액체가 동적 평형을 이뤘을 때의 압력을 '증기압력'이라고 합니다.

증기압력은 온도가 높아질수록 증가합니다. 같은 온도에서 휘발성이 강한 물질, 즉 분자간 인력이 작은 물질일수록 증기압력이 큼니다. 다음 그림은 순수 용매와 용액상태인 용매의 증기압력 곡선입니다.

바닷물처럼 비휘발성 용질이 녹아있는 용액에는 순수 용매와 달리 용액 표면에 용매 분자와 용질 분자가 함께 존재합니다. 이 때문에 표면에 있는 용매 분자의 숫자가 상대적으로 적어 증발 속도가 순수 용매에 비해 느립니다.

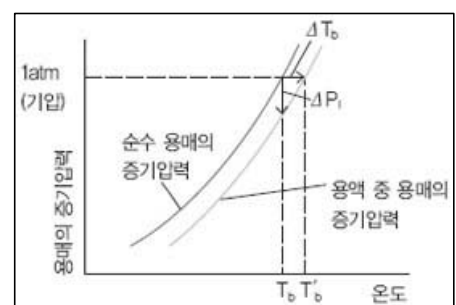
그러나 기체가 액체로 되는 응결속도는 순수 용매의 응결속도와 같으므로 평형에 도달할 때 용액의 증기압력은 순수 용매의 증기압력보다 낮습니다. 이를 용액의 '증기압력내림현상'이라고 합니다.

용액의 증기압력내림은 용질의 종류에 무관하며 용질의 몰분율에 비례합니다. 이는 다음 식을 통해 확인할 수 있습니다.

$$\Delta P = f_A \times P_0$$

(ΔP : 용액의 증기압 변화, f_A : 용질 A의 몰분율, P_0 : 순수 용매의 증기압)

두 가지 내용을 종합해 볼 때, 증류수와 바닷물을 비커에 100ml씩 담아서 방치해두면 증류수가 담긴 비커의 수면이 더 빠르게 낮아질 것으로 예상됩니다.



밀폐된 공간 안에서는 동적 평형상태에 도달함에 따라 초기 상태보다 물이 담긴 비커의 수면 높이는 낮아지고 바닷물이 담긴 비커의 수면 높이는 높아집니다. 왜냐하면 바닷물 비커와 증류수 비커에서 응결하는 물분자 수는 같은 반면, 바닷물 비커에서 증발하는 물분자 수는 증류수 비커에서 증발하는 물분자 수에 비해 훨씬 적기 때문입니다.

결과적으로 증류수 비커에서는 증발하는 물분자가 응결하는 물분자보다 많아 수면이 낮아지고, 바닷물 비커에서는 응결하는 물분자가 증발하는 물분자보다 많아 수면이 높아집니다. 이런 과정이 반복적으로 일어나면 증류수와 바닷물의 증기압력 차는 점차 감소합니다.

▶ 추가문제

1. 냄비에 순수하게 물만 넣었을 때보다 라면 스프를 넣었을 때 물이 끓는 데 더 오랜 시간이 걸린다. 이런 현상은 어떤 원리로 설명할 수 있는가.
2. 압력밥솥으로 지은 밥이 일반 솥으로 지은 밥에 비해 더 맛있는 이유는 무엇인가.

생활용품 중에는 비록 소량이라도 인체에 흡수되면 치명적인 영향을 주는 금속이 포함된 경우가 있다. 특히 수은, 카드뮴, 납 같은 중금속은 세심한 주의를 필요로 한다(2007년 한양대 수시 1학기).

- 1) 생활용품 가운데 중금속이 들어 있어 버릴 때 주의해야 하는 경우를 세 가지 말하라.
- 2) 중금속이 인체에 해를 끼친 사례를 두 가지 말하라.
- 3) 수은이 인체에 들어오는 경로를 설명하라.

▶ 전문가 클리닉

예전에 납 꽃게와 납 갈치 같은 중국산 수산물이 국내에 수입돼 홍역을 치른 일이 있습니다. 최근에는 화장품에 포함된 중금속으로 시끄러운 일도 있었습니다. 우리나라에서 봄에는 황사라는 독특한 기상현상이 있는데, 황사 속에 다량의 중금속이 포함돼 우려를 낳고 있습니다.

▶ 예시답안

- 1) 우리 주변에는 중금속이 함유된 생활용품이 많이 있습니다. 가장 대표적인 생활용품으로 건전지를 들 수 있습니다.

요즘 리튬이온 전지나 리튬폴리머 전지를 사용한다고 하지만, 아직도 많은 양의 전지들은 카드뮴이나 수은을 함유하고 있습니다. 수은이 함유된 전지라면 다 쓰고 난 뒤 반드시 분리수거해야 합니다. 형광등에도 미량의 수은이 포함돼 있으므로 다 쓴 형광등을 함부로 버려서는 안 됩니다.

불과 얼마 전까지만 하더라도 색을 선명하게 해 주는 안료, 염료 중에는 중금속이 들어있는 경우가 많았습니다. 예를 들어 페인트, 크레파스, 물감에서 중금속이 검출되기도 했습니다. 이런 물건을 폐기할 땐 해당 중금속이 유출되지 않도록 주의해야 합니다.

- 2) 중금속이란 주기율표의 아래쪽에 위치한, 비중 4 이상의 무거운 금속원소를 의미합니다. 인류의 역사는 금속을 다루면서 발전해왔습니다. 중금속은 생활을 풍요롭게 하는 데 일조했지만 인체에 들어와 일으킨 부작용은 적지 않습니다.

우리 몸으로 들어온 중금속은 쉽게 배설되지 못하고 지방세포에 쌓입니다. 중금속을 분해할 수 있는 효소가 우리 몸에 없기 때문입니다. 이럴 경우 신진대사 장애가 일어나 치명적

인 위험을 불러옵니다.

중금속이 인체에 치명적인 영향을 끼친 첫 번째 예로, 1950년대 일본에서 발생한 미나마타병을 들 수 있습니다. 이 병을 앓는 환자들은 손발 저림, 언어장애, 시야협착, 정신이상 등을 호소했습니다. 환자들이 발생한 지역을 연구한 결과 공장 폐수에 섞인 수은이 어패류를 오염시키고, 오염된 어패류를 먹은 어민들의 몸에 수은이 축적된 것으로 보고됐습니다.

두 번째 예로 역시 일본에서 발생한 이타이이타이병을 들 수 있습니다. 이 병은 카드뮴이 유발한 것인데, 카드뮴이 뼈의 주성분인 칼슘대사에 장애를 가져와 뼈를 연골화하는 점이 특징입니다. 많은 사람들이 이 병으로 통증을 호소하다 목숨을 잃기도 했습니다.

세 번째는 국내에서 고농도의 납이 함유된 어린이용 장신구로 인해 아토피 피부염 같은 피부질환을 겪은 경우입니다. 또한 각종 화학물질과 중금속으로 인한 새집증후군도 중금속에 의한 피해사례라고 할 수 있습니다.

- 3) 수은은 호흡, 피부 접촉, 음식물 섭취를 통해 몸속에 들어와 쌓이는데, 그 중 대부분이 음식을 통해서입니다. 화력발전소나 공장에서 나온 수은이 강과 바다로 흘러가고 이를 플랑크톤이나 작은 물고기가 먹습니다. 수은을 먹은 플랑크톤이나 작은 물고기를 참치 같은 큰 물고기가 잡아먹고 결국 큰 생선을 먹는 사람의 몸속에 수은이 들어와 쌓입니다.

▶ 추가문제

1. 사람의 피는 붉은 색을 띠는 반면에 일부 동물의 피는 푸른 색을 띠고 있다. 이런 현상은 왜 일어나는지 설명하라.
2. 산성비의 정의와 발생원인을 설명하라.
3. 중금속 제거 방법 중의 하나로 킬레이션(Chelation) 방법이 있다. 이 방법의 원리를 설명하라.

촉매와 효소의 공통점과 차이점은 무엇인가. 생촉매인 효소는 다른 일반 촉매에 비해 탁월한 기질 특이성을 보이며, 온도와 수소이온농도(pH) 같은 반응 조건에 따라 촉매반응 효율이 민감하게 변화한다. 효소의 이런 기질 특이성과 온도 및 pH에 대한 민감성은 무엇에서 비롯되는가(2006년 성균관대 수시 1학기).

▶ 전문가 클리닉

화학반응이 일어나려면 반응물질의 분자들이 서로 충돌해야 합니다. 이때 분자구조상 반응을 일으킬 수 있는 방향으로 충돌해야 하는데, 이런 충돌을 ‘유효충돌’이라고 합니다. 반응물질 분자들은 일정한 양 이상의 에너지를 지니고 있어야 합니다. 반응이 일어나는 데 필요한 일정량 이상의 에너지를 ‘활성화에너지’라고 합니다.

촉매는 활성화에너지를 변화시킴으로써 화학반응에 관여하는 물질입니다. 촉매는 크게 화학반응을 빠르게 해주는 정촉매와 화학반응을 느리게 하는 부촉매로 구분합니다. 생체 내의 촉매라 불리는 효소는 무기촉매와 어떤 점에서 같고 또 어떤 점에서 다른지, 왜 효소는 특정 조건에서만 작용하는지에 대해 알아보시다.

▶ 예시답안

화학반응을 빠르게 진행시키기 위해서는 반응농도를 증가시키거나 온도를 높이는 식으로 외부 요인을 바꿔줘야 합니다. 그러나 정촉매나 효소를 이용하면 외부 요인을 급격히 바꾸지 않고도 화학반응의 활성화에너지를 낮춤으로써 정반응 속도를 높일 수 있습니다.

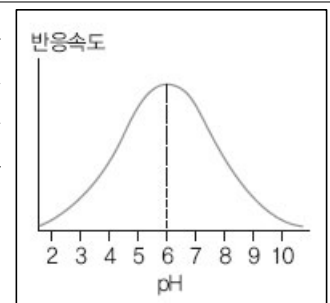
효소는 촉매와 동일한 역할을 하지만, 촉매가 일반 환경에서 사용되는 반면에 효소는 생체 내에서 작용한다는 점이 다릅니다. 또한 촉매는 무기물이지만 효소는 단백질의 일종이며 유기물로 구성되어 있으므로 특정 pH에서만 작용합니다. 왜냐하면 pH가 변함에 따라 효소를 구성하고 있던 단백질의 구조가 변형돼 효소가 기질과 반응할 수 없기 때문입니다.

열이 효소에 미치는 효과는 pH가 효소에 미치는 영향과 비슷합니다. 계란 프라이를 할 때, 계란의 형태가 투명한 상태에서 하얗게 변하는 이유는 열에 의해 단백질이 변성됐기 때문입니다. 즉 온도에 의해 효소의 단백질 구조가 변형되므로 효소는 특정 온도에서만 촉매작용을 할 수 있습니다.

이처럼 효소는 촉매에 비해 pH나 온도의 영향을 매우 많이 받으므로 생체 내에서 작용할 때 이들의 조건이 적합한 경우에만 효율적으로 작용합니다.

▶ 추가문제

파페인이라는 단백질은 일종의 프로테아제로서 펩티드 결합을 끊는 효소작용을 한다. 이 효소가 작용하기 위해서는 25번째 아미노산인 시스테인과 159번째 아미노산인 히스티딘의 이온화 상태가 중요한 역할을 한다고 알려져 있다. 파페인이 효소로 관여하는 반응속도는 그림과 같이 pH에 따라 변한다(2005년 서울대 수시모집 특기자 전형).



- 1) 최적의 효소작용을 위해서는 25번 시스테인과 159번 히스티딘이 어떤 이온화 상태를 가져야 하는지 예측하라.
- 2) 최적의 pH에서 벗어나면 왜 반응속도가 느려지는지에 대해 효소가 촉매 역할을 한다는 사실을 바탕으로 설명하라(단 25번 시스테인 R기의 산의 이온화상수는 $K_a=10^{-4}$, 159번 히스티딘 R기의 산의 이온화상수는 $K_a=10^{-8}$ 임을 이용하라).

2006년 12월호 - 화학 면접 구술고사 완벽가이드

[화학]자석에 끌리는 질소와 산소

수소결합은 분자와 분자 사이에서 일어나지만 한 분자 내에서도 일어날 수 있다. 히드록시기($-OH$)와 카르복시기($-COOH$)가 수소 대신 하나씩 치환된 벤젠에 대해 다음 물음에 답하라 (2007학년도 한양대 수시 1학기).

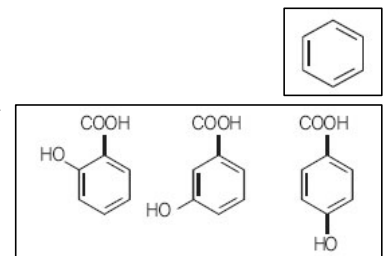
- 1) 이 화합물의 가능한 이성질체의 구조를 모두 그려라.
- 2) 이 중 분자 내 수소결합을 할 수 있는 구조를 가진 것은 어느 것인지 말하고 그 이유를 설명하라.
- 3) 이 중 녹는점이 가장 낮은 이성질체는 무엇인지 말하고 그 이유를 설명하라.

▶ 전문가 클리닉

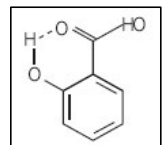
몸이 아프면 먹는 대표적인 약에는 아스피린이 있습니다. 아스피린은 진통을 억제하거나 몸에 오른 열을 내리기 위해 사용하는데, 요새는 혈관질환이나 일부 암에서도 효능이 있다고 알려져 있습니다. 아스피린의 화학명은 아세틸살리실산입니다. 아세틸살리실산은 아세트산과 살리실산의 화학적 반응을 통해 얻어지는 물질입니다.

▶ 예시답안

- 1) 벤젠의 기본 구조는 C_6H_6 로 다음과 같습니다. 여기에 수소 대신 카르복시기와 히드록시기가 1개씩 치환된 구조는 다음과 같이 세 종류로 구분할 수 있습니다. 이를 각각 o-히드록시벤조익산(살리실산), m-히드록시벤조익산, p-히드록시벤조익산이라고 합니다.



- 2) 분자 내에서 수소결합을 할 수 있는 물질은 o-히드록시벤조익산입니다. 다른 구조들은 카르복시기와 히드록시기가 멀리 떨어져 있어 단일결합이 회전하더라도 두 개의 작용기가 수소결합을 할 수 있을 만한 거리에 이르지 못하지만, o-히드록시벤조익산은 두 작용기가 가까이 있기 때문에 충분히 분자 내에서 수소결합을 할 수 있습니다. 다른 두 개의 이성질체는 분자 내 수소결합이 불가능하지만 분자 간 수소결합은 가능합니다.



- 3) 녹는점이 가장 낮은 이성질체는 o-히드록시벤조익산입니다. 분자 사이에 수소결합을 형성하는 분자들은 녹는점과 끓는점이 높습니다. 이는 분자가 상변화를 거치는 과정에서 수소결합이 있을 경우 이를 끊는 데 더 많은 에너지가 필요하기 때문입니다. 그렇지만 살리실산은 분자간 수소결합뿐만 아니라 분자 내 수소결합도 형성하기 때문에 상대적으로 분자 사이의 수소결합이 약해 다른 두 종류의 이성질체보다 녹는점이 더 낮습니다.

참고로 살리실산의 녹는점은 $158\sim 161^{\circ}C$, m-히드록시벤조익산의 녹는점은 $200\sim 203^{\circ}C$, p-히드록시벤조익산의 녹는점은 $213\sim 217^{\circ}C$ 입니다.

▶ 추가문제

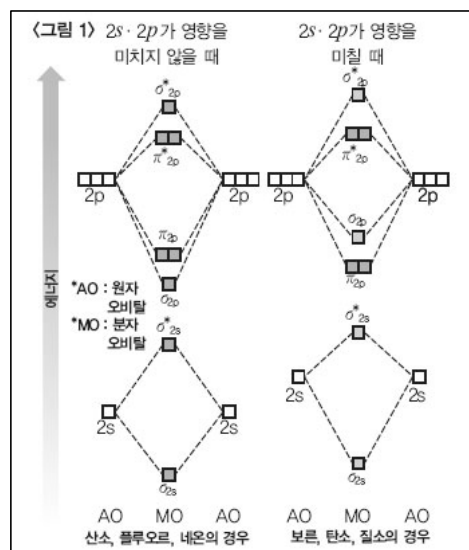
- 1) 이성질체의 종류를 나열하고 각각의 특징을 정의하라.
- 2) 동국이는 비누를 직접 제조해 세탁해 봤다. 그러나 세탁물에 기름 성분이 너무 많아 직접 제조한 비누로는 세탁이 잘 되지 않았다. 기름 성분을 충분히 제거할 수 있는 비누를 제조하기 위해 고려해야 할 화학적 성질에 관해 설명하라(2006학년도 동국대 수시 2학기).

▶ 전문가 클리닉

이런 현상을 설명하기 위해서는 ‘분자오비탈’이론을 도입해야 합니다. 분자오비탈이란 분자 속 전자의 운동 상태를 나타내는 궤도를 뜻합니다. 흔히 알고 있는 s, p, d 오비탈도 분자오비탈 이론의 한 부분인 셈이죠. 분자오비탈을 이용한 이원자분자의 화학결합은 어떻게 표현하는지 알아보는 계기가 됐으면 합니다.

▶ 예시 답안

<그림 1>은 2주기에 위치한 원소가 이원자 분자를 이루며 결합했을 때 에너지 그림입니다. 왼쪽 그림은 원자번호 8이상일 때의 결합에너지, 오른쪽 그림은 원자번호 7이하일 때의 결합에너지를 나타냅니다.



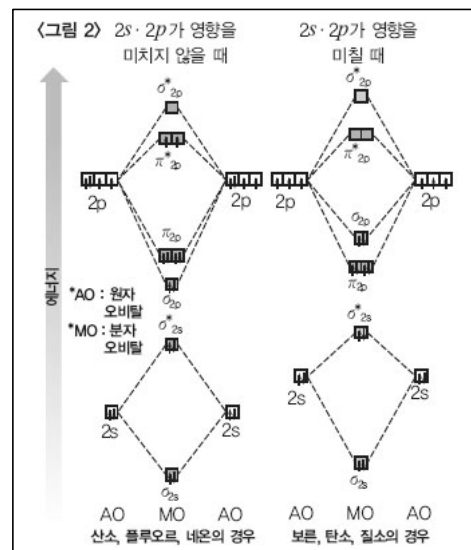
왼쪽 그림과 오른쪽 그림은 σ_{2p} 오비탈의 에너지가 π_{2p} 의 에너지보다 높게 있느냐 낮게 있느냐

가 다릅니다. 이런 차이를 일으키는 원인은 σ^*_{2s} 오비탈의 영향 때문입니다. 원자번호 8번부터는 핵의 양전하가 커 σ^*_{2s} 오비탈의 전자를 충분히 당겨올 수 있지만, 7번까지는 그 힘이 작기 때문에 σ^*_{2s} 오비탈의 전자와 σ_{2p} 오비탈의 전자가 서로 반발하는 힘이 크게 작용해 σ_{2p} 오비탈의 에너지가 π_{2p} 오비탈의 에너지보다 높게 올라갑니다.

산소분자와 질소분자의 결합을 산소원자에서의 전자배치 $1s^2 2s^2 2p^4$ 와 질소원자에서의 전자배치 $1s^2 2s^2 2p^3$ 를 참고해 산소분자와 질소분자 내에서의 결합을 에너지 그림으로 표현하면 <그림2>와 같은 형태가 됩니다.

물론 여기에는 다전자 원자의 전자배치 3단계원리(아우프바우 축조원리, 파울리의 배타원리, 훈트의 규칙)가 적용됩니다. 질소분자의 경우 모든 전자가 쌍을 이루고 있지만 산소분자에서는 두 개의 전자가 각각 1개씩의 오비탈을 채우고 있음을 알 수 있습니다.

이처럼 서로 다른 형태의 전자배치를 갖기에 산소분자는 상자기성을, 질소분자는 반자기성을 띠어 자석을 가져다 대었을 때 지문에서 제시된 것과 같은 현상을 보입니다.



불꽃 반응을 시켜보면 금속의 종류를 알 수 있다. 예를 들어 불꽃이 붉은 색을 띠면 Li, 노란색을 띠면 Na라고 판단할 수 있다. 분광계를 통해 불꽃색을 관찰하면 원소마다 독특한 선스펙트럼을 볼 수 있다. 보어의 원자모형을 확립하는 데 배경이 된 선스펙트럼에 대해 설명하라.

▶ 전문가 클리닉

인류는 오랫동안 원자가 어떤 형태로 구성돼 있을까에 대해 궁금증을 가져왔습니다. 여러 가설이 난무했지만, 근래에 들어서야 겨우 그 모습이 알려졌습니다. 각종 실험방법이나 실험기기가 발전함에 따라 그 모형을 더 정확하게 유추할 수 있게된 것입니다. 이런 원자모형의 변천과정을 파악해 각 모형이 지니고 있는 한계도 이해할 수 있어야 합니다.

선스펙트럼은 러더퍼드의 원자모형으로 설명할 수 없었던 현상입니다. 이것을 설명하기 위해서 도입된 것이 보어의 원자모형입니다. 이번 기회에 보어의 모형을 확실히 알아두기 바랍니다. 덧붙여 다른 모형의 변천과정과 각 모형이 갖는 특징과 한계점을 알아야 합니다.

▶ 예시답안

태양빛은 빛을 이루고 있는 파장이 다양하고 각각의 파장에 따라 빛을 내기 때문에 스펙트럼이 연속적인 형태로 나타납니다. 프리즘을 이용해 태양빛을 굴절시켰을 때 볼 수 있는 무지개 스펙트럼이 바로 그것입니다.

그러나 수소에서는 태양빛과 같은 연속스펙트럼 대신에 하나의 선스펙트럼이 관찰됩니다. 수소 기체를 전기 방전시키면 수소분자가 원자로 분해되면서 빛을 방출하는데, 이때 관찰되는 것이 선스펙트럼입니다. 스펙트럼이 관찰되는 이유는 물질이 안정한 바닥상태를 유지하려고 하기 때문입니다. 이런 특성을 통해 수소원자의 에너지준위를 알 수 있으며, 이를 바탕으로 보어의 원자모형이 확립됐습니다. 수소원자가 안정한 바닥상태를 유지하고 있다가 에너지를 흡수해 들뜬 상태로 되면 다시 안정한 바닥상태로 돌아가려고 하는데, 이때 두 상태의 에너지 차이에 해당

하는 에너지가 빛으로 방출됩니다.

선스펙트럼이 관찰되는 이유는 높은 에너지준위 상태에서 낮은 상태로 전자가 이동할 때, 수소 원자의 에너지준위가 계단처럼 불연속적으로 존재하기 때문입니다. 에너지준위가 이처럼 불연속적이기 때문에 전자는 에너지를 빛으로 방출할 때 일정한 진동수의 빛만을 냅니다. 불연속적인 에너지준위는 보어의 원자궤도 함수와 밀접한 관련이 있습니다.

보어는 에너지와 궤장 관계를 고려해 다음과 같은 가설을 세워 수소 원자모형을 제시했습니다.

- 1) 수소원자는 핵과 그 주위를 원운동하는 1개의 전자로 구성돼 있다.
- 2) 전자는 정해진 에너지(양자화) 상태에서만 존재하며 임의의 중간 에너지 상태는 없다.
- 3) 특정 원궤도를 도는 전자는 에너지를 방출 또는 흡수하지 않는다.
- 4) 전자가 궤도를 이동할 경우에는 두 궤도 사이의 에너지 차이만큼($\Delta E = E_2 - E_1$)의 에너지를 흡수 또는 방출한다.

▶ 추가문제

보어의 수소 원자모형 가설을 적용하면 러더퍼드 원자모형의 한계를 극복할 수 있다. 만약 이 모형이 타당하다면 더 이상 새로운 원자모형은 도입할 필요가 없을 것이다. 하지만 현재는 전자구름 모형이라는 원자모형을 가장 타당하게 여기고 있다. 보어의 모형이 갖는 한계가 무엇인지 서술하라.

2007년 01월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]음주측정기의 원리

탄소, 수소, 산소로 이뤄진 유기화합물 A가 있다. A 3.00g을 완전 연소시켰더니 이산화탄소 6.60g과 물 3.60g이 생성됐다. A에 금속 나트륨을 넣었으나 반응하지 않았다. A 1.20g을 77°C, 1기압에서 기화시켰더니 574mL의 부피를 차지했다. 다음 물음에 답하라(단 원자량은 H=1, C=12, O=16으로 하고, 기체상수는 0.082atm·L/mol·K로 한다).

- 1) A의 분자식을 구하라.
- 2) A의 구조식을 써라.
- 3) A는 A 이외에 2동류의 이성질체를 더 가진다. 이들의 구조식을 써라.

▶ 전문가 클리닉

생명체를 이루는 기본 물질인 탄소화합물은 19세기까지 생명체, 즉 유기체에 의해서만 만들어진다고 생각돼 왔기 때문에 ‘유기화합물’이라 불리게 됐습니다. 그러나 1828년 독일의 뵐러가 무기화합물로부터 유기화합물인 요소를 합성한 뒤부터 무기화합물과 유기화합물의 구분은 없어졌으며, 다양한 탄소화합물이 그동안 합성돼 왔습니다.

합성된 탄소화합물의 화학식을 결정할 땐, 우선 그 물질을 구성하는 원소를 가장 간단한 정수 비로 나타내는 실험식을 정해야 합니다. 그 다음 분자량을 측정해 분자식을 결정하고, 마지막으로 작용기에 따른 물리적 성질을 이용해 시정식을 결정합니다.

▶ 예시답안

- 1) 먼저 실험식을 구하기 위해 탄소, 수소, 산소의 몰수 비를 구합니다. 유기물 속 탄소의 질량은 이산화탄소 속 탄소의 질량과 같으므로,

CO_2 의 질량×이산화탄소 1분자당 C의 원자량/ CO_2 의 분자량= $6.60 \times 12/44=1.80(\text{g})$ 입니다.

한편 유기물 속 수소의 질량은 발생한 물 속의 수소 질량이므로,

$\text{H}_2\text{O} \times \text{물 1분자당 H의 원자량}/\text{H}_2\text{O의 분자량}=3.60 \times 2/18=0.40(\text{g})$ 입니다. 따라서 유기화합물 A에 포함된 산소 질량은 $3.00-(1.80+0.40)=0.80(\text{g})$ 입니다.

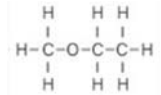
이때 각 원소의 몰수 비는 $\text{C:H:O}=1.80/12:0.40/1:0.80/16=3:8:1$ 이므로 실험식은 $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ 입니다. 이로부터 분자식을 구하기 위해서는 분자량을 구해야 합니다.

1.20g의 A기체가 77°C, 1기압에서 574mL의 부피를 차지한다고 했으므로 이 값을 이상기체 상태 방정식에 대입해 분자량을 구할 수 있습니다. $PV=nRT=w/M$ RT(w는 현재의 질량, M은 분자량)에서 $1.00\text{atm} \times 0.574\text{L}=w/M \times 0.082\text{atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K} \times (273+77)\text{K}$ 이므로 M은 60입니다. 이제 분자식을 구하면, 분자량/실험식량×(실험식)= $60/60(\text{C}_3\text{H}_8\text{O})$ 이므로, A의 분자식은 $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ 입니다.

- 2) 일반식이 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$ 인 탄소화합물은 알코올과 에테르를 이성질체로 가집니다. 이성질체란 분자식은 같으나 구성 원자의 배열이 다른 화합물을 말합니다. 이성질체들은 서로 물리적, 화학적 성질이 다르며 이를 이용해 이성질체의 종류를 결정할 수 있습니다.

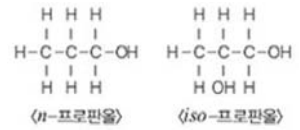
알코올과 에테르의 성질 중 가장 큰 차이는 알칼리 금속(예: 나트륨)에 대한 반응성에 있습니다. 알코올은 알칼리 금속과 반응해 수소기체를 발생시키나, 에테르는 수소기체를 발

생시키지 않습니다. 또한 알코올은 카르복시산과 반응해 에스테르를 형성하나 에테르는 카르복시산과 반응하지 않습니다.



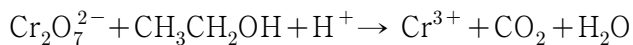
문제에서 알칼리 금속인 나트륨을 유기화합물 A와 반응시켰을 때 아무 반응이 없었으므로 이 물질은 에테르임을 예상할 수 있습니다. 따라서 유기화합물 A의 구조식은입니다.

- 3) $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ 의 분자식을 가지는 탄소화합물 중 에테르 외의 이성질체는 알코올입니다. 알코올은 히드록시기를 가지므로 기본 탄소 골격에 -OH기를 붙여보면 n-프로판올과 iso-프로판올이라는 두 가지 이성질체를 얻을 수 있습니다.



음주측정기는 강한 산화제인 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (적황색)을 황산에 녹인 다음 실리카겔이나 규조토에 적셔서 말린 것을 유리관에 넣어 만든다. 날숨 속에 알코올이 포함돼 있다면 알코올($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)은 산화반응을 일으키며, 음주측정기 속 산화제는 녹색의 크롬(Ⅲ)이온이 된다. 음주측정기에는 이때의 녹색 농도를 측정하는 분광장치가 붙어 있어 이로부터 혈중 알코올 농도가 측정된다. 다음 물음에 답하라.

- 1) 다음 반응의 산화, 환원 반쪽반응식과 완결된 반응식을 각각 써라(상 표시는 생략).



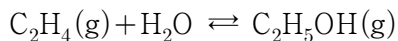
- 2) 체중이 70Kg인 사람이 알코올 함량이 25%인 소주를 두 잔(약 100mL) 마셨다면 혈중 알코올 농도는 얼마인가?

$$(\text{혈중 알코올 농도} = \frac{\text{주류의 알코올 농도}(\%) \times \text{마신양}(\text{mL}) \times 0.8}{\text{체중}(\text{Kg}) \times 1000 \times 0.6})$$

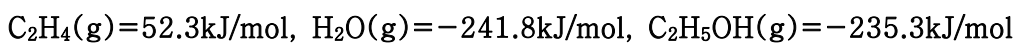
- 3) 주류의 알코올 농도(%)가 부피%(= $\frac{\text{용질의 부피}}{\text{용액의 부피}} \times 100$)라면 혈중 알코올 농도식에서 분자 자리에 있는 0.8은 무엇을 의미하는지 답하라.

- 4) 25℃, 1기압에서 날숨 100mL 속의 알코올 농도가 0.10%(부피%, 운전면허 취소수준)일 때 생성되는 이산화탄소의 질량은 얼마인가? (CO_2 의 몰 질량은 44.0g/mol이라 한다.)

- 5) 에탄올 제조의 한 방법은 에텐(에틸렌)에 물을 첨가하는 반응이다.



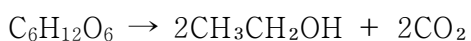
이때 각 물질의 표준 생성 엔탈피(ΔH_f^0)는 다음과 같다.



자세한 계산 없이 평형에서 에탄올의 수득율을 최대로 하기 위한 압력과 온도의 조건을 제시하라.

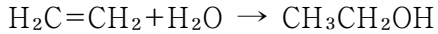
▶ 전문가 클리닉

약 2500년 전부터 곡물이나 당을 발효시켜 술의 주성분인 에탄올을 얻는 반응은 가장 오래된 유기반응 중 하나입니다. 발효과정에는 효모가 참여하는데, 이때 효모에 들어있는 효소가 탄수화물을 에탄올과 이산화탄소로 분해합니다.



실제 공업적으로 생산되는 에탄올의 5% 정도가 발효에 의해 얻어지며, 대부분은 산을 촉매로

쓰며 에틸렌에 물을 첨가반응시켜 얻습니다. 이 반응은 다음과 같습니다.



술에 포함된 에탄올은 의학적으로 중추신경계 진정제로 분류됩니다.

술을 마셨을 때 술에 포함된 알코올의 20% 정도는 식도와 위에서 흡수되고, 나머지 80% 정도는 소장에서 흡수됩니다. 알코올은 다른 영양소와 달리 소화과정을 거치지 않고 바로 소화관에서 흡수되므로 다른 영양소에 비해 흡수 속도가 빠릅니다. 이 때문에 술을 마시기 시작한 지 2분 정도가 지나면 혈액으로 흡수됩니다.

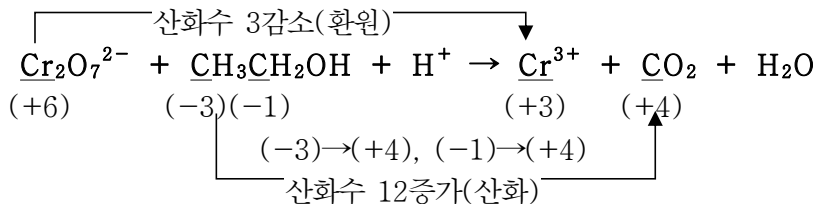
혈액으로 흡수된 알코올은 간의 해독작용에 의해 아세트알데히드, 아세트산을 거쳐 이산화탄소와 물로 분해됩니다. 한편 간에서 분해되지 않은 알코올의 일부는 지방으로 합성돼 축적됩니다. 또한 일부는 땀, 소변, 호흡을 통해 몸 밖으로 배출됩니다.

혈중 알코올 농도에 따라 사람은 심신의 상태가 달라집니다. 특히 자극에 대한 반응이 느려지는 때는 혈중 알코올 농도가 0.05% 이상일 때부터이므로 이 수치를 음주단속기준으로 삼고 있습니다.

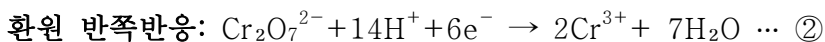
음주측정기의 원리를 통해 산화와 환원 반응을 이해하고 %농도의 계산을 통해 혈중 알코올 농도의 계산방법을 알아봅시다.

▶ 예시답안

- 1) 산화와 환원 반응은 동시에 일어나며 각 물질이 잃은 전자수와 얻은 전자수가 같다는 사실을 이용해 전체반응식을 구할 수 있습니다. 먼저 반응에 관여하는 원자의 산화수를 구한 뒤 변화한 산화수를 조사합니다.



다음으로 산화 반쪽반응과 환원 반쪽반응으로 나눠 봅니다.



이때 산소 개수를 맞추기 위해 H_2O 를, 수소 개수를 맞추기 위해 H^+ 를, 전하를 맞추기 위해 e^- 를 첨가했습니다. 이제 산화반응에서 잃은 전자수와 환원반응에서 얻은 전자수가 같아지도록 계수를 맞춰 줍니다. 그 뒤 두 반응을 더하면 전체 반응식을 구할 수 있습니다.

전체 반응 : $\textcircled{1} + \textcircled{2} \times 2$



- 2) 혈중 알코올 농도를 구하기 위해 다음의 식에 각 값을 넣어 줍니다.

$$\frac{\text{주류의 알코올 농도}(\%) \times \text{마신 양}(\text{mL}) \times 0.8}{\text{체중}(\text{Kg}) \times 1000 \times 0.6} = \frac{25\% \times 100\text{mL} \times 0.8}{70\text{Kg} \times 1000 \times 0.6} = 0.048(\%)$$

따라서 소주 두 잔을 마셨다면 음주단속기준인 0.05 근처에 도달합니다. 만약 체중 70Kg인 남자가 알코올 함량이 4.5%인 맥주를 1000mL 마셨다면 $(4.5 \times 1000 \times 0.8) \div (70 \times 1000 \times 0.6) = 0.086(\%)$ 로 이 상태에서 운전을 하다 사고를 내면 100일간 면허가 정지됩니다.

3) 혈중 알코올 농도(%)는 질량%이므로 용질의 질량/용액의 질량 $\times 100$ 을 통해 구할 수 있습니다. 이때 용액은 혈액이며 용질은 알코올입니다. 주류의 농도%는 부피%이므로 용질의 부피/용액의 부피 $\times 100$ 으로 나타낼 수 있습니다. 용질의 질량을 구하기 위해서는 먼저 용질의 부피, 즉 술의 알코올 농도(부피%) \times 용액의 부피/100를 구합니다. 여기서 용질의 질량을 구하기 위해서는 용질의 부피에 용질의 밀도를 곱하면 됩니다. 즉 혈중 알코올 농도 식의 분자에 있는 0.8의 의미는 용질인 에탄올의 밀도를 의미합니다.

4) 사람의 날숨 속에 포함된 에탄올의 몰수를 구해보면, 25℃, 1기압에서 날숨 100mL 속의 알코올 농도가 0.10%이므로 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 의 몰수는

$$\frac{PV}{RT} = \frac{1\text{atm} \times 0.100\text{L} \times 0.0010}{0.082\text{L} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K} \times 298\text{K}} = 4.09 \times 10^{-6}(\text{mol}) \text{입니다.}$$

앞에서 구한 전체 반응식에서 에탄올 1분자당 이산화탄소는 2분자 발생하므로 생성된 이산화탄소의 질량은 $2 \times 4.09 \times 10^{-6} \text{mol} \times 44.0 \text{g/mol} = 3.6 \times 10^{-4} \text{g}$ 입니다.

5) 각 물질의 표준 생성 엔탈피(ΔH_f°)로부터 전체 반응의 엔탈피 변화는 다음과 같은 식에 의해 구할 수 있습니다.

$$\Delta H = (\sum \text{생성물질의 표준 생성 엔탈피}) - (\sum \text{반응물질의 표준 생성 엔탈피})$$

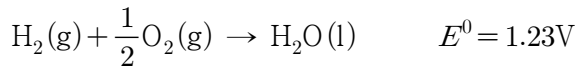
따라서 문제에서 주어진 값을 대입해 보면 ΔH 는 음수값을 가지므로 발열반응입니다. 또한 엔트로피의 변화를 살펴보면 반응물질의 몰수(2몰)보다 생성물질의 몰수(1몰)가 작으므로 정반응의 경우 엔트로피가 감소하는 반응입니다.

이러한 가역반응에서는 르 샤틀리에 원리에 따라 온도는 낮을 수록, 압력은 높을 수록 정반응이 우세합니다. 그러므로 평형에서 에탄올의 수득률을 최대로 하기 위해서는 온도를 낮추고, 압력을 높여야 합니다.

2007년 02월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]연료전지의 비밀

연료전지는 수소와 산소가 가지고 있는 화학에너지를 전기화학반응식에 의해 직접 전기에너지로 변환시키는 고효율의 무공해 발전장치로 전체 반응과 전지 준위는 다음과 같다.



- 1) 이 반응은 기본적인 연료전지의 전체 반응식이다. 연료전지의 (+)극은 공기로부터 산소를 공급하므로 공기극이라 하며, (-)극은 수소를 연료로 공급하므로 연료극이라 부른다. 각 전극에서 일어나는 산화, 환원 반응식을 써라.
- 2) 연료전지의 연료는 수소로 제한돼 있지는 않으며 일반적인 연료전지의 반응식은 '연료 + 산화제(oxidant) → H₂O + 전지 + 기타 부산물'로 표현된다. 수소 대신 액체 연료인 메탄올과 공기를 이용해 연료전지를 구성하면 이산화탄소와 물이 발생하면서 이론적으로 1.21V의 전지 준위를 생성한다. 이 메탄올-산소 연료전지의 전체 반응식을 나타내고 메탄올의 산화 반응에 대한 표준전위를 구하라.
- 3) 연료전지의 응용 예로서 포도당을 산화시키고 산소를 환원시키는 효소나 미생물을 전극 소재로 이용하면 포도당-산소 생물 연료전지를 구성하는 일이 가능하다. 포도당의 분자식을 쓰고 산소와 반응하는 전체 반응과 산화 전극에서 일어나는 포도당의 화학반응을 반응식으로 나타내라. 이 반응에서 몇 개의 전자가 발생하는가?

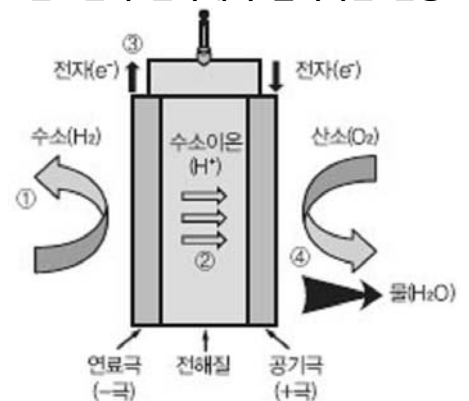
▶ 전문가 클리닉

대체에너지를 이용한 발전 중 연료전지에 의한 발전은 기존의 발전방식과 비교할 때 발전효율이 높을 뿐 아니라 발전에 따른 공해물질이 전혀 배출되지 않아 미래의 발전기술로 평가받고 있습니다. 연료전지를 이용하면 다양한 연료를 사용할 수 있다는 점과 발전소 건설에 필요한 부지, 송전시설, 변전시설이 필요하지 않다는 장점이 있습니다.

▶ 예시답안

- 1) 연료전지의 공기극(+극)에는 산소가, 연료극(-극)에는 수소가 공급돼 물의 전기분해 역반응으로 전기화학 반응이 진행돼 전기, 열, 물이 생성됩니다. 각 전극에서의 반응을 도식적으로 나타내면 우측 그림과 같습니다.
 (-)극에서의 반응은 산화반응으로 $\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^-$ 이며, (+)극에서의 반응은 환원반응으로 $\frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 입니다.
- 2) 산성 전해질 조건에서 메탄올 연료전지가 작동한다면 (+)극에서의 환원반응은 $\frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 가 됩니다. 또한 전체 반응은 메탄올과 산소가 반응해 이산화탄소와 물이 생성됩니다. 이를 식으로 나타내면

연료전지 전극에서 일어나는 반응



연료극에서 수소가 수소이온과 전자로 분해됨
 ↓
 수소이온은 전해질을 거쳐 공기극으로 이동
 ↓
 전자는 외부회로를 거쳐 전류를 발생
 ↓
 공기극에서 수소이온과 전자, 산소가 결합해 물 생성

한편 (+)극에서의 반응과 전체 반응식으로부터 (-)극에서의 반응을 구하면 다음과 같습니다.

이 중성이므로 동물성 섬유의 세탁에 이용할 수 있다. 그림은 비누와 합성세제의 구조식이다. 그림에서 비누 수용액의 액성이 왜 염기성인지, 합성세제는 비누의 단점을 어떤 방법으로 개선했는지 논술하라.

▶ 예시답안

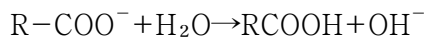
비누의 기원은 고대 로마에서 신에게 제사를 지낸 뒤 남은 재를 물에 담가 사용했다는 설을 기준으로, 약 5000년 전으로 보고 있습니다. 그러나 비누가 대중화된 것은 150여년 밖에 되지 않습니다. 현재는 다양한 형태의 비누가 값싸게 공급돼 누구나 깨끗하고 위생적인 옷을 입고 다닐 수 있으나, 비누는 물질의 특성에 따라 사용할 수 없는 경우가 있다는 문제점이 있습니다.

합성세제는 1차 세계대전 당시 독일에서 연합군에 의해 무역이 봉쇄되고 동·식물성 유지가 폭약 제조용으로 쓰이면서 비누가 부족해지자, 독일 과학자들이 석탄에서 추출한 화합물로 만든 비누 대용품입니다. 현재 합성세제는 세탁기의 보급으로 수요가 급증해 여러 가정에서 애용되고 있습니다.

비누는 지방산의 나트륨염 또는 칼륨염으로 볼 수 있습니다. 이런 염은 수용액 속에서 이온화할 때 생기는 이온 중 일부가 물과 반응해 수소이온(H^+)이나 수산화이온(OH^-)을 생성하고 수용액의 액성이 산성이나 염기성으로 변하는 가수분해 과정을 겪습니다.

강산과 강염기로부터 만들어진 염은 가수분해되지 않아 중성을 띠고, 강산과 약염기로부터 생성된 염은 가수분해해 산성을 띠며, 또한 약산과 강염기로부터 생성된 염은 가수분해해 염기성을 띠고, 약산과 약염기로부터 생성된 염은 가수분해해 중성에 가까운 용액이 됩니다.

비누는 약산인 지방산과 강염기인 수산화나트륨 또는 수산화칼륨의 중화반응으로 생긴 염이므로 지방산의 음이온($R-COO^-$)이 물과 반응해 수산화이온을 생성하는 가수분해 과정을 거쳐 용액이 염기성을 띠게 됩니다.



이런 염의 가수분해에 의한 영향을 줄이기 위해서는 산을 강산으로 바꿔야 합니다. 합성세제는 카르복시기를 강산의 술폰기로 바꾸어 염의 가수분해를 없앴습니다. 이 때문에 합성세제를 ‘중성세제’라고 부릅니다. 이런 성질을 알고 있다면 생활의 지혜가 더욱 풍부해질 것입니다.

다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 각종 유해한 화학물질에 대한 피해와 화학물질의 위험성이 매스컴을 통해 종종 전해지곤 한다. 우리 생활 곳곳에서 피해를 발생시키는 화학물질의 예로는 새집증후군을 불러일으키는 포름알데히드, 혈중 콜레스테롤 수치를 높인다는 패스트푸드 속의 트랜스지방, 발암물질로 알려져 있으며 소각장에서 발생하는 다이옥신이 있다. 이런 화학물질에 대한 위험성의 척도는 실험동물(보통 쥐)에 화학물질을 노출시켜 나타나는 손상정도를 측정함으로써 얻어진다. 그러나 시간과 비용의 제약 때문에 동물에게 투여하는 양은 보통 사람이 실제 접하는 양보다 수백 배 또는 수천 배 많은 양이다. 이때 얻어진 자료는 LD_{50} 값은 실험동물 50%를 죽일 수 있는 몸무게(Kg)당 물질의 양(g)이다.

오른쪽 표는 여러 물질에 대한 LD_{50} 값을 나타낸다.

화합물	DDT	아스피린	클로로포름	에탄올
$LD_{50}(g/Kg)$	0.115	1.1	3.2	10.6

(나) 모든 물질은 양에 따라 생체에 이로운 줄 수도 있고 반대로 해로운 줄 수도 있다. 예를 들어 비타민 A는 어두운 곳에서 물체를 식별하는 데 작용하는 로돕신을 합성할 때 꼭

필요한 물질이지만 과량 섭취할 경우 암을 유발할 수도 있다. 또한 특정 물질이 줄 수 있는 위험성의 정도는 접촉빈도에 따라 결정되기도 한다. 어떤 식품의 경우에는 합성첨가제보다 더 유독한 천연 성분이나 잔류 농약을 포함하고 있으나 그런 성분들은 일상생활에서 자주 접하는 합성 첨가제에 비해 무시되고 있다.

(가)에서 동물실험으로 얻어진 위험성에 관한 자료를 인간에게 직접적으로 적용하는 것이 타당한지 여부를 논하고, 만약 타당하지 않다면 어떠한 것이 보완돼야 하는지 (나)를 참고해 논술하라.

▶ 전문가 클리닉

과학의 탐구과정은 다양한 지적 활동과 신체적 활동을 포함합니다. 관찰과 측정을 통해 얻어진 자료를 해석해 아직 일어나지 않은 현상에 적용하거나 예측하는 과정은 과학의 탐구과정 중 중요한 부분입니다. 그러나 실험으로 얻은 결과를 실제로 실험하지 않은 대상에 적용할 때, 과학자는 일반화의 오류에 빠지지 않도록 항상 주의를 기울여야 합니다.

▶ 예시답안

위험한 화학물질이나 약효가 입증되지 않은 새로운 의약품은 사람에게 직접 위험성을 실험할 수 없기 때문에 동물을 통해 위험 정도를 측정합니다. 얻어진 동물 실험자료를 해석해 사람에게 적용하기 위해서는 몇 가지 가정이 필요합니다.

예를 들어 과학자는 만일 어떤 물질이 동물에게 유해하다고 했을 때 그 물질이 사람에게도 반드시 위험한 것일지, 작은 동물에게 사용한 위험물질의 양을 사람에게 비례적으로 적용할 수 있을 것일지에 대한 가정을 세워야 합니다.

사실 사람에게 이로운 물질이라 하더라도 섭취량이 과다할 경우에는 해로울 수 있고, 해로운 물질이라든 그 양이 미약할 때는 위험성이 무시될 수도 있습니다. 또한 같은 양이라든 사람에게 따라 다르게 나타날 수도 있습니다. 따라서 동물실험을 통해 얻어진 결과로 대략적인 위험성 정도는 알 수 있지만 바로 사람에게 적용하기에는 문제가 따릅니다.

그러므로 동물실험과는 별도로 사람에게 나타나는 위험성 정도의 기준을 따로 마련해야 합니다. 이때 정해지는 기준은 사람마다 다르게 나타나는 값의 평균이 아니라 위험성이란 측면에서 보아 최소한의 기준이어야 합니다.

2007년 03월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]이상기체 저장하는 탱크

화학공장의 설계를 맡은 엔지니어 A씨는 기체를 안전하게 저장할 수 있는 탱크를 제작하고자 한다. 경제적 여건상 저장탱크를 제작하는데 드는 비용(S)은 이미 정해져 있다. 내부용적(부피)이 V이고 상온에서 내부 압력이 P 이하일 때 안전한 기체 저장탱크를 제작하는데 드는 비용은 어떤 양의 상수 a, b에 대해 $aP+bV$ 라고 가정한다. 일정한 비용으로 상온에서 저장할 수 있는 기체의 질량이 최대가 되는 저장탱크를 제작하려면 $\frac{V}{P}$ 값을 얼마로 해야 하는가(단 저장하는 기체는 이상기체로 가정한다)?

▶ 전문가 클리닉

이 문제는 화학의 기초개념과 수리적 논리력, 계산능력을 함께 측정할 수 있는 유형으로 통합형 논술에서 출제될 가능성이 매우 높은 유형입니다. 지금까지 출제된 문제에서는 화학 교과과정에서 다루는 수식을 이용한 단순계산을 요구하는 데 그쳤지만, 앞으로는 여러 수학적 개념과 화학 개념을 연관시킨 문제가 다양하게 출제될 것입니다.

▶ 예시답안

안전한 기체 저장탱크를 제작하는데 드는 비용이 고정돼 있을 때상온, 즉 일정온도에서 저장되는 기체의 질량이 최대가 되기 위한 조건을 살펴봅시다. 기체의 질량이 저장된 기체의 몰수에 비례하므로, 기체의 질량을 최대로 하려면 이상기체 상태방정식 $PV=nRT$ 에서 몰수(n)가 최대값을 가져야 합니다. 즉 일정온도에서 압력과 부피의 곱(PV)이 최대값을 가져야 합니다.

비용은 일정(일정비용(S)= $aP+bV$)하므로, 비용의 식을 변형해 압력(P)의 식으로 정리하면 $P=\frac{S-bV}{a}$ 입니다. 압력과 부피의 곱에 압력(P) 대신 이 식을 대입하면

$$PV=\frac{S-bV}{a}\times V=-\frac{b}{a}V^2+\frac{S}{a}V \text{로 부피에 대한 이차방정식이 나옵니다.}$$

이차방정식의 최대값을 구하기 위해 이 식을 변형하면, $PV=-\frac{b}{a}(V-\frac{S}{2b})^2+\frac{b}{a}(\frac{S}{2b})^2$ 이므로 $V=S/2b$ 일 때 최대값 $S^2/4ab$ 을 가집니다.

이때 $P=S-bV/a=S/2a$ 입니다. 그러므로 $\frac{V}{P}=\frac{a}{b}$ 입니다.

이차방정식의 최대값을 구하는 방법 대신 산술평균과 기하평균의 공식을 이용해 문제를 풀 수도 있습니다. 두 수 m, n에 대해 $m+n\geq 2\sqrt{m-n}$ 이므로 m, n 대신 aP, bV를 대입하면

비용(S)= $aP+bV\geq 2\sqrt{abPV}$ 로 표현할 수 있습니다. 기체의 질량이 최대가 되기 위한 조건은 앞에서 설명한 바와 같이 PV가 최대가 되는 경우로 $aP=bV$ 일 때 $aP+bV\geq 2\sqrt{abPV}$ 가 돼 PV가 최대값 $\frac{S^2}{4ab}$ 을 가집니다. 즉 산술기하평균 식에서 등호가 성립하려면 aP와 bV가 같아야

하므로, $S=aP+bV=2aP=2bV$ 가 돼 $P=\frac{S}{2a}$, $V=\frac{S}{2b}$ 입니다. 따라서 $\frac{V}{P}=\frac{a}{b}$ 입니다.

벤젠(C_6H_6) 200g에 아세트산(CH_3COOH) 3.0g을 녹인 용액의 어는점이 $4.76^\circ C$ 가 됐다(단 아세트산의 분자량=60, 벤젠의 어는점= $5.4^\circ C$, 벤젠의 몰랄내림상수(K_f)= 5.12 이다).

- 1) 이론상 얻을 수 있는 어는점을 구하라.
- 2) 실제값과 이론값에 차이가 나는 이유를 자세히 설명하라.

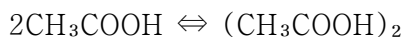
▶ 전문가 클리닉

용질의 종류에 영향을 받지 않고 용질 입자의 개수에만 영향을 받는 특성을 ‘용액의 총괄성’이라 합니다. 용액의 총괄성이 적용되는 특성에는 증기압력 내림, 끓는점 오름, 어는점 내림, 삼투압이 있습니다. 화학자들은 미지의 물질을 합성한 뒤 그 물질의 분자량을 측정하기 위해 이상기체 상태방정식과 함께 묶은 용액의 총괄성을 이용해 왔습니다.

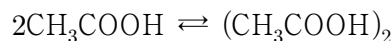
용액의 총괄성은 생활 속에서도 흔히 관찰되며 심층면접이나 논술에서 출제 빈도가 매우 높은 부분입니다. 이번 문제는 어는점 내림에 관한 문제로서 수소결합에 의한 이합체의 존재를 고려해 어는점을 계산하는 문제입니다.

▶ 예시답안

- 1) 우선 아세트산 3.0g의 몰수를 계산하면 현재의 질량(g)/아세트산 1몰의 질량(g/몰)= $3.0g/60g/몰=0.05$ 몰입니다. 따라서 몰랄농도(m)=용질의 몰수(몰)/용매의 질량(Kg)= 0.05 몰/ 0.2 Kg= 0.25 (몰/Kg)입니다. 이때 어는점내림(ΔT_f)=몰랄내림상수 \times 몰랄농도= $5.12 \times 0.25 = 1.28^\circ C$ 입니다. 그러므로 이론상 얻을 수 있는 어는점은 $5.4 - 1.28 = 4.12^\circ C$ 입니다.
- 2) 이론상 얻은 어는점은 $4.12^\circ C$ 인데, 실제 어는점은 $4.76^\circ C$ 로 이론상의 어는점 내림보다 실제 어는점 내림이 덜 일어났습니다. 이는 몰랄농도가 실제 용액에서 이론치보다 작다는 사실을 의미합니다. 이런 현상이 나타난 이유로는 아세트산 분자 간의 수소결합에 의한 이합체의 형성을 들 수 있습니다. 벤젠에 녹은 아세트산은 다음과 같이 두 분자가 결합한 형태인 이합체와 평형상태로 존재합니다.



따라서 아세트산이 각각 녹아있을 때보다 몰수가 감소하는 효과가 발생해 몰랄농도가 줄어듭니다.



반응전	0.05몰	—
반응	$-2x$ 몰	x 몰
평형	$(0.05 - 2x)$ 몰	x 몰

아세트산이 녹아있는 벤젠 용액에서 이합체로 존재하는 아세트산의 몰수(x)를 계산해볼 수도 있습니다. 우선 평형상태에 이르기까지의 반응을 살펴보면 왼쪽 식과 같습니다.

평형상태에서 용질의 전체 몰수는 $(0.05 - 2x)$ 몰 + x 몰 = $(0.05 - x)$ 몰입니다. 따라서 평형상태에서의 몰랄농도는 $(0.05 - x)$ 몰/ 0.2 Kg이므로 실제의 어는점 내림은 $5.4 - 4.76 = 0.64 = 5.12 \times (0.05 - x)$ 몰/ 0.2 Kg의 식으로 나타낼 수 있습니다. 이 식을 계산하면 x 는 0.025 몰입니다. 즉 전체 아세트산 0.05 몰 중에서 절반인 0.025 몰이 이합체를 형성한다고 볼 수 있습니다.

다음 질문을 읽고 물음에 답하라.

- 1) 보일의 법칙이 발견된 뒤 100년이 흐른 18세기 말 게이뤼삭은 0℃에서 100℃로 온도를 상승시키자 공기, 수소, 산소, 질소 등 기체의 종류에 상관없이 부피가 모두 37.5%씩 증가한다는 사실을 관찰했다. 그의 실험 결과로부터 절대온도를 구해보고 오늘날 우리가 사용하는 값과 비교해 보라(2007학년도 서울대 정시).
- 2) 1837년경 독일의 마그누스는 정밀한 측정을 통해 기체가 0℃에서 100℃의 온도 상승에 대해 게이뤼삭의 실험 결과와 달리 다음과 같이 기체의 종류에 따라 부피 변화가 다르게 나타남을 알았다. 이 값으로부터 절대온도를 어떻게 구하는 것이 타당한지 설명해 보라.

공기:36.608%, 이산화탄소:36.909%, 수소:36.566%, 이산화황:38.562%

▶ 전문가 클리닉

액체나 고체의 경우에는 물질의 종류에 따라 온도에 따른 부피 팽창의 정도가 다릅니다. 그러나 기체의 경우 압력이 아주 낮다면 기체의 종류에 관계없이 부피 팽창의 정도가 동일하다는 사실을 프랑스의 과학자 샤를이 18세기 말에 최초로 밝혔습니다. 그 후 여러 과학자가 온도에 따른 기체의 부피 팽창 정도를 측정했고 그에 따라 새로운 온도의 정의(절대온도)가 수립되었습니다. 섭씨온도와 화씨온도는 1기압에서 물의 녹는점과 끓는점을 기준으로 정한 온도 단위입니다. 19세기 켈빈경이 정한 절대온도는 국제 표준으로 사용하는 온도 체계이며, 절대온도 0K은 이론적으로 가능한 최저온도입니다. 즉 이상기체의 부피가 0이 되는 온도가 절대온도 0K인데, 이는 섭씨온도로는 -273.15℃에 해당합니다. 이 문제는 게이뤼삭의 실험에서 온도에 따른 기체의 부피 변화로부터 절대온도를 구하고 실제 기체의 경우 이상기체와는 달리 온도에 따른 부피 팽창이 다르다는 사실을 통해 그 의미를 생각해 보는 문제입니다.

▶ 예시답안

- 1) 물의 어는점 0℃에서 측정한 기체의 부피를 V_0 라고 하고, 물의 끓는점 100℃에서 측정한 부피를 V_{100} 이라 합시다. 0℃에서 100℃로 온도를 올렸을 때 기체의 종류에 상관없이 부피가 모두 37.5%씩 증가했으므로 $V_{100}=1.375V_0$ 입니다. 섭씨온도가 1℃ 상승할 때마다 기체의 부피 팽창이 일정한 간격으로 증가한다고 가정하면, t℃에서의 기체 부피 V_t 는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있습니다.

$$V_t = V_0 + \left(\frac{0.375}{100} V_0\right) \times t = \frac{0.375}{100} V_0 \left(\frac{100}{0.375} + t\right)$$

V_t 가 0이 되는 온도를 절대온도 0K으로 정의한다면, $100/0.375+t=0$ 이 돼야 하므로 절대온도 $0K=-100/0.375=-266.67℃$ 입니다. 한편 오늘날 우리가 사용하는 절대온도는 $0K=-273.15℃$ 인데, 이는 0℃에서 100℃로 온도를 올렸을 때 부피가 36.6% 증가하는 점을 바탕으로 정한 값입니다. 따라서 게이뤼삭이 기체의 부피 팽창을 크게 측정했음을 알 수 있습니다.

- 2) 1)번 문제와 같은 방식으로 실제 기체의 절대온도를 구하면 다음 같습니다.

기체	부피 변화	절대온도 0K에 해당하는 섭씨온도
공기	36.608%=0.36608	-273.16℃
이산화탄소	36.909%=0.36909	-270.94℃
수소	36.566%=0.36566	-273.48℃
이산화황	38.562%=0.38562	-259.32℃

17세기 과학자 토리첼리는 수은을 이용해 대기압을 측정했다. 수은을 가동 채운 길고 가는 관을 수은이 들어있는 용기에 거꾸로 세울 때, 수은은 대기압과 같아질 때까지 내려간다. 기 후나 기상조건에 따라 수은기둥의 높이는 달라질 수 있으나 해수면에서의 수은기둥의 높이는 760mm이었고 이때의 압력을 760mmHg로 표시했다. 만약 토리첼리의 실험에서 단면적이 다른 관을 사용했다면 수은기둥의 높이가 달라지는지 설명하시오.

▶ 전문가 클리닉

과학에서 압력은 단위면적에 작용하는 힘으로 정의합니다. 즉

압력(P) = $\frac{\text{힘}(F)}{\text{면적}(A)} = \frac{\text{질량}(m) \times \text{가속도}(a)}{\text{면적}(A)}$ 으로 압력의 SI 단위는 $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$ (파스칼)입니다. 대기압은 지표면에서 상층 대기권까지 연장한 단면적 1m^2 의 공기기둥에 의한 압력입니다. 공기기둥의 질량은 약 $1\text{만}300\text{Kg}$ 이며, 이때 대기압은 $\frac{1\text{만}300\text{Kg} \times 9.8\text{m/s}^2}{1\text{m}^2} = \text{약 } 10\text{만}1000\text{Pa}$ 입니다.

그러나 파스칼은 다루기 힘든 단위이므로 그 대신 수은기둥의 높이(mmHg) 또는 기압(atm)을 사용합니다. 토리첼리의 실험은 대기압을 수은기둥의 높이로 나타낸 실험이며 인간이 만든 최초의 진공 실험이기도 합니다. 이번 문제는 수은기둥의 높이가 단면적과 무관하다는 점을 증명하는 문제입니다.

▶ 예시답안

수은기둥에 의한 압력은 관 내부의 수은기둥 질량에 의한 중력이 관의 단면적에 작용하는 압력입니다. 즉 수은기둥에 의한 압력은

$$\frac{\text{수은기둥의 높이} \times \text{중력가속도}(g)}{\text{관의 단면적}}$$

입니다.

수은기둥의 질량은 (수은의 밀도 \times 수은의 부피)이며, 수은의 부피는 (관의 단면적 \times 수은기둥의 높이)입니다. 그러므로 수은의 질량에 앞식을 대입해 정리하면 단면적 항이 없어지게 됩니다.

따라서 수은기둥에 의한 압력은(수은기둥의 높이 \times 수은의 밀도 \times 중력가속도(g))로 구할 수 있습니다.

수은의 밀도와 중력가속도는 상수이므로 수은기둥에 의한 압력은 수은기둥의 높이에 비례합니다. 따라서 수은기둥의 높이로 압력을 나타낼 수 있으며, 관의 단면적이 크든 작든 같은 높이를 나타냅니다.

2007년 04월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]이산화탄소의 용해

문제1 다음은 최근 발표된 신문기사의 일부이다. 기사를 읽고 물음에 답하시오.

지구온난화의 주범인 이산화탄소 흡수량이 전 세계 바다 가운데 가장 높은 곳으로 동해가 지목됐다. 이기택 포스텍 환경공학부 교수는 최근의 연구 결과 동해는 겨울철 차가운 표층수가 심해로 이동하는 대류현상이 가장 활발해 세계 어느 바다보다 이산화탄소 흡수력이 큰 것으로 조사됐다고 밝혔다.

이 교수는 '우리나라의 한해 이산화탄소 발생량은 1억5000만 TC(탄소톤: 이산화탄소 중 탄소량)로 이 가운데 5% 가량을 동해가 흡수하고 있으며 지난 200년간 동해가 흡수한 이산화탄소는 4억 TC 가량이다'라고 말했다.

특히 동해는 다른 바다와는 달리 대한해협과 일본 북쪽 해협을 통해서만 바닷물이 드나들어 이산화탄소 총량이 대기로부터 유입되는 양에 따라 결정되는 특성을 지니고 있다. 따라서 대양의 이산화탄소 흡수력 변화를 연구하는 데 중요한 지표가 될 것으로 전망된다.

이 교수는 "동해의 이산화탄소 총량을 조사하면 바다의 이산화탄소 정화 능력여부를 판단할 수 있다"며 "동해의 이산화탄소 총량이 감소한다면 지구온난화가 가속화되는 등 심각한 문제가 될 것"이라고 말했다. - 동아일보 2007년 2월 12일자

- 1) 바다는 육지에서 방출되는 이산화탄소를 흡수하는 자연적인 기능을 가지고 있다. 이를 설명하시오.
- 2) 물리화학적 과정의 자발성에 관한 기준은 기브스(Gibbs) 자유에너지의 변화(ΔG)에 의해 결정된다. 자유에너지의 변화는 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 로 정의된다. 만약 ΔG 의 값이 음수라면 그 과정은 자발적이며, 양수라면 비자발적이다. 그리고 $\Delta G = 0$ 인 경우에는 화학반응이 평형상태를 이룬다고 볼 수 있다. 여기서 ΔH 는 엔탈피의 변화이고, ΔS 는 무질서도(엔트로피)의 변화를 나타낸다. 기체의 용해과정이 흡열반응인지 발열반응인지를 예측하고, 수온의 연직분포에 따른 이산화탄소의 용해를 설명하시오.
- 3) 바다의 이산화탄소 흡수 능력을 이용해 최근에는 대기 중의 이산화탄소의 양을 줄이는 방안으로 바다의 심층부에 이산화탄소를 저장하는 기술이 연구되고 있다. 바다에 이산화탄소를 저장할 때 발생할 수 있는 문제점에 대해 서술하시오.

▶ 전문가 클리닉

최근 이슈가 되고 있는 지구온난화와 관련된 문제는 출제 가능성이 매우 높은 주제라 할 수 있습니다.

지구온난화를 일으키는 주범으로 꼽히는 이산화탄소를 줄이기 위해 에너지 이용의 효율성을 높이고 대체에너지를 개발하는 대책을 마련하고있지만 실효성을 거두기까지 아직 갈 길이 먼 상황입니다. 현재 응급처방이기는 하나 이산화탄소를 바다나 육지의 지하에 저장하거나 바닷물 속에 녹여 심해에 가라앉히는 기술이 연구되고 있습니다.

이번 문제는 자발성의 측면에서 기체의 용해과정이 발열반응이 될 수밖에 없음을 증명하고, 르 샤틀리에의 원리로부터 해수의 온도에 따른 평형 이동을 살펴보는 문제입니다. 그리고 기존의 문제점을 해결하기 위해 새로운 기술을 개발할 때 과학자가 가져야 하는 태도에 대해 살펴보

고자 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 생명체의 호흡과 화석연료의 연소를 통해 주로 발생하는 이산화탄소는 바다에 의해 흡수돼 대기 중에서 그 양이 줄어들 수 있다.

바다 표층부의 식물성 플랑크톤이 광합성을 하면서 이산화탄소를 소비해 바닷물 속의 이산화탄소 농도가 낮아지면 대기 중의 이산화탄소가 바닷물로 흡수된다. 흡수된 이산화탄소는 물과 반응해 탄산이 되고 탄산이 이온화돼 생긴 탄산이온은 바닷물 속의 칼슘이온과 양극 생성반응을해 가라앉는다. 표층수가 차가워지면 밀도가 증가해 대류현상이 일어나 이산화탄소를 많이 머금은 표층수가 심해로 이동한다.

- 2) 기체의 용해과정이 자발적으로 일어나기 위해서는 기브스 자유에너지의 변화(ΔG)가 음수가 돼야 한다. 엔트로피 측면에서 보면 기체의 무질서도가 용해된 후의 무질서도보다 크기 때문에 엔트로피의 변화(ΔS)는 감소해 음수값을 갖는다. 따라서 자발적인 반응이 일어나기 위해서는 반드시 엔탈피의 변화(ΔH)가 음수가 돼야 하며, 크기는 $|\Delta H| > |T\Delta S|$ 이어야 한다. ΔH 의 값이 음수이므로 기체의 용해과정은 발열반응임을 알 수 있다. 이산화탄소가 물에 용해되는 과정은 다음의 반응식과 같이 가역반응이며 평형을 이루고 있다.



수온은 해수 표면에서부터 수심이 깊어짐에 따라 대체로 낮아진다. 따라서 이산화탄소의 용해과정은 발열반응이고, 수심이 깊어져서 반응계의 온도가 낮아짐에 따라 평형은 정반응으로 이동해 평형상수의 값이 커지고 용해도도 증가한다.

- 3) 바다 속에 이산화탄소를 저장하면 이산화탄소의 농도가 증가함에 따라 탄산의 양이 증가하고 탄산의 이온화로 바닷물의 pH가 감소한다. 그렇게 되면 바다 속의 생태계가 교란돼 먹이사슬에 혼란이 일어나 생태계에 심각한 영향을 초래한다. 또한 바다 속에 저장한 이산화탄소는 미래에 다시 대기 중으로 빠져나오므로 근본적인 해결책이 되지 못한다는 문제점이 있다.

문제 2 다음의 제시문을 읽고 물음에 답하시오.

- (가) 엔트로피의 개념은 루돌프 클라지우스에 의해 정량적으로 다음과 같은 식으로 표현됐다.

$$\text{엔트로피의 변화} = \frac{\text{열로 공급받은 에너지}}{\text{전달이 일어나는 절대온도}}$$

만약 같은 물체에 같은 양의 에너지가 열로 공급된다면 온도가 낮을 때 엔트로피의 변화가 더 크다. 에너지가 열의 형태로 물체에서 빠져나간다면 엔트로피의 변화는 음수값을 갖는다.

- (나) 루드비히 볼츠만은 엔트로피가 무질서의 척도임을 밝혔다. 즉 무질서도가 클수록 엔트로피는 증가한다. 분자들이 질서정연하게 배열돼 있는 고체는 액체보다 엔트로피가 작으며 자유롭게 날아다니는 기체는 액체보다 엔트로피가 더 크다. 온도가 올라가면 고체, 액체, 기체 모두 분자의 움직임이 커지므로 엔트로피가 증가한다. 또한 특수한 상태에서 엔트로피는 다음 식에 따라 이 상태에 도달할 수 있는 방법의 수와 관련돼 있다고 제안했다.

$$S(\text{엔트로피}) = k \ln W$$

$$(k: \text{볼츠만 상수} = \frac{\text{기체상수}(R)}{\text{아보가드로수}(N_A)}, W: \text{방법의 수})$$

이 식에 따르면 완벽한 질서를 갖는 한 경우밖에 없으므로 엔트로피가 0이 된다.

(다) 전체 엔트로피의 변화는 계와 주위의 엔트로피 변화의 합으로 주어지며, 자발적인 반응에서 $\Delta S_{\text{전체}}$ 는 항상 0보다 큰 값을 가진다.

$$\Delta S_{\text{전체}} = \Delta S_{\text{계}} + \Delta S_{\text{주위}}$$

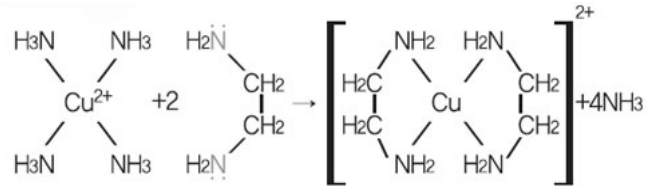
일정한 압력 하에 일어나는 반응에서 주위의 엔트로피 변화량은 엔탈피 변화량에 비례하고 주위의 온도에 반비례한다.

$$\Delta S_{\text{주위}} = -\frac{\Delta H}{T}$$

따라서 두 식을 정리하면 $-T\Delta S_{\text{전체}} = \Delta H - T\Delta S$ 이다. 여기서 $-T\Delta S_{\text{전체}}$ 를 기브스 자유에너지 변화(ΔG)로 정의할 수 있으며, 전체 엔트로피의 변화와 기브스 자유에너지 변화의 부호는 서로 반대이다.

1) 동일한 부피를 가지고 있는 두 용기가 있다. 왼쪽 용기에 기체 1몰을 넣고 코크를 열어 확산이 일어나도록 했다. 제시문 (나)의 볼츠만 식을 이용해 이 과정에서 엔트로피의 변화를 예측하라.

2) 착이온 사암민구리($[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$)는 구리 이온(Cu^{2+})에 4개의 암모니아(NH_3)가 리간드로 결합한 평면 사각형 형태의 이온이다. 사암민구리 수용액에 킬레이트 리간드인 에틸렌디아민($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$)을 넣으면 에틸렌디아민의 두 아미노기($-\text{NH}_2$)의 질소(N)가 구리와 결합해 고리 모양의 착이온을 이루는 반응이 일어난다. 이 반응의 자발성을 예측하시오.



▶ 전문가 클리닉

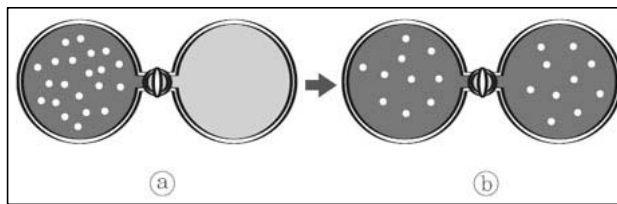
자발적인 변화란 초기 조건과 충분한 시간이 주어졌을 때 외부의 도움 없이도 스스로 일어나는 변화를 말합니다. 자연에서 일어나는 자발적인 변화는 특정한 초기 조건에서 시작했을 때 화학반응이 특정한 방향으로 자발적으로 일어남을 뜻합니다.

열역학 제 2법칙을 이용하면 자발적인 변화의 방향성을 예측할 수 있습니다. 자발적인 과정에서 계와 그 주위의 전체 엔트로피는 항상 증가합니다. 즉 자발적인 반응은 전체 엔트로피가 증가하는 방향으로 일어납니다.

기체의 확산은 자발적인 반응의 대표적인 예입니다. 기체가 확산될 때 온도가 일정한 상태에서는 기체 분자의 에너지에 변화가 없으므로 오로지 엔트로피의 영향만 고려하면 됩니다. 기체의 확산은 엔트로피가 증가하는 현상이므로 ΔG 가 음수값을 갖게 돼 자발적으로 일어납니다. 이번 문제는 착이온에서 킬레이트 리간드가 보통의 리간드보다 착이온을 잘 형성하는 현상을 엔트로피를 이용해 표현하는 문제입니다.

▶ 예시답안

- 1) 부피가 같은 두 용기의 한쪽에서 다른 쪽으로 기체가 확산되면 기체의 부피는 두 배 되는 효과가 나타난다. 부피가 두 배 되면 기체 분자가 있을 수 있는 위치의 상태도 두 배 된다. 즉 분자가 취할 수 있는 상태 수는 부피에 비례한다.



한 분자가 취할 수 있는 상태 수는 aV (a :비

례상수)와 같다. 따라서 N 개의 기체 분자가 가질 수 있는 모든 상태의 수는 $(aV)N$ 이다.

1몰의 기체 분자가 부피 V 에서 $2V$ 로 증가했을 때의 엔트로피 변화는 볼츠만 식으로부터 구할 수 있다.

$$\Delta S = S(\text{부피가 } 2V \text{ 일 때}) - S(\text{부피가 } V \text{ 일 때})$$

$$= N_A k \ln(2aV) - N_A k \ln(aV)$$

$$= N_A k \ln 2aV/aV = N_A k \ln 2 = R \ln 2$$

- 2) 사암민구리는 4개의 암모니아와 결합하고 있는 착이온으로 구리에 4개의 질소가 결합된 형태다. 여기에 에틸렌디아민을 넣어 생성된 킬레이트 착이온도 에틸렌디아민의 질소가 4개 결합된 형태이므로 착이온 자체의 에너지는 큰 차이가 없다. 즉 4개의 암모니아를 착이온에서 끊을 때 들어가는 에너지와 새로운 4개의 결합을 형성할 때 나오는 에너지의 크기는 거의 같으므로 반응엔탈피의 변화는 거의 없다고 볼 수 있다. 따라서 반응의 자발성 예측은 엔트로피의 변화만 고려하면 된다.

반응물의 개수는 3개이며 생성물의 개수는 5개이므로 정반응에서 전체 개수가 증가한다. 이는 무질서도의 증가를 의미하므로 자발적인 반응은 정반응 방향이라고 예측할 수 있다. 더 나아가 킬레이트 리간드는 엔트로피 면에서 보통의 리간드보다 금속 양이온과 잘 결합할 것이라고 생각할 수 있다.

2007년 05월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]기름의 아보가드로수

- (가) 1811년 아메데오 아보가드로는 '같은 온도와 같은 압력에서 같은 부피를 가진 서로 다른 기체들은 동일한 수의 입자를 가진다'라는 가설을 세웠다. 이 가설은 원자론에서 분자론으로의 전환을 가져왔으며 훗날 실험적으로 증명돼 '아보가드로의 법칙'이라 불리게 됐다. 이 법칙에 따르면 0℃, 1기압에서 22.4L 속에 포함되어 있는 기체분자의 수는 기체의 종류와 관계없이 6.02×10^{23} 개다.
- (나) 거시적인 질량과 개별 원자, 분자들의 미시적 질량 사이의 관련성은 아보가드로수로 정해진다. 아보가드로수(N_0)는 정확히 12g에 존재하는 ^{12}C 원자의 수로 정의된다. 그러므로 어떤 원소든지 아보가드로수만큼의 원자질량은 그 원자의 원자량과 같은 값을 갖는다. 이것은 분자에도 똑같이 적용된다. 화학자들은 아보가드로수를 이용해 원자, 분자, 이온처럼 작은 입자들을 다루기 위한 새로운 묶음 단위를 만들었는데 이를 몰(mole)이라 한다. 1몰은 원자, 분자, 이온이 아보가드로수만큼 모인 집단을 의미한다.
- (다) 19세기 영국의 과학자 마이클 패러데이는 전기분해에 의해 각 전극에서 생성되거나 소모되는 전하량과 전지를 통해 흐른 전체 전하량이 정량적인 비례관계에 있음을 밝혔다. 전하량(Q)의 단위는 쿨롱(C)으로 표시하며, 1암페어(A)의 전류(I)가 1초 동안 흘렀을 때 전하량을 1쿨롱(C)으로 정의한다.

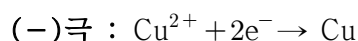
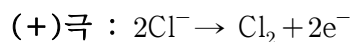
$$\text{전하량}(Q) = \text{전류}(I) \times \text{시간}(t)$$

톰슨과 밀리컨은 전자가 $-1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ 의 전하량을 가진다는 사실을 실험적으로 측정했다. 따라서 1몰의 전자가 가지는 전하량은 (아보가드로수 \times 전자 한 개의 전하량)으로 구할 수 있다.

- (라) 벤자민 프랭클린은 기름이 물에 퍼지는 정도를 측정해 분자의 크기와 아보가드로수를 간단히 추정했다. 다음은 벤자민 프랭클린이 윌리엄에게 보낸 편지 중 일부다.

"풀밭에 큰 연못이 있는 클라팸(지명 이름)에서 나는 기름병을 꺼내 팔을 쭉 뻗고 연못에 작은 기름방울을 떨어뜨렸다. 나는 놀랍게도 물의 표면에서 그것이 빠르게 퍼져나가는 현상을 봤다. 그 기름은 차 한 숟가락보다 많지 않지만 순식간에 몇 평방 야드로 퍼져나가고 그것이 점점 확장돼 그 연못의 $\frac{1}{4}$, 약 $\frac{1}{2}$ 에이커 정도를 거울처럼 매끈하게 모두 채웠다."

- 1) 염화구리를 전기분해할 때 각 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.



전류(I)가 t초 동안 흘러 구리 1몰(63.6g)이 석출됐다고 할 때, 전기분해 시 석출되는 구리의 양으로부터 아보가드로수를 유도하라.

- 2) 벤자민 프랭클린은 차 한 숟가락의 기름이 연못의 표면 위로 퍼진 현상으로부터 아보가드로수를 계산하기 위해 다음과 같이 가정했다.

- 기름층이 형성될 때 기름분자는 작은 정육면체를 이루며 조밀하게 채워진다.
- 연못 위로 기름층이 생길 때 한 층으로만 형성된다.
- 기름의 평균 분자량은 200이므로 기름 1몰의 질량은 200g이다.

2-1) 이러한 가정을 바탕으로 아래와 같이 주어진 값을 이용해 아보가드로수를 계산하라.

차 한 숟가락 기름의 부피=4.9cm³

연못에서 기름으로 덮인 면적($\frac{1}{2}$ 에이커)=2.0×10⁷cm²

기름의 밀도=0.95g/cm³

2-2) 실제 아보가드로수는 제시문 (가)에 주어진 대로 6.02×10²³개인데, 이는 앞에서 구한 값과는 다르다. 이런 오차의 주요한 원인은 무엇인가.

2-3) 실제 기름분자는 글리세린에 긴 지방산이 에스테르 결합으로 연결된 구조이기 때문에 정육면체보다는 직육면체에 가까운 모양을 이룬다. 기름의 구조가 직육면체라고 가정하고 아보가드로수를 다시 계산하라. 단 이때 임의의 한 꼭지점에서 만나는 세 모서리 가운데 두 모서리는 같은 길이이고, 나머지 한 모서리는 다른 모서리의 4배다. 또 기름분자는 물에 똑바로 서있다고 가정한다.

▶ 전문가 클리닉

1몰의 물질 속에 존재하는 입자수, 즉 아보가드로수를 알아내기 위해 그동안 여러 과학자들은 다양한 방식을 이용했습니다. 알버트 아인슈타인은 20세기 초반에 삼투압을 이용해 아보가드로수를 구하기도 했습니다.

이 문제에서는 전기분해로 아보가드로수를 구하는 실험을 알아보고 기름이 퍼지는 정도와 분자의 크기를 측정해 아보가드로수를 구하는 실험을 다뤘습니다.

▶ 예시답안

1) 화학반응식에서 계수비는 몰수비와 같으므로 전자 2몰이 이동해 구리이온(Cu²⁺)을 환원시키면 구리 1몰이 석출된다.

전자 1개의 전하량은 톰슨과 밀리컨에 의해 $-1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 로 측정되므로 전자 2몰의 전하량은 $(2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{C} \times \text{아보가드로수})$ 이다. 또한 흐른 전하량(Q)은 전류의 세기(I)×시간(t)이므로 I가 t초 동안 흘러 구리 1몰(63.6g)이 석출될때 아보가드로수를 다음과 같이 구할 수 있다.

전자 2몰의 전하량 = $2 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{C} \times \text{아보가드로수}$ = 전류의 세기(I)×시간(t)

따라서 아보가드로수는 $\frac{I \times t}{2 \times 1.6 \times 10^{-19}}$ 이다.

2-1) 가정에 따르면 차한숟가락의 기름이 연못 위에 기름층을 만들 때 기름분자는 작은 정육면체로 빈 공간 없이 한 분자층의 두께만 만든다. 따라서 (기름으로 덮인 면적×정육면체 한 변의 길이)는 차 한 숟가락 기름의 부피와 같다.

기름으로 덮인 면적은 에이커, 즉 $2.0 \times 10^7 \text{cm}^2$ 이며, 차한숟가락 기름의 부피는 4.9cm^3 이므로 기름의 부피를 기름층의 면적으로 나누면 정육면체 한 변의 길이를 구할 수 있다.

정육면체 한 변의 길이 = $\frac{\text{차 한 숟가락 기름의 부피}}{\text{기름층의 면적}} = \frac{4.9 \text{cm}^3}{2.0 \times 10^7 \text{cm}^2} = 2.5 \times 10^{-7} \text{cm}$

또 기름층의 면적을 정육면체 한 변의 면적으로 나누면 기름층을 형성하고 있는 분자수를 구할 수 있다. 즉 기름 분자수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{\text{기름층의 면적}}{\text{정육면체 한 면의 면적}} = \frac{2.0 \times 10^7 \text{cm}^2}{(2.5 \times 10^{-7} \text{cm})^2} = 3.2 \times 10^{20}$$

한편 기름의 몰수는 기름의 질량을 1몰의 기름 질량으로 나누면 얻을 수 있다. 기름의 질량은 (기름의 부피×기름의 밀도)이므로 $4.9\text{cm}^3 \times 0.95\text{g/cm}^3 = 4.7\text{g}$ 이며, 기름 1몰의 질량은 기름의 분자량에 g을 붙이면 되므로 $4.9\text{g}/200\text{g/몰} = 0.024\text{몰}$ 이다. 따라서 기름의 몰수는 $=0.024\text{몰}$ 이다.

아보가드로수는 분자수를 몰수로 나누면 구해지므로 $3.2 \times 10^{20} \text{개}/0.024\text{몰} = 1.3 \times 10^{22} \text{개}$ 이다.

2-2) 앞의 실험으로부터 구한 아보가드로수는 세 가지 이유 때문에 실제 값과 오차가 있다. 기름분자가 정육면체의 구조를 가진다고 가정한점, 기름층이 한 분자층으로 이뤄진다고 가정한 점, 기름분자의 분자량을 정확하게 구하지 않고 대략 200으로 가정하고 계산한 점이 오차의 원인이라고 추정할 수 있다.

2-3) 기름분자가 작은 직육면체를 이룬다고 가정할 때 직육면체 두 모서리의 길이를 L, 한 모서리의 길이를 4L로 놓으면 직육면체 하나의 부피는 $4L^3$ 이라고 할 수 있다. 전체 기름층의 부피는 (직육면체 하나의 부피($4L^3$)×분자수)이고, 기름층의 면적은 (직육면체 윗면의 면적(L^2)×분자수)이다.

$$\frac{\text{기름의 부피}}{\text{기름층의 면적}} = \frac{4.9\text{cm}^3}{2.0 \times 10^7 \text{cm}^2} = \frac{4L^3 \times \text{분자수}}{L^2 \times \text{분자수}} = 4L \text{이므로 } L \text{은 } 6.1 \times 10^{-8} \text{cm} \text{이다.}$$

이제 기름층의 면적을 직육면체 윗면의 면적 (L^2)으로 나눠 분자수(N)를 구하면

$$\frac{\text{기름층의 면적}}{\text{직육면체 윗면의 면적}} = \frac{2.0 \times 10^7 \text{cm}^2}{(6.1 \times 10^{-8} \text{cm})^2} = 5.4 \times 10^{21} \text{이다.}$$

기름의 몰수는 0.024몰 이므로 아보가드로수는 $\frac{5.4 \times 10^{21} \text{개}}{0.024\text{몰}} = 2.3 \times 10^{23}$ 이다.

- 1) 흑연에서 탄소-탄소 간 화학결합의 길이는 대략 얼마인가. 나노미터($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) 단위를 사용해 제시하라. 또한 흑연이 전기전도성이 있는지 예측하라.
- 2) 흑연 표면 1mm^2 에는 몇 개의 탄소가 있을지 구하라. 단 탄소와 탄소 간 화학결합의 거리는 1)번에서 구한 답을 이용하고 $\sqrt{3}$ 은 1.7로 어렵하라(포스텍 2006학년도 수시1학기 변형).

▶ 전문가 클리닉

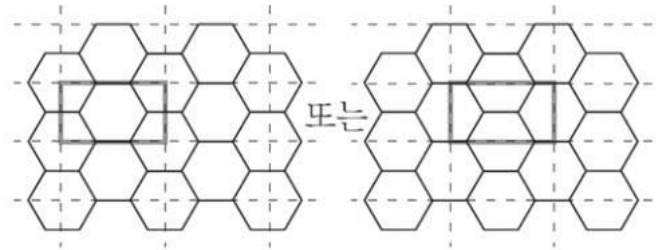
탄소로만 이뤄진 흑연, 다이아몬드, 풀러렌처럼 한종류의 원소로 구성된 다양한 형태의 물질을 ‘동소체’라고 합니다. 비록 한 종류의 원소로 이뤄져 있긴 하지만 동소체는 화학결합의 방식과 구조에 차이를 보이며 물리적, 화학적 성질이 완전히 다릅니다. 이번 문제는 탄소로 이뤄진 동소체 중에서 흑연의 구조와 이에 따른 특성을 파악하고, 물질의 구조에서 가장 작은 반복 단위로서 단위 세포의 개념을 이해하는 문제입니다.

▶ 예시답안

- 1) 탄소-탄소 간 결합길이는 단일결합이라면 0.154nm , 이중결합이라면 0.134nm 이다. 흑연은 벤젠처럼 편향되지 않은 공명구조를 이루며 단일결합과 이중결합의 중간정도 되는 결합길이를 가진다. 따라서 벤젠의 1.5결합과 유사한 0.140nm 의 길이를 가질 것으로 예측할 수

있다. 또한 편향되지 않은 전자는 금속 같이 자유전자처럼 행동할 수 있으므로 전기전도성을 띤다.

- 2) 육각형 고리가 반복되는 형태에서 가장 작은 반복 직사각형 단위는 다음 그림과 같다.



정육면체의 한 변의 길이를 a 라고 할 때 정육면체의 면적은 $6a^2$ 이므로 반복되는 직사각형의 면적은 $\frac{3\sqrt{3}a^2}{2}$ 이다. 흑연 표면 1mm^2 를 반복되는 직사각형의 면적으로 나누면 직사각형의 개수를 구할 수 있다. 직사각형 안에 포함된 탄소의 개수는 6개인데, 그 중 2개는 직사각형 내부에 있으므로 문제가 없지만 직사각형의 변 위에 있는 4개의 탄소는 두 개의 직사각형에 걸쳐 있으므로 절반만 고려해야 한다. 따라서 흑연 표면 위에 있는 탄소의 개수는 다음과 같다.

흑연 표면의 면적(1mm^2 /직사각형의 면적($3\sqrt{3}a^2$)) \times (내부 탄소 2개+변 위의 탄소 $4/2$ 개) $=4.0\times 10^{13}$

한편 정육각형을 반복되는 단위로 잡을 때는 정육각형 안의 6개 탄소가 모두 세개의 정육각형에 걸쳐 있다는 점을 고려해야 한다. 따라서 반복단위를 정육각형으로 잡았을 때 탄소의 개수는 흑연 표면의 면적(1mm^2 /직사각형의 면적($3\sqrt{3}a^2/2$)) \times (탄소 6/3개) $=4.0\times 10^{13}$ 개이다. 즉 직사각형으로 반복단위를 잡든 정육각형을 반복단위로 잡든 관계없이 탄소의 개수는 같다.

2007년 06월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

약의 효력을 높이는 방법

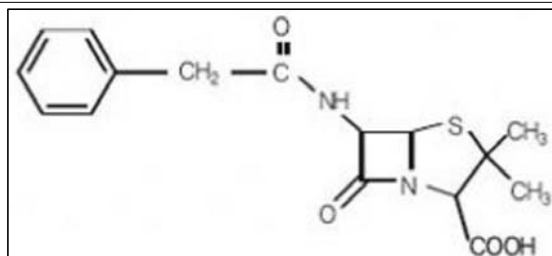
문제1 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 20세기 생물학과 의학의 가장 중요한 성과 가운데 하나는 항생제를 발견한 일이다. 파울 에를리히는 환자의 세포에 해를 입히지 않고 세균을 죽이는 물질인 ‘마술 탄환’을 만들기 위해 노력했다. 에를리히는 현미경으로 조직을 관찰하기 위해 염료로 착색하던 중, 일부 염료가 어떤 조직에는 착색된 반면에 다른 조직에는 착색되지 않는다는 점을 발견했다. 이 관찰로부터 그는 ‘염료가 어떤 조직에만 선택적으로 작용한다면 독성도 조직에 따라 다르게 나타나지 않을까’ 하고 생각했다. 에를리히는 1910년에 염료와 비소를 연결시킨 606번째 합성 물질이 매독을 치료하는 데 효과적임을 발견했다. ‘살바르산’이라고 불리게 된 이 물질은 인간이 만들어 낸 최초의 약으로, 특정한 세균만 죽였다. 화합물 606은 최초의 항생제라는 점과, 기본적인 화학구조에 근거한 일련의 변형으로부터 효능이 높은 약을 합성하는 원리를 제공했다는 점에서 의의가 있다.

(나) 1928년 9월 어느 날 아침 플레밍 박사는 포도상구균 집락이 배양되던 페트리 접시가 푸른곰팡이로 오염된 광경을 보았다. 플레밍은 오염된 물질을 버리려고 하다가 특이한 패턴을 한 가지 발견했다. 곰팡이가 자라는 곳 주위로 상당한 범위에서 포도상구균 집락이 분해되고 있었던 것이다. 플레밍은 곰팡이가 생성한 특정 화합물이 포도상구균에 대해 항생작용을 했다고 생각하고 실험을 통해 이를 확인했다.

플레밍은 푸른곰팡이를 여과시켜 만든 배양액을 건강한 포도상구균 집락이 자라고 있는 유리판 위에 떨어뜨렸다. 몇 시간이 지난 뒤 그는 세균의 집락이 푸른곰팡이를 떨어뜨린 곳 주위에서 사라지는 현상을 관찰했다. 푸른곰팡이 추출물은 800배 희석시켰을 때도 세균에 대해 여전히 활성을 나타냈다. 한편 플레밍은 생쥐와 토끼를 대상으로 해 푸른곰팡이 추출물이 동물의 조직을 파괴하는지 여부를 조사했다. 그러나 생쥐와 토끼에게 곰팡이 추출물을 주사했을 때 식염수를 넣었을 때와 별다른 차이가 없었다. 훗날 약으로 만들어져 ‘페니실린’이라 불리게 된 이 추출물은 세균의 세포벽 간에 교차결합이 이뤄지지 못하게 해 세균을 죽이는 것으로 밝혀졌다.

1) 에를리히의 합성처럼 이미 알려진 화합물의 구조를 일부 변형시켜 약의 효력을 향상시킨 신약을 ‘모방 신약’이라고 한다면, 생리화적인 원리를 밝혀 새로운 기능과 구조를 가진 화합물을 알아내는 방식으로 개발되는 신약은 ‘혁신적인 신약’이라 할 수 있다. 신약 개발 방법의 장단점에 대해 논하라.



2) 그림에서 보듯 페니실린은 β -락탐 고리라는, 4개의 원자로 이뤄진 고리를 갖고 있다. 세균에서 세포벽을 만드는데 필요한 효소에는 하이드록실기(-OH)가 있는데, 이 부분이 페니실린 분자의 락탐 고리와 반응하면 세포벽을 만드는 기능을 발휘하지 못하게 된다. 락탐 고리의 반응성을 구조적인 면에서 설명하라.

▶ 전문가 클리닉

신약 개발의 획기적 전환점이 됐던 에블리히의 방법과, 관찰과 통찰력에 의해 우연한 발견을 위대한 성과로 전환시킨 플레밍의 연구를 살펴봅시다. 또 페니실린의 구조적 특성이 세균을 제거하는 데 어떻게 작용하는지 화학적으로 접근해 봅시다.

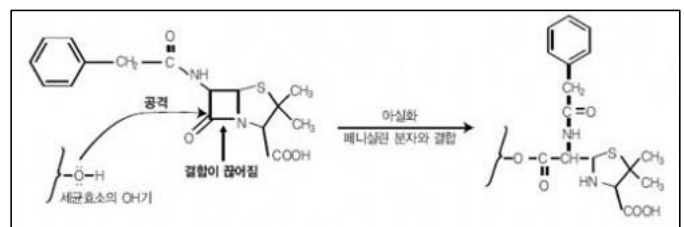
▶ 예시답안

- 1) 모방 신약은 신약 개발에 드는 비용과 시간을 절약할 수 있다는 점이 장점이다. 실제로 신약을 개발하는 데는 천문학적인 액수의 개발비용이 들어가는데, 알려진 의약품의 일부를 변화시켜 얻어내는 모방 신약은 개발기간과 개발비용이 대폭 절감된다. 또 다양한 작용기를 변화시켜 기존의 약이 개발될 당시에는 예상하지 못했던 효과를 지니는 약이 개발되기도 한다. 그러나 모방 신약은 기존의 의약품을 바탕으로 약간만 변화를 주는 방식이므로 기존 약의 효력을 나타내는 메커니즘이 그대로 유지될 수밖에 없다. 그에 비해 혁신적인 신약은 질병이 일어나는 원인을 분자 수준에서 규명해 그 과정을 차단하거나 변경하는 방법이다. 이것은 질병을 근본적으로 치료하는 방법이 될 수 있다. 하지만 이런 경우에는 질병이 일어나는 원인을 분자 수준에서 규명하고 그에 맞는 약의 새로운 구조를 만들어내야 하므로 시간과 비용이 많이 소요된다는 단점이 있다.
- 2) 페니실린이 갖고 있는 β -락탐 고리는 4개의 원자가 고리를 이루고 있는(4원자 고리) 구조다. 고리 내에서 각 원자가 이루는 가장 안정한 각도를 살펴보면 다음과 같다. 4개의 다른 원자와 공유결합을 하는 탄소는 결합각도가 109.5° 일 때 가장 안정한 상태를 유지하며, 3개의 다른 원자와 결합한 질소는 비공유 전자쌍의 영향으로 107° 일 때 가장 안정하다. 또 산소와 이중결합을 하고 있는 탄소는 120° 일 때 가장 안정하다. 이처럼 각 원자가 결합을 이룰 때 가장 안정한 각도는 정해져 있다.

4원자 고리를 형성하는 원자의 각도는 평면에서 약간 뒤틀려 90° 에서 조금 벗어난 각도를 이루는데, 이는 각 원자가 이룰 수 있는 가장 안정한 각도와는 차이가 크기 때문에 매우 불안정하다. 따라서 페니실린은 낮은 온도에서 보관해야 불안정한 4원자 고리가 유지된다.

4원자 고리는 세균의 세포벽을 형성하는 효소가 지닌 하이드록실기($-OH$)에 의해 공격을 받으면 깨지는데, 이때 고리의 불안정성은 사라진다. 효소의 OH 기를 이루는 산소는 비공유 전자쌍을 갖고 있는데, 이 비공유 전자쌍은 고리 내 4개의 원자 가운데 가장 전자가 부족한 원자를 공격한다. 고리를 이루는 원자 가운데 $C=O$ 의 탄소는 산소와의 전기음성도 차이 때문에 전자가 부족한 상태이므로, 효소에 의해 공격을 받아 고리가 끊어진다.

이때 $C=O$ 의 탄소 양쪽의 결합 중에서 $C=O$ 공유결합으로부터 이동해 오는 전자를 잘 수용할 수 있는 원자 쪽으로 공유결합의 전자가 이동한다. $C-C$ 결합에 비해 $C-N$ 결합이 상대적으로 전자를 더 잘 수용하므로 $C-N$ 결합이 끊어지게 된다. 이런 반응에 의해 세균의 세포벽을 만드는 효소가 기능을 발휘하지 못하게 돼 세균 증식이 억제된다. 한편 동물의 세포에는 세포벽이 없고 세포막만 있으므로 세포벽을 만드는 효소가 없다. 따라서 동물의 세포는 페니실린에 의해 영향을 받지 않는다.



문제2 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 마침내 그르누이는 향수 제조의 비밀에 관해 듣게 됐다.

"이제부터 내가 하는 말을 잘 들어라. 음악의 화음처럼 향수에도 정밀하고 복잡한 조화를 이루게 하는 요소가 있단다. 하나의 향수에는 머리(head), 중심(heart), 그리고 기초(base)라는 세 개의 조직이 있다. 머리 조직은 처음 몇 분 동안 향수의 첫 인상을 결정한 뒤 향수의 핵심이라고 할 수 있는 중심 조직에 자리를 양보하지. 중심 조직의 향기는 몇 시간 동안이나 지속돼. 마지막으로 기초 조직은 며칠 동안 향수의 여운을 남긴단다." - 영화 '향수' 중

(나) 냄새를 유발하는 냄새분자는 기체 상태로 코에 들어온다. 기체 상태의 냄새분자는 코의 점액층에 녹아 섬모에 위치한 냄새를 수용하는 단백질과 결합한다. 이런 단백질은 최근 OBP(Ordorant Binding Protein)라고 정의됐다. OBP는 냄새분자가 점액층을 통과해 감각수용체에 도달할 수 있도록 도우며, 점액층에서 냄새분자의 농도를 증가시키는 역할을 한다. OBP는 이미 신호를 전달한 냄새분자가 분해돼 제거될 수 있도록 도와주는 역할도 하는데, 이는 다른 새로운 분자가 감각수용체와 반응할 수 있도록 한다. 또 OBP는 감각수용체에 대한 일종의 보호자 역할도 하는데, 이는 과도한 양의 냄새분자가 수용체에 도달하는 현상을 막는다.

(다) 인간이 가진 냄새분자의 수용체는 열쇠와 자물쇠처럼 냄새분자와 정확하게 들어맞아야 후각세포를 자극할 수 있다. 일단 자극을 받은 후각세포는 뉴런을 통해 전기신호를 발생시켜 냄새에 대한 정보를 뇌에 전달한다. 인간은 후각 수용체를 만드는 유전자를 약 1000종 갖고 있다. 각각의 수용체는 서로 다른 냄새를 감지한다. 그러나 1000여 종의 후각 수용체 유전자 가운데 실제 작동하는 유전자는 375개 정도다. 절반이 넘는 유전자는 진화과정에서 기능을 잃어버렸다.

- 1) 향수가 가지는 머리, 중심, 기초조직이란 향수 내 물질을 분류한 것이다. 냄새분자가 가져야 하는 특성을 들고 각 조직에 속하는 물질의 차이점을 설명하라.
- 2) 인간의 냄새분자 수용체 종류는 1만여 개의 냄새를 감지하기에는 턱없이 부족하다. 인간은 어떤 방법으로 수용체 종류보다 다양한 냄새를 식별할 수 있을까.

▶ 전문가 클리닉

인간의 감각기관과 관련된 내용은 통합교과형 문제로 출제될 가능성이 높은 주제입니다. 특히 미각과 후각은 화학과 생물의 통합형 문제로 출제될 수 있습니다. 지난 2월 실시된 2008학년도 서울대 모의 논술고사에서도 미각과 관련된 문제가 출제됐습니다.

▶ 예시답안

- 1) 냄새분자는 휘발성을 가져야 하며, 코로 들어갔을 때 점액층에 녹아 후각세포에 도달할 수 있도록 수용성이어야 하고, 후각 수용체와 결합할 수 있는 구조를 가져야 한다. 향수를 구성하는 각 조직은 휘발성에서 가장 큰 차이점을 보인다. 휘발성이 가장 큰 물질은 머리 조직이며 먼저 냄새를 낸다. 이에 반해 기초 조직은 비교적 작아 천천히 증발하므로 가장 오래 남아 있는 냄새가 된다. 그러므로 향수를 제조할 때는 기초 조직에 중심 조직, 머리 조직의 순서로 섞어야 한다. 반대 순서라면 머리 조직의 물질이 다른 조직을 섞기 전에 증발되기 때문이다.
- 2) 냄새분자와 수용체가 1:1로 결합해 냄새에 대한 자극을 일으키는 구조라면 수용체의 수가 냄새분자에 비해 많이 부족하다. 하지만 냄새분자에 대해 여러 개의 수용체가 조합해 반응한다면 다양한 냄새분자를 구별해 낼 수 있다.

2007년 07월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]용매와 용질에서의 열 출입

문제 1. 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 설탕물과 물을 각각 비커에 같은 양씩 담아 공기 중에 놓아두면 순수한 물의 액면이 설탕물보다 낮아진다. 이것은 같은 시간에 순수한 물이 설탕물보다 더 많이 증발하기 때문이다. 순수한 용매에 비휘발성 용질을 녹인 용액에서는 용질 입자가 용매 입자의 증발을 방해한다. 순수한 용매에서는 용매 입자가 아무 방해 없이 증발할 수 있는 반면에, 비휘발성인 용질 입자가 많이 들어 있는 용액에서는 용매 입자가 증발할 수 있는 표면적이 줄기 때문에 증발하는 용매의 양이 순수한 용매일 때보다 적다. 결과적으로 비휘발성 용질이 들어 있는 용액의 증기압력이 순수한 용매의 증기압력보다 낮아지는데, 이 현상을 용액의 증기압력내림이라고 한다.

(나) 프랑스의 과학자 프랑수아 라울은 ‘비휘발성이고 비전해질인 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 증기압력내림(ΔP)은 용질의 몰분율($x_{\text{용질}}$)에 비례한다’는 사실을 밝혀냈다. 이를 라울의 법칙이라 하고 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta P = x_{\text{용질}} \cdot P_{\text{용매}}$$

이때 $P_{\text{용매}}$ 는 일정한 온도에서 순수한 용매의 증기압력이다. 앞 식에서 용액에 용질이 많이 녹아 있을 수록 용질의 몰분율이 커져 용액의 증기압력내림이 크게 나타난다. 모든 농도에서 라울의 법칙을 만족시키는 가상적인 용액을 이상용액이라고 한다. 실제 용액은 진한 농도에서는 라울의 법칙을 다소 벗어나지만 용질의 농도가 묽을 수록 이상용액에 가깝게 행동한다.

(다) 라울의 법칙에 의하면 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 증기압력은 순수한 휘발성 용매의 증기압력보다 낮다. 용매의 증기압력이 1기압이 되는 온도가 용매의 기준 끓는점으로 이때 액체와 기체는 상평형을 이룬다. 이 온도에서 용액의 증기압력은 1기압이 되지 못하므로 용액은 끓지 않는다. 따라서 용액을 끓게 하려면 용액의 증기압력을 1기압으로 높이기 위해 온도를 올려야 한다. 용액과 순수한 용매의 끓는점 차이를 끓는점오름이라고 한다. 마찬가지로 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 어는점은 순수한 용매의 어는점보다 낮아진다. 이때 순수한 용매의 어는점과 용액의 어는점 차이를 어는점내림이라고 한다.

(라) 엔탈피와 무질서도의 변화는 화학반응에서의 전체 자발성을 결정하는 중요한 요소다. 이 두 요소를 함께 고려하기 위해 자유에너지 변화(ΔG)를 다음과 같이 정의했다.

$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ (ΔH =엔탈피 변화, ΔS =엔트로피 변화, T =절대온도) ΔG 는 물리화학적 과정의 자발성에 대한 기준이 되며, 음수일 때 그 과정은 자발적이다. ΔG 값이 0이면 그 과정은 평형상태에 있으며, ΔG 값이 양수이면 그 과정은 비자발적이다.

- 1) 실제 용액의 증기압력은 라울의 법칙으로부터 벗어난 값을 보인다. 즉 라울의 법칙에서 증기압력이 예상보다 클 때와 작을 때가 존재한다. 왜 실제 용액은 라울의 법칙과 차이를 보이는지, 또 이상용액은 어떤 조건을 만족시켜야 하는지 설명하라.
- 2) 액체에서 기체로의 증발처럼 물리적 과정은 자유에너지 변화를 가져온다. 증발 때의 자유에너지 변화($\Delta G_{\text{vap}} = \Delta H_{\text{vap}} - T\Delta S_{\text{vap}}$) 값이 절대값이 더 큰 음수일수록 증발 과정이 자발적으로 잘 일어난다. 순수한 용매와 용액에서 증발 과정을 자유에너지 변화를 이용해 설명하고 왜 증기압력내림 현상이 일어나는지 보여라.
- 3) 기체와 액체는 끓는점에서 평형상태에 있으며 액체와 고체는 녹는점에서 평형상태에 있다. 용액의 끓는점은 순수한 용매의 끓는점보다 높고, 용액의 녹는점은 순수한 용매일 때보다 낮다. 이를 자유에너지의 변화를 이용해 설명하라.

▶ 전문가 클리닉

지난 3월호에서 아세트산의 이합체 형성에 따른 어는점내림 현상을 통해 용액의 총괄성을 살펴봤습니다. 용액 내 용질의 수에만 의존하고 용질 입자의 특성과는 무관한 성질인 용액의 총괄성은 분자량의 계산, 용액의 증기압 구하기, 끓는점과 어는점 계산 같은 수학적 풀이 능력을 묻는 문제로 많이 출제됐습니다. 이번 호에서는 자발적 변화의 관점에서 라울의 법칙을 잘 따르는 이상용액의 성질을 알아보고, 증기압력내림, 끓는점오름, 어는점내림 현상을 자유에너지 변화로 설명하는 문제를 출제했습니다. 순수한 용매보다 용액의 엔트로피가 더 크다는 사실로부터 문제를 접근해 가면 쉽게 풀 수 있습니다.

▶ 예시답안

- 1) 순수한 용매의 기화는 용매 분자 사이의 분자간 힘을 끊고 기체로 증발하는 측면만 고려하면 된다. 용매 분자 사이의 힘이 클수록 증기압력은 작다. 온도를 높이면 용매 분자 사이의 힘을 극복할 만한 에너지를 가지는 분자수가 증가하므로 증기압력은 커진다. 용액에서는 용질과 용매 분자 사이의 힘을 추가로 고려해야 한다. 용질과 용매 분자 사이의 인력이 순수한 용매에서의 용매 분자 사이 힘보다 크다면 용매 분자가 증발하기 어렵기 때문에 증기압력이 라울의 법칙으로 계산한 값보다 작아진다. 반대의 경우라면 라울의 법칙에서 예상하는 값보다 증기압력이 커진다.

용해과정은 용질-용질, 용매-용매 분자 사이의 힘을 끊기 위해 에너지가 흡수되는 흡열과정과, 새로운 용질-용매 분자 사이의 힘이 형성되며 에너지가 방출되는 발열과정으로 나눌 수 있다. 용질과 용매 분자 사이에 새로 형성된 인력이 원래 용질-용질, 용매-용매 사이의 분자간 인력보다 강하면 발열과정에서 나오는 에너지가 더 크므로 전체 용해과정은 발열반응이며, 반대 경우라면 흡열반응이다.

만약 용해과정이 발열과정이라면 용질과 용매 분자 사이의 분자간 인력이 용매-용매 사이의 인력보다 크므로 라울의 법칙에서 예상되는 값보다 작은 증기압력을 가지며, 용해과정이 흡열과정이라면 순수한 용매일 때보다 용액의 증기압력이 더 큰 값을 갖는다.

모든 농도에서 라울의 법칙을 잘 따르는 이상용액이란 순수한 용매에서 용매 분자 사이의 힘과 용액에서 용질과 용매 분자 사이의 힘이 같은 용액을 말한다. 즉 용해과정에서 에너지의 출입이 없는 용액으로 용해열($\Delta H_{\text{용액}}$)이 0이다.

- 2) 액체에서 기체로 변하는 증발은 엔탈피가 증가하는 흡열과정이므로 자발적인 면에서 불리하다. 그러나 동시에 반규칙적인 액체에서 불규칙적이며 무질서한 기체로 변하는 과정에서

엔트로피가 크게 증가하므로 자발적인 면에서 유리하다.

이상용액이라면 순수한 용매의 증발과정과 용액 중 용매의 증발과정에서 엔탈피 변화는 같다. 이상용액에서는 용매 분자가 기체로 되기 위해 극복해야 하는 용매 분자 사이의 분자간 힘과 용매와 용질 사이의 분자간 힘이 같기 때문이다. 그러나 순수한 용매와 용액 중 용매의 증발 엔트로피 변화는 같지 않다.

순수한 용매보다 용액 중 용매는 분자들이 무질서하고 더 큰 엔트로피를 갖는다. 이 때문에 증발과정에서 엔트로피 변화는 용액이 순수한 용매일 때보다 작은 값을 갖는다. 그러므로 용액은 순수한 용매일 때보다 자유에너지 변화($\Delta G_{\text{vap}} = \Delta H_{\text{vap}} - T\Delta S_{\text{vap}}$) 값이 더 커 증발이 일어나기 어려우므로 증기압력이 낮아진다.

- 3) 액체와 기체는 끓는점에서 평형상태에 있다. 끓는점에서의 자유에너지 변화는 제시문 (라)에 주어진 대로 $\Delta G_{\text{vap}} = \Delta H_{\text{vap}} - T_b\Delta S_{\text{vap}} = 0$ 이다(T_b =끓는점). 이 식을 정리하면 $\Delta H_{\text{vap}} = T_b\Delta S_{\text{vap}}$ 이고 $T_b = \Delta H_{\text{vap}}/\Delta S_{\text{vap}}$ 이다. 이상용액은 용매 분자끼리의 인력이 용질 분자가 용매 분자를 붙잡고 있는 힘과 같기 때문에, 순수한 용매와 용액 중 용매의 기화열(ΔH_{vap})은 같다.

그러나 이상용액에서도 용액 중 용매는 순수한 용매보다 더 무질서한 분자를 갖고 있으므로, 용액과 증기 사이의 엔트로피 변화는 순수한 용매와 증기 사이의 엔트로피 변화보다 작다. 따라서 용액에서의 ΔS_{vap} 이 더 작으므로 T_b 는 용액의 경우 더 큰 값을 가진다. 즉 끓는점오류가 일어난다.

마찬가지로 액체와 고체는 어는점에서 평형상태에 있고 두 상 사이의 자유에너지 변화는 $\Delta G_{\text{frz}} = \Delta H_{\text{frz}} - T_f\Delta S_{\text{frz}} = 0$ 이다(T_f =어는점). 이 식을 정리하면 $\Delta H_{\text{frz}} = T_f\Delta S_{\text{frz}}$ 이고 $T_f = \Delta H_{\text{frz}}/\Delta S_{\text{frz}}$ 이다. 용액 중 용매와 순수한 용매의 용융열 (ΔH_{frz})은 같지만 용융엔트로피(ΔS_{frz})는 다르다. 용액 중 용매는 순수한 용매보다 분자들이 더 무질서하므로 용액 중 용매와 고체 사이의 엔트로피 변화는 순수한 용매와 고체 사이의 엔트로피 변화보다 크다. 그러므로 용액에서의 ΔS_{frz} 이 더 크므로 T_f 는 용액의 경우 더 내려간다.

문제 2. 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

동일한 두 개의 열린 용기에 한 쪽에는 60℃의 물이, 다른 용기에는 30℃의 물이 같은 양 들어 있다. 두 용기를 같은 냉동실에 넣고 어느 정도 시간이 지난 뒤 문을 열고 용기를 들여다보니 60℃의 물이 담겨 있던 컵에는 얼음이 얼어 있고, 30℃의 물이 담긴 컵에는 여전히 물이 담겨 있다. 즉 차가운 물보다 뜨거운 물이 먼저 언 것이다. 이 현상은 1969년 탄자니아의 고등학생 음웁바에 의해 알려져 ‘음웁바 효과’라고 불린다. 이 현상을 설명하기 위해 다양한 실험이 이뤄졌지만 아직까지 음웁바 효과가 일어나는 정확한 원인은 밝혀지지 않았다.

30℃인 물과 60℃인 물을 같은 조건에서 냉각시키면 60℃인 물이 0℃ 이하로 냉각돼 얼음이 되기 위해서는 30℃인 지점을 반드시 거쳐야 한다. 이 때문에 처음 온도가 60℃인 물이 얼음으로 변하는 데 걸리는 시간은 처음 온도가 30℃인 물이 얼음으로 변하는 데 걸리는 시간에 비해 더 길다. 그러나 실제 실험에서는 다른 결과를 보인다. 여러분은 이 현상을 어떻게 설명할 것인지 논술하라.

▶ 전문가 클리닉

뜨거운 물이 차가운 물보다 빨리 어는 현상은 아리스토텔레스 시대에 이미 관찰됐습니다. 이 현상은 1969년 탄자니아의 고등학생 음웁바가 학교에서 실험을 하던 도중 관찰해 다시 세상에 알려지게 됐습니다. 아직까지 정확한 원인이 밝혀지지 않아 이 문제에 대한 답은 없지만 논리

적인 문제해결능력을 평가하기에는 좋은 문제입니다. 단 음웁바 효과에서는 용기의 벽이 아닌 액체의 표면을 통해서만 열이 출입한다고 봅니다.

▶ 예시답안

온도가 높은 물에서는 물분자가 활발히 운동해 물표면에서 분자들이 빠르게 떨어져 나가면서 증발이 잘 일어난다. 즉 물이 갖고 있던 열에너지를 쉽게 잃어버리면서 뜨거운 물의 온도가 빨리 내려간다. 또 뜨거운 물의 온도가 차가운 물의 처음 온도까지 냉각되면 증발이 많이 일어난 뜨거운 물의 질량이 상대적으로 작아진다. 질량이 작으면 열용량이 작기 때문에 처음 온도가 높았던 물은 그렇지 않은 물에 비해 같은 온도에서 열을 잃는 속도가 더 빠르다. 따라서 처음에 뜨거웠던 물이 먼저 열게 된다.

또 용해된 기체의 양을 들 수 있다. 기체의 용해도는 온도가 낮을 수록 높다. 따라서 뜨거운 물에 비해 차가운 물에는 대기 중 기체가 더 많이 녹아있다. 즉 실제로는 기체가 용해된 상태의 용액을 가지고 실험한다고 볼 수 있다. 용해된 기체가 많이 포함된 차가운 물은 뜨거운 물보다 어는점이 낮다. 두 물이 열기 시작하는 온도가 다르기 때문에 뜨거운 물이 빨리 언다고 할 수 있다.

2007년 08월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]메탄 하이드레이트의 특성

문제1 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

- (가) 세포 융합이란 두 가지 생물의 세포를 융합시켜 새로운 생물을 만드는 기술이다. 세포 융합 기술로 포마토를 만들 땐 우선 토마토와 감자의 세포를 추출해 세포벽을 제거하고 원형질체를 얻어야 한다. 이 원형질체에 폴리에틸렌글리콜을 처리하면 2개의 세포를 하나의 세포로 융합시킬 수 있다. 이렇게 융합된 세포의 핵상은 $4n$ 이다. 이것은 곧 다시 세포분열을 거쳐 정상적인 이배체($2n$)가 된다. 이렇게 얻어진 이배체 세포를 배양액에서 기르면 뿌리에서는 감자가 자라고 줄기에서는 토마토가 열리는 개체를 얻을 수 있다. 이것을 ‘포마토’라 한다.
- (나) 녹색식물은 태양 빛으로부터 동력을 공급받아 일어나는 광합성 과정을 통해 이산화탄소(CO_2)와 물을 탄수화물로 변환한다. 광합성을 하는 독립영양생물은 태양에너지를 이용해 단순한 화학물질로부터 자신의 먹이를 만든다. 우리는 이런 생물을 생산자라고 부른다. 반면에 종속영양생물은 광합성을 할 수 없고 포도당처럼 물질대사에 필요한 원료를 생산자로부터 얻는다. 이런 생물을 소비자라고 부른다. 한편 생산자와 소비자의 배출물과 사체는 분해자에 의해 분해된다. 결국 생태계는 생산자와 소비자, 분해자가 모여 만드는 생물적 환경과 이것을 둘러싸고 있는 무생물적 환경의 총집합체이다. 생태계의 기본 특징은 에너지의 흐름과 화학적 순환이다.
- (다) 태양으로부터 지구로 전파되는 빛에너지는 지구를 직접 데우는 열에너지가 되거나 광합성에 의해 화학에너지로 전환돼 지구에서 생명체가 살 수 있게 해준다. 우리는 생명을 유지하고 더 편리한 생활을 누리기 위해 많은 에너지를 소비하고 있다. 우리가 이용하는 에너지는 여러 형태로 존재하며 일부는 서로 전환된다. 예를 들어 자동차에서 연료가 연소되면서 발생한 에너지는 다양한 과정을 통해 다른 에너지로 전환된다. 우선 냉각수로 이동한 열에너지는 주위에 있는 대기 온도를 높인다. 배기가스가 갖고 있던 열에너지 역시 대기의 열에너지로 전환돼 대기 중으로 간다. 이렇게 보면 연료가 연소돼 발생한 모든 에너지는 결국 열에너지의 형태로 대기 중으로 가며, 그 양은 정확하게 연소로 인해 발생한 에너지와 같다. 기존에 없던 에너지가 새로 생겨나거나 존재 하던 에너지가 없어지는 일은 없다. 즉 에너지는 다른 형태로 전환될 수 있지만 그 양이 증가하거나 감소하지는 않는다. 이것을 에너지보존법칙이라고 한다.
- (라) 물질은 저마다의 고유한 엔탈피를 갖고 있는데, 화학반응이 일어나 물질이 변화하면 엔탈피도 달라진다. 물질의 엔탈피 변화는 고층건물에 올라가거나 내려가는 사람의 층별 위치에너지 변화에 비유할 수 있다. 예를 들어 1층에 있던 사람이 10층으로 올라갈 때는 엘리베이터를 타거나 계단을 이용하는 방법이 있다. 이때 사람의 이동거리와 이동방법은 다르지만 두 경우 모두 1층에서 10층으로 올라가는 것이므로 위치에너지 변화는 같다. 이와 같이 반응의 처음 상태와 나중 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 엔탈피 변화가 일정하다는 사실을 알 수 있다. 이것을 총열량불변의 법칙 또는 헤스의 법칙이라고 한다.

- 1) 같은 면적의 땅 A, B, C에 각각 감자, 토마토, 포마토를 심었다. 생산량에 영향을 줄 수 있는 빛, 이산화탄소의 농도, 물, 비료, 온도를 똑같이 제공한 뒤 세 곳의 생산량을 비교했다. 이때 C지역의 포마토 생산량과 A, B지역의 감자나 토마토의 생산량을 비교하면 어떻게 될지 추정하라. 또 그렇게 생각한 이유는 무엇인지 설명하라. 단 생산량은 열매의 양을 의미하고, 포마토의 생산량은 뿌리에서의 감자 생산량과 가지에서의 토마토 생산량을 합한다.
- 2) 실제로는 포마토의 생산량이 감자나 토마토의 생산량에 비해 많이 적어 상용화에 실패했는데, 그 이유에 대해 설명하라.

▶ 전문가 클리닉

이번 호에서는 에너지의 전환과 에너지보존법칙에 관한 문제를 다룹니다. 이는 물리의 중력장 또는 탄성력이 작용하는 장에서의 역학적에너지 보존 단원과, 생물의 물질대사와 관련한 에너지의 전환 단원, 그리고 화학의 반응열과 열역학 단원에서 공통으로 다루는 내용이므로 통합형 과학논술에서 출제 가능성이 매우 높습니다. 생명공학기술의 결과물로 널리 알려진 포마토는 토마토와 감자를 함께 생산하므로 흔히 생산량이 2배가 될 것이라고 생각하기 쉬운데, 실제로 그렇지 않습니다. 에너지 보존의 측면에서 포마토의 생산량을 기존의 감자, 토마토의 생산량과 비교하는 문제와, 유전적으로 획득된 형질은 이익과 비용 면에서 볼 때 얻는 만큼 잃는 것도 있다는 점을 생각해 보기 바랍니다.

▶ 예시답안

- 1) A, B, C지역의 생산량은 모두 동일할 것이다. 그 이유는 광합성의 에너지원이 바로 빛이기 때문이다. 식물은 이산화탄소와 물을 재료로 삼고 빛을 받아 포도당을 생산하므로 이산화탄소와 물, 빛의 공급량이 동일하다면 생산되는 포도당의 양도 동일할 것으로 예상된다.
포마토는 감자와 토마토에 포도당을 나눠서 저장하기 때문에 포마토에서 생성된 감자와 토마토 생산량 합은 감자나 토마토만 생산하는 식물 각각의 생산량 합의 1/2배와 동일할 것이다.
- 2) 화학반응에서 반응물과 생성물의 에너지 차이인 반응열은 주위의 온도 변화에 따른 열 출입을 측정해 구할 수 있다. 반응물과 생성물의 에너지가 같다면 경로에 관계없이 반응열은 일정하다. 그러나 생물에서는 반응을 일으키게 할 수 있는 시스템(효소 체계)을 만드는 데 들어가는 에너지를 함께 고려해야 한다. 즉 포마토는 광합성에 의해 빛에너지를 화학에너지로 전환하는 과정에서 감자를 만드는 시스템과 토마토를 만드는 시스템을 모두 갖춰야 한다. 한 가지 열매만 생산하는 시스템을 구축할 때보다 두 가지 열매를 생산하는 시스템을 갖출 때 에너지가 더 많이 쓰일 것이다. 그러므로 같은 양의 에너지를 공급해 열매를 만들 때 포마토의 경우에는 감자나 토마토 열매에 순수하게 저장되는 에너지 양이 적을 것이다.

문제2 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 한국에서 화석연료를 대체할 미래의 핵심 청정에너지로 주목받고 있는 가스 하이드레이트를 채취하는 데 성공했다. 산업자원부는 한국석유공사와 한국가스공사, 한국지질자원연구원으로 구성된 가스 하이드레이트 개발사업단이 6월 19일 탐사선 ‘탐해 2호’를 이용해 경북 포항시 동북쪽 135Km, 울릉도 남쪽 100Km 해상에서 자연 상태의 가스 하이드레이트 실물을 채취했다고 24일 밝혔다.

가스 하이드레이트는 화석연료와 달리 세계적으로 매장량이 많아 미래 대체에너지 중 하나로 꼽힌다. 전 세계에 10조톤, 동해에는 국내 가스 소비량의 30년 분량에 이르는 6억톤 가량의 가스 하이드레이트가 있는 것으로 추정된다고 정부는 덧붙였다. 이번에 발견된 가스 하이드레이트는 수심 2072m의 해저면 아래 6.5~7.8m 지점에서 최대 약 5cm 두께로 소량 분포하고 있었다고 산자부에서는 설명했다.

사업단은 이번 실물 채취를 계기로 올 9월부터 이번 발견 지점을 포함한 5개 시추지역에서 해저면 아래 300m 이상의 심층부에 대한 본격적인 탐사를 벌일 예정이다. 만약 시추에 성공하면 한국은 미국, 일본, 인도, 중국에 이어 심해저에서 가스 하이드레이트 채취에

성공한 5번째 국가가 된다. 가스 하이드레이트를 대량 생산해 활용하려면 고체 상태에서 가스를 분리하는 기술이 필요하지만 아직 이런 기술은 개발되지 않은 상태다. 정부는 2014년까지 약 2200억원을 들여 생산 기술을 개발한 뒤 2015년부터 본격적인 생산에 들어갈 계획이다.

(나) ‘가스 하이드레이트’는 화학적으로는 물 분자 내에 가스분자가 끌려들어간 일종의 셔벗(sherbet, 과즙을 얼린 빙과로 버석거리는 얼음 상태)같은 결정체다. 즉 메탄이 주성분인 천연가스가 얼음처럼 고체화된 상태를 말한다. 가스 하이드레이트에 포함된 천연가스의 95% 이상이 메탄으로 이뤄져 이를 ‘메탄 하이드레이트’라고도 한다. 하이드레이트는 온도가 매우 낮고 압력이 높은 상태에서 살얼음과 비슷한 버석거리는 고체 상태로 존재한다고 알려져 있다. 아직 메탄 하이드레이트의 특성은 그다지 밝혀지지 않은 상태이다. 메탄 하이드레이트를 에너지원으로 개발하기 위해서는 메탄 하이드레이트의 열역학적 특성과 물리적 특성에 대한 연구가 선행돼야 한다.

메탄 하이드레이트는 온도가 매우 낮고 압력이 높은 상태에서 바다 속 지층에 형성돼 있는 고체 덩어리이다. 이를 이용하고자 할 때 고려해야 할 문제점에는 어떤 것이 있는지 논하라.

▶ 전문가 클리닉

최근 우리나라에서 가스 하이드레이트를 채취했다는 기사가 발표됐습니다. 가스 하이드레이트는 연소할 때 이산화탄소의 배출량이 휘발유보다 적으며, 중금속이나 유해물질도 배출하지 않으므로 화석연료를 대체할 에너지원으로 일찍부터 주목받아왔습니다. 그러나 아직까지 가스 하이드레이트는 상용화되지 못하고 있습니다. 이번 문제는 가스 하이드레이트가 갖고 있는 문제점을 가스 하이드레이트의 특성으로부터 유추하는 문제입니다.

▶ 예시답안

가스 하이드레이트는 물과 가스분자가 화학적인 결합이 아닌 물리적인 결합을 이룬 상태다. 즉 고체인 얼음 속에 가스분자가 용해된 상태라고 볼 수 있다. 고압과 저온의 조건에서는 가스들이 얼음 속에 녹아 있지만 압력이 낮아지고 온도가 높아지면 가스가 해리돼 방출된다. 가스 하이드레이트에 녹아 있는 대부분의 가스는 메탄인데, 이는 온실가스이므로 메탄이 대기 중으로 나오면 지구온난화를 가속시킬 수 있다. 따라서 가스를 가스 하이드레이트로부터 안전하고 효율적으로 분리하는 기술이 우선 연구돼야 한다.

가스 하이드레이트는 고체이기 때문에 석유나 가스처럼 파이프라인을 통해 채취한다면 관 막힘 현상이 일어날 수 있다. 또 심해저의 압력과 온도를 그대로 유지하며 가스 하이드레이트를 채취해야 한다는 문제도 가스 하이드레이트가 아직 상용화되지 못한 이유 중 하나라고 볼 수 있다. 한편 가스 하이드레이트의 채취로 일어나는 가스 하이드레이트층의 변화가 지각변동에 어떤 영향을 주는지에 대한 조사도 함께 이뤄져야 한다.

2007년 09월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]토리노 수의의 연대 측정

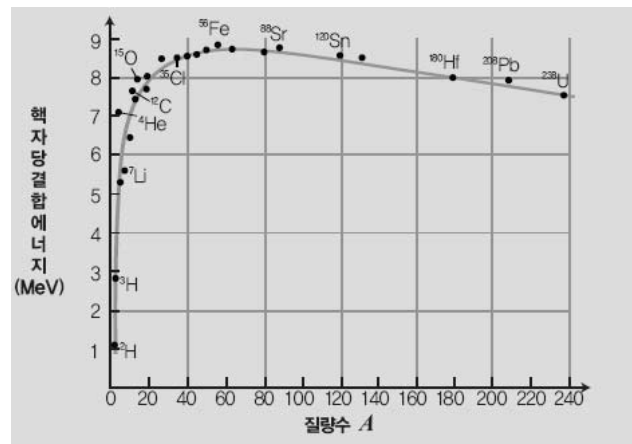
문제1. 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

- (가) 원자핵은 양성자와 중성자로 이뤄져 있는데, 핵에 있는 양성자의 개수를 원자번호라고 부르며 Z 라는 기호로 표시한다. 중성자의 개수는 N 이라는 기호로 표시한다. 중성자 수와 양성자 수를 합해 질량수 A 로 나타내며, 양성자와 중성자를 통틀어 핵자라고 부른다. 동일한 원자번호를 갖지만 질량수가 다른 원자를 동위원소라 하며 특정한 동위원소의 핵을 핵종이라 부른다. 질량이 작고 안정한 핵종의 경우 중성자 수와 양성자 수는 거의 같으나, 무거운 핵종일수록 양성자에 비해 중성자가 많아진다.
- (나) 핵의 크기는 높은 에너지의 전자를 핵에 쏘아 핵이 어떻게 전자를 다시 뿜는지를 알아보는 전자산란 실험에 의해 측정할 수 있다. 대부분의 핵은 구형으로 핵의 반지름은 다음과 같이 주어진다.

$$r=r_0A^{1/3}(r_0=1.2\times 10^{-15}\text{m}, A:\text{질량수})$$

한편 원자의 질량은 매우 정확하게 측정할 수 있으나 핵의 질량은 원자로부터 모든 전자를 떼어내야 하므로 직접적으로 측정하는 일이 쉽지 않다. 원자의 질량은 중성원자 ^{12}C 의 질량을 정확히 12u ($\text{u}=\text{원자질량 단위}$)로 정의한 값을 이용해 표시한다. 즉 원자질량 단위(1u)는 ^{12}C 원자량의 $1/12$ 로 정의하는데, 이는 $1.660539\times 10^{-24}\text{g}$ 과 같다. 양성자 하나의 질량은 1.007825u 이며, 중성자 하나의 질량은 1.008664u 이다.

- (다) 핵의 질량(M)은 핵을 구성하는 양성자와 중성자의 질량을 합한 값(m)보다 작다. 따라서 핵이 가지는 질량에너지(Mc^2)가 양성자와 중성자의 전체 질량에너지인 $\sum mc^2$ 보다 작다. 이런 두 에너지의 차이를 핵의 결합에너지라고 부른다. 즉 핵을 구성하는 각각의 핵자를 떼어 놓으려면 결합에너지만큼의 에너지를 핵자에 공급해야 한다. 또 핵의 결합에너지를 핵에 있는 핵자 수(질량수)로 나눈 값을 핵자당 결합에너지라고 하는데, 이는 핵을 각각의 핵자로 분리하는 데 필요한 평균에너지라고 볼 수 있다.



다음은 여러 핵에 대한 핵자당 결합에너지를 질량수 A 에 따라 나타낸 그래프이다. 핵자당 결합에너지가 큰 핵은 매우 강하게 결합되어 있으며, 이런 핵을 쪼개기 위해서는 많은 에너지를 공급해줘야 한다.

- (라) 핵융합 발전은 중수소와 삼중수소를 결합시켜 헬륨을 만들 때 손실되는 질량을 에너지로 이용한다. 원자력 발전이 중성자로 핵을 쪼갤 때 발생하는 에너지를 활용한 것이라면, 핵융합은 핵끼리 융합할 때 손실되는 질량이 에너지로 바뀌는 현상을 이용한다.

중수소는 물에 함유되어 있어 양이 풍부하나, 방사성 물질인 삼중수소는 자연계에 거의 존재하지 않는다. 삼중수소 대신 ^3He 이 핵융합반응에 활용될 수 있다. ^3He 은 보통의 헬륨(양성자 2개+중성자 2개)보다 중성자 수가 하나 적다. 이런 ^3He 에 중수소(양성자 1개+

중성자 1개)를 핵융합시키면 헬륨으로 바뀌면서 양성자 1개가 방출되는데, 이때 일어나는 질량결손이 에너지가 된다.

- 1) 모든 핵은 핵자인 양성자와 중성자의 혼합으로 만들어졌다고 볼 수 있다. 제시문을 이용해 핵의 밀도를 구하라. 단 양성자와 중성자의 질량은 대략 $1.67 \times 10^{-27} \text{Kg}$ 으로 같다고 가정한다.
- 2) 원자번호 2번인 헬륨은 ^4He 과 ^6He 의 동위원소를 갖는다. 각 원소의 핵자당 결합에너지를 계산하고 왜 ^6He 이 방사선을 방출하며 ^4He 로 변하는지 설명하라. 단 ^4He 의 핵질량은 4.00150u , ^6He 의 핵질량은 6.01779u 로 계산하고 $\text{J/mol} = 1.038 \times 10^{-11} \text{ MeV/핵}$ 이다.

▶ 전문가 클리닉

우리는 원자력 발전, 원자핵무기, 건축자재에 포함된 방사성 라돈 기체에 의한 폐암 유발, 방사성 동위원소를 이용한 연대측정처럼 원소 변화에 의한 여러 현상과 밀접한 관계를 맺고 살아갑니다.

▶ 예시답안

- 1) 핵의 밀도는 핵의 총질량을 부피로 나눠 구할 수 있다. 양성자와 중성자의 질량은 같다고 가정했으므로 핵자 하나의 질량이 m 이라면 A 개의 핵자를 갖는 핵의 질량은 Am 이다. 또 핵의 모양은 대부분 구이므로 반지름이 r 인 핵의 부피는 $\frac{4}{3}\pi r^3$ 이다.

그러므로 핵의 밀도(ρ)는 $\frac{Am}{\frac{4}{3}\pi r^3}$ 이다. 제시문에서 핵의 반지름(r)은 $r_0 A^{1/3}$ 이라 했으므로

이것을 밀도 식에 대입하면 핵의 밀도(ρ)는 다음과 같다.

$$\rho = \frac{Am}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi r_0^3}$$

이때 핵자 하나의 질량(m)은 $1.67 \times 10^{-27} \text{Kg}$ 이며, r_0 는 $1.2 \times 10^{-15} \text{m}$ 이므로

$$\rho = \frac{1.67 \times 10^{-24} \text{g}}{\frac{4}{3}\pi (1.2 \times 10^{-15} \text{m})^3} = 2 \times 10^{17} \text{kg/m}^3 \text{이다. 이 값은 물의 밀도의 약 } 2 \times 10^{14} \text{배이다.}$$

- 2) ^4He 은 양성자 2개와 중성자 2개를 갖고 있다. 따라서 핵자의 전체 질량은 양성자 2개의 질량($2 \times 1.007825\text{u}$)과 중성자 2개의 질량($2 \times 1.008664\text{u}$)의 합인 4.03298u 이다. ^4He 의 핵질량은 4.00150u 이므로 질량 차이는 0.03148u 이다. 이때 질량 차이에 의한 에너지(ΔE)는

$$\Delta mc^2 = (0.03148 \frac{\text{g}}{\text{mol}}) \times (10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{g}}) \times (3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 2.83 \times 10^{12} \text{J/mol} = 2.94 \times 10 \text{MeV/핵} \text{이다.}$$

따라서 핵자당 결합에너지는 7.35MeV/핵 이다.

한편 ^6He 은 양성자 2개와 중성자 4개를 갖고 있으므로, 핵자의 전체 질량은 양성자 2개의 질량($2 \times 1.007825\text{u}$)과 중성자 4개의 질량($4 \times 1.008664\text{u}$)의 합인 6.05031u 이다. ^6He 의 핵질량은 6.01779u 이므로 질량 차이는 0.03252u 이다. 이때 질량 차이에 의한 에너지(ΔE)는

$$\Delta mc^2 = (0.03252 \frac{\text{g}}{\text{mol}}) \times (10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{g}}) \times (3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 2.93 \times 10^{12} \text{J/mol} = 3.04 \times 10 \text{MeV/핵} \text{이다.}$$

따라서 핵자당 결합에너지는 5.07MeV/핵 이다.

방사성 ${}^6\text{He}$ 핵의 핵자당 결합에너지는 ${}^4\text{He}$ 핵의 핵자당 결합에너지에 비해 작다. 따라서 ${}^6\text{He}$ 이 ${}^4\text{He}$ 보다 불안정하고 불안정한 ${}^6\text{He}$ 은 방사선을 내놓으며 안정한 ${}^4\text{He}$ 로 변한다.

추가문제

제시문을 바탕으로 핵융합과 핵분열을 효율 측면에서 논술하라.

문제2. 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 방사성 원소의 붕괴 속도는 방사성 핵종에 따라 크게 다르다. ${}^{238}\text{U}$ 같은 몇 가지 방사성 핵종은 수억 년에 걸쳐 겨우 감지할 수 있을 정도로 느리게 붕괴하며, ${}^{17}\text{C}$ 같은 핵종은 10^{-3} 초 안에 붕괴한다. 방사성 붕괴는 1차 반응과정으로 반응속도는 시료 내 방사성 핵의 수에 비례한다.

붕괴속도 $= k \times N$ (k : 붕괴상수)

1차 속도법칙은 다음과 같은 형태로 바꿔 나타낼 수 있다.

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -kt$$

여기서 N_0 는 시료에 본래 존재하는 방사성 핵의 수이고, N 은 t 시간이 지난 뒤 남아 있는 방사성 핵의 수이다. 1차 속도법칙을 따르는 반응이라면 시료에 남아 있는 핵의 수가 절반으로 줄어드는 반감기는 시료의 양에 관계없이 일정하다. 반감기($t_{1/2}$)만큼의 시간이 흐

른 뒤 남아 있는 방사성 핵의 수를 $\frac{1}{2}N_0$ 라 하면, $\ln\left(\frac{\frac{1}{2}N_0}{N_0}\right) = -kt_{1/2}$ 이므로 반감기는 $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$ 이다.

(나) 사해 근처의 동굴에서 발견된 두루마리 성경의 진위여부를 파악하는 작업과, 이집트 미라의 연대를 측정하는 방법에는 방사성탄소 연대측정법이 사용됐다. 방사성탄소 연대측정법은 대기 상층부에서 질소원자가 중성자와 충돌해 만들어진 방사성탄소 ${}^{14}\text{C}$ 의 반감기를 이용한다.

상층부에서 생성된 ${}^{14}\text{C}$ 는 산소와 결합해 ${}^{14}\text{CO}_2$ 가 되고 그것은 낮은 대기권으로 느리게 확산된다. ${}^{14}\text{CO}_2$ 는 ${}^{12}\text{CO}_2$ 와 함께 광합성에 사용돼 식물에 흡수되며, 먹이사슬을 통해 모든 생명체에 ${}^{14}\text{C}$ 는 고르게 분포된다. 생명체에서는 동적 평형이 일어나서 생물체 내 ${}^{12}\text{C}$ 에 대한 ${}^{14}\text{C}$ 의 비는 대기권과 동일한 약 $\frac{1}{10^{12}}$ 의 값을 가진다. 그러나 생명체가 죽은 뒤에는

${}^{14}\text{C}$ 를 더 이상 흡수하지 못하고 ${}^{14}\text{C}$ 가 방사선을 방출하며 붕괴하기 때문에 생물체 내의 ${}^{14}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ 비가 감소한다. ${}^{14}\text{C}$ 의 반감기($t_{1/2}$)는 5730년이다.

1988년에 토리노의 수의*에서는 그램당 14.2붕괴/min의 속도로 ${}^{14}\text{C}$ 가 붕괴됨이 측정됐다. ${}^{14}\text{C}$ 가 살아있는 생명체에서 그램당 15.3붕괴/min의 속도로 붕괴된다면, 토리노 수의의 연대는 얼마인가. 단 $\ln 2 = 0.693$, $\ln() = -0.0746$ 이다.

▶ 전문가 클리닉

핵화학은 의학적으로 생체 내 반응 경로, 치료, 영상장치처럼 실생활에서 다양하게 쓰이고 있습니다. 이런 핵화학의 응용 중 가장 대표적인 분야가 방사성 동위원소를 이용한 연대측정입니다. 화학에서 반응속도의 차수에 따라 나타나는 반응속도의 특성은 과거 심층면접에서 자주 나왔으며 논술에서도 응용될 가능성이 높습니다. 특히 방사성 동위원소의 붕괴는 반감기가 일정한 특성을 가지는 1차 반응으로 출제빈도가 가장 높은 영역입니다.

▶ 예시답안

방사선 붕괴 같은 1차반응의 반응속도는 시료의 양에 비례한다. 생명체에서 ^{14}C 의 붕괴속도는 $t=0$ 에서의 붕괴속도를 의미하므로, 시각 $t=0$ 에서의 붕괴속도와 어떤 시각 t 에서의 붕괴속도 비는 다음과 같다.

$$\frac{\text{시각 } t \text{에서의 붕괴속도}}{\text{시각 } t=0 \text{에서의 붕괴속도}} = \frac{kN}{kN_0} = \frac{N}{N_0}$$

이 식은 $\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = (-\ln 2)\left(\frac{t}{t_{1/2}}\right)$ 처럼 변형할 수 있다. $\ln\left(\frac{14.2}{15.3}\right) = -0.693\left(\frac{t}{5730\text{년}}\right)$ 이며, $t = 617\text{년}$ 이다. 따라서 토리노의 수의는 1988년으로부터 617년 전에 제작된 수의로 가짜임이 판명됐다.

토리노의 수의*

토리노의 수의는 예수의 시신을 감쌌던 것으로 전해지는 가로 1m, 세로 4m의 아마포로 십자군 전쟁 때 터키에서 발견돼 1572년부터 이탈리아 토리노 성당에 보관돼 오고 있다. 이 수의에 대한 진위여부는 1988년 방사성탄소 연대측정법에 의해 밝혀졌다.

2007년 10월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]프레온가스의 대체물질

문제1. 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 2008년 4월 우주복에 태극기를 달고 우주비행에 나설 한국 최초의 우주인에 고산 씨가 선정됐다. (중략) 고씨는 내년 4월 8일 카자흐스탄 바이코누르 우주기지에서 러시아 우주선 소유즈호를 타고 우주로 날아가 국제우주정거장(ISS)에서 7~8일간 머물면서 18가지 과학실험을 할 예정이다.

	▼ 내용	▼ 응용 방안과 교육적 활용
전 문 실 험	식물 발아 생장과 변이 관찰	우주식량 생산시스템 개발
	소형 생물배양기로 세포 배양	질병 치료제 개발
	초파리의 중력반응과 노화 유전자 탐색	무중력 적응 방법 개발 노화방지 메커니즘 개발
	안압과 심장의 변화	장기간 우주비행 대응책 개발
	크기와 모양이 균일한 제올라이트 합성	첨단 광학전자소재 개발
	금속-유기 다공성물질 개발	연료기체 저장매체 개발 제약산업 촉매 개발
	한반도 대기와 해양 관측	황사 등 기상현상 분석
	고에너지 우주입자 관측과 반도체 망원경 테스트	태초의 우주 모습 예측 유성과 오로라 관측용, 대형 화재나 폭발 감시용 망원경 개발
	우주선 소음 방지 귀마개 테스트	우주인 귀 보호상품으로 개발
	분자 메모리 테스트	초고집적, 초경량 차세대 메모리 개발
	우주저울 테스트	우주과학 실험용 우주저울 개발
	우주용 한국 전통음식 테스트	전통음식을 우주식품으로 개발
	얼굴 형태 변화 측정	우주환경에서의 인체 변화 분석
교 육 실 험	물이 어는 과정	중력 변화에 따른 밀도 차이 설명
	물체의 운동 양상	각종 운동법칙 확인
	물방울 형태 변화	중력 변화에 따른 표면장력 차이 설명
	우주용 펜 테스트	우주에서 쓸 수 있는 펜 제작
	식물 성장 비교	중력 변화에 따른 성장 형태 차이 설명

- 동아일보 2007년 9월 6일자

(나) 우리는 무중력이라는 말을 자주 사용한다. 중력은 만유인력에 기인하며 물체 사이에 작용하는 근본적인 힘이므로 우주 내 어디에서도 무중력을 찾기 힘들다. 미약하나마 모든 공간에서 가깝게, 또는 멀리 있는 물체로부터 만유인력이 작용하기 때문이다. ‘무중력’은 중력이 없는 것처럼 느껴지는 상태, 즉 중력 효과가 나지 않는 상태를 뜻한다. 지구 주위의 궤도를 도는 인공위성 내부에서는 원심력과 지구의 중력이 방향은 서로 반대이고 힘의 크기는 같다. 따라서 인공위성에 작용하는 알짜힘은 0이 돼 무중력 상태처럼 느껴진다.

간혹 ‘진공은 무중력 상태’라고 생각하는 경우가 있다. 이는 잘못된 생각이다. 진공이면 공기저항이 없으므로 중력 효과가 더 커진다. 현재 우주선 내부는 무중력 상태이지만 공기로 채워져 있다. 무중력 효과와 공기 효과를 생각하면 흥미로운 점이 많다. 물이 든 컵을 기울여도 물은 쏟아지지 않지만 빨대를 사용하면 물을 먹을 수 있다. 입으로 빨대를 빨면 빨대 내부의 압력이 상대적으로 낮아져 빨대 밖에 있는 공기압력에 의해 물이 밀려 올라가기 때문이다. 공기가 없다면 빨대를 사용할 수 없다.

- 1) 중력이 작용하는 곳에서 초는 위쪽이 뾰족한 모양을 이루며 탄다. 만약 무중력 상태인 우주공간에서 초가 탄다면 어떤 모양으로 탈까? 또 계속해서 초가 탈 수 있을까?
- 2) 지구에서 물은 용기에 담겨 있을 때는 용기 모양을, 물방울은 나뭇잎에 맺힌 이슬처럼 둥근 모양을 이룬다. 무중력 상태인 우주선 내에서 물이 존재하는 모양과 물방울의 크기를 예상하라.

▶ 전문가 클리닉

많은 이들의 관심 속에 2006년 4월부터 250여 일간 진행된 ‘3만6206 대 1’의 우주인 경쟁은 지난 9월 고산 씨가 한국 최초의 우주인으로 뽑히며 막을 내렸습니다. 각계의 의견을 반영해 우주선에서 수행할 과학실험 18가지를 선정했으며 어떤 결과가 나올지에 많은 관심이 모아지고 있습니다. 과학자들은 그동안 무중력, 고진공, 고에너지 입자와 우주방사선이 내리쬐는 특수한 우주환경을 활용해 인류의 호기심을 풀려고 시도해왔습니다. 더 나아가 우주환경을 이용한 기술은 다양한 분야에서 응용돼 고부가가치를 낼 것으로 보고 있습니다. 특히 우주선 내 무중력 상태는 우주 실험의 중요한 환경이 됩니다. 이번 호에서는 무중력에서의 연소와 표면장력에 대해 알아보시다.

▶ 예시답안

- 1) 초가 타는 현상은 양초의 성분인 파라핀이 열에 의해 기화되고, 기화된 파라핀이 공기 중 산소와 만나 발화점 이상의 온도에서 연소되는 과정이라고 볼 수 있다. 지구에서 초를 켜면 위쪽이 뾰족한 모습으로 불꽃이 생긴다. 아래쪽 공기가 불꽃의 열로 데워지면 부피가 커지므로 밀도가 작아져 위로 상승하는데, 주위의 공기가 이때 생긴 빈 공간을 채우며 위쪽으로 빨려 올라가는 대류 현상 때문에 촛불이 위쪽으로 뾰족해진다. 촛불에 꾸준히 산소가 공급된다면 초는 계속해서 이러한 모양으로 탈 것이다. 우주선은 무중력 상태이므로 밀도 차에 의한 대류현상이 일어나지 않는다. 기화된 연료는 모든 방향으로 확산되므로 주위의 공기에서 운동하는 산소와 만나는 구면에서 연소가 일어난다. 따라서 촛불의 모양은 구형을 이룬다. 연소 과정에서 생긴 이산화탄소는 촛불에서 주위로 확산되며, 주위에서 촛불 쪽으로 산소가 확산된다. 무중력 상태에서는 대류가 일어날 때와 비교해 산소가 원활히 공급되지 않으므로 초는 곧 꺼진다.
- 2) 우주선 내 무중력 상태에서는 물에 표면장력만 작용하기 때문에 물은 구형의 물방울로 뭉쳐 떠다닌다. 세수를 할 때는 물을 수건에 적서 얼굴을 닦아야 하고 양치질도 쉽지 않다. 화장실에서 용변을 볼 때는 용변이 나오는 순간 진공흡수기의 스위치를 눌러 빨아들여야 한다. 중력이 작용하는 지구에서는 물의 표면장력과 중력이 균형을 이룰 때까지만 물방울이 커지지만 우주선에서는 중력이 작용하지 않으므로 물방울이 매우 커진다.

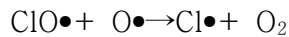
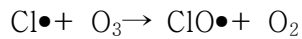
문제2. 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

- (가) 1930년 미국의 엔지니어이자 화학자인 토마스 미즐리는 프레온가스(CFCs)로 알려진 클로로플루오르카본 중 하나를 냉장고와 에어컨에 사용할 수 있는 새로운 냉매로 발표하고 독성과 가연성이 없음을 주장했다. 냉동의 기본 원리는 액체가 기체로 바뀔 때 주위로부터 열을 빼앗아 주위의 온도를 낮추고 기화된 기체는 다시 고압에서 응축돼 액체로 바뀌는 과정의 반복이다. 문제는 안전한 냉매의 발견이었다. 기존의 대표적 냉매였던 암모니아는 성능이 우수한 반면, 독성이나 인화성이 있어 매우 위험했다. 이 때문에 냉매가 유

출돼 많은 사람이 죽었으며, 이런 위험요소가 냉장고의 보급을 가로막고 있었다.

프레온가스 발견은 인류의 생활에 엄청난 영향을 끼쳤다. 안전한 냉동법이 확산돼 식중독과 설사병이 크게 줄었다. 식품을 안전하게 보관함에 따라 생활 패턴이 바뀌었다. 특히 백신을 안전하게 보관하면서 의료 분야에서도 혁신이 일어났다. 백신은 실온에서 보관하면 일주일만 지나도 효력이 없어진다. 백신은 냉동보관하지 않으면 접종 실패율이 매우 높으므로 백신을 제대로 활용할 수 없었다. 프레온가스는 에어로졸의 압축가스, 세탁용매, 플라스틱을 만드는 분출제로 널리 쓰였다.

(나) 1974년에 모리나와 로우랜드 박사는 성층권의 오존이 프레온가스 때문에 파괴된다고 발표했다. 그 뒤 1985년에 영국 남극조사팀은 관측자료를 이용해 프레온가스가 성층권의 오존을 파괴하는 주범임을 입증했다. 프레온가스는 매우 안정하기 때문에 대기권에서는 잘 분해되지 않으며 성층권까지 확산된 뒤, 자외선에 의해 분해돼 오존을 파괴하는 촉매로 작용하는 염소 자유라디칼($\text{Cl}\bullet$)을 낸다. 오존층이 파괴되면 염소는 재생되므로 하나의 염소 자유라디칼은 수천에서 수십 만 개의 오존분자를 파괴한다.



다음은 프레온가스의 대체물질을 찾기 위해 기존에 알려진 물질의 특성을 조사한 자료다. 이 자료를 토대로 대체물질을 개발하고자 한다. 각 화합물 내 원소의 특성을 활용해 적절한 냉매를 만드는 방법을 제시하라.

화학식	끓는점	화학반응성	가연성 여부	독성 여부
CH_4	-164	보통	있음	없음
CCl_4	+77	낮음	없음	있음
CF_6	-129	매우 낮음	없음	없음
C_2H_6	-88	보통	있음	없음
C_2Cl_6	+186	낮음	없음	있음
C_2F_6	-79	매우 낮음	없음	없음

▶ 전문가 클리닉

최근 들어 프레온가스의 대체물질 특허건수가 증가하고 있다는 기사가 났습니다. 환경오염을 줄이려는 노력이 국내외에서 활발히 일어난다는 점은 긍정적입니다. 하지만 우리나라의 특허건수에 비해 외국의 특허건수가 월등하다는 내용에선 아쉬움이 많이 남습니다. 이번 문제는 과학 논술 유형 중 출제 경향이 높은 도표 해석문제입니다. 제시문에 주어진 냉매가 가져야 할 성질에 대한 이해를 바탕으로 도표를 해석하는 논리력, 실험 결과로부터 새로운 물질을 어떻게 만들 것인지 추론하는 창의력을 평가하고자 출제했습니다.

▶ 예시답안

냉매는 액체에서 기체로 기화하며 주위로부터 열을 빼앗아 온도를 낮추므로, 쉽게 기화될 수 있게 끓는점이 낮아야 한다. 기체 상태의 냉매는 다시 액체로 응축시켜 액체 상태로 돌려놔야 하는데, 끓는점이 너무 낮으면 응축시키기 어렵다. 따라서 냉매는 적절한 끓는점을 가져야 한다.

화학반응성은 낮을 수록 안정하지만 반응성이 너무 낮아 자연적으로 분해되지 않으면 프레온가스처럼 오존층에서 분해돼 오존층을 파괴할 가능성이 높다. 따라서 냉매는 적절한 반응성을

가져야 한다. 또한 냉매로 사용될 때 폭발할 위험성이 있으므로 냉매에는 가연성과 독성도 없어야 한다. 경제적인 면에서 제조비용이 너무 비싸도 안 된다.

탄소에 수소가 결합한 화합물은 독성과 가격 면에서는 유리하지만 가연성이 있고 끓는점이 낮으며 반응성이 큰 편이다. 염소는 가연성이 없고 반응성이 적절히 낮으며 가격도 적당한 편이지만 독성이 있고 끓는점이 너무 높다. 플루오르는 적절한 끓는점을 갖고 독성과 가연성이 없으나 반응성이 너무 낮고 가격이 비싸다.

경제적인 면보다 환경을 고려한다면 기존의 프레온가스 내 염소는 오존층을 파괴하는 주 원소이므로, 염소를 되도록 포함하지 않으면서 탄소에 플루오르와 수소를 적절하게 조합해 최적의 냉매를 개발해야 한다.

2007년 11월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]눈에서 빛을 받아들이는 원리

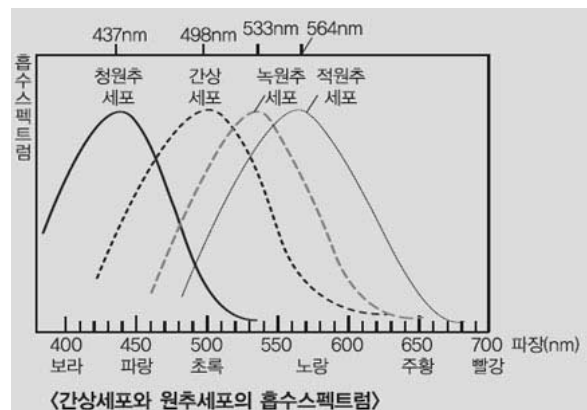
문제1 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 관찰자가 색을 보기 위해서는 빛, 물체, 눈의 3요소가 필요하다. 빛이 물체와 만나면 물체는 빛을 흡수, 반사 또는 투과한다. 이런 과정을 거친 빛을 관찰자가 보게 되며 이를 물체의 고유한 색이라고 한다. 자연에서 색을 볼 수 있는 이유는 태양광선 때문이다. 태양광선은 여러 가지 색을 지닌 빛이 혼합된 상태다. 태양광선을 프리즘에 통과시키면 이런 현상을 쉽게 알 수 있다. 이때 태양광선은 무지개 스펙트럼으로 분리된다.

물체 표면에서 반사되는 빛의 분포 때문에 물체는 여러 가지 색을 띤다. 대부분의 파장을 반사하는 물체는 흰색으로 보이고 대부분의 파장을 흡수하면 검정색으로 보인다. 만일 파장이 긴 적색 파장의 빛을 강하게 반사하고 나머지 파장의 빛을 흡수하면 물체는 적색으로 보이고, 짧은 파장인 청색 파장의 빛을 반사하고 나머지 빛을 흡수하면 청색으로 보인다. 한편 같은 양의 적색과 청색 빛을 혼합하면 자홍색(magenta) 빛을, 같은 양의 적색과 녹색 빛을 혼합하면 황색 빛을, 같은 양의 녹색과 청색을 혼합하면 청록색 빛을 볼 수 있다.

(나) 망막은 붉은색의 얇은 막으로 카메라의 필름과 유사하다. 망막에는 물체의 상이 맺힌다. 망막에는 우표 한 장만한 면적에 감각세포가 약 1억3000만개 분포하고 있다. 시각을 인식하는 감각세포는 모양과 기능에 따라 간상세포와 원추세포로 나뉜다. 간상세포와 원추세포는 약 20대 1의 비율로 분포한다. 간상세포는 원추세포보다 1000배 정도 더 빛에 민감해 어두운 장소에서도 사물을 식별할 수 있지만 색을 잘 구분하지 못한다. 간상세포에는 로돕신이라는 물질이 있어 아주 약한 빛에도 민감하게 반응해 분해된다. 시신경은 로돕신의 이런 변화를 대뇌에 전달해 우리는 물체의 윤곽과 움직임 그리고 명암을 인식한다.

색을 구분할 수 있는 이유는 세 종류의 원추세포가 빨강, 파랑, 녹색빛에 각각 반응하기 때문이다. 원추세포는 간상세포와는 달리 강한 빛에만 반응하며 물체의 형태를 선명하고 정확하게 인식한다. 다음 그래프는 간상세포와 원추세포의 흡수스펙트럼을 나타낸 자료다.



간상세포가 훨씬 많지만 황반에는 오직 원추세포만 분포한다. 이 때문에 황반에 상이 맺히면 물체의 색과 형태를 정확히 인식할 수 있다. 그러나 원추세포는 약한 빛에 작용하지 않으므로 빛이 약할 때는 간상세포가 많은 망막 주변부에 상의 초점을 맞추면 훨씬 잘 볼 수 있다.

- 1) 색의 삼원색인 황색, 청록색, 자홍색은 빛의 삼원색에서 두 가지 빛의 합으로 얻어진다. 색의 삼원색은 빛의 삼원색과 보색 관계에 있다. 만약 색의 삼원색이 적색, 녹색, 청색이라면 적색과 청색의 페인트를 섞었을 때 어떤 빛이 얻어질까?
- 2) 일반적으로 사람들에게 주의나 경고를 할 때는 노란색을, 위험을 알릴 때는 빨간색을 사용한다. 반면 매우 위급한 상황에서 탈출구를 알리는 비상구는 눈에 잘 띄지 않는 녹색을 사용하는데 그 이유는 무엇인가?
- 3) 고등어, 꽂치 같은 등 푸른 생선은 영양이 풍부하고 값이 싸 많은 사람이 즐겨 먹는다. 등 푸른 생선은 바다 표면에서 가까운 곳에 살기 때문에 물살에 따라 이리저리 헤엄쳐 다니면서 운동을 많이 한다. 그 결과 근육이 단단하고 은백색의 배 쪽 살은 지방의 함량이 높다. 등 푸른 생선이 생존하기 위해 사용하는 방법은 무엇인지 설명하라.

▶ 전문가 클리닉

물체의 고유한 색은 물체의 화학적 성질에 근거한 빛의 흡수와 반사로 설명할 수 있습니다. 화학수업시간에 배우는 색과 관련된 부분은 자유전자의 이동 때문에 나타납니다. 이런 현상은 금속의 은백색, 할로겐 분자의 색, 알칼리 금속의 불꽃반응, 착이온의 색 등 여러 곳에서 확인할 수 있습니다. 물체의 색과 눈이 색을 인식하는 과정, 생활 주변에서 볼 수 있는 색과 관련된 현상들에 대한 화학·생물 통합형 문제를 살펴봅니다.

▶ 예시답안

- 1) 색의 삼원색이 적색, 녹색, 청색이라면 적색의 페인트는 빛의 삼원색 중 녹색과 청색을, 청색의 페인트는 적색과 녹색을 흡수하기 때문에 각각의 페인트 색을 나타낸다고 볼 수 있다. 녹색과 청색을 흡수하는 적색 페인트와 적색과 녹색을 흡수하는 청색 페인트를 섞으면 빛의 삼원색인 적색, 청색, 녹색을 다 흡수하므로 검정색을 띤다. 그러므로 두 가지 색을 섞으면 다른 색을 만들 수 없다.
- 2) 밝은 곳에서 위험을 알리기 위해 빨간색을 사용하는 이유에는 심리적 요인도 있지만, 적색 빛은 파장이 길어 멀리까지 전달될 수 있기 때문이다. 또 색과 모양을 인식하는 원추세포의 경우 적원추세포가 가장 많이 분포해 적색을 가장 잘 인식하기 때문이다.
위급한 상황이 발생할 때 시계 확보가 어려운 경우가 생긴다. 이처럼 빛의 양이 부족한 경우에는 약한 빛에도 민감한 간상세포가 중요한 역할을 한다. 간상세포는 그래프에서 보는 것처럼 녹색빛을 잘 흡수하지만 빨강과 노랑빛은 잘 흡수하지 못한다. 이 때문에 평소에 눈에 잘 떠던 적색이 어두운 곳에서는 잘 보이지 않고 오히려 녹색이 눈에 더 잘 들어온다. 비상구의 색을 녹색으로 표시하는 이유는 여기에 있다.
- 3) 등 푸른 생선은 몸의 색을 이용한 생존법을 갖고 있다. 등 푸른 생선은 카멜레온이나 나방처럼 보호색을 생존에 이용하는 것이다. 등 푸른 생선은 바다 표면 근처에 살고 있기 때문에 바다 밖 공중의 새와 바다 아래쪽의 큰 물고기로부터 위협을 받는다. 하지만 등 푸른 생선은 바다와 같은 푸른색의 등 색깔로 새들의 공격을 피한다. 또한 바다 속에서 수면 쪽을 바라보며 먹이를 찾는 다른 물고기에게 바다 속으로 들어오는 태양광선에 의한 수면의 은백색과 배 쪽의 색을 일치시켜 자신을 보호한다.

문제2 다음 자료를 참고해 물음에 답하라.

- 1) A와 B 가운데 어느 쪽이 더 강한 산인가? 또 두 산의 세기가 다른 이유는 무엇인가?

	산	pK_a
A	아세트산(CH_3COOH)	4.75
B	클로로아세트산(CH_2ClCOOH)	2.85

- 2) 아세트산 0.10M 용액의 pH를 소수점 아래 두 자리까지 계산하라.
- 3) 0.10M 아세트산 용액을 0.10M NaOH 용액으로 적정할 때 당량점에서의 pH를 소수점 아래 두 자리까지 계산하라.
- 4) pH3.15의 완충용액을 만들려고 한다. A와 B 중에서 어떤 산이 완충용액을 만드는 데 더 적합할까. A와 B 중 완충용액의 재료로 적합한 산과, 그 산의 나트륨염 사이의 농도 비를 로 나타내라.

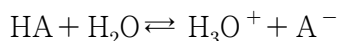
▶ 전문가 클리닉

- 1) 산의 세기에 영향을 미치는 요인에는 결합에너지와 전기음성도가 있습니다. 산이 이온화해

수소이온을 낼 때 수소와 다른 원자 간 결합이 끊어지려면 에너지가 필요합니다. 이때 필요한 에너지를 ‘결합에너지’라고 합니다. 결합에너지가 작을 수록 수소이온을 내기 쉬우므로 강한 산입니다. 또한 수소와 결합한 원소의 전기음성도가 클수록 결합에 참여하던 전자쌍이 이동하기 쉬우므로 강한 산이 됩니다.

주어진 자료에서 산의 세기에 차이가 나는 이유는 카르복시기에 붙어있는 치환기 때문입니다. 카르복시기와 결합하고 있는 탄소에 전기음성도가 큰 치환기가 많이 붙을 수록 강한 산이 됩니다.

2) 산의 이온화 평형은 다음과 같은 과정으로 이뤄집니다.



처음 농도	C	-	-
이온화된 농도	$-x$	$+x$	$+x$
평형농도	$C-x$	x	x

$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]} = \frac{x^2}{C-x}$ 입니다. 아세트산처럼 약산일 경우에는 x 값이 매우 작아 $C-x \approx C$ 입니다. 따라서 $K_a = \frac{x^2}{C}$ 이라고 다시 나타낼 수 있고, $[H_3O^+] = \sqrt{K_a C}$ 입니다.

- 3) 당량점이란 산의 수소이온(H^+)과 염기의 수산화이온(OH^-)의 몰수가 같아 산과 염기가 완전히 중화되는 지점을 말합니다. 강산과 강염기의 중화반응에서 당량점의 pH는 7입니다. 하지만 약산을 강염기로 중화하거나 약염기를 강산으로 중화시킬 땐 염의 가수분해가 일어나 pH값이 7이 아닙니다.
- 4) 완충용량은 약산과 짝염기가 갖는 염 농도비에 의존합니다. 약산과 짝염기의 염 농도비가 같을 때 완충용량이 가장 큽니다. 즉 pH와 pK_a 가 같을 때 완충 능력이 가장 큽니다. 또 완충용액의 농도가 높을 수록 다른 산이나 염기가 첨가됨에 따른 pH의 변화가 작습니다.

▶ 예시답안

- 1) 산의 세기를 알려주는 pK_a 를 비교하면 클로로아세트산이 아세트산보다 더 강한 산임을 알 수 있다. 카르복시산의 이온화는 가역반응이기 때문에 생성물인 카르복시산 음이온이 안정할 수록 정반응이 더 우세하다. 카르복시기와 결합한 탄소에 큰 전기음성도를 가진 치환기가 많을 수록, 카르복시산 음이온의 전하를 더 분산시킨다. 그 결과 카르복시산의 이온화가 더 잘 일어난다.
- 2) 산의 pH를 구하기 위해서는 먼저 옥소늄이온(H_3O^+)의 농도를 구해야 한다. 아세트산은 약산이므로 이온화 평형 상태에서 옥소늄이온의 농도는 $[H_3O^+] = \sqrt{K_a C}$ 이다. 이를 계산하면

$$[H_3O^+] = 10^{-4.75} \times 0.10 = 10^{-5.75} \text{다. 따라서 } pH = -\log[H_3O^+] = -\log \sqrt{10^{-5.75}} \approx 2.88 \text{이다.}$$

- 3) 0.10M의 아세트산 용액 aL를 0.10M 수산화나트륨 용액으로 적정할 때 아세트산과 수산화나트륨 염기의 가수(산 또는 염기 1몰이 내놓을 수 있는 H^+ 또는 OH^- 의 몰 수)가 모두 1이고, 용액의 농도가 같으므로 당량점까지 들어간 0.10M 수산화나트륨 용액의 양은 aL다. 따라서 아세트산과 수산화나트륨의 중화반응으로 생성된 염(아세트산나트륨)의 몰 수는 $0.1 \times a$ 이고, 용액의 부피는 2aL이므로 아세트산나트륨의 몰농도는 0.05M이다. 아세트산나트륨은 거의 100% 이온화되므로 아세트산이온의 몰농도도 0.05M이다.

아세트산이온은 약산의 짝염기이므로 다음과 같이 물을 만나 가수분해반응을 한다.

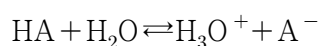
이 반응의 평형상수(K_b)는 아세트산의 이온화상수 K_a 와 K_w 의 관계로부터 구할 수 있다. 즉 $K_w=K_aK_b$ 이므로 $K_b=K_w/K_a$ 이다. 또 아세트산이온은 약염기이므로 $[OH^-]=K_bC$ 이다. 그러므로 pOH 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} pOH &= -\log[OH^-] = -\log\sqrt{K_bC} \\ &= -\frac{1}{2}\log\frac{K_wC}{K_a} = -\frac{1}{2}\log\frac{10^{-14}\times 0.05}{10^{-4.75}} \\ &= 5.28 \end{aligned}$$

따라서 pH 는 $14-(pOH)$, 즉 8.72이다.

4) 완충용액의 pH 는 헨더슨-하셀바흐의 식으로부터 구할 수 있다.

이온화상수가 K_a 인 약산 HA 는 다음과 같이 수용액에서 평형을 이룬다.



$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$ 이고, 이 식을 $[H_3O^+]$ 에 대해 정리하면 $[H_3O^+] = K_a \frac{[HA]}{[A^-]}$ 이다. 양변에 $-\log$ 를 취하면

$$-\log[H_3O^+] = -\log K_a - \log \frac{[HA]}{[A^-]}$$

이므로, 헨더슨-하셀바흐 식은 $pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$ 로 구해진다.

HA 는 약산이므로 $[HA]$ 는 산의 초기 농도와 거의 같으며, $[A^-]$ 는 짝염기의 초기 농도와 거의 같다. 이를 이용해 약산과 짝염기의 염 농도를 조절하면 원하는 완충용액의 pH 를 쉽게 구할 수 있다.

문제에 주어진 아세트산과 클로로아세트산의 pK_a 는 각각 4.75와 2.85이므로, $pH=3.15$ 의 완충용액을 만들기 위해서는 헨더슨-하셀바흐 식에서 \log 값은 각각 -1.6, 0.3이 돼야 한다. 완충능력은 약산과 짝염기의 비율이 같을 수록 커지므로 클로로아세트산이 $pH3.15$ 의 완충용액을 만드는 데 더 적합하다.

짝염기의 염은 100% 이온화된다고 가정하면 $[A^-]$ 의 농도는 초기 짝염기 염의 농도와 같다.

완충용액의 pH 는 헨더슨-하셀바흐의 식에 의해

$$pH = pK_a + \log[A^-]/[HA]$$

$$3.15 = 2.85 + \log[A^-]/[HA]$$

이다. 따라서 $\log[A^-]/[HA]=0.3$ 이므로 $[A^-]/[HA]=10^{0.3}$ 이다.

문제3 다음 자료를 참고해 물음에 답하라.	자료	[NO]	[O ₂]	초기반응속도(몰/L·s)
1) 반응속도식과 반응속도상수의 값을 구하라.	1	0.20	0.20	4.64×10^{-8}
	2	0.20	0.40	9.28×10^{-8}
2) 이 반응의 메커니즘에서 반응속도식을 유도하라.	3	0.40	0.40	3.71×10^{-7}
	4	0.10	0.10	5.80×10^{-9}

▶ 전문가 클리닉

- 1) 반응속도(v)는 반응물질의 농도에 의존합니다. $aA+bB \rightarrow cC+dD$ 의 반응에서 $v=1/C d[C]/dt=k[A]^m[B]^n$ 입니다. 반응속도식에서 반응속도상수(k)는 농도의 영향을 받지 않으며 온도에 따라 변합니다. 또 반응속도식의 지수 m, n 은 반응차수로 화학반응식의 계수와는 관계가 없으며 실험적으로 결정됩니다. 이때 반응차수에 따라 k 의 단위가 달라집니다.
- 2) 화학반응식 계수가 반응속도식 차수와 일치하지 않는 이유는 대부분의 화학반응이 단일 단계로 진행되지 않기 때문입니다. 전체 반응을 각 단일 단계반응으로 나타낸 개념을 ‘반응 메커니즘’이라 합니다. 문제에 주어진 반응 메커니즘의 2단계 반응은 반응속도가 가장 느린 단계로 반응속도 결정단계라고 합니다. 반응속도 결정단계의 반응속도는 전체 반응의 속도가 됩니다. 또 N_2O_2 와 같이 전체 반응식에는 포함되지 않으나 반응 중에 생성됐다가 소멸되는 화학물질을 중간 생성물이라 부릅니다. 이러한 중간 생성물의 존재 확인을 통해 반응 메커니즘을 확증할 수 있으므로 중간 생성물은 매우 중요합니다.

▶ 예시답안

- 1) 일산화질소(NO)가 산소와 반응해 이산화질소(NO_2)를 만드는 반응속도식은 다음과 같다.

$$\text{반응속도}(v)=1/2d[NO_2]=k[NO]^m[O_2]^n$$

자료 1과 2를 비교하면 산소농도가 2배 커질 때 반응속도는 2배 빨라졌으므로 $n=1$ 이다. 자료 2와 3을 비교하면 일산화질소의 농도가 2배 커질 때 반응속도는 4배 빨라졌으므로 $m=2$ 이다. 따라서 $v=k[NO]^2[O_2]^1$ 이다.

반응속도상수(k)는 자료 가운데 어느 값을 대입해도 구할 수 있다. 자료 4를 이용하면 $5.80 \times 10^{-9} = k(0.1)^2 \cdot (0.1)$ 로부터 $k=5.8 \times 10^{-6} (L^2/mol^2 \cdot s)$ 이다.

- 2) 반응메커니즘을 통해 2단계가 반응속도 결정단계임을 알 수 있다. 따라서 2단계의 반응속도가 전체 반응의 반응속도가 되므로 전체 반응속도식은 다음과 같다.

$$\text{반응속도}(v)=k_2[N_2O_2][O_2] \quad (k_2: 2\text{단계의 반응속도상수})$$

N_2O_2 는 중간 생성물이므로 전체 반응속도식에 포함시키지 않는다. 한편 1단계 반응은 빠른 평형상태이므로 정반응과 역반응의 반응속도가 같다. 이를 식으로 표현하면

$$k_1[NO]^2=k_{-1}[N_2O_2]$$

이다. 이 식을 $[N_2O_2]$ 에 대해 정리하면

$$[N_2O_2]=k_1[NO]^2$$

여기서 k_1 은 정반응의 반응속도상수, k_{-1} 은 역반응의 반응속도상수이다. 이렇게 구한 값을 전체 반응속도식에 대입하면

$$\text{반응속도}(v)=k_1k_2[NO]^2[O_2]/k_{-1}=k[NO]^2[O_2]^1$$

($k=k_1k_2/k_{-1}$)를 얻을 수 있고, 이것이 실험적으로 구한 반응속도식과 일치함을 알 수 있다.

2007년 12월호 - 논구술 완벽 가이드

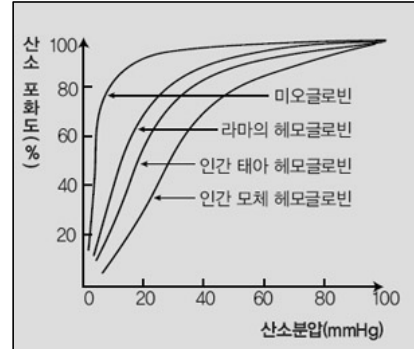
[화학]눈에서 빛을 받아들이는 원리

| 글 | 이준호 · porphy1970@paran.com |

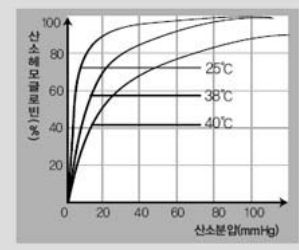
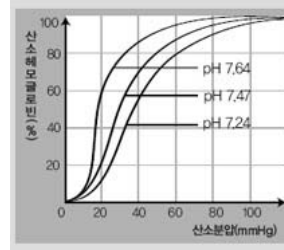
문제1 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 적혈구 속 헤모글로빈(Hb)은 분압차를 이용해 폐포에서 모세혈관으로 들어온 산소를 조직세포로 운반한다. 헤모글로빈은 4개의 헴(heme)을 갖고 있으며, 각 헴은 산소 1분자와 결합할 수 있으나 여러 가지 조건에 따라 결합 정도가 다르다.

헤모글로빈은 산소 분압이 높은 곳에서는 산소와 쉽게 결합하고, 산소 분압이 낮은 곳에서는 산소를 쉽게 해리시키는 성질이 있다. 따라서 헤모글로빈은 산소 분압이 높은 폐에서는 산소와 결합하고, 산소 분압이 낮은 조직세포에서는 산소를 해리시켜 조직세포에 산소를 공급한다. 산소 분압과 헤모글로빈의 산소포화도 관계를 그래프로 나타낸 것을 산소해리 곡선이라 하며, S자형 곡선으로 나타난다.

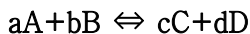


오른쪽 그래프는 각종 헤모글로빈과 미오글로빈(근육 속에 있는 단백질)의 산소해리 곡선을 나타낸 것이다.



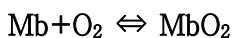
(나) 산소와 헤모글로빈 사이에서 나타나는 결합과 해리의 가역반응은 산소 분압 외에도 혈액 내 이산화탄소 분압, pH, 온도의 영향을 받는다. 산소 헤모글로빈의 해리도는 앞 그래프에서 보듯이 pH가 낮을수록, 온도가 높을수록 증가한다. 따라서 이런 조직에서는 결합하는 양보다 많은 양의 산소를 산소 헤모글로빈으로부터 해리시킨다.

(다) 대부분의 화학반응은 정반응과 역반응이 모두 가능한 가역반응이다.



가역적인 화학반응에서 정반응 속도와 역반응 속도가 같으면 마치 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는데, 이를 동적평형 상태라 한다. 화학자들은 화학반응이 평형 상태에 도달했을 때 반응물질과 생성물질 사이에 정량적인 관계를 알아보기 위해 연구를 많이 했다. 그 이유는 반응에서 얻어지는 생성물질의 양이 경제적인 문제와 직접적으로 연결되기 때문이다. 여러 연구 결과를 통해 “일정한 온도에서 어떤 가역반응이 평형 상태에 있을 때, 반응물질의 농도 곱과 생성물질의 농도 곱의 비율은 항상 같다”라는 사실을 발견했다. 이를 ‘화학평형 법칙’이라 하며, 이때의 일정한 값 $K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$ 를 평형상수라고 한다.

1) 단백질의 일종인 헤모글로빈과 미오글로빈(Mb)은 우리의 몸속에서 산소를 운반하고 저장하는 역할을 한다. 헤모글로빈에 의해 근육으로 운반된 산소는 미오글로빈과 결합해 저장된다. 이 반응의 평형상수를 K라고 하자.



미오글로빈이 산소와 결합한 형태로 존재하는 비(포화분율)를 s라고 정의할 때, 평형상수와 산소농도로부터 s를 구하라. 또 s를 산소농도의 함수로 그래프를 그렸을 때 얻어지는 결과를 도식적으로 나타내라. $s = \frac{[MbO_2]}{[Mb] + [MbO_2]}$

2) 이산화탄소 분압에 따라 헤모글로빈의 산소해리 곡선이 어떻게 변할지 예측해 설명하라.

▶ 전문가 클리닉

- 1) 생명체가 살아가는데 필요한 에너지를 얻는 과정에서 공기 중 산소를 조직세포로 운반하는 일은 매우 중요합니다. 적혈구 내 헤모글로빈, 근육 속 미오글로빈 등은 산소를 운반하는 물질로 산소 분압에 따른 결합 차이를 이용해 산소를 조직세포로 전달합니다. 이번 문제는 미오글로빈과 산소와의 반응에서 화학평형상수를 이용해 산소농도(분압)와 포화분율의 관계식을 구하고 그래프를 도식해 제시문에서 주어진 산소해리 곡선과의 유사성을 알아보는 수리·화학 통합 문제입니다.
- 2) 우리의 몸속에서 다양한 기능을 하는 대부분의 물질은 단백질로 이뤄져 있으며, 각 단백질의 특이한 구조를 이용해 고유한 기능을 수행하고 있습니다. 단백질로 이뤄진 헤모글로빈도 마찬가지로 외부 조건에 따라 구조적 변형이 일어나면 그 결과 산소와의 결합 차이가 발생할 수 있습니다. 이번 문제는 이산화탄소의 분압 변화에 따라 나타나는 헤모글로빈과 산소의 결합 능력 차이를 설명하는 문제입니다.

▶ 예시답안

- 1) 근육으로 운반된 산소와 미오글로빈의 결합반응에서 평형상수 K 는 다음과 같다.

$$K = [\text{MbO}_2] / [\text{Mb}] + [\text{MbO}_2]$$

또 미오글로빈의 전체 양(산소와 결합하지 않은 미오글로빈의 양 + 산소와 결합한 미오글로빈의 양)에 대한, 미오글로빈이 산소와 결합한 양을 비로 나타낸 포화분율(s)의 식에서 분모, 분자를 각각 미오글로빈과 산소가 결합한 형태인 MbO_2 의 농도로 나누면 다음과 같다.

$$s = [\text{MbO}_2] / [\text{Mb}] + [\text{MbO}_2] = 1 / [\text{Mb}] / [\text{MbO}_2] + 1$$

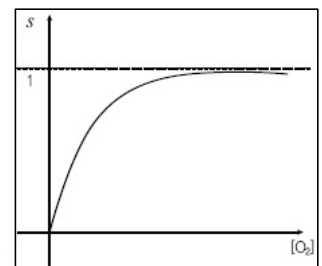
평형상수 K 의 식을 정리해 $[\text{Mb}] / [\text{MbO}_2]$ 의 값을 구하면 다음과 같다.

$$[\text{Mb}] / [\text{MbO}_2] = 1 / K[\text{O}_2]$$

이를 s 의 식에 넣어 정리하면

$$s = 1 / [\text{Mb}] / [\text{MbO}_2] + 1 = K[\text{O}_2] / K[\text{O}_2] + 1 \text{이다.}$$

s 와 산소농도의 관계식을 살펴보면 산소농도가 0일 때 분율의 값은 0이며, 산소농도가 증가함에 따라 1에 수렴한다. 그래프로 그려보면 오른쪽과 같다.



이 그래프와 제시문 (가)에 주어진 산소해리 곡선 그래프를 비교하면 비록 S자 곡선은 아니지만 산소농도가 작을 때는 산소농도의 작은 변화에도 s 가 크게 변하며, 산소농도가 높아질수록 1에 수렴하는 점이 유사하다고 볼 수 있다.

- 2) 헤모글로빈 속 4개의 헴은 산소뿐 아니라 이산화탄소와도 결합할 수 있다. 이산화탄소가 헤모글로빈과 결합하면 헤모글로빈의 구조가 변한다. 그러면 헴 안의 철이 산소와 결합하기 어려운 위치로 이동해 헤모글로빈과 산소와의 결합력이 더 약해진다.

따라서 이산화탄소 분압이 증가하면 산소 분압이 같더라도 헤모글로빈의 산소포화도가 줄어든다. 또 이산화탄소 분압이 증가함에 따라 혈액 내 탄산농도가 커진다.

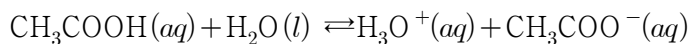
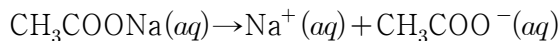


그 결과 혈액 내 pH의 값은 감소하고 헤모글로빈의 분자 구조에 영향을 줘 같은 분압의 산소라 하더라도 제시문 (나)의 그래프처럼 산소포화도는 줄어든다.

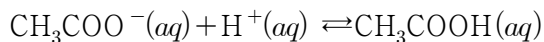
문제2 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 1909년 덴마크의 화학자 피터 쉬렌센은 수소이온농도 $[H^+]$ 를 간단한 숫자로 표현하기 위해 tndyddor 중 $[H^+]$ 역수의 상용로그 값을 pH로 표시했다. 순수한 물에 산이나 염기를 가하면 수용액의 성질은 크게 변한다. 그러나 실험실에서의 일부 화학반응이나 동·식물의 체내에서는 상당한 양의 산이나 염기가 가해지더라도 pH가 일정하게 유지돼야 한다. 즉 좁은 범위 내에서 pH를 일정하게 유지하려면 외부의 산이나 염기가 가해지더라도 용액의 pH가 변하지 않는 성질을 가져야 한다. 이런 용액을 '완충용액'(buffer solution)이라고 하며, 그 계를 완충계(buffer system)라고 한다.

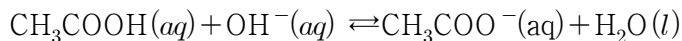
일반적으로 약한 산과 그것의 염, 또는 약한 염기와 그것의 염을 포함한 수용액은 완충작용을 한다. 아세트산(CH_3COOH)과 아세트산 가용성 이온염인 아세트산나트륨(CH_3COONa)을 포함하는 용액을 생각해보자. 아세트산나트륨은 성분이온으로 완전히 이온화되지만 아세트산은 일부만 이온화돼 다음과 같은 평형을 이룬다.



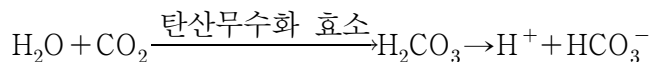
이때 아세트산나트륨의 이온화 때문에 생긴 다량의 아세트산 이온(CH_3COO^-)은 아세트산의 이온화를 억제한다. 이 혼합 수용액에 적은 양의 염산(HCl)을 가하면 염산의 이온화 때문에 생긴 수소 이온이 아세트산 이온의 일부와 반응해 아세트산이 된다. 따라서 혼합 수용액 속 $[H^+]$ 는 거의 일정하게 유지된다.



또 적은 양의 수산화나트륨 수용액(NaOH)을 가하면 이온화 때문에 생긴 수산화 이온은 아세트산과 반응한다. 따라서 혼합 수용액 속 $[H^+]$ 는 거의 일정하게 유지된다.



(나) 세포호흡으로 조직세포에서 만들어진 이산화탄소는 분압 차를 이용한 확산에 의해 혈장으로 들어간다. 이산화탄소는 산소보다 무렵 더 잘 녹으므로 전체 이산화탄소 중 약 7~8%는 혈장에 용해돼 탄산(H_2CO_3) 형태로 운반된다. 대부분의 이산화탄소는 적혈구로 들어가 그 중 약 20%는 헤모글로빈과 결합하고 나머지는 적혈구에 있는 탄산무수화 효소에 의해 다음과 같이 탄산수소 이온(HCO_3^-)으로 변한다.



이렇게 해리된 탄산수소 이온은 대부분 적혈구 밖으로 나와 혈장에 의해 폐로 운반된다. 이 과정에서 생성된 수소 이온은 헤모글로빈과 결합해 혈장으로 나오지 않기 때문에 혈액의 pH가 급격히 변하지는 않는다.

폐에서는 위의 반응과 반대로 진행되며, 이때 생긴 이산화탄소는 분압 차에 의해 폐포로 확산돼 몸 밖으로 배출된다.

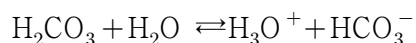
- 1) 제시문 (나)에 나온 것처럼 이산화탄소는 직접 혈액에 녹아 이동하지 않고 탄산수소 이온 형태로 주로 이동한다. 그 이유는 무엇인지 설명하라.
- 2) 우리 몸은 심하게 운동을 하면 젖산(약한 유기산)을 만든다. 이처럼 우리 몸은 수산화 이온(OH^-)에 비해 수소 이온 (H^+)을 더 잘 만든다. 혈액의 완충용액은 탄산수소 이온 (HCO_3^-)과 탄산(H_2CO_3)으로 이뤄져 있으며, 혈액의 pH를 7.4라고 할 때 H^+ 또는 OH^- 중 어느 것의 농도 변화에 대해 완충 능력이 더 큰가? 또 얼마나 더 큰지 설명하라. (H_2CO_3 의 $K_a=4.4\times 10^{-7}$, $10^{-7.40}=4.0\times 10^{-8}$)

▶ 전문가 클리닉

- 1) 용질이 용매에 녹는 용해 과정은 용질 분자간 인력, 용매 분자간 인력, 용질 분자와 용매 분자간 인력을 모두 고려해야 합니다. 용질 분자와 용매 분자 사이에 강한 인력이 작용해 용매 분자들 사이의 인력보다 더 크거나 비슷할 때 용해가 잘 일어납니다. 이번 문제는 혈장에서 용질의 극성에 따른 용해도 차이를 이용해 이산화탄소가 이동하는 원리를 묻고 있습니다.
- 2) 혈액은 완충용액으로 수소 이온(H^+)이나 수산화 이온(OH^-)이 갑작스럽게 첨가돼도 pH가 일정하게 유지됩니다. 외부로부터 들어온 H^+ 는 짝염기와 반응해 H^+ 수를 줄이고 OH^- 이 들어왔을 때는 약산과 반응해 OH^- 수를 줄이는 반응이 일어 납니다. 완충용액이 갖는 완충 능력은 약산과 그 짝염기의 염 농도비에 의존하는데, 이번 문제는 혈액의 pH에서 약산인 탄산과 그 짝염기인 탄산수소 이온의 농도를 구해 H^+ 와 OH^- 에 대한 완충 능력을 비교하는 문제입니다.

▶ 예시답안

- 1) 조직세포에서 세포호흡 과정으로 생긴 노폐물인 이산화탄소는 여러 방법으로 몸 밖으로 배출된다. 그 중 혈장에 이산화탄소를 녹이는 방법은 추가적인 에너지를 요구하지 않으므로 가장 효율적이라고 볼 수 있다. 그러나 이산화탄소는 무극성 분자이고, 혈장의 대부분은 극성 분자인 물이므로 혈장에 대한 이산화탄소 용해도가 크지 않아 이산화탄소를 녹여 이동시키기 어렵다. 반면 이산화탄소가 탄산무수화효소에 의해 전하를 띤 탄산수소 이온으로 변하면 혈액에 대한 용해도가 증가한다. 따라서 에너지 효율은 낮지만 후자의 방법을 이용해 이산화탄소를 폐로 이동시킨다.
- 2) 혈액의 pH는 7.4로써 탄산과 그 짝염기인 탄산수소 이온에 의해 평형을 이루며 완충용액으로 작용한다.



제시문 (다)에 주어진 완충용액에서 이온화상수 K_a 의 식에다가 문제에서 주어진 K_a 값을, 그리고 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 에 $\text{pH}=7.4$ 에서 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 값인 $10^{-7.40}=4.0\times 10^{-8}$ 을 대입하면 다음과 같이 탄산과 탄산수소 이온의 농도비를 알 수 있다. $K_a=[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HCO}_3^-]/[\text{H}_2\text{CO}_3]$ 에 주어진 값을 대입하면 $4.4\times 10^{-7}=(4.0\times 10^{-8}[\text{HCO}_3^-]/[\text{H}_2\text{CO}_3])$ 이므로 $[\text{HCO}_3^-]/[\text{H}_2\text{CO}_3]=11$ 이다. 외부로부터 혈액에 H^+ 가 들어왔을 때는 탄산수소 이온이 H^+ 과 반응해 H^+ 수를 줄이고, OH^- 가 들어왔을 때는 탄산과 반응해 OH^- 수를 줄여 pH를 일정하게 유지한다. 따라서 탄산수소 이온의 농도가 탄산보다 11배 더 크기 때문에 H^+ 에 대한 완충능력이 11배 더 크다.

문제3 우리가 사용하는 대부분의 연료는 알칸이며 일반식은 C_nH_{2n+2} 로 나타낸다. 제시문을 이용해 알칸의 g당 연소열(kJ/g)을 구한 뒤 n값의 증가에 따른 g당 연소열의 경향성을 수학적으로 증명하라.

(가) 다음 표는 LNG와 LPG의 성질을 조사한 자료다.

구분	액화천연가스(LNG)	액화석유가스(LPG)	
주성분	메탄(CH ₄)	프로판(C ₃ H ₈)	부탄(C ₄ H ₁₀)
밀도(g/L)(25°C)	0.65	1.80	2.37
끓는점(°C)	-162	-42	-0.6
연소열(kJ/g)	55.6	50.5	49.6

(나) 연소반응의 반응열인 연소열(Q)은 물질 1몰이 완전히 연소할 때 발생하는 열량을 말하며, 연소반응은 모두 발열반응으로 연소열(Q)은 (+)값을 갖는다. 실험적으로 연소열은 주위의 물질이 얻은 열량으로 측정된다. 경우에 따라 연소열은 주위의 물질이 얻은 열량으로 측정된다. 경우에 따라 연소열은 몰당 연소열이 아닌 g당 연소열로 표현하기도 한다.

화학반응이 일어나기 위해서는 반응물을 이루는 입자 사이의 결합이 생성돼야 한다. 화학결합을 끊기 위해서는 에너지가 필요하며 새로운 결합이 생성될 때는 에너지를 방출한다. 그러므로 생성물의 모든 결합에너지의 합에서 반응물의 모든 결합에너지의 합을 빼면 반응열(Q)을 구할 수 있다. 대표적인 결합에너지의 값은 다음과 같다.

결합	결합에너지(kJ/mol)	결합	결합에너지(kJ/mol)
C-C	347	C=O	799
C-H	413	O-H	467
O=O	495	H-H	432

▶ 전문가 클리닉

연료의 연소반응에 의해 연료가 갖는 화학에너지가 열에너지로 전환됩니다. 우리는 이 열에너지를 직접 이용하거나 전기에너지 등으로 다시 전환시켜 생활에 이용하고 있습니다. LNG는 발열량이 같을 때 LPG보다 이산화탄소 배출량이 적어 화석연료 중 환경에 영향을 적게 주는 연료이므로 최근 이용량이 증가하고 있습니다. 이번 문제는 환경적인 면을 고려할 때 필요한 g당 연소열의 경향성을 알칸의 일반식으로부터 구해보는 문제입니다.

▶ 예시답안

연소열을 구하기 위해 반응물의 결합에너지 합과 생성물의 결합에너지 합을 제시문의 자료를 이용해 각각 구하면 다음과 같다.

$$\text{반응물의 결합에너지 합} = (n-1)(C-C) + (2n+2)(C-H) + \left(\frac{3n+1}{2}\right)(O=O) = 1916n + 727$$

$$\text{생성물의 결합에너지 합} = 2n(C=O) + (2n+2)(O-H) = 2532n + 934$$

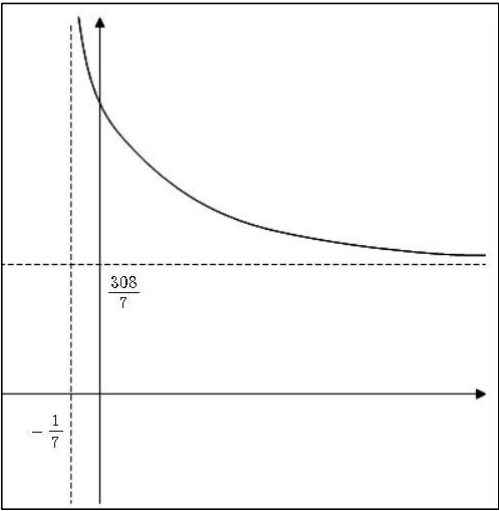
$$\text{그러므로 연소열}(Q) = (2532n + 934) - (1916n + 727) = 616n + 207 \text{이다.}$$

이 연소열은 몰당 연소열이므로 g당 연소열을 구하기 위해서는 앞에서 구한 연소열을 분자량으로 나눠야 한다. 알칸의 분자량은 $(12n+2n+2)$ 이므로 연소열을 $14n+2$ 로 나누면 g당 연소열은 $\frac{308n+104}{7n+1} = \frac{308}{7} + \frac{60}{7n+1}$ 다.

분수함수의 그래프를 그려보면 오른쪽 그림과 같다.

n값이 증가함에 따라 g당 연소열은 $\frac{308}{7}$ (kJ/g)으로 수렴하며 가장 큰 g당 연소열은 n=1, 즉 메탄일 때 g당 연소열이 가장 크다.

실험적으로 얻어진 제시문의 g당 연소열과 이론적으로 구한 값을 비교하면, n=1일 때 실험값은 55.6(kJ/g)이고 이론값은 51.5(kJ/g)다. 이런 오차는 결합에너지 때문에 생긴다. 결합에너지는 평균값을 나타내므로 실제 결합에너지는 차이가 있다.

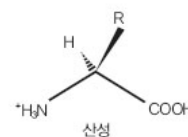


2008년 02월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

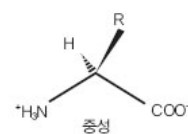
[화학]열수구 생명체의 생존전략

문제 01 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

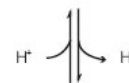
(가) 아미노산은 단백질의 단위체로 중심인 탄소원자에 아미노기($-\text{NH}_2$), 카르복시기($-\text{COOH}$), 수소원자($-\text{H}$) 그리고 특유의 R부분($-\text{R}$)이 결합된 형태다. 아미노산은 R부분의 구조에 따라 그 종류와 특성이 결정되며, 이는 단백질의 구조와 기능에 영향을 준다. 아미노산의 중심 탄소원자에는 4개의 서로 다른 치환기가 붙어 있으므로 아미노산은 광학 이성질체를 갖는다. 단 R부분이 수소원자인 글리신은 광학 이성질체가 없다.



중성 수용액에서 아미노산의 카르복시기는 수소이온이 떨어진 형태($-\text{COO}^-$)로 존재하며 아미노기는 수소이온이 붙은 형태($-\text{NH}_3^+$)로 존재한다. 따라서 아미노산은 (+)와 (-)의 전하를 모두 갖는 이온 형태로 존재한다. 이러한 이온을 쯔비터 이온(zwitter ion, 쌍극 이온)이라 한다.

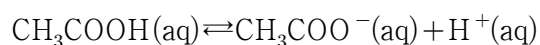


산성 용액에서는 수소이온의 농도가 크기 때문에 수소이온과 쯔비터 이온이 반응해 카르복시기는 다시 수소이온이 붙은 형태가 된다. 반면 염기성 용액에서는 수산화이온의 농도가 높기 때문에 아미노기에 붙어있던 수소이온이 수산화이온과 반응해 제거된다. 이러한 pH에 따른 세 가지 형태의 아미노산은 평형을 이루며 수용액 안에서 존재한다.

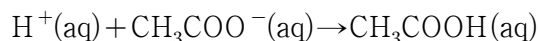


(나) 약산인 아세트산(CH_3COOH)과 그 약산의 짝염기를 가진 염인 아세트산나트륨(CH_3COONa) 수용액을 혼합한 용액은 적은 양의 산이나 염기를 가해도 pH가 크게 변하지 않고 거의 일정하게 유지된다. 이와 같은 용액을 완충용액이라 한다.

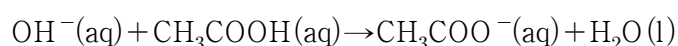
완충용액이 일정한 pH를 유지하는 까닭은 공통이온 효과 때문이다. 공통이온 효과는 수용액 속에 들어있는 이온과 같은 종류의 이온을 가하면 그 이온의 농도가 감소하는 방향으로 반응이 이동해 새로운 평형에 이르는 현상이다. 예를 들어 CH_3COOH 와 CH_3COONa 은 다음과 같이 이온화된다.



이 용액에 산을 가하면 H^+ 는 CH_3COO^- 와 반응해 CH_3COOH 가 된다.



염기를 가하면 염기로부터 생성된 OH^- 는 CH_3COOH 와 반응해 CH_3COO^- 와 H_2O 가 된다.

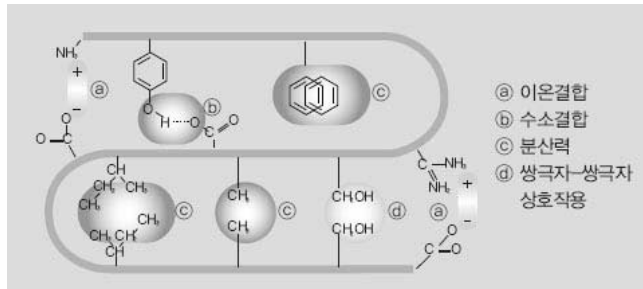


두 경우 모두 용액 속 H^+ 농도는 큰 변화가 없고 pH도 거의 일정하게 유지된다.

- 고등학교 화학II

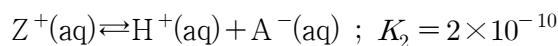
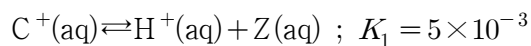
(다) 단백질은 아미노산의 아미노기와 카르복시기 사이의 축합반응으로 이뤄진 펩티드 결합으로 연결된 고분자이다. 아미노산의 종류와 수뿐만 아니라 아미노산이 연결될 때의 순서가

단백질의 구조를 결정한다. 단백질 분자들은 단백질 골격을 이루는 아미노산의 원자 사이에서 이뤄지는 수소결합과 쌍극자-쌍극자 상호작용, 이온결합, 공유결합, 비극성 원자단 간 분산력에 의해 특수한 입체 구조를 갖는다.



단백질을 체온보다 높은 온도까지 가열하거나 특정한 산이나 염기의 조건에 노출시키면 단백질의 이차구조와 삼차구조가 파괴된다. 이렇게 변성된 단백질은 더 이상 정상적인 생물학적 활성을 나타내지 못한다. 대부분의 단백질은 50~60℃ 사이에서 변성되며 이 온도에서는 수소결합이 파괴돼 활성화 상태의 입체구조를 잃는다. 만약 단백질 수용액이 너무 뜨겁게 또는 너무 오래 가열되지 않은 상태에서 수용액을 천천히 식힌다면 수소결합이 다시 생성돼 아미노산 사슬이 감기고 접혀서 원래의 활성화 형태 구조로 돌아올 수도 있다.

1) 알라닌에서 양이온(C^+), 쯔비터 이온(Z), 음이온(A^-) 간 평형상수는 다음과 같다.



수용액 내 알라닌 전체의 전하가 0이 되도록 하려면 pH를 얼마로 맞춰야 하는가?

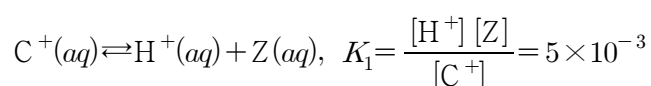
2) 대부분의 단백질은 50~60℃ 정도에서 변성된다. 그러나 온천이나 깊은 바다 속 열수구(해저화산활동에 의해 광물이 녹아있고 고온의 물이 솟아나오는 곳) 근처는 물의 온도가 100℃에 가깝지만 미생물이 살아가고 있다. 이렇게 뜨거운 환경에서 살아가기 위해 이들 지역에 사는 미생물의 단백질은 어떤 특징을 갖고 있을까?

▶ 전문가 클리닉

- 1) 아미노산은 생명체에 필수적인 물질로 수용액의 성질에 따라 서로 다른 이온 형태로 존재합니다. 아미노산의 각 이온마다 띠는 전하가 다르며 수소이온의 농도에 따라 평형 이동이 일어나 아미노산을 첨가한 뒤 수소이온의 양이 달라집니다. 수용액으로 존재하는 아미노산이나 단백질의 알짜전하가 0이 되게 하는 pH를 등전점이라 부릅니다. 이 문제는 등전점의 의미를 이해하고 주어진 화학반응식을 활용해 등전점을 구하는 문제입니다.
- 2) 1977년 갈라파고스 제도 근처에서 검은 연기와 뜨거운 물이 솟아오르는 열수구가 발견된 뒤 이 지역에 대한 탐사가 진행됐습니다. 탐사 결과 열수구 주위의 온도가 매우 높았음에도 불구하고 많은 생물이 열수구 주변에서 관측됐습니다. 최근에는 지구 생명의 기원에 대한 가설로 열수구 주위에서 생명이 시작됐다는 이론이 주목받고 있기도 합니다. 이번 문제는 열수구 주위에 사는 생명체가 열악한 환경 속에서도 단백질을 어떻게 유지할 수 있는지를 논리적으로 추론해내는 문제입니다.

▶ 예시답안

- 1) 양이온(C^+), 쯔비터 이온(Z), 음이온(A^-) 간 평형상수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.



$$Z(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + A^-(aq), K_2 = \frac{[H^+][A^-]}{[Z]} = 2 \times 10^{-10}$$

두 평형상수를 곱하면

$$K_1 K_2 = \frac{[H^+]^2 [A^-]}{[C^+]} = 1 \times 10^{-12}$$

수용액 내 알라닌 전체 전하가 0인 등전점에서 양이온 $[C^+]$ = 음이온 $[A^-]$ 이므로 이를 앞서 계산한 두 평형상수의 곱에 대입하면 $[H^+] = 1 \times 10^{-6}$ 이므로 pH=6.0에서 아미노산의 알짜전하가 0이 된다.

- 2) 생체 내에서 단백질 분자들은 삼차원 구조에 의해 그 단백질의 특성을 나타낸다. 이러한 단백질의 특수한 입체 구조는 단백질 골격을 구성하는 아미노산의 원자들 사이에서 이뤄지는 수소결합, 쌍극자-쌍극자 상호작용, 이온결합, 공유결합, 비극성 원자단 간 분산력과 같은 여러 힘에 의해 결정된다.

그러나 자외선, X선, 방사선, 온도와 pH의 변화, 화학물질 등에 의해 단백질의 구조가 변성되면 생체 내 단백질의 기능이 저하돼 병변으로 이어질 수 있으므로 생체에 위험할 수 있다.

열수구에 사는 생명체의 단백질 분자들이 높은 온도에서 정상적으로 기능을 수행하려면 고온에서도 단백질 변성이 일어나지 않아야 한다. 이를 위해 열수구 생명체는 단백질의 구조를 이루는 수소결합의 개수를 증가시키고 다른 결합보다 강한 결합력을 가지는 공유결합(예를 들어 S-S결합)을 이용할 것이다.

추가문제

0.1M 알라닌 수용액 20ml를 0.1M HCl 수용액 10ml와 혼합한 수용액의 pH를 구하라.

문제 02 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

DNA는 A(아데닌), T(티민), G(구아닌), C(시토신) 4개의 염기들로 이뤄져 있으며, 이 염기들은 특정한 서열로 배열돼 유전 정보를 저장한다. 이 염기서열에 들어있는 유전 정보는 적절한 방법에 의해 아미노산 서열로 해석돼야 한다. 이 과정에서 아미노산 서열을 짚짓는 암호가 필요하다. 이때 DNA의 염기는 4개인데 비해 단백질은 20종류의 아미노산으로 구성되므로 단백질의 아미노산 서열을 결정하는 DNA의 유전암호는 20가지 이상이어야 한다.

염기 3개로 조합을 만들어 AAA, AAC, AAG와 같이 암호를 만들면 64개의 조합이 가능하므로 모든 아미노산의 종류에 대응하는 충분한 수의 유전 암호를 만들 수 있다. 이와 같이 3개의 염기로 구성된 DNA의 유전 암호를 트리플렛 코드라고 한다. - 고등학교 생물II

머리카락이 한 달 동안 1cm 자란다고 하자. 머리카락이 자라는 이유는 알파나선 구조를 가진 콜라겐이라는 단백질이 한 방향으로 아미노산 사이의 펩티드 결합을 이루기 때문이다. 라이너스 폴링은 Xtjs 회절 결과를 바탕으로 콜라겐에서 알파나선의 주기는 5.4옹스트롬($\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$)이고 한 주기 안에는 3.6개의 아미노산이 들어있음을 알아냈다. 머리카락이 자랄 때 매초 몇 개의 아미노산이 더해지는지 계산하라.

▶ 전문가 클리닉

1941년 조지 비들과 에드워드 테이텀의 실험으로 ‘유전자가 형질을 결정하는 데 관련 있다’는

사실이 입증된 뒤 유전자로부터 표현형이 나타나기까지 형질 발현 과정에 대한 많은 연구가 이뤄졌습니다. 유전자의 형질 발현은 DNA의 유전암호를 전사받은 mRNA가 리보솜과 tRNA의 도움을 받아 특정한 단백질을 합성함으로써 완성됩니다.

이번 문제는 DNA 정보가 얼마나 효율적으로 단백질에 전달되는지 생각해 보는 문제입니다.

▶ 예시답안

머리카락이 자라는 속도는 $10^8 \text{ Å}/30\text{일}(24\text{시간/일})(60\text{분/시간})(60\text{초/분})=39 \text{ Å/초}$ 다. 아미노산 3.6개에 의해 알파나선의 1주기가 결정되므로 아미노산 1개당 알파나선의 길이는 $5.4 \text{ Å}/3.6\text{아미노산}=1.5 \text{ Å/아미노산}$ 이다.

머리카락을 만들기 위해 아미노산이 더해지는 속도는 $39(\text{Å/초})/1.5(\text{Å/개})=26\text{개/초}$ 다. 따라서 매초 아미노산 26개가 더해지면서 머리카락이 생성된다고 볼 수 있다.

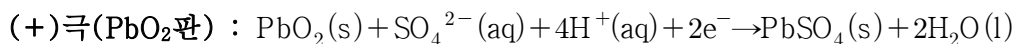
2008년 03월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]얼음에 작용하는 힘

문제 01 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

- (가) 밀도란 화학자들이 물질을 확인할 때 흔히 사용하는 성질이며 단위 부피당 질량으로 정의된다. 물질의 밀도는 고정된 양이 아니라 가변적인 양이다. 밀도는 측정 당시의 압력과 온도, 그리고 물질의 상에 따라 달라진다. 예를 들어 수증기의 부피는 같은 질량의 얼음보다 1000 배 이상 더 크므로 밀도에도 큰 차이가 있다. 기체는 액체나 고체에 비해 부피가 온도와 압력에 따라 크게 변하므로 기체의 밀도는 액체나 고체에 비해 온도와 압력에 민감하다.
- (나) 밀도는 물질을 확인할 때 외에도 여러 가지 용도에 이용된다. 예를 들면 소변의 밀도 측정으로 개인의 건강을 평가할 수 있다. 소변에는 염과 요소 같은 화합물이 용해돼 있기 때문에 정상적인 범위에서 소변의 밀도는 1.003~1.030로 물의 밀도보다 약간 크다. 의사들은 소변의 밀도가 너무 낮거나 너무 높으면 신장에 문제가 생긴 것으로 판단한다. 또한 맥주의 밀도를 측정해 발효가 끝났는지 판단할 수 있으며 자동차의 배터리에 들어있는 액체의 밀도를 측정해 재충전 여부도 파악할 수 있다.
- (다) 물에 잠긴 물체에는 사방에서 물의 압력(수압)이 작용한다. 그러나 물체의 옆에서 작용하는 압력은 양쪽이 방향은 반대이면서 크기는 같기 때문에 서로 상쇄돼 압력 효과가 없어진다.
- 수압은 물속에 깊이 들어갈수록 커지므로 물체의 위에서 작용하는 수압보다는 물체의 아래에서 작용하는 수압이 더 크다. 결국 두 수압의 차이만큼 위쪽으로 힘을 받는데 이러한 힘을 부력이라고 한다. 이때 부력의 크기는 물속에 잠긴 물체의 부피에 해당하는 물의 중력과 같다.
- 따라서 물체의 중력과 부력을 비교했을 때 부력이 크면 물체는 물위에 떠 있고 물체에 작용하는 부력이 물체의 무게와 같아지면 물체는 물속에 떠 있게 된다. 그러나 물체의 무게가 부력보다 더 크면 그 물체는 물속으로 가라앉는다.

- 1) 자동차배터리에 납축전지가 사용된다. 납축전지는 납과 이산화납(PbO_2)을 묶은 황산에 담근 전지로 각 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같다.



자동차배터리 용액의 밀도는 약 1.30g/mL다. 방전시 각 전극의 질량변화와 용액의 밀도변화를 예측하고 재충전시기를 설명하라.

- 2) 타이타닉 호를 침몰시킨 큰 빙산은 겉에서 볼 때는 크기가 작지만 물 위에 떠 있는 부분에 비해 물에 잠긴 부분의 부피는 매우 크다. 전체 부피에 대한 잠긴 부분의 부피를 구하고, 만약 빙산이 녹는다면 수면 높이는 어떻게 될지 수식으로 증명하라(단 물의 밀도=1.0g/mL, 얼음의 밀도=0.91g/mL).

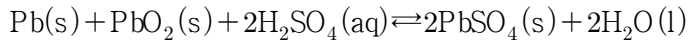
▶ 전문가 클리닉

- 1) 밀도는 실생활과 실험실에서 유용하게 사용되는 개념이지만 교과과정에서는 단지 화학I의 ‘물’ 단위이나 ‘금속’ 단위에서 문제를 풀기 위해 사용하는 개념에 지나지 않아 아쉽습니다. 밀도와 관련된 여러 현상과 응용 예를 통해 밀도와 친해지는 기회가 되기 바랍니다.

2) 이 문제는 화학I의 ‘물’ 단원과 관련된 밀도 문제입니다. 교과과정에서는 물의 밀도 변화 곡선이 4℃를 최고점으로 한 위로 볼록한 모양이므로, 상온에서 온도를 낮출 때 4℃이상에서는 대류가 일어나지만 4℃이하에서는 대류가 일어나지 않아 표면부터 어는 현상을 주로 다루고 있습니다. 또한 물이 얼음이 될 때 입체적인 육각형 모양을 가지므로 부피가 증가해 물의 밀도보다 얼음의 밀도가 작다는 사실을 다룹니다. 이번 기회에 직접 증명해 보기 바랍니다.

▶ 예시답안

1) 각 전극에서 일어나는 산화-환원 반쪽 반응식을 더하면 방전반응의 전체반응식을 구할 수 있다.



납축전지를 방전시켜 전기에너지를 얻는다면 (-)전극은 납에서 황산납으로, (+)전극은 이산화납에서 황산납으로 변하므로 두 전극의 질량은 점점 증가한다. 또 전해질 용액 속 황산은 줄어들어 용액의 밀도는 감소한다. 따라서 황산용액의 밀도를 조사하면 납축전지가 방전된 정도를 알아낼 수 있다. 완전히 충전된 배터리에 들어있는 용액의 밀도가 약 1.30g/mL 이므로 기준 이하로 떨어지면 배터리를 재충전해야 한다.

2) 물위에 떠있는 얼음에 작용하는 힘을 알아보면 위쪽 방향으로는 부력이, 아랫방향으로는 중력이 작용하고 있다. 얼음에 바다의 흐름 같은 다른 힘이 작용하지 않는다면 부력과 중력의 합력이 0이 돼 관성이 적용된다. 부력의 크기는 물속에 잠긴 얼음의 부피에 해당하는 물의 중력과 같으므로 다음과 같이 부력을 구할 수 있다.

$$\text{부력} = (\text{물속에 잠긴 얼음의 부피}) \times (\text{물의 밀도}) \times (\text{중력가속도})$$

또 중력의 크기는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{중력} = (\text{전체 얼음의 부피}) \times (\text{얼음의 밀도}) \times (\text{중력가속도})$$

부력과 중력의 크기가 같으므로 식을 정리하면 다음과 같다.

$$(\text{물속에 잠긴 얼음의 부피}) \times (\text{물의 밀도}) = (\text{전체 얼음의 부피}) \times (\text{얼음의 밀도})$$

$$\frac{\text{물 속에 잠긴 얼음의 부피}}{\text{전체 얼음의 부피}} = \frac{\text{얼음의 밀도}}{\text{물의 밀도}} = \frac{0.91}{1}$$

따라서 전체 얼음의 91%가 잠겨 있다.

얼음이 녹아 물로 바뀐다면 녹기 전 얼음의 질량과 녹은 후 물의 질량은 질량보존 법칙에 의해 변화가 없다. 녹기 전 얼음의 질량과 녹은 후 물의 질량은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\text{녹기 전 얼음의 질량} = (\text{녹기 전 얼음의 전체 부피}) \times (\text{얼음의 밀도})$$

$$\text{녹은 후 물의 질량} = (\text{녹은 후 물의 부피}) \times (\text{물의 밀도})$$

두 식을 같게 놓고 정리하면

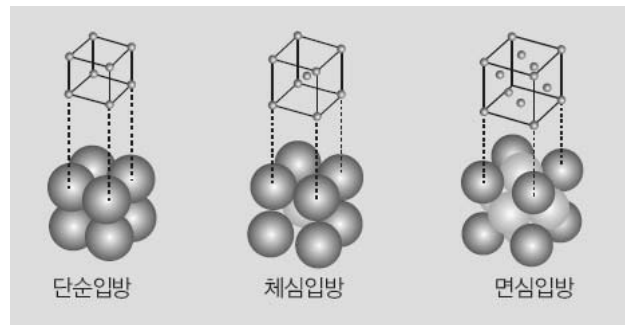
$$\text{녹은 후 물의 부피} = \text{녹기 전 전체 얼음의 부피} \times \text{얼음의 밀도} / \text{물의 밀도} = \text{잠긴 얼음의 부피}$$

이다. 따라서 전체 얼음이 녹았을 경우 녹은 물의 부피가 녹기 전 잠긴 얼음의 부피와 같으므로 수면의 높이는 일정하다.

문제02 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 고체는 일정한 모양을 가지며 온도와 압력의 변화에 따른 부피 변화가 매우 작다. 이는 고체를 이

루는 분자 간 인력이 매우 커 분자들이 자유롭게 이동하지 못하고 제자리에서 진동 운동만 하기 때문이다. 고체는 다이아몬드나 금속처럼 입자들이 규칙적 배열을 이루는 결정성 고체와 고무, 플라스틱, 유리처럼 입자들이 불규칙적인 배열을 이루는 비결정성 고체로 나뉜다. 그리고 결정을 이루는 기본 단위의 종류에 따라 분자



결정, 원자 결정, 이온 결정, 금속 결정으로 나누기도 한다. 요오드, 얼음, 드라이아이스, 나프탈렌은 약한 분자 간 인력으로 규칙적으로 배열돼 결정을 이루는 분자 결정이고 다이아몬드나 수정 같은 결정은 원자들이 서로 공유결합을 이뤄 규칙적으로 배열된 원자 결정이다. 소금 같은 결정은 규칙적으로 배열된 양이온과 음이온의 결합으로 이뤄진 이온 결정이다. 또한 금속 결정은 금속 양이온 사이를 자유롭게 돌아다니는 자유전자와 금속 양이온간의 정전기적 인력으로 이뤄져 있다.

(나) 결정성 고체를 구성하는 입자들(원자, 분자, 이온 등)의 위치를 점으로 표시할 때 구조적으로 반복되는 기본 단위를 단위세포라 한다. 격자는 단위세포를 모든 삼차원 방향으로 반복해 만들 수 있는데 가장 흔한 단위세포로는 단순입방, 체심입방, 면심입방, 육방밀집구조가 있다. 각 단위세포의 하나의 결정격자에서 가장 가까운 거리에 있는 격자의 수를 배위수라고 한다. 단순입방의 경우에는 배위수가 6, 체심입방의 경우에는 8, 면심입방의 경우에는 12이다.

(다) 탁구공처럼 동일한 구를 쌓아 규칙적인 삼차원 구조를 만들 때에는 쌓는 방식에 따라 결정의 단위세포가 정해진다. 주어진 공간을 가장 효과적으로 사용하는 방식으로 쌓여진 배열을 최조밀 쌓임이라 한다. 단순입방이나 체심입방보다는 면심입방으로 구를 쌓는 방법이 같은 공간에서 가장 효율적이라고 알려져 있다. 단원자로 이뤄진 많은 금속과 비활성기체들은 최조밀 쌓임으로 결정을 만든다.

은(Ag)의 결정 구조는 단위세포가 면심입방 구조로서 은 원자의 반지름은 144pm이다. 고체 은의 밀도를 구하라(단 $\sqrt{2}=1.414$, $1\text{pm}=10^{-12}\text{m}$, 은의 원자량은 107.9).

▶ 전문가 클리닉

이번 문제에서는 결정에서 구조적으로 반복되는 기본 단위인 단위세포의 특징을 이해하고 고체의 밀도와 결정구조와의 연관성을 추론해봅시다.

▶ 예시답안

결정 내 단위세포의 부피와 그 속에 존재하는 은 원자의 수를 알아야 한다. 면심입방 구조에서 단위세포 한 변의 길이를 S라고 하면 대각선의 길이는 $\sqrt{2}S$ 다. 대각선 길이는 원자 반지름(r)의 4배와 같으므로 $S=2\sqrt{2}$, $r=2\sqrt{2}\times(144\text{pm})=407\text{pm}$ 이다. 따라서 단위세포의 부피는 $S^3=(407\text{pm})^3=6.74\times 10^7\text{pm}^3=6.74\times 10^{-23}\text{cm}^3$ 이다.

단위세포 내 꼭지점에 8개, 면에 6개의 은 원자가 있으므로 다음과 같이 구할 수 있다. 꼭지점의 원자는 8개의 단위세포와 접하고 있기 때문에 한 개의 단위세포 속에는 1/8개의 원자가 포함되어 있으며, 면 위의 원자는 2개의 단위세포와 접하고 있기 때문에 한 개의 단위세포 속에는 1/2개의 원자가 포함되어 있다. 면심입방 한 개의 단위세포를 구성하는 원자 수는 $(1/8\times 8)+(1/2\times 6)=4$ 개다.

따라서 단위세포 내 은의 질량은 $(4\text{원자})\times(107.9\text{g/mol})\times(1\text{mol}/6.02\times 10^{23}\text{원자})=7.17\times 10^{-22}\text{g}$ 이다. 밀도를 구하면 은의 밀도=질량/부피= $7.17\times 10^{-22}\text{g}/6.14\times 10^{-23}\text{cm}^3=10.6\text{g/cm}^3$ 이다.

2008년 04월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

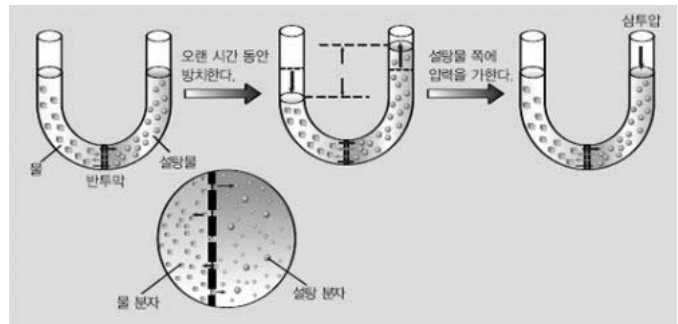
[화학]삼투압의 응용

제시문 다음을 읽고 물음에 답하라

(가) 셀로판 종이나 세포막, 동물의 방광막은 용매 분자를 자유롭게 통과시키지만 큰 용질 분자는 통과시키지 못한다. 이와 같이 물질의 입자를 선택적으로 통과시키는 얇은 막을 반투막이라고 한다. 반투막을 사이에 두고 같은 용매로 된 서로 다른 농도의 용액이 있을 때 낮은 농도의 용액에 있는 용매 분자가 높은 농도의 용액 쪽으로 이동하는 현상을 삼투라고 한다.

반투막을 경계로 해 U자관의 한쪽에는 물을 넣고 다른 쪽에는 수면의 높이와 같게 설탕물을 넣어 얼마 동안 방치해두면 설탕물 쪽 용액의 높이가 올라간다. 이것은 물이 반투막을 통해 설탕물 쪽으로 이동하기 때문이다.

용매인 물의 삼투 현상이 정지해 설탕물의 액면과 수면의 높이 차이가 고정될 때 이 높이 차이에 해당하는 압력을 삼투압이라고 하며 π 로 나타낸다.



일반적으로 비휘발성이며 비전해질인 용질이 녹아있는 묽은 용액의 삼투압은 용매나 용질에 관계없이 용액의 몰농도(C)와 절대온도(T)에 비례하는데 이것을 반트 호프의 법칙이라고 한다.

$$\pi = CRT(R(\text{기체상수}) = 0.082\text{atm}\cdot\text{L}/\text{mol}\cdot\text{K})$$

(나) 식품은 박테리아에 의해 분해되거나 산화되기 때문에 잘 보관해야 한다. 식품을 오랫동안 보관하기 위해서는 미생물의 성장을 막고 산화를 방지해야 한다. 가장 오래된 보관 방법은 곡식이나 과일, 생선, 육류 등의 수분을 제거해 말리는 것이다. 물은 미생물의 성장이나 물질대사에 필요하고 산화할 때도 중요하므로 말리는 방법에 의해 물이 제거되면 식품의 산화나 미생물의 번식을 방지할 수 있다. 또 화학약품이 식품 보존 물질로 사용되기도 한다. 화학약품에 의한 식품 보관 방법의 오래된 예로는 소금으로 고기를 절이거나 진한 설탕용액에 과일을 보관하는 방법이 있다.

(다) 반투막을 사이에 두고 물과 용액이 있을 때 용액을 삼투압보다 큰 압력으로 누르면 용액 쪽에 있던 용매 분자가 반투막을 통과해 순수한 용매가 있는 쪽으로 이동한다. 이를 역삼투라고 한다. 바닷물의 삼투압은 약 26atm으로 바닷물에 26atm이상의 압력을 가하면 역삼투에 의해 순수한 물을 얻을 수 있다. 수세기동안 과학자들은 물을원활히 공급하기 위해 바닷물로부터 염분을 제거하는 방법, 즉 탈염 과정을 연구했다. 바닷물 속 염분의 양은 약 35%이다. 탈염은 얼핏 보기에 매우 간단한 과정처럼 보이지만 물을 얻는 여러 방법 중에서 경제적으로 경쟁력 있는 방법은 아니다.

(라) 용액의 총괄성을 결정하는 요인은 용질 입자의 수다. 이 때문에 비전해질이 아닌 전해질의 경우에는 이온화를 고려해야 한다. 이온화 효과를 고려하기 위해 반트 호프 인자(i)라는 개념을 도입한다. i는 다음과 같이 정의된다.

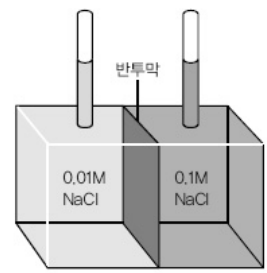
$$i = \frac{\text{이온화된 뒤 용액 내 입자들의 총 개수}}{\text{용액에 녹인 입자 수}}$$

모든 비전해질의 i는 1이다. 염화나트륨(NaCl)과 질산칼륨(KNO₃) 같은 강전해질의 경우

i는 2이며 황산나트륨(Na_2SO_4) 같은 강전해질의 경우 i는 3이다. 결국 용액의 총괄성을 고려할 때 삼투압과 관련된 식은 다음과 같이 바뀌어야 한다.

$$\pi = iCRT$$

문제 01 오른쪽 그림과 같이 반투막을 경계로 해 농도가 다른 염화나트륨 수용액을 양쪽에 넣었을 때 반투막의 구멍 크기에 따라 어떤 현상이 일어날지 다음의 각 경우에 대해 예측하라.



- ㉠ 반투막이 물과 Na^+ , Cl^- 모두를 통과시킬 때
- ㉡ 반투막이 물과 Na^+ 는 통과시키지만 Cl^- 는 통과시키지 못할 때
- ㉢ 반투막이 물은 통과시키나 Na^+ , Cl^- 는 통과시키지 못할 때

▶ 전문가 클리닉

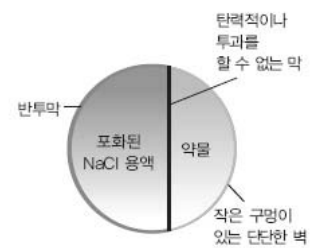
이번호에서는 용액의 총괄성 중 삼투압과 관련된 문제들을 다루어 보고자 합니다. 삼투압은 반투막의 크기가 용질의 크기보다 작아 용매만 반투막을 통과할 수 있을 때 일어나는 현상입니다. 삼투압을 용매의 확산으로 보는 관점도 있다는 사실을 알아두길 바랍니다.

실제 용질의 크기가 용매보다 작은 경우에도 삼투압이 발생하는데, 이때에는 단순한 크기의 비교만으로는 설명이 불가능합니다. 이러한 현상이 나타나는 이유는 용질을 둘러싸는 용매화에 의해 용질이 용매보다 큰 것처럼 보이기 때문입니다. 이번 문제는 반투막의 크기에 따른 효과를 정확하게 이해하는지를 평가하고자 출제했습니다.

▶ 예시답안

- ㉠ 반투막이 물과 Na^+ , Cl^- 모두를 통과시킬 때에는 초기에 농도가 묽은 왼쪽에서 농도가 진한 오른쪽으로 물의 확산 속도가 빠르므로 물이 왼쪽에서 오른쪽으로 이동하는 것처럼 보이며, 용질인 Na^+ 과 Cl^- 는 농도가 진한 오른쪽에서 농도가 묽은 왼쪽으로의 확산 속도가 빠르므로 용질은 오른쪽에서 왼쪽으로 이동하는 것처럼 보인다. 이러한 현상은 양쪽의 농도가 같아질 때까지 진행된다.
- ㉡ 반투막이 물과 Na^+ 는 통과시키지만 Cl^- 는 통과시키지 못할 때 얼핏 생각하면 물은 농도가 묽은 왼쪽에서 농도가 진한 오른쪽으로, Na^+ 는 농도가 진한 오른쪽에서 농도가 묽은 왼쪽으로 이동한다고 생각할 수 있다. 그러나 용액 내 전하량의 총합은 0이 돼야 하므로 물은 왼쪽에서 오른쪽으로 이동하지만 Na^+ 는 이동하지 않는다.
- ㉢ 반투막이 물은 통과시키나 Na^+ , Cl^- 를 통과시키지 못할 때 일반적인 삼투압 현상이 일어난다. 따라서 농도가 묽은 왼쪽에서 농도가 진한 오른쪽으로 용매인 물이 이동하고 삼투압과 양쪽 용액의 높이차에 해당하는 압력이 같아질 때까지 일어난다.

문제 02 약물을 신체의 필요부위에 최적 조건으로 전달하려는 목적에서 개발된 시스템을 약물전달시스템(DDS: Drug Delivery System)이라 한다. 특히 약물의 방출량을 제어하고 약물 효과를 극대화하기 위해 개발된 시스템 중 하나가 타임 릴리즈(time-release) 약이다. 이 약은 몸에 일정한 속도로 투여되는 이점이 있다. 왼쪽 그림은 간략하게 이 약을 도식화한 것이다. 이 약의 작용 원리에 대해 설명하라.



▶ 전문가 클리닉

체내에 너무 서서히 흡수돼 약물의 생체이용률이 너무 낮거나 약물이 빠르게 흡수돼 지나치게 빨리 체외로 소실되는 경우에는 약물전달속도를 제어해야 합니다. 이를 위해 기계적 장치, 막을 사용해 확산을 제어하는 장치, 생체 내에서 분해되거나 또는 분해되지 않는 고분자 물질을 이용한 장치 등을 조합해 사용합니다. 특히 약물을 방출하는데 삼투압을 이용하는 시스템은 약물이 용액 상태로 소화기관의 막에 도달하므로 흡수가 쉽고 소화기관의 운동성이나 pH에 무관하게 일정한 속도로 방출할 수 있다는 장점이 있습니다.

▶ 예시답안

약물 방출 제어에 삼투압을 이용한 약을 복용했을 때 소화기관 내 농도보다 시스템 내부의 포화 NaCl 수용액의 농도가 더 큰 상태가 된다. 이 때문에 삼투압 현상이 일어나 소화기관 내 물이 반투막을 통과해 약 시스템 내부의 포화 NaCl 수용액 안으로 들어온다. 이때 반투막은 수용액의 부피 증가로 압력에 견딜 수 있을 만큼 견고해야 한다. 수용액으로 들어온 물에 의해 부피가 증가하면 약물이 들어있는 곳의 부피가 감소하면서 시스템 내부의 약물이 좁은 구멍을 통해 밖으로 방출된다.

문제 03 포름산(HCOOH)은 수용액에서 부분적으로 이온화되는 산이다. 25℃에서 0.1M 포름산 용액은 4.2%가 이온화된다. 이 용액의 삼투압을 계산하라.

▶ 전문가 클리닉

용질이 비전해질인 경우와는 달리 전해질인 경우에는 이온화 정도에 따라 용액에 존재하는 입자 수가 달라집니다. 이번 문제는 이런 효과를 고려한 반트 호프 인자의 개념을 이해하고 실제 삼투압이 얼마나 달라지는지를 계산하는 문제입니다.

▶ 예시답안

삼투압은 용액 속에 존재하는 용질의 총 입자 수에 의해 결정되므로 100% 이온화하지 않는 경우에는 용액 속에 존재하는 입자 수를 계산으로 구해야 한다. 포름산은 물속에서 4.2%만 이온화되는데 이를 계산하면 다음과 같다.



반응 전	0.1	-	-
이온화	-0.1×0.042	+0.1×0.042	+0.1×0.042

반응 후 $0.1(1-0.042)$ 0.1×0.042 0.1×0.042

이렇게 이온화를 고려해 용액 속에 존재하는 입자의 총 몰농도를 구하면 다음과 같다.

(이온화를 고려한 총 몰농도) = $0.1(1-0.042) + 0.1 \times 0.042 + 0.1 \times 0.042 = 0.1(1+0.042)$

이 용액은 $0.1(1+0.042)$ 의 효과를 나타내므로 반트 호프 계수는 1.042이며, 삼투압은

$\pi = iCRT = 1.042 \times 0.1 \times 0.082 \times 298 = 2.5 \text{ atm}$ 이다. 즉 포름산 용액은 비전해질인 경우보다 삼투압이 약 0.1atm이 크다.

문제 04 제시문 (다)에서 언급한 역삼투 방법 이외에 어떤 탈염 방법이 있는지 서술하라. 또 이런 방법과 역삼투 방법을 비교해 역삼투의 장점을 설명하라.

▶ 전문가 클리닉

혼합물로부터 순물질을 분리하는 방법에는 분별 깔때기 이용 방법, 거름, 분별 증류, 크로마토그래피 등이 있습니다. 바닷물은 대표적인 균일 혼합물입니다. 바닷물로부터 물을 분리하는 방법과 각 방법의 장단점을 생각해봅시다.

▶ 예시답안

바닷물로부터 물을 분리해내는 방법에는 증류법이 있다. 바닷물을 증발시킨 뒤 수증기를 냉각시키면 순수한 물을 얻을 수 있다. 이런 증류법은 열에너지를 이용하므로 그만큼의 비용이 발생한다. 증류 비용을 줄이기 위해 태양에너지를 이용하는 방법이 있으며 이는 저위도 지방에서 유용하다.

또 다른 방법으로는 동결법이 있다. 바닷물이 얼 때 용액으로부터 분리되는 고체는 순수한 물이므로 바닷물을 얼려 만든 얼음을 분리해 물로 사용할 수 있다. 물을 증발시킬 때 필요한 에너지보다 얼릴 때 감소하는 에너지가 더 작으므로 증류법보다는 에너지 면에서 효과적이다. 그러나 동결법은 얼음이 천천히 자라게 하면서 얼음에 붙어 있는 염분을 씻어내야 한다는 단점이 있다.

증류법과 동결법은 상변화를 동반하므로 역삼투 방법에 비해 에너지 손실이 크다. 즉 경제적인 면에서 역삼투 방법이 유리하다.

2008년 05월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

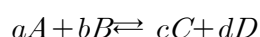
[화학] 화학 평형의 이동

문제 01 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 면적이 A인 벽에 기체분자가 충돌할 때 단위 시간당 충돌횟수는 기체 분자의 속도와 단위 부피당 분자의 개수에 비례한다. 기체 분자의 속도는 기체분자운동론으로부터 기체 분자량의 제곱근에 반비례함을 유도할 수 있다. 그레이엄은 기체가 작은 구멍을 통해 진공으로 분출될 때의 속도를 측정함으로써 실험적으로도 이를 확인했다. 기체의 종류가 무엇이든 온도와 압력이 같다면 단위 부피당 분자 개수는 일정하므로 분자의 분출 속도는 기체 분자량의 제곱근에만 비례한다. 그레이엄의 법칙은 하나의 작은 구멍으로 준출하는 두 기체의 혼합물에도 적용될 수 있다. 두 종류 기체 A와 B의 분출속도 비는 다음과 같다.

$$\frac{\text{A의 분출 속도}}{\text{B의 분출 속도}} = \frac{N_A}{N_B} \sqrt{\frac{M_B}{M_A}} \quad (N_A \text{와 } N_B \text{는 각 기체의 개수, } M_A \text{와 } M_B \text{는 각 기체의 분자량})$$

(나) 대부분의 화학반응은 정반응과 역반응이 모두 가능한 가역반응이다.



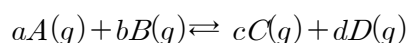
가역적인 화학반응에서 정반응속도와 역반응속도가 같으면 마치 변화가 일어나지 않는 것처럼 보인다. 이러한 상태를 동적 평형 상태라 한다. 여러 연구 결과에서 "일정한 온도에서 어떤 가역반응이 평형 상태에 있을 때 반응물질의 농도 곱과 생성물질의 농도 곱의 비율은 항상 같다"라는 사실이 관찰됐다. 이것을 화학평형의 법칙이라 하며, 이때의 일정한 값 K를 평형상수라고 한다. 평형상수는 반응유도식으로 유도될 수 있다. 앞의 화학반응식에서 평형에 도달했을 때 각 물질의 농도를 [A], [B], [C], [D]라고 하면 정반응의 속도 v_1 과 역반응의 속도 v_2 는 각각 다음과 같다.

$$v_1 = k_1 [A]^a [B]^b, \quad v_2 = k_2 [C]^c [D]^d$$

평형상태에서는 $v_1 = v_2$ 이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$k_1 [A]^a [B]^b = k_2 [C]^c [D]^d, \quad \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = \frac{k_1}{k_2} = K$$

기체의 반응이 평형 상태에 있을 때 성분 기체의 농도는 기체의 부분압력에 비례하므로 다음과 같이 평형상수를 농도 대신 압력으로 나타낼 수 있다.



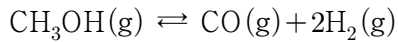
$$K_p = \frac{P_C^c + P_D^d}{P_A^a P_B^b}$$

이와 같이 부분압력으로 나타낸 평형상수 K_p 를 압력평형상수라고 한다. - 고등학교 화학II 교과서

(다) 평형을 이루는 반응계에 어떤 변화를 주면 이런 변화에 영향을 받아 처음과는 다른 새로운 평형에 이른다. 이와 같은 평형 이동의 원리를 알면 우리는 원하는 방향으로 화학반응이 일어나도록 하는 데 이용할 수 있다. 1884년 프랑스의 화학자 르 샤틀리에에는 '어떤 가역 반응이 평형 상태에 있을 때 농도, 압력, 온도 등의 조건을 변화시키면 그 변화의 영

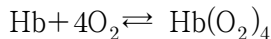
향을 줄이려는 방향으로 평형이 이동해 새로운 평형에 도달한다'라는 평형 이동 법칙을 발표했다. 이것을 르 샤틀리에의 원리 또는 평형 디오의 법칙이라고 한다.

- 1) 메탄올(CH_3OH) 4.72g을 1.0L 플라스크에 넣고 250℃로 가열했더니 메탄올은 분해돼 다음과 같은 평형에 도달했다.



용기에 작은 구멍을 내 기체가 새어 나오도록 했다. 새어나온 기체를 분석한 결과 수소의 분출속도가 메탄올의 33배나 됐다. 이 반응의 평형상수를 계산하라.

- 2) 유기분자 헴과 글로빈이라는 단백질로 구성된 헤모글로빈은 동물의 혈관을 거쳐 온몸의 세포로 산소를 전달하는 기능을 한다. 한 개의 헤모글로빈 분자는 네 개의 산소분자와 가역적으로 결합하며 그 반응은 다음과 같다.



고산병에 걸리는 원인과 적응 과정을 제시문을 이용해 서술하라.

▶ 전문가 클리닉

- 1) 화학에서는 평형을 동적 개념에서 주로 다루고 있습니다. 포화용액에서 용해와 석출의 동적 평형, 증기압력에서 증발과 응축의 동적 평형 등 여러 상황에서 동적 평형의 개념이 이용됩니다. 이번 문제는 기체의 분출 속도와 압력의 관계를 이해해 평형에서의 압력을 계산하고, 이를 이용해 평형상수를 구하는 문제입니다.

- 2) 화학자들은 화학반응이 평형 상태에 도달했을 때 반응물질과 생성물질 사이에 정량적인 관계를 알아보기 위해 많은 연구를 했습니다. 그 이유는 이 반응으로부터 얻어지는 생성물질의 양이 얼마나 되느냐가 경제적인 문제와 직결되기 때문입니다.

따라서 원하는 물질을 많이 얻기 위한 수득률을 높이는 노력과 원하는 물질을 빨리 얻기 위한 반응속도를 높이는 노력이 공업적인 측면에서 연구됐습니다.

이번 문제는 인체가 고산 지대에 노출될 때 주어진 환경에 적응하려는 생리적 반응을 화학 평형의 이동과 관련해 서술하는 문제입니다.

▶ 예시답안

- 1) 초기에 넣어준 메탄올의 압력은 이상기체 상태방정식으로 구할 수 있다.

$$P = wRT/MV = 4.72 \times 0.082 \times 523 / 32 \times 1.0 = 6.3(\text{atm})$$

(w는 기체의 질량, R은 기체상수($0.082\text{atm}\cdot\text{L}/\text{mol}\cdot\text{K}$), M은 분자량, T는 절대온도)

반응이 진행돼 평형상태에 도달할 때까지 메탄올의 압력이 x만큼 줄어들면 수소기체의 압력은 2x만큼 증가한다. 각 기체들은 동일한 용기 속에서 같은 부피와 같은 온도를 가지므로 압력은 각 기체의 개수에 비례한다.

따라서 평형 상태에서 용기에 구멍을 뚫어 기체를 분출시킬 때 그레이엄 법칙을 이용해 동일용기 속 두 기체의 분출속도 비를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\text{H}_2 \text{의 분출 속도}}{\text{CH}_3\text{OH의 분출 속도}} = \frac{N_{\text{H}_2}}{N_{\text{CH}_3\text{OH}}} \sqrt{\frac{M_{\text{CH}_3\text{OH}}}{M_{\text{H}_2}}} = \frac{P_{\text{H}_2}}{P_{\text{CH}_3\text{OH}}} \sqrt{\frac{M_{\text{CH}_3\text{OH}}}{M_{\text{H}_2}}}$$

(NA와 NB는 기체의 개수, MA와 MB는 기체의 분자량, PA와 PB는 기체의 부분압력)

앞 식에 문제에서 주어진 값과 앞에서 구한 값을 대입하면 평형 상태에서 각 기체의 부분 압력을 구할 수 있다.

$$33 = 2x/6.3 - x \sqrt{32/2}, x = 5.1$$

그러므로 $P_{CO} = x = 5.1$, $P_{H_2} = 2x = 10.2$, $P_{CH_3OH} = 6.3 - x = 1.2$ 이다. 각 기체의 부분압력에서 압력평형상수를 구하면 $K = P_{CO}(P_{H_2})^2/P_{CH_3OH} = 442$ 이다.

- 2) 혈액 속의 헤모글로빈은 산소 분압이 높은 폐에서 산소와 결합해 산소 헤모글로빈이 되고, 산소 분압이 낮은 조직에서는 산소 헤모글로빈으로부터 산소가 해리돼 다시 헤모글로빈이 된다. 이러한 헤모글로빈과 산소 사이의 가역반응으로 헤모글로빈은 산소를 조직세포로 운반하는 역할을 한다.

흔히 3000m 이상의 산악 지대를 고산이라고 한다. 고산 지대에서는 공기가 희박하므로 산소 분압도 낮다. 반응물인 산소 분압이 낮아져 평형이 깨지면 르 샤틀리에 원리에 의해 반응물이 생성되는 역반응이 우세해진다. 즉 혈액 내 $Hb(O_2)_4$ 의 농도가 감소하면서 새로운 평형에 도달한다. 따라서 조직세포에 산소의 공급이 원활하지 못하므로 고산병이 발생한다. 따라서 두통, 무력감, 식욕부진, 호흡곤란이 나타난다.

그러나 고산 지대에 오랜 기간 머무를 때에는 산소의 부족한 환경에 신체가 적응해 헤모글로빈을 많이 생성한다. 반응물인 헤모글로빈의 농도가 높아지면 다시 르 샤틀리에의 원리에 의해 정반응이 우세하며 혈액 내 $Hb(O_2)_4$ 의 농도가 증가함으로써 산소의 공급이 원활해진다.

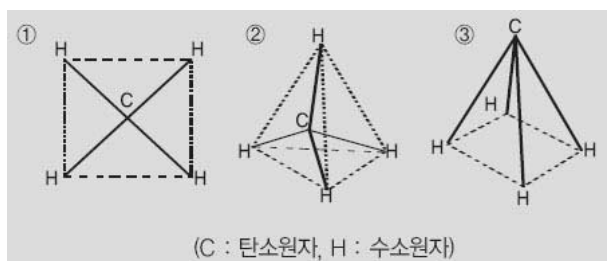
문제 02 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

- (가) 분자의 모양은 그 물질의 물리적, 화학적 성질과 밀접한 관계가 있는데, 원자들이 공유결합을 이룰 때 중심 원자와 결합하는 각 원자들은 일정한 방향으로 결합해 일정한 각도를 이룬다. 즉 공유결합 분자에서 중심 원자 주위의 전자쌍은 그들 사이의 정전기적 반발력 때문에 서로 가장 멀리 떨어져있는 구조를 이룬다. 이를 전자쌍 반발 이론이라 한다. 공유결합을 이루는 공유 전자쌍은 양전하를 가진 2개의 원자핵에 의해 양쪽으로 끌리기 때문에 비교적 좁은 공간에 분포한다. 그러나 공유결합 형성에 참여하지 않은 비공유 전자쌍은 한 쪽에만 원자핵이 있기 때문에 더 넓은 공간에 분포한다. 따라서 공유결합 분자를 구성하는 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍의 수를 알면 분자의 대략적인 입체 구조를 예측할 수 있다.

- (나) 메탄 분자의 구조는 ①평면 사각형 ②정사면체 ③정사각뿔(옆면을 정삼각형이라 가정)의 세 가지를 생각할 수 있다.

이 구조들 중 메탄의 수소 원자 2개를 X로 치환했을 경우 CH_2X_2 의 분자가 된다. 지금까지 알려진 바에 의하면 CH_2X_2 는 한 종류의 화합물 밖에 존재하지 않으므로 ②의 정사면체 구조가 메탄의 구조이다.

전자쌍 반발 원리에 의하면 전자쌍 간 반발을 최소화하는 구조는 결국 각 구조의 꼭지점에 존재하는 수소 간 거리의 합이 최대일 때 가장 안정한 분자 구조를 이룬다. C-H 결합 길이는 모두 r로 동일하다고 가정하자.



제시문 (나)에 주어진 구조에서 수소원자 간 거리의 합을 구해 그 크기를 비교하고 어느 구조가 가장 안정한 구조인지 증명하라.

▶ 전문가 클리닉

분자 내 각 공유결합의 전자쌍이 전기음성도가 큰 원자 쪽으로 치우치면 각 공유결합마다 쌍극자 모멘트가 발생합니다. 쌍극자 모멘트의 합이 분자 모양에 따라 상쇄되면 무극성 분자가 되고 상쇄되지 않으면 극성 분자가 됩니다. 이렇듯 분자 모양은 분자의 극성 여부를 결정하는데 매우 중요합니다. 이번 문제는 메탄의 구조를 전자쌍 반발 원리를 이용해 결정하는 문제입니다. 공간도형의 거리를 정확하게 구하는 것이 이 문제를 푸는 핵심입니다.

▶ 예시답안

메탄 내 존재하는 4쌍의 공유 전자쌍은 반발력을 최소화 하기 위해 수소 원자끼리 최대한 멀리 떨어져 있어야 한다. 즉 수소 간 거리의 합이 가장 클 때가 가장 안정한 구조다. 제시문 (나)에 주어진 세 개의 입체 구조에서 수소 원자 사이의 거리 합을 구하면 다음과 같다. 단 C-H 결합 길이는 모두 r 로 동일하다.

① 평면정사각형인 경우: 각 수소원자 간 거리의 합은 정사각형의 둘레 길이와 두 대각선 길이의 합과 같다. 대각선 길이는 $2r$ 이고 한 변의 길이는 $\sqrt{2}r$ 이므로 구하는 길이의 합은 $4r+4\sqrt{2}r=4(1+\sqrt{2})r$ 이다.

② 정사면체인 경우: 각 수소원자 간 거리의 합은 정사면체의 모서리 길이의 합과 같다. 정사면체에서 한 모서리의 길이(a)와 정사면체의 중심에서 꼭지점에 이르는 거리(r)의 관계는 피타고라스 정리를 이용하면 다음과 같다.

한 모서리의 길이가 a 인 정사면체의 높이는 $\frac{\sqrt{6}}{3}a$ 이고 정사면체의 중심은 높이를 3:1로 내분하는 점이므로 $\frac{\sqrt{6}}{3}a \times \frac{3}{4} = r$ 이다. 이를 a 에 관해 정리하면 $a = \frac{2\sqrt{6}}{3}r$ 이다. 따라서 정사면체의 모서리 길이는 모두 같으므로 구하는 거리의 합은 $6 \times \frac{2\sqrt{6}}{3}r = 4\sqrt{6}r$ 이다.

③ 사각뿔의 경우: 사각뿔에서 각 수소원자 사이의 길이는 밑면인 정사각형의 둘레 길이와 두 대각선 길이의 합과 같다. 한 변의 길이는 r 이고 대각선의 길이는 $\sqrt{2}r$ 이므로 구하는 길이의 합은 $4r+2\sqrt{2}r=2(2+\sqrt{2})r$ 이다.

각 구조에서 거리의 합을 비교하면 정사면체 구조가 가장 큰 값이므로 전자쌍 반발 원리에 가장 적합한 구조라 할 수 있다.

2008년 06월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]이온결합의 특성 화학반응의 평형과 안정한 분자 구조의 특성에 대해 생각해 봅시다.

문제 01 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

- (가) 현대적인 원자 모델에 의하면 원자 내에 존재하는 전자는 확률로 나타난다. 핵으로부터 아주 멀리 떨어진 곳에서도 전자가 존재할 확률은 0이 아니다. 따라서 전자가 있는 곳까지를 원자의 경계라고 정의한다면 원자의 반지름을 정하기란 쉽지 않다. 원자가 껍질 이론에 의하면 최외각 전자의 전자 밀도가 가장 높은 곳까지를 최외각 반지름 또는 원자 반지름이라 정의한다. 일반적으로 원자의 크기는 전자껍질 수에 따라 증가한다. 주기율표에서 보면 위에서 아래로 내려갈수록 원자의 크기는 증가한다. 반면 같은 주기에서는 원자 번호가 증가할 수록 원자의 크기는 감소한다. 그 이유는 핵 내의 양성자 수가 증가하면 전자들을 핵 쪽으로 강하게 끌어당겨 거리가 감소하기 때문이다.
- (나) 새로운 전자껍질에 전자가 채워져 들어가면 속껍질에 있는 전자들이 핵에서부터 오는 양전하를 가리는 효과를 나타낸다. 실제로 새로운 껍질의 전자들이 느끼는 양전하의 크기는 훨씬 작아진다. 이때 최외각에 있는 전자들이 실제로 느끼는 핵의 전하량을 유효핵전하라고 하며 보통 Z^* 로 나타낸다. 속껍질 전자들의 가리움 효과 때문에 껍질 수가 늘어나면 유효핵전하가 감소하고 원자의 크기는 증가한다. 즉 원자반지름은 같은 족에서는 원자번호가 증가할 수록, 같은 주기에서는 원자번호가 감소할 수록 커진다.
- (다) 원자는 전자를 얻거나 잃어서 음이온 또는 양이온이 된다. 쿨롱 법칙에 의하면 서로 다른 전하를 가지는 입자 사이에는 정전기적인 인력이 작용한다. 즉 양이온과 음이온 사이에 작용하는 정전기적인 인력의 세기 F 는 이온간 거리를 r , 이온의 전하를 q_1, q_2 로 표시할 때 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (\text{단 } k \text{는 비례상수})$$

이온간 거리 r 은 양이온과 음이온의 핵간 거리다. 양이온과 음이온의 거리가 가까워지면 정전기적인 인력으로 위치에너지가 낮아져 안정화된다. 하지만 너무 가까이 접근하면 이온을 둘러싼 전자 간 반발력 때문에 오히려 에너지가 증가해 인력과 반발력의 균형으로 에너지가 가장 낮아지는 지점에서 이온 간 결합이 일어난다. 이를 이온결합이라 한다.

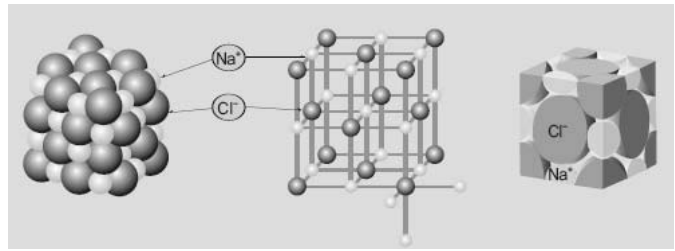
- (라) 기체 상태로 멀리 떨어져 있던 이온들이 고체 상태로 쌓여 있을 때 안정화되는 에너지의 차이를 격자에너지라고 한다. 즉 전하가 Z^+, Z^- 이고 이온쌍이 r 만큼 떨어져 있을 때 격자에너지 E_p 는 다음과 같다.

$$E_p = k \frac{Z^+ Z^-}{r}$$

이 에너지는 1개의 이온쌍 형성에 대한 값이다. 그러나 결정 격자 속에서는 1개의 이온쌍보다 많은 수의 상호작용이 존재한다. 즉 고체 속의 각 이온들은 모든 반대 전하 이온으로부터 쿨롱의 인력 작용을 받고 또 다른 동일 전하 이온으로부터 반발 작용을 받는다. 예를 들어 나트륨(NaCl) 결정구조를 살펴보면 중심에 있는 이온과 가장 가까이 있는 6개의 반대 부호 전하를 가진 이온 사이에는 인력이 작용한다. 그 다음으로 가까운 12개의 같은 전하 이온 사이에는 반발력이 작용한다. 이러한 구조는 계속적으로 이어진다. 양이온과 음이온의 간격이 r 로 일정하다고 가정하면 결정의 격자에너지는 $E_p = k Z^+ Z^- / r (6/1 - 12/\sqrt{2} + 8/\sqrt{3} \dots)$ 이다. 이때 괄호안의 값은 입체적인 상호작용의 합계로서 마델룽 상수(A)라고 한다.

- (마) 영국의 수학자 브룩 테일러가 소개한 테일러 다항식을 알아보자. 함수 f 가 0에서 연속이라고

가정하고 $P_0(x) = f(0)$ 이라 놓자. f 가 0에서 미분 가능하면 0에 가까운 점에서 f 에 가장 가까이 있는 1차 함수는 $P_1(x) = f(0) + f'(0)x$ 이다. 이때 함수 P_1 은 0에서 f 와 같은 값을 갖고 1차 미분을 가진다.



$$P_1(0) = f(0), P_1'(0) = f'(0)$$

이다. f 가 0에서 두 번 미분 가능하면 f 와 가장 가까운 2차 방정식은

$$P_2(x) = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)}{2!}x^2$$

이다. 이때 0에서 P_2 의 함수값, 1차 미분값과 2차 미분값이 f 와 같다. 즉

$$P_2(0) = f(0), P_2'(0) = f'(0), P_2''(0) = f''(0)$$

이다. 또 f 가 0에서 세 번 미분 가능하면 f 와 가장 가까운 3차 방정식은

$$P_3(x) = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)}{2!}x^2 + \frac{f'''(0)}{3!}x^3$$

이고 마찬가지로 P_3 의 0에서의 함수값, 1차, 2차, 3차 미분계수가 f 와 같다.

즉 $P_3(0) = f(0), P_3'(0) = f'(0), P_3''(0) = f''(0), P_3'''(0) = f'''(0)$ 이다.

일반적으로 f 가 0에서 n 번 미분 가능해 n 차 다항식으로 가깝게 하면

$$P_n(x) = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)}{2!}x^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n$$

$$P_n(0) = f(0), P_n'(0) = f'(0), P_n''(0) = f''(0), \dots, P_n^{(n)}(0) = f^{(n)}(0)$$

임을 알 수 있다. $P_0(x), P_1(x), P_2(x), \dots, P_n(x)$ 를 각각 x 로 된 0차, 1차, 2차, ..., n 차의 테일러 다항식이라고 부른다. n 이 무한히 커지면 $P_n(x)$ 는 $f(x)$ 로 수렴하고 결국 $f(x)$ 는 x 의 무한급수 꼴로 표현된다.

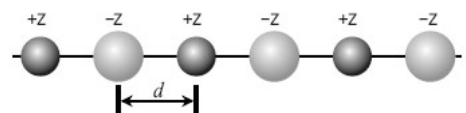
$$P_n(x) = f(x) = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)}{2!}x^2 + \dots + \frac{f^{(n)}(0)}{n!}x^n + \dots$$

- 1) 다음은 몇 가지 이온결합 물질들의 녹는 점이다. 녹는점이 다른 이유를 설명하라.

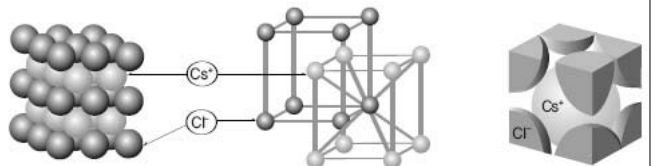
물질	NaF	NaCl	KI	MgO	CaO
이온 간 거리(nm)	0.230	0.278	0.353	0.205	0.239
녹는점	870	800	723	2800	2572

- 2) 다음 그림은 양이온과 음이온이 간격 d

를 유지하면서 직선상에 놓여 있는 긴 1차원 고체 모형이다. 간격 d 는 인접 이온의 중심을 잇는 거리로 이온 반지름의 합과 같다. 이온들이 갖는 전하의 절대값이 같다고 할 때 마델롱 상수(A)를 구하라.



- 3) 이온결합 물질은 쿨롱 힘에 의해 단단하게 결합돼 상온에서 결정 상태로 존재한다. NaCl은 면심입방 구조를 가지며, CsCl은 다음 그림과 같이 단순입방 구조를 가진다. 이온결정 구조는 양이온과 음이온의 크기에 따라 정해진다. 각 결정 구조에서 양이온과 음이온의 반지름 비를 구하라.



▶ 전문가 클리닉

이온결합은 금속 원소와 비금속 원소처럼 전기음성도의 차이가 큰 원자 사이에 형성되는 결합입니다. 이온결합은 서로 반대로 대전된 양이온과 음이온 간 쿨롱 인력 때문에 안정화됩니다. 이온 사이에 결합이 형성될 때는 반대 전하를 가진 많은 수의 이온이 서로 둘러싸면서 질서 정연하게 정렬해 매우 큰 안정화되는 효과를 얻을 수 있는 상태를 형성합니다. 그 결과 이온결합은 고체 상태의 큰 결정을 만듭니다.

▶ 예시답안

- 1) NaF, NaCl, KI는 양이온과 음이온의 전하가 각각 +1, -1이며 MgO와 CaO는 양이온과 음이온의 전하가 각각 +2, -2이다. Na와 K는 1족 원소로 Na보다 K의 전자껍질이 하나 더 많으므로 Na^+ 과 K^+ 의 크기는 K^+ 가 더 크다. 또 F, Cl, I는 17족 할로젠 원소들로 역시 전자껍질 수가 $\text{F} < \text{Cl} < \text{I}$ 순으로 많으므로 이온의 크기도 $\text{F}^- < \text{Cl}^- < \text{I}^-$ 이다. 따라서 전하의 크기가 같은 NaF, NaCl, KI의 경우 이온 간 거리가 증가하면서 쿨롱의 힘이 약해지므로 녹는점이 낮아진다.

마찬가지로 Mg와 Ca의 경우 전자껍질 수에 의해 이온의 크기는 원자번호가 큰 Ca^{2+} 이 Mg^{2+} 보다 크므로 MgO와 CaO도 이온 간 거리가 먼 CaO가 녹는점이 낮다. 반면 NaF와 CaO의 경우에서 이온 간 거리는 CaO가 오히려 약간 더 멀다. 하지만 이온들의 전하가 큰 CaO의 녹는점이 훨씬 더 높으므로 거리보다 전하의 영향력이 더 크다.

- 2) 중심이온을 임의로 잡았을 때 모든 반대 전하 이온들은 인력 때문에 안정화된다. 반면 동 일부호 전하 간에는 반발력이 작용해 퍼텐셜에너지가 커져 불안정해진다. 격자에너지 E_p 는 $E_p = kZ^+Z^-/r$ 로 주어지므로 같은 전하 사이에서는 +값을 가지며, 반대 전하 사이에서는 -값을 갖는다. 중심이온을 기준으로 먼저 오른쪽에 있는 이온과의 상호작용에 따른 격자에너지 E_p 를 계산해보면 다음과 같다.

$$E_p = k \times \left[-\frac{z^2}{d} + \frac{z^2}{2d} - \frac{z^2}{3d} + \frac{z^2}{4d} - \dots \right] = -k \frac{z^2}{d} \times \left[1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \dots \right] = -k \frac{z^2}{d} \ln 2$$

중심원자의 왼쪽에 있는 이온에 의한 상호작용까지 고려하면 앞 식을 2배하면 된다. 그 결과 전체 격자에너지 E_p 는 $E_p = -2k z^2/d \ln 2$ 이다. 따라서 마텔롱 상수는 $2\ln 2$ 이다.

- 3) NaCl은 염화이온(Cl^-)이 면심입방 구조를 이루고 한 면의 각 꼭지점 사이의 빈 공간에 Na^+ 가 끼어 들어간 형태다. 단위격자 한 변의 길이를 a 라고 한다면 다음과 같은 식이 구해진다.

$$a = 2r_{\text{음}} + 2r_{\text{양}}, \quad \sqrt{2}a = 4r_{\text{음}}$$

두 식에서 a 를 정리하면 $2\sqrt{2}r_{\text{음}} = 2r_{\text{음}} + 2r_{\text{양}}$ 이다.

따라서 $\frac{r_{\text{양}}}{r_{\text{음}}} = \sqrt{2} - 1$ 이다.

CsCl은 Cl^- 가 단순입방 구조를 이루고 꼭지점 8개 안쪽의 빈 공간에 Na^+ 가 끼어 들어간 형태다. 마찬가지로 단위격자 한 변의 길이를 a 라고 한다면 다음과 같은 식이 구해진다.

$$\sqrt{3}a = 2r_{\text{음}} + 2r_{\text{양}}, \quad a = 2r_{\text{음}}$$

앞과 같은 원리로 $\frac{r_{\text{양}}}{r_{\text{음}}} = \sqrt{3} - 1$ 이다.

보충 : $f(x) = \ln(1+x)$ 를 테일러 다항식으로 나타내고 $\ln 2$ 를 구하면 다음과 같다(단 $-1 < x \leq 1$).

$f(x) = \ln(1+x)$ 의 도함수들은

$$f'(x) = \frac{1}{1+x}, f''(x) = -\frac{1}{(1+x)^2}, f'''(x) = \frac{2}{(1+x)^3}, f^{(4)}(x) = -\frac{3!}{(1+x)^4}, f^{(5)}(x) = \frac{4!}{(1+x)^5}$$

이므로 일반적으로 $k \geq 1$ 일 때

$$f^{(k)}(x) = (-1)^{k+1} \frac{(k-1)!}{(1+x)^k}, f^{(k)}(0) = (-1)^{k+1} (k-1)!$$

$$\frac{f^{(k)}(0)}{k!} = \frac{(-1)^{k+1}}{k!}$$

이다. 여기서 $f(0) = 0$ 이므로 $\ln(1+x)$ 의 n 차 테일러 다항식은

$$P_n(x) = \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} \frac{x^k}{k} = x - \frac{x^2}{2} + \dots + (-1)^{n+1} \frac{x^n}{n}$$

이다. n 이 무한히 커지면 $f(x) = \ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \dots + (-1)^{n+1} \frac{x^n}{n} + \dots$ 이다.

그러므로 x 가 1이면 $\ln 2 = 1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} \dots$ 이다.

2008년 07월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]화학결합의 열역학적 특성 - 화학결합에 숨은 열역학적 원리와 오비탈 구조에 대해 공부하자.

전기음성도가 다른 원소간 반응열

문제 01 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 양이온과 음이온으로 구성된 염과, 같은 원자로 구성된 이원자 분자는 각각 이온결합과 공유결합의 극단적인 형태를 보인다. 그러나 서로 다른 원자 사이의 공유결합은 전자쌍을 똑같이 공유한다고 말할 수 없다.

$\frac{1}{2}\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{HCl}$	$\Delta H_f = -92 \text{ kJ/mol}$
$\frac{1}{2}\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{HF}$	$\Delta H_f = -271 \text{ kJ/mol}$
$\text{Na} + \frac{1}{2}\text{Cl}_2 \rightarrow \text{NaCl}$	$\Delta H_f = -411 \text{ kJ/mol}$
$\text{Na} + \frac{1}{2}\text{F}_2 \rightarrow \text{NaF}$	$\Delta H_f = -574 \text{ kJ/mol}$
$\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	$\Delta H_f = -286 \text{ kJ/mol}$
$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$	$\Delta H_f = -394 \text{ kJ/mol}$

1932년 라이너스 폴링은 공유결합에서 공유전자쌍을 끌어당기는 힘의 상대적 차이를 수치화해 전기음성도라는 개념을 도입했다. 다른 원자 사이의 공유결합(AB)을 끊는데 필요한 결합에너지는 같은 종류 원자 사이의 공유결합(AA, BB)을 끊는데 필요한 결합에너지의 기하평균보다 항상 크게 나타난다.

$$\Delta = D_e(AB) - \sqrt{D_e(AA)D_e(BB)} > 0 \quad (\text{단 } D_e \text{는 결합에너지})$$

실제 AB 결합에서는 구성 원자가 다르므로 전자의 공유가 동등하게 이뤄지지 않아 약간의 전자 밀도 차가 발생한다. 따라서 원자 사이의 전하를 발생시키고 이온성을 갖게 함으로써 결합이 강해지는 효과가 나타난다. 폴링은 이런 효과를 전기음성도의 차이와 연관시켜 다음 식을 제안했다.

$$\chi_A - \chi_B = 0.012 \Delta^{1/2} \quad (\chi_A, \chi_B \text{는 A와 B의 전기음성도, } \Delta \text{의 단위는 kJ/mol})$$

모든 원자 중에서 전기음성도가 가장 센 원자는 플루오르($\chi_F = 4.0$)이다. 라이너스 폴링은 플루오르의 전기음성도를 기준으로 삼아 다른 원자의 상대적인 전기음성도를 구했다.

일반적으로 전기음성도 차이가 큰 원소들이 결합하면 안정화 효과가 크기 때문에 많은 열이 나온다. 흡수의 반응열은 에너지가 낮아져 열이 나오는 것을 의미한다.

(나) 반응열은 반응물질의 결합에너지 합과 생성물질의 결합에너지 합의 차이이다. 흡수된 반응물의 결합에너지 총합이 방출된 생성물의 결합에너지 합보다 크면 주변으로부터 열을 흡수하는 흡열반응($\Delta H > 0$)이고, 흡수된 반응물의 결합에너지 합이 방출된 생성물의 결합에너지 합보다 작으면 주변으로 열을 방출하는 발열반응($\Delta H < 0$)이다.

$$x_A - x_B = 0.012 \Delta^{1/2} \quad (x_A, x_B \text{는 A와 B의 전기음성도, } \Delta \text{의 단위는 kJ/mol})$$

(다) 생성열은 어떤 물질 1몰이 그 물질을 이루는 가장 안정한 홑원소물질로부터 생성될 때 방출 또는 흡수하는 열량이며 ΔH_f 로 나타낸다. 여기서 아래첨자 f는 생성(formation)을 의미한다. 특히 25°C, 1기압 표준상태에서의 생성열을 표준생성열이라 한다.

- 1) 수소(H_2)와 플루오르(F_2)의 결합에너지는 각각 436kJ/몰, 157kJ/몰이며 HF의 결합에너지는 568kJ/몰이다. 제시문을 이용해 수소의 전기음성도를 계산하라(단 유효숫자는 2개다).
- 2) 반응열은 반응물의 결합에너지 합과 생성물의 결합에너지 합의 차이로부터 구한다. 이밖에 엔탈피의 특성을 이용해 생성열로부터 반응열을 구하는 방법을 제시하라.
- 3) H, Cl, F, O, Na, C의 전기음성도 순서를 발열량으로부터 추론하라(2008학년도 서울대 정시 기출문항).

▶ 전문가 클리닉

공유결합은 비금속원소 사이에서 원자들이 전자를 공유하며 형성하는 결합입니다. 공유결합이 일어난 뒤에는 비활성기체의 전자배치를 가지므로 안정화됩니다. 또 같은 원자끼리의 공유결합보다 다른 원자와의 공유결합에서는 전기음성도 차이에 의해 전하전이가 발생하므로 공유결합이 강해집니다.

▶ 예시답안

- 1) HF 사이의 공유결합을 끊는데 필요한 결합에너지는 수소의 결합에너지와 플루오르의 결합에너지의 기하평균보다 훨씬 큰 값을 나타낸다.

$$\Delta H = \Sigma D_{\text{반응물질}} - \Sigma D_{\text{생성물질}}$$

즉 수소와 플루오르가 결합하면서 원래의 공유결합보다 훨씬 강한 결합을 한다. 주어진 식에 따라 플루오르와 수소의 전기음성도 차이를 구해보면,

$$\Delta = D_e(HF) - \sqrt{D_e(H_2)D_e(F_2)} = 306\text{kJ/몰}$$

이다. 플루오르의 전기음성도는 4.0이므로 수소의 전기음성도는 약 2.2이다.

- 2) 엔탈피는 상태함수이므로 처음과 나중 상태에서 엔탈피 값을 안다면 경로와는 상관없이 엔탈피의 변화 즉 반응열을 구할 수 있다. 따라서 실험적으로 구하지 않더라도 이미 알고 있는 다른 반응을 이용한다면 우리가 원하는 반응의 반응열을 구할 수 있다.

화학반응에서 그 반응이 핵반응이 아니라면 반응물과 생성물을 구성하는 원소의 종류와 개수는 같다. 즉 반응물과 생성물은 같은 홑원소 물질로부터 만들어진다.

홑원소 물질로부터 반응물을 만들 때 엔탈피 변화는 반응물의 생성열이며, 같은 홑원소 물질로부터 생성물을 만들 때 엔탈피 변화는 생성물의 생성열이다. 따라서 전체 반응의 반응열은 생성물의 생성열 합과 반응물의 생성열 합의 차이이다. 엔탈피 변화의 방향성을 고려해 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta H = \Sigma \Delta H_f (\text{생성물질}) - \Sigma \Delta H_f (\text{반응물질})$$

- 3) 전기음성도는 공유결합에서 공유하는 전자쌍을 끌어당기는 힘을 나타낸다. 일반적으로 양이온이 되려는 성질이 강한 금속보다는 음이온이 되려는 성질이 강한 비금속이 전기음성도가 더 크다. 따라서 주기율표의 오른쪽 위로 갈수록 전기음성도 값이 커지는 경향이 있다.

공유결합에서 전기음성도 차이가 클수록 결합은 더 강해지고 안정화되므로 생성물의 전기음성도 차이와 발열량이 비례한다. 즉 발열량 차이를 이용하면 전기음성도의 상대적 위치를 추론해 낼 수 있다. 제시문에 주어진 반응 중

$1/2H_2 + 1/2Cl_2 \rightarrow HCl$ 의 ΔH_0 가 -92kJ/몰 이므로 Cl과 H의 전기음성도 차이는 92이다. 같

은 방식으로 F가 H보다 271만큼, Cl이 Na보다 411만큼, F가 Na보다 574만큼 전기음성도가 크다. 이때 물(H₂O)의 경우 한 분자 내에 H와 O 사이의 결합이 2개이므로 발열량을 절반으로 나눈 값을 전기음성도 차이로 볼 수 있다. 따라서 전기음성도는 H보다 O가 143만큼 크다.

이산화탄소(CO₂)의 경우에는 탄소와 산소의 공유결합이 이중결합이므로 한 분자 내에 공유결합이 4개 존재한다. 실제로 이중결합의 각 공유결합이 동일한 결합력을 갖는다고 보기는 힘들지만 같다고 가정해보자. 탄소와 산소의 전기음성도 차이는 발열량의 이므로 산소가 탄소보다 98.5만큼 크다. 따라서 전기음성도를 큰 순서대로 나타내면 다음과 같다.

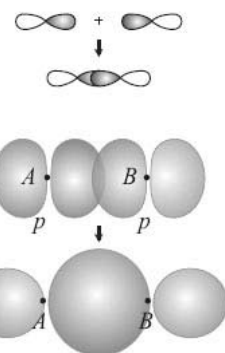
F > O > Cl > C > H > Na

문제 02 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

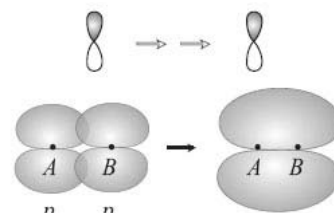
- (가) 공유결합을 하는 두 원자 사이에 전기음성도 차이가 발생하면 공유전자쌍이 전기음성도가 큰 쪽으로 치우쳐 부분적인 (-)전하를 띤다. 반대로 전기음성도가 작은 원자는 같은 크기의 (+)전하를 띤다. 이런 전자의 불균일한 분포에 의해 쌍극자 모멘트(μ)가 발생한다. 따라서 쌍극자 모멘트는 결합의 극성을 정량적으로 나타내며 전하량(q)과 전하 사이의 거리(r)의 곱인 $\mu = q \times r$ 로 표현된다.

한 분자 내에 존재하는 쌍극자 모멘트는 분자의 모양과 구조에 따라 상쇄되기도 한다. 쌍극자 모멘트의 합이 0이면 극성이 사라지므로 무극성분자가 되고, 쌍극자 모멘트의 합이 0이 아니면 극성분자가 된다.

- (나) 공유결합은 각 원자의 오비탈 겹침에 의해 안정화되는 효과로 설명된다. 예를 들어 수소 분자에서는 각 수소 원자의 1s오비탈의 겹침에 의해 공유결합이 형성된다. 오비탈의 겹침이 정면에서 일어나 핵을 연결하는 축에 대칭인 결합을 시그마(σ)결합이라 한다.



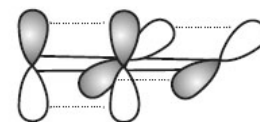
<그림 1> 시그마결합



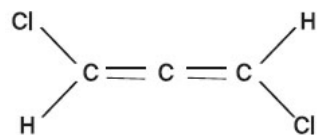
<그림 2> 파이결합

다. <그림1>은 p오비탈과 p오비탈의 겹침에 의한 시그마 결합을 보여준다. 반면 <그림2>는 오비탈이 측면에서 평행하게 접근해 형성되는 파이(π)결합을 보여준다. 시그마결합은 파이결합에 비해 결합의 세기가 강하며, 분자의 골격을 이룰 때 주로 사용된다.

- (다) 중심원자가 둘 이상의 서로 다른 원자 오비탈을 혼합해 새로운 오비탈을 형성하는 경우 이를 혼성오비탈이라 한다. 예를 들어 탄소 원자는 원자가전자로 2s오비탈과 2p오비탈에 각각 전자를 2개씩 갖고 있다. 탄소 원자는 혼성오비탈을 이루기 위해서 먼저 2s오비탈에서 2p오비탈로 전자 1개를 전이시킨다. 탄소는 4개의 다른 원자와 공유결합을 하기 위해서 2s오비탈과 3개의 2p오비탈을 혼성화해 sp^3 혼성오비탈을 형성한다. 또 탄소 원자가 3개의 다른 원자와 공유결합을 하기 위해서는 2s오비탈과 2개의 2p오비탈을 혼성화해 sp^2 혼성오비탈을 형성해야 한다. 이때 탄소 원자에 남은 p오비탈은 다른 원자의 p오비탈과 측면 겹침에 의해 파이결합을 형성한다. 반면 2개의 다른 원자와 결합하기 위해 2s오비탈과 1개의 2p오비탈을 혼성화해 sp 혼성오비탈을 형성했다면 2개의 p오비탈이 남아 있으므로 다른 원자와 2개의 파이결합을 이룬다.



그림과 같이 알렌 분자는 3개의 탄소가 이중결합으로 연결돼 있는 구조를 갖고 있다. 각 탄소의 혼성 오비탈을 예측하고 분자가 극성 분자일지 무극성분자일지 추론하라.



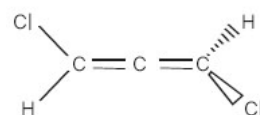
▶ 전문가 클리닉

분자의 극성은 물리적 특성과 연관이 있으므로, 극성 여부를 구조로부터 알아낸다면 분자의 특성을 예측할 수 있습니다. 이번 문제는 분자의 구조를 혼성 오비탈로부터 알아내고 분자 내 존재하는 쌍극자 모멘트의 상쇄 여부를 공간적으로 판단해 설명하는 문제입니다.

▶ 예시답안

알렌 분자 내의 양끝에 있는 탄소는 3개의 다른 원자와 공유결합을 이루므로 sp^2 혼성 오비탈을 형성한다. 그러므로 양 끝의 각 탄소에 남은 p오비탈은 중심에 있는 탄소 원자와 파이결합을 이룬다. 반면 중심에 있는 탄소 원자는 2개의 다른 탄소 원자와 결합하므로 sp 혼성 오비탈을 형성하고, 남은 2개의 p오비탈을 이용해 2개의 파이결합을 한다. 그러나 중심에 있는 탄소의 남은 2개의 p오비탈은 직교하므로 같은 평면에서 파이결합이 형성되지 못하고 서로 수직으로 만들어진다(그림 참조).

분자의 모양은 다음과 같이 그릴 수 있다. 즉 양끝의 탄소, 수소, 염소를 포함하는 평면은 서로 수직이다. 따라서 탄소와 염소의 전기음성도 차이에 의해 만들어진 쌍극자 모멘트는 서로 상쇄되지 않으므로 알렌 분자는 극성을 띤다.

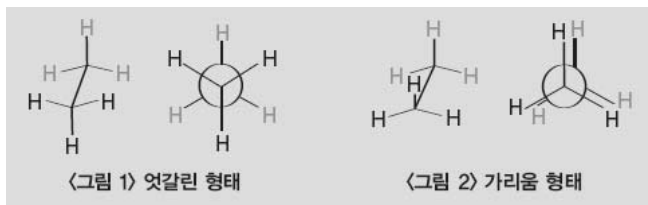


2008년 08월호 - 화학면접구술고사 완벽가이드

[화학]분자 형태가 분자에 미치는 영향

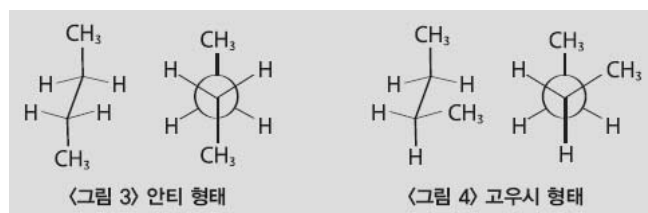
문제 01 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

- (가) 형태 분석이란 분자 형태의 요인이 어떻게 분자 구조와 물리적, 화학적, 생리적 성질에 영향을 주는지 다루는 분야다. 에탄(C_2H_6)에서 탄소와 탄소 사이의 결합은 회전이 가능한 단일결합이다. 회전으로 생기는 두 가지 중 하나는 엇갈린 형태(그림1)이며, 다른 하나는 가리움 형태(그림2)다.



엇갈린 형태에서 한 탄소의 C-H 결합은 이웃한 다른 탄소의 H-C-H 각을 이등분한다. 가리움 형태는 한 탄소의 C-H 결합이 다른 탄소의 C-H 결합과 겹치게 배열된다. 엇갈린 형태가 가장 안정하며 가리움 형태가 가장 불안정하다. 두 형태의 에너지 차이는 약 12kJ/몰이다. 가리움 형태가 엇갈린 형태에 비해 갖는 여분의 에너지를 비틀림 무리라 한다.

- (나) 부탄의 중앙에 있는 두 탄소 간의 결합 회전과 연관된 형태를 고려해보자. 안티 형태(그림3)와 고우시 형태(그림4)라는 두 개의 엇갈린 형태가 존재한다.



두 형태 모두 비틀림 무리가 없는 엇갈린 형태이지만 고우시 형태는 분자 내의 두 원자가 가깝게 접근해 있어 그로 인해 생기는 반발력으로 더 불안정하다. 이런 분자의 불안정성을 입체 장애라고 한다. 부탄의 경우 고우시 형태는 안티 형태보다 약 3.3kJ/몰만큼 더 불안정하다.

- (다) 1880년대 후반 오원자 고리나 육원자 고리를 포함하는 화합물이 많이 알려졌지만 더 작거나 큰 고리 화합물은 만들지 못했다. 이런 현상에 대해 독일의 화학자 아돌프 폰 바이어는 이론적인 해석을 제안했다. 그는 고리 각도가 정사면체인 109.5° 를 가져야 하기 때문에 오원자 또는 육원자 고리보다 작은 고리는 존재하지 않는다고 주장했다. 삼원자나 사원자 고리는 이상적인 결합각(109.5°)에서 벗어나므로 불안정성을 가지며 이를 결합각 무리라 한다. 바이어에 따르면 오원자 고리는 결합각 108° 를 가지므로 다른 시클로알칸(C_nH_{2n})보다 정사면체의 결합각에 가깝다. 그는 시클로펜탄(C_5H_{10})이 시클로알칸 중 가장 안정하다고 예측했다.
- (라) 지방산에서 탄소 사이의 결합이 단일결합이면 포화지방산, 이중결합을 포함하면 불포화지방산이라 한다. 불포화지방산은 산화가 쉽게 일어나므로 저장성이 떨어지고 가격이 비싸다. 그래서 불포화지방산의 이중결합에 수소를 강제로 첨가해 포화지방산으로 변화시킨 경화유를 개발해 식품 가공에 사용한다. 식물성기름에 수소를 첨가하는 경화 과정 중에 일부 불포화지방산의 기하학적 형태가 시스(cis)형에서 트랜스(trans)형으로 바뀌어 트랜스지방이 생성된다.
- (마) 이중결합에 수소를 첨가하는 반응은 발열반응이며 반응속도가 대단히 느리다. 따라서 팔라듐, 니켈 같은 금속 촉매를 이용해 수소 첨가반응의 속도를 증가시킨다. 알켄의 수소

첨가반응 메커니즘은 다음과 같다.

- 1단계 : 수소분자가 촉매 표면에서 금속 촉매와 반응해 수소-수소 결합이 끊어지고 두 개의 약한 금속-수소 결합이 생성된다.
- 2단계 : 알켄이 금속 촉매와 반응해 두 탄소 간의 결합이 끊어지고 상대적으로 약한 두 개의 탄소-금속 결합이 생성된다.
- 3단계 : 수소원자가 촉매 표면에서 이중결합의 탄소 쪽으로 이동해 먼저 하나의 탄소와 수소 사이에 결합을 형성한다.
- 4단계 : 두 번째 수소가 이동해 나머지 탄소와 수소 사이에 결합을 이뤄 알칸이 만들어진다.

1) 시클로알칸의 상대적 에너지를 조사하려면 연소열을 비교해야 한다. 연소열을 n 으로 나눠 CH_2 당 연소열을 비교하면 고리 크기에 따른 상대적인 에너지를 구할 수 있다. 다음 표를 이용해 바이어가 제안한 개념의 오류를 찾아 설명하라.

2) 불포화지방산은 이중결합을 포함해 시스지방산과 트랜스지방산으로 구분된다. 시스지방산과 트랜스지방산의 상대적인 에너지를 제시문을 바탕으로 설명하라. 또 식물성기름에 수소를 첨가하는 과정 중 트랜스지방이 생성되는 이유를 추론해 설명하라.

종류	CH_2 의 수	연소열(kJ/몰)	종류	CH_2 의 수	연소열(kJ/몰)
시클로프로판	3	2091	시클로헥탄	7	4599
시클로부탄	4	2721	시클로옥탄	8	5267
시클로펜탄	5	3291	시클로노난	9	5933
시클로헥산	6	3920	시클로데칸	10	6587

▶ 전문가 클리닉

첫 번째 문제에서는 바이어의 이론이 실제 시클로알칸의 안정성을 정확히 설명할 수 없음을 논리적으로 서술해야 합니다. 두 번째 문제에서는 입체 장애를 바탕으로 시스형과 트랜스형의 안정성을 이해하고 최근 사회적으로 논란을 가져온 트랜스지방이 생성되는 과정을 가역반응과 연관지어 추론해 낼 수 있어야 합니다.

▶ 예시답안

- 1) 시클로알칸의 연소열은 고리의 골격을 이루는 탄소의 개수에 따라 증가한다. 고리 크기와 각 시클로알칸의 에너지를 직접 비교하기 위해 연소열을 탄소 개수로 나누면 다음과 같다.

시클로프로판의 CH_2 당 연소열이 큰 이유는 결합각이 정사면체의 결합각인 109.5° 에서 가장 많이 벗어나 결합각 무리가 크기 때문이다. 시클로부탄에서 시클로펜탄으로 탄소의 개수가 증가하면서 결합각 무리가 줄고 CH_2 당 연소열이 감소한다. 그러나 시클로헥산 이후부터는 CH_2 당 연소열이 거의 일정하다. 고리 크기에 따라 결합각 무리가 계속 증가한다는 바이어의 예측과 다르다. 이런 차이가 발생한 이유는 바이어가 시클로알칸의 고리를 평면으로 가정했기 때문이다.

시클로프로판을 제외한 모든 시클로알칸은 평면이 아니다. 시클로헥산은 입체적인 의자 형태로 모든 결합각이 109.5° 를 이뤄 가장 작은 결합각 무리를 가진다. 시클로알칸의 고리

시클로알칸	CH_2 의 수	CH_2 당 연소열(kJ/몰)
시클로프로판	3	697
시클로부탄	4	681
시클로펜탄	5	658
시클로헥산	6	653
시클로헥탄	7	657
시클로옥탄	8	658
시클로노난	9	659
시클로데칸	10	659

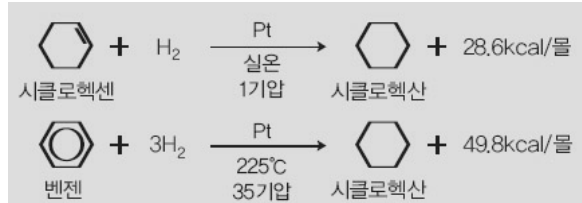
크기가 커지면 109.5°의 각도에 가까워지도록 형태를 변형해 결합각 무리를 줄인다.

- 2) 시스형은 알킬기가 이중결합을 기준으로 같은 방향에 존재하므로 입체 장애 때문에 불안정해져 트랜스형에 비해 높은 에너지를 갖는다. 자연계에 존재하는 불포화지방산은 시스형으로만 존재한다. 트랜스지방은 불포화지방산에 수소를 첨가시켜 포화지방산을 만드는 과정에서 발생한다. 수소 첨가반응은 제시문 (마)에 주어진 메커니즘에 따라 진행되는데, 가역적인 반응이라 3단계에서 4단계로 넘어가면서 포화지방산을 형성하지만 3단계 이후 탄소-탄소 간에 단일결합 축을 따라 회전이 가능하고 역반응이 일어나면 시스형과 트랜스형이 모두 형성된다. 트랜스형이 시스형보다 안정하므로 주로 트랜스지방이 만들어진다.

문제 02 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

벤젠은 단일결합과 이중결합이 교대로 존재하는 구조가 아니라 6개의 탄소-탄소 결합이 동등하게 공명구조에 의해 혼성화된 구조다. 탄소-탄소 결합은 결합길이가 모두 같고 120°의 결합각을 이루며 에너지적으로 안정화돼 있다. 벤젠은 첨가반응보다 치환반응을 잘한다. 공명구조에 의한 벤젠의 안정성은 수소 첨가반응의 반응열로부터 예측된다.

벤젠을 공명구조가 아닌 이중결합 3개를 포함하는 육각형의 고리로 본다면 시클로헥센의 수소 첨가반응에서 발생하는 반응열의 3배(85.8kcal/몰)에 해당하는 반응열이 나와야 한다. 예측보다 반응열이 36.0kcal/몰 적게 발생했다는 점은 벤젠이 공명구조에 의해 36.0kcal/몰만큼 안정화됐음을 뜻한다. 이런 에너지 차이를 공명에너지라고 한다.



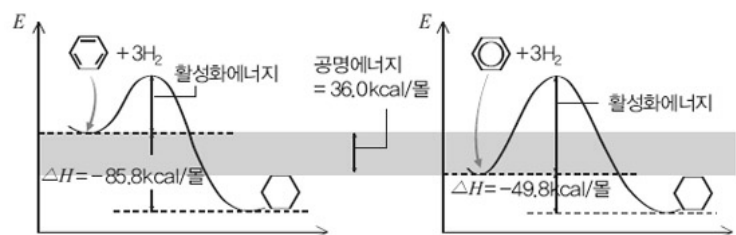
벤젠은 공명구조의 안정성 때문에 첨가반응보다 치환반응을 주로 한다. 공명구조에 의한 안정화효과와 반응속도와의 관계를 고려해 이를 설명하라.

▶ 전문가 클리닉

공명구조란 분자의 골격을 이루는 결합은 유지하면서 전자나 비결합성 전자의 분포만 다른 구조를 뜻합니다. 공명구조는 시간 간격을 두고 공명구조 사이를 왔다 갔다 하는 것이 아니라 공명 혼성체를 이루면서 공명구조의 특성을 혼합한 하나의 구조를 갖습니다. 공명구조를 갖는 물 벤젠을 비롯해 오존, 카르복시산의 음이온, SO₂입니다.

▶ 예시답안

벤젠은 공명구조에 의한 안정화효과 때문에 공명구조를 고려하기 전에 비해 36.0kcal/몰만큼 낮은 에너지 상태를 갖는다. 벤젠의 수소 첨가반응에서 활성화물이 같다고 가정한다면 안정화된 에너지는 결국 활성화에너지를 증가시킨다. 활성화에너지가 증가되면 반응속도가 느려지므로 첨가반응이 쉽게 일어나지 않는다.



2008년 09월호 - 농구술 완벽 가이드

[화학]가스하이드레이트의 치환 반응

| 글 | 이준호 · porphy1970@paran.com |

대체에너지로서 가스 하이드레이트를 살펴보고 산과 염기의 중화적정에 대해 이해해 봅시다.

문제1 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 금년 초부터 진행되는 국제 유가의 급속한 상승이 국제 경제를 공황 분위기로 몰아가고 있다. 제2차 오일쇼크 이후 20년간 안정된 상태를 유지하던 국제 유가는 2001년도의 배럴당 20달러 수준에서 다시 급등하기 시작해 현재까지 무려 7배나 상승했다. 이런 석유 대란을 극복하는 근본적인 방법 중 하나는 깨끗하고 고갈되지 않는 신재생에너지다. 우리나라는 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물, 유기체를 포함해 재생가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지로 신재생에너지를 정의하고 11개 분야로 구분해 개발과 연구에 박차를 가하고 있다.

(나) 독도 주변 해역에 매장된 것으로 알려진 ‘가스 하이드레이트’가 주목받고 있다. 가스 하이드레이트는 일반적인 수화물에서와는 달리 물(얼음)이 주체(host)이고 가스가 객체(guest)로서 서로 물리적으로 결합돼 있는 화합물이다. 가스 하이드레이트는 매우 작은 부피에 다량의 천연가스를 함유하고 있고, 온도나 압력을 조작해 쉽게 다량의 천연가스를 얻을 수 있는 차세대 대체 에너지원이다. 불을 붙이면 활활 타오르는 데다 모습이 드라이아이스와 비슷해 ‘불타는 얼음’이라고도 불린다.

가스 하이드레이트는 연소시 다른 화석연료에 비해 이산화탄소 발생량이 적고, 불순물이 배제돼 오염물질을 거의 배출하지 않는다. 가스 하이드레이트는 전 세계적으로 10조~12조t 가량 매장돼 있고, 주로 동토지역과 심해저(1000~2000m)에 분포한다. 한반도 인근 동해에 약 6억t 매장된 것으로 추정되는데, 이 양은 우리나라 천연가스 소비량의 약 30년 치이며 현재의 천연가스 금액을 기준으로 약 150조원에 해당한다.

(다) 가스 하이드레이트는 고체인 얼음 속에 가스 분자가 용해된 형태다. 고압과 저온의 상태에서는 가스가 얼음 속에 녹아 있지만 압력이 낮아지고 온도가 올라가면 가스가 해리돼 방출된다. 가스 하이드레이트에 많이 녹아 있는 메탄은 온실가스로서 이산화탄소보다 24배나 더 온실 효과에 기여한다. 이런 메탄이 대기 중으로 나오면 지구온난화를 가속시키므로 가스 하이드레이트로부터 가스를 안전하고 효율적으로 분리해 내는 기술을 우선 연구해야 한다.

이뿐만 아니라 가스 하이드레이트는 고체이기 때문에 석유나 가스 같이 파이프라인을 이용해 채취한다면 관 막힘 현상이 일어난다. 또 우리나라 동해 일대는 수심이 깊고 조류가 빨라 시추관을 설치하기가 어려우며, 시추관을 설치한 뒤 바다 한가운데에서 육지까지 메탄을 대량으로 운송해야 한다는 점도 과제로 남아있다. 마지막으로 가스 하이드레이트층의 변화가 지각 변동에 어떤 영향을 주는지에 대한 조사도 병행해야 한다.

최근 국내 연구진이 이산화탄소와 질소와의 혼합기체를 가스 하이드레이트에 공급해 메탄과 직접 맞교환하는 기술을 개발해 특허출원을 했다. 이 기술을 이용하면 해저층의 붕괴 없이 가스 하이드레이트로부터 메탄을 직접 회수할 수 있을 뿐 아니라 대기 중의 온실가스를 저장하는 공정을 동시에 수행할 수 있다.

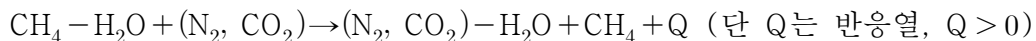
가스 하이드레이트 내의 메탄이 이산화탄소와 질소와의 혼합기체로 치환되는 과정이 발열반응이라 할 때, 그 이유를 분자간의 인력을 고려해 서술하라.

▶ 전문가 클리닉

독도분쟁은 단순히 영토의 주권문제가 아니라 독도 주변 수역에 묻혀 있는 150조원 상당의 가스 하이드레이트를 확보하기 위한 에너지 분쟁입니다. 이번 문제는 가스 하이드레이트 내의 메탄을 이산화탄소와 질소로 치환하는 과정에서 발생하는 발열반응을 분자간 인력의 개념을 이용해 설명하는 문제입니다.

▶ 예시답안

물과 물리적으로 결합하는 가스 하이드레이트에 질소와 이산화탄소의 혼합기체를 공급해 메탄과 맞교환하는 방식을 화학반응식으로 표현하면 다음과 같다.

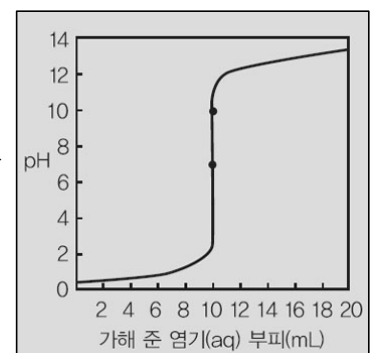


물은 굽은형의 구조 때문에 쌍극자 모멘트의 합이 0이 아니므로 극성 분자다. 그러나 물에 수화되는 기체들 중 메탄, 이산화탄소, 질소는 모두 분자의 대칭 구조 때문에 쌍극자 모멘트의 합이 0이거나 전기음성도 차이가 없는 동종 이원자 분자이므로 무극성 분자다. 극성분자가 무극성 분자의 근처에 있을 경우 무극성 분자의 전자 분포가 찌그러지며 양전하와 음전하가 분리돼 유발 쌍극자가 발생한다. 극성 분자의 쌍극자와 무극성 분자의 유발 쌍극자 사이에 생긴 정전기적 인력으로 분자간 인력이 발생한다.

유발 쌍극자의 크기는 극성 분자의 쌍극자 모멘트 크기에 따라 결정된다. 또한 무극성 분자에 전자 개수가 많거나 분자를 둘러싸는 전자구름이 넓은 영역에 분포할 때 유발 쌍극자의 크기는 커진다. 즉 유발 쌍극자의 크기는 무극성 분자의 분자량과 분자의 표면적에 비례한다. 따라서 물과 기체 분자 사이의 인력은 기체 분자의 분자량과 표면적으로 결정된다. 메탄의 분자량은 16, 이산화탄소의 분자량은 44, 질소의 분자량은 28이므로 물과 메탄 사이의 인력보다 물과 혼합기체 사이의 인력이 더 강하다. 질소와 이산화탄소의 혼합기체를 공급해 메탄과 맞교환하는 방식은 물과 메탄 사이의 분자간 인력을 끊고, 질소와 이산화탄소의 혼합기체와 물과의 새로운 인력을 형성하는 반응이다. 분자간 인력을 끊기 위해서는 에너지가 필요하므로 흡열과정이며, 새로운 결합이 형성되면 에너지적으로 안정화돼 발열반응이 일어난다. 이때 물과 메탄 사이의 인력보다 물과 혼합기체와의 인력이 더 강하므로 흡열 열량보다 발열 열량이 더 크다. 즉 메탄이 혼합기체로 치환되는 반응은 발열반응이다.

문제2 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

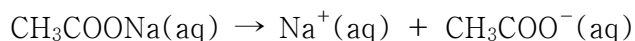
- (가) 중화반응을 이용해 농도를 모르는 산이나 염기의 농도를 알아내는 방법을 중화 적정이라고 한다. 중화 적정에서는 산이나 염기의 세기에 관계없이 산의 H^+ 와 염기의 OH^- 가 일대일로 반응한다. 산을 적정할 때는 염기를, 염기를 적정할 때는 산을 미리 정확한 농도로 만들어야 하는데 이러한 용액을 표준용액이라 한다.
- 농도를 모르는 일정한 부피의 산에 염기의 표준 용액을 조금씩 가하면 어느 순간 산의 H^+ 몰수와 염기의 OH^- 몰수가 같게



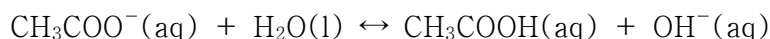
<그림1> 산-염기 적정 곡선

된다. 이러한 순간을 중화점이라 한다. 중화 적정에서 산 또는 염기의 용액에 염기 또는 산을 가함에 따라 pH의 변화를 나타낸 그래프를 산-염기 적정 곡선이라고 한다.

- (나) 염의 수용액은 항상 중성을 나타내는 것이 아니며 산성 또는 염기성을 나타낼 수도 있다. 강한 산과 강한 염기의 중화로 생긴 염의 수용액은 중성을 나타낸다. 이것은 강한 산의 음이온과 강한 염기의 양이온이 수용액에서 옥소늄이온(H_3O^+)이나 수산화이온(OH^-)을 생성하지 못하기 때문이다. 그러나 아세트산나트륨(CH_3COONa)과 같이 약한 산과 강한 염기의 중화로 생긴 염의 수용액은 염기성을 나타낸다. 아세트산나트륨을 물에 녹이면 다음과 같이 이온화된다.

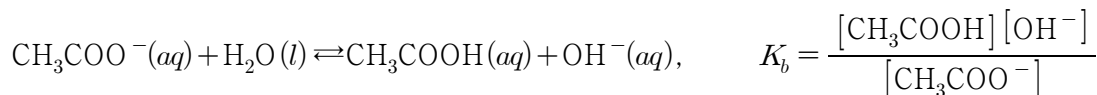
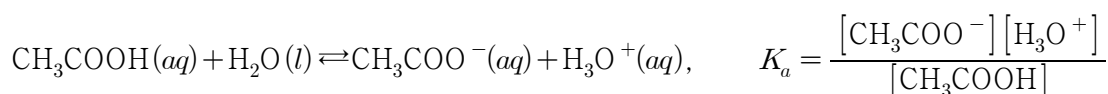


생성된 CH_3COO^- 은 약한 산인 CH_3COOH 의 짝염기다. CH_3COOH 이 약한 산인 이유는 CH_3COO^- 의 H^+ 에 대한 친화력이 크기 때문이다. 따라서 CH_3COO^- 의 일부가 H_2O 와 반응해 OH^- 를 생성하므로 수용액은 약한 염기성을 나타낸다.

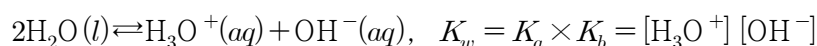


이와 같이 염의 수용액 중에서 염을 이루는 어떤 이온이 물과 반응해 H_3O^+ 이나 OH^- 를 내놓아 수용액의 액성이 산성 또는 염기성을 나타내는 반응을 염의 가수분해라고 한다.

- (다) 짝산과 짝염기의 관계에 있는 CH_3COOH 와 CH_3COO^- 의 수용액에서 산과 염기의 이온화 반응식을 나타내면 각각 다음과 같다.



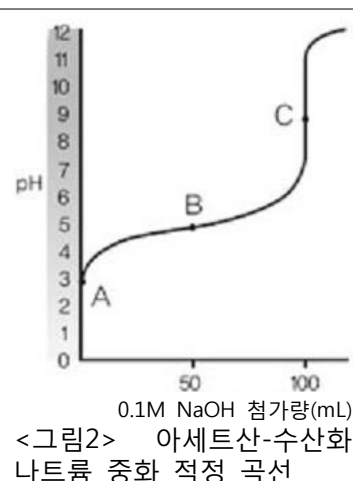
두 반응을 합하면 물이 자동으로 이온화되므로 전체 반응의 평형상수(K_w)는 두 반응의 평형상수 곱이다.



물의 이온곱상수는 온도에 따라서만 변하므로 일정한 온도에서는 짝산의 K_a 만 주어지더라도 짝염기의 K_b 값을 알 수 있다.

농도를 모르는 아세트산(CH_3COOH) 100mL를 0.1M의 수산화나트륨(NaOH)으로 적정할 때의 그래프가 <그림2>와 같다. 다음 표는 A, B, C 세 점에 대한 자료다. 아세트산의 농도를 구하고 세 점에서 pH를 각각 구하라. 단 아세트산의 $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$, $pK_a = 4.7$, $\sqrt{1.8} = 1.3$, $\log 1.3 = 0.11$, $\log 5.6 = 0.75$, $\log 2 = 0.70$ 이다.

	첨가한 0.1M NaOH의 양(mL)
A	0
B	50
C	100



▶ 전문가 클리닉

이번 문제는 약한 산과 강한 염기의 중화 적정 그래프를 이용해 완충 용액과 염의 가수분해를 이해하는지 평가하는 문제입니다. 중화점 전후로 용액의 조성 and pH가 어떻게 변하는지를 철저히 정리해두길 바랍니다.

▶ 예시답안

아세트산(CH_3COOH) 수용액 100mL를 표준용액인 0.1M 수산화나트륨(NaOH) 수용액으로 적정한 적정 곡선에서 pH의 변화가 심하게 일어나는 곳이 변곡점이고, CH_3COOH 과 NaOH 은 각각 1가의 산과 염기이므로 아세트산 수용액의 농도는 0.1M이다.

CH_3COOH 은 약한 산이므로 수용액만 존재하는 점 A에서는 다음과 같은 평형이 존재한다.

	$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$	+	$\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
반응전	C				-		-
이온화	$-C \times \alpha$				$+C \times \alpha$		$+C \times \alpha$
평형	$C - C \times \alpha$				$C \times \alpha$		$C \times \alpha$

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha} = C\alpha^2$$

아세트산은 약한 산이므로 $1-\alpha \approx 1$ 이며, 이를 대입해 정리하면 $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}}$ 다. 이때 $[\text{H}_3\text{O}^+] = C \times \alpha = \sqrt{K_a C}$ 이다. 그러므로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{1.8 \times 10^{-5} \times 0.1} = 1.3 \times 10^{-3}$ 이며, $\text{pH} = -\log(1.3 \times 10^{-3}) = 2.89$ 이다.

또 $K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ 의 양변에 $-\log$ 를 취하고 정리하면 다음과 같다.

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

점 B에서는 0.1M NaOH 50mL 안의 OH^- 몰수(=MV=0.1×0.05=5×10⁻³)만큼 0.1M CH_3COOH 100mL 안의 CH_3COOH 와 일대일로 중화반응 했으므로 남아 있는 CH_3COOH 의 몰수는 (0.1×0.1)-(0.1×0.05) = 5×10⁻³이고 생성된 CH_3COO^- 의 몰수는 5×10⁻³이다. 이때 $[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{CH}_3\text{COO}^-]$ 이므로 앞 식의 log값은 0이며 $\text{pH} = \text{p}K_a$ 이므로 B의 pH는 4.7이다.

C는 중화점으로 0.1M CH_3COOH 100mL 안의 CH_3COOH 와 0.1M NaOH 100mL 안의 NaOH 가 일대일로 완전히 중화반응 했으므로 생성된 CH_3COONa 의 몰수는 0.1×0.1=1×10⁻²이다. 수용액의 부피는 200mL이므로 $[\text{CH}_3\text{COONa}] = 5 \times 10^{-2}\text{M}$ 이다. CH_3COONa 이 100% 이온화한다고 가정하면 $[\text{CH}_3\text{COONa}] = [\text{CH}_3\text{COO}^-]$ 이다.

	$\text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	\rightleftharpoons	$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$	+	$\text{OH}^-(\text{aq})$
반응전	C				-		-
이온화	$-C \times \alpha$				$+C \times \alpha$		$+C \times \alpha$
평형	$C - C \times \alpha$				$C \times \alpha$		$C \times \alpha$

$[\text{OH}^-] = C \times \alpha = \sqrt{K_b C}$ 이고 $K_b = \frac{K_w}{K_a}$ 이므로 $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] = 5.3$ 이다. 따라서 $\text{pH} = 14 - \text{pOH}$ 이므로 C점의 pH는 14-5.3=8.7이다.

2008년 10월호 - 논구술 완벽 가이드

[화학]대기권을 통과하는 소리

| 글 | 이준호 · porphy1970@paran.com |

문제1 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 소리는 공기를 매질로 전파되는 종파이기 때문에 횡파에서만 나타나는 현상을 제외하고 일반적인 파동의 특성을 모두 나타낸다. 소리의 높고 낮음은 진동수에 의해 결정되는데 진동수가 클수록 높은 소리가 난다. 사람이 들을 수 있는 진동수는 20~20000Hz이다. 이것을 가청주파수라 하고 이 범위의 소리를 음파라고 한다. 사람의 목소리는 보통 150~1800Hz이고 여자의 목소리는 남자보다 50~100Hz정도 높다. 진동수가 20000Hz 이상인 음파는 들을 수 없는데 이것을 초음파라고 한다.

소리의 속도는 진동수나 진폭과 관계없이 기온에 따라 달라진다. 공기 중에서 음파의 속도는 온도가 1℃ 올라갈 때마다 0.6m/s씩 빨라진다. 0℃에서 음속은 331.5m/s이고 온도 t℃일 때 공기 중에서 음속 v(m/s)는

$$v=331.5+0.6t(\text{m/s})$$

이다. 이 속력을 1마하라고 하며 15℃에서 소리의 속력은 약 340m/s이다. 소리의 속도는 매질에 따라 달라지는데 공기 중에서 약 340m/s, 물속에서 약 1400m/s, 알루미늄에서 약 5200m/s다. -고등학교 물리I 교과서

(나) 소리의 느낌을 결정하는 요소에는 진동수에 따라 달라지는 소리의 높이 이외에 세기와 맵시가 있다. 소리의 세기는 진폭이 클수록 크다. 보통 사람이 들을 수 있는 가장 약한 소리의 세기는 진동수가 1000Hz일 때 약 10^{-12}W/m^2 인데 이것을 기준으로 소리의 세기를 데시벨(dB)로 나타낸다. 귀는 소리의 세기를 주관적인 음량감으로 인식한다. 소리의 세기가 2배가 된다고 해서 음량이 2배가 되지는 않는다. 벨은 실험을 통해 소리의 세기가 약 10배 증가해야 겉보기 음량이 약 2배 커짐을 밝혔다. 소리의 세기는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\text{소리의 세기(세기레벨)} = 10\log I/I_0$$

I는 측정된 소리의 세기이며 I_0 는 기준값(10^{-12}W/m^2)이다. 보통 사람들이 대화하는 소리의 세기는 5dB이고 130dB 이상의 소리는 귀에 통증을 주며 150dB 이상이면 고막이 손상된다.

소리의 높이가 같아도 사람에 따라 목소리가 다르게 들리며 악기는 종류에 따라 다른 소리를 낸다. 이처럼 발음체에 따라 소리가 다른 이유는 소리의 맵시, 즉 파형이 다르기 때문이다.

(다) 매질을 통해 전달되는 모든 역학적 파동의 속력은 다음과 같다.

$$v = \sqrt{\text{탄성적 특성/관성적 특성}}$$

파동의 속력은 운동에너지를 저장하기 위한 매질의 관성적 성질과 위치에너지를 저장하기 위한 탄성적 성질에 의존한다. 매질 안에서 음파의 속력은 매질의 압축성과 밀도에 의존한다. 만약 매질이 부피탄성률 B와 밀도 ρ 를 가지는 액체나 기체라면 매질 안에서 음파의 속력은 $v=\sqrt{B/\rho}$ 과 같다. 부피탄성률 B란 압력 변화에 따른 부피의 변화비에 해당하고 매질의 탄성도를 의미하며 $B=-\Delta p/\Delta V/V$ 과 같이 나타난다.

소리가 공기를 지날 때 기체 분자가 급격하게 진동하므로 매질이 압축되고 팽창되면서 외부와 열의 출입이 없는 단열변화가 일어난다. 이상기체의 단열변화일 경우 압력과 부피의 관계식은 다음과 같다.

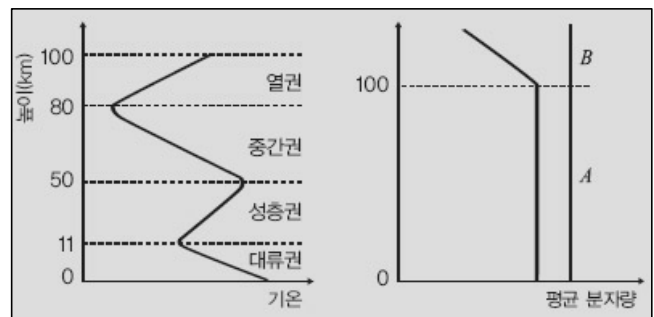
$$pV^\gamma = k(\text{상수})$$

γ 는 일정-압력 열용량(C_p)과 일정-부피 열용량(C_v)의 비 $\gamma = C_p / C_v$ 로 나타내며 두 열용량 사이에는 $C_p - C_v = nR$ 가 성립한다. 기체 분자의 병진, 회전, 진동 운동을 고려할 때 단원자 분자는 1몰 기체의 C_v 가 R 이며 질소와 산소 같이 선형분자는 1몰 기체의 C_v 가 R 이다. 메탄이나 물 같은 비선형분자는 1몰 기체의 C_v 가 $3R$ 이다.

- (라) 지구환경은 기권, 수권, 암권, 생물권으로 구성된다. 기권은 기온의 평균 연직분포에 따라 대류권, 성층권, 중간권, 열권으로 구분된다. 대류권에는 전체 대기 질량의 80%가 분포하고 기상현상이 일어나며 높이 올라감에 따라 기온이 하강한다. 성층권에서는 오존층이 태양에서 들어오는 자외선을 흡수하므로 높이 올라감에 따라 기온이 상승한다. 중간권에서는 대류현상이 일어나며 높이 올라감에 따라 기온이 크게 하강한다. 또 대기 기체들이 이온화된 상태로 존재하는 전리층이 존재한다. 태양으로부터 온 고속의 미립자층이 지구 자기장에 끌려와 열권의 전리된 입자와 충돌해 빛을 내는데 이것을 오로라라고 한다. 전리층은 전파를 반사하거나 흡수하므로 전파통신에 영향을 준다.

지구 대기를 구성하는 주요 성분은 질소와 산소로 이 두 기체는 전체 대기 질량의 약 99%를 차지한다. 그 외 성분에 이산화탄소, 오존, 수증기 등이 있는데 이 기체들은 대기 중에 매우 적은 양으로 존재하지만 날씨와 기후 변화에 중요한 역할을 한다.

지표에서 약 100Km 높이까지는 공기의 혼합이 잘 일어나 대기 구성비율이 일정한 균질권이 형성된다. 100Km 이상에서는 공기가 희박해 혼합보다 확산이 우세하게 일어나므로 공기가 무게별로 층을 이루는 비균질권이 형성된다. 비균질권은 고도에 따라 대기 성분이 다른데 대략 100~200Km는 질소가 많고 200~1100Km는 산소 성분이 우세하며 그 이상은 헬륨과 수소가 많은 층을 이룬다. -고등학교 지구과학 I 교과서



왼쪽 그래프는 높이에 따른 기온 변화를 나타내며 오른쪽 그래프는 높이에 따른 공기의 평균 분자량을 나타낸다.

- 1) 소리는 기체 매질이 압축과 팽창 과정을 반복하면서 전달된다. 제시문 (가)에 의하면 소리의 전달속도는 온도가 높을수록 빨라진다. 기체의 압력이 달라지면 소리의 전달 속도가 변화할지 변화가 없을지 제시문 (나), (다)를 이용해 설명하라. (단 기체는 이상기체로 이상기체방정식을 따르며 소리의 전달 과정은 단열변화로 가정한다.)
- 2) 지표면에서 하늘을 향해 초음파를 발생시켰을 때 대류권, 성층권, 중간권, 열권을 통과하면서 초음파 속도가 어떻게 변화하는지 예측해 설명하라.
- 3) 오디오 기기에 설치된 스피커는 보통 2개다. 어느 날 한쪽 스피커가 고장 나 소리가 나지 않는다면 소리의 세기레벨은 평상시에 비해 얼마만큼 달라지겠는가? (단 두 스피커로부터 소리를 듣는 사람까지 거리는 같다고 가정한다)

▶ 전문가 클리닉

소리는 매질의 압축과 팽창에 의해 전달되는 종파입니다. 일상생활에서 소리는 유체(기체, 액체)를 통해 주로 전달되고 소리의 속력은 매질의 부피탄성률과 밀도에 따라 달라집니다. 부피탄성률은 압력에 의한 변수이고 밀도도 압력에 의해 달라지지만 소리의 전달과정이 단열변화이고 이상기체라면 소리의 속력은 압력에 무관합니다.

소리의 속력은 온도와 평균분자량에 영향 받습니다. 첫 번째 문제는 미분을 이용해 논리적으로 소리의 속력과 압력이 무관하다는 점을 보이는 문제입니다. 두 번째 문제는 대기 균질권의 온도와 공기 조성 분포를 이해해 소리의 속력이 각 층에서 어떻게 변할지 논리적으로 추론하는 문제입니다. 2006년 서울대 특기자전형 화학 면접에서도 공기 중 질소와 산소 비율이 바뀔 경우 소리의 속력이 어떻게 변할지 예측하는 문제가 출제된 바 있습니다. 마지막 문제는 제시문에 주어진 식을 이해해 소리의 세기와 세기레벨의 관계를 설명하는 문제입니다.

▶ 예시답안

- 1) 소리의 속력은 매질의 관성적 성질과 탄성적 성질에 의해 달라지며 식으로 표현하면 $v = \sqrt{B/\rho}$ (B : 부피탄성률, ρ : 기체의 밀도)과 같다.

소리가 기체를 통과할 때 열의 출입이 발생하지 않는 단열변화가 일어나므로 이상기체의 경우 $PV^\gamma = k$ (상수)와 같은 단열변화 식을 따른다. 부피에 대해 미분하면 다음과 같다.

$$\frac{dp}{dV} V^{\gamma+p} + \gamma V^{\gamma-1} = 0$$

식을 정리해 부피탄성률 B 의 형태로 바꾸면 $B = -\frac{dp}{dV/V} = \gamma p$ 이다. 이상기체 상태방정식

$pV = nRT = \frac{w(\text{질량})}{M(\text{분자량})} RT$ 를 변형하면 밀도 ρ 는 $\rho = \frac{pM}{RT}$ 이다. 소리의 속력 식을 부피탄성률과 밀도를 이용해 정리하면 다음과 같다.

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma p}{pM/RT}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

소리의 속력은 압력과 상관없이 온도와 기체의 평균분자량에 따라 달라진다.

- 2) 지표에서 약 100Km까지인 균질권에서는 상층부로 올라갈수록 공기의 압력과 밀도는 감소하나 대기의 구성 비율은 일정하므로 구성 기체의 분자량과 구성비율을 곱해 평균 낸 공기의 평균분자량은 일정하게 유지된다. 대류권은 위로 갈수록 기온이 내려가고 성층권은 올라갈수록 온도가 상승하며 중간권에서는 다시 하강, 열권에서는 상승하는 형태를 보인다. 초음파를 지표면에서 위를 향해 발생시킬 경우 초음파의 속력은 기권의 온도 분포와 평균 분자량에 의해 결정된다.

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma p}{pM/RT}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

100Km내 균질권까지 기권의 평균분자량은 일정하므로 매질 평균분자량에 의한 소리 속력의 변화는 없다. 기권을 구성하는 구성성분의 변화가 없으므로 일정-압력 열용량(C_p)과 일정-부피 열용량(C_v)의 비인 γ 도 일정하다. 소리의 속력은 온도에 의해서만 영향 받는다. 대류권에서는 위로 올라갈수록 소리 속력이 느려지고 성층권에서는 증가하며 중간권에서는 다시 느려지고 열권에서는 다시 빨라진다.

- 3) 소리의 세기(세기레벨)는 보통 사람이 들을 수 있는 가장 약한 소리의 세기를 기준으로 실제

측정된 소리 세기의 비를 이용해 나타낸다. 기준값은 약 $10-12\text{W/m}^2$ 이다. 두 개의 스피커가 정상적인 음원으로 작동할 때는 스피커로부터 관측자까지 위상차가 없으므로 보강간섭에 의해 관측자는 한 개 스피커에서 관측자까지 도달하는 소리 세기의 2배를 듣게 된다.

$$\text{세기레벨(정상)} = 10\log\frac{2I}{I_0}$$

(I 는 한 개 스피커에서 도달하는 소리의 세기)

그러나 스피커 한 개가 고장 났을 경우 관측자는 정상인 경우에 비해 절반인 세기로 듣게 된다.

(세기레벨(고장) = $10\log\frac{I}{I_0}$) 정상일 때와 고장일 때 세기레벨의 차이를 구하면

$10\log 2 \approx 3(\text{dB})$ 만큼 소리가 감소한다. 소리의 세기는 절반으로 감소하며 세기레벨은 약 $3(\text{dB})$ 감소한다.

2008년 11월호 - 농구술 완벽 가이드

[화학]고분자 화합물의 특성

| 글 | 이준호 · porphy1970@paran.com |

중합 반응을 이해하고 고분자 화합물의 특성 차이가 어디에서 비롯되는지 알아봅시다.

Q1 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

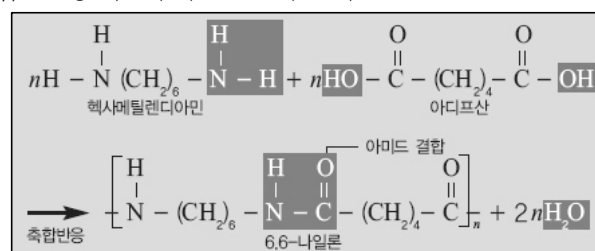
(가) 플라스틱은 석유나 천연가스에서 얻은 에틸렌, 프로필렌 등을 원료로 해 만든다. 플라스틱은 이들 작은 분자들이 결합해 생성된 고분자 화합물로 합성수지라고도 한다. 작은 분자들이 연속적으로 결합해 고분자 화합물을 만드는 반응을 중합 반응이라고 한다. 이때 작은 분자를 단위체라고 하고, 단위체가 결합돼 만들어진 고분자 화합물을 중합체라고 한다.

작은 분자인 단위체 분자가 계속적으로 첨가되면서 고분자를 생성하는 반응을 첨가 중합이라고 한다. 폴리에틸렌, 폴리염화비닐, 폴리스티렌 등은 첨가 중합으로 생성되는 대표적인 합성수지이다.

반면 단위체 분자들이 반응할 때 물과 같은 작은 분자가 떨어져 나와 고분자를 생성하는 반응을 축합 중합이라고 한다. 요소수지, 페놀수지 등은 축합 중합으로 생성되는 대표적인 합성수지이다. -고등학교 화학I 교과서

(나) 나일론은 헥사메틸렌디아민과 아디프산의 축합 반응에 의해 만들어진다.

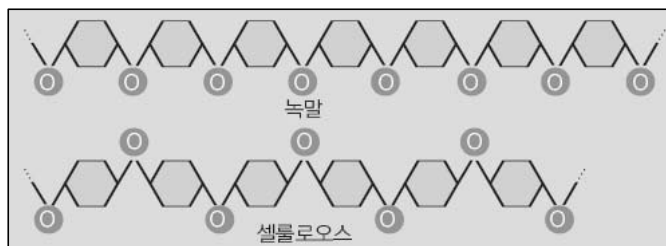
나일론의 중합 반응에서 연결 고리 역할을 하는 $-CONH-$ 를 펩티드 결합(아미드 결합)이라고 하며, 이와 같은 아미드 결합을 갖는 합성 섬유를 폴리아미드계 섬유라고 한다. 사용된 두 단위체가 갖고 있는 탄소의 숫자가 각각 6개씩이므로 그 이름을 6,6-나일론이라 부른다. 나일론은 질기고 내구성이 강해 옷감, 밧줄, 어망을 만드는 데 사용한다.



<그림1> 나일론의 축합 중합반응

테레프탈산과 에틸렌글리콜을 축합 반응시키면 테릴렌이라는 합성 섬유가 생성된다. 테릴렌에는 에스테르 결합($-COO-$)이 수없이 많이 결합돼 있는데 이와 같은 섬유를 폴리에스테르계 섬유라고 한다. 폴리에스테르는 열가소성으로 섬유, 필름, 엔지니어링 세라믹에 이용된다.

(다) 탄수화물과 단백질은 모두 천연 고분자 화합물이다. 단백질은 아미노산 분자들의 연속적인 펩티드 결합에 의해 긴 사슬 모양의 구조를 이루고 있다. 아미노산의 종류는 불과 20가지뿐이지만 그 종류나 배열순서가 달라지면 다른 종류의 단백질이 만들어진다.

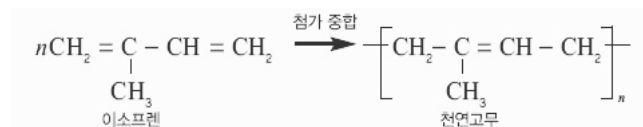


<그림2> 녹말과 셀룰로오스의 구조

탄수화물은 우리가 살아가는 데 가장

중요한 에너지원이다. 녹말과 셀룰로오스의 단위체인 포도당은 분자식이 $C_6H_{12}O_6$ 으로 구조에 따라 α -포도당, 사슬모양의 포도당, β -포도당이 있다. 녹말의 단위체인 α -포도당

(라) 고무나무에 상처를 내면 수액이 흘러나오는데 이것을 라텍스라고 하며 라텍스에 아세트산을 가해 응고시킨 물질을 천연고무 또는 생고무라고 한다. 천연고무를 분해하면 이소프렌이 얻어지므로 천연고무는 이소프렌의 첨가중합체이다. 천연고무는 더운 날씨에 녹아서 끈적해지고 추운 날씨에는 부스러지며 탄성이 작다는 단점이 있어 잘 이용하지 않았다. 그러나 지금은 황을 첨가해 만든 가황고무가 개발돼 다양한 용도로 쓰인다.


$$n\text{CH}_2=\underset{\text{Cl}}{\underset{\text{클로로프레}}{\text{C}}}=\text{CH}_2 \xrightarrow{\text{첨가 중합}} \left[\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\underset{\text{네오프렌 고무}}{\text{CH}}}=\text{CH}-\text{CH}_2 \right]_n$$

- 1-1) 나일론과 단백질은 펩티드 결합을 공통적으로 갖는 고분자이다. 나일론은 펩티드 결합 사이에 $-(CH_2)_n-$ 사슬을 갖는다(6,6-나일론의 경우 n 은 4개 또는 6개). 공업적으로 사용되는 나일론 베어링은 물의 흡수를 방지하기 위해 아주 긴 $-(CH_2)_n-$ 사슬을 도입하는데 그 이유를 설명하라.
- 1-2) 나일론은 밧줄이나 어망에 쓰일 정도로 질긴 섬유이다. 이런 나일론의 성질이 나타나는 이유를 설명하라. 또 6,6-나일론에 나타나는 질긴 성질이 7,7-나일론에서는 작게 나타나는 이유를 그림을 그려 설명하라.
- 2) 제시문에 주어진 합성 고분자와 천연 고분자의 차이점은 무엇인지 단위체의 구조적인 관점에서 설명하라.
- 3) 두툽한 고무밴드나 고무장갑 등을 힘을 가해 순간적으로 잡아당긴 직후 온도를 측정하면 온도가 올라가며, 잡아당긴 상태를 유지하며 상온으로 식힌 뒤 다시 원래 상태로 되돌리면 온도가 내려간다. 이런 현상을 논리적으로 설명하라.

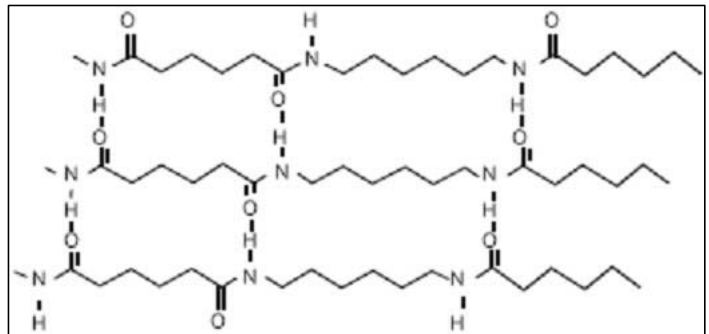
이번 호 문제는 화학I 중 ‘생활 속의 화합물’ 단원에서 배우는 고분자와 관련된 문제입니다. 고분자는 분자량이 1만 이상 되는 탄소화합물을 일컫는 말로, 고분자 화합물 중에서 열과 압력을 가했을 때 쉽게 변형되는 물질을 플라스틱이라 합니다. 고분자를 형성하는 반응을 중합 반응이라 하는데 중합 반응은 일반적인 화학 반응과는 방법적인 면이나 반응의 수적인 면에서 차이가 있습니다. 1)번은 나일론의 구조를 이용해 그 특성을 논리적으로 설명하는 문제입니다. 2)번은 합성 고분자와 천연 고분자의 차이점을 중합 반응의 종류, 단위체의 구조로부터 분석하는 능력을 평가하는 문제이며, 3)번은 외부 힘에 의해 고무의 형태 변화가 일어날 때 열의 출입이 발생하는 이유를 열역학적인 측면으로 추론하는 문제입니다.

▶ 예시답안

1-1) 나일론의 펩티드 결합 부분은 물과 수소결합이 가능하므로 친수성 부분이며, 펩티드 결합 사이에 있는 $-(CH_2)_n-$ 사슬은 탄소와 수소 사이의 전기음성도 차이가 거의 없으므로 무극성에 가까워 물과의 친화력이 작은 소수성 부분이다. 나일론 내의 $-(CH_2)_n-$ 결합이 길어질수록 친수성 부분에 대한 소수성의 상대적 비율이 높아지며 물의 흡수, 즉 물과의 친화력이 감소한다.

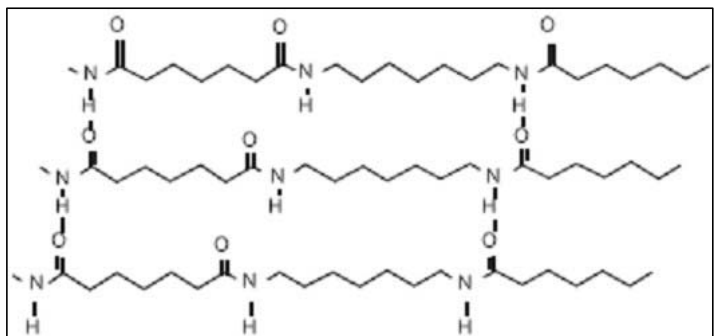
1-2) 나일론은 펩티드 결합으로 연결된 사슬형의 고분자이다. 이런 사슬 내의 펩티드 결합은 수소결합을 형성할 수 있는 N-H 결합의 수소와 C=O의 산소를 모두 갖고 있다. 단백질에서는 펩티드 결합 간의 분자 내 수소결합으로 α -나선구조나 β -병풍구조를 형성하나, 나일론에서는 펩티드 결합 간의 분자 간 수소결합에 의해 훨씬 더 강한 분자 간의 인력을 형성한다. 따라서 외부의 힘에 대해 잘 끊어지지 않는 질긴 성질을 갖는다.

6, 6-나일론은 <그림3>처럼 나일론 고분자 간에 수소결합이 적절한 위치에서 일어나고 있으나 7, 7-나일론은 구조적으로 분자 간 수소결합이 연속적으로 일어나지 못한다. 따라서 7,7-나일론은 6,6-나일론보다 질기 지 않다.



<그림3> 6, 6-나일론에서의 분자 간 수소결합 형태

2) 고분자를 만드는 방식에서 합성 고분자와 천연 고분자는 차이점을 갖는다. 단위체가 이중결합을 갖고 있으면 첨가 중합 방식으로, 단위체에 축합 중합을 할 수 있는 작용기를 갖고 있을 경우에는 축합 중합 방식으로 합성 고분자가 만들어진다. 반면 천연 고분자의 단위체는 첨가 중합 방식을 사용하지 않고 축합 중합의 방식으로만 천연 고분자를 합성한다.



<그림4> 7, 7-나일론에서의 분자 간 수소결합 형태

합성 고분자나 천연 고분자를 축합 중합에 의해 합성하는 방식은 단위체가 갖는 작용기 간의 반응에 의해 물과 같이 작은 분자가 빠져 나오면서 결합하는 방식이라는 면에서는 공통점을 가진다. 히드록시기($-OH$)와 카르복시기($-COOH$) 간에 형성되는 에스테르 결합($-COO-$), 아미노기($-NH_2$)와 카르복시기($-COOH$) 간에 형성되는 펩티드 결합($-CONH-$), 히드록시기($-OH$)와 히드록시기($-OH$) 간에 형성되는 에테르 결합($-O-$) 등을 중합 방식으로 이용한다. 그러나 천연 고분자의 경우에는 단위체 한 분자 내에 축합 반응을 할 수 있는 두 개의 작용기를 함께 갖고 있지만 합성 고분자는 한 단위체 안에 한 종류의 작용기를 가지므로 축합 중합을 위해 두 종류의 단위체가 필요하다. 단백질의 단위체인 아미노산은 한 아미노산 안에 아미노기와 카르복시기를 모두 갖지만 6,6-나일론의 경우에는 헥사메틸렌디아민과 아디프산 두 종류의 단위체가 필요하다. 따라서 두 종류의 단위체 1개씩 축합 반응에 의해 연결된 형태가 천연 고분자의 한 단위체와 같은 형태를 띠게 된다.

- 3) 고무밴드나 고무장갑을 구성하는 고분자인 고무는 분자 간의 배열이 규칙적으로 차곡차곡 쌓여 있는 형태를 갖고 있지 않다. 긴 사슬 형태의 고무는 사슬이 얽히고 무질서하게 배열돼 있다. 외부에서 고무에 힘을 주면 고무가 늘어나면서 고분자의 사슬이 펴지고 일정한 배열로 변한다. 무질서도가 감소하므로 그 차이만큼 열이 방출돼 고무의 온도가 상승한다. 반대로 늘어나 있던 고무를 다시 원래의 무질서한 배열로 되돌리면 그 차이만큼의 열이 흡수되면서 온도가 내려간다. 그러므로 고무 고분자의 경우에는 외부 온도가 올라가면 고무가 수축하고 온도가 내려가면 고무가 팽창한다.

2008년 12월호 - 농구술 완벽 가이드

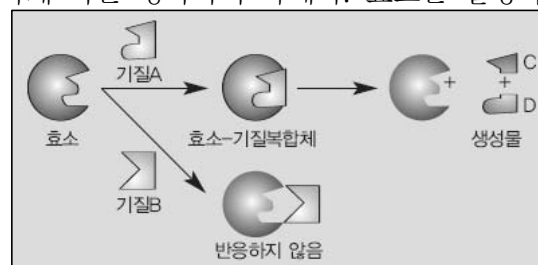
[화학] 반응속도와 평형 이동

| 글 | 이준호 · porphy1970@paran.com |

마이클리스-멘텐식과 르 샤틀리에의 원리를 알고 화학평형과 반응속도를 이해해 봅시다.

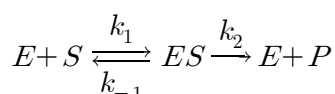
Q1 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 생명체가 살아가기 위해서는 생체 내에서 많은 종류의 화학반응이 일어나야 한다. 영양분을 섭취해 필요한 에너지로 바꾸고 생체구조물을 만들며 신호를 전달하는 모든 과정은 화학반응을 통해 일어난다. 효소는 이런 과정이 효율적으로 일어나게 하는 생화학적 촉매다. 효소는 활성화 에너지를 낮춰 생물체 안에서 화학반응이 빠르고 쉽게 일어나도록 돕는다. 효소는 대개 분자량이 2만g/mol 이상인 거대한 단백질 분자다. 효소 표면에는 특정한 기질만이 결합해 화학변화를 일으키는 특징적인 구조와 화학적 성질을 가진 부분이 있다. 이를 활성화 자리(active site)라고 한다. 많은 효소의 활성화 자리는 매우 선택적이며 구조가 유사한 분자라도 다른 분자와는 결합하지 않는다.



<그림1> 효소의 기질 특이성

(나) 효소 촉매 반응은 다음과 같이 단순하게 나타난다.



여기서 E 는 효소, S 는 효소가 작용하는 기질, P 는 반응의 최종산물, ES 는 효소-기질 복합체를 의미한다. k_1 과 k_{-1} 은 각각 첫 번째 단계의 정반응과 역반응속도상수이고, k_2 는 두 번째 단계의 정반응속도상수이다. 두 번째 단계에서 일어나는 역반응은 무시하며 효소와 기질이 빠르게 평형을 이루므로 속도 결정 단계는 생성물 형성 단계라고 가정한다. 이 메커니즘에 대한 P 의 생성속도는 $[ES]$ 에 대해 정류 상태 근사법을 적용해 유도한다. ES 가 생성되는 속도인 $k_1[E][S]$ 와 분해되는 속도인 $k_{-1}[ES] + k_2[ES]$ 가 같다고 가정해 $[ES]$ 의 변화속도를 0으로 보고 풀다.

$$\frac{d[ES]}{dt} = 0 = k_1[E][S] - k_{-1}[ES] - k_2[ES]$$

결국 $[ES] = \frac{k_1[E][S]}{k_{-1} + k_2}$ 이다. $[E]$ 는 기질이 결합하지 않은 자유효소의 농도이며 $[ES]$ 는 결합 효소의 농도이다. 이들을 합치면 전체 효소 농도인 $[E]_0$ 이다. 측정할 수 있는 농도는 $[E]_0$ 이므로 이 식을 이용해 $[E]$ 항을 없앤다.

$$[ES] = \frac{k_1[E]_0[S]}{k_1[S] + (k_{-1} + k_2)} = \frac{[E]_0[S]}{[S] + K_m} \quad (\text{단 } K_m = \frac{k_{-1} + k_2}{k_1})$$

생성물이 생성되는 속도는 다음과 같다. 많은 효소 촉매 반응의 속도론을 기술하는 마이클리스-멘텐 식이다.

$$\frac{d[P]}{dt} = k_2[ES] = \frac{k_2[E]_0[S]}{[S] + K_m}$$

- (다) 반응속도는 대부분 온도가 증가함에 따라 증가한다. 온도가 10℃ 상승하면 반응속도는 약 2배가 된다. 1889년 아레니우스는 속도상수가 온도의 역수의 지수함수 형태라고 제안했다.

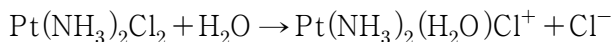
$$k = Ae^{-K_e/RT} \quad (R \text{은 } 8.314\text{J/mol} \cdot \text{K})$$

아레니우스는 분자가 충돌해 반응하려면 충분히 ‘활성화’돼야 한다고 생각해 E_a 를 활성화 에너지라고 했다. A 는 반응물이 생성물로 변환되기 위해 적절한 배향을 갖는 충돌분율과 충돌빈도가 고려된 상수로 잣음물이라 부른다. 서로 다른 두 온도에서 속도상수 값이 알려져 있으면 아레니우스 식을 이용해 반응의 활성화 에너지 값을 구할 수 있다.

- (라) 평형을 이루는 반응계에 변화를 주면 반응계가 처음과 다른 새로운 평형에 이른다. 평형 이동의 원리를 알면 원하는 방향으로 화학반응이 일어나게 하는 데 이용할 수 있다. 1884년 프랑스 화학자 르 샤틀리에에는 ‘어떤 가역반응이 평형 상태에 있을 때 농도, 압력, 온도의 조건을 변화시키면 변화의 영향을 줄이려는 방향으로 평형이 이동해 새로운 평형에 도달한다’는 평형 이동에 관한 법칙을 발표했다. 이를 르 샤틀리에의 원리 또는 평형 이동의 법칙이라고 한다.

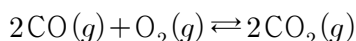
반응 물질을 첨가하거나 생성 물질을 제거하면 생성 물질이 증가하는 쪽(정반응)으로 반응이 진행돼 새로운 평형에 도달한다. 반대 경우에는 반응 물질이 증가하는 쪽(역반응)으로 반응이 진행돼 새로운 평형에 도달한다. 기체 물질 사이의 평형에서는 압력을 증가시키면 분자 수가 감소하는 쪽으로 반응이 진행되고 압력을 감소시키면 분자 수가 증가하는 쪽으로 반응이 진행된다. 농도나 압력에 의한 평형 이동에서 평형상수는 변화하지 않는다. 반면 평형상태에서 온도가 상승하면 반응속도가 상승하고 흡열반응 쪽으로 평형이 이동한다. 이때 정반응이 흡열반응이라면 평형상수가 증가하며 역반응이 흡열반응이라면 평형상수가 감소한다. 온도가 하강하면 발열반응 쪽으로 평형이 이동하며 정반응이 발열반응이면 평형상수가 증가한다. 역반응이 발열반응인 경우 평형상수가 감소한다. 정촉매를 가하면 정반응뿐만 아니라 역반응의 활성화 에너지도 동시에 감소된다.

- 1) 기질 농도와 반응속도 사이의 관계를 수학적으로 설명하고 그래프를 그려라. 또 K_m 이 갖는 의미를 설명하라.
- 2) 기질 농도 $[S]$ 가 K_m 보다 매우 작을 때 효소의 반응속도에 영향을 주는 요인에는 어떤 것이 있는지 설명하라.
- 3) 다음은 항암제 시스플라틴 $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ 과 물의 반응이다.



이 반응은 온도가 25℃에서 50℃로 증가할 때 반응속도가 15배 증가한다. 활성화에너지가 얼마인지 제시문을 활용해 계산하라.

- 4) 어떤 화학반응은 열역학적으로 가능함에도 실제로 반응이 잘 일어나지 않는다. 예를 들어 다음 반응의 평형상수는 25℃에서 1.4×10^{90} 이다.



평형상수가 매우 큰 반응인데 대류권에 있는 CO가 모두 CO_2 로 변화되지 않는 이유는 무엇이며 이를 극복하는 방법은 무엇이 있는가?

- 5) $2\text{NO}_2(g) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 정반응은 발열반응으로 용기 내에서 평형을 이루고 있다. 열의 출입을 제한하는 단열조건에서 압력을 가해 부피를 감소시켜 새로운 평형에 도달하게 했을 때 반응속도 관점과 평형 관점에서 용기 내 변화를 설명하라.

▶ 전문가 클리닉

이번 호는 마이클리스-멘텐 식과 아레니우스 식을 다룹니다. 효소는 반응을 촉매하면서 기질과 일시적으로 결합하기 때문에 효소의 입체 구조는 촉매 기능과 밀접한 관계를 가집니다. 또 반응 물질과 결합해 새로운 산물을 만든 뒤 다른 기질과 결합해 반응을 반복하므로 효소에 의한 화학반응은 빠르게 일어납니다. 마이클리스-멘텐 식은 효소 반응을 속도론적인 관점에서 단순화한 식입니다. 1)과 2)는 마이클리스-멘텐 식의 유도 과정을 정확하게 이해하고 수식의 의미를 추론해 내는 문제입니다.

화학반응은 반응속도론적인 관점과 열역학적인 관점으로 나눌 수 있습니다. 열역학적으로 가능한 반응은 깁스자유에너지 변화가 음수값을 가질 때 자발적으로 일어납니다. 열역학적인 관점에서 자발적으로 일어나는 반응이 실제로 반응이 잘 일어나지 않는 경우가 있습니다. 반응속도가 너무 느리기 때문입니다.

3)과 4)는 아레니우스 식을 이용해 풀이합니다. 풀이 과정을 통해 계산 능력을 알아보고 반응속도를 증가시키는 방법을 수학적으로 추론해 낼 수 있는지 평가하는 문제입니다.

마지막 문제는 반응속도와 평형 이동에 영향을 주는 요인을 알아보고 이를 단일 상황에 적용하는 능력을 평가합니다.

▶ 예시답안

1) 마이클리스-멘텐의 메커니즘에 따른 생성물 생성속도는 다음과 같이 표현된다.

$$v = \frac{d[P]}{dt} = k_2[ES] = \frac{k_2[E]_0[S]}{[S] + k_m}$$

반응속도와 기질 농도를 각각 y 값과 x 값으로 놓고 기질의 농도 변화에 따른 반응속도 그래프를 그리면 기질 농도 $[S]$ 가 커지면서 반응속도가 최고 속도에 근접한다. 최고 속도 V_{\max} 는 기질 농도 $[S]$ 가 무한히 커질 때의 반응속도이므로 $V_{\max} = k_2[E]_0$ 이다. 반응속도 식은 다음과 같이 바뀐다.

$$v = \frac{d[P]}{dt} = k_2[ES] = \frac{V_{\max}[S]}{[S] + k_m}$$

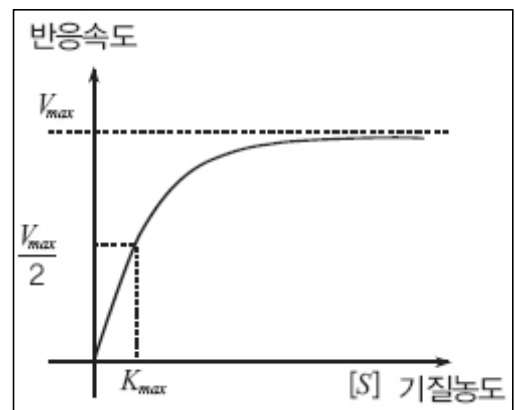
$[S] = K_m$ 이면 $v = \frac{V_{\max}}{2}$ 이므로 K_m 은 반응속도가 최대값의 절반일 때의 기질 농도이다.

2) 기질 농도 $[S]$ 가 K_m 보다 매우 작으면 반응속도 식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = \frac{d[P]}{dt} = k_2[ES] = \frac{k_2[E]_0[S]}{[S] + k_m} = \frac{k_2[E]_0[S]}{k_m}$$

$$(\because [S] + k_m \approx k_m)$$

반응속도는 기질 농도 $[S]$ 에 비례한다. <그림2>를 보면 기질 농도가 작은 부분에서 그래프가 거의 직선 형태로 나타난다.



<그림2> 기질 농도에 따른 반응속도 그래프

제시문 (나)에서 $[ES] = \frac{k_1[E][S]}{k_{-1} + k_2}$ 라고 주어졌다. 기

질 농도 $[S]$ 가 K_m 보다 매우 작으면 자유효소 농도 $[E]$ 는 효소 전체 농도 $[E]_0$ 와 거의 같다. 그러므로 이런 경우에는 효소 전체 농도가 반응속도를 결정하는데 영향을 준다.

- 3) 시스플라틴 $[Pt(NH_3)_2Cl_2]$ 과 물의 반응은 온도가 $25^\circ C$ 에서 $50^\circ C$ 로 증가할 때 반응속도가 15배 증가한다. 제시문에 나온 아레니우스 식 양변에 자연로그를 취하면 $\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$ 와 같다. $25^\circ C (T_1)$ 와 $50^\circ C (T_2)$ 에서 반응속도 상수를 각각 k_1, k_2 라고 하면 다음 식이 나온다.

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$$

$$\ln 15 = \frac{E_a}{8.314} \left(\frac{323 - 298}{298 \times 323} \right) \text{이므로 활성화 에너지 } E_a = 86.7 \text{ kJ/mol이다.}$$

- 4) 열역학적으로 자발적인 화학반응이 일어날 수 있더라도 반응속도가 너무 느리면 반응이 거의 일어나지 않는다. 제시문 (다)에 나온 아레니우스 식에 의하면 화학반응의 활성화 에너지가 너무 높거나 반응이 일어나기에 온도가 너무 낮으면 반응속도 상수가 매우 작아져 반응이 거의 진행되지 않는다. 이런 반응에서 반응속도를 증가시켜 반응이 진행되게 하기 위해서는 정 촉매를 사용해 활성화 에너지를 낮추거나 온도를 높여 반응속도상수를 크게 해야 한다.
- 5) $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$ 는 발열반응이므로 단열조건에서 압력을 가해 부피를 감소시키면 평형이 깨지면서 르 샤틀리에의 원리에 따라 기체 몰수가 감소하는 방향으로 평형이 이동한다. 정 반응이 우세하게 일어나며 발열반응이 일어나는데 외부와 열 출입을 차단했기 때문에 방출된 열에 의해 반응계 온도가 높아진다. 따라서 반응속도가 빨라지고 새로운 평형에 도달하는 시간이 단열조건이 아닌 때보다 빨라진다. 온도가 상승하면서 평형상수가 감소하므로 새로운 평형상수에 맞게 반응이 진행돼 새로운 평형에 도달한다.

2009년 01월호 - 논구술 완벽 가이드

[화 학]화학결합으로 구성된 물질

| 글 | 한은택 · et3go@chol.com |

세상에는 수없이 많은 물질이 존재한다. 물질의 다양한 성질을 결정하는 요소에는 무엇이 있을까? 결합의 종류에 따른 물질의 특성을 이해하고 분자 구조와 이성질체에 대해 알아보자.

Q1 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 광자 : 화학에서는 원자 내부 전자에너지의 양자화가 중요한 의미를 갖는다던데요.

보어 : 수소의 선스펙트럼부터 시작하세. 수소가 내는 빛을 보면 빛이 분리돼 보이던가?

광자 : 회절격자라는 얇은 필름을 기체 방전관과 눈 사이에 갖다 뒀더니 필름을 통해 몇진 선들의 배합을 볼 수 있었어요. 수소에서는 빨강, 파랑, 남색과 같은 세 가지 색의 선이 뚜렷하게 나타났어요. 약한 보라색 선도 보였답니다.

보어 : 선의 위치에 규칙성이 있던가?

광자 : 빨강과 파랑 사이 간격이 제일 넓고 파랑과 남색 사이 간격은 좁으며 남색과 보라는 거의 붙어있었어요. (중략)

보어 : 원자핵 주위를 원운동하는 전자의 각운동량은 양자화 돼있고 플랑크상수의 정수배 값만 가질 수 있다는 가정을 했지. 그랬더니 전자의 에너지는 불연속적인 값만 가진다는 결론이 얻어졌어. 전자를 선반 위에만 올려놓을 수 있지 선반 사이에는 놓을 수 없듯 말이야. 다음에는 전자가 에너지를 받아 높은 에너지 준위로 올라갔다 내려올 때 에너지 차이가 빛으로 나온다는 가정을 했어. - '자연과학의 세계1', 김희준 지음

(나) 공유결합은 전자를 받아들이기 쉬운 비금속원자 사이에 형성되는 화학결합이다. 비금속 원자가 만나면 서로 전자를 공유해 18족 원자와 같은 안정한 전자배치를 이룬다. 이온결합은 전자를 내놓기 쉬운 금속원자와 전자를 얻기 쉬운 비금속원자 사이의 화학결합이다. 금속이 전자를 내놓으면서 형성되는 양이온과 비금속이 전자를 얻어 형성되는 음이온 사이에 정전기적 인력이 작용해 결합한다. 금속결합은 핵과 자유롭게 움직이는 자유전자 사이의 인력에 의한 결합이다. 금속결합 물질은 자유롭게 이동하는 전자가 있어 전기가 잘 통한다. 이온결합 물질은 양이온과 음이온이 정전기적 인력에 의해 강하게 결합돼 있어 전기가 통하지 않는다. 하지만 이온결합 물질을 수용액에 녹이면 물 분자에 의해 양이온과 음이온이 분리돼 자유롭게 움직이면서 전기가 통한다. - 고등학교 화학II 교과서

- 1) 태양빛에서 얻어지는 스펙트럼은 무지개 색으로 나타나는 띠스펙트럼이고 수소 원자 스펙트럼은 선스펙트럼이다. 수소 원자 스펙트럼이 보어가 원자 모형을 확립하는데 미친 영향을 서술하라.
- 2) 원자가 결합해 화합물을 이루는 원리를 서술하고 미지의 화합물이 형성하는 화학결합 종류를 알아보기 위한 실험을 설계하라.
- 3) 규소와 탄소는 14족 원소로 산소와 결합해 이산화규소(SiO_2)와 이산화탄소(CO_2)를 이룬다. 두 물질의 끓는점을 예상하고 예상한 이유를 화학결합 관점에서 서술하라.

▶ 전문가 클리닉

- 1) 연속 스펙트럼과 불연속 스펙트럼의 차이를 알고 수소 원자 스펙트럼을 해석해 전자가 지닌 에너지가 불연속적이라는 결론에 도달한 과정을 서술합니다.
- 2) 화학결합의 근본적 힘은 정전기적 인력임을 밝히고 결합에 따라 다른 물질의 특성을 이용해 결합 종류를 알아내는 방법을 찾습니다.
- 3) 같은 족 원소의 산화물인 이산화탄소와 이산화규소의 성질이 크게 다른 이유를 결정 종류와 관련해 설명합니다.

▶ 예시답안

- 1) 태양빛은 모든 파장을 포함해 연속적인 띠스펙트럼으로 나타난다. 그러나 수소방전등에서 나오는 빛은 특정 파장만을 포함하기 때문에 불연속적인 선스펙트럼으로 나타난다. 보어는 수소 원자에서 전자가 지닌 에너지가 다음 식을 만족하는 불연속적인 에너지만 허용한다는 이론을 제시했다.

$$E_n = \frac{-1312}{n^2} \text{kJ/mol} \quad (n=1, 2, 3, 4, \dots)$$

n 은 주양자수로 전자가 지닌 에너지를 결정한다. 수소에서 바닥상태 전자는 에너지를 받아 불안정한 에너지 준위로 전이되고 이 전자가 다시 낮은 에너지 준위로 전이되는 과정에서 특정 파장의 빛이 방출된다. 이 빛이 수소 원자의 선스펙트럼으로 나타난다.

- 2) 화학결합을 이루는 근본적인 힘은 정전기적 인력이다. 이온결합은 양이온과 음이온 간의 정전기적 인력으로 결합하고 금속결합은 금속 양이온과 자유전자 간의 정전기적 인력으로 결합한다. 공유결합은 비금속 원자핵과 공유전자쌍 간의 정전기적 인력으로 결합한다. 결합 종류에 따라 물질 특성이 달라지는데 그 중 전기전도성에서 명확한 차이가 나타난다. 금속결합 물질은 고체나 액체 상태에서 전기가 통하고 이온결합 물질은 고체에서는 전기가 통하지 않으나 액체 상태에서 전기가 통한다. 공유결합 물질은 고체나 액체 모두에서 전기가 통하지 않는다. 상태에 따른 전기전도성을 확인하면 결합 종류를 비교할 수 있다. 이때 고체 상태에서 전기가 통하는 공유결합 물질인 흑연처럼 예외적인 전기전도성이 나타나는 물질에 유의한다.
- 3) 이산화탄소는 분자결정을 만들고 이산화규소는 원자결정을 만든다. 공유결합 물질 중 이산화탄소와 같은 분자결정은 녹는점과 끓는점이 낮고 이산화규소와 같은 원자결정은 녹는점과 끓는점이 높다. 분자결정을 끊으려면 분자 간 인력을 끊으면 되지만 원자결정을 끊으려면 원자간 공유결합을 끊어야 하기 때문이다.

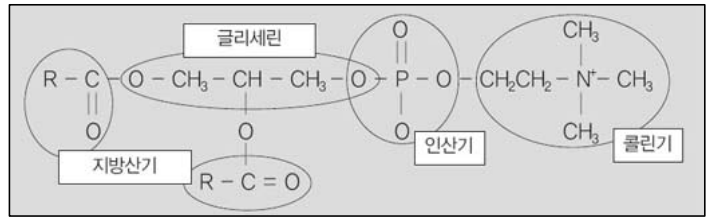
Q2 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

- (가) 탄소화합물 중 탄소와 수소로만 이뤄진 물질을 탄화수소라고 부른다. 탄화수소의 수소 원자 대신 특정 작용기가 치환된 물질은 탄화수소의 유도체다. 화석연료의 주성분인 탄화수소는 대부분 석유에서 공급된다. 석유는 끓는점이 다른 다양한 성분의 혼합물로 분별증류 장치를 통해 석유가스, 나프타, 등유, 경유, 중유 등 여러 가지 연료로 분리된다. - 고등학교 화학 I 교과서

- (나) 탄소화합물 중 화학식이 같으면서 성질이 다른 물질을 이성질체라고 부른다. 구조이성질

체는 탄소-탄소 결합 순서와 구조가 다르고 기하이성질체는 탄소-탄소 결합 순서는 같으나 기하학적 구조가 다르다. 광학이성질체는 네 개의 작용기가 모두 다른 비대칭 탄소가 있는 화합물에서만 존재한다. 광학이성질체는 물리적 성질이나 화학적 성질이 같아 구별이 어렵지만 편광이 통과할 때 빛의 진동면이 회전하는 방향과 반대라는 점이 다르다.

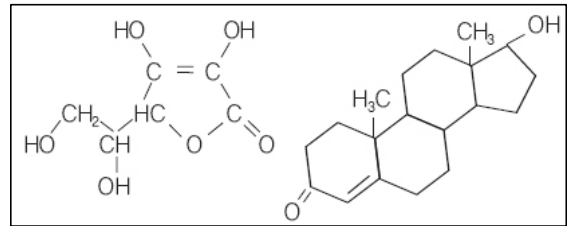
(다) 계란 노른자에 많이 들어있는 레시틴은 콜린, 글리세롤, 지방산을 포함하는 인지질의 하나이며 생체막을 구성하는 주요 성분이다. 레시틴은 그림과 같이 글리세린 1분자에 두 개의 지방산과 한 개의 인산이 결합된 형태로



<그림1> 레시틴의 구조

인산은 다시 콜린이라는 화합물과 결합된다. 인산과 콜린은 강한 친수기이고 나머지는 강한 소수기이기 때문에 레시틴은 물과 기름을 섞이게 하는 작용이 강해 계면활성제로 사용된다. - ‘유기화학’, 로버트 앳킨스 지음

- 1) 탄화수소 중 프로판(C_3H_8), 옥탄(C_8H_{18}), 폴리에틸렌($[CH_2CH_2]_n$, n 은 수천 이상)이 $25^\circ C$, 1기압에서 존재하는 상태를 예측하고 이유를 설명하라.
- 2) 탄소화합물 중 벤젠(C_6H_6), 디에틸에테르($C_4H_{10}O$), 아세톤(C_3H_6O)은 상온에서 모두 액체다. 물질의 물에 대한 용해성을 극성과 구조에 근거해 서술하라.
- 3) <그림2>와 <그림3>은 비타민 C로 알려진 아스코르브산과 남성호르몬 테스토스테론의 구조다. 아스코르브산과 테스토스테론에서 가능한 광학이성질체 수를 비교하고 생체 내에서 광학이성질체가 가지는 중요성을 서술하라.



<그림2>아스코르브산 <그림3>테스토스테론

▶ 전문가 클리닉

- 1) 탄화수소 분자 간에 작용하는 분산력을 비교하고 이들이 상온에서 물질의 상태를 어떻게 변화시키는지 서술합니다.
- 2) 물에 대한 용해성 차이를 분자의 극성 유무와 관련해 설명하고 극성분자 중에 물에 잘 녹지 않는 물질이 존재하는 이유를 친수기와 소수기를 도입해 설명합니다.
- 3) 비대칭탄소 수를 이용해 광학이성질체 수를 계산하고 광학이성질체가 생체 내 화학반응과 효소 작용에 미치는 영향을 서술합니다.

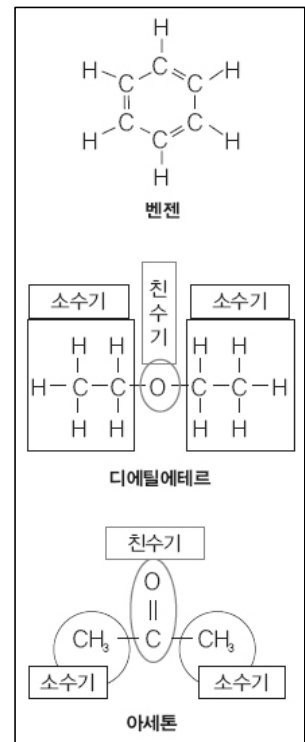
▶ 예시답안

- 1) 탄화수소는 무극성에 가까운 구조이므로 분자 간에 분산력이 작용한다. 분산력은 분자량이 클수록 크다. 분자량 크기는 프로판<옥탄<폴리에틸렌이므로 끓는점도 비슷한 경향으로 증가한다. 프로판은 끓는점이 상온($25^\circ C$)보다 낮으므로 1기압에서 기체이고 옥탄은 녹는점이 상온보다 낮고 끓는점이 상온보다 높으므로 상온에서 액체다. 폴리에틸렌은 분자 간 인력이 커서 녹는점이 상온보다 높으므로 상온에서 고체다.
- 2) 벤젠(C_6H_6)과 디에틸에테르($C_4H_{10}O$), 아세톤(C_3H_6O)의 구조는 <그림4>와 같다. 벤젠은 무극성 분자이고 디에틸에테르와 아세톤은 극성 분자다.

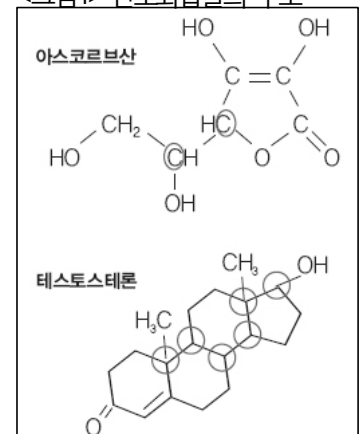
벤젠은 무극성 분자이므로 극성인 물에 잘 녹지 않는다. 디에틸에테르는 굽은 형이므로 극성 분자이고 아세톤도 카르보닐기($C=O$)가 극성을 나타낸다. 두 물질 모두 물에 잘 녹을 것으로 예상되나 디에틸에테르는 물에 거의 녹지 않고 아세톤만 물에 잘 녹는다. 이는 친수기의 세기와 관련있다. 디에틸에테르는 극성과 친수기의 세기가 약해 분자 성질이 소수기의 지배를 받아 물에 녹기 어렵다. 아세톤의 카르보닐기는 강력한 친수기이기 때문에 메틸기가 소수기지만 물에 잘 녹는다.

- 3) 아스코르브산과 테스토스테론에서 4개의 치환체가 모두 다른 비대칭 탄소를 표시한다.

비대칭 탄소가 n 개일 때 광학이성질체 수는 2^n 이므로 아스코르브산은 4개의 광학이성질체가, 테스토스테론은 64개의 광학이성질체가 가능하다. 광학이성질체는 물리적 성질이나 화학적 성질이 거의 같으나 물질 대사에 미치는 영향이 다르다. 광학이성질체의 R형과 S형은 효소나 특정 단백질수용체에서 전혀 다른 구조로 인식되므로 체 내에서 작용에 큰 차이가 생긴다.



<그림4> 탄소화합물의 구조



2009년 02월호 - 논구술 완벽 가이드

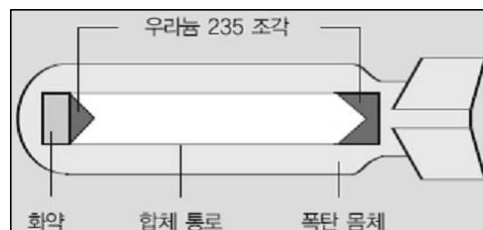
[화학]화학반응을 결정하는 요인

| 글 | 한은택 · et3go@chol.com |

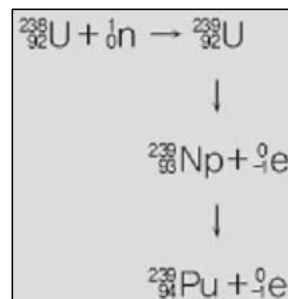
상온에서 연료 연소반응은 천천히 진행되지만 고온에서는 빠르게 연소가 일어난다. 화학반응의 속도와 진행방향을 결정하는 요인을 이해하고 같은 반응이면서도 진행 속도와 경향성이 달라지는 이유를 알아본다.

Q1 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) <그림1>과 같은 우라늄이나 플루토늄 핵폭탄이 투하되면 수 마이크로초(μs)라는 짧은 시간동안 폭발이 일어나며 다량의 에너지와 방사능이 방출된다. 플루토늄-239는 <그림2>와 같이 우라늄-238에 중성자를 흡수시켜 우라늄-239를 만든 뒤 전자를 생성하는 β 붕괴를 통해 얻어진다.

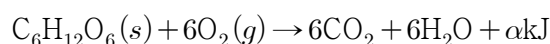


<그림1> 원자폭탄의 구조



<그림2> 플루토늄의 제조과정

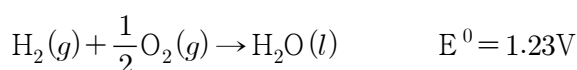
(나) 포도당($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)의 연소반응은 다음과 같다.



포도당 18g을 산소로 채워진 강철 용기에 넣고 열용량 $200\text{kJ}/^\circ\text{C}$ 열량계에 잠긴 상태에서 점화코일로 점화해 완전 연소시켰다. 열량계와 외부 사이에 열 교환이 일어나지 않는 조건에서 반응이 일어나 열적 평형이 이뤄진 다음 열량계 온도가 1.4°C 상승했다.

(다) 우리 주변에는 다양한 산화-환원 반응이 계속 일어난다. 호흡과정에서 포도당이 산화될 때 발생하는 에너지는 살아가는 데 반드시 필요하다. 연료를 태워 난방이나 취사를 하는 경우도 산화·환원반응에서 발생하는 열을 이용하는 예다.

수소와 공기를 이용해 물을 만드는 산화-환원 반응은 연료전지에 응용된다. 전체 반응과 전지 전위는 다음과 같고 산성 전해질(수소이온 전해질)에서 일어나는 환원 반응은 $\frac{1}{2}\text{O}_2(g) + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ 와 같다.



1) 아인슈타인의 특수 상대성이론에 따라 질량과 에너지는 다음과 같이 서로 전환된다.

$$E = mc^2 \quad (E: \text{에너지}, m: \text{물체의 질량}, c: \text{빛의 속도})$$

제시문 (나)를 근거로 포도당 1몰이 연소될 때 방출되는 에너지(kJ/mol)를 계산하고 원자핵 분열에서 이 에너지에 해당하는 질량을 구하는 과정에 대해 설명하라. 포도당의 분자량은 180이고 빛의 속도는 $3 \times 10^8 \text{Km/s}$ 다.

2) β 붕괴에서 양성자 수와 중성자 수의 변화를 설명하고 플루토늄의 방사성 붕괴 과정에서 0.1g의 질량결손이 발생했다면 이 과정에서 방출되는 에너지가 포도당 몇 g을 연소시킬 때 방출되는 에너지와 같은 지 비교하라.

3) 수소 대신 액체연료인 메탄올과 산소를 이용해 연료전지를 구성할 때 전체 반응과 각 전극에서 일어나는 반응을 나타내고 메탄올의 산화 반응에 대한 표준 전극전위를 구하라. 메탄올-산소 연료전지의 전극전위는 1.21V다.

▶ 전문가 클리닉

- 1) 제시문 (나)의 실험 결과를 이용해 포도당의 몰 연소열을 구하고 $E=mc^2$ 을 적용해 반응과정에서 감소한 질량을 구합니다. 이때 사용하는 단위에 유의합니다.
- 2) 제시문 (가)의 자료를 통해 β 붕괴에서 양성자 수와 중성자 수의 변화를 찾고 0.1g의 질량 결손으로 발생하는 에너지와 동일한 크기의 연소열을 얻기 위해 필요한 포도당 질량을 계산합니다.
- 3) 메탄올과 산소의 전체 반응은 메탄올 연소 반응과 같고 전극반응 중 환원 반응은 $\frac{1}{2}O_2(g)+2H^++2e^-\rightarrow H_2O(l)$ 와 같습니다. 이를 이용해 산화반응식을 꾸밉니다.

▶ 예시답안

- 1) 제시문 (나)에서 포도당 18g이 연소될 때 방출하는 에너지는 다음과 같다.

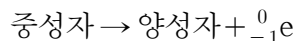
$$Q = C \times \Delta t = \text{열용량} \times \text{온도 변화} = 200 \text{kJ/}^\circ\text{C} \times 1.4^\circ\text{C} = 280 \text{kJ}$$

포도당 분자량이 180이므로 포도당의 몰 연소열은 2800kJ/mol이다. 이 에너지에 해당하는 질량은 $E=mc^2$ 를 이용해 구한다.

$$2800 \times 10^3 \text{J} = m \times (3 \times 10^8 \text{m/s})^2$$

질량감소(m)는 $3.11 \times 10^{-11} \text{Kg}$ 로 원자핵 분열 과정에서 실제 관측하기 어렵다.

- 2) β 붕괴는 원자핵의 중성자가 양성자로 변하면서 전자를 방출하는 반응이다.



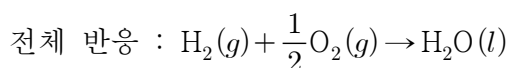
중성자 \rightarrow 양성자 + ${}^0_{-1}e$ β 붕괴 1회당 양성자 수는 1이 증가하고 중성자 수는 1이 감소한다. 0.1g의 질량결손 과정에서 방출하는 에너지는 다음과 같다.

$$E = mc^2 = 0.1 \times 10^{-3} \text{Kg} \times (3 \times 10^8 \text{m/s})^2 = 9 \times 10^{12} \text{J} = 9 \times 10^9 \text{kJ}$$

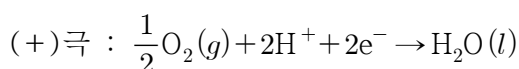
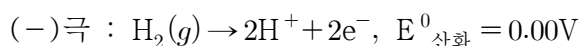
포도당 180g당 2800kJ의 열이 발생하므로 $9 \times 10^9 \text{kJ}$ 만큼의 에너지를 얻기 위해 연소시켜야 하는 포도당 질량(x)은 다음과 같다.

$180 \text{g} : 2800 \text{kJ} = x : 9 \times 10^9 \text{kJ}$, $x = 5.79 \times 10^5 \text{Kg}$ 포도당 $5.79 \times 10^5 \text{Kg}$ 을 연소시키면 플루토늄 0.1g 질량결손으로 얻어지는 에너지가 방출된다.

- 3) 수소-산소 연료전지에서 전체 반응과 각 전극 반응은 다음과 같다.

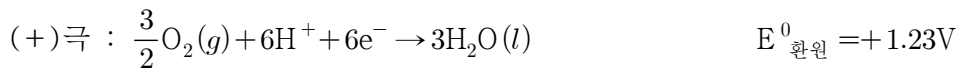
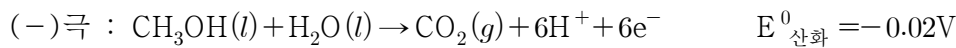
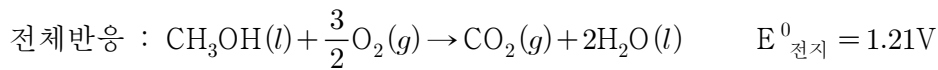


$$E^0_{\text{전지}} = 1.23 \text{V}$$



$$E^0_{\text{환원}} = +1.23 \text{V}$$

수소 대신 메탄올을 이용해 연료전지를 구성할 때 전체 반응과 각 전극 반응은 다음과 같고 환원반응은 수소-산소 연료전지와 동일하다.



화학전지에서 전극전위(E^0 전지)는 E^0 산화와 E^0 환원의 합으로 구한다. 메탄올-산소 연료전지의 전극전위는 1.21V이고 환원 전극전위는 +1.23V이다. 산화 전극전위를 $1.21\text{V} = E^0_{\text{산화}} + 1.23\text{V}$ 로 구하면 $E^0_{\text{산화}} = -0.02\text{V}$ 이다.

Q2 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

- (가) 반응속도에 영향을 주는 요소에는 반응물질의 종류, 온도, 농도(기체인 경우는 압력), 촉매가 있다. 결합이 끊어지고 생기는 재배열이 일어나는 경우는 반응속도가 느리고 이온 간 반응은 빠르다. 반응속도는 일반적으로 온도가 10°C 상승할 때마다 2~3배 증가한다. 온도가 높아질수록 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 증가하기 때문이다. 반응물질 농도가 클수록 반응속도가 빨라지는 이유는 반응물질 농도가 증가할 때 단위 부피 속의 분자수가 증가해 반응물질 입자간 충돌횟수가 늘어나기 때문이다. 기체상은 압력이 높을수록, 고체상은 표면적이 커질수록 반응속도가 빨라진다. 촉매는 반응속도만 변화시키고 반응 전 후에 변화가 없는 물질이다. 정촉매는 활성화 에너지를 낮춰 반응속도를 증가시키고 부촉매는 활성화 에너지를 높여 반응속도를 감소시킨다. - 고등학교 공통과학 교과서
- (나) 화학반응의 진행 방향을 결정하는 요인에는 에너지와 무질서도가 있다. 에너지 측면에서는 에너지가 높은 상태에서 낮은 상태로 일어나는 발열 반응이 자발적으로 진행된다. 무질서도 측면에서는 몰수가 증가하거나 물질이 섞여 무질서도가 증가하는 방향으로 반응이 진행된다. 자연계에서 일어나는 화학반응은 에너지와 무질서도 요인에 의해 정반응 또는 역반응이 우세하게 일어난다.
- (다) 화학반응 과정에서는 열의 출입이 나타난다. 우리 몸에서도 발열반응과 흡열반응이 일어나 체온을 36.5°C 로 일정하게 유지한다. 우리 몸이 열을 외부로 발산하는 방식은 크게 두 가지가 있다. 몸속 열을 상대적으로 온도가 낮은 부위인 피부로 이동시켜 공기 중으로 발산하는 방식과 땀샘에서 분비하는 땀을 수증기로 확산시키는 방법이다.

- 1) 일상생활에서 빠르게 일어나는 현상과 느리게 일어나는 현상의 예를 한 가지씩 들어라. 또 이런 현상의 진행 속도가 왜 빠르거나 느리게 나타나는지 반응속도에 영향을 주는 요인을 이용해 서술하라.
- 2) 수험생이 A대학 B학과에 들어가려고 준비하고 있다. 대학 입시를 준비해 대학에 합격하는 과정을 화학반응으로 비유해 설명하면 수험생이 B학과에 합격하는 일은 화학반응이 일어난 것이다. 수험생 → 합격 (반응 진행)
 - ① 화학반응에서 활성화 에너지는 대학 입시에서 어떤 의미로 해석되는지 설명하라.
 - ② B학과에 빠르게(쉽게) 합격하는 방법을 반응속도를 빠르게 하는 요인과 비교해 서술하라.
- 3) 땀이 공기 중으로 증발되는 과정과 종이의 연소 과정을 화학반응의 자발성 측면에서 설명하고 종이가 공기와 접촉해도 상온에서는 연소되지 않는 이유를 서술하라.

▶ 전문가 클리닉

- 1) 일상에서 빠른 반응과 느린 반응을 제시하고 차이가 생기는 이유를 반응속도에 영향을 주는 요인을 이용해 설명합니다.
- 2) ① 활성화 에너지는 반응이 일어나는 데 필요한 최소한의 에너지로 대학 입학에 필요한 최소한의 실력에 해당한다는 점을 생각합니다.
 ② 반응속도를 증가시키는 요인을 설명하고 각 요인을 대학에 쉽게 합격하는 점과 비교해 서술합니다.
- 3) 에너지와 무질서도의 변화를 서술하고 연소 반응이 상온에서 잘 일어나지 않는 이유를 반응속도에 영향을 주는 요인으로 설명합니다.

▶ 예시답안

- 1) 빠른 반응에는 중화반응, 이온의 양금생성 반응, 고온에서 연료 연소반응이 있고 느린 반응은 상온에서 연료 연소반응, 철의 부식, 과일이 익는 반응, 석회동굴 생성이 있다. 빠른 반응은 대체로 활성화 에너지가 작고 느린 반응은 대체로 크다.
 연소반응은 상온에서 매우 느리게 진행되지만 고온에서는 빠르게 일어난다. 연소반응은 원자 간 공유결합이 끊어져야 하므로 활성화 에너지가 크고 낮은 온도에서 일어나기 어렵다. 그러나 온도가 높아져 활성화 에너지보다 큰 운동에너지를 갖는 반응물 수가 증가하면 반응이 빠르게 일어난다.
- 2) ① 활성화 에너지는 반응에 필요한 최소한의 에너지로 대학 입시의 커트라인과 유사하다. 커트라인은 합격을 위해 대학이 제시한 최소한의 자격 조건(내신 등급, 수능 점수, 각종 수상기록 등)이다.
 ② 반응속도를 증가시키는 요인에는 충돌수 증가, 온도 올리기, 정촉매 사용이 있다. 대학 입시 상황에 대비해 적용하면 다음과 같다.
 - 충돌수 증가 : 여러 번의 기회를 갖는 것
 예) 재수, 수시모집 응시 등
 - 온도 높이기 : 열심히 공부해 원하는 학과의 커트라인을 넘을 정도로 실력을 향상시키는 것
 - 정촉매 사용 : 활성화 에너지 언덕(커트라인)을 낮추고 반응경로를 변화시킴
 예) 기여 입학제(커트라인 낮춤), 특기자 전형 응시(반응경로를 변화시킴)
- 3) 땀이 증발되는 현상은 흡열반응이며 무질서도가 증가하는 과정이다. 에너지 면에서는 비자발적이고 무질서도 면에서는 자발적이다. 종이의 연소 과정은 발열반응이고 무질서도가 증가하므로 두 가지 면에서 모두 자발적이다. 따라서 종이의 연소는 쉽게 진행될 것으로 생각되나 상온에서는 반응이 일어나지 않는다. 종이 연소반응의 활성화 에너지가 높기 때문이다. 종이를 연소시키려면 발화점 이상의 온도를 유지해 활성화 에너지보다 큰 입자수를 충분하게 유지시켜야 한다.

2009년 03월호 - 논구술 완벽 가이드

[화학]분자의 모양과 극성

| 글 | 한은택 · et3go@chol.com |

일상생활 속에서 접하는 수많은 물질들은 분자로 이뤄져 있습니다. 분자의 구조는 루이스 전자 점식을 통해 예측할 수 있습니다. 분자의 구조를 보면 분자의 극성 여부를 알 수 있습니다.

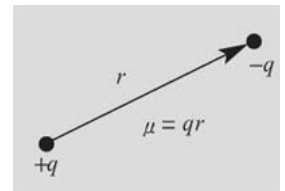
Q1 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

(가) 1940년 영국의 화학자 시지윅(Sidgwick)은 중심원자를 둘러싸고 있는 전자쌍들이 그들 사이의 정전기적 반발력을 최소화시키기 위해 가능한 한 서로 멀리 떨어져 있으려고 한다는 전자쌍 반발의 원리를 제안하였다. 이 원리에 따르면 분자 내에 공유전자쌍만 있는 경우 전자쌍의 수에 따라 오른쪽과 같은

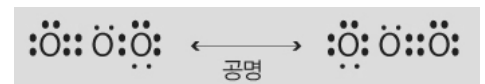
전자쌍수	2	3	4	5	6
모양	직선형	평면삼각형	정사면체	삼각 쌍뿔형	정팔면체형

공간구조를 이룬다.

(나) 극성 분자에서 극성의 크기는 쌍극자 모멘트(dipole moment)로 나타내는데, 이 값이 클수록 결합의 극성이 크다. 쌍극자 모멘트는 크기가 같고 부호가 다른 두 전하가 분리되어 있을 때 두 전하 사이의 세기와 거리를 곱한 벡터량으로 나타낸다. 예를 들어 극성 분자에서 분자를 이루고 있는 원자의 전하가 각각 $+q$, $-q$ 이고 두 전하 사이의 거리가 r 일 때 쌍극자 모멘트 $\mu = q \times r$ 로 정의된다. -고등학교 화학II 교과서



(다) 오존은 홀원소 물질이라서 구성 원자의 전기음성도가 같다. 오존이 극성이 있는지 없는지를 판단하려면 오존 분



자의 모양을 알아야 한다. 오존의 루이스전자점식은 오른쪽과 같다. 오존은 공명구조로 중심 원자의 산소에 단일결합 1개와 이중결합 1개가 있고 비공유 전자쌍이 1개 있다. 따라서 중심 원자의 3군데 위치에서 전자쌍이 반발하므로 오존은 굽은 형을 이루게 된다.

- 1) 인(P)은 원자가 전자가 5개이고 플루오르(F)는 원자가 전자가 7개이다. 오폐루오르화인(PF_5)의 루이스 전자점식을 그려서 전자쌍반발원리에 기초해 물질의 모양을 예측해 보고 극성이 있는지 서술하라.
- 2) 삼플루오르화염소(ClF_3)는 극성을 띤다. 중심원자인 염소(Cl)가 지닌 공유전자쌍과 비공유 전자쌍은 각각 몇 개인지 설명하고 이를 통해 분자모양을 예측하라. 삼플루오르화염소(ClF_3)가 극성이 상쇄되는 평면삼각형 모양이 되지 않고 극성이 나타나는 모양을 갖는 이유를 서술하라.
- 3) 오존(O_3)의 형식전하를 설명하고 오존분자는 극성이 있는지 설명하라.

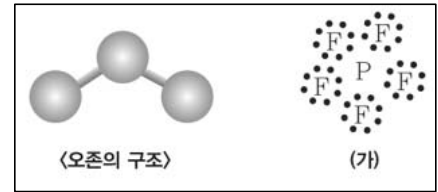
▶ 전문가 클리닉

- 1) PF_5 의 루이스전자점 식을 통해 중심원자인 인의 전자쌍의 수를 구하고 제시문 (가)를 근거로 분자의 모양을 예측합니다.
- 2) 먼저 ClF_3 의 루이스 전자점식을 통해 중심원자인 염소의 전자쌍의 수를 구합니다. 극성이상쇄되는 구조와 극성이 나타나는 구조를 모두 그려보고 어느 구조가 안정한지 판단합니다.

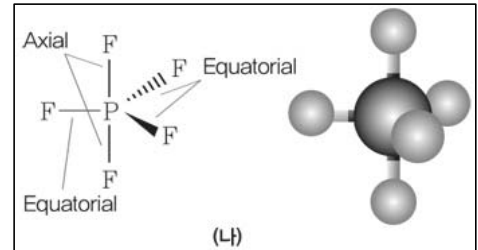
3) 각 산소의 형식전하를 구하고 형식전하가 상쇄되는 구조인지 생각해 봅니다.

▶ 예시답안

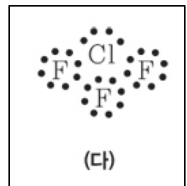
- 1) PF_5 의 루이스 전자점식 (가)는 중심원자인 인(P)이 5개의 공유전자쌍을 가지고 있으므로 전자쌍반발 원리에 의해 분자모양은 그림 (나)처럼 삼각쌍뿔형이 된다.



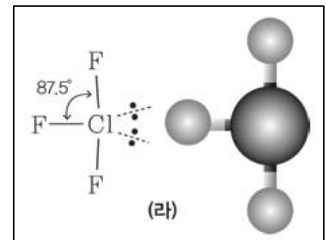
PF_5 에서 구성원자의 전기음성도는 인(P)이 2.1이고 플루오르(F)는 4.0이므로 극성공유결합을 이룬다. 하지만 PF_5 에서 수직방향(axial)의 쌍극자모멘트가 서로 상쇄되고 수평방향(equatorial)의 쌍극자모멘트도 상쇄되므로 분자 전체로는 극성이 없다.



- 2) ClF_3 의 경우 루이스 전자점식을 그려보면 그림 (다)처럼 중심원자인 염소는 공유전자쌍 3개와 비 공유전자쌍 2개를 가지고 있다. 전체 5개의 전자 쌍들은 반발을 최소화하기 위해 삼각쌍뿔의 다섯 군데 꼭지점에 존재한다. 그런데 삼각쌍뿔형에서 비공유 전자쌍은 그림 (라)처럼 수직 방향(axial) 보다는 수평 방향(equatorial)에 존재하는 것이 안정하므로 분자모양은 뒤틀린 T자형이 된다.



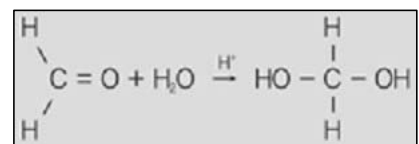
전자쌍 간에 이루는 각도가 120° 인 경우는 반발력이 작아서 전자쌍들이 비공유전자쌍이 존재할 방향을 결정하는데 거의 영향을 미치지 않는다. 하지만 전자쌍 간에 90° 각도를 이루는 배치는 반발력이 크게 나타나므로 비공유전자쌍이 존재할 방향을 결정하는데 큰 영향을 미친다. 이러한 구조는 불안정하다. ClF_3 의 중심원자인 염소에서 비공유전자쌍이 수직방향으로 놓이면 전자쌍과 90° 각도를 이루며 반발하는 전자쌍이 수평 방향으로 3개가 나타난다. 비 공유전자쌍이 수평 방향에 놓이면 전자쌍과 90° 각도를 이루며 반발하는 전자쌍은 수직 방향으로 2개이다. 따라서 비공유전자쌍을 수평방향으로 놓는 구조가 더 안정하다. 이때 분자의 모양은 (라)처럼 뒤틀린 T자이고 극성을 띤다. 비공유 전자쌍이 수직방향으로 놓이면 분자모양은 평면 삼각형이 되고, 대칭구조 때문에 무극성 분자가 되었을 것이다.



- 3) 오존의 루이스 전자식에서 중심원자는 +1의 형식전하를 갖고, 양쪽 원자중의 하나는 -1의 형식 전하를 갖는다. 공명에 의해 -1의 형식전하가 양쪽 원자에 분산된다고 하면 중심원자의 형식전하는 +1이고, 양쪽 원자는 -0.5씩 형식전하를 갖게 된다. 오존이 직선 구조라면 극성이 상쇄될수 있으나 굽은 형이므로 극성이 나타난다.

Q2 다음 제시문을 읽고 물음에 답하라.

- (가) 알데히드는 화학에서 가장 중요한 작용기인 카르보닐기($>\text{C}=\text{O}$)를 함유하고 있다. 알데히드 중 가장 분자량이 작은 물질은 포름알데히드(HCHO)이다. 포름알데히드는 메틸알코올을 산화시켜 얻을 수 있다. 산성 용액에서 포름알데히드에 물이 첨가되는 반응은 오른쪽과 같다. 수화된 포름알데히드 수용액을 포르말린이라 부르며 실내를 소독하는 용도나 생물표본을 보존하는 용도로 사용한다.



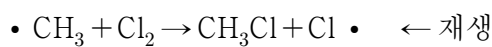
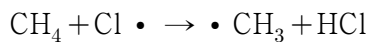
(나) 메탄(CH_4)은 염소와 치환반응을 하여 여러 가지 염화물을 생성할 수 있다. 이 과정은 다음과 같은 연쇄 반응(Chain Reaction)으로 진행된다.

- 개시 단계(Initiating Step)

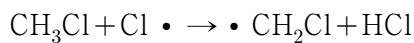
염소 분자의 공유결합이 끊어져 염소 라디칼이 생성된다.

- 전파 단계(Propagation Step)

반응성이 매우 큰 염소 라디칼이 메탄분자와 충돌하여 메틸 라디칼($\cdot\text{CH}_3$)을 생성하고, 메틸 라디칼이 염소분자와 충돌하여 염화메탄(CH_3Cl)과 염소 라디칼을 생성하는 단계로 반응이 연쇄적으로 일어난다. 이는 개시 단계에서 생성되었던 염소 라디칼이 다시 생성되었음을 의미한다.



재생된 염소 라디칼이 다시 염화메탄과 반응하면 디클로로메탄(ClCH_2Cl)이 생성된다.



이와 유사한 반응이 연쇄적으로 일어나면 클로로포름(CHCl_3)과 사염화탄소(CCl_4)가 발생한다.

- 연쇄-종결 단계(Chain-Terminating Step)

개시 단계와 전파 단계에서 생성된 염소 라디칼 또는 메틸 라디칼들이 서로 반응하거나 자기들끼리 반응하게 되면 연쇄반응이 더 진행되지 않고 종결된다. -유기화학, Alkyl radicals의 1인, 한티미디어

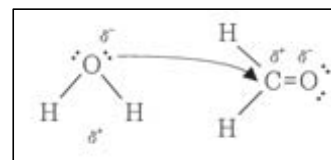
- 1) 포름알데히드에 물이 첨가되는 반응을 친핵성 첨가반응이라고 한다. 친핵성 첨가반응이 가능한 이유를 포름알데히드의 분자구조와 극성을 근거로 설명하라.
- 2) 제시문 (나)의 전파 단계에서 염소 라디칼의 역할을 정촉매와 유사하게 보는 경우가 있다. 염소 라디칼을 정촉매처럼 보는 이유를 말하고 실제 촉매와의 차이점을 설명하라.
- 3) 디클로로메탄(ClCH_2Cl)의 분자구조를 설명하고 이 물질에 이성질체가 존재하는지 서술하라. 만일 디클로로메탄이 평면구조라면 이성질체가 존재할 수 있는지 예측하라.

▶ 전문가 클리닉

- 1) 포름알데히드의 구조와 카르보닐기의 전하분포를 판단한 후 물의 산소가 카르보닐기의 탄소 원자 쪽으로 접근하는 친핵성 첨가반응의 이유를 설명합니다.
- 2) 반응에서 정촉매가 하는 역할을 생각해보고 염소 라디칼의 역할이 촉매의 역할과 어떤 면에서 유사하거나 다른지 생각해봅니다.
- 3) 디클로로메탄(ClCH_2Cl)의 분자구조가 입체 구조라면 이성질체가 존재하지 않고, 평면구조라면 시스, 트랜스 이성질체가 존재한다는 점을 참고하여 설명합니다.

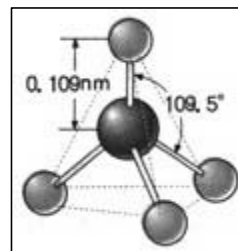
▶ 예시답안

- 1) 포름알데히드는 중심원자인 탄소에 이중결합이 한 개, 단일결합이 두개이다. 전자쌍반발원리에서 이중결합은 단일 결합처럼 취급하므로 포름알데히드는 평면삼각형 모양의 분자가 된다. 이때 산소의 전기음성도가 탄소보다 크므로 카르보닐기의 산소는 δ^- , 탄소



는 δ^+ 의 부분 전하를 띤다. 정전기적 인력에 의해 부분적으로 음전하를 띤 물의 산소가 카르보닐기의 탄소 δ^+ 원자 쪽에 접근하는 친핵성 첨가반응이 가능하다.

- 2) 정촉매는 자신은 소모되지 않으면서 반응의 활성화 에너지를 낮추어 반응을 촉진하는 역할을 한다. 전과반응 단계에서 보면 염소 라디칼은 반응성이 커서 치환반응을 촉진하면서도 계속 재생되어 다음 단계의 반응에 사용되므로 정촉매와 유사하다. 그러나 염소 라디칼은 반응물질인 염소 분자에서 나온 것이므로 진정한 의미의 촉매로 볼 수 없고, 연쇄-종결 단계에서 제거되므로 반응 후에도 그대로 남아있는 촉매와는 다르다.



그림(가)

- 3) 메탄(CH_4)은 중심원자인 탄소에 공유전자쌍이 4개 있어서 분자구조가 그림(가)처럼 정사면체이다. 디클로로메탄도 중심원자인 탄소에 공유전자쌍이 4개 있어서 분자모양은 그림(나)처럼 사면체이다. 그림(나)의 구조에서 두개의 염소원자를 어느 위치로 이동시켜도 동일한 분자로 볼 수 있으므로 디클로로메탄은 이성질체가 없다. 이때 전기 음성도가 큰 염소가 한쪽으로 치우쳐 있으므로 극성 분자이다. 디클로로메탄이 평면 사각형 구조라면 무극성의 트랜스(trans)형과 극성을 갖는 시스(cis)형의 이성질체가 가능하다.

