

2015학년도 교육과정 탐구영역 배경지식

국어 영역
(화학 I)

성명		수험 번호						—				
----	--	-------	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--

- 문제지의 해당란에 성명과 수험번호를 정확히 쓰시오.
- 답안지의 필적 확인란에 다음의 문구를 정자로 기재하시오.

화학은 물질의 학문이지,
그러나 나는 이것을 변화의 학문이라고 보고 싶구나.

- 답안지의 해당란에 성명과 수험번호를 쓰고, 또 수험번호와 답을 정확히 표시하시오.
- 문항에 따라 배점이 다르니, 각 물음의 끝에 표시된 배점을 참고하시오.
배점은 2점 또는 3점입니다.

※ 시험이 시작되기 전까지 표지를 넘기지 마시오.

제 1 교시

국어 영역

1. 세상을 바꾸는 화학

인류는 불을 발견하면서 어떤 물질을 다른 물질로 변화시킬 수 있음을 경험하였고, 그 경험은 화학의 시작이 되었다. 이후 불을 이용하여 철을 제련하면서 철기 문명을 일으켰고 중세 시대에는 연금술을 통해 다양한 화학 물질과 화학 반응을 발견했다.

18세기 이후 화학은 이론적인 체계를 갖춘 하나의 학문으로 자리 잡게 되었고, 19세기 이후부터 물질을 분자와 원자 수준으로 다룰 수 있는 기반을 마련하면서 인류는 물질의 성질과 화학 반응에 대해 더욱 깊게 이해할 수 있었다. 이러한 화학의 발달은 다양한 물질을 합성할 수 있게 하였고, 이로부터 인류의 삶에 많은 변화가 나타나게 되었다.

19세기 이후 화학을 통한 물질의 합성은 인류의 생활을 크게 변화시켰다. 질소 비료의 생산은 식량 문제 해결에 크게 이바지했으며, 면, 비단 등의 천연 섬유를 대신하는 합성 섬유 개발과 천연염료를 대신하는 인공 염료의 합성은 의생활을 비롯한 사회 전반에 변화를 가져왔다. 또 목재를 대신하여 철강, 시멘트 등을 사용하면서 주거 문화도 달라지게 되었다. 최근에는 합성 의약품의 개발로 인간의 평균 수명이 늘어나고, 신소재의 개발로 다양한 재질의 제품을 사용하게 되면서 화학이 인류에게 미치는 영향이 더욱 커지고 있다.

우리 주변의 다양한 화학 물질과 화학 반응이 의식주 문화를 어떻게 바꾸고 인류의 수명 연장에 어떻게 기여했는지 여러 가지 사례를 통해 알아보자.

하버(Haber, F., 1868~1934)의 암모니아 합성으로 화학 비료의 대량 생산이 가능해져 농작물의 생산량이 획기적으로 증가하였다. 또 농약을 사용하면서 잡초나 해충의 피해가 줄어들게 되었다. 비닐하우스나 밭을 덮는 비닐의 등장으로 계절에 상관없이 작물 재배가 가능하게 되었고 농업 생산성도 증대되었다.

나일론, 폴리에스터 등의 합성 섬유가 발명되면서 인류의 생활이 크게 달라졌다. 합성 섬유는 천연 섬유보다 질기고 가벼우며 값이 싸서 천연 섬유를 빠르게 대체했고, 최근에는 다양한 기능성 옷을 제작할 수 있게 되었다. 천연염료는 구하기 어렵고 귀해서 사람들이 입는 옷의 색깔에 따라 신분이나 계급이 구별되던 시절이 있었다. 그러나 합성염료의 개발로 누구나 원하는 색깔의 옷을 입을 수 있게 되었다.

유리는 5000년 전부터 쓰여 온 물질인데, 화학과 기술이 꾸준히 발달하면서 19세기부터는 유리의 대량 생산이 가능해졌다. 또 다양한 기능을 갖춘 유리가 만들어지면서 도시의 멋진 건축물을 만드는 데 쓰이고 있다. 건물을 짓는 데 쓰이는 철강 제품이나 시멘트는 화학의 발달과 함께 점차 성능이 개량되었고, 기존의 바닥재나 벽지, 단열재, 창틀의 재료는 점차 플라스틱이나 실리콘 등 새로운 소재로 변화하고 있다.

현재 인간의 수명은 과거보다 현저하게 늘어났으며, 이러한 변화에는 합성 의약품의 개발이 큰 역할을 했다. 호프만(Hoffmann, F., 1868~1946)은 살리실산의 부작용을 줄일 수 있는 아세틸살리실산을 합성했는데 이것이 최초의 합성 의약품인 아스피린이다. 플레밍(Fleming, Sir A., 1881~1955)은

푸른곰팡이에서 최초의 항생제인 페니실린을 발견하였는데, 페니실린은 제2차 세계 대전 중에 상용화에 성공하여 사용되기 시작하였고 수많은 환자의 목숨을 구했다.

1. 다음은 인류 생활에 기여한 물질 (가)에 대한 설명이다.

(가)

○ 특징

- 석유나 천연 가스를 원료로 하여 대량으로 생산함.
- 질기고 가벼우며 값이 싸서 다양한 기능성 옷을 제작할 수 있게 됨.

○ 예시



나일론, 폴리에스터

(가)로 가장 적절한 것은?

- ① 천연 섬유 ② 건축 자재 ③ 화학 비료
④ 합성 섬유 ⑤ 인공 염료

2. 다음은 화학의 유용성과 관련된 자료이다.

- 과학자들은 석유를 원료로 하여 ㉠ 나일론을 개발하였다.
- 하버와 보슈는 질소 기체를 ㉡ 와/과 반응시켜 ㉢ 암모니아를 대량으로 합성하는 제조 공정을 개발하였다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. ㉠은 합성 섬유이다.
ㄴ. ㉡은 산소 기체이다.
ㄷ. ㉢은 인류의 식량 부족 문제를 개선하는 데 기여하였다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2. 탄소 화합물의 세계

우리가 매일 먹는 밥이나 빵, 채소, 고기 등의 음식을 포함하여 플라스틱으로 만든 컵, 그릇과 같은 생활용품 대부분에는 탄소가 포함되어 있다. **탄소 화합물**이란 탄소가 기본이 되어 다른 원소들과 결합하여 만들어진 화합물이다.

탄소 화합물은 다양한 모습으로 우리 주위에 존재하고 있다. 우리 몸을 이루는 뼈와 근육에서부터 먹는 음식이나 입는 옷, 플라스틱, 의약품에 이르기까지 탄소 화합물이 포함되지 않은 것이 거의 없다. 탄소 화합물은 우리가 생명을 유지하거나 생활하기 위해 없어서는 안 되는 매우 중요한 물질이다.

밥이나 빵 등에 포함된 탄수화물, 면섬유나 양모를 구성하는 셀룰로스와 단백질은 자연에서 얻을 수 있는 대표적인 탄소 화합물이다. 그물이나 텐트의 재료로 쓰이는 나일론, 자전거 헬멧이나 타이어 등의 재료로 쓰이는 폴리카보네이트, 폴리우레탄 등은 인공적으로 합성한 탄소 화합물이다.

현재까지 알려진 탄소 화합물은 수천만 종류에 이르며 지금도 새로운 탄소 화합물들이 발견되거나 합성되고 있다.

탄소 원자는 탄소를 포함하여 다른 원자들과 결합할 때 최대 4개까지 결합할 수 있다. 또 탄소는 탄소 원자뿐만 아니라 수소, 산소, 질소 등을 비롯하여 다른 여러 원소들의 원자들과 결합할 수 있으므로 다양한 화합물을 만들 수 있다.

일상생활에서 많이 사용하는 대표적인 탄소 화합물인 메테인, 에탄올, 아세트산의 성질과 구조적 특징을 알아보자.

메테인은 탄소 원자 1개와 수소 원자 4개가 결합하여 만들어진 간단한 탄소 화합물이다. 도시가스로 공급되는 액화 천연가스(LNG)의 주요 성분으로, 가정에서 난방과 취사에 사용하며 버스의 연료로도 사용한다. 메테인은 산소와 반응하여 이산화 탄소와 물을 생성하며 이 과정에서 다량의 에너지를 방출한다.

메테인은 끓는점이 매우 낮아 상온에서 기체 상태로 존재하며, 물에 대한 용해도가 작아 물에 거의 녹지 않는다. 또 이산화 탄소와 함께 대표적인 온실 기체 중 하나이다.

한편, 메테인에 수소 원자 대신 또 다른 탄소 원자가 결합하면 여러가지 형태의 탄화수소를 만들 수 있다.

고대 이집트에서 포도주를 만들었다는 기록이 있는 것으로 보아 술은 오랜 세월 동안 인류 역사와 함께해 온 화합물이라는 것을 알 수 있다. 모든 술에는 에탄올이 들어 있는데, 에탄올은 효모를 이용하여 과일이나 곡물 속에 포함된 당을 발효해 만든다.

에탄올은 물에 잘 녹는 부분과 잘 녹지 않는 부분이 함께 존재하기 때문에 물과 기름에 모두 잘 녹는다. 또 상온에서 액체 상태로 존재하며 무색의 독특한 향기가 난다. 에탄올은 음식을 조리하거나 살균할 때, 그리고 소독제를 만들 때 쓰인다.

아세트산이 포함된 식초는 동서양을 막론하고 오랜 옛날부터 인류가 이용해 온 대표적인 발효 식품으로, 자연 상태에서 알코올이 발효되어 만들어진 것이다.

아세트산은 물에 잘 녹으며, 물에 녹아 이온화하여 수소 이온을 내놓으므로 산성을 띤다. 아세트산은 아스피린과 같은 의약품의 원료로 사용되며, 2%~3% 아세트산 수용액인 식초는 음식을 조리하는 데 쓰인다.

3. 다음은 물질 X에 대한 설명이다.

- 액화 천연가스(LNG)의 주성분이다.
- 구성 원소는 탄소와 수소이다.

X로 옳은 것은?

- ① 나일론 ② 메테인 ③ 에탄올
- ④ 아세트산 ⑤ 암모니아

4. 다음은 탄소 화합물에 대한 설명이다.

탄소 화합물이란 탄소(C)를 기본으로 수소(H), 산소(O), 질소(N) 등이 결합하여 만들어진 화합물이다.

다음 중 탄소 화합물은?

- ① 산화 칼슘(CaO) ② 염화 칼륨(KCl) ③ 암모니아(NH₃)
- ④ 에탄올(C₂H₅OH) ⑤ 물(H₂O)

3. 물과 화학식량

물건을 세는 단위는 그 종류에 따라 다르다. 우리는 배추 100포기를 한 접, 오징어 20마리를 한 축이라고 한다. 이처럼 일상생활에서 많은 수의 물건을 셀 때는 묶음 단위를 사용하면 편리하다.

원자나 분자 등은 아주 작은 입자이므로 물질 1g에 들어 있는 원자나 분자의 개수는 매우 많다. 따라서 원자와 분자의 개수도 묶음 단위로 나타내는 것이 편리하다.

원자나 분자의 개수를 나타낼 때는 ‘몰’(mole)이라는 묶음 단위를 사용하며, 단위로 몰(mol)을 쓴다. 1몰은 입자가 6.02×10^{23} 개가 모인 것이며, 이 수를 아보가드로수(Avogadro’s number)라고 한다.

$$\text{아보가드로수} = 6.02 \times 10^{23}$$

즉 모든 물질 1몰에는 그 물질을 구성하고 있는 입자가 6.02×10^{23} 개 들어 있으며, 분자의 양(mol)을 알면 그 분자를 구성하고 있는 원자의 양(mol)도 알 수 있다. 산소(O₂) 분자 1몰에는 산소(O) 원자 2몰이 들어 있으므로 산소 원자는 1.204×10^{24} 개가 들어 있고, 수소(H₂) 분자 1 몰에는 수소(H) 원자 2몰이 들어 있으므로 수소 원자는 1.204×10^{24} 개가 들어 있다.

아보가드로수는 원자, 분자의 실제 질량과 어떤 관계가 있을까? 원자는 크기와 질량이 매우 작은 입자이다. 수소 원자 1개의 질량은 1.67×10^{-24} g이고, 탄소 원자 1개의 질량은 1.99×10^{-23} g이며, 산소 원자 1개의 질량은 2.66×10^{-23} g이다. 이와 같은 원자의 실제 질량은 숫자가 매우 작고 복잡하여 그 대로 사용하기 불편하다.

원자들의 질량을 나타낼 때는 한 원자의 질량을 기준으로 정하여 이와 비교한 상대적인 질량을 사용하는 것이 편리하다. 현재는 질량수가 12인 탄소(¹²C) 원자의 질량을 12로 하고 이를 기준으로 하여 원자들의 상대적인 질량 값을 나타내며, 이를 **원자량**이라고 한다.

분자는 원자들이 모여 이루어진 것이므로, 분자를 이루는 원자들의 원자량을 합한 값을 **분자량**이라고 한다. 예를 들어 물 분자는 수소 원자 2개와 산소 원자 1개로 이루어졌으므로 분자량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{물(H}_2\text{O)의 분자량} &= \text{산소(O)의 분자량} \times \text{원자 수} \\ &\quad + \text{수소(H)의 분자량} \times \text{원자 수} \end{aligned}$$

$$18.0 = 16.0 \times 1 + 1.0 \times 2$$

염화 나트륨(NaCl)이나 산화 마그네슘(MgO)처럼 분자로 존재하지 않는 물질은 그 물질에 들어 있는 구성 입자의 비를 나타낸 화학식으로 나타내는데, 이때 화학식을 이루고 있는 각 원소의 원자량 합을 **화학식량**이라고 한다. 예를 들어 염화 나트륨의 화학식량은 다음과 같다.

$$\text{NaCl의 화학식량} = \text{Na의 원자량} + \text{Cl의 원자량}$$

$$58.5 = 23.0 + 35.5$$

실제로 화학 반응에서 양을 다룰 때는 원자량이나 분자량, 화학식량에 g을 붙인 양을 사용한다. 탄소 원자가 아보가드로수인 6.02×10^{23} 개만큼 모이면 질량은 12.0g이 된다. 즉 원자량이 12.0인 탄소(C) 원자 1몰의 질량은 12.0g이고, 이산화탄소(CO₂)의 분자량은 44.0이므로 이산화 탄소 1몰의 질량은 44.0g이다. 염화 나트륨(NaCl)의 화학식량은 58.5이므로 염화 나트륨 1몰의 질량은 58.5g이다.

1몰의 질량을 이용하면 물질에 포함된 입자 수를 쉽게 알 수 있다. 하지만 기체는 질량보다 부피를 측정하기가 더 쉽다. 그렇다면 기체의 부피로부터 기체 분자 수를 알 방법이 있을까?

아보가드로는 기체의 종류와 관계없이 같은 온도와 압력에서는 같은 부피 속에 같은 수의 기체 분자가 들어 있음을 알아냈다. 아보가드로 법칙에 따르면 0℃, 1기압에서 기체 1몰의 부피는 기체의 종류와 관계없이 항상 22.4L로 일정하다.

$$0^\circ\text{C, 1기압에서 기체 분자 1몰의 부피} = 22.4\text{L}$$

예를 들어 0℃, 1기압에서 헬륨 기체 1몰, 암모니아 기체 1몰, 이산화 탄소 기체 1몰이 차지하는 부피는 모두 22.4L이며, 그 안에는 각 기체 분자가 6.02×10^{23} 개씩 들어 있다. 이때 기체 1몰의 질량은 헬륨은 4.0g, 암모니아는 17.0g, 이산화 탄소는 44.0g으로 모두 다르다.

한편, 0℃, 1기압에서 모든 기체 1몰의 부피는 22.4L이므로, 기체의 부피를 측정하면 기체 분자의 양(mol)을 알 수 있다. 예를 들어 0℃, 1기압에서 헬륨 기체 11.2 L에는 헬륨 분자 0.5몰이 있으며, 질량은 2.0g이다.

$$\text{기체 분자의 양(mol)} = \frac{\text{기체의 부피(L)}}{22.4 \text{ L/mol}} \quad (0^\circ\text{C, 1기압})$$

5. 표는 ¹H, ¹²C, ¹⁶O 1몰의 질량을 나타낸 것이다.

	¹ H	¹² C	¹⁶ O
1 몰의 질량(g)	1.008	12.000	15.995

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. ¹²C 1개의 질량은 $\frac{12.000}{\text{아보가드로수}}$ g이다.

ㄴ. 1g에 있는 원자의 몰수는 ¹H가 가장 작다

ㄷ. ¹²C 12.000g의 원자 수와 ¹⁶O₂ 15.995g의 분자 수는 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

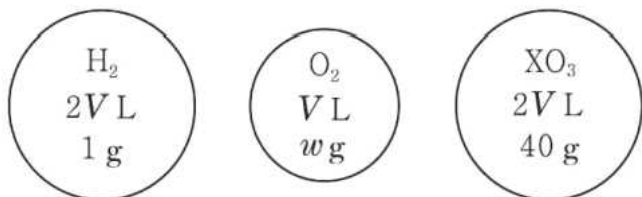
6. 표는 어느 환자의 처방전이다.

처방 의약품의 명칭	1회 투약량	1일 투여 횟수	총 투약 일수
아세트릴 살리실산	360mg	1회	1일

처방된 아세트릴 살리실산($C_9H_8O_4$)에 포함된 산소 원자의 총 몰수는? (단, 아세트릴 살리실산의 분자량은 180이다.)

- ① 0.001 ② 0.002 ③ 0.004 ④ 0.008 ⑤ 0.016

7. 그림은 25°C , 1기압에서 H_2 , O_2 , XO_3 기체의 부피와 질량을 나타낸 것이다. H, O의 원자량은 각각 1, 16이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, X는 임의의 원소 기호이다.)

————— < 보 기 > —————

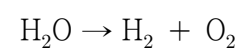
- ㄱ. H_2 의 몰수는 0.5몰이다.
ㄴ. w 는 16이다.
ㄷ. X의 원자량은 32이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

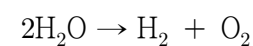
4. 화학 반응식

화학 반응이 일어나면 원자 간 결합이 끊어지고 새로운 결합이 형성되므로 다른 물질이 생기고, 상태가 달라지기도 한다. 이러한 화학 반응을 화학식과 숫자로 간단하게 나타낸 것을 **화학 반응식**이라고 한다.

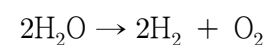
물이 수소와 산소로 분해되는 반응을 화학 반응식으로 나타내 보자. 물이 수소와 산소로 분해되는 반응에서 반응물은 물(H_2O)이고, 생성물은 수소(H_2)와 산소(O_2)이다. 반응물은 왼쪽, 생성물은 오른쪽에 쓰며, 화학 반응은 반응물에서 생성물로 향하는 화살표를 이용하여 다음과 같이 나타낸다.



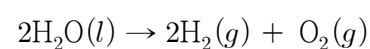
화학 반응이 일어나는 동안 원소의 종류와 원자 수는 변하지 않는다. 따라서 반응물과 생성물의 산소(O) 원자 수가 같아지도록 물(H_2O)의 화학식 앞에 계수 2를 붙인다.



이때 반응물의 수소(H) 원자가 총 4개가 되므로, 생성물인 수소(H_2) 분자의 화학식 앞에 계수 2를 붙여 반응물과 생성물의 수소 원자 수를 같게 만든다.



물이 분해되어 발생하는 수소(H_2)와 산소(O_2)는 각각 기체 상태이므로 다음과 같이 물질의 상태를 나타낸다.



화학 반응식을 이용하면 화학 반응을 간단하게 나타낼 수 있다. 그렇다면 화학 반응식으로부터 어떤 정보를 얻을 수 있을까?

화학 반응에 관여한 물질 사이의 계수비는 곧 몰비이므로, 이를 통해 반응물과 생성물의 질량비를 계산할 수 있다. 또 온도와 압력이 일정할 때 계수비는 기체의 부피비와 같다. 즉 화학 반응식을 통해 반응물과 생성물의 종류, 몰비, 질량비, 기체 부피비 등을 알 수 있다.

화학 산업에서 원하는 물질을 생산하는 데 필요한 반응물의 양을 계산하거나, 생성물의 양을 예측하는 것은 매우 중요한데, 이때 화학 반응식이 유용하게 쓰인다. 예를 들어 어떤 공장에서 암모니아(NH_3) 1톤을 생산하려고 할 때 질소(N_2)는 얼마나 준비해야 할까?

화학 반응식에서 질소와 암모니아의 계수비가 1:2이므로, 질소 1몰이 반응하면 암모니아 2몰이 생성된다. 이때, 질소와 암모니아의 질량비를 고려하면 질소의 질량을 구할 수 있다.

8. 다음은 암모니아의 생성 반응을 화학 반응식으로 나타내는 과정이다.

○ 반응 : 수소와 질소가 반응하여 암모니아가 생성된다.
[과정]
(가) 반응물과 생성물을 화학식으로 나타내고, 화살표를 기준으로 반응물을 왼쪽에, 생성물을 오른쪽에 쓴다.
$$\text{N}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{㉠}$$

(나) 화살표 양쪽의 원자의 종류와 개수가 같아지도록 계수를 맞춰 화학 반응식을 완성한다.
$$\text{N}_2 + a\text{H}_2 \rightarrow b\text{㉠}$$

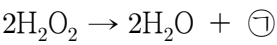
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. ㉠은 NH_3 이다.
ㄴ. $a=2$ 이다.
ㄷ. 반응한 분자 수는 생성된 분자 수보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

9. 다음은 과산화 수소(H_2O_2) 분해 반응의 화학 반응식이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, H와 O의 원자량은 각각 1과 16이다.)

< 보 기 >

ㄱ. ㉠은 H_2 이다.
ㄴ. 1mol의 H_2O_2 가 분해되면 1mol의 H_2O 이 생성된다.
ㄷ. 0.5mol의 H_2O_2 가 분해되면 전체 생성물의 질량은 34g이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

5. 물농도

우리 주변의 화학 반응은 물을 용매로 한 수용액에서 일어나는 경우가 많다. 이때 물에 섞여 있는 용질의 양을 농도로 표현하면 편리하다.

일반적으로 농도는 일정량의 용액 속에 포함된 용질의 양을 의미하는데, 일상생활에서는 질량을 기준으로 한 퍼센트 농도를 많이 사용한다. 그러나 용액의 성질은 용질의 질량보다 입자 수로 결정되는 경우가 많다. 용액의 퍼센트 농도가 같으면 같은 부피의 용액 속에 들어 있는 용질의 입자 수도 서로 같을까?

10% 포도당 수용액과 10% 설탕 수용액의 퍼센트 농도는 같지만, 두 수용액에 포함된 포도당 분자 수와 설탕 분자 수는 서로 다르다. 설탕의 분자량이 포도당 분자량의 두 배 정도이므로, 포도당 수용액 속에는 설탕 수용액보다 두 배 정도 많은 분자가 포함되어 있다.

화학 반응의 양적 관계는 각 물질의 입자 수와 관련이 있으므로, 수용액과 관련된 화학 반응의 양적 관계를 파악할 때는 질량을 기준으로 한 농도보다는 입자 수를 기준으로 한 농도를 사용하는 것이 더 유용하다. 따라서 화학에서는 용액에 포함된 입자수가 표현된 몰 농도를 주로 사용한다.

몰 농도는 용액 1L 속에 녹아 있는 용질의 양(mol)을 의미하며 다음과 같이 나타낸다. 이때 단위는 M 또는 mol/L를 사용한다.

$$\text{몰 농도(M)} = \frac{\text{용질의 양(mol)}}{\text{용액의 부피(L)}}$$

10. 다음은 수산화 나트륨(NaOH) 표준 용액을 만드는 과정이다.

(가) NaOH 4g을 비커에 넣고 소량의 증류수로 녹인다.
(나) (가)의 용액을 500mL A에 넣는다.
(다) 500mL A의 표시선까지 증류수를 채운다.
(라) A의 마개를 막고 흔들어 용액을 골고루 섞는다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, NaOH의 화학식량은 40이다.)

< 보 기 >

ㄱ. A는 부피 플라스크이다.
ㄴ. 표준 용액의 농도는 0.2M이다.
ㄷ. (나)와 (다)의 순서를 바꾸면 수용액의 몰 농도는 작아진다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

6. 원자의 구조

진공관 안에 매우 적은 양의 기체를 넣고 양 끝에 전극을 연결하여 높은 전압을 걸어 주면 (-)극에서 (+)극 쪽으로 빛을 내는 선이 나오는데, 이를 음극선이라고 한다. 원자를 구성하는 입자 중 하나인 전자는 음극선의 정체를 알아내는 과정에서 발견하였다.

1897년 톰슨은 음극선에 전기장을 걸어 주었을 때 음극선의 경로가 휘어지는 것을 발견하였다. 톰슨은 실험 결과를 통해 음극선이 일정한 질량을 가지며 (-) 전하를 띠는 작은 입자의 흐름이라는 것을 알아내었다. 톰슨이 발견한 이 입자를 과학자들은 전자라고 하였다.

이후 톰슨은 음극선을 이용하여 추가로 여러 가지 실험을 수행하였고, 이를 통해 전자가 원자를 구성하는 입자 중 하나라고 결론지었다. 또 전자는 (-) 전하를 띠지만 원자는 전기적으로 중성이므로 원자 내에 (+) 전하를 띠는 부분이 존재할 것이라고 추론하였다. 이에 따라 톰슨은 (+) 전하가 고루 퍼져 있는 공 속에 (-) 전하를 띤 전자가 박혀 있는 새로운 원자 모형을 제안하였다.

1911년 러더퍼드는 알파(α) 입자를 이용한 실험을 통해 새로운 원자 구조를 제안하였다.

러더퍼드는 매우 얇은 금박에 빠른 속력으로 알파 입자를 충돌시킬 때 알파 입자의 경로가 어떻게 변하는지 관찰하였다. 톰슨이 제안한 원자 모형에서 원자는 (+) 전하가 고르게 분포된 공 속에 전자가 군데군데 박혀 있는 구조이다. 러더퍼드는 톰슨의 원자 모형이 옳다면 전자보다 질량이 훨씬 큰 알파 입자를 빠른 속력으로 원자에 충돌시킬 때 알파 입자의 경로가 거의 휘지 않고 원자를 통과할 것으로 예측하였다.

그러나 실제 실험 결과는 러더퍼드의 예측과 다르게 나타났다. 러더퍼드는 알파 입자 산란 실험의 결과를 토대로 원자 중심에 부피가 매우 작고 원자 질량의 대부분을 차지하며 (+) 전하를 띠는 부분인 원자핵이 존재한다고 주장하였다. 그리고 (+)전하를 띠는 원자핵 주위에서 (-)전하를 띠는 전자가 매우 빠른 속도로 운동하는 원자 모형을 제안하였다.

원자의 중심에는 (+)전하를 띠고 있는 원자핵이 위치하며, 그 주위에서 (-)전하를 띠는 전자가 매우 빠른 속도로 운동하고 있다. 원자핵은 (+)전하를 띠는 양성자와 전하를 띠지 않는 중성자로 이루어져 있다.

원자핵의 지름은 원자 지름의 $\frac{1}{100000}$ 에 정도인데, 이는 원자 지름을 100m로 늘였다고 가정했을 때 원자핵의 지름이 불과 1mm의 크기라는 것을 의미한다. 한편, 전자의 질량은 원자핵보다 매우 작으므로 원자 질량의 대부분은 원자핵이 차지한다. 원자를 구성하는 양성자, 중성자, 전자는 어떤 특징을 가질까?

원자들은 모두 양성자, 중성자, 전자로 이루어져 있다. 이처럼 원자를 구성하는 입자의 종류는 같지만 원소의 성질이 각각 다른 까닭은 무엇일까?

화학 반응은 전자가 관여하여 일어나므로, 원소의 화학적 성질은 그 원자가 가진 전자 수로 결정된다. 그런데 원자는 전기적으로 중성이므로 원자를 구성하는 전자 수는 양성자수와 같다. 따라서 원소의 성질은 양성자수로 결정된다.

양성자수는 원소의 종류마다 다르며, 화학 반응이 일어나도 변하지 않으므로 이를 원자 번호로 정하여 원자를 구분하는 고유의 번호로 사용한다.

$$\text{원자 번호} = \text{양성자수} = \text{원자의 전자 수}$$

전자의 질량은 양성자와 중성자의 질량에 비해 매우 작으므로 원자의 질량은 양성자와 중성자의 질량으로 결정된다. 양성자와 중성자의 질량은 거의 비슷하므로 원자의 질량을 나타낼 때 양성자수와 중성자수를 합한 값을 이용하는데, 이 값을 질량수라고 한다.

$$\text{질량수} = \text{양성자수} + \text{중성자수}$$

같은 종류의 원자끼리는 양성자수, 즉 원자 번호가 같지만, 중성자수가 항상 같은 것은 아니다. 따라서 원소를 표시하면서 질량수에 대한 정보를 함께 나타내기도 한다. 원소를 표시할 때는 원소 기호의 왼쪽 아래에 원자 번호를, 왼쪽 위에 질량수를 쓴다.

수소, 중수소, 삼중수소는 양성자수가 같지만, 중성자수가 모두 다르다. 이처럼 원자의 양성자수는 같으나 중성자수가 다른 원소를 동위 원소라고 한다.

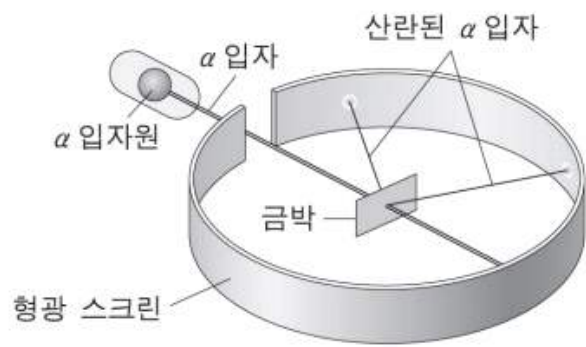
자연계에 존재하는 대부분의 원소는 동위 원소를 가지고 있다. 같은 원소의 동위 원소는 양성자수와 전자 수가 같으므로 화학적 성질이 같지만, 질량수가 다르므로 물리적 성질에는 약간 차이가 있다.

우리가 사용하는 원자량은 동위 원소의 존재비를 고려하여 평균값으로 나타낸 평균 원자량이다. 예를 들어 자연에서 탄소(C)는 질량수가 12인 탄소(^{12}C)와 질량수가 13인 탄소(^{13}C)가 안정한 동위 원소로 존재하며, 이들의 존재비는 ^{12}C (원자량 12)가 98.93%, ^{13}C (원자량 13.00)가 1.07%이다. 따라서 탄소의 평균 원자량은 다음과 같이 구한다.

$$\frac{12 \times 98.93 + 13.00 \times 1.07}{100} = 12.01$$

자연에 존재하는 ^{12}C 의 비율이 ^{13}C 보다 훨씬 많으므로 탄소의 평균 원자량은 12에 가까운 값을 갖는다.

11. 그림은 러더퍼드의 α입자 산란 실험을 나타낸 것이다.



이 실험으로 발견한 것은?

- ① X선
- ② 전자
- ③ 원자핵
- ④ 중성자
- ⑤ 동위 원소

12. 다음은 원자량에 대한 학생과 선생님의 대화이다.

학 생 : ^{12}C 의 원자량은 12.00인데
주기율표에는 왜 C의 원자량이
12.01인가요?

선생님 : 아래 표의 ^{13}C 와 같이, ^{12}C 와 원자 번호는 같지만
질량수가 다른 동위 원소가 존재합니다. 따라서
주기율표에 제시된 원자량은 동위 원소가 자연계에
존재하는 비율을 고려하여 평균값으로 나타낸
것입니다.

동위 원소	^{12}C	^{13}C
양성자 수	a	b
중성자 수	c	d

원자 번호
원소 기호
원소 이름
원자량

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, C의 동위 원소는 ^{12}C 와 ^{13}C 만 존재한다고 가정한다.)

< 보 기 >

ㄱ. $b > a$ 이다.

ㄴ. $d > c$ 이다.

ㄷ. 자연계에서 ^{12}C 의 존재 비율은 ^{13}C 보다 크다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

13. 표는 원자 (가)~(다)에 대한 자료이다. ㉠은 양성자와 중성자 중 하나이다.

원자	(가)	(나)	(다)
원자의 표시 방법	^x_6C	^x_7N	$^{15}_y\text{N}$
㉠의 수 - 전자의 수	2	0	a

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. ㉠은 양성자이다.

ㄴ. $a=1$ 이다.

ㄷ. (나)는 (다)의 동위 원소이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ
- ⑤ ㄴ, ㄷ

14. 표는 원자 X~Z에 대한 자료이다.

원자	X	Y	Z
중성자 수	6	7	8
질량수 전자 수	2	2	$\frac{7}{3}$

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X~Z 는 임의의 원소 기호이다.)

< 보 기 >

ㄱ. Y는 $^{13}_6\text{C}$ 이다.

ㄴ. X와 Z는 동위원소이다.

ㄷ. 질량수는 $Z > Y$ 이다

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ
- ⑤ ㄴ, ㄷ

7. 현대 원자 모형과 전자 배치 규칙

알파 입자 산란 실험을 통해 원자핵을 발견한 러더퍼드는 원자 내에 있는 전자들이 무작위로 원자핵 주위를 돌고 있다고 하였다. 그러나 러더퍼드의 원자 모형에는 여러가지 한계점이 존재하였다. 그중 하나는 수소 기체 방전관에서 발생하는 불연속적인 선 스펙트럼을 설명할 수 없다는 것이었다.

20세기 초 과학자들은 빛에너지가 연속적인 값을 갖는 것이 아니라, 특정한 정수배만큼의 불연속적인 값만 가질 수 있다는 ‘양자화’를 제안하였다. 이것은 에너지가 불연속적인 몇 가지의 상태만 가능하다는 것을 의미한다. 만약 원자 내부의 전자가 갖는 에너지가 양자화되어 있다면, 전자가 높은 에너지 상태에서 낮은 에너지 상태로 이동할 때 방출하는 에너지도 특정한 값만 가질 수 있다.

이러한 양자 이론은 수소 원자의 선 스펙트럼을 설명할 수 있는 계기를 마련하였다. 수소 기체 방전관에 높은 전압을 가하면 수소 원자는 높은 에너지 상태가 되었다가 다시 낮은 에너지 상태로 돌아오면서 빛에너지를 방출한다. 이때 방출된 빛의 선 스펙트럼은 수소 원자 내부에 있는 전자가 가질 수 있는 에너지가 불연속적이라는 것을 의미한다.

1913년 보어는 수소 원자의 스펙트럼을 설명하기 위해 러더퍼드 원자 모형과 양자 이론을 조합하여 원자 내부에서 전자의 에너지가 양자화되어 있다고 제안하였다. 즉 원자 내부의 전자들은 원자핵 주위를 무작위로 돌고 있는 것이 아니라, 특정한 에너지 준위를 가진 궤도에만 있을 수 있다는 것이었다.

보어는 수소 원자의 선 스펙트럼을 설명하기 위해 새로운 원자 모형을 제안하였다. 이에 따르면 원자핵 주위의 전자는 특정한 에너지를 가진 원 궤도를 따라 운동하는데, 이 궤도를 전자 껍질이라고 한다.

전자 껍질은 원자핵에서 가장 가까운 것부터 K, L, M, N...으로 표시하며, 각 전자 껍질이 갖는 에너지 준위(E_n)는 다음과 같이 나타낸다. 아래 식에서 n 은 자연수로, 전자 껍질의 에너지 준위를 결정한다.

$$E_n = -\frac{1312}{n^2} \text{ (kJ/mol)}$$

보어 원자 모형에 따르면, 전자가 같은 전자 껍질에서 운동할 때는 에너지를 흡수하거나 방출하지 않지만, 에너지 준위가 다른 전자 껍질로 이동할 때는 두 전자 껍질의 에너지 차이만큼 에너지를 흡수하거나 방출한다.

원자가 가장 낮은 에너지를 갖는 상태를 **바닥상태**라고 한다. 원자에 에너지를 가하면 낮은 에너지 준위의 전자 껍질에 있던 전자가 에너지를 흡수하여 높은 에너지 준위의 전자 껍질로 들뜨게 된다. 이처럼 원자가 높은 에너지를 갖는 상태를 **들뜬상태**라고 한다.

들뜬상태의 원자는 불안정하므로 높은 에너지 준위에 있던 전자는 낮은 에너지 준위로 되돌아가면서 두 전자 껍질의 에너지 차이만큼 빛에너지를 방출한다.

보어의 원자 모형은 수소 원자의 선 스펙트럼을 설명할 수 있었지만, 헬륨 등 다전자 원자의 스펙트럼을 설명할 수 없었

다. 따라서 과학자들은 원자의 구조를 설명하기 위한 새로운 이론을 도입하였다.

하이젠베르크의 불확정성 원리에 따르면 전자의 위치와 운동량은 동시에 정확하게 측정할 수 없고, 특정한 위치에서 전자가 발견될 확률만을 알 수 있다. 이를 토대로 제안된 현대 원자 모형은 전자가 존재할 수 있는 확률 분포를 나타낸 것이다.

원자핵 주위에서 전자가 발견될 확률을 나타낸 함수를 **오비탈**, 또는 궤도 함수라고 한다. 전자를 발견할 확률 분포를 시각적으로 나타내면 마치 구름처럼 보이므로, 현대 원자 모형을 전자 구름 모형이라고도 한다.

현대 원자 모형에서는 원자 내에 있는 전자의 상태를 주 양자수(n), 부 양자수(l), 자기 양자수(m_l), 스핀 자기 양자수(m_s)의 네 가지 양자수로 나타낸다

보어는 전자가 원자핵 주위의 특정한 에너지를 가진 전자 껍질에서 빠르게 원운동을 하고 있다고 주장하였다. 보어 원자 모형에서 전자 껍질(K, L, M...)의 에너지 준위를 결정하는 자연수($n=1, 2, 3\cdots$)는 현대 원자 모형에서 주 양자수(n)에 해당한다. 주 양자수는 오비탈의 크기 및 에너지와 관련이 있다. 일반적으로 주 양자수가 클수록 오비탈의 크기가 크고, 전자가 원자핵으로부터 멀리 떨어져 있어서 에너지 준위가 높다.

다전자 원자인 수은과 네온의 스펙트럼은 수소보다 선의 수가 많고, 좁게 갈라진 선들이 복잡하게 나타난다. 이것은 같은 주 양자수를 갖는 전자라도 오비탈의 모양이 달라서 나타나는 현상이다. 이때 오비탈의 모양을 나타내는 양자수를 부 양자수(l) 또는 방위 양자수(l)라고 한다.

주 양자수가 n 이면 부 양자수로 0, 1, 2..., $n-1$ 까지의 값을 가질 수 있다. 예를 들어 주 양자수가 1일 때는($n=1$) 0을 부 양자수 값으로 갖고, 주 양자수가 2일 때는($n=2$) 0과 1을 부 양자수 값으로 가질 수 있다. 부 양자수가 0이라면 전자는 공 모양의 오비탈에 존재하고, 부 양자수가 1이라면 전자는 아령 모양의 오비탈에 존재한다는 것을 의미한다.

오비탈의 모양은 s, p, d, f 등의 기호를 사용하여 나타낸다. 일반적으로 오비탈을 표시할 때는 주 양자수 n 과 오비탈의 모양을 나타내는 기호인 $s, p, d, f \cdots$ 를 함께 써서 $1s, 2s, 2p \cdots$ 로 나타낸다.

같은 모양의 오비탈이라도 공간상에서 다른 방향으로 존재할 수 있는데, 이때 오비탈의 방향을 결정하는 양자수를 **자기 양자수**(m_l)라고 한다. 자기 양자수는 0을 포함하여 $-l$ 부터 l 까지의 정숫값을 가질 수 있다. 즉 l 이 0인 경우 자기 양자수는 0한가지만 가능하므로 1개의 오비탈이 존재하고, l 이 1인 경우 자기 양자수는 $-1, 0, 1$ 의 세 가지가 가능하므로 3개의 오비탈이 존재할 수 있다.

공 모양인 s 오비탈($l=0$)은 한 가지 자기 양자수만 가능하므로 방향성이 없다. 따라서 s 오비탈 내에서 전자가 발견될 확률은 방향과 관계없이 원자핵과의 거리에 의해 결정된다. 한편, p 오비탈($l=1$)은 세 가지의 자기 양자수를 가질 수 있으므로 원자핵 주위에 세 가지 방향으로 분포할 수 있다. 따라서 p 오비탈 내에서 전자가 발견될 확률은 방향과 거리에 따라 다르게 나타난다.

오비탈 내 전자의 스핀을 구분하는 양자수를 **스핀 자기 양**

자수(m_s)라고 한다. 전자 스핀은 두 가지 방향이 있으며, 각 방향을 $+\frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2}$ 로 나타낸다. 한 오비탈에 들어 있는 전자들은 같은 스핀 방향을 가질 수 없다. 따라서 하나의 오비탈에는 전자가 최대 2개까지만 들어갈 수 있다.

수소 원자는 전자가 1개뿐이므로 오비탈의 에너지 준위가 원자핵과 전자 사이의 인력에만 영향을 받는다. 따라서 수소 원자 오비탈의 에너지 준위는 주 양자수에 의해서만 결정된다. 주 양자수가 같은 오비탈의 에너지 준위는 모두 같고, 주 양자수가 커지면 원자핵과 전자 사이의 평균 거리가 멀어지므로 오비탈의 에너지도 증가한다. 이에 따라 수소 원자 오비탈의 에너지 준위는 다음과 같다.

$1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f < \dots$

다전자 원자는 원자핵과 전자 사이의 인력뿐만 아니라 전자 사이의 반발력도 존재하므로, 주 양자수뿐만 아니라 오비탈의 모양도 에너지 준위에 영향을 준다. 주 양자수가 같을 때 에너지 준위는 s 오비탈보다 p 오비탈이 더 높고, p 오비탈보다 d 오비탈이 더 높다. 이에 따라 다전자 원자 오비탈의 에너지 준위는 다음과 같다.

$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p \dots$

현대 원자 모형에서 원자의 전자 배치는 어떤 규칙을 따르는지 알아보자. 바닥상태 원자에서는 에너지 준위가 가장 낮은 오비탈부터 에너지가 높아지는 순서대로 전자가 채워진다. 이것을 **쌓음 원리**라고 한다.

전자는 한 오비탈에 최대 2개까지 들어갈 수 있으며, 한 오비탈에 들어간 두 전자의 스핀 방향은 서로 반대이다. 이것을 **파울리 배타 원리**라고 한다. 따라서 s 오비탈에는 전자가 최대 2개까지 채워질 수 있고, p 오비탈에는 전자가 최대 6개까지 채워질 수 있다.

예를 들어 리튬(${}_3\text{Li}$)의 바닥상태 전자 배치를 살펴보자. 3개의 전자 중 2개는 에너지 준위가 가장 낮은 $1s$ 오비탈에 채워지고, 나머지 1개는 그다음으로 에너지 준위가 낮은 $2s$ 오비탈에 채워진다. 이때 한 오비탈 속에 들어 있는 2개의 전자는 스핀 방향이 서로 반대이므로 전자를 다음과 같이 화살표나 오비탈 기호로 나타낸다.

$2p$ 오비탈의 전자 2개가 하나의 오비탈에 모두 들어가면 전자 사이에 반발력이 작용하여 불안정해진다. 2개의 전자가 각각 다른 오비탈에 들어간 전자 배치가 더 안정하다. 이처럼 바닥상태 전자 배치에서 같은 에너지 준위의 오비탈에 전자가 채워질 때, 전자들은 쌍을 이루지 않고 가능한 한 많은 오비탈에 채워진다. 이것을 **훈트 규칙**이라고 한다.

에너지가 가장 낮은 전자 배치, 즉 원자의 바닥상태 전자 배치는 쌓음 원리와 파울리 배타 원리를 따르면서 훈트 규칙을 만족하는 전자 배치이다.

원자의 바닥상태 전자 배치에서 가장 바깥 전자 껍질에 있는 전자를 **원자가 전자**라고 한다. 원자가 전자는 원소의

화학적 성질을 결정하며, 원자가 양이온이 되거나 음이온이 될 때 잃거나 얻는 전자의 수와도 관계가 있다.

예를 들어 원자가 전자가 개인 나트륨(Na)은 $3s$ 오비탈의 전자 1개를 잃고 양이온인 Na^+ 이 되기 쉽다. 또 원자가 전자가 7개인 염소(Cl)는 $3p$ 오비탈에 전자 1개를 얻어 음이온인 Cl^- 이 되기 쉽다.

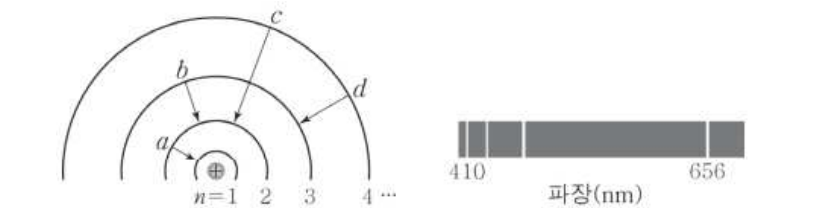
15. 그림은 수소 원자에서 L 또는 M 껍질에 있는 전자가 전이할 때 방출되는 빛의 스펙트럼선 $a \sim c$ 를, 표는 $a \sim c$ 에 해당하는 에너지를 나타낸 것이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 선 a는 M 껍질에서 L 껍질로의 전자 전이에 해당한다.
 - ㄴ. 선 b에 해당하는 빛은 가시광선 영역에 속한다.
 - ㄷ. $E_c = E_a - E_b$ 이다.
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

16. 그림은 수소 원자의 전자 전이 $a \sim d$ 와 가시광선 영역의 선 스펙트럼을 나타낸 것이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. b에서 방출하는 빛의 파장은 656nm이다.
 - ㄴ. d에서 방출하는 빛의 파장은 410nm보다 짧다.
 - ㄷ. 방출하는 빛에너지는 a에서가 c에서의 4배이다.
- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

17. 그림은 들뜬상태 수소 원자의 전자가 주양자수(n) 4이하에서 전이할 때 방출하는 빛 에너지 $a \sim f$ 를 나타낸 것이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 수소 원자의 에너지 준위 $E_n \propto -\frac{1}{n^2}$ 이다.)

- < 보 기 >
ㄱ. a 는 $n=4 \rightarrow n=3$ 에서 방출하는 빛 에너지이다.
ㄴ. e 에 해당하는 빛은 가시광선이다.
ㄷ. $b+d > f$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

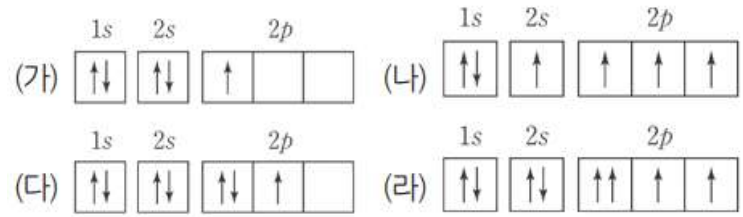
18. 표는 바닥상태 원자 A~C에 대한 자료이다.

원자	A	B	C
p 오비탈에 들어 있는 전자 수	3	5	7

전자가 들어 있는 오비탈 수를 옳게 비교한 것은? (단, A~C는 임의의 원소 기호이다.)

- ① $A=B=C$ ② $A=B>C$ ③ $B=C>A$
④ $C>A=B$ ⑤ $C>B>A$

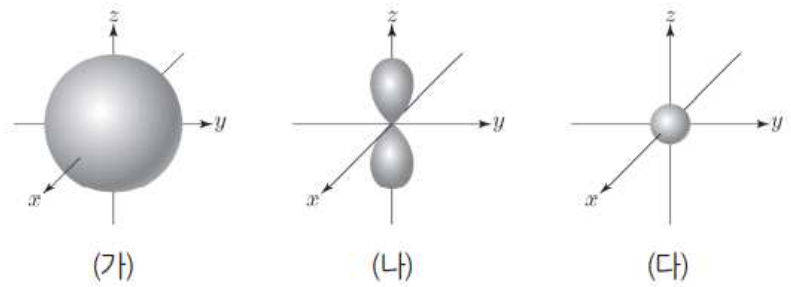
19. 그림은 학생들이 그린 붕소(B), 탄소(C), 질소(N), 산소(O) 원자 각각의 전자 배치 (가)~(라)를 나타낸 것이다.



(가)~(라)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① (가)는 짝음 원리를 만족한다.
② (나)는 들뜬 상태의 전자 배치이다.
③ (다)는 훈트 규칙을 만족한다.
④ (라)는 파울리 배타 원리에 어긋난다.
⑤ 바닥 상태의 전자 배치는 1가지이다.

20. 그림은 수소 원자의 오비탈 (가)~(다)를 모형으로 나타낸 것이다. (가)~(다)는 각각 $1s$, $2s$, $2p_z$ 오비탈 중 하나이다. 수소 원자의 바닥상태 전자 배치에서 전자는 (다)에 들어 있다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
ㄱ. 주 양자수(n)는 (나)>(가)이다.
ㄴ. 방위(부) 양자수(l)는 (가)=(다)이다.
ㄷ. 에너지 준위는 (나)>(가)이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

8. 주기율표

현대의 주기율표는 원소를 원자 번호 순서대로 나열하면서 화학적 성질이 비슷한 원소가 같은 세로줄에 오도록 배치한 것이다. 이 세로줄을 **족**이라고 하며 1족부터 18족까지 있다. 주기율표에서 같은 족에 속하는 원소를 동족 원소라고 하는데, 동족 원소는 원자가 전자의 수가 같아서 화학적 성질이 비슷하다.

한편, 주기율표의 가로줄은 **주기**라고 하며 1주기부터 7주기까지 있다. 같은 주기에 속하는 원소는 바닥상태 원자에서 전자가 들어 있는 전자 껍질 수가 같다.

주기율표의 원소들은 금속 원소, 비금속 원소, 준금속 원소로 분류할 수 있다. **금속 원소**는 전자를 잃어 양이온이 되기 쉽고, 전기 전도성이 좋다. 금속 원소는 수은(Hg)을 제외하고는 상온에서 고체로 존재한다.

비금속 원소는 전자를 얻어 음이온이 되기 쉽고, 전기 전도성이 좋지 않다. 비금속 원소는 상온에서 대부분 기체와 고체로 존재하며, 브로민(Br₂)처럼 액체로 존재하는 것도 있다. **준금속 원소**는 금속과 비금속의 중간 성질을 가지고 있는 원소로, 반도체에 사용하는 규소(Si), 저마늄(Ge) 등이 대표적인 준금속 원소이다.

2016년 IUPAC에서는 그동안 빈칸으로 남아 있던 원자 번호 113, 115, 117, 118 번 원소가 추가된 주기율표를 발표하였다. 이처럼 현대의 주기율표는 완성된 형태가 아니라 계속해서 변할 수 있다.

21. 다음은 주기율표에 대한 세 학생의 대화이다.



- 제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?
- ① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

9. 원소의 주기적 성질

주기율표의 족과 주기에 따라 원자의 전자 배치를 전자 껍질 모형으로 나타내면 족과 주기에 따라 전자 배치에 일정한 경향이 나타나는 것을 알 수 있다. 원자 내 전자 배치는 원소의 화학적 성질을 결정하므로, 전자 배치의 주기적 변화는 원소의 성질 역시 주기적으로 변한다는 것을 의미한다.

원자 번호가 증가하면 양성자수가 1씩 증가하면서 원자핵의 전하가 +1씩 증가한다. 그렇다면 전자에 실제로 작용하는 핵전하도 같은 크기만큼 증가할까?

수소 원자는 양성자 1개와 전자 1개를 가지고 있으므로 전자에 작용하는 핵전하가 +1이다. 반면 탄소 원자는 양성자 6개와 전자 6개를 가지고 있지만, 원자 내에 있는 전자들이 서로 핵전하를 가리기 때문에 전자가 실제로 느끼는 핵전하는 +6보다 작다. 이처럼 전자에 실제로 작용하는 핵전하를 **유효 핵전하**라고 한다. 같은 주기에서 원자 번호가 증가하면 양성자수가 증가하여 핵전하가 증가하므로 원자가 전자에 작용하는 유효 핵전하도 증가한다.

원자 반지름은 원소의 특성에 따라 측정하는 방식이 조금씩 다르지만, 일반적으로 같은 종류의 원자가 결합하고 있을 때 두 원자핵 사이의 거리를 측정하여 나타낸다. 예를 들어 수소(H) 원자의 반지름은 수소(H₂) 분자를 이루는 원자핵 사이 거리의 $\frac{1}{2}$ 로 나타낸다. 금속 나트륨(Na)의 원자 반지름은 나트륨 결정에서 인접한 두 원자핵 사이 거리의 $\frac{1}{2}$ 로 나타낸다.

같은 족에서는 원자 번호가 증가할수록 전자 껍질 수가 증가하여 원자 반지름이 커진다. 예를 들어 같은 1족 원소인 리튬과 나트륨을 비교해 보면, 전자 껍질이 3개인 나트륨이 전자 껍질이 2개인 리튬보다 원자 반지름이 크다.

한편, 같은 2주기 원소인 리튬과 베릴륨은 전자 껍질 수가 같지만, 원자 반지름은 베릴륨이 리튬보다 작다. 이는 원자 번호가 큰 베릴륨이 리튬보다 유효 핵전하가 커서 전자들을 원자핵 쪽으로 더 강하게 끌어당기기 때문이다. 이처럼 같은 주기에서는 원자 번호가 증가할수록 유효 핵전하가 증가하여 원자 반지름이 작아진다.

기체 상태의 원자로부터 전자 1개를 떼어 내는 데 필요한 최소한의 에너지를 이온화 에너지라고 한다. 나트륨(Na) 원자에 에너지(E)를 가하면 가장 바깥 전자 껍질의 전자가 원자핵으로부터 떨어져 나오면서 나트륨 이온(Na⁺)이 만들어진다.

이온화 에너지의 크기는 원자의 종류에 따라 다르다. 원자핵과 전자 사이에 작용하는 인력이 강할수록 전자를 떼어 내기 어려우므로 이온화 에너지도 커진다. 같은 주기에서는 원자 번호가 증가할수록 이온화 에너지가 대체로 증가하는데, 이는 양성자수가 증가하면서 유효 핵전하가 커지기 때문이다. 같은 족에서는 원자 번호가 증가할수록 이온화 에너지가 감소하는데, 이는 전자 껍질 수가 증가하면서 가장 바깥 전자 껍질의 전자가 원자핵으로부터 멀어져서 전자와 원자핵 사이의 인력이 작아지기 때문이다.

2개 이상의 전자를 갖는 원자에서 전자를 1개 이상 떼어 내는 경우, 첫 번째 전자를 떼어 내는 데 필요한 에너지를 제일 이온화 에너지(E_1)라고 한다. 그리고 두 번째 전자를 떼어 내

는 데 필요한 에너지를 제1 이온화 에너지(E_1), 세 번째 전자를 떼어내는 데 필요한 에너지를 제3 이온화 에너지(E_3)라고 한다. 이러한 E_1 , E_2 , E_3 ...순차 이온화 에너지라고 한다.

22. 다음은 이온 반지름에 대한 세 학생의 대화이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② B ③ A, B ④ A, C ⑤ B, C

23. 다음은 학생 A가 수행한 탐구 활동이다.

[가설]

- 3주기에서 원자 번호가 큰 원자일수록 항상 제1 이온화 에너지(E_1)가 크다.

[활동]

- 3주기에서 원자 번호에 따른 원자의 E_1 를 조사하고, 원자 번호가 다른 2개 원자의 E_1 를 비교한다.

[결과]

- 3주기 원자의 E_1

원자	(가)	(나)	(다)	(라)	(마)	(바)	(사)	(아)
원자 번호	11	12	13	14	15	16	17	18
E_1 (kJ/mol)	496	738	578	787	1012	1000	1251	1521

- 원자 번호가 다른 2개의 원자에 대한 비교 결과

구분	원자 번호가 큰 원자가 E_1 가 크다.	원자 번호가 큰 원자가 E_1 가 작다.
비교한 2개의 원자	(가)와 (나), ...	(나)와 (다), ㉠

[결론]

- 가설에 어긋나는 비교 결과가 있으므로 가설은 옳지 않다.

다음 중 ㉠으로 가장 적절한 것은?

- ① (다)와 (라) ② (라)와 (마) ③ (마)와 (바)
④ (바)와 (사) ⑤ (사)와 (아)

10. 이온 결합

헬륨을 제외한 모든 비활성 기체는 가장 바깥 전자 껍질에 전자 8개가 채워져 있다. 18족 원소 이외의 대부분 원소는 이처럼 가장 바깥 전자 껍질에 전자 8개를 채워 안정한 전자 배치를 이루려는 경향이 있는데, 이것을 **옥텟 규칙**이라고 한다. 18족 원소 이외의 원소들이 안정한 전자 배치를 이루는 방법을 알아보자.

원자는 전기적으로 중성이지만 전자를 잃거나 얻으면 전하를 띠는 이온이 된다. 일반적으로 금속 원자는 전자를 잃고 양이온이 되어 비활성 기체와 같은 전자 배치를 가지려고 한다. 예를 들면 나트륨(Na) 원자는 전자 1개를 잃고 양이온인 나트륨 이온(Na^+)이 된다. 이때 나트륨 이온은 10개의 전자를 가지므로 비활성 기체인 네온(Ne)과 전자 배치가 같아진다.

일반적으로 비금속 원자는 전자를 얻고 음이온이 되어 비활성 기체와 같은 전자 배치를 가지려고 한다. 예를 들면 염소(Cl) 원자는 전자 1개를 얻어 음이온인 염화 이온(Cl^-)이 된다. 이때 염화 이온은 18개의 전자를 가지므로 비활성 기체인 아르곤(Ar)과 전자 배치가 같아진다.

이처럼 원자가 전자를 잃거나 얻어 이온을 형성하면 옥텟 규칙을 만족하는 안정한 전자 배치를 이룬다.

전자를 잃기 쉬운 금속 원자와 전자를 얻기 쉬운 비금속 원자가 만나면 각각 전자를 잃거나 얻어 양이온과 음이온이 형성된다. 이들 두 이온 사이에는 정전기적 인력이 작용하여 결합이 형성되는데, 이때 형성되는 화학 결합을 **이온 결합**이라고 한다.

멀리 떨어져 있던 양이온과 음이온이 서로 가까워지면 이온 사이에는 정전기적 인력이 크게 작용하므로 에너지가 점점 낮아진다. 그러나 너무 가까운 거리에서는 이온 표면의 전자끼리 반발하고 핵과 핵 사이의 반발력이 증가하므로 오히려 불안정한 상태가 된다. 양이온과 음이온은 인력과 반발력이 균형을 이루어 에너지가 가장 낮은 거리에서 이온 결합을 형성한다.

이온 결합으로 화합물이 생성될 때 금속 원자가 내놓은 전자를 비금속 원자가 받으므로 양이온이 잃은 전자의 수와 음이온이 얻은 전자의 수는 같다. 따라서 이온 결합 화합물은 전체 (+)전하의 양과 (-)전하의 양이 같으므로 전기적으로 중성이다. 마그네슘 이온(Mg^{2+})과 염화 이온(Cl^-)이 결합한 염화 마그네슘이 전기적으로 중성이 되려면 Mg^{2+} 과 Cl^- 이 1:2의 개수비로 결합해야 하므로 화학식은 MgCl_2 이다. 마찬가지로 나트륨 이온(Na^+)과 산화 이온(O^{2-})이 결합하여 생성되는 산화 나트륨의 화학식은 Na_2O 가 되어야 한다. 이처럼 이온 결합 화합물은 구성하는 이온의 종류에 따라 결합하는 이온의 개수비가 달라진다.

양이온과 음이온 사이의 인력은 모든 방향으로 작용한다. 따라서 이온 결합 화합물은 서로 다른 전하를 띤 이온 사이의 인력은 최대화하고, 서로 같은 전하를 띤 이온 사이의 반발력은 최소화하는 방향으로 배열되어 규칙적인 결정 구조를 이루므로 여러 가지 특성을 나타낸다.

대부분의 이온 결합 화합물은 각 이온이 다른 전하를 띤 여러 개의 이온과 결합하므로 매우 단단하다. 하지만 외부에서 힘을 가하면 쉽게 쪼개지거나 부서지는데, 이것은 힘을 가하면 이온의 위치에 변화가 생겨 같은 전하를 띤 이온끼리 강하

게 반발하기 때문이다.

이온 결합 화합물은 고체 상태에서는 이온들이 자유롭게 이동하지 못하므로 전기 전도성이 없다. 그러나 이온 결합 화합물을 물에 녹이면 결정 표면으로부터 양이온과 음이온이 떨어져 나오고, 이들 이온은 물 분자로 둘러싸여 물속으로 흩어져 자유로운 이동이 가능해지므로 수용액 상태에서는 전기 전도성을 나타낸다.

또 이온 결합 화합물을 구성하는 양이온과 음이온 사이에는 강한 정전기적 인력이 작용하므로 이들 결합을 끊으려면 많은 에너지가 필요하다. 따라서 이온 결합 화합물은 녹는점과 끓는점이 매우 높아 상온에서 대부분 고체 상태로 존재한다.

이온 결합 화합물은 이온 사이의 거리가 가까울수록, 이온의 전하량이 클수록 정전기적 인력이 커지며, 정전기적 인력이 클수록 양이온과 음이온을 떼어 내기 어려워지므로 녹는점이 높아진다.

우리 주변에는 다양한 이온 결합 화합물이 있다. 그중 가장 흔히 사용하는 것 중 하나가 탄산 칼슘(CaCO_3)이다. 탄산 칼슘이 주성분인 대리석은 주로 건물을 짓는 데 사용하며, 석회석은 시멘트의 주원료이다. 또 치약이나 흰색 페인트에도 사용한다.

이 밖에도 다양한 이온 결합 화합물이 우리 생활에 이용되고 있다. 대표적인 물질이 소금으로 쓰이는 염화 나트륨(NaCl)이며, 습기 제거제나 제설제로 사용하는 염화 칼슘(CaCl_2), 베이킹파우더 성분인 탄산수소 나트륨(NaHCO_3), 석고의 성분인 황산 칼슘(CaSO_4) 등도 모두 이온 결합 화합물이다. 이외에도 두부를 만들 때 넣는 간수에는 염화 마그네슘(MgCl_2)이, 링거액에는 염화 칼륨(KCl) 등의 이온 결합 화합물이 들어있다.

24. 표는 3가지 실험에 대한 자료이다.

실험	(가)	(나)	(다)
실험 장치			
실험 목적	고체의 전기 전도성 확인	수용액의 전기 전도성 확인	불꽃 반응의 불꽃색 확인

소금(NaCl)과 설탕($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)을 구별할 수 있는 실험만을 있는 대로 고른 것은?

- ① (가) ② (나) ③ (다)
④ (가)와 (나) ⑤ (나)와 (다)

25. 다음은 물(H_2O)의 전기 분해 실험이다.

[실험 과정]

(가) 비커에 물을 넣고, 황산 나트륨을 소량 녹인다.

(나) (가)의 수용액으로 가득 채운 시험관 A와 B에 전극을 설치하고 전류를 흘려 주어 생성되는 기체를 그림과 같이 시험관에 각각 모은다.

(다) (나)의 각 시험관에 모은 기체의 종류를 확인하고 부피를 측정한다.

[실험 결과]

- 각 시험관에 모은 기체는 각각 수소(H_2)와 산소(O_2)였다.
- 시험관에 각각 모은 기체의 부피(V) 비는 $V_A : V_B = 1 : 2$ 였다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. A에서 모은 기체는 산소(O_2)이다.
ㄴ. 이 실험으로 물이 화합물이라는 것을 알 수 있다.
ㄷ. 물을 이루고 있는 수소(H) 원자와 산소(O) 원자 사이의 화학 결합에는 전자가 관여한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

26. 다음은 3가지 화학 반응식이다.

- $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3$ ㉠
 - $4\text{Na} + \text{O}_2 \rightarrow 2$ ㉡
 - $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2$ ㉢

㉠~㉢에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 > —
- ㄱ. ㉠과 ㉡에는 같은 원소가 있다.
ㄴ. ㉡은 이온 결합 물질이다.
ㄷ. ㉢의 수용액은 전기 전도성이 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

11. 공유 결합과 금속 결합

전자를 얻으려는 성질이 큰 비금속 원소끼리 만나면 두 원자가 각각 전자를 내놓아 만든 전자쌍을 공유함으로써 옥텟 규칙을 만족하는 안정한 전자 배치를 이룬다. 이처럼 2개 이상의 원자들이 전자쌍을 공유하면서 형성하는 결합을 **공유 결합**이라고 한다.

1, 2주기의 비금속 원소인 수소(H), 탄소(C), 질소(N), 산소(O), 플루오린(F)이 어떻게 공유 결합을 형성하는지 알아보자.

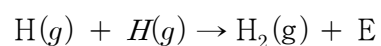
원자가 전자가 1개인 수소 원자와 원자가 전자가 7개인 17족의 플루오린 원자는 다른 원자와 전자 1개를 공유하면 비활성 기체와 같은 전자 배치를 하여 안정해진다. 따라서 이들 원자는 각각 전자 1개씩을 내놓아 전자쌍 1개를 공유하는 결합을 한다. 수소(H₂), 플루오린(F₂), 플루오린화 수소(HF) 분자는 모두 두 원자 사이에 전자쌍 1개를 공유하는데, 이러한 결합을 **단일 결합**이라고 한다.

원자가 전자가 6개인 16족의 산소 원자는 다른 원자와 전자 2개를 공유하면 옥텟 규칙을 만족하여 안정해진다. 따라서 2개의 산소 원자가 결합하여 산소 분자를 형성할 때는 전자쌍 2개를 공유한다. 이처럼 전자쌍 2개를 공유하여 이루어지는 결합을 **2중 결합**이라고 한다.

원자가 전자가 5개인 15족의 질소 원자는 다른 원자와 전자 3개를 공유하면 옥텟 규칙을 만족하여 안정해진다. 따라서 2개의 질소 원자가 결합하여 질소 분자를 형성할 때는 전자쌍 3개를 공유한다. 이처럼 전자쌍 3개를 공유하여 이루어지는 결합을 **3중 결합**이라고 한다.

원자가 전자가 4개인 14족의 탄소 원자는 다른 원자와 전자 4개를 공유하면 옥텟 규칙을 만족하여 안정해진다. 따라서 탄소 원자가 수소 원자와 결합하여 메테인(CH₄) 분자를 형성할 때 탄소 원자는 4개의 수소 원자와 각각 전자쌍을 공유하여 결합한다. 또 탄소 원자가 산소 원자와 결합하여 이산화탄소(CO₂) 분자를 형성할 때 탄소 원자는 2개의 산소 원자와 각각 전자쌍 2개씩을 공유하여 결합한다.

2개의 수소 원자가 멀리 떨어져 있으면 서로 영향을 미치지 않는다. 그러나 두 수소 원자가 일정 거리 이내로 접근하면 인력이 작용하여 에너지가 낮아지며, 에너지가 최소가 될 때 안정한 수소(H₂) 분자를 형성하고, 이 과정에서 에너지(E)를 방출한다.



이때 많은 양의 에너지를 방출할수록 결합이 강하고 안정하다. 즉, 결합이 안정할수록 결합을 끊고 원자 상태로 만드는데 많은 양의 에너지가 필요하다.

공유 결합을 형성하고 있는 분자에서 두 원자핵 사이의 거리를 **결합 길이**라고 하며, 수소 분자에서 결합 길이는 74 pm이다.

공유 결합 물질은 일반적으로 고체나 액체 상태에서 전기 전도성이 없다. 또 이온 결합 물질과는 달리 대부분 물에 잘 녹지 않으며, 원자 사이의 결합은 강하지만 분자 사이에 작용

하는 인력은 약한 편이므로 녹는점과 끓는점이 낮아 상온에서 대부분 기체나 액체 상태로 존재한다.

공유 결합 물질 중에서 분자들이 분자 사이에 작용하는 인력에 의해 규칙적으로 배열되어 결정을 이룬 것을 **분자 결정**이라 하며, 얼음(H₂O), 드라이아이스(CO₂), 아이오딘(I₂), 나프탈렌(C₁₀H₈) 등이 이에 해당한다. 분자 결정 중에는 승화성을 나타내는 것도 있다.

한편, 공유 결합 물질 중에는 원자들이 공유 결합으로 그물처럼 연결되어 결정을 이룬 것도 있는데, 이를 **공유 결정**이라고 한다. 다이아몬드(C)나 흑연(C) 등이 이에 해당한다. 공유 결정은 녹는점이 매우 높고 단단하다.

소금과 같은 이온 결합 화합물은 힘을 가하면 쉽게 부서지지만, 금이나 알루미늄과 같은 금속은 두드릴수록 얇게 퍼진다. 또 금속은 고체 상태에서도 전기 전도성을 나타내므로 전선 등에 이용된다.

금속 결정은 어떤 결합을 하고 있어 이런 특성을 나타낼까? 금속 원자들은 이온화 에너지가 작아서 쉽게 전자를 잃고 양이온이 된다. 금속에서 떨어져 나온 전자는 한 원자에 구속되는 것이 아니라 금속 양이온 사이를 자유롭게 이동할 수 있다. 이 전자를 **자유 전자**라고 하며, 수많은 자유 전자가 자유롭게 돌아다니는 것을 바다에 비유하여 전자 바다라고 한다.

금속 결정에서는 자유 전자가 주위의 금속 양이온에 끌려 안정화되는데, 이처럼 금속 양이온과 자유 전자 사이의 정전기적 인력에 의한 결합을 **금속 결합**이라고 한다.

금속의 여러 가지 특성은 자유 전자에 의해 나타난다. 금속이 특유의 광택을 나타내는 것은 자유 전자가 빛을 흡수하였다가 다시 방출하기 때문이다.

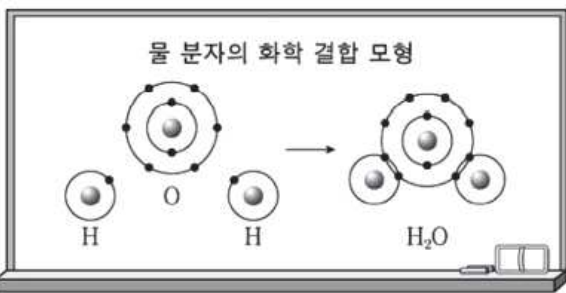
또 금속이 높은 열 전도성과 전기 전도성을 나타내는 것은 금속 결정 내에서 자유 전자들이 자유롭게 이동할 수 있기 때문이다.

금속은 일반적으로 가늘게 실처럼 뽑을 수 있는 연성과 종이처럼 넓게 펼 수 있는 전

성이 뛰어나다. 이것은 외부에서 힘을 받아 금속 양이온의 배열이 달라져도 자유 전자들이 이동하여 금속 양이온과 자유 전자 사이의 결합을 유지해 주기 때문이다.

27. 다음은 물 분자의 화학 결합 모형과 이에 대한 세 학생의 대화이다.

물 분자의 화학 결합 모형



물 분자 1개는 수소 원자 2개와 산소 원자 1개로 이루어져 있어.

물 분자 내에서 수소와 산소의 결합은 공유 결합이야.

물 분자 내에서 산소는 옥텟 규칙을 만족해.

학생 A

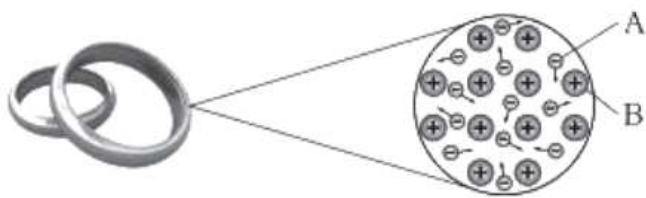
학생 B

학생 C

제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

28. 그림은 은반지에서 은(Ag)의 금속 결합 모형을 나타낸 것이다.



입자 A와 B가 동시에 이동하는 과정이 포함된 사례로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. 은반지를 가열하면 용융액이 된다.

ㄴ. 은반지를 망치로 두드리면 납작해진다.

ㄷ. 은반지에 전압을 걸어 주면 전류가 흐른다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

12. 결합의 극성

서로 다른 두 원자 사이의 공유 결합으로 이루어진 분자에서 두 원자의 원자핵은 공유 전자쌍을 끌어당기는 정도가 다르므로 전자쌍은 어느 한 원자 쪽으로 치우친다. 이때 각 원자가 공유 전자쌍을 끌어당기는 정도를 상대적인 값으로 나타낸 것을 전기 음성도라고 한다. 주기율표의 각 주기와 족에서 전기 음성도는 어떤 경향성을 나타낼까?

폴링은 공유 전자쌍을 끌어당기는 정도가 가장 큰 플루오린 F의 전기 음성도를 4.0으로 정하고 이 값을 기준으로 다른 원자들의 전기 음성도를 상대적으로 나타냈다. 원자의 크기가 작을수록, 원자핵의 전하량이 클수록 공유 전자쌍을 끌어당기는 정도가 커지므로 전기 음성도가 커진다.

따라서 같은 주기에서는 원자 번호가 커질수록 원자 반지름이 작아지고 유효 핵전하가 증가하므로 전기 음성도가 대체로 증가한다. 같은 족에서는 원자 번호가 커질수록 대체로 원자 반지름이 커지므로 전기 음성도가 감소한다.

공유 결합으로 형성된 분자에서 공유 전자쌍이 치우치는 정도가 결합하는 원자의 전기 음성도 차이에 따라 어떻게 달라지는지 알아보자.

수소 분자(H_2)와 같이 같은 종류의 원자가 공유 결합을 할 때는 공유 전자쌍이 어느 한쪽으로 치우치지 않고 동등하게 공유된다. 이와 같은 결합을 **무극성 공유 결합**이라고 한다.

염화 수소 분자(HCl)와 같이 서로 다른 원자가 공유 결합을 할 때는 공유 전자쌍이 전기 음성도가 더 큰 원자 쪽으로 치우친다. 이와 같은 결합을 **극성 공유 결합**이라고 한다. 이때 전기 음성도가 큰 원자는 부분적인 음전하(δ^-)를 띠고, 전기 음성도가 작은 원자는 부분적인 양전하(δ^+)를 띤다. 이처럼 하나의 분자에 서로 다른 부분 전하가 있으면 이를 **쌍극자**라고 하고, 그 크기를 **쌍극자 모멘트**로 나타낸다.

물(H_2O), 암모니아(NH_3), 이산화 탄소(CO_2)는 서로 다른 두 종류의 원자들이 결합한 것으로 모두 극성 공유 결합으로 이루어진 분자이다.

화학 결합이 형성될 때 결합에 참여하는 두 원자의 전기 음성도 차이로부터 생성된 물질의 결합 형태를 예상할 수 있다. 전기 음성도가 같은 원자들은 무극성 공유 결합을 이루고, 전기 음성도가 다른 원자들은 극성 공유 결합을 이룬다. 이때 두 원자의 전기 음성도 차이가 클수록 결합의 극성이 커지며, 전기 음성도 차이가 매우 크면 전기 음성도가 작은 원자에서 전기 음성도가 큰 원자로 전자가 완전히 이동하여 이온 결합이 형성된다.

29. 다음은 단일 결합으로 구성된 분자에서 극성 공유 결합의 특성에 대해 학생 A가 가설을 세우고 수행한 활동이다.

[가설]

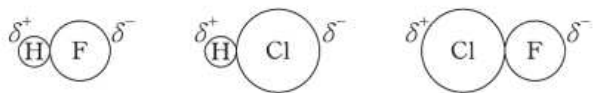
○ 극성 공유 결합에서 ㉠

[활동]

- H, F, Cl의 전기음성도를 찾아 크기를 비교한다.
- HF, HCl, ClF의 부분적인 (+)전하(δ^+)와 부분적인 (-)전하(δ^-)가 표시된 그림을 찾는다.

[결과]

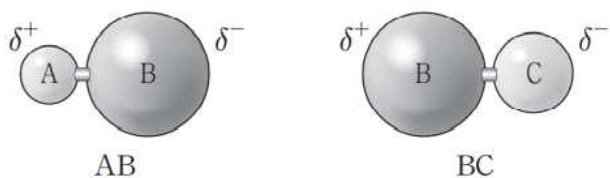
- 전기음성도 크기 : $F > Cl > H$
- HF, HCl, ClF에서 δ^+ 와 δ^- 가 표시된 그림



학생 A의 가설이 옳다는 결론을 얻었을 때, ㉠으로 가장 적절한 것은?

- ① 크기가 더 작은 원자가 부분적인 (+)전하를 띤다.
- ② 전기음성도가 더 큰 원자가 부분적인 (-)전하를 띤다.
- ③ Cl는 어떤 원자와 결합하여도 부분적인 (-)전하를 띤다.
- ④ 원자 간 원자량 차이가 커지면 전기음성도 차이는 커진다.
- ⑤ 원자 간 전기음성도 차이가 커지면 부분적인 전하의 크기는 작아진다.

30. 그림은 분자 AB, BC의 모형에 부분적인 양전하(δ^+)와 부분적인 음전하(δ^-)를 표시한 모습을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, A C는 임의의 원소 기호이다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. AB에는 극성 공유 결합이 있다.
 - ㄴ. BC의 쌍극자 모멘트는 0이다.
 - ㄷ. 전기 음성도는 $A > C$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

13. 분자의 구조와 극성

원자가 전자는 원자의 가장 바깥 전자 껍질에 있는 전자로 화학 결합에 관여하는 전자이다. 따라서 공유 결합을 원소 기호 주위에 원자가 전자만 점으로 찍어 나타낼 수 있는데, 이처럼 원자가 전자를 점으로 표시하여 나타낸 식을 루이스 전자점식이라고 한다.

루이스 전자점식을 나타낼 때는 원소 기호 상하좌우에 먼저 1개씩의 점을 찍은 다음, 다섯 번째 전자부터 쌍을 이루도록 그린다. 이때 각 원자에 포함된 원자가 전자 중에서 쌍을 이루지 않은 전자를 **홀전자**라고 한다.

비금속 원자들이 결합을 형성할 때는 홀전자를 공유하여 전자쌍을 형성하는데, 이를 **공유 전자쌍**이라 하고, 결합에 참여하지 않은 전자쌍을 **비공유 전자쌍**이라고 한다.

공유 결합으로 형성된 분자에서 중심 원자를 둘러싼 전자쌍들은 그들 사이의 전기적 반발력을 최소화 하기 위해 가능한 한 멀리 떨어져 배치되려 하는데, 이를 **전자쌍 반발 이론**이라고 한다.

플루오린화 베릴륨(BeF_2)은 중심 원자 주위에 2개의 공유 전자쌍이 있으므로 이들 사이의 반발이 최소가 되려면 서로 반대편에 배열되어야 한다. 따라서 결합각이 180° 인 직선형 구조가 된다. 삼염화 붕소(BCl_3)는 중심 원자 주위에 3개의 공유 전자쌍이 있으므로 결합각이 120° 인 평면 삼각형 구조가 되며, 메테인(CH_4)은 중심 원자 주위에 4개의 공유 전자쌍이 있으므로 결합각이 109.5° 인 정사면체 구조가 된다.

중심 원자에 비공유 전자쌍이 있는 경우 분자의 구조는 어떻게 될까? 암모니아(NH_3)에서 중심 원자인 질소(N) 원자 주위에는 3개의 공유 전자쌍과 1개의 비공유 전자쌍이 존재하므로 메테인(CH_4)처럼 중심 원자 주위에 4개의 전자쌍을 갖는다. 따라서 중심 원자 주위의 전자쌍들은 사면체 방향으로 배치된다. 그러나 3개의 수소 원자는 사면체의 세 꼭짓점에만 위치하므로 삼각뿔 구조가 된다. 또 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍 사이의 반발력은 공유 전자쌍 사이의 반발력보다 크기 때문에 결합각은 109.5° 보다 작은 107° 정도이다.

물(H_2O)에서 중심 원자인 산소(O) 원자 주위에는 2개의 공유 전자쌍과 2개의 비공유 전자쌍이 존재하므로 전자쌍들은 사면체 방향으로 배치된다. 그러나 2개의 수소 원자는 사면체의 두 꼭짓점에만 위치하므로 굽은 형 구조가 된다. 또 비공유 전자쌍 사이의 반발력은 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍 사이의 반발력보다 크기 때문에 결합각은 104.5° 로 더 작아진다.

전자쌍 반발 이론으로 분자의 구조를 결정할 때 다중 결합은 하나의 결합으로 취급한다. 이산화 탄소(CO_2)에서 중심 원자인 탄소(C) 원자 주위에는 4개의 공유 전자쌍이 있지만, 탄소와 산소 사이에 각각 2중 결합을 하므로, 이산화 탄소는 플루오린화 베릴륨(BeF_2)과 같이 직선형 구조이다.

원자들이 전자쌍을 공유하여 분자를 이룰 때, 서로 다른 두 원자 사이의 공유 전자쌍은 전기 음성도가 큰 원자 쪽으로 치우친다. 이와 같은 극성 공유 결합으로 이루어진 분자는 모두 극성을 나타낼까?

분자 내에 전하가 고르게 분포하여 쌍극자 모멘트의 합이 0이면 **무극성 분자**이고, 전하가 한쪽으로 치우쳐 있어 쌍극자

모멘트를 가지면 극성 분자이다.

2개의 원자가 결합한 이원자 분자의 경우, 같은 원자끼리 결합하면 무극성 공유 결합을 하므로 무극성 분자이고, 전기 음성도가 다른 두 원자가 결합하면 극성 공유 결합을 하므로 극성 분자이다.

3개 이상의 원자가 결합한 경우에는 분자의 구조에 의해 분자의 극성이 결정된다. 물 분자(H₂O)는 굽은 형 구조로, 2개의 H-O 결합에 존재하는 쌍극자 모멘트가 합해져 쌍극자 모멘트의 합이 0이 아니므로 극성 분자이다. 암모니아 분자(NH₃)는 삼각뿔 구조로, 3개의 N-H 결합에 존재하는 쌍극자 모멘트가 한 방향으로 합해져 쌍극자 모멘트의 합이 0이 아니므로 역시 극성 분자이다.

이와 달리 원자 사이에 극성 공유 결합을 하더라도 쌍극자 모멘트가 서로 상쇄되어 분자의 쌍극자 모멘트의 합이 0이면 무극성 분자이다. 플루오린화 베릴륨(BeF₂)에서 Be-F 결합은 극성 공유 결합이나, 직선형 구조로 극성이 서로 상쇄되어 쌍극자 모멘트의 합이 0이므로 BeF₂은 무극성 분자이다. 평면 삼각형 구조인 삼염화 붕소(BCl₃), 정사면체 구조인 메테인(CH₄)도 쌍극자 모멘트의 합이 0인 무극성 분자이다.

극성 분자는 전하 분포가 치우쳐 있으므로 전기적 성질에서 무극성 분자와는 다른 성질을 나타낸다. 극성을 띠는 기체 분자를 평행 판 사이의 전기장 속에 넣으면 일정한 방향으로 배열하나, 무극성 분자는 방향성을 나타내지 않는다.

또 극성을 띠는 액체 물질을 뷰렛에 넣어 천천히 흐르게 한 후 액체 줄기에 대전체를 가까이 대어 보면 액체 줄기가 대전체 쪽으로 끌린다.

물질의 용해도도 분자의 극성에 따라 달라진다. 이온 결합 물질이나 극성 분자는 극성 용매에 잘 용해되고, 무극성 분자는 무극성 용매에 잘 용해된다.

에탄올은 극성 물질이므로 물과 잘 섞이나 헥세인은 무극성 물질이므로 물과 섞이지 않는다. 극성 분자끼리는 서로 반대 전하를 띤 부분 사이에 강한 인력이 작용하므로 쉽게 섞일 수 있지만 극성 분자와 무극성 분자가 섞이면 극성 분자끼리만 강한 인력이 작용하므로 무극성 분자는 그 사이로 섞여 들어가지 못하고 층을 이룬다.

분자량이 비슷한 분자의 경우 분자의 극성이 클수록 녹는점과 끓는점이 높아진다. 극성 분자는 전하 분포가 치우쳐 있어 다른 분자의 반대 전하를 띤 부분과 전기적 인력이 작용하기 때문이다. 메테인(CH₄) 분자량은 16, 암모니아(NH₃)의 분자량은 17로 거의 비슷하지만, 무극성 분자인 메테인의 끓는점은 -161℃, 극성 분자인 암모니아의 끓는점은 -33℃로 차이가 매우 크다.

31. 그림은 분자 (가)와 (나)의 루이스 전자점식을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)의 분자 모양은 정사면체형이다.
 - ㄴ. (나)에는 무극성 공유 결합이 있다.
 - ㄷ. 결합각 ∠HCH는 (나)>(가)이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

32. 그림 (가)와 (나)는 CO₂와 BF₃를 루이스 전자점식으로 나타낸 것이다.

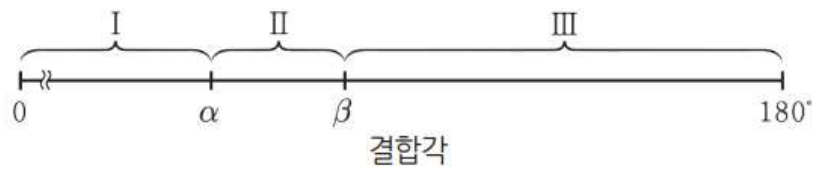


(가)와 (나)의 공통점으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. 극성 공유 결합이 있다.
 - ㄴ. 중심 원자는 옥텟 규칙을 만족한다.
 - ㄷ. 무극성 분자이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

33. 그림은 BCl_3 , NH_3 의 결합각을 기준으로 분류한 영역 I ~ III을 나타낸 것이다. α , β 는 각각 BCl_3 , NH_3 의 결합각 중 하나이다.



H_2O 과 CH_4 의 결합각이 속하는 영역으로 옳은 것은?

	H_2O 의 결합각	CH_4 의 결합각
①	I	I
②	I	II
③	II	II
④	II	III
⑤	III	I

34. 그림은 원자 X~Z의 전자 배치 모형을, 표는 X~Z의 플루오린 화합물 (가)~(다)의 화학식을 나타낸 것이다.

	X	Y	Z
물질	(가)	(나)	(다)
화학식	XF	YF_3	ZF

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X~Z는 임의의 원소 기호이다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)는 공유 결합 물질이다.
 ㄴ. (나)에서 모든 원자는 옥텟 규칙을 만족한다.
 ㄷ. 액체 상태에서 전기 전도성은 (다)>(나)이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

14. 동적 평형 상태

밀폐되지 않은 병 속의 물은 시간이 지나면 증발하여 양이 줄어들지만 밀폐된 병 속의 물은 오랜 시간이 지나도 양이 줄어들지 않는다. 플라스크 속에 액체를 넣고 밀폐하면 증발한 분자들이 밖으로 빠져나가지 못하므로 플라스크 속에서 서로 충돌하거나 플라스크 벽면 및 액체의 표면과 충돌하게 된다. 이때 액체 표면과 충돌한 증기 분자가 액체로 되는 것을 응축이라고 한다.

처음에는 증발하는 분자 수가 응축하는 분자 수보다 많지만, 시간이 지나면 응축하는 분자 수와 증발하는 분자 수가 같아지게 된다. 이때 액체의 양은 줄지 않고 일정하게 유지된다.

이처럼 액체의 증발 속도와 증기의 응축 속도가 같아서 겉으로는 변화가 일어나지 않고 서로 다른 상이 공존하는 상태를 **상평형**이라고 한다. 상평형은 액체와 기체뿐만 아니라 고체와 기체, 고체와 액체 사이에서도 나타난다.

상평형과 같이 계속 변화가 일어나지만, 겉으로는 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는 현상은 용질이 용매에 용해되는 과정에서도 나타난다.

예를 들어 설탕을 물에 계속 넣으면 처음에는 설탕이 물에 녹아 보이지 않지만 어느 순간부터는 녹지 않고 가라앉는다. 이때 물에 녹은 설탕 입자는 계속 설탕물 속에 녹아 있고, 가라앉은 설탕 입자는 계속 고체로 남아 있는 것일까?

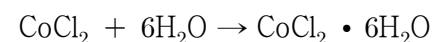
설탕을 물에 계속 넣으면 처음에는 용해되는 입자 수가 석출되는 입자 수보다 많으므로 설탕이 계속 용해되지만, 어느 순간 용해되는 입자 수와 석출되는 입자 수가 같아지면 설탕은 용해되지 않는 것처럼 보인다.

이처럼 용해되는 속도와 석출되는 속도가 같아서 겉으로는 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는 상태를 **용해 평형**이라고 한다.

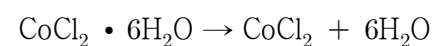
상평형이나 용해 평형과 같이 서로 반대 방향으로 일어나는 변화의 속도가 같아서 겉으로는 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는 상태를 **동적 평형 상태**라고 한다.

상평형이나 용해 평형처럼 화학 반응에서도 반응은 계속 일어나지만, 겉으로는 변화가 일어나지 않는 것처럼 보이는 경우가 있을까?

파란색 염화 코발트(CoCl_2) 종이에 물을 떨어뜨리면 염화 코발트가 물과 결합하면서 분홍색 염화 코발트 수화물($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)로 변한다.

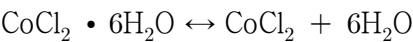


분홍색 염화 코발트 종이를 가열하면 염화 코발트 수화물에서 물이 떨어져 나가면서 다시 파란색 염화 코발트로 변한다.



이때 반응물이 생성물로 되는 반응을 **정반응**이라 하고, 생성물이 반응물로 되는 반응을 **역반응**이라고 한다. 염화 코발트

종이의 색 변화와 같이 반응 조건에 따라 정반응과 역반응이 모두 일어날 수 있는 반응을 **가역 반응**이라 하고, 다음과 같이 하나의 화학 반응식으로 나타낼 수 있다.



석회 동굴과 중유석, 석순 등이 만들어지는 과정도 가역 반응이다. 석회 동굴은 탄산 칼슘(CaCO_3)이 주성분인 석회암 지대에서 생긴다. 석회암이 이산화 탄소(CO_2)를 포

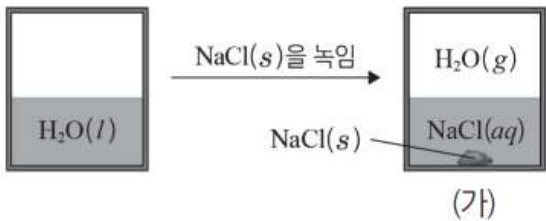
함한 물과 반응하여 탄산수소 칼슘($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$)을 생성하므로 석회 동굴이 만들어진다. 반대로 탄산수소 칼슘 수용액에서 물이 증발하고 이산화 탄소가 빠져나가면서 탄산 칼슘이 석출되면 석회 동굴 천장에 중유석이 만들어지고, 석회 동굴 바닥에 석순이 만들어진다.



한편, 한 방향으로만 일어나는 반응을 **비가역 반응**이라고 한다. 대부분의 화학 반응은 가역 반응이지만 연소 반응이나 산과 금속이 반응하여 기체를 생성하는 반응, 양금이 생성되는 반응 등은 비가역 반응이다.

가역 반응에서는 항상 정반응과 역반응이 동시에 진행되므로 반응물과 생성물이 같이 존재한다. 그리고 반응 조건이 일정하게 유지되면 정반응이 일어나는 속도와 역반응이 일어나는 속도가 같아져서 반응물과 생성물의 농도가 변하지 않는 동적 평형 상태를 이루게 된다.

35. 그림은 $t^\circ\text{C}$ 에서 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 들어 있는 밀폐 용기에 $\text{NaCl}(s)$ 을 녹인 후 충분한 시간이 지난 상태를 나타낸 것이다.



(가)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. $\text{H}_2\text{O}(g)$ 분자 수는 일정하다.

ㄴ. NaCl 의 용해 속도는 석출 속도보다 크다.

ㄷ. 동적 평형 상태이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

36. 다음은 적갈색의 $\text{NO}_2(g)$ 로부터 무색의 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식과 이와 관련된 실험이다.

○ 화학 반응식 : $2\text{NO}_2(g) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(g)$

[실험 과정 및 결과]

플라스크에 $\text{NO}_2(g)$ 를 넣고 마개로 막아 놓았더니 시간이 지남에 따라 기체의 색이 점점 옅어졌고, t 초 이후에는 색이 변하지 않고 일정해졌다.

이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 일정하다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. 반응 시작 후 t 초까지는 전체 기체 분자 수가 증가한다.

ㄴ. t 초 이후에는 $\text{N}_2\text{O}_4(g)$ 의 분자 수가 변하지 않는다.

ㄷ. t 초 이후에는 정반응이 일어나지 않는다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

37. 다음은 설탕의 용해에 대한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 25°C 의 물이 담긴 비커에 충분한 양의 설탕을 넣고 유리 막대로 저어준다.

(나) 시간에 따른 비커 속 고체 설탕의 양을 관찰하고 설탕 수용액의 물 농도(M)를 측정한다.

[실험 결과]

시간	t	$4t$	$8t$
관찰 결과			
설탕 수용액의 물 농도(M)	$\frac{2}{3}a$	a	

○ $4t$ 일 때 설탕 수용액은 용해 평형에 도달하였다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 25°C 로 일정하고, 물의 증발은 무시한다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. t 일 때 설탕의 석출 속도는 0이다.

ㄴ. $4t$ 일 때 설탕의 용해 속도는 석출 속도보다 크다.

ㄷ. 녹지 않고 남아 있는 설탕의 질량은 $4t$ 일 때와 $8t$ 일 때가 같다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

15. 물의 자동 이온화와 pH

순수한 물에서는 전류가 흐르지 않는 것으로 알려졌지만, 매우 정밀한 장치로 전기 전도도를 측정해 보면 아주 적은 양의 전류가 흐른다. 이것은 매우 적은 양이지만 물 분자들끼리 수소 이온(H^+)을 주고받아 이온화가 일어나기 때문이다. 이와 같은 반응을 **물의 자동 이온화**라고 한다.

물의 자동 이온화 반응은 가역 반응이므로 정반응이 일어나는 속도와 역반응이 일어나는 속도가 같아지면서 동적 평형 상태를 이루게 된다. 동적 평형이 이루어지면 반응 물과 생성 물의 농도는 변하지 않으며, 하이드로늄 이온의 농도와 수산화 이온의 농도의 곱 또한 일정하므로 다음과 같은 식이 성립한다. 이때 []는 몰 농도를 의미한다.

$$[H_3O^+][OH^-] = \text{일정} = K_w$$

이 식에서 K_w 를 **물의 이온화 상수**라고 한다. K_w 는 온도가 일정할 때 항상 같은 값을 나타내며, 25°C에서의 K_w 는 1.0×10^{-14} 이다.

물의 이온화 상수를 이용하면 수용액에서 하이드로늄 이온의 농도와 수산화 이온의 농도를 구할 수 있으며, 이들 농도를 비교하여 수용액의 액성을 구별할 수 있다.

순수한 물에서 $[H_3O^+] = [OH^-]$ 이므로 25°C 물에서 $[H_3O^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7} M$ 이다.

순수한 물과 같이 $[H_3O^+] = [OH^-]$ 인 용액을 중성 용액이라고 하고, $[H_3O^+] > [OH^-]$ 인 용액은 산성 용액이라 하며, $[H_3O^+] < [OH^-]$ 인 용액은 염기성 용액이라고 한다.

수용액이 산성인지 염기성인지는 수소 이온의 농도나 수산화 이온의 농도로 알 수 있지만 그 값이 너무 작아서 사용하기 불편하다.

수용액에서 수소 이온 농도를 나타낼 때는 수소 이온 농도의 역수의 상용로그 값을 사용하는 것이 편리하다. 이것을 수소 이온 농도 지수라고 부르며 pH라는 기호를 사용하여 나타낸다.

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

즉 pH는 수소 이온 농도를 간단한 숫자로 나타낸 것으로, 수용액에서 0~14 사이의 값을 갖는다. 예를 들어 25°C 중성 용액에서 수소 이온의 농도는 $1.0 \times 10^{-7} M$ 이므로 pH는 다음과 같다.

$$\text{중성 용액의 } pH = -\log [H^+] = -\log (1.0 \times 10^{-7}) = 7$$

산성 용액에서는 수소 이온 농도가 $1.0 \times 10^{-7} M$ 보다 크므로 pH가 7보다 작고, 염기성 용액에서는 수소 이온 농도가

$1.0 \times 10^{-7} M$ 보다 작으므로 pH가 7보다 크다.

용액의 pH는 pH 시험지나 pH 미터를 이용하여 측정할 수 있다. pH 시험지는 여러 가지 지시약들을 섞어 만든 만능 지시약을 종이에 적셔 만든 것으로, 용액의 pH에 따라 색깔이 다르게 변하기 때문에 간편하게 사용할 수 있다. pH 미터는 수소 이온 농도에 따른 전기 전도도의 차이를 이용하여 만든 기계로, 정밀하게 pH를 측정할 수 있다.

38. 표는 25°C에서 수용액 (가), (나)의 H_3O^+ 의 몰 농도를 나타낸 것이다.

수용액	(가)	(나)
$[H_3O^+]$	$1.0 \times 10^{-5} M$	$1.0 \times 10^{-9} M$

25°C에서 (나)가 (가)보다 큰 값을 갖는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

————— < 보 기 > —————

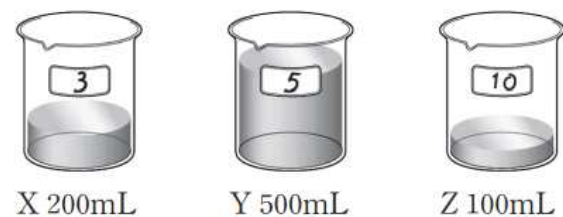
- ㄱ. 물의 이온화 상수(K_w)
 ㄴ. 수소 이온 농도 지수(pH)
 ㄷ. OH^- 의 몰 농도($[OH^-]$)

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

39. 다음은 25°C에서 수용액의 액성에 대한 탐구 활동이다.

[탐구 활동]

(가) 수용액 X~Z의 pH 또는 pOH를 구한 뒤, 그 값을 비커에 표시한다.



(나) 지시약으로 수용액 X~Z의 액성을 확인한다.

수용액	X	Y	Z
액성	산성	염기성	산성

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

————— < 보 기 > —————

- ㄱ. (가)에서 pH로 표시된 수용액은 1가지이다.
 ㄴ. H_3O^+ 의 몰 농도는 X가 Y의 100배이다.
 ㄷ. H_3O^+ 의 양(몰)은 X가 Z의 10배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

16. 산 염기 반응

아레니우스는 물에 녹았을 때 수소 이온(H^+)을 내놓는 물질을 산으로, 수산화 이온(OH^-)을 내놓는 물질을 염기로 정의하였다. 그러나 아레니우스의 정의는 수용액에서만 적용되며, 물이 아닌 다른 용매에서는 산과 염기를 설명할 수가 없다. 이러한 점을 해결하기 위하여 브뢴스테드와 로리는 각각 산과 염기의 일반적인 정의를 제안하였는데, **산**은 수소 이온(양성자)을 내놓는 물질이고, **염기**는 수소 이온(양성자)을 받는 물질이라고 정의하였다.

예를 들어 염화 수소(HCl)가 물(H_2O)에 녹는 반응을 살펴보자. 염화 수소는 수소 이온을 내놓으므로 브뢴스테드·로리 산으로 작용하고, 물은 수소 이온을 받으므로 브뢴스테드·로리 염기로 작용한다.

다른 예로 염화 수소(HCl)와 암모니아(NH_3)의 반응을 살펴보자. 이 반응은 물과 관계없이 일어나는 반응이다.

염화 수소는 수소 이온을 내놓으므로 브뢴스테드·로리 산으로 작용하고, 암모니아는 수소 이온을 받으므로 브뢴스테드·로리 염기로 작용한다.

이처럼 브뢴스테드·로리 산과 염기 정의는 수용액에서 일어나는 반응뿐만 아니라 수용액에서 일어나지 않는 반응에도 적용할 수 있다.

물은 염산과 같은 산 수용액에서는 염기로 작용하고, 암모니아수와 같은 염기 수용액에서는 산으로 작용한다. 이처럼 산으로도 작용할 수 있고, 염기로도 작용할 수 있는 물질을 **양쪽성 물질**이라고 한다.

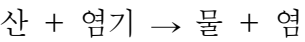
염산과 수산화 나트륨 수용액의 반응에서처럼 산의 수소 이온(H^+)과 염기의 수산화 이온(OH^-)이 만나 물이 생성되는 반응을 **중화 반응**이라고 한다.

이때 나트륨 이온(Na^+)과 염화 이온(Cl^-)처럼 반응에 참여하지 않고 수용액 중에 그대로 남아 있는 이온을 구경꾼 이온이라 하고, 수소 이온(H^+)이나 수산화 이온(OH^-)처럼 반응에 직접 참여한 이온을 알짜 이온이라고 한다.

알짜 이온 반응식: $H^+(aq) + OH^-(aq) \rightarrow H_2O(l)$

산과 염기의 반응에서 수소 이온과 수산화 이온은 같은 양(mol)만큼 반응한다. 따라서 혼합하는 수소 이온과 수산화 이온의 양(mol)이 같으면 중화 반응이 완전히 일어나 용액은 중성이 된다. 그러나 수소 이온과 수산화 이온 중 어느 한쪽의 양(mol)이 더 많으면 중화 반응이 일어난 후에도 용액은 산성이나 염기성을 나타낸다.

염산과 수산화 나트륨 수용액이 완전히 중화된 후 용액을 가열하면 물은 증발하고 흰색의 육면체 결정인 염화 나트륨이 남게 된다. 이를 통해 염산과 수산화 나트륨 수용액의 중화 반응이 일어나면 물과 염화 나트륨이 생성되는 것을 알 수 있다. 염화 나트륨처럼 산의 음이온과 염기의 양이온이 결합한 물질을 염이라고 한다.



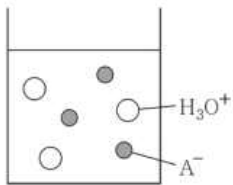
제산제는 수산화 마그네슘($Mg(OH)_2$), 수산화 알루미늄($Al(OH)_3$), 탄산수소 나트륨($NaHCO_3$)과 같은 염기성 물질로 이루어져 있다. 속이 쓰릴 때 제산제를 먹으면 위에서 분비되는 위액을 중화시키므로 속이 쓰린 증상이 사라진다. 생선 비린내를 없애기 위해 생선에 레몬즙을 뿌리는 것과 벌레에 물렸을 때 염기성 물질을 바르는 것도 중화 반응을 이용한 것이다. 이처럼 중화 반응은 우리 생활에서 유용하게 이용된다.

중화 반응의 양적 관계를 이용하면 실험으로 농도를 모르는 산이나 염기 수용액의 농도를 구할 수 있다.

농도를 모르는 염산과 0.1 M 수산화 나트륨 수용액, 지시약이 있을 때 중화 반응의 양적 관계를 이용하여 염산의 농도를 알아내고자 한다. 농도를 모르는 일정량의 염산에 농도를 알고 있는 수산화 나트륨 수용액을 조금씩 가하여 용액이 완전히 중화되는 데 필요한 수산화 나트륨 수용액의 부피를 측정하면 염산의 농도를 구할 수 있다. 이때 농도를 정확히 알고 있는 용액을 **표준 용액**이라고하며, 이와 같은 방법을 이용하여 농도를 모르는 산이나 염기의 농도를 알아내는 방법을 **중화 적정**이라고 한다.

산이나 염기의 농도를 정확하게 알아내기 위해 용액의 부피를 정밀하게 측정할 수 있는 피펫, 부피 플라스크, 뷰렛 등의 실험 도구를 이용한다.

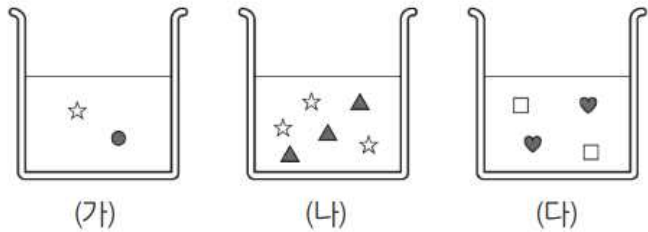
40. 그림은 HA 수용액에 들어 있는 이온을 모형으로 나타낸 것이다. 이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- < 보 기 >
- ㄱ. HA 수용액은 전기 전도성이 있다.
 - ㄴ. HA는 아레니우스 산이다.
 - ㄷ. HA를 물에 녹일 때, H_2O 는 브뢴스테드-로우리 염기로 작용한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

41. 그림은 부피가 각각 20mL인 산 또는 염기 수용액 (가)~(다)를 이온 모형으로 나타낸 것이다. (가)~(다) 중 염기 수용액은 2가지이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

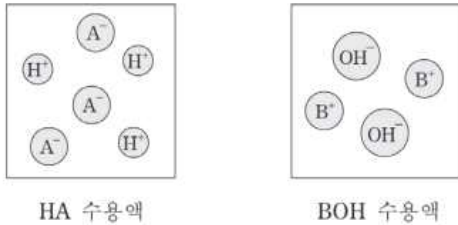
- < 보 기 >
- ㄱ. ☆은 H^+ 이다.
 - ㄴ. pH는 (가)가 (다)보다 크다.
 - ㄷ. (가) 10mL, (나) 10mL, (다) 20mL를 혼합한 수용액은 중성이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

42. 다음은 HA 수용액과 BOH 수용액의 성질을 알아보기 위한 실험이다.

[실험 과정]

(가) 두 플라스크에 x 몰 HA와 y 몰 BOH를 각각 증류수에 녹여, 입자의 종류와 수가 그림의 모형과 같은 HA, BOH 수용액을 250mL씩 만든다.



(나) (가)에서 만든 HA 수용액과 BOH 수용액을 두 시험관에 10mL씩 넣은 후 페놀프탈레인 용액을 몇 방울 떨어뜨리고, 흔들어서 색깔 변화를 관찰한다.



(다) 두 시험관의 용액을 모두 혼합하여 색깔 변화를 관찰한다.

[실험 결과]

• (나)에서 HA 수용액은 색깔 변화가 없고, BOH 수용액은 붉게 변화했다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, N_A 는 아보가드로수이다.)

< 보 기 >

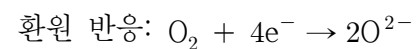
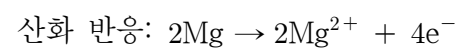
- ㄱ. BOH는 아레니우스 염기이다.
 ㄴ. (다)에서 혼합 용액의 색깔은 붉은색이다.
 ㄷ. (다)에서 혼합 용액에 들어 있는 전체 양이온 수는 $\frac{N_A \times y}{50}$ 이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

17. 산화 환원 반응

화학 반응이 일어날 때 산소를 얻는 반응을 산화 반응이라고 하고 산소를 잃는 반응을 환원 반응이라고 한다. 산소의 이동 이외에 다른 방법으로 산화 환원 반응을 설명할 수는 없을까? 마그네슘의 연소 반응을 예로 들어 알아보자.

산화 마그네슘(MgO)이 생성되는 과정을 보면 마그네슘(Mg)은 전자를 잃어 마그네슘 이온(Mg^{2+})이 되고 산소(O_2) 기체는 전자를 얻어 산화 이온(O^{2-})이 된 후 이온 결합에 의해 산화 마그네슘의 흰색 가루가 만들어진다. 이때 전자를 잃는 반응을 **산화 반응**이라 하고 전자를 얻는 반응을 **환원 반응**이라고 하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.



그렇다면 물질이 산화되는 데에는 반드시 산소가 필요한 것일까? 염소(Cl_2) 기체와 나트륨(Na)을 반응시키면 나트륨은 전자를 잃고 나트륨 이온(Na^+)으로 산화되고, 염소 기체는 전자를 얻어 염화 이온(Cl^-)으로 환원된다. 이처럼 화학 반응을 전자의 이동과 관련시키면 산소가 관여하지 않는 반응도 산화 환원 반응으로 설명할 수 있다.

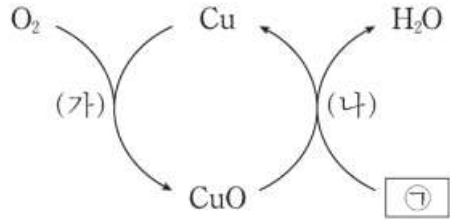
산화 환원 반응은 산소의 이동이나 전자의 이동으로 설명할 수 있다. 그러나 공유 결합 물질과 같이 전자의 이동이 뚜렷하지 않은 물질을 포함할 때는 산화 환원 반응을 설명하기가 쉽지 않다. 이처럼 전자의 이동이 뚜렷하지 않은 반응에서 산화 환원 반응을 설명하기 위해 산화수라는 개념이 도입되었다. 산화수란 화합물을 구성하는 원자 중 전기 음성도가 큰 원자가 공유 전자쌍을 모두 가진다고 가정할 때 각 원자가 가지는 전하수이다. 예를 들어 염화 수소(HCl) 분자에서 염소(Cl) 원자는 수소(H) 원자보다 전기 음성도가 크므로 염소 원자가 공유 전자쌍을 모두 가진다고 가정하자. 그러면 염소 원자는 수소 원자로부터 전자 1개를 얻은 것이므로 산화수는 -1 이고, 수소 원자는 전자 1개를 잃은 것이므로 산화수는 $+1$ 이다.

같은 원자라도 결합하는 원자와의 전기 음성도 차이에 따라 전자를 잃거나 얻을 수 있으므로 여러 가지 산화수를 가질 수 있다. 예를 들어 이산화 탄소(CO_2)에서 탄소(C) 원자의 산화수는 $+4$ 이고, 메테인(CH_4)에서 탄소 원자의 산화수는 -4 이다. 황산 구리(II) 수용액에 아연을 넣으면 아연의 표면에 구리가 석출되고 아연은 아연 이온이 되어 용액으로 녹아 들어간다. 이 반응을 산화수 변화에 의한 산화 환원으로 설명해 보자.

아연(Zn)이 전자를 잃고 아연 이온(Zn^{2+})으로 산화될 때 Zn의 산화수는 0에서 $+2$ 로 증가한다. 구리 이온(Cu^{2+})이 전자를 얻어 구리(Cu)로 환원될 때 Cu의 산화수는 $+2$ 에서 0으로 감소한다. 이처럼 화학 반응이 일어날 때 어떤 원자의 산화수가 증가하면 산화된 것이고, 산화수가 감소하면 환원된 것이다. 그러므로 원자의 산화수 변화로 산화와 환원을 알 수 있다.

산화 철(III)과 일산화 탄소의 반응을 산화수의 변화로 알아보자. 산화 철(III)(Fe_2O_3)은 일산화 탄소(CO)와 반응하여 철

45. 그림은 구리(Cu)와 관련된 반응 (가)와 (나)를 모식적으로 나타낸 것이다.

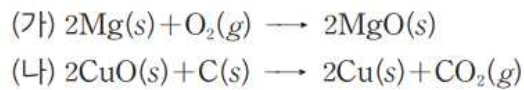


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- < 보 기 >
- ㄱ. (가)에서 O_2 는 환원된다.
 ㄴ. CuO 에서 Cu 의 산화수는 +2이다.
 ㄷ. (나)에서 ㉠은 환원제로 작용한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

46. 다음은 2가지 반응의 화학 반응식과 이에 대한 세 학생의 대화이다.



제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은?

- ① A ② C ③ A, B ④ B, C ⑤ A, B, C

18. 화학 반응과 열의 출입

화학 반응이 일어나는 동안에는 온도가 올라가거나 내려가는 등 온도 변화가 나타나므로, 열을 방출하거나 흡수하는 것을 알 수 있다. 열을 방출하는 반응과 흡수하는 반응은 어떻게 다른지 알아보자.

화학 반응이 일어날 때 열을 방출하는 반응을 **발열 반응**이라 하고, 열을 흡수하는 반응을 **흡열 반응**이라고 한다.

우리가 주변에서 흔히 경험하는 화학 반응은 대부분 열을 방출하지만 열을 흡수하는 때도 많이 있다. 대표적인 발열 반응에는 연소 반응, 산과 염기의 중화 반응, 금속과 산의 반응 등이 있고, 흡열 반응에는 광합성, 탄산수소 나트륨의 분해 반응, 질산 암모늄이 물에 녹는 반응 등이 있다.

47. 다음은 염화 칼슘($CaCl_2$)이 물에 용해되는 반응에 대한 실험과 이에 대한 세 학생의 대화이다.

[실험 과정]

(가) 그림과 같이 $25^\circ C$ 의 물 100g이 담긴 열량계를 준비한다.

(나) (가)의 열량계에 $25^\circ C$ 의 $CaCl_2(s)$ wg 을 넣어 녹인 후 수용액의 최고 온도를 측정한다.



[실험 결과]

○ 수용액의 최고 온도 : $30^\circ C$

학생 A : 열량계 내부의 온도 변화로 반응에서의 열의 출입을 알 수 있어.

학생 B : $CaCl_2(s)$ 이 물에 용해되는 반응은 발열 반응이야.

학생 C : ㉠은 열량계 내부와 외부 사이의 열 출입을 막기 위해 사용해.

제시한 내용이 옳은 학생만을 있는 대로 고른 것은? (단, 열량계의 외부 온도는 $25^\circ C$ 로 일정하다.)

- ① A ② B ③ A, C ④ B, C ⑤ A, B, C

2023학년도 수능 대비 모의고사 주요 문항 정답

1	④	2	③	3	②	4	④	5	①
6	④	7	③	8	①	9	②	10	⑤
11	③	12	④	13	⑤	14	②	15	②
16	④	17	①	18	④	19	③	20	②
21	⑤	22	①	23	③	24	⑤	25	⑤
26	⑤	27	④	28	③	29	②	30	①
31	⑤	32	④	33	②	34	⑤	35	③
36	②	37	②	38	④	39	①	40	⑤
41	④	42	①	43	④	44	⑤	45	⑤
46	⑤	47	⑤						

※ 시험이 시작되기 전까지 표지를 넘기지 마시오.