

I. 화학의 언어

1. 인류 문명의 발전과 화학

1-1 인류 문명과 화학 반응

(1) 불의 발견과 이용

- 불은 물질이 대기 중 산소와 급격히 반응하는 연소 반응에서 발생하는 에너지이다.
- 불을 이용하여 광석에서 구리나 철, 금 등을 얻어 내는 기술을 터득하고, 생활에 필요한 많은 도구를 만들어 쓰게 되었다.
- 연금술사들은 불을 사용하여 납을 금으로 바꾸려고 노력 하였다.

(2) 철의 발견과 이용

- 불을 쓸 수 있게 된 인류는 우연한 기회에 뜨겁게 달구어진 광석으로부터 금속을 얻게 되었다.
- 철의 녹는점(1540℃)은 구리의 녹는점(1080℃)보다 훨씬 높아 구리에 비해 용융시켜 가공하기가 쉽지 않았다. 이 때문에 다루기 쉽고 열기도 쉬운 구리가 철보다 먼저 쓰이기 시작하였다.

- 철은 철광석의 삼산화 이철(Fe_2O_3)을 제련하여 얻는다.

- 철로 농기구나 도구를 만들어 사용함으로써 보다 나은 생활을 할 수 있었다.
- 강철은 자동차의 차체, 대형 선박, 건축물, 기계 부품 등에 쓰이고 있다.

(3) 암모니아의 합성과 이용

- 질소는 탄소, 산소, 수소와 함께 단백질과 핵산을 이루는 주요 성분 원소이다.

단백질은 근육, 효소, 호르몬 등을 이루는 성분이므로 생물의 생존과 성장에 필수적인 물질이고, 핵산은 유전과 관련된 중요한 물질이다.

- 하버에 의해 개발된 암모니아의 합성 방법은 인공적으로 질소 비료를 생산할 수 있게 하였고, 인류의 식량 문제를 개선하는 데 결정적인 공헌을 하였다.

- 하버는 공기 중의 질소 기체와 수소 기체를 촉매와 함께 반응시켜 암모니아를 합성해 내었으며, 그 후 보슈와 함께 하버-보슈법을 개발하여 암모니아를 대량 생산하였다.

- 암모니아 합성은 수소 기체와 질소 기체가 반응하여 이루어지는 매우 간단한 화학 반응처럼 보이지만, 실제로 이 반응은 질소 분자에서 질소 원자 간의 강한 결합 때문에 쉽게 일어나지 않는다.

(4) 화석 연료의 이용

- 화석 연료인 석탄과 석유는 모두 생물체를 구성하는 탄소 화합물에서 산소가 빠져나가면서 만들어졌다. 따라서 석탄과 석유는 함량의 차이는 있지만 탄소와 수소가 주성분이다.

- 화석 연료가 좋은 연료인 이유는 탄소와 수소가 산소와 반응하면서 많은 열이 발생하기 때문이다.

- 18~19세기에는 석탄을 연료로 사용하는 증기 기관을 발명하여 증기 기관차나 선박 등을 만드는 등 산업 혁명의 시대를 열었다.

- 20세기에는 석유가 항공기의 연료나 산업의 에너지원으로 사용되었으며, 현재는 가솔린 뿐만 아니라 등유, 경유, 중유 등을 정제할 수 있게 되어 석유는 더욱 다양한 에너지원으로 사용되고 있다.

1-2 원소와 화합물

(1) 원소와 화합물

- 원소는 더 이상 다른 물질로 나눌 수 없는 가장 기본적인 물질을 말한다. 예를 들어, 공기 속에 들어 있는 질소와 산소는 화학적 방법으로 더 이상 다른 물질로 분해할 수 없으므로 원소이다.

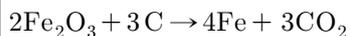
- 한 종류의 원소로 구성된 물질을 **홀원소 물질**이라고 하고, 두 가지 이상의 서로 다른 종류의 원소가 결합하여 만들어진 물질을 **화합물**이라고 한다.

- 물은 수소와 산소, 이산화탄소는 탄소와 산소로 분해할 수 있으므로 물과 이산화탄소는 원소가 아니다.
- 순금은 금만으로 이루어진 홀원소 물질이며, 물은 전기 분해하여 수소와 산소를 얻을 수 있으므로 화합물이다.



- 위의 반응은 식물의 광합성 반응이다. 이산화 탄소는 탄소와 산소가 결합하여 생성되므로 화합물이다. 물도 수소와 산소의 화합물이다. 포도당은 이산화 탄소나 물보다는 복잡한데, 자세히 보면 탄소, 수소, 산소의 세 가지 원소로 이루어진 화합물인 것을 알 수 있다. 공기 중의 산소는 2개의 산소 원자로 이루어져 있는데, 이들 산소 원자는 화학적 성질이 같은 입자이므로 산소 기체는 화합물이 아니라 원소 상태의 물질인 것이다.

- 다음은 철의 제련 과정이다.



- 위의 반응에서 두 가지 원소로 이루어진 삼산화 이철과 이산화 탄소는 화합물이고, 코크스와 철은 원소이다.

(2) 원자와 분자

- 원자는 물질을 구성하는 가장 작은 입자로서, 더 이상 쪼갤 수 없고 종류에 따라 크기와 질량이 다르다.
- 분자는 몇 개의 원자가 결합하여 이루어진 입자로서, 그 물질의 고유한 성질을 가진다.

- 은은 은 원자, 금은 금 원자로 이루어져 있으며, 은과 금 원자는 그 성질과 질량이 서로 다르다.

- 공기 중의 산소 기체는 두 개의 산소 원자가 결합한 산소 분자의 형태로 존재하는데, 산소 원자는 산소 기체의 성질을 가지지 않지만, 산소 분자는 산소 기체의 성질을 가진다.

- 헬륨이나 네온 등은 원자가 단독으로 존재하지만 고유한 성질을 가지므로 분자이다.

- 소금은 나트륨 이온과 염화 이온으로 이루어져 있는 화합물로서, 이들 이온들이 반복적으로 결합하고 있는 결정의 형태로 존재한다.

1-3 화학식량과 몰

- 원자나 분자는 크기가 아주 작은 입자이기 때문에 그 질량도 매우 작다. 따라서, 어떤 원자의 질량을 기준으로 한 다음, 다른 원자의 질량은 그 기준 원자의 질량의 몇 배인가를 나타내는 상대적 질량으로 나타내면 편리하다. 이렇게 정해진 값을 **원자량**이라고 한다.

탄소 원자의 질량을 12로 정하고 이를 기준으로 다른 원자들의 원자량을 상대적 질량 값으로 구한다. 즉 탄소의 원자량이 12일 때 수소의 원자량은 1, 산소의 원자량은 16이 되는데, 이는 수소 원자의 질량이 탄소 원자의 $\frac{1}{12}$, 산소 원자의 $\frac{1}{16}$ 이라는 것을 뜻한다.

- **분자량**은 분자를 이루는 원자들의 원자량을 합한 값이다.

물(H_2O)은 수소 원자 2개와 산소 원자 1개로 이루어져 있으므로 물의 분자량은 18이 된다.

- 염화나트륨($NaCl$)과 같이 분자로 존재하지 않는 물질은 분자량과 마찬가지로 화학식을 이루는 원자들의 원자량 합인 **화학식량**으로 나타낸다.

염화나트륨의 화학식량은 나트륨(Na)의 원자량인 23과 염소의 원자량인 35.5를 합한 58.5이다.

- 원자나 분자와 같이 매우 작은 입자는 아주 작은 양이라도 그 속에는 많은 수의 입자가 들어 있다. 이 수가 너무 크기 때문에 일일이 헤아리는 것은 불편하다. 화학자들은 원자와 분자의 입자 수를 나타내기 위해 **몰(기호 mol)**이라는 단위를 사용한다.

- 어떤 물질 속에 들어 있는 원자, 분자 1몰은 6.02×10^{23} 개의 입자 수를 의미하며, 이 수를 **아보가드로수**라고 한다.

- 탄소 원자 1몰은 탄소 원자 6.02×10^{23} 개, 물 분자 1몰은 물 분자 6.02×10^{23} 개를 의미한다.
- 이와 같이 원자 1몰이나 분자 1몰 모두 아보가드로수 6.02×10^{23} 개를 의미하고, 그 질량은 각각의 원자량과 분자량에 g을 붙인 값과 같다.
- 탄소 원자 1몰의 질량은 12.0g, 물 분자 1몰의 질량은 18.0g이다.

- 기체는 질량보다 부피를 측정하기 쉽다. 그러므로 기체의 경우 그 분자 수는 부피를 통해서 구할 수 있다. 아보가드로 법칙에 따르면 ‘모든 기체는 온도와 압력이 같을 때 같은 부피 속에 같은 수의 분자가 들어 있다.’

실험에 의하면 0°C , 1기압에서 1몰 즉 6.02×10^{23} 개의 분자가 차지하는 기체의 부피는 기체의 종류에 관계없이 22.4L로 일정하다.

- 0°C , 1기압에서 산소 기체 1몰, 즉 32g이 차지하는 부피는 22.4L이고, 그 속에 6.02×10^{23} 개의 산소 분자가 들어 있다.
- 같은 온도, 같은 압력에서 수소(H_2), 산소(O_2), 암모니아(NH_3), 이산화탄소(CO_2)는 모두 부피가 22.4L이며, 6.02×10^{23} 의 분자가 존재한다.

- 몰수와 질량, 분자 수, 부피와의 관계식은 다음과 같다.

$$\text{몰수(몰)} = \frac{\text{질량(g)}}{\text{분자량(g/몰)}} = \frac{\text{분자수(개)}}{6.02 \times 10^{23}(\text{개/몰})} = \frac{\text{부피(L)}}{22.4(\text{L/몰})} (0^{\circ}\text{C}, 1\text{기압})$$

2. 물질의 조성과 화학 반응식

2-1 화학식과 원소 분석

(1) 원소 기호와 화학식

- 현재까지 알고 있는 100여 종의 원소를 나타낼 때, 그리스어나 라틴어, 영어로 된 알파벳 원소 이름의 첫 글자를 대문자로 나타내거나 대문자와 알맞은 글자를 소문자로 조합한 원소 기호로 표시한다.

- 원소의 이름과 원소 기호

알루미늄(Al) 베릴륨(Be) 플루오린(F) 수은(Hg) 질소(N) 납(Pb) 은(Ag) 탄소(C) 철(Fe)
아이오딘(I) 나트륨(Na) 황(S) 아르곤(Ar) 염소(Cl) 갈륨(Ga) 칼륨(K) 네온(Ne) 규소(Si)
금(Au) 크로뮴(Cr) 수소(H) 리튬(Li) 산소(O) 우라늄(U) 붕소(B) 구리(Cu) 헬륨(He)
마그네슘(Mg) 인(P) 아연(Zn)

- 원소 기호를 사용하여 물질을 구성하는 원자, 분자 또는 이온을 나타낸 식을 **화학식**이라고 한다.

(2) 원소 분석

- 화합물의 성분 원소를 확인할 때 흔히 불꽃 반응과 양금 생성 반응을 이용한다.

- 불꽃 반응시 리튬은 붉은색, 나트륨은 노란색, 칼륨은 연한 보라색을 나타낸다.

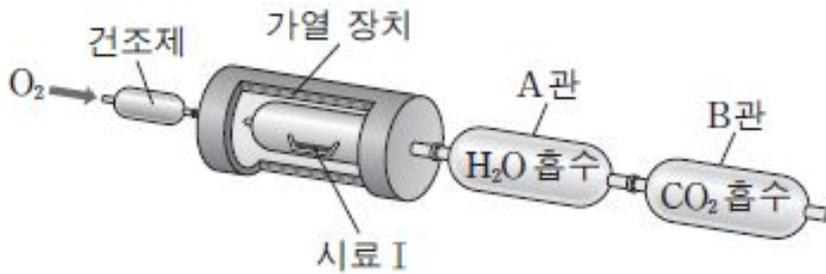
- 염화리튬 수용액에 무색의 질산은 용액을 한두 방울 가하면 흰색의 양금이 생성된다. 이 양금은 질산은 용액의 은 이온과 염화리튬 용액의 염화 이온이 반응하여 물에 잘 녹지 않는 염화은이 생성된 것이다.



- 불꽃 반응은 화합물에 어떤 금속 원소가 들어 있는지 확인하기에 적당한 실험이지만 불꽃 반응으로는 화합물을 구성하는 원소들의 구성 비율은 알 수 없다. 따라서 화합물의 구성 비율을 알기 위해서 원소 분석 방법을 활용한다.

(3) 실험식 구하기

- 유기 화합물을 연소시켰을 때 생성되는 이산화탄소와 물의 질량을 측정하여 탄소, 산소, 수소의 성분 질량비를 알아내는 것이다. 각 성분의 질량을 알게 되면 각각의 질량 값을 성분 원소의 원자량으로 나누어 조성비를 구할 수 있다.



- 이 장치에서, 질량을 알고 있는 화합물을 산소 속에서 완전히 태워 이산화탄소와 물을 발생시킨다. 이때 발생한 물은 염화칼륨(A관)에 흡수되고, 이산화탄소는 수산화나트륨(B관)에 흡수된다. 증가된 각 관의 질량을 측정하여 물과 이산화탄소의 질량을 측정하면, 화합물을 이루고 있는 탄소와 수소의 질량을 계산할 수 있다. 또한, 각 성분의 질량을 각 성분의 원자량으로 나누어 주면 조성비를 구할 수 있다.

- 조성비를 구한 다음 구성 원소의 원자 개수의 비율을 가장 간단한 정수비로 나타낸 식을 실험식이라고 한다.

(4) 분자식 구하기

- 실험식만으로는 화합물을 구성하고 있는 탄소, 수소, 산소의 원자 수를 정확하게 알 수 없고, 단지 구성 원자 수의 정수비만을 알 수 있을 뿐이다. 따라서, 화합물을 구성하고 있는 원자의 종류와 수를 모두 나타내는 분자식을 알려면 분자량을 측정해야 한다.

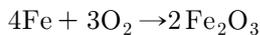
2-2 화학 반응식과 양적 관계

(1) 화학 반응식

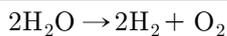
- 화학식을 사용하여 화학 변화를 나타낸 식을 **화학 반응식**이라고 한다. 화학 반응식을 사용하면 반응 전 물질이나 반응 후 생긴 물질을 나타낼 수 있으므로 화학 변화의 과정을 쉽게 알 수 있게 된다.

반응 물질의 화학식 → 생성 물질의 화학식

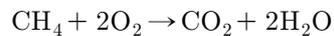
- 화학 반응식은 왼쪽에는 반응물질을, 오른쪽에는 생성물질을 화학식으로 표시하고 화살표로 연결한다.



- 화살표의 양쪽에 있는 원자의 종류와 개수가 같아지도록 표시한다. 이것은 화학 반응이 일어날 때 원자가 새로 생기거나 없어지지 않기 때문이다. 따라서 각 화학식 앞의 계수를 맞추어 화학 반응식을 완결한다.



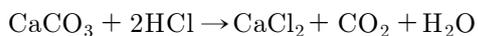
- 왼쪽의 H_2O 앞의 2는 물 분자가 두 개라는 뜻이며, 수소 다음의 아래 첨자 2는 수소 원자가 두 개라는 뜻이다. 마찬가지로, 2H_2 에서 앞의 2는 수소 분자가 두 개라는 뜻이다. O_2 의 경우는 산소 분자가 1개이기 때문에 1은 생략되었다.



- 메테인 연소 반응은 공기 중의 산소와 결합하는 반응으로, 이산화탄소와 물이 생성된다.



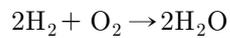
- 빵을 구울 때 부풀어 오르는 이유는, 제빵가루의 주성분인 탄산수소나트륨을 가열하면 이산화탄소 기체가 발생하기 때문이다.



- 탄산칼슘에 염산을 가하면 이산화탄소가 발생하면서 녹는다. 이 반응을 이용하면 암석 중에서 석회암의 주성분인 탄산칼슘을 확인할 수 있다.

(2) 화학 반응에서의 양적 관계

- 화학 반응식은 반응물질로부터 어떤 생성물질이 만들어지는가 뿐만 아니라 반응 전후 물질의 양이 어떻게 변하는지도 나타낸다. 즉, 반응에 관여하는 각 물질의 입자 수, 질량 관계, 기체의 경우는 부피 관계를 나타낸다.



- 위의 화학 반응식에서 반응물질과 생성물질 사이의 분자 수의 비는 수소 : 산소 : 수증기 = 2 : 1 : 2이며, 질량비는 수소 : 산소 : 수증기 = 1 : 8 : 9이다.
- 부피비는 수소 : 산소 : 수증기 = 2 : 1 : 2이다.

- 화학 반응식에서 계수 비는 각 물질의 입자 수의 비를 나타내고, 기체의 경우는 부피 비를 나타낸다.