

서울특별시교육청 과학과 우수강사요원 위탁특별연수

## 교수-학습 자료

- 개발년도 2006년
- 과 목 화학
- 제 목 화학 반응과 에너지
- 개 발 자 노기종(신목고등학교)

이 자료는 서울대학교 과학교육연구소가 서울특별시교육청으로부터 위탁 받아 진행하고 있는 「과학과 우수강사요원 위탁특별연수」 사업에서 개발 되었습니다.



서울대학교 과학교육연구소

Seoul National University Science Education Research Center

# 화학반응과 에너지



서울대학교  
과학교육연구소

개발자	노기종 (신목고등학교)
주제	화학 반응과 에너지
관련 단위	고등학교 화학Ⅱ
	Ⅲ. 화학 반응
	1. 화학반응과 에너지
활용대상	일반학생 기본과정용, 심화 수업용, 과학반 수업용
차시	3 차시
학습 목표	<p>(1) 화학반응을 통하여 엔탈피의 변화에 따른 에너지의 출입이 있음을 이해할 수 있다.</p> <p>(2) 엔탈피의 변화를 이용하여 열화학 반응식을 쓸 수 있다.</p> <p>(3) 간이 열량계를 이용하여 간단한 반응의 반응열을 측정할 수 있다.</p> <p>(4) 반응열의 종류를 알고, 생성열과 물질의 안정성과의 관계를 이해할 수 있다.</p> <p>(5) 헤스의 법칙을 이해하고, 이를 이용하여 여러 반응의 반응열을 대수적으로 계산할 수 있다.</p>



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소



## 개발 자료 안내

### 1. 개요

9학년의 물질의 변화 단원을 통해서 학습한 내용 자연스럽게 10학년의 반응속도와 산과 염기의 성질의 단원을 거쳐서 최종적으로 화학반응이라는 커다란 개념을 이해하기 위하여 반응열과 반응속도의 학습이 이루어지고 반응속도는 화학평형의 개념으로 발전되게 된다.

지금까지 학생들은 화학 반응에 수반된 열 현상을 감각적 또는 현상적으로 경험해 왔는데, 이 단원에서는 화학 반응 상황에서 에너지의 출입을 엔탈피의 변화로 나타내고, 물질을 구성하는 분자의 결합 에너지와 관련지어 다룬다. 또, 화학 반응에 의해 발생하는 열량을 구체적인 장치를 이용하여 실험적으로 구하고 자료를 처리하는 경험을 통해 화학 탐구의 기본자세를 함양하는 기회가 되도록 한다. 아울러 화학 반응에서 물질의 질량뿐만 아니라 에너지 관계도 보존된다는 사실을 이론적으로 정립하도록 한다.

#### (1) 개발 의도

이 단원에서는 도입 활동으로서 화학 반응에 의하여 열이 방출되거나 흡수되는 것을 시각적으로 확인할 수 있는 활동을 제시하여 화학 반응에서의 열의 출입에 대하여 학생들의 주의를 집중시킨 후, 발열 반응과 흡열 반응에서 반응 물질과 생성 물질의 에너지 차이를 반응열과 관련지어 설명하도록 한다.

지금까지 학생들은 화학 반응에 수반된 열 현상을 감각적 또는 현상적으로 경험해 왔는데, 이 단원에서는 화학 반응 상황에서 에너지의 출입을 엔탈피의 변화로 나타내고, 물질을 구성하는 분자의 결합 에너지와 관련지어 다룬다. 또, 화학 반응에 의해 발생하는 열량을 구체적인 장치를 이용하여 실험적으로 구하고 자료를 처리하는 경험을 통해 화학 탐구의 기본자세를 함양하는 기회가 되도록 한다. 아울러 화학 반응 시에는 물질의 질량뿐만 아니라 에너지 관계도 보존된다는 사실을 이론적으로 정립하도록 한다.

#### (2) 개발 자료 소개

발열 반응과 흡열 반응을 경험할 수 있는 간단한 실험을 소개함으로써 이론적인 설명뿐만 아니라 반응열을 체험적으로 받아들일 수 있게 지도해야 한다. 두 경우 모두



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

실험해 보는 것이 좋겠으나, 하나를 선택해야 하는 경우라면 흡열 반응을 체험하게 해 보는 것이 더 바람직하겠다. 왜냐 하면, 발열 반응은 연소 반응처럼 주변에서 쉽게 관찰할 수 있는 기회가 많은 데 비하여 흡열 반응은 학생들이 쉽게 체험하지 못하기 때문이다. 한편, 이 단원을 지도하는 계절이 겨울이면 발열 반응이 더 효과적이며 여름이면 흡열 반응이 실험 효과 면에서나 학생들의 흥미 유발에는 더 효과적인 것이다.

실험실에서 간단히 해 볼 수 있는 몇 가지 발열 반응과 흡열 반응의 예는 설탕에 진한 황산을 부었을 때 탄소 기둥이 생성되는 발열 반응, 수산화바륨과 염화암모늄의 흡열 반응이 있다. 수산화바륨과 염화암모늄의 흡열 반응을 이용하여 반응 용기 밑바닥에 물을 떨어뜨린 나무관이 붙어 올라오는 것을 시범 자료로 활용하면 학생들의 관심을 집중하고 학습의 효율을 높일 수 있을 것이다.

땅콩 등 생활 주변에서 쉽게 구할 수 있는 재료를 사용한 연소열 측정 실험도 학생들의 흥미를 높일 수 있는 발열 반응의 좋은 예이다. 또, 연소열 측정 실험 결과를 처리할 때에는 질량, 비열, 온도 등의 단위를 올바르게 사용할 수 있도록 지도한다.

화학 반응에 따른 열의 출입을 반응 물질과 생성 물질의 엔탈피 차이로 설명하고, 엔탈피 변화를 나타내는 그래프와 연관 지어 설명할 수 있도록 지도한다.

헤스의 법칙은 이론으로만 설명하기보다는 간단한 실험을 통하여 확인할 수 있도록 지도한다.

열화학 반응에서의 반응열을 계산할 때 두 가지 방법이 있다. 하나는 엔탈피 변화로 설명하는 것이고, 다른 하나는 결합 에너지로 설명하는 것이다. 동일한 반응의 반응열을 엔탈피의 관점에서 설명하는 방법과 결합 에너지의 관점에서 설명하는 접근 방법의 차이점을 알게 한다. 또, 엔탈피 변화로 설명하든, 결합 에너지의 차이로 설명하든 간에 결과로 얻은 반응열은 동일함을 바르게 지도하여야 한다.



## 2. 배경지식

### (1) 엔탈피

#### 1) 반응열과 엔탈피

화학반응이 일어날 때 발생 또는 흡수하는 열량을 반응열이라고 하며, 어떤 물질이 일정한 압력 밑에서 생성되는 동안 그 물질 속에 축적된 화학에너지를 엔탈피라고 한다.

물질을 구성하는 원자에는 핵이 만들어질 때 축적된 에너지와 핵 주위의 전자의 운동에너지가 축적되어 있으며, 원자가 모여 분자를 이룰 때의 결합에너지가 축적되고,



분자속의 원자의 진동·회전·병진에 의한 에너지가 축적되어 있다. 그 에너지의 총합이 어느 물질의 엔탈피로 나타난다.

즉, 어떤 화학 반응에서 물질이 가지고 있는 열 함량을 엔탈피라고 하면, 일정 압력에서 열의 출입을 나타낼 때에는 엔탈피의 변화  $\Delta H$  값이 사용된다. 그러므로 어떤 반응의 반응열(Q)은 보통 엔탈피의 변화  $\Delta H$ 로 표시되기도 하며, 그 절대 값이 서로 같다.

$$Q = H_{\text{생성물질}} - H_{\text{반응물질}} = \Delta H$$

화학반응이 진행되면 반드시 엔탈피의 변화가 따르며, 그 값은 상태량이다. 상태량이란 변화한 경로에는 무관하고 주어진 조건에서 물질이 가진 양을 말한다.

물질마다 엔탈피의 값은 일정하며, 물질의 변화 과정에서 엔탈피의 차이는 에너지의 발산 혹은 흡수로 나타난다. 엔탈피는 실험적으로 결정할 수 없으나, 일정 온도와 압력 밑에서 순수한 물질은 일정한 엔탈피를 가지고 있으며, 화학 변화가 일어났을 때 그의 일부(변화량)만을 관찰 할 수 있을 뿐이다.

## 2) 엔탈피의 변화

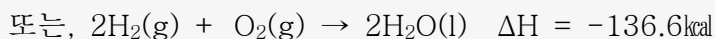
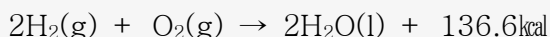
엔탈피의 변화가 큰 물질이 화학 반응하여 엔탈피가 작은 물질로 변한다면, 여분의 엔탈피는 열의 형태로써 외부로 방출하게 되는데, 이런 형태의 반응을 발열 반응이라고 한다. 한편, 엔탈피가 작은 물질이 화학 반응하여 엔탈피가 큰 물질로 변한다면, 부족한 엔탈피는 열의 형태로써 외부에서 흡수하게 되는데, 이런 형태의 반응을 흡열 반응이라고 한다.

## (2) 열화학 반응식

열화학반응에서는 일정한 온도와 일정한 압력에서 화학반응이 진행되었을 때, 흡수 또는 방출되는 열량을 반응열이라고 하고, 반응식에 함께 연결하여 나타낼 경우에는 발열 반응에 대해서는 양의 부호(+)를 붙이고, 흡열 반응에 대해서는 음의 부호(-)를 붙인다. 그러나, 반응열을  $\Delta H$ 로 표시할 때는 발열 반응에서는 -로, 흡열 반응일 때는 +로 나타낸다.

한편, 반응에 관련된 에너지는 물질의 상태에 따라서도 달라진다. 그러므로 열화학 반응식에는 반응에 관련된 모든 물질의 화학식과 함께 상태도 명시하여 주어야 한다. 이렇게 물질의 상태와 반응열을 표시한 화학반응식을 열화학반응식이라고 한다.

다음의 예로 열화학 반응식을 설명해 보자.



서울대학교  
과학교육연구소

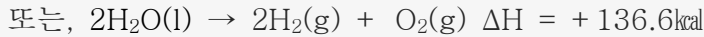
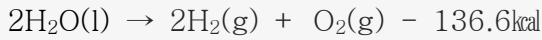


서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

위 식은 기체 상태의 수소 2mol과 산소 1몰이 결합하여 액체 상태의 물 2mol을 만들 때 136.6kcal의 열이 발생됨을 뜻한다. 이 반응이 반대 방향으로 일어날 때는 에너지 보존의 법칙에 의하여 같은 양의 열량이 흡수된다.



화학자들은 실험의 편의 상 실온 25°C(298K), 1기압을 표준 상태로 하여 모든 열 화학적 양을 결정하고 있다. 이와 같은 기준 상태에서의 엔탈피 변화를 표준 엔탈피 변화라고 한다. 특별한 상태의 표시가 없는 경우에는 표준 값을 의미한다.



### (3) 열흐름의 측정(열량계법)

#### 1) 열 흐름의 측정 원리

화학 변화야말로 가장 중요한 상태변화이다. 처음 상태는 반응 물질들이 혼합된 상태이고, 마지막 상태는 생성 물질이다. 이러한 모든 화학적 상태 변화에는 항상 에너지나 엔탈피와 같은 열화학적 상태 변수의 변화가 수반된다.

그리고 적절한 방식에 따라서 화학 반응이 일어나게 하면, 그 반응에 수반되는 열과 일을 측정할 수 있고, 또 열역학적 양들도 측정할 수가 있다. 열화학은 바로 이러한 측정을 하는 분야이다.

열을 직접 정확하게 측정하려면 적당한 장치가 있어야 하는데, 이 장치가 바로 열량계이다. 열량계의 용기 안에서 열을 방출 또는 흡수하는 반응이 일어난다.

방출되는 열은 반응 용기 주위에 있는 일정량의 물이나 또는 다른 어떤 물질로 흘러 들어간다. 열을 흡수하는 물질의 열용량을 알고, 또 온도가 얼마나 올라갔는지를 측정하면 아래 공식을 써서 방출된 열량을 계산할 수 있다.

$$Q = C \times m \times \Delta t$$

#### 2) 열량계

교과서에서 쉽게 제시되는 간단한 폴리스티렌 수지 컵 열량계는 물을 채운 폴리스티렌 컵으로 되어 있고, 온도계가 뚜껑을 통하여 꽂혀 있으며, 온도계의 수은구가 물에 충분히 잠기게 장치했다. 열량계는 보통 특정한 반응에 있어서의 반응열 측정을 위해 고안되며, 정확한 값을 얻을 수 있도록 여러 가지 장치들이 만들어져 있다.

수용액에서의 반응에 대한 열량계는 정확히 알려진 양의 물이 담겨져 있는 용기로 구성되어 있다. 이 용기에는 젖는 막대와 정확한 온도계가 장치되어 있다. 이 열량계는 주위와의 열 교환을 가능한 한 줄이도록 되어 있다. 반응이 일어나면 발생된 열로 인하여 열량계 내용물의 온도가 올라간다. 이 발생된 열량은 올라간 온도와 관여한 물질의 비열로부터 계산할 수가 있다.



물질의 연소열은 봄 열량계를 써서 측정한다. 열량계 속에 장치된 봄은 약 30atm의 기체를 채울 수 있는 두꺼운 벽으로 만들어진 용기이다.

열량계를 사용할 때는 백금 도가니에 담아 시료의 무게를 정확히 달아서 봄 속에 넣고 산소를 채운 다음 봉하도록 한다. 그리고 이 봄을 정확한 무게를 알고 있는 물이 들어 있는 열량계 속에 넣는다. 마지막으로 봄 꼭대기를 통하여 연결된 전선으로 연소를 일으켜서 반응으로 인한 열량계의 온도 상승을 측정하면 발생된 열량을 계산할 수 있다.



서울대학교  
과학교육연구소

#### (4) 엔탈피의 변화와 내부 에너지 변화와의 관계

물질의 변화에는 열의 발생이나 흡수와 함께 그 물질의 내부 에너지도 변하며, 또한 발생된 열량은 일로도 변할 수 있다. 열량, 내부 에너지 및 일의 상호 관계를 연구하는 학문을 열화학이라고 한다.

어떤 화학반응에서 열의 출입이 일어나고 발생한 열이 일을 하였을 때, 그 내부 에너지도 변하게 된다.

만일, 어떤 화학 반응에서 Q라는 열이 발생하여 W만큼의 일을 하였을 때, 이들의 관계식은  $\Delta E = Q - W$ 로 표시된다. 이것이 열역학 제1법칙이다.

화학반응에서 행한 일은 압력과 부피 변화에 의하여 이루어지는데, 보통의 반응은 일정한 압력, 즉 대기압 밑에서 행하여지므로, 주로 부피 변화에 의하여 정의 된다. 예를 들면, 어떤 화학 반응에서 압력이 일정할 때, 기체의 부피가  $V_1$ 에서  $V_2$ 로 팽창하였다면 행한 일은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

그러므로 열역학 제1법칙은  $\Delta E = Q_p + P\Delta V$ 로 표시할 수 있다. 화학 반응에 관여한 열량  $Q_p$ 를 압력이 일정할 때의 열량에 대한 새로운 개념을 도입하여 H로 표시하고, 이것을 엔탈피라고 정의 한다.

$$Q_p = H, H = E + PV \quad \text{또는} \quad \Delta H = \Delta E + P\Delta V$$

$\Delta E$ 가 열역학적 성질이고,  $\Delta V$ 는 단순히 계의 마지막 상태에서 부피와 처음 상태에서의 부피와의 차이이므로, 바로 앞의 식은  $\Delta H$ 가 열역학적 성질임을 나타내어 주고 있으며, 이것은 계가 처음 상태에서부터 마지막 상태로 변해가는 경로에는 무관하다.

위식에서, 기체 반응의 전후를 통하여 부피의 변화, 즉 mol수의 변화가 없으면  $\Delta V = 0$ 이므로  $\Delta H = \Delta E$ 이고, 변화가  $\Delta V = (\text{생성물질의 총 몰수} - \text{반응 물질의 총 몰수})$ 를 대입하여야 하므로  $\Delta H$ 와  $\Delta E$ 는 같지 않다. 그러므로  $\Delta E$ 는 일정 부피 하에서의 반응열이라고 할 수 있다.



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

### (5) 자발적으로 일어나는 변화

열은 일정한 온도에서는 다른 어떠한 형태의 에너지로도 완전히 바뀔 수 없다는 점에서 독특한 형태의 에너지이다.

어떠한 계에 있어서도 그 계의 열 함량(heat content) 또는 엔탈피(enthalpy)라 불리는 양은 다음 두 부분으로 이루어져 있다고 생각해야만 한다.

- ① 자유로이 다른 형태의 에너지로 바뀔 수 있는 부분
- ② 계를 어는 특정한 값의 온도로 유지하는데 필요하며, 따라서 다른 형태의 에너지로 변환될 수 없는 부분

이상의 개념을 하나의 방정식으로 나타내 보면 다음과 같다.

엔탈피 = 자유 에너지 + 이용될 수 없는 에너지

기호로 나타내면 다음과 같다.

$$H = G + T\Delta S$$

여기서 H는 엔탈피이며, G는 자유 에너지(free energy)이다. 이용될 수 없는 에너지를 나타내는 항은 절대온도 T와 S로 나타낸 엔트로피(entropy)라고 불리는 인자와의 곱으로 표시된다. 절대 0도 이상의 온도에서는 모든 순물질들이 유한한(0이 아닌) 값의 엔트로피를 갖고 있다. 자발적인 변화는 계의 혼란도, 즉 엔트로피(마구잡이도)가 증가하는 방향으로 진행된다.

일반적으로, 반응 물질에 열을 가하면 엔트로피는 증가하면, 온도가 다른 두 물질에 같은 양의 열을 가하면 낮은 온도의 물질이 열 효과를 더 크게 받는다. 즉, 엔트로피의 변화량( $\Delta S$ )은 가해진 열량에 비례하고 물질의 절대 온도에 반비례한다.

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

결국, 여러 가지 물질의 자발적 변화는 엔탈피가 감소하려는 성질과 엔트로피가 증가하려는 성질이 평형을 이루는 방향으로 일어남을 알 수 있다.

### (6) 결합 에너지

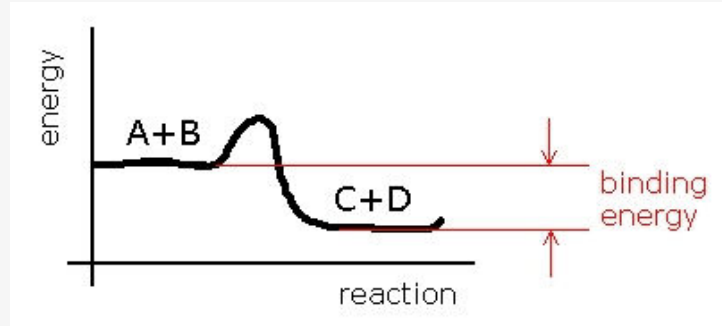
- 1) 질량 결손과 결합 에너지
- 안정성과 에너지

우선, 물리학에서 안정된 상태라 함은, 에너지가 적은 상태를 이야기 한다. 물이 언제나 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르듯, 모든 시스템은 가능한 한 낮은 에너지를 가진 상태로 변화하고 싶어 하는 특징을 가지고 있다.

- 결합에너지의 정의



우선  $A + B \rightarrow C + D$  의 반응을 생각해 보면,  $A + B$ 가  $C + D$ 로 자발적으로 가기 위해서는  $C+D$ 의 에너지가  $A+B$ 의 에너지보다 적어야 합니다.



만약  $C+D$ 가  $A+B$ 보다 에너지가 높다면 반응이 이루어질 수 없다. 물이 높은 곳으로 스스로 올라갈 수 없는 원리와 같다. 여기서  $A+B$ 가 proton, neutron들 일 때 ( $A+B$ 의 에너지) - ( $C+D$ 의 에너지)를 바로 결합에너지라고 한다. 주의해서 생각해야 할 점은 결합에너지가 크면 클수록 결과물의 에너지는 적어진다는 사실이다. 즉, 결합에너지는 proton과 neutron들이 결합한 후 얼마나 에너지를 잃어버렸나를 나타내는 값이다. 그래서 결합에너지가 크면 클수록 전체 시스템의 에너지가 적으며, 더욱 안정적이다..

- 질량결손

$A+B$ 는  $C+D$ 보다 결합에너지만큼 에너지가 많으므로,  $A+B$ 의 질량이  $C+D$ 의 질량보다 많다. 아인슈타인의 상대성이론은 질량과 에너지는 완전 똑같은 것으로 취급되어야 한다고 말하고 있다(질량-에너지등가법칙). 즉, 에너지가 많은 물체는 질량을 더 많이 가지고 있다는 의미이며 이를  $E=mc^2$ 로 설명하고 있다. 이것은 핵물리학에서나 빛의 속력에 가까운 물체들에만 해당되는 내용이 아니라, 어느 상황에서나 적용되는 사실이다.



하나 예를 들면, 100kg짜리 역기를 1m만큼 들어 올리면, 역기의 역학적 에너지는 1000J 늘어나게 된다. 아인슈타인의 질량-에너지 등가 법칙은 “역기의 질량이 조금 늘어날 것이다”라고 이야기 하고 있는 것이며, 신기하게 느껴진다. 하지만 “에너지는 질량과 완전 똑같은 것으로 생각해야 한다.”는 것이 기본적인 원리이다.

아주 빨리 움직이는 물체도 마찬가지이고, 열에너지를 많이 가지고 있는 뜨거운 물체도 질량을 좀 더 많이 가지고 있게 된다.

$A+B \rightarrow C+D$  반응의 예로 돌아와서 볼 때, 전체에너지의 비교치는  $E(A+B) > E(C+D)$ 일 것이고, 그러므로  $m(A+B) > m(C+D)$  가 된다. 그러면  $E(A+B) - E(C+D) = E_b$ (결합에너지) 이므로 질량 결손은  $m(A+B) - m(C+D) = \frac{E_b}{c^2}$ 가 된다.

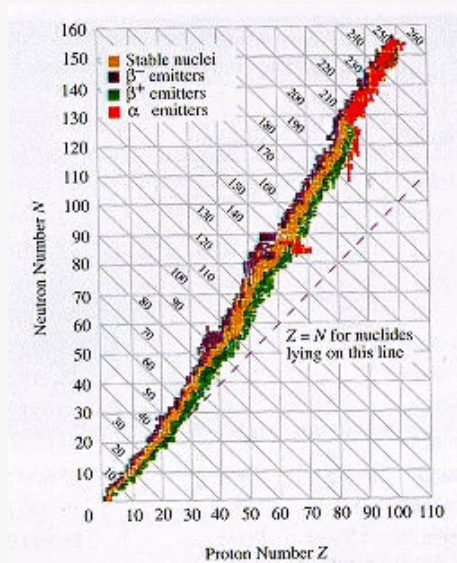


## 2) 원자핵의 안정성과 결합에너지

원자핵은 양성자와 중성자로 구성되어 있다고 하였다. 그렇다면 원자핵을 구성하는 양성자간의 상호작용은 척력으로 작용하여 서로 멀어지려고 할 것이다. 어떻게 원자핵의 작은 공간에 양성자들이 반발하지 않고 묶여 있을까?

### - 원자핵의 안정성

자연계에는 약 330가지의 원자핵이 존재하며, 이중 270가지의 원자핵이 안정한 상태에 있다. 아래 그림은 안정한 원자핵의 양성자 수와 중성자 수의 관계를 나타낸 것이다.



이 그래프에서 가벼운 원자핵( $A < 20$ )에서는 중성자와 양성자의 수가 거의 같으나 무거운 원자핵일수록 전기적 척력을 최소화하기 위하여 중성자 수가 양성자 수보다 많아지는 것을 볼 수 있다.

### - 원자핵의 결합 에너지

원자핵을 구성하는 핵자들은 핵력이라는 강한 힘으로 결합되어 있으며, 이러한 핵력은 핵의 내부에서만 강하게 작용하며, 이 범위를 벗어나면 급격하게 약해진다. 강력한 핵력으로 구속되어 있는 핵자들을 분리시키려면 이 핵력에 대항하여 외부에서 일을 해 주어야 한다. 그러므로 원자핵은 핵자를 분리시키는 일에 해당하는 에너지를 결합되어 있다고 볼 수 있으며, 이러한 에너지를 원자핵의 결합 에너지라고 한다. 원자 내의 전자의 에너지 준위는 eV로 나타내지만 원자핵의 결합에너지는 매우 커서 보통 MeV의 단위를 사용한다.

이러한 결합 에너지를 핵자의 수로 나눈 것을 핵자당 평균 결합 에너지라 한다. 이 양은 핵자들이 핵 안에서 결합된 정도를 나타내는 기준이 되며 이 값이 클수록 보다 안정한 원자핵이 된다.



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

원자핵의 질량을 측정해 보면, 핵을 구성하는 핵자들의 각각의 질량의 합보다 항상 작다는 것을 발견할 수 있다. 그 예로 헬륨( ${}^4_2\text{He}$ ) 원자핵의 질량은 4.00260u이며, 양성자의 질량은 1.007825u이고, 중성자의 질량은 1.008655u이다. 그러므로 헬륨 원자핵의 질량은 4.00260u보다 0.031453u만큼 큰 4.03296u이 되어야 한다. 이러한 질량차이를 질량 결손이라고 한다.

아인슈타인은 특수 상대성이론에서 질량-에너지 등가의 원리를 주장하였는데 이것은 질량은 에너지의 한 형태이며, 서로 동등한 것이므로 질량과 에너지는 서로 간에 전환이 가능하다는 것이다.

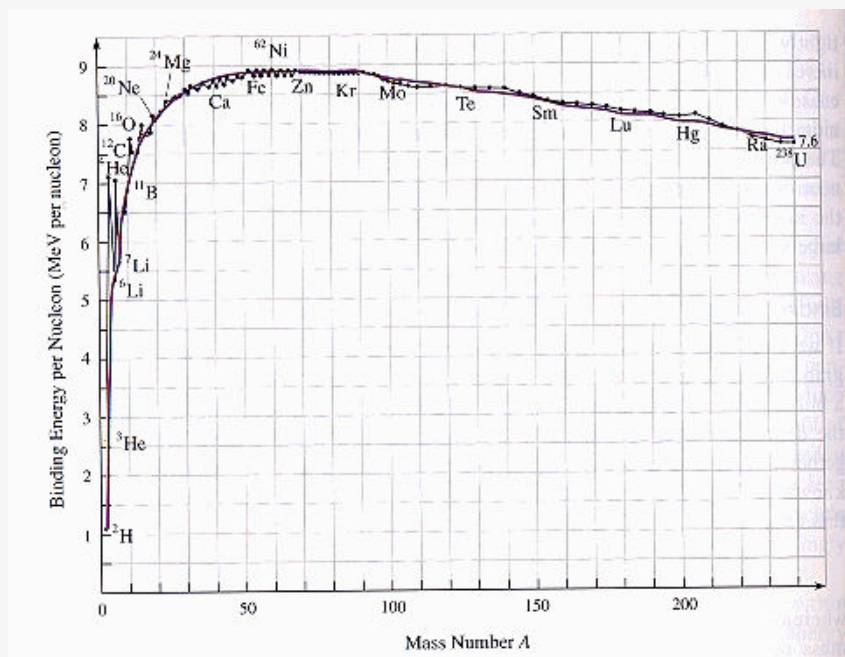
만일 원자핵의 질량이  $\Delta m$ 만큼 감소하였다면, 이에 대응하여 나타나는 에너지 E의 양은  $E=mc^2$ 의 질량-에너지 등가의 관계가 성립되며 c는 진공 중에서 빛의 속도이다.

그러므로 헬륨 원자의 질량 결손을 에너지로 환산을 하게 되면 다음과 같다.

$$0.03036(u) \times 931(\text{MeV}/u) = 28.265\text{MeV}$$

이 에너지가 헬륨 원자핵의 결합 에너지이다.또, 핵자 1개당 결합 에너지는 질량수 4로 위의 결합 에너지를 나누면 되는데 이 값은  $7.0663\text{MeV}$ 가 된다.

만일 수소와 같이 질량수가 작은 원자핵들이 결합하여 헬륨 원자핵이 된다면, 결합 에너지는 커지므로 그 에너지 차이를 방출하게 된다. 반대로, 우라늄과 같이 무거운 원자핵이 질량수가 작은 원자핵으로 분열을 한다고 하면, 결합 에너지의 차이만큼 방출하게 된다. (아래의 원소의 질량수에 따른 핵자당 결합에너지 참조)



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

전자의 경우를 핵융합이라고 하며, 후자의 경우를 핵분열이라고 한다. 핵융합의 경우가 핵분열의 경우보다 방출하는 에너지가 많으나, 핵융합의 경우에는 핵자를 서로 접근시켜야 한다는 어려움이 있다.

### 3. 학생들이 발열 반응과 흡열 반응에서 보이는 오개념

1) 엔탈피 혹은 물질이 가진 에너지를 온도계로 측정할 수 있다고 생각한다.

물질이 가지는 고유한 에너지는 온도계를 이용하여 측정할 수가 없다. 엔탈피가 많고 적음에 따라서 그 물질의 주변의 온도가 높거나 낮지 않다. 반응하는 과정에서 반응물의 생성물의 엔탈피의 차이를 이용하거나 결합에너지의 차이를 이용하여야 반응 엔탈피 (혹은 엔탈피의 변화 =  $\Delta H$ ) 값을 구할 수 있다.

2) 발열 반응과 흡열 반응에서 반응이 일어나는 용기의 내부를 화합물의 내부로 인식하는 경우가 종종 있다.



수산화나트륨의 용해 과정에서의 발열 반응의 경우, 비커의 내부(공기 부분)는 비커의 외부와 같다고 판단하는 반면에 비커 내부의 수용액은 내부로 판단하는 경우가 많다. 따라서 용해반응의 결과 발열 반응이므로 비커의 밖과 비커 내부의 공기층은 온도가 올라가고 수용액에 온도계를 넣으면 온도가 내려간다고 판단한다. 수용액도 역시 외부임을 강조해야 한다. 온도계를 아무리 잘 꽂아도 화합물의 내부에 꽂을 수 없고 언제나 분자와 분자 사이에 위치하게 되므로 온도계는 언제나 외부의 온도를 측정할 수 밖에 없다.

어쩌면 수산화나트륨의 용해과정은 상대적으로 오해의 소지가 적다. 하지만 수산화바륨과 염화암모늄의 반응에서 플라스크가 차가워지고 나무판이 얼어서 달려 올라오는 모습에 상당히 흥미로워하고 반응의 결과 온도가 낮아졌다는 사실을 쉽게 인식한다. 그러면 명확하게 흡열 반응을 이해하였는가의 여부를 판단하기 위해서 플라스크 안에 온도계를 꽂으면 어떻게 될 것인지를 예측하도록 하면 흡열 과정을 통해서 에너지를 흡수하므로 온도계의 눈금이 올라갈 것이라고 예측하는 학생들이 대단히 많이 나타난다.

온도계는 엔탈피나 내부 에너지가 열에너지로 변환되었을 때 그 변화 값을 측정하는 도구임을 반드시 지적해 주어야 한다.





# 올라갈까? 내려갈까?

[화학반응에서 온도가 높아지거나 낮아지는 이유는 무엇일까?]

( )년 ( )월 ( )일 ( )학년 ( )반 ( )번 이름 ( )

왜 석고가 굳으면 따뜻해질까?



## 1. 목표

### (1) 지식

- 발열반응과 흡열반응의 차이점을 설명할 수 있다.

### (2) 탐구

- 염화칼슘을 물에 용해시키는 실험을 통해서 이 반응이 발열반응임을 입증할 수 있다.
- 염화암모늄을 물에 용해시키는 실험을 통해서 이 반응이 흡열반응임을 입증할 수 있다.

### (3) 태도

- 발열반응과 흡열반응에 관련된 여러 가지 현상에 대해 과학적으로 분석하는 능력을 기르고, 이러한 현상들이 생활 속에서 어떻게 응용되고 있는지 관심을 기울이는 태도를 갖는다.

## 2. 과정

### (1) 발열반응 - 염화칼슘의 용해 반응

- ① 단열 스티로폼 용기에 100mL의 물을 넣은 다음, 물의 온도를 측정한다.
- ② 염화칼슘 10g을 물이 담긴 비커에 신속히 넣고 유리막대로 저어 모두 녹이면서 온도를 측정한다.
- ③ 염화칼슘이 녹기 시작할 때부터 물의 온도 변화를 측정하여 최고점의 온도를 기록한다.

### (2) 흡열반응 - 염화암모늄의 용해 반응

- ① 단열 스티로폼 용기에 100mL의 물을 넣은 다음, 물의 온도를 측정한다.
- ② 염화암모늄 10g을 물이 담긴 비커에 신속히 넣고 유리막대로 저어 녹이면서 온도를 측정한다.
- ③ 염화암모늄이 녹기 시작할 때부터 물의 온도 변화를 측정하여 최고점의 온도를 기록한다.

### 준비물

- 시범실험: 양초, 스포이트, 진한 황산, 설탕, 염소산칼륨, 칼 / 수산화바륨, 염화암모늄, 삼각플라스크, 유리막대, 나무판, 물

- 본 실험: 스티로폼 용기 2, 염화칼슘, 염화암모늄, 유리막대 2, 온도계 2, 눈금실린더



### 주의점

- 화합물의 용해시 발생하는 증기는 해로우므로 직접 들이 마시지 않도록 한다.



### 3. 결과 정리

실험 결과를 다음 표를 이용하여 정리하여 보자.

	질 량	물의 질량	물의 처음 온도	물의 최고 온도
염화칼슘				
염화암모늄				
염화칼슘이 방출한 열량				
염화암모늄이 흡수한 열량				



서울대학교  
과학교육연구소

### 참고

#### 1. 염화칼슘

- 화학식 ( $\text{CaCl}_2$ )
- 수분을 흡수하는 조해성이 커서 제습제로 쓰이고, 겨울철 시설제로도 널리 쓰임.

#### 2. 염화암모늄

- 화학식 ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )
- 냄새가 없고 쓴맛이 나며, 물에는 잘 녹으나 알코올에는 잘 녹지 않으며, 건전지를 만드는 데 많이 쓰임.

### 4. 생각해 보기

① 염화칼슘과 염화암모늄이 물에 녹을 때의 변화과정은 각각 발열반응과 흡열 반응 어디에 해당하는지 구분하여 보자.

② 염화칼슘과 염화암모늄이 물에 녹을 때의 변화과정을 열화학반응식과 그래프로 나타내어 보자.

③ 염화칼슘과 염화암모늄의 용해열(J/g) 각각 얼마인가?



서울대학교  
과학교육연구소

### 5. 한걸음 더

① 휴대용 냉찜질 팩을 구성하는 성분 화합물은 무엇이며, 열을 흡수하는 원리는 무엇일까?

② 휴대용 손난로를 구성하는 성분 화합물은 무엇이며, 열을 방출하는 원리는 무엇일까?



서울대학교  
과학교육연구소



# 음식물 속의 에너지를 측정해 보자.

( )년 ( )월 ( )일 ( )학년 ( )반 ( )번 이름 ( )



간식으로 즐겨 먹는 스낵 속에는 에너지가 얼마나 숨어 있을까?



서울대학교  
과학교육연구소

## 1. 목 표

### (1) 지식

- 음식물 속에 포함된 에너지를 연소반응을 통해서 확인할 수 있다.

### (2) 탐구

- 스낵의 종류에 따라 연소열이 서로 달라짐을 통해서 음식물의 에너지를 상대적으로 비교할 수 있다.

### (3) 태도

- 음식물 속에 포함된 에너지 서로 다르다는 사실을 통해서 일정한 열량을 섭취하기 위하여 음식을 가려서 먹어야 한다는 사실을 통해 몸에 적절한 음식을 골라 먹는 습관을 갖는다.

## 준비물

- 기구 : 둥근바닥 플라스크, 전자저울, 스탠드, 눈금실린더, 온도계, 증발접시, 집화기, 약포지, 클램프, 고무마개
- 재료 : 여러 가지 스낵(튀김 과자)

## 주의점

- 질량을 측정하는 데에는 전자저울을 활용하는 것이 좋다.
- 예상보다 강하게 연소하므로 화상에 유의하고, 그을음이 발생하므로 실험실의 환기에도 유의한다.

## 참고

- 스낵을 연소시킬때에는 집화기를 사용하는 것이 좋다.

## 2. 과정

- 여러 가지 스낵 중 하나를 택하여 그림 1과와 같이 스낵의 질량을 정확하게 측정하자.
- 눈금 실린더를 사용하여 물 200mL를 둥근바닥 플라스크에 넣고 둥근바닥 플라스크를 스탠드에 고정시킨 다음 물의 온도를 측정하자.
- 그림2와 같이 장치한 후 집화기로 스낵에 불을 붙여 물을 가열하면서 둥근바닥 플라스크 속에 들어 있는 물의 온도를 측정하자.



그림 1 스낵의 질량 측정



그림 2 장치도

- 스낵이 완전히 연소하고 난후에 물의 온도가 최고점에 도달했을 때의 온도를 측정한다.



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

- ⑤ 남은 물질의 질량을 측정한다.
- ⑥ 사용한 스낵의 연소열을 계산한다.
- ⑦ 스낵의 봉투에 기록되어 있는 이론적인 값과 비교하여 보자.

### 3. 결과정리

실험 결과를 다음 표를 이용하여 정리하여 보자.

스낵의 종류	스낵의 질량(g)		물의 온도(°C)		물의 부피 (mL)
	연소 전	연소 후	연소 전	연소 후	

### 4. 생각해 보기

- ① 물이 얻은 총 열량은 얼마인가?
- ② 연소시킨 스낵의 연소열(kJ/g)은 얼마인가?
- ③ 물이 얻은 열량을 바탕으로 실험적인 스낵의 연소열과 실제 스낵의 이론적 연소열은 일치하는가?
- ④ 연소열 측정 실험에서 오차를 발생시키는 원인은 무엇인가?

### 5. 한걸음 더

- ① 사용한 기름을 재활용하여 비누를 만들기도 하는데 포화지방산과 불포화지방산으로 만든 비누는 성질이 같을까?

#### ⊕ 주의점

- 연소 직후에는 증발 접시가 매우 뜨거우므로 질량 측정을 위해서 함부로 만지지 말고 5~10분 정도 지난 후에 질량을 측정하도록 한다.

#### ⊕ 참고

- '연소시 발생한 열량 = 물이 얻은 열량과 같다.'는 가정을 통해서 물이 얻은 열량을 계산한 후 연소한 스낵의 질량으로 나누어 g당 연소열을 구한다.

• 물이 얻은 열량 = 물의 비열 × 물의 질량 × 물의 온도변화



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소



# 경로가 다른 화학반응의 총 반응열 비교

( )년 ( )월 ( )일 ( )학년 ( )반 ( )번 이름 ( )



경로가 다른 반응에 관여하는 총 반응열도 달라질까?



### 준비물

스티로폼 컵 3, 온도계 1, 눈금 실린더 1, 저울 1, 약포지, 수산화나트륨 2g, 유리막대 1, 1M 염산 (100mL), 증류수

### 주의점

- 수산화나트륨과 염산은 각각 강염기, 강산이므로 반드시 비닐장갑을 착용하고, 발생하는 증기를 직접 마시지 않도록 한다.

### 참고

- 온도 측정은 소수점 이하 한자리까지 하여야 하며, 디지털 온도계를 사용하면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다.

## 1. 목 표

- (1) 지식
  - 반응 경로의 차이에 따른 총 반응열을 비교할 수 있다.
- (2) 탐구
  - 수산화나트륨이 물에 용해될 때 발생하는 용해열과 염산과의 중화반응에 따른 중화열의 합이 경로에 관계없이 일정하다는 사실을 실험을 통해서 비교 확인할 수 있다.
- (3) 태도
  - 반응 경로가 다른 여러 반응의 총 반응열이 일정해지는 원리가 생활 속에서 어떻게 응용되고 있는지 관심을 기울이는 태도를 갖는다.

## 2. 과정

- (1) 반응 경로 1
  - ① 스티로폼 컵에 증류수 100mL를 넣고 잠시 후에 온도를 측정한다.
  - ② 그림과 같이 NaOH(s) 2.0g을 달아 과정1)의 스티로폼 컵에 넣고 젓개로 저어주면서 **10초마다 온도를 측정**한다.
  - ③ 과정2)의 수용액 50mL를 비커에 넣고, 찬 물이 들어있는 비커 속에서 식힌다.
  - ④ 0.5M 염산 50mL를 다른 비커에 넣고 NaOH 수용액 비커가 담긴 물에 담아 서로 같은 온도가 되게 한다.
  - ⑤ 염산과 수산화나트륨 수용액의 온도가 같아지면 두 용액을 스티로폼 컵에 넣어 섞은 후, **10초 마다 온도를 측정**한다.
- (2) 반응 경로 2
  - ① 스티로폼 컵에 0.5M 염산 100mL를 넣고 온도를 측정한다.
  - ② 염산이 들어있는 스티로폼 컵에 NaOH(s) 2.0g을 넣고, **10초마다 온도를 측정**한다.



### 3. 결과 정리

1) 경로1의 과정②에서 10초 간격으로 측정한 결과

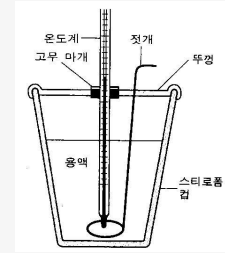
경과시간(초)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	...
온도(°C)															

2) 경로1의 과정④에서 10초 간격으로 측정한 결과

경과시간(초)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	...
온도(°C)															

3) 경로2의 과정②에서 10초 간격으로 측정한 결과

경과시간(초)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	...
온도(°C)															



- 반응 후 용액은 거의 중화된 상태이므로 그대로 싱크대에 버릴 수 있다.



### 4. 생각해 보기

① 과정②와 과정④, 과정⑤의 반응을 화학 반응식으로 나타내어라.

② 과정②의 NaOH(aq)의 몰농도를 계산하여라.

③ 수용액의 비열을 이용하여 다음 표를 정리하여 보자.

측정 값	[경로1]		[경로2]
	과정2	과정4	
질량(g)			
온도 변화(°C)			
반응열(J)			
NaOH몰수			
반응한 HCl몰수	-		
1mol반응에 대한 반응열(kJ)			
경로별 반응열			

④ [경로1]과 [경로2]의 반응열은 서로 같은가? 같지 않다면 이유는 무엇일까?

### 5. 한걸음 더

① 자동차와 헬리콥터를 이용하여 산 정상에 각각 오른다고 가정할 때 각각의 운송 수단이 사용하는 연료는 무엇에 대한 비유일까?

#### ⊕ 주의점

- 온도의 측정에 있어서 최고점의 온도를 측정하도록 하여야 한다.



# 올라갈까? 내려갈까?

## 1 들어가기

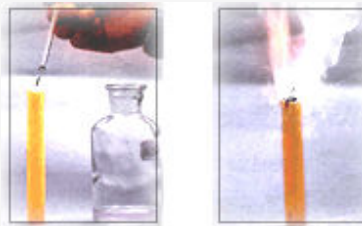
우리가 주변에서 흔히 경험하는 화학변화에서는 대부분 열이 방출되지만, 열을 흡수하는 반응도 있다. 외형적으로 비슷한 두 고체가 물에 녹으면서 서로 다른 결과를 나타내고, 흔들어 주거나 작은 금속판을 몇 번 똑딱이는 것만으로 열을 방출하는 반응을 볼 수 있는 것이 바로 화학반응과 에너지의 변화의 결과이다.

열을 방출하는 반응과 열을 흡수하는 반응은 어떤 것들이 있으며 이런 화학반응들이 나타내는 특징은 무엇일까? 아울러 이런 과학적 원리들이 우리들의 일상생활에서 어떻게 활용되고 있는지 찾아보는 활동을 통해서 생활에 미치는 과학의 의미를 새삼 느낄 수 있는 계기가 될 수 있을 것이다.

## 2 활용 안내

### [ 시범실험 ]

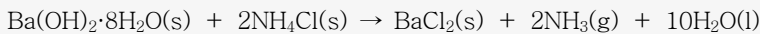
① 이 실험은 여러 가지 위험적인 요소를 내포하고 있으므로 사전에 충분한 예비실험을 통해서 숙련된 후에 학생들에게 제시하여야 한다.



황산으로 불 붙이기

② 설탕에 황산이 떨어짐과 동시에 발열이 일어나고 그 열에 의해서 염소산칼륨의 분해로 산소의 농도가 커지게 되어 양초의 심지에 저절로 불이 켜지게 된다. 순간적인 발열에 의해 주변으로 일정거리만큼 튀게 되므로 바닥판을 깔고 비닐 장갑, 보안경, 실험복을 반드시 착용하여야 한다.

③ 수산화바륨과 염화암모늄의 반응 시에는 대략적인 질량비로 2:1 정도로 하는데, 실제 질량비는 수산화바륨 수화물의 분자량 315, 염화암모늄의 분자량 53.5이므로 질량비는 3:1에 가깝다. 정량적인 실험이 아니므로 대략적으로 넣어서 실험을 한다.



### 활동의 성격

- 시험실험은 반복하여 숙련된 상태에서 수행하여야 하며, 본 실험은 학생들이 실험실에서 쉽게 실시할 수 있는 실험활동이다.



### 지도상 유의점

- 약품을 사용할 때 취급에 유의한다.
- 다양한 발열반응과 흡열반응의 예를 생활속에서 발견할 수 있도록 격려한다.
- 염소산칼륨과 설탕이 고르게 섞이도록 잘 섞어서 사용하고 설탕과 염소산칼륨은 필요시에 바로 섞어서 사용하고 섞인 것을 오래 보관하면 폭발의 위험이 있으므로 절대 피한다.



**실험시 유의점**

- 반응의 결과로 삼각 플라스크에서는 자극성 암모니아가 발생하므로 함부로 냄새를 맡지 않도록 유의하고 마스크를 착용하여야 한다.

④ 스티로폼 용기가 새는 경우에는 300mL 정도의 비커를 넣어서 실험을 해도 된다. 반응용기로 비커를 사용하기보다 입구가 좁은 삼각플라스크가 더 적당하다.



- ⑤ 염화칼슘의 용해 과정에서 처음의 물의 온도에서 녹는 동안 온도 변화를 지속적으로 관찰하다가 최고점에 도달했을 때의 온도를 측정하여야 한다.
- ⑥ 나무판의 물기가 적당히 남아 완전히 흡수되지 않을 정도로 물을 떨어뜨리고, 온도계를 이용하여 지속적인 온도 변화를 관찰할 수 있도록 한다. 영하 10℃ 이하의 관찰을 위해서는 수은 온도계를 이용하거나 디지털 온도계를 이용하는 것이 좋다.
- ⑦ 흡열반응의 결과로 나무판이 얼어붙어 올라온다고 하더라도 반응이 끝난 후 일정시간이 지나면 주변의 열로 인해서 판이 떨어지므로 항상 일정한 높이에서 떨어지는 나무판을 받치도록 한다.

**3 학생용 활동지 풀이**

**참고**

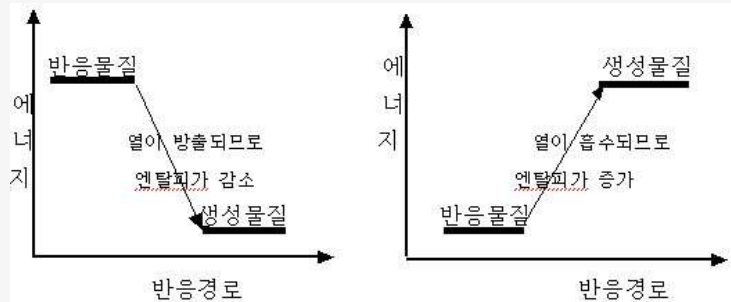
- 질산암모늄의 경우도 염화암모늄과 마찬가지로 흡열반응을 하므로 널리 사용된다.

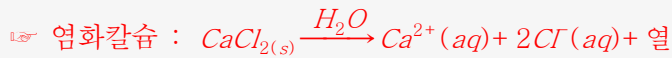
**■ 생각해 보기**

1. 염화칼슘과 염화암모늄이 물에 녹을 때의 변화과정은 각각 발열반응과 흡열 반응 어디에 해당하는지 구분하여 보자.

☞ **염화칼슘의 용해는 발열반응이고, 염화암모늄의 용해는 흡열반응이다.**

2. 염화칼슘과 염화암모늄이 물에 녹을 때의 변화과정을 열화학반응식과 그래프로 나타내어 보자.





### 3 염화칼슘과 염화암모늄의 용해열(J/g) 각각 얼마인가?

☞

물이 얻은(잃은) 열량 (Q) = 물의 비열 × 물의 질량 × 물의 온도변화

먼저 물의 비열은 4.2J/g℃이고 물의 질량은 100g이므로 실험을 통해서 얻은 온도변화 값을 곱하여 물이 얻은 열량을 구한 후에 실험에 사용된 염화칼슘, 염화암모늄의 질량 10g으로 나누어 1g당 용해열을 구한다.

#### ▣ 한걸음 더

① 휴대용 냉찜질 팩을 구성하는 성분 화합물은 무엇이며, 열을 흡수하는 원리는 무엇일까?

☞ 염화암모늄"이나 질산암모늄 따위를 물에 적당히 녹이면 -10씨 이상의 저온상태로 만들 수 있다. 원리는 물과 화학성분이 분리된 팩을 다른 큰 팩으로 감싸고, 외부의 충격으로 내부 화학물질이 들어있는 팩을 파괴하면 염화암모늄이나 질산암모늄이 물에 녹으면서 흡열반응이 일어나므로 온도가 낮아지는 것이다.

② 휴대용 손난로를 구성하는 성분 화합물은 무엇이며, 열을 방출하는 원리는 무엇일까?

☞ 주요 성분 : 철가루, 숯가루, 소금, 톱밥

원리 : 비닐에 싸여 있던 철가루가 산소와 결합하면서 산화철이 되는 반응이 발열반응이므로 열을 방출한다. 숯가루나 소금이 철의 산화를 돕는다. 톱밥도 공기 중의 수분의 흡수를 도와 철의 산화를 돕는다.

#### 🕒 참고

- 염화칼슘과 염화암모늄이 모두 용해될 때 흡수 또는 방출하는 열량은 물이 얻은 혹은 잃은 열량과 같다는 가정을 전제로 한다.



서울대학교  
과학교육연구소

#### 🕒 참고

- 일명 '뚝딱이 난로'는 티오황산나트륨이 과포화상태에서 결정으로 될 때 방출하는 열을 이용하는 것으로 철가루의 산화를 이용하는 것과는 차이가 있다.



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

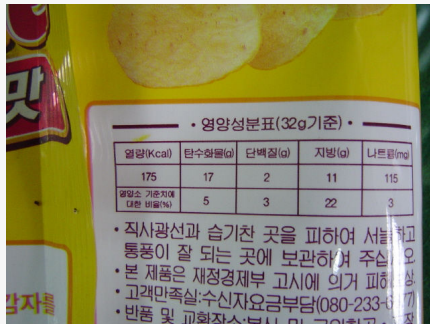
# 음식물 속의 에너지를 측정해 보자.

## 1 들어가기

고체, 액체, 기체의 상태변화와 같은 물리적 변화 뿐만이 아니라 모든 화학적 변화에는 에너지의 변화가 수반된다. 반응 물질의 종류와 화학변화의 종류에 따라서 다양하게 나타나는 화학반응의 반응열을 측정하려면 어떻게 해야 할까? 각각의 반응 물질과 생성물질의 엔탈피를 알 수 있다면 대수적으로 엔탈피의 변화를 통해서 반응에 관여하는 반응열을 구할 수 있지만, 엔탈피의 자료가 없는 경우에 연소반응의 연소열을 이용하여 반응열을 측정하는 원리와 탐구 방법에 대해서 살펴보자.

## 2 활용 안내

- ① 소재로 활용할 스낵은 뒤에 다음에 제시된 것과 같이. 영양 성분표와 열량이 표시된 것을 골라서 실시하되, 적당한 크기를 가진 것을 선택하는 것이 최종적으로 실험 오차를 분석하는 자료로 이용하기에 좋다.



스낵의 영양성분표시

- ② 스낵에 제시된 열량 값은 단위가 kcal이므로 kJ로 환산하여 비교하여야 한다.
- ③ 스낵의 조각이 큰 것일수록 좋으며, 아주 작은 조각으로 이루어진 것들은 완전히 연소시키기 어려운 경우가 많다. 아울러 여러 가지 종류를 준비하여 반복적 실험 혹은 조별로 다른 소재를 이용한 실험으로 진행하면 더 좋겠다.
- ④ 연소시 발생하는 불꽃이 등근 플라스크에 효율적으로 접촉할 수 있도록 적절하게 높이를 조절하여야 한다.

### 활동의 성격

- 학생들이 간식으로 즐겨 먹는 스낵을 소재로 하므로 학생들이 동기유발이나 흥미도가 높고, 쉬운 실험이다.



서울대학교  
과학교육연구소

### 지도상 유의점

- 물의 부피를 질량으로 변환시키기 위해서 물의 밀도가 필요하다는 사실도 지적해줄 필요가 있다.

### 실험시 유의점

- 연소 직후의 증발 접시는 매우 뜨거우므로 연소 후 질량 측정을 하기 위해서 서두르면 화상을 입을 수가 있으므로 충분히 냉각된 이후에 연소 후 질량을 측정해야 한다.



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

**참고**

- 연소 할 때 다량의 그을음이 발생하는 것은 그만큼 많은 양의 기름성분이 포함되어 있고 이것들이 완전히 연소되지 않기 때문이다. 연소 후에 바닥에도 상당히 많은 양의 기름이 남게 된다. 이런 자료를 통해서 몸에 좋은 먹거리에 대해 생각해 보는 자료로도 활용할 수도 있다.

⑤ 연소 할 때 플라스크에 다량의 그을음이 묻게 되는데 잘못 취급하여 실험복이나 옷에 묻지 않도록 유의하고, 충분히 냉각시킨 후에 키친타월에 물을 묻혀 먼저 그을음을 제거하고 물로 세척을 하면 쉽게 제거할 수 있다.

**3** 학생용 활동지 풀이

**■ 생각해 보기**

[예상 결과]

스낵의 종류	스낵의 질량(g)		스낵의 질량(g)	물의 온도(°C)		물의 온도 변화(°C)	물의 부피 (mL)
	연소 전	연소 후		연소 전	연소 후		
감자스낵 1회	37.60	34.86	2.74	20.0	72.0	52	50
감자스낵 2회	34.55	32.09	2.46	20.0	60.0	40	50

☞ 제시된 스낵의 질량은 증발점시의 질량이 포함된 값임.

① 물이 얻은 총 열량은 얼마인가?

☞ ①회 :  $1\text{cal/g}\cdot^{\circ}\text{C} \times 50\text{g} \times 52^{\circ}\text{C} = 2.60\text{kcal} = 10.92\text{kJ}$

②회 :  $1\text{cal/g}\cdot^{\circ}\text{C} \times 50\text{g} \times 40^{\circ}\text{C} = 2.00\text{kcal} = 8.4\text{kJ}$

③평균 :  $\frac{10.92+8.4}{2} = 9.66\text{kJ}$

동일재료를 사용한 동일 학급에서 실제 실험의 결과 얻어지는 열량은 대략 작게는 3kJ정도에서부터 10kJ정도까지 다양하게 나타난다. 이는 실험과정에서 외부로 손실되는 양이 대단히 많다는 사실을 알려주고 있으며, 실험 수행 단계에 있어서 가림막이나 연소원으로부터 플라스크까지의 높이 등등이 많은 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

**참고**

- 단위를 통일하여야 한다.

② 연소시킨 스낵의 연소열(kJ/g)은 얼마인가?

☞ 물의 얻은 총 열량을 연소시킨 스낵의 질량으로 나누면

$\frac{10.92\text{kJ}}{2.74\text{g}} = 3.99\text{kJ/g}$       $\frac{8.4\text{kJ}}{2.46\text{g}} = 3.41\text{kJ/g}$      평균값 : 3.7kJ/g



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

③ 물이 얻은 열량을 바탕으로 구한 실험적인 스낵의 연소열과 실제 스낵의 이론적 연소열은 일치하는가?

☞ 실험에 사용한 스낵의 봉지에 표시된 열량은 210kcal/45g이므로 환산하면 19.60kJ/g 이다. 실험값은 대략 3~4kJ/g 으로 큰 차이를 보이고 있다.

④ 연소열 측정 실험에서 오차를 발생시키는 원인은 무엇인가?

- ☞ - 스낵의 연소열의 대부분이 외부로 방출되거나 반응 용기를 데우는 데에 사용되었다.
- 불완전 연소로 많은 양의 그을음이 생성되었다.
- 많은 양의 기름이 연소하지 않고 아래로 흘러 고여 있기 때문이다.

#### ■ 한걸음 더

① 사용한 기름을 재활용하여 비누를 만들기도 하는데 포화지방산과 불포화지방산으로 만든 비누는 성질이 같을까?

☞ 포화지방산의 함량이 높은 유지로 만든 비누는 단단하며, 거품발생이 잘되는 반면 보습성이 떨어지고, 불포화지방산의 함량이 높은 유지로 만든 비누는 무른(soft) 성질을 갖지만 보습성이 좋다. 때문에 몇 가지 기름을 적당히 섞어서 비누를 만들어야 좋은 비누가 탄생된다.

#### 🕒 참고

- 실제로 연소과정에서의 격렬함과 연소 후 남은 다량의 기름에서 많은 학생들이 튀김과자(스낵)의 실체를 아는 좋은 계기가 된다. 실험소감에서 앞으로 스낵을 먹는 것을 제고하겠다고 하는 학생들이 많음을 통해서 알 수가 있다.



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소



# 경로가 다른 화학반응의 총 반응열 비교

## 1 들어가기

헤스의 법칙을 이해하기 위해서는 간단한 실험을 통해서 확인하도록 교육과정 개발 단계에서 지적하고 있다. 가장 간단한 방법으로는 4g의 수산화나트륨을 물에 녹일 때 1g을 녹인 후 3g을 녹이면서 각 과정에서 측정된 온도 변화의 합과 2g을 녹인 후 다시 2g을 추가로 녹일 때 각 과정에서의 온도 변화의 합을 비교하여 나타낼 수 있다. 하지만 이런 단순한 수산화나트륨의 용해과정은 다분히 물리 변화적인 측면이 강하므로 화학변화 과정에서의 반응경로에 따른 반응열의 차이 비교를 하고자 용해열과 중화열을 이용하는 실험이 보다 유용하다.

## 2 활용 안내

- ① 스티로폼 용기가 새는지의 여부를 먼저 확인하여야 한다. 새지 않는 용기를 사용하되 상태가 좋은 용기를 확보하기 어려운 경우는 스티로폼 용기 안에 적당한 크기의 비커를 넣어서 사용해도 된다. 다만 비커가 많은 양의 열을 흡수하므로 좋은 방법은 아니다.
- ③ 10초 간격으로 연속되는 온도 측정이 어렵기 때문에, 시간 간격을 20초로 하거나, 조원들이 서로 역할 분담을 철저히 하여 측정하도록 유도한다.
- ④ 온도 측정시 최고 온도를 파악하는 것이 중요하다. 반응에 의한 발열 효과가 완전히 끝난 이후에는 시간이 지날수록 온도가 낮아지기 때문이다.
- ⑤ 온도를 측정할 때 용액을 젓개로 잘 저어주거나, 용액이 들어있는 열량계를 약간씩 흔들어주어서 용액 전체의 온도를 고르게 유지시키며 측정해야 한다.
- ⑥ 이번 실험에서 볼 때 열량으로부터 곧바로 엔탈피 값을 이끌어 내어 계산을 하는 것은 곤란하다. 헤스의 법칙을 증명하기 위해 엔탈피 값을 비교할 때는 같은 몰수를 놓고 비교해야 하기 때문에 계산된 열량 값을 엔탈피 값으로 변환시켜줄 때 몰수를 같게 만들어 주는 과정이 매우 중요한 결과처리의 한 부분이다.

### 활동의 성격

- 비유적인 방법보다 실제 실험과정을 통해서 쉽게 헤스의 법칙을 이해할 수 있다.



서울대학교  
과학교육연구소

### 지도상 유의점

- 온도의 변화를 정확하게 측정하여야 하므로 디지털 온도계를 사용하면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다.

### 실험시 유의점

- NaOH는 공기 중의 수분을 흡수하여 녹는 성질(=조해성)이 있으므로, 질량을 측정할 때 가능한 빨리 재고, 시약 병 뚜껑도 재빨리 닫아야 한다. 또한 NaOH는 강한 알칼리성 물질로서 부식성이 매우 강하므로 피부에 묻지 않도록 유의시켜야 한다.



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

### 3 학생용 활동지 풀이

#### ■ 실험결과(예시)

1) 과정2)에서 10초 간격으로 측정한 온도를 다음 표에 기록한다.

경과시간(초)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	...
온도(°C)	25	26	26.7	27.3	27.8	28.1	28.3	28.4	28.5	28.5	28.4	28.4

2) 과정4)에서 10초 간격으로 측정한 온도를 다음 표에 기록한다.

경과시간(초)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	...
온도(°C)	25	26	26.8	27.4	27.9	28.2	28.3	28.3	28.3	28.2	28.2	28.2

3) 과정5)에서 10초 간격으로 측정한 온도를 다음 표에 기록한다.

경과시간(초)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	...
온도(°C)	25	26.2	27.4	28.6	29.8	31.0	32.0	33.1	34.2	35.2	35.3	35.3

#### 참고

- 표 안의 값은 실제 실험의 결과를 예들 들어 제시한 것이다.

#### ■ 생각해 보기

1) 과정2)와 과정4), 과정5)의 반응을 화학 반응식으로 나타내어라.



2) 과정2)의  $\text{NaOH}(aq)$ 의 몰농도를 계산하여라.

$\text{NaOH}$ 의 몰수 =  $0.2\text{g} / 40(\text{식량}) = 0.005\text{mol}$

$\text{NaOH}(aq)$ 의 몰농도(M) =  $0.005\text{mol} / 0.05\text{L} = 0.1\text{M}$

3) 수용액의 비열을 이용하여 각 단계(과정2,4,5)의 반응열을 계산하여, 다음 표에 정리하여라.

측정 값	[경로1]		[경로2]
	과정2	과정4	
질량(g)	102	100	102
온도 변화(°C)	3.5	3.3	10.3
반응열(J)	1499.4	1386	4412.5
NaOH몰수	0.05	0.025	0.05
반응한 HCl몰수	-	0.025	0.05
1mol반응에 대한 반응열(kJ)	29.99	55.44	88.25
경로별 반응열	85.43		88.25



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

4) [경로1]과 [경로2]의 반응열은 서로 같은가? 같지 않다면 이유는 무엇일까?

[경로1]의 과정2)와 과정4)를 합치면 [경로2]와 동일하다. 따라서 [경로1]에서 과정2)와 과정4)의 반응열의 합은 [경로2]의 반응열과 동일하여야 한다. 실험에서 [경로1]의 과정2)와 과정4)의 반응열의 합은 85.43kJ이며, [경로2]의 반응열은 88.25kJ으로서 일치하지 않았다. [경로2]의 값을 참값으로 보고 오차를 구하면 3.2%이다. 이러한 오차가 발생하는 원인으로서는 ① 수용액의 밀도가 실제로 1g/mL가 아니다. ② 고체 또는 액체가 액체에 용해되는 과정에서 부피의 변화가 생겨난다. ③ 열량계의 열용량을 무시하였다. ④ 용액의 농도, NaOH의 몰 수 등에서 측정상의 오차가 발생할 수 있다.

#### ■ 한걸음 더

① 자동차와 헬리콥터를 이용하여 산 정상에 각각 오른다고 가정할 때 각각의 운송 수단이 사용하는 연료는 무엇에 대한 비유일까?

☞ 자동차와 헬리콥터가 고도를 변화시키기 위하여 사용하는 에너지이므로 반응열이라고 생각할 수 있다.

#### 🕒 참고

- 여러 번 반복 실험이 이루어질수록 오차가 줄어들어야 하지만 몇 가지 이유로 인해서 정확하게 일치하는 값을 얻기는 어렵다.
- 실제 실험의 결과를 바탕으로 이론이나 법칙을 이끌어 내는 것이 어렵다는 사실을 간접적으로 체험할 수 있도록 안내할 수 있다.



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

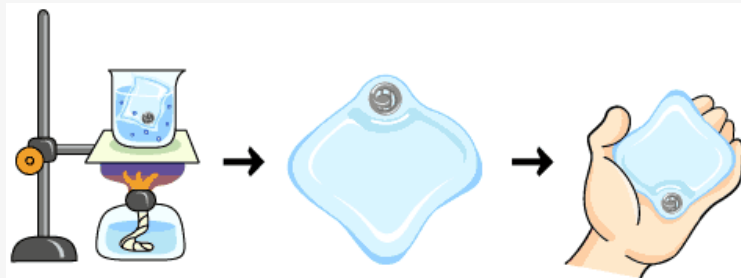


## 참 고 자 료

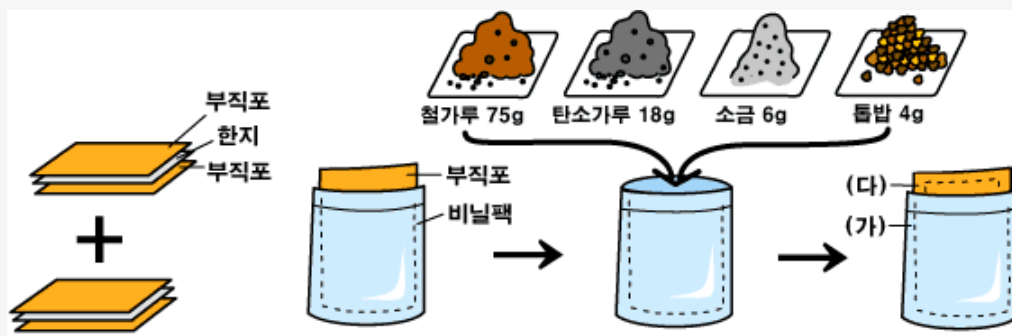
### 1. 입을거리

#### (1) 똑딱이 손난로와 흔들이 손난로

똑딱이 손난로는 하이포라 불리는 티오황산나트륨( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )가 과포화 상태에서 결정으로 될 때의 발열현상을 이용한 것이다. 일명 똑딱이는 티오황산나트륨의 결정화를 불러오는 결정 자극의 역할을 한다.



흔들이 손난로는 철가루의 산화로 발생하는 열을 이용하는 것으로 전해질인 소금이나 탄소가루 등이 철가루의 산화를 돕기 위한 물질로 첨가되어 있다. 포장된 고운 철가루가 산소와 접촉하면서 산화철로 될 때 열이 발생한다.



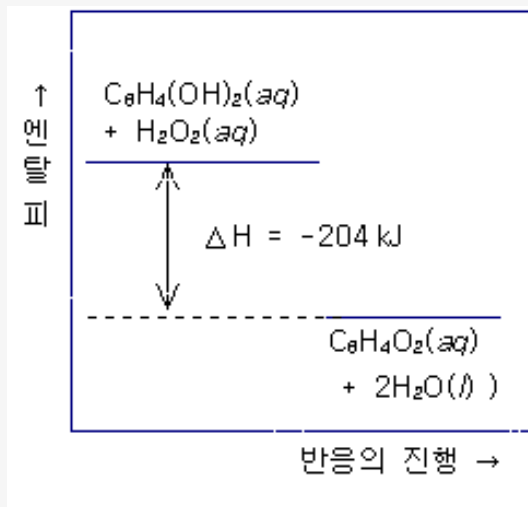
간이 흔들이 손난로 만들기

#### (2) 딱정벌레가 개구리를 만났을 때

어떤 딱정벌레는 적의 공격을 받으면 증기 상태의 물질을 분사하여 위기를 모면한다. 딱정벌레의 몸에서 나오는 이 물질은 무엇이며 어떻게 만들어진 것일까?

딱정벌레는 개구리나 두꺼비의 공격을 받는 즉시 체내에서 하이드로퀴논(hydroquinone)과 과산화수소(hydrogen peroxide)가 아주 빠르게 반응하여 퀴논(quinone)과 물을 생성한다. 이 반응식은 다음과 같다.





이 반응은 -204 kJ의 엔탈피 변화가 수반되는 발열 반응이다. 이 때 발생하는 열은 액체 상태의 생성물을 기체로 바꾸는데 사용된다. 안개처럼 보이는 증기는 시끄러운 소리를 내면서 30회 정도 연속 분사된다. 이렇게 딱정벌레가 적의 공격으로부터 자신의 몸을 보호하는데는 엔탈피 감소 반응이 큰 몫을 한다.

-출처 : 화학교육 홈페이지 <http://www.chemed4u.net/lecture/lecture29/lecture29-46.html>

(3) 염소산칼륨 :

화학식 KClO<sub>3</sub>. 녹는점 368℃, 비중 2.326(39℃)이다. 가열하면 400℃에서 분해하여 과염소산칼륨과 염화칼륨이 된다. 4KClO<sub>3</sub> → 3KClO<sub>4</sub>+KCl 더 가열하면 산소를 방출하고 전부 염화칼륨이 된다(3KClO<sub>4</sub> → 3KCl + 6O<sub>2</sub>). 이 반응은 이산화망간 MnO<sub>2</sub>와 같은 금속산화물을 가하면 촉진되어 70℃에서 산소를 발생하기 시작하므로, 실험실 등에서 산소를 얻기 위해 이용된다.



단, 유기물·황·탄소 등이 혼입되면 폭발하므로 주의해야 한다. 흡습성은 없다. 물에 녹고, 알코올에도 소량 녹는다. 중성 및 알칼리성용액에서는 산화작용이 없으나, 산성용액에서는 강한 산화제가 된다.

염화칼륨수용액을 뜨거울 때 전기분해하여 만든다. 산화제로서 성냥·연화·폭약 등의 원료가 되고, 표백제·염료·의약품 등의 제조에도 사용된다. 장기간 보존한 것은 아염소산칼륨을 함유하여, 건조 상태에서는 유기물·인·황 등 가연성 물질과 접촉하기만 해도 폭발한다.

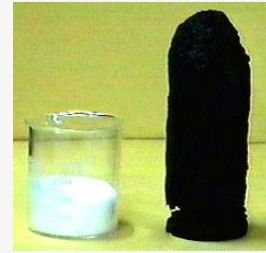
마찰·충격 등에 예민하여, 폭발사고를 잘 일으키며, 진한 황산·진한 질산과 접촉해도 잘 폭발한다. 혼합폭약으로 쓰이기도 하며, 극약이다. 빛이 차단되는 밀폐된 용기에 보관한다.

(4) 진한 황산 :

화학식 H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> 의 수용액으로 90% 이상이 진한 황산이다. 시판되는 진한 황산은 보통 농도가 96%, 비중 1.84로 약 18M정도이다.



순수한 황산은 무색으로 점성(粘性)이 있는 기름 같은 액체이다. 겨울철에는 결정화한다. 녹는점 10.4℃, 비중 1.84(15℃)이다. 많은 무기물 및 유기물을 녹이며, 가열하면 290℃에서 분해하기 시작하여 삼산화황을 발생한다. 317℃에서 끓기 시작하여 공비혼합물(98.54% 수용액)이 된다. 순수 황산(100% 황산) 및 진한 황산은 물과의 친화력(親和力)이 강하여 혼합하면 강하게 발열한다. 또 물과 강하게 결합할 뿐만 아니라 강력한 탈수작용이 있어, 다른 여러 가지 화합물로부터 산소와 수소를 빼앗기 때문에 각종 건조제·탈수제로 사용되며, 설탕이나 섬유 등에 황산을 작용시키면 탈수되어 탄소가 유리된다. 진한 황산에 삼산화황을 녹인 발연황산은 탈수작용이나 산화작용이 더 강하다.



황산의 설탕 탈수 작용



서울대학교  
과학교육연구소

- 출처 : 네이버 백과사전

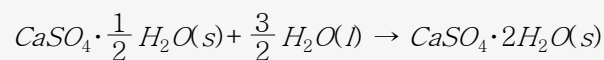
## (5) 발열반응과 흡열반응의 두 가지 이야기

### 1. 발열반응 : 왜 석고가 굳으면 기브스가 따뜻해질까?

기브스 붕대는 흔히 부상을 입은 관절이나 뼈를 제자리에 고정하여 치료를 돕는 데 이용된다. 기브스 붕대가 굳을수록 환자는 기브스 붕대가 따뜻해짐을 느낀다. 이런 현상이 나타나는 이유는 무엇일까?

- 화학적 원리 : 기브스 붕대는 소석고에 물을 가하여 일어나는 화학반응을 통해서 만든다. 이 반응은 석고가 굳으면서 열을 내놓는다.

- 화학적 구성 : 소석고,  $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O(s)$ 을 물과 혼합하면 열을 내놓는 발열 반응을 거쳐 고체인 석고  $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O(s)$ 가 생성된다. 따라서 석고가 굳어지면서 기브스 붕대는 따뜻해진다.



우리는 반응물과 생성물의 엔탈피를 사용하여 298K에서의 석고 생성에 대한 반응열  $\Delta H^\circ_{\text{반응}}$ 을 계산할 수 있다.

$$\Delta H^\circ_{\text{반응}} = \sum \Delta H^\circ_f(\text{생성물}) - \sum \Delta H^\circ_f(\text{반응물})$$

$$\Delta H^\circ_{\text{반응}} = -2021.1 \text{ kJmol}^{-1} - (-1575.2 \text{ kJmol}^{-1}) - \frac{3}{2}(-285.83 \text{ kJmol}^{-1})$$

$$\Delta H^\circ_{\text{반응}} = -17.2 \text{ kJmol}^{-1}$$

위의 계산에서 우리는 기브스 붕대를 처음에 25℃에서 시행한다면 붕대가 얼마나 뜨거워질지를 계산할 수 있다. 석고 생성반응에서 생기는 열이 주위로 전혀 빠져나가지 않을 때 붕



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

대는 가장 뜨거워질 것이다. 반응에서 나오는 모든 열이 생성물을 덥히는 데 사용될 것이기 때문이다. 계산을 위하여 압력이 일정하게 유지되고  $\Delta H^\circ_{\text{반응}}$  와 열용량이 온도에 무관하다고 가정한다. 계산을 위하여 석고의 실제 무게는 전혀 필요하지 않다.

$$\Delta H^\circ_{\text{반응}} = \Delta H^\circ (\text{석고})$$

$$n(17.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = nC_p \Delta T = n(1862 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}) \Delta T$$

$$\Delta T = 92.4 \text{ K}$$

$$T_{\text{최종}} = 25 \text{ CENTIGRADE} + 92 \text{ CENTIGRADE} = 117 \text{ CENTIGRADE}$$

기브스를 할 때 살갓을 데지 않는 것은 이런 가정들 중 몇 가지가 적용되지 않기 때문이다. 특히 열은 틀림없이 주위로 새나간다. 더욱 이 반응은 아마도 완전히 진행되지 않거나 석고에서 열이 점차적으로 생기도록 시간 간격을 두고 일어날 수도 있다. 기브스 봉대를 준비 하는데 과잉의 물(반응식의 화학량론을 맞추는 데 필요한 양 이상의 물)이 사용된다. 과잉의 물은 반응에서 생성되는 열의 일부를 흡수한다. 또한 발생하는 모든 열이 기브스 봉대의 한 점으로 축적되지도 않으며, 넓은 표면적으로 열이 분산된다. 다른 가정들도 아마도 엄격하게는 사실이 아닐 것이지만(예를 들어 열용량과 반응 엔탈피는 온도에 따라 달라진다) 이런 가정들이 예측된 최종 온도에 크게 영향을 미칠 것 같지는 않다. 따라서 주위로 열을 잃는 것이 석고의 최종 온도가 가능한 최고값에 도달하지 못하는 가장 중요한 이유인 것 같다.

## 2. 흡열반응 : 순간 얼음 팩을 냉각시키는 것은 무엇일까?

- 화학적 원리 : 절상, 타박상, 뱀, 열상을 위한 냉각 처치를 하기 위하여 순간 얼음 팩에는 열이 필요한 화학반응이 일어난다. 순간 얼음 팩은 두 칸으로 구성되어 있다. 한 칸에는 액체 물이 들어 있고 다른 칸에는 고체가 들어 있다. 팩을 찌부러트려서 안쪽의 액체 칸을 싸고 있는 포장을 터뜨리면 두 칸이 합쳐진다. 화학 물질들의 반응이 주위로부터 열을 흡수하면서 얼음 팩 내용물과 주변의 온도가 낮아진다.

- 화학적 구성 : 구급 처치의 순간 얼음 팩은 이온성 염이 물에 녹을 때 생기는 흡열 성질을 이용하여 냉각 처치를 한다. 물에 녹으면서 열을 흡수하는 대표적인 두 물질은 질산암모늄( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )과 염화암모늄( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )이다.

질산암모늄이 물에 녹을 때의 표준 반응 엔탈피는 반응물과 생성물의 생성 엔탈피를 이용하여 계산할 수 있다.

$$\Delta H^\circ_{\text{반응}} = \sum \Delta H^\circ_f (\text{생성물}) - \sum \Delta H^\circ_f (\text{반응물})$$

$$\Delta H^\circ_{\text{반응}} = -132.51 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + (-162.7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) - (-314.43 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$$



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

$$\Delta H^{\circ}_{\text{반응}} = + 14.8 \text{ kJmol}^{-1}$$

염화암모늄의 엔탈피 변화는 질산암모늄이 물에 녹을 때의 약 절반이다. 얼음 팩에 의하여 이를 수 있는 온도는 존재하는 물과 염의 양을 알고 염이 완전히 녹는다는 가정 하에 계산할 수 있다.

예를 들어 75ml의 물과 25g의 질산암모늄이 들어 있는 얼음 팩을 생각해 보자. 우리는 25g의 질산암모늄이 모두 액체인 물에 녹는다고 가정할 것이다. (비록 존재하는 물의 양이 작을 때는 제한을 받겠지만  $\text{NH}_4^+$  이온은 용해성이다.)

$$\text{NH}_4\text{NO}_3 \text{의 몰수} = 25\text{g} / (80.04\text{g/mol}) = 0.312\text{mol}$$

$$\text{그러면 } \Delta H^{\circ}_{\text{반응}} = 0.312\text{mol} \times 28.1\text{kJmol}^{-1} = 8.76\text{kJ}$$

흡수되는 모든 열이 일정한 압력 하에서 물로부터 흡수된다고 가정하면 ( $\Delta H^{\circ}_{\text{반응}} = q_p$ ) 75ml의 물이 냉각된다. 이때 물에서 열이 질산암모늄으로 전달됨에 따라서  $\Delta H^{\circ}_{\text{반응}}$  또는  $q_p$ 의 부호가 변화한다는 것을 기억해야 한다. 결국 우리는 모든 열이 주위로부터 물로 전달된다고 가정하고 계산하는 것이다.

물의 밀도가 1.00g/ml라고 가정하면 75g의 물이 존재한다.

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 75\text{g} / (18\text{g/mol}) = 4.17\text{mol}$$

$$C_p(\text{H}_2\text{O}, l), 25^{\circ}\text{C} = 75.29\text{J/Kmol}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_{\text{반응}} &= nC_p\Delta T = (4.17\text{mol})(75.29\text{J/Kmol})\Delta T \\ &= -8.76\text{kJ} \end{aligned}$$

$$\Delta T = -27.9\text{K}$$

298K에서 시작하였다면 마지막 온도는 270K, 즉  $-3^{\circ}\text{C}$  부근이 될 것이다. 우리의 계산은 반응엔탈피가 온도에 무관하며 물의 열용량도 온도에 무관하다는 것과 가운 여러 가지 가정을 포함하고 있다. 또 우리는 물이 얼지 않는다고 (얼면 약간의 열을 내놓을 것이다) 가정하였다. 그럼에도 불구하고 계산 결과는 순간 얼음 팩의 냉각 처치를 가능하게 해 주는 온도 저하에 대한 꽤 그럴듯한 값을 보여준다.

(출처 : 날마다 일어나는 화학스캔들 KERRY K. Karukstis / Gerald R. Van Hecke, 고문주 옮김)



## (6) 스낵 즐기면 비만·심장병 위험

음식을 튀기거나 향미가 좋게 하기 위해 사용하는 식용 기름은 여러 가지 기준으로 분류되는데 잘 분별해 써야 비만 심장병 뇌졸중 고지혈증 등에 걸릴 위험을 줄일 수 있다.

식용 기름은 우선 천연기름과 인공 기름으로 나눌 수 있다. 인공적 기름인 쇼팅유나 마가린에는 트랜스지방이라는 천연에 없는 분자구조가 들어있다. 트랜스지방은 액체기름을 수소첨가반응을 통해 경화유로 변화시킨 것으로 팝콘, 튀김, 스낵과 같이 바삭거리는 맛이 나는 피자 도넛 과자 빵을 만들 때 쓴다. 값이 싸고 음식 유통기한을 늘리고 음식을 먹기 좋게 만드는 효과가 있어 사용량이 줄지 않고 있다. 오동주 고려대구로병원장(순환기내과)은 "트랜스지방은 몸에 해로운 저밀도 지단백(LDL) 결합 콜레스테롤을 높이고 이로운 고밀도 지단백(HDL) 결합 콜레스테롤을 낮추는 유해 작용이 포화지방의 2배에 달한다."며 "식물성 지방이라고 믿고 있는 마가린도 식물성 기름을 포화시킨 트랜스지방이 들어 있어 동물성 지방인 버터보다 몸에 좋지 않을 수 있다"고 지적했다.

천연기름은 식물성과 동물성, 탄소에 매달린 수소의 포화도에 따라 포화지방산과 불포화지방산으로 나뉜다. 쇠기름 돼지기름 버터 등 동물성 기름은 대부분 상온에서 고체 상태로 존재하는 포화지방산으로서 체내에 흡수돼 콜레스테롤 수치를 높인다. 그동안의 많은 역학 조사를 종합하면 포화지방 섭취가 증가할수록 심장병 뇌졸중 고지혈증은 물론 대장암과 유방암 발병률도 높아지는 것으로 알려지고 있다. 특히 동물 지방이 고열을 받아 트랜스지방으로 변한 뒤 공기 중에 산화돼 아크롤 레인이라는 독성물질을 만들면 이런 위험성은 더 상승할 것으로 추정되고 있다. 식물성은 불포화지방산 위주로 구성돼 있고 콜레스테롤이 거의 없어 이런 위험은 상대적으로 낮다.

그러나 포화지방산이 많은 비중을 차지하고 있는 팜유(라면),코코넛기름 (커피크림) 등은 체내에서 콜레스테롤로 바뀌기 쉽기므로 피해야 한다. 불포화지방산은 이중 결합의 숫자에 따라 하나인 단가와 여러 개인 다가로 나뉜다. 다가불포화지방산은 다시 이중결합이 처음 나타나는 탄소위치에 따라 오메가-3 와 오메가-6로 나뉜다. 올리브유 카놀라유(유채씨 기름)나 호두, 잣, 땅콩, 아몬드 등 견과류의 기름은 단가불포화지방산이 풍부하다.

콜레스테롤 증감에는 영향이 없지만 LDL-콜레스테롤이 산화돼 혈관에 들러붙는 것을 막아준다. 반면 홍화유, 해바라기씨기름 콩기름 참기름 옥수수기름 같이 다가불포화지방산이 다량 함유된 식용유는 콜레스테롤을 낮추지만 혈전 생성 가능성은 높다. 다가불포화지방산 중 오메가-3가 많은 들기름이나 대구간유 등은 콜레스테롤 감소효과가 가장 크고 혈전생성을 억제해 심장병 예방에 효과적이다.

한국인은 서구인에 비해 오메가-3 섭취 비중이 높지만 등 푸른 생선류와 쇠비름 들깨기름을 더 많이 먹는 게 암 예방에 도움이 된다. [한국경제 2005-08-09]

## (7) 열역학 제 1법칙

"물체를 어떤 정해진 상태에서 다른 정해진 상태로 옮기기 위해 그 물체에 가해야 하는 열



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소



서울대학교  
과학교육연구소

량  $Q$  과 일  $W$  의 합은 일정하다."를 열역학 제1법칙이라 부른다. 다시 말해 최초 상태  $a$  와 최후 상태  $b$  가 정해지면  $Q + W$  는 과정에 관계없이 일정하다. 물론 물체가 열량을 방출하는 경우나 물체가 외부에 일을 하는 경우 각각  $Q$  나  $W$  가 (-)값을 취한다. 제1법칙을 식으로 나타내면  $dQ + dW = dE$ 이다. 여기서  $d$  는 상·하한이 정해지더라도 과정에 따라 적분값이 변하는 경로함수의 미분을 의미한다. 그리고  $E$  는 물체가 갖는 내부 에너지를 의미하며 물체의 상태에 따라 결정된다. 외부에서 물체에 한 일의 크기는 그 물체와 외부 사이에 존재하는 압력  $P$  과 표면적소  $ds$  의 곱에 의해 계산되는 힘  $dF$  과 변위  $dr$  의 내적으로 구해진다.

우리가 여기서 더 생각해 볼 수 있는 새로운 물리량은  $H = E + PV$ 로 정의되는 엔탈피이다. 정압 변화의 경우  $dH = dE + PdV$ 가 되어  $dH = dQ$  가 되어 엔탈피 변화량이 곧 열량이 되게 된다. 정확한 엔탈피와 열량 간의 관계는  $dH = dQ + VdP$ 이다. 이는 엔탈피 정의식을 전미분한 식과 열역학 제1법칙을 비교하면 쉽게 유도할 수 있다.

열역학 제1법칙은 에너지 보존 법칙의 한 가지 표현이라 할 수 있다. 만약 열역학 제1법칙이 성립하지 않는 과정이 존재한다면 그 과정을 반복하는 것만으로도 에너지를 창출해 낼 수 있다. 이는 무에서 에너지를 만들어 내는 제1종 영구기관의 존재를 의미하는데 물론 아직까지 1종 영구기관은 발명되지 못했다. 따라서 열역학 제1법칙은 경험적인 법칙으로 인정되고 있고 열역학의 기본 전제가 되고 있다. 1법칙의 다른 표현으로 제1종 영구기관은 존재하지 않는다가 있다. 제1법칙은 19세기 중엽 럼퍼드, 줄, 마이어, 헬름홀츠 등에 의해 확립되었다.

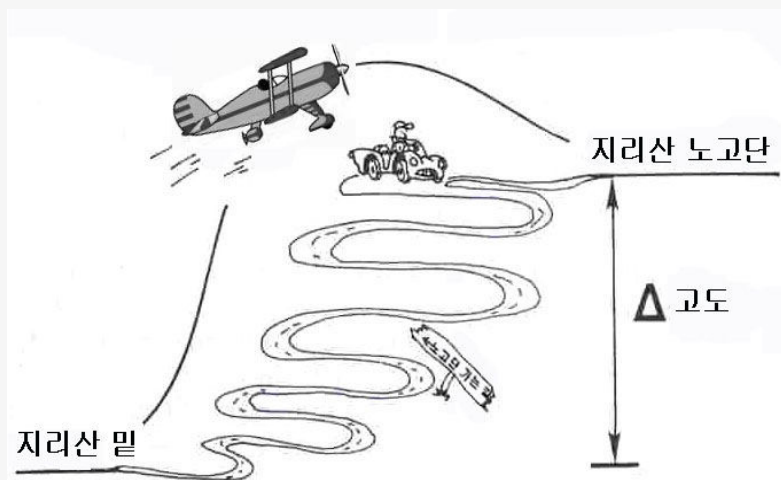


## (2) 모로 가로 서울만 가면...

물질 안에 축적된 열 함량은 엔탈피(enthalpy)로 나타낼 수 있다. 화학 반응이 일어날 때는 생성 물질과 반응 물질의 엔탈피의 차이만큼 열이 방출되거나 흡수된다. 화학 반응이 다양한 반응 경로로 이루어지는 경우, 각 반응 경로에 따라 활성화 에너지(activation energy)가 다르므로 반응 속도가 달라진다. 그러나 생성 물질과 반응 물질은 반응 경로에 관계없이 일정하므로 엔탈피의 차이는 항상 같다. 다양한 경로로 이루어진 반응의 경우, 엔탈피의 차이가 같으므로 열역학적 관점(thermodynamics)에서는 동일한 반응이고, 반응 속도는 다르므로 속도론적 관점(kinetics)에서는 서로 다른 반응으로 볼 수 있다. 이런 열역학적 관점과 속도론적 관점의 차이를 다음 비유로 생각해 볼 수 있다.

지리산 밑에서 출발하여 지리산 노고단에 가는 경우, 자동차로 가든 비행기로 가든 같은 고도에 도달한다. 자동차로 갈 때와 비행기로 갈 때 걸리는 시간과 비용은 달라질 수 있으나, 지리산 밑과 지리산 노고단의 고도 차이는 같다. 이것은 반응의 경로가 달라서 반응 속도는 달라지지만 엔탈피의 차이는 같은 것과 유사하다.





열역학과 속도론의 차이를 고도와 여행 경로에 비유 대응 관계를 표로 정리해 보면 다음과 같다.

비유물	목표물
여행 경로	반응 경로
고도 차이	엔탈피 차이

- 출처 : 화학교육 홈페이지 <http://www.chemed4u.net> [ 홈 > 자료실 > 화학관련 비유 DB ]

## 2. 인터넷 사이트 소개

1) 땅콩의 연소열 측정 <http://contents.edu-i.org/gongmo/1999/667/silhum/egg2.htm>

2) 붓열량계를 이용한 시료의 연소열을 측정 - 가상실험

<http://www.scienceall.com>

[경로: 한국과학문화재단>과학교육>가상실험실>6차 교육과정>고등 화학>화학반응과 에너지변화1> 열 흐름의 측정]

3) 중화열을 이용한 반응열의 측정 <http://eduez.co.kr/school/chemistry/content3/study4.htm>

4) 황산의 탈수작용 1

<http://science.kongju.ac.kr/highschool/chem/%C1%D6%BA%AF%C0%C7%C8%AD%C7%D5%B9%B0/water/html/i2017.html>

[경로 : 공주대학교 >고등학교> 화학> 가상실험실> 황산의 탈수반응]

5) 황산의 탈수 작용 2 - 가상실험 <http://www.scienceall.com>



[경로: 한국과학문화재단 > 과학교육 > 가상실험실 > 6차 교육과정 > 고등화학 > 산과 염기의 반응2 > 황산의 탈수 작용]

6) 발열반응과 흡열반응 - 가상실험 <http://www.scienceall.com>

[경로: 한국과학문화재단 > 과학교육 > 가상실험실 > 6차 교육과정 > 고등화학 > 화학반응과 에너지 변화2 > 발열반응과 흡열반응]



서울대학교  
과학교육연구소

7) 발열반응과 흡열반응

[http://www.chemed4u.net/resources/chem\\_in\\_life/lifeCat.php?cat=31](http://www.chemed4u.net/resources/chem_in_life/lifeCat.php?cat=31)

[ 경로 : 화학교육 홈 > 자료실 > 생활 속의 화학 DB > 목록 > 화학반응 > 화학변화 ]

8) 화학반응을 이용한 요리 <http://www.ksei.or.kr/>

[ 경로 : 홈 > 재미있는 과학실험 > 화학 > 화학반응으로 계란 후라이 하기]

9) 흰 설탕의 검은 기둥 <http://www.waterrocket.com/gga-39.htm>

10) 총열량불변의 법칙 - 가상실험


<http://www.scienceall.com>

[ 경로: 한국과학문화재단 > 가상실험실 > 7차 교육과정 자료실 > 고등 화학II > 화학반응과 에너지변화 2 > 총열량 불변의 법칙 ]

11) 일반화학 수준에서 모든 개념을 동영상 자료로 볼 수 있는 사이트

<http://www.wwnorton.com/chemistry/overview/ch11.htm#enthalpy>

3. 참고도서 소개


	<p>우리의 상식을 뒤엎는 화학에 관한 다양한 이야기를 모아 엮은 책. 인간과 물질 사이에 드러난 화학의 관계를 깊이 있게 탐구하고 있으며, 본문 페이지의 여백 부분을 '별단'으로 편집해 화학의 숫자, 말, 역사, 생물 등에 관련된 다양한 에피소드를 실었다.</p>
---	--




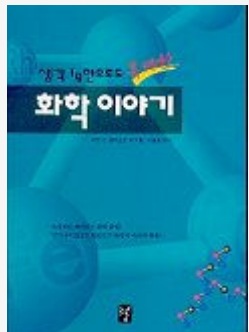
서울대학교  
과학교육연구소

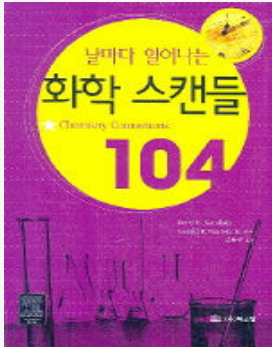


서울대학교  
과학교육연구소

	<p>기초 과학 지식은 물론이요 전문 과학 지식과 우리 생활 주변에서 발생하는 자연 현상, 자연의 수수께끼와 정보 등 최근 과학 기술의 현 상태와 발전 동향을 생동감 있고 쉬운 문장으로 소개하는 과학 학습서. 드라이 아이스는 얼음인가, 왜 다이아몬드는 특히 단단한지? 보석이 다양한 색깔을 띠는 무엇인가, 고대 유물의 나이는 어떻게 측정하는가 등 독자의 흥미를 이끌어내는 화두를 중심으로 어려운 과학 이론을 체계적으로 해설하고 있다.</p>
---	--

	<p>이 책은 일반 상식의 범위 내에서 생활 속의 화학지식을 전달하고 있다. 과학사를 다루며 화학의 기본지식들을 고등학교 정도의 수준으로 다루어 전반적인 생활화학을 이해하기 위한 기본지식을 다루고 있다. 그리고 물, 빛과 화학, 에너지 화학, 환경화학 등 여러 분야에서 쓰이고 있는 화학원리를 설명하였다.</p>
--	--

	<p>학교에서 지긋지긋하게 외웠던 원소주기율표. 주기율표에 나오는 원소들의 특성을 원소 이야기들의 집 찾기로 알기 쉽게 설명하며 시작한 구소련 과학자들의 화학이야기는 화학 반응과 화학 결합, 다양한 탄소 화합물 이야기 등 화학의 세계를 가볍고 유쾌한 필치로 시종일관 흥미롭게 묘사하고 있다.</p>
---	--

	<p>우리가 요리를 하는 중에도, 음료를 마시는 중에도 화학 반응은 끊임없이 일어나고 있으며, 사무실에서 사용하는 포스트잇에도, 매일 착용하는 콘택트렌즈에도 화학의 원리가 적용되어 있다. 생활 속 일어나는 갖가지 화학 사건들. 그 속에 숨어 있는 원리를 통해 우리의 과학적 호기심을 채워주는 내용으로 가득 차 있다.</p>
---	--

