

# 헤스의 법칙 - 예비보고서

전현태

전기·정보공학부

## 1 실험 목적

- 등압 조건에서 열화학 반응을 진행시켜 반응의 엔탈피를 측정한다.
- 엔탈피가 상태 함수임을 확인하여 헤스의 법칙을 이해한다.

## 2 이론적 배경<sup>1</sup>

### 2.1 반응열

반응열은 화학 반응이 일어날 때 흡수되거나 방출되는 열의 양을 의미하는 값이다. 반응열은 반응물과 생성물의 엔탈피 차이로 구해진다. 반응이 흡열 반응이라면 열을 흡수하고, 방출 반응이라면 열을 방출한다.

반응열은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다:

$$|Q| = \Delta H = \sum H_{\text{products}} - \sum H_{\text{reactants}}$$

여기서  $\Delta H$ 는 반응열이며,  $H_{\text{products}}$ 는 생성물의 엔탈피,  $H_{\text{reactants}}$ 는 반응물의 엔탈피이다.

열의 단위는 일반적으로 Joule(J) 또는 kJ로 사용된다. 엔탈피 변화로 표현되는 반응열은 등온, 등압 조건에서 측정된다.

### 2.2 열용량

열용량은 물질이 온도를 1도 상승시키는 데 필요한 열의 양을 나타내는 물리적 성질이며, 값은 아래와 같다.

$$C = m \cdot c$$

여기서  $C$ 는 열용량,  $m$ 은 물질의 질량,  $c$ 는 물질의 비열이다. 비열은 물질이 온도 변화를 겪을 때 단위 질량당 흡수하거나 방출하는 열의 양을 의미한다.

계의 열용량을 알고 있으면, 물질에 의해 흡수되거나 방출된 열의 양을 계의 온도 변화로부터 정확하게 계산할 수 있다.

### 2.3 엔탈피

엔탈피는 열역학에서 중요한 상태 함수로, 일정 압력하에서 시스템이 흡수하거나 방출하는 열을 나타내는 양이다. 아래와 같이 정의된다.

$$H = U + pV$$

여기서  $H$ 는 엔탈피,  $U$ 는 내부 에너지,  $p$ 는 압력,  $V$ 는 부피이다. 엔탈피 변화( $\Delta H$ )는 화학 반응이 일어나는 동안 시스템이 흡수하거나 방출하는 열의 양을 의미한다.

엔탈피 변화는 실험적으로 측정할 수 있으며, 흡열 반응에서는  $\Delta H$ 가 양의 값을, 방출 반응에서는 음의 값을 가진다.

## 2.4 헤스의 법칙

헤스의 법칙(Hess's Law)은 화학 반응의 엔탈피 변화가 반응 경로와 관계없이 일정하다는 법칙이다. 즉, 반응이 여러 단계를 거쳐 진행되더라도 전체 반응에서의 엔탈피 변화는 각 단계별 엔탈피 변화의 합과 같다는 것이다.

헤스의 법칙은 엔탈피가 상태 함수라는 성질에 기반한다. 상태 함수는 경로에 상관없이 초기 상태와 최종 상태에 의해서만 결정되므로, 화학 반응이 어떤 경로를 통해 일어나든지 전체 엔탈피 변화는 동일하다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다:

$$\Delta H_{\text{total}} = \sum \Delta H_{\text{steps}}$$

실험에서는 반응을 여러 단계로 나누어 각 단계의 엔탈피 변화를 측정하고, 전체 반응의 엔탈피 변화와 비교함으로써 헤스의 법칙을 검증할 수 있다. 또한 전체 반응을 직접 진행하여 엔탈피 변화를 한 번에 측정한 결과와 비교함으로써, 두 결과가 일치함을 확인할 수 있다.

## 3 실험 기구 및 시약

### 3.1 실험 기구 및 시약

- 250mL 비커 3개, 메스실린더, 온도계, 저울, 단열재 스티로폼, NaOH(s) 약간, 0.5M NaOH(aq), 0.5M HCl, Mg turning, MgO

### 3.2 실험 기구의 용도

#### 3.2.1 단열재 스티로폼

- 반응 용기인 비커와 외부 간 열출입을 막아 반응 엔탈피를 정확히 측정할 수 있도록 한다.

### 3.3 시약 및 유의사항<sup>2</sup>

#### 3.3.1 0.5M 수산화나트륨 수용액 (0.5M NaOH)

- IUPAC 이름: Sodium hydroxide solution
- 화학식: NaOH (수용액)
- 화학식량: 39.997 g/mol (NaOH 기준)
- 물리적 성질: 무색 액체, 끓는점 약 100°C (수용액), 밀도 약 1.02 g/cm<sup>3</sup> (0.5M 수용액)

- **유의 사항:** 강염기성, 피부 및 눈에 심각한 손상 가능, 보호장갑 및 고글 착용 필수. 엇질렀을 경우 다량의 물로 즉시 세척.

### 3.3.2 0.5M 염산 수용액 (0.5M HCl)

- **IUPAC 이름:** Hydrochloric acid solution
- **화학식:** HCl (수용액)
- **화학식량:** 36.46 g/mol (HCl 기준)
- **물리적 성질:** 무색 액체, 끓는점 약 100°C (수용액), 밀도 약 1.02 g/cm<sup>3</sup> (0.5M 수용액)
- **유의 사항:** 강산성, 피부 및 눈에 화학적 화상 가능, 보호장갑 및 고글 착용 필수. 통풍 잘 되는 곳에서 사용. 엇질렀을 경우 즉시 물로 세척.

### 3.3.3 마그네슘 턴닝 (Mg turning)

- **IUPAC 이름:** Magnesium
- **화학식:** Mg
- **화학식량:** 24.305 g/mol
- **물리적 성질:** 은회색 고체(턴닝 형태: 얇은 띠나 조각), 녹는점 650°C, 끓는점 1090°C, 밀도 1.738 g/cm<sup>3</sup>
- **유의 사항:** 가연성 물질(특히 분말이나 얇은 턴닝 형태일 때). 고 온에서 산소와 급격히 반응하여 화재 위험 있음. 화재 시 물 사용 금지(마그네슘-물 반응). 모래나 Class D 소화기로 진압.

### 3.3.4 산화마그네슘 (MgO)

- **IUPAC 이름:** Magnesium oxide
- **화학식:** MgO
- **화학식량:** 40.30 g/mol
- **물리적 성질:** 백색 고체, 녹는점 2852°C, 끓는점 3600°C, 밀도 3.58 g/cm<sup>3</sup>
- **유의 사항:** 상대적으로 안정하지만, 분진 흡입 시 호흡기 자극 가능. 실험 시 분진 발생 방지 필요, 필요시 마스크 착용.

## 4 실험 과정<sup>3</sup>

### 4.1 중화 반응

#### 4.1.1 $\Delta H_1$ 의 측정

1. 250mL 비커의 무게를 0.1g 단위까지 측정 후, 단열을 위해 스티로폼 컵에 넣는다.
2. 비커에 1M HCl(aq) 100mL를 넣고 0.1°C 단위까지 온도를 측정한다.
3. NaOH 4.00g을 넣고 흔든다. 이때 칭량 종이의 무게를 미리 측정한 후 같이 넣는다.
4. 최고 온도를 기록하고, 조금 기다린 후 비커의 무게를 측정한다.

#### 4.1.2 $\Delta H_2$ 의 측정

1. 위의 2.에서 1M HCl(aq) 100mL 대신 증류수 100mL를 넣고 위 과정을 반복한다.

#### 4.1.3 $\Delta H_2$ 의 측정

1. 250mL 비커의 무게를 0.1g 단위까지 측정 후, 단열을 위해 스티로폼 컵에 넣는다.
2. 비커에 2M HCl(aq) 50mL를 넣고 0.1°C 단위까지 온도를 측정한다.
3. 메스실린더에 2M NaOH(aq) 50mL를 넣고 온도가 HCl(aq)와 같은지 확인한다.
4. NaOH(aq)를 재빨리 HCl(aq)에 넣는다.
5. 최고 온도를 기록하고, 조금 기다린 후 비커의 무게를 측정한다.

## 4.2 MgO의 표준 생성 엔탈피

#### 4.2.1 $\Delta H_1$ 의 측정

1. 250mL 비커의 무게를 0.1g 단위까지 측정 후, 단열을 위해 스티로폼 컵에 넣는다.
2. 비커에 1M HCl(aq) 100mL를 넣고 0.1°C 단위까지 온도를 측정한다.
3. Mg turning 0.60g을 넣고 흔든다. 이때 칭량 종이는 넣지 않는다.
4. 최고 온도를 기록하고, 조금 기다린 후 비커의 무게를 측정한다.

#### 4.2.2 $\Delta H_2$ 의 측정

1. 위의 3.에서 Mg turning 0.60g 대신 MgO 1.00g을 넣고 위 과정을 반복한다. 이때는 칭량 종이의 무게를 미리 측정한 후 같이 넣는다.

## References

- [1] Peter Atkins, Physical Chemistry (Ninth edition), W. H. Freeman and Company, p.44-93
- [2] Safety Data Sheets, 검색어: Sunset Yellow FCF, Brilliant Blue FCF, ethanol, <https://chemicalsafety.com/sds-search/>
- [3] 김희준, 일반화학실험, 자유아카데미, p.103-111