



반응 엔탈피

차례

Part 1 · 개념 정리	1
반응 엔탈피	1
열화학 반응식	4
생성 엔탈피	7
결합 에너지와 반응 엔탈피	10
헤스 법칙	13
Part 2 · 기본문제	19
Part 3 · 심화문제	22
Part 4 · 정답과 해설	27
개념 체크 정답	27
기본문제 해설	28
심화문제 해설	30

Part 1 · 개념 정리

1 반응 엔탈피

(1) 반응열

① 반응물과 생성물이 가지고 있는 에너지가 다르기 때문에 화학 반응이 일어나면 항상 에너지의 출입이 뒤따른다. 화학 반응이 일어날 때 방출하거나 흡수하는 열을 **반응열**이라고 한다.

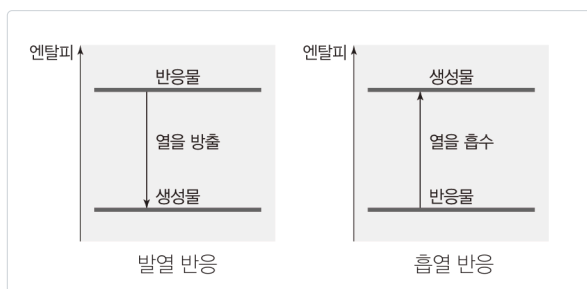
② **발열 반응**: 화학 반응이 일어날 때 열을 방출하는 반응으로 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다.

③ **흡열 반응**: 화학 반응이 일어날 때 열을 흡수하는 반응으로 흡열 반응이 일어나면 주위의 온도가 낮아진다.

(2) 엔탈피(H)

① **엔탈피**: 기호 H 로 나타내며, 일정한 압력에서 화학 반응이 일어날 때 반응물과 생성물의 엔탈피(H) 차이만큼 열이 방출되거나 흡수된다.

② 발열 반응과 흡열 반응에서 열의 출입



(3) 엔탈피 변화(ΔH)와 반응 엔탈피

- ① 일정한 압력에서 화학 반응이 일어나면 물질의 종류와 엔탈피가 달라지므로 반응물과 생성물의 엔탈피 차에 해당하는 열이 출입한다.
- ② 어떤 물질의 엔탈피(H)의 절대량을 직접 측정할 수는 없으나, 일정한 압력에서 화학 반응이 진행되는 동안 출입하는 반응열을 측정하면 **엔탈피 변화(ΔH)**를 알 수 있다.
- ③ 일정한 압력에서 화학 반응이 일어날 때의 엔탈피 변화를 **반응 엔탈피(ΔH)**라고 한다. 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 뺀 값으로 나타낸다.

$$\begin{aligned}\text{반응 엔탈피}(\Delta H) &= \text{엔탈피 변화}(\Delta H) = \text{생성물의 엔탈피 합} - \text{반응물의 엔탈피 합} \\ &= \Sigma H_{\text{생성물}} - \Sigma H_{\text{반응물}}\end{aligned}$$

핵심 정리 반응 엔탈피 = 엔탈피 변화(ΔH) = 생성물의 엔탈피 합 - 반응물의 엔탈피 합

개념 체크 A 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

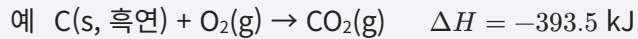
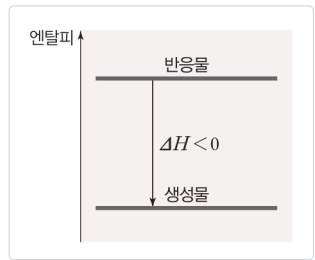
- 반응 엔탈피(ΔH)는 _____ 의 엔탈피 합에서 _____ 의 엔탈피 합을 뺀 값으로 나타낸다.
- 발열 반응은 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 _____ 다.
- 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다. ()

(4) 발열 반응과 흡열 반응

① **발열 반응**: 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 커서 반응이 일어날 때 엔탈피 차에 해당하는 열을 방출하는 반응이다.

• 엔탈피 변화(ΔH)가 0보다 작은 반응으로, 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다.

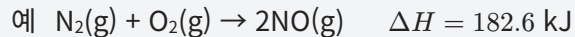
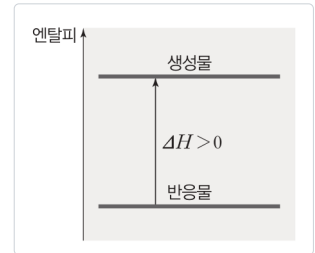
• 발열 반응에서는 엔탈피가 감소하므로 반응 엔탈피(ΔH)의 부호가 (-)이다. ➔
 $\Sigma H_{\text{반응물}} > \Sigma H_{\text{생성물}} \quad \therefore \Delta H < 0$



② **흡열 반응**: 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 작아서 반응이 일어날 때 엔탈피 차에 해당하는 열을 흡수하는 반응이다.

• 엔탈피 변화(ΔH)가 0보다 큰 반응으로, 흡열 반응이 일어나면 주위의 온도가 낮아진다.

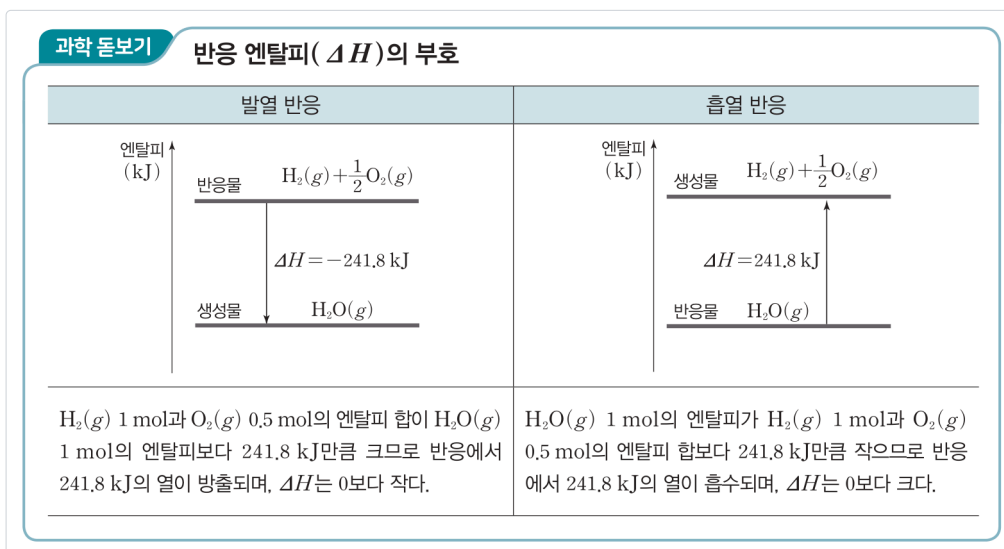
• 흡열 반응에서는 엔탈피가 증가하므로 반응 엔탈피(ΔH)의 부호가 (+)이다. ➔
 $\Sigma H_{\text{반응물}} < \Sigma H_{\text{생성물}} \quad \therefore \Delta H > 0$



핵심 정리 발열 반응: 엔탈피의 합이 반응물 > 생성물이다. 흡열 반응: 엔탈피의 합이 반응물 < 생성물이다.

개념 체크 B 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 흡열 반응이 일어나면 주위의 온도가 _____ 진다.
2. 흡열 반응은 반응 엔탈피(ΔH)가 0보다 _____ 다.
3. 열화학 반응식에서 발열 반응은 반응 엔탈피(ΔH)의 부호가 _____ 이다.
4. _____ 반응은 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 작다.



과학 돋보기 — 반응 엔탈피(ΔH)의 부호

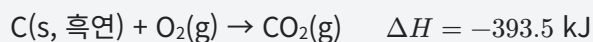
2 열화학 반응식

(1) 열화학 반응식

① 화학 반응이 일어날 때 출입하는 반응열은 반응 엔탈피(ΔH)로 나타내며, 화학 반응식과 반응 엔탈피를 함께 나타낸 식을 **열화학 반응식**이라고 한다.

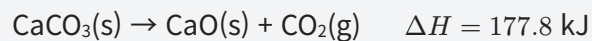
② 열화학 반응식은 반응물과 생성물의 에너지 관계와 화학 반응에서 출입하는 열에너지에 대한 정보를 알려준다.

• $\text{C}(\text{s}, \text{흑연})$ 1 mol이 $\text{O}_2(\text{g})$ 1 mol과 반응하여 $\text{CO}_2(\text{g})$ 1 mol이 생성되는 화학 반응식에서 반응 엔탈피(ΔH)가 -393.5 kJ이므로, 이 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



➡ 반응 엔탈피의 부호가 (-)이므로 발열 반응이고, $\text{C}(\text{s}, \text{흑연})$ 1 mol이 연소할 때 393.5 kJ의 열이 방출된다는 것을 알 수 있다.

• $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 1 mol이 $\text{CaO}(\text{s})$ 1 mol과 $\text{CO}_2(\text{g})$ 1 mol로 분해되는 화학 반응식에서 반응 엔탈피(ΔH)가 177.8 kJ이므로, 이 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.

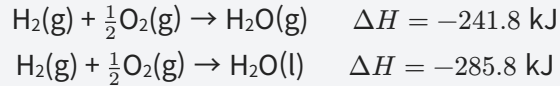


➡ 반응 엔탈피의 부호가 (+)이므로 흡열 반응이고, $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 1 mol이 분해될 때 177.8 kJ의 열이 흡수된다는 것을 알 수 있다.

(2) 열화학 반응식을 나타내는 방법

① 물질의 상태에 따라 엔탈피가 달라지므로 열화학 반응식에는 **물질의 상태**를 반드시 표시해야 한다. 고체는 (s), 액체는 (l), 기체는 (g), 수용액은 (aq)로 표시한다.

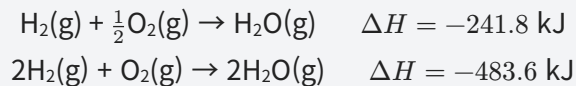
예 수소 기체($\text{H}_2(\text{g})$)와 산소 기체($\text{O}_2(\text{g})$)가 반응하여 수증기($\text{H}_2\text{O}(\text{g})$) 1 mol이 생성될 때의 반응 엔탈피는 $\Delta H = -241.8 \text{ kJ}$ 이고, 물($\text{H}_2\text{O}(\text{l})$) 1 mol이 생성될 때의 반응 엔탈피는 $\Delta H = -285.8 \text{ kJ}$ 이다.



② 열화학 반응식에는 **온도와 압력**을 함께 표시한다. 온도와 압력 조건이 주어지지 않으면 일반적으로 25°C , 1 atm 이다.

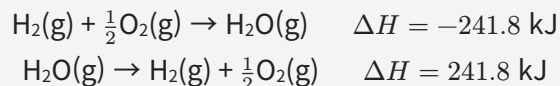
③ 같은 화학 반응이라도 반응 계수에 따라 반응 엔탈피가 달라진다. 반응 엔탈피는 **물질의 양(mol)에 비례**하므로 열화학 반응식에서 반응 계수가 달라지면 반응 엔탈피도 달라진다.

예 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 2 mol이 생성될 때의 반응 엔탈피(ΔH)는 1 mol이 생성될 때의 2배이다.



④ **역반응**의 반응 엔탈피(ΔH)는 정반응의 반응 엔탈피(ΔH)와 절댓값은 같고, 부호는 반대이다.

예 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 1 mol이 생성되는 반응과 분해되는 반응에서 반응 엔탈피(ΔH)는 절댓값이 같고, 부호는 반대이다.



핵심 정리 물질의 상태에 따라 엔탈피가 달라지므로 열화학 반응식에는 물질의 상태를 반드시 표시해야 한다.

개념 체크 C 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

- 열화학 반응식에서 고체는 _____, 액체는 (l), 기체는 (g), 수용액은 _____로 표시한다.
- 열화학 반응식에서 반응 엔탈피는 물질의 _____에 비례한다.
- 역반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 정반응의 반응 엔탈피(ΔH)와 절댓값은 _____, 부호는 _____이다.

탐구자료 살펴보기

열화학 반응식 완성하기

자료

25°C, 1 atm에서 메탄올(CH₃OH) 1 mol을 완전 연소시킬 때 726.4 kJ의 열이 발생한다. 이 반응의 열화학 반응식은 다음의 단계를 통해 완성할 수 있다.

[1단계] 반응물과 생성물을 화학식으로 나타내고, 상태를 표시한다.

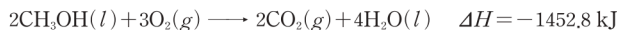
• 반응물 : CH₃OH(*l*), O₂(*g*)

• 생성물 : CO₂(*g*), H₂O(*l*)

[2단계] 메탄올(CH₃OH) 1 mol의 완전 연소 반응에 대한 반응 엔탈피를 표시한다. ➡ 메탄올의 연소 반응은 발열 반응이므로 ΔH 는 부호가 (-)이다.

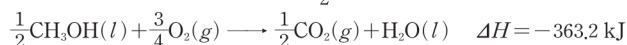
$$\Delta H = -726.4 \text{ kJ}$$

[3단계] 계수를 고려하여 열화학 반응식을 나타낸다. ➡ 반응물의 양(mol)이 2배가 되면 출입하는 에너지도 2배가 된다. 반응물의 계수가 2배가 되었으므로 반응 엔탈피도 2배가 된다.



분석

• 화학 반응식에서 CH₃OH 앞의 계수를 $\frac{1}{2}$ 로 두었을 때의 열화학 반응식은 다음과 같다.



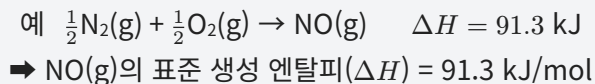
• CH₃OH의 분자량이 32이므로 CH₃OH 1 mol은 32 g이며, CH₃OH 32 g이 완전 연소하면 726.4 kJ의 열을 방출하고, CH₃OH 16 g이 완전 연소하면 363.2 kJ의 열을 방출한다.

탐구자료 살펴보기 — 열화학 반응식 완성하기

3 생성 엔탈피

(1) 생성 엔탈피

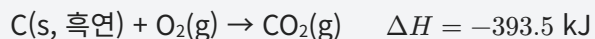
- ① 어떤 물질 1 mol이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다.
 ② 1 atm에서의 생성 엔탈피를 **표준 생성 엔탈피**라고 하며 단위는 kJ/mol이다.



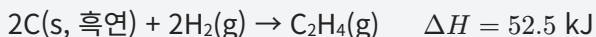
[몇 가지 물질의 표준 생성 엔탈피(ΔH)]

물질	메테인($\text{CH}_4(\text{g})$)	에텐($\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$)	수증기($\text{H}_2\text{O}(\text{g})$)	이산화 탄소($\text{CO}_2(\text{g})$)
표준 생성 엔탈피(ΔH) (kJ/mol)	-74.8	52.5	-241.8	-393.5

$\Rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$ 의 표준 생성 엔탈피(ΔH) = -393.5 kJ/mol이고, 탄소와 산소의 가장 안정한 원소는 각각 C(s, 흑연)과 $\text{O}_2(\text{g})$ 이므로 이를 열화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



$\Rightarrow \text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ 의 표준 생성 엔탈피(ΔH) = 52.5 kJ/mol이고, 탄소와 수소의 가장 안정한 원소는 각각 C(s, 흑연)과 $\text{H}_2(\text{g})$ 이므로 이를 열화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.



③ **원소의 표준 생성 엔탈피(ΔH)**: 표준 상태에서 원소에 여러 가지 동소체가 존재하는 경우 가장 안정한 물질의 표준 생성 엔탈피는 0이다. 산소의 동소체에는 $\text{O}_2(\text{g})$ 와 $\text{O}_3(\text{g})$ 이 존재하는데, 가장 안정한 원소는 $\text{O}_2(\text{g})$ 이므로 $\text{O}_2(\text{g})$ 의 표준 생성 엔탈피가 0이다. 또한 탄소는 흑연, 다이아몬드, 풀러렌 등의 동소체가 존재하며, 이 중 가장 안정한 원소는 흑연이므로 흑연의 표준 생성 엔탈피는 0이다.

물질	산소			탄소		
	$\text{O}(\text{g})$	$\text{O}_2(\text{g})$	$\text{O}_3(\text{g})$	$\text{C}(\text{g})$	C(s, 흑연)	C(s, 다이아몬드)
표준 생성 엔탈피(ΔH) (kJ/mol)	249	0	143	716.7	0	1.9

핵심 정리 생성 엔탈피는 어떤 물질 1 mol이 성분 원소의 가장 안정한 원소로부터 생성될 때의 반응 엔탈피이다. 흑연, 다이아몬드, 풀러렌 등의 동소체가 존재하는 탄소의 가장 안정한 원소는 흑연이므로 흑연의 표준 생성 엔탈피는 0이다.

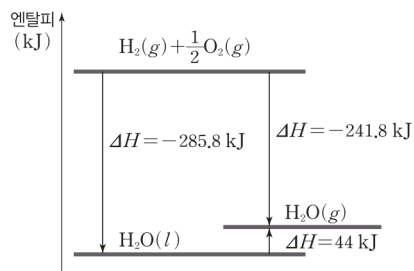
개념 체크 D 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

- 표준 생성 엔탈피는 _____ atm에서의 생성 엔탈피이다.
- $\text{H}_2\text{O}(l)$ 은 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 보다 표준 생성 엔탈피(ΔH)가 _____ 므로 엔탈피는 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 보다 작다.
- 탄소의 동소체 중 흑연이 가장 안정한 물질이므로, $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 표준 생성 엔탈피는 _____ 이다.

과학 돋보기

$\text{H}_2\text{O}(l)$ 과 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 엔탈피(H) 비교

- $\text{H}_2\text{O}(l)$ 과 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 표준 생성 엔탈피(ΔH)를 비교하여 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 과 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 엔탈피(H)를 비교할 수 있다. 같은 물질이 상태가 다를 때 표준 생성 엔탈피가 작을수록 엔탈피가 작다. 25°C 에서 $\text{H}_2\text{O}(l)$, $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 표준 생성 엔탈피는 다음과 같다.



- $\text{H}_2\text{O}(l)$ 이 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 보다 표준 생성 엔탈피(ΔH)가 작으므로 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 엔탈피가 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 엔탈피보다 작다.
- $\text{H}_2\text{O}(l)$ 1 mol이 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 1 mol로 될 때는 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 와 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 표준 생성 엔탈피(ΔH) 차에 해당하는 44 kJ의 열을 흡수하며, 이때의 열화학 반응식은 다음과 같다.

$$\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g) \quad \Delta H = 44 \text{ kJ}$$

과학 돋보기 — $\text{H}_2\text{O}(l)$ 과 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 엔탈피(H) 비교

(2) 간이 열량계를 이용한 반응열의 측정

① 발생하거나 흡수한 열에너지를 열량계 속의 수용액이 모두 흡수하거나 방출한다고 가정한다.

② 반응 과정에서 발생한 열에너지

$$= \text{수용액이 흡수한 열에너지}(Q) = c_{\text{수용액}} \times m_{\text{수용액}} \times \Delta t$$

• **비열(c)**: 물질 1 g의 온도를 1 °C 높이는 데 필요한 열에너지로 단위는 J/(g·°C)이다.

• $m_{\text{수용액}}$: 수용액의 질량(g)

• Δt : 수용액의 온도 변화(°C) = $t_{\text{반응 후}} - t_{\text{반응 전}}$

③ 반응열을 간단하게 측정할 수 있으나, 반응열의 일부가 열량계 등 실험 기구의 온도를 변화시키는 데 쓰이거나 열량계 바깥과 열 교환이 일어나 오차가 발생한다.



핵심 정리 간이 열량계에서 반응 과정에서 발생한 열에너지 = 수용액이 흡수한 열에너지(Q) = $c_{\text{수용액}} \times m_{\text{수용액}} \times \Delta t$

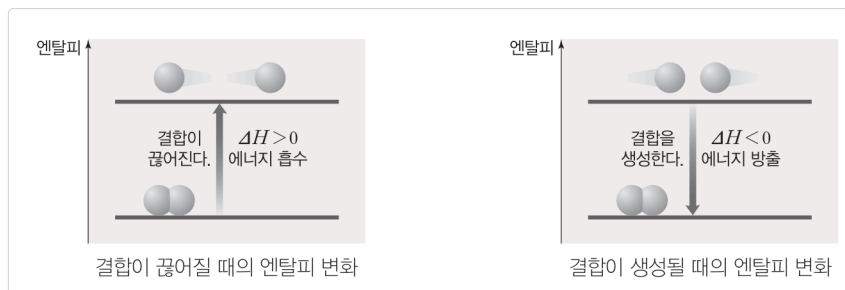
개념 체크 E 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 간이 열량계에서는 반응에서 발생한 열에너지와 열량계 속 수용액이 흡수한 열에너지가 _____ 라고 가정한다.
2. _____ 은 물질 1 g의 온도를 1 °C 높이는 데 필요한 열에너지이다.

4 결합 에너지와 반응 엔탈피

(1) 결합 에너지

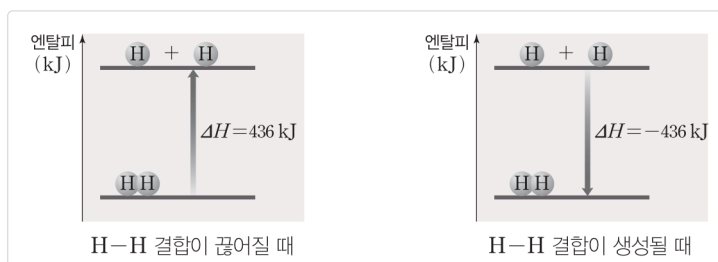
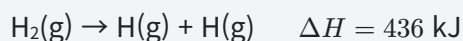
① 화학 반응에서는 반응물을 이루는 원자 사이의 결합이 끊어지고 새로운 결합이 형성되면서 생성물을 만드는데, 이때 원자 사이의 결합이 끊어질 때에는 에너지가 흡수되고 생성될 때에는 에너지가 방출된다.



② **결합 에너지**: 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이다.

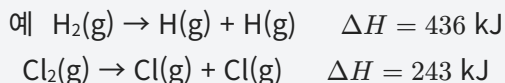
• 결합을 끊으려면 에너지를 흡수해야 하므로 결합 에너지는 항상 (+)값을 갖는다.

예 H-H의 결합 에너지: 기체 상태의 수소 분자(H_2) 1 mol이 분자 내 결합이 끊어져 기체 상태의 수소 원자(H)로 될 때 436 kJ의 에너지가 필요하므로 H-H의 결합 에너지는 436 kJ/mol이다.



③ 결합 에너지와 결합의 세기

- 원자 사이의 결합력이 클수록 결합을 끊기 어려우므로 결합 에너지는 원자 사이의 결합이 강할수록 크다.



➡ H-H의 결합 에너지(436 kJ/mol)는 Cl-Cl의 결합 에너지(243 kJ/mol)보다 크므로 결합의 세기는 H-H 결합이 Cl-Cl 결합보다 강하다.

- 같은 원자 사이의 결합이라도 **공유 전자쌍 수가 증가할수록** 결합 에너지가 증가한다.

예 결합 에너지: $\text{C} \equiv \text{C} > \text{C} = \text{C} > \text{C} - \text{C}$, $\text{N} \equiv \text{N} > \text{N} = \text{N} > \text{N} - \text{N}$

- C-H의 결합 에너지는 메테인(CH_4)과 에테인(C_2H_6)에서 다르다. 이와 같이 다원자 분자에서 같은 원자 사이의 결합이라도 조건에 따라 결합 에너지가 다르게 나타나므로 결합 에너지는 **평균값**으로 나타낸다.

[몇 가지 결합의 결합 에너지]

결합	결합 에너지(kJ/mol)	결합	결합 에너지(kJ/mol)	결합	결합 에너지(kJ/mol)
H-H	436	O-O	180	F-F	159
H-C	410	O=O	498	Cl-Cl	243
H-F	570	C-O	350	Br-Br	193
H-Cl	432	C=O	732	I-I	151
H-Br	366	N-N	240	C-C	350
H-I	298	N=N	418	C=C	611
H-O	460	N≡N	945	C≡C	835

※ 단, $\text{CO}_2(\text{g})$ 에서 C=O의 결합 에너지는 799 kJ/mol이다.

핵심 정리 결합 에너지: 기체 상태의 물질을 구성하는 두 원자 사이의 공유 결합 1 mol을 끊어 기체 상태의 원자로 만드는 데 필요한 에너지이다.

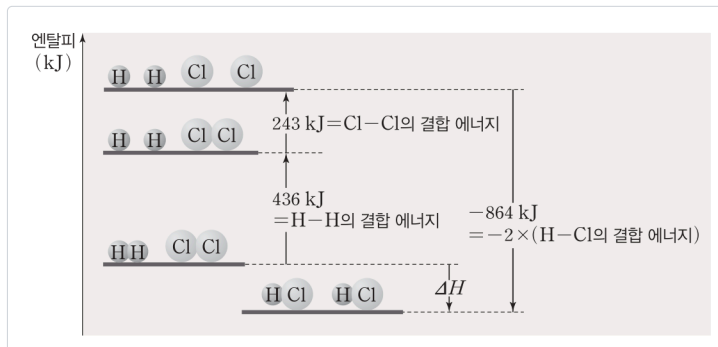
개념 체크 F 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하십시오. (정답은 교재 말미 해설)

- 두 원자 사이의 결합이 강할수록 결합 에너지가 _____ 다.
- 공유 결합이 끊어질 때에는 에너지가 _____ 되고, 결합이 생성될 때에는 에너지가 _____ 된다.
- 같은 원자 사이의 결합에서 공유 전자쌍 수가 증가하면 결합 에너지가 커진다. ()

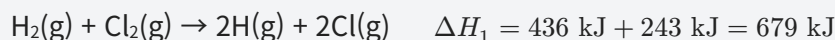
(2) 결합 에너지로부터 반응 엔탈피(ΔH) 구하기

① 결합이 끊어질 때 에너지를 흡수($\Delta H > 0$)하고, 결합이 생성될 때 에너지를 방출($\Delta H < 0$)한다. 그러므로 기체 반응은 반응물의 결합이 끊어져 원자 상태로 되고(1단계), 원자들이 결합하여 생성물이 되는(2단계) 2개의 단계로 생각할 수 있다.

예 수소($\text{H}_2(\text{g})$)와 염소($\text{Cl}_2(\text{g})$)로부터 염화 수소($\text{HCl}(\text{g})$)가 생성될 때의 반응 엔탈피(ΔH) 구하기



[1단계] 반응물의 결합이 끊어지는 과정



[2단계] 생성물의 결합이 생성되는 과정



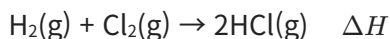
• 반응 엔탈피(ΔH): 전체 반응은 1단계와 2단계 반응의 합이다.

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 = 679 \text{ kJ} + (-864 \text{ kJ}) = -185 \text{ kJ}$$

② 기체 반응에서 반응 엔탈피(ΔH)는 반응물의 결합이 끊어질 때 흡수하는 에너지(반응물의 결합 에너지 총합)에서 생성물의 결합이 생성될 때 방출하는 에너지(생성물의 결합 에너지 총합)를 뺀 값이다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= (\text{끊어지는 결합의 결합 에너지 총합}) - (\text{생성되는 결합의 결합 에너지 총합}) \\ &= (\text{반응물의 결합 에너지 총합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 총합}) \end{aligned}$$

염화 수소(HCl)의 생성 반응



$$\begin{aligned} \Delta H &= (\text{반응물의 결합 에너지 총합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 총합}) \\ &= ((436 + 243) - 2 \times 432) \text{ kJ} = -185 \text{ kJ} \end{aligned}$$

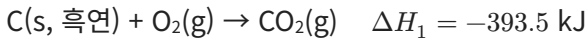
5 헤스 법칙

(1) 헤스 법칙

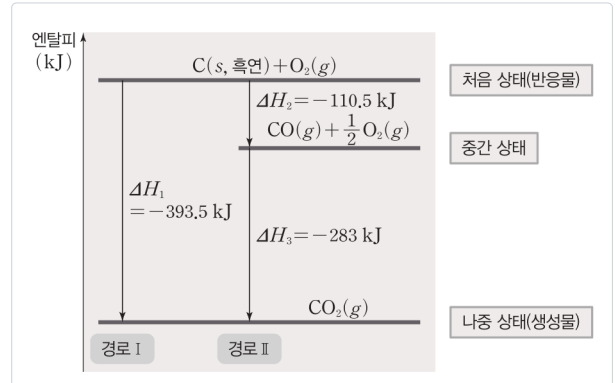
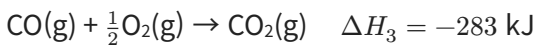
헤스 법칙: 화학 반응이 일어나는 동안에 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다. 이를 헤스 법칙이라고 한다.

① 탄소의 연소 반응

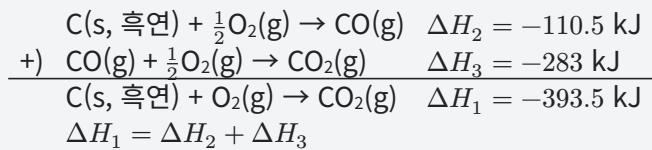
- 경로 I : 탄소가 연소하여 직접 이산화 탄소로 되는 과정



- 경로 II : 탄소가 연소하여 일산화 탄소가 되었다가 이산화 탄소가 되는 과정



- 경로 II의 반응 엔탈피의 합은 $\Delta H_2 + \Delta H_3 = -110.5 \text{ kJ} + (-283 \text{ kJ}) = -393.5 \text{ kJ}$ 로 경로 I의 반응 엔탈피 $\Delta H_1 = -393.5 \text{ kJ}$ 과 같다. 따라서 처음 물질(반응물)과 나중 물질(생성물)의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 출입하는 에너지는 같다.

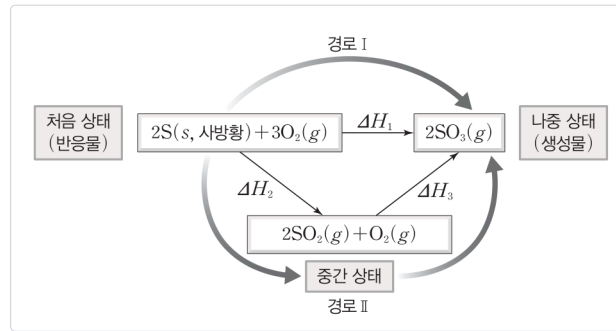


핵심 정리 헤스 법칙: 화학 반응이 일어나는 동안에 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피 총합은 일정하다.

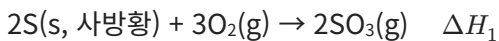
개념 체크 G 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 기체 반응에서 반응 엔탈피(ΔH)는 _____의 결합 에너지 총합에서 _____의 결합 에너지 총합을 뺀 값과 같다.
2. 발열 반응인 기체 반응에서 반응물의 결합 에너지 총합은 생성물의 결합 에너지 총합보다 _____다.
3. $\text{H}_2(\text{g})$ 1 mol이 $\text{H}(\text{g})$ 2 mol이 될 때 에너지를 _____한다.
4. 화학 반응에서 반응물과 생성물의 종류와 상태가 같으면 _____에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다.
5. C(s, 흑연) 1 mol이 완전 연소할 때의 반응 엔탈피(ΔH)는 $\text{CO}_2(\text{g})$ 의 _____와 같다.
6. $\text{CO}_2(\text{g})$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 0보다 _____다.

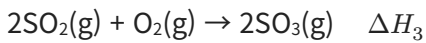
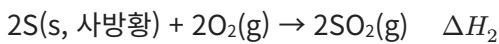
② 황의 연소 반응



- 경로 I : 황이 연소되어 직접 삼산화 황으로 되는 과정



- 경로 II : 황이 이산화 황이 되었다가 삼산화 황으로 되는 과정



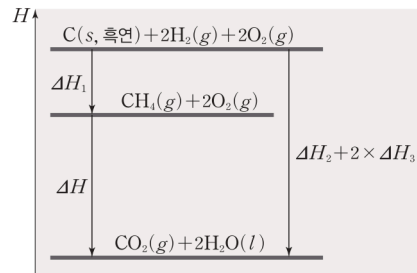
- S(s, 사방황)은 경로 I 을 통해 바로 SO₃(g)이 될 수도, 경로 II 를 통해 SO₂(g)이 되었다가 SO₃(g)이 될 수도 있다.
- 경로 I 과 경로 II 의 처음 상태는 모두 S(s, 사방황), O₂(g)이고, 나중 상태는 모두 SO₃(g)으로 같다.
- 경로 I 의 반응 엔탈피와 경로 II 의 반응 엔탈피의 합이 같다. ➔ $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$

핵심 정리 반응 엔탈피는 생성물의 생성 엔탈피 합에서 반응물의 생성 엔탈피 합을 뺀 값과 같다.

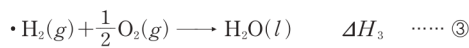
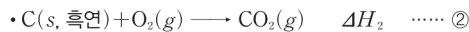
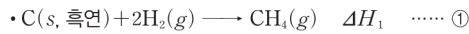
개념 체크 H 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하십시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. 황이 연소되어 삼산화 황이 되는 반응은 발열 반응이다. ()
2. 발열 반응은 반응물의 생성 엔탈피 합이 생성물의 생성 엔탈피 합보다 _____ 다.

과학 돋보기

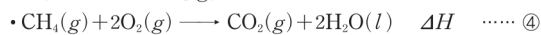
생성 엔탈피와 헤스 법칙을 이용하여 반응 엔탈피(ΔH) 구하기

25°C, 1 atm에서 다음 3가지 물질이 생성되는 열화학 반응식은 다음과 같다.



$\Delta H_1, \Delta H_2, \Delta H_3$ 은 각각 $CH_4(g), CO_2(g), H_2O(l)$ 의 생성 엔탈피이다.

25°C, 1 atm에서 $CH_4(g)$ 연소 반응의 열화학 반응식은 다음과 같다.



헤스 법칙을 이용하면 ④ = ② + 2 × ③ - ①이므로 $\Delta H = \Delta H_2 + 2 \times \Delta H_3 - \Delta H_1$ 이다.

⇒ $\Delta H_2 + 2 \times \Delta H_3$ 은 생성물의 생성 엔탈피 합이고, ΔH_1 은 반응물의 생성 엔탈피 합이므로 반응 엔탈피는 다음과 같다.

$$\text{반응 엔탈피}(\Delta H) = \text{생성물의 생성 엔탈피 합} - \text{반응물의 생성 엔탈피 합}$$

과학 돋보기 — 생성 엔탈피와 헤스 법칙을 이용하여 반응 엔탈피(ΔH) 구하기

핵심 정리 헤스 법칙 확인: $NaOH(s) \rightarrow NaOH(aq) \quad \Delta H_1$ / $NaOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l) \quad \Delta H_2$ / $NaOH(s) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l) \quad \Delta H_3 \Rightarrow \Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$

개념 체크 I 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

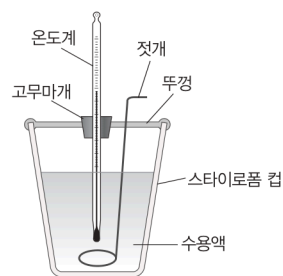
- 수산화 나트륨($NaOH(s)$)이 물에 용해될 때는 열을 _____ 하므로 수용액의 온도는 _____ 아진다.
- 중화 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 0보다 작다. ()

탐구자료 살펴보기 **헤스 법칙 확인**

실험 과정 [실험 I] 스타이로폼 컵에 25°C 물 100 mL를 넣은 후 NaOH(s) 2.0 g을 넣고 젓개로 저어 완전히 녹인 후 최고 온도를 측정한다.

[실험 II] 25°C, 1 M NaOH(aq) 50 mL를 비커에 넣고 다른 비커에 25°C, 1 M HCl(aq) 50 mL를 넣은 다음 두 용액을 스타이로폼 컵에 넣고 혼합한 후 용액의 최고 온도를 측정한다.

[실험 III] 스타이로폼 컵에 25°C, 0.5 M HCl(aq) 100 mL를 넣은 후 NaOH(s) 2.0 g을 넣고 젓개로 저어 완전히 녹인 후 용액의 최고 온도를 측정한다.



자료 각 실험 후 용액의 부피와 밀도, 비열이 동일하다.

- NaOH의 화학식량 : 40 • 용액의 부피 : 100 mL
- 용액의 밀도 : 1.02 g/mL • 용액의 비열 : 4.2 J/(g·°C)

실험 결과

실험	처음 온도(°C)	최고 온도(°C)
I	25.0	30.0
II	25.0	31.4
III	25.0	36.4

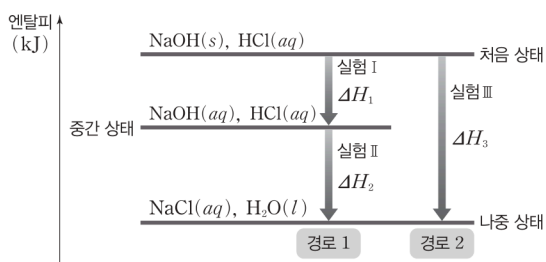
분석 point

• 반응 엔탈피 계산

실험	열화학 반응식	반응 엔탈피 계산
I	$\text{NaOH}(s) \longrightarrow \text{NaOH}(aq) \quad \Delta H_1$	$\Delta H_1 = - \frac{4.2 \text{ J/(g} \cdot ^\circ\text{C)} \times 102 \text{ g} \times 5.0^\circ\text{C}}{\frac{2 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}}}$ $= -42.84 \text{ kJ/mol}$
II	$\text{NaOH}(aq) + \text{HCl}(aq) \longrightarrow \text{NaCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H_2$	$\Delta H_2 = - \frac{4.2 \text{ J/(g} \cdot ^\circ\text{C)} \times 102 \text{ g} \times 6.4^\circ\text{C}}{\frac{50}{1000} \text{ mol}}$ $\approx -54.84 \text{ kJ/mol}$
III	$\text{NaOH}(s) + \text{HCl}(aq) \longrightarrow \text{NaCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l) \quad \Delta H_3$	$\Delta H_3 = - \frac{4.2 \text{ J/(g} \cdot ^\circ\text{C)} \times 102 \text{ g} \times 11.4^\circ\text{C}}{\frac{50}{1000} \text{ mol}}$ $\approx -97.68 \text{ kJ/mol}$

⇒ 실험 I 과 II 의 반응 엔탈피 합은 실험 III 의 반응 엔탈피와 같다. ∴ $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3$

• NaOH(s)과 HCl(aq)의 반응에서 반응 경로에 따른 엔탈피 변화는 다음과 같다.



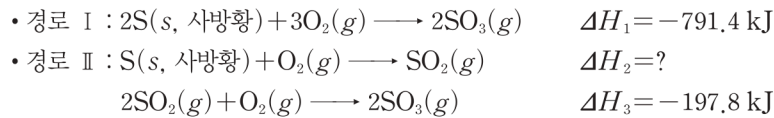
⇒ 경로 1과 경로 2의 처음 상태와 나중 상태가 같으므로 실험 I 과 실험 II 의 반응 엔탈피 합은 실험 III 의 반응 엔탈피와 같다.

(2) 헤스 법칙의 이용

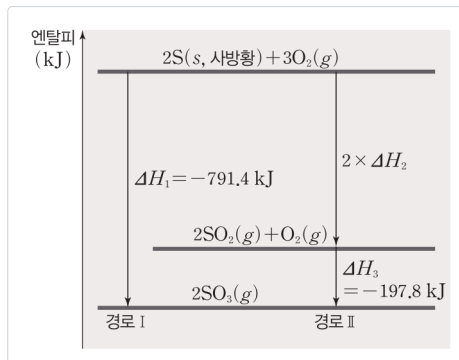
헤스 법칙의 이용: 화학 반응의 반응 엔탈피를 직접 측정하기 어려운 경우 헤스 법칙을 이용한다.

- ① 구하고자 하는 반응의 열화학 반응식을 적는다.
- ② 주어진거나 변형한 열화학 반응식을 더하거나 빼서 반응 엔탈피를 구한다.

예 헤스 법칙을 이용한 이산화 황($\text{SO}_2(\text{g})$)의 생성 엔탈피(ΔH) 구하기



➡ $\Delta H_1 = 2 \times \Delta H_2 + \Delta H_3$ 에서 $\Delta H_2 = \frac{1}{2}(\Delta H_1 - \Delta H_3)$ 이다. 따라서 $\Delta H_2 = \frac{1}{2}(-791.4 \text{ kJ} - (-197.8 \text{ kJ})) = -296.8 \text{ kJ}$ 이므로 $\text{SO}_2(\text{g})$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 -296.8 kJ/mol 이다.



핵심 정리 헤스 법칙의 이용: 화학 반응의 반응 엔탈피를 직접 측정하기 어려운 경우 헤스 법칙을 이용한다.

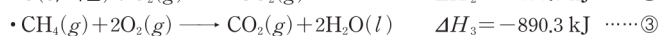
개념 체크 J 빈칸을 채우고, ○ 또는 ×로 답하시오. (정답은 교재 말미 해설)

1. $\text{SO}_3(\text{g})$ 의 생성 엔탈피(ΔH)는 -791.4 kJ/mol 이다. ()
2. $\text{S}(\text{s, 사방황})$ 이 연소하여 $\text{SO}_2(\text{g})$ 이 될 때 열에너지를 _____ 한다.
3. 화학 반응에서 반응물의 생성 엔탈피와 _____ 를 알면 반응 엔탈피를 구할 수 있다.

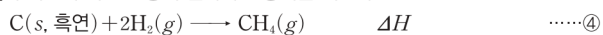
과학 돋보기

헤스 법칙의 이용

다음의 열화학 반응식을 이용하여 메테인(CH_4)의 생성 엔탈피(ΔH)를 구해 보자.



[1단계] 구하고자 하는 반응의 열화학 반응식을 적는다.



[2단계] 구하고자 하는 화학 반응식에 있는 물질의 계수와 주어진 열화학 반응식의 계수를 맞춘다.

- ④에서 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 계수는 1 $\Rightarrow$ ②에서 $\text{C}(s, \text{흑연})$ 의 계수는 1이고 반응식에서 같은 쪽에 있으므로 ② $\times$ 1
- ④에서 $\text{H}_2(g)$ 의 계수는 2 $\Rightarrow$ ①에서 $\text{H}_2(g)$ 의 계수는 1이고 반응식에서 같은 쪽에 있으므로 ① $\times$ 2
- ④에서 $\text{CH}_4(g)$ 의 계수는 1 $\Rightarrow$ ③에서 $\text{CH}_4(g)$ 의 계수는 1이지만 반응식에서 반대쪽에 있으므로 ③ $\times (-1)$

[3단계] 주어진거나 변형한 열화학 반응식을 모두 더하여 반응 엔탈피를 구한다.

$\text{CH}_4(g)$ 이 생성되는 반응의 화학 반응식 = ① $\times$ 2 + ② $\times$ 1 + ③ $\times (-1)$

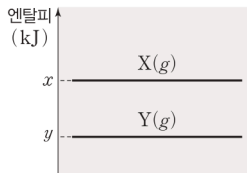
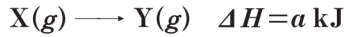
$$\begin{aligned} \text{CH}_4(g) \text{의 생성 엔탈피 } \Delta H &= 2 \times \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3 \\ &= (2 \times (-285.8) + (-393.5) - (-890.3)) \text{ kJ/mol} \\ &= -74.8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

과학 돋보기 — 헤스 법칙의 이용

Part 2 · 기본문제

12문항 · 정답과 해설은 Part 4.

01 다음은 25°C, 1 atm에서 X(g)로부터 Y(g)가 생성되는 반응의 열화학 반응식이고, 그림은 25°C, 1 atm에서 X(g) 1 mol과 Y(g) 1 mol의 엔탈피를 나타낸 것이다.



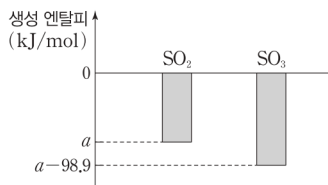
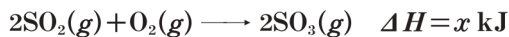
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 이 반응은 흡열 반응이다.
- ㄴ. $a < 0$ 이다.
- ㄷ. 25°C, 1 atm에서 반응 $2X(g) \longrightarrow 2Y(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $(2x - 2y)$ kJ이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

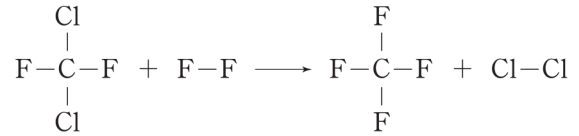
02 다음은 25°C, 1 atm에서 SO₃(g)과 관련된 반응의 열화학 반응식과 2가지 물질의 생성 엔탈피에 대한 자료이다.



이 자료로부터 구한 x는? (단, 25°C, 1 atm에서 O₂(g)의 생성 엔탈피는 0이다.)

- ① -197.8 ② -98.9 ③ 98.9
④ 197.8 ⑤ 296.7

03 다음은 25°C, 1 atm에서 CCl₂F₂(g)과 F₂(g)이 반응하여 CF₄(g)과 Cl₂(g)가 생성되는 반응을 구조식으로 나타낸 열화학 반응식과 4가지 결합의 결합 에너지이다.



$$\Delta H = x \text{ kJ}$$

결합	C-F	C-Cl	F-F	Cl-Cl
결합 에너지 (kJ/mol)	a	b	c	d

이 자료로부터 구한 x는?

- ① $-2a + 2b$ ② $2a - 2b$
③ $-2a + 2b - c + d$ ④ $-2a + 2b + c - d$
⑤ $2a - 2b - c + d$

04 다음은 25°C, 1 atm에서 3가지 열화학 반응식이다.

- $\text{CH}_4(g) + \text{Cl}_2(g) \longrightarrow \text{CH}_3\text{Cl}(g) + \text{HCl}(g)$
 $\Delta H = -98 \text{ kJ}$
- $\text{CH}_3\text{Cl}(g) + \text{Cl}_2(g) \longrightarrow \text{CH}_2\text{Cl}_2(g) + \text{HCl}(g)$
 $\Delta H = x \text{ kJ}$
- $\text{CH}_4(g) + 2\text{Cl}_2(g) \longrightarrow \text{CH}_2\text{Cl}_2(g) + 2\text{HCl}(g)$
 $\Delta H = -202 \text{ kJ}$

이 자료로부터 구한 x는?

- ① -300 ② -104 ③ -3 ④ 104 ⑤ 300

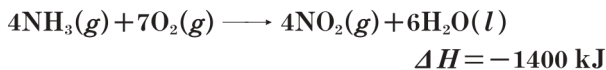
05 다음은 25°C, 1 atm에서 4가지 열화학 반응식이다.

- $\text{CH}_4(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CH}_2\text{O}(g) + \text{H}_2\text{O}(g)$ $\Delta H = a \text{ kJ}$
- $\text{CH}_4(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$ $\Delta H = b \text{ kJ}$
- (가) $\Delta H = c \text{ kJ}$
- $\text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$ $\Delta H = \frac{a-b+c}{2} \text{ kJ}$

(가)에 들어갈 화학 반응식으로 가장 적절한 것은?

- ① $\text{CH}_2\text{O}(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(g)$
- ② $\text{CH}_2\text{O}(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(l)$
- ③ $2\text{CH}_2\text{O}(g) + 2\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$
- ④ $\text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow \text{CH}_2\text{O}(g) + \text{O}_2(g)$
- ⑤ $2\text{CO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g) \longrightarrow 2\text{CH}_2\text{O}(g) + 2\text{O}_2(g)$

06 다음은 25°C, 1 atm에서 $\text{NO}_2(g)$ 와 관련된 반응의 열화학 반응식과 4가지 물질의 생성 엔탈피에 대한 자료이다.

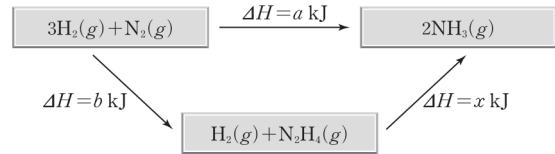


물질	$\text{NH}_3(g)$	$\text{O}_2(g)$	$\text{NO}_2(g)$	$\text{H}_2\text{O}(l)$
생성 엔탈피 (kJ/mol)	a	0	x	b

이 자료로부터 구한 x 는?

- ① $\frac{2a-3b-700}{2}$
- ② $\frac{2a-3b+700}{2}$
- ③ $4a-6b-1400$
- ④ $4a+6b-1400$
- ⑤ $4a-6b+1400$

07 그림은 25°C, 1 atm에서 3가지 반응의 반응 엔탈피 (ΔH)를 나타낸 것이다.



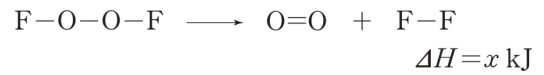
25°C, 1 atm에서 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 (보기)에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C, 1 atm에서 $\text{H}_2(g)$, $\text{N}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 0이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\text{NH}_3(g)$ 의 생성 엔탈피는 $a \text{ kJ/mol}$ 이다.
- ㄴ. $\text{N}_2\text{H}_4(g)$ 의 생성 엔탈피는 $b \text{ kJ/mol}$ 이다.
- ㄷ. $x = a - b$ 이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄷ
- ⑤ ㄴ, ㄷ

08 다음은 25°C, 1 atm에서 $\text{O}_2\text{F}_2(g)$ 가 $\text{O}_2(g)$ 와 $\text{F}_2(g)$ 으로 분해되는 반응을 구조식으로 나타낸 열화학 반응식과 4가지 결합의 결합 에너지이다.

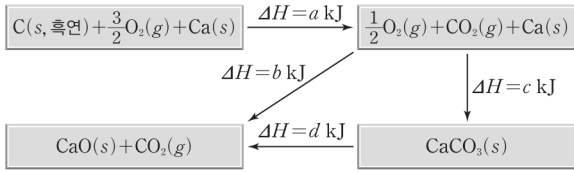


결합	O—O	O=O	O—F	F—F
결합 에너지 (kJ/mol)	180	498	a	159

이 자료로부터 구한 x 는?

- ① $-2a-837$
- ② $-2a+477$
- ③ $a-477$
- ④ $2a-477$
- ⑤ $2a+837$

09 그림은 25°C, 1 atm에서 4가지 반응의 반응 엔탈피 (ΔH)를 나타낸 것이다.



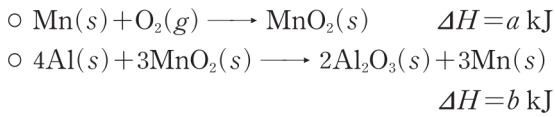
25°C, 1 atm에서 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C, 1 atm에서 C(s, 흑연), O₂(g), Ca(s)의 생성 엔탈피는 0이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $b = c + d$ 이다.
- ㄴ. CaO(s)의 생성 엔탈피는 b kJ/mol이다.
- ㄷ. CaCO₃(s)의 생성 엔탈피는 $(a + b - d)$ kJ/mol이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

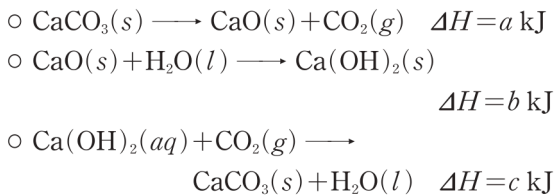
10 다음은 25°C, 1 atm에서 MnO₂(s)와 관련된 2가지 반응의 열화학 반응식이다.



이 자료로부터 구한 25°C, 1 atm에서 Al₂O₃(s)의 생성 엔탈피(kJ/mol)는? (단, 25°C, 1 atm에서 O₂(g), Al(s)의 생성 엔탈피는 0이다.)

- ① $\frac{a+b}{2}$ ② $\frac{3a+b}{2}$ ③ $\frac{3a+2b}{2}$
 ④ $a+b$ ⑤ $3a+b$

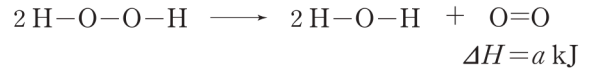
11 다음은 25°C, 1 atm에서 3가지 열화학 반응식이다. Ca(OH)₂의 화학식량은 74이고, $a + b + c > 0$ 이다.



25°C, 1 atm에서 Ca(OH)₂(s) 37 g이 모두 물에 녹아 Ca(OH)₂(aq)이 생성될 때 방출하는 열(kJ)은?

- ① $-\frac{a+b+c}{2}$ ② $\frac{a+b+c}{2}$ ③ $\frac{a+b-c}{2}$
 ④ $-a-b-c$ ⑤ $a+b+c$

12 다음은 $t^\circ\text{C}$, 1 atm에서 H₂O₂(g)가 H₂O(g)와 O₂(g)로 분해되는 반응을 구조식으로 나타낸 열화학 반응식과 3가지 결합의 결합 에너지이다.



결합	H—O	O—O	O=O
결합 에너지(kJ/mol)	b	c	x

이 자료로부터 구한 x 는?

- ① $a - 2c$ ② $-a + c$ ③ $-a + 2c$
 ④ $-a + 2b + 2c$ ⑤ $-a + 4b + 2c$

Part 3 · 심화문제

12문항 · 정답과 해설은 Part 4. 각 문항의 접근 Point는 해설에 수록.

01 다음은 25°C , 1 atm 에서 3가지 열화학 반응식이다. C_3H_4 와 C_3H_8 의 분자량은 각각 40, 44이다.

- $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -571.6\text{ kJ}$
- $\text{C}_3\text{H}_4(\text{g}) + 4\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 3\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -1937\text{ kJ}$
- $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 3\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -2220\text{ kJ}$

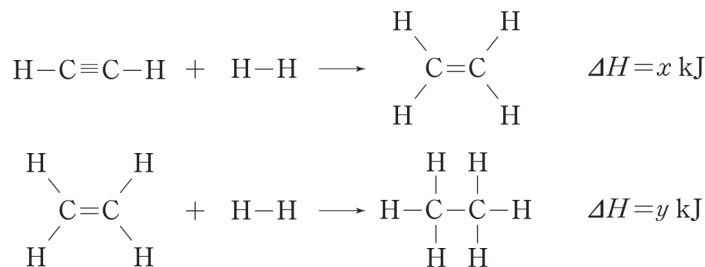
25°C , 1 atm 에서 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C , 1 atm 에서 $\text{H}_2(\text{g})$ 와 $\text{O}_2(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 0이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 의 생성 엔탈피는 -571.6 kJ/mol 이다.
- ㄴ. 1 g 이 완전 연소하여 $\text{CO}_2(\text{g})$ 와 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 이 생성될 때 방출하는 열은 $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ 이 $\text{C}_3\text{H}_4(\text{g})$ 보다 크다.
- ㄷ. $\text{C}_3\text{H}_4(\text{g})$ 이 $\text{H}_2(\text{g})$ 와 반응하여 $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ 22 g 이 생성될 때의 반응 엔탈피(ΔH)는 -144.3 kJ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

02 다음은 25°C , 1 atm 에서 2가지 반응을 구조식으로 나타낸 열화학 반응식과 5가지 결합의 결합 에너지이다.

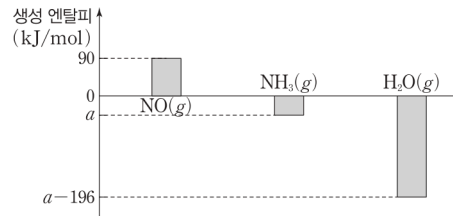
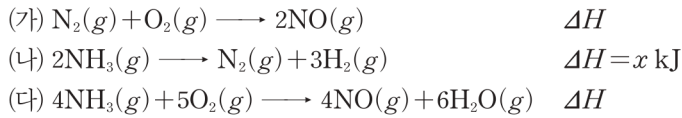


결합	H-H	H-C	C-C	C=C	C≡C
결합 에너지(kJ/mol)	a	b	c	d	e

이 자료로부터 구한 $x+y$ 는? (단, 25°C , 1 atm 에서 반응물과 생성물은 모두 기체이다.)

- ① $a-2b-d+e$ ② $a-2b-c+d$ ③ $2a-4b-c+e$
 ④ $2a-4b-2c+2e$ ⑤ $2a-4b-c-d+e$

03 다음은 25°C , 1 atm 에서 반응 (가)~(다)의 열화학 반응식과 3가지 물질의 생성 엔탈피에 대한 자료이다.



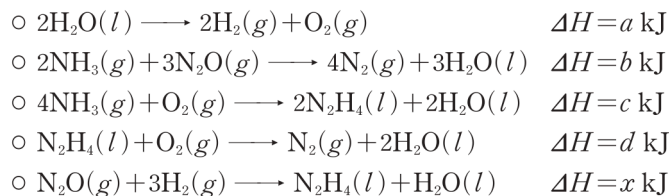
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 25°C , 1 atm 에서 $\text{H}_2(g)$, $\text{N}_2(g)$, $\text{O}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 0이다.)

◀ 보기 ▶

- ㄱ. (가)는 흡열 반응이다.
 ㄴ. 이 자료로부터 구한 $x = -a$ 이다.
 ㄷ. (다)는 발열 반응이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 다음은 25°C , 1 atm 에서 5가지 열화학 반응식이다.



이 자료로부터 구한 x 는?

- ① $\frac{-9a+2b-c-8d}{6}$ ② $\frac{9a-2b-c+8d}{6}$
 ③ $\frac{9a-2b+c+8d}{6}$ ④ $\frac{-4a+b-c-4d}{3}$
 ⑤ $\frac{4a-b+c+4d}{3}$

05 표는 $t^{\circ}\text{C}$, 1 atm에서 분자식이 C_4H_6 인 기체 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

기체	(가)	(나)
구조식	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \diagdown & / \\ & \text{C} = \text{C} & - \text{C} = \text{C} \\ & / & \diagdown \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} & & & & \text{H} \\ & \diagdown & & / & \\ & \text{C} & - & \text{C} \equiv & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{H} \\ & / & & & \diagdown \\ \text{H} & & & & \text{H} \end{array}$
생성 엔탈피(kJ/mol)	a	b

결합 에너지로부터 $a - b$ 를 구하기 위해 반드시 이용해야 할 $t^{\circ}\text{C}$, 1 atm에서의 자료만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. $\text{H}-\text{C}$ 의 결합 에너지
- ㄴ. $\text{C}-\text{C}$ 의 결합 에너지
- ㄷ. $\text{C}=\text{C}$ 의 결합 에너지
- ㄹ. $\text{C}\equiv\text{C}$ 의 결합 에너지

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

06 다음은 25°C , 1 atm에서 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$ 과 관련된 2가지 반응의 열화학 반응식과 2가지 물질의 생성 엔탈피에 대한 자료이다.

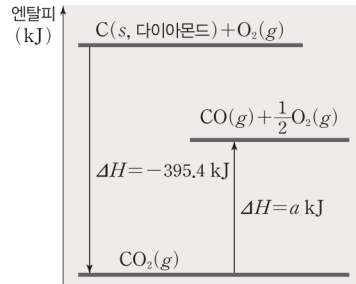
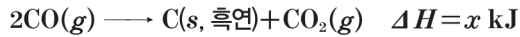
- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) \longrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) + 2\text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -82 \text{ kJ}$
- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) \longrightarrow 6\text{C}(\text{s, 흑연}) + 6\text{H}_2(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = x \text{ kJ}$

물질	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$	$\text{CO}_2(\text{g})$
생성 엔탈피(kJ/mol)	-278	a

이 자료로부터 구한 x 는? (단, 25°C , 1 atm에서 $\text{H}_2(\text{g})$, $\text{C}(\text{s, 흑연})$, $\text{O}_2(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 0이다.)

- ① $-2a + 196$ ② $-2a + 474$ ③ $-a + 196$ ④ $2a + 196$ ⑤ $2a + 474$

07 다음은 25°C, 1 atm에서 C(s, 흑연)과 관련된 반응의 열화학 반응식과 몇 가지 반응의 반응 엔탈피(ΔH)를 나타낸 것이다. 25°C, 1 atm에서 C(s, 흑연), O₂(g), CO₂(g)의 생성 엔탈피는 각각 0, 0, -393.5 kJ/mol이다.



25°C, 1 atm에서 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. C(s, 다이아몬드)의 생성 엔탈피는 1.9 kJ/mol이다.
- ㄴ. C(s, 흑연)과 C(s, 다이아몬드)를 각각 완전 연소시켜 CO₂(g) 1 mol을 생성할 때 방출하는 열은 C(s, 흑연)이 C(s, 다이아몬드)보다 크다.
- ㄷ. $x = -a + 393.5$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 다음은 25°C, 1 atm에서 2가지 열화학 반응식과 2가지 물질의 생성 엔탈피에 대한 자료이다.

- $4\text{HCl}(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l) + 2\text{Cl}_2(g) \quad \Delta H = a \text{ kJ}$
- $2\text{HCl}(g) + \text{F}_2(g) \longrightarrow 2\text{HF}(g) + \text{Cl}_2(g) \quad \Delta H = b \text{ kJ}$

물질	HF(g)	H ₂ O(l)
생성 엔탈피(kJ/mol)	x	y

이 자료로부터 구한 $2x - y$ 는? (단, 25°C, 1 atm에서 H₂(g), O₂(g), F₂(g)의 생성 엔탈피는 0이다.)

- ① $-a + b$ ② $-a + 2b$ ③ $-\frac{a}{2} + b$ ④ $\frac{a}{2} - b$ ⑤ $a - b$

09 다음은 25°C, 1 atm에서 NOCl(g)과 관련된 자료와 4가지 결합의 결합 에너지에 대한 자료이다.

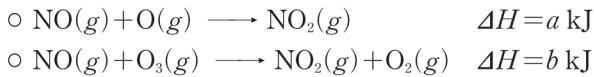
- NOCl의 구조식 : O=N-Cl
- $\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) + \text{Cl}_2(g) \longrightarrow 2\text{NOCl}(g) \quad \Delta H = a \text{ kJ}$
- O(g)의 생성 엔탈피 : $b \text{ kJ/mol}$

결합	N≡N	Cl-Cl	N=O	N-Cl
결합 에너지(kJ/mol)	945	243	c	x

이 자료로부터 구한 x 는? (단, 25°C, 1 atm에서 O₂(g)의 생성 엔탈피는 0이다.)

- ① $-a + b - c + 594$ ② $-a + 2b - c + 1188$ ③ $-\frac{a}{2} + \frac{b}{2} - c + 594$
- ④ $-\frac{a}{2} + b - c + 594$ ⑤ $a - 2b - c + 1188$

10 다음은 25°C, 1 atm에서 2가지 열화학 반응식과 2가지 물질의 생성 엔탈피에 대한 자료이다.



물질	$\text{O}_2(g)$	$\text{O}_3(g)$
생성 엔탈피(kJ/mol)	0	143

25°C, 1 atm에서 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 반응 $2\text{O}_3(g) \longrightarrow 3\text{O}_2(g)$ 은 발열 반응이다.
 ㄴ. 반응 $\text{O}_2(g) + \text{O}(g) \longrightarrow \text{O}_3(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $(-a+b)$ kJ이다.
 ㄷ. 이 자료로부터 구한 $\text{O}=\text{O}$ 의 결합 에너지는 $(-a+b+143)$ kJ/mol이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

11 표는 25°C, 1 atm에서 5가지 결합의 결합 에너지와 4가지 물질의 구조식과 생성 엔탈피에 대한 자료이다.

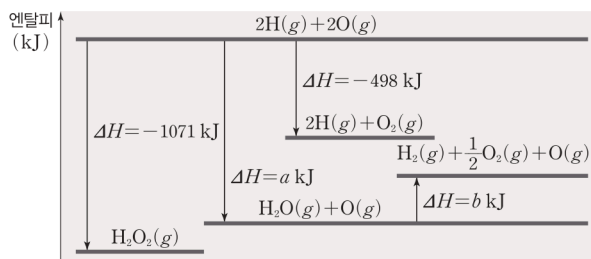
결합	H—C	H—O	C≡C	C=O	O=O
결합 에너지(kJ/mol)	a	b	c	d	e

물질	$\text{O}_2(g)$	$\text{H}_2\text{O}(g)$	$\text{CO}_2(g)$	$\text{C}_2\text{H}_2(g)$
구조식	O=O	H—O—H	O=C=O	H—C≡C—H
생성 엔탈피(kJ/mol)	0	x	y	z

이 자료로부터 구한 $x+2y-z$ 는?

- ① $-4a+4b-2c+8d-5e$ ② $-2a+2b-c+4d-\frac{5}{2}e$
 ③ $a-b+\frac{1}{2}c-2d+\frac{5}{4}e$ ④ $2a-2b+c-4d+\frac{5}{2}e$
 ⑤ $4a-4b+2c-8d+5e$

12 그림은 25°C, 1 atm에서 몇 가지 반응의 반응 엔탈피(ΔH)를 나타낸 것이다.



25°C, 1 atm에서 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

◀ 보기 ▶

- ㄱ. 이 자료로부터 구한 H—H의 결합 에너지는 $(-a-b-249)$ kJ/mol이다.
 ㄴ. 이 자료로부터 구한 O—O의 결합 에너지는 $(a+1071)$ kJ/mol이다.
 ㄷ. 이 자료로부터 구한 $\text{H}_2\text{O}_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 $(-a-b-822)$ kJ/mol이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

Part 4 · 정답과 해설

1 개념 체크 정답

A	1. 생성물, 반응물	2. 크	3. ○
B	1. 낮아	2. 크	3. - 4. 흡열
C	1. (s), (aq)	2. 양(mol)	3. 같고, 반대
D	1. 1	2. 작으	3. 0
E	1. 같	2. 비열	
F	1. 크	2. 흡수, 방출	3. ○
G	1. 반응물, 생성물 5. 생성 엔탈피	2. 작 6. 작	3. 흡수 4. 반응 경로
H	1. ○	2. 크	
I	1. 방출, 높	2. ○	
J	1. ×	2. 방출	3. 생성물의 생성 엔탈피

2 기본문제 해설

정답

01	②	02	①	03	④	04	②	05	①	06	①	07	⑤	08	④
09	⑤	10	②	11	②	12	③								

01 발열 반응

✕. 이 반응은 반응물의 엔탈피가 생성물의 엔탈피보다 크므로 반응이 일어날 때 엔탈피 차에 해당하는 열을 방출하는 발열 반응이다.

㉠. 반응 엔탈피(ΔH)는 생성물의 엔탈피 합에서 반응물의 엔탈피 합을 뺀 값이므로 발열 반응의 $\Delta H < 0$ 이다. 따라서 $a < 0$ 이다.
 ✕. 반응 엔탈피는 물질의 양(mol)에 비례하므로 열화학 반응식에서 반응 계수가 2배가 되면 반응 엔탈피도 2배가 되고, 반응 엔탈피(ΔH)는 (생성물의 엔탈피 합) - (반응물의 엔탈피 합)이다. 따라서 반응 $2X(g) \longrightarrow 2Y(g)$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $(2y - 2x)$ kJ이다.

02 생성 엔탈피

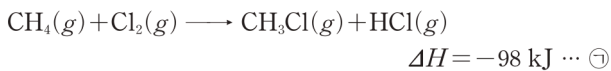
반응 $2SO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 생성 엔탈피 합}) = 2 \times (a - 98.9) \text{ kJ} - 2a \text{ kJ} = -197.8 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = -197.8$ 이다.

03 결합 에너지

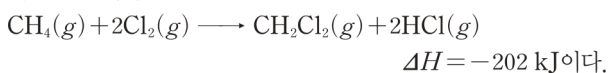
이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 (반응물의 결합 에너지 총합) - (생성물의 결합 에너지 총합) $= (2 \times (C-F \text{ 결합 에너지}) + 2 \times (C-Cl \text{ 결합 에너지}) + (F-F \text{ 결합 에너지})) - (4 \times (C-F \text{ 결합 에너지}) + (Cl-Cl \text{ 결합 에너지})) = (2a + 2b + c - 4a - d) \text{ kJ} = (-2a + 2b + c - d) \text{ kJ} = x \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = -2a + 2b + c - d$ 이다.

04 헤스 법칙

화학 반응이 일어나는 동안 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다. 이를 헤스 법칙이라고 한다.

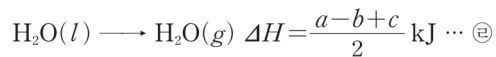
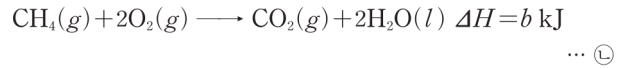
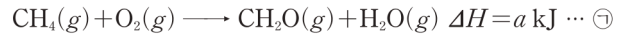


식 ① + ②에서



헤스 법칙에 따라 $-98 + x = -202$ 이므로 $x = -104$ 이다.

05 헤스 법칙



식 ① - ④ + ③ = 2 × ③이므로 식 ③ = -① + ④ + 2 × ③이다. 따라서 (가)는 $CH_2O(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$ 이다.

06 생성 엔탈피

반응 $4NH_3(g) + 7O_2(g) \longrightarrow 4NO_2(g) + 6H_2O(l)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 생성 엔탈피 합}) = 4x \text{ kJ} + 6b \text{ kJ} - 4a \text{ kJ} = -1400 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = \frac{2a-3b-700}{2}$ 이다.

07 헤스 법칙과 생성 엔탈피

화학 반응이 일어나는 동안 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다. 이를 헤스 법칙이라고 한다.

✕. $NH_3(g)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{a}{2}$ kJ/mol이다.

㉠. 반응 $2H_2(g) + N_2(g) \longrightarrow N_2H_4(g)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = b$ kJ이므로, $N_2H_4(g)$ 의 생성 엔탈피는 b kJ/mol이다.

㉡. 헤스 법칙에 따라 $a = b + x$ 이므로 $x = a - b$ 이다.

08 결합 에너지

이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 (반응물의 결합 에너지 총합) - (생성물의 결합 에너지 총합) $= 2 \times (O-F \text{ 결합 에너지}) + (O-O \text{ 결합 에너지}) - (O=O \text{ 결합 에너지}) - (F-F \text{ 결합 에너지}) = (2a + 180 - 498 - 159) \text{ kJ} = (2a - 477) \text{ kJ} = x \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = 2a - 477$ 이다.

09 헤스 법칙과 생성 엔탈피

화학 반응이 일어나는 동안 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다. 이를 헤스 법칙이라고 한다.

㉠. 헤스 법칙에 따라 $b=c+d$ 이다.

㉡. 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{CaO}(s)$ 1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은 $\text{Ca}(s) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CaO}(s)$ $\Delta H = b \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $\text{CaO}(s)$ 의 생성 엔탈피는 $b \text{ kJ/mol}$ 이다.

㉢. 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{CaCO}_3(s)$ 1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은 $\text{C}(s, \text{흑연}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(g) + \text{Ca}(s) \longrightarrow \text{CaCO}_3(s)$ $\Delta H = (a+c) \text{ kJ}$ 이다. $b=c+d$ 이므로 $a+c=a+b-d$ 이다. 따라서 $\text{CaCO}_3(s)$ 의 생성 엔탈피는 $(a+b-d) \text{ kJ/mol}$ 이다.

10 생성 엔탈피

$\text{Mn}(s) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{MnO}_2(s)$ $\Delta H = a \text{ kJ} \cdots \text{㉠}$

$4\text{Al}(s) + 3\text{MnO}_2(s) \longrightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3(s) + 3\text{Mn}(s)$

$\Delta H = b \text{ kJ} \cdots \text{㉡}$

식 $3 \times \text{㉠} + \text{㉡}$ 에서 $4\text{Al}(s) + 3\text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3(s)$ $\Delta H = (3a+b) \text{ kJ}$ 이다. 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{Al}_2\text{O}_3(s)$

1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은 $2\text{Al}(s) + \frac{3}{2}\text{O}_2(g) \longrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3(s)$ $\Delta H = \left(\frac{3a+b}{2}\right) \text{ kJ}$ 이다. 따라서 25°C , 1 atm

에서 $\text{Al}_2\text{O}_3(s)$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{3a+b}{2} \text{ kJ/mol}$ 이다.

11 헤스 법칙

$\text{CaCO}_3(s) \longrightarrow \text{CaO}(s) + \text{CO}_2(g)$ $\Delta H = a \text{ kJ} \cdots \text{㉠}$

$\text{CaO}(s) + \text{H}_2\text{O}(l) \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2(s)$ $\Delta H = b \text{ kJ} \cdots \text{㉡}$

$\text{Ca(OH)}_2(aq) + \text{CO}_2(g) \longrightarrow \text{CaCO}_3(s) + \text{H}_2\text{O}(l)$

$\Delta H = c \text{ kJ} \cdots \text{㉢}$

식 $-\text{㉠} - \text{㉡} - \text{㉢}$ 에서

$\text{Ca(OH)}_2(s) \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2(aq)$ $\Delta H = -(a+b+c) \text{ kJ}$

이다. $-(a+b+c) < 0$ 이므로 이 반응은 발열 반응이고, $\text{Ca(OH)}_2(s)$ 1 mol이 용해될 때 방출하는 열은 $(a+b+c) \text{ kJ}$ 이

고, $\frac{37 \text{ g}}{74 \text{ g/mol}} = \frac{1}{2} \text{ mol}$ 이 용해될 때 방출하는 열은 $\frac{a+b+c}{2} \text{ kJ}$ 이다.

12 결합 에너지

이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 (반응물의 결합 에너지 총합) - (생성물의 결합 에너지 총합) $= 4 \times (\text{H}-\text{O} \text{ 결합 에너지}) + 2 \times (\text{O}-\text{O} \text{ 결합 에너지}) - 4 \times (\text{H}-\text{O} \text{ 결합 에너지}) - (\text{O}=\text{O} \text{ 결합 에너지}) = (4b+2c-4b-x) \text{ kJ} = (2c-x) \text{ kJ} = a \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = -a+2c$ 이다.

3 심화문제 해설

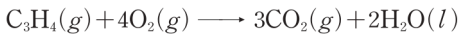
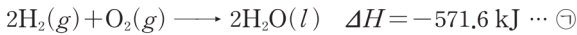
정답

01	⑤	02	③	03	③	04	①	05	④	06	②	07	①	08	③
09	④	10	①	11	④	12	⑤								

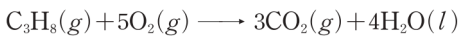
심화 01번

접근 Point $\text{C}_3\text{H}_4(\text{g})$ 1 g이 완전 연소하여 $\text{CO}_2(\text{g})$ 와 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 이 생성될 때 방출하는 열은 $\frac{1937}{40}$ kJ이다.

01 생성 엔탈피와 헤스 법칙



$$\Delta H = -1937 \text{ kJ} \cdots \text{㉡}$$



$$\Delta H = -2220 \text{ kJ} \cdots \text{㉢}$$

✕. $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 의 생성 엔탈피는 $\frac{-571.6}{2} \text{ kJ/mol} = -285.8 \text{ kJ/mol}$ 이다.

㉠. 1 g이 완전 연소하여 $\text{CO}_2(\text{g})$ 와 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 이 생성될 때 방출하는 열은 $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ 이 $\frac{2220}{44}$ kJ이고, $\text{C}_3\text{H}_4(\text{g})$ 이 $\frac{1937}{40}$ kJ이다.

$\frac{2220}{44} > \frac{1937}{40}$ 이므로 1 g이 완전 연소하여 $\text{CO}_2(\text{g})$ 와 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 이 생성될 때 방출하는 열은 $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ 이 $\text{C}_3\text{H}_4(\text{g})$ 보다 크다.

㉡. 식 ㉠+㉡-㉢에서 $\text{C}_3\text{H}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$
 $\Delta H = (-571.6 - 1937 - (-2220)) \text{ kJ} = -288.6 \text{ kJ}$ 이다.

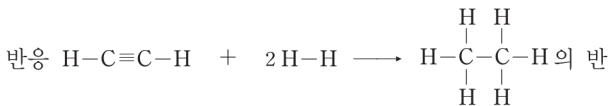
$\text{C}_3\text{H}_4(\text{g})$ 이 $\text{H}_2(\text{g})$ 와 반응하여 $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$ $\frac{22 \text{ g}}{44 \text{ g/mol}} = \frac{1}{2} \text{ mol}$

이 생성될 때의 반응 엔탈피(ΔH)는 $\frac{-288.6}{2} \text{ kJ} = -144.3 \text{ kJ}$ 이다.

심화 02번

접근 Point 반응 $\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H} + 2\text{H}-\text{H} \rightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $(x+y)$ kJ이다.

02 결합 에너지



응 엔탈피(ΔH)는 (반응물의 결합 에너지 총합)-(생성물의 결합 에너지 총합)
 $= 2 \times (\text{H}-\text{H} \text{ 결합 에너지}) + 2 \times (\text{H}-\text{C} \text{ 결합 에너지}) + (\text{C}\equiv\text{C} \text{ 결합 에너지}) - 6 \times (\text{H}-\text{C} \text{ 결합 에너지}) - (\text{C}-\text{C} \text{ 결합 에너지})$
 $= (2a + 2b + e - 6b - c) \text{ kJ} = (2a - 4b - c + e) \text{ kJ} = (x + y) \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x + y = 2a - 4b - c + e$ 이다.

심화 03번

접근 Point (가)는 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{NO}(\text{g})$ 2 mol이 생성되는 반응이다.

03 생성 엔탈피와 발열 반응, 흡열 반응

㉠. (가)는 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{NO}(\text{g})$ 2 mol이 생성되는 반응이므로 $\Delta H = 2 \times 90 \text{ kJ} > 0$ 이다. 따라서 (가)는 흡열 반응이다.

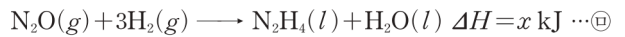
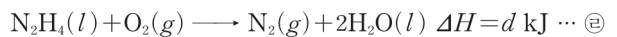
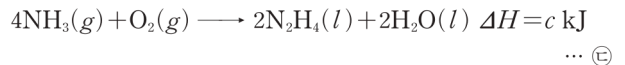
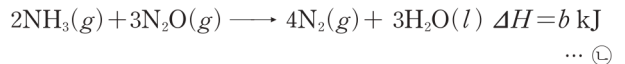
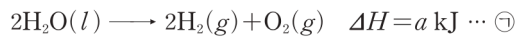
✕. (나)의 반응 엔탈피 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 생성 엔탈피 합}) = -2 \times a \text{ kJ} = x \text{ kJ}$ 이므로 $x = -2a$ 이다.

㉡. (다)의 반응 엔탈피 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 생성 엔탈피 합}) = 4 \times 90 \text{ kJ} + 6 \times (a - 196) \text{ kJ} - 4 \times a \text{ kJ} = (2a - 816) \text{ kJ}$ 이다. $a < 0$ 이므로 $\Delta H < 0$ 으로 (다)는 발열 반응이다.

심화 04번

접근 Point 헤스 법칙에 따라 화학 반응이 일어나는 동안 반응물의 종류와 상태, 생성물의 종류와 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 반응 엔탈피의 총합은 일정하다.

04 헤스 법칙



식 ㉡의 반응물 또는 생성물에는 $\text{N}_2(\text{g})$, $\text{O}_2(\text{g})$, $\text{NH}_3(\text{g})$ 가 없다. 먼저 식 ㉠~㉣을 이용하여 $\text{N}_2(\text{g})$, $\text{NH}_3(\text{g})$ 를 소거시키면 식 ㉡-2×㉠+8×㉢에서 $6\text{N}_2\text{H}_4(\text{l}) + 9\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 6\text{N}_2\text{O}(\text{g}) + 12\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H = (c - 2b + 8d) \text{ kJ} \cdots \text{㉥}$ 이다. 식 ㉠과 ㉥을 이용하여 $\text{O}_2(\text{g})$ 를 소거시키면 식 $-9 \times \text{㉠} - \text{㉥}$ 에서 $6\text{N}_2\text{O}(\text{g}) + 18\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow 6\text{N}_2\text{H}_4(\text{l}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H = (-9a + 2b - c - 8d) \text{ kJ} = 6x \text{ kJ}$ 이다. 따라서

$$x = \frac{-9a + 2b - c - 8d}{6} \text{이다.}$$

심화 05번

접근 Point (가)의 생성 엔탈피 - (나)의 생성 엔탈피 = (나)의 결합 에너지 총합 - (가)의 결합 에너지 총합이다.

05 생성 엔탈피와 결합 에너지

(가)의 생성 엔탈피 - (나)의 생성 엔탈피 = (나)의 결합 에너지 총합 - (가)의 결합 에너지 총합이다. $t^{\circ}\text{C}$, 1 atm에서 H-C 결합 에너지, C-C 결합 에너지, C=C 결합 에너지, C≡C 결합 에너지를 각각 w , x , y , z 라고 할 때 $a-b=(6\times w+2\times x+z)-(6\times w+x+2\times y)=x-2y+z$ 이다. 따라서 결합 에너지로부터 $a-b$ 를 구하기 위해 반드시 이용해야 할 자료는 $t^{\circ}\text{C}$, 1 atm에서 C-C 결합 에너지, C=C 결합 에너지, C≡C 결합 에너지이다.

심화 06번

접근 Point $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$ 1 mol이 가장 안정한 성분 원소인 $\text{H}_2(\text{g})$, $\text{C}(\text{s}, \text{흑연})$, $\text{O}_2(\text{g})$ 로 분해될 때의 반응 엔탈피가 x kJ이므로 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$ 의 생성 엔탈피는 $-x$ kJ/mol이다.

06 생성 엔탈피

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$ 1 mol이 가장 안정한 성분 원소인 $\text{H}_2(\text{g})$, $\text{C}(\text{s}, \text{흑연})$, $\text{O}_2(\text{g})$ 로 분해될 때의 반응 엔탈피가 x kJ이므로 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$ 의 생성 엔탈피는 $-x$ kJ/mol이다. 반응 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) \longrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) + 2\text{CO}_2(\text{g})$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 생성 엔탈피 합}) = 2 \times (-278) \text{ kJ} + 2 \times a \text{ kJ} - (-x) \text{ kJ} = -82 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = -2a + 474$ 이다.

심화 07번

접근 Point $\text{CO}_2(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 -393.5 kJ/mol이므로 $\text{C}(\text{s}, \text{흑연}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$ $\Delta H = -393.5$ kJ이다.

07 헤스 법칙과 생성 엔탈피

$\text{C}(\text{s}, \text{다이아몬드}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g})$ $\Delta H = -395.4 \text{ kJ}$... ㉠

$\text{CO}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$ $\Delta H = a \text{ kJ}$... ㉡

$\text{CO}_2(\text{g})$ 의 생성 엔탈피는 -393.5 kJ/mol이므로

$\text{C}(\text{s}, \text{흑연}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g})$ $\Delta H = -393.5 \text{ kJ}$... ㉢이다.

㉠, ㉢ 식 ㉢ - ㉠에서 $\text{C}(\text{s}, \text{흑연}) \longrightarrow \text{C}(\text{s}, \text{다이아몬드})$ $\Delta H = (-393.5 - (-395.4)) \text{ kJ} = 1.9 \text{ kJ}$ 이므로 $\text{C}(\text{s}, \text{다이아몬드})$ 의 생성 엔탈피는 1.9 kJ/mol이다.

✕. 식 ㉠과 ㉢을 비교하면 $\text{C}(\text{s}, \text{흑연})$ 과 $\text{C}(\text{s}, \text{다이아몬드})$ 를 각각 완전 연소시켜 $\text{CO}_2(\text{g})$ 1 mol을 생성할 때 방출하는 열은 $\text{C}(\text{s}, \text{흑연})$ 이 $\text{C}(\text{s}, \text{다이아몬드})$ 보다 $395.4 \text{ kJ} - 393.5 \text{ kJ} = 1.9 \text{ kJ}$ 만큼 작다.

✕. 식 $-2 \times \text{㉡} - \text{㉢}$ 에서 $2\text{CO}(\text{g}) \longrightarrow \text{C}(\text{s}, \text{흑연}) + \text{CO}_2(\text{g})$ $\Delta H = (-2 \times a - (-393.5)) \text{ kJ} = x \text{ kJ}$ 이므로 $x = -2a + 393.5$ 이다.

심화 08번

접근 Point 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{HF}(\text{g})$ 1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은 $\frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{F}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HF}(\text{g})$ $\Delta H = x$ kJ이다.

08 생성 엔탈피

가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{HF}(\text{g})$ 1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은

$\frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{F}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{HF}(\text{g})$ $\Delta H = x \text{ kJ}$... ㉠

이고, 가장 안정한 성분 원소로부터 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은

$\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ $\Delta H = y \text{ kJ}$... ㉡

이다. 식 $2 \times \text{㉠} - \text{㉡}$ 에서

$\text{F}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow 2\text{HF}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$ $\Delta H = (2x - y) \text{ kJ}$

이다.

$4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{Cl}_2(\text{g})$ $\Delta H = a \text{ kJ}$... ㉢

$2\text{HCl}(\text{g}) + \text{F}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{HF}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$ $\Delta H = b \text{ kJ}$... ㉣

식 ㉢ - $\frac{1}{2} \times \text{㉡}$ 에서 $\text{F}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow 2\text{HF}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$

$\Delta H = \left(-\frac{a}{2} + b\right) \text{ kJ} = (2x - y) \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $2x - y$

$= -\frac{a}{2} + b$ 이다.

심화 09번

접근 Point $\text{O}(\text{g})$ 의 생성 엔탈피가 b kJ/mol이므로 반응 $\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{O}(\text{g})$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $2b$ kJ이다.

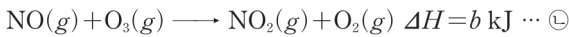
09 결합 에너지

$\text{O}(\text{g})$ 의 생성 엔탈피가 b kJ/mol이므로 반응 $\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{O}(\text{g})$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 $2b$ kJ이고, $\text{O}=\text{O}$ 결합 에너지는 $2b$ kJ/mol이다. 반응 $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NOCl}(\text{g})$ 의 반응 엔탈피(ΔH)는 (반응물의 결합 에너지 총합) - (생성물의 결합 에너지 총합) = $(\text{N}\equiv\text{N}$ 결합 에너지) + $(\text{O}=\text{O}$ 결합 에너지) + $(\text{Cl}-\text{Cl}$ 결합 에너지) - $2 \times (\text{N}=\text{O}$ 결합 에너지) - $2 \times (\text{N}-\text{Cl}$ 결합 에너지) = $(945 + 2b + 243 - 2c - 2x) \text{ kJ} = a \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x = -\frac{a}{2} + b - c + 594$ 이다.

심화 10번

접근 Point 가장 안정한 성분 원소인 $O_2(g)$ 로부터 $O_3(g)$ 1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은 $\frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow O_3(g)$ $\Delta H = 143 \text{ kJ}$ 이다.

10 생성 엔탈피와 결합 에너지



㉠. 가장 안정한 성분 원소인 $O_2(g)$ 로부터 $O_3(g)$ 1 mol이 생성되는 반응의 열화학 반응식은 $\frac{3}{2}O_2(g) \longrightarrow O_3(g)$ $\Delta H = 143 \text{ kJ}$ 이다. 따라서 반응 $2O_3(g) \longrightarrow 3O_2(g)$ 은 반응 엔탈피가 $\Delta H = -2 \times 143 \text{ kJ} < 0$ 이므로 발열 반응이다.

㉡. 식 ㉠-㉡에서 $O_2(g) + O(g) \longrightarrow O_3(g)$ $\Delta H = (a-b) \text{ kJ}$ 이다.

㉢. $O(g)$ 의 생성 엔탈피를 $x \text{ kJ/mol}$ 이라고 할 때, 반응 $O_2(g) + O(g) \longrightarrow O_3(g)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = (\text{생성물의 생성 엔탈피 합}) - (\text{반응물의 생성 엔탈피 합}) = (143 - 0 - x) \text{ kJ} = (a-b) \text{ kJ}$ 이므로 $x = -a + b + 143$ 이다. 반응 $O_2(g) \longrightarrow 2O(g)$ 의 반응 엔탈피 $\Delta H = 2x \text{ kJ} = 2 \times (-a + b + 143) \text{ kJ}$ 이므로 $O=O$ 의 결합 에너지는 $(-2a + 2b + 286) \text{ kJ/mol}$ 이다.

심화 11번

접근 Point 반응 엔탈피(ΔH)가 $(x + 2y - z) \text{ kJ}$ 인 반응은 $C_2H_2(g) + \frac{5}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(g) + 2CO_2(g)$ 이다.

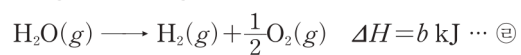
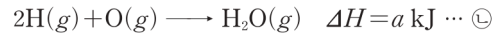
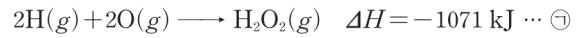
11 결합 에너지와 생성 엔탈피

반응 엔탈피(ΔH)가 $(x + 2y - z) \text{ kJ}$ 인 반응은 $C_2H_2(g) + \frac{5}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(g) + 2CO_2(g)$ 이다. 결합 에너지를 이용하여 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)를 구하면 $\Delta H = (\text{반응물의 결합 에너지 총합}) - (\text{생성물의 결합 에너지 총합}) = 2 \times (\text{H}-\text{C 결합 에너지}) + (\text{C}\equiv\text{C 결합 에너지}) + \frac{5}{2} \times (\text{O}=\text{O 결합 에너지}) - 2 \times (\text{H}-\text{O 결합 에너지}) - 4 \times (\text{C}=\text{O 결합 에너지}) = (2a - 2b + c - 4d + \frac{5}{2}e) \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $x + 2y - z = 2a - 2b + c - 4d + \frac{5}{2}e$ 이다.

심화 12번

접근 Point H_2O_2 의 구조식은 $H-O-O-H$ 이고, H_2O 의 구조식은 $H-O-H$ 이다.

12 결합 에너지와 생성 엔탈피



㉠. 식 ㉠+ $\frac{1}{2}$ ㉢-㉣에서 $H_2(g) \longrightarrow 2H(g)$ $\Delta H = (-a - 249 - b) \text{ kJ}$ 이다. 따라서 $H-H$ 의 결합 에너지는 $(-a - b - 249) \text{ kJ/mol}$ 이다.

㉡. H_2O_2 의 구조식은 $H-O-O-H$ 이다. 식 ㉠에서 $H_2O_2(g)$ 의 $2 \times (\text{H}-\text{O 결합 에너지}) + (\text{O}-\text{O 결합 에너지}) = 1071 \text{ kJ/mol}$ 이다. H_2O 의 구조식은 $H-O-H$ 이다. 식 ㉡에서 $H_2O(g)$ 의 $2 \times (\text{H}-\text{O 결합 에너지}) = -a \text{ kJ/mol}$ 이다. 따라서 $O-O$ 의 결합 에너지는 $(a + 1071) \text{ kJ/mol}$ 이다.

㉢. 가장 안정한 성분 원소로부터 $H_2O_2(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식은 $H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow H_2O_2(g)$ 이다. 이 반응의 반응 엔탈피(ΔH)인 $H_2O_2(g)$ 의 생성 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 총합) - (생성물의 결합 에너지 총합) = $(\text{H}-\text{H 결합 에너지}) + (\text{O}=\text{O 결합 에너지}) - 2 \times (\text{H}-\text{O 결합 에너지}) - (\text{O}-\text{O 결합 에너지}) = (-a - b - 249 + 498 - 1071) \text{ kJ/mol} = (-a - b - 822) \text{ kJ/mol}$ 이다.