

# 03

## 열역학 제1법칙

**학습 목표** 계에 가해진 열이 계의 내부 에너지를 변화시키거나 외부에 일을 할 수 있다는 것을 이해하고, 일상생활 속에서 해당하는 예를 찾을 수 있다.

가열하면 물이 밀려 올라가면서 커피 가루를 통과해 커피를 추출해 내는 도구가 있다. 물을 밀어 올리는 일을 하는 에너지는 어디서 온 것일까?



### 열역학 제1법칙

기체의 온도, 압력, 부피 사이에는 일정한 관계가 있다. 기체에 열을 가하면 어떤 변화가 있는지 다음 활동을 하면서 알아보자.

실험 영상



### 해보기

#### 플라스크 속 기체에 열을 가할 때의 변화 관찰하기

**준비물**

- 둥근바닥 플라스크
- 마개
- 7자 유리관
- 실리콘 관
- 비커
- 물

1. 실리콘 관이 연결된 마개를 둥근바닥 플라스크에 끼운다.
2. 실리콘 관의 끝이 비커 속의 물에 잠기게 하고, 두 손으로 둥근바닥 플라스크를 감싸 권 상태로 물속에 잠긴 관 끝부분에서 일어나는 현상을 관찰한다.

**안전** 유리 기구가 깨지지 않게 주의한다.



- 2에서 둥근바닥 플라스크 속 공기의 온도가 어떻게 변하는지 추론해 보자.
- 2에서 관찰한 결과로 알 수 있는 사실을 설명해 보자.

그림 II-13의 (가)와 같이 둥근바닥 플라스크를 손으로 감싸 플라스크 속 기체에 열을 가하면, 그림 (나)처럼 공기 방울이 밀려 나오는 것을 볼 수 있다. 이는 플라스크 속 기체가 흡수한 열에너지의 일부로 인하여 기체의 온도가 높아지면서 기체의 부피가 늘어나기 때문이다. 기체의 부피가 늘어나면서 관 끝에서 공기 방울을 밀어내는 일을 하게 된다.

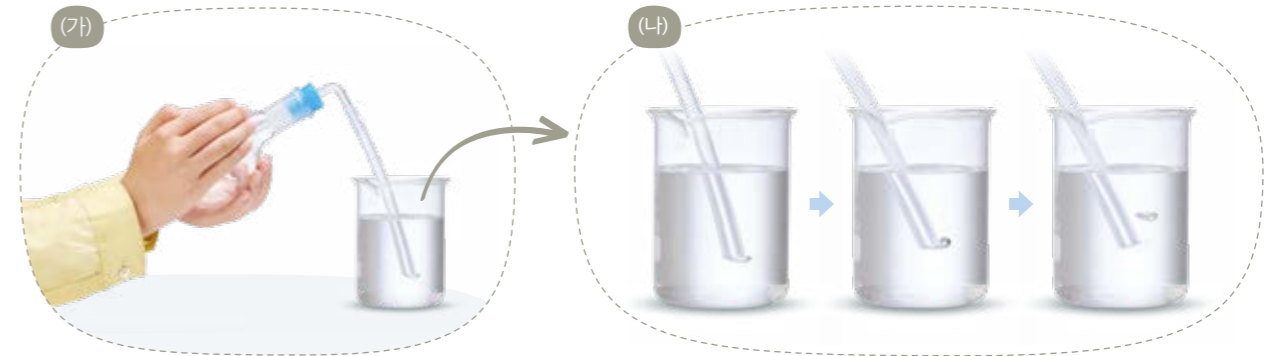


그림 II-13 열을 가하는 동안 공기 방울이 밀려 나오는 모습

기체 분자는 끊임없이 운동하고 있으므로 운동 에너지를 가지며, 분자들 사이의 상호작용으로 위치 에너지도 가진다. 이때 기체 분자들이 가지고 있는 운동 에너지와 위치 에너지의 총합을 기체의 내부 에너지라고 한다.

이상 기체의 경우 위치 에너지를 무시할 수 있으므로 이상 기체만으로 이루어진 닫힌계의 내부 에너지  $U$ 는 기체 분자들의 운동 에너지의 총합과 같다. 온도가 높을수록 기체 분자가 활발히 움직이며 기체 분자 한 개의 평균 운동 에너지  $\bar{E}_k$ 는 절대 온도  $T$ 에 비례한다.

$$\bar{E}_k \propto T \rightarrow U \propto N \times T \quad (N: \text{기체 분자 개수})$$

또 기체가 열을 흡수하면 온도가 올라가면서 팽창하므로 외부에 일을 하게 된다. 즉, 닫힌계 속 기체가 흡수한 열에너지  $Q$ 는 기체의 내부 에너지 변화량  $\Delta U$ 와 기체가 외부에 한 일  $W$ 의 합과 같다. 이것을 열역학 제1법칙이라고 하며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = \Delta U + W$$

\* 닫힌계 외부와 물질은 출입하지 않지만 에너지는 출입하는 계이다.

기체가 한 일의 부호 계가 일을 하면  $W > 0$ , 계가 일을 받으면  $W < 0$ 이다.

#### 스스로 확인

- 1 닫힌계 속 기체의 온도가 높을수록 기체의 내부 에너지가 ( 크다, 작다 ).
- 2 기체가 흡수한 ( )은/는 기체의 온도를 높이거나 기체가 외부에 ( )을/를 하는 데 쓰인다.

### 열역학 과정

기체가 외부와 열이나 일을 주고받으면서 온도나 압력, 부피가 변하는 것을 **열역학 과정**이라고 한다. 열역학 과정에서 열역학 제1법칙은 어떻게 적용되는지 알아보자.

**등압 과정** | 그림 II-14와 같이 단면적이  $A$ 인 피스톤이 자유롭게 움직일 수 있는 실린더 속에 기체를 넣고 압력을 일정하게 유지하면서 열  $Q$ 를 가하면 피스톤이 서서히 움직이면서 외부에 일을 한다. 이와 같이 기체의 압력이 일정하게 유지되는 열역학 과정을 **등압 과정**이라고 한다.

피스톤이  $\Delta L$ 만큼 움직여 기체의 부피가 변하면서 외부에 가한 힘이  $F$ 이면 기체가 외부에 한 일  $W = F\Delta L$ 이다. 이때  $F = PA$ 이고, 기체의 부피 변화량  $\Delta V = A\Delta L$ 이므로 기체가 하는 일을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$W = P\Delta V$$

그림 II-15는 등압 과정을 압력-부피 그래프로 나타낸 것이다. 기체가 한 일은 그래프 아랫부분의 넓이와 같다.

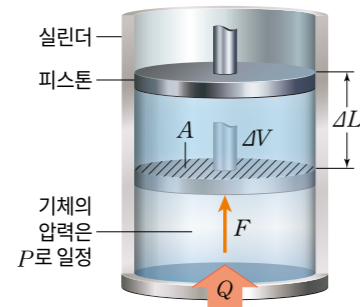


그림 II-14 등압 과정

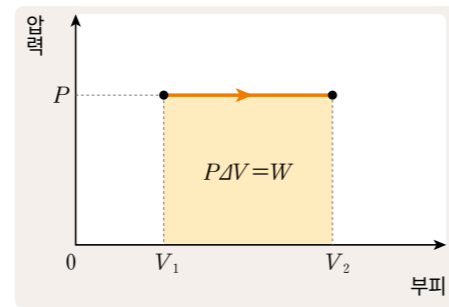


그림 II-15 등압 과정의 압력-부피 그래프

보일·샤를 법칙에서  $\frac{PV}{T}$ 는 일정하므로 부피가 팽창하는 등압 과정에서는 실린더 속 기체의 온도가 높아진다. 따라서 기체의 내부 에너지가 증가한다. 이때 내부 에너지 증가량을  $\Delta U$ 라고 하면 등압 과정에서 열역학 제1법칙은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$Q = \Delta U + W = \Delta U + P\Delta V$$

**등적 과정** | 그림 II-16과 같이 피스톤을 고정해 기체의 부피를 일정하게 유지하면서 실린더 속 기체에 열  $Q$ 를 가하면 기체의 내부 에너지가 증가한다. 이와 같이 기체의 부피가 일정하게 유지되는 열역학 과정을 **등적 과정**이라고 한다.

등적 과정에서 기체의 부피는 변하지 않으므로 기체가 외부에 하는 일  $W=0$ 이고,  $\frac{PV}{T}$ 는 일정하므로 기체의 온도가 높아지면서 압력이 높아진다. 따라서 등적 과정에서 열역학 제1법칙은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$Q = \Delta U$$

등적 과정에서는 기체가 흡수한 열만큼 기체의 내부 에너지가 증가한다. 그림 II-17은 등적 과정을 압력-부피 그래프로 나타낸 것이다.

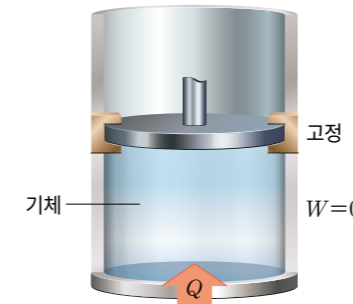


그림 II-16 등적 과정

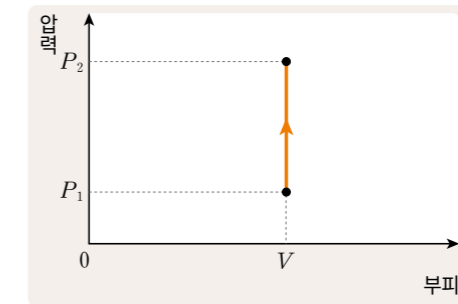


그림 II-17 등적 과정의 압력-부피 그래프

**등온 과정** | 실린더 속 기체의 온도를 일정하게 유지하면서 기체에 열을 서서히 가하면 기체가 팽창하면서 외부에 일을 한다. 이와 같이 기체의 온도가 일정하게 유지되는 열역학 과정을 **등온 과정**이라고 한다.

기체의 온도가 일정하므로 기체의 내부 에너지가 변하지 않고,  $\frac{PV}{T}$ 는 일정하므로 부피가 팽창하면서 압력이 낮아진다. 따라서 등온 과정에서 열역학 제1법칙은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = W$$

등온 과정에서는 기체가 흡수한 열을 모두 외부에 일을 하는 데 사용한다. 그림 II-18은 등온 과정을 압력-부피 그래프로 나타낸 것이다. 기체가 한 일은 그래프 아랫부분의 넓이와 같다.

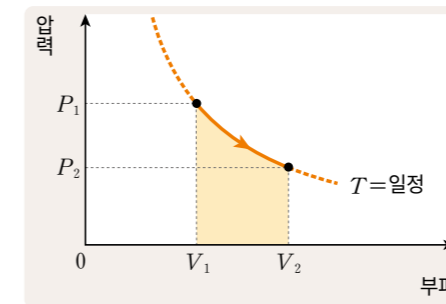


그림 II-18 등온 과정의 압력-부피 그래프



그림 II-19 스쿼시와 스쿼시공

### 열역학 제1법칙과 관련한 현상

우리 주위의 다양한 현상을 열역학 과정으로 설명할 수 있다. 그림 II-19와 같이 스쿼시는 벽에서 되튀어 오는 공을 라켓으로 받아 치는 운동이다. 공이 벽과 라켓에 충돌할 때마다 공 내부의 기체는 충돌이나 마찰에 따른 열의 일부를 흡수하기 때문에 기체의 내부 에너지가 증가하면서 압력이 높아져 공이 점점 팽팽해진다.

그림 II-20의 자동차 타이어에도 열역학 과정이 작용한다. 자동차의 주행 과정에서 지면과의 마찰로 타이어에 열이 가해지는데, 이 열의 일부를 타이어 속 공기가 흡수한다. 이에 따라 타이어 속 공기의 부피와 내부 에너지가 증가하면서 타이어가 점점 팽창하므로, 이를 감안해 타이어에 적정량의 공기를 주입해야 한다.



그림 II-20 적정량의 공기를 채운 타이어

이와 같이 열역학 과정으로 해석할 수 있는 다양한 현상에서 열역학 제1법칙이 항상 성립한다.

각 과정에서 기체에 전달된 열에너지는 기체의 내부 에너지 변화나 기체가 외부에 한 일 등으로 전환될 뿐 에너지의 총량은 변하지 않는다. 즉, 열역학 제1법칙은 에너지 보존 법칙의 다른 표현이다.

#### 스스로 확인

- 1 기체가 흡수한 열이 모두 내부 에너지로 전환되는 열역학 과정은 등적 과정이다. (○, ×)
- 2 어떤 기체에 1000 J의 열을 가했더니 기체의 내부 에너지가 700 J만큼 증가했다. 이 기체가 한 일은 ( ) J이다.

#### 스스로 정리

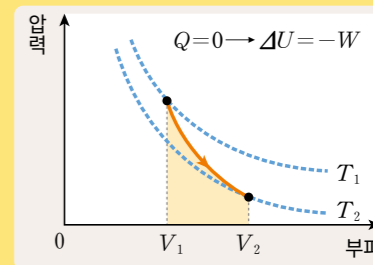
**공유** 열을 가했을 때 나타나는 변화가 어떤 열역학 과정에 해당하는지를 구별하는 알고리즘 순서도를 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.

## 단열 과정과 적란운

적란운은 여름철 세찬 소나기를 내리게 하는 구름이다. 적란운이 만들어지는 과정은 단열 과정으로 설명할 수 있다. 지표면 근처에서 가열된 공기 덩어리가 빠르게 상승하면서 주변과 열을 주고받지 않고 팽창하면 공기의 온도가 낮아진다. 이때 공기에 포함된 수증기가 물방울로 응결해 적란운을 만든다. 적란운은 강한 상승 기류에 의해 수직으로 높게 만들어지는데, 크게 발달한 적란운은 집중 호우의 원인이 되기도 한다.

#### 단열 과정

기체가 열의 출입 없이 외부와 상호작용 하는 열역학 과정을 단열 과정이라고 한다. 단열 과정 중에서 기체의 부피가 팽창하는 것을 단열 팽창이라고 한다. 단열 팽창 할 때 기체는 외부에 일을 하며, 내부 에너지가 감소해 기체의 온도가 낮아진다.



▲ 단열 팽창의 압력-부피 그래프

#### 글쓰기

##### 1. 조사하기

핀 현상이 나타나는 원리를 알아보고, 우리나라에서 일어나는 핀 현상을 조사해 보자.



##### 2. 과학적 글쓰기

봄철에 영서 지방에서 산불을 조심해야 하는 까닭을 단열 과정과 관련지어 열역학적 단계별로 공기의 온도 변화의 관점에서 써 보자.



#### 적란운

적란운은 단열 팽창으로 생기는 구름이다.