

## 샤를의 법칙 (Charles's law)

- 정의: 기체에 열이 가해졌을 때 어떻게 팽창하는지를 설명하는 실험적 법칙.
- 압력이 일정할 때, 일정량의 기체의 부피(V)는 절대온도(T)에 비례.
- 수식:  $\frac{V}{T} = C$  (여기서 C는 상수)
- 상태 1에서 상태 2로 변화할 때:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = C$$

% 샤를의 법칙을 표현하기 위한 변수 설정

C = 0.1; % 상수 C (예: 0.1로 설정)

% 온도(T) 범위 설정

T = linspace(0, 500, 100); % 온도 0 ~ 500K까지 100개의 점으로 설정

% 부피(V) 계산 (샤를의 법칙:  $V = C * T$ )

V = C \* T;

% 그래프 그리기

figure;

plot(T, V, 'r', 'LineWidth', 1.5); % V-T 그래프 (빨간색)

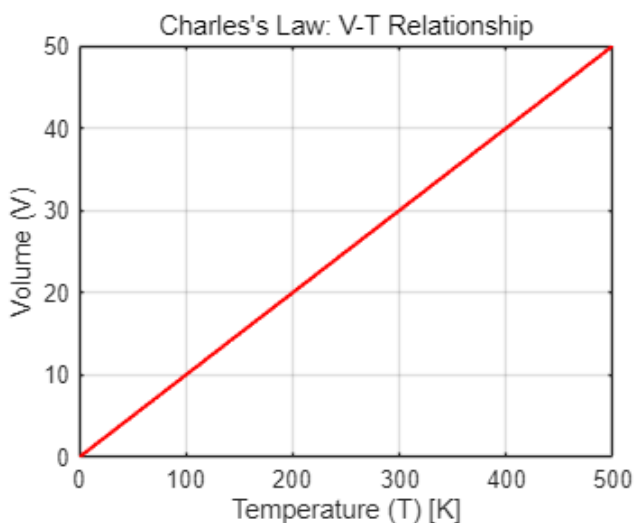
% 그래프 레이블 및 제목 설정

xlabel('Temperature (T) [K]');

ylabel('Volume (V)');

title('Charles's Law: V-T Relationship');

grid on;



- 그래프: 온도(T)와 부피(V) 간의 관계를 나타낸 그래프는 오른쪽 위로 올라가는 직선 형태입니다.

- 온도가 증가하면 부피도 증가하고, 온도가 감소하면 부피도 감소하는 관계입니다.

## 보일의 법칙 (Boyle's law)

- 정의: 온도가 일정할 때, 일정량의 기체의 압력(P)과 부피(V)는 서로 반비례 관계에 있음.
- 수식:  $P \times V = C$  (여기서 C는 상수)
- 상태 1에서 상태 2로 변화할 때:  $P_1 V_1 = P_2 V_2 = C$

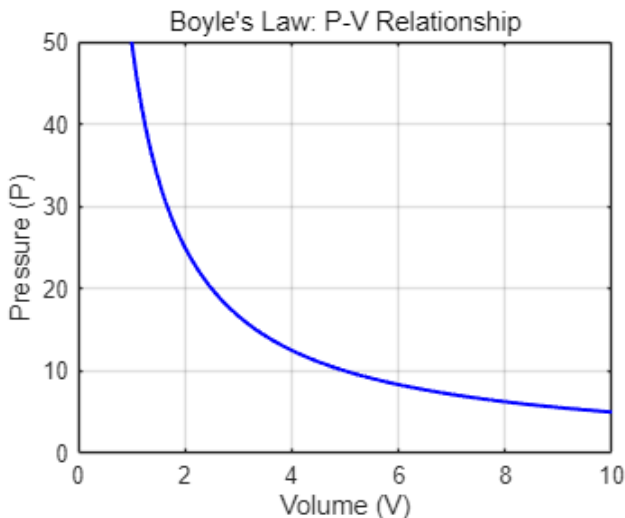
```
% 보일의 법칙을 표현하기 위한 변수 설정
C = 50; % 상수 C (예시로 50 설정)

% 부피(V) 범위 설정
V = linspace(1, 10, 100); % 부피 1 ~ 10까지 100개의 점으로 설정

% 압력(P) 계산 (보일의 법칙: P = C / V)
P = C ./ V;

% 그래프 그리기
figure;
plot(V, P, 'b', 'LineWidth', 1.5); % P-V 그래프 (파란색)

% 그래프 레이블 및 제목 설정
xlabel('Volume (V)');
ylabel('Pressure (P)');
title('Boyle's Law: P-V Relationship');
grid on;
```



- 그래프: 압력(P)과 부피(V) 간의 관계를 나타낸 그래프는 오른쪽으로 내려가는 곡선입니다.
- 압력이 증가하면 부피는 감소하고, 압력이 감소하면 부피는 증가하는 형태를 보입니다.

## 보일-샤를의 법칙 (Combined Gas Law)

- 정의: 압력(P), 부피(V), 온도(T)가 동시에 변화할 때 이상기체의 상태를 설명하는 법칙.
- 일정량의 기체가 차지하는 부피(V)와 압력(P)의 곱은 절대온도(T)에 비례.
- 수식:  $\frac{PV}{T} = C$  (여기서 C는 상수)

### 세부 관계식

- 상태 1에서 상태 2로, 그리고 상태 3으로의 변화에서 이 관계식을 적용할 수 있습니다.
- 상태 1에서 상태 2:  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = C$
- 상태 2에서 상태 3:  $\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} = C$

% 보일-샤를의 법칙을 표현하기 위한 변수 설정

T1 = 300; % 온도 1 (예: 300K)

T2 = 400; % 온도 2 (예: 400K)

T3 = 500; % 온도 3 (예: 500K)

% 부피(V) 범위 설정

V = linspace(1, 10, 100); % 부피 1 ~ 10까지 100개의 점으로 설정

% 상수 C 설정 (일반적으로 임의의 값, 여기서는 10으로 설정)

C = 10;

% 압력(P) 계산 (보일-샤를의 법칙:  $P = C \cdot T / V$ )

P1 = C \* T1 ./ V;

P2 = C \* T2 ./ V;

P3 = C \* T3 ./ V;

% 그래프 그리기

figure;

plot(V, P1, 'r', 'LineWidth', 1.5); % T1일 때 P-V 그래프 (빨간색)

hold on;

plot(V, P2, 'g', 'LineWidth', 1.5); % T2일 때 P-V 그래프 (초록색)

plot(V, P3, 'b', 'LineWidth', 1.5); % T3일 때 P-V 그래프 (파란색)

% 그래프 레이블 및 제목 설정

xlabel('Volume (V)');

ylabel('Pressure (P)');

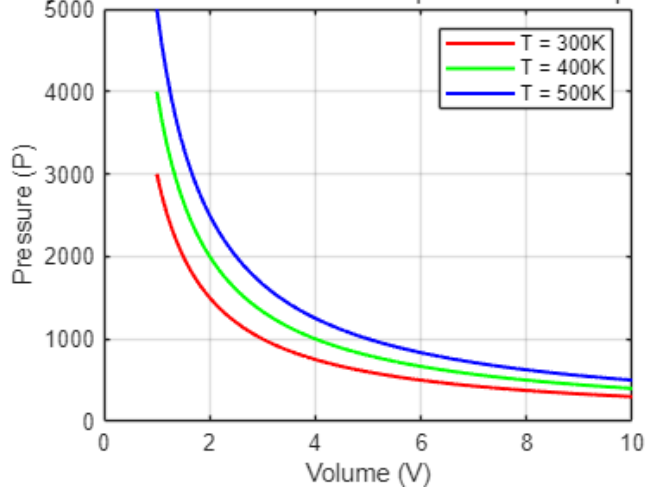
title('Boyle-Charles Law: P-V Relationship at Different Temperatures');

legend('T = 300K', 'T = 400K', 'T = 500K', 'Location', 'northeast');

grid on;

hold off;

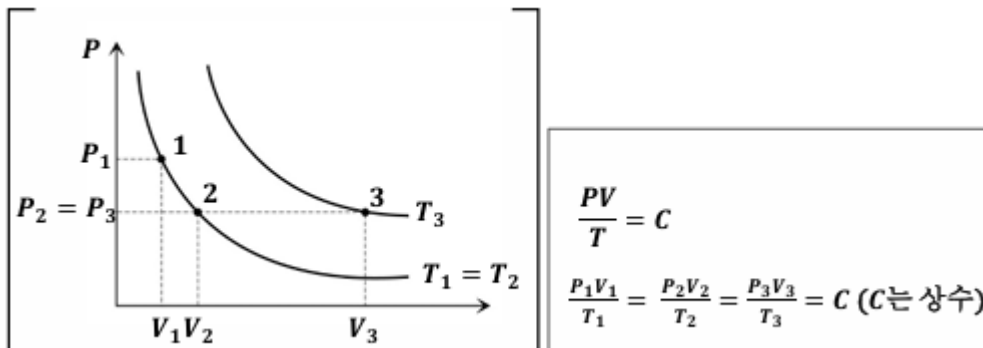
Boyle-Charles Law: P-V Relationship at Different Temperatures



### 그래프 설명

- 그래프는 압력(P)과 부피(V) 간의 관계를 나타내며, 온도(T)에 따른 변화를 보여줍니다.
- 압력과 부피의 곱이 온도에 따라 변화하는 모습이 나타납니다.
- 세 가지 상태가 표시되어 있으며, 각 상태는 각각 다른 온도를 나타냅니다.

### 이상기체 상태 변화의 해석



1. 보일의 법칙 적용: 등온과정에서 상태 1에서 상태 2로 변화

- 온도가 일정할 때, 압력과 부피가 반비례 관계를 가짐.

1. 샤를의 법칙 적용: 등압과정에서 상태 2에서 상태 3으로 변화

- 압력이 일정할 때, 부피는 온도에 비례하여 증가.

### 문제

- 압력: 720 kPa
- 초기 온도: 23°C (켈빈 단위로 변환하면  $23 + 273.15 = 296.2 \text{ K}$ )

- 초기 부피:  $0.45 \text{ m}^3$
- 부피가 2배로 팽창했을 때 (즉,  $V_2 = 2 \times V_1 = 2 \times 0.45 = 0.9 \text{ m}^3$ )
- 변화 후의 기체의 온도( $^{\circ}\text{C}$ )를 구하시오.

## 해결

샤를의 법칙에 따라 다음과 같이 계산할 수 있습니다.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

이를 재정리하면,

$$T_2 = \frac{V_2}{V_1} \times T_1$$

주어진 값을 대입하면,

$$T_2 = 2 \times 296.2 = 592.4 \text{ K}$$

이 값을 섭씨 온도로 변환하면,

$$T_2 - 273.15 = 319.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

% 주어진 값

P = 720; % 압력 (kPa) - 압력은 일정하여 사용되지 않음

V1 = 0.45; % 초기 부피 ( $\text{m}^3$ )

V2 = 2 \* V1; % 변화 후 부피 (2배 팽창)

T1\_C = 23; % 초기 온도 ( $^{\circ}\text{C}$ )

T1\_K = T1\_C + 273.15; % 초기 온도를 켈빈(K)으로 변환

% 샤를의 법칙을 이용하여 변화 후 온도 계산

T2\_K = (V2 / V1) \* T1\_K; % 변화 후 온도 (K)

T2\_C = T2\_K - 273.15; % 켈빈을 섭씨로 변환

% 결과 출력

fprintf('변화 후의 기체의 온도는 %.2f $^{\circ}\text{C}$ 입니다.\n', T2\_C);

변화 후의 기체의 온도는  $319.15^{\circ}\text{C}$ 입니다.

## 문제

- 초기 압력:  $2.2 \text{ MPa}$
- 초기 부피:  $0.2 \text{ m}^3$
- 압력이 초기 압력의  $\frac{1}{4}$ 로 감소하였을 때, 기체가 차지하는 부피를 구하시오.

## 해결

보일의 법칙에 따르면 다음과 같이 표현할 수 있습니다.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

여기서,

- $P_1 = 2.2 \text{ MPa}$
- $V_1 = 0.2 \text{ m}^3$
- $P_2 = \frac{1}{4} \times P_1 = \frac{1}{4} \times 2.2 = 0.55 \text{ MPa}$

위의 식을 재정리하여  $V_2$ 를 구하면,  $V_2 = \frac{P_1}{P_2} \times V_1$

$$V_2 = \frac{2.2}{0.55} \times 0.2 = 4 \times 0.2 = 0.8 \text{ m}^3$$

따라서, 압력이 감소했을 때 기체가 차지하는 부피는  $0.8 \text{ m}^3$ 입니다.

```
% 주어진 값
P1 = 2.2; % 초기 압력 (MPa)
V1 = 0.2; % 초기 부피 (m^3)
P2 = P1 / 4; % 압력이 초기의 1/4로 감소

% 보일의 법칙을 이용하여 변화 후 부피 계산
V2 = (P1 / P2) * V1;

% 결과 출력
fprintf('압력이 1/4로 감소했을 때 부피는 %.2f m^3입니다.\n', V2);
```

압력이 1/4로 감소했을 때 부피는 0.80 m^3입니다.

## 이상기체 상태방정식

$$P\bar{v} = RT$$

여기서

- $P$ : 절대압력 (Pa)
- $T$ : 절대온도 (K)
- $\bar{v}$ : 몰 비체적 (molar specific volume,  $\text{m}^3/\text{mol}$ )
- $R$ : 일반기체상수 (universal gas constant),  $8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

```
% 주어진 값
P = 101325; % 절대압력 (Pa, 대기압)
T = 298.15; % 절대온도 (K, 예: 25°C)
R = 8.314; % 일반기체상수 (J/(mol·K))
```

```
% 물 비체적 계산 (이상기체 상태방정식:  $v_{\text{bar}} = RT / P$ )
```

```
 $v_{\text{bar}} = (R * T) / P;$ 
```

```
% 결과 출력
```

```
fprintf('물 비체적은 %.4f m^3/mol 입니다.\n',  $v_{\text{bar}}$ );
```

물 비체적은 0.0245 m<sup>3</sup>/mol 입니다.

## 상태방정식의 변형

### 1. 몰 수 기준 상태방정식:

- 기체의 몰 수를  $n$ , 부피를  $V$ 라고 하면 몰 비체적은  $\bar{v} = \frac{V}{n}$ 입니다.
- 따라서 상태방정식은 다음과 같이 표현됩니다.

$$P\bar{v} = RT \Rightarrow PV = nRT$$

- 여기서  $R$ 은 일반기체상수입니다.

### 1. 질량 기준 상태방정식:

- 질량  $m$ 으로 상태방정식을 나타내면  $n = \frac{m}{M}$ 이 됩니다. (여기서  $M$ 은 분자량)
- 따라서 식은 다음과 같이 변형됩니다.

$$PV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow PV = m\hat{R}T$$

- 이때,  $\hat{R}$ 은 특정 기체에 대한 기체상수로서  $\hat{R} = \frac{R}{M}$ 입니다.

### 1. 비체적과 밀도 기준 상태방정식:

- 비체적  $v = \frac{V}{m}$ 이며, 밀도  $\rho = \frac{1}{v}$ 입니다.
- 이를 이용하면 상태방정식은 다음과 같이 표현됩니다.

$$Pv = \hat{R}T \quad \text{또는} \quad P = \rho\hat{R}T$$

### 1. $PV = nRT$ 형태(몰 수 기준 상태방정식)

```
% 주어진 값
```

```
 $n = 2$ ; % 몰 수 (mol)
```

```
 $R = 8.314$ ; % 일반기체상수 (J/(mol·K))
```

```
 $T = 298.15$ ; % 절대온도 (K)
```

```
 $V = 0.05$ ; % 부피 (m3)
```

```
% 이상기체 상태방정식
P = (n * R * T) / V;

% 결과 출력
fprintf('압력은 %.2f Pa입니다.\n', P);
```

압력은 99152.76 Pa입니다.

## 2. $PV = mRT$ 형태(질량 기준 상태방정식)

```
% 주어진 값
m = 5; % 질량 (kg)
M = 0.02896; % 공기의 분자량 (kg/mol)
R = 8.314; % 일반기체상수 (J/(mol·K))
T = 298.15; % 절대온도 (K)
V = 1; % 부피 (m^3)

% 기체상수 R_hat 계산
R_hat = R / M;

% 상태방정식
P = (m * R_hat * T) / V;

% 결과 출력
fprintf('압력은 %.2f Pa입니다.\n', P);
```

압력은 427972.91 Pa입니다.

## 3. $P = \rho RT$ 형태(밀도 기준 상태방정식)

```
% 주어진 값
rho = 1.225; % 밀도 (kg/m^3)
M = 0.02896; % 공기의 분자량 (kg/mol)
R = 8.314; % 일반기체상수 (J/(mol·K))
T = 298.15; % 절대온도 (K)

% 기체상수 R_hat 계산
R_hat = R / M;

% 상태방정식
P = rho * R_hat * T;

% 결과 출력
fprintf('압력은 %.2f Pa입니다.\n', P);
```

압력은 104853.36 Pa입니다.

## 정적비열 ( $C_v$ )



- **정의:** 부피를 일정하게 유지하면서 단위 질량의 물질의 온도를 1도 올리는데 필요한 열량.
- 수식으로 표현하면:

$$C_v = \frac{1}{m} \left( \frac{\delta q}{\delta T} \right)_v = \frac{1}{m} \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_v = \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$$

- 여기서:
- $C_v$ : 정적비열 ( $J/kg \cdot K$  또는  $kJ/kmol \cdot K$ )
- $m$ : 질량 ( $kg$ )
- $q$ : 가해진 열량 ( $J$ )
- $U$ : 내부에너지 ( $J$ )
- $u = \frac{U}{m}$ : 단위 질량당 내부에너지 ( $J/kg$ )
- $T$ : 절대온도 ( $K$ )

### 열역학 제1법칙을 통한 해석

- 열역학 제1법칙은 다음과 같이 주어집니다.  $\delta q = dU + PdV$
- 부피가 일정할 경우 ( $dV = 0$ ), 위 식은 다음과 같이 단순화됩니다.  $\delta q = dU$
- 이 의미는 정적 과정에서는 외부에 대한 일의 성분이 없으므로, 공급된 열량  $\delta q$ 가 전적으로 내부에너지 증가  $dU$ 에만 사용된다는 것입니다.

### 정적비열의 물리적 의미

- $C_v$ 는 부피가 일정한 상황에서 온도를 1도 올리기 위해 기체 또는 물질에 가해지는 열량입니다.
- 내부에너지의 증가는 직접적으로 온도 변화에 관련되며, 이 과정에서는 부피 변화가 없기 때문에 외부에 대한 일의 변화도 발생하지 않습니다.

### 예시로 이해하기

만약  $m = 2 \text{ kg}$ 의 물질이 있고, 그 물질의  $C_v = 0.7 \text{ kJ/(kg} \cdot K)$ 일 때, 온도를  $5K$  올리는데 필요한 열량을 계산해 보겠습니다.

$$Q = m \times C_v \times \Delta T = 2 \times 0.7 \times 5 = 7 \text{ kJ}$$

즉, 이 물질을  $5K$ 만큼 올리기 위해서는  $7kJ$ 의 열이 필요하다는 것을 알 수 있습니다.

### 정압비열 ( $C_p$ )

- **정의:** 압력을 일정하게 유지하면서 단위 질량의 물질의 온도를 1도 올리는데 필요한 열량.
- 수식으로 표현하면:

$$C_p = \frac{1}{m} \left( \frac{\delta q}{\delta T} \right)_p = \frac{1}{m} \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_p = \left( \frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad \diamond$$

- 여기서:
- $C_p$ : 정압비열 ( $J/kg \cdot K$  또는  $kJ/kmol \cdot K$ )
- $m$ : 질량 ( $kg$ )
- $q$ : 가해진 열량 ( $J$ )
- $H$ : 엔탈피 ( $J$ )
- $h = \frac{H}{m}$ : 단위 질량당 엔탈피 ( $J/kg$ )
- $T$ : 절대온도 ( $K$ )

## 열역학적 해석: 열역학 제1법칙과 정압비열

- 열역학 제1법칙을 에너지 보존의 법칙으로 나타내면 다음과 같습니다:

$$\delta q = dH - VdP$$

- 압력이 일정한 경우( $dP = 0$ ), 위 식은 다음과 같이 단순화됩니다.  $\delta q = dH$
- 이는 압력이 일정할 때 공급된 열량  $\delta q$ 가 전적으로 엔탈피 증가  $dH$ 에 사용된다는 것을 의미합니다.

## 정압비열의 물리적 의미

- $C_p$ 는 압력이 일정한 상황에서 온도를 1도 올리기 위해 기체 또는 물질에 가해지는 열량입니다.
- 이 과정에서는 부피가 변화할 수 있기 때문에 외부에 대해 일(work)이 발생할 수 있습니다. 따라서  $C_p$ 는 정적비열  $C_v$ 보다 일반적으로 더 큰 값을 갖습니다.

## 정적비열 $C_v$ 와 정압비열 $C_p$ 의 관계

이상기체의 경우 다음과 같은 관계식이 성립합니다.

$$C_p = C_v + R$$

- 여기서  $R$ 은 기체상수입니다.
- 이 관계는 압력이 일정할 때 외부에 대한 일의 성분이 추가되기 때문에  $C_p$ 가  $C_v$ 보다 크다는 것을 나타냅니다.

## 예시를 통한 이해

만약  $m = 3 \text{ kg}$ 의 물질이 있고, 그 물질의  $C_p = 1.0 \text{ kJ/(kg} \cdot K)$ 일 때, 온도를  $10K$  올리는데 필요한 열량을 계산해보겠습니다.

$$Q = m \times C_p \times \Delta T = 3 \times 1.0 \times 10 = 30 \text{ kJ}$$

즉, 이 물질을  $10K$ 만큼 온도를 높이기 위해서는  $30kJ$ 의 열이 필요합니다.

## 비압축성(incompressible) 물질의 특성

- **비압축성 물질:** 비체적 또는 밀도가 일정한 물질로, 일반적으로 액체와 고체를 의미합니다.
- 이러한 물질의 경우 압력 변화에 따른 부피 변화가 거의 없기 때문에 비체적을 일정하다고 가정할 수 있습니다.

### 정적비열과 정압비열의 관계

- 비압축성 물질의 경우, 정적비열( $C_v$ )과 정압비열( $C_p$ )이 동일합니다.
- 따라서  $C_v = C_p = C$ 로 표현됩니다.

### 엔탈피와 내부 에너지의 관계

- 엔탈피의 정의:  $h = u + Pv$  이 식을 미분하면 다음과 같습니다:

$$dh = du + Pdv + vdP$$

- 비압축성 물질의 경우, 다음과 같은 특성이 있습니다:

1. 부피가 일정하므로  $dv = 0$ .
2. 고체나 액체의 비체적  $v$ 는 매우 작으므로  $vdP$  항 역시 무시할 수 있습니다.

따라서:

- $dh \approx du$
- 정적과정 및 정압과정에서 동일한 결과를 얻으며,  $C_v$ 와  $C_p$ 는 차이 없이  $C$ 로 나타낼 수 있습니다.

### 수식으로 표현

- 내부 에너지 변화:  $du = C_v dT = C dT$
- 엔탈피 변화:  $dh = C_p dT = C dT$
- 따라서, 비압축성 물질에서는  $C_v = C_p = C$ 가 성립합니다.

### 내부 에너지와 엔탈피의 정의

- 이상기체의 내부 에너지  $u$ 와 엔탈피  $h$ 는 온도에만 의존합니다.
- 이를 기반으로 각각의 비열과의 관계를 수식으로 나타낼 수 있습니다.

## 2. 비열과의 관계

- **정적비열  $C_v$ :** 부피가 일정한 상태에서의 온도 변화에 따른 내부 에너지의 변화율.

$$C_v = \left( \frac{du}{dT} \right)$$

- **정압비열  $C_p$ :** 압력이 일정한 상태에서의 온도 변화에 따른 엔탈피의 변화율.

$$C_p = \left( \frac{dh}{dT} \right)$$

### 3. 내부 에너지와 엔탈피의 변화

- 온도  $T$ 에 따른 내부 에너지와 엔탈피의 변화는 다음과 같이 표현됩니다:

$$du = C_v dT$$

$$dh = C_p dT$$

- 질량  $m$ 을 고려하면, 전체 내부 에너지  $U$ 와 엔탈피  $H$ 의 변화는 다음과 같습니다:

$$dU = mC_v dT$$

$$dH = mC_p dT$$

- 이상기체의 경우 내부 에너지와 엔탈피는 온도에만 의존하기 때문에  $C_v$ 와  $C_p$ 는 각각 내부 에너지와 엔탈피의 온도에 대한 변화율을 나타냅니다.
- 실제로 내부 에너지나 엔탈피의 총량을 계산할 때는 주어진 온도 변화에 정적비열  $C_v$  또는 정압비열  $C_p$ 를 곱하는 것으로 구할 수 있습니다.

### 내부 에너지와 엔탈피의 총 변화량

#### 1. 내부 에너지의 변화 ( $\Delta U$ )

- 이상기체의 온도가  $T_1$ 에서  $T_2$ 로 변화할 때, 내부 에너지의 변화는 다음과 같이 표현됩니다.

$$\Delta U = mC_v(T_2 - T_1)$$

- $m$ : 질량 ( $kg$ )
- $C_v$ : 정적비열 ( $J/kg \cdot K$ )
- $T_1, T_2$ : 초기와 최종 온도 ( $K$ )
- 이는  $u = u(T)$ 로 온도에만 의존하는 이상기체의 특성을 반영한 결과입니다.

#### 2. 엔탈피의 변화 ( $\Delta H$ )

- 이상기체의 엔탈피 변화는 다음과 같이 주어집니다.

$$\Delta H = mC_p(T_2 - T_1)$$

- $C_p$ : 정압비열 ( $J/kg \cdot K$ )
- 엔탈피는  $h = u + Pv$ 의 관계에서 온도에만 의존하며, 따라서  $h = h(T)$ 로 나타낼 수 있습니다.

## 이상기체의 상태방정식

- 이상기체 방정식은  $Pv = RT$ 로 표현되며, 내부 에너지와 엔탈피는 각각 다음과 같은 형태를 가집니다.
- 내부 에너지:  $u = u(T)$
- 엔탈피:  $h = u(T) + RT$
- 순수 물질의 내부 에너지는 주로 온도  $T$ 에 의해 결정되며, 압력  $P$ 나 비체적  $v$  등의 상태 변수에는 영향을 받지 않습니다.
- 이는 이상기체의 경우 내부 에너지가 오직 온도의 함수로만 결정된다는 이상적 모델을 잘 나타내며, 현실에서의 실제 가스도 이러한 경향을 많이 따릅니다.

## 비열비

### 1. 정적비열과 정압비열의 기본 정의

- $C_v = \frac{du}{dT}$  : 정적비열 (부피가 일정할 때 내부 에너지의 온도 변화율)
- $C_p = \frac{dh}{dT}$  : 정압비열 (압력이 일정할 때 엔탈피의 온도 변화율)

### 2. 이상기체의 상태방정식과 미분

- 상태방정식:  $Pv = RT$
- 양변을 미분하면:  $Pdv + vdP = RdT$
- 압력이 일정할 때 ( $dP = 0$ ),  $Pdv = RdT$ 가 성립합니다.

### 3. 에너지식과 정압비열, 정적비열의 관계

- 에너지식:  $\delta q = du + \delta w = du + Pdv$
- 여기에 위에서 유도한  $Pdv = RdT$ 를 대입하면,

$$C_p dT = C_v dT + RdT$$

- 따라서,

$$C_p = C_v + R$$

### 4. 정압비열과 정적비열의 관계

- 이상기체의 경우, 정압비열과 정적비열의 차이는 기체상수  $R$ 로 표현됩니다:  $C_p - C_v = R$

### 5. 비열비 ( $k$ )

- 정의: 두 비열의 비율을 비열비  $k$ 로 정의합니다.  $k = \frac{C_p}{C_v}$

- 비열비  $k$ 를 이용하면,  $C_p = kC_v$

## 6. $C_v$ 와 $C_p$ 를 비열비를 통해 표현

- 위의 관계식  $C_p - C_v = R$ 와  $C_p = kC_v$ 를 이용하면:

$$C_v = \frac{1}{k-1} R$$

$$C_p = \frac{k}{k-1} R$$

## 7. 주요 특성

- 기체상수  $R$ 은 항상 양수이므로  $C_p > C_v$ 가 항상 성립.
- 따라서 비열비  $k = \frac{C_p}{C_v}$ 는 언제나 1보다 큰 값을 가집니다.

## 문제

### 1. 주어진 조건

- 질량  $m = 10 \text{ kg}$
- 가해진 열량  $Q = 1200 \text{ kJ}$
- 초기 온도  $T_1 = 25 + 273.15 = 298.15 \text{ K}$
- 기체의 비열비  $k = 1.4$
- 기체상수  $R = 0.35 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$

### 2. 정압비열과 정적비열 계산

정압비열  $C_p$ 와 정적비열  $C_v$ 는 다음과 같이 계산됩니다.

$$C_p = \frac{k}{k-1} R$$

$$C_p = \frac{1.4}{1.4-1} \times 0.35 = \frac{1.4}{0.4} \times 0.35 = 1.225 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

$$C_v = \frac{1}{0.4} \times 0.35 = 0.875 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{K)}$$

### 3. 최종 온도 계산

가해진 열량  $Q$ 를 이용하여 최종 온도  $T_2$ 를 계산합니다.

$$Q = mC_p(T_2 - T_1)$$

따라서,

$$T_2 = \frac{Q}{mC_p} + T_1$$

$$T_2 = \frac{1200}{10 \times 1.225} + 298.15$$

$$T_2 = \frac{1200}{12.25} + 298.15$$

$$T_2 = 97.96 + 298.15 = 396.11 \text{ K}$$

이를 섭씨로 변환하면

$$T_2 - 273.15 = 122.96 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

#### 4. 내부 에너지 변화 계산

내부 에너지 변화  $\Delta U$ 는 다음과 같이 계산됩니다.

$$\Delta U = mC_v(T_2 - T_1)$$

$$\Delta U = 10 \times 0.875 \times (396.11 - 298.15)$$

$$\Delta U = 10 \times 0.875 \times 97.96$$

$$\Delta U = 857.14 \text{ kJ}$$

최종 결과

- 최종 온도  $T_2$ : 396.11K 또는 122.96°C
- 내부 에너지 변화량  $\Delta U$  : 857.14kJ

#### % 주어진 데이터

$m = 10;$	% 질량 (kg)
$Q = 1200;$	% 가해진 열량 (kJ)
$T_1 = 25 + 273.15;$	% 초기 온도 (K) (섭씨를 켈빈으로 변환)
$k = 1.4;$	% 기체의 비열비
$R = 0.35;$	% 기체상수 (kJ/kg·K)

#### % 정압비열과 정적비열 계산

$C_p = (k / (k - 1)) * R;$	% 정압비열 (kJ/kg·K)
$C_v = (1 / (k - 1)) * R;$	% 정적비열 (kJ/kg·K)

#### % 최종 온도 계산

$T_2 = (Q / (m * C_p)) + T_1;$	% 최종 온도 (K)
$T_{2\_Celsius} = T_2 - 273.15;$	% 최종 온도 (°C)

#### % 내부 에너지 변화 계산

$\text{delta\_U} = m * C_v * (T_2 - T_1);$	% 내부 에너지 변화량 (kJ)
--	-------------------

#### % 엔탈피 변화 계산

$\text{delta\_H} = m * C_p * (T_2 - T_1);$	% 엔탈피 변화량 (kJ)
--	----------------

```
% 결과 출력
fprintf('최종 온도 T2: %.2f K (%.2f °C)\n', T2, T2_Celsius);
```

최종 온도 T2: 396.11 K (122.96 °C)

```
fprintf('내부 에너지 변화 ΔU: %.2f kJ\n', delta_U);
```

내부 에너지 변화 ΔU: 857.14 kJ

```
fprintf('엔탈피 변화 ΔH: %.2f kJ\n', delta_H);
```

엔탈피 변화 ΔH: 1200.00 kJ

```
% 시각화
figure;
```

```
% 그래프 1: 초기 및 최종 온도 변화
subplot(2, 3, 1); % 2행 3열의 서브플롯 중 첫 번째
bar([T1, T2], 0.4, 'FaceColor', 'c'); % 막대그래프 그리기
set(gca, 'XTickLabel', {'T1 (Initial)', 'T2 (Final)'}); % x축 레이블
ylabel('Temperature (K)'); % y축 레이블
title('온도 변화'); % 그래프 제목
grid on;
```

```
% 그래프 2: 내부 에너지 변화량
subplot(2, 3, 2); % 2행 3열의 서브플롯 중 두 번째
bar(delta_U, 0.4, 'FaceColor', 'm'); % 막대그래프 그리기
set(gca, 'XTickLabel', {'ΔU'}); % x축 레이블
ylabel('Energy Change (kJ)'); % y축 레이블
title('내부 에너지 변화량'); % 그래프 제목
grid on;
```

```
% 그래프 3: 엔탈피 변화량
subplot(2, 3, 3); % 2행 3열의 서브플롯 중 세 번째
bar(delta_H, 0.4, 'FaceColor', 'g'); % 막대그래프 그리기
set(gca, 'XTickLabel', {'ΔH'}); % x축 레이블
ylabel('Enthalpy Change (kJ)'); % y축 레이블
title('엔탈피 변화량'); % 그래프 제목
grid on;
```

```
% 그래프 4: 정압비열과 정적비열 비교
subplot(2, 3, 4); % 2행 3열의 서브플롯 중 네 번째
bar([Cp, Cv], 0.4, 'FaceColor', 'b'); % 막대그래프 그리기
set(gca, 'XTickLabel', {'Cp', 'Cv'}); % x축 레이블
ylabel('Specific Heat (kJ/kg·K)'); % y축 레이블
title('정압비열과 정적비열 비교'); % 그래프 제목
grid on;
```

```
% 그래프 5: 온도 변화에 따른 내부 에너지 변화
subplot(2, 3, 5); % 2행 3열의 서브플롯 중 다섯 번째
```

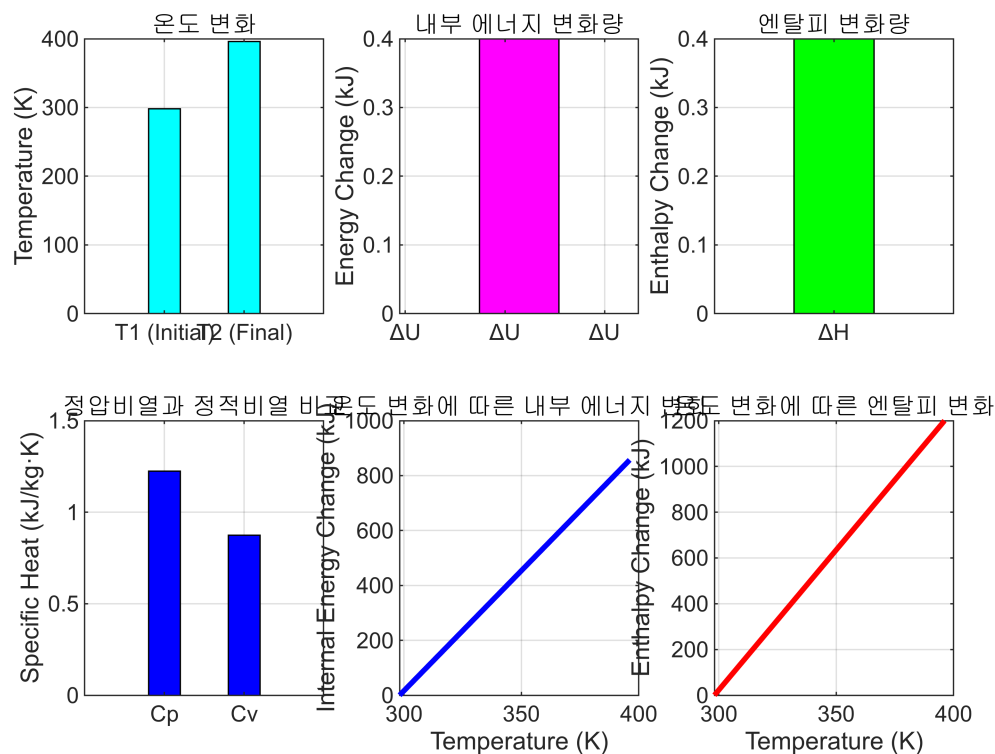


```
T_values = linspace(T1, T2, 100); % 온도 변화 범위
U_values = m * Cv * (T_values - T1); % 내부 에너지 변화 계산
plot(T_values, U_values, 'b', 'LineWidth', 2);
xlabel('Temperature (K)'); % x축 레이블
ylabel('Internal Energy Change (kJ)'); % y축 레이블
title('온도 변화에 따른 내부 에너지 변화'); % 그래프 제목
grid on;
```

```
% 그래프 6: 온도 변화에 따른 엔탈피 변화
subplot(2, 3, 6); % 2행 3열의 서브플롯 중 여섯 번째
H_values = m * Cp * (T_values - T1); % 엔탈피 변화 계산
plot(T_values, H_values, 'r', 'LineWidth', 2);
xlabel('Temperature (K)'); % x축 레이블
ylabel('Enthalpy Change (kJ)'); % y축 레이블
title('온도 변화에 따른 엔탈피 변화'); % 그래프 제목
grid on;
```

```
% 전체 그래프 설정
sgtitle('이상기체의 다양한 열역학적 변화');
```

## 이상기체의 다양한 열역학적 변화



- 첫 번째 그래프: 정압비열  $C_p$ 과 정적비열  $C_v$ 의 비교 막대그래프.
- 두 번째 그래프: 내부 에너지 변화량  $\Delta U$ 를 나타내는 막대그래프.

- 세 번째 그래프: 온도 변화에 따른 내부 에너지의 변화 그래프. 온도가 증가함에 따라 내부 에너지 변화량이 어떻게 달라지는지 보여줌.
- 네 번째 그래프: 온도 변화에 따른 엔탈피의 변화 그래프. 온도 변화에 따라 엔탈피가 어떻게 변하는지 보여줌.

## 문제

- 주어진 조건:
- 질량  $m = 3 \text{ kg}$
- 초기 압력  $P_1 = 101 \text{ kPa}$
- 초기 부피  $V_1 = 3.2 \text{ m}^3$
- 기체상수  $R = 266 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$
- 최종 온도  $T_2 = 188 + 273.15 = 461.15 \text{ K}$

### 1. 이상기체 상태방정식으로 초기 온도 $T_1$ 계산

이상기체 상태방정식은 다음과 같습니다:

$$P_1 V_1 = m R T_1$$

$T_1$ 을 구하기 위해 식을 정리하면,

$$T_1 = \frac{P_1 V_1}{m R}$$

주어진 값을 대입하면,

$$T_1 = \frac{101 \times 10^3 \times 3.2}{3 \times 266}$$

$$T_1 = \frac{323200}{798} \approx 405.01 \text{ K}$$

### 2. 온도 변화량 $\Delta T$ 계산

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta T = 461.15 - 405.01$$

$$\Delta T = 56.14 \text{ K} \approx 56.2^\circ \text{C}$$

## 최종 결과

- 온도 변화량:  $56.2^\circ \text{C}$

### % 주어진 데이터

$m = 3;$

$P_1 = 101 \times 10^3;$

% 질량 (kg)

% 초기 압력 (Pa) =  $101 \text{ kPa}$

```

V1 = 3.2; % 초기 부피 (m^3)
R = 266; % 기체상수 (J/kg·K)
T2_Celsius = 188; % 최종 온도 (°C)

% 초기 온도 계산
T1 = (P1 * V1) / (m * R); % 초기 온도 (K)

% 최종 온도를 켈빈 단위로 변환
T2 = T2_Celsius + 273.15; % 최종 온도 (K)

% 온도 변화량 계산
delta_T = T2 - T1; % 온도 변화량 (K 또는 °C)

% 정압비열과 정적비열 계산
Cp = (1.4 / (1.4 - 1)) * R / 1000; % 정압비열 (kJ/kg·K)
Cv = (1 / (1.4 - 1)) * R / 1000; % 정적비열 (kJ/kg·K)

% 내부 에너지 변화량 계산
delta_U = m * Cv * delta_T; % 내부 에너지 변화량 (kJ)

% 결과 출력
fprintf('초기 온도 T1: %.2f K\n', T1);

```

초기 온도 T1: 405.01 K

```
fprintf('최종 온도 T2: %.2f K (%.2f °C)\n', T2, T2_Celsius);
```

최종 온도 T2: 461.15 K (188.00 °C)

```
fprintf('온도 변화량 ΔT: %.2f K 또는 %.2f °C\n', delta_T, delta_T);
```

온도 변화량 ΔT: 56.14 K 또는 56.14 °C

```
fprintf('내부 에너지 변화량 ΔU: %.2f kJ\n', delta_U);
```

내부 에너지 변화량 ΔU: 111.99 kJ

```

% 시각화
figure;

```

```

% 그래프 1: 초기 온도와 최종 온도 비교
subplot(2, 2, 1); % 2행 2열의 서브플롯 중 첫 번째
bar([T1, T2], 0.4, 'FaceColor', 'c'); % 막대그래프 그리기
set(gca, 'XTickLabel', {'T1 (Initial)', 'T2 (Final)'}); % x축 레이블
ylabel('Temperature (K)'); % y축 레이블
title('초기 온도와 최종 온도 비교'); % 그래프 제목
grid on;

```

```

% 그래프 2: 온도 변화량
subplot(2, 2, 2); % 2행 2열의 서브플롯 중 두 번째
bar(delta_T, 0.4, 'FaceColor', 'm'); % 막대그래프 그리기

```

```

set(gca, 'XTickLabel', {' $\Delta T$ '}); % x축 레이블
ylabel('Temperature Change (K or  $^{\circ}\text{C}$ )'); % y축 레이블
title('온도 변화량'); % 그래프 제목
grid on;

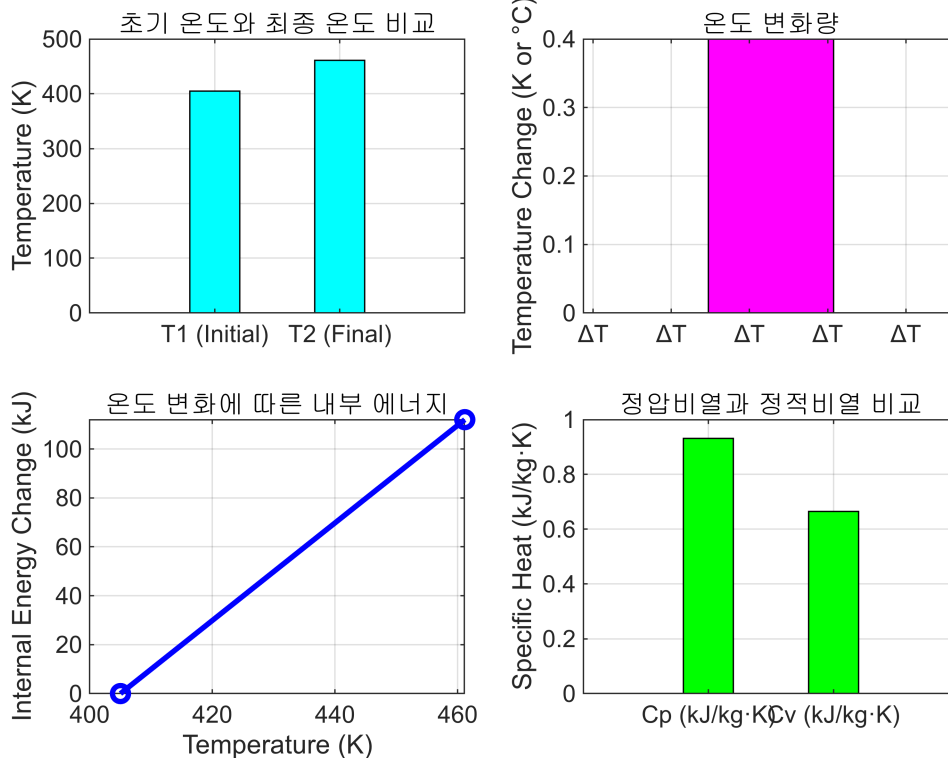
% 그래프 3: 내부 에너지 변화
subplot(2, 2, 3); % 2행 2열의 서브플롯 중 세 번째
plot([T1, T2], [0, delta_U], 'b-o', 'LineWidth', 2); % 온도에 따른 내부 에너지 변화
xlabel('Temperature (K)'); % x축 레이블
ylabel('Internal Energy Change (kJ)'); % y축 레이블
title('온도 변화에 따른 내부 에너지'); % 그래프 제목
grid on;

% 그래프 4: Cp와 Cv 비교
subplot(2, 2, 4); % 2행 2열의 서브플롯 중 네 번째
bar([Cp, Cv], 0.4, 'FaceColor', 'g'); % 막대그래프 그리기
set(gca, 'XTickLabel', {'Cp (kJ/kg·K)', 'Cv (kJ/kg·K)'}); % x축 레이블
ylabel('Specific Heat (kJ/kg·K)'); % y축 레이블
title('정압비열과 정적비열 비교'); % 그래프 제목
grid on;

% 전체 그래프 설정
sgtitle('이상기체의 열역학적 특성');

```

## 이상기체의 열역학적 특성



보일-샤를의 법칙

보일-샤를의 법칙은 압력, 부피, 온도의 관계를 나타내는 이상기체 법칙으로 다음과 같이 표현됩니다:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

여기서 주행 전후 타이어의 부피는 변하지 않는다고 가정할 수 있기 때문에  $V_1 = V_2$ 가 되어 식을 단순화할 수 있습니다.

간단화된 식

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

이 식을 사용하여 최종 온도  $T_2$ 를 구해보겠습니다.

주어진 조건

- 주행 전 타이어 공기의 압력

$$P_1 = 99 \text{ kPa} + 250 \text{ kPa} = 349 \text{ kPa}$$

- 주행 후 타이어 공기의 압력

$$P_2 = 99 \text{ kPa} + 263 \text{ kPa} = 362 \text{ kPa}$$

- 주행 전 타이어 공기의 온도

$$T_1 = 25^\circ\text{C} = 25 + 273.15 = 298.15 \text{ K}$$

최종 온도 계산

$$T_2 = \frac{P_2}{P_1} \times T_1$$

$$T_2 = \frac{362}{349} \times 298.15$$

$$T_2 \approx 309.3 \text{ K}$$

이를 섭씨 온도로 변환하면:

$$T_2 - 273.15 \approx 309.3 - 273.15 = 36.15^\circ\text{C}$$

온도 상승량

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta T = 36.15 - 25 = 11.15^\circ\text{C}$$

결론

- 주행 후 타이어 공기의 온도는 약 **36.15°C**이며, 온도 상승량은 약 **11.15°C**입니다.

```
% 주어진 데이터
P1 = 99 + 250;           % 주행 전 타이어 공기 압력 (kPa)
P2 = 99 + 263;           % 주행 후 타이어 공기 압력 (kPa)
T1_Celsius = 25;         % 주행 전 타이어 공기 온도 (°C)
```

```
% 주행 전 온도를 켈빈 단위로 변환
T1 = T1_Celsius + 273.15; % (K)
```

```
% 보일-샤를의 법칙에 따른 최종 온도 계산
T2 = (P2 / P1) * T1;     % 최종 온도 (K)
T2_Celsius = T2 - 273.15; % 최종 온도 (°C)
```

```
% 온도 변화량 계산
delta_T = T2_Celsius - T1_Celsius;
```

```
% 결과 출력
fprintf('최종 온도 T2: %.2f °C\n', T2_Celsius);
```

```
최종 온도 T2: 36.11 °C
```

```
fprintf('온도 변화량 ΔT: %.2f °C\n', delta_T);
```

```
온도 변화량 ΔT: 11.11 °C
```

```
% 시각화
figure;
```

```
% 그래프 1: 주행 전후 온도 비교 (막대그래프)
subplot(2, 2, 1); % 2행 2열의 서브플롯 중 첫 번째
bar([T1_Celsius, T2_Celsius], 0.4, 'FaceColor', 'c'); % 막대그래프 그리기
set(gca, 'XTickLabel', {'Before Driving', 'After Driving'}); % x축 레이블
ylabel('Temperature (°C)'); % y축 레이블
title('주행 전후의 타이어 공기 온도 비교'); % 그래프 제목
grid on;
```

```
% 그래프 2: 압력 비교 (막대그래프)
subplot(2, 2, 2); % 2행 2열의 서브플롯 중 두 번째
bar([P1, P2], 0.4, 'FaceColor', 'm'); % 막대그래프 그리기
set(gca, 'XTickLabel', {'Before Driving', 'After Driving'}); % x축 레이블
ylabel('Pressure (kPa)'); % y축 레이블
title('주행 전후의 타이어 공기 압력 비교'); % 그래프 제목
grid on;
```

```
% 그래프 3: 주행 전후의 온도 변화 (선 그래프)
subplot(2, 2, 3); % 2행 2열의 서브플롯 중 세 번째
plot([0, 1], [T1_Celsius, T2_Celsius], 'b-o', 'LineWidth', 2); % 선 그래프 그리기
set(gca, 'XTick', [0, 1], 'XTickLabel', {'Before', 'After'}); % x축 레이블
ylabel('Temperature (°C)'); % y축 레이블
title('온도 변화 추이'); % 그래프 제목
grid on;
```

```

% 그래프 4: 온도 상승 비율 (원형 차트)
subplot(2, 2, 4); % 2행 2열의 서브플롯 중 네 번째
pie([T1_Celsius, delta_T], {'Original Temp', 'Temperature Increase'}); % 원형 차트
그리기
title('온도 상승 비율'); % 그래프 제목

% 전체 그래프 설정
sgtitle('타이어 공기의 온도 및 압력 변화');

```

## 타이어 공기의 온도 및 압력 변화

