

04

열기관과 열효율

학습 목표 다양한 열기관에서의 순환 과정과 열효율을 설명하고, 열기관의 개발과 활용이 인류 공동체에 미친 영향을 평가할 수 있다.

지하 깊은 곳의 석탄을 끌어 올리는 데 사용한 초기 증기 기관은 효율이 좋지 않았다고 한다. 증기 기관의 효율이란 어떤 의미일까?



석탄을 끌어 올리려고 석탄을 이렇게 많이 쓰다니!

열기관

자동차의 엔진은 연료를 태워 발생한 기체가 열역학 과정을 통해 동력을 만들어 자동차를 움직이게 한다. 자동차의 엔진과 같이 열역학 과정을 이용해 열에너지를 역학적 일로 바꿔 주는 장치를 **열기관**이라고 한다. 그림 II-21은 다양한 운송수단에 쓰이는 열기관이다.

1712년 뉴커먼(Newcomen, T., 1663~1729)이 증기 기관을 발명한 뒤 와트(Watt, J., 1736~1819)가 개량한 증기 기관이 널리 사용되면서 산업이 급격히 발전했다. 이후 인류는 꾸준히 열기관을 개발했고, 오늘날에도 자동차, 선박, 항공기 등에 필요한 동력을 얻기 위해 다양한 열기관을 이용한다.

그림 II-21 다양한 열기관



그림 II-22는 열기관을 통해 역학적 일을 얻는 과정을 모식도로 표현한 것이다. 고온의 외부 열원이 열기관에 열에너지 Q_H 를 공급하면 열기관 속 기체의 내부 에너지가 증가하면서 외부에 일 W 를 한다. 그리고 남은 열에너지 Q_L 를 저온의 열원으로 방출하는 과정을 거쳐 원래 상태로 되돌아온다. 열기관은 이러한 순환 과정을 반복하면서 열에너지를 일로 전환한다.

한 번의 순환 과정을 거치면 열기관은 처음 상태로 되돌아가므로 전체 내부 에너지의 변화가 없다. 따라서 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\Delta U = Q - W = 0$$

$$\therefore W = Q_H - Q_L$$

즉, 열역학 제1법칙에 따라 열기관이 외부에 한 일은 열기관이 흡수한 열에너지와 외부로 방출한 열에너지의 차이와 같다.

스스로 확인

- 1 열기관은 열역학 과정을 통해 일을 열에너지로 바꾸는 장치이다. (○, ×)
- 2 열기관이 흡수한 열에너지와 방출한 열에너지의 차이는 열기관이 외부에 ()와/과 같다.

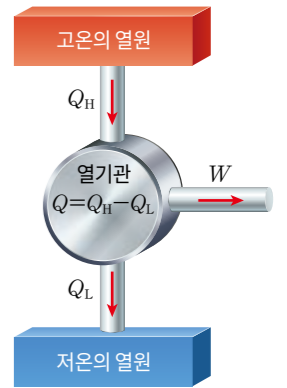


그림 II-22 열기관 모식도

*** 열원**
열에너지가 매우 많아 외부(계)로 열에너지가 빠져나가거나 들어와도 온도 변화가 거의 없는 열에너지 저장소이다.





스털링 엔진

그림 II-23 태양열 발전에 사용하는 스텔링 엔진

실험 영상



준비물

- 스텔링 엔진
- 비커(250 mL)
- 뜨거운 물(40 °C ~ 60 °C)
- 보안경
- 면장갑

안전

뜨거운 물이 담긴 비커를 다룰 때에는 보안경과 면장갑을 착용하고, 비커가 깨지지 않게 주의한다.

연계 물리학

열에너지가 역학적 에너지로 전환되는 과정의 효율을 '힘과 에너지' 단원에서 배웠다.

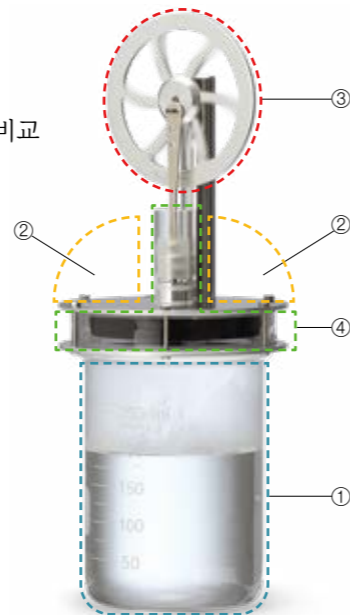
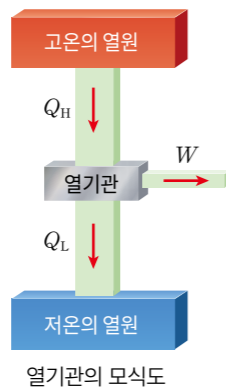
열기관의 순환 과정과 열효율

그림 II-23과 같은 태양열 발전에서는 태양열로 스텔링 엔진을 작동해 전기 에너지를 생산하는 데 필요한 역학적 일을 얻는다. 스텔링 엔진은 온도 차이로 작동해 비교적 높은 열효율을 내는 열기관이다. 다음 활동을 하면서 스텔링 엔진은 어떤 과정을 통해 외부에 일을 하는지 알아보자.

해보기

스털링 엔진 순환 과정 알아보기

1. 뜨거운 물이 담긴 비커 위에 스텔링 엔진을 올린다.
2. 스텔링 엔진이 작동을 시작하면, 열기관의 모식도와 비교해 보면서 스텔링 엔진이 움직이는 과정을 관찰한다.



- 스텔링 엔진에서 고온의 열원과 저온의 열원 역할을 하는 곳은 ①~④ 중 각각 어디인가?
✍
- 스텔링 엔진에서 기체의 순환 과정이 일어나는 곳은 ①~④ 중 어디인가?
✍
- 스텔링 엔진이 한 일은 어떤 형태로 나타나는가?
✍

스털링 엔진 속 기체는 고온의 열원으로부터 열에너지를 얻어 피스톤을 움직이는 일을 하고, 나머지 열에너지를 저온의 열원으로 방출한다. 이 과정에서 기체의 압력과 부피는 77 쪽 그림 II-24와 같은 순환 과정을 거친다. 이 그래프로 둘러싸인 부분의 면적은 스텔링 엔진이 한 번 순환하는 동안 한 일과 같다.

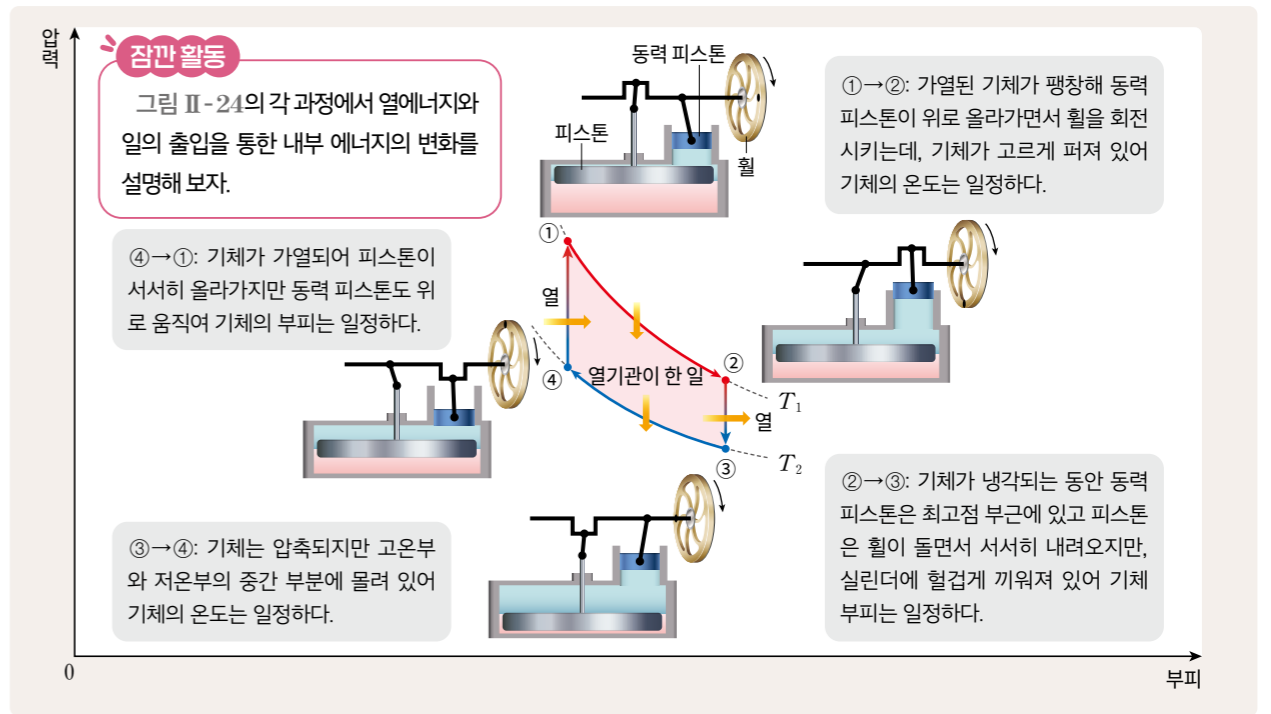


그림 II-24 스텔링 엔진의 열역학 과정

이때 공급한 열에너지에 대한 외부에 한 일의 비율을 **열효율**이라고 한다. 공급한 열에너지를 Q_H , 한 일을 W , 외부에 방출한 열에너지를 Q_L 이라고 하면, 열효율 e 는 다음과 같다.

$$e = \frac{W}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

1824년 프랑스 과학자 카르노(Carnot, N. L. S., 1796~1832)는 이상 기체를 사용하고 열효율이 가장 높은 이상적인 열기관인 **카르노 기관**을 제시했다. 카르노 기관의 한 순환 과정을 압력-부피 그래프로 나타내면 그림 II-25와 같다.

카르노 기관은 절대 온도가 T_1 인 고온의 열원에서 열에너지 Q_1 을 공급받아 외부에 일을 하고 절대 온도가 T_2 인 저온의 열원으로 열에너지 Q_2 를 방출한다. 이때 $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$ 이므로 카르노 기관의 열효율 $e_{\text{카르노}} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ 이다.

스스로 확인

- 1 어떤 열기관이 한 번의 순환 과정 동안 고온의 열원에서 2000 J의 열에너지를 공급받아 일을 하고 1600 J의 열에너지를 저온의 열원으로 방출한다. 이 열기관의 열효율은 ()이다.
- 2 ()은/는 동일한 열원을 사용할 때 열효율이 최대인 이상적인 열기관이다.

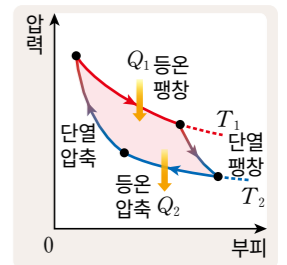


그림 II-25 카르노 기관의 순환 과정

연계 물리학

카르노 기관에서 $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$ 인 까닭은 81 쪽 '엔트로피와 카르노 기관'을 통해 알 수 있다.

열기관이 인류에 미친 영향

열기관의 발명과 발전은 인류에 어떤 영향을 미쳤을까? 다음 활동을 하면서 열기관의 개발과 활용이 인류 공동체에 미친 영향을 평가해 보자.

다시!

탐구

정보 수집과 기술 / 증거에 근거한 평가 / 다양한 매체를 통한 의사소통

문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

열기관이 인류에 미친 영향 평가하기

목표

열기관의 발전에 따른 긍정적 효과와 부정적 효과를 조사하고, 이를 바탕으로 하여 열기관의 발전이 인류에 미친 영향을 평가할 수 있다.

과정

1. 모둠별로 열기관의 열효율을 높이기 위해 인류는 어떤 노력을 해 왔으며, 이 과정에서 나타난 긍정적, 부정적 효과에는 어떤 것이 있는지 조사한다.
2. 열기관을 개발하고 활용하는 것이 인류 공동체에 미친 영향을 평가하고, 인류가 앞으로 나아가야 할 방향을 제안한다.
3. 과정 2의 내용을 바탕으로 하여 발표 자료를 만들고, 모둠별로 발표한다.

준비물

- 스마트 기기

역할 나누기

3~5 명을 한 모둠으로 하고, 역할을 나눠 보자.

- 조사: _____
- 발표 자료 제작: _____
- 발표: _____

열기관 덕분에 인류 문명이 발전했지만, 열기관을 사용하기 위해 많은 양의 화석 연료가 필요했습니다. 이는 지구 온난화와 대기오염과 같은 환경 문제를 일으켰습니다. 이제라도 열기관 사용을 최소화하고, 지구 환경을 지키는 것에 온 인류가 힘을 모아야 합니다.



정리

1. 각 모둠에서 발표한 내용을 정리해 보자.

모둠	내용	발표 내용에 대한 자신의 생각

2. 공유 가장 인상적인 발표를 한 모둠을 선택하고, 그 까닭을 써서 공유 플랫폼에 공유해 보자.

스스로 평가

- | 지식·이해 | 열기관의 효율을 높이기 위한 인류의 노력을 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 다양한 매체를 통해 열기관의 활용이 인류에 미친 영향을 조사했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 열기관이 인류 공동체에 미친 영향을 평가하는 과정에서 자연과 과학이 모두 소중한다는 것을 느꼈는가? ☆☆☆

탐구 후기



인류는 열기관을 사용해 물건을 대량으로 생산하고, 먼 곳까지 빠르게 운반할 수 있게 되었다. 이는 기존의 농업 중심 사회를 공업 중심 사회로 바꾸어 생활을 더욱 풍요롭게 만들었다. 또 열기관은 화력 발전소에서 전기를 생산하는 데에도 사용되어 인류 문명을 발전시키는 데 큰 역할을 했다.

대부분의 열기관은 화석 연료를 태워 작동한다. 이에 따라 열기관을 사용하는 과정에서 환경 오염 물질이 만들어지고, 온실 기체를 방출해 지구 온난화를 가속화하는 데 영향을 미쳤다. 이러한 문제점들을 개선하기 위해 인류는 열기관의 효율을 높이는 방법을 끊임없이 연구해 왔고, 열기관을 대체할 수 있는 기관에 대한 연구도 활발하게 진행 중이다.

연계 통합과학2

에너지 효율의 의미와 중요성을 '환경과 에너지' 단원에서 배웠다.

스스로 확인

- 1 열기관의 발달은 대량 생산과 운송을 가능하게 하여 인류 문명 발전에 영향을 미쳤다. (○, ×)
- 2 대부분의 열기관을 사용하는 과정에서 환경 오염 물질이 만들어지고 온실 기체가 방출된다. (○, ×)

스스로 정리

공유 만약 모든 열기관이 사라진다면 어떤 일이 일어날지 상상해 글로 써 보고, 이를 공유 플랫폼에 공유해 보자.