

열기관 실험장치 설명서 (EX-9911)

Heat Engine Cycle Experiment



제작사: PASCO Scientific

한국대리점: (주)와이케이사이언스 TEL: 02)546-1565

열기관 사이클 (Heat Engine Cycles)

EQUIPMENT

	INCLUDED:	
1	Heat Engine/Gas Law Apparatus	TD-8572
1	Large Rod Stand	ME-8735
1	Ohaus Slotted Mass Set (Need 200 g mass only)	SE-8726
1	Drilled Mass (10g)	648-06508
1	Drilled Mass (20g)	648-06509
1	Mass Hanger	648-04857
2	Plastic containers (3 liters) for hot and cold water	740-183
1	thread	699-011
1	90 cm Long Steel Rod	ME-8738
1	Rotary Motion Sensor	CI-6538
2	Temperature Sensor	CI-6505B
1	Low Pressure Sensor	CI-6534A
NOT INCLUDED, BUT REQUIRED:		
1	ScienceWorkshop 500 or 750 Interface	CI-6400
1	DataStudio Software	CI-6870

서 론

열기관(heat engine)은 열에너지를 고온 저수조로부터 추출하고 열에너지를 저온 저수조로 배출시켜서 작동하는 장치이다. 이 실험에서, 열기관은 부착된 캔을 온수에 담글 때 팽창하는 실린더 내부의 공기로 구성된다. 팽창 공기는 피스톤을 밀어 올리고 중량을 올려서 활동한다. 열기관 사이클은 캔을 냉수에 담금으로써 완성되며, 이로써 공기 압력과 체적을 시작 값으로 돌려준다.

이 론

열기관의 이론적 최대 효율은 오로지 고온 저수조의 온도 T_H 및 저온 저수조의 온도 T_C 에만 의존한다. 최대 효율은 다음과 같이 얻어진다.

$$e = \left(1 - \frac{T_C}{T_H} \right) \times 100\% . \quad (1.1)$$

실제 효율은 다음과 같이 정의된다.

$$e = \frac{W}{Q_H} \times 100\% \quad (1.2)$$

여기서 W 은 해당 환경에서 열기관에 의해 실시된 활동이며 Q_H 은 고온 저수조에서 추출한 열이다.

사이클의 시작 시점에, 중량이 피스톤 상단에 위치한 상태에서 항온으로 공기가 유지된다. 작업은 기체상에서 실시되며 열은 저온 저수조(cold reservoir)로 배출된다. 온도 변화가 없으므로 기체의 내부 에너지($\Delta U = nC_V \Delta T$)는 변하지 않는다. 열역학 제 1 법칙 $\Delta U = Q - W$ 에 따라 Q 는 기체에 가해진 열이고 W 는 기체에 의해 실시된 작업이다.

사이클의 두 번째 부분에서, 열이 기체에 가해져서 기체를 팽창시키고 피스톤을 밀어 올리며 중량을 올려서 활동한다. 피스톤은 자유 운동을 하므로 이러한 프로세스는 정압(constant pressure)에서 발생된다. 등압(isobaric) 프로세스의 경우, 기체에 가해진 열은 $Q_p = nC_p \Delta T$ 이며, 여기서 n 은 컨테이너에서 기체의 몰(moles) 수이며, C_p 는 정압에 대한 몰 열용량이며, T 는 온도 변화이다. 기체에 의해 실시된 작업은 열역학 제 1 법칙 $W = Q - \Delta U$ 을 사용하여 확인할 수 있는데, 여기서 Q 는 기체에 가해진 열이고 U 는 기체의 내부 에너지로 $\Delta U = nC_V \Delta T$ 가 되며, 여기서 C_V 는 일정 체적에 대한 몰 열용량이다.

공기는 대부분 이가 분자로 구성되므로, $C_V = \frac{5}{2}R$ 및 $C_p = \frac{7}{2}R$ 이다.

사이클의 세 번째 부분에서, 기체를 보다 높은 온도로 유지하면서 질량체를 피스톤 밖으로 들어 올린다. 열이 기체에 가해지고 기체가 팽창하여 활동을 시작한다. 이러한 등온 프로세스 중에, 활동은 다음과 같이 행해진다.

$$W = nRT \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right) \quad (1.3)$$

여기서 V_i 은 등온 프로세스의 시작 시점에 최초 체적이며 V_f 은 등온 프로세스의 마지막에서 최종 체적이다. 등온 프로세스에 대해 내부 에너지의 변화가 0 이므로, 열역학 제 1 법칙은 기체에 가해진 열이 기체에 의해 실시된 활동과 동일하다는 것을 보여준다.

$$\Delta U = Q - W = 0 \quad (1.4)$$

사이클의 마지막 부분에서, 열은 기체에서 저온 저수조로 배출되어 피스톤을 원위치로 돌린다. 이 프로세스는 등압을 나타내며 동일한 공식이 사이클의 두 번째 부분에서와 같게 적용된다.

설 치

1. 봉(rod)을 봉 받침대에 놓는다. 열기관의 봉 클램프를 봉으로 미끄러지게 하여 열기관을 봉에 부착한다. 열기관의 방향은 피스톤 끝이 위로 가게 하여 맞추고 열기관의 위치를 봉 받침대의 바닥 가까이에 둔다. (그림 1을 참조할 것).
2. 회전운동센서를 봉 받침대의 상단에 부착시키고 회전운동센서 풀리(pulley)의 중간 홈을 정렬시켜서 열기관의 피스톤 플랫폼의 중앙에서 나오는 스트링(string)이 풀리를 통과할 수 있도록 한다.



Figure 1: Setup

3. 피스톤 플랫폼의 상단에서 구멍에 스트링의 한쪽 끝을 끼워 놓고 그 스트링 끝을 피스톤 플랫폼 밑에 있는 피스톤 축에 고정시킨다. 그림 2를 참조한다. 회전운동센서의 중간 단(medium step) 위로 스트링의 다른 끝을 통과시키고 매스 행거(mass hanger)을 부착시켜 총 35 그램의 질량체가 되도록 한다. 이 질량체는 피스톤에 대한 평형력의 역할을 한다.
4. 피스톤의 위치를 실린더의 바닥으로부터 약 2 또는 3cm 떨어진 곳에 두고 튜브를 캔으로부터 열기관상에 한 포트에 부착하고 튜브를 압력 센서로부터 열기관상에 다른 포트에 부착한다.
5. 압력센서를 채널 A에 연결하고, 2개의 온도 센서를 채널 B와 C에, 회전운동센서를 컴퓨터 인터페이스상의 채널 1과 2에 연결시킨다.
6. 온수(약 80°C)를 플라스틱 컨테이너(약 반쯤 차 있게) 가운데 하나에 채운다. 얼음물을 다른 플라스틱 컨테이너에 채운다. 대형(약 3 리터) 컨테이너는 열기관 사이클 동안 고온과 저온을 일정하게 유지한다.
7. 온도 센서 1개를 온수에 넣고 다른 온도 센서를 냉수에 넣는다. 온도 센서는 소프트웨어 프로그램에서 각각 고온과 저온으로 구별되므로 어떤 센서를 온수에 넣는지 또는 냉수에 넣는지에 주의를 기울여야 한다.



Figure 2: Attaching string to piston

소프트웨어 실행

1. DataStudio 을 실행한다.
2. "HeatEngineCycle"이라 부르는 파일을 불러 온다. 이 파일은 실린더 내부의 기압 vs. 체적의 그래프를 기록하도록 실행된다. (즉, P-V 다이어그램).

절 차

1. 각 단계 간에 지연 없이 아래 사이클을 실시한다. 실행 데이터를 기록하기 전에 몇 회 실전 연습을 원할 수 있다. 이 때 시작점은 A 점이라 부른다. 피스톤 바닥의 높이를 기록한다. 컴퓨터상에서 데이터 기록을 시작한다.
 $A \rightarrow B$: 플랫폼에 200g 질량체를 놓는다.
 $B \rightarrow C$: 저온 배치(cold batch)에서 고온 배치(hot batch)로 캔을 이동시킨다.
 $C \rightarrow D$: 플랫폼에서 200g 질량체를 제거한다.
 $D \rightarrow A$: 고온 배치에서 저온 배치로 캔을 이동시킨다.
2. 사이클의 그래프를 인쇄한다. 그래프의 모서리 4 개를 A, B, C, D 로 각각 구별한다. A, B, C, D 점에서 온도를 확인한다. 프로세스의 방향을 나타내기 위해 화살표를 사이클에 넣는다.
3. A→B, B→C, C→D 및 D→A 에 대해 프로세스의 유형 (즉, 등온 등) 및 실제 물리적 성능(고온 수조에 질량체를 넣는 등)을 확인한다.
4. 열이 기체에 가해지는 두 프로세스를 확인하고 구별한다.
5. 식 1.1 을 사용하여 2 개 온도 사이에 작동하는 열기관 의 이상적인(최대) 효율을 계산한다.
6. 등압 팽창 중에는 B→C, 등온 팽창 중에는 C→D 로 고온 저수조에 의해 기체에 가해진 열 Q_H 을 계산한다. 아래 공식을 계산할 수 있다.

- a) We do not know the initial volume, V_A , but we can calculate it by measuring the volume of the can and adding the initial volume of air in the cylinder. We will ignore the volume in the tubes.

$$V = (\pi r^2 h)_{can} + (Ah_o)_{cylinder}$$

여기서 A 는 피스톤의 단면적이다.

등압선 V_D 및 이상기체법칙 $\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_D}{T_D}$ 을 사용하여 계산한다.

- b) 등온선 및 이상기체법칙을 사용하여 V_C 를 계산한다.

$$P_C V_C = P_D V_D$$

- c) 또는 등온선, $Q = nRT \ln(V_f/V_i)$ 을 계산하며, $PV = nRT$ 이므로

$$Q_{C \rightarrow D} = P_D V_D \ln(V_D/V_C)$$

절대 $P = (\text{게이지 } P) + (\text{대기 } P)$ 임을 기억한다.

- d) $Q_{B \rightarrow C}$ 을 계산한다. 등압선의 경우, $Q = nC_p \Delta T$ 이며, 공기는 이가 기체 $C_p = 5/2 R$ 이고 $nR = PV/T$ 이므로,

$$Q_{B \rightarrow C} = \frac{7}{2} \frac{P_D V_D}{T_D} (T_C - T_D)$$

- e) $Q_H = Q_{B \rightarrow C} + Q_{C \rightarrow D}$ 계산한다.

7. 곡선 안에 면적을 측정해서 기체에 의해 실시된 활동을 계산한다
8. 저온 저수조에서 추출한 기체/열에 의해 실시된 효율 $e =$ 을 계산한다.

$$e = \frac{W}{Q_H} \times 100\%$$

이것을 파트 5의 이상적인 효율과 어떻게 비교할 수 있는가?

9. $W = mgh$ 를 사용하여 200 g 질량에서 실시된 실제 활동을 계산한다. 질량 높이의 변화만 적용해야 한다. 이것을 파트 7에서 가스에 의해 실시된 활동과 어떻게 비교할 수 있는가? 이 가스가 200g 질량체를 올리는 것 외에 활동을 할 수 있는가?
10. 얼음물의 일부를 온수와 혼합하든지 또는 그 반대로 하여 두 개의 저수조가 동일한 온도에 가까이 도달하도록 한다. 사이클을 다시 반복한다. 현재 질량체를 얼마나 높이 들어 올렸는가? 새로운 온도를 사용한 이론적 효율은 얼마인가?