

2016학년도 수시모집 논술시험 의예과(물리)
출제의도 및 제시문 분석

=====

【문제 2】아래의 제시문을 읽고 다음 질문에 답하시오. (40점)

(가) 온도가 다른 두 물체를 접촉시키면 고온의 물체에서 저온의 물체로 에너지가 스스로 이동하는데, 이를 열이라고 한다. 두 물체가 접촉에 의해 온도가 같아지면 더 이상 열의 이동이 없게 되는데 이를 **열평형 상태**라고 한다. 물체 A와 B가 열평형을 이루고 물체 A와 C가 열평형을 이룬다면, 물체 B와 C도 열평형을 이루는데 이 관계를 **열역학 제0법칙**이라고 한다.

(나) 기체가 외부와 일과 열에너지를 주거나 받으면 기체의 부피 (V), 절대온도(T), 압력 (P) 등이 변한다. 이러한 변화의 과정에서 에너지가 어떻게 전환되고 보존되는지를 설명하는 것이 열역학이다. 기체의 종류에 따른 차이점을 극복하고 기체의 일반적인 성질을 알아내기 위해 이상 기체라는 개념을 도입한다. 이상 기체의 분자는 구조의 변화가 없으며 기체 분자들은 탄성 충돌을 한다.

(다) 이상 기체의 압력, 부피 그리고 절대온도의 관계는 $PV = nRT$ (이상기체 상태 방정식) 로 쓸 수 있다. 여기서 n 은 기체의 몰수이고 R ($=8.31 \text{ J K}^{-1}\text{mol}^{-1}$) 은 기체 상수이다.

(라) 기체에서 열운동하는 분자들이 가지고 있는 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 총합을 내부 에너지라고 한다. 이상 기체의 경우에는 분자 간 상호작용이 없다고 가정하므로 이상 기체의 내부 에너지 U 는 모든 기체 분자들의 운동 에너지이고 단원자 분자로 이루어진 이상 기체의 경우 U 는 다음과 같다.

$$U = \frac{3}{2} PV$$

(마) 기체에 열을 가하면 내부 에너지가 증가하거나 외부에 일을 하게 된다. 일반적으로 기체에 가해진 열에너지 Q 는 내부에너지의 증가량 ΔU 과 기체가 외부에 한 일 W 의 합과 같다. 이것을 **열역학 제1법칙**이라고 한다. 이 세 개의 물리량은 흡수와 방출 (열에너지), 증가와 감소 (내부에너지), 그리고 해주고 받는 (일) 개념으로 양(+)이나 음(-)의 부호를 가질 수 있다.

(바) 열에너지를 유용한 일로 바꾸는 장치를 열기관이라고 한다. 열기관은 몇 단계의 열역학 과정을 거쳐서 원래 상태로 돌아오는 순환과정 (사이클) 을 통하여 작동한다.

(사) 그림 1은 Otto 사이클을 보여주고 있다. Otto 사이클은 이상적인 열역학적 순환과정의 한 종류이며 현재 자동차 엔진의 작동원리이다. 가솔린 엔진은 점화장치와 피스톤의 작용으로 절대온도, 압력, 부피의 변화가 반복되어 외부와 열에너지 및 일을 주고 받으며 피스톤의 수평운동을 바퀴축의 회전운동으로 바꾸어 준다 (그림 2 참조). 기체의 팽창과 압축으로 피스톤이 움직이므로 열기관은 외부와 일을 주고 받는다. 열기관 내부에는 이상기체가 n 몰 만큼 들어있고, 점 a, b, c, d 에서의 절대온도를 각각 $T_a, T_b,$

T_c , T_d 로 나타낸다. 여기에서 $a \rightarrow b$ 과정과 $c \rightarrow d$ 과정은 단열과정이고 그에 따라 열에너지의 흡수나 방출이 없다.

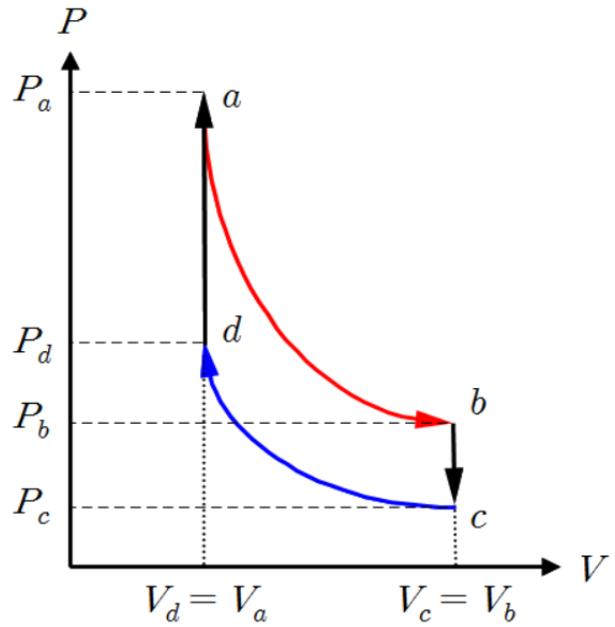


그림 1. Otto 사이클 P-V 다이어그램

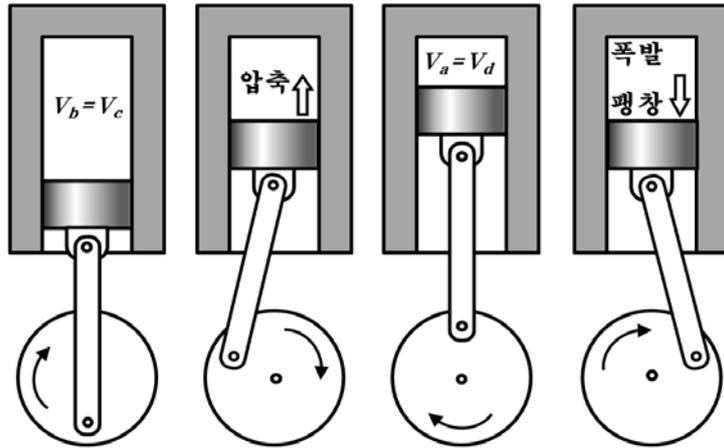


그림 2. 자동차 엔진의 작동 개략도

(아) 열은 스스로 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하지만 그 반대로의 열의 이동은 저절로 일어나지 않는다. 이처럼 열 또는 에너지의 이동에 방향성이 있음을 나타내는 법칙을 열역학 제2법칙이라고 한다. 이에 열기관의 효율 (η) 은 항상 1보다 작다. Otto사이클과 같은 열역학 사이클에서 η 는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\eta = \frac{\text{외부와 주고 받은 일의 총합}}{\text{흡수한 열에너지}}$$

(문제 2-1) 과정 $a \rightarrow b$ 와 과정 $c \rightarrow d$ 에서 열역학 제1법칙을 활용하여 두 개 과정에서의 온도의 변화 (높아지는 지, 낮아지는 지 아니면 같은지) 를 각각 설명하시오. (10점)

(문제 2-2) 이상기체는 단열과정에서 $P \times V^{5/3} = C$ (C 는 상수)를 만족한다. 이를 이용하여 $T_d/T_a = T_c/T_b$ 임을 증명하시오. (10점)

(문제 2-3) 네 개의 열역학 과정에서 기체가 외부에 한 일 (W_{ab} , W_{bc} , W_{cd} , W_{da}) 을 절대온도 (T_a , T_b , T_c , T_d)의 함수로 각각 기술하시오. (10점)

(문제 2-4) 한 번의 순환 동안 ($a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$) 흡수한 열에너지를 온도의 함수로 구하여 Otto 열기관의 효율을 온도의 함수로 기술하시오. (10점)

1. 출제의도

주어진 제시문을 기초로 고등학교 물리 교과과정에서 나오는 열역학의 3가지 법칙이 복합적으로 관련된 문제를 통합적으로 사고하고 응용할 수 있는가를 점검한다. 열과 에너지 그리고 이상 기체의 다양한 상태인 온도, 압력, 부피의 변화에 대한 통합적인 이해 및 응용 능력과 이 과정에서 얻어지는 관계식들을 바탕으로 여러 가지 물리 현상을 해석하고 유추해낼 수 있는 능력을 검증한다.

2. 제시문 분석

제시문 (가)는 열과 열평형의 개념을 다룬 열역학 제0법칙을 소개한다. 제시문 (나)~(라)는 열역학 설명에 사용되는 이상 기체의 성질과 상태 변수 그리고 내부 에너지를 설명한다. 제시문 (마)는 열역학 제 1법칙을 소개하고, 제시문 (바)와 (사)는 열에너지를 활용하는 장치인 열기관과 순환과정 및 열기관의 한 예인 Otto 사이클을 설명한다. 마지막으로 제시문(아)는 열역학 제2법칙과 함께 열기관의 효율을 설명한다.

3. 문항분석

(문제 2-1) 단열과정의 개념을 이해하고 열역학 제1법칙을 활용하여 내부에너지의 변화 및 그 변화와 온도 변화의 관계를 추론할 수 있는지 판단한다.

(문제 2-2) 제시문을 통해 주어진 물리적 관계를 활용하여 다른 물리량의 관계를 유추할 수 있는 능력을 검증한다.

(문제 2-3) 압력과 부피의 변화를 열역학 법칙에 따라 이해하고 한가지 물리량으로 새롭게 표현하는 능력을 확인한다.

(문제 2-4) 열기관과 외부사이의 열 및 일에너지의 교환을 이해하고 그에 따라 주어진 제시문을 활용하여 열기관의 효율을 정확하게 풀 수 있는지 판단한다.