

◆ 17년 3월 고1 27~30번

[27 ~ 30] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

과학에서 관심을 갖는 대상을 '계(system)'라고 하고, 계를 제외한 우주의 나머지 부분은 '주위(surroundings)', 계와 주위 사이는 '경계(boundary)'라고 한다. 계는 주위와 에너지나 물질의 교환이 모두 일어나지 않는 '고립계', 주위와 물질 교환 없이 에너지 교환만 일어나는 '닫힌계', 주위와 물질 및 에너지 교환이 모두 일어나는 '열린계'로 나눌 수 있다.

열역학 제1법칙에 따르면 우주의 에너지 총량은 일정하므로, 계와 주위의 에너지 합 또한 일정하다. 계와 주위 사이에 에너지 교환이 있다면, 계의 에너지가 감소할 때 주위의 에너지는 증가하며, 계의 에너지가 증가할 때 주위의 에너지는 감소하게 된다. 계와 주위 사이에 에너지 교환이 일어날 때, 계의 에너지가 증가하면 +로, 계의 에너지가 감소하면 -로 표시한다. 한편, 계가 열을 흡수하는 과정은 흡열 과정, 계가 열을 방출하는 과정은 발열 과정이라고 하는데, 열은 에너지의 대표적인 형태이므로, 흡열 과정에 관련된 열은 $+Q$ 로, 발열 과정에 관련된 열은 $-Q$ 로 나타낼 수 있다.

계의 에너지는 온도, 압력, 부피 등의 열역학적 변수들에 의해 결정되므로, 열역학적 변수들이 ① 같은 계들은 같은 '상태'에 있다고 할 수 있다. <그림>과 같이 피스톤이 연결된 실린더가 있고, 실린더에는 보일-샤를의 법칙을 만족하는 기체가 들어 있다고 가정해 보자. 먼저, 피스톤을 고정하지 않은 채 실린더 속 기체의 압력이 P_1 로 일정하도록 유지한 상태에서 실린더를 가열하여 실린더 속 기체의 온도가 T_1 에서 T_2 가 되도록 하면, 온도가 높아짐에 따라 실린더 속 기체의 부피는 증가하게 된다. 한편, 피스톤을 고정하여 실린더 속 기체의 부피를 일정하게 하고 실린더를 가열하면, 실린더 속 기체의 온도가 T_1 에서 T_2 가 되는 동안 실린더 속 기체의 압력은 P_1 에서 P_2 로 증가하는데, 온도가 T_2 인 상태를 유지하면서 고정시켰던 피스톤을 풀면 실린더 속 기체의 압력이 P_1 이 될 때까지 실린더 속 기체의 부피는 증가하게 된다.

전자의 경우를 A, 후자의 경우를 B라고 하면, A는 T_1 , P_1 인 초기 상태에서 T_2 , P_1 인 최종 상태가 되었고, B는 T_1 , P_1 인 초기 상태에서 T_2 , P_2 인 상태를 거쳐 T_2 , P_1 인 최종 상태가 되었다고 할 수 있다. 그리고 두 계라 할 수 있는 A와 B가 같은 상태에 있으면, A와 B의 실린더 속 기체의 내부 에너지*는 서로 같다고 할 수 있다.

이때 A의 초기 상태와 B의 초기 상태, A의 최종 상태와 B의 최종 상태는 각각 같지만, 초기 상태에서 최종 상태에 이르는 경로는 다르다. 따라서 두 계가 같은 상태에 있다고 해서 두 계가 만들어진 과정이 같다고 할 수는 없다. 또한 어떤 계의 변화가 일어나는 경로는 초기 상태에서 최종 상태로 진행하면서 거치는 일련의 상태들로 이루어져 있으며, 이 두 상태를 연결하는 경로는 무한히 많다.

*기체의 내부 에너지: 기체가 가지고 있는 에너지를 의미하며, 기체의 부피가 일정할 때 기체의 내부 에너지는 온도에 의해 결정된다.

27. 윗글의 내용과 일치하지 않는 것은?

- ① 열역학적 변수들이 같은 두 계는 같은 상태에 있다.
- ② 열역학 제1법칙에 따르면 우주의 에너지 총량은 일정하다.
- ③ 열린계에서는 주위와 물질 교환 없이 에너지 교환만 일어난다.
- ④ 어떤 계가 초기 상태에서 최종 상태로 진행하면서 거칠 수 있는 경로는 무한히 많다.
- ⑤ 계와 주위 사이에 에너지 교환이 일어날 때 계의 에너지가 증가하면 주위의 에너지는 감소한다.

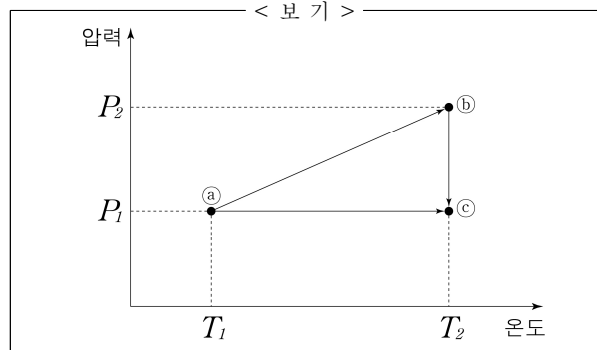
28. 윗글을 바탕으로 <보기>를 이해한 내용으로 가장 적절한 것은?

< 보 기 >

물이 담긴 수조에 절반 정도 잠기도록 놓인 비커 속 물에 진한 황산을 넣어서 묽은 황산 용액을 만들면, 묽은 황산 용액은 물론 비커 주위의 수조 속 물의 온도까지 높아진다. 이는 황산이 이온으로 되면서 열이 방출되고, 이 열이 수조 속 물에도 전달되기 때문이다.

- ① 묽은 황산 용액이 만들어지는 과정은 발열 과정으로, 이 과정과 관련된 열은 $-Q$ 로 표시되었을 것이다.
- ② 진한 황산을 넣은 물은 주위와 물질 및 에너지 교환이 일어나는 고립계에 해당하겠군.
- ③ 비커 속 물의 에너지와 수조 속 물의 에너지는 모두 감소했겠군.
- ④ 묽은 황산 용액은 수조 속의 물로부터 에너지를 흡수했겠군.
- ⑤ 비커 속의 물과 수조 속의 물은 모두 경계에 해당하겠군.

29. <보기>는 [가]를 그래프로 표시한 것이다. <보기>를 참고하여 [가]를 이해한 내용으로 적절하지 않는 것은? [3점]



- ① A의 경우 a 상태에서 c 상태가 되는 경로에서 실린더 속 기체의 부피가 증가한다.
- ② B의 경우 a 상태에서 b 상태가 되는 경로에서 온도가 점차 높아진다.
- ③ B의 경우 b 상태에서 c 상태가 되는 경로에서 실린더 속 기체의 부피가 증가한다.
- ④ a 상태에서 실린더 속 기체의 내부 에너지는 A의 경우와 B의 경우가 같을 것이다.
- ⑤ c 상태에서 실린더 속 기체의 내부 에너지는 A의 경우보다 B의 경우가 클 것이다.

30. 문맥을 고려할 때 ㉠과 바꾸어 쓰기에 가장 적절한 것은?

- ① 동일한
- ② 동반한
- ③ 동화한
- ④ 균일한
- ⑤ 유일한

◆ 17-9평 31~34번

[31~34] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

18세기에는 열의 실체가 칼로릭(caloric)이며 칼로릭은 온도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 흐르는 성질을 갖고 있는, 질량이 없는 입자들의 모임이라는 생각이 받아들여지고 있었다. 이를 칼로릭 이론이라 ㉠부르는데, 이에 따르면 찬 물체와 뜨거운 물체를 접촉시켜 놓았을 때 두 물체의 온도가 같아지는 것은 칼로릭이 뜨거운 물체에서 차가운 물체로 이동하기 때문이라는 것이다. 이러한 상황에서 과학자들의 큰 관심사 중의 하나는 증기 기관과 같은 열기관의 열효율 문제였다.

열기관은 높은 온도의 열원에서 열을 흡수하고 낮은 온도의 대기와 같은 열기관 외부에 열을 방출하며 일을 하는 기관을 말하는데, 열효율은 열기관이 흡수한 열의 양 대비 한 일의 양으로 정의된다. 19세기 초에 카르노는 열기관의 열효율 문제를 칼로릭 이론에 기반을 두고 ㉠ 다루었다. 카르노는 물레방아와 같은 수력 기관에서 물이 높은 곳에서 낮은 곳으로 ㉡ 흐르면서 일을 할 때 물의 양과 한 일의 양의 비가 높이 차이에만 좌우되는 것에 주목하였다. 물이 높이 차에 의해 이동하는 것과 흡사하게 칼로릭도 고온에서 저온으로 이동하면서 일을 하게 되는데, 열기관의 열효율 역시 이러한 두 온도에만 의존한다는 것이었다.

한편 1840년대에 줄(Joule)은 일정량의 열을 얻기 위해 필요한 각종 에너지의 양을 측정하는 실험을 행하였다. 대표적인 것이 열의 일당량 실험이었다. 이 실험은 열기관을 대상으로 한 것이 아니라, 추를 낙하시켜 물속의 날개바퀴를 회전시키는 실험이었다. 열의 양은 칼로리(calorie)로 표시되는데, 그는 역학적 에너지인 일이 열로 바뀌는 과정의 정밀한 실험을 통해 1 kcal의 열을 얻기 위해서 필요한 일의 양인 열의 일당량을 측정하였다. 줄은 이렇게 일과 열은 형태만 다를 뿐 서로 전환이 가능한 물리량으로 등가성을 갖는다는 것을 입증하였으며, 열과 일이 상호 전환될 때 열과 일의 에너지를 합한 양은 일정하게 보존된다는 사실을 알아내었다. 이후 열과 일뿐만 아니라 화학 에너지, 전기 에너지 등이 등가성을 가지며 상호 전환될 때에 에너지의 총량은 변하지 않는다는 에너지 보존 법칙이 입증되었다.

열과 일에 대한 이러한 이해는 카르노의 이론에 대한 과학자들의 재검토로 이어졌다. 특히 톰슨은 ㉢ 칼로릭 이론에 입각한 카르노의 열기관에 대한 설명이 줄의 에너지 보존 법칙에 위배된다고 지적하였다. 카르노의 이론에 의하면, 열기관은 높은 온도에서 흡수한 열 전부를 낮은 온도로 방출하면서 일을 한다. 이것은 줄이 입증한 열과 일의 등가성과 에너지 보존 법칙에 ㉣ 어긋나는 것이어서 열의 실체가 칼로릭이라는 생각은 더 이상 유지될 수 없게 되었다. 하지만 열효율에 관한 카르노의 이론은 클라우지우스의 증명으로 유지될 수 있었다. 그는 카르노의 이론이 유지되지 않는다면 열은 저온에서 고온으로 흐르는 현상이 ㉤ 생길 수도 있을 것이라는 가정에서 출발하여, 열기관의 열효율은 열기관이 고온에서 열을 흡수하고 저온에 방출할 때의 두 작동 온도에만 관계된다는 카르노의 이론을 증명하였다.

클라우지우스는 자연계에서는 열이 고온에서 저온으로만 흐르고 그와 반대되는 현상은 일어나지 않는 것과 같이 경험적으로 알 수 있는 방향성이 있다는 점에 주목하였다. 또한 일이 열로 전환될 때와는 달리, 열기관에서 열 전부를 일로 전환할 수 없다는, 즉 열효율이 100%가 될 수 없다는 상호 전환 방향에 관한 비대칭성이 있다는 사실에 주목하였다. 이러한 방향성과 비대칭성에 대한 논의는 이를 설명할 수 있는 새로운 물리량인 엔트로피의 개념을 낳았다.

31. 윗글에서 알 수 있는 내용으로 가장 적절한 것은?

- ① 열기관은 외부로부터 받은 일을 열로 변환하는 기관이다.
- ② 수력 기관에서 물의 양과 한 일의 양의 비는 물의 온도 차이에 비례한다.
- ③ 칼로릭 이론에 의하면 차가운 쇠구슬이 뜨거워지면 쇠구슬의 질량은 증가하게 된다.
- ④ 칼로릭 이론에서는 칼로릭을 온도가 낮은 곳에서 높은 곳으로 흐르는 입자라고 본다.
- ⑤ 열기관의 열효율은 두 작동 온도에만 관계된다는 이론은 칼로릭 이론의 오류가 밝혀졌음에도 유지되었다.

32. 윗글로 볼 때 ㉢의 내용으로 가장 적절한 것은?

- ① 화학 에너지와 전기 에너지는 서로 전환될 수 없는 에너지라는 점
- ② 열의 실체가 칼로릭이라면 열기관이 한 일을 설명할 수 없다는 점
- ③ 자연계에서는 열이 고온에서 저온으로만 흐르는 것과 같은 방향성이 있는 현상이 존재한다는 점
- ④ 열효율에 관한 카르노의 이론이 맞지 않는다면 열은 저온에서 고온으로 흐르는 현상이 생길 수 있다는 점
- ⑤ 열기관의 열효율은 열기관이 고온에서 열을 흡수하고 저온에 방출할 때의 두 작동 온도에만 관계된다는 점

33. 윗글을 바탕으로 할 때, <보기>의 [가]에 들어갈 말로 가장 적절한 것은? [3점]

—<보 기>—

줄의 실험과 달리, 열기관이 흡수한 열의 양(A)과 열기관으로부터 얻어진 일의 양(B)을 측정하여 $\frac{B}{A}$ 로 열의 일당량을 구하면, 그 값은 ([가])는 결과가 나올 것이다.

- ① 열기관의 두 작동 온도의 차이가 일정하다면 줄이 구한 열의 일당량과 같다
- ② 열기관이 열을 흡수할 때의 온도와 상관없이 줄이 구한 열의 일당량과 같다
- ③ 열기관이 흡수한 열의 양이 많을수록 줄이 구한 열의 일당량보다 더 커진다
- ④ 열기관의 두 작동 온도의 차이가 커질수록 줄이 구한 열의 일당량보다 더 커진다
- ⑤ 열기관이 흡수한 열의 양과 두 작동 온도에 상관없이 줄이 구한 열의 일당량보다 작다

34. 윗글의 ㉠~㉤과 같은 의미로 사용된 것은?

- ① ㉠: 웃음은 또 다른 웃음을 부르는 법이다.
- ② ㉡: 그는 익숙한 솜씨로 기계를 다루고 있었다.
- ③ ㉢: 이야기가 엉뚱한 방향으로 흐르고 있다.
- ④ ㉣: 그는 상식에 어긋나는 일을 한 적이 없다.
- ⑤ ㉤: 하늘을 보니 당장이라도 비가 오게 생겼다.

◆ 17년 11월 고2 25~29번

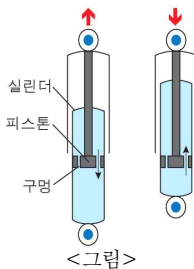
[25 ~ 29] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

선반에 고정된 스프링 끝에 추를 매달면 추의 무게와 스프링이 추를 당기는 힘이 같아지는 지점에서 추는 멈추게 된다. 이 상태에서 추를 아래로 잡아당겨 보자. 추를 당기는 힘으로 인해 스프링은 늘어나는데 아래로 잡아당길수록 더 큰 힘이 필요하다. 이는 추를 당기는 힘에 대항하는 스프링의 탄성력 때문이다. 탄성력이란 고무줄이나 스프링같이 탄성을 가진 물체가 원래의 모양으로 되돌아가려는 힘이며, 길이를 늘이거나 압축하는 방향의 반대 방향으로 작용한다. 당겼던 추를 놓으면 탄성력에 의해 추는 상하로 진동하다가 추를 당기기 전과 동일한 지점에서 멈추게 된다. 이 지점을 평형점이라고 한다.

① 이러한 추의 진동 과정은 에너지의 전환 과정으로도 설명될 수 있다. 추를 잡아당길 때, 추를 잡아당기는 데에 사용한 에너지가 스프링에 저장되었다고 할 수 있는데 이때 저장된 에너지를 탄성력에 의한 '퍼텐셜 에너지'라고 한다. 당겼던 추를 놓으면 스프링은 탄성력에 의해 스프링에 저장된 퍼텐셜 에너지만큼 추를 수직 방향으로 상향, 가속시키는 일을 한다. 즉 스프링에 저장된 퍼텐셜 에너지가 추의 운동 에너지로 전환되는 것이다. 수직 상향하던 추는 평형점을 지날 때에 속력이 가장 빠르고 운동 에너지는 최대가 된다. 이후 추는 계속 상향하면서 스프링을 누르는 일을 하여 결국 속도가 0인 최고점에 도달하게 된다. 즉 평형점을 지나면서 추의 운동 에너지는 스프링의 퍼텐셜 에너지로 전환되는 것이다. 이후 스프링에 저장된 퍼텐셜 에너지는 상향으로 운동할 때와 방향이 반대일 뿐, 같은 과정을 거쳐 운동 에너지로 전환되어 추를 수직 하향하게 한다. 만약 추의 운동을 방해하는 힘이 없고 공기 저항 등으로 인한 손실이 전혀 없다고 가정한다면 이러한 에너지 전환 과정이 반복되면서 스프링과 추는 계속 진동하게 될 것이다. 즉 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합은 항상 일정한 상태로 유지되는 것이다. 하지만 실제로는 공기와 스프링의 마찰 등에 의해 추의 운동 에너지가 열에너지로

전환되므로 에너지 전환 과정이 반복될수록 진동은 점차적으로 줄기 마련이다. 이를 '감쇠 현상'이라고 한다.

이와 같이 진동에서 일어나는 에너지 전환과, 감쇠의 원리를 적절히 응용한 것이 **현가장치**의 스프링과 쇼크업소버이다. 먼저 차체와 바퀴 사이에 위치한 스프링은 진동을 활용하여 지면에서 받는 충격이 차체로 전달되는 것을 줄여주는 역할을 한다. 예를 들어 ㉠ 평지를 달리던 자동차가 과속 방지턱을 지난 후 높이 변화가 없는 평지를 계속 달리고 있다고 하자. 과속 방지턱에서 받은 충격으로 스프링은 차체와 바퀴 사이에서 눌러 퍼텐셜 에너지가 스프링에 저장된다. 이 에너지로 인해 스프링은 스프링 상단의 차체를 밀어 올리는 일을 하게 된다. 따라서 차체는 수직으로 상향, 가속되다가 평형점을 지나 감속되면서 운동 에너지가 퍼텐셜 에너지로 완전히 전환되는 최고점에 이른다. 이후 차체는 하향, 가속되다가 평형점을 지나 최저점에 도달하게 된다. 이와 같은 에너지 전환이 반복되면서 차체와 스프링은 진동하게 되는 것이다. 하지만 스프링만으로는, 차체 진동의 평형점에서 최고점이나 최저점까지의 거리인 진폭을 줄이는데 시간이 오래 걸리므로 차에 탄 사람에게 불쾌감을 주게 된다. 그래서 스프링의 진동을 줄여주는 장치가 추가로 필요한데, 그것이 바로 스프링과 연결되어 있는 ㉡ 쇼크업소버이다.



<그림>에서와 같이 쇼크업소버는 액체로 가득 찬 밀폐된 실린더와, 그 속에 여러 개의 작은 구멍이 뚫린 피스톤으로 구성되어 있으며 실린더의 윗부분은 차체, 아랫부분은 바퀴와 연결되어 있다. 자동차가 과속 방지턱을 지나 차체와 스프링이 진동할 때, 피스톤도 실린더의 상단이나 하단으로 이동하게 된다. 예를 들어 차체가 수직으로 하향할 때 피스톤도 실린더의 하단으로 이동하게 된다. 이때 피스톤 아래에 있던 액체는 작은 구멍을 통해 피스톤 위로 이동하게 되는데 구멍의 크기가 작아 액체와 구멍 사이에서 마찰이 발생하기 때문에 피스톤이 하단으로 이동하는 속도가 그만큼 줄어들어 천천히 움직이게 된다. 이때 마찰에 의해 열이 발생하여 실린더 내부의 온도가 상승하게 되는데, 이를 에너지의 전환으로 설명하면 운동 에너지가 열 에너지로 흩어지게 되는 것이다. 이와 같은 과정을 통해 쇼크업소버는 차체 진동의 진폭을 줄이게 된다. 결국 자동차의 승차감은 현가장치의 스프링과 쇼크업소버의 기능이 적절히 결합해 만들어지는 것이다.

* 현가장치: 자동차가 주행 중 노면으로부터 바퀴를 통하여 받게 되는 충격을 흡수하여 차체나 화물의 손상을 방지하고 승차감을 좋게 하는 장치.

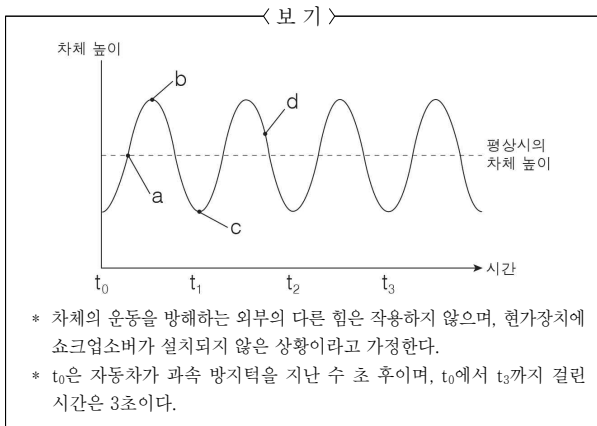
25. 밑글의 표제와 부제로 가장 적절한 것은?

- ① 현가장치 스프링과 쇼크업소버의 역사
 - 에너지 전환 이론을 중심으로
- ② 현가장치 스프링과 쇼크업소버의 역할
 - 평형점의 이동 원리를 중심으로
- ③ 현가장치 스프링과 쇼크업소버의 작동 원리
 - 에너지 전환과 진동의 감쇠를 중심으로
- ④ 현가장치 스프링과 쇼크업소버의 장점과 단점
 - 에너지의 발생과 감쇠를 중심으로
- ⑤ 현가장치 스프링과 쇼크업소버의 주요 기능
 - 열에너지의 감소 과정을 중심으로

26. ㉠에 대한 이해로 적절하지 않은 것은?

- ① 스프링 대신 고무줄을 사용해도 유사한 현상이 발생할 것이다.
- ② 추를 수직 하향으로 당기면 스프링의 탄성력은 수직 상향으로 작용한다.
- ③ 추를 당겨서 스프링을 늘이려면 스프링의 탄성력보다 큰 힘이 필요하다.
- ④ 추를 당겼다 놓은 후 추가 진동하다 멈추는 것은 공기의 저항 등에 따른 감쇠 현상 때문일 것이다.
- ⑤ 추를 잡아당겼다 놓으면 스프링의 진동은 추를 당기기 전보다 높은 지점에서 결국 멈추게 될 것이다.

[27~28] <보기>는 위글의 ㉡의 상황에서 나타난 차체의 진동을 그래프로 표현한 것이다. 위글과 <보기>를 바탕으로 27번과 28번 물음에 답하시오.



27. 위글을 바탕으로 <보기>를 이해한 학생의 반응으로 적절하지 않은 것은? [3점]

- ① a는 차체 진동의 평형점으로, a에서의 차체의 수직 방향의 속력은 d에서보다 더 빠르겠군.
- ② b는 수직으로 운동하는 차체의 운동 에너지보다 스프링에 저장된 퍼텐셜 에너지가 큰 지점이겠군.
- ③ b와 c는 스프링이 수직 방향으로 움직이는 속도가 0이 되는 지점이겠군.
- ④ c는 수직 하향하던 차체의 운동 에너지가 0이 되는 지점이겠군.
- ⑤ d는 차체의 높이가 낮아지면서 탄성력에 의해 스프링이 늘어나고 있는 지점이겠군.

28. <보기>의 상황에서 ㉢을 추가로 설치했다고 할 때, 추론한 내용으로 적절하지 않은 것은?

- ① 차체의 높이가 a를 지날 때 ㉢의 피스톤은 실린더의 윗부분으로 이동하고 있을 것이다.
- ② 차체의 높이가 a에서 b가 되는 과정에서 ㉢의 피스톤 아래의 액체는 피스톤 위로 이동하게 될 것이다.
- ③ 차체의 높이 변화라고 할 수 있는 b에서 c까지의 수직 거리는 ㉢의 실린더에서 발생한 마찰로 인해 시간이 흐를수록 감소하게 될 것이다.
- ④ 차체의 높이가 c를 지나게 되면 실린더의 아래쪽으로 이동하던 ㉢의 피스톤의 방향은 전환되었을 것이다.
- ⑤ 차체의 높이가 d일 때 ㉢의 피스톤 아래의 액체가 작은 구멍을 통과하면서 실린더 내부에는 열이 발생할 것이다.

29. 위글의 [현가장치]에 대해 이해한 내용으로 가장 적절한 것은?

- ① 스프링은 열을 탄성력으로 바꾸고, 쇼크업소버는 진동의 충격을 열로 바꾸는군.
- ② 스프링은 충격이 차체로 전달되는 것을 줄여주고, 쇼크업소버는 차체 진동의 진폭을 줄이는군.
- ③ 스프링은 차체의 진동방향을 바꾸고, 쇼크업소버는 차체 진동의 속도를 높이는 역할을 하는군.
- ④ 스프링에서는 운동 에너지가 열에너지로 전환되고, 쇼크업소버에서는 열에너지가 운동 에너지로 전환되는군.
- ⑤ 스프링에서는 공기와 스프링의 마찰을 늘려서, 쇼크업소버에서는 액체와 피스톤의 마찰을 억제해서 열이 발생되는군.

◆ 19년 11월 고1 16~20번

[16 ~ 20] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

지역난방은 열병합 발전소에서 전기 생산을 위해 사용된 열을 회수하여 인근 지역의 난방에 활용하는 것이다. 지역난방에서는 회수된 열로 데워진 물을 배관을 통해 인근 지역으로 공급함으로써 열을 수송하는 방식을 주로 사용하는데, 근래에는 열 수송의 효율성을 높이기 위해 상변화 물질을 활용하는 방식을 개발하고 있다.

열 수송에 사용되는 상변화 물질이란, 상변화를 할 때 수반되는 ㉠ 잠열을 효율적으로 사용하기 위해 활용되는 물질을 말한다. 상변화란, 물질의 상태를 고체, 액체, 기체로 분류할 때, 주변의 온도나 압력 변화에 의해 어떤 물질이 이전과 다른 상태로 변하는 것을 의미하는데, 얼음이 물이 되거나 물이 수증기가 되는 것 등이 이에 해당한다. 이러한 변화에는 열이 수반되는데, 이를 ‘잠열’이라고 한다. 예를 들어 비커에 일정량의 얼음을 넣고 가열하면 얼음의 온도가 올라가게 되고, 0℃에 도달하면 얼음이 물로 변하기 시작하여 비커 속에는 얼음과 물이 공존하게 된다. 그런데 비커 속 얼음이 모두 물로 변할 때까지는 온도가 올라가지 않고 계속 0℃를 유지하는데, 이는 비커에 가해진 열이 물질의 온도 변화가 아닌 상변화에 사용되었기 때문이다. 이렇게 상변화에 사용된 열이 잠열인데, 이는 물질의 온도 변화로 나타나지 않는 숨어 있는 열이라는 뜻이다. 잠열은 물질마다 그 크기가 다르며, 일반적으로 물질이 고체에서 액체가 되거나 액체에서 기체가 될 때, 또는 고체에서 바로 기체가 될 때에는 잠열을 흡수하고 그 반대의 경우에는 잠열을 방출한다. 한편 비커를 계속 가열하여 얼음이 모두 녹아 물이 된 후에는 다시 온도가 올라가기 시작한다. 이렇게 얼음의 온도가 올라가거나 물의 온도가 올라가는 것처럼 온도 변화로 나타나는 열을 ‘현열’이라고 한다.

그렇다면 상변화 물질의 특성을 이용하여 열 수송을 하면 어떤 장점이 있는 것일까? 상변화 물질을 활용하여 열병합 발전소에서 인근 지역 공동주택으로 열을 수송하는 과정을 통해 이를 살펴보자. 열병합 발전소에서는 발전에 사용된 수증기를 열교환기로 ㉡ 보낸다. 열교환기로 이동한 수증기는 열 수송에 사용되는 물에 열을 전달하여 물을 데운다. 이 물 속에는 고체 상태의 상변화 물질이 담겨 있는 마이크로 단위의 캡슐이 섞여 있다. 이 상변화 물질의 녹는점은 물의 어는점과 끓는점 사이에 있기 때문에, 물이 데워져 물의 온도가 상변화 물질의 녹는점 이상이 되면 상변화 물질은 액체로 상변화하게 된다. 액체가 된 상변화 물질이 섞인 물은 열교환기에서 나와 온수 공급관을 통해 인근 지역 공동주택 기계실의 열교환기로 이동한다. 이 과정에서 상변화 물질이 고체로 상변화되지 않아야 하므로 이동하는 물의 온도는 상변화 물질의 녹는점 이상으로 유지되어야 한다.

공동주택 기계실의 열교환기로 이동한 물과 캡슐 속 상변화 물질은 공동주택의 찬물에 열을 전달하면서 온도가 내려간다. 이렇게 공동주택의 찬물을 데우는 과정에서 상변화 물질의 온도가 상변화 물질의 녹는점 이하로 내려가면 캡슐 속 상변화 물질은 액체에서 고체로 상변화하면서 잠열을 방출하게 되는데, 이 역시 찬물을 데우는 데 사용된다. 즉 온수 공급관을 통해 이동해 온 물의 현열과 캡슐 속 상변화 물질의 현열, 그리고 상변화 물질의 잠열이 공동주택의 찬물을 데우는 데 모두 사용되는 것이다. 이렇게 데워진 공동주택의 물은 각 세대의 난방기로 공급되어 세대 난방을 하게 되고, 상변화 물질 캡슐이 든 물은 온

수 회수관을 통해 다시 발전소로 회수되어 재사용된다.

이와 같이 상변화 물질을 활용한 열 수송 방식을 사용하면 현열만 사용하던 기존의 열 수송 방식과 달리 현열과 잠열을 모두 사용할 수 있으므로 온수 공급관을 통해 보내는 물의 온도를 현저히 낮출 수 있어 열 수송의 효율성이 개선된다. 이때 상변화 물질 캡슐의 양을 늘릴수록 열 수송에 활용할 수 있는 잠열의 양은 증가하겠지만 캡슐의 양이 일정 수준 이상으로 늘어나면 물이 원활하게 이동할 수 없으므로 캡슐의 양을 증가시키는 데에는 한계가 있다.

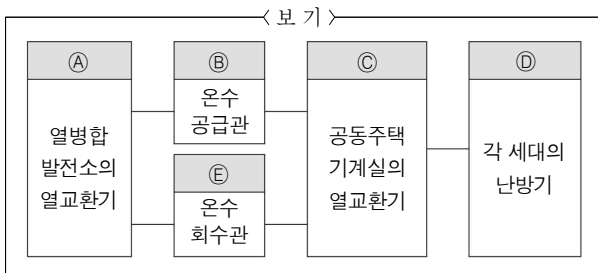
16. 윗글의 내용과 일치하지 않는 것은?

- ① 상변화는 주변의 온도나 압력 변화에 의해 물질의 상태가 변하는 것을 의미한다.
- ② 열병합 발전소에서는 전기 생산에 사용된 수증기의 열을 회수하여 인근 지역으로 공급한다.
- ③ 상변화 물질이 들어 있는 캡슐의 양은 물의 이동을 고려해야 하므로 일정 수준 이상 늘릴 수 없다.
- ④ 상변화 물질을 활용하여 열을 수송하는 방식을 사용하는 것은 열 수송의 효율성을 높이기 위해서이다.
- ⑤ 상변화 물질을 활용한 열 수송 방식에서는 온수 공급관으로 보내는 물의 온도를 기존 방식보다 높여야 한다.

17. ㉠에 대한 설명으로 적절하지 않은 것은?

- ① 물질마다 크기가 각기 다르다.
- ② 물질의 온도 변화로 나타나지 않는다.
- ③ 숨어 있는 열이라는 뜻을 지니고 있다.
- ④ 물질의 상변화가 일어날 때 흡수되거나 방출된다.
- ⑤ 상변화하고 있는 물질의 현열을 증가시키는 역할을 한다.

18. <보기>는 상변화 물질을 활용한 열 수송 과정을 도식화한 것이다. 윗글을 바탕으로 <보기>에 대해 이해한 내용으로 적절하지 않은 것은? [3점]



- ① ㉠에서 캡슐 속 상변화 물질의 온도는 상변화 물질의 녹는점 이상으로 올라가겠군.
- ② ㉡에서는 물에 있는 캡슐 속 상변화 물질의 상변화가 일어나지 않겠군.
- ③ ㉡와 ㉢를 통해 이동하는 물에 있는 상변화 물질의 상태는 서로 같겠군.
- ④ ㉣에서 공동주택의 찬물은 현열과 잠열에 의해 데워져 ㉤에 공급되겠군.
- ⑤ ㉢를 통해 회수된 물에 있는 상변화 물질은 ㉠에서 다시 상변화 과정을 거쳐 재사용되겠군.

19. 윗글을 읽은 학생이 <보기 1>을 보고 <보기 2>와 같이 메모했을 때, ㉠~㉣에 들어갈 말로 적절한 것은?

<보기 1>

A 기업에서는 녹는점이 15℃인 상변화 물질을 벽에 넣어 밤과 낮의 온도 차가 크더라도 벽의 온도를 일정하게 만들 수 있는 기술을 연구하고 있다.

<보기 2>

벽의 온도가 15℃보다 높아지면 이 상변화 물질은 (㉠)로 상변화할 것이고, 이때 잠열을 (㉡)할 것이다. 이렇게 상변화가 일어나는 중에는 상변화 물질의 온도가 (㉢) 것이다.

- | | | | |
|---|----|----|-----|
| | ㉠ | ㉡ | ㉢ |
| ① | 액체 | 흡수 | 유지될 |
| ② | 액체 | 흡수 | 상승할 |
| ③ | 액체 | 방출 | 유지될 |
| ④ | 고체 | 흡수 | 유지될 |
| ⑤ | 고체 | 방출 | 상승할 |

20. ㉠과 문맥적 의미가 가장 유사한 것은?

- ① 그는 선물을 동생 집으로 보냈다.
- ② 그는 그저 멍하니 세월만 보냈다.
- ③ 그는 아들을 작년에 장가를 보냈다.
- ④ 관객들은 연주자에게 박수를 보냈다.
- ⑤ 그녀는 슬피 울며 정든 친구를 보냈다.

◆ 25년 3월 고2 27~30번

[27~30] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

열펌프(heat pump)는 물 펌프가 낮은 곳에 있는 물을 높은 곳으로 운반하는 것처럼 저온에서 고온으로 열을 운반하는 장치를 뜻한다. 열펌프는 일반적인 난방 혹은 난방 장치와 달리 난방과 난방이 모두 가능하다.

열펌프에서는 작동 유체인 냉매의 ‘증발-압축-응축-팽창’으로 이루어진 순환 공정이 반복되는데, 이 순환 공정을 냉매의 한 사이클이라 한다. 냉매가 증발기에 유입되면 냉매는 저열, 공장의 폐열 등 저온의 열원에서 증발기에 달려 있는 열 교환기를 통해 열을 흡수하며 기체로 증발한다. 냉매 기체는 압축기로 들어가서 압축된다. 이때 냉매 기체를 압축하려면 전

기 에너지를 투입해야 한다. 냉매 기체가 압축되면 매우 높은 온도와 큰 압력을 갖는다. 이후 냉매는 응축기로 유입되어 응축기에 달려 있는 열 교환기를 통해 고온의 열원인 실내로 열을 방출하고, 기체였던 냉매는 액체가 된다. 이때 실내로 방출된 열이 난방에 쓰인다. 응축기에서 나온 냉매는 팽창 밸브를 지나면서 온도와 압력이 낮아져 처음에 증발기로 들어갔던 에너지와 동일한 양의 에너지를 갖고 다시 증발기로 들어간다. 이와 같은 일련의 순환 공정이 열펌프에서 냉매의 한 사이클이다.

열펌프에 설치되어 있는 역전 밸브는 냉매의 흐름 방향을 역으로 바꿀 수 있다. 이때는 난방 목적으로 쓰였던 응축기가 증발기로 작동하고, 증발기가 응축기의 역할을 한다. 따라서 역전 밸브를 통해 냉매의 흐름 방향을 역으로 바꾸면 난방 목적으로 쓰였던 실내의 응축기가 난방을 위한 증발기로 작용한다. 이를 통해 열펌프는 난방과 난방이 모두 가능하게 된다.

그렇다면 열펌프의 성능은 어떻게 표현할 수 있을까? 열펌프는 저온의 열원에서 받은 열에너지와 압축 과정에서 투입되는 전기 에너지, 이 두 가지 에너지의 합에 해당하는 열에너지를 난방에 사용한다. 따라서 고온의 열원에서 열을 받아 일을 수행하고 나머지 열을 저온 열원으로 방출하는 열기관의 성능 평가 지수인 ㉠ 열효율로는 성능을 표현할 수 없다. 열기관의 열효율은 열기관이 고온의 열원에서 받은 열의 양 대비 수행한 일이다. 이와 달리 열펌프는 성적 계수라는 성능 평가 지수를 사용한다.

열펌프의 ㉡ 성적 계수는 고온 열원에 열을 방출하는 부분인 고온부의 성적 계수(COP_H)와 저온 열원에서 열을 흡수하는 부분인 저온부의 성적 계수(COP_C) 두 가지가 함께 사용된다. COP_H 는 압축기에 투입된 전기 에너지당 고온의 열원으로 전달된 열의 양이다. 반면, COP_C 는 압축기에 투입된 전기 에너지당 저온의 열원에서 열펌프로 전달된 열의 양이다. 열역학 제1 법칙에 의하면 에너지는 그 형태가 변화할 수는 있지만 전체 양은 보존된다. 따라서 ㉢ 열펌프의 냉매가 한 사이클을 순환할 때 저온의 열원에서 열펌프로 공급된 열과 압축기에 투입한 전기 에너지의 합은 고온의 열원으로 전달한 열의 양이 된다. 이러한 관계식에서 양변을 투입된 전기 에너지의 양으로 나누면 COP_H 는 COP_C 에 1을 더한 값이다. 이러한 관계는 COP_H 와 COP_C 중 어느 하나가 바뀌면 다른 하나도 바뀌게 된다는 것을 의미한다.

열펌프의 성적 계수를 향상하기 위해 복잡한 구조의 열펌프도 활발히 개발되고 있다. 복잡한 구조의 열펌프도 본질적으로는 위의 원리를 따른다. 열펌프는 난방과 난방이 모두 가능하다. 또한 폐열을 사용할 수 있어 화석 연료 고갈에 따른 에너지 문제를 해결하는 데 일조하는 장치로 각광받고 있다.

27. 밑글에서 알 수 있는 내용으로 가장 적절한 것은?

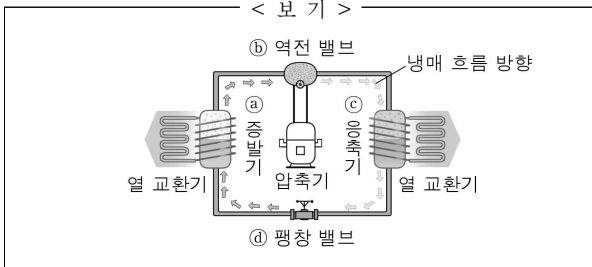
- ㉠ 열기관과 열펌프 모두 외부에 열을 방출한다.
- ㉡ 열펌프의 냉매는 순환 공정에서 고체의 형태로 변환된다.
- ㉢ 열펌프의 성적 계수를 향상하기 위해서 화석 연료를 사용하는 것이 필요하다.
- ㉣ 공장에서 발생하는 폐열은 열펌프에서 저온의 열원으로 사용하기에 적절하지 않다.
- ㉤ 열펌프에 유입된 전체 에너지의 합보다 열펌프를 통해 나가는 에너지가 더욱 크다.

28. ㉠, ㉡에 대한 이해로 적절하지 않은 것은?

- ① ㉠의 '수행한 일'은 고온의 열원에서 받은 열의 양보다 크지 않다.
- ② ㉡의 COP_H 가 커지면 이에 따라 COP_C 도 커진다.
- ③ ㉡의 COP_H 는 COP_C 보다 큰 값을 갖지 않는 경우가 있다.
- ④ ㉠은 1보다 작고 ㉡의 COP_H 는 1보다 크다.
- ⑤ ㉠과 ㉡ 모두 들어가는 열의 양당 방출하는 열의 비가 바뀌면 그 값이 바뀐다.

29. <보기>는 '열펌프'를 그림으로 나타낸 것이다. <보기>의

㉠ ~ ㉤에 대한 이해로 가장 적절한 것은? [3점]



- ① ㉢를 통해 냉매 흐름의 방향을 바꾸어도 압축기는 냉매의 온도를 높이는 역할을 한다.
- ② ㉣의 열 교환기는 실내에서 열을 흡수하여 실내의 온도를 낮춘다.
- ③ ㉤는 냉매의 압력과 온도를 높이는 역할을 한다.
- ④ 냉매가 ㉠로부터 ㉡에 도달했을 때 냉매의 한 사이클이 수행된다.
- ⑤ ㉠에서 압축기로 들어가는 냉매와 달리 ㉢와 ㉣ 사이의 냉매는 액체이다.

30. ㉠의 전제로 가장 적절한 것은?

- ① 열펌프로 지열이 아닌 공기의 열을 순환한다.
- ② 열펌프는 냉방과 난방에 동시에 사용될 수 있다.
- ③ 열펌프의 역전 밸브는 열펌프의 성능을 증가시킨다.
- ④ 열펌프는 물 펌프와 같이 냉매를 더 높은 위치로 이동시켜야 한다.
- ⑤ 열펌프의 냉매는 한 사이클을 마치면 동일한 양의 에너지를 갖는다.

◆ 12 LEET 언어이해 30~32번

[30~32] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

19세기 후반에 발견된 자기(磁氣) 열량 효과는 20세기 전반에 이르러 자기 냉각 기술에 활용될 수 있음이 확인되었고 이로부터 자기 냉각 기술은 오늘날 극저온을 만드는 고급 기술로 발전하였다. ㉠ 일반 냉장고는 가스 냉매가 압축될 때 열을 방출하고 팽창될 때 열을 흡수하는 열역학적 순환 과정을 이용하여 냉장고 내부의 열을 외부로 방출시킨다. 그러나 가스 냉매는 일정한 온도 이하로 내려가면 응고되어 냉매로서 기능을 할 수 없게 되거나 누출되었을 때 환경오염을 유발하는 문제점이 있다. 최근 자기 냉각 기술은 일반 냉장고를 대신할 수 있는 냉장고의 개발에 이용될 수 있음이 확인되었다. 자기 냉각 기술에 사용되는 자기 물질의 자기적 특성에 따라 냉장고가 작동되는 온도 범위가 달라지기 때문에 자기 냉각 기술에 사용하기 적합한 자기 물질의 개발이 매우 중요한데, 최근 실온에서 작동 가능한 실온 자기 냉장고를 만들 수 있는 새로운 자기 물질의 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

자기 물질은 자화(磁化)되는 물질을 의미한다. 물질의 자화는 외부에서 가하는 자기장의 세기 및 자기 물질에 들어 있는 단위 부피당 자기 쌍극자의 수에 비례한다. 여기서 자기 쌍극자는 자기 물질 속에 존재하는 초소형 자석을 의미한다. 자기 물질은 강자성체와 상자성체로 구분된다. 강자성체는 외부의 자기장이 제거되었을 때에도 자기적 성질을 유지하는 물질이며, 상자성체는 외부의 자기장이 제거되면 자기적 성질을 잃어버리는 물질이다. 강자성체는 온도를 올리면 일정 온도에서 상자성체로 상전이를 하는데, 이때 자기 물질의 엔트로피는 증가한다.

자기 열량 효과는 자기 물질에 외부에서 자기장을 가했을 때 그 물질이 열을 발산하는 현상에서 비롯된다. ㉡ 자기 냉장고는 이 효과를 이용한 열역학적 순환 과정을 통해 냉장고 내부의 열을 외부로 방출한다. 이 순환 과정은 열 출입이 없는 두 과정과 자기장이 일정한 두 과정으로 구성된다. 여기서 열 출입이 없는 열역학적 과정에서는 엔트로피 변화가 없다. 자기 냉장고에서 열역학적 순환 과정은 다음의 I, II, III, IV 네 과정을 거치면서 진행된다. 과정 I에서는, 자기 쌍극자들이 무질서하게 배열되어 있던, 온도가 T 인 작용물질에 외부와의 열 출입이 차단된 상태에서 자기장을 가하면 작용물질의 쌍극자들이 자기장의 방향으로 정렬하면서 열이 발생하고 작용물질의 온도가 상승한다. 이때 자기장이 강할수록 작용물질에서 더 많은 열이 발생한다. 과정 II에서는, 외부 자기장을 그대로 유지한 상태로 작용물질과 외부와의 열 출입을 허용하면 이 작용물질은 열을 방출하고 차가워진다. 과정 III에서는, 다시 작용물질과 외부와의 열 출입을 차단한 상태에서 외부의 자기장을 제거하면 쌍극자의 배열이 무질서해지면서 작용물질의 온도가 하강한다. 과정 IV에서는, 작용물질과 외부와의 열 출입을 허용하면 이 작용물질은 열을 흡수하고 온도가 상승하여 초기 온도 T 로 복귀하면서 1회의 순환이 마무리된다. 이러한 순환 과정에서 작용물질이 열을 흡수할 때는 작용물질을 냉장고 내부와 접촉시키고 열을 방출할 때에는 냉장고 외부와 접촉시킨다. 이를 반복하면 작용물질은 냉장고의 내부에서 외부로 열을

피내는 열펌프의 역할을 하게 된다.

효율이 좋은 자기 냉장고를 만들기 위해서는 특정 온도에서 외부에서 가하는 자기장의 변화에 따른 엔트로피 변화량이 큰 자기 물질을 작용물질로 사용해야 한다. 자기 냉장고에서 1회의 순환 과정에서 빠져 나가는 열량은 외부 자기장을 가하기 전과 후의 엔트로피 변화와 밀접한 관련이 있다. 엔트로피는 물질의 자기 상태가 변하는 임계온도에서 가장 큰 폭으로 변한다. 그러므로 작용물질이 상전이하는 임계온도가 냉장고의 작동 온도 근처에 있을 때 그것의 자기 냉각 효과가 크다. 최근에는 임계온도가 실온에 가까운 물질들이 많이 발견되고 있으며, 이것을 이용한 실온 자기 냉장고의 개발이 활발히 진행되고 있다.

30. ㉠과 ㉡을 비교한 것으로 적절하지 않은 것은?

- ① ㉠에서 작용물질의 부피 변화는 ㉡에서 작용물질의 온도 변화와 같은 작용을 한다.
- ② ㉠에서 압력의 변화는 ㉡에서 자기장의 변화에 대응한다.
- ③ ㉠에서 냉매가 하는 역할을 ㉡에서는 자기 물질이 한다.
- ④ ㉠과 ㉡은 모두 열역학적 순환 과정을 이용한다.
- ⑤ ㉠과 ㉡에는 모두 열펌프의 기능이 있다.

31. ‘과정 I ~ IV’에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 과정 I에서 작용물질의 자화는 증가한다.
- ② 과정 II에서는 작용물질의 온도가 내려간다.
- ③ 과정 III에서는 작용물질의 엔트로피가 증가한다.
- ④ 과정 IV에서는 작용물질을 냉장고 내부와 접촉시킨다.
- ⑤ 과정 I ~ IV의 1회 순환에서 자기장의 변화 폭이 클수록 방출되는 열량은 크다.

32. 위 글의 내용으로 보아 <보기>의 A~E 중 실온 자기 냉장고에 사용될 작용물질로 가장 적합한 것은?

<보 기>

자기 물질 A~E 각각의 임계온도에서 자기 물질에 자기장을 걸어 주었을 때 감소한 엔트로피에 대한 자료이다.

자기 물질	임계온도(℃)	걸어 준 자기장(T)	엔트로피 감소량(J/kgK)
A	-5	5	2.75
B	10	1	1.52
C	18	1	2.61
D	21	5	2.60
E	42	5	1.80

- ① A ② B ③ C ④ D ⑤ E

◆ 16 LEET 언어이해 29~32번
[29~32] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

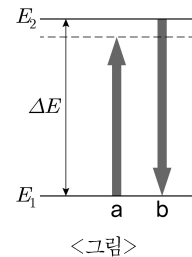
이론적으로 존재하는 가장 낮은 온도는 -273.16°C 이며 이를 절대 온도 0K라고 한다. 실제로 0K까지 물체의 온도를 낮출 수는 없지만 그에 근접한 온도를 얻을 수는 있다. 그러한 방법 중 하나가 ‘레이저 냉각’이다.

레이저 냉각을 이해하기 위해 우선 온도라는 것이 무엇인지 알아보자. 미시적으로 물질을 들여다보면 많은 수의 원자가 모인 집단에서 원자들은 끊임없이 서로 충돌하며 다양한 속도로 운동한다. 이때 절대 온도는 원자들의 평균 운동 속도의 제곱에 비례하는 양으로 정의된다. 따라서 어떤 원자의 집단에서 원자들의 평균 운동 속도를 감소시키면 그 원자 집단의 온도가 내려간다. 레이저 냉각을 사용하면 상온(약 300K)에서 대략 200 m/s의 평균 운동 속도를 갖는 기체 상태의 루비듐 원자의 평균 운동 속도를 원래의 약 1/10000까지 낮출 수 있다.

그렇다면 레이저를 이용하여 어떻게 원자의 운동 속도를 감소시킬 수 있을까? 날아오는 농구공에 정면으로 야구공을 던져서 부딪히게 하면 농구공의 속도가 느려진다. 마찬가지로 빠르게 움직이는 원자에 레이저 빛을 쏘아 충돌시키면 원자의 속도가 줄어들 수 있다. 이때 속도와 질량의 곱에 해당하는 운동량도 작아진다. 빛은 전자기파라는 파동이면서 동시에 광자라는 입자이기도 하기 때문에 운동량을 갖는다. 광자는 빛의 파장에 반비례하는 운동량을 가지며 빛의 진동수에 비례하는 에너지를 갖는다. 또한 빛의 파장과 진동수는 반비례의 관계에 있다. 레이저 빛은 햇빛과 같은 일반적인 빛과 달리 일정한 진동수의 광자로만 이루어져 있다. 레이저 빛을 구성하는 광자가 원자에 흡수될 때 광자의 에너지만큼 원자의 내부 에너지가 커지면서 광자의 운동량이 원자에 전달된다. 실제로 상온에서 200 m/s의 속도로 다가오는 루비듐 원자에 레이저 빛을 쏘아 여러 개의 광자를 연이어 루비듐 원자에 충돌시키면 원자를 거의 정지시킬 수 있다. 하지만 이때 문제는 원자가 정지한 순간 레이저를 켜지 않으면 원자가 오히려 반대 방향으로 밀려날 수도 있다는 데 있다. 그런데 원자를 하나 하나 따로 관측할 수 없고 각 원자의 운동 속도에 맞추어 각 원자와 충돌하는 광자의 운동량을 따로 제어할 수도 없으므로 실제 레이저를 이용해 원자의 온도를 내리는 것은 간단하지 않아 보인다. 이를 간단하게 해결하는 방법은 도플러 효과와 원자가 빛을 선택적으로 흡수하는 성질을 이용하는 것이다.

사이렌과 관측자가 가까워질 때에는 사이렌 소리가 원래의 소리보다 더 높은 음으로 들리고, 사이렌과 관측자가 멀어질 때에는 더 낮은 음으로 들린다. 이처럼 빛이나 소리와 같은 파동을 발생시키는 파동원과 관측자가 멀어질 때는 파동의 진동수가 더 작게 감지되고, 파동원과 관측자가 가까워질 때는 파동의 진동수가 더 크게 감지되는 현상을 도플러 효과라고 한다. 이때 원래의 진동수와 감지되는 진동수의 차이는 파동원과 관측자가 서로 가까워지거나 멀어지는 속도에 비례한다. 이것을 레이저와 원자에 적용하면 레이저 광원은 파동원이고 원자는 관측자에 해당한다. 그러므로 레이저 광원에 다가가는 원자에게 레이저 빛의 진동수는 원자의 진동수보다 더 높게 감지되고, 레이저 광원에서 멀어지는 원자에게 레이저 빛의 진동수는 더 낮게 감지된다.

한편 정지해 있는 특정한 원자는 모든 진동수의 빛을 흡수하는 것이 아니고 고유한 진동수, 즉 공명 진동수의 빛만을 흡수한다. 이것은 원자가 광자를 흡수할 때 원자 내부의 전자가 특정 에너지 준위 E_1 에서 그보다 더 높은 특정 에너지 준위 E_2 로 옮겨가는 것만 허용되기 때문이다. 이때 흡수된 광자의 에너지는 두 에너지 준위의 에너지 값의 차이 ΔE 에 해당한다.



그러면 어떻게 도플러 효과를 이용하여 레이저 냉각을 수행하는지 알아보자. 우선 어떤 원자의 집단을 사이에 두고 양쪽에서 레이저 빛을 원자에 쏘되 그 진동수를 원자의 공명 진동수보다 작게 한다. 원자가 한쪽 레이저 빛의 방향과 반대 방향으로 움직이면 도플러 효과에 의해 원자에서 감지되는 레이저 빛의 진동수가 커지는데, 그 값이 자신의 공명 진동수에 해당하는 원자는 레이저 빛을 흡수하게 된다. 이때 흡수된 광자의 에너지는 ΔE 보다 작지만(<그림>의 a), 원자는 도플러 효과 때문에 공명 진동수를 갖는 광자를 받아들이는 것처럼 낮은 준위 E_1 에 있던 전자를 허용된 준위 E_2 에 올려놓는다. 그러면 불안정해진 원자는 잠시 후에 ΔE 에 해당하는 에너지를 갖는 광자를 방출하면서 전자를 E_2 에서 E_1 로 내려놓는다(<그림>의 b). 이 과정이 반복되는 동안, 원자가 광자를 흡수할 때에는 일정한 방향에서 오는 광자와 부딪쳐 원자의 운동 속도가 계속 줄어들지만, 원자가 광자를 내놓을 때에는 임의의 방향으로 방출하기 때문에 결국 광자의 방출은 원자의 속도 변화에 영향을 미치지 못하게 된다. 그러므로 원자에서 광자를 선택적으로 흡수하고 방출하는 과정이 반복되면, 원자의 속도가 줄어들면서 원자의 평균 운동 속도가 줄고 그에 따라 원자 집단 전체의 온도가 내려가게 된다.

29. 윗글의 내용과 일치하는 것은?

- ① 움직이는 원자의 속도는 도플러 효과로 인해 더 크게 감지된다.
- ② 레이저 냉각은 광자를 선택적으로 흡수하는 원자의 성질을 이용한다.
- ③ 레이저 냉각은 원자와 레이저 빛을 충돌시켜 광자를 냉각시키는 것이다.
- ④ 레이저 빛을 이용하여 원자 집단을 절대 온도 0K에 도달하게 할 수 있다.
- ⑤ 개별 원자의 운동 상태를 파악하여 각각의 원자마다 적절한 진동수의 레이저 빛을 쏠 수 있다.

30. 윗글의 <그림>을 이해한 것으로 적절하지 않은 것은?

- ① 다가오는 원자에 공명 진동수의 레이저 빛을 쏘면 원자 내부의 전자가 E_1 에서 E_2 로 이동한다.
- ② 원자의 공명 진동수와 일치하는 진동수를 갖는 광자는 ΔE 의 에너지를 갖는다.
- ③ 원자가 흡수했다가 방출하는 광자의 에너지는 ΔE 로 일정하다.
- ④ 정지한 원자가 흡수하는 광자의 에너지는 ΔE 와 일치한다.
- ⑤ E_2 에서 E_1 로 전자가 이동할 때 광자가 방출된다.

31. 윗글에 따를 때, <보기>에서 공명이 일어나는 것만을 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

소리굽쇠는 고유한 공명 진동수를 가져서, 공명 진동수와 일치하는 소리를 가해 주면 공명하고, 공명 진동수에서 약간 벗어난 진동수의 소리를 가해 주면 공명하지 않는다. 그림과 같이 마주 향한 고정된 두 스피커에서 진동수 498 Hz의 음파를 발생시키고, 공명 진동수가 500 Hz인 소리굽쇠를 두 스피커 사이의 중앙에서 오른쪽으로 v 의 속도로 움직였더니 소리굽쇠가 공명했다. 그 후에 다음과 같이 조작하면서 소리굽쇠의 공명 여부를 관찰했다. 단, 소리굽쇠는 두 스피커 사이에서만 움직인다.

ㄱ. 소리굽쇠를 중앙에서 왼쪽으로 v 의 속도로 움직였다.
 ㄴ. 소리굽쇠를 중앙에서 오른쪽으로 $2v$ 의 속도로 움직였다.
 ㄷ. 왼쪽 스피커를 끄고 소리굽쇠를 중앙에서 왼쪽으로 v 의 속도로 움직였다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

32. 윗글에 비추어 <보기>의 리튬 원자의 레이저 냉각에 대해 설명한 것으로 적절하지 않은 것은?

<보 기>		
	루비듐	리튬
원자량(원자의 질량)	85.47	6.94
정지 상태의 원자가 흡수하는 빛의 파장	780 nm	670 nm

- ① 리튬의 공명 진동수는 루비듐의 공명 진동수보다 크다.
- ② 원자가 흡수하는 광자의 운동량은 리튬 원자가 루비듐 원자보다 작다.
- ③ 같은 속도로 움직일 때 리튬 원자의 운동량이 루비듐 원자의 운동량보다 작다.
- ④ 루비듐 원자에 레이저 냉각을 일으키는 레이저 빛은 같은 속도의 리튬 원자에서는 냉각 효과가 없다.
- ⑤ 리튬 원자에 레이저 냉각을 일으킬 때에는 레이저 빛의 파장을 670 nm보다 더 큰 값으로 조정한다.

◆ 14 LEET 언어이해 4~7번

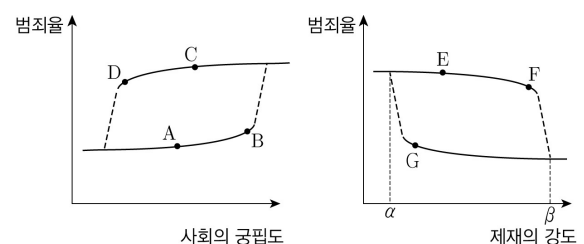
[4~7] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

상전이(相轉移)는 아주 많은 수의 입자로 구성된 물리계에서 흔하게 나타나는 현상이다. 물 같은 액체 상태의 물질에 열을 가하면, 그 물질은 밀도가 천천히 감소하다가 어느 단계에 이르면 갑자기 기체 상태로 변하기 시작하면서 밀도가 급격히 감소한다. 이처럼 특정 조건에서 계의 상태가 급격하게 변하는 현상이 상전이이다. 1기압하의 물이 0℃에서 열고 100℃에서 끓듯이 상전이는 특정한 조건에서, 즉 전이점에서 일어난다. 그런데 불순물이 전혀 없는 순수한 물은 1기압에서 온도가 0℃ 아래로 내려가도 얼지 않고 계속 액체 상태에 머무르는 경우가 있다. 응결핵 구실을 할 불순물이 없는 경우 물이 어느점 아래에서도 어느 온도까지는 얼지 않고 이른바 과냉각 상태로 존재할 수 있는 것이다.

더 흥미로운 것은 어느점보다 훨씬 높은 온도에서까지 고체 상태가 유지되는 경우다. 우묵가사리를 끓여서 만든 우무는 실제로 어느점과 녹는점이 뚜렷이 다르다. 액체 상태의 우무는 1기압에서 온도가 대략 40℃ 이하로 내려가면 응고하기 시작하는 반면, 고체 상태의 우무는 80℃가 되어야 녹는다. 우무 같은 물질의 이런 성질을 ‘이력 특성’이라고 부른다. 직전에 어떤 상태에 있었는가 하는 ‘이력’이 현재 상태에 영향을 준다는 의미에서 붙인 이름이다. 어느점과 녹는점이 사실상 똑같이 0℃인 물의 경우는 이에 해당하지 않지만, 많은 물질의 상전이 현상에서 이력 특성이 나타난다.

경제학자인 캠벨과 오머로드는 물리학 이론인 상전이 이론을 적용하여 범죄율의 변화 같은 사회 현상을 설명하는 모형을 제시했다. 이 모형은 일종의 유비적 사고를 보여 준다. 그런데 사회가 수많은 개체들과 그것들 간의 상호 작용으로 구성된 계라는 점에서 수많은 입자들과 그것들 간의 상호 작용으로 구성된 물질계와 유사한 구조를 지녔음을 고려한다면, 그것은 임의적인 유비가 아니라 의미 있는 결론을 낳을 만한 시도이다.

두 경제학자는 물질의 상태가 일반적으로 온도와 압력에 의해 영향을 받듯이 한 사회의 범죄율이 대개 그 사회의 공핍의 정도와 범죄 제재의 강도라는 두 요소에 의해 좌우된다고 가정한다. 재산도 직장도 없는 빈곤한 구성원의 비율이 높을수록 범죄율이 높아지는 반면, 사회가 범죄를 엄중하게 제재할수록 범죄율이 낮아진다는 것이다. 그런데 여러 연구 조사에 따르면 사회적, 경제적 공핍의 정도가 완화되거나 범죄에 대한 제재가 강화된다고 해서 그 사회의 범죄율이 곧장 감소하지는 않는다. 캠벨과 오머로드는 이와 같은 사실을 설명하기 위해, 물질이 고체, 액체, 기체 같은 특정한 상태에 있을 수 있는 것처럼 사회도 높은 범죄율 상태와 낮은 범죄율 상태에 있을 수 있다고 가정한다.



<그림 1>

<그림 2>

<그림 1>과 <그림 2>에서 각각 아래쪽의 실선은 낮은 범죄율 상태를 나타내고 위쪽의 실선은 높은 범죄율 상태를 나타낸다. 예를 들어 <그림 1>에서 사회가 점 A에 해당하는 상태에 있다면 이 사회는 낮은 범죄율 상태에 있는 것이고, 이 경우 사회의 공핍도가 어느 정도 더 커져도 범죄율은 별로 증가하지 않는다. 하지만 공핍이 더 심해져 B 지점에 이르면 공핍이 조금만 더 심화되어도 범죄율의 급격한 상승, 즉 그림의 점선 부분에 해당하는 상전이가 일어나게 된다. 또 사회가 C처럼 높은 범죄율 상태에 있을 경우 공핍의 정도가 완화되어도 범죄율은 완만하게 감소할 뿐이지만, D 지점에 도달해 있는 경우 공핍의 정도가 조금만 줄어도 범죄율이 급격히 감소하는 또 한 번의 상전이가

일어나게 된다. 이와 같은 범죄율의 변화는 이력 특성을 보여준다. 다시 말해, 사회의 공평도에 대한 정보만으로는 범죄율을 추정할 수 없고, 그것이 직전에 높은 범죄율 상태였는지 낮은 범죄율 상태였는지에 대한 정보가 필요하다.

중요한 것은 이들이 제시한 모형이 실제 통계 자료에 나타난 사회 현상을 잘 설명해 준다는 점이다. 이는 한 사회의 범죄 제재 강도와 범죄율의 상관관계에 대해서도 마찬가지다. 사회의 공평도를 비롯한 다른 조건이 동일한 상황에서, 범죄에 대한 사회적 제재의 강도가 변하는 경우 범죄율은 <그림 2>와 같은 형태로 이력 특성을 포함한 상전이의 패턴을 나타낸다.

4. 위 글의 견해가 아닌 것은?

- ① 한 사회의 특성은 특정 조건에서는 다른 조건에서와 달리 급격하게 변화한다.
- ② 물리적 현상을 설명하는 이론을 응용하여 사회 현상을 설명하는 것이 가능하다.
- ③ 유비적 사고의 타당성은 유비를 통해 연결되는 두 대상의 구조가 서로 유사할 때 강화된다.
- ④ 한 계의 상태가 어떤 조건에서 급격한 변화를 나타낼 것인지는 계를 구성하는 요소의 종류와 무관하게 결정된다.
- ⑤ 하나의 계가 드러내는 특성은 현재 그것을 제약하는 변수들만으로 결정되지 않고 그것이 지나온 역사적 경로에 의해서 좌우될 때가 많다.

5. 위 글에서 알 수 있는 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

—<보 기>—

ㄱ. 상전이에서 이력 특성이 나타나지 않는 물질이 과냉각 상태의 액체로 존재할 수 있다.
 ㄴ. 이력 특성을 갖는 물질은 온도와 압력을 알아도 그 물질의 상태를 알 수 없는 경우가 있다.
 ㄷ. 불순물이 전혀 포함되지 않은 순수한 물에서는 온도 변화에 따른 상전이 현상이 일어나지 않는다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

6. <그림 2>에 대한 분석으로 옳지 않은 것은?

- ① E 상태에서 범죄에 대한 제재가 어느 정도 강화되더라도 범죄율의 변화는 미미할 것이다.
- ② F 상태에서 범죄에 대한 제재를 조금 더 강화하면 범죄율은 급감할 것이다.
- ③ G 상태에서 범죄에 대한 제재가 조금 더 약해질 경우 범죄율이 급증할 소지가 있다.
- ④ α 는 높은 범죄율 사회를 낮은 범죄율 사회로 변화시킬 수 있는 제재의 강도에 해당한다.
- ⑤ 범죄에 β 보다 더 강한 제재가 가해지는 사회에서 범죄율은 낮은 상태를 유지할 것이다.

7. <보기>의 ㉠을 반박할 근거 자료로 가장 적절한 것은?

—<보 기>—

A: 캠패라 오머로드의 모형으로 범죄율의 변화를 설명할 수 있다고 해서 다른 사회 현상도 비슷한 방식으로 설명되리라고 생각할 이유는 없어. 예를 들어 출산율만 해도 범죄율과는 전혀 다른 문제지.

B: 아니, 출산율의 변화도 이 모형으로 설명할 수 있어. 자녀 양육 수당이나 다자녀 세금 감면 같은 경제적 유인이 출산율을 증가시키는 반면, 교육비 부담 같은 경제적 압박의 심화는 출산율을 감소시키지. 중요한 것은, ㉠ 출산율의 이런 변화에서도 이력 특성이 나타난다는 점이야.

- ① 실제로 어느 고출산율 사회에서 정부가 육아 지원을 30%나 축소했음에도 불구하고 출산율의 변화는 미미하였다.
- ② 저출산율 사회를 탈피하게 하는 육아 지원의 규모가 고출산율 사회에서 저출산율 사회로 이행하는 시점의 육아 지원 규모와 일치하였다.
- ③ 정부의 육아 보조금 같은 긍정적 요인보다 양육비와 교육비의 증가 같은 부담 요인이 출산율에 훨씬 더 뚜렷한 영향을 미치는 것으로 드러났다.
- ④ 자녀 양육 수당의 증액은 출산율 변화에 눈에 띄는 영향을 미쳤던 데 반하여 다자녀 세금 감면 혜택의 강화는 출산율에 거의 영향을 미치지 않았다.
- ⑤ 자녀 교육에 드는 비용의 증대가 출산율의 급격한 변화를 야기한 것으로 나타났지만 그러한 변화를 야기한 교육비 수준은 명확한 금액으로 제시하기 어려웠다.