

공통자료

MATERIAL FOR INTERVIEW

열역학 Summary Note ①

TD07030604T

본 Summary Note는 본 Summary Note는 EDUCE에서 대기업 지원자들을 위해서 동안의 각 대기업 기술, 실무 그리고 PT 면접을 분석한 내용을 토대로 면접에 앞서 반드시 필요한 전공/기술 내용을 정리한 기술 자료입니다.

01. 열역학의 기본 개념

1. 열역학법칙 (Law of Thermodynamics) [삼성 에버랜드, 삼성전자(TN), 삼성전자(DA), 삼성엔지니어링] PT 면접

- 열역학은 그리스어의 therme(heat)와 dynamics(power)로부터 유래된 것으로 열을 동력으로 변화시키고자 한 초창기의 노력을 가장 적절하게 표현한 말이다.

1) 열역학 제0법칙 - 두 물체가 제 3의 물체와 열적 평형에 있다면, 이 물체들은 서로 열적 평형에 있다는 것을 서술한 법칙이다.

IRON
150℃

COPPER
20℃

→

IRON
60℃

COPPER
60℃

열적 평형(Thermal equilibrium)이란 왼쪽 그림과 같이 한 물체가 온다고 다른 물체와 접촉하면, 열은 양쪽 물체의 온도가 동일하게 될 때까지 높은 온도의 물체로부터 낮은 온도의 물체로 전달되고 더 이상 열 이동이 없는 상태를 열적 평형이라고 한다.

<열역학 제0법칙>

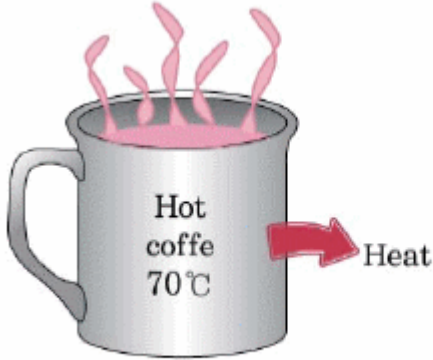
열역학 제0법칙은 다른 열역학 법칙으로부터 결론 지을 수 없으며, 온도 측정의 타당한 근거가 된다. 제0법칙으로 명명된 이유는 다른 법칙보다 전제가 되어야 하는 법칙이 제1,2법칙이 공식화 된지 반세기가 지난 뒤에 공식화되었기 때문이다.

2) 열역학 제1법칙, 에너지 보존법칙(conservation of energy principle) - 가장 기초적인 자연 법칙 중의 하나로 상호 작용 중에 에너지는 한 형태에서 다른 형태로 변화 할 수는 있으나 에너지 총량은 일정하다는 의미이다. 수학적 표현은 다음과 같다.

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E$$

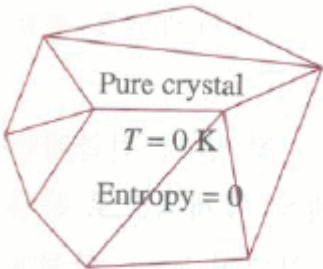
즉, 계(system)에 들어가는 에너지는 계에 변화된 에너지와 계에서 나오는 에너지의 합과 같다.

3) 열역학 제2법칙 - 열역학 제2법칙은 에너지가 양(quantity)뿐만 아니라 질(quality)을 가지고 있으며, 실제 과정은 에너지의 질을 저하시키는 방향으로 진행된다는 것을 의미한다. 예를 들어,

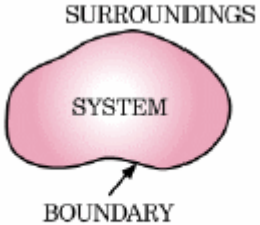
 <p style="text-align: center;"><열역학 제2법칙></p>	<p>뜨거운 커피 잔은 결국 차가워지지만, 반대로 차가운 커피 잔은 저절로 뜨거워지지는 않는다. 주위의 공기로 에너지가 전달되고 나면 커피의 고온 에너지는 질이 저하된다. 즉 낮은 온도에 있는 덜 유용한 형태로 변환된다.</p>
---	---

열역학 제2법칙은 나중에 배우겠지만 엔트로피(entropy), 엑서지(exergy)와 관계가 있다. 즉 고립계는 엔트로피가 증가하는 방향으로 엑서지가 감소하는 방향으로 과정을 겪는다.

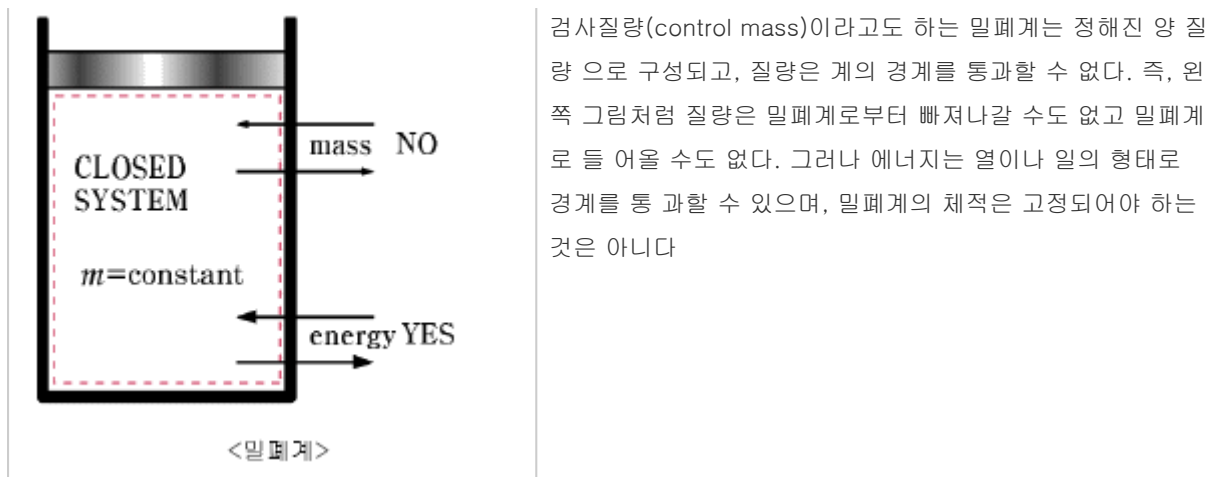
4) 열역학 제3법칙 - 절대온도가 0일 때 엔트로피(entropy)는 0이다.

 <p style="text-align: center;"><열역학 제3법칙></p>	<p>열역학 제3법칙은 법칙이라는 뉘앙스보다 열적 해석에 있어서 기준점을 마련한 것이라고 할 수 있다. 절대온도가 0인 환경에서는 분자의 운동은 완전히 멈추게 된다. 즉 엔트로피가 0이라는 말은 분자의 무질서 정도가 없다는 뜻이다.</p>
---	---

2. 열역학적인 의미에서 계 (thermodynamic system)

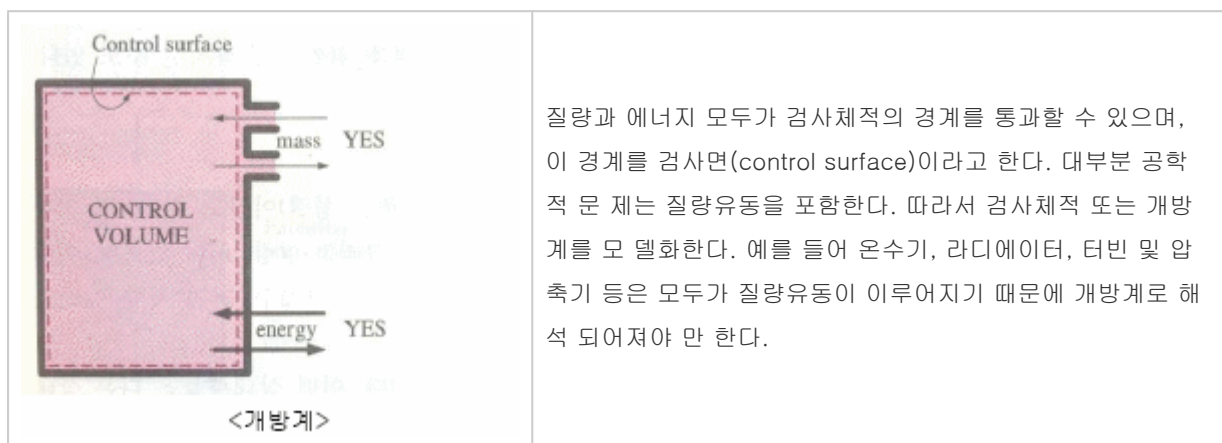
 <p style="text-align: center;">< 계, 주위 및 경계 ></p>	<p>1) 계 (system) - 계는 단순히 검사하기 위해 선택된 물질의 양이나 공간 내의 영역이라고 한다. 여기서 검사란 말은 해석을 뜻한다.</p> <p>2) 주위 (surroundings) - 계의 밖에 있는 질량이나 영역을 뜻한다. 주위는 항상 계와 상호 밀접한 관계에 있다.</p> <p>3) 경계 (boundary) - 계와 계의 주위를 분리하는 실제 표면 또는 가상 표면을 경계라고 한다. 수학적으로 계는 두께가 없다. 따라서 계는 질량도 없고 체적도 없는 가상적인 경계이다.</p>
---	--

1) 밀폐계 (closed system) - 계는 조사의 대상이 고정 질량이나 아니면 공간 내의 고정 체적이냐에 따라 밀폐되어 있거나 개방되어 있는 것으로 볼 수 있다.



2) 고립계 (isolated system) - 고립계는 질량뿐만 아니라 에너지조차도 계의 경계를 통과할 수 없는 계를 뜻한다.

3) 개방계 (open system) - 개방계 또는 검사체적(control volume)은 적절히 선택된 공간내의 영역이다.



3. 계의 상태량

- 계의 특성을 나타내는 것들을 상태량(property)이라고 한다.

1) 대표적인 상태량 - 압력 P , 온도 T , 체적 V 그리고 질량 m 이 있다. 이처럼 독립적인 상태량이 있는 반면 밀도 (density)처럼 종속적인 상태량도 존재한다.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg} / \text{m}^3)$$

일반적으로 물질의 밀도는 온도와 압력의 함수이다. 대부분의 기체의 밀도는 압력에 비례하고 온도에 반비례한다. 반면에 액체 및 고체는 본질적으로 비압축성 물질이기 때문에, 압력의 변화에 따른 밀도의 변화는 보통 무시할 수 있을 정도이다.

열역학에서 비체적(specific volume)은 매우 중요한 상태량이다.

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

밀도의 역수이며 단위 질량당 체적으로 정의된다.

2) 강성적 상태량(intensive property)과 종량적(extensive property) 상태량

① 강성적 상태량은 온도 T , 압력 P 및 밀도 ρ 와 같이 계의 크기와 무관한 상태량들이다. 즉 왼쪽 그림처럼 계를 두 부분으로 나누었다고 하더라도 온도, 압력, 밀도는 변하지 않는다.

② 종량적 상태량은 계의 크기 또는 범위에 따라 값이 변하는 상태량들이다. 질량 m , 체적 V 및 총 에너지 E 는 종량적 상태량의 예이다. 계가 두 부분으로 나뉘면 질량이나 체적 그리고 총 에너지도 반으로 줄기 때문이다.

3. 열역학에서의 평형

- 열역학에서는 평형상태(equilibrium state)를 다룬다. 평형이라는 단어는 균형이 이루어진 상태를 의미한다. 평형상태에서는 계의 내부에 불균형된 포텐셜 또는 구동력이 없다. 평형 상태에 있는 계가 주위로부터 고립되어 있을 때에는 아무런 변화도 겪지 않는다. 평형에는 여러 가지 형태가 있는데, 관련되는 모든 평형 상태가 만족되지 않으면 계는 열역학적인 평형에 있지 않게 된다.

1) 열적평형(thermal equilibrium)

20℃
23℃

30℃

35℃
40℃

42℃

(a) Before

32℃
32℃

32℃

32℃
32℃

32℃

(b) After

그림에서 보는 바와 같이 온도가 계의 전체에서 동일하면 열적 평형에 있다고 할 수 있다. 즉 이 계에는 열 흐름에 대한 구동력이 되는 온도차가 없다.

2) 역학적 평형(mechanical equilibrium) - 역학적 평형은 압력과 관련되며, 계의 임의의 점에서 시간에 대한 압력 변화가 없다면 계는 역학적 평형에 있다고 말한다. 그러나 계 내부에서의 압력은 중력의 영향으로 높이에 따라 변할 수 있다. 그렇지만 밑바닥에 있는 높은 압력은 이것이 감당해야 할 중량과 평형을 이루므로, 힘의 비평형은 없다. 대부분의 열역학적인 계에서 중력으로 인한 압력 변화는 비교적 작아서, 보통 무시된다.

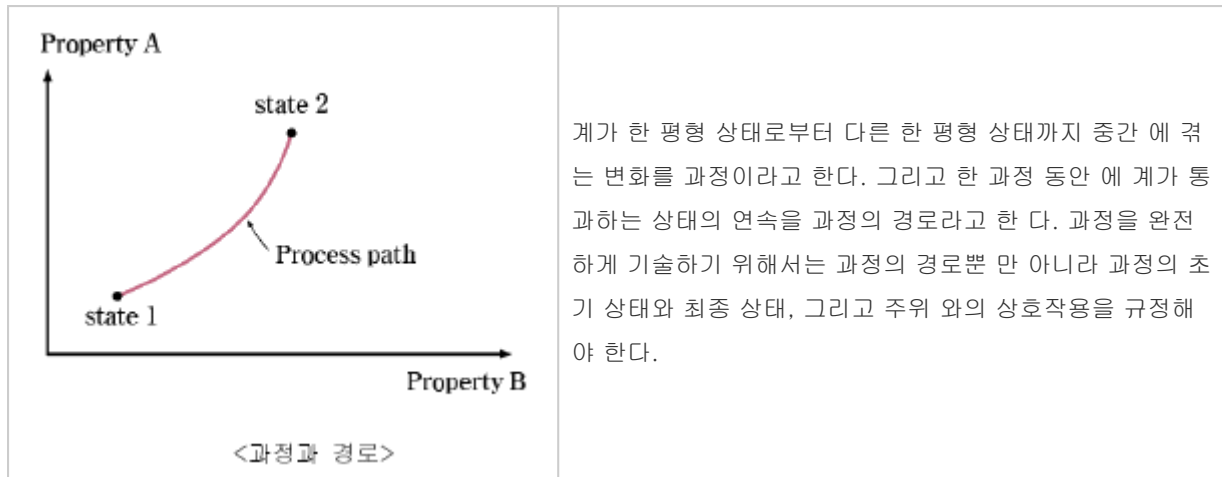
3) 상평형(phase equilibrium) - 계가 두 개의 상을 포함하고 있는 경우에, 각 상의 질량이 평형에 도달하여 머물러 있을 때 계는 상평형에 있게 된다.

4) 화학적 평형(chemical equilibrium) – 마지막으로, 계의 화학적 조성이 시간에 따라 변하지 않을 때, 즉, 화학반응이 일어나지 않을 때 계는 화학적 평형에 있다고 일컫는다. 이상으로 관련되는 모든 평형 기준이 만족되지 않으면 계는 평형상태에 있지 않게 된다.

4. 과정과 사이클

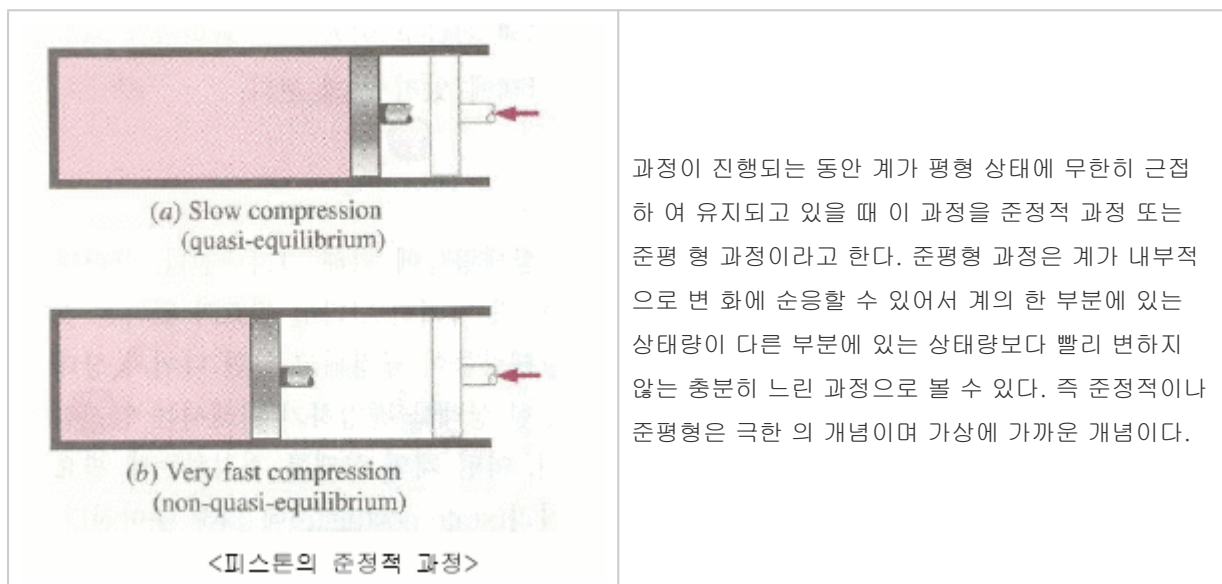
– 열역학에서 과정과 사이클의 의미는 대단히 중요하다.

1) 과정(process)과 경로(path)



2) 사이클(cycle) – 계가 처음 상태에서 과정을 통해 마지막 상태에 이르렀을 때 마지막 상태가 처음상태와 동일하다면 그 계는 사이클을 겪었다고 한다.

5. 준정적 과정(quasi-static process)과 준평형 과정(quasi-static process)



– 피스톤과 실린더로 구성된 장치 내에 들어 있는 기체가 갑자기 압축될 때, 피스톤 면 근처에 있는 분자들을 피할 수 있는 충분한 시간을 갖지 못하여 피스톤 전면의 좁은 지역에 모이게 될 것이므로, 거기서 높은 압력 영역을 형성한다. 이 압력 차이 때문에 계는 더 이상 평형 상태에 있다고 할 수 없다. 그러나 피스톤이 천천히 움직인다면, 분자들은 재 분포할 수 있는 충분한 시간을 갖게 되어 피스톤의 전면에 밀집되지 않을 것이다. 결과적으로 실린더

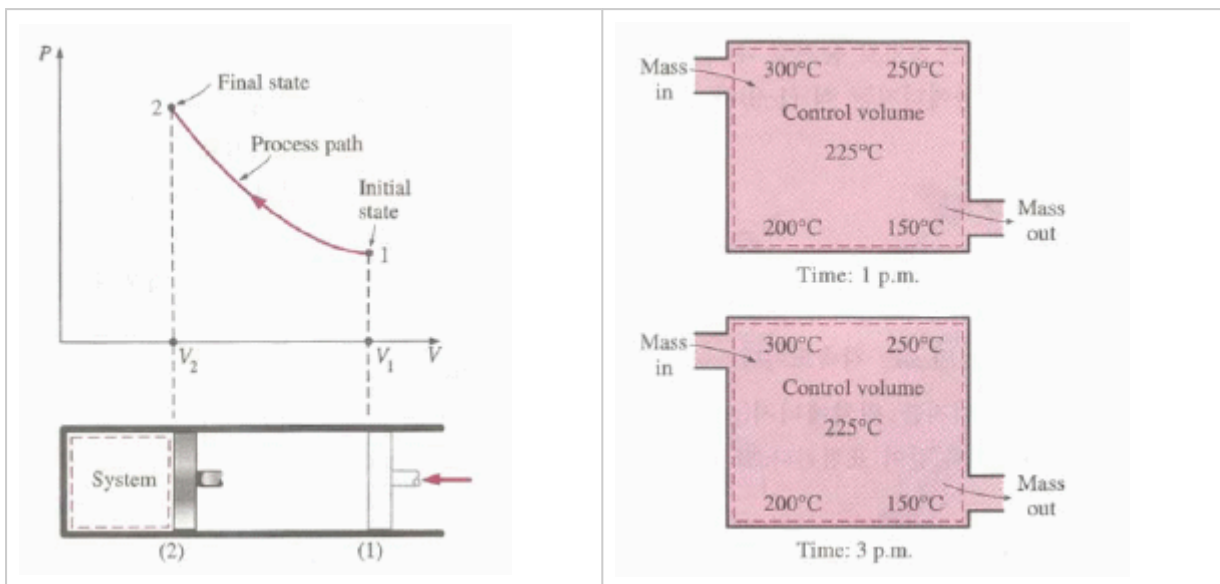
내의 압력은 항상 균일하고 모든 위치에서 같은 비율로 상승할 것이다. 이 경우는 평형이 항상 유지되기 때문에 준평형 과정이다. 준평형 과정을 만든 이유는 첫째, 준평형 과정은 해석하기 쉽고, 둘째 일을 발생하는 장치는 준평형 과정으로 작동할 때 가장 많은 일을 전달한다.

6. 등온과정(isothermal process), 등압과정(isobaric process), 정적과정(isochoric process)

- 1) 등온과정 - 온도가 일정하게 유지되는 동안 일어나는 과정
- 2) 등압과정 - 압력이 일정하게 유지되는 동안의 과정
- 3) 정적과정 - 비체적 v 가 일정하게 유지되는 동안의 과정이다.

7. 정상유동 과정(steady state)

- 정상이라는 용어는 시간에 대한 변화가 없음을 의미한다. 장시간 운전되는 기기들을 정상 유동 기기라고 분류되는데 이와 같은 기기에서의 과정은 정상유동 과정이라 불리는 이상화된 과정을 겪는다.



위쪽 그림을 보자. 그림에서 유체는 검사체적에 들어 왔다가 빠져 나가는 것을 알 수 있다. 움직이는 유체의 특정한 한 부분을 관찰하면 위치에 따라 온도 및 압력이 변화하므로 상태량이 위치에 따라 다르다. 그러나 검사체적내의 고정되어 있는 특정한 부분을 관찰한다면 시간이 지나더라도 그 점의 상태변화(체적, 질량, 총에너지는 일정하다.)는 없다. 따라서 시간에 지나가더라도 검사체적 내의 어느 부분도 변화가 없는 과정을 정상유동 과정이라고 한다.

8. 에너지의 형태

- 에너지는 열에너지, 역학적 에너지, 운동에너지, 위치에너지, 전기에너지, 자기 에너지, 화학에너지 및 핵 에너지 등 여러 가지 형태로 존재할 수 있다. 그러나 열역학에서 다루는 에너지는 대표적으로 열에너지, 역학적에너지인 운동에너지와 위치에너지, 내부에너지를 주로 다룬다.

1) 거시적 에너지와 미시적 에너지

- ① 거시적 에너지 - 거시적인 형태의 에너지는 운동에너지와 위치에너지처럼 어떤 좌표계에 대하여 계가 전체적으로 가지고 있는 에너지이다.
- ② 미시적 에너지 - 미시적인 형태의 에너지는 계의 분자 구조 및 분자의 운동 정도와 관련된 에너지이며, 외부의

좌표계와는 관계가 없다. 미시적 에너지의 총합을 내부에너지(internal energy)라고 하며, U 라고 표시한다.

2) 운동에너지(kinetic energy, KE) – 좌표계에 대한 운동의 결과로서 계가 갖는 에너지를 운동에너지라고 한다. 계의 모든 부분이 같은 속도로 움직일 때, 운동에너지는 다음과 같다.

$$KE = \frac{mV^2}{2} \quad (\text{KJ})$$

여기서, V 는 속도를 나타낸다. 회전체의 운동에너지는 다음과 같다.

$$KE = \frac{I\omega^2}{2} \quad (\text{KJ})$$

여기서, I 는 물체의 관성모멘트이며, ω 는 각속도 이다.

3) 위치에너지(potential energy) – 중력장 내에서 계의 높이에 따라 계가 갖는 에너지를 위치에너지라고 하며, 계의 위치에너지는 다음과 같이 표현된다.

$$PE = mgz \quad (\text{KJ})$$

여기서, g 는 중력 가속도이며, z 는 임의로 선택한 기준면에 대한 계의 무게 중심의 높이이다.

4) 총 에너지(total energy) – 열역학에서 계의 총 에너지는 운동에너지, 위치에너지 및 내부에너지로 구성되며, 다음과 같이 표현된다.

$$E = U + KE + PE = U + \frac{mV^2}{2} + mgz \quad (\text{KJ})$$

대부분의 밀폐계는 과정 동안에 정지되어 있으므로 운동에너지와 위치에너지는 변화하지 않는다. 과정이 진행되는 동안 속도와 무게 중심의 높이가 일정하게 유지되는 밀폐계를 보통 고정계라고 한다. 고정계의 총 에너지 변화 ΔE 는 내부 에너지 변화 ΔU 와 동일하다.

9. 온도의 종류

– 온도는 섭씨 온도와 화씨 온도가 있다.

1) 섭씨 온도(Celsius scale) – 섭씨 온도는 물이 어는점(빙점) 0°C 끓는점(비등점)을 100°C 로 정하여 그 사이를 100등분한 온도 체계이다.

2) 화씨 온도(Fahrenheit scale) – 화씨 온도는 빙점과 비등점을 각각 32°F 와 212°F 로 정하여 그사이를 120등분한 체계이다.

3) 켈빈 온도(Kelvin scale) – 열역학에서 물질 자체 또는 물질의 상태량들에 독립적인 온도 눈금을 가지는 것이 매우 바람직하다. 이러한 온도 눈금을 정한 것이 켈빈 온도 체계이며 절대온도라고도 한다. 켈빈온도는 분자의 역학적 에너지가 0인 온도를 0 K 이며 등분은 섭씨 온도체계와 같다.

4) 랭킨 온도(rankine scale) – 영국 단위계이며 켈빈온도와 같이 절대온도이며 등분은 화씨 온도와 같다.

5) 온도 눈금 사이의 관계

– 켈빈 온도눈금과 섭씨 온도눈금은 다음과 같은 관계가 있다.

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273$$

랑킨 온도눈금과 화씨 온도눈금 사이의 관계는 다음과 같다.

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273$$

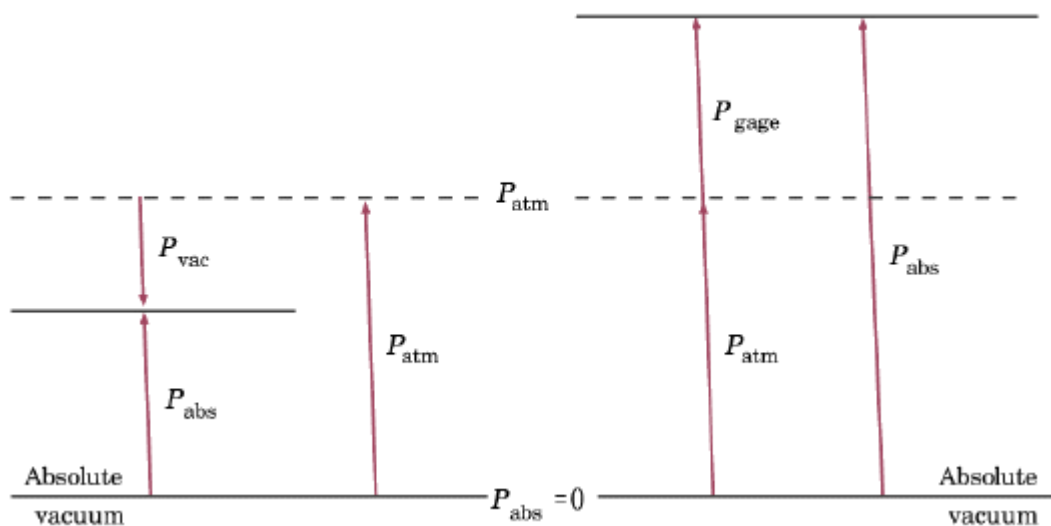
그리고 랭킨과 켈빈, 화씨와 섭씨 사이의 관계는 다음과 같다.

$$T(R) = 1.8T(K)$$

$$T(^{\circ}F) = 1.8T(^{\circ}C) + 32$$

열역학에서는 주로 켈빈 온도체계를 환산하여 사용한다. 왜냐하면 섭씨온도를 사용하면 오류를 일으키게 되는 열역학적 관계식이 많기 때문이다.

10. 절대압력(absolute pressure)과 계기압력(gage pressure)



주어진 위치에서 실제 압력을 절대압력이라고 하며, 이것은 완전 진공에 대한 상대값으로 측정된다. 그러나 대부분의 압력 측정 기구는 대기압에서 눈금을 영으로 보정한다. 그러므로 압력 측정 기구는 절대압력과 그 지역의 대기압 사이의 차압을 나타낸다. 이 차압을 계기압력이라고 한다. 대기압 이하의 압력을 진공압력(vacuum pressure)이라고 한다. 이들의 관계는 다음과 같다.

$$P_{gage} = P_{abs} - P_{atm}$$

$$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs}$$

02. 순수 물질의 상태량

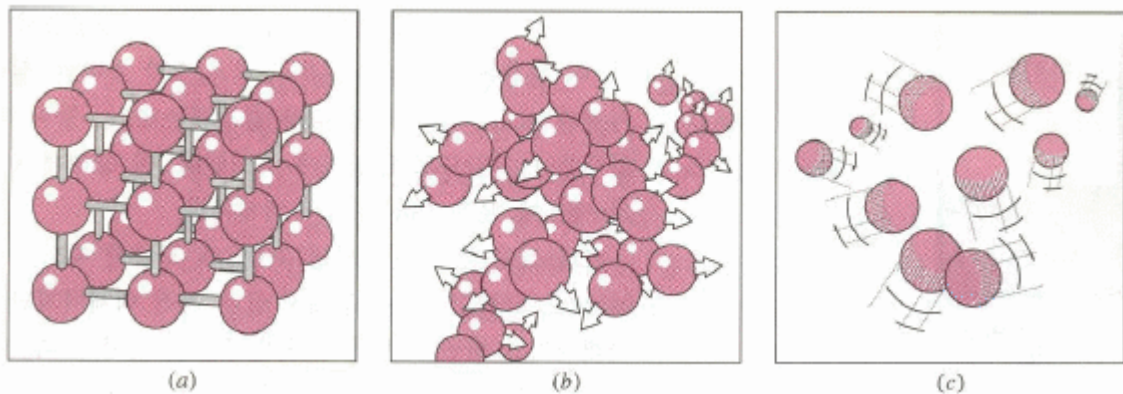
1. 순수 물질(pure substance)

- 내부 어디에서나 화학적 조성이 변하지 않는 물질을 순수 물질이라고 한다. 예를 들어 물, 질소, 헬륨 및 이산화탄소는 모두 순수 물질이다. 여러 가지 화학적 원소나 화합물의 혼합물도 혼합물이 균질(homogeneous)이기만 하

면 순수 물질이 될 수 있다. 예를 들어, 공기는 몇 가지 기체의 혼합물이지만, 화학적 조성이 균일하기 때문에 순수 물질로 고려된다.

2. 순수 물질의 상

- 물질의 상에는 기본적으로 고체, 액체, 기체의 세 가지 상이 있다. 분자간 결합은 고체에서 가장 강하고 기체에서 가장 약하다. 그 이유 중의 하나는 고체 분자들은 서로 가까이 밀집되어 있고, 반면에 기체 분자들은 상당한 거리만큼 떨어져 있는 점이다.



1) 고체 - 고체에서 분자들은 고체 전체를 통하여 반복되는 3차원 격자 형태로 정렬되어 있다. 고체에서는 분자들 사이의 거리가 짧기 때문에, 분자간의 인력이 커서 일정한 위치에 분자를 고정시킨다. 분자간의 인력은 분자 사이의 거리가 영에 접근하면 척력으로 바뀌며, 따라서 분자들이 서로의 위에 겹쳐 적체되는 것을 방지한다. 고체 내부의 분자들은 서로 간에 상대적으로 움직일 수는 없지만, 평형 위치에서 끊임없이 진동한다. 분자의 진동 속도는 온도에 따라 달라지며 높은 온도에서 분자의 운동에너지가 분자간의 힘을 이기고 와해 되는데 이것이 용해 과정이다.

2) 액체 - 더 이상 분자들이 서로 상대적인 위치에 고정되지 않고, 자유롭게 회전하거나 이동하지만 분자 공간은 고체와 크게 다르지 않다. 액체에서 분자간의 힘은 고체에 비해서 약하지만 기체에 비해서는 꽤 강하다. 고체가 액체로 변하면서 분자들 사이의 거리는 약간 증가한다. 그러나 물은 액체로 변하면 분자들 사이가 멀어진다.

3) 기체 - 분자들은 서로 멀리 떨어져 있고 분자들 사이의 질서는 없다. 기체 분자들은 액체나 고체일 때보다 훨씬 높은 에너지 상태에 있다. 그러므로 기체가 응축 또는 응결하려면 많은 양의 에너지를 방출해야 한다.

3. 순수 물질의 상변화 과정

- 순수 물질의 두 개의 상이 평형 상태로 공존하는 상황은 많이 있다. 보일러에서의 물이 액체와 증기로 공존하는 것,

냉장고의 냉동기에서 냉매는 액체로부터 증기로 바뀐다. 따라서 두 개의 상이 혼합되어 있는 상태를 생각할 필요가 있다.

1) 과냉액 및 포화액

① 과냉액 - 20°C와 1기압에서는 물이 액상으로 존재한다. 즉 액체가 쉽게 증발하지 않는 환경에 있을 때 액체를 과냉액이라고 한다.

② 포화액 - 20°C의 물에 열을 가하여 물의 끓는점인 100°C에 도달하였을 때 조금만 열을 가하였을 때 물은 증발하기 시작할 것이다. 즉, 액체로부터 기체로의 상변화가 쉽게 일어나려고 하는 액체를 포화액이라고 한다.

2) 포화증기 및 과열증기

① 포화증기(saturated vapor) - 포화증기는 포화액과 반대 개념이다. 즉 물을 100°C에서 계속 가열하면 온도는 올라가지 않지만 상이 증기로 계속 변화할 것이다. 증기로 완전히 변했을 때 더 이상 가열하지 않으면 물은 100°C의 증기상만 존재할 것이다. 이 때 조금의 열 손실만 있어도 증기는 액체로 상이 변화한다. 즉 기체가 액체로의 상 변화가 쉽게 일어나려고 하는 기체를 포화증기라고 한다.

② 과열증기(superheated vapor) - 포화증기에서 계속 열을 가하면 상은 그대로 유지한 채 온도만 계속하여 상승할 것이다. 만약 증기 상의 물이 300°C 1기압 상태라고 할 때 약간의 열 손실이 있다고 하더라도 증기가 액체로 변화하지 않는다. 즉 잘 응축하지 않는 증기, 포화증기가 아닌 증기를 과열증기라고 한다.

3) 포화온도 및 포화압력 [현대기아차(생산기술)] PT면접

① 포화온도(saturation temperature) - 주어진 압력에서 순수 물질이 상변화하는 온도를 포화온도라고 한다.

② 포화압력(saturation pressure) - 마찬가지로 주어진 온도에서 순수 물질이 상변화하는 압력을 포화압력이라고 한다.

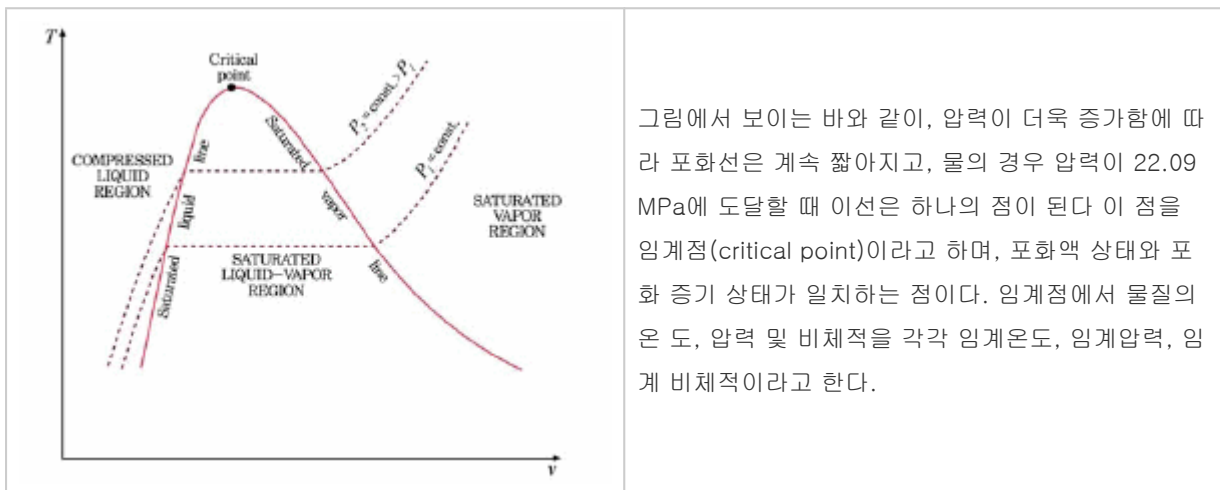
③ 잠열(latent heat) - 고체를 용해하거나 액체를 기화하는데 많은 에너지가 들어간다. 상변화 과정 동안에 흡수되거나 방출되는 에너지의 양을 잠열이라고 한다.

4. 상변화 과정에 대한 상태량 선도

- 상변화 과정 동안의 상태량 변화는 상태량 선도를 이용하면 가장 잘 이해할 수 있다. 순수 물질의 $T-v$, $P-v$, $T-T$ 선도를 반드시 알아야 한다.

1) $T-v$ 선도

- $T-v$ 선도는 물을 액체에서 가열하여 온도 (T) 와 비체적 (v) 과의 관계를 나타낸 것으로 물의 온도가 상승함에 따라 비체적의 변화를 나타내고 있다.

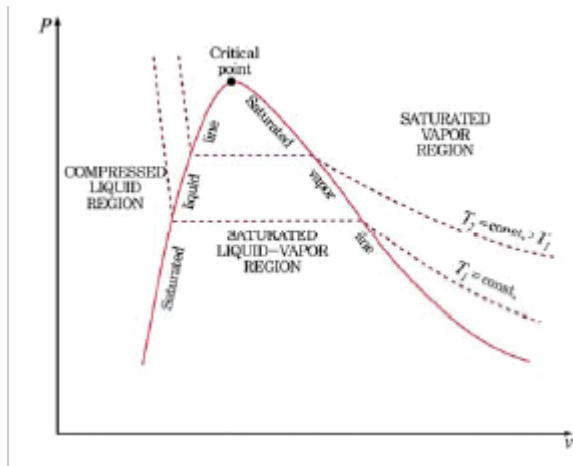


위 그림의 그래프에서 수평선들은 액상과 기체상으로 두 개의 상들이 혼재해 있다. 비체적은 늘어나더라도 온도는 증가하지 않는 것을 확인할 수 있는데 그 이유는 가해진 열이 모두 상변화에 사용(잠열)되었기 때문이다.

2) $P-v$ 선도

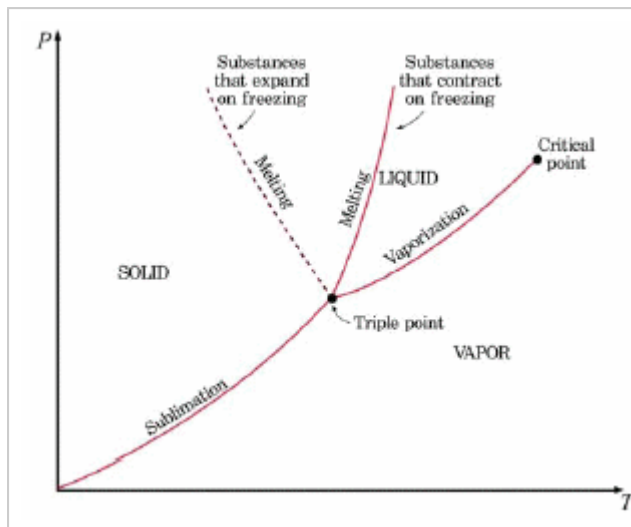
- $P-v$ 선도는 액상의 물을 일정한 온도에서 압력을 점점 낮추면서 압력과 비체적과의 관계를 나타낸 그래프이다.





순수 물질의 $P - v$ 선도의 일반적인 형태는 그림에서 보이는 것과 같이 온도 일정선이 아래로 향하는 경향을 갖는다는 점을 제외하고는 $T - v$ 선도와 매우 유사하다. 예로 들어 액상의 물이 있다고 할 때, 일정한 온도에서 압력을 천천히 낮추면 액상의 물은 어느 압력지점에서 기화되기 시작한다. 이 기화 과정 동안, 온도와 압력은 일정하지만, 비체적은 더욱 증가한다. 마지막 액체 방울이 기화하고 나면, 압력이 감소할수록 비체적은 더욱 증가한다.

3) $P - T$ 선도



이 선도는 세 개의 선에 의해 서로 분리되기 때문에 상 선도(phase diagram)라고도 한다. 승화선은 고체와 증기 영역을 분리하고, 증발선은 액체와 증기 영역을 분리하며, 용해선은 고체와 액체를 분리한다. 이 세 개의 선은 평형 상태에서 세 개의 상이 공존하는 삼중점에서 만난다. 삼중점이란 세 개의 상이 동시에 존재하는 점을 뜻한다.

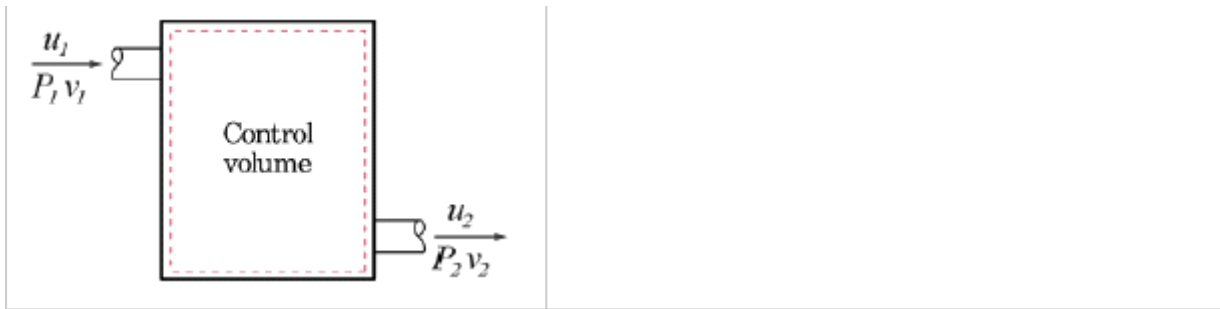
5. 엔탈피(enthalpy) [삼성테크원] PT면접

- 엔탈피란 열역학적인 해석의 편의를 위해서 임의로 만든 에너지량이다. 엔탈피는 수식으로 다음과 같이 나타낸다.

$$H = U + PV$$

여기서 U 는 내부에너지이다. 미시적인 측면에서 분자들이 가지고 있는 운동에너지, 결합에너지 등등 계의 모든 에너지 총합을 내부에너지라고 한다. 부피가 일정한 어떤 계에 열을 가한다고 가정해보자. 그러면 그 계의 내부 에너지는 증가한다. 즉 가해진 열량만큼 내부에너지가 늘어나므로 내부에너지 측정이 용이하다. 그러나 우리가 사는 환경은 1기압의 대기압으로 압력이 일정하므로 일정한 압력하에서 가해진 열량 = 늘어난 엔탈피로 나타내는 것이 편리하다. 즉 내부에너지보다 엔탈피의 증감 정도를 측정하는 것이 더 쉽다.

그림에서 검사체적을 계로 설정하고 입구에서 출구로 유체가 흐르고 있다. 계의 엔탈피 증감은 입구에서 흐르는 유체의 엔탈피와 출구에서 흐르는 엔탈피차로 구할 수 있다. 즉 계의 증감된 에너지를 구할 수 있다.



6. 이상기체의 상태방정식 [LG 마이크론] PT면접

- 압력, 온도 및 비체적 사이의 관계를 표현한 방정식은 어떤 것이나 상태방정식(equation of state)이라고 한다. 기체상의 물질에 대해 가장 간단한 상태방정식은 이상기체 상태방정식이다.

1) 이상기체(ideal gas) - 이상기체는 실제 기체와 달리 분자 사이의 상호작용이 없고 완전 탄성 운동을 하며, 무작위적 운동, 뉴턴역학을 따르는 기체를 일컫는다.

2) 보일-샤를의 법칙 - 보일은 기체의 압력이 체적에 반비례한다는 사실을 밝혀내었고, 샤를은 낮은 압력에서 기체의 체적은 온도에 비례한다는 것을 실험적으로 증명하였다.

$$P = R \left(\frac{T}{v} \right)$$


$$Pv = RT$$

여기서 P 는 압력, v 는 비체적, R 은 기체상수(gas constant), T 는 절대온도를 나타낸다.

3) 수증기는 이상기체인가?

- 수증기는 압력이 보통 10 kPa 이하의 압력에서 0.1% 이하의 무시 가능한 오차를 보이므로 이상기체로 취급할 수 있다. 그러나 그 이하에서는 실제기체로 취급하여야 하며, 임계점 근처에서는 오차가 100%를 넘는다.

7. 비열(specific heat) [현대미포조선] PT면접

$m=1\text{kg}$ $\Delta T=1^{\circ}\text{C}$ Specific heat=5 kJ/kg · °C 	비열은 단위 질량의 물질을 단위 온도 상승시키는데 필요한 에너지로 정의된다. 비열은 정적비열과 정압비열로 구분된다. 일반적인 비열의 단위는 kJ / (kg · °C) 또는 kJ / (kg · °K) 이다.
--	--

※ 정적비열과 정압비열

	1) 정적비열 - 물리적으로 정적비열은 체적이 일정하게 유지되면서 단위 질량의 물질을 단위 온도 올리는데 필요한 에너지로 볼 수 있다.
	2) 정압비열

<p> $V = \text{constant}$ $m = 1 \text{ kg}$ $\Delta T = 1^\circ \text{C}$ $C_v = 3.12 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}}$ 3.12 kJ </p> <p> $P = \text{constant}$ $m = 1 \text{ kg}$ $\Delta T = 1^\circ \text{C}$ $C_p = 5.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}}$ 5.2 kJ </p>	<p>- 정압비열은 압력이 일정하게 유지되면서 단위 질량 물질의 온도를 1도 올리는데 필요한 에너지를 뜻한다.</p>
---	---

정압 상태에서 계는 팽창이 허용되고 또한 이 팽창 일에 필요한 에너지가 계에 공급되어야 하기 때문에 항상 정압 비열은 정적비열보다 크다.

03. 열, 일 및 질량에 의한 에너지 전달

1. 열전달(heat transfer) [현대기아자동차(생산기술)] 기술면접

- 에너지는 열과 일이라는 두 가지의 다른 형태로 밀폐계의 경계를 통과할 수 있다. 이들 두 가지 형태의 에너지를 구별하는 것이 중요하다.

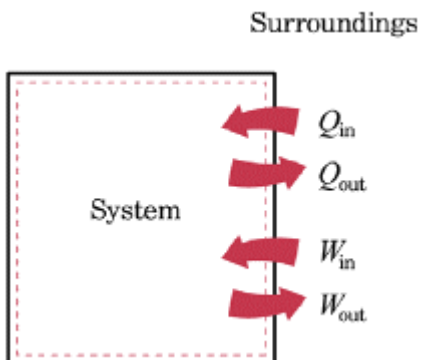
<p>surrounding air 25°C</p> <p>BAKED POTATO 120°C</p> <p>Heat</p>	<p>열은 온도차에 의해 두 개의 계(또는 계와 주위) 사이에서 전달되는 에너지의 형태로 정의된다. 즉, 온도차에 의해서만 에너지 전달이 일어난다면 이 에너지 전달 형태는 열이다. 그러므로 같은 온도에 있는 두 개의 계 사이에는 열전달이 일어날 수 없다. 열은 진행 상태에 있는 에너지이다. 열은 계의 경계를 통과할 때만 관찰할 수 있다. 왼쪽 그림처럼 계는 에너지를 가지고 있지만 이 에너지는 계의 경계를 통해서만 공기에 도달할 수 있다. 이러한 계를 통한 열의 전달을 열전달이라고 하며 열역학에서 열이라는 용어는 단순히 열 전달을 의미한다.</p>
---	--

1) 단열과정(adiabatic process) [LG전자] PT면접

<p>Insulation</p> <p>ADIABATIC SYSTEM</p> <p>$Q=0$</p>	<p>열전달이 없는 과정을 단열 과정이라고 한다. 어떤 과정이 단열인 조건에는 두 가지가 있다. 하나는 계가 잘 단열되어 있어서 무시할 만한 양의 열만이 계의 경계를 통과하는 경우이고, 다른 하나는 계와 주위의 온도가 같아서 열전달을 일으키는 구동력 즉, 온도차가 없는 경우이다.</p>
---	--

2. 일에 의한 에너지 전달

- 열과 마찬가지로 일은 계와 주위 사이의 에너지 교환 작용이다. 앞서 말한 바와 같이 에너지는 열이나 일의 형태로 계의 경계를 통과할 수 있다. 그러므로 밀폐계의 경계를 통과하는 에너지가 열이 아니면, 이것은 반드시 일이어야 한다. 열과 일의 유사점이 아래에 나타나 있다.

	<ol style="list-style-type: none"> 1. 열과 일은 계의 경계를 통과할 때 계의 경계에서 확인된다. 즉, 열과 일은 경계 현상이다. 2. 계는 에너지를 가질 수 있으나, 열이나 일은 갖지 못한다. 3. 열과 일은 상태가 아니라 과정과 관계된다. 상태량들과는 달리, 열과 일은 한쪽 상태에서는 의미가 없다. 4. 열과 일은 경로함수(path function)이다. 즉, 크기는 양끝 상태를 뿐만 아니라 과정 동안의 경로에 따라 달라진다.
---	--

3. 역학적 형태의 일

- 어떤 거리를 통하여 작용하는 힘에 관련된 일을 하는 방법에는 여러 가지가 있다. 보통 일은 힘 F 가 작용하여 힘의 방향으로 거리 s 만큼 옮겨진 일을,

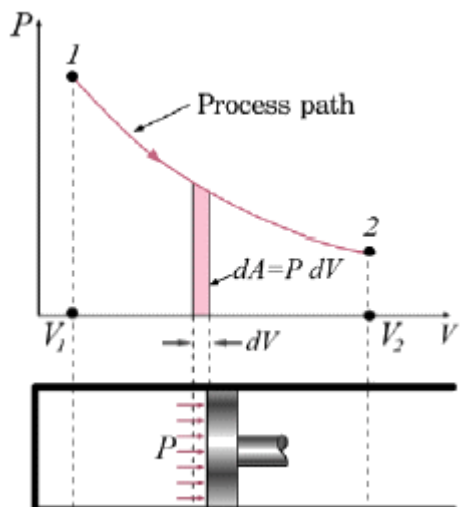
$$W = \int_1^2 F ds$$

로 나타낸다.

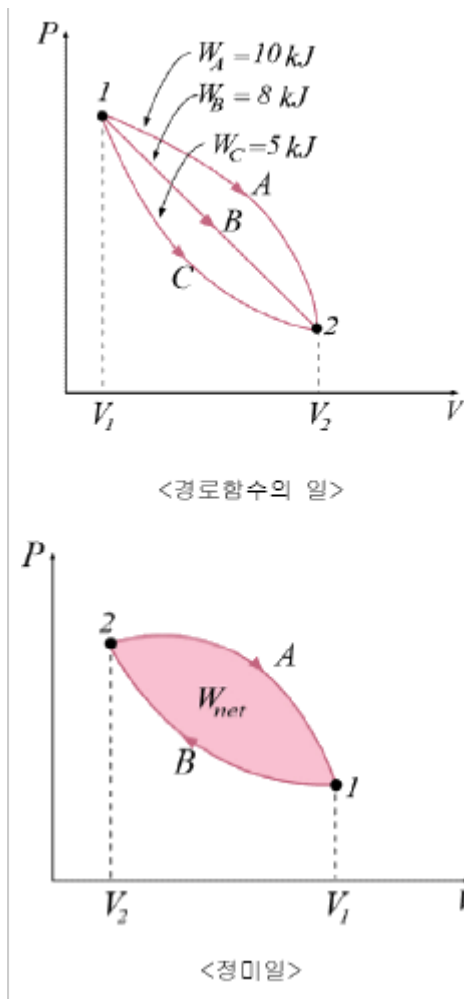
1) 이동 경계일(moving boundary work)

- 실제로 자주 접하는 역학적인 일 중의 한 형태는 피스톤 실린더 기구 내에서 기체의 팽창이나 압축과 관련된 일이다.

이 과정 동안 경계의 일부인 피스톤 내면은 전진하거나 후퇴한다. 그러므로, 팽창이나 압축일은 이동 경계일 또는 간단하게 경계일(boundary work)이라고 한다.

	<p>피스톤이 움직이는 전체 과정 동안 행해진 총 경계일은 초기 상태에서부터 최종상태까지 미소 일을 모두 합함으로써 구한 다.</p> $W_b = \int_1^2 P dV \quad (kJ)$ <p>여기서 P 는 절대압력이고 항상 양수이다. 그러나 체적변화 dV 는 체적이 증가하는 팽창과정 동안에는 양수이고, 체적이 감소하는 압축과정 동안에는 음수이다.</p>
---	--

2) 경로함수(path function)의 일



기체가 상태 1로부터 상태 2로 팽창할 때의 경로는 여러 가지가 있을 수 있다. 일반적으로 각 경로 밑의 면적은 다르며, 이 면적이 일의 크기를 나타내기 때문에 각 과정에서 행해진 일도 다르다. 이것은 일이 경로함수(즉, 양끝 상태들뿐만 아니라 경로에 따라 달라짐)이기 때문에 예상할 수 있는 바이다. 일이 경로함수가 아니라면 자동차 기관이나 원동소와 같이 사이클로 동작하는 장치가 일 발생 장치로 작동할 수 없다. 사이클의 일부 동안에 생성된 일이 사이클의 다른 부분 동안에 소비되어야 하므로 정미(net) 출력일이 없을 것이다. 왼쪽 아래 그림에서 보이는 사이클은 팽창과정 동안 계가 한 일에 해당하는 경로 A 밑의 면적보다 크기 때문에 정미 출력 일을 생성하며, 이 두 개의 일 차이는 색깔한 면적으로서 사이클 동안 행해진 정미 일이다.

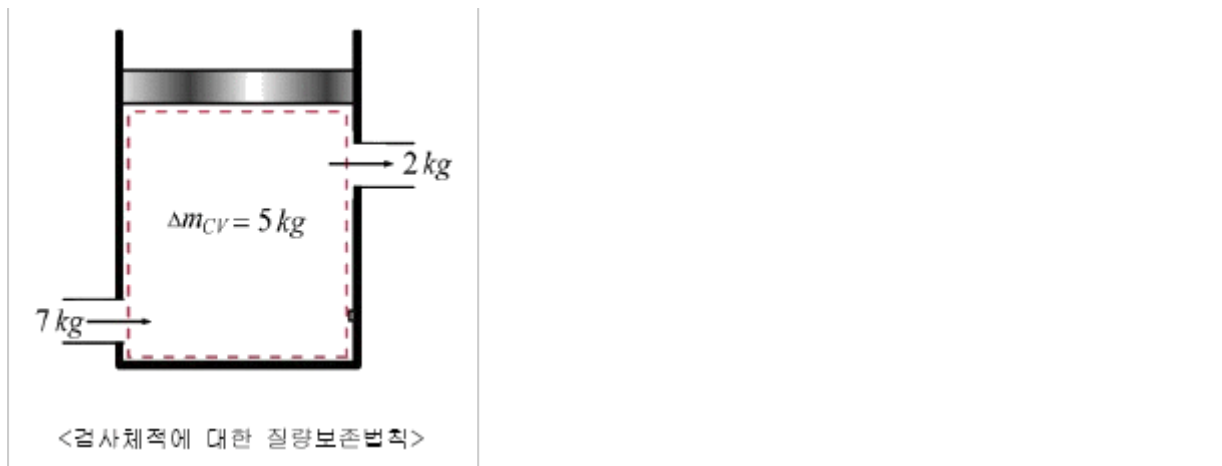
4. 질량 보존법칙 [삼성 SDI] PT면접

- 질량 보존은 가장 기초적인 자연 법칙 중의 하나이다. 에너지와 마찬가지로 질량은 보존되는 상태량이며, 창조되거나 파괴될 수 없다. 그러나 질량 m 과 에너지 E 은 아인슈타인이 제안한 유명한 공식에 따라 서로 변환될 수 있다.

$$E = mc^2$$

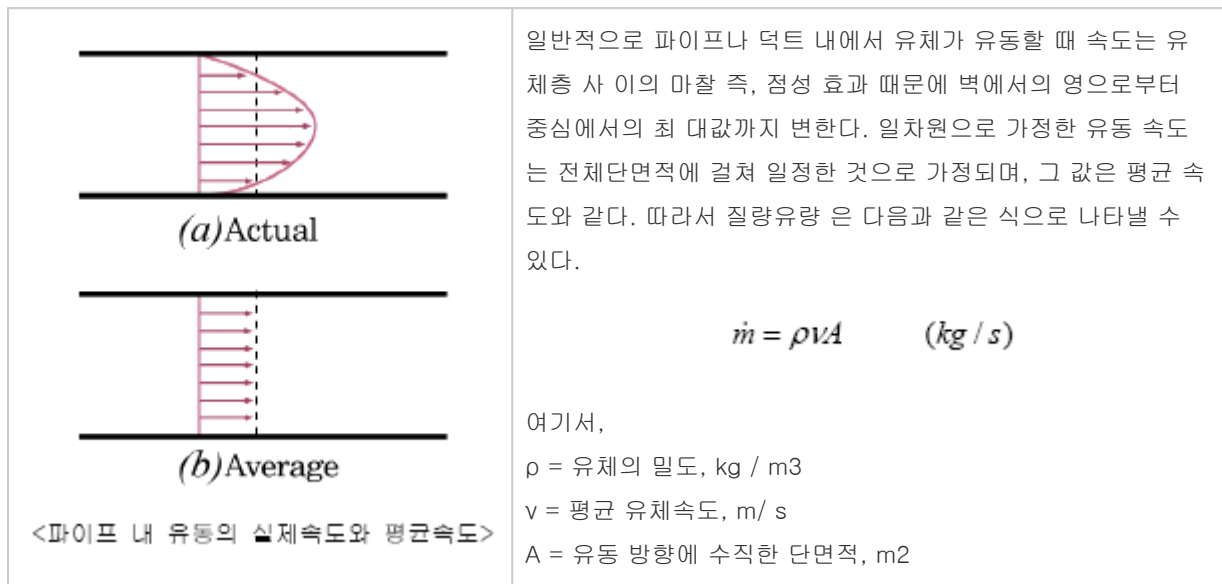
여기서 c 는 광속이다. 이 방정식은 계의 에너지가 변할 때 계의 질량이 변한다는 것을 제시한다. 그러나 핵반응을 제외하고, 실제로 접하는 모든 에너지 상호작용에 대한 질량 변화는 극히 작아서 무시할 수 있다.

어떤 과정 동안 밀폐계에서 계의 질량이 일정하게 유지되어야 하므로, 질량 보존법칙은 조건 없이 사용된다. 그러나 검사체적에서는 질량이 경계를 통과할 수 있으므로, 검사체적을 넘나드는 질량의 양에 관한 정보를 계속 추적해야 한다.

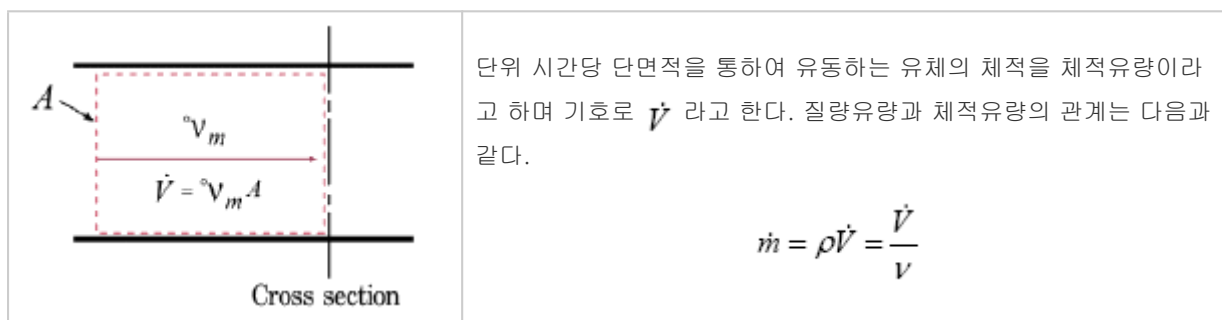


1) 질량유량(mass flow rate)

- 단위 시간당 단면적을 통하여 유동하는 질량의 양을 질량유량이라고 하며 \dot{m} 으로 표시한다. 기호위의 점은 단위 시간당 어떤 양을 나타내는데 사용한다.



2) 체적유량(volume flow rate)



3) 질량 보존법칙(conservation of mass principle)

- 질량 보존법칙은 과정 동안에 계로 들어가거나 계로부터 나가는 정미 질량 전달은 그 과정 동안 계의 총 질량의 정미 변화와 같다고 나타낼 수 있다. 즉,

$$(\text{계로 들어오는 총 질량}) - (\text{계에서 나가는 총 질량}) = (\text{계 내부 질량의 정미 변화})$$

또는

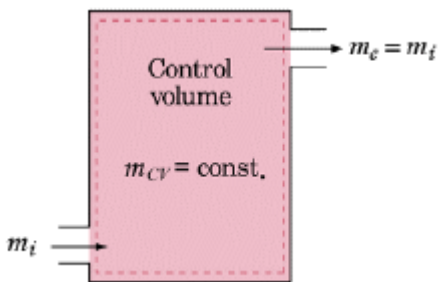
$$m_{in} - m_{out} = \Delta m_{system} \quad (kg)$$

유체 역학에서는 질량 보존식을 연속방정식(continuity equation)이라고도 한다.

4) 정상유동 과정에 대한 질량 평형

- 정상유동 과정 동안, 검사체적 내의 질량은 시간에 따라 변하지 않는다($m_{cv} = \text{일정}$). 그러므로 질량 보존법칙에 따라

검사체적으로 들어오는 질량은 검사체적으로부터 나가는 질량과 같다.

	<p>입출구를 가진 정상 유동계에 대한 질량 보존법칙을 변화율 식으로 나타내면 다음과 같다. (단위 시간당 검사체적으로 유입되는 총 질량) = (단위 시간당 검사체적으로부터 유출되는 총 질량) 또는</p> $\dot{m}_i = \dot{m}_e \rightarrow \rho_i v_i A_i = \rho_e v_e A_e$
---	--

5) 정상 비압축성 유동

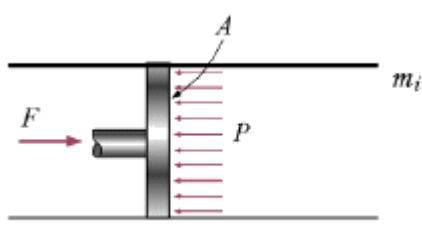
- 질량 보존 관계식은 유체가 비압축성일 때 훨씬 간단하게 되는데, 이것은 보통 액체의 경우이다. 비압축성이기 때문에 출입하는 유체의 밀도는 같다. 따라서 밀도를 소거하면

$$\dot{V}_i = \dot{V}_e \rightarrow v_i A_i = v_e A_e$$

5. 유동일(flow work)과 유동 유체의 에너지

1) 유동일

- 밀폐계와는 달리 검사체적은 경계를 통과하는 질량 유동을 수반하며, 질량을 검사체적 안으로 밀어넣거나 검사체적 밖으로 밀어내기 위한 일이 필요하다. 이러한 일을 유동일이라고 한다.

	<p>왼쪽 그림처럼 전체 유체 요소를 검사체적에 밀어 넣기 위해서는, 이 힘이 작용하여 거리 L 을 통과해야 한다. 따라서 경계를 통하여 유체 요소를 밀어 넣는데 행해진 일 즉, 유동일은 다음 식과 같다.</p> $W_{\text{flow}} = FL = PAL = PV$ <p>여기서 P 는 압력, A 는 단면적, V 는 체적이다. 또한 단위질량 당 유동일은</p> $W_{\text{flow}} = Pv$
---	--

2) 유동 유체의 총 에너지

- 앞장에서 언급한 바와 같이, 단순 압축성 계의 총 에너지는 내부에너지, 운동에너지, 위치에너지의 세 개 부분으로 구성되어 있다. 식은 다음과 같다.

$$e = u + ke + pe = u + \frac{v^2}{2} + gz, \quad (KJ/kg)$$

이 식은 단위 질량당 에너지 이므로 질량 m 을 나눈 값이다. 여기서 z 는 기준점에 대한 계의 높이이고, g 는 중력 가속도이다.

그러나 검사체적을 유출입하는 유체는 유동에너지 Pv 를 추가로 가지고 있다. 따라서 단위 질량을 기준으로 한 유동 유체의 총 에너지 θ 는 다음과 같다.

$$\theta = Pv + e = Pv + u + \frac{v^2}{2} + gz = h + \frac{v^2}{2} + gz$$

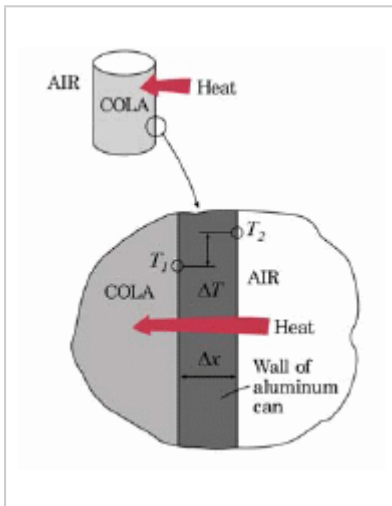
이처럼 검사체적을 유출입하는 유체와 관련한 에너지는 엔탈피에 의해 자동적으로 처리된다. 앞서 이미 언급하였지만 이것이 엔탈피가 정의된 이유이기도 하다.

6. 열전달 방식 [삼성전자] PT 면접, [KCC(생산기술)] 기술면접

- 열은 전도, 대류 및 복사의 세 가지 방법으로 전달된다. 모든 형식의 열전달은 온도차가 있어야만 가능하며, 열은 높은 온도의 매체로부터 낮은 온도의 매체로 전달된다.

1) 전도(conduction)

- 전도는 고체, 액체 또는 기체 내에서 일어날 수 있다. 기체와 액체에서는 분자들의 무작위 운동 동안에 분자들의 충돌에 의해 일어나고, 고체에서는 격자 내의 분자 진동과 자유 전자에 의한 에너지 수송에 의해 전도가 일어난다.



일정한 두께 Δx 를 통한 열전도율 \dot{Q}_{cond} 는 벽의 온도차 ΔT 와 열전달 방향에 수직한 면적 A 에 비례하고, 벽의 두께에 반비례한다. 그러므로 열전도율은 다음과 같다.

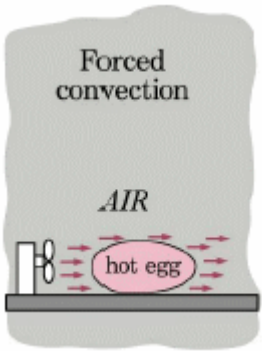
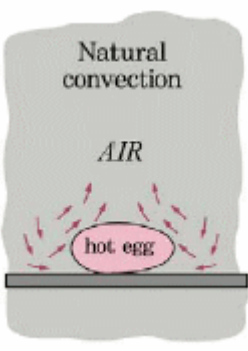
$$\dot{Q}_{cond} = k_T A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (W)$$

여기서 비례상수 k_T 는 재료의 열전도계수(thermal conductivity)로서 재료의 열전도 능력을 나타내는 크기이다. 예를 들어 양질의 전기 전도체인 구리, 은 과 같은 재료들은 k_T 값이 크다. 그러나 고무, 나무, 스티로폼과 같은 재료들은 나쁜 열 전도체이므로 k_T 값이 작다.

2) 대류(convection)

- 대류는 고체 표면 주위에서 운동 중인 액체 또는 기체와 고체 표면 사이의 에너지 전달 형식이며, 전도와 유체 운동이 조합된 결과이다. 유체 운동이 빠를수록 대류 열전달은 크다. 유체 운동이 없는 경우에, 고체 표면과 주위의 유체 사이의 열전달은 단지 전도이다. 대류에는 강제대류와 자연대류가 있다.

--	--

	
<p>① 강제대류(forced convection)</p> <p>- 송풍기, 펌프 또는 바람과 같은 외부 수단에 의해 유체가 관 내나 표면 위에서 강제로 유동하는 경우의 대류를 강제대류라고 한다.</p>	<p>② 자연대류(natural convection)</p> <p>- 유체 내의 온도변동으로 인한 밀도차에 의해 생긴 부력에 의하여 유체 운동이 일어난 경우의 대류를 자연대류라고 한다.</p>

대류 열전달률 \dot{Q}_{conv} 은 다음과 같다.

$$\dot{Q}_{conv} = hA(T_s - T_f) \quad (W)$$

여기서 h 는 대류열전달계수, A 는 열전달이 일어난 표면적, T_s 는 표면 온도이고 T_f 는 표면으로부터 떨어진 유체의 온도이다. 표면에 접한 유체 온도는 고체 표면의 온도와 같다. 대류열전달계수 h 는 유체의 상태량이 아니라 실험적으로 구한 계수이며, 그 값은 표면의 기하학적 형상, 유체 운동의 성질, 유체의 상태량 및 유체 속도와 같이 대류에 영향하는 모든 변수에 따라 달라진다.

3) 복사(radiation)

- 원자나 분자의 전자 배열의 변화로 인하여 전자기파나 광양자의 형태로 물질에 의해 방사된 에너지이다. 전도나 대류와는 달리, 복사에 의한 에너지 전달은 매개 물질을 필요로 하지 않는다. 복사에너지는 광속으로 전달되며, 진공을 통과할 때 에너지가 감소되지 않는다. 이것이 바로, 태양 에너지가 지구에 도달하는 방법이다. 복사는 체적 현상이며, 모든 고체, 액체 및 기체는 정도는 다르지만 복사열을 방출하고, 흡수하고 또한 전파시킨다. 그러나 금속, 나무 및 바위와 같이 고체의 내부에서 방사된 복사는 표면에 도달할 수 없고, 입사된 복사는 표면으로부터 수 마이크로미터 내에서 흡수가 끝나기 때문에, 이와 같이 열복사가 통과할 수 없는 고체에 대한 열복사는 보통 표면 현상이다. 실제 표면으로부터 방사되는 복사율은 다음과 같다.

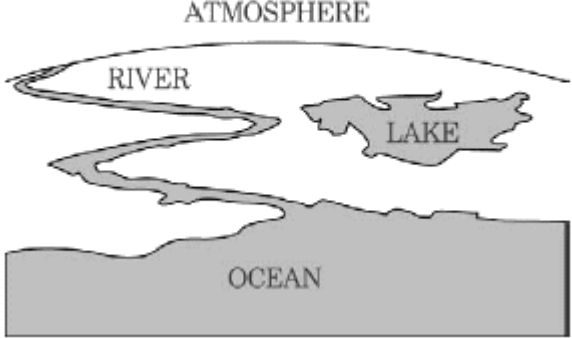
$$\dot{Q}_{emit} = \epsilon \sigma A T_s^4 \quad (W)$$

여기서 A 는 표면적이고, σ 는 슈테판 볼츠만 상수이다. 최대 복사율로 복사하는 이상화된 표면을 흑체라고 하며 ϵ 는 표면의 방사율이다. 방사율은 물질의 상태량으로 $0 \leq \epsilon \leq 1$ 의 범위 값이며, 표면이 $\epsilon = 1$ 인 흑체에 얼마나 가까운가에 대한 척도이다.

04. 열기관

1. 열에너지 저장조(thermal energy reservoir)

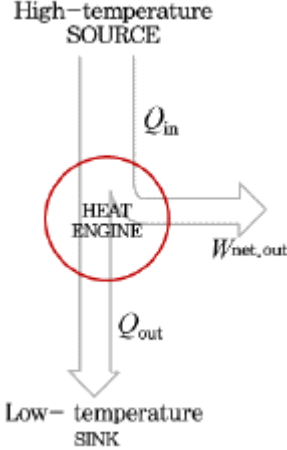
- 열역학 제2법칙을 전개해 나갈 때에, 매우 큰 열용량(밀도×비열)을 갖고 있기 때문에 자신의 온도는 변화하지 않고 열을 공급하거나 열을 받을 수 있는 가상적인 물체를 생각하는 것이 편리하다. 이러한 물체를 열에너지 저장조 또는 저장조라고 부른다.

	<p>실제로 대기는 물론 대양, 호수 그리고 바다는 양적으로 매우 많고 열에너지의 저장능력 또는 열질량이 크므로 열에너지 저장조라고 할 수 있다. 실제로 대기의 경우 겨울에 난방 하는 건물로부터의 열손실에 의한 대기로의 열전달이 있다 하더라도 대기가 가열되어 따뜻해진다고 볼 수는 없다. 마찬가지로 발전소로부터 강으로 엄청난 양의 폐열이 큰 강으로 버려지지만, 이것이 물의 온도를 눈에 띄일 만큼 크게 변화시킨다고 볼 수 없다.</p>
---	---

- 1) 열원(heat source) - 열의 형태로 에너지를 공급하는 열저장조를 열원이라 부른다. 대표적으로 태양이 있다.
- 2) 열침(heat sink) - 열의 형태로 에너지를 흡수하는 열저장조를 열침이라 부른다. 대표적으로 강이나 바다가 있다.

2. 열기관(heat engine)

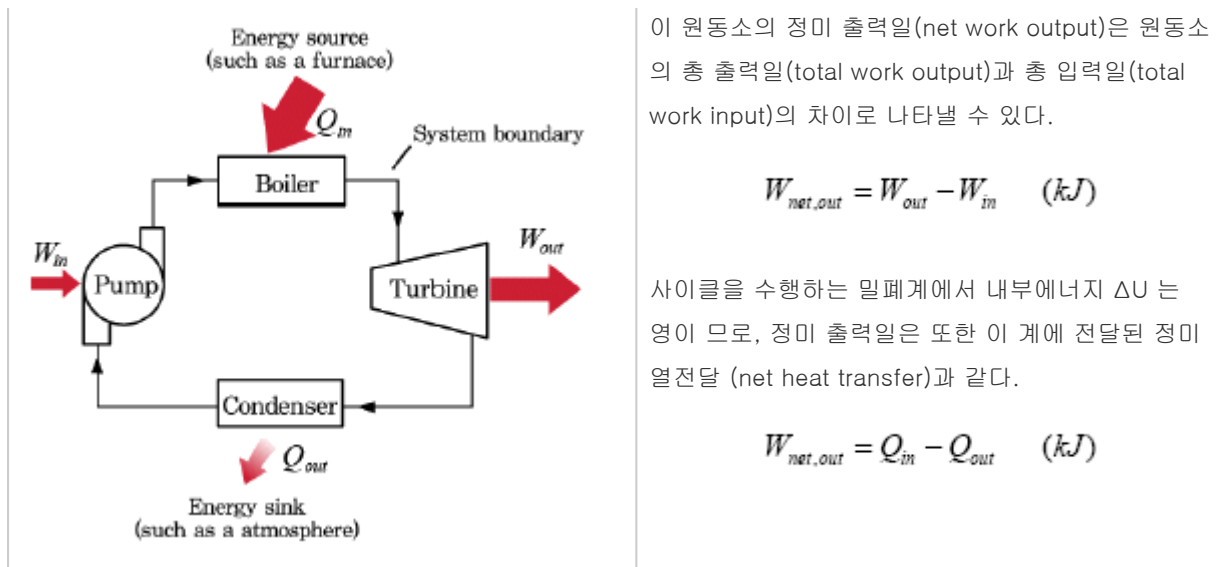
- 일은 다른 에너지의 형태로 쉽게 변환될 수 있으나, 다른 형태의 에너지를 일로 변환하는 것은 쉽지 않다. 각각의 열기관은 다를 수 있으나, 모두 다음과 같은 특징을 갖는다.

	<ol style="list-style-type: none"> ① 높은 온도의 열원(태양에너지, 연소로, 핵반응 등)으로부터 열을 받는다. ② 받은 열의 일부를 일(보통 축일)로 변환한다. ③ 저온의 열침(대기, 강 등)에 남은 폐열을 방출한다. ④ 사이클로 작동한다.
---	--

- 1) 증기원동소(steam power plant, 외연기관) Low- temperature

- 일을 얻는 장치로서 열기관의 정의에 가장 잘 일치하는 것은 증기원동소이다. 즉, 연소가 기관의 밖에서 일어나며, 이 과정에서 방출된 열에너지가 열의 형태로 증기에 전달된다. 증기원동소는 아래그림과 같이 보일러(boiler), 터빈(turbine), 펌프(pump), 응축기(condenser)로 구성되어 있다. 보일러에서 열을 공급하며, 발생한 열을 일로 변환하는 기관이 터빈이다. 쓰고 남은 폐열을 버리는 곳이 응축기이며 마지막으로 기관 내부에 흐르는 작동유체의 압력을 높여주는 펌프로 구성되어 있다.





2) 열효율(thermal efficiency)

- 위의 식에서 Q_{out} 은 사이클을 완성하기 위하여 방출한 에너지를 나타낸다. Q_{out} 은 영이 아니므로 열기관의 정미 출력일은 언제나 입력열의 양보다 작다. 일로 변환된 입력열의 비율은 열기관의 성능을 나타내는 척도가 되며 이 비율을 열효율, η_{th} 이라고 한다. 일반적으로 성능 또는 효율은 다음 식과 같이 원하는 출력과 요구되는 입력으로 나타낼 수 있다.

$$\eta_{th} = \frac{W_{net,out}}{Q_{in}}$$

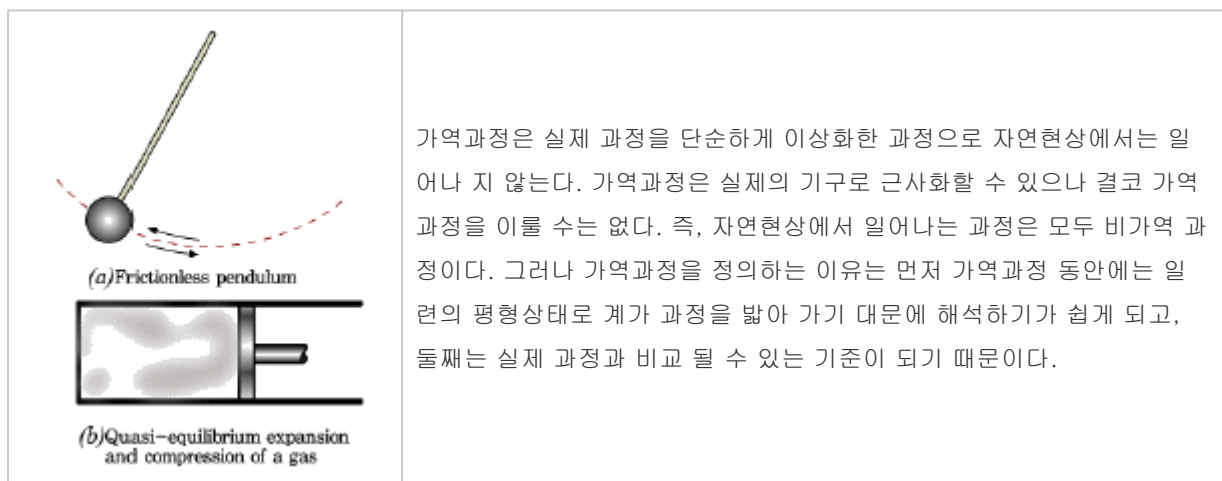
여기서 $W_{net, out}$, 는 정미 출력일이며, Q_{in} 은 작동유체에 공급된 열량이다.

3. 가역 과정과 비가역 과정

- 열역학 제2법칙은 어떠한 열기관의 효율도 100%일 수 없다는 것을 나타낸다. 그렇다면 열기관이 가질 수 있는 가장 높은 효율은 얼마일까? 이 질문에 대답하기 위해 이상적인 과정인 가역과정을 배워야 한다.

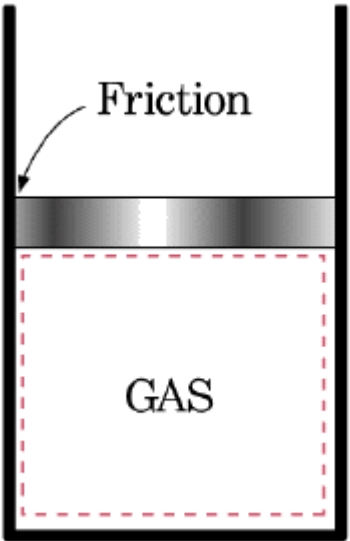
1) 가역과정(reversible process)

- 가역과정은 말 그대로 주위에 어떠한 흔적도 남기지 않고 다시 거꾸로 되돌릴 수 있는 과정으로 정의된다. 즉, 계와 주위는 가역 과정을 거친 후에는 초기 상태로 된다. 가역 과정에서는 한 과정과 다시 되돌아 가는 과정에서 계와 주위 사이에 서로 교환된 정미 일과 정미 열량은 영이다.

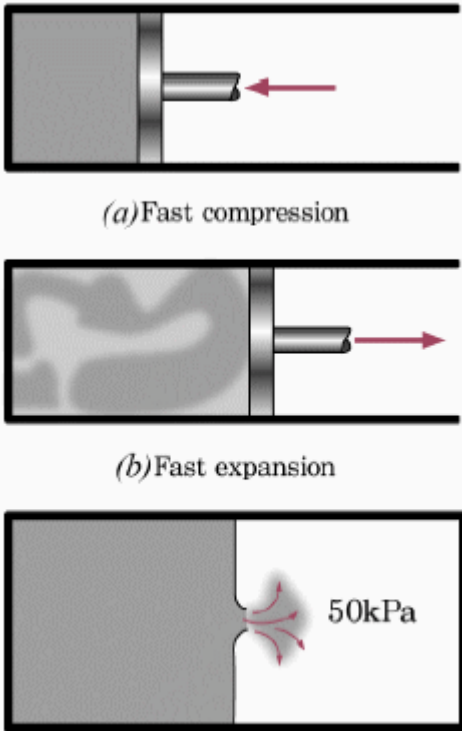


2) 비가역과정(irreversible process)

- 비가역과정은 가역과정이 아닌 과정을 말한다. 실제 자연현상은 비가역과정이다. 비가역이 발생하는 원인은 비가역성인데 비가역성이란 비가역 과정이 되게 하는 인자를 뜻한다. 그 종류에는 마찰, 자유팽창, 두 가스의 혼합, 전기저항, 고체의 비탄성변형, 화학반응 등이 있다. 가역과정에는 이들 인자의 어느 것도 포함되어 있지 않다.

	<p>마찰(friction)은 운동하는 물체와 관련된 비가역성의 한 형태이다. 왼쪽 그림처럼 서로 접촉하고 있는 물체가 상대운동을 하면 두 물체의 접촉면에 운동방향과 반대방향으로 마찰력이 작용하며, 마찰력이 이겨내기 위하여 일이 필요하다. 접촉면의 온도가 올라가는 것에서 알 수 있듯이 일로써 공급된 에너지는 과정 중에 열로 변화되어 접촉하고 있는 물체에 전달된다. 다시 운동의 방향을 거꾸로 하면 원위치로 되돌아가지만 접촉면이 냉각되는 것이 아니며 열이 일로 변환되지도 않는다. 계와 주위는 원상태로 되돌아가지 않으므로 이 과정은 비가역 과정이다. 그러므로 마찰이 있는 과정은 비가역 과정이다.</p>
---	---

마찰은 접촉되어 있는 고체 물체 사이에서만 있는 것이 아니며, 유체와 고체, 속도분포를 갖는 유체층에도 있다.

 <p>(a) Fast compression</p> <p>(b) Fast expansion</p> <p>(c) Unrestrained expansion</p>	<p>비가역성의 다른 예로 왼쪽 그림과 같이 격막에 의하여 진공과 분리된 가스의 자유팽창이 있다. 막을 터트리면 가스가 용기 전체에 채워진다. 이 계를 초기 상태로 되돌리려면 가스를 초기의 체적으로 압축하고 초기온도가 되도록 가스로부터 열방출이 있어야 한다. 에너지 보존을 고려하면 가스로부터 전달된 열량은 주위가 가스에 한 일의 양과 같다. 주위를 초기 상태로 되돌리려면 이 열을 완전히 일로 변환해야 하는데 이것은 열역학 제2법칙에 위반된다. 그러므로 구속 없는 가스의 팽창은 비가역 과정이다.</p>
---	--

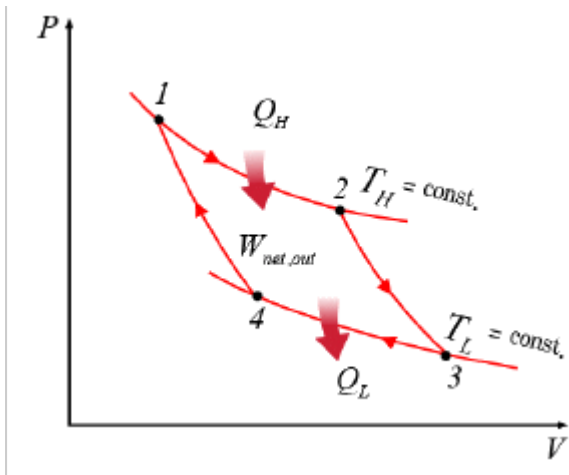
5. 카르노사이클(carnot cycle) [삼성SDI] PT면접

- 가장 잘 알려진 가역 사이클이다. 카르노사이클은 두 개의 등온과정과 두 개의 단열 과정인 네 개의 가역 과정으로 이루어져 있으며 밀폐계나 정상유동계에서 수행될 수 있다. 카르노사이클을 이루는 네 개의 가역 과정은 다음과 같다.

<p>(a) Process 1-2</p>	<p>① 가역 등온팽창($T_H = \text{일정}$) - 초기에 가스의 온도는 T_H 이며 실린더 헤드는 온도가 T_H 인 열원과 접촉하고 있다. 기체가 일을 하면서 서서히 팽창하는 과정이다. 기체가 팽창할 때에 기체의 온도는 낮아지게 된다. 그러나 기체의 온도가 미소온도 dT 만큼 낮아지면 곧바로 열저장조로부터 기체에 열이 전달되어 기체의 온도는 T_H 로 올라가 기체의 온도는 T_H 로 유지된다. 기체와 열저장조의 온도차는 미소 온도차 dT 를 넘지 않기 때문에 이 과정은 가역과정이다. 이 과정 중에 기체에 전달된 총 열량은 Q_H 이다.</p>
<p>(b) Process 2-3</p>	<p>② 가역 단열팽창(온도는 T_H 부터 까지 낮아진다) - 실린더 헤드와 접촉하고 있는 열저장조는 상태 2에서 제거되고, 계가 단열되도록 실린더 헤드에 단열재가 놓여진다. 기체는 주위에 일을 하면서 온도가 T_H 에서 T_L 로 낮아질 때까지 서서히 팽창을 계속한다(상태3). 피스톤은 마찰이 없고 과정은 준평형 과정으로 가정한다. 따라서 이 과정은 단열 과정이면서 가역과정이다.</p>
<p>(c) Process 3-4</p>	<p>③ 가역 등온압축($T_L = \text{일정}$) - 상태 3에서 실린더 헤드의 단열재는 제거 되고 실린더는 온도가 T_L 인 열침에 접촉된다. 피스톤은 외력에 의하여 안쪽으로 밀리면서 기체에 일을 하게 된다. 기체가 압축될 때 기체의 온도는 올라가게 된다. 그러나 기체의 온도가 미소온도 dT 만큼 높아지면 기체로부터 열침으로 열이 전달되어 기체의 온도는 T_L 로 낮아져 기체온도가 T_L 로 유지된다. 기체와 열침의 온도차가 미소온도차 dT 를 넘지 않기 때문에 이 과정은 가역열전달 과정이다. 이 과정은 피스톤이 위치 4에 도달할 때까지 지속된다. 이 과정 중에 가스에서 방출될 총 열량은 Q_L 이다.</p>
<p>(d) Process 4-1</p>	<p>④ 가역 단열압축(온도는 T_L 에서 T_H 까지 높아진다) - 실린더 헤드와 접촉하고 있는 열침은 상태 4에서 제거되고, 실린더 헤드에 단열재가 다시 놓여져 계는 단열된다. 기체는 가역적인 방법으로 압축되어 초기 상태(상태1)로 되돌아 간다. 이 가역 단열압축과정 중에 온도는 T_L에서 T_H 까지 높아지며 사이클은 완성된다.</p>

1) 카르노사이클의 P -V 선도

	<p>준평형 과정인 경우, P -V 선도에서 경로를 나타내는 곡선의 아래 면적은 경계일을 나타내므로, 곡선 1-2-3의 아래면적은 사이클의 팽창과정 중에 가스가 한 일을 나타내며 곡선 3-4-1의 아래면적은 사이클의 압축과정 중에 가스에 행한 일을 나타낸다. 사이클 곡선의 내부 면적(면적1-2-3-4-1)은 두 일의 차이이며 사이클 중의 정미 일을 나타낸다. 카르노사이클은 가역 사이클이</p>
--	---



기 때문에 정해진 온도의 범위에서 작동하는 가장 효율이 좋은 사이클이다.

2) 카르노 원리(carnot principles)

- 다음은 가역 열기관과 비가역 열기관의 효율에 관한 카르노 원리에 관한 것이다.

- ① 두 개의 열저장조 사이에서 작동하는 비가역 열기관의 효율은 같은 두 열저장조 사이에서 작동하는 가역 열기관의 효율보다 항상 낮다.
- ② 같은 두 열저장조 사이에서 작동하는 모든 가역 열기관의 효율은 같다.