

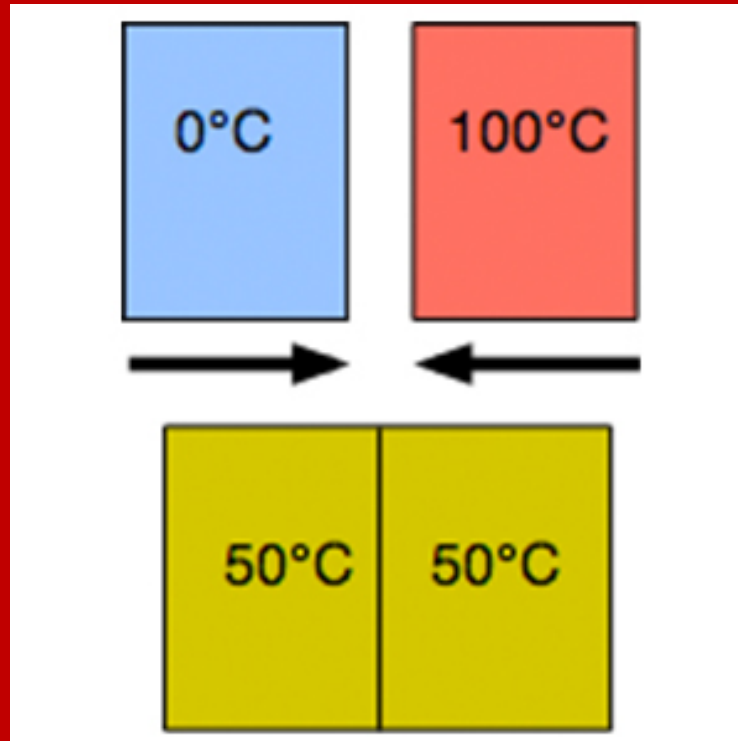
제5강

등온과 단열 과정

가역성과 비가역성을 다시 복습해 봅시다

$$\frac{d \ln \Omega_1}{dE_1} = \frac{d \ln \Omega_2}{dE_2}$$

우리는 열역학적 평형 상태에서,
확률이 가장 높은 조합에 도달한다고 했습니다.



따라서 평형 상태에서는 열의 흐름이 없으며
시간에 따라서 변하지도 않습니다.



그런데 정말 시간에 따라 변하지 않는다면
우리가 다룰 수 있는 물리적 예가 너무 제한 될 것입니다.
거시 세계도 계속해서 변하기 때문입니다.

그래서 물리학자들은 고민 끝에
‘평형이지만 평형이 아닌’,
즉 평형 상태를 유지하면서 변하는 조건을 고려하게 됩니다.

물론 이것은 현실적으로는 존재할 수 없지만
근사적으로 유용한 개념으로 판명됩니다.

하나의 평형 상태에서부터 다른 평형 상태로
무한소만큼 작은 양만 변한다고 가정하면,
평형 상태를 유지할 수 있습니다.

하나의 평형 상태에서부터 다른 평형 상태로
무한소만큼 작은 양만 변한다고 가정하면,
평형 상태를 유지할 수 있습니다.
이러한 과정을 준정적quasi-static이라고 합니다.

하나의 평형 상태에서부터 다른 평형 상태로
무한소만큼 작은 양만 변한다고 가정하면,
평형 상태를 유지할 수 있습니다.
이러한 과정을 준정적quasi-static이라고 합니다.

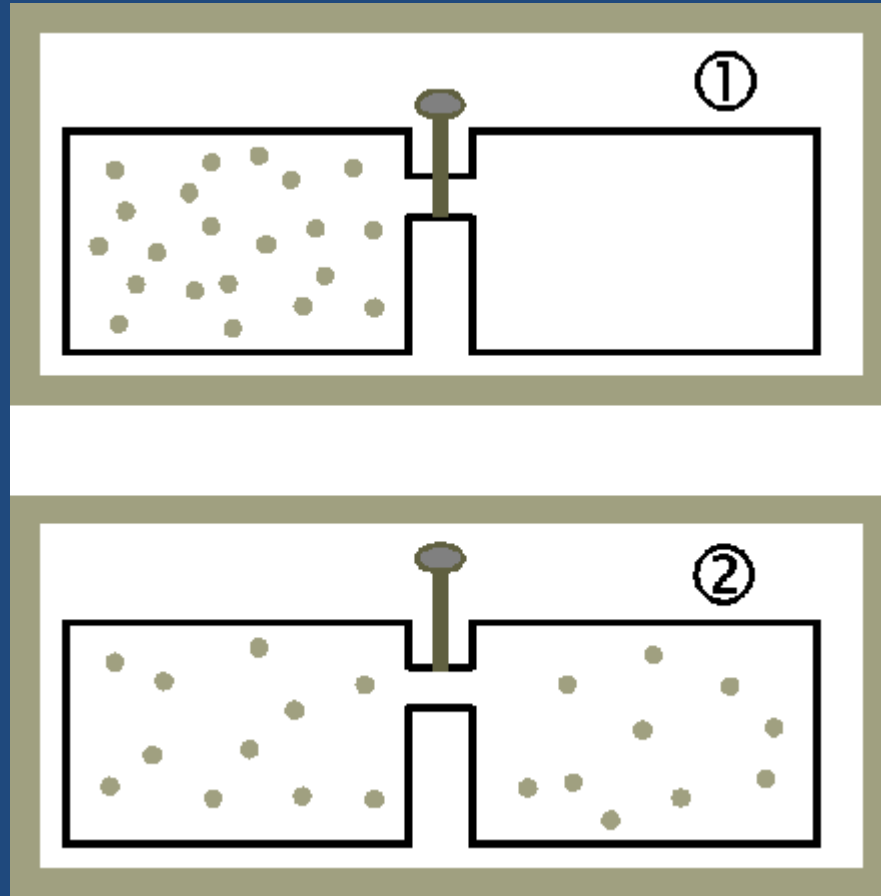
준정적 과정 중에서 역과정이 원리적으로 가능하게 된다면
가역 과정reversible이라고 부릅니다.

하나의 평형 상태에서부터 다른 평형 상태로
무한소만큼 작은 양만 변한다고 가정하면,
평형 상태를 유지할 수 있습니다.
이러한 과정을 준정적quasi-static이라고 합니다.

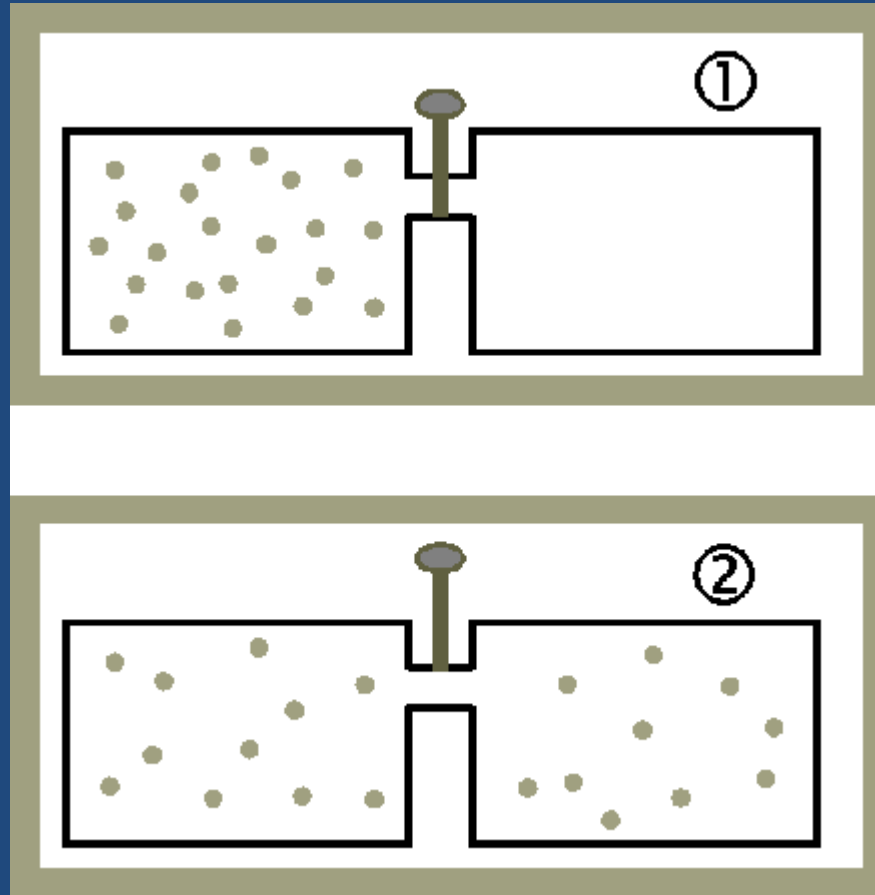
준정적 과정 중에서 역과정이 원리적으로 가능하게 된다면
가역 과정reversible이라고 부릅니다.

물론 가역 과정이 실제로 일어나기 위해서는
무한히 긴 시간이 필요하므로
이것은 근사적인 기술일 뿐입니다.

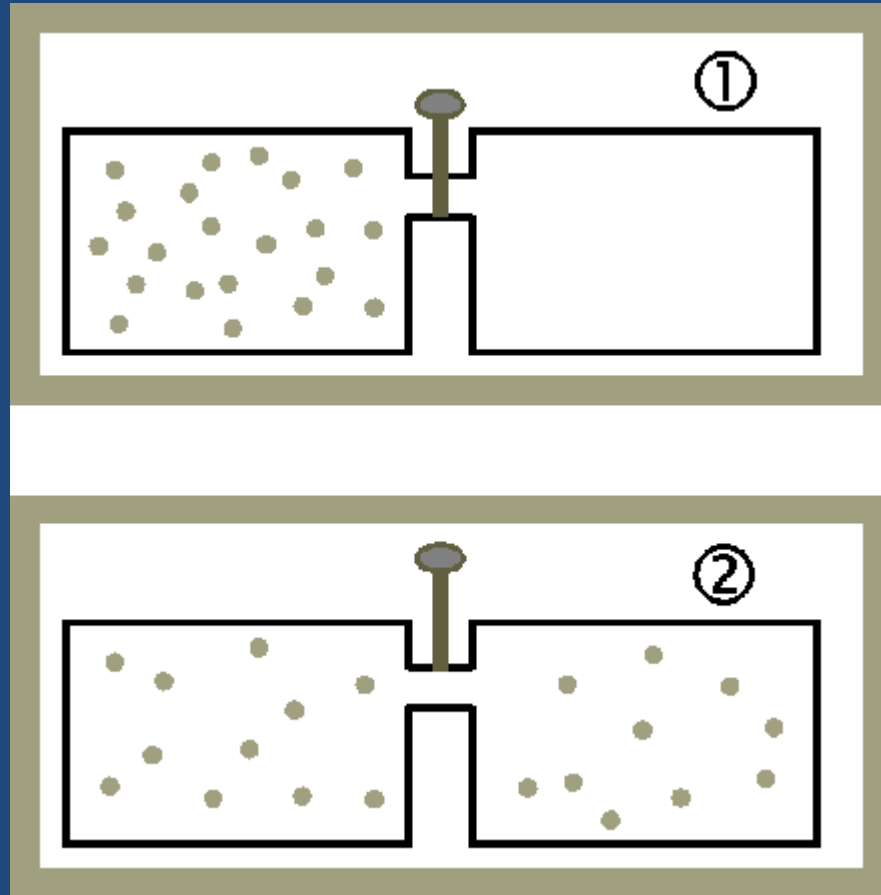
자연에 보다 일반적으로 존재하는
비가역irreversible 과정이란 무엇이며,
자연에 존재할 수는 없지만 이론적으로 요청되는
가역reversible 과정은 왜 중요할까요?



비가역 과정이란, ‘무한소’만큼의 점진적인 변화가 아니라,
뭔가 **급격한 변화**가 일어난 경우를 말합니다.



급격한 변화는 평형 상태에서 벗어나게 되어
비평형 상태에 일시적으로 놓이게 됩니다.



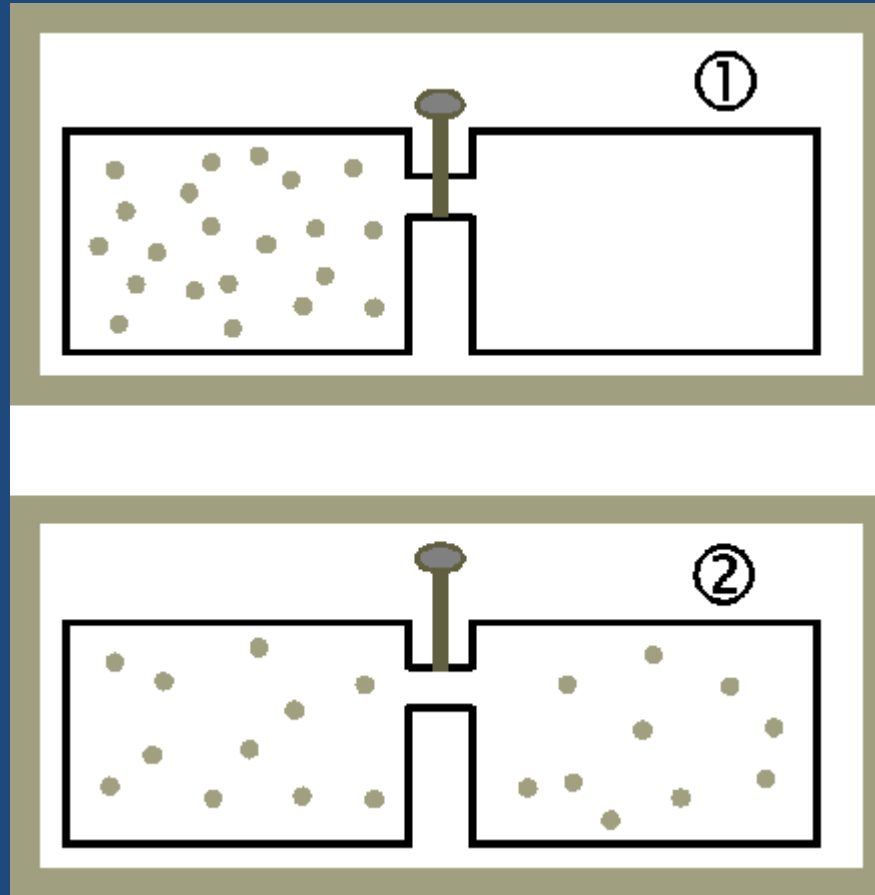
따라서 이러한 비평형 상태는
평형 상태를 기술하는 방법으로는 다룰 수 없습니다.



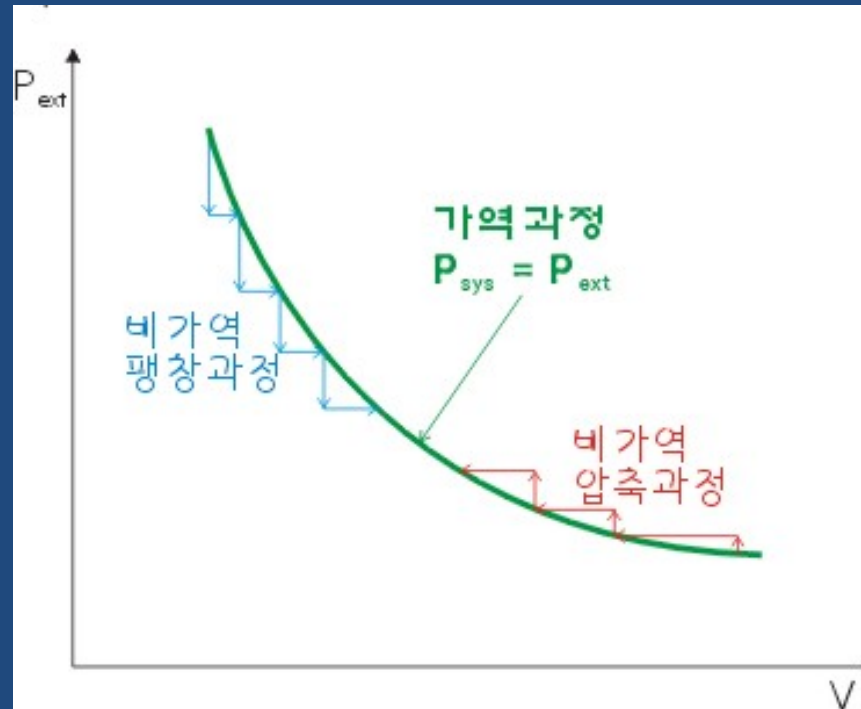
마찰이 존재하는 경우도 이런 예가 됩니다.



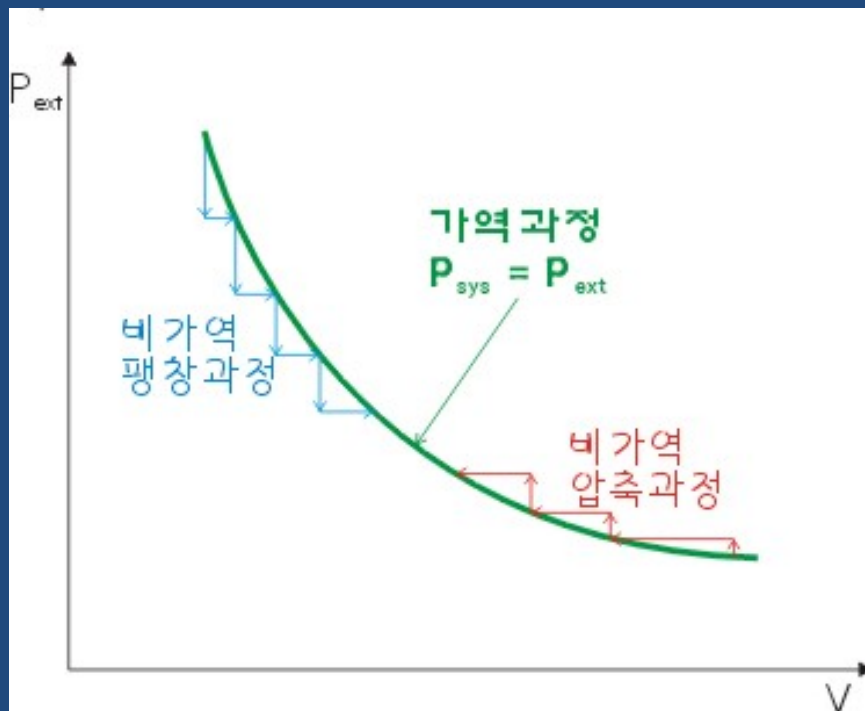
천칭 저울에 추를 올려놓을 때도,
무한소만큼 작은 양을 올리지 않는 이상
비가역적 과정이 됩니다.



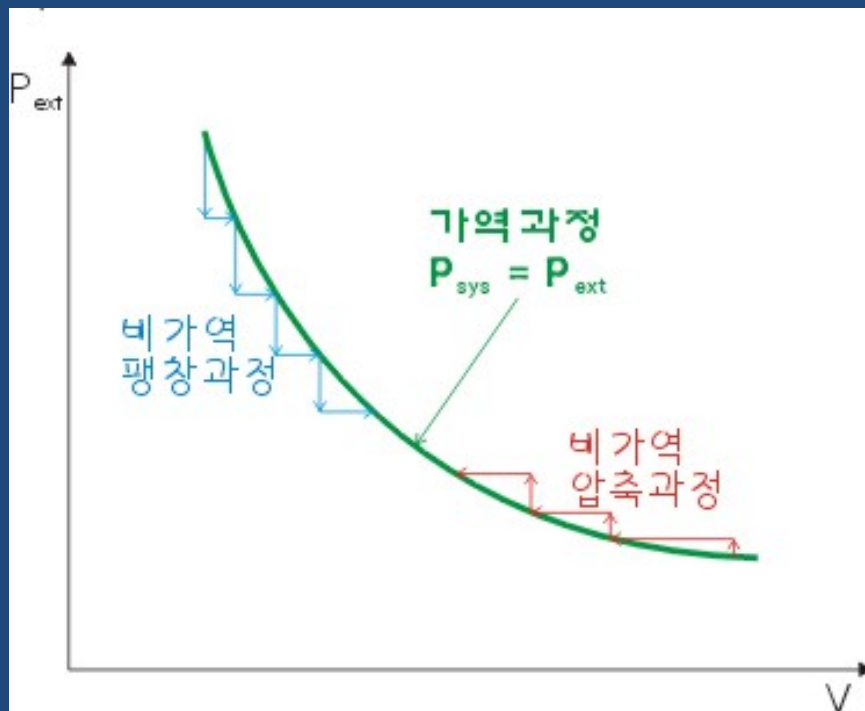
비가역 과정의 경우 우리는 처음 상태와 나중 상태를
각각 평형조건에 대한 상태 함수를 사용해 살펴볼 수 있지만,
그 **중간과정**을 직접 기술하기는 곤란합니다.



실제 가역 과정은 무한대의 시간을 소모해야 합니다.



그러나 실제로 어떤 변화가 아주 **천천히** 일어난다면
가역 과정은 중간 과정에 대한 **좋은 근사**가 됩니다.



따라서 **가역 과정**에 있어서 **상태 함수**들의 관계를 알게 되면,
이것을 사용해서 실제 세계에서 일어나는 비가역 과정에 대해서도
일부 기술할 수 있게 됩니다.

열역학 제1법칙

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta W$$

에너지는 보존되고, 열과 일은 모두 에너지의 형태이다.

열역학 제1법칙

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta W$$

여기에서 ΔE 는 내부 에너지의 변화이고,
 ΔQ 는 계에 공급된 열,
 ΔW 는 계에 행한 일입니다.

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta W$$

그런데 우리는 전체 에너지는 알 수 있지만,
정확히 얼마만큼 일과 열로 전환 되었는지는
알지 못할 수도 있습니다.

$$dE = \delta Q + \delta W$$

그래서 일반적으로 내부 에너지는 상태 함수이지만,
일과 열 각각은 상태 함수가 아닙니다.

$$dE = \delta Q + \delta W$$

그런데 비가역 과정에서는 상태 함수가 아닌 일과 열의 변화에 대해
중간 과정을 기술하는 일반적인 관계식을 쓸 수 없습니다.

$$đQ = T dS$$

$$đW = -p dV$$

오직 가역적 과정에 대해서
중간 과정을 기술할 수 있는 위의 관계식을 쓸 수 있습니다.

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta W$$

그러면 여기에서 전형적인 가역 변화의 예를 찾아봅시다.

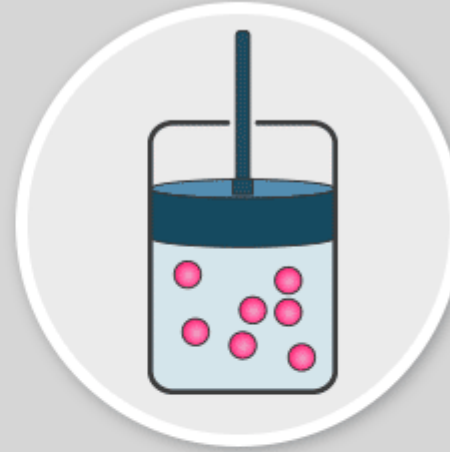
$$\Omega_i = \Omega_f$$

가역 변화라는 것은 그 계의 **경우의 수가 변하지 않도록**
천천히 변화시키는 과정을 의미합니다.



ISOTHERMAL PROCESS

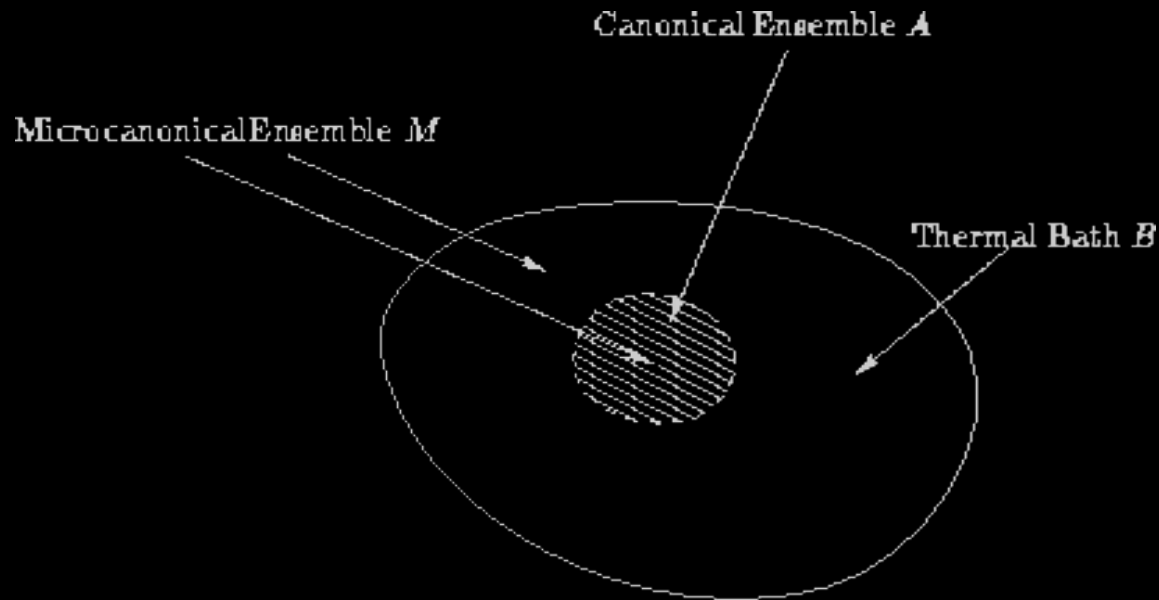
AN ISOTHERMAL PROCESS IS A CHANGE OF A SYSTEM, IN WHICH THE TEMPERATURE REMAINS CONSTANT: $\Delta T = 0$.



ADIABATIC PROCESS

AN ADIABATIC PROCESS IS ONE THAT OCCURS WITHOUT TRANSFER OF HEAT OR MATTER BETWEEN A THERMODYNAMIC SYSTEM AND ITS SURROUNDINGS

단열 과정에서는 열의 출입이 없으므로,
계의 경우의 수가 변하지 않아서 가역 과정이 됩니다.



등온 과정에서는 열의 출입이 있어서, 계의 경우의 수는 변하지만,
계와 열원 전체는 온도가 일정하게 되어
전체 경우의 수가 변하지 않게 됩니다.
따라서 등온 과정은 가역 과정이 됩니다.

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta W$$

등온isothermal 팽창

이상기체의 경우, 내부 에너지는 온도만의 함수이므로,
내부 에너지의 변화가 0이 됩니다.

$$\delta Q = -\delta W$$

등온isothermal 팽창

이상기체의 경우, 내부 에너지는 온도만의 함수이므로,
내부 에너지의 변화가 0이 됩니다.

$$\Delta Q = \int_{V_1}^{V_2} p \, dV$$

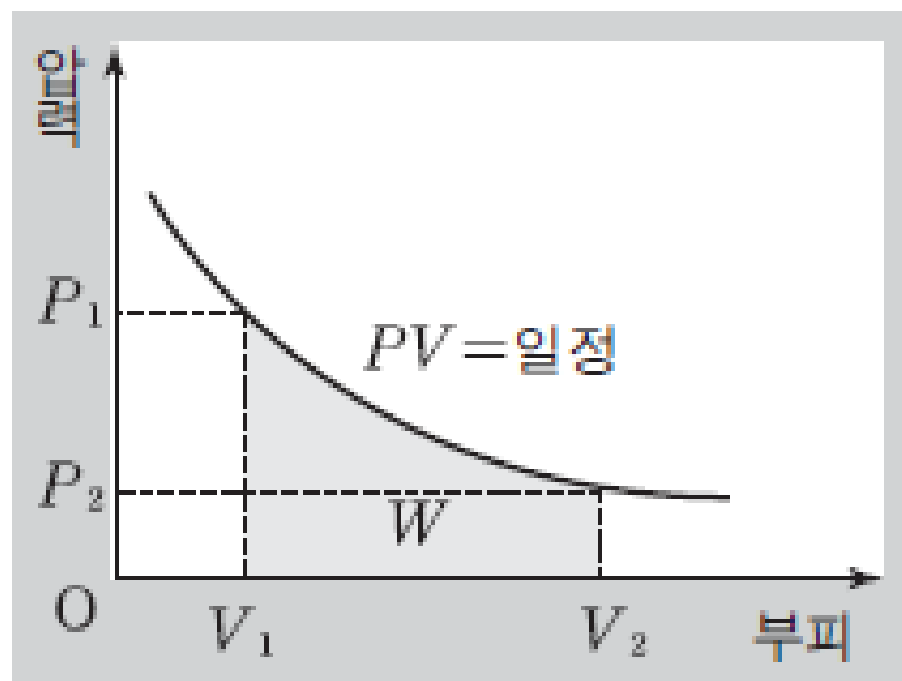
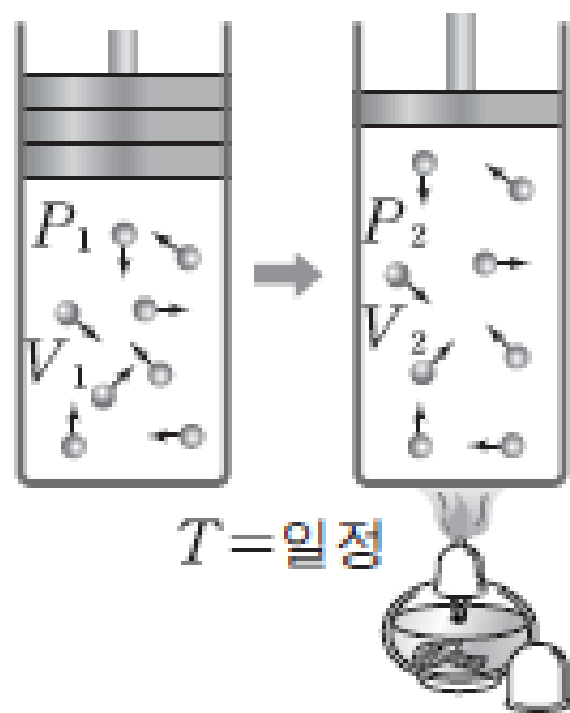
등온isothermal 팽창

이상기체의 경우, 내부 에너지는 온도만의 함수이므로,
내부 에너지의 변화가 0이 됩니다.

$$\Delta Q = NkT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

등온isothermal 팽창

이상기체의 경우, 내부 에너지는 온도만의 함수이므로,
내부 에너지의 변화가 0이 됩니다.



등온 과정

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta W$$

단열adiabatic 팽창

열의 흐름이 없는 경우, 내부 에너지는 일의 변화와 같아집니다.

$$dE = \delta W$$

단열adiabatic 팽창

열의 흐름이 없는 경우, 내부 에너지는 일의 변화와 같아집니다.

$$dE = C_V dT + \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_T dV$$

참고로, 일반적으로 내부 에너지는 위와 같이 표현됩니다.

$$dE = C_V dT + \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_T dV$$

이상 기체의 경우에는 두 번째 항이 0이 된다고 할 수 있습니다.

$$C_V dT = -p dV$$

이상기체의 경우에만 해당하는 관계식

단열adiabatic 팽창

열의 흐름이 없는 경우, 내부 에너지는 일의 변화와 같아집니다.

$$C_V dT = - \frac{NkT}{V} dV$$

단열adiabatic 팽창

열의 흐름이 없는 경우, 내부 에너지는 일의 변화와 같아집니다.

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = - \frac{Nk}{C_V} \ln \frac{V_2}{V_1}$$

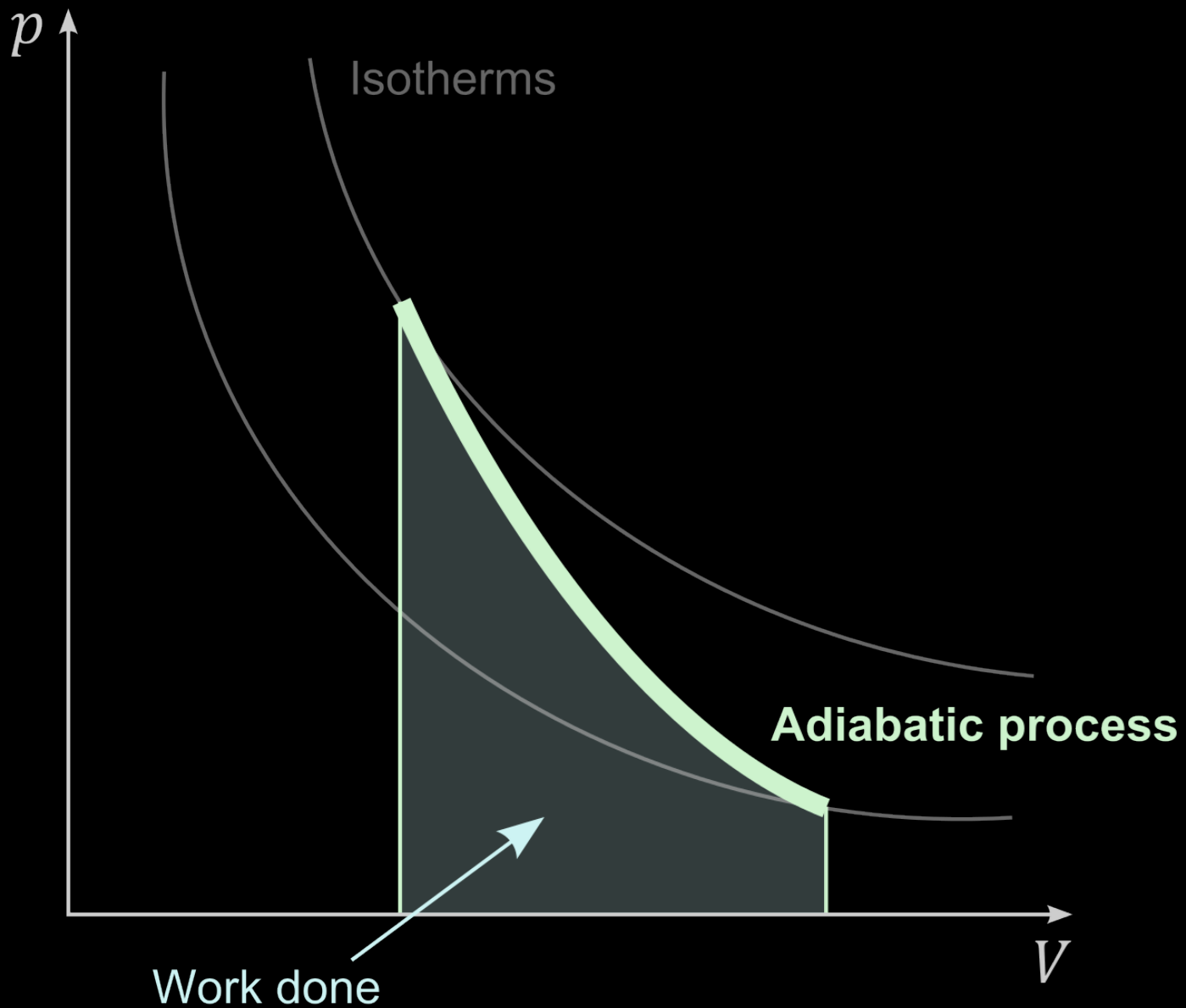
단열adiabatic 팽창

열의 흐름이 없는 경우, 내부 에너지는 일의 변화와 같아집니다.

$$TV^{\gamma-1} = \textit{const}$$

단열adiabatic 팽창

열의 흐름이 없는 경우, 내부 에너지는 일의 변화와 같아집니다.



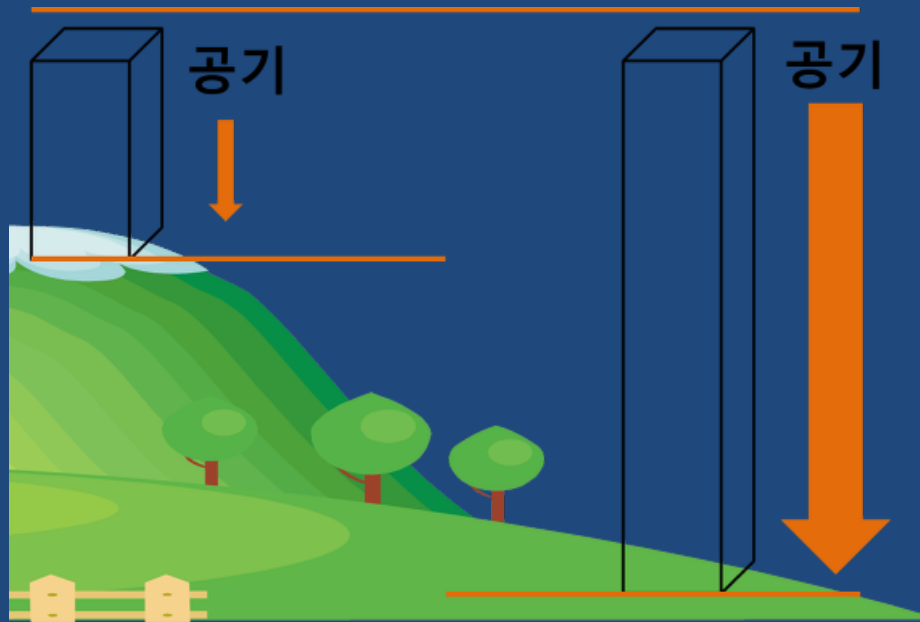
$$n(z) \propto e^{-mgz/kT}$$

온도가 일정하다면, 높이에 따른 공기의 밀도는
볼츠만 인자에 비례할 것입니다.
그러나 일반적으로 온도는 높이에 따라 변하게 됩니다.



높이에 따른 대기 온도의 변화를 단열 과정을 가정해서 구해봅시다.

$$dp = -\rho g dz$$



압력 $p = nkT$ 및 밀도 $\rho = nm = mp/kT$ 에 대해,
유체의 압력은 위와 같이 표현됩니다.

$$T \frac{dp}{p} = - \frac{mg}{k} dz$$

압력 $p = nkT$ 및 밀도 $\rho = nm = mp/kT$ 에 대해,
유체의 압력은 위와 같이 표현됩니다.

$$T \frac{dp}{p} = - \frac{mg}{k} dz$$

단열 대기의 경우, p 와 T 는 $p^{1-\gamma}T^\gamma = \text{const}$ 의 관계가 있습니다.
위의 방정식을 풀 때 이 관계를 적용합니다.

$$\frac{dT}{dz} = -const$$

온도에 대해 정리하면, 위의 결과를 얻습니다.
여기에서의 비례상수를 **단열 감소율**이라고 부릅니다.
이 값은 실험과 비교될 수 있습니다.

감사합니다