

소재 기초 개념 : 가스의 유동 및 진공 시스템

1차시

진공게이지 및 가스의 유동

대전대학교 에너지신소재공학과
김경남 교수



학습 내용

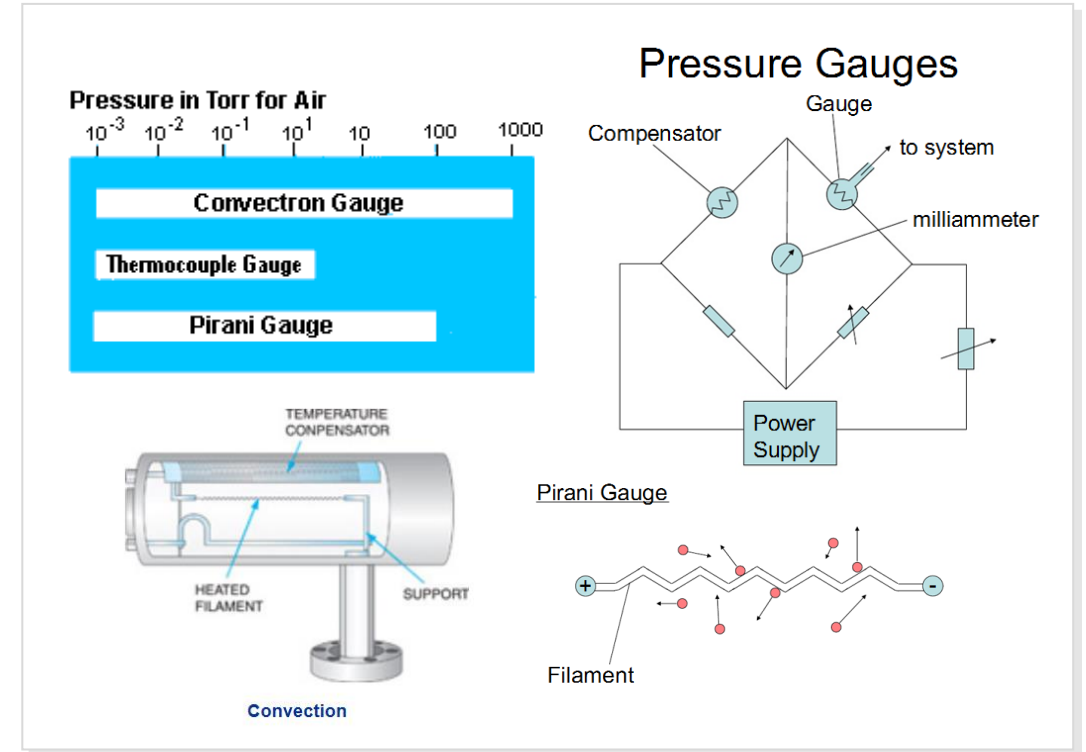
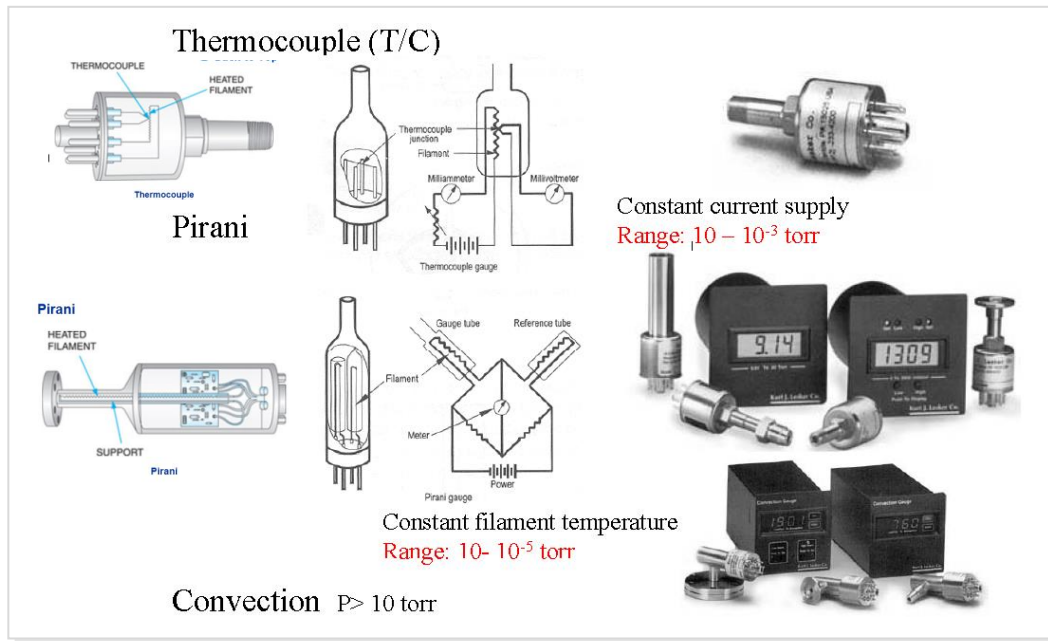
- ✓ Vacuum Gauge
- ✓ Vacuum Technology - Gas



» Vacuum gauge

- Low vacuum gauge : Rough gauge

Gas Property Gauges



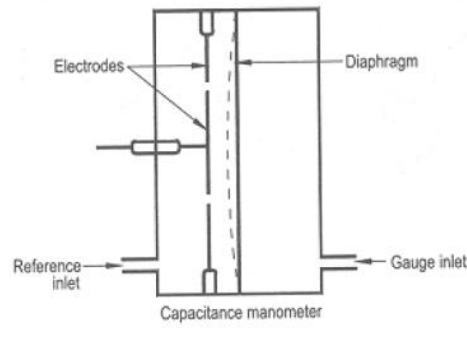
- This gauge's mechanism differs from that used in the T/C and Pirani gauges only by using a structure that enables the natural convection in (viscous flow) gases to aid in removing heat from the hot filament.

» Vacuum gauge

- Low vacuum gauge : accurate gauge

■ Mechanical gauges

Capacitance Manometer

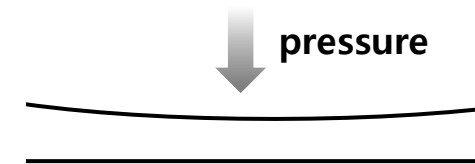


P_{\max} : $10^4 \sim 10^{-1}$ torr
 Dynamic range: $\sim 10^4$ below max
 Accuracy: 0.25% - 0.08%.
 Sensitive to temperature variations at gauge head: often maintained $> RT$

• Capacitance (diaphragm) gauge

- Measure diaphragm bending by capacitance gauge

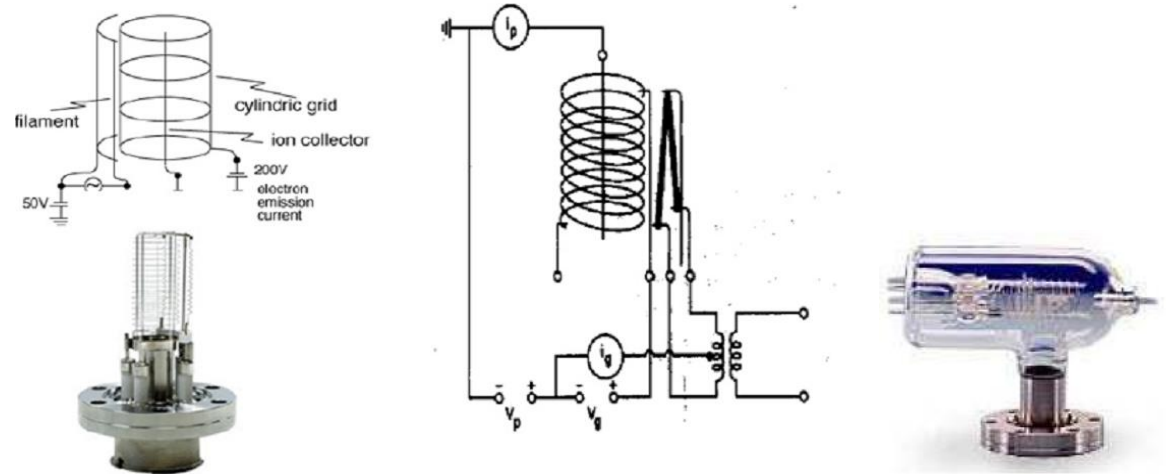
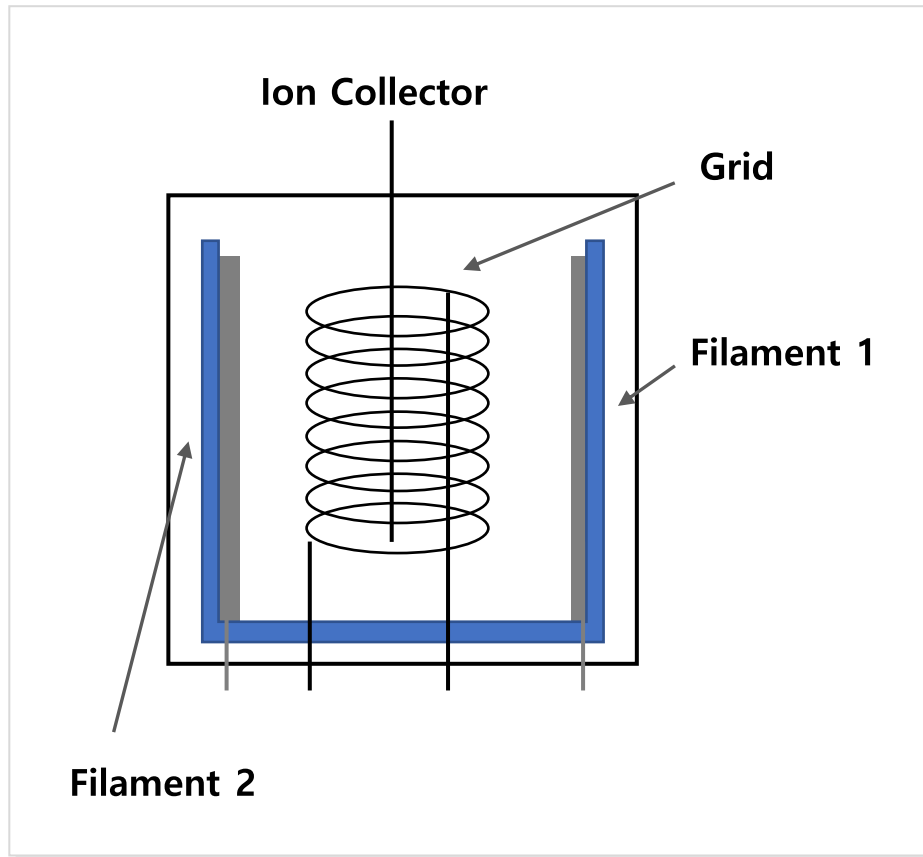
$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$



Absolute pressure
 Reference to a vacuum cell

» Vacuum gauge

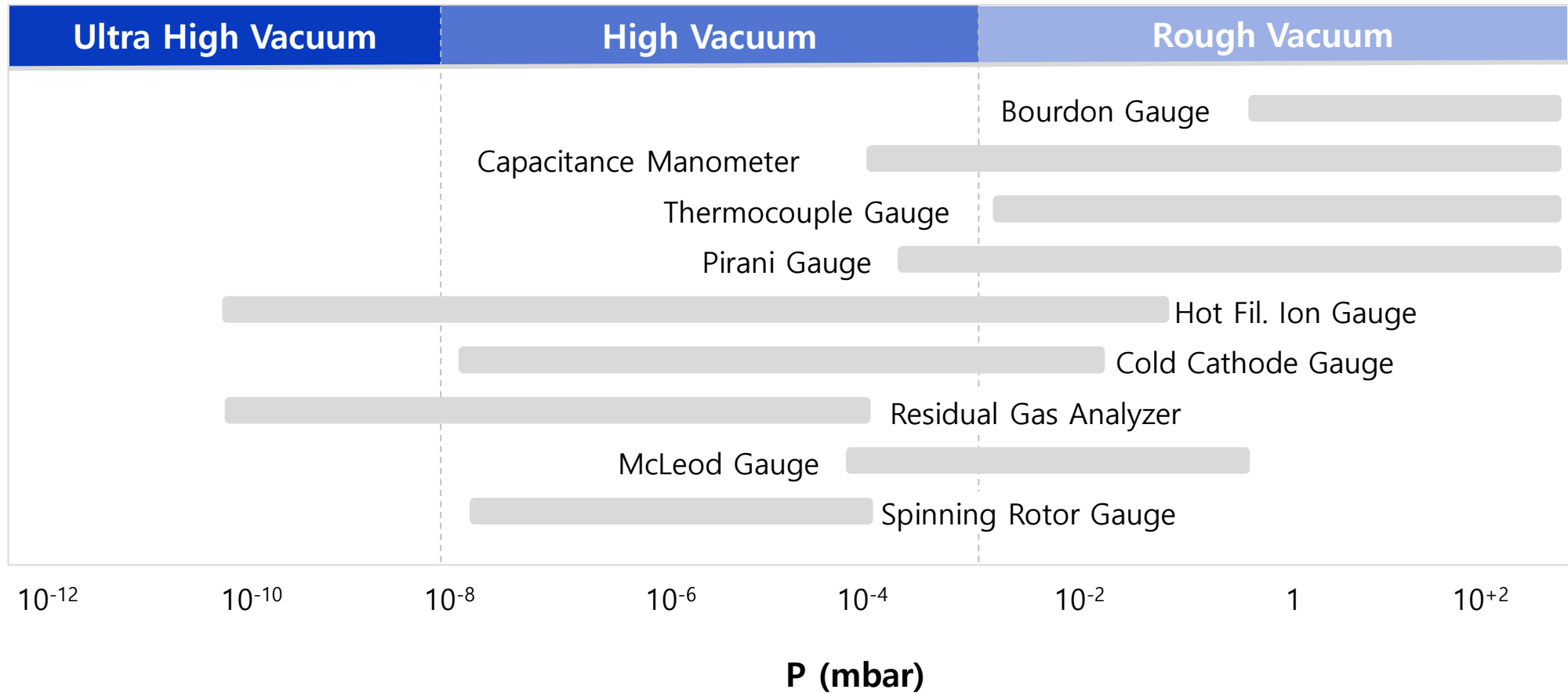
- High vacuum gauge : Hot cathode type (Bayrd-Alpert)



- Electrons emitted from the heated filament are attracted to the positive grid. Many electrons follow long looped paths before striking the grid.
- During this time they collide with gas molecules, thus creating positive ions.
- These ions are attracted to the negative collector and constitute a current into the gauge circuit.
- A higher pressure results in a higher gauge current.
- The emission current must be kept within strict limits as it too affects the gauge current.

» Vacuum gauge

■ Gauge Operating Ranges



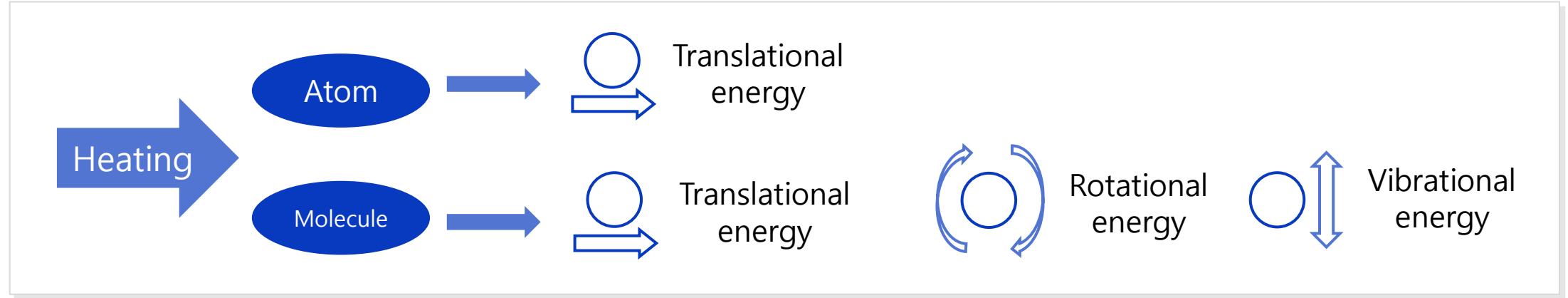
» Avogadro's number

- 수소기체가 2g이 되기 위해서는 그 분자의 개수가 6.022×10^{23} 개가 필요
- 이 숫자를 아보가드로수라고 하고, 수소 분자보다 16배가 무거운 산소 분자를 아보가드로수만큼 모아놓으면 32g이 되고, 수소보다 2배 무거운 단원자 분자인 헬륨이 아보가드로수 만큼 모이면 4g이 됨.
- 그러나 아보가드로 법칙의 묘미는... 기체의 크기가 물질에 따라 모두 다른데도 불구하고 아보가드로수만큼의 기체 분자가 차지하는 부피는 표준 상태에서 22.4ℓ라는 것
- Why ?

» Avogadro's number

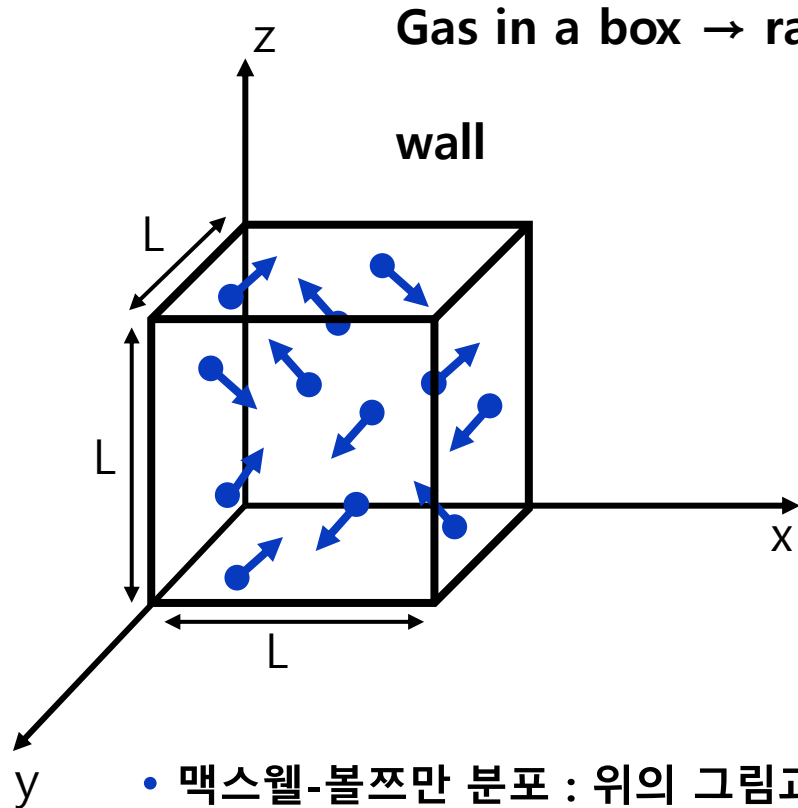
- 기체는 사과처럼 그릇에 담아 놓으면 가만히 있는 것이 아니라 끊임없이 움직이며, 이로 인해 기체 압력이 발생됨
- 그러므로 기체의 부피는 알갱이가 얼마나 크고 작느냐에 달린 것이 아니라 그 알갱이가 벽을 얼마만큼 세게 또는 자주 때리느냐에 달려 있음.
- 풍선의 표면이 압력에 의해 울룩불룩 튀어나오는 것이 보이지 않는 이유는 분자가 너무 작고 또 개수가 매우 많기 때문

» Gas kinetics



- Translational energy (병진 에너지) → 평행이동에 필요한 에너지
- Rotational energy (회전 에너지) → 원자간에 상대적으로 회전운동에 필요한 에너지
- Vibrational energy (진동 에너지) → 분자내 원자간의 진동 에너지

» Maxwell & Boltzmann



Gas in a box \rightarrow random motion \rightarrow collision between molecules and atoms
collision between molecule -

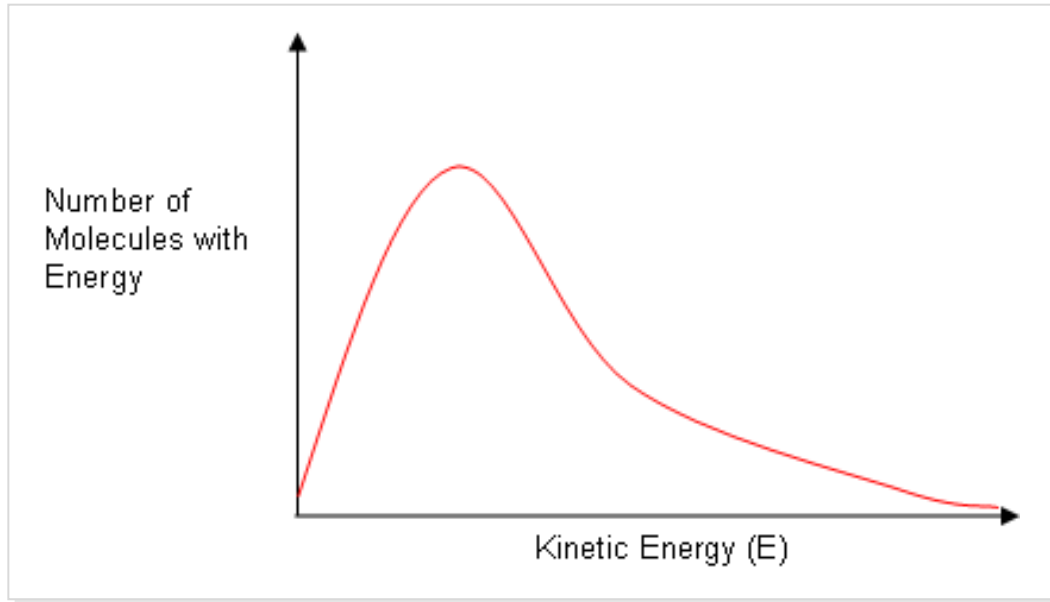
By continuous elastic collision among molecules, kinetic energy is exchanged and finally the molecules have a steady state velocity distribution at a temperature

\rightarrow Maxwell - Boltzmann distribution

- 맥스웰-볼츠만 분포 : 위의 그림과 같이 상호간에 무작위 충돌을 해서 나타내는 속도 분포 혹은 에너지 분포를 말함.

» Maxwell & Boltzmann

■ Maxwell - Boltzmann distribution



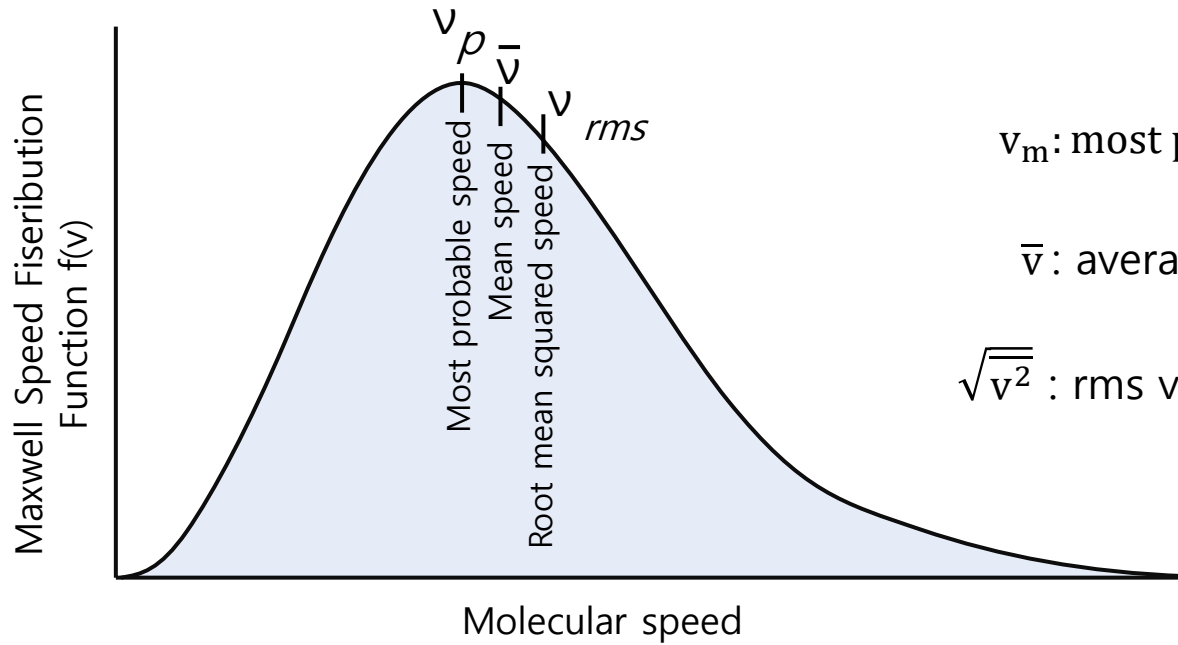
- 기체의 속도 혹은 에너지에 따른 기체수의 분포를 보면 밀폐된 용기내 기체가 0의 속도를 갖는 입자로부터 무한대의 속도를 지니는 입자까지의 분포도를 나타내게 되며, 이 중간의 속도에서 가장 많은 기체원자가 분포되어 있는 형태를 띄게 됨.

$$dn = \frac{4n}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT}\right)^{3/2} V^2 \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right) dv$$

v : 기체의 속도, m : 기체의 분자량, T : 절대온도,
 k : 볼츠만 상수, n :단위부피당 기체의 분자수

- “ dn ”, 기체의 분포는 기체의 온도 및 질량, 그리고 기체내의 원자 혹은 분자의 속도에 따라 변화함을 알 수 있음.
- 또한, 어떤 온도에서든지 기체 내 원자나 분자들은 0에서부터 무한대의 속도를 지닌 분포를 하고 있기 때문에 기체에 대한 속도를 나타내려면 기체내 각 원자나 분자들의 속도를 평균한 평균속도를 사용하여 나타내어야함.

» Maxwell & Boltzmann



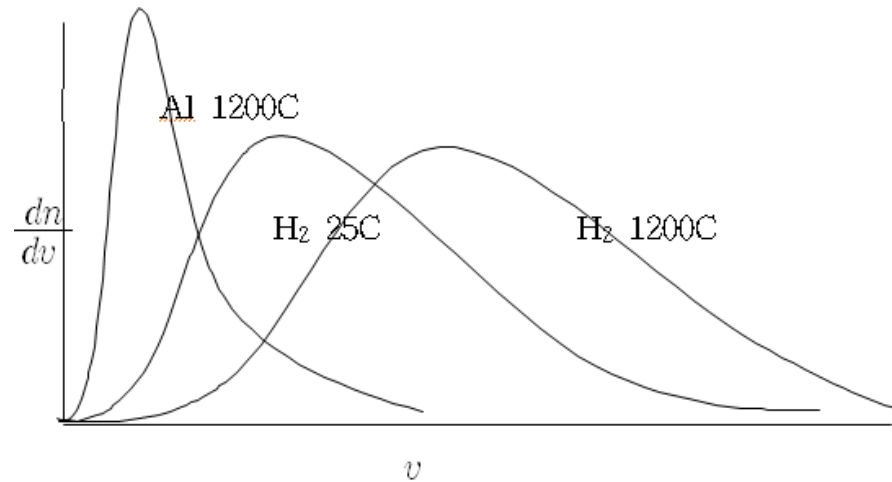
$$v_m: \text{most probable velocity} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

$$\bar{v}: \text{average velocity} = \frac{\int_0^{\infty} v f(v) dv}{\int_0^{\infty} f(v) dv} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$$

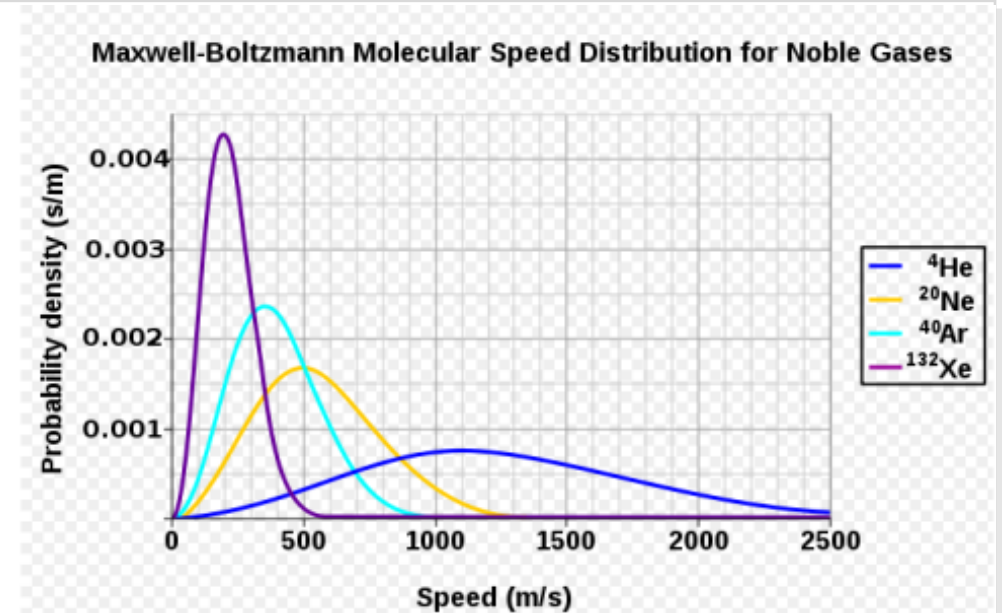
$$\sqrt{\overline{v^2}}: \text{rms velocity}, \overline{v^2} = \frac{\int_0^{\infty} v^2 f(v) dv}{\int_0^{\infty} f(v) dv} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad \therefore \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

» Maxwell & Boltzmann

3-Dimensional Maxwell – Boltzmann distribution



- > Velocity distribution of Al vapor and H₂ gas.
- > Velocity distribution : $0 \sim \infty$.



It depends on → molecular weight (M)
absolute temp. (T)

- ✓ 진공의 개념과 특징.
- ✓ Vacuum Gauge
- ✓ Avogadro's number
- ✓ Gas의 유동

PVD (Physical Vapor Deposition)

2차시

Evaporator 원리 및 기초

교 수 | 김 경 남



학습 내용

- ✓ PVD (Physical Vapor Deposition)
- ✓ Evaporator
- ✓



01 | PVD (Physical Vapor Deposition)

» 진공증착이란?

- 진공중에서 물질을 가열하여 증발시킴으로써 그 증기를 기판 위에 응축시켜 박막을 제작하는 방법임.
→ 포화증기압을 이용하는 것. 온도가 올라가면 포화증기압은 증가하고, 압력이 커지면 감소함.

» 포화증기압이란?

- Saturation vapor pressure라고 하며 포화상태의 수증기압을 말함. 이 상태에서는 액체가 증기로 되는 속도와 증기가 액체로 되는 속도가 같아서 액체 상태와 증기 상태가 동적 평형을 이루게 됨.



01 | PVD (Physical Vapor Deposition)

» Hertz

- measured the vaporization (evaporation) rate of Hg(mercury) at various pressures
 - evaporation rate was proportional to the differences between equilibrium vapor pressure P_e of the evaporant at a given T and hydrostatic pressure P_h applied to the evaporant.

» 증발원의 단위면적, 단위시간당 증발속도

- mass evaporation rate :

$$\Gamma_e = 5.8 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{M}{T}} P_e \frac{g}{cm^2 \cdot sec}$$

the key variable affecting the evaporation rate is "**Temperature**"

- ✓ 진공증착
- ✓ PVD – Thermal Evaporator