

열역학

// 열역학의 정의 및 성질 //

- 열량속 (상태량)
 - 강도성 상대량 - 압력, 온도, 비체적
 - 중량성 상대량 - 부피, 길이, 면적
 - (용량성)

열량속 (도정량속) : 일, 열

$$\begin{cases}
 1 \text{ kcal} = 427 \text{ kgf} \cdot \text{m} \\
 1 \text{ PS} = 75 \text{ kgf} \cdot \text{m/s} & 1 \text{ PSh} = 632.4 \text{ kcal} \\
 1 \text{ kW} = 102 \text{ kgf} \cdot \text{m/s} & 1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}
 \end{cases}$$

- 열량
 - 1 kcal \rightarrow kg, $^{\circ}\text{C}$
 - 1 Btu \rightarrow lb, $^{\circ}\text{F}$
 - 1 Chu \rightarrow lb, $^{\circ}\text{C}$
- $1 \text{ kcal} = 3.968 \text{ Btu}$

온도

$$K = 273.15 + ^{\circ}\text{C}$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 460$$

$$\frac{^{\circ}\text{C}}{100} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{180}$$

$$\text{열효율} (\eta_{th}) = \frac{\text{얻은 동력}}{\text{연료의 저위발열량} \times \text{연료소비율}}$$

- 연료의 저위발열량 : 고위발열량 - 연소시 기체가 발생시킬 때 열량
- 연료의 고위발열량 : 연소시 H_2O (액체)가 생길 때 열량

• 열역학 법칙

- ① 제 0 법칙: 같은 열량과 같은 열량이 같아지는 현상
- ② 제 1 법칙: 에너지 보존의 법칙 $\oint \delta Q = \oint \delta W$
- ③ 제 2 법칙: 자연의 방향성 제시
- ④ 제 3 법칙: 절대온도 0 K에 이르게 할 수 없다.

• 열기관

- ① 제 1종 열기관: 압력이 없이 일하는 기관 (1법칙 위반)
- ② 제 2종 열기관: 열흐름이 100%인 기관 (2법칙 위반)
- ③ 제 3종 열기관: 운동을 하나 일을 얻을 수 없는 기관
(예) 로빈, 시계방

• 계 (System)

- 닫힌 계 (비운동계) - 질량운동이 없는 계 (내연기관)
- 개방계 (정상운동계) - 질량운동이 있는 계 (외연기관)
- 단열계 - 열흐름이 차단된 계 ($\delta Q = 0$)
- 고립계 - 물질이나 에너지의 전달이 없는 계

// 일과 열 //

- 일
 - 열에 일 $\int W = \int P dv \Rightarrow W_{12} = \int_1^2 P dv$
 \hookrightarrow 밀폐계, 열수질량
 - 등압일 $\int W_T = -v dp \Rightarrow W_{2T} = \int_1^2 -v dp$
 \hookrightarrow 개방계, 열사체적



A : 일의 열당량 = $\frac{1 \text{ kcal}}{427 \text{ kgf} \cdot \text{m}}$

- 밀폐계에 대한 열역학 법칙

$$dW = du + p dv = dh - v dp$$

- 개방계에 대한 열역학 제 1법칙

$$q_{cv} + h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = w_{cv} + h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2$$

보일러 (열흡수 +) $q_{cv} = h_2 - h_1$

응축기 (열방출 -) $q_{cv} = -(h_2 - h_1)$

터빈 (일함량 +) $w_{cv} = h_1 - h_2$

압축기 (일받음량 -) $w_{cv} = -(h_1 - h_2)$

노즐 \Rightarrow 속도 증가 목적 $v_2 = \sqrt{2(h_1 - h_2)}$ [SI]

패랑 벨브 ($h_1 = h_2$) \Rightarrow 고출력과 정으로 써 $v = 40 \text{ m/s}$ 일때 압력 감소
 . 생긴다.

// 이상기체 // 질, 압 ↓ 온. 비 ↑

9 보일 - 샤를의 법칙: 질량이 아주 낮은 경우에 한 성립

9 보일의 법칙 ($T = C$), 샤를 법칙 ($P = C$), 보일-샤를 ($\frac{PV}{T} = C$)

10 이상기체 상태 방정식

$$Pv = RT$$

$$R: \text{기체상수}, v(\text{비체적}) = \frac{V(\text{체적})}{m(\text{질량})} \quad [m^3/kg]$$

$$Pv = \frac{\bar{R}}{M} T$$

$$\bar{R}: \text{일반기체상수 } 8314 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$Pv = \frac{m}{M} \bar{R} T$$

$$\pi: \text{몰수} = \frac{m}{M}$$

$$Pv = \pi \bar{R} T$$

$$M: \text{분자량}$$

ex) O_2 기체상수

$$R = \frac{8314}{32}$$

공기의 기체상수

$$R = \frac{8314}{28.96} = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

11 정적비열 C_v 와 정압비열 C_p

$$du = C_v dT$$

$$= \frac{R}{k-1} dT$$

$$dh = C_p dT$$

$$= \frac{kR}{k-1} dT$$

$$C_p - C_v = R$$

$$k = \frac{C_p}{C_v}$$

12 공기의 특성

$$k = 1.403$$

$$C_p = 1004 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

$$R = 287 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

• 이상기체의 단열과정 해석 ($\delta q = 0$)

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$P V^{\gamma} = C, \quad T V^{\gamma-1} = C$$

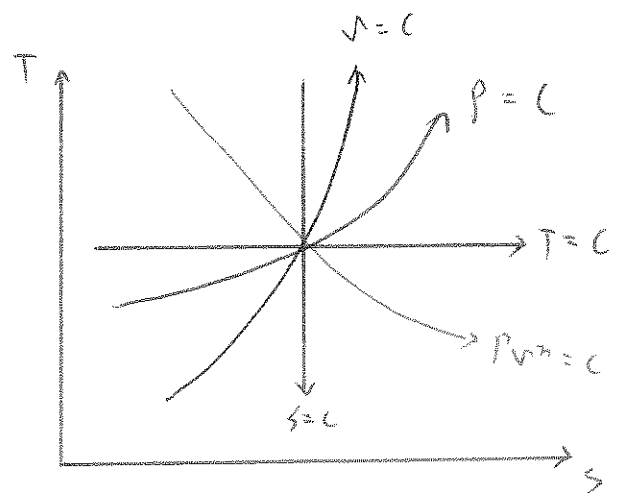
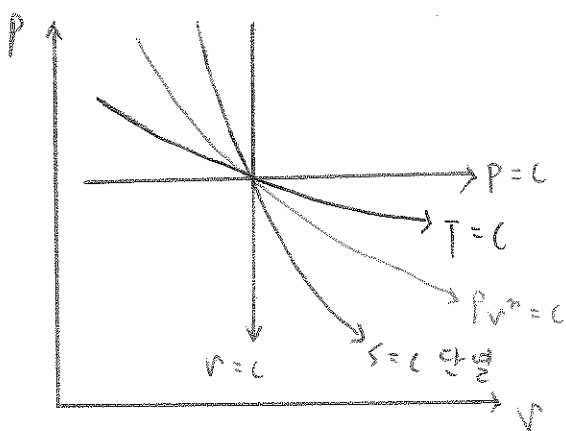
• 이상기체의 폴리트로픽 과정

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\alpha-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}}$$

$$P V^{\alpha} = C, \quad T V^{\alpha-1} = C$$

열량변화) $\delta q = du + P dv = \frac{\alpha - \gamma}{\alpha - 1} C_v dT$

폴리트로픽 비열 (C_n) = $\frac{\alpha - \gamma}{\alpha - 1} C_v$



• 알톤의 분압법칙

$$P_t = P_A + P_B + P_C, \quad \frac{P_A}{P_t} = \frac{n_A}{n_t} = \frac{V_A}{V_t}$$

몰수 (n) = $\frac{m}{M}$ m : 질량, M : 분자량 $nM = m$

• 혼합기체의 질량비와 체적비

1) 질량비 = $\frac{\text{요소질량}}{\text{전질량}} = \frac{m_i}{\sum m} = \frac{n_i M_i}{\sum n M}$

⇒ 체적비가 주어진 경우

2) 체적비 = $\frac{\text{요소체적}}{\text{전체적}} = \frac{n_i}{\sum n} = \frac{\frac{m_i}{M_i}}{\sum \frac{m}{M}}$

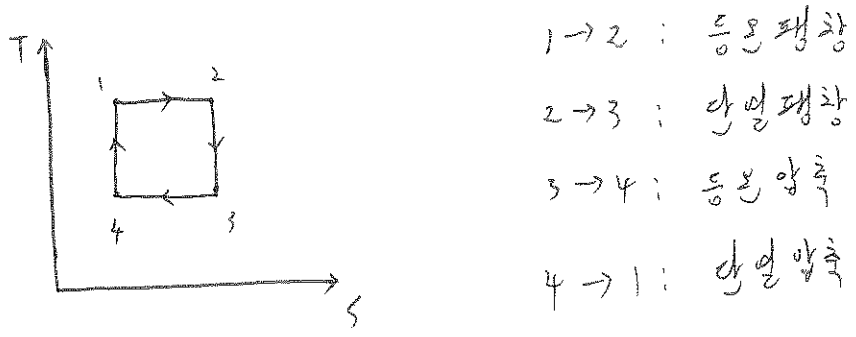
⇒ 질량비가 주어진 경우

// 열역학 제 2법칙 //

- Kelvin - Planck 표현 - 열효율이 100%인 기관은 만들 수 없다.
 - 고온체로부터 열을 받아 루키에 아무런 변화없이 일로 만드는 것은 불가능

• 클라시우스 표현: 냉동기 성적계수가 ∞ 인 냉동기는 제작할 수 없다.

• 카르노 사이클 \Rightarrow 열폐쇄, 절대일



- 1 \rightarrow 2 : 등온팽창
- 2 \rightarrow 3 : 단열팽창
- 3 \rightarrow 4 : 등온압축
- 4 \rightarrow 1 : 단열압축

기본가정 { 모든 과정이 가역과정
가장 이상적인 열기관 사이클
두개의 단열과정, 두개의 등온과정

$$\eta_c = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

• 엔트로피 (S) = J/K

- ① 클라시우스 부등식 $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$
- ② 엔트로피의 상태량 $\Delta S \geq 0$

\Rightarrow 엔트로피가 크다면 원래 상태로 되돌리는데 많은 T' 가 소모된다는 의미

◦ 비가역 사이클의 내부 E' 변화량 $(\Delta U) = 0$ 이라.

// 기체의 압축 //

• 간극비 (λ) = $\frac{\text{간극체적 } (V_g)}{\text{행정체적 } (V_s)}$ • 압축비 (ϵ) = $1 + \frac{1}{\lambda}$

• 압축기의 일 (δW_t) = $\ominus - v dp$ \Rightarrow 공업일

$w_c = v dp$

등온 압축일 < 폴리트로픽 압축일 < 단열 압축일

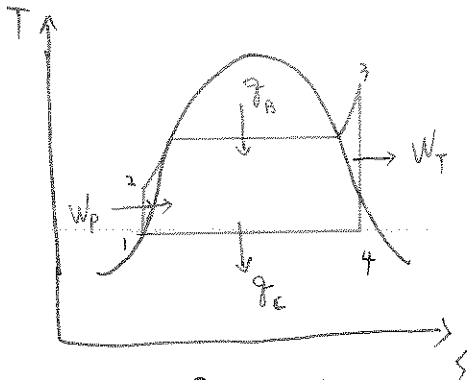
• 실제 효율

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{압축기 } \eta_c = \frac{T_2 - T_1}{T_2' - T_1} \\ \text{터빈 } \eta_T = \frac{T_3 - T_4'}{T_3 - T_4} \end{array} \right.$$

• 정도 (계로표) α = 액체 증 증기의 양

// 증기 원동소 사이클 //

랭킨 사이클 => 증기 원동소의 이상 사이클 (점압 2개, 안열 2개)



~~1-2 과정 보인~~

가) 1-2 펌프의 안열 양 $W_p = h_2 - h_1$

나) 2-3 보일러의 점압가열 $q_B = h_3 - h_2$

다) 3-4 터빈의 안열팽창 $W_T = h_3 - h_4$

라) 4-1 응축기의 점압방열 $q_C = h_4 - h_1$

$\eta_R = 1 - \frac{q_C}{q_B} = \frac{W_T - W_p}{q_B}$

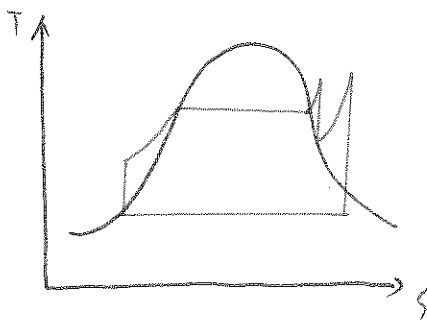
랭킨 사이클의 효율 증가

가) 최고 압력을 높인다 (최고온도를 높인다)
 나) 배기 압력과 배기온도를 낮춘다

) => 터빈의 날개 부식을 가져옴

다) 과열증기를 사용할 때 (장: 터빈의 날개 부식 방지, 단: 부식기 용량이 커진다)

재열 사이클 (Reheat cycle)



열효율, 터빈일, 건도 증가

$\eta_{Re} = \frac{(W_{TH} + W_{Th}) - W_p}{q_B + q_{Re}}$

보일러 -> 고압 터빈 -> 재열기 -> 저압 터빈 -> 응축기 -> Pump

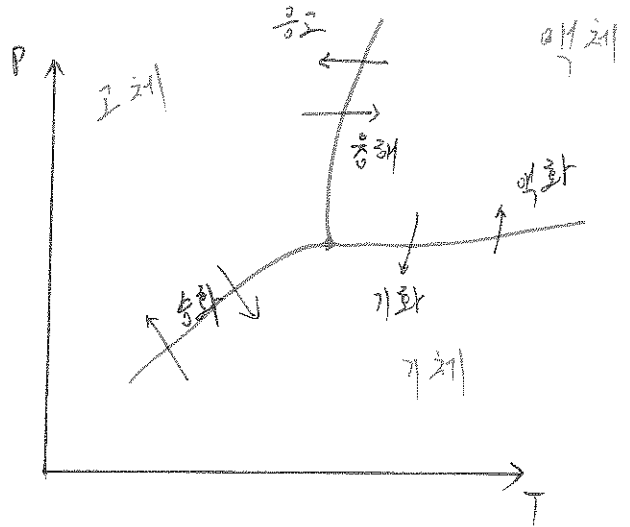
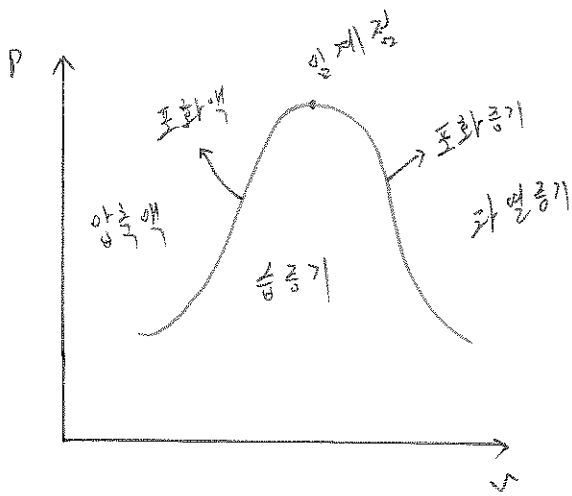
재생 사이클: 추기를 이용하여 급수를 재가열 함으로써 연료를 절감하여 효율을 증대하는 효과를 가져온다.

◦ 증기 동력 시스템에서 Carnot cycle을 택하지 않고 Rankine cycle을

택한 이유?

⇒ 수증기와 액체가 혼합된 습증기를 효율적으로 압축하는 펌프를
 제작하는 것이 어렵다.

→ 증기 선도



// 가스의 동역학 사이클 //

• 비율 = $\frac{\text{큰 것}}{\text{작은 것}}$

① 압축비 (ϵ) = $\frac{V_1}{V_2}$ 단열과정의 체적비

② 차압비, 단열비 (σ) = $\frac{V_3}{V_4}$ 등압과정의 체적비

③ 폭발비 (ρ) = $\frac{P_3}{P_2}$ 등적과정 Γ 의 압력비

④ 압력상승비 (γ) = 단열과정의 압력비

• Otto, Diesel, Sabathe cycle
 가솔린, 저속디젤, 고속디젤

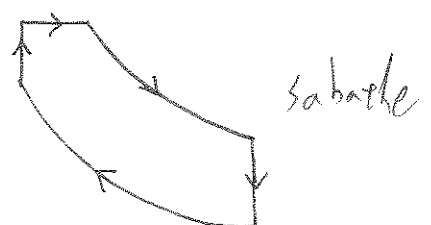
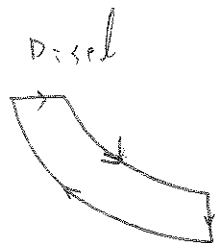
$$\eta_{sa} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho \sigma^k - 1}{(\rho - 1) + k\rho(\sigma - 1)}$$

$$\begin{cases} \rho = 1 & \Rightarrow \text{Diesel} \\ \sigma = 1 & \Rightarrow \text{Otto} \end{cases}$$

압축비 (ϵ)가 크고, 단열비 (차압비) σ 가 작을 때 효율 증가

• Otto, Diesel, Sabathe cycle P-V 선도 (단열압축으로 시작)

P-V 선도



9 가스터빈 사이클

① Brayton Cycle (이상 사이클) : 단, 압. 단, 압

$$\eta_{\text{Bray}} = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1 - \frac{T_c}{T_H}$$

⇒ { 작업유체 응축 ⇒ Rankine Cycle
작업유체 응축(x) ⇒ Brayton Cycle

③ Ericsson Cycle : 온, 압, 온, 압

③ Stirling Cycle : 온, 적, 온, 적 ⇒ 두꺼운 병통기

* Rankine Cycle (재생, 재열 포함해서) ⇒ 외연기관, 개방계

Otto, Diesel, Sabatche Cycle ⇒ 내연기관

Brayton Cycle 가스터빈, Stirling Cycle : 두꺼운 병통기

* 사이클 비교

① 체적(압축비)을 같게 하면 $\eta_{\text{otto}} > \eta_{\text{sa}} > \eta_{\text{diesel}}$

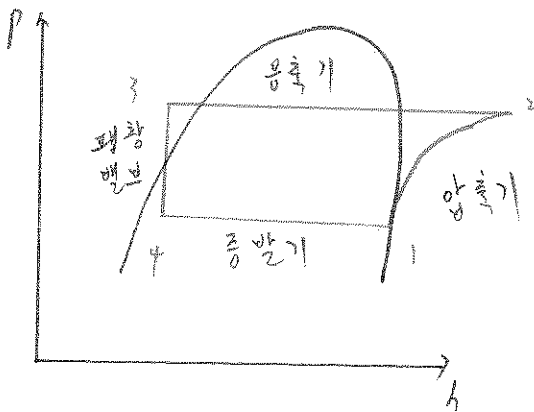
② 최고압력(가열량)을 같게 하면 $\eta_{\text{diesel}} > \eta_{\text{sa}} > \eta_{\text{otto}}$

// 냉동 사이클 //

◦ 냉매 : 암모니아 (NH_3), 탄소가스 (CO_2), 프레온

→ 쿠비코건: 증발열 ↑, 비체적 ↓, 열전달이 잘 될 것

◦ P-h 선도



- 1 → 2 압축기: 단열압축
- 2 → 3 응축기: 등압방열
- 3 → 4 팽창밸브: 등엔탈피과정 ($h_3 = h_4$)
- 4 → 1 증발기: 등압가열

① 냉동효과 (Q) = $h_1 - h_4$

② 성적계수 (COP) = $\frac{Q}{AW}$

③ 압축기 일량 (AW) = $h_2 - h_1$

= $\frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$

④ 냉동능력 (Q): 냉매가 1시간동안 저온체로 부터 흡수한 열량 [kcal/h]

$Q = Q \cdot G = (h_1 - h_4) \cdot G$

Q : 냉동효과 [kcal/kg], G : 냉매 순환량 [kg/h]

* 냉동톤 (RT): 하루에 0°C 물을 1톤을 0°C 얼음으로 바꾸는데

필요한 동력

$1 RT = 3320 \text{ kcal/h}$, $1 \text{ usRT} = 3313 \text{ kcal/h}$

◦ 맥카르노 사이클의 성적계수 COP

$COP = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$

◦ Joule - Thomson 계수 : 고압과정에서 압력강하에 대한 온도강하의 비

이상 기체인 경우 \Rightarrow 항상 (+)

// 기타 //

• 로킹 : 압력 감소에 따라 질량속도가 증가하다가 압력 감소에도 불구하고 더 이상 질량이 증가하지 않는 현상