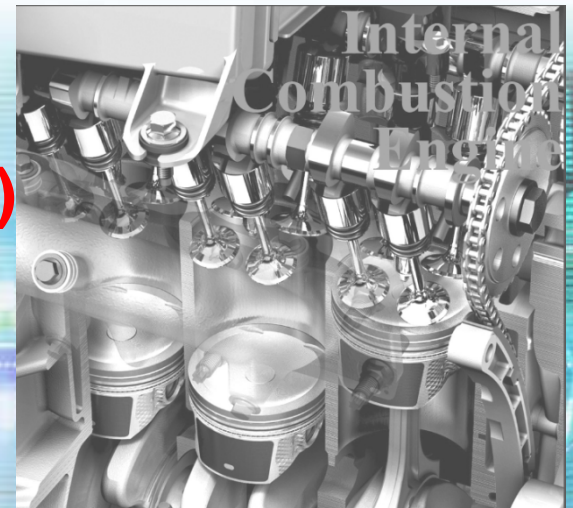


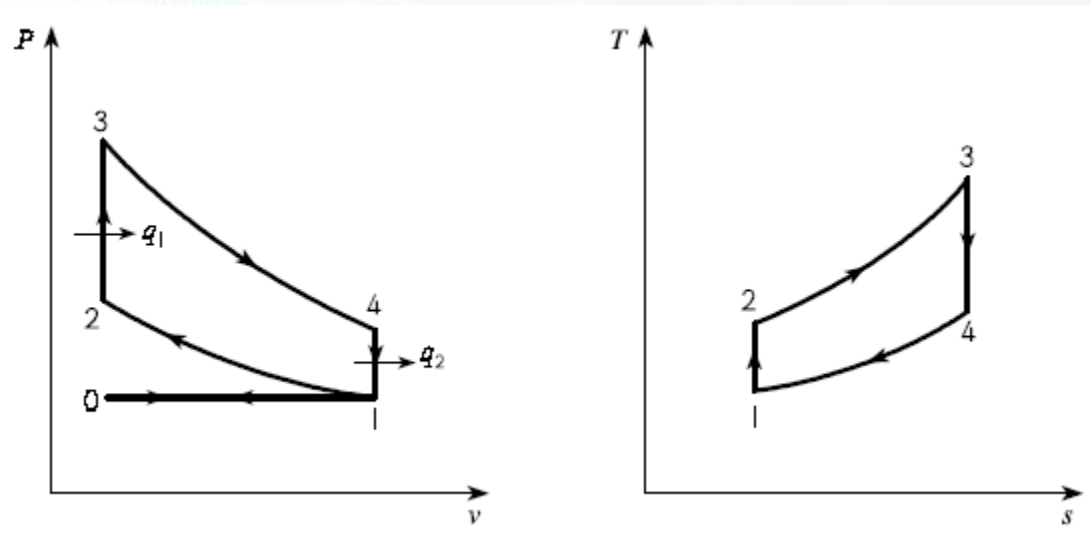
내연기관 (Internal Combustion Engine)

2012년도 1학기(제 3주)

기계자동차공학부
박승운



제2장 열역학 이론 사이클



◆ 학습목표

- 열역학 기초사항 숙지
- 내연기관의 이상 사이클에 대한 P-V, T-S 선도, 열효율에 대한 이해
- 실제 사이클에서 나타나는 각종 손실 토론

◆ 학습성과

- 내연기관의 이상 사이클에 대한 P-V, T-S 선도를 작성하고 설명할 수 있어야 함.
- 실제 사이클에서 나타나는 각종 손실들을 설명할 수 있어야 함.

강의 내용 및 순서

- 열역학 기초사항
- 공기사이클 기관
- 실제사이클 기관

■ 열역학 기초 사항

▶ 온도

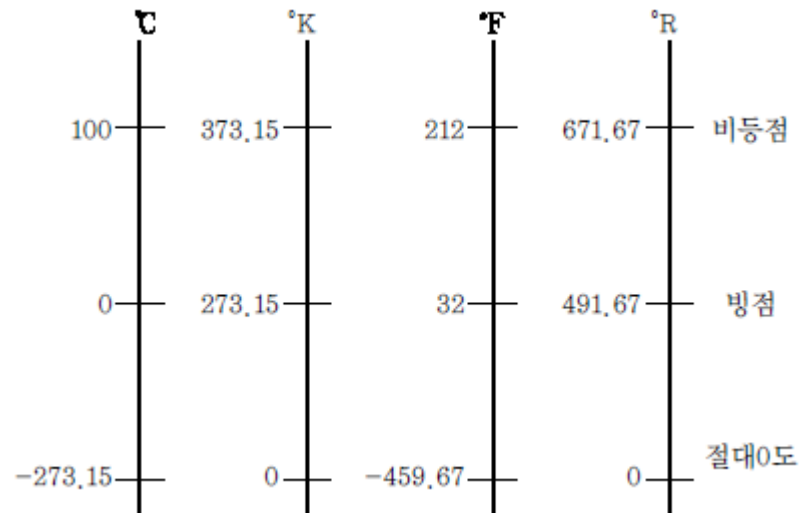
- 열역학 0 법칙: “두 개의 물체(A 및 B)가 각각 제2의 물체(온도계)와 열평형을 이루고 있으면 두 물체도 열평형 상태에 있다.”
- 온도 눈금의 상호관계

$$T_C [^{\circ}\text{C}] = \frac{5}{9}(T_F - 32)$$

$$T_F [^{\circ}\text{F}] = \frac{9}{5}T_C + 32$$

$$T_C [^{\circ}\text{C}] = T_K - 273.15$$

$$T_K [K] = T_C + 273.15$$

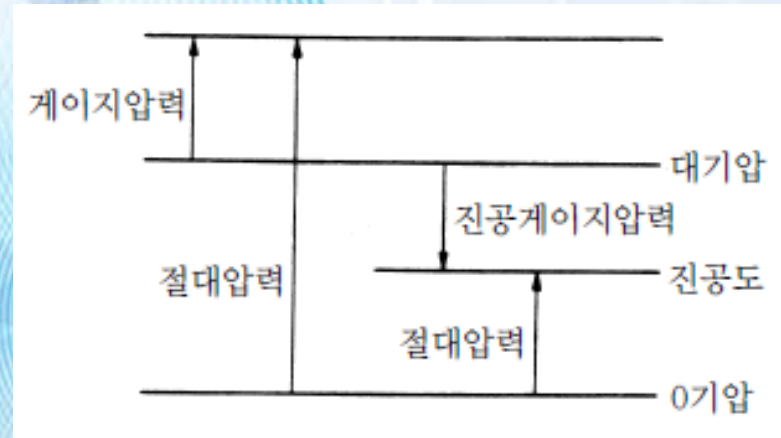


※ 1 kcal: 1기압상태에서 순수한 물 1kg을 0°C에서 100°C까지 가열하는데 필요한 열량의 1/100. (평균 kcal)
 또는, 순수한 물 1kg을 14.5°C에서 15.5°C까지, 1°C 가열하는데 필요한 열량. (15°C kcal).

■ 열역학 기초 사항

▶ 압력

- 압력 : 작동유체가 단위면적당 작용하는 수직방향의 힘
- 표준대기압 : 해면상에서의 압력.[atm]
 $1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1.0332 \text{ kg/cm}^2 = 1.0135 \text{ bar}$
- 국소대기압(대기압) : 현재상태에서의 대기압력.
- 절대압력 : 완전진공상태를 0 기압으로 하여 산출된 압력.
절대압력 = 국소대기압 \pm 게이지 압력
- 물리학적 기압(공학 기압) : 1 cm^2 의 면적에 1 kg 의 힘이 작용할 때 1 at 라 함.
 $1 \text{ at} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 735 \text{ mmHg} = 980.665 \text{ mbar}$



■ 열역학 기초 사항

▶ 비체적(specific volume)

- 비체적 : 어느 물질의 단위 중량이 차지하는 체적. [m³/kg]
- 비중량 : 단위체적당 물체의 중량. [kg/m³] , = 1/비체적
- 밀도 : 단위체적당 질량. [kg s²/m⁴]

▶ 비열(specific heat)

- 비열 : 어느 물체 1 kg을 1°C 올리는 데 필요한 열량. [kcal/kg°C]
C_p ; 정압비열, C_v : 정적비열, k=C_p/C_v ; 비열비

▶ Boyle-Charle 법칙

- Boyle 법칙 : 온도가 일정할 때, 압력은 비체적에 반비례

$$P = \frac{C}{v} \Rightarrow Pv = C$$

- Charle 법칙 : 압력이 일정할 때, 기체의 체적은 온도에 비례

$$v = CT \Rightarrow \frac{v}{T} = C$$

- Boyle-Charle 법칙 : 기체의 압력은 온도에 비례하고 체적에 반비례

$$\frac{Pv}{T} = C \propto R$$

■ 열역학 기초 사항

▶ 에너지

: 일을 할 수 있는 능력이 있는 것.

- 위치에너지, 운동에너지, 기계적 에너지, 열에너지, 화학에너지, 전기에너지 등
- 에너지 보존법칙 : “하나의 계(system)에 보유하는 에너지의 총화는 외부와의 사이에 교환이 없으면 항상 일정하고, 교환이 있으면 그만큼 증가 또는 감소한다.”

▶ 열역학 제1법칙

: “열은 일로 전환될 수 있고 또한 일도 열로 전환될 수 있다.”

$$Q = AW \text{ or } W = JQ$$

A : 일의 열당량 (= 1/427 [kcal/kg_fm])

J : 열의 일당량 (= 427 [kg_fm/kcal])

$$dq = du + Apdv$$

$$\eta = \frac{AW}{Q}$$

$$1 [PS] = 75 [kg_f m/s] = 0.735 [kW]$$

$$1 [kW] = 1000 [Nm/s] = 102 [kg_f m/s] = 1.36 [PS]$$

$$1 [HP] = 76 [kg_f m/s]$$

■ 열역학 기초 사항

▶ 기체의 상태식

o 상태량(quantity of state) : 물체의 상태를 나타내는 물리량.

압력(P), 비체적(v), 절대온도(T), 내부에너지(u), 엔탈피(h), 엔트로피(s) 등

o 상태식(equation of state) : 상태량의 관계를 나타낸 식

1) 등온변화(isothermal change)

$$Pv = C, \Rightarrow P_1v_1 = P_2v_2$$

2) 정적변화(constant volume change)

$$\frac{P}{T} = C, \Rightarrow \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

3) 정압변화(constant pressure change)

$$\frac{v}{T} = C, \Rightarrow \frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$$

4) 단열변화(adiabatic change)

$$Pv^k = C, \Rightarrow P_1v_1^k = P_2v_2^k$$

■ 열역학 기초 사항

▶ 기체의 상태식

o 상태식(equation of state) : 상태량의 관계를 나타낸 식

4) 단열변화(adiabatic change)

$$Pv^k = C, \Rightarrow P_1v_1^k = P_2v_2^k$$

$$Tv^{k-1} = C, \Rightarrow T_1v_1^{k-1} = T_2v_2^{k-1}$$

$$\frac{T}{P^{\frac{k-1}{k}}} = C, \Rightarrow \frac{T_1}{P_1^{\frac{k-1}{k}}} = \frac{T_2}{P_2^{\frac{k-1}{k}}}$$

5) 폴리트로프 변화(polytropic change)

$$Pv^n = C, \Rightarrow P_1v_1^n = P_2v_2^n$$

$$Tv^{n-1} = C, \Rightarrow T_1v_1^{n-1} = T_2v_2^{n-1}$$

$$\frac{T}{P^{\frac{n-1}{n}}} = C, \Rightarrow \frac{T_1}{P_1^{\frac{n-1}{n}}} = \frac{T_2}{P_2^{\frac{n-1}{n}}}$$

※ $n = 0$; 정압변화
 $n = 1$; 등온변화
 $n = k$; 단열변화
 $n = \infty$; 정적변화

■ 공기사이클 기관

▶ 공기사이클 기관

: 공기를 완전가스로 가정하고 작동유체로 사용한 사이클 기관

※ 가정조건

- ① 작동유체는 순수한 공기만으로 구성
- ② 비열은 일정하고, 온도와 무관
- ③ 공급열량은 외부에서 공급
- ④ 팽창행정과 압축행정은 단열과정이고, 단열지수 $k = 1.4$ 이다.
- ⑤ 열손실과 열해리 현상은 무시

1) 정적사이클 기관(constant volume cycle engine) : Otto cycle 기관

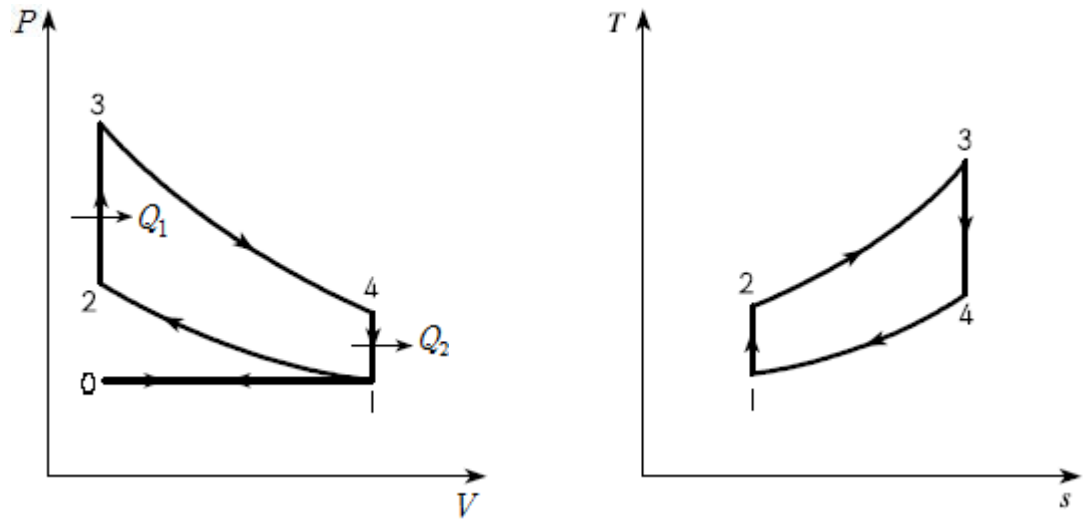
2) 정압사이클 기관(constant pressure cycle engine) : Diesel cycle 기관

3) 복합사이클 기관(combined cycle engine) : Sabathe cycle 기관

■ 공기사이클 기관

▶ 공기사이클 기관

1) 정적사이클 기관(constant volume cycle engine) : Otto cycle 기관



0 → 1 : 흡입행정

2 → 3 : 연소과정, $Q_1 = GC_v(T_3 - T_2)$

4 → 1 : 배기과정, $Q_2 = GC_v(T_4 - T_1)$

1 → 2 : 압축행정

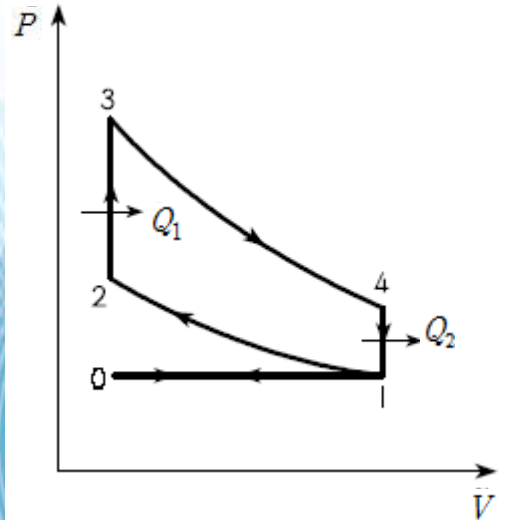
3 → 4 : 팽창행정

1 → 0 : 배기행정

■ 공기사이클 기관

▶ 공기사이클 기관

1) 정적사이클 기관(constant volume cycle engine) : Otto cycle 기관

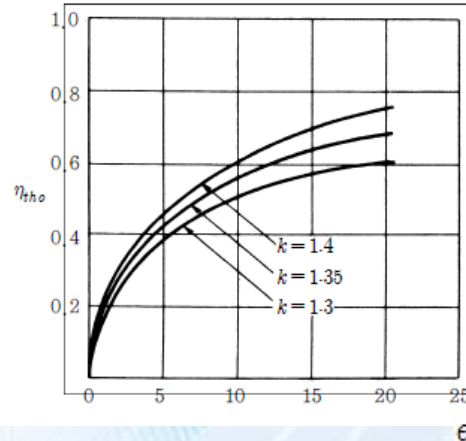


※ 열효율

$$\eta_{thO} = \frac{\text{일량}}{\text{공급열량}} = \frac{AW}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$\eta_{thO} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{\rho T_1 - T_1}{(\rho \epsilon^{k-1} T_1) - (\epsilon^{k-1} T_1)} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}}$$

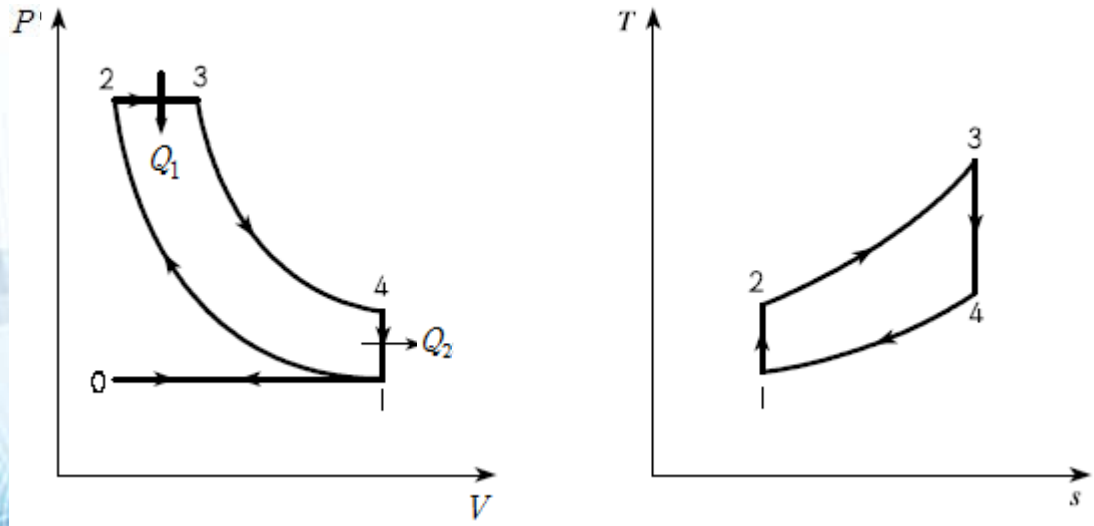
$$\text{압축비, } \epsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}, \quad \text{폭발비, } \rho = \frac{P_3}{P_2}$$



■ 공기사이클 기관

▶ 공기사이클 기관

2) 정압사이클 기관(constant pressure cycle engine) : Diesel cycle 기관



0 → 1 : 흡입행정

2 → 3 : 연소과정, $Q_1 = GC_p(T_3 - T_2)$

4 → 1 : 배기과정, $Q_2 = GC_v(T_4 - T_1)$

1 → 2 : 압축행정

3 → 4 : 팽창행정

1 → 0 : 배기행정

■ 공기사이클 기관

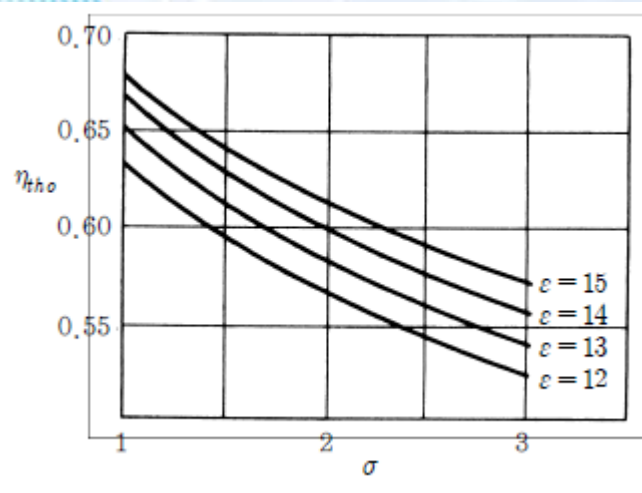
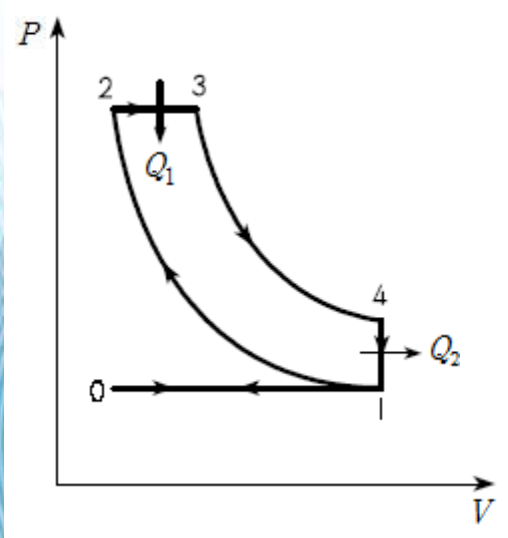
▶ 공기사이클 기관

2) 정압사이클 기관(constant pressure cycle engine) : Diesel cycle 기관

※ 열효율

$$\eta_{thD} = \frac{\text{일량}}{\text{공급열량}} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \frac{\sigma^k - 1}{k(\sigma - 1)}$$

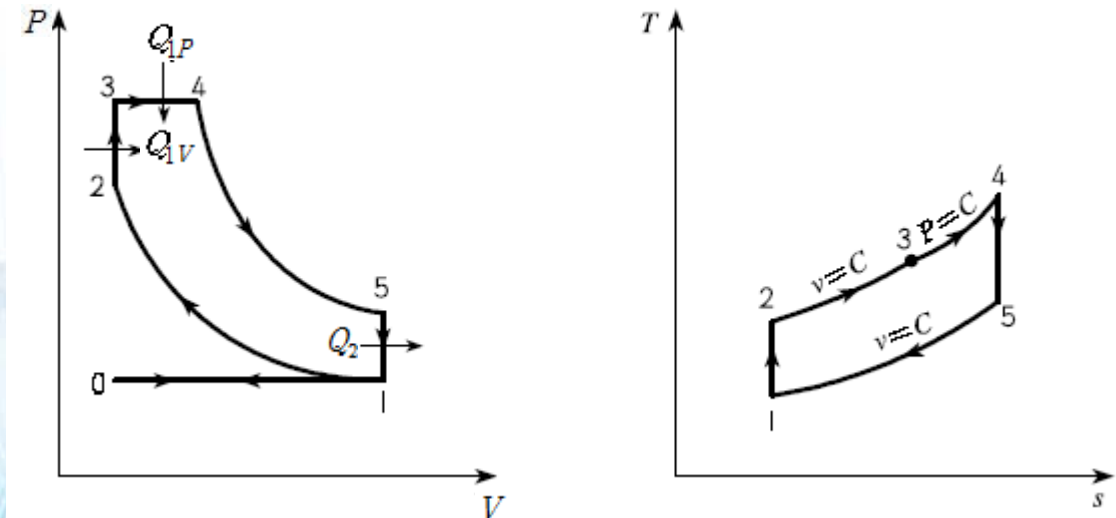
$$\text{압축비, } \epsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}, \quad \text{차단비, } \sigma = \frac{V_3}{V_2}$$



■ 공기사이클 기관

▶ 공기사이클 기관

3) 복합사이클 기관(combined cycle engine) : Sabathe cycle 기관



0 → 1 : 흡입행정

1 → 2 : 압축행정

2 → 3 : 연소과정

2 → 3' : 정적 연소과정, $Q_{1v} = GCv(T3' - T2)$

3' → 3 : 정압 연소과정, $Q_{1p} = GCp(T3 - T3')$, $Q_1 = Q_{1v} + Q_{1p}$

3 → 4 : 팽창행정

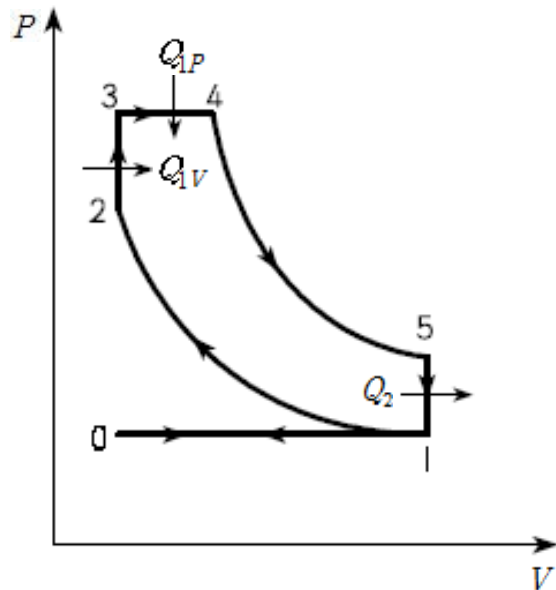
4 → 1 : 배기과정, $Q_2 = GCv(T4 - T1)$

1 → 0 : 배기행정

■ 공기사이클 기관

▶ 공기사이클 기관

3) 복합사이클 기관(combined cycle engine) : Sabathe cycle 기관



※ 열효율

$$\begin{aligned} \eta_{thS} &= 1 - \frac{T_4 - T_1}{(T_{3'} - T_2) + k(T_3 - T_{3'})} \\ &= 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \frac{\rho\sigma^k - 1}{(\rho - 1) + k\rho(\sigma - 1)} \end{aligned}$$

$$\text{압축비, } \epsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}, \quad \text{폭발비, } \rho = \frac{P_3}{P_2}, \quad \text{차단비, } \sigma = \frac{V_3}{V_2}$$

■ 공기사이클 기관

▶ 공기사이클 기관

4) 각 사이클 기관의 열효율 비교

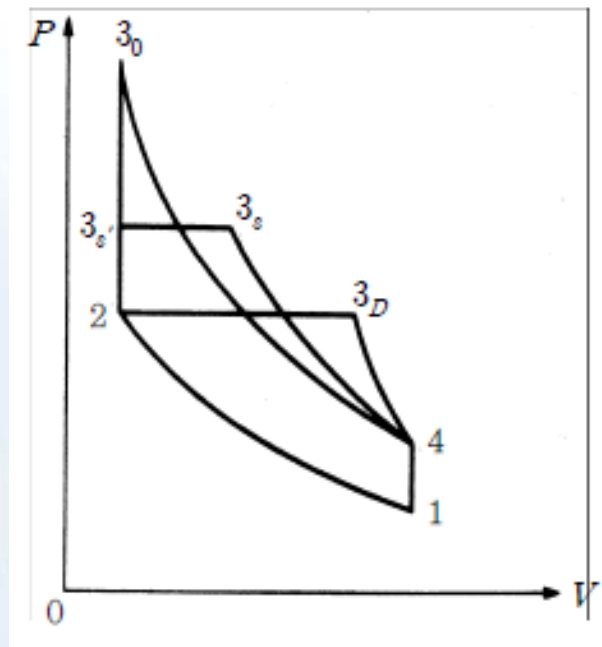
a) 공급열량(Q1)과 압축비(ϵ)가 일정할 경우

$$\eta_{thO} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}}$$

$$\eta_{thD} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \frac{\sigma^k - 1}{k(\sigma - 1)}$$

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

$$\eta_{thO} > \eta_{thS} > \eta_{thD}$$



■ 공기사이클 기관

▶ 공기사이클 기관

4) 각 사이클 기관의 열효율 비교

b) 공급열량(Q1)과 최고압력(P3)가 일정할 경우

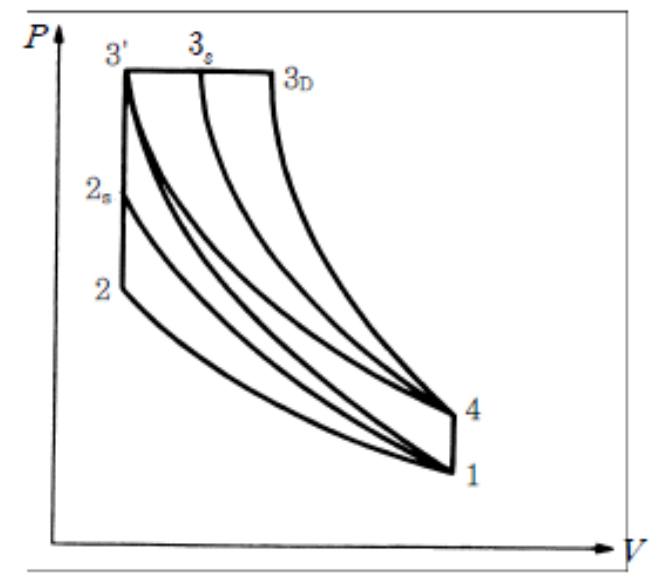
※ 압축비가 높을수록 열효율이 높음.

-Otto cycle : $\epsilon_O = 6 \sim 9$

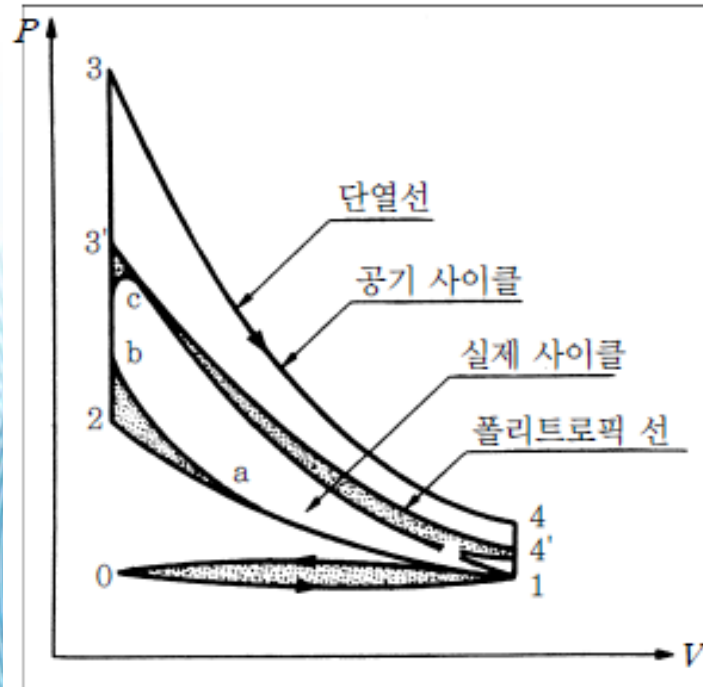
-Diesel cycle : $\epsilon_D = 12 \sim 22$

-Sabathe cycle : $\epsilon_S = 12 \sim 18$

$$\eta_{thD} > \eta_{thS} > \eta_{thO}$$



■ 실제 사이클 기관

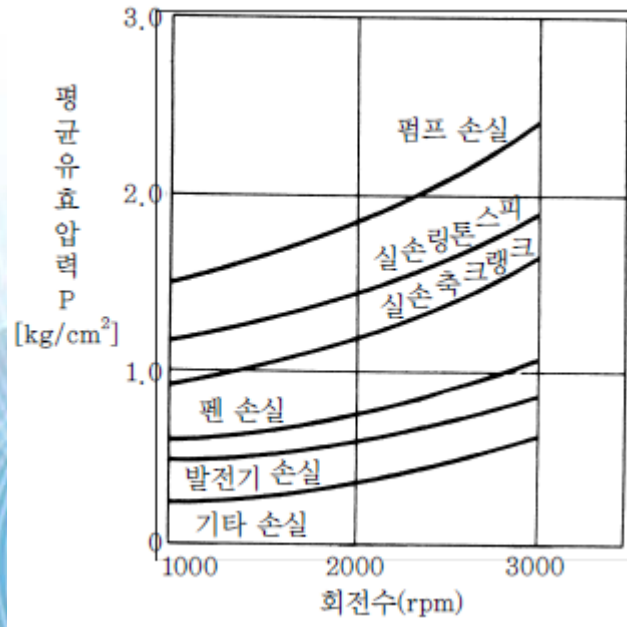


※ 이론 공기사이클 기관에서 각종 손실 감안

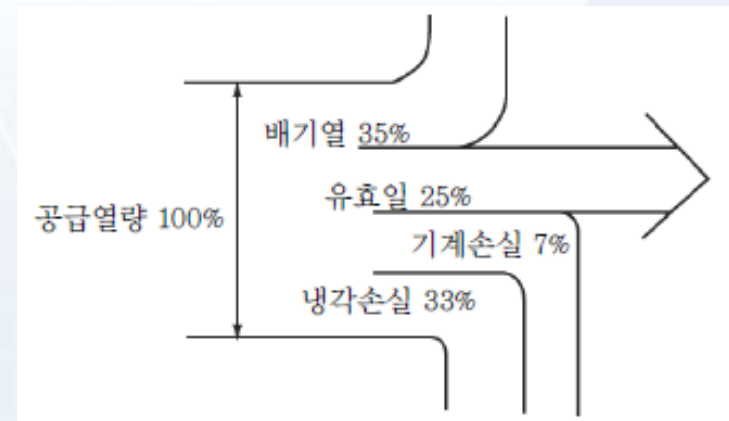
- 1) 점화진각에 의한 손실 : 면적 [a-2-b]
; 점화시기를 상사점 이전으로 앞당김으로서 발생하는 열손실
- 2) 화염전파에 의한 손실 : 면적[b-3'-c]
; 연료의 불완전 연소, 열해리 등에 따른 열손실
- 3) 냉각손실 : 면적[c-4'-d-c]
; 엔진 냉각에 따른 열손실
- 4) 폴리트로픽 손실 : 면적[3'-3-4-4'-3']
; 압축과 팽창과정이 단열과정이 아니고 실제로는 폴리트로픽과정으로 수행됨에 따른 손실
- 5) 블로다운 손실 : [d-4'-1]
; 배기밸브가 열리면 실린더 압력이 대기압보다 높기 때문에 발생하는 손실
- 6) 펌핑손실 : 면적[1-0-1]
; 피스톤이 비기-흡입과정에서 소비되는 손실
- 7) 마찰손실 : 기계적 마찰에 의한 손실 합계

■ 실제 사이클 기관

※ 각종 마찰손실



※ 열평형 선도



END



◆ 다음강의(예고)

- 내연기관의 성능

- * 지압선도
- * 평균유효압력과 출력성능
- * 연료소비량과 연료소비율



감사합니다.

