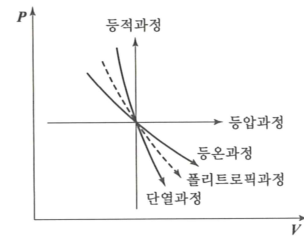


$Q = \Delta U + A \cdot W, \quad A = \frac{1}{427} \left[\frac{kcal}{kg \cdot m} \right]$	$W = J \cdot Q \quad J = 427 \left[\frac{kg \cdot m}{kcal} \right]$	$Q = \text{열량}(kcal) \quad A = \text{일의 열당량}$ $J = \text{열의 일당량} \quad W = \text{일량}(kgf \cdot m)$
--	--	---

$PV = nRT = GRT = \frac{W}{M}RT$	$MR = \bar{R} = 8.3 KJ/kmol \cdot K$	$P = \text{압력}[kgf/m^2 \cdot a] \quad V = \text{체적}[m^3]$ $G = \text{중량}[kgf] \quad T = \text{절대온도}[K]$
----------------------------------	--------------------------------------	--

$Q = G \cdot C \cdot \Delta t$	정적비열 $\Delta U = G \cdot C_v \cdot dt$	정압비열 $\Delta H = G \cdot C_p \cdot dt$	$C_p - C_v = R \quad k = \frac{C_p}{C_v} \quad k = 1.66 [\text{단원자}]$ $C_v = \frac{R}{k-1} \quad C_p = \frac{kR}{k-1} \quad k = 1.4 [2\text{원자}]$
--------------------------------	---	---	--

$dQ = dU + PdV$	$dQ = dH - VdP$	$H = U + PV$	$W = PdV$
-----------------	-----------------	--------------	-----------



【폴리트로픽 과정】

엔트로피 $\Delta S_1 + \Delta S_2 > 0$	$dS = \frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1} \quad dS = \frac{dQ}{T} = C \ln \frac{T_2}{T_1}$	$dS = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$
$dS = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$	$dS = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{P_2}{P_1}$	

정적변화	$dV = 0$	$dQ = dU = C_v \cdot dt$	$W = PdV = 0$	$dS = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} = C_v \ln \frac{P_2}{P_1}$
등압변화	$dP = 0$	$dQ = dH = C_p \cdot dt$	$W = PdV$	$dS = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} = R \ln \frac{V_2}{V_1}$
등온변화	$dt = 0$	$dQ = PdV, -VdP$	$W = P_1 V_1 \ln \frac{P_1}{P_2} = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$	$dS = R \ln \frac{V_2}{V_1} = R \ln \frac{P_1}{P_2}$
단열변화	$dQ = 0$	$PV^k = C$	$\frac{t_2}{t_1} = \left[\frac{V_1}{V_2} \right]^{k-1} = \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^{\frac{k-1}{k}}$	$dS = 0$

플라트로 픽변화	$dS = \frac{(n-k)}{(n-1)} C_v \ln \frac{T_2}{T_1} = \frac{(n-k)}{n} C_v \ln \frac{P_2}{P_1}$ $dQ = \frac{(n-k)}{(n-1)} C_v (t_2 - t_1)$	$n = 0, \quad P = C$ [정압] $n = 1, \quad PV = C$ [등온] $n = k, \quad PV^k = C$ [단열] $n = \infty, \quad V = C$ [정적] $n = n, \quad \text{플라트로픽변화}$
-------------	--	--

$v = v' + x(v'' - v')$ $h = h' + x(h'' - h')$	건조(x) = $\frac{\text{건포화증기량}}{\text{습증기} + 1kg}$	재증발증기량 = $\frac{(i_1 - i_2)}{\gamma} \times \text{포화수량}[kg]$ $i_1 = \text{재증발 전의 포화수 엔탈피}[kcal/kg]$ $i_2 = \text{재증발 후의 포화수 엔탈피}[kcal/kg]$ $\gamma = \text{출구압력에 대한 잠열}[kcal/kg]$ 잠열(γ) = (재증발증기엔탈피 - 포화수엔탈피)
$x = 0$ 포화수 $x = 1$, 건증기 $0 < x < 1$, 습증기		

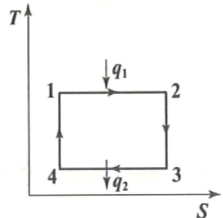
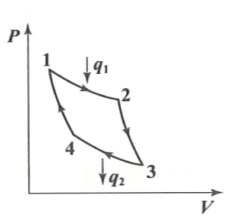
보일의 법칙	샤를의 법칙	보일샤를	돌턴의 법칙	반데르발스
$P_1 V_1 = P_2 V_2$	$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$	$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$	$P_n = P \times \frac{V_n}{V}$	$\left[p + a \frac{n^2}{V^2} \right] (V - nb) = nRT \quad \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_{T_c} = 0, \quad \left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2} \right)_{T_c} = 0$

[가역] $\int \frac{dQ}{T} = 0$	[비가역] $\int \frac{dQ}{T} \leq 0$	°F = $\frac{9}{5} \text{°C} + 32$	노즐효율(η_n) = $\left[\frac{V_a}{V_t} \right] = K^2$ $V_a = \text{실제속도}, V_t = \text{이론속도}, K = \text{노즐속도계수}$
------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	--

노즐출구속도(w_2)	노즐목 마하수(M_a)	노즐목 속도(w_c)	단열과정 음속(C)
$w_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$	$M_a = \frac{\text{유동속도}}{\text{음속}} = \frac{V}{C} = 1$	초음속유동 : $M_a > 1$ 아음속유동 : $M_a < 1$	$w_c = \sqrt{2 \frac{k}{k+1} RT_1}$ $C = \sqrt{kgRT} [m/s]$

절대습도 = $\frac{\text{수증기질량}}{\text{공기부피}} = 0.622 \times \frac{P_w \times H_R}{P_0 - P_w}$ $H_R = \text{상대습도}, P_w = \text{포화압력}, P_0 = \text{대기압}$	상대습도 = $\frac{\text{현재수증기압}}{\text{포화수증기압}} \times 100\%$	비교습도 = $\frac{\text{습공기 절대습도}}{\text{포화공기 절대습도}}$ 몰습도 = $\frac{\text{수증기 몰수}}{\text{건공기 몰수}}$
---	---	--

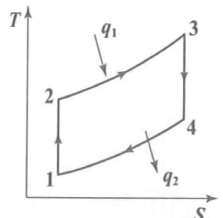
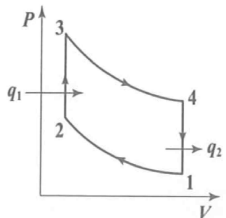
카르노사이클



- ▷ 2개의 등온변화, 2개의 단열변화
- ▷ 가장 효율좋은 이상적 가역, 실제로 불가능
- ▷ 열효율은 온도에만 관계
- ▷ 등온팽창 → 단열팽창 → 정온압축 → 단열압축

$$\eta_c = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

오토사이클 [가솔린기관, 정적사이클]



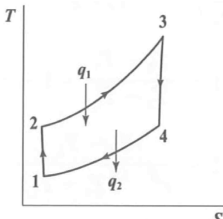
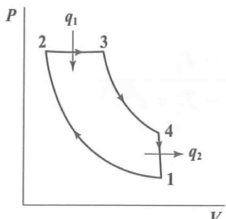
- ▷ 2개 정적과정과 2개의 단열과정
- ▷ 전기점화기관의 이상적인 사이클
- ▷ 에너지공급 및 방출은 정적과정에서 진행
- ▷ 열효율은 압축비만의 함수
- ▷ 압축비 ↑ → 열효율 ↑

$$W = q_1 - q_2$$

$$\eta_c = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$\eta_{tho} = 1 - \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{k-1}$$

디젤사이클 [디젤기관, 정압사이클]

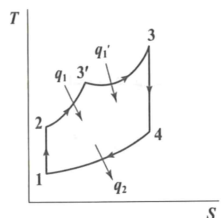
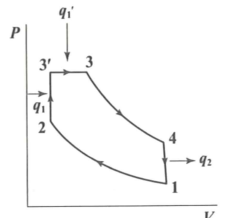


- ▷ 2개의 단열과정, 정적과정, 등압과정
- ▷ 에너지공급은 정압과정, 방출은 등적과정
- ▷ 저속디젤기관에 적용, 압축비가 제일 높음
- ▷ 압축비, 비열비, 차단비의 함수
- ▷ 압축비 동일할 때 오토사이클보다 효율 ↓
- ▷ 압축비 증가, 차단비 감소 → 열효율 증가

$$\eta_c = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)}$$

$$\eta_{thd} = 1 - \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{k-1} \times \frac{\sigma^k - 1}{k(\sigma - 1)}$$

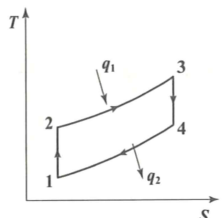
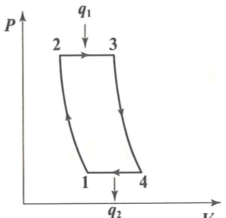
사바테사이클 [정적정압사이클, 함성사이클]



- ▷ 등적, 등압하에서 연소
- ▷ 고속디젤자동차용 엔진
- ▷ 압축비, 차단비, 압력비, 비열비의 함수
- ▷ σ=1, 오토사이클 / α=1, 디젤사이클
- ▷ 비열비 일정, α ↑ ε ↑ σ ↓ 열효율 증가

$$\eta_{ths} = 1 - \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{k-1} \times \frac{\alpha \cdot \sigma^k - 1}{(\alpha - 1) + k(\sigma - 1)}$$

브레이튼사이클 [가스터빈]

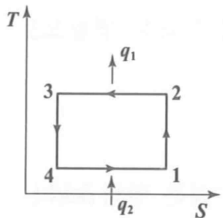
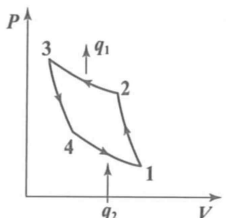


- ▷ 2개의 정압과정과 2개의 단열과정
- ▷ 정압연소 터빈의 기본사이클
- ▷ 효율은 압력비(φ)에 의해 결정
- ▷ 유효일 = 터빈일 - 압축기일
- ▷ 열효율은 비열비k와 압력비(φ)만의 함수

$$\eta_{thb} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad \phi = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_4}$$

$$\eta_{thb} = 1 - \left(\frac{1}{\phi}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

역카르노사이클 [냉동사이클]



- ▷ 압축기, 응축기, 팽창기, 증발기로 구성
- ▷ 2개의 단열과정과 2개의 등온과정
- ▷ 단열압축 → 등온압축 → 단열팽창 → 등온팽창

에릭슨사이클

2개의 등압과정과 2개의 등온과정

브레이튼사이클의 2개의 단열과정을 2개의 등온과정으로 대체

스털링사이클 [밀폐형 재생사이클]

2개의 등적과정과 2개의 등온과정

아트킨슨사이클 [정적가스터빈사이클]

1개의 등적과정과 등압과정, 2개의 단열과정

르노아사이클

1개의 등적과정과 등압과정, 단열과정

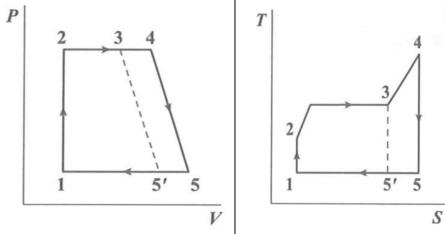
작동유체의 압축과정이 없다

이유체 사이클(Binary fluid cycle)

수은-수증기로 증기동력사이클의 터빈입구 온도를 높이고 복수기의 온도를 낮추어 열효율을 높이는데 사용

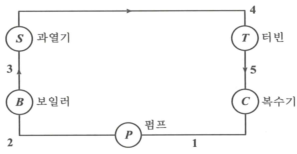
수은 : 고온에서 포화압력이 낮은성질을 이용

랭킨사이클



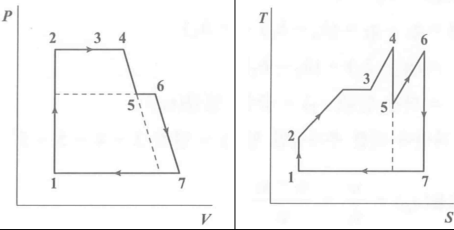
- ▷ 2개의 등압과정, 2개의 단열변화
- ▷ 증기기관의 기본이 되는 밀폐사이클
- ▷ 증기와 물 사이의 상변화를 동반하는 사이클
- ▷ 단열압축 → 정압가열 → 단열팽창 → 정압냉각
- ▷ 포화수 → 포화증기 → 과열증기 → 습증기 → 응축수
- ▷ 유효일 = 터빈일량 [단열팽창과정] - 급수펌프 일량

$$\eta_R = \frac{W}{Q_1} = \frac{h_4 - h_5}{h_4 - h_1}$$



- ▷ 랭킨사이클의 효율증대방법
- 유입되는 증기의 온도와 압력을 높인다
- 배출되는 증기의 온도와 압력을 낮춘다
- dT가 커져서 기계적일량 증대로 효율증가

재열사이클

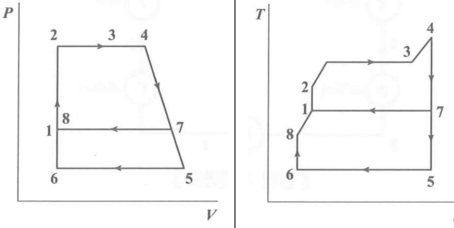


- ▷ 증기의 초압을 높이면서 팽창 후의 건조도가 낮아지지 않게 하는 것으로 효율증대보다는 터빈의 복수장해를 방지
- ▷ 증기터빈 내의 팽창과정에서 건증기 범위에서 행해지도록 터빈 내의 팽창된 증기를 배내 재열기에서 재열 후 터빈으로 보내 복수기 압력까지 팽창

재열과정 : 5→6(정압가열)

$$\eta_{RH} \equiv \frac{(h_4 - h_5) + (h_6 - h_7)}{(h_4 - h_2) + (h_6 - h_5)}$$

재생사이클

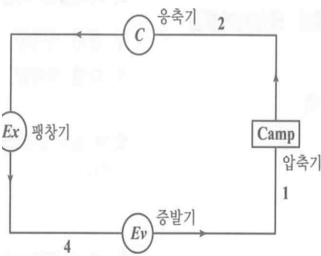


- ▷ 복수기에서 방출되는 증기의 일부를 급수가열에 이용하여 공급열량 감소에 따른 열효율 향상

추출과정 : 7→1(정압가열)

$$\eta_{RG} \equiv \frac{(h_4 - h_5) + m(h_7 - h_5)}{h_4 - h_1}, \quad m = \frac{h_1 - h_6}{h_7 - h_6}$$

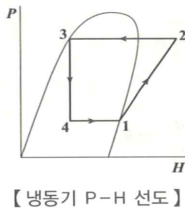
냉동사이클



- ▷ 증발 - 압축 - 응축 - 팽창
- ▷ 냉동톤(RT) : 0°C 물 1톤을 1일에 0°C의 얼음으로 냉동시키는 능력
- ▷ 흡수식 냉동기
- 기계적일 없이 두가지 물질이 저온에서는 용해되고, 고온에서는 분리되는 성질을 이용, [흡수기, 발생기, 응축기, 증발기]

$$1RT = 3,320 [kcal/h] = 13,944 [KJ/h] = 3.86kw$$

$$\text{성능계수 (COP)} = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$



- 1 → 2 : 압축과정
- 2 → 3 : 응축과정
- 3 → 4 : 팽창과정
- 4 → 1 : 증발과정

냉동사이클

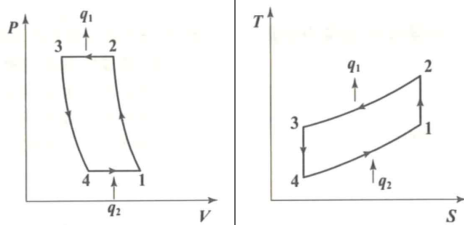
$$\varepsilon_R = \left[\frac{H_1 - H_4}{H_2 - H_1} \right]$$

냉동사이클

$$\varepsilon_R = \left[\frac{H_2 - H_3}{H_2 - H_1} \right]$$

$$\varepsilon_H = \varepsilon_R + 1$$

역브레이튼 사이클 [공기냉동 사이클]



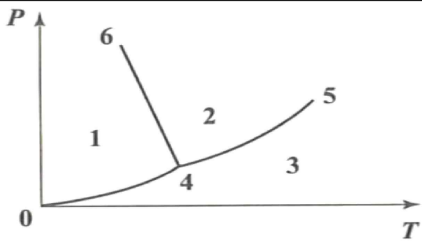
- ▷ 2개의 단열과정과 2개의 정압과정
- ▷ 공기를 냉매로 사용
- ▷ 증기와 물 사이의 상변화를 동반하는 사이클
- ▷ 단열압축 → 정압압축 → 단열팽창 → 정압팽창

$$W = W_c - W_T \text{ [압축기일-팽창기일]}$$

$$\varepsilon_a (\text{성정계수}) = \frac{1}{\left[\frac{P_2}{P_1} \right]^{\frac{k-1}{k}} - 1}$$

증기의 성질

삼중점



- ▷ 기체-액체-고체의 3상이 평형상태 유지
- ▷ 1 : 고체, 2 : 액체, 3 : 기체, 4 : 삼중점
- ▷ 물의 삼중점온도 : 273.16K, 압력 : 610Pa
- ▷ 평형수소의 삼중점 : 13.8K

임계점

- ▷ 액체와 기체 분간안되는 극한점
- ▷ 포화액과 포화증기는 공존 x
- ▷ 포화수와 포화증기 비체적은 같음
- ▷ 임계점에서 $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = 0$

과열증기

- ▷ 건포화증기를 압력이 일정한 상태에서 온도를 상승시켜 얻은 증기
- ▷ 과열증기의 엔트로피

$$dS = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

몰리에르선도

- 수증기 몰리에르선도 (h-s)
- ▷ 엔탈피(종축)-엔트로피(횡축)
- 냉매의 몰리에르선도 (P-h)
- ▷ 압력(종축)-엔탈피(횡축)

몰리에르선도로 파악가능한 것

- ▷ 포화수의 엔탈피
- ▷ 과열증기의 과열도
- ▷ 포화증기의 엔탈피
- ▷ 과열증기의 엔탈피
- ▷ 건포화증기의 엔트로피

교축변화

응축기의 고온, 고압의 액냉매가 팽창면을 통과할 때 교축작용으로 저온, 저압의 냉매로 변화하는데 이때 **동엔탈피과정**
증기가 교축이 일어나면 압력과 온도가 저하되고, 줄-튐슨계수는 온도의 함수

- 줄-튐슨계수(μ) < 0
압력이 내려갈 때 온도가 올라감
- 줄-튐슨계수(μ) > 0
압력이 내려갈 때 온도가 내려감

기체의 유동

레이놀즈 수

$$Re_n = \frac{pvd}{\mu}$$

$p = \text{밀도} [kg/m^3], v = \text{유속} [m/s],$
 $d = \text{직경} [mm], \mu = \text{점성계수} [kg \cdot sec/m^2]$
층류 < 2,300 < 천이구역 < 25,000 < 난류

- 노즐** : 고속의 유체를 통하여 운동에너지를 증가시킬 목적
- 디퓨저** : 속도를 감소시켜 유체의 정압력을 증가시킬 목적

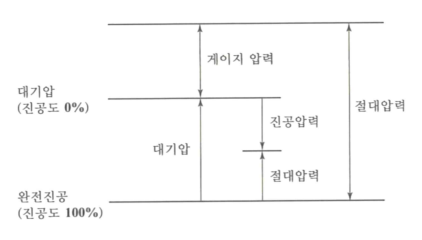
음속증가 조건

- 분자량이 작을 것 압력이 높을수록
- 가스상수가 클수록 온도가 높을수록

냉매 구비조건

1. 온도가 낮아도 대기압이상의 압력에서 증발할 것
2. 상온에서 비교적 저압상태에서 쉽게 액화할 것
3. 임계온도가 높고 응고온도는 낮을 것
4. 증발잠열이 크고 증발가스의 비체적이 작을 것
5. 액체의 비열이 작고 기체의 비열은 클 것
6. 화학적으로 안정하고 열전도율이 클 것
7. 소요동력과 단위 냉동능력당 냉동순환량이 적을 것

대기압 및 습도



$$\text{진공도} (\%) = \frac{\text{진공압}}{\text{대기압}} \times 100$$

$$\text{절대압력} = \text{대기압} + \text{게이지 압력}$$

$$= \text{대기압} - \text{진공압력}$$

$$\text{게이지 압력} = \text{절대압력} - \text{대기압}$$

현열: 상태변화 없이 온도변화에 필요한 열량
잠열: 온도변화 없이 상태변화에 필요한 열량
물의 증발잠열
[100°C=539 kcal/kg] [0°C=597.3 kcal/kg]

열역학 법칙

0법칙	열평형의 법칙
1법칙	에너지보존의 법칙
2법칙	방향성의 법칙
3법칙	상태변화 없이 OK 도달 X

깁스 자유에너지

$$g = h - TS$$

g : 자유에너지 T : 밀폐계 절대온도
 h : 엔탈피 S : 엔트로피

현열(감열) : 물질의 상태변화없이 온도변화에 총 소요된 열량 $Q = G \cdot C \cdot \Delta t$

잠열(숨은열) : 물질이 온도변화없이 상태변화에 총 소요된 열량 $Q = G \cdot r$

물의 증발잠열 : 539 열음의 증발잠열 : 79.68

비열 : 어떤물질 1kg을 1°C 상승시키는데 소요되는 열량

열용량 : 어떤물체의 온도를 1°C상승시키는데 소요되는 열량

열역학 제0법칙 : 열평형의 법칙

열역학 제1법칙 : 에너지보존의 법칙

- 기계적일이 열로 변하거나 열이 기계적일로 변할 때 이들의 비는 일정한 관계가 성립

$Q = A \cdot W, A = \frac{1}{427} \left[\frac{kcal}{kg \cdot m} \right]$	$W = J \cdot Q \quad J = 427 \left[\frac{kg \cdot m}{kcal} \right]$	$Q = \text{열량}(kcal) \quad A = \text{일의 열당량}$ $J = \text{열의 일당량} \quad W = \text{일량}(kgf \cdot m)$
---	--	---

- 엔탈피 : 어떤 물체가 갖는 단위중량당의 열량으로 내부에너지와 외부에너지의 합 [$H = U + PV \quad W = PdV$]

열역학 제2법칙 : 에너지변환의 방향성의 법칙

- 열은 고온에서 저온으로 옮겨지지만 저온에서 고온으로 갈 수 없다
- 일이 열로 바뀌는 것은 쉽지만 열이 일로 바뀌는 것은 힘을 빌리지않는 한 불가능하다
- 엔트로피는 상태함수이며, 가역과정에서 우주의 엔트로피는 일정하다
- 비가역 단열과정에서 우주의 엔트로피는 증가한다
- 자연계에서 일어나는 모든 과정들은 비가역 과정이다\
- 클라우시스 표현 : 열 자체는 다른물체에 변화를 전혀 주지않고 저온체의 물질에서 고온체의 물질로 이동할수 없다
- 켈빈플랑크 표현 : 열원에서 열을 공급받아 방출하면서 열을 일로 바꿀 수 없다(100%효율 열기관 못만든다)
- 오스트왈드 표현 : 외부외력없이 열원에서 열을 공급받아 전부를 외부에 변화를 주지않고 일로 변환할 수 없다
(제2종 영구기관은 존재가 불가능)

- 엔트로피 : 단위질량당 가열량을 절대온도로 나눈 값으로 S, KJ/K

가역사이클과 비가역사이클을 구분하는 열역학적 상태량(열역학 제2법칙)

경로에 무관하고 처음과 끝의 상태만 알면 구할 수 있는 상태함수

엔탈피 변화량은 가역적일때만 표시가능, 비가역은 불가능

클라우시스 적분값 [가역] $\int \frac{dQ}{T} = 0$, [비가역] $\int \frac{dQ}{T} \leq 0$

상태함수 : 내부에너지, 엔트로피, 엔탈피, 온도, 압력, 경로함수 : 일, 열

열역학3법칙

절대온도에서 열용량은 0이고, 어떤방법으로도 물체의 온도를 0K까지 내릴 수 없다, 모든 완전 결정체의 엔트로피는 절대영도에서 0이다

이상기체

1. 보일샤를의 법칙을 만족
2. 아보가드로의 법칙에 따른다
3. 내부에너지는 온도만의 함수
4. 줄의 법칙이 성립
5. 온도에 관계없이 비열비는 일정
6. 기체의 분자력과 크기도 무시되며 분자간의 충돌은 완전탄성체이다

기체사이클의 비교

초온, 초압, 가열량, 압축비, 연료 단절비가 일정한 경우

오토>사바테>디젤

초온, 초압, 가열량, 최고압력이 일정한 경우

디젤>사바테>오토

행정(stroke) : 상사점과 하사점 사이의 거리

통극체적(V_C) : 격간체적 : 피스톤이 상사점에 있을 때의 가스체적

행정체적(V_C) : 상사점과 하사점 사이의 가스체적

통극비(K) : $K = \frac{\text{통극체적}}{\text{행정체적}} = \frac{V_C}{V_S}$

압축비(ϵ) : $\epsilon = \frac{\text{실린더체적}}{\text{통극체적}} = \frac{\text{행정체적} + \text{통극체적}}{\text{통극체적}} = \frac{V_S + V_C}{V_C} = 1 + \frac{V_S}{V_C}$