공업열역학

신안산대학교
기계과

제 1 장 열역학과 기초사항

1-1 열역학의 개념과 정의

(1) 열역학(thermodynamics) : 각종 에너지와 이들 사이의 변환 및 물질의 상태변화가 일어나는 에너지와 물질사이의 관계를 다루는 학문

공학에서 시스템설계, 기계의 제작, 열기관의 해석과 성능향상에 유용함.

　　　　　　　:일을 할 수 있는 능력 또는 변화를 일으킬 수 있는 능력으로 열, 일, 위치에너지, 운동에너지, 내부에너지, 유동에너지, 화학에너지 등이 있다.

(2) 열역학의 분류

① 열역학적 변화

물리적 변화 (팽창, 용해, 증발) ⇒ 　　　　　　(technical thermodynamics)

화학적 변화(연소) ⇒ 열 화학(thermo-chemistry)

② 물질의 상태기술

거시적 관점 ⇒ 　　　　　(classical thermodynamics)

미시적 관점 ⇒ 통계열역학(statical thermodynamics)

1-2 공업열역학의 응용분야

열기관(내연기관, 외연기관, 증기원동소, 가스터빈), 냉동기, 공기압축기, 송풍기, 원자로, 지열 및 태양에너지 이용장치, 연료전지 등

(1) 증기 원동소(steam power plant)

연료를 연소시켜 증기를 발생시키는 boiler plant와 증기를 이용하여 동력을 발생시키는 증기원동기(steam prime mover)로 구성되어 있다.

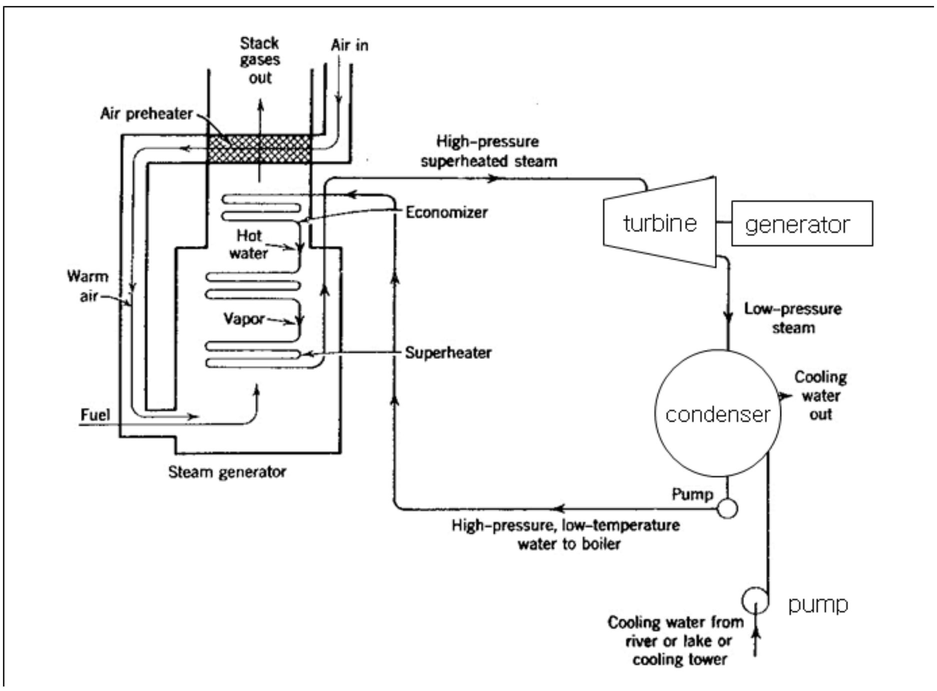


그림 1-1a 증기원동소의 구성

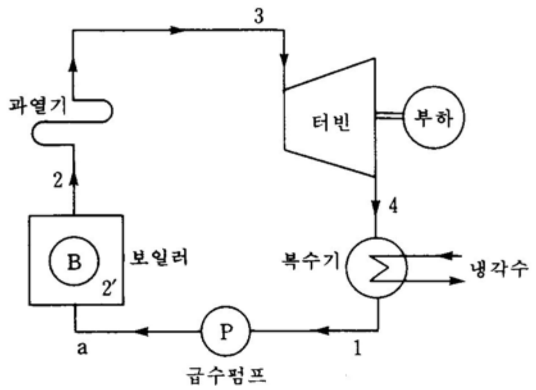


그림 1-1b 증기원동소의 계통도

각 구성요소의 역할은 다음과 같다.

① 증기 발생기

ⓐ ______________ (economizer) : 보일러의 배기 가스의 여열을 이용하여 급수를 가열하는 장치.

ⓑ ______________ : 연료의 연소에 의해 발생한 열을 이용하여 급수를 가열・증발시키는 부분.

ⓒ ______________ (super heater) : 보일러에서 발생하는 포화증기를 다시 가열하여 과열증기를 만드는 장치.

② ______________ (turbine) : 유체가 가지는 에너지를 유용한 기계적 일로 변환시키는 장치.

③ ______________ (condenser) : 응축기의 일종으로 냉각수에 의해 증기를 냉각시켜 물로 환원시키는 장치.

④ ______________ (pump) : 보일러 등에 물을 공급하기 위한 펌프.

(2) 냉동사이클 (the vapor-compression refrigeration cycle)

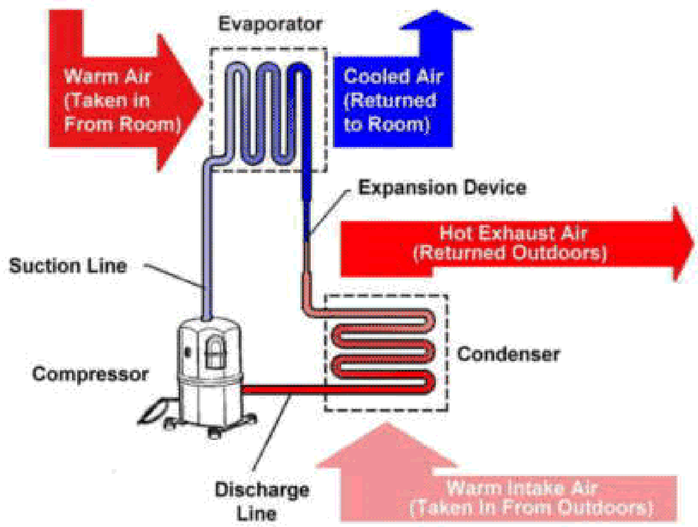


그림 1-2a 냉동사이클의 구성

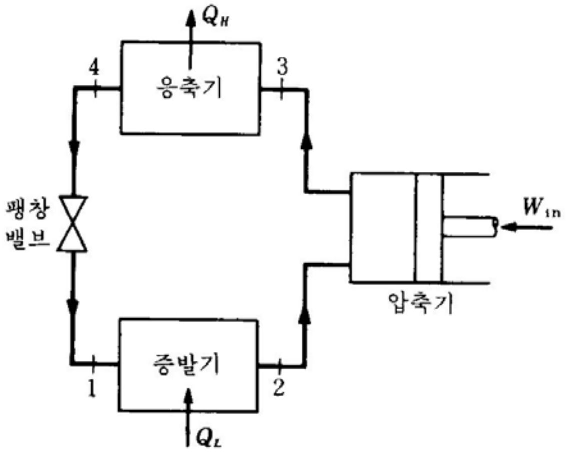


그림 1-2 냉동사이클의 계통도

① ____________ : 냉매가 증발하면서 주위로부터 열을 흡수하는 장치로 냉각기(cooler)라고도 한다.
② ____________ : 저온저압의 냉매를 쉽게 응축될 수 있도록 고온고압의 냉매증기로 압축하는 장치.
③ ____________ : 압축에 의해 고온고압의 냉매증기를 냉각하여 액화시키는 장치.
④ ____________ : 고온고압의 냉매를 쉽게 증발할 수 있도록 압력를 강하(감압)하는 장치.

1-3 계와 주위 및 동작물질

(1) 계(system)

연구를 위해 문제의 대상으로 삼는 일정한 질량과 동일성을 갖는 영역으로 계(system)이외의 영역을 주위(surrounding)라 하며 경계 (boundary)에 의해 구분된다.

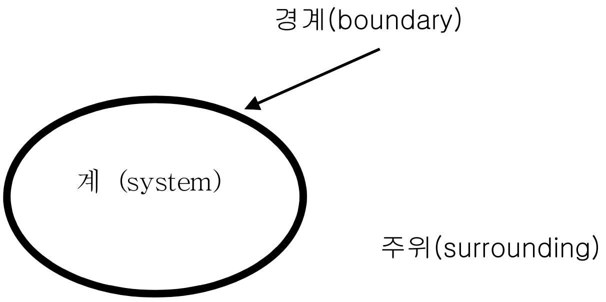


그림 1-3 계와 주위

① ____________(closed system) : 경계를 통하여 물질의 이동이 없는 비유동계.
② ____________(open system) : 경계를 통하여 물질의 이동이 있는 유동계.
③ ____________(adiabatic system) : 경계를 통하여 열의 출입이 없는 계.
④ 고립계 또는 절연계(isolated system) : 계와 주위사이에 상호작용이 없는 계로써 물질의 이동 뿐만 아니라 에너지의 이동이 없다.

(cf) 검사체적 또는 제어체적(control volume) : 변형을 수반하지 않고 경계를 통하여 물질의 이동이 있는 개방계.

(2) 동작[작동]물질[유체](working substance)

열기관이나 냉동기 등에서 사용되는 매개물질.

(예) 물(증기원동소), 냉매(냉동기)

1-4 물질의 상태량과 상태식

(1) 상태량

① 상(相, Phase) : 완전히 균일한 어떤 량의 물질

② 상태량(Properties) : 계의 물리적 특성값으로 점함수이며, 질량과의 관계에 따라 다음과 같이 구분한다.

┌ 　　　　　상태량(intensive properties) : 질량과 관계없는 상태량.

| 　　　ex) 온도, 압력, 비체적, 단위 무게당 종량성 상태량.

| 　　　　　(기본 상태량)

└─ 　　　　상태량(extensive perties) : 질량과 관계있는 상태량.

　　　ex) 중량, 체적, 내부에너지, 엔탈피, 엔트로피.

③ 상태(state) : 특정시간에서 계의 물리적 화학적 특성을 의미하며, 상태량에 의해 결정된다.

(2) 상태식(equation of state) 또는 특성식(characteristic equation)

밀폐계에서 순수물질의 기본상태량 사이의 함수관계.

$$F = (p, v, T)$$
$$p = f(v, T), \quad v = f(T, p), \quad T = f(p, v) \qquad (1\text{-}1)$$

(예) 완전가스의 상태식 : $pv = RT$, R : 기체상수.

1-5 상태변화와 사이클

(1)

계 내의 동작물질이 한 상태에서 다른 상태로 변화하는 것. 즉, 계의 상태량 중 하나 또는 그 이상이 변화하는 것.

◎ 가역변화(reversible change) : 상태변화가 일어날 때 계나 주위에 아무 변화를 남기지 않고 원래상태로 되돌아가는 상태변화.

(cf) 비가역변화(irreversible change)

◎ 한 상태량이 일정하게 유지되는 상태변화

p = constant : 정압변화(isobaric change)

V = constant : 정적변화(isometric change)

T = constant : 등온변화(isothermal change)

dQ = 0 : 단열변화(adiabatic change)

pv^n = constant : 폴리트로픽변화(polytropic change)

(2) (process)

계(system)내의 동작물질이 연속적으로 상태변화가 일어나는 경로

◎ 준평형 과정(quasiequilibrium) : 열역학적 평형(열적평형, 역학적평형, 화학적평형)으로 부터 벗어남이 무한이 작은 과정으로 계가 준평형 과정을 지나는 모든 과정은 평형상태로 간주할 수 있다.

(3) 사이클(cycle)

열역학적 과정이 되풀이하여 순환하는 과정

1-6 온도와 열역학 제 0 법칙

(1) 열의 본질

① 열소설(熱素說)

"열은 일종의 물질(열소, caloric)이다."

물질은 창조나 소멸시킬 수 없는 것으로 마찰에 의한 물체의 온도상승이나 열의 발생에 대하여 설명하지 못함.

② Rumford : "열은 일종의 운동 에너지이다."

③ Davy : "열은 마찰, 충돌에 의해서 발생."

④ Mayer, Joule(1842년)
"열은 일과 동등한 에너지의 한 형태이다."
열과 일의 양적인 관계를 실험적으로 증명하여 열역학의 기초확립.
◎ 온도와 열량의 상호 비교
온도 : 물질이 보유하는 열에너지의 강도
열량 : 물질이 보유하는 열에너지의 량
(2) 온도(temperature)
물질을 구성하는 분자의 운동에너지의 활동정도를 수치적으로 표시하는 물리량.
① 온도계 : 온도를 수량적으로 나타내는 계측 기기로써 온도변화에 따른 물질의 물리적 성질을 이용.
② 온도의 눈금
2 정점법 : 물의 빙점과 비등점[증발점]을 정점으로 함.
1 〃 : 물의 3중점을 정점으로 함.
◎ 물의 3중점: 물의 고상, 액상, 증기상이 평형을 이루며 공존하는 상태.
물(0.01℃, 0.6117kPa, 0.006233at)
ⓐ (Anders Celsius) : 온도의 정점으로 표준 대기압하 에서 순수한 물의 빙점을 0。, 증발점을 100。로 하여 1/100한 것을 1℃로 표시한 온도척도. (미터 단위계에서 사용)
ⓑ (Daniel Fahrenheit) : 온도의 정점으로 표준 대기압하 에서 순수한 물의 빙점을 32。, 증발점을 212。로 하여 1/180한 것을 1°F로 표시한 온도척도. (영국 단위계에서 사용)
ⓒ (absolute temperature)
Charles의 법칙에 의하면 가스는 압력이 일정할 때 온도 1℃ 상승함에 따라 0℃ 일때의 체적V_o의 1/273.15씩 증가한다. 즉, 열팽창계수 α = 1/273.15.
t℃ 일때의 체적 V는

$$V = V_o + \frac{t}{273.15} V_o = \left(1 + \frac{t}{273.15}\right) V_o$$

$$= \frac{(273.15 + t)}{273.15} V_o \qquad (1-2)$$

따라서 t = -273.15 ℃이면 V = 0이다.
기체의 압력이 완전진공일 때 기체분자의 운동은 정지되며, 이때의 온도는 -273.15℃가 되어 이를 온도 정점으로 하여 섭씨온도와 동일한 눈금으로 정한 온도를 ______라 한다.
(cf) 열역학적 절대온도
Kelvin의 절대온도(섭씨눈금)

(1-3)

Rankin의 절대온도(화씨척도)

(1-4)

(3) 열역학 제 0 법칙
어떤 두 물체가 제 3의 물체(온도계)와 각각 열평형 상태에 있을 때 두 물체는 서로 열평형 상태에 있다.

1-7 차원과 단위

(1) 차원(Dimension) : 물리적 현상을 다룰 때 질량(힘), 변위, 시간등으로 특징을 규정하는 기본량(의조합).

$$[Q] = [A^{\alpha}, B^{\beta}, C^{\gamma} \ldots\ldots] \qquad (1-5)$$

여기서 ┌ Q : 물리량
├ A, B, C, ... : 기본량
├ α, β, γ ..... : 기본량 A, B, C에 대한 차원
└ $[A^{\alpha}, B^{\beta}, C^{\gamma} \ldots\ldots]$: 차원식

① 기본차원

┌ MLT계 : 질량(M), 길이(L), 시간(T), 온도(Θ).

└ FLT계 : 힘(F), 길이(L), 시간(T), 온도(Θ).

② 유도(종속. 2차)차원

기본차원으로 유도되는 차원

(예) [속도] = [거리]/[시간] = [L]/[T] = [LT^{-1}]

[힘] = [질량][가속도] = [M][L]/[T^2] = [MLT^{-2}]

[압력] = [힘]/[면적] = [F]/[L^2] = [FL^{-2}]

[질량} = [힘]/[가속도] = [F]/[L]/[T^2] = [$FL^{-1}T^{-2}$]

◎ 차원동차 (Dimensionally homogeneous)

A = B+C일 때 단위계와 관계없이 A와 B+C는 동일한 값을 갖으며 각 항 A, B, C는 동일한 차원을 갖는다.

(예) 10[kg_m] = 5(m)+4(sec)

[M] ≠ [L] ≠ [T]

◎ FLT계와 MLT계의 관계

Newton의 운동법칙 : $F = ma$

$$[F] = [M][LT^{-2}] = [MLT^{-2}] \qquad (1\text{-}6)$$

$$[M] = [FL^{-1}T^2]$$

(2) 단위(unit)

물리량의 크기를 나타내기 위하여 비교의 기준으로 삼는 동종의 량.

즉 물리량의 크기 = 수치 × 단위

표 1-1 각 단위계의 비교

물리량	절대단위		중력 단위	SI 단위	차원	
	MKS	CGS			MLT계	FLT계
길이	m	cm			[L]	[L]
질량	kg	g			[M]	[$FL^{-1}T^2$]
시간	s	s			[T]	[T]
힘	kgm/s^2	gcm/s^2			[MLT^{-1}	[F]
에너지 (일및열)	kgm^2/s^2	gcm^2/s^2			[ML^2T^{-2}]	[FL]
동력	kgm^2/s^3	gcm^2/s^3			[ML^2T^{-3}]	[FLT^{-1}]
압력	kg/ms^2	g/cms^2			[$ML^{-1}T^{-2}$]	[FL^{-2}]

(3) SI 단위의 구성

① SI단위

기본단위(7개) : 길이(m), 질량(kg), 시간(s), 전류(A),
열역학적온도(K), 물리량(mol), 광도(cd)

보조단위(2개) : 평면각(rad), 입체각(sr)

조립단위: 조립단위(17개), 기타

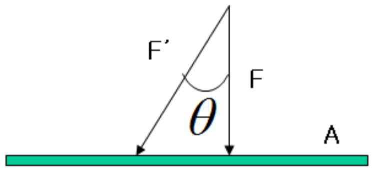
② SI접두어(16개)

1-8 압력(Pressure) : p

단위 면적 당 작용하는 수직방향의 힘

$$= \frac{F' \cos\Theta}{A} \qquad (1-7)$$

유체(액체, 기체) : 압력,　　고체 : 응력(stress)



(1) 단위

① CGS 단위

1bar = 10^6 dyne/cm^2 = 10^3 mbar = 10^5 N/m^2 = 10^5 Pa

1mbar = 10^2 Pa = 1 hPa(hecto Pascal)

② SI 단위

$1\,pa(pascal) = 1\,N/m^2$

③ 공학단위(중력단위)

1공학기압 $1\,at = 1kg_f/cm^2 = 10\,mAq$

④ 표준대기압 : 중력가속도가 표준상태($g = 9.80665\,m/s^2 \fallingdotseq 9.81m/s^2$)일 때 밀도가 $13.5951\,g/cm^3$의 수은주의 높이 760 mm를 나타내는 압력

1 atm(atmosphere) = 　　　　mmHg = 　　　　kg_f/cm^2 (=at)
= 　　　　kPa = 　　　　mbar = 　　　　mAq

단위환산의 예

◎ 1003.9 mbar

$=1.03323\times\frac{1003.9}{1013.25}=1.02369568\,kg_f/cm^2 \fallingdotseq 1.02\,kg_f/cm^2$

$=760\times\frac{1003.9}{1013.25}=752.9869233\,mmHg \fallingdotseq 753.99\,mmHg$

700 mmHg

$=1.03323\times\frac{700}{760}=0.951659211\ kg_f/cm^2 \fallingdotseq 0.96\,kg_f/cm^2$

$=101.325\times\frac{700}{760}=93.32565789\ kPa \fallingdotseq 93.33\ kPa$

$=1\times\frac{700}{760}=0.921052632\ atm\ =0.92\ atm$

(2) 압력계의 관계

① 　　　　압력(absolute pressure) : p_a[kg_f/cm^2, abs, ata, at]

완전진공을 기준으로 한 압력

② 　　　　압력(gauge pressure) : p_g[kg_f/cm^2, g . atg. atu]

대기압을 기준으로 한 압력

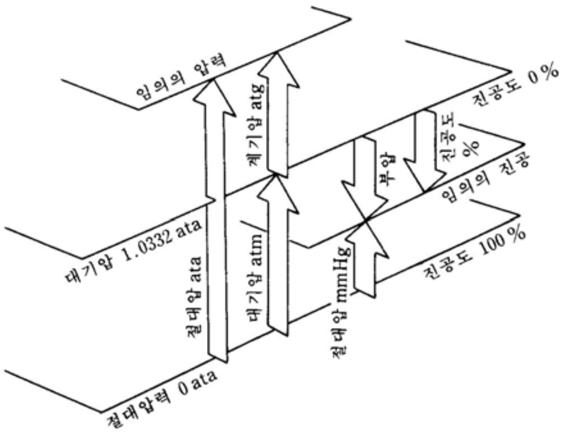


그림 1-4 압력계의 관계

압력이 대기압보다 높으면(정압)

$$p_a = p_o + p_g \tag{1-8}$$

압력이 대기압보다 낮으면(부압)

$$p_a = p_o - p_g \tag{1-9}$$

◎ 부압 즉 진공의 상용단위

· $1Torr = 1mmHg = 133.3224Pa$

$\uparrow 1 \times \frac{101.325 \times 10^3}{760}$

·진공도: $x = \frac{\text{진공게이지압}}{\text{대기압}} = \frac{P_g}{P_0} \times 100(\%)$ (1-10)

[예제 1-2] 표준 대기압(760 $mmHg$)상태에서 700 $mmHg$의 절대압과 진공도는 얼마인가?

(sol) 절대압: $P_a = P_0 - P_g = 760mmHg - 700mmHg$

$= 60mmHg(Torr)$

진공도: $x = \frac{P_g}{P_0} \times 100 = \frac{700}{760} \times 100 = 92.1\%$

[예제 1-3] 대기압이 1003.9 $mbar$ 일 때 다음의 압력은 절대압력으로 몇 ata 인가?

(1) 25 kg_f/cm^2인 게이지압 (2) 700 $mmHg$인 진공압력

(3) 진공도가 90%

(sol)

$1atm = 760mmHg = 1.03323kg_f/cm^2 = 101.325kPa = 1013.25mbar$

(1) $p_a = p_0 + P_g = 1.03323 \times \frac{1003.9}{1013.25} + 25 = 26.02ata$

(2) $p_a = p_0 - p_g = 1.03323 \times \frac{1003.9}{1013.25} - 1.03323 \times \frac{700}{760} \equiv 0.072ata$

(3) 진공도: $x = \frac{p_g}{p_0} \times 100 \rightarrow p_g = \frac{xp_0}{100}$ 이므로

$$p_a = p_0 - p_g = p_0 - \frac{xp_0}{100} = p_0(1 - \frac{x}{100})$$

$$= 1.03323 \times \frac{1003.9}{1013.25} \times (1 - \frac{90}{100})$$

$$= 0.102369\, ata$$

1-10 밀도 비중량, 비체적

(1) 밀도(density)

단위체적당 물질의 질량

$\rho = \qquad [kg/m^3]$

$\rho = \frac{G}{gV} = \frac{\gamma}{g}\ [\frac{kg_f s^2/m}{m^3}]$ (1-11)

(2) 비중량(specific weight)

단위체적당 물질의 중량

$\gamma = \qquad [kg_f/m^3]$ (1-12)

$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g\ [N/m^3]$

(3)비체적(specific volume)

단위 질량 또는 중량의 물질이 차지하는 체적으로 밀도 또는 비중량의 역수이다

$v = \frac{V}{m} [m^3/kg]$

$v = \frac{V}{G} [m^3/kg_f]$ (1-13)

1-11 열량과 비열 및 혼합온도

(1) 열량(quantity of heat)과 비열

질량 m kg의 물체에 열량 dQ 가 가해진 경우 온도변화를 dt라 하면 dt는 dQ에 비례하고 m에 반비례한다는 것을 경험으로 알고 있다.

$$dt \propto \frac{dQ}{m}$$

$$dQ \propto m dt$$

$dQ = \qquad [kJ]$ (1-14)

(cf) 공학단위계

$$dt \propto \frac{dQ}{G}$$

$$dQ \propto G\ dt$$

$dQ = \qquad [kcal]$

여기서 비례상수 C를 물체의 재질에 따른 고유상수로서 ______(Specific heat) 이라 한다. 비열은 어떤 물질 1kg을 1℃ 높이는데 필요한 열량이다.

$$C = \frac{dQ}{m\,dt} \quad [J/kgK] \qquad\qquad C = \frac{dQ}{G\,dt} \quad [kcal/kg_f ℃] \qquad (1\text{-}15)$$

(cf) 열용량(heat capacity) : C'

질량 m의 물질을 온도 1℃높이는데 필요한 열량.

$$C' = mC \quad [kJ/K] \qquad (1\text{-}16)$$

만일 비열 C가 온도와 관계없이 일정할 경우 물체의 온도를 t_1에서t_2로 올리는데 필요한 열량은

$$_1Q_2 = \qquad\qquad [kJ] \qquad (1\text{-}17)$$

① 온도와의 관계

ⓐ $C \neq f(t)$: 비열이 온도와 관계없이 일정

$$\int_1^2 dQ = \int_1^2 mC\,dt = mC\int_1^2 dt$$

$$_1Q_2 = mC(t_2 - t_1) \quad [kJ] \qquad (1\text{-}18)$$

$$_1q_2 = C(t_2 - t_1) \quad [kJ/kg]$$

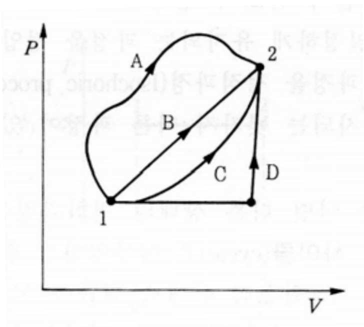
◎ 점함수와 경로함수

·점함수(Point function) : 양단의 상태만의 함수로써 완전미분형태의 함수.

$$\int_1^2 dV = V_2 - V_1$$

·경로[과정, 과도]함수(path function) : 양단의 상태뿐만 아니라 경로에도 관계되는 함수로써 불완전 미분형태의 함수.

열역학에서는 열과 일밖에 없다.



$$\int_1^2 \delta Q = {}_1Q_2 = Q_{1\to2} \qquad\qquad \int_1^2 \delta Q \neq Q_2 - Q_1$$

$$\int_1^2 \delta W = {}_1W_2 = W_{1\to2}$$

ⓑ $C = f(t)$: 비열이 온도의 함수 즉 관계가 있음

$$\int_1^2 dQ = \int_1^2 mC\,dt = m\int_1^2 C\,dt = m\int_1^2 f(t)\,dt$$

$$_1Q_2 = m\frac{\int_1^2 C\,dt}{(t_2 - t_1)}(t_2 - t_1) = mC_m(t_2 - t_1) \quad [kJ]$$

$$_1q_2 = \frac{\int_1^2 C\,dt}{(t_2 - t_1)}(t_2 - t_1) = C_m(t_2 - t_1) \quad [kJ/kg] \qquad (1\text{-}19)$$

여기서 C_m은 t_1과 t_2사이의 평균비열.

$C_m =$ (1-20)

$_1q_2 = C_m(t_2 - t_1)$ [kJ/kg]

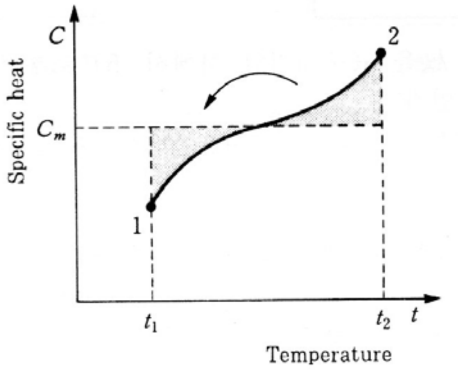


그림 1-5 평균비열

② 열적관계

비열은 열적조건과 열적 상태에 따라 다르며 다음과 같이 구분한다.

ⓐ 비열(C_p) : 압력이 일정한 상태에서의 비열.

ⓑ 비열(C_v) : 체적이 일정한 상태에서의 비열.

◎ (ratio of specific heat) : k

정압비열과 정적비열의 비.

$k =$ (1-21)

기체 : $C_p > C_v$, $k > 1$

액체, 고체 : $C_p \fallingdotseq C_v$, $k \fallingdotseq 1$

(2) 단위

SI단위 : J(Joule)

공학단위 : kcal, Btu, Chu

① 1 kcal : 표준 대기압하에서 순수한 물 $1kg_f$를 1℃ 높이는데 필요한 열량.

ⓐ 15℃kcal [$kcal_{15}$]

1 $kcal_{15}$: 표준 대기압하에서 순수한 물 $1kg_f$를 14.5℃에서 15.5℃까지 높이는데 필요한 열량.

ⓑ 평균kcal [$kcal_m$]

1 $kcal_m$: 표준 대기압하에서 순수한 물 $1kg_f$를 0℃에서 100℃까지 높이는데 필요한 열량의 1/100.

ⓒ 국제 kcal [$kcal_{int}$]

1 $kcal_{15}$ = 4186.5 J

1 $kcal_m$ = 4186.05 J

1 $kcal_{int}$ = 4186.8 J

1 kcal = 427 kg_f m = 4.2 kJ

↑427 ×9.81 m/s^2

② 1 Btu(British Thermal Unit) : 표준 대기압하에서 순수한 물 $1lb_f$를 1°F 높이는데 필요한 열량.

1 Btu = 0.252 kcal

③ 1 Chu(Centigrate Heat Unit) : 표준 대기압하에서 순수한 물 $1lb_f$를 1℃ 높이는데 필요한 열량.

1 Chu = 9/5 Btu

(3) 혼합후의 온도

	질량	비열	온도	혼합후의 온도
물질(1)	m_1	C_1	t_1	t_m
물질(2)	m_2	C_2	t_2	t_m

가정 : 화학반응 또는 외부로의 열손실이 없다.

$t_1 < t_2$ 라 하면 $t_1 < t_m < t_2$

열평형에 의해 $Q_1 = -Q_2$(-는 방열)이므로 $Q_1 + Q_2 = 0$

$$m_1C_1(t_m - t_2) + m_2C_2(t_m - t_2) = 0$$

$$\therefore t_m = \frac{m_1C_1t_1 + m_2C_2t_2}{m_1C_1 + m_2C_2}$$

◎ n종의 물질을 혼합한 후의 온도 : t_m

$$t_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_iC_it_i}{\sum_{i=1}^{n} m_iC_i} \qquad (1\text{-}22)$$

cf)외부로의 열손실 Q_l이 있는 경우

$$t_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_iC_it_i - Q_l}{\sum_{i=1}^{n} m_iC_i}$$

[예제1-4] 6 kg의 강제 그릇에 25℃의 물 22ℓ가 들어있다. 여기에 200℃의 구리 5 kg를 넣었다면 열평형 후의 온도는 ? 단, 물의 비열은 4.187 kJ/kgK, 강의 비열은 0.4648 kJ/kgK 이고 구리의 비열은 0.386 kJ/kgK 이다.

(1) 외부로의 열손실이 없는 경우

(2) 외부로의 열손실이 20 kJ인 경우

(sol) $1m^3 = 10^3ℓ = 10^6mℓ$ 이므로 $1ℓ = 10^{-3}\ m^3$

질량 $\rho = \frac{질량}{체적} = \frac{m}{V}$ 에서 물의 밀도 $\rho = 1000kg/m^3$이므로 물의 질량 m

$$m_w = \rho V = 1000 \times 22\times10^{-3} = 22\ kg$$

$$t_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_iC_it_i}{\sum_{i=1}^{n} m_iC_i}$$

$$= \frac{(6\times0.4648\times25 + 22\times4.187\times25 + 5\times0.386\times200)}{(6\times0.4648 + 22\times4.187 + 5\times0.386)}$$

$$= 28.49℃$$

(2) $t_m = \sum_{i=1}^{n} \frac{m_iC_it_i - Q_l}{m_iC_i}$

$$= \frac{(6\times0.4648\times25 + 22\times4.187\times25 + 5\times0.386\times200) - 20}{(6\times0.4648 + 22\times4.187 + 5\times0.386)}$$

$$= 28.28℃$$

1-11 일 및 에너지

(1) 일(Work):W

물체에 작용하는 힘(F)와 힘이 작용하는 방향으로의 변위(l)와의 곱.

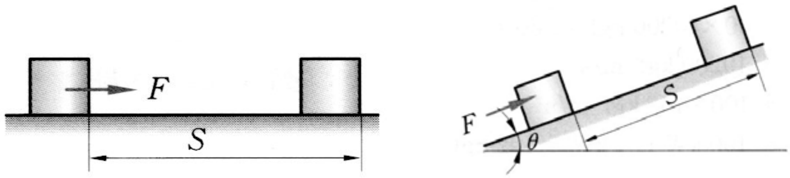


그림 1-6 일

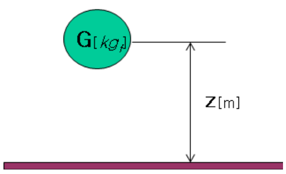
$W=\qquad = FS'\cos\theta$ (1-23)

$\uparrow S = S'\cos\theta$

(3) 기계적에너지 또는 역학적에너지(Mechanical energy) : E

물체의 위치 또는 운동에 의해 발생되는 에너지

① 위치 에너지(potential energy) : E_P

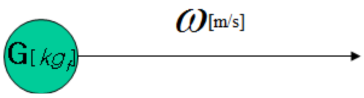


$E_P = Gz \qquad [kg_f m]$

$E_P = \qquad [kg\ m^2/s^2] = [Nm]$ (1-24)

$e_P = \dfrac{E_P}{G} = z$ [m] (1-25)

② 운동 에너지(kinetic energy) : E_K



$E_K = \dfrac{G}{2g}\omega^2 \quad [kg_f m]$

$E_K = \qquad [kg\ m^2/s^2] = [Nm]$ (1-26)

$e_K = \dfrac{E_K}{G} = \dfrac{\omega^2}{2g}$ [m] (1-27)

(4) 열에너지 : Q

분자의 운동에 의해 발생되는 에너지

$dQ = mCdt$ (1-28)

(5) 기타 : 전기 에너지, 빛 에너지, 소리 에너지.

1-12 동력(Power) 또는 일률, 공률 : $\dot{W}$

단위 시간당 한 일량

$$\dot{W} = \frac{dW}{dt}$$ (1-29)

[단위]

$1W = 1J/s = 1Nm/s = 1kgm^2/s^3$

$1kW = \qquad kg_f m/s = \qquad kcal/h$

$1kg_f m/s = 9.81N/s = 9.81W$

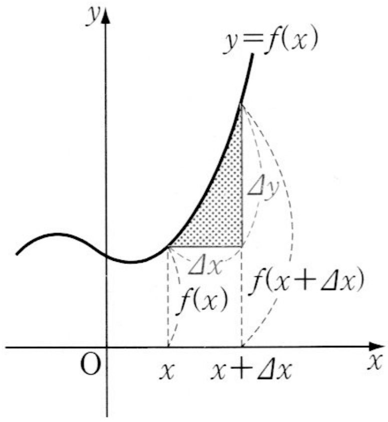
$1hp(horsepower,$ 영마력$) = 76\ kg_f m/s = 0.746kW = 550lb_f ft/s = 641.6kcal/h$

$1PS(pferdestarke,$ 불마력$) = 75\ kg_f m/s = 0.7355\ kW = 542.5lb_f ft/s = 632kcal/h$

1. 미분

함수 $y=f(x)$ 즉, y는 x의 함수(function)에서

$$y' = \lim_{\Delta x \to \infty} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \to \infty} \frac{f(x+\Delta x)-f(\Delta x)}{\Delta x}$$



를 x에 관한 y의 도함수라 하며,
도함수를 구하는 것을 함수$f(x)$를 x에 관하여 미분한다라고 한다.

-기호 : $y', f'(x), \frac{dy}{dx}, \frac{df(x)}{dx}, \frac{d}{dx}f(x)$

여기서$f'(x)$는 “f 프라임(prime) x"라고 읽는다.

-의미 : x인 점에서의 접선의 기울기

-응용: 접선의 기울기, 극대, 극소, 속도와 가속도, 시간에 대한 길이 또는 부피의 변화율

-미분법

함수		도함수(미분)
상수	$y=c$	$y'=0$
거듭제곱	$y=kx^n$	$y'=nkx^{n-1}$
로그	$y=\ln x$	$y'=\frac{1}{x}\ (x>0)$
지수	$y=e^x$	$y'=e^x$

예)$y=3x^4-5x^3+2x^2-7$

$y'=12x^3-15x^2+4x$

2. 적분

적분은 뉴턴(1643~1727)과 라이프니츠(1646~1716)의해 정립되고 $\int$ 기호는 라이프니치에 의해 창안되었고 적분 또는 인테그랄(integral)이라고 읽는다.

1)부정적분

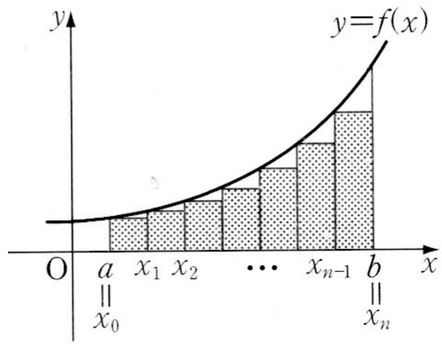
미분하여 함수 $f(x)$가 되는 함수 $F(x)$를 부정적분이라 하며, $F(x)$를 구하는 것을 적분이라 한다.

$$\int f(x)dx = F(x)+C$$ (단, C는 적분상수)

함수		적분
상수	$y=k$	$\int kdx=kx+C$
거듭제곱	$y=x^n$	$\int x^n dx=\frac{1}{n+1}x^{n+1}+C$
역수	$y=\frac{1}{x}$	$\int \frac{1}{x}dx=\ln x+C$
지수	$y=e^x$	$\int e^x dx=e^x+C$

2) 정적분

부정적분을 활용한 일정구간을 적분하는 방법을 정적분이라 하며, 어떤 도형의 면적이나 부피를 구할 때 사용한다.



$$\int_a^b f(x)dx=\lim_{n\to\infty}\sum_{k=1}^{n} f(x_k)\Delta x$$

a(아래끝)에서 b(위끝)까지 적분한다 라고 한다.

-의미: 곡선$f(x)$와 a와 b로 둘러쌓인 도형의 넓이

-응용 ; 넓이, 부피, 속도와 거리

-계산법

$\int f(x)dx=F(x)+C$ 일때

$$\int_a^b f(x)dx=[F(x)dx]_a^b=F(b)-F(a)$$

예) $\int_1^3 (6x^2-4x+3)dx$

$==[\frac{6}{3}x^3-\frac{4}{2}x^2+3x]_1^3$

$=(2\cdot3^3-2\cdot3^2+3\cdot3)-(2\cdot1^3-2\cdot1^2+3\cdot1)=42$