

보일러

[발전기 초]

발전교수실 명 주 홍
(0305-231/011-9625-8435)

제1절. 보일러 개요



Korea Power Learning Institute Myung Joo Hong

강 의 순 서

- Ø 제1절. 보일러 개요
- Ø 제2절. 순환보일러
- Ø 제3절. 관류보일러
- Ø 제4절. 보일러 구성요소
- Ø 제5절. 통풍장치
- Ø 제6절. 공기에열기
- Ø 제7절. 제매장치
- Ø 제8절. 안전밸브

열역학 기초편 : 단위계

○ 절대단위 : 길이, 질량(kg), 시간 $\Rightarrow$ CGS, MKS

※ 힘

$$1\text{dyne} = 1\text{g}\cdot\text{cm}/\text{s}^2$$

$$1\text{N} = 1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2 = 10^5\text{dyne}$$

○ 중력단위 : 길이, 힘(kgf), 시간

※ 힘[kg중, kgf] : 물체에 미치는 중력을 고려한 무게

$\Rightarrow$ 보통 공학단위에서는 힘을 kg으로 표시

$$1\text{kgf} = 1\text{kgm} \times 9.8\text{m}/\text{s}^2 = 9.8\text{kgm}\cdot\text{m}/\text{s}^2 = 9.8\text{N}$$

$$\text{※ 질량} = F/g = \text{kgf}/(\text{m}/\text{s}^2) = \text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}$$

※ g_C (단위환산계수) : 공학질량을 물리질량으로 환산

$$M[\text{kgm}] = G/g[\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}] \times 9.8[\text{kgm}\cdot\text{m}/\text{kgf}\cdot\text{s}^2]$$

※ 공학에서의 Gkg의 의미

① 힘 ② 무게 ③ g로 나누면 공학질량

열역학 기초편 : 온도 [t, T]

분자 운동에 의해 어떤 물질에 저장된 에너지

- 섭씨 (Centigrade ; °C) : 빙점 0°C, 비등점 100°C (100등분)
- 화씨 (Fahrenheit ; °F) : 빙점 32°F, 비등점 212°F (180등분)
 - ※ $t^{\circ}\text{C} = 5/9(t^{\circ}\text{F} - 32)$
 - ※ $t^{\circ}\text{F} = 9/5t^{\circ}\text{C} + 32$
- 절대온도 : -273.15°C를 0K(절대영도)라 하여 측정한 온도
 - ※ Kelvin 온도 : $T[\text{K}] = t^{\circ}\text{C} + 273$
 - ※ Rankine 온도 : $T[\text{R}] = t^{\circ}\text{F} + 460$
 - ※ 절대영도
 - 모든 분자활동이 정지되는 상태
 - 어떤 열도 빼낼 수 없는 상태
 - 자연계 내 시스템이 도달할 수 있는 가장 낮은 온도

열역학 기초편 : 열량 [Q]

온도차에 의해 이동되는 열에너지의 양

○ **kcal** : 물 1kg의 온도를 1°C 올리는데 필요한 열량

○ **BTU** : 물 1lb의 온도를 1°F 올리는데 필요한 열량
(British Thermal Unit)

○ **CHU** : 물 1lb의 온도를 1°C 올리는데 필요한 열량
(Centigrade Heat Unit)

※ $1\text{lb} = 0.4536\text{kg}$, $1^\circ\text{F} = 5/9^\circ\text{C}$

※ $1\text{BTU} = 0.252\text{kcal}$, $1\text{CHU} = 0.4536\text{kcal}$

○ **일과 열** : 1kcal의 열을 발생시키는데 4185.5J의 일이 필요
(Joule)

※ $1\text{kcal} = 4185.5\text{J} = 4185.5\text{N}\cdot\text{m} = 427\text{kgf}\cdot\text{m}$

※ **일의 열상당량** $A = 1/427\text{kcal/kgf}\cdot\text{m}$ [$Q=AW$]

※ **열의 일상당량** $J = 427\text{kgf}\cdot\text{m/kcal}$ [$W=JQ$]

열역학 기초편 : 비열 [C]

물 1kg을 1°C 높이는데 필요한 열량
[kcal/kg°C, BTU/lb°F, CHU/lb°C]

○ 열량과 비열과의 관계

※ $Q = G \cdot C \cdot \Delta t$ (가열시 온도변화가 생기는 현열의 경우)

○ 정적비열 C_v : 정적하에서 가열시 모든 열에너지는
내부에너지를 상승시키는데 사용

○ 정압비열 C_p : 정압하에서 가열시 내부에너지 상승 및
압력을 일정하게 유지하기 위한 팽창열

※ 기체 : $C_p = C_v + \text{열팽창 해당분}$

※ 액체, 고체 : $C_p \doteq C_v$ (가열에 따른 체적변화가 적음)

○ 열용량(Heat Capacity) = 비열 $\times$ 질량 [kcal/°C]

※ 낮 : 해풍 (바다→육지)

※ 밤 : 육풍 (육지→바다)

열역학 기초편 : 비체적, 밀도, 비중량

○ 비체적 (v)

※ 단위질량당 체적 : $v = V/M = 1/\rho$ [m^3/kgm]

※ 단위중량당 체적 : $v = V/G = 1/\gamma$ [m^3/kgf]

○ 밀도(ρ ; 비질량)

※ 단위체적당 질량 $\rho = M/V$ [kgm/m^3]

※ 물 = $1000\text{kgm}/\text{m}^3 = 102\text{kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ (4°C 최대밀도)

수은 = $13600\text{kgm}/\text{m}^3$

※ 비중 $S = \rho / \rho_{\text{물}}$

○ 비중량(γ)

※ 단위체적당 중량 $\gamma = G/V = Mg/V = \rho g$ [kgf/m^3]

※ 물의 비중량 = $1000\text{kgf}/\text{m}^3$

수은의 비중량 = $13600\text{kgf}/\text{m}^3$

열역학 기초편 : 압력 [P]

작동유체(액체,기체)가 단위 면적당 작용하는 수직방향의 힘
cf) 고체의 경우 응력(Stress)이라 함

○ $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$

$1\text{bar} = 10^5\text{Pa} = 1000\text{hPa} = 1000\text{mbar} = 1.0197\text{kg/cm}^2$

○ 물리기압 : 표준대기압

⇒ 0°C의 수은주 760mm의 무게에 상당하는 압력, 또는
해면을 기준으로 1cm²에 1.0332kg의 힘이 작용하는 것

※ $1\text{atm} = 1.0332\text{kg/cm}^2 = 760\text{mmHg}$
 $= 14.7\text{psi} = 1013.25\text{mbar}$

○ 공학기압 : 1kg의 힘이 1cm²에 단위면적에 작용하는 압력

※ $1\text{ata} = 1\text{kg/cm}^2 = 735.6\text{mmHg}$
 $= 14.2\text{psi} = 980.665\text{mbar}$

열역학 기초편 : 압력 [P]

- 게이지압력 : 대기압을 기준으로 측정한 압력
(**대기압은 게이지압력이 0kg/cm^2 , 진공도는 0%**)
- 진공압력 : 대기압 이하의 압력
- 진공도 : 진공압의 크기를 백분율로 나타낸 것
- **절대압력 : 완전진공(진공도 100%)을 기준으로 측정한 압력**



열역학 기초편 : 동력과 열역학법칙

1. 동력 (Power) : 단위시간당 행한 일량

○ $1\text{kW} = 102\text{kgf}\cdot\text{m/s} = 3600\text{kJ/h} = 860\text{kcal}$

○ $1\text{PS} = 75\text{kgf}\cdot\text{m/s}$

○ $1\text{HP} = 76\text{kgf}\cdot\text{m/s}$

※ $1\text{J} = 1\text{N}\cdot\text{m}$, $1\text{W} = 1\text{J/s}$

2. 열역학 법칙

○ 제0법칙 : 열평형의 법칙

$$Q = M_1 C_1 \Delta t_1 = M_2 C_2 \Delta t_2$$

○ 제1법칙 : 에너지보존의 법칙

$$Q = A \cdot W, \quad W = J \cdot Q$$

○ 제2법칙 : 열의 방향성 (비가역과정)

$$W \rightarrow Q \not\rightarrow W$$

○ 제3법칙 : 절대온도 $0\text{K}(-273^\circ\text{C})$ 에 이르게 할 수 없다

열역학 기초편 : 예제

[예제 1] 2000kg의 액체가 5m³의 탱크에 들어있다. 액체의 비체적, 밀도, 비중량 및 비중은?

[해설]

체적 $V=5\text{m}^3$,

중량 $G = 2000\text{kgf}$,

질량 $M=G/g \times g_c = 2000\text{kgm}$

① 비체적 $v = V/M = 5/2000 = 0.0025\text{m}^3/\text{kgm}$

② 밀도 $\rho = M/V = 2000/5 = 400\text{kgm}/\text{m}^3$

③ 비중량 $\gamma = G/V = 2000/5 = 400\text{kgf}/\text{m}^3$

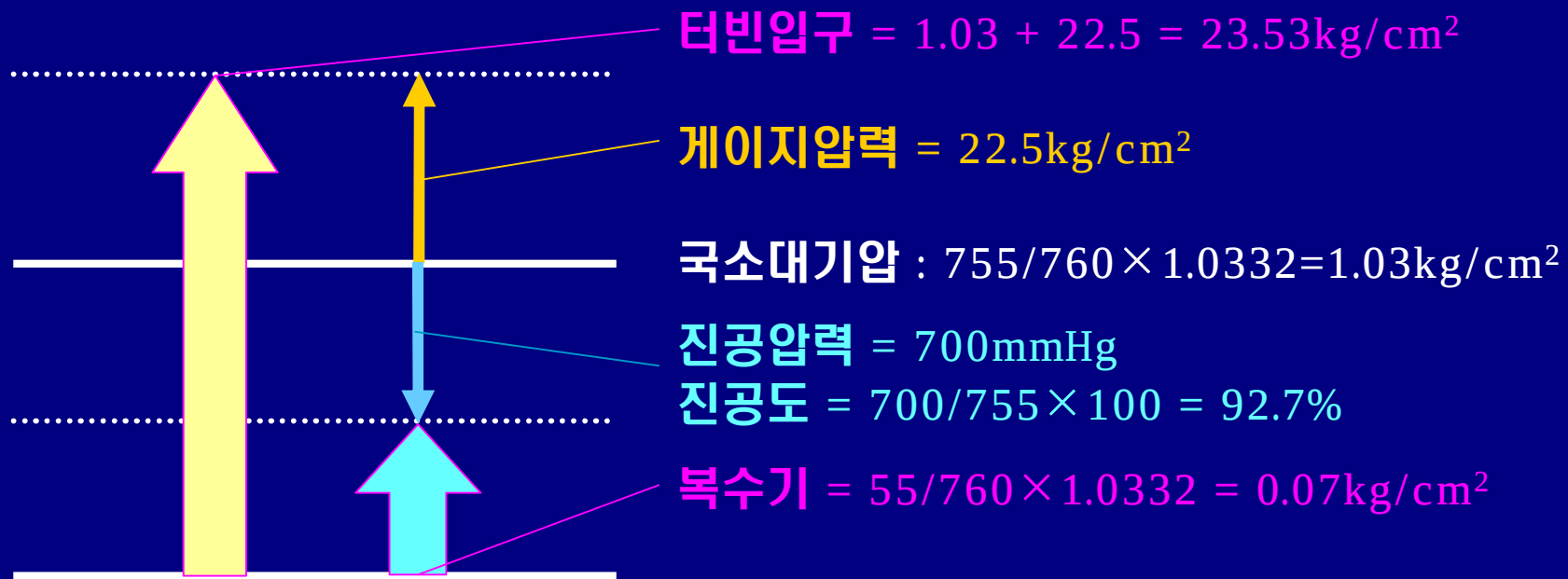
④ 비중 $S = \rho / \rho_{\text{물}} = 400/1000 = 0.4$

열역학 기초편 : 예제

[예제 2] 증기터빈 입구 증기의 계기압력이 22.5kg/cm^2 , 복수기 압력이 700mmHg 진공, 단 실내의 기압계는 755mmHg 일 때, 터빈 입구 및 복수기의 절대압력은?

[해설]

- ① 터빈입구 절대압 = $755/760 \times 1.0332 + 22.5 = 23.53\text{kg/cm}^2$
- ② 복수기 절대압 = $(755 - 700)/760 \times 1.0332 = 0.07\text{kg/cm}^2$



제1절. 보일러 개요

- 보일러 정의
- 보일러 전열과정
- 물의 비등 현상
- 보일러 효율 계산

1. 보일러의 정의

■ 정 의

증기발생장치, 즉 연료의 연소열을 이용하여 물을 가열하므로써 터빈에 필요한 증기를 생산

■ 구 성

- ☐ 본체 : 수냉벽, 과열기, 재열기, 절탄기
- ☐ 연료연소설비 : 연료 저장, 공급, 연소
- ☐ 통풍설비 : 연소용 공기공급, 배기가스 배출
- ☐ 급수설비 : 보일러에 물 공급
- ☐ 자동제어장치 : 연료, 공기, 급수 자동조정
- ☐ 기타 부속설비

1. 보일러의 정의 : 드럼형 보일러

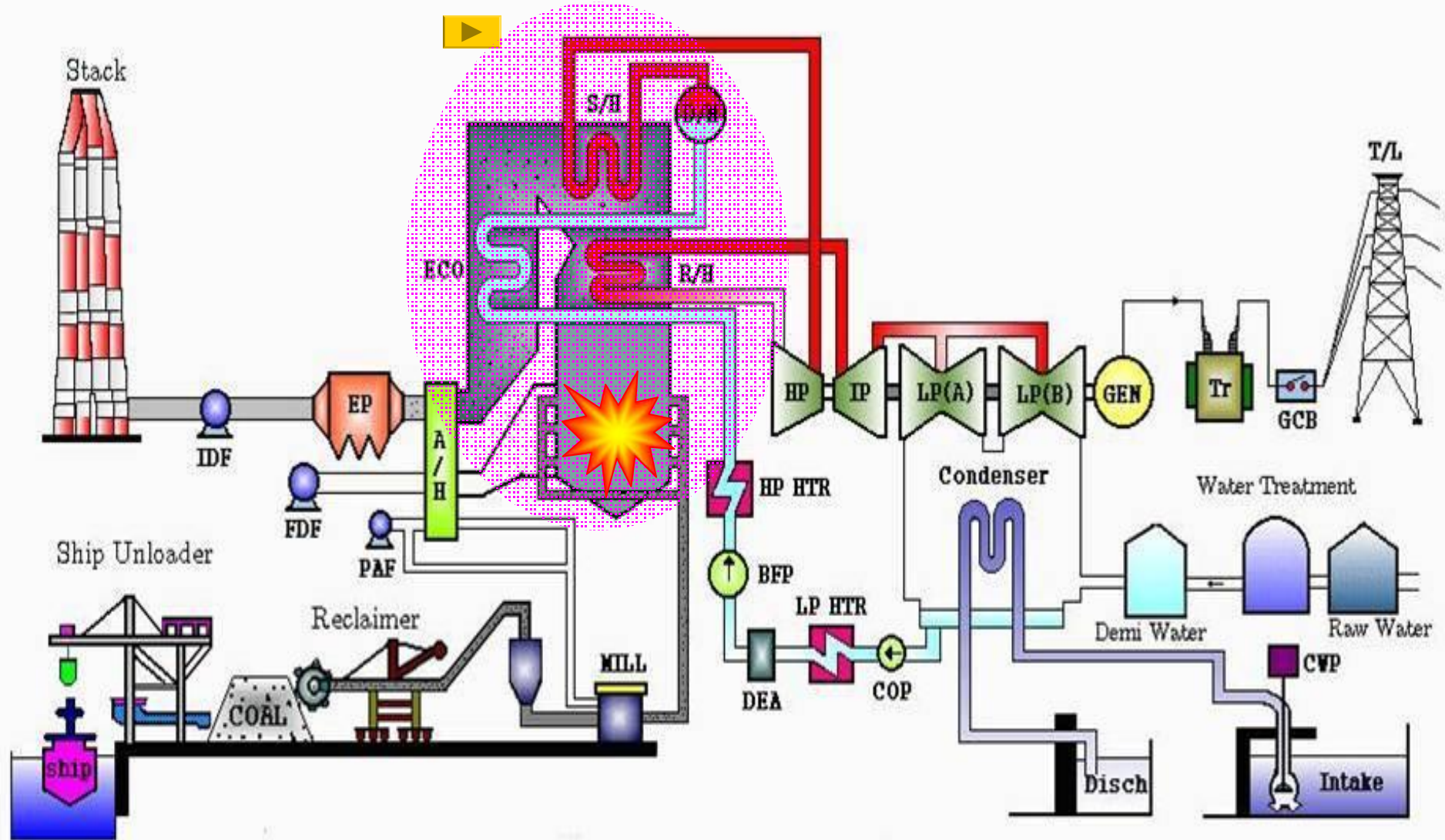
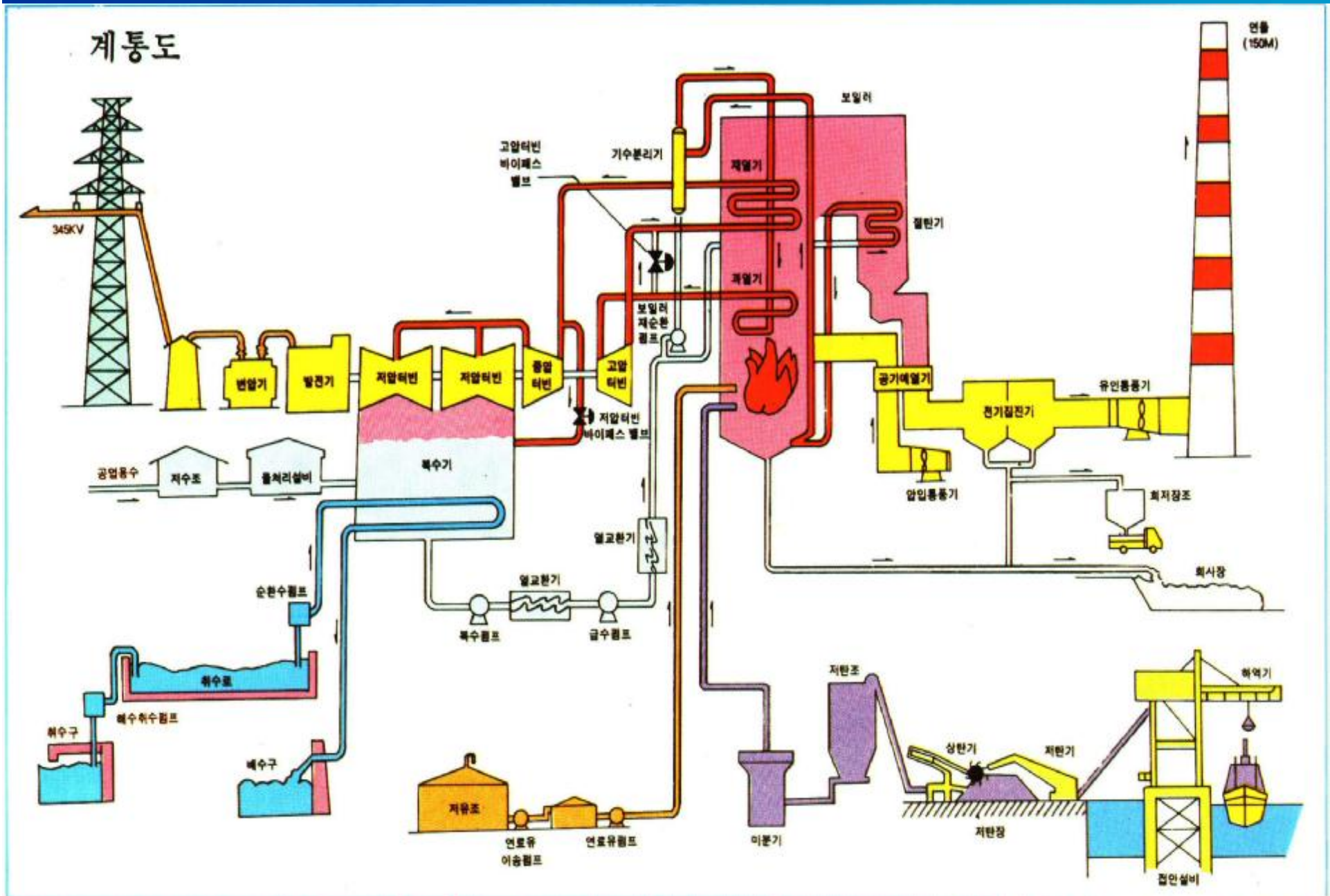


Fig. 1 Flow Diagram of Generating System Samchonpo #4 Unit

1. 보일러의 정의 : 관류 보일러



2. 전열과정

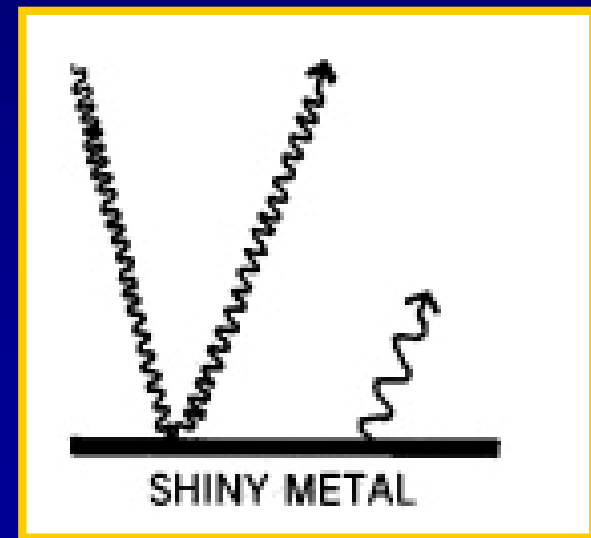
■ 복사 ; Radiation

- 고온부에서 저온부로 전자기파에 의한 전열과정
- 전열량은 고온부와 저온부 온도의 4승차에 비례
- 복사전열 : 수냉벽, 과열기 및 재열기 일부
- 수냉벽에서 복사전열량은 전체 전열량의 약 50%
- Stefan - Boltzmann's Law

$$Q = \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

σ : S-B의 상수(Kcal/hm²K⁴)

A : 전열면적



2. 전열과정

■ 전도 ; Conduction

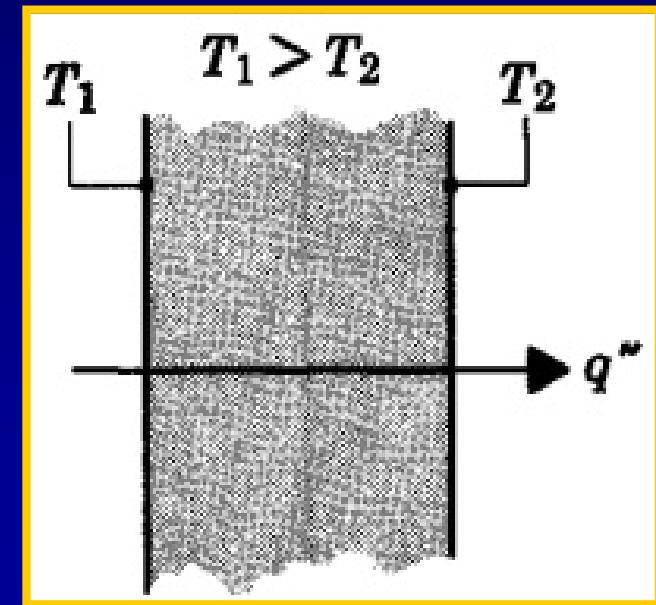
- 고온부에서 저온부로 물체 구성분자의 운동에 의한 전열과정
- 전열량은 전열면적과 온도차에 비례
- Fourier's Law

$$Q = \frac{K A (T_1 - T_2)}{L}$$

K : 열전도 계수(Kcal/hm°C)

A : 전열면적

L : 전열면 두께



2. 전열과정

■ 열전도계수 (Kcal/hm°C)

v 은 : 353

v 구리 : 332

v 알루미늄 : 174

v 순철 : 63

v 탄소강 : 37

v 18Cr8Ni : 14

v 수정 : 35.3

v 유리 : 0.7

v 수은 : 7.05

v 물 : 0.49

v 공기 : 0.02

v 수증기 : 0.017

2. 전열과정

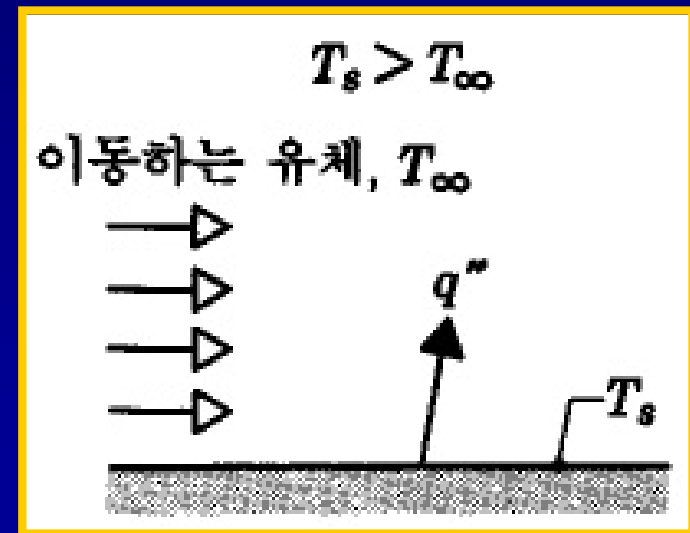
■ 대류 ; Convection

- 유체의 유동에 의한 열의 전열과정
- 전열량은 전열면적과 온도차에 비례
- 대류전열 : 보일러 후부 통로에 설치된 과열기, 재열기, 절탄기 및 공기예열기에서 이루어짐
- Newton's Law

$$Q = H A (T_1 - T_2)$$

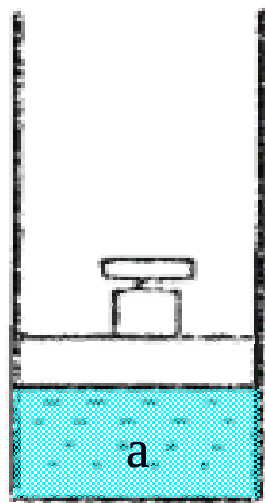
H : 열대류 계수(Kcal/hm²°C)

A : 전열면적



3. 물의 임계압 특성

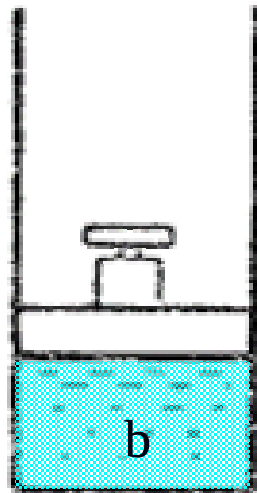
■ 등압 하에서의 물의 증발



압축액

$$T_a < T_s$$

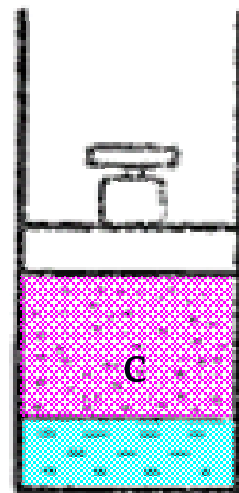
$$X = 0$$



포화액

$$T_b = T_s$$

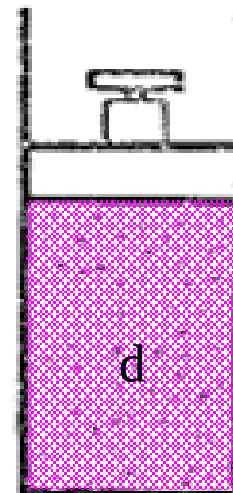
$$X = 0$$



습(포화)증기

$$T_c = T_s$$

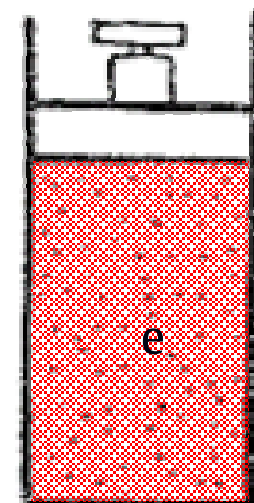
$$0 < X < 1$$



건포화증기

$$T_d = T_s$$

$$X = 1$$



과열증기

$$T_e > T_s$$

$$X = 1$$

3. 물의 임계압 특성

■ 등압 하에서의 물의 증발

- 포화온도: 주어진 압력에서 상변화가 일어나는 온도
- 포화액 : 포화온도에 이른 액체
- 포화증기(습증기) : 포화온도 및 포화압력하에서 액체와 증기가 서로 공존하는 상태
- 건도 : 습증기 1kg 중 (x)kg이 증기이고 (1-x)kg이 액체이면, x를 건도 또는 습증기의 질, 1-x를 습도라 함
- 과열증기 : 포화온도 이상으로 가열된 증기
- 과열도 : 과열증기의 온도와 포화온도와의 차
- 압력을 높이면
 - ⇒ 포화온도는 상승
 - 포화액의 체적은 증가(비중량은 감소)
 - 건포화증기의 체적은 감소(비중량은 증가)

3. 물의 임계압 특성

■ 현열과 잠열

- **잠열** : 물질이 온도·압력의 변화를 보이지 않고 평형을 유지하면서 **상변화**를 일으킬때 흡수 또는 발생하는 열



- 물의 증발열
⇒ 물 1kg을 증발시키는데 필요한 열량 = 539kcal/kg
- 얼음의 융해열
⇒ 1kg의 얼음을 녹이는 데 필요한 열량 = 80kcal/kg

- **현열** : 온도의 변화로 나타나는 열

- 열량 = 질량 × 비열 × 온도차

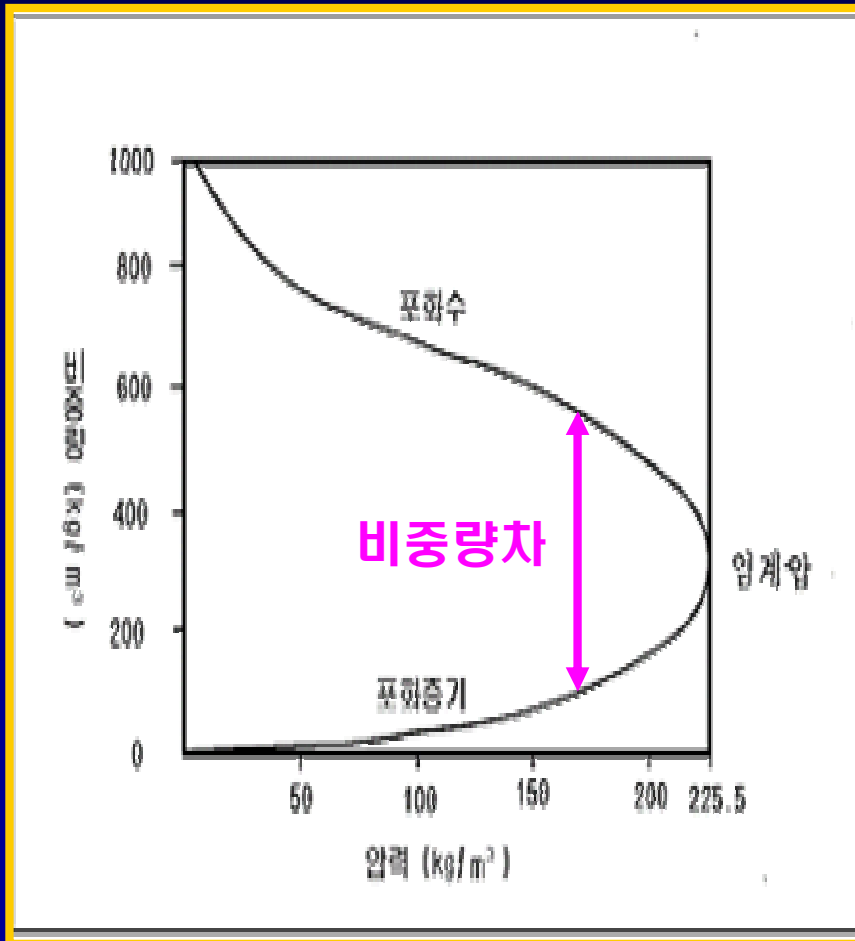
3. 물의 임계압 특성

■ 임계점 (Critical Point)

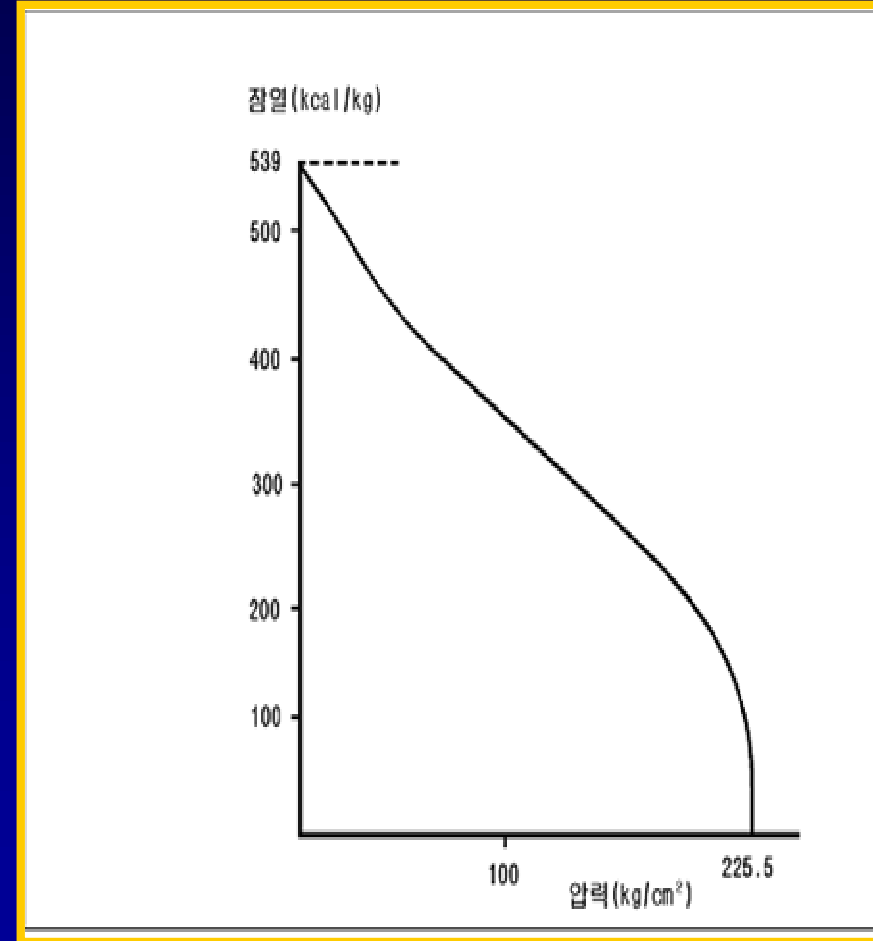
- 보일러의 압력을 높여 가열하면 습증기의 체적 팽창범위가 점차 작아져 “0” 이 되고, 증발이 시작되는 점과 끝나는 점이 일치하는데 이점을 임계점이라 함
- 물의 포화액선과 포화증기선이 만나는 점
- 포화수와 포화증기의 비체적과 비중량은 같다
 - 임계압력 : 225.65 kg/cm^2
 - 임계온도 : $374.15 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - 증발잠열 : 0 kcal/kg

3. 물의 임계압 특성

■ 압력과 비중량



■ 압력과 증발잠열



4. 물의 비등

■ 핵비등 (Nucleate Boiling)

- 비등이란? 물이 금속과의 공유면에서 증발
- 핵비등이란 포화상태에서 열부하가 더 증가되면 튜브내면에서 증기가 발생하는 현상
- 임계열부하점
CHF (Critical Heat Flux)
DNB (Departure from Nucleate Boiling)
 - 핵비등을 유지하는 최대의 열부하
 - 가열표면에서 기포가 발생하는 순간에 급속히 유체속으로 흘러 들어가므로 열전달률이 높음

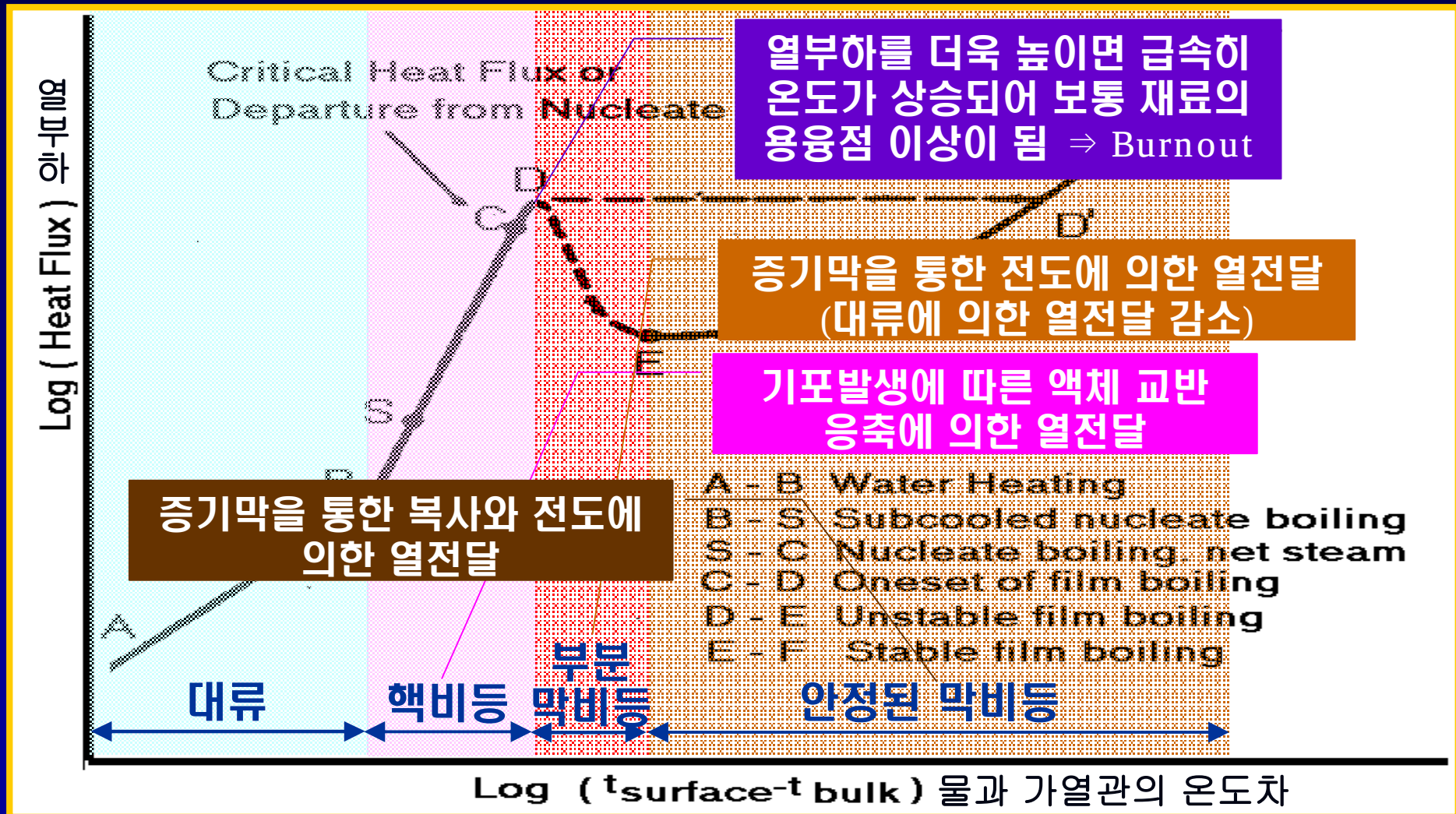
4. 물의 비등

■ 막비등 (Film Boiling)

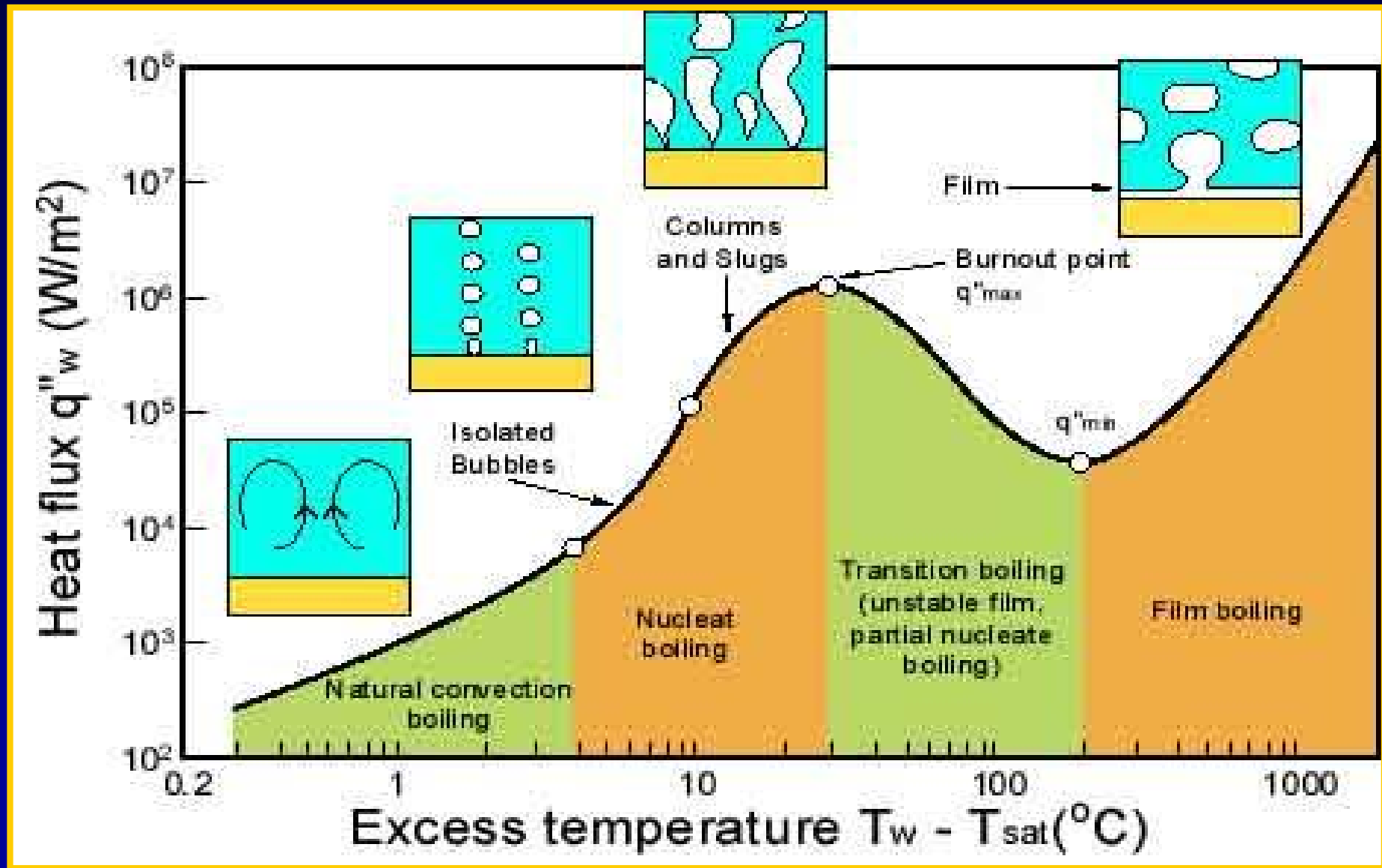
- 가열된 튜브 내면에서 연속적 기포가 발생하여 튜브 내면이 증기막으로 쌓이는 상태
- 증기는 물보다 열전달율이 낮음(약 1/25배)
⇒ 막비등이 발생되면 튜브의 온도가 급격히 상승되어 과열 우려
- 관류형 : 약간의 막비등 허용
- 순환형 : 노의 고온부에 발생하는 경우가 있음

4. 물의 비등

■ Pool 비등선도



4. 물의 비등



5. 보일러 효율

■ 보일러 효율

- 발전용 보일러 효율은 약 90% 정도
- 보일러에서 증기를 발생하는데 이용된 열량과 연료가 완전연소 할 때 발생한 열량과의 비

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{실제 발생 열량}}{\text{완전연소시 발생 열량}} \times \frac{\text{증기에 전달된 열량}}{\text{실제 발생 열량}} \\ &= \text{연소효율} \times \text{전열효율} \\ &= \frac{\text{증발량} \times (\text{증기엔탈피} - \text{급수엔탈피})}{\text{연료소비량} \times \text{연료발열량}} \times 100(\%) \end{aligned}$$

5. 보일러 효율

■ 보일러 용량 (참고)

□ 표시방법

단위시간당 증발량(ton/hr), 전열면적(m²),
연소실 체적(m³), 보유수량(ton)

□ 상당 증발량(Ge)

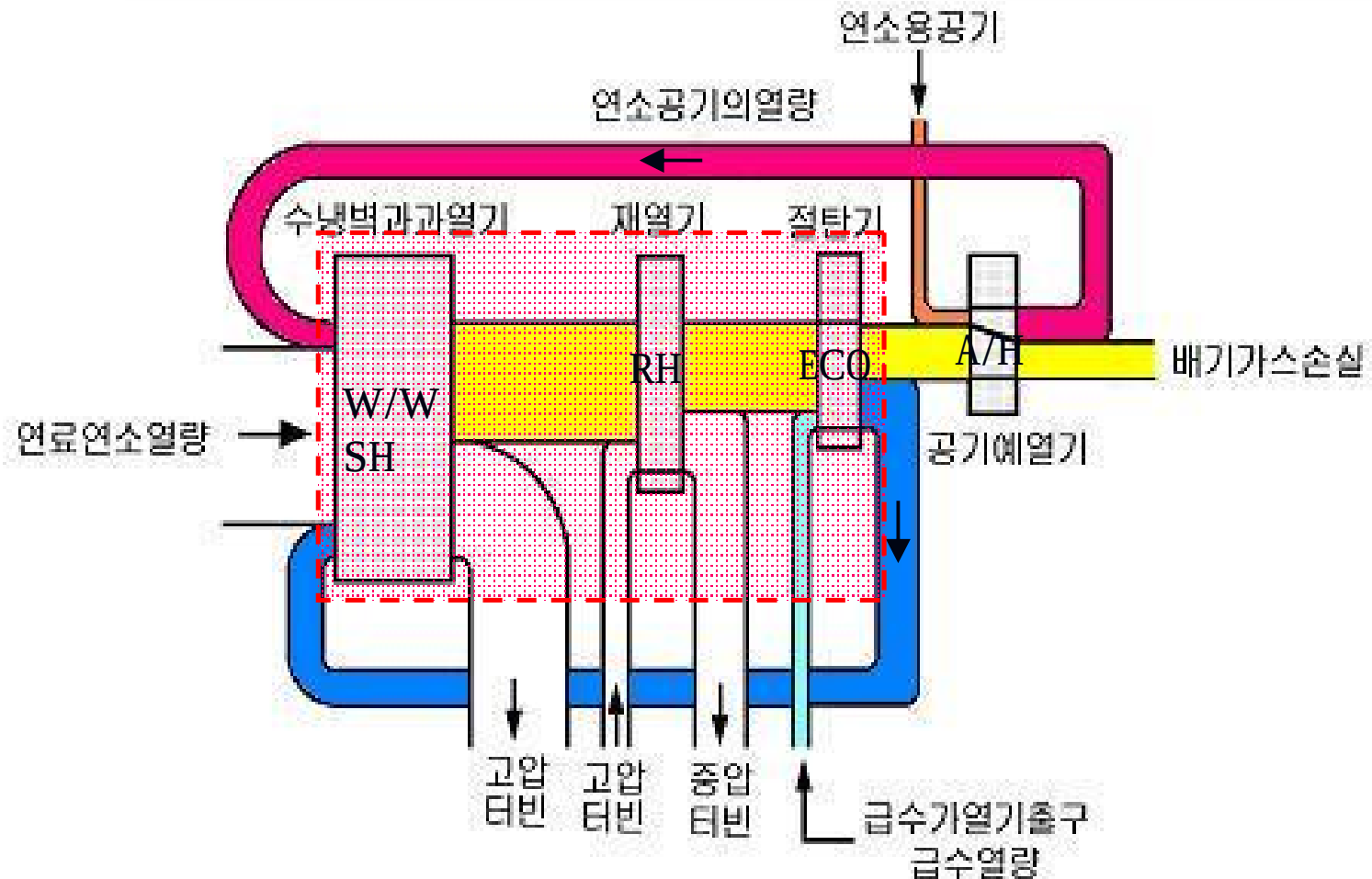
실제 물이 흡수한 열량의 대소로써 보일러의 크기를 표시하는데, 즉 대기압 하에서 100℃의 물이 같은 온도의 증기를 발생시킨다고 보고 이때의 증발량을 나타냄

$$Ge = G \frac{i_2 - i_1}{539} \text{ kg/hr}$$

i_2 : 발생증기(과열기 출구) 엔탈피

i_1 : 급수(절탄기 입구) 엔탈피

5. 보일러 효율



제1절. 보일러 개요

KPLI Korea Power Learning Institute Myung Joo Hong

5. 보일러 효율

■ 보일러의 열손실 : 약 10% 정도

- ☐ 건배기가스 손실(석탄)
- ☐ 미연탄소 손실
- ☐ 연료 중의 수분 손실
- ☐ 연료 중의 수소연소에 의한 수분 손실(유류,가스)
- ☐ 연소용 공기 중의 수분 손실
- ☐ 분무용 증기 손실
- ☐ 일산화탄소(CO) 생성에 의한 열손실
- ☐ 복사 및 대류손실(방열손실)
- ☐ Ash Pit 열손실
- ☐ 미측정손실(고체연료 0.5%) + 제작사 여유분(1%)

5. 보일러 효율

■ 열손실 저감대책

- ☐ 각종 Drain 및 Blow Down 밸브 조작에 유의
- ☐ Steam Trap 관리 철저히 증기 배출 방지
- ☐ 보조증기 낭비 억제
- ☐ 각종 누설처 점검(물, 증기, 공기, 가스)
- ☐ 적정 과잉공기 운전

6. 발전용 보일러의 종류

■ 순환 보일러 (Circulation Boiler)

- ☐ 자연순환 : 보령#1·2, 호남, 영동, 여수, 영남
- ☐ 강제순환 : 삼천포#1~4, 서천#1·2, 서울#5

■ 관류 보일러 (Once Through Boiler)

- ☐ Benson : 울산#1~3
- ☐ 초임계압(SC; Sulzer) : 표준 석탄화력 보일러
 - 주증기 압력 246kg/cm^2 (241bar)
- ☐ 초초임계압(USC; Ultra Super Critical) : 당진#5·6
 - 주증기 압력 246kg/cm^2 초과하거나
 - 주증기 온도 566°C 초과(593°C 이상)

6. 발전용 보일러의 종류

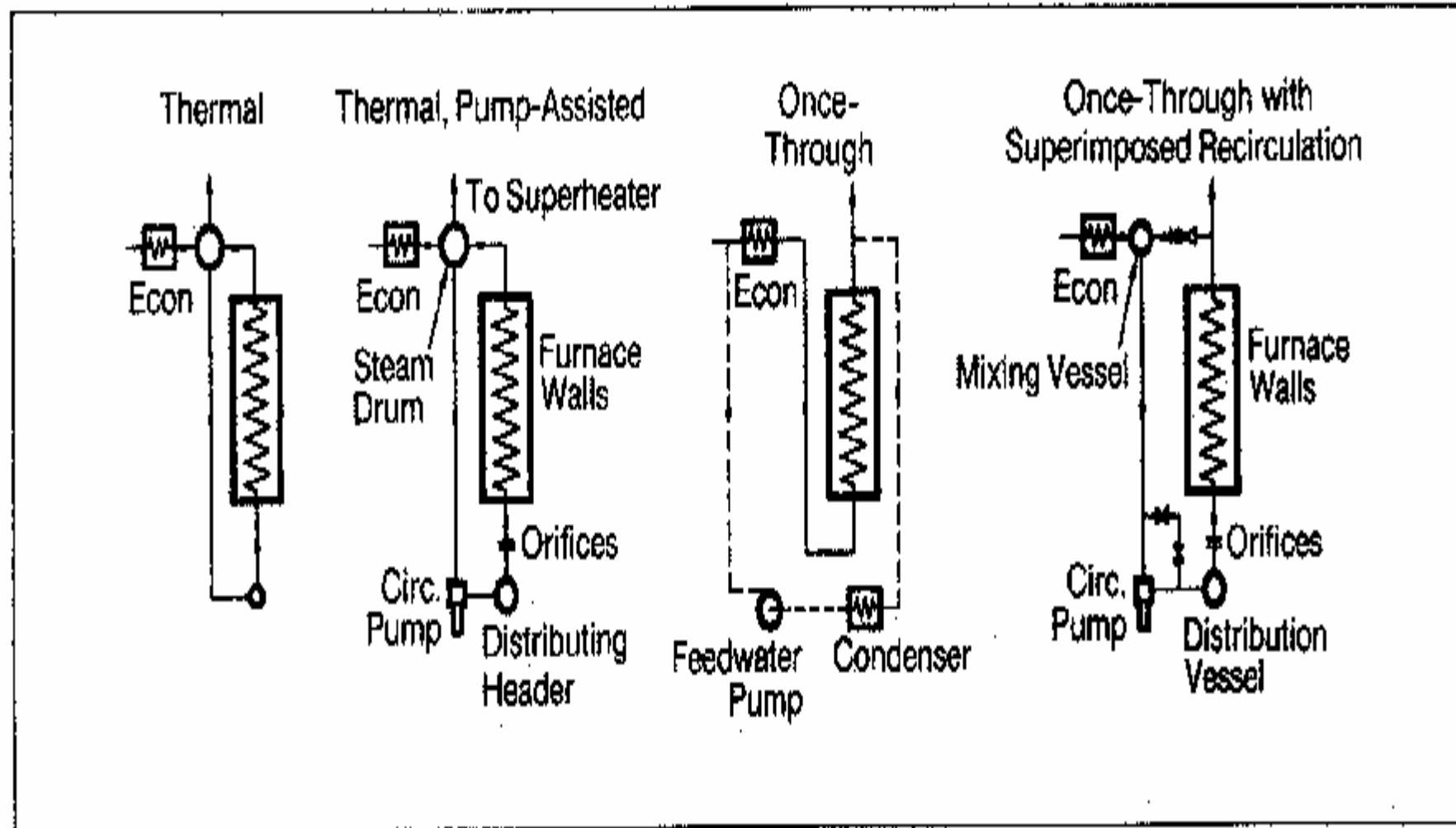


Fig. 7 Steam-generator circulation systems

