

連載

지역 난방 시스템(Ⅱ) District Heating System(Ⅱ)

오 후 규
H. K. Oh
부산수산대학교 냉동공학과

2. 중앙 열발생 플랜트의 구성과 운전방법

기호

C_D : 연소가스의 비열

$C_{R,K}$: 식에 의한 계수

H_u : 연료의 저발열량(kJ/kg)

h_G : 배기의 엔탈피

h_G : 배기복수의 엔탈피

Δh_m : 제 m단 예열기에서의 급수 엔탈피 증가량

Δh_{sk} : 단군 h까지의 등온엔탈피 강하

K_G : 가스터빈 발전소의 연간비용

K_{HKW} : 열병합 발전소의 가격

K_{HW} : 난방전용 플랜트의 가격

K_{QS} : 시스템 열발생 비용

k_B : 연료비

$k_{B,0}$: 연료 단가

$k_{B,R}$: 갈탄의 단가

k_E : 전력단가

$k_{E,gl}$: 가스터빈 설비와 증기터빈 설비와의 연간비용을 같게 하기 위한 비

$k_{E,gl}$: 난방전용 플랜트와 가스터빈 플랜트

의 연간 발전비용을 같게 하기 위한 비

k_G : 가스터빈 열병합 발전소의 단위설비 전기출력당 설비비

k_H : 난방전용 플랜트의 연간비용

k_{HW} : 설비비

k_{HWK} : 증기터빈 열병합 발전소의 단위설비 전기출력당 설비비

\dot{m}_{BN} : 연료 소비량

$\dot{m}_{E,N}$: 제 n단 추기구에서의 증기유량

\dot{m}_F : 발생증기유량

\dot{m}_I : 보일러 출구 증기유량

\dot{m}_G : 열교환기의 소요증기량

\dot{m}_{GC} : 추기배압터빈내의 임의점에서의 증기유량

\dot{m}_N : 배관망내 고온수유량

\dot{m}_R : 재생증기량

n : 예열기 대수

P : 정미 전기출력

P' : 열병합 발전소에서 전력만을 발생한 경우의 최대전기출력

P_G : 발전기 접속단에서의 증기터빈 출력

- P_G : 가스터빈 발전소의 시간당 전기출력
 $P_{G,max}$: 가스터빈 발전소의 최대전기출력
 P_H : 증기량 m_H 에서 얻은 전력
 P_{HKW} : 증기터빈 발전소의 시간당 전기출력
 $P_{HKW,max}$: 증기터빈 발전소의 최대전기출력
 P_K : 복수 증기량에서 얻은 전력
 P_R : 총재생 증기량에서 얻는 전력
 p : 단군수
 p_A : 추기압
 p_{AO} : 어떤 추기 취출구에서의 증기압력
 p_G : 배기압
 p_H : 추기압
 P_{min} : 고온수 시스템의 소요최저압력
 p_s : 포함압력
 \dot{Q}_H : 열병합발전소의 지역열공급용 열출력
 \dot{Q}_{HKW} : 열병합발전소의 연료 열소비량
 \dot{Q}_{HW} : 난방전용 플랜트의 출력 분담분
 \dot{Q}_{inst} : 난방전용 플랜트의 설비용량
 \dot{Q}_K : 복수기 열출력
 $\dot{Q}_{max,S}$: 시스템의 최대열부하
 \dot{Q}_{min} : 난방전용 플랜트의 최소출력
 $\dot{Q}_{zu,G}$: 열공급 발전소로로의 (연료)공급열량
 $\dot{Q}_{zu,HKW}$: 배압터빈 열병합발전소의 (연료) 공급열량
 q : 段群 k 까지의 추기수
 q_e : 단위발전량당 연료소비량
 q_e^* : 식에 의한다.
 q_H : 가스터빈 사이클의 난방용 열출력
 q_m : 제 m 단예열기에서의 증기방출열량
 q_{zu} : 가스터빈으로의 공급열량
 $T_1 \sim T_4$: 가스터빈 사이클 각부의 온도
 T_{an} : 동가급수 예열기의 출구급수온도
 ΔT_{HKO} : 추기이용 온수용 열교환기에서의 증기와 온수의 온도차
 ΔT_{HKn} : 배기이용 복수기(온수용 열교환기)에서 증기와 온수의 온도차
 T_k : 동가급수 예열기의 입구급수온도
 $T_{m,zu}$: 프로세스용으로 공급되는 증기의 평균온도
 t_A : 압력 p_A 에서의 복수온도(포화온도)
 t_G : 압력 p_G 에서의 복수온도
 $t_H(T_H)$: 열교환기 출구 배가스온도
 t_{max} : 고온수 보일러 출구최고온도
 t_R : 복수기 입구온도
 $t_{A(2)}$: 제1단 (제2단)열교환기출구온수온도
 V_i : 습배가스 체적
 w : 가스터빈 사이클의 일량
 $x_{k,j}$: 접속비
 z : 연간고정비용
 α : 시스템의 최대열출력 $Q_{H,max}$ 에 대한 열병합발전 플랜트의 열출력비
 α_Q : 열에 대한 비용분배계수
 β : 최대열출력 $Q_{H,max}$ 에 대한 기간열출력 Q_H 의 비
 ϵ : 증비터빈 및 가스터빈에 의한 열병합발전을 비교한 경우 연료절약량
 η_B : 연소기효율
 η_{DE} : 보일러 효율
 η_E : 발전설비의 열적 효율
 η_{Eb} : 전력의 단독수요를 생각했을 때의 지표
 η_G : 발전기효율
 η_{jk} : k 에 대한 내부효율
 η_k : 복수기효율
 η_L : 열전도, 방사, 대류에 의한 손실을 나타내기 위한 열효율
 η_m : 증기터빈의 기계효율
 η_T : 터빈효율
 $\eta_{th,k}$: 복수프로세스의 열효율
 η_V : 가스터빈용 공기압축기의 압축효율
 x : 비열비
 λ : 공기비
 π : p_3/p_4
 σ_H : 발전에 대한 전력평가지수
 η_{HKW} : 전력평가지수
 σ_K : 복수기발전의 전력평가지수
 σ_R : 재생증기에 의한 전력평가지수

- τ : T_3/T_1
- τ_B : 운전시간수
- τ_b : 전부하 상당시간
- τ_H : T_H/T_1
- $\tau_{p,m}$: 배관망내의 온수 평균비열
- ϕ_{HKW} : 연료열소비계수(무차원)

2.1 기술상의 기본구상에 대한 영향인자

지역난방용 열발전플랜트의 기술상 기본구상과 그 지역설정이란 것은 열수요자의 요구, 경제상의 입장, 환경보전에 관한 규정과 기술자 및 지역적인 경계조건에 따라 결정된다. 기술적으로 가능한 해결책을 찾기 위한 의논의 출발점은 1차에너지로서 무엇을 자유롭게 사용할 수 있을까 하는 것이다. 소비에너지 및 유효에너지를 고려하기 위하여 그림 2.1에 에너지 전환 계열을 표시하고 있다. 또,

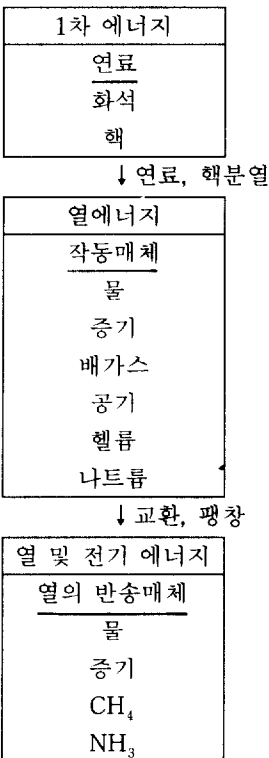


그림2.1 1차 에너지와 사용에너지(유효에너지) 전환의 흐름

열부하 상태의 특성을 얻는데는 기존의 지역난방설비의 열발생용량을 고려한 후에 열부하량과 구성, 공급지역 전체의 열부하 밀도가 결정적인 요소가 된다. 동시에 시스템의 조합에 가능한 구성방법에 관해서도 고려해야만 한다.

플랜트 설치장소의 선정에 대한 최대의 영향인자는 공공적인 교통망과 냉각수의 공급설비를 용이하게 이용할 수 있는가 하는 것이다. 도시의 건조물과 건축가와의 이해관계, 통풍을 위한 굴뚝의 높이에 대한 제한에 관해서도 배려해야만 한다.

2.2 난방전용 플랜트

2.2.1 기본구성

난방전용 플랜트는 사용에너지 형태로서는 열만을 만들고 있다. 주요기기의 종류에 따라서 난방전용 플랜트는 증기보일러와 고온수보일러로 나누어진다. 조합 운전방법으로서 열펌프에 의한 난방전용 플랜트의 도입도 기대할 수 있다.

우선 열공급용 난방전용 플랜트는

- 열출력 $Q \leq 200 \sim 300MW$ 의 독립된 공급지역용인 것.

- 피크 열부하를 보조하기 위해 열공급 발전플랜트와 조합 운전을 하는 것으로 구분되며, 또한 독립 난방전용 플랜트와 피크 부하용 난방전용 플랜트로 나누어진다. 열부하의 특성에 따라 다음과 같은 것이 요구된다.

(1) 독립난방전용 플랜트

① 최소출력 \dot{Q}_{min}

플랜트의 설치 열출력을 \dot{Q}_{inst} 라 하면
난방용 $\dot{Q}_{min} = 0.05inst$

난방 및 급탕용

$$\dot{Q}_{min} = 0.01 \sim 0.25 \dot{Q}_{inst} \text{ 난방기간용}$$

$$0.05 \sim 0.10 \dot{Q}_{inst} \text{ 난방기간 외}$$

산업용 열공급 \dot{Q}_{min} 난방기간 외는 별도로 조사해야 한다.

② 전부하 상당시간

$$\tau_b = 1,800 \sim 2,500 \text{ h/a}$$

(2) 피크부하용 난방전용 플랜트

① 출력분담

$$\dot{Q}_{HW} = 0.4 \sim 0.6 \dot{Q}_{max,s} (\text{器 열 장치 없음})$$

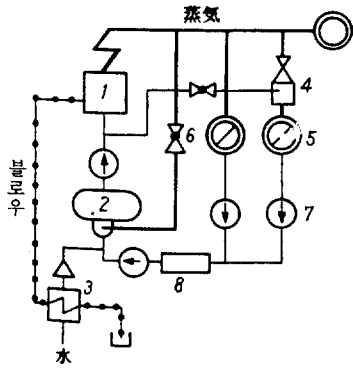
② 운전시간수

$$\tau_B = 500 \sim 3,000 \text{ h/a}$$

③ 전부하상당 시간

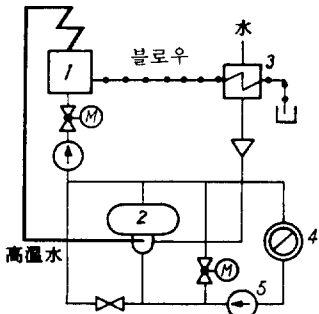
$$\tau_b = 60 \sim 1,000 \text{ h/a}$$

난방전용 플랜트는 고정식 플랜트와 이동식 또는 가반식(可搬式) 플랜트로 나눌 수 있다. 가반식 플랜트의 최대출력은 약 12MW이다.



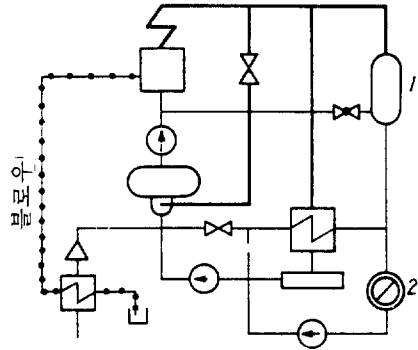
1. 보일러 2. 탈기기겸 급수탱크 3. 급수에열기 4. 감압밸브 5. 증기소비장소 6. 감압밸브 7. 펌프 8. 훗엘

그림 2.2 증기 배관망과 각종 수요가측 구조를 가진 난방전용 플랜트



1. 보일러 2. 혼합형 예열기 3. 급수에열기 4. 열소비장소 5. 펌프

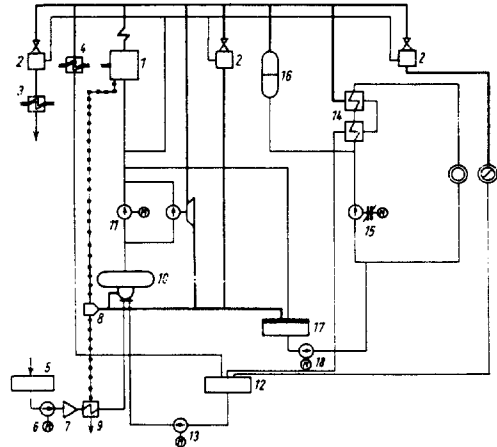
그림 2.3 고온수 배관망과 혼합형 예열기가 있는 난방전용 플랜트



1. 열교환기 2. 열소비장소

그림 2.4 고온수 배관망과 열교환기가 있는 난방전용 플랜트

보일러의 종류에 따라서 기본구성이 구별된다. 그림 2.2에서 그림 2.4까지는 증기보일러에 의한 난방전용 플랜트에 대해 생각되어 지는 구성의 개요를 표시한 것이다. 그림 2.5는 증기보일러에 의해 증기 및 고온수를 공급하는 난방전용 플랜트의 상세를 나타낸 것이다.



1. 증기보일러 2. 감압 station 3. 연료유공급 설비 4. 연료유예열기 5. 원수탱크 6. 원수펌프 7. 화학적수처리장치 8. blow 장치 9. blow 냉각기 10. 급수탱크 11. 보일러급수탱크 12. 응축수탱크 13. 응축수펌프 14. 열교환장치 15. 배관계순환펌프 16. 압력보수변 팽창탱크 17. 배관계용저수장치 18. 배관계급수펌프

그림 2.5 증기 및 고온수 공급용 증기보일러를 가진 유연난방전용 플랜트의 열계통도

[역주](그림 2.5)

- 1) 보일러 보급수는 연속 blow-off에 의해 열교환기 9로서 예열함과 동시에 탈기 10으로 보낸다.
- 2) 17은 증기가압형 배관망형 고온수 보급수 탱크이고, 탈기 10을 통한 보일러 급수계통에서 물을 보급하고 있다.
- 3) 16은 고온수가압탱크이고, 증기가압을 하고 있다.
- 4) 열교환기 14는 지역난방용 고온수부하 ㉔에 도달한다.
- 5) ㉔는 증기부하이고, 감압감온기 2에서 저압으로 만든 증기를 공급하고 있다.
- 6) 보일러는 먼저 전동급수펌프 11을 운전하

고, 급수하여 기동하며, 항상 우측의 증기 터빈 구동으로 급수펌프를 운전한다.

- 7) 연료유는 감압감온기 2를 경유해 저압증기로서 예열 후, 열교환기 4에서 고압증기로 가열하고, 보일러의 버너로 공급된다.

열교환기에는 보일러 출구증기를 공급하고 있다. 연료유 공급장치의 가열과 보일러 급수의 열적인 방법에 의한 脫氣에는 보일러 출구증기를 감압시켜 사용하고 있다. 난방전용 플랜트의 발생증기 압력은 1.4~2.5 MPa이고 그 온도는 고온인 300℃이다. 그림 2.6에 증기보일러 6대를 설치한 난방전용 보일러의 열계통도를 표시하고 있다. 그림 중에는 열적 상태량 외에 에너지량 및 유량도 표시하고 있다.

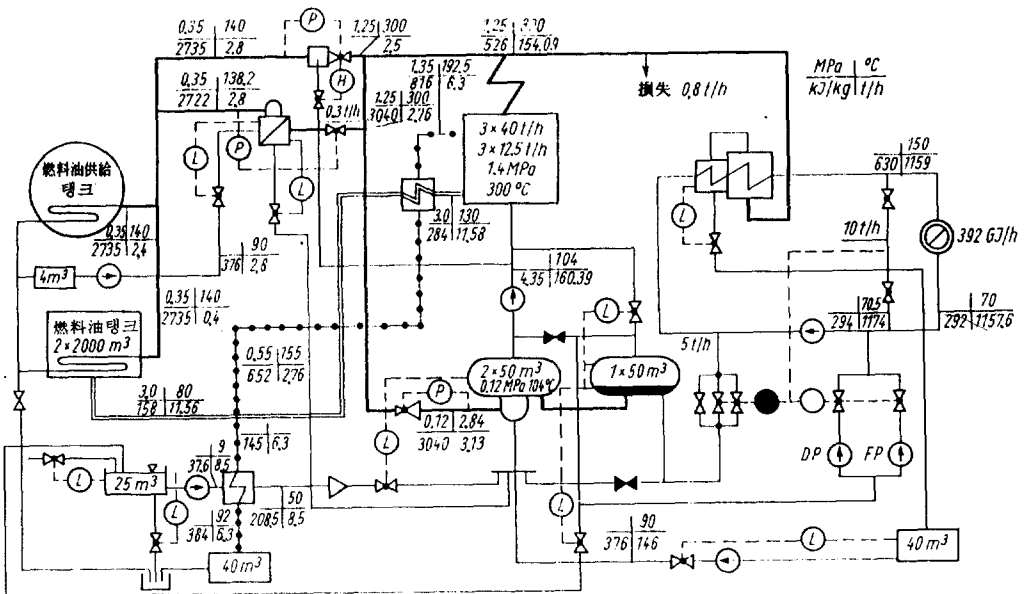


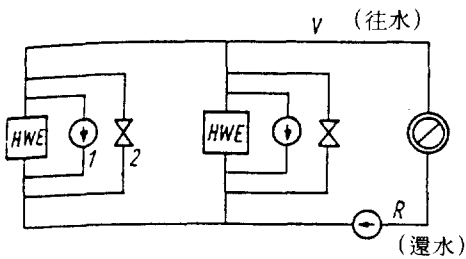
그림 2.6 하이테나우 증기보일러 제조회사의 증기보일러(3×40 t/h 및 3×12.5 t/h)를 설치한 난방전용 플랜트의 열 계통도

[역주](그림 2.6)

- 1) 보일러 사양은 압력 1.4MPa, 온도 300℃의 증기를 발생하게 되어 있지만, 프로세스의 상용압력은 1.25MPa, 온도 300℃, 엔탈피 526kJ/kg, 유량은 154.09t/h이다.

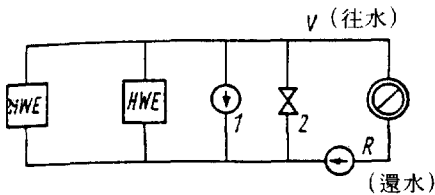
- 2) 우측의 ㉔은 지역난방용 고온수 수요가이고, 입구수는 150℃, 출구수는 70℃, 유량 1,159 t/h이다.
- 3) 고온수 가열용 열교환기의 제어는 응축수 수위를 액면조절기 ㉑로 하고 있다.

- 4) 보일러 출구에서 좌측으로 가서 감압감온기를 지난 저압증기는 기동시의 유가열로 이용되고, 이용 후의 응축수는 열교환기에서 고압증기로 가열되어 증기로 되며, 운전중의 유가열에 이용되고 있다.
- 5) ㉠은 각종 수조 등의 액면조절기를 나타낸다.



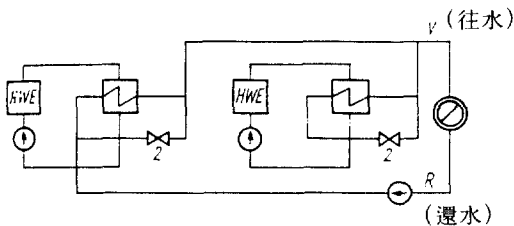
- 1. 재순환(환수와 혼합) 2. 바이패스(往水와 혼합)

그림2.7 고온수 배관망으로 직접 공급을 할 경우의 단독 접속방법



- 1. 재순환(환수와 혼합) 2. 바이패스(往水와 혼합)

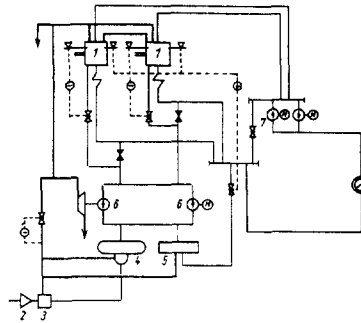
그림2.8 고온수 배관망으로 직접 공급을 할 경우의 통합 접속방법



- 2. 바이패스(往水와 혼합)

그림2.9 공온수 배관망으로 간접 공급을 할 경우의 단독 접속방법

열수요가와의 접속방법에 따라서 직접접속과 간접접속으로 나누어진다. 따라서(그림 2.7에서 그림 2.9에 표시한 것처럼) 고온수 보일러를 단독으로 접속하기도 하고, 전체를 합쳐서 접속하는 것도 있다. 증기드럼부착의 고온수보일러를 이용할 경우에는 보조적으로 포화증기도 공급할 수 있다(그림2.10).



- 1. 증기석선을 가진 고온수 보일러 2. 수처리장치 3. 혼합형 예열기 4. 탈기기부착 급수탱크 5. 배관망 급수 및 팽창탱크 6. 보일러 급수펌프 7. 배관망 순환펌프

그림2.10 고온수 보일러 설치 난방전용 플랜트의 열계통도(지역난방망으로의 직접접속)

[역주](그림2.10)

- 1) 2, 3은 보일러 보급수 배관계를 나타낸다.
- 2) 보일러 급수펌프 6중의 1대는 고온수 보일러의 상부 증기드럼에서 취출한 증기를 이용한 증기터빈으로 구동되고 있다.
- 3) 보일러 상부드럼의 액면은 보일러에서 점선으로 나와 있는 신호에 의해 밸브를 개폐하여 조절하고 있다. ⊖는 수위가 저하할 경우에 밸브가 열리고, ⊕는 수위가 상승할 때 밸브를 연다.
- 4) ⊙는 고온수 수요가를 나타낸다.

대량으로 증기를 소비할 경우에는 소용량의 증기 보일러를 보조적으로 설치해야만 한다. 연료유 공급장치의 가열과(배관계내의 물의 상태에 의하지만)급수의 열적 脫氣를 위해 난방전용 플랜트에는 증기를 도입할 필요가 있다. 열병합 발전소에 흔히 고온수 보일러가

설치되고 있지만 이것에 따라서 열병합 발전 프로세스의 최적운전도 가능하게 되었다. 이 경우에는 배관망내 물의 가열을 위해 직렬접속이나 병렬접속도 실현되고 있다.

2.2.2 에너지 및 유량수지

회로의 열수지는 계획이나 운전제어에도 필요불가결한 것이다. 부속설비와 주요기기의 수지에서 전체의 수지가 구성되어진다. 정확하게 파악할 수 있는 양 외에 다수의 경험치를 동시에 고려해서 파악해야만 한다. 연료의 특성을 표시한 것으로서 표2.1에 나타난 발열량이 도움이 된다. 통계적인 연소계산의 도움을 빌려 습배가스의 체적 V_i 는 다음 각각의 식에서 구할 수 있다.

표2.1 연료의 발열량

연 료	Hu
에너지용 흑탄(동독일)	17,600kJ/kg
에너지용 흑탄(수입 VRP)	24,200kJ/kg
조갈탄(Cottus)	8,250kJ/kg
조갈탄(Leipzig/Halle)	9,200kJ/kg
경질갈탄(CSSR)	13,400kJ/kg
갈탄 Frigate(Cottbus)	19,250kJ/kg
갈탄 Frigate(Leipzig/Halle)	19,700kJ/kg
갈탄 코크스(저온)	20,100kJ/kg
갈탄 코크스(고온)	29,300kJ/kg
공업용 코크스	25,000kJ/kg
연료유	40,000kJ/kg
도시가스	14,200kJ/m ³
천연가스(동독일)	12,500부터
	20,100kJ/m ³
천연가스(수입)	35,000kJ/m ³

- 연료유

$$V_i = (12.38\lambda + 3.37) \frac{H_u}{1000} - 1100 - 2.18m^3/kg$$

- 기체연료

$$V_i = \frac{H_u}{870} - 500 (\lambda - 0.07) + 0.92 m^3/m^3$$

$$H_u = 18,000 \dots 37,600 \text{ kJ/m}^3$$

$$V_i = \frac{H_u}{4.1868} - 500 (\lambda + 0.122) + 0.07 m^3/m^3$$

- 고체연료(회분 약 6%)

$$V_i = (1.01\lambda - 0.106) \frac{H_u}{1,000} + 550 + 1.17m^3/kg$$

공기비 λ 의 선정은 표2.2에 표시한 것처럼 연소방법에 따라서 결정한다.

난방전용 플랜트내, 공급배관내 및 수요가측에서 작동매체 및 반송매체의 손실이 연속적 및 간헐적으로 발생한다. 그 원인으로서 다음과 같은 것을 들 수 있다.

(1) 연속적인 수량손실

- 드럼부착 보일러에서의 탈염(blow-off)에 의한 손실
- 장치, 배관 및 부품에서의 누설
- 응축수를 순환시키지 않는 substation내에서 증기 소비설비

표2.2 공기비 λ 의 값

연 소 법	공기비 λ
수평 화격자(火格子), 살포식	1.5~1.7
하부존 통풍의 이상식 화격자	1.3~1.6
계단식 화격자, 탱크형 화격자	1.3~1.5
미분탄연소	
건설법	1.3~1.4
습실법	1.15~1.2
사이클론 연소	1.1~1.2
유연소	1.05~1.15
가스연소	1.05~1.1

(2) 간헐적인 수량손실

- 증기 보일러의 오물세척(blow-off)
- 배수
- 증기에 의한 배출

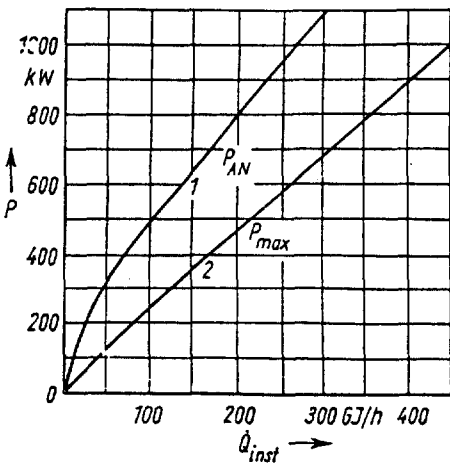
- 고온수 보일러 전열면의 세정
- 급유설비 및 substation내에서 응축수의 반송이 전혀 없는 것
- 손상에 의해 보일러내가 비어 있는 것

발생한 증기의 일부는, 난방전용 플랜트를 확실하게 운전하기 위하여, 소위 자가용으로 사용되고 있다. 이것에는 다음과 같은 것이 있다.

- 급유설비의 가열(철도용 기관차를 포함한다.)
- (계측 및 자동제어설비, 배수장치의) 동결방지장치의 보조가열
- 탈기기의 가열
- 난방전용 플랜트내의 난방 및 급탕용

이것들의 부하를 충당하기 위하여 설치출력의 약 0.5%가 필요하다. 에너지 수지에는 신선공기 및 배가스용 송풍기, 미분탄 연소용의 파쇄기 및 분쇄기와 급수펌프, 고온수 순환펌프를 위해 난방전용 플랜트의 전력부하도 채택해야 한다. 전력출력의 대강은 그림2.11로 계산할 수 있다.

보일러 급수펌프 및 고온수 순환펌프용의 소요냉각수량은 출력 300~500kW의 경우이고, 약 0.6~1.5m³/h대 정도가 된다.



1. 소비기기의 정격출력합계
2. 정격 열출력 발생시의 1/4시간 최대출력

그림2.11 난방전용 플랜트의 전력부하

2.2.3 부속설비

(1) 연료공급설비

① 고체연료

비교적 큰 플랜트에서는 동계의 1일 평균소비량을 기초로 해서 옥외에 30일~40일분(때로는 90일분)을 저장한다.

② 액체연료

난방전용 플랜트에서는 주로 중유가 이용되고 있다(TGL 3667). 펌프를 이용할 수 있도록 증기 또는 전기로서 최저 50℃까지 가열할 필요가 있다. 유를 연소시키기 전에 확실하게 미립화하기 위하여 유온을 130℃~150℃까지 높인다.* 유저장설비용량은 마찬가지로 30일~40일분으로 하고 있다. 횡형 탱크는 내용적 100m³까지이지만 입형에서는 10,000m³까지 설치되고 있다.

③ 기체연료

기체연료를 도입함으로써 전자동운전이 가능하지만 고도의 보안기술에 대한 비용이 필요하게 된다. 가스 공급배관에서 가스를 보내는 경우는 가스 압력조정 station을 통한다. 조정 station은 1차측 가스압력에 따라서 다음과 같이 분류되어 진다.

- 저압조정기 1차측 가스압력 0.005MPa까지
- 중압조정기 1차측 가스압력 0.1MPa까지
- 고압조정기 1차측 가스압력 0.1MPa이상

특별히 가스 저장설비를 설치할 필요는 없다. 연소후는 잔여물(남는 것)은 거의 없다.

(2) 보일러 설비

보일러 플랜트내에 설치된 펌프의 대수와 각각의 보일러 단체(單體)의 파라미터(온도, 압력)는 열수요자의 특성에 따라서 정해진다. 대부분의 난방전용 플랜트에서는 증기 보일러를 설치하고 그 소요압력은 거의 1MPa로 충분하다. 유연소 보일러에서는 그 정격출력의 25% 정도가 기술적인 최소출력으로 되어 있지만 석탄연소의 경우에는 그 값이 50%에서 40%로 되어 있다. 확실하게 공급하기 위해서

는 기본적으로 출력이 전출력의 2/3까지 저하하더라도 사용할 수 있는 기기를 선택해야 한다.

① 노통연관 보일러

이 보일러의 구조는 작은 출력인 경우에 유리하다. 보유수량이 크기 때문에 피크 열부하에 대해 단시간에 대응할 수 있다. 또, 다음과 같은 이점도 있다.

- 공장조립(패키지)형으로서 납입
- 보수가 간단하고, 유 또는 가스연소에 의한 전자동제어
- 취급이 용이(청소가 간단, 급수 수질은 중요하지 않다)

② 수관보일러

수관 보일러는 증기 또는 고온수 발생용으로 자연순환 및 강제순환 보일러로 설치되고 있다. 소용량인 것은 공장조립 보일러의 형태로 제작되고, 대용량인 경우는 부품으로 운반되어 보일러 설치장소에서 조립된다. 유 또는 가스연소는 틈이 없이 용접된 관군벽에 위싸인 중에서 가압연소를 하고 있다. 고온수 보일러에서는 유연소의 경우에 후부 전열면(절탄기)에서의 노점 발생이 없도록 하고, 부식의 위험성을 피하고 있다. 이 때문에 입구수온은(환수와 혼합해서) 115℃ 이상으로 해야 한다. 고온수의 안정된 흐름을 유지하기 위해서는 최저압력 유지가 전제되어 있다. 증기발생과 그 결과로서 물의 흐름을 저해하는 것을 방지하기 위한 경험치로서 다음과 같은 최저압력이 주어진다.

- 운전상태 $p_{min} \geq p_s(t_{max} + 30K)^*$
- 정지상태 $p_{min} \geq p_s(t_{max} + 20K)^*$

고온수 보일러를 직접공급 시스템에 접속할 경우에 압력 수준의 제한 값으로서 위 식의 조건을 고려해야 한다.

(3) 제진장치, 유인통풍장치, 연도 및 재의 반출

가스 및 유의 가압연소를 하는 경우에 유인 통풍장치는 사용하지 않는다. 보일러의 연소 가스를 굴뚝으로 보내기 위하여 보온한 얇은 강판제 덕트나 때로는 벽돌연도(煙道)가 사용

된다. 고체 연료를 사용한 경우 연도가스 제진(除塵)은 기계식 제진장치(멀티사이클론)을 이용하고, 대용량설비에서는 전기 집진기를 이용하고 있다. 제진후의 연소가스 분진함유량으로 다음과 같은 표준치가 이용되고 있다. 즉

- 기계식 제진장치 ; 300mg / m³
- 전기 집진기 ; 150mg / m³

(4) 열교환 장치

대부분의 보일러에서 발생한 열은 작동매체에서 반송매체로 전해진다. 배관망에서 고온수의 환수 가열은 응축수 냉각기를 그 상류측

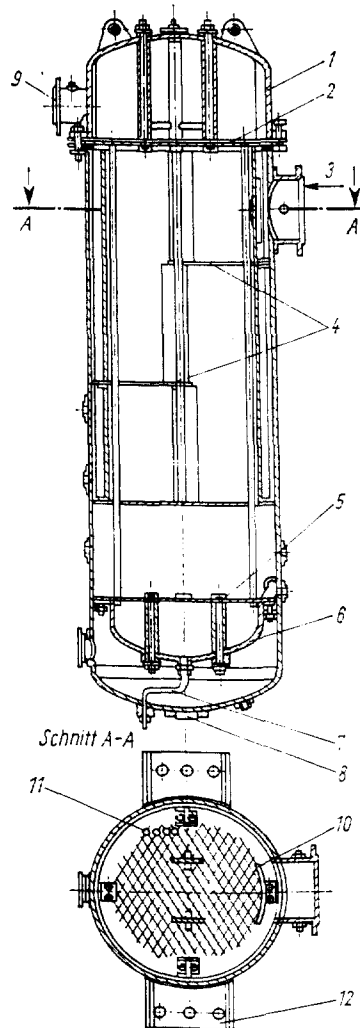


그림2.12 입형 증기-수 열교환기

에 설치된 입형의 다관식 열교환기를 이용하고 있고, 이 열교환기는 적당한 동결방지 처리를 함으로서 옥외에 설치할 수도 있다(그림 2.12). 열출력 조절은 응축수의 수위 또는 유량의 변화에 따라 한다. 변유량방식의 지역난방 배관망에서는 그 효율이 높은 곳에서 thyristor제어의 순환펌프가 설치되고 있다. 유도전동기에 전자 커프링을 이용하여 펌프를 운전하면 적은 경비로 운전할 수 있다는 이점이 있지만 손실이 크다. 가능성 있는 것으로서 정류자 전동기-극수 변환모터 및 증기 터빈 구동의 도입도 있다. 장시간에 걸쳐서 크게 변동하는 출력에 대해서 최적제어를 하는데에는 여러가지 특성을 가진 여러대의 펌프와 펌프군의 이용이 바람직하다.

(5) 급수처리설비, 배수처리

급수처리설비의 기술적인 구성과 그 용량은 수질과 소요수량에 따라서 정해진다. 물은 급수배관망 또는 수원에서 취수된다. 예비세정은 자갈층에 의해 여과한다. 다음으로 연화장치, CO₂ 제거장치, 탄산염 제거장치와 같은 여러가지 단계의 정화장치에 접속된다. 필터의 세정은 깨끗한 물을 사용해서 주기적으로 할 필요가 있다. 즉, 교환기의 재생은 HCl을 사용한 양이온 교환기와 NaCl을 이용한 음이온 교환기로 재생한다. 보급수를 연속적으로 공급하기 위해서는 이들 장치의 병렬회로가 필요하다. 보일러 급수의 수질은 Na₃PO₄와 같은 화학약품을 점차적으로 첨가함으로써 개선된다.

열적인 수질처리에는 보일러 급수 및 난방배관 보급수의 탈기와 저수가 있다. 배관망내의 물의 탈기는 전순환수량의 1~5%를 연속적으로 바이패스하여 처리하는 방법이 많이 채용된다. blow-off, 세정 및 보일러에서 방출된 물은 하수도로 배수하기 전에 30℃까지 냉각해야 한다. 이것 이상의 처리로서는 경우에 따라 산을 포함한 배수의 중성화나 유분리가 필요하다.

(6) 전기기술 및 계측·운전·제어기술용 부속설비

전기적인 부속설비는 자가용 부하의 용량에 따라서 정한다. 자가용 출력 50kW까지는 저압배전망에 직결할 수 있다. 50kW 이상에서는 자가용 변전소를 설치하고, 중압배전망에 접속해야 한다. 따라서 전기적인 주설비는 중압접속설비, 변전소 및 저압접속설비를 가지고 있다.

2.2.4 이동식 난방전용 플랜트

한곳의 공급지역내에서 열부하가 시간에 따른 증가와 대규모 시스템에서 건물의 건설지역이 점차로 넓어져 가는 경우에는 기술적 또는 경제적인 이유로 열공급을 위해 잠정적인 해결책을 강구할 필요가 생긴다. 이것에 대해서는 가반식(可搬式) 또는 이동식 난방전용 플랜트를 이용한다. 이 플랜트를 이용함에 따라 넓은 공급지역을 개척할 수 있다. 그리고, 이러한 설비에서 처음 초년도에는 주택지역이 적은 열부하를 책임지고, 위기적인 상황에 대한 축열설비로서의 역할을 완수하며, 또 수리용으로서 계획적으로 편성하는 것도 가능하다. 이 설비의 출력범위는 보일러 1대당 1~10MW 사이이다. 주로 3패스 보일러를 이용하고 있지만 때로는 입방체 구조의 밴드튜브 보일러(곡관형 수관보일러)도 이용되고 있다.

2.3 증기터빈에 의한 열병합 발전소

2.3.1 총설

열병합 발전소는 Clausius-Rankine의 증기원동소 프로세스에 기초를 두며, 증기원동소와 같은 원리에 의한 시스템 및 설비구성으로 되어 있다(그림 2.13). 즉 연료로부터 열을 방출시켜 보일러내의 작동매체로 전달하고, 열에너지를 증기터빈 및 발전기로 기계 및 전기 에너지로 변환한다. 열공급 발전소는 비교적 고온의 영역에서 열을 추출하고 있다는 점에서 복수식 원동소와 구별된다. 이것은 터빈에서 추기하는 증기의 압력에 따라서 규정되

고 있다. 열의 소비 프로세스와 열의 반송방법에 의해 터빈에서 나온 증기는 소비자로 직접 공급되던지 열병합 발전소에서 통열수(通列水) 또는 증기라는 열반송매체로 전달된다. 열병합발전소는 공급지역내에 열을 공급하고, 주로 난방 및 급탕 열부하를 처리한다.

열병합 발전소의 주된 프로세스는 열공급용으로서 만들어져 있다. 전력공급 네트워크 중에 열병합 발전소를 합리적으로 배치함으로써

결국 피크부하시 및 저부하시의 전력발생의 유연성을 가질 수 있다. 원리적으로 열병합 발전소의 유연성은 열 및 전기출력과 관련되어 설치된 터빈의 종류에 따라 규정된다. 배압터빈을 이용하면 높은 열출력을 얻음과 동시에 그것에 대응하여 전부하 상당시간도 높게 된다. 이러한 상태는 제조 프로세스에서 대량의 열을 필요로 하고, 그 전부하 상당시간 $t_b = 5,000h/a$ 와 같은 경우에 발생한다.

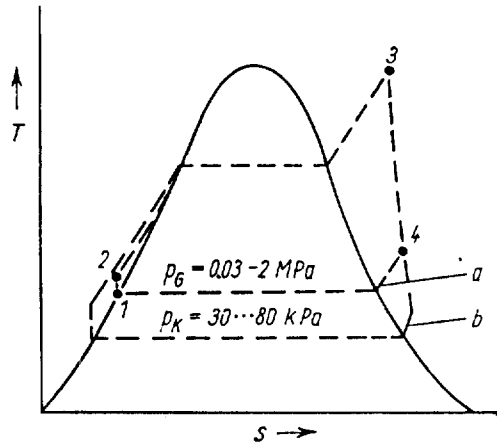
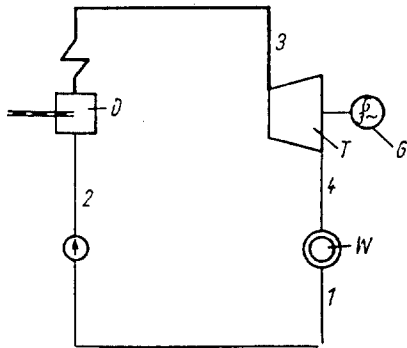


그림2.13 배압터빈에 의한 열병합 발전블럭의 계통도 및 T-s 선도상의 프로세스

2.3.2 열계통도

증기터빈 설치의 열병합 발전소의 열계통도는 다음의 여러 조건에 따라 규정된다.

- 소요열출력의 특성
- 설치장소의 제약조건(냉각수원, 연료가격)
- 지역난방 시스템 내에서의 열공급 발전소의 배치(열송출의 중앙제어 방법, 시스템에서의 보일러 구조)
- 발전 시스템 내에서의 배치

모선회로와 블럭회로는 차이가 있다. 모선회로는(그림2.14)는 물, 전력, 보일러, 출구증기 및 난방용 증기사이의 횡(橫)의 연결은 증기 보일러마다 터빈을 접속하고, 1대 이상의

터빈에서 난방용 증기를 추가하는 것에 의해 가능하게 된다. 이 회로에서는 주요 기기를 상호간에 큰 예비기로 할 수 있다.

예를들면, 블럭용 열병합 발전소에서는 그림2.15에 60MW 터빈을 설치한 열공급 발전소에 의한 기초적인 답을 표시하고 있는 것과 같이 증기 보일러, 증기터빈 및 대부분의 난방용 예열기가 각 블럭마다 설치되어 있다. 블럭회로는 대용량의 단기(單機)출력과 그것에 대응한 높은 보일러 출구증기압력, 보증출력으로 매우 간단하게 열병합 발전소로서 이용할 수 있도록 되어 있다.

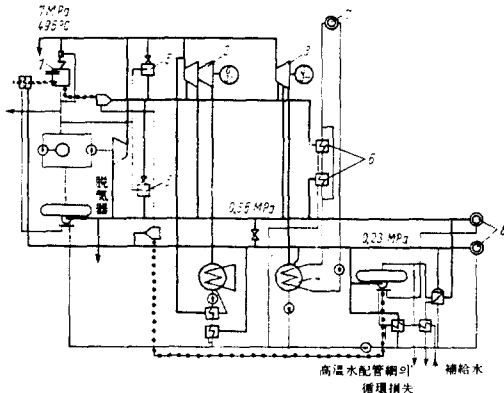


그림2.14 열병합 발전소의 기본계통도(모선회로계통도)

[역주] (그림2.14)

- 1) 증기보일러 1에서 발생한 증기는 추기복수터빈 2, 추기배압터빈 3 및 감압감온기 5로 공급되고 있다.
- 2) 고온수 수요가 7로 공급되는 고온수는 2, 3의 추기 및 5의 감압증기로 제 2단 가열, 똑같이 2, 3의 추기 및 감압감온기 5에서 제 1단 가열되고, 그 전에 추기배압터빈의 복수기 4에서 예열되고 있다.
- 3) 증기 수요가 8의 압력 0.55MPa 라인은 증기터빈의 추배기 및 감온감압기를 지난 증기를 이용하고 있다.
- 4) 증기 수요가 8의 0.23MPa라인은 0.55MPa의 증기 라인을 감압하여 사용하고 있다.

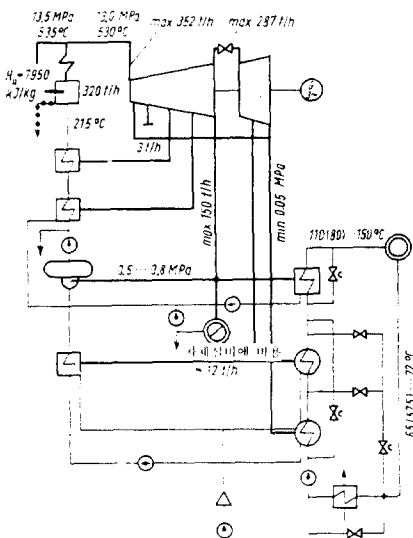


그림2.15 열병합 발전블럭의 원리적 계통도

[역주] (그림2.15)

- 1) 고압터빈의 추기는 보일러 급수가열, 탈기 및 라인내 소비에 이용하고 있다.
- 2) 열수요가로의 고온수는 110~150°C로 공급되어 65~72°C로 돌아오고 있다.
- 3) 고온수는 저압터빈의 배기 및 추기에서 제 1단, 제 2단 가열되고, 다시 고압터빈 배기에서 제 3단 가열되고 있다.
- 4) 열수요가측의 열수요가 없는 경우는 제 1단 및 제 2단 가열용 열교환기로 고온수를 가열한 후, 직접보조냉각기로 순환하여 외기로 방출·냉각하고 있다.

보조냉각기(그림2.15 참조)를 가진 난방용 배압터빈 또는 난방용 추기배압터빈을 설치하는 것은, 지역난방 시스템을 저부하시에 운전시키는데 큰 유연성을 주는 것이다. 이러한 회로는 열이 고온수 시스템에 방출되는 경우에도 이용할 수 있다. 보조냉각기를 이용함으로써 배열을 주위환경에 방출하고 동시에 지역난방망에서의 환수를 최대한 냉각시키고(최고 40°C~50°C) 배관망내 물의 일부를 제 1 또는 경우에 따라서 제 2의 예열기로 냉각목적으로 보낸후에 보조냉각기로 돌린다. 보조냉각기는 난방용 복수기와 함께 추기복수터빈의 복수기 및 냉각장치와 같은 기능을 담당하며, 주위환경으로 열을 방출하고 있다. 이것은 발생한 전력을 이용하기 위해서도 또 열부하가 적은 경우 블럭의 기술상 최소부하를 확보하기 위해서도 필요불가결한 것으로, 예를 들면 이 열부하는 조갈탄 연소에 의한 증기보일러에서 이 최소 열부하는 50~55%가 된다.

보일러 출구증기 온도는 터빈의 최후단의 증기습도가 10~12% 이상으로 크게 되지 않도록 선정하던가 또는 원거리로 반송하기 위하여 추기 과열도를 높게 할 필요가 있지만 호칭 작동점이 무효하게 되지 않을 정도로 높은 값을 선정한다(표2.3 참조). 열병합 발전소에서는 파라미터의 높이는 각각의 전력 및 열의 동시발생에 대해 분명히 영향을 미친다(그림2.16). 중간과열은 대용량의 터빈을 가진 증기터빈 열병합 발전소에서만 이용되고 있다.

표2.3 열병합 발전소용 증기 보일러의 파라미터(온도, 압력), (TGL 17,286에 의함)

종 류	연 료	연 소 법	출 력 (t/h)	압 력 (MPa)	온도(℃)
증기보일러	SK,BB,RBK	화격자(火格子)연소	6.5	2.7	330/425
	SK,BB,RBK	화격자연소	12.5		
	SK,BB,RBK	화격자연소	25.5		
증기보일러	SK,BB,RBK, Ö1	기름 및 화격자연소	12.5	5.3	460
	SK,BB,RBK, Ö1	기름 및 화격자연소	25		
	SK,BB,RBK, Ö1	기름 및 화격자연소	40		
	SK,BB,RBK, Ö1	기름, 화격자 및 미분탄연소	64		
증기보일러	SK,BB,RBK	미분탄연소	80	11.3	540
	SK,BB,RBK, Ö1	미분탄 및 기름연소	125		
	SK,BB,RBK, Ö1	미분탄 및 기름연소	160		
	SK,BB,RBK	미분탄연소	220		
증기보일러	SK,BB,RBK, Ö1	미분탄 및 기름연소	350	15.9	535

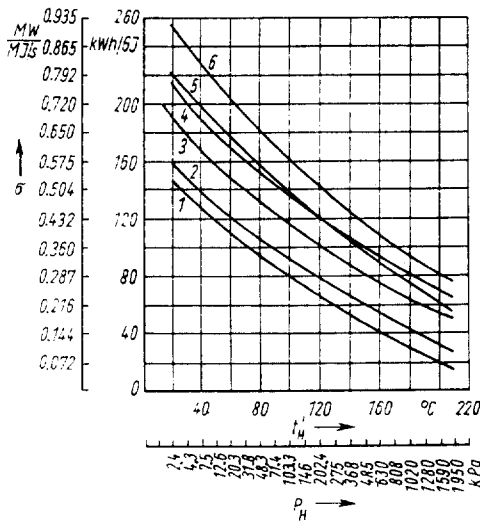


그림2.16 보일러 출구증기 조건과 급수온도에 따른 전력발생량

재생급수예열(소위 재생사이클)은 열병합 발전소에서는 복수식 발전소와 같은 의미를 가지고 있다(2.3.3항 참조). 급수예열의 상태는 터빈의 형식, 삼입방법 및 증기상태에 따라서

결정한다. 증기 보일러의 급수 입구온도의 최적치는 열병합 발전소에서는 복수식 발전소와 같은 범위이다. 매우 확실하게 운전을 하기 위해서는 일부에서는 높은 급수 입구온도와 다수의 중간압력 예열기를 이용하는 것은 피하고 있다. 주로 열병합 발전의 영역으로 운전하는 터빈에서는 난방용 예열기의 복수온도가 높기 때문에 저압 예열기의 수는 비교적 적다. 열병합 발전소의 기본형식으로서 60-MW 블록은 탈기기를 부속시켜서 2에서 3대의 저압 예열기와 1에서 2대의 고압 예열기를 가지고 있다(그림2.15). 복수기 운전영역의 전부하 상당시간수가 큰 추기복수터빈은 많은 예열기를 갖추고 있다. 예를들면 소련의 대형 열병합 발전용 터빈은 보일러의 입구 급수온도는 230~260℃로 되며, 8~9대의 예열기를 가지며, 그 중 3대는 고압 예열기이다(표2.4). 발전 시스템에 설치되어 있는 보일러의 구조와 발전소와 열병합 발전소간의 연료가격의 관계에 제약되어 정격의 터빈을 설치한 열병합 발전소는 설치 전기출력의 전부하 상당 시간 $\eta_b = 5,500 \sim 6,000h/a$ 이라는 높은 값으

표2.4 소련의 열병합 발전용 터빈의 압력, 온도

형식번호	보일러 출구 증기상태		중간과열용 증기상태		급수예열	급수예열기	터빈내부 효율
	압력(MPa)	온도(℃)	압력(MPa)	온도(℃)	기대수	온도(℃)	
1	3.43	435	—	—	5	150	0.8
2	4.4.2	460	—	—	8	160	0.8
3	8.83	535	—	—	8	215	0.8
4	12.75	565	—	—	8	230	0.83
5	12.75	565	3.2/2.9	565	8	230	0.83
6	23.54	560	4.0/3.6	565	9	260	0.85

※ 증기터빈의 내부효율 : 다단 터빈의 어떤 단에서의 이용가능한 에너지를 h_0 kJ/kg으로 하고, 실제로 내부일로서 얻은 열낙차는 h_1 이라 한다면 내부효율 $\eta_i = h_1/h_0$

로 운전되고 있다. 이것은 복수영역에서의 운전에 의한 전력발생의 부분이 비교적 크기 때문이다.

열의 반송매체로서 물을 이용하는 지역난방 시스템에서는 터빈, 배기의 열의 예열기(난방용 복수기)로 배관망내의 물로 전달한다(그림 2.17). 비가역성에 의한 손실(역서지 손실)을 줄이기 위하여 배관망내의 물은 다수의 단계로 여러가지 압력의 증기에 의해 가열된다.

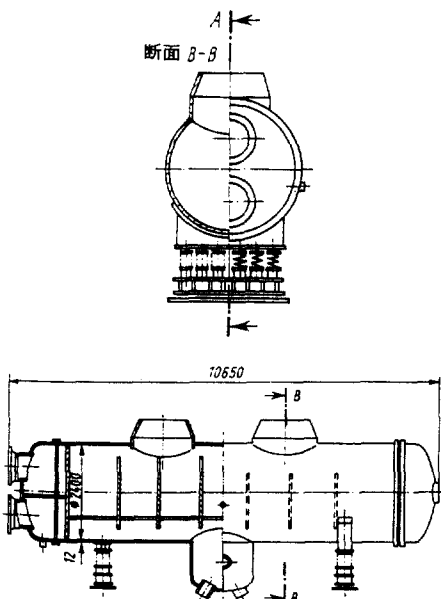


그림2.17 복수기

전기출력 50MW, 배관망의 공급수온도가 150℃ 이하의 소용량 터빈에서는 이 가열은 흔히 2단으로 하고, 때로는 3~4단으로 하는 것도 있다.

온도제어를 하는 지역난방 시스템에서는 최후의 난방배관망용 예열기는 피크부하용 예열기로서의 특성을 가진다.

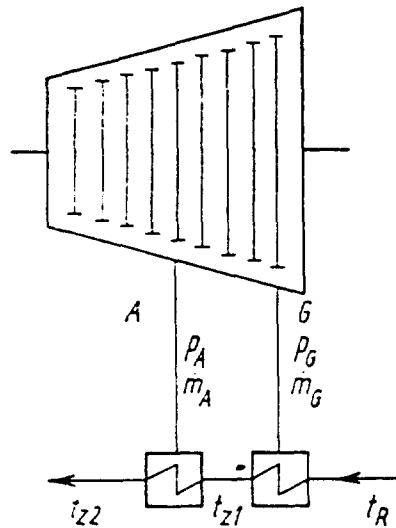


그림2.18 배압제어의 원리도

터빈의 제어를 간단하게 하기 위해서 다단의 배관망 예열을 하는 경우에는 2대의 하부 예열기(난방용 복수기)를 함께 제어하고 있

다. 추기복수터빈에서는 하부의 추기압력은 버터플라이밸브로 제어하고, 소요 배관망내 온수온도를 얻기 위해서는 상부에서의 추기에 따라 필요한 압력을 조정하고 있다.

이 경우에 생기는 배압에 대해서는 다음의 2가지의 제약조건이 규정되어 있다(그림2.18). 즉

① 하류측의 난방용 복수기의 입구온도 t_R 에서 온도 t_{z1} 까지 배관망내의 수량 \dot{m}_N 을 가열하기 위해 필요한 증기량(배압증기량)은 다음과 같다.

$$m_G = \left(\frac{t_z - t_R}{h_G - h_G'} \right) \dot{m}_N C_{pm}$$

여기서, h_G, h_G' : 배기취출관(배압취출관)에서의 증기 및 그 증기의 복수 엔탈피

C_{pm} : 배관망내 물의 평균비열

② 압력차 $p_A - p_G$ 와 함께 취기취출관 A와 배기취출관 G사이의 段群을 통하는 증기량(배압증기량)은 증기량의 원추법칙*에 따라서 다음과 같이 구해진다.

$$\dot{m}_G = \dot{m}_{G0} \sqrt{\frac{p_A^2 - p_G^2}{p_{A0}^2 - p_G^2}}$$

여기서, p_A, p_G : 추기압 및 배압

m_{G0}, p_{A0}, p_{G0} : 임의의 운전상태에 있어서 유량, 압력(예를들면 어떤 구조에서의 값)

여기서 추기압 p_A 및 배압 p_G 에 대한 증기의 복수온도(이것은 포화온도와 같다) t_A' 및 t_G' 와 난방용 복수기에서의 배관망 입구수온 t_{z1} 과 t_{z2} 를 구별하여 난방용 예열기에서의 온도차를 구하면

$$\Delta T_{HKa} = t_G' - t_{z1}$$

$$\Delta T_{HKb} = t_A' - t_{z2}$$

로 된다. 위의 두식에 따라 배압 p_G 는 구할 수 있다. 그 값은 반복계산에 의해서만 구해진다.

추기복수터빈에서도 이 관계는 마찬가지로 성립하지만 하류측의 추기압력은 버터플라이밸브에 의해서 제어된다. 또, 복수기 및 예열기의 증기량도 고려해야 한다.

2.3.3 열병합 발전 프로세스의 열경제적 효과

열병합 발전 프로세스에 의해 연료가 절약되고, 그 결과 열병합 발전 프로세스의 효율은 단독 프로세스의 효율을 증가하고 있다. 전력과 열을 조합시킨 증기원동소 프로세스의 평가에 대해서는 작동매체의 유량을 일정하게 한채로 전체의 프로세스를 부분 프로세스로 분할하여 실제의 지표를 구한다. 다음에 표시한 계산은 여러가지 형식에 대해서 비교하기 위한 연료열의 소비량을 조사하기 위한 것이다. 열수지와 운전의 정밀계산을 위해 각각의 지표는 통일된 방법론을 이용해서 구한다.

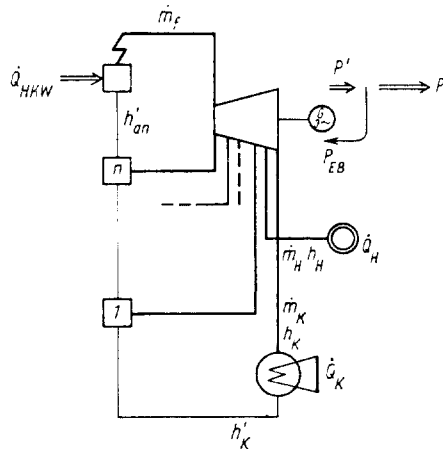


그림2.19 열병합 발전 프로세스 열감정

그림2.19에 의해 열병합 발전소의 연료 열소비량은 다음과 같이 된다.

$$\dot{Q}_{HRW} = P \frac{1}{\prod \eta_i} + \dot{Q}_H \frac{1}{\prod \eta_i} + \dot{Q}_K \frac{1}{\prod \eta_i}$$

부분 효율은 다음과 같다.

$$\prod \eta_i = \eta_{EB} \times \eta_m \times \eta_G \times \eta_{DE} \times \eta_L$$

$$\prod \eta_i : \eta_{EB} = \frac{P}{P'} = \frac{\text{正味出力}}{\text{總出力}}$$

η_{EB} : 전력의 단독수요를 생각한 때의 지표,
 η_m : 기계효율, η_G : 발전기 효율, η_{DE} : 증기 보일러의 효율, η_L : 열전도,
 복사 및 대류손실을 표시를 위한 효율은 다음과 같고

$$\prod \eta_i : \eta_{DE} \times \eta_L$$

$$\prod \eta_k : \eta_{DE} \times \eta_k$$

η_k : 복수기의 효율

또한 다음의 관계가 성립한다.

$$\dot{Q}_{HKW} = \dot{m}_{Br} H_u$$

및

$$P' = P_H + P_R + P_K \text{ (그림 2.20 참조)}$$

여기서, \dot{m}_{Br} : 연료소비량, H_u : 저발열량,
 P' : 정미전기출력, P_H : 증기량 \dot{m}_H 에서 얻은 전력, P_R : 총재생 증기량에서 얻은 전력, P_K : 복수 증기량에서 얻은 전력재생 증기량은 다음식에서 구해진다.

$$\dot{m}_R = (1 - \prod \frac{q_m}{q_m + \Delta h'_m}) \dot{m}_t$$

여기서, n : 예열기 대수, q_m : 제 m 단 예열기에서의 증기 방출열량, $\Delta h'_m$: 제 m 단 예열기에서의 급수 엔탈피 증가량, \dot{m}_t : 보일러 출구 증기유량

큰 단순화를 소코로프가 하였고,^[2.4] 이 중에서 그는 재생용 급수 예열기 전체를 1대의 등가 예열로 정리했다(그림 2.21). 또, 다음의 엑서지 밸런스에 의해서 가열증기의 총합온도 T_R 이 정해진다.

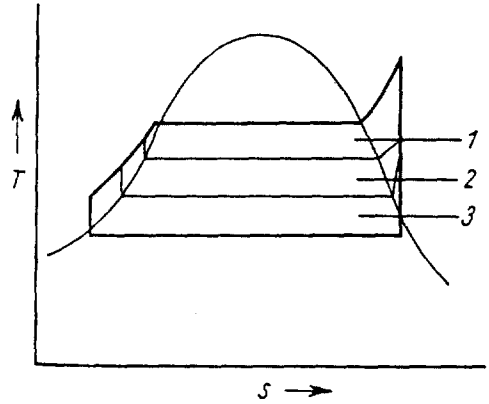


그림 2.20 열병합 발전 프로세스에 대한 부분 프로세스로의 분해

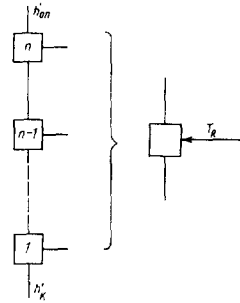


그림 2.21 등가 예열기에 의한 재생의 계산

$$\int_{T'_k}^{T'_{an}} \left(\frac{T_{m,zu}}{T} - 1 \right) dT = \left(\frac{T_{m,zu}}{T_R} - 1 \right) (T'_{an} - T'_k)$$

여기서, $T_{m,zu}$ 는 프로세스로 열공급을 할 때의 평균온도, T'_{an} , T'_k 는 각각 예열기 출입구의 수온이며, 그것은 다음과 같이 된다.

$$T'_R = \frac{T'_{an} - T'_k}{\ln \frac{T'_{an}}{T'_k}}$$

등가급수 예열기의 증기압력은 온도 tr 에 상당하는 증발압력이 된다. 문헌^[2.4]에 의하면

다음과 같다.

$$t_R = \frac{n+1}{2n} t'_{an} + \frac{n-1}{2n} t_k + \Delta t$$

여기서 Δt 는 급수 예열기의 평균온도를 이용하고 있다.

열병합 발전 프로세스를 분할할 경우에 난방용 열출력을 기준으로 하는 것이 통례로 되어 있다. 1.2절의 식을 보충해서 다음식을 얻을 수 있다.

$$\varphi_{HKW} = \frac{\dot{Q}_{HRW}}{\dot{Q}_H} = \frac{P}{Q_H} \frac{1}{\prod \eta_i} + \frac{1}{\prod \eta_i} + \frac{\dot{Q}_K}{\dot{Q}_H} \frac{1}{\prod \eta_k}$$

흔히 전기출력과 난방용 열출력의 비로서 소위 전력평가지수(전기 에너지 이용지수)가 사용된다. 열병합 발전 프로세스의 밸런스시트를 만드는데 다음의 전력평가지수

$$\sigma_{HKW} = \frac{P}{\dot{Q}_H}$$

를 사용할 수 있고, 이것은 그림2.19의 각부 지수에 대응해서 분할할 수 있다. 즉

$$\sigma'_{HKW} = \frac{\sigma_{HKW}}{\eta_{EB}} = \sigma_H + \sigma_R + \sigma_K$$

$$\sigma_H = \frac{P_H}{\dot{Q}_H} \quad \sigma_R = \frac{P_R}{\dot{Q}_H} \quad \sigma_K = \frac{P_K}{\dot{Q}_H}$$

열병합 발전 프로세스의 외부에서도 내부에서도 이용한다는 의미에서 전력평가지수

$$\sigma_{HKW} = \sigma_H + \sigma_R$$

은 열병합 발전방식의 특성을 표시하고 있다. 무차원의 연료 열소비계수는 다음식에서 계산된다.

$$\varphi_{HKW} = \sigma_{HKW} \frac{1}{\prod \eta_i} + \frac{1}{\prod \eta_i} + \sigma_K \frac{1}{\prod \eta_k \eta_{th,K}}$$

여기서, $\eta_{th,K}$ 는 복수 프로세스의 열효율을 표시한다.

이것에 대해서 발생전력에 관계한 무차원의 연료열 소비량계수가 구해진다. 다음의 정의

$$q_e = \frac{\text{공급된 연료열}}{\text{발생전력}}$$

에서

$$q_e = \frac{1}{\eta_{eb} \eta_L \eta_{DE}} q'_e$$

여기서

$$q'_e = \frac{P_H + P_R + P_K + \dot{Q}_H + \dot{Q}_K}{P_H + P_R + P_K}$$

$$= 1 + \frac{1 + \frac{\dot{Q}_K}{\dot{Q}_H}}{\sigma_H \left(1 + \frac{P_R}{P_H} + \frac{P_K}{P_H}\right)}$$

종합해서

$$C_{R,K} = \left(1 + \frac{\sigma_R}{\sigma_H} + \frac{\sigma_K}{\sigma_H}\right)$$

로 되면, 위 식은 다음과 같이 된다.

$$q_e = \frac{1}{\eta_{EB} \eta_L \eta_{ED}} \left\{ 1 + \frac{1}{\sigma_H C_{R,K}} \left[1 + \sigma_K \left(\frac{1}{\eta_{th,K}} - 1 \right) \right] \right\}$$

그림2.22에 열병합 발전 프로세스 각각의 전력발생을 추가압력 p_H 및 그것에 대응하는 복수온도 t'_H 와 관련시켜서 순수한 열병합 발전 프로세스($\sigma_K = 0$)의 경우

$$C_R = 1 + \frac{\sigma_R}{\sigma_H}$$

를 표시하고 있다. 보일러 출구증기의 온도 및 압력은 표2.4에 표시한 값을 기초로 하고 있다.

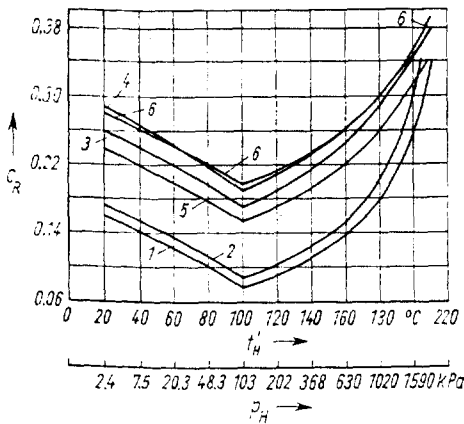


그림2.22 표2.4에 표시한 재생조건에 의한 열병합 발전에 있어 단위전력발생량의 계수 C_R

발전기 접속부에서의 증기터빈 출력은 다음 식에서 구해진다.^[25]

$$P_G = \dot{m}_F \sum_{k=2}^F \left(1 - \sum_{n=1}^q \frac{\dot{m}_{E,n}}{\dot{m}_F} \right) \Delta h_{sk} \eta_{ik} \eta_m \eta_G + \dot{m}_F \Delta h_{s1} \eta_{i1} \eta_m \eta_G$$

여기서, \dot{m}_F : 발생증기유량, $\dot{m}_{E,n}$: 추기 n에서의 증기유량(제어 또는 무제어), q : 단群 k까지의 추기수, p : 단群수, Δh_{sk} : 단群 k에서의 등온 엔탈피 강하, η_{ik} : 대응하는 내부효율, η_m : 터빈의 기계효율, η_G : 발전기의 전기적효율

단독변수(전기출력, 발생증기량 또는 그 온도와 압력, 제어된 추기압력, 제어 또는 무제어의 추기량)의 하나를 변화케 하면 그것에 따라서 종속변수, 예를들면, 효율 특히 단효

율, 무제어의 추기구(탭)압력, 등엔트로피 단열낙차 그 외가 변화한다.

전운전 범위에 대해서 운전제어와 열경제성에 영향을 주는 출구증기의 공급량, 전기출력 및 터빈 열부하 그외의 파라메터 사이의 함수관계를 조사하는데는 막대한 계산이 필요하다. 이 복잡한 의존관계를 그래프로 표시하면 매우 직관적으로 신속한 조작으로 구할 수 있는 이점이 있다.

터빈의 추기선도에는 어떤 결정된 추기압에서의 보일러 출구증기량, 추기량 및 전기출력 사이의 관계가 표시되어 있다. 제어 또는 무제어의 추기를 한 경우 각각에 대해서는 보정선 또는 보정역의 형태로 확장할 필요가 있다. 여러개의 제어 또는 무제어의 추기, 예를 들면 2단 제어된 추기구와 3~4개의 급수 예열용 증기의 추기구를 가진 터빈에서는 일목요연한 형태로 표시하기 위하여 터빈장치와 급수예열 시스템의 조정을 한다. 그림2.23는 소련의 2단 추기복수터빈 PT-50-13/1.2에 대한 것이고, 추기선도의 상부는 발생증기, 전기출력 및 $p = 0.12\text{MPa}$ 로 하류측에서 추기하는 경우의 상류측 추기구($p = 1.3\text{MPa}$)의 증기량을 표시한 것이며, 그림의 하부에는 하류측의 추기구에서의 증기량을 고려한 경우의 보정곡선군을 표시하고 있다.

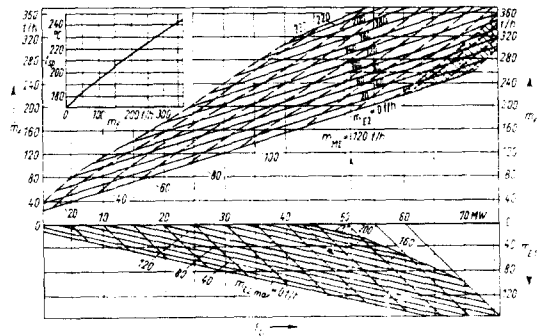


그림2.23 소련제 2단 추증기복수터빈 PT-50-13/1.2의 추기선도

[예제] $m_{E2} = 100t/h, m_{E1} = 85t/h, m_{MD} = 90t/h$
 $\dot{m}_i = 260t/h, P_G = 43MW$
 $t_{sp} = 228^\circ C$

[역주] (그림 2.23)

[예제] 보일러에서 $\dot{m}_i = 257t/h$ 의 증기를 터빈에 공급한다. 지역 열공급에 대해서 다음과 같은 증기를 송출한다.

$\dot{m}_{E2} = 100t/h$ 증기($p = 1.3MPa$),
 $\dot{m}_{E1} = 80t/h$ 증기($p = 0.12 MPa$)

터빈출력은 선도의 우상에서 점선으로 따라가서, 하부의 선도에서

$m_{E1} = 0t/h$ 일때, $51MW, m_{E1} = 80t/h$ 일때, $42MW$ 가 된다.

열병합 발전소에 대한 P-Q(전력-열량)곡선 내에는 전기출력(횡축), 난방용 열출력(종축), 보일러 출구증기량 혹은 연료 열소비량 및 소요냉각출력(파라메터) 사이의 전체로서 함수관계를 표시한다. 열병합 발전소의 운전 영역내의 각점을 거기에 존재하는 장치에 의한 운전에서 얻어지는 최대 출력을 표시한다. 열병합 발전소의 최적 운전상태를 구하는데는 열병합발전소의 모든 함수관계, 특히 장치특성을 선형표시할 수 있도록 열병합 발전소의 선형 모델이 기본적으로 존재하는 것이 필요하다. 선형 관계를 조사가 필요한 경우, 예를 들면 추기곡선의 조립을 위한 선형화한 터빈 특성을 제외된 것과 같은, 비선형 모델을 이용한다. 그림 2.24는 어떤 열병합 발전소(추기복수터빈 3대, 증기 보일러 4대)의 P-Q선도를 표시한 것이고, 이 플랜트는 집중제어를 하고 있는 지역난방 시스템 내에서 운전되고 있는 것이다. 중앙에서 온도제어를 하고 있는 지역난방 시스템에 열병합을 하는 열병합 발전소에서는 그 외의 파라메터로서 송수온도에 관해서도 배려해야 한다. 그림 2.25은 온도제어를 하는 열병합 발전소(60MW 터빈, 320t/h 증기보일러)의 P-Q선도의 기본적인 답을 표시한 것이다.

[예제] $P_G = 60MW, Q_K = 60MJ/s$ (응축열량)
 $\dot{Q}_H = 147MJ/s$ (난방용 열출력),
 $\dot{M}_{KF} = 450t/h$ (증기량)

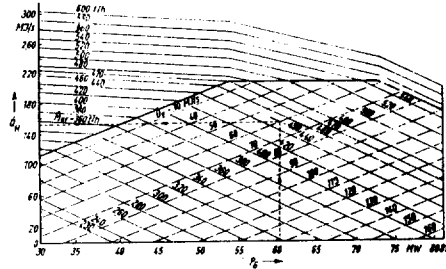


그림 2.24 열병합 발전소의 P-Q선도에(추기복수터빈 3대, 보일러 4대, 일정출구온도제어)

[역주] (그림 2.24)

[예제] 그림에서 점선으로 그어 구한다.

$\dot{M}_{KF} = 450t/h,$
 $\dot{Q}_K = 60MJ/s$ (응축열량)
 $P_G = 60MW$ (발전기 출력)
 $\dot{Q}_H = 150MJ/s$ (난방용 열출력)

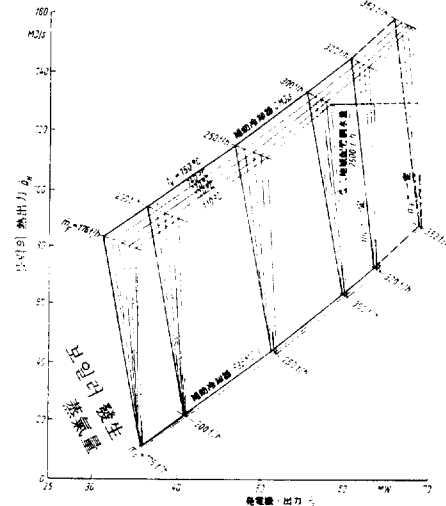


그림 2.25 출구온도가 변화할 경우 60MW 열병합 발전 블럭선도(보조냉각기 부속의 배압터빈 PRT-60-130/ 6/ 28/ 1.4, 보일러 320t/h)

[예제] $P_G = 50MW,$ 출구온도 $t_v = 130^\circ C,$
 $\dot{Q}_H = 113MJ/s$
 $\dot{m}_F = 225t/h,$ 보조냉각기 = 0