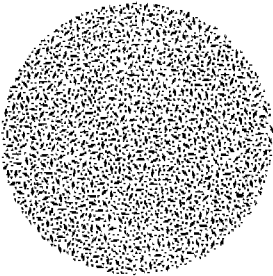


熱併合發電의 最新技術과 現況

Cogeneration-the Current Status and Technology



李 春 植

韓國科學技術院 機械工學部長

I. 概 括

1. 熱併合發電 이란

- 전력이나 열, 공정용 증기와 같은 다른 형태의 유용한 에너지를 동일한 설비로부터 생산하는 것
- 필요한 열과 전기 또는 기계적 동력의 동시 생산/동력생산에 있어서의 저급 열에너지의 회수

대규모산업체 - 공장내발전 (In-plant generation)
부산 동력 (By-product power)
가스산업체 - 토탈 에너지 (Total Energy)

2. 熱併合發電 시스템

다음 그림에는 열병합발전 시스템의 기본 배치형태가 표시되어 있다. 열병합발전제에 관련된 서로 다른 업체들이 표시되어 있고 어느 업체가 각 부분을 소유, 운영하는가가 나타나 있다.

A) 시스템 A는 산업체나 병원, 대학과 같은 공공 단체가 공정열 (난방열)과 전기를 모두 생산할 수 있는 수단을 소유, 운영하는 형태이다. 이 시스템은 잉여전력을 전력회사에 판매하는 경우는 거의 없는 반면 전기수요의 부족분을 전력회사로 부터 구매해야 하는 경우이다.

B) 시스템 B는 A와 거의 같은 경우이나 열병합발전시스템 소유주가 잉여전력을 전력회사에 판매하는 형태이다.

이는 공정열 (난방열)수요가 많거나 고온의 공정열이 필요한 반면 전력수요가 적은 산업체에 들어 도기계조업체 경우에 해당하다. 이 시스템은 잉여전력판매로 인해 투자비회수기간이 짧아지는 장점이 있다.

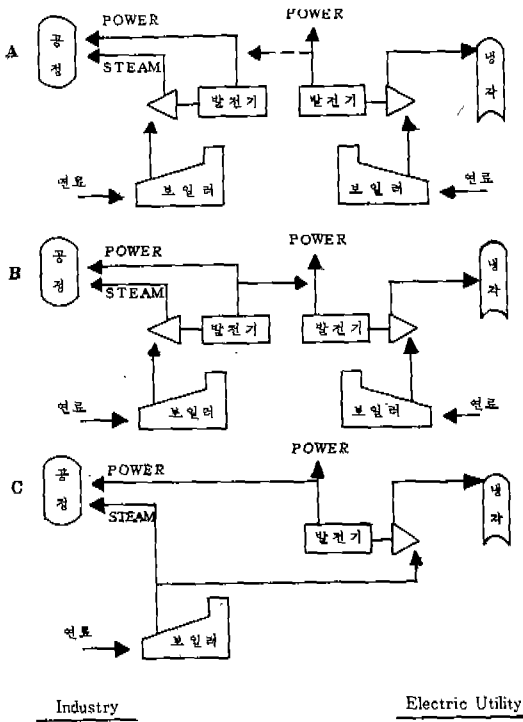
C) 전력회사에서 열병합발전시스템을 소유, 운영하는 형태이다. 시스템 C는 전력회사측에서 발전을 소유, 운영하고 산업체측에서 증기를 공급하므로 투자비용이 적다는 장점이 있다. 단지 이 경우는 산업체에서 전력회사에게 일정 조건하에 전력회사의 증기수요를 공급하여야 한다는 문제점이 있다.

D) 시스템 D역시 전력회사에서 열병합발전시스템을 소유, 운영하는 형태이다. 이 시스템은 전

력회사입장에서는 시스템 C, D, E중 가장 비싼 시스템이다. 이 시스템은 대규모의 Steam Topping Cycle, 소규모의 가스, 디젤 Topping Cycle 또는 Combined Cycle과 결합하여 운영될 수 있다.

E) 시스템 E는 시스템 C에서 나타났던 문제점을 해결한 형태이다. 즉 제 3자가 보일러를 소유, 운영하여 전력회사와 산업체에 동시에 증기를 공급하는 경우이다. 산업체에서는 새로운 시설에의 투자비가 감소되고 연료비가 절감되는 효과가 생긴다. 단지 산업체, 전력회사, 증기를 공급할 제 3자와의 사이에 적절한 결합이 전제되어야 한다.

Basic Cogeneration System



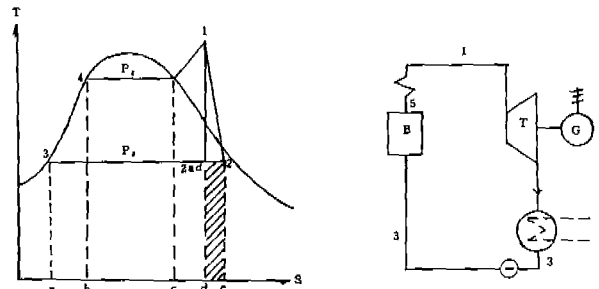
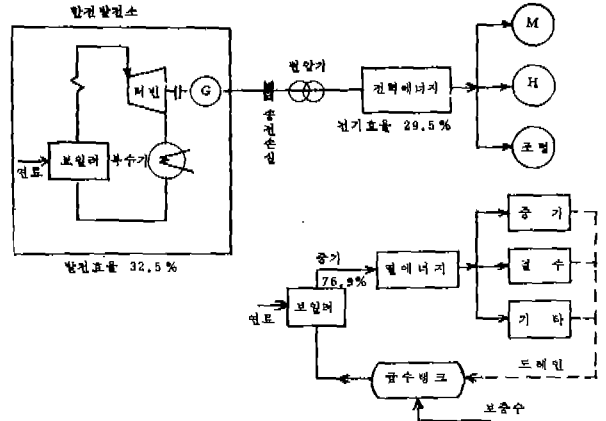
3. 熱併合發電의 效果

- 1) 연료자원의 이용극대화-연료절감, 효율증대
- 2) 산업체의 에너지경비 절감 가능-국제경쟁력 강화
- 3) 전력 및 증기의 공급안정성 증대
- 4) 송배전 손실감소
- 5) 한전 전력예비율 증가

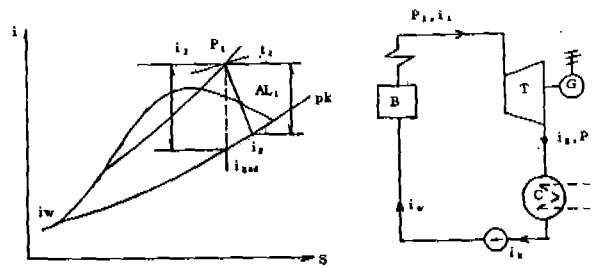
- 6) 전략적 가치
- 7) 공해방지 효과 및 재해감소에 기여

II. 시스템 構成

1. 一般의인 에너지 시스템



실증기 사이클 (복수식 발전소)



發電사이클 (i-s선도)

2. 熱併合發電 시스템

(1) Gas Topping Cycle

Gas Topping Cycle은 가스터빈으로 발전기를 돌려 전기를 발생시키고 배기로 폐열회수 보일러

에서 증기를 발생시킨다. 이 사이클은 다른 대부분의 사이클에 비해 전력대증기의 비가 크므로 공정용증기 수요보다도 전력수요가 비교적 많은 곳에 적합하다. 단지 이 Cycle의 단점은 천연가스나 석유류의 연료와 같은 고급연료가 필요하다는 것이다. 현재 진행중인 석탄액화 기술 발전으로 석탄으로부터 저렴한 가격으로 석유와 가스를 공급받을 수 있어야 한다.

(2) Diesel Topping Cycle

Diesel Topping Cycle은 가스터빈 사이클과 유사하나 발전기를 돌리고 폐열회수보일러에 열을 공급하는데 가스터빈 대신 디젤기관을 사용한다는 점이 다르다. 표에서 볼 수 있듯이 이 Cycle은 다른 Cycle에 비해 전기대 증기의 비가 가장 크다. 그러나 이 Cycle은 용량이 적어 비교적 소규모 용량의 업체에 적합하다. 또한 다른 Cycle보다도 공정용 증기압이 낮다.

(3) Steam Topping Cycle

Steam Topping Cycle은 배압터빈 또는 추기터빈을 쓸 수 있는데 이는 증기유량, 온도, 압력과 수요전력량에 따라 선택한다. 대부분의 경우 전력회사의 열병합발전 시스템에서는 증기량에 비해 많은 전력량이 필요하므로 추기터빈을 사

용하고 반면 산업체에서는 많은 공정용 증기수량을 만족시키고 응축기가 없어 간단히 사이클을 형성할 수 있는 배압터빈을 사용한다. 표에서 볼 수 있듯이 Steam Topping Cycle은 다른 Cycle에 비해 전력대 증기의 비가 가장 적으므로 다량의 공정용 증기가 필요한 곳에 적합하다. 또한 이 Cycle은 증기를 넓은 범위의 압력에서 필요에 따라 공급할 수 있고 석탄, 폐기물, 원자력등 여러 종류의 연료를 사용할 수 있는 장점이 있는 반면에 설치비가 비교적 비싸고 IMW보다 적은 용량에는 적합하지 못하다는 단점도 있다.

(4) Combined Cycle

Combined Cycle은 1.의 Gas Turbine Topping Cycle의 한 변형 형태이다. 이 두 경우 모두 전력발생에 가스터빈을 사용하고 터빈의 배기로 증기를 발생시킨다. 1.의 경우와 다른 점은 폐열회수보일러에서 발생시킨 증기로 Bottoming Steam Turbine을 돌려 전기를 생산하고 그 배기를 공정용 증기로 쓴다는데 있다. 따라서 이는 공정용 증기보다는 전력수요량이 많은 경우에 적합하다.

熱併合發電시스템

Cycle	용 량 (Mwe)	전기/증기 (kw/10 ⁶ Btu)	F C P (Btu/kwh)	공정증기압 (Psig)	플랜트설치비 (\$/kw)
1. 가스터빈 + 폐열보일러	0.5 → 75	200	5500	150 → 600	\$ 350 → 400
2. 디젤기관 + 폐열보일러	0.5 → 25	400	6500	15 → 150	\$ 350 → 500
3. 증기보일러 + 터어빈	> 1	45 → 75	5000	15 → 600	\$ 500 → 600
4. 조합사이클 + 폐열보일러	1 → 150	150	5000	15 → 900	\$ 350 → 450
5. 증기 bottoming cycle	0.5 → 10	-	0	-	\$ 400 → 600
6. Organic cycle	0.6 → 1	-	0	-	\$ 400 → 700

(5) Steam Bottoming Cycle

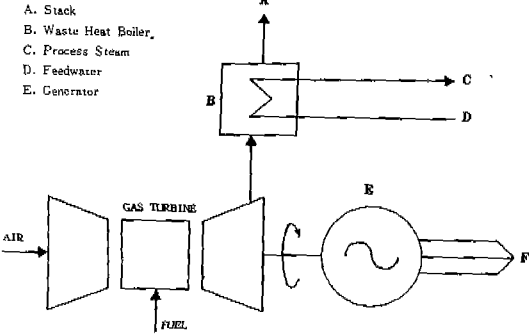
Steam Bottoming Cycle에서는 여러종류의 열원을 사용하여 전력발생에 사용할 수 있다. 이 Cycle은 업체에서 구매할 전력량을 비교적 간편하고 쉬운 방법을 통해 줄일 수 있는 방법이다.

또한 이 사이클은 다량의 폐열이 있는 지역에서는 그 지역의 공해를 증가시키지 않고도 전력을 생산할 수 있는 장점이 있고 특히 공해문제로 인해 전력생산이 허용되지 않는 지역이라면 이 방법이 유효하다.

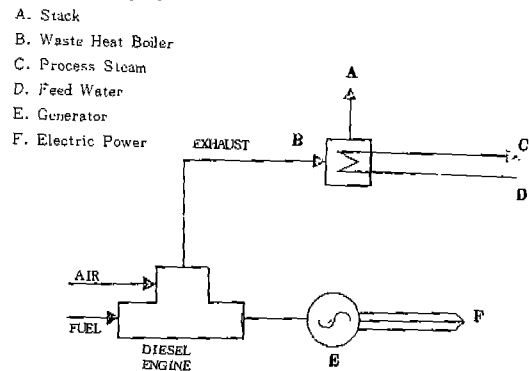
(6) Organic Bottoming Cycle

Organic Bottoming Cycle은 다른 열병합발전 시스템과는 달리 아직 완전히 완성되지 않은 새로운 기술을 이용하고 있다. 이 Cycle은 Steam Bottoming Cycle과 같이 폐열을 활용하나 비등온도가 낮은 유기물을 사용하는 점이 다르다. 따라서 Steam Cycle에서는 사용할 수 없는 중온 내지 저온의 열원을 유용하게 쓸 수 있다. 특히 디젤 사이클에서와 같이 다량의 열이 저온에서 방출되는 경우에 적합하다.

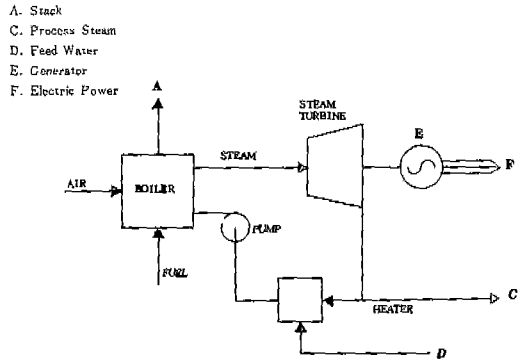
1. Gas Turbine Topping Cycle



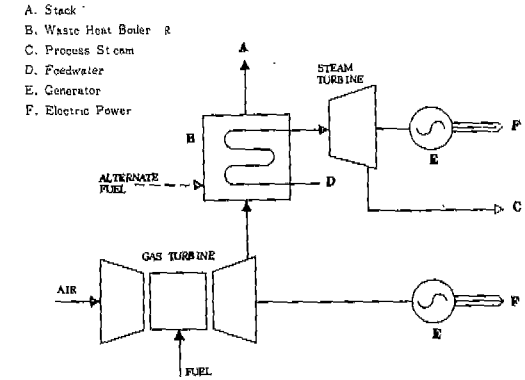
2. Diesel Topping Cycle



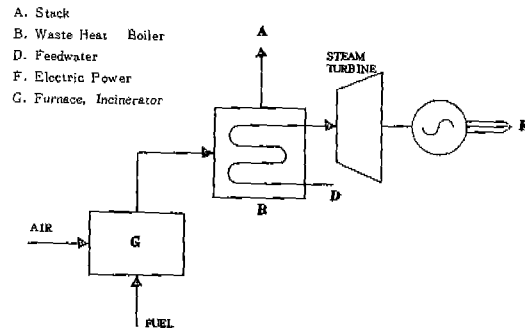
3. Steam Topping Cycle



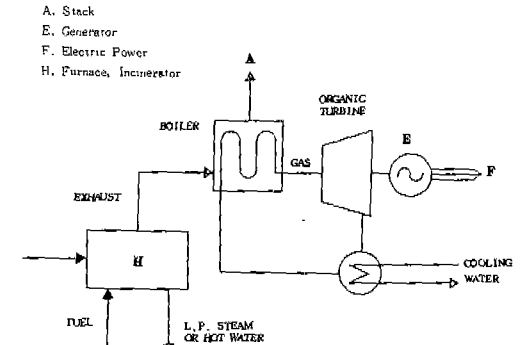
4. Combined Cycle

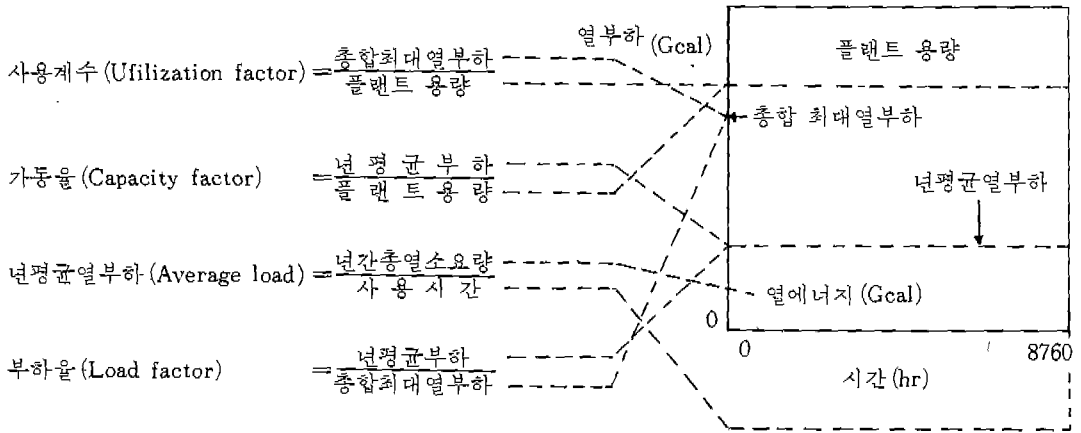


5. Steam Bottoming Cycle



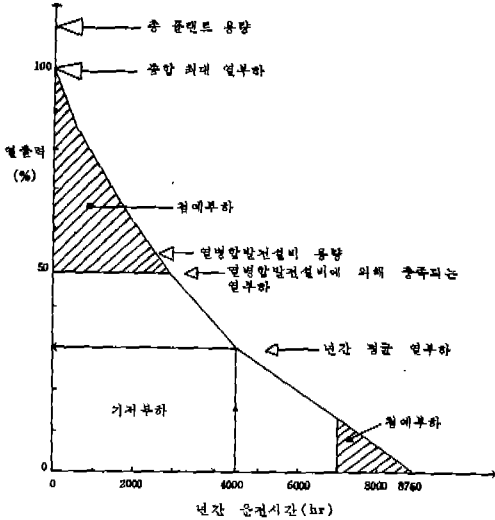
6. Organic Bottoming Cycle



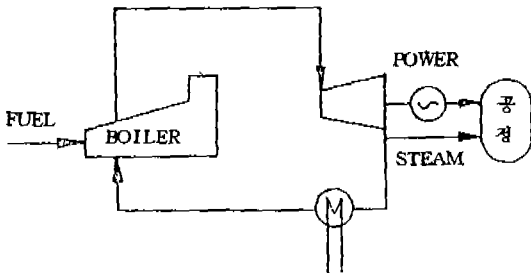


〈그림〉 年間 熱負荷 漏積曲線

熱負荷漏積曲線에 의한 熱併合發電 플랜트의 容量決定



- * 연간 열공급연량 - 푸신핀의 면적
- * 기저부하용 - 열병합발전소
심해부하용 - 전용열 증언트
- * 운전시간이 4,500시간일때 년간 최대 열부하의 30%의 열부하로서 열공급할 수 있음



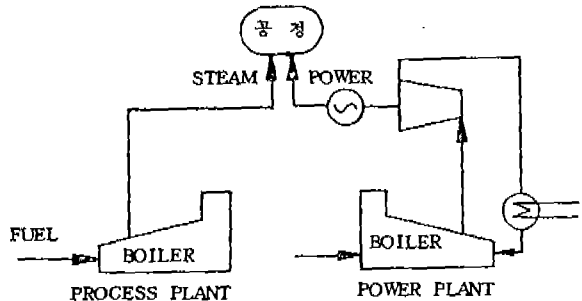
COMBINED PLANT

3. 一般에너지시스템과 熱併合發電시스템의 에너지 比較

	일반에너지시스템	열병합발전 전시스템	
전기 출력	10 ³ Btu/hr (kW)	3.4 (1)	3.4 (1)
공정 열량	10 ³ Btu/hr	14.2	14.2
총 출력	10 ³ Btu/hr	17.6	17.6
총 입력	10 ³ Btu/hr	30.4	24.4
전체 효율	%	58	72
연료절약량	10 ³ Btu/hr (%)	-	6.0 (2)

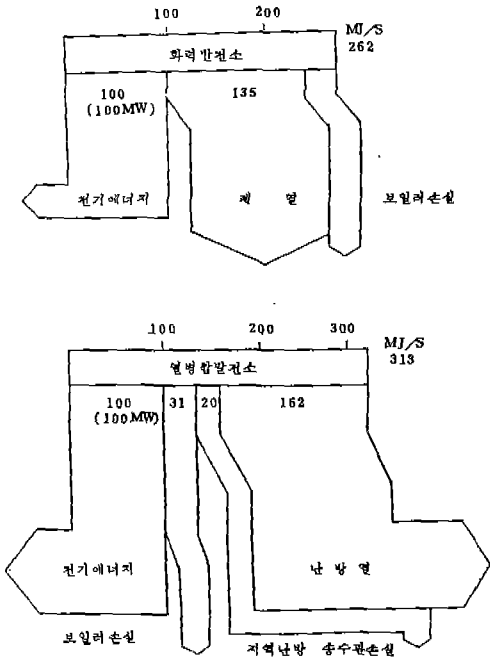
- 연료절감량 / 10⁴ kWh의 열병합 발전량
석탄 : 240ton
석유 : 40,000gallon
천연가스 : 6 × 10⁴ Cubic ft

一般에너지시스템과 熱併合發電시스템의 에너지 比較



SEPARATE PLANTS

在來式 火力發電所(Condensing Plant와
熱併合發電所(배압식)와의 比較



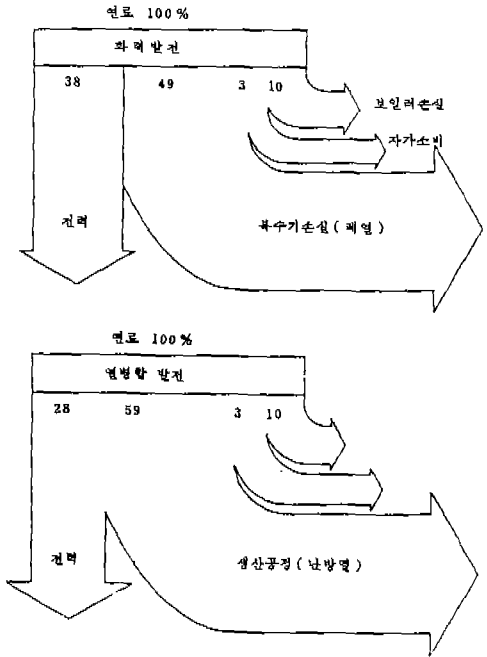
在來式 火力發電所와 熱併合發電所와의
에너지 比較

	투입연료	전기출력	난 방 열	열 손 실
열병합발전소	313MW	100MW	162MW	51MW
재래식발전소	262MW	100MW		162MW
차 이	51MW	0	162MW	- 111MW

1 GJ (1000MW)의 暖房熱을 얻는데 필요한
燃料熱量

	필요연료 열 량	전용지역난방에 대 한 연료소비비율
열병합 발전소	0.28GJ	1/4 (1/6)
난방전용지역 난방발 열소	1.18GJ	1.0 (0.7)
개별난방시설 (아파트, 주택)	1.70GJ	1.44 (1)

在來式 發電과 熱併合發電의 比較



Ⅲ. 經濟性分析과 熱併合發電 시스템
의 事例

1. 經濟性 分析

— 경제성 분석 방법 —

(1) 경제성분석에 고려해야 할 제요소

- 1) 투 자 비
- 2) 운 영 비
- 3) 판 매 수 익

(2) 열단가 전력단가산정

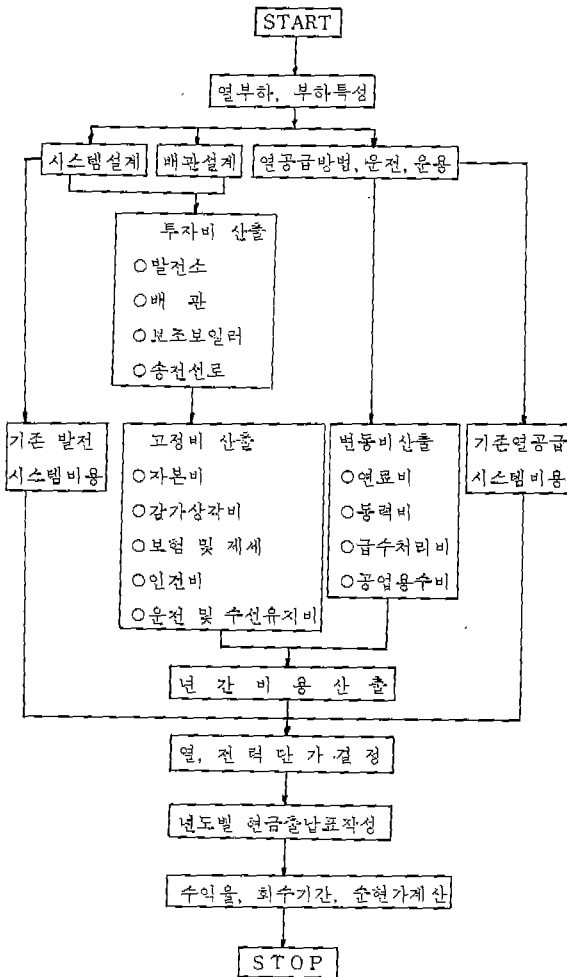
- 1) 증기의 에너지적이용에 따른 비용배분 방법
- 2) 별도생산에 대응하는 배분방법

(3) 경제성분석방법 및 기준

- 1) 내부수익율법
- 2) 투자비회수기간
- 3) 순 현 가

경제성 분석방법

열병합발전의 경제성분석은 기존방식에 비해 추 가되는 추가비를 연료절감에 의해 얻는 이득으로 어느 정도 보상 받을 수 있는가를 분석하는 것이다.



경제성 분석 Flow Sheet

(1) 경제성 분석에 고려해야 할 요소

1) 투자비

투자비는 생산이 개시되기 전에 소요되는 일체의 비용과 사업년도 중간의 시설투자비를 포함한다.

- ① 열병합발전소 건설비
- ② 배관 설비비
- ③ 열전용플랜트 건설비

2) 운영비

운영비는 생산활동에 직, 간접적으로 들어가는 연간 총비용

- ① 고정비 : 자본비, 감가상각비, 보험료 및 제세
운전 및 수선유지비, 각종경비 등이 포함

② 변동비 : 연료비, 동력비, 급수처리비, 공업용수비등이 포함

ex)

* 보조보일러

$$\text{필요연료량} = \frac{\text{보조보일러 연간 공급 열량 (Kcal)}}{\text{배관효율} * \text{보일러효율} * \text{발열량 (Kcal / kg 또는 Kcal/l)}}$$

$$\text{연료비} = \text{필요연료량} * \text{연료단가}$$

* 열병합발전소

$$\text{필요연료량} = \frac{\text{연간전력생산량} * 860 * \text{연간열생산 (KWH)} * \text{연간열생산 (Kcal/KWH)} * \text{발열량 (Kcal)}}{\text{열병합효율} * \text{발열량}}$$

$$\text{연료비} = \text{필요연료량} * \text{연료단가}$$

$$\text{* 펌프동력} = \frac{r * Q * H}{75} * 7.4569989 * 10^{-1} \text{ kW}$$

$$\text{동력비} = \text{전력단가} * \text{동력} * \text{연간가동시간} * \text{연평균부하율}$$

3) 판매수익

판매수익은 연간 총 열, 전기생산량에다 열, 전기 판매단가를 곱하여 구한다.

(2) 열단가, 전력단가 산정

열병합발전과 같이 같은 시설에서 동시에 2개의 생산품이 나올때의 단가계산은 어려움이 많으며 대략 다음과 같은 방법들이 있다.

1) 증기의 에너지적 이용에 따른 비용배분방법

① 난방증기생산을 위주로 하는 방법(증기가 첫째 목적)

② 전력생산을 위주로 하는 방법(전기가 첫째 목적)

③ 평균치 또는 비례계산방법 : 앞의 두가지 방법 모두가 그 계산에 공정하지 못한 요소가 있어 두방법에서 얻은 값을 평균 또는 비례 계산하는 방법

2) 별도생산에 대응하는 배분방법

열 및 전기를 별도로 생산한다고 했을 때의 비용과 열병합시 비용의 차액(Merit)을 양쪽에 안분하여 감하여서 가격을 결정하는 방법.

E. Shulz방식과 E. Shuly방식이 있다.

(3) 경제성 분석방법 및 기준

경제성 분석방법으로는 여러가지가 있으나 주로 내부수익율, 회수기간법, 순현재가법을 사용한다.

모든 계산방법이나 기준은 정부투자심사기준에 맞추어서 한다.

1) 내부수익율법

어떤 사업에 있어서 수입의 현재 증가와 지출의 현재증가가 같게 되는 이자율을 수익율이라 하며, 다음식으로 표시 된다.

$$\sum_{t=1}^T R_t (1+i_{RR})^{-t} = \sum_{t=1}^T (C_t + T_t) (1+i_{RR})^{-t}$$

여기서 t : 년도

- C_t : 년도의 총비용 (변동비+고정비)
- R_t : 년도의 총수익 (판매수입)
- T_t : 년도의 세금액 (세율*(R_t-C_t-감가상각비))

2) 투자비회수기간

판매수익금에서 운영비를 제외한 순수익금의 합이 플랜트 착공후 정상가동시까지 투입된 총투자비를 초과하기 시작하는 연도까지의 기간을 회수기간이라 하며 이자율은 계산치 않고 단지 총투자비를 몇년만에 회수하는가를 판단할 수 있다.

3) 순현재가

연간 순이익을 필요수익율로 현재화한 값으로 사업에 필요한 최소수익율로 현재를 계산(+) (-) 부호로 투자여부를 결정할 수 있다.

$$NPV = \sum_{t=1}^T (R_t - C_t - D_t) (1+i)^{-t}$$

2. 熱併發合電 시스템의 適用事例 結果 分析

— 사례A (미원 : 김포공장) —

(1) 열병합발전 설비 제원

① 자연 순환식 수관 보일러

- 용 량 : 41T/hr
- 압 력 : 96kg/cm²
- 온 도 : 510℃

② 다단 총동식 배압 터빈

- 압 력 : 80kg/cm²
- 온 도 : 505℃
- 배 압 : 7 kg/cm²

회 전 수 : 9,115 RPM

③ 옥내 Brushless 발전기 (3상 4극)

- 용 량 : 4,100 kW
- 전 압 : 3,300V
- 회 전 수 : 1,800 RPM

(2) 열병합발전 설비의 경제성 비교

운 전 현 황	설 치 전	설 치 후
공장연평균전력부하(kW)	4,651	4,651
자가 발전량	—	3,321
수 전 량	4,651	1,330
공장용 증기소비량(T/hr)	25.7	25.7
총 전력 사용량(MWh/yr) *	41,011	41,011
총 연료 사용량(kl/yr)	19,650	21,451

연간 에너지 경비	설 치 전	설 치 후
수 전 비 (백만원)	1,928	718
연 료 비 (백만원)	3,419	3,732
용 수 처 리 비 (백만원)	64	98
간 접 비 (백만원)	44	273
합 계 (백만원)	5,455	4,821

경 제 성 대 비	설 치 전	설 치 후
총 · 투 자 비 (백만원)	—	2,708
발전소 건설단가 (원/kW)	—	660,488
연 간 회 수 액 (백만원)	—	634
투자비 회수년수 (년)	—	4.3
연 감 가 상 각 비 (백만원)	—	308
상각기간내순이익 (백만원)	—	326

*수전량 11,776MWh/yr

— 사례B (조선호텔) —

(1) 열병합발전 설비 제원

① 열 설비 현황 :

- 증기 보일러 10T/hr
- 온수 보일러 2 T/hr
- Air Handling Unit 7,060×10³ Kcal
- Far Coil Unit 2,828×10³ Kcal
- 냉동기, 터보식 559 RT
- 흡수식 238 RT
- 개방식 1.5~15HP
- 제빙기 0.3~3HP

② 발전설비 현황 :

- (1) 발전기 # 1 272kWh×1
- (2) # 2 850kWh×3
- (3) 변압기 1,000kVA×3
- 시설용량 4,000kVA
- 수전용량 22.9kVA

비교 : (1) 비상용

1 대철거

(2) 열병합 발전용

(2) 열병합발전 설비의 경제성 비교

(3) 한전 계약 용량 2,260kW 변압기 4 대중

① 열병합 발전기의 가동 후 에너지 절약

	총사용량	발전량	한전 전기량	전기 절약비	열에너지 절약비	총 절약비
한전전기만	($\times 10^3$ kW)					
	7,811		7,811			
사용할경우 ('82. 10~ '83. 9)	($\times 10^3$ 원)					
	899,516		899,516			
발전기 가 동 결과	($\times 10^3$ kW)					
	7,811	2,974	4,828			
('82. 10~ '83. 9	($\times 10^3$ 원)					
	718,307	223,742	526,547	149,027	32,182	181,209

비고) ① 전기절약은 발전기들이
불하지 않고 한전 전기
를 사용했을 때 전기사
용량에 대한 요금 차액
이다.

② 한전과 열병합 발전기
를 5:3의 비율로 운전
한 실제 전기단가는
91.96원/kW이다. (한전
전기사용시 115.16원/
kW)

② 발전기의 B-C 유 소비량

	소비량 (kl)	절약량 (kl)
설 치 전 ('81. 10~'82. 9)	1,960	—
설 치 후 ('82. 10~'83. 9)	1,757	203

③ 열병합발전 설비의 설치 후 효과

(단위 : 백만원)

총 투 자 비 : ₩ 494.35

연 간 절 약 비 : ₩ 180.00

투자비 회수기간 : 2.7년 (33개월)

*

인간의 음성명령에 반응하는 로봇
인 Voicemate가 최근 북부 잉글랜드의
한 공장에서 온도조절장치 스위치부품
의 정확한 조립작업을 위한 서비스에
돌입했다. 이 로봇은 영국컴퓨터협회
로부터 혁신적인 기술로 평가받아 상을
수상했다. 이 로봇은 인간의 음성명
령에 의해 경량순금관의 팔이 스테핑모
터의 동력으로 작동한다. 이 로봇팔은
인간의 팔과 거의 동일한 움직임을
나타내며 0.05mm의 정확도를 갖는다. 이
팔은 필요한 공업규격에 의해 길이를 변
화시킬 수 있어 광범위한 용도를 갖는
다. 마이크로컴퓨터시스템에 의해
작동되며 필요한 경우 기보드로 명령할
수 있다.

音声命令으로 作動하는 로봇

