

열병합 발전에 의한 집단에너지 공급시스템(1)

글/민중기(한국전력기술(주) 수화력사업단 차장)

목차

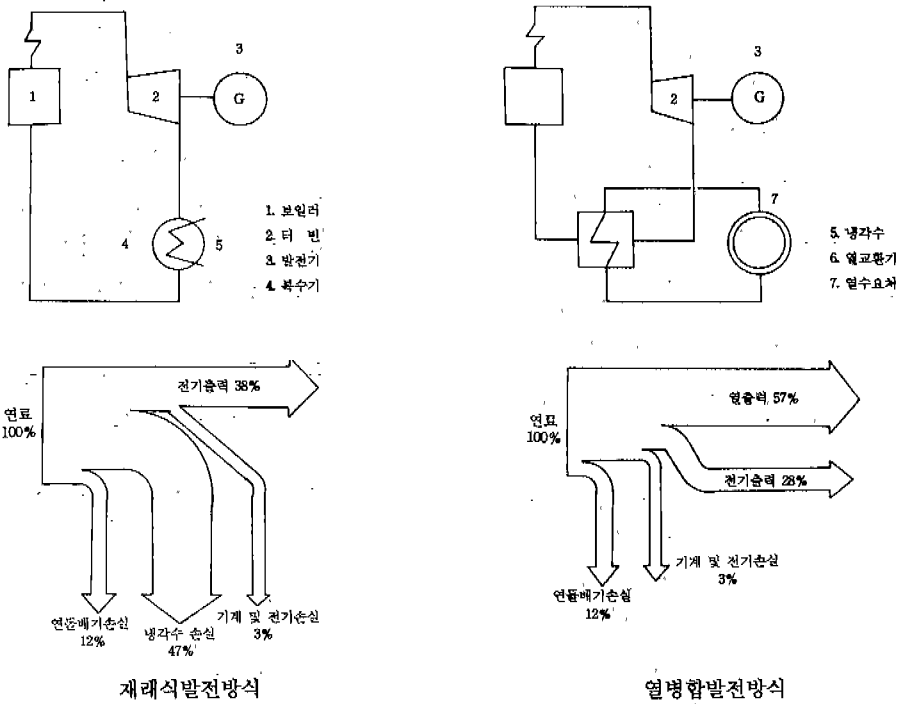
1. 열병합 발전의 개념
2. 열병합 발전방식
3. 열병합 발전 구성설비의 특성
4. 열병합 발전에 의한 집단·지역
냉·난방

1. 열병합 발전의 개념

에너지를 효율적으로 이용하기 위하여 동일 연료원으로부터 열과 전기를 병합하여 생산 이용하는 발전방식을 열병합 발전이라 말한다. 즉, 열병합 발전이란 단일열원으로부터 생산된 전기에너지와 열에너지를 적절하게 용도별로 공급하여 효율의 극대화를 얻고자 하는 종합에너지 공급시스템이다.

화학에너지의 고갈과 증가하는 에너지 소비의 추세에 맞추어 에너지 소비의 주종을 이루는 산업용 및 발전용 에너지를 효율적으로 이용하기 위한 방안으로 일부 산업체와 대규모 아파트 단지에서는 이미 열병합 발전 시스템을 도입하여 전력생산 및 공정용 열공급이 이루어지고 있으며, 평촌, 분당, 일산, 부천 그리고 산본 등 수도권 5개 신도시에도 열병합에 의한 집단에너지 공급을 위하여 열병합 발전소가 건설 중에 있다.

일반 화력발전은 열원으로부터 공급받은 에너지 중 많은 양이 보일러, 터빈, 발전기 및 복수기 등에서 손실되나, 열병합 발전의 경우는 복수기에서 손실되는 열량의 대부분을 공정용



<그림 1> 열병합 발전방식과 기존 발전소 발전방식의 비교

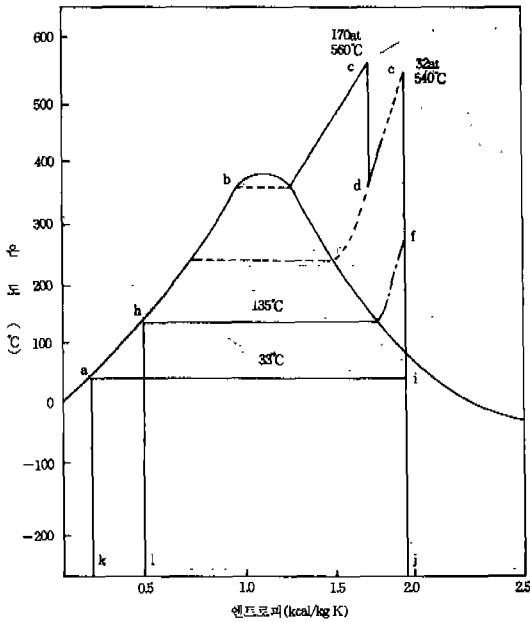
및 난방용으로 사용하므로 에너지 이용효율이 일반 화력발전에 비해 높다.

즉, 증기터빈을 이용하는 현재의 화력발전소에서는 터빈에서 고온고압의 증기를 팽창시킨 후 배기(Exhaust Steam)를 복수기에서 응축시키는 방식을 쓰고 있는데 이러한복수식 터빈(Condensing Turbine)에는 복수기를 통하여 외부로 버려지는 열량이 전체공급량의 절반 정도에 이르며, 이러한 기존 화력발전 방식의 열효율은 현재 열역학 이론으로나 기술상으로 이 이상의 대표적 개선을 바랄 수 없는 한계에 도달하였다.

증기터빈 방식을 이용한 열병합 발전시스템은 터빈의 팽창을 조기에 중단함으로써 인한 발전량의 감소가 발생하나, 그 대신 복수기에서 버려지는 대량의 열을 유효하게 이용할 수가 있다<그림 1>.

<그림 2>는 기존의 화력발전 사이클과 열병합 발전 사이클을 T-S 선도(Temperature-Entropy Diagram) 상에서 비교한 것이다.

전자의 경우 (배기온도 33°C)발생되는 전력은 면적 $adcdeia$ 이고, 후자의 경우(배기온도 135°C)는 면적 $hbcdefgh$ 로 되어 전자보다 면적 $ahgfia$ 만큼 전력생산이 줄어들게 되나, 배기의



<그림 2> 열병합 발전 사이클과 일반화력 발전 사이클의 비교

잠열을 포함한 면적 $hgijlh$ 의 열량을 열공급을 통하여 이용할 수 있다.

따라서 사용하는 증기의 온도가 높아질수록 발전량은 감소하나, 공급 열량은 더욱 증가함을 알 수 있다.

열병합 발전방식은 이와 같이 높은 연료이용률로서 에너지를 크게 절약할 수 있으며, 열원의 집중관리를 통하여 방제효과 및 환경공해 감소효과도 가져다 줄 뿐만 아니라 열수요처인 집단주택, 건물, 공장의 공간을 효율적으로 이용할 수 있게 한다.

2. 열병합 발전방식

열병합 발전방식에는 일반적으로 화석 연료를 이용한 증기터빈 방식, 가스터빈 방식, 복합 사이클 방식, 디젤엔진 방식 등이 사용되고 있

으며, 최근에는 태양열, 지열(Geothermal), 원자력, 풍력 그리고 산업폐열이나 폐기물 소각열 등을 이용한 열병합 발전방식도 고려되고 있다.

또한, 열에너지의 사용순서에 따라 토폭 사이클(Topping cycle)과 버토밍 사이클(Bottoming cycle)로 구분하며 토폭 사이클은 열에너지를 먼저 전력생산에 이용하고 나머지를 공정용 또는 지역난방용으로 이용하는 방식이며, 버토밍 사이클은 공정용으로 열에너지를 먼저 사용하고 나머지 열에너지로 전력을 생산하는 방식을 말한다.

각 방식별 시스템 구성 및 개요는 다음과 같다.

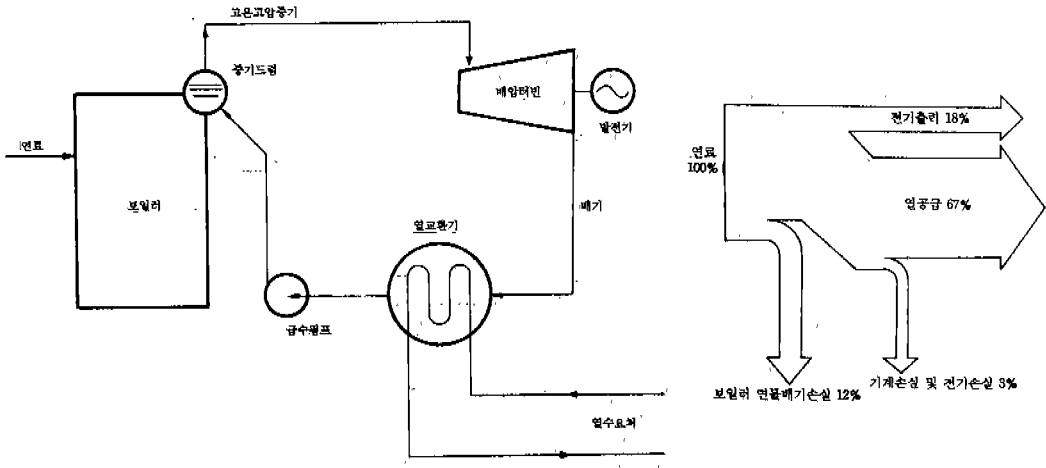
(1) 증기터빈 토폭 사이클

보일러로부터 공급되는 고온, 고압의 증기를 먼저 터빈에 통과시킨 후 그 배열 혹은 추기를 이용하여 열을 공급하는 방식으로서, 열공급 방식에 따라 터빈 배압으로써 고정된 열전비 즉, 열공급량과 전기 출력의 비가 결정되는 배압터빈 시스템과 추기의 유량에 의하여 열공급량과 발전량의 비율 조정이 가능한 추기-복수 증기터빈 시스템으로 나뉜다.

$$\text{열전비} = \frac{\text{열공급량(MW)}}{\text{전기공급량(MW)}}$$

가) 배압터빈 시스템

배압터빈 방식은 보일러에서 발생한 고온 고압의 증기가 터빈에 공급되어 터빈의 각 단에서 팽창하면서 그 열 낙차로 전력을 생산하고,



<그림 3> 배압터빈 시스템

터빈 마지막단(Last Blade)에서 배출되는 저압 증기(배압증기)는 생산공정 또는 지역냉난방의 열원으로 사용되는 방식으로서, 터빈의 배압은 생산공정 또는 지역냉난방에 필요한 증기의 압력에 의해 결정된다.

배압터빈 방식에 의한 열병합 발전 사이클은 <그림 3>에 나타난 바와 같이 설비가 간단하며, 증기부하가 일정하고 단일 압력의 저압증기가 필요한 경우에 가장 이상적인 시스템이라 할 수 있다.

배압터빈의 전기출력은 배출열량에 좌우되며,

- 열량소요의 연중변화가 적을 때
- 전력수요와 열수요가 평행하게 변할 때
- 열량수요의 의존도가 보조보일러 및 축열조에 의해 보충되어 순간부하 변동폭이 가능한 완만할 때

가장 경제적인 형태라 할 수 있다.

그러나, 배압터빈의 열전비는 터빈의 배기압력에 의해 터빈제작시 결정되므로 운전 중에는

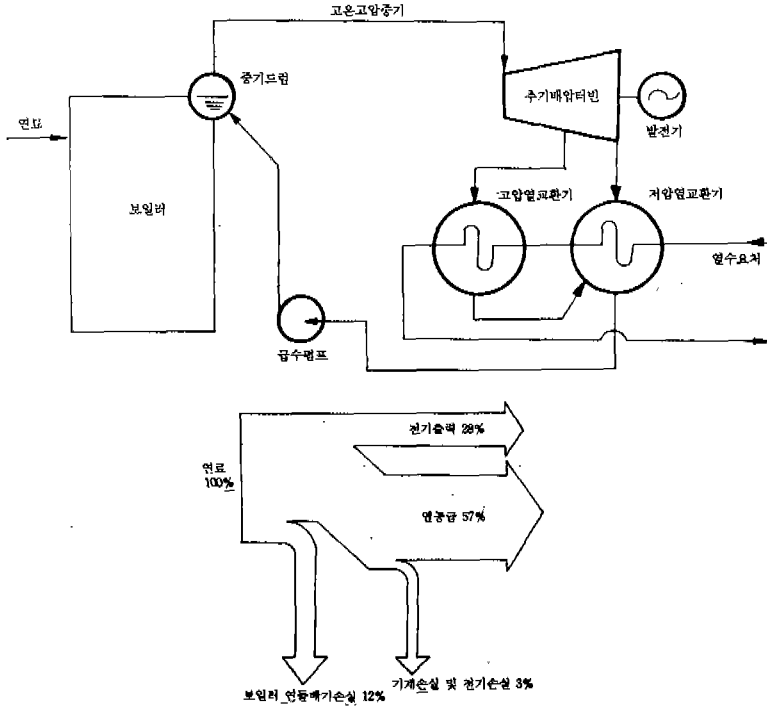
열공급량과 전기출력의 비율을 조정할 수가 없다. 따라서, 열부하의 변동이 클 경우는 설비의 이용율이 낮아진다.

특히 지역난방용 열병합설비로 채택시 열부하가 크게 감소되는 하절기에는 터빈의 배기열을 처리할 수가 없어 전력의 생산이 필요해도 설비의 가동을 중지해야만 하는 단점을 가지고 있다.

나) 추기 배압터빈 시스템

배압터빈 방식과 유사하며 생산공정 또는 지역냉난방에 필요한 2종류 이상의 일정 압력의 증기를 필요로 할 경우 이용하는 방식으로 추기(Extraction Steam) 유량을 조정함으로써 추기량이 없는 배압터빈보다 전력 및 증기의 조절이 용이하다.

1단 추기 또는 2단 추기 등이 주로 적용되는데 시스템이 배압터빈보다 <그림 4>에 나타난 바와 같이 조금 복잡하게 된다. 또한 열부하



<그림 4> 추가 배압터빈 시스템

율이 낮을 경우 설비의 이용률이 낮아 문제가 되나 열부하율이 높은 산업체의 공정열 공급에는 가장 경제적인 시스템이라 할 수 있다.

다) 추가 복수터빈 시스템

터빈내에서 팽창도중의 증기를 일부 추가하여 공정용 열부하로 공급하고 나머지 배기는 복수기(Condenser)로 보내는 방식으로서 추가량을 제어할 수 있으므로 전기공급과 열공급을 넓은 범위에 걸쳐 제어할 수 있다. 따라서, 열부하의 변동이 있어도 설비의 이용률을 높일 수 있으며, 추가 단수도 1, 2, 3단 등으로 하여 여러 종류의 증기로 열부하를 공급할 수 있는 장점이 있다.

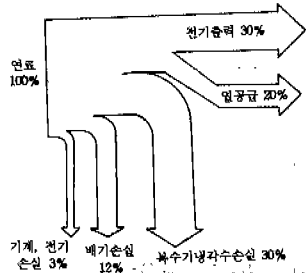
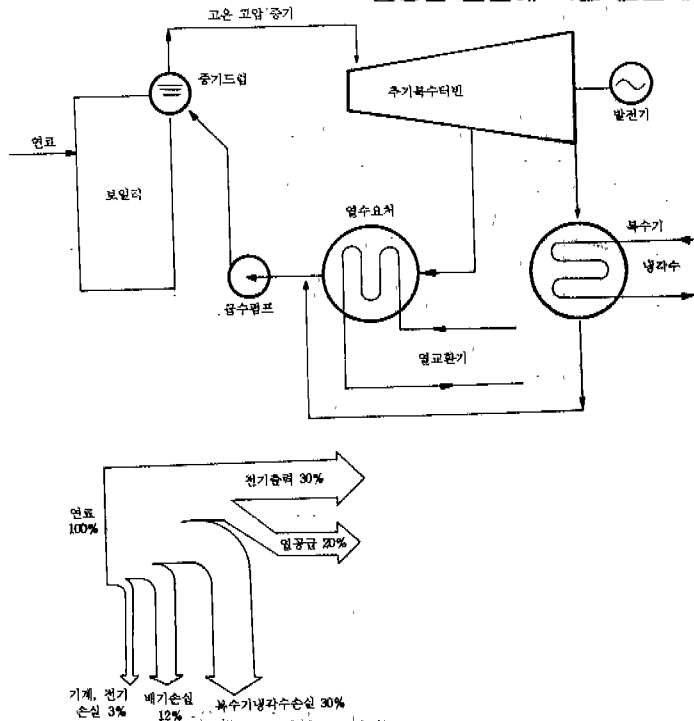
그러나, 추가 복수터빈 방식은 <그림 5>에서 보는 바와 같이 설비가 복잡하고 특히 많은 양의 복수용 냉각수가 필요하며 초기 투자비가 크며 열효율이 배압터빈이나 추가 배압터빈 방식보다 낮은 단점이 있다.

라) 배압터빈과 복수터빈의 조합시스템

배압터빈 시스템과 복수터빈 시스템이 갖는 특징을 조합한 방식으로 두개의 터빈이 독립적으로 운전될 수 있으므로 증기부하가 많아지고 전기수요가 적어지면 복수터빈을 정지시킬 수 있는 장점이 있다. 증기와 전력비가 비균형적인 산업체 또는 지역난방에 적합하다.

특히, 계절에 따라서 열부하의 변동이 매우 심한 우리나라의 지역난방 특성으로 볼 때 열부하 추종운전을 행하는 열병합 발전소의 운전모드는 매우 복잡할 뿐만 아니라 계절의 변화에 따라서 매우 큰 폭의 열전비(Heat and Electric Power Ratio) 변동이 예상된다.

따라서 신도시의 지역난방을 열병합 발전설비의 증기터빈은 열부하가 적고 전력 부하가 큰 하절기에는 복수터빈까지 운전함으로써 전력생산을 늘일 수 있고, 열부하가 큰 동절기에는 배압터빈만을 운전함으로써 높은 열부하를 감당할 수 있는 배압터빈 및 복수터빈의 조합



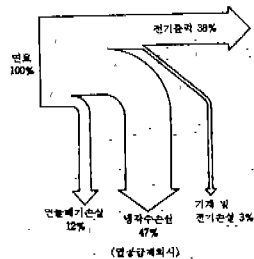
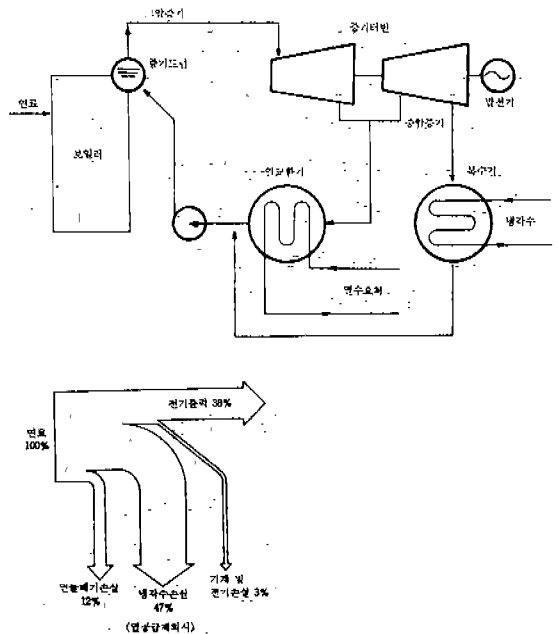
<그림 5> 추가 복수터빈 시스템

방식이 채택되어 건설 중에 있으며, 이 방식은 에너지 이용 효율을 높이고 설비의 가동율을 높이며 설비를 최소화시킬 수 있는 최적의 방식인 것으로 판단된다.

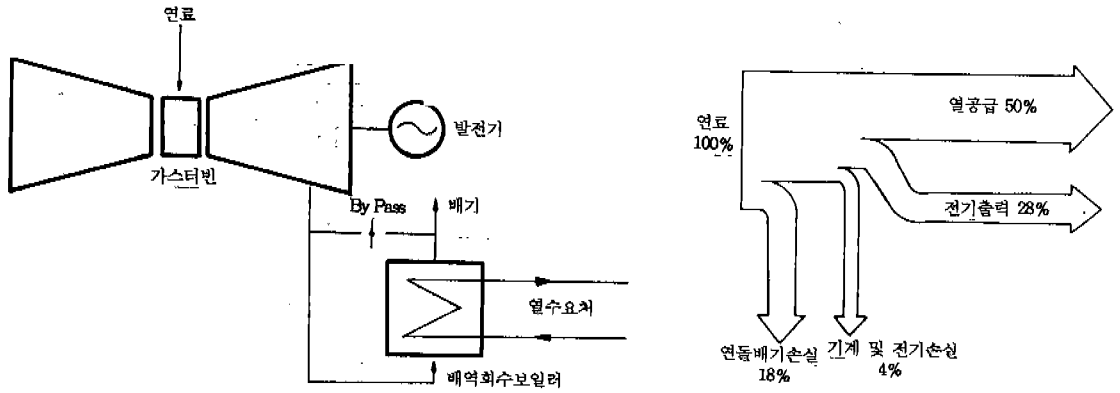
(2) 가스터빈 토폴 사이클

가스터빈에서 발전을 하고 배기되는 500℃ 이상의 고온 폐가스를 이용하여 배열회수 보일러(HRSG)에서 증기(열)를 발생시키는 방법으로 주로 발전량보다 열공급량이 많이 필요할 때 사용되며, 입구 공기의 압축비를 제어하며 열전비를 소폭 조정할 수 있다.

가스터빈 배기측 배열회수 보일러를 Bypass 시킴으로서 가스터빈만을 운전할 수 있으며, 공사기간이 짧을 뿐만 아니라 운전이 간편하고, LNG를 연료로 사용할 때 환경 공해문제가 거의 없으며, 냉각수를 필요로 하지 않는 등의 많은 장점을 가지고 있다.



<그림 6> 배압식과 복수터빈의 조합



<그림 7> 가스터빈 토평 사이클

그러나, 가스터빈에는 값이 비싼 연료를 사용해야 하고, 가스터빈만을 단독 운전할 경우 효율이 28%~31% 정도로 매우 나쁠 뿐만 아니라 배기측 HRSG 설비를 By-pass한 고온 배기로 인한 환경 공해의 영향이 매우 큼으로 도심지에서는 열부하가 일정치 이하일 경우에는 가스터빈을 운전하기가 곤란하다.

따라서 가스터빈 토평 사이클은 열부하가 거의 일정하게 걸리는 공정용으로 수도권과 같이 공제규제 강화지역에 위치한 산업체에 적합하다<그림 7>.

(3) 가스터빈 복합 토평 사이클

가스터빈 복합 토평 사이클은 가스터빈과 증기터빈 토평 사이클을 합성한 것으로 가스터빈의 연소실에서 연소된 가스는 터빈에서 팽창하면서 전기를 생산한 후 배열회수 보일러로 보내어지며, 배열회수 보일러에서 생산된 증기는

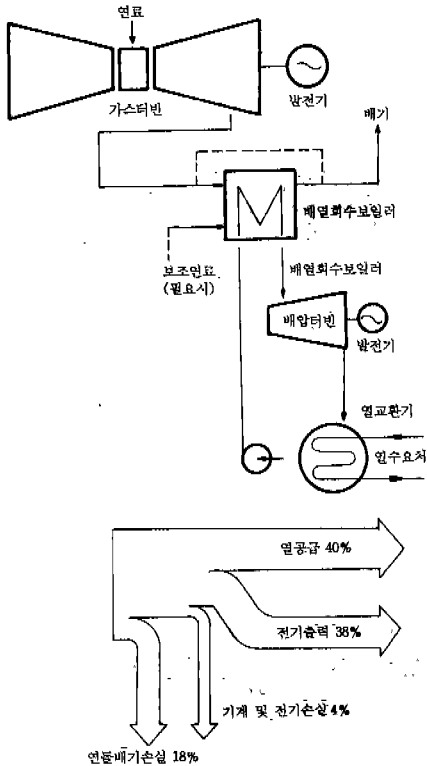
증기터빈에서 팽창하면서 별도의 전기를 생산케 된다.

증기터빈 사이클에서 요구하는 증기량에 따라 가스터빈의 배기에 별도의 연료를 추가할 수 있으며, 증기터빈은 배압식이나 추기 복수식을 사용할 수 있다.

복합 사이클은 일반화력에 비해 초기투자비가 낮고, 열효율이 좋으며 공사기간이 짧은 장점이 있는 반면에 비싼 연료를 사용해야 하는 단점이 있다.

그러나, 주거지역 인근에 설치되는 지역난방용 열병합 설비나 수도권에 위치한 산업체의 경우 사용연료에 제한이 있으므로 높은 연료비용을 감수할 수 밖에 없으며, 이러한 단점은 설비의 이용률과 효율을 최대한 높임으로써 보완하여야 한다.

따라서, 여러가지 운전방식으로서 지속적으로 설비를 운전할 수 있고, 가스터빈의 폐열을 이용하여 발전과 열공급을 동시에 행함으로써



<그림 8> 가스터빈/증기터빈 복합 토폰 사이클

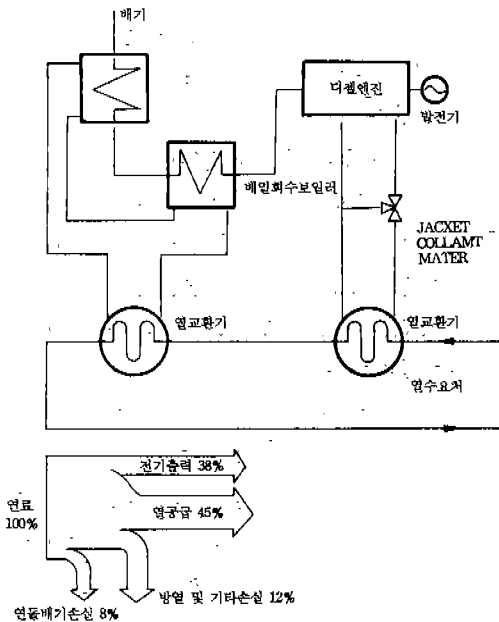
설비 효율을 최대한 높일 수 있는 가스터빈 복합 토폰 사이클이 적합하다<그림 8>.

(4) 디젤엔진 토폰 사이클

디젤엔진 토폰 사이클은 수냉계를 제외하고는 가스터빈 토폰 사이클과 유사하며, 수냉계통은 배기열회수설비와 함께 열발생설비의 역할을 한다. 디젤엔진의 배열은 타설비에 비하여 적으므로 발전량에 비하여 소량의 열공급만이 가능하다.

따라서, 디젤엔진 토폰 사이클은 높은 전기수요에 비하여 낮은 열수요가 요구되는 공정에 유효하다.

디젤엔진 토폰 사이클은 운전이 매우 간편한 장점을 가지고 있으나, 값이 비싼 연료를 사용해야 하는 것이 흠이다<그림 9>.



<그림 9> 디젤엔진 토폰 사이클

(5) 버토밍 사이클

버토밍 사이클은 산업공정 중 발생하는 연소가스의 폐열을 회수하여 배압터빈을 돌린 후, 터빈의 배기를 난방용 열교환기에 통과시키는 것으로 산업설비의 폐열을 이용하여 소량의 발전을 행할 때 사용된다.

버토밍 사이클은 폐열원이 열수요처에 근접하여야 하고, 그 규모가 적기 때문에 비교적 큰 폐열원을 가지고 있는 산업체의 운용 효율화를 위하여 적용되는 방식이다. ☹

<다음호 계속...>