

# 열병합 발전설비의 적용



권 영 수

열병합발전의 개념, 특징, 열병합발전의 산업설비 및 지역 난방에 적용하는 방식을 소개하고자 한다.

## 열병합 발전의 일반적 개념

열병합 발전이란 하나의 에너지원으로 부터 전력과 열을 동시에 생산하는 것을 말한다.

열병합 발전은 생성된 에너지를 어떻게 이용하느냐에 따라 토폭 사이클(topping cycle)과 버터밍 사이클(bottoming cycle)로 구분된다.

그림 1은 토폭사이클과 버터밍사이클의 개념도를 나타낸 것이다. 일반적으로 국내에서 많이 이용되는 열병합 발전은 토폭사이클에 속하는 것으로서 연료를 연소시켜 고

온, 고압의 증기 또는 가스를 생산하여 일차적으로 전기를 생산하는 목적으로 이용한 후, 그 여열 또는 일부의 열을 이용하여 산업체의 생산공정용 열이나 지역난방의 난방 및 급탕용 열 등으로 이용하는 시스템이다.

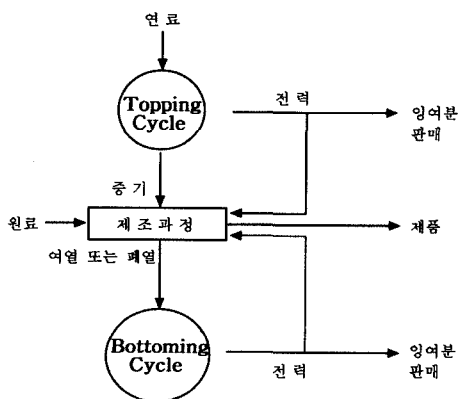
버터밍사이클은 산업체의 공정과정에서 발생하는 산업여열 또는 폐열을 이용하거나 폐기가스 등을 연료로 하여 생산된 고온, 고압의 증기 또는 가스로 전력을 생산케 하는 사이클로서 주로 제철소에서 많이 채택하고 있다.

## 열병합발전 특징

열병합발전은 전력과 열을 동시에 생산하는 시스템으로서 높은 엔탈피차를 전기에너지로 변환시키고 배기(또는 추기)를 이용하여 생산공정에 필요한 열로 사용하기 때문에 에너지 이용효율을 높일 수 있고 에너지 공급의 경제성을 제고시킨다.

터빈(turbine)의 입구와 출구의 증기조건(압력, 온도)이 전용발전기와 동일하다면 전용발전기보다 열병합발전의 열효율이 높다. 열병합은 터빈에서 나온 배열을 이용하기 때문에 당연히 종합 열효율이 높아야 한다.

그러나 동일한 투입에너지(연료)량에서



<그림 1> 토폭 사이클과 버터밍 사이클의 개념도

열병합 발전이 전용발전기 보다 반드시 양호하다고 단언할 수는 없다. 그 이유는,

첫째, 열병합의 TBN-GEN(복수기 제외) 효율은 전용발전기에 비하여 매우 낮다. 이는 전용발전기 보다 터빈입구의 압력과 온도가 낮으며 터빈출구의 압력이 높고 터빈 손실이 크기 때문이다.

둘째, 열병합에서의 터빈배열의 이용은 가용에너지의 관점에서 보면 엔트로피 변화에 의한 비가역성 손실이 내재하고 있기 때문이다.

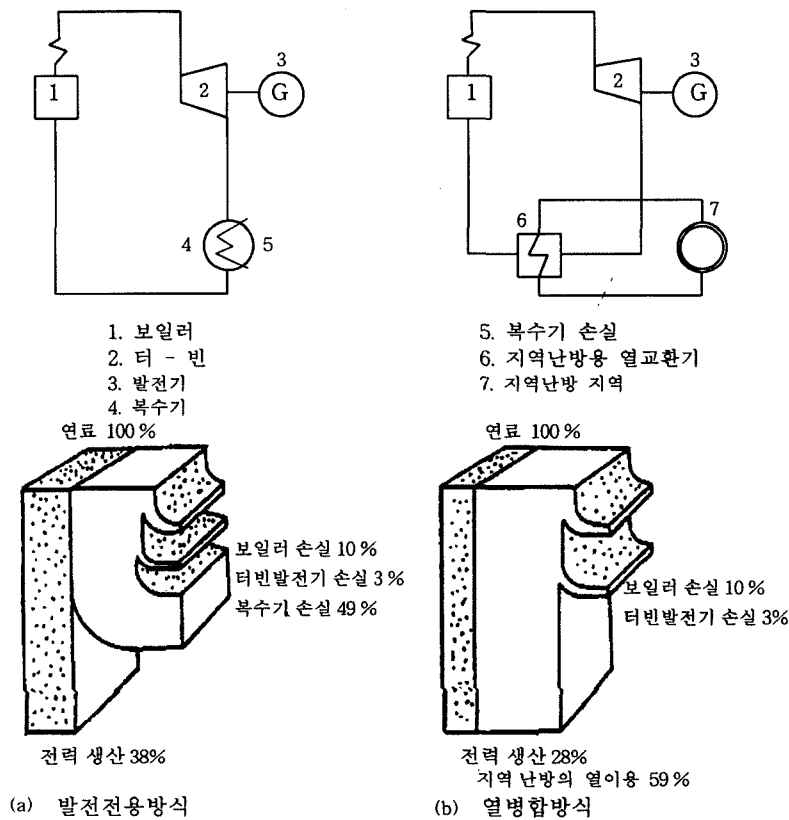
셋째, 열병합발전은 열수요와 전기수요가 플랜트 성능과 부합되어야만 비로소 그 효율이 발휘되기 때문에 이론적인 열효율과

실제 운용상의 평균효율과는 수요형태에 따라 상당한 차이가 있을 수 있다.

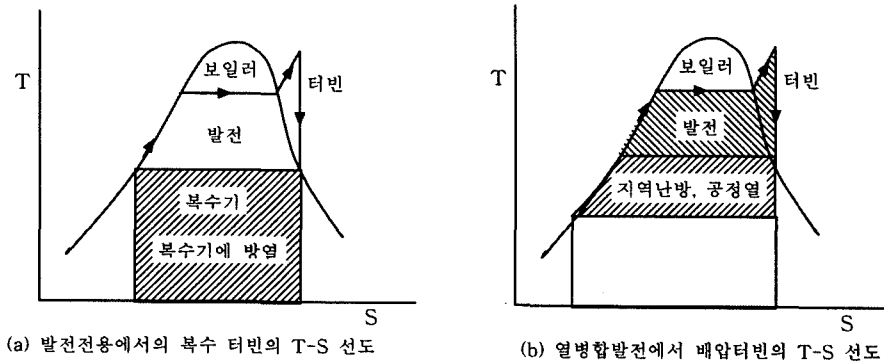
열수요가 없어서 가동을 중지하거나 열수요가 적어서 플랜트의 성능을 충분히 발휘하기 못한다면 설비의 효율저하로 인하여 경제성이 크게 저하된다.

그러므로 열병합발전이 에너지이용 합리화에 기여하려면 그 열수요의 형태를 고려하여 도입되어야 한다. 예를 들어 제지산업이나 석유화학 플랜트와 같이 열수요가 많고 일정하게 연속적으로 필요한 곳에서는 열병합발전의 에너지이용 합리화 기여는 매우 높다.

그러나 열수요가 없거나 적은 기계조립



<그림 2> 발전전용방식과 열병합방식의 기본원리 비교



〈그림 3〉 발전전용과 열병합발전의 T-S 선도

공장에서 열병합발전을 한다는 것은 비합리적이다.

일반적인 열병합 발전방식과 복수기를 이용한 발전전용 방식을 비교하면 그림 2와 같다.

그림의 예에서와 같이 복수식 발전방식은 에너지가 열원으로부터 공급되면 보일러에서 10%, 터빈-발전기에서 3%, 복수기에서 49%의 손실이 발생하므로, 전력에너지를 생산하는데는 38%만이 유효하게 이용되어 복수기를 통하여 유실되는 손실이 전체공급열

의 거의 절반을 차지함을 알 수 있다.

열병합발전의 경우는 보일러와 터빈발전기의 손실은 복수식과 거의 같으나 전력생산에 28%를 이용하고 지역난방에 59%의 에너지를 이용하므로 공급된 에너지의 87%를 유효하게 이용할 수 있다.

즉, 복수기에 의한 손실 49%가 유효열이 되는 것이다. 그림 3은 그 관계를 T-S 선도에 나타낸 것이다.

이와 같은 열병합발전의 특성을 전용방식과 비교하면 표 1과 같다.

〈표 1〉 전용방식과 열병합발전의 특성 비교

구분	전용방식		열병합발전
	발전전용	열공급전용	
발전 및 열생산 방식	복수터빈방식	저압보일러	배압식, 추기배압식 추기복수터빈 양식
발전효율 및 에너지 이용률 (평균이론치)	38%	90%	87% { 전기 : 28% 열이용 : 59%
용량	대용량	소용량	소용량
플랜트운전	급전계획에 따라 효율적으로 운전	열부하에 따라 운전	산업체 또는 지역난방 열부하에 따라 운전
발전량	전력수요에 의하여 결정		열부하에 의하여 결정
시설상의 차이	발전소와 열생산 플랜트가 각각 독립된 설비		단일 플랜트에서 열과 전기를 동시에 생산

### 열병합발전의 사용목적별 분류

열병합발전을 사용측면에서 분류하면 용도별, 사용주체별, 생산전력 처리형태별, 부하형태별 등으로 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 용도별
  - 산업용
  - 업무용 (민수용)
- 사용주체별
  - 자가용형 (산업체, 빌딩 등)

- 집단에너지 공급형 (지역난방, 공업 단지 열병합)
- 생산전력 처리형태별
  - 전량 판매형
  - 잉여전력 판매형
  - 전량 자가소비형
- 부하형태별
  - 기저부하용
  - 변동부하용
  - peak-cut 형

### 산업체용 열병합발전

#### 개요

산업체 열병합발전은 전력과 공정용 증기를 함께 생산하여 에너지이용을 높일 수 있는 방법으로 기존의 열전용공급 및 전력공급방식보다 효율적으로 보급이 점점 확대되어 가고 있다.

그러나 산업체 열병합발전의 도입을 위해서는 열부하, 열밀도, 소요증기 압력의 종류, 가동율, 배관길이, 건설 및 운용여건, 연료수송, 환경문제 등 도입조건이 구비되어야 하므로 국가경제적 측면에서 신중한 검토와 시행계획이 수립되어야 하는 것이다.

#### 적용방식

- 기술적 형식
 

산업체에서는 소요별 특성에 따라 발전방식이 다를 뿐만 아니라 전력 사용량과 증기사용량이 업체마다 다르므로 열과 전력비에 따라 알맞는 발전방식을 채택하여야 한다. 표 2는 열전비에 따라 알맞는 발전방식을 나타내었다.
- 설비용량 및 운전형식
 

열병합발전의 용량 및 운전방식에는 3가지가 있을 수 있다. 그것은 발전용량

〈표 2〉 소요별 특성에 따른 발전방식

구분 증기 전력비	발전방식	에너지 이용율 (%)	대상산업	소요열특성
0~4	추기복수터빈, 복수터빈, 가스터빈, 디젤(복합)	33~63	판유리, 철강, 소다알미늄, 폴리 에치렌 시멘트, 염화비닐	전력사용량이 증기사용량 보다 클때
4~9	배압터빈, 추기 배압터빈, 추기 복수터빈	47~87	제지, 펄프, 석유 정제, 화학비료, 제염 아크릴, 폴 리에스텔 석유화학, 방직 등	전력과 증기사용 량이 비교적 균 형을 이룰 때
9이상	배압터빈, 추기 배압터빈	77~87	제당, 식용료, 식품 콤팩트, 타이어, 고무	전력사용량이 증기사용량에 비하여 적을때

과 증기수요량을 어떻게 맞추어 조화 시키는가에 따라 다르다.

용량의 결정은 시스템을 침두부하 (peak load)에 맞추어 설비용량을 설정하고 남는 전력을 판매하는 방법, 사용자의 전력부하 중 최저부하를 기준으로 하는 방법, 전체 시스템을 전력회사와 별도로 독립시켜 운영하는 방법 등이 있을 수 있다. 각각의 방법은 장·단점이 있으므로 어떤 형식을 정할 것인가는 여러 가지 요인을 감안해야 한다.

### 지역난방용 열병합발전

#### 개요

열병합 발전을 이용한 지역난방은 집단에너지 공급지역내의 주거지역, 상업지역, 공공건물의 냉난방 및 급탕용 열에너지를 공급하기 위한 열생산과 전력생산을 함께하여 에너지 이용율을 높이는 방법으로서 국내에서는 목동, 신정동 지역에 이 방법의 도입을 기점으로 보급이 확대될 전망이다.

〈표 3〉 열부하 특성에 따른 발전방식 선정

발전방식		적절한 사용 경우	
증기 터빈	배압터빈	열수요의 연중 변화가 적고 전력수요와 열수요가 일정하게 변할때나 열수요의 의존도가 보조 보일러나 축열조 등에 의해 보충될 수 있을 때 사용된다.	
	추기 터빈	배압식	경제성은 양호하나 부하율이 문제가 되어 산업체의 공정열 공급에 경제적이다.
		복수식	부하변동에 대한 순응성이 좋고 전력과 열의 제어가 용이하며 지역난방시 터빈 팽창과정의 증기를 추가하여 열공급을 할 수 있으므로 열부하가 없는 경우는 복수식 발전소로 운영이 가능하다.
가스 터빈	개회로 방식	열부하가 적고 전력부하가 최대인 경우에 전력생산만 할 수 있으며 열부하가 최대인 경우 폐열보일러 및 보조버너를 이용하여 열생산을 많이 할 수 있다.	
	폐회로 방식	어떤 연료를 써도 좋으며 원자력발전에 이용하도록 실용화 연구가 추진중이다.	
복합발전방식 (가스/증기터빈)		지역난방에 적용하는 경우, 열출력의 변화에 따라 전력 생산량이 변화한다. 지역난방의 경우 보조버너가 없는 경우가 훨씬 간단하며 증기터빈 추기복수식이 비경제적이나 적용성이 좋아 주로 사용한다.	
디젤엔진방식		부분부하 적응성이 좋으나 연료가 제한되어 있다. 소형 설비로 블록난방설비에 적합하며 짧은 배관망이므로 80℃ 정도의 낮은 온도로 난방 열공급이 가능하다. 또한 중·소 열소비 지역의 임시용, 첨두부하용 열플랜트로 사용할 수 있다.	

**적용방식**

열병합 발전의 규모는 동시부하율을 고려한 건물 및 주택들의 최대부하에 지역배관의 열손실을 합한 최종적인 설비용량에 의해 산정되게 되지만 발전방식은 전력부하나

열부하의 변동에 따라 경제성이 다르므로 열부하 특성에 따라 적절한 발전방식을 선정하여야 한다. ㉔

〈기획 : 김병주 이사(bkim@wow.hongik.ac.kr)〉