

- 발전설비의 효율적 운전 (강사 : 한전보령화력발전소 과장 권영국)  
보령 복합발전소 운전개요, ABB 가스터빈의 성능 및 특성(재열연소사이클,성능,구조,운전 및 보

- 수), 발전설비의 효율적 운전방안(고장패턴 및 고장예방,정비방식의 발전) 등
- 보령 복합화력발전소 견학

## 소형 열병합발전 설치 및 기술개발 동향

방효선 박사, 손하승 과장  
한국가스 공사 연구개발원

(0345)4830 · 4839



### 1. 서론

우리나라의 경우 원유, 가스에너지를 전량 수입에 의존하는 국가이며, 최근 산업경제가 급격히 발달함에 따라 석유등 화석연료의 소비량은 폭발적인 증가를 보이고 있다. 이로 인하여 에너지의 효율적 이용과 CO2 발생 억제등을 통한 환경 공해문제를 해결할 수 있는 대안제시는 국가 정책적 측면에서도 대단히 시급하며 중요하다. 이에대한 방안으로써 천연가스를 사용하는 5MW급 이하의 소형 분산형 열병합발전 시스템 보급을 들 수 있는데 주로 산업체 공장, 호텔, 병원, 업무용 빌딩에 설치하여 전력을 생산공급하고 이때 발생하는 폐열을 회수하여 냉방, 난방, 온수등에 이용하므로써 총 효율을 70% 이상까지 올릴 수 있는 고효율 에너지 기기이다.

특히 건물열병합은 1985년경 부터 롯데호텔, 조선호텔을 포함하여 약 49MW, 6개소 정도가 설치 운전되고 있으나 1990년대초에는 대도시내의 액체연료 사용을 규제함에 따라 급격히 보급 사례가 감소하였다. 그러나 최근에는 소형 열병합발전의 도입 필요성이 크게 부각됨에 따라, 정부차원에서 설치자금 지원 및 세제혜택과 기술개발 자금지원등을 추진하고 있으며, 한국가스공사에서도 중공업 업체와 1MW급 가스터빈 패키지 열병합 발전시스템 및 200kW급 가스엔진 패키지 열병합 발전시스템을 개발하였다. 특히 1MW급 가스터빈 열병합 발전시스템은 신축중인 한국가스공사 신사옥에 설치하여 전력 및 열을 생산

공급하므로써 에너지 기업체로써 한국내 열병합의 보급 활성화를 위한 홍보 역할을 도모하고 있다.

본 논문에서는 소형 열병합을 중심으로 현재까지의 설치현황, 향후 설치전망, 정부차원에서 시행하고 있는 제도 및 기술개발 지원현황을 비롯하여, 한국가스공사에서 개발한 패키지 타입 열병합 발전시스템을 중심으로 소개하고자 한다.

### 2. 에너지 사용실태

1990년이후부터 국민소득의 증가와 함께 에너지 사용패턴이 급격히 바뀌어 고급에너지인 전기 및 가스의 사용량이 크게 증가하게 되었다. 이와함께 계절별 기후특성이 뚜렷한 관계로 전력의 경우 여름철에는 냉방용 전력사용량 증가로 전력예비율이 5% 이하로 떨어지는 심각한 문제를 발생시키고 있으며, 가스의 경우도 난방용 수요가 많은 겨울철 대비 비수기인 여름철의 가스수요량은 약12% 이하까지 감소하여 발전용으로 전환 사용하는등 계절별 심각한 부하조절 문제가 대두되고 있다. 이에대한 대안으로서 정부에서는 연면적 3,000㎡ 이상의 업무시설 등 일정규모 이상의 신축건물에 대하여 가스를 사용하는 흡수식 냉동기 및 빙축열식 냉방기 설치를 의무화 하는 방안을 시행하고 있으며, 이와함께 대형빌딩, 호텔, 병원 등에 소형 분산형 열병합발전시스템을 설치하여 전력생산 및 가스수요를 확대 할 수 있는 방안을 적극 도모하고 있다.

Fig. 1은 전기 가스 사용량에 대한 월별 동향을 나타낸 것이다. 전기사용량은 여름철인 8월에 연간최대치인 30,000MW/월인 반면 비수기인 4~5월에는 여름철대비 약76%인 23,000MW/월을 나타내고 있다. 가스의 경우는 성수기인 12월에는 632,000Ton/월인 반면 여름철인 8월의 경우는 겨울철대비 약 12%인 77,000Ton/월로서 계절별 부하편차가 대단히 큼을 나타내고 있다.

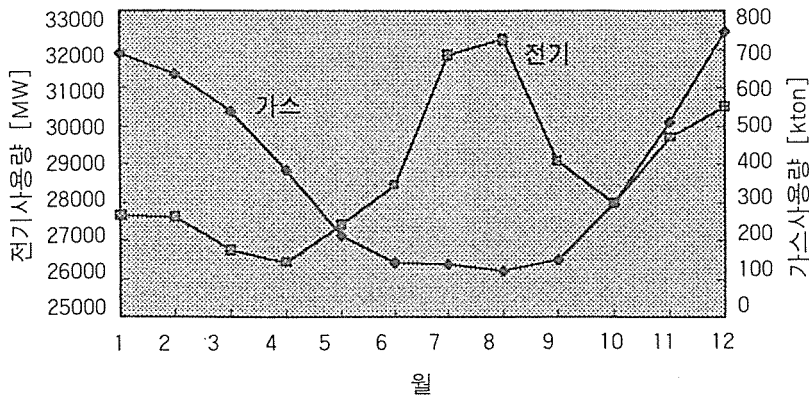


Fig. 1 전력 및 가스의 월별 사용량 비교

### 3. 설치 현황

열병합발전 방식이 국내에 처음 도입된 것은 1960년대 부터이나 대부분 15,000kW급 이하의 자가발전 설비 이었으며, 1980년대 부터는 공업단지등 산업체 열병합 발전을 중심으로 보급확산되기 시작하여 규모 및 용도에 있어서 집중적인 중앙난방 방식이거나 지역난방용으로 목동열병합, 남서울열병합, 반월열병합등 대형 발전소와 유사한 규모까지 발전하였다.

국내에 설치된 열병합 발전설비는 <표 1>과 같이

<표. 1> 열병합 발전현황

( '95년초 기준)

구	분	설치수	용량 (MW)	사용연료	총발전량 대비 %
집단에너지 공급형	공업단지	10	490.1	유연탄, 중유	1.7
	지역난방	10	2,597	중유, 경유, LNG	9.2
자가용	산업체	56	1,137.6	유연탄, 중유	3.8
	건물	6	49.2	LNG	0.2
합	계	82	4,273.9		14.9

자료 : 에너지관리공단 "집단에너지 및 열병합발전사업 추진 현황"

'95년 초 까지 총82개소로서 발전용량 4,273MW를 생산중에 있다.

건물부문 6개소는 주로 설치당시('1985 ~1990)는 경유등 액체연료를 사용하였으나 1990년 이후부터는 대도시 내에서의 액체연료 사용을 규제함에 따라 연료를 천연가스로 사용하며 1기당 1000kW를 초과하는 대형이 대부분이다. 산업체 56개소는 주로 유연탄, 중유를 사용하는 스팀터빈구동 발전시스템이고 공업단지, 지역난방 분야는 1기당 20MW이상 용량의 가스터빈과 스팀터빈의 복합사이클 발전소로서 분산형 열병합발전과는 다소 의미가 다르다. <표 1>에 나타낸 자료는 이와 같은 의미를 종합하여 가스엔진, 가스터빈등 원동기를 구동시켜 발전을하고 이때 발생하는 폐열을 회수하여 필요한곳에 사용한다는 측면에서 포괄적으로 집계한 자료이다. 그러나 에너지 이용효율의 중요성이

부각되면서 Cogeneration의 개념도 총효율이 65% 이상이며, 지역난방 열병합과 같이 난방용 열원이 필요한 경우에 한하여 발전하는 것이 아니라 주로 5MW급 이하로서 건물 등에 설치하여 발전 및 냉난방 열원을 공급하며 일년 내내가동이 가능한 시스템을 의미하고 있다. 한국에는 이러한 개념의 천연가스를 사용하며 Compact, Package Type으로 건물 등에 설치한 사례는 거의 없다. 최근 90년대 부터는 이러한 개념의 소형 분산형 열병합발전 시스템을 널리 보급하고자 정부, 한국가스공사 등을 중심으로 연구 개발 및 각종 지원을 하고 있다.

### 4. 향후 설치전망

1990년 이후 급격한 경제발전과 함께 정부차원에서 산업체공장, 업무용빌딩군, 주택지역 등 대규모 건설사업을 추진함에 따라 이곳에

필요한 냉난방 및 PROCESS용 열원을 효율적으로 생산하여 공급하기 위한 대규모 열병합발전소를 건설하여 전력 및 열원을 생산 공급하고 있다. 집단에너지 공급형의 대규모 열병합발전소의 발전용량 및 사업체 수는 <표 1>에서와 같이 70여개소 4200MW에 달하고 있다. 현재 신축중인 사업장도 공업단지 및 집단에너지를 중심으로 5개공단에 약520MW에 달하며, 향후 이러한 방식의 열병합발전소는 지속적으로 증가할 것으로 예측되어진다.

정부에서는 연간 연료사용량이 20,000TOE 이상인 산업체, 연간 전력사용량이 5,000kWH 이상인 대형건물(호텔, 병원, 쇼핑센터등), 연간연료사용량이 50,000TOE이상인 공업지역등이 열병합 보급대상으로 추정하고 있다. 이러한 기준으로 한국의 자가용 열병합 및 집단에너지 공급형 열병합에 대한 보급대상과 현재까지의 보급실적을 살펴보면 <표. 2>와 같다.

<표. 2> 대상별 보급율

구 분	보급대상	보급실적	보급율(%)
○자가용			
- 산업체(업체수)	76	56	73.7
- 건물(건물수)	43	5	14.0
○집단에너지 공급			
- 지역난방(천세대)	1,800	422	12.4
- 공업단지(공단수)	33	9	27.3

<표. 3>은 주로 연료로서 천연가스를 사용하며 에너지 이용효율이 높은 5MW급 이하의 Package

<표. 3> 소형열병합 설치 전망

구 분	'96	'97	'98	'99	2000	
한전전력시설용량(MW)	34,410	36,708	39,216	41,768	44,703	
가스터빈 열병합	설치예상대수	20	35	55	80	110
	용량(MW)	134	234	368	536	737
가스엔진 열병합	설치예상대수	60	105	165	240	330
	용량(MW)	22	38	61	88	122
디젤엔진 열병합	설치예상대수	80	140	220	320	440
	용량(MW)	127	222	394	508	699
계	설치예상대수	120	240	440	620	880
	용량(MW)	283	494	778	973	1,558

Type 소형 분산형열병합에 대한 설치전망을 나타낸 것으로서 '93. 6. 상공자원부의 "소형열병합발전 시스템 보급 활성화 방안 기획연구"에서 예측한 결과이다. 2000년기준 가스터빈 열병합은 110대 737MW, 가스엔진 열병합은 330대 122MW, 디젤엔진 열병합은 440대 699MW로써 총 발전량은 880대 1,558MW에 달할 것으로 예측한적이 있다. 그러나 3년이 지난 '97년 현시점에서 볼 때 여러 가지 제도적인 문제와 사업자의 인식 부족으로 이에 못 미칠 것으로 보여진다.

### 5. 기술개발 및 연구 현황

Cogeneration에 필요한 기술은 가스터빈 가스엔진동원동기 설계제작기술, 폐열회수장치, 제어장치등 주변 요소기기 기술, 외부 전력회사등과의 병렬운전 위한 계통연계기술 등으로 분류할 수 있다. 우리나라의 기술수준은 폐열회수보일러등 열병합 시스템의 주변 요소기기의 설계제작은 가능한 수준이나 가스터빈등 원

동기 설계제작기술은 초보적인 단계에 있다. 이로 인하여 현재 설치중인 대부분의 Cogeneration System은 중요부품인 원동기는 미국, 유럽, 일본 등에서 수입하고 폐열회수장치를 비롯한 요소부품은 자체 설계 제작하여 설치하고 있다.

여러 가지 상황을 볼 때 열병합의 보급활성화를 위해서는 경제성을 높이기 위하여 시스템의 초기투자비를 절감시켜야 하며 이를 위해서는 종합적인 기술개발이 요구된다. 정부에서는 <표. 4>에서와 같이 소형분산형 열병합을 주 대상으로 보급활성화를 위하여 에너지 관련연구소, 민간기업체와 공동으로 대책수립연구, 기술개발연구등 다각적인 노력을 기하고 있다.

한편 고효율에너지 기기개발 및 각종 가스관련 연구를 수행하고 있는 한국가스공사 연구개발원에서는 <표 5>에서와 같이 1989년경부터 일본, 프랑스등 선진외국의 기술개발사례를 면밀히 조사 검토하였으며, 그 결과 열병합분야에 대한 기술개발 및 보급활성화를 위한 연구의 필요성을 확증하게 되었다.

〈표. 4〉 최근 열병합분야 정부 추진과제 현황

연구 수행 기관	연구수행기관
1. 열병합발전용 상용발전기 개발	효성중공업(주)
2. 소형열병합발전소 관리 및 제어S/W 개발	효성중공업(주)
3. 열병합발전용 200kW급 가스엔진개발	쌍용중공업(주)
4. 소형 열병합발전 시스템 최적화 연구	에너지기술연구원
5. 소형열병합 보급 촉진 전략수립연구	한국가스공사
6. 소형열병합발전 계통연계방안 연구	한국전기연구소

적극적으로 추진하고 있다. 또한 정부와 공동으로 소형열병합발전 보급활성화 전략수립연구를 수행하고 있다. 또한 개발된 1000kW급 가스 터빈 열병합발전시스템은 에너지관련 공기업으로써 에너지 절약 사례의 모범적 운영을 위해 당 공사 사옥에 '97. 4까지 설치하여 시범적으로 운영할 계획에 있다.

열병합에 대한 체계적인 계획수립, 대책수립을 위하여 '91년 열병합 기초 타당성 연구를 시작으로하여 200kW급 가스엔진 열병합발전 시스템개발, 1000kW급 패키지 타입 가스터빈 열병합발전 시스템 개발등

〈표. 5〉 한국가스공사 연구개발원 연구현황

연구 과제 명	연구기간
1. 천연가스이용 열병합발전 기술개발 기초 연구	1991
2. 천연가스이용 Package Type 열병합발전 시스템 개발	1992~1993
3. 소열열병합발전시스템 개발 및 보급활성화 기획연구	1993
4. 1000kW급 가스터빈 패키지열병합시스템 개발	1992~1995

## 6. 1MW급 가스터빈 열병합발전 시스템 개발

〈표. 6〉 가스터빈 열병합 시스템의 사양

가스터빈 발전설비	
가스터빈	회전 속도 : 26,600/1,800rpm (터빈/출력단)
	정격 출력 : 1,100kW (흡입공기온도 : 15°C)
	시동방식/감속장치 : 전동기(75kW) / 유성치차식(26,600/1,800rpm)
발전장치	형식/용량/역율 : 동기 발전기/1,320kVA(40°C)/0.8
	주파수 : 60Hz
Enclosure	방음성능 : 기축 1m, 지상 1.2m, 85dB(A)이하
제어 판넬류	구성 : 가스터빈, 발전기, 보기 제어반
폐열보일러	형식 : 관류식
	증발량/압력/급수 온도 : 3,070k l /h/8.0kg/cmG/60°C)
가스 압축기	형식 : 축단 구동 스크류식
	토출량/흡/토출압 : 420N m <sup>3</sup> /h/1.0~2.0/15kg/cmG
	소요 동력/냉각 방식 : 55kW/유냉식
수분사 장치	용량 : 75% (도시가스 13A, 중량비)
순수장치	형식/용량 : 혼상식 또는 RO(역삼투압식)/280 l /h

한국가스공사 연구개발원에서는 효성중공업(주)와 공동으로 '92부터 '95까지 3년동안 한국내 건물용으로 가장 적합한 용량으로 검토된 1MW급 가스터빈 패키지 열병합발전 시스템을 개발하였다. 가스터빈 열병합발전 시스템은 원동기인 가스터빈, 감속기어 장치, 발전장치, 폐열회수장치, 가스압축기, 순수장치,

제어장치 등으로 구성되어있다. 가스터빈 본체는 일본의 가스 3사와 MES사가 공동으로 개발하여 상품화한 가스터빈 열병합 패키지 시스템인 GP 1000에 사용되고 있는 MES사의 SB5 가스터빈을 사용하였고 제어판넬, 발전장치 및 열회수 기기등은 국산화 개발을 하여 적용하였다. 본 시스템은 1,100kW 전기

출력과 상용 압력이 8kg/cm<sup>2</sup>G인 포화 증기 3,070kg/h의 열출력 성능을 갖도록 개발하였으며, 필요에 따라 발생된 증기는 약640RT급 증기식 흡수식 냉동기에 열원으로 이용하여 냉방이 가능토록 하였다.

한편 천연가스연소시에도 발생될 수 있는 환경오염물질인 NO<sub>x</sub>발생량을 저감시키기 위하여 역삼투압식 순수장치를 적용하여 터빈 연소기에 순수를 분사 시킴으로서 NO<sub>x</sub>발생량을 70ppm(O<sub>2</sub> 16%) 이하로 저감되도록 설계하였다. 이와함께 시스템의 가장큰소음원인 가스터빈 본체(약 125dA)와 가스압축기는 85dBA이하가 되도록 밀폐형이며 방음효과가 큰 Enclosure를 설계 제작하여 적용하였으며 시스템 설치위한 기초지반과 시스템 베드사이에는 방진 고무 및 방진 스프링을 설치하여 지반으로 전달되는 진동원을 흡수하도록 하였다.

성능실험을 실시한 결과 기동시간은 목표치를 13분 이내로 계획하였으나 시험결과는 7분 30초 정도로 양호하였으며, <표. 7>의 결과는 성능실험한 결과치와 표준조건(15°C, 1ata, 습도 60%)상태로 환산한 결과를 나타내고 있다. 표준조건으로 환산한 결과로서 연료소비량은 384.3Nm<sup>3</sup>/h, 증기발생량은 2,983.7kg/h, 발전출력은 1000kW, 총효율은 74.7%, NO<sub>x</sub>발생량은 32ppm로 나타났다.

항 목	Dry condition		Wet condition	
	실험결과	표준화결과	실험결과	표준화결과
1. 연료소비량(Nm <sup>3</sup> /h)	382.7	400.0	386.2	384.3(404)
2. 배가스온도(°C)	476.8	477.5	465.7	465.6(497)
3. 증기발생량(kg/h)	2945.6	3048.9	2843.7	2983.7(3070)
4. 발전효율(%)	24.9	24.1	24.7	24.1(25)
5. 보일러효율(%)	52.5	49.7	50.2	50.6(47)
6. 총효율(%)	77.4	73.8	74.8	74.7(72)
7. 열전비	2.14	2.24	2.21	2.19(2.25)
8. NO <sub>x</sub> 발생량(ppm)	64		32(70ppm이하)	

\* ( ) : 설계 목표치  
\* 1000kW (약 100%) 부하 기준

또한 본 연구로 개발된 성과품은 '97. 6 현재 경기도 분당 한국가스공사 사옥에 설치 완료하여 건물에 필요한 전력공급 및 냉난방용 열원을 공급하고 있다. 사옥은 연면적 33,000m<sup>2</sup>, 8층 사무용건물로서, 열병합발전에 의하여 건물에 필요한 전력을 우선적으로 공급하는 BASE LOAD 방식으로 운전되며, 건물 전력부하가 1000kW이상인 경우 외부 전력회사에서 부족전력을 공급받는 방식으로 운전된다. 또한 폐열은 회수하여 난방용으로 이용되며, 여름철에는 흡수식 냉동기에 공급하여 냉방용열원으로 사용하는 방식이다.

에너지 공기업인 한국가스공사 사옥에 1000kW급 가스터빈 열병합발전 시스템을 설치하여 운전하므로써 한국내의 유사 업무용빌딩, 병원, 호텔등 에너지 대량소비 건물에의 도입을 위한 시범모델 역할 및 보급활성화를 위한 홍보역할이 기대된다.



사진 1 설치 시운전되고 있는 열병합 시스템

본 열병합발전 시스템은 '94년까지 설계 제작 완료하여 '96년 7월 현재까지 성능실험을 실시하고 있다. 성능실험은 기동실험을 비롯하여 25, 50, 75, 100% 부하에 대하여 발전출력, 증기량, 가스소비량, 소음 및 배가스 성분 등을 측정하여 각종 상태 및 효율을 분석하였으며, 또한 NO<sub>x</sub>저감을 위한 순수장치를 작동시켰을때와 작동시키지 않았을때의 비교 분석을 실시하였다.

## 7. 결 론

우리나라의 전기/가스의 수급불균형, 환경공해문제, 에너지의 효율적사용측면을 고려할때 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 방법중의 하나로서 Cogeneration의 보급활성화는 필연적이며 시급하다. 특히 계절별 기온차가 뚜렷하기 때문에 동절기 가스 사용량에 비하여 하절기 사용량은 약 12%이하로 떨어지는등 심각한 문제를 발생시키고 있다. 이러한 문제 해결을 위하여 정부 및 한국가스공사를 중심으로 보급활성화를 위한 방안으로 설치자금융자(설치자금의 90%, 연리 5%, 단일전당 35억원~55억원이내), 외부전력회사와의 병렬운전 및 설치에 관련된 인허가

사항의 절차완화등 제도적인 지원을 실시하고 있다.

또한 국내 보급을위한 적정용량의 열병합발전 시스템 개발을 비롯하여 연구개발 자금을 지원하고 있으나 현재까지의 설치사례는 미흡한 실정이다. 이는 국내 전기료, 관심(설치대상 기업주, 정부관계자, 일반 국민등)의 부족, 기술부족에 의한 초기 투자비 과다 및 운영비 문제(특히 가스요금), 기존 시스템에서 새로운 시스템 채용에 대한 보수성등이 주된 원인으로 볼 수 있다.

결국 지속적인 연구개발 활동을 비롯하여 설치자금융자, 경제성 확보를위한 가스요금 할인방안등 경제적측면을 우선적으로 고려하여 보급 활성화 시책을 마련해야 할것이다.

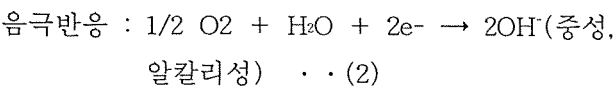
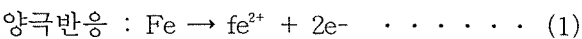
## 배관의 누설 및 부식 진단 방법

### 1. 토증금속 방식 상태 진단

※본자료는 97. 5. 7~10간에 실시한 열병합발전설비 유지보수교육의 강의록에서 발췌하였음.

#### 1. 부식의 개념

도관의 부식은 전식을 포함해서 수분의 개재에 의해서 생기는 전기화학적 부식(습식)이고 토양이나 물 등의 전해질에 접촉하고 있는 도관표면의 부식에서는 아래(1)식과 같은 반응이 일어나서 철이 철이온이 되어 전해질중에 용해되어 나간다. 이것을 양극반응이라고 한다. 한편 동일표면 또는 다른 표면에서 (2)식과 같은 반응이 일어나서 (1)식의 반응에 의해서 생성된 전자를 소비하여 OH-이온 또는 수소가스를 생성한다. 이것을 음극반응이라고 한다.



양극반응과 음극반응은 서로 같은 속도로 진행되

고 그 결과 양극부에서 음극부로 전해질을 통해서 부식전류가 흐른다. 부식부에서는 부식량 또는 부식속도는 부식전류와 밀접한 관계가 있어서 페러데이의 법칙에 따르는 것이 알려져 있다. 철의 경우 1mA/cm<sup>2</sup>의 부식전류밀도는 12.0mm/y의 부식속도에 상당한다. 양극반응에 의해서 나온 철이온은 전해질중의 OH<sup>-</sup>이온, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이온, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>이온 용존산소등과 반응하여 Fe(OH)<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, FeSO<sub>4</sub>, FeCO<sub>3</sub> 등의 소위 녹이된다.

#### 가. 부식 Mechanism

- ① 양극과 음극의 존재
- ② 양극과 음극사이의 전위차
- ③ 양극과 음극사이의 전기적 금속통로 존재
- ④ 양극과 음극의 이온반응을 전도할 수 있는 전해질의 존재