

## 소형열병합발전 시스템의 기술개발

이 진 홍

한국가스공사 연구개발원

### 1. 서 론

열병합발전기술은 1900년대 초부터 개발 사용해 오던 기술로써 미국, 유럽의 경우 지역열병합 등 대형을 중심으로 발달하였으나 우리나라와 같이 에너지 부족자원이 미약한 반면 산업경제가 급속히 발달해 온 일본의 경우, 1985년 경부터 소형 열병합을 중심으로 Compact하고 Package화된 System을 설치, 관리가 용이한 동시에 외부전력회사의 전선과 병렬원전이 가능하며, 경제성이 높은 소형 분산형(On-Site Type)에 대하여 중점적으로 개발 보급하고 있는 실정이다.

국내의 경우 최근 산업발달에 따른 화석연료 사용증가로 환경공해문제, 에너지 절약문제, 하절기 가스/전기의 수급불균형 등 여러가지 심각한 문제가 대두됨에 따라 정부는 물론 산업체, 연구소 등에서 이에 대한 각종 대책연구를 수행하고 있으며, 이러한 문제들을 경제적이고, 효과적으로 해결할 수 있는 방안으로 태양열, 풍력 등 대체에너지 이용방법과 청정연료의 천연가스를 사용하는 열병합 발전시스템을 도입하는 방법 등을 제시하고 있다.

본 연구에서는 열병합 발전시스템이 고효율 에너지 기기라는 측면에서 국가적 차원의 보급 확대를 위한 방안으로 그 동안 문제시되었던 제도적 장애요인과 기술개발 자금지원, 설치, 운전자금지원 및 세제지원제도 등을 분석, 보완 및 개선책을 제시한 내용과 에너지기술개발 지원사업의 일환으로 상공자원부에서 소형열병합 기술분야에 지원하고 있는 연구과제를 살펴보고자 한다.

또한 한국가스공사 연구개발원에서 2년간의 연구끝에 개발 완료한 200 kW급 가스엔진 열병합 시스템 및 현재 연구진행중에 있는 1000 kW급 가스터빈 열병합 발전 시스템의 주요기술을 중심으로 분석, 소개하고자 한다.

### 2. 제도 분석

소형 열병합발전 시스템을 설치하는데 있어서 관련되는 법규로는 허가 및 설치적 적용기준과 설치 후 검사 등에 해당되는 것으로 전기사업법, 집단에너지사업법,

도시가스사업법 등이 있으며, 보급활성화에 장애가 되는 사항과 개선, 보완되어야 할 제도적 문제점은 다음과 같이 요약되어질 수 있다.

첫째 관련법규중 그 동안 가장 문제시 되었던 법규 조항으로서 전기사업법 제 29조, 제 32조의 경우 10,000 kW를 기준하여 이하인 경우 신고로 처리하도록 규정되어 있으나 이를 처리할 때 현실적으로 거의 적용되기 어려운 경제성 평가 기준에 의거 허가와 동등하게 처리되도록 규정하고 있는 조항이었다. 당초 85년 제정 당시와 현재의 여건변화폭이 크게 있어 이에 대한 많은 문제점 검토와 연구끝에 정부 관계부서에서는 이를 긍정적으로 검토 반영하여 '93년 11월에 이를 폐지시켰다.

둘째로는 집단에너지사업법 제 6조의 경우 신도시 등 집단에너지 공급대상 지역내에서 50,000 kcal/h 이상의 열설비 설치를 금지하고 있는 조항으로서 약 30 kW급 이상의 소형열병합의 경우에도 본 조항에 의하여 설치를 할 수 없게 된다. 그러나 집단에너지 공급의 주된 목적이 쾌적한 생활환경 조성과 에너지의 효율적 이용 및 주택난방용 온수공급에 있으므로 신규빌딩 및 빌딩군 등 대량의 전기와 고온의 증기 등을 필요로 하는 건물에 대해서는 소형열병합 보급확대 활성화 측면에서 획일적인 규제보다는 에너지 절약차원에서 관련기관과 상호협의로 열병합 시스템의 증기발생설비와 폐열회수 설비를 설치가 가능토록 하는 예외규정을 신설하는 것이 바람직하다.

셋째 세제금융 등 제도적 지원을 보면 고효율 에너지 사용설비라는 측면에서 석유사업기금 및 에너지 이용합리화 기금으로 연구자금, 설치자금, 운전자금이 지원될 수 있도록 하는 제도가 있으며, 세액공제의 경우도 국산기자재에 대해서는 투자금액의 10%, 외국기자재에 대해서는 3%를 공제받을 수 있고, 법인세법 시행령 제 51조에 의해 특별상각의 경우도 당해 자산취득가액의 90/100을 공제받을 수 있도록 규정되어 있다. 그러나 이상과 같이 금융, 세제지원제도는 표면적으로는 일본의 제도와 유사하나 수요처가 거의 없는 광업, 저가의 산업용 전력요금을 적용받는 제조업에 제한되어 있을 뿐 아니라 여러가지 법적인 제약으로 인하여 실제 적용된 예가 전무한 상태이다. 그러므로 향후 적용범위를 제

한하는 규정은 삭제하여, 실질적인 금융지원이 가능하도록 지원범위를 확대할 필요가 있다.

### 3. 기술개발 지원 현황

소형 열병합 시스템의 구성 주요 요소부품으로는 원동기, 발전기, 제어시스템, 폐열회수장치, 주변기기 등으로 구성되어 있다. 구성부품중 시스템 가격의 약 60%를 차지하고 있는 가스엔진 및 가스터빈 본체의 경우 일부 연구소에서 기술연구를 수행하고 있는 단계로서 최소 4~5년 이후에야 독자적으로 국내제작이 가능할 것으로 보이며 기타 가스압축기, 순수장치를 비롯한 요소부품은 수요부족으로 당분간 국산화가 어려울 것으로 예측되어진다.

현재 국내기술 수준으로서는 폐열회수 장치, 제어시스템, 발전기의 개발 및 제작은 가능하나 향후 고급기술력을 요하는 고부가가치분야인 System Engineering 기술, Overhaul 기술 등과 가스터빈, 가스엔진 개발까지 점진적으로 국산화를 이루어야 하며 시스템 설치운용에 있어 경제성이 높은 저가의 시스템에 대한 개발 제작의 필요성은 더욱 절실히 요구되고 있다.

이러한 체계적인 기술개발의 필요성으로 인하여 상공자원부산하의 에너지관리공단에서는 한국가스공사의 열병합시스템 개발사업 및 기수행되고 있는 G-7 Project의 산업용 가스터빈 개발 등과의 연계는 물론, 범국가적인 국산화가 가능한 요소부품개발부터 체계적인 기술개발 및 보급 활성화 방안을 마련하기 위해 '93년

6월에 소형 열병합분야에 대하여 한국가스공사 연구개발원 주관하에 효소중공업, 금성산전, 쌍용중공업, KIST 등과 공동으로 소형 열병합발전시스템 기술개발 및 보급방안 기획연구를 수행한 바 있다.

그 결과 기술개발 및 보급을 추진하기 위해서는 요소부품개발 등 20여개의 소과제별 연구추진 및 약 78억원 정도의 연구예산이 요구되며 성공적으로 수행 완료될 경우 2000년까지 가스터빈열병합 110대, 가스엔진열병합 330대의 설치가 예상되고 이로 인한 수입대체효과 및 에너지절감액은 약 3,800억원에 달할 것으로 예측한 바 있다. 이러한 열병합 사업의 일환으로 정부는 우선적으로 1단계 총사업비 1,907백만원(정부: 1,167, 민간: 740) 규모의 연구과제를 Table 1과 같이 '93년 말에 착수, 현재 수행중에 있다.

### 4. 열병합 발전 시스템 기술

또한 열병합시스템 기술에 대한 이해를 돕기 위하여 현재 한국가스공사 연구개발원에서 '93. 12. 개발 완료한 200 kW급 가스엔진 열병합발전 시스템과 개발 진행중에 있는 1000 kW급 가스터빈 열병합 발전시스템의 주요 기술을 위주로 소개하고자 한다.

#### 4-1. 가스엔진 열병합 시스템

가스공사 연구개발원에서는 “천연가스이용 Package Type 열병합 발전시스템 개발”이라는 과제명으로 '92. 5~'93. 12, 약 2년에 걸쳐 금성산전(주)와 공동으로 소형

Table 1. '93년 열병합 분야 정부 추진과제 현황.

과 제 명	주관연구기간 (연구기관)	주요 연구내용
1. 열병합 발전용 상용 발전기 개발	효성중공업 (2년)	- 200 kW급(효율 93% 이상), 1000 kW급(효율 96% 이상) 고효율, 소형, 고신뢰성 열병합용 발전기 개발 - 관성 모멘트개선, S/W에 의한 설계 상수평가기술 및 성능예측 기술개발
2. 소형 열병합 발전소 관리 및 제어 S/W 개발	효성중공업 (2년)	- 원격제어, 자기고장진단 등 자동제어장치 개발 - 연속감시, Data Logging 등을 통한 무인화운전 S/W 개발
3. 열병합발전용 200 kW급 가스 엔진개발	쌍용중공업 (3년)	- 국내기술 극히 취약한 상용가스엔진개발 - 효율 30~75%, NOx 200 ppm 이하 - 성능 Simulation 구조 및 부품해석기술개발
4. 소형 열병합 발전 시스템 최적화 연구	에너지기술연구원 (3년)	- 지역별, 건물용도별 최적용량 선정기술확보 및 최적운전에 따른 에너지절감 기대 - 최적의 운전모드 설정하여 시간별 계절별 운전 Simulation을 통한 경제성 분석 S/W 개발

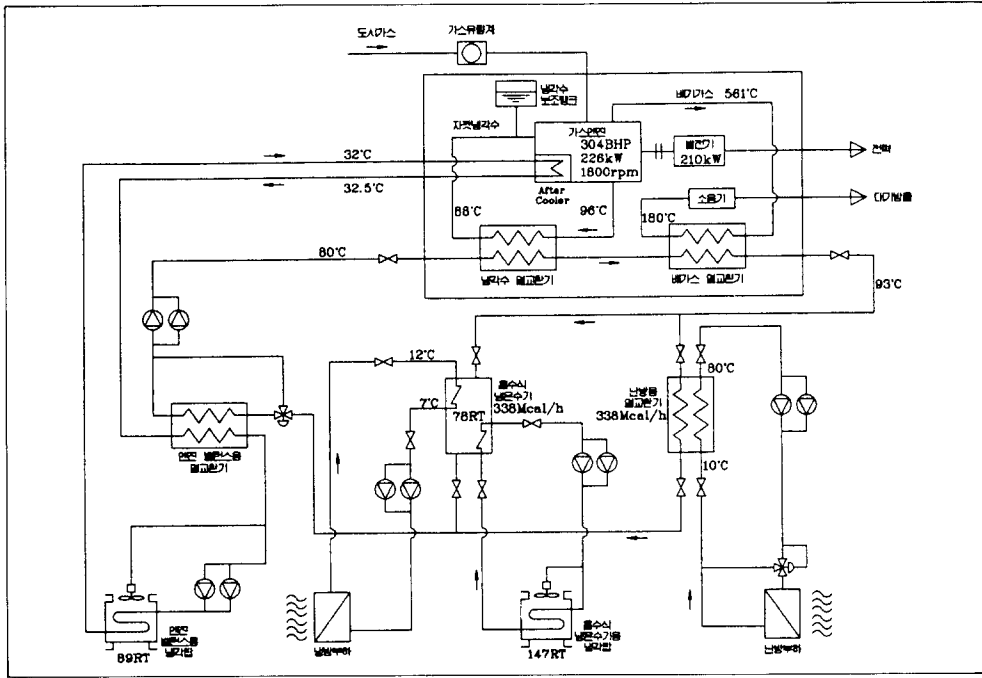


Fig. 1. G/E system schematic diagram.

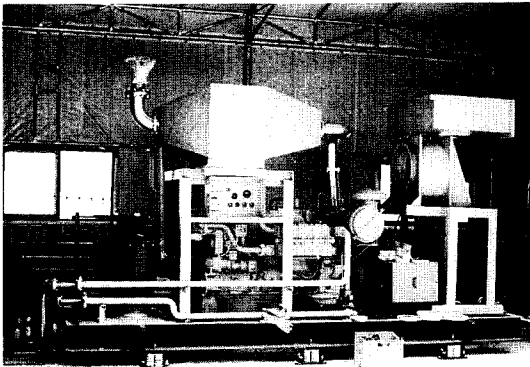


Fig. 2. 시스템 내부(본체).

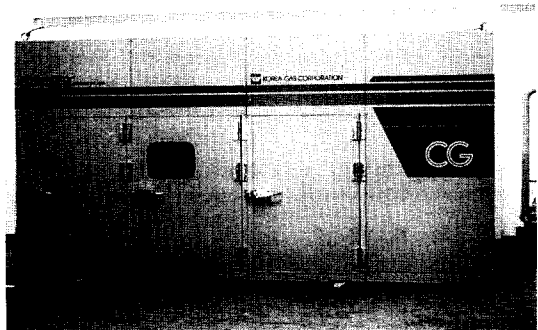


Fig. 3. 시스템 외관도(본체).

열병합 발전시스템 개발을 완료하였다.

완료된 시스템 기술을 요약해 보면, 먼저 시스템 설계를 위하여 외국의 다양한 시스템 구성방법, 각 시스템들의 특징, 설계 및 제어시의 고려사항 등의 자료를 입수 분석하여 최적의 시스템을 설계하였다. 또한 가스엔진 본체는 국내생산이 불가능하므로 외국 Maker들의 특징을 비교 검토하여 기술적인 요건충족 및 Compact화에 가장 유리하다고 판단되는 (미)CATAPILLAR사의 가스엔진을 선정하여 적용하였다.

제어측면에서도 운전조작시 간편성과 운전시 발생되

는 고장파 가스 소요량, 냉난방/전기 부하상태, 주요부의 압력, 온도의 변화를 Control Monitor 및 PLC를 통하여 Computer에 나타나도록 제어장치를 개발하였다(Figs. 1~3).

가스엔진에서 발생된 회전력은 210 kW, 380 V, 4 Pole, 60 Hz, 3상4선식 동기형 Generator를 채택하여 전기를 생산토록 하였으며, 배가스 및 냉각수는 약 95°C의 온수로 회수하여 난방에 이용토록 하였으며 냉방기능을 위해 78 RT급 저온흡수식 냉동기를 부착하여 시스템의 이용효율을 극대화할 수 있도록 개발하였으며

Table 2. System 기본 specification.

항 목	주요사항
• System	
- 연료	NG, 13A
- 연료 소비량	58 N m <sup>3</sup> /h
- 총효율	81%
발전단	30%
열회수	51%
- 배가스온도	180°C
- Size(W×L×H)	1670×4580×2625
• 가스엔진	
- Maker	미국 CATAPILLAR
- 형식	I형 6실린더
- 압축비	10 : 1
- 배기량	14 liter
• 배가스	
- 방음(기축 1 m)	80 dB(A) 이하
- NOx(16% O <sub>2</sub> )	400 ppm 이하
• 발전장치	
- 용량	210 kW
- 전압	380 V
- 회전수	1800 rpm
- 주파수	60 Hz
• 제어반	
- 구성	발전기 제어반, 중앙제어장치
• 폐열회수장치	
- 엔진냉각용	Plate Type
- 배가스용	Fin-tube Type

Table 3. System 기본 specification.

항 목	주요내용
• System	
- 연료	NG, 13A
- 연료 소비량	404 N m <sup>3</sup> /h
- 총효율	73%
발전단	25%
열회수	48%
- 배가스온도	153°C
- Size(W×L×H)	5×15.5×3.4
• 가스터빈	
- Maker	미국 MITSUI사
- 형식	단일개방일축형
- 회전속도(rpm)	
터빈 주축	26,600
감속기 축	1,800
• 배가스	
- 방음(기축 1 m)	85 dB(A) 이하
- NOx(16% O <sub>2</sub> )	70 ppm 이하
• 발전장치	
- 형식	계자형 동기발전기
- 용량	1,095 kW
- 주파수	60 Hz
• 제어반	
- 구성	가스터빈제어반, 보조기기제어반, 발전기제어반
• 폐열보일러	
- 형식	관류식
- 용량	3,070 kg/h, 8 kg/cm <sup>3</sup> G

개발된 시스템 기본 사양은 Table 2와 같다.

#### 4-2. 가스터빈 열병합 시스템

Table 3은 본 연구과제에서 목표로 하고 있는 시스템 및 주요 요소부품의 Specification을 나타내고 있으며 터빈본체 Maker로부터 입수한 각종 Data를 기준으로 하여 System Heat Balance 분석, 보조기기의 특성분석 등을 통하여 개발코자 하는 목표치를 설정할 것이다. 특히 총효율에 직접적 영향을 미치는 폐열회수 보일러는 터빈본체에서 발생하는 배가스의 특성분석과 폐열회수 보일러에 대한 설계프로그램 개발을 통한 Simulation을 수행한 후 그 결과로 설계 및 제작을 실시한 결과이다.

특히 가스터빈 열병합 발전시스템은 핵심요소부품인 가스터빈 본체, 발전기, 감속기, 폐열회수 보일러, 순수 장치, 가스압축기, 각종 제어판넬과 냉수생산을 위한

증기흡수식 냉동기로 구성되어 있으며 각종 요소부품은 고속 회전체인 터빈과 함께 장기간 연속운전이 이루어 지므로 내구성과 각종 성능 확보가 요구되며 이를 위해서는 많은 엔지니어링 기술력 확보와 지속적인 연구 노력이 요구되는 과제라고 할 수 있다.

본 연구팀에서는 1차년도('92)에 각종 시스템 구성 및 특성 비교분석과 함께 System 설계를 위한 기초 기술 조사를 수행하였으며 2차년도('93)에는 핵심요소부품인 가스터빈 본체에 대하여 국내실정에 가장 적합하고 실용적인 모델선정을 위하여 1~2 MW급을 기준으로 일본, 유럽, 미국의 제품 특성을 분석하여 최종 결정하였으며 터빈 본체가 선정됨에 따라 당초계획에 의거 폐열회수보일러, 열병합 전용 Generator, 제어 Panel류를 비롯하여 관련 요소부품의 설계 및 제작에 착수하였다.

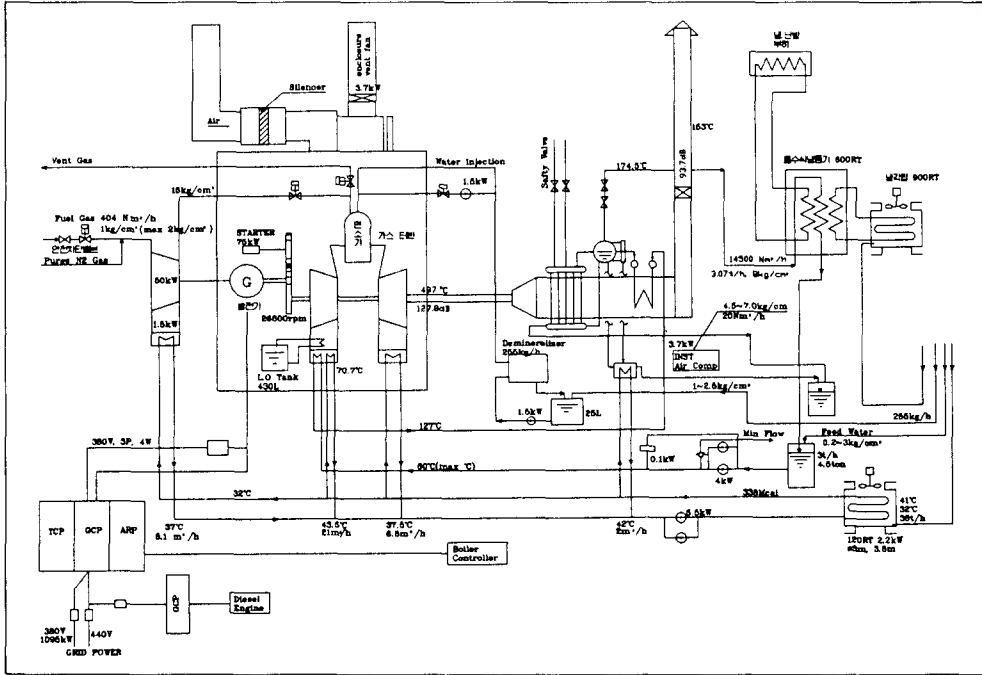


Fig. 4. G/T system schematic diagram.

3차년도('94)에는 현재까지 요소부품 설계제작 및 성능 시험 완료단계로서 시스템 조립 및 성능실험을 위한 준비중에 있으며 이와 함께 향후 시스템의 Compact화, Package화 및 저소음, 저공해화(NOx 저감)에 대하여 중점적으로 연구할 계획이다. 또한 국책사업으로 추진 중에 있는 국산화 개발 가스터빈을 향후 본 시스템에 적용하여 시스템의 완전 국산화를 추진할 수 있는 방안 연구도 지속적으로 추진하고 있다. 4차년도에는 시스템 개발에 대한 각종 자료의 체계화, 보급방안연구, 경제성 향상을 위한 대책, 지속적인 추가연구과제 도출 등 상품화 위한 기반기술 연구와 함께 총효율 72% 이상인 1000 kW급 패키지타입 가스터빈 열병합발전 시스템을 개발완료 할 계획에 있다.

이와 함께 본 시스템에 있어서 가장 중점을 두고 있는 분야는 안전성 확보 및 자동운전제어 시스템 개발로서 시스템의 운전상태를 Computer Monitor에 나타내며 향후 시스템이 설치 운전되는 경우, 설치장소에서 뿐만 아니라 전화선을 통하여 제작회사의 중앙감시실에서 운전상태를 감시 및 고장진단도 할 수 있도록 원격모니터링 시스템을 위한 Software 및 장치개발도 병행하여 개발 추진중에 있다(Fig. 4).

### 5. 결 론

매년 하절기 전력예비율이 위험수위에 도달하는 국내 전력사정하에서 국가적 차원의 가스/전력의 수급평준화를 위한 계절별 Peak Cut 기능을 가지고 있는 열병합의 보급활성화는 필연적이며 또한 총효율 70~80%에 달하는 고효율 에너지 기기라는 측면에서도 보급활성화는 시급한 분야라고 할 수 있다.

이에 대한 활성화 시책의 일환으로 정부에서는 그동안 특히 소형열병합(10 MW 이하) 보급의 장애가 되어 왔던 열병합 설치 인허가시의 경제성 평가지침을 '93년 11월에 폐지하여 일정한 기술조건을 구비하면 사업자의 검토에 따라 열병합 시스템을 설치 운전할 수 있게 하였다. 또한 초기투자비 절감 및 기술개발을 위하여 상공자원부에서는 2000년까지 소형열병합 약 880대, 1,558 MW의 보급을 목표로 '93년에 열병합용 상용발전기개발 등 4개 연구과제를 총사업비 1,907백만원으로 착수 하였고, 한국가스공사 연구개발원에서도 1991년 열병합 기초타당성 연구를 시작으로 가스터빈/가스엔진 열병합시스템을 산업체와 공동으로 개발 추진하는 등 공익 기업으로서의 선도적인 입장에서 적극적 기술개발을 수행중에 있다.

결론적으로 하절기 전력/가스 수급균형, 환경공해문제, 국가적 첨단기술 집약산업의 육성측면에서 소형열병합의 보급활성화는 필연적이므로 이를 위하여 국가

차원의 적극적인 기술개발과 정부 및 관련기관에서는 이에 대한 중요성을 인식하여 일관성있고 지속적인 연구개발 및 보급 활성화 정책을 시행하여야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 이진홍 외, “소형 열병합 발전 시스템 개발 및 보급 방안 기획 연구”, 한국가스공사 연구개발원 (1993).
2. 방효선 외, “천연가스 이용 Package Type 열병합 발전 시스템 개발”, 한국가스공사 연구개발원 (1993, 1994).
3. 방효선 외, “1000 kW급 가스터빈 패키지 열병합 발전 시스템 개발”, 한국가스공사 연구개발원 (1991).

1. 이진홍 외, “소형 열병합 발전 시스템 개발 및 보급