

- “계량설비”란 전력량계, 변성기(CT, PT), 통신 설비, 회선 등을 포함
- 설치 의무자: 발전회원
- 설치 대상
  - 주 설비: 전력시장에 참여하는 모든 발전기
  - 비교 설비: 20MW초과의 발전기(2002.12.31까지 유예)
- 설치위치: 주변압기 고압측(설치 곤란시 주변 압기 저압측)
- 계량설비 허용오차

설비용량 주계량설비		비교 계량설비	
전력량계	계기용 변성기	전력량계	계기용 변성기
20MW초과	0.2급 이내	0.3급 이내	0.5급 이내
10MW초과	20MW 이하	0.5급 이내	0.5급 이내
0.5MW초과	10MW 이하	1.0급 이내	1.0급 이내
0.5MW이하	2.0급 이내	2.0급 이내	

※ 기설치된 계량설비는 2003.4.3까지 상기의 허용 오차 초과를 인정

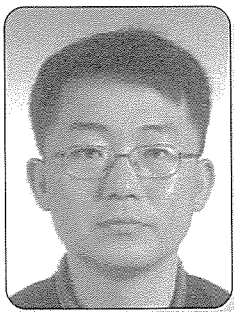
- 통신설비 준비사항
  - 구 분 통신회선, 주계량설비 기 타
  - 발전소측 거래소측
  - 사 양 4선식, 9,600bps 전용회선 9,600bps

- 비동기방식(단독형) 9,600bps
- 비동기방식(집합형) 거래소측 모델 2대 제출 계량설비 설치 일정
- 시험용 전력량계 제출
  - 제출시기: 거래개시 3개월 전
  - 제출대상: 신규 모델 설치시(기존 모델 설치시 면제)
- 전처리장치 설치협의(통신비용의 절감을 위해 설치할 경우): 1개월전
- 계량설비 설치 통보
  - 제출시기: 거래개시 10일 전
  - 통보사항: 봉인요청, 계량등록부 등재사항

## V . 기 타

- 현재의 154KV급의 2CT 계량방식은 문제점이 많은 것으로 드러남. 따라서, 3CT 계량방식 추천
- 전력시장 진입시 많은 비용과 시간이 소요되므로 면밀히 검토후 대응 필요함
- 자료는 전력거래소(www.kpx.or.kr)에서 얻을수 있음

# 마이크로가스터빈 열병합발전시스템 현황분석



한국가스공사 연구개발원  
이용기기연구센터  
선임연구원 손 화 승  
Tel (031)400-7529

## 1. 개요

에너지자원이 부족하고 전체에너지 사용량의 98% 이상을 수입에 의존하는 국내현실에서 에너지의 효율적 이용은 국가 경쟁력 향상과 직결되는 중요한 문제이다. 이와 함께 환경공해 문제 해소를 위한 천연가스 사용확대, 계절별 가스/전력의 수급 불균형 해소 등 복합적인 문제등을 동시에 해결해야 되는 시급한 과제라고 할 수 있다. 이에 대한 방안으로서 수요처인 건물내부에 설치하여 전력 및 냉난방 열을 생산,

공급하는 방법으로서 천연가스를 사용하는 분산형 열병합발전 시스템의 보급활성화를 들 수 있다.

최근 미국을 중심으로 기존 열병합발전시스템의 가스엔진, 가스터빈방식과 전혀 다르고 초기투자 측면에서 경쟁력이 높고 시스템 효율이 높은 마이크로 가스터빈 열병합발전시스템에 대한 관심이 집중되고 있다. 특히 미국의 Captstone사 제품을 중심으로 전 세계적으로 몇몇 회사에서 개발 진행중에 있으며 특히 일본에서는 미국의 Capstone사의 마이크로가스터빈 본체를 도입하여 열병합발전시스템으로 개발하여 자국내 보급을 크게 확대하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 최근 관심이 부각되고 있는 마이크로 가스터빈 열병합발전시스템에 대한 기술개요, 보급현황, 경제성분석 등 전반적인 내용을 소개하고자 한다.

## 2 국내외 기술개발 동향

### 2.1 국내 동향

표. 1 한국가스공사 연구개발원 소형열병합 연구현황

년 도	수 행 과 제
91	· 열병합발전 기술개발 기초연구
92	· 200kW급 가스엔진 열병합
93	발전시스템 개발 · 보급활성화 기획연구
94	· 1000kW급 가스터빈 열병합
95	발전 시스템개발
96	· 신사옥 가스터빈 현장적용 · 보급전략수립 연구 및
97	실부하 운전연구
98	· 가스엔진열병합 가스과학관
99	· 본사사옥 열병합 실증연구 · 현장적용 연구
2000	· 열병합발전 최적용량산정
2001	· 열병합 보급활성화 정책연구 · 프로그램 개발
2002	· 마이크로가스터빈 열병합 기획연구
	· 마이크로 가스터빈 성능시험 및 운전 연구

한국가스공사 연구개발원에서는 1991년부터 소형 열병합발전의 중요성을 인식하고 국내 보급을 위하여 열병합발전시스템 개발, 보급활성화 기획연구, 열병합발전 최적용량산정 프로그램개발 연구 등 표 1과 같이 다각적인 연구를 수행해 왔다. 그러나 1997년 국가적 경제위기를 겪으면서 환율상승 등으로 인하여 열병합발전시스템의 초기투자비 상승, 연료비 상승 등 보급환경이 크게 악화되어 부진한 상태이다. 이러한 시점에 미국 일본을 중심으로 개발 및 보급되고 있는

마이크로 가스터빈의 국내 개발 및 보급의 가능성을 조사하는 타당성 분석 연구를 전력연구원과 공동으로 추진하기도 하였다.

국내의 가스터빈 발전설비는 GE나 ABB사의 대형 가스터빈 발전 설비가 주로 가동되고 있으며, 비상용 소형 가스터빈 발전기 100여대가 운용되고 있는 수준이다. 기술개발 측면에서는 삼성테크윈의 1.2MW급 개발, 한국기계연구원의 75kW급 개발 등을 통하여 국내 가스터빈 개발을 위한 기반기술은 어느 정도 구축되었으나 가스터빈 상용제품 개발을 위한 설계능력 및 개발설비의 구축을 통한 상용화에는 다소 미흡한 단계라고 판단된다. 최근 미국에서 상용화에 성공하여 특히 일본 등에서 활성화되고 있는 마이크로 가스터빈 열병합발전시스템에 대하여 국내에서도 2001년 정부터 일부 학계, 연구소, 기업체 등을 중심으로 기술개발을 추진하기 시작하는 단계이다.

이러한 환경에서 2001년 중반부터 정부(에너지 이용 합리화 기금, 전력산업 기반기금), 한국가스공사 등에서 산업체와 협력하여 마이크로 가스터빈 열병합발전시스템의 기술개발 등 연구를 착수하게 되었으며 주요 내용은 아래와 같다.

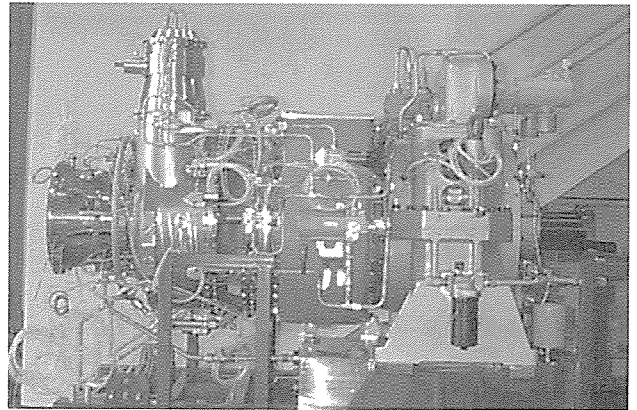


그림. 1 1.2MW급 소형 가스터빈 (삼성 테크윈)

#### 가. 정부추진 마이크로가스터빈 시스템 개발 과제

정부(산업자원부 에너지관리공단)에서는 2001년 8월에 에너지관리공단 중형화사업을 공고하여 2001년 10월에 마이크로가스터빈 시스템 개발사업을 추진키로 확정하였으며 12월에 대상 연구기관을 선정하여 현재 착수중에 있다. 1단계 3년과 2단계 3년 등 총 6년 동안 추진되는 중형화 사업으로 최종 상용화를 목표로 추진하고 있으며 주요 기술개발 내용을 살펴보면

면 다음과 같다.

1) Core Engine 개발

- 발전 출력 : 55kw (75마력)
- 엔진 회전수 : 80,000 rpm 정도
- 열 효율 : Simple cycle 14% 이상, Recuperator 채용시 28% 이상
- 소음 : 65 db @ 10m
- Emmission : < 10 ppm NOX

2) 고속 시동/발전기, PCU 개발

- 기어박스가 없는 엔진 축 직결형 고속 시동/발전기
- 발전 효율 : 90% 이상
- 출력 : 55kw, 3상,380V,50/60Hz

3) 저공해 연소기 개발

- Lean Pre-mixed Combustion 또는 촉매연소 방식의 저공해 연소기 개발
- 목표 NOx 배출량 : 10ppm 이하

4) Recuperator 개발

- 압축공기를 배기가스를 통해 가열 후 연소실로 유입시키므로써 열효율 향상
- 온도 효율 : 90% 이상
- 압력 손실 : 5% 이하

나. 한국가스공사 연구개발원 계획

한국가스공사 연구개발원에서는 2001년 추진한 기획연구를 통하여 국내 열병합의 보급활성화 및 향후 중장기적 측면의 미래기술 확보를 위하여 마이크로가스터빈 열병합발전시스템에 대한 지속적인 기술개발 및 추진이 필요하다고 판단하였다. 그 결과 우선적으로 2002년 부터 마이크로가스터빈 열병합발전 시스템을 1대정도 도입 설치하여 성능시험 및 실부하 운전 연구를 추진키로 하였으며 2001년 12월에 착수한 정부추진 50kW급 마이크로가스터빈 시스템 개발의 중형화 사업으로 추진중인 과제와 지속적으로 유기적인 협조하에 최종 성과품이 보급될 수 있도록 협력을 유지하면서 추진할 계획이다. 2002년에 추진 예정인 과제의 주요내용은 “마이크로 가스터빈 열병합발전시스템 운전 및 성능시험 연구”로서 2002년 부터 2005년 (총 36 개월)까지 수행되며 30kW급 마이크로 열병합발전시스템 설치, 성능시험 실시 및 평가, 경제성 및

적정 대상처 분석, MGT 시스템 운전 및 성능시험 평가 등을 수행할 예정이다.

2.2 국외동향

마이크로터빈의 경우 1990년대 초반부터 본격적인 개발이 시작되어 Bowman, Capstone, Elliot, Honeywell 사 등 미국내 회사와 Turbec(스웨덴, ABB사) 등 선진사들이 제품을 개발하여 본격적으로 시장에 진입하고 있는 상황이다. 미국 등 선진국에서는 주로 유틸리티 교환 등 유지보수가 간편하고 컴팩트한 시스템의 자가발전 개념으로 개발하여 사용하고 있다. 일본에서는 미국에서 개발한 마이크로 가스터빈 본체를 활용하여 열회수를 통한 열병합발전 시스템으로 개발하여 가스회사, 전력회사를 중심으로 보급활성화에 주력하고 있다.

가. 미국의 동향

미국의 전력중앙연구소는 분산형 Cogeneration, Peak shaving용으로 실증 연구를 수행하였으며, '96년 NSP(Northern States Power)에 마이크로 가스터빈 2대를 시험 운전하여 성능, 내구성, 신뢰성 등 마이크로 가스터빈의 성능평가 연구개발을 수행하였다. 특히 '98년 Capstone사는 28kW급 마이크로 터빈을 이용한 발전 시스템을 세계 최초로 상용화 함으로서 새로운 시장을 연 이래, 아래 서술된 회사들 뿐 아니라 많은 회사들이 개발에 경쟁적으로 뛰어들고 있다.

현재 이러한 마이크로 터빈은 전력발생 뿐만 아니라 대부분이 Cogeneration 또는 Trigeneration 형태로 개발되어 소형 건물과 공장 등을 위한 소규모 열병합발전 시스템으로 판매되고 있다.

표. 2 미국의 주요 마이크로 터빈 성능

제작사	Capstone	Honeywell	Bowman	Elliott
모델명	60	Parllon 75	TG80	TA-80
용량(kW)	60	75	80	80
크기(in)	82×30×76	95×85×48	-	110×32×47
NOx 배출	9ppm	50ppm	18ppm	30ppm
소음	65dBA	65dBA	-	-
발전효율	26%	27%	24%	30%

나. 일본의 동향

일본은 소형 분산형 열병합발전 시스템 기술개발 및 보급에서 세계적으로 가장 앞선 국가로서 가스회

사, 전력회사, 제작사가 협력하여 이미 성숙단계에 있다. 마이크로 가스터빈 열병합발전 시스템에서도 1998년경부터 미국의 마이크로 가스터빈 본체를 수입하여 일본 실정 및 규제에 적합한 열병합발전 시스템을 개발하여 현재 도시가스사 및 전력회사를 중심으로 현장적용단계에 있다. 일본내 주요 제작사로는 메이덴샤, 다쿠마, 미쓰비시전기 등을 들 수 있으며 일부 일본내에서 마이크로 가스터빈 자체개발도 시도되고 있다.

일본내에서 추진되고 있는 대표적인 제작사로는 메이덴샤, 미쓰비시전기 등이 있으며 이등 회사에서 개발한 제품과 동경가스 및 동경전력 연구소에서 추진되고 있는 사항을 간단하게 살펴보고자 한다.

### 1) 메이덴샤(MIOSPECTRUM MGT)

메이덴샤는 1997년부터 미국의 Capstone사에서 가스터빈 본체를 도입하여 열병합발전 시스템으로 기술 개발하였으며 현재 일본내 시장점유율 40%인 약 40대를 공급하였다. 28kW급 시스템으로 연료 사용량은 112.1KW(온수: 52.9KW, 전력:30kW 생산)인 시스템으로 주로 동경전력 10대, 마이에너지 6대, 동경가스등에 공급하는 등 주로 동경지역 중심으로 보급되고 있다.

- 마이크로 가스터빈 연료 소비율
  - LNG : 9.7m<sup>3</sup>/hr, LPG : 4.8m<sup>3</sup>/hr, KEROSENE: 11.2 l/hr
- 메이덴샤 제품의 주요 특성
  - 열효율: 74%(발전: 26%, 열회수: 48%)
  - 극저소음 팩키지 타입(< 55dB)
  - 무정전 전원공급 팩키지 타입(독립운전)
  - 냉난방 겸용 팩키지
  - Biogas 발전 시스템(메탄가스 이용)
  - 태양광 발전, 연료전지와 혼합한 하이브리드 발전

### 2) 미쓰비시전기(MELCO)

미쓰비시전기는 고베시에 위치하고 있으며 메이덴샤, 다쿠마에 이어 미국의 Capston사의 가스터빈을 이용하여 열병합발전시스템을 생산하는 업체이다. 교토에 위치하고 있는 다쿠마사와 유사한 지역에 위치하고 있으므로 오사가가스 지역내에서 경쟁의 관계에 있다. 28kW급 용량을 생산하므로 시스템의 크기, 용량, 연료소비량 등 다쿠마, 메이덴샤 제품과 거의 유

사한 반면에 일부 제어기능별 특성을 지니고 있다. 2001년에 처음 출시하여 현장성능실험중이나 일부 문제발생으로 생산은 중지된 상태이다.

- 계통연계 운전용 마이크로 가스터빈 열병합 발전시스템(고베공장)
  - 제작 모델: 미쓰비시사 MTG-28 모델
  - 성능: 계통연계 전력공급 및 냉난방 공급

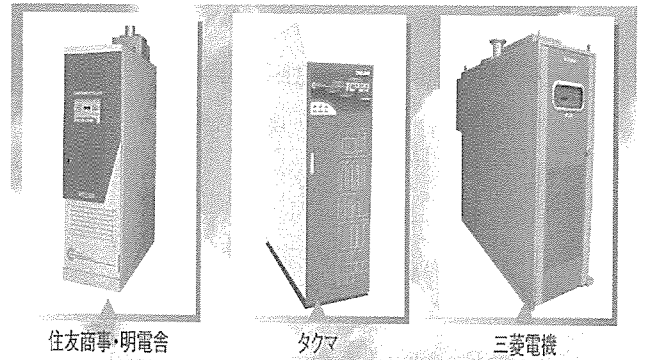


그림 2. 일본내 3개사 제품비교

### 3) 동경전력/ 동경가스

일본내 에너지회사에서는 소형열병합 발전시스템 등 에너지기에 대한 각종 성능시험 및 현장적용연구를 적극적으로 하고 있으며 특히 시스템의 판매 유지보수까지 수행하고 있다. 대표적인 회사인 동경전력과 동경가스를 중심으로 수행내용을 소개하도록 하겠다. 동경전력과 동경가스에서의 수행내용은 거의 유사하므로 동시에 비교하여 살펴보고자 한다. 요코하마에 위치한 동경전력 중앙 연구소 마이크로 가스터빈 연구개발 사업을 1999년부터 착수하여 총 4대의 제품을 연구소내에 설치하여 각종 성능시험 연구를 수행하고 있다.

표 3. 마이크로 터빈 성능실험 현황(동경전력, 2001년 11월)

구 분	A	B	C	D
모 델	Capstone 28KW	Honeywell 75KW	Capstone 29KW	Capstone 29KW
	계통연계	독립운전	계통연계	계통연계
연료타입	NG	NG	KEROSENE	PROPANE
운전개시	1999.09.06	2001.04.09	2001.02.20	2001.07.24
운전실적(HRS)	9070	1349	3239	286
발전실적(KWH)	229,556	88,338	81,303	7145
기동정지회수(회)	955	197	411	12

동경전력 및 동경가스의 연구소내에 설치하여 수행하는 주요 성능실험 내용으로는 기본성능(정격·부

분부하효율, 기동정지특성), 환경성능(연소가스배출, 소음특성), 운전 조작성 평가(원격조작 및 계측), 배 열회수 장치 성능평가, 내구성 평가(DSS + 300,600시간 연속운전), 단독운전 및 계통연계 성능평가, 연료 다양화 대응성 평가 등이 수행되고 있다.

### 3. 성능특성 분석

#### 3.1 열병합 시스템 특성

마이크로 가스터빈 시스템은 미국의 Capstone사에서 제작한 후 일본 내에서 열회수를 통한 열병합발전 시스템으로 개발하여 보급하는 사례는 일본이 대표적이다. 또한 세계적으로 볼때에도 이러한 마이크로가스터빈 패키지 열병합발전시스템은 일본이 가장 대표적인 사례라고 볼 수 있다.

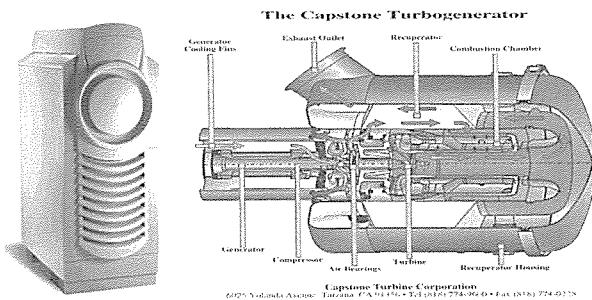


그림 3 미국 Capstone사 28kW급 마이크로 가스터빈

일본에서 현재 개발되어 보급되고 있는 30kW급 마이크로가스터빈 열병합발전시스템에 대하여 일본내 가스회사, 제작사등에서 발표된 내용을 정리해보면 다음과 같다.

그림 4는 30kW급 마이크로가스터빈 시스템의 열밸런스를 나타낸 것이다. 연료(천연가스, 등유 등)가 유입되어 연소되어 약 96000rpm의 회전력을 발생시켜 약 28kW의 전력을 생산하게되고 이때 273°C의 배가스가 배출되는 열밸런스를 나타내고 있다. 이때 열병합발전시스템이라 함은 배출되는 273°C의 배가스에 함유된 열을 온수형태 또는 냉수형태로 회수하여 총 효율 약 75%이상을 얻을 수 있는 시스템을 의미한다

그림 5는 일본에서 개발한 마이크로가스터빈 열병합발전시스템의 제작사별로 발전출력당 발전효율을 나타낸 결과이다. 대체로 부하율이 50%정도인 15kW 이상에서는 출력이 정격출력시의 효율과 유사한 경향

을 나타내고 있으며 50%이하에서는 급격히 발전효율이 감소하고 있다.

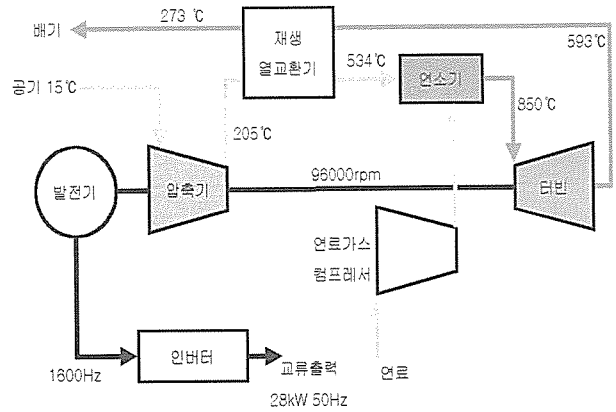


그림 4 30kW급 마이크로가스터빈 Heat Balance

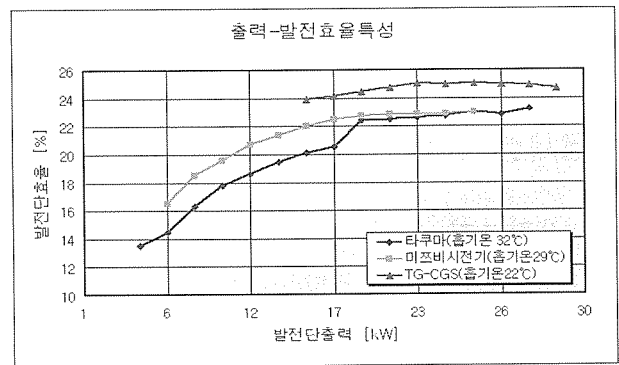


그림 5 효율 및 발전특성

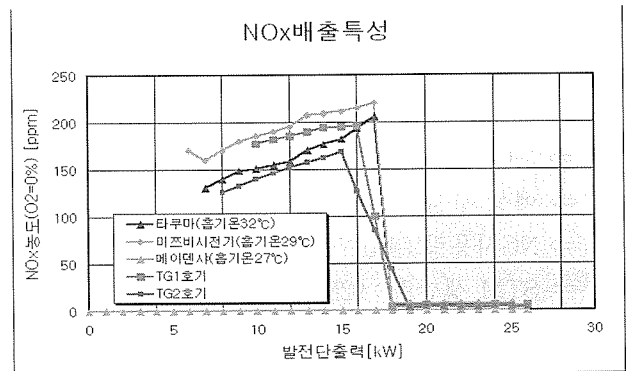


그림 6 NOx 배출 특성

그림 6은 발전출력에 따른 질소산화물(NOx)생성 특성을 나타낸 결과이다. 대체로 부분부하인 15kW이하에서는 200ppm이상의 많은양의 NOx성분이 발생되고 있으나 50%부하인 15kW이상에서는 급격히 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 7은 소음특성을 나타낸 결과이다. 미국 Capstone사에서 제작된 오리지널제품은 약 85dB(A) 정도의 소음이 발생하는 반면에 일본에서 제작한 열

병합발전시스템은 약 65dB(A)정도로 감소되었음을 알 수 있다. 국내의 경우도 오리지널제품의 소음발생치인 85dB(A)정도로는 설치하기 어려울 것으로 판단되므로 일본제품 수준으로 열병합발전시스템을 개발하여 보급해야 될것으로 판단된다.

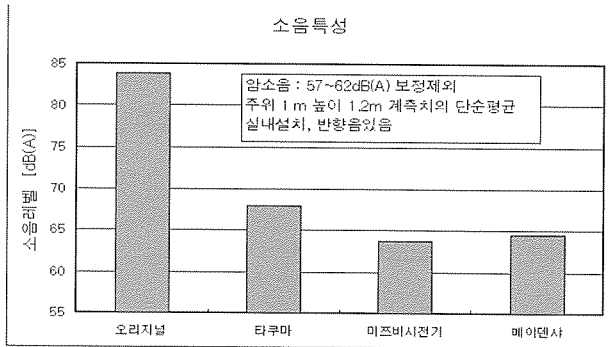


그림 7 출력-발전효율 특성

## 4 경제성 검토

### 4.1 산정조건

본 검토에서 적용한 산정조건에 대한 세부 내용은 아래와 같으며 분석과정에서 초기투자비, 가스요금, 전력요금에 대한 5%, 10%, 15%에 대한 각각의 민감도 분석을 실시하여 경제성에 미치는 영향과 민감한 영향을 분석하였다.

#### ◇ 기본조건

- ⇒ MGT : 60kW×1기 설치
- ⇒ 예상 투자비 : 120백만원
- ⇒ NG사용량 : 19.4Nm<sup>3</sup>/h)
- ⇒ STM 생산량 : 92Mcal/h

#### ◇ 운전조건(연간운전시간)

- ⇒ 6000시간/년 (20h/일 x 25일/월 x 12월)

#### ◇ 에너지 요금(2002년 1월 기준)

- ⇒ 가스 (원/Nm<sup>3</sup>) : 동절기 442.7, 하절기 : 370.09, 기타 : 405.08
- ⇒ 전력평균 : 95원/kWh

### 4.2 분석결과

위와 같은 기본조건을 기준으로 마이크로가스터빈 열병합발전시스템 설치시 기대되는 연간 에너지 절감

액 및 투자회수기간을 분석해 본 결과 그림. 8과 같은 결과를 얻었다. 2002년 초 에너지 요금을 기준으로 하여 경제성을 분석해 본 결과 현재 요금 체계상 연간 에너지 절감액은 연간 천백만원 정도로서 투자회수기간은 약 11.3년에 달하는 것으로 나타났다. 또한 가스요금에 대한 민감도 분석으로서 5%할인되는 경우 투자회수기간은 10.2년에서 15% 할인되는 경우 약 8.5년으로 감소하는 것으로 나타났다. 전력요금의 경우 5%인상되는 경우 투자회수기간은 9.7년이며 15% 인상되는 경우 약 7.6년으로 감소하며, 초기투자비가 현재 비용보다 5%인하되는 경우 투자회수기간은 10.7년이며 15% 인하되는 경우에는 9.6년으로 감소하는 것으로 나타났다.

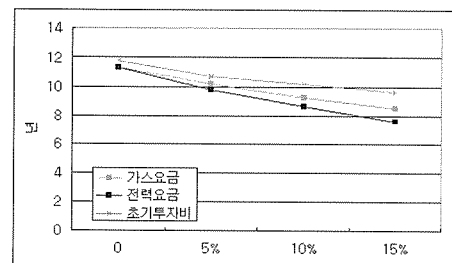


그림 8 민감도 분석결과

## 5. 결론

마이크로가스터빈 열병합 발전시스템은 미국에서 최초로 개발, 보급하고 있으며, 일본을 중심으로 열병합 발전에 대한 많은 연구개발이 이루어져 특히 가스회사, 전력회사를 중심으로 현장적용 및 성능시험연구 등 적극 추진하고 있다.

국내의 경우 연구 및 보급에서 항공기 보조용으로 일부 기술개발이 추진된 사례가 있으나 초기 연구단계라 할 수 있으며, 최근 정부에서 55kW급 마이크로 가스터빈 시스템 개발추진 등 이에 대한 관심이 집중되고 있다.

초기투자비 및 에너지 효율측면에서 기존의 가스엔진 열병합에 근접해 있으며, 국내의 전력 및 에너지 요금으로 볼 때 경제성측면에서 투자회수기간이 약 10년 정도로 나타났다. 이는 현재 기준으로 경제성이 낮은편 이라고 할 수 있으나 가스엔진 열병합 등에 비하여 향후 수요 증가시 급격히 초기투자비가 하락될 수 있는 가능성이 높으므로 보급 활성화가 가능하리라 판단된다.