

합리적인 지역 에너지 시스템(Community Energy System)의 구성과 경제성 검토

“기우봉, 박용업, 김광호, 장성일”  
 “강원대학교, 서울대학교

An Optimal Configuration and Feasibility Study for Community Energy System (CES)

“W. B. Kee\* Y. U. Park\* K. H. Kim\* S. I. Jang\*\*”  
 \*Kangwon National University \*\*Seoul National University

**Abstract** - This paper describes an optimal configuration of Community Energy System (CES) for the multi-energy consumers and analyzes economical feasibility for such system. The most of previous feasibility studies for Co-Generation plants of CES in Korea have shown negative results due to the abnormally low price of power rate in Korea. However, in order to overcome this situation a new approach was examined in this paper. The efforts of this approach the selection of the low price but reliable facility and maximizing the capacity factor of the facility. MGT was selected in view of low price and good reliability. In order to maximize the capacity factor the system capacity should be quite lower than the actual required Electrical and Heat load of the subject entity. In this report 100 kW Co-Generation facility was selected in view of conservative analysis. The results of the analysis showed that pay back period may vary from 4 to 5 years according to the application of LNG rates whether it is co-generation rate or the normal business rate. With the analysis in this paper we confirmed that CES is feasible even in Korea if we do not insist to select the capacity of CES to cover all the energy required but select a smaller size of CES compared to the actual requirement, which can allow full load operation of the system continuously.

1. 서 론

지금까지의 전력 등 각종 에너지공급형태는 규모의 경제를 살려 대규모 독과점 공급자에 의해 집중적으로 개발, 생산되어 에너지 수요자에게 공급되는 형태였다. 그러나 최근에 와서 다양한 에너지를 사용하는 집단 수요자에게는 이러한 공급시스템이 총합에너지이용이라는 측면에서 경제적이고 효율적인 시스템이 아니라는 것을 재인식 하게 되었다. 여러 가지 에너지를 사용하는 비교적 대규모의 수요자에게는 그 수요가의 에너지사용 형태에 적합한 자체 에너지 공급시스템을 갖는 통합에너지 시스템 (전력 및 냉난방을 중심으로 한)을 구성하고, 이에 대한 합리적인 이용 Port Polio를 만들고, 보다 더 효율적인 에너지 이용방법에 대하여 관심을 갖게 되었다. 이러한 시스템의 개념이 일반화되면서 시스템의 명칭을 ‘지역 에너지 시스템(Community Energy System)으로 정의하고 분산전원 개념의 확산과 연계하여 이에 대한 각종 연구가 진행 중이다[1].

지역 에너지 시스템은 경제성과 효율성 외에도 환경친화화 공급 신뢰성 측면에서도 긍정적인 효과가 있다. 지역 에너지 시스템의 본래 목적을 성취하기 위해서는 전력, 냉난방, 급탕 등 구역 내의 각종 에너지 수요와 그 공급시스템을 합리적으로 조직하고 운용하는 것이 요체라 할 수 있다. 이러한 지역 에너지 시스템의 합리적인

구성과 운용을 계획함에 있어서 가장 장애로 대두되는 문제는 각종 에너지 수요가 시간대별, 계절별 그리고 기상 상태에 따라 다양한 특성을 가지고 있기 때문에 공급의 심한 불균형을 초래하여 설비의 효율적인 운전이 쉽지 않으며 경제성면에서도 문제가 있다는 것이다. 따라서 지역 에너지 시스템에서 발생하는 불균형 문제를 어떻게 합리적으로 조정할 수 있는가 하는 것이 무엇보다 중요한 과제로 대두된다.

본 논문에서는 경제성을 높이기 위하여 설비의 이용률을 극대화 할 수 있는 합리적인 지역에너지 시스템의 구성을 제안하고, 이들의 경제성을 검토하였다. 이렇게 구성된 시스템의 경제성은 투자 회수 기간법(Pay Back Period Method)을 적용하여 분석하였으며, 이렇게 분석한 결과는 긍정적으로 나타났다[2]. 가스요금을 열병합발전용 요금을 적용하였을 때 투자회수 기간이 4년여로 충분한 경제적 타당성이 있으며, 비교적 고가인 일반영업용 요금을 적용했을 때에도 투자회수 기간이 5년으로 나타나 타당성이 있다는 결론을 얻었다.

2. 본 론

2.1 지역에너지 시스템의 합리적인 구성

A. MGT로 구성된 에너지 시스템

본 논문에서 제시한 시스템 구성원칙으로는 경제적 타당성이 있는 시스템 구성에 주안점을 두었다. 경제성을 높이기 위해서는 신뢰성 확보와 동시에 염가의 발전설비 선정과 시스템의 이용률을 극대화 시켜야 한다. 이용률의 극대화를 위해서는 시스템의 용량을 대상 시설이 요구하는 전기 및 열 부하 보다 상당히 낮게 잡아서 시스템이 항상 균형 잡힌 전부하 운전이 가능하게 하였다. 최근에 들어 지역 에너지 시스템에 이용될 수 있도록 개발된 MGT(Micro Gas Turbine)은 현재 수백 kW 급까지 일부 상용화 되고 있지만, 본 논문에서는 성능이 입증되고, 보수적인 경제성 검토가 가능하도록 100 kW MGT를 적용하였다.

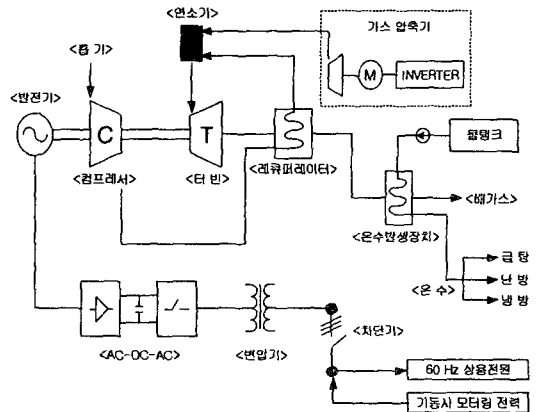


그림 1 열병합 시스템 구성도

그림 1은 MGT를 이용한 지역 에너지 시스템의 개요도를 나타낸 것이다. MGT는 분당 수만 회전수의 고속 터빈으로 발전기의 고주파 출력을 인버터를 통하여 상용주파수로 변조하게 되어있으며, 터빈 입구공기를 예열하여 터빈효율을 향상시킬 수 있도록 레큐퍼레이터를 장착하였다. 또한 고속회전기기이기 때문에 일반적인 베어링에는 문제점이 많아서 공기부상 베어링을 장착하고 있다. MGT는 고속기기이기 때문에 초소형이 되어 설치공간이 적을 뿐만 아니라 설치도 간편하며, 또한 비교적 간단한 구조로 매우 낮은 고장률을 시험한다. 터빈에서 배출된 배기가스의 열은 온수발생장치를 통과하면서 물을 가열하여 급탕, 난방 및 흡수식냉방장치에 열원을 공급 한다 [3].

### 3.1 지역에너지 시스템의 경제성 검토

#### A. 경제성 검토에서의 가정

본 연구에서 수행한 경제성 분석에서 적용된 가정과 기준을 표-1에 제시하였다. 표-1에 제시한 내용은 아래와 같은 가정을 포함한다. 우선 지역 에너지 시스템의 발전 용량은 대상 시설(호텔, 백화점, 병원, 스포츠헤터 등)에 필요한 전기 및 열부하 보다 상당히 낮은 용량으로 채택함으로써 항상 전부하 상태로 운전한다. 또한 적용 대상 시설에 따라 전기부하 및 열부하의 크기와 형태가 달라지기 때문에 본 연구에서는 어떤 경우에서도 시스템이 전부하 운전이 가능하도록 하기 위해서 소형인 100 kW의 열병합 설비를 적용하였다. 그러나 실제적으로 특정 부하지역에 열병합 발전시스템을 적용할 때에는 복수개의 100 kW 시스템을 설치하거나, 대상 시설의 에너지 소비 요구에 따른 대용량의 시스템을 적용하여 규모에 따른 이점을 얻게 되는데, 본 논문에서는 이와 같은 특성들을 고려하여 타당성 분석이 회손 되지 않도록 하였다. 다음으로는 분석을 간소화 하면서도 분석결과에 큰 문제가 없도록 하기 위하여 시스템 열부하측의 온수 보일러에 대해서는 열병합 시스템의 보일러와 재래식 별치 보일러가 효율 및 가격면에서 등가라고 가정하였다. (가격면에서 일견 폐열보일러 쪽이 고가 일수 있겠지만, 폐열 보일러에서는 연소장치가 별도로 필요 없다는 점을 감안한다면 충분히 상쇄될 수 있다고 보여 진다.)

#### B. 분석방법

경제성 분석기법으로는 현재 가치법(PW), 연간 가치법(AW), 내부 수익율법(IRR), 수익/투자 비율법(SIR), 투자 회수 기간법(PBP) 등이 있으나 본 논문에서는 간편하고 일반적으로 가장 많이 사용되는 기법인 투자 회수 기간법(Pay Back Period Method)을 적용하였다. 열병합설비의 보일러측의 편익은 앞 절에서 설명한 이유로 편익 비용 계산에서 제외하기로 하고, 발전설비 부분에 대해서만 발전편익과 비용만을 비교하여 경제성을 분석하기로 하였다. 본 논문에서 이용한 MGT는 현재 가장 많이 사용되고 있는 Capstone 사의 Model 330의 특성을 100 kW 급으로 단순 환산하였다.

열병합 발전 전력량에 대한 편익 계산에는 2004년도 한전 요금표의 3000 kW이하 수용고압에 대한 일반전력(갑)의 고압(A-1) 선택(1) 요금과 3000 kW 이상 전력을 수용하는 고객에 대한 요금인 일반전력(을)의 고압(A) 요금을 각각 적용하였다. 가스요금에 대해서는 열병합 요금과 일반요금 1을 각각 별도로 적용하여 계산하였다. 그리고 처음부터 열병합발전 용량을 최소부하 이하로 설정하였기 때문에 이론적으로는 설비 이용률을 100% 까지 올릴 수 있으나, 얼마간의 유지보수 기간이 필요하다고 사료되어 이용률은 95%로 설정하였다. 투자회수 기간을 산정하기 위해서는 발전에 의한 연간 편익과 연료비, 유지보수비 및 금융비용등을 총 비용으로 보고 그 차익을 적립하여 몇 년 안에 초기투자비를 회수 할 수 있는 가를 단순 측정하였다. 일반 회계에서는 감가상각비가 비용에 포함되지만 투자 회수 기간법에서는 이를

비용으로 계상하면 2중 계상이 되기 때문에 이를 포함하지 않았다.

표 1 주요 검토 기준사항과 근거

	설비명/항목	용 량 / 가정치	성 능	가정 사유
시스템 구성	MGT (Micro Gas Turbine)	100 Kw	Capston 사의 30kw형 성능을 100 Kw 급으로 단순 환산	검증된 용량 - 전 부하 운전 가능 단독 운전 가능
	냉·난방 및 급탕용 온수 보일러	폐열량 감안한 용량	온도 90℃, 효율 80%	폐열에너지의 최대한 이용
경제성 검토	분석방법	투자회수 기간법		
	투자비	1억원 (백만원/Kw)		
	내용 년수	10년		
	설 비 이용률	95 %		
	이자율	3.5%		
	운전 유지비	투자비의 3%/yr		
	전력 요금	2004년도 요금표의 일반(갑) 고압(A) 선택-1 및 일반(을) 고압(A) 기준		
	가스 요금	2004년도 열병합 요금과 일반영업 1		
	가스발열량	10,500 Kcal/Nr3		

#### C. 경제성 분석결과

표-2에서는 투자 회수 기간법을 적용한 지역에너지 시스템의 경제성 분석 결과를 나타내었다. 일반용 전력(갑) 고압(A) 선택(I) 요금을 택했을 경우에 편익(수용요금과 전력량 요금의 합계)은 65,276,000원이 되며, 감가상각비를 제외한 총 비용은 45,517,000원이며(가스요금을 일반 영업용 1 을 적용할 시) 차익은 19,758,000원이 되어 투자회수기간이 약 5.06년이 된다. 또한 열병합 요율을 적용했을 때에는 차익이 26,137,000원이 되어 투자회수 기간이 3.82년으로 대폭 줄어드는 것을 볼 수 있다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 가스요금을 일반 가스요금으로 적용한 경우에도 투자회수 기간이 5년 정도로 나타나 충분히 경제성이 있다는 결론을 얻었으며, 가스 요금에 열병합발전용 요금이 적용된다면 투자회수 기간이 4년여에 불과하여 경제성이 더욱 높아지는 것을 보여주고 있다.

#### D. 민감도분석

전력요금, 가스요금, 투자비 및 이자율에 대한 투자회수 기간의 민감도를 시산해 본 결과를 아래 표-3과 표-4와 같이 나타내었다. 전체적으로 전기요금, 가스요금 및 투자비에 대한 민감도는 상당히 큰 반면에 이자율에 대한 민감도는 비교적 낮다는 것을 알 수 있다.

표-3(열병합발전 가스요금 적용)에서 보면 전력요금에 10% 하락했을 때에는 투자회수기간이 약 1.2년 더 소요되고 전력요금에 10% 인상된다면 투자회수 기간은 0.8년 정도 단축된다는 것을 알 수 있다. 가스요금에 대해서 요금에 10% 하락한다면 투자회수 기간은 단지 0.2년 정도 줄어드는 반면 10% 상승 시에는 투자회수 기간이 0.9년 정도 더 길어진다는 것을 보여주고 있다. 투자비의 경우 10%의 투자비 하락으로 0.65년 투자회수기간이 줄

어드는 반면 투자비가 10% 상승 시에는 1.2년의 추가회수 기간이 늘어난다. 이상을 종합해 민감도를 살펴보면 전력요금에 대한 민감도가 가장 높으며, 투자비에 대한 민감도가 그 다음으로 높다. 그리고 민감도 분석에서 나타나는 공통적인 현상은 경제성을 악화시키는 쪽으로의 요인 변동이 경제성을 호전시키는 쪽으로의 요인 변동보다 훨씬 더 민감도가 높다는 사실을 알게 되었다. 따라서 앞으로의 경제성을 추정할 때에는 전기요금, 가스요금 및 설비가격의 변동추이를 세밀하게 검토해야 할 것으로 사료 되어진다.

표-2 년간 편익, 비용 및 투자회수 기간(천원)

전기요금 분류	일반용 전력(갑)-고압(A-1)		일반용 전력(을)-고압(A)	
	열병합 및 기타	일반용 - 영업용(1)	열병합 및 기타	일반용 - 영업용(1)
가스요금 분류				
편익 합계	65,276		63,628	
수용요금 편익	6,624		6,624	
전력량 요금 편익	58,652		57,004	
비용 합계	39,139	45,517	39,139	45,517
이자 비용	3,500		3,500	
운전 유지비	3,000		3,000	
연료비 (천연가스)	32,639	39,017	32,639	39,017
순이익 감가상각비	26,137	19,758	24,488	18,110
투자회수 기간 (년)	3.82	5.06	4.08	5.52

표 3 민감도 분석표(가스요금 열병합 요금 적용)

항 목	90/3.0	100/3.5	110/4.0	120/4.5
전력요금	5.10	3.83	3.06	2.55
가스요금	3.60	3.83	4.71	5.57
투자비	3.18	3.83	5.03	5.17
이자율	4.00	3.83	4.18	4.26

표 4 민감도 분석표 (가스요금 일반 영업 1일 때)

항 목	90 / 3.0	100 / 3.5	110 / 4.0	120 / 4.5
전력요금	7.5	5.06	3.8	3.05
가스요금	4.54	5.06	7.04	9.7
투자비	4.8	5.06	6.3	7.14
이자율	5.37	5.06	5.68	5.84

### 3. 결 론

지금까지의 지역 에너지 시스템에 대한 여러 가지의 경제성 검토에서는 현재와 같은 비 정상적인 전력요금 시스템에서는 경제성이 매우 낮다는 결론이 대부분을 차지하고 있었다. 그러나 본 연구 결과에서 시스템의 구성과 용량 결정을 시스템 이용률을 극대화 시키는 방향으로 설정한다면 충분히 경제적 타당성이 있다는 결론을 얻었다. 지금까지의 연구에서는 한 지구 또는 수용가에서 필요한 전기 및 열에너지의 대부분을 열병합설비로 충당하겠다는 생각에서 대상 시설의 소요에너지를 충분히 감당할 만큼 큰 설비용량을 채택함으로써 설비 이용률을 훼손했기 때문으로 판단된다. 또한 국내에서의 비 정상적인 전력요금 시스템도 여기에 일조하였다고 본다.

본 연구에서는 경제성 확보에 주안점을 두고 전기나 열 부하 중 가장 낮은 부하보다도 더 작은 시스템 용량을 택함으로써 지역 에너지 시스템, 즉 소형 열병합발전의 이용률을 극대화 하였으며, 신뢰성이 높고 가격이 비교적 저렴하면서 유지보수 비용에 대한 투자비용이 크게 들지 않는 MGT를 택함으로써 경제성을 향상시켰다. 본 연구에서는 100 kW 급의 소형 열병합 발전 시스템을 대상으로 경제성을 검토하였으나, 개별 업체에서 실제 적용 시에는 복수 개의 100 Kw 시스템을 설치하거나 용량이 큰 시스템을 채용할 수 있다. 이때 규모의 유리성 때문에 경제성은 본 논문에서 연구한 분석 보다 높아질 것으로 예상되어진다. 또한 MGT는 신뢰성이 높고 정지율이 낮아서 비상전원의 역할도 할 수 있다. 효율적인 면에서만 본다면 가스 엔진발전기는 효율이 30 % 이상으로 경제성이 높아 보이지만 MGT에 비해 고장이 잦고, 고장을 복구하기 위한 유지 보수에 의해 정전이 빈번하게 발행하는 등의 문제점을 내포하고 있다. 그러나 앞으로 기술 개발에 따라 신뢰성이 향상된다면 대형 수용가에서는 가스 엔진도 적극적으로 고려할 수 있다고 본다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소(R-2003-0-291) 주관으로 수행된 과제임.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 마이크로가스터빈 열병합발전시스템 개발을 위한 기획연구 2002.1 한국가스공사
- [2] Principles of Engineering Economic Analysis third edition-John A. White, Marvin H. agee, Keneth E. Case (이대규, 정승학, 이문규, 김중순 공역) - 범한서적주식회사 간행
- [3] Micro Co-generation System(Micro Eco-turbo MTG-28) Mitsubishi Denhki Ho Vol. 75 No.9 2001