[2007-03-ST-004]

아파트단지의 특성에 따른 열병합발전도입의 경제성 비교연구

기우봉*, 김광호

Economic Feasibility Study for Providing Co-generation System in various Type of Apartment Complexes

Heejin Lim, Kyungshick Yoon, Hyukbong Jang and Donghwan Kim*

Abstract This study is to analyse the feasibility for providing Co-generation plant in Apartment Complex for 4 typical Apartment Complexes located Seoul metropolitan area, The selected complexes are three midium-large size Apartment(nearby 35pyoug of floor area) and one complex of small size Apartment(below 25 pyoung of floor area) for comparison. The necessary data for the study were collected with visitation of each site. The study showed very positive result for the three medium-large size Apartment Complexes of which the average floor area is more than 25 pyoungs, while negative result for the Complex of which average floor area is less than 25 pyoungs. Other than floor size it was found that the electric consumption density also influence the economic feasibility.

In study the unit fixed cost of the energy produced from Co-generation plant is one third of the unit variable cost(fuel cost) and it seems better to select high thermal efficiency machine for Co-generation plant even with some higher cost of the plant.

Key words Electric consumption Density(전력소비계수), Heat Consumption Density(열소비계수), Co-generaion Plant(열병합발전설비), Gross Investment(조투자비), Net Investment(순투자비)

* 정회원 ; 강원대학교 전기공학과 박사과정
■E-mail : kwb35@dreamwiz.com ■Tel : (033)254-0312 ■Fax : (033)241-3775

1. 서론

우리나라는 세계 11위인 경제대국이면서도 산업의 식량이라 할 수 있는 에너지의 97%를 수입에 의존하고 있어 우리경제는 언제라도 치명적인 위기에 봉착할 수 있는 매우 취약한 구조를 가지고 있다. 이러한 문제를 해소하기위해서는 국내에 부존하는 재생에너지의 적극적인 개발사용과 에너지절약의 적극적인 실천이라 할 수 있다. 그간 에너지 절감을 위해서 대량의 전기와 열에너지를 소비하는 대규모 생산공장과 백화점, 호텔, 병원 등의 대형 설비사업용 빌딩에서는 정부의 자금지원과 장려시책으로 오래전부터 열병합발전의 도입이 상당히 일반화하여 성과를 거두고 있는 실정이다. 반면 또 다른 전기와 열에너지의 대량 소비처인 아파트단지에서의 열병합발전의 보급은 미흡한 상태이다. 이는 아파트단지에서의 전기에너지와 열에너지의 소비량의 상호간에 시차가 심할 뿐만 아니라 전기소비는 년 중 비교적 평탄한데 비하여 열소비는 계절적으로 큰 차이가

발생하여 하절기에는 회수열의 이용이 어려운 점등으로 열병합발전도입의 경제성 검토가 복잡하게 된 것이 큰 원인의 하나로 알고 있다. 그러나 국내의 전기요금체제가 아파트에 대하여 높은 누진율을 적용하고 있기 때문에 열병합발전의 도입의 경제성에 긍정적인 효과를 주는 것도 사실이다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 에너지절약에 크게 기여할 수 있게 수개의 대표적인 아파트단지에서의 열병합발전 도입의 경제적인 타당성에 대한 분석과 특성이 다른 아파트단지의 경제성을 상호 비교분석하여 추후 아파트단지의 열병합발전도입 검토 시에 참고하게 하는데 그 목적이 있다.

본 연구를 위해서는 아파트단지에 대한 전기와 열에너지 소비형태에 대한 자료가 필요하지만 정리된 자료는 구하기가 어려웠다. 따라서 여기서는 대표적인 몇 개 아파트단지를 선정하고 실사한 후에 그 경제성을 아파트단지별로 검토해보기로 하였다. 조사대상 대상아파트로는 대도시 또는 그 위성도시에 소재하는 대단지(500-2,000세대)이면서 가장 대표적인 중형평수의 3개 단지와 국민주택급에 속하는 소형평수의 1개 단지를 선정하였다.

아파트의 재래식에너지공급방식과 열병합발전에 의한 에너지공급방식의 차이점과 그 개념에 대해서 살펴보기로 한다. 재래식 아파트에서는 필요한 전기를 전력회사(한국전력공사)에서 수전하여 아파트의 각 세대와 공용설비에 전력을 공급하게 되고 난방이나 급탕 등에 필요한 열에너지는 자체로 보일러를 설치하여 난방과 급탕용 온수를 생산 공급하는 방식과 지역난방사업자로부터 열에너지를 공급받는 방법의 두 가지가 있다. 여기서 아파트의 공용설비에 대한 전력요금은 일반빌딩의 같은 요금을 적용하지만 아파트의 각 세대에 적용하는 전기요금은 누진율이 매우 높은 요금을 적용하게 되어 산업용등 여타 요금보다 월등하게 높다(최대 10배 이상).

재래방식에서 가장 큰 에너지낭비는 발전소에서 열에너지를 전기에너지로 변환하는 과정에서 발생하는바 이 낭비로 인한 원가상승은 곧바로 소비자가 부담하게 된다. 최신의 고효율 화력발전소에서도 정미발전 열효율은 40%를 넘지 못하고 여기다 발전소 자체소비와 수용가까지 송전하는데서 발생하는 손실을 감안한다면 실제효율은 35-37%[1]정도에 그친다. 다시 말해서 귀중한 에너지의 약 2/3를 폐기하게 된다.

이에 반하여 열병합발전은 발전에 사용되고 폐기하게 되는 열에너지를 회수하여 아파트의 난방과 급탕을 위해서 재사용하게 하는 시스템으로 종합 열효율은 80% 이상으로 높일 수가 있다. 이러한 장점을 가진 열병합발전방식의 도입을 위해서는 발전설비와 기타 부대설비를 위한 투자가 필요하게 되며 이러한 투자의 수익성을 감안하여 열병합발전의 도입여부를 결정하여야할 것이다.

본 연구에서 경제성분석의 수순으로는 우선 실사자료를 참조하여 평형별로 세대 당 월 소비전력량을 산출하고 평형별 세대 당 전력요금을 누진요금시스템의 계산법에 따라서 산출하였다.

실사한 기본자료를 이용하여 아파트단지 전체의 년간 소비전력량과 지불 전력요금을 산출하고 열병합발전의 원가산출에서 얻은 kWh당 단가를 년간 아파트전체의 소비전력량을 곱한 열병합발전비용을 비교 분석한다.

두 가지 방식의 경제성 비교분석에는 열병합발전도입에 의한 년간 절감액과 그 절감율 그리고 열병합발전설비에 투자한 자본의 회수기간을 비교하기로 하였다.

열병합발전의 원가계산에서는 실제 설치가격(조투자비)에서 재래식에 필요하면서 병합발전방식에서 제외되는 설비(보일러와 수전변압기의 용량감소, 비상발전기의제외 등)의 비용을 차감하여 순 투자비를 산출하였다. 이렇게 산출된 투자비에 대한 년간 자본비와 유지관리비 등을 더해서 년간 고정비를 산출하고 이를 발전기의 부하율을 감안한 년간 발전량으로 나누어서 kWh당 고정비단가를 산출하였다. 가변비로는 연료비만을 감안하였고 발전을 위하여 투입되는 연료비를 산출하였으며 이를 이용하여 조발전단가(kWh 당)를 산출하고 1 kWh 전력발생시에 회수된 열량의 가치(보일러에서 회수열량과 동일한 열량을 발생할 때의 연료비)를 뺀 수자를 가변비단가로 하였다. 이 가변비단가와 앞의 고정비단가를 합한 수치를 발전단가로 하였다.

2. 자료조사 정리 및 자료의 분석

2.1 절 자료조사

실사대상아파트단지의 선정에서는 아래와 같은 사항을 고려하였다. 아파트가 집중되어있는 대도시 또는 인근 위성도시, 경제성이 유리한 중규모(500세대 이상)이상의 아파트단지, 가장 일반적이라고 생각되는 평수의 단지와 비교목적의 국민주택 급의 아파트단지 등이 그것이다. 이렇게 하여 선정

된 아파트는 표 2에서 보는바와 같이 세대당 평균평수가 35% 전후가 되는 3개단지와 평균평수가 22평형인 소형아파트단지 1개소이다.

이러한 단지에 대한 자료조사항목으로는 아래와 같은 항목을 설정하였다.

1) 전력 및 열에너지 소비형태(세대별, 계절별, 월별, 일별, 시간대별)
2) 세대용 전력소비와 공동용 전력소비
3) 피크부하 및 평균부하
4) 기기용량(수전변압기, 비상발전기, 보일러)
5) 전력공급계약방식
6) 단지 아파트의 평수별 세대수
7) 난방열 공급방식

표 1. 조사원별 전력 및 열 소비자료 집계표

월 별	'A'		'B'		'C'		'D'	
	MWh	Gcal	MWh	Gcal	MWh	Gcal	MWh	Gcal
1	286.0	2,801	421.0	2,003	453.7	2,759	191.4	1,980
2	289.4	2,501	384.3	1,766	402.8	2,399	178.4	1,805
3	285.6	2,094	409.8	1,478	437.6	1,984	172.6	1,584
4	273.6	1,136	353.4	884	420.8	1,107	177.9	773
5	292.4	394	405.3	393	431.7	558	168.3	468
6	293.0	99	441.0	271	437.7	316	195.2	20
7	344.7	153	445.7	255	487.6	296	209.2	101
8	389.5	130	431.4	175	527.1	201	251.4	157
9	297.9	148	436.8	256	421.0	249	188.4	220
10	290.0	659	431.3	411	420.6	623	172.8	727
11	286.7	1,657	411.9	1,123	431.4	1,416	181.5	1,070
12	301.8	3,361	434.6	1,720	457.6	3,022	183.2	1,976

표 2. 아파트 조사원별 제원 집계표

조사원 별	'A'	'B'	'C'	'D'	예관공
총 세대수	997	1,550	2,064	590	-
평형별(세대수)	25-33 (741) 44-48 (178) 52-55 (78)	20-26 (476) 33 (360) 42-45 (714)	13-17 (612) 20-28 (1,452)	36.6 (590)	-
연건평 (평)	33,533	54,006	45,646	21,240	3,000-15,000 -
세대당 평수 (평)	33.6	34.8	22.1	36.6	-
세대당월평균소비 전력량 (kWh)	303	269	215	318	-
피크부하 (kW)	1,200	1,728	1,680	682	-
년평균전력 (kW)	414	571	608	257	-
전력소비계수 (kWh/㎡-yr)	32.8	28.0	35.3	32.3	21-14
열소비계수(Mcal/㎡-yr)	136.5	60.1	98.9	110	247
비상발전기(kW)	525	600	600	360	-
공용율(공용/세대)	0.58	0.57	0.21	0.37	
부하율(%)*	54.3	51.9	43.8	51.2	
수전변압기(kVA)	1,700	3,650	3,700	1,500	

가장 중요한 1)항과 2)항의 자료는 모든 아파트단지에서 전 세대에 대한 월별소비량 이외의 세대별, 계절별, 일별, 시간대별 기록자료를 구할 수 없었다(표 1 과 2 참조).

나머지항목에 대해서는 자료를 수집할 수 있었다.

2.2 절 조사자료의 집계와 분석

상기 실사에서 수집한 전기와 열에너지의 2005년도와 2006년도 월별 소비형태의 자료를 아파트별로 평균하여 표 1과 같이 정리하였다. 표 2에는 수집한 기타자료와 이들 자료를 이용하여 산출한 필요한 각종파라미터를 집계하였다. 이들 표에는 에너지관리공단에서 조사한 자료[9]를 참고용으로 추가하였다. 그림 1과 그림 2에서는 소비전력과 난방용 열소비열량의 월별 추세곡선을 표시하였다. 여기서의 수치는 각 아파트단지의 평균소비량에 대한 백분율을 사용하여 비교가 쉽도록 표시하였다.

표 3에서는 아파트단지별로 열전비와 열회수비를 산출하여 표시하였다. 열전비는 식 (1)로 계산되는 각 단지의 월 열소비량을 월 전력소비량을 열로 환산한 수치로 나눈 값이며, 열 회수비는 각단지의 월 열소비량을 열병합발전의 월 열회수량으로 나눈 식 (1)로 계산된 수치를 말하며 이는 열병합발전에서 하절기에 회수열의 이용가능량을 추산하는데 필요한 수치이다.

$$\text{열전지} = \text{열소비량(Gcal/Mo)}/[\text{전력소비량(kWh/Mo)} \times 0.86(\text{Mcal/lWh}) \quad (1)$$

$$\text{열회수비} = \text{열소비량(Gcal/Mo)}/[\text{전력소비량(kWh/Mo)} \times 1.254(\text{Mcal/kWh})] \quad (2)$$

이상의 표와 그림을 분석해 보면, 그림 1에서 월별 소비전력은 하절기 7, 8월과 동절기 1, 2월을 제외하고는 ±10% 이내에서 변동하지만 년중 거의 일정수준을 유지함을 볼 수 있다. 실

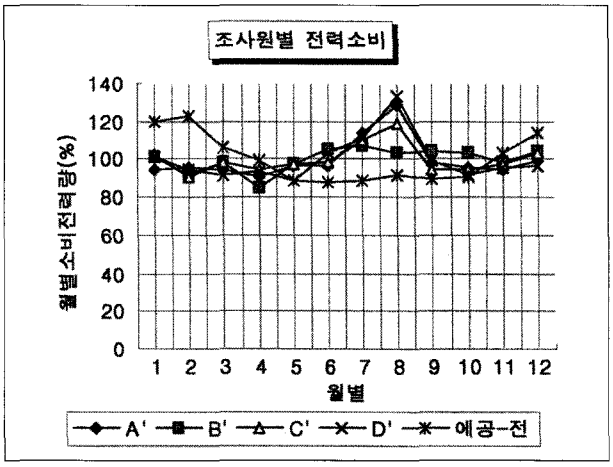


그림 1. 조사원별 월별 전력소비(%)

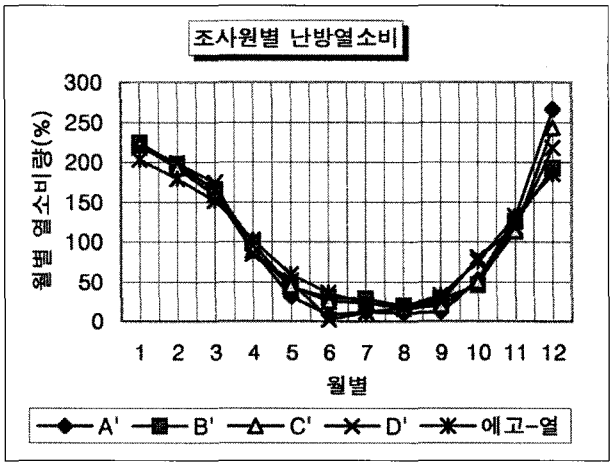


그림 2. 조사원별 월 난방열소비

표 3. 조사 아파트의 열전비/열회수비

월별	열전비 (열소비량/전력환산열량)					열회수비 (회수열량/전력환산량)				
	'A'	'B'	'C'	'D'	평균	'A'	'B'	'C'	'D'	평균
1	8.4	5.4	7.1	8.0	7.0	5.8	3.7	4.8	5.5	4.8
2	7.4	5.4	6.9	7.8	6.6	5.1	3.7	4.7	5.4	4.5
3	6.3	4.1	5.3	7.1	5.2	4.3	2.8	3.6	4.9	3.6
4	3.6	3.2	3.1	3.4	3.3	2.4	2.2	2.1	2.3	2.3
5	1.2	1.1	1.5	2.2	1.3	0.8	0.8	1.0	1.5	0.9
6	0.3	0.7	0.8	0.1	0.6	0.2	0.5	0.6	0.1	0.4
7	0.4	0.7	0.7	0.4	0.6	0.3	0.5	0.5	0.3	0.4
8	0.3	0.5	0.4	0.5	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
9	0.4	0.6	0.7	0.9	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.4
10	2.0	1.0	1.7	3.3	1.6	1.3	0.7	1.2	2.2	1.1
11	5.0	3.1	3.8	4.6	4.0	3.4	2.1	2.6	3.1	2.7
12	9.6	4.5	7.7	8.4	7.3	6.6	3.1	5.3	5.7	5.0

표 4. 단지별 평형별 월 소비전력량

'A' 단지 (32.8 kWh/㎡-y)		'B' 단지 (28 kWh/㎡-y)		'C' 단지 (35.3 kWh/㎡-y)		'D' 단지 (32.3 kWh/㎡-y)	
평형	kWh	평형	kWh	평형	kWh	평형	kWh
25	226	20	154	13	126	36	326
29	262	22	170	17	165	-	-
33	298	26	201	20	194	-	-
44	398	33	255	23	224	-	-
48	434	42	324	24	233	-	-
52	470	45	347	25	243	-	-
55	497	-	-	27	263	-	-
-	-	-	-	28	272	-	-
302,999		416,577		433,015		192,146	

사한 4곳의 아파트단지의 경우 하절기 7, 8월에는 평균치 보다 20% 정도 소비가 증가하고 동절기에는 평균치 근처의 소비를 나타내고 있는데 반하여 에너지관리공단 자료의 경우에는 하절기 7, 8월의 전력소비가 평균치 이하이고 동절기 12, 1, 2월에는 평균치보다 20% 정도 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 이는 에너지관리공단의 자료가 과거의 자료로 후진적인 에너지소비 형태를 나타낸 것으로 추정된다. 실사한 아파트의 경우 하절기의 냉방부하와 동계에는 난방용에 천연가스를 주로 사용하기 때문인 것으로 추측된다. 그림 2에서보면 난방용 열의 소비형태는 모든 자료에서 비슷한 형태로 나타나지만 모든 단지에서 월별로는 큰 차이가 있는 것을 볼 수 있으며 하절기 3개월에는 평균소비의 30% 이하인대 반하여 동절기 3개월간은 평균치의 2배의 소비형태를 보여주고 있다.

표 2를 보면 실사한 아파트단지는 비교적 대형이면서도 500, 1000, 1500, 2000세대의 4개유형을 조사했으며, 평균평수는 대도시와 그 인근 위성도시에서 가장 일반적인 세대 당 면적인 30-35평 사이의 단지 3곳이 포함되어있고 오직 'C' 단지의 경우 대단지 이면서 세대당 면적이 22.1평밖에 되지 않는 국민주택급의 단지임을 알 수 있다. 그리고 조사자료 중 본 연구에서 가장 중요한 수치인 아파트건물의 단위면적(㎡)당 1년간 사용하는 전기와 열에너지소비량을 각각 '전력소비계수(kWh/㎡-yr)' 와 '열소비계수(Mcal/㎡-yr)' 로 명명하고 산출하여 표시하였다. 이 두 가지계수는 아파트의 평형별 소비전력량과 소비열량을 산출하는데 아주 중요한 역할을 하게 된다. 표 2에서 전력소비계수는 대략 '32kWh/㎡-yr' 에서 ±10% 이

내의 수치를 나타내고 있어 아파트의 특성에 따라 크게 차이가 나지 않는다는 것을 볼 수 있으나 '열소비계수'는 60-139 Mcal/㎡-yr로 아파트단지에 따라 큰 차이를 나타내고 있다. 이는 난방방식과 급탕방식에 따른 차이로 추측된다. 그러나 앞으로의 경제성 시산에서는 '전력소비계수'를 기준으로 다루기 때문에 이 열수비계수는 경제성분석에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있었다.

세대전력소비량과 공용 전력소비량을 합친 평균전력에 대한 전기부하율을 산출해본결과 'C'의 경우를 제외하고는 50% 대임을 알 수 있었다.

3. 경제성분석을 위한 시산

3.1 경제성 분석방법

본 연구에서의 경제성분석은 아래와 같은 수순과 방법으로 진행하고자 한다.

1) 평형별(세대) 월소비전력량의 산출과 집계
2) 한전전력요금 계산 및 평균단가 산출
3) 열병합발전의 원가산출 및 분석
4) 단지별 경제성 검토 및 단지 상호간 비교분석

3.2 소비전력량의 산출

아파트단지의 전력요금을 계산하기 위해서는 세대별 월 소비전력량을 알아야 한다. 그러나 세대별 월 소비전력량의 자료는 실사에서 구할 수가 없었기 때문에 단위면적당 '전력소비계수'를 이용하여 평형별로 세대 당 소비전력을 식 (3)으로 구하였다.

$$\text{월소비전력량} = (\text{평수}) \times 3.3058 \times \text{전력소비계수}/12 \qquad (3)$$

이렇게 산출된 세대 당 소비전력을 평형별 단지별로 표 4에 표시하였다. 마지막 줄의 수치는 아파트단지별 총 세대용 소비전력량(kWh)을 표시하였다.

3.3 한전 전력요금 산출

전력요금의 계산에는 아파트에서 세대용 소비전력에 대해 일반적으로 적용하는 주택용(저압) 요금규정을 적용하였다. 이 규정에 의하면 전기요금계산에는 블록별 누진제가 적용되기 때문에 일률적으로 간단한 수식으로 계산하기가 쉽지 않다. 따라서 여기서는 'MS엑셀 프로그램'을 이용하여 평형별로 월 전기요금을 산출하였다. 평형별 요금의 평균단가는 이상과 같이 산출된 세대별 월 요금을 세대별 소비전력량으로 나누어서 구했다. 이렇게 산출된 세대 당 월 전기요금과 평균요금단가를 표 5에 집계하였다. 이 요금에는 부가가치세(10%)와 전력기금

표 5. 세대당 월 전기요금 및 평균단가

단지	평형	소비전력	전기요금	평균단가
		(kWh)/월	(원/월)	(원/kWh)
A'	25	226	25,785	114.15
	29	262	32,702	124.80
	33	298	39,618	132.86
	44	398	69,929	175.89
	48	434	87,942	202.76
	52	470	102,999	219.21
	55	497	114,292	229.98
	단지계		45,877,355	151.41
B'	20	154	14,219	92.17
	22	170	16,215	95.55
	26	201	20,935	104.39
	33	255	31,268	122.84
	42	324	49,003	151.26
	45	347	55,544	160.02
	단지계		56,949,665	136.71
C'	13	126	10,616	83.97
	17	165	15,649	94.66
	20	194	19,423	99.87
	23	224	25,358	113.38
	24	233	27,219	116.63
	25	243	29,080	119.61
	27	263	32,802	124.93
	28	272	34,663	127.30
D'	단지계		48,202,849	111.32
	36.6	326	49,577	152.23
	단지계		29,250,603	152.23

(3.7%)가 포함되어 있다.

표 5에서 단지계란에는 단지 전체의 월 세대용 전기요금과 평균전기요금단가를 나타내고 있다. 표에서 평수의 크기에 따라 평균전력요금단가가 동일한 1kWh에 대해서 2배까지 차이가 나는 것을 알 수 있다. 평수의 차이가 더 커지면 이 비율은 2배 이상도 될 수 있다.

3.4 열병합발전의 원가산출

열병합발전전력의 원가산출을 위해서는 우선 원가산출에 적용할 기준을 설정해야하며 이 기준에 따라 원가를 산출하며 아울러 이렇게 산출된 원가를 간단히 분석해 보기로 한다.

3.3.1 원가산출의 기준 설정

각 아파트단지의 가스엔진발전기의 용량은 이용률을 70%로 가정하여 산출하였다. 피크전력(표 2에서 평균전력의 2배 이상) 이상의 용량을 선정하는 것이 전력수요와 공급의 평형 상 좋은 것 같이 보이지만 이 경우 유휴용량이 커져서 고정비의 상승을 가져와서 경제성을 떨어지게 된다. 그렇다고 평균전력에 적합한 용량을 택하는 경우에는 발전설비의 고장이나 보수시에 충분한 전력을 공급할 수 없게 되어 피크전력의 상승으로 수전전력의 기본요금을 높이게 한다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 피크전력과 평균전력의 거의 중간 수치인 열병합발전기의 이용률 70%로 가정한 용량을 선정하였다. 이렇게 하면 피크전력의 일부를 담당하게 되어 기본요금을 줄이고 열병합발전기 1대의 고장 시에도 대부분의 전력을 공급할 수가 있기 때문이다. 이렇게 산출된 발전설비의 용량은 필요한 전체 시설용량이지만 현실적으로는 고장과 유지보수를 감안하여 가능하면 3대로 용량을 분할하는 것이 합리적이다. 여기서 용량의 결정에서 공용 소비전력은 제외하였다. 이는 공용전력의 요금단가는 2007년에 들어와서 누진율을 적용하게 되었지만 이 경우에도 열병합발전단가보다 아직도 낮다는 것이 판명되었기 때문이다(50평대 까지도 kWh 당 120원 미만). 열병합발전기로는 가동률(Availability Factor) 및 유지보수비 면에서는 좀 불리하지만 효율이 높은 가스엔진발전기를 택했으며, 발전기의 열효율은 문헌에 따라 30%에서 39% 까지 발표되고 있으나 여기서는 일본의 주요 생산업체 미쯔비시전기(三菱電機)사의 저널에 발표한 논문[4]의 수치와 손학식 저 "실용 소규모 열병합발전시스템"[3]의 자료를 조정하여 사용하기로 하였다. 천연가스의 발열량은 여러 가지 자료가 있었고 원산지에 따라 달라질 수 있어 여기서는 한국가스공사의 홈페이지에서 비교용으로 표시한 10,500Kcal/Nm³보다 약간 낮은 10,000Kcal/Nm³를 사용하였다. 천연가스의 요금은 2006년도의 가스요금표 중에서 열병합요금을 적용하였으며 이 가스요금은 지역에 따라 차이가 있음으로 인구밀집지역인 서울,경기도 및 6개 직할시의 요금을 평균한 요금을 사용하였다. 각종 설비의 가격에 대해서는 가스발전설비와 열회수설비 가격의 경우 한국에너지관리공단의 워크샵(2004.7.21)에서의 발표자료[5]와 국내 제조회사에 문의한 자료를 참조하여 추정하였으며, 보일러 및 변압기의 가격은 한국물가정보사의 종합물가정보(2006.5)[6]을 참조하였다. 설비의 수명은 10년으로 보았으며 금리는 정부의 '에너지절약사업 지원자금' 의 이율(3.5%) 보다 약간 높은 4%를 가정하였다. 현재는 3.5%이지만 앞으로 금리 상승을 고려해서이다. 원금을 연차적으로 상환한다면 후기의 원금은 감소하기 때문에 금리의 완만한 상승은 원가에 큰 영향을 주지 않는다. 고정비에서 감가상각비와 금리를 합한 자본비의 산출은 정확도를 높이기 위해서 자본회수계수[8]를 사용하였다. 운전유지비는 일반적으로 설비투자비의 백분율로 가정하는데 대부분이 3%[3] 정도로 가정하지만 여기서는 발전설비가 소형인 점을 감안하여 보수적으로 이의 1.5배인 4.5%로 가정하였다. 정부지원 정책 중에는 세액공제의 혜택 조항이 있지만 아파트단지는 영리법인이 아니기 때문에 이에 해당하지 않는 것으로 보고 여기서는 고려하지 않았다. 이상을 종합해 보면 표 5와 같이 된다.

표 6. 원가산출의 기준 설정표

1. 설비가격	기준치
1.1 가스엔진발전시설(원/kW)[5]	900,000
1.2 열회수설비(원/발전기 kW)[5]	100,000
1.3 가스보일러(원/Mcal/hr)[6]	45,655
1.4 비상발전기(원/kW)	600,000
1.5 변압기(원/kVA)[6]	10,800
2. 천연가스요금(원/Nm³)	532.83
3. 각종 계수(%)	
3.1 발전기효율[3][4]	33.6
3.2 엔진자켓온수회수[4]	27
3.3 폐열회수[4]	22
3.4 온수보일러 효율	90
4. 유지보수비율(설비비의%)	4.5
5. 금리(년 이자율)	4.0
6. 수명년수	10
7. 발전기 이용률(%)	70
8. 자본회수계수("5"와 "6"이용 산출)	0.1233

3.3.2 원가 산출

열병합발전의 발전단가는 고정비단가와 가변비단가로 분리하여 계산한 후 종합하는 방식을 택하였다. 고정비단가의 산출은 발전설비 1kW에 대한 년간 고정비를 산출하고 발전기의 이용률을 감안한 년간 발전량을 구하여 앞에서 산출한 년간 고정비를 나누어서 kWh당 고정비단가를 산출하였다. 열병합발전설비의 고정비로는 자본비(감가상각과 금리)와 운전유지비의 두 가지로 나누어서 계산하였다. 투자비용은 먼저 열병합발전설비의 구입 및 설치가격을 산출하고 이를 열병합발전의 조투자비(Gross Investment)로 하였다. 재래식 수전방식에서의 비용과 비교하기위해서 재래식에서는 필요하지만 열병합발전에서는 불필요한 비상발전기의 가격과 열병합발전의 열회수로 재래방식에서 필요했던 난방용 보일러용량의 축소분과 수전변압기의 용량감소분을 각각 산출하여 상기 조투자비에서 차감한 수치를 열병합발전의 실투자비(Net Investment)로 하였다. 비상발전기의 용량은 표 2에서 보면 대략 세대평균전력과 그 크기가 비슷하나 다음에 계산하는 열병합발전기 용량보다는 작기 때문에 보수적으로 열병합발전기용량의 50%로 가정하여 계산하였다. 폐열회소이용에 의한 난방용보일러의 축소용량은 열병합발전기의 단위전력량을 생산할 때 발생하는 열량을 기준으로하고 보일러의 효율을 90%로 가정하고 계산하였다. 변압기용량의 축소분은 보수적으로 열병합발전기 총 용량의 100%를 가정하여 계산했다. 자본비에 대해서는 열병합발전을 위해서 추가로 투입해야하는 비용인 실 투자비에 감가상각율과 이자율을 합친 수자를 곱하는 대신 좀더 정확한 분석을 위해서 자본회수계수를 곱하여 산출 하였으며 운전유지비는 일반적으로 설비의 가격에 대한 백분율을 적용하기 때문에 조투자비에 운전유지비율(여기서는 4.5%로 가정)을 곱하여 산출하였다.

가변비용에 대해서는 우선 가스엔진발전기의 효율을 이용하여 1 kWh 발전에 필요한 열량을 계산하고 이 열량에 대한 연료비를 계산하여 발전기만을 고려한 조가변비(Gross variable cost)를 산출하였다. 그러나 여기서 사용한 열에너지의 일부는 난방용 에너지로 회수되기 때문에 이 회수되는 열에너지를 금액으로 환산하여 상기 가변비용에서 차감하여 발전에 필요한 순 비용(Net variable cost)을 구한다. 이 회수열에너지의 평가금액으로는 재래식 보일러에서 열병합발전에서 이렇게 되면 피크전력에 대한 한전에 지불하는 회수되는 열량과 동일한 난방용 및 급탕용 온수생산에 필요한 연료비로 하였다. 즉 1kWh의 전력생산에 필요한 연료비에서 회수되는 열량에 대한 평가금액을 앞에서 산출한 발전기의 연료비에서 뺀 금액을 kWh 당의 가변비로 하였다.

그런데 표 3에서 보는바와 같이 회수되는 열에너지는 겨울에는 물론 초봄과 늦가을의 7개월(1, 2, 3, 4월 및 10, 11, 12월)에는 난방열의 사용량이 열병합발전기의 회수열량보다 많기 때문에 열병합발전설비의 폐열회수량의 전량을 이용할 수 있으나 5월의 경우 일부 단지에서는 열소비량이 약간 부족하지만 이를 동절기를 위해서 온수저수조에 저장한다고 가정하여 회수열의 100% 이용이 가능하다고 보았다. 반면에 여름과 늦봄 그리고 초가을의 4개월 동안에는 열회수비가 '1' 이하가 되어 회수열의 100% 이용은 불가능하다. 따라서 이 4개월 동안에는 회수가능열의 '30%' 만 이용이 가능한 것으로 가정하여 열회수 편익을 산출하였다. 그리고 발전기의 용량은 이용률이 70%가 되는 용량을 택했기 때문에 피크전력이 평균전소비전력의 약 2배가 되는 점을 감안한다면 열병합발전기는 피크전력의 전량 공급이 불가능하다. 따라서 이 부족분은 한전에서 수전하여야 하며 이 부분에 대한 기본요금은 12개월간 기본요금으로 전기요금에 반영되기 때문에 이 피크용량 부족분을 열병합발전원가의 고정비에 추가하였다. 전력량요금에 대해서는 한전요금이 열병합연료비에 비해서 낮기 때문에 무시하였다. 이 추가되는 피크전력은 열병합발전기용량의 40%로 산출되어 열병합발전기의 kW당 0.4kW를 적용하였다. 이상의 모든 연산결과를 아래와 같이 종합하여 정리하여 보았다.

1) 열병합발전 kW당 투자비(단위-원, VAT제외);

① 열병합발전시스템	900,000
② 폐열회수설비	100,000
③ 비상발전기;	
0.5 × 비상발전기가격(원/kW);	
= 600,000 × 0.5	300,000
④ 가스보일러;	
45,655원/Mcal × 0.1254/0.9	63,200
⑤ 변압기 축소분; 10,800×1	10,800
⑥ 실 투자비;①+②-③-④-⑤	626,000

2) 년간 kW당 고정비(원-VAT 포함)

① 자본비; [1)-③]×자본회수계수×(1+부가세율)	
= 626,000 × 0.1233 × 1.1	84,904

② 유지보수비; [1)-①] × 1.1 × 0.045 44,550
③ 기본료추가;
0.4 × 6300 × 2 × 1.137 17,191
④ kw 당 년간 총고정비;
= ①+②+③+④+⑤ 129,454

3) 연간 발전량(이용율 70% kW당 kWh) 6,132
4) 고정비 단가(kWh 당); 26.72
5) 조 가변비단가(연료비) 150.02
6) 회수열 이용 환산단가 62.62
7) 순 가변비단가; 5) - 6) 87.40
8) 열병합 총단가; 4) + 7) 114.12

3.3.3 열병합발전 원가의 분석

3.3.2항에서 열병합발전기의 발전단가는 114.12원/kWh인데 구 구성을 보면 설비투자와 이의 유지보수를 위한 고정비단가는 26.72원/kWh이고 연료비가 대부분인 가변비단가는 87.40원/kWh이 되어 고정비는 가변비에 비하여 1/3 밖에 되지 않는다는 것을 알 수 있다.

이는 열효율 또는 연료비의 10% 증가는 투자비의 30% 증가와 맞먹는다는 것이 된다. 따라서 가능하면 설비가격이 약간 비싸더라도 효율이 높은 발전기를 택하는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다.

4. 열병합발전 도입의 경제성 비교분석

3장에서 시산한 결과를 다음과 같은 두 가지 방향에서 분석하기로 하였다. 첫째로 실사한 각 아파트단지에 대한 현재의 여건에서 열병합발전에 의한 득실을 비교분석해 보고 다음으로 평형별 평균전기요금과 발전단가를 비교분석해 보고 문제점과 대책에 대해서 검토해보기로 하였다.

4.1 종합분석

3장에서 시산한 결과를 종합하여 집계해 보면 아래 표 7과 표 8을 얻을 수 있다. 표 1에서는 투자비의 회수년수를 산출하는데 열병합발전설비의 구입설치비용인 조투자비와 재래방식의 에너지공급시스템에서는 설치하였지만 열병합발전의 도입으로 불필요하게 된 설비를 공제한 순 투자비를 나타내었다. 표 8에서는 재래방식에서 한전전력에서 수전할 경우 년간 전체 아파트단지입주자가 세대용으로 부담하는 요금과 ,동일한 전력량을 열병합발전에서 공급하는 경우 발생하는 총 년간경비를 나타내고 또한 년간 절감액과 절감율을 나타내었다. 아울러 조투자비의 회수와 순투자비의 회수에 소요되는 년수를 표시하였다. 표 8에서 보면 'A'와 'D' 단지의 경우 열병합발전의 도입으로 단지 전체적으로 년간 25%의 전기료의 절감이 가능하며 'B'단지의 경우에도 년간 16.5%의 전기요금의 절감을 가져올 수 있다는 것을 알 수 있다.

표 8에서 투자회비의 회수년수를 보면 'A'와 'D' 단지의 경우 순투자비는 2.3년 이내에 회수할 수 있으며 조투자비도 3.3년 이내에 회수할 수 있다는 것을 알 수 있다. 'B' 단지의 경우에는 순투자비의 회수에는 3.3년, 조투자비의 회수에는 4.4년이 소요되는 것으로 나와 있다. 따라서 'A', 'B', 'C' 단지의 경우에는 열병합발전의 도입의 타당성이 충분히 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 'C' 단지의 경우 년 절감액이 '-'로 나타나서 열병합발전의 도입은 추가비용을 발생할 하여 타당성이 없다는 것을 알 수 있다.

이러한 차이가 발생한 요인은 표 2에서 찾아볼 수 있었다. 표

표 7. 열병합 투자비 집계표

단지별	열병합 용량 (KW)	열병합투자비(천원)	
		순투자비	조투자비
A'	600	413,160	660,000
B'	810	557,766	891,000
C'	870	599,082	957,000
D'	360	247,896	396,000

표 8. 년간경비, 절감 및 투자비회수 년수 집계표

단지별	년간경비(천원)		절감액 (천원)	절감율 (%)	투자회수년수	
	한전요금	열병합			순투자	조투자
	1'	2'	3'='1'-2'	3'/'1'		
A'	550,528	414,939	135,589	24.6	2.3	3.3
B'	683,396	570,477	112,919	16.5	3.3	4.4
C'	578,434	592,988	-14,554	-2.5	NA	NA
D'	351,007	263,132	87,875	25.0	2.2	3.1

2에서 'A', 'B', 'D',단지의 경우 세대 당 평균평수가 각각 33.6, 34.8, 36.6평인대 비하여 'C' 단지의 경우 세대 당 평균평수가 22.1평 밖에 되지 않는 소형이라는 차이 때문으로 분석되었다. 반면 전력소비계수는 'A' 단지, 'B' 단지 'D' 단지의 경우 각각 32.8, 32.3, 28.0으로 나타난 반면 'C' 단지의 경우에는 다른 단지보다 큰 수치인 35.3으로 나타난 데도 결과는 열병합발전의 경제성에 평수보다는 크게 영향을 주지 않았다는 것을 알 수 있었다. 이는 한전의 주택용 요금구조가 세대별로 높은 누진제를 적용하기 때문에 소형아파트의 경우 전력소비의 절대량이 작기 때문으로 판단된다. 'A' 단지와 'B' 단지의 경우를 비교해 본다면 세대 당 평균평수에서는 33.6:34.8로 'B' 단지가 약간 큰데도 불구하고 절감율과 투자비회수 년수 면에서 불리한 결과가 나왔다. 이는 32.8:28.0인 전력소비계수의 차이 때문으로 분석 되었다.

4.2 평형별 단가분석

표 9에는 아파트단지별 세대 당 평형에 따른 월 전기요금의 평균단가와 이 단가의 열병합발전단가를 비교한 표이다. 'A' 단지에서 보면 25평형 세대의 평균단가는 114.15원/kWh 인데 비하여 현상을 보이고 있다. 다음으로 열병합발전의 도입으로 아파트단지 입주자가 부담하는 평균전력단가는 114.12원/kWh로 이는 'A' 단지의 최소평형세대가 재래식에서 부담하는 단가와 같고 55평형 세대의 평균 수전단가는 열병합발전단가의 2배가 되는 229.98원/kWh가 되는 것을 볼 수 있다. 이는 높은 누진율요금제도에 의한 결과이고 고평수의 세대는 큰 액수의 절감(50%)을 가져오지만 저평수의 세대는 열병합발전으로 아무런 이득이 없다는 결과가 나온다. 'B' 단지의 경우와 'C' 단지의 경우에는 25평 이하 소형평수의 세대는 한전수전 쪽이 유리한 것으로 나타났다. 'D' 단지의 경우에는 모든 세대가 동일한 중대형 아파트로 열병합발전의 도입으로 모든 세대가 동일한 25%의 절감혜택을 누릴 수가 있다. 이를 그림으로 나타낸 것이 그림 3, 4, 5이다.

여기서 우리는 설사 아파트단지 전체적으로 열병합발전의 경제적으로 이점이 있는 것으로 판단되어도 만약 세대 당 아파트 크기에 관계없이 균일한 열병합발전단가를 세대 당 소비전력량에 적용한다면 'B'나 'C' 단지의 소형아파트 세대는 추가부담을 하게 되는 반면 대형평수 세대는 50%까지 큰 절감을 하게 되어 불공평한 결과가 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 아파트단지에서 열병합발전을 도입하는 경우에 각 세대에 부과하는 전기료는 한전전기료에 종합절감율을 차감한 금액을 부담시키는 것이 공평한 부과가 될 것이다.

표 9. 평형별 단가 비교표

평형	평균단가(원/kwh) 한전 (1).	단가차이 (1)-(2)	절감율(%)
A' Apt.			
25	114.15	0.03	0.02
29	124.80	10.68	8.55
33	132.86	18.74	14.11
44	175.89	61.77	35.12
48	202.76	88.64	43.72
52	219.21	105.09	47.94
55	229.98	115.86	50.38
평균	151.41	37.29	24.63
B' Apt.			
20	92.17	-21.95	-23.81
22	95.55	-18.57	-19.43
26	104.39	-9.73	-9.32
33	122.84	8.72	7.10
42	151.26	37.14	24.55
45	160.02	45.90	28.68
평균	136.71	22.59	16.52
C' Apt.			
13	83.97	-30.15	-35.90
17	94.66	-19.46	-20.56
20	99.87	-14.25	-14.27
23	113.38	-0.74	-0.66
24	116.63	2.51	2.15
25	119.61	5.49	4.59
27	124.93	10.81	8.65
28	127.30	13.18	10.35
평균	111.32	-2.80	-2.52
	D' Apt.		
36.6	152.23	38.11	25.04
열병합단가; 114.12원/kWh; (2)			

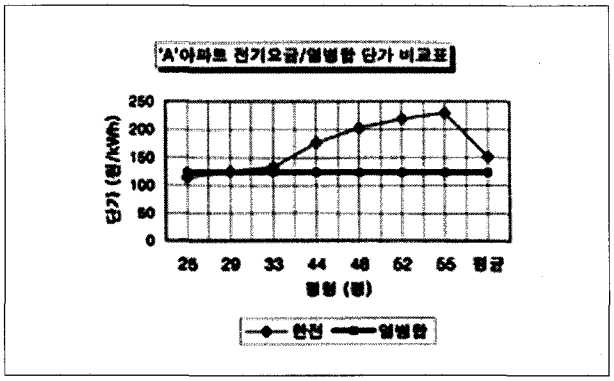


그림 3. 'A' 단지 단가곡선 비교곡선

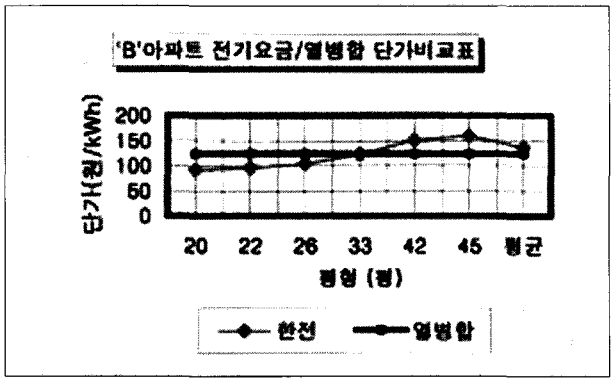


그림 4. 'B' 단지 단가곡선 비교곡선

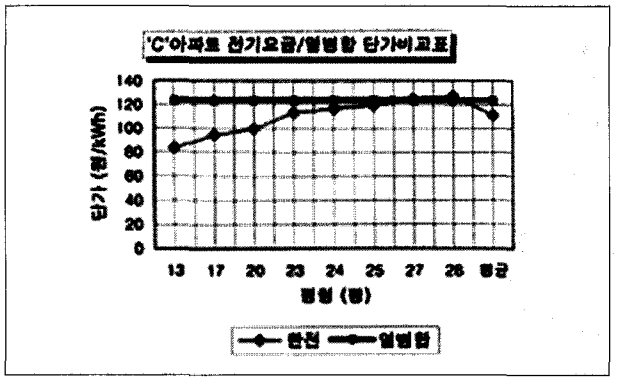


그림 5. 'C' 단지 단가곡선 비교곡선

5. 결론

본 연구에서는 대표적이라고 생각되는 4개소의 아파트단지에 대한 실사자료에 근거하여 중대형 열병합발전 도입에 대한 경제적인 타당성을 분석하고 세대에 비치는 영향을 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

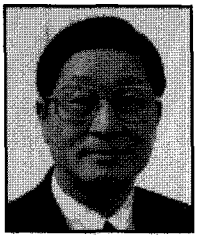
1) 세대당 평균평수가 30평이 넘는 'A', 'B', 'D' 아파트단지의 경우 열병합발전의 도입으로 전기요금의 절감율이 17-25%나 되고 투자비의 회수는 순투자비의 경우 2-3년 여 만에 회수가 가능하고 조투자비의 경우에도 3-4년 정도에 투자비의 회수가 가능하여 경제성이 우수한 것으로 나타났다. 그러나 국민주택급 소형평수(25평 이하)의 'C' 아파트단지 경우는 열병합발전 도입의 타당성이 없는 것으로 나타났다.
2) 비록 'A' 단지와 'B' 단지에서 보는바와 같이 비슷한 평균평수의 단지이라도 그 전력소비계수가 작으면 경제성의 정도가 감소함을 알 수 있었다.
3) 동일한 평균평수의 아파트일지라도 세대당 평수가 큰 아파트가 많을수록 경제성은 향상된다는 것을 추정할 수 있다. 이는 소형아파트의 요금은 낮지만 절대액수가 적을 뿐 아니라 누진율 또한 고평수 아파트에서 급진적으로 증가하기 때문이다.
4) 열병합발전의 원가에서 가변비(연료비)단가는 고정비단가의 3배나 되어 열병합발전의 도입 시에는 가능한 한 효율이 높은 열병합발전시스템의 선택이 유리한 것을 알 수 있었다.
5) 공용전력의 단가는 2007년도부터 일부 누진제가 적용되었음에도 불구하고 아직도 열병합단가 보다 낮아서 열병합발전설비의 용량결정 시 공용부분을 재외한 세대용 전력을 공급하도록 설계하는 것이 유리한 것으로 판단되었다.
6) 세대용 전력에 대해서는 전력량에 따라 기본료가 적용되나 공용에 대해서는 피크전력을 세대용과 공용으로 비례배분하여 1년간 매월 기본요금을 계산하기 때문에 열병합발전설비의 정지는 자칫 피크전력의 상승으로 추가 부담을 하게 될 수 있다. 따라서 열병합발전기는 최소한 3대 이상으로 분할하는 것이 유리하다. 경부하시에도 개별발전기가 전부하에 가깝게 운전함으로서 효율의 저하를 최소로 할 수 있기도 하다.

References

[1] 에너지관리공단 "2003. 열병합발전 기술 가이드북" *한국에너지관리공단*

[2] 한국에너지관리공단 "건물용도별 전력원단위 조사연구", *산자부*
[3] 손학식 "*열병합발전시스템*", 도서출판 키다리, 2005.
[4] 增元茂喜, 西山佳久 "三菱電技報" Vol. 75 No. 9 2001. p. 14(580)
[5] 박화춘 "*소형열병합발전 국내외기술개발동향 및 추진방향*" 소형 열병합발전 보급활성화워크샵, 에너지관리공단, 2004.7.
[6] "물가정보", 물가정보사, 2006.5.
[7] 한국에너지관리공단 고시 "*에너지이용합리화자금지원*" http://www.kemco.or.kr/
[8] John A White, Marvin H.Agee, Keneth E. Case "*Principle of Engineering Analysis*" 3rd ed John Wiley & Sons,Inc. 1986,

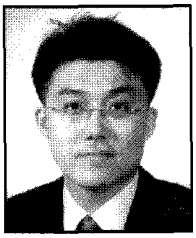
기우봉



1958년 서울대학교 전기공학과 공학사
1967년 기술사(발 송 배전)
1993년 한국산업써비스(주) 대표
2005년 강원대학교 전기공학과 공학석사

현재 강원대학교 전기공학과 박사과정
(E-mail ; kwb35@dreamwiz.com)

김광호



1988년 서울대학교 전기공학과 공학사
1990년 서울대학교 공과대학원 전기공학과 공학석사
1994년 서울대학교 공과대학원 전기공학과 공학박사

현재 강원대학교 전기전자공학부 교수
(E-mail ; khokim@kangwon.ac.kr)