

## 신설아파트 열병합발전 도입에 대한 예비 타당성 분석기법 개발

### Development of a Method of Pre-Feasibility Study for the Application of Co-Generation System in New Apartment

기 우 봉\*      김 광 호\*\*  
Kee, Woo-Bong      Kim, Kwang-Ho

#### Abstract

The object of this study is the development of a Method which is enable to review the preliminary feasibility for co-generation system in new apartment buildings. In Korea co-generation systems have been installed in most of large industrial plants and commercial buildings which consume a large quantity of electric and heat energy, for energy saving and cutting products cost, under positive governmental supports. However for apartment buildings which consume quite a large electric and heat energy, are still remained in conventional energy supply system, and are not popular to utilize useful co-generation system. One of the major reason for these is the lack of clear and easy justification tool. In this circumstance, this study can provide a tool to verify the feasibility of co-generation in apartment buildings with this handy tools for planners and designers beforehand.

키워드 : 전력에너지소비계수, 열병합발전  
Keywords : electric energy consumption coefficient, co-generation

#### 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 완화하기 위해서는 국내에 부족한 재생에너지의 적극적인 개발사용과 에너지 절약의 적극적인 실천이라 할 수 있다. 에너지절약에서 가장 효과적인 방법의 하나는 대량소비처에서의 절약이라 할 수 있다. 에너지의 대량소비처의 한 분야인 화학공장과 정유공장 제지공장 등의 생

산시설에서는 오래전부터 에너지절약의 일환으로 열병합발전의 도입하여 에너지소비절약은 물론이고 제품원가도 크게 절감하는 성과를 거두고 있다. 전력회사의 최신회력발전소의 경우에도 에너지효율이 40%[1] 이하이고 복합 화력의 경우에도 50%[1]을 넘지 못하는데 비하여 열병합발전의 경우 발전에서 사용하고 폐기하는 폐열에너지를 회수하여 자체 공정에서 사용함으로써 생산원가를 절감할 수가 있었기 때문이다. 이러한 성과는 또 다른 대규모의 전기와 열에너지의 소비처인 백화점, 호텔, 병원, 빌딩 등의 서비스산업에서도 파급되어 대형 업체에서는 열병합발전을 도입하여 큰 성과를 얻고 있는 것으로 알려지고 있다. 이제 남은 대규모 에너지소비처는 아파트로 대표되는 공동 주거시설이라 할 수 있다. 아파트의 경우 전기 소비와 열소비가 시간대별로 일치하지 않을 뿐만 아니라 난방열의 경우 계절에 따라 큰 기복이 있

\* 강원대학교 대학원 전기공학과 박사 과정  
\*\* 강원대학교 전기전자공학과 교수, 공학박사

어 전기와 열을 동시에 일정비율로 생산하는 열병합발전의 특성으로 인해 열병합발전의 경제적인 의문을 가지게 된다. 그럼에도 불구하고 우리나라 전기요금체계는 아파트에 대하여 아주 높은 누진율이 적용되는 가정용저압요금을 적용하기 때문에 산업용이나 일반전력요금보다 아파트 거주자에게 매우 불리하게 되어있다. 더욱이 최근 생활수준의 향상과 가정에서 더 많은 정보화시설이 설치되는 추세 때문에 누진율에 의한 부담은 점점 커지게 되는 실정이다. 이러한 점을 감안한다면 아파트에서의 전기와 열에너지의 수급 불균형에도 불구하고 충분히 경제성이 있을 것으로 보고 있다. 이러한 여건에도 불구하고 아파트의 열병합발전의 도입은 극히 부진한 실정이다. 여기에는 아파트의 경우 열병합발전의 도입에 대한 경제성검토의 복잡성과 자료부족으로 열병합발전 도입의 타당성에 대한 확신이 서지 않기 때문으로 보여 진다. 그리고 이러한 경제성검토는 일반적으로 열병합발전의 시설사업자가 수행하여 그 신뢰성에 대한 불신도 한몫을 하고 있다고 본다. 우리나라는 국토가 협소한데다 인구밀도가 극히 높아서 지금 까지도 그랬지만 이후로도 주거지로 대규모아파트가 지속적으로 건설될 것으로 보여 지기 때문에 열병합발전의 도입은 국가적인 전지에서도 필요한 사업이다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 에너지절감의 남은 축인 아파트단지의 전기와 난방열에너지의 소비행태를 좀 더 구체적으로 조사 분석하고 이러한 자료를 토대로 아파트에 대한 재래식에너지공급(전력 및 열에너지)과 열병합발전에 의한 에너지공급방식의 비용을 대비 분석하여 전문가가 아니더라도 손쉽게 경제적인 손익을 가늠해볼 수 있는 분석기법을 개발하고자 하는데 목적이 있다. 따라서 이 분석기법은 특정한 아파트를 대상으로 하지 않고 아파트의 평형과 에너지소비밀도에 따라서 판별해 볼 수 있도록 작성하고자 한다.

아파트의 재래식에너지공급방식과 열병합발전에 의한 에너지공급방식의 차이점과 그 개념에 대해서 살펴볼 필요가 있다. 재래식 아파트에서는 필요한 전기를 전력회사(한국전력공사)에서 수전하여 아파트의 각 세대와 공용설비에 전력을 공급하게 된다. 여기서 아파트의 공용설비에 대한 전력요금은 일반빌딩의 그것과 같은 요금을 적용하지만 입주아파트의 각 가정에 적용하는 전기요금은 누진율이 매우 높은 요금을 적용하게 되어 산업용등 여타 요금보다 월등하게 높다(최대 10배 이상). 그리고 재래식 아파트단지에서의 난방이나 급탕 등의 필요한 열에너지는 자체로 보일러를 설치하여 난방과 급탕용 온수를 생산하여 공급하는 방식과 지역난방사업자로부터 열에너지를 공급받는 방법의 두 가지가 있다. 재래방식에서 가장 큰 에너지 낭비는 발전소에서 열에너지를 전기에너지로의 변

환과정에서 발생하는바 이 낭비로 인한 원가상승은 곧바로 소비자가 부담하게 된다. 최신의 고효율 화력발전에서도 발전소 자체의 정미열효율은 40%를 넘지 못하고 거기다 발전소 자체소비와 수송가까지 송전하는데서 발생하는 손실을 감안한다면 35-37%[1]정도에 그친다. 다시 말해서 귀중한 에너지의 약 2/3를 폐기하게 된다는 뜻이 된다.

이에 반하여 열병합발전은 발전에서 사용되고 버리게 되는 열에너지를 회수하여 아파트의 난방과 급탕을 위해서 재사용하게 하는 시스템이다. 따라서 열병합발전을 아파트단지에서 채용했을 때는 에너지의 이용률이 전체적으로 80%[5] 이상으로 높일 수가 있다. 이러한 장점을 가진 열병합발전방식의 도입을 위해서는 발전설비와 기타 부대설비를 위한 투자가 필요하게 되며 이러한 투자의 수익성을 감안하여 열병합발전의 도입여부를 결정하여야 할 것이다. 본 연구에서는 우선 아파트에서 평형별로 월 소비전력량의 추산이 가능한 표와 도표를 작성하고 열병합발전 도입의 경우에 아파트의 거주자가 부담하게 될 전기요금단가와 한전에서 수전하는 재래수전방식에서 부담하는 전기요금단가를 비교해 볼 수 있는 비교표와 월간 요금 절약액 등을 표와 도표로 나타내어 전문가가 아니더라도 손쉽게 열병합발전의 우열을 판단할 수 있는 분석기법을 개발하고자 한다.

기법의 개발수준으로는 각종 조사자료를 토대로 우선 아파트의 평형에 따른 세대 당 월 소비전력량을 추산하고 이 추산한 평형별 세대별 월 소비전력량에 대한 전력요금을 한전의 요금규정에 따라 산출하기로 한다. 이 추산된 세대 당 월 전기요금을 추산된 전력량으로 나누어서 평형별 전기요금단가를 구하기로 하였다. 여기서 평형별 소비전력량의 산출은 단위면적(m<sup>2</sup>)당 연간 소비전력량(이하 '전력소비계수'라 부르기로 한다.)을 가정하고 이 가정치는 동일한 평형의 세대라도 아파트의 설비와 거주자의 취향에 따라 달라질 수 있기 때문에 몇 가지 단계의 변수를 가정하여 산출함으로써 본 분석기법의 사용자에게 유연성을 주게 하였다.

열병합발전의 소비자부담 단가의 계산은 고정비단가의 계산은 고정비단가와 가변비(연료비)단가로 분리하여 계산한 후 합계하여 발전원가를 산출하기로 하였다. 고정비단가의 계산을 위해서는 발전설비와 그 부대설비에 대한 투자비를 산출하고 재래공급방식과 비교하기 위해서 재래식에 필요하면 병합발전방식에서 제외되는 설비(보일러의 용량감소, 비상발전기 등)비용을 차감하여 순 투자비를 산출하였다. 이렇게 산출된 투자비에 대한 연간 자본비와 유지관리비 등을 더해서 연간 고정비를 산출하고 이를 발전기의 부하율을 감안한 연간 발전량으로 나누어서 kWh당 고정비단가를 산출하였

다. 가변비로는 연료비만을 감안하고 발전을 위한 소비열량을 계산하고 이 소비열량의 발생을 위한 연료비를 산출하여 발전단가(kWh 당)를 산출하고 1 kWh 전력발생 시에 회수된 열량의 가치(보일러에서 회수열량과 동일한 열량을 발생할 때의 연료비)를 뺀 수치를 가변비단가로 하고 이 가변비단가와 앞의 고정비단가를 합한 수치를 발전원가로 하였다.

## 2. 자료조사와 전제 조건

### 2.1 자료조사

아파트의 에너지 소비형태를 세밀하게 분석하기 위해서는 아파트 평형별로 월별, 계절별 및 시간대별 전력소비량과 열소비량에 대한 일반적인 자료가 필요하다. 이에 대한 자료를 다방면으로 조사해보았으나 산업시설에 대해서는 제한되기는 하지만 비슷한 자료가 발견되었으나 아파트에 대해서는 자료가 거의 전무한 상태였다. 대부분이 극히 단편적인 자료만 발견되었고 유일하게 에너지관리공단에서 2001년에 조사하여 2002년에 발간된 '건물용도별 전력원단위조사연구'[1]에서 '집단주거용 건물'이라는 항목으로 부족하지만 일부 통계자료를 발견할 수 있었다. 이 자료를 검토한 결과 현실적인 수치와는 상당한 거리가 있음을 발견했다. 따라서 이러한 자료로 연구를 추진하는 것은 위험성이 높다고 판단하여 직접 3 개 정도의 기존 아파트를 방문하여 전기와 열에너지 소비실태를 조사하고 미흡하지만 이 실제적인 자료를 이용하여 검토하고자 에너지관리공단의 자료는 보조적인 자료로 이용하기로 하였다. 실사아파트의 대상으로는 비교적 대규모아파트단지이면서 세대 당 평수가 중급 이상인 단지 2개소와 소형아파트가 많은 단지 1개소를 택하여 조사하였다. 실사에서는 계획했던 세부자료는 얻을 수 없었고 최근 2년간(2005년과 2006년)의 월별 전기 및 난방열 사용량과 전기 및 열에 대한 요금의 적용방법 그리고 아파트제원(평형과 세대수, 연건평 등)과 일부 기술적인 자료를 얻을 수 있었다.

표 1은 조사한 2년간의 전력과 난방열의 월별사용량의 평균을 조사원별로 집계한 표이다.

실사 아파트의 제원과 기술자료 및 이들 자료를 토대로 계산한 각 아파트의 몇 가지 파라미터는 표 2에 집계하였다.

### 2.2 조사자료의 분석과 정리

표 1의 자료와 아파트제원의 자료를 이용하여 조사한 개별 아파트로 단위면적(m<sup>2</sup>)당 연간 전력소비량"kwH/m<sup>2</sup>-y"과 열소비량(Mcal/m<sup>2</sup>-y)을 구하여 표 2에 표시하였다(이 두 가지를 이하 각각 '전력소비계수'와 '열소비계수'라 부르기로 한다).

표 1에서 실시한 3개 아파트의 전력소비계수는 '30'전후로 비교적 비슷하게 나타났지만 에너지관리공단의 그것은 연 건평이 3,000-15,000평의 경우 '21'로 나타났으나 실사자료에 가까운 15,000평 이상에서는 '14'로 나타나서 상당히 낮을 뿐 아니라 격차가 너무 큰 것을 볼 수 있다. 따라서 이 자료는 크게 비중을 둘 필요가 없는 것으로 보였다. 이를 뒷받침하는 것은 연구자가 거주하는 아파트의 경우에도 이 전력계수가 '32'정도로 나타났기 때문이다.

수집한 표 1의 자료에서 전력과 난방열의 소비형태를 월별로(계절별 포함) 한 개의 표에서 열에너지 소비와 전기에너지 소비를 비교하기 위하여 각 실사아파트에 대한 소비를 그 아파트의 월 평균치의 백분율로 환산하여서 그림 1로 나타내었다. 그림 1에서 조사한 아파트 모두가 전력소비는 월별로 크게 변화가 없는데 반하여 월별 열소비는 동계에는 매우 크지만 하계에는 매우 낮은 것을 볼 수 있다. 전력의 경우에는 대부분의 부하가 연중 가동하는 냉장고, TV, 컴퓨터 등이 대부분을 차지하고 있기 때문으로 판단된다. 7, 8월에는 하계 냉방부하 때문에 약간 증가한 것을 볼 수 있다.

표 1 조사원별 전력 및 열 소비자료 집계표

월	'A'		'B'		'C'	
	(kWh)	(Gcal)	(kWh)	(Gcal)	(IWh)	(Gcal)
1	286,044	2,800.7	420,951	2,002.9	453,672	2,759.2
2	289,352	2,500.9	384,252	1,766.4	402,751	2,398.5
3	285,648	2,094.2	409,798	1,477.5	437,607	1,984.0
4	273,599	1,136.2	353,418	884.1	420,782	1,106.6
5	292,352	393.8	405,337	393.0	431,688	557.5
6	293,017	98.8	440,921	270.9	437,680	315.7
7	344,693	153.3	445,744	255.4	487,635	296.2
8	389,475	129.9	431,389	174.6	527,119	200.9
9	297,878	147.7	436,760	256.3	420,951	248.5
10	290,066	658.8	431,267	411.1	420,608	623.2
11	286,659	1,656.9	411,905	1,123.2	431,434	1,415.8
12	301,770	3,360.9	434,557	1,720.0	457,554	3,022.2

표 2 조사자료 집계정리표

조사원	'A'	'B'	'C'	예관공
세대수	997	1,550	2,064	-
연건평	33,533	54,006	45,646	-
세대당 평수	33.6	34.8	22.1	-
세대당월평균소비 전력량(kWh)	303	269	215	-
피크(kW)	1,200	1,728	1,680	-
년평균전력(kW)	414	571	608	-
전력소비계수 (kWh/m <sup>2</sup> -yr)	32.8	28.0	35.3	14-21
열소비계수 (Mcal/m <sup>2</sup> -yr)	136.5	60.1	98.9	247
비상발전기(kW)	525	600	600	-

이에 반하여 난방용인 열부하의 경우 동계에는

소비가 아주 높고 하계에는 급탕부하뿐으로 매우 낮으며 봄과 가을은 겨울보다는 낮지만 여름 보다 높게 나타나고 있다. 이러한 소비 형태는 에너지관리공단의 자료에서도 유사한 것을 그림 2와 그림 3에서 볼 수 있다.

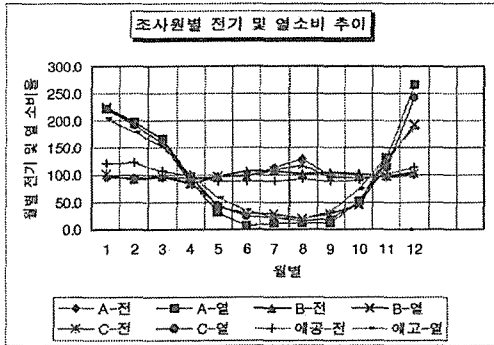


그림 1 조사원별 전기와 열에너지 월별 소비율

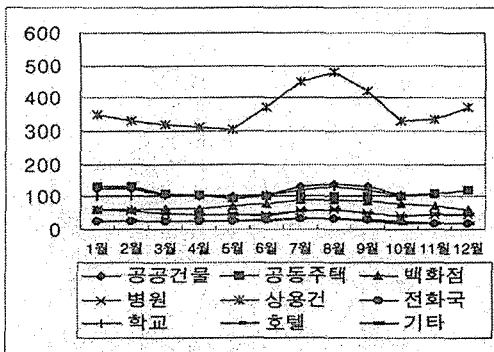


그림 2 업종별 월별전력사용 분포도[1]

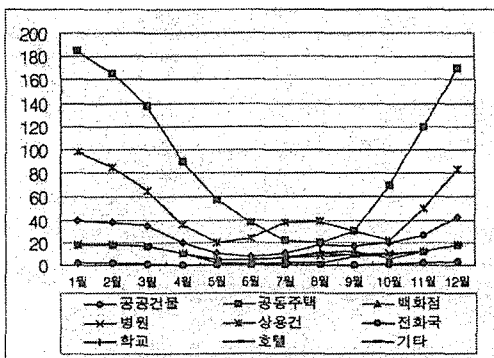


그림 3 업종별 월별연료사용 분포도[1]

여기서 계절에 따라서 열전비(열부하/전기부하)가 크게 다르게 나타나는 것을 볼 수 있으며 이때문에 열병합발전의 폐열을 전량 이용할 수 없는

경우가 발생할 수도 있다. 따라서 조사자료를 이용하여 월별 열전비를 산출하여 검토해 볼 필요가 있다. 표 3에서 앞의 3개월의 수치('A' 'B' 'C')은 단순한 열전비율 즉 월별 열 소비량을 전기사용량을 이론적인 열량으로 환산한 수치로 나눈 비율이고 오른쪽 끝 열의 수치는 월별소비를 열병합발전기가 월별 전력사용량을 생산할 때 발생하는 폐열 회수율량으로 나누어준 수치로 하절기의 폐열 회수율을 나타내어주는 수치이다. 이 수치는 개별 아파트의 수치가 아니고 3개 아파트의 월별 평균 소비량을 기준으로 산출 하였으며 월별 열전비는 표 3과 같다.

표 3 조사 아파트의 열전비

월	열전비('A')	열전비('B')	열전비('C')	평균	열소비량/폐열회수율량
1	8.4	5.4	7.1	7.0	4.8
2	7.4	5.4	6.9	6.6	4.5
3	6.3	4.1	5.3	5.2	3.6
4	3.6	3.2	3.1	3.3	2.3
5	1.2	1.1	1.5	1.3	0.9
6	0.3	0.7	0.8	0.6	0.4
7	0.4	0.7	0.7	0.6	0.4
8	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3
9	0.4	0.6	0.7	0.6	0.4
10	2.0	1.0	1.7	1.6	1.1
11	5.0	3.1	3.8	4.0	2.7
12	9.6	4.5	7.7	7.3	5.0

표 3에서 5,6,7,8,9월의 가용열전비(표의 우측 열)는 '1' 이하가 되어 난방소비열량이 회수열량 보다 작아서 회수열량을 전부 이용할 수가 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 경제성 검토 시에는 이를 반영할 필요가 있다. 표에서 5월의 경우 회수열량 열전비는 '0.9'가 되어 1이 되지 않지만 6,7,9월은 '1' 보다 크기 때문에 이를 보상할 수 있다고 보고 5월에도 회수열의 전량을 이용가능하다고 보았다.

시간대별 에너지 소비형태는 기록이 없어서 구할 수가 없었기 때문에 분석이 불가능하였다.

최대전력(Peak)자료는 담당자 구두진술로 2006 년도의 수치를 표 2에서 나타낸 것과 같이 얻을 수 있었다.

전기요금, 가스요금 및 지역난방요금은 한국전력공사, 한국가스공사 및 한국지역난방공사의 2006 년도에 적용하는 요금표를 기준하였으며 이들 요금표는 위의 각공사의 홈페이지에서 구하였다.

기술적인 파라미터 각종문헌과 발표 자료에서 구하였으며 정부지원에 대한 파라미터는 2007년도 에너지관리공단에서 공시한 자료[7]을 이용하였다.

### 3. 경제성분석을 위한 시산

#### 3.1 시산을 위한 기준의 설정

2.1절에서 조사한 자료에 근거하여 본 연구에서 적용할 각종파라미터와 그 근거를 아래와 같이 요약해 본다.

각종 요금자료는 한국전력공사, 한국가스공사 및 한국 지역난방공사의 최신(2006년) 요금표를 기준하였으며 적용에서는 전기요금의 경우 세대별 전기요금은 가정용저압요금(한전의 내규에 따름)을 적용하였으며 공용 전력요금은 요금표의 일반요금 "갑" 선택"II"를 적용하였다.

가스요금의 경우 열병합용 소매요금을 택하되 지역에 따라 요금이 다른 점을 감안하여 경기도지역을 포함한 직할시 이상도시에 적용하는 각각의 단가 평균치를 택하였다. 천연가스의 발열량은 천연가스의 도입선에 따라서 상당한 차이가 있는 점을 감안하여 한국가스공사 홈페이지의 각종연료의 발열량비교표에서 사용한 기준 상온 상압에서 입방미터 당 10,500kcal/Nm<sup>3</sup>보다 약간 낮은 10,000kcal/Nm<sup>3</sup>를 적용하기로 하였다.

정부지원은 최근(2007년) 에너지관리공단에서 고시한 지원계획 중 "에너지절약사업 자금지원"을 적용하였으나 이율은 현재 년 3.5%이지만 변동이율이기 때문에 앞으로 발전설비의 수명기간동안에 금리상승을 고려하여 보수적으로 년 4.5%를 적용하였다.

가격자료는 최근 물가정보자료[6]를 적용하였으며 물가자료에 등재되지 않은 설비의 가격은 각종 발표자료와 제조회사에 문의하여 신뢰할 수 있는 수치를 적용하였다.

경제성에 가장 큰 영향을 주는 발전기(여기서는 가스엔진발전기)의 효율과 폐열이용에 대한 자료는 일본의 미쯔비시(三菱電機-Mitsubishi)사의 저널과 각종 워크샵에서 발표한 자료를 종합하여 적절한 수치를 적용하였다. 이상의 채택한 각종 파라미터를 정리해 보면 아래와 같다.

#### (1) 각종요금

##### A. 전기요금

- 1) 세대별 요금 - 가정용저압요금 적용
- 2) 공용요금 - 일반용 '갑' 선택 'II' 적용

##### B. 가스요금; 열병합용소매요금(1특별시, 6직할시와 경기도의 8개 지역요금의 평균요금) 적용

#### (2) 정부지원

- A. 금융지원이자율; 년 4.5%(현재 3.5%[7]이나 추후 상승 감안함)
- B. 세제지원 ; 아파트는 사업자가 아니기 때문에 무시함.

#### (3) 설비성능

- A. 발전기 열효율; 33.6%([2][3]참조 선정)
- B. 가스엔진 폐열회수 ; 22% ([3][4] 참조하고 종합효율 감안 선정)
- C. 가스엔진 자켓온수 ; 27%(3)B와 같음}
- D. 가스 온수보일러 ; 90%[3]

#### (4) 설비가격

- A. 발전설비[4]; kW 당 90만원(약 900US\$)
- B. 열회수설비[4]; kW당 10만원(약 100US\$)
- C. 가스 온수보일러[6]; Mcal 당 50,680원

#### (5) 기타

- A. 열병합발전설비수명; 10년
- B. 열병합발전유지보수비; 4.5%

### 3.2 시산과 시산결과의 정리

#### 3.2.1 평형별 전력소비량의 산출

평형별 월 소비전력량은 아파트의 단위면적당 연간 전력소비계수(kWh/m<sup>2</sup>-yr)를 가정하고 이 계수를 이용하여 산출하였다. 이 소비계수는 표 2에서 볼 수 있는바와 같이 아파트의 특성(아파트의 위치, 세대 당 면적, 입주자의 생활방식 등)에 따라서 달라질 수 있기 때문에 전기소비계수를 '20-40' 사이에서 다섯 단계로 나누어서(20, 25, 30, 35, 40) 평형별 월 전력소비량을 산출하였다. 이는 아파트의 소비특성에 따라 융통성 있게 표의 이용이 가능하게 하기 위해서이다. 여기서 계산한 아파트의 월 소비전력량은 세대 당 소비전력을 말하며 아파트의 공용전력은 여기에 포함되지 않았다. 그 이유는 세대별 전기요금과 공용전기요금은 적용규정이 다를 뿐만 아니라 공용전기요금은 세대별 전력요금보다 훨씬 저렴하여 열병합발전에 포함시킬 이유가 없기 때문이다. 이렇게 계산한 평형별 소비전력량을 표와 도표로 나타내어보면 표 4와 그림 4와 같다.

표 4 평형별 월 소비전력량(kWh)

소비계수 평형	20	25	30	35	40
25	138	172	207	241	275
30	165	207	248	289	331
35	193	241	289	337	386
40	220	275	331	386	441
45	248	310	372	434	496
50	275	344	413	482	551
55	303	379	455	530	606
60	331	413	496	579	661
65	358	448	537	627	716

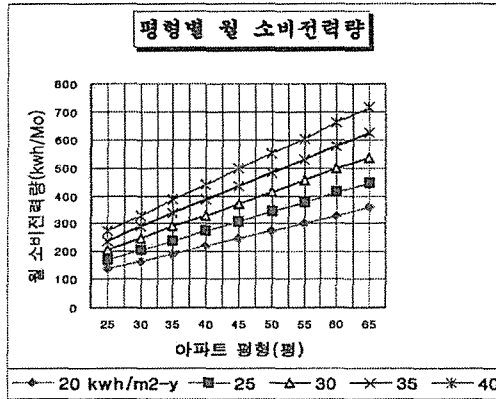


그림 4 평형별 소비계수별 월 소비전력량

3.2.2 평형별 월 전기요금과 단가의 산출(재래방식)

재래방식으로 한전에서 수전할 경우에는 표 4의 평형별(세대별) 소비전력량에 한전의 가정용저압요금을 적용하여 월 전기요금을 산출하였다. 아파트 입주자가 실제로 부담하는 총 요금은 위와 같이 계산된 순 요금에다 부가가치세 10%와 전력기금 3.7%를 추가하여야 하기 때문에 앞에서 산출한 요금에다 1.137을 곱하여 실 부담요금을 전기요금으로 정하였다. 이렇게 계산된 평형별 월 전기요금 표 5와 그림 5와 같이 된다. 앞서서도 언급한 것처럼 이 요금에는 아파트 공용전기요금은 포함하지 않았다.

표 5 평형별 월 전기요금(원)

소비계수 평형	20	25	30	35	40
25	12,114	16,513	22,169	28,675	35,182
30	15,608	22,169	30,015	37,861	50,991
35	19,231	28,675	37,861	52,687	66,537
40	24,657	35,182	50,991	66,537	90,974
45	30,915	45,055	62,580	87,967	113,887
50	35,182	54,665	79,309	108,055	158,963
55	43,076	64,558	96,806	143,588	199,229
60	50,991	79,309	113,887	179,462	239,495
65	58,622	93,690	148,713	214,603	279,762

월전기사용량은 그림 4에서 보는바와 같이 평수에 비례하였으나 월 전기요금은 그림 5에서 보는바와 같이 평수가 증가함에 따라서 요금은 급속하게 상승함을 볼 수 있으며 이런 현상은 전력소비계수가 커질수록 더 급격하게 상승함을 알 수 있다. 표 1의 실사자료에서 보는바와 같이 세 곳 실사아파트의 전력소비계수의 평균인 32 kWh/m<sup>2</sup>-yr의 곡선을 보면 33평의 월전기요금은 4만원 미만

이었지만 65평의 경우 그 4배에 달하는 월 15만원에 이른다.

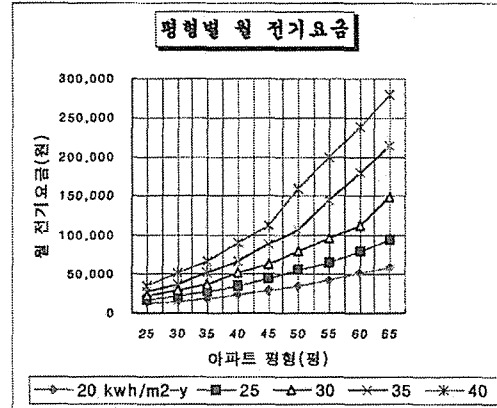


그림 5 평형별 월 전기요금

그리고 이렇게 계산한 평형별 월 전기요금을 평형별 월 소비전력량으로 나누어주어서 평형별 전력단가를 산출하였다. 이는 다음 절에서 산출하는 열병합발전의 전력원가와의 차이를 살펴보기 위해서다. 이러한 평형별 전기요금단가를 표로 작성한 것이 표 6이다. 도표는 열병합발전단가와 같은 도표 상에 표시하기 위하여 열병합발전단가를 산출한 후에 함께 표시하고자한다.

표 6에서 전기요금단가가 평수와 전력소비계수에 따라서 4배 이상 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이런 현상을 볼 때 전력 다소비 대형아파트의 경우 열병합발전의 경제성이 더욱 양호함을 알 수 있다.

표 6 평형별 전기요금단가(원/kWh)

소비계수 평형	20	25	30	35	40
25	87.95	95.91	107.30	118.96	127.71
30	94.43	107.30	121.06	130.89	154.25
35	99.72	118.96	130.89	156.12	172.52
40	111.88	127.71	154.25	172.52	206.40
45	121.06	145.38	168.27	202.74	229.67
50	127.71	158.75	191.93	224.14	288.52
55	142.15	170.43	212.97	270.77	328.73
60	154.25	191.93	229.67	310.21	362.23
65	163.69	209.74	276.83	342.42	390.59

열병합발전 단가 ; 108.75 ( 3.2.3 절에서 산출)

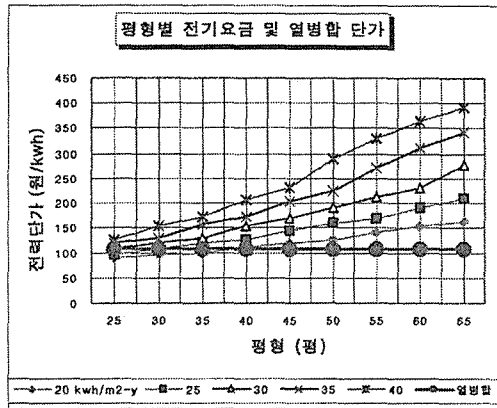


그림 6 평형별 요금단가와 열병합발전단가 비교

### 3.2.3 열병합발전 발전단가의 산출

열병합발전의 발전단가는 고정비단가와 가변비단가로 분리하여 계산한 후 종합하는 방식을 택하였다. 고정비단가의 산출은 발전설비 1 kW에 대한 연간 고정비를 산출하고 발전기의 이용률을 감안한 연간 발전량을 구하여 앞에서 산출한 연간 고정비를 나누어서 kWh당 고정비단가를 산출하였다. 열병합발전설비의 고정비로는 자본비(감가상각과 금리)와 운전유지비의 두 가지로 나누어서 계산하였다. 자본비용은 먼저 열병합발전설비의 구입 및 설치가격을 산출하고 이를 열병합발전의 조투자비(Gross Investment)로 하였다. 재래식 수전방식에서의 비용과 비교하기 위해서 재래식에서는 필요하지만 열병합발전에서는 불필요한 비상발전기와 열병합발전의 열회수로 재래식에서 필요했던 난방용 보일러용량의 축소분을 각각 산출하여 상기 조투자비에서 차감한 수치를 열병합발전의 실투자비(Net Investment)로 하였다. 자본비에 대해서는 열병합발전을 위해서 추가로 투입해야 하는 비용인 실 투자비에 감가상각율과 이자율을 각각 곱하여 합친 수치로 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 가변비를 산출하였다. 그러나 여기서 사용한 열에너지의 일부는 난방용 에너지로 회수되기 때문에 이 회수되는 열에너지를 금액으로 환산하여 상기 가변비용에서 차감해야 한다. 이 회수열 에너지의 평가금액으로는 재래식 보일러에서 열병합발전에서 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. 이렇게 계산한 고정비단가와 가변비단가를 요약해 보면 아래와 같다. 그런데 회수되는 열에너지는 겨울에는 물론 차봄과 늦가을의 8개월간에는 난방열의 사용량이 열병합발전기의 회수열량보다 훨씬 많기 때문에 표 2-3에서 보는바와 같이 열전비가 '1' 보다 커서 회수열의 100% 이용이 가능하다. 반면에 여름과 늦봄 그리고 초가을의 4개월 동안에는 열전비가 '1' 이하가 되어 회수열의 100% 이용은 불가능하다. 따라서 이 4개월 동안에는 회수가능열의 '1/3'만 이용이 가능한 것으로 가정하여 열회수편익을 산출하였다.

- (1) 열병합발전 kW당 투자비(단위-원, VAT제외);
  - A. 열병합발전시스템 900,000
  - B. 제외투자비(비상발전기,보일러) 380,695
  - C. 실투자비 681,236
- (2) 연간 kW 당 고정비 ; 143,330
- (3) 연간 발전량(kWh/kW) ; = 8,760 x (이용률) 표 7 참조
- (4) 고정비단가 ; = (2)/(3) 표 7 참조
- (5) 조 가변비(연료비)단가; 148.08
- (6) kWh 당 회수열 환산단가 ; 62.70
- (7) 순 가변비 단가 = (5) - (6) 85.38
- (8) 열병합 순발전 단가 (원/kWh) ; = (4) + (7) 표 7 참조

표 7 발전기 이용률과 연간 발전량 및 발전단가

열병합 이용률(%)	kW 당 연간 발전량(kWh)	순 고정비단가 (원/kWh)	순 발전단가 (원/kWh)
60	5,256	27.27	112.65
65	5,694	25.17	110.55
70	6,132	23.37	108.75
75	6,570	21.82	107.20
80	7,008	20.45	105.83

열병합발전기의 전력단가와 고정비 단가를 발전기의 이용률에 따라 계산하여 표 3-4에 나타내었다. 표 7에서 보면 열병합발전설비의 이용률이 5% 변할 때 발전단가는 2% 미만의 변화가 있음을 알 수 있다. 따라서 계산의 편의를 위하여 여기서는 이용률이 70%일 때의 단가를 열병합발전의 대표단가로 정하였다.

### 3.2.4 열병합발전 도입에 의한 평형별 절감액

열병합발전의 도입으로 세대 당 월 절감액수를 산출하여 표 8과 그림 7과 같이 표와 도표로 표시하였다. 절감액의 산출은 평형별 재래방식의 수전 전력단가에서 이용률을 70%로 가정한 열병합발전 단가를 차감하여 이를 평형별 월 전기사용량을 곱하였다. 표 8에서 보는바와 같이 소형병수에서는

절감액이 '-'로 나타나서 절감이 아닌 추가비용이 든다는 것을 알 수 있다. 그러나 비록 소형일지라도 소비계수가 커짐에 따라서 전기요금의 절감액이 '+'로 전환하는 것을 볼 수 있다. 반면 큰 평수로 갈수록 절감액이 기하급수로 커져서 전체적으로는 많은 요금의 절감을 할 수 있는 것을 볼 수 있다. 여기서 주목할 것은 표 2에서 'C' 아파트와 같이 평수가 작은 세대라고 단위면적당의 전력소비계수가 작아지지 않고 도리어 약간 높은 것을 볼 수 있다. 물론 제한된 조사로 단언하기는 어렵지만 이는 비록 작은 평수의 아파트라도 냉장고, TV, 냉방기와 같이 전력다소비 가전제품은 평수에 비례하지 않기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같은 현상은 에너지관리공단의 자료에서도 볼 수 있었다.

표 8 열병합 도입에 따른 평형별 세대당 절감액

소비계수 평형	20	25	30	35	40
25	-2,865	-2,211	-300	2,462	5,223
30	-2,368	-300	3,052	6,404	15,040
35	-1,741	2,462	6,404	15,987	24,594
40	690	5,223	15,040	24,594	43,040
45	3,52	11,351	22,135	40,782	59,961
50	5,223	17,217	34,371	55,627	99,045
55	10,121	23,365	47,374	85,918	133,322
60	15,040	34,371	59,961	116,548	167,594
65	19,676	45,207	90,293	146,447	201,869

따라서 표 8의 '-'절감의 경우는 현실적으로 발생하지 않을 것으로 생각되며 혹시 발생할 지라도 대형평수의 세대에서 절감한 액수를 일부 보상해주면 될 것이다.

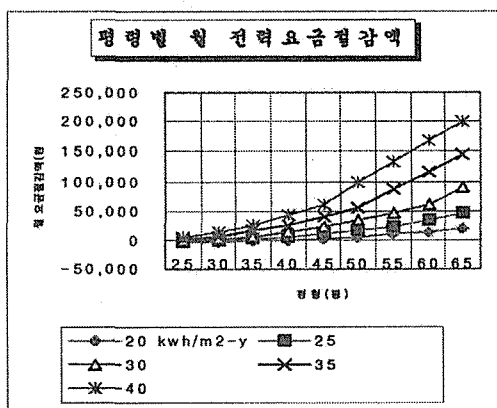


그림 7 평형별 월 전기요금 절감액 곡선

#### 4. 표와 도표의 응용과 방법

2 장의 자료조사와 3 장의 시산에서 구한 각종 표와 도표는 아파트에서의 열병합발전 도입의 예비타당성검토의 도구로 요긴하게 이용할 수 있다. 각종 도표는 눈금이 크지 않아서 개요 파악과 경향 파악을 위하여 이용할 수 있으며, 표는 이를 이용하여 다음 각 절에서 거론하는 계산에서 파라미터를 구하는데 이용될 수 있다. 그러면 앞에서 구한 표와 도표의 열병합발전도입 예비타당성검토에서 이용하는 절차에 대해 살펴본다.

##### 4.1 열병합발전의 용량의 추정(표4, 그림4, 표2)

아파트의 평형별 세대수가 결정되면 단위면적당 년 전력소비계수를 결정할 필요가 있다. 이 소비계수는 표 2를 참조하여 검토하는 아파트의 특성과 평형에 적합하다고 생각하는 수치를 택한다. 본 연구의 조사에서는 특별한 이유가 없으면 '25-35kWh/m<sup>2</sup>-yr' 사이에서 정하는 것이 현실에 가까운 것으로 판단되며 비전문가일 '30kWh/m<sup>2</sup>-yr'를 선택하는 것이 무난할 것으로 사료된다.

이렇게 평형과 소비계수가 결정되면 아래와 같은 식 (1)에 의해서 아파트 전체의 년 평균 전력과 이를 이용하여 발전기이용률을 감안하여 열병합발전기의 설비용량을 식 (2)로 구할 수 있다. 구할 수 있다.

$$P_{avg} = \frac{\sum n_i \cdot (kWh/Mo)_i \cdot 12}{8,760} \quad (1)$$

$$P_{cc} = \frac{P_{avg}}{(CF/100)} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에서 ' $n_i, CF$ '는 각각 평형별 세대수와 열병합발전기의 이용률을 나타낸다. 열병합발전설비로는 본 연구에서 가스엔진발전기를 가정하였으므로 가스엔진의 경우 정비를 위한 정지가 비교적 자주 필요하기 때문에 이용률과 발전기의 대수를 결정할 때 이점을 충분히 고려하여야 한다. 이용률은 70% 이하로 하는 것이 안전하며 발전기의 대수는 가능하면 3대 또는 그 이상으로 하는 것이 안전할 것으로 사료된다.

##### 4.2 아파트전체 전력요금규모

표 5와 식 (3)을 이용하여 아파트 전체의 년간 요금규모를 알 수 있어 세부검토 전에 검토의 필요성 여부를 가늠해볼 수 있다. 즉 전체요금규모가 적은 액수라면 간접비 등을 고려하면 열병합발전의 타당성이 없기 때문이다.



$$C_{er} = \sum n_i \cdot C_{eri} \cdot 12 \quad (3)$$

식에서 ' $C_{eri}, C_{eri}$ '는 각각 연간 아파트 전체의 전력요금과 아파트 세대 당 월 전력요금을 나타낸다.

#### 4.3 열병합발전의 도입가능성의 즉시 판별

(표 6, 그림 5)

표 6에서 소형아파트에서 단위면적당 소비계수가 어떤 수치일 때 한전의 수전요금단가가 열병합발전의 단가보다 높아지는지를 가늠해 볼 수 있다. 만약 대상 아파트의 전력단가가 열병합발전의 단가보다 적은 세대수의 연평수가 큰 비중을 차지하지 않을 경우 열병합발전의 타당성이 있다고 보고 정밀타당성분석을 하게 된다. 그렇지 않은 경우에는 신중하게 처리해야 한다.

#### 4.4 열병합발전 도입 시에 투자회수기간의 추정 (표 8, 그림 7)

4.3 절에서 구한 방식대로 각 평형별 전력소비계수를 가정하여 평형별 월 절감액수를 표 8를 이용하여 구한다. 이 수치를 식 (4)에 대입하여 열병합발전 도입 투자비에 대한 회수기간(회수년수)를 구할 수 있다. 여기서 열병합발전의 용량 결정은 4.1 절의 방식에 의해서 구할 수 있고, 정미투자비의 산출 방법은 3.2.4 항에서 참조할 수 있다.

$$n_{rec} = \frac{P_{cc} \cdot (C_{ncc})}{\sum n_i \cdot S_i \cdot 12} \quad (4)$$

식 (4)에서 ' $P_{cc}, C_{ncc}, S_i$ '는 각각 열병합발전설비의 용량, 열병합발전설비의 kW 당 정미 단가(net price), 및 평형별 세대별 월 전기료 절감액을 나타낸다.

### 5. 결론

본 연구는 일반적인 아파트에서 열병합발전의 도입타당성을 예단해 볼 수 있는 손쉬운 방법을 개발하여 아파트 계획자나 설계자가 이용할 수 있게 하는데 목적이 있었다. 본 연구과정에서 자료수집의 어려움과 세부자료의 부족으로 제한된 수자이지만 3개아파트를 직접 실시하여 부족한 자료지만 살아있는 자료를 사용하였기 때문에 제한된 범위에서 열병합발전 도입의 예비타당성검토용으로 사용하는 데는 도움이 될 것으로 사료된다. 특히 전문가가 아니더라도 아파트의 계획단계에서 열병합발전 도입의 가능성을 평가하는 데 이용이 가능하게 방법을 제시하였다. 앞으로 더 많은 세부자료 조하여 깊이 있게 타당성을 검토할 수 있는 방법

을 개발함으로써 공동주택단지에서의 에너지절감과 아파트 거주자의 경제적인 도움이 되도록 할 필요가 있다고 판단된다. 특히 최근에 한전에서는 공용전력에 대해서도 누진제의 적용을 계획하고 있는 것으로 보아서 아파트의 열병합발전 도입은 더 유리한 위치에 놓일 것으로 보인다.

### 참 고 문 헌

- [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” 소형열병합발전 보급활성화워크샵, 에너지관리공단, 2004.7.
- [6] “물가정보”, 물가정보사, 2006.5.
- [7] 한국에너지관리공단 고시 “에너지이용합리화 자금지원” <http://www.kemco.or.kr/>