

## 아파트의 소형 열병합발전시스템 경제성 평가 프로그램 개발

이 종 성<sup>†</sup>, 박 태 원, 이 택 섭

대한주택공사

### A Development of the Software to Estimate of Economics for Combined Heat and Power Generation Systems in Apartment Estates

Jong-Sung Lee<sup>†</sup>, Tae-Won Park, Taik-Seob Lee

Korea National Housing Corporation

**ABSTRACT:** For a development of the software which estimates the economics of a combined heat and power generation system in apartment estates, the thermal consumption and electric power consumption data were investigated in about 115 apartment estates. And the algorithm was developed, then the software was made by the macro function of the Excel spread sheets.

**Key words:** Heat and power generation system, economics, Apartment Estates

### 1. 서 론

최근 정부에서는 기후변화 협약 등의 국제환경규제 강화와 에너지산업의 세계화, 민영화 등의 여건변화에 대응하기 위하여, 2010년에는 석유 45%, LNG 13%, 대체에너지 2%로 석유의존도를 상대적으로 감축하고 청정에너지 및 대체에너지를 늘리기 위한 국가에너지기본계획을 수립하였다. 이러한 기본계획이 실천될 때 에너지소비구조에 큰 변화가 일어날 것이며, 특히 전력부문은 발전소건설에 따른 부지문제, 송변전 시설확충, 재원조달 등을 감안한 분산형 열병합발전 시스템의 필요성이 대두될 것으로 예상된다. 또한, 주요 선진국의 열병합발전시스템 보급추이를 볼 때, 국내의 경제여건을 고려한다면, 상용발전소 건설에 의한 시설투자보다 효율이 높고 상대적으로 비용부담과 건설공기가 짧은 열병합발전시스템이 적절한 대안으로 판단된다.

이에 우리공사에서도 정부의 에너지절약 정책에 적극 부응하고, 또한 입주자들에게 열 및 전기사용에 대한 에너지사용요금을 줄임으로써 공사의 이미지 제고에 기여하고자 소형열병합발전 도입을 추진하고 있다.

<sup>†</sup>Corresponding author

Tel : +82-31-738-4729; fax: +82-31-738-4700

E-mail address : jslee1@jugong.co.kr

그러나 소형열병합발전 시스템은 기준의 열 및 전기설비에 비해 에너지절감으로 인한 운전비용이 저렴한 반면, 초기투자비용이 많이 듦다는 단점이 있다. 따라서 본 시스템을 도입하기 위해서는 시스템의 초기투자비와 운전비용을 정밀 분석하여 시스템의 경제성을 사업 전에 평가할 필요가 있으며, 경제성이 제대로 평가되지 않고 사업을 추진할 경우, 입주자의 불만을 감당하기 어려울 수가 있다.

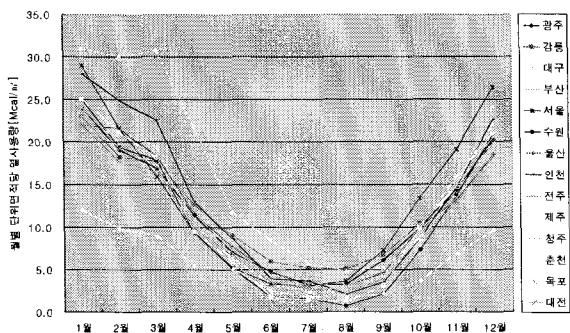
따라서, 본 연구에서는 공사아파트의 평형별, 지역별, 시간대별 열 및 전력사용량을 조사하여 시스템의 경제성 평가를 위한 기준 데이터로 설정토록 하며, 이 기준 데이터의 활용을 통해 소형열병합 발전시스템의 경제성 평가 Tool을 개발하여 공사가 가스열병합발전 사업을 추진하는 데에 기여토록 한다.

### 2. 아파트단지의 열 사용량 조사

#### 2.1 월별 열사용량

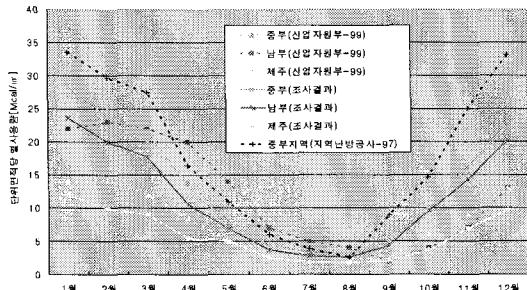
월별 열사용량 기준 설정방법은 조사된 지역을 위도 기준으로 14개 지역별로 분류하여 지역별 단지의 1년간 월별 열사용량을 값들을 평균하여 단위면적당 열사용량으로 나타내었다. 조사대상단지는 총 33개 단지였다.

[그림 1]에 지역별 월별 단위면적당 평균 열사용량을 나타낸다. 여기에서 목포는 개별난방지구이고 같은 평형으로 구성된 단지가 없어서 조사하지 못했기 때문에 “기계설비설계핸드북”의 외기온도 비를 이용하여 예측하였다. 1년간 열사용량 합계는 춘천지역이 가장 크고, 서울, 인천, 강릉, 대구 순으로 그 값이 줄어들고 있으며, 제주지역이 가장 작은 값을 나타내고 있다. 월별 열사용비율은 1월이 가장 크며, 2월과 12월이 비슷하고, 8월에 가장 작은 값을 보이고 있다. 이 데이터들은 난방과 금탕사용량을 합한 값이다.



[그림 1] 지역별 월별 단위면적당 평균 열사용량

다음은 33개 단지를 대상으로 조사된 데이터가 기존 조사된 데이터와 어느 정도 차이를 보이는지를 비교하여 조사된 데이터의 신뢰성을 검토해보기로 한다. 열사용량조사는 기존에 타 기관에서도 많이 수행해 왔기 때문에 비교하는 데에는 큰 무리가 없었다. [그림. 2]에 이를 데이터와 비교한 결과를 보인다.



[그림 2] 열사용량 조사 데이터의 비교  
(산업자원부, 지역난방공사 자료와 비교)

비교 대상은 산업자원부에서 중부, 남부, 제주 지역의 개별난방단지를 대상으로 조사된 월별 사용량 데이터와 한국지역난방공사에서 조사된 중부지역의 데이터를 대상으로 하였다. 먼저 지역난방데이터와 비교하여 보면, 연간 합계가  $159\text{Mcal}/\text{m}^2$ 와  $212\text{Mcal}/\text{m}^2$ 로 금번 조사된

데이터보다 크게 나타나고 있다. 그러나 산업자원부 테이터와 비교해 보면, 중부지역의 연간 합계는 산자부테이터  $155\text{Mcal}/\text{m}^2$ , 금번 조사데이터  $159\text{Mcal}/\text{m}^2$ 로 거의 비슷하게 나타나고 있다. 남부지방 또한 연 합계가 각각  $143\text{Mcal}/\text{m}^2$ ,  $137\text{Mcal}/\text{m}^2$ 로 비슷하게 나타났으며, 제주지역은  $93\text{Mcal}/\text{m}^2$ 과  $70\text{Mcal}/\text{m}^2$ 로 나타났다. 따라서 금번 조사된 월별 열사용량 데이터는 그 값이 타당하다고 판단된다.

## 2.2 시간대별 열사용량

### 2.2.1 시간대별 난방사용량

열병합발전시스템의 경제성 평가는 시간별 열사용량 데이터와 전력사용량 데이터가 시간대별 부하가 주어질 경우, 열병합 발전시스템이 그 부하에 맞춰서 운전하고 있다고 가정하고, 그에 따른 운전시간, 운전효율 등을 적용하여 운전비용을 계산하고 최종적으로 초기투자비와 운전비용 절감금액 현황을 분석하여 경제성을 평가하게 된다. 따라서 시간별 열사용량 데이터의 기준 설정은 반드시 필요하다 하겠다. 이를 계산하기 위해 본 연구에서는 열전달해석 범용 프로그램인 Physibel의 CAPSOL모듈을 이용하였다. 그러나 이러한 이론해석에 의해 계산된 동적 열부하량은 실제 데이터와 차이가 있을 수 있다. 따라서 시뮬레이션에 의한 시간대별 열부하량결과는 시간별 열부하량의 비율을 계산하는데 활용하고, 이 비율과 앞에서 조사된 월별 열사용량과의 조합을 통해 시간별 열사용량을 다시 산출하도록 한다.

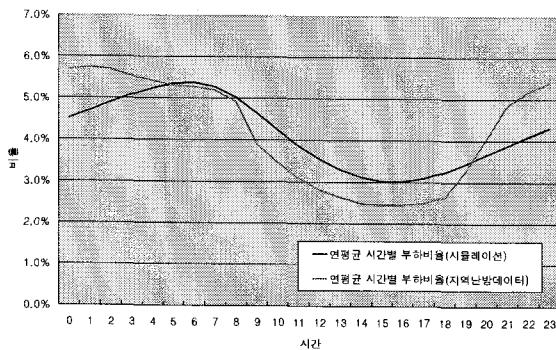
이러한 방법으로 계산된 시간별 열부하량은 1년간 1시간마다의 총 8760개 데이터로, 이를 12개 지역마다 계산되어 열병합발전 시스템의 경제성 평가 프로그램에서 기초데이터로 활용되게 된다. 이를 시간별 데이터가 타당한지를 검토하기 위해서 지역난방공사에서 조사된 시간대별 난방부하 측정데이터와 비교하였다. [그림 3]은 1년 평균 시간대별 열부하 비율을 지역난방공사의 실측데이터와 시뮬레이션 결과를 비교하여 보여주고 있다. 열사용비율 폐탄은 비슷하지만 정량적인 값의 차이는 조금 있는 것으로 나타나고 있으며, 이는 형성되는 실내온도가 서로 다르기 때문으로 판단된다. 그러나 열병합발전의 에너지사용량을 평가할 때, 시간별 열사용 폐탄보다도 월별 열사용량이 미치는 영향이 더욱 크므로 경제성평가 시에는 무리가 없을 것으로 판단된다.

### 2.2.2 시간대별 금탕사용량

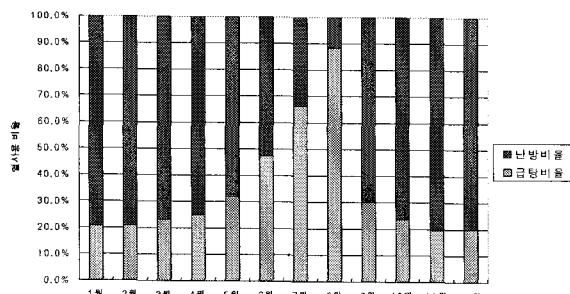
열병합 발전 및 보일러에서 담당해야 하는 열부하는

난방부하와 급탕부하의 합이므로, 시간별 급탕 사용량을 산출해내는 것 또한 중요하다. 시간별 급탕사용량은 다음과 같은 방법으로 산출하도록 한다. 앞에서 조사된 단지별 월별 열사용량은 난방과 급탕부하의 합이다. 따라서 먼저 지역난방공사 자료를 이용하여 월별 난방과 급탕의 사용비율을 산출하고, 조사된 총 월별 열사용량에서 급탕사용량 분만을 계산한다. 이렇게 계산된 월별 급탕사용량과 역시 지역난방공사 자료의 시간대별 열사용량 패턴을 이용하여 시간별 급탕사용량을 계산하도록 한다.

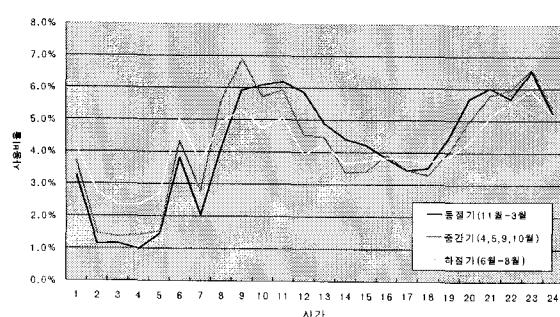
[그림 4]에 월별 난방과 급탕 사용량 비율을 나타낸다. 동절기에는 급탕부하가 전체부하의 약 20%를 차지하고 있으며, 중간기에는 25~30%, 하절기에는 약 65~88%정도인 것으로 나타났다. 한편, [그림 5]는 시간대별 급탕량 사용패턴을 나타내고 있다.



[그림 3] 시간대별 난방 부하량 비교(이론-실측)



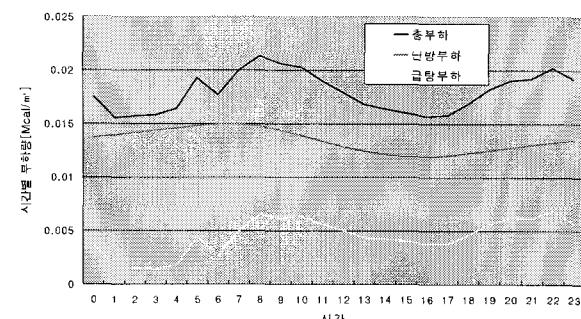
[그림 4] 월별 난방/급탕 사용량 비율(지역난방공사)



[그림 5] 시간대별 급탕사용량 패턴(지역난방공사)

### 2.2.3 시간별 난방/급탕 사용량 종합

위와 같은 방법으로 난방과 급탕 열사용량을 종합하여 정리하여 시간대별 단위면적당 연평균 열사용량은 [그림 6]과 같다. 실제는 1월부터 12월 까지 1시간 간격으로 12지역을 대상으로 계산하여 열병합발전시스템 경제성평가 시에 기초데이터로 활용하였으며, 여기에서는 서울지역에 대한 일부 데이터만을 나타낸다.



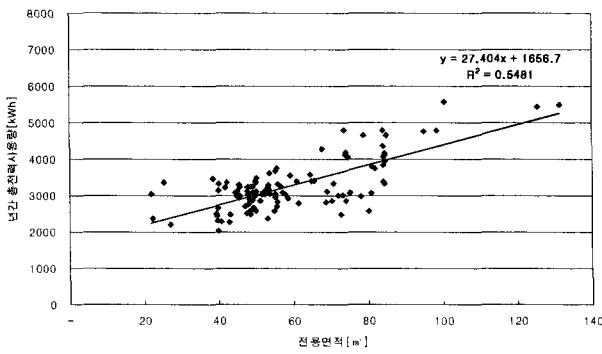
[그림 6] 시간대별 난방/급탕 부하량

## 3. 아파트단지의 전력사용량 조사

월별 전력사용량 조상대상 단지는 앞에서 총 124개 단지를 선정하였다. 그러나 데이터의 정확성이 의심되는 일부 단지를 제외하고 총 115개 단지에 대해서 전력 사용량 데이터를 분석하였다. 분석내용으로는 연간 전력사용량, 평형별 월간 전력사용량, 지역별 전력사용량, 그리고 산업용전력과 일반전력의 관계를 분석하였다.

### 3.1 연간 전력사용량

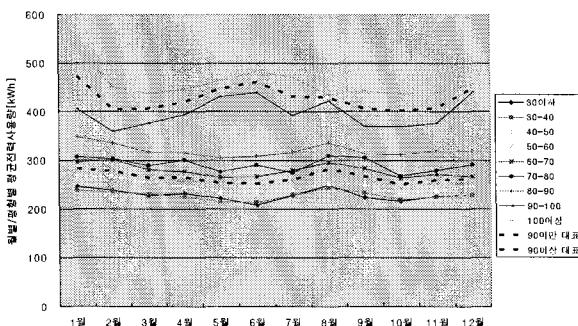
[그림 7]에 단지의 평균 전용면적별 연간 전력사용량을 나타내고 있다. 평형의 크기에 따라서 점점 증가하는 것을 볼 수 있으며, 연간 총 사용전력량은 전용면적이 약 50m<sup>2</sup>인 경우, 3,000kWh/년이고, 84m<sup>2</sup>인 경우, 4,000 kWh/년, 135m<sup>2</sup>인 경우, 약 5,500kWh/년 정도 되는 것으로 조사되었다. 이 값은 세대내 전력과 공용전력, 산업용전력 그리고 가로등 전력을 합한 값이다. 조사결과 세대전력 및 공용전력과 산업용전력, 그리고 가로등 전력에 대한 사용비율은 월별로 거의 비슷하며 평균비율은 약 94:4:1 정도 되는 것으로 분석되었다. 이를 구별하여 조사한 이유는 아파트에서의 전력사용량 요금 부과방식이 이들 전력사용 형태에 따라 구별되어지기 때문에 시스템의 경제성 평가시에 이를 반영하기 위함이다.



[그림 7] 아파트 전용면적별 연간 전력사용량

### 3.2 평형별 월간 전력사용량

평형별 월간 전력사용량은 평형별로 월별 전력사용량 패턴이 어떻게 되는지를 알기 위해서 분석해야 할 중요 인자이다. 즉, 앞에서 분석된 연간 전력사용량과 월별 전력사용량 패턴을 이용하여 월별로 소요되는 전력사용량을 알 수 있기 때문이다. [그림 8]에는 평형별 사용된 전력사용량을 월별로 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 90m<sup>2</sup>이하에서는 8월에 가장 전력소비가 많고, 그 다음이 1월인 반면, 90m<sup>2</sup>이상에서는 1월에 가장 전력소비가 많고 그 다음이 8월인 것으로 분석되었다. 또한 90m<sup>2</sup>이하에서 그래프의 90미만대표 점선과 같이 거의 고른 패턴을 보이고 있으며, 90m<sup>2</sup>이상에서 또한 90이상대표 점선과 같이 고른 패턴을 보이고 있어서 이를 대표 패턴 값으로 사용하도록 한다.

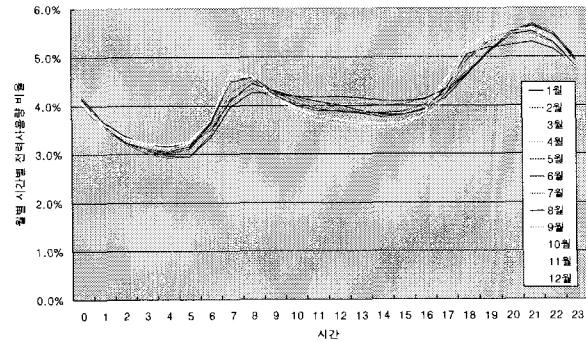


[그림 8] 아파트의 평형별 월별 전력사용량

### 3.3 시간대별 전력사용량

시간대별 전력사용량은 앞에서 분석된 연간 세대전용면적별 전력사용량과 월별 전력사용량 비율, 그리고 시간대별 전력사용량 비율을 이용하여 계산하도록 한다. 분석결과, 평형에 따른 시간대별 전력사용량은 큰 차이가 없어서 고려하지 않기로 하였다. [그림 9]에 1월부

터 12월까지 시간대별 전력사용량 패턴을 일별로 분석한 결과를 보인다. 분석결과 시간대별 전력사용량은 월별로는 조금씩 차이가 있었으므로, 경제성 평가용 기초 데이터에 월별로 다른 패턴을 반영하기로 한다.

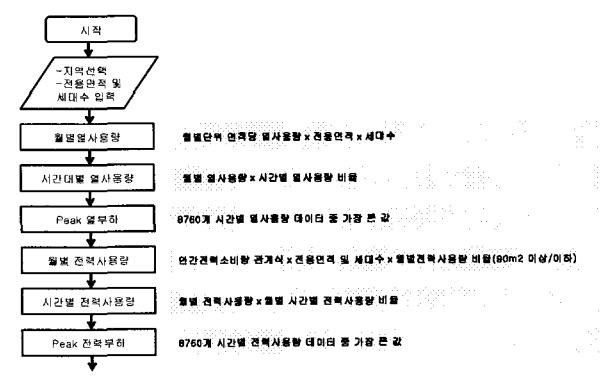


[그림 9] 아파트의 월별 시간대별 전력사용량 패턴

## 4. 경제성 평가프로그램 개발

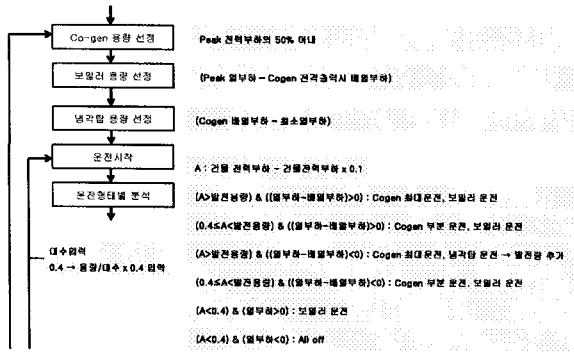
### 4.1. 알고리즘 개발

[그림 10]에 경제성 평가프로그램 알고리즘의 첫 번째 단계에 대한 내용을 보인다. 경제성 평가를 위해 제일 먼저, 전용면적과 세대수를 입력하고 지역을 선택한다. 그러면 월별 열 및 전력사용량과 시간대별 열 및 전력사용량이 자동적으로 계산되고, 시스템 결정에 필요한 Peak 부하를 찾아낸다.



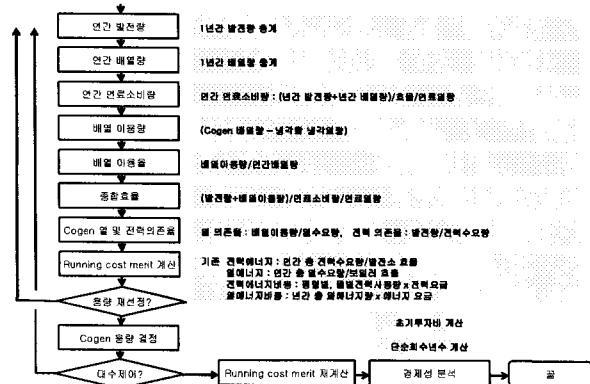
[그림 10] 경제성평가 알고리즘 1단계

[그림 11]에 경제성 평가 알고리즘 2단계에 대한 내용을 나타내고 있다. 여기에서는 발전기용량과 보일러 용량 그리고 냉각탑 용량을 설정하고, 운전시작 계산모드에서 열 및 전력사용량 부하량에 따라서 6가지 운전 모드들 중 해당되는 운전모드에 대해서 계산한다.



[그림 11] 경제성평가 알고리즘 2단계

[그림 12]에 알고리즘 3단계 내용을 나타낸다. 2단계에서 운전형태별로 계산을 수행한 결과와 기기 효율, 연료발열량을 이용하여 연간발전량, 연간배열량, 연간연료소비량, 배열이용량, 종합효율 등을 계산한다. 최적의 발전기 용량이 선정되면 대수분할을 할 것인가를 결정하고 대수분할을 할 경우에 대해서 앞의 여러 값들을 재계산한다. 다음 단계로 에너지원별 요금과 에너지소비량 계산을 통해 운전이익비용(Running cost merit)을 계산하고, 초기투자비를 예측하여 최종적으로는 초기 투자비 회수기간이 몇 년 인지의 계산결과를 통해 경제성을 평가하게 된다.



[그림 12] 경제성평가 알고리즘 3단계

## 4.2 입력데이터

프로그램에서 사용된 기초 데이터들로는 앞에서 분석된 월별 열 및 전력사용량, 간대별 열 및 전력사용량, 냉각탑의 냉각용량별 모터용량, 가스엔진 종합효율 및 열전비, 보일러효율, 냉각탑모터효율, LNG 고위발열량, 한전의 전력생산대비 열량, 에너지 요금 등이다. 열병합발전시스템의 초기투자비는 신규로 건설될 개별 난방단지와 신규로 건설될 열병합발전 시스템 적용단

지, 그리고 기존의 중앙난방단지를 열병합발전시스템으로 교체할 경우에 대해 초기투자비 전체를 분석하여 비교한다는 것은 여간 어려운 작업이 아니다. 따라서 신규개별난방지구와 열병합발전 시스템 적용단지의 비교는 개별난방단지 대비 열병합발전 시스템 적용단지의 초기투자비 추가비용만을 계산하여 초기투자비 회수 년수를 계산해 내도록 한다. 개별난방단지 대비 열병합발전 시스템 적용단지의 초기투자비는 다음과 같은 방법으로 계산될 수 있다. 즉,

- ① 열병합발전초기투자비= 지역난방+ 열병합발전추가 열원설비(발전기, 보일러, 냉각탑+수전설비(1억))
  - ② 지역난방=개별난방 (103:100)
  - ③ ∴ 열병합발전초기투자비= 개별난방+ 열병합발전추가열원설비

#### 4.3 개발 프로그램 소개

공동주택용 열병합발전시스템 경제성 평가 프로그램 개발을 위해 Excel의 매크로 기능을 활용하였다. 개발된 프로그램의 내용은 크게 5개의 모듈로 나뉜다.

첫째, 프로그램 표지화면 모듈

#### 둘째, 건물정보 입력 및 계산모듈

#### 셋째, 기타정보 입력 및 계산, 결과출력 모듈

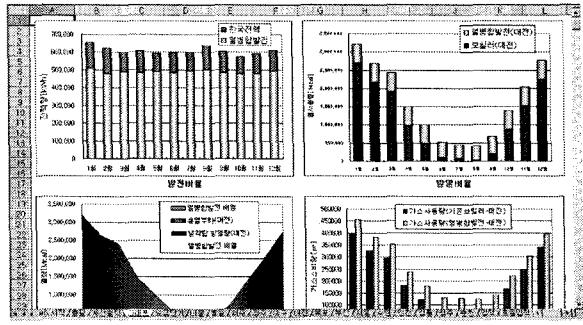
#### 넷째, 그래프 출력 모듈

#### 다섯째, 기초데이터 모듈



[그림 13] 표지화면

[그림 14] 계산화면



[그림 15] 그래프 출력화면

#### 4.4 프로그램 신뢰성 검증

'04년 공사 에너지사업단에서는 중앙난방을 이용하는 아파트단지인 광명하안 13단지에 열병합시스템을 적용할 경우 사업타당성에 대한 용역을 주케이텍에 의뢰한 바 있다. 이때 사용된 기초데이터는 단지에서 사용한 열 및 전력사용량 실적데이터이므로, 용역결과와 비교함으로써 본 프로그램의 신뢰성을 검증하는 것은 의미가 있을 것으로 판단된다. <표 1>에 비교 대상단지의 단지정보를 나타내며, 비교 결과를 <표 2>에 나타낸다.

<표 1> 기 분석된 광명하안 13단지 건물 정보

세대 전용면적	세대수	세대전용면적	세대수
26.37	1176	36.54	140
31.32	540	37.08	56
31.32	180	40.32	540
31.32	240	40.32	420

<표 2> 개발프로그램과 기존프로그램과의 결과 비교

구 분	프로그램명 Ver 1.0	기존 프로그램
총 전력부하	8,997MWh	9,200MWh
보일러용량	9.2Gcal	11.3Gcal
전력피크부하	1,500kW	2,000kW
최적발전기용량	700kW	1,000kW
Running cost merit	534,597천 원/년	548,874천 원/년
에너지절감율	20.5%	19.6%

이 때 사용된 에너지원별 요금은 2003년 열 및 전기요금이다. 결과를 비교하여 보면, 총 전력부하는 약 2.5~4% 정도, 보일러용량은 약 19%, 전력피크부하는 약 20%, 최적 발전기용량은 30%, 운전이익비용은 약 3% 정도, 에너지절감율은 약 1% 정도의 차이를 보이고 있다. 특히, 발전기 용량에서 차이가 많이 나고 있으며, 이는 최대전력부하폐단이 서로 다르기 때문에 발생된

문제임을 확인하였다. 또한 가스엔진 용량대비 운전이익비용의 차이가 더 작은 이유는 실제데이터의 전력사용량 시간대별 Peak 값이 예측했던 결과보다 더 크게 나타났기 때문이다. 즉, 피크부하가 크므로 발전기 용량이 더 크게 설정되며, 실제 운전은 부분부하 운전이 예측한 결과보다 더 많기 때문이다. 그러나 기존 분석결과에서 발전기 용량이 700kW일 경우, 운전이익이 약 525,000천 원 정도로 분석되는 것으로 보아 본 프로그램의 운전이익비용에 대해서는 신뢰성이 있는 것으로 판단된다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 열병합발전시스템 경제성 평가를 위한 공동주택의 열 및 전력사용량 데이터를 우선 정립하고, 이 데이터들을 기초로 사업부서에서 쉽게 활용할 수 있는 경제성 평가 Tool을 개발하여 공사가 열병합발전사업을 추진하는 데에 기여도록 하기 위해 본 연구를 수행하였으며, 연구수행을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

- 1) 33개 아파트단지의 열사용량 조사를 통해 14개 지역별로 월별, 평형별 열 사용량 기준을 설정하였다.
- 2) 12지역의 '04년 1년간 외기온도, 수평면일사량 데이터와 범용 열해석 프로그램을 이용하여 지역별 시간대별 난방부하량을 예측하고, 시간대별 급탕사용량의 기준 실측데이터를 분석하여 시간대별 열사용량 기준을 설정하였다.
- 3) 115개 아파트단지의 전력사용량을 분석하여 공동주택의 월별, 평형별 전력사용량 기준을 설정하였다.
- 4) 17개 아파트단지의 시간대별 전력사용량을 조사하여 시간대별 전력사용량 폐단 기준을 설정하였다.
- 5) 엑셀(Excel)의 매크로 기능을 이용하여 공동주택용 소형열병합발전시스템 경제성 평가 프로그램 개발을 개발하였다.
- 6) 개발된 프로그램의 신뢰성을 입증하기 위해, 실측데이터를 기초데이터로 활용하여 타 프로그램에 의해 평가된 기존결과와 비교분석하였으며, 분석결과 금번 개발된 프로그램은 신뢰성이 있는 것으로 평가되었다.

금번에 개발된 열병합발전 경제성 프로그램은 사업부서에서 사업타당성 예측시에 활용할 예정이며, 필요에 따라 프로그램을 Upgrade할 예정이다.