

# 소규모 지역냉난방 시스템 최적설계 시뮬레이션

임용훈\*, 박화춘\*\*, 조 수\*\*\*, 장철용\*\*\*\*, 정모\*\*\*\*\*

\*,\*\*,\*\*\*,\*\*\*\*한국에너지기술연구원(iyh@kier.re.kr, hcpark@kier.re.kr, scho@kier.re.kr, cyjang@kier.re.kr)  
\*\*\*\*\*영남대학교 기계공학과(mchung@yu.ac.kr)

## The Simulation Approach for the Optimal Design of Small Scale District Heating and Cooling System

Im, Yong Hoon\*, Park, Hwa-Choon\*\*, Cho, Soo\*\*\*, Jang, Cheol-Yong\*\*\*\*, Chung, Mo\*\*\*\*\*

\*,\*\*,\*\*\*,\*\*\*\*Korea Institute of Energy Research(iyh@kier.re.kr, hcpark@kier.re.kr, scho@kier.re.kr, cyjang@kier.re.kr)

\*\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Yeungnam Univ(mchung@yu.ac.kr)

### Abstract

A simulation program is developed for the optimal design of small scale district heating and cooling system. Main features for the simulation program are the reliability and the easiness for the optimal design of the DHC(District Heating and Cooling) systems. In order for implementing those features, the operational characteristics according to the prime movers is modeled based on the materials of efficiency as a function of operational load. The unit energy load model is also developed extensively for several building types, of which the corresponding district consist, such as apartment complex, hotel, hospital, buildings for business and commercial use respectively. The specific features and the overall procedure of the simulation are described in brief in this paper. The results of the simulation for several test cases will be presented in subsequent study.

Keywords : 지역냉난방시스템(District heating and cooling system), 최적설계(Optimal design), 에너지부하(Energy load), 시뮬레이션 프로그램(Simulation program)

### 1. 서 론

집단에너지 사업이란 열병합발전소, 열전 용보일러, 자원회수시설 등 1개소이상인 집중된 에너지 생산시설에서 생산된 에너지(열

또는 열과 전기)를 주거, 상업지역 또는 산업 단지 내의 다수 사용자에게 일괄적으로 공급 하는 사업을 말한다.

대표적인 집단에너지 사업인 지역난방의 열판매량은 최근 4년간('02~'05년) 연평균 5.9% 증가하였으며, 공동주택 계약은 연평균 5.7%, 빌딩 등 건물 계약은 연평균 6% 증가

접수일자 : 2000년 00월 00일, 심사완료일자:2000년 00월 00일  
교신저자 : \*임용훈(iyh@kier.re.kr)

하고 있으며 신규택지개발 지구, 수도권 지역의 뉴타운 개발 등 신규 및 재개발 주택사업과 연계한 보급 환경은 매우 긍정적이라 볼 수 있다. 특히 집단에너지의 특성상 태양광, 태양열 및 지열 등 미활용 에너지원의 활용 및 접목 가능성 측면에서는 여타 난방방식 대비 지역난방 방식만의 차별화 되는 장점이라 할 수 있으므로 미래의 고유가 및 기후변화협약 등의 친환경 사회에서의 잠재적 시장성은 더욱 높아질 개연성이 매우 높다.

현재까지 집단에너지 사업은 대규모 택지지구를 대상으로 한 보급이 주를 이루었다고 본다면 향후 지속적인 대규모 신규 택지지구의 지정이 현재의 추세를 이어갈지에 대해서는 부정적인 시각이 지배적이다. 따라서 지속적인 집단에너지 사업의 성장을 유지하기 위해서는 중·소 규모의 신규 사업 개발에서 서서히 관심을 기울여 나갈 필요가 있다. 그런 의미에서 열수요 밀도가 높은 도심지를 대상으로 한 재개발 및 리모델링 사업 등 소규모 지역난방 사업에 대한 집단에너지 도입 타당성 검토는 지속적인 성장모델의 발굴 또한 사업의 확대 계획과 함께 병행하여 고려해야 하는 관점에서 볼 때 시사하는 바가 크다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 향후 열수요 밀도가 높은 도심지 재개발 및 리모델링 지역을 대상으로 한 소규모 지역난방 시스템 도입의 타당성 검토 및 최적 설계를 위한 시뮬레이션 기법에 대해 논해보고자 한다.

## 2. 소형열병합발전 시스템 최적 설계 시뮬레이션

### 2.1 부하모델링

신규 재개발 지구를 대상으로 한 소규모 지역 난방 시스템 최적 설계 검토에 있어 가장 기본이 되는 것은 해당지구의 에너지

부하를 정확하게 예측하는 것이다. 본 연구에서는 일반적으로 집단에너지 적용 타당성 분석에서 널리 적용되고 있는 열부하 분석 절차를 따르는 대신에 자체적으로 보유하고 있는 건물 유형별, 에너지 유형별 단위 부하 모델을 바탕으로 부하를 산정하는 방법을 적용하고자 한다.

집단에너지 및 열병합발전시스템의 검토를 계획하는 대상건물에 대해 에너지소비실태를 정확히 파악 또는 예측하는 것은 매우 중요하면서도 어려운 문제이다. 본 연구에서는 실제 계측을 통하여 백화점, 쇼핑센터, 공공업무빌딩, 오피스텔, 관람집회건물, 주상복합건물, 공동주택 등 건물 용도별 난방, 냉방, 급탕, 그리고 일반전력에 대한 개발된 일별, 시간별, 시간별 부하 모델을 적용하여 에너지수요처의 시각별 에너지부하 변화를 고려해 줌으로서 열부하 예측결과의 정확도 및 신뢰도를 향상시키고자 한다. 본 연구에 적용하고자 하는 부하산정 작업에 대한 개요를 간략히 기술하면 다음과 같다. 그림 1의 운전부하 모델에 대한 기본 구조에서 보는 바와 같이 운전 부하 산출 절차는 다음과 같다.

1. 전기, 냉방, 난방, 급탕 등 4가지 부하 유형에 대하여 백화점, 병원, 스포츠센터, 아파트, 업무빌딩, 호텔 등 6가지 업무 형태 별로 365일 연간 일별 부하 패턴  $Y_j^E(d)$  를 현장 조사를 통하여 구한다.

2. 같은 4 가지 부하 유형과 6가지 업무 형태에 대하여 계절별로 하루 24시간 시간별 부하패턴  $H_{ij}^E(h)$  를 현장 조사를 통해 경험적 실측치를 조사한다.

3. 1-2단계에서 구한 패턴의 조합을 통하여 1년 8760시간에 대한 4가지 부하 패턴, 6 가지 업무 형태 (총 24개)에 대한 연

간 시간별 부하 패턴  $Q^E(h)$  를 산출한다.

4. 각 건물을 용도 별로 sorting한 후 건물 용도별로 구해 놓은 가중치를 적용하여 교정인자를 산정한다. (장치 부하 산정 때와 동일한 방법 적용)

5. 전기, 냉방, 난방, 급탕 등 각 부하 유형에 대하여 단계 4에서 분류한 업무 형태별 가중치와 건물 면적을 곱한 면적-가중치 곱의 합계에 해당 유형의 연간 8760 시간 운전 부하 패턴을 곱한다.

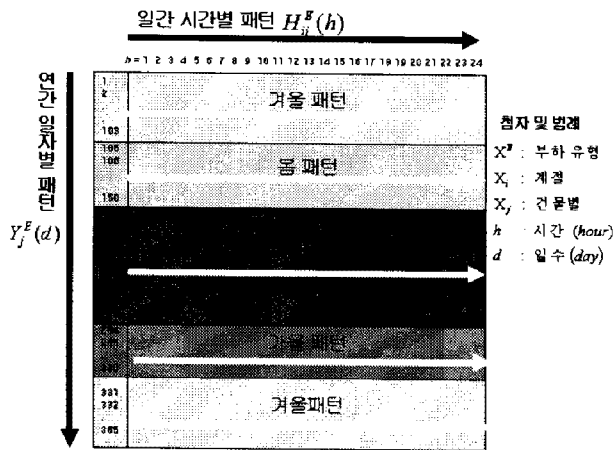
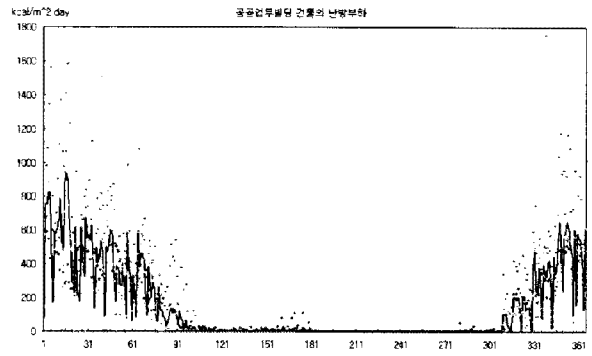
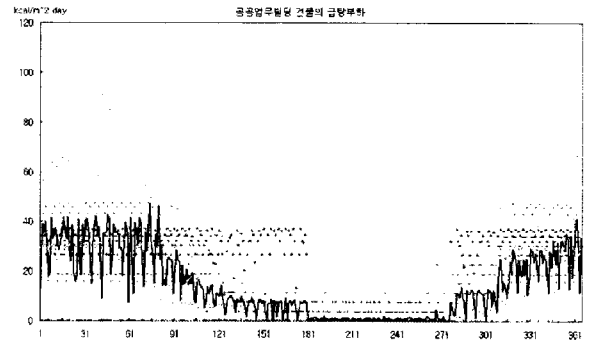


그림 1. 운전부하 산출의 기본구조

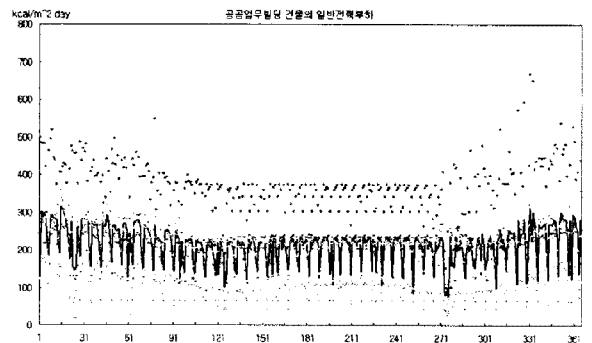
상기의 과정을 통해 얻어진 업무용 빌딩에 대한 일별, 시각별 부하모델의 예를 그림 2, 그림 3에 각각 나타내었다.



(b) 난방부하

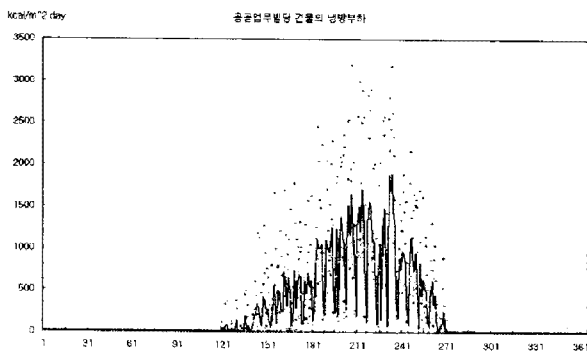


(c) 급탕부하



(d) 전력부하

그림 2. 일별 에너지 부하 모델



(a) 냉방부하

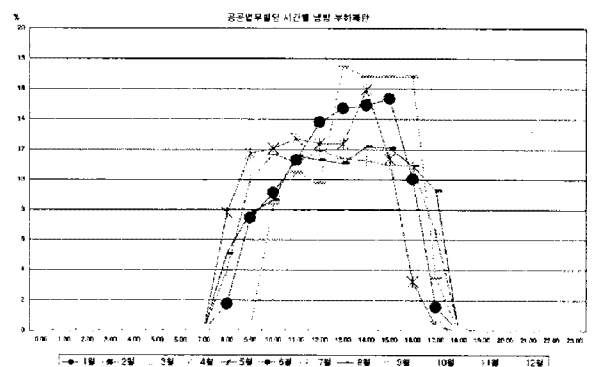
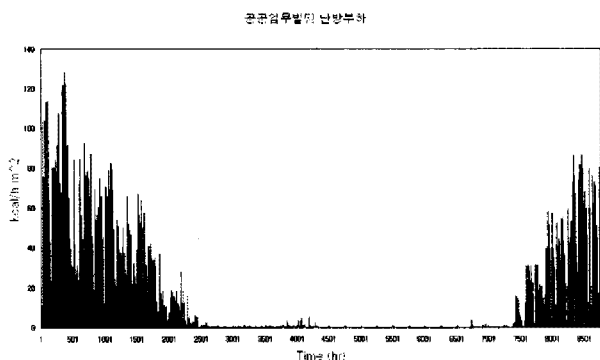
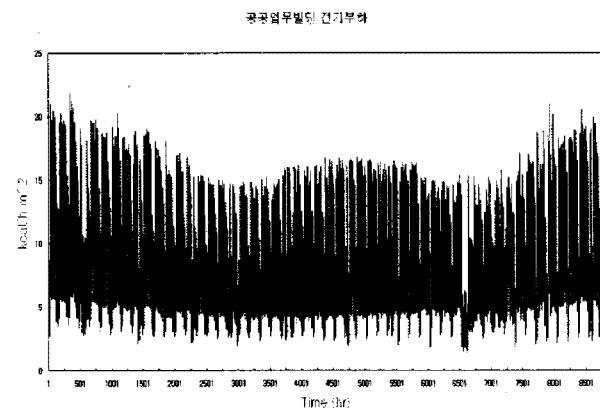


그림 3. 시각별 에너지 부하 모델

집단에너지시스템의 경제성 분석을 위한 시뮬레이션에 필수적인 시간별 변화를 단위로 하는 연간 용도별 에너지부하의 모델은 앞서 구한 일별 에너지부하 모델과 시간별 에너지부하 모델을 합성하여 얻어질 수 있다. 1년을 12개월로 구분하여 각 월별로 구한 시간별 용도별 부하패턴에 맞추어 일일별로 요구되는 부하량을 분담하여, 시간별 단위로 하는 연간 용도별 에너지부하의 모델의 예를 그림 4에 나타내었다.



(a) 난방부하모델



(b) 일반전력부하모델

그림 4. 공공업무빌딩의 연간 용도별 에너지부하 모델

## 2.2 운전시뮬레이션

앞서 언급한 수요개발 지구에 대한 에너

지부하에 대응하여 열 및 전력 공급을 하기 위한 열원은 다양한 대안으로 구성이 가능하며 열원 구성의 시나리오에 따라 전체 지역난방 시스템의 경제성은 판이하게 다른 결과를 보이게 된다. 본 연구에서는 구성 가능한 여러 가지 시나리오 중 가장 현실성이 있는 방안을 크게 네 가지로 분류하여 각각의 시나리오에 대한 운전시뮬레이션을 통해 각 대안별로 예상되는 장·단점들을 비교 분석하고 경제성 분석을 위한 기초자료를 얻고자 한다. 본 연구에서 고려하고자 하는 열원 구성에 대한 생산설비 대안은 다음과 같다.

- Gas Engine
- Gas Turbine
- GT/ST 복합발전
- 열전가변 GT

본 연구에서는 현행 소형열병합발전, 혹은 소규모 지역냉난방 사업에 가장 널리 적용되고 있는 4가지 열원에 대한 사이클 시뮬레이션을 통해 원동기별 특성에 따른 연료사용량, 경제성 등 운영 결과를 산출해내고자 한다. 각 원동기별 설비 구성을 개략적으로 표시하면 그림 5~그림 8과 같다.

### 2.3 운전부하 예측 시뮬레이션

집단에너지 사업의 경제성 및 도입 타당성 검토의 신뢰성과 관련하여 가장 중요한 절차가 해당 수요처의 에너지 수요를 정확하게 예측하는 것이다. 본 연구에서는 앞서 언급한 부하모델을 근간으로 하여 에너지부하 산출의 기본이 되는 건물 유형별 에너지부하 모델을 수립하여 적용하고자 한다.

그림 9는 해당 지역의 건물 유형별 에너지부하 계산을 위한 초기화면을 보여주고 있다. 본 시뮬레이션 모듈에는 앞서 기술한

건물 유형별, 시각별, 에너지 유형별 단위 부하 모델들이 DB화 되어 있으며 수요처의 건물 유형별 연면적 자료를 입력으로 하여 열공급 규모에 따른 부하를 예측하게 된다.

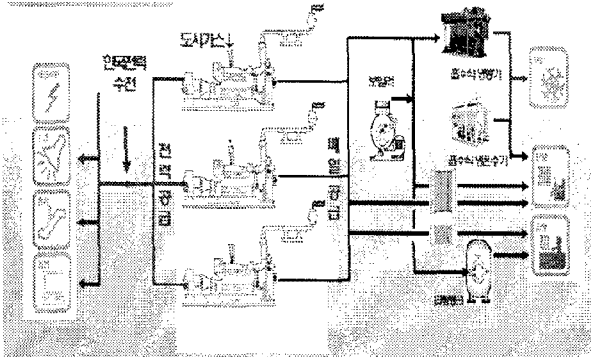


그림 5. 가스엔진 열병합발전 시스템 개략도

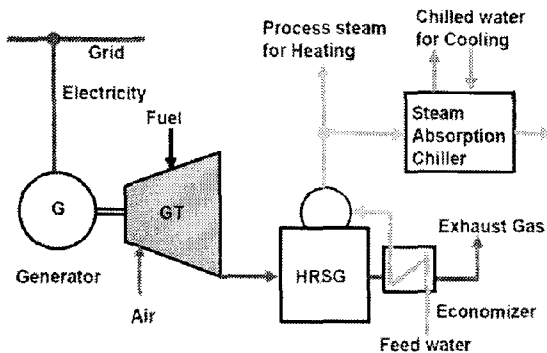


그림 6. 가스터빈 열병합발전 시스템 개략도

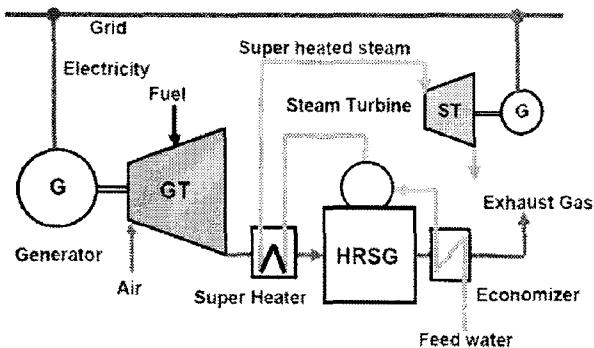


그림 7. 복합발전 열병합발전 시스템 개략도

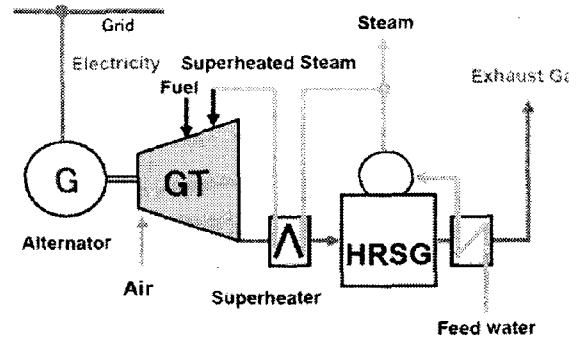


그림 8. 열전가변 GT 열병합발전 시스템 개략도

## 2.4 운전시뮬레이션

본 연구에서는 앞서 기술한 부하예측 프로그램과 운전시뮬레이션 프로그램을 별도로 분리하여 운영하는 체제를 선택하였다 이는 각 분석 tool 의 연계성을 결과물을 기준으로 링크해줌으로써 각각의 시뮬레이션 기능의 업그레이드 작업을 용이하게 하는데 주요 목적이 있으며, 또한 다수의 Case에 대한 분석을 수행함에 있어 시뮬레이션의 수월성을 향상시키기 위함이다.

그림 11은 운전시뮬레이션 모듈의 프로그램 시작 창을 보여주고 있다. 앞서 부하 예측 프로그램에서 수행한 결과들이 그룹별로 구분되어 도시되어 있으며 사용자는 운전시뮬레이션을 수행하고자 하는 Case를 선정하게 되어 있다. 사용자가 기존 그룹에서 Case를 선정하게 되면 각 디렉토리에 저장되어 있는 모든 부하 데이터들이 자동으로 링크되어 운전 시뮬레이션을 수행할 수 있는 기본 환경의 세팅이 완료되게 된다.

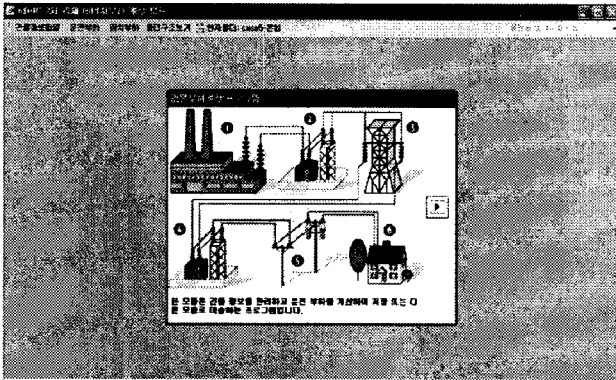


그림 9. 에너지부하 계산 모듈 초기화면

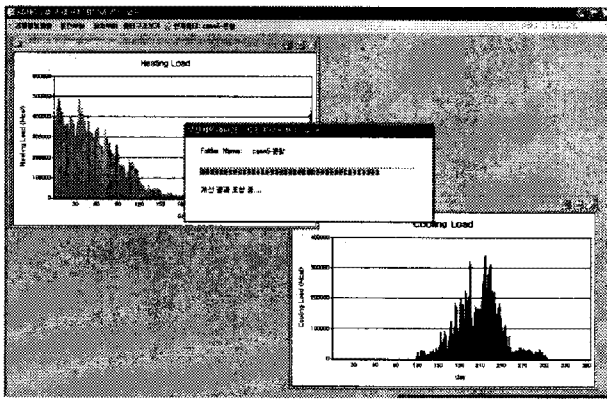


그림 10. 부하예측 시뮬레이션 및 예측 결과

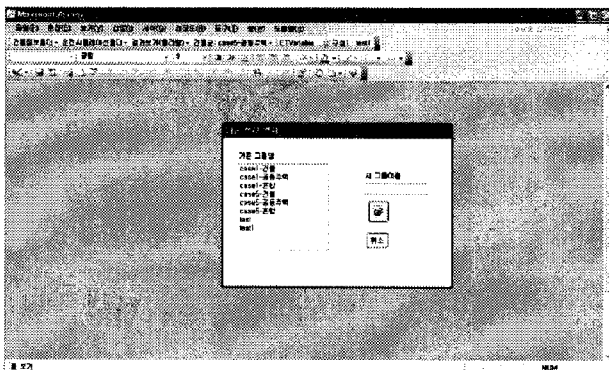


그림 11. 운전시뮬레이션 프로그램 시작 창

### (1) 냉방방식 선정

해당 지역에 대한 부하예측 결과를 선택하고 난 후에는 설비구성을 통한 운전시뮬레이션 작업을 수행하여야 한다. 본 연구에서 수행하고자 하는 운전 시뮬레이션의 경우 가장 우선적으로 냉방방식을 선정해야 하는데 그림 12에 해당 작업의 예를 도시하였다. 본 연구에서는 지역냉방 설비를 흡수

식 및 터보방식으로 구성할 수 있도록 하였으며 특히 흡수식과 터보식의 비율을 사용자가 임의로 조정할 수 있도록 하여 최적 냉방설비 구성에 대한 분석이 가능하도록 시뮬레이터를 개발하였다. 냉방방식의 선정에 있어 본 연구에서는 흡수식 냉동기, 터보 냉동기, 흡수식/ 터보방식의 조합 등 3가지 옵션 중 선택할 수 있도록 프로그램을 구성하였다. 흡수식 냉동기를 선택하게 되면 그림 13 에서와 같이 냉동기 형식별 용량을 선정할 수 있는 창이 팝업되며 이 중에서 적정한 용량의 냉동기를 선정할 수 있다. 흡수식과 터보식 조합을 선택하게 되면 그림 14 형태의 창이 팝업 되게 되어 있는데, 이 경우에는 사용자가 흡수식과 터보식의 비율을 임의대로 조정할 수 있게 된다.

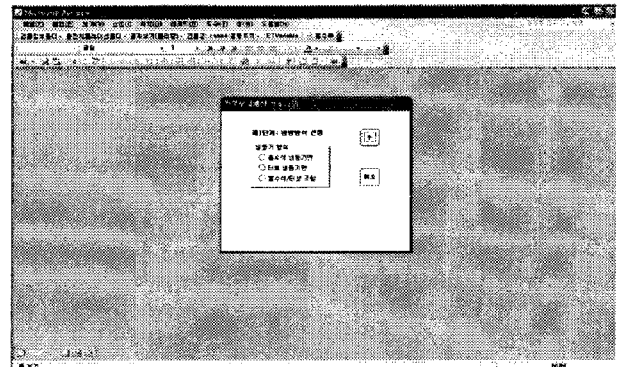


그림 12. 냉방방식 선정

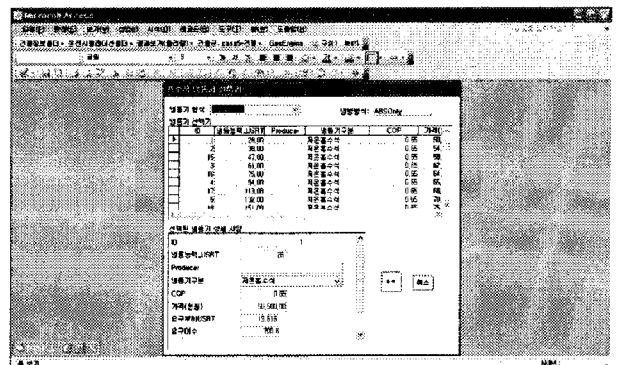


그림 13. 냉방설비 상세 선정 창

이 경우 각각의 냉동기 형식의 상세 사양은 앞서 흡수식 및 터보식 냉동기 선택 창에서 연속적으로 선정하면 되도록 구성하였다.

## (2) 원동기 선택

냉방부하에 대한 처리 방식과 설비의 상세 사양이 결정된 후에는 주요 원동기 선택과 관련한 작업을 수행해주어야 한다. 본 연구에서는 앞서 기술한 바와 같이 총 4가지 타입의 원동기 선택 옵션을 구비하였는데, 가스엔진, 가스터빈, 복합발전, 열전가변 가스터빈 형식 중 원하는 엔진 타입을 결정하면 된다.

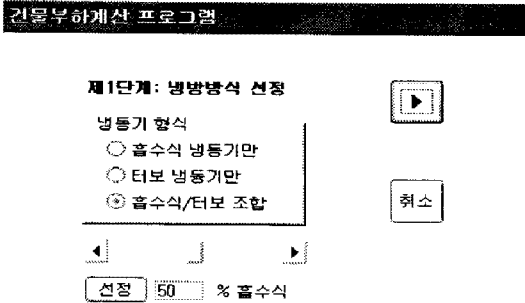


그림 14 가스엔진 선택 창

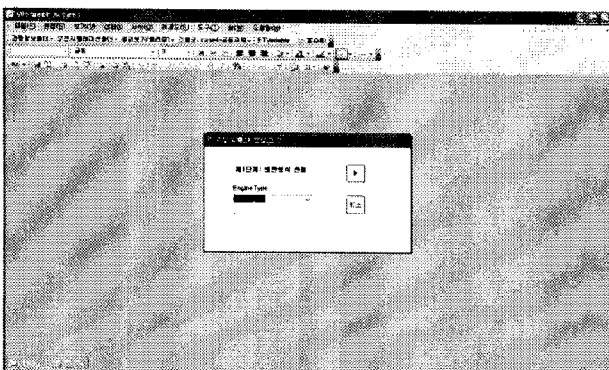


그림 15. 운전시물레이션 엔진타입 선정

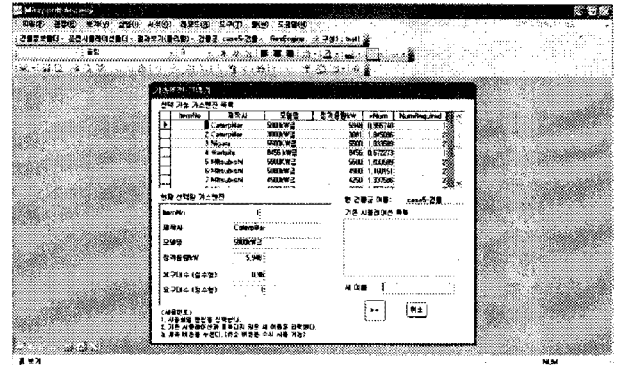


그림 16. 가스엔진 선택 창

예를 들어 가스엔진 타입을 선택하게 되면 그림 16에서 보는 바와 같이 상세 사양 선택이 가능한 창이 팝업되게 되는데 이중 사용자가 판단하여 가장 적합한 설비를 선택하게 되면 해당원동기의 효율 등의 설비정보가 프로그램에 링크되도록 되어 있다.

## (3) 운전시물레이션

상기의 과정을 마치게 되면 운전 시물레이션이 자동적으로 수행되도록 되어 있는데, 그림 17은 운전 시물레이션 수행과정을 보여주고 있다. 그림 18은 전체 운전 시물레이션이 완료된 후 결과들의 일부를 도시한 예이다. 시스템 운영과 관련한 각종 물리량들을 조합하여 사용자가 원하는 정보를 일별 단위로 보여주고 있다.

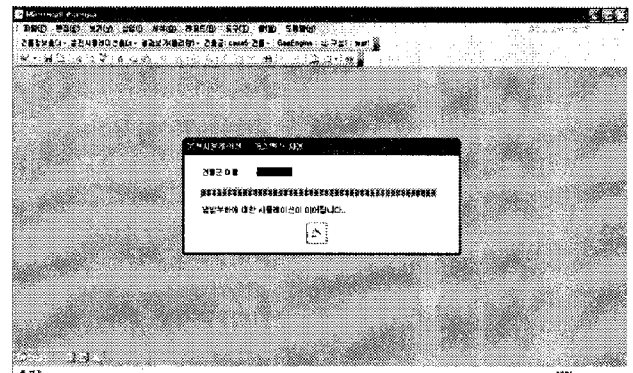


그림 17. 운전 시물레이션 창

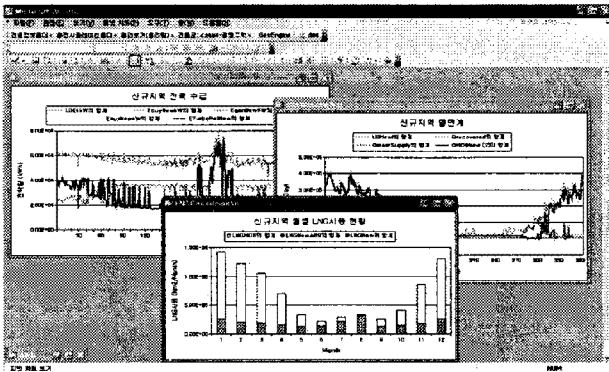


그림 18. 운전 시뮬레이션 결과

### 3. 결론

본 연구에서는 도심지 재생 및 리모델링 지역을 대상으로 한 소규모 지역냉난방 시스템의 최적설계 및 효율적인 시스템 운영에 관한 타당성 검토를 위한 시뮬레이터 개발과 관련한 내용을 기술하였다.

분석의 신뢰성을 확보하고 시뮬레이션 과정의 복잡성을 피하기 위해 설비 운영에 대해서는 원동기 형식별(가스엔진, 가스터빈, 복합발전, 열전가변 가스터빈) 운전 효율 자료를 바탕으로 한 별도 모델링 작업을 통해 시뮬레이션을 수행하였다. 지역냉난방 사업 도입 경제성 및 타당성 검토의 신뢰성과 관련하여 가장 중요한 절차인 수요처별 에너지 수요 예측을 위해 건물 유형별, 에너지 부하별 단위 부하모델을 수립하였으며 일별, 시각별 부하 패턴을 반영할 수 있어 보다 현실적인 부하 예측이 가능토록 하였다.

운전시뮬레이션 모듈은 부하 예측 모듈과 별도 분리하여 운영토록 하였으며 이를 통해 다양한 Case에 대한 시뮬레이션 수행시 사용자가 편리하게 분석결과를 분류할 수 있도록 디렉토리를 관리하는 기능을 구현하였다.

운전 시뮬레이션에서는 가스엔진, 가스터빈, 복합발전, 열전가변 가스터빈을 기본 원동기로 구성하였으며 실제 구매 가능한 제품군의 운전 효율자료를 DB화 하여 시뮬레이

션이 이루어지게 함으로써 보다 현실적인 분석이 이루어지도록 하였으며 특히 부하율에 따른 운전특성을 반영하기 위해 부분부하율에 따른 효율곡선을 입수, 프로그램화 하였다.

본 논문에서는 시뮬레이션 프로그램 구현과 관련한 내용을 간략히 기술하고자 하였으며 기 개발된 지역냉난방 시스템 분석 시뮬레이터를 이용한 분석 결과는 추후 게재할 예정이다.

### 참 고 문 헌

1. 박화춘 외, '소규모 지역냉난방 시스템 시뮬레이터 개발', 2004
2. 임용훈 외, '지역난방 공급지역 인근의 추가수요 개발시 최적의 열공급방안에 관한 연구', 2006
3. 임용훈 외, '세운재정비 촉진지구에 구역형집단에너지 도입 타당성 분석', 2008