

집단에너지 열연계운전 분석을 위한 시뮬레이터 개발

임 용 훈, 박 화 춘[†]

한국에너지기술연구원 열병합보일러연구센터

정 모

영남대학교 기계공학과

Development of a simulation program for the analysis of a thermal networking operation in District Heating

Im Yong Hoon, Hwa-Choon, Park[†]

Cogen./Boiler Research Center, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

Mo, Chung

Dept. of Mechanical Engineering, Yeungnam Univ., Gyeongsan 712-749, Korea

ABSTRACT:

A simulation program is developed for analysing thermal networking process between the District heating and the CES(Community Energy Supply) systems. The effects of thermal networking on the District heating facilities previously being operated are implemented using mathematical correlations in terms of the fuel consumption and energy load such as heating and electricity. 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 such as apartment complex, hotel, hospital, buildings for business and commercial use respectively. The specific features of the newly developed program in simulation of thermal networking process in district heating is described in terms of the reliability and the easiness for operating it etc.

Key words: Heating system(난방방식), District heating(지역난방), Thermal newworking(열연계), Simulation program(시뮬레이터), Community Energy Supply(구역형집단에너지)

1. 서 론

지역난방으로 대표되는 집단에너지의 보급실적은 2006년 말 기준, 총 주택 가구수 대비 약 11%의 보급 실적을 달성하고 있으며 초창기 안정화 단계에서 본격적인 성장기에 접어 든 것으로 인식되고 있다.

지역난방 열판매량은 최근 4년간('02~'05년) 연

평균 5.9% 증가하였으며, 공동주택 계약은 연평균 5.7%, 빌딩 등 건물 계약은 연평균 6% 증가하고 있으며 신규택지개발 지구, 수도권 지역의 뉴타운 개발 등 신규 및 재개발 주택사업과 연계한 보급 환경은 매우 긍정적이라 볼 수 있다. 특히 집단에너지의 특성상 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. 반면 규모의 경제성이 적용

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3008; fax: +82-42-860-3098

E-mail address: hcpark@kier.re.kr

되는 지역난방 사업의 특성상 일정 수준 이상의 높은 열수요 밀도를 유지하는 지역을 대상으로 한 공급의 한계성으로 인해 시장 점유율 확대 측면에서 한계를 갖고 있기도 하다. 향후 현재의 추세와 같은 꾸준한 대규모 택지지구의 수요가 발생한다면 모를까 어느 시점 이후로는 이러한 개발수요도 포화단계에 접어들 것으로 쉽게 예상할 수 있다는 점에서 지속적인 성장모델의 발굴 또한 사업의 확대 계획과 함께 병행하여 고려해야 하는 중요한 과제중의 하나로 볼 수 있다.

시장경쟁 논리를 바탕으로 한 에너지시장 구조 개편의 일환으로 도입된 구역형집단에너지(CES) 사업은 집단에너지사업의 경쟁체제 조성 및 경쟁자환경 변화로 시장에 대한 에너지사업자간 경쟁 심화로 이어지고 있어 최근의 집단에너지 사업의 확대 보급에 매우 중요한 요소로써 작용하고 있다. 특히 기존의 지역난방 사업과 달리 구역전기사업이 가능한 사업의 형태로 인해 설비의 구성, 운영, 규모에 대한 새로운 분석 및 적용 기법이 요구되는 사업으로써 지역난방과의 연계를 통한 시너지 효과를 기대해 볼 수 있는 성장 가능성이 높은 분야라 할 수 있다. 하지만 최근 고유가 기조와 맞물려 CES 사업설비의 주요 연료라 할 수 있는 LNG 가격 또한 폭등함에 따라 현재의 열 및 전력 요금체계에서는 CES 사업장 단독으로 운영시 사업성 측면에서 경제성을 확보하기 어렵다는 견해가 지배적으로 대두되고 있으며 이는 소형열병합발전 시스템의 보급 확산에도 부정적인 영향을 끼쳐 이를 극복할 수 있는 현실적 대안 마련이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 이러한 대안 마련의 일환으로 구역전기사업을 기반으로 하는 신규 열공급 지역을 대상으로 하여 기존의 지역난방 설비와의 열연계를 기반으로 한 최적의 설비구성 및 운영안고찰을 위한 시뮬레이션 프로그램 개발에 대해 간략히 기술하고자 한다. 열연계 운전을 통한 기존 지역난방 공급지역 설비 운영 및 신규지역 CES 설비 운전과 관련한 분석 결과는 후속 논문을 통해 추가 개재할 예정이다.

2. 소형열병합발전 시스템 모델링

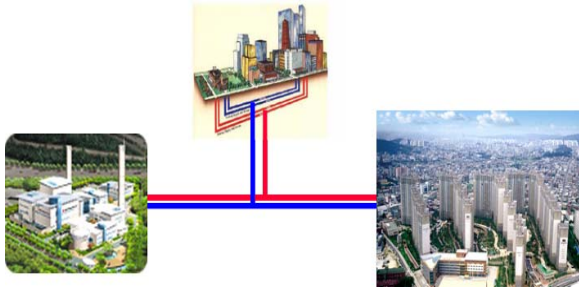
2.1 기존 지역난방 공급지역 모델링

[그림 1]은 본 연구에서 다루고자 하는 기존

지역난방 공급지역과 신규 CES 사업지역 간 연계 시스템의 개략도를 나타내고 있다. 지역난방 공급지역의 인근에 소규모 CES 사업이 가능한 수요처가 발생했을 경우 단독 열원을 구성하여 운영할 수도 있겠으나 인근에 기존 지역난방 배관망이 인근에 설치되어 있는 경우에는 기존 지역난방 공급 설비와 연계를 통해 상호간 열부하 특성에 맞는 열연계 운전이 가능하게 되며 이를 통해 전체 시스템의 운영 효율의 향상을 도모, 신규 CES 사업장의 단독 운전 대비 수익성을 향상시킬 수 있는 모델에 대한 검토가 본 연구의 주요 목적이라 할 수 있다. 이러한 사업 형태의 운영 특성을 살펴보기 위해서는 신규 CES 지역과 기존 지역난방 설비 간 연계 운전을 통한 현상을 구현할 수 있는 모델링 작업이 필요하게 된다.

기존의 지역난방 공급지역과 신규 CES 사업장의 경우 열 수요 패턴은 유사하지만 운영상의 특성은 서로 상이하게 되므로 상호간 열거래를 통한 긍정적인 시너지 효과가 발생할 가능성은 높다고 볼 수 있다. 신규 CES 사업장의 경우 구역전기사업이 가능하게 되므로 전기부하 추종 운전의 형태로 설비의 운영이 이루어지게 되며 따라서 하절기 및 춘추절기 많은 잉여열이 발생하게 된다. 반면 기존 지역난방 공급지역의 경우는 지역난방 사업으로써 전기의 직접 판매가 허용되지 않으므로 주로 열부하추종 운전의 형태로 설비가 운영이 되며, 하절기 잉여열 발생을 방지하기 위해 CHP의 가동을 중단하게 되며 따라서 하절기 급탕부하는 HOB 혹은 인근의 소각열을 활용하여 수익성을 최대한 확보하는 형태의 운영이 이루어지는 것이 일반적이다.

이러한 사업장별 운영방식의 차이로 인해 발생하게 될 열연계 운전을 모사하기 위해 본 연구에서는 기존 지역난방 공급지역 시스템의 모델링은 기존의 지역난방시스템은 연간 운영 실적 자료를 바탕으로 에너지부하와 연료사용량간의 상관관계에 대한 함수를 도출, 이용하고자 한다. 기존 및 신규지역에 대한 모델링 개요를 간략히 정리하면 다음과 같다.



[그림 1] 지역난방 연계 개략도

- 에너지 부하 수요 예측 및 열원 모델링은 신규지역에 한하여 수행하고 기존 지역난방 공급지역은 한년의 운영실적을 바탕으로 수학적 모델을 수립하여 적용 함
- 기존의 지역난방 공급지역에 대해서는 다음과 같은 실적자료를 바탕으로 수학적 모델을 수립 함
 - 연간 일별 열 및 전력 생산량/판매량 (열원별)
 - 연간 일별 연료사용량(열원별)
- 위의 자료를 바탕으로 기존의 지역난방지역의 에너지(열 및 전기)부하에 대한 연간 부하 및 연료사용량과의 상관관계에 대한 합수를 얻어내어 활용함. 즉

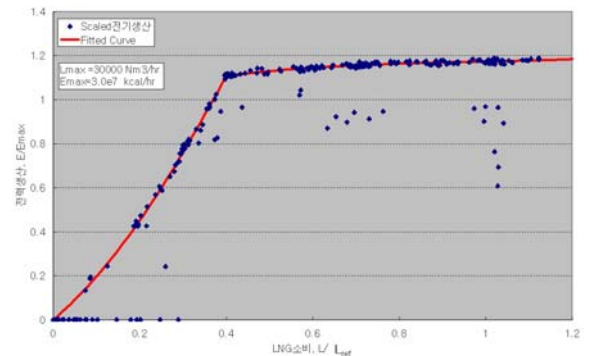
$$F = f(H(t), P(t), t)$$

여기서,

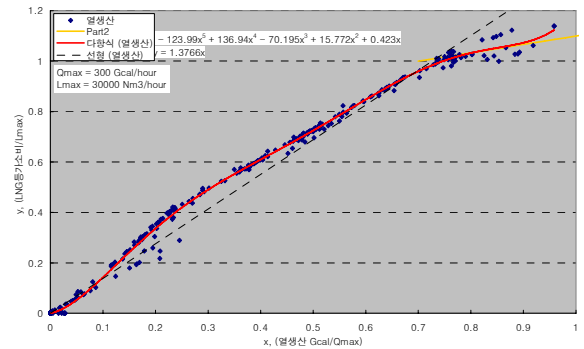
- F: 연료사용량
- H: 열부하
- P: 전기부하
- t: 시간(Day)

상기한 모델링을 통해 얻은 상관관계식을 [그림 2]와 [그림 3]에 각각 나타내었다.

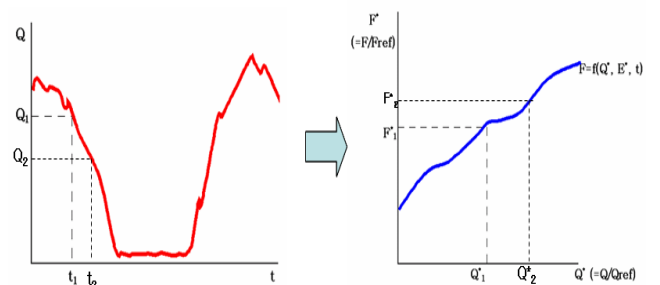
[그림 4]는 기존 지역난방 공급지역의 수학적 모델링과 관련한 개념도를 나타내고 있다. 임의의 시간 t_1 에서의 열부하는 Q_1 으로 대응이 되며 이러한 열부하를 공급하기 위한 해당 지사의 열공급 설비별 운전 시나리오 및 이에 따른 설비별 연료사용량, 열생산량, 전력생산량 등은 이미 확정되어 있다고 볼 수 있다.



[그림 2] 기존 지역난방 공급지역 연료량 상관 관계식[전력 vs 연료량]



[그림 3] 기존 지역난방 공급지역 연료량 상관 관계식[열생산 vs 연료량]



[그림 4] 기존 지역난방 공급지역 수학적 모델링 개념도

만일 열연계로 인해 기존 지역난방 공급지역에서 담당해야 하는 열부하가 $Q_2 = Q_1 + \Delta Q$ 로 변동되게 되면 해당 지사의 Q_2 에 부합되는 시간대의 열공급 시나리오에 따른 연료사용량, 열생산량, 전력생산량 등 운전 실적 자료를 찾아 활용을 하면 된다. 즉 기존 지역난방 공급지역의 운영실적 자료의 독립변수를 기존의 시간(t)에서 열

생산량(Q) 혹은 전력생산량(E)으로 바꾸어 생각함으로써 신규지역 수요의 변동에 따른 기존 지역난방 공급 지역의 영향을 판단함에 있어 시간에 구애받지 않고 비교적 자유롭게 변동 인자를 고려할 수 있는 장점을 갖게 된다.

기존 지역난방지역과 신규지역의 연간 연부하 패턴에서 특정시간(t_1)대의 열부하($Q_1=Q_{기존}+Q_{신규}$; 여기서 $Q_{기존}$ 은 기존 지역난방 공급지역의 열부하, $Q_{신규}$ 는 신규지역에 공급해야 하는 연계열부하)가 결정되면 [그림 4]에서와 같이 이미 실적자료를 바탕으로 도출된 에너지부하 대비 연료사용량의 함수관계로부터 해당 부하(Q_{*1})에 상응하는 연료사용량(F_{*1})을 구하게 되며 다른 시간(t_2)대의 운전 특성에 따른 기존 지역난방 지역의 운전 실적은 해당 부하(Q_{*2})를 독립변수로 하여 미리 산출된 열부하 와 연료사용량 간 상관식에 따라 결정되도록 함으로써 별도의 모델링이 필요 없도록 하고자 하였다.

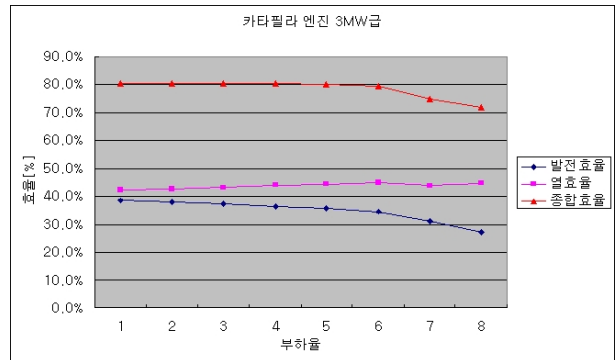
2.2 원동기별 열병합발전 시스템 모델링

본 연구에서는 당 연구원에서 “소규모 지역냉난방 시스템 시뮬레이터 개발”(박화춘 외, 2001.7-2004.6; 산업자원부)를 통해서 개발한 시뮬레이터 프로그램을 사용하여 보다 현실적이고 정확한 부하 산출을 통해 분석의 정확성을 높이고자 하였다. 이전 연구에서는 자가형 소형열병합발전 설비에 대한 시뮬레이션을 목적으로 하여 가스엔진 및 가스터빈 열병합발전 시스템을 대상으로 한 시뮬레이션이 가능하였으나 본 연구에서는 기존의 “소규모 지역냉난방 시스템 시뮬레이터”에 구현된 설비 이외에 열전가변 터빈, 복합발전시스템을 추가적으로 구현, 시뮬레이션이 가능한 설비의 범위를 확장하였다.

지역난방과의 연계 방안별로 에너지공급의 특성을 반영하기 위해서는 원동기별 열병합발전시스템에 따른 기계적, 물리적 현상을 모델링 하는 작업이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 열원의 구동시 발생하는 물리적, 기계적 현상을 별도의 사이클 시뮬레이션이나 열역학적 해석을 수행하지 않고 부하율에 따른 실제 운전효율 자료를 바탕으로 구현함으로써 이론적 해석에서 발생할 수 있는 오차를 최소화하고자 하였다.

특히 본 연구에서는 기존의 열원설비 모델링에

있어 부분 부하율에서의 예측 성능 향상을 위해 실제 적용 가능한 원동기별 제품군에 대한 부분 부하 운전 효율 성능 곡선을 입수, 프로그램에 반영함으로써 원동기의 부분부하 운전 특성을 보다 현실적으로 반영하고자 하였다.



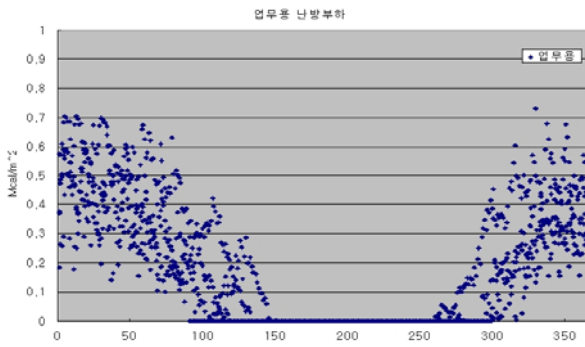
[그림 5] 부하율에 따른 효율곡선(가스엔진)

[그림 5]는 가스엔진의 운전 부하율에 따른 열 및 전력생산 효율곡선의 예를 나타내고 있다.

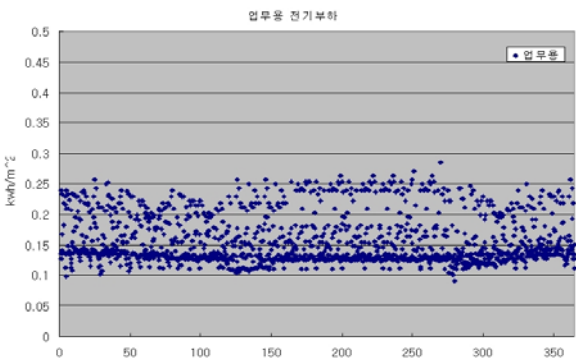
2.3 운전부하 예측 시뮬레이션

집단에너지 사업의 경제성 및 도입 타당성 검토의 신뢰성과 관련하여 가장 중요한 절차가 해당 수요처의 에너지 수요를 정확하게 예측하는 것이다. 본 연구에서는 앞서 언급한 “소규모 지역냉난방 시스템 시뮬레이터 개발”을 통해 개발한 운전부하 시뮬레이션 프로그램을 근간으로 하여 에너지부하 산출의 기본이 되는 건물 유형별 에너지부하 모델을 수립하여 적용하였다. 건물 유형별 에너지부하 모델을 수립하기 위해 도심지 건물 유형별, 에너지 유형별 실측 데이터를 직접 조사하였으며 공동주택, 업무용 건물, 상업용 건물, 숙박시설, 의료시설 등 5가지 주요 유형을 대상으로 연간, 월별, 일별 패턴에 대한 조사와 분석을 각각 수행하였다. [그림 6]은 업무용 건물에 대한 난방, 전력, 냉방부하의 일별 모델을 나타내고 있다.

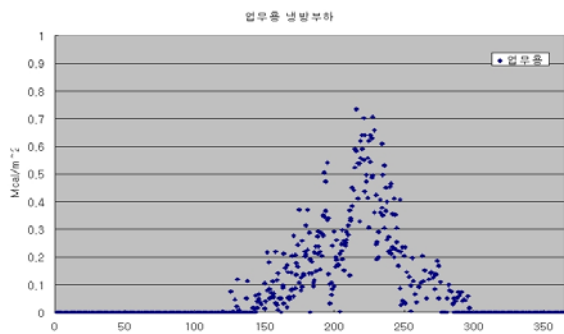
[그림 7]은 해당 지역의 건물 유형별 에너지부하 계산을 위한 초기화면을 보여주고 있다. 본 시뮬레이션 모듈에는 앞서 기술한 건물 유형별, 시각별, 에너지 유형별 단위 부하 모델들이 DB화 되어 있으며 수요처의 건물 유형별 연면적 자료를 입력으로 하여 열공급 규모에 따른 부하를 예측하게 된다.



(a) 난방부하



(b) 전기부하



(c) 냉방부하

[그림 6] 업무용건물 에너지부하

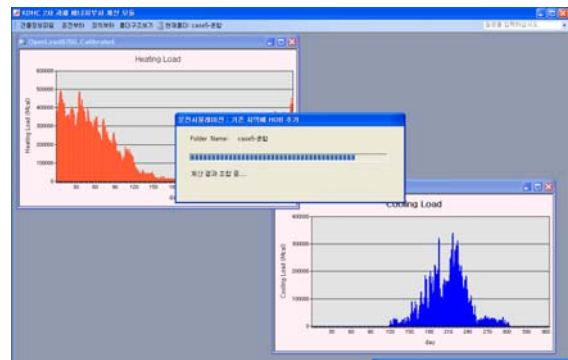
[그림 8]은 부하 예측 시뮬레이션 및 예측 결과의 예를 보여주고 있다. 해당 자료 입력 후 부하 예측 시뮬레이션 실행을 하면 각 부하별 연간 부하패턴, 부하누적곡선, 장치 부하 등 부하와 관련한 기초 자료를 생성하게 되며 사용자가 쉽게 확인 할 수 있도록 후처리 되어 시뮬레이션 창에 나타나도록 구성하였다.

본 연구에서는 각 건물에 대한 부하 예측 시뮬레이션 결과를 일목 요연하게 정리할 수 있도록 각각의 해당 디렉토리를 자동으로 생성하여 결과가 자동 정리되도록 하여 프로그램을 구성 측면

에서 사용자의 편의를 극대화 하고자 하였다.



[그림 7] 에너지부하 계산 모듈 초기화면

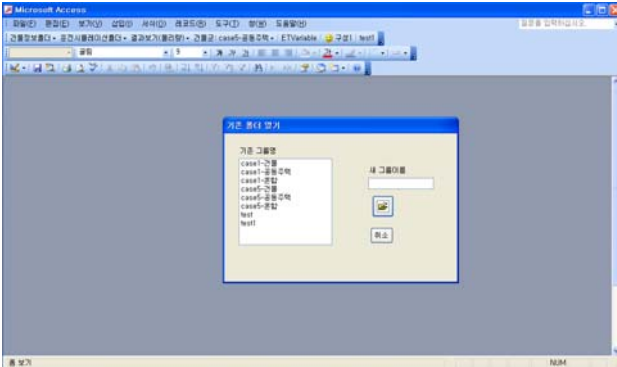


[그림 8] 부하예측 시뮬레이션 및 예측 결과

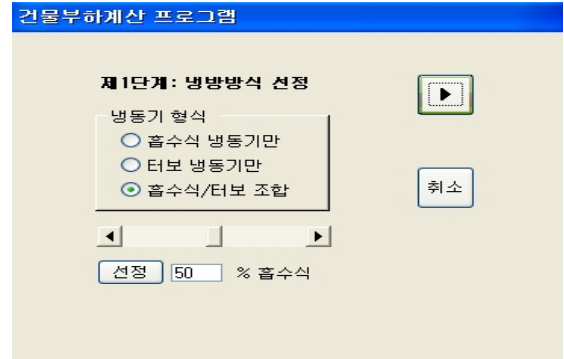
2.4 운전시뮬레이션

본 연구에서는 앞서 기술한 부하예측 프로그램과 운전시뮬레이션 프로그램을 별도로 분리하여 운영하는 체제를 선택하였다. 이는 각 분석 tool의 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 9]는 운전시뮬레이션 모듈의 프로그램 시작 창을 보여주고 있다. 앞서 부하 예측 프로그램에서 수행한 결과들이 그룹별로 구분되어 도시되어 있으며 사용자는 운전 시뮬레이션을 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.



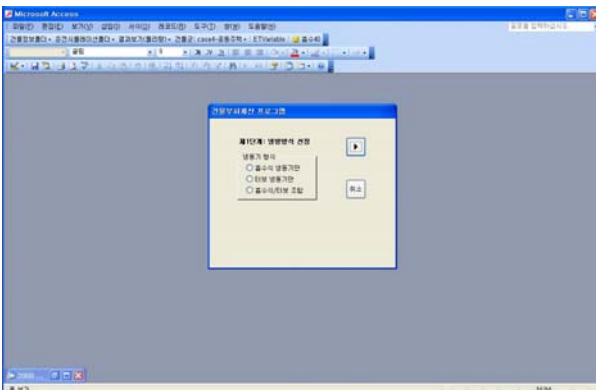
[그림 9] 운전시뮬레이션 프로그램 시작 창



[그림 11] 냉방방식별 비율 선택 창

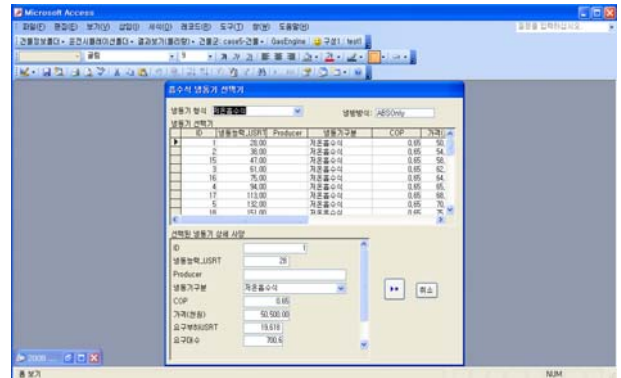
1) 냉방방식 선정

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 10]에 해당 작업의 예를 도시하였다.



[그림 10] 냉방방식 선정

본 연구에서는 지역냉방 설비를 흡수식 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/ 터보방식의 조합을 선택하게 되면 [그림 11]에서와 같이 각 냉방방식의 비율을 사용자가 정할 수 있도록 프로그램이 구성되어 있다.



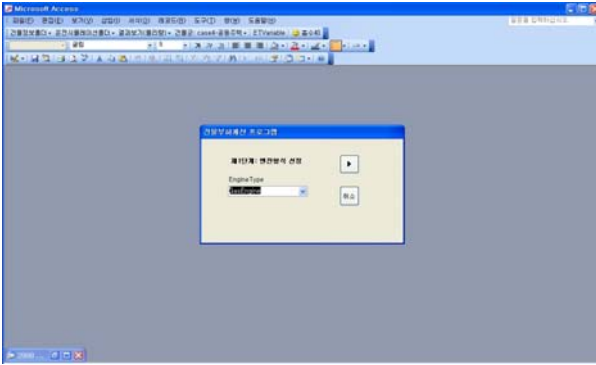
[그림 12] 냉방설비 상세 선정 창

[그림 12]는 해당 냉방방식에 해당하는 설비를 선택할 수 있는 과정을 보여주고 있는데 이 경우 각각의 냉동기 형식의 상세 사양은 흡수식 및 터보식 냉동기 선택 창에서 연속적으로 선정하면 되도록 구성하였다.

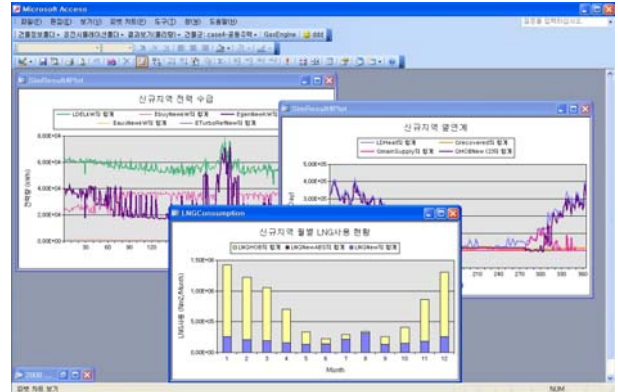
2) 원동기 선택

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.

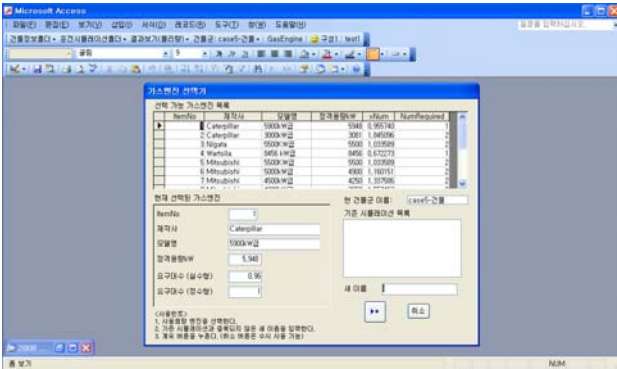
[그림 13]에서와 같이 가스엔진 타입을 선택하게 되면 [그림 14]와 같이 상세 사양 선택이 가능한 창이 나타나도록 되어 있는데 이 중 사용자가 판단하여 가장 적합한 설비를 선택하게 되면 해당원동기의 효율 등의 설비정보가 프로그램에 링크되도록 되어 있다.



[그림 13] 운전시뮬레이션 엔진타입 선정



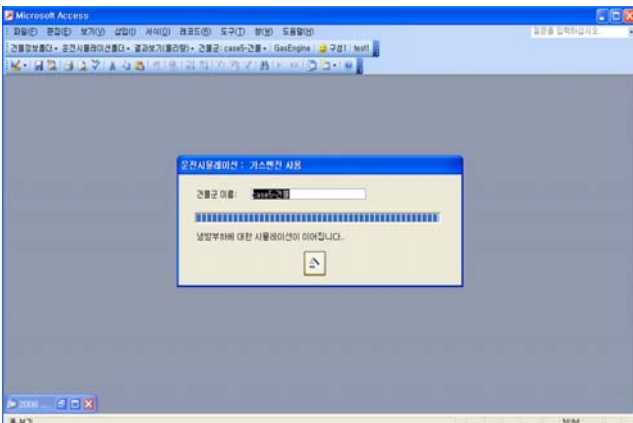
[그림 16] 운전 시뮬레이션 결과



[그림 14] 가스엔진 선택 창

3) 운전시뮬레이션

상기의 과정을 마치게 되면 운전 시뮬레이션이 자동적으로 수행되도록 되어 있는데, [그림 15]는 운전 시뮬레이션 수행과정을 보여주고 있다.



[그림 15] 운전 시뮬레이션 창

[그림 16]은 전체 운전 시뮬레이션이 완료 된 후 결과들의 일부를 도시한 예이다. 시스템 운영과 관련한 각종 물리량들을 조합하여 사용자가 원하는 정보를 일별, 월별 단위로 보여주고 있다.

3. 결론

본 연구에서는 기존 지역난방 공급지역 인근의 신규 CES 수요가 발생했을 경우를 가정하여 운전방식이 상이한 두 수요처간의 열연계를 통한 효율적인 시스템 운영에 관한 타당성 검토를 위한 시뮬레이터 개발과 관련한 내용을 기술하였다.

분석의 신뢰성을 확보하고 시뮬레이션 과정의 복잡성을 피하기 위해 기존 지역난방 공급지역의 열연계로 인한 영향은 실제 지역난방 공급 지사의 연간 운영실적을 바탕으로 에너지(열 및 전기)부하에 대한 연간 부하 및 연료사용량과의 상관관계에 대한 함수를 얻어내어 활용하여 구현하고자 하였으며 신규 CES 지역에서의 설비 운영에 대해서는 원동기 형식별(가스엔진, 가스터빈, 복합발전, 열전가변 가스터빈) 운전 효율 자료를 바탕으로 한 별도 모델링 작업을 통해 시뮬레이션을 수행하였다.

집단에너지 사업의 경제성 및 도입 타당성 검토의 신뢰성과 관련하여 가장 중요한 절차인 수요처별 에너지 수요 예측을 위해 건물 유형별, 에너지부하별 단위 부하모델을 수립하였으며 일별, 시간별 부하 패턴을 반영할 수 있어 보다 현실적인 부하 예측이 가능토록 하였다.

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

운전 시뮬레이션에서는 가스엔진, 가스터빈, 복합발전, 열전가변 가스터빈을 기본 원동기로 구

성하였으며 실제 구매 가능한 제품군의 운전 효율자료를 DB화 하여 시뮬레이션이 가능케함으로써 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 집단에너지 열연계 운전분석 시뮬레이터를 이용한 분석 결과는 추후 게재할 예정이다.

참고문헌

1. 박화춘 외, '소규모 지역냉난방 시스템 시뮬레이터 개발', 2004
2. 임용훈 외, '지역난방 공급지역 인근의 추가수요 개발시 최적의 열공급방안에 관한 연구', 2006