

# A Study for the Methodology of Analyzing the Operation Behavior of Thermal Energy Grids with Connecting Operation

Yong Hoon Im<sup>†</sup> · Jae Yong Lee<sup>††</sup> · Mo Chung<sup>†††</sup>

## ABSTRACT

A simulation methodology and corresponding program based on it is to be discussed for analyzing the effects of the networking operation of existing DHC system in connection with CHP system on-site. The practical simulation for arbitrary areas with various building compositions is carried out for the analysis of operational features in both systems, and the various aspects of thermal energy grids with connecting operation are highlighted through the detailed assessment of predicted results. The intrinsic operational features of CHP prime movers, gas engine, gas turbine etc., are effectively implemented by realizing the performance data, i.e. actual operation efficiency in the full and part loads range.

For the sake of simplicity, a simple mathematical correlation model is proposed for simulating various aspects of change effectively on the existing DHC system side due to the connecting operation, instead of performing cycle simulations separately. The empirical correlations are developed using the hourly based annual operation data for a branch of the Korean District Heating Corporation (KDHC) and are implicit in relation between main operation parameters such as fuel consumption by use, heat and power production. In the simulation, a variety of system configurations are able to be considered according to any combination of the probable CHP prime-movers, absorption or turbo type cooling chillers of every kind and capacity. From the analysis of the thermal network operation simulations, it is found that the newly proposed methodology of mathematical correlation for modelling of the existing DHC system functions effectively in reflecting the operational variations due to thermal energy grids with connecting operation. The effects of intrinsic features of CHP prime-movers, e.g. the different ratio of heat and power production, various combinations of different types of chillers (i.e. absorption and turbo types) on the overall system operation are discussed in detail with the consideration of operation schemes and corresponding simulation algorithms.

**Keywords :** Thermal Energy Grids, Connecting Operation, Simulation Methodology, Combined Heat and Power, District Heating and Cooling

## 열 에너지 그리드 연계운전의 운전 거동 특성 분석을 위한 방법론에 관한 연구

임 옹 훈<sup>†</sup> · 이재 옹<sup>††</sup> · 정 모<sup>†††</sup>

### 요 약

본 연구에서는 스마트 열 그리드의 운영 특성 분석을 위한 기초적인 방법론과 해당 방법론에 근거한 열 그리드 연계운전 분석 시뮬레이션 프로그램에 대해 소개하고자 하며, 특히 기존의 광역 열에너지네트워크에 해당하는 집단에너지 시스템 인근에 소규모 열 그리드가 신규로 연계되어 운전될 경우에 대한 각 시스템별 운영특성 및 주요 운전 변수에 대한 상호 영향에 대해 면밀히 살펴볼 수 있는 시뮬레이션 방법론에 대해 고찰해보고자 한다.

본 연구에서 열 그리드 간 연계운전에 따른 기존의 규모가 큰 열 그리드에 대한 영향은 해당 그리드의 연간 시간별 운영 실적 데이터를 바탕으로 한 경험적 상관관계식을 도출하여 간략히 모델링하고자 하였으며, 신규 그리드에 설치, 운영되는 열원 설비들에 대한 운전 특성은 실제 제품의 운전부하별 운전효율 자료에 대한 DB를 구축, 사용함으로써 시뮬레이션 분석 결과의 신뢰도를 제고하고자 하였다. 또한 본 시뮬레이션 프로그램에서는 해당 수요처의 에너지부하 예측에 있어 건물 유형별로 연간, 시간별로 실측한 데이터를 기반으로 수립된 단위 에너지부하 모델을 이용, 예측함으로써 운전시뮬레이션을 통한 최적화 분석 결과의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

본 연구에서 기 제안된 방법론 및 이에 근거한 시뮬레이션 분석 결과로부터 그리드 상호간 열 거래에 기반한 복수의 열 그리드 운전 특성 분석 방법의 효용성을 확인할 수 있었으며, 향후 수요자 및 열 에너지 공급자간 다양한 정보의 공유를 근간으로 하는 IT 기반 스마트 열 그리드 최적화 분석으로의 확장을 위한 기초 자료를 확보할 수 있었다.

**키워드 :** 열에너지그리드, 연계운전, 분석방법론, 열병합발전, 지역냉난방

<sup>†</sup> 정 회 원 : 한국에너지기술연구원 책임연구원  
<sup>††</sup> 정 회 원 : 한국에너지기술연구원 선임연구원  
<sup>†††</sup> 정 회 원 : 영남대학교 기계공학부 교수

논문접수: 2012년 11월 2일  
 심사완료: 2012년 11월 14일  
 \* Corresponding Author: Yong Hoon Im(iyh@kier.re.kr)

### 1. 서 론

근래 IT기술을 근간으로 하는 스마트 기술화 경향은 전력분야의 스마트그리드 기술과 더불어 열에너지 분야에도 폭넓게 적용되고 있으며 이는 스마트열그리드(혹은 스마트 열에너지네트워크) 기술로의 새로운 개념 정립이 이루어지고 있음을 의미한다. 특히 기존 광역 열 배관망을 이용하는 대표적인 열에너지네트워크 기술분야인 집단에너지(혹은 지역냉난방시스템)기술을 대상으로 한 스마트 집단에너지(Smart DHC) 기술개발이 북유럽국가들을 대상으로 활발히 진행되고 있다.

CHP를 근간으로 하는 집단에너지 기술은 대규모 수요처를 대상으로 하는 열에너지 공급 기술로써 계절별, 시각별 변동하는 수요처의 열 부하에 대응하여 다양한 에너지원, 예를 들어 열병합발전 및 신재생에너지원(태양열, 풍력, 바이오 메스 보일러 등)간 적절한 에너지믹스 구성을 통해 최적의 열 공급 방안을 수립하는 것이 사업성 및 에너지 효율성을 결정 짓는 주요 관건이라 할 수 있으며, 이와 같은 고전적 의미의 열에너지네트워크 기술의 기능에 부가적으로 최신의 IT 기술과의 접목을 통해 수요와 열에너지의 수요, 공급간 불균형에서 발생하는 시스템 운영상 비효율성을 개선하고자 하는 것이 스마트열 그리드의 주요 개념이라 하겠다.

본 연구에서 다루고자 하는 스마트열그리드는 그러나 상기한 광역의 집단에너지시스템 분야에 국한되지는 않으며, 소규모 커뮤니티(Community), 혹은 몇 개 건물들을 대상으로 하는 마이크로 단위의 열 에너지 수요처에도 적용 가능하고, 따라서 수요처의 규모 및 사업모델에 따른 다양한 형태의 스마트 열그리드에 대한 기술개념은 향후 새롭게 정립되어 나아가야 할 것이다.

본 연구에서는 먼저 기존의 광역 열에너지네트워크 분야인 집단에너지사업을 대상으로 기존의 집단에너지 공급 네트워크 인근의 추가 수요, 즉 소규모 신규 열그리드가 형성될 경우 각 그리드(혹은 네트워크)간 상호 운영과 관련한 효율관점에서의 시스템 최적화 기법 및 운전특성 분석을 위한 시뮬레이션 방법론에 관해 기술하고자 한다.

열원을 통한 에너지 생산, 수송, 분배, 사용에 이르는 집단에너지 분야의 광범위하고 복잡한 에너지 흐름을 효과적으로 분석하기 위해서는 해당 단계별 에너지 흐름을 적절히 모델링하는 것이 매우 중요하며, 특히 전체 운영의 특성을 좌우하는 주요 변수를 도출하고, 해당 변수간 상관관계가 정확하게 반영될 수 있는 모델링 작업이 필수적이다.

또한 본 연구에서는 열 그리드 수요처의 에너지부하 예측, 해당 부하를 공급하기 위한 열원 구성, 해당 열원 구성의 연간 운전시뮬레이션으로 단계를 구분하여 분석할 수 있는 시뮬레이션 기법을 적용하고자 하였으며, 임의의 사례에 대한 시뮬레이션 결과의 분석을 통해 제안된 방법론 및 모델링의 타당성에 대해 고찰해보고자 하였다.

### 2. 열 그리드 운전 모델링

#### 2.1 CHP 시스템 운전 모델링

열병합발전시스템(CHP) 기반 열 공급 시스템에 대한 최적화에 있어 당 시뮬레이션 프로그램은 크게 에너지부하 예측 모듈, 운전시뮬레이션 모듈, 경제성 분석 모듈로 구분되며 각 모듈별 연계성 및 시뮬레이션에 대한 흐름은 Fig. 1 에서 보는 바와 같다[1]. 당 시뮬레이션의 궁극적인 목적은 해당 지역의 에너지 부하 공급에 있어 다양한 열원설비, 즉 CHP, 보조보일러, 냉방기(흡수식, 터보식), 신재생에너지설비 등으로 구성되는 최적의 시스템 configuration(안을 도출하는 것이며, 이 때 전체 시스템의 물리적 변수(연료사용량, 에너지 생산량 등)뿐 아니라 Fig. 2에서 보는 바와 같이 온실가스 감축 효과, 시스템 투자비 및 투자회수기간 등 현행의 에너지 원별 가격 구조를 포함한 경제성 측면까지 다양하게 고려할 수 있는 점이 특징이라 할 수 있다. 해당 시뮬레이션은 시간 단위로 이루어지며, 연간 8760 시간에 대한 운전 시뮬레이션 결과를 기준으로 상세 분석이 이루어지게 된다.

시뮬레이션 결과의 신뢰성을 확보하기 위해서는 해당 지역의 에너지부하 예측 단계에서의 정확한 부하 예측이 필수적이라 할 수 있는데, 본 연구에서는 다양한 건물 유형별, 에너지 부하별, 연간 시각별 계측 데이터를 기반으로 수립된 건물 단위부하 모델[2 - 6]을 근간으로 해당 지역의 규모에 따른 총 에너지부하를 예측함으로써 분석결과의 신뢰도를 확보하고자 하였다.

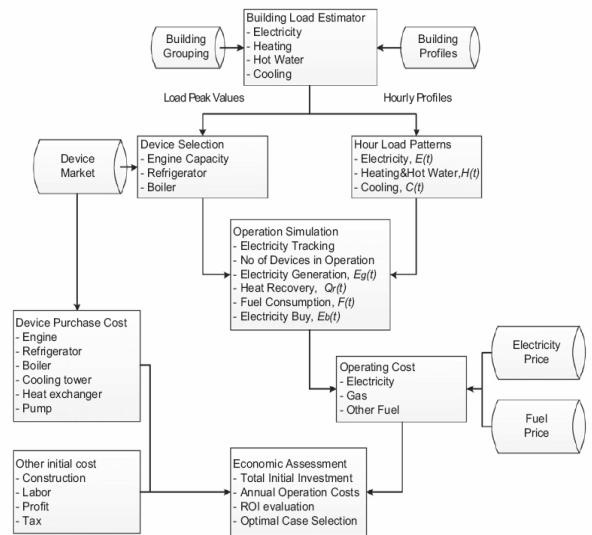


Fig. 1. A simplified flowchart of the overall simulation process [1]

상기 연간, 시각별로 예측된 에너지부하 데이터를 기반으로 상세 시나리오 기반의 운전시뮬레이션이 이루어지게 되는데, 운전시뮬레이션 단계에서는 열(전기)생산, 냉방에너지 생산에 있어 다양한 설비의 구성이 가능하도록 하는 기능이 구현되도록 하였다. 예를 들어 CHP의 경우에는 가스엔진, 가스터빈, 복합사이클, 열전가변형 가스터빈이 각 종류별 다

양한 용량대의 설비의 선택이 가능하도록 하였으며, 실제 시판되는 제품의 사양을 DB화하여 현실적인 시뮬레이션 분석 결과의 도출을 목표로 하였다. 냉방에 있어서도 흡수식, 터보식에 따른 냉방설비 DB를 별도 구축하여 각 시나리오 별로 다양한 설비의 구성이 가능한 특징을 갖고 있다.

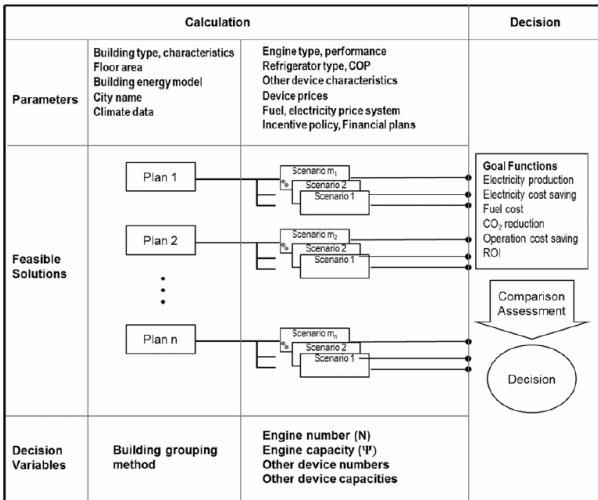


Fig. 2. Overview of Optimization [1]

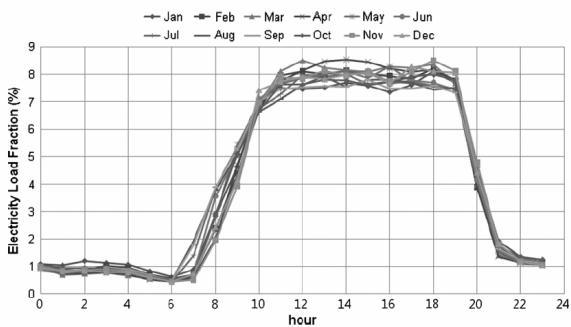


Fig. 3. Hourly unit energy load model for the department store [2]

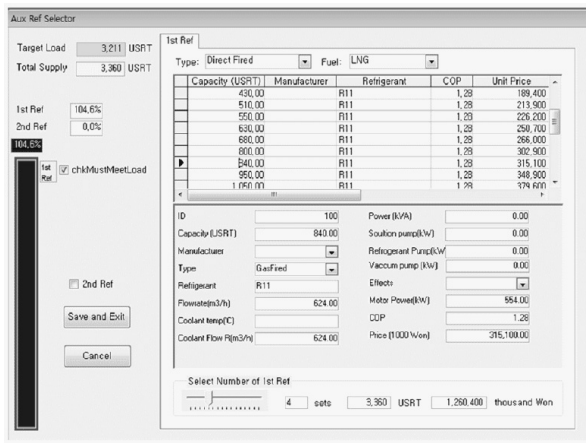


Fig. 4. Device capacity matching panel for the cataloged items

## 2.2 열 그리드간 연계 운전 모델링

본 연구에서는 기존의 열 그리드, 즉 집단에너지 네트워크에 있어, 인근의 열 그리드와의 연계운전에 따른 운전 계획의 변동 및 이에 따른 시스템 운영상의 변화 및 영향을 효과적으로 반영하기 위해 기존 열 그리드의 연간 운전 실적 데이터를 기반으로 한 수학적 상관관계식을 도입, 모델링하고자 하였다[7]. 즉, 기존 열 그리드의 연계에 따른 운전 조건의 변화에 따른 대응 방안은 기존 비 연계시의 열부하 변동에 따른 운전 대응 방안을 따르며, 인근 신규 열 그리드와의 연계운전의 영향이 단순히 기존 지사의 열부하 변동으로 인식된다는 가정을 근간으로 하고 있다. 이러한 가정을 통해 대규모의 설비 구성 및 운영을 고려해야 하는 기존의 열 그리드에 대한 직접적인 시뮬레이션의 부담을 크게 줄일 수 있으며, 또한 해당 지역의 실제 운전 데이터를 근간으로 하는 경험적 상관관계식 도입을 통해 복잡한 시스템에 대한 이론적 시뮬레이션 분석에 기인하는 결과의 불확실성 등을 사전에 배제할 수 있다는 점이 큰 장점이라 할 수 있다.

상기한 기존 열 그리드의 부하에 따른 에너지 생산과 관련한 상관관계식은 다음과 같은 절차를 통해 얻을 수 있으며, 이에 필요한 기존 열 그리드의 운전 실적 데이터를 다음과 같다.

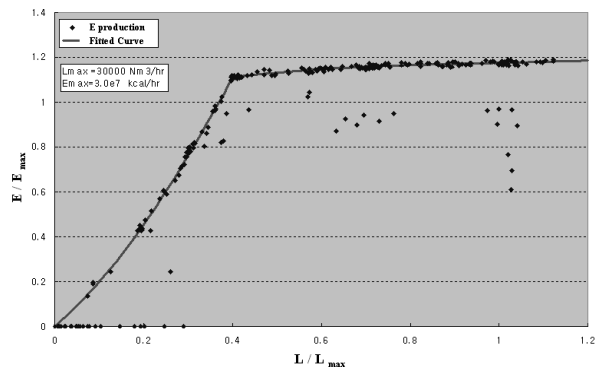
- 연간 일별, 열원(CHP, HOB, 소각설비 등)별 열, 전력 생산 및 판매량
- 연간 일별, 열원(CHP, HOB)별 연료사용량

수학적 상관관계식의 함수 관계는 다음과 같이 주어지게 된다.

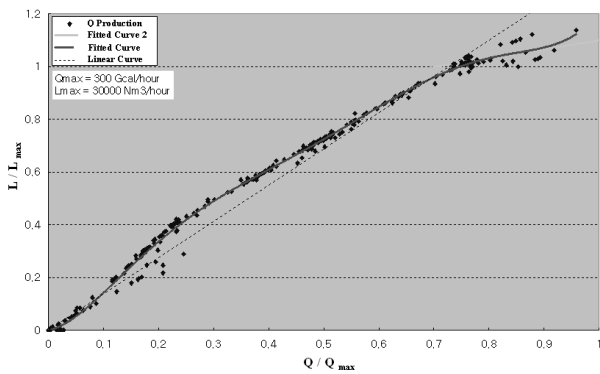
$$F = f(H, P) \tag{1}$$

여기서, F: Fuel consumption  
H: Heating load  
P: Electricity load

Fig. 5는 상기 함수관계식 및 운영 실적 데이터를 바탕으로 도출된 상관관계식을 나타내고 있다.



(a) Electricity production vs. fuel consumption



(b) Fuel consumption vs. Heat production

Fig. 5. Developed correlations for the energy productions vs. fuel consumption

상기 두 관계식은 연료사용량 변수를 중심으로 각각 열 및 전력생산량에 대한 상관관계식을 나타내고 있으며, 연료사용량을 매개 변수로 하여 운전 조건 변동에 따른 기존 열 그리드의 에너지생산량 변화를 손쉽게 파악할 수 있게 된다. 특히 해당 관계식은 실제 대규모 열그리드의 몇 년간의 통계 데이터를 근간으로 도출된 식이므로 경험적 관계식이긴 하지만 상당히 현실적인 신뢰성을 내포하고 있음에 유의할 필요가 있다. 앞서 언급한 바와 같이 기존 열 그리드 입장에서 인근 열 그리드와의 연계 운전에 따른 영향은 열원의 에너지생산 부하의 변동으로 반영되는 것으로 가정하였으며, 따라서 만일 연계 운전의 결과, 해당 시점에서의 비연계시 운전 계획 대비 추가적인 에너지 생산 니즈(Needs)가 발생할 경우 해당 부하에 대한 비연계시의 기존 운영 에너지 생산 조건상에서의 시스템 운영 조건이 변화 되는 것을 의미하게 된다 [7].

3. 열 그리드간 연계 운전 시뮬레이션

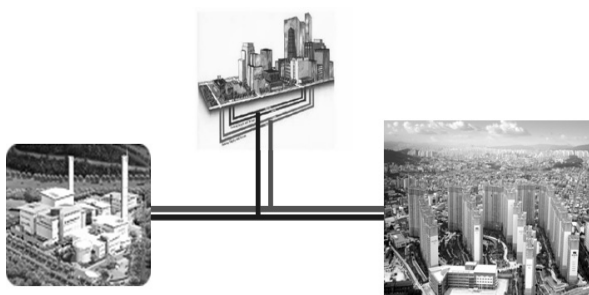
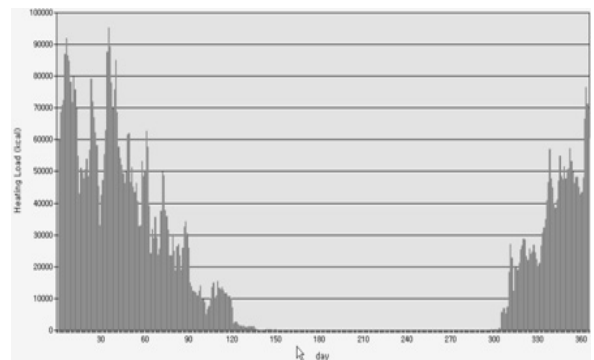


Fig. 6. Schematic for networking operation of two distinct thermal grids

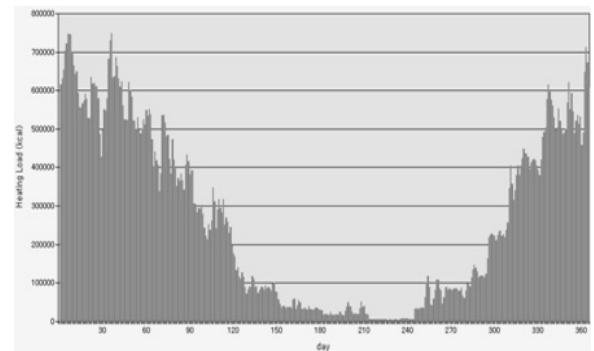
Fig. 6은 본 연구에서 다루고자 하는 기존 지역난방 공급 지역과 신규 CES 사업지역 간 연계 시스템의 개략도를 나타내고 있다. 지역난방 공급지역의 인근에 소규모 CES 사업이 가능한 수요처가 발생했을 경우 단독 열원을 구성하여 운영할 수도 있겠으나 인근에 기존 지역난방 배관망이 인

근에 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 필요하다. 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[8].

상기한 서로 다른 사업운영 특성을 갖는 두 개의 열 그리드간 연계 운전시 발생할 수 있는 운전특성 및 거동 변화를 살펴보기 위해 신규지역의 건물 구성이 서로 상이한 사례, 주거용 건물로 구성된 경우(Case A)와 비 주거용 건물로 구성된 경우(Case B), 에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며 해당 결과를 간략히 정리하면 아래와 같다.

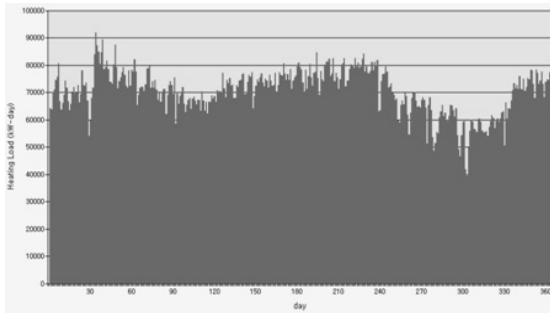


(a) Case A

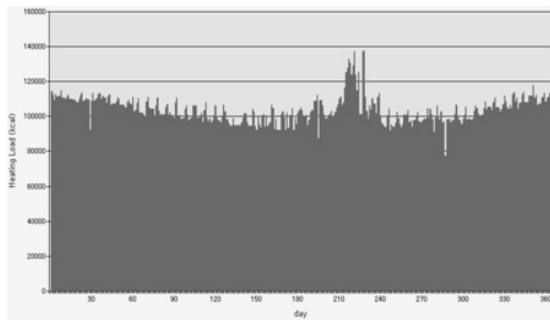


(b) Case B

Fig. 7. Comparison of energy load prediction: heating load



(a) Case A



(b) Case B

Fig. 8. Comparison of energy load prediction: elec. load

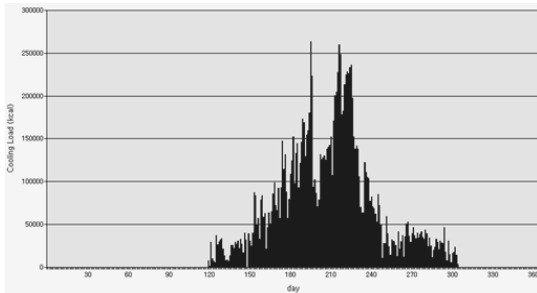
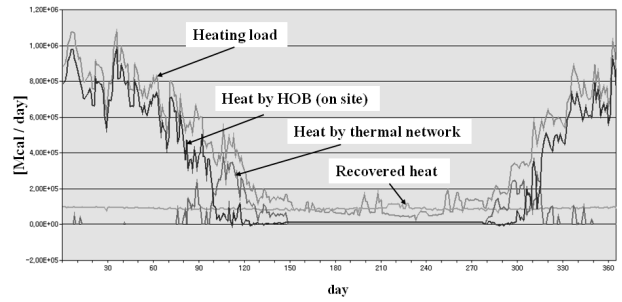


Fig. 9. Comparison of energy load prediction: cooling load (Case B)

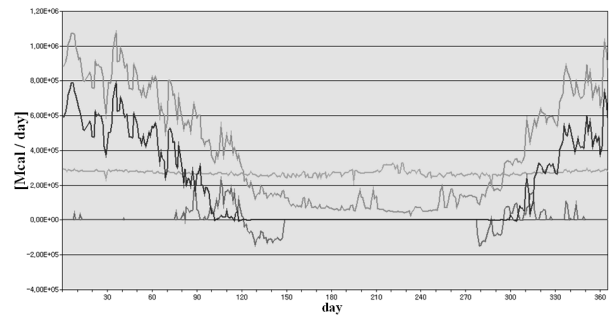
앞서 언급한 바와 같이 건물 유형별 수립되어 있는 단위 부하 모델을 이용하여 각각의 건물구성 및 규모에 따른 해당 수요처의 에너지부하에 대한 연간, 시각별 분포를 Fig. 7 ~ Fig. 9에 각각 나타내었다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 공동주택 등 주거용 건물로만 구성된 경우에는 냉방부하가 전력부하에 포함되어 있음에 유의하기 바란다.

### 3.1 운전시뮬레이션 결과

Fig. 10에서는 공동주택만으로 구성된 수요처의 연간, 시각별 열 부하와 두 개의 다른 원동기타입(가스엔진, 가스터빈)별 전기부하추종 운전 기준, 생산되는 잉여배열량, 그리고 연계된 열 그리드를 통해 공급되는 열 공급량을 나타내고 있다. 주목할 점은 동절기에는 기존의 열 그리드 운영에 있어서도 잉여의 배열이 좀처럼 발생하지 않으므로 신규 지역으로의 열 연계는 발생하지 않고 있음을 알 수 있는데 이는 신규 지역으로의 공급 가능한 잉여 열량이 발생하지 않기 때문이다.



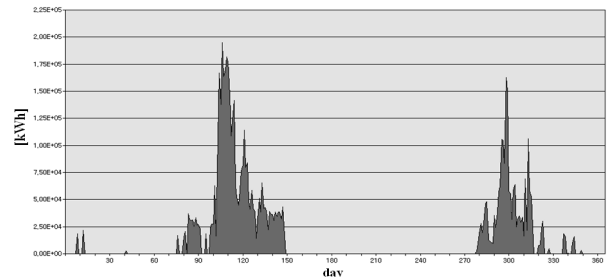
(a) Gas engine



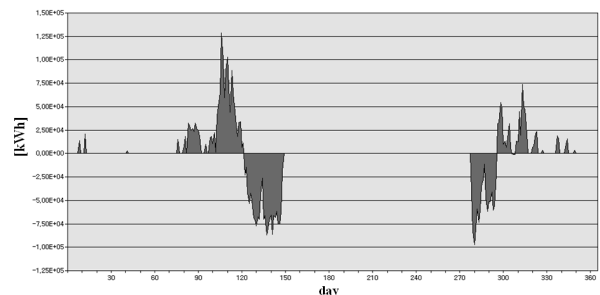
(b) Gas turbine

Fig. 10. Annual thermal energy supply and demand operating condition for newly developing area

기존 열 그리드로부터의 열 연계를 통한 공급은 주로 춘추절기에 발생하고 있음을 알 수 있으며, 원동기 타입별로 발생하는 폐열량이 각기 상이하므로 열 에너지 수급의 균형을 맞추기 위해 기존 열 그리드로부터의 수열량 또한 서로 상이함을 또한 알 수 있다.



(a) Gas engine



(b) Gas turbine

Fig. 11. Detailed variation of electricity production on the existing DHC system side according to CHP prime mover



이러한 두 개의 열 그리드 연계 운전은 Fig. 11에서 보는 바와 같이 기존 열 그리드의 열원 운전조건 변동을 살펴보면 확연하게 구분할 수 있는데, 기존 열 그리드의 열원을 추가 가동하여 추가적으로 생산되는 전력 생산량을 살펴보면, 가스엔진의 경우 춘추절기에 전력생산량이 증가함을 볼 수 있다. 반면, 가스터빈의 경우 열원에서의 전력생산이 증가하는 시점과 감소하는 시점이 혼재되어 있는데 이는 가스엔진 대비 많은 양의 폐열이 발생하는 가스터빈의 특성에 기인한 것이라는 점에서 신규 지역 열 그리드의 열원 구성이 전체 열 그리드 간 연계 운전에까지 일정부분 큰 영향을 끼치고 있음을 알 수 있다.

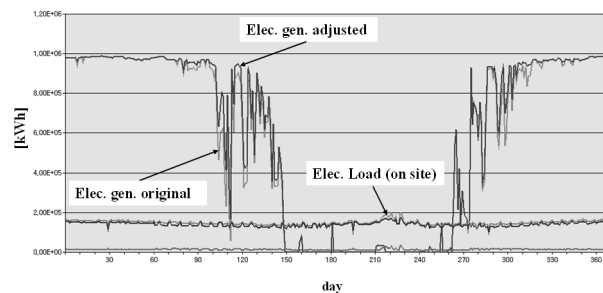


Fig. 12. Variation of electricity production on existing DHC system side due to thermal networking operation

Fig. 12에서는 연계 운전시 기존 열 그리드의 연계 전·후의 전력생산량 변화를 보여주고 있다.

비 거주용 건물들로 구성되는 경우에 대한 열 그리드간 연계 운전의 결과를 정리하면 다음과 같다.

Fig. 13에서 보는 바와 같이 업무용 건물 등 비 거주용 건물의 경우 열 부하보다는 전력부하의 비중이 크고 하절기 냉방부하의 추가 존재로 인해 보다 복잡한 양상의 운전 거동이 나타나게 된다. 특히 신규지역의 열원에서 발생하는 폐열만으로도 동절기 열 부하를 감당할 만큼의 열 에너지 공급의 균형 이루어짐을 물론이고, 경우에 따라서는 오히려 동절기에도 신규 열그리드에서의 잉여 폐열이 남게 되어 기존 열 그리드로의 열 에너지 흐름이 발생하게 되는 특징을 확인할 수 있다.

따라서 Fig. 14에서 보는 바와 같이 잉여의 폐열량이 많이 발생하는 춘추절기에 기존 열 그리드에 위치한 열원의

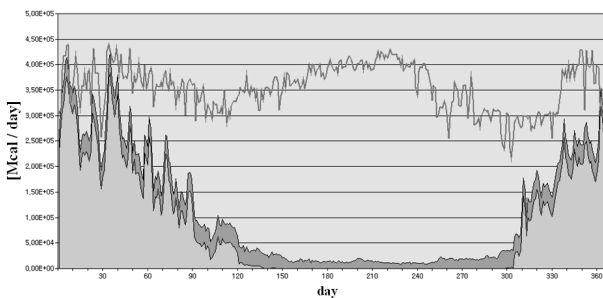


Fig. 13. Heating load and recovered waste heat for gas turbine CHP

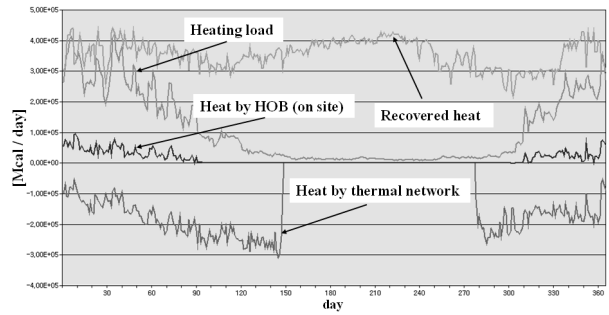


Fig. 14. Annual thermal energy supply and demand operating condition for newly developing area

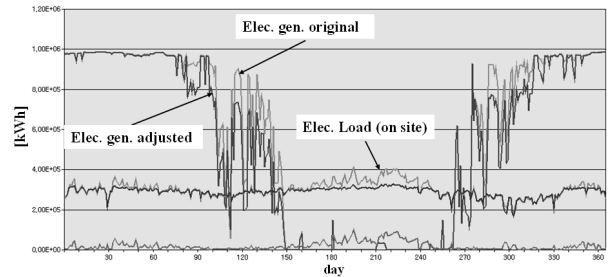


Fig. 15. Variation of operating conditions due to thermal networking operation on the existing DHC system side

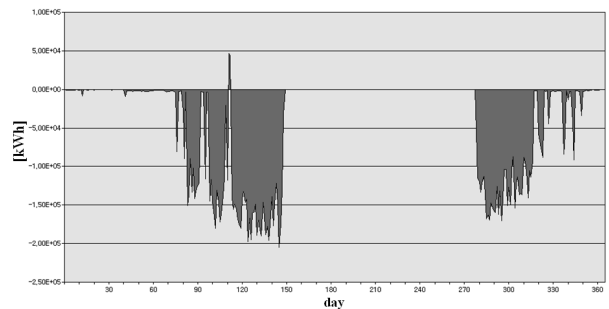


Fig. 16. Detailed variation of electricity production due to thermal networking operation on the existing DHC system side

가동비율이 크게 줄어드는 효과를 유발하게 되는데 이는 결과적으로 해당 기간의 전력생산 또한 크게 감소하는 양상을 야기함을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 Fig. 16에서 연계 전후의 기존 열 그리드 열원에서 생산되는 전력생산량 비교에서 확연히 드러남을 알 수 있다.

상기한 바와 같이 기 제안된 기존 열 그리드의 연계 운전 에 따른 운전 상태의 변화 및 신규 열 그리드의 열원 가동에 따른 상호간 운전 거동의 변화를 기반으로 한 시뮬레이션을 통해 Fig. 17에서 보는 바와 같이 연중 각 열원 설비별 소요 되는 연료 사용량 등의 물리적 변수 정보를 얻을 수 있다.

시스템 운영 형태가 다른 두 개의 상이한 열 그리드 연계 운전시 신규 열 그리드에 대한 최적의 열원 구성안 도출은 Fig. 2에서 설명하는 바와 같이 상기 습득한 물리적 변수에 대한 정보 및 실제 시장에서 적용되는 다양한 가격 체계를

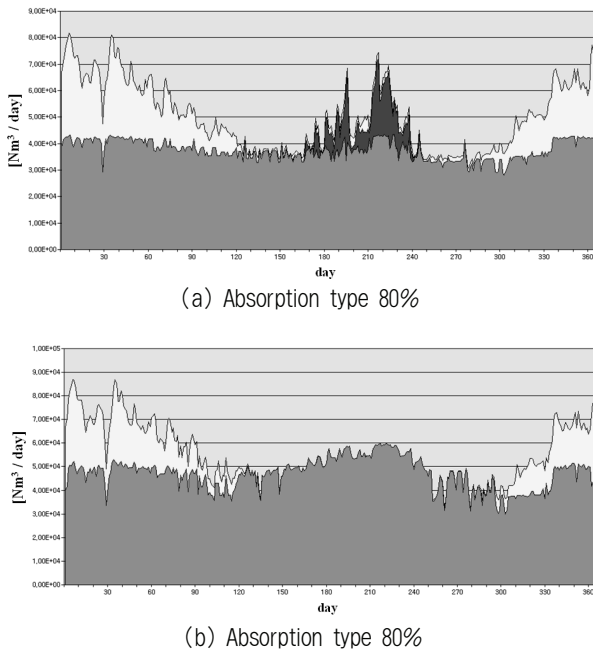


Fig. 17. Annual LNG consumption rate by use for different responsibility by absorption type cooling

도입하여 다양한 기준을 적용한 최적의 시나리오 도출이 가능하게 된다. 일례로 신규 열 그리드에서의 운영 비용 측면에서의 최적 시나리오 도출은 상기 시뮬레이션을 통해 예측된 물리적 변수에 현행의 전력 및 열 판매가격, 연료 가격 체계를 적용함으로써 건물 구성, 냉방 비율, 부하 규모 및 원동기별 분석 결과의 도출이 가능하게 된다.

Fig. 18에서 보는 바와 같이 가스엔진의 경우는 공동주택 및 건물로 구성된 수요처에 대해 열공급 규모가 20Gcal/h 이상인 조건에서 운영상의 경제성이 발생하고 있음을 알 수 있으며, 비 주거용 건물로만 구성되어 있는 경우는 50Gcal/h 이상인 조건에서 냉방의 조건에 상관없이 운영 경제성이 발생하는 반면, 그 이하의 조건에서는 흡수식 냉방설비의 비중에 따라 선택적으로 운영 경제성이 발생하고 있음을 알 수 있다. 최종적인 경제성 분석 결과는 투자비 대비 발생하는 이익을 기준으로 한 LCC 분석 등을 통해 보다 상세하게 진행될 수 있으나 상세한 기술은 생략하기로 한다.

|            | Residential Build. + Non residential Build. |            |            |            | Non residential Build. only |            |            |            |
|------------|---|------------|------------|------------|-----------------------------|------------|------------|------------|
|            | Cooling system config.                      |            |            |            | Cooling system config.      |            |            |            |
|            | Absorb. 20                                  | Absorb. 40 | Absorb. 60 | Absorb. 80 | Absorb. 20                  | Absorb. 40 | Absorb. 60 | Absorb. 80 |
| 5 Gcal/hr  | NA  |            |            |            | NA                          |            |            |            |
| 10 Gcal/hr | NA  |            |            |            | -11.2                       | -10.3      | -10.6      | -9.7       |
| 20 Gcal/hr | 1.0   | 1.5        | 1.9        | 2.1        | -6.1                        | -3.1       | 3.6        | 4.1        |
| 30 Gcal/hr | 3.3   | 3.9        | 4.9        | 5.1        | -3.6                        | 2.8        | 4.7        | 2.1        |
| 50 Gcal/hr | 3.6   | 6.6        | 8.0        | 8.1        | 5.8                         | 4.6        | 4.8        | 7.2        |
| 75 Gcal/hr | 6.8   | 5.7        | 7.8        | 7.3        | 5.2                         | 3.5        | 8.2        | 9.2        |

Fig. 18. Comparison of operational costs in terms of various parameters (Gas Engine)

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존 집단에너지 기반 열 그리드와 인근의 신규 수요처에서 새롭게 형성되는 열 그리드 간 연계 운전 에 따른 운전 거동 및 신규 수요처에서의 최적 열원구성안 도출을 위한 분석 방법론 및 시뮬레이션 기법에 대해 소개하고, 실제 사례에 적용한 분석 결과를 통해 해당 프로그램의 유용성에 대해 고찰해보고자 하였으며 본 연구에서 적용된 방법론의 주요 특징은 다음과 같다.

- 기존 열 그리드를 대상으로 신규 열 그리드와의 연계 운전의 영향을 반영하기 위해 기존 열 그리드의 실제 연간 운전데이터에 근거한 간략한 형태의 경험적 상관관계식을 도출 적용하고자 하였음.
- 열 그리드에 적용되는 열원 설비의 현실적인 운전 거동의 변화를 예측하기 위해 열원 및 기타 냉방 설비 등에 대한 실제 제품의 운전 DB를 구축, 적용함으로써 예측 분석 결과의 신뢰도 및 현실성을 제고하고자 하였음.

다양한 설비구성 및 연계 운전의 특성을 반영한 두 개의 열 그리드간 연계 운전 시뮬레이션 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- CHP 열원타입별 운전 특성에 따라 부하추종에 따른 잉여 폐열의 생산량에 큰 차이가 발생하고 있으며, 이와 연동하여 각 열 그리드의 열 부하 수급의 불균형에 따른 연계 열량의 특성에 큰 차이가 발생하고 있음을 확인 하였음.
- 사업 형태가 다른 두 개의 열 그리드 간 열 연계는 춘·추 절기에 주로 발생하고 있음을 확인할 수 있었으며, 신규 지역의 건물 유형에 따라 잉여열 발생의 행태가 달라지고 이에 따른 연계 운전의 특성이 크게 영향을 받는 것을 확인하였음.
- 기 제안된 열 그리드 연계 운전 분석 방법론 및 시뮬레이션 방법의 적용을 통해 얻어진 결과의 분석을 통해 적용 방법의 물리적 타당성을 확인 할 수 있었으며, 시뮬레이션에서 예측된 물리적 변수를 이용, 다양한 형태의 최적화 분석 수행이 가능함을 확인하였음.

본 연구를 통해 양방향 열거래 등 향후 수요자와 공급자 간 상호 작용이 보다 복잡한 양상으로 전개될 것으로 예상되는 스마트 열 그리드 시스템의 효과적인 분석을 위한 기제안된 시뮬레이션 기법 및 방법론의 타당성을 확인 할 수 있었으며 IT 기반 스마트 열 그리드 최적화 분석으로의 확장을 위한 기초 자료를 확보할 수 있었다.

#### 참고 문헌

[1] Mo Chung and Chuhwan Park et al., "A decision support assessment of cogeneration plant for a community energy

system in Korea”, Energy Policy, Vol.47, pp.365-383, 2012.

[2] Mo Chung and Hwa-Choon Park, “Building energy demand patterns for department stores in Korea”, Applied Energy, Vol.90, pp.241-249, 2012.

[3] H. C. Park, S. S. Lee, D. J. Kim, “Development of energy models for department stores”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.15, pp.1088-94, 2003.

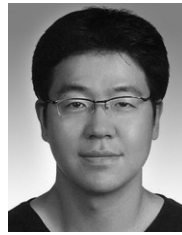
[4] H. C. Park, M. Chung, “Building load models for hotels in Korea”, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 29, pp. 48-57, 2009.

[5] H. C. Park, “Development of weighting factors for variables associated with hourly energy consumption pattern for hotels in Korea”, SAREK (Soc. Air-conditioning, Ref., Engineers of Korea) Winter Annual meeting, pp.76-82, 2002.

[6] H. C. Park, “Analysis of energy loads for hospital buildings”, SAREK journal, pp.1088-93, 2002.

[7] Yong Hoon Im, Hwa-Choon Park et al., “Analysis for the operational behaviour and optimization of CHP system in district heating and cooling network”, in Proceedings of the 12<sup>th</sup> int. symposium on DHC, pp.157-167, 2010.

[8] Y. H. Im, H. C. Park, M. Chung, “A study of optimal heating supply systems for the newly developing area in the vicinity of DHC system supplying area”, Report to Korea District Heating Corporation, 2006.



### 임 용 훈

e-mail : iyh@kier.re.kr

2003년 포항공과대학교 기계공학과(박사)

2004년~현 재 한국에너지기술연구원

책임연구원

관심분야: 에너지그리드, 열 에너지네트워크, 열병합발전



### 이 재 용

e-mail : jylee@kier.re.kr

2003년 인하대학교 기계공학과(박사)

2003년~2008년 삼성종합기술원

2008년~2011년 University of Cincinnati

2012년~현 재 한국에너지기술연구원

선임연구원

관심분야: 에너지그리드, 열 에너지네트워크, 열병합발전



### 정 모

e-mail : mchung@yu.ac.kr

1990년 UCLA 기계공학과(박사)

1992년~현 재 영남대학교 기계공학부

교수

관심분야: 집단에너지 시스템 최적화 및 경제성 평가, 산업체 잉여열 이용, 연료다변화