

건물 단지에 대한 에너지 수요 예측 프로그램 개발

정모*, 박화춘**, 임용훈***

*영남대학교 공과대학 기계공학부(mchung@yu.ac.kr), **한국에너지기술연구원 (hcpark@kier.re.kr),
***한국에너지기술연구원 (iyh@kier.re.kr)

Development of a Building Energy Demand Estimator

Chung, Mo*, Hwa Choon**, Park, Yong-Hoon, Im***

*Dept. of Mechanical Eng, Yeungnam University (mchung@yu.ac.kr),
**Korea Inst Energy Research (hcpak@kier..re.kr),
***Korea Inst Energy Research (iyh@kier..re.kr),

Abstract

A Microsoft Access application program is developed to calculate energy demands for a Community Energy System (CES) composed of various types of buildings. The field-measured heating, hot water, cooling, and electricity energy consumptions for 14 types of building are systematically organized in forms of database and hourly loads for a span of year (8760 hours) are generated through an automated statistical procedure. User-friendly standard windows interfaces are provided to assist non-expert end users.

Keywords : 건물 에너지 부하 (Building energy load), 집단에너지(Community Energy), 컴퓨터 프로그램 (Computer program), Access 응용프로그램

기 호 설 명

H : 시간별 에너지 사용 패턴
Y : 일별 에너지 사용 패턴
Q : 에너지 사용량 (Mcal/h)

1. 서 론

우리나라에서 건물이 소비하는 에너지가 산업 부분을 제외한 47.5%에 이르는 만큼 건물에서의 에너지 절약은 대단히 중요하다. 건물에서의 에너지를 줄이는 여러 가지 방법 중 에너지 소비자들의 특성을 고려하여 현명하게 그룹화하고 설비나 장치를 집중화하는 것은 주어진 자원을 최적화하여 사용한다는 측면에서 에너지 절약 효과가 뛰어나다. 일

접수일자 : 2009년 03월 23일, 심사완료일자:2009년 03월 00일
교신저자 : 정모(mchungr@yu.ac.kr)

반적으로 건물에 필요한 급탕, 난방, 냉방 등의 열부하와 전기 부하의 시간에 따른 패턴을 건물의 건축 방식과 단열 시공 방법 외에도 건물의 유형 및 사용 방식 거주자의 행동 특성에 따라서도 변하므로 체계적으로 파악하기가 쉽지 않다.

산출에 따른 여러 가지 제약과 어려움이 있음에도 불구하고 전세계적으로 꾸준히 건물 부하를 예측하는 방법이 개발되어 왔고 연구 결과를 상용화한 패키지도 많이 출시되었다.⁽¹⁾ 그러나 국외에서 개발된 유명 프로그램을 국내에서 사용할 경우 우리나라 고유의 건축 양식이라든지 사회 관습이 계산에 제대로 반영되지 못한 관계로 만족할 만한 정확도를 얻기가 쉽지 않았던 것도 사실이다. 특히 다양한 건물들로 구성된 건물군에 대하여 이들 프로그램을 사용하려면 입력하는데 많은 시간과 노력이 드는 반면 계산의 정확성과 관련된 문제들이 해결되지 못한 관계로 여전히 정확도에 의문을 가지게 되는 경우가 많다. 이런 문제점을 인식하여 일부 국내 연구 집단에서 실제 존재하는 건물에 대하여 에너지 사용 실적을 수집 분석하고 필요한 경우 실측을 통하여 우리나라 현실에 맞는 자료를 지속적으로 경주하고 있다⁽²⁾⁻⁽⁶⁾. 이렇게 수집한 자료에 대한 실무자들의 일반적 반응은 외국에서 개발한 유명 프로그램 계산 결과보다 더 현실성 있다는 평가가 지배적이다.

본 논문에서는 그간 실측을 통하여 수집한 방대한 자료를 실무선에서 사용하기 편리하도록 프로그램화하는 것에 대한 것으로 가능하면 사용자 입장에서 편리하도록

- 자료를 간편하고 실수 없이 입력하고
- 계산 결과를 도표를 통하여 손쉽게 검토할 수 있으며
- 후속 작업에 사용이 용이하도록 다른 프로그램으로 이송이 편리하고
- 사용자들에게 익숙한 소프트웨어 표준 인터페이스 제공으로 프로그램 사용에 따른 학습 시간 단축할 수 있도록 배려하였다.

2. 건물 부하 모델

그림 1에서 보듯 에너지를 소비하는 각 구성원들은 전기와 열로 대변되는 에너지를 에너지 공급 시스템으로부터 공급받게 된다. 이 때 에너지를 소비하는 주체는 여러 가지 유형의 건물들로 구성되며 이것을 "프로젝트" 라는 개념을 써서 나타낼 수 있다. 따라서 각 프로젝트는 한 개 또는 여러 개의 건물로 구성되며 에너지 공급 입장에서 보면 하나의 에너지수급 집단화 방법에 해당된다고 볼 수 있다. 동일한 건물 군을 놓고 볼 때 기획 단계 초기에서 이들 건물들을 어떻게 집단화할 것인가 하는 방법 하나 하나가 독립된 프로젝트로 표현될 수 있다.

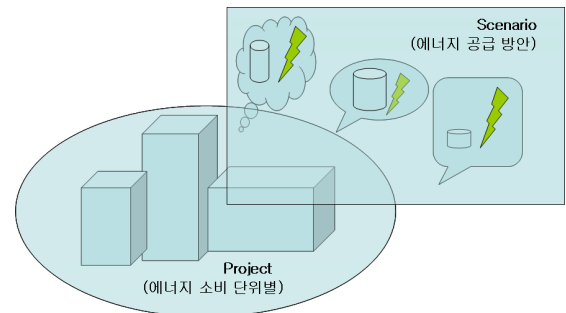


그림 1. 건물에너지 수급에 대한 모델

시뮬레이션 관점에서 볼 때 프로젝트가 정의되면 이에 따르는 장치부하나 운전부하가 계산될 수 있기 때문에 에너지를 공급하는데 필요한 장치들을 선정할 수 있고 선정된 장치로 가상적인 운전을 수행해볼 수도 있는 준비를 마치게 된다. 일반적인 에너지 분석 과정은 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 분석 대상 지역을 선정하고 각 건물에 대한 기초적인 변수에 대한 값을 정하여 '프로젝트'를 정의한다.
2. 프로젝트에 대하여 건물 별 냉난방 요구 조건과 실외 조건을 고려하여 건물에 대한 '장치부하'를 전기, 냉방, 난방, 급탕

등 에너지 사용 유형별로 구한 다음 각 건물에 대하여 에너지 유형별 합계를 산출하여 ‘장치부하’를 구한다.

3. 각 건물이 1년 주기로 사용될 때 필요한 에너지량을 급탕, 난방, 냉방, 전기 등의 에너지 유형에 대하여 시간의 함수로 표현한 ‘운전부하’를 건물의 유형과 에너지 유형에 따라 산출한다. 이것을 에너지 유형별로 건물에 대하여 합계를 구하여 ‘전체운전부하’를 산출한다.

2.1 부하산정

프로젝트에 포함할 건물들이 정해지면 이들 건물 집단에 대한 장치부하와 운전부하를 계산할 수 있게 된다. 본 연구에서는 통계학적 기법을 사용하여 이들 부하들을 산정한다. 장치부하와 운전부하는 건물정보에 따라 달라진다.

2.1.1 장치부하 산정

에너지 이용 시스템에 대한 장치부하 산출에는 여러 가지 방법이 사용될 수 있으나 본 연구에서는 부하 유형을 급탕, 난방, 냉방, 전기의 4개 항목으로 구분하고 에너지 사용 단지 내 모든 건물에 대하여 이들 4개항을 각각 산출한 다음 그 합계를 구하는 방식을 사용했다. 개별 건물 별 장치부하는

$$\bar{Q}_j^E = A_j \alpha_{Ej} \bar{q}_{Ej}$$

로 표시되며 여기서 A 는 건물 면적, \bar{q} 는 단위 부하, α 는 동시 부하율과 면적율의 곱을 나타낸다. 첨자 E 는 부하 유형을

E=1 : 급탕

E=2 : 난방

E=3 : 냉방

E=4 : 전기

를 통해 나타내고 첨자 j 는 각 건물을 나타낸다. 사용할 단위부하와 동시부하율, 면적율 등은 별도의 연구를 통하여 산출한 후 업계의 실무적 검증을 마친 자료를 사용하기 때

문에 업체의 관행과 일치한다. 장치 부하가 산출되는 과정은 다음과 같다.

1. 입력된 건물 정보에서 단위부하 동시부하율, 면적율은 각 부하 유형별로 Sorting한다.
2. 제1단계에서 sorting한 각 부하 유형 항목

($E=1,2,3,4$) 내에서 $\bar{Q}^E = \sum_{j=1}^{\text{건물수}} \bar{Q}_j^E$ 의 합산 공식을 통해 구한다.

2.1.2 운전 부하 산정

그림 2는 운전부하 모델에 대한 기본 구조를 보여주고 있다. 본 프로그램에서 채용한 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 형태별로 365일 년간 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 시간

별 부하패턴 $H_{ij}^E(h)$ 를 현장 조사를 통해서 경험적 실측치를 조사한다.

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

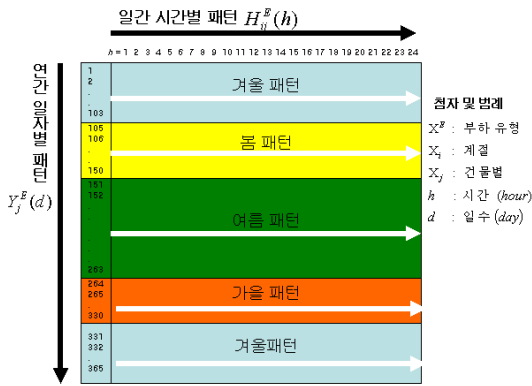


그림 2. 운전부하 모델의 기본 구조

본 프로그램에서는 건물의 특성에 따라 운전 부하가 달라지는 점을 다음과 같은 인들에 대한 교정인자를 사용하여 계산에 반영하였다.

- 지역
- 단열성능
- 건물 방위
- 건물 장단변비
- 열원공급방식
- 공조방식
- 건물의 호화도

운전부하를 산출하는 일련의 과정은 여러 가지 인자가 복합적으로 포함되어 있고 절차가 복잡하여 사용자가 개별적으로 계산하는 데는 실수와 오류의 여지가 있어 프로그램 내부에서 정확하게 처리할 수 있도록 만들면 매우 편리하다. 본 프로그램에서는 일련의 계산 과정을 데이터베이스 조작을 통하여 전산 처리하며 대략 다음과 같은 순서를 거친다.

1. 입력된 건물 정보를 cross-tab query로 처리하여 백화점, 병원, 스포츠센터, 아파트, 업무용 빌딩, 호텔을 가로 항목으로 하고 전기, 냉방, 난방, 급탕을 세로 항목으로 한 후 해당 셀에 건물 별 가중치와 면적을 곱한 값을 합해서 구한 면적 가중치의 합을 나타낸다.
2. 운전 부하를 전기, 냉방, 난방, 급탕으로 구분하여 연간 8760 시간에 대한 자료를

저장할 수 있도록 초기화한다.

3. 가장 바깥 loop에 업종 별 합계를 구할 수 있도록 $Y_j^E(d)$ 를 배정하고 계산하려는 업종을 선정한다.
4. 다음 안쪽 loop에서는 날짜를 1-365까지 변화시키면서 해당 날짜에 해당하는 계절 i 에 해당하는 $H_{ij}^E(h)$ 가 선정되도록 한다.
5. 맨 안쪽 loop에는 시간이 1에서 24까지 변하는 loop를 두고

$$Q^E(h) = \sum_{j=1} A_j^E Y_j^E(d) H_{ij}^E(h) \text{ 을 써서 구한다.}$$

운전 부하의 산정에 필요했던 $Y_j^E(d)$, $H_{ij}^E(h)$ 등 함수는 본 프로그램을 개발하는 연구진에서 다년간 별도의 연구를 통하여 수집 정리하고 검증된 거친 자료로서 재산성 자료에 속한다.

3. 건물 부하 계산 프로그램 개발

자료의 구조적 특성과 장차 운전 시뮬레이션 및 경제성 분석과 연계시킬 경우를 대비하여 데이터베이스 응용 프로그램 형태로 개발하기로 하였다. 데이터베이스를 쓰면 원본 자료는 테이블로 계산은 쿼리 형태로 분리하여 관리할 수 있어 유지 보수가 편리할 뿐 아니라 관계형 데이터베이스 기술의 장점을 이용하여 자료의 분량을 최소로 만들어 유지 보관할 수 있다. MS오피스 제품의 일부인 Access를 쓰는 경우 각종 분석 도구가 추가적으로 제공될 뿐 아니라 Excel 등 다른 프로그램과의 연계 작업도 매우 수월하다. 더구나 자체 제공되는 개발툴인 Visual Basic Application을 이용하여 프로그램을 확장할 경우 상당히 복잡한 계산도 체계적으로 수행할 수 있게 된다.

대부분의 계산이 사용자에게는 노출되지 않은 상태에서 진행되므로 계산의 알고리즘

을 설명하기 보다는 프로그램 사용자 입장에서 중요한 메뉴와 인터페이스 및 계산 결과를 보여주는 도표를 보여주기로 한다.

3.1 프로그램 메뉴 구성

독립형 응용 프로그램으로 개발된 본 프로그램을 실행하면 그림 3에 보여준 것과 같은 인사창과 메뉴 모음을 볼 수 있다.

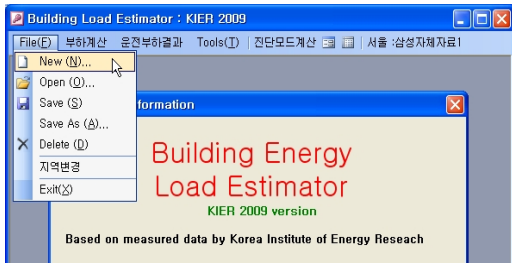


그림 3. 프로그램의 메뉴 구성

메뉴는 통상의 파일관리 및 지역 변경, 부하 계산 명령 수행, 계산 결과 열람 및 현재 진행 중인 계산에 대한 안내를 표시하는 아이콘 및 문자 등으로 구성되어 있으며 Windows의 표준에 맞게 설계 하여 오피스 제품에 익숙한 사용자라면 별도의 교육 없이도 사용할 수 있을 정도로 직관적이고 간편하게 구성하였다.

3.2 자료의 입력

그림 4에서 보는 것처럼 건물에 대한 정보는 건물 각각이 별도의 레코드 형태로 입력된다. 건물을 구분하기 위한 이름, 면적, 사용 목적, 단열 정도 등을 차례로 입력하면 되는 데 입력의 정확성을 높이기 위해 변수에 따라서는 이미 지정된 항목 중에서만 선택이 가능하도록 한 변수도 있다. 그림에서처럼 건물의 용도는 이미 지정된 14가지 형태 중 하나를 선택하도록 만들었다.

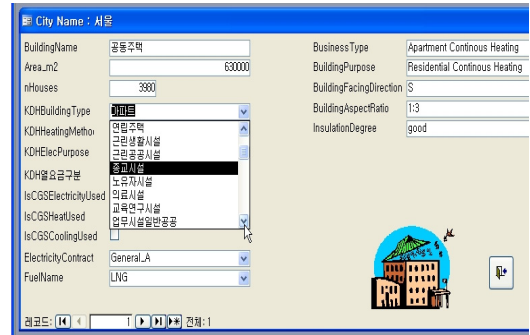


그림 4. 자료 입력 창의 작업 모습

프로젝트에 소속된 모든 건물에 대한 정보 입력을 마치고 '부하계산' 메뉴를 통하여 계산 명령을 내리면 계산이 수행되어 '파일' 메뉴에서 지정한 위치에 계산 결과가 저장되고 '운전부하결과' 메뉴를 통하여 원하는 자료를 열람할 수 있으며 'Tools' 메뉴를 통하여 다른 프로그램으로 계산 결과를 이송할 수도 있다.

4. 결과 및 검토

계산 결과는 그림 5-7에 보여준 것처럼 도표 형태로 나타내거나 테이블 형태로 나타낼 수 있도록 배려하였다. 특히 장치 선정과 관련하여 부하의 변화폭을 알아야 하는 경우 편리하도록 급탕, 난방, 냉방, 전기에 대하여 각각 그림 7에 보여준 것과 같은 누적 곡선을 제공함으로써 부하의 특성을 파악하는데 도움을 주고 있다. 본 프로그램에는 자체 보유 부하 모델 이외에도 사용자가 수집한 별도 자료가 있는 경우 그것을 활용하여 작업하는 진단 모드도 제공하여 계산의 신뢰도를 높일 수 있도록 배려하였다.

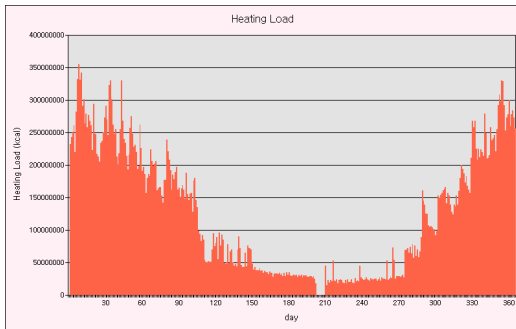


그림 5. 난방 부하 계산 결과의 예

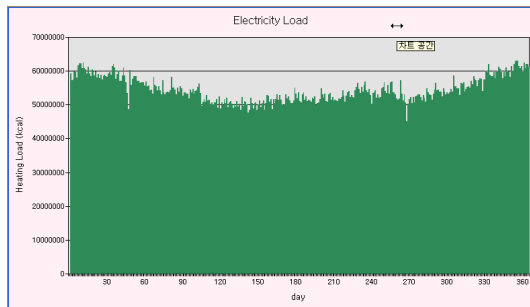


그림 6. 전기 부하 계산 결과의 예

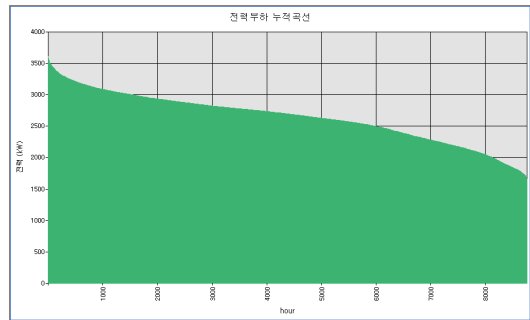


그림 7. 전기 부하 누적 계산 결과의 예

5. 결론

현장 조사에 바탕을 둔 통계적 방법을 이용하여 다양한 용도의 건물들의 집합으로 구성된 단지에 대한 급탕, 난방, 냉방, 전기에너지

에 대한 연간 8760시간 부하를 예측하는 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램은 단독 건물 또는 집단에너지 시스템에 대한 이들 부하를 비교적 손쉽게 계산해 줄 수 있을 뿐 아니라 운전 시뮬레이션이나 경제성 분석 같은 후속 작업을 수행할 수 있는 터전을 제공한다. 이 점에서 건물에너지 수급에 대한 초기 기획 단계 분석에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 에너지절약기술개발사업과 영남대학교 교비 지원 사업으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. D. B. Crawley, J. W. Hand, M. K. Kummert, B. T. Griffith, Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, *Building and Environment*, 43(2008) 661-673.
2. 박화춘, “호텔의 연간 시각별 에너지부하 모델과 관련변수의 가중치 개발”, 대한설비공학회 동계학술대회, 2002. 11
3. 박화춘, “업무용빌딩의 연간 시각별 운전부하 모델개발”, 대한설비공학회 부문학술강연회, 2002. 10
4. 박화춘, “건물의 운전부하 모델 개발 및 병원사례 분석”, 설비/공조·냉동·위생 10월호, 한국설비기술협회, 2002. 10
5. 박화춘, 정모, 김선하외 7인, 소규모 지역냉난방용 시스템 시뮬레이터 개발 중간보고서, 산업자원부, 2003. 4.
6. 박화춘, “소규모 지역 냉·난방용 시스템 시뮬레이터 개발”, 대한설비공학회 동계학술대회, 2002. 11.