

통계적 방법에 의한 건물 부하 산정

정모*, 박화춘**, 임용훈**

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

Building Energy Load Estimation by a Statistical Method

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

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

Abstract

A Microsoft Access® application that estimates hourly building energy load is developed based on statistical field measurements. Hourly patterns of heating, hot water, cooling, and electricity loads are evaluated for an energy consuming community composed of various types of buildings. Popular building types such as apartments, offices, hotels and accommodations, stores, churches, schools and educational institutes are included in the model. For each type of buildings, hourly patterns for a month are measured and compiled to derive a 24-hour load distributions. Daily sum of heating, hot water, cooling, and electricity loads are also measured for the building types. The annual energy need profiles are generated by combining the 24-hour distribution and 365-day consumption patterns. The annual maximum values of the 8760 hours of a year for each load type serves as a guide for selecting a device capacity. A user-friendly interface that ushers users throughout the whole process is provided.

Keywords : 건물에너지부하(Building energy load), 장치부하 (Device Capacity), 운전부하(Operational Load), 건물 유형 (Building Type)

1. 서 론

건물에서의 에너지 수요 예측은 적합한 용량의 기기를 선정하여 최상의 조건으로 에너지를 공급하는 방법을 찾는 기초 설계 단계에서 매우 중요하다. 특히 다양한 에너지 사용 특성을 가진 건물군으로 이루어진 에너지 사용 집단에 대한 부하 계산은 에너지 수급 계획단계에서 건물들을 효율적으로 집단화하고 최적의 공급 방안을 도출하는데 있어 아주 중요하다. 건물 또는 건물군에 대한 부

하를 예측하는 방법에는 대략 두 가지 방법이 있다. 물리적 예측 방법과 통계적 예측 방법이 있다.

물리적 예측 방법에서는 각 건물에 대한 축열 밀 열전달 특성과 내부 시설물이나 거주자에 의한 발열 등의 정보를 이용하여 열전달 이로 등 물리적 이론을 이용한다. 이 경우 건물에 대한 상세한 구성 정보와 일사량, 외기온, 풍속 등 외부 환경 등을 정량적으로 표현할 수 있으면 부하에 대한 예측이 가능하다. 이 방법의 장점은 물리 현상에 기반을 둔

관계로 적용 범위가 넓고 기초 자료가 정확하다면 정확한 예측이 가능하다는 점이다. 특히 ASHRAE[1] 등 기관에서 부하를 산정하는 일련의 절차를 표준화 하여 놓았고 TRNSYS[2]와 같은 프로그램에서는 건물 정보를 별도로 관리하고 부하를 생성해주는 루틴을 제공하고 있다[3]. 그러나 이 방법의 단점은 물리적 변수 중 기상 자료 같은 것은 정확한 예측에 의한 정량화에 한계가 있고 건물 사용자에 대한 습관 등도 정량화하기 쉽지 않다는 점이다. 결국 물리적 모델을 도입했어도 최종적으로 통계적 현상에 의해 정확도가 좌우 된다고 할 수 있겠다.

본 연구에서 택하고 있는 통계적 방법은 물리적 타당성 면에서는 다소 떨어질지 모르나 실제 관측된 현상에 기초를 두고 계산하기 때문에 모든 통계적 현상이 모두 반영된 최종 결과에 대한 신뢰도는 오히려 높을 수 있다[4]. 다만 준비 단계에서 다양한 조사와 집계 등 많은 노력을 들여야 하는 단점이 있다. 본 논문은 그간 한국 에너지기술연구원이 별도의 연구를 통하여 수집한 방대한 자료를 이용하여 사용자가 손쉽게 건물군에 대한 장치부하와 운전부하를 산출하는 프로그램을 만드는 과정에 대한 것으로 Community Energy System이나 이에 유사한 집단에너지 시스템을 설계하는 경우 기초 설계 단계에서 다양한 방법으로 건물군을 묶는 기초 기획 단계에서 유용하게 쓰일 수 있다. 또한 이렇게 집단에너지 단지에 대하여 시중에서 구매 가능한 기기를 배치하여 운전하는 가상적 시나리오를 산정하여 다각적으로 검토하는 최적화 설계를 수행하는 데에도 유용하게 쓰일 수 있다고 본다. 특히 태양에너지나 폐열 등 신재생 에너지를 집단에너지 개념으로 사용할 때 본 연구에서 제공하는 도구가 유용하게 쓰일 수 있다고 본다.

2. 장치부하 및 운전부하 산정

2.1 장치부하의 산정

본 프로그램에서는 부하 유형을 급탕, 난방, 냉방, 전기의 4개 항목으로 구분하고 에너지 사용 건물 단지 내 모든 건물에 대하여 이들 4개항을 각각 산출한 다음 그 합계를

구하는 방식을 사용했다. 개별 건물 별 장치 부하는

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

로 표시되며 여기서 A는 건물 면적, \bar{q} 는 단위 부하, α 는 동시 부하율과 면적율의 곱을 나타낸다. 첨자 E는 부하 유형을 E=1 : 급탕, E=2 : 난방, E=3 : 냉방, E=4 : 전기를 나타내고 첨자 j는 각 건물을 나타낸다. [표 1]에는 본 프로그램에서 사용한 단위부하를 보여주고 있으며 [표 2]는 동시부하율, [표 3]은 면적율을 보여주고 있다. 이들 수치는 별도의 연구를 통하여 산출한 것으로 업계의 실무적 검증을 마쳤기 때문에 업체의 실무 관행과 잘 일치한다.

프로그램 내에서 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.

이러한 일련의 계산은 Access의 Query 기능을 이용하여 자동 수행되며 입력 사항이 바뀌면 즉시 최신 정보를 사용하여 다시 계산되도록 프로그램을 구성하였기 때문에 사용자가 별도의 명령을 수행할 필요가 없다. <그림 1>에서는 본 절차에 의해 가상적 건물군에 대해 장치부하를 산정한 예를 보여주고 있다.

[표 1] 건물용도별 단위 열부하, \bar{q} (kcal/m² h)

건물용도	급탕	난방	냉방	전기
공공시설(우체국 등)	7	89	133	103.2
공동주택	25	90	0	25.8
관람, 집회시설(예식장)	2	125	142	68.8
교육기관	5	89	163	51.6
방송국	2	125	142	103.2
백화점(판매시설)	5	110	161	152.22
병원(의료시설)	25	115	140	136.74
업무용빌딩	7	100	133	114.38
오피스텔	15	100	133	190.06
중교시설	2	115	142	68.8
호텔(숙박시설)	45	100	160	101.48

[표2] 건물용도별 동시부하율

건물용도	급탕	난방	냉방	전기
공공시설(우체국 등)	0.95	0.95	0.95	0.84
공동주택	0.95	0.95	0.95	0.84
관람, 집회시설(예식장)	0.95	0.95	0.95	0.95
교육기관	0.95	0.95	0.95	0.95
방송국	0.95	0.95	0.95	0.84
박람회(판매시설)	0.95	0.95	0.95	0.78
병원(의료시설)	0.95	0.95	0.95	0.9
업무용빌딩	0.95	0.95	0.95	0.72
오피스텔	0.95	0.95	0.95	0.95
중고시설	0.95	0.95	0.95	0.95
호텔(숙박시설)	0.95	0.95	0.95	0.84

[표3] 건물용도별 부하면적율

건물용도	급탕	난방	냉방	전기
공공시설(우체국 등)	0.89	0.89	0.78	
공동주택	1	1	1	
관람, 집회시설(예식장)	1.24	1.24	1.12	
교육기관	0.89	0.89	0.78	
방송국	1.24	1.24	1.12	
박람회(판매시설)	0.7	0.7	0.65	
병원(의료시설)	0.96	0.96	0.94	
업무용빌딩	0.84	0.84	0.78	
오피스텔	0.84	0.84	0.78	
중고시설	1.24	1.24	1.12	
호텔(숙박시설)	1.2	1.2	1.12	

2.2 운전부하 산정

<그림 2>는 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 업무 형태별로 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 $H_j^E(h)$ 를 현장 조사를 통해 한 경험적 실측치를 조사한다.
3. 1-2단계에서구한 패턴의 조합을 통하여 1년 8760시간에 대한 4가지 부하 패턴, 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 8760시간 운전 부하 패턴을 곱한다.

3. 계산 사례

프로그램에 건물정보를 입력하고 장치부하와 운전부하를 산출하는 일련의 과정을 자동화하였다. <그림 3>에는 한 건물군에 대한 건물 정보를 입력한 예를 보여주고 있다.

그림에서 보듯 각 건물별로 전기, 난방, 급탕에 대하여 공동 에너지를 사용하는 지 여부 전력 사용 시 적용되는 요금 유형, 건물의 용도, 업종, 면적, 단열정도, 건물의 가로-세로 비 등 비교적 비전문적인 정보를 입력하도록 함으로써 별도의 전문 지식이 없어도 프로그램을 손쉽게 사용할 수 있도록 배려했다.

이러한 입력에 대한 계산 결과의 한 예가 <그림 4>에 나타나 있다. 그림에서 보듯 연간 8760시간에 대한 전기, 급탕, 난방, 냉방부하가 계산되어 다음 단계의 계산이나 설계 기본 자료로 활용될 수 있다. 계산 결과는 자체적으로 저장되어 운전 시뮬레이션 등 다음 단계 계산에 이용되거나 Excel 등 다른 프로그램으로 이송하여 사용될 수 있도록 배려했다.

4. 결론

집단에너지 건물 그룹에 대한 장치부하와 연간 8760 시간에 대한 운전부하를 계산하는 프로그램을 개발하였다. 본 프로그램은 서로 다른 에너지 사용 패턴을 갖는 다양한 건물군을 조합한 에너지 집단이 필요한 부하를 산정해줌으로써 집단에너지 사업 또는 대체 에너지 사용 기획 단계에서 다양한 시나리오를 구성하고 이들을 상호 비교하여 최적안을 도출하는 도구로 유용하게 쓰일 수 있을 것이다. 태양에너지 이용과 관련하여 불 때도 태양열과 태양광 시스템을 기존 또는 신규 건물 나아가서 계획 중인 건물군에 사용하려고 할 때 건물들을 어떻게 집단화하는 것이

에너지 사용상 가장 우호적인 부하 패턴을 갖게 되는지를 알아보는 목적 등으로 사용할 수 있겠다. 나아가 TRNSYS형 시뮬레이션을 수행하는 프로그램을 독자적으로 개발하고자 할 때 부하 부분을 대체하는 용도로도 쓰일 수 있겠다. 본 프로그램이 갖는 장점은 다음과 같다.

- (1) 실측된 자료에 기반한 데이터베이스형 프로그램이므로 계산 결과의 현실성이 매우 높고 물리적 모델로는 모사하지 못한 통계적 현상이 모두 반영되는 효과가 있다.
- (2) 최대한 단순하고 간편하게 만들었으므로 비전문가라고 하더라도 별도의 교육 없이 직관적으로 프로그램을 사용할 수 있어 프로그램 사용 오류가 거의 없고 생산성을 높일 수 있다.
- (3) 외국 기술에 의존하지 않고 순수 국내 연구진의 다년간 연구 결과를 종합한 것이므로 국내 현실이 잘 반영되었다.
- (4) 원천 기술 보유에 따른 추후 보완이나 첨가 작업이 용이하고 태양에너지 시스템, 열병합 발전 시스템 등에 대한 운전 시뮬레이션 등 후속 연구와의 연계도 매우 원활하게 진행시킬 수 있다.

후 기

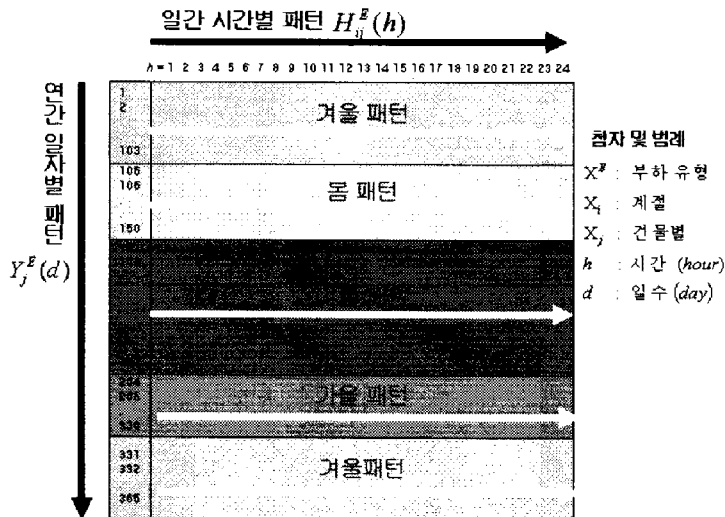
본 연구는 한국에너지기술연구원과의 공동 연구로 진행되었으며 자료 제공 및 상담에 대해 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. ASHRAE, ASHRAE Handbook 1993 Fundamentals, ASHRAE, 1993.
2. TRNSYS, A simulation program version 14, User's manual, 2004.
3. John A. Duffie, William A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd ed, John Wiley & Sons, inc., 1991.
4. COGEN-PLAN 1.1 User's Manual. Japan Cogeneration Research Committee, 1976.

부하유형	CGS전기사용	CGS열사용	CGS냉방사용	건물명	용도	업종	면적	단위열부하	동시부하율	면적률	장치부하
전기	☑	☑	☑	A지구아파트단	공동주택	아파트	495184	25.8	0.84	1	10731627.648
전기	☑	☑	☑	B1지구아파트단	공동주택	아파트	112478	25.8	0.84	1	2437623.216
전기	☑	☑	☑	D지구아파트단	공동주택	아파트	423511	25.8	0.84	1	9178330.392
전기	☐	☑	☑	B2-1지구(상가)	백화점(판매시설)	상가	161610	152.22	0.78	1	0
전기	☐	☑	☑	B2-2지구(사무실)	업무용빌딩	업무빌딩	48483	114.38	0.72	1	0
전기	☐	☑	☑	B2-3지구(숙박)	호텔(숙박시설)	호텔	32322	101.48	0.84	1	0
전기	☐	☑	☑	B2-4지구(병원)	병원(의료시설)	병원	64644	136.74	0.9	1	0
전기	☐	☑	☑	B2-5지구(백화점)	백화점(판매시설)	백화점	16161	152.22	0.78	1	0
전기	☐	☑	☑	C-1지구(상가)	백화점(판매시설)	상가	484015	152.22	0.78	1	0
전기	☐	☑	☑	C-2지구(사무실)	업무용빌딩	업무빌딩	387212	114.38	0.72	1	0
전기	☐	☑	☑	C-3지구(숙박)	호텔(숙박시설)	호텔	96803	101.48	0.84	1	0
냉방	☑	☑	☑	A지구아파트단	공동주택	아파트	495184	0	0.95	1	0
냉방	☑	☑	☑	B1지구아파트단	공동주택	아파트	112478	0	0.95	1	0
냉방	☑	☑	☑	D지구아파트단	공동주택	아파트	423511	0	0.95	1	0
냉방	☐	☑	☑	B2-1지구(상가)	백화점(판매시설)	상가	161610	161	0.95	0.65	16066862.175
냉방	☐	☑	☑	B2-2지구(사무실)	업무용빌딩	업무빌딩	48483	133	0.95	0.78	4778145.099
냉방	☐	☑	☑	B2-3지구(숙박)	호텔(숙박시설)	호텔	32322	160	0.95	1.12	5502497.28
냉방	☐	☑	☑	B2-4지구(병원)	병원(의료시설)	병원	64644	140	0.95	0.94	8081792.88
냉방	☐	☑	☑	B2-5지구(백화점)	백화점(판매시설)	백화점	16161	161	0.95	0.65	1606686.2175
냉방	☐	☑	☑	C-1지구(상가)	백화점(판매시설)	상가	484015	161	0.95	0.65	48119561.2625
냉방	☐	☑	☑	C-2지구(사무실)	업무용빌딩	업무빌딩	387212	133	0.95	0.78	38160904.236
냉방	☐	☑	☑	C-3지구(숙박)	호텔(숙박시설)	호텔	96803	160	0.95	1.12	16479742.72
난방	☑	☑	☑	A지구아파트단	공동주택	아파트	495184	90	0.95	1	42338232
난방	☑	☑	☑	B1지구아파트단	공동주택	아파트	112478	90	0.95	1	9616869
난방	☑	☑	☑	D지구아파트단	공동주택	아파트	423511	90	0.95	1	36210190.5
난방	☐	☑	☑	B2-1지구(상가)	백화점(판매시설)	상가	161610	110	0.95	0.7	11821771.5
난방	☐	☑	☑	B2-2지구(사무실)	업무용빌딩	업무빌딩	48483	100	0.95	0.84	3868943.4
난방	☐	☑	☑	B2-3지구(숙박)	호텔(숙박시설)	호텔	32322	100	0.95	1.2	3684708
난방	☐	☑	☑	B2-4지구(병원)	병원(의료시설)	병원	64644	115	0.95	0.96	6779862.72
난방	☐	☑	☑	B2-5지구(백화점)	백화점(판매시설)	백화점	16161	110	0.95	0.7	1182177.15
난방	☐	☑	☑	C-1지구(상가)	백화점(판매시설)	상가	484015	110	0.95	0.7	35405697.25
난방	☐	☑	☑	C-2지구(사무실)	업무용빌딩	업무빌딩	387212	100	0.95	0.84	30899517.6

<그림 1> 장치부하 계산의 일례



<그림 2> 운전 부하 산출의 기본 구조

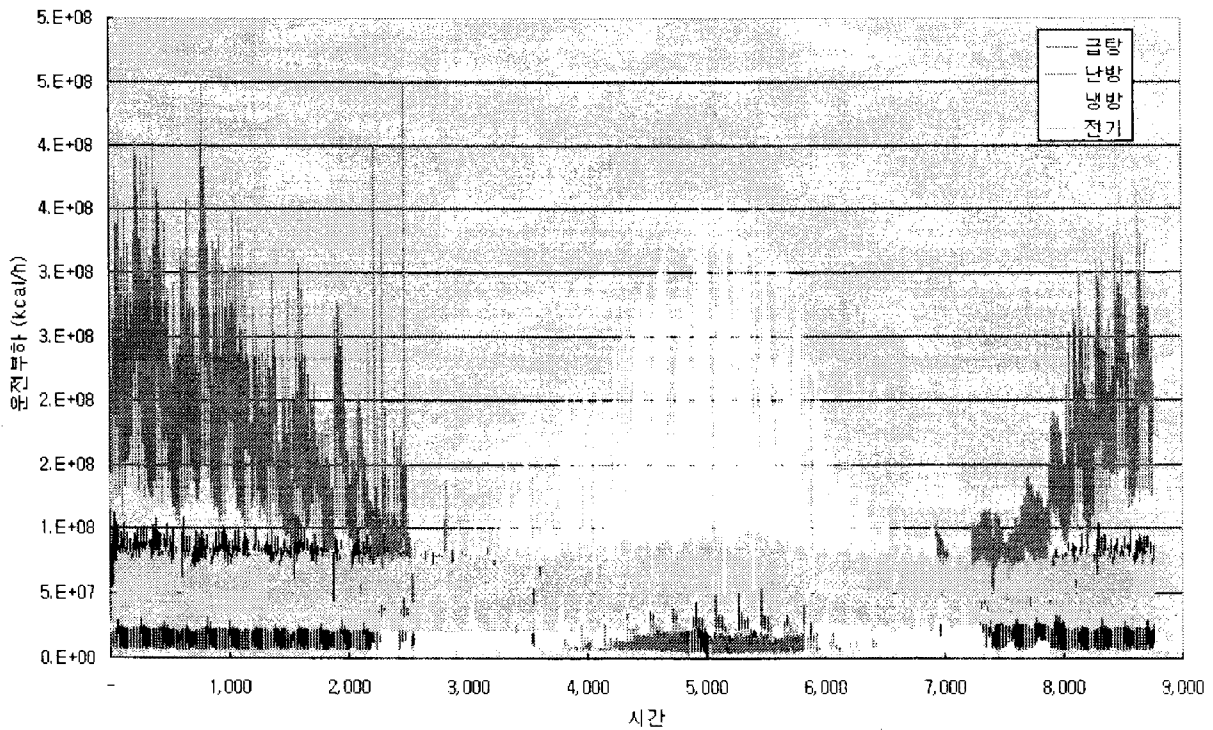
건물정보 ActiveProject - 선택 키리

건물ID	건물명	CGS전기사용	CGS열사용	CGS냉방사용	전력사용유형	용도	업종	면적	단열정도	방위	장단변비	열원공급
210	건물11-2				교	주상복합	주상복합	12345	하	N	1:3	수공기
213	극동				주	아파트연속난방	아파트연속난방	174288	중	N	1:1	수배관
214	극동아파트				주	스포츠센터	스포츠센터	174288	중	SW	1:3	수배관
215	사당				주	아파트연속난방	아파트연속난방	174288	중	SW	1:3	수배관
216	사당극동아파				주	아파트연속난방	아파트연속난방	174288	중	SW	1:3	수배관
217	사당극동아파				주	아파트연속난방	아파트연속난방	174288	중	SW	1:3	수배관
218	사당극동아파				주	아파트연속난방	아파트연속난방	174288	중	SW	1:3	수배관
219	신건빌				주	백화점	백화점	123	상	E	1:1	수배관
220	신동아4				주	아파트연속난방	아파트연속난방	91250	중	SW	1:3	수배관
221	신동아5				주	아파트연속난방	아파트연속난방	29759	중	S	1:1.75	수배관
222	업무				주	업무빌딩	업무빌딩	25000	중	S	1:1.75	수배관
223	연속동-1				주	주상복합	주상복합	1233	중	N	1:1	수공기
224	우성4-3				주	아파트연속난방	아파트연속난방	90546	중	SW	1:3	수배관
225	우성4단지				주	아파트연속난방	아파트연속난방	90546	중	SW	1:3	수배관
226	A지구아파트				주	아파트연속난방	아파트연속난방	495184	중	S	1:3	수배관
227	A지구아파트				주	아파트연속난방	아파트연속난방	495184	중	S	1:3	수배관
228	A지구아파트				주	아파트연속난방	아파트연속난방	495184	중	S	1:3	수배관
229	B지구아파트				주	아파트연속난방	아파트연속난방	112478	중	S	1:3	수배관
230	B지구아파트				주	아파트연속난방	아파트연속난방	112478	중	S	1:3	수배관
231	B지구아파트				주	아파트연속난방	아파트연속난방	112478	중	S	1:3	수배관

레코드: 14 전체: 50

<그림 3> 건물 정보 입력 예

연간 시각별 운전부하



<그림 4> 연간 운전부하 계산 예