

집단에너지 공동주택의 사용자 측 열부하 예측에 의한 열공급제어 알고리즘 개발에 관한 연구

변 재 기, 이 규 호, 최 영 돈[†]

고려대학교 대학원 기계공학과, [†] 고려대학교 기계공학과

A Study on Development of Heat Supply Control Algorithm of Consumer Group Energy Apartment Building by Prediction of Heating Load

Jae-Ki Byun, Kyu-Ho Lee, Young-Don Choi[†]

Graduate student of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

[†] Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

ABSTRACT: The energy conservation in buildings affects environmental preservation as well as economic benefits, and creates the comfortable indoor environment set for the inhabitants. Especially, apartment buildings show ever-increasing energy consumption with large-sized and high-class tendency, thus energy saving counterplans are needed.

The present study is to develop an optimal control algorithm by using heating load curve according to the outdoor temperature change. Heating load analysis should be performed before the present method can be applied. Dynamic heating load simulations are performed by resistance-capacitance method. Results show that heating load decrease linearly according to the increase of outdoor temperature.

Key words: Energy conservation(에너지 절약), Apartment building(아파트 건물), Outdoor temperature(외기온도), Optical control algorithm(최적제어 알고리즘)

기 호 설 명

1. 서 론

HT : 난방부하 [$J/m^2 \cdot yr$]
 ΔT : 온도차 [K]
 Q : 종합열손실계수 [$W/m^2 \cdot K$]
 t : 난방운전시간 [h/yr]
 C_p : 정압비열 [$kJ/K \cdot kg$]
 EP : 직달일사량 [W/m^2]

건물의 에너지 절약문제는 지구환경보존의 측면을 포함하여, 경제적인 이점 뿐만 아니라 타산업에 미치는 과급효과, 그리고 건물의 거주자를 위한 쾌적한 환경의 창출이라는 면에서 매우 중요한 문제이다. 특히, 에너지 다소비형 건물인 대형 건물, 아파트 건물을 비롯한 상업용 건물의 경우, 대형화 및 고급화 경향에 따라 난방에너지 사용량이 급격하게 증가하고 있으므로 이들 건물에 대한 보다 과학적인 에너지 절약대책이 요구되고 있다.

이에 대한 방안으로 선진외국에서는 최근 건물 설계시 건물의 열성능을 손쉽게 평가할 수 있는

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-3290-3355; fax: +82-2-928-1067

E-mail address: ydchoi@korea.ac.kr

기법에 대한 연구가 체계적으로 진행되고 있다.

현재 건물의 열부하를 해석하는 많은 방법들이 제안 되었으며, 최근에는 시뮬레이션 프로그램을 이용한 동적 열부하 해석을 많이 활용하고 있다. 이러한 시뮬레이션 프로그램들은 각기 다른 해석 알고리즘을 바탕으로 하고 있으며, 그 결과 또한 조금씩 다르게 분석되고 있다.^(1, 2) 그러므로 시뮬레이션 분석에 있어 이러한 프로그램들 상호간의 차이점에 대한 고찰을 반드시 선행되어야 할 것 이나, 아직까지 국내에서는 이러한 연구가 미흡한 실정이다.

열부하와 연관된 일반적인 설계인자로서 평면의 형상, 방위, 벽체의 단열, 창호의 종류, 실내구조 등을 열거할 수 있다. 실내구조를 제외한 나머지 인자가 열부하에 미치는 영향의 정성적 경향은 쉽게 평가될 수 있으나 정량적 예측은 정교한 해석을 요구한다. 더욱이 한국의 아파트가 갖는 특성이 해석에 고려될 필요가 있다.

아파트는 단독주택과 비교하여 외기에 노출되는 면적이 감소함에 따라 관류에 의한 열손실과 환기에 의한 열손실이 감소하게 된다. 따라서 동일한 내부발열량과 일사량에 의한 획득이 발생할 경우 난방에 대한 에너지 사용량이 감소하게 되는데 세대는 다른 세대들과는 달리 바닥면이 외기에 노출됨에 따라 외기와 노출되는 면적이 증가하게 되어 관류에 의한 열손실이 늘어날 것으로 예상된다.

본 연구에서는 난방공간에서의 복사열전달을 포함한 열성능 및 건물 각 구조체의 비정상 열전달 효과를 고려하기 위해서 등가열저항-열용량법을 도입하여 이들을 복합하여 건물 전체의 열성능을 전산해석을 통하여 세대의 연간 난방에너지 사용량을 종합적으로 비교함으로써 위치에 따른 정략적인 데이터를 확인 비교하고자 한다.

2. 전산해석을 위한 해석모델 선정

건물의 냉·난방부하를 계산하는 방법은 크게 정적해석법과 동적 해석법 2가지로 분류할 수 있다. 일반적으로 정적해석법은 열용량을 고려하지 않기 때문에 에너지 소비량이 과대하게 계산되는 경향이 있고, 동적해석법은 외기온도, 건물형태, 거주자 생활패턴 등 계산조건이 변경되면 재계산해야하는 번거로움이 따른다.

본 연구에서는 이들 해석법의 장단점을 이용하여, 설계자가 난방부하를 간편하게 이용할 수 있는 난방부하모델을 개발하기 위해 다음과 같은 개념을 도입한다.

먼저, 난방부하는 주로 외기온도, 주택의 규모, 단열·기밀성능, 거주자의 생활패턴(난방온도와 난방 운전시간)과 밀접한 상관관계가 있다.

$$HT = f(\Delta T, Q, t, \text{etc}) \quad (1)$$

HT : 난방부하	$[J/m^2 \text{yr}]$
ΔT : 온도차	$[K]$
Q : 종합열손실계수	$[W/m^2 K]$
t : 난방운전시간	$[h/\text{yr}]$

이 중, 외기온도는 난방부하와 상관관계를 가지고 있고 있다.

2.1 전산해석을 위한 기초 자료 분석

전산해석을 위해 사용된 모델은 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 이 모델은 동·서측에 면한 세대, 내부 인접 세대, 지상층 및 옥상층 세대 등 일반적인 공동주택이 갖는 모든 세대별 특성을 종합적으로 분석할 수 있는 최적의 모델로 판단되었으며, 이를 통해 다양한 변수들에 대하여 전산해석을 통하여 에너지 전달량 등을 평가할 수 있을 것이다. 아파트 세대의 위치에 따른 난방에너지 차이를 고려하기 위하여 Fig. 1과 같이 2개의 경우로 세대를 구분하였다. 또한 바닥과 천장, 측면을 통한 열교환이 없이 없도록 벽체 및 바닥면의 축열 효과는 존재하기 때문에

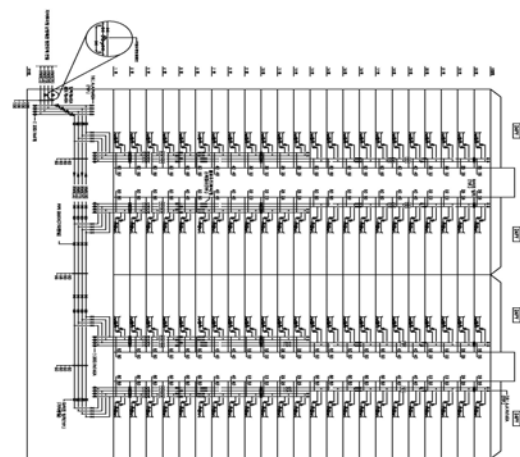


Fig. 1 The view of heat supply system of an apartment building.

각 벽체별 물성치를 별도로 입력하였으며 Table 1에 정리하여 나타내었다.

2.2 해석 모델

대상 아파트 표준건물의 연면적 191,197m² 지상 23층, 총 93세대이며 본 연구 해석 대상은 소·중·대형 아파트를 대표하는 24·30·35 평형 3종류로 분류하였다. 같은 건평이라도 발코니의 배치와 형상, 실내구조는 설계자에 따라 차이가 있으나, 열부하와 직결된 전면폭과 깊이는 유사하다. Fig. 2는 전산해석을 위한 아파트 실제 평면도이다.

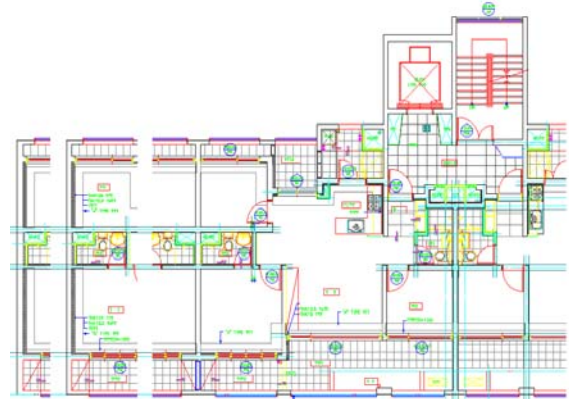


Fig. 2 The plan of an investigated apartment house.

2.3 외기온도 변화에 따른 열부하 곡선 산출

Fig. 3은 외기온도 변화에 따른 열부하 곡선을 산출하기 위한 방안으로 계절별/월별/시간별 공동주택의 열부하량 측정 데이터 분석을 통하여 열부하 회귀식을 유도함으로써 외기온도 별 통계 처리를 통하여 열저항-열용량법 전산해석을 통하여 공동주택의 열사용량 측정 데이터 이용하여 열부하 곡선을 산출하게 된다.

2.4 단면 위치

공동주택의 난방부하는 층별 위치에 따라 다르므로 단면상의 주택 모델 위치를 선정할 필요가 있다. Fig. 3과 같이 전산해석을 수행할 경우 고

려해야할 세대별 고층부, 저층부의 부하량이 가장 많이 발생하는 세대이므로, 열적으로 불리한 (외기에 직접 접한 벽체면적이 가장 큰) 측벽세대의 최상층과 좌우측층 및 중앙층을 단면위치로 선정하였다. 건물의 위치에 따라 일사 취득량의 차이를 가져올 수 있으며, 이는 실내의 열부하에 많은 영향을 미치게 될 것이다. 또한 수평으로 구획된 실들의 경우, 동일 하다고 가정할 때 하나의 세대를 모델링 하거나 또는 수평방향 또는 수직방향으로 모델링 하게 될 때에 그 차이가 발생하게 될 것으로 예상된다. 이렇듯 대상 건물의 전산해석은 정확한 실내 열부하를 예측하기 위해 반드시 선행되어 분석되어야 하는 중요한 요소이다.

따라서, 수평으로 3개의 실을 갖는 모델과 각 층마다 3개의 실을 갖는 모델을 분석 대상으로

Table 1 Thermophysical Properties of wall materials

항 목	A	$\rho C_p t$ (kcal/m ² C)	$C_p M$ (kcal/C)	U (kcal/m ² hr°C)	R (m ² hr°C/kcal)	R/2 (m ² hr°C/kcal)
측벽 (Wall_1)	18.0	86.0 A	1,548	0.285	3.5	1.75
외벽 (Wall_2)	34.8	79.2 A	2,756	0.4	2.5	1.25
Front 이중창벽(Wall_3)	13.4	36.0 A	482.4	2.5	0.4	0.2
Back 이중창벽(Wall_4)	0	36.0 A	0	2.5	0.4	0.2
복도외벽 (Wall_5)	14.0	79.2 A	1,109	0.4	2.5	1.25
Front 밸런더창 (Win_1)	34.5	1.6 A	55.7	9.4	0.106	0.053
Front 이중창 (Win_2)	12.2	3.2 A	39.0	3.3	0.30	0.15
Back 이중창 (Win_3)	6.25	3.2 A	20.0	9.4	0.30	0.15
배랜더_거실창(Win_4)	8.9	1.6 A	14.2	9.4	0.106	0.053
Back 밸런더창 (Win_5)	0	1.6 A	0	9.4	0.106	0.053
천 장	84.9	72.2 A	6,130	0.254	3.94	1.97
최하층 바닥	84.9	110.9 A	9,145	0.37	2.69	1.35
중간바닥	84.9	107.3 A	9,110	0.78	1.29	0.645
간벽	49.2	36.0 A	1,771	2.5	0.4	0.2
정문 철문	1.64	7.18 A	11.8	3.3	0.3	0.15
밸런더 철문	1.64	7.18 A	11.8	3.3	0.3	0.15

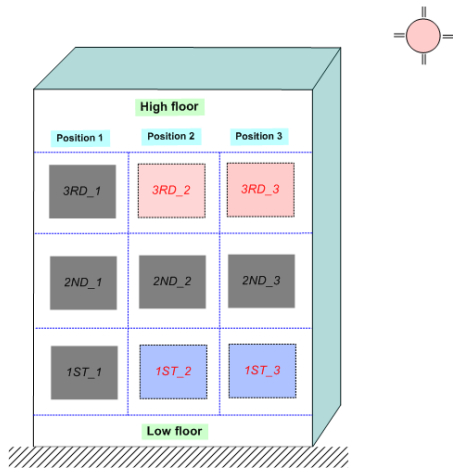


Fig. 3. Schematic of an investigated apartment building.

삼았으며, 이 두 모델링 방법에 따른 분석을 통해 해당 되는 거의 모든 건물의 전산해석을 포함할 수 있을 것으로 판단하였다.

이 모델들은 가로축·세로축으로 분할하여 구성한 것과 하나로 구성된 모델의 창문면적과 체적은 기준모델과 동일하게 입력하여 시뮬레이션을 수행하였다.

2.5 기초자료 수집 및 선정

아파트는 외기와 면하는 부분이 대부분 창으로 되어있기 때문에 유리의 종류에 따라 부하에 영향을 준다. 본 연구에서는 발코니 유리창을 이중유리로 적용하였다.

외기조건은 2008년 1월 1일부터 12월 31일까지의 기상청에서 발표된 수원의 표준 기상데이터를 사용하였다. 난방기간은 10월에서 3월로 설정하였으며, 실내온도를 24℃로 설정하였다. 일사량은 난방부하 변동에 영향을 미치므로 일사량을 동등한 조건으로 인접한 건물에 의한 일사 방해는 없는 것으로 가정하다.

3. 에너지 방정식의 해석

3.1 열저항-열용량법

본 연구에서 대상건물의 냉·난방 부하의 동적 해석을 위해서 열저항-열용량법⁽⁴⁾(thermal resistance-capacitance method)를 사용한다. Fig. 4와 같이 동(E), 서(W), 남(S), 북(N), 북동(NE),

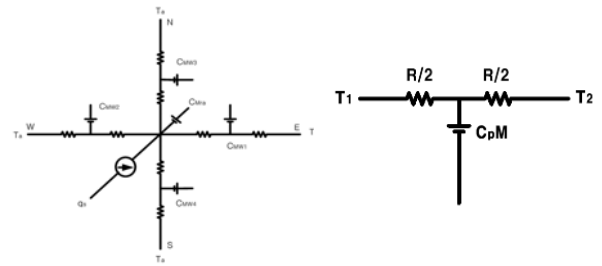


Fig. 4 Effective thermal circuit for an element of building.

남동(SE), 북서(NW), 북남(NS)의 8개 방향에 각각 창문과 벽체가 있고 상·하에 천장과 바닥이 있는 1실 모형으로 대체한다. 각 벽체와 창문을 Fig. 4와 같이 2개의 저항과 1개의 용량으로 구성된 전기회로로 대체한다. 열저항-열용량법에 의한 건물 동적부하 계산법은 다음과 같다.

- (1) 전체 건물은 1실(One Room)으로 가정한다.
- (2) N, S, E, W, NE, SE, NW, SW 각 방향에 벽체와 창문이 있는 것으로 가정한다.
- (3) 한 벽체와 창문을 2개 열저항과 1개 열용량으로 대체한다.
- (4) 각 요소의 열저항과 열용량을 연결해서 건물 전체를 등가전기회로로 전환시킨다.
- (5) 회로방정식을 풀어 비정상 열전달을 계산한다.
- (6) 열전달 해석 결과로부터 건물의 동적부하를 계산한다.

$C_p M$ 은 열용량으로 $C_p M = \rho_m C_{pm} V_m$ 이다. 여기서, C_{pm} 은 이 요소의 비열이며 V_m 은 부피, ρ_m 은 밀도이다. 에너지 평형 방정식은 다음과 같다.

$$C_{pm} \frac{T_m^{i+1} - T_m^i}{\Delta t} = \sum_n \frac{T_n^i - T_m^i}{R_{mn}} + \dot{Q}_v + \Delta V_m \quad (2)$$

식(2)에서 상첨자 i 는 시간 step을 나타내고 \dot{Q}_v 은 시간 step i 에서 발열률을 나타낸다. 하첨자 n 은 이웃요소점을 나타낸다.

4. 태양열복사율의 계산

난방계절에 아파트의 난방부하 계산시 태양열

복사의 영향을 정확히 고려하는 것은 대단히 중요하다. 태양열 복사는 아파트 설치지역의 위도, 열성능 해석시의 달과 일짜, 그 날의 일기, 아파트 설치의 방위, 아파트 동간의 간격, 아파트의 폭과 높이, 창문의 투과율과 흡수율 및 창문의 넓이 등 대단히 많은 인자들에 의해서 영향을 받는다. Fig. 5에서 나타난 것과 같이 태양열 복사의 영향을 고려할 때 가능한 이런 인자들이 모두 고려되는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 이러한 모든 인자들이 가능한 정확히 고려되도록 하였다.

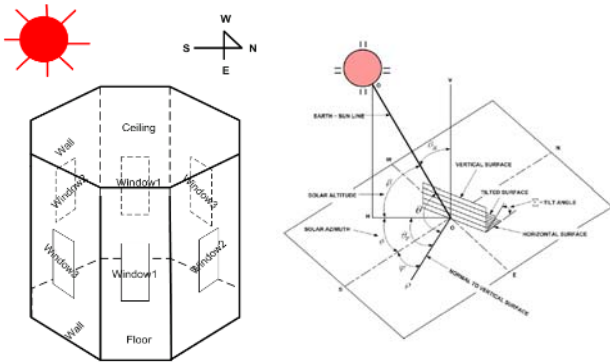


Fig. 5 Solar angles with respect to tilted surface.

4.1 창문의 태양복사 투과율

창문은 DSA 이중창으로 가정하고 투과 성분(TC)와 흡수 성분(AC)를 ASHRAE Fundamentals⁽⁴⁾에 의해서 다음 식으로 계산하였다.

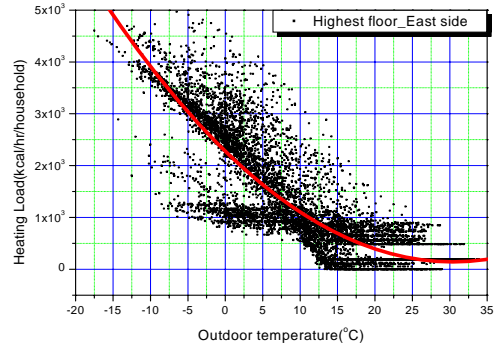
$$TC = E_D \sum_{j=0}^5 t_j \cos^j \theta + 2E_d \sum_{j=0}^5 t_j / (j+2) \quad (3)$$

$$AC = E_D \sum_{j=0}^5 a_j \cos^j \theta + 2E_d \sum_{j=0}^5 a_j / (j+2) \quad (4)$$

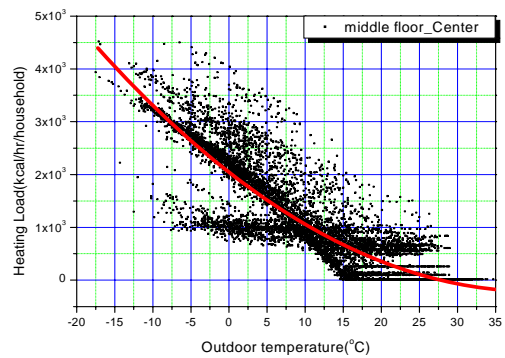
여기서, a_j 는 유리에 대한 흡수율 계수, t_j 는 투과율 계수를 의미한다.

5. 해석 결과에 대한 고찰

5.1 세대별 위치 변화에 따른 난방부하 비교 분석



(a) The highest floor



(b) The middle floor

Fig. 6. Variation of heating load of an apartment household with respect to outdoor air temperature.

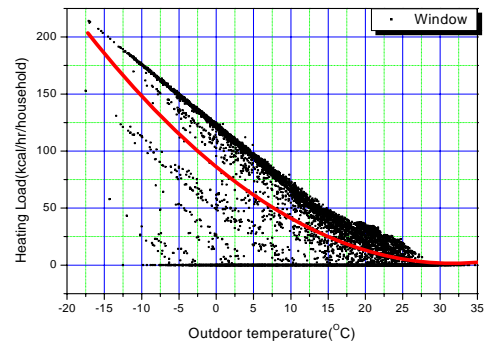


Fig. 7 Variation of heating load through windows.

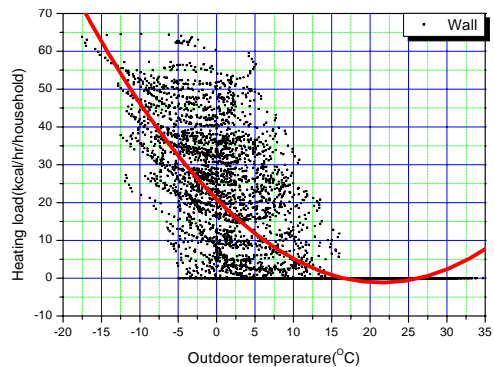
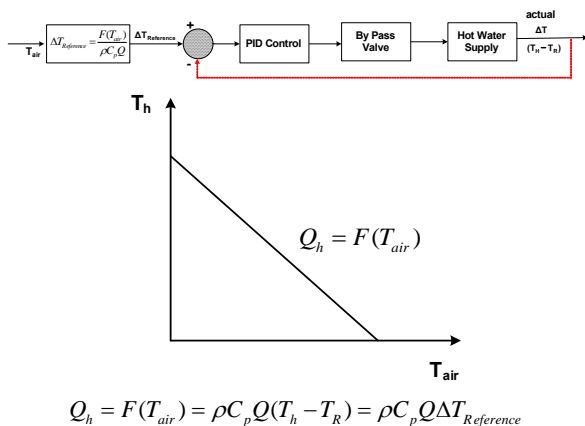


Fig. 8 Variation of heating load through walls.

Fig. 6은 수원 지역의 전산해석 결과로써 최고 층부와 중간층부의 한세대에 대해서 외기온도의 변화에 따른 난방열부하의 변화를 나타낸 그림이다. 이 그림에서 실선은 각점들의 난방부하를 평균한 점이다. 이 그림에서 알 수 있는 것은 난방부하는 외기온도가 15℃ 이하인 겨울, 가을, 봄에는 외기온도 증가에 따라서 거의 직선적으로 감소하지만 외기온도가 20℃ 이상인 여름에는 비선형적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 최상층부의 난방부하는 천장으로의 열손실에 의해서 중간층부의 난방부하 보다 높다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7과 Fig. 8은 외기온도의 변화에 따른 창과 벽으로 열손실량 변화를 나타낸 그림이다. 창문의 경우 외기온도의 증가에 따라 난방부하가 직선으로 감소하며 데이터가 밀집함을 알 수 있고 벽의 경우는 외기온도의 변화에 따라서 난방부하가 크게 흩어져 있는 것을 알 수 있다. 같은 외기온도에서도 맑고 흐린 날에 따라 태양열 흡수정도가 다르고 그에 따라 난방부하는 크게 변동할 수 있다. 이것은 벽에 흡수되는 태양열의 영향으로 된다. 그리고 벽이 창문에 비교하여 열손실이 적게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 열부하 곡선에 의해 공동주택의 열공급을 제어하는 시스템을 개략적으로 나타낸 것이다. 이와 같이 예측된 난방부하 곡선을 바탕으로 열부하 공급을 제어하면 열손실을 감소시킬 수 있는 것이 본 연구의 목적이다. 앞으로, 실내온도의 변화에 따른 난방부하의 변화를 예측하여 열부하 예측에 따른 최적 열공급 제어 알고리즘을 개발하는데 본 연구의 목적이다.



$$Q_h = F(T_{air}) = \rho C_p Q (T_h - T_R) = \rho C_p Q \Delta T_{Reference}$$

Fig. 9 Schematic of optimal control algorithm for heat supply system of apartment building by using heating load curve.

6. 결론

본 연구에서는 집단에너지 열공급 공동주택에 대하여 외기온도 변화에 따른 열부하곡선을 산출하고 측정된 외기온도와 계산된 열부하곡선으로 열공급량을 최적제어 하는 알고리즘을 개발하기 위한 기초연구를 수행하였다. 본 연구를 발전시키기 위해서는 실제 집단에너지 열공급 공동주택의 열사용량 자료를 분석하여 실제 공동주택에서 사용되는 실내온도 분포를 산출하고 산출된 자료를 바탕으로 외기온도 변화에 따른 열부하 곡선을 산출하는 연구와 그에 바탕한 최적 열공급 제어 알고리즘을 개발하는 연구가 추진되어야 한다.

후 기

본 연구는 지식경제부 에너지·자원기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. Robetr H. Henninger, Michael J. Witte, 2006, EnergyPlus Testing with Building Thermal Envelope and Fabric Load Tests from ANSI/ASHRAE Standard 140-2004, U.S. Department of EEnergy.
2. Robetr H. Henninger, Michael J. Witte, 2006, EnergyPlus Testing with E100 to E200 from ANSI/ASHRAE Standard 140-2004, U.S. Department of Energy.
3. Yoon, J. H., Hong, J. K., 2006, EnergyPlus Testing with E100 to E200 from ANSI/ASHRAE Standard 140-2004, U.S. Department of Energy.
4. ASHRAE HANDBOOK 1993 Fundamentals, pp. 27-28.
5. Choi, Y. D., Han, S. H., Cho, S. H., Kim, J. S., and Um, C. J., 2006, Study on the Simulation of Heat Pump Heating and Cooling System to Resident Building, Proceedings of the SAREK, pp. 915-920.