

중앙 냉방시스템에 대한 외기보상제어의 에너지 절약 성능에 관한 실험적 연구

김동철*, 송재엽*, 안병천[†]**

*경원대학교 건축설비공학과 대학원, **경원대학교 건축설비공학과

Experimental Study on Energy Saving Performance of Outdoor Temperature Reset Control Strategy for Central Cooling System

Dong-Cheol Kim*, Jae-Yeob Song*, Byung-Cheon Ahn[†]**

*Department of Building Equipment System Engineering, graduate school, Kyungwon university 461-701 korea

**Department of Building Equipment System Engineering, Kyungwon university, 461-701 korea

Abstract

In this study, energy saving performance of outdoor temperature reset control strategy for central cooling system is researched by experiments. Outdoor temperature reset control is the control method to change indoor air set temperature according to outdoor air temperature change. The range of indoor air set temperature is represented by the comfort temperature range of indoor air temperature offered from ASHRAE and indoor air set temperature is programmed between 22°C and 27°C by outdoor air temperature 20°C~32°C in summer. As a result of applying outdoor temperature reset control to central cooling system, the suggested control method shows better performances of energy savings than the conventional method which indoor temperature maintains constantly.

Key words : Central cooling system(중앙냉방시스템), Cooling system(냉방시스템), Outdoor temperature reset control(외기보상제어), Electric power energy cost(전력에너지 사용 요금)

기 호 설 명

P_{total} : 총 에너지 소비량
 P_{ch} : 냉동기의 에너지 소비량
 P_{chp} : 냉수순환펌프의 에너지 소비량
 P_f : 급배기팬의 에너지 소비량
 T_{oa} : 외기온도

T_{zone} : 실내공기온도
 $T_{zone.set}$: 실내공기설정온도
 T_{cw} : 냉수온도
 $T_{cw.set}$: 냉수설정온도
 m_{air} : 급배기량
 m_w : 순환수량

[†] Corresponding author

Tel: +82-31-750-5309; Fax: 82-31-750-5314

E-mail address : bcahn@kyungwon.ac.kr

접수일 : 2011년 10월 12일

심사일 : 2011년 10월 14일

채택일 : 2011년 11월 18일

1. 서론

전 세계적으로 유가의 상승으로 인해 경제 전반에 걸쳐 부정적인 영향을 미치고 있다. 이러한 고유가 시대에 우리나라는 에너지 다소비 국가인

동시에 주요 에너지를 수입에 의존하는 에너지 빈국으로서 에너지 절약에 대한 문제를 생각지 않을 수 없다. 현재 우리나라는 전체 에너지의 해외 의존도가 1차 에너지를 기준으로 98% 수준까지 도달해 있으며, 산업의 가속화와 경제 성장으로 인하여 점차 증가하고 있는 추세이다.

에너지소비 비율을 보면 건물의 에너지 소비량은 국가 에너지 총 소비량의 30%를 초과하여 국가 기간 에너지 소비에도 직·간접적인 영향을 주는 중요한 요소이다. 특히 건물에서 공조 냉난방 설비의 부분이 차지하는 비중은 50%이상을 차지하여 건물 에너지 소비의 주요 원인이 되고 있다.

급격한 생활수준의 향상으로 인한 건물에서의 냉난방 설비의 보급은 건물에서의 에너지 소비량을 증가시키고 있으며 과밀화된 도시 지역에서의 냉난방 설비의 운전이 환경오염을 증가시키는 요인으로 작용하고 있어 건물 부분의 에너지 절감을 위한 기반 기술의 개발은 필수적인 요소가 되었다.

건물에서의 에너지 절약방법으로는 단열, 건물 방위 및 형상 등을 통한 건축 계획적인 접근방법과 에너지 사용기기 및 시스템의 운전효율을 향상시키는 등의 설비적 접근방법이 있다.^[1] 설비적 에너지 절약방법 중에 있어서 단기간의 연구개발로 에너지의 커다란 절감을 실현시킬 수 있는 방법은 시스템의 효율을 극대화할 수 있도록 하는 건물에너지 운영 관리 및 최적화된 제어 기술의 도입이라고 할 수 있다. 국제 에너지 기구(IEA)는 건물의 열원 및 공조시스템에서의 에너지 절약은 주로 시스템의 최적제어를 통해서 효율을 높일 수 있다는 연구 결과를 제시하였고 이는 건물 내에서 생활하는 사람들이 쾌적한 열 환경을 느끼고 동시에 에너지 소모량과 운전비용을 낮추기 위해서는 시스템의 성능을 최적의 상태로 운전해 줌으로써 불필요한 에너지소모를 줄여야 한다는 것을 의미한다.

이에 관련된 연구로써 Kim^[2] 등은 사무소용 빌딩의 냉방부하의 전력소비특성과 수용율을 분석하였고 이를 바탕으로 사무용 빌딩의 규모별 설계시 부하용량 추정결과와 비교분석한 결과 냉방부하에 사용되는 전력량이 전체의 50~66%까지 차지하는 것을 알 수 있었다.

Hong^[3] 등은 외기보상제어를 중양난방시스템에 적용을 하여 기존의 제어방식보다 최대 21.8%의 절감효과를 기대할 수 있다고 제시하였다.

Ahn^[4, 5] 등은 급기온도, 냉수온도, 냉각수온도 등의 상관관계를 고려한 최적제어기법에 관하여 연구를 수행하였으며, 각 설정점의 최적제어를 통해 에너지 절감이 가능함을 보였다.

냉방부하에 사용되는 전력에너지는 사무용 빌딩에서 사용되는 조명부하, 일반동력부하와는 달리 시스템의 제어방식을 통해 전력소비를 효과적으로 절감할 수 있고, 냉방시스템은 대부분 전력 에너지를 사용한다는 점에서 외기보상제어를 냉방시스템에 적용하였을 경우 상당한 전력에너지 절감효과를 가져올 것으로 기대된다. 또한 한국전력공사에서는 전력에너지의 사용 요금을 부하의 집중정도에 따라 시간대별로 달리 하고 있다.

따라서 본 연구에서는 외기온도보상제어방법을 냉방시스템에 적용하였을 때 나타나는 건물의 열적특성 및 에너지 해석을 위하여 LabVIEW 프로그램^[6]을 구성하였으며, 이를 이용하여 건물의 에너지 소모특성을 알아보고 이에 따른 전력에너지 사용요금의 변화를 알아보았다.

2. 외기보상제어

본 연구에서는 외기온도보상에 의한 냉방시스템 에너지 절약 제어 방안으로써 외기보상제어를 적용하였을 때 나타나는 온도 및 에너지 변화특성과 전력에너지 사용요금변화에 대하여 고찰하고자 하는 것이 목적이다.

이를 위해 우선 건물의 열원 및 공조시스템에서의 최적제어를 통해 에너지를 효율적으로 절약함과 동시에 건물 내 생활하는 사람들의 열 쾌적성을 만족하는 범위에서의 새로운 제어방식의 필요성을 확인하였다.

새로운 제어방식으로써 외기온도 변화에 따라 실내설정온도를 변화시키는 외기보상제어를 제시하고 외기온도에 따라 변화시킬 실내설정온도의 범위를 선정하였으며 실험대상 건물에 LabVIEW 프로그램을 통해 실험을 실시하였다.

대상건물을 모델링하고 실험을 통해 기존의 제어방식과 새로 제시된 제어방식에서의 실내설정

온도에 따른 실내공기온도 변화 특성을 알아보았다. 전력에너지 소비량 비교는 실험을 통한 설비 기기들의 총 전력에너지 사용량을 산출해 비교하였으며 한국전력공사에서 제시하고 있는 각 시간대별 사용 요금을 통해 각 시간대별 건물에너지 사용 요금 변화량 및 총 에너지 사용 요금을 비교하여 건물 냉방시스템의 에너지 절감특성 및 요금절감에 대해 알아보았다.

Fig. 1은 새로운 제어방식인 외기보상제어에서 외기온도의 변화에 따른 실내설정온도의 변화특성을 나타낸 그림으로써^[7] 외기온도가 20~32℃로 변화할 때 실내공기설정온도를 22~27℃로 변화시키는 외기보상제어의 특성을 나타낸 것이다.

실험에 사용된 냉방시스템의 구성요소로는 공랭식 냉동기, 급배기 팬, 냉수순환펌프로 구성되어 있다. 냉동기의 압축기에서 만들어진 냉수는 공조기내 열교환기로 보내지며 공기와의 열교환을 한다. 차가워진 공기는 급기팬에 의해 실내로 공급되며 배기팬에 의해 일부는 외부로 배기되며 나무지 일부는 실내로 재순환이 된다. 에너지 비교는 식(1)과 같이 전력에너지를 사용하는 설비 기기들의 합으로 비교 분석하였다.

Fig. 2는 외기보상제어 실험 대한 블록다이어그램으로써 외기온도가 실시간으로 외기보상제어기에 입력이 되면 제어기 내에서 실내설정온도를 결정하게 된다. 실내설정온도는 외기의 변화에 따라 제어 알고리즘에 의해 실시간으로 산출이 되고 산출된 실내설정온도는 공조시스템의 입력값이 되어 설정온도에 맞춰 냉방이 된다.

냉방시스템에 사용되는 전력에너지 사용요금은 한국전력공사에서 제공하는 시간대별 요금체계를 적용하였다. 전력사용요금은 2010년도 기준 1000 kW 이상 사용하는 일반용 전력요금 정보를 사용하였으며, 계절별, 시간대별로 구분되어 있다. Table 1은 여름철 시간대별 요금을 나타낸 표이다. 전력사용이 적은 밤 23시부터 다음날 아침 09시까지는 최저요금인 43.4원, 전력사용이 가장 많은 11시에서 12시와 13시에서 17시까지는 최대요금인 153.95원을 적용하고 나머지 시간에는 중간요금인 88.75원이 적용된다.

$$P_{total} = P_{ch} + P_{chp} + P_f \quad (1)$$

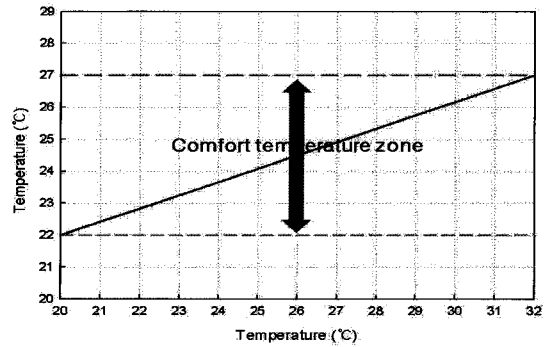


Fig. 1 Indoor air temperature comfortable range by outdoor air temperature variation.

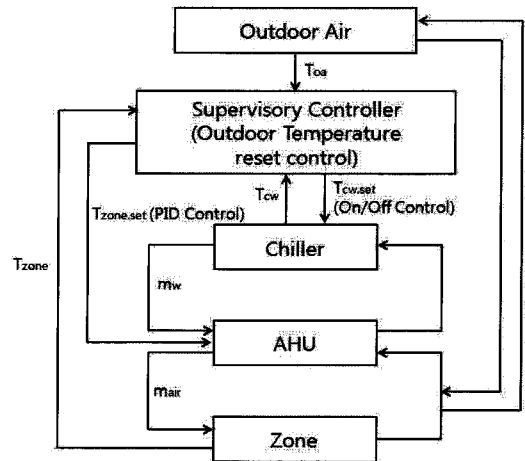


Fig. 2 Block diagram of outdoor temperature reset control.

Table 1. Electric power energy costs in summer

	time	cost (won)
low load	23:00 ~ 09:00	43.4
	09:00 ~ 11:00	88.75
12:00 ~ 13:00		
middle load	17:00 ~ 23:00	153.95
	11:00 ~ 12:00	
high load	13:00 ~ 17:00	88.75

이를 기준으로 실험결과로 나온 전력사용량에 요금을 적용시켜 각 실내설정온도별 요금변화량 및 총 사용요금을 비교분석 하였다.

3. 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 외기보상제어와 기존제어방식에서의 전력에너지 사용량 및 사용요금을 비교 분석하기 위해 시스템을 구성하였으며, 시스템 구성 요소의 매개변수의 선정은 중앙냉방시스템을 사용하는 실제 건물의 데이터를 활용하였다.

실험실의 크기는 가로 6300 mm, 가로 7700 mm의 총면적 43.732 m²이며 급기 디퓨저 4개, 배기 디퓨저 4개, 공조기, 냉동기, 모니터링 PC로 구성되어 있다.

Fig. 3과 4는 본 실험을 위해 구성한 냉방시스템의 제어 및 모니터링을 하기 위하여 구성된 모형실험장치의 모습을 나타낸 사진이다. PC와 블럭다이어그램을 통하여 시스템의 각 구성기기들의 제어와 각 부분의 온도 및 전력량 등을 실시간으로 살펴볼 수 있도록 구성되어 있다. AHU는 냉방능력 1000 kcal/h의 공기조화기이며 급배기팬의 표준 풍량은 20 CMM이고 최대정압은 15 mmAq이다. 또한 냉수는 3-WAY 밸브를 통해 공조기내로 들어가며 By-pass된 냉수는 공조기의 냉수코일을 순환하지 않고 다시 냉동기로 되돌아 가도록 되어있다.

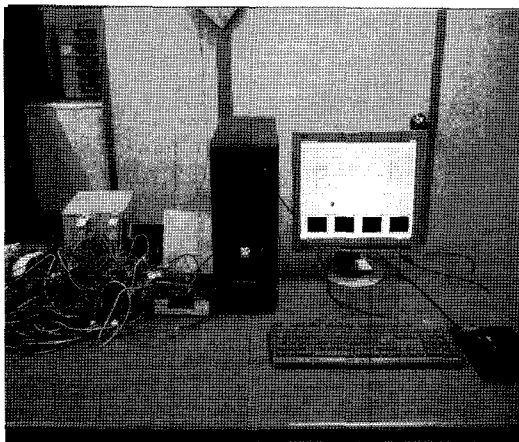


Fig. 3 Monitoring and control system for experiment.

시스템 구성요소의 매개변수는 실제 사무용 건물에서 가장 많이 사용되는 값들을 활용하여 실내 급기온도 16℃, 냉수설정온도 8℃로 설정하였다. 각 경우의 설정온도 값은 Table 2와 같이 2

2℃, 24℃, 26℃로 설정하였다. 22℃는 실내 쾌적 온도범위(comfort temperature zone)의 하한값을 선택하였고, 최대값을 26℃로 설정한 이유는 실험실의 구조가 반지하의 구조를 가지고 있어 일반 사무용 건물의 실내온도보다 약 1℃가 낮은 현상을 보이기 때문이다. 24℃는 최소값 22℃와 최대값 26℃의 중간값을 선택하였다. 마지막으로 외기보상제어를 실시한 경우를 포함하여 총 4가지 경우의 실험을 실시하였고 평균 외기온도를 27℃에서 ±0.2℃정도차이가 발생하는 날들을 비교하였다.

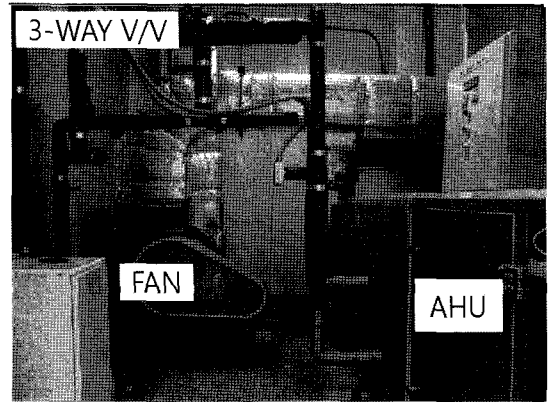


Fig. 4 Experimental apparatus of central cooling system.

Table 2. Conditions of indoor air set temperature and outdoor air average temperature.

	Operation conditions	Outdoor air average temp.
indoor air set-temp.	22℃	27.14℃
	24℃	27.09℃
	26℃	26.77℃
Outdoor temperature reset control		27.15℃

4. 결과 및 고찰

Fig. 5는 실내설정온도를 22℃, 24℃, 26℃로 하였을 경우와 외기보상제어를 수행하였을 경우를 당일 19시부터 익일 19시까지 하루중 변화하는 실내공기온도를 비교한 그래프이다. 실내설정온

도를 22℃로 하였을 경우는 시스템을 최대운전하여도 설정값이 미치지 못하지만 시간이 지남에 따라 22℃에 근접하게 계속 낮아지고 있음을 보이고 있다. 24℃와 26℃에서는 설정값이 양호하게 추종하였으며 외기보상제어를 수행한 경우에는 외기 변화에 따라 실내 쾌적온도범위(comfort temperature zone)의 만족하는 22℃~27℃의 설정범위내에서 실내온도가 양호하게 추종하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6은 실내설정온도를 22℃, 24℃, 26℃로 하였을 경우와 외기보상제어를 수행하였을 경우의 시간별 전력에너지 소비량의 변화를 나타내는 그림이다. 실내온도를 일정하게 유지시키는 제어를 수행하였을 경우의 에너지 소비변화는 외기가 낮은 시간대에서는 전력소비가 많지 않지만 외기가 가장 높은 시간인 15~16시에 가까워질수록 에너지 소비가 높아지는 것을 볼 수 있다. 반면에 외기보상제어의 경우 외기온도가 낮은 시간에 낮은 실내온도로 냉방을 하고 외기가 높아지더라도 설정온도 또한 높아지기 때문에 냉방시스템의 운전이 적어져 오히려 실내설정온도를 일정하게 하였을 경우의 반대의 현상이 벌어졌다. 하지만 18시 이후 외기가 낮아짐에 따라 설정온도가 낮아지면서 에너지 소비가 많아졌다.

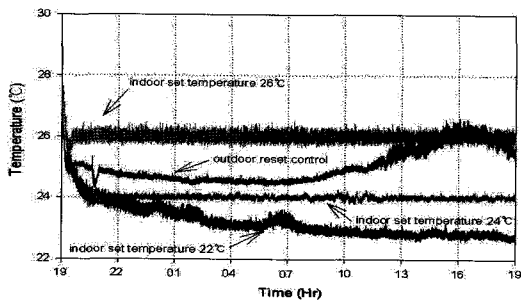


Fig. 5 Indoor air temperature changes by constant indoor set temperature and outdoor reset control.

Fig. 7은 냉방시스템의 전력에너지 총 사용량에 대한 비교 그림으로 결과를 살펴보면 외기보상제어의 경우가 가장 전력에너지를 적게 소비하는 것을 알 수 있으며 실내설정온도 22℃의 경우보다 34.4%, 24℃의 경우보다 23.1%, 26℃의 경우보다

10.3%의 냉방시스템 전력에너지 절감효과를 보였다.

Fig. 8은 여름철 시간대별 차등화된 요금을 시간별 에너지 소비량에 적용을 한 전력에너지 사용요금 변화를 나타내는 그림이다. 요금이 저렴한 시간대에는 거의 차이가 나지 않을 정도의 차이를 보이다가 중간부하가 시작되는 시간부터 차이가 벌어지기 시작했고 최대부하가 되는 시점에서는 설정온도 22℃와 외기보상제어의 요금의 차이가 2배가량 벌어졌다. 설정온도 22℃의 전력사용이 시스템 용량으로 인해 2배정도의 차이를 보이지만 시스템 용량이 설정온도 22℃의 부하에 만족하였다면 약 3배에 가까운 차이를 보였을 것으로 판단된다. 최대부하 이후 중간부하 시간대로 넘어가며 요금차이가 줄어들었다.

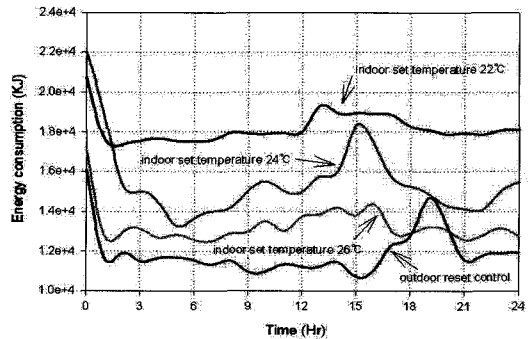


Fig. 6 Electric power energy changes by constant indoor set temperature and outdoor reset control.

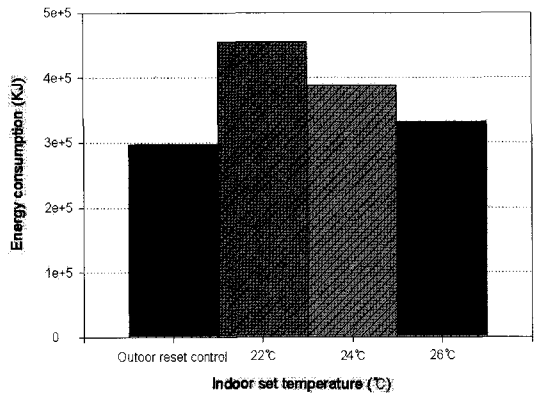


Fig. 7 The energy comparison by control methods in central cooling system.

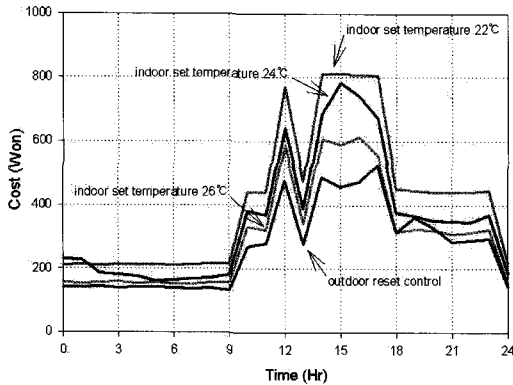


Fig. 8 Electric power energy cost changes by constant indoor set temperature and outdoor reset control.

Fig. 9는 냉방시스템의 전력에너지 총 사용요금의 비교 그림으로 결과를 살펴보면 외기보상제어의 경우가 가장 전력에너지 사용요금을 적게 소비하는 것을 알 수 있으며 실내설정온도 22°C의 경우보다 35.9%, 24°C의 경우보다 24.3%, 26°C의 경우보다 12%의 냉방시스템 전력에너지 사용요금 절감효과를 보였다.

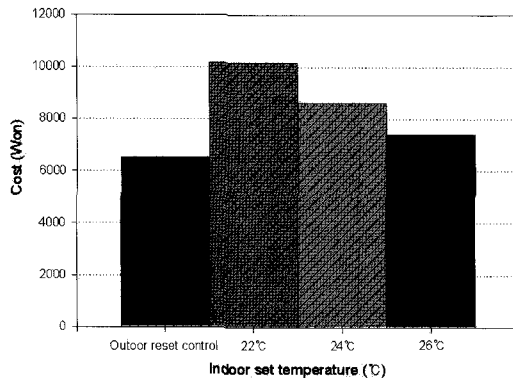


Fig. 9 The cost comparison by control methods in central cooling system.

따라서, 외기변화에 따라 실내설정온도를 변화시키는 외기보상제어를 수행하면 건물 내에서 생활하는 사람들이 쾌적한 열 환경을 느낌과 동시에 일정하게 실내온도를 유지하는 기존의 제어방식보다 전력에너지 소모량을 줄일 수 있음은 물론 사용요금에서도 절감효과를 가져다 줄 것이라

고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 기존의 실내설정온도를 일정하게 하는 제어방식에서 나타나는 문제점을 제거하기 위해 새로운 제어 방식인 외기보상제어를 냉방시스템에 적용한 모형실험장치를 통해 실험을 실시하였다.

실내설정온도를 일정하게 할 경우 변화하는 외기에 의한 부하에 적절히 대응하기 힘들어 불필요한 에너지 소비가 이루어지며 이에 따른 전력에너지 사용 요금 또한 불필요한 소비가 이루어진다고 판단됨에 따라 외기보상제어를 적용한 냉방실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 외기의 변화에 따라 실내설정온도를 변화시키는 외기보상제어에 있어 외기온도가 20°C~32°C로 변화할 때 실내설정온도를 22°C~27°C로 변화하는 특성을 확인할 수 있었으며, 실내온도도 설정온도에 적절히 추종하는 응답 특성을 확인할 수 있었다.
- (2) 외기보상제어를 수행할 경우 실내설정온도 22°C의 경우보다 34.4%, 24°C의 경우보다 23.1%, 26°C의 경우보다 10.3%의 냉방시스템 전력에너지 절감효과를 보였다. 따라서, 외기보상제어를 수행하면 실내설정온도를 일정하게 유지하는 제어방식에서 제기되었던 불필요한 에너지 소비를 줄일 수 있다.
- (3) 전력에너지 사용요금은 한국전력공사의 계절별, 시간대별 요금체계를 이용하였으며 이 요금체계는 전력의 사용량 반영하였다. 시간별로 경부하, 중간부하, 최대부하로 나뉘며 경부하를 기준으로 중간부하 시 2배, 최대부하 시 3배의 요금차이를 보인다. 이를 바탕으로 외기보상제어를 수행할 경우 실내설정온도 22°C의 경우보다 35.9%, 24°C의 경우보다 24.3%, 26°C의 경우보다 12%의 냉방시스템 전력에너지 사용요금 절감효과를 보이며 에너지 절감효과보다 더 많은 요금절감 효과를 나타내었다.

참고문헌

1. Ahn, B. C., 2000, Optimal control algorithm of HVAC system for a DDC controller, academic lecture of automatic control, pp.35~39.
2. Kim, S. D. and Lee, j., 2005, Recommended Practice for a Reasonable Design Demand Factor and Analysis of Power Consumption Characteristics by Loads in Office Building, Journal of the Korean Institute and Electrical Installation Engineers, Vol. 19, No.3, pp. 111 ~118.
3. Hong, S. S. and Song, J. Y. and Ahn B. C., 2010, Energy Saving Control Strategy For Central Heating System Using Outdoor Air Temperature Compensation, Proceedings of the SAREK 2010 Winter Annual Conference, pp. 505~510.
4. Ahn, B. C. and Song, J. Y. and Joo, Y. D. and Kim, J., 2008, Real Time Near Optimal Control Application Strategy of Central Cooling System, SAREK pp.470-477.
5. Ahn, B. C. and Mitchell, J. W., 2001, Optimal control development for chilled water plants using a quadratic representation, Energy and Buildings 33 Number 4, pp.371~378.
6. Gwak, D. Y., 2003, LabVIEW Express : Control and measurement of computer based, Ohm publishing company, The Korea
7. Cho, C. Y., 1992, Theory and Application of automatic control : technical education-9521-technology, LG-honeywell, The Korea, pp.115 ~119.