

# 중앙난방 시스템의 제어방법에 따른 난방성능 및 에너지소모량 특성 연구

송재엽, 양완연<sup>†</sup>, 안병천\*

경원대학교 건축설비공학과 대학원, <sup>†</sup>경원대학교 응용통계학과, \*경원대학교 건축설비공학과,

## Heating Performance and Energy Consumption Characteristics with Control Strategies for Central Heating System

Jae-Yeob Song, Wan-Youn Yang<sup>†</sup>, Byung-Cheon Ahn\*

Graduate School, Department of Building Equipment System Engineering, Kyungwon University, 461-701, Korea

<sup>†</sup>Department of Applied Statistics, Kyungwon University, 461-701, Korea

\*Department of Building Equipment System Engineering, Kyungwon University, 461-701, Korea

### Abstract

In this study, heating performance and energy consumption characteristics with control strategies for central heating system were researched by the simulation. The simulation analysis is made by TRNSYS ver. 15 with the actual data. The parametric study on proportional factor, control time interval and outdoor air temperatures changes were done to compare control characteristics and energy performance, respectively. As a result, the simulation results with various parameter changes show good heating performance and energy saving.

**Key words** : Central heating system(중앙난방시스템), Feedforward control(피드퍼워드 제어), Feedback control(피드백 제어), Fan coil unit(팬코일유닛), HVAC system(공조시스템)

### 1. 서론

최근 에너지 자원의 해외 의존도가 큰 우리나라의 실정을 감안하여 볼 때, 건물 에너지 절약에 대한 연구 개발 및 적용은 매우 중요한 사안이 아닐 수 없다.

건물에서의 에너지 낭비는 빌딩 내 건축설비의

비효율적인 운전 및 관리와 관련되어 있다고 볼 수 있으며, 특히 동절기 전력수요의 20% 가량이 건물의 총 부하 중에서 난방부하의 몫이라는 결과는 난방부하가 피크전력과 전력 예비율에 상당한 영향을 준다는 것을 알 수 있다.<sup>(1), (2)</sup>

이에 따라 국내에서는 건축물의 에너지 소모를 줄임과 동시에 실내의 쾌적한 온도유지를 위하여 건축물 난방시스템에 대하여 여러 가지 제어방식을 제안하고 있으며, 이 중 거의 대부분의 제어방식은 피드백(feedback) 방식을 채택하고 사용하고 있다.

피드백 제어방식의 경우 외기온도 변화에 대하

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-31-750-5391; fax: +82-31-750-5174  
E-mail address: ywy@kyungwon.ac.kr  
접수일 : 2011년 4월 18일  
심사일 : 2011년 4월 21일  
채택일 : 2011년 5월 2일

여 실온유지가 탁월하다는 장점 등이 있어 적용되고 있으나 현재 난방시스템을 복합적으로 구축하고 있는 건축물이 많아짐에 따라 효율적인 제어방식이 요구된다.

특히 팬코일유닛과 공조시스템을 동시에 구축하여 난방하는 시스템에 있어서 공조시스템은 정풍량 방식을 채택하고 팬코일유닛과 공조기로 공급되는 난방수를 실온에 따라 밸브로 유량을 제어하고 있는 경우가 대부분이나 현재 건축물의 에너지 절감을 위하여 VAV방식으로 공조기 팬을 인버터 제어하는 경우가 많아짐에 따라 유량 조절과 제어값이 복합적으로 중복될 수 있어 문제가 발생할 여지가 있다.

이에 따라 본 연구에서는 실제 팬코일 유닛과 공조시스템으로 난방하는 시스템에 있어서 TRNSYS ver. 15 프로그램을 활용하여 시뮬레이션 모델링을 수행하고 중앙난방시스템의 실온을 공조시스템의 인버터제어와 난방수 유량을 제어하는 밸브제어를 각각 피드백 제어와 피드퍼워드(feedforward) 제어<sup>(3), (4), (5)</sup>를 동시에 수행하였을 경우에 대하여 여러 제어변수들을 변경시켜 수치해석을 수행함으로써 난방성능을 살펴보고 이에 따른 에너지 소모특성을 비교 분석하였다.

### 2. 시스템 제어방법

본 연구에서는 중앙난방시스템의 실온을 공조시스템의 인버터제어와 난방수 유량을 제어하는 밸브제어를 각각 피드백 제어와 피드퍼워드 제어를 동시에 수행하였을 경우에 대하여 난방성능을 살펴보고자 다음 Fig. 1과 같이 제어흐름도를 구성하였다.

먼저, 실내공기온도에 대하여 설정온도와 대상온도에 대하여 오차를 계산하고 이에 대해 각각 밸브와 공조기 팬에서 비례제어와 PID제어를 수행하여 실내공기온도를 조절하게 된다. 이 때 밸브에서는 외기온도에 따라 피드퍼워드 제어가 동시에 수행된다.

난방수의 유량을 밸브에 의해 비례하게 제어하는 방법은 다음과 같다.

먼저, 난방수 유량값의 변화는 다음에 나타낸 식(1)과 같이 설정온도와 실내공기온도의 차의 함

수로 나타낼 수 있다.

$$\dot{m} = f(T_s - T_i) \tag{1}$$

여기서,  $\dot{m}$ ,  $T_s$ ,  $T_i$ 는 각각 난방수 유량, 설정온도, 실내공기온도를 나타낸다.

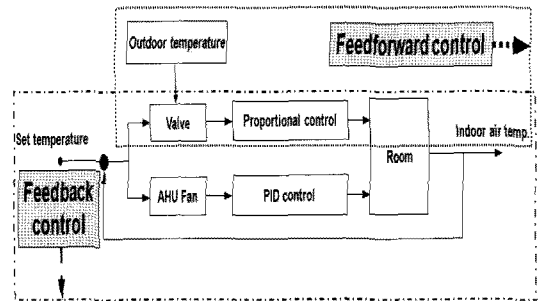


Fig. 1 Block diagram for feedforward and feedback control.

또한 식(1)은 식(2)와 같이 공급유량을 설정온도와 실내공기온도의 온도차크기에 따라 결정하게 될 비례계수 값과 외기온도 크기에 대한 보정계수의 곱으로 표현할 수 있게 된다.

$$\dot{m} = K_o \times K_p \times (T_s - T_i) \tag{2}$$

여기서,  $K_o$ 와  $K_p$ 는 각각 외기온도에 따른 보정계수 값과, 온도차에 따른 비례계수 값을 나타낸다.

식(2)에서 나타낸 바와 같이 난방수의 유량조절에 있어서 외기온도와 실내공기온도에 따라 유량을 적절히 변경시켜 피드 퍼워드 제어를 수행하여 실내공기온도를 일정하게 유지시키게 된다.

이 때 유량제어는 설정온도와 실내공기온도차를 실시간으로 1분마다 평균하여 시간간격에 따라 유량제어를 수행하게 된다. 또한 공조기의 경우 1분마다 지속적으로 PID제어를 수행하게 된다.

### 3. 시스템 모델링

본 연구에서는 앞서 언급한 중앙난방시스템의 제어방법의 적용에 따른 난방성능을 살펴보고 이

에 따른 에너지 소모특성을 비교 분석하고자 실제 대상 건물모델을 선정하였다.

대상건물의 경우 보일러를 통해 난방수가 팬코일 유닛과 공조기의 열교환 코일쪽으로 분배되어 공급이 되고 있으며, 부하분담율은 팬코일 유닛 60%, 공조기가 40%를 담당하고 있다.

특히 공조기의 경우 정풍량방식을 채택하고 있어 일정한 풍량이 공급되고 있으며, 온도조절밸브를 통해 팬코일유닛과 공조기 열교환코일로 공급되는 유량을 조절함으로써 실내공기온도를 유지하는 시스템으로 구성되어 있다.

시뮬레이션 대상모델의 설비기기들은 H빌딩의 설계데이터를 토대로 하여 시뮬레이션 프로그램을 작성하고 해석을 수행하였으며, 실내 부하모델의 경우 건물의 전체 부하를 팬코일 유닛과 공조기를 통해 감당하도록 모델링 하였으며, 공조기 팬의 경우 구역별로 3대로 구분되어져 있으나 통합하여 실내부하모델의 부하를 처리 하도록 하였다. 팬코일 유닛 또한 다수의 기기가 건물 곳곳에 설치되어 있으나 통합적으로 난방부하를 처리하도록 모델링을 수행하였다.

또한 본 연구를 위해 복합적으로 공조기 팬을 변풍량 방식으로 하여 실내공기온도를 피드백 제어하고, 난방수의 유량을 온도조절밸브를 통하여 피드 퍼워드 제어하였을 경우에 대하여 시스템을 구성하였다.

#### 4. 컴퓨터 시뮬레이션

본 연구에서는 중앙난방시스템의 피드 퍼워드 및 피드백 제어에 관한 난방특성을 연구하고자 TRNSYS ver. 15 프로그램을 활용하여 실제 건물을 대상으로 모델링 한 시뮬레이션 프로그램을 다음 Fig. 2와 같이 작성하였다. 이 때 시뮬레이션 모델은 앞서 언급한 중앙난방시스템과 동일하게 적용하였다.

본 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 외기온도가 0℃일 때 먼저 유량에 관한 비례계수와 시간간격에 대하여 수치해석을 수행하였으며, 이 때 나타난 온도변화와 에너지 소모특성을 살펴 최적의 비례계수와 시간간격을 구해내었다. 비례계수와 시간간격에 따른 구분은 다음 Table 1과 같다.

또한 이를 통해 구해낸 비례계수와 시간간격으로 하여 외기온도 변화에 따른 특성을 고려하고자 -5℃~5℃사이의 외기온도 변화에 따른 온도변화와 에너지 소모특성에 대해 수치해석을 수행하였다. 외기온도의 경우 -3℃이하로 내려갔을 경우 시스템이 최대부하운전을 하게 됨에 따라 이와 같이 선정하게 되었다.

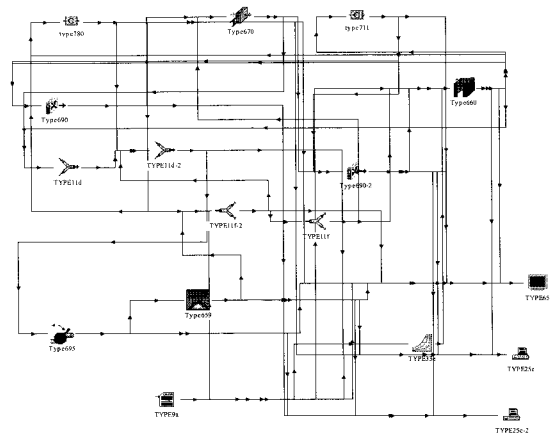


Fig. 2 TRNSYS program for feedforward and feedback control.

Table 1. Classification of proportional factor and time interval

Description	Proportional factor	Time interval
Case 1	2	5 min.
Case 2		10 min.
Case 3		15 min.
Case 4		30 min.
Case 5	1	5 min.
Case 6		10 min.
Case 7		15 min.
Case 8		30 min.
Case 9	2/3	5 min.
Case 10		10 min.
Case 11		15 min.
Case 12		30 min.
Case 13	0.5	5 min.
Case 14		10 min.
Case 15		15 min.
Case 16		30 min.

다음과 같은 시뮬레이션의 수치해석을 통해 외기온도에 따른 보정계수 값을 구해내고 회귀분석을 통하여 각 상수를 구해내어 이를 적용하여 보정전과 보정후에 대하여 시뮬레이션 해석을 수행하였다.

또한 실제 외기온도 변화에 따라서 제어가 원활히 이루어지는지 살펴보았다. 시뮬레이션에 적용된 외기온도 데이터의 경우 실제 기상청 데이터를 1시간 간격으로 하여 입력데이터로 주었으며, 실내공기온도의 설정온도는 실내 쾌적범위인 18~26℃ 내에서 제어특성을 원활히 살펴보고자 22℃로 선정하였으며, 시뮬레이션 해석시간 간격은 1분으로 하였다.

### 5. 결과 및 고찰

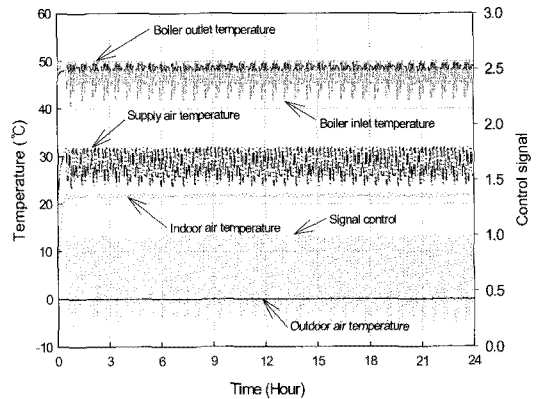
Fig. 3은 유량제어에 있어 비례계수를 2로하고 시간간격을 각각 5분과 30분으로 하였을 경우에 대한 온도변화 및 제어신호값을 나타낸 그림이다. 두 그림을 비교해보면 시간간격을 5분으로 하였을 경우 30분으로 한 경우보다 실내공기온도의 변화폭은 작게 나타나나 제어신호의 진동주기가 매우 짧아짐을 알 수 있다. 이에 따라 시스템적인 문제를 고려할 때 적당한 시간간격의 선정이 매우 중요할 것이라고 사료된다.

Fig. 4는 유량제어를 위한 비례계수 및 시간간격에 따른 실내공기온도의 최고온도, 최저온도 및 평균온도와 각 설비기기의 에너지 소모량을 나타낸 그림이다.

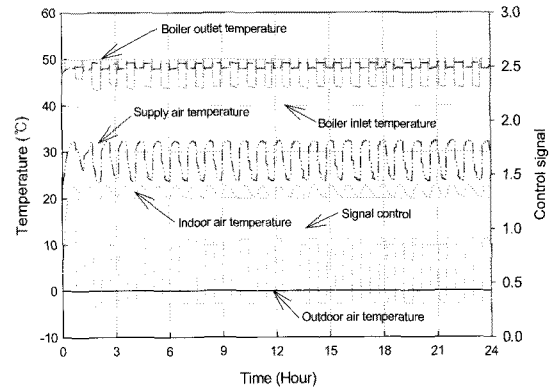
그림에서 살펴보면 먼저 비례계수 값이 작아짐에 따라 실내온도가 점차적으로 내려가는 것을 알 수 있으며, 이를 통해 실내공기설정온도가 22℃임을 감안할 때 실내온도유지를 위해서는 비례계수 값이 작아지는 것은 바람직하지 않다는 것을 알 수 있다.

또한 제어시간간격이 길어짐에 따라 실내공기온도의 최고온도와 최저온도차가 커지는 특성을 나타내었으며, 이로써 미루어볼 때 시간간격이 길어질 경우 온도차가 커짐에 따라 실내의 쾌적함을 해칠 우려가 있음을 알 수 있다.

에너지 소모량의 차이에 있어서는 전체적으로 볼 때 시간간격이 짧아질 경우 에너지 소모가 크



(a) Time interval : 5 min.



(a) Time interval : 30 min.

Fig. 3 The control responses with different time intervals.

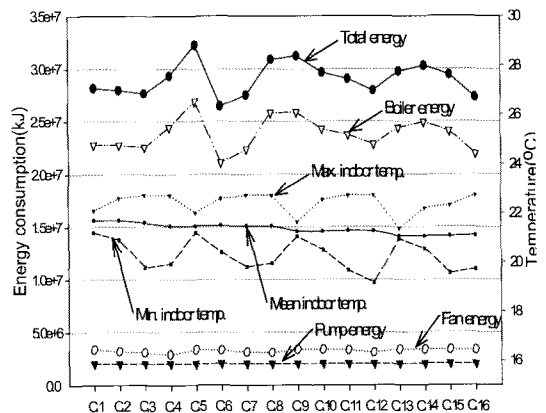


Fig. 4 The temperature and energy consumption responses with different proportional factors and time intervals.

게 나타나는 경향을 나타내었으나, 온도변화특성에 비해 대체적으로 불규칙적인 특성이 나타났으며, 비례계수가 1, 시간간격이 10분일 경우에 에너지소모가 최소가 되는 경우가 발생하였다. 본 연구에서는 예비 시뮬레이션을 통해 더 많은 경우에 대하여 수치해석을 수행하여 이 경우보다 더 적은 에너지 소모가 이루어지는 조합이 상당수 찾을 수 있었으나 실내공기온도의 온도차가 더욱 크게 벌어지는 문제점을 안고 있어 다음과 같은 조합을 최적의 비례계수와 시간간격으로 선정하였다.

Fig. 5는 비례계수를 1, 시간간격을 10분으로 하였을 경우에 대해 외기온도 변화에 따른 온도 변화와 에너지 소모량을 살펴본 그림이다.

그림에서 살펴보면 먼저 실내공기온도가 외기온도변화에 따라 비례적인 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 외기온도가 -5℃일 경우 특성이 제대로 나타나지 않는데 이는 본 연구의 시뮬레이션 모델에 있어 외기온도가 -3℃이하로 내려갈 경우 최대부하로 운전하는 경우가 발생하여 나타나는 현상이다.

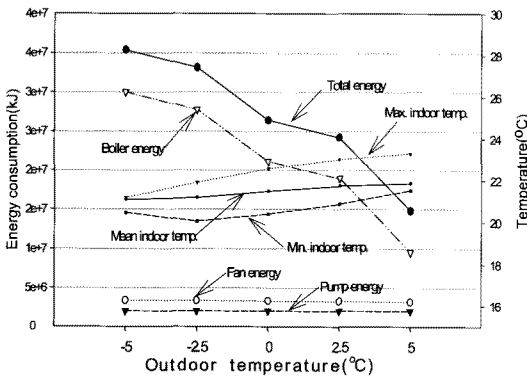


Fig. 5 The temperature and energy consumption responses with different outdoor temperatures.

또한 실내공기온도를 제어하는 측면에서 살펴볼 때 실내공기 평균온도가 외기온도에 따라서 일정하게 유지되어야 함에도 불구하고 원활히 이루어지지 못하고 있는데 이는 유량을 있어서 비례계수에 의해 제어함에 따라 외기온도에 민감하고, 또한 공조기의 제어신호를 살펴본 결과 최대 풍량을 계속적으로 공급하고는 있으나 상대적으

로 팬코일 유닛보다 부하분담율이 낮은 관계로 난방부하를 모두 충당하지 못한 결과이다.

이에 따라 외기온도 변화에 따른 비례계수의 보정이 필요하다고 판단되어 외기온도에 따라 실내공기 평균온도가 일정하게 유지되는 비례계수를 수치해석을 통해 구해내고 회귀분석을 통하여 외기온도에 따른 비례계수 관계를 함수로 구해내어 적용하였다.

Fig. 6은 외기온도 변화에 따라 보정계수를 적용하였을 경우에 대한 실내공기온도변화 및 에너지 소모특성을 나타낸 것이다.

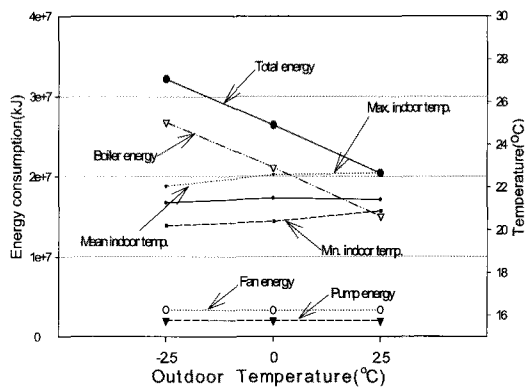


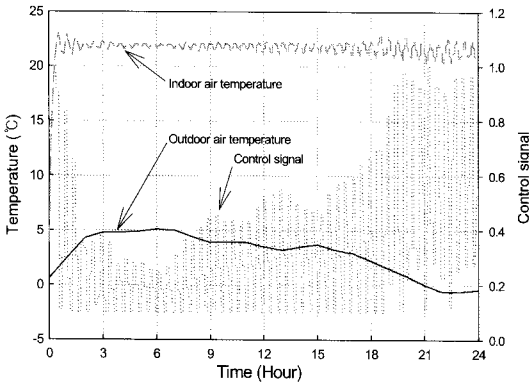
Fig. 6 The temperature and energy consumption responses with outdoor temperature with calibration.

그림에서 살펴보면 보정계수를 적용한 결과 외기온도 변화에 따라 실내공기 평균온도가 거의 일정하게 유지 되었으며, 에너지 소모특성 또한 비례한 특성을 나타내며 변화 하였다.

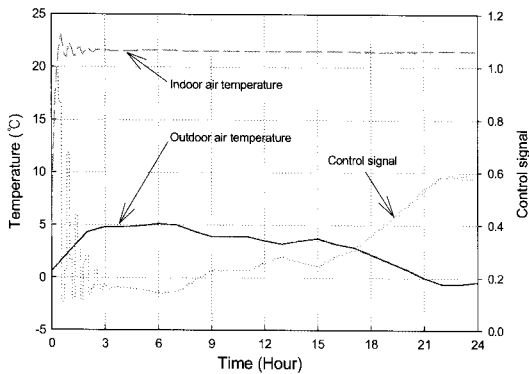
Fig. 7은 실제 외기온도를 적용하였을 때 외기온도에 따른 보정계수를 적용하지 않았을 경우와 적용하였을 경우에 대한 실내공기온도변화와 제어신호를 나타낸 그림이다.

보정전과 보정후를 비교해보면 보정을 하였을 경우 10분이라는 제어시간간격에도 불구하고 상당히 안정적인 제어성능을 나타내고 있음을 알 수 있다. 먼저 실내공기온도변화 특성에 있어서 보정을 하였을 경우 실내공기온도의 진동을 팬코일유닛과 공조기에 있어서 피드퍼워드 제어와 피드백 제어가 동시에 수행하였음에 불구하고 상당히 줄어들었다.

이 때의 에너지소모특성과 실내평균온도를 살펴본 결과 에너지의 경우 0.03%정도의 근소한 차이를 보였으나 평균온도의 경우 보정을 하였을 경우가 약 0.2℃ 높게 나타났다.



(a) Before calibration.



(b) After calibration.

Fig. 7 The temperature and control signal responses with outdoor temperature change.

이로써 미루어볼 때 팬코일유닛과 공조기가 통합적으로 실내 난방부하를 해결하는 중앙난방시스템의 경우 피드 퍼워드 제어와 피드백 제어를 통합하여 사용할 경우 적절한 비례계수와 보정계수값의 선정을 통하여 양호한 난방성능과 함께 에너지 절감에 효과적인 것으로 사료된다.

## 6. 결론

본 연구에서는 중앙난방시스템의 실온을 공조

시스템의 인버터제어와 난방수 유량을 제어하는 밸브제어를 각각 피드백 제어와 피드퍼워드 제어를 동시에 수행하였을 경우에 대하여 난방성능을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 팬코일유닛과 공조기로 구성된 중앙난방시스템에 대해 공조기의 피드백 제어 및 난방수 유량의 피드 퍼워드 제어를 동시에 수행한 결과 실내공기온도를 거의 일정하게 유지하는 양호한 난방성능을 나타내었으며, 적절한 비례계수와 보정계수값의 선정을 통하여 양호한 난방성능과 함께 에너지 절감에 효과적일 것으로 사료된다.
- (2) 난방수 유량선정에서 설정온도와 실내공기 온도차를 구하여 비례제어를 수행할 경우 비례계수의 선정과 제어시간간격 선정이 무엇보다 중요하며, 두 변수의 조합으로 인하여 에너지 소모가 줄어드는 경우가 발생하였고, 본 연구에서 수행한 시뮬레이션 대상모델의 경우 실내최고최저 온도차와 에너지소모특성을 고려하였을 때 비례계수 1, 제어시간간격 10분이 가장 적절한 선정값으로 나타났으며, 추후 표준모델을 선정하여 비례계수와 보정계수 값의 선정에 따른 경제성 분석을 통해 평가할 경우 건물에너지 절감 방안에 있어서 큰 효과를 나타낼 것으로 사료된다.
- (3) 난방수 유량을 비례계수에 의하여 제어할 경우 외기온도에 민감하여 외기온도가 -5℃~5℃로 변화하였을 때 실내공기평균온도가 비례적으로 증가하는 특성을 나타내었으며, 외기온도 변화에 따른 실내공기온도 유지를 위해 보정계수를 회귀분석을 통하여 구해내어 이를 적용한 결과 피드 퍼워드 및 피드백 동시제어에 있어 제어신호값의 진동이 큰 폭으로 줄어드는 등 실내공기온도유지의 안정적인 제어성능을 나타내었다.

## 참고문헌

1. Song, J. Y, Ahn, B. C, Kim, J, Baek, S. J, 2009, "A Study on Control and Energy Performance with Control methods of Central

- Cooling System in Building ", Proceedings of the SAREK 2009, Winter Annual Conference, pp. 413-418
2. Song. J. Y, Ahn. B. C, Ju. Y. D, Kim. J, 2008, "Real Time Near Optimal Control Application Strategy for Heat Source and HVAC System ", Proceedings of the SAREK 2008, Summer Annual Conference, pp.60-65
  3. Ahmed. O, " Model based Control Strategies for Laboratory HVAC systems", University of Wisconsin-Madison, U.S.A.
  4. Abdullatif E. B-N, Mohamed A. M, 2004, "Cooling load prediction for buildings using general regression neural networks", Energy Conversion and Management Vol. 45, pp. 2127-2141
  5. Michael. B, James. B, 1998, Implementation of On-line Optimal Supervisory Control of Cooling Plants Without Storage, ASHRAE Report RP-823.