

## 중앙난방시스템의 유량제어방식에 따른 제어특성 연구

송재엽, 안병천<sup>†\*</sup>

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

### Control Characteristics with Flow Rate Control Methods in Central Heating System

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

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

<sup>†\*</sup>Department of Building Equipment System Engineering, Kyungwon University, 461-701, Korea

#### Abstract

In this study, control characteristics and energy performance with flow rate control methods were reviewed with the simulation. The heating system is classified such as fan coil unit and HVAC system currently used in buildings with valve control and pump inverter control. The simulation analysis program is made by TRNSYS ver. 15 with the actual data. As a result of this study, the central heating system with pump inverter control decreases electricity energy and reduces gas consumption. Inverter control method shows better performance in comparison with valve control one for energy saving.

**Key words :** Central heating system(중앙난방시스템), Pump inverter control(순환펌프 인버터 제어), Valve control(밸브제어), Fan coil unit(팬코일유닛), HVAC system(공조시스템), Flow-rate control(유량제어)

#### 1. 서론

최근 에너지 절약의 중요성이 날로 늘어감에 따라 많은 양의 에너지를 소모하는 건축물에 있어서의 에너지 절감은 현재로써 매우 중요한 사안이다.

특히 건축물에서 전체에너지 소비량 중 냉난방에 소모되는 에너지는 큰 비중을 차지하고 있

며, 이에 따라 냉난방에너지를 줄이기 위하여 여러 가지 대책을 제안하고 있다.

건축물 에너지 절감에 관한 방안으로는 크게 건축적인 요소와 설비적인 요소로 나누어진다. 먼저 건축적인 요소는 대부분 건물설계에 의한 냉난방부하의 저감방안이라 볼 수 있으며, 설비적인 요소로는 설비기기 효율향상과 제어방법을 개선하는 방안 등이 있다. 이 중 제어방법을 개선하기 위한 방안으로써 난방수 유량을 제어하기 위하여 인버터, 삼방밸브 및 온도조절밸브 등을 사용하는 방법들이 현재 활용되고 있다.

이에 관한 연구로는 해외에서는 MacCluer<sup>1)</sup>은 온수를 제어하는 방법을 실온피드백 제어, 외기보상 제어 등으로 구분하고 새로이 비례적인 플럭스

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-31-750-5309; fax: +82-31-750-5314  
E-mail address: bcahn@kyungwon.ac.kr  
접수일 : 2011년 월 일  
심사일 : 2011년 월 일  
채택일 : 2011년 월 일

조절이라는 방법을 제안하였으며, 국내에서는 우<sup>2)</sup>는 바닥복사 난방시스템에 대하여 공급온수온도 및 공급유량에 대해 제어방식별로 실험적인 연구를 진행하였으며, 송<sup>3)</sup>은 3방밸브를 이용하여 난방수를 조절하여 에너지 절감효과를 살펴보았다.

그러나 이러한 연구들은 유량을 제어하는 방법에 따른 차이점에 대해서는 언급하고 있지 않거나 혹은 바닥난방 시스템에 국한되어 연구되었다.

이에 따라 본 연구에서는 현재 국내 건축물의 냉난방시스템으로써 많이 적용되고 있는 공조방식과 팬코일 유닛을 동시에 이용한 난방시스템에 대해 시뮬레이션 프로그램을 구성하고 시뮬레이션을 수행하여 실제에너지 사용량과 시뮬레이션 에너지 사용량을 살펴보았으며, 또한 난방수의 유량을 제어하는 방식에 있어서 펌프 인버터제어와 밸브제어를 적용하였을 때 에너지 소모량에 관해서 비교분석하였다.

## 2. 시스템 모델링

본 연구에서는 중앙난방시스템의 유량제어방식에 따른 에너지 소모특성에 대하여 살펴보기 위하여 중앙난방시스템을 채택한 대상 모델을 선정하였다.<sup>4)</sup>

선정된 건물은 강동구 성내동의 H빌딩으로 지하 4층, 지상 10층으로 되어 있으며 연면적은 7,150m<sup>2</sup>이다. 난방시스템의 열원은 보일러를 사용하고, 운전방식은 팬코일 유닛을 주로 사용하고 부하가 초과할 경우 공조기를 사용하여 중앙난방을 겸용하는 방식으로 되어 있다.

유량제어방식의 경우 실내공기온도에 따라 온도조절밸브를 통해 공급되는 유량을 제어하고 있으며 이에 따라 발생하게 되는 차압을 공급헤더와 환수헤더의 차압조절밸브를 통해 난방수를 바이패스 시키는 방법으로 되어 있다.

시뮬레이션 대상모델의 설비기기들은 H빌딩의 설계데이터를 토대로 하여 시뮬레이션 프로그램을 작성하고 해석을 수행하였고, 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 난방수에 대한 유량제어방식에 대하여 밸브제어방식과 펌프 인버터제어방식에 관하여 각각 시뮬레이션 모델을 구성하였다.

## 3. 시스템 제어방법

본 연구에서는 중앙난방시스템의 난방수 유량 제어방식에 따른 에너지 소모특성을 살펴보기 위하여 유량제어방식을 두 가지 방식으로 나누어 구분하였다.

먼저 본 연구의 대상모델이 된 건물에 적용된 밸브제어방식으로 실내공기온도에 따라 공급되는 난방수의 유량을 밸브를 통하여 조절하고 나머지의 유량을 바이패스 시키는 방식과 난방수가 순환펌프 인버터제어로 인하여 공급되는 유량이 직접 조절되는 방식에 대하여 중앙난방시스템의 에너지 소모특성을 살펴보았다.

먼저 Fig. 1은 실제 건물데이터를 기초로 하여 구성된 TRNSYS프로그램의 모습을 나타낸 것이다. 그림에서 살펴보면 대상건물의 기존의 난방시스템과 동일하도록 용량을 산정하여 보일러(Type 659), 온수순환펌프(Type 695), 열교환기(Type 670), 급배기팬(Type 662)등의 설비기기와 팬코일유닛의 해석이 가능하도록 통합되어진 실내 부하모델(Type 660)로 구성하였으며, 유량제어가 가능하도록 제어기(Type 713)를 설치하고 연구 대상모델을 근거로 하여 난방수 유량을 실내공기

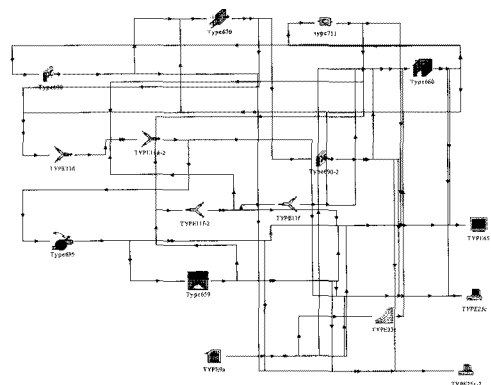


Fig. 1 TRNSYS program with valve control method.

온도에 따라 밸브로 제어하는 방식에 관하여 시뮬레이션 프로그램에 적용하였다.

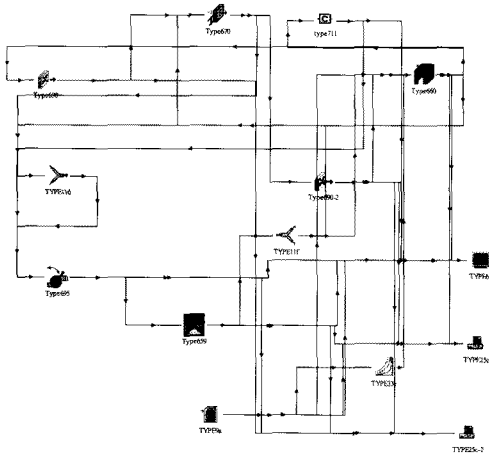


Fig. 2 TRANSYS program with pump inverter control method.

Fig. 2는 난방수 유량제어를 순환펌프의 인버터 제어를 통해 하는 난방시스템에 대하여 시뮬레이션 프로그램을 구성한 것으로써 각 설비기기들의 용량은 Fig. 1의 밸브제어방식과 동일하나 구성에 있어서 난방수 유량을 제어하기 위하여 제어신호를 결정하는 제어기가 순환펌프(Type 695)에 연결되도록 하였다.

또한 이러한 유량제어방식은 열원기구나 다른 설비기기들의 시스템적인 요인을 고려하여 제어신호에 대하여 하한값을 두어 설비기기들의 문제점의 발생을 막아주고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 각 제어방법별로 제어신호의 하한값을 변경시켜 연구를 수행하였다.

#### 4. 컴퓨터 시뮬레이션

본 연구에서는 실제 건물데이터를 토대로 하여 시뮬레이션 프로그램을 구성하고 이를 통하여 실제적으로 사용된 에너지 소모량과 비교한 후 난방수 밸브제어방식과 순환펌프 인버터제어방식에 관하여 비교 연구를 수행하였다.

먼저 난방시스템의 시뮬레이션 프로그램 검증을 위하여 실제 건물데이터를 토대로 하여 시뮬레이션 프로그램 구성하고 2007년 12월~2008년

2월, 2008년 12월 ~ 2009년 2월(총 6개월)에 걸쳐 시뮬레이션을 수행하였다.

다음과 같은 시뮬레이션을 통해 얻어낸 보일러의 가스에너지 소모량과 실제 가스에너지 소모량을 비교 분석한 후 시뮬레이션 프로그램을 활용하여 난방수 밸브제어방식과 순환펌프 인버터제어방식에 관하여 시뮬레이션을 수행하였다.

난방수 제어방식에 따른 시뮬레이션은 2008년 1월 1달간에 관하여 비교분석을 수행하였으며, 각 제어방식별로 제어신호의 하한값을 변경시켜 시뮬레이션을 수행하였다.

제어신호의 하한값 변경은 실제로 적용될 수 있는 한계가 존재한다. 예를 들어 건물에 적용할 때 인버터 제어방식의 경우 펌프 회전수를 조절함에 따라 난방수 공급을 위한 수두의 영향을 고려해야 하거나 여러 설비기기들의 효율 등을 살펴봐야 함에 따라 실제로 적용하기 힘든 하한값이 존재할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 각 제어신호의 하한값을 모두 고려하여 시뮬레이션 하였으나 비교 분석에 있어서는 이러한 점을 고려하여 검토하였으며, 각 제어방식에 따른 제어신호의 하한값은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Classification of control methods.

| Description | Explanation                  |
|-------------|------------------------------|
| Case 1      | Low limit control signal 0.1 |
| Case 2      | Low limit control signal 0.3 |
| Case 3      | Low limit control signal 0.5 |
| Case 4      | Low limit control signal 0.7 |
| Case 5      | Low limit control signal 0.9 |

시뮬레이션에 적용된 외기온도 데이터의 경우 실제 기상청 데이터를 1시간 간격으로 하여 입력 데이터로 주었으며, 실내공기온도의 설정온도는 24℃, 시뮬레이션 해석시간 간격은 1분으로 하였다.

#### 5. 결과 및 고찰

Fig. 3은 실제 건물의 2008년 12월~2009년 2월 동절기의 가스에너지 사용량과 시뮬레이션 결과

값을 비교분석한 그림이다.

시물레이션 대상건물의 실제 가스에너지 소모량과 시물레이션 결과를 비교한 결과 2007년 12월~ 2008년 2월까지 2007년 동절기의 가스에너지 소모량을 비교한 경우 실제 가스사용량이 시물레이션 결과보다 약 1% 정도 많게 나타났으며, 2008년 12월~ 2009년 2월까지 2008년 동절기의 경우 약 2%정도 실제 가스사용량이 더 많게 나타났다. 가장 많은 차이가 나타난 달은 2008년 1월로써 약 9%정도의 오차를 나타냈다.

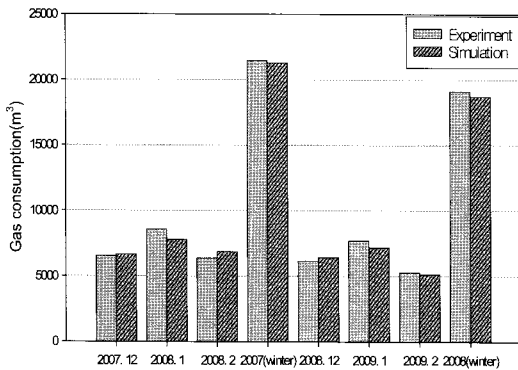


Fig. 3 Experiment and simulation results in gas consumptions.

Fig. 4는 2008년 1월 1달간의 난방수의 밸브제어방식을 적용한 경우에 대한 온도변화와 제어신호의 동특성 변화를 나타낸 것이다. 이 때 밸브제어방식의 제어신호의 하한값은 0.1로 하였다.

그림에서 살펴보면 먼저 실내공기온도의 경우 외기온도가 변화함에 따라서 설정온도인 24℃를 유지하는 경우와 그렇지 못한 경우로 동특성이 변화하고 있는 것을 알 수 있다. 실내공기온도가 24℃로 유지되지 못하는 경우는 난방시스템의 설비기기들의 설계용량을 초과하여 외기온도가 변화함에 따라 나타나는 특성이다.

유량을 제어하는 제어신호의 경우 외기온도가 -2℃이하로 내려갈 경우 항상 최대난방부하 운전을 계속하여 유량을 최대로 흘려보내고 있으며 외기온도가 그 이상인 경우 유량을 줄여서 실온이 설정온도를 유지하도록 제어를 계속적으로 수행하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 외기온도가 8℃정도로 올라 난방부하가 현저히 줄어든 경우

에 하한값을 0.1로 설정했음에도 불구하고 제어신호가 약 0.3정도 까지 밖에 변화하지 않았다.

Fig. 5는 난방수 밸브제어방식과 순환펌프 인버터제어방식의 최저제어신호를 0.1로 하였을 경우에 대한 각 설비기기들의 에너지 소모량을 나타낸 그림이다.

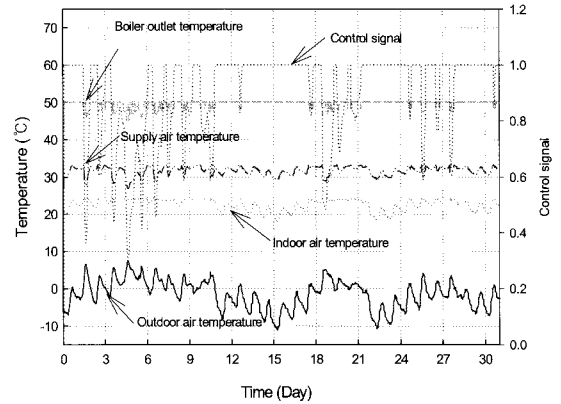


Fig. 4 Temperature responses with V/V control method.

그림에서 살펴보면 먼저 공조기쪽 팬 전력량을 살펴보았을 때 정풍량 방식으로 인하여 각 제어방식간의 에너지 소모량의 차이는 나타나지 않았다. 그러나 난방수 순환펌프의 에너지 소모량을 살펴보았을 때 밸브제어방식에 비해 펌프인버터제어방식이 16%정도의 에너지 절감을 나타냈으며, 보일러의 경우도 약 2%의 에너지 절감성능을 나타내었고, 전체적으로 약 2.6% 정도의 에너지가 절약됨을 알 수 있었다.

Fig. 6은 난방수 밸브제어방식과 순환펌프 인버터제어방식의 최저제어신호를 0.7로 하였을 경우에 대한 각 설비기기들의 에너지 소모량을 나타낸 그림이다.

공조기의 팬 전력량을 살펴보았을 때 Fig. 5의 경우와 마찬가지로 에너지 소모량의 차이는 나타나지 않았으며, 난방수 순환펌프의 에너지 소모량을 살펴보았을 때 밸브제어방식에 비해 펌프인버터제어방식이 12%, 보일러의 경우 약 6%, 전체 에너지 소비량에 있어서는 약 5% 정도의 에너지가 절약됨을 알 수 있었다. 이것은 펌프의 경우 밸브제어방식은 펌프가 항상 정속운전을 수행하지만 인버터제어방식의 경우 회전수가 변화함으로 나

타나는 특성이며, 보일러의 경우 밸브제어방식은 정속운전하는 펌프의 영향으로 보일러의 온수순환량이 바이패스에 의하여 거의 일정하게 유지되지만 인버터제어방식은 순환유량을 제어함에 따라 밸브제어방식에 비해 상대적으로 부하가 작아지기 때문에 나타나는 현상이다.

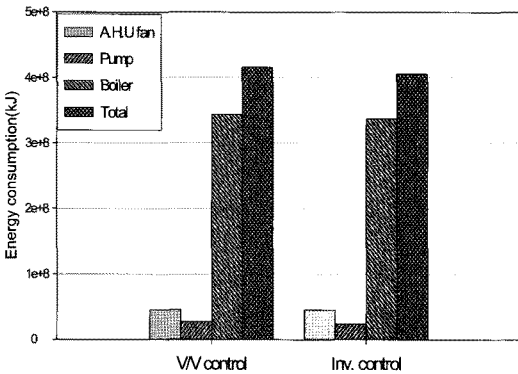


Fig. 5 Component energy consumptions with each control method for low limit control signal 0.1.

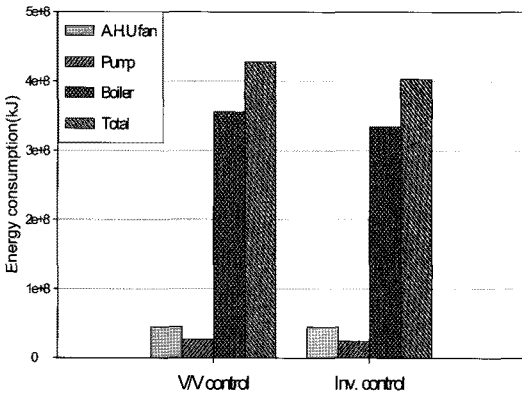


Fig. 6 Component energy consumptions with each control method for low limit control signal 0.7.

Fig. 5와 Fig. 6에서 살펴볼 때 최저제어신호가 높아 졌음에도 불구하고 펌프 인버터제어방식의 순환펌프 에너지 소비량의 차이가 눈에 띄게 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 본래 펌프의 에너지 소비량은 펌프의 회전수비의 제제곱에 비례하기 때문에 최저제어신호가 바뀌면 펌프에너지 소비량에 있어서 큰 차이가 나타나야 하는 것이 옳으나, Fig. 4의 밸브제어방식의 제어신호의 동특성 그래프를 살펴볼 때 제어신호는 외기온도 변

화에 따라서 최대부하 운전을 하는 경우가 많을 뿐만 아니라 부분부하 운전일 경우에도 최저제어신호를 0.1로 하였음에도 불구하고 최저 약 0.3이상의 제어신호로 운전함에 따라 큰 차이가 나타나지 않는 것으로 판단된다.

그러나 만약 전체적으로 부분부하로 운전될 경우가 많아지게 될 경우 펌프에너지 소모량에 있어서도 큰 절감이 이루어 질것으로 사료된다.

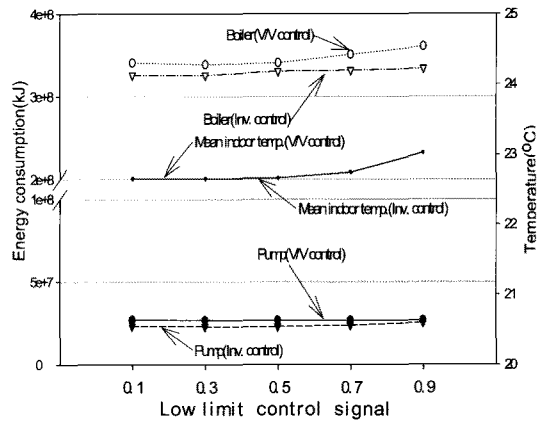


Fig. 7 Energy consumptions with each control methods and low limit control signals.

Fig. 7은 난방수 밸브제어방식과 순환펌프 인버터제어방식에 대해 각 제어방식별로 최저제어신호를 0.1~0.9까지 변화시켰을 경우에 대하여 보일러 에너지 소모량과 펌프에너지 소모량을 비교 분석한 그림이다.

먼저 최저제어신호가 0.3이하일 경우는 부분부하 운전 시 최저제어신호가 0.3이하로 내려가는 경우가 거의 없으므로 인하여 보일러나 펌프의 에너지 차이가 거의 나타나지 않았다.

보일러의 에너지 소모량을 살펴보면 전체적으로 순환펌프 인버터제어 방식이 밸브제어방식보다 에너지가 적게 소모가 되는 것을 알 수 있다. 이는 밸브제어방식의 경우 바이패스 되는 유량이 발생하게 되어 순환펌프 인버터 제어방식보다 난방수의 열량손실이 발생하는 것으로 사료된다.

실내공기온도의 평균온도를 살펴본 결과 최저제어신호가 0.3이상일 경우 점차적으로 온도가 상승하는 것을 알 수 있다. 이는 하한값의 선정으로 인하여 부분부하 운전이 제어신호 0.3이상의 값으

로 이루어짐으로 인하여 설정온도인 24℃를 유지하지 못하고 과다난방이 이루어지기 때문이다. 이로써 미루어볼 때 실내의 과다난방을 막기 위해서는 이러한 제어신호의 하한값의 선정이 무엇보다 중요할 것으로 사료된다.

펌프에너지의 경우 밸브제어방식은 최저제어신호에 관계없이 일정하지만 순환펌프 인버터제어방식의 경우 최저회전수가 점차 높아짐에 따라서 제어신호의 하한값이 0.9일 때 밸브제어방식과 거의 동일한 에너지 소모량을 나타내었다.

전체적으로 살펴볼 때 제어신호의 하한값을 낮게 두었을 경우 밸브제어방식과 펌프인버터제어방식 모두 전체적인 소모량에 있어서 적게 나타났으며, 특히 펌프 인버터 제어방식의 경우 펌프 에너지 소모량과 보일러 에너지 소모량에 있어서 더욱 절감 되었다. 그러나 본 연구의 경우 난방수의 밸브제어방식과 순환펌프 인버터제어 방식에 대하여 각 제어방식별로 제어신호의 하한값의 변화에 따라 데이터를 분석하였으나 실제적으로 건물 등에 적용함에 있어 하한값의 선정에 있어 여러 가지 문제점이 발생할 수 있다. 예를 들어 펌프의 수두 등의 문제점으로 인하여 하한값에 제한을 낮게 두면 난방수의 공급이 원활하지 못하게 될 수도 있기 때문이다. 이에 따라 설비에 제어를 적용하게 될 경우 여러 가지 상황에 대하여 충분히 고려해야 할 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 중앙난방시스템으로 구성된 실제 건물을 대상으로 하여 시뮬레이션 프로그램을 구성하고 난방수 조절방식을 밸브제어방식과 순환펌프 인버터제어방식으로 구분하여 에너지 소모량에 관하여 시뮬레이션을 수행하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 팬코일유닛과 공조기로 구성된 중앙난방시스템의 실제 건물을 대상으로 하여 시뮬레이션 프로그램을 작성하여 실제 가스에너지 소모량과 시뮬레이션 결과값을 비교한 결과 2007년 동절기에 약 1%, 2008년 동절

기에 약 2%의 양호한 차이를 나타내었다.

- (2) 중앙난방시스템의 난방수 제어방식을 밸브제어방식과 순환펌프 인버터제어 방식으로 구분하여 시뮬레이션 해본 결과 순환펌프 에너지 소모량의 경우 최대부하 운전기간이 길었음에도 불구하고 크게 약 16%정도의 에너지 절감성능을 보였으며, 부분부하 운전이 많아질 경우 더욱 많은 에너지 절감성능을 보일 것으로 사료된다.
- (3) 순환펌프를 인버터제어 하였을 경우 밸브제어방식보다 난방수 제어방식에 있어서 열원기기 에너지 절감효율에 있어서 효과적인 것으로 나타났으며, 제어신호의 하한값을 작게 하는 것이 밸브제어방식 및 펌프 인버터제어방식에 있어서 에너지 절감적인 측면에 있어서 모두 효과적인 것으로 사료되나 펌프 수두 측면 등 여러 가지 설비시스템적인 문제점을 충분히 고려하여 결정해야 할 것으로 판단된다.

## 인용문헌

1. MacCluer, C.R., 1989, "The control of radiant-slabs", ASHRAE J., September, pp.28-33.
2. Wu. Feng. Jin, Lim. J. H, Yeo. M. S, Kim. K. W, 2001, "An experimental study on the control methods of radiant heating system using Ondol", Journal of architectural institute of Korea, Vol. 21, No. 1, pp.677-680.
3. 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
4. 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