중앙냉방시스템의 실시간 준최적제어 적용에 따른 실험적 연구

안 병 천†, 송 재 엽*, 주 영 덕**, 김 진**
경원대학교 건축설비공학과, *경원대학교 건축설비공학과 대학원, **(주)나라컨트롤

Real Time Near Optimal Control Application Strategy of Central Cooling System

Byung-Cheon Ahn†, Jae-Yeob Song*, Yong-Duk Joo**, Jin Kim**
Department of Building Equipment System Engineering, Kyungwon University, 461-701, Korea
**Department of Building Equipment System Engineering, Kyungwon University, 461-701, Korea*
***Department of Building Services, Nara Controls Inc., Seoul 135-100, Korea*

(Received March 19, 2008; revision received May 30, 2008)

ABSTRACT: The near-optimal control algorithm for central cooling system has been developed for minimizing energy consumption while maintaining the comfort of indoor thermal environment in terms of the environmental variables such as time varying indoor cooling load and outdoor temperatures. The optimal set-points of control parameters with near-optimal control are supply air and chilled water temperatures. The near optimal control algorithm has been implemented by using LabVIEW program in order to analyze energy performance for central cooling control system.

Key words: Central cooling system(중앙냉방시스템), Near optimal control algorithm(준최적제어 알고리즘), Set-point temperature(설정온도), Supply air and chilled water temperature(급기 및 냉수온도)

기 호 설 명

A : 공기의 특성치[kJ/kg℃ · kg/m^3]
C_{chw} : 물의 비열 [kJ/kg℃]
K_{comp} : 냉동기 특성상수 [kW/℃]
K_{fan} : 급 · 배기팬 특성상수 [kW/℃]
K_{pump} : 냉수펌프 특성상수 [kW/℃]
M : 공기유량 [m^3/sec]
m_{water} : 냉수유량 [kg/sec]
P_{comp} : 냉동기 전력소모량 [kW]
P_{fan} : 급 · 배기팬 전력소모량 [kW]
P_{pump} : 냉수펌프 전력소모량 [kW]
P_{tot} : 총 전력소모량 [kW]
$T_{cc,\ inlet}$: 급기 입구온도 [℃]
$T_{cc,\ discharge}$: 최적 급기 출구온도 [℃]
T_{chwr} : 냉수 환수온도 [℃]
$T_{chws,\ opt}$: 최적 냉수 공급온도 [℃]
Δh_{air} : 입출구 공기의 엔탈피차 [kJ/kg]
ΔT_{air} : 급기 입출구 온도차 [℃]
$\Delta T_{air,\ opt}$: 최적 급기 입출구 온도차 [℃]
ΔT_{chw} : 냉수 입출구 온도차 [℃]
$\Delta T_{chw,\ opt}$: 최적 냉수 입출구 온도차 [℃]

† Corresponding author
Tel.: +82-31-750-5309; fax: +82-31-750-5314
E-mail address: bcahn@kyungwon.ac.kr

1. 서 론

에너지 자원의 해외 의존도가 크고 최근 건물 부문에서 고급연료의 선호경향으로 특히 수입에너지 소비가 폭발적으로 증가하고 있는 우리나라

실정을 감안하여 볼 때, 건물 에너지 절약에 대한 연구 개발 및 적용은 매우 중요하다. 건물에서의 효율적인 에너지 절약은 건물주는 물론 국가 기간산업에도 직·간접적인 영향을 주는 중요한 요소이며, 따라서 이에 대한 연구개발 및 투자가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 건물에서의 에너지 낭비는 빌딩 내 건축설비의 비효율적인 운전 및 관리와 관련되어 있다고 볼 수 있으며, 특히 하절기 전력수요의 20% 가량이 건물의 총 부하 중에서 냉방부하의 몫이라는 결과는 냉방부하가 피크전력과 전력 예비율에 상당한 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

일반적으로 건물 에너지시스템인 중앙 열원 및 공조시스템에 있어서 에너지 소비량에 영향을 주는 주요 제어변수들로는 냉수 및 냉각수 유량, 보일러 순환펌프의 유량, 냉각탑 팬 및 공조기 팬의 공기유량, 급기온도, 냉수온도, 냉각수온도(혹은 냉각탑 공기유량), 공조기 팬의 정압 등이 있다. 이러한 제어변수들의 최적 설정치들에 대한 조합을 구하는 것은 시스템 구성요소들의 상호 관계를 고려해 볼 때 쉬운 문제는 아니다.

각각의 제어변수들의 크기에 따라 시스템 구성요소들의 전력소비량은 증가하거나 감소하는 등의 복잡한 영향이 나타나기 때문에 전체시스템의 총 에너지 소비량이 최소가 되는 제어변수들의 최적 설정치의 선정을 위해서는 열원 및 공조시스템에 적합한 최적제어 알고리즘의 개발을 요구하게 된다.

국외에서는 중앙냉방시스템의 에너지 절감을 위해 Braun et al.[1]이 비축열조 냉수시스템의 최적제어에 관해서 이론적 연구를 수행하였고, Zaheer-Uddin and Zheng[2]은 공조시스템의 최적운전을 위한 적용제어기법에 대한 연구를 수행하였다.

국내의 경우 최근에 Ahn and Mitchell[3, 4]은 공기조화 시스템의 급기온도, 냉수온도, 냉각수온도 등의 상관관계를 고려한 최적제어기법에 관하여 연구를 수행하였으며, 최적제어에 의한 에너지절감이 가능함을 보여주었으나, 시뮬레이션 연구이며, 실시간 제어알고리즘으로서 냉방시스템에 적용하기 어려운 점이 있다.

따라서 본 연구에서는 실시간 제어 알고리즘으로 구현이 용이한 준최적제어 알고리즘을 이용하여 냉수 및 급기온도의 최적설정치를 구하고, 이를 냉방시스템에 적용하여 에너지절감효과에 대한 실험적 연구를 수행하였다.

2. 준최적제어 알고리즘

먼저, 준최적제어 알고리즘의 적용을 위한 기본 가정은 다음과 같다.

(1) 최적 냉수 설정온도와 급기 설정온도 계산 시에 부하는 준정상상태를 유지한다.

(2) 최적 냉수 설정온도와 코일 공기 설정온도 계산 시에 ΔT_{chw}와 Δh_{air}는 일정한 것으로 가정한다. 이것은 냉각코일을 통과하는 냉수량과 냉각코일을 지난 공기량은 최적 설정점 계산시간에 일정하다는 것을 의미한다.

(3) 물과 공기의 비열은 부하조건에 대해 일정하다. 이 가정은 열교환기에서 냉수와 공기의 온도변화 범위가 크지 않기 때문이다.

이상의 기본가정을 기초로 하여 본 연구에서 제시하는 준최적 제어 알고리즘에 대해 간단히 기술하면 다음과 같다.

냉방시스템에 있어서 총 에너지 소모량은 냉동기 압축기의 전력량과 순환펌프 전력량, 공조기 급배기 팬의 전력량의 합으로 다음 식(1)과 같이 표현된다.

$$P_{tot} = P_{comp} + P_{pump} + P_{fan} \tag{1}$$

식(1)에서 압축기의 에너지 소비량 및 냉수순환펌프의 전력량은 냉수코일에 순환하는 냉수의 온도차에 관한 수식으로 식(2), 식(3)과 같이 표현이 되며, 냉방부하를 고려한 팬의 전력소모량은 냉수코일과 열교환이 이루어지는 공기의 코일 전후 온도차에 관한 수식으로 나타내어지며 이는 식(4)와 같이 표현되어진다.[5]

$$P_{comp} = K_{comp} \cdot \Delta T_{chw} \tag{2}$$

$$P_{pump} = K_{pump} \cdot \Delta T_{chw}^3 \tag{3}$$

$$P_{fan} = K_{fan} \cdot \frac{1}{\Delta T_{air}^3} \tag{4}$$

이에 따라 냉방시스템의 각 구성요소들의 특성식을 식(1)에 적용하여 정리하면 냉방시스템의 총 에너지 소모량은 다음과 같이 냉수코일을 순환하는 순환수의 코일입출구 온도차와 냉수코일의 코일 전후 공기온도차에 대한 함수로 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{tot}(\Delta T_{chw}, \Delta T_{air}) = K_{comp} \cdot \Delta T_{chw} + K_{pump} \cdot \Delta T_{chw}^3 + K_{fan} \cdot \frac{1}{\Delta T_{air}^3} \quad (5)$$

또한 냉방시스템의 총 에너지 소모량을 나타낸 식(5)에 다음 식(6)과 같이 습코일일 경우 공기상태를 포화상태로 가정하여 냉수코일의 물과 공기의 열교환 특성관계식을 적용하면 식(7)과 같은 냉수코일 순환수의 입출구 온도차에 관한 함수로 표현될 수 있으며, K'_{fan}은 식(4), 식(6)을 통해 구해진다.

$$A \cdot M \cdot \Delta T_{air} = C_{chw} \cdot m_{chw} \cdot \Delta T_{chw} \quad (6)$$

$$P_{tot}(\Delta T_{chw}) = K_{comp} \cdot \Delta T_{chw} + K_{pump} \cdot \Delta T_{chw}^3 + K_{fan}^{'} \cdot \frac{1}{\Delta T_{chw}^3} \quad (7)$$

이 식을 미분하고 Newton-Raphson 방법으로 근을 구하면 냉방시스템의 총 에너지 소모량이 최소가 되는 최적의 냉수코일을 순환하는 순환수의 냉수온도차를 구해낼 수 있으며 이는 냉방시스템의 구성요소들의 K_{comp}, K_{pump}, K'_{fan} 등과 같은 특성상수들로부터 결정되어 진다. 이 값들은 식(2)~식(4)에서 나타낸 바와 같이 실시간으로 실험을 통하여 측정된 냉수코일의 순환수 입출구 온도차 및 냉수코일의 전후 공기온도차, 압축기 및 냉수순환펌프와 급배기 팬의 전력량으로 구해지게 된다.

이렇게 구해진 최적의 냉수온도차를 식(6)에 다시 적용하여 냉수코일의 전후 최적공기온도차를 구해내고 이 두 가지의 최적온도차를 식(8)에 적용함으로써 실시간으로 측정되어지는 냉수코일의 출구냉수온도와 냉수코일전의 순환공기온도 값을 통해 최적의 냉수코일을 통과하는 최적의 냉수설정온도와 급기설정온도가 정해지게 된다.

$$T_{chws,opt} = T_{chwr} - \Delta T_{chw,opt}$$
$$T_{cc,discharge} = T_{cc,inlet} - \Delta T_{air,opt} \quad (8)$$

냉수온도 및 급기온도의 최적설정값이 결정이 되면, 먼저 냉수설정온도의 경우 냉동기 압축기를 On-Off하여 설정온도를 유지할 수 있도록 제어하며, 또한 급기설정온도의 경우는 실험장치의 3-way밸브개도를 PID제어하여 유지하게 된다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서는 중앙냉방시스템의 준최적제어 알고리즘 적용을 통한 냉방시스템의 구성요소들의 동작특성 및 에너지 변화특성을 살펴보기 위하여 다음과 같이 모형실험장치를 구성하였다.

Fig. 1은 본 실험을 위해 구성한 중앙공조시스템의 제어 및 모니터링을 하기 위하여 구성한 모형실험장치의 모습을 나타낸 사진이다. 그림에서 보여지는 PC를 통하여 냉방시스템의 각 구성기기들의 제어와 각 부의 온도 및 전력량 등을 실시간으로 살펴볼 수 있도록 구성되어 있으며 이때 사용한 PC는 Intel Pentium 4, 2.80 GHz이다.

Fig. 2는 중앙냉방시스템 기계실 상세사진이다. 기계실의 각 구성기기들을 살펴보면 ①은 최대풍량 20 CMM, 냉난방능력 10000 kcal/h의 AHU(공조기)이다. ②번은 표준 풍량 20 CMM, 최대정압 15 mmAq의 송풍기 이고, 이 송풍기는 급기와 배기 두 대가 설치되어 제어신호를 인버터를 통해 비례적으로 회전수를 제어하는 방식을 사용하고 있다. ③번은 실내로 공급되는 급기온도 조절을 위하여 냉수코일로 공급되는 냉수량을 조절해주는 3-Way 밸브이며, 3-Way 밸브를 통하여 By-pass된 냉수는 공조기의 냉수코일을 순환하지 않고 다시 냉동기로 되돌아가도록 되어있다.

Fig. 3은 실험실 외부에 설치되어 있는 냉동기의 모습을 나타낸 모습이다. 냉동기는 5 RT의 냉방능력을 가지고 있으며 팬 두 개와 유량 46 LPM, 양정 19 m의 1 HP순환펌프를 내장하고 소비전력은 6.4 kW이다.

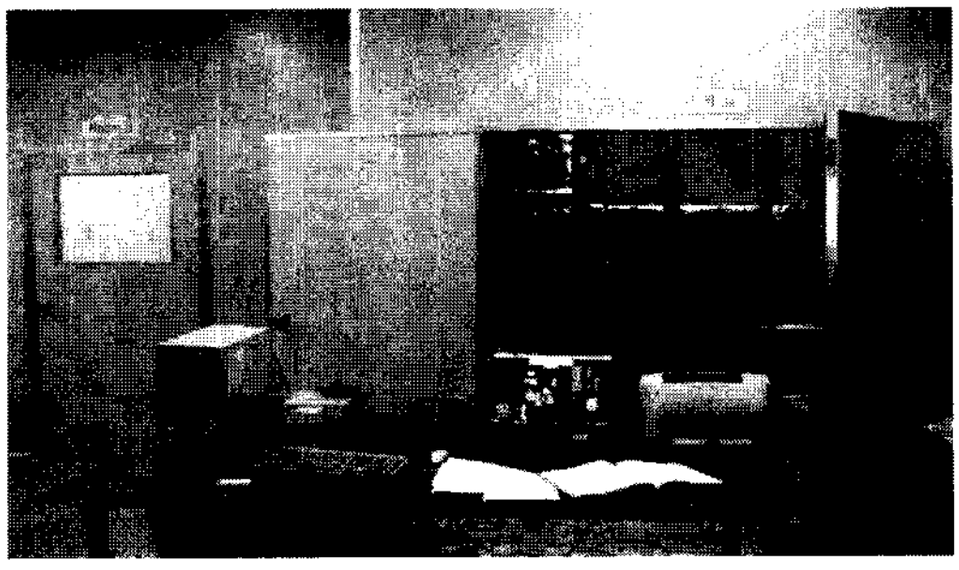

Fig. 1 The control and monitering apparatus of central cooling system.

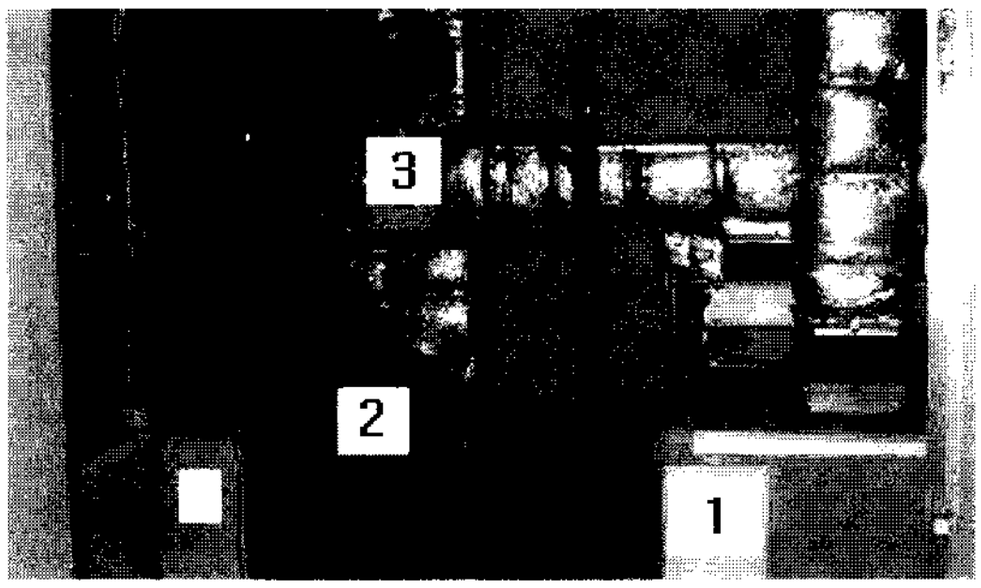

Fig. 2 Experimental apparatus of central cooling system.

Fig. 3 Inside appearance of Chiller.

3.2 실험용 제어프로그램

본 연구에서는 앞서 설명한 모형실험장치를 통하여 냉방시스템의 준최적제어 적용실험을 위해 National Instrument사의 LabVIEW v7.2를 사용하여 제어알고리즘 프로그램을 구성하였으며 PC에 장착되어진 보드를 통하여 아날로그 입출력 및 디지털 신호를 처리하여 프로그램을 통한 제어가 이루어지도록 하였다.

LabVIEW는 아이콘을 이용하여 프로그램을 작성하는 프로그래밍 언어로서 요즘 많이 사용되고 있는 Visual C++, Visual Basic, Boland C, Delphi 같은 언더들과 비교하여 User Interface뿐만 아니라 Source 코드 또한 그래픽한 환경으로 이루어져 있어 다루기 쉽고 PC를 이용하여 자동제어와 계측시스템을 구축할 때 빠른 프로그래밍이 가능한 최적화된 언어이다.

이러한 LabVIEW프로그램을 사용하여 실시간으로 실내공기온도, 외기온도, 급기온도, 냉수온도 등의 각 지점들의 데이터와 냉방시스템 각 구성기기들에서 출력되는 전력량 값, 급배기팬 및 냉동기 압축기 등을 제어하기 위한 신호값 들을 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 프로그램을 구성 하였다.

Fig. 4는 본 연구를 위하여 각 데이터 모니터링 및 PID게인 튜닝 등의 입력값을 입력할 수 있도록 모델링한 프런트 패널의 모습을 나타낸 그림이며, Fig 5는 제어알고리즘의 구현 및 데이터 수집 및 신호값들을 내보내기 위하여 LabVIEW를 이용하여 프로그래밍한 블록 다이어그램의 모습을 나타낸 그림이다.

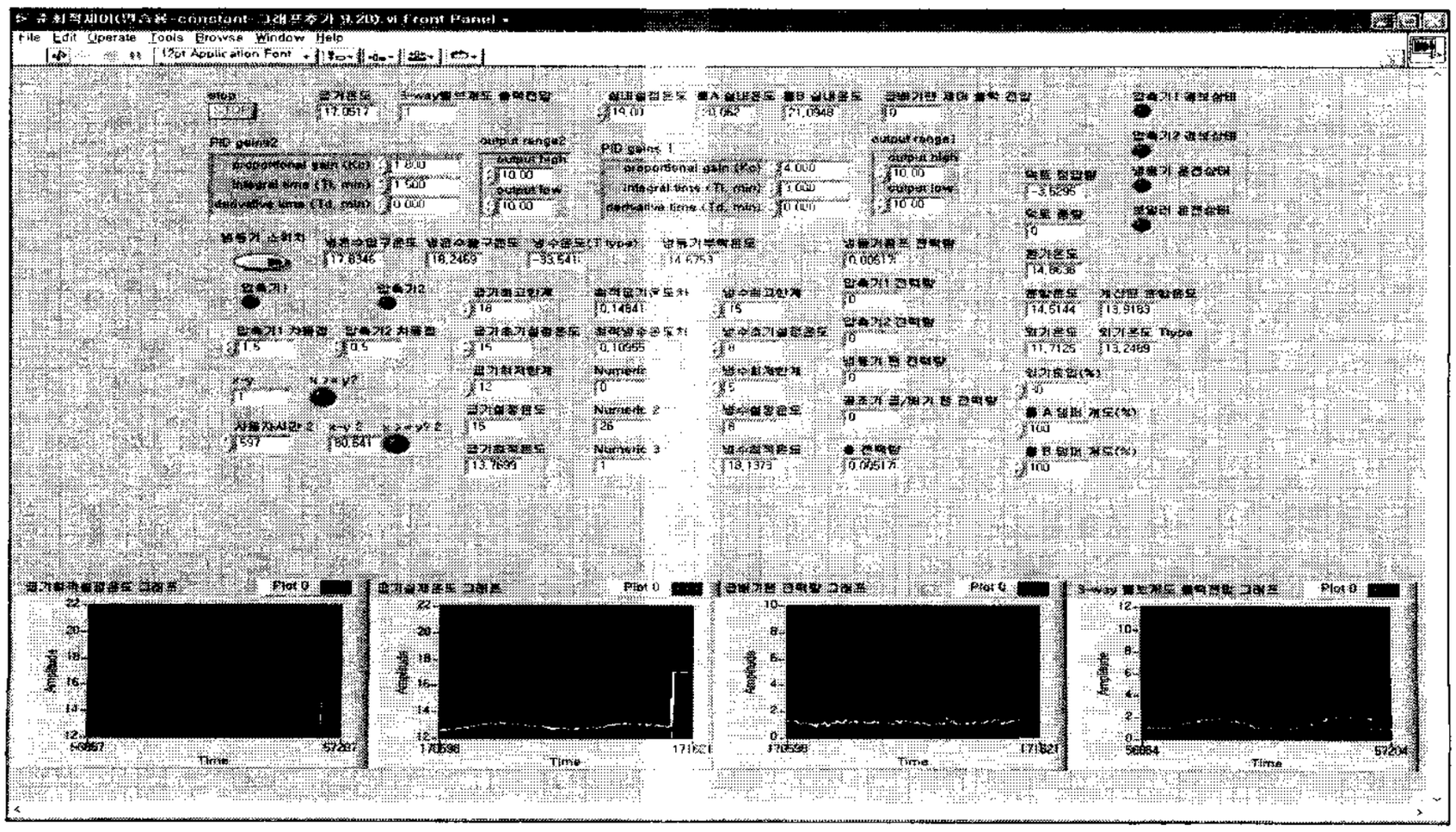

Fig. 4 Monitoring Screen of LapVIEW S/W.

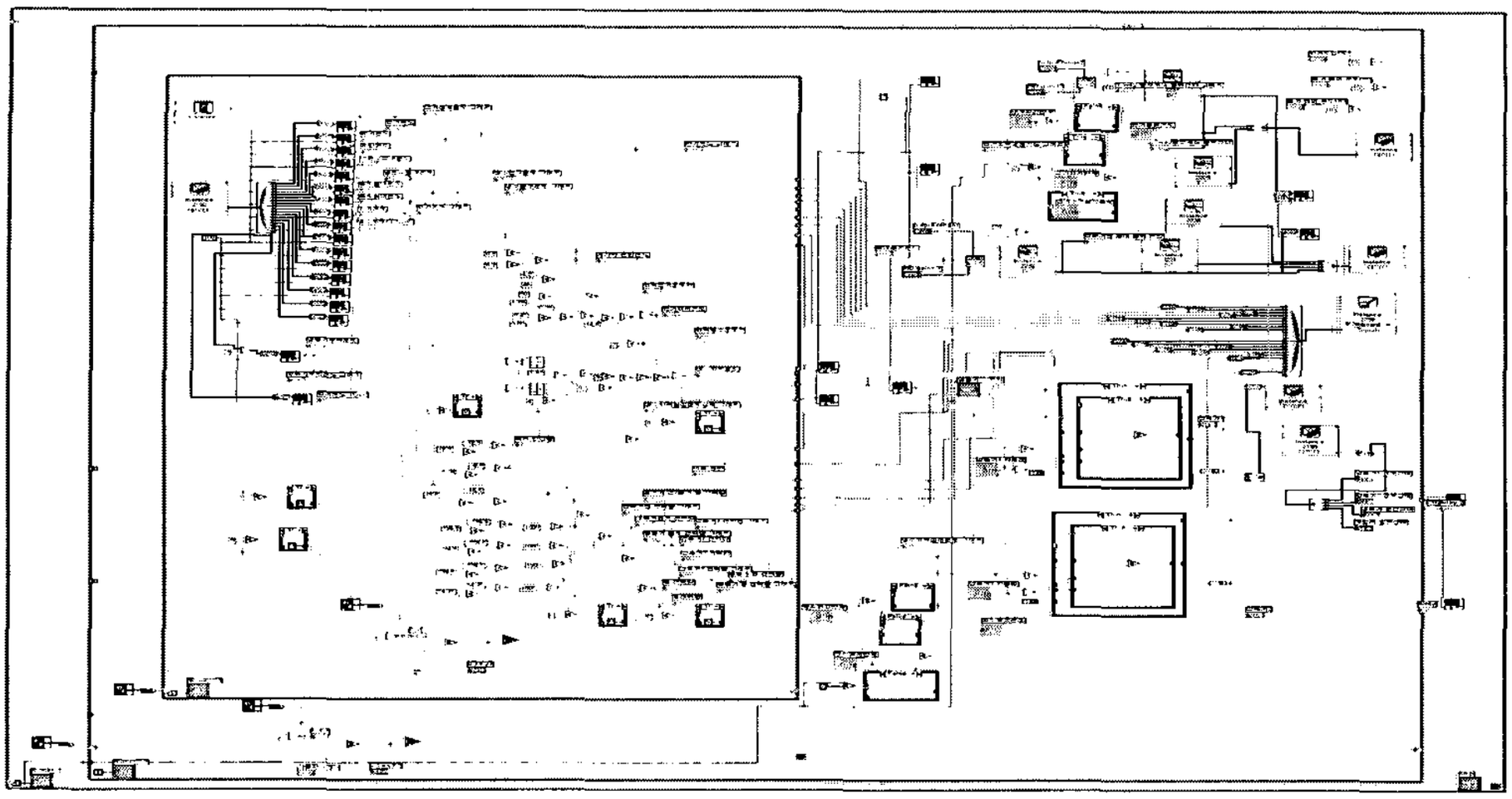

Fig. 5 LapVIEW based near-optimal control program.

3.3 실험방법

본 연구에서는 총 에너지 소비를 최소화 할 수 있는 준최적제어 알고리즘이 적용된 중앙냉방 시스템의 실제 모형실험장치를 구성하여 실험을 통한 준최적제어 알고리즘의 적용가능 여부와 타당성을 살펴보았다.

Fig. 6은 제어 알고리즘을 적용하기 위한 실험장치의 개략도 및 제어개념도이다. 실험방법을 간단히 설명하면 냉방시스템의 각 구성요소 들에서 측정되어지는 온도 및 전력량을 통하여 제어기에서 제어알고리즘에 적용하고 이를 통해 계산되어진 최적냉수설정온도 및 급기온도를 제어하기 위하여 제어기에서 압축기 및 냉수순환펌프, 급배기 팬에 제어신호를 보내어 대상온도가 최적설정온도를 유지하도록 제어하게 된다.

최적급기온도의 경우 냉수코일의 전에 설치된 3-Way 밸브의 개도를 PID제어하여 냉수순환량을 조절함으로써 급기온도가 최적설정값에 유지될 수 있도록 하였으며, 최적냉수입구온도는 냉수설정온도에 따라 압축기 두 대를 각각 ±0.5 ℃, ±1.5 ℃의 차동갭을 두어 On-Off제어하여 냉수입구온도가 일정하게 유지되도록 하였다. 여기서 압축기의 차동갭을 각각 달리 설정한 것은 압축기가 동시에 On-Off될 경우 에너지 소모가 클 뿐만 아니라 냉수온도의 상하온도차가 커져 제어에 어려움이 따르기 때문이다. 또한 실내공기온도를 일정하게 유지하기 위하여 급배기 팬을 PID제어를 통하여 인버터로 풍량을 조절하였다.

준최적제어 알고리즘을 적용한 실험의 경우 30분간의 일정한 설정값을 입력하여 초기운전을 수행하였다. 이것은 예비실험을 통해 초기과도상태에서의 준최적제어 알고리즘에 의한 운전시 바람직하지 못한 응답특성이 나타나, 초기 예열운전시간을 두도록 하였다.

이와 같은 실험을 통하여 외기부하 변화에 따른 급기온도와 냉동기의 공급냉수온도의 설정값들의 변화에 대해 급기온도, 냉수온도 및 실내공기온도의 응답특성 및 에너지 소비량의 변화특성 등을 살펴보았으며, 이 밖에 준최적제어 알고리즘을 통하여 계산되어진 냉수설정온도 및 급기설정온도의 평균값을 계산하여 이를 VAV제어시스템에

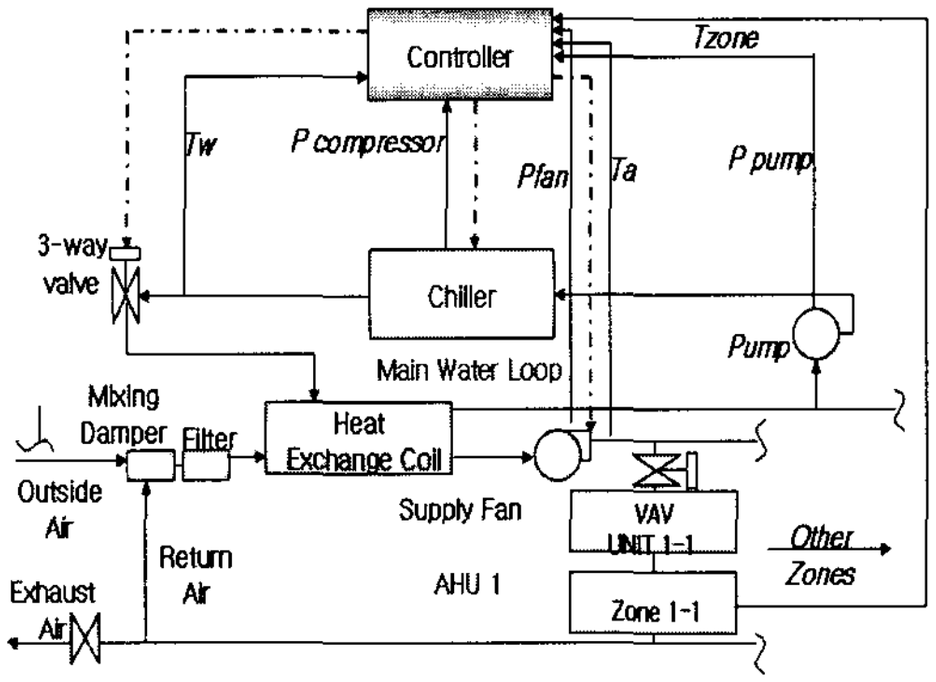

Fig. 6 Schematic diagram for central cooling control system.

적용하고 준최적제어시스템과 VAV제어시스템의 에너지제어특성에 대한 비교 실험을 수행하였다. 여기서, 준최적제어시스템은 기존 VAV제어시스템의 냉수 및 급기설정온도를 준최적제어 알고리즘을 통해 구해지는 값으로 제어하는 시스템이다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 7은 준최적제어 알고리즘을 사용하여 실내설정온도를 19 ℃로 설정하고 외기온도의 변화에 따른 냉수 및 급기의 설정온도의 계산치와 측정된 온도의 변화를 48시간 동안 나타낸 그림이다. 실내설정온도를 19 ℃로 설정한 것은 하절기 냉방실험이기는 하나 상대적으로 낮은 외기온도로 인하여 실내설정온도를 낮게 선정하게 되었다. 그림에서 살펴보면 외기온도가 높아짐에 따라 급기 및 냉수설정온도가 하강하는 모습을 나타내었으며, 외기온도가 증가하면 그와 반대의 경향을 나타내었다. 이러한 응답특성은 24시간 이후에 더욱 뚜렷이 나타남을 알 수 있다. 또한 이러한 설정값 들의 변화에 대해서 측정된 온도들이 양호하게 추종함을 알 수 있었다.

냉수온도의 경우 냉동기 압축기의 On-Off 제어 방식으로 인하여 냉수설정온도보다 약 ±1.5 ℃의 진동이 발생하였다. 이것은 압축기를 차동갭에 따라 On-Off 시킴으로써 나타나는 현상이다. 이때의 냉수온도의 변화폭은 약 5 ℃~9 ℃, 급기온도는 약 12.5 ℃~15 ℃까지 변화하였다. 또한 외기부하가 증가함에 따라 급기 및 냉수설정온도의 계산치가 하강하는 모습을 나타내었으며 반대로 외기부하가 감소하면 설정온도의 계산치가 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig. 8은 VAV제어시스템에 대하여 냉방실험을 수행한 24시간 동안의 실험데이터이다. 앞선 준최적제어 시스템의 실험과 마찬가지로 실내설정온도는 19 ℃로 설정하였고, 급기설정온도, 냉수설정온도는 준최적제어 알고리즘을 적용한 실험결과를 고려하여 각각 14 ℃, 7 ℃로 설정하였다. 실내온도, 급기온도, 냉수온도는 설정값에 따라 양호하게 추종함을 알 수 있었다.

Fig. 9는 준최적제어시스템과 VAV시스템의 급배기 팬의 출력 제어신호값과 총 전력량을 시간변화에 따라 나타낸 그림으로써 그림 분석의 수월성을 위하여 12시간 동안의 데이터를 나타내었다. 그림에서 살펴보면 변풍량 방식보다 준최적제어 시스템의 급배기팬 신호값이 상대적으로 작게 출력되고 있고, 또한 급배기팬 전력량이 본 연구에 사용된 모형실험장치의 에너지 소모량에 큰 비중

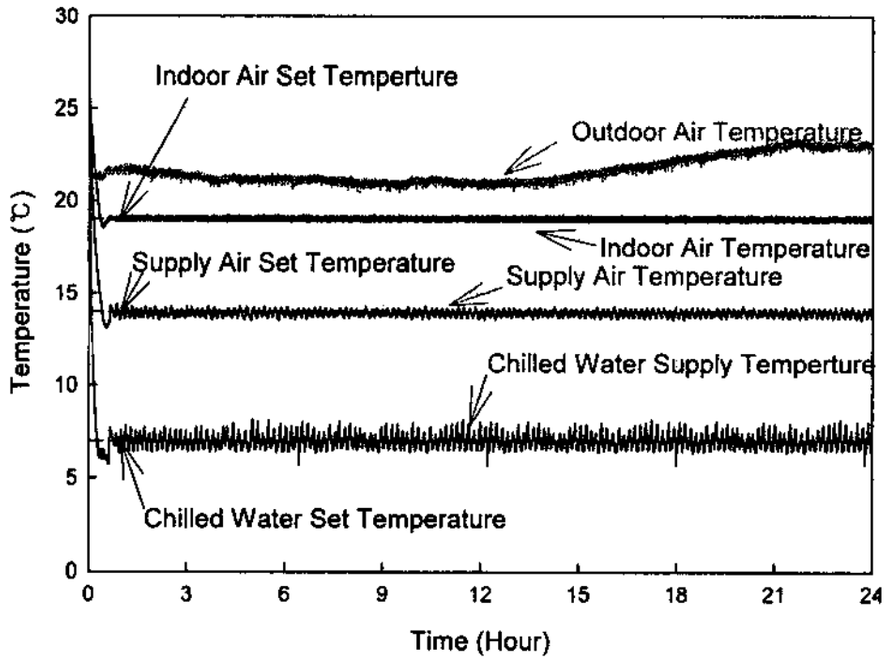

Fig. 8 The responses of VAV control system with time varying outdoor temperature.

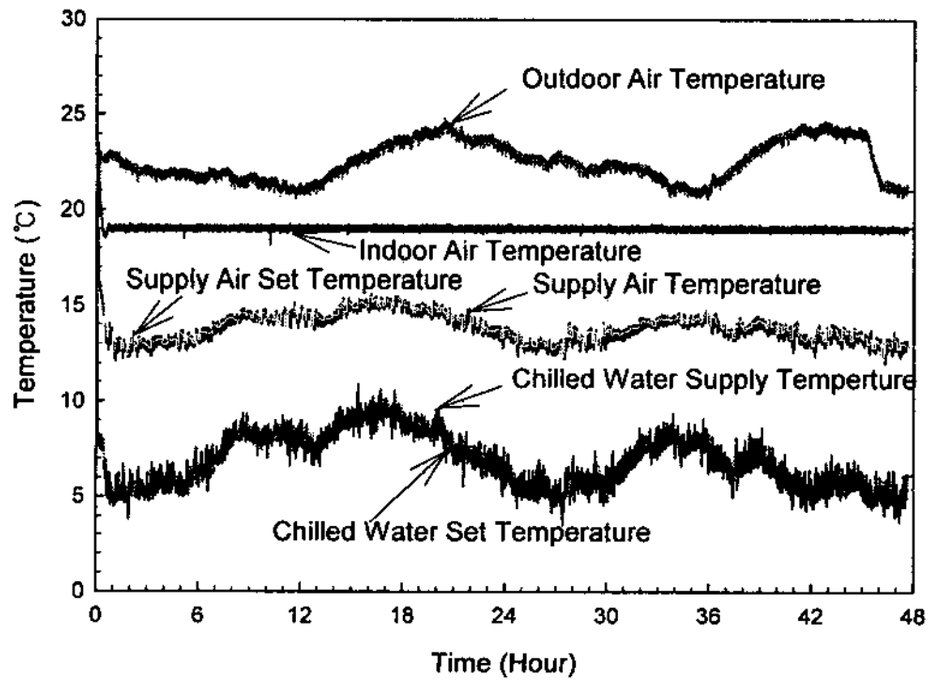

Fig. 7 The responses of near-optimal control system with time varying outdoor temperature.

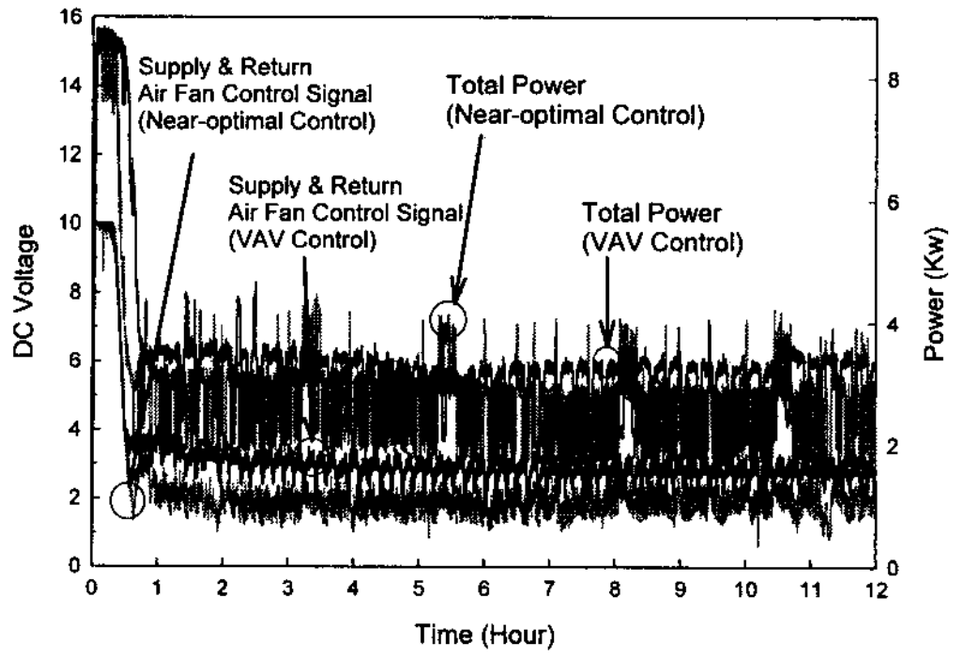

Fig. 9 Total energy variation with fan control signals.

을 차지함에 따라 총 전력량 또한 부분적인 구간을 제외하고는 전체적으로 적게 나타남을 알 수 있다.

Fig. 7~Fig. 9를 종합적으로 분석해 보면 준최적제어시스템의 경우 초기에 냉수온도의 목표치가 낮게 설정되고, 이에 따라 급기온도가 영향을 받아 낮게 계산되어짐에 따라 급배기팬에서 적은 풍량으로 냉방부하를 처리함을 알 수 있으며, Fig. 9에서 총 에너지 소모량을 살펴보면 준최적제어시스템이 VAV제어시스템보다 간헐적으로 높게 나타나는 것을 알 수 있는데 이로써 미루어볼 때 냉동기쪽의 파워를 급격히 증가시켜 냉수온도 및 급기온도를 낮춤으로써 급배기팬의 전력소모량을 줄임으로써 냉방부하에 대한 처리를 냉동기 쪽에서 주체적으로 제어되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 10은 앞의 실험결과를 통해 얻은 준최적제어시스템과 VAV제어시스템의 시간에 따른 누적 에너지 소모량과 3시간 주기마다 평균 외기온도, 에너지소모량을 나타낸 그림이다. 3시간 주기마다 평균외기온도를 살펴본 결과 준최적제어시스템의 외기온도가 최대 1 ℃, 최소 0.3 ℃ 정도 높게 나타났으나 오히려 3시간마다 에너지 소모량의 경우는 더 작게 나타났다. 초기 약 6시간 정도는 시스템의 최적제어시스템의 안정과 높은 외기온도로 인하여 에너지 절감이 약 5~10%로 정도로 나타났으나 9시간 이후로는 외기온도 차이가 약 0.3 ℃ 정도로 점차적으로 줄어들면서 약 16~19% 정도의 에너지 소모율 차이를 보였다. 시간이 지남에 따라 따라서 준최적제어의 경우 VAV제어보다 에너지 절감면에서 살펴볼 때 외기온도가 동일할 경우 최대 약 20% 전후의 에너지 절감효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다.

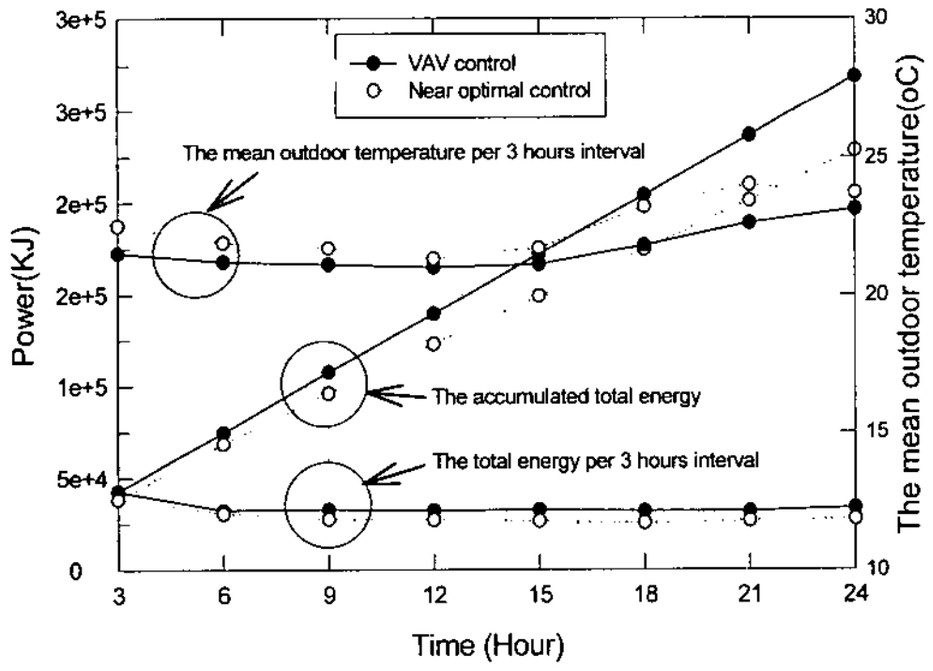

Fig. 10 Accumulated total energy consumptions and the mean outdoor temperature with VAV and near-optimal control systems.

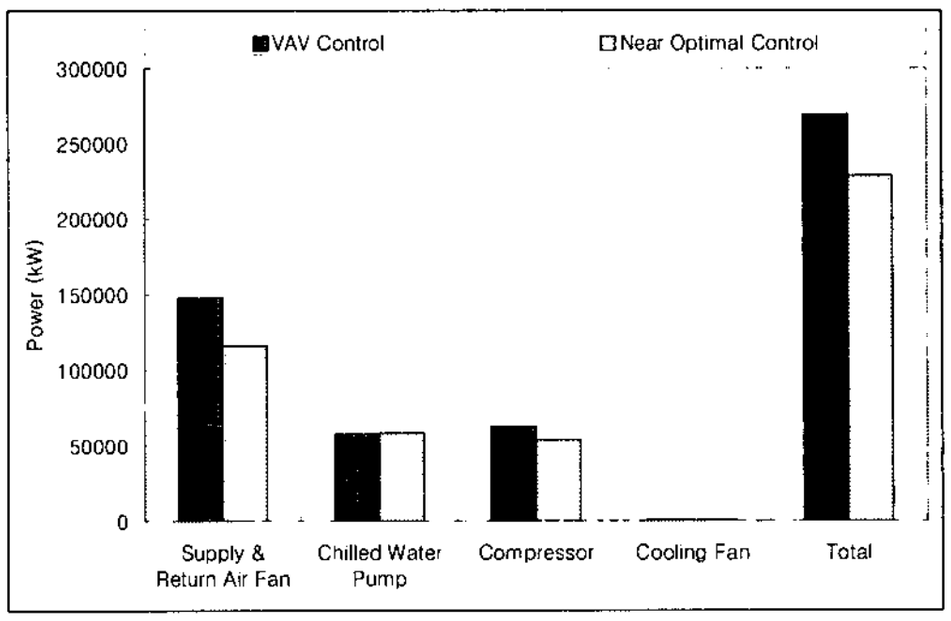

Fig. 11 Energy consumptions for each equipments with VAV and near-optimal control systems.

또한 시간에 따른 누적 에너지 소모량을 살펴볼 때 두 제어방법 모두 비례적인 증가경향을 보이나 준최적제어시스템이 VAV시스템보다 증가폭이 작게 나타나는 것으로 보아 에너지절감 면에 있어서 준최적제어 방법이 VAV제어 방법보다 효율적임을 알 수 있다.

Fig. 11은 준최적제어시스템과 VAV제어시스템의 24시간 동안의 구성요소별 에너지 소모량 및 총에너지 소모량을 비교한 그래프이다. 그림에서 살펴보면 급배기 팬 전력량의 경우 준최적제어방법이 변풍량 방식보다 약 21.6% 정도 에너지 절감 효율을 보였으며, 냉수순환펌프는 냉동기가 가동하였을 경우에 특별한 제어없이 운전하도록 되어 있어 에너지 차이를 거의 보이지 않았다. 압축기의 경우 준최적제어가 변풍량 방식보다 약 13.4% 정도 에너지 절감을 나타내었고, 냉동기 팬의 경우 다른 구성요소들보다 에너지 소모가 극히 작은 관계로 차이를 찾아보기 힘들었다. 이러한 각 구성요소들의 에너지의 총 에너지 합을 살펴본 결과 준최적알고리즘을 이용한 제어방법이 변풍량 방식보다 외기온도의 차이에도 불구하고 약 14.9%의 에너지 절감률을 나타내었으며, 이로써 미루어 볼 때 준최적제어 알고리즘을 적용한 방법이 에너지절감 면에서 종래의 VAV제어방식보다 유리함을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 중앙냉방시스템에 대하여 모형실

험장치를 구성하고 이를 이용하여 냉수온도 및 급기온도의 상호관계를 고려한 준최적제어 알고리즘을 구현하여 실험적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 준최적제어 알고리즘을 중앙냉방시스템에 적용할 경우 외기부하 변화에 따라서 부하가 증가함에 따라 급기 및 냉수 최적설정온도가 낮아지고 부하가 감소함에 따라 급기 및 냉수 최적설정온도는 높아지는 경향을 나타내는 등 준최적제어에 의한 시스템 운전이 적절히 이루어졌으며, 또한 설정온도의 계산치에 측정된 온도가 잘 추종함을 알 수 있었다.

(2) 중앙냉방시스템에 있어서 종래의 운전방식인 VAV 변풍량제어방식과 준최적제어방식의 냉방실험을 통하여 에너지소모량을 비교해 본 결과 상대적으로 높은 외기온도조건에도 불구하고 준최적제어방식이 VAV제어방식보다 14.9%의 총 에너지 절감율을 보임에 따라 준최적제어 방식이 종래의 VAV제어방식보다 좀 더 에너지 절감면에 있어서 효율적임을 알 수 있었다.

(3) 시스템 운전특성상 동일한 외기운전조건에서 실험하기가 어려운 상태이나, 만약 준최적제어방식과 VAV제어방식이 동일한 난방부하의 변화특성일 경우 준최적제어방식이 VAV제어 방식보다 최대 20% 전후의 에너지 절감율을 나타낼 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Braun, J. E., S. A. Klein, W. A. Beckman, and J. W. Mitchell, 1989, Methodologies for Optimal Control of Chilled Water Systems without Storage, ASHRAE Transactions, Vol. 95, No. 1, pp. 652-662.
2. Zaheer-Uddin, M. and Zheng, G. R., 2001, Multistage optimal operating stategies for HVAC systems, ASHRAE Transaction, Vol. 107, No. 2, pp. 346-352.
3. Ahn, B. C. and J. W. Mitchell, 2001, Optimal control Development for Chilled Water Plant Using a Quadratic Representation, Energy and Buildings, Vol. 33, pp. 371-378.
4. Ahn, B. C. and J. W. Mitchell, 1999, Optimal Set-point Control for Central Cooling Plants, Society of Air Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Summer Association Conference, pp. 1031-1036.
5. M. A. Cascia, 2000, Implementation of a near-optimal global set point control method in a DDC controller, ASHRAE Transaction, Vol. 106, pp. 249-263.