

최적제어시스템을 이용한 건물 에너지 절감 실증 (Verification of Building Energy Saving by using Optimal Control System)

■ 백 승 재 / (주)나라컨트롤, sjbaek@naracontrols.co.kr

■ 김 진 / (주)나라컨트롤, jkim@naracontrols.co.kr

서론

최근에 진행되고 있는 급격한 유가 상승과 건물 에너지 소비량의 폭발적인 증가 등은 에너지 자원의 해외 의존도가 큰 우리나라에는 적지 않은 부담으로 작용하고 있다. 이러한 현 시점에서 건물 에너지 절약에 대한 연구 개발 및 적용은 매우 중요한 사항이다. 또한, 전 세계적으로 그린 에너지 (Green Energy)에 대한 관심의 증대와 기술개발이 중요시 되고 있어 이에 대한 연구개발 및 투자가 절실히 요구되고 있다.

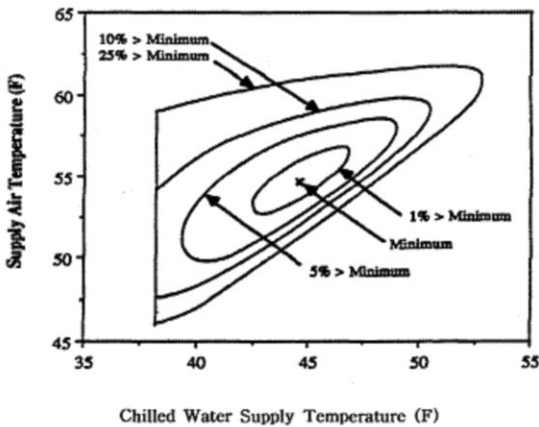
시스템 개요

통상적인 건물에서의 에너지 절약방법으로는 단

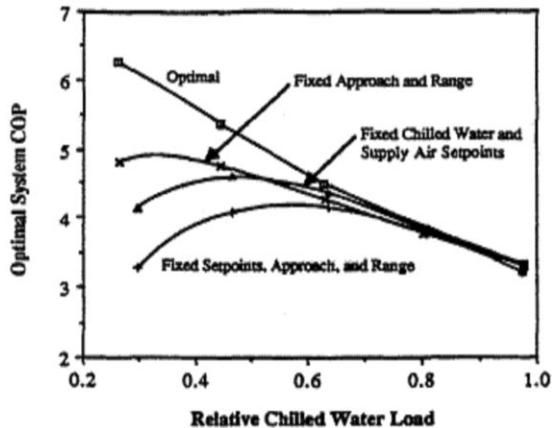
열, 건물 방위 및 형상 등을 통한 건축 계획적 접근 방법과 에너지 사용기기 및 시스템의 운전효율을 향상시키는 등의 설비적 접근방법이 있다. 특히, 설비적 에너지 절약방법 중 단기간의 연구개발로 에너지의 커다란 절감을 실현시킬 수 있는 방법은 시스템의 효율을 극대화할 수 있도록 하는 건물 에너지 관리 및 최적제어 기술의 도입이다.

그림 1은 냉수 및 급기온도와 전체 에너지 소모량과의 관계를 나타낸 그림이다. 그림에서 살펴보면 적절한 냉수공급온도와 급기온도를 설정하여 에너지소모가 최소가 되는 제어설정온도가 존재함을 알 수 있으며 부적절한 급기 및 냉수온도 설정은 커다란 에너지 소모를 가져오는 것을 알 수 있다.

또한 그림 2는 종래의 제어방법과 최적제어방



[그림 1] 냉수, 급기온도에 따른 효율 비교



[그림 2] 냉동기 부하에 따른 COP 변화

법과의 냉동기 성능지수를 비교한 그림이다. 그림에서 살펴볼 때 상대적인 냉수부하가 최고일 경우는 냉동기의 성능지수가 거의 비슷하나 상대적으로 작은 냉수부하일 경우는 최적제어의 냉동기 성능지수가 설정온도, 냉수와 급기온도, Approach(냉각수 온도와 습구온도의 차) 및 Range(응축기의 입출구온도 차) 등을 고정하여 제어 하였을 경우보다 높게 나타나 더욱 효율적임을 알 수 있다.

기존 제어시스템에는 제조사에서 제공하는 단위 장비에 대한 제어 알고리즘을 적용하고 있어 전체 시스템 특성을 고려한 최적제어가 수행되지 않고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 나라컨트룸에서는 전체 공조시스템에 대한 에너지 절감이 가능한 최적 제어 시스템을 개발하고 테스트 베드를 통하여 그 성능을 검증하였다.

최적제어 시스템은 공조시스템의 최적 운전을 통한 에너지 절감을 목표로 하는 것으로 공조시스템의 부분부하 운전시 에너지 소모를 최소로 할 수 있는 전체적인 시스템 효율을 고려한 각 장비의 설정점들의 조합을 구하여 제어하는 방식으로 설명할 수 있다. 여기서 설정점은 공급냉온수설정온도, 급기설정온도를 의미한다.

최적제어 알고리즘의 ‘최적냉온수공급설정온도’와 ‘최적급기설정온도’를 실시간으로 변동하는 부하와 건물 상태에 따라 계산하기 위하여 그림 3에 나타난 바와 같이, 냉수공급온도, 냉수환수온도,

온수공급온도, 온수환수온도, 급기온도, 공조기 팬동력, 냉온수 펌프 동력, 보일러 및 냉온수기의 에너지 사용량을 수집하고, 지정된 시간마다 최적 설정온도를 각각의 입력 데이터에 따라 계산하여 공조 시스템에 적용한다.

‘최적 냉온수공급설정온도’의 제어는 동절기의 경우 보일러를 On/Off 제어를 통하여 공급온수온도를 설정온도에 대하여 추종시키며, 하절기의 경우 냉온수기의 인터페이스를 통한 제어를 이용하여 공급냉수온도를 설정온도에 추종시킨다. ‘최적급기설정온도’는 공조기의 냉수코일 및 온수코일의 유량조절밸브를 통해 급기온도를 설정온도에 추종시킨다. 실내설정온도는 건물 관리자와 재실자의 의견이 반영되어 건물 운영자가 설정하며, 공조기 팬의 회전수를 인버터 제어하여 변화하는 풍량으로 실내온도를 설정온도에 추종하는 방식이다.

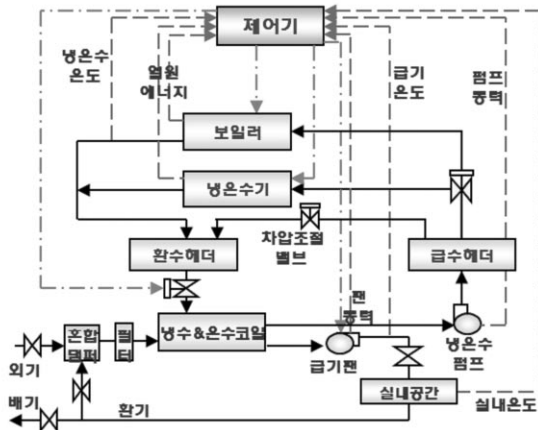
테스트베드 실증

최적제어 시스템의 성능을 검증하기 위하여 다음과 같은 테스트베드를 통해 실험을 진행하였다.

- 건물 규모 : 지하 3층, 지상 10층, 연면적 7,150 m²(2,167평)
- 건물 용도 : 1층 도서관, 2 ~ 9층 사무실
- 열원 현황 : 하절기에는 흡수식 냉온수기로 냉방, 동절기에는 온수 보일러로 난방
- 열원 장비 용량 : 흡수식 냉온수기 220 USRT, 난방 700,000 kcal/h
- 공조방식 : 외주부하는 FCU, 실내부하는 정풍량 공조기 이용
- 사용 공기조화기 수량 : 2대
- 공조구역 : 1 ~ 4층, 5 ~ 9층으로 구분

테스트베드의 최적제어시스템 성능 검증을 위하여 기존에 테스트베드에서 수행하고 있던 공조시스템 제어방식 대비 최적제어시스템 적용 방식은 다음과 같다.

- 기존 공조시스템 제어방식
 - 흡수식 냉온수기의 냉수 공급설정온도는 10



[그림 3] 최적제어시스템 적용 방식

- ℃로 고정, 냉온수기 자체 제어
- 보일러의 온수 공급설정온도는 50 ~ 60℃, 50℃에서 연소시작, 60℃에서 연소정지하는 방식의 On/Off제어
- 냉온수펌프는 1대로 일정 유량 공급
- 각 공조기의 코일 공급유량은 실내온도에 따라 비례제어, 차압변으로 공급헤더와 환수헤더 사이의 차압조절
- 각 공조기의 급배기팬은 정풍량으로 동작하며 기동시 항상 최대 풍량
- 각 층별 FCU의 공급유량은 실내온도에 따라 비례제어, FCU의 팬은 기동시 항상 최대풍량
- 관리자는 외기와 각 층별 온도를 모니터링하며, 상황에 따라 공조기와 FCU의 기동/정지를 수행

• 최적제어시스템 적용방식

- 흡수식 냉온수기의 냉수 공급설정온도는 최적제어기에서 최적제어 알고리즘을 통해 지정된 시간마다 재설정
- 보일러의 온수 공급설정온도는 최적제어기에서 최적제어 알고리즘을 통해 재설정, 그 제어는 ±5℃의 차동값을 가지는 On/Off제어
- 냉온수펌프는 1대로 일정 유량 공급
- 각 공조기의 코일 공급유량은 최적제어기에서 최적제어 알고리즘을 통해 지정된 시간마다 재설정되는 최적급기온도에 따라 비례제어, 차압변으로 공급헤더와 환수헤더 사이의 차압조절

- 각 공조기의 급배기팬은 변풍량으로 동작, 실내온도와 실내설정온도와의 차로 인버터 제어
- 각 층별 FCU의 공급유량은 실내온도에 따라 비례제어, FCU의 팬은 기동시 항상 최대풍량
- 공조시스템의 운전 시작시 초기운전시간 동안은 지정된 설정온도로 운전

테스트베드 실증 결과

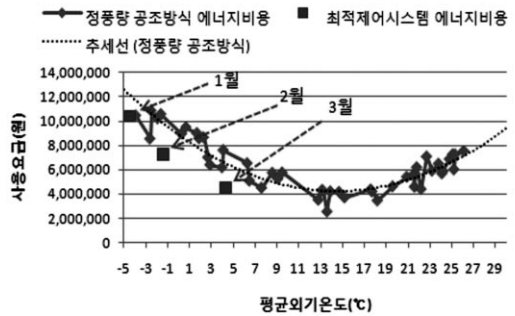
최적제어시스템의 성능검증 실험은 하절기와 동절기로 구분하여 실험하였다. 하절기 냉방실험은 6월 ~ 9월 4개월간 실험하여 기존 건물 에너지 데이터와 비교 분석하였다. 에너지 비교에 있어 일방적인 에너지 비교가 아닌 기존 에너지 사용량을 분석하여 월별 에너지 사용량을 평균 외기온도로 정렬하였고, 그림 4와 같이 월별 평균 외기온도에 따라 최적제어시스템의 에너지 비용을 비교하였다. 실증 실험한 기간의 평균 외기온도는 6월 23.4℃, 7월 25.8℃, 8월 26.5℃, 9월 21.8℃이다. 또한, 에너지 비용은 테스트베드의 요금체계를 이용하여 전력사용량 1 kWh 당 92원, 가스사용량 1 Nkm³ 당 640원을 적용하였다.

하절기 테스트베드 실증 실험으로 기존 정풍량 방식 공조시스템에서 최적제어시스템으로 변경시 약 13%의 에너지비용 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

동절기 성능 실증 난방실험은 1월 ~ 3월 3개월간 실험하여 그림 5와 같이 기존 건물 에너지 데이터



[그림 4] 온도별 냉방 에너지 비용 비교



[그림 5] 온도별 난방 에너지 비용 비교

와 비교 분석하였다. 실증 실험한 기간의 평균 외기온도는 1월 4.5℃, 2월 1.4℃, 3월 4.3℃이다. 에너지 비용 분석은 하절기와 동일한 조건으로 실시하였다.

동절기 테스트베드 실증 실험으로 기존 정풍량 방식 공조시스템에서 최적제어시스템으로 변경시 약 15%의 에너지비용 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

결 론

이와 같은 최적제어시스템으로 건물 냉난방 에너지 절약을 실현할 수 있으며, 이에 따라 경제적 손실이 감소하여 변동하는 부하에 적극적으로 대응 가능하다. 또한, 효율적인 중앙관리를 통한 인적, 물적 낭비요소를 절약가능하며, 전력부하의 효율적인 관리를 통한 여름철 피크전력부하의 방지, 지능형 건물로써의 기능 보유 등의 장점을 가지고 있다.

나라컨트롤의 최적제어 시스템을 테스트베드에 적용하여 실증 실험을 실시하여 최소의 설비 개선으로 에너지 절감 효과를 극대화하며, 다양한 제어

시스템 관리 적용이 가능한 유연성 있는 제어시스템을 구축하였다. 그 결과 연 평균 약 14.3%의 건물 에너지 비용 절감이 가능한 것을 확인하였고, 평균적으로는 단위 건물별 10 ~ 15%의 에너지 절감 효과가 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 안병천, 중앙난방시스템의 실시간 준최적제어 기법 구현에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(계획계), Vol. 24, No. 10, 2008.
2. 안병천, 중앙냉방시스템의 실시간 준최적제어 적용에 따른 실험적 연구, 대한설비공학회 논문집, Vol. 20, No. 7, 2008.
3. 송재엽, 중앙난방시스템의 난방수 순환펌프 인버터제어 및 밸브 제어방식에 따른 에너지 소모 특성 비교연구, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp.1070 ~ 1075, 2010.
4. 백승재, 열원 및 공조설비의 최적제어시스템 현장 적용성에 관한 연구, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, pp.1014 ~ 1019, 2009. (40)