

실내 쾌적도를 고려한 건물에너지 제어방법에 관한 연구

노성준*, 김광호**
강원대*, 강원대**

A Study on Building Energy Control Considering Indoor Comfort

Sung-Jun Noh*, Kwang-Ho Kim**
Kangwon National University, Kangwon National University**

Abstract - 건물에서 에너지 절감은 재실자의 쾌적도를 고려하여 이루어져야 한다. 쾌적도를 고려하지 않은 에너지 절감은 재실자에게 불쾌감을 주어 생산 능력의 저하로 이루어 질 수 있게 된다, 따라서 본 논문에서는 재실자의 쾌적도와 에너지 절감을 동시에 이룰 수 있는 건물에너지 제어방법에 대한 연구를 진행하였다.

1. 서 론

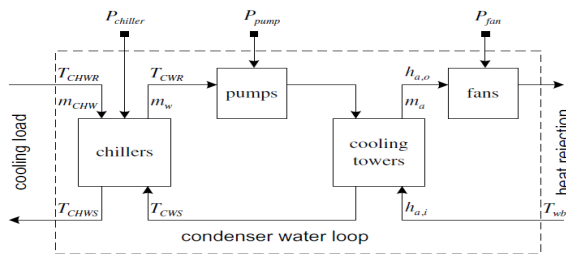
우리나라의 총 에너지 사용 중 약 30%가 건물에서 소비되고 있으며 이 중, 냉,난방 및 공조 시스템에서 53%의 에너지 사용이 이루어지고 있다. 또한, 건물에서의 에너지 절감에 있어서 고려해야 할 요소가 쾌적함이다. 실내의 쾌적도를 고려하지 않은 에너지 절감은 실내의 재실자에게 불쾌감을 줄 수 있기 때문에 꼭 실내의 에너지 절감 이전에 꼭 고려되어야 할 요소라고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 건물에서의 에너지 절감을 위해 냉방 시스템의 최적운행에 대한 시뮬레이션을 실시하고, 실내의 쾌적한 환경을 위해 고려해야하는 여러 가지 요소들 중에서 실내 온도와 CO2 농도를 고려하여 건물에서의 에너지 제어 방법에 대한 연구를 실시하였다.

2. 본 론

2.1 건물 에너지 관리 개요

건물에서 에너지 사용 중 가장 큰 부분을 차지하는 것 중에 하나가 냉방 시스템이다. 본 논문에서는 냉방 시스템에 대한 최적의 제어 전략을 제시하여 냉방 시스템에서의 전기 요금 최적화에 대한 시뮬레이션을 진행 할 것이다. 그림1에서 냉방 시스템에서 전력 사용량에 영향을 주는 변수로 냉수 출구 온도가 사용되는데 냉수 출구 온도가 낮을수록 실내에 더 많은 냉방을 할 수 있으나 전력 사용량 역시 증가하게 된다.[1] 때문에 최적의 냉수 출구 온도를 위한 제어 전략을 통해 전력 사용량을 최소화 하게 될 것이고 이는 계시별 요금제에 반응토록 하여 건물에서의 전기 요금 최소화를 이끌어 낼 것이다. 또한 실내에서의 쾌적도를 고려하기 위해 실내 온도 및 CO2 농도를 제약 조건으로 두어 건물의 냉방 시스템을 제어할 것이다.

2.1.1 냉방 시스템의 원리



<그림 1> 냉방 시스템 구성도

2.1.2 HVAC 모델링

$$P_{e,t} = P_D \cdot CAP_t \cdot EIR_{FT,t} \cdot EIR_{PLR,t} \quad (1)$$

여기서,

- $P_{e,t}$: 냉동기가 t시간에 소비하는 전력
- P_D : 냉동기의 최대 소비 전력
- CAP_t : t시간의 냉동기 냉방 능력

$$CAP = a_1 + b_1 T_{CHWS} + c_1 T_{CHWS}^2 + d_1 T_{CWS} + e_1 T_{CWS}^2 + f_1 T_{CHWS} T_{CWS}$$

$EIR_{FT,t}$: t시간의 냉수 및 냉각수 온도의 함수에 대한 전기적 입력 비율

$$EIR_{FT} = a_2 + b_2 T_{CHWS} + c_2 T_{CHWS}^2 + d_2 T_{CWS} + e_2 T_{CWS}^2 + f_2 T_{CHWS} T_{CWS}$$

$EIR_{PLR,t}$: t시간의 부분 부하 비율에 따른 전기적 입력 비율

T_{CHWS} : 냉수 출구 온도(°C)

T_{CWS} : 냉각수 공급 온도(°C)

위의 냉방 시스템에서 전력 사용량은 냉수 출구 온도의 값에 따라 변화하는 것을 알 수 있으며 따라서 최적의 냉수 출구 온도는 냉방 시스템 전력 사용량에 영향을 주게 된다.[1]

2.1.3 실내쾌적도

실내 쾌적도를 고려하기 위한 여러 가지 요인이 있지만 본 논문에서는 실내 온도와 CO2 농도만을 고려하여 진행 되었다.

2.1.3.1 실내온도

건물에서의 실내온도는 식(2)와 같이 냉방 시스템의 냉수출구온도에 의해 결정된다.[2]

$$T_{i+1} = eT_i + (1-e)[(1-\eta)T_o + \eta T_{CHWS}] \quad (2)$$

여기서,

- T_{i+1} : 다음 시간 실내 온도(°C)
- T_i : 현재 실내 온도(°C)
- T_o : 실외 온도(°C)
- η : 물-공기 열교환 효율

실내 온도의 범위는 ASHRAE의 summer comfort zone 참조하여 22~24도로 결정하였으며, 이 범위 내에서 재실자는 쾌적함을 느낄 수 있다.

2.1.3.2 실내 CO2 농도

건물에서의 실내 CO2 농도는 식(3)과 같이 외부의 CO2 농도와 실내에서 발생하는 CO2 농도의 영향을 받는다.[3]

$$CO2_{t+1} = CO2_{Out} + \frac{M}{Q}(1 - e^{-\frac{Q}{V}t}) \quad (3)$$

여기서,

- $CO2_{t+1}$: 다음 시간의 실내 CO2 농도
- $CO2_{t+1}$: 외부 CO2 농도
- M : 실내 CO2 발생률 (L/s)
- Q : 신선한 공기 유입률 (L/s)
- V : 실내 체적(m³)
- t : 시간(min)

실내 CO2 농도는 환경부의 실내 공기질 유지기준에 따라 1000ppm 이하의 유지기준이 적용되었다.

2.2 냉방 시스템 제어함수

건물의 냉방 시스템에서의 최소의 전기 요금을 위한 목적함수와 그에 따른 제약조건은 다음과 같이 나타낸다.

Minimize Cost :

$$C_c = \sum_{t=1} P_{c,t} \times C_g \quad (4)$$

subject to

$$0 \leq P_c \leq 273 \quad (5)$$

$$7 \leq T_{CHWS} \leq 12 \quad (6)$$

$$22 \leq T_i \leq 24 \quad (7)$$

$$CO_2 \leq 1000 \quad (8)$$

여기서,

C_c : t시간 동안의 냉방 시스템에서의 전기요금(원)

$P_{c,t}$: 시간당 전력 사용량(kWh),

T_{CHWS} : 냉방 시스템 냉수 출구 온도(°C)

T_i : 실내 온도(°C)

CO_2 : 실내 CO2 농도 (ppm)

C_g : 시간당 전기요금(원/kWh)

전기 요금 최적화를 위한 냉방 시스템의 제어변수는 냉수출구온도가 되며 최소의 전기 요금은 냉방 시스템에서 소비되는 사용 전력량과 전기요금을 반영한 수식으로 표현된다. 또한 냉방 시스템의 최적 운영은 계시별 요금과 제약조건에 반응하여 운행하게 될 것이다.

2.3 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 일간 시뮬레이션을 위한 세부적 내용은 아래 표1과 같다.

〈표 1〉 기본 시뮬레이션 조건

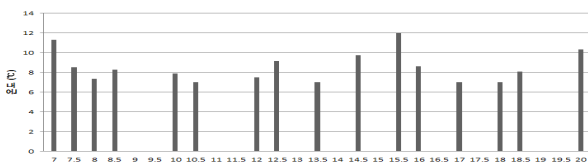
지역	서울
건물면적(m ²)	11,642
열용량(m ³ K/W)	12.73
열저항(m ² K/W)	0.762
날짜	2010년 8월 5일
시뮬레이션 시간	07:00~20:00

또한 표2와 같이 case를 분류하여 시뮬레이션을 진행하였다.

〈표 2〉 시뮬레이션을 위한 2가지 case

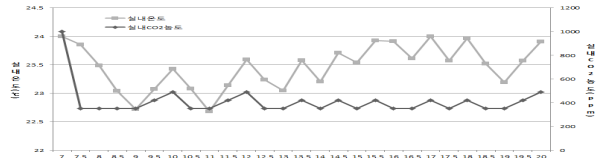
	제약 조건
Case1	실내온도 24도 고정
Case2	실내온도 22-24도 유지 + 실내 CO2 1000ppm 이하

각 case는 동일한 전기요금과 실외온도 조건하에서 진행되었다. 그리고 냉방 시스템의 전력 소비량에 영향을 주는 주요 변수인 냉수 출구온도는 최적의 운영을 위해서 최적화 기법 중 하나인 SQP 알고리즘을 이용하여 진행되었다. SQP(Sequential Quadratic Programming) 기법은 비선형 계획 문제로 이루어진 현재의 지점의 목적함수와 제약조건을 2차 계획 문제로 근사화하여 이를 해결하기 위한 탐색방향을 결정하고, 목적함수를 최소화하는 최적의 이동거리를 찾아 더 나은 지점을 구하는 최적화 기법이다. 그림2은 case2에서 나온 최적의 냉수 출구 온도의 변화를 보여준다.



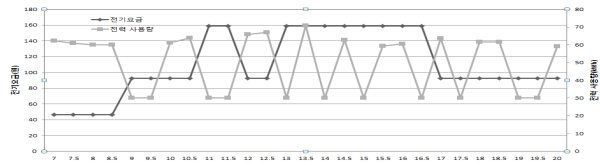
〈그림 2〉 case2의 냉수 출구 온도 변화

전기요금과 제약조건에 반응하여 최적의 냉방 시스템 운영이 되고 있음을 확인 할 수 있다. 그림 3은 case2의 실내 온도 및 CO2 농도의 변화를 나타내고 있다. 실내 온도가 22-24도 사이로 CO2농도는 1000ppm 이하로 유지되는 것을 알 수 있다.



〈그림 3〉 case2의 실내 온도 및 CO2의 변화

그림 4은 case2의 경우에 전력사용량의 변화를 나타내고 있다. 전력 사용량은 요금이 저렴한 시간에 많은 사용량을 보이며 요금이 비싼 시간에는 냉방 시스템의 운행이 줄어드는 것을 확인 할 수 있다.



〈그림 4〉 case2의 전력 사용량

표3은 실내 설정온도를 24도로 고정하여 운행하는 방식과 제안된 방법이니 실내 온도를 22-24도로 가변하고 실내의 CO2 농도를 고려한 방식에 대한 결과를 비교한 결과이다.

〈표 3〉 시뮬레이션 결과

	case1	case2(제안된 방법)	절감율(%)
전력사용량(kWh)	1,626	1,330.5	18.2
전기요금(원)	179,675	140,483.5	21.8

case2의 경우 더 큰 절감 효과를 얻을 수 있었는데 그 이유는 22-24도로 실내온도가 가변되면 전기 요금이 저렴한 시간에 22도 근처까지 냉방을 실시해 놓고 24도가 될 때까지 냉방 시스템은 가동을 멈추게 된다. 그러나 case1은 일정 수준의 냉방을 꾸준히 하게 하기 때문에 더 많은 전력 사용량과 전기 요금이 발생하게 되는 것이다. 이러한 결과는 현재의 계시별 요금제보다 실시간으로 변화하는 요금제가 향후 적용될 경우 더 큰 효과를 얻을 수 있다. 본 시뮬레이션 결과로서 case2의 제안된 방법을 통해 쾌적도를 만족하면서도 더 큰 에너지 절감효과를 얻을 수 있음을 확인 할 수 있었다.

3. 결 론

건물에너지 관리는 단순하게 전력 사용량을 절감하는데 목적이 있는 것이 아니라 건물내에 상주하고 있는 재실자들의 쾌적함으로 고려하여 에너지 절감을 하는데 목적이 있다. 본 논문에서는 계시별 요금제를 사용하는 건물에서 실내온도와 CO2농도를 고려하여 전기 요금을 최소화 할 수 있는 방법에 대한 전력을 제안하였다. 제안된 방법을 통해서 전력 사용량은 약 18.2%, 전기요금은 21.8%의 절감 효과를 얻을 수 있었다. 향후 더욱 세분화된 전기 요금이 적용될 경우 이 보다 더 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 교육과학기술부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] K.F. Fong, V.I. Hanby, T.T. Chow, "HVAC system optimization for energy management by evolutionary programming," Energy and Buildings, Vol. 38, Issue 3, pp 220-231, March 2006
- [2] Constantopoulos, 외 2명, "ESTIA: A Real-time Consumer control Scheme for Space Conditioning Usage Under Spot Electricity Pricing." Computers Operations Research, vol 19, no. 8, pp 751-765, 1991
- [3] 조용성, 강석택, 박영훈, "전동차 실내의 적정 환기율 및 이산화탄소 농도 기준치에 관한 고찰", 한국철도학회 2005년도 추계학술대회논문집 2005.11, page(s): 20-25