

냉방시스템 제어구간설정 방법을 이용한 건물 실내온도 제어

부창진¹, 김정혁¹, 김호찬^{1*}
¹제주대학교 전기공학과

Building Indoor Temperature Control Using Control Horizon Method in Cooling Systems

Chang-Jin Boo¹, Jeong-Hyuk Kim¹ and Ho-Chan Kim^{1*}

¹Department of Electrical Engineering, Jeju National University

요약 본 논문에서는 TOU 요금제 기반에서 제어구간 설정방법을 사용한 건물 냉방시스템 실내온도 제어 알고리즘을 제안한다. 건물 실내온도를 최적제어하기 위한 제어구간 설정은 스위칭방법과 선형계획법을 사용하고 냉방시스템 사용요금은 TOU와 피크 요금을 포함하여 산정한다. 시뮬레이션을 통해 제안한 제어구간 설정방법을 적용하면 전력 사용에 따른 비용의 절감과 피크 전력 절감을 확인할 수 있다.

Abstract In this paper, the TOU tariff's based building indoor temperature control algorithm in cooling systems is proposed using control horizon method. A control horizon switching method and linear programming algorithm is used for optimal control, and both TOU and peak tariffs are included to calculate the energy costs. Simulation results show that the reductions of energy cost and peak power can be obtained using proposed algorithms.

Key Words : Energy Saving, Optimal Control, Linear Programming, Control Horizon, Building Indoor Temperature

1. 서론

지구 대기의 기후변화로 인한 기온상승으로 냉방기의 보급 확대가 매년 증가함에 따라 에너지소비가 많은 여름철 국가 전체의 전력수급 안정을 확보하고, 예상하지 못한 전력공급의 차질을 미연에 방지하기 위해 대형 건물 등의 실내 냉방온도 제한조치 등이 도입되고 있다. 건물에서의 에너지사용량은 전 세계적으로 총에너지사용량의 약 40%를 차지하고 있으며, 우리나라의 경우에도 총 에너지사용량의 약 25%를 차지하고 있다[1].

건물에서 사용되는 에너지를 절감하기 위해서는 건물 신축 시 고효율 자재 사용을 통한 단열과 냉난방을 고려한 사전적 에너지 절감 방안이 우선되어야 한다. 그러나 기존 건물의 경우 벽두께, 창문구조 등의 사전적용이 어렵기 때문에 에너지를 소비하는 조명장치, 시스템에어컨 등의 사용 효율을 높여 전력소비를 절감하는 방법을 사

용하게 된다. 우리가 일상에서 생활하는 건물에서 에너지는 조명, 전열, 동력, 냉방분야로 분류할 수 있다. 그 중 냉난방 분야는 건물내부의 환경 및 재실자의 건강과 업무능률 향상을 위한 실내 환경의 쾌적성을 고려한 에너지 소비를 하게 된다. 건물의 냉난방으로 발생하는 에너지비용과 전력피크를 절감하기 위해서는 실제 에너지 사용의 흐름을 파악하는 것이 무엇보다 중요하며 실제 에너지 사용의 흐름을 파악하는 기법으로 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 모델링이 주로 이용되고 있다[2]. 건물내부의 실제 에너지흐름은 외부의 기후변화에 따라 전도, 대류, 복사 등의 모든 열전달 현상을 포함한 복합적이며 상호 영향을 미치는 동적시스템으로 구성되어 있기 때문에 시뮬레이션을 실제상황과 동일하게 모델링하는 데는 많은 어려움과 한계가 따른다. 따라서 건물의 시뮬레이션 모델링에는 수많은 가정요소와 단순한 기법이 도입되고 있으며 도입정도에 따라 해석능력과 범위가 결정하게 되며,

*Corresponding Author : Ho-Chan Kim

Tel: +82-64-754-3676 email: hckim@jejunu.ac.kr

접수일 12년 09월 13일

수정일 12년 10월 05일

게재확정일 12년 10월 11일

DOE-2, EnergyPlus, TRNSYS 등의 프로그램을 이용하여 모델링한다[3-4].

건물에서의 실제 냉난방 온도 제어로는 온도조절장치를 이용한 제어와 월별, 주간별, 일별 시간에 따른 스케줄링 기법 등을 이용한 제어와 건물 이용자의 쾌적성을 고려한 개별적인 냉난방제어로 상한온도와 하한온도가 6℃(±3℃) 또는 4℃(±2℃)를 온도제어 범위로 설정하는 방법을 사용하기도 한다[5].

본 논문에서는 기존의 실제 건물을 대상으로 상태공간 모델을 사용하여 모델링하고, 여름철에 냉방시스템이 운전되는 오전 9시부터 오후 6시까지의 9시간동안 기준온도에서 변할 수 있는 2℃ 온도제어 범위를 설정한 후 TOU(time of use) 요금제 기반에서 전기요금절약과 전력피크를 감소시킬 수 있는 방법을 제안한다.

2. 본론

2.1 건물 모델링

건물의 단열 전 열 손실률은 지붕(roof), 외벽(wall), 유리(glass), 바닥(floor), 환기(ventilation) 등으로 구분하여 수치로 나타내며 외벽의 경우 39%로 열에 대한 손실률이 가장 크고, 유리 24%, 지붕 19%, 바닥과 환기에서 각각 9%의 열 손실률을 나타낸다[6].

건물 전체에 대한 열손실(H)은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

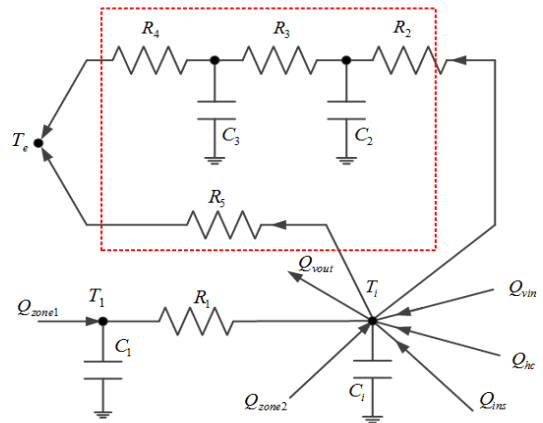
$$H = H_t + H_v + H_i \quad (1)$$

여기서 H_t 는 벽, 창, 문, 바닥 등을 통한 열손실이고 H_v 는 환기에 의한 열손실, 그리고 H_i 는 창, 벽 개구부의 빈틈 등 출입구의 문을 개폐함에 따라 외부에서 실내로 침입되는 침기(infiltration)이다. 건물모델링 방법으로 집중인자(lumped parameter) 모델이 사용되는데, 이 방법은 하나의 벽체를 몇 개의 열저항과 열용량을 등가회로로 변환시켜 각 벽체의 회로 방정식을 연립으로 푸는 방법이다[7]. 1차원 벽에서 작게 나는 계산영역의 교점에서의 순수 열전달은 내부에너지의 증가로 나타낼 수 있으며 이때 내부온도가 일정하게 집중용량으로 작용하게 되며, 내부에너지의 증가와 교점에서의 열전달량은 다음의 식과같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = C_m \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (2)$$

여기서 ΔT 는 각 교점 사이의 온도변화량[K]이며, C_m 은 격자의 열용량[J/K]이다.

그림 1은 사용된 건물에 대한 등가회로를 나타낸다. 실내의 에너지요소의 흐름은 냉방시스템 운전으로 유입되는 에너지 (Q_{hc})와 환기(ventilation)로 인해 발생하는 에너지 유입(Q_{vin})과 에너지 유출(Q_{vout}), 실내 열이득(Q_{ins}), 실내 공기에서 태양에너지(Q_{solar}), 열질량에서 태양에너지(Q_{solar_mass})의 흐름으로 나타낼 수 있다.



[그림 1] 건물 등가 모델
[Fig. 1] Building equivalence model

각 교점에서의 온도에 대한 에너지 등가식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_1 \cdot \frac{dT_1}{dt} = \frac{T_i - T_1}{R_1} + Q_{zone} \cdot d_f \quad (3)$$

$$C_2 \cdot \frac{dT_2}{dt} = \frac{T_i - T_2}{R_i} - \frac{T_2 - T_3}{R_3} \quad (4)$$

$$C_3 \cdot \frac{dT_3}{dt} = \frac{T_2 - T_3}{R_3} - \frac{T_3 - T_e}{R_e} \quad (5)$$

$$C_i \cdot \frac{dT_i}{dt} = Q_{hc} + Q_{ins} + Q_{zone} \cdot (1 - d_f) + \dot{m} \cdot c \cdot T_e - \dot{m} \cdot c \cdot T_i - \frac{T_i - T_1}{R_1} - \frac{T_i - T_2}{R_i} - \frac{T_i - T_e}{R_5} \quad (6)$$

여기서 R_1 은 내부공기 대류에 의한 열저항을 나타내며, R_e , R_3 , R_i 는 벽구조에 대한 열저항이고, R_5 는 유리와 관련된 열저항을 나타낸다. 또한 T_1 은 실내질량 온도, T_2 는 실내표면온도, T_3 는 외부표면온도, T_i 는 실내 공기는

도, T_e 는 주변온도이다. Q_{zone} 은 태양 복사열과 창의방향 등에 의해 변화되는 에너지 값을 표현하고, 각 창의 면적 [m^2]과 창의 투과계수(window transmission coefficient)의 곱으로 나타낼 수 있다. 그리고 d_f 는 태양에너지가 투과 되었을 때 실내질량온도(T_i)를 높이는 계수를 나타내며, 실내 공기온도(T_i)에서는 $(1-d_f)$ 만큼 실내 공기온도를 높이게 된다.

2.2 건물 온도 제어모델

건물외벽과 내부 파티션에 대한 저차모델을 구성하기 위해서는 다음과 같은 선형화된 상태공간모델을 사용할 수 있다[8].

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A \cdot x + B \cdot u \\ y &= C \cdot x + D \cdot u \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 벡터 x 는 분할된 벽노드와 내부 벽 표면에 접촉된 공간의 온도를 포함하며, u 는 대류 내부이득 등의 영역 온도 입력이고, y 는 영역의 냉방요구 등의 출력을 나타내며, 입력과 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_i \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_i \end{bmatrix}, \quad u = \begin{bmatrix} T_e \\ Q_{hc} \\ Q_{vin} \\ Q_{zone} \end{bmatrix}$$

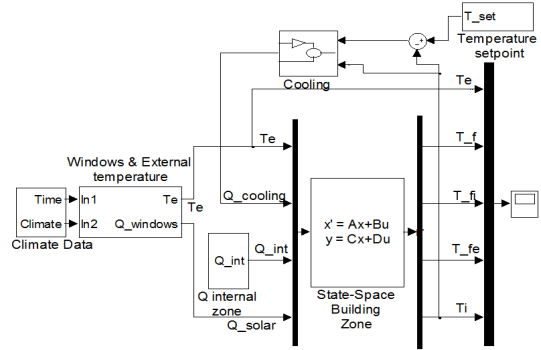
$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_1 \cdot C_1} & 0 & 0 & \frac{1}{R_1 \cdot C_1} \\ 0 & -\frac{1}{R_2 \cdot C_2} - \frac{1}{R_3 \cdot C_2} & \frac{1}{R_3 \cdot C_2} & \frac{1}{R_2 \cdot C_2} \\ 0 & \frac{1}{R_3 \cdot C_3} & -\frac{1}{R_3 \cdot C_3} - \frac{1}{R_4 \cdot C_3} & 0 \\ \frac{1}{R_1 \cdot C_i} & \frac{1}{R_2 \cdot C_i} & 0 & -\frac{1}{C_i} - \frac{1}{R_2 \cdot C_i} - \frac{1}{R_5 \cdot C_i} - \frac{1}{R_1 \cdot C_i} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \frac{d_f}{C_1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{R_4 \cdot C_3} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{m \cdot c}{C_i} - \frac{1}{R_5 \cdot C_i} & \frac{1}{C_i} & \frac{1}{C_i} & \frac{(1-d_f)}{C_i} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

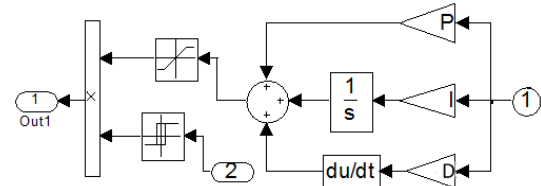
본 논문에서는 일사량에 의한 외부기온, 창을 통해 들어오는 열량과 설정온도에 대한 냉방시스템, 그리고 상태공간의 건물영역을 포함하는 시스템을 그림 2에 나타내

었다.



[그림 2] 건물 시뮬레이션 모델링
[Fig. 2] Building simulation modeling

건물의 실내온도 제어를 위한 냉방시스템은 그림 3과 같이 PID제어를 사용하여 실내온도와 설정온도 차이에 따라 제어가 수행되며, 설정 실내온도 2℃를 초과할 경우 냉방장치 운전을 정지하도록 설계하였다.



[그림 3] PID 냉방시스템 제어
[Fig. 3] PID cooling system control

2.3 온도제어 알고리즘

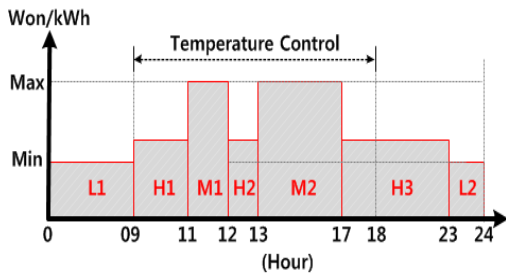
본 논문에서 제안하는 TOU 요금기반의 냉방시스템 온도제어 알고리즘은 여름철 전력요금을 기준으로 전력요금이 상대적으로 낮은 중부하 시간대 초기가동 전력사용을 최우선 순위로 선정하고 최대부하 시간대 구간(11시~12시) 이전에 최소 온도설정 값으로 냉방시스템이 운전할 수 있도록 설정한다. 전체적으로 가변적인 실내온도의 기울기를 조절할 수 있게 냉방시스템을 제어하여 최대부하 시간대 구간에서는 냉방시스템의 운전을 최대한 억제시켜 전체적으로 전력사용 시간의 이전(shifting)을 통한 전력요금 절감 및 최대전력 사용을 제한하는 효과를 얻을 수 있다[9].

시간에 따른 전력사용 요금 $C(t)$ 는 계절별 요금 선택과 시간대별 사용요금으로 결정되는데 여기서 냉방시스템의 시간당 스위칭 시한에 따라 1시간 평균에 대한 계산을 하여야 한다.

$$C(t) = C_b \cdot P_t + \left(\sum_i^{HL} P_{th} + \sum_i^{ML} P_{tm} \right) \quad (11)$$

여기서 C_b 와 P_t 는 각각 기본요금과 전력을 사용한 기간의 최소시한 15분에 대한 평균 사용 전력량으로 사용기간 수요시한 중 최대 부하 전력량 값을 나타낸다. HL 은 중부하, ML 은 최대부하 시간대에 사용한 전력에 각각의 비용을 곱한 값을 나타내며 경부하시간대는 전력사용이 없으므로 본 논문에서는 제외하였다.

그림 4는 현재 국내에서 여름철에 시행되고 있는 TOU 요금제의 시간대 구분을 나타낸 것이다. 본 논문에서 고려한 건물에 적용되는 요금제는 일반용 전력(을) 고압 A 선택[1] 요금은 경부하 ($L1$, $L2$)의 경우 52.60원, 중부하 ($H1$, $H2$, $H3$)의 경우 100.40, 최대부하($M1$, $M2$)의 경우 172.90원이다.



[그림 4] 시간대별 요금제
[Fig. 4] TOU Tariffs

본 논문에서 냉방시스템의 운전은 단일구조의 냉방시스템을 고려하였고 현재 실내온도를 기준으로 동작하기 때문에 시간에 대한 새로운 현재 실내온도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{i+1} = T_i + \sum_{n=1}^N (I(n) - O(n) \cdot u(n)) \quad (12)$$

여기서 T_i 는 현재 실내온도, N 은 냉방시스템 제어구간에서 스위칭 시한의 총합, I 는 실내온도의 상승 열량, 그리고 O 는 냉방시스템 스위칭을 통한 실내온도의 하강열량을 나타낸다.

설정된 제어구간에서 냉방시스템이 운전이 시작되면 ($u > 0$) 실내의 온도가 상승열량에서 하강열량의 차이만큼 실내온도가 내려가게 되고 냉방시스템 운전을 정지하게 되면($u = 0$) 실내온도는 올라가게 된다. 그리고 실내온도제어 범위는 냉방제어 시스템이 운전되는 시간동안

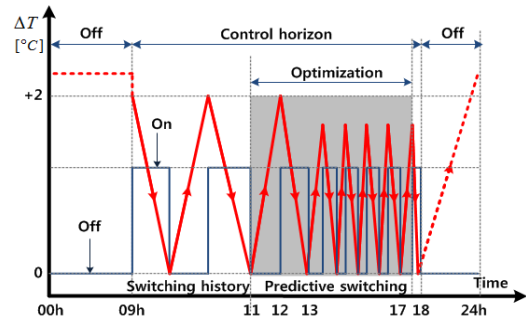
실내온도의 상한치와 하한치 범위 내에 있어야 하기 때문에 다음과 같은 실내온도 조절 경계조건이 필요하다.

$$T_{low} \leq T_t \leq T_{high} \quad (13)$$

여기서 T_t 은 현재 실내온도를 나타낸다. 그리고 T_{low} 와 T_{high} 는 시간에 따른 실내온도가 최대로 상승할 수 있는 상한치와 냉방장치 운전으로 설정온도가 도달 할 수 있는 하한치 온도조절 범위를 나타내며, 실내온도 조절 경계 조건에 도달하면 냉방시스템은 운전과 정지를 우선적으로 수행하게 된다. 시간대별 요금제에서 냉방시스템 운전비용을 절감하는 것은 전체적으로 전력피크를 줄이며 부하사용을 이동 또는 감소시키는 방법으로 주어진 요금 시간대에 따른 최적화된 운전시기를 결정하여 전력요금을 최소화 하는 것을 목적으로 한다[10]. 일반적으로 24 시간 동안 각각의 시간대별 냉방시스템의 사용을 고려하지만 본 논문에서는 모델로 설정한 건물의 이용 시간 9시간에 대한 냉방시스템 운전이며 이에 따른 에너지 비용을 최소화하는 목적함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\min J = \sum_{n=1}^N \{u(n) \cdot p(n) \cdot c(n)\} \quad (14)$$

여기서 N 은 건물 온도를 제어하기 위해 사용되는 09시에서 18시까지 스위칭 시한의 총합으로 15분 기준인 경우 36이며, $u(n)$ 는 냉방시스템 동작상태를 나타내고, $p(n)$ 는 사용전력, $c(n)$ 은 시간을 기준으로 수용가에 부과되는 전력요금 $C(t)$ 에서 기본요금과 최대사용 전력의 곱을 제외한 중부하와 최대부하시간대에 사용시간에 따른 스위칭 시한 n 에 대한 전력사용 요금이다.

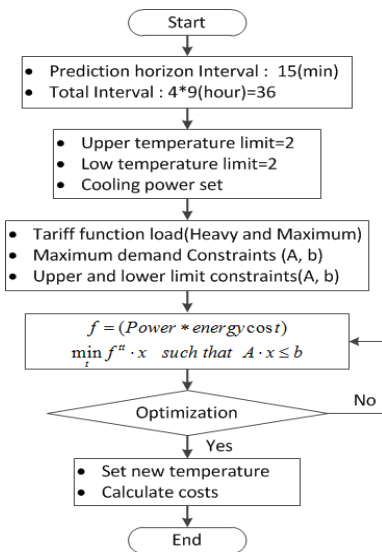


[그림 5] 제어구간 스위칭 방법
[Fig. 5] Control horizon switching strategy

수용가 전력사용이 냉방시스템 초기 운전시간인 09시

에 냉방시스템 전력사용량을 기반으로 중부하와 최대부하 시간대의 출력을 계산하기 위해 최적화 구간을 설정하여 냉방시스템을 조절할 수 있는 제어를 위해 그림 5와 같이 시간에 따른 온도와 냉방시스템 동작을 설계한다. 냉방시스템 제어구간은 1일 기준으로 설계되며, 다음날의 최초의 중부하 시간대의 입력변화가 발생하게 되면 새로운 제어구간 설정을 할 수 있는 구조로 설계되어 진다.

제약한 냉방시스템을 이용한 실내온도 조절 스위칭 최적화 문제를 해결하기 위해 그림 6과 같은 절차의 LP(linear programming)알고리즘을 사용하였다. 첫 번째로 시간에 따른 구간에 대해 온도 스위칭 동작의 상한과 하한에 대한 경계값 설정, 구간에 따른 에너지 비용 계산, 최대부하 사용에 대한 제약조건을 설정하게 된다. 두 번째로 설정된 제약조건들은 실내온도의 상한과 하한에 대한 출력온도 제한조건 A , 입력온도 제한조건 b 를 계산한다. 마지막으로 $A \cdot x \leq b$ 에서 사용전력과 에너지비용의 곱으로 나타내는 최소화 목적함수 f 를 통해 시간에 대한 최소화 스위칭 동작 u 를 결정하게 되는데, 여기서 스위칭 동작 u 는 온-오프 동작인 경우 이진값인 0과 1, 전력조절이 가능한 경우는 0~1 사이의 값이 나타날 수 있다.



[그림 6] 알고리즘 수행절차
[Fig. 6] Schematic diagram of LP algorithm

3. 컴퓨터 시뮬레이션

그림 7은 해석 대상 시뮬레이션에 사용된 건물을 나타

내고 있다. 대상건물은 제주특별자치도 제주시 소재 지상 1층의 상업용 부속 건물로 2009년 9월 준공되었으며 건물면적은 54.85[m²], 철근 콘크리트 구조로 건물의 방향은 남쪽을 향하고 있다. 건물의 남쪽면에는 유리외벽(glass curtain wall)과 제주판석으로 마감, 주출입구인 동쪽과 서쪽면은 강화유리도어를 설치하였으며 북쪽면에는 드라이비트로 마감하였고 냉방과 난방은 EHP(electric heat pump) 방식을 사용하고 있다. 시뮬레이션을 수행하기 위해 설정한 건물 파라미터 값들은 표 1과 같이 주어진다.



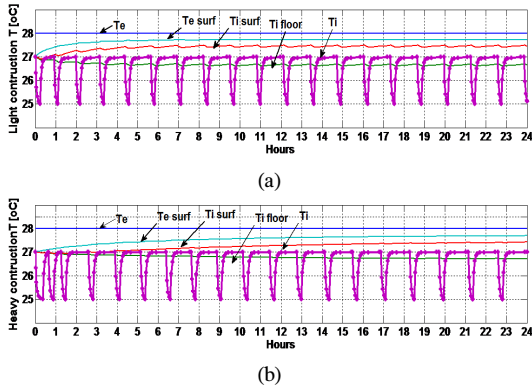
[그림 7] 기존 테스트 건물
[Fig. 7] Conventional test building

[표 1] 건물 파라미터
[Table 1] Building parameters

Parameter	Value
Volume zone	253[m ³]
Ventilation	1[hour]
Facade surface	49[m ²]
Facade heat resistance Rc	0.11[m ² K/W]
Floor and internal walls surface	122[m ²]
Window surface	44[m ²]
Window heat resistance	3.6[m ² K/W]

대상건물 시뮬레이션 모델이 정상적으로 동작하게 되면 외기온도에 따라 외부와 내부 표면온도, 바닥온도, 그리고 실내온도 분포가 다른 특성을 나타내어야 한다. 이를 확인하기 위해 외기온도를 28℃로 고정된 후 대상건물 200[mm]와 비교 대상인 100[mm]의 벽구조에 대해 시뮬레이션을 하였고, 그 결과를 그림 8에 나타내었다. 시간의 흐름에 따라 냉방시스템 운전으로 인해 외부 표면온도 $T_{e,surf}$ 가 상승하며, 내부 표면온도 $T_{i,surf}$ 는 대상건물의 벽 구조의 경우 선형적으로 증가하고 있으나 비교대상 벽의 경우 상대적으로 온도편차를 부분적으로 발생하며 변하고 있음을 확인 할 수 있다. 이것은 건물

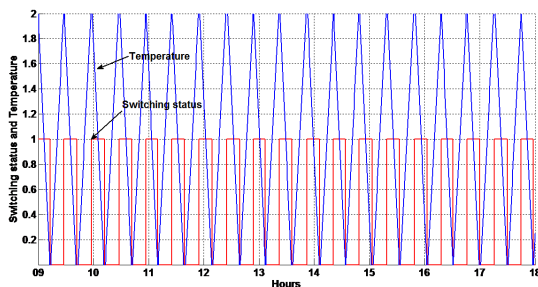
신축 시 벽 두께에 대한 설계가 에너지 절감에 사전적 조치가 될 수 있음을 의미한다.



[그림 8] 벽 구조에 따른 온도변화
(a) 100[mm], (b) 200[mm]

[Fig. 8] Temperature change in wall construction type.
(a) 100[mm] wall, (b) 200[mm] wall

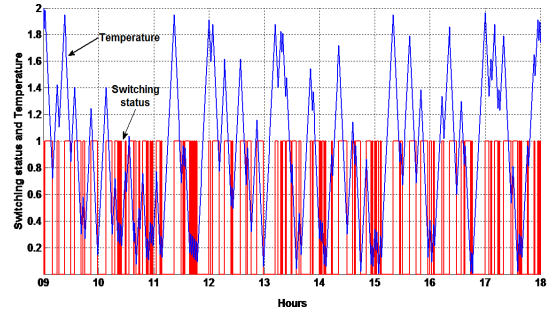
대상 건물에 대한 에너지 사용비용 절감 및 최대부하 시간대 전력 사용억제 냉방시스템 운전방식의 효과를 검증하기 위해 온도 제어 시한에 대한 외기온도는 28℃로 고정하였다. 첫 번째로 기존의 실내 온도제어에 사용되는 온-오프 제어 방법을 시뮬레이션 하였으며, 운전상태와 온도변화 결과를 그림 9에 나타내었다. 냉방시스템은 설정된 상한과 하한치 온도에 따라 연속적으로 동작하며, 시간과 상관없이 설정된 실내온도에 따라 냉방시스템이 운전되는 특성이 있으며, 순간 최대전력 사용량 1을 나타내고 온도 변화 범위도 일정한 패턴을 나타냄을 확인할 수 있다.



[그림 9] 온-오프 온도제어
[Fig. 9] On-off temperature control

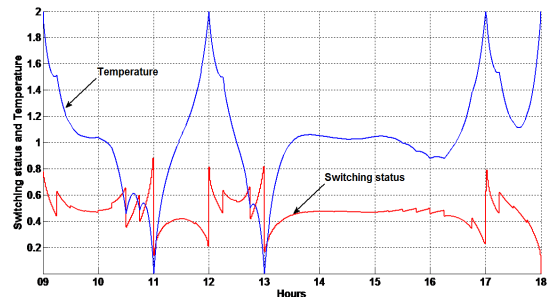
두 번째로 최초의 최대부하시간대가 시작되는 11시에 실내온도 하한치가 되게 설계하고, 이진 스위칭 방식의 LP알고리즘을 적용하여 설정된 제어구간에 입력으로 인

가하는 방법을 시뮬레이션 하였으며 결과를 그림 10에 나타내었다. 최대부하 시간대의 냉방시스템은 운전을 최소화 하여 실내온도를 조절하는데, 이 경우도 순간은 최대전력 사용량 1을 나타내며 실내온도 변화가 불규칙적으로 변화함을 알 수 있다.



[그림 10] 제어구간에 대한 이진 온도제어
[Fig. 10] Binary temperature control for horizon

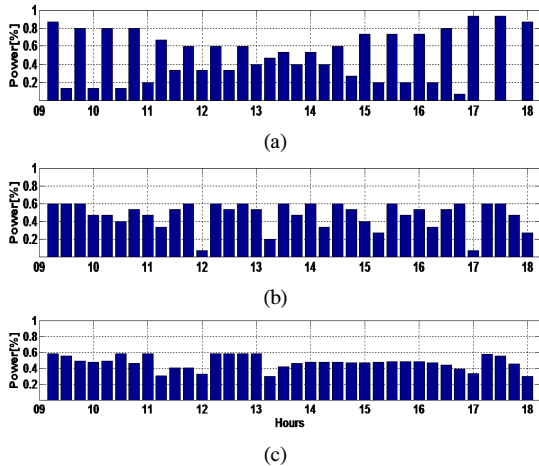
마지막으로 냉방시스템이 초기 동작하는 시간대에 예측된 입력을 중부하와 최대부하시간대 제어구간의 전력 가변방식스위칭 입력으로 사용한 방법을 시뮬레이션 하였으며, 결과를 그림 11에 나타내었다. 가변방식의 제어구간 설정 제어방식은 순간 최대전력 사용량을 0.88로 낮출 수 있고 최대부하시간대의 실내온도 변화가 완만함을 확인할 수 있다.



[그림 11] 제어구간에 대한 가변 온도 제어
[Fig. 11] Variable temperature control for horizon

그림 12는 각각의 냉방시스템 운전방식에 대한 전력 피크가 결정되는 15분단위의 전력사용량을 비교한 결과를 나타내었다. 냉방시스템의 15분 최대 전력사용량 1을 기준하였을 때, 기존의 온-오프 방식은 최대 전력 사용량 1에 근접한 피크전력값이 나타나고 있으나 이진 LP방식과 가변 LP방식의 제어구간설정 제어는 피크값이 0.6을 나타내고 있다. 이것은 최대전력사용량이 저감됨을 나타내며, 특히 가변 LP방식의 제어구간 설정 제어인 경우 13

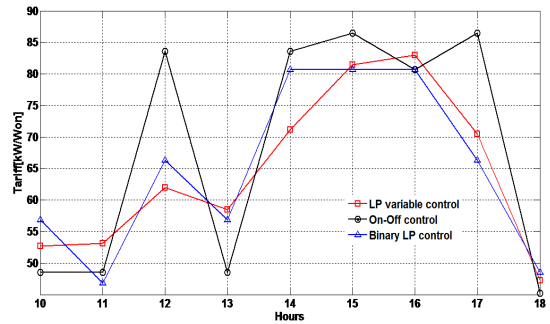
시에서 18시까지의 최대부하시간대의 냉방시스템 운전 을 0.4에서 유지함으로써 냉방수요가 집중되는 시간에 전력사용 요금과 전력피크, 쾌적성 면에서도 좋은 결과를 나타내고 있음을 확인할 수 있다.



[그림 12] 온도제어에 사용되는 전력 사용 비율 (a)온-오프 온도제어, (b) 이진 온도제어, (c) 가변 온도 제어

[Fig. 12] Power rate for temperature control (a) On-off temperature control, (b) binary temperature control, (c) variable temperature control

그림 13은 각각의 제어 방식에 따른 1시간 단위의 전력사용 요금에 대한 결과를 나타내었다. 기존의 냉방시스템 운전 방식은 시간대별 사용요금을 고려하지 않은 중부하 시간대 또는 최대부하 시간대의 냉방시스템이 운전됨으로써 순수 사용한 전력량에 비해 높은 요금이 부과됨을 알 수 있었다. 각각의 에너지 비용은 냉방시스템 운전 제어방식에 따른 전력사용량[kW]과 시간[hour]의 곱으로 계산할 수 있다. 기존의 온-오프 냉방장치 운전방식과 비교하여 제어구간을 설정한 이진방식과 가변 온도제어 방식의 전력사용 요금비율은 3[kW]의 전력을 적용하였을 때 하루 기준 전력사용 요금은 611.48, 583.78, 579.57[원]으로 제안한 제어 구간 설정을 적용한 냉방장치 운전의 경우 하루 전기요금에 4.53%, 5.22% 정도 감소함을 알 수 있다. 제안한 LP 제어구간 설정 제어방식의 경우 에너지 비용이 감소하며, 냉방시스템의 사용전력 용량이 크고 사용 기간이 늘어날수록 에너지 비용은 감소함을 알 수 있었다. 또한 전력요금 산정 시 기본요금의 경우 전월 피크전력 사용값을 기준으로 책정되기 때문에 소비자에게 부과되는 전력요금은 상대적으로 더 낮아질 가능성이 있다.



[그림 13] 에너지 비용 비교
 [Fig. 13] Comparison of a energy costs

4. 결론

본 논문에서는 여름철 냉방시스템이 운전되는 시간동안 일정 온도범위 설정 후 TOU 요금제 기반에서의 최대부하 시간대에 대한 제어구간 설정 제어방법을 사용하여 에너지 사용 비용인 전력 사용요금과 전력피크를 감소시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 중부하와 최대부하 시간대의 냉방시스템 운전에 대하여 2°C 대한 구간을 설정하고 초기의 냉방시스템의 운전을 최대부하시간대의 제어구간 입력으로 사용하여 제한한 결과 기존의 상한치와 하한치 실내온도 조절범위를 가지는 온-오프 냉방시스템 운전 방식에 비해 사용전력 대비 전력요금을 하루 기준 약 5% 정도 절감할 수 있음을 확인하였다. 또한 전력피크를 제한함으로써 냉방부하의 최대전력사용량을 감소시킬 수 있었다. 향후 스위칭 시한을 감소시키는 알고리즘, 실외온도에 따라 변동하는 전력수요에 대한 외부적인 영향 등을 고려하여 실제 시스템에 적용 한다면 보다 효율적인 건물에너지 관리가 가능하리라 기대된다.

References

- [1] Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning, Green Energy Strategy Load Map, 2011.
- [2] C.-B. Park, A Study on the Application of Low Energy Cooling System in Office Building, PhD Dissertation, Chung-Ang University, 2011.
- [3] N. Mendes, G. H. C. Oliveira, H. X. Araújo, and L. S. Coelho, "A Matlabbased simulation tool for building thermal performance analysis," Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, August 11-14, 2003.

- [4] I. Beausoleil Morrison, F. Macdonald, M. Kummert, T. McDowell, R. Jost, and A. Ferguson, "The design of an ESPr and TRNSYS cosimulator," In Proc. Building Simulation 2011, pp. 2333 - 2340, 2011.
- [5] L. Magnier and F. Haghighat, "Multiobjective optimization of building design using TRNSYS simulations, genetic algorithm, and artificial neural network," Building and Environment, vol. 45, no. 3, pp. 739-746, 2010.
- [6] Korea Energy Management Corporation, Energy Retrofit Project, 2004.
- [7] A. W. M. van. Schijndel, Integrated Heat Air and Moisture Modeling and Simulation, PhD Dissertation, Eindhoven University of Technology, 2007.
- [8] A. Sempey, C. Inard, C. Ghiaus, and C. Allery, "Reduced order model for air temperature control in indoor spaces", In second PALENC conference, pp. 924-928, Crete island, Greece, 2007.
- [9] I. Hazyuk, C. Ghiaus, and D. Penhouet, "Optimal temperature control of intermittently heated buildings using model predictive control: Part I - Building modeling", Building and Environment, vol. 51 pp. 379 - 387, 2012.
- [10] Y. Yang, A. Pinto, A. Sangiovanni-Vincentelli, and Q. Zhu, "A design flow for building automation and control systems", 31st IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS'10), pp. 105-116, San Diego, CA, December 2010.

김 정 혁(Ho-Chan Kim)

[정회원]



- 2005년 8월 : 제주대학교 전기공학(공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 전기공학과 박사과정

<관심분야>

에너지효율, 건물에너지시스템, 스마트그리드

김 호 찬(Ho-Chan Kim)

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과(공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과(공학박사)
- 2008년 2월 ~ 2009년 2월 : 미국펜스테이트 방문교수
- 1995년 9월 ~ 현재 : 제주대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

신재생에너지, 풍력발전, 에너지효율

부 창 진(Chang-Jin Boo)

[정회원]



- 2003년 2월 : 제주대학교 전기공학(공학 석사)
- 2007년 2월 : 제주대학교 전기공학(공학 박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 공과대학 시간강사

<관심분야>

에너지 효율, 신재생에너지, 접지시스템