



공조제어 적용을 위한 재실자 온열반응 데이터의 유효성 분석에 관한 연구

An application to HVAC control system based on occupants' thermal response in office buildings

한혜심* · 김종훈** · 정학근*** · 장철용****

Han, Hyesim* · Kim, Jonghun** · Jeong, Hakgeun*** · Jang, Cheol-Yong****

* Weatherization Assistance Dept, Korea Energy Foundation, South Korea (hshan@koref.or.kr)

** Energy Saving Laboratory, Korea Institute of Energy Research, South Korea (jonghun@kier.re.kr)

*** Energy Saving Laboratory, Korea Institute of Energy Research, South Korea (hgjeong@kier.re.kr)

**** Corresponding author, Quality Management Team, Korea Institute of Energy Research, South Korea (cyjjang@kier.re.kr)

ABSTRACT

In South Korea, the government has recently enforced regulations associated with buildings. Temperature restriction in indoor environment is one of the common ways of energy reduction in order not to dissipate heating and cooling energy; however the people who are in restricted temperature feels uncomfortable. Furthermore, occupants cannot feel the same thermal sensation even they are in the same place. For the reason, occupants should express their thermal sensation and HVAC system should be able to apply their demand. It is proved by an adaptive principle. The adaptive model means that people react in ways which tend to restore their comfort, when change occurs such as to produce discomfort. In order to design HVAC control strategies based on adaptive model, we designated an existing office building as a reference building to gather data from actual field. Furthermore, we gathered occupants' thermal sensation and clothing insulation in real-time. We filtered the data with Kalman's filter method. The data was reasonable when there is an alarm messages for asking questionnaire. The response ratio were different in occupants' thermal condition. In conclusion, the filtered occupants' thermal sensation can be used as a real time HVAC control and input value of HVAC control.

KEYWORD

온열환경,
온열반응,
재실자 응답,
사무소 건물

Thermal Environment,
Thermal Scale,
Occupants' Response,
Office Buildings

ACCEPTANCE INFO

Received March 26, 2014

Final revision received July 16, 2014

Accepted July 18, 2014

© 2014 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 목적

정부는 최근 녹색건축물 조성 지원법을 제정하여 「저탄소 녹색성장 기본법」에 따른 녹색건축물의 조성·건축물 온실가스 배출량 감축과 녹색건축물의 확대를 위해 노력하고 있다. 특히 에너지 저소비형 건축물을 보급하고 활성화하기 위해 공동주택의 신축 업무용 건축물에 한해 운영하던 건축물 에너지효율등급 인증 기준을 최근 모든 용도의 건축물로 확대하였고 신축뿐만 아니라 기축건축물까지 대상을 확대 실시하는 등 정책을 강화하였다[1]. 이와 같이 인증등급을 세분화하고 기준을 강화하는 등의 건축물 관련 정부 정책은 건축물 분야에서 에너지절약을 유도하기 위한 대표적인 노력 중 하나이다.

이와 더불어 최근 사무실(또는 업무·상업시설)의 권장 실내온도를 하절기에 26°C(일반)~28°C(공공기관), 동절기에 18°C(공공기관)~20°C(일반)으로 정하여 동절기와 하절기 사무실의 난방과 냉방시 필요한 에너지를 낭비하지 않도록 규제하고 있다. 적정 냉난방 온도 준수는 재실자의 건강증진과 사무실에서의 업무 능력 향상 등을 위

해 매우 중요하다.

하지만 건축물에서 에너지절약만을 강조하다보면 재실자의 쾌적성이 다소 희생되는 경우가 발생한다[2]. 더욱이 개별요구에 따라 공조온도를 운영할 수 없는 공간에서 재실자의 열쾌적은 희생해야 하는 부분 중 하나로 여겨져 왔다. 주로 열쾌적 제어 항목으로 사용되는 예상 온열감 반응(Predicted Mean Vote; PMV) 제어는 미국 공조냉동공학회(American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers; ASHRAE)에서 규정하는 예상 불만족률(Predicted Percentage of Dissatisfied; PPD) 10% 내외의 구간인 $-0.5 < PMV < 0.5$ 을 기본으로 하지만 재실자 개개인 모두 동일한 열쾌적을 느낄 수 없고 개인의 성향 및 요구 등에 따라 다양하게 나타날 수 있기 때문에 더욱 고려되어야 한다. 재실자 개개인이 느끼는 온열감은 개인마다 다르며 같은 공간에 재실 하더라도 개개인의 반응은 개인의 사정·개인의 업무 범위·활동영역·냉온열감상태 등에 따라 차이날 수 있기 때문이다. 따라서, 공조온도와 공조시간의 변화 요구를 재실자 스스로가 표현하며 공조시스템도 이를 충분히 반영할 수 있는 환경이 마련되어야 한다.

본 연구에서는 재실자 스스로 자신의 열적 선호도와 기대에 맞추어 열환경을 조절하기 위해 다양한 적응행동을 하거나 능동적인 열환경 개선을 요구한다는 개념을 바탕으로 이를 공조제어에 활용하고자 하였으며, 그 과정으로 재실자의 온열반응 응답 데이터의 유효성을 검토하였다.

1.2. 연구의 방법

본 연구는 사무소 건물을 대상으로 하며 연구의 방법은 다음과 같다.

(1) 쾌적온도 관리의 개념에 대해 고찰하고 국내의 온열환경 기준을 분석하였다. 온열환경과 재실자의 온열반응 기반 연구동향을 선행 조사하였다.

(2) 온열환경 조사와 측정을 위해 대상건물을 선정하고 재실자의 온열환경 측정과 반응조사를 실시하였다.

(3) 재실자 온열환경 반응 데이터를 기반으로 실시간 제어 활용효과를 위한 응답 데이터의 유효성을 검토 및 분석하였다.

2. 국내외 온열환경 기준 및 온열반응 기반 공조제어의 연구동향

2.1. 국내의 온열환경 기준

1) 우리나라 온열환경 기준

우리나라의 건물 냉난방온도 제한에 관한 규정은 「에너지이용합리화법」 제36조의2, 36조의3과 동법시행령 제42조의2, 42조의3에서 명시하고 있다[3]. 정부가 권장하는 여름철 실내 냉방온도는 26~28°C, 겨울철 실내 난방온도는 18~20°C이다[4]. 이는 한국과학기술원 연구보고서에서 발표한 우리나라 사람들이 여름철 실내에서 쾌적하다고 느끼는 온도 범위 24~26°C보다 다소 높다. 이는 여름철 평균 외기온도가 29~32°C인 것을 감안했을 때, 실내외 온도차가 5°C 이상 나지 않도록 유지하는 적정온도 보다도 다소 높은 것이다[5].

이러한 사무실내 권장온도는 말 그대로 권장하는 온도일 뿐 지금까지 어떠한 법적 규제가 없었으나 최근 서울시가 전국 시도 최초로 여름철 일정 규모이상 건축물의 실내온도를 하절기(6월~9월)에 26°C 이상으로 유지하고 동절기(11월~3월)에 20°C 이하로 유지하도록 하는 에너지 조례 개정안을 입법 예고하였다. 또한 정부는 공공기관 에너지 10% 절약을 위한 실행지침에 따라 실내온도 기준을 강화하고 냉난방 일수를 하절기 60일에서 42일로, 동절기 90일에서 72일로 축소 운영하도록 규정하였다.

2) 국외의 온열환경 기준

에너지관리공단이 2007년에 보고한 우리나라와 국외의 냉방온도 기준을 살펴보면 다음과 같다. 일본은 18°C에서 28°C 사이로 실내온도를 유지하고 거실의 온도를 외기온도보다 낮게 할 때에는 그 차이를 심하게 하지 않도록 의무화하였다[6]. 특히 난방온도를 20°C, 냉방온도를 24~28°C로 유지하도록 규정하여 권장하고 있다. 이에 따라 가벼운 복장을 권장하고 여름철 벡타이를 매지 않고 재킷을 벗는 등의 가벼운 차림으로 근무하는 것을 뜻하는 쿨비즈(coolbiz; cool+business)와 실내에서 난방비를 아끼고 대중교통을 이용하여 기름값을 줄이자는 취지로 워밍비즈(warmbiz; warm+business)라는 개념을 도입하였다.

미국은 주마다 규정 내용이 다르지만 거의 모든 주에서 공조냉동 공학회 권고 기준을 채택한다. 난방 20.8°C 이상 및 냉방 27.8°C 이하의 실내온도를 권장한다.

유럽국가들은 유럽표준위원회(Committee European de Normalisation; CEN)의 기준을 그대로 사용하거나 나라마다 별도의 규정을 가지고 병행 운영하고 있다. 특히 프랑스는 유럽기준을 기본으로 사용하나 좀 더 세분화된 자체기준을 보유하고 병행 사용한다.

2.2. 온열반응 기반 연구동향

인간은 경제성장과 더불어 점차 편의성 추구에 관심을 가지며 편의의 추구는 인간의 감성에 기반하고 인간의 감성변화는 온열환경(thermal environments)에 크게 영향을 받는다. 김보성(2011)은 PMV와 심리적 감성반응(쾌/불쾌와 긴장/이완 정도)·생리적 감성반응(심박율)의 관계를 도출하고자 하였다[7]. 그 결과 난방조건에서 PMV와 심리적 감성반응 관련성이 높고 냉방조건에서 PMV와 생리적·심리적 감성반응 관련성이 높음을 확인하였다. 송두삼(2007)은 적응적 모형의 검토 과정에서 심리적 요소와 생리적 요소가 모두 고려되어야 함을 제기하였다[8]. R. Yao(2009)는 실제 환경의 PMV 모델(Actual PMV; AMV)을 PMV 척도와 비교하였을 때 따뜻한 환경과 추운 환경에서 AMV 값과 PMV 척도는 차이남을 확인하였다[9].

이와 같이 기존의 PMV 지표에 실내환경·실측환경·재실자 의견 등을 반영한 지표가 필요함을 알 수 있다.

2.3. 쾌적 온도관리 개념

쾌적영역이란 불안감이 없는 작용상태, 또는 기온과 평균복사온도·습도·기류간의 관계를 조합하여 다수의 성인이 쾌적하다고 느끼는 환경의 범위를 설정한 것으로 정의된다[10]. 이는 개인차나 생리적·심리적 특성과 활동 상태에 따라 변한다. 열쾌적(熱快適; Thermal Comfort)이란 온열환경에서 마음이 만족하는 상태라 정의된다[11]. 이는 실험실 환경 조건에서 비롯된 열평형모형과 실측 실험을 바탕으로 한 적응모형의 두 범주로 구분된다.

1) 열평형모형(Heat balance model)

열평형모형은 활동량(activity)·착의량(clothing insulation)과 네 가지 열환경 페리미터(공기온도; air temperature, 복사온도; radiant temperature, 기류속도; air speed, 습도; humidity)에 의해 결정되는 측정지표로 P.O.Fanger에 의해 1970년대 처음 제안되었다. 이는 제한된 실험실 환경(laboratory experiments and well-controlled environments) 조건에서 실시된 피험자 실험에 기초한다[12, 13] 이는 정상상태의 실험으로 실제 건물 환경과 많이 다를 수 있으며 복합적인 건물 환경과 재실자들의 주관적 의견을 반영하는데 어려움이 있을 수 있다. 특히 열평형모형은 자연환기의 환경 즉 비공조(non-air conditioned) 영역에서 오차가 많이 발생하는데 이는 잘 공조되는 건물보다 재실자의 개별 제어(창문을 여는 등)에 영향을 받을 수 있기 때문이다[14].

2) 적응모형(Adaptive model)

‘편안하게 느낌’은 매우 주관적이기 때문에 객관적으로 정의되기 어려우며[15] 개인마다 성향이 다르므로 한 공간에서 모든 사람을 만족시키는 것은 어렵다. 또한 열평형모형의 예측오차나 지표 결정요소의 적용한계 등으로 실측과 재실자의 주관적 열적 선호에 따라

PMV를 적용해야 한다는 적응모델이 대두되었다.

즉 재실자가 실험실 조건의 피험자처럼 열적 자극에 수동적으로 대응하는 것이 아니라 재실자 스스로 자신의 열적 선호도에 맞도록 열환경을 조절하기 위해 다양한 적응행동을 취한다는 것이다. Richard(1974) 등은 열적적응(Thermal adaptation)을 결정하는 요소를 행동적(Behavioral adjustment), 생리적(Physiological), 심리적(Psychological) 적응의 세 가지로 정리하였다[16, 17].

3. 온열환경 조사를 위한 실험 및 설문

3.1. 측정 및 설문 대상

온열환경 조사를 위해 대전에 위치한 업무용 건물을 대상건물로 선정하였다. 온열감 설문은 대상건물(1~5층)에서 업무하는 약 208명의 연구원을 대상으로 진행하였다.

대상건물은 1층과 2층이 각각 로비와 대회의실로 인해 기준층인 3층~5층의 평면과 다른 형태를 지니며 4대의 공조기가 층과 향을 구분하여 공조한다. 따라서 기준층이며 동일 공조구역인 3~5층 중 중간층인 4층을 사용하는 약 70명(전체 재실자의 2/5)을 대상으로 데이터를 집중 분석하였다. 대상 층은 Fig. 1과 같다.

3.2. 측정항목

온열환경 측정을 위해 PMV 결정지표인 여섯 항목(대사량/착의량/공기온도/복사온도/기류속도/습도)을 모두 측정해야 하지만 사무소 건물이라는 건물의 용도 특성에 맞추어 일정항목은 변수가 아닌 고정값으로 판단할 수 있다. 따라서 대사량은 ‘앉아서 하는 업무’로 한정하였다. 하지만 체감 온열감은 단지 공기온도나 복사온도만으로 결정되지 않는다. 미국 공조냉동공학회 가이드라인에 따르면 작동 온도(operating temperature)는 의사 단열정도·업무범위 등에 따라 달라질 수 있다.

이에 따라, 실내 공기온도 및 복사온도 외에 Table 1과 같이 미국공조냉동공학회 온열감 지표 기준의 온열 범위로 재실자의 온열감을 조사하였고 ISO 7730에 기반한 착의량을 조사하였다[18].

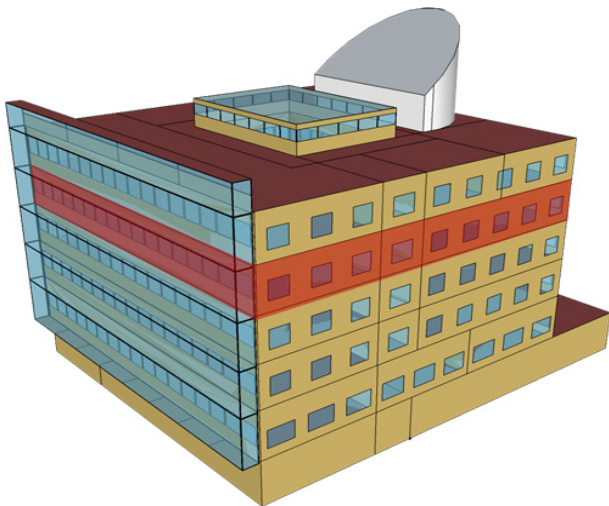


Fig. 1. A reference building

Table 1. Thermal scale of ASHRAE

Index	3	2	1	0	-1	-2	-3
Thermal scale	Hot	Warm	Slightly Warm	Neutral	Slightly Cool	Cool	Cold
Intuitive thermal scale							

3.3. 측정조건

대상건물의 환경 물리량을 측정하기 위해 휴대용 타입의 PMV 미터(Fig. 2 (a))와 BAS 천정 온도 센서(Fig. 2 (b))를 활용하였다.

재실자 온열반응 조사를 위해 휴대폰 어플리케이션을 활용한 설문조사를 실시하였으며, 설문의 내용은 대상건물의 공조환경 개선을 위한 조사를 바탕으로 하였다. 즉, 온도·습도 등의 환경 물리량이 아닌 재실자가 체감하는 온열감을 직감적으로 측정하기 위한 조사이다. 설문을 통해 수집된 데이터는 설문 대상자들의 정보와 함께 데이터 서버에 실시간 저장되었으며 이를 분석에 활용하였다.

재실자 온열감 설문은 상시 의견을 수렴하는 것을 기본으로 하였고, 동일한 시간대의 의견을 수렴하기 위해 하루 세 번 온열감 측정을 요구하는 알람을 일괄 공지하였다. 하절기(6~8월)동안 아침 출근 후 10시를 시작으로 3시간 간격(10:00, 13:00, 16:00)으로 측정하고자 하였으나 12시부터 1시까지 점심시간인 이유로 13시는 외부 환경에 노출된 직후 개인의 온열감에 영향이 있을 것이라 판단하였다. 따라서 점심시간 종료 30분 이후인 13시 30분에 설문을 실시하였다. 실시간 의견 수렴을 위한 설문조사 방법 및 기간은 Table 2와 같다.

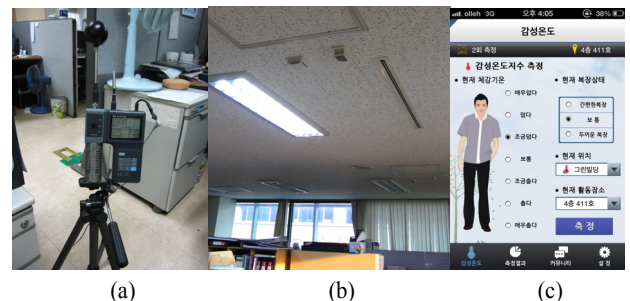


Fig. 2. Data measurement instruments; (a)PMV meter (b)BAS thermal sensors on the ceiling (c)Mobile phone application

Table 2. Survey methods and period to gather occupants' thermal response in real-time

Survey method	Period	Time	Contents	
			Thermal scale	Clothing
Mobile phone application	summer season	10:00 13:30 16:00	-3 to 3	Light clothes Normal Heavy clothes

4. 재실자의 온열반응 조사

4.1. 데이터 필터링

재실자 온열반응 데이터를 분석하고 제어를 위한 입력값으로 활용 가능하지 판단하기 위해 데이터 필터링을 활용하여 온열반응 데

이터의 유효성을 검증하였다.

데이터 필터링은 새롭게 측정된 데이터를 이전까지의 데이터 기반으로 예측된 데이터와 비교하고 미리 정한 오차범위 안에 존재하는지 판단한 후, 오차범위를 벗어날 경우 노이즈로 결정하여 필터링하는 방법이다. 재실자 온열반응에 기반한 공조제어 전략에서 재실자 온열반응 데이터는 응답시간 유효값 한계 이내에 발생한 응답 데이터를 기본으로 재실자의 공조온도 변경요구를 판단한다. 재실자의 온열반응이 개인차에 따라 다양하게 나타날 수 있기 때문에 데이터 필터링 방법론인 칼만필터법(Kalman filter)을 적용하여 허용되는 오차범위 내의 데이터만을 가려내도록 검토하였다.

정준(2012)은 과거의 측정데이터와 새로운 측정데이터를 사용하여 데이터에 포함된 노이즈를 제거하는 선형적 필터 자료처리 방법으로 칼만필터법을 사용하였다 [19]. 이현조(2010)는 데이터 필터링의 효율성을 향상시키기 위해서 보다 높은 정확도를 지닌 데이터 예측값을 측정하는 방법으로 칼만필터법을 사용하였다 [20].

칼만필터(Kalman filter)란 노이즈가 포함되어 있는 선형 역학계(linear quadratic estimation; LQE)의 상태를 추정하는 재귀 필터로 컴퓨터, 로봇공학, 레이더 등의 여러 분야에서 적용 가능한 효율적 방법이다. 이전 예측값(prediction)을 토대로 측정된 현재값을 정확한 상태로 추정(update) 한다. 본 연구에서는 재실자들의 반응 데이터를 예측한 데이터로, 실시간 감지한 데이터를 현재값으로 변환하여 현재의 반응과 예측된 데이터의 오차를 판단하고 노이즈를 판별하도록 칼만필터법을 활용하였다. 즉, 재실자 온열반응 데이터의 분석 시, 칼만필터법에서 의미하고 제시하는 예측법을 활용하는데 있어 적절하다 판단하였다.

avg_{update} 는 현재 측정값을 이용하여 예측한 데이터의 평균값, avg_{prev} 는 이전에 예측한 데이터 평균값, 그리고 Data는 현재 감지한 데이터 값을 의미한다. 이는 식 (1)과 같다. 또한 실제 센서에서 데이터 측정시 발생하는 오차는 이전에 예측한 데이터의 표준편차인 sd_{prev} 를 활용하여 현재 측정값을 이용한 데이터 표준편차를 구한다. 이는 식 (2)와 같다. 오차(SensingError)는 표본표준편차를 표본수의 제곱근으로 나눈 데이터 표준오차(standard error) 식을 활용하였다. 오차범위는 위의 선행 연구에서 제시한 것과 같이 데이터 오차를 $\pm 3.0\%$ 로 확인하였다.

$$avg_{update} = \frac{avg_{prev} * SensingError^2 + Data * (sd_{prev})^2}{sd_{prev}^2 + SensingError^2} \quad (1)$$

$$sd_{update} = \frac{sd_{prev}^2 + SensingError^2}{sd_{prev}^2 * SensingError^2} \quad (2)$$

Table 3, Table 4, Table 5는 각각 2013년 6월 26일 10시, 2013년 7월 10일 13시, 2013년 7월 9일 16시 알람측정 이후 15분 이내의 재실자의 온열반응 데이터를 필터링 한 예시 자료이다.

과반수 이상의 응답자가 온열감 0을 기록한 데이터 중 온열감 3(Table 3; 6월 26일)과 과반수 이상의 응답자가 온열감 3을 기록한 데이터 중 온열감 0(Table 4; 7월 10일, Table 5; 7월 9일)는 보편적의 흐름

에 벗어나는 노이즈라 인지할 수 있지만 이러한 판단은 직감적이며 주관적일 수 있다.

따라서 앞서 제시한 객관적인 근거의 칼만필터법을 활용하여 데이터의 범위를 모집단과 표본집단으로 구분하여 데이터 필터링 하였다. 모집단은 전체 데이터를 의미하고 표본집단은 알람측정 후 유효시간 15분 이내의 동일 측정 시간 내의 데이터를 의미한다.

각 표에서 확인할 수 있듯이 데이터 모집단 즉, 전체를 대상으로 계산할 경우 모든 데이터가 오차범위를 수렴한다. 이는 데이터 항목이 7단계(온열감 범위: -3~+3), 특히 실측 결과 5단계(약간 춥다 -1 / 보통 0 / 약간 덥다 +1 / 덥다 +2 / 매우 덥다 +3)로 계산되어 항목의 범위가 한정적이란 것과 N값이 커질수록 표준오차가 줄어들어 따른 결과로 풀이될 수 있다.

Table 3. Response data of respondents and error rates(2013.06.26. 10:00)

date	response time	respondent	thermal scale	population		sample (identical time)	
				filter	error rate*	filter	error rate*
2013.06.26	10:00:25	x ₁	0	4.01	-0.34	4.06	-1.37
	10:00:29	x ₂	0	4.01	-0.34	4.06	-1.37
	10:00:30	x ₃	0	4.01	-0.34	4.06	-1.37
	10:00:39	x ₄	2	5.99	0.14	5.86	2.47
	10:02:23	x ₅	0	4.01	-0.34	4.06	-1.37
	10:03:53	x ₆	0	4.01	-0.34	4.06	-1.37
	10:07:33	x ₇	0	4.01	-0.34	4.06	-1.37
	10:10:24	x ₈	3	6.98	0.29	6.76	3.62
	10:14:02	x ₉	0	4.01	-0.34	4.06	-1.37

데이터오차 * ($\leq \pm 3.0\%$)

Table 4. Response data of respondents and error rates(2013.07.10. 13:30)

date	response time	respondent	thermal scale	population		sample (identical time)	
				filter	error rate*	filter	error rate*
2013.07.10	13:30:34	x ₁	0	4.02	-0.44	4.21	-5.01
	13:30:40	x ₂	3	6.98	0.23	6.91	1.29
	13:30:57	x ₃	3	6.98	0.23	6.91	1.29
	13:30:59	x ₄	3	6.98	0.23	6.91	1.29
	13:31:08	x ₅	2	6.00	0.08	6.01	-0.18
	13:31:30	x ₆	3	6.98	0.23	6.91	1.29
	13:32:38	x ₇	2	6.00	0.08	6.01	-0.18
	13:32:40	x ₈	3	6.98	0.23	6.91	1.29
	13:32:46	x ₉	0	4.02	-0.44	4.21	-5.01

데이터오차 * ($\leq \pm 3.0\%$)

Table 5. Response data of respondents and error rates(2013.07.09. 16:00)

date	response time	respondent	thermal scale	population		sample (identical time)	
				filter	error rate*	filter	error rate*
2013.07.09	16:00:27	x ₁	0	4.02	-0.56	4.21	-5.04
	16:00:34	x ₂	3	6.99	0.18	6.96	0.54
	16:00:35	x ₃	2	6.00	0.02	6.05	-0.75
	16:00:40	x ₄	3	6.99	0.18	6.96	0.54
	16:01:05	x ₅	2	6.00	0.02	6.05	-0.75
	16:01:32	x ₆	3	6.99	0.18	6.96	0.54
	16:01:44	x ₇	3	6.99	0.18	6.96	0.54
	16:04:30	x ₈	3	6.99	0.18	6.96	0.54
	16:05:01	x ₉	3	6.99	0.18	6.96	0.54
	16:05:29	x ₁₀	3	6.99	0.18	6.96	0.54
	16:07:04	x ₁₁	3	6.99	0.18	6.96	0.54

데이터오차 * ($\leq \pm 3.0\%$)

1) 칼만필터(Kalman filter): 노이즈가 포함되어 있는 선형역학계(linear quadratic estimation; LQE)의 상태를 추정하는 재귀필터. 이전 예측값(prediction)을 토대로 측정된 현재값을 정확한 상태로 추정(update)함

하지만 표본집단 즉 동일측정시간대 데이터 중 Table 3은 일곱 번째 응답자, Table 4는 첫 번째와 아홉 번째, Table 5는 첫 번째 응답자가 각각 오차를 3.62, -5.01, -5.04로 오차범위로 설정한 $\pm 3.0\%$ 로 확인한 결과 주관적으로 발견한 노이즈와 필터효과가 동일하다는 것을 확인하였다.

따라서 데이터의 모집단을 활용할 경우 데이터 필터링 효과가 없다고 판단할 수 있으며 데이터 판별 시 알람측정 후 유효시간 이내, 동일 측정시간 내의 데이터를 활용하여 분석하는 것이 데이터 활용에 유효하다 판단된다.

4.2. 재실자 온열반응 데이터의 분석

재실자 온열반응 데이터를 실시간 공기조절어 입력데이터로 사용하기 위해서 데이터 활용 가능성 및 타당성 분석이 필요하다. 재실자 온열반응 데이터를 활용한 제어는 개별 요구를 확인하고 적용할 수 있다는 점에서 유용하며 개별공조 시스템을 갖추지 않은 건물을 대상으로 개별공조와 비슷한 효과를 가질 수 있다는 점에서 필요하다 판단된다.

이를 위해 재실자 온열반응 응답을 요청하는 측정알람 메시지의 유무에 따라 재실자 응답비율 차이를 분석하였고 냉온열감 정도에 따라 재실자의 반응을 분석하였다. 또한, 반응속도 차이에 따른 반응 데이터 유효성을 검증함으로써 공기조절어 입력값으로의 활용 가능성을 확인하였다.

1) 측정알람 메시지의 유무에 따른 재실자 응답비율

측정알람 메시지의 유무와 재실자 온열반응의 상관관계를 알아보기 위해 Table 6과 같이 실험을 실시하여 데이터를 비교하였다. 실험이 실시된 4주 동안 격주로 측정을 요구하는 측정알람 메시지를 재실자들에게 일괄 통지하였다. 실험의 결과는 Fig 3과 같다. 측정알람 메시지가 있었던 주의 참여율은 메시지가 일괄 통지된 주 중 가장 응답비율이 높았던 주(7월 8일~7월 12일)를 기준(100%)으로 87.1%를 기록하였다. 측정알람 메시지가 없었던 주의 참여율은 각각 16.2%와 7.9%를 차지하였다. 특히, 알람이 있었던 10시 / 13시 30분 / 16시에 응답자가 가장 많은 것으로 미루어보아 측정알람 메시지가 응답자의 참여를 이끄는 데 중요한 역할을 하는 것으로 판단된다.

Table 6. Data measurement date and response ratio based on alarm messages

Date	Alarm	Time for alarm	Response ratio N (%)
6/24 ~ 6/28	○	10:00 13:30 16:00	155 (87.1)
7/1 ~ 7/5	×		29 (16.2)
7/8 ~ 7/12	○		178 (100.0)
7/15 ~ 7/19	×		14 (7.9)

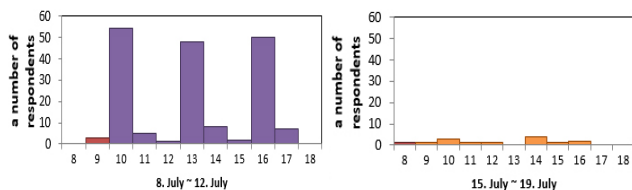


Fig. 3. Response ratio based on alarm messages

2) 냉온열감 상태에 따른 재실자 응답비율

재실자의 온열감과 온열반응의 상관관계를 알아보기 위해 Table 7과 같이 냉방을 실시하지 않은 2주와 냉방을 실시한 2주 동안 실험을 실시하여 데이터를 비교하였다. 앞서 측정알람 메시지의 유무에 따라 반응비율이 차이나는 것을 확인하였으므로 실험 동안 측정알람 메시지를 재실자에게 일괄적으로 통지하였다.

Fig. 4와 같이 냉방기간(7월 25일~7월 26일과 8월 5일~8월 9일) 중 하루의 측정알람 메시지 시간 세 번 모두 10명 이하의 응답자가 반응하였지만, 냉방을 하지 않은 기간(6월 24일~6월 28일과 7월 8일~7월 12일, 7월 22일~7월 24일)에 측정알람 메시지를 일괄 통지한 38번 중 27번(72%)에 10명 이상의 응답자가 응답하였다. 냉방을 하지 않았을 때 참여율은 응답비율이 가장 높았던 주(7월 8일~7월 12일)를 기준(100%)로 86.2%를 기록하였다. 특히 냉방을 일부 실시하였던 주와 냉방을 실시하였던 주는 각각 81.0%와 47.7%를 기록했다.

Table 7. Data measurement date and response ratio based on occupants' thermal condition

Date	Cooling	Time for alarm	Response ratio N (%)
6/24 ~ 6/28	×	○	150 (86.2)
7/8 ~ 7/12	×		172 (100.0)
7/22 ~ 7/26	△ (partly)		141 (81.0)
8/5 ~ 8/9	○		83 (47.7)

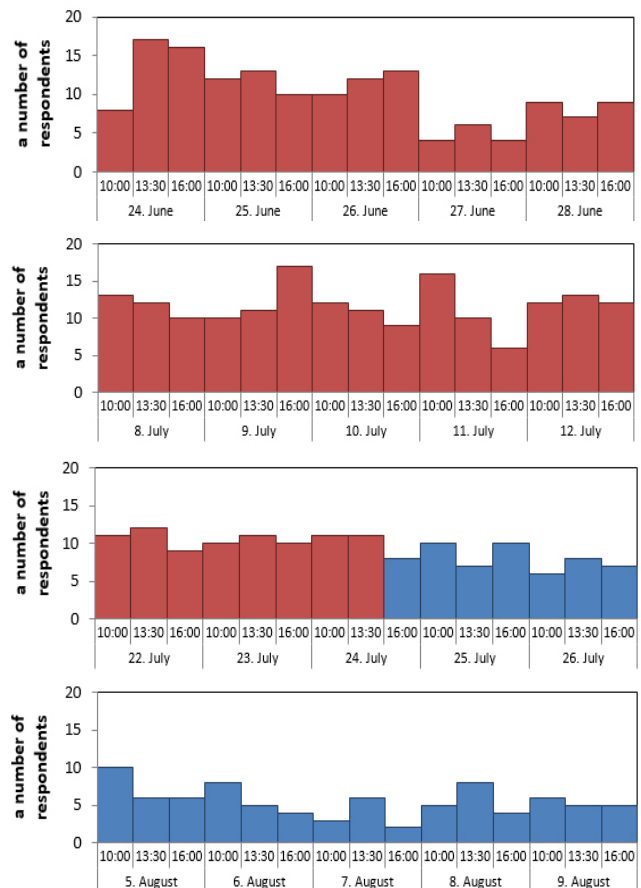


Fig. 4. Response ratio based on occupants' thermal condition

이는 냉방유무에 따라 온열반응 응답이 차이가 있음을 보여주는 것이며 재실자 온열감이 쾌적범위에 가까울 때는 공조온도 변경 요청 등의 행위가 감소한다는 것을 판단할 수 있다. 다시 말하면 재실자의 온열감이 불쾌적 영역에 있을 때 참여 비율이 높다.

3) 반응속도 차이에 따른 반응데이터 유효성 검증

응답자는 응답참여자의 수에 의해 결정되며 응답자의 응답시간은 예측할 수 없다. 즉, 측정알람 메시지 후 측정을 요청받더라도 반응하지 않거나 알람을 늦게 확인하면 늦게 반응할 수 있듯이 응답자의 응답은 절대적으로 응답자의 자의에 따른다. 측정알람 메시지가 일괄적으로 동일한 시간에 발송된다 하더라도 반응시간은 매우 다양하게 나타날 수 있으며 추후 실시간 제어의 입력데이터로 활용하기 위해서는 반응시간의 유효한계를 고려한 유효값의 범위가 적절히 설정되어야 한다.

보다 자세한 반응시간의 유효한계를 설정하기 위해 측정알람 후 1시간 이내의 응답데이터만을 기준으로 분석하였다. 측정알람 메시지의 유무에 따른 반응비율에서도 알 수 있듯이 측정을 요구하는 측정알람 메시지가 재실자의 반응 요구를 적극적으로 유도하였으며, 1시간 이내의 응답데이터를 15분 단위로 분석하였을 때 Fig. 5에서 확인할 수 있듯이 중앙값과 제1사분위수에서 제3사분위수의 값이 5분 이내로 나타났다. 또한 Fig. 6과 같이 15분 이내일 때 반응비율이 75%로 가장 높으며 그 이후 각각 13.0%, 5.9%, 6.1%로 반응비율이 줄어드는 것을 확인하였다.

즉, 반응데이터의 유효시간은 알람측정후부터 15분 이내로 정리할 수 있으며, 그 중 반응시간의 유효한계를 최대 15분으로 설정하였다.

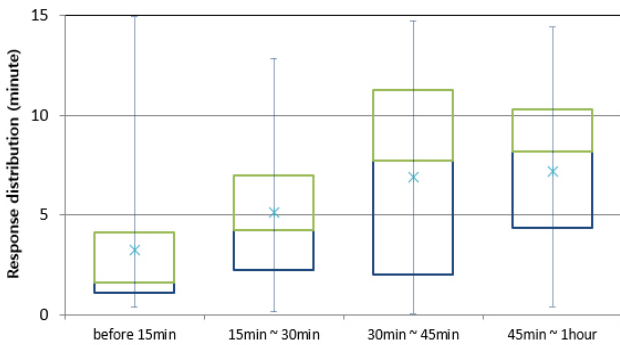


Fig. 5. Response distribution based on time for response after alarm messages

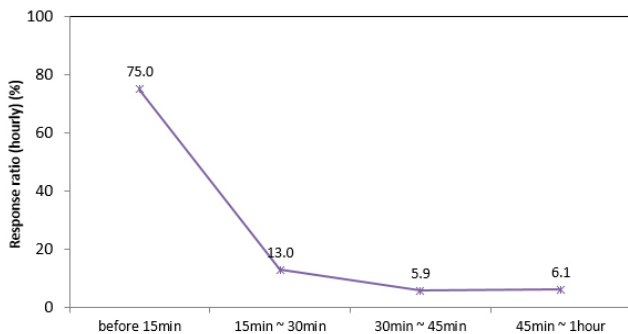


Fig. 6. Response ratio based on time for response after alarm messages

5. 결 론

본 연구에서는 재실자 스스로 자신의 열적 선호도와 기대에 맞추어 열환경을 조절하기 위해 능동적인 열환경 개선을 요구한다는 개념을 바탕으로 이를 공조 제어에 활용할 수 있는 전략을 제안하고자 하였다. 이에 사무소 건물을 대상으로 재실자의 온열반응 데이터를 수집하고 데이터에 기반한 공조운영 전략을 구축함으로써 실시간 공조제어에 활용 가능한지 타당성을 분석하였다.

그 과정으로 재실자의 온열반응 응답 데이터의 유효성을 검토하였다. 재실자의 온열반응이 개인차에 따라 다양하게 나타날 수 있기 때문에 데이터 필터링 방법을 적용하여 허용되는 오차범위 내의 데이터만을 가려내도록 검토하였다.

그 결과 데이터 모집단의 전체 데이터가 오차범위를 수렴함으로써 데이터 필터링 효과가 없으며 알람 측정 후 유효시간 15분 이내의 동일 측정시간 내의 데이터만을 유효하게 활용할 수 있음을 파악하였다.

측정알람 메시지 유무와 재실자의 온열반응의 상관관계를 분석한 결과 측정알람 메시지가 응답자의 참여를 이끄는 데 중요한 역할을 하며 재실자 온열감이 쾌적범위에 가까울 때는 공조온도 변경 요청 등의 행위가 감소하며 재실자의 온열감이 불쾌적 영역에 있을 때 참여비율이 높은 것을 확인하였다.

본 연구의 결과로 재실자 온열반응 데이터를 실시간 공조의 입력값으로 활용할 수 있음을 확인하였고, 추후 PMV 결과와 실온분포 등의 열환경 페리미터를 재실자의 응답과 비교분석할 예정이다. 이와 같은 연구를 통해 재실자 열환경 개선 요구를 적극 수용할 수 있는 환경이 마련됨으로써 공조제어의 긍정적인 변화를 기대할 수 있을 것이다.

Acknowledgements

This work was conducted under the framework of Research and Development Program of the Korea Institute of Energy Research (KIER) B3-2413-03) and a grant awarded by the National Research Foundation of Korea (NRF)/Korean government (MEST, No. 2011-0028075).

References

- [1] Ministry of Land, Infrastructure, and Transport 2013-248, Ministry of Trade, Industry & Energy 2013-34
- [2] Wagner, A., Gossauer, E., Moosmann, C., Gropp, Th., Leonhart, R., Thermal comfort and workplace occupant satisfaction – Results of filed studies in German low energy office buildings, Energy and Buildings 39 (2007) 758-769
- [3] Energy Use Rationalization Act, Article 36-2(Designation of Heating and Cooling Temperature Restriction Buildings) and Article 36-3 (Measures for Maintenance and Management of Heating and Cooling Temperature Restriction Buildings)
- [4] The Ministry of Knowledge Economy, 2008-219, Standard of Energy Management
- [5] G. Bae, Evaluation of Korean Thermal Sensation in Office Buildings

- During the Summer Season, The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 7, No.2, 1995, 341-352 /
- [6] Korea Energy Management Corporation, Case studies of heating and cooling temperatures restrictions, 2006
- [7] B. Kim, The Changes of Psychological and Physiological Emotional Responses According to Change of the Index of Predicted Mean Vote(PMV) due to Air Conditioning Types, KOSES Vol.14, No.4, 2011, 645-652
- [8] D. Song, New Approaches of Indoor Environmental Control for Energy Saving-Adaptive Model,, The Society of Living Environment System, Vol.14, No.3, 2007, 253-262
- [9] Y. Running, A theoretical adaptive model of thermal comfort-Adaptive Predicted Mean Vote(aPMV), Building and Environment 44 (2009) 2089-2096
- [10] Alsdair A.K. white, From Comfort Zone to Performance Management: The comfort zone is a behavioural state within which a person operates in an anxiety-neutral condition, using a limited set of behaviours to deliver a steady level of performance, usually without a sense or risk. 2012
- [11] ASHRAE Standard 55-92: the condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment.
- [12] Fanger P.O. Thermal Comfort, Copenhagen, Denmark: Danish Technical Press, 19670
- [13] Gail S. Brager, Thermal Adaptation in the built environment: a literature review, Energy and Buildings 26 (1998) 83-96
- [14] P.O. Fanger, Jorn Toftum, Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates, Energy and Buildings 34 (2002) 533-536
- [15] Mohd Nafis., Thermal comfort assessment – A study toward workers' satisfaction in a low energy office building, American Journal of Applied Sciences 9(7) (2012) 1037-1045
- [16] Brager, G., and de Dear, R.J., Thermal adaptation in the built environment, Energy and Buildings, 27(1) (1998) 83-96
- [17] de Dear, R.J., Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE transactions Vol 104, Part1. (1998)
- [18] International Organization for Standardization; ISO 7730, Moderate thermal environments- Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1994
- [19] J. Jeong, J. Kim. Optimal fingerprint data filtering model for location based on services, The Korean Operations Research and Management Science Society, Vol. 29, No. 2, 2011, 79-90.
- [20] H. Lee, Y. Choi, J. Jang, Data statical analysis based data filtering scheme for monitoring system on wireless sensor network, The Korea Contents Association, Vol. 10, No.3, 2010, 53-63