

에너지절감을 도모하는 실내 온열환경 제어논리-Adaptive Model

송 두 삼^{*†}, 가토 신스케^{**}
성균관대학교 건축공학과, 동경대학교 생산기술연구소

New approaches of Indoor Environmental Control for Energy Saving-Adaptive Model

Doosam Song^{*†}, Shinsuke Kato^{**}

^{*}Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea
^{**}IIS, University of Tokyo, 4-6-1 Komaba Meguroku Tokyo 153-8505, Japan

ABSTRACT: The purpose of this study to develop the air-conditioning system that adopts adaptive model as an indoor climate control logic for energy saving. The adaptive model using the ability of human thermal adaptation could be expected to alleviate the indoor set-point temperature compared with the past heat-balance model. Especially, in case of hybrid air-conditioning system coupled with natural ventilation and heating/cooling system, the adaptive model can be describe the thermal comfort of inhabitant who stay at hybrid system controlled buildings with accuracy.

In this paper, the concept of adaptive model will be described and the results of a continuous measurement on the actual thermal experiences and behaviors of thermal adaptation for office worker will be reported.

Key words: Adaptive Model, Heat Balance Model, Thermal Comfort, Continuous Measurement

1. 서론

오늘날 실내 온열환경에 대한 쾌적온도, 쾌적 범위는 Gagge, Fanger 등이 제안한 "열평형모델 (Heat balance model)⁽¹⁻²⁾"에 근거하고 있다. "열평형모델"은 엄밀하게 조절된 실험실 환경 하에서 미국 및 유럽에 걸쳐 실시된 천명 이상의 피험자실험에 기초하여, 온열감각이 인간의 체온조절 메커니즘에 영향을 미치는 열부하(thermal load)와 매우 밀접한 관련이 있다는 사실에 기반하고 있다. 열평형모델은 1980년대 이래 열쾌적에 관한 국제기준⁽³⁾으로 제정되어 현재 세계 각국의 실내 온열환경의 쾌적성을 평가하고, 실내 환경을 제어하는 근간이 되고 있다.

그러나 최근 열쾌적에 관련한 연구를 실시하고 있는 학자들은 그동안 불변의 진리처럼 여겨왔던 "열평형 모델-PMV model"의 논리에 의문을 가지기 시작하였다. 열평형 모델이 1) 거주자의 지역적 특성을 무시한 채 전 세계 어느 곳에 거주 하든지 거주자는 동일한 환경조건에서 동일한 온열감을 나타낼 것이라는 것, 2) 쾌적감은 한정된 환경조건에서만 달성된다는 점 등의 열평형 모델의 대 원칙들이 최근의 연구를 통해 다를 수 있음이 증명되고 있다.

이와 같이 종래의 "열평형 모델"에 대한 한계점에 기초하여 열쾌적에 대한 새로운 모델로 제시되고 있는 것이 "Adaptive model"이다⁽⁴⁾. "Adaptive model"은 De Dear, G. S. Brager 등에 의해 제안된 것으로 Fanger의 "열평형 모델"이 실험실 환경에 기초하고 있는 것에 반하여 주로 실제 거주 환경에 대한 실측결과를 근거로 하고 있다. "Adaptive model"과 "열평형 모델"의

†Corresponding author
Tel. : +82-31-290-7551; fax :+82-31-290-7570
E-mail address : dssong@skku.edu

차이점을 특징적으로 정리하면 "Adaptive model"은 그동안 "열평형 모델"에서 무시되어 왔던 주변환경 변화에 대한 1)인간의 심리적 적응 (Psychological Adaptation), 2)생리적 적응 (Physiological Adapation) 등을 적극적으로 고려한 다는 점이다.

위에서 열거한 인간의 열적 적응(Thermal Adaptation) 능력을 반영하는 "Adaptive model"을 공조제어 활용함으로써 종래의 "Heat-balance Model"에 의해 설정된 실내 환경제어 목표치를 완화함으로써 건물의 공조에 요구되는 에너지의 절감효과는 상당할 것으로 사료된다.

본 논문에서는 종래의 열쾌적 기준인 "열평형 모델"의 한계점 및 "Adaptive Model"에 관한 기존 연구에 대한 고찰, "Adaptive Model"의 근간이 되고 있는 현장실측, 제실자의 열적적응 행동의 유형 및 적응행동의 열적 쾌적감 완화효과 등에 관한 실측 결과를 보고하고자 한다.

2. 열평형모델의 한계

2.1 Adaptive model 연구자들의 주장

주로 실측을 통해 거주자의 열적쾌적성에 대해 규명하고자 하는 "Adaptive Model"의 연구자들은 기존 "Heat-balance Model"에 대해 아래와 같은 문제점을 지적하고 있다.

1) 열평형 모델의 실내 온열환경의 쾌적성 평가시 입력조건의 문제점

① 착의(着衣) 열저항 평가상의 오차

Brager 등⁽⁵⁾에 의하면 열평형모델의 열쾌적성 평가에 입력치로써 착의 열저항치는 주로 실험실 조건의 Thermal manikin 실험에 의해 정리된 ASHRAE의 간이표와 간이 계산법을 이용하는데 이것은 실제 거주자의 착의 열저항에 다양한 자세의 변경, pumping effect, 의복의 소재 및 흡습성의 차이, 비정상 열환경하의 소재의 열적 특성 변화 등을 고려할 수 없으므로 실제와 비교하여 약 20% 정도의 오차를 나타내고 있는 것으로 보고하고 있다⁽⁶⁾.

② 의자의 열저항 효과의 무시

McCullough와 Olsen⁽⁶⁾은 기존의 "ASHRAE 착의 저항값 실험결과표"에서 간과하고 있는 오피스 의자의 열저항효과에 관한 실험을 통해 오피스 의자가 착의 열저항치를 약 0.15 clo 정도 증가시키는 효과가 있다는 것을 보고하고 있다.

스 의자가 착의 열저항치를 약 0.15 clo 정도 증가시키는 효과가 있다는 것을 보고하고 있다.

③ 활동량 및 대사율의 평가의 문제

열평형모델에서는 거주자의 활동량 및 대사율은 간이표에 의해 평가되어, 단위시간에 대해 발생할 수 있는 모든 활동량 및 대사율이 시간 평균화된 값으로 표현된다. 그러나 시간 평균화된 대사율은 매 시간별 대사율(활동량) 변화에 따른 열쾌적감의 변화특성(예를들면 순간적으로 강도 높은 활동이 열쾌적감에 장시간 영향을 미치는 현상 등)을 제대로 반영하지 못하는 한계를 가지고 있다⁽⁴⁾.

④ 실내환경의 비균일성-실의 대표점의 한계

PMV에 의한 실내 온열환경 평가의 경우, 실 중앙의 1점에 대한 물리적 환경 측정치로 실 특성을 대표하는 경향이 있으나, 이 경우 측정된 점의 물리적 환경이 실제 거주역의 온열 환경을 대표할 수 있을지에 대해서는 상당히 의문점을 내포하고 있다. 특히 자연환기 또는 개별공조와 다양한 실내 온도분포가 예상되는 경우 이 방법은 많은 한계를 가진다.

2) 정상(Steady-state)해석의 한계

열평형 모델은 실험실조건의 정상상태의 실험 결과에 근거한다. 그러나 실제의 실내에서는 온열환경 및 거주자의 활동조건은 비정상상태로 예를 들면 거주자가 느끼는 열쾌적에 대한 현재의 감각은 거주자가 경험한 열환경에 대한 이력을 반영하는 것이다. 정상상태는 이러한 이력에 대한 효과를 반영하지 못하고 있어 열평형모델로 예측한 값과 실제 거주자의 온열감각에는 다소 차이가 발생할 수 있는 것이다.

3) 열쾌적성 평가에 있어 문화적, 심리적 요소의 무시

실제의 거주자의 온열감각을 평가하는 것에는 열평형모델에서 주로 평가하고 있는 6요소(온/습도, 복사온도, 기류, 대사량, 착의량) 만으로 설명할 수 없는 복잡한 인자들의 영향을 받는다. 이러한 요소는 ①성별, 연령, 문화, 경제적 상태, ②환경상황(건물의 설계, 건물의 기능, 계절, 기후), ③인식(태도, 열적선호도(thermal preference), 기대(expectation))등을 들 수 있다⁽⁷⁾.

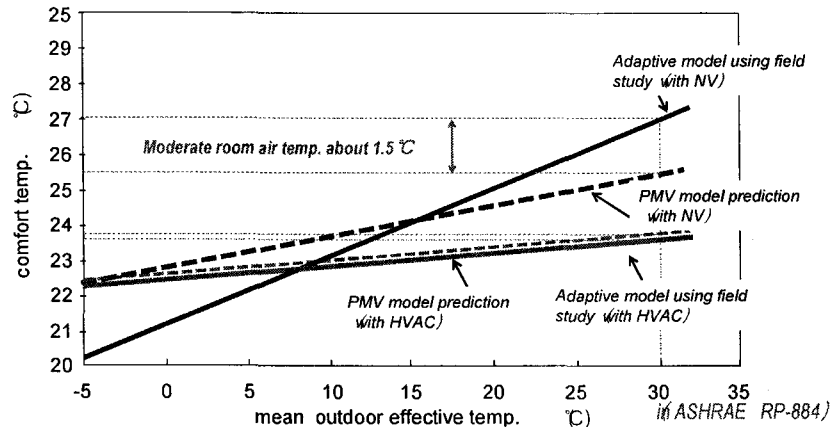


Fig. 1 Comparison of "adaptive model(based on observed neutralities)" and "static model(based on PMV predictions)" for HVAC buildings & naturally ventilated buildings^[7].

4) PMV model의 예측오차를 증명하는 실험결과

Fig. 1은 ASHRAE의 지원하에 실행된 "Developing on Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference"⁽⁷⁾ (R. d. Dear & G.S. Brager 주도) 프로젝트의 결과로 실내환경을 공조(HVAC)에 의해 조절하는 건물의 경우, PMV 예측치와 실제 측정치인 adaptive model의 결과가 거의 동일하다는 결과를 보이고 있다. 그러나 자연환기를 실시하는 건물(naturally ventilated buildings)의 경우, 종래의 PMV 예측치와 실제 현장에서 측정된 거주자의 온열감(adaptive model)과는 다소 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 위 Fig.1에서 외기온도가 30°C 인 조건에서 자연환기를 실시하는 건물의 경우, 쾌적온도에 대한 PMV 예측치는 약 25.5°C이나 실제 거주자의 쾌적온도는 약 27°C로 양자간에 약 1.5°C의 온도차가 발생하는 것을 알 수 있다. 즉 열대환경하에서 PMV model(또

는 heat balance model)로 예측된 쾌적온도가 실제보다 다소 과장되어 있다는 결과를 보이고 있다⁽⁴⁾.

2.2 PMV model의 확장(Extension of the PMV model)

PMV model의 창시자인 P.O Fanger는 위 Fig.1의 결과와 같이 PMV model이 열대지방의 비공조 건물에서 온열감각을 과대 예측하는 문제점을 인정하고 그 대책으로서 "Extended PMV Model"을 제안하고 있다⁽⁸⁾. Fig.1의 결과에 대해 adaptive model의 연구자들은 기존의 PMV model이 인간의 생리적인 순응(physiological acclimatization), 공조에 대해 기대감(expectation)을 반영하지 못하기 때문이라고 지적하고 있으나, Fanger는 생리적 순응에 대해서는 동의하지 않고 거주자의 공조에 대한 기대감(expectation)을 가장 중요한 요인으로 판단하고 있다. Table 1과 같이 열대지방에서 오랫동안 살아온 사람들은 자신들이 더운 환경에서 사는 것을 숙명처럼 받아들이며, 공조건물에 대

Table 1 Expectancy factors for non-air-conditioned buildings in warm climates

Expectation	Classification of non-air-conditioned buildings		Expectation factor, <i>e</i>
	Location	Warm periods	
High	In regions where air-conditioned buildings are common	Occurring briefly during the summer season	0.9-1.0
Moderate	In regions with some air-conditioned buildings	Summer season	0.7-0.9
Low	In regions with few air-conditioned buildings	All seasons	0.5-0.7

한 기대감이 적은 이유로 인해 공조시스템 건물에 익숙한 사람들에 비해 더운 환경을 조금은 덜 심하게, 더 수락할 수 있는 것으로 생각되어진다. 이것은 "기대율(expectancy factor)" e 로 표현될 것이며, 종래의 PMV값에 e 를 곱함으로써, 열대 기후의 비공조 건물 거주자의 실제 평균 온열감각 신고치의 결과를 얻게 된다. 기대율 e 는 1에서 0.5 사이를 변화하는 것으로 평가된다. 공조 건물에서 e 값은 1이며, 비공조 건물의 경우, e 는 1년중의 더운 날의 기간과, 비공조 건물이 있는 지역에 공조건물이 어느 정도 있는지에 따라 달라진다. 만약 날씨가 일년 내내 덥거나 공조시스템이 거의 없는 경우, e 값은 0.5이고, 반면에 주변에 공조시스템 건물이 많은 경우엔 0.7이다. 날씨가 여름 내내 더운 지역의 비공조 건물이며, 주변에 공조 건물이 거의 없거나 하나도 없는 경우, e 값은 0.7~0.8이며, 공조 건물이 많은 경우에는 0.8~0.9이다. 여름동안 아주 잠시만 더운 지역의 e 값은 0.9~1이다.

3. Adaptive model의 개요

Adaptive model의 중요한 전제 조건은 거주자가 실험실조건의 피험자와 같이 열적인 자극에 대해 수동적인 입장이 아니라 거주자

스스로가 자신의 열적 선호도(thermal preference)와 기대(expectation)에 맞게 열환경을 조절하기 위해 다양한 적응행동을 취한다는 것이다. Fig. 2는 실내환경에서 적응행동의 3가지 유형을 보이고 있다⁽⁹⁾(Glaser 1966, Frisancho 1981).

3.1 Adaptive model의 적응행동⁽⁷⁾

1) 행동적 적응(Behavioral Adjustment) (Fig. 3-a)

인간이 열적 쾌적을 확보하기 위해 의식적/무의식적으로 실시하는 모든 행동을 말함. 행동적 적응을 좌우하는 요소로는 ①개인적 적응(착의량, 활동량, 자세변경 등), ②실내환경의 조절(Technological or Environmental Adjustment)의 가능성, ③문화적 습관에 의한 적응(dress code (의복습관), siestas 등) 행동 등이 있다.

2) 생리적 적응(Physiological Adjustment)

(Fig. 3-b)

생리적 적응은 온열환경에 영향을 받는 것에 의한 생리적 반응과 그것에 의한 열적 자극이 서서히 감소하는 모든 생리적 반응을 포함하고 있다. 생리적 적응은 ①유전적 적응(genetic adaptation) : 개인 및 집단에 있어서의 유전적으

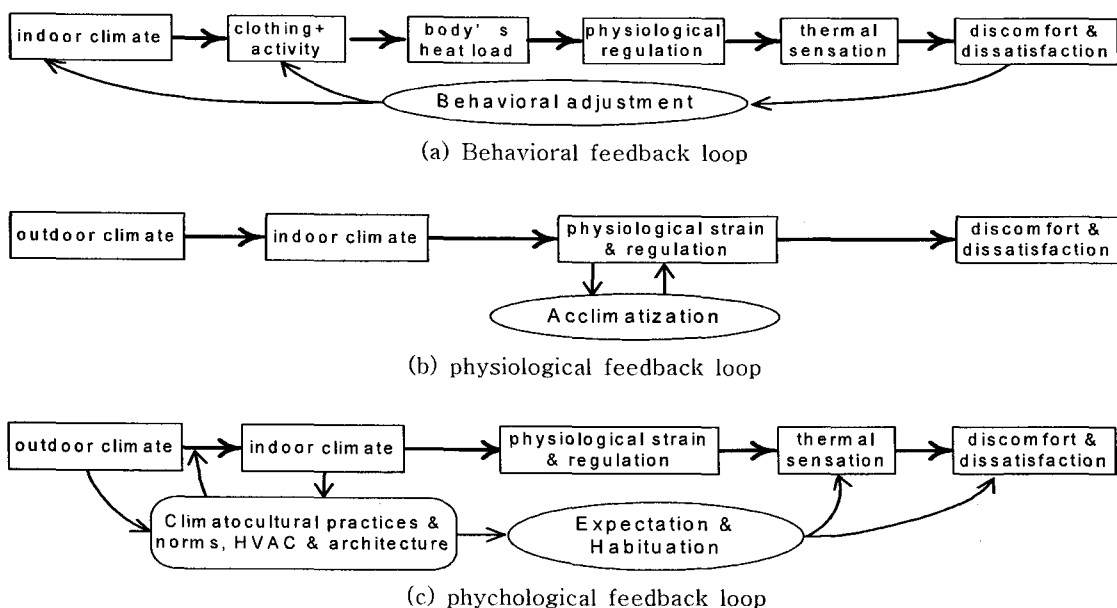


Fig. 3 A conceptual model of adaptation-feedback loop

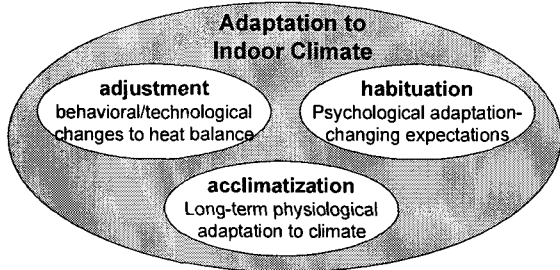


Fig. 2 The three components of adaptation to indoor climate

로 계승되는 적응 행동, ②순응(acclimation) : 열적 자극에 의해 수 일, 수 주에 걸쳐 생리적인 열조절의 설정치가 변화하는 것 등으로 분류. 이러한 적응은 열평형 모델에게는 고려되어 있지 않은 것으로 열평형 모델에서는 생리적 열조절 설정치는 일정하다고 가정한다.

3) 심리적 적응 (Psychological Adjustment)- habituation and expectation (Fig. 3-c)

심리적 적응은 열적 자극에 반복적 또는 만성적으로 폭로되는 경우, 열적 지각, 반응 등이 변하는 것을 말한다. 열적 지각은 인간의 경험 및

실내환경에 대한 기대감에 매우 관련성이 높다.

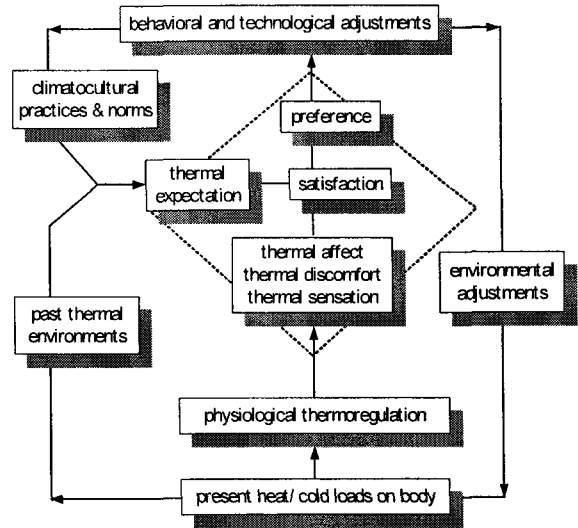


Fig. 4 The "Adaptive model" of the thermal perception

이러한 형태의 적응은 거주자의 "쾌적 설정치 (comfort set-point)", 실내 환경에 대한 기대치의 완화(relaxation of indoor climate expectations)와 관계된다(문장 9).

Table 2 The relevant literature review for human thermal adaptation

분류	연구자	연구내용
기후실험실에서의 실험	Fanger et al ⁽¹⁰⁾	서로 다른 기후에 대한 경험이 쾌적온도에 미치는 영향에 대해 실험실 조건하에서 검토
	Humphreys ⁽¹¹⁾	Fanger et al(1977)(文10)의 실험과 동일한 조건에 대해 중국인, 말레이시아인을 대상으로 말레이시아 및 런던의 기후 실험실에서 각각 열적 선호도의 차이에 대한 실험을 실시한 결과 Fanger et al(1977)(文10)과 다른 결과를 얻었다.
열적중립과 외부기후와의 관계	Humphreys ⁽¹²⁾	실내의 열적중립에 영향을 미치는 외부기후에 관하여 자연환기를 실시하는 건물, 공조를 실시하는 건물에 대해 실측을 실시, 그 상관관계를 해명
	Auliciems ⁽¹³⁾	Humphreys(문장 12)의 데이터베이스를 개정해, 자연 환기를 실시하는 건물 및 공기조절을 실시하는 건물의 양쪽 모두에 적용할 수 있는 상관식을 제안
실측조사	Humphreys and Nicol ⁽¹⁴⁾	북서 파키스탄 지역의 자연환기를 실시하는 건물에 대한 실측을 통해 그들의 전통적인 복장과 쾌적온도와의 관계를 조사
	Baker and Standeven ⁽¹⁵⁾	조절 행동의 빈도에 관한 조사
	Benton and Brager ⁽¹⁶⁾	열환경에의 적응의 기회, 조절 요소의 이용 가능성, 그 사용 빈도, 유효성 등에 관한 조사
	Nicol and Raja ⁽¹⁷⁾	착의에 의한 행동적 적응은, 측정 전에 경험한 외부 공기온도에 의존한다는 것을 발견
심리적 적응	de Dear ⁽¹⁸⁾	과거의 열적 경험과 현재의 열적인 기대와의 관계를 해명
	Williams ⁽¹⁹⁾	피험자가 자신들의 열환경에 대해 많은 조절행동이 가능하다는 것을 인식한 경우, 열환경에 대해 보다 높은 만족감을 나타냈다는 것을 시사
	Rowe ⁽²⁰⁾	자연환기와 공조를 병용했을 경우, 열환경에 대해 보다 높은 만족도를 나타냈다는 사실을 확인

Fig. 4에 위 Fig. 3에서 제시한 3가지 열적 적응의 관계를 나타내고 있다. Fig. 4에 보이는 바와 같이 실내 기후에 대한 거주자의 만족은 주어진 열적조건과 거주자의 열적 기대(expectation)가 일치하는 것에 의한 생겨나는 것으로, 여기서 열적 기대 및 열적 선호도는 거주자가 문화적 상황, 과거의 열환경 이력 등에 의해 결정되는 것임을 알 수 있다.

3.2 인간의 열적 적응을 입증하는 종래의 연구

인간의 열적 적응 특성을 입증하는 종래의 연구는 1) 기후에의 적응을 입증하는 실험실조건하에서의 연구, 2) 적응에 관한 현장측정으로 대별된다. Table 2에 인간의 열적 적응에 관련한 기존의 연구결과를 보이고 있다.

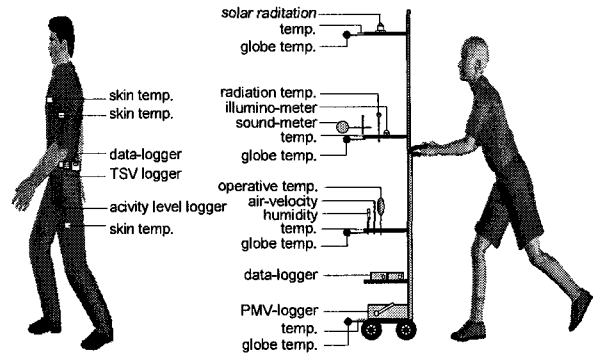
4. 일상적으로 체험하는 온열환경의 연속 측정 및 적응행동의 규명

4.1 일상환경(Usual Environment)

인간은 자기 자신의 온열 환경에 관한 과거의 경험에 의해, 실제로 체험하는 온열 환경을 평가하는 「자기 평가지표」를 가지고 있다고 생각된다. 「일상 환경 (M. A. Humphreys 등이 말하는 "usual environment")」⁽²¹⁾이라고 하는 것은 개개인이 오랫동안 학습에 의해 형성된 열적 쾌적성의 인지이다. 예를 들면, 어느 인간이 있는 온열 환경에 대해서 「덥다」라고 느끼는 것은 자신이 가지고 있는 「일상(usual)」보다 덥기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 인간의 열적 적응 능력을 활용하고자 하는 "adaptive model"에 관한 연구에 있어, 먼저 인간이 실제로 어떠한 온열 환경을 체험하고 있는지(예를 들면, 넓게는 출생으로부터 성인이 될 때까지의 기간 또는 수 년, 수 개월, 수 주, 몇 일, 몇 시간 사이에 경험한 온열 환경)를 검토해, 그러한 각종 물리·심리적인 요소가 사람의 온열감, 열적 적응행동 등과 어떠한 상관관계를 가지는 지 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 피험자의 가장 단기적인 온열 환경의 체험을 검토하기 위해 피험자가 하루중 경험하는 온열환경을 연속적으로 측정하는 것으로 하였다.

4.2 피험자의 체험 온열환경의 연속측정



Subjective (TSV, skin temp., activity level) Field measurement cart

Fig. 5 View of field measurement

Table 3. measurement items, heights

측정높이	측정항목	
	실내	외부
0.1m	온도, 글로브온도	온도, 글로브온도
0.6m	온도, 글로브온도, 풍속, 작용온도, 습도	온도, 글로브온도
1.1m	온도, 글로브온도, 복사온도, 조도, 소음	온도, 글로브온도, 풍속, 작용온도, 습도
1.7m	온도, 글로브온도	온도, 글로브온도, 일사, 소음

Table 4. measurement items, instruments

측정항목	측정기기	측정간격	
물리적 요소	온도	열전대(thermo-couple)	30초
	습도	B&K MM0038	
	글로브온도	globe구	
	풍속	B&K MM0037	
	작용온도	B&K MM0060	
	복사온도	B&K MM0036	
	일사량	EKO MS-601	
	조도	MINOLTA T-1M	
소음	RION NL-06		
피험자 정보	기록	keyence NR-1000, B&K data-logger	30초
	피부온도	열전대, keyence NR-1000	
	활동량	보행기록계(Lifecoder)	
	온냉감	자체제작기록장치	10분

-이동실측

피험자가 자신의 일상생활을 영위하면서 체험하는 온열환경을 연속적으로 측정해, 경험하는 물리적 환경 변화에 따른 온냉감의 변화, 열적 적응행동을 분석하기 본 연구에서는 이동실측 장치(Fig. 5참조)를 개발하였다. 이동실측 장치의 작성

에 있어, 실내 온열환경 평가에 관해서는 ASHRAE55-92⁽²²⁾ 및 ISO-7726⁽²³⁾ 측정 항목, 위치, 방법을 바탕으로 하였다. 옥외 온열환경 측정에 있어서는 실내측정과 유사하나, 측정항목, 위치 등을 옥외환경의 측정에 맞도록 조정하였다. (Table 3, 4). 이동실측 장치는 피험자의 공간이동에 대응하기 위해 측정기기 사이즈를 최소화하며, 이동이 쉽도록 카트형으로 제작하였다. (Fig. 5 참고)

실측장치의 각 센서의 응답속도는 ASHRAE 55-92 및 ISO-7726에 부합되는 것으로 하였다.

(2) 피험자의 온냉감 및 적응행동의 평가

피험자의 온냉감 평가는 ASHRAE의 7 단계 스케일을 이용하였다. 본 연구에서는 온냉감 (TSV, thermal sensing vote) 평가를 연속적으로 실시, 기록하기 위해 휴대형 온냉감 기록장치를 제작하였다. 또한 피험자의 활동에 따른 대사량 변화를 측정하기 위해 활동 레벨을 기록장치를 이용하였다. 생리적 온냉감의 기초로서 Roberts의 3점법^(註1)을 이용하여 평균 피부온도를 측정하였다(Fig. 5 참조). 피험자의 공간이동, 열적 적응행동의 정보는 실측자에 의해 기록지 및 디지털카메라를 통해 기록하였다.

4.3 피험자의 체험 온열환경의 실측결과

1) 실측의 개요

실측은 실제 사무소 근무자가 출근(아침)으로부터 귀가(밤)하기 까지 용변이나 휴식 그 외의 이유에 의해 간헐적인 공간이동을 반복하고 있는 동안을 모두 포함하여 오전 9시 반~오후 8시까지 실시하였다. 실측기간은 3월 15일~22일이었다. 실측자는 2명(실측 카트의 이동+기록), 피험자는 남자 3명, 여자 1명, 연령은 27~34세. 사무소 근무자(설계업무)를 대상으로 하였다. 실측자는 1일 1명의 피험자와 함께 이동해 피험자가 체험하는 온열환경과 적응행동을 연속적으로 측정·기록하였다. Fig. 6의 실측결과는 4명의 피험자 중에서 27세, 신장 177cm, 체중 70kg, 남성, 별로 추위에 민감하지 않은 체질, 금연 중인 피험자의 측정결과이다.

2) 실측결과(Fig. 6)

Fig. 6에 피험자가 체험한 온열환경과 피험자의 온냉감 및 열적 적응행동(피부온도의 변화, 행동

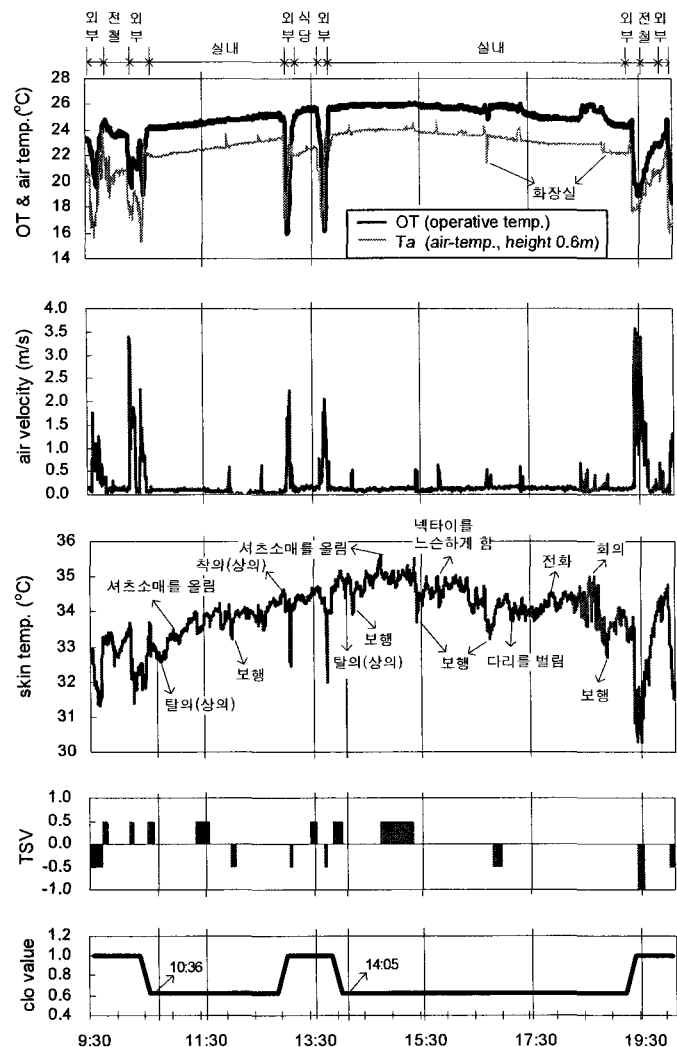


Fig. 6 Results of field measurement

적 적응의 내용 등)의 1일 동안의 측정결과를 보이고 있다.

가) 피험자가 체험하는 온열환경

Fig. 6에서와 같이 측정당일 외부온도는 15°C~17°C, 전철 내 온도는 약 21°C 정도, 실내 공간은 난방을 하여 공기 온도가 22°C~24°C로 약간 좁게 느낄 수 있는 환경이었다. 작용 온도(OT)는 전체적으로 공기온도에 비해 다소 높은 값을 나타냈다^(註2). 이것은 주위의 PC, 조명 혹은 피험자, 측정자로부터의 복사의 영향으로 사료된다. 피험자가 체험하는 실온은 오전부터 약간씩 상승하여 오후 3시 반 이후에 약간씩 하강하는 경향을 보였다. 피험자가 외부나 실내의 비공조공간을 이동하는 동안 급격한 변화를 경험하는 것을 알 수 있었다. 예를 들면 외부에서 실내로 이동하는 사

이 피험자는 약 6℃ 정도의 온도차를 체험하는 것으로 나타났다. 피험자가 경험한 풍속범위는 실내의 경우, 거의 0.1[m/s] 이하로 평온한 기류상태이었다. 피험자가 실내에서 간헐적으로 이동함에 따라 체험풍속이 약간씩 상승하는 것으로 확인할 수 있었다. 측정 기간이 겨울철이었기 때문에 상대습도는 실내 외 모두 전반적으로 낮아 약 30% 이하였다.

나) 피험자의 온냉감 및 열적 적응 행동

피험자의 열적 적응 중 생리적 적응인 피험자의 평균 피부온도의 변화는 주위의 작용온도의 변화에 좌우되어 실내외 출입 및 실내에서의 이동에 의해 31~35℃ 사이를 변화폭을 보였다. 실내 공기온도와 유사하게 오전 중에 서서히 상승하여 오후 3시부터 하강하는 경향을 보였다. 또한 비교적 온도변화가 적은 실내에서도 피험자의 공간 이동에 따라 평균 피부온도는 약 1℃ 정도 변동하는 특성을 나타냈다. 실내이동의 경우, 피험자의 이동에 의한 상대풍속의 증가로 인해 체표면으로 부터의 대류에 의한 열손실이 증가하여 피부온도가 약간 하강하는 경향을 보이는 것으로 판단된다(문장 8).

피험자가 외부에서 실내로 이동하였을 경우(예를 들면 10시 30분 무렵), 평균 피부온도는 약 2℃ 정도 갑자기 올라 피험자의 온냉감은 PMV=0.5로 약간 덥게 느끼는 것으로 나타났다. 이것은 피험자의 온냉감에 영향을 미치는 것은 체험온도 절대치에 의한 것만이 아니고, 체험온도의 시간변화량(예를 들면 10시 30분~10시 34분 사이의 약 5℃의 OT의 변화)에 의해도 영향을 받는 것으로 생각된다(문장 9).

Fig. 6의 피부온도 변화의 결과에서와 같이 상의를 벗는 것(추정 Clo치 1.0에서 0.6으로 변화) 같은 적극적인 적응 행동에 의해 피부 온도는 약 1℃ 정도 하강하는 것으로 나타났다. 이런 적응 행동은 특히 피험자의 온냉감을 완화시키는 효과가 있어, 예를 들면, 14시 05분 무렵 Clo치의 변화에 의해 온냉감은 0.5에서 0.0으로 변동하는 결과를 보였다. 피험자가 실내에서 덥게 느꼈을 경우, 넥타이를 느슨하게 한다든지, 소매를 걷는다든지, 자세를 변경하는 등의 적응행동을 통해 조금은 피부온도를 하강시키는 효과가 확인되었다. Fig. 6의 17시 50분 무렵과 같이 전화, 회의 등 다른 사람과 업무를 진행하고 있는 경우, 갑자기 피부

온도가 상승하는 것을 볼 수 있지만, 일에 집중하고 있기 때문인지 온냉감 변화의 결과로는 나타나지 않았다.

5. 결론

본 연구에서는 종래의 실내환경 제어논리인 “열평형모델(heat-balance model)”의 문제점, 에너지 절약 측면에서 한계점 등에 대해 고찰하고, 그 대안으로 인간의 열적 적응성을 제어논리에 적용 활용함으로써 종래의 “열평형모델(heat-balance model)”에 의해 설정된 실내 온열환경 제어목표를 한층 완화시킬 수 있는 “Adaptive model”의 개념에 검토하였다. 또한 “Adaptive model”의 연구에 있어 필수적인 내용이라 할 수 있는 “일상환경(Usual environment)” 즉 피험자가 일상적으로 체험하는 온열환경 및 적응행동의 내용을 본 연구를 위해 제작한 이동 실측 카트를 이용하여 연속적으로 측정하였다. 그 결과 피험자가 하루 중 자신의 일상생활을 영위하면서 체험하는 다양한 공간이동, 온열환경 변화의 내용, 자신의 열쾌적성을 유지하기 위해 행하는 다양한 적응행동의 내용, 그 효과에 대해 확인할 수 있었다.

본 연구의 내용을 바탕으로 향후 더 심화된 적응행동의 효과에 대해 검토할 예정이다.

주 석

1. 평균피부온도(Tsk) = 가슴부위 피부온도t×0.43 + 상완(upper arm) 피부온도×0.25 + 대퇴부 피부온도大腿前面×0.32. 피험자의 일상 업무에 방해가 되지 않도록 3점법을 이용
2. 본 실측에 앞서 피험자와 실측자가 복사온도에 미치는 영향에 대해 예비실험을 실시, 실측 시 측정되는 작용온도는 실제보다 실내에서는 피험자에 의해 약 0.2℃, 이동 시, 실측자에 의해 약 0.1℃ 상승하는 것을 확인하여, 측정결과를 보정하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음 (R11-2005-056-02004-0).

본 연구는 동경대학 생산기술연구소 가도연구실과 공동으로 실시한 결과임. 본 연구를 수행함에 있어 측정현장의 제공, 피험자의 지원 등 많은 지원을 해준

일본 NIKKEN SEKKEI(주)에 감사를 드린다.

참고문헌

1. A.P.Gagge, A. Fobelets, L.G., Berglund, ASHRAE Trans. 92(2B), 1986, pp. 709-731.
2. P.O., Fanger, Thermal Comfort, Copenhagen, Danish Technical Press, 1970.
3. ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 55-1992, "Thermal environmental conditions for human occupancy." Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2004
4. G.S.Brager, R.J.de Dear, Thermal Adaptation in the Built Environment, Energy and Building, Vol. 27(1), 1998, pp. 83-96
5. G.S.Brager, M.Fountain, C.C.Benton, E.A.Arens, F.S.Bauman, A comparison of methods for assessing thermal sensation and acceptability in the field, in : N. A. Oseland, M.A. Humphreys(Eds.), Thermal Comfort:Past Present and Future, UK, 1994.1.
6. E.A., McCullough, S., Hong, ASHRAE Trans. 100(1), 1994, pp. 765-775.
7. R.J.de Dear, G.Brager, Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort, Final Report on ASHRAE RP-884, Sydney, MPRL, 1998.
8. P.O.Fanger, "Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates", Energy and Buildings 34, 2002, pp. 535-536.
9. Glaser, E. The physiological basis of habituation, London:OUP, 1966
10. P.O.Fanger, et al., Can winter swimming cause people to prefer lower room temperatures, International Journal of Biometeorology, Vol. 21, No. 1,1977, pp. 44-50.
11. M.A.Humphreys, Field Studies and climate chamber experiments in thermal comfort research, in:Nicol, Humphreys, Sykes, Roaf(Eds.), Standard for Thermal Comfort, E and FN Spon, London, UK, 1994.
12. M.A.Humphreys, Outdoor temperatures and comfort indoors, Building Research and Practice Vol. 6, No. 2,1978.
13. A.Auliciems, Towards a psycho-physiological model of thermal perception, International Journal of Biometeorology, Vol. 25,1981, pp. 109-122.
14. M.A.Humphreys, An adaptive approach to the thermal comfort of office workers In North West Pakistan, Renewable Energy, Vol. 5, No. 2,1994, pp. 985-992.
15. C.O.Benton, G.S.Brager, Sunset Building:A study of occupant thermal comfort in support of PG&E'S advanced customer technology test(ACT2) or Maximum Energy Efficiency, Final Report, CEDR-06-94, CEDR, University of California, Berkeley, 1994.
16. N.Baker, M.Standeven, Comfort criteria for passively cooled buildings, A PASCOOL task, Renewable Energy Vol. 5, No. 5-8, 1994, pp. 977-984.
17. J.F.Nicol, I.A.Raja, Thermal comfort time and posture: exploratory studies in the nature of adaptive thermal comfort, Oxford: Oxford Brookes University, 1996.
18. R.J.de Dear, Outdoor climatic influences on indoor thermal comfort requirements, Thermal Comfort:Past Present and Future, UK, BRE, 1994.
19. R.N.Williams, Field investigation of thermal comfort, environmental satisfaction and perceived control levels in UK office buildings, Health Building, 1995.
20. D., Rowe, S. G. Lambert, S.E.Wilke, Pale green, simple and user friendly: Occupant perceptions of thermal comfort in office buildings, Standards for thermal comfort, London, E and FN Spon, 1995, pp. 59-69.
21. M.A.Humphreys,J.F.,Nicol. Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort, ASHRAE Trans.104 (1) 1998.
22. ASHRARE, ANSI/ASHRAE Standard 55-92 : Thermal environment conditons for human occupancy, 1992.
23. ISO7726:Thermal environments-instruments and methods for measuring physical qualities,1998.