

로지스틱 회귀분석을 활용한 옥외공간에서의 온열쾌적감에 대한 피험자 설문 분석

임종연*, 황효근*, 류민경*, 송두삼**

*성균관대학교 대학원 건축공학과(reonheart@skku.edu),

*성균관대학교 대학원 건축공학과(goldroot@skku.edu),

*성균관대학교 대학원 건축공학과(ruminism@skku.edu),

**성균관대학교 건축공학과(dssong@skku.edu)

Thermal Comfort in Outdoor Environment by Questionnaire Survey : Using the Logistic Regresstion

Lim, Jong-Yeon*, Hwang, Hyo-Keun*, Ryu, Min-Kyung*, Song, Doo-Sam**

*Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Sungkyunkwan University(reonheart@skku.edu),

*Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Sungkyunkwan University(goldroot@skku.edu),

*Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Sungkyunkwan University(ruminism@skku.edu)

**Dept. of Architectural Eng., Sungkyunkwan University(dssong@skku.edu)

Abstract

Calculating and predicting the thermal comfort in outdoor environment are difficult than in indoor environment because composition parameters are variable, interrelations among parameters are very complex and human activities in outdoor are diverse. Moreover, the thermal expectancy of subject in outdoor environment is different from that of indoor environment.

The aims of this study are to examine the difference between indoor and outdoor thermal comfort range. With this in mind, field measurement for estimating outdoor thermal environment and a questionnaire survey with simultaneous measurement around the subject were conducted.

Keywords : 옥외공간(Outdoor environment), 열쾌적(Thermal comfort), 피험자설문(Questionnaire survey), 로지스틱회귀분석(Logistic regression)

1. 서론

옥외온열환경은 그 구성요소들이 다양하고 인자들 사이의 상관관계가 매우 복잡하며 그 안에서 이루어지는 인간의 활동 또한 다양하기 때문에, 옥외공간에서의 온열감을 계산하고 예측하는 것은 실내 환경에서의 온열감 평가에 비해 매우 복잡하며 어려운 작업이다. 반면 종래의 온열감에 관한 연구는 주로 실내 환경을 중심으로 이루어져 왔으며 옥외공간 온열감에 관한 연구는 상대적으로 매우 부족하며, 옥외공간에서의 온열감 평가지표 또한 실내 환경을 평가하기 위한 지표를 그대로 활용한 것이 대부분이다. 그러나 옥외공간의 경우 실내 환경과는 미기후 인자들이 온열환경에 영향을 미치는 정도가 다르며¹⁾ 사용자의 심리적 기대치가 다르기 때문에²⁾ 쾌적함을 느끼는 온도범위가 실내와 상이하다. 따라서 실내 환경 평가의 목적으로 개발된 온열감 평가지표를 외부환경하에서의 쾌적감 평가에 사용할 경우 예측치와 실제 피험자의 쾌적감 사이에 많은 차이를 보이게 된다.³⁾

이에 본 연구에서는 국내 공동주택 단지 내 외부환경을 대상으로 하절기 온열환경을 측정하고, 그 측정결과에 의거하여 온열쾌적감을 예측/평가하였다. 아울러, 현장실측과 동시에 실시된 피험자 실험을 통해 실제 피험자가 느끼는 여름철 옥외공간에서의 온냉감/쾌적감에 대한 설문조사를 실시하였다.

본 논문에서는 실측치에 따른 온열쾌적감 예측치와 실제피험자가 느끼는 온열쾌적감과의 차이를 규명하고 외부환경하에서의 온열쾌적감을 모사할

수 있는 새로운 온열감모델을 작성하고자 한다.

2. 측정



그림1. 실측 전경

실측은 경기도 수원시 영통구 매탄동에 위치한 D단지를 대상으로 2008년 8월 4일부터 8월 7일까지 총 4일에 걸쳐 실시되었다. 피험자 주변의 물리적 환경을 평가하기 위해 순복사계, 열선풍속계, 흑구온도계, 기상스테이션 등을 설치하여 1분 간격으로 데이터를 수집하였으며 피험자 설문 결과와의 비교를 위해 매 5분간의 데이터를 평균화하여 정리, 분석하였다.

피험자 설문은 8월 5일, 6일 13시부터 17시까지 8월 7일 8시부터 12시까지 총 12시간에 걸쳐 진행되었다. 총 20대 남녀 16명을 대상으로 하였으며 본 실험에 앞서 성별, 나이, 신장, 체중, 온열환경에 대한 개인적인 민감도 등의 기본정보에 대한 조사를 실시한 후 1시간에 남녀 각 4명씩 총 8명이 2교대(A조, B조)로 투입되어 공동주택 단지 내 옥외공간에서의 온열환경에 대한 피험자의 주관적인 반응을 정량화하기 위한 설문(온열감(TSV : Thermal Sensation Vote), 쾌적감(CSV : Comfort Sensation Vote), 개인적 수용도(이하 PTV(Personal Tolerance Vote)로 표기)

1) J. Spagnolo, R. de Dear, A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia, Building and Environment, Vol. 38 Issue 5, p.p 721-738, 2003.

2) Peter Höpffe, Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort, Energy and Buildings, Vol. 34, Issue 6, p.p 661-665, 2002.

3) 井田 卓造, 建物周辺屋外環境の温熱環境設計手法の開発 その1. 評価手法の概要とキャンパス将来計画への適用, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 2006

에 5분 간격으로 응답을 하여 총 1,152장의 설문결과를 얻었다.

피험자 설문 척도는 표 1과 같다

표 1. 설문 척도

항목	scale				
	0	1	2	3	4
온열감	neutral	slightly warm	warm		hot
쾌적감	comfort	slightly discomfort	discomfort	very discomfort	extremely discomfort
개인적 수용도	perfectly bearable	slightly difficult to tolerate	difficult to tolerate	very difficult to tolerate	intolerable

피험자에게 미치는 실험 외적인 요인의 영향을 최소화하기 위해 실험 기간 중에는 음주, 흡연, 과도한 운동 등 신체에 부담이 가는 행동을 금지하였으며 실험이 시작되기 전 1시간 동안 약 24°C로 유지되는 실내에서 안정화 시간을 갖은 후 설문에 투입되었다. 또한, 피험자 착의량은 0.36clo(여성 피험자는 0.37clo)로서 보통 하절기 실외 활동에서 갖추게 되는 복장(Walking shorts, short-sleeved shirt)으로 통일하였으며 실험중에 피험자는 자리에 앉아서 독서를 하거나 휴식을 취하는 상태(Reading, seated : 1 met)를 유지하도록 하였다.⁴⁾

3. 피험자 설문결과에 따른 온열 쾌적 범위 검토

3.1 불만족율의 활용

본 연구에서는 실내 환경을 기준으로 작성된 기존의 온열쾌적감 지표에 의한 평가결과와 피험자 설문결과를 비교하여 옥외공간에서의 쾌적범위를 도출하기 위해 불만족율을

활용하였다. 기존 문헌에서는 실내 환경을 평가하기 위한 온열감 지표로서 PPD⁵⁾(Predicted Percentage of Dissatisfied, 식(1))를 정의하고 있으며, 온열쾌적감에 대한 피험자 설문 결과를 분석하는 경우 식(2)⁶⁾을 활용하여 불만족율을 산출하고 있다. 다만 본 연구에서는 동일 시간대 설문에 응답하는 피험자가 8명이라는 한계가 있으므로 기존의 불만족율 산출방식인 식(2)에 의해 단순히 불쾌적측에 응답한 피험자의 비율로서 불만족율을 산출하는 것에는 무리가 있다고 판단되어 로지스틱 회귀분석을 활용하여 피험자 응답에 의한 불만족율의 분포를 도출하였다.

$$PPD = 100 - 95 \exp[-0.03353PMV^4 - 0.2179PMV^2] \quad (1)$$

$$PD = 1 - \frac{V_{comfort}}{V_{all}} \quad (2)$$

PD : 불만족율[%]

$V_{comfort}$: 쾌적측에 응답한 피험자 수

V_{all} : 전체 피험자 수

3.2 로지스틱 회귀분석에 의한 불만족율의 산출

로지스틱 회귀분석은 본 연구에서와 같이 종속변수가 일반적인 연속변수 혹은 측정치(나이, 체중, 온도 등)가 아닌 이항변수(binary variable, 남/여, 수술여부(Y/N), 쾌적여부(Y/N) 등)인 경우, 즉, 독립변수에 대한 그 분포를 수식화하기 위해 일반적인 선형회귀나 다항회귀분석을 사용하기 어려운 경우 사용된다. 로지스틱 회귀분석 과정은 확률의 분포를 다루는 것이며 종속변수가 되는 사건이 발생하게 되는 확률을 추정하는 것이다. 본 연구에서는 로지스틱 회귀분석을 통해 임의의 물리적 조건하(독립변수, SET*)에서 피험자가 “쾌적함”에 응답(종속변수)할 확률을 추정하게 된다.

5) ASHRAE, 2005 ASHRAE Handbook, chapter. 8, 2005.

6) ISO, Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales, 1995

4) ASHRAE, 2005 ASHRAE Handbook, chapter. 8, 2005.

이를 위해서는 설문 스케일을 이항변수화 하는 과정이 필요하며 본 연구에서 5개의 설문 스케일을 기존 문헌을 참고하여 표 2와 같이 이항변수화 하였다.

표 2. 이항변수화

	0	1	2	3	4
CSV	comfort	slightly discomfort	discomfort	very discomfort	extremely discomfort
PTV	perfectly bearable	slightly difficult to tolerance	difficult to tolerance	very difficult to tolerance	intolerable
이항변수	1(쾌적)	0(불쾌적)			

어떤 사건이 발생할 확률을 P라고 하면, 그 사건이 일어나지 않을 확률은 1-P가 된다. 이렇듯 어떠한 일이 일어날 확률과 일어나지 않을 확률의 비를 로지스틱 회귀분석에서는 odds라고 정의하는데 이러한 개념에서 볼 때, P는 확률이므로 0~1의 값을 가지게 되고 odds는 0~무한대의 값을 가지게 된다.

$$odds = \frac{P}{1-P} \quad (3)$$

로지스틱 회귀분석에서는 이러한 odds값에 자연로그를 취해줌으로서 확률의 분포를 다루게 된다. 즉 P가 0~0.5일 때 odds값은 0~1이 되고 자연로그를 취해주면 -∞~0의 값을 가지게 되며, P가 0.5~1일 때 odds값은 1~∞가 되고 자연로그를 취해주면 0~∞가 된다. 따라서 자연로그를 사용한 odds(ln(odds))값은 일반적인 회귀분석이 가능한 연속적인 종속변수가 되는 것이다.

로지스틱 회귀분석 과정은 자연로그를 사용한 odds(=P/1-P)를 종속변수로 생각하고 식(4)와 같은 하나의 선형회귀분석을 시행하는 것이며, 이를 통해 종속변수와 독립변수와의 관계가 선형이 아닌 경우에서 독립변수와 종속변수간의 상관관계의 방향성과 통계

적의미를 얻어낼 수 있다.

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = a + bx \quad (4)$$

본 연구에 적용하여 설명해보자. 측정 장비에 의해 수집된 온도, 습도, 기류속도, 후쿠온도 등의 수치로 계산된 물리적 조건(SET*)을 종속변수, 피험자 설문(CSV, PTV)의 응답결과를 독립변수로 하는 데이터를 이용하여 로지스틱 회귀분석을 진행하면 다음과 같은 식이 도출된다.

$$\text{Logit } P = \begin{cases} 15.517 - 0.493 \times SET^* & (\text{CSV}) \\ 12.941 - 0.380 \times SET^* & (\text{PTV}) \end{cases} \quad (5)$$

P : 피험자가 쾌적이라고 응답할 확률[-]
SET* : 실험준유효온도[°C]

식 (5)은 일정 SET* 조건에서 피험자가 CSV설문에서 쾌적하다고 응답할 확률(P)을 나타낸다. 즉 SET*는 일종의 연속변수이므로 SET*가 1증가할 때 피험자가 만족할 확률은 e^{0.493}(약 1.64)배 줄어든다는 것이다 (SET*가 2증가하면 피험자가 만족할 확률은 e^{0.493}×2(약 2.68)배 감소). 식(5), (6)를 이용하여 불만족율 PD(Percentage of Dissatisfied)에 관하여 식을 정리하면 다음과 같다.

$$PD = \begin{cases} 1 - \frac{1}{1 + e^{-15.517 + 0.493 \times SET^*}} & (\text{CSV}) \\ 1 - \frac{1}{1 + e^{-12.941 + 0.380 \times SET^*}} & (\text{PTV}) \end{cases} \quad (7)$$

PD : 불만족율[%]
SET* : 실험준유효온도[°C]

식(7), (8)에 의한 불만족율 계산 결과를 피험자 설문을 통해 옥외공간에서의 불만족율을 산출한 기존 문헌(7)(8)과 비교한 결과를 그림 2에 나타내었으며 본 연구에서 제시하는 PD-SET* 관계식은 신뢰할 만하다고 판단된다.

7) 井田 卓造, 建物周辺屋外環境の温熱環境設計手法の開発 その1. 評価手法の概要とキャンパス将来計画への適用, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 2006

8) 桑原 浩平, 屋外環境における温熱指標と快適感の關係に關する研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 2004

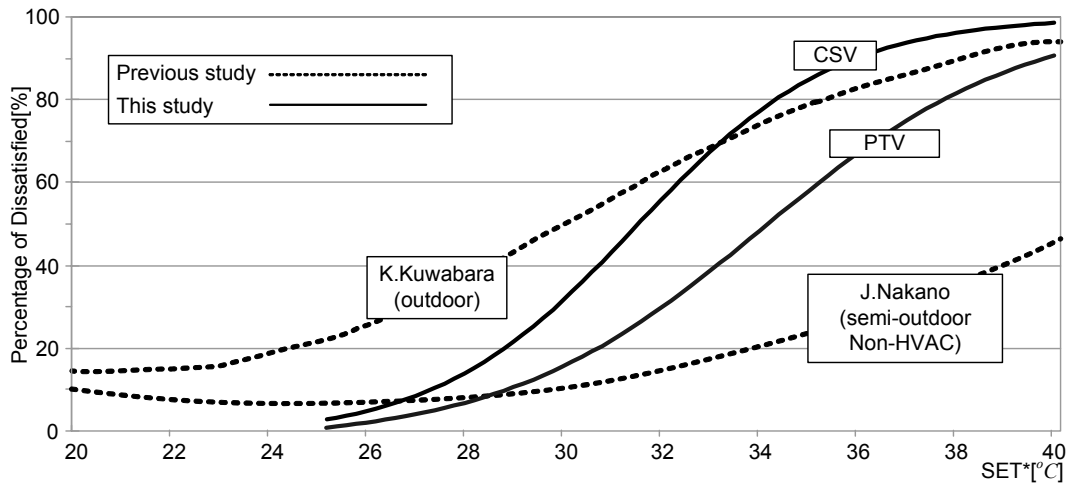


그림 3. 기존 연구와의 비교

4. 결 론

온열쾌적감에는 정량적으로 평가될 수 있는 미기후 인자들 뿐 만 아니라 정량적으로 평가되기 어려운 심리적인 요인도 영향을 미치기 때문에 실내환경 평가의 목적으로 작성된 기존의 온열쾌적감지표를 옥외환경 평가에 수정 없이 적용하는 것은 무리가 있다.

본 연구에서는 하절기 국내 공동주택의 옥외공간에서 활용 가능하도록 쾌적지표를 개선하기 위해 로지스틱 회귀분석을 활용하여 온열감, 쾌적감, 개인적 수용도에 관한 총 1,152개의 피험자 설문 결과를 분석하였다.

본 연구는 하절기(고온역)를 대상으로 하고 있기 때문에 저온역에 대한 추정과 불만족율의 계산에서 한계가 있으나 4계절에 걸친 데이터가 수집된다면 정확한 옥외공간에서의 쾌적범위가 도출될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 지원으로 수행되었음. (과제번호 : 06건설향심 B02)

참 고 문 헌

1. J. Spagnolo, R. de Dear, A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia, Building and Environment, Vol. 38 Issue 5, p.p 721-738, 2003.
2. Peter Höpfe, Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort, Energy and Buildings, Vol. 34, Issue 6, p.p 661-665, 2002.
3. 井田 卓造, 建物周辺屋外環境の温熱環境設計手法の開発 その1. 評価手法の概要とキャンパス将来計画への適用, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 2006
4. Sofia Thorsson, Fredrik Lindberg, Ingegärd Eliasson, Björn Holmer, Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting, International Journal of Climatology, 2007
5. Halls S, The Mosteller formula for calculating body surface area, Clin Cancer Res, Vol. 2005, 2003.11
6. 桑原 浩平, 屋外環境における温熱指標と快適感の關係に關する研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 2004