

# 도시지역의 미기후환경에서 체감과 온열환경 평가지표의 비교 분석

정주희\* · 오병철\*\*†

\*광주기후에너지진흥원 연구개발실 전문연구원, \*\*광주기후에너지진흥원 연구개발실 연구개발실장

## Comparative analysis of sensation variables and thermal indices in an urban microclimate

Jeong, JuHee\* and Oh, ByoungChull\*\*†

\*Research Fellow, R&D Bureau, Gwangju Climate and Energy Agency, Gwangju, Korea

\*\*Chief, R&D Bureau, Gwangju Climate and Energy Agency, Gwangju, Korea

### ABSTRACT

As climate change intensifies, the intensity of heatwaves and their threats to human health are correspondingly increasing. Issuing heatwave warnings is considered a basic measure in mitigating harm. This study focused on the fact that, to enhance the effectiveness of these warnings, the cognitive perspective of heatwaves and the standards for special warnings must be similar. A total of 180 samples were analyzed, taking into account variables such as Thermal Sensational Vote (TSV), Thermal Comfort Vote (TCV), Apparent Temperature (AT), and Heat Intensity (HI<sub>n</sub>), which are items based on an individual's cognitive perspective. The survey was analyzed in two phases. Simple regression analysis revealed significant associations among three variables (TSV, AT, and HI<sub>n</sub>) when temperature (T) and relative humidity (RH) were employed as sole independent variables. However, multiple regression analysis identified only T as a significant variable. In the case of TCV, T was significant in simple regression analysis, but RH was not. In multiple regression analysis, however, both T and RH were found to be significant. These findings underscore the importance of aligning public perception, as captured by sensation variables, with the scientific metrics describing thermal indices. This alignment is pivotal to ensuring that heatwave warnings effectively safeguard communities by being both scientifically accurate and intuitively comprehensible. This research is expected to serve as a foundation for future studies aimed at refining heatwave warning systems.

*Key words: Thermal Index, Sensation Variable, Heat Wave Warning, Apparent Temperature, Cognitive Perspective*

### 1. 서론

여름철 외부공간에서의 장시간 활동은 체온 상승의 원인이 되며 심할 경우 열사병, 일사병 등의 온열질환에 걸릴 수 있다(Kim, 2011). 외부공간에서 사람의 온열감은 외부공간을 구성하는 온도, 습도, 복사, 기류와 같은 물리적 요소들뿐만 아니라 개인의 피부온도와 심부온도 등 다양한 요소들이 복합적으로 작용하여 결정된다. 사람이 느끼는 주관적인 감각인 ‘온열감’을 정량적으로 평가하기 위해 많은 연구가 수행되었으며, 그 결과물로 다양한 온열환경 평가지표가 제안되었다.

인체의 체감을 기반으로 연구된 온열환경 평가지표는 건축환경 분야에서 재실자의 열적쾌적성을 평가하기 위해서 활용하거나 실외에서의 온열질환을 예방하기 위한 하나의 기준으로서 다양한 국가에서 연구되어 제시됐다. 예를 들어 ISO-7730에서는 표준 온열환경 평가지표를 제안하여, 온열환경에 대한 해석 및 평가를 규정하고 있다. 그러나 온열감은 주변 환경의 물리적 요소와 개인적 요소의 상호작용으로 도출되는 값이기에 해당 지표를 제시한 국가의 기후적 특징과 시민들의 민감도 및 적응력 등이 반영된다. 그렇기에 우리나라의 실정과는 다소 차이가 발생할 수 있다는 것이 전문가들의 의견이다.

†Corresponding author : [obc9999@gmail.com](mailto:obc9999@gmail.com) (61954, Gwangju Climate and Energy Agency, 181, Cheonbyeonwuharo, Gwangju, Tel: +82-62-601-1320)

ORCID 정주희 0000-0002-0346-0614

오병철 0000-0001-7869-766X

한국 기상청은 온열환경 평가지표를 사용하여 온열환경에 대한 정보를 제공해 왔다. 대표적으로 과거에는 열지수(Heat Index; HI), 불쾌지수(Discomfort Index; DI) 등이 있었다. 그러나 HI, DI는 지수 특성상 온열감을 설명하고 인지하기에 다양한 한계가 있어 2020년 5월 이후 서비스를 종료하였다. 최근 더위에 대하여 보다 정확한 평가와 정보 제공을 위하여 더위체감지수를 고안하여 활용하고 있다. 이는 기존 습구흑구온도(Wet-Bulb Globe Temperature; WBGT)를 변용하여 도출한 지수로서 ‘체감온도(Summer Apparent Temperature; SAT)’라고 명칭을 통일하여 관련 정보를 제공하고 있다. 이에 따라 기존 폭염특보 기준도 최고기온 기준에서 SAT 기준으로 변경하였다.

폭염특보는 폭염으로 인한 사람들의 건강 피해를 예방하고자 하는 목적이 크다. 그래서 폭염특보는 사람들의 더위에 대한 인지적 수준과 유사하게 나타나는 것이 중요하다. 즉, 더위에 대한 인지적 수준이 폭염특보와 유사하다는 것은 폭염특보가 발령되면 대다수 사람이 폭염을 체감하는 것으로 이해할 수 있다. 반대로 폭염특보에 대하여 인지적 수준이 다르게 나타난다는 것은 폭염특보와 사람들의 체감하는 더위와의 간극이 있다는 것을 의미할 것이다. 이는 해당 정보에 대한 신뢰도의 문제가 발생할 수 있으며, 나아가 폭염특보와 무관하게 온열질환자가 발생할 수도 있다. 따라서 폭염특보에 대하여 사람들이 가진 더위에 대한 인지적 수준을 연계하여 연구를 수행하는 것은 폭염에 대한 시민들의 피해예방을 위하여 중요한 부분일 것이다. 그러나 아직까지 사람들이 가진 더위 및 폭염에 대한 인지적 수준과 지표기반의 폭염특보 조건의 유사성을 조사한 연구는 많지 않다. 더욱이 폭염 발생 시 실내가 아닌 외부공간을 대상으로 한 연구는 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구는 더위에 대한 시민들의 인지수준과 기존의 온열환경 평가지표의 비교를 목적으로 수행하였다. 세부적으로 시민들의 인지수준에 대해서는 외부공간에서의 온열환경에 대한 설문을 통하여 관련 데이터를 마련하였다. 그리고 설문할 때 더위 특성을 구별 혹은 기준으로 활용할 수 있도록 해당 공간의 물리적인 환경특성에 대하여 측정을 병행하였다. 비교 대상인 온열환경 평가지표는 널리 알려진 HI, DI, WBGT 그리고 최근 우리나라 기상청에서 활용하는 SAT를 대상으로 한정하였다. 이와 같은 과정을 수행하여 확보한 시민들의 인지수준과 온열환경 평가지표를 비교하고 그 특징에 대한 분석 데이터의 구축과 시사점을 도출하고자 한다.

## 2. 이론적 배경 및 선행연구

### 2.1. 온열환경 평가지표의 구분

온열쾌적성과 온열환경을 평가하는 기술표준 지침은 미국난방냉동공조학회(ASHRAE 55)와 국제표준화기구(ISO 7730)가 대표적이다. ASHRAE 55는 유효온도, ISO 7730은 예상평균온열감(Predicted Mean Vote; PMV)을 바탕으로 쾌적성을 평가한다. ASHRAE는 온열쾌적성(Thermal Comfort)을 “열적환경에 만족하는 심리상태” 또는 “덥지도 춥지도 않은 감각”으로 정의하고 있다(Park, 2022). 이에 본 연구에서도 온열쾌적성에 대해서 ASHRAE 55와 같이 정의하고자 한다.

더위는 사람에게 스트레스를 유발하고 그 경중에 따라 작업 효율성의 저하 또는 건강을 위협하는 때도 있으므로 적당한 온열쾌적성을 유지하는 것은 중요한 부분이다. 많은 연구자는 인간의 온열쾌적성 평가를 위하여 앞서 정리한 온열환경 요소들의 실험 결과를 조합하고 수식화하여 최종적으로 다양한 온열환경 평가지표를 제시하였다(Nakano, 2016). 온열환경 평가지표는 약 100년 전부터 활용되어 온 유효온도(Effective Temperature; ET)부터(Choi, 2013) 비교적 최근에 개발되어 활용되는 일반적 온열 기후지수(Universal Thermal Climate Index; UTCI)까지 지속해서 수정 및 보완연구가 활발히 진행되고 있다.

온열환경 평가지표를 활용한 주요 선행연구로서 Kim (2011)은 도시 열환경 개선 방안으로 건물의 녹화(옥상, 벽면, 지면)에 주목하고 녹화율과 건물 규모에 따른 열환경의 완화 정도를 시뮬레이션으로 검토하였다. 해당 연구에서는 비교의 기준으로 HI, DI, WBGT를 활용하였으나, 세 가지 지표를 선정한 이유에 대해서는 명확하게 기술되어 있지 않다.

Park et al. (2016)은 도시공원의 지표면 포장재에 대하여 온열환경 평가지표를 활용하여 비교분석을 수행하였다. 비교-분석한 평가지표를 보면 HI, DI, WBGT를 활용한 것으로 파악되는데 해당 지표의 활용 사유에 대해서는 하절기 내 활용할 수 있는 지수로서 일상생활과 학술연구에도 널리 활용되고 있기 때문이라고 밝히고 있다.

본 연구는 전술한 바와 같이 외부공간을 대상으로 시민들이 가진 더위에 대한 인지수준을 확인하기 위하여 설문결과와 온열환경 평가지표 값에 관한 비교분석 연구를 수행하였다. 온열환경 평가지표에 대한 값을 산정하기 위하여 시민 설문조사 시 병행한 환경 측정데이터를 활용하였

다. 한편, 본 연구에서 선정된 4개의 온열환경 평가지표는 공통적으로 기온과 상대습도를 고려한다는 특징이 있다. 이에 본 연구에서도 조사한 체감변수와 온열환경 평가지표의 일관성 있는 비교를 위하여 ‘기온’과 ‘상대습도’를 기준으로 활용하였다.

2.1.1. 열지수(HI)

HI는 미국기상청(NWS)에서 개발한 지표로 기온과 상대습도에 따라 인체가 실제로 느끼는 더위를 지수화한 지표이다(Korea Meteorological Administration, 2022). 한때 기상청의 폭염특보 기준을 일 최고기온으로 삼았으나, 여름철 더위는 상대습도에 많은 영향을 받는다는 연구 결과에 따라(Kang et al., 2021) HI의 활용에 대하여 논의가 있기도 하였다. HI의 산출식에서는 온열환경 6대 요소 중 기온과 상대습도만을 활용하고 있다. HI는 수식(1)을 통해 계산할 수 있으며, Table 1은 HI의 값에 따른 경보 기준이다.

$$HI = -42.379 + 2.04901523T + 10.14333127RH - 0.22475541T \times RH - 0.00683783T^2 - 0.05481717RH^2 + 0.00122874T^2 \times RH + 0.00085282T \times RH^2 - 0.00000199T^2 \times RH^2$$

*T*: Temperature (°C)  
*RH*: Relative Humidity(%)

(1) The Formula for Calculating HI

Table 1. Criteria for issuing HI warnings

| Classification | HI Range[°C] |
|----------------|--------------|
| Low            | 20.0 - 31.4  |
| Concern        | 31.5 - 33.5  |
| Caution        | 33.6 - 35.5  |
| Warning        | 35.6 - 38.5  |
| Danger         | 38.6 ~       |

Table 2. Criteria for issuing DI warnings

| Classification         | DI Range[-]                   |
|------------------------|-------------------------------|
| Comfortable            | Less than 68                  |
| Slightly Uncomfortable | 68 or Above, but Less than 75 |
| Uncomfortable          | 75 or Above, but Less than 80 |
| Very Uncomfortable     | 80 or Above, but Less than 85 |
| Dangerous              | 85 or Above                   |

2.1.2. 불쾌지수(DI)

DI는 날씨에 대하여 사람이 느끼는 불쾌감 정도를 기온과 상대습도를 조합하여 지수화한 것이다(Park et al., 2016). DI는 최초 Thom (1959)의 연구에서 제안되었다. DI 계산식에는 습구온도가 포함되어 있지만 우리나라 기상청에서는 건구온도만을 활용하여 DI를 산정하였다. 이에 본 연구에서도 기상청에서 산출하는 수식 (2)를 준용하여 산출하였으며, Table 2는 DI의 값에 따른 경보 기준이다.

$$DI = \frac{9}{5}T - 0.55(1 - RH)\left(\frac{9}{5}T - 26\right) + 32$$

*T*: Temperature (°C)  
*RH*: Relative Humidity(%)

(2) The Formula for Calculating DI

2.1.3. 여름철 체감온도(SAT)

SAT에 대해서 우리나라 기상청은 취약계층과 취약환경에 대한 맞춤형 지표로 설명하고 있다. 세부적으로는 여름철을 기준으로 폭염에 대한 취약계층인 노인과 어린이를 대상으로 하며, 취약환경은 온열질환자가 다수 발생하는 도로·건설 현장, 농촌, 비닐하우스 등을 대상으로 한다(Jeong and Oh, 2022). 해당 지표는 기상청이 WBGT를 기반에 두어 개발한 더위체감지수와 같은 지표이지만, 현재 명칭을 ‘체감온도’로 변경하여 대시민서비스를 하고 있다. 본 연구에서는 앞서 기상청의 체감온도를 ‘여름철 체감온도’로 표기하고 있는데 이에 대해서는 첫 번째, 기상청의 기상자료개방 포털에서는 여름철과 겨울철의 체감온도 계산 방식이 각각 다르기 때문이며, 두 번째, 본 연구는 여름철을 더위를 대상으로 연구를 진행하고 있기에 명확하게 구분하기 위함이다.

SAT의 단위는 기온과 같이 섭씨온도(°C)로 표현하며, 산출식은 수식 (3)과 같다. 수식 (3)을 보면 SAT를 산출하기 위해서는 기온과 상대습도의 두 가지 온열요소를 고려하고 있는 것을 알 수 있으며, Table 3은 SAT값에 따른 경보 기준을 나타내었다.

$$SAT = -0.2442 + 0.5399T_w + 0.45535T_a - 0.0022T_w^2 + 0.00278T_w \times T_a + 3.0$$

*T<sub>a</sub>*: Temperature (°C)  
*T<sub>w</sub>*: Wet-Bulb Temperature(°C)

(3) The Formula for Calculating SAT

Table 3. Criteria for issuing SAT warnings

| Classification | SAT Range[°C]                 |
|----------------|-------------------------------|
| Low            | Less than 29                  |
| Moderate       | 23 or Above, but Less than 31 |
| High           | 31 or Above, but Less than 34 |
| Very High      | 34 or Above, but Less than 37 |
| Dangerous      | 37 or Above                   |

Table 4. Criteria for issuing WBGT warnings

| Working Hours       | Light Work | Moderate Work | Heavy Work |
|---------------------|------------|---------------|------------|
| Continuous Work     | 30.0       | 26.7          | 25.0       |
| 75%(Work) 25%(Rest) | 30.6       | 28.0          | 25.9       |
| 50%(Work) 50%(Rest) | 31.4       | 29.4          | 27.9       |
| 25%(Work) 75%(Rest) | 32.2       | 31.1          | 3.0        |

2.1.4. 습구흑구온도(WBGT)

WBGT는 미국의 군사훈련소에서 군인의 열 스트레스 측정을 위해 고안된 온열평가지표로 여러 나라에서 각 나라 특성에 맞게 조정하여 활용되는 지표이다(Ahn et al., 2013). 수식 (4)에서 확인되는 바와 같이 WBGT는 기온과 복사열(흑구온도), 상대습도를 기준으로 도출되며, 특히, 인체에 가장 큰 영향을 미치는 온도를 습구온도로 규정하는 지표(Budd, 2008)이기도 하다. Table 4는 WBGT의 경보 기준이다.

$$WBGT = 0.7t_{nwb} + 0.2t_g + 0.1t_a$$

$t_g$  : BlackGlobe Temperature(°C)  
 $t_a$  : Temperature(°C)  
 $t_{nwb}$  : Wet-Bulb Temperature(°C)

(4) The Formula for Calculating WBGT

2.2. 선행연구

온열환경에서 인체가 해당 온도나 상대습도 등에 대하여 어떻게 느끼는가에 대한 부분은 실내 환경과 실외 환경 모두에서 관심 있게 다루는 주제이다. 그래서 다양한 분야에서 연구가 수행되었고 관련 지표도 고안되었다. 주요 연구를 보면 폭염과 연계된 연구들이 확인되는데, Kang et al. (2021)은 폭염특보의 피해 예방효과에 주목하며, 효과적인 피해 예방을 위해 고려해야 할 사항에 대해

정량적으로 검증하고자 하였다. 해당 연구에서는 기온 및 HI와 온열질환자 발생간의 일치성과 기온과 상대습도 그리고 HI의 예측정확성을 확인하였다. 분석결과, 온열질환자 발생과의 일치성에 대하여 기온은 적은일치성(Fair), HI는 보통일치성(Moderate)을 보여 HI의 일치성이 보다 높은 것으로 평가되었다. 예측정확성은 HI가 기온과 상대습도보다 높은 예측정확성을 보였지만, 상대습도는 기온보다 예측성이 적고 오차범위도 크게 나타나는 것을 확인하였다.

Bae and Choi (2021)는 주민들의 생활환경에 직접적인 영향을 미치는 미기후(Microclimate)의 중요성에 주목하였다. 세부적으로 주민들의 온열감을 파악하기 위해 폭염 시기에 저층 주거지 내 골목길의 유형에 따라 온도와 상대습도를 측정하였다. 이후 온열감을 파악하기 위해 측정값을 이용하여 SAT 값을 산출하여 비교하였다. 그 결과 골목의 유형과 상관없이 주거지 내 골목 부문에서는 SAT가 더 높은 것으로 나타났다. 해당 연구는 통제가 가능한 실험실 연구가 아니라 실제 도시의 저층 주거지의 열환경에 주목하여 보행자가 이용하는 골목의 열 환경을 측정한 연구로서 실험적 의미를 갖는다고 판단된다.

Park et al. (2008)은 국가별로 폭염특보 발령기준이 다른 점을 확인하고, 우리나라의 폭염발생 기준의 검토를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 연구 수행 당시 한국의 폭염특보 기준은 일 최고기온 33°C 이상을 기준으로 하고 있었다. 그러나 한국은 여름철 고온다습한 특성을 보이기에 최고기온 이외도 상대습도를 동시에 고려할 필요가 있다고 판단하였다. 이에 기온과 상대습도로 평가되는 HI를 기준으로 일 사망자수를 검토한 결과 높은 상관성을 확인하면서 폭염특보에 HI의 활용 필요성을 제안하였다.

Kim et al. (2022)은 지역별 특성을 고려하지 않은 채 모든 지역을 대상으로 동일한 온도 기준의 폭염특보를 발령하여 실제 폭염이 아닌 지역도 폭염특보의 영역에 포함되는 것에 문제가 있음을 지적하였다. 이에 일 최고기온과 지역별 폭염 취약정도를 고려한 폭염위험지수를 개발하고 해당 지수를 활용한 특보발령 기준을 제시하고자 하였다. 세부적으로 분석을 위하여 폭염 취약성 평가데이터와 온열질환감시체계 데이터를 활용하였으며, 도출된 폭염위험지수와 온열질환율과의 상관관계분석을 통해 지수의 타당성을 입증하였다. 그 결과 폭염특보 발효의 기준이 지역별 폭염 취약성을 고려하여 개선될 필요성을 제안하였다.

선행연구와 같이 폭염에 대한 기준과 실제 폭염 상황, 그리고 폭염피해에 대한 관계 등을 검토하기 위한 연구가 다수 진행되어 온 것으로 파악된다. 하지만 본 연구와 같이 실제 외부공간에서의 더위에 대한 인체의 인지수준을 폭염특보의 기준으로 활용하고 있는 온열환경 평가지표와 정량적으로 비교 분석한 연구 사례는 거의 없었다.

### 3. 연구방법

#### 3.1. 설문 및 측정 방법

설문조사는 외부공간에서의 더위에 대한 인체의 인지수준을 조사하기 위하여 응답자 개인의 기본 특성과 체감에 관한 질문으로 구성하였다. 개인의 특성은 성별, 나이, 키, 몸무게, 의복량을 조사하였다. 또한 체감조사를 위해 Ryu et al. (2022)의 논문을 참고하여 온열민감도(Thermal Sensational Vote; TSV)의 척도를 설정하였다. 그리고 온열쾌적감(Thermal Comfort Vote; TCV)은 Park (2022), Ryu et al. (2022)의 연구를 바탕으로 문항을 설계하였다. TSV와 TCV는 체감을 조사하기 위한 대표적인 변수로서 본 연구에서는 두 변수와 함께 체감온도(Apparent Temperature; AT), 더위강도(Heat Intensity; HIn)에 대한 설문 문항을 추가로 고안하여 조사를 진행하였다. 개인의 특성(성별, 나이, 키, 몸무게)과 AT, HIn은 주판식으로 질의하였으며, TSV, TCV는 리커트 7점 척도로 조사하였다. 본 연구에서 활용한 변수의 문항구성은 Table 5에 정리하

Table 5. Sensational variable for cognitive level

| Variable | Detail  |
|----------|---|
| TSV      | Cool, Slightly Cool, Neutral, Slightly Warm, Warm, Hot, Very Hot  |
| AT       | Short Form (°C)   |
| HIn      | Short Form (Point)  |
| TCV      | Very Uncomfortable, Uncomfortable, Slightly Uncomfortable, Neutral, Slightly Comfortable, Comfortable, Very Comfortable |

Table 6. Daily max, avg. temperature & avg. cloud cover

| Day   | Max.T  | Avg.T  | Avg.C | Day   | Max.T  | Avg.T  | Avg.C |
|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 07.15 | 31.4°C | 27.0°C | 4.4%  | 08.03 | 33.3°C | 29.0°C | 5.3%  |
| 07.19 | 30.3°C | 25.1°C | 5.8%  | 08.18 | 32.0°C | 26.1°C | 4.0%  |
| 07.20 | 31.9°C | 27.0°C | 6.1%  | 08.19 | 32.2°C | 27.4°C | 7.9%  |

였다. 데이터 분석은 통계프로그램인 SPSS 26.0을 사용하였으며, 산점도 그래프는 R의 ggplot2와 ggalt, patchwork 패키지를 활용하였다.

설문조사는 2022년 7월과 8월 중 청천일을 선정하여 6일간 진행하였다. Table 6에 일자별 최고기온(Max.T)과 평균기온(Avg.T), 그리고 평균운량(Avg.C)을 나타낸다. 시간대별로 바뀌는 더위 강도에 대하여 응답자의 다양한 정보를 수집하고자 오전 11시에서 오후 3시에 걸쳐 설문을 진행하였다. 설문 장소는 바닥면은 콘크리트로 포장된 지면이며, 상부는 직달일사 조건으로 통제하되, 사방이 열린 공간이 되도록 하였다. 조사 대상은 불특정 다수의 시민으로 선정하였으며, 사전 교육된 설문 조사자를 활용하여 인터뷰 방식의 대면 설문을 진행하였다.

한편, 설문 장소에서 환경에 대한 데이터 수집을 위해 PMV 측정이 가능한 TESTO400을 사용하였다. 측정데이터는 기온, 상대습도, 기류, 복사열을 대상으로 하였으며, 측정데이터는 1분 간격으로 수집하였다. 설문 시 응답 시간을 기록해 설문데이터와 측정데이터가 연결될 수 있도록 하였다.

#### 3.2. 분석방법 개요

설문 응답자의 응답 분포와 인구통계학적 특징을 확인하기 위해 빈도분석을 수행하였다. 분석은 Table 7에서 나타낸 것과 같이 2단계로 나누어 분석하였다. 우선 응답자들이 가진 더위에 대한 인지수준과 가장 유사한 평가지표를 확인하기 위하여 상관분석을 통해 응답 결과의 수치적 관계성을 확인하였다. 이후, 산점도를 활용하여 경향을 파악하였으며, 회귀분석으로 결과의 유의성을 검증하였다. 최종적으로 온열환경 평가지표 값과 인지수준 기반의 체감 변수값 사이의 경향성을 비교하고, 그 특징을 분석하였다.

측정기기로 확보한 데이터를 활용하여 4개의 온열환경 평가지표 값을 계산하였다. 한편, 측정공간에서의 풍속의 세기는 설문 응답자들의 온열감에 영향을 미칠 수 있는데, 측정공간에서의 측정데이터를 통해 확인한 평균풍속

Table 7. Phased research objectives and methods

| Phased | Objective   | Analysis Method                   |
|--------|---|-----------------------------------|
| Phase1 | Correlation between Sensational Variables and Thermal Indices | Correlation Analysis              |
| Phase2 | Association between Sensational Variables and Thermal Indices | Regression Analysis, Scatter Plot |

은 0.04m/s, 표준편차는 0.032로 나타나 보퍼트풍력계급 상 고요한 기류 상태를 알 수 있었다. 이에 설문조사 시 풍속이 응답자의 온열감에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 가정하였다.

### 4. 연구 결과 및 논의

#### 4.1. 응답자 표본개요

표본은 남성 86명, 여성 94명으로 전체 180개의 표본을 활용하였다. Table 8은 수집된 데이터의 일자별, 연령대에 따른 성별 분포를 나타내었다. 성별, 연령별 분포는 비교적 표본이 고르게 수집된 것으로 볼 수 있으며, 40대의 응답자의 경우 남성응답자와 여성응답자의 비율차이가 가장 크게 나타났다. 한편, 개인의 기본적 특성(성별, 나이, 키, 몸무게, 착의량)과 체감변수간의 상관관계를 분석하였으나 상관성이 확인되지 않았다. 그러나 회귀분석 시에는 개인의 기본적 특성을 통제 변수로서 포함하여 기온과 상대습도에 따른 체감변수 변화에 초점을 맞추어 분석하였다.

Table 8. Sample distribution

| Date     | Freq. | %     | Age Range | Freq. | %     |      |
|----------|-------|-------|-----------|-------|-------|------|
| 22.07.15 | 15    | 8.3   | 10's      | M.    | 11    | 7.8  |
|          |       |       |           | W.    | 3     |      |
| 22.07.19 | 26    | 14.4  | 20's      | M.    | 13    | 15.0 |
|          |       |       |           | W.    | 14    |      |
| 22.07.20 | 22    | 12.2  | 30's      | M.    | 19    | 18.3 |
|          |       |       |           | W.    | 14    |      |
| 22.08.03 | 48    | 26.7  | 40's      | M.    | 8     | 15.6 |
|          |       |       |           | W.    | 20    |      |
| 22.08.18 | 31    | 17.2  | 50's      | M.    | 10    | 17.2 |
|          |       |       |           | W.    | 21    |      |
| 22.08.19 | 38    | 21.1  | over 60's | M.    | 25    | 26.1 |
|          |       |       |           | W.    | 21    |      |
| total    | 180   | 100.0 | total     | 180   | 100.0 |      |

#### 4.2. 체감변수와 온열환경 평가지표 간 관련성 검증

응답자들의 더위에 대한 인지수준 기반 체감변수 값과 온열환경 평가지표 값 사이의 관련성을 검토하기 위하여 이들 두 가지의 값에 대한 상관관계를 분석하였다. Table 9는 분석 결과를 나타내었으며, 상정한 네 개의 온열환경 평가지표는 체감변수와 99% 유의수준에서 상관관계를 나타내었다.

Table 9. Correlation between sensational variable and thermal index

| Category             | Thermal Index |           |           |           |           |
|----------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                      | HI            | DI        | SAT       | WBGT      |           |
| Sensational Variable | TSV           | 0.338***  | 0.336***  | 0.354***  | 0.297***  |
|                      | AT            | 0.347***  | 0.312***  | 0.336***  | 0.309***  |
|                      | HIn           | 0.326***  | 0.369***  | 0.354***  | 0.356***  |
|                      | TCV           | -0.260*** | -0.337*** | -0.271*** | -0.291*** |

#### 4.3. 기온 및 상대습도와 체감조사결과 비교

4.2 절의 상관관계분석 결과를 통해 체감변수와 온열환경 평가지표 사이가 상관관계를 가지고 있다는 점을 확인하였다. 온열환경 평가지표의 경우, 각 지표 별 값의 차이는 보이지만, 기울기의 크기가 거의 유사하게 나타났다. 다만, 각 지표 계산식에서는 상대습도의 가중치가 다르기에 상대습도에 대한 분산은 지표에 따라 다르게 나타났다. Fig. 1은 대표적으로 SAT와 기온, 상대습도에 대한 산점도 그래프를 나타내었으며, 붉은색 직선은 추세선이다. SAT 값이 온도가 높아질수록 커지는 양상을 보이지만 상대습도가 높아질수록 감소하는 경향을 보인다. 기온과 상대습도 두 가지 물리 요소의 상대성을 봤을 때, 상대습도가 높아질수록 기온이 낮아지는 것으로 확인되어 온열환경 평가지표의 값이 기온 증가에 대해서는 우상향하며, 상대습도 증가에 대해서는 우하향하는 추세를 보이는 것으로 볼 수 있다.

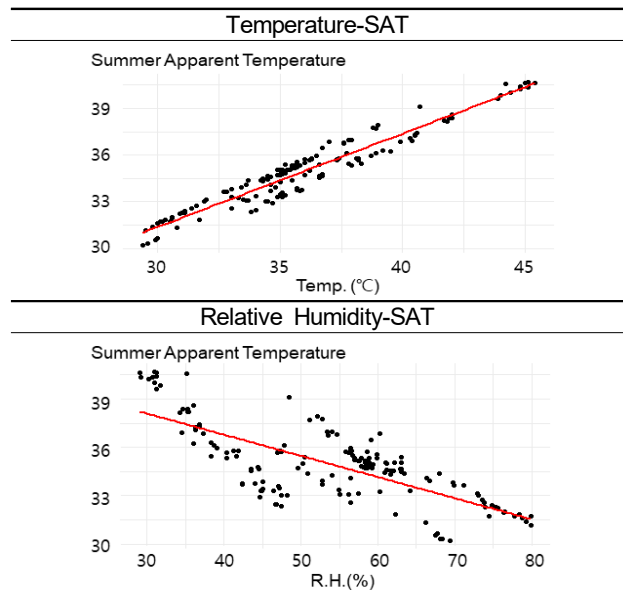


Fig. 1. Temp. and R.H. scatter plot for SAT

체감변수의 기온, 상대습도와와의 관계를 확인하기 위해 산점도를 통해 기온과 상대습도에 대하여 체감변수가 선형 관계를 나타내는지 확인하였다. 다음으로 기온(Temperature; T)과 상대습도(Relative Humidity; R.H.)를 독립변수, 개인의 기본적인 특성(성별(Sex), 나이(Age), 키(Hight), 몸무게(Weigh), 착의량(Clo))을 통제변수로 하여 체감변수에 대한 다중회귀분석을 수행하여 검토하였다. Table 10 ~ Table 13에 나타난 체감변수에 대한 다중회귀분석 결과를 보면 온열환경 평가지표와 유사하게 체감변수도 기온에 대한 추세선과 상대습도에 대한 추세선의 기울기의 방향이 반대로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

다중회귀분석에 활용한 일곱 개 변수의 다중공선성 검토 결과 분산팽창지수(Variance Inflation Factor; VIF)값이 모두 10 미만으로 작게 나타나고 있어 변수 간의 다중공선성이 확인되지 않았다. D-W(Durbin-Watson)통계량 값은 모든 분석에서 2에 근사한 수치를 보여 잔차의 독립성 가정에도 문제가 없는 것으로 나타났다.

이와 같은 통계적 결과에 기반을 두어 본 연구에서 설문문을 통해 확보한 네 개의 체감변수에 먼저 Table 10에 온

열민감도(TSV)에 대한 다중회귀분석 결과를 나타내고, Fig. 2에서는 TSV와 기온, 상대습도에 대한 산점도를 나타내었다. 산점도에서 붉은색 선으로 나타낸 추세선은 단순회귀분석의  $\beta$ 값으로 볼 수 있으며 T에 대하여  $\beta = 0.347$ , R.H.에 대해서는  $\beta = -0.263$ 으로 모두 유의확률 99.0%로 확인되었다. 주요 독립변수인 T와 R.H., 그리고 개인의 기본 특성이 통제변수를 포함한 다중회귀분석에서의 회귀모형은 통계적으로 유의하게 나타났으며 ( $F=5.380, p<0.00$ ), 회귀모형의 설명력은 약 18%(수정된  $R^2$ 은 14.6%)로 나타났다. 회귀계수의 유의성 검증 결과 T( $\beta=.509, p<.01$ )는 TSV에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 변수로 확인되었으나, R.H.는 유의하지 않았다. 단순회귀분석상에서는 T와 R.H. 모두 유의한 변수였으나, 통제변수까지 모두 고려한 다중회귀분석에서는 T만이 유사하게 나타나 개인이 온열감을 평가하는 주요 변수가 ‘기온’이 지배적인 것으로 확인할 수 있었다.

다음으로 Table 11은 체감온도(AT)에 대한 다중회귀분석 결과이며, Fig. 3은 AT와 기온, 상대습도에 대한 산점도이다. 산점도에 나타난 T와 R.H.의 기울기는 T에 대해

Table 10. Regression analysis results of TSV

| Y   | X          | B      | S.E.  | $\beta$ | t     | p    | VIF   |
|-----|------------|--------|-------|---------|-------|------|-------|
| TSV | (Constant) | -3.394 | 3.575 |         | -.949 | .344 |       |
|     | T          | .157   | .050  | .509    | 3.133 | .002 | 5.545 |
|     | R.H.       | .014   | .015  | .156    | .925  | .356 | 5.997 |
|     | Sex        | .484   | .204  | .206    | 2.366 | .019 | 1.597 |
|     | Age        | -.004  | .005  | -.066   | -.886 | .377 | 1.180 |
|     | Height     | .010   | .014  | .073    | .719  | .473 | 2.139 |
|     | Weight     | -.008  | .009  | -.087   | -.895 | .372 | 1.994 |
|     | Clo        | .955   | 1.225 | .055    | .779  | .437 | 1.035 |

$F=5.380(p<0.000), R^2=0.180, adjR^2=0.146, D-W=1.726$

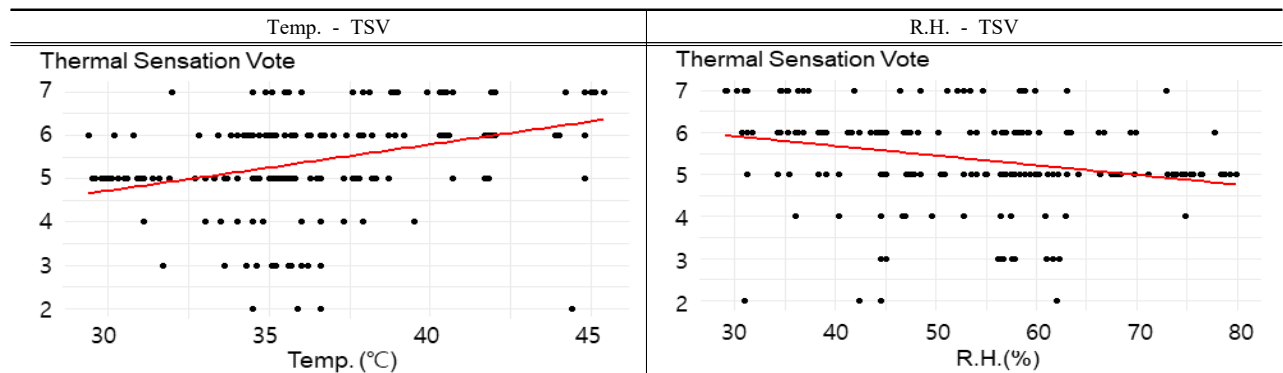


Fig. 2. Scatter plot of TSV

Table 11. Regression analysis results of AT

| Y  | X          | B      | S.E.  | $\beta$ | t     | p    | VIF   |
|----|------------|--------|-------|---------|-------|------|-------|
| AT | (Constant) | 16.629 | 9.858 |         | 1.687 | .093 |       |
|    | T          | .294   | .138  | .356    | 2.126 | .035 | 5.545 |
|    | R.H.       | .003   | .041  | .011    | .063  | .950 | 5.997 |
|    | Sex        | -.226  | .564  | -.036   | -.400 | .690 | 1.597 |
|    | Age        | .011   | .013  | .067    | .867  | .387 | 1.180 |
|    | Height     | .025   | .038  | .069    | .664  | .507 | 2.139 |
|    | Weight     | -.016  | .025  | -.066   | -.659 | .511 | 1.994 |
|    | Clo        | .763   | 3.380 | .016    | .226  | .822 | 1.035 |

$F=3.653(p<0.001)$ ,  $R^2=0.129$ ,  $adjR^2=0.094$ ,  $D-W=2.039$

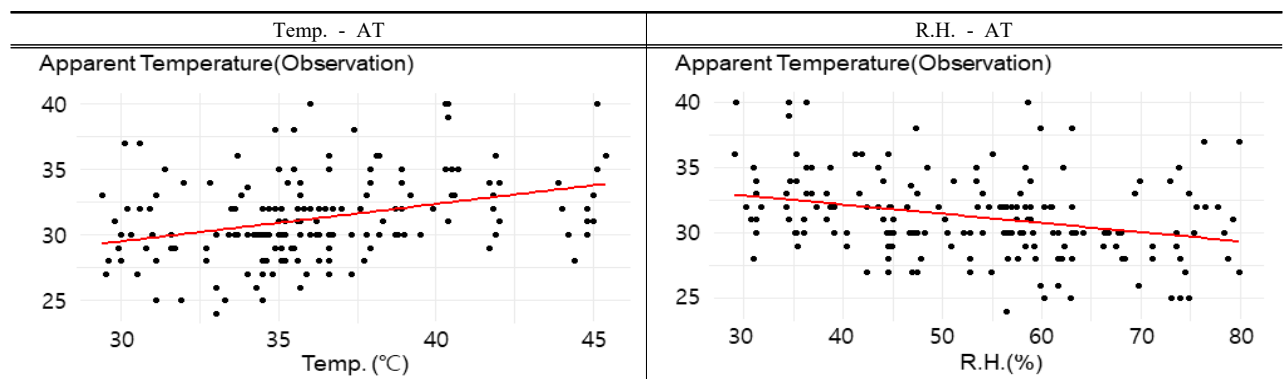


Fig. 3. Scatter plot of AT

서  $\beta=0.347$ , R.H.에 대해서는  $\beta=-0.300$ 으로 모두 유의확률 99.0%로 확인되었다. 다음으로 수행한 다중회귀분석모형은 통계적으로 유의하게 나타났으며( $F=3.653$ ,  $p<0.01$ ), 회귀모형의 설명력은 약 12.9%(수정된  $R^2$ 은 9.4%)로 나타났다. 회귀계수의 유의성 검증 결과  $T(\beta=.356$ ,  $p<.05$ )는 AT에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 변수로 확인되었으나, R.H.는 유의하지 않았다. AT 또한 TSV와 동일한 결과로, ‘기온’만이 유의한 변수로 확인되었다.

Table 12는 더위강도(HIn)에 대한 다중회귀분석 결과이며, Fig. 4는 T와 R.H.에 대한 산점도이다. HIn에 대한 기온과 상대습도에 대한 각각의 단순회귀분석 결과, 독립변수가 T일 때  $\beta$ 값은 0.318, R.H.일 때 -0.300으로 모두 유의확률 95.0%로 확인되었다. 다음으로 수행한 다중회귀분석모형의 유의성( $F=4.531$ ,  $p<0.00$ )이 확인되었으며, 회귀모형의 설명력은 약 15.6%(수정된  $R^2$ 은 12.1%)로 나타났다. 회귀계수의 유의성 검증 결과  $T(\beta=.565$ ,  $p<.01$ )는 HIn에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 변수로 확인되었으나, R.H.는 유의성이 확인되지 않았다.

Table 13은 온열쾌적감(TCV)에 대한 다중회귀분석 결

과이며, Fig. 5는 TCV와 기온, 상대습도에 대한 산점도이다. 결과를 보면 기온의  $\beta$ 값은  $-0.259(p<0.00)$ 으로 유의하게 나타났으나, 상대습도의  $\beta$ 값은 유의성이 확인되지 않았다. 다중회귀분석결과 회귀모형은 통계적으로 유의하게 나타났으며( $F=3.600$ ,  $p<0.01$ ), 회귀모형의 설명력은 약 12.8%(수정된  $R^2$ 은 9.2%)로 나타났다. 단순회귀분석 결과와 달리 다중회귀분석에서는  $T(\beta=-.685$ ,  $p<.00)$ 와  $R.H.(\beta=-0.475$ ,  $p<.01)$  모두 유의한 변수로 확인되었다. 참고로 TCV는 7점이 심리적으로 가장 편안한 상태이며, 1점이 가장 불쾌한 상태를 나타내는 지표이기에 T와 R.H.는 TCV에 유의한 음(-)의 영향을 미치는 변수로 확인되었다.

체감변수의 분석 결과를 종합하면, T와 R.H.를 유일한 독립변수로 하여 각각 단순회귀분석을 하였을 때, 세 개의 변수(TSV, AT, HIn)에 대하여 유의성이 확인되었다. 그러나 다중회귀분석에서는 변수 중 T만이 유의한 변수로 파악되었다. 반면, TCV의 경우 단순회귀분석에서 T는 유의성이 확인된 변수, 그리고 R.H.는 유의성이 확인되지 않은 변수였으나, 다중회귀분석에서는 T와 R.H. 모두 유의미한 변수인 것으로 평가되었다.



Table 12. Regression Analysis Results of HIn

| Y   | X          | B        | S.E.   | $\beta$ | t      | p    | VIF   |
|-----|------------|----------|--------|---------|--------|------|-------|
| HIn | (Constant) | -118.603 | 53.627 |         | -2.212 | .028 |       |
|     | T          | 2.573    | .751   | .565    | 3.424  | .001 | 5.545 |
|     | R.H.       | .332     | .223   | .256    | 1.489  | .138 | 5.997 |
|     | Sex        | 6.996    | 3.066  | .202    | 2.282  | .024 | 1.597 |
|     | Age        | .018     | .070   | .019    | .251   | .802 | 1.180 |
|     | Height     | .403     | .207   | .199    | 1.942  | .054 | 2.139 |
|     | Weight     | -.107    | .133   | -.080   | -.804  | .422 | 1.994 |
|     | Clo        | .878     | 18.384 | .003    | .048   | .962 | 1.035 |

$F=4.531(p<0.000)$ ,  $R^2=0.156$ ,  $adjR^2=0.121$ ,  $D-W=1.698$

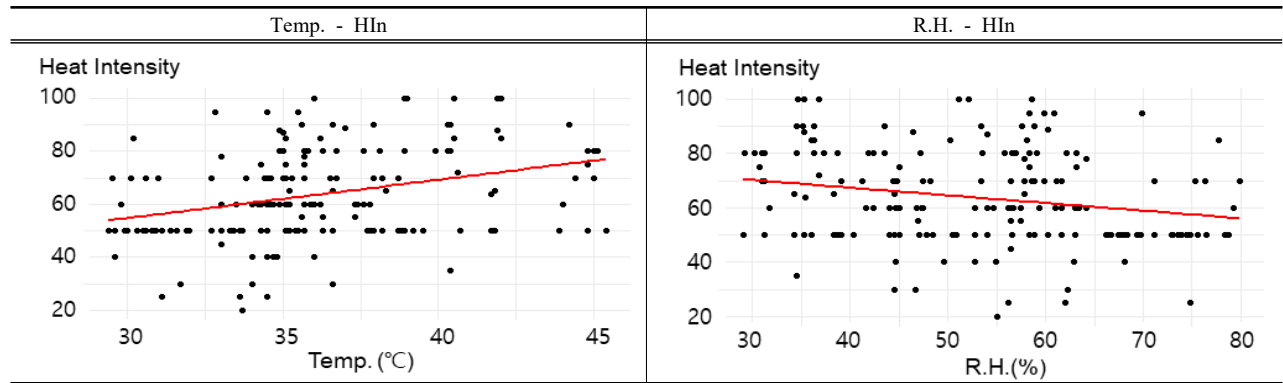


Fig. 4. Scatter Plot of HIn

Table 13. Regression Analysis Results of TCV

| Y   | X          | B      | S.E.  | $\beta$ | t      | p    | VIF   |
|-----|------------|--------|-------|---------|--------|------|-------|
| TCV | (Constant) | 14.001 | 4.244 |         | 3.299  | .001 |       |
|     | T          | -.243  | .059  | -.685   | -4.084 | .000 | 5.545 |
|     | R.H.       | -.048  | .018  | -.475   | -2.724 | .007 | 5.997 |
|     | Sex        | -.084  | .243  | -.031   | -.347  | .729 | 1.597 |
|     | Age        | .003   | .006  | .040    | .514   | .608 | 1.180 |
|     | Height     | -.002  | .016  | -.010   | -.094  | .925 | 2.139 |
|     | Weight     | -.001  | .011  | -.008   | -.078  | .938 | 1.994 |
|     | Clo        | 2.136  | 1.455 | .106    | 1.468  | .144 | 1.035 |

$F=3.600(p<0.001)$ ,  $R^2=0.128$ ,  $adjR^2=0.092$ ,  $D-W=1.944$

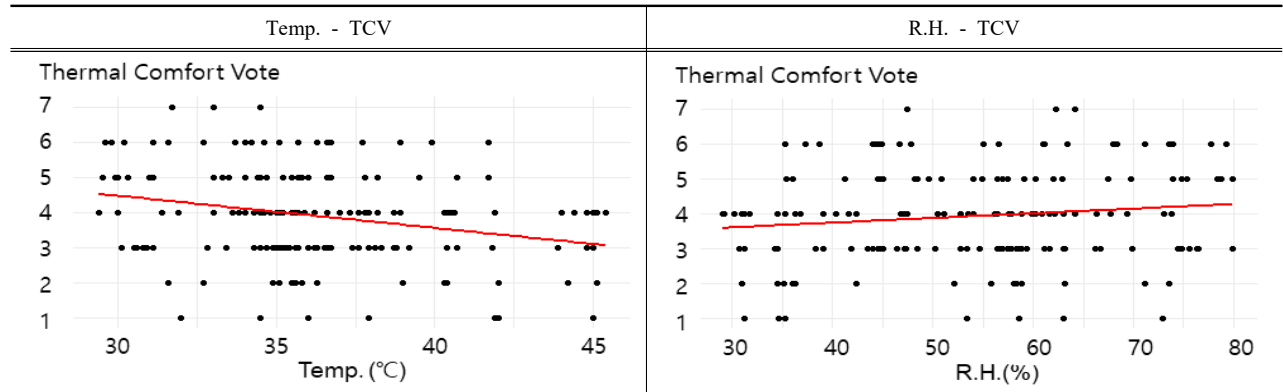


Fig. 5. Scatter Plot of TCV

Fig. 6과 Fig. 7은 측정데이터와 산출식을 통해 계산한 온열환경 평가지표(HI, DI, SAT, WBGT)와 인지적 수준에 대한 체감변수(TSV, AT, HIn, TCV)의 값을 표준화하여 기온과 상대습도에 대한 각각의 회귀선을 중첩한 그래프이다.

Fig. 6을 보면 네 개의 온열환경 평가지표는 지표에 따라 기울기의 차이는 보이고 있으나, 거의 유사한 수준의 값을 가진 것으로 확인된다. 네 개의 체감변수 중 TSV, AT, HIn 등의 변수는 기울기가 거의 동일한 수준으로 나타났으나, TCV 변수는 부(-)의 기울기를 보이고 있으며, 기울기가 가장 작은 것으로 나타났다.

기온의 경우 그래프상의 교차점을 기준으로 더 낮은 온도에서는 체감변수 쪽이 더 덜게 인지하는 것으로 나타났으나, 기준보다 높은 온도에서는 온열환경 평가지표보다 열환경에 대한 인지수준이 더 낮게 나타나는 것으로 확인되었다.

Fig. 7의 상대습도에 관한 표준화 그래프에서는 기온 그래프와 달리 4개의 온열환경 평가지표 간 기울기의 차이를 보이고 있으며, 모두 부(-)의 기울기를 보였다. 체감변수는 단순회귀분석결과 유의한 것으로 확인된 TSV, AT, HIn 등 3개의 변수만을 나타냈으며, 기울기의 차이가 거의 없이 부(-)의 기울기를 보였다.

상대습도의 경우 그래프 상의 교차점을 중심으로 더 낮은 상대습도에서는 온열환경 평가지표가 더 덜게 인지하는 것으로 나타났으나, 기준보다 높은 상대습도에서는 체감변수가 온열환경 평가지표보다 열환경에 대하여 더 덜게 인지하는 것으로 확인되었다.

결과적으로 기온과 상대습도의 경향성이 반대로 나타나는 것을 알 수 있었다. 특히, 기온의 기울기가 상대습도의 기울기보다 조금 크게 나타났다. 이와 같은 경향은 외부공간에서의 쾌적성은 상대습도보다 기온에 보다 민감하게 반응하기에 나타난 결과로 판단된다.

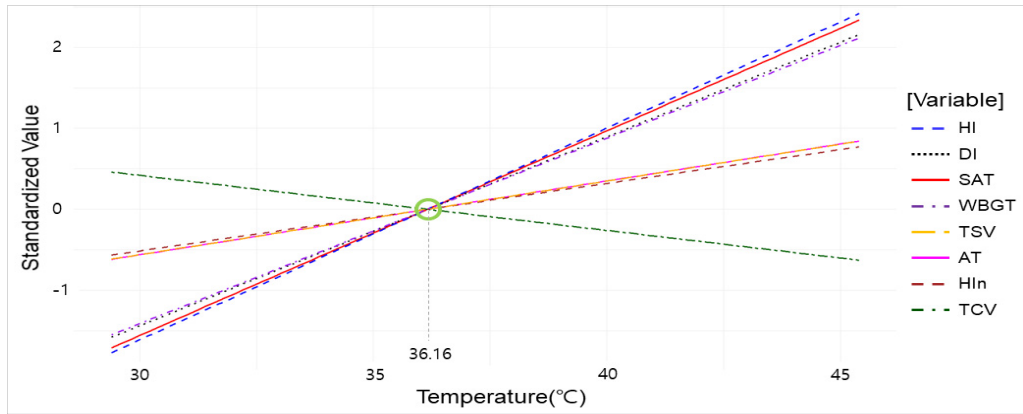


Fig. 6. Standardized graph of variables against temperature

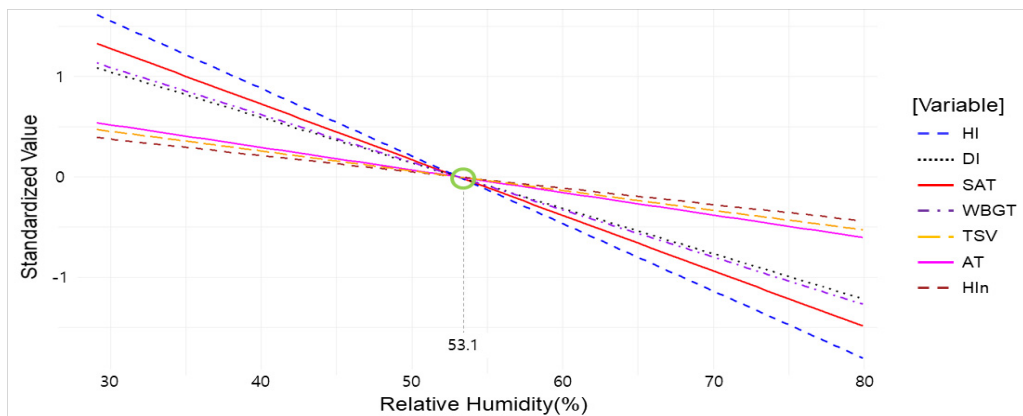


Fig. 7. Standardized graph of variables against relative humidity

## 5. 결론

본 연구는 우리나라의 폭염특보 기준과 실제 외부공간에서 시민들이 폭염을 인지하는 수준에서 발생하는 차이를 비교 검토하고자 수행되었다. 이를 위해 여러 국가에서 폭염특보의 기준으로 사용되고 있는 세 개의 지표와 현재 우리나라 기상청에서 활용 중인 여름철 체감지표 등 전체 네 개의 온열환경 평가지표를 선정하였다. 그리고 폭염에 대하여 사람들의 인지수준을 확인하기 위해서 네 개의 체감변수를 선정하였다. 온열환경 평가지표와 체감변수의 비교를 위하여 온열환경 평가지표가 다루고 있는 두 가지 물리량인 기온과 상대습도만을 대상으로 검토하였으며, 검토 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫 번째, 회귀분석 결과에 따르면 상대습도보다 기온이 온열환경에 대한 인지수준에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 다만, 체감변수 중 TCV에 대해서는 기온과 상대습도의 복합적인 작용이 영향을 주는 것을 확인하였다.

두 번째, 기온에 대한 온열환경 평가지표의 기울기는 평균 0.93이고, 체감변수의 기울기는 평균 0.33으로 큰 차이를 확인하였다. 즉, 체감변수는 온열환경 평가지표보다 열환경에 대한 인지수준이 더 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다.

세 번째, 온열환경 평가지표와 체감변수의 표준화를 통해 교차점을 확인할 수 있었다. 교차점은 기온 36.16℃, 상대습도 53.1%로 확인되는데, 두 가지 모두 기준 부근에서는 온열환경 평가지표와 체감변수가 유사한 값을 보였으나, 기준에서 점차 멀어지면서 온열환경 평가지표와 체감변수간의 차이가 더욱 벌어지는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 온열환경 평가지표는 계산식에 기반을 두어서 상대습도의 상승과 하강에 비례하는 지표값을 보이지만, 체감지표는 계산식이 아닌 인지적 수준에서 접근하는 값이기에 비례적이지 않은 경향을 보이는 것으로 생각할 수 있다.

본 연구는 온열환경 평가지표 기반의 폭염특보가 실제 외부에서 활동하는 시민들에게 어떠한 인식을 갖게 하는지 체감변수를 이용하여 그 차이를 비교 검토한 점에서 의의가 있다고 생각된다. 이러한 차이에 대하여 보다 다양한 연구가 넓은 범주에서 진행되고 유의미한 결과가 도출된다면 향후 폭염특보의 개선을 위한 밑거름이 될 연구가 될 것으로 기대된다.

폭염특보의 개선은 Kim et al. (2022)의 연구 결과에서도 제안되었듯이 우리나라 도시지역의 다양한 특성을 고

려하는 것이 필요하다고 생각된다. 또한 모든 사람의 특성과 특징을 반영하기는 어렵겠지만 사람들이 가지는 기후적응으로 인한 체감정도의 차이와 범위를 함께 검토할 필요도 있을 것이다. 그리고 같은 지역 내에서도 도심과 교외의 미기후에 차이가 있기에 폭염 피해에 대한 효과적인 예방을 위해서는 미시적인 관점에서 살펴볼 필요도 있을 것이다.

끝으로 본 연구는 폭염에 대한 평가를 위하여 새로운 체감평가 문항을 제시하고, 이를 정량적·정성적인 방법을 연계하여 통계학적으로 분석한 점과 함께 유사 연구 수행을 위한 기초데이터를 제공하는 관점에서 의미가 있을 것이다. 다만, 해당 연구 결과를 일반화하여 결론을 내리기에는 다소 불충분한 표본을 대상으로 진행되었다는 점이 한계로 보인다. 설문에 응답한 180명의 표본은 통계적인 타당성 확보에 충분한 것으로 파악되지만, 다른 평가지표의 도출 배경과 비교할 때는 부족한 숫자일 수 있기 때문이다. 이러한 한계는 향후 추가적인 연구를 통해 지속적으로 보완하고 개선되어야 할 부분으로 판단된다. 이를 위해 우선 본 연구 내용에 기반을 두어 지역의 폭염 대응을 위한 더욱 다양하고 많은 집단을 대상으로 체감변수에 관한 연구와 실증분석을 진행할 예정이다.

## 사사

이 논문은 행정안전부 도심환경을 고려한 폭염저감기술 최적화 개발연구 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2020-MOIS35-001 / RS-2020-ND629021).

## References

- Ahn TM, Lee JW, Kim BR, Yoon HS, Son SW, Choi Y, Lee NR, Lee JY, Kim HR. 2013. An analysis of thermal comforts for pedestrians by WBGT measurement on the urban street greens. *J Korean Inst Landsc Archit* 41(3): 22-30 (in Korean with English abstract). doi: 10.9715/KILA.2013.41.3.022
- Bae WG, Choi JH. 2021. Distribution characteristics of the residents' sensible temperature(ST) in the low-rise residential alley: For the area around Bon-dong, Dongjak-gu, Seoul, Korea. *J Korean Landsc Soc* 13(1): 46-69 (in Korean with English abstract). doi:

- 10.36466/KLC.13.1.4
- Budd GM. 2008. Wet-bulb globe temperature(WBGT)—Its history and its limitations. *J Sci Med Sport* 11(1): 20-32. doi: 10.1016/j.jsams.2007.07.003
- Choi JG. 2013. Proposal of the thermal comfort index in outdoor environment considering the characteristics of the domestic climate [master's thesis]. Sungkyunkwan University.
- Jeong JH, Oh BC. 2022. Assessing the effects of heatwave mitigation technology on outdoor thermal comfort: Cool pavement and grass block installments. *J Clim Change Res* 13(1): 23-32 (in Korean with English abstract). doi: 10.15531/KSCCR.2022.13.1.023
- Kang JY, Park BC, Heo JB, Kim KW. 2021. Applicability of heat index for effective heatwave response. *J Korean Soc Hazard Mitig* 21(4): 23-30 (in Korean with English abstract). doi: 10.9798/KOSHAM.2021.21.4.23
- Kim DW, Yeom WS, Song JI, Ahn JH, Kim TW. 2022. Development of heatwave crisis alert standard for administrative districts using heatwave risk index. *J Korean Soc Hazard Mitig* 22(5): 47-58 (in Korean with English abstract). doi: 10.9798/KOSHAM.2022.22.5.47
- Kim KJ. 2011. The quantitative examination on the improvement of the urban thermal environment of the building and land planting [master's thesis]. Pusan National University.
- Korea Meteorological Administration. 2022. Heat index climate statistics analysis; [accessed 2022 Jul 2]. <https://data.kma.go.kr/climate/heatIndex/selectHeatIndexChart.do?pgmNo=101>
- Nakano J. 2016. New concept of thermal comfort required for the ZEB era. *Trans Soc Heating, Air Condit Sanit Eng Jpn* 90(5): 329-334.
- Park JG, Jeong WS, Kim EB. 2008. A study on development of the extreme heat standard in Korea. *J Korean Environ Sci* 17(6): 657-669 (in Korean with English abstract). doi: 10.5322/JES.2008.17.6.657
- Park KJ. 2022. The effect of thermal comfort factors in forest therapy setting on emotion and physiological responsiveness [doctoral dissertation]. Chungbuk National University.
- Park SA, Kong HY, Kim SH, Park SM, Shin YK. 2016. Characteristics of thermal variations with the different land covers in an urban area. *Eco Resil Infrastruct* 3(1): 46-53 (in Korean with English abstract). doi: 10.17820/eri.2016.3.1.046
- Ryu JH, Hong WH, Won AN. 2022. Characteristics analysis of occupants' thermal comfort according to thermal sensation expression vocabulary of questionnaire. *J Korean Hous Assoc* 33(1): 63-73 (in Korean with English abstract). doi: 10.6107/JKHA.2022.33.1.063
- Thom EC. 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12(2): 57-61. doi: 10.1080/00431672.1959.9926960