

폭염저감기술에 따른 외부공간의 기온 저감에 대한 연구1) - 쿨링포그의 더위 저감효과 검증을 위한 실증실험 -

정주희* · 오병철**†

*(재)국제기후환경센터 연구개발실 전문연구원, ***(재)국제기후환경센터 연구개발실 실장

Assessing the Effects of Heat Wave Mitigation Technology on Outdoor Thermal Comfort - Empirical Experiment to Verify the Effect of Cooling Fog -

Jeong, JuHee* and Oh, ByoungChull**†

*Research Fellow, R&D Bureau, International Climate & Environment Center, Gwangju, Korea

**Director, R&D Bureau, International Climate & Environment Center, Gwangju, Korea

ABSTRACT

To provide Social Overhead Capital (SOC) for daily human lives, local governments are preparing various measures against heat waves, such as supplying Heat Wave Mitigation Facilities and supporting the vulnerable. Cooling Fog is a recent trend of Heat Wave Mitigation Facilities, but South Korea has limited data on reducing body temperature through direct application of cooling matter on the body, and most research on Cooling Fog has addressed technical aspects. In this study, to confirm the effect of Cooling Fog on the human body, experiments were conducted. First, the change of environmental factors in the space around the Cooling Fog was compared with an unaffected area. Second, a survey was conducted targeting people who use Cooling Fog to review its sensory effects. Finally, the effect of Cooling Fog was quantitatively verified by linking and analyzing related data. The air temperature and radiation temperature were lower in the area of Cooling Fog, but humidity was high. The sensory survey confirmed that Cooling Fog produced a sensation of cooler temperature compared to the area without Cooling Fog, as assessed using Thermal Sensation Vote (TSV), Heat Score, and Apparent Temperature (AT). In addition, the area of Cooling Fog was reported to have higher Thermal Comfort than the area without.

Key words: Thermal Comfort, Heat Wave Mitigation Technology, Cooling Fog, Apparent Temperature, Thermal Sensation Vote, Comfortable Sensation Vote

1. 서론

사전적 의미에서의 ‘폭염(暴炎)’은 매우 심한 더위를 나타내는 말로써 90년대에는 단순히 여름철의 더위로 인식되었다. 그러나 2010년대부터 폭염이 인체에 미치는 위험성이 주목받으면서 대책 마련에 대한 요구가 증가하였다. 특히, 2018년의 기록적인 폭염 이후에는 국가재난 수준으로 대응해야 한다는 의견이 제시되었다(Lee, 2020). 이는 폭염이 기후변화로 인한 재해 중 시간 흐름에 따라 피해가 가장 크게 증가하는 기상재해로 보고되기 때문이다(Baek and Kwon, 2021).

근래에 들어 지구온난화에 따른 이상기후로 폭염의 강도가 높아지면서 미국, 영국, 일본 등 선진국에서는 폭염으로 인한 피해를 경감시키기 위하여 구조적, 비구조적 대책을 마련하여 시행하고 있다(Yoon et al., 2014). 우리나라에서도 2008년부터 기상청에서 폭염특보를 발령하고, 2018년에는 자연재난으로 지정해 폭염피해를 예방하고 경감할 수 있는 법안을 마련하는 등 폭염피해를 줄이기 위한 제도를 도입하여 시행하고 있다. 그리고 많은 지방자치단체에서는 생활 SOC (Social Overhead Capital; 사회간접자본) 측면에서 지역 내 폭염저감시설을 공급하고, 취약계층

†Corresponding author : obc9999@gmail.com (61954, International Climate & Environment Center, 181, Cheonbyeonwuharo, Gwangju, Korea. Tel. +82-62-601-1320) ORCID 정주희 0000-0002-0346-0614 오병철 0000-0001-7869-766X

1) 본 연구는 「폭염저감기술에 따른 외부공간의 기온 저감에 대한 연구 Part1」의 연속연구임.

Received: February 3, 2023 / Revised: March 6, 2023 1st, March 27, 2023 2nd / Accepted: April 14, 2023

을 지원하는 등 다양한 폭염대책을 마련하고 있다.

폭염저감시설은 크게 열을 차단하거나 열을 낮추는 형태로 구분할 수 있을 것이다. 열 차단은 복사열이나 직사광선 등을 차단하여 대상 혹은 구조체 등의 열 상승에 저항을 주는 것으로 이해할 수 있다. 예를 들어 그늘막, 쿨루프, 쿨페이브먼트 등이다. 열 낮추는 이미 상승된 열을 낮추는 것으로 이해할 수 있다. 예를 들어 쿨링로드(도로살수), 쿨링포그, 송풍팬 등을 들 수 있다. 이 중에서 쿨링포그(Cooling Fog)는 미세 물방울을 대기 중에 안개처럼 직접 분사하여 대상 공간의 기온을 낮추고 보행자들에게 열적 쾌적감을 제공하고자 이용되는 시설이다. 대기 중 분무 된 물의 입자가 확산하여 인체의 피부에 닿으면 피부 표면의 열을 흡수하여 기화되면서 시원함을 느낄 수 있으며 열 쾌적성 향상을 기대할 수 있다. 물 입자는 0.5mm 이하의 미세입자로 분사되어 옷이나 가방 등이 젖음이 적으며, 분사되는 속도 및 주변 기류 등으로 인하여 공간에 확산되기에 보행자의 즉효성 있는 열 저감효과를 느낄 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 쿨링포그가 공간 내 습도 증가를 야기하며 불쾌지수를 높일 수 있다는 문제도 제기되고 있다.

쿨링포그의 성능 혹은 효과에 관한 연구는 아직 활발하게 진행된 상태는 아닌 것으로 파악된다. 주요 연구를 보면 쿨링포그 시설을 개발하거나 작동을 위한 기술적인 측면에 주목한 연구들이 확인되고 있다. 예를 들어 쿨링포그의 노즐 크기 및 개수, 영향범위 등에 관한 연구들이다. 쿨링포그 시설의 효과에 관한 연구도 일부 확인된다. Kim et al.(2015)은 쿨링포그 시설의 미세 물 입자 분사량에 따라 해당 공간의 기온 감소 및 냉각 효과에 대해서 시간대와 일사량에 따라 확인하였다. 그 결과로서 쿨링포그 시설이 더위에 대응할 수 있는 최적의 대안이라고 평가하였다.

한편, 폭염저감 시설은 시설이 가진 본연의 성능도 중요하지만, 시설을 가동했을 때 이용자의 열적 불쾌감이 얼마나 해소 가능한지도 중요할 것이다. 그러나 쿨링포그 시설이 인체에 더위 저감효과나 신체의 체감효과에 미치는 영향을 검토한 연구 결과는 아직까지 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구는 쿨링포그 시설 가동이 불특정 다수 이용자의 대한 더위 저감효과 및 체감효과에 미치는 영향에 주목하였다. 연구는 우선, 쿨링포그 시설이 설치되어 있는 외부공간을 대상으로 쿨링포그 시설 가동 시, 해당 공간의 환경요인 변화에 대한 데이터를 수집 및 분석함으로써 쿨링포그의 효과를 검토하였다. 이와 함께 쿨링포그 시설의 이용자들을 대상으로 설문조사를 수행하여 쿨링포그가 주는 체감효과를 검토하였다. 최종적으로 환경요인 변화 데이터와 설문조사 결과를 종합 분석하여 쿨링포그 시설 유무에 따른 이용자의 체감효과를 정량적으로 검토하였다.

2. 선행연구

Yamada et al.(2008)은 외부공간에 설치된 쿨링포그 시설이 주변의 기온변화에 영향을 미칠 것으로 생각했다. 이를 확인하기 위하여 실험실 내 쿨링포그를 설치하고 쿨링포그 시설의 물 입자 크기와 분사 노즐 수(數)가 실험실 내의 기온변화에 미치는 영향을 검토하였다. 그 결과로 물 입자의 크기는 기온변화에 미치는 영향이 크지는 않았으나, 노즐 수가 많아 물 입자가 많이 분무 될수록 기온이 감소하는 것으로 나타나 쿨링포그 시설을 설치할 때 해당 공간에 많은 노즐을 설치하여 물 입자를 많이 분무하는 것이 중요하다는 것을 확인하였다. 이와 함께 실험실 조건이 아닌 외부공간에서 쿨링포그의 기온 저감효과 확인이 필요하다는 것을 제안하였다.

Kim et al.(2016)은 토지피복의 유형에 따라 쿨링포그의 효과가 다르게 나타날 것이라는 점에 착안하여 연구를 수행하였다. 연구는 우선, 직접 제작한 이동식 쿨링포그 기기를 이용하여 외부공간에서의 주변 열 환경변화를 측정하였다. 다음으로 미기상 요소를 활용한 열쾌적 지표를 도출하여 세 가지 토지피복(콘크리트, 불투수 포장, 잔디) 환경에 따른 쿨링포그 기기의 내·외부의 기온변화를 측정 및 비교하였다. 그 결과로서 쿨링포그는 불투수 포장 유형에서 효과가 가장 높게 나타난다고 보고했다. 다만, 연구에 활용된 대부분의 케이스는 직달일사 하에서 진행되었으나, 하나의 케이스에서 잔디와 그늘이 병행된 조건이 있어 외부환경을 일관성 있게 통제하며 연구가 진행되었다고 평가하기에는 어려움이 있을 것으로 사료된다.

Kim et al.(2020)은 쿨링포그의 온도 저감효과를 정량적으로 확인하고자 바닥면을 인공피복과 녹지로 설정한 실내 공간(챔버)과 실외공간(Pilot Test)을 조성하였다. 해당 조건에서 쿨링포그를 작동하여, 각각의 공간에서의 기온변화를 열화상카메라로 촬영하였다. 그 결과 녹지피복보다 인공피복에서의 기온 저감효과가 크게 나타나는 것을 확인했다. 또한 Pilot Test 공간보다 챔버공간에서 기온 저감효과가 더 크게 나타난다는 특징도 확인했다. 해당 연구는 열화상을 이용하여 표면온도만을 대상으로 하여 기류, 습도 등의 다른 환경요인을 고려하지 않았다는 한계가 있다.

Kim et al.(2021)은 쿨링포그의 분사 노즐의 종류와 분사 방식에 따른 온도감소 효과를 검토하기 위해 실내·외 실험 연구를 수행하였다. 연구에서는 온도, 습도, 기류 등 다양한 환경요인을 측정하였으며, 측정된 데이터를 바탕으로 불쾌지

수와 체감온도를 계산하여 비교하였다. 연구 결과, 쿨링포그를 가동할 때 불쾌지수가 소폭 낮아졌으며 식을 통해 도출된 체감온도는 크게 낮아진 것을 확인하였다. 다만, 불쾌지수는 기온과 습도를, 체감온도는 기온과 기류만을 고려한 온열체감지표이기에 쿨링포그의 효과를 종합적으로 검토하기에는 한계가 있다.

Ulpiani et al.(2020)은 지역적 특성에 따른 쿨링포그 시설의 표준화를 위하여 미기상이 쿨링포그 성능에 미치는 영향을 검토하였다. 연구 결과, 쿨링포그의 성능은 일사량과는 음의 상관관계(기온 저감효과 하락)를 보였으며, 반면, 기류와는 양의 상관관계(기온 저감효과 상승)를 보이는 것으로 나타났다. 그러나 너무 강한 기류가 발생하면 쿨링포그 성능에 부의 효과가 나타나는 것을 확인하였다. 이것은 강한 바람은 해당 공간에 분사된 가벼운 물 입자를 다른 공간으로 빠르게 확산시키기에 쿨링포그 시설의 주변 공간의 기온 저감효과가 크지 않다고 추정하였다.

선행연구를 종합하면 대부분 쿨링포그 시설 자체에 대한 연구(물 입자 크기, 노즐 수, 위치 등)가 주를 이루고 있었다. 일부 환경요소 등을 고려한 연구는 단순히 온도 저감 효과에 주목하여 열화상 측정을 통한 공간분석이나 환경요인을 측정하여 식을 활용한 평가 연구들로 확인된다. 내용적으로는 쿨링포그 시설이 주변 기온과 복사온도를 낮추지만, 습도를 높인다는 것을 알 수 있다.

폭염 시 기온을 낮춘다는 것만으로도 쿨링포그 시설은 의미가 있을 것이다. 다만, 습도가 높아져서 이용자의 불쾌감이 증가할 것이라는 점이 주목받는 실정이다. 이는 쿨링포그처럼 물방울 입자를 이용하는 시설뿐만 아니라 도로 살수 등 물을 이용하여 폭염현상을 물리적으로 대응하는 시설이나 방안 등에서 나타나는 공통된 문제이기도 할 것이다. 이 때문에 일부 지자체에서는 해당 시설이나 정책에 예산을 투입했음에도 불구하고 활용을 주저하는 사례도 있다. 이와 같은 상황을 개선하기 위해서라도 폭염저감시설 혹은 폭염저감방안/대책 등에 대하여 실제 체감하는 사람들이 가지는 만족도에 대하여 조사, 분석 및 평가는 중요한 의미가 있을 것이다.

3. 연구방법

3.1. 연구설계

본 연구의 목적은 쿨링포그 시설의 기온 저감효과를 정

량화하는 것에 있다. 정량화를 위하여 환경요인에 대한 측정과 체감조사를 병행하였다. 그 후, 측정 및 조사된 데이터를 이용하여 쿨링포그 시설 유무에 따른 주변 공간의 환경요인 변화를 확인하고, 체감효과를 분석하였다. 연구의 전반적인 진행 내용과 과정을 Fig. 1에 나타낸다.

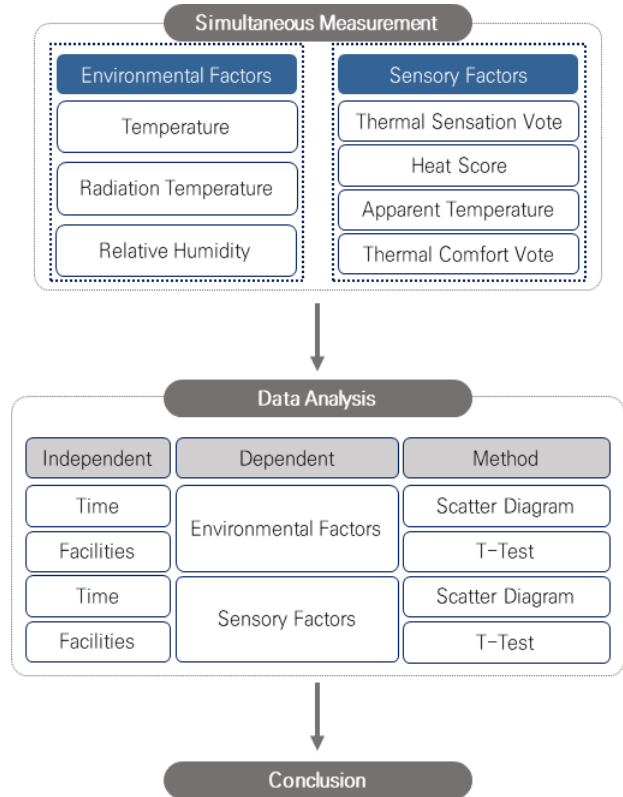


Fig. 1. Flowchart of Research

3.2. 세부방법

쿨링포그 시설의 효과를 비교하기 위해 쿨링포그 시설에 인접한 Spot A와 쿨링포그 시설의 영향을 받지 않는 Spot B를 선정하였으며, 각 Spot에는 주변 환경요인을 측정하기 위하여 측정기를 설치하였다. Spot B의 위치는 Kim et al.(2016)의 연구를 참조하여 쿨링포그 시설로부터 2m 이상 떨어진 지점으로 선택했다. 더불어 자동차의 인공배열 영향도 회피하고자 주차장에서 떨어진 지점을 선정하였다(Fig. 2 참조). 다만, Spot A와 Spot B를 공간적으로 필요 이상 이격하는 경우 환경요인의 값이 크게 차이가 날 수 있기에 Spot A와 Spot B에 대해서 약 15m를 이격하여 가능한 유사한 기온, 습도, 복사온도, 그리고 기류 등의 환경이 조성된 상태에서 연구를 진행하였다.

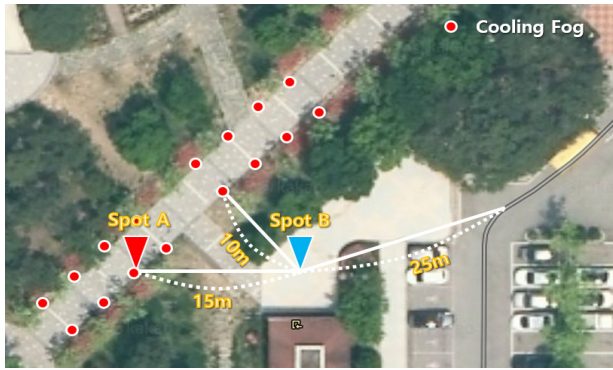


Fig. 2. Measurement Area (Sangmu Citizens Park in Gwangju)

환경요인의 측정은 Spot A, Spot B에서의 동일한 시간대를 대상으로 동일한 측정기기를 이용하여 진행하였다. 측정기기는 TESTO 400을 활용하였으며, 측정한 환경요인 항목은 기온(Temperature; 이하 Temp.), 복사온도(Radiant Temperature; 이하 R.T.), 상대습도(Relative Humidity; 이하 R.H.), 기류(Wind Speed; 이하 W.S.) 등이다. 측정일시는 2022년 8월 19일, 10:00 ~ 14:00시 이다 (Table 1 참조). Spot A, Spot B에서의 토지피복은 유사한 복사온도가 발생하도록 콘크리트 블록으로 피복되어 있는 장소를 선정하였다.

Table 1. Details of Measurement Overview

Assortment	Detail
Date	2022. 08. 19. 10:00 ~ 14:00
Location	Gwangju Metropolitan City, Sangmu Citizens Park
Object	Condition of Spot A and Spot B
Device	TESTO 400
Land Condition	Concrete



[Spot A]



[Spot B]

체감조사 내용은 Jeong & Oh (2022)의 연구를 바탕으로 리커트 척도를 수정하여 조사에 활용하였다. 본 연구에서 활용한 변수는 온열민감도(Thermal Sensation Vote; 이하 TSV), 온열쾌적감(Thermal Comfort Vote; 이하 TCV), 체감온도(Apparent Temperature; 이하 AT)이다. TSV와 TCV는 기존 연구에서 리커트 척도를 수정하여 각 7점 척도로 조사를 수행하였으며, 체감온도는 해당 연구와 동일하게 주관식으로 조사하였다.

한편, 본 연구에서는 Jeong & Oh (2022)에서 제시하고 있는 체감조사변수와 함께 주관적인 더위강도점수(Heat Score)를 추가하여 조사하였다. 더위강도점수는 TSV 분석을 보완하고자 구성된 문항으로 더위에 대하여 0점부터 100점까지 구분하여 응답자가 느끼는 더위 강도를 세부적으로 조사하였다. 변수의 세부내용은 Table 2와 같다.

Table 2. Research Variable

Variable	Detail
TSV	Cool, Slightly Cool, Neutral, Slightly Warm, Warm, Hot, Very Hot
Heat Score	Short Answer (point)
AT	Short Answer (℃)
TCV	Very Uncomfortable, Uncomfortable, Slightly Uncomfortable, Neutral, Slightly Comfortable, Comfortable, Very Comfortable

4. 연구결과

4.1. 쿨링포그에 의한 환경요인 변화 분석

Spot A와 Spot B에서 측정된 환경요인(온도, 복사온도, 기류, 상대습도)의 변화는 Fig. 3과 같다. 데이터는 1분 단위로 수집하여, 10시부터 14시까지 4시간 동안 측정하였다. 결과를 보면 산점도 그래프에서 기온과 복사온도는 Spot B가 Spot A보다 더 높게 나타났으며, 상대습도는 Spot A가 더 높게 나타나 선행연구와 유사한 결과를 확인할 수 있었다. 기류의 경우, 측정일의 기상청 데이터를 보면 해당 지역의 평균 풍속이 2.1 m/s로 확인되지만, Spot A와 Spot B에서의 측정된 기류는 평균 풍속이 0.1 m/s 이하로 나타나 보퍼트풍력계급 상 고요한 기류 상태를 알 수 있다. 이로 인하여 Spot A에서는 Ulpiani et al.(2020)의 연구 결과와 같이 쿨링포그에서 분사된 물 입자가 기류의

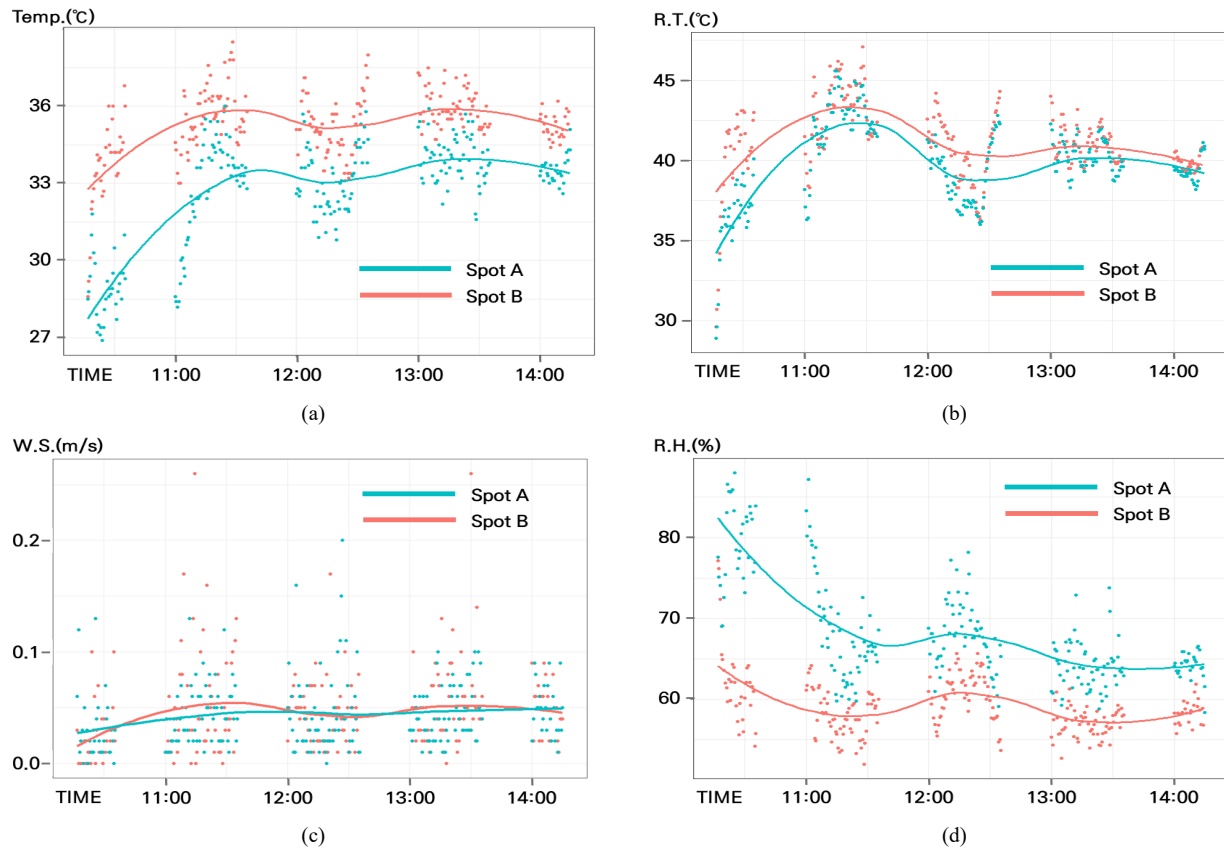


Fig. 3. Scatter Plot of Environmental Factors

영향을 거의 받지 않고 확산되면서 주변 공간의 기온과 복사온도를 낮추었다고 추정할 수 있다. 다만, 산점도 그래프를 보면 쿨링포그의 물 입자가 기온변화에 주는 영향은 크지만, 복사온도에 주는 영향이 크지 않다는 것을 알 수 있다.

Table 3은 Spot A와 Spot B의 기온, 복사온도, 기류, 상대습도의 평균값을 T-test로 비교한 값을 나타낸 것이다. 비교 결과, 기온, 복사온도, 상대습도 등의 요소는 모두 유의미한 차이를 보이는 것이 확인되었다. 기류는 쿨링포그 가동 유무에 따른 영향에 의미를 두는 것보다 측정 시 Spot A와 Spot B에 유사한 수준의 기류가 형성되어 있다는 점을 확인하는 것이 중요하다. 왜냐하면 Spot A와 Spot B에서 기류 차이가 크게 발생한다면 각 Spot에서의 기온, 복사온도 등의 변화 원인이 쿨링포그 가동 때문인지 기류 때문인지 불분명해지기 때문이다.

이와 같은 내용에 기반을 두어 환경요인의 변화에 대하여 분석해 보면 기온의 평균값은 Spot A에서 32.73℃,

Spot B에서 35.30℃를 나타내 Spot B가 2.57℃ 더 높았다. 상기한 기류 특성과 연동하여 Spot A의 기온이 Spot B보다 낮게 나타나는 점에 대하여 검토해 보면 우선 두 지점의 기류 차이가 거의 없는 상태이기에 기류가 기온 저감에 미치는 영향은 적거나 동일한 수준이라고 추측할 수 있다. 즉, 측정 공간의 기온에 영향을 줄 수 있는 주요 요인이 적절히 통제된 상태이기에 Spot A의 기온 저감은 쿨링포그 시설 가동에 따른 영향이 지배적이라고 추정할 수 있다. 복사온도의 경우 Spot A에서 39.83℃, Spot B에서 41.17℃로 Spot B가 1.34℃ 더 높게 나타났다. 상대습도는 Spot A는 68.19%, Spot B는 59.02%로 Spot A의 습도가 Spot B보다 9.17% 더 높게 나타나 쿨링포그의 물 입자가 공간에 확산되어 있는 것이 확인된다. 이와 같은 결과는 실제 외부공간에 설치되어 있는 쿨링포그 시설에서도 선행연구의 실험 결과들을 양호하게 재현하고 있다고 판단할 수 있다.

Table 3. T-test Results for Environmental Factors

Dependent	Group	Samples	Mean	Std.	t
Temp.	Spot A	238	32.73℃	2.07	-16.08***
	Spot B	238	35.30℃	1.34	
R.T.	Spot A	238	39.83℃	2.59	-5.84***
	Spot B	238	41.17℃	2.40	
W.S.	Spot A	238	0.043 %	0.03	0.45
	Spot B	238	0.045 %	0.03	
R.H.	Spot A	238	68.19%	6.59	19.05***
	Spot B	238	59.02%	3.44	

p* <.05, p**<.01, p***<.001

4.2. 설문조사를 통한 체감효과 분석

쿨링포그의 설치목적은 주변의 기온 저감을 통해 보행자가 느끼는 더위를 저감하는데 있다. 물론 사람들이 체감하는 더위는 기온 이외에도 기류(풍속), 습도, 복사온도, 대사량, 의복 등 다양한 요소가 복합적 작용함에 따라 결정된다. 전술한 4.1절 결과를 통해 쿨링포그 시설이 기온은 낮추지만, 습도를 증가시키는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 동일한 기온에서도 습도가 증가하면 더 많은 더위와 불쾌감을 느낀다. 이에 따라서 쿨링포그 시설 가동에 따라 증가한 상대습도가 인체의 체감에 어떠한 영향을 주는지 확인할 필요가 있다.

체감효과 분석에서는 4.1절에서 쿨링포그 시설에 의해 유발된 환경요인 변화를 인체가 어떻게 ‘체감’하는지에 주목하였다. 이에 본 절에서는 쿨링포그 시설에 의해 증가한 상대습도가 이용자의 온열쾌적감에 미치는 영향력을 실증하는 것에 그 목적을 두었다.

4.2.1. 설문조사 기초통계분석

설문조사 결과 분석은 SPSS 26을 통해 이루어졌으며, 전체 102명의 표본 중 쿨링포그 시설이용자는 63명, 대조군은 39명이다. 성별, 연령대별 분포의 차이를 카이제곱분석을 통해 확인하였으며, 쿨링포그와 대조군 사이의 분포 차이는 유의하지 않는 것으로 나타났다. 남성보다 여성 응답비율이 더 높았으며, 주로 응답한 연령대는 40대 이상으로 나타났다.

Table 4. Distribution of Data

(unit: person(%))			
Assortment		Spot A	Spot B
Gender	Male	18 (28.6)	16 (41.0)
	Female	45 (71.4)	23 (59.0)
Age	under 20	2 (3.2)	0 (0.0)
	above 20 ~ under 30	10 (15.9)	4 (10.3)
	above 30 ~ under 40	8 (12.7)	3 (7.7)
	above 40 ~ under 50	8 (12.7)	11 (28.2)
	above 50 ~ under 60	14 (22.2)	9 (23.1)
	above 60	21 (33.3)	12 (30.8)
Total		63	39

4.2.2. 체감효과 결과

설문조사에 따른 Spot A와 Spot B에서 체감요인(TSV, Heat Score, AT, TCV)의 변화는 Fig. 5와 같다. 설문조사 특성상 환경요인 데이터와 달리 불연속적인 데이터 형태로 수집하였다. 그래서 이를 연속화하기 위해 설문조사 시, 설문 시간을 기재하여 시간의 흐름에 따른 체감요소 변화와 환경요인 데이터의 측정시간 별 변화와 매칭하였다.

조사는 온열감에 대한 설문 문항 3개와 쾌적감에 대한 문항 1개로 구성하여 진행하였다. 온열감의 경우 TSV, Heat Score, 그리고 AT를 확인하였으며, 그 결과, 3개 변수 모두 Spot A가 Spot B보다 더 시원하게 느끼는 것으로 나타났다. 그러나 체감온도의 경우 Spot A와 Spot B에서의 차이가 가장 적은 것으로 나타났다. 쾌적감은 Spot A가 Spot B보다 더 편안한 것으로 확인되며, 시간의 흐름에도 차이가 거의 유사하게 유지된 것으로 보인다.

Table 5는 Spot A와 Spot B에서 TSV, Heat Score, AT, TCV의 평균값을 T-test로 비교한 값이다. 비교 결과, 네 가지 요소 모두 그 차이가 유의미한 것으로 확인되었다. TSV의 평균값의 경우 Spot A는 2.90점, Spot B는 4.95점으로 Spot A는 평균적으로 ‘Neutral’ 상태임에 반해 Spot B에서는 ‘Warm’ 상태가 확인되었다. Heat Score는 Spot A에서 54.75점, Spot B에서 68.87점으로 Spot B가 14.12점 더 높았다. AT는 Spot A에서 27.83℃, Spot B에서 30.95℃로 Spot B가 3.12℃ 더 높았다. 마지막으로 TCV는 Spot A에서 4.81점, Spot B에서 3.67점으로 Spot A에서는 평균적으로 약간 편안했지만, Spot B에서는 약간 불편한 것으로 나타났다.

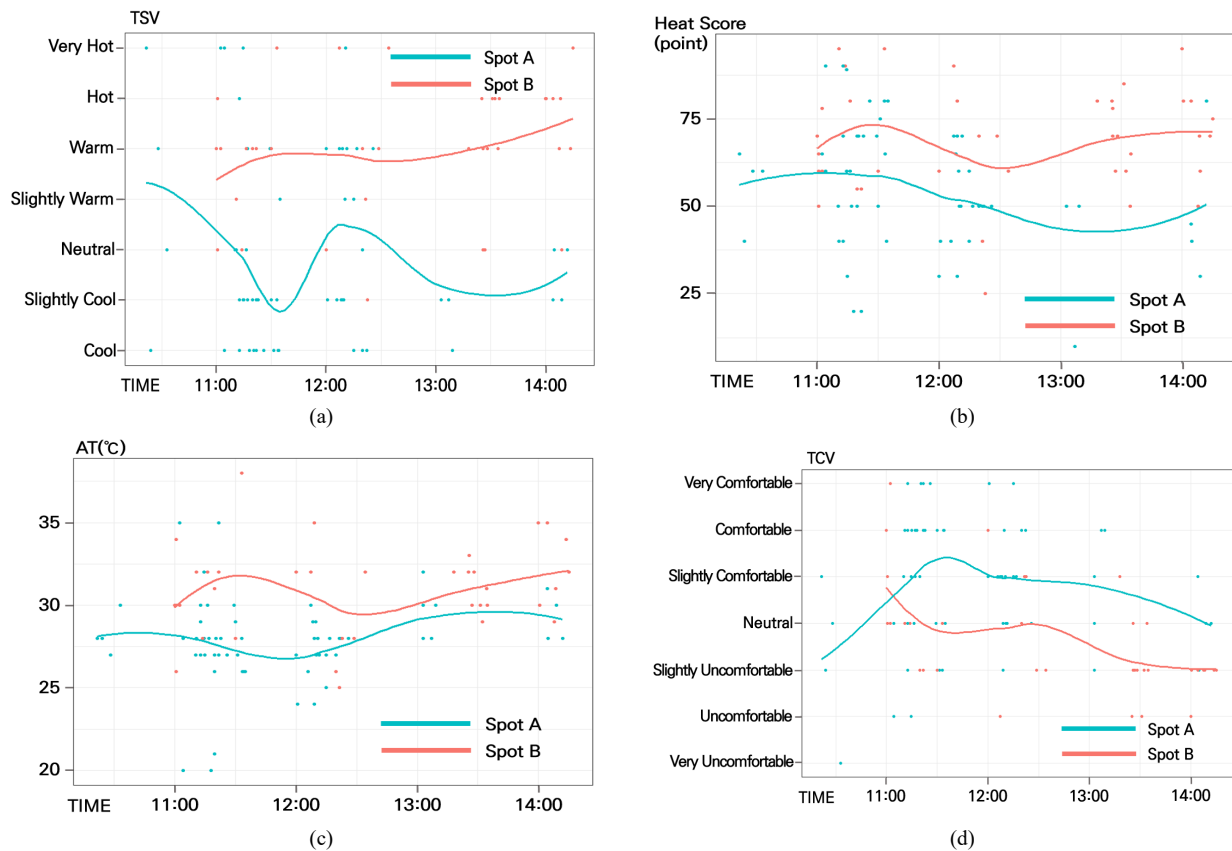


Fig. 5. Scatter Plot of Sensory Factors

정리하면, 쿨링포그 시설의 가동에 따라 이용자들은 해당 공간에서 더욱 시원하고 편안하게 느끼는 것으로 판단할 수 있었다. 특히, 본 연구와 같이 외부환경 조건을 가능한 동일한 범위로 통제된 상태에서 이용자들은 쿨링포그 시설 가동에 따른 공간 내 환경요인 변화에 대해서 민감하게 느낀다는 것을 추정할 수 있었다. 또한 공간 내 습도의 증가가 이용자의 쾌적감에 미치는 영향에 주목하였으나, 습도 증가에 따른 불쾌감은 거의 없어 영향이 낮은 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 조건에 한해서는 쿨링포그 가동이 불쾌감보다 쾌적감 향상에 도움이 되는 것으로 판단할 수 있다고 생각된다. 여름철 상대습도의 쾌적 범위는 20~60%이지만, 이 범위는 환경요인을 통제할 수 있는 실내 공간에서 제안되는 쾌적 범위이다. 즉, 통제하기 곤란한 다양한 환경요인이 작용하는 외부공간에서는 인체의 쾌적 범위가 다르게 나타날 수 있다는 시사점을 도출할 수 있다. 이에 대해서 향후 추가적인 연구가 필요할 것이다.

Table 5. T-test Results for Sensory Factors

Dependent	Group	Samples	Mean	Std.	t
TSV	Spot A	63	2.90	1.83	-6.59***
	Spot B	39	4.95	1.30	
Heat Score	Spot A	63	54.75	17.89	-4.08***
	Spot B	39	68.87	15.41	
AT	Spot A	63	27.83	2.63	-5.79***
	Spot B	39	30.95	2.67	
TCV	Spot A	63	4.81	1.35	4.40***
	Spot B	39	3.67	1.13	

p* <.05, p**<.01, p***<.001

5. 결론

본 연구는 쿨링포그 시설의 더위 저감효과를 정량적으로 확인하고자 수행하였다. 더위 저감효과의 측정변수는

환경요소(기온, 복사온도, 기류, 습도)와 체감요소(TSV, Heat Score, AT, TCV)로 구분하였다. 쿨링포그 시설의 효과를 확인하기 위하여 쿨링포그 인근의 Spot A와 대조군으로 쿨링포그 시설의 영향을 받지 않는 Spot B를 설정하였으며, 대상공간의 조건을 가능한 동일하게 통제하여 데이터를 수집하였다. 체감효과의 분석을 위한 설문조사도 Spot A와 Spot B에서 동일한 방법으로 수행하였다. Spot A와 Spot B에서 확보된 데이터는 시간대별 산점도의 변화를 통해 확인하였으며, 독립표본 T-test를 수행하여 비교 분석하였다. 그리고 분석결과를 통해 쿨링포그 시설 가동에 실제 이용자에 어떠한 영향을 미치는지 확인하였다.

연구 결과를 종합하면 다음과 같다. 첫 번째, 기온은 Spot A와 Spot B의 차이가 2.57℃로 확인되었으며, AT는 3.12℃로 거의 유사한 차이를 나타냈다. 두 번째, 습도는 Spot A가 Spot B 보다 9.17% 높게 나타났지만 체감조사 결과를 보면 해당 차이가 쿨링포그 시설을 이용하는 사람들의 불쾌감에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 보인다. 세 번째, 쿨링포그 시설은 환경요소적인 측면과 체감요소적인 측면 모두에서 양호한 효과가 있는 것을 확인할 수 있었다. 네 번째, 설문조사 결과는 Spot A에서 습도가 높아짐에도 불구하고 온열쾌적감이 더 높은 것으로 나타났다.

본 연구는 쿨링포그 시설이 설치되어 있는 실제 외부공간을 대상으로 쿨링포그 가동에 따른 주변 환경 변화와 인체의 쾌적감 변화를 조사하고자 진행하였다. 실제 외부공간을 대상으로 하고 있기에 현실적으로 통제와 조작이 어렵다는 문제가 있다. 이를 극복하기 위하여 유사(준)실험설계(Quasi-experimental Design) 방법을 활용하였다. 주요 내용으로 쿨링포그 시설의 유무에 따른 영향을 확인하기 위하여 환경요인 변화에 영향을 줄 수 있는 변수를 가능한 범위에서 통제하여 진행하고자 하였다. 우선 풍속(기류)의 영향을 최대한 회피하고자 쿨링포그 시설의 설치 지점과 미설치 지점은 가능한 인접한 공간에 선정하여 유사한 풍속 조건에서 연구를 진행하였다. 직달일사와 반사일사에 대해서도 측정 공간의 상부 및 하부의 조건을 동일하게 선정하였다. 기타 자동차 등의 인공배열 영향도 통제하고자 관련 시설과의 이격한 거리를 선정하였다.

물론 유사(준)실험설계 방법을 선택하였기에 환경요인에 대하여 적극적으로 통제가 가능한 연구와는 달리 다양한 한계를 지니고 있다는 점은 향후 해결해야 할 과제이다. 그럼에도 불구하고 유사(준)실험설계 방법은 제어하기 어려운 외부환경 공간에서의 활용할 수 있는 접근법 중 하나라고 생각된다.

본 연구는 실제 시민들이 이용하는 외부공간과 그곳에 설치되어 있는 폭염저감시설이 주변 환경에 미치는 영향을 확인함과 동시에 시민들의 체감 만족도를 확인하는 것에 주목하였다. 특히, 많은 지방자치단체에서 폭염저감시설로 선호하고 있는 쿨링포그 시설이 폭염시기에 도시공간의 온도를 낮추는지에 대하여 실증분석을 수행한 한 연구로서 의의가 있다고 생각된다. 더불어 기존의 연구와 달리 폭염저감시설이 이용자의 체감에 실제로 미치는 영향을 조사했다는 점에서 차별성을 지닐 것으로 생각된다.

사사

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

References

- Lee MJ. 2020. Urban heatwave occurrence status and damage reduction direction. *Planning and Policy*. 466: 15.
- Baek JB, Kwon YS. 2021. Analysis of domestic heatwave research trends. *Journal of the Society of Disaster Information* 17(4): 755-768.
- Yoon SY, Kang DG, Yoon DG. 2014. Domestic and foreign cases of heat wave damage prevention and reduction measures. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation* 14(4): 33-40.
- Kim JH, Lee MH, Yoon YH. 2015. A verification study on the temperature reduction effect of water mist injection. *KIEAE Journal* 15(3): 5-14.
- Kim JH, Kim HG, Yoon YH, Kwon KU. 2016. Thermal environment transition of response climate change and heat wave application evaporative cooling system. *Journal of Environmental Science International* 25(9): 1269-1281.
- Kim JY, Kang JS, Kim HJ. 2020. Model design and demonstration test for the verification of temperature reduction effect of cooling fog system with stainless steel. *Journal of Environmental Science International* 29(6): 683-689.

- Jeong JH, Oh BC. 2022. Assessing the effects of heatwave mitigation technology on outdoor thermal comfort: Cool pavement and grass block installments. *Journal of Climate Change Research* 13(1): 23-32.
- Kim JY, Kang JS, Kim HJ. 2021. Experimental study on the temperature reduction effect of the nano-mist facility. *Journal of Environmental Science International* 30(4): 353-367.
- Yamada H, Yoon G, Okumiya M, Okuyama H. 2008. Study of cooling system with water mist sprayers: Fundamental examination of particle size distribution and cooling effects. *Building Simulation* 1: 214-222.
- Ulpiani G, di Perna C, Zinzi M. 2020. Mist cooling in urban spaces: Understanding the key factors behind the mitigation potential. *Applied Thermal Engineering*, 178: 115644.