

TECHNICAL NOTE

나노미스트형 폭염저감 시설의 온도저감 효과 - 대구광역시 서구 북비산로를 대상으로 -

김재경 · 강준석^{1,2)*} · 김회진³⁾

서울대학교 대학원 협동과정 조경학 전공, ¹⁾서울대학교 조경·지역시스템공학부, ²⁾서울대학교 농업생명과학연구원,
³⁾유비E&C

Experimental Study on the Temperature Reduction Effect of the Nano-mist Facility

Jaekyoung Kim, Junsuk Kang^{1,2)*}, Hoijin Kim³⁾

Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

¹⁾*Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea*

²⁾*Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea*

³⁾*UB E&C, Seongnam 13503, Korea*

Abstract

This study analyzed the weather environment of the smart city to identify the temperature reduction effects of the heat reducing facilities. The methodology is divided into indoor and outdoor analyses. Indoor analyses were conducted for the evidence-based design of the facility. The size of nozzle is adjusted to derive the most efficient size for outdoor use. Three types of nozzles were used, 0.15 mm, 0.2 mm and 0.3 mm. The most efficient nozzle was selected as 0.15 mm. The outdoor test was measured for two days from August 3 to August 4, 2020, and the weather data were collected for the control and target sites on the first day. On the second day, the measurements were taken assuming that the temperature and humidity of two sites would be similar. Compared to the control group, the outdoor test site had a temperature reduction effect up to 7.4°C. When operating the heat-reducing facility, the rate of change in sensible temperature is lower than control site. This study concluded that mist facilities have a pre-cooling effect, which means reducing the temperature to a certain level. The results from this study data could be provided when establishing an adaptation policy for a heatwave.

Key words : Sensible temperature, Smart city, Heatwave, Evidence-based design, Pre-cooling

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

폭염은 일사병·열사병 및 호흡기 질환 등의 온열 질환

을 유도하여, 취약계층 시민의 생명·신체 피해를 주는 자연재해이다(IPCC, 2014; NASA, 2020). 그뿐만 아니라, 양식장 어류 폐사, 농작물 생산 감소, 전력사용 증가에 따른 정전 발생 등 경제적 손실이 따른다. 2018년에는

Received 15 January, 2021; Revised 16 March, 2021;

Accepted 1 April, 2021

*Corresponding author: Junsuk Kang, Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Seoul 08826, Korea
Phone : +82-2-880-4872
E-mail : Junkang@snu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

행정안전부의 「재난 및 안전관리 기본법」이 개정됨에 따라 자연재난에 공식적으로 폭염이 추가 되었다(Yoon, 2018).

많은 지역 중, 대구광역시시는 대한민국에서 가장 대표적인 폭염 및 도시 열섬현상 취약지역이다. 대구광역시 폭염 및 도시 열섬현상 기본계획에 따르면, 1981년부터 2010년까지 대구 여름철 평균온도는 25.3°C로 전국에서 가장 열 재해에 취약한 도시인 것으로 나타났다(Daegu M. C., 2018).

2018년 대구광역시에서는 이러한 폭염 재해에 대비하기 위해 「폭염 및 도시 열섬현상 대응 조례안」을 제출하고, 폭염을 저감하기 위한 다양한 정책을 펴고 있다. 가장 대표적인 정책으로는 차양막, 보행로 그늘막과 쿨링포그 설치 등이 있다(Jung, 2018). 현재 대구광역시 서구 도시재생센터에서 전담하여 진행 중인 ‘인동촌 백년마을’ 사업에서도 폭염을 저감할 수 있는 시설들을 종합적으로 설치 및 가동하고 있다(Lee and Ryu, 2015).

인동촌 도시 재생사업지는 스마트시티 혁신성장프로젝트의 일환으로 선정된 대구광역시의 시설 실증지역이다. 이 중에서 폭염 저감시설은 2020년 4월에 준공을 시작하여 6월에 완공이 된 상태이다. 현재 10개의 스탠드형 미스트 폴 쿨링포그와 두 개의 스마트 청정습터를 제공함으로써, 시민들의 폭염 재해 개선에 힘쓰고 있다. 하지만, 이러한 시설들이 얼마만큼의 온도 저감효과와 대기 질 개선에 영향을 주는지에 대한 실증 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는, 2020년 6월에 설치된 폭염 저감시설의 온도 저감 및 환경 영향 효과를 분석하고 시민들의 체감온도/불쾌지수에 어떠한 영향을 주는지에 대해 고찰하였다.

1.2. 선행연구

쿨링포그와 관련된 최근의 논문에서는 실내실험과 실외실험을 하여, 열화상 드론으로 온도 저감효과를 검증하였다. 실내실험의 경우 약 1.5 m 높이의 대기 환경을 측정함으로써, 최대 13.8°C까지 온도 저감효과가 있음을 밝혀냈다. 실외실험의 경우, 단순히 FLIR 렌즈를 이용한 드론 촬영을 하였다는 점에서 한계를 가진다. 열화상 촬영의 경우, 물질에서 방사, 또는 반사되는 적외선 에너지를 감지하여 온도를 포착하기 때문에, 시민들이 느끼는 대기 온도를 명확히 분석하였다고 보기에는 어렵다. 또

한, 미스트의 잠열, 습도, 바람 등의 환경 정보가 간과되었다는 미비점이 있는데, 본 연구에서는 선행연구의 한계점을 개선한 연구를 진행하였다(Kim et al., 2020a).

녹지공간의 대기 환경을 분석한 최근 연구로는 광주광역시에 위치한 캠퍼스 내 녹지공간의 온도분석 및 영향요인을 규명한 연구가 있다. 선행연구에서는 느티나무 등의 교목이 밀집된 경우, 여름철에 최대 1.2°C까지 온도를 저감할 수 있는 것으로 분석하고 있다. 본 연구에서는 수목이 식재된 녹지지역에서 실험이 진행됐다는 점에서 선행연구와 공통점을 가진다. 하지만, 수목만으로는 폭염기에 효과적인 온도 저감효과를 파악하기 힘들며, 본 연구에서는 추가적인 시설물의 효과를 추가로 분석하였다는데 차별성을 가진다(Kim et al., 2020b).

타 온도 저감과 관련된 연구는, 옥상정원의 패턴에 따라 변화하는 온도 분석연구와 도시도로 녹지가 표면 온도의 저감에 미치는 요인을 규명한 연구 등이 있다(Kim et al., 2020c). 녹지 및 오픈스페이스의 경우, 도로 주변 뿐만 아니라 도로 설계의 구성요소인 식수대 및 중앙 분리대까지 온도 저감 영향이 있음이 규명되었다(Cho and Lim, 2011). 기타 쿨링포그를 이용한 대부분의 연구는 농작물의 품질에 미치는 영향에 관해 규명한 연구가 많이 실시되었다(Katsoulas et al., 2006). 고추 작물의 미기후에 관한 연구에서는, 폭염 저감시설을 가동하면 작물 잎 온도는 3°C 낮게 측정되었고, 작물 증산이 20% 감소한 것으로 나타났다(Arbel et al., 1999).

반면, 본 연구는 대부분의 선행연구와 달리, 녹지공간을 대상으로 선정하고 실외에 설치된 쿨링포그의 환경 영향을 분석하였다는데 차별성을 갖는다. 또한, 인간에게 직접 피해를 줄 수 있는 폭염을 재해로 다루기 때문에, 시설 가동 시 시민들이 느낄 수 있는 불쾌지수에 대한 추가적인 분석을 실시하였다(Jang et al., 2012). 본 연구는 쿨링포그에 사용된 미스트의 노즐 선정에 대한 실내실험부터 외부 측정까지의 과정을 복합적으로 다룬다는데 그 의의가 있다.

1.3. 연구 범위

연구의 공간적 범위는 크게 두 곳으로 나누어진다. 첫 번째 대상지는 경상남도 산청에 위치하며 폭염저감 검증을 위한 실내시설로써, 미스트 분사용 노즐 크기를 선정을 위해 조성하였다. 미스트 노즐의 폭염저감 효과 검증을

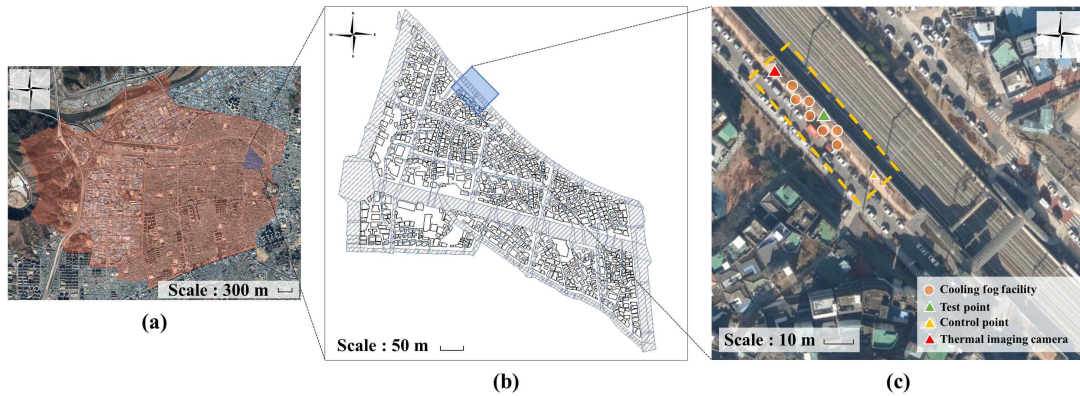


Fig. 1. Site of study; (a) Seo-gu, Daegu Metropolitan City (b) Bisan-dong (c) 81gil, Buk-bisanro.

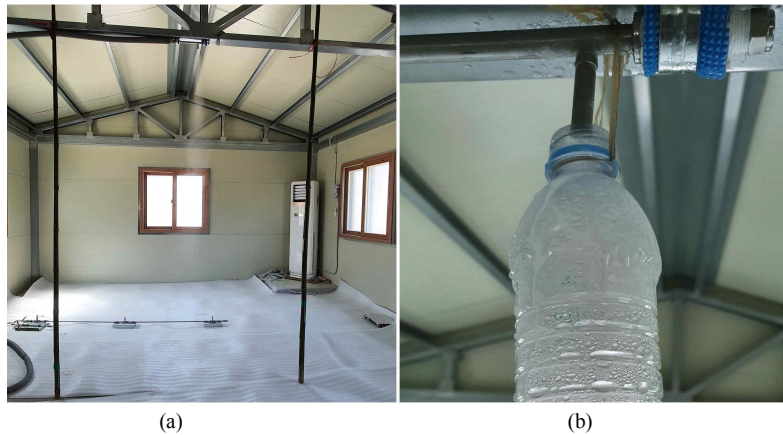


Fig. 2. Indoor pilot test; (a) Injection facility (b) Mist volume test.

위해서는 통제된 공간이 필요하였기에, 20 m² (4 m × 5 m) 크기의 실내실험 시설을 제작하여 연구가 수행되었다. 실내실험은 5월 15일~16일 이틀동안 관측하였다.

실외 실험 장소는 대구광역시 서구 비산동 북비산로 81길을 따라 이어지는 녹지공간으로 선정하였다(Fig. 1). 실내실험을 통해 결정된 가로등의 설계안과 노즐의 크기에 따라 스탠드형 미스트 폴이 설치되었다.

대상지내의 대기 환경 측정을 위해서 온습도, 풍향, 풍속 측정이 가능한 자동기상관측장비 (AWS, Automatic Weather Station)를 2개 설치하였다. 또한, 폭염저감시설에서 분사되는 미스트의 확산범위를 파악하기 위해서 열화상 카메라를 1개 설치하여 측정을 하였다. 실험군과 대조군의 외부 조건을 동일하게 하기 위해서, 측정 기간

동안 그림자의 영향을 받지 않는 곳에 자동기상관측장비를 설치하였고, 풍향/풍속계를 제외한 모든 조건을 동일하게 하였다. 폭염 저감시설 및 대조군의 환경요인 분석 자료는 2020년 8월 3일부터 8월 4일까지 양일에 걸쳐서 수집되었다.

2. 연구방법

연구의 방법은 크게 세 가지로 나누어진다. 첫 번째는 폭염 저감 미스트 분사 기초 실험으로서 노즐 종류별로 분사되는 하향의 영향 범위를 파악하기 위해 실시되었다. 두 번째는 대상지에 설치된 폭염 저감시설 및 대조군의 온도 저감효과 및 습도, 풍향, 풍속 등의 환경요인을 파악

하는 것이다. 마지막 연구방법은 측정된 환경을 토대로, 불쾌지수와 체감온도의 저감 정도를 파악함으로써 스마트시티 내에 폭염 저감시설 설치에 대한 타당성을 검증하였다.

2.1. 폭염저감 미스트 분사 기초 실험

실외 폭염 저감시설의 노즐 크기 선정을 위해서 실내 미스트 분사 실험을 하였다. 노즐의 크기는 0.15 mm, 0.2 mm, 0.3 mm 총 세 가지를 선정하여 실험하였으며, 노즐 크기별 분사 하향 영향 범위·분당 미스트 분사량 시 계열에 따른 온도변화를 살펴보았다(Fig. 2).

미스트는 2.3 m 높이에서 분사하였으며, 하향 영향 범위 및 분당 미스트 분사량 측정은 노즐별로 5회씩 실시하였다. 노즐에 따른 온도변화는 1분마다 측정을 하였다.

2.2. 폭염 저감시설 및 대조군 환경요인 분석

2020년 8월 3일의 데이터 수집은 폭염 저감장치와 대조군의 온/습도 유의성을 검증하기 위한 것으로, 폭염 저감장치를 가동하지 않고 값들을 비교하였다. 16시부터 18시까지 2시간에 걸쳐 데이터 로거에 환경 정보가 수집되었으며, 폭염 저감장치가 분사되는 아래에 1개의 자동 기상관측장비 A를 설치하였다. 설치된 자동기상관측장비 A를 기점으로, 20 m 떨어진 북서쪽 지점에 열화상 카메라를 설치하고, 20 m 떨어진 남동쪽 지점에 자동기상관측장비 B를 설치하였다(Fig. 1, Fig. 3).



Fig. 3. Field test (81gil, Buk-bisanro in Daegu).

2020년 8월 4일 데이터는 폭염 저감장치의 온도 저감 효과를 검증하기 위해서 수집되었으며, 07:30부터 17:00까지 9시간 이상 동안 수집되었다. 자동기상관측장비 및 열화상 카메라는 전날과 동일하게 설치되었다. 미스트는 09:00부터 15:00까지 가동을 하여 데이터를 비교 분석하였다. 미스트 분사 전/후의 시간은 2020년 8월 3일과 같은 목적으로 유의성 검정을 위해 환경 데이터를 수집하였다. 사람이 체감할 수 있는 온/습도를 수집하기 위해 지면으로부터 1.5 m 높이에 센서를 설치하였으며, 데이터는 1초 간격으로 저장되도록 설정하였다. 본 연구에서는 측정된 데이터를 10분 단위로 비교하였다.

데이터수집에 사용된 온/습도 센서는 Onset Computer사에서 제작된 S-THB-M002 센서로 온도에 대한 정확성은 $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$, 습도에 대한 정확성은 $\text{RH} \pm 2.5\%$ 이다. 풍향/풍속 측정 센서는 같은 회사에서 제작된 S-WCF-M003 모델이다.

센서에서 수집된 데이터는 H21-USB 마이크로 스테이션 로거에 저장되었다. 최대 5개 채널까지 센서를 연결할 수 있으며, 위 두 개의 센서를 설치하여 측정 간격을 1초로 설정하였을 때 최대 1.1일까지 데이터를 저장할 수 있었다. 로거에 저장된 데이터는 HOBOware Pro 소프트웨어를 통해서 CSV 파일로 추출하였다(Wong and Gamon, 2015).

폭염 저감시설 분사 미스트의 확산범위 확인을 위해서 DALI사에서 제작된 LT3-P를 이용하여 열화상 사진을 촬영하였다. 열화상 이미지는 10초 간격으로 촬영하였다.

2.3. 불쾌지수 변화량 및 더위체감지수 저감량 분석

폭염 및 열 재해와 관련해서는 1957년 미국의 E. C. Thom의 불쾌지수를 사용하는 것이 일반적이다(Thom, 1959). 하지만, 최근 폭염경보에 발령에 근거하는 지표가 ‘체감온도’로 변경됨에 따라서 두 가지 지표 모두 고찰을 해볼 필요가 있다.

2020년 5월 15일부터 폭염경보 발령에 사용되는 체감온도는 기존에 캐나다 토론토 JAG/TI 회의에서 고안된 식과는 다른 것으로, 기상청에서 개발한 한반도 최적화 식을 뜻한다. 한반도 최적화 체감온도는 기존의 WBGT (Web-Bulb Globe Temperature)라는 폭염 관련 지수를 기반으로 일반적 환경뿐만 아니라, 다양한 더위 취약

Table 1. Health effect of the discomfort index

Discomfort index	Possible phenomenon
>80	Most of the total population suffers discomfort
75~80	The 50% of the total population feels discomfort
68~75	Few of the total population feels discomfort
<68	No discomfort

Table 2. Result of mist injection experiment

	Nozzle size (mm)	1	2	3	4	5	Avg.
	Width of mist (unit:mm)	0.15	800	795	805	808	792
	0.2	850	855	858	848	861	854
	0.3	876	884	856	873	864	870
Volume of mist (unit:cc)	0.15	43	42	43	43	44	43
	0.2	55	55	54	56	55	55
	0.3	182	183	181	182	183	182

지역을 대상으로 추정 모형이 개발되었다(Bluestein and Zecher, 1999; Budd, 2008).

불쾌지수는 기온과 상대습도를 이용해 산출하는 반면, 한반도 체감온도는 건구 및 습구온도, 상대습도를 고려한 산출식이다. 각 지표 산정 식은 아래와 같다(Lee et al., 2013).

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

여기에서 THI는 불쾌지수를 뜻하며, T는 건구온도(°C), RH는 상대습도(%)를 뜻한다. 산출된 불쾌지수에 대한 값이 나타내는 분류는 Table 1과 같다.

단 Table 1에서 나타내는 지표는 개인에 따라 느끼는 쾌감대의 범위가 다를 수 있기에, 불쾌지수 값이 나타내는 현상이 절대적인 것을 뜻하지는 않는다.

$$T_s = 3.255820 + 0.553991 T_w + 0.455346 T_a \quad (\text{식 2})$$

$$- 0.002170 T_w^2 + 0.002782 T_w T_a$$

$$T_w = T_a \text{atan} [0.151977 (RH + 8.313659)^{1/2}]$$

$$+ \text{atan} (T_a + RH) - \text{atan} (RH - 1.676331)$$

$$+ 0.00391838 (RH)^{3/2} \text{atan} (0.023101 RH)$$

$$- 4.686035$$

(식 3)

여기에서 T_s (°C)는 체감온도를 뜻하며, T_a (°C)는 건구온도, T_w (°C)는 습구온도, RH (%)는 상대습도를 의미한다 (Korean Meteorological Administration Weather Information).

3. 결 과

3.1. 폭염 저감 미스트 분사 기초 실험

노즐 종류별 분사 영향 범위와 노즐당 미스트 분사량의 결괏값은 Table 2와 같다. 노즐별로 5회씩 분사하였으며, 1회 시험이 끝난 후 10분의 대기 시간을 두고 후속 분사를 하였다. 노즐 크기가 0.15 mm인 미스트에서는 최대 808 mm 폭까지 분사가 되었고, 평균 800 mm 폭만큼 분사가 되었다. 노즐의 크기가 0.3 mm인 미스트는 최대 884 mm 폭까지 분사가 되었고, 평균 870 mm 폭만큼 분사가 되었다.

노즐별로 미스트가 영향을 미치는 범위의 차는 70 mm 내외로 협소하지만, 분사되는 물의 총량은 큰 차를 보였다.

0.15 mm 노즐의 경우 평균적으로 43 cc만의 물을 사용하였고, 0.3 mm 노즐의 경우 평균적으로 182 cc의 물이 사용되었다. 또한, 노즐의 크기가 0.15 mm인 경우, 분사된 액체 형태의 미스트가 실내실험지 지면에 닿기

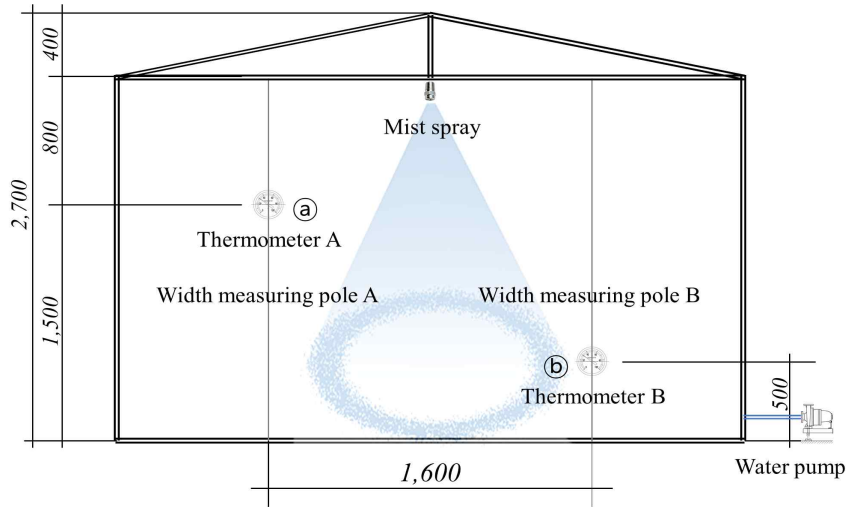


Fig. 4. Indoor temperature reduction measurement (unit: mm).

이전에 수증기로 증발하는 모습을 보였다. 0.2 mm 이상 노즐의 경우, 실내실험지 지면에 액체 상태의 물이 고이는 모습을 관찰할 수 있었다.

노즐별로 저감되는 온도를 파악하기 위해서 Fig. 4와 같이 온도계 2개를 설치하고, 7분 동안 미스트를 분사하였다. 펌프를 통해 공급되는 물의 온도는 17.5°C로 일정하게 유지하였다.

온도계 A가 설치된 지점 ㉓가 31°C가 되었을 때 미스트의 분사를 시작하였고, 후속 미스트는 다시 온도가 31°C까지 복구될 때까지 여유시간을 두고 분사하였다. ㉓ 지점에서는 분사한 지 약 7분 후에 세 노즐 모두에서 20% 이상의 온도 저감효과를 얻을 수 있었다.

온도계 B가 설치된 지점 ㉔는 31.8°C에서 미스트를 분사하였으며, 후속 미스트는 다시 온도가 31.8°C로 오를 때까지 기다린 후에 분사하였다. 미스트를 분사한 후 1분이 되는 시점에서는 0.15 mm 노즐이 2.6%의 온도 저감률을 보인 반면, 0.3 mm 노즐은 8.7%의 온도 저감률을 보여 저감률이 큰 폭으로 차이가 났다. 하지만, 분사 후 7분이 지난 후에는 36~38%의 분포를 보이며, 비교적 쿨링 효과가 비슷해지는 추세를 볼 수 있다.

노즐의 크기가 0.3 mm였을 때 ㉓지점에서 최대 26.4%의 온도 감소 효과를 얻을 수 있었지만, 1분당 사용되는 물의 양이 4배 이상인 것을 고려하면 0.15 mm인

노즐을 사용하는 것이 더 효율적일 것으로 판단되었다. 분사 7분 후에는 ㉔지점에서도 단 2% 정도의 온도 저감을 차이만을 보였다. 외부에서 장시간 분사해야 하는 가로등형 미스트의 경우, 미스트의 수원을 약 4배 정도 더 효율적으로 사용할 수 있는 0.15 mm 노즐이 가장 최적화된 노즐일 것으로 판단되었다(Table 3).

3.2. 폭염 저감시설 및 대조군 환경요인 분석

실외 쿨링포그의 온도 저감량을 분석하기 위해서는 미스트가 분사될 대상지와 비교 값이 되는 대조군 대상지의 온/습도, 풍향 및 풍속이 어느 정도 유의성을 갖는지 알아볼 필요성이 있었다. 이에, 실험대상지와 대조군 대상지 모두의 미스트를 가동하지 않고, 16시부터 18시까지 2시간에 걸쳐 환경데이터를 측정하였다. 실험군의 최고 온도는 34.4°C, 대조군의 최고 온도는 34.4°C였으며, 실험군과 대조군 모두 16시 50분에 기록되었다. 최저 온도는 실험군에서 31.9°C, 대조군에서 32.1°C 두 경우 모두 16:10분에 기록되었다. Fig. 5를 통해 실험대상지와 대조군의 환경데이터 사이에 상관관계가 있음을 판단하였다.

2020년 8월 4일에 측정된 환경데이터 역시 실험대상지와 대조군 대상지 사이에 상관관계가 있을 것으로 가정하고 측정하였다. 첫째 날 측정된 풍속은 0 m/s부터

Table 3. Result of indoor temperature test

	Nozzle size	Classification	1 min.	2 min.	3 min.	4 min.	5 min.	6 min.	7 min.
Thermometer A (Original temperature:31°C)	0.15	Temperature	30.5	30.3	29.6	28.8	27.3	26.2	23.9
		Reduction	0.5	0.7	1.4	2.2	3.7	4.8	7.1
		Reduction ratio	1.6%	2.3%	4.5%	7.1%	11.9%	15.5%	22.9%
	0.2	Temperature	30.3	29.1	27.5	26.4	25.1	24.2	23.2
		Reduction	0.8	2	3.6	4.7	6	6.9	7.9
		Reduction ratio	2.6%	6.4%	11.6%	15.1%	19.3%	22.2%	25.4%
	0.3	Temperature	30	28.9	27.7	26.1	24.8	23.9	22.8
		Reduction	1	2.1	3.3	4.9	6.2	7.1	8.2
		Reduction ratio	3.2%	6.8%	10.6%	15.8%	19.9%	22.8%	26.4%
Thermometer B (Original temperature:31.8°C)	0.15	Temperature	31.0	28.0	25.0	24.0	22.5	21.5	20.5
		Reduction	0.8	3.8	6.8	7.8	9.3	10.3	11.3
		Reduction ratio	2.6%	12.3%	21.9%	25.2%	30.0%	33.2%	36.5%
	0.2	Temperature	31.1	28.1	24.3	22.4	21.1	20.6	19.8
		Reduction	0.7	3.7	7.5	9.4	10.7	11.2	12
		Reduction ratio	2.3%	11.9%	24.1%	30.2%	34.4%	36.0%	38.6%
	0.3	Temperature	29.1	27.4	24.1	22.1	21.1	20.8	19.9
		Reduction	2.7	4.4	7.7	9.7	10.7	11	11.9
		Reduction ratio	8.7%	14.2%	24.8%	31.2%	34.4%	35.4%	38.3%

Unit of temperature and reduction : °C

Table 4. Result of environmental measurement on August 3rd

Time	Temperature (°C)			Humidity (Unit : %)			Wind speed (Unit : m/s)	Wind direction
	Control	Test point	Mean	Control	Test point	Mean		
16:00	32.6	32.9	32.8	56	51	53.5	0.67	130.6
16:10	32.1	31.9	32.0	55	55	55.0	0.33	155.8
16:20	32.4	32.0	32.2	53	54	53.5	1.67	352.4
16:30	32.6	33.0	32.8	57	55	56.0	1.34	7
16:40	33.7	33.7	33.7	58	57	57.5	0	116.5
16:50	34.6	34.4	34.5	54	57	55.5	0	189.5
17:00	33.6	33.2	33.4	57	55	56.0	0.67	96.9
17:10	32.8	32.7	32.8	58	56	57.0	0.67	189.5
17:20	32.3	32.1	32.2	54	56	55.0	0	176.9
17:30	32.7	33.1	32.9	59	59	59.0	0.33	202.2
17:40	32.5	32.2	32.4	56	55	55.5	1	214.8
17:50	32.8	32.7	32.8	59	56	57.5	0.67	176.9
18:00	32.7	32.7	32.7	57	57	57.0	0.33	14
AVG.	32.9	32.8	32.9	56.4	55.6	56.0	0.59	-

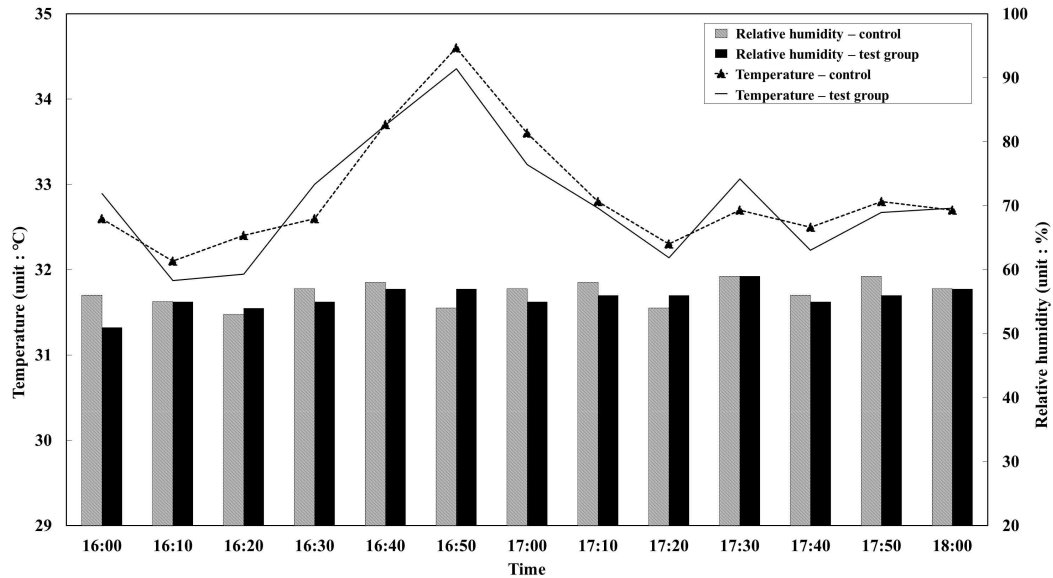


Fig. 5. Comparison between test site and control site on August 3rd.

최대 1.67 m/s 사이의 수치를 보였는데, 바람이 1.67 m/s 이상 변화할 때에도 온도에 변화는 일어나지 않았다. 즉, 측정된 풍속의 범위 내에서는 온도에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 주풍은 남동풍이 부는 경향을 관찰할 수 있었다(Table 4 참조).

2020년 8월 4일의 온/습도 및 풍향, 풍속 측정은 07시 30분부터 17시까지 9시간 이상 동안 1초 간격으로 측정되었고, 풍속의 경우 10분 단위로 평균한 값이다. 이틀 차의 실험에서는 폭염 저감 미스트를 분사하여 대조군과 비교되는 온/습도를 측정하였다. 미스트가 분사된 시간은 09시부터 15시까지 6시간 동안 가동하였으며, 전/후의 시간은 8월 4일에 실험대상지와 대조군 대상지의 온/습도 비교 및 기온분포의 신뢰성을 확인하기 위해 연속하여 측정하였다. 실내실험의 결과에 따라 0.15 mm 노즐을 사용하였으며, 압력은 70 bar, 공급되는 물의 양은 40 cc로 고정한 채로 분사하였다. 한 가로등형 폭염 저감 장치에는 노즐이 3개씩 설치되었다.

미스트를 가동하였을 때, 실험대상지의 평균온도는 32.5°C, 최고 온도는 34.5°C를 나타냈다. 반면, 대조군 대상지의 평균온도는 37.4°C, 최고 온도는 39.6°C까지 기

록하였다. 이는 최대 7.4°C 차이가 나는 수치로, 대조군 대상지의 온도를 최저 8%, 최대 20%까지 감소할 수 있는 것으로 나타났다. 가장 저감률이 높은 시각은 9:40으로, 대조군의 온도 37.3°C에 비해 실험대상지 온도는 30.3°C를 기록하였다. 저감률이 낮은 시각은 12:40으로 대조군의 온도가 36.9°C일 때, 실험대상지 온도는 33.9°C를 기록하였다. 한 시간마다 저감률의 평균을 구했을 때, 최저 11.2%부터 최고 15.3%까지 감소하는 모습을 관찰할 수 있었다. (Table 5 참조).

외부에서 측정되는 실험의 경우 측정 당일의 실험군 대상지와 대조군 대상지 기상조건 및 기온분포가 일정한 상관관계를 가지는지 파악할 필요가 있는데, 이를 위해서 07:30부터 09:00까지 사전 모니터링과 15:00부터 17:00까지 사후 모니터링을 하였다. Fig. 7을 참고하였을 때, 사전 모니터링에서는 실험군과 대조군의 온도 차이가 평균 0.2°C, 습도는 약 3% 정도 차이를 보이며 높은 상관관계를 보였다. 사후 모니터링에서는 평균 0.4°C, 습도는 3% 정도 차이를 보였다. 사전/사후 모니터링을 통해, 측정 당일에 미스트를 분사하여 실험군-대조군 간 비교 분석한 값에 초기 조건 값이 상당히 유사함을 알 수 있다.

Table 5. Result of environmental measurement on August 4th

Time	Temperature (°C)			Humidity (Unit : %)			Wind speed (unit : m/s)	Wind direction	
	Control	Test point	Gap of temperature	Control	Test point	Gap of humidity.			
Before test	7:30	32.1	31.9	0.2	55	59	4	0.33	132.7
	7:40	31.8	31.6	0.2	58	57	1	0.67	149.1
	7:50	31.9	32.3	0.4	59	61	2	0.33	156.1
	8:00	32.8	32.7	0.1	58	55	3	0.33	165.3
	8:10	32.6	32.5	0.1	60	58	2	1	188.1
	8:20	33.2	33.3	0.1	59	54	5	1.34	193.1
	8:30	33.3	33.1	0.2	57	55	2	0.67	143.5
	8:40	33.8	33.7	0.1	53	54	1	0.33	132.4
8:50	34.5	34.8	0.3	56	51	5	0	202.6	
Test time	9:00	34.3	30.4	3.9	54	66	12	1	157.2
	9:10	35.7	30.2	5.5	52	66	14	0.33	147.4
	9:20	34.7	30.0	4.7	56	66	10	0.67	136.2
	9:30	34.9	30.1	4.8	53	66	13	1.67	165.7
	9:40	37.3	30.3	7.0	46	67	21	0	299
	9:50	37.6	30.6	7.0	41	64	23	1.34	304.7
	10:00	37.2	31.3	5.9	40	63	23	0.33	230.2
	10:10	38.6	31.5	7.1	39	62	23	1.34	297.6
	10:20	38.7	31.3	7.4	41	63	22	1	143.2
	10:30	36.4	31.4	5.0	44	63	19	1	113.7
	10:40	36.3	31.1	5.2	45	62	17	0.67	0
	10:50	35.6	31.2	4.4	46	62	16	2	335.5
	11:00	35.4	31.7	3.7	47	62	15	1	134.8
	11:10	35.8	31.3	4.5	48	63	15	1	186.7
	11:20	35.8	31.4	4.4	49	62	13	0.33	212
	11:30	38.1	32.4	5.7	42	60	18	0.33	349.6
	11:40	37.4	33.0	4.4	45	57	12	1.01	155.8
	11:50	38.7	32.2	6.5	47	59	12	1.67	313.1
	12:00	38.8	32.4	6.4	45	59	14	1.34	172.7
	12:10	38.9	33.3	5.6	41	57	16	0.33	261.1
	12:20	37.5	32.9	4.6	45	57	12	0.33	172.7
	12:30	36.2	32.7	3.5	43	57	14	1	355.2
	12:40	36.9	33.9	3.0	44	54	10	2	296.2
	12:50	36.9	33.5	3.4	42	54	12	1	67.4
	13:00	38.1	34.5	3.6	37	52	15	2	144.6
	13:10	38.3	33.6	4.7	42	54	12	1	144.6
	13:20	38.6	34.4	4.2	37	53	16	1.67	346.8
	13:30	38.9	33.8	5.1	41	55	14	0.67	155.8
13:40	39.1	33.8	5.3	39	55	16	2	193.7	
13:50	39	34.4	4.6	37	53	16	0.67	306.1	
14:00	38.9	33.8	5.1	38	55	17	0.67	329.9	
14:10	36.9	33.3	3.6	41	55	14	1	172.7	
14:20	37.2	33.8	3.4	41	54	13	1.67	157.2	
14:30	39.6	34.4	5.2	36	53	17	0.33	171.3	
14:40	38.8	34.2	4.6	38	55	17	0.33	43.5	
14:50	38.7	34.2	4.5	32	54	22	1.67	140.4	
15:00	37.9	34.0	3.9	34	54	20	1.34	150.2	

Table 5. continue

	Time	Temperature (°C)			Humidity (Unit : %)			Wind speed (unit : m/s)	Wind direction
		Control	Test point	Gap of temperature	Control	Test point	Gap of humidity.		
After test	15:10	37.5	37.4	0.1	38	41	3	0.33	162.4
	15:20	37.7	37.1	0.6	40	39	1	1	144.3
	15:30	36.9	36.5	0.4	41	45	4	1.34	137.6
	15:40	36.7	36.8	0.1	43	39	4	0.33	98.7
	15:50	36.5	36.1	0.4	43	38	5	0.67	143.3
	16:00	36.6	36.2	0.4	44	43	1	0.67	154.3
	16:10	35.8	35.3	0.5	42	36	6	1	149.8
	16:20	35.9	35.4	0.5	41	46	5	1	204.3
	16:30	35.5	34.8	0.7	45	46	1	0.33	153.4
	16:40	35.1	34.6	0.5	43	46	3	1	211.4
	16:50	34.9	35.1	0.2	42	47	5	0.67	187.3
	17:00	34.7	34.8	0.1	39	42	3	2	118.3

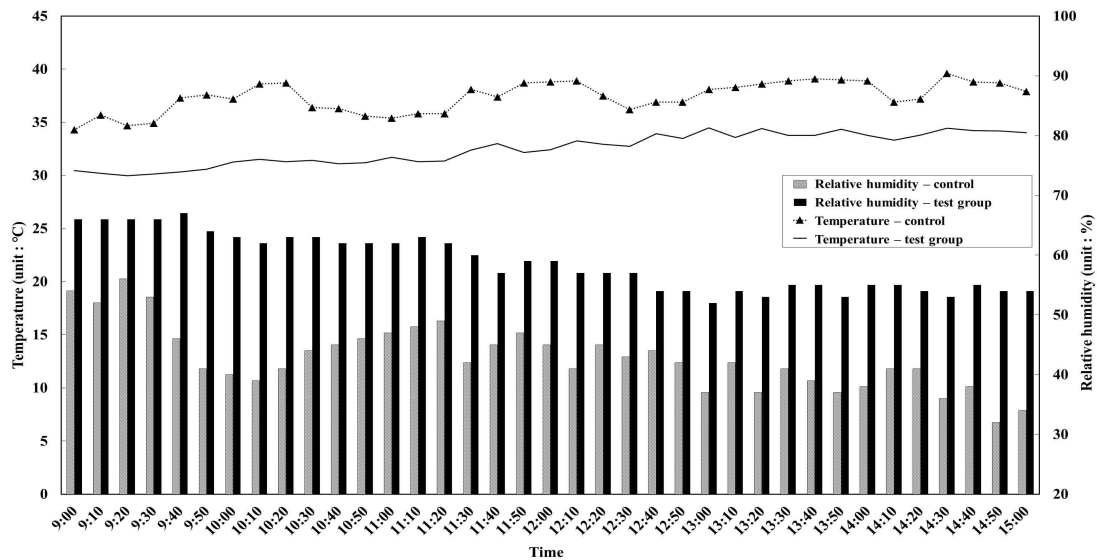


Fig. 6. Comparison between test site and control site on August 4th with mist spraying.

둘째 날에 미스트가 분사된 시각의 측정된 평균 풍속은 1.02 m/s로, 첫째 날에 비해서는 빨라진 경향을 볼 수 있었다. 주풍은 남서풍이 부는 것을 관찰할 수 있었다.

실험대상지와 비교군 대상지의 환경데이터를 비교한 그래프(Fig. 6)를 참조하였을 때, 실험대상지의 습도가 현저하게 높은 모습을 살펴볼 수 있었다. 최저 10%의 습도가, 최대가 되는 9:50부터 10:10까지는 23%의 습도가

상승하였다. 이는, 폭염 저감시설 분사에 대한 불쾌지수를 분석해야 하는 중요한 이유인데, 일반적으로 온도나 습도가 올라가면 사람이 느끼는 불쾌지수는 올라가기 때문이다.

추가로 고찰할 수 있는 부분은 온도 및 습도에 대한 변화율인데, 폭염 저감 미스트를 분사하지 않는 대조군 대상지의 변화율 평균이 실험대상지 변화율 평균보다 높은

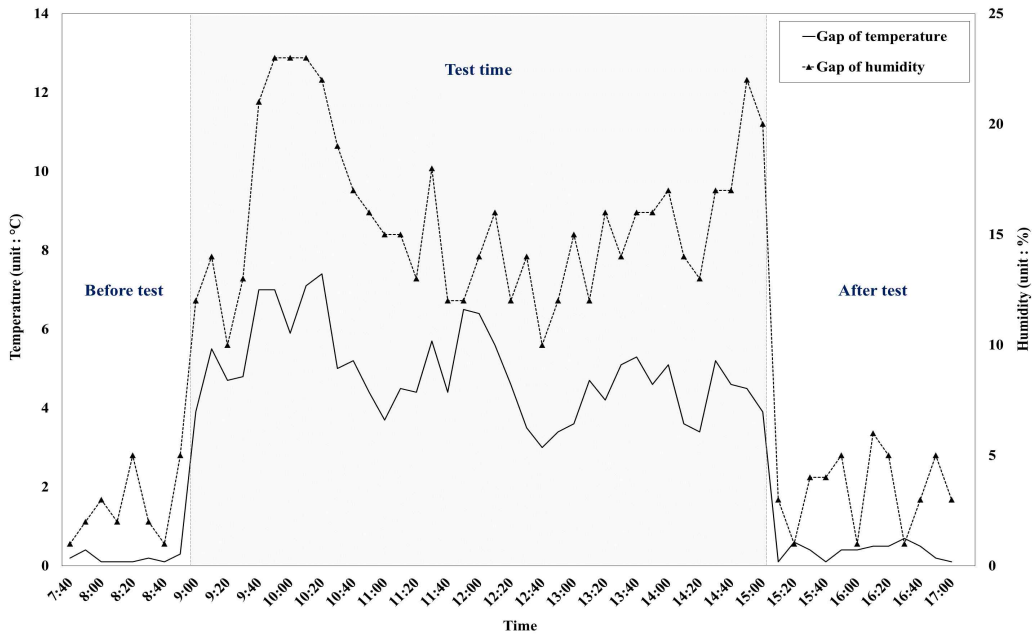


Fig. 7. Gap of temperature and humidity before and after spraying mist on August 4th.

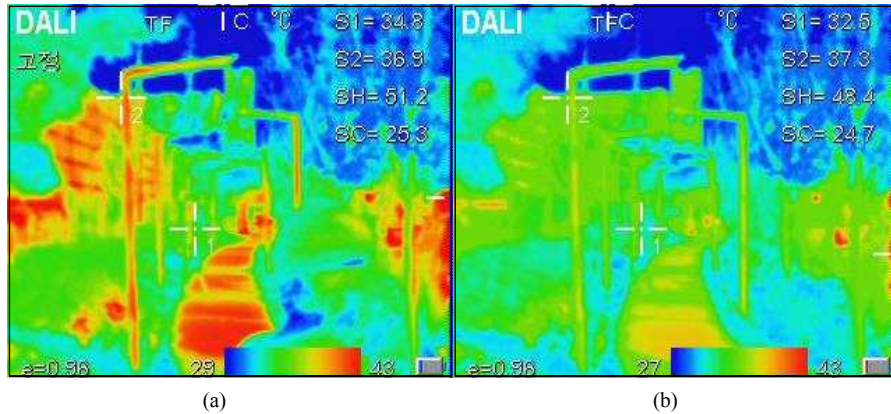


Fig. 8. Comparison of thermal images in 3rd, August. (a) Before mist spraying (15:55) (b) After mist spraying (16:05).

수치를 보인다. 미스트를 분사하였을 때, 실험대상지 변화율 절댓값의 최고치는 1.2°C, 평균값은 0.5°C를 기록하였다. 반면, 대조군 대상지의 온도에 대한 변화율 절댓값의 최고치는 2.4°C이며, 변화율 절댓값의 평균은 0.8°C이다. 이는 폭염 저감 미스트를 뿌리는 공간의 대기 온도가, 태양고도 등 환경에 영향을 덜 받는 것을 뜻한다.

폭염 저감 시설의 미스트 분사의 확산범위를 파악하

기 위해서 설치한 적외선 촬영의 결과물을 확인했을 때, 폭염 저감시설이 온도에 영향을 미치는 범위는 하향하는 것을 볼 수 있었다. 주로 저감시설 아래 위치한 대기 온도와 포장 면에 큰 영향을 주는 것을 확인할 수 있었으며, 산책로 주변 녹지공간의 온도 저감에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 8의 왼쪽 사진은 폭염 저감 미스트를 가동하지

Table 6. Variation of wet-bulb temperature, sensory temperature and temperature humidity index over time

	T_w (Control site)	T_s (Control site)	T_w (Test site)	T_s (Test site)	THI (Control site)	THI (Test site)	Gap of THI
9:00	26.8	34.7	25.2	31.8	84.7	81.4	- 3.3
9:10	27.6	35.9	24.9	31.6	86.2	81.0	- 5.2
9:20	27.5	35.3	24.8	31.4	85.6	80.8	- 4.8
9:30	27.1	35.2	24.9	31.5	85.3	81.0	- 4.3
9:40	27.8	36.9	25.2	31.8	86.9	81.4	- 5.5
9:50	27.0	36.6	25.0	31.8	86.2	81.3	- 4.9
10:00	26.5	36.1	25.5	32.4	85.4	82.1	- 3.3
10:10	27.4	37.3	25.6	32.6	86.9	82.3	- 4.6
10:20	27.9	37.7	25.5	32.5	87.5	82.2	- 5.3
10:30	26.7	35.8	25.6	32.6	85.4	82.4	- 3.0
10:40	26.8	35.8	25.2	32.2	85.4	81.7	- 3.7
10:50	26.4	35.2	25.3	32.3	84.8	81.9	- 2.9
11:00	26.4	35.1	25.8	32.8	84.7	82.6	- 2.1
11:10	27.0	35.6	25.5	32.4	85.5	82.1	- 3.4
11:20	27.2	35.7	25.4	32.4	85.7	82.1	- 3.6
11:30	27.6	37.2	26.0	33.3	87.0	83.2	- 3.8
11:40	27.7	36.9	26.1	33.7	86.8	83.5	- 3.3
11:50	29.2	38.4	25.7	33.0	88.9	82.7	- 6.2
12:00	28.9	38.2	25.9	33.2	88.6	83.0	- 5.6
12:10	28.1	37.8	26.4	33.9	87.7	83.9	- 3.8
12:20	27.8	37.0	26.1	33.6	87.0	83.4	- 3.6
12:30	26.3	35.5	25.9	33.4	84.9	83.2	- 1.7
12:40	27.1	36.2	26.4	34.3	86.0	84.2	- 1.8
12:50	26.7	36.0	26.0	33.9	85.5	83.6	- 1.9
13:00	26.5	36.6	26.6	34.7	85.8	84.6	- 1.2
13:10	27.8	37.4	26.1	34.0	87.2	83.7	- 3.5
13:20	26.9	37.0	26.7	34.7	86.4	84.7	- 1.7
13:30	28.1	37.8	26.5	34.3	87.7	84.2	- 3.5
13:40	27.8	37.8	26.5	34.3	87.5	84.2	- 3.3
13:50	27.2	37.4	26.6	34.7	86.9	84.6	- 2.3
14:00	27.4	37.5	26.5	34.3	87.0	84.2	- 2.8
14:10	26.4	35.9	26.1	33.8	85.3	83.6	- 1.7
14:20	26.7	36.2	26.3	34.2	85.7	84.0	- 1.7
14:30	27.4	37.9	26.7	34.7	87.3	84.7	- 2.6
14:40	27.3	37.4	26.9	34.7	86.9	84.8	- 2.1
14:50	25.7	36.4	26.7	34.6	85.3	84.6	- 0.7
15:00	25.6	36.0	26.5	34.4	84.9	84.4	- 0.5
Average	27.2	36.6	25.9	33.3	86.3	83.1	- 3.2

않았을 때 촬영한 열화상 이미지이며, 오른쪽 사진은 폭염 저감 미스트를 가동한 상태의 열화상 이미지를 뜻한다. S1은 폭염 저감시설 아래의 대기 온도를 지정하였으며, S2는 폭염 저감시설 분사 밖의 공간을 지정하였다. SH와 SC는 각각 최고 및 최저 온도 지점을 뜻한다.

폭염저감 미스트가 분사되는 시점에 S1 지점과 더불어 인공 포장 면의 온도는 2°C 이상 감소했지만, S2 지점에서는 비슷한 온도 분포를 보였다. 추가로, 순간 풍속이 올라갈 경우 대기 온도에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 파악되었으나, 미스트의 분사 각도에는 영향을 주는 것으로 나타났다. 추후, 시설의 유지관리 방안을 대책을 수립할 때에는 분사기의 압력을 70 bar 이상으로 설정하여, 최적화된 분사 압력을 파악해야 할 것으로 판단된다.

식 1-3, Table 7을 활용하여, 2020년 8월 4일의 한반도 최적화 체감온도(T_s)와 습구온도(T_w), 불쾌지수(THI)를 산정하였다(Table 6 참조). 대조군 대상지의 평균 체감온도는 36.6°C, 실험대상지의 평균 체감온도는 33.3°C로 약 9.0% 감소한 것을 확인할 수 있다. 또한, 체감온도는 최대 13.9%, 최소 4.2%까지 온도감소 효과가 있었다.

불쾌지수의 경우, 폭염 저감장치를 가동했을 때 전반적으로 소폭 감소하는 경향을 볼 수 있었다. 11시 50분에는 불쾌지수를 최대 6 정도 낮춘 것 판단되는데, 이는 미스트 분사형 폭염 저감장치가 단순히 녹지공간의 온도 감소 효과뿐만 아니라, 사람이 느끼는 쾌적함의 정도에도 긍정적인 영향을 미친다는 것을 뜻한다. 본 측정의 대조군 평균온도인 37.4°C가 실험대상지의 평균온도인 32.5°C만큼 감소한다고 가정했을 때, 미스트로 인해 불쾌지수가 올라가기 위해서는 기존습도 43%보다 최소 34% 이상 상승해야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 조경용 쿨링포그의 최적화된 미스트 노즐 선정과 분사방식을 선정하기 위한 실내실험과 실외실험을 통한 온도감소 효과를 검증하는데, 그 목적이 있다. 또한, 폭염 저감용 미스트가 불쾌지수와 체감온도에 미치는 영향을 분석함으로써, 이용자 중심의 설계 재료로 사용 가능한지 그 타당성을 검증하였다. 실내 및 실외실험

을 통해 밝힐 수 있는 본 연구의 결론은 아래 5가지와 같다.

1. 0.15 mm, 0.2 mm, 0.3 mm 총 세 가지의 노즐의 범위, 분사량, 온도변화를 살펴보았을 때 가장 효율적인 노즐의 크기는 0.15 mm이다. 노즐별로 분사되는 범위는 큰 차이를 보이지 않았지만, 분사에 사용되는 물의 양은 노즐 크기가 0.15 mm일 때보다 0.3 mm일 때 3배 정도 더 소모되었다. 각 노즐의 분사 범위가 800 mm 내외인 것을 고려하면, 보폭이 1,500 mm 미만인 보행로에 양쪽에 미스트를 설치하는 것이 효율적인 방안으로 판단된다. 보행로의 보폭이 700 mm 미만인 보행로의 경우, 한쪽 측면에만 폭염 저감장치를 설치하여도, 충분한 온도 감소 효과를 가질 것으로 판단된다.

2. 실내실험 시설의 온도를 31°C로 설정하고 미스트를 분사할 경우, 7분 후에는 노즐 크기에 따라서 23~26%의 온도 감소 효과를 얻을 수 있었다. 분사 후 초기(1분 내외)에는 노즐의 크기가 클수록 온도감소 효과가 큰 것으로 밝혀졌지만, 5분 이상 지속해서 분사 시에는 그 격차가 미미하였다. 즉, 온도 저감에 있어 미스트 분사 장치는 프리쿨링(pre-cooling: 사전에 미스트를 분사하여 일정 수준까지 온도를 저감하는 효과)을 가지고 있다. 이를 통해, 효율적인 온도 저감을 위해서는 대기 온도가 최고점으로 뜨거워지기 이전에 미스트를 분사해야 할 것으로 판단된다. 노인 등의 취약계층 폭염 주의 단계의 경우, 체감온도가 31°C 이상일 때 발령이 되므로 관심 단계인 29°C 이상일 때부터 폭염 저감 미스트를 가동하기를 권고하는 바이다.

3. 실외 온도측정 실험에서는 최대 7.4°C까지 온도가 감소하였으며, 평균적으로는 약 3°C가 감소하였다. 저감률은 8%부터 20%까지 비교적 큰 폭을 가지고 변화하였다. 이는, 온도 변화량이 많지 않은 실험군에 비해 온도 변화량이 크게 변화하는 대조군 온도의 변화로 기인한 것이다. 대조군 대상지의 변화를 평균값은 0.8°C지만, 실험군 대상지의 온도변화 평균값은 0.5°C였다. 이를 통해, 일반적인 공간에 비해 폭염 저감 미스트가 환경요인의 영향을 덜 받는 것을 확인할 수 있다.

4. 열화상 촬영을 통해서 바람이 폭염 저감 미스트에 미치는 영향에 대해서 파악할 수 있었다. 실외에서 분사되는 폭염 저감 미스트의 경우, 바람에 따라 분사의 범위가 쉽게 바뀌는 모습을 확인할 수 있었다. 하지만, 대상

지의 대기 온도변화는 크지 않았던 것으로 파악되었다. 추후, 온도 저감시설의 분사 제어를 위해서는 설정된 70 bar 이상으로 압력을 설정해야 할 것으로 판단된다. 최근 온도 등의 환경 빅데이터를 이용한 저감시설 제어가 사용되고 있으므로, 명확한 제어 시설이 마련되어야 할 것이다. 또한, 보행로 주변에 산책 손잡이 등을 이용해 조금 더 낮은 위치에서 폭염 저감시설을 가동한다면 조금 더 효율적인 온도 저감시설로 사용될 것이다.

5. 폭염기에 미스트형 온도 저감시설을 사용할 경우, 평균 체감온도는 약 9% 정도 감소할 수 있었다. 또한, 불쾌지수에서도 소폭 감소하는 모습을 볼 수 있었다. 습도가 상승할 경우 불쾌지수 상승에 기인할 수 있는데, 상대 습도가 최소 30% 이상 올라가야 불쾌지수가 상승할 것으로 판단된다. 측정 일자의 평균 습도 증가율이 15.8%, 최대 증가율이 최대 증가율이 23%인 것을 고려했을 때, 시민들이 폭염 저감시설이 설치된 조경공간을 이용할 때 쾌적함 증대의 요소로 작용할 것으로 판단된다.

하지만, 본 연구가 가지는 실험상 세 가지 한계점을 가진다. 첫 번째 한계점은 실내 및 실외실험에서 미스트의 분사 압력을 조절할 수 있는 시설을 마련하지 못하였다는 점이다. 분사 압력에 따라서 분사 범위와 바람의 저항 정도가 달라지므로, 후속 연구에서는 분사 압력 등을 조절할 수 있는 제어 시설이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

두 번째 한계점은, 미스트가 분사되는 동안에 실험군 대상지와 대조군 대상지의 온도/습도에 다른 조건이 영향을 미칠 수 있다는 점이다. 본 연구자는 첫째 날 유의성 검사를 통해 두 대상지의 미소변화 상관성이 높음을 파악하고, 미스트 분사 전/후로 약 2시간의 초기 환경 조건이 같음을 밝혔다. 하지만, 미스트가 분사되는 동안에 실험군 대상지 혹은 대조군 대상지가 타 영향요인으로 인해 기온변화가 발생할 가능성이 존재한다. 두 번째 한계점을 해결하기 위해서는, 실내 풍동실험 혹은 동일한 대상지에 시뮬레이션 실험을 통한 검증이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

마지막 한계점은 본 연구에서 측정된 데이터의 수집 방식에 개선이 필요하다는 점이다. 본 연구는 스마트시티 혁신성장프로젝트의 일환으로 수행되었다. 스마트시티에서는 폭염경보 등의 정보를 시민들에게 제공하기 위해, Massive IoT 등의 초연결 무선통신을 이용한 데이터

수집 자동화 및 시민들이 이용할 수 있는 Use Case 제공을 목표로 하고 있다. 추후 연구에서는 데이터의 수집 방식 개선과 서버를 이용한 빅데이터 관리 등 종합적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

위 세 가지의 한계점을 보완한 후속 연구가 진행될 경우, 공원 및 조경공간 이용자들에게 쾌적한 보행환경을 조성할 수 있는 설계의 근거 데이터(evidence-based design)로 사용될 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 스마트시티 혁신성장동력 프로젝트 지원으로 수행되었음 (과제번호 : 19NSPS-B154559-02).

REFERENCES

- Arbel, A., Yekutieli, O., Barak, M., 1999, Performance of a fog system for cooling greenhouses, *J. Agric. Eng. Res.*, 72(2), 129-136.
- Bluestein, M., Zecher, J., 1999, A New approach to an accurate wind chill factor, *Bull Am Meteorol Soc.*, 80(9), 1893-1900.
- Budd, G. M., 2008, Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) – its history and its limitations, *J SCI MED SPORT.*, 11(1), 20-32.
- Cho, H. J., Lim, J. H., 2011, The effect of urban vegetation on a decrease of road surface temperature, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 39(3), 107-116.
- Daegu Metropolitan City., 2018, Daegu Metropolitan City ordinance on the response of heat and urban heat island phenomenon.
- IPCC, Climate Change 2014., 2014, Synthesis report. In Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change; Core Writing Team, Pachauri, R. K., Meyer, L. A., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland.
- Jang, Y. J., Heo, H. S., Kim, B. J., Kim, S. K., Hong, G. M., Lee, W. K., 2012, The change of the average discomfort index from June to September during the past 10 years, *Journal of Climate Change Research*, 3(2), 89-100.
- Jung, H. D., 2018, A Case study on policy direction for heat response in Daejeon.

- Katsoulas, N., Kitta, E., Kittas, C., Tsirogiannis, I. L., Stamati, E., Sayvas, D., 2006, Greenhouse cooling by a fog system: effects on microclimate and on production and quality of a soilless pepper crop, In International Symposium on Greenhouse Cooling., 719, 455-462.
- Kim, J. K., Kang, J. S., Kim, H. J., 2020a, Model design and demonstration test for the verification of temperature reduction effect of cooling fog system with stainless steel, *J. Environ. Sci. Int.*, 29(6), 683-689.
- Kim, J. K., Kim, W. H., Kim, E. I., 2020b, Analysis of temperature influence experiment on green spaces in campus, *JKAIS.*, 21(2), 511-520.
- Kim, J. K., Lee, S. Y., Kang, J. S., 2020c, Temperature reduction effects of rooftop garden arrangements: a case study of seoul national university, *Sustainability.*, 12(15), 6032.
- Korean Meteorological Administration Weather Information : <http://www.kma.go.kr>.
- Lee, C. S., Ryu, N. H., 2015, The influence of the landscaping shade membrane's brightness on the Mean Radiant Temperature (MRT) of summer outdoor, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture.*, 43(5), 65-73.
- Lee, S. J., Kwon, B. Y., Jung, D. H., Jo, K. H., Kim, M. S., Ha, S. M., Kim, H. N., Kim, B. N., Masud, M. A., Lee, E. I., Kim, Y. G., 2013, Future prediction of heat and discomfort indices based on two RCP scenarios, *Atmosphere*, 23(2), 221-229.
- National Aeronautics & Space Administration (NASA), 2020, Goddard Institute for Space Studies (GISS), GISS surface temperature analysis.
- Thom, E. C., 1959, The discomfort index, *Weatherwise*, 12(2), 57-61.
- Wong, C. Y., Gamon, J. A., 2015, Three causes of variation in the Photochemical Reflectance Index (PRI) in evergreen conifers, *New Phytologist*, 206(1), 187-195.
- Yoon, J. H., 2018, Revision of the framework act on the management of disasters and safety for the management of heatwaves and hampi, *Monthly Public Policy.*, 156, 96-98.

-
- Doctor's course. Jae-Kyoung Kim
Interdisciplinary Program in Landscape Architecture,
Seoul National University
kinnam124@snu.ac.kr
 - Associate Professor. Jun-Suk Kang
Department of Landscape Architecture and Rural Systems
Engineering, Seoul National University
Junkang@snu.ac.kr
 - CEO. Hoi-Jin Kim
UB E&C
lalala1968@naver.com