

ORIGINAL ARTICLE

## 기후변화 대응 건축물 기화냉각시스템 적용에 따른 외부 열환경 변화 연구

윤용한 · 권기욱<sup>1)\*</sup>

건국대학교 녹색기술융합학과, <sup>1)</sup>건국대학교 글로벌산학협력단

### Changes in the External Heat Environment of Building Evaporative Cooling Systems in Response to Climate Change

Yong-Han Yoon, Ki-Uk Kwon<sup>1)\*</sup>

*Department of Green Technology Convergence, Konkuk University, Chungju 27478, Korea*

*<sup>1)</sup>Glocal Industry-Academic Cooperation Foundation, Konkuk University, Chungju 27478, Korea*

#### Abstract

The purpose of this study was to investigate changes in the external thermal environment, following the application of evaporative cooling systems in buildings, in response to climate change. In order to verify changes in the external thermal environment, a T-test was performed on the microclimate, Thermal Comfort Index (TCI), and building surface temperature. Differences in microclimate, following the application of the evaporative cooling system in the building, were significant in terms of temperature and relative humidity. In particular, temperature decreased by more than 7% when the evaporative cooling system was applied. According to the results of the Thermal Comfort Index analysis, the Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) was below the limit of outdoor activities, indicating that outdoor activities were possible. The Universal Thermal Climate Index (UTCI) values were within the very strong heat stress range when the evaporative cooling system was not applied. When the system was applied, the UTCI values were within the strong heat stress range, indicating that they were lowered by one level. The building surface temperature decreased by ~10% or more when the evaporative cooling system was applied, compared to when it was not applied. Finally, the outside surface temperature of the building decreased by ~12% or more when the system was applied, compared to when it was not applied. We conclude that the energy saving effect of the building was significant.

**Key words** : Mist, Microclimate, Comfort index, External pollution

#### 1. 서론

최근 기후가 변화함에 따라 온난해진 기후는 폭염, 혹한, 호우, 폭설 등과 같은 극한 기후재해를 빈번하게

발생시켜 사회경제시스템과 자연환경에 커다란 영향을 미치고 있다. 국내에서는 대도시를 중심으로 폭염 일 수의 증가로 인하여 온도상승에 따른 대기의 오존 농도를 증가시켜 대기오염을 가중시킨다(Takebayashi

**Received** 25 October, 2018; **Revised** 6 November, 2018;

**Accepted** 6 November, 2018

\***Corresponding author**: Ki Uk, Kwon, Glocal Industry-Academic Cooperation Foundation, Konkuk University, Chungju 27478, Korea  
Phone : +82-43-840-4825  
E-mail : kko1019@kku.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.

and Moriyama, 2009; Kim et al., 2015).

또한, 기후변화는 외부 열환경을 악화시켜 도시민의 건강을 위협하고 냉방부하를 늘여 도심지의 환경을 악화시킬 뿐만 아니라 과도한 에너지 사용으로 인한 블랙아웃과 같은 인재로 나타난다(Wong et al., 2010).

최근 국내 여름철 날씨는 매우 높은 기온을 유지하면서 기후변화에 기인하는 폭염 발생이 증가하여 그 위험성에 대해 인식하고 있다. 미국의 경우 80년대 후반부터 2003년까지 기상재해 중 폭염과 가뭄으로 인한 피해가 91.6%를 차지하였고(Heo and Song, 2012), 우리나라 또한 매년 피해가 늘고 있는 실정이다.

이에 대한 국가적 대응으로 2012년도부터 여름철 실내 온도를 28℃로 제한하였으며, 더위에 의한 에어컨의 과도한 사용으로 호흡기와 피부질환도 증가하고 있다(Hong, 2013). 이처럼 폭염의 발생빈도 및 강도가 점차 심화되고 발생시기의 불확실성이 가중됨에 따라 그 피해는 더욱 커지고 있는 실정이다.

이러한 기후변화로 인한 폭염의 영향 및 피해에 대한 적절한 대응방안으로 물 입자 분사를 이용한 기화냉각효과에 따른 외부 열환경 개선에 관심이 모아지고 있는 실정이다.

기화냉각효과에 관한 선행연구는 최근 폭염으로 인한 호수, 분수 등 수공간의 확충과 분수수의 잠열을 활용 및 효과를 검증하는 연구가 시도되고 있다(Harby et al., 2016). 또한, 기화냉각시스템의 효과가 나타날 수 있는 요인은 물 입자의 크기를 노즐을 이용하여 직경 50 μm 이하의 미립자로 분무하는 가습냉각 방식이다(Kuehni et al., 2016). 이 방식을 통하여 분무입경을 가능한 작게 하는 것이 중요하며 물 입자가 기화하기 쉽도록 하는 것이 중요하다. 물의 증발속도 즉 공기의 냉각 효율은 물방울의 크기가 작아지는데 비례해서 증가한다(Kang, 2001).

기화냉각시스템을 공조시스템에 적용한 연구에서는 기화냉각시스템은 공기의 엔탈피변화를 통하여 잠열전달과 현열교환에 기인하는 것으로 보고하였다(Naticchia et al., 2010; Wang et al., 2014).

미세 물입자는 외부의 열 유속을 감소시키며, 기화냉각시스템을 도입한 벽면에서 더 낮은 온도를 보였으며, 물 입자가 작을수록 그 효과가 증가하는 것으로 보고하였다(Kuehni et al., 2016). 미세 물입자를 이용한 냉각

시스템 성능평가 결과 증발냉각효과 시스템의 설치 시에 외기 온도가 3~4℃ 냉방효과가 있음을 제시하였다(Yoon et al., 2008). 일사 차광막 및 미스트 분무가 단동 플라스틱 하우스에 미치는 냉각효과를 검증한 연구에서는 증발냉각시스템을 통하여 약 4℃이상의 온도저감효과를 보고하였다(Lee et al., 2000).

기화냉각시스템 성능은 기상조건 및 물입자의 물리적 특성에 의해 그 성능이 영향을 받으며, 유입수의 온도에 따라서 기화냉각성능이 40% 이상 차이가 있음을 보고하고 있다(Montazeri et al., 2015).

선행연구 검토 결과 미세 물입자를 이용하여 폭염에 대응할 수 있는 최적의 대안으로 제시되고 있다. 또한, 이처럼 폭염과 같은 기상현상 변화에 대응하는 외부공간에서의 미세 물분사에 대한 필요성이 증가하고 있으나, 국내에서의 기화냉각시스템 개발 및 검증 연구는 미비한 실정이다(Kim et al., 2015; Kim et al., 2016).

따라서 본 연구는 기후변화에 대응하여 건축물에 적용 가능한 기화냉각시스템을 구현하였으며, 이에 대한 열환경 변화를 실증분석하였다. 추가적으로 향후 기후재해로 발생할 열환경 및 외부오염인자 완화 효과에 대한 기초자료로 제시하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 연구대상지 및 실험구 조성

기후변화 대응 건축물 기화냉각시스템 적용에 따른 열환경 분석을 위하여 연구대상지는 충북 충주시에 위치한 건국대학교 글로벌캠퍼스 녹색기술융합학과 실습장에서 실시하였다.

열환경 분석을 위한 건축물적용 기화냉각시스템 검증을 위하여 건축물 모델을 구축하였다. 규격은 가로 1.7 m, 세로 1.7 m, 높이 1.7 m이며, 건축물의 벽체구성은 외부에는 콘크리트블록으로 구성하였으며, 내부에는 단열재 및 마감재로 조성하였다. 또한, 기화냉각시스템의 적용 유무에 따른 효과를 분석하기 위하여 2개 조성하였다. 실험구 유형은 기화냉각시스템 미설치 건축물을 Control, 기화냉각시스템 적용 건축물을 Case A로 설정하였다.

기화냉각시스템은 건축물의 상단높이에서 분사가 가능하도록 하기 위하여 가로 2.0 m, 세로 2.0 m, 높이 2.0

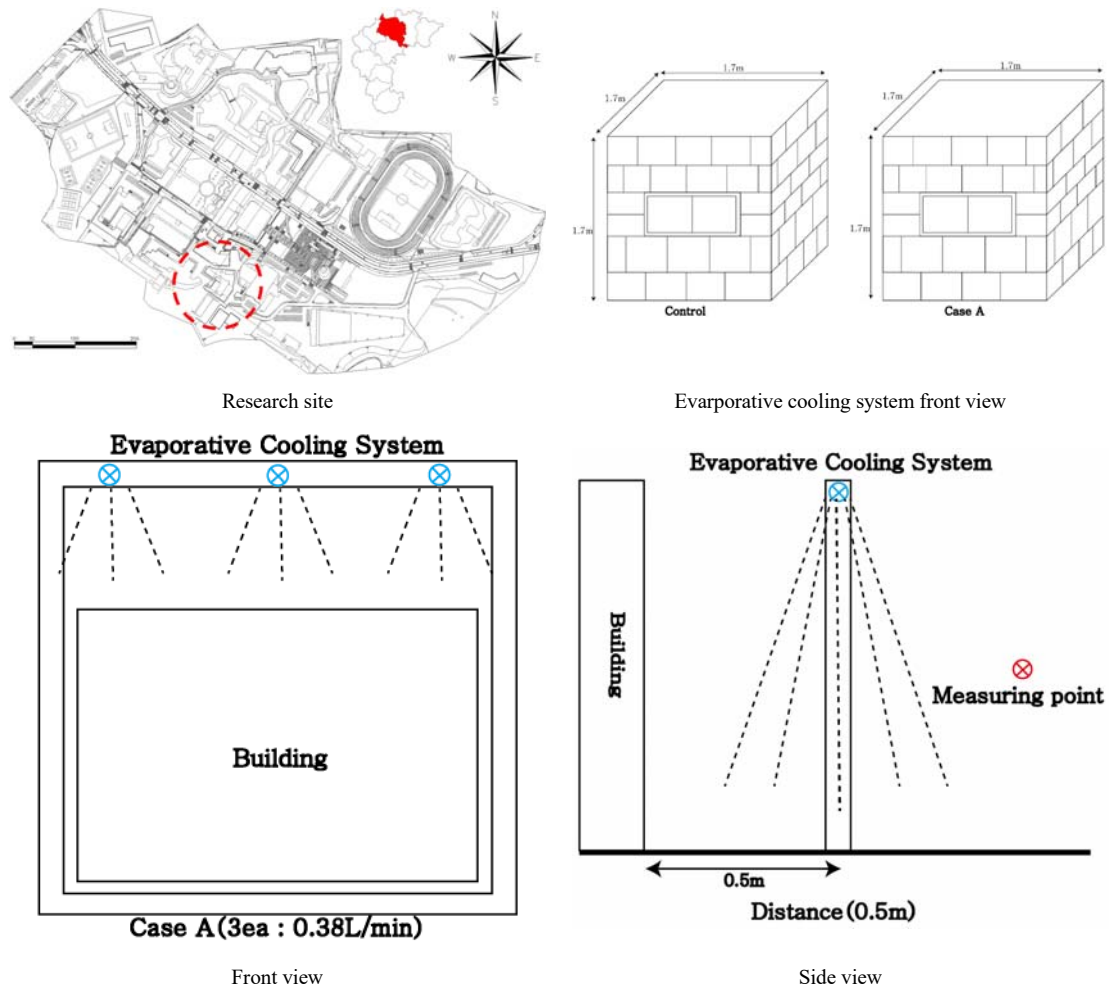


Fig. 1. Research location and experimental structure.

m 규모의 사각틀을 조성하였다. 분사노즐은 Coolnet(社 NETAFIM, Israel)을 적용하였으며, 미세한 고정식 분무장치로 상대적으로 작은 압력인 4 bar에서 90 micron의 평균분사가 가능한 노즐로 설정하였다. 분사노즐 위치는 사각틀 상부에 고정하였으며, 1개 노즐에서의 분사량은 약 0.125 L/min으로 건축물 크기를 고려하여 3개(0.38 L/min)를 설치하였다. 건축물과 기화냉각시스템의 거리는 0.5 m로 이격하여 위치하였다(Fig. 1).

2.2. 조사분석방법

연구기간은 2016년 3월부터 9월까지 진행하였으며, 측정기간 중 폭염 가능성이 높은 시기인 7~8월에 집중

조사하였다. 측정시간은 일사량 및 기온이 증가하는 정오를 중심으로 11시부터 17시까지 측정을 실시하였다.

측정항목으로는 기화냉각시스템 적용에 따른 외부 미기상, 열쾌적지표, 건축물 표면온도를 나누어 측정하였다. 미기상은 일사량, 기온, 상대습도를 측정하였으며, 측정장비로는 일사량은 일사계(LP02-LI19, Hukseflux, Netherlands)로 측정하였고, 기온 및 상대습도는 열선풍속계 TSI-9535(TSI Inc, USA)를 활용하여 측정하였다.

기화냉각시스템을 통하여 외부공간에서 인간이 느끼는 열쾌적지표를 측정하였으며, 측정항목으로는 습구흑구온도지수(WBGT, Wet-Bulb Globe Temperature),

**Table 1.** T-test of mean difference on microclimate elements of outside according to application of evaporation cooling system

	Levene statistic		<i>t</i>	<i>df</i>	Sig.	Mean difference	Std. error	95% confidence interval	
	<i>F</i>	Sig.						Minimum	Maximum
Solar Radiation	.560	.455	.680	250	.497	19.15810	28.16255	-36.30799	74.62418
Air Temperature	2.535	.113	10.896	250	.000	2.47238	.22691	2.02547	2.91929
Relative humidity	18.872	.000	-10.708	217.926	.000	-10.61810	.99160	-12.57245	-8.66374

예상온열감(PMV, Predicted Mean Vote), 일반적 온열 기후지수(UTCI, Universal Thermal Climate Index)를 측정하였다. 습구흑구온도지수는 흑구온도, 습구온도, 건구온도 등을 고려하여 산출하였으며, 예상온열감과 일반적 온열기후지수는 기온, 상대습도, 풍속, 평균복사온도, 착의량, 대사량 등을 고려하여 산출하였다.

측정된 데이터의 분석으로는 SPSS PASW Statistics 18을 활용하였으며, 주요 측정항목의 기본적인 통계량을 분석하기 위하여 기술통계를 실시하였고, 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 외부 열환경 변화를 검증하기 위하여 T-test를 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 외부 미기상 변화 차이 검증

##### 3.1.1. 일사량

건축물 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 미기상 변화 중 일사량의 경우 Control에서 최대 869.77 W/m<sup>2</sup>, 최소 404.22 W/m<sup>2</sup>, 평균 650.25 W/m<sup>2</sup>로 측정되었다. Case A의 경우 최대 878.00 W/m<sup>2</sup>, 최소 348.33 W/m<sup>2</sup>, 평균 631.09 W/m<sup>2</sup>로 나타났다(Fig. 2).

기화냉각시스템을 미적용한 Control 대비 Case A에서 저감량 19.16 W/m<sup>2</sup>, 저감율 2.95%를 보였다.

T검정 결과, t값은 0.680, 유의확률 0.497로 기화냉각시스템 유·무에 따른 일사량 측정값의 차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 이에 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 일사저감 효과는 그 차이가 미미한 것으로 판단되었으며, 미세 물입자에 따른 일사량 변화에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료 되었다.

##### 3.1.2. 기온

건축물 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 기온의 경우 Control에서 최대 36.57℃, 최소 33.32℃, 평균 35.11℃로 측정되었다. Case A의 경우 최대 34.69℃, 최소 30.08℃, 평균 32.63℃로 나타났다(Fig. 3).

기화냉각시스템을 미적용한 Control 대비 Case A에서 저감량 2.47℃, 저감율 7.04%를 보였다.

T검정 결과, t값은 10.896, 유의확률 0.000으로 기화냉각시스템 유·무에 따른 기온 측정값의 차이는 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

따라서 모든 시간대에서 기화냉각시스템을 적용한 Case A에서 양호한 기온저감 효과를 보였으며, 이는 기화냉각시스템의 미세 물입자로 인해 분사와 동시에 기화열로 인한 온도하강이 시작되어 기온저감 효과가 나타난 것으로 판단되었으며, 향후 분사량 증가를 통한 기화냉각효과에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료 되었다(Lee and Kim, 2011; Kim et al., 2016; Kwon, 2017).

##### 3.1.3. 상대습도

건축물 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 상대습도의 경우 Control에서 최대 55.22%, 최소 45.11%, 평균 50.44%로 측정되었다. Case A의 경우 최대 68.68%, 최소 53.69%, 평균 61.05%를 보였다(Fig. 4).

기화냉각시스템을 미적용한 Control 대비 Case A에서 증가량 10.62%, 증가율 21.05%로 분석되었다.

T검정 결과, t값은 -10.708, 유의확률 0.000으로 기화냉각시스템 유·무에 따른 상대습도 측정값의 차이는 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

이에 기화냉각시스템의 미세 물입자로 인해 상대습도가 높게 나타난 것으로 사료 되었으며, 향후 상대습도로 인한 건축물 외벽의 영향에 대한 연구가 필요할 것으로

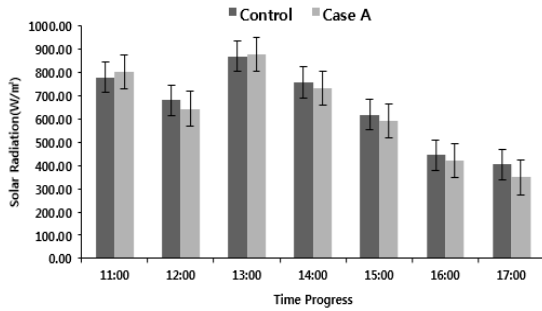


Fig. 2. The solar radiation changes according to the application of the evaporative cooling system.

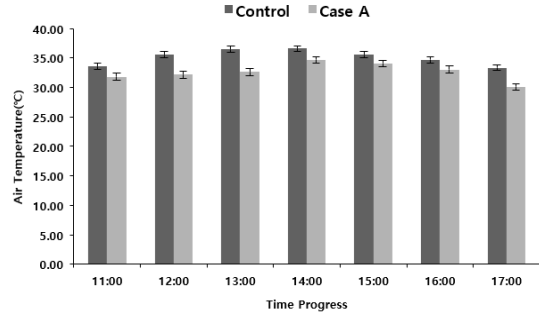


Fig. 3. The air temperature changes according to the application of the evaporative cooling system.

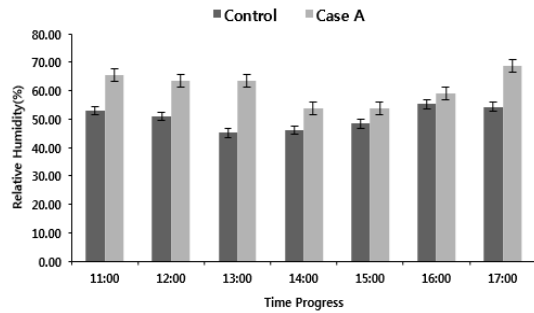


Fig. 4. The relative humidity changes according to the application of the evaporative cooling system.

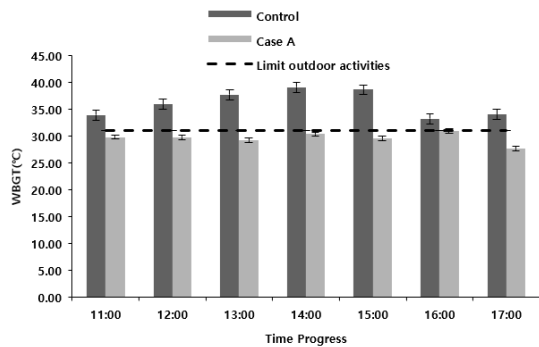


Fig. 5. The WBGT changes according to the application of the evaporative cooling system.

사료 되었다.

### 3.2. 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 외부 열쾌적지표 변화 차이검증

#### 3.2.1. WBGT

습구흑구온도지수는 흑구(복사열), 습구(습도와 바람), 건구(대기온도) 온도계 값을 기준식에 대입하여 도출한 값으로 나타나며, 각 지수값의 범위를 설정하여 인간의 열스트레스에 적합한 온열환경 활동지침을 설정하고 있다. 이는 고온환경에서 작업자 또는 일상생활에서 인간 활동을 제한하는 방식으로 활용되어, 열적으로 안전하고 쾌적한 생활환경을 고려할 수 있는 지수로 활용될 수 있음을 의미한다(Ann et al., 2013). 또한 체육분야, 군사훈련분야, 노동분야 등에서 적용되고 있으며, 특히 군사훈련 시 많이 활용되고 있고, 31°C 이상이 되면 옥외훈련 및 활동이 제한되고 있다(Park et al., 2008).

건축물 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 WBGT의 경우 Control에서 최대 39.02°C, 최소 33.18°C, 평균 36.02°C로 측정되었다. Case A의 경우 최대 30.91°C, 최소 27.60°C, 평균 29.57°C로 산출되었다(Fig. 5).

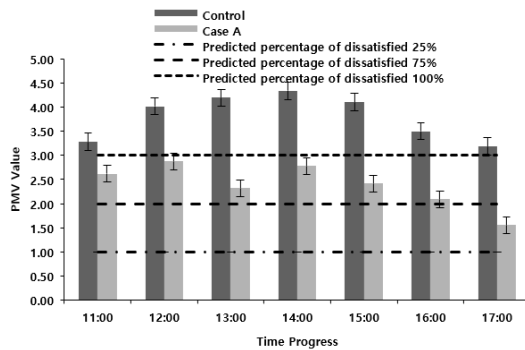
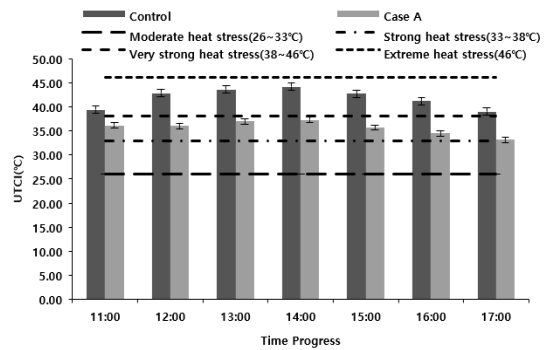
기화냉각시스템을 미적용한 Control 대비 Case A에서 저감량 6.45°C, 저감율 17.90%를 보였다.

T검정 결과, t값은 18.475, 유의확률 0.000으로 기화냉각시스템 유·무에 따른 WBGT 측정값의 차이는 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

Control은 모든 시간대에서 31°C를 초과하여 옥외활동이 제한되는 결과를 보였으며, Case A는 모든 시간대에서 31°C 이하의 수치를 보여 옥외활동이 가능할 것으로 판단되었다. 이는 기화냉각시스템의 미세 물입자의 기화냉각효과로 인한 복사열 감소 때문인 것으로 판단되었다(Kim et al., 2016, Kwon, 2017).

**Table 2.** T-test of mean difference on thermal comfort index of outside according to application of evaporation cooling system

	Levene statistic		<i>t</i>	<i>df</i>	Sig.	Mean difference	Std. error	95% confidence interval	
	<i>F</i>	Sig.						Minimum	Maximum
WBGT	55.098	.000	18.475	210.945	.000	6.44857	.34905	5.76050	7.13665
PMV	.163	.687	18.912	250	.000	1.41982	.07508	1.27196	1.56769
UTCI	.031	.860	20.709	250	.000	6.16667	.29778	5.58018	6.75315

**Fig. 6.** The PMV changes according to the application of the evaporative cooling system.**Fig. 7.** The UTCI changes according to the application of the evaporative cooling system.

### 3.2.2. 예상온열감(PMV)

예상온열감은 덴마크 공과대학의 Fanger 교수가 1967년에 개발한 이론으로 ISO 7730으로 채택되어 세계적으로 널리 쓰이고 있다. 인간의 온열감각에 대한 이론을 정량화시킨 것으로 인체의 열평형을 기초로 한 쾌적 방정식에 대입하여 인체의 온열감을 이론적으로 예측한 것이다. 즉, 예상온열감은 온열환경 6요소를 쾌적 방정식에 대입시켰을 때의 산열량과 방열량의 불평형분(인체 열부하)과 사람의 온열 감각을 피험자 실험을 통해 나타난 지표이다. 분류 척도는 -3 ~ 3까지 총 7개로 구분되며, 0일 때 불만족율 5%,  $-1 < PMV < 1$  일 때 불만족율 25%,  $-2 < PMV < 2$  일 때 불만족율 75%,  $-3 < PMV < 3$  일 때 불만족율 100%에 해당한다(Kim et al., 2015).

건축물 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 예상온열감(PMV) 분석결과 Control은 최대 4.34, 최소 3.18, 평균 3.80으로 산출되었으며, Case A에서는 최대 2.88, 최소 1.56, 평균 2.38로 산출되었다(Fig. 6).

T검정 결과, *t*값은 18.912, 유의확률 0.000으로 기화냉각시스템 유·무에 따른 PMV 측정값의 차이는 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

Control은 모든 시간대에서 예상불만족율 100%에 해당하였으며, Case A는 17시에 예상불만족율 75%에 해당하였으나 다른 시간대에서는 예상불만족율 100%에 해당하였다.

예상온열감은 실내 환경을 기준으로 작성된 온열쾌적 감지표로 옥외공간의 평가에 적용할 경우 열적인 불쾌적 감에 대해 과대평가가 발생하므로(Kim et al., 2015; Kim et al., 2016), 외부공간의 열쾌적평가가 지표로는 한계점으로 판단되었다. 따라서 국내 실정에 적합한 외부 열쾌적 평가지표의 개발이 필요할 것으로 사료되었다.

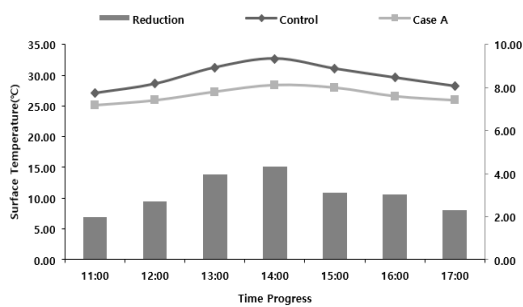
### 3.2.3. 일반적 온열기후지수(UTCI)

일반적 온열기후지수의 적용범위는 추위와 열을 고려하여 총 10개 등급으로 구분되며(Hoppe, 2002), 9~26°C를 쾌적범위로 설정한 후 26~33°C는 일반적인 열 스트레스, 33~38°C는 강한 열 스트레스, 38~46°C는 매우 강한 열 스트레스, 46°C를 초과하는 경우 극심한 열 스트레스로 분류하고 있다(Kim et al., 2015). 본 연구에서는 추위에 대한 등급 사례는 연구목적과 부합되지 않기 때문에 제시하지 않았다.

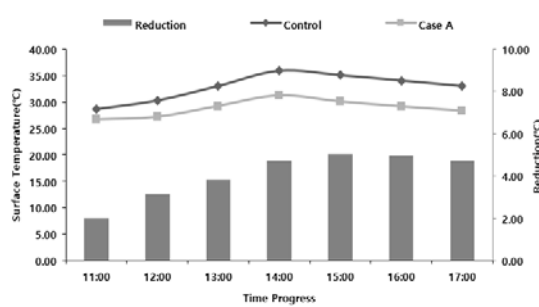
건축물 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 일반적

**Table 3.** T-test of mean difference on building surface temperature according to application of evaporation cooling system

	Levene statistic		t	df	Sig.	Mean difference	Std. error	95% confidence interval	
	F	Sig.						Minimum	Maximum
In side surface temperature	27.755	.000	14.033	206.923	.000	3.06143	.21816	2.63132	3.49153
Out side surface temperature	30.731	.000	13.365	222.474	.000	4.04810	.30289	3.45120	4.64499



**Fig. 8.** The in side building surface temperature changes according to the application of the evaporative cooling system.



**Fig. 9.** The out side building surface temperature changes according to the application of the evaporative cooling system.

온열기후지수(UTCI)의 경우 Control에서 최대 44.1 3℃, 최소 39.00℃, 평균 41.83℃로 측정되었다. Case A의 경우 최대 37.27℃ 최소 33.13℃, 평균 35.66℃로 산출되었다(Fig. 7).

기화냉각시스템을 미적용한 Control 대비 Case A에서 저감량 6.17℃, 저감율 14.74%를 보였다.

T검정 결과, t값은 20.709, 유의확률 0.000으로 기화냉각시스템 유·무에 따른 UTCI 측정값의 차이는 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

Control은 모든 시간대에서 매우 강한 열스트레스의 범위인 38~46℃의 범위에 속하였으며, Case A는 모든 시간대에서 강한 열스트레스 범위인 33~38℃에 속하였다.

Control 대비 Case A에서 1단계 낮은 범위의 수치를 보였으며, 폭염 시 도심지 대비 녹지에서는 1단계 낮은 범위를 보인 기존 연구의 저감효과와 유사한 것으로 판단되었다(Cheung and Hart, 2014). 향후 폭염 시 녹지와 기화냉각시스템에 대한 비교연구가 진행되어야 할 것이며, 일반적 온열기후지수의 개발이 국외의 기준으로

계산된 값으로 국내실정에 맞는 다양한 요소에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다(Kim et al., 2015, Kim et al., 2016; Kwon, 2017).

### 3.3. 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 건축물 표면온도 변화 차이검증

#### 3.3.1. 건축물 내부 표면온도

건축물 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 내부 표면온도 경우 Control에서 최대 32.70℃, 최소 27.14℃, 평균 29.81℃로 측정되었다. 기화냉각시스템을 적용한 Case A의 경우 최대 28.37℃, 최소 25.17℃, 평균 26.75℃로 나타났다(Fig. 8).

기화냉각시스템을 미적용한 Control 대비 Case A에서 저감량 3.06℃, 저감율 10.27%를 보였다.

T검정 결과, t값은 14.033, 유의확률 0.000으로 기화냉각시스템 유·무에 따른 건축물 내부표면온도 측정값의 차이는 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

이에 기화냉각시스템 적용으로 건축물 내부 표면온도가 10% 이상 저감되었으며, 건축물 에너지저감 효과에

양호할 것으로 보였다. 기화냉각시스템은 건축물 에너지 저감에 대한 실질적인 대안으로 사료되었으며, 향후 경제성 평가를 통한 검증이 필요할 것으로 판단되었다.

### 3.3.2. 건축물 외부 표면온도

건축물 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 외부 표면온도 경우 Control에서 최대 35.91℃ 최소 28.62℃, 평균 32.85℃로 측정되었다. 기화냉각시스템을 적용한 Case A의 경우 최대 31.20℃ 최소 26.63℃, 평균 28.80℃로 나타났다(Fig. 9).

기화냉각시스템을 미적용한 Control 대비 Case A에서 저감량 4.05℃, 저감율 12.32%로 분석되었다.

T검정 결과, t값은 13.365, 유의확률 0.000으로 기화냉각시스템 유·무에 따른 건축물 외부 표면온도 측정값의 차이는 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

기화냉각시스템 적용으로 미세 물입자에 의한 건축물 표면온도가 저감하였으며, 저감율이 12% 이상 나타나 그 효과가 양호할 것으로 판단되었다.

## 4. 결론

본 연구는 기후변화 대응 건축물 기화냉각시스템 적용에 따른 외부 열환경 변화를 규명하여 정량적으로 제시하고자 하였다. 외부 열환경 변화 차이검증으로는 미기상, 열쾌적지표, 건축물 표면온도에 대한 T검정을 실시하였다.

건축물 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 미기상변화 차이 검증에서 기온과 상대습도에서 유의한 결과가 확인되었다. 특히, 기온은 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 저감율이 약 7% 이상 확인되었다.

열쾌적지표 차이 검증 결과, WBGT의 경우 기화냉각시스템 적용 시 옥외활동 제한 범위 이하의 결과를 보여 옥외활동이 양호할 것으로 판단하였으며, UTCI의 경우 기화냉각시스템 적용에 따라 미적용 시 매우강한 열스트레스 범위에 속하였으나, 적용 시 강한 열스트레스 범위에 속하여 1단계 낮아지는 결과를 보였다.

마지막으로 건축물표면온도 차이 검증 결과 건축물 내부 표면온도의 경우 기화냉각시스템 적용 유·무에 따라서 미적용 대비 적용 시 약 10% 이상의 저감효과를 보였으며, 건축물 외부표면온도의 경우 미적용 대비 적용 시 약 12% 이상의 저감효과를 보였으며, 이에 건축물 에

너지저감 효과 성능이 양호할 것으로 사료되었다.

본 연구에서는 기화냉각시스템의 적용 유·무에 따른 다양한 유형 검증 및 외부 영향에 대한 통제가 미흡한 것이 연구의 한계점으로 판단되었다. 이에 향후 기화냉각시스템 유형의 다양한 검증 및 외부의 영향요인에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료되었다.

## 감사의 글

이 논문은 2017년도 건국대학교 KU학술연구비 지원에 의한 논문임.

## REFERENCES

- Ann, D. M., Lee, J. W., Kim, B. R., Yoon, H. S., Son, S. W., Choi, U., Lee, N. R., Lee, J. Y., Kim, H. R., 2013, An Analysis of thermal comforts for pedestrians by WBGT measurement on the urban street greens, *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, 41(3), 22-30.
- Harby, K., Gebaly, D. R., Koura, N. S., Hassan, M. S., 2016, Performance improvement of vapor compression cooling systems using evaporative condenser: An overview, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 347-360.
- Heo, B. Y., Song, J. W., 2012, Countermeasures on heat wave related disasters increasing due to climate change, *Journal of KOSHAM*, 12(6), 171-177.
- Hong, K. B., 2013, A Study on the characteristics of cooling system using water mist, *Symposium of Korea National University of Transportation Korea*, 48, 27-32.
- Hoppe, P., 2002, Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort, *Energy Buildings*, 34(6), 661-665.
- Kang, J. Y., 2001, A Study on analysis of indoor thermal environment and cooling effects by ventilation and evaporative cooling of single span plastic greenhouses, *Master's Thesis, Jeju University, Korea*.
- Kim, J. H., Kwon, K. U., Yoon, Y. H., 2015, Analysis of UTCI, PMV, WBGT maximum temperature according to the characteristics of green in schools green space, *Journal of Korean Soc. People Plants Environ*, 18(5), 363-370.



- Kim, J. H., Lee, M. H., Yoon, Y. H., 2015, A Verification study on the temperature reduction effect of water mist injection, *Journal of Korea Institute of Ecological Architecture*, 14(3), 5-14.
- Kim, J. H., Yoon, Y. H., Kim, H. K., Kwon, K. U., 2016, Thermal environment transition of response climate change and heat wave application evaporative cooling system, *Journal of Environmental Science International*, 25(9), 1269-1281.
- Kuehni, S. M., Bou-Zeid, E., Webb, C., Shokri, N., 2016, Roof cooling by direct evaporation from a porous roof layer, *Energy and Buildings*, 127(1), 521-528.
- Kwon, K. U., 2017, Evaluation of the thermal environmental condition for green building through empirical analysis on environmental performance, Ph. D. Dissertation, Konkuk University, Korea.
- Lee, C. S., Huh, J. C., Choi, D. H., Lim, J. H., Hwang, K. S., 2000, An Examination on cooling effects on single span plastic greenhouses by solar shade and/or mist spray, *The Korean Society For Bio-Environment Control*, 9(1), 26-29.
- Lee, H. W., Kim, Y. S., 2011, Application of low pressure fogging system for commercial tomato greenhouse cooling, *Journal of Protected Horticulture and Plant Factory*, 20(1), 1-7.
- Montazeri, H., Blocken, B., Hensen, J. L., 2015, CFD analysis of the impact of physical parameters on evaporative cooling by a mist spray system, *Applied Thermal Engineering*, 75, 608-622.
- Naticchia, B., D'Orazio, M., Carbonari, A., Persico, I., 2010, Energy performance evaluation of a novel evaporative cooling technique, *Energy and Buildings*, 42(10), 1926-1938.
- Park, J. K., Jeong, W. S., Kim, E. B., Kim, S. C., 2008, Application of HI and WBGT for estimate of thermal environment, *Proceedings of the Korean Atmospheric Environment Conferences*, 586-587.
- Takebayashi, H., Moriyama, M., 2009, Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking, *Solar Energy*, 83, 1211-1223.
- Wang, T., Sheng, C., Nnanna, A. A., 2014, Experimental investigation of air conditioning system using evaporative cooling condenser, *Energy and Buildings*, 81, 435-443.
- Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P. Y., Chan, D., Wong, N. C., 2010, Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls, *Building and environment*, 45(3), 663-672.
- Yoon, G., Yamada, H., Okumiya, M., Tsujimoto, M., 2008, Validation of cooling effectiveness and CFD simulation, *J. Environ. Eng., AIJ*. 73(633), 13-20.