

ORIGINAL ARTICLE

거리협곡 벽면녹화 조성유형에 따른 미기상 변화 및 열환경 평가

김정호 · 최원준¹⁾ · 윤용한*

건국대학교 녹색기술융합학과, ¹⁾건국대학교 대학원 녹색기술융합학과

A Study on Verifying the Effect of Thermal Environment Control of Street Canyons based on Application of Green Wall System

Jeong-Ho Kim, Won-Jun Choi¹⁾, Yong-Han Yoon*

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

¹⁾Department of Green Technology Convergence, Graduate School, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

Abstract

This study reduced and built Street Canyons created by skyscrapers in order to verify effect of Street Canyons by green wall within the city centre and analysed influence factors on temperature reduction according to applicative types of green wall in the lab. Applicative types were divided into three types such as non- greening type(Case A), one-side greening type(Case B), both side greening type(Case C). The result of analysis of each types showed that average temperature of Case B and Case C is respectively 1.0°C and 1.7°C lower than Case A. The result of analysis of WBGT was that the highest temperature was given by Case A(40.2°C) and second one was from Case B(39.8°C) and third one was from (39.1°C) and in UTCI Case A records the highest temperature of 34.7°C and Case B provided the second highest temperature of 33.9°C and Case B gave the lowest temperature of 32.7°C. In PMV the highest temperature of 2.65 was from Case B and second one of 2.61 was from Case A and third one of 2.54 was from Case C. Duncan analysis of each types based on solar radiation and thermal comfort generated that there was analytical significance between Case A and Case B and Case B in terms of each types of average temperature reduction. The significance of thermal comfort in WBGT, MRT, PMV showed non-significance but, In UTCI it was analysed that there was significance between Case C and Case A.

Key words : Temperature reduction, Greening type, Radiant heat, Thermal comfort

1. 서론

산업화 이후 도시화가 진행되면서 포장면적의 증가로 도시열환경 악화가 심화되고 있다. 특히 고층건물로 둘러싸인 거리협곡(Street Canyons)의 경우 도로를 중심으로 양쪽에 건물이 연속적으로 배치되어 있는 구조(Park et al., 2005)이기 때문에 도시열오염이 심화되는

지역이다. 이와 같이 건물의 배치는 공기의 유입과 오염물질의 확산을 방해하여 대기와 열오염으로 이어진다(Eleftheria and Phil, 2012; Rafik et al., 2006). 대기와 도시열오염은 여름철 도심에서 시민의 건강을 위협하는 요소 중 하나로서 서울시에서 2007년 폭염으로 인한 진료환자 약 60%가 증가 하는 등 도시열오염은 인명피해로 까지 이어지고 있다(Kim et al., 2011).

Received 19 November, 2015; Revised 12 January, 2016;

Accepted 26 January, 2016

*Corresponding author : Yong-Han Yoon, Department of Green Technology Convergence, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

Phone : +82-43-840-3538

E-mail : yonghan7204@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.

폭염과 대기질 악화로 인한 거리협곡의 도시열환경 완화를 위해 지상에 녹지 면적을 확충하는 것이 최상의 대안이다(Kim and Yoon, 2011). 하지만 건물이 밀집되어 있는 거리협곡에서는 높은 건폐율로 녹화의 어려움이 있어 거리협곡내부에 벽면녹화를 통해 건물의 복사열을 저감하여 열환경 완화를 극대화시키는 것이 현실적인 대안이다(Na, 2014). 또한 건축물녹화의 경우 건물의 부족한 녹지 확보와 도시열환경 완화 건물의 수명증진 및 에너지소비 감소 효과 등이 있다(Jung and So, 1999).

국내의 경우 벽면녹화를 이용한 도시열환경 완화에 관한 연구는 크게 녹화를 통한 에너지 저감 및 건물 내·외부의 열환경 저감 효과 검증에 관한 연구가 다수 진행되고 있다. 에너지 저감 연구의 경우 벽면이나 옥상에서 녹화를 통한 녹화 건물의 에너지저감 비교 평가에 관한 연구와 여름철과 겨울철 난방 에너지 저감 연구가 이루어 졌다(Kim, 2014). 건물 내부 열환경 연구의 경우 벽면녹화를 통해 건물의 실내기온 저감에 관한 연구(Kim and Kim, 2012; Na, 2014)로 유형에 따른 도시열환경 비교 분석 등이 연구되고 있다. 건물외부 열환경 평가에 관한 연구로는 시뮬레이션을 통해 도시 배치유형에 따른 도시기온저감 평가와 복사 열환경 평가연구(Park et al., 2009; Park and Kim, 2011)와 벽면녹화를 통한 건물녹화가 열환경 완화에 미치는 영향을 열수지 계산을 통해 관계식에 관한 연구(Park, 2014) 등이 이루어지고 있다. 거리협곡관련 연구로는 도시협곡에서 대기오염물질의 수송에 관한 연구(Jeong and Park, 1998)와 Park(2014)의 도시협곡에서 건물 지붕 냉각이 공기 확산에 미치는 영향에 관한 연구가 진행되었으나 대기환경에 관한 연구

가 주를 이루었다.

반면 외국의 경우 거리협곡에 대하여 대기환경뿐만 아니라 에너지와 열환경 분야에서 다양한 연구가 진행되고 있는 실정이다. 거리협곡 내부에 열환경 완화 효과 검증을 위한 연구는 미스트의 증발냉각 효과를 이용한 기온저감 연구(Rafik et al., 2006)가 진행되었으며, 알베도 값이 낮은 페인트를 이용하여 거리협곡에서 복사량과 기온저감 효과에 관한 연구(Maxime et al., 2012) 등이 있었다. 건축물 녹화를 이용한 거리협곡 기온저감 연구의 경우 옥상녹화와 벽면녹화 적용에 따른 거리협곡의 기온저감 효과연구가 진행되었다(Rabah et al., 2013). 거리협곡에서 건축물 녹화 적용에 따른 다양한 기후별 기온저감 효과에 관한 연구(Eleftheria and Phil, 2008) 등이 진행되었다. 이에 비하여 국내의 연구는 거리협곡을 대상으로 열환경을 분석하고 평가한 연구는 전무한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 도시열환경의 악화가 심화되는 거리협곡 내부 조성에 따라 미기상을 측정하고 분석하여 WBGT, MRT, UTCI, PMV 등 열환경 평가인자를 통해 거리협곡 조성유형의 차이에 따른 열환경 변화를 규명하고자 하였다. 뿐만 아니라 더 나아가 도시계획 및 아파트 단지계획에서 쾌적성을 고려한 거리협곡의 벽면녹화 적용에 대한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 연구범위 및 방법

2.1. 실험구 설정 및 측정지점

연구대상지는 충청북도 충주시 건국대학교 글로벌캠퍼



Fig. 1. The location map research point.

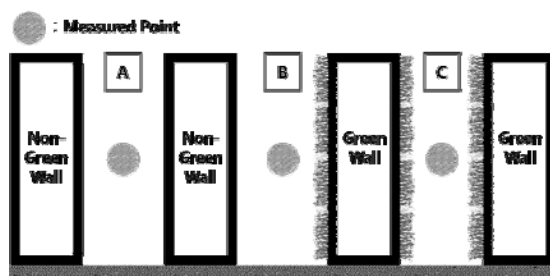


Fig. 2. Experimental compositions.

퍼스 녹색기술융합학과 실습장에서 실시하였다(Refer to Fig. 1). 실험구 조성은 Rabah et al.(2013)의 실험 설계를 참고하여, 철골 틀을 기반으로 규격 가로 1.3 m, 높이 2 m, 폭 1.5 m로 축소하여 도심지의 거리협곡을 재현하였으며, 철골 틀과 틀의 거리는 1.5 m로 설정하였다. 거리협곡 조성에 있어 벽면녹화는 거리협곡 양측 비녹화 유형(Type A), 한쪽 녹화유형(Case B), 양측 녹화유형(Case C) 등 3가지 유형으로 구분하였다(Refer to Fig. 2). 벽면녹화의 경우, 플랜트형 벽면녹화로 다공성 포장재를 기반재로 활용하여 벽면녹화에 주로 사용되는 잔디, 기린초, 세덤류를 식재하여 철골틀에 조립 및 설치를 실시하였다. 이후, 거리협곡 유형의 차이에 따른 열환경 차이를 측정하기 위해, 조성환경의 영향을 가장 균일하게 받을 수 있는 유형별 중앙부에서 측정을 실시하였다.

2.2. 조사 분석방법

2.2.1. 거리협곡 조성유형 차이에 따른 기상요소

벽면녹화 조성유형의 차이에 따른 열환경 저감을 분석하기 위하여 측정기간은 기온이 가장 높은 7~9월을 대상으로 월별 3일 반복 측정하였다. 측정일은 강우 등의 연구목적에 부합하지 않은 날을 제외한 일반적인 기상상황을 나타내는 날을 대상으로 진행하였다. 측정시간은 일중 기온이 가장 높은 시간대인 13~15시에 측정을 실시하여 그 평균값을 활용하여 분석을 실시하였다. 기상요소 측정항목으로는 건구온도, 습구온도, 흑구온도, 풍속, 상대습도, 일사량을 측정하였다. 건구온도 및 습구온도의 경우 건습계를 활용하여 측정하였으며, 건구온도와 습구온도의 온도차이를 분석하여 상대습도를 계산하였다. 풍속의 경우 열선 풍속계(Air velocity meter 9545, TSI, USA)를 활용하여 측정지점의 기류를 측정하였으며, 모든 기상요소 측정항목은 지표면에서 방사되는 복사열을 최소화하기 위하여 지상에서 1.5 m 지점에 설치하여 측정을 진행하였다. 또한 일사량의 차이에 따른 벽면녹화 조성유형별 기온저감효과를 분석하기 위하여 8월 30일부터 9월 3일까지 6일간 오전 11시부터 17시까지 5시간 동안 측정을 진행하였으며, 일사량은 일사계(LP02-LI19, Hukseflux, Netherlands)를 활용하여 측정지점 외부의 일사량을 측정하고 유형별 기온을 측정하여 일사량의 변화에 따른 유형별 기온변화를 관측하였다.

2.2.2. 열환경 평가지표

열환경 평가지표 항목은 WBGT, MRT, UTCI, PMV를 설정하였다. WBGT는 건구습구흑구온도(Wet-Bulb Globe Temperature Index)의 약자로 태양복사열의 영향을 받는 옥외환경평가에 사용하며, 실제 열이 인간에게 미치는 영향에 초점을 맞춘 것으로 인체가 느끼는 감각적 온도를 구체적인 수치로 표현한 온도이다(Park, 2014). WBGT는 건구, 흑구, 습구온도의 실측값을 통해 산출하였다(Refer to Formula 1). MRT는 평균복사온도(Mean Radiant Temperature)의 약자로 옥외열쾌적성 지표로 사용되며, 다양한 옥외환경의 열쾌적성을 분석하기 위해 많은 연구에 활용되고 있으며 건축물 및 외부공간이 받는 열복사의 영향을 고려하여 전 방위의 평균온도를 나타낸 것으로(Park et al., 2009), 산출은 건구온도, 흑구온도, 풍속을 활용하여 계산하였다(Refer to Formula 2). UTCI는 범용 열 기후지수(Universal Thermal Climate Index)로 평가 방식은 9~26℃ 쾌적을 중심으로 26~33℃는 일반적인 열 스트레스, 33~38℃은 강한 열 스트레스, 38~46℃는 매우 강한 열 스트레스로 구분한다(Park, 2014). UTCI는 기온, 일사, 습도, 풍속을 통해 분석하였다. PMV는 예상온열감으로(Predicted Mean Vote) 인체의 온열감을 이론적으로 예측한 것이다. PMV의 경우 주로 실내 열환경 평가 지표로 사용되고 있으며 평가 방식은 0을 포함한 -3~3으로 총 7단계이다. PMV는 예상 불만족 지수를 산출되며 통상적으로, PMV가 0일 때 불만족을 5%, 1과 -1일 때 25%, 2와 -2일 때 75%, 3과 -3일 때 100% 수준으로 구분한다(Yoon et al., 2014). PMV는 인체의 온열감을 예측하는데 있어 인간의 착의량과 활동량이 고려되는데, 본 연구에서 착의량과 활동량은 1로 설정하였다(Refer to Formula 3).

Formula(1) :

$$[WBGT] WBGT = 0.7T_w + 0.2T_g + 0.1T$$

(T=Temperatur, Tw=Wet-temperature, Tg=globe temperature)

Formula(2) :

$$[MRT] MRT = T_g + 0.237\sqrt{v}(T_g - T_r)$$

(Tg=globe temperature, Tr=Temperatur, V=Wind)

Formula(3) :

[PMV]

$$PMV = (0.303e^{-0.036} + 0.028)(M - W) - 3.05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6.99(M - W) - P_a] - 0.42 \times [(M - W) - 58.15] - 1.7 \times 10^{-5} M(5867 - P_a) - 0.0014M(34 - T_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_d \times [(t_d + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_d h_c (t_d - t_a)$$

[Move(M), Work(W), Temperature(Ta), Globe temperature (Tg), MRT(Tr), Clothing adiabatic(Icl), Body ratios(fcl), Wind speed(Ver), Vapor pressure(Pa), Heat transfer coefficient(hc)]

2.2.3. 분석방법

거리협곡 벽면녹화 유형차이에 따른 열환경 조절효과를 분석하기 위하여, 조성유형차이에 따른 기상요소 변화를 비교하였으며, 그에 따른 열환경의 차이를 분석하였다. 이후 일별 날씨의 차이에 따른 열환경 조절효과의 차이를 파악하기 위하여, 맑은 날 1000 W/m²을 기준으로(Choi and Lee, 2007), 1000 W/m² 이상(맑은 날), 600 W/m² 이하(흐린날), 601~999 W/m²(보통), 세 가지 유형으로 구분하여 비교·분석을 실시하였다.

이후 통계분석을 통하여 유형간의 측정값의 유의성을 검증하였다. 통계분석은 SPSS PASW Statistics 18 활용하였으며, 상관분석과 분산분석을 통한 Duncan's Multiple Range Test(DMRT)를 실시하였다. 상관분석을 통하여 거리협곡의 벽면녹화 조성유형과 기상 요소, 열환경의 상관성 분석하였으며, DMRT를 통해 조성유형 차이에 따른 기상요소 및 열환경의 측정 평균값의 차이에 대한 유의성을 검증하기 위해 실시하였다. 집단요

인(독립변수)은 거리협곡의 벽면녹화 조성유형으로 가변수 입력법을 활용하였으며(Case A: 1, Case B: 2, Case C: 3), 기상요소 및 열환경 요인을 종속변수로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유형별 기상요소 측정결과

3.1.1. 건구온도

실험기간 중 유형별 평균 건구온도는 Case A (30.1℃) > Case B (29.6℃) > Case C (28.9℃) 순으로 나타났다. Case C의 온도가 가장 낮은 것으로 분석되었다. 온도변화를 자세히 살펴보면 거리협곡의 유형별 건구온도변화는 비녹화 유형인 Case A에 비하여 녹화유형 Case B에서 2.5℃, Case C에서는 3.0℃로 극명한 기온 차이를 보였다. 월별 저감 효과는 9월 > 7월 > 8월 순으로, 9월은 Case A에 비하여 Case B 1.2℃, Case C 2.0℃의 저감차이를 보여 평균 1.4℃ 저감효과가 있는 것으로 분석되었으며, 7월은 Case A 대비 Case B는 0.8℃, Case C는 1.6℃로, 평균 1.1℃의 저감효과를 보였다. 8월은 Case A 대비 Case B 0.3℃, Case C 1.5℃의 저감 효과를 보였으며, 평균적으로 1.0℃의 기온저감 효과를 보였다.

3.1.2. 습구온도

습구온도는 증발냉각을 고려한 기온을 측정한 것으로 열환경 평가를 위해 측정하였다. 유형별 습구온도의 전체평균은 Case A (24.0℃) > Case B (23.4℃) > Case C (23.3℃)로 나타났으나, 평균적으로는 0.5℃의 차이를

Table 1. Setting Variables

	Index	Variable	Method	Unit
Dependent variable	Temperature Difference	Temperature		ea/cm ³
		Air Temperature	Actually measured	℃
	Meteorological element	Wet bulb temperature		℃
Relative Humidity		%		
Independent variable		Globe temperature		℃
		WBGT		℃
	Thermal environment	MRT	Formula(1, 2, 3)	℃
		UTCI		℃
		PMV		- (%)

보였다. 월별 저감효과는 평균적으로 9월 > 8월 > 7월 순이었으며, 9월은 Case A 대비 Case B는 0.1℃, Case C는 1.6℃, 평균적으로 1.1℃저감효과를 보였다. 8월은 Case A대비 Case B 0.1℃는 Case C는 0.6℃, 평균적으로 0.4℃의 저감효과가 있는 것으로 분석되었다. 7월은 Case A대비 Case B 0.1℃는 Case C는 0.6℃, 평균 0.1℃ 미만으로 기온저감 효과를 보였다(Refer to Fig. 3 B).

일사에 따른 증발냉각에 의한 기온저감효과를 규명한 선행연구(Eleftheria and Phil, 2008)와 같이 일사가 높고 증발냉각효과가 극명하게 나타났던 9월에 건구온도와 습구온도의 기온저감효과가 크게 나타난 것으로 판단되었다(Refer to Fig. 3 A, 3 B).

3.1.3. 상대습도

거리협곡의 유형별 상대습도는 각각 Case A (53.9%) > Case B (55.4%) > Case C (54.9%)로 관측되었으며. 평균 상대습도는 54%로 나타났다. 상대습도의 증감량은 최고 4.8%~5.3%의 차이를 보였으나, 평균적으로 1%

미만으로 미미한 경향을 보였다. 상대습도의 월별 저감 효과는 평균적으로 9월 > 7월 > 8월 순이었다. 9월은 Case A대비 Case B에서 0.1%, Case C는 1.6%이었으며, 평균적으로 1.1%의 차이를 보였다. 7월은 Case A대비 Case B는 0.3%, Case C는 0.7%의 저감을 보였으며, 평균적으로 0.4%이었다. 8월은 Case C > Case B > Case A와 같이 역순으로 나타났으며 Case A대비 Case B는 4.8% Case C는 5.3% 증가하였으며, 평균적으로 3.5% 증가하였다. 흐린 날과 강우량이 많았던 8월에는 비녹화 유형인 Case A의 상대습도가 가장 낮았으며, 비교적 맑은 날이 많고 강우량이 적은 7, 9월에는 양면 녹화 유형인 Case C의 상대습도가 낮았다(Refer to Fig. 3 C).

3.1.4. 흑구온도

흑구온도는 열환경 평가와 방사열을 위해 측정하였으며, 유형별 흑구온도변화는 전체 평균 Case A (39.2℃) > Case B (38.9℃) > Case C (38.0℃)로 측정되었다. 평균적으로 38.8℃로, 유형별 최대 흑구온도 저감량은

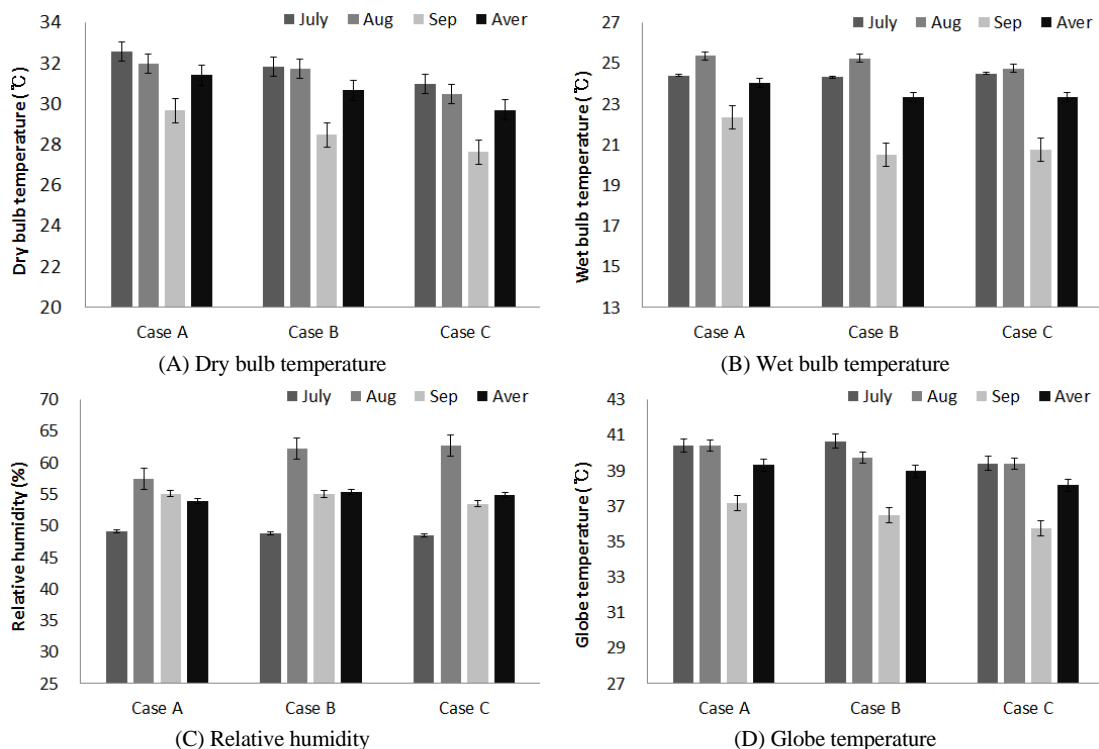


Fig. 3. Result of measure meteorological.

2.0~2.5℃로 건구온도와 비슷한 경향을 보였다. 흑구온도의 저감효과는 9월 > 8월 > 7월 순으로 나타났으며, 9월은 Case A 대비 Case B에서 0.7℃, Case C는 1.4℃의 저감효과를 보였고, 평균적으로 0.9℃의 저감이 있었다. 8월은 Case A 대비 Case B에서 0.7℃, Case C는 1.1℃의 저감 효과가 있었으며, 평균적으로 0.7℃의 저감효과를 보였다. 7월 Case A 대비 Case B가 0.3℃ 증가하였으며, Case C는 1.0℃ 감소하였다. 7월의 평균 저감량은 8월과 같은 0.7℃이었다.

흑구온도는 건구온도와 같은 Case A > Case B > Case C의 경향을 보였으나, 기온이 가장 높은 15시경보다 일사가 강한 13시경 기온차이가 크게 나타났다. 이는 포장면의 온도와 흑구온도가 동일한 경향으로 분석된 선행 연구(Yoon et al., 2011)와 같은 결과로, 녹화 면적이 높을수록 비녹화 벽면에서 나오는 복사열이 차단되어 흑구온도가 낮아진 것으로 사료되었다(Refer to Fig. 3 D).

3.1.5. 유형차이에 따른 기상요소

거리협곡 조성유형의 차이에 따른 기상요소의 차이를 검증하기 위하여 분산분석을 통한 DMRT를 실시하였다. 각 측정항목에 대하여 측정기간 중 평균값의 차이를 통계적으로 검증한 결과 각 측정항목에 대하여 평균의 차이는 있었으나, 통계적인 유의성은 없는 것으로 분석되었다(Refer to Table 2).

이는 단편적인 기상에서는 동일한 외기 조건이라 하더라도 대기 중 습도와 풍속, 일사에 따른 미세한 차이를 단편적으로 비교하는 데에는 한계가 있기 때문인 것으로 판단되었다(Choi, 2013). 이와 같은 결과는 거리협곡 또는 외부 옥외환경에 대하여 단편적인 기상요소의 차이로 열환경을 평가하는 것은 그 옥외환경이 가지는 특수성을 충분히 반영하는 데에 있어 한계가 있는 것으로 판단되었다. 이에 따라 열환경 지표의 도입을 통한 열환경 평가

가 적절할 것으로 사료되었다.

3.2. 일별 일사량 차이에 따른 유형별 기온 저감효과

3.2.1. 일사량 차이에 따른 기온저감효과

일사량에 따른 유형별 기온저감효과는 DMRT을 통해 분석하였다. 600 W/m² 이하, 601~999 W/m², 1,000 W/m² 이상으로 구분 하였다. 평균일사량이 600 W/m² 이하인 경우 통계적인 유의성은 없었으며, 유형에 따른 기온저감은 Case B (25.83℃) > Case A (25.78℃) > Case C (25.36℃) 순으로 분석되었다. 601~999 W/m²의 경우 Case A (28.21℃) > Case B (27.56℃) > Case C (26.83℃)순으로 통계적인 차이는 없는 것으로 분석되었다. 일사량 1,000 W/m² 이상의 경우 Case A (33.36℃) > Case B (29.66℃) > Case C (28.79℃)로 분석되었다. Case A에서 Case B와 Case C간의 통계적인 유의성이 분석되었으나, Case B와 Case C에서는 통계적으로 기온저감효과의 차이가 없는 것으로 분석되었다. 전체 평균은 1,000 W/m² 이상의 경우와 같았다. 기온저감효과는 Case A (33.36℃) > Case B (29.66℃) > Case C (28.79℃)로 분석되었으며, Case A에서 Case B와 Case C간의 통계적인 유의성이 분석되었다(Refer to Table 3).

이와 같은 결과는 일사량이 1000 W/m² 보다 낮은 경우 유형별 기온저감의 차이는 미미하지만 일사량이 1000 W/m² 이상일 경우 벽면녹화를 실시한 유형이 실시하지 않은 유형에 비하여 기온이 낮으며, 그 값 또한 통계적으로 유의한 것으로 분석되어 맑은날일수록 기온저감효과가 큰 것으로 판단되었다. 또한 일사량의 유형을 나누지 않은 전체를 대상으로 분석을 실시한 결과 한쪽 면에만 벽면녹화를 실시할 경우 그 차이가 벽면녹화 미 실시 유형과 기온 차이는 있으나 통계적으로 유의하지

Table 2. DMRT in Street Canyons according to type of meteorological element

	Dry bulb temperature	Wet bulb temperature	Relative humidity	Globe temperature
Case A	31.4a ^Z	23.9a	53.5a	39.2a
Case B	30.6a	23.1a	54.5a	38.9a
Case C	29.6a	23.2a	54.0a	38.0a

^Z: Different letters in the same column indicate a significant difference at P < 0.005 according to Duncan's multiple range test

Table 3. Linear Regression Analysis in Street Canyons according to type of solar irradiation

Type \ Solar	~600 W/m ²	601~999 W/m ²	1000~ W/m ²	Total
Case A	25.78a ^Z	28.12a	33.36a	29.59a
Case B	25.83a	27.56a	29.66b	27.80a
Case C	25.36a	26.83a	28.79b	27.54b

^Z: Different letters in the same column indicate a significant difference at P < 0.005 according to Duncan's multiple range test

않은 것으로 분석되어 양쪽 벽면녹화를 실시하는 것이 기온저감에 가장 효과적인 것으로 판단되었다.

3.2.2. 유형별 일사량에 따른 기온저감효과 추정

유형별 일사량에 따른 기온저감효과 추정을 위해 비 녹화 유형인 Case A 대비 녹화유형 Case B와 Case C의 일사량에 따른 기온 저감량을 산출하여 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석 결과 Case A 대비 Case B는 R²이 0.510으로 51%의 설명력을 보였으며, F값의 유의확률은 0.000으로 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. Case A 대비 Case C는 R²값이 0.460으로 46%의 설명력을 보였으며, F값의 유의확률은 0.000으로 분석되었다(Refer to Table 4). 또한 F값의 경우 임계값인 ±1.96를 초과하는 것으로 분석되어 직선성이 확인되었다.

일사에 따른 유형별 기온저감 효과의 회귀분석의 β값은 Case B에서 0.714, Case C에서는 0.679로 분석되었다. Case B의 standard Error 값은 22.202로 분석되었으

며, Case C의 standard Error 값은 20.105로 분석되었다. T 값은 Case B와 case C에서 각각 6.367과 5.768로 분석되었으며 유의수준은 Case B와 Case C에서 모두 유의한 수준으로 분석되었다(Refer to Table 5). 회귀곡선에서는 평균적으로 Case B 대비 Case C의 기온저감이 약 0.35℃ 더 높은 것으로 분석되었으며, 그 차이는 기온저감 효과가 본격적으로 나타나는 약 600 W/m² 이상부터 서서히 증가하는 것으로 분석되었다(Rafer to Fig. 3).

일사량에 따른 회귀식에서는 한 면 녹화 유형인 Case B에서 일사가 약 523 W/m² 이상일 때 기온저감효과가 나타나는 것으로 분석되었으며, Case C의 경우 일사가 약 435 W/m² 이상부터 기온저감효과가 있는 것으로 분석되었다(Refer to Formula 4, 5).

$$\text{Formula(4) Case B} = -2.091 + 0.004 \times \text{Sol}$$

$$\text{Formula(5) Case C} = -1.741 + 0.004 \times \text{Sol}$$

[Sol : solar irradiation (W/m²)]

Table 4. Model suitability for regression analysis

	R	R ²	F	Sig
Case A-B	.714	.510	40.544	.000
Case A-C	.679	.460	33.271	.000

Table 5. Simple regression analysis

Model	variable	Coefficient of regression		Standardized coefficient	T	Sig
		B	β	Std. Error		
Case A-B	Constant	-2.091		.606	-3.449	.001**
	Solar	.004	.714	.001	6.367	.000**
Case A-C	Constant	-1.741		.737	-2.363	.023*
	Solar	0.004	.679	.001	5.768	.000**

**Level of Significance 0.01%

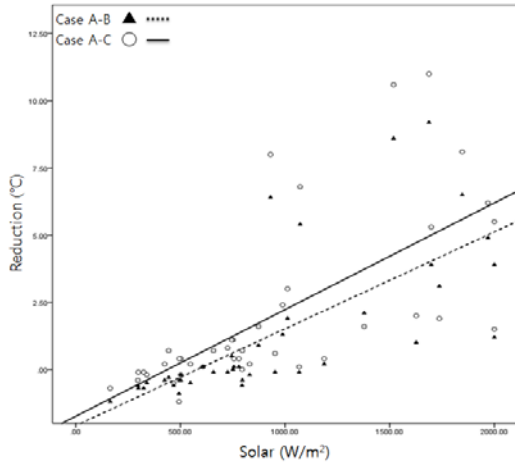


Fig. 4. Regression curve in quantity of solar radiation to type of Case.

3.3. 거리협곡 유형차이에 따른 열환경 평가

3.3.1. WBGT (Wet-Bulb Globe Temperature Index)

WBGT의 등급은 총 5단계로 나뉘져 있으며, 조사기간 중 WBGT의 유형별 전체평균은 Case A (27.7°C) > Case B (27.1°C) > Case C (26.9°C)로 모든 유형에서 (25~28°C)경계단계로 분석되었다. 월별 기온변화는 8월 > 7월 > 9월 순으로 기온이 높았던 8월은 Case A (29.0°C) > Case B (28.8°C) > Case C (28.3°C)로 분석되었다. 7월은 Case A (28.4°C) > Case B (28.4°C) > Case C (28.1°C)로 분석되었다. 9월은 Case A (25.8°C) > Case B (24.6°C) > Case C (24.5°C)로 분석되었다.

유형별 기온저감은 녹량이 많은 Case C가 가장 낮았으며, 이는 녹지량이 많을수록 WBGT 값이 더욱 낮게 나타난 선행연구와 일치하는 결과(Park, 2014)를 보였다. 또한 맑은 날이 많고 일사가 강하게 관측되었던 9월에 Case A에서 일사의 영향을 크게 받아, 비녹화 유형과 녹화유형간의 기온차이가 크게 나타난 것으로 사료되었다(Refer to Fig. 5 A).

3.3.2. MRT (Mean Radiant Temperature)

MRT의 전체평균은 Case A (40.2°C) > Case B (39.8°C) > Case C (39.1°C)로 분석되었다. 온도저감은 맑은 날 일사가 강한 13시에 온도저감이 크게 나타났다. 또한 녹화유형에 따른 온도차이는 흑구온도와 비슷한 경향을 보이고 있었다. 월별 기온변화는 7월 > 8월 > 9월

순으로, 7월은 Case A (41.6°C) > Case B (41.5°C) > Case C (40.3°C)로 분석되었으며, 8월은 Case A (41.5°C) > Case B (40.9°C) = Case C (40.9°C)로 분석되었다. 9월은 Case A (37.5°C) > Case B (36.9°C) > Case C (36.2°C)로 분석되었다.

강우와 구름의 양이 많던 8월에는 0.1~0.5°C로 유형별 차이가 미미하였고, 일사량이 많았던 9월에 약 2.0°C로 큰 폭으로 저감 효과가 나타났다. 이는 맑은 날이 많아지는 8월 말에서 9월까지 MRT에 큰 영향을 미치는 흑구온도가 높게 측정되어 나타난 현상으로 분석되었다. WBGT와 MRT경향을 분석한 결과 벽면녹화를 통한 증발냉각 효과뿐만 아니라, 벽면녹화 식물이 복사에너지를 흡수하여 복사열을 저감하는 선행연구 결과(Na, 2014; Eleftheria and Phil, 2012)와 같은 경향을 보였다(Refer to Fig. 5 B).

3.3.3. UTCI (Universal Thermal Climate Index)

UTCI의 전체평균은 Case A (34.7°C) > Case B (33.9°C) > Case C (32.7°C)로 분석되었으며, Case A와 Case B는 강한 열 스트레스(38~46°C)로, Case C는 일반적인 열 스트레스(33~38°C)로 분석되었다. 유형별 UTCI 변화량은 MRT와 같이 온도차이는 주로 일사가 강한 13시에 최대 2.4°C까지 기온저감을 보였다. 월별 기온변화는 8월 > 7월 > 9월 순으로 기온이 높았던 8월은 Case B (36.0°C) > Case A (35.9°C) > Case C (34.4°C)로 분석되었다. 7월은 Case A (35.6°C) > Case B (34.9°C) > Case C (33.8°C)로 분석되었다. 9월은 Case A (33.2°C) > Case B (31.4°C) > Case C (30.6°C)로 분석되었다.

녹화유형에 따른 열환경의 경우 MRT와 UTCI에서 높은 저감량을 보였다. 이는 UTCI와 MRT에 큰 영향을 끼치는 복사열이 증발냉각 효과와 벽면의 복사열이 식물로 인해 줄어드는 간접복사효과(Eleftheria and Phil, 2012)가 크게 작용한 것으로 사료되었다(Refer to Fig. 5 C).

3.3.4. PMV (Predicted Mean Vote)

PMV의 Case별 평균은 Case B는 (2.65) > Case A는 (2.61) > Case C는 (2.54) 순으로 분석 되었으며, 전체평균 불만족율이 94% 이상인 것으로 분석되었다. 월별 PMV 경향은 7월 > 8월 > 9월 순으로 PMV값이 가장 높았던 7월은 Case A, B, C에서 PMV값이 3으로 모두

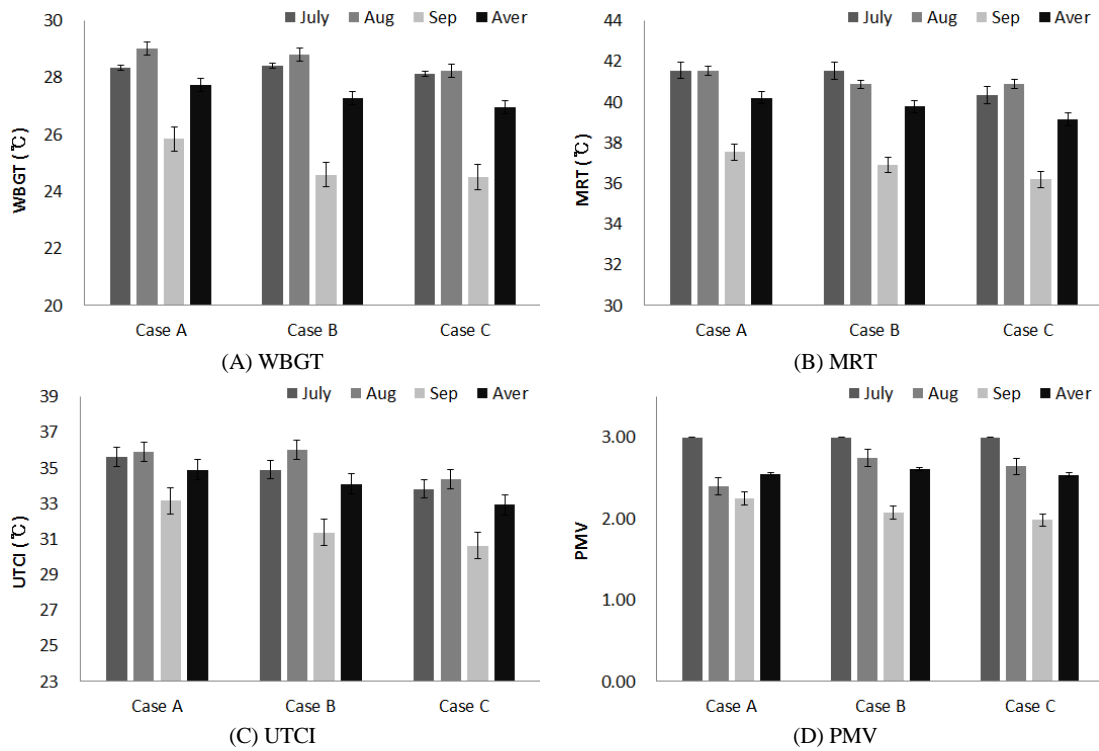


Fig. 5. Thermal analysis of the type.

평균 불만족이 100%로 분석되었다. 8월은 각각 Case B (2.75) > Case C (2.64) > Case A (2.41)로 분석되었으며, 9월은 Case A (2.25) > Case B (2.08) > Case C (1.98)로 분석되었다.

MRT의 월별 기온변화는 MRT 와 같이 불쾌지표가 9월이 아닌 7월과 8월에 예상불만족도가 높게 나타났다. 이는 PMV가 실내 열환경 평가 지표로 사용되기 때문에 실외의 높은 온도와 복사온도에 의해 불만족도가 크게 나타나는 것으로 사료되었다(Refer to Fig. 5 D).

3.3.5. 거리협곡 벽면녹화 조성유형차이에 따른 열환경

미기상 변화 및 열환경 평가 분석을 위한 DMRT는 WBGT와 MRT의 경우 일사와 흑구온도의 영향을 크게 받아 기온과 같은 경향을 보인 것으로 사료되었으나, PMV와 같이 유형별로 통계적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 UTCI의 경우 Case A와 Case C에서 통계적인 차이를 보이는 것으로 분석되었다(Refer to Table 6). 이와 같은 결과는 WBGT와 MRT의 경우 단순 옥외환경을 대상으로 받는 열의 총량을 계산하지만, 기류 등의 인

Table 6. DMRT in Street Canyons according to type of thermal environment

	WBGT	MRT	UTCI	PMV
Case A	27.7a ^Z	40.2a	34.7a	2.6a
Case B	27.1a	39.8a	33.9ab	2.6a
Case C	26.9a	39.1a	32.7b	2.6a

^Z: Different letters in the same column indicate a significant difference at P < 0.05 according to Duncan's multiple range test

체가 느끼는 다양한 기상요소를 반영하지 못하기 때문인 것으로 판단되었으며, PMV의 경우 실내 환경에 대한 열환경 평가 지표로 옥외환경에 대하여 열환경을 평가하는데에는 한계가 있었기 때문에 판단되었다. 반면 UTCI의 경우 단순 열환경뿐만 아닌 기후가 함께 고려되어 산출되기 때문에 더욱 정밀한 평가가 이루어진 것으로 판단되었다.

4. 결론

본 연구는 열환경 악화가 심화되는 거리협곡에서 건물을 활용한 벽면녹화의 열환경 완화효과에 대한 기초자료 제시를 위해 진행 하였다. 거리협곡의 조성유형에 따라 기온저감에 영향을 미치는 요인과 기온저감에 따른 열환경 분석을 실시하였다. 실험구 설정은 3가지 유형으로 비녹화(Case A), 한 면 녹화(Case B), 양면 녹화(Case C)로 조성 하여 실험을 진행하였다.

기상 측정결과 건구온도는 평균적으로 Case A(31.4℃) > Case B(30.7℃) > Case C(29.7℃)순으로 1.1℃의 저감 효과가 있었다. 습구온도는 Case A(24.0℃) > Case B(23.4℃) > Case C(23.3℃)순으로 측정되었으며, 평균적으로 0.5℃의 저감효과를 보였다. 후구온도는 Case A(39.3℃) > Case B(39.0℃) > Case C(38.2℃)순이었고, 평균적으로 기온차이는 0.8℃의 저감 효과를 보였다. 상대습도의 경우 Case B(55.4%) > Case C(54.9%) > Case A(53.9%) 습도의 차이는 1.5% 이하로 미미한 차이를 보였다.

일사량은 1,000 W/m²에서 비녹화 Case A와 녹화 Case B, Case C간의 통계적인 유의성이 분석되었으나, 녹화유형인 Case B와 Case C에서는 통계적인 기온저감 효과의 차이는 없는 것으로 분석되었다. 전체평균의 DMRT분석은 1,000 W/m²이상인 경우와 같은 경향으로 분석되었다. 일사량에 따른 기온저감추정은 일사량에 따라 Case B와 Case C 에서 약 0.35℃의 저감효과가 있는 것으로 분석되었다. 거리협곡에서 벽면녹화를 실시할 경우 일사가 강하고 기온이 높은 곳에서 저감 효과가 양호한 것으로 판단되었다.

열환경 평가결과 WBGIT의 평균온도는 Case A(27.7℃) > Case B(27.3℃) > Case C(27.0℃)로 분석되었으며, 유형별 WBGIT 저감은 평균적으로 0.5℃ 낮았다.

MRT는 Case A(40.2℃) > Case B(39.8℃) > Case C(39.1℃)순으로 평균적으로 0.7℃ 저감효과를 보였다. UTCI는 Case A(34.9℃) > Case B(34.1℃) > Case C(32.7℃)로 평균 2℃차이를 보였다. 마지막으로 PMV는 Case A와 Case B, Case C 에서 모두 불만족도 3이상으로 분석되었다. 각유형간의 차이를 규명하기 위한 통계분석결과 일반적인 기온이나 열환경 평가지표에서는 유형간 통계적인 차이가 없었으나 UTCI에서 Case A와 Case C 간의 통계적인 차이를 보였다. 이는 기존 열환경 평가에서 기온 상대습도, 습구온도, 후구온도를 활용하는 것은 측정지점의 미세한 기후를 반영하기 어렵기 때문에 기후와 열환경을 종합평가하는 범용 열 기후지수(UTCI)의 활용성을 고려해야 할 것으로 사료된다.

본 연구는 도시계획시 녹화계획에 있어 건물을 활용한 녹화에 열오염이 심화되는 거리협곡의 열오염 완화효과를 검증하기 위해 진행한 연구였다. 기온과 열환경 저감에 있어 녹화면적이 많을수록 복사열의 감소함에 따라 저감 효과가 큰 것으로 나타났다. 또한 열환경 평가지표 또한 다른 것으로 분석되어 벽면녹화의 조성유형이 거리협곡내의 열환경에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 그러나 본 연구는 실제 도시내의 거리협곡을 대상으로 하지 못하고 도시협곡의 축소 모형을 대상으로 진행하여 실제 도시환경에 적용하기에는 한계가 있었다. 또한 여름철을 대상으로 이루어진 연구로 계절 변화에 따른 기온저감량의 변화를 반영하지 못했다는 제한점이 있었다. 향후 계절의 반복을 통한 추가적인 측정과 분석이 이루어져야 할 것이며, 실제 도심지를 대상으로 연구가 수행 되어야 할 것이다.

REFERENCES

- Arthur, H. R., Hashem, A., Joseph, J. R., Melvin, P., 1998, Cool communities: Strategies for heat island mitigation and smog reduction, Energy Building, 28(1), 51-62.
- Choi, D. H., Lee, B. Y., 2007, Analysis of passive cooling effect of membrane shading structure and the tree by field observations in the summer, Korean Solar Energy Society, 27(4), 137-146.
- Choi, S. R., Kim, Y. S., Yoon, P. S., 2012, The management plan for the maintenance of the green

- wall colors - focusing on the eco plaza, seoul vertical garden, Korea Color Society Conference, 2013(6), 38-44.
- Choi, S. J., 2013, An observatory study for the Mitigation of Extreme heat Impact, Inje University, Atmospheric Environment Information Engineering Graduate school.
- Eleftheria, A., Phil, J., 2012, Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates, *Building. Environment*, 43, 480-493.
- Hwang, S. Y., 2014, Effects of building greening systems on thermal performance, Chungbuk National University.
- Jang, T. G., Kim, H. Y., Lim, K. B., 2013, Selection of artificial media suitable for the growth of foliage plants for indoor vertical garden flower, *Res. J.*, 21(1), 11-16.
- Jeong, T. G., So, J. H., 1999, The experiment of vine for covering the traffic noise barrier, Korea Expressway Corporation, 2(1), 72-82.
- Jeong, S. J., Prak, O. H., 1998, Concentration occurrence = transport and dispersion of atmospheric pollutants within urban canyon, *Korean Society of Environmental Engineers*, 30(7), 967-975.
- Kim, H. D., Kim, G. Y., 2012, A study on the effects of green walls on a building's room temperature reduction, *Journal Of Nakdonggang Environmental Research Institute*, 16(1), 181-192.
- Kim, J. H., Kwon, K. U., Joo, C. H., Yoon, Y. H., 2014, Comparative of energy-saving by green roof type on urban office building, *Journal of Environmental Science International*, 23(8), 1437-1446.
- Kim, J. H., Yoon, Y. H., 2011, Effect of thermal environment by green roof and land cover change in detached housing area, *Environmental Policy Research*, 10(1), 27-47.
- Kim, Y. J., Kang, D. H., Ahn, K. H., 2011, Characteristics of urban heat-island phenomena caused by climate changes in seoul, and alternative urban design approaches for their improvements, *Urban Design Institute of Korea*, 12(3), 5-14.
- Lee, C. S., Ryu, N. Y., 2012, The influence of ventilation and shade on the mean radiant temperature of summer outdoor, *Journal of Korean institute of landscape architecture*, 40(5), 100-108.
- Lee, H. J., Lee, S. J., 2013, Performance evaluation and growth condition study about green-wall system using moss, *Architectural Institute of Korea*, 29(1), 239-246.
- Lee, M. H., Han, G. M., Song, G. S., Kim, H. G., Kim, J. H., Yoon, Y. H., 2014, The evaporative cooling effect Influence of thermal comfort, *Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference*, 23(1), 728-730.
- Maxime, D., Emmanuel, B., Francis, A., 2012, Experimental measurement of cool facades' performance in a dense urban environment, *Energy and Buildings*, 55, 42-50.
- Na, H. S., 2014, A study of air-conditioning energy in apartment houses with green walls, Seoul National University of Science and Technology, Graduate School of Energy and Environment.
- Rafik, B., Cristian, G., Francis, A., 2006, Modeling of water spray evaporation: Application to passive cooling of buildings, *Solar Energy*, 80, 1540-1552.
- Rabah, D., Emmanuel, B., Rafik, B., 2013, Experimental study of the urban microclimate mitigation potential of green roofs and green walls in street canyons, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 2013, 1-11.
- Park, M. H., Kim, H. D., 2011, An observatory study on the effect of the greening of a wall on the reduction of urban temperature, *Journal Of Nakdonggang Environmental Research Institute*, 15(1), 114-129.
- Park, S. G., Kim, S. D., Lee, H. K., 2005, Development of empirical model for the air pollutant dispersion in urban street canyons using wind tunnel test, 27(8), 852-858.
- Park, S. G., Kim, S. D., Lee, H. K., 2003, Dispersion characteristics and concentration prediction of vehicle emission in urban street canyons, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 2003, 165-166.
- Park, S. H., 2014, A study on the development and application of the outdoor health indicators of green building certification criteria in school facilities, Konkuk University Graduate school.
- Park, S. J., Jung, S. Y., Yoon, S. H., 2009, Evaluation of the outdoor radiant thermal environment by building

- scale and block type of office building in summer, Korea Solar Energy Society, 29(6), 81-87.
- Yoon, N. J., Lee, J. H., Kim, S. S., 2011, Study of carbon dioxide reduction by the house of commons elevation record, The Korea Institute of Landscape Architecture, 25, 169-172.
- Yoon, Y. H., Joo, C. H., Kim, J. H., 2011, Improvement of environmental comfort by land-use using bioclimatic chart, The Korea Society of Regional Development, 23(3), 39-58.
- Yoon, Y. H., Park, S. H., Kim, W. T., Kim, J. H., 2014, Analyses on comparison of UTCI, PMV, WBGT between playground and green space in school, Korean J. Environ. Ecol., 28(1), 80-89.
- Yoo, S. Y., Kim, T. H., Kim, M. H., 2015, Performance of heat recovery system using evaporative cooling, Korean Society of Mechanical Engineers, 39(1), 37-43.