



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

나팔꽃 Green Curtain 형식의
벽면녹화 시스템을 통한 여름철
건물 실내 열환경 비교 분석

제주대학교 대학원

원예학과

이선영

2022년 8월

나팔꽃 Green Curtain 형식의 벽면녹화 시스템을 통한 여름철 건물 실내 열환경 비교 분석

지도교수 박 수 국

이 선 영

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함.

2022년 6월

이선영의 농학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 관 상 킴
위 원 조 영 열
위 원 박 수 국

제주대학교 대학원

2022년 6월

Analysis of Thermal Environment
Improving Effect of Green Curtain
(*Pharbitis nil*) in Summer

Sunyoung Lee

(Supervised by professor Sookuk Park)

A thesis submitted in partial fulfillment of the
requirement for the degree of Master of Science in
Agriculture

2022. 6.

This thesis has been examined and approved.

Department of Horticultural Science

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vi
I. 서언	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 벽면 녹화 시스템의 이해	3
3. 인간 에너지 균형 모델과 인간 열환경지수	6
II. 연구방법	10
1. 연구대상지	10
2. 미기후 요소 측정	13
3. 평균복사온도 분석 방법	15
4. 인간 열환경지수 분석 방법	17
III. 결과 및 고찰	18
1. 미기후요소 결과	18
1) T_a (air temperature: 기온)	18
2) RH (relative humidity: 상대습도)	19
3) u (wind speed: 풍속)	22
4) T_{mrt} (mean radiant temperature: 평균복사온도)	22

2. 인간 열환경지수 결과.....	25
1) PET.....	25
2) UTCI.....	26
IV. 결론.....	31
V. 초록.....	33
인용문헌.....	34

List of Tables

Table 1 :	Vertical garden type classification suggestion.....	4
Table 2 :	Type of vertical greening systems.....	5
Table 3 :	Each input to the formula calculation method of the human energy balance model	7
Table 4 :	The levels of physiological equivalent temperature (PET) and universal thermal climate index (UTCI).....	9
Table 5 :	Method and materials for manufacturing green curtain.....	13
Table 6 :	Instruments for microclimatic data measurement	14
Table 7 :	Each input value of the formula calculation method for the mean radiant temperature	16
Table 8 :	Mean (maximum) values according to the presence or absence of green curtain.....	30

List of Figures

Figure 1 : Energy transfers between a human body and its surrounding environment.....	8
Figure 2 : A map of the study site.....	10
Figure 3 : 10 year average climate data for Seongsan area in Jeju-do	11
Figure 4 : View of the study site.....	12
Figure 5 : Drawing of the experimental building.....	12
Figure 6 : Green curtain setting (before & after)	14
Figure 7 : The measurement location.....	14
Figure 8 : RayMan Pro. Version 2.2.....	17
Figure 9 : Air temperature (T_a) factors according to the presence or absence of green curtain	20
Figure 10 : Relative humidity (RH) factors according to the presence or absence of green curtain	21
Figure 11 : Wind speed (u) factors according to the presence or absence of green curtain	23
Figure 12 : Mean radiant temperature (T_{mrt}) factors according to the presence or absence of green curtain	24

Figure 13 : Perceived equivalent temperature (PET) factors according to the presence or absence of green curtain	28
Figure 14 : Universal thermal climate index (UTCI) factors according to the presence or absence of green curtain	29

ABSTRACT

This study investigated the thermal environment improvement effect of green curtain in summer. The microclimatic data were measured during four days in August, 2021, and the green curtain using *Pharbitis nil* was installed on the southern window of the Songdang tree cafe building in Songdang-ri, Jeju-do. Two sets of microclimate measuring instruments were installed inside and outside of the building to measure air temperature (T_a), relative humidity (RH), wind speed (u), and short- and long-wave radiation (T_{mrt}) to compare human thermal sensation, physiological equivalent temperature (PET) and universal thermal climate index (UTCI).

The green curtain showed an average of 1.6°C cooler indoor T_a during the day, and no effect of the green curtain was shown at night. In RH , the green curtain blocked sunlight entering the building during the day, so the indoor was averages of 5.6% and 1.0% higher during the day and at night, respectively. u averaged 1.4–1.8 ms^{-1} and 1.4–1.5 ms^{-1} higher outdoors during the day and at night, respectively, showing high values outdoors regardless of whether the green curtain was installed or not. The green curtain showed the effect of reducing the indoor T_{mrt} by an average of 4.7°C during the day, and its effect did not appear at night, just 0.1°C. In human thermal sensation, the green curtain reduced the indoor PET about an 1/3 level, an average of 2.1°C, and reduced the indoor UTCI about an 1/6 level, an average of 1.1°C, during the day, and its effect did not appear in both PET and UTCI at night.

Through this study, it was found that green curtain is effective in improving the thermal environment in a curtain wall-type building that emphasizes sunshine and view in summer.

I. 서 언

1. 연구의 배경 및 목적

산업혁명 이후 급속한 도심지의 개발로 인하여 열환경적인 문제들은 점차 더 크게 대두되고 있으며, 공원, 가로수와 같은 녹지 공간이 확보됨으로서 열환경 개선에 도움이 된다는 여러 가지 연구들이 있어 왔다(Ju *et al.*, 2004; Park, 2012; Jo *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2022). 그러나, 인구 밀집과 교통량의 증가, 토지 사용에 대한 갈등, 특히 지가 상승으로 인하여 수평적인 방법으로는 도심 내 녹지 공간의 확보가 어려워진 상황이다.

도심 내 여유 공간이 생기더라도 새로운 도로나 건물에 녹지공간은 밀려나고, 용적률이 올라감에 따라 오히려 인구 밀도는 높아져서 도심지 거주자의 삶의 질은 점차 낮아지며, 이에 따라 열환경적인 문제들은 더 심각해지고 있다. 이를 해결하기 위하여 조경 포장 재료나 차양, 가로수의 효과적인 수종 선택이나 식재 방법의 변화를 주는 연구가 진행되었으나(Lee and Ryu, 2010, 2012, 2013; Park *et al.*, 2011; Jo *et al.*, 2017; Hyun, 2019), 가장 기본이 되는 녹지 공간 확보를 위해 수직적인 공간으로 녹지 공간을 확보할 수 있는 vertical garden, green wall 등으로 불리는 인공적으로 조성된 벽면 녹화 시스템이 이를 해결할 수 있는 대안의 하나로 제안되고 있다(Feng *et al.*, 2014; Dover, 2015; Madre *et al.*, 2015; Manso and Castro-Gomes 2015).

선행된 실험, 연구 등에 따르면 벽면 녹화 시스템은 소음 감소와 방음의 도구로서 잠재력을 가지고 있다는 **사회적** 관점으로서의 장점(Wong *et al.*, 2010)과 생물의 도심 내 서식지를 확보함으로써 다양성의 증가를 가져온다는 **환경적** 효과(Madre *et al.*, 2015)를 알 수 있었다. 그리고, 건축물을 자연환경에 통합하여 조경 미학을 최적화하는 이상적인 도구로서의 벽면 녹화 시스템을 활용할 수 있다는 **심미적** 기능에 대한 연구(Medl *et al.*, 2017), 비용과 편익을 분석하여 초기 비용을 줄여 더 넓은 녹지 공간 확보를 가능케 하여 지속 가능성이 높은 방법을

제시한 **경제적** 이익 모델로서의 연구(Perini, 2013) 등이 있어 왔다. 특히, 벽면 녹화 시스템을 통하여 실내외 미기후의 변화를 가져올 수 있다는 **열환경적** 효과에 대한 연구들이(Davis *et al.*, 2015; Medl *et al.*, 2017; Nugroho, 2020) 활발히 이루어지고 있다.

하지만, 이러한 벽면 녹화 시스템에 대한 연구는 거의 대부분 자연 지반에 설치된 녹화 시스템이 아닌 벽에 모듈이나 패널 등을 연속적으로 설치한 벽방식 녹화 시스템에 대한 연구가 대부분이며, 열환경에 대한 연구는 단순히 실외 벽면 녹화 여부에 대한 실내의 기온에 대해 이루어지고 있는 상황이다. Li *et al.*(2019)의 연구에서 4가지의 벽면 녹화 방식을 통하여 실내외의 열환경을 비교한 결과, 벽면 녹화로 인하여 실내의 기온을 1.5-4.5℃ 저감하는 효과를 나타내었다란 연구와, 학교 교실에 green curtain을 설치하여 실내 기온의 저감 효과가 있었다는 Mo(2019)의 연구 등이 있긴 하지만 실내외 열환경의 개선효과에 대한 연구는 아직 미진하다 할 수 있다.

그리고, 조망과 차폐율에 따라 부동산의 경제적 가치가 달라지기에(Kim *et al.*, 2012), 유리창의 면적이나 방향은 부동산 가치상승의 중요한 요소가 되어 현대에는 유리커튼월(glass curtain wall: 외벽을 유리로 마무리하는 건축 형태) 방식의 고급 고층 건물이 많이 시공이 되는데, 이러한 방식의 건물에는 벽면 녹화 방식 연구의 대부분을 차지하는 벽방식 녹화 시스템으로는 현실적으로 설치에 무리가 있다. 그러기에 커튼월 형식의 건물에도 설치 가능한 벽면 녹화 시스템으로 벽에 줄이나 그물 등을 이용하여 덩굴성 식물층을 생성하는 방법인 green curtain (double-skin green façade)이 제시되고 있으나, 다른 벽면 녹화 시스템에 비하여 상대적으로 시공이 간편하고 유지 보수에 소요 비용이 덜 든다는 장점 정도만 알려져 있을 뿐 인간 열환경지수에 어떠한 영향이 있는지에 대한 구체적 연구가 부족한 상황이다.

이에 본 연구에서는 앞서 설명한 green curtain 형식의 벽면 녹화 시스템을 커튼월 형식의 건축 방식을 채택한 건물의 외벽에 설치하여, 미기후(기온, 습도, 풍속, 태양 및 지구 복사에너지)를 측정하여 인간 열환경지수에 어떤 영향을 주고 받는지 비교 분석해 보고자 한다.

2. 벽면 녹화 시스템의 이해

벽면 녹화 시스템(vertical greening system)은 옹벽이나 경사면을 녹화시키기 위해 개발된 조경 방법의 발전된 형태이나, 이를 건축물에 사용하면서 사회적, 환경적, 심미적, 경제적, 열환경적인 기능이 더 하여진 별개의 녹화 방식으로 구분하여 생각할 수 있다(Medl *et al.*, 2017). 즉 벽면을 식물을 이용하여 푸르게 한다는 점에서는 일반적인 옹벽이나 경사면의 녹화 방법과 동일한 의미일 수 있지만, 도심지에서 건축물과 함께 사용할 때는 이에 대한 정확한 구분이 필요하다. 그러나, 이 녹화 방식은 현대 사회에 들어서 새로 개발된 방법이 아닌 ‘바빌론의 공중정원(hanging garden of Babylon)’이나 고대 로마인들이 덩굴 식물을 키우기 위해 사용한 구조물인 ‘Trellis’, 나무 그늘을 만들어 내는 ‘Pergola’와 같은 역사적으로 오래된 조경 방법의 하나이기도 하다.

이에 본 연구에서는 ‘인공구조물의 수직 또는 사면에 인공적인 녹지를 조성하는 것(Lee and Kim, 1992)’, ‘건축물, 구조물 또는 그 외의 수직 및 사면에 식물이 살아갈 수 있도록 만든 정원(Han *et al.*, 2018)’이라는 선행 연구의 벽면 녹화 시스템 정의 내에서 연구를 하고자 한다.

선행 연구들을 살펴보면 이러한 벽면 녹화 시스템은 형태, 목적, 방법 등에 따라 여러 가지 유형으로 나뉠 수 있는데 이는 다음과 같다.

Han *et al.*(2018)의 연구에서는 수직정원 유형 분류를 건축물이나 구조물에 직접 설치하여 부착하는 ‘부착형’, 식물의 식재 기반을 독립적으로 설치하는 ‘독립형’, 건축물과 구조물에 유기적으로 결합된 ‘적층형’으로 나누어 제안하고 있다(Table 1). 또한, 2017년 독일 기후 서비스 센터(Climate Service Center Germany, GERICS)의 정리에 따르면 벽면 녹화 시스템은 지상 기반 녹화 방법(bodengebundene begrünung)과 정면 경계 녹화 방법(fassadengebundene begrünung)으로 나뉘며 세부적인 사항은 Table 2와 같다.


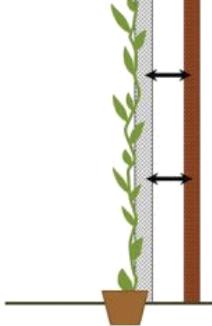
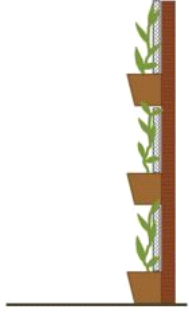
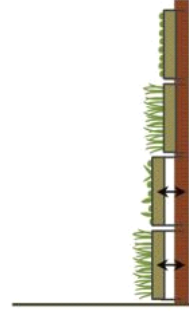
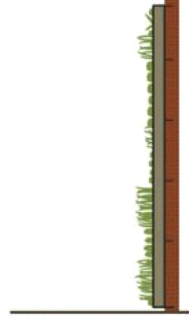
Table 1. Vertical garden type classification suggestion (Han *et al.*, 2018)

	부착형	독립형	적층형
특징	<ul style="list-style-type: none"> - 건축물이나 구조물에 직접 설치, 부착 - 건축물의 실내외, 지상 지하에 전면, 혹은 독립적인 공간을 만들어 설치함 - 지속적 관리를 통하여 반영구적으로 유지 가능함. 	<ul style="list-style-type: none"> - 식물의 식재 기반을 독립적으로 설치 - 계절에 따라, 필요에 따라 탈부착이 쉽게 가능함 - 유리벽이나 고층에 설치 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 개별적이고 독립적인 건축물과 유기적으로 결합된 형태 - 지역의 랜드 마크와 식물이 유기적으로 결합되어 관광 자원으로 활용할 수 있음.
사례	<ul style="list-style-type: none"> - 부산 현대미술관 - 서울 시청 	<ul style="list-style-type: none"> - 그린 커튼 	<ul style="list-style-type: none"> - 독일 하노버 엑스포 - 네덜란드관 - 싱가포르 창이 국제 공항

벽면 녹화 시스템은 건물의 옥상 부분만을 녹화하는 것보다 면적의 우세로 열 환경적 이점이 모든 면으로 확장된다는 장점이 있으나(Cheng *et al.*, 2010; Jim, 2015; Manso and Castro-Gomes, 2015), 건물의 구조가 복잡해질수록, 목적이 다양해질수록 시공, 설치, 유지, 보수에 다양한 제약이 생긴다는 점에서 벽면 녹화 시스템의 여러 방법 중 올바른 방법을 선택하는 것이 중요하다.

이러한 점에서 본 연구에서는 점차 거주와 상업용 집합 건물에서 조망, 차폐, 일조가 건물의 경제적 가치를 나누는 지표가 되기에 curtain wall 형식의 건축물에 ‘green curtain 형식’의 벽면 녹화 시스템을 선택하여 실험을 진행하였다.

Table 2. Type of vertical greening systems (Brune *et al.*, 2017)

Vertical greening systems				
지상 기반 녹화 방법 (bodengebundene begrünung)		정면 경계 녹화 방법 (fassadengebundene begrünung)		
Direct green facade	Double-skin green facade (green curtain)	Continuous green wall	Modular green wall	Linear green wall
				
<ul style="list-style-type: none"> - 지상심기 - 화분상자 - 관개 옵션 	<ul style="list-style-type: none"> - 지상심기 - 화분상자 - 케이블, 메쉬, 그물의 구조프레임 	<ul style="list-style-type: none"> - 구조프레임 - 패브릭 레이어 - 배수, 방수 멤브레인 - 관개 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> - 모듈식 부품 - 구조 프레임 - 배수, 방수 멤브레인 - 관개 시스템 	<ul style="list-style-type: none"> - 모듈식 화분상자 - 배수, 관개
<p>Green facades</p> <p>- 덩굴 식물, 마디가 있는 있는 식물</p>			<p>Living walls</p> <p>- 접착성 뿌리 구조를 가진 모든 식물</p>	

3. 인간 에너지 균형 모델과 인간 열환경지수

주변 건물이나 구조물의 구조적 문제, 재료의 특성에 의하여 조성된 인공적인 열환경에 의해 인간의 삶의 질은 크게 영향을 받으며, 특히 극한의 환경에서 작업을 해야 하는 광부나 노동자들, 군인들의 작업은 단순한 삶의 질을 떠나 능력과 작업의 결과물의 가치에까지 영향을 받는다. 그렇기에 이러한 열환경적 영향을 쾌적함으로 바꾸기 위해 인간은 노력해 왔으며 이러한 노력의 기초가 되는 것은 ‘열쾌적성(thermal comfort)’ 정량화부터라 할 수 있다. 열에 대한 쾌적성은 매우 주관적인 것인데 이를 객관화하여 수치화하는 것이 다수를 위한 환경 변화를 이끌어 낼 수 있기 때문이다. 이렇게 정량화된 수치가 **인간 열환경지수**이며 이것은 인간 에너지 균형 모델(human energy balance model)을 기반으로 인체를 둘러싼 환경으로부터 인체로 흡수되는 에너지양과 인체로부터 주변 환경으로 방출되는 에너지양을 정량적으로 계산하여 열생리학적(thermophysiological)으로 인간이 느끼는 반응을 분석하는 것이다(Park, 2012).

인간 에너지 균형 모델은 ‘인체는 외부로 부터 들어오는 에너지양과 인체에서 나가는 에너지양의 균형을 이루려고 한다’ 라는 기본 에너지 균형 모델을 기반으로 하며 세부 사항은 다음과 같다(Table 3).

$$M + R + L + C + E + C_r + E_r + H = S \quad (\text{Eq. 1})$$

Table 3. Each input to the formula calculation method of the human energy balance model

M	신진대사에너지(metabolic energy)
R	태양 복사 에너지(solar or shortwave radiation) <ul style="list-style-type: none"> • 태양 직사광선(direct beam solar radiation, K_b) • 분사광선(diffuse beam solar radiation, K_d) • 반사광선(reflected solar radiation, K_r) <ul style="list-style-type: none"> - 건축물에 의한(solar radiation reflected by buildings, K_{ro}), - 수목에 의한(solar radiation reflected by trees, K_{rveg}), - 지표면에 의한(solar radiation by the ground, K_{rg})
L	지구 복사 에너지(terrestrial or longwave radiation)
C	인체 피부와 주변 기온의 차이에 의해 발생하는 현열(sensible heat flux density)
E	인체 피부와 주변 공기의 습도 차이에 의해 발생하는 잠열(latent heat flux density)
C_g	호흡하는 동안 발생하는 현열(sensible heat flux density during breathing)
E_g	호흡하는 동안 발생하는 잠열(latent heat flux density during breathing)
H	전도열(conductive heat flux density)
S	인체에 남은 에너지양(an amount of energy left in the human body)

열환경지수 수치화에 대한 연구는 20세기 초반부터 이루어져 왔는데 Gagge의 1936년 ‘인체와 주변환경의 열 교환작용을 고려한 모델의 개발(2-node-model)’이나 Fanger의 1970년 연구인 PMV(predicted mean vote)등이 있으며, 현재 전 세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 지수로는 PET(physiological equivalent temperature; Höpfe, 1993), UTCI(universal thermal climate index; Bröde *et al.*, 2012a, 2012b), COMFA(comfort formula; Brown and Gillespie, 1986) 등이 있다. 이러한 열환경지수 정량화에 대한 모델은 Potcher *et al.*(2018)에 따르면 165개나 있다하며 지금도 계속 개발되고 있고, 이들 모두 앞서 설명한 인간 에너지 균형 모델을 기반으로 계산된다 할 수 있다.

본 연구에서는 이중 가장 국제적으로 많이 활용되고 있는 PET와 UTCI를 통해 열환경을 분석하였다.

PET는 열 지각(thermal perception) 정도를 나타내기 위하여 독일에서 개발된 지수로, 앞서 개발된 PMV의 문제점을 보완하여 보다 실질적인 예측이 가능한 열생리학적 균형 모델인 MEMI(Munich energy-balance model for individuals;

Höppe, 1993)를 기반으로 계산하여 총 9단계로 구분한다(Matzarakis and Mayer, 1996). PET는 특별하고 복잡한 열환경의 경험을 과거의 일반적인 열환경 경험과 비교하여 표현하기 때문에 더운 여름날에 직사광선을 받고 있으면 기온보다 더 덥게, 추운 겨울날 차가운 바람을 맞고 있으면 기온보다 더 춥게 나타나기도 한다(Höppe, 1999).

UTCI는 국제생명기상학회(International Society of Biometeorology, ISB)에서 전 세계적으로 보편화하여 적용 가능한 열생리학적 지수 개발을 위한 프로젝트에 의해 개발되었으며(Błażejczyk et al., 2013), 심부, 피부 온도를 기반으로 동적인 열 감각에 대한 예측이 가능한 다중 노드 모델이 적용되었다(Fiala et al., 2003; Bröde et al., 2012b). UTCI의 단위도 온도(°C)로 표현되며, 열 스트레스(thermal stress) 표현을 중심으로 10단계로 구분하는데 더위와 추위 모두 탈수 및 일사병과 같은 열 관련 장애, 심혈관 및 호흡기 질환으로 인한 사망률과 깊은 연관이 되어 있기 때문이다(Semenza et al., 1996; Curriero et al., 2002).

PET와 UTCI의 열 지각 단계와 열 스트레스 단계별 기준은 Table 4와 같다.

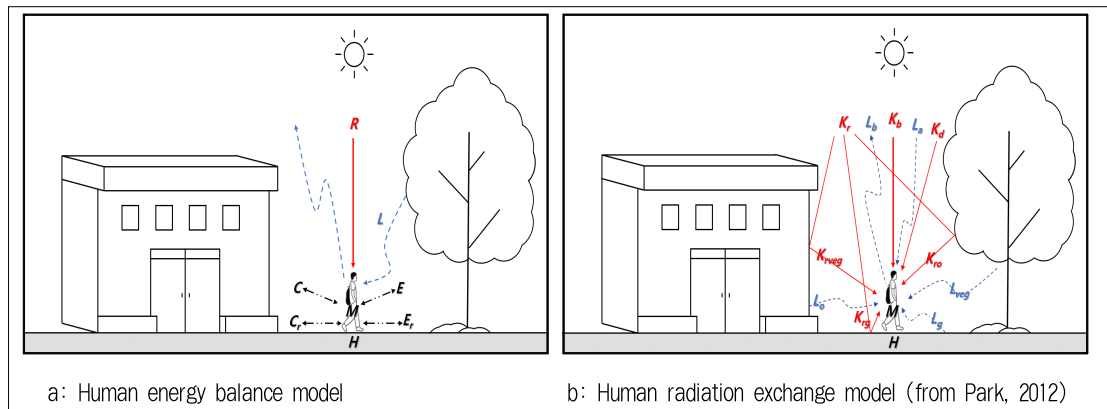


Figure 1. Energy transfers between a human body and its surrounding environment

Table 4. The levels of physiological equivalent temperature (PET) and universal thermal climate index (UTCI)

Thermal perception	PET (°C)	UTCI (°C)	Grade of physiological stress
very cold	< 4	< -40	extreme cold stress
		-27 ~ -40	very strong cold stress
cold	4 ~ 8	-13 ~ -27	strong cold stress
cool	8 ~ 13	0 ~ -13	moderate cold stress
slightly cool	13 ~ 18	9 ~ 0	slight cold stress
natural	18 ~ 23	9 ~ 26	no thermal stress
slightly warm	23 ~ 29		slight heat stress
warm	29 ~ 35	26 ~ 32	moderate heat stress
hot	35 ~ 41	32 ~ 38	strong heat stress
very hot	> 41	38 ~ 46	very strong heat stress
		> 46	extreme heat stress

II. 연구방법

1. 연구대상지

Green curtain의 여름철 열환경 개선 효과를 측정하기 위해 선택된 곳은 제주 특별자치도(Jeju island: N 33° 06' ~ 34° 00', E 126° 08' ~ 126° 58'; 제주도청, <http://www.jeju.go.kr>) 구좌읍 송당리에 위치한 '송당나무 카페'이다. 구좌읍은 제주시와는 약 35km 떨어져 있으며, 제주도의 동단에 위치하여 동북쪽이 남해에 면하고 서쪽은 조천읍, 남동쪽은 서귀포시와 접하고 있으며, 한라산에서 가장 멀리 뻗어 있고 정삼각형에 가까운 부채꼴 형태를 이루고 있다. 동북 해안선은 굴곡이 심하며 곳곳에 현무암의 암초가 발달하였으며, 해안 지대에 동북, 김녕, 월정, 행원, 한동, 평대, 세화, 하도, 종달리 등 마을이 위치하고 있고, 중산간 지대에 덕천, 송당리가 있으며, 해안과 중산간 사이에 상도리가 있는데 이중 송당리는 구좌읍 중에서 가장 한라산에 가까이 위치하고 있는 마을로서 해발 약 200~250m 고지에 위치하고 있다(Figure 2).

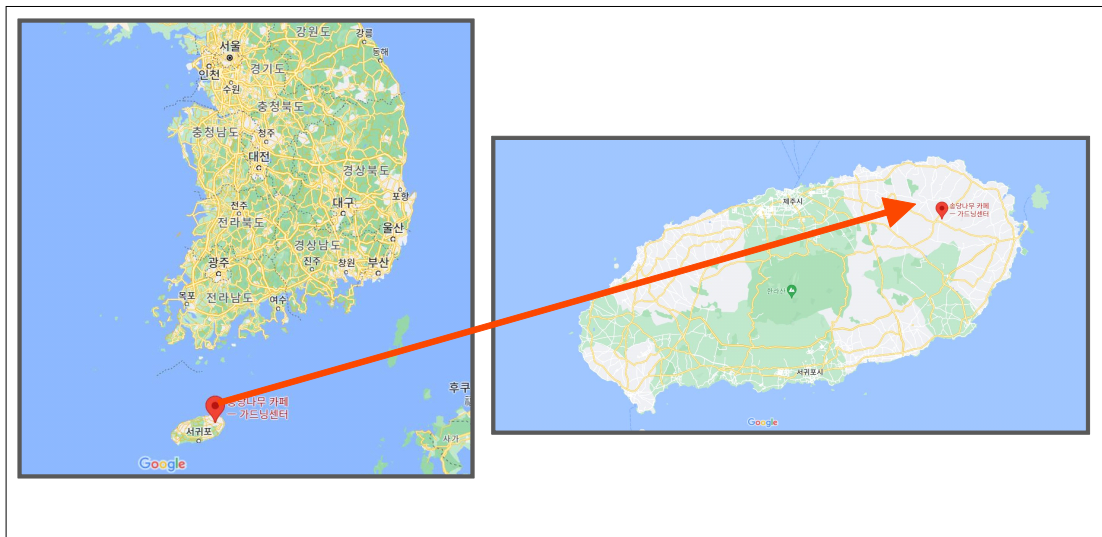


Figure 2. A map of the study site

제주특별자치도 제주시 구좌읍의 연평균 기온은 30년 평균 자료를 기준으로 15.8℃, 1월 평균 기온이 5.7℃, 8월 평균 기온이 26.8℃이며, 강수량은 1,497mm로 우리나라에서도 겨울이 따뜻하며 일년내내 비가 많이 내리는 온대 계절, 고온 습윤 기후에 속하고 강수는 1년 전체 강수량의 44%가 6·7·8월인 여름 3개월에 내리고 있다(<https://www.jejudo.go.kr/town/gujwa>).

구좌읍에서 가장 가까운 기후 관측 지점은 성산(Seongsan)으로서 위도 33.38677°, 경도 126.8802°에 위치하며 실험이 진행된 8월말(8월 20일 ~ 8월 31일)의 최저, 최고, 평균기온, 강수량의 약 10년간의 평균 데이터의 그래프는 Figure 3과 같다(기상청 기상자료 개방 포털, <https://data.kma.go.kr/climate>).

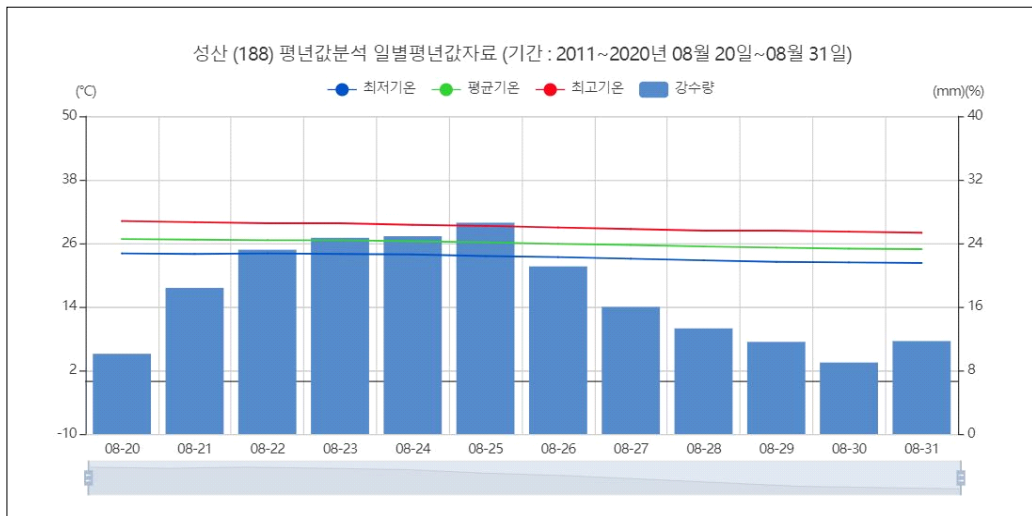


Figure 3. 10 year average climate data for Seongsan area in Jeju-do

이러한 구좌읍 송당리에 위치한 송당나무 카페의 연구 대상 건물은 5,400m²의 토지에 건축된 직사각형의 박공지붕 형태의 근린생활시설의 건물로서 건축평수 116m²의 경량 철골조 건물이다. 각각의 기둥은 철골조로 지탱되고 있으며 동쪽과 남쪽벽은 모두 2중 페어글라스 유리로 된 커튼월 형식이며, 북쪽과 서쪽의 벽은 일부는 벽돌조로, 일부는 유리창으로 건축되었다. 주변 환경은 큰 산이나 언덕, 오름 들과는 수 km 떨어져 있는 넓은 들판이며 반경 100m 이내에는 다른 건축물이 없고, 주변이 밭과 정원으로 둘러싸여 있는 지역이다(Figure 4 and 5).



Figure 4. View of the study site

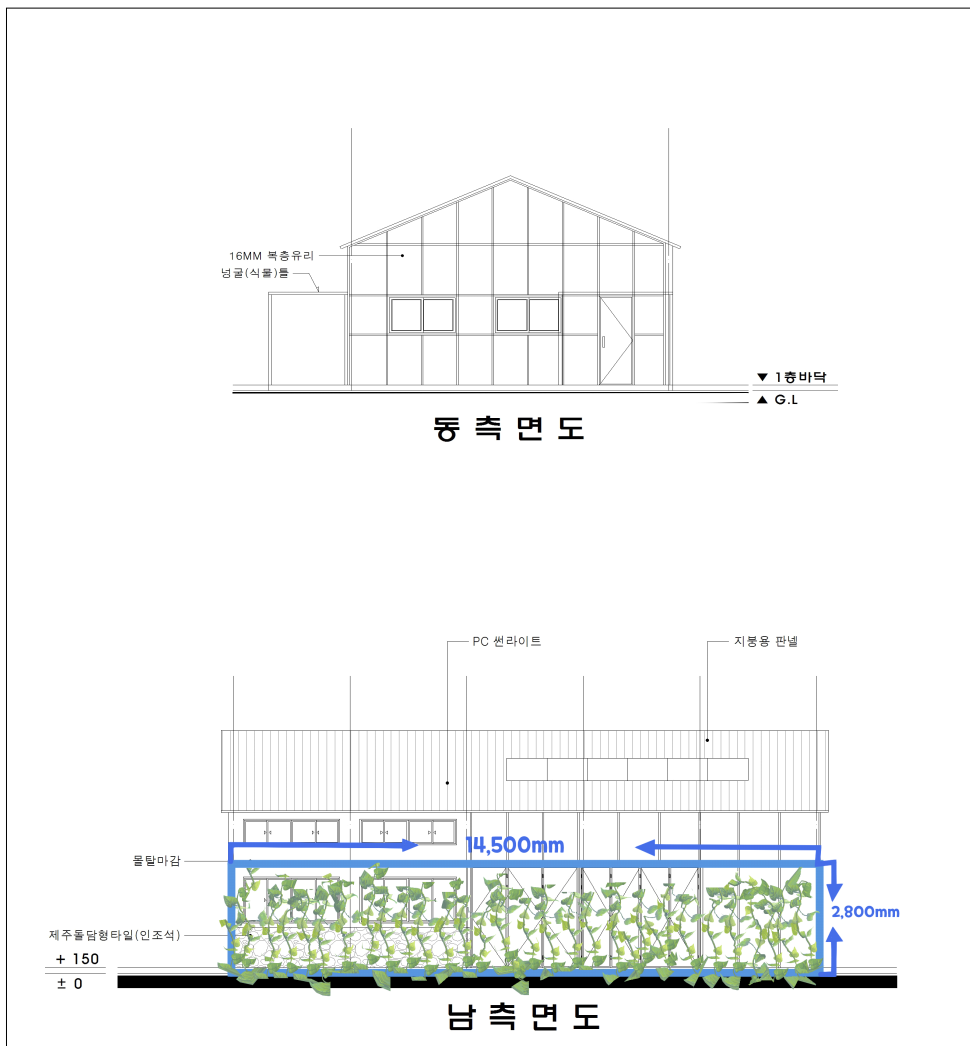


Figure 5. Drawing of the experimental building

2. 미기후 요소 측정

본 연구는 2021년 8월 27일부터 9월 1일까지 총 6일 동안 진행되었으며, 그중 8월 28일~30일, 9월 1일은 구름이 너무 많고 종종 소나기가 내려 정상적으로 실험하기 어려워 제외하고 8월 27일, 31일 총 2일의 데이터를 수집하였다.

남향의 외벽에 나팔꽃(*Pharbitis nil*)을 나무 박스에 식재하여 2.8m 높이로 green curtain을 만들어 이용하였다(Table 5).

Green curtain 조성을 위해 나무박스를 방부목 소재로 200mm×2,700mm×200mm 크기의 직사각형 형태로 5개를 제작하여 내부의 3/4 정도를 상토로 채웠다. 2021년 4월 6일경 나팔꽃 종자를 10cm 간격으로 엇갈리게 식재하였고, 일반적인 제주의 실외 환경에서, 보통관수로 키워나갔다. 줄기가 자라기 시작하자 나무 박스 양 끝에 나무로 지주대를 설치하였고, 박스의 바닥에서 줄기가 뻗어나가길 원했던 2,800mm 높이까지 플라스틱 와이어를 이용하여 망의 형태로 고정시키며 나팔꽃을 키워나갔다. 나팔꽃이 자라는 나무박스는 건물의 정남쪽 창 전면에 설치하였으며, 건물의 외벽과는 약 200mm 정도의 간격을 두고 배치하였다(Figure 6). 이렇게 키워나간 나팔꽃을 이용한 green curtain의 차폐율은 72%로 Adobe photoshop 2020을 이용하여 계산하였다.

미기후 측정장치(Table 6)는 해당 공간 내부 중심부와 공간 외부 잔디밭 위에 설치하여 기온, 상대습도, 풍속을 1분단위로, 태양 및 지구복사에너지양을 5초 단위로 측정하였다(Figure 7).

Table 5. Method and materials for manufacturing green curtain


Image	Definition	Base cases value
	Plant type	<i>Pharbitis nil</i> (morning glory)
	Width × Height	14,500mm × 2,800mm
	Plant coverage ratio	72%
	Planting method	Wooden plant box, plastic mesh, Planting 10cm intervals

Table 6. Instruments for microclimatic data measurement


Image	Instrument			
	Data	Name	Accuracy	Manufacture
	Solar and longwave Radiation	CNR4 Net Radiometer	$\leq 1\%$ (-40-80°C)	Kipp & Zonen Inc.
	Air temperature and Relative humidity	HMP155A	· Air temp: $\pm 0.3^\circ\text{C}$ (-80-60°C) · Relative humidity: 2% (0-90%) 3% (90-100%)	Campbell Scientific Inc.
	Wind speed and direction	Met one 034B-L Windset	· Wind speed: $\pm 0.1 \text{ ms}^{-1}$ ($\leq 10.1 \text{ ms}^{-1}$) $\pm 1.1\%$ ($\geq 10.1 \text{ ms}^{-1}$) · Wind direction: $\pm 4^\circ$	
	Datalogger	CR1000	$\pm 0.06\%$ (0-40°C)	



Figure 6. Green curtain setting (before & after)



a. Outdoor measuring point

b. Indoor measuring point

Figure 7. The measurement locations

3. 평균복사온도 분석 방법

평균복사온도(mean radiant temperature, T_{mrt})는 측정된 태양 및 지구복사에너지를 Park(2011)의 방법을 이용하여 양지의 경우(Eq. 2)와 음지의 경우($f_p \cdot K_b^+ = 0$, Eq. 3)로 나누어 계산하였다(Table 7). T_a , RH , u , T_{mrt} 는 30분 평균값을 Microsoft Office Excel 2016(<https://www.office.com>)을 이용하여 비교분석하였다.

양지의 경우

$$T_{mrt} = \left[\frac{(f_p \cdot K_b^+ \cdot a_k + 0.5(K_d + K_r)a_k + 0.5 \cdot \epsilon_p(L \downarrow + L \uparrow))}{\epsilon_p \sigma} \right]^{0.25} - 273.15^\circ\text{C} \quad (\text{Eq. 2})$$

음지의 경우

$$T_{mrt} = \left[\frac{0.5(K_d + K_r)a_k + 0.5 \cdot \epsilon_p(L \downarrow + L \uparrow)}{\epsilon_p \sigma} \right]^{0.25} - 273.15^\circ\text{C} \quad (\text{Eq. 3})$$

Table 7. Each input value of the formula calculation method for the mean radiant temperature

σ	Stefan-Boltzmann 상수: $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$
f_p	Projected area factor : 서 있는 자세와 걷는 자세를 결합한 공식으로 태양의 위치에 따라 직사광선이 인체에 미치는 표면적을 뜻함. Park(2011)의 방법을 사용하여 계산 $f_p = 3.34 \cdot 10^{-7} \cdot \beta^3 - 6.6 \cdot 10^{-5} \cdot \beta^2 + 8.42 \cdot 10^{-4} \cdot \beta + 0.297$
K_b	Direct beam solar radiation: 수평면으로 들어오는 태양직사광선
K_b^+	Direct beam solar radiation perpendicularly entering the body surface: 인체 표면에 수직으로 들어오는 태양직사광선
β	$K_b/\sin(\text{solar elevation})$ 한국천문연구원 천문우주지식정보(https://astro.kasi.re.kr:444/index)의 태양 고도/방위각 계산에서 해당 연구의 미기후 요소 측정 날짜를 입력하여 얻은 검색 결과를 이용하여 연구 시작 시간부터 한 시간 마다 고도의 값을 입력하여 계산
a_k	Solar radiation energy absorption rate (0.7)
K_d	Diffuse beam solar radiation : 건축물 또는 수목에 의해 가려지지 않은 하늘이 보이는 공간에서 오는 분사 광선으로 본 연구에서는 시작 시간부터 30분마다 1분씩 신체의 주먹을 이용하여 하늘을 향해 있는 CNR 4의 pyranometer로 들어오는 태양직사광선을 가려 가면서 측정함.
K_r	건축물(K_{ro}), 수목(K_{rveg}), 지표면(K_{rg})에서 반사되어 오는 반사 광선
ϵ_p	Earth Radiant Emissivity 지구복사 에너지 방사율(보통 0.97)
$L \downarrow$	하늘공간(L_a), 건축물(L_o), 수목(L_{veg})에서 방출되어 인체에 미치는 지구복사 에너지
$L \uparrow$	지표면(L_g)에서 방출되어 인체에 미치는 지구복사 에너지
0.5	신체의 표면적 전체를 1.0으로 보았을 때, 빛의 방향성으로 인해 인체에 영향을 미치는 복사 에너지의 양의 면적 비율

4. 인간 열환경지수 분석 방법

측정된 미기후 자료를 이용하여 인간 열환경지수인 PET와 UTCI를 RayMan Pro. Version 2.2(<http://www.urbanclimate.net/rayman>)를 이용하여 계산하였다. PET와 UTCI 계산을 위해 필요한 입력 자료는 T_a (air temperature: 기온), RH (relative humidity: 상대습도), u (wind speed: 풍속), T_{mrt} (mean radiant temperature: 평균복사온도)이며, 측정된 입력 자료를 근거하여 PET와 UTCI의 평균, 표준편차, 최대값과 저감 비율 등을 구하기 위해 Microsoft Office Excel 2016을 이용하여 계산하였다.

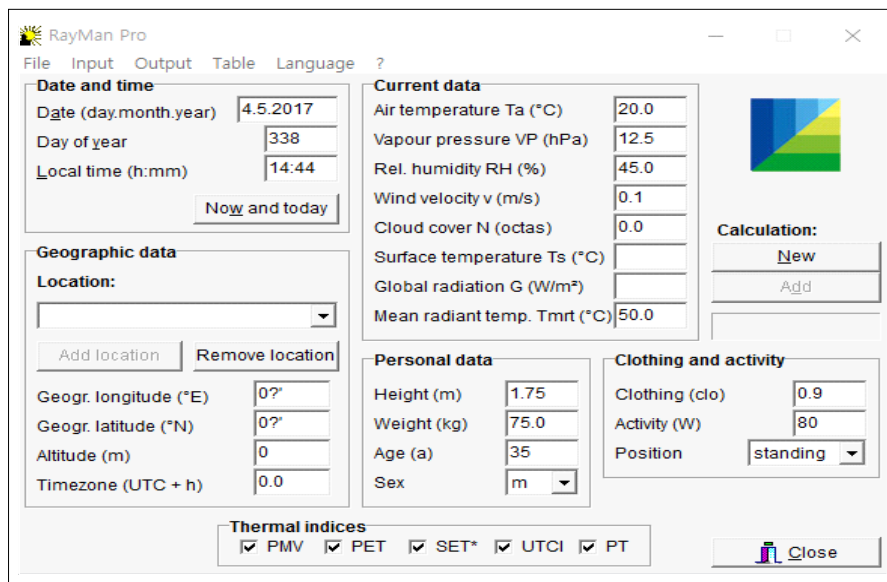


Figure 8. RayMan Pro. Version 2.2 (Matzarakis *et al.*, 2010)

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 미기후 요소 결과

미기후 요소 측정은 2021년 8월 27일 09:00부터 9월 1일 18:00까지 총 6일(129시간) 동안 실시하였으나, 8월 27일과 31일을 제외한 측정일에는 많은 구름과 소나기로 인하여 분석에서 제외하였으며, 8월 27일과 31일의 데이터만을 일출 일몰 시간을 고려하여 주간(09:00-19:00)과 야간(19:01-06:00)으로 분류하여 비교·분석하였다.

1) T_a (air temperature: 기온)

T_a 는 주간에 green curtain이 설치되었을 때는 실내가 평균 0.2°C 높은 값을 보였고, green curtain이 설치되지 않았을 때는 실내가 평균 1.6°C 높은 값을 보였다(Figure 9 and Table 8). Green curtain이 설치되었을 때가 green curtain이 설치되지 않았을 때보다 건물내부로 들어오는 태양광을 차단하고, 남향 유리에 투과되는 면적이 적어 실내 기온이 낮아져 평균 1.4°C 더 시원한 결과를 보였다. Green curtain이 설치되었을 때는 18:55에 최대 2.3°C, green curtain이 설치되지 않았을 때는 10:22에 최대 4.1°C 실내가 더 높은 값을 보여, green curtain의 설치 효과로 주간 시간대에 최대 1.8°C 실내가 더 시원한 결과를 보였다.

야간에는 주간에 축적된 실내 T_a 으로 인해 green curtain이 설치되었을 때는 실내가 평균 1.1°C, green curtain이 설치되지 않았을 때는 실내가 평균 1.0°C 높은 값을 보였으며, green curtain 설치에 따른 야간 T_a 의 차이는 거의 나타나지 않았다. 최대 차이는 green curtain이 설치되었을 때는 06:00에 최대 2.9°C, green curtain이 설치되지 않았을 때는 22:02에 최대 2.4°C 실내가 더 높은 값을 보여 green curtain의 설치되지 않았을 때 야간에 최대 0.5°C 실내가 더 시원한 결과를 보였다.

2) *RH* (relative humidity: 상대습도)

*RH*는 green curtain이 설치되었을 때는 주간에 평균 0.8%, 야간에 평균 6.1%, green curtain이 설치되지 않았을 때는 주간에 평균 6.4%, 야간에 평균 7.1% 실내가 실외보다 낮은 값을 보였다(Figure 10 and Table 8).

Green curtain이 설치되었을 때 건물 내부로 들어오는 태양광을 차단하여 주간에 평균 5.6%, 야간에 평균 1.0% 실내가 더 높은 상대습도를 보였다. 최대 차이는 green curtain이 설치되었을 때는 주간에는 18:53에 최대 10.1%, 야간에는 05:59에 13.8% 실내가 더 낮은 값을 보였고, green curtain이 설치되지 않았을 때는 11:35에 최대 15.1%, 야간에는 22:22에 13.6% 실내가 더 낮은 값을 보였다.

T_a (air temperature: 기온)

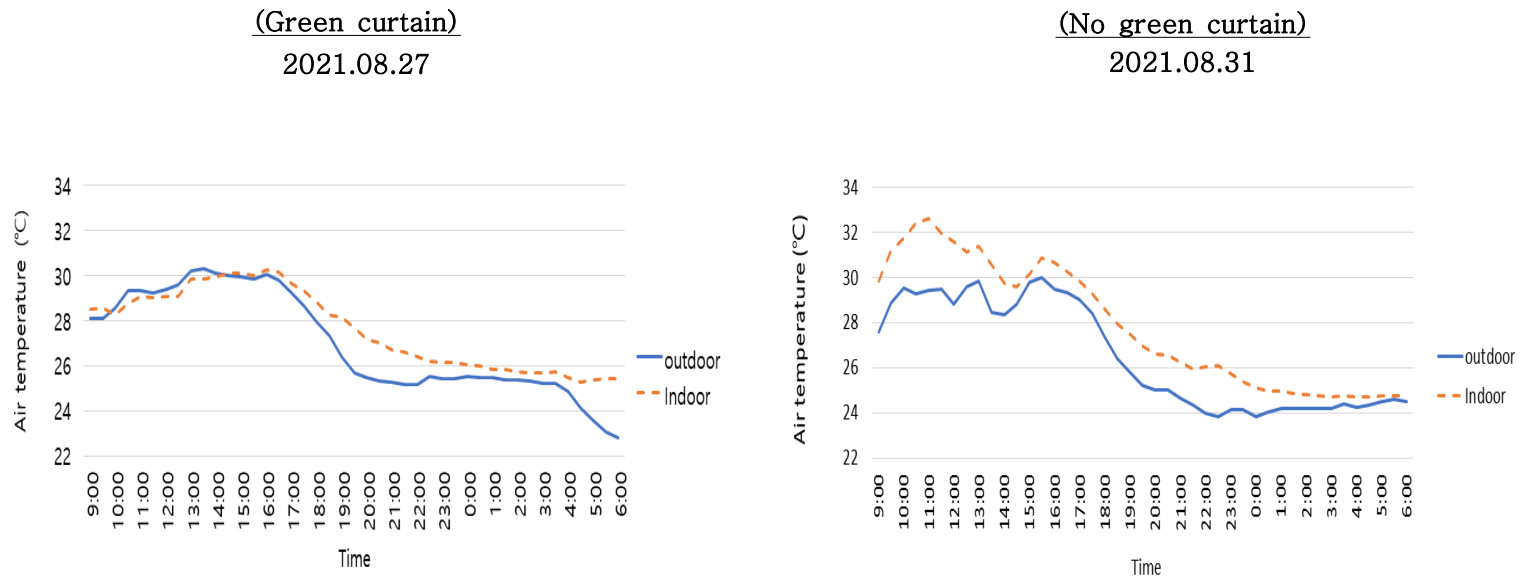


Figure 9. Air temperature (T_a) factors according to the presence or absence of green curtain

RH (relative humidity: 상대습도)

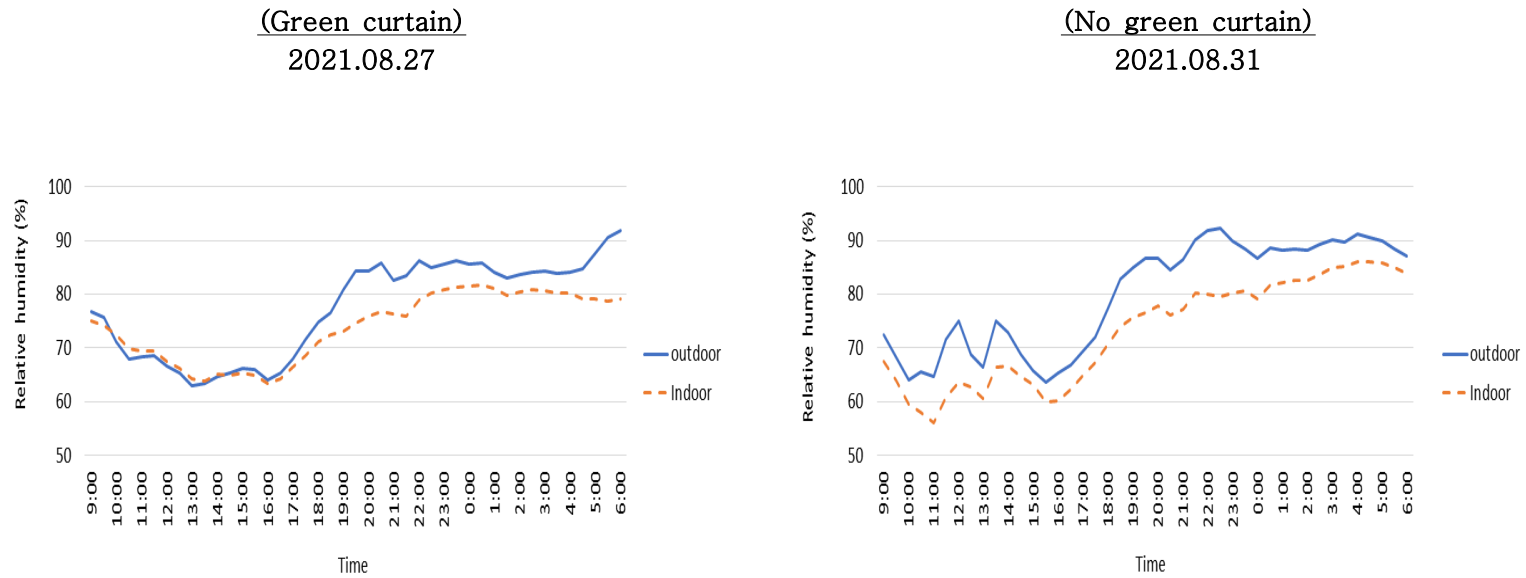


Figure 10. Relative humidity (RH) factors according to the presence or absence of green curtain

3) u (wind speed: 풍속)

u 은 주간에는 green curtain이 설치되었을 때는 실외가 실내보다 평균 1.8 ms^{-1} , green curtain이 설치되지 않았을 때는 평균 1.4 ms^{-1} 높은 값을 보였으며, 야간에는 green curtain이 설치되었을 때는 평균 1.5 ms^{-1} , green curtain이 설치되지 않았을 때는 평균 1.4 ms^{-1} 높은 값을 보였다(Figure 11 and Table 8).

최대값도 실외가 실내보다 높았으며 주간에는 green curtain 설치 시 최대 3.4 ms^{-1} , 설치되지 않았을 때는 2.4 ms^{-1} , 야간의 설치 시 3.1 ms^{-1} , 설치되지 않았을 때에는 2.8 ms^{-1} 의 값의 차를 보여주었다. 이와 같이 green curtain의 설치여부와 관계없이 u 는 변동폭이 거의 없는 것으로 나타났다.

4) T_{mrt} (mean radiant temperature: 평균복사온도)

T_{mrt} 는 green curtain이 설치되었을 때는 주간에는 실외보다 실내가 평균 21.1°C , 11:44에 최대 32.4°C , green curtain이 설치되지 않았을 때는 평균 16.4°C , 14:49에 최대 37.7°C 더 낮은 값을 보여, green curtain이 설치되었을 때 건물 내부로 들어오는 태양광을 차단하여 주간에는 평균 4.7°C 감소 효과를 보여주었다(Figure 12 and Table 8).

야간에는 주간에는 건물 내부에 축적된 열에너지로 인하여 green curtain이 설치되었을 때는 평균 6.6°C , 19:03에 최대 9.1°C , green curtain이 설치되지 않았을 때는 평균 6.9°C , 19:03에 최대 8.7°C 높은 실내 T_{mrt} 를 보였으며, green curtain이 설치되었을 때가 green curtain이 설치되지 않았을 때보다 평균 0.3°C 높은 값을 보였으나 그 값은 미비하였다. 이것은 green curtain이 실내에서 실외로 방출되는 지구복사에너지를 막아서 발생된 결과라고 볼 수 있다.

u (wind speed: 풍속)



Figure 11. Wind speed (u) factors according to the presence or absence of green curtain

T_{mrt} (mean radiant temperature: 평균복사온도)

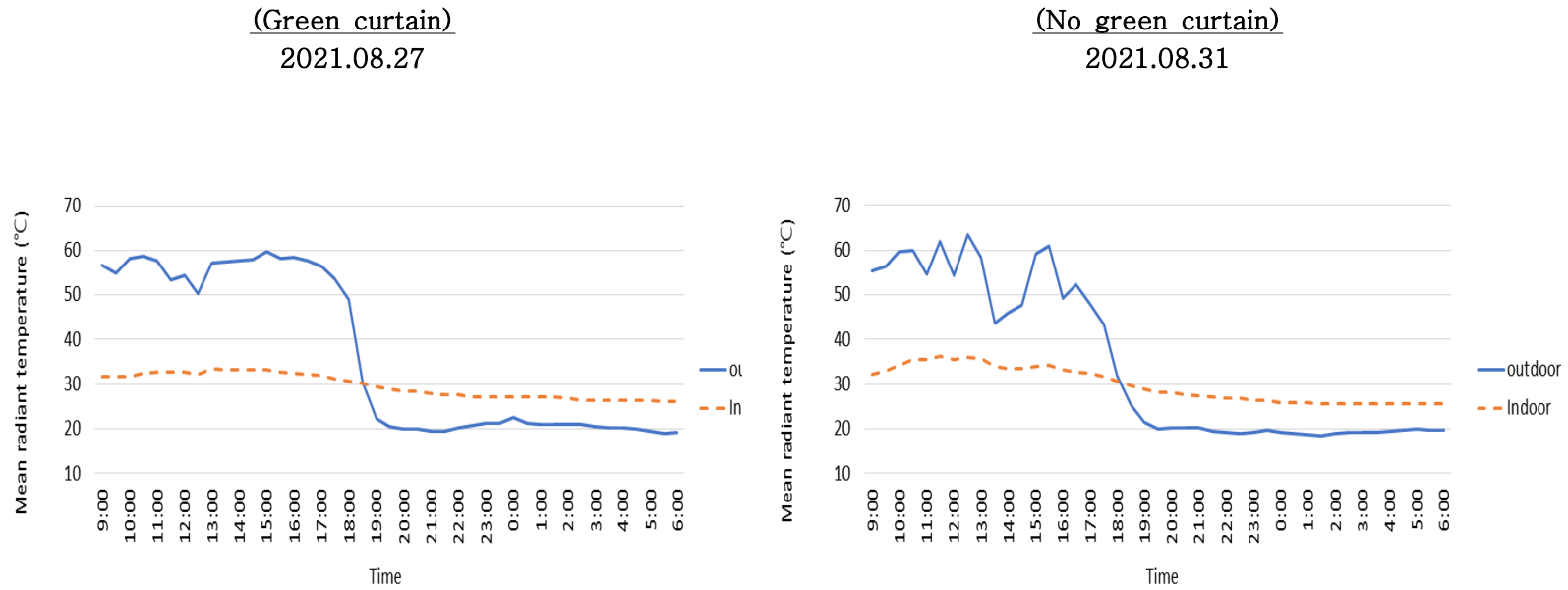


Figure 12. Mean radiant temperature (T_{mrt}) factors according to the presence or absence of green curtain

2. 인간 열환경지수 결과

인간 열환경지수 자료는 앞서 수집된 미기후 요소 자료를 기준으로 일출 시간과 일몰 시간을 고려하여 주간(09:00-19:00)과 야간(19:01-06:00)으로 나누어 비교하였다

1) PET

인간 열환경지수 분석 결과, 주간 PET는 green curtain이 설치되었을 때 평균 5.9℃, green curtain이 설치되지 않았을 때는 평균 3.8℃ 실내가 더 낮은 값을 보여, 평균 2.1℃ PET를 감소시켜 주었으며(Figure 13 and Table 8), 이 차이는 열지각(thermal perception) 단계로 약 1/3 단계의 차이이다. 최대값은 green curtain이 설치되었을 때, 11:49에 최대 13.1℃, green curtain이 설치되지 않았을 때는 10:23에 최대 16.7℃ 실내가 실외보다 더 낮은 값을 보였다.

야간에는 주간과 반대로 green curtain이 설치되었을 때는 평균 6.2℃, green curtain이 설치되지 않았을 때는 평균 6.3℃ 실내가 더 높은 값을 보여주었으며, green curtain의 효과는 평균 0.1℃로 거의 나타나지 않았다. 최대 차이는 green curtain이 설치되었을 때는 19:10에 최대 8.5℃, green curtain이 설치되지 않았을 때는 20:00에 최대 7.9℃ 실내가 실외보다 더 높은 값을 보여주었다.

2) UTCI

UTCI의 경우, 주간에는 green curtain이 설치되었을 때 평균 3.5℃, green curtain이 설치되지 않았을 때 평균 2.4℃ 실내가 실외보다 더 낮은 값을 보여, green curtain이 설치되었을 때 평균 1.1℃ UTCI를 감소시켜 주었으며, 이 차이는 1/6 단계의 열 스트레스(heat stress) 저감 효과이다(Figure 14 and Table 8). 최대 차이는 green curtain이 설치되었을 때 11:49에 7.8℃, green curtain이 설치되지 않았을 때 14:54에 8.7℃ 실내가 더 낮은 값을 보였다.

야간에는 green curtain이 설치되었을 때 평균 3.3℃, green curtain이 설치되지 않았을 때 평균 3.2℃ 실내가 실외보다 더 높은 값을 보였으며, green curtain의 효과는 평균 0.1℃로 거의 나타나지 않았다. 최대 차이는 green curtain이 설치되었을 때 19:10에 5.4℃, green curtain이 설치되지 않았을 때 18:57에 4.5℃ 실내가 실외보다 더 높은 값을 보였다.

주간에는 green curtain 설치로 PET에서는 실내·외 평균 저감효과가 1/3 단계, UTCI에서는 1/6 단계의 저감효과가 나타났다. green curtain으로 인해 태양광이 건물 내부에 영향을 미치는 면적이 작아지기 때문에 실내에서 더 낮은 값을 나타내며 거꾸로 야간에는 green curtain이 지구복사에너지를 가두는 효과로 주간과 반대로 PET와 UTCI를 더 높이는 결과를 보이는 것으로 나타났다.

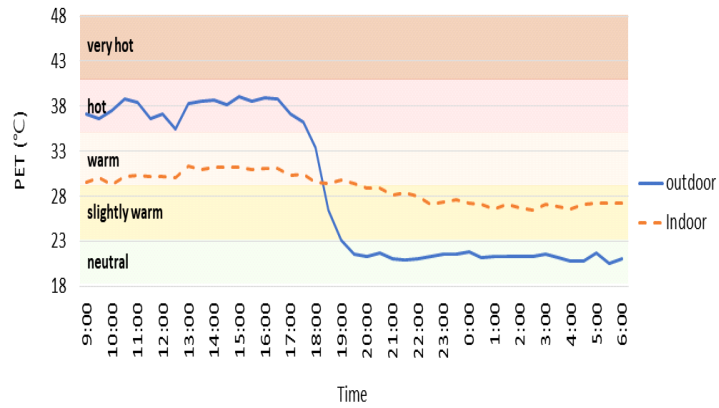
본 연구에서는 green curtain의 효과로 주간 실내 T_a 이 평균적으로 1.6℃, 최대 1.8℃ 더 시원한 결과를 보였는데, 이 결과는 Li *et al.*(2019)의 연구에서 본 연구와 같은 벽면 녹화의 방식으로 실내의 기온을 평균 1.5℃ 떨어뜨려 준다는 결과와 유사한 결과이며, Mo(2019)의 연구에서 실외 벽면 녹화로 인하여 실내의 기온을 최대 6.5℃ 저감 효과를 준다는 결과보다는 낮은 값을 보였다. 이러한 결과는 Mo(2019)의 연구에서는 4종의 식물을 이용하여 100% 유리를 차폐하였지만, 본 연구에서는 유리의 면적을 약 72% 차폐하여 낮은 값을 나타낸 것으로 보인다.

미기후 요소인 T_a , RH , T_{mrt} 의 증가는 PET와 UTCI가 증가하는 양의 상관관계, u 의 증가는 PET와 UTCI가 감소하는 음의 상관관계를 보인다(Jo,

2018). 본 연구에서 인간 열환경지수 분석 결과, 주간 green curtain의 설치 효과로 PET는 2.1℃, UTCI는 1.1℃의 차이를 보였으나 적절한 실내 환풍이 더해진다면 실내의 PET와 UTCI지수의 감소를 보여 실내외의 지수차가 증가하여 green curtain의 설치에 따른 열환경지수의 긍정적 효과를 더 나타낼 수 있을 것이다.

PET

(Green curtain)
2021.08.27



(No green curtain)
2021.08.31

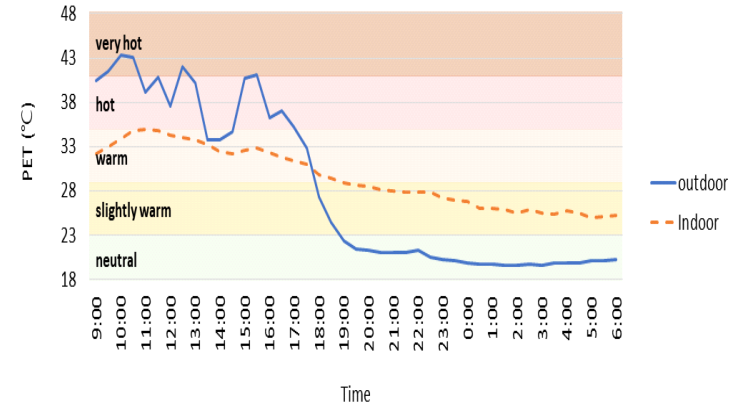
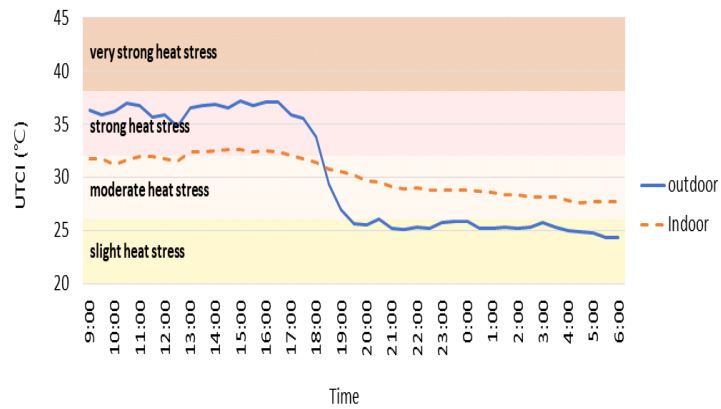


Figure 13. Perceived equivalent temperature (PET) factors according to the presence or absence of green curtain

UTCI

(Green curtain)
2021.08.27



(No green curtain)
2021.08.31

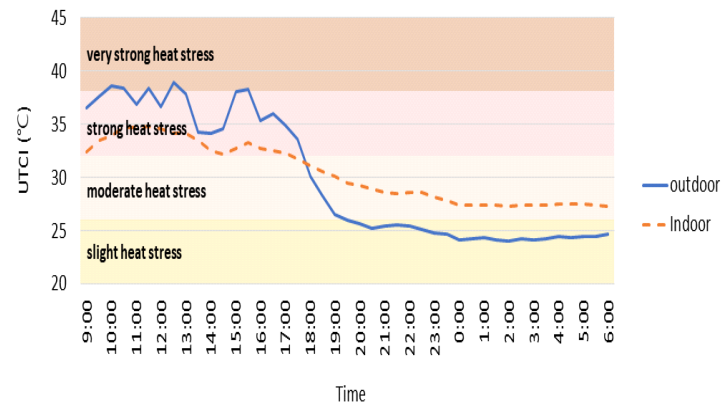


Figure 14. Universal thermal climate index (UTCI) factors according to the presence or absence of green curtain

Table 8. Mean (maximum) values according to the presence or absence of Green curtain. These results were from the values of outdoor locations minus the values of indoor locations. T_a , RH , u , T_{mrt} mean air temperature, relative humidity, wind speed and mean radiant temperature, respectively

Outdoor - indoor	Daytime						Nighttime					
	T_a (°C)	RH (%)	u (ms ⁻¹)	T_{mrt} (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)	T_a (°C)	RH (%)	u (ms ⁻¹)	T_{mrt} (°C)	PET (°C)	UTCI (°C)
Green curtain 2021.08.27	-0.2 (-2.3 at 18:55)	0.8 (10.1 at 18:53)	1.8 (3.4 at 12:36)	21.1 (32.4 at 11:44)	5.9 (13.1 at 11:49)	3.5 (7.8 at 11:49)	-1.1 (-2.9 at 6:00)	6.1 (13.8 at 5:59)	1.5 (3.1 at 23:39)	-6.6 (-9.1 at 19:03)	-6.2 (-8.5 at 19:10)	-3.3 (-5.4 at 19:10)
No green curtain 2021.08.31	-1.6 (-4.1 at 10:22)	6.4 (15.1 at 11:35)	1.4 (2.4 at 11:12)	16.4 (37.7 at 14:49)	3.8 (16.7 at 10:23)	2.4 (8.7 at 14:54)	-1.0 (-2.4 at 22:02)	7.1 (13.6 at 22:22)	1.4 (2.8 at 3:01)	-6.9 (-8.7 at 19:03)	-6.3 (-7.9 at 20:00)	-3.2 (-4.5 at 18:57)

IV. 결 론

본 연구에서는 green curtain 형식의 벽면 녹화가 여름철 실내·외의 열환경에 미치는 영향을 비교하기 위해, 제주도 송당나무 카페를 대상으로 하여 2021년 8월 여름철 건물 외부 잔디밭과 건물 내부 중심부에서 기온, 상대습도, 풍속, 태양 및 지구복사에너지를 측정하여 인간 열환경지수인 PET와 UTCI를 비교 분석하였다.

Green curtain의 설치효과로 T_a 는 주간 실내가 평균 1.6℃ 더 시원한 결과를 보였으며, 야간에는 green curtain의 효과가 나타나지 않았다. RH는 주간 건물 내부로 들어오는 태양광을 green curtain이 차단하여 평균 5.6%, 야간에 평균 1.0% 실내가 더 높은 습도를 보였다. u 은 주간 평균 1.4-1.8 ms^{-1} , 야간에 평균 1.4-1.5 ms^{-1} 로 green curtain의 설치 여부와 관계없이 실외에서 높은 값을 보였다. T_{mrt} 는 주간 4.7℃ 감소 효과를 보여주었으며, 야간에는 green curtain의 효과가 나타나지 않았다. 인간 열환경지수인 PET는 주간 green curtain이 설치되었을 때 평균 2.1℃로 약 1/3 단계를 감소시켜 주었고, 야간에는 green curtain의 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. UTCI의 경우 green curtain의 효과로 평균 1.1℃로 약 1/6 단계의 저감효과를 보여주었고, 야간에는 green curtain의 효과가 거의 나타나지 않았다.

본 연구를 통하여 green curtain은 여름철 주간시간대에는 채광과 조망을 중시하는 커튼월 형식의 건물에서 열환경 개선에 효과를 나타내었으며 반대로, 여름철 야간시간대에는 효과가 거의 없는 것으로 나타났다.

일반적인 벽면녹화시스템은 설치에 많은 예산이 들고 건물의 설계 시공에서부터 함께 고려하지 않으면 설치가 어려우며, 설치 이후에는 관리 혹은 철거에 많은 예산이 들기 때문에 쉽게 시도하기 힘든 조경 기법이지만, green curtain은 상대적으로 설치가 간편하고 유지, 철거에도 큰 비용이나 노력이 들지 않기에, 태양 복사에너지를 막아야 하는 여름철에는 간단히 설치해서 사용하다가 겨울철에는 철거하여 태양 복사에너지를 건물 내부에 깊게 들여와 난방에 도움을 줄 수 있다는 장점이 있기에 고려해 볼 만한 greening system이라고 할 수 있다. 또한, 식물을 이용한 인테리어는 가장 고전적이면서도 현재 가장

유행하는 인테리어 및 익스테리어 기법이기에 세련되고 아름다운 공간을 구성하는데 많이 활용되고 있다. 그러기에 본 연구를 통해 열환경적으로도 이점이 있다고 연구되어진 green curtain을 적극적으로 이용해볼 만하다 할 수 있겠다.

다만 본 연구는 식물의 종류를 한 가지만을 이용하였고, 동향의 유리는 green curtain을 설치하지 않았다. 향후 연구에서는 동일한 green curtain 형식의 벽면 녹화 시스템을 이용하여 다양한 벽면 녹화 수종(덩굴성 식물)에 관한 자료 연구가 이루어져야 할 것이며, green curtain 설치 방법 또한 여러 가지 시도를 해볼 수 있을 것이다. 실험 공간 특성의 제한으로 동향의 유리는 설치 못하였으나 동향의 유리까지 모두 green curtain을 설치하거나 혹은 일반 벽으로 제한하여 실내·외의 열환경을 비교하면 더 명확한 결과를 보여 줄 수 있을 것이다.

V. 초 록

본 연구에서는 여름철 green curtain의 열환경 개선 효과를 알아보기 위하여 2021년 여름 8월말의 4일을 선택하여 제주도 송당리에 있는 송당나무 카페 건물의 남쪽 창에 나팔꽃(*Pharbitis nil*)을 이용한 green curtain을 설치한 후 건물 내·외부에 미기후 측정 장치를 설치하여 기온(T_a), 상대습도(RH), 풍속(u), 태양 및 지구복사에너지(T_{mrt})를 측정하여 인간 열환경지수인 PET와 UTCI를 비교 분석 하였다.

Green curtain의 설치효과로 T_a 는 주간 실내가 평균 1.6°C 더 시원한 결과를 보였으며, 야간에는 green curtain의 효과가 나타나지 않았다. RH 는 주간에 건물 내부로 들어오는 태양광을 green curtain이 차단하여 평균 5.6%, 야간에 평균 1.0% 실내가 더 높은 습도를 보였다. u 은 주간에 평균 $1.4\text{--}1.8\text{ ms}^{-1}$, 야간에 평균 $1.4\text{--}1.5\text{ ms}^{-1}$ 로 green curtain의 설치 여부와 관계없이 실외에서 높은 값을 보였다. T_{mrt} 는 주간에 4.7°C 감소 효과를 보여주었으며, 야간에는 green curtain의 효과가 나타나지 않았다. 인간 열환경지수인 PET는 주간에 green curtain이 설치되었을 때 평균 2.1°C 로 약 1/3 단계를 감소시켜 주었고, 야간에는 green curtain의 효과가 거의 없는 것으로 나타났다. UTCI의 경우 green curtain의 효과로 평균 1.1°C 로 약 1/6 단계의 열 스트레스 저감효과를 보여주었고, 야간에는 green curtain의 효과가 거의 나타나지 않았다.

본 연구를 통하여 green curtain은 여름철에 채광과 조망을 중시하는 커튼월 형식의 건물에서 열환경 개선에 효과가 있다는 것을 알 수 있었다.

인 용 문 헌

Błażejczyk, K., G. Jendritzky, P. Bröde, D. Fiala, G. Havenith, Y. Epstein, A. Psikuta and B. Kampmann (2013) An introduction to the universal thermal climate index (UTCI). *Geographia Polonica* 86 (1): 5-10.

Brown, R. and T. Gillespie (1986) Estimating outdoor thermal comfort using a cylindrical radiation thermometer and an energy budget model. *International Journal of Biometeorology* 30 (1): 43-52.

Bröde, P., E. Krüger, F. Rossi and D. Fiala (2012a) Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI—a case study in Southern Brazil. *International journal of biometeorology* 56 (3): 471-480.

Bröde, P., D. Fiala, K. Błażejczyk, I. Holmér, G. Jendritzky, B. Kampmann, B. Tinz and G. Havenith (2012b) Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International journal of biometeorology* 56 (3): 481-494.

Brune, M., S. Bender and M. Groth (2017) Gebäudebegrünung und Klimawandel: Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch klimawandeltaugliche Begrünung. Climate Service Center Germany (GERICS).

Cheng, C., K. Cheung and L. Chu (2010) Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. *Building and environment*, 45(8), 1779-1787.

Curriero, F., K. Heiner, J. Samet, S. Zeger, L. Strug and J. Patz (2002) Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States. *American journal of epidemiology*, 155 (1): 80-87.

Davis, M., F. Ramírez and A. Vallejo (2015) Vertical Gardens as Swamp Coolers. *Procedia Engineering* 2015 118: 145-159.

Dover, J. (2015) *Green infrastructure: incorporating plants and enhancing biodiversity in buildings and urban environments*. Routledge.

Feng, H. and K. Hewage (2014) Lifecycle assessment of living walls, air purification and energy performance, *J. clean, Prod* 69: 91-99.

Fiala, D., K. Lomas, and M. Stohrer (2003) First principles modeling of thermal sensation responses in steady-state and transient conditions. *ASHRAE transactions* 109: 179.

Han, E. and H. Choe (2018) A study on setting the type of 'Vertical Garden' suitable for urban open space planting function. In *Proceedings of the Korean Institute of Landscape Architecture Conference* (pp. 57-59). The Korean Institute of Landscape Architecture.

Höppe, P. (1993) Heat balance modelling. *Experientia* 49 (9): 741-746.

Höppe, P. (1999) The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology* volume 43: 71 - 75.

Huyn, C. (2019) Analysis of Human Thermal Environments in The Apartment Complex by Computer Simulation. Master's thesis, University of jeju national.

Jim, C. (2015) Greenwall classification and critical design-management assessments. *Ecological Engineering*, 77, 348-362.

Jo, S. (2018) Analysis of the Influence of Street Trees and Single Trees on Human Thermal sensation in summer. Master's thesis, University of jeju national.

Jo, S., C. Hyun and S. Park (2017) Analysis of the Influence of Street Trees on Human Thermal Sensation in Summer. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 45(5): 105-112.

Ju, M., C. Lee and N. Ryu (2004) The effect of urban shade trees on the WBGT (Wet Bulb Globe Thermometer Index). *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 32 (3): 51-59

Kim, H. and H. Chio (2012) The effect of the type of landscape view and the ratio of view screening on housing prices. *Korea Real Estate Review* 22 (1): 109-125.

Lee, C. and N. Ryu (2010) The influence of landscape pavements on the WBGT of outdoor spaces without ventilation or shade at summer midday. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 38 (2): 1-8.

Lee, C. and N. Ryu (2012) The influence of ventilation and shade on the mean radiant temperature of summer outdoor. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 40(5): 100-108.

Lee, C. and N. Ryu (2013) The comparison of the ultra-violet radiation of summer outdoor screened by the landscaping shade facilities and tree. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 41 (6): 20-28.

Lee, K. and D. Kim (1992) *State of the tree-planting technology*, Myong-bo Publishing company.

Li, J., B. Zheng, W. Shen, Y. Xiang, X. Chen and Z. Qi (2019) Cooling and energy-saving performance of different green wall design: a simulation study of a block, *Energies* 12 (15): 2912.

Madre, F., P. Clergeau, N. Machon and A. Vergnes (2015) Building biodiversity, vegetated facades as habitats for spider and beetle assemblages, *Glob. Ecol, Conservation* 3: 222-233.

Manso, M. and J. Castro-Gomes (2015) Green wall systems; a review of their characteristic, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 863 - 871.

Matzarakis, A. and H. Mayer (1996) Another kind of environmental stress: thermal stress. *WHO newsletter* 18(January 1996), 7-10.

Medl, A., R. Stangl and F. Florineth (2017) Vertical greening systems - A review on recent technologies and research advancement. *Building and Environment* 125: 227-239.

Mo, P. (2019) Reduction of room temperature and energy saving potential by green curtain in urban area Case Study of Wolchon Elementary School in Seoul. In *Proceedings of the Korea Institute of Ecological Architecture and*

Environment 19(1): 54-55

Nugroho, A. (2020) The effect of vertical gardens on temperature and CO₂ levels in urban housing. *Jurnal Teknik Arsitektur* 5 (3): 401-408.

Park, K., S. Lee, Y. Shim and H. Hwang (2011) Analysis on the mitigation effects of urban heat island through creation of water space—a case study of Yeol-Mae village Apt in Daejeon's Noeun District. *The International Journal of the Korean Institute of Ecological Architecture and Environment* 11 (5): 13-18.

Park, S. (2011) Human-Urban Radiation Exchange Simulation Model. PhD dissertation, University of Victoria, Victoria, B.C., Canada.

Park, S. (2012) Landscape planning and design methods with human thermal sensation. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 40 (1): 1-11.

Perini, K. (2013) Retrofitting with vegetation recent building heritage applying a design tool—the case study of a school building. *Frontiers of Architectural Research* 2: 267-277.

Potchter, O., P. Cohen, T. Lin and A. Matzarakis (2018) Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Science of the Total Environment* 631: 390-406.

Semenza, J., C. Rubin, K. Falter, J. Selanikio, W. Flanders, H. Howe and J. Wilhelm (1996) Heat-related deaths during the July 1995 heat wave in Chicago. *New England journal of medicine* 335 (2): 84-90.

Wang, X., H. Li and S. Sodoudi (2022) The effectiveness of cool and green roofs in mitigating urban heat island and improving human thermal comfort. *Building and Environment* 217: 109082.

Wong, N., A. Tan, P. Tan, K. Chiang and N. Wong (2010) Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment* 45: 411-420.