

벽면녹화 설치에 따른 온도 및 이산화탄소 저감 효과 분석

문지현¹, 박재록², 권순철³, 김재문^{4*}

¹부산대학교 사회환경시스템공학과, ²부산대학교 녹색국토물관리연구소,
³부산대학교 토목공학과, ⁴부산대학교 스마트 해양도시 인프라 교육연구원

Analysis of Temperature and Carbon Dioxide Reduction Effects based on the Application of Green Wall Installation

Ji Hyun Moon¹, Jae Rock Park², Soon Chul Kwon³, Jae Moon Kim^{4*}

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

²Green Land and Water Management Research Institute

³Civil Engineering, Pusan National University

⁴i-SOC center, Pusan National University

요약 각국 도시들은 지구온난화와 기후변화로 발생하는 도시열섬현상, 도심홍수 등의 문제 해결방안을 모색하고 있다. 벽면녹화는 도시의 벽면에 식생을 심는 시설로 녹화가 부족한 도시에 녹화공간을 제공하며, 건물 온도 감소로 인한 에너지 사용량 절감, 식생의 이산화탄소 흡수로 인한 공기정화 효과, 우수관리 등의 효과가 있다. 본 연구는 벽면녹화의 이산화탄소 및 온도 저감 효과를 정량화하고자 시간대별로 변화하는 온도와 이산화탄소 농도를 측정하여 녹화 유무에 따른 차이를 비교 분석하였다. 실외실험을 수행하여 실험군과 대조군의 온도를 비교한 결과 평균 3 °C, 최고 9 °C의 온도 저감효과를 보였으며, 독립표본 T 검정을 수행하여 실험군과 대조군의 측정값이 유의미한 차이를 가짐을 확인하였다. 또한, 실험군과 대조군의 이산화탄소 농도를 비교한 결과, 0시 ~ 18시 사이에 이산화탄소 농도가 최대 63 ppm, 평균 44 ppm 낮게 측정되었다. 본 연구는 벽면녹화의 온도 및 이산화탄소 저감 성능을 실외실험을 수행하여 확인하였다. 온도 저감 효과는 기온이 높을수록 높았으며, 이산화탄소 저감 효과는 기온이 높을수록, 유동인구가 많을수록 높은 것을 확인하였다. 추후 다양한 벽면녹화의 위치와 식생조건에서 실험이 이루어진다면 벽면녹화의 온도와 이산화탄소 저감 효과를 정량화할 수 있을 것으로 보인다.

Abstract Cities seek solutions to urban heat islands and flooding caused by global warming and climate change. A green wall is a facility that plants vegetation on walls, providing green spaces in cities where green space is insufficient. A green wall reduces temperatures and energy, purifies the air by vegetation, and manages rainfall. This study examined the carbon dioxide and temperature reduction induced by green walls by measuring the temperature and carbon dioxide concentrations and comparing the differences. Experiments were conducted between an experimental group and a control group. The results showed an average temperature reduction effect of 3 °C, with a maximum reduction of 9 °C. Independent sample t-tests confirmed that the measured values showed significant differences. Furthermore, the carbon dioxide levels were up to 63 ppm lower from 0:00 to 18:00 than the control, with an average reduction of 44 ppm. This study confirmed the temperature and carbon dioxide reduction performance of green walls. The temperature reduction effect was higher at higher temperatures, and the carbon dioxide reduction effect was greater at higher temperatures and pedestrian flow. Nevertheless, the temperature and carbon dioxide reduction effects of green walls can be quantified more precisely if experiments are conducted under various conditions.

Keywords : Green Wall, Carbon Dioxide Reduction, Green House Gas Reduction, Temperature Reduction, Climate Change Mitigation

본 논문은 환경부「기후변화특성화대학원사업」로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jae-Moon Kim(Pusan National Univ.)

email: ekzmans7@naver.com

Received October 13, 2023

Revised November 2, 2023

Accepted November 3, 2023

Published November 30, 2023

1. 서론

최근 각국 도시들은 지구온난화와 기후변화로 발생하는 도시 문제에 대응하기 위해 온실가스 저감, 도시열섬 현상 완화, 강우유출수 관리 방안을 모색하고 있다. 이런 문제는 기존의 투수면이 도시화로 인해 불투수면으로 바뀌면서 녹지 면적이 감소하여 더욱 가속화되고 있다.

이에 따라 환경부에서는 지속가능성과 탄소중립의 원칙에 따라 도시계획 및 설계기술을 적용하는 스마트 그린도시 사업을 시행하였다. 스마트 그린도시는 인간과 환경이 공존하는 지속가능한 미래 환경 도시를 구현하기 위해 기후탄력적 도시환경 구축을 목표로 하며 여러 가지 기후환경 경감 요소기술을 적용하는데, 그 중 하나가 벽면녹화이다. 벽면녹화는 건축물이나 구조물의 벽면을 전면 또는 부분을 식생으로 피복 녹화하는 시설로 지면 공간이 부족한 도시에 별도의 토지 공간을 차지하지 않고 단시간에 녹지면적을 확보할 수 있는 장점이 있다[1,2].

벽면녹화는 식생의 공기정화 성능을 중점으로 실내에 많이 설치되었으며 공기질 개선 측면으로 식생 선정 및 관리, 생육에 관한 연구가 주를 이루었다. 하지만, 도시 온도가 높아짐에 따라 벽면녹화의 단열성 향상, 열섬현상 저감 효과가 주목받게 되었다. 국내에서는 먼저 벽면녹화의 온도 저감 성능에 대한 연구가 이루어졌다. 석호태(2008)[3]는 실외 벽면녹화 적용 유무에 따른 표면 온도를 비교하였으며, 신정환(2014)[4]은 실내 벽면녹화가 온도, 습도, 이산화탄소 농도에 미치는 영향을 분석하였다. 이후, 온도뿐만 아니라 습도, 풍속 등 다양한 요소를 고려하였고, 사람의 체감온도를 나타내는데 사용되는 열환경 지수를 활용한 연구가 진행되었다. 김정호(2016)[5]는 벽면녹화 조성유형의 차이에 따른 열환경 저감을 분석하기 위해 온도, 습도, 일사량으로 열환경 평가지표를 산정하였으며, 이선영(2022)[6]은 벽면녹화 설치여부에 따른 여름철 건물 실내열환경을 기온, 상대습도, 풍속, 지구복사 에너지를 바탕으로 열환경지수를 산정하였다. 또한, 벽면녹화의 온도 저감을 에너지와 연계하여 고범석(2022)[7]은 실외 벽면녹화 실험을 통해 축열효과, 냉각효과, 미세 먼지 저감효과를 실증하고 건물에너지 시뮬레이션을 통해 벽면녹화의 건물에너지 절감효과를 정량화하였다.

국외에서도 벽면녹화의 온도 저감효과와 함께 대기 정화 성능에 대한 실증실험이 진행되었다. Shafiee et al.[8]은 벽면녹화는 건물벽면에 설치하여 벽면녹화가 주변 대기 온도를 감소시키며 온도 변동량을 줄임을 분석하였다. Daemei et al.[9]은 벽면녹화의 온도 저감 효과

를 겨울과 여름으로 나누어 분석하였으며, Herath et al.[10]은 도시 유역을 구축하여 벽면의 재료와 특성을 변경하지 않고 벽면녹화와 옥상녹화의 비율에 따른 열환경을 분석하였다. 또한, 벽면녹화는 건물 단위로 온도 저감효과가 연구되었을 뿐만 아니라 도시 단위에서도 열섬 저감 및 폭염저감에도 효과가 있을 것으로 예상되어 도시 단위로 열성능에 대한 연구가 진행되고 있다[11]. 환경부는 벽면녹화를 기후변화 적응 기술요소로 선정하였으며 행정안전부는 벽면녹화를 도시 폭염저감을 위한 요소로 선정하여 폭염저감 방안 도출을 위한 성능지표 연구가 진행되고 있다[12,13]. 그러나, 벽면녹화가 도시 온도 조절 기술로써 활성화되기 위해서는 도시 내 설치되었을 때 어느 정도의 온도 저감효과가 있는지에 대한 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구는 온도와 이산화탄소를 저감할 것으로 예상되는 벽면녹화의 효과를 정량적으로 제시하기 위해 실외실험을 수행하고, 이를 적용유무와 거리에 따라 분석하였다.

2. 벽면녹화 실외실험

2.1 실외실험 건물 및 측정 지점 선정

본 연구가 수행된 실외실험 대상지는 P대학교 LID센터로, 건물의 동쪽 외벽에 Fig. 1과 같은 플랜터형 벽면녹화를 적용하였다. 플랜터형 벽면녹화는 식재기반을 플랜트에 장착하여 벽면에 부착하는 방식으로, 건물 외피를 보호하고 시공이 간편하여 주로 활용되는 방법이다. 건물 외벽에 가로 3 m, 높이 2.25 m의 프레임을 설치하고 프레임에 12행 15열로 총 180개의 모듈을 설치하였다. 각 모듈당 2개의 맥문동 화분이 설치되었으며, 300 ml 크기의 화분에 토양과 함께 식재하였다.

벽면녹화에 따른 온도, 이산화탄소 농도를 측정하기 위해 이산화탄소 측정기기인 ZG160을 사용하였으며, 측정기기의 성능은 Table 1과 같다. 이산화탄소 농도는 0 ~ 3000 ppm, 온도는 0 ~ 50 °C 까지 측정 가능하다. 벽면녹화 유무에 따른 이산화탄소 농도와 온도 차이를 측정하기 위해 복사열의 영향을 줄일 수 있는 지면에서 1.5 m 떨어진 높이에서 Table 2에 나타난 것과 같이 대조군은 철제 벽면에 3지점, 실험군은 벽면녹화 2지점으로 설정하였다. 실험군은 벽면녹화에 위치하는 A, B로 2지점을 선정하였으며, 대조군은 벽면녹화로부터 떨어진 C, D, E지점으로 3지점을 선정하였다.



Fig. 1. Location of green wall experiment site and observation point

측정은 Table 3와 같이 시나리오 1, 2로 설정하였다. 시나리오 1은 2022년 양산시 여름 평균온도 25.9 ℃와 유사하고, 우천시의 벽면녹화 효과를 확인할 수 있는 날로 선정하였으며, 시나리오 2는 더 극한의 온도에서 벽면녹화의 효과를 확인하기 위하여 2022년 양산시 여름 최고온도 30.9 ℃와 평균온도가 유사할 것으로 예상되는 날에 추가실험을 진행하였다. 측정은 2023년 7월 6일 ~ 2023년 7월 7일, 2023년 8월 1일 ~ 8월 2일에 광합성과 증산작용이 활발한 10시부터 18시까지 10분 간격으로, 18시 이후로는 30분 간격으로 하였다.

Table 1. CO2 Measurement instrument

Spec.	Measuring range
CO2	0 - 3,000 ppm display ±50 ppm or ±5 % of reading
Temperature	0 - 50 ℃



Table 2. Observation point information

Point	Green wall	Location
A	○	Center of green wall
B	○	Border line of green wall
C	×	Right next to green wall
D	×	Marginally remote from green wall
E	×	Remote from green wall

Table 3. Observation date reference

	Scenario 1	Scenario 2
Date	2023. 07. 06. ~ 2023. 07. 07.	2023. 08. 01. ~ 2023. 08. 02.
Rainfall	○(56mm)	×
Pedestrian flow	×	○
Reference	22' Yangsan's summer average temperature(25.9 ℃)	22' Yangsan's summer maximum temperature(30.9 ℃)

2.2 독립표본 T 검정

대조군과 실험군의 온도와 이산화탄소 감소가 유의미한 차이가 있는지를 알아보기 위하여 독립표본 T-검정을 수행하였다. 독립표본 T-검정은 두 개의 독립적인 그룹 간의 평균 차이가 통계적으로 유의미한지 검증하는 통계 분석 방법이다. 두 독립적인 그룹에서 추출된 표본의 크기, 평균과 표준 편차로 Eq. (1)에 의해 T 통계량을 계산한다. T 분포에서 T 통계량보다 극단적인 영역의 넓이를 유의확률 p 라 정의한다. 유의확률 p는 귀무가설이 참이라는 가정 하에 구해지는 검정통계량으로 대립가설에 유리한 데이터를 얻을 수 있는 확률을 의미한다. 따라서 유의확률 p가 작다는 것은 귀무가설이 참이라면 관찰하기 힘든 데이터를 얻은 것을 의미하며, 유의확률 p가 유의수준보다 작은 귀무가설은 기각되고 대립가설이 채택되어 두 집단 간에 통계적으로 유의미한 차이가 있음을 보여준다. 실험군과 대조군의 측정값의 차이가 유의미한 차이를 가지는지 판별하기 위해 독립표본 T-검정을 수행하였다[14].

$$T = \frac{X_A - X_B}{s \sqrt{\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B}}} \quad (1)$$

3. 실외실험 결과 분석

3.1 온도 저감 효과 분석

3.1.1 온도 저감 효과

벽면녹화 실외실험이 진행된 시나리오 1, 2 측정점의 기상은 Table 4, 온도 측정 결과는 Fig. 2와 같다.

Table 4. Observation point information

	Scenario 1		Scenario 2	
	A	B	C	D
Average	26.3 ℃	23.2 ℃	29.9 ℃	29.9 ℃
Max.	33.4 ℃	26.4 ℃	35.6 ℃	36.0 ℃
Rainfall	×	56mm	×	×

여름철 벽면은 태양 복사열에 의해 가열됨에 따라 온도가 상승하게 되는데, 이 외에도 벽면 재료의 흡열성능, 아스팔트의 열 축적 및 방출로 인해 대기 온도 상승폭보다 더 큰 폭으로 온도가 상승하게 된다. 이에 실험이 진행된 대조군과 실험군 모두 양산시의 기온이 상승함에 따라 상승하고 기온이 하강함에 따라 하강하는 비슷한 추세를 띠지만 측정값은 더 높게 측정되었다.

실험군 A, B 지점은 대조군 C, D, E 지점에 비해 변동의 폭이 작으며 평균 기온이 높은 낮에 평균 기온이 낮은 밤보다 변동의 폭이 크다. 또한, 비가 내려 평균 기온이 낮을 경우에는 벽면녹화의 효과 또한 낮음을 확인할 수 있다. 10시부터 13시 20분까지 2 ~ 4 ℃로 약간의 온도차이를 보였지만, 13시 30분 이후부터 일사량이 많은 시간대에는 6 ~ 9 ℃의 온도 차이를 볼 수 있었다. 식생이 햇빛을 많이 받는 시간대에는 활발한 증산작용을 하여 외부로부터 유입되는 열을 흡수해 벽면녹화가 설치

된 실험군의 온도가 전반적으로 낮게 측정된 것으로 보인다. 두 실험 모두 19시부터 3시까지의 최저 온도가 25 ℃ 이하이며 평균 온도 25 ℃ 이하이거나 매우 근접하였다. 반면, 대조군의 평균 온도는 25 ℃를 넘어 벽면녹화가 밤의 최저 기온이 25 ℃ 이상인 열대야 현상에도 효과가 있을 것으로 보인다.

3.1.2 기온과 풍속에 따른 온도 저감 효과

기온과 온도 저감에 미치는 영향을 분석한 결과는 Fig. 3과 같다[15]. 온도 저감은 실험군 A, B의 측정값에서 대조군 C, D, E의 측정값을 뺀 값으로 정의하였다. 기온에 따라 온도 저감 효과는 일정한 경향이 나타났으며, 실험군 A와 대조군의 차가 실험군 B와 대조군의 차보다 항상 크게 나타났다. 또한, 실험군과 대조군 C, D, E와의 차를 비교해보면 실험군과 대조군 E의 차가 가장 크게 나타났으며 실험군과 대조군 C의 차가 가장 작게 나타났다.

기온과 온도 저감에 미치는 영향을 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 풍속에 의한 온도 저감 효과는 일정한 경향이 나타나지 않아 풍속은 온도 저감 효과와 상관성이 낮은 것으로 보인다.

3.1.3 측정값의 통계학적 분석

독립표본 T 검정을 수행하여 벽면녹화 설치에 따른 각 측정값이 유의미한 차이를 갖는지 확인하였다. 독립표본 T 검정은 두 독립표본의 평균을 비교하는 방법으로 벽면녹화의 설치유무에 따른 차이를 실험군과 대조군의 측정값으로 T 검정을 수행하였다. 추후, 실험군 A와 B, 대조군의 C, D, E에 대해 T 검정을 수행하여 거리에 따른 벽면녹화의 효과에 대해서도 분석하였다.

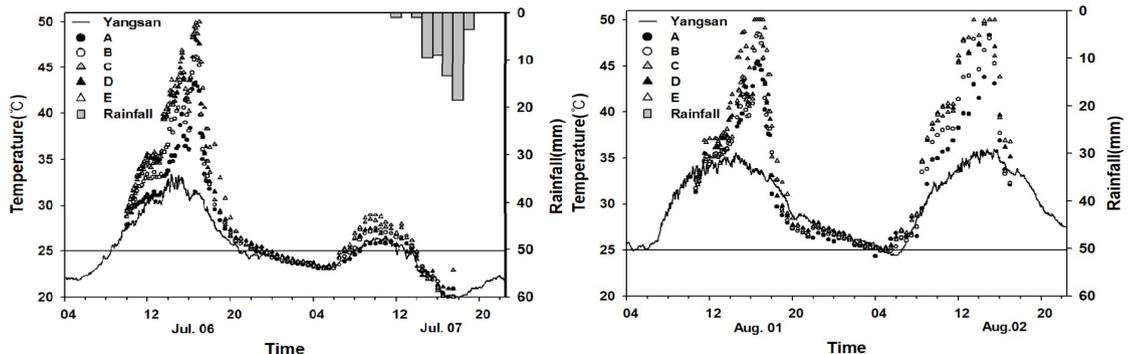
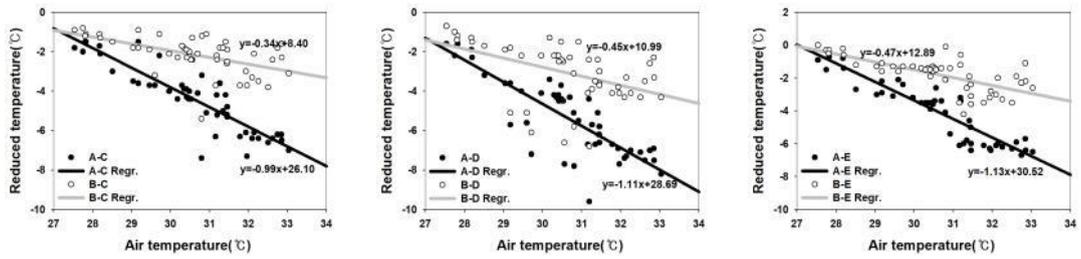
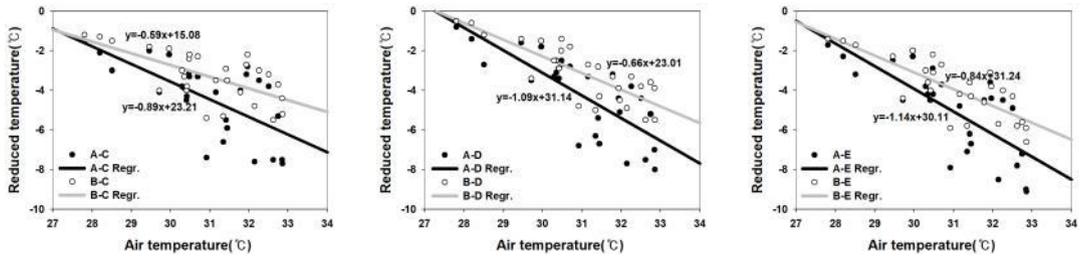


Fig. 2. Changes in temperature at each observation point

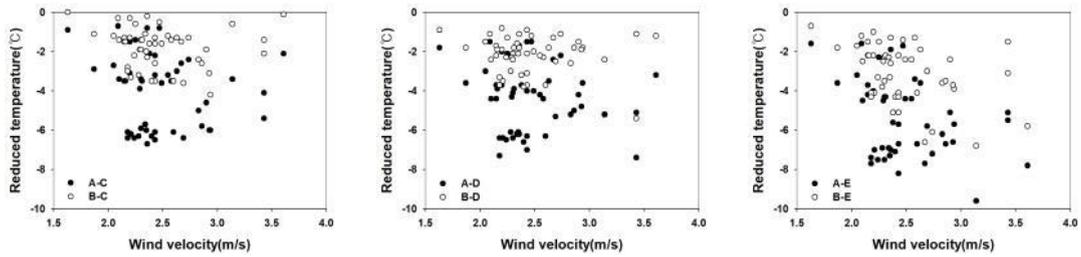


(a) Reduced temperature-air temperature(Scenario 1)

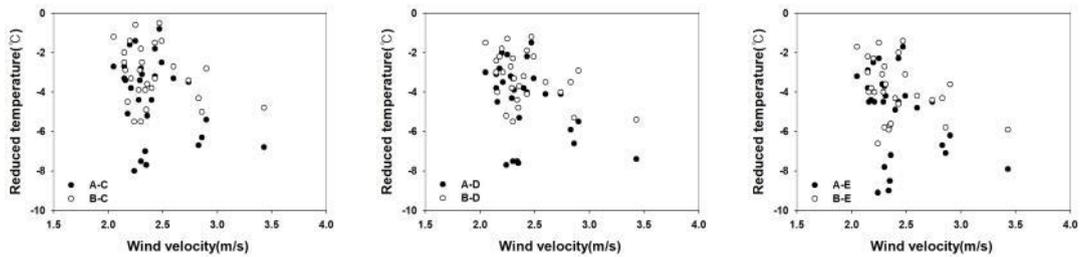


(b) Reduced temperature-air temperature(Scenario 2)

Fig. 3. Reduced temperature(comparison to C, D, E) affected by air temperature



(a) Reduced temperature-wind velocity(2023. Jul. 06)



(b) Reduced temperature-wind velocity(2023. Aug. 01)

Fig. 4. Reduced temperature(comparison to C, D, E) affected by air temperature

벽면녹화의 설치 유무에 따른 독립표본 T 검정 결과는 Table 5와 같다. 실험군은 대조군에 비해 모두 통계적으로 유의미한 차이($p < 0.05$)가 있는 것으로 나타났다. 벽면녹화가 설치되었지만 식생과의 거리가 다른 실험군 A, B에 대해서도 분석한 결과 p 가 0.015로 유의미한 차이가 있음을 확인하였다.

Table 5. Result of t-test

T- test		p	Result
Green wall	A, B	0.0000	statistically significant
	C, D, E		
Location	A	0.015	statistically significant
	B		

3.2 이산화탄소 저감 효과 분석

3.2.1 이산화탄소 저감 효과

시나리오 1, 2의 이산화탄소 측정결과는 Fig. 5와 같다. 유동인구가 있었던 2023년 8월 1일의 실험군과 대조군의 10시부터 18시까지의 이산화탄소 농도 차이는 평균 44 ppm이며, 유동인구가 없었던 2023년 7월 6일의 실험군과 대조군의 10시부터 18시까지의 이산화탄소 농도 차이는 평균 14 ppm으로 이산화탄소 저감 효과는 유동인구가 많아 이산화탄소가 발생하는 환경에서 더욱 효과적인 것으로 보인다.

3.2.2 이산화탄소 시간대에 따른 분석

실험군과 대조군의 측정값을 낮(10시~18시)과 밤(18시~3시)에 따라 나누어 그래프로 나타내면 Fig. 6과 같다. 벽면에 설치된 식재들이 일조량이 많은 낮 시간대에 광합성 작용이 활발히 일어나 내부에 존재하는 이산화탄소를 흡수하여 이산화탄소 저감 효과가 기온이 올라가고 낮 시간대로 시간이 지남에 따라 증가하는 것으로 보인다. 하지만, 18시 이후부터 실험군의 이산화탄소 농도는 대조군의 이산화탄소 농도에 비해 약 10 ~ 20 ppm 높게 측정되었다. 이는 밤에는 식재들이 이산화탄소를 저감시키는 광합성 작용을 하지 않으며, 산소를 사용하고 이산화탄소를 방출하는 호흡만 함으로 21시 이후의 밤 시간대에 일시적으로 대조군의 이산화탄소 농도보다 실험군의 이산화탄소 농도가 높게 나타났다.

이산화탄소 저감 효과를 낮시간대와 밤시간대로 나누어 정리한 결과는 Table 6과 같다. 실험군 A의 이산화탄소 저감 효과는 실험군 B의 이산화탄소 저감 효과보다 크게 나타나는 것으로 보아 이산화탄소 저감 효과는 식재와의 거리가 가까울수록 높은 것으로 보인다. 또한, 21시 이후 식생의 호흡으로 인하여 실험군의 이산화탄소 농도가 상승하는 폭은 낮시간대의 식생이 이산화탄소 농도를 저감시키는 폭보다 작았다. 2번의 실외실험 결과, 벽면녹화의 이산화탄소 저감 효과는 유동인구가 많아 이산화탄소 발생량이 많을수록, 기온이 높아 광합성 작용이 활발할수록 효과가 큰 것으로 보인다.

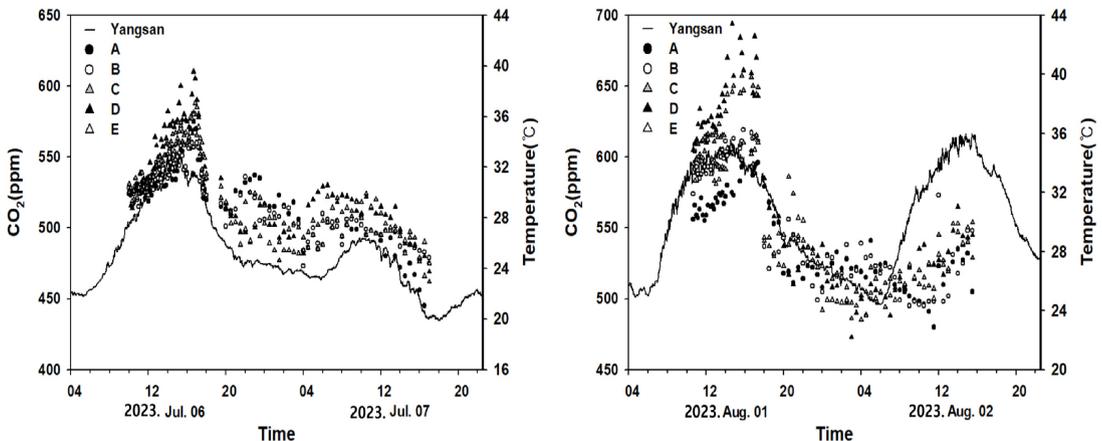


Fig. 5. ppm of observation point

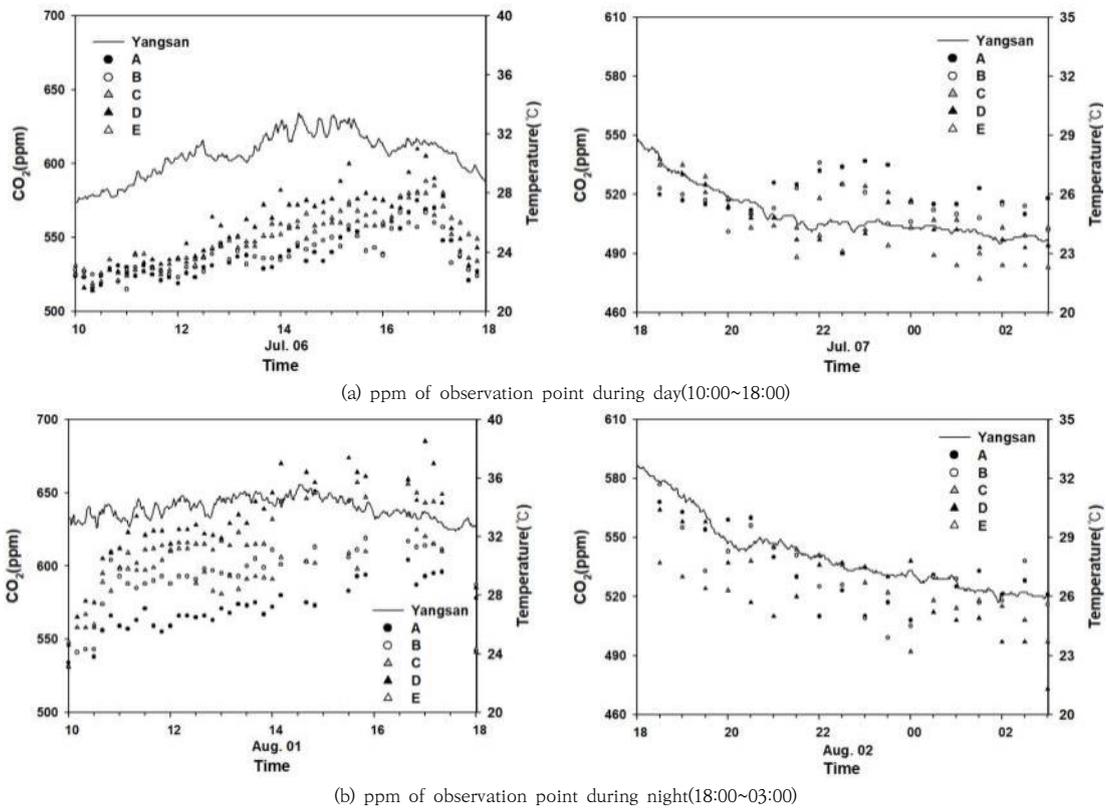


Fig. 6. ppm of observation point during day and night

Table 6. ppm reduction comparison

	Scenario 1						Scenario 2					
	A-C	B-C	A-D	B-D	A-E	B-E	A-C	B-C	A-D	B-D	A-E	B-E
Day	-10.40	-9.33	-20.50	-19.44	-13.08	-12.02	-51.35	-24.77	-66.81	-40.23	-44.74	-37.91
	-14.13						-44.30					
Night	5.12	3.94	10.59	8.41	13.30	10.35	11.90	8.00	19.62	15.71	25.00	21.10
	8.62						16.89					

4. 결론

본 연구에서는 실외 벽면녹화 유무에 따른 이산화탄소 농도, 온도를 측정하여 벽면녹화의 이산화탄소, 온도 저감효과를 확인하고자 하였다.

1. 벽면녹화 실외실험을 수행하여 실험군은 대조군의 온도를 비교한 결과, 평균 3 ℃, 최고 9 ℃의 온도 저감효과를 확인하였다. 일사량이 많은 14시~17시 사이에 최대 9 ℃의 온도차가 발생하였다. 19시 이후 3시까지의 온도를 비교하면, 실험군의 최

저 온도는 25 ℃ 이하이며, 평균온도는 25 ℃ 이하이거나 매우 근접한 값으로 밤의 최저 기온이 25 ℃ 이상인 열대야 현상에도 효과가 있을 것으로 보인다.

2. 벽면녹화의 온도 저감 효과를 기온과 풍속에 대해 분석한 결과, 온도 저감 효과는 기온과는 양의 상관관계를 보였으며 풍속과는 일정한 경향을 보이지 않아 상관성이 없는 것으로 보인다. 또한 실험군과 대조군의 측정값을 독립표본 T 검정을 수행하였을 때, 실험군과 대조군이 유의미한 차이가 있음을 확인하였다.

3. 실험군과 대조군의 이산화탄소 농도를 비교한 결과, 실험군이 대조군에 비해 10시~18시 사이에 이산화탄소 농도가 최대 63 ppm, 평균 44 ppm 낮게 측정되었다. 이산화탄소 저감효과는 유동인구가 많을수록, 기온이 높을수록 높게 나타났다. 이는 기온이 높은 낮시간대에 일사량이 많아 식재의 광합성 활동이 활발히 일어나기 때문이다. 또한, 상대적으로 식생의 광합성량보다 호흡량이 많아지는 저녁에는 실험군의 이산화탄소 농도가 대조군보다 높게 나타났다.
4. 본 연구는 벽면녹화의 온도 및 이산화탄소 저감 성능을 실외실험을 수행하여 확인하였다. 온도 저감 효과는 기온이 높을수록 높았으며, 이산화탄소 저감 효과는 기온이 높을수록, 유동인구가 많을수록 높은 것을 확인하였다. 추후 다양한 벽면녹화의 위치와 식생조건에서 실험이 이루어진다면 벽면녹화의 온도와 이산화탄소 저감 효과를 정량화할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구는 환경부「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다

“This work is financially supported by Korea Ministry of Environment(MOE) as 「Graduate School specialized in Climate Change.»

이 논문은 한국연구재단 4단계 BK21 사업의 스마트 해양도시 인프라 교육연구단 과제를 통해 수행된 연구결과입니다.(4199990614525)

References

- [1] S. R. Choi, Y. S. Kim, “The analysis of plant color change according to the changing growing environment of indoor wall planting space: On the basis of wall planting of the eco-plaza in the new Seoul City Hall building”, *Journal of Korean Institute of Spatial Design*, vol. 9, no. 4, pp. 107-115, 2014.
- [2] I. A. Choi, J. K. Lee, “A study on selection of plant of greening for indoor walls in commercial area”, *Journal of Korean Society of Floral Art and Design*, vol. 28, pp. 167-180, 2013.
- [3] H. T. Seok, J. W. Jung, J. H. Yang, “A Study on the Evaluation of Energy Performance due to Green Walls and Green Roofs in Education Buildings”, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, Regional Association of Architectural Institute of Korea, pp. 647-652, Dec. 2008.
- [4] J. H. Shin, H. Y. Kim, S. H. Kim, S. M. Kim, J. D. Chang, “Effects of Green Wall System Controlling Indoor Thermal Environments and Carbon Dioxide”, *Journal of the Korea Furniture Society*, vol. 25, no. 2, pp. 148-153, April 2014.
- [5] J. H. Kim, W. J. Choi, Y. H. Yoon, “A Study on Verifying the Effect of Thermal Environment Control of Street Canyons based on Application of Green Wall System”, *Journal of Environmental Science International*, vol. 25, no. 2, pp. 311-322, Feb. 2016.
- [6] S. Y. Lee, S. M. Jo, S. K. Park, “Analysis of Thermal Environment Improving Effects of Green Curtain in Summer”, *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture*, vol. 45, no. 4, pp. 1-10, Oct. 2022. DOI: <https://doi.org/10.9715/KILA.2022.50.5.080>
- [7] B. S. Ko, J. E. Park, T. Y. Hwang, “Case Study on Green Wall Effectiveness in Public Building for Heat Wave Reduction and Building Energy Saving”, *Journal of Next-generation Convergence Technology Association*, vol.6, no.4, pp. 632-640, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33097/JNCTA.2022.06.04.632>
- [8] E. Shafiee, M. Faizi, S. Yazdanfar, M. Khanmohammadi, “Assessment of the effect of living wall systems on the improvement of the urban heat island phenomenon”, *Building and Environment*, vol. 181, Aug. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106923>
- [9] A. Daemei, M. Azmoodeh, Z. Zamani, E. Khotbehsara, “Experimental and simulation studies on the thermal behavior of vertical greenery system for temperature mitigation in urban spaces”, *Journal of Building Engineering*, vol. 20, pp. 277-284, nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2018.07.024>
- [10] H. Herath, R. Halwatura, G. Jayasinghe, “Modeling a tropical urban context with green walls and green roofs as an urban heat island adaptation strategy”, *Procedia Engineering*, vol. 212, pp. 691-698, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.089>
- [11] K. J. Kwon, B. J. Park, “Effects of Indoor Greening Method on Temperature, Relative Humidity and Particulate Matter Concentration”, *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture*, vol. 45, no. 4, pp. 1-10, Aug. 2017. DOI: <https://doi.org/10.9715/KILA.2017.45.4.001>
- [12] S. R. Choi, Y. S. Kim, “The analysis of plant color change according to the changing growing environment of indoor wall planting space: On the basis of wall planting of the eco-plaza in the new Seoul City Hall building”, *Journal of Korean Institute of Spatial Design*, vol. 9, no. 4, pp.107-115, 2014.
- [13] I. A. Choi, J. K. Lee, “A study on selection of plant of greening for indoor walls in commercial area”, *Journal of Korean Society of Floral Art and Design*, vol. 28, pp. 167-180, 2013.

- [14] D. Y. Kim, Y. H. Cho, I. K. Son, Y. H. Kim, "Comparison of plant's growth in wall greening depending on orientations", Journal of Korean Institute of Landscape Architecture, vol. 49, no. 5, pp. 71-78, 2021.
- [15] S. C. Kim, B. J. Park, "Assessment of Temperature Reduction and Heat Budget of Extensive Modular Green Roof System", Journal of Korean Horticulture, Environment and Biotechnology, vol. 31, no. 4, pp. 503-511, Aug. 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7235/hort.2013.13001>

문 지 현(Ji-Hyun Moon)

[정회원]



- 2021년 2월 : 부산대학교 토목공학과 (공학사)
- 2022년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 석사과정

<관심분야>
수공학, 수자원

박 재 록(Jae-Rock Park)

[정회원]



- 2018년 2월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2022년 8월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 수공학 전공 (공학박사)

<관심분야>
수공학, 수자원

권 순 철(Soon-Chul Kwon)

[정회원]



- 2011년 5월 : Georgia Institute of Technology 토목환경공학 전공 (공학박사)
- 2015년 9월 : 부산대학교 토목공학과 조교수
- 2019년 9월 : 부산대학교 토목공학과 부교수

<관심분야>
수공학, 수자원

김 재 문(Jae-Moon Kim)

[정회원]



- 2014년 2월 : 부산대학교 토목공학과 (공학사)
- 2016년 2월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 (공학석사)
- 2022년 8월 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 수공학 전공(공학박사)

<관심분야>
수공학, 수자원