

## 벽면 녹화가 실내 온열환경 및 이산화탄소 농도 조절에 미치는 영향

신정환<sup>1</sup>, 김환이<sup>1</sup>, 김석환<sup>1</sup>, 김수민<sup>†,1,2</sup>, Jae D. Chang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>승실대학교 건축학부, <sup>2</sup>캔자스대학교 건축대학

### Effects of Green Wall System Controlling Indoor Thermal Environments and Carbon Dioxide

Junghwan Sin<sup>1</sup>, Hwanyi Kim<sup>1</sup>, Sughwan Kim<sup>1</sup>, Sumin Kim<sup>†,1,2</sup>, Jae D. Chang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Architecture, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

<sup>2</sup>School of Architecture, Design & Planning, The University of Kansas, KS 66506, USA

**Abstract:** Importance of energy consumptions has being emphasized because of problems of the energy and environment. So, recently, green wall systems have been installed to reduce building energy consumptions. The green wall systems provide several benefits; they make it possible to maintain moderate thermal comforts by greenery. Greening such a surface wall in the building by plants, the temperature of the wall can be properly controlled that purifies the air and improves the view spanning over the space. This study evaluated the effects of green wall systems on reducing room temperature quantitatively, changing of humidity, decreasing of CO<sub>2</sub>. Test results were confirmed; first, the space installed by green walls showed that temperature and CO<sub>2</sub> decreased and humidity was increased. Second, two structures were compared with the solar radiation, and green wall systems controlled the temperature and humidity stably near the wall regardless of the amount solar radiation. In conclusion, the green wall systems can contribute to thermal comforts and indoor air quality in the buildings.

**Keywords:** green wall system, thermal environment, carbon dioxide, illumination

## 1. 서론

산업화가 이루어지고 도시화에 따른 건축기술이 크게 발달하면서 건축물들은 점점 초고층화되고 밀집화되고 있다. 또한, 현대인들의 가정에서의 생활습관이나 직장에서의 근무양식이 변화함에 따라 현대인들은 일반적으로 하루 24시간 중 약 90%를 실내에서 생활하고 있다. 이에 따라 현대인들이 실내에서 보내는 시간이 증가하게 되면서 실내환경

이 미치는 영향의 범위가 넓어지고 그 중요성이 부각됨에 따라 관심 또한 증가하는 추세이다. 또한 건축물들이 고층화, 밀집화로 인하여 점점 밀폐화 되면서 외부의 신선한 공기를 실내로 도입하는 자연환기의 어려움이 발생하게 된다. 자연환기량의 감소는 실내공기질을 저하시키고 실내에서의 온도 및 습도 등의 조건에 영향을 미치게 된다. 이에 따라 기계적인 설비시설에 의해 실내 공기질을 포함한 온도, 습도 등을 조절하게 되고, 설비시설에 대한 의존도가 크게 증가하고 있는 추세이다. 이러한 설비시설로 하여금 효율적으로 실내환경에 대한

2013년 9월 23일 접수; 2013년 9월 30일 수정; 2014년 4월 25일 게재확정

<sup>†</sup> 교신저자 : 김수민 (skim@ssu.ac.kr)

**Table 1.** Test building information

	A	B
Type	Public service facility	Cultural facility
Scale	Thirteen floors & fifth basement floors	Third floors & second basement floors
Area	12,709 m <sup>2</sup>	396 m <sup>2</sup>

조절을 할 수도 있지만, 설비 시설을 운용하기 위해서는 에너지를 사용하게 되고 그에 따른 환경오염 문제를 야기하게 된다. 에너지경제연구원의 자료에 따르면 전체 에너지의 사용량 중 주거, 상업 및 공공부분의 건물이 차지하는 비중은 약 20% 정도에 이른다. 건물의 운용 시에도 많은 에너지를 소비하게 되는데 건물의 에너지 소비 구조를 살펴보면 약 50%가 공조용, 약 35%가 조명 및 일반전력용 기기의 에너지 소비로 나타내어진다(박종일 외 2011). 이러한 설비에 의한 에너지의 사용을 줄이면서 의존도를 낮추고, 효과적으로 실내환경을 쾌적하게 조절하기 위한 방법으로 실내녹화를 선택할 수 있다.

실내환경을 쾌적하게 하기 위한 실내녹화의 이용은 에너지 소비량을 감소시키고, 실내공기질 및 온열환경 개선에도 기여하며, 사람들에게 심리적으로도 좋은 영향을 줄 수 있는 친환경적인 방법이라는 점에서 관심을 받고 있다(주진희 2010). 벽면 녹화, 수직 정원, 실내 정원 등 공기정화식물을 건축 기법으로 실내에 적용할 수 있는 활용 방법은 다양하다. 공기정화식물들은 각각 특성이 다양하기 때문에 경우에 따라 특성을 파악하여 실용도 및 사용 시간 등을 고려하여 적절히 이용하게 되면, 실내공기 내 유해원소들을 효과적으로 제거할 수 있고, 쾌적한 실내환경에 맞는 온도 및 습도도 조절할 수 있다(백용규 2007). 실내공기 정화를 위한 생물학적 방법으로써 식물을 실내에 도입하는 연구들이 시도되어 왔는데, 실내에서 재배되는 식물은 생육을 위한 광합성 대사작용을 위해 실내의 이산화탄소를 흡수하고 산소를 방출함으로써 밀폐된 실내 공간 내의 공기를 자연적으로 정화한다. 식물 이용은 경제적이고 자연친화적이며 공학적 방법에

의한 부작용을 개선할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Sawada A 외 2008). 또한 실내에 도입된 식물은 생리작용인 증산작용을 통하여 방출되는 수분은 건조하기 쉬운 실내공기의 습도상승과 온도 조절의 효과가 있다(Snyder S. D 1990).

따라서 본 연구는 실내공간 내에 벽면 녹화를 적용한 건축물 사례를 선정하고, 실내공간 대비 벽면 녹화의 종류와 형태 및 규모에 따른 실내공기질 및 온열환경에 대해 측정하고, 각 변수들의 상관관계에 대해 분석하여 벽면 녹화가 실내환경 개선에 미치는 영향에 대해 연구하고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 실험대상 건물 개요

측정 대상 선정은 벽면 녹화가 설치된 건물 중 조도에 의한 벽면 녹화의 효율성을 알아보기 위하여 실내로 유입되는 일사량에 따른 실내 조도가 다른 A건물과 B건물을 선정하여 측정을 실시하였다. A건물은 대형 로비 공간의 남향의 전면 커튼월을 통해 많은 양의 자연광이 실내 전역으로 유입되고 있고, 전면 커튼월과 마주하여 실내에 벽면 녹화가 설치되어있다. B건물의 경우 소형 공간으로 동향의 수직형태의 창을 통해 국부적으로 적은 양의 자연광이 실내로 유입되고 있고, 창과 90°C 방향으로 맞대어 벽면 녹화가 설치되어 있다. 측정 건물의 개요는 Table 1과 같다.

### 2.2. 실험 기기방법

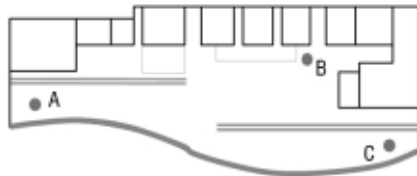
본 연구에서는 실내에 설치된 벽면 녹화에 따른 실내 온도, 습도, 이산화탄소 농도, 조도를 측정하였다. 다기능 측정기인 LM-8000과 이산화탄소 농도 측정기인 ZG106 A를 사용한다. 다기능 측정기는 온도는 0~50°C, 습도는 10~95%, 조도는 0~20,000 lux까지 동시 측정이 가능하다. 이산화탄소 농도 측정기는 0~10,000 ppm까지 측정 가능하며, 온도는 0~50°C, 습도는 0~95%까지 동시 측정이 가능하다.

### 2.3. 실험 계획

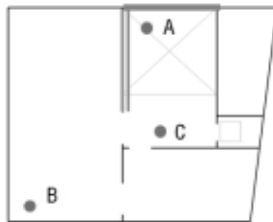
본 연구는 실내에 벽면 녹화가 설치된 건물에서

**Table 2.** The weather of testing days

	Lowest temperature (°C)	Highest temperature (°C)	Solar irradiance (MJ/m <sup>2</sup> )	Cloudiness
May 15, 2013	14.1	26.2	21.2	4.8
May 22, 2013	13.5	26.4	14.8	4.3



(a) Building A



(b) Building B

- == : Green wall system
- : Window
- A : Green wall with a little floating population
- B : No green wall with many floating population
- C : Green wall with many floating population

**Fig. 1.** Measuring points in testing buildings.

식물의 여러 가지 작용들을 확인하고, 식물이 이러한 작용을 활발히 작용할 수 있는 데에 가장 크게 기여하는 일사량에 따라서 온도, 습도, 이산화탄소 농도의 변화를 실험하였다. 각각 2013년 5월 15일과 2013년 5월 22일에 측정을 실시하였으며, 두 번의 측정값의 평균값으로 결과 분석을 하였다. 두 측정당일 각 기상은 Table 2와 같다. 측정 방법은 햇빛이 잘 드는 맑은 날을 선택하여 광합성 및 증산 작용이 활발히 일어나는 시간대인 10시에서 18시까지 매 시간대별 조도변화에 따른 온도와 습도 및 이산화탄소 농도를 측정하였다. 또한 벽면 녹화의 효과를 확인하기 위하여 각각의 건물에서의 변수를

**Table 3.** Indoor comfort zones

	Comfort zone
Temperature	24°C ~ 26°C
Humidity	40% ~ 60%
CO <sub>2</sub>	Comfort zone : 450 ppm 이하 (Guideline : 1000 ppm 이하)



(a) Building A



(b) Building B

**Fig. 2.** Green wall system in testing building.

설정하였다. 변수의 종류로는 첫 번째 유동인구가 많고 벽면 녹화가 설치된 장소로 정하고 두 번째는 벽면 녹화가 설치되지 않았지만 유동인구는 많은 위치를 선정하였다. 마지막으로 세 번째는 벽면 녹화가 설치되었지만 유동인구는 비교적 적은 곳으로 위치를 선정하였다. 이러한 변수를 통해서 벽면 녹화가 설치된 구역에서 식재의 효과로 인한 온도, 습도, 이산화탄소 농도의 변화를 확인하고, 실내 쾌적 범위 내에서의 관계를 확인한다. A 건물 및 B 건물에서의 정확한 측정 위치를 Fig. 1에서 확인할 수 있고, Fig. 2는 각각 벽면 녹화가 설치된 측정위치의 모습을 나타내고 있다. 온도, 습도, 이산화탄소 농도의 여름철 실내 쾌적범위는 Table 3과 같다.

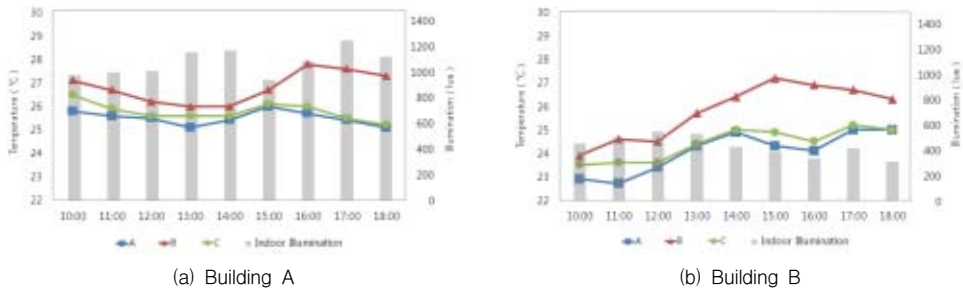


Fig. 3. Effect of green wall system on temperature with illumination.

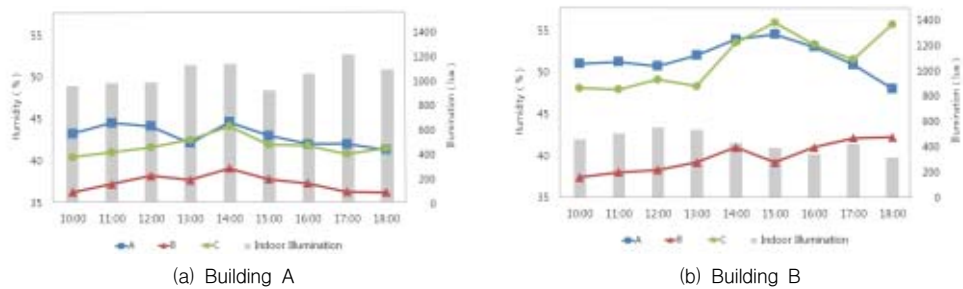


Fig. 4. Effect of green wall system on humidity with illumination.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 온도

A건물의 대형 로비 공간에는 남향으로 전면 커튼월을 통하여 자연광이 실내 전역으로 직접 유입되고 있다. Fig. 3(a)를 보면 자연광의 유입에 따른 A건물의 실내 조도는 최대 1251 lux, 최소 941 lux로 측정되었으며 평균 1106 lux로 비교적 일정하게 밝은 조도 분포가 측정되었다. 이는 전면 커튼월 구조로 인하여 외부로부터 자연광이 지속적으로 실내로 유입되기 때문이다. 실내로 유입되는 빛의 양이 많아 실내 온도가 25.3°C~27.8°C까지 비교적 높게 측정되었다. 사람들은 일반적으로 온도가 26°C를 넘어가면 불쾌적감을 느낀다. 벽면 녹화가 설치되지 않은 B지점의 경우 유동인구가 가장 많이 증가하는 13시에서 16시 사이에 시간이 지남에 따라 온도가 26.2°C에서 27.8°C까지 올라가는 것을 확인하였고 온도가 계속해서 상승함에 따라 불쾌적 범위에 속하는 것을 볼 수 있었다.

하지만 벽면 녹화가 설치된 A지점과 C지점의 경우 직접적으로 햇빛이 유입됨에도 불구하고 그렇지 않은 B지점에 비해서 1~2°C 가량 낮게 유지되는 것을 확인할 수 있고 쾌적범위 내에 속해있다. 또한, 유동인구가 비슷하게 많은 C지점과 B지점을 비교하면, C지점은 1°C 내의 변화폭으로 비교적 일정하게 쾌적범위 내에서 온도가 유지되고 있다. 햇빛의 영향을 많이 받는 식재들이 햇빛이 많이 유입되는 시간대에 활발한 증산작용을 함으로써 외부에서 유입되는 열을 흡수하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상으로 인해서 벽면 녹화가 설치된 공간의 경우에는 온도가 비교적 낮게 측정되고 쾌적범위 내에 속해 있는 것을 알 수 있다. 반면, B건물의 경우는 공간의 규모가 비교적 작고 동향의 수직형태의 창이 나있으며 국부적으로 적은 양의 자연광이 실내로 유입되고 있다. Fig. 3(b)에서 볼 수 있듯이 자연광 유입에 따른 실내 조도는 최대 549 lux, 최소 312 lux로 측정 되었으며 평균 422 lux로 다소 어두운조도 분포가 측정되었다. 벽면

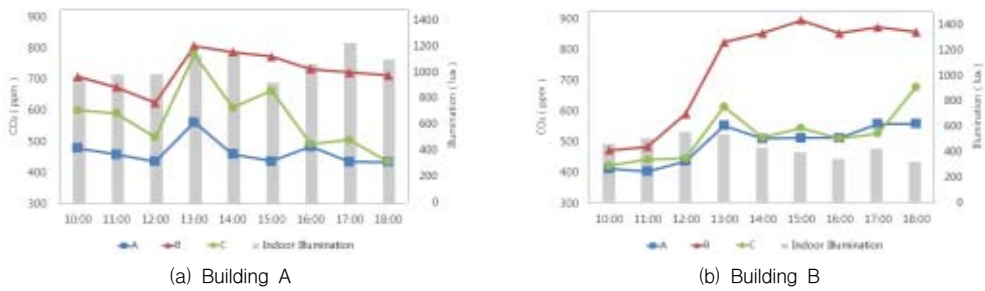


Fig. 5. Effect of green wall system on carbon dioxide with illumination.

녹화가 설치되지 않는 B지점의 경우 건물의 특성상 밀폐되어 있는 공간으로 실내 유동인구가 증가하는 12시에서 16시 사이에 실내온도가 24.2°C에서 27.9°C까지 큰 폭으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 벽면 녹화가 설치된 A지점과 C지점의 경우에는 유동인구가 증가하더라도 쾌적범위를 벗어나지 않고 실내온도가 유지되고 있음을 확인할 수 있다.

### 3.2. 습도

식재의 작용 중에는 습도를 조절하는 증산작용이 있으며 벽면의 녹화가 설치된 곳 역시 활발한 증산작용을 할 것으로 기대할 수 있다. Fig. 4(a)에서 보듯이 A건물의 비녹화 구역인 B지점의 경우에는 습도가 최고 38.3%로 상대적으로 낮은 것을 확인할 수 있으며 이렇게 낮은 습도 범위는 쾌적 범위에 포함이 되지 않기 때문에 이 범위 내에서는 실내 이용자가 건조하고 불편적감을 느낄 수 있다. 하지만 벽면 녹화가 설치된 A지점과 C지점의 경우에는 시간대별 변화양상은 비슷하지만 습도가 41.0%~44.8% 내로 상대적으로 높으며 쾌적 범위인 40.0~60.0% 정도의 습도를 유지하고 있는 것을 확인할 수 있다. B건물의 경우에는 벽면 녹화가 설치되지 않은 B지점은 36.4%~40.8% 내로 쾌적 범위에 속해있지는 않다. 상대적으로 벽면 녹화가 설치된 A지점과 C지점은 47.0%~56.0% 내로 쾌적 범위 내에 비교적 안정적으로 속하여 분포되어 있는 것을 확인할 수 있다. B건물의 경우에는 해당 건물의 특성상 밀폐되어 있고 환기량이 많지

않기 때문에 실내 습도가 상대적으로 높은 것으로 파악이 되었다.

### 3.3. 이산화탄소

A건물 및 B건물의 벽면 녹화의 성능을 확인하기 위하여 각 건물마다 측정 포인트를 정한 다음 하루 중 유동인구가 많은 오후 10시부터 18시까지 시간대별 이산화탄소 농도를 측정된 결과 A건물의 경우 Fig. 5(a)에서 볼 수 있듯이 점심시간 실내 유동인구가 급격히 늘어남에 따라 세 지점에서는 12시에서 13시 사이 이산화탄소 농도가 큰 폭으로 증가한다. 벽면 녹화가 설치되지 않은 B지점은 18시까지 약 10.3%의 이산화탄소 농도 감소율로 적은 폭으로 감소하였다. 하지만 벽면 녹화가 되어있는 A지점과 C지점의 경우 특히 C지점은 B지점과 비슷한 수치로 증가하였지만 감소율은 48.6%로 큰 폭으로 동시간대에 이산화탄소 농도가 감소하였음을 확인하였다. 이러한 이유는 벽면에 설치되어있는 식재들이 햇빛이 강렬한 낮 시간대에 활발한 광합성 작용을 하게 되고 내부에 존재해 있는 이산화탄소를 상당량 흡수하기 때문에 농도가 큰 폭으로 감소하는 것으로 확인할 수 있다. A건물뿐만 아니라 B건물에서도 유사한 경향을 확인할 수 있는데 Fig. 5(b)를 보면 벽면 녹화를 설치하지 않은 B지점의 경우에는 이산화탄소의 농도가 800~900 ppm사이의 범위를 웃돌지만 벽면 녹화가 설치된 A지점과 C지점의 경우에는 평균적으로 500~600 ppm사이의 범위를 웃도는 것을 확인할 수 있다. 벽면 녹화가 유무 변수를 제외한다면 실내 환경을 조절하는

조건은 거의 동일하다고 판단되기 때문에 이산화탄소 농도의 감소는 벽면 녹화에 의해 영향을 받는다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 실내 벽면 녹화 유무에 따라 실내 온도, 습도, 이산화탄소 농도 조절에 미치는 영향을 측정하고 실제로 벽면 녹화에 의해 실내 환경 요인들이 쾌적하게 조절될 수 있는지 확인하고 분석하였다. 먼저 각 공간 내에 벽면 녹화의 영향을 받는 구역과 그렇지 않은 구역을 측정 지점으로 선정하고 시간대별로 변화하는 온도, 습도, 이산화탄소 농도, 조도를 측정하여 벽면 녹화 유무에 의한 차이를 비교 분석하였다. 그리고 전면으로 많은 양의 빛을 실내로 유입할 수는 형태를 가진 대상과 국부적으로 적은 양의 빛을 실내로 유입할 수 있는 형태를 가진 대상의 측정값을 통해서 벽면 녹화의 성능이 실내 조도에 따라 어떠한 영향을 받을 수 있는지 분석하였다. 벽면 녹화가 되어 있지 않은 구역에서 온도, 습도는 적정 쾌적범위를 벗어나는 양상을 보였고, 이산화탄소 농도는 실내 권고기준 1000 ppm 이하로 분포하였으나 쾌적범위인 450 ppm보다는 비교적 높은 수치를 보여주었다. 반면 벽면 녹화가 되어있는 구역은 온도, 습도 모두 쾌적범위 내에서 비교적 안정적으로 유지가 되었고, 이산화탄소 농도 또한 450 ppm 이하로 쾌적범위 내에 유지되는 것으로 확인되었다. 또한, 실내 유입되는 일사량에 따라 두 건물의 측정값을 보면, 남향의 전면적으로 일사량을 많이 받을 수 있는 조건을 가진 공간에서의 벽면 녹화 성능이 온도, 습도를 큰 변화폭 없이 안정적으로 유지시켜주고, 이산화탄소 농도 또한 증가분에 대한 큰 감소폭을 보여주고 있다. 이는 실내로 직접 유입되

는 일사량에 관계된 것이고 실내 조도는 밝고 어두운 정도로 벽면 녹화의 효과에 큰 영향을 주지는 않는다고 판단된다. 이러한 분석을 종합한 결과, 실내 온도, 습도 및 이산화탄소 농도 환경을 조절함에 있어 친환경적으로 벽면 녹화가 기여할 수 있는 부분이 존재하고, 벽면 녹화의 계획에 있어 최대한 많은 일사량을 받을 수 있는 공간적, 형태적 설계를 고려함으로써 시공한다면 벽면 녹화의 성능을 효과적으로 얻을 수 있다는 사실을 알 수 있다.

#### 사 사

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (한국연구재단-2013-R02020204 - 201317221717).

#### 참 고 문 헌

- 박종일, 박성일, 박종찬. 2011. 에너지 소비분석과 건축 설비에서의 온실가스 저감 방안. 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집.
- 백용규. 2007. 실내공기오염과 식물. 대한설비공학회 36(3). 17-21.
- 주진희. 2010. 실내녹화 부피비율이 실공간의 미세분진농도, 온도 및 상대습도에 미치는 영향. 한국환경복원기술학회지 13(2). 1-7.
- Sawada, A. and T. Oyabu. 2008. Purification characteristics of pothos for airborne chemicals in growing conditions and its evaluation. Atmospheric Environment 42. 594-602.
- Snyder S. D. 1990. Building interiors, Plants and automation. Prentice Hall. Englewood Cliffs. NJ. 5-29.