

건물일체형 패널형 벽면녹화 식재기반 유형별 건물에너지 성능 분석^{1a}

김정호² · 권기욱³ · 윤용한^{2*}

Analysis of Building Energy Reduction Effect based on the Green Wall Planting Foundation Type Using a Simulation Program^{1a}

Jeong-Ho Kim², Ki-Uk Kwon³, Yong-Han Yoon^{2*}

요 약

본 연구는 도심의 열환경 개선 및 건물에너지저감 효과가 입증된 벽면녹화 중 기존 건물에 적용 가능한 패널형 벽면녹화 식재기반 유형에 따른 건물에너지 저감 성능을 분석하고자 하였다. 식재기반 유형은 총 4가지 유형으로 하였으며, Case A는 벽면녹화가 미적용된 유형으로 콘크리트 + 단열재로 구성하였다. Case B는 식재층 + 무기다공성블록 + 콘크리트 + 단열재로 구성하였으며, Case C는 식재층 + 코코피트블록 + 콘크리트 + 단열재로 구성하였다. Case D는 식재층 + 마사토블록 + 콘크리트 + 단열재로 구성하였다. 분석항목으로는 열전도율, 열관류율, 건물에너지시뮬레이션을 실시하였다. 식재기반 유형별 열전도율은 Case C(0.053W/mK) > Case B(0.1W/mK) > Case D(0.17W/mK)의 순이었다. 에너지시뮬레이션 결과 중 단위면적당 난방피크부하저감은 미적용인 Case A 대비 Case C(1.19%) > Case B(1.14%) > Case D(1.01%)이며, 난방피크부하저감은 Case A 대비 Case C(2.38%) > Case B(1.82%) > case D(1.50%)로 산정되었다. 연간 냉·난방부하저감은 미적용 Case A 대비 벽면녹화 유형에서 0.92~1.28% 저감률을 나타내었다. 연간 냉난방에너지사용량은 3.04~3.22%의 저감률을 보였으며, 1차에너지사용량은 Case A 대비 나머지 유형에서 평균 5,844 kWh/yr의 저감량을 보였다. 연간 이산화탄소발생량은 벽면녹화 미적용 Case A 대비 평균 996kg 저감량을 보였다. 식재위치별 에너지성능평가 결과 동향 > 서향 > 남향 > 북향 순이었다. 벽면녹화비율에 따른 에너지성능평가 결과 녹화 비율이 높아짐에 따라 양호한 결과를 나타내었으며, 20~80%의 비율보다 100% 녹화시 약 2배의 저감률을 보였다.

주요어: 열전도율, 열관류율, 에너지플러스, 에너지시뮬레이션

ABSTRACT

This study is aimed to analyze the reduction performance of building energy consumption according to planting base types of panel-type green walls which can be applied to existing buildings. The performance was compared to the general performance of green walls that have demonstrated effects of improving the thermal environment and reducing building energy consumption in urban areas. The number of planting base types was 4 in total, and simulations were conducted to analyze the thermal conductivity, thermal transmittance, and overall building energy consumption rate of each planting base type. The highest thermal conductivity by the

1 접수 2015년 7월 1일, 수정(1차: 2015년 10월 21일, 2차: 2015년 11월 4일), 게재확정 2015년 11월 5일

Received 1 July 2015; Revised(1st: 21 October 2015, 2nd: 4 November 2015); Accepted 5 November 2015

2 건국대학교 녹색기술융합학과 Dept. of Green Technology Convergence, Konkuk Univ., Chungwondaero, Chungju-si 27478, Korea

3 건국대학교 대학원 생명자원환경과학과 Dept. of Graduate School of Biological Resources Environmental Sciences, Konkuk Univ., Chungju-si 27478, Korea

a 이 논문은 2015년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2011-0022706).

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-43-840-3538, Fax: +82-43-851-4169, E-mail: yonghan7204@kku.ac.kr

planting base type was Case C (0.053W/mK), followed by Case B (0.1W/mK) and Case D (0.17W/mK). According to the results of energy simulation, the most significant reduction of cooling peak load per unit area was Case C (1.19%), followed by Case B (1.14%) and Case D (1.01%) when compared to Case A to which green wall was not applied; and the most significant reduction of heating peak load per unit area was estimated to be Case C (2.38%), followed by Case B (1.82%) and case D (1.50%) when compared to Case A. The amount of yearly cooling and heating energy use per unit area showed 3.04~3.22% of reduction rate. The amount of the 1st energy use showed 5,844 kWh/yr of decrease on average for other types when compared to Case A. The amount of yearly CO₂ emission showed 996kg of decrease on average when compared to Case A to which the green wall was not applied. According to the results of energy performance evaluation by planting location, the most efficient energy performance was eastward followed by westward, southward and northward. According to the results of energy performance evaluation by planting location by green wall ratio, it was found that as the ratio of green wall increased, the energy performance displayed better results, showing approx. double reduction rate in energy consumption at 100% of green wall ratio than the reduction rate at 20% to 80% of green wall ratio.

KEY WORDS: THERMAL CONDUCTIVITY, THERMAL TRANSMITTANCE, ENERGY PLUS, ENERGY SIMULATION

서 론

최근 급격한 도시화와 산업화에 따른 무분별한 도시 개발과 함께 인구증가 및 도시 내 불투수층 면적의 증가, 건축물의 밀집화 등으로 인하여 녹지면적 감소, 온실가스 발생, 도심홍수, 도시열섬현상 등의 여러 가지 도시환경문제가 발생하고 있다(Yoon *et al.*, 2007; Hwang *et al.*, 2009).

이러한 도시환경 문제 중 도시열섬현상의 원인으로는 대지에서 아스팔트로의 토지 피복의 변화와 콘크리트 등으로 이루어진 인공구조물의 벽면은 낮 시간동안 열을 축적하고 밤 시간동안 축적된 열에너지를 다시 대기 중으로 방출하여 도시기온이 상승된다(Kim *et al.*, 2011). 도시열섬 완화를 위해 다양한 방법이 모색되고 있지만, 바람길과 녹지의 확보가 가장 중요한 요소이다. 녹지 확보가 지상을 중심으로 넓게 이루어진다면 가장 양호하겠으나, 녹지 확보공간이 불충분한 도심지역에서는 벽면녹화 등의 건축물 녹화가 최선의 대안으로 여겨진다(Kim and Yoon, 2011). 또한, 우리나라의 경우 에너지의 97% 이상을 수입에 의존하고 있고 우리나라뿐만 아니라 전 세계는 에너지자원고갈과 환경오염 문제로 인해 많은 어려움을 겪고 있으며 세계 각국에서는 그 중요성을 인식하여 에너지절약을 위한 친환경적인 해결 방안을 다양한 각도로 모색하고 있다(Seok *et al.*, 2008). 최근 정부에서는 온실가스와 환경오염을 줄이고 녹색기술과 청정에너지개발을 위한 저탄소 녹색성장을 선포하여 친환경 요소의 중요성을 더욱 각인시켰다. 이러한 시대적 배

경으로 볼 때 에너지 소비 저감을 위한 노력은 반드시 필요할 것이며 특히 총에너지 사용량 중 약 30%의 높은 에너지 소비를 차지하는 건축물에서의 에너지 소비 저감은 우선적으로 해결해야 할 과제일 것이다(Jung *et al.*, 2010). 벽면녹화는 건축물이나 기반시설물의 벽면과 같은 인공지반에 다양한 재료를 이용하여 식재기반을 조성하고 식물을 식재하는 것으로서(Huh and Shim, 2000), 도심에서 높은 지가와 부족한 녹지 공간 등의 문제를 공간적인 측면에서 살펴볼 때 건축물의 벽면을 이용한다는 점에서 도심에서 효율적인 공간 확보가 가능하다는 의미를 가지고 있다(Kim and Huh, 2003; Park *et al.*, 2010).

벽면녹화의 효과로는 첫째, 건물의 차열과 여름철 직사일광 감소, 둘째, 냉·난방장치를 가동할 때 약 30%의 에너지가 절감되며, 건축물 표면의 복사열을 감소시켜 도시기후의 조절에 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 산성비와 자외선으로부터 건축물 표면을 보호 등 건물의 내구성 향상, 소동물인 곤충 및 조류 등을 도심으로 유인함으로써 도심 생태계를 보호, 도로·건물 등으로 단절된 소동물의 생태통로를 연결 등으로 요약할 수 있다(Kim, 2009). 또한, 식재기반층에서 토양과 식물에서의 증발산작용을 통하여 주변의 온도와 기온을 감소시키며(Wong *et al.*, 2003; Saiz *et al.*, 2006; Han *et al.*, 2010), 건축물 내부로 유입되는 전도열을 감소시켜 실내의 열 획득과 냉·난방에너지소비를 감소시킨다(Jim and He, 2010).

건물의 벽면은 거의 전부가 무기물로 되어있기 때문에

열전도율이 높은 경우가 대부분이다. 따라서 여름과 겨울의 최고, 최저 온도 및 일사의 영향으로 인하여 실내의 냉·난방 부하가 커지게 된다. 이러한 건물을 식물을 이용하여 건물을 피복함으로써 벽면을 따라 다층으로 전개된 식물의 지엽이 태양광선의 복사열을 차단(Kim, 2002)하여 건물에너지 절감에 효과적으로 기여할 수 있다.

건물에너지 절감을 위해 건축분야에서는 고단열 창호시스템(Kim *et al.*, 2004; Yoon *et al.*, 2011), 고성능 단열재(Park *et al.*, 2007; Kim, 2012), 커튼월시스템(Koo *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2012; Yoon *et al.*, 2013), 이중외피시스템(Chung *et al.*, 2010; Kang *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2010) 등 다양한 연구가 이루어지는 반면, 국내의 조경분야에서는 건축물녹화에 의한 온도저감에 관한 연구(Seok *et al.*, 2008; Han and Yoon, 2010)를 통하여 녹화 유·무에 따른 효과를 증명하였고, 녹화 유·무에 따른 냉·난방부하에 관한 연구들(Kim, 2009; Kim and Yoon, 2010; Yeo *et al.*, 2010)이 진행되었으며, 건축물녹화 적용 시뮬레이션을 통한 에너지저감에 관한 연구들(Seok *et al.*, 2008; Kim, 2009; Kim and Yoon, 2011)이 최근 진행되고 있는 실정이다. 또한 저에너지 친환경 건축물에 대한 요구가 높아지고 있는 실정에서 다양한 친환경적 요소가 건물에너지에 미치는 수준을 비교·검토하여 최적의 방안을 수립하여야 한다. 특히 건축물의 재료나 설비 등이 주변조건과 기상조건에 따른 영향과 이용자의 쾌적도에 따른 에너지사용량은 차이가 발생되며, 이에 대한 정확한 에너지사용량을 판단하기 위하여 정량적이고 동적인 에너지 성능에 대한 분석이 필요하다(Kim *et al.*, 2012). Energy Plus를 활용한 건축물과 에너지절감 시뮬레이션 연구는 시뮬레이션 결과와 실제 건축

물의 에너지사용에 대한 비교 연구(Kim and Park, 2010; Suh and Park, 2012; Lee *et al.*, 2013)를 통하여 실제 건물 에너지사용량과 시뮬레이션 결과값이 유사하다고 보고하였으며, 시뮬레이션 프로그램간의 비교(Choi and Yun, 2011)등을 통하여 프로그램간의 유사한 패턴을 보여, 기간 부하의 해석결과를 신뢰할 수 있음을 제시하였다. 그러나 현재의 조경분야에서는 이러한 건물 에너지절감에 대한 요구에도 불구하고 벽면녹화 조성시 재료에 대한 단열성능을 고려하지 않고 실시하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 저탄소 녹색도시 구현을 위해 기존 건축물에 적용 가능한 패널형 벽면녹화 식재기반에 따른 건축물 에너지성능평가를 실시하고자 하였으며, 벽면녹화 조성시 최적의 성능을 위한 벽면녹화위치 및 면적비율에 따른 에너지성능평가를 통해 향후 저에너지 건축물조성의 기초 자료로 제시하고자 한다.

연구방법

1. 식재기반 조성 및 물성

건물일체 패널형 벽면녹화의 식재기반에 따른 건물에너지 절감을 파악하기 위하여 식재기반을 제작하였으며, 식재기반별 에너지성능분석을 실시한 Kwon(2014)의 연구를 참조하였다.

벽면녹화시스템의 유형은 식재기반재를 적용한 3가지 유형으로 구분되며, 미적용된 Case까지 포함하여 총 4가지 유형으로 시뮬레이션을 실시하였다. 본 연구 시뮬레이션에 적용된 Case 별 구성으로는 벽면녹화가 미적용된 Case A는

Table 1. Simulation applied to material properties

Case	Division	Thickness (mm)	Thermal conductivity (W/m ² · K)	Specific heat (J/kg · K)	Density (kg/m ³)	U-value (W/m ² · K)
A	Concrete	210	1.7	840	2,200	0.329
	Heat Insulating Material	110	0.04	1,400	15	
	Plant	100	0.3	1,000	1,000	
B	Inorganic Porous Block	100	0.1	1,000	2,800	0.228
	Concrete	210	1.7	840	2,200	
	Heat Insulating Material	110	0.04	1,400	15	
C	Plant	100	0.3	1,000	1,000	0.190
	Cocopeat Block	100	0.053	1,888	160	
	Concrete	210	1.7	840	2,200	
D	Heat Insulating Material	110	0.04	1,400	15	0.252
	Plant	100	0.3	1,000	1,000	
	Granite Soil Block	100	0.17	1,000	2,600	
	Concrete	210	1.7	840	2,200	
	Heat Insulating Material	110	0.04	1,400	15	

콘크리트 210mm, 단열재 110mm이고, 이외 3가지 Case에서도 건물구조는 Case A와 동일하게 구성하였다. Case B는 식재층 + 무기다공성블록 + 콘크리트 + 단열재로 구성하였으며, 무기다공성블록은 폐유리를 발포한 무기성 다공질 식재기반으로 폐유리 미분에 발포제와 착색제를 혼합하고 750℃~850℃의 온도조건으로 발포성형하여 만든 것으로 대부분 산소와 규소로 이루어져 있으며, 폐기공을 형성하고 있어 매우 훌륭한 보온 단열재로서의 특성 및 보비력과 비옥도가 높은 특징이 있다. Case C는 식재층 + 코코피트블록 + 콘크리트 + 단열재로 구성하였으며, 코코피트블록은 야자수의 섬유물질로 리그닌의 함량이 높아 화학적으로 불활성 물질이다. 또한 미생물 침투에 저항성이 있고 산화조건이 안정적이며, 상당한 유기 양분과 미량요소를 함유하고 있는 소재이다. Case D는 식재층 + 마사토블록 + 콘크리트 + 단열재로 이루어져 있으며, 마사토블록은 화강암이 풍화되어 생성되며 일반적인 식물재배에 이용되며 함수성이 높은 장점이 있다.

본 연구에서는 벽면녹화가 적용된 Case B, C, D의 무기다공성블록, 코코피트블록, 마사토블록의 열전도율 측정을 위하여 시편을 제작하였으며, 각각의 열전도율을 측정하였다. 열전도율은 균질재료의 열전도 능력을 나타내는 특성으로 열전도율은 단위 길이 당 1℃의 온도차가 있을 때, 단위 시간, 단위면적을 통과하는 열량을 나타내는 단위이다 (Kwon, 2014). 열전도율은 한국건설생활환경시험연구원을 통해 KS L 9016의 방법에 따라 측정하였으며, 이외의 재료에 대한 물성치는 Design Builder에서 제공된 것을 적용하였다(Table 1).

2. 건물에너지성능 시뮬레이션 개요 및 해석 프로세스

본 연구의 건물에너지성능 시뮬레이션 프로그램은 국제적으로 신뢰성을 인정받고 있는 Design Builder3.0을 사용하였으며 분석엔진으로는 EnergyPlus7.2를 사용하였다. Design Builder는 Design Builder Softeate에서 개발된 프로그램이며, OpenGL solid modeller를 특징으로 하며, 설계

자의 3D모델링 손쉽게 모델링 할 수 있는 것이 큰 장점이다 (Sin, 2008). EnergyPlus는 미국 DOE(Department Of Energy)에서 개발된 프로그램으로 에너지사용량 평가에 유용한 툴로서 국내·외에서 타당성이 검증된 시뮬레이션 프로그램이다(Yoon et al., 2011). EnergyPlus는 기존 해석 도구인 DOE-2, BLAST, COMIS의 장점을 통하여 개발된 도구로서 CTF(Conduction Transfer Function)과 CFD(Conduction Finite Difference), HAMT(Combined Heat and Moisture Transfer) 등과 같은 벽체 열전달 계산 알고리즘을 이용하여 기존 해석 도구에서 불완전했던 실내 온도 예측과 같은 점이 보완되었다(No and Jeong, 2011). EnergyPlus는 적정온도와 쾌적도 예측에 대한 통합된 시뮬레이션을 제공하며, 시간 단계를 사용자가 지정하여 계산하여 동일한 시간에 건물시스템들에 대한 부하 계산이 가능하다. 또한 1분 단위의 변칙적 시간단계, 냉·난방시스템계산, 전기적인 시스템에 대응할 수 있는 프로그램이다(Robert and Michael, 2004).

본 연구의 해석프로세스는 3단계로 구분할 수 있으며, 1단계로 벽면녹화시스템의 유형별 에너지저장 성능을 분석하기 위해 미적용인 Case A와 벽면녹화유형인 Case B~D로 설정하였다. 2단계는 시뮬레이션 설정조건을 입력하는 과정으로 기간분석을 위한 기상데이터는 최근 30년간 1981~2012년의 평균기상데이터를 사용하였으며, 한국태양에너지학회에서 제공하는 대한민국 표준 기상데이터 중 중부지역에 속하는 인천기상데이터를 사용하였다. 또한 건물모델링은 5층으로 하였으며, 냉·난방 설비시스템을 산정하였다. 건물 운영 스케줄 입력은 건물운영시간, 재실인원, 냉·난방운영시간 등을 입력하였다. 3단계는 시뮬레이션결과를 분석하는 과정으로 이루어져 있다.

3. 적용 건물 모델링 및 설정조건

본 연구에서는 벽면녹화 식재기반에 따른 건물에너지사용량을 분석하기 위하여, 건물은 5층 규모로 설정하였으며, 건물면적 400m²(20m × 20m), 연면적 2,000m²으로 설정하였다. 층고는 3.5m, 창면적비 30%, 공조방식 Fan-coil unit,

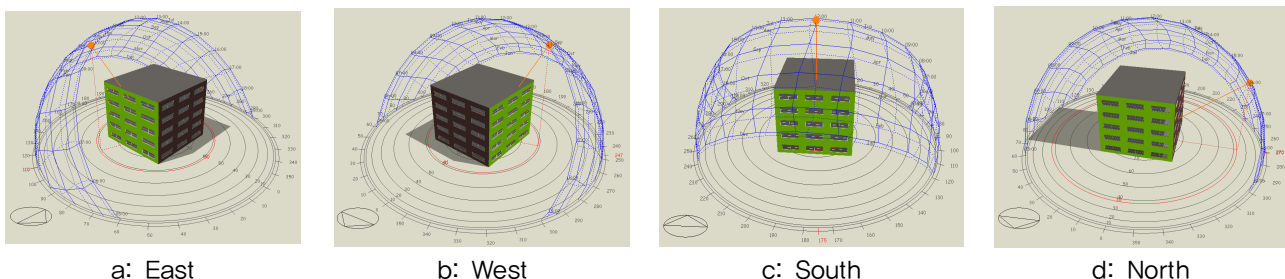


Figure 1. Green wall simulation model according to the location

Table 2. Set the target building conditions

Division	Contents
Number of Floors	5F
Building Area	400m ² (20m×20m)
Total floor area	2,000m ²
Floor Height	3.5m
Window area ratio	30%
Window U-Value	1.98W/m ² ·K
Window shade factor	0.65
Air-conditioning system	Fan-coil unit
HVAC	Cooling : DOE-2 Centrifuga(COP=1.67), Heating : Gasfired condensingboile(COP=0.83)
Setting temperature	Cooling : 24℃, Heating : 22℃
Illumination	400 lux
Illumination load	5 W/m ² · 100lux
Person occupants	0.11 people/m ²
Heat generation from occupancy	123 W/person
Clothing quantity	Winter : 1.0 clo, Summer : 0.5 clo
Ventilation	10 l/s · person
Hot water supply	0.2 l/m ² · day

난방기(Heat Generation)와 냉방기(Chiller)의 성능 계수는 각각 0.83, 1.67로 설정하였다. 냉·난방 설정 온도는 냉방 24℃, 난방 22℃, 난방조명설계는 사무공간으로 목표조도 400 lux, 조명부하 5 W/m²·100lux, 재실인원 0.11 people/m², 인체발열 123 W/person, 환기량 10 l/s·person, 급탕 0.2 l/m²·day, 건물운용 24시간 중 근무시간 8:00~18:00로 설정

하였다(Table 2). 또한 방위별 녹화위치 및 녹화면적비율(0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%)에 따라 모델링을 실시하였다(Figure 1).

결과 및 고찰

1. 벽면녹화 식재기반별 에너지성능평가

1) 단위면적당 냉·난방피크부하 저감

건물의 부하는 시시각각 변화하지만, 하루 중에서 이것이 최대가 되는 시각에 대해서만 열량을 계산하여 이를 공기조화의 각종 설계에 사용하는 경우가 있다. 이와 같이 최대부하시간(Peak Hour)에 대하여 행한 부하계산을 최대부하계산법(Peak Load Design)이라고 한다. 또한 기간부하계산이란 1년간 어떤 일정 기간에 걸쳐 모든 시각의 부하를 계산하는 방법으로, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용해야 보다 정확한 연간 에너지 소비량을 계산할 수 있다(Park, 2002). 또한 피크부하는 공장이나 가정에서의 전력수요는 하루 중에서도 시간대에 따라 현저하게 변화하면 그 최대의 전력 수요량의 값을 말한다(Kwon, 2014).

벽면녹화 식재기반별 단위면적당 난방피크부하는 Case A 96.31 W/m², Case B 94.55 W/m², Case C 94.02 W/m², Case D 94.87 W/m²으로 분석되었다. 벽면녹화 미적용 대비 다른 유형에서 1.44~2.29W/m²의 저감을 보였으며, 유형별 저감률은 절감율은 Case C(2.38%), Case B(1.82%), Case D(1.50%)순이었다.

단위면적당 냉방피크부하의 경우 Case A 118.84 W/m², Case B 117.49 W/m², Case C 117.42 W/m², Case D 117.64 W/m²로 분석되었다. 벽면녹화를 미적용한 Case A 보다 적용한 유형에서 1.19~1.42 W/m²의 저감량을 보였으며, Case C(1.19%), Case B(1.14%), Case D(1.01%)순으로 저

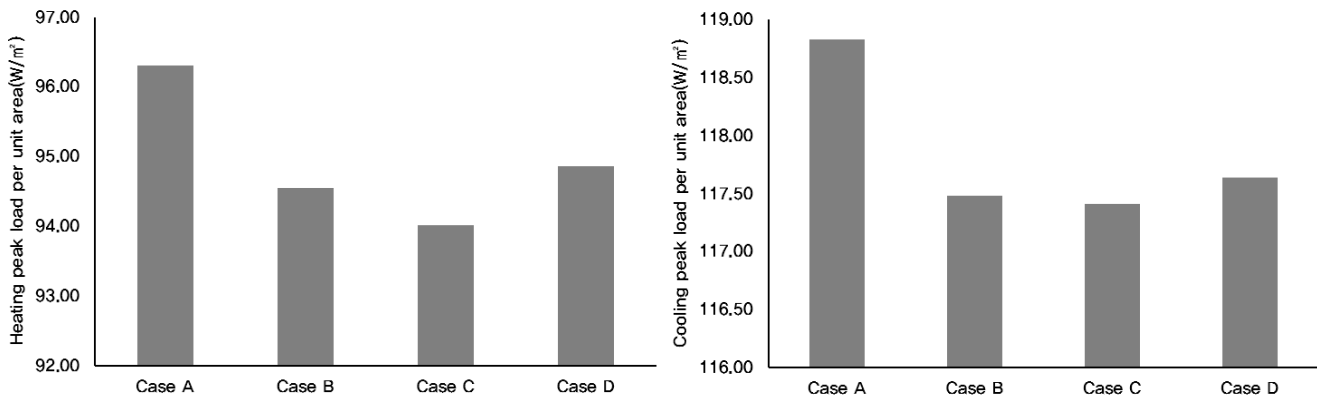


Figure 2. heating and cooling peak load per unit area

감률을 보였다. Kim *et al.*(2014)의 옥상녹화 유·무에 따른 에너지저감성능평가 분석에서 냉방피크부하의 저감률은 최대 1.49%, 난방피크부하의 절감율은 최대 2.13%로 보고하였으며, 녹화적용에 따른 피크부하저감 효과는 냉방부하보다 난방부하저감 효과에 우수한 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 냉방부하보다 난방부하저감 효과에 우수한 결과를 보였다. 또한, Yoon *et al.*(2008)은 내외단열 및 건축물 녹화에 따른 냉방부하 산정 결과 실내발열의 영향으로 냉방부하가 증가한다고 보고하고 있으며, 본 연구에서는 단열성이 양호해짐에 따라 냉방시기의 실내발열이 외부로 배출되는 것을 제한하여 나타난 결과로 판단되었다.

2) 단위면적당 연간 냉·난방부하 및 에너지사용량 저감

벽면녹화 적용에 따른 연간 에너지 성능 분석은 연간 냉난방부하, 연간 냉난방에너지사용량, 연간 총에너지사용량의 항목을 분석하였다(Table 3).

첫째로, 연간 냉·난방부하의 경우 벽면녹화 미적용 유형인 Case A는 90.78 kWh/m², Case B 89.72 kWh/m², Case C 89.95 kWh/m², Case D 89.62 kWh/m²로 분석되었다. 벽면녹화 미적용 대비 적용하였을 경우 저감률은 Case D(1.28%), Case B(1.17%), Case C(0.92%)의 순으로 나타났다.

또한, 연간 냉·난방 부하량을 산정하여 냉방기와 난방기로 나누어 제시하였다(Figure 3). 냉방기는 여름철 6, 7, 8월

의 평균 냉방부하량을 분석하였으며, Case A는 11.51 kW/m², Case B 11.44 kW/m², Case C 11.49 kW/m², Case D 11.41 kW/m²로 분석되었다. 벽면녹화를 미적용한 Case A대비 저감률은 Case B(0.61%), Case C(0.10%), Case D(0.86%)로 분석되었다. 특히, 여름철 중 7월에 모든 유형에서 냉방부하가 가장 높게 나타났으며, 벽면녹화를 적용한 유형 중 Case D(1.13%)가 가장 양호한 유형으로 판단되었다.

난방기는 겨울철 11월, 12월, 1월, 2월의 평균 난방부하량을 분석하였으며, Case A는 4.29 kW/m², Case B 3.90 kW/m², Case C 3.80 kW/m², Case D 3.96 kW/m²로 분석되었다. 벽면녹화를 미적용한 유형 대비 적용한 유형에서 저감효과를 보였으며, 저감률은 Case B(7.77%), Case C(10.28%), Case D(6.38%)로 나타났다. 또한, 1월에 최대 난방부하를 보였으며 Case A대비 벽면녹화를 적용한 Case C(10.11%)에서 가장 양호한 저감률을 보였다. Kim *et al.*(2014)은 옥상녹화 식재기반에 따른 에너지저감성능연구에서 미적용 대비 녹화 유형에서 냉방기에는 1.03~1.46%, 난방기에는 6.66~9.72%의 저감율을 제시하였다. 본 연구에서는 미적용 대비 냉방기 0.10~0.86%, 난방기 6.38~10.28%의 저감률을 보여 기존 연구결과처럼 냉방기보다 난방기에 더 양호한 효과를 기대할 것으로 판단되었다. 향후 다양한 식재기반의 개발 및 적용식물의 엽면적 등을 고려한 추가연구 필요할 것으로 사료되었다.

Table 3. Annual cooling and heating loads and energy use per unit area

Division	^a ACHL (kWh/m ²)	^d R(%)	^b AHCE (kWh/m ²)	^d R(%)	^c ATE (kWh/m ²)	^d R(%)
Case A	90.78	Reference	122.91	Reference	221.72	Reference
Case B	89.72	1.17%	119.07	3.12%	218.33	1.53%
Case C	89.95	0.92%	118.95	3.22%	218.21	1.58%
Case D	89.62	1.28%	119.17	3.04%	218.43	1.48%

^aACHL = Annual cooling and heating load, ^bAHCE = Annual heating and cooling energy use, ^cATE = Annual total energy use, ^dR = Reduction

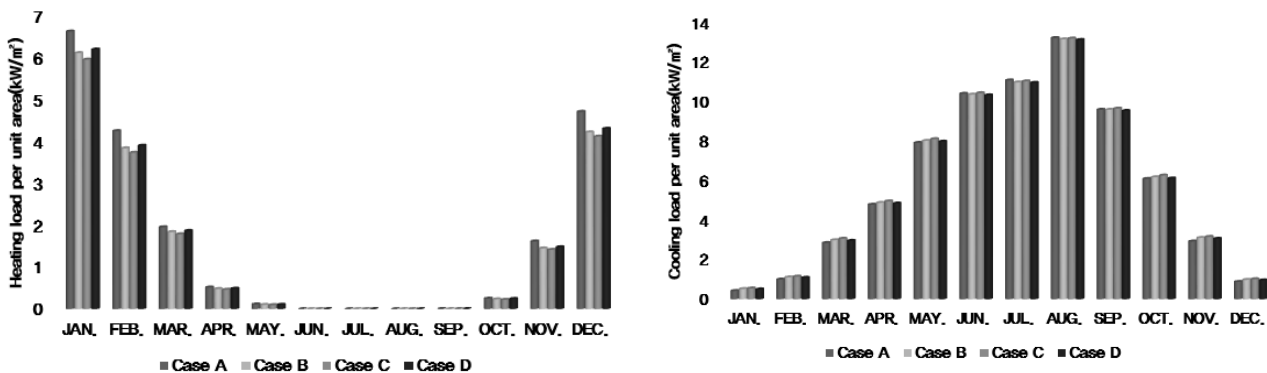


Figure 3. Annual heating and cooling loads per unit area

둘째, 연간 냉·난방에너지사용량의 경우 Case A는 122.91 kWh/m², Case B 119.07 kWh/m², Case C 118.95 kWh/m², Case D 119.17 kWh/m²로 분석되었다. 벽면녹화 미적용 Case A 대비 녹화적용 유형에서 3.04~3.22%의 저감률을 보였으며, Case C는 3.22%의 저감률을 보여 녹화유형 중 냉·난방 에너지사용량 저감에 가장 양호한 것으로 분석되었다.

셋째, 연간 총에너지사용량은 냉·난방에 사용된 에너지와 급탕, 조명의 에너지원인 gas와 전기 등 모든 에너지의 사용량을 산정한 결과이다. 벽면녹화 미적용 유형인 Case A는 221.72 kWh/m²이었고, 벽면녹화 유형인 Case B는 218.33 kWh/m², Case C는 218.21 kWh/m², Case D는 218.43 kWh/m²로 산정되었다. 벽면녹화 미적용인 Case A 대비 총에너지사용량 저감률을 살펴보면, Case C가 1.58%로 가장 높은 저감률을 보였고, Case B 1.53%, Case D 1.48%의 순이었다. Kim(2009)의 학교건물에서 녹화적용에 따른 에너지성능평가 연구에서 벽면녹화적용 시 미적용 대비 1.2% 저감을 나타낸다고 보고하여, 본 연구결과와 유사한 경향을 보였다.

3) 1차에너지 사용량 및 연간 이산화탄소 배출량

1차에너지사용량은 에너지원별(전기, LNG, LPG, 지역난방, 지역냉방, 등)로 단위, 전환 효율, 비용 등이 다양하므로 건축물에서의 전체 에너지 소비량을 하나의 단위로 지표화하여 평가할 수 있는 기준이 필요하다(Lee, 2012). 이러한 1차에너지사용량의 산정을 위해 환산계수가 사용되며, 국가차원에서 결정되는 계수로 에너지원의 추출로부터 에너지가 사용되는 장소까지 처리과정, 저장, 발전, 변압, 전송되는 모든 부분을 고려하여 산정한다. 1차에너지사용량 산출시 2차 에너지소요량에 전기는 2.75, gas는 1.1, 지역난방은 0.614, 지역냉방은 0.937의 환산계수를 곱하여 계산한다(Lee, 2014). 벽면녹화 미적용인 Case A는 936,122 kW

h/yr, Case B 930,243 kWh/yr, Case C 930,288 kWh/yr, Case D 930,303 kWh/yr으로 분석되었다. 벽면녹화 유무에 따른 저감량은 평균 5,844 kWh/yr이며, 저감률은 약 0.6%로 예측되었으며 유형간 차이는 미비하였다.

최근 범세계적으로 온실가스 배출량 산정 및 저감을 위한 협약이 확산되고 있는 실정이다. 우리나라 또한 국가 인벤토리 산정시 1996 IPCC 가이드라인에 의거하여 작성되고 있으며, 2006 IPCC 가이드라인에서 제시하는 대상 온실가스로는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황 6가지 종류를 대상으로 한다. 이중 기후변화에 가장 큰 영향을 미치는 것은 이산화탄소이므로(Sin, 2014), 본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 벽면녹화식재기반에 따른 연간 이산화탄소 배출량을 산정하였다.

연간 이산화탄소 배출량의 경우 옥상녹화 미적용인 Case A는 226,195 kg, Case B 225,174 kg, Case C 225,313 kg, Case D 225,108 kg로 분석되었다. 연간 벽면녹화 미적용 Case A 대비 벽면녹화적용유형에서 평균 996 kg의 저감량을 보였으며, 저감률은 0.39~0.48%로 분석되었다. 또한 냉방시기인 8월에 가장 높은 이산화탄소 배출량을 보여 냉방시기의 외벽의 단열성능 높여 에너지사용량을 줄여야 할 것이며, 또한 식재식물의 이산화탄소 흡수율을 고려하지 않고 에너지사용량을 통한 이산화탄소 배출량을 산정한 것이며 이를 보완한 추후 연구가 필요할 것이다.

2. 벽면녹화 식재 위치에 따른 에너지성능평가

벽면녹화 조성 시 건물 전체녹화의 비용에 대한 경제성 등의 한계가 있을 것으로 예상되며, 이에 따라, 양호한 에너지저감을 위한 우선 녹화위치를 제시하고자 식재 위치에 따른 에너지성능평가를 실시하였다.

첫째, 녹화유형인 Case B의 식재위치별 연간 냉·난방부하 분석결과, 북향(180,461 kWh) > 서향(180,428 kWh) >

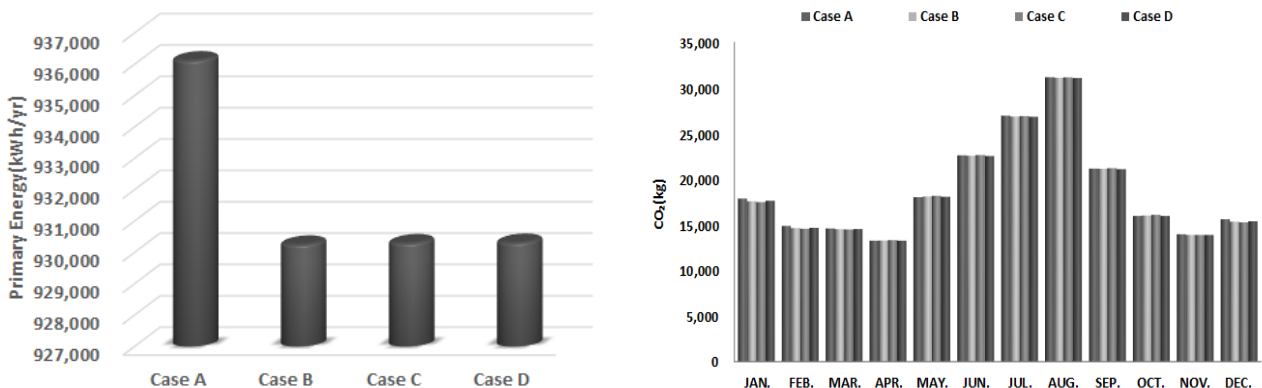


Figure 4. Green wall Case of primary energy use and annual carbon dioxide emissions

Table 4. Energy performance evaluation according to the location

Division	^a ACHL(kWh)	^d R(%)	^b AHCE(kWh)	^d R(%)	^c ATE(kWh)	^d R(%)
Case A	181,566	Reference	245,813	Reference	443,440	Reference
Case B	East	180,383	243,610	0.90%	442,868	0.13%
	West	180,428	243,513	0.94%	442,770	0.15%
	South	180,407	243,673	0.87%	442,931	0.11%
	North	180,461	243,648	0.88%	442,905	0.12%
Case C	East	180,393	243,420	0.97%	442,677	0.17%
	West	180,433	243,431	0.97%	442,689	0.17%
	South	180,421	243,523	0.93%	442,780	0.15%
	North	180,496	243,467	0.95%	442,725	0.16%
Case D	East	180,402	243,750	0.84%	443,007	0.10%
	West	180,448	243,774	0.83%	443,031	0.09%
	South	180,412	243,780	0.83%	443,037	0.09%
	North	180,465	243,781	0.83%	443,039	0.09%

^aACHL = Annual cooling and heating load, ^bAHCE = Annual heating and cooling energy use, ^cATE = Annual total energy use, ^dR = Reduction

남향(180,407 kWh) > 동향(180,383 kWh) 순으로 나타났다. 비녹화 유형인 Case A 대비 녹화유형에서 0.61~0.65%의 저감률을 나타내었다. 연간 냉·난방에너지사용량 분석결과, 남향(243,673 kWh) > 북향(243,648 kWh) > 동향(243,610 kWh) > 서향(243,513 kWh) 순이었으며, 비녹화유형 Case A 대비 녹화유형에서 0.87~0.94%의 저감률을 보였다.

연간 총에너지사용량은 남향(442,931 kWh) > 북향(442,905 kWh) > 동향(442,868 kWh) > 서향(442,770 kWh) 순으로 분석되었으며, 저감률은 0.11~0.15%로 나타났다.

둘째, Case C의 식재위치별 연간 냉·난방부하 분석결과, 북향(180,496 kWh) > 서향(180,433 kWh) > 남향(180,421 kWh) > 동향(180,393 kWh) 순으로 나타났다. 비녹화 유형인 Case A 대비 녹화유형에서 0.59~0.65%의 저감률을 나타내었다. 연간 냉·난방에너지사용량 분석결과, 남향(243,523 kWh) > 북향(243,467 kWh) > 서향(243,431 kWh) > 동향(243,420 kWh) 순이었으며, 비녹화유형 Case A 대비 녹화유형에서 0.93~0.97%의 저감률을 보였다.

연간 총에너지사용량은 남향(442,780 kWh) > 북향(442,725 kWh) > 서향(442,689 kWh) > 동향(442,677 kWh) 순으로 분석되었으며, 저감률은 0.15~0.17%로 분석되었다.

셋째, Case D의 식재위치별 연간 냉·난방부하 결과는 북향(180,465 kWh) > 서향(180,448 kWh) > 남향(180,412 kWh) > 동향(180,402 kWh) 순으로 분석되었다. Case A 대비 녹화유형에서 0.61~0.64%의 저감률을 나타내었다. 연간 냉·난방에너지사용량 분석결과, 북향(243,781 kWh) > 남향(243,780 kWh) > 서향(243,774 kWh) > 동향(243,750 kWh) 순이었으며, 비녹화유형 Case A 대비 녹화유형에서 0.83~0.84%의 저감률을 보였다.

연간 총에너지사용량은 북향(443,039 kWh) > 남향(443,037 kWh) > 서향(443,031 kWh) > 동향(443,007 kWh) 순으로 분석되었으며, 저감률은 0.09~0.10%로 나타났다.

식재위치에 따른 에너지성능평가 결과 동 > 서 > 남 > 북의 순으로 식재하는 것이 양호한 에너지성능을 기대할 수 있을 것으로 판단되었다. Kim *et al.*(2004)은 건축물의 방향과 일사량은 밀접한 관계가 있으며, 여름철에는 수평면 일사량이 가장 많으며, 다음은 동·서측 수직면 일사량, 그리고 남측면 일사량이 최소가 된다고 보고하고 있다. 따라서 동·서측의 일사량에 따른 에너지상승을 초래할 수 있으므로, 단순 건축물 에너지저감을 위해서는 우선적으로 동·서측에 벽면녹화를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

3. 벽면녹화 녹화비율에 따른 에너지성능평가

건물일체형 벽면녹화 조성 시 녹화비율에 따른 에너지성능평가 결과는 Table 5와 같다.

첫째, 벽면녹화 20%의 연간 냉·난방부하의 경우 비 녹화 유형인 Case A 대비 녹화유형 Case B, C, D에서 1,068~1,092 kWh의 저감량을 보였으며, 저감률은 0.59~0.60%로 분석되었다. 연간냉난방에너지사용량의 경우 Case A 대비 녹화유형인 Case B, C, D에서 1,909~2,197 kWh의 저감량을 보였으며, 저감률은 0.78~0.89%로 분석되었다. 연간에너지총에너지사용량은 저감량 279~567 kWh, 저감률 0.06~0.13%로 분석되었다.

둘째, 벽면녹화 40%의 연간 냉·난방부하의 경우 비 녹화 유형인 Case A 대비 녹화유형인 Case B, C, D에서 967~1,047

Table 5. Energy performance evaluation according to the green wall rate

Division		^a ACHL(kWh)	^d R(%)	^b AHCE(kWh)	^d R(%)	^c ATE(kWh)	^d R(%)
0%	Case A	181,566	Reference	245,813	Reference	443,440	Reference
	Case B	180,475	0.60%	243,787	0.82%	443,045	0.09%
20%	Case C	180,498	0.59%	243,616	0.89%	442,874	0.13%
	Case D	180,487	0.59%	243,903	0.78%	443,161	0.06%
40%	Case B	180,529	0.57%	243,366	1.00%	442,624	0.18%
	Case C	180,599	0.53%	243,086	1.11%	442,344	0.25%
	Case D	180,519	0.58%	243,568	0.91%	442,826	0.14%
	Case B	180,565	0.55%	242,963	1.16%	442,221	0.27%
60%	Case C	180,682	0.49%	242,552	1.33%	441,809	0.37%
	Case D	180,555	0.56%	243,269	1.03%	442,527	0.21%
80%	Case B	180,580	0.54%	242,554	1.33%	441,811	0.37%
	Case C	180,706	0.47%	241,978	1.56%	441,236	0.50%
	Case D	180,559	0.55%	242,936	1.17%	442,193	0.28%
	Case B	179,443	1.17%	238,133	3.12%	436,664	1.53%
100%	Case C	179,900	0.92%	237,897	3.22%	436,428	1.58%
	Case D	179,245	1.28%	238,335	3.04%	436,866	1.48%

^aACHL = Annual cooling and heating load, ^bAHCE = Annual heating and cooling energy use, ^cATE = Annual total energy use, ^dR = Reduction

kWh의 저감량을 보였으며, 저감율은 0.53~0.58%로 분석되었다. 연간냉·난방에너지사용량은 Case A 대비 녹화유형에서 0.91~1.11%의 저감율을 나타내었다. 연간 총에너지사용량은 Case A 대비 녹화유형에서 0.14~0.25%의 저감률을 보였다.

셋째, 벽면녹화 60%에서는 연간 냉·난방부하는 Case A 대비 녹화유형인 Case B, C, D에서 885~1,011 kWh의 저감량을 보였으며, 저감율 0.49~0.56%로 분석되었다. 연간 냉·난방에너지사용량의 경우 Case A 대비 2,544~3,261 kWh의 저감량을 보였으며, 저감율 1.03~1.33%로 분석되었다. 연간 총에너지사용량은 비녹화유형 Case A 대비 녹화유형에서 913~1,631 kWh의 저감량과 0.21~0.37%의 저감률을 보였다.

넷째, 벽면녹화 80%의 연간 냉·난방부하는 비녹화 유형 Case A 대비 녹화유형 Case B, C, D에서 861~1,007 kWh의 저감량을 보였으며, 저감율 0.47~0.55%로 분석되었다. 연간 냉·난방에너지사용량은 비녹화유형 Case A 대비 녹화유형에서 2,877~3,835 kWh의 저감량과 1.17~1.56%의 저감률을 보였다. 연간 총에너지사용량은 비녹화 유형 Case A 대비 녹화유형에서 저감량 1,247~2,205 kWh로 분석되었으며, 저감율 0.28~0.50%로 분석되었다.

다섯째, 벽면녹화 100%의 연간 냉·난방부하는 비녹화 유형 Case A 대비 녹화유형에서 1,666~2,321 kWh의 저감량을 보였으며, 저감율 0.92~1.28%로 분석되었다. 연간 냉·난방 에너지사용량은 비녹화유형 Case A 대비 녹화유형에서

7,678~7,916 kWh의 저감량을 보였으며, 3.04~3.22%의 저감률을 나타내었다. 연간 총에너지사용량은 비녹화유형 Case A 대비 녹화유형에서 6,574~7,012 kWh의 저감량과 1.48~1.58%의 저감률을 보였다.

벽면녹화비율에 따른 에너지성능평가 결과, 녹화 비율 20~80%까지는 연간냉·난방부하 및 연간총에너지사용량의 경우 저감률이 1% 미만으로 분석되었으며, 연간 냉·난방에너지사용량은 비 녹화유형 대비 최대 1.56%의 저감률을 보였다. 벽면녹화 조성 시 녹화비율이 100%일 때 다른 녹화비율보다 저감률이 약 2배 이상을 보여, 벽면녹화 100% 조성 시 건축물 에너지 저감에 크게 기여할 것으로 판단되었다.

따라서 벽면녹화 조성시 식재기반은 단열성이 양호한 것으로 선정하여야 하며, 건물의 동향 및 서향에 우선적으로 조성하여야 할 것으로 판단되었다. 또한 녹화비율은 100%일 때 건축물 에너지저감에 양호할 것을 판단되었다.

REFERENCES

- Choi, J. D and G. Y. Yun(2011) Differences in Results between Two Building Energy Simulation Programs based on EnergyPlus. Proceedings of the Architectural Institute of Korea Conferences, Korea, pp. 31(2): 371-372.
- Chung, H. K., K. S. Chung., Y. J. Lee., S. C. Sin and Y. I. Kim(2012) A Study on Analysis Method for Performance Evaluation of Double-leaf facade of Office Building. The Korea Society for Energy Engineering 21(2): 168-178.

- Han, J. H and J. O. Yoon(2010) The Influence of the Green Wall to the Surface Temperature on the School Buildings. Proceedings of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Korea, pp. 10(2): 125-128.
- Han, S. W., H. S. Kim., S. M. Kim and M. I. Jung(2010) Thermal performance of the grass and the moss for the artificial greening system. Korean institute of Agr. Sustainable Environment Building Systems 4(4): 195-200.
- Huh, K. Y. and K. K. Shim(2000) Characteristics of artificial soils used alone or in a blend with field soil for the greening of artificial ground. Journal of the Korean institute of Landscape Architecture 28(2), 28-38.
- Hwang, H.G., J.Y. Lim., M. K. Ryu and D. S. Song(2009) The effect of the artificial ground on building thermal environment. Journal of the Korean Solar Energy Society 29: 170-175.
- Jim, C. Y. and H. He(2010) Coupling heat flux dynamics with meteorological conditions in the green roof ecosystem. Ecology Eng 36: 1052-1063.
- Jung, J. W., D. W. Kim., H. T. Seok and J. H. Yang(2010) A Study on the Improvement Plans of Energy Performance in University Building through the Analysis of Energy. Journal of the Korean Solar Energy Society 30(1): 50-60.
- Kang, K. N., K. H. Lee and Y. J. Choi(2010) The Analysis of Energy-saving Effect by Application of Double skin Facaded in Standard Office building. Proceedings of the Journal of the Korean Solar Energy Society Conference, Korea, pp. 275-280.
- Kim, H. S., J. S. Kim and O. Y. Im(2004) Optimal Windows Transmittance by Energy Performance Analysis and Subjective Evaluation in office building. Journal of the Korean Solar Energy Society 24: 73-83.
- Kim, H. Y.(2009) A Simulation of Cooling and Heating Energy Consumption in a Single House according to Thermal Performance. Master's Thesis, Hoseo University, Korea, 52pp.
- Kim, J. H.(2009) A Study on the Evaluation of Energy Performance due to the Application of Greenery Cover Method in Education Buildings. Master's Thesis, Yungnam University.
- Kim, J. H. And Y. H. Yoon(2011) Economic Analysis and Energy Reduction by the Types of the Green Roof. Journal of Soule Studies 12(2): 125-140.
- Kim, J. K.(2012) An Experimental Study on Insulation Effects by the Installation Method of Reflector Type Insulator. Journal of the Architectural Institute of Korea 14: 199-204.
- Kim, J. H., K. U. Kwon, C. H. Joo and Y. H. Yoon(2014) Comparative of energy-saving by green roof type on urban office building. Journal of Environmental Science international 23(8): 1437-1446.
- Kim, K. H.(2002) A Study on Ground Cover Plants for Urban Greening. Master's Thesis, Jinju University, Korea, 2pp.
- Kim, K. J and S. H. Yoon(2010) A Study on the Change in Climate and Heat load with Planting according to different Building Height. Proceedings of the Architectural Institute of Korea, Korea, pp. 30(1): 503-504.
- Kim D. K and C. S. Park(2010) Comparison of an EnergyPlus double-skin simulation results with measurement. Proceedings of the Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Korea, pp. 2010(3): 123-127.
- Kim, K. S., S. B. Lee and D.U. Jung(2004) Architectural Environmental Planning. Munundang, Korea, 85pp.
- Kim, K. Y., S. H. Kim., H. D. Kim., S. J. Jo and S. M. Bang(2011) A Study on the Effect temperature decrease of Green Wall in Daegu, Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference, Korea, pp. 20: 124-126.
- Koo, B. K., S. Y. Song and H. T. Song(2007) Optimum Insulation of Aluminum Curtain Wall Fastening Unit for Residential Complex in the Aspect of Heating Energy Performance and Economical Efficiency. Journal of the Architectural Institute of Korea 23: 189-198.
- Kwon, K. U.(2014) Performance Analysis of the Plant Foundation for Implementation of Low-Energy Green Wall, Master's Thesis, Konkuk University, Korea, 3pp.
- Landsberg, H. E.(1979) Atmospheric changes in a growing community (the Columbia, Maryland experience). Urban Ecology 4(1): 53-81.
- Lee, H., J. S. Kim., M. S. O and H. S. Kim(2012) A Study on Improvements of Envelope system for The Energy Saving in Curtain Wall Office Buildings. Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems 6: 106-113.
- Lee, J. H.(2014) Energy saving effect analysis according to improvement of wall and window system insulation in office buildings. Master's Thesis, Han Bat University, Korea.
- Lee, S. Y., J. S. Kang and K. S. Kim(2010) Energy Performance Evaluation of a Double-skin Facade with a Venetian Blind in Residential Buildings. Journal of the Korean Solar Energy Society 30: 1-9.
- Lee, Y. J.(2012) A study on the selection of heat source systems through performance evaluation for office buildings. Master's Thesis, Chung Ang University, Korea.
- Lee, N. E., H. S. Han., B. L. Ahn., H. G. Jeong and C. Y. Jang(2013) A Study on Cooling Energy Saving Measures using Simulation and Metered Data of Existing Building. Proceedings of the Architectural Institute of Korea Conferences 29(4): 235-242.
- No, S. T and J. W. Jeong(2011) A Study on Comparison of Heating Load by Energy Plus and Web-based Energy Performance Assessment Tool in an Apartment Housing, Journal of the Architectural Institute of Korea 27(1): 245-252.
- Park, J. S., J. H. Park., J. H. Ju and Y. H. Yoon(2010) Change soil water and evaluation with respect to shallow-extensive green

- roof system. *Journal of the Environment Society* 19: 843-848.
- Park, S. H.(2002) Building energy performance estimation on the internet environment. Master's Thesis, Yonsei University, Korea, 40pp.
- Park, Y. D., E. C. Kang and E. J. Lee(2007) Energy Performance Simulation Study of Building Energy Reducing Dynamic Insulation. *Journal of the Architectural Institute of Korea* 1: 921-926.
- Robert, H. Henningger and J. Witte. Michael(2004) Energy plus testing with ANSI/ASHRAE standard 140-2001(BESTEST). GARD Analytics.
- Saiz, S., C. Kennedy., B. Bass and K. Presnail(2006) Comparative life cycle assessment of standard and green roofs. *Environment Society Technol* 40: 4312-4316.
- Seok, H. T., J. H. Yang and J. W. Jung(2008) A Study on the Evaluation of Energy Performance According to Greenery Cover in Education Buildings. *Journal of the Korean Solar Energy Society* 28(6): 40-47.
- Sin, J. H.(2014) A study on CO2 emission calculation and reduction evaluation for building operation. Master's Thesis, Sung Kyun Kwan University.
- Sin, J. W.(2008) A Study on the Variations of Heating Energy Consumption due to the Solar shading by the Adjacent Building, Master's Thesis, Kyungwon University.
- Suh, W. J and C. S. Park(2012) Issues and Limitations on the Use of a Whole Building Simulation Tool for Energy Diagnosis of a Real-life Building. *Proceedings of the Architectural Institute of Korea Conferences, Korea*, pp. 28(1): 273-283.
- Wong, N. H., Y. Chen., C. L. Ong and A. Sia(2003) Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building Environment* 38: 261-270.
- Yeo, I. A., J. J. Yee and S. H. Yoon(2010) An Analysis of Urban Temperature and Air-Conditioning Energy Characteristics by Eco-Friendly Urban Planning. *Journal of the Architectural Institute of Korea*. 26(2): 225-256.
- Yoon, J. H., W. H. Hong., W. J. Hwang and W. K. Hwang(2011) A Study of Correlation Between Glazing Performance and Building Energy : Focused on the U-value, SHGC and VLT in a Curtain Wall Building. *Journal of the Architectural Institute of Korea* 27: 341-348.
- Yoon, K. C., J. U. Jeon and K. S. Kim(2011) Analysis on the Impact of Load Factors in Building Energy Simulation Affecting Building Energy Consumption. *Journal of the Korea institute of ecological architecture and environment* 11(4): 71-78.
- Yoon, P. S., J. H. Lee and B. S. Ryu(2007), Study on the plants adaptation of rooftop garden. *Journal of Korean Society People Plants Environ* 13(5): 25-31.
- Yoon, S. H., H. J. Cho., I. A. Yeo and H. K. Jang(2008) Quantification of thermal Insulation Performances of Green Roof System for Practical Application. *Journal of the Korean Society Living Environment System* 15(3), 321-330.
- Yoon, Y. S., W. K. Choi and M. H. Sim(2013) A Study on the Characteristics of the Energy Performance in Curtain Wall Building - Focused on the Glazing Type, Window to Wall Ratio and Internal Gains. *Journal of the Architectural Institute of Korea* 29: 255-263.