

ORIGINAL ARTICLE

## 도심 오피스건물의 옥상녹화 조성 유형별 건물에너지 절감 비교 연구

김정호 · 권기욱 · 주창훈<sup>1)\*</sup> · 윤용한

건국대학교 녹색기술융합학과, <sup>1)</sup>산림조합중앙회

### Comparative of Energy-Saving by Green Roof Type on Urban Office Building

Jeong-Ho Kim, Ki-Uk Kwon, Chang-Hun Joo<sup>1)\*</sup>, Yong-Han Yoon

Department of Green Technology Convergence, Konkuk University, Chungju 380-701, Korea

<sup>1)</sup>Forest Inventory Center, National Forestry Cooperatives Federation, Daejeon 306-808, Korea

#### Abstract

This study, the urban energy used office building green roof type composition of the target by analyze building energy reductions. Green roof is total 6 types(type A~F) were selected, EnergyPlus the energy simulation programs were used. Top floor of green roof types evaluation, the reduction of the cooling peak load type E(1.26%), type D(1.30%), type C(1.37%), type B(1.45%), type F(1.49%), and heating peak load is type D(1.32%), type E(1.40%), type C(1.47%), type F(1.69%), type B(2.13%) order. Annual cooling load of heating load is reduced more than about 1% effect. The heating load reduction ratio for a maximum of 9% respectively. Cooling peak load of the building energy performance evaluation of type F > type B > type C > type D > type E in the order and in the case of peak loads heating type B > type F > type D > type E > type C order. Annual total energy use reduction of 1.07 to 1.22% and earn, type B in the best good. In primary energy use reductions in the presence of a green roof were in the 4249~4876 kWh/yr. Annual CO<sub>2</sub> emissions reductions of unapplied type A were analyzed on average 469.78 kg.

**Key words** : Energy simulation, Green technology, Energy Plus, Thermal transmittance, Thermal conductivity

#### 1. 서론

세계 각국은 온실가스 감축정책을 최우선 과제로 추진중이며, 포스트 교토의정서에 대응하기 위한 방안을 마련하고 있다. 국내의 화석연료 의존도는 약 83% 수준이며, 에너지 소비패턴은 산업 55%, 건물 25%, 수송 21% 등으로 최근 건축물의 에너지 소비량은 큰 폭으로

상승하는 추세에 있다(Kang 등, 2010). 이에 대한 대응으로 우리나라에서는 2025년까지 모든 신축건물에 대한 제로에너지하우스 수준을 의무화 할 것을 발표한 후(Yoon 등, 2011), 실천방안으로 2012년 수준 대비 건축물의 에너지 절약 설계기준을 대폭 강화할 수 있는 에너지 소비 총량제도 등을 도입하고 있다(Lee 등, 2012).

건물에너지 절감을 위해 건축분야에서는 고단열창호

Received 29 May, 2014; Revised 31 July, 2014;

Accepted 6 August, 2014

\*Corresponding author : Chang-Hun Joo, Forest Inventory Center, National Forestry Cooperatives Federation, Daejeon 306-808, Korea  
Phone: +82-43-840-3531  
E-mail: randb2002@hanmail.net

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

시스템(Yoon 등, 2011; Kim 등, 2004), 고성능단열재(Park 등, 2007; Kim, 2012), 커튼월시스템(Koo 등, 2007; Lee 등 2012; Yoon 등, 2013), 이중외피시스템(Lee 등, 2010; Kang 등, 2010; Chung 등, 2012) 등 다양한 연구가 이루어지는 반면, 국내 조경분야에서는 옥상녹화 적용이 건물에너지 및 외기온도 저감 효과 등을 규명한 연구(Kim 등, 1998; Wong 등, 2003; Jang 등 2008; Yoo, 2008; Kim과 Yoon, 2011)만 반복적으로 진행되고 있는 수준으로 옥상녹화시스템의 차이가 건물에너지소비에 미치는 영향에 대한 비교·분석한 논문은 미흡한 실정이었다. 이에 반해 국외의 경우 옥상녹화 유형과 건물에너지와의 연관성을 규명하기 위한 다양한 노력이 진행되고 있다(Kumar과 Kaushik, 2005; Sailor, 2008).

저에너지 친환경 건축물 계획을 위해서는 다양한 친환경 요소의 적용이 건물에너지에 미치는 수준을 비교·검토하여 최적 방안을 수립하여야 하는데, 특히 건축물의 형태, 재료나 설비 등이 주변조건과 기상조건에 따라 영향을 받고 동일 조건이라도 사용자의 쾌적도에 따라 에너지 사용량은 차이를 발생하기 때문에 정확한 에너지 사용량을 판단하기 위해서는 정량적이고 동적인 에너지 성능에 대한 분석이 필요한 실정이다(Kim 등, 2011). EnergyPlus를 활용한 건축물 에너지절감 시뮬레이션 관련 연구는 국내에서는 Park과 Kim(2009), Yoon 등(2011)의 다양한 연구자들에 의해 검증 활용되고 있으며 국외에서도 LEED 인증 건축물의 옥상녹화 적용이 건물에너지에 미치는 영향에 대한 연구(Feng과 Hewage, 2014)에서 활용되는 등 국내·외에서 이미 검증된 프로그램이다. No와 Jeong(2011)는 에너지 성능평가 도구간의 비교에서는 건물의 냉·난방 부하 분석을 통하여 프로그램간의 유사한 패턴을 보이며, 기간부하의 해석결과를 신뢰할 수 있음을 제시하였고 Lee 등(2012)은 실제 오피스건물을 대상으로 외피시스템 리모델링 시 건물에너지 절감 실태를 시뮬레이션을 통해 제시한 후 최적 에너지 절감시스템 적용에 대한 연구를 수행하였다.

본 연구는 국내 에너지 소비패턴이 가장 많은 오피스 건물을 대상으로 옥상녹화시스템 조성 유형에 따른 건물에너지 절감 실태를 비교·분석하여 저에너지 녹색건축물 계획 수립시 최적의 옥상녹화시스템 활용을 위한 기초자료로 제시하고자 하였다.

## 2. 연구범위 및 방법

### 2.1. 식재기반조성

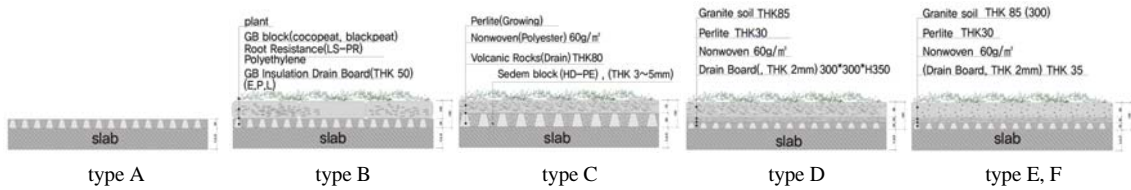
옥상녹화시스템의 차이가 건물에너지 절감 및 환경부하에 미치는 영향을 파악하고자 국내의 대표적 옥상녹화시스템을 5개 유형으로 구분하여 단위면적당 에너지절감율을 제시한 Kim과 Yoon(2011)의 연구를 참조하였다. 옥상녹화시스템의 유형은 식재층 재료, 토양층 재료, 배수관 재료 등을 고려하여 5개 type으로 구분되며 미 적용된 type까지 포함하여 총 6개 type으로 시뮬레이션을 실시하였다. 옥상녹화 시스템유형은 저관리경량형으로 type B, C, D, E를, 관리중량형으로 type F를 설정하였다. 본 연구 시뮬레이션에 적용된 type별 옥상녹화가 미 적용된 type A는 콘크리트 210 mm, 단열재 110 mm이고, 이외 5개 type에서도 건물구조는 type A와 동일하게 구성하였다. type B 구조는 식재층 + 그란블록(우수저류 성능형 단열판) + 방근시트+단열배수관, type C 구조는 식재층+필라이트(70 mm) + 부직포 + 화산석 + 세덤블록, type D 구조는 식재층+필라이트(115 mm) + 부직포 + 배수관, type E 구조는 식재층+마사토(85 mm) + 필라이트(30 mm) + 부직포 + 배수관, type F 구조는 식재층 + 마사토(300 mm) + 필라이트(30 mm) + 부직포 + 배수관으로 설정하였다(Table 1).

### 2.2. 건물에너지성능 시뮬레이션 개요 및 해석 프로세스

본 연구의 건물에너지성능 시뮬레이션 프로그램은 EnergyPlus7.2를 사용하였다. EnergyPlus는 미국 DOE(Department Of Energy)에서 개발된 프로그램으로 에너지사용량 평가에 유용한 툴로서 국내·외에서 타당성이 검증된 시뮬레이션 프로그램이다(Yoon 등, 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(No와 Jeong, 2011). EnergyPlus는 상세 에너지 해석이 가능하며 해석기간 동안 수시로 변화하는 건물의 실내외 조건, 벽체의 축열 부하를 고려하여 매 시간당 에너지균형(Energy Balance)을 계산하기 위해 유한차분

**Table 1.** Simulation applied to material properties

TYPE	Division	Thickness(mm)	Thermal conductivity (W/m <sup>2</sup> · K)	Specific heat (J/kg · K)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	U-value (W/m <sup>2</sup> · K)
A	Concrete	210	1.7	840	2200	0.332
	heat insulating material	110	0.04	1400	15	
B	Plant	100	0.3	1000	1000	0.250
	GB block	100	0.17	840	910	
	Root resistance	2	0.5	1800	980	
	Insulation Drain Board	50	0.5	1800	980	
C	Plant	100	0.3	1000	1000	0.281
	Perlite	70	3.5	1000	2800	
	Nonwoven	2	0.06	1360	200	
	Volcanic Rocks	80	3.49	840	2880	
	Sedem block	80	0.59	840	1050	
D	Plant	100	0.84	800	1700	0.287
	Perlite	115	3.5	1000	2800	
	Nonwoven	2	0.04	1360	160	
	Drain Board	35	0.5	1800	980	
E	Plant	100	0.84	800	1700	0.284
	Granite soil	85	2.8	1000	2600	
	Perlite	30	3.5	1000	2800	
	Nonwoven	2	0.04	1360	160	
F	Plant	100	0.84	800	1700	0.271
	Granite Soil	300	2.8	1000	2600	
	Perlite	30	3.5	1000	2800	
	Nonwoven	2	0.04	1360	160	
	Drain Board	35	0.5	1800	980	



**Fig. 1.** Green roof system type of diagram.

법, 응답계수법 등과 같은 수치해석 방법을 채택하고 있다. 일정 시간 간격으로 외벽을 통한 관류열, 시간에 따른 실내 현열 및 잠열, 발열, 환기 및 침기에 의한 열손실/취득, 일사, 천공복사, 내벽체간 복사, 주위건물 음영, 건물 내·외부 대류 열전달 등, 여러 가지 열전달 경로를 통하여 동시에 발생하는 열부하를 통합하여 계산한다(No와 Jeong, 2011).

본 연구의 해석프로세스는 3단계로 구분할 수 있으며, 1단계로 옥상녹화시스템의 유형별 에너지절감 성능을 분석하기 위해 미적용인 type A와 옥상녹화유형인 type B~F로 설정하였다. 2단계는 시뮬레이션 설정조건을 입력하는 과정으로 기간분석을 위한 기상데이터는 한국태양에너지학회에서 제공하는 대한민국 표준 기상데이터 중 중부지역에 속하는 인천기상데이터를 사용하였다. 또

한 건물모델링은 3층으로 하였으며, 냉·난방 설비시스템을 산정하였다. 건물 운영 스케줄 입력은 건물운영시간, 재실인원, 냉·난방운영시간 등을 입력하였다. 3단계는 시뮬레이션결과를 분석하는 과정으로 이루어져 있다.

2.3. 적용 건물 모델링 및 설정 조건

본 연구에서는 옥상녹화 조성 유형에 따른 오피스건물의 에너지사용량을 분석하기 위하여, 건물은 3층 규모

로 설정하였으며, 건물면적 2,500 m<sup>2</sup>(50 m × 50 m), 연면적 7,500 m<sup>2</sup>으로 설정하였다. 층고는 3.5 m, 창면적비 30%, 외벽은 건축물 에너지절약설계기준에 따라 외기에 직면한 외벽의 경우 중부지역 열관류율 값인 0.36 W/m<sup>2</sup>·K으로 설정하였다. 적용건물의 설정조건은 공조방식 Fan-coil unit, 난방기(Heat Generation)와 냉방기(Chiller)의 성능 계수는 각각 0.83, 1.67로 설정하였다. 냉·난방 설정 온도는 냉방 24℃, 난방 22℃, 난방조명설계는 사

Table 2. Set the target building conditions

Number of Floors	3F
Building Area	2,500 m <sup>2</sup> (50 m×50 m)
Total floor area	7,500 m <sup>2</sup>
Floor Height	3.5 m
Window area ratio	30%
Outer wall U-Value	0.36 W/m <sup>2</sup> K
Window U-Value	1.98 W/m <sup>2</sup> ·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 <sup>2</sup> · 100lux
Person occupants	0.11 people/m <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup> · day

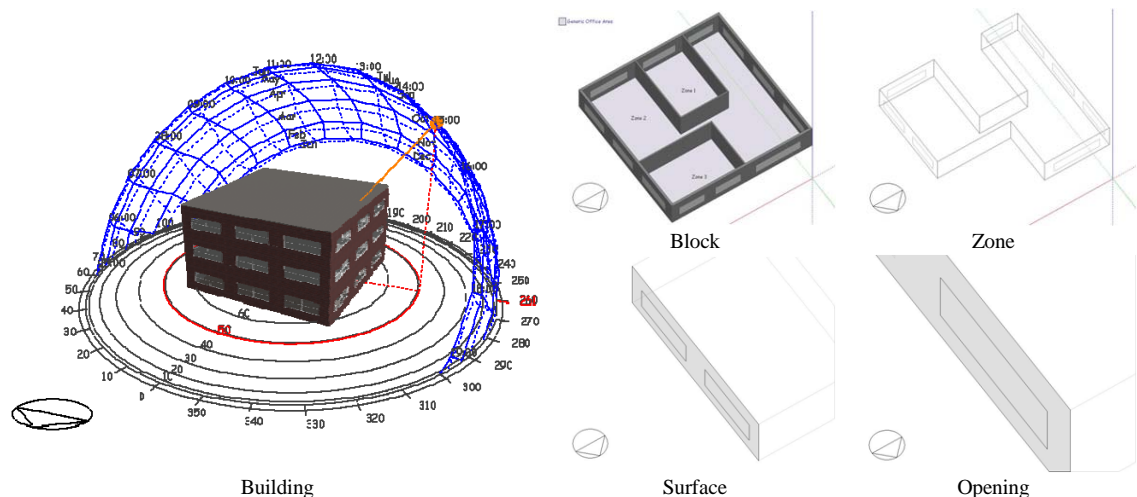


Fig. 2. Analysis the target building modeling.

무공간으로 목표조도 400 lux, 조명부하 5 W/m<sup>2</sup>·100 lux, 재실인원 0.11 people/m<sup>2</sup>, 인체발열 123 W/person, 환기량 10 l/s·person, 급탕 0.2 l/m<sup>2</sup>·day, 건물운용 24시간 중 근무시간 8:00~18:00로 설정하였다.

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1. 옥상녹화 유형별 최상층 에너지성능평가

##### 3.1.1. 냉·난방피크부하 저감효과

건물의 부하는 시시각각 변화하지만, 하루 중에서 이것이 최대가 되는 시각에 대해서만 열량을 계산하여 이를 공기조화의 각종 설비에 사용하는 경우가 있다. 이와 같이 최대부하시간에 대하여 시행한 부하계산을 최대부하계산법이라고 한다(Park, 2002). 또한 기간부하계산이란 1년간 어떤 일정 기간에 걸쳐 모든 시각의 부하를 계산하는 방법으로, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용해야 보다 정확한 연간 에너지 소비량을 계산할 수 있다. 또한 피크 부하는 공장이나 가정에서의 전력수요는 하루 중에서도 시간대에 따라 현저하게 변화하며 그 최대의 전력 수요량의 값을 말한다(Kwon, 2014).

본 연구에서 제시한 건물의 최상층의 유형별 냉방피크부하는 type A 48,180 W, type B 47,480 W, type C 47,520 W, type D 47,550 W, type E 47,570 W, type F 47,460 W으로 분석되어 옥상녹화를 적용한 유형(type B~F)이 적용하지 않은 유형(type A)보다 610~720 W 정도 절감되는 것으로 분석되었으며, 저감율은 type F가 1.49%로 가장 양호하였고 이외 type B(1.45%), type C(1.37%), type D(1.30%), type E(1.26%) 등의 순이었다. 난방피크부하의 경우 type A 40,690 W, type

B 39,820 W, type C 40,090 W, type D 40,150 W, type E 40,120 W, type F 40,000 W로 분석되어 옥상녹화를 미적용한 type A 대비 옥상녹화를 적용한 type B~F는 약 540~870 W의 저감량을 보였으며, 저감율은 type B가 2.13%로 가장 양호하였다.

Kwon(2014)의 벽면녹화 유·무에 따른 에너지절감 성능평가 분석에서 냉방피크부하의 저감율은 0.88~1.01%, 난방피크부하의 절감율은 2.88~3.95%로 보고하였으며, 녹화적용에 따른 피크부하 저감효과는 냉방부하보다 난방부하 저감효과에 우수한 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 피크부하 저감효과는 냉방부하 저감효과보다 난방부하 저감효과가 더 우수한 것으로 분석되어 기존 연구와 유사한 결과를 보였다. 또한 냉난방피크부하 결과 냉방피크부하는 type F에서 최대 저감율을 보였으나, 난방피크부하는 type B에서 최대 절감율을 보였다. 냉·난방피크부하의 최대 절감율을 보이는 유형이 동일하지 않은 것은 type B에서 단열성이 높아 내부의 열을 외부로 방출하지 못해 냉방부하량이 높게 분석된 결과로 사료되었다.

##### 3.1.2. 연간 냉·난방부하 저감효과

여름철 냉방부하의 경우 type A 4,685.14 kW, type B 4,636.96 kW, type C 4,619.65 kW, type D 4,616.90 kW, type E 4,619.21 kW, type F 4,622.86 kW로 분석되었다. 이는 옥상녹화 미적용 유형인 type A 대비 연간 냉방기간 동안의 평균 부하 저감율은 1.03~1.46% 수준이었다. 겨울철 난방부하의 경우에는 type A 1,619.36 kW, type B 1,462.02 kW, type C 1,502.53 kW, type D 1,511.57 kW, type E 1,508.31 kW, type F 1,486.97

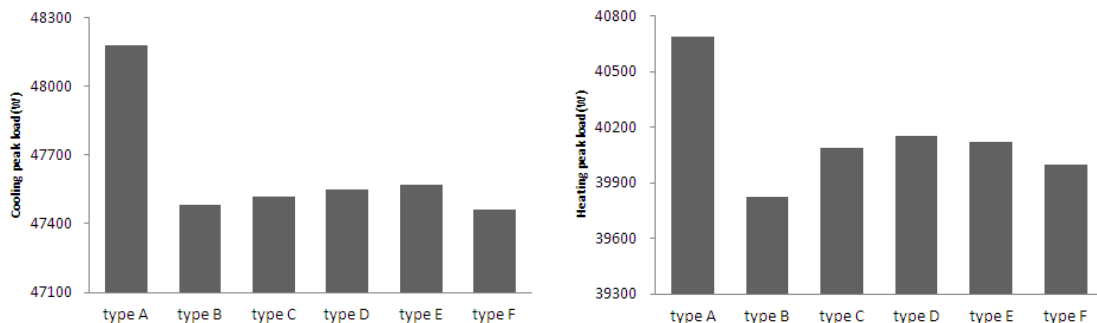


Fig. 4. Top floor heating and cooling peak load.

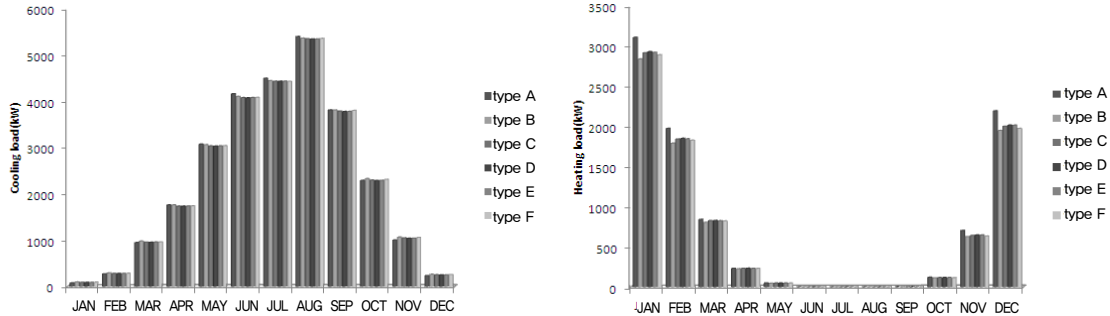


Fig. 5. Top floor heating and cooling annual peak load.

kW로 분석되어 옥상녹화 미적용 유형인 type A 대비 연간 난방기간 동안의 평균 부하 저감율은 type B가 9.72%로 가장 양호하였으며 type F(8.18%), type C(7.21%), type E(6.86%), type D(6.66%) 등의 순이었다. 향후 에너지 절감을 고려한 옥상녹화시스템 도입시 단열배수판을 적용하거나, 일반토양의 토심을 300 mm 이상으로 조성해야 할 것이다.

3.2. 옥상녹화 유형별 총 건물 에너지성능평가

3.2.1. 냉·난방피크부하 저감효과

옥상녹화 유형별 건물 전체 에너지성능평가 중 냉·난방피크부하의 저감효과를 분석하였다. 총 건물 냉방피크부하의 경우 type A는 141,210 W, type B 139,430 W, type C 139,500 W, type D 139,550 W, type E 139,570 W, type F 139,410 W로 산정되었다. 옥상녹화 적용 유형이 적용하지 않은 유형보다 약 1,640~1,800 W의 저감량을 보였으며, 옥상녹화유형별 저감율은 type E(1.16%), type D(1.18%), type C(1.21%), type B(1.26%), type

F(1.27%) 순이었다.

난방피크부하의 경우 미적용 유형인 type A는 118,080 W이었으며, 옥상녹화를 적용한 type B는 116,940 W, type C는 117,300 W, type D는 117,370 W, type E는 117,330 W, type F는 117,170 W이었다. 미적용 대비 옥상녹화를 적용한 유형의 난방피크부하 저감율은 단열배수판을 적용한 type B(0.97%)가 가장 양호하였고, 이외 type F(0.77%), type D(0.60%), type E(0.64%), type C(0.66%)의 순으로 감소하는 것으로 해석되었다. 최상층에 비해 냉·난방피크부하 저감율이 낮게 분석된 것은 최상층부의 열적불균형에 의한 것으로(An, 2003) 사료되며, 건물의 최상층일수록 인공배열에 의한 영향이 큰 것으로 판단되었다(Kim과 Yoon, 2010).

3.2.2. 연간 냉·난방부하 및 에너지사용량 절감효과  
연간냉방부하량 계산결과, 옥상녹화 미적용인 type A는 92,409 kWh, type B 92,138 kWh, type C 91,847 kWh, type D 91,791 kWh, type E 91,825 kWh, type F

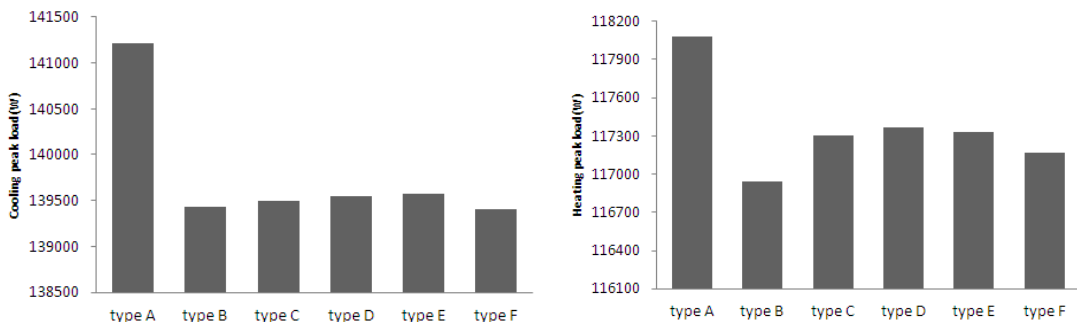


Fig. 6. Cooling and heating peak load.

**Table 3.** Annual heating and cooling loads and energy use

Division	AC (kWh)	R(%)	AH (kWh)	R(%)	HCA (kWh/m <sup>2</sup> )	R(%)	AHC (kWh)	R(%)	ATE (kWh)	R(%)
type A	92409.80	-	47300.75	-	123.56	-	145086.80	-	264205.68	-
type B	92138.84	0.29	45798.48	3.18	121.99	1.27	143313.57	1.22	262432.45	0.67
type C	91847.35	0.61	46279.75	2.16	122.16	1.13	143503.35	1.09	262622.23	0.60
type D	91791.23	0.67	46373.87	1.96	122.19	1.11	143541.34	1.07	262660.23	0.58
type E	91825.47	0.63	46328.01	2.06	122.18	1.11	143529.72	1.07	262648.60	0.59
type F	91933.71	0.52	46111.84	2.51	122.09	1.19	143421.79	1.15	262540.68	0.63

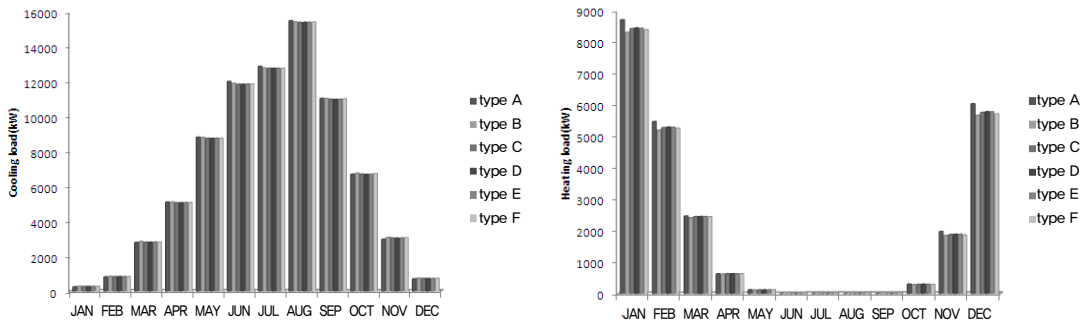
AC = Annual cooling load, AH = Annual heating load, HCA = Heating and cooling load per floor area, AHC = Annual heating and cooling energy use, ATE = Annual total energy use en, R = Reduction

91,933 kWh로 분석되었다. 옥상녹화 미적용 대비 적용하였을 경우 약 270~618 kWh의 절감량을 보였으며, 절감율은 0.29~0.67%로 예측되었다. 연간난방부하의 경우 type A 47,300 kWh, type B 45,798 kWh, type C 46,279 kWh, type D 46,373 kWh, type E 46,328 kWh, type F 46,111 kWh로 산정되었다. 즉 옥상녹화 미적용 type A 대비 난방기간 동안 절감량은 약 926~1502 kWh이며, 절감율은 1.96~3.18%를 보였다. 바닥면적당 냉·난방부하량의 경우 옥상녹화 미적용 type A 대비 저감량 1.37~1.57 kWh/m<sup>2</sup>, 저감율 1.11~1.27%이었다.

연간 냉·난방에너지사용량의 경우 type A는 145,086 kWh, type B 143,313 kWh, type C 143,503 kWh, type D 143,541 kWh, type E 143,529 kWh, type F 143,421 kWh로 분석되었다. 옥상녹화 미적용 type A 대비 1.07~1.22%의 절감율을 보이며, type B에서 가장 양호한 절감율을 보였다.

연간총에너지사용량은 냉·난방에 사용된 에너지와 급탕, 조명의 에너지원인 가스와 전기 등 모든 에너지의 사용량을 산정한 결과이다. 옥상녹화 미적용인 type A에서는 264,205 kWh, type B 262,432 kWh, type C 262,622 kWh, type D 262,660 kWh, type E 262,648 kWh, type F 262,540 kWh로 예측되었다. 옥상녹화 미적용인 type A 대비 에너지사용량 절감율을 살펴보면, type B가 0.67%로 가장 높은 절감율을 보였고, type F 0.63%, type C 0.60%, type E 0.59%, type D 0.58%의 순이었다.

실제 옥상녹화가 건물에너지 전체부하에 미치는 에너지 절감량은 기존 연구결과에서, 연간 냉·난방부하 저감량 2~3%(Kim과 Jang, 2007)로 보고하고 있으며, 본 연구 결과에서도 냉·난방시기에 따라 우수한 효과를 보이는 유형의 차이는 있으나, 종합적인 관점에서 평가하였을 경우 고단열 배수판을 적용한 type B와 마사토 300 mm가 적용된 type F에서 우수한 성능을 보였으며, 향후



**Fig. 7.** Annual heating and cooling loads.



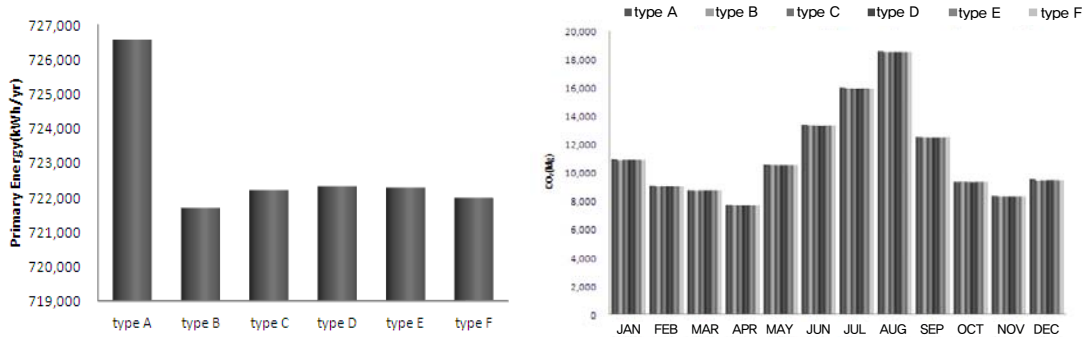


Fig. 8. Green roof type of primary energy use and annual carbon dioxide emissions.

건물에너지 단열성 및 생태적 증진을 위해 type B, F 유형의 요소를 사용하는 것이 타당할 것이다.

### 3.3. 1차에너지 사용량 및 연간 이산화탄소 배출량

1차에너지 사용량은 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 1차에너지 사용량의 산정을 위해 환산계수가 사용되며, 국가차원에서 결정되는 계수로 에너지원의 추출로부터 에너지가 사용되는 장소까지 처리과정, 저장, 발전, 변압, 전송 되는 모든 부분을 고려하여 산정한다. 1차에너지 소요량 산출시 2차 에너지소요량에 전기는 2.75, 가스는 1.1, 지역난방은 0.614, 지역냉방은 0.937의 환산계수를 곱하여 계산한다(Lee, 2014). 옥상녹화 미적용인 type A는 726,565.62 kWh/yr, type B 721,689.24 kWh/yr, type C 722,211.13 kWh/yr, type D 722,315.63 kWh/yr, type E 722,283.65 kWh/yr, type F 721,986.87 kWh/yr으로 분석되었다. 옥상녹화 유무에 따른 절감량은 4,249~4,876 kWh/yr이며, 절감율은 0.58~0.67%로 예측되었다.

최근 범세계적으로 온실가스 배출량 산정 및 절감을 위한 국제 가이드라인이 작성되어 이를 준수하도록 하는 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 한

다. 이중 기후변화에 가장 큰 영향을 미치는 것은 이산화탄소이므로(Sin, 2014), 본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 옥상녹화유형에 따른 연간 이산화탄소 배출량을 산정하였다. 연간 이산화탄소 배출량의 경우(Fig. 8.), 옥상녹화 미적용인 type A는 134,946.49 kg/y, type B 134,482.41 kg/y, type C 134,475.93 kg/y, type D 134,475.02 kg/y, type E 134,478.29 kg/y, type F 134,471.90 kg/y로 분석되어 옥상녹화시스템을 적용한 유형은 미적용 대비 평균 469.78 kg/y이 적게 배출되는 것으로 산정되었다. 아울러 냉방시기인 8월에 가장 높은 이산화탄소 배출량을 보여 냉방에너지 절감을 위한 다양한 노력이 필요할 것으로 사료되었다.

본 연구는 식재식물에 의한 이산화탄소 흡수율을 고려하지 않고 에너지사용량을 통한 이산화탄소 배출량을 산정한 연구로서 향후 옥상녹화 식재 식물의 이산화탄소 흡수율이 계산되는 시뮬레이션값이 적용된다면 실제 이산화탄소 절감량이 다소 향상될 것이나, 그 영향은 미미할 것으로 판단되었다.

## 4. 결론

본 연구는 옥상녹화 조성유형이 건물에너지 절감에 미치는 영향을 분석하여 최적의 옥상녹화시스템 개발 연구의 기초자료 제공을 목적으로 하였다. 옥상녹화 조성유형은 총 6개 유형으로 설정하였으며 도심 오피스 건물을 대상으로 EnergyPlus 프로그램을 활용하여 분석하였다.

분석결과, 최상층의 피크부하 저감효과는 미적용대비



냉방 1.26~1.49%, 난방 1.32~2.13% 정도 절감되는 것으로 분석되었으며, 냉방시에는 type F, 난방시에는 type B가 옥상녹화 유형중 가장 높은 저감율을 보였다. 연간 냉방부하하는 여름철 냉방기간 동안 옥상녹화 미적용 대비 약 1% 이상의 저감효과를 보였다. 연간난방부하는 미적용 대비 6.66~9.72%의 저감을 보였으며, 단열배수관이 적용된 type B에서 가장 높은 에너지절감율을 보였다. 총 건물에너지성능평가 중 냉·난방피크부하의 경우 냉방시기 저감율은 type F > type B > type C > type D > type E 순이다. 난방시기 저감율은 type B > type F > type D > type E > type C의 순으로 분석되었다. 즉 냉방시에는 마사토로 토심이 가장 깊은 유형인 type F가 저감율이 높았으며, 난방시에는 고단열배수관이 적용된 type B 유형이 양호한 것으로 분석되었다. 일간 냉·난방부하 저감효과에의 경우 냉방피크부하시간은 15시로 분석되었으며, 옥상녹화 미적용 대비 약 1.2% 이상의 저감율을 보였으며, 관리중량형인 type F에서 가장 높은 저감율을 보였다. 난방피크부하 저감율을 오피스건물의 특성상 6시에 난방기기가 가동되어 피크부하시간으로 분석되었다. 난방피크부하 저감율은 2.09~2.68%로 분석되었으며, type B에 가장 높은 저감율을 보였다. 연간냉방부하 저감량은 옥상녹화 미적용 type A 보다 약 270~618 kWh의 저감량을 보이며, 저감율은 0.26~0.67로 예측되었다. 또한 연간난방부하 저감량은 옥상녹화 미적용 유형인 type A 보다 약 926~1502 kWh 저감량을 나타냈으며, 최대 3.18%의 저감율이 예측되었다. 연간총에너지사용량은 옥상녹화 미적용인 type A 대비 type B > type F > type C > type E > type D 순으로 분석되었다.

1차 에너지사용량으로 환산한 결과, 옥상녹화 미적용 type A 대비 0.58~0.67의 저감율을 나타내는 것으로 분석되었다. 연간 이산화탄소배출량 분석결과, 옥상녹화 미적용 type A 보다 다른 유형에서 평균 469.78 kg의 저감량이 있을 것으로 예측되었다. 옥상녹화의 에너지저감 성능을 향상시키기 위해서 마사토의 토심을 300 mm 이상으로 하거나, type B 유형처럼 고단열 배수관을 고려해야 할 것이다. 본 연구는 시뮬레이션을 활용한 옥상녹화 유형이 오피스건물의 에너지절감에 미치는 영향을 분석한 연구로 향후 실제 옥상녹화시스템과 시뮬레이션의 비교-검증이 이루어져야 할 것이며 아울러 옥상녹화 식재 유형 및 디자인에 따른 에너지절감성능평가가 함께 고려

된 연구가 진행되어야 할 것이다.

### 참고문헌

An, T. K., 2003, Evaluation for thermal performance of apartment house top floor using roof planting system, The Society of Living Environment System, Korea, 10(3), 182-186.

Chung, H. K., Chung, K. S., Lee, Y. J., Sin, S. C., Kim, Y. I., 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.

Feng, H., Hewage, K., 2014, Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings, Energy Buildings, 75: 281-289.

Jang, H. K., Jo, H. J., Yeo, I. A., Yoon, S. H., 2008, Quantitative analysis on the insulating effect by the green roof planting system, Proceedings of the International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Conference, 873-876.

Kang, K. N., Lee, K. H., Choi, Y. J., 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, 275-280.

Kim, H. S., Kang, J. S., Pyon, 1998, H. S., A study on the thermal performance of lawn and soil covered roof system, Proceedings of the International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Conference, 702-707.

Kim, H. S., Kim, J. S., Im, O. Y., 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, S. B., Jang, J. K., 2007, An analysis of environmental and economic benefits of green roof in Jung-Gu, Daegu, 16(5), 603-610.

Kim, K. J., Yoon, S. H., 2010, A study on the change in climate and eat load with planting according to different building height, Proceedings of the Architectural Institute of Korea Conferences, 30(1), 503-504.

Kim, H. K., An, K. H., Choi, Y. S., 2011, LCC analysis for optimized application of renewable energy of

- eco-friendly school, Journal of the Architectural Institute of Korea, 27(11), 83-90.
- Kim, J. H., Yoon, Y. H., 2011, Economic analysis and energy reduction by the types of the green roof, The Seoul City Institute, 12, 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.
- Koo, B. K., Song, S. Y., Seok, H. T., 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.
- Kumar, R., Kaushik, S. C., 2005, Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings, Build Environ., 40, 1505-1511.
- Kwon, K. U., 2014, Performance analysis of the plant foundation for implementation of low-energy green wall, Master's Thesis, Konkuk University.
- Lee, S. Y., Kang, J. S., Kim, K. S., 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, H., Kim, J. S., O, M. S., Kim, H. S., 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, Y. J., 2012, A study on the selection of heat source systems through performance evaluation for office buildings, Master's Thesis, Chung Ang University.
- 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.
- No, S. T., Jeong, J. W., 2011, A Study on comparison of heating load by energyPlus and web-based energy performance assessment tool in an apartment housing, Journal of the Architectural Institute of Korea, 27(1), 245-252.
- Pakr, S. H., 2002, Building energy performance estimation on the internet environment, Master's Thesis, Yon Sei University.
- Park, Y. D., Kang, E. C., Lee, E. J., 2007, Energy performance simulation study of building energy reducing dynamic insulation, Journal of the Architectural Institute of Korea, 1, 921-926.
- Park, J. H., Kim, K. S., 2009, A study on the optimization of glazing and shading devices for energy savings in perimeter zones of a small office space, Journal of the Architectural Institute of Korea, 25(8), 321-328.
- Sailor, D. J., 2008, A green roof model for building energy simulation programs, Energy Build, 40, 1466-1478.
- Sin, J. H., 2014, A study on CO<sub>2</sub> emission calculation and reduction evaluation for building operation, Master's Thesis, Sung Kyun Kwan University.
- Wong, N. H., Cheong, D. K. W., Yan, H., Soh, J., Ong, C. L., Sia, A., 2003, The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore, Energy and Buildings, 35, 353-364.
- Yoo, D. J., 2008, A study on the cooling load decreasing effects of extensive green roof system, Master's Thesis, Chung Ang University.
- Yoon, J. H., Hong, W. H., Hwang, W. J., Choi, W. K., 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., Jeon, J. U., Kim, K. S., 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, 71-78.
- Yoon, Y. S., Choi, W. K., Sim, M. H., 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.