

기후변화 대응 저에너지 건축물 조성을 위한 건축물 기화냉각시스템 에너지성능평가 연구

권기욱

건국대학교 글로컬산학협력단 교수

A Study on the Energy Performance Evaluation of Building Evaporative Cooling System for Building Construction in Response to Climate Change

Ki-Uk Kwon

Professor, Glocal Industry-Academic Cooperation Foundation, Konkuk University

요약 최근 기후변화로 인한 외부 열환경이 악화되고 있으며, 이로인한 건축물에너지사용량이 상승하고 있다. 기후변화 대응형 건축물 저에너지 기술 성능평가를 위하여 Energy Plus를 활용하였다. 실험군 유형은 기본건축물(Control)과 기화냉각시스템(EMS)이며, 유형별 분석결과를 비교하였다. 에너지성능평가결과 냉방피크부하는 Control 대비 EMS에서 약 9% 이상 저감률을 보였다. 단위면적당 연간 냉방부하는 Control 대비 EMS에서 약 17% 이상 저감률을 나타내었다. 단위면적당 연간 에너지사용량은 Control 대비 EMS에서 약 10% 이상 저감률을 보였다. 따라서 건축물 에너지저감기술로 기화냉각시스템의 효과는 양호한 것으로 판단되었으며, 향후 기화냉각시스템의 분사량 및 이격거리에 따른 건축물에너지성능평가 연구가 진행되어야 할 것이다.

주제어 : 기화냉각기술, 에너지플러스, 에너지성능평가, 기후변화, 열 환경

Abstract The recent climate change is exacerbating the external thermal environment and increasing the amount of energy used in building. Energy Plus was used to evaluate low energy technology performance of buildings responding to climate change. The test types of basic building(control) and evaporative mist system + basic building(EMS), and the analysis results of each type are compared. Energy performance evaluation result, Cooling peak load were EMS reduction compared to control is about 9%. Annual cooling load per unit area were EMS reduction compared to control is about 17%. Annual energy use per unit area were EMS reduction compared to control is about 10%. Therefore, the effect of the evaporative cooling system is considered to be good through energy reduction technology of building, according to the amount and distance of the evaporative mist system in the future research on building energy performance evaluation should be carried out.

Key Words : Evaporative cooling Technology, Energy Plus, Energy performance evaluation, Climate change, Thermal environment

*This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(NRF-2017R1D1A1B03033052)

*Corresponding Author : Ki-Uk Kwon(kko1019@kku.ac.kr)

Received November 12, 2018

Revised December 10, 2018

Accepted January 20, 2019

Published January 28, 2019

1. 서론

최근 기후가 변화함에 따라 온난해진 기후는 폭염, 혹한, 호우, 폭설 등과 같은 극한 기후재해를 빈번하게 발생시켜 사회경제체계와 자연환경에 커다란 영향을 미치고 있다. 국내에서는 대도시를 중심으로 폭염일 수의 증가로 인하여 온도상승에 따른 건축물에너지 사용량을 가중시킨다[1].

또한, 기후변화는 외부 열 환경을 악화시켜 도시민의 건강을 위협하고 냉방부하를 늘여 도심지의 환경을 악화시킬 뿐만 아니라 과도한 에너지 사용으로 인한 블랙아웃과 같은 인재로 나타난다[2].

이러한 도시환경 문제 중 도시 열섬현상의 원인으로는 대지에서 아스팔트로의 토지 피복의 변화와 콘크리트 등으로 이루어진 인공구조물의 벽면은 낮 동안 열을 축적하고 밤 동안 축적된 열에너지를 다시 대기 중으로 방출하여 도시 기온이 상승한다[3].

우리나라의 경우 에너지의 97% 이상을 수입에 의존하고 있고 우리나라뿐만 아니라 전 세계는 에너지자원 고갈과 환경오염 문제로 인해 많은 어려움을 겪고 있으며 세계 각국에서는 그 중요성을 인식하여 에너지 절약을 위한 친환경적인 해결방안을 다양한 각도로 모색하고 있다[4]. 최근 정부에서는 온실가스와 환경오염을 줄이고 녹색기술과 청정에너지개발을 위한 저탄소 녹색성장을 선포하여 친환경 요소의 중요성을 더욱 각인시켰다. 이러한 시대적 배경으로 볼 때 에너지 소비 저감을 위한 노력은 필요한 것이며, 특히 총에너지 사용량 중 약 30%의 높은 에너지 소비를 차지하는 건축물에서의 저감은 먼저 해결해야 할 과제이다[5].

건물에너지 저감을 위해 건축 분야에서는 고단열 창호 시스템[6,7], 고성능 단열재료[8,9], 커튼월 시스템[10,11], 이중 외피 시스템[12-14], 첨단 ICT 시스템[15] 등 다양한 연구가 이루어지고 있으나, 건축물 외부의 기상조절을 통한 연구는 부족한 실정이다. 이에, 미세 물 입자를 통한 기화냉각효과로 외부 열 환경 조절이 가능한 기화냉각시스템의 도입이 필요하다.

기화냉각시스템에 관한 연구는 최근 폭염으로 인한 호수, 분수 등 수공간의 확충과 분무수의 잡열을 활용 및 효과를 검증하는 연구가 시도되고 있다[16]. 또한, 물 입자 크기는 직경 50 μm 이하의 미립자를 분무하는 가습냉각 방식을 통하여 기화냉각효과를 얻을 수 있다. 미세 물 입자는 외부의 열 유속을 감소시키며, 기화냉

각시스템을 도입한 벽면에서 더 낮은 온도를 보였으며, 물 입자가 작을수록 그 효과가 증가한다[17]. 기화냉각 시스템을 외부공간에 설치 시 외기 온도가 약 2~5°C 저감 되어 외부 기온저감효과가 있음을 제시하였다 [18]. 따라서, 기화냉각시스템의 외부 기상조절 효과에 관한 연구는 진행되고 있으나, 건축물에 적용 가능한 기화냉각시스템 개발 및 검증은 부족한 실정이다.

기화냉각시스템 에너지성능평가에 관한 연구는 지붕 살수법을 통한 에너지성능평가를 실시하였으며, 지붕 살수를 통한 외피취득 열량의 비율과 건물 전체에 대한 부하감소 효과에 관한 연구가 시도되었다[19]. 또한, 청계천의 주변 지역에 미치는 냉각 효과를 실측 및 시뮬레이션하여 주변 건축물의 냉방부하 저감효과를 검증한 연구가 있었다[20]. 그러나, 건축물에 적용 가능한 기화냉각시스템을 통한 건축물 에너지성능평가 연구는 미비한 실정이었다.

저에너지건축물 계획을 위해서는 다양한 에너지저감 기술이 건물에너지에 미치는 수준을 시뮬레이션 프로그램을 통하여 비교·검토하여 최적 방안을 수립한다. 특히 건축물의 재료나 설비 등은 주변환경과 기상조건을 변화시키며, 이용자의 쾌적도에 영향을 주어 에너지 사용량의 변화를 가져온다. 이에 대한 정확한 에너지사용량을 판단하기 위하여 정량적이고 동적인 에너지 성능에 대한 분석이 필요하다[21]. 이에, 본 연구에서는 다양한 연구에서 검증된 Energy Plus를 활용하고자 한다.

Energy Plus의 검증을 위한 연구는 시뮬레이션 결과와 실제 건축물의 에너지 사용에 대한 비교 연구[22-24]를 통하여 실제 건물에너지사용량과 시뮬레이션 결과값이 유사하다고 보고하였으며, 시뮬레이션 프로그램 간의 비교[25] 등을 통하여 프로그램 간의 유사한 패턴을 보여, 기간 부하의 해석결과를 신뢰할 수 있음을 제시하였다.

이에 본 연구는 기후변화 대응형 에너지저감기술 적용 건축물 에너지성능평가를 하였다. 건축물에너지저감 기술은 기화냉각시스템을 적용하였으며, 에너지성능평가프로그램은 신뢰성이 검증된 Energy Plus를 활용하였다. 에너지저감기술 적용 건축물의 에너지성능평가를 통하여 향후 기후변화 대응형 저에너지건축물 조성 방안의 기초자료로 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 기화냉각시스템 개요

건축물 에너지저감기술은 기화냉각시스템을 적용하였으며, 기화냉각시스템의 적용 유·무에 따라서 건축물 에너지저감 성능평가를 실시하였다. 분석유형은 Fig. 1 과 같으며, Control은 기화냉각시스템 미적용 건축물이며, EMS(Evaporative Mist System)는 건축물에 기화냉각시스템 적용한 유형이다. EMS의 분사 노즐은 분당 평균 $0.38\text{L}/\text{min}$ 을 분사하며, 선행연구[18] 결과를 바탕으로 건축물 적용 기화냉각시스템을 통한 외부공간 기온 저감량의 실증데이터를 적용하였으며, 유형별 물성은 Table 1과 같이 제시하였다.

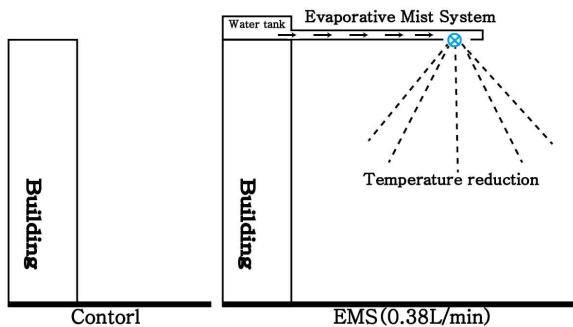


Fig. 1. Experimental type according to the applied evaporative mist system

Table 1. Simulation applied to material properties

Case	Division	Thickness (mm)	Thermal conductivity ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)	U-value ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)	Injection amount (L/min)	Air temperature reduction ($^{\circ}\text{C}$)
Control	Concrete	210	1.7	0.329	-	-
	Heat Insulating Material	110	0.04			
EMS ($0.38\text{L}/\text{min}$)	Concrete	210	1.7	0.228	0.38	2.17
	Heat Insulating Material	110	0.04			

2.2 건물에너지성능 시뮬레이션 개요 및 해석 프로세스

본 연구의 건물에너지성능 시뮬레이션 프로그램은 국제적으로 신뢰성을 인정받고 있는 Design Builder 4.2(Energy Plus 8.1)를 사용하였으며, 인터페이스는 Fig. 2와 같다. Design Builder는 Design Builder software에서 개발된 프로그램이며, OpenG1 solid modeler를 특징으로 하며, 설계자가 3D모델링을 손쉽게 할 수 있는 것이 큰 장점이다[26]. Energy Plus는 미국 DOE(Department Of Energy)에서 개발된 프로그램으로 에너지사용량 평가에 유용한 도구로서 국내·외에서 타당성이 검증된 시뮬레이션 프로그램이다[27].

Energy Plus는 기존 해석 도구인 DOE-2, BLAST, COMIS의 장점을 통하여 개발된 도구로서 CTF(Conduction Transfer Function)과 CFA(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[28]. Energy Plus는 적정온도와 쾌적도 예측에 대한 통합된 시뮬레이션을 제공하며, 시간 단계를 사용자가 지정하여 계산하여 동일한 시간에 건물시스템들에 대한 부하계산이 가능하다. 또한, 1분 단위의 변칙적 시간 단계, 냉·난방시스템 계산, 전기적인 시스템에 대응할 수 있는 프로그램이다[18].

본 연구의 해석 프로세스는 3단계이며, 1단계로는 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 에너지 성능을 분석하기 위하여 기본건축물 유형인 Control과 기본건축물+기화냉각시스템 유형을 EMS로 설정하였다. 2단계는 시뮬레이션 설정 조건을 입력하는 과정으로 기간분석을 위한 기상데이터는 최근 30년간의 평균기상데이터를 사용하였으며, 한국태양에너지학회에서 제공하는 대한민국 표준기상데이터를 사용하였다. 또한, 건물 모델링은 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 비교분석을 위하여 오피스 용도로 5층 규모의 프로토타입 건물을 모델링 하였다. 3단계는 시뮬레이션 결과를 분석하는 과정으로 이루어졌다.

2.3 적용 건물모델링 및 설정 조건

본 연구에서는 기화냉각시스템 적용 유·무에 따른 건물에너지사용량을 정량적으로 분석하기 위한 건물모델링 및 설정 조건은 Table 2와 같다. 기화냉각시스템 적용 건물에너지 성능평가를 위한 프로토타입 건물은 오

피스 유형으로 장방형 형태이며, 5층 규모로 설정하였다. 또한, 건물면적 $400\text{m}^2(20\text{m} \times 20\text{m})$, 연면적 $2,000\text{m}^2$ 이며, 기류의 변화를 최소화하기 위하여 내부 공간은 구획하지 않았다. 층고는 3.5m , 창 면적 비 20% , 공조 방식 Fan-coil unit, 난방기(Heat Generation)와 냉방기(Chiller)의 성능 계수는 각각 $0.83, 1.67$ 로 설정하였다. 냉·난방 설정 온도는 냉방 24°C , 난방 22°C , 난방조명설계는 사무공간으로 목표 조도 400 lux , 조명부하 $5\text{W/m}^2 \cdot 100\text{lux}$, 재실 인원 0.11 people/m^2 , 인체발열 123 W/person , 환기량 $10\text{ l/s} \cdot \text{person}$, 급탕 $0.2\text{ l/m}^2 \cdot \text{day}$, 건물운용 24시간 중 근무시간 $8:00\sim18:00$ 로 설정하였다[29].

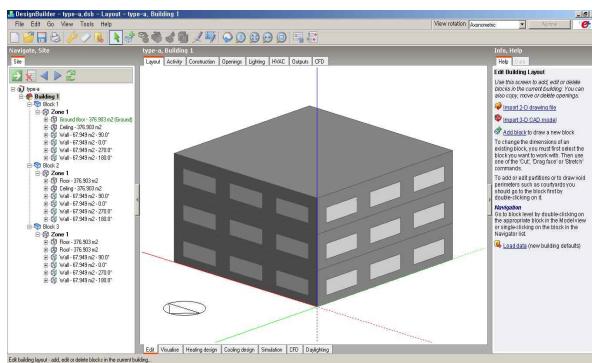


Fig. 2. Energy Plus simulation program interface.

Table 2. Set the target building conditions

Division	Contents
Number of Floors	5F
Building Area	$400\text{m}^2(20\text{m} \times 20\text{m})$
Total floor area	$2,000\text{m}^2$
Floor Height	3.5m
Window area ratio	20%
Window U-Value	$1.98\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$
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°C , Heating : 22°C
Illumination	400 lux
Illumination load	$5\text{W/m}^2 \cdot 100\text{lux}$
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	$10\text{ l/s} \cdot \text{person}$
Hot water supply	$0.2\text{ l/m}^2 \cdot \text{day}$

3. 결과 및 고찰

3.1 냉방파크부하

건물의 부하는 시시각각 변화하지만, 하루 중 최대가 되는 시각에 대해서만 열량을 계산하여 이를 공기조화의 각종 설계에 사용한다. 이처럼 최대 부하 시간에 대하여 시행한 부하계산을 최대 부하계산법이라고 한다. 또한, 파크부하는 공장이나 가정에서의 전력수요는 하루 중에서도 시간대에 따라 현저하게 변화하며 그 최대의 전력 수요량의 값을 말한다[18].

본 연구는 기후변화에 따른 여름철 고온 시기를 대상으로 기화냉각시스템 적용에 따른 건축물에너지성능평가를 실시하였으며, 겨울철 난방 시기는 제외하였다.

기화냉각시스템 적용에 따른 건축물 에너지성능평가 중 냉방파크부하는 Table 3과 같으며, Control은 244.65 kW , EMS(0.38L/min)는 220.51 kW 로 분석되었다. 기화냉각시스템을 미적용 대비 적용한 유형에서 24.14 kW 의 저감량을 보였으며, 저감률은 9.87% 로 분석되었다.

저에너지 친환경 건축기법 중 옥상녹화 및 벽면녹화의 냉방파크부하 저감효과는 3% 이하로 보고하고 있으나[29,30], 기화냉각시스템 적용 시 9% 이상의 저감률을 보여 기화냉각시스템이 냉방파크부하 저감효과가 양호한 것으로 판단되었다.

Table 3. Cooling peak load

Division	Cooling peak load(kW)	Reduction(%)
Control	244.65	Standard
EMS (0.38L/min)	220.51	9.87

3.2 단위면적당 연간 냉방부하

단위면적당 연간 냉방부하량은 냉방 시기를 설정하여 산출하였다. 냉방 시기는 여름철 6, 7, 8월의 평균 냉방부하량을 비교 분석하였으며 Fig. 3과 같다. 분석 결과, Control은 11.23 kW/m^2 이며, EMS는 9.27 kW/m^2 로 분석되었다. 미적용 대비 저감량은 1.96 kW/m^2 이며, 저감률은 17.56% 로 분석되었다.

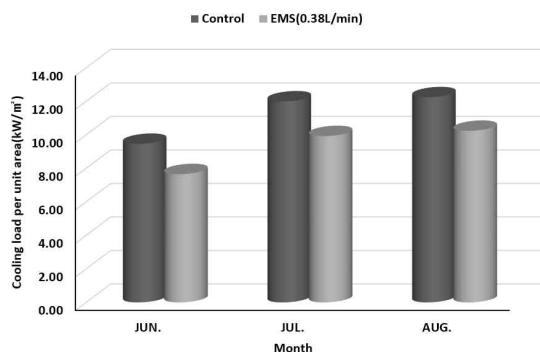


Fig. 3. Annual cooling loads per unit area

3.3 단위면적당 연간 총에너지사용량

연간 총에너지사용량은 냉·난방에 사용된 에너지와 급탕, 조명의 에너지원인 가스와 전기 등 모든 에너지의 사용량을 산정한 결과이다. 단위면적당 연간 에너지 사용량은 Table 4와 같으며, 기화냉각시스템을 미적용한 Control은 227.08 kWh/m²이었으며, EMS는 202.14 kWh/m²로 산정되었다. 미적용 대비 저감률은 29.94 kWh/m²이며, 저감률은 10.98%로 분석되었다.

이상을 종합할 때, 냉방파크부하 저감률은 9.87%이며, 연간 총에너지사용량은 10.98%이었다. 냉방파크부하 저감률보다 연간 총에너지사용량 저감률이 양호한 이유는 파크부하는 일 최대 부하량을 비교한 것이며, 총에너지사용량 저감률은 기간 부하 변화에 따라서 에너지사용량이 지속적으로 저감되어 양호한 결과가 나타난 것으로 판단되었다.

Table 4. Annual total energy use per unit area

Division	Annual total energy use per unit area(kWh/m ²)	Reduction(%)
Control	227.08	Standard
EMS (0.38L/min)	202.14	10.98

3.4 연간 이산화탄소배출량

최근 범세계적으로 온실가스 배출량 산정 및 저감을 위한 협약이 확산되고 있는 실정이다. 우리나라 또한 국가 인벤토리 산정 시 1996 IPCC 방침에 따라 작성되고 있으며, 2006 IPCC 방침에서 제시하는 대상 온실가스로는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 육불화황 6가지 종류를 대상으로 한다. 이

중 기후변화에 가장 큰 영향을 미치는 것은 이산화탄소 이므로[18], 본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 기화냉각시스템 적용에 따른 건축물의 연간 이산화탄소배출량을 산정하였다.

연간 이산화탄소배출량은 Fig. 4와 같으며, 기화냉각시스템을 미적용한 Control은 222,261kg, EMS는 213,407kg으로 분석되었다. 미적용대비 저감률은 8,854 kg으로 낮게 보였으며, 저감률은 3.98%로 분석되었다.

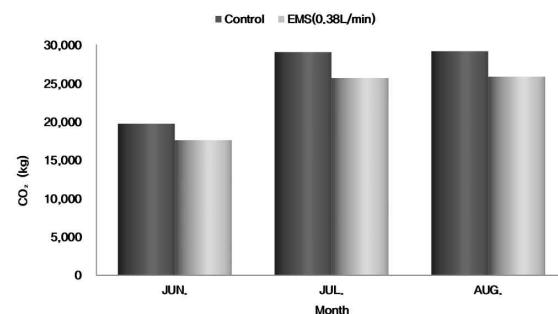


Fig. 4. Annual carbon dioxide emissions

3.5 1차 에너지사용량

1차 에너지사용량은 에너지원별(전기, LNG, LPG, 지역난방, 지역 냉방, 등)로 단위, 전환 효율, 비용 등이 다양하므로 건축물에서의 전체 에너지 소비량을 하나의 단위로 표준화하여 평가할 수 있는 기준이 필요하다. 이러한 1차 에너지사용량의 산정을 위해 환산계수를 사용되며, 국가 차원에서 결정되는 계수로 에너지원의 추출로부터 에너지가 사용되는 장소까지 처리 과정, 저장, 발전, 변압, 전송되는 모든 부분을 고려하여 산정한다. 1차 에너지소요량 산출 시 2차 에너지소요량에 전기는 2.75, 가스는 1.1, 지역난방은 0.614, 지역 냉방은 0.937의 환산계수를 곱하여 계산한다[18].

1차 에너지사용량의 경우 Table 5와 같으며, 건축물 기화냉각시스템을 미적용한 Control은 949,999 kWh/yr이며, EMS는 905,489 kWh/yr로 분석되었다. 미적용 대비 적용한 유형에서 저감률은 44,510 kWh/yr이며, 저감률은 4.7%로 분석되었다.

Table 5. Annual primary energy used

Division	Annual primary energy used(kWh/yr)	Reduction(%)
Control	949,999	Standard
EMS (0.38L/min)	905,489	4.7

4. 결론

본 연구는 최근 기후변화로 인한 외부 열 환경이 악화되고 있으며, 이로 인한 건축물에너지 사용량은 증가하고 있다. 이에, 건축물에너지저감기술 중 기화냉각시스템을 건축물에 적용 건축물에너지성능평가를 실시하였다. 에너지성능평가에 사용된 시뮬레이션 프로그램은 Energy Plus를 활용하였으며, 기화냉각시스템을 적용한 선행연구를 바탕으로 외부 기온저감 실증값을 적용하여 건축물 에너지성능평가를 실시하였다.

분석결과, 냉방피크부하의 경우 기화냉각시스템을 미적용 대비 적용한 유형에서 24.14 kW의 저감량을 보였으며, 저감률은 9.87%로 분석되었다. 단위면적당 연간 냉방부하 결과, 기화냉각시스템 미적용 대비 적용한 유형에서 저감량은 1.96 kW/m²이며, 저감율은 17.56%로 분석되었다. 단위면적당 연간 에너지사용량의 경우, 기화냉각시스템 미적용 대비 적용유형에서 저감량은 29.94 kWh/m²이며, 저감률은 10.98%로 분석되었다. 연간 이산화탄소배출량의 경우, 기화냉각시스템 미적용 대비 적용유형에서 저감량은 8,854kg이었으며, 저감률은 3.98%로 분석되었다. 1차 에너지사용량의 경우, 기화냉각시스템 미적용 대비 적용한 유형에서 저감량은 44,510kWh/yr이며, 저감률은 4.7%로 분석되었다.

본 연구에서는 기화냉각시스템의 적용을 여름철로 한정하여 분석하였으며, 겨울철이 고려되지 않은 점은 한계점으로 판단되었다. 또한, 기화냉각시스템의 경제성 평가를 통한 에너지성능평가가 향후에 이루어져야 할 것이다.

향후 기화냉각시스템의 분사량 및 시스템 이격거리에 따른 건축물 에너지성능평가에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한, 기후변화 대응 방안으로 기화냉각시스템 적용에 대한 검토가 필요한 것으로 판단되었다.

REFERENCES

- [1] H. Takebayashi & M. Moriyama. (2009). Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking. *Solar Energy*, 83(8), 1211–1223.
DOI : 10.1016/j.solener.2009.01.019
- [2] N. H. Wong. et al. (2010). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and environment*, 45(3), 663–672.
DOI : 10.1016/j.buildenv.2009.08.005
- [3] K. Y. Kim, S. H. Kim, H. D. Kim, S. J. Jo & 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, 20, 124–126.
- [4] H. T. Seok, J. H. Yang & 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.
- [5] J. W. Jung, D. W. Kim, H. T. Seok & 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.
- [6] H. S. Kim, J. S. Kim & 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.
- [7] K. C. Yoon, J. U. Jeon & 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.
- [8] Y. D. Park, E. C. Kang & E. J. Lee. (2007). Energy Performance Simulation Study of Building Energy Reducing Dynamic Insulation. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 1, 921–926.
- [9] J. K. Kim. (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.
- [10] H. Lee, J. S. Kim, M. S. O & 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.
- [11] Y. S. Yoon, W. K. Choi & 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.
DOI : 10.5659/JAIK_PD.2013.29.7.255
- [12] H. K. Chung, K. S. Chung, Y. J. Lee, S. C. Sin & 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.
- [13] K. N. Kang, K. H. Lee & 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*, 275-280.
- [14] S. Y. Lee, J. S. Kang & 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.
- [15] H. J. Lee, J. S. Han, Y. K. Jeong, I. W. Lee & S. H. Lee. (2012). A Technology of Context-aware based Building Management for Energy Efficiency. *Journal of Convergence Society for SMB*, 2(1), 69-75.
- [16] K. Harby, D. R. Gebaly, N. S. Koura & M. S. Hassan. (2016). Performance improvement of vapor compression cooling systems using evaporative condenser: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 347-360.
DOI : 10.1016/j.rser.2015.12.313
- [17] S. M. Kuehni, E. Bou-Zeid, C. Webb & N. Shokri. (2016). Roof cooling by direct evaporation from a porous roof layer. *Energy and Buildings*, 127(1), 521-528.
- [18] K. U. Kwon. (2017). *Evaluation of the thermal environmental condition for green building through empirical analysis on environmental performance*. Doctoral dissertation. Konkuk University, Chungju.
- [19] Y. S. Choi. (1999). *Study on the building cooling Load Reduction by using Evaporative Cooling*. Master's Thesis. Konkuk University, Seoul.
- [20] S. G. Han. (2006). *The Effect of the restored Choenggye stream on heat island intensity and building cooling load in the surrounding area*. Master's Thesis. University of Seoul. Seoul.
- [21] H. K. Kim, K. H. An & Y. S. Choi. (2011). LCC Analysis for Optimized Application of Renewable Energy of Eco-friendly School. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 27(11), 83-90.
- [22] D. K. Kim & 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*, 2010(3), 123-127.
- [23] W. J. Suh & 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*, 28(1), 273-283.
- [24] N. E. Lee, H. S. Han, B. L. Ahn, H. G. Jeong & 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.
- [25] J. D. Choi & 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*, 31(2), 371-372.
- [26] J. W. Sin. (2008). *A Study on the Variations of Heating Energy Consumption due to the Solar shading by the Adjacent Building*. Master's Thesis. Kyungwon University, Gyeonggi-do.
- [27] K. C. Yoon, J. U. Jeon & 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.
- [28] S. T. No & 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.
- [29] J. H. Kim, K. U. Kwon & Y. H. Yoon. (2015). Analysis of Building Energy Reduction Effect based on the Green Wall Planting Foundation Type Using a Simulation Program. *Korea Society of Environment and Ecology*, 29(6), 936-946.
- [30] J. H. Kim, K. U. Kwon, C. H. Joo & Y. H. Yoon. (2015). Comparative of Energy-Saving by Green Roof Type on Urban Office Building. *Journal of Environmental Science International*, 23(8), 1437-1446.
DOI : 10.5322/JESI.2014.23.8.1437

권 기 육(Kwon, Ki Uk)

[정회원]



- 2012년 2월 : 건국대학교 산림과학과 (농학사)
- 2014년 2월 : 건국대학교 산림과학 전공(농학석사)
- 2017년 2월 : 건국대학교 산림과학 전공(농학박사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 건국대학교 산학협력단 교수
- 관심분야 : 친환경기술, 에너지저장기술, 열환경
- E-Mail : kko1019@kku.ac.kr