

# 대학도서관의 에너지 절감에 관한 기초적 연구

- 세종시에 위치한 H 대학 건물을 중심으로 -

## A Basic Study on Energy Saving of University Library

- About 'H' University Building located in Sejong City -

노 지 웅\*  
Roh, Ji Woong

### Abstract

It is difficult to apply a design standard uniformly to university buildings because various education courses are conducted. However, a design guideline for saving energy is necessary in order to prepare for low-energy days.

A library in any university is one of the buildings that a lot of people use and most of the energy is spent. Therefore, the investigation on the energy savings of library facilities is very important and urgent.

This study finally presents the design guideline of those facilities for low-energy. In this paper, the trend of space layout, utilization schedule and performance of materials are investigated, and the impact on energy savings and effective energy saving strategies are analyzed and illustrated by energy simulation.

As a result of energy analysis from the case of 'H' university, it is confirmed that the utilization schedule effects mostly to energy consumption and the layout and orientation of the rooms in the library are the major parameters. Among the investigated saving strategies, green roofs are found as the most effective part for heating energy savings, and outdoor air cooling is known as the most effective method for cooling energy savings.

키워드 : 대학 도서관, 에너지 절감, 이용 스케줄, 에너지 시뮬레이션

Keywords : University library, Energy saving, Utilization schedule, Energy simulation

## 1. 서 론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

학교건물의 실내환경은 학생들의 학습능률에 커다란 영향을 미치는 중요한요소로 알려져 있다. 그러나, 냉방 수요에 따른 급증과 전기수급상의 문제로 인하여 썬통더위 속에서 부채질을 하며 공부하는 학교실태가 자주 보도되고 있다. 그동안 학교건물은 7차세의 교육과정 개편을 통하여 교실의 형태와 배치, 면적 등에 대한 디자인 방향을 제시했지만 저에너지로 쾌적한 실내환경을 조성하는 방안은 제시하지 못한 것으로 판단된다.<sup>1)</sup>

대학건물은 초중고 교실에 비하여 건물의 형태나 배치 등이 매우 다양하며 건축적 측면에서의 체계적인 검토가 부족한 실정이다. 초중고에 비하여 다양한 교육과정이 이루어지고 있기 때문에 일률적인 건축기준을 적용하기 어려운 측면도 있지만 향후의 저에너지 시대에 쾌적한 실내환경을 제공하기 위해서는 에너지 측면에서의 많은 연구와 검토가 요구된다.

대학건물은 일반적으로 냉난방부하가 가장 크게 발생하

는 1~2월과 7~8월에는 이용률이 떨어져 일반건물에 비하여 연간 에너지 사용량이 적다. 그러나, 도서관은 대학 건물 가운데 사무동과 더불어 연간 사용률이 높고 그만큼 에너지 사용량이 많기 때문에 에너지 절감을 위한 검토가 매우 중요하다. 도서관은 주로 열람실과 도서 보관실, 시청각실 등으로 구성되고 있지만 여타 다른 용도의 공간들도 포함하고 있다. 또한, 사용 스케줄도 최근에는 24시간 개방하는 열람실이 등장하는 등 매우 다양하며, 형상과 구조체의 물성치도 서로 다르기 때문에 저에너지형 연구를 진행하기 위해서는 건축적 특성과 이용현황 등을 면밀히 파악하는 것이 매우 중요할 것이다.

### 1.2. 연구방법 및 범위

본 연구는 저에너지형 도서관을 설계하기 위한 가이드 라인을 제공하는데 그 최종적인 목적을 두고 있다. 급변 연구에서는 대상건물의 에너지 성능에 영향을 미치는 공간구성과 이용 스케줄, 구조체 성능 등의 특성을 파악하고 에너지 시뮬레이션을 통하여 에너지 절감율에의 영향과 효과적인 절감방안을 분석하였다. 검토대상인 도서관은 GHP

\* Dept. of Architectural Engineering Hongik Univ. South Korea  
(jwroh@hongik.ac.kr)

1) 조성우, 최정민, 이경희, "학교교실의 실내 열환경과 에너지소비 예측에 관한 연구", 대한건축학회논문집 제23권 제2호, 2007

시스템을 이용하여 냉난방을 하고 있는데 이와같은 시스템적 특성에 따른 에너지 비용에 관해서는 이번 연구에서는 포함하고 있지 않으며, 다음 연구에서 면밀한 검토를 통하여 진행할 예정이다.

## 2. 시뮬레이션 개요

본 연구에서는 에너지 해석 프로그램인 VE(Virtual Environment)를 이용하여 에너지 절감을 위한 개선방안을 분석하였다. VE는 영국 IES(Integrated Environmental Solutions) 사가 개발한 통합 시뮬레이션 프로그램으로서, 모델을 묘사하기 위한 3D 제작도구인 'ModelIt', 일사 분석을 위한 'SunCast', 복사열 및 빛환경 시뮬레이션을 위한 'Radiance', 열 시뮬레이션을 'Apache-sim' 등이 있다.<sup>2)</sup>

### 2.1. 대상건물 개요

시뮬레이션 대상건물은 세종시에 위치한 지하 1층, 지상 5층 규모의 H 대학교 도서관 건물로서, 지하 1층~지상 3층에 걸쳐서 서고와 열람실, 시청각실이 위치하고, 지상 4, 5층은 강의실과 학생식당으로 구성되어 있다. 냉난방은 2009년부터 가스식인 GHP 시스템을 설치하여 운영하고 있다. 캠퍼스의 배치는 그림 1과 같고, 1층 평면도는 그림 2와 같다.



Fig. 1. H university campus

시뮬레이션에서는 용도와 사용시간 등의 차이를 고려하여 본래의 도서실과 강의실, 그리고 식당 및 기타 용도실로 존을 구분하여 모델링하였다. 도서실 존은 서고와 열람실, 시청각실로 구성되며 강의실 존은 강의실과 연구실로 구성하였다. 또한, 엘리베이터 코어나 창고, 복도 등의 비공공 공간은 기타 존으로 구분하였다. 표 1은 시뮬레이션에서 설정한 조닝을 나타내며, 각 존별 체적과 바닥면적, 외벽 및 창면적을 표 2에 나타냈다. 즉, 전체건물에서 도서실 존이 차지하는 비율은 바닥면적을 기준으로 60.2%이며, 바닥면적 대비 창 면적비는 식당이 26.4%로 가장 크

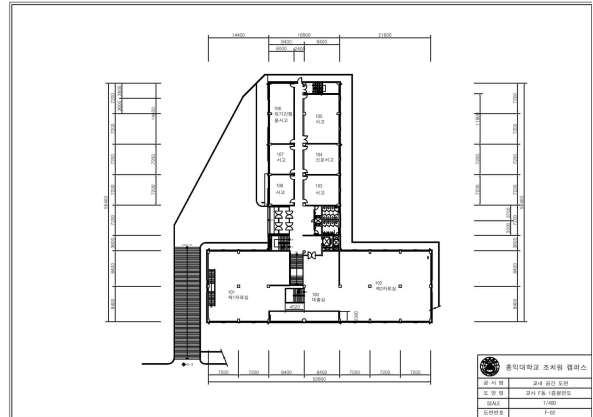


Fig. 2. Library 1 floor plan

Table 1. Model zoning

zone	floor	contents
library	B1~3F	stack room, reading room, audio-visual room
lecture room	4F, 5F	lecture room, research room
refectory	4F	refectory room for students
the rest	B1~5F	elevator core, warehouse etc.

Table 2. Space composition of zone

zone	library	lecture	refectory	the rest
volume(m <sup>3</sup> )	11,467.8	2,281.4	1,732.4	4,156.8
floor area(m <sup>2</sup> )	3,998.2	867.4	514.6	1,259.0
ext. wall area(m <sup>2</sup> )	2,125.1	526.6	263.4	912.1
window area(m <sup>2</sup> )	665.2	198.6	135.8	172.6
(ext. wall / floor area ratio(%))	(16.6)	(22.9)	(26.4)	(13.7)



Fig. 3. Simulation model image

며 기타 존이 13.7%로 가장 적게 나타났다. 도서실 존은 서고를 포함하고 있기 때문에 16.6%로서 강의실 존(22.6%)보다 낮은 값을 나타내고 있다.

대상건물에 대하여 도면분석과 실측을 통하여 상세한

2) Apache-sim에서 적용하고 있는 계산방법은 기본적으로 CIBSE 'simple model'에 의거하며 상세한 알고리즘은 CIBSE Guide를 참조받고 싶다.

건물정보를 파악한 후, VE(Virtual Environment) 프로그램의 3D 모델 묘사 기능 프로그램 'Model IT'를 이용하여 대상건물을 모델링하였다. 대상건물의 이미지는 그림 3과 같다.

### 2.2. 시뮬레이션 조건

대상건물을 구성하는 재료들의 물성치는 표 3과 같으며, 창은 표 4와 같이 24mm의 투명 복층유리로 구성되어 있다. 시뮬레이션에서 기상 데이터는 한국 태양에너지 학회에서 제공하는 표준 기상 데이터를 이용하였으며, 냉난방 온도는 냉방 26℃, 난방 18℃로 설정하였다. 내부 발열량은 관련 연구<sup>3)</sup>를 참조하여 적용하였으며, 운영 스케줄은 현장조사 결과를 토대로 하여 각 존의 평일과 주말 스케줄, 월간 스케줄을 조합하여 적용하였다. 즉, 도서관 존과 강의실 존, 식당은 공히 평일 8:30~18:00시 까지 냉난방을 가동하며 주말에는 가동을 중지하지만 3층의 열람실에 한해 주말에도 가동을 하는 다소 변칙적인 운영을 하고 있다. 월간 스케줄은 도서관 존이 방학에 관계없이 연중 가동하고 있는데 비해 강의실 존과 식당은 각 학기 종강 후 계절학기까지 가동하고 이후에는 가동을 중지하고 있다.(그림 5 참조)

Table 3. Property of materials

	material	thickness [mm]	conductivity [W/m·K]	specific heat [J/kg·K]
ext. wall	mortar	25	0.5	1000
	concrete	150	1.4	840
	insulation	10	0.035	1000
	plaster(dense)	9	0.5	1000
	mortar	30	1.2	1000
roof	concrete (dense)	120	1.4	840
	waterproof sheet	0.1	0.034	1400
	mortar	1.5	1.2	1000
	cast concrete	100	1.13	1000
floor	insulation	63	0.025	1400
	chip board	25	0.15	2093
	synthetic carpet	10	0.06	2500
	cast concrete	100	1.13	1000

Table 4. Property of glass

material	thickness [mm]	conductivity [W/m·K]	U-value [W/m <sup>2</sup> ·K]	g-value
clear float	6	1.06	2.87	0.71
cavity	12	0.001		
clear float	6	1.06		

## 3. 대상건물의 에너지 시뮬레이션 분석

### 3.1. 시뮬레이션 Cases

Table 5. Simulation condition

		library	lecture room	refectory	the rest
temperature setpoint (°C)		heating : 18 °C, cooling : 26 °C			-
internal heat gain (W/m <sup>2</sup> )	lighting	10	10	10	10
	machine	0	0.3	0.3	0.3
	human	1.8	1.5	1.7	1.5
operating schedule	week	ordinary : 8 : 30 am ~ 6 :00 pm on, weekend off ( but 3F library is 365 days on)			-
	month	365 days on	off during 1.15~2.28 and 7.15~8.31		

Table 6. Simulation cases

zone	U - value (W/m <sup>2</sup> · K)			window
	ext. wall	roof	window	
case 1 (standard)	0.92	3.92	2.87	closed
case 2 (ext. wall insulation)	<b>0.26</b>	3.92	2.87	closed
case 3 (roof afforestation)	0.92	<b>0.54</b>	2.87	closed
case 4 (low-e glass)	0.92	3.92	<b>2.1</b>	closed
case 5 (outdoor air cooling)	0.92	3.92	2.87	<b>open</b>

Table 7. Improvement of materials

	material	thickness [mm]	conductivity [W/m·K]	specific heat [J/kg·K]
ext. wall	mortar	25	0.5	1000
	concrete	150	1.4	840
	insulation	50	0.025	1600
	plaster(dense)	9	0.5	1000
	grass	50	0.09	2000
roof	soil	90	0.22	3300
	non-woven	3	0.07	1360
	drain	50	0.36	840
	soil	90	0.22	3300

Table 8. Improved property of glass

material	thickness [mm]	conductivity [W/m·K]	U-value [W/m <sup>2</sup> ·K]	g-value
pilkington K	6	1.06	2.1	0.64
cavity	12	0.001		
clear float	6	1.06		

본 연구에서는 기존의 벽체와 창의 물성치를 적용하고 창을 닫은 상태(침기에 의한 환기횟수 0.1회/hr)에서 현장조사 결과를 토대로 한 운영실태를 적용하여 기본 Case (Case1)를 검토하였다. 건물의 에너지 성능 강화 효과를 검토하기 위하여 외벽의 단열성능을 강화한 Case 2, 옥상 녹화를 적용한 Case 3, 기존의 투명 복층유리 대신 Low-e 복층유리를 적용한 Case 4을 검토하였다. 또한, 외기

3) 정재용, 김동우, 석호태, 양정훈, "에너지 해석을 통한 대학건물의 에너지 성능 개선방안에 관한 연구", 한국태양에너지학회논문집 Vol. 30, No.1, 2010

냉방의 효과를 파악하기 위해서 외기온도가 18℃~26℃의 온도범위에서 창을 개방상태로 한 Case 5를 검토하였다.

### 3.2. 시뮬레이션 결과

#### 1) Case 1(기본 Case)

대상건물의 각 층에 대한 일사획득량을 단위면적당 값으로 환산하여 그림 4에 나타냈다. 강의실 층이 연간 95.1 [kWh/m<sup>2</sup>]으로 가장 높은 값을 나타냈고 기타 층이 연간 32.5 [kWh/m<sup>2</sup>]으로 가장 낮게 나타났다. 도서실 층은 연간 50.5 [kWh/m<sup>2</sup>]으로 나타나 창의 면적과 실의 방위가 복합적으로 작용한 결과를 보이고 있다. 창면적비가 가장 큰 식당은 강의실 층보다 낮은 값을 나타냈는데 이는 실의 방위적 문제로 인한 것으로 판단된다.

월별로는 4개 층이 공통적으로 5월달에 최고치를, 1월과 12월에 최저치를 나타냈다. 월별 편차가 가장 큰 곳은 강의실 층이며 가장 작은 곳은 기타 층인 것으로 나타났다.

난방 에너지 소비량을 단위면적당으로 환산한 값을 그림 5에 나타냈다. 가장 높은 값을 나타낸 곳은 강의실 층으로 연간 54.3 [kWh/m<sup>2</sup>]이며 도서실 층은 25.6 [kWh/m<sup>2</sup>]으로 가장 낮은 값을 나타냈다. 이는 일사 획득량, 실의 용적 등이 복합적으로 작용한 결과로 사료된다. 즉, 난방기의 일사 획득량은 강의실 층이 도서실 층보다 2배 정도 큰 수치를 나타냈지만 결과적으로 창면적비에서 강의실 층보다 6.3% 적은 도서실 층의 난방 에너지 소비량이 적게 나타난 것이다. 향후, 도서관을 포함한 대학건물 설계에서 이와 같은 특성을 적절히 반영해야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

월별 특성에 있어서는 단위면적당 난방에너지 소비량이 가장 많은 도서실 층은 12월, 3월, 1월의 순서로 소비량이 높게 나타났고 난방이 가동되지 않는 2월에는 발생하지 않고 있음이 계산결과를 통해 나타나고 있다. 도서실 층은 12월, 1월, 2월, 3월의 순서로 단위면적당 난방에너지 소비량이 높게 나타났다.

냉방 에너지 소비량을 단위면적당으로 환산한 값을 그림 6에 나타냈다. 난방 에너지와는 달리 도서실 층이 다른 층에 비하여 단열코 높은 연간 값(36.8 [kWh/m<sup>2</sup>])을 나타냈으며 식당은 연간 11.0 [kWh/m<sup>2</sup>]로서 가장 낮은 값을 나타냈지만 강의실 층과 큰 차이를 나타내지는 않았다. 도서실 층이 다른 층에 비하여 단열 큰 값을 나타낸 것은 이용 스케줄의 차이가 가장 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 다른 층에서 냉방가동이 중지되는 7월 중순부터 8월까지도 냉방 에너지를 소비하며 3층 열람실은 주말에도 가동을 하기 때문이다. 다만, 이러한 이용 스케줄의 영향은 난방 에너지 소비량에는 큰 영향이 없었지만 냉방 에너지 소비에는 커다란 영향을 미친 것으로 나타났다.

월별 특성을 보면 도서실 층은 7월과 8월에 최대치를 나타내고 있으며 강의실과 식당 층은 6월과 9월에 각각 가장 큰 값을 나타내고 있다.

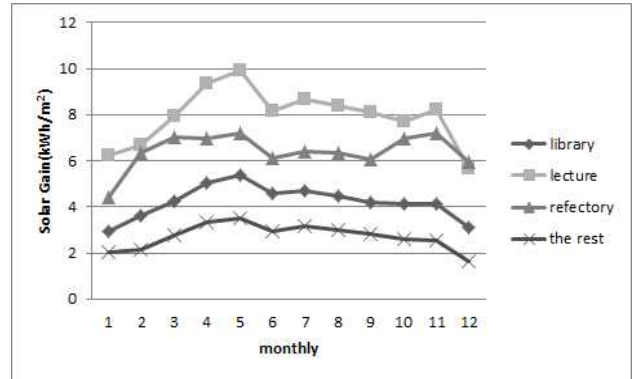


Fig. 4. Monthly solar gain

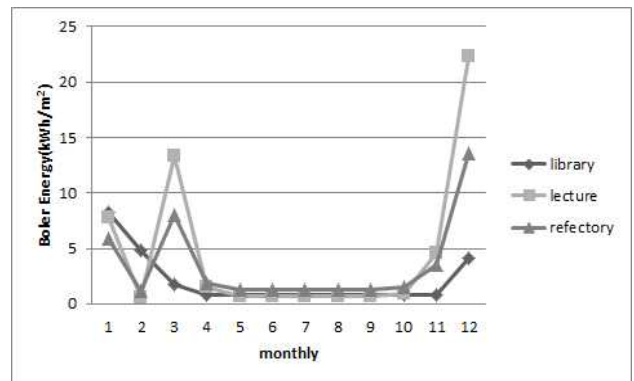


Fig. 5. Monthly heating energy

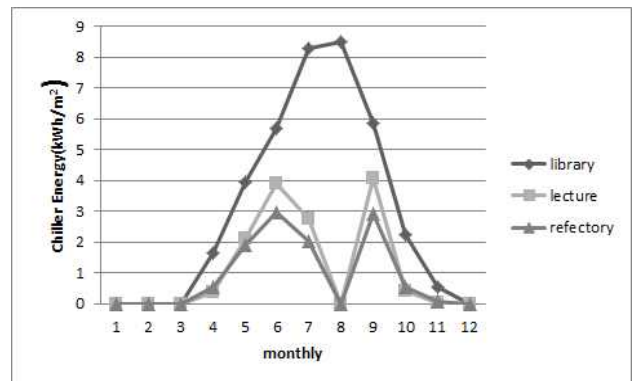


Fig. 6. Monthly cooling energy

이상의 기본 Case를 토대로 볼 때 냉방 에너지를 감소하는 방안이 전체 에너지 소비량에 미치는 영향도가 더 큰 것으로 사료된다.

#### 2) Case 2~5

4가지 에너지 절감방안을 적용하여 에너지 소비량을 산정하여 단위면적 당 값으로 환산한 결과를 표 6에 나타냈다.(괄호안은 절감율)

외벽의 단열을 보강한 Case 2의 경우, 난방 에너지 소비는 11.4~34.8% 범위에서 절감되었지만 냉방 에너지 소비는 약간(10% 이하의 범위) 증가하는 결과를 나타냈다. 도서실 층의 난방 에너지 감소가 다른 층에 비하여 현저하게 나타났는데 이는 다른 층에 비하여 창 면적비가 적

고 그만큼 외벽 면적 비율이 크기 때문에 사료된다.

옥상녹화를 적용한 Case 3의 경우, 난방 에너지 소비량은 강의실 존과 식당에서 현저한 감소(53.2~55.6%)를 나타냈으나 도서실 존에 대한 감소 효과는 상대적으로 미약(7.8%)하게 나타났다. 이는 대상건물이 증축하는 과정에서 4층과 5층에 연구실과 식당 등을 배치하게 되었고 도서실 존이 최상층 지붕에 직접적으로 면하는 부분이 거의 없기 때문에 판단된다. 그러나, 최상층 지붕에 면하는 실들을 포함한 존에서의 난방 에너지 절감효과가 매우 탁월하다는 사실은 본 연구결과를 통하여 확인되었다. 단, 난방 에너지 소비량은 증가하여 전체적인 에너지 감소율은 2.1~40.3%의 범위를 나타냈다.

투명 복층유리를 로이 복층유리로 교체한 Case 4의 경우, 난방 에너지 소비량은 6.6~15.2% 감소하였지만 냉방 에너지 소비량은 6.4~7.9% 증가하였다. 전체적인 절감율은 0.3~7.3%의 결과를 나타내 다른 절감방안에 비하여 상대적으로 그 효과가 미약한 것으로 나타났다.

18℃~26℃ 범위에서 외기냉방을 적용한 Case 5의 경우, 난방 에너지 소비량은 약간의 증가(1.5~2%)를 나타낸 반면 냉방 에너지 소비량은 12.4~19.5%의 감소를 나타내 전체 에너지 절감율은 10.9~17.5%에 달하는 것으로 나타났다. 이는 금번 연구에서 검토한 절감방안 중 냉방에너지 소비량 절감에 가장 효과적인 방안에 해당된다.

Table 6. Simulation results

zone	energy (kWh/m <sup>2</sup> )		saving factor (%)	
	heating	cooling		
case 1	library	25.6	36.8	-
	lecture	54.3	13.7	-
	refectory	41.9	11.0	-
case 2	library	16.7(34.8)	40.0(-8.7)	26.1
	lecture	47.0(13.4)	14.3(-4.4)	9.0
	refectory	37.1(11.4)	10.9(0.9)	12.3
case 3	library	23.6(7.8)	38.9(-5.7)	2.1
	lecture	24.1(55.6)	15.8(-15.3)	40.3
	refectory	19.6(53.2)	14.0(-27.3)	25.9
case 4	library	21.7(15.2)	39.7(-7.9)	7.3
	lecture	50.7(6.6)	14.6(-6.6)	0.0
	refectory	39.1(6.7)	11.7(-6.4)	0.3
case 5	library	26.1(-2.0)	29.6(19.5)	17.5
	lecture	55.1(-1.5)	12.0(12.4)	10.9
	refectory	42.7(-1.9)	8.9(19.1)	17.2

\* ( ) is reduction factor(%)

#### 4. 결론

본 연구에서는 세종시에 위치한 H대학 도서관 건물을 대상으로 공간구성과 이용특성, 구조체 성능 등을 살펴보고 몇가지 에너지 절감방안을 적용하여 그 효과를 분석하였다. 주요결과는 다음과 같다.

1) 서고나 열람실과 같은 도서관 관련실 이외에도 연구 및 강의실, 식당 등으로 구성되어 있는 본 대상건물은 에너지 소비량에 있어서 이용 스케줄과 실의 배치, 방위 등이 복합적인 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 검토한 존별로는 도서실 존의 경우, 난방 에너지보다는 냉방 에너지 소비량이 이용 스케줄의 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다.

2) 난방기의 일사 획득량은 강의실 존이 도서실 존보다 2배 정도 큰 수치를 나타냈지만 결과적으로 창면적비에서 강의실 존보다 6.3% 적은 도서실 존의 난방 에너지 소비량이 적게 나타났다. 보다 많은 사례조사를 거쳐야 하겠지만 향후, 도서관을 포함한 대학건물 설계에서 이와 같은 특성을 유의해야 할 필요가 있을 것으로 사료된다.

3) 금번 연구에서 검토한 4가지 절감방안 중 도서실 존의 에너지 절감에는 외벽단열 보강이 가장 효과적이었고, 강의실 존과 식당에는 옥상녹화가 가장 효과적인 것으로 나타났다. 그 이유는 도서실 존은 창 면적이 적고 최상층 지붕에 면해있는 실이 거의 없기 때문이며, 최상층 지붕에 면해있는 실에 대해서는 옥상녹화가 매우 탁월한 에너지 절감 효과가 있음을 확인하였다.

4) 외기냉방은 금번에 검토한 4가지 절감방안 중 냉방 에너지 소비량 절감에 가장 효과적인 결과를 나타냈다.

#### 후 기

이 연구는 2012년 홍익대학교 학술연구 진흥비의 지원 결과임.

#### References

- [1] Cho sung woo, Choi jeong min, Lee kyung hee, The study on the indoor thermal environment and prediction of energy consumption of the school classroom, Journal of the architectural institute of korea planning and design, 2007.02
- [2] Hong won hwa, Lee chun mi, Kim ju young, Cho soo, A study on the characteristics of the energy consumption unit of university, Journal of the architectural institute of korea planning and design, 2008.11
- [3] An kwang ho, Kim hyung keun, Choi yong seok, A study on energy conservation of eco-friendly school by energy plus, Journal of the architectural institute of korea planning and design, 2011.12
- [4] Park kang hyun, Kim su min, Analysis of energy consumption of buildings in the university, Journal of the SAREK, vol.23 no.9 (2011)
- [5] Byun seong hwan, Kim ju young, Hong won hwa, A study on the energy consumption and greenhouse gas emission intensity of library, Proceedings of the korean solar energy society vol.30 no.1, 2010.4
- [6] Seok ho tae, Yang jeong hoon, Jung jae woong, A study on the evaluation of energy performance according to greenery cover in education buildings, Journal of the korean solar energy society vol.28 no. 6, 2008
- [7] Yu ji suck, Kang su hyun, Cho young hum, Energy performance

- evaluation of college library through energy simulation, Proceedings of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System, 2011
- [8] Jung jae woong, Kim dong woo, Seok ho tae, Yang jeong hoon, A study on the improvement plans of energy performance in university building through the analysis of energy, Journal of the Korean Solar Energy Society vol.30 no. 1, 2010
- [9] Lee wang je, Lee dong won, Lee jae bum, Yoon jong ho, Shin u cheul, A case study of electric power consumption characteristics in university building, Journal of the Korean Solar Energy Society vol.32 no. 4, 2012
- [10] Jung jae woong, Kim dong woo, Lee jong min, Yang jeong hoon, Seok ho tae, The survey and analysis of electric power consumption in university building by analyzing case study, Journal of Korean Society of Living and Environmental System vol.17 no. 1, 2010

---

투고(접수)일자: 2013년 7월 17일

수정일자: (1차) 2013년 8월 8일

게재 확정일자: 2013년 8월 21일