

# 태양광발전 시스템이 설치된 학교건물의 신재생에너지 공급비율 증가방안에 관한 연구

김석현\*, 이용호\*\*, 황정하\*\*\*, 조영흠\*\*\*\*

\*금오공과대학교 대학원 건축공학과(ksh7000@kumoh.ac.kr)

\*\*경북대학교 건축토목공학부(sms5379@naver.com)

\*\*\*경북대학교 건축토목공학부(peter@knu.ac.kr)

\*\*\*\*영남대학교 건축학부(yhcho@ynu.ac.kr)

## A study on method for improving renewable energy supply ratio for the school building applied PV system

Kim, Seok-Hyun\*, Hwang, Jung-Ha\*\*, Lee, Yong-Ho\*\*\*, Cho, Young-Hum\*\*\*\*

\*School. of Architecture, Kumoh National Institute of Technology(ksh7000@kumoh.ac.kr)

\*\*School of Architecture & Civil Engineering, Kyungpook National University(sms5379@naver.com)

\*\*\*School of Architecture & Civil Engineering, Kyungpook National University(peter@knu.ac.kr)

\*\*\*\*School. of Architecture, Yeungnam University(yhcho@ynu.ac.kr)

### Abstract

Recently, the attention to renewable energy has increased globally because of the environmental issue and the global energy crisis. Accordingly, south korea is focused on increasing the renewable energy usage. And the government enforced a law to the public buildings to install the renewable energy facilities. In this study, the building to evaluate renewable energy consumption and supply ratio was selected. This building has 9.79% of renewable energy supply ratio by PV system. In this study, the method for improving renewable energy supply ratio was analyzed using additional PV system. And The 5 methods to increasing electricity were evaluated. The method of increase 4.24 times PV arrays area is most efficient way to increase the renewable supply ratio. The case 1, show that the increasing renewable energy supply ratio of 39.2% compared to exsiting PV system. The result of the above, consider the additional supply of renewable energy.

Keywords : 신재생 에너지(Renewable energy), PV 시스템(PV system), 공공건축물(Public building), Energy Plus simulation

## 기 호 설 명

Pm : Rated capacity (W)  
 IPm: Rated current (A)  
 VPm : Rated Voltage (V)  
 Isc : Short circuit current (A)  
 Voc : Open circuit Voltage (V)

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

세계는 화석연료의 과다사용으로 인한 부작용으로 고유가가 계속되고 더불어 환경문제가 동반되고 있어 문제가 되고 있다. 이에 따라 세계적인 온실가스 감축에 대한 관심을 불러일으키고 교토의정서를 체결하는 등 구체적인 이행방안을 마련하고 있는 실정이다.

이러한 세계의 동향에 우리나라는 '저탄소 녹색성장'을 추진하기 시작하였다. 또한 기존 법규에서는 총건축공사비의 5%이상을 신재생에너지 설비에 투자해야 했으나 현재는 공공건물의 신축에 있어 예상건물 에너지 사용량의 10%를 신재생에너지로 공급하도록 의무화하였고 향후 관련 법규를 강화할 예정이다.<sup>1)</sup>

따라서 본 연구는 예상건물 에너지 사용량의 10%를 신재생에너지로 공급하도록 의무화하기 이전에 설계되고 신재생에너지 설비 시스템이 설치된 공공건물을 대상으로, 현행 법규 기준인 건물에너지 사용량의 10%를 상회할 수 있도록 신재생에너지 공급비율을 높일 수 있는 방안을 검토하였다. 또한 검토한 방안을 적용해보기 위하여 여러 연구를 통해 신뢰성이 입증된 시뮬레이션 도구인 Energy Plus를 사용하여 발전량의 증가를 예상해 보았다.

### 1.2 연구 방법

본 연구에서는 경북 구미에 위치한 K대학의 태양광 발전 설비의 발전량 및 신재생에너

지 공급비율의 증가방안에 대하여 여러 방안을 제시하고 이를 에너지 분석도구인 Energy Plus 시뮬레이션을 사용하여 분석하였다.

## 2. 기존 연구 고찰

PV 시스템의 발전량 증가를 위해서는 태양광 어레이에 입사되는 일사량을 증가시키거나 태양광 어레이의 수를 늘리는 등, 태양광 어레이의 재조정이나 추가적인 설치가 필요하다. 이러한 PV 시스템의 발전량을 늘리는 방법을 연구한 기존연구로는 기존 설비의 재조정을 통한 공급비율 향상 방법을 제시한 강수현 외 2인의 'PV시스템이 설치된 학교건물의 신재생에너지 공급비율 분석(2011)'이 있다. 이 연구에서는 PV 시스템의 각도 조절을 통해 신재생에너지 공급비율을 증가시켰다. 그 결과 지역별 최적각도 적용 시에는 기존발전량 대비 4%의 발전량증가를 보였고 계절별 최적각도 적용 시에는 기존발전량 대비 5%의 증가치를 보였다. 또한 월별 최적각도를 적용하였을 시에는 기존 발전량 대비 7%정도 발전량의 증가를 확인하였다. 이를 통해 기존 PV 시스템의 추가 비용이 없이 각도 조절만을 통해 발전량을 증가시키고 신재생에너지 공급비율을 향상시킬 수 있다는 결론을 내렸다. 기존 연구결과는 추가적인 비용 없이 각도 조절만으로 발전량의 증가를 가져오긴 하였으나 태양광 어레이의 각도 조절은 최적의 각도 산출부터 태양광 어레이의 재배치까지 실제 적용하기 어렵다는 문제가 생긴다. 또한 추가적인 비용 없이 각도 조절만을 적용하였을 경우 신재생에너지 공급비율 향상을 크게 기대하기 어렵다.

위의 결과를 토대로 본 연구에서는 태양광 어레이의 각도 재조정만이 아닌 기존의 태양광발전 설비를 교체하거나 추가 설치하는 추가비용을 감수하고 대상건물에 실제 적용 가능한 태양광발전량 증가방법을 검토하고 이를 시뮬레이션을 통하여 태양광발전 시스템의 발

1) 지식경제부, 공공기관 신축건물에 대한 신재생에너지 설치의무화사업 안내.

전량 증가를 살펴보았다. 그리고 대상건물에 대한 신재생에너지의 공급비율을 확인하였다.

### 3. 태양광발전 시스템의 설치현황

#### 3.1 대상건물 개요

태양광발전 시스템이 설치된 대상건물은 경북 구미시에 위치한 K대학 건물로서 대학 내 사무공간으로 사용되는 건물이다. 대상건물은 2010년 12월 완공되었고 신재생에너지 설비로는 설계당시의 법규 기준대로 총 공사비의 5%만큼의 투자비로 태양광발전설비가 설치되었다. 설치된 태양광 발전시스템은 2011년 2월부터 현재까지 발전을 이어오고 있다. 발전량은 자체 기록되고 있으며 본 연구에서 이 데이터를 활용 하였다. Table 1은 대상건물의 개요를 나타내고 Fig 1은 대상건물의 외부 전경이다.

Table 1. Building outline

Lists	Contents
Location	Gumi, Gyeongbuk
Use	Office
Building Size	First basement level, 7 stories
Building area	2,611m <sup>2</sup>
Architectural area	6,580m <sup>2</sup>



Fig 1. The exterior of Building

#### 3.2 태양광발전 시스템(PV System) 개요

태양광 모듈의 수량은 14 직렬 × 14 병렬로 총 196장이 설치되었으며, 태양광발전 시스템의 총 설치용량은 41.16kWp이다. Table 2

는 설치된 태양광 모듈의 규격을 나타낸다.

Table 2. PV module

Lists	Contents
Model Name	SMT210-S6
Rated capacity(Pm)	210W
Rated current(IPm)	7.91A
Rated Voltage(VPm)	26.55V
Short circuit current(Isc)	8.69A
Open circuit Voltage(Voc)	34.15A
Size (W×D×H)	1,459×979×40 mm
Weight	17.2Kg
Angle	15°
Azimuth	Southwest 15°
Tolerance	±3%

#### 3.3 태양광발전 시스템의 발전량 분석

대상건물에 설치된 태양광발전 시스템의 발전량은 연중 기록되고 있으며 그를 바탕으로 태양광발전 시스템의 발전량을 파악할 수 있었다. 기존연구에서 대상건물의 일일발전량을 분석하였고 Fig 2와 같이 나타났다. 본 연구에서는 2011년 1월부터 12월까지 월간 전력생산량을 파악하였다. 그 결과는 다음 Fig 3과 같다.

대상건물에 설치된 태양광발전 시스템의 연간 총 발전량은 49,090kWh로 파악되었다. 연중 발전량이 가장 많은 3월에는 5,341kWh를 나타냈고 가장 낮은 11월에 2,408kWh로 나타났다. 연중 월간 최대 발전량과 최소 발전량의 차이는 2,933 kWh로 확인되었다.

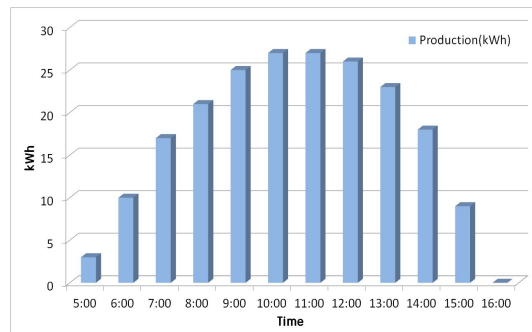


Fig 2. Daily PV system electric production

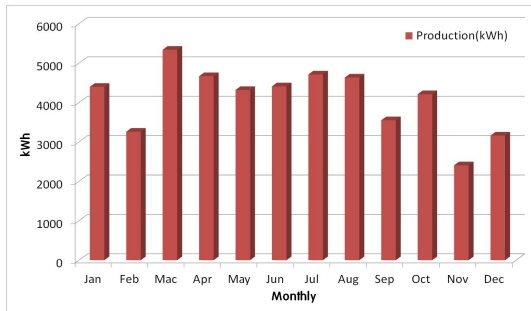


Fig 3. Monthly PV system electric production

#### 4. 태양광발전 공급비율 분석

##### 4.1 시뮬레이션

대상건물의 기존 발전량을 분석하고 개선 방안의 발전량 비교를 위해 에너지 시뮬레이션을 시행하였다.

대상건물의 모델링은 Google SketchUp의 OpenStudio를 활용하여 건물의 Geometry를 작성하였으며, 분석을 위해 에너지 해석프로그램인 Energy Plus를 사용하여 세부사항을 입력하고 분석하였다.

건물은 설계도면을 참고하여 실별 구분을 하였고 65개의 조닝을 통하여 용도별 구분을 하였다. 건물의 Geometry를 작성한 후, 도면을 통하여 외벽, 창호, 내벽, 바닥, 지붕, 천정 등의 자재 정보를 수집하여 입력하였다.

대상건물의 냉난방시스템에는 시스템에 어컨이 적용되어 있으나 시뮬레이션에서는 'HVACTemplate:Zone:IdalLoadAirSystem'을 적용하였다. 이는 실내의 부하에 따라 이상적인 시스템에 의해 공조가 이루어진다고 가정하는 것이다. PV 시스템은 'Generator : Photovoltaic'을 사용하였다. 재실자, 조명, 기기의 스케줄은 사용되고 있는 업무용 건물의 스케줄을 사용하였으며, 그 내용은 Fig 4와 같다. 시뮬레이션에 사용된 기상데이터의 경우, 대상건물이 위치한 지역의 데이터를 사용하여야 하나 대상건물이 위치하는 구미지역의 데이터 정보가 부족하여 인근 지역인 대

구지역의 기상데이터를 사용하였다.

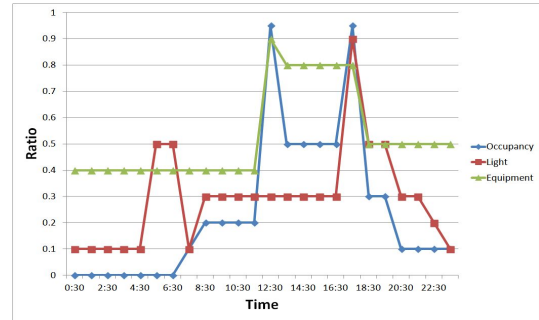


Fig 4. Schedule

##### 4.2 신뢰도 분석

태양광 발전 시스템의 발전 공급비율 분석에 앞서 태양광발전 시스템의 실제 발전량과 시뮬레이션 발전량의 신뢰도를 검토하였다. 신뢰도 분석 방법은 MBE(Mean Bias Error) 방법을 사용하여 정량적으로 평가하였다. 계산식은 다음과 같다.

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{Period} (S - M)_{interval}}{\sum_{Period} M_{interval}} \times 100 \quad (1)$$

여기서,

M : 측정 데이터

S : 시뮬레이션 결과

본 식을 사용하여 계산된 값이 ±10% 이내 일 때 일반적으로 시뮬레이션의 신뢰도가 높다고 할 수 있다.

Fig 5는 실제 태양광발전 시스템의 발전량과 시뮬레이션 값을 월별 비교한 것이다. 실제 발전량은 연간 49,090 kWh를 기록하였고 시뮬레이션을 통한 발전량은 53,664 kWh로 나타났다. 실제 발전량은 2011년 1월부터 12월까지의 데이터이며 시뮬레이션 또한 1월부터 12월까지 시행하였다.

식을 통해 계산된 MBE값은 약 9.31%로 시

물레이션의 신뢰도를 가지는 것으로 확인할 수 있었다.

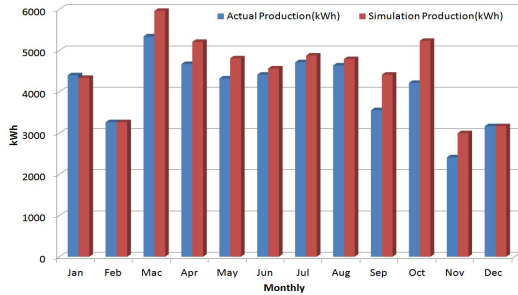


Fig 5. Comparison of Monthly electric production

### 4.3 태양광발전 시스템 공급비율 향상방안

기존 연구에서는 추가적인 태양광발전 설비의 증설 없이 각도 조절을 통한 공급비율 향상방안을 제시하였다. 이에 본 연구에서는 다음과 같은 증설방안을 제안하고 시물레이션을 수행하였다.

- 태양광 모듈 추가 설치
- 추적식 태양광어레이 설치
- 태양광 모듈의 교체

#### 4.3.1 태양광 모듈 추가 설치

태양광발전 설비는 대상건물의 옥상에 설치되어 있다. 태양광발전 설비의 발전량을 향상시키기 위한 태양광 모듈을 추가 증설할 수 있는 면적은 대상건물의 옥상면적을 참고하여 기존 대비 4.24배 확장이 가능하다. 본 연구에서는 다음 Table 3과 같이 태양광발전 설비에 쓰이는 태양광 모듈을 증설하여 시물레이션을 수행하였다.

Table 3. Summary of CASE 1 and CASE 2

CASE 1	Existing Pv system
CASE 2	Increase 4.24 times PV array area

시물레이션 분석 결과 발전량은 태양광모듈을 기존에 설치된 면적보다 4.24배 확장한

CASE 2는 211,094 kWh의 연간 발전량을 나타냈고 기존크기를 적용한 CASE 1은 53,664 kWh의 연간발전량을 나타내 CASE 2는 CASE 1에 비해 약 3.9배의 발전량 증가를 확인할 수 있었다. 이를 통해 모듈의 증설량이 4.24배 증설한데 비해 발전량의 증가는 4.24배에 미치지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 모듈의 크기가 정해져 있고 면적에 따라 배열한 경우 이음부등의 발전이 불가능한 부분이 늘어남에 따라 면적이 증가한 만큼 발전량이 증가하지 못한 것으로 예상된다. 다음 Fig 6은 각 CASE의 계절별 발전량을 나타낸다.

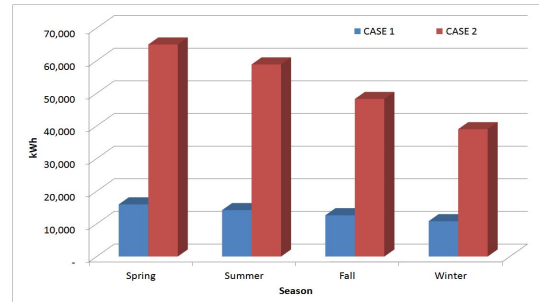


Fig 6. Seasonal electric production in CASE1, CASE2

#### 4.3.2 추적식 태양광어레이 설치

본 연구에서는 태양광 어레이에 최적의 일사량을 얻기 위해 태양광 어레이의 조절이 필요하다고 판단하여 태양의 고도를 따라 움직이는 추적식 태양광어레이를 설치한 경우, 태양광발전 시스템의 발전량을 확인하였다.

Table 4. Summary of CASE 1 and CASE 3

CASE 1	Existing Pv system
CASE 3	Tracking Pv array

CASE 1은 기존에 설치된 고정식 태양광 어레이를 모델링한 케이스로서 경사각도 15°를 적용하였다. 그리고 CASE 3은 태양광이 항상 태양 전지판의 수직으로 입사될 수 있도록 구동장치와 광센서를 사용한 모델링 케이스이다. 시물레이션 결과 CASE 3은 연간 발전량

이 62,134 kWh로서 CASE 1과 비교했을 때 연간 8,470 kWh만큼 증가하여 전력공급량이 기존 대비 약 15% 증가하였다. 다음 Fig 7은 각 CASE의 계절별 발전량을 나타낸다.

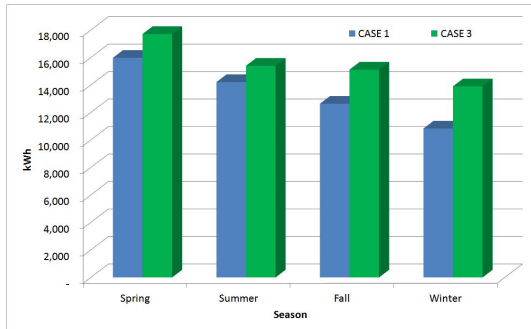


Fig 7. Seasonal electric production in CASE1, CASE3

발전량을 확인할 수 있었다. 이는 기존 설치된 모듈을 적용한 CASE 1에 비해 CASE 4는 4.89%, CASE 5는 9.79% 증가함을 보였다. Fig 8은 각 CASE의 계절별 발전량을 나타낸다.

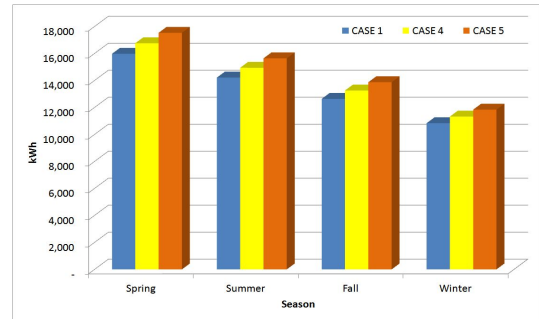


Fig 8. Seasonal electric production in each CASE

#### 4.3.3 태양광 모듈의 교체

대상건물에 설치된 태양광발전 시스템에 다른 기반 설비는 그대로 사용하고 기존에 사용된 태양광 모듈을 용량이 크고 효율이 좋은 모듈로 교체했을 경우 발전량의 변화를 알아보기 위해 아래의 표와 같은 사양의 태양광 모듈로 교체한 후 시뮬레이션을 수행하였다. 태양광 모듈의 사양은 기존 설치제품과 교체 후 제품이 호환성을 가져야 하기 때문에 기존에 설치한 모듈의 동일 회사 제품군에서 선택하였다. 다음 Table 5는 모듈의 사양을 나타낸다.

Table 5. Summary of CASE1, CASE4 and CASE5

	CASE 1	CASE 4	CASE 5
Pm [W]	210	220	230
V <sub>Pm</sub> [V]	26.55	28.58	29.08
I <sub>Pm</sub> [A]	7.91	7.70	7.91
Voc [V]	34.15	36.54	37.40
No. Of cells & connections	54 in series	60 in series	

시뮬레이션 수행 후 CASE 4의 연간 발전량은 56,283 kWh, CASE 5는 58,880 kWh의

#### 4.4 건물소비전력에 대한 태양광발전 시스템의 전력 공급비율 분석

대상건물에 설치된 태양광발전 시스템의 건물소비전력에 대한 전력 공급비율을 분석해보았다. 기존 설치된 태양광발전 시스템은 계절별로 건물소비전력의 8.3~11.6%를 공급하고 연간 9.96%를 공급하는 것으로 나타났다.

Table 6. Supply ratio of PV system in building power consumption.

	Electricity consumption (kWh)	PV system production (kWh)	supply ratio (%)
Spring (Mar~May)	137,641	15,978	11.6
Summer (Jun~Aug)	137,641	14,214	10.3
Fall(Sep~Nov)	133,421	12,639	9.5
Winter (Dec~Feb)	130,028	10,833	8.3
Total	538,731	53,664	9.96

앞선 시뮬레이션의 결과를 통하여 태양광발전시스템의 발전량을 증가할 수 있는 방안

을 평가 분석하였다. 다음 Table 7은 연간 건물소비전력량에 대한 태양광발전 시스템의 발전량 공급비율을 나타낸다.

Table 7. Renewable energy supply ratio through PV system

	Building power consumption (kWh/yr)	PV system production (kWh/yr)	Increasing amount to CASE1 (kWh/yr)	Supply ratio (%)
CASE1	538,731	53,664	-	9.96
CASE2		211,094	157,430	39.2
CASE3		62,135	8,471	11.5
CASE4		56,283	2,619	10.4
CASE5		58,880	5,216	10.9

현재 대상건물과 같은 조건의 CASE 1의 경우, 연간 53,664kWh의 발전량을 나타내었고 공급비율은 9.96%로 나타났다. 설치면적을 4.24배 확장한 CASE 2의 경우, 연간 211,094kWh의 발전량을 나타내고 공급비율은 약 39.2%로 나타났다. 추적식 태양광 어레이를 적용한 CASE 3는 62,135kWh의 발전량을 나타내어 11.5%의 공급비율을 보였다. 태양광 모듈을 교체한 CASE 4와 CASE 5는 각각 56,283kWh, 58,880kWh로 공급비율은 10.4%, 10.9%로 나타났다.

위 결과를 토대로 여러 방법을 통한 공급비율의 향상은 가능하지만 새로운 장비의 설치나 모듈을 교체하는 비용을 고려하여 경제적 검토가 필요 할 것으로 보인다.

## 5. 결 론

본 연구는 신재생에너지의 공급비율을 향상시키기 위해 실제 신재생에너지설비인 태양광발전 시스템이 설치된 공공건물을 대상으로 적용 가능한 신재생에너지 공급비율 향상에 대한 방법을 제시하고 이를 시뮬레이션을 통하여 비교 분석해보았다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- (1) 대상건물 옥상에 설치할 수 있는 태양광발전 시스템은 기존의 4.24배 규모이다. 이를 적용한 시뮬레이션 결과 약 3.9배의 발전량 증가를 확인 할 수 있었다. 이는 태양광 모듈의 크기 제한으로 인해 실제 증가한 면적의 규모보다 발전량의 증가규모는 상대적으로 적은 것을 알 수 있었다.
- (2) 태양광 어레이에 최대한의 일사량을 얻기 위해 기존에 설치된 고정식 태양광발전 시스템을 추적식으로 교체한 경우 전력공급량이 기존 대비 약 15%정도 증가함을 알 수 있었다.
- (3) 설비 추가증설을 고려할 경우 실제 교체가 가능한 제품중 용량이나 효율이 높은 동일 회사 제품의 태양광 모듈을 교체한 경우 기존대비 각각 4.89%, 9.79%의 발전량 증가를 확인할 수 있었다.
- (4) 대상건물의 전력소모량을 확인하고 각 CASE별 전력생산량을 공급비율로 확인해보았다. 기존의 경우 공급비율은 9.96%이고 설치면적을 4.24배 확장한 CASE 2의 경우, 공급비율은 약 39.2%로 나타났다. 추적식 태양광 어레이를 적용한 CASE 3는 11.5%의 공급비율을 보였고 태양광 모듈을 교체한 CASE 4와 CASE 5는 각각 공급비율은 10.4%, 10.9%로 나타났다.

이상의 결과를 바탕으로 대상건물에 적용할 수 있는 태양광발전설비의 추가 증설방안을 통해 공급비율 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다. 공급비율의 상승 정도와 추가증설비용을 고려한 경제성 검토가 이루어져야 하지만 앞으로 신재생에너지의 사용량을 늘려야 하는 측면에서 검토가 필요한 대안이라고 생각된다.

## 후 기

“이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (20120002796)”

## References

1. Kang.S.H, The analysis of the renewable energy supply ratio for the school building applied PV system, Journal of the Korean Solar Energy Society, V.32, N.2, 20012.
2. Kang.S.H, A Study on the Increase of renewable energy supply ratio for the school building applied PV system, ASim2012 IBPSA Asia Conference, 132, 2012
3. Yu.G.J, The Study on Optimum Installation angle of Photovoltaic Arrays using the Expert System, Journal of the Korean Solar Energy Society vol.27, No, 2007
4. Oh.M.S, A Study on Performance Evaluation and Improvement Plan of Photovoltaic System Applied to Apartment Housing, Architectural Institute of Korea vol24, No10, 2008.
5. Song.J.H, Power Performance Characteristics of Transparent Thin-film BIPV Module depending on an installation angle, Journal of the Korean Solar Energy Society Vol.28, No2, 2008
6. Jo.D.K, A Detail Survey of Horizontal Global Radiation and Hours of Bright Sunshine for the Installation of Solar Photovoltaic System in Korea, Journal of the Korean Solar Energy Society Vol.31, No3, 2011
7. The Korean Solar Energy Society, Vocabulary of solar photovoltaic(2010 Final), 2010
8. New energy and renewable energy development, use and dissemination Promotion Article 15
9. New buildings for public institutions obligation projects renewable energy installations, Korea Energy Management Corporation