

# 공공건축물의 신재생에너지 적용분석 및 건물에너지 분담률 분석

강수현\*, 유시완\*\*, 황정하\*\*\*, 조영흠\*\*\*\*

\*금오공과대학교 대학원 건축학과(tngus4u@kumoh.ac.kr),  
\*\*금오공과대학교 대학원 건축학과(jaceyu@kumoh.ac.kr),  
\*\*\*경북대학교 건축도시환경공학부(peter@knu.ac.kr),  
\*\*\*\*금오공과 대학교 건축학부 교수(yhcho@kumoh.ac.kr)

## An Application Analysis of Renewable Energy for Public Building and an Analysis of Building Energy Substitution Rate

Kang, Su-Hyun\*, Yu, Si-Wan\*\*, Hwang, Jung-Ha\*\*\*, Cho, Young-Hum\*\*\*\*

\*Dept. of Architecture, Graduate School, Kumoh University(tngus4u@kumoh.ac.kr),  
\*\*Dept. of Architecture, Graduate School, Kumoh University(jaceyu@kumoh.ac.kr),  
\*\*\*School of Architectural Eng, Kyungpook University(peter@knu.ac.kr)  
\*\*\*\*Dept. of Architecture., Kumoh University(yhcho@kumoh.ac.kr)

### Abstract

Recently the renewable energy has been used widely and the importance of renewable sources is bigger than before. So the government enforced a law to the public buildings to install the renewable energy facilities. The capacity of facilities is 5% of total construction cost until April 13, 2011. Since then, the government changed the law from 5% of total construction cost to 10% of predicted energy usage because of the practical use of the renewable energy facilities. So, in this study, the comparative analysis is conducted according to the law to the building installed PV system through the EnergyPlus simulation.

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

### 기 호 설 명

Pm	:	정격용량 (W)
IPm	:	정격전류 (A)
VPm	:	정격전압 (V)
Isc	:	단락전류 (A)
Voc	:	개방전압 (V)

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 목적

현재 전 세계는 고갈되는 화석연료와 온실 가스 감축을 위하여 신재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있으며, 미국, 유럽, 일본 등의

선진국에서는 대체에너지의 개발과 보급이 범 정부 차원에서 이루어지고 있다. 우리나라는 에너지의 해외 의존도가 97%에 달하는 자원 빈국으로서, 에너지 수급 불안정에 따른 에너지 안보 확보를 위해 신재생에너지 개발 및 보급에 박차를 가하고 있다. 그러한 정책 중 하나로써 공공기관이 신축하는 연면적 3,000m<sup>2</sup> 이상의 건축물에 대하여 총 건축공사비의 5% 이상 신재생에너지 설치에 투자해야 하는 신재생에너지 설치 의무화 사업을 2004년부터 실시하였다. 그 결과 공공기관을 중심으로 건물에 신재생에너지를 도입하는 비율이 증가하였으며, 이후 2009년 3월 중·개축하는 건물에 까지 확대적용 되었다. 그러나 이후 신재생에너지 설비의 적정 사용 및 효율성의 문제로 인하여 예상건물에너지 사용량의 10%를 신재생에너지로 공급토록 의무화하였으며 향후 관련 법규를 강화해 나갈 예정이다.

따라서 본 연구에서는 법 개정 이전, 즉 총 건축공사비의 5%이상이 신재생에너지 설치에 투자된 공공건물에 대하여 건물에너지 분담률을 분석하고, 기존의 신재생에너지 설비를 이용하여 추가비용 없이 효율을 향상시키는 방안에 대하여 검토해 보고자 한다.

## 1.2 연구 방법

본 연구에서는 경북 구미에 위치한 K 대학교 내의 태양광 발전설비가 설치된 업무시설에 대하여, 태양광 발전설비의 발전량 및 건물에너지 분담률에 대하여 분석하였으며, 기존의 태양광 발전설비를 이용하여 추가적인 비용 없이 효율을 향상시킬 수 있는 방안에 대하여 살펴보았다. 에너지 분석 도구는 EnergyPlus를 사용하였다.

## 2. 예비적 고찰

### 2.1 법규 검토<sup>1)</sup>

지식경제부가 시행하고 있는 공공기관 신

축건물에 대한 신재생에너지 설치 의무화 사업의 개요 및 절차와 관련규정을 검토해 보았다.

신재생에너지 설치 의무화 사업은 2004년 3월 29일 최초 시행되었고, 2011년 4월 13일 법령이 개정되기 까지 대상건물과 신재생에너지설비에 대한 총 건축 공사비의 사용비율은 ‘신재생에너지 및 재생에너지 개발 이용 보급촉진법 제 12조 제 2항’에 근거하여 다음과 같이 정하고 있다.

‘「건축법 시행령」 별표 1 제5호부터 제16호까지, 제23호 가목부터 다목까지 및 제24호부터 제28호까지의 용도 중 하나 이상의 용도로 쓰는 건축물로서 신축, 증축 또는 개축하는 부분의 연면적이 3천제곱미터 이상인 건축물(당해 건축물의 건축목적·기능·설계조건 또는 시공여건의 특수성으로 인하여 신·재생에너지설비를 설치하는 것이 불합리하다고 인정하는 경우로서 지식경제부장관이 정하여 고시하는 건축물을 제외한다) : 총 건축 공사비의 5퍼센트 이상’으로 정하였다. 그러나 총공사비에 의한 신재생에너지의 적용이 신재생에너지 설비 설치비율을 증가시켰으나, 실제로 어느 정도의 효율을 가지고 건물에너지를 절감시키는가에 대해서는 의문점을 남게 되었다. 따라서 정부는 이전의 규정을 개정하여, 신재생에너지를 지원함에 있어 적정성 및 효율성을 기하고 소비자의 신뢰를 확보하여 국민적 이용이 확대될 수 있도록 하기 위해 2011년 4월 13일부터 예상 에너지 사용량의 10%이상을 신재생에너지로 공급토록 의무화 하고 있다. 또한 현행 연면적 3천제곱미터 이상의 건축물만 적용되었던 내용이 향후 2012년부터 공공기관이 신·중·개축하는 연면적 천제곱미터 이상의 건축물로 강화될 것으로 고시하고 있다.

### 2.2 기존 연구 분석

PV 시스템의 발전량에 가장 영향을 크게 미치는 요소는 태양광 어레이 표면에 입사하는 일일 일사량이라 할 수 있으며, 이에 따라

1) 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법 제 15조

태양광 어레이의 설치 각도 및 적정 향은 매우 중요한 요소이다. 또한 추가적인 비용이 필요하지 않고 발전량을 향상시킬 수 있으므로 설계시 적정 각도와 향의 설정은 반드시 고려되어야 한다. 이러한 관점을 바탕으로 기존의 연구문헌을 분석하였다.

유권종 외 4인의 '전문가 시스템을 이용한 태양광 어레이의 최적설치 각도에 관한 연구(2007)'에서는 이론식을 바탕으로 전문가 시스템을 구축하고 이를 통해 전국의 최적 경사각을 산출하였다. 그 결과 전국 평균 태양광 어레이 설치 경사각은 24~36° 분포를 나타내었다. 제주도를 제외한 전국의 최적 태양광 어레이 설치 경사각은 30~36°이며, 이러한 경사각을 적용하였을 경우 최대의 태양 일사를 받아들이는 것으로 나타났다.

송종화 외 5인의 '건물일체형 투광성 PV 모듈의 설치 각도별 발전특성에 관한 연구(2008)'에서 박막 태양전지를 이용한 PV 복층창 시스템의 실제 건물 적용모델을 대상으로 경사각별 발전성을 측정하고 시뮬레이션(TRNSYS) 결과와 비교 분석하였다. Mock-Up 모델의 경사각별 단위 출력량 분석 결과 0°, 30°, 90°의 경사각 중 30°에서 발전량이 가장 높았으며, 시뮬레이션 결과 또한 Slope\_30°에 설치된 PV 모듈의 발전량이 가장 우수함을 나타내었다. 방위각별 발전량은 Slope\_30을 기준으로 정남향에 설치된 PV 모듈이 가장 우수한 발전량을 나타내었다.

오명석 외 2인의 '아파트에 적용된 태양광 발전 시스템의 성능평가 및 개선방안에 관한 연구(2008)'에서는 태양광발전 시스템이 설치된 아파트를 대상으로 운전현황 및 실패를 파악하고, 시스템의 성능평가 및 비교를 통하여 개선방안을 제시하였다. 또한, 태양광 발전 시스템에 영향을 주는 요인으로서 방위 및 설치각도, 일사량 및 일조시간, 전지의 전력변환효율, PV 시스템의 온도상승과 변환효율, 음영, 인동거리, 식생 등 7가지 요소를 제시하고, 이를 바탕으로 아파트에 적용된

태양광 설비 시스템 발전량을 분석하였다.

### 3. PV 시스템의 설치현황

#### 3.1 대상건물 개요

대상건물은 경북 구미시에 위치한 K 대학교의 업무용 건물을 선정 하였다. 본 건물은 2010년 12월에 완공하였으며, 총 건축공사비의 5%가 PV 발전 시스템에 투자되었다. PV 시스템은 2월부터 발전을 시작 하였다. 표 1은 대상건물의 개요이다.

표 1. 대상건물 개요

구분	내용
위치	경북 구미시
사용 용도	업무시설
규모	지하 1층, 지상 7층
건축면적	2,611m <sup>2</sup>
연면적	6,580m <sup>2</sup>

#### 3.2 PV 시스템 개요

PV 시스템 총 설치용량은 41.16kWp가 설치되었다. 모듈 수량은 14 직렬 × 14 병렬로 총 196장이 설치되었으며, 표 2는 설치된 PV 모듈의 규격을 나타낸다.

표 2. PV 모듈 규격

구분	내용
모델명	SMT210-S6
정격용량Pm	210W
정격전류IPm	7.91A
정격전압VPm	26.55V
단락전류Isc	8.69A
개방전압Voc	34.15A
외형(W×D×H)	1,459×979×40 mm
무게	17.2Kg
경사각	15°
방위각	남서 15°
Tolerance	±3%

#### 3.3 PV 시스템의 발전량 분석

현재 설치된 PV 시스템의 발전효율을 살펴보기 위하여 특정일의 일일 발전량을 분석해 보았으며 그 결과는 그림 1과 같다. 최대

피크 발전량은 일사량이 가장 많은 11시와 12시에 25kWh로 나타났으며, 일 발전량은 총 215kWh로 나타났다. 또한 17시 이후에 발전량이 없는 것은 대상건물 서쪽에 위치한 산 지형에 의한 것이라 판단되었다.

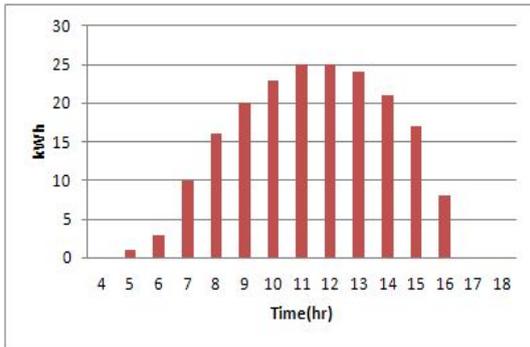


그림 1. 일일 발전량(2011.05.18)

### 3.4 법규에 따른 검토<sup>2)</sup>

#### 3.4.1 건축공사비의 5%적용(11.04.13 이전)

대상건물의 설계시점은 2009년이므로 신재생에너지 설치비용은 총 건축공사비의 5%가 적용되었다. 표 3은 총 공사비에 대한 대체에너지 설비 투자비용과 그 비율을 나타낸다.

표 3. 총공사비에 대한 투자비용

총공사비	6,928백만원
대체에너지 설비 투자비용	351백만원
건축공사비에 대한 대체에너지설비 투자비율	5.07%

설치용량은 다음 식을 통하여 산정할 수 있다.

$$\text{신재생에너지 설비설치용량} = \frac{\text{신재생에너지 투자비용}}{\text{설치단가}}$$

대상건물의 설계시점인 2009년 신재생에너지 원별 상한설치단가는 표 4와 같다.

표 4. '09년 신 재생에너지 원별 상한설치 단가

구분		설치단가	
태양광	일반건물	고정식	9,240/kW
		추적식	10,900/kW
		BIPV	14,960/kW
	태양광주택	고정식	7,210/kW

단위 : 천원, VAT포함

대상건물은 일반건물에 속하며 고정식 태양광 설비가 설치되어 있으므로 설치단가 9,240/kW를 적용하였다. 그 결과 설치용량은 최소 37.80kW 이상을 설치하여야 하며, 실제 설치용량은 그보다 많은 41.16kW를 설치하였다.

3.4.2 에너지사용량의 10%공급(11.04.13 이후)  
대상건물에 대하여 개정된 규정인 예상에너지 사용량의 10%이상을 신재생에너지로 공급토록 의무화하는 제도를 만족하는지 검토해 보았다. 개정된 기준에서 신재생에너지 공급의무 비율(%)은 다음의 식으로 산정하고 있다.

$$\text{신재생에너지 공급의무비율} = \frac{\text{신재생에너지 생산량}}{\text{예상에너지사용량}} \times 100$$

... 식(1.1)

여기서, 신재생에너지 공급의무 비율이란 건축물에서 연간 사용이 예측되는 총 에너지량 중 그 일부를 의무적으로 신재생에너지 설비를 이용하여 생산한 에너지로 공급해야 하는 비율을 의미한다. 또한, 예상 에너지 사용량이란 건축물에서 연간 사용이 예측되는 총에너지의 양을 보정한 값을 말한다.

예상에너지 사용량은 다음의 식으로 산정한다.

$$\text{예상에너지사용량} = \text{건축연면적} \times \text{단위에너지사용량} \times \text{용도별보정계수} \times \text{지역계수}$$

... 식(1.2)

건축용도별 보정계수는 에너지 관리 공단에서 표 5와 같이 제공하고 있으며, 지역계수는 경북의 경우 0.98을 적용한다.

2) 지식경제부, 공공기관 신축건물에 대한 신재생에너지 설치의무화사업 안내.

표 5. 건축물 용도별 보정계수

구분	단위 에너지사용량 (kWh/m <sup>2</sup> ·yr)		용도별 보정계수
	교정 및 군사시설	방송통신시설	
공공용	교정 및 군사시설	392.07	1.64
	방송통신시설	490.18	1.31
	업무시설	371.66	1.73

따라서 건물의 예상 에너지사용량은 식 (1.2)에 의해 4,146,139kWh/yr 임을 알 수 있다.

신재생에너지 생산량은 식(1.3)으로 산정할 수 있으며, 신재생에너지원에 따른 단위 에너지 생산량 및 월별 보정계수는 태양광의 경우 표 6과 같다.

$$\text{신재생에너지 생산량} = \text{월별 설치규모} \times \text{단위에너지 생산량} \times \text{월별보정계수} \dots \text{식(1.3)}$$

표 6. 단위에너지 생산량 및 보정계수

신재생에너지원	단위에너지 생산량		월별 보정계수
	고정식	추적식	
태양광	고정식	1,358 kWh/kWyr	6.17
	추적식	1,765 kWh/kWyr	5.35

따라서 식 (1.3)에 의하여 신재생에너지 생산량은 344,873.9kWh/yr 로 계산되었다. 이렇게 계산된 예상에너지 사용량과 신재생에너지 생산량을 가지고 최종적으로 신재생에너지 공급의무비율을 식 (1.1)을 통하여 구할 수 있다. 월별 설치 규모를 현재의 41.16kWh를 적용하여 계산된 신재생에너지 의무 공급비율은 연간 약 8.3%로서 기준인 10%를 충족시키지 못하는 것으로 나타났다.

#### 4. PV 시스템의 건물 에너지 분담률 분석

##### 4.1 시뮬레이션

대상건물의 모델링은 GooGle SketchUp의 OpenStudio를 활용하여 건물의 Geometry를 작성 하였으며, 이후 EnergyPlus로 연계하여 세부사항을 입력하였다.

건물의 조닝은 건축도면을 바탕으로 실별구분을 하였으며, 총 65개의 존으로 구성되었

다. 건물의 Geometry를 작성한 후, 도면을 통하여 외벽, 창호, 내벽, 바닥, 지붕, 천정 등의 자재 정보를 수집 하였고, ‘Material’ Class에 이들의 물성치를 적용하였다.

대상건물은 냉난방을 시스템 에어컨에 의하여 실시하고 있으나, 본 시뮬레이션에서는 ‘HVACTemplate:Zone:IdalLoadAirSystem’을 적용하였다. 이는 실내의 부하에 따라 이상적인 시스템에 의해 공조가 이루어진다고 가정하는 것이다.

채실자, 조명, 기기의 스케줄은 업무용 건물의 스케줄을 사용하였다.

기상데이터의 경우 대상건물이 위치한 지역의 데이터를 사용하는 것이 가장 바람직하나, 구미지역의 기상데이터가 부족하여 인접지역인 대구지역의 기상데이터를 사용하였다.

##### 4.2 PV 시스템의 건물에너지 분담률 분석

현재 설치된 PV 시스템이 건물에서 소비되는 전력을 어느 정도 대체하는지를 시뮬레이션을 통해 분석하여 보았다. 표 7은 월별 건물의 사용전력량과 PV 발전량 및 분담률을 나타낸 것이다.

표 7. 월별 PV 분담률(시뮬레이션)

월	건물소비 전력 (kWh)	PV 발전량 (kWh)	분담률 (%)	월	건물소비 전력 (kWh)	PV 발전량 (kWh)	분담률 (%)
1	45,299	2,910	6.4	7	44,382	3,998	9.0
2	41,028	3,658	8.9	8	47,527	4,051	8.5
3	47,527	4,408	9.3	9	43,701	3,690	8.4
4	43,701	5,181	11.9	10	45,299	4,104	9.1
5	46,413	5,248	11.3	11	44,421	2,980	6.7
6	45,732	4,302	9.4	12	43,701	2,815	6.4

시뮬레이션 분석 결과 PV 시스템의 건물 전력량 분담률은 월별 6.4%~11.9%의 분포를 나타내었으며, 연간 평균 8.8%로 나타났다. 이는 현재 에너지 사용량의 10%를 신재생 에너지로 공급해야하는 의무사항에 미치지 못하는 것을 알 수 있다. 이러한 현재 상황과 관련하여 법률개정 이전의 건물들이 현

행 법규에 맞출 필요는 없으나 에너지의 중요성이 널리 확대되고, 신재생에너지 법규가 날로 강화되는 상황에서 기존 건물들 또한 기존에 설치된 신재생 설비를 이용하여 에너지 분담률을 향상시킬 필요가 있다고 판단되었다. 따라서 기존 설비 시스템을 이용한 분담률을 높일 수 있는 방안에 대하여 살펴보았다.

#### 4.3 건물에너지 분담률 향상 방안

기존의 시스템을 이용하여 건물 에너지 분담률을 향상시킬 수 있는 방법에는 크게 다음과 같은 방법이 있을 수 있다.

- 1) 기존 신재생 설비 시스템을 이용한 방법
  - 2) 추가적 신재생에너지 증설
  - 3) 건물 에너지 저감을 통한 분담률 향상
- 이러한 방법 중 본 연구에서는 기존의 신재생 설비 시스템을 이용하여 건물에너지 분담률을 향상시키는 방안에 대하여 살펴보았다.

기존 PV 시스템을 이용하여 건물에너지 분담률을 향상시키는 방법에는,

- i) 태양광 모듈의 증설
- ii) 효율이 좋은 모듈로 교체
- iii) 추적식 태양광 어레이 설치
- iv) PV 모듈의 온도제어
- v) 태양광 어레이 각도 조절

등이 있을 수 있다. 이중 태양광 어레이의 각도를 조절하는 방법은 발전성능에 크게 영향을 미치며, 추가적인 비용 없이 가장 쉽게 건물에너지의 분담률을 향상시킬 수 있는 방법이라고 할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문은 신재생에너지의 사용의 확대와 이에 따른 법적규제가 강화됨에 따라 기존의 신재생에너지시스템 중 태양광 발전시스템이 설치된 건물들 대상으로 사용현황을 분석한 후, 기존의 시스템을 활용하여 추가적인 비용 없이 건물 에너지 분담률을 향상시키는 방안을 모색해 보았다. 본 연구의 결과는 다음과 같다. 기존 건축공사비의 5%가 신재생에너지 설

비에 투자된 건물들 대상으로 예상에너지 사용량의 10%를 신재생에너지로 공급하여야 한다는 개정된 기준을 적용한 결과 8.8%의 분담률을 나타내어 기준을 만족시키지 못하는 것으로 나타났다.

향후 연구사항으로 기존의 태양광 어레이를 이용한 건물에너지 분담률을 향상시키기 위하여 지역별, 계절별, 월별 최적각도를 적용하여 PV 시스템의 발전량 향상 방안에 대하여 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

“이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(20110012071)”

## 참 고 문 헌

1. 유권종 외, 전문가시스템을 이용한 태양광 어레이의 최적설치 각도에 관한 연구, 태양에너지학회 논문집, V.27, N.3, 2007
2. 오명석 외, 아파트에 적용된 태양광발전시스템의 성능평가 및 개선방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제 24권 제 10호, 2008
3. 송중화 외, 건물일체형 투광성 PV 모듈의 설치각도별 발전특성에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, V.28, N.02, 2008.
4. 조덕기 외, 국내 태양광시스템 설치를 위한 수평면 전일사량과 일조시간 정밀조사, 태양에너지학회논문집, V.31, N.3, 2011.
5. 에너지관리공단, 공공기관 신축 건축물에 대한 신재생에너지 설치 의무화사업.
6. Office Occupancy, Schedule for Occupancy, User's Manual for ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004.
7. 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법 제 15조
8. 지식경제부, 공공기관 신축건물에 대한 신재생에너지 설치의무화사업 안내