

# 건축물에 적용된 태양광발전시스템의 운전실태 조사 및 보급 확대에 관한 연구

## A Study on Investigating Actual State of Operation of Building Integrated Photovoltaic for the Spread of BIPV

김병준\* 김주영\*\* 홍원화\*\*\*  
Kim, Byung-Joon Kim, Ju-Young Hong, Won-Hwa

### Abstract

Today, the need for alternative energy has increased due to the global environmental problems and energy depletion. In order to solve a global environmental matter and an energy issue simultaneously, the application of the renewable energies in building has been constantly demanded. therefore, we must develop new energy resources that are abundant and provide substitutes for fossil fuels and we must study the application method of the renewable energies in building. Among renewable energies, the solar energy(photovoltaic system) is clean, inexhaustible, and available everywhere in the world and is judged to have the application possibility in building. Daegu city has a plan of putting a photovoltaic system on large buildings. For instance, EXCO, exhibition and convention building, and dormitory in Kyungpook National University, Dongho elementary school, Osan building in Keimyung University, Young korea academy in Daegu, are on the process of having a photovoltaic system. Therefore a study on the performance of photovoltaic system is important for the system design and maintenance. this paper describes the first invest cost, and performance test of the 95kW utility-interactive photovoltaic power system.

키워드 : 태양광 에너지, 대구광역시, 운전실태, 경제성

Keywords : A photovoltaic system, Daegu metropolitan city, Actual State of operation, Economical Efficiency

### 1. 서론

#### 1.1. 연구의 배경 및 목적

화석에너지 고갈 및 공급위기에 대비한 안보차원에서, 그리고 기후변화협약 및 WTO 체제 등에 대응하는 새로운 패러다임의 변화 차원에서 대체 에너지 개발 및 이용, 보급·확대가 이루어지고 있다. 이러한 대체에너지 중에서 특히 태양광발전시스템은 태양에너지를 이용함으로써 연료비가 불필요하고, 대기오염이나 폐기물 발생이 없다. 그리고 발전시스템을 半(반)자동화 또는 자동화시키기에 용이하여, 운전 및 유지 관리에 따른 비용을 최소화할 수 있다.

대구광역시의 경우 솔라시티로 선정되어 공공시설 및 학교 등에 태양광발전시스템을 준공하였다. 그리하여 일사량이 풍부한 대구광역시의 자연환경에 적합한 청정에너지 발전시설로써, 도시의 환경오염을 예방하며 에너지 부족난 완화 효과를 가져 올 것으로 기대하고 있다. 그러나 아직 주택 및 기타 건물에 보급이 미흡한 상태이고, 운전 실태 및 시스템에 관한 연구가 부족한 실정이다.

이에 본 연구의 목적은 대구광역시에 있는 건축물에 적용된 태양광발전시스템의 운전 실태와 경제성을 분석하여 주택 및 기타 건축물에 적용, 보급 및 확대를 위한 자료를 구축하는데 있다.

#### 1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 대구광역시에 설치된 태양광발전시스템 중 건축물에 적용된 4개소에 대해 조사하였고, 그에 따른 연구방법을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 대구광역시에 있는 태양광 발전 시스템 중 건축물에 적용된 대상물 선정
- 2) 연구의 선행 단계로 건물 및 태양광발전시스템 개요, 운전 실태 파악을 위한 설문지 작성과 각 건축물의 월별 전력 사용량 데이터 수집
- 3) 태양광발전시스템의 발전량 파악과 성능 평가를 위해 웹 기반의 모니터링 데이터를 조사, 분석하여 발전 효율과 부하 부담률을 파악
- 4) 경제성 분석을 위해 해당기관에 의뢰하여 자재비와 공사비 등 초기사업비 조사, 웹 기반에 구축된 경제성 평가 데이터를 수집, 운전 실태와 비교 분석

### II. 태양광발전시스템 개요와 보급현황

#### 2.1 원리 및 시스템 구성요소

\* 준회원, 경북대학교 건축학부 학사과정

\*\* 정회원, 경북대학교 건축공학과 대학원 박사과정

\*\*\* 정회원, 경북대학교 건축학부 부교수, 공학박사

본 논문은 대구지역환경기술개발센터에서 출연 한 2005년도 연구개발사업(05-2-70-79)의 지원으로 이루어졌습니다.

태양광발전시스템은 태양의 빛 에너지를 태양전지를 통해 전기에너지로 변환시키는 기술이다. 태양전지에 빛이 조사되면 빛에너지에 의해 반도체 내에서 hole(+)과 electron(-)의 전기를 갖는 입자가 발생하여 각각 자유롭게 전지 속을 이동하게 된다. 이때 electron(-)은 N형 반도체 쪽으로, hole(+)은 P형 반도체 쪽으로 모이게 되어 전위가 발생하고, 부하를 연결하면 전류가 흐르게 된다. 태양광발전시스템은 태양전지 셀로 구성된 모듈과 축전지 및 전력 변환장치(인버터)로 구성된다.

2.2 태양광발전시스템 운전에 영향을 주는 요인

1) 태양광 모듈의 설치

설치각도는 각 지역의 경사면 일사량을 참고하여 각도를 선정하는데 대구지역은 남향으로 30°의 경사각에서 일사량이 3.98kWh/m<sup>2</sup>·day로 가장 높았다.

2) 전지의 전력변환효율

상용화된 cell의 종류와 변환효율은 표1과 같다.

표 1. 태양전지 종류에 따른 전력변환효율

태양전지종류	단결정	다결정	비결정
변환효율	약 14~17%	약 13~15%	약 6%

3) 일사량, 대기청명도 및 일조시간

태양광발전시스템의 발전 전력은 일사량에 비례하며, 대구광역시의 연평균 수평면 일사량은 3.52kWh/m<sup>2</sup>·day이다. 대기 청명도는 햇빛의 양이 대기권을 통과하여 얼마나 남아 있는지를 측정하는 수치이며, 대구는 65.7%이다. 일조시간은 해가 구름이나 안개 따위에 가리지 않고 햇빛을 지상에 비추는 시간을 의미하며, 대구는 평균 6.3hours/day이다.

2.3 태양광발전시스템의 국내외 보급현황

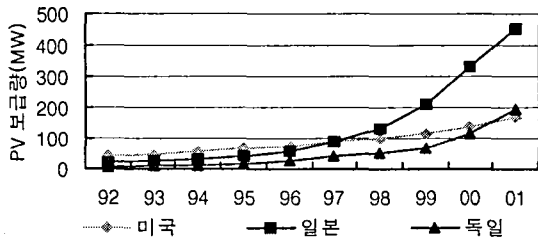


그림 1 태양광발전시스템의 주요 선진국 보급현황

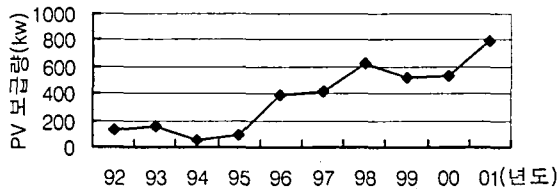


그림 2 태양광발전시스템의 국내 보급현황

일본, 유럽, 미국의 각 국가별 보급현황은 그림1과 같다. 대부분 정부 추진의 대규모 주택용 태양광발전시스템

에 사용되고 있다. 그림2의 국내의 경우 보급이 미흡한 상태이지만 태양광발전 차액보전제도 및 공공건물 이용 의무화 시행으로 확대될 것으로 기대된다.

2.4 대구광역시 태양광발전시스템 보급현황 및 계획

대구시의 발전 시스템 보급현황 및 계획은 표 2와 같다.

표 2. 대구광역시 태양광발전 보급현황

년도	대상시설	설치용량	비고
2002	신천하수사업소(1차)	81kW	2004.10 준공
	신천하수사업소(2차)	108kW	2004.7 준공
	경북대 기숙사식당	50kW	2004.10 준공
	경북대 분수대(독립형)	3kW	
	계명대 오산관	20kW	
	대구 홍사단	5kW	
봉무공원(독립형)	12kW		
2003	신천하수사업소(3차)	209kW	2004.11 준공
	신천하수사업소(4차)	81kW	2005.6 준공
	동호초등학교	20kW	2004.9 준공
2004	대구전시 컨벤션 센터	60kW	2004.10 준공
	서변초등학교	10kW	2005.5 준공
	경북고등학교	10kW	2005.5 준공
	대구고등학교	30kW	2005년 말
	두류정수사업소	80kW	준공 예정
계		779kW(예정)	

III. 태양광발전시스템 운전실태 조사

3.1 조사대상 및 조사내용의 개요

조사대상과 조사내용은 표3과 같다. 컨벤션 센터는 모니터링 데이터에 오류가 많고, 서변초등학교와 경북고등학교는 5월에 준공되어 3개소는 조사에서 제외되었다.

표 3. 조사대상

대구시 태양광발전시설	건축물적용 태양광발전시설	조사대상 태양광발전시설
9개소	7개소	4개소

표 4 조사내용

구분	내용
건축/설비현황	· 층수, 건축면적, 연면적, 설치용량 및 전압
전력소비현황	· 2001~2004 월별 평균 전력사용량(kWh)
태양광발전	· 발전량(kWh), 일사량(kWh/m <sup>2</sup> ·day), 온도(°C)
모니터링기간	· 2004년 11월 3일 ~ 2005년 10월 22일


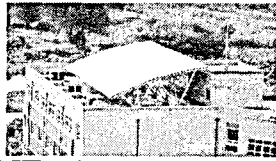
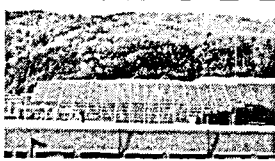

3.2 조사대상 건물 개요 및 태양광발전시스템 개요

조사대상 건물 및 태양광발전시스템 개요는 표4와 같다.

3.3 조사대상 건물의 전력사용량 조사

건축물의 월별 평균전력사용량(01년~04년)은 그림3과 같다. 계명대 오산관은 전력 계측이 학교 전체로 되어 있어 정확한 자료 조사가 이루어지지 못했고, 동호초등은 2003년 개교시점부터의 월별 평균 전력사용량이다.

표 5. 조사대상 건물의 건축현황 및 태양광발전시스템 현황

경북대 기숙사 식당		동호초등학교		계명대 오산관		대구 홍사단 회관	
							
용도	식당	용도	교육	용도	교육	용도	사무
준공년도	1988	준공년도	2003.9	준공년도	2001.11	준공년도	1998
건축면적	1,744	건축면적	3,178	건축면적	1,323	건축면적	-
연면적	3,499	연면적	12,722	연면적	5,990	연면적	-
설치용량	50kW	설치용량	20kW	설치용량	20kW	설치용량	5kW
모듈종류	다결정 Si 80W	모듈종류	다결정 Si 75W	모듈종류	다결정 Si 75W	모듈종류	단결정 Si 50W
모듈크기	537*1204mm 7.7kg	모듈크기	537*1204mm 7.7kg	모듈크기	537*1204mm 7.7kg	모듈크기	502*942mm 6.2kg
어레이면적	406m <sup>2</sup>	어레이면적	176m <sup>2</sup>	어레이면적	173m <sup>2</sup>	어레이면적	47m <sup>2</sup>
설치경사각	17.2°(전)19.6°(후)	설치경사각	19.6°	설치경사각	25°	설치경사각	16.3°(전) 30°(후)
발전시작년	2004년 11월	발전시작년	2004년 10월	발전시작년	2004년 11월	발전시작년	2004년 11월

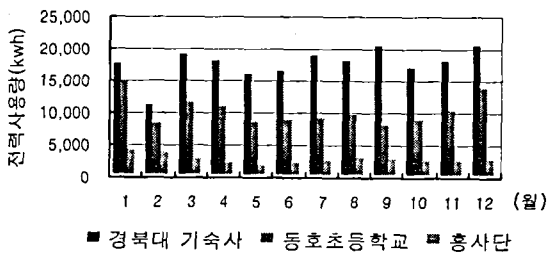


그림 3. 월별 평균 전력사용량

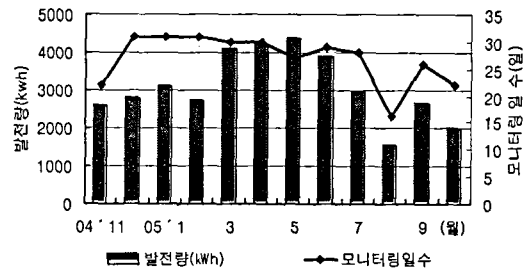


그림 6. 계명대 오산관 태양광발전(20kW) 월별발전량

3.4 태양광발전시스템 발전량 조사

2004년 11월부터 2005년 10월까지 총 발전량은 경북대 기숙사 식당 45,792kWh(312일), 동호초등학교 25,390kWh(340일), 계명대 오산관 37,007kWh(314일), 홍사단 회관 4,258kWh(342일)이다.

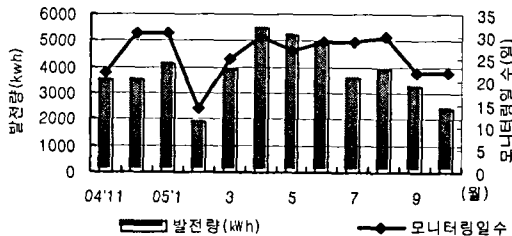


그림 4. 경북대 기숙사 식당 태양광발전(50kW) 월별발전량

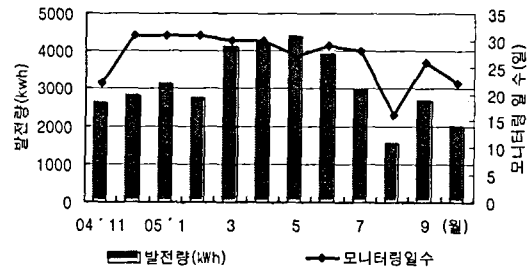


그림 7. 홍사단회관 태양광발전(5kW) 월별발전량

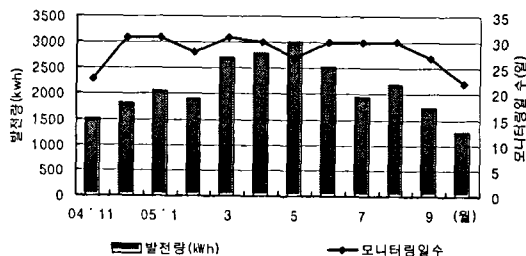


그림 5. 동호 초등학교 태양광발전(20kW) 월별발전량

4. 태양광발전시스템 보급 및 확대 방안

4.1 태양광발전시스템의 성능평가

모니터링이 이루어진 기간 동안의 발전효율과 부하 부담률은 표 6과 같다. 부하부담률에서 계명대 오산관의 경우 전력사용량을 알 수 없기 때문에 제외하였다.

표 6. 일일 경사면 평균일사량, 발전효율, 부하부담률

건물명	경북대 기숙사	동호 초등학교	계명대 오산관	홍사단 회관
발전효율(%)	10.9	12.8	19.2	8.3
부하부담률(%)	19.1	18.8	-	13.4

#### 4.2 태양광발전시스템의 경제성 분석

경북대 기숙사, 계명대 오산관, 홍사단 회관은 2002년에 신천 하수 사업소와 봉무 공원을 포함해 사업비가 총괄적으로 집행되어 태양광발전시스템 공사의 구체적인 사업비를 알 수 없다. 2003년에 준공된 동호초등학교 태양광발전시스템의 사업비와 비교하면 공통적으로 자재구매의 비용이 총 사업비의 약 2/3를 차지함을 알 수 있다. 그 중에서도 태양광발전시스템의 주요자재인 태양광 모듈과 인버터의 가격은 자재구매비용의 80%를 차지했다. 태양광발전시스템의 초기 사업비 비율은 다음과 같다.

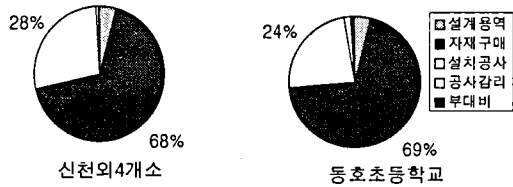


그림 8. 태양광발전시스템 사업비 집행현황

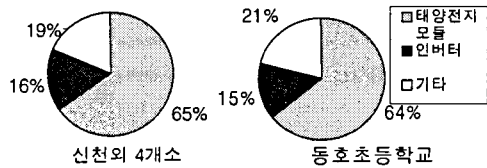


그림 9. 태양광발전시스템 자재 가격 비

표 7의 내용은 대구광역시에서 시행한 태양광발전시스템의 경제성평가 사용된 연간발전량과 이번에 조사된 실제 총 발전량과 모니터링 자료 분석을 통한 각 시스템의 일일 평균 발전량이다. 비, 구름, 눈 등의 기후적인 요인과 기계의 오작동, 오류 등을 고려해볼 때 실제 총 발전량은 연간발전량에 미치지 못한다.

표 7. 연간발전량과 실제발전량, 일일평균발전량.

건물명	경북대 기숙사	동호초등학교	계명대 오산관	홍사단 회관
초기 사업비(백만원)	600	300	300	100
연간발전량(kWh)	51,068	29,938	44,884	5,054
실제총발전량(kWh) (모니터링일 수)	45,792 (312일)	25,390 (340일)	37,007 (314일)	4,258 (342일)
일일평균발전량(kWh)	146.1	76.42	120.09	12.76

초기사업비와 설치용량을 비교하면 설치용량이 클수록 더 경제성이 있는 것으로 나타났다.

또한 동호초등학교와 계명대 오산관은 설치용량이 같으며, 계명대 오산관의 모니터링일 수가 적음에도 불구하고 발전효율과 실제 총발전량이 높게 나타났다. 이는 설치 경사각 차이에 의한 것으로 사료된다.

#### 4.3 태양광발전시스템 보급 및 확대 방안

이상의 사례조사와 분석을 통해 태양광발전시스템 보급 및 확대 방안을 제안하면 다음과 같다.

1) 장기적인 유지관리를 위해서는 높은 효율보다는 시스템의 안정적인 발전효율과 부하 부담률을 유지해야 하며, 이를 위해서는 기후 변화와 시스템 오작동에 대한 적절한 조치가 마련되어야 한다.

2) 태양광 발전이 아직 시행단계에 있기 때문에 개발 성과를 정밀분석 하여, 상용화가 가능한 과제를 중점적으로 연구해야 할 필요가 있다. 따라서 시스템의 성능향상과 신뢰도 확립을 위한 기존의 모니터링 시스템을 강화, 이에 수반하는 인력과 재원을 확충하여 연구 기반을 향상시켜야 한다.

3) 초기 사업비에서 자재비가 차지하는 비율이 높고, 그 중에서도 태양전지모듈의 가격이 절대적으로 차지한다. 동호초등학교의 경우, 외국제품을 사용하여 단가가 20% 정도 더 높았다. 따라서 초기 투자비를 줄이기 위해서는 저렴한 가격의 고효율 박막 태양전지의 기초기술의 확보와 주변 장치의 가격경쟁력을 높여야 하며, 정부의 지원을 확대하여 보급을 늘려서 수요 확대를 창출해야 한다.

#### 5. 결론

이상의 내용을 정리하면 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

(1) 조사대상 건물의 총발전량을 분석한 결과 경북대 기숙사 식당 45,792kWh(312일), 동호초등학교 25,390kWh(340일), 계명대 오산관 37,007kWh(314일), 홍사단 회관 4,258kWh(342일)으로 나타났다.

(2) 각 건물의 발전효율은 경북대 기숙사 식당 10.9%, 동호초등학교 12.8%, 계명대 오산관 19.2%, 홍사단 회관 8.3%로 나타났다.

(3) 총 공사비용에서 자재구매 비용이 약 2/3를 차지하며, 자재구매 비용 중 태양전지 모듈과 인버터 가격이 약 80%를 차지했다.

(4) 실제적인 발전량이 이론적인 발전량에 미치지 못함으로 실제적인 데이터를 통해 경제성이 재평가되어야 하고 각 건물별 지역적 특성과 변수에 맞춰 건물별 최적의 발전조건을 찾아내야 할 것이다.

추후에 발전기간이 짧아 이번 조사에서 제외된 건물과 본 논문의 4개 건물의 지속적인 모니터링이 필요하며, 이를 통해 태양광발전시스템 적용 건축물의 성능개선에 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

1. 김동식 외 3, 건축물 적용 태양광발전 시스템 운전실태 조사를 통한 성능평가에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 2005. 10
2. 한국태양에너지학회, "태양에너지 이용현황과 보급발전방향", 제2권 제2호, 2002
3. 김재원 외 5인, 벽면부착방식 PV시스템의 建築物 適用可能에 關한 研究, 대한건축학회논문집 19권 6호, 2003. 6
4. 한국태양에너지학회, "태양에너지 핸드북", 태림문화사, 1991
5. www.solardaegu.com