

대구광역시 건축물 적용 태양광발전시스템의 경제성 및 환경성 평가에 관한 연구

소 재 역, 김 주 영[†], 홍 원 화

경북대학교 건축공학과

A Study on Economic and Environmental Evaluation of Building Integrated Photovoltaic in Daegu

Jae-Eak Soh, Ju-Young Kim[†], Won-Hwa Hong

ABSTRACT: In Daegu, spread works of photovoltaic have were carrying out from a part of the solar city Daegu but, actual results have were insignificant. According to this study, it analyzed actual conditions of four building integrated photovoltaic system proper to the subject of investigation in Daegu City, in order to investigate the cause of inactive spread of building integrated photovoltaic system. After analyzing of actual state and performance, this study will present not only economic evaluation that is problem of spread but also, environment evaluation by estimating to have an effect on greenhouse gas reduction.

Key words: A photovoltaic system(태양광발전시스템), Economic Evaluation(경제성 평가), Environmental Evaluation(환경성 평가), Daegu City(대구광역시)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

대구광역시는 제6차 기후변화협약 워크샵에서 ‘솔라시티’(Solar City)로 선정된 후 ‘Solar City’ 5개년 실행계획을 수립하고 재생가능에너지 이용 확대 시범사업을 집중적으로 추진하고 있다. 그 일환으로 공공시설 및 교육시설 등에 태양광발전 시스템을 준공하였다. 이로 인해 일사량이 풍부한 대구광역시의 자연환경에 적합한 청정에너지 발전시설로써, 도시의 환경오염을 예방하며 에너지 부족난 완화 효과를 가져 올 것으로 기대하고 있다. 그러나 태양광발전시스템은 현재 보급에

있어 기술적·경제적인 문제점을 내포하고 있으며, 기업체는 시스템의 경제적인 신뢰성과 시공비에 대한 부담감이 크다. 그리하여 아직까지 많은 기업체들이 태양광발전시스템 사업에 참여하지 못하는 것으로 나타났다. 또한 효과적인 인센티브 제도의 미비, 엔지니어링과 건축설계의 연계기술 부족 등으로 인해 개발된 기술을 제대로 적용하는 일에도 어려움이 따르고 있다.

이에 본 연구는 대구광역시에 위치한 태양광발전설비 중 건축물에 적용된 태양광발전설비의 운전 실태를 조사하고, 시스템의 경제성 및 환경성을 분석하여 태양광발전시스템의 기술개발을 위한 방향 제시 등의 기본 자료를 구축하는데 목적이 있다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 대구광역시에 설치된 태양광발

[†]Corresponding author

Tel.: +82-53-950-5597; fax: +82-53-950-6590

E-mail address: glory1st@dreamwiz.com

전시스템 중 건축물에 적용된 4개소를 대상으로 운전현황 파악 및 이용 실태를 조사하였다. 조사 자료 및 모니터링 자료를 분석하여 발전효율과 부하부담률을 분석한 후 태양광발전시스템 사용에 따른 경제성 및 환경성을 분석하고자 한다.

2. 태양광발전시스템 개요와 보급현황

2.1 태양광발전시스템의 원리 및 구성

태양광발전은 태양의 빛에너지를 직류 전기에너지로 변환하여 이용하는 것이며, 이 때 사용되는 광 변환소자가 태양전지(Solar cell)이다. 태양전지는 전기적 성질이 다른 n형 반도체와 p형 반도체를 접합시킨 구조이다. 태양광 발전시스템은 태양전지(solar cell)로 구성된 모듈(module)과 축전지 및 전력변환장치로 구성된다.

2.2 태양광발전시스템에 영향을 주는 요인

태양광발전시스템에 영향을 주는 요인은 일사량, 대기청명도, 일조시간, 경사각, 방위각, PV모듈의 온도, 음영, 시스템 효율 등이 있다.

태양광발전시스템의 발전전력은 일사량에 가장 많은 영향력을 받는다. 시스템을 설계할 때는 수평면 일사량으로부터 각 설치 장소에 따른 경사면 일사량을 구하며, 산출된 경사면 일사량을 이용하여 설치장소의 위치 및 관리 조건에 맞는 최적 경사각을 구한다. 대기청명도는 태양광발전시스템 구축에 있어서 중요한 자료로써 발전효율이 높은 지역을 선정하는 기준자료가 된다. 에너지 생산에 있어서 태양광발전 경사각과 방위각은 최대의 일사량을 획득하기 위한 결정적인 역할을 하며 태양광발전시스템이 적용되는 건물의 용도에 의존하게 된다.

2.3 태양광발전시스템의 국내외 보급현황

2.3.1 국외 보급현황

세계시장이 활발하게 움직이고 있는 가운데, 각국의 태양광발전시스템 유형별 설치 누적량을 살펴보면, 일본, 미국, 유럽(특히 독일)이 압도적인 우위를 보이고 있다. 독립형 태양광발전시스템은 주로 캐나다, 프랑스, 멕시코, 노르웨이에

서 주로 계절과 관련된 건물이나 휴양을 목적으로 하는 건물이나 거리가 조금 떨어져 있는 오두막집 등에 이용하고 있다. 호주, 캐나다, 일본에서는 독립형 태양광발전시스템을 주로 비가정용 건물이나, 펌프, 농업용, 교통신호, 통신 등에 사용되고 있다. 일본, 독일, 미국, 네덜란드에서 정부와 공공단체에 의해 지원되는 프로젝트들은 일반적으로 도심환경에 초점을 맞추어 진행하므로, 이에 따라 분산형 계통연계 부분이 빠르게 성장하고 있다.

2.3.2 국내 보급현황

2004년 말 현재 국내 태양광발전시스템 보급량 누계는 9.89MW에 이르렀다. 2003년 처음으로 연간 보급량이 1MW를 초과한 이후, 2004년 한해만 전년도의 세배가 넘는 3.454MW를 보급하였다. 2004년에는 3kW~500kW규모의 분산형 계통연계시스템이 수백 개나 보급되었다. 그 중 16개의 시스템은 공공기관 건물에, 310개는 주거용 건물 옥상에 설치되었다. 2004년 한 해 보급한 분산형 계통연계시스템은 3.105MW로써 전체 태양광 시장의 88%를 차지했다. 가정용 독립형 시스템의 경우 누적 태양광 보급량이 4.7%정도로 감소했는데, 특히 2004년도에는 한 건도 보급되지 않았다. 아직까지 집중형 계통연계 시스템은 국내 보급사례가 없다.

2.4 대구광역시 태양광발전시스템 보급현황

대구광역시는 정부의 대체에너지 보급 및 확산을 위하여 1단계로 공공시설 및 학교 등에 태양광발전시스템을 2002년 12월부터 착공하여 2004년 12월까지 신천하수처리장 외 6개소에 발전 시설 규모 총568kW를 건설하였다. 2005년 신천하수처리장(4차), 서변초등학교, 경북고등학교에 101kW를 추가로 건설하였고, 2005년 말 대구 고등학교와 두류정수사업소, 경북대학교 도서관에 150kW를 추가로 준공하여 총819kW를 설치하였다.

3. 태양광발전시스템 운전실태 조사

3.1 조사대상 및 조사내용의 개요

대구광역시에는 2005년 11월 현재 9개소에서

13개의 시스템이 설치되어 가동 중이다. 이중 7개의 시스템이 건축물에 적용되어 운전중이다. 그러나 대구전시컨벤션센터의 경우, 모니터링 데이터에 오류가 많고, 서변초등학교와 경북고등학교는 발전기간이 짧아 이번 조사에서 제외하였다. 따라서 본 연구에서는 경북대학교 기숙사 식당과 동호초등학교, 계명대학교 오산관, 홍사단회관 등 4개소에 대해서 조사하였다.

Table 3 Sample status

Categories	Photovoltaic system in Daegu	BIPV system	Samples
Building	9	7	4

설문지 조사와 방문조사를 통해 조사대상 건물의 및 태양광발전시스템의 현황을 조사하고, 건물 전체의 전력사용량을 조사하였다. 태양광발전시스템의 발전효율과 부하부담률 등 시스템의 성능을 평가하기 위해서 모니터링 데이터(2004년 11월 ~ 2005년 10월)를 통해 일별, 월별 발전량(kWh), 일사량(kWh/m².day), 온도(°C)등을 조사, 분석하였다. 시스템의 경제성을 평가하기 위해서는 초기사업비의 예산안과 실제 집행 현황을 조사하고, 자재구매 현황도 조사하였다. 또한 태양광발전시스템 사업계획 시 수행된 경제성 평가 자료도 수집하여 운전 실태와 비교분석 하였다. 이상

의 조사내용을 정리하면 표 4와 같다.

Table 4 Categories and contents of the questionnaire

Investigation categories	Contents
Building /Facilities	use, year built, no. of floors, building structure, total floor area, etc. /measure of capacity, solar cell, module, array, inverter, beginning year of operation, design drawings, etc.
Electric power consumption	monthly average electric power consumption(kWh) in 2001 ~ 2004 year
Photovoltaic system	output(kWh), Solar Radiation (kWh/m ² .day), temperature(°C)
Initial cost	status of performing working expenses
Term of monitoring	2004. 11. 3 ~ 2005. 10. 31

3.2 조사대상 건물 개요 및 태양광발전시스템 개요

경북대학교 기숙사 식당과 동호초등학교, 계명대학교 오산관, 홍사단회관 4개의 건축물개요 및 태양광발전시스템의 개요는 표 5, 6과 같다.

3.3 조사대상 건물의 소비전력 조사

경북대학교 기숙사 식당은 평균 전력사용량이 17,503kWh로, 9월과 12월에 전력 사용량이 가장 많

Table 5 Outline of the investigated buildings

Classification	Commons of dormitory in Kyungpook national university	Dongho elementary school	Osan building in Keimyung university	Young Korean Academy building
Type	the commons	education	education	business
Building completion	1988	2003.9	2001.11	1998
No. of floors	2 floors above ground and 1 underground	5 floors above ground	4 floors above ground and 1 underground	3 floors above ground and 1 underground
Building structure	RC	RC	RC	RC
Total floor area	3,499	12,722	5,990	-
Type of power rates	educational service-high voltage power A (choice II charge)	educational service-high voltage power A (choice II charge)	educational service-high voltage power A (choice II charge)	general service-(service A) low voltage power

Table 6 Outline of the investigated photovoltaic power systems

Classification	Commons of dormitory in Kyungpook national university	Dongho elementary school	Osan building in Keimyung university	Young Korean Academy building
Measure of capacity	50kW	20kW	20kW	5kW
Type of module	polycrystal Si 80W	polycrystal Si 75W	polycrystal Si 75W	single crystal Si 50W
Size of module	537*1204mm 7.7kg	537*1204mm 7.7kg	537*1204mm 7.7kg	502*942mm 6.2kg
Area of array	406m ² (628 sheets)	176m ² (272 sheets)	173m ² (268 sheets)	47m ² (100 sheets)
Angle of inclination	17.2°(front), 19.6°(behind)	19.6°	25°	16.3°(front), 30°(behind)
Beginning year of operation	Nov. 2004	Oct. 2004	Nov. 2004	Nov. 2004

으며, 매월 비슷한 양의 전력을 사용하고 있는 것으로 나타났다. 동호초등학교는 2003년 9월 개교시점부터의 월별 평균전력사용량을 조사한 결과 평균전력사용량은 10,040kWh로, 대부분 전력 사용은 겨울철에 집중되는 것으로 나타났다. 흥사단회관의 평균전력사용량은 2,595kWh로 5월에 전력사용량이 가장 적으며, 겨울철에 전력사용량이 집중되고 있다. 계명대학교 오산관의 경우 전력 계측이 학교 전체로 이루어지고 있어서, 건물 자체의 정확한 자료 조사가 이루어지지 못했다.

2001년부터 2004년까지 조사대상 건물의 월별 평균전력사용량은 다음과 같다.

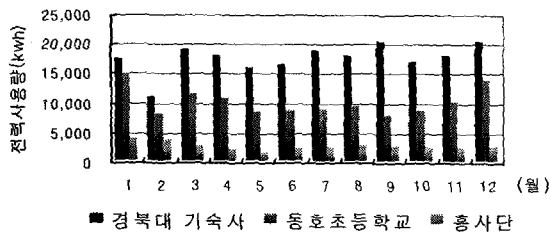


Fig. 1 Monthly average electric power consumption

3.4 태양광발전시스템 발전량 조사

경북대학교 기숙사 식당에 설치된 태양광발전시스템의 총발전량과 일일평균발전량(모니터링 기간 312일)은 각각 45,792kWh, 146.11kWh이다. 동호초등학교에 설치된 태양광발전시스템의 총발전량과 일일평균발전량(모니터링 기간 340일)은 각각 25,390kWh, 76.42kWh이다. 일사량이 풍부한 봄철인 3, 4, 5월에 발전량이 가장 많고, 그 외에는 비슷한 발전량을 보이고 있다. 계명대학교 오산관에 설치된 태양광발전시스템의 총발전량과 일일평균발전량(모니터링 기간 314일)은 각각 37,007kWh, 120.09kWh이다. 역시 3, 4, 5월에 발전량이 많은 것으로 나타났다. 흥사단회관에 설치된 태양광발전시스템의 총발전량과 일일평균발전량(모니터링 기간 342일)은 각각 4,258kWh, 12.76kWh이다. 이를 종합해보면 4개소 모두 모니터링이 시작된 2004년 11월부터 발전량이 증가하여 일사량이 가장 높은 5월에 최고 발전량을 나타내며 일기가 불순한 7월에 감소하였다가 다시 증가하는 패턴을 보이고 있다.

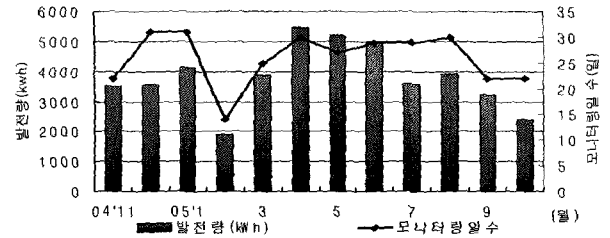


Fig. 2 Monthly power generation at commons of dormitory in Kyungpook national university

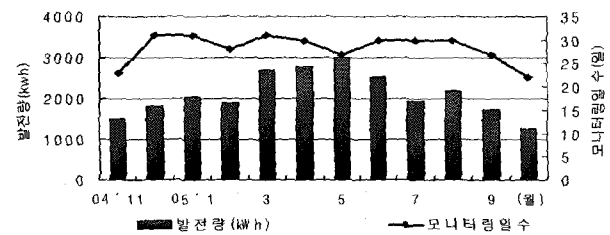


Fig. 3 Monthly power generation at Dongho elementary school

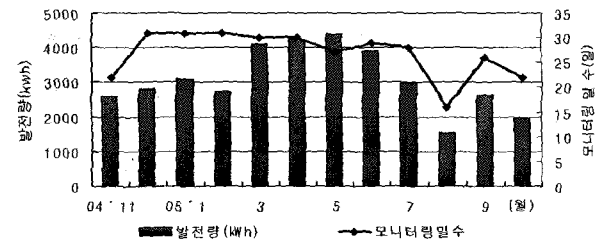


Fig. 4 Monthly power generation in Keimyung university

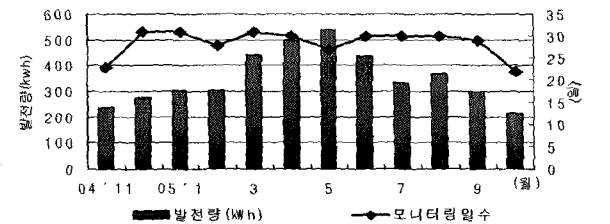


Fig. 5 Monthly power generation in Young Korean Academy building

4. 태양광발전시스템의 경제성 및 환경성 평가

4.1 태양광발전시스템의 경제성 평가

본 연구에서 경제성 평가는 가장 일반적인 평가방법인 비용-편익비(Benefit-Cost Ratio, B/C)를 이용하였다.

4.1.1 비용부문

할인율은 환경부의 『환경정책의 비용/편익분석 지침서』를 참고하여 본 연구에서는 7%의 할인율을 적용하기로 하고, 계산년차는 태양전지의 수명을 고려하여 30년으로 하였다.

Table 8 Initial cost and yearly cost(million won)

Classification	Commons of dormitory in Kyungpook national university	Dongho elementary school	Osan building in Keimyung university	Young Korean Academy building
Initial cost	700	300	300	100
Yearly average cost	47.68	20.44	20.44	6.81

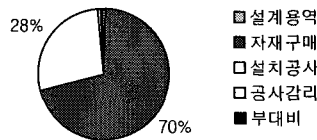


Fig. 15. Rate of each item of expenditure

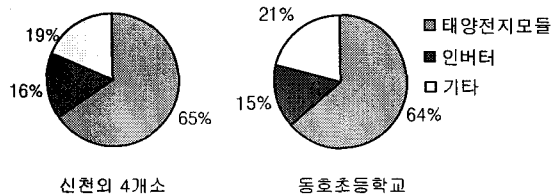


Fig. 16 Rate of material price of photovoltaic power system

초기사업비의 경우, 경북대학교 기숙사식당, 계명대학교 오산관, 홍사단회관은 신천하수사업소와 봉무공원을 포함해 총괄적으로 집행되어 각 시스템의 구체적인 사업비 항목을 알 수는 없었으나, 초기사업비에 있어 자재구매의 비용이 총 사업비의 약 70%를 차지함을 알 수 있다. 그 중에서도 태양광발전시스템의 주요자재인 태양광모듈과 인버터의 가격은 자재구매비용의 80%를 차지했다.

4.1.2 편익부문

정부에서는 기존에 자가용전기설비를 설치한 자가 전력시장에서 전력거래로 할 수 있는 경우는 자기가 생산한 전력의 연간 총 생산량의 50%미만의 범위 안에서 거래하도록 하고 있다. 또한 「대체에너지이용발전전력의 기준가격지침」에서 정부 무상 지원금의 지원 비율이 30%미만이고 설비용량이 3kW이상인 태양광 발전 시스템에 의해 생산된 전력 에너지를 716.4원/kWh 가격으로

한국 전력 공사에서 구매하도록 규정되어 있다. 현재 각 건물에 적용되고 있는 전력요금의 종류는 홍사단 회관의 경우 일반용(갑) 저압전력이며, 나머지 3개소는 교육용 고압A(선택Ⅱ)이다. 종류별 전력단가는 표 9와 같다.

Table 9 The unit cost of electric power(won/kWh)

Classification	Basic price (won/kW)	Power rate(won/kWh)		
		summer (7~8)	spring-fall (4~6, 9)	winter (10~3)
educational service-high voltage power A (choice Ⅱ charge)	4,970	69.30	43.50	47.20
general service-(service A) low voltage power	5,320	94.20	62.70	66.80

본 연구에서는 계절별 요금이 달라서 평균전력 요금을 사용하였으며, 연간 총 생산량의 49%를 거래하는 것으로 하였다.

4.1.3 경제성 분석

생산원가는 태양광발전시스템에 의해 전력을 생산하는데 드는 kWh당 비용이다. 단가는 전력요금을 의미하며, 평균단가는 계절별 요금을 평균한 가격이다. 따라서 생산원가가 판매단가보다 더 저렴해야 경제성이 있다.

Table 10 Product cost and B/C

Classification	Power generation (kWh/yr)	Product cost (won/kWh)	Average electric power charge (won/kWh)	B/C
Commons of dormitory in Kyungpook national university	45,792	1,041	53.3	0.264
Dongho elementary school	25,390	805	53.3	0.341
Osan building in Keimyung university	37,007	552	53.3	0.497
Young Korean Academy building	4,258	1,600	74.6	0.172

각 발전시스템의 생산원가를 계산한 결과, 경북대학교 기숙사식당은 1,041원/kWh, 동호초등학교 805원/kWh, 계명대학교 오산관 552원/kWh, 홍사단 회관 1,600원/kWh로 나타났다. 계명대학교 오산관만 발전차액지원을 받으면 경제성이 있으나 실제 총 발전량의 50%미만에만 적용되므로 경제성은 없다. 또한 총 발전량의 49%를 발전차액지원을 받는 것으로 하여 비용/편익비를 분석

Table 11 Environmental evaluation

Classification	Commons of dormitory in Kyungpook national university	Dongho elementary school	Osan building in Keimyung university	Young Korean Academy building	Total
Yearly power generation (kWh/yr)	45,792	25,390	37,007	4,258	112,447
Reduction of CO ₂ emission (kg)	6,040	3,349	4,881	562	14,832
Reduction of SO ₂ emission(kg)	4,579	2,539	3,701	426	11,245
Reduction of NO _x emission(kg)	4,579	2,539	3,701	426	11,245

한 결과 4곳 모두 경제성 기준인 1에 크게 못 미쳐 경제성이 떨어진다.

4.2 태양광발전시스템의 환경성 평가

태양광발전시스템으로 인한 환경적 이익은 현재 가장 문제시 되고 있는 CO₂ 배출 저감을 들 수 있다. 이에 본 연구에서는 태양광발전으로 인한 CO₂ 배출 저감량을 「IPCC 탄소 배출계수」에 의거하여 계산하였다. 전기는 자체로서는 대기오염물질 배출이 없으나 전력생산 과정에서의 연료사용에 따라 대기오염물질이 배출되므로 전기사용에 따른 배출계수는 발전연료의 구성비에 따라 중합배출계수를 산출하여 적용한다. 전력의 배출계수는 0.1319tC/Mwh를 적용하였다.

또한 태양광발전시스템으로 100kWh의 전력을 생산하면 약 26ℓ의 난방유 또는 30kg의 갈탄에 해당하는 자원을 절약하고, 그에 따라 약 0.1kg의 SO₂, 0.1kg의 NO_x(갈탄과 비교시) 발생을 줄이게 된다. 따라서 조사대상 건물의 태양광발전시스템으로 인한 환경적 효과는 표 11과 같다.

5. 결 론

이상의 내용을 정리하면 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

(1) 조사대상 건물의 총발전량을 분석한 결과 경북대학교 기숙사 식당 45,792kWh(312일), 동호초등학교 25,390kWh(340일), 계명대학교 오산관 37,007kWh(314일), 홍사단회관 4,258kWh(342일)로 나타났다.

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

(3) 각 건물의 태양광발전시스템의 생산원가와

평균전력요금을 비교한 결과 4곳 모두 경제성이 크게 떨어지나, 계명대학교 오산관이 가장 경제성이 크며, 홍사단 회관의 경우 경제성이 가장 크게 떨어졌다.

현재 4곳 모두 태양광발전시스템의 발전량 자체만을 고려하면 경제성이 떨어지나, 온실가스 배출 저감 등의 환경비용과 에너지 보존을 고려하여 보급을 확대해야 할 것으로 사료된다.

발전기간이 짧아서 이번 조사에서 제외된 건물의 태양광발전시스템과 본 논문의 4개 건물의 지속적인 모니터링이 필요하며, 이를 통해 태양광발전시스템 적용 건축물의 성능 개선에 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Ministry of Commerce, Industry and Energy, Notice 2004-104. and 2005-14.
2. Cha, Jae-ho, Energy total solutions, Korea Energy Information Center, 2003.
3. Ministry of Commerce, Industry and Energy, Final report of energy consumption value of building, 1999.
4. Claudia Luing, Architecture and photovoltaic, Sejin, 2005.
5. Korea Energy Management Coporation, Guidebook performance plan of voluntary agreement about building, 2002.
6. Kim, Byung-Joon, at el. A Study on Investigating Actual State of Operation of Building Integrated Photovoltaic for the Spread of BIPV, The Korean Housing Association, 2005.