

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 27, No. 2, 2007

주거용 건물의 태양광 발전시스템 투자회수 기간 산정

김명철*, 주재욱*, 서간호*, 이경희**, 최정민***

*창원대학교 대학원(steelks89@hanmail.net), **부산대학교 산업건축학과(samlgh@pusan.ac.kr),
***창원대학교 건축학부(jmchoi@cwnu.ac.kr)

The Assessment of Payback Period for the Photovoltaic System in Residential Building

Kim, Myung-Chul*, Ju, Jai-Wook*, Seo, Gan-Ho*,
Lee, Kyung-Hee**, Choi, Jeong-Min***

*Graduate School of Architecture, Changwon National University(steelks89@hanmail.net),
**Dept. of Architectural Engineering, Pusan National University(samlgh@pusan.ac.kr),
***School of Architecture, Changwon National University(jmchoi@cwnu.ac.kr)

Abstract

The demand for solar electric power systems, namely, photovoltaic system has grown steadily in our country over the last 10 years. However, the main obstacle against using photovoltaic system is the financial viability especially concerned with initial cost. The other factors affecting the economic viability of photovoltaic system are cost of electric energy, amount of electric energy produced by the photovoltaic system, discount rate, energy cost escalation rate, inflation rate, project life, and so on. Therefore, this thesis studies on the effect of various relating factors on economic evaluation of photovoltaic system in residential building by calculating payback period.

Keywords : 태양광 발전시스템(Photovoltaic system), 투자회수기간(Payback Period),
경제성 평가(Economic evaluation), 초기투자비(Initial Cost)

기 호 설 명

$B(i)$: 생산된 전력으로 인한 전기절감 수입
 $GHG(i)$: 연간 온실가스 배출 저감에 따른 수입

C_o : 초기투자비
 $OM(i)$: 연간 유지보수(O&M) 비용
 r : 할인율 (%)
 n : 경제성 평가 예상기간 (연)

접수일자 : 2007년 4월 30일, 심사완료일자:2007년 6월 7일
교신저자 : 최정민(jmchoi@cwnu.ac.kr)

1. 서 론

현재 인류는 주로 석유, 석탄, 원자력, 천연가스 등에서 대부분의 에너지를 얻고 있다. 머지않은 미래에는 고갈될 것으로 예측되고 있으며, 이러한 화석·원자력 에너지원은 심각한 대기오염의 주범으로 지목받고 있는 실정이다. 이에 세계국가들은 1997년 교토의정서(Kyoto Protocol) 등의 기후변화협약을 통해 온실가스배출량 감소 목표를 규정하였고, 국제배출권거래(International Emission Trading), 공동이행(Joint Implementation), 청정개발체제 (Clean Development Mechanism) 등을 통해 의무이행을 하도록 규제하기 시작하였으며, 우리나라에서도 '대체에너지개발보급 및 이용보급촉진법'¹⁾ 등 관련법 제정 등을 통하여 대체에너지 사업을 적극 지원하고 있는 상황이다.

국내의 경우 이상의 대체 에너지 사업 가운데 주거용 건물에서의 태양광 발전시스템 설치에 대한 관심이 점차 높아지고 있으며, 정부에서도 신재생 에너지 중 주택용 태양광 발전시스템 보급을 위해 오는 2012년까지 총 10만호의 태양광 설치를 목표로 설정한 바 있다. 그런데 이러한 태양광 발전시스템의 보급에 가장 큰 걸림돌이 되는 것이 경제성이다.

태양광 발전시스템의 경제성은 시스템 설치시의 초기투자비뿐만 아니라 태양광 발전시스템이 설치되는 해당지역에서 연간 발전된 전력량과 발전된 전력 판매단가에 의해 크게 좌우되며, 이외에도 이러한 경제성 평가를 위해 적용되는 할인율, 물가상승률, 전력 판매단가 상승률 등 제 요인에 따라서

도 영향을 받게 된다.

이에 본 연구에서는 주거용 건물을 대상으로 경제성 평가와 관련한 제요인중 초기투자비, 연간 발전된 전력량, 발전된 전력 판매단가를 중심으로 태양광 발전시스템의 투자회수기간과 관련한 경제성 분석을 검토함으로써 태양광 발전시스템 선정시 참고할 수 있는 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 태양광 발전시스템에 대한 예비적 고찰

주거용 건물의 태양광 발전시스템에 대한 경제성 평가를 위해 태양광 발전시스템의 유형 및 경제성 평가도구에 대해 살펴보았으며, 각각의 내용은 다음과 같다.

2.1 태양광 발전시스템의 적용 유형

태양광 발전시스템은 적용 유형은 크게 기존 전력망과의 연결 여부에 따라 계통연계형 시스템(on-grid)과 독립형 시스템(off-grid)으로 분류할 수 있으며²⁾, 여기에 개발도상국에서 주로 사용되는 워터펌핑형(Water-pumping) 타입을 추가시킬 수 있다. 태양광 발전시스템은 보급 초기에는 산간, 벽지 등 전력망 설치가 어려운 지역에 독립형 시스템이 많이 보급되었으나, 근래에는 전력 판매회사와 협력, 기존 전력망과 연계시킨 계통연계형 시스템의 수요가 늘어나고 있는 추세이다.

태양광 발전시스템의 구성요소로는 표 1과 같이 태양전지 셀(Cell)이 최소단위가 되며, 이들을 직렬 또는 직렬외에 일부 병렬과 조합하여 연결한 모듈(Module), 모듈이 여러개 모인 패널(Panel), 실용적인 출력을 얻기 위해 확장된 어레이(Array)로 구성된다. 여기에 태양전지에서 발생한 직류의 전기를 교류로 바꾸기 위한 인버터와 발전된 전력을 저장하는 축전지(Battery), 발전된 전력을 제

1) 제2조에서 대체에너지는 석유, 석탄, 원자력 또는 천연가스가 아닌 에너지로 태양에너지(태양열·태양광), 풍력, 소수력, 연료전지, 석탄을 액화·가스화한 에너지 및 중질산사유를 가스화한 에너지, 해양에너지, 폐기물에너지, 지열에너지, 수소에너지, 그 밖에 대통령령이 정하는 에너지라고 정의하고 있고, 이 중에서 태양열에너지, 태양광에너지, 바이오에너지, 풍력, 소수력, 해양에너지, 폐기물에너지, 지열에너지 등의 8개 분야를 재생에너지로, 그리고 연료전지, 석탄액화·가스화, 수소에너지 등의 3개 분야를 신에너지로 분류하고 있다.

2) 계통연계형 시스템은 Central-grid와 Isolated-grid 시스템으로, 독립형 시스템은 Stand-alone(축전지 포함)과 Hybrid(축전지와 발전기 포함) 시스템으로 세분할 수 있다.

어하는 전력제어장치(Charge controller) 등이 추가된다.

표 1. 태양광 발전시스템 구성요소

구 성 요 소		내 용
태양 전지	셀	- PV를 구성하는 최소단위로써 태양광에 노출되면 전기를 발생하는 얇은 정방형의 반도체
	모듈과 패널	- 태양전지 셀을 여러장 직렬 또는 직렬외에 일부 병렬과 조합하여 연결하여 규격화한 것이 모듈이며, 모듈이 모이면 패널이 됨
	어레이	- 여러 개의 모듈을 소정의 전압, 출력을 얻을 수 있도록 만들어진 것
인버터	- 직류전기를 교류전기로 변환	
축전지	- 저장장치	
전력제어 장치	- 발전된 전력을 일정하게 흘러 들어가도록 제어하는 장치	

2.2 평가 도구의 선정

태양광 발전시스템의 경제성 평가를 위해 기존의 신재생에너지 경제성분석 프로그램을 분석한 결과, RETScreen, HOMER, Viper, Hybrid2 등이 있으며, 이중 본 연구에서는 캐나다 Renewable Energy Decision Support Center에서 개발한 RETScreen을 평가도구로 선정하였다. 이 프로그램은 현재 전세계적으로 사용되고 있으며, 점차적으로 사용자가 증가추세에 있다.³⁾ 본 RETScreen 평가 도구는 마이크로소프트사의 엑셀에서 구동할 수 있도록 되어 있으며, 태양광 발전량 해석 및 경제성 평가를 위해 표 2와 같이 6가지 워크시트로 구분되며 사용자는 톱다운 방식으로 각 워크시트상의 데이터 입력 및 경제성 평가가 이루어진다. 일반적으로 이러한 과정은 에너지의 사용과 비용의 관점에서 태양광 프로젝트 설계를 최적화할 수 있는 결과를 도출할 수 있도록 하기 위해 수차례 반복을 시행한다.

3) RETScreen 평가도구는 중소규모의 가정용 독립형 시스템으로부터 시작하여 대규모의 일반 전력망에 연결된 계통연계형 시스템에 이르기까지 태양광 발전시스템의 에너지 생산 및 경제성 평가가 가능하다.

표 2. RETScreen의 입력모듈

설 명	값
Energy Model	태양광 발전에 의한 에너지를 공급하기 위하여 요구되는 설비시스템의 기술적 특성정보를 입력한다.
Solar Resource & System load Calculation (SR & SLC)	태양광 발전시스템의 설치가 검토되는 해당지역의 자연자원의 특성자료가 입력되어, 수평면상의 월별 일사량값을 사용하여 해당방위와 경사진 어레이의 연간 일사량을 계산하게 된다.
Cost Analysis	태양광에너지 공급을 위해 요구되는 재무상의 모든 요소에 대한 수치를 입력한다.
Greenhouse Gas Emission Reduction Analysis (GHC Analysis)	온실가스와 관련된 수치자료를 입력하여 제안된 프로젝트의 그린하우스 가스 완화정도를 추정하게 된다.
Financial Summary	초기투자비, 연간 유지보수비 및 기타 재무분석을 위한 입력요소로서 할인율, 프로젝트 기간, 물가상승률, 전력판매단가 상승률, 발전된 전력의 판매단가, GHG 배출권 거래가, GHG 배출권 거래가 상승률을 입력하면 경제 관련 지표의 결과를 확인하게 해준다.
Sensitivity & Risk Analysis	주요 기술적, 재정적 변수가 재정지표에 미치는 민감도와 위험도 분석의 결과를 제시해 준다.

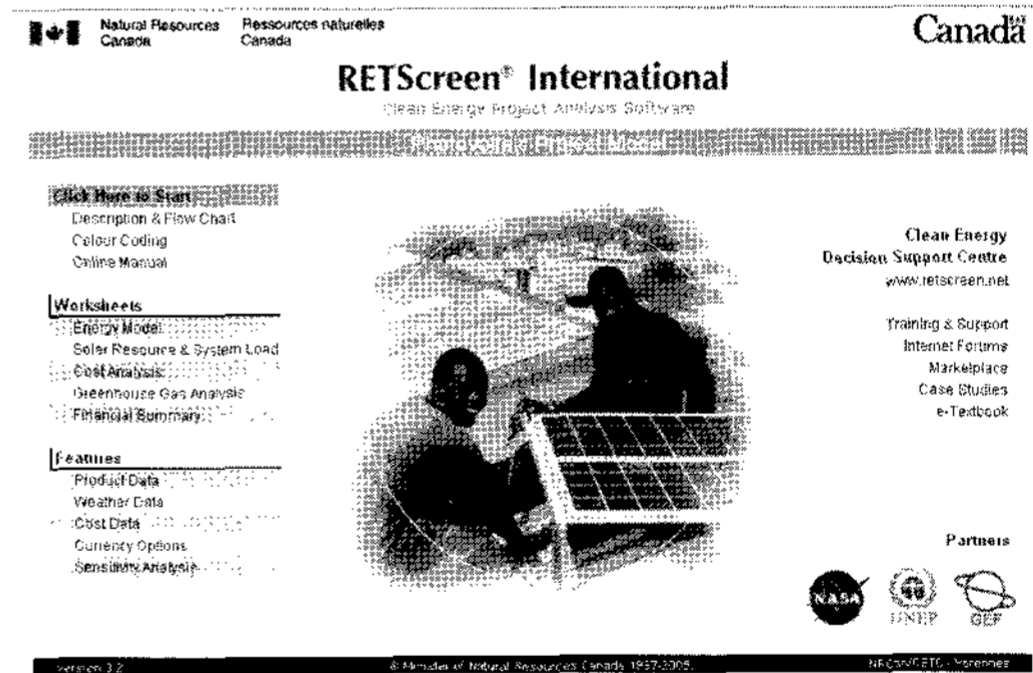


그림 1. RETScreen의 초기화면

2.3 경제성 평가

태양광 발전시스템의 경제성 평가를 위해서는 비용부문과 수익부문으로 나누어 검토가 이루어진다. 수익부문은 발전하여 생산된 전력으로 인한 전기절감, 온실가스 저감으로 인한 수입으로 구성되고, 비용부문은 시스템 구입비용과 정기적인 설비 유지 보수등의 비용 등으로 구성된다.

경제성을 분석하기 위한 현재가치(Net Present Value)의 산정은 다음 식 1로부터 수익부문의 총합에서 비용부문의 총합을 빼어 도출한다. 내부수익률은 이 현재가치를 0으로 만드는 수익률로 도출되어진다.

$$NPV = \sum_{i=0}^n \left[\frac{B(i) + GHG(i)}{(1+r)^i} \right] - \left[C_0 + \sum_{i=0}^n \frac{OM(i)}{(1+r)^i} \right] \quad (1)$$

3. 경제성 평가를 위한 입력자료의 선정

3.1 시스템 선정

본 연구에서는 주거용 건물의 경제성 평가를 위해 일반 전력망에 연결된 계통연계형 시스템을 평가하는 것으로 하였다. 국내의 경우 주거용 건물에서는 2.5 kW_p에서 3 kW_p 출력 용량의 시스템을 대부분 사용하고 있어 표 3과 같은 특성을 갖는 시스템을 대상으로 선정하였다.

표 3. 평가 대상 시스템 특성 (PV는 photovoltaics 의미)

항 목		설정값
시스템	태양광 모듈 타입	poly-Si
	송전망 태양광 에너지 흡수율 (PV energy absorption rate)	95.0%
태양광 모듈	NOCT (Nominal PV module efficiency)	11.0%
	태양광 온도상수 (PV temperature coefficient)	0.40%/°C
	기타 태양광 어레이 손실율 (Miscellaneous PV array losses)	5.0%
	태양광 어레이 파워 (Nominal PV array power)	3.0kW _p
	태양광 시스템 설치면적 (PV array area)	27.3m ²
전력 제어	평균 인버터 효율	90%
	인버터 용량	2.7kW(AC)
	기타 전력 제어 손실율	5%
태양광 어레이	설치 경사각	30°
	설치 방위각	0°(남향)

3.2 기상데이터 선정

RETScreen은 현재 전세계적으로 200여국에 보급되어, NASA(National Aeronautics and Space Administration)에서 제공하는 일사량 데이터베이스 자료를 받아 사용할 수 있으며 우리나라의 경우 강릉, 서울, 대구, 목포, 제주의 월별 평균 일사량값과 외기온 데이터를 제공하고 있다.

표 4. 대상지역의 기상 특성 입력

월	수평면상의 월별 일평균 일사량 (kWh/m ² ·d)	월별 일평균 외기온 (°C)
1	1.92	-3.4
2	2.72	-1.1
3	3.33	4.5
4	4.42	11.8
5	4.81	17.4
6	4.47	21.5
7	3.11	24.6
8	3.78	25.4
9	3.64	20.6
10	3.08	14.3
11	1.94	6.6
12	1.50	-0.4

본 연구에서는 주거용 건물이 서울지역에 위치하는 것으로 하여 표 4와 같이 월별 일사량 및 외기온 데이터를 설정하였다.

3.3 경제성 분석 데이터 선정

태양광 발전시스템의 경제성 평가를 위해 요구되는 구입 및 설치비, 정부보조금, 연가 유지보수비, 발전된 전력의 판매단가⁴⁾ 및 판매단가 상승률, 물가 상승률, 할인율, 경제성 평가 기간 등, 관련 변수들을 표 5와 같이 가정하여 선정하였다.

4) 발전된 전력 판매단가는 태양광 발전을 통해 발전한 전력을 판매할 때의 단가를 말하는 것으로, 즉 전기료 절감비용을 의미하며, 본 경제성 분석 데이터에서 입력값으로 선정된 231원/kWh는 월전력사용량을 500kWh로 가정하였을 때 주택용 전력(저압)의 요금계산 체계에 따라 부가가치세, 전력기반요금 등을 포함시켜 산정한 값이다.

표 5. 경제성 분석 데이터 입력

항 목	입력 값
태양광 발전시스템 구입 및 설치비	25,200,000원
정부 보조금	15,120,000원
연간 유지보수비	구입, 설치비용의 0.5%
발전된 전력의 판매단가	231원/kWh
발전 전력의 판매단가 상승률	1.1%
물가상승률	3.4%
할인율	6.5%
경제성 평가 기간	25년

3.4 경제성 분석 데이터 선정

태양광 시스템의 경제성 평가는 여러 가지 지표(표5)로 부터의 분석이 가능한데, 본 연구에서는 누적 현금수지가 +가 되는 연도를 현가에 의해 파악하는 투자회수기간법(Year-to-positive cash flow) 법을 적용하였다.

4. 경제성 분석 및 평가

경제성 분석은 앞서의 표 3, 4, 5에 의한 입력데이터를 기준으로 한 안(이하, 기준안)을 대상으로 우선 평가를 실시하고, 다음으로 그 기준안에 대해 초기투자비, 연간 발전된 전력량, 발전된 전력 판매단가 변수를 변화시켰을 때, 투자회수기간에 미치는 영향을 민감도 분석과 위험도 분석으로 구분하여 실시하는 순서로 진행하였다.

4.1 기본안에 대한 분석

기본안의 경우 서울지역 소재의 주거용 건물의 연간 태양광 발전시스템 발전량은 총 2,935kWh (107.5kWh/m²)이며, 이로 인한 연간 에너지 절감비용은 678천원인 것으로 나타났다. 표 5의 분석 데이터에 따른 경제성 평가 결과, 내부수익률은

5) 내부수익율법(Internal Rate of Return)법, 투자수익율법(Return on Investment), 누적 현금수지가 +가 되는 해를 파악하는 투자회수기간법(Simple Payback, Year-to-positive cash flow), 현가법(Net Present Value), 편익비용법(Benefit-Cost ratio) 등이 있다.

4.6%, 단순투자회수기간은 16.1년, 현가로 환산한 투자회수기간은 15.0년인 것으로 나타났다.

4.2 민감도 분석

발전된 전력의 판매단가 및 연간 발전된 전력량, 초기투자비를 각각 기본안 대비 ±40%의 범위 내에서 20%씩 변화시킨 경우에 이 변수들이 현가로 환산한 투자회수기간에 미치는 민감도를 분석한 결과가 표 6이다. 발전된 전력의 판매단가 또는 연간 발전된 전력량이 기준안(231원/kWh, 2,935kWh) 대비 20% 수준 오르면 현가환산 투자회수기간을 12.4년, 40% 수준이면 10.6년으로 낮출 수 있으며, 초기투자비를 기준안 (10,080천원) 대비 20% 수준 낮추면 12.1년, 40% 낮추면 9.2년으로 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

표 6. 현가환산 투자회수기간 민감도 분석 결과

구 분	발전된 전력판매 단가 (천원)					
	0.1386 (-40%)	0.1848 (-20%)	0.2310 (0%)	0.2772 (20%)	0.3234 (40%)	
연간 발전	1.761 (-40%)	25년 이상	25년 이상	25년 이상	21.1	17.9
	2.348 (-20%)	25년 이상	24.0	18.9	15.6	13.3
전력량 (MWh)	2.936 (0%)	25년 이상	18.9	15.0	12.4	10.6
	3.522 (20%)	21.1	15.6	12.4	10.3	8.8
초기 투자비 (천원)	4.109 (40%)	17.9	13.3	10.6	8.8	7.6
	6.350 (-40%)	16.0	11.7	9.2	7.6	6.5
투자비 (천원)	8.467 (-20%)	20.9	15.3	12.1	10.0	8.6
	10.584 (0%)	25년 이상	18.9	15.0	12.4	10.6
	12.700 (20%)	25년 이상	22.3	17.7	14.7	12.6
	14.817 (40%)	25년 이상	25년 이상	20.4	17.0	14.6

4.3 위험도 분석

위험도 분석을 위해 표 7과 같이 선정된 변수 값들이 기준안 대비 20% 범위 내에서 변할 수 있다

는 가정하에 몬테카를로 시뮬레이션(500회 난수를 발생)을 실시한 결과 그림 2과 같이 90% 신뢰수준시 현가환산 투자회수기간은 평균 15.0년, 최대 18.8년, 최소 12.5년이 걸리는 것으로 나타났으며, 95%의 신뢰수준에서는 평균 15.0년, 최대 19.5년, 최소 12.2년인 것으로 나타났다.

표 7. 변수별 검토 범위 값

변수명	단위	기준값	범위 (+/-)	최소값	최대값
발전 전력 판매단가	천원/kWh	0.231	20%	0.1848	0.2772
연간 발전 전력량	MWh	2.935	20%	2.348	3.522
초기 투자비	천원	10,080	20%	8,064	12,096

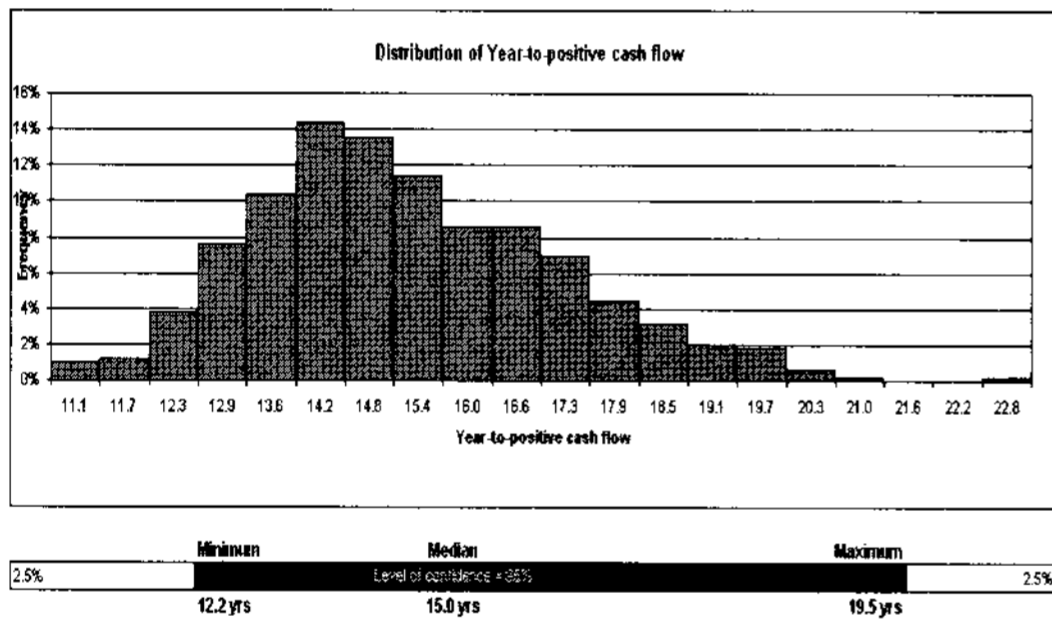


그림 2. 몬테카를로 시뮬레이션에 의한 현가로 환산한 투자회수기간의 분포도

5. 결론

국내 주거용 태양광 발전시스템에 대한 투자회수기간 산정을 중심으로 경제성 평가를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 서울지역 소재 주거용 건물의 경우, 제3장에서 가정한 관련 입력 자료값을 근거로 산정한 연간 태양광 발전시스템의 발전총량은 2,935kWh (107.5kWh/m²)인 것으로 추정되며, 월 전력사용량을 500kWh로 가정한 단가(231원/kWh)를 적용한 경우 연간 에너지 절감비용

은 678천원으로 나타났다.

- (2) 경제성 평가 결과 내부수익률은 4.6%, 단순 투자회수기간은 16.1년, 현가로 환산한 투자회수기간은 15.0년인 것으로 나타났다.
- (3) 민감도 분석결과, 발전된 전력의 판매단가나 또는 연간 발전된 전력량이 기준안(231원/kWh, 2,935kWh) 대비 20% 수준 오르면 현가로 환산한 투자회수기간을 12.4년, 40% 수준이면 10.6년으로 낮출 수 있으며, 초기투자비를 기준안(10,080천원) 대비 20% 수준 낮추면 12.1년, 40% 낮추면 9.2년으로 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.
- (4) 경제성 평가를 위한 관련 입력자료의 불확실성을 고려하여 표 7과 같이 초기투자비, 발전된 전력의 판매단가와 연간 발전된 전력량 변수의 값들이 기준안 대비 20% 범위 내에서 변할 수 있다는 가정하에 몬테카를로 위험도 분석(500회의 난수를 발생)을 실시한 결과, 90% 신뢰수준시 현가환산 투자회수기간은 평균 15.0년, 최대 투자회수기간은 18.8년, 최소 투자회수기간은 12.5년이 걸리는 것으로 나타났으며, 95%의 신뢰수준에서는 평균 15.0년, 최대 19.5년, 최소 12.2년인 것으로 나타났다.
- (5) 본 연구에서는 전술한 초기투자비와 연간 발전된 전력량, 발전된 전력 판매단가를 중심으로 경제성 평가를 실시하였으나, 경제성 평가에 영향을 미칠 수 있는 할인율이나 물가상승률, 전력 판매단가 상승률 등 관련 데이터들이 일정하다고 가정하여 연구를 진행하였다. 따라서 추후 연구에서는 이러한 관련 데이터의 변화에 따른 민감도 및 위험도 분석이 이루어져야 할 것이며, 이외에도 연간 유지보수비 및 인버터 등 내구연한에 따른 보수교체비, 온실가스 저감과 관련한 경제적 이득부분에 대한 평가도 추가하여 검토되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 김광우 외, 건축환경계획론, 태림문화사, 1996.
2. 김주영, 홍원화, 이지희, 건축물에 적용된 태양광 발전시스템의 경제성 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 22권 5호, 2006.5.
3. 아주대학교, 신·재생에너지시스템 경제성분석 프로그램 개발 및 적용방안 연구 최종보고서, 산업자원부, 2006.5.
4. 이경희, 건축환경계획, 문운당, 1994.
5. 조한, 건물 통합형 태양광 시스템의 건축 디자인 적영 방법 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 22권 8호, 2006.8.
6. 최원기, 서승직, 태양에너지 분야의 연구 동향 개관, 한국내양에너지학회논문집, 26권 4호, 2006.
7. Lechner, Nobert, Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects, John Wiley & Sons, 1991.
8. Minister of Natural Resources Canada, Photovoltaic Project Analysis Chapter, RETScreen International, 2004.