농촌계획
vol. 19, no. 3, 2013 (25-36) http://dx.doi.org/10.7851/ksrp.2013.19.3.025

기후변화를 고려한 농촌지역 그린빌리지의 태양에너지 활용에 관한 경제성 분석

김대식 • 왕영두*
충남대학교 농업생명과학대학 지역환경토목학과 • *미국델라웨어대학교 에너지환경정책센터

Economic Analysis of Rural Green-Village Planning with Solar Energy considering Climate Change

Kim, Dae-Sik • Wang, Young-Doo*
Dept. of Agri. Eng., College of Agri. & Life Sciences, Chungnam Nat'l Univ. •
**Center for Energy & Environmental Policy, University of Delaware, USA*

ABSTRACT : This study aims to perform the economic analysis to the use of solar power facilities in rural villages considering the climate change scenario. IPCC climate change scenarios in the recently adopted the RCP scenarios (RCP8.5, RCP6.5, RCP4.5, RCP2.6) was used. By RCP scenarios, solar radiation, depending on the scenario in 2100, respectively, 3.6%, 2.5%, 1.9%, 1.1% was assumed to increase. From the economic analysis(payback period is 25 year) on 8 points of each province, in all cases of normal data and four RCP scenarios, at all points analyzed were NPV indicate a negative, BC ratio less than 1.0, respectively. In the case of Mokpo, Chunnam RCP8.5, BC ratio were found to be up to a 0.92, followed by 0.89 in the case of RCP8.5 in Jinju, Kyungnam shows, while the minimum was in Jeju. BC ratio is 1.0 or bigger, in order for the normal solar radiation data in Mokpo, Chonnam was the minimum that it takes 37 years. Similarly, in the case of RCP scenarios, 30 years in Mokpo, Chonnam RCP8.5 and 31 years in the cases of Jinju, Kyungnam and Jeonju, Cheonbuk RCP8.5 were analyzed. It was analyzed that RCP8.5 has the highest value. BC analysis models for each of the factors, the results of the sensitivity analysis, the initial installation costs, electricity sales price, discount rate in the order of economy showed higher sensitivity, and the rest factors showed lower changes. Although there are some differences of solar radiation by region, but in Korea most facilities in rural areas, the use of solar power was considered to be economical enough, considering change of several factors with high sensitivity, such as increasing of government subsidies for the solar power installation of the facility, rising oil prices due to a rise in electricity sales price, and a change in discount rate. In particular, when considering climate change scenarios, the use of solar energy for rural areas of the judgment that there was more economical.

Key words : Renewable Energy, Solar Energy, Green-village Planning, Economical Analysis, Climate Change

I. 서 론

농촌 그린빌리지는 다양한 의미로 해석될 수 있으나, 그 마을에서 사용하는 에너지를 자연으로부터 자체적으로 생산하여 충당함으로서 화석 에너지 사용으로 발생하는 CO_2의 양을 제로로 만드는 마을을 의미한다(김대식 외, 2010). 그린빌리지를 위해서는 신재생에너지의 활용이 수반되어야 하는데, 신재생에너지 중에서 태양에너지는 농촌마을단위에서 효율적으로 적용될 수 있는 것으로 알려지고 있다(김대식 외, 2010). 그러나 국제유가의 변동 등 다양한 조건들이 유기적으로 변한다면 태양에너지의 활용도가 높아질 것으로 기대되고 있다(김대식 외, 2010). 한편, 농촌에서는 농촌생활의 현대화를 통하여 에너지 소비량이 지속적으로 증가되고 있고, 지구온난화를

Corresponding author : Kim, Dae- Sik
Tel : 042-821-5795
E-mail : drkds19@cnu.ac.kr

예측하고 있는 기후변화 시나리오들은 신재생에너지의 활용을 더욱더 요구하고 있다. 그러나 태양에너지를 이용하는 태양광 발전 설비는 정부의 지원이 없이는 투자 및 유지관리 대비 효과가 아직까지는 부족한 것으로 알려져 있다.

최근 국제유가의 급등은 농가에 커다란 경제적 부담을 주고 있으나, 농촌 생활수준 향상 등 다양한 원인에 의하여 실제로 농촌 에너지 소비량은 대폭 증가하고 있다(농림부, 2007). 그리고 미래에 직면하게 될 기후변화에 대한 불안감은 다양한 형태의 예측 시나리오를 제공하고 있다. 2013년도에 제시된 IPCC 5차 평가보고서에서는 인간활동을 고려한 지구상의 복사량으로 2100년도의 기후 시나리오를 제시하고 있다(국립기상연구소, 2011). 지금까지 5차례에 걸쳐 다양한 시나리오가 제시되었으나, 지구의 온난화가 가속되고 온도는 계속 올라간다는 것이 통일된 관점으로 보인다. 따라서, 이러한 지구의 기후변화시나리오를 고려한 태양에너지의 활용에 관한 경제성 분석을 농촌마을을 대상으로 실시해볼 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 IPCC의 최근 보고서에서 제시하고 있는 복사강제력을 기준으로 작성된 RCP (Representative Concentration Pathways) 온실가스 시나리오를 고려하여 태양에너지의 활용에 관한 경제성 분석을 실시하고자 한다.

농촌마을은 일반적으로 군지역에 분포되어 있는 것으로서, 지역에 따라 태양에너지와 관련된 기상현상이 차이를 가지고 있을 것으로 보이며, 따라서 태양에너지를 활용함에 있어서 지역별로 상이한 결과를 보일 것으로 가정하여, 도별 주요지점에 대한 태양광 발전량을 분석하고, 더불어 각 도별 전력사용량을 분석한 뒤에, 투자대비 경제성을 순현재가치로 분석하고자 한다. 또한 경제성 분석에 필요한 인자들에 대한 다양한 시나리오를 도입하여 인자별 민감도 분석도 병행하고자 한다.

II. 연구방법 및 이론적 배경

1. 연구방법

본 연구에서는 전국의 주요 도별로 주요 대표 지역을 선정하여, 기상청에서 제시하는 측후소의 평년 일사량자료를 취득하고, 태양광 발전량을 추정한다. 또한 태양광 발전에 필요한 투자비 대비 생산된 태양광에 대한 경제성을 분석하는데, 회수기간 25년을 기준으로 순현재가치를 추정하여, 다양한 인자별 시나리오에 대한 경제성을 평가한다. 경제성 분석에 있어서는 기후변화시나리오를 사용하는데, IPCC 5차 보고서에서 제시하는 RCP의 4가지 시나리오는 고려하고, 각 시나리오별로 태양광 발전량을 계산한 뒤에, 경제성 분석하고 비교 고찰한다. 또한 경제성 분석과 관련된 다양한 입력자료들의 변동 시나리오를 고려하여, 이들에 대한 경제성 분석도 병행하여 인자들의 민감도 분석 결과도 제시하고자 한다.

2. 기후변화 시나리오

IPCC 5차 평가보고서(2013)에서는 인간활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정하였다(기상청, 2011; 국립기상연구소, 2011; 신현석 외, 2013). 이것은 IPCC 4차 보고서(2007)에서 사용된 SRES 온실가스 시나리오(예령 외, 2008; 우수민 외, 2008; 이경주 외, 2010; 정제호 외, 2011; 김홍래 외, 2011; 권영아 외, 2007 등의 연구에 활용된 바 있음)를 업그레이드하여 RCP (Representative Concentration Pathways) 시나리오를 도입한 것이다. RCP 시나리오는 기후변화 대응정책과 연계하여 선정된 것으로서, 최근 온실가스 농도변화 경향을 반영하였으며 최근 예측모델에 맞게 해상도 등을 업데이트 하였는데, 많은 연구 및 실무에서 RCP 시나리오가 활용된 바 있다(이조한 외, 2012; 백희정 외, 2012; 전주기상대, 2012; 신현석 외, 2013).

RCP에서 4가지 대표 온실가스 농도는 2.6, 4.5, 6.0, 8.5이며 온실가스 농도 산출과정에서 사회경제적 가정을 미래사회 구조기반에서 기후변화 대응정책 수행여부로 변경하였는데, 2100년 기준 이산화탄소 농도가 각각 421ppm, 538ppm, 670ppm, 936ppm으로 예측되는 시나리오이다. RCP2.6은 인간활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우이며, RCP4.5는 온실가스 저감정책이 상당히 실현되는 경우이고, RCP6.0은 온실가스 저감정책이 어느 정도 실현되는 경우이며, RCP8.5는 현재 추세로 온실가스가 배출되는 시나리오를 의미하는데, RCP8.5의 시나리오는 2100년 전지구 평균기온이 2010년까지 평년 기온에 비하여 4.6℃ 상승하고, 연강수량은 5.9% 증가하는 것으로서, 기온은 0.63℃/10년의 상승률을 보여줄 것으로 예측되는 시나리오이다(기상청, 2011). 또한 RCP시나리오에서의 숫자는 복사강제력 즉, 온실가스 등으로 에너지의 평형을 변화시키는 영향력의 정도를 의미하는 양으로서 단위는 W/m^2이며, 지상에 도달되는 태양복사가 약 $238W/m^2$이므로 RCP 8.5/6.0/4.5/2.6의 복사강제력은 입사 태양복사량의 약 3.6%, 2.5%, 1.9%, 1.1%에 해당 되는 것으로서, 즉, 2100년도에 지구상에 체류하는 태양복사량이 Figure 1과 같이 그 만큼 증가한다는 것을 의미한다(국립기상연구소, 2011).

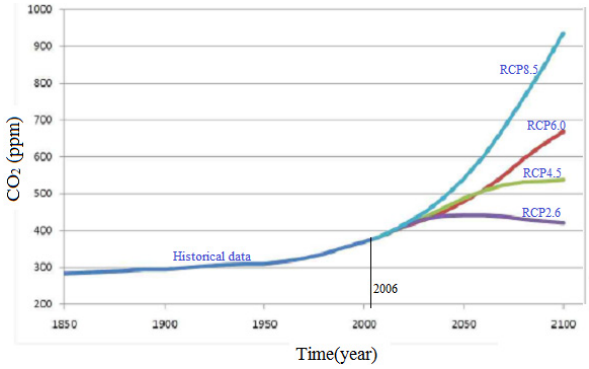


Figure 1 Change of CO_2 Concentration for each RCP scenario.

3. 연구자료 및 태양광 발전량 계산

3.1 태양광 발전량 계산

태양광 발전량의 계산은 보편적으로 사용되는 photovoltaic(PV) 시스템으로 추정할 수 있는데, 총발전량(E_p)은 다음 식으로 구하였다(안교상 외, 1999; 김대식 외, 2010).

$$E_p = \eta A_p Q_A (\text{kWh}) \quad (1)$$

여기서, η는 발전효율, A_p는 어레이면적(m^2), Q_A는 경사면일사량(kWh/m^2)이다. 여기서, 발전효율은 국내 실험데이터인 평균 9.6%를 적용한 경우도 있으나(안교상 외, 1999; 김대식 외, 2010), 발전효율은 매년 증가하는 방향으로 변동되는 수치로 볼 수 있다. 태양광발전시스템의 용량은 국내 주택용 건물에 가장 많이 보급되어 있는 3 kWp 출력 용량의 시스템을 대상으로 선정하였으며, 그 특성은 Table 1과 같다(김명철 외, 2007).

3.2 경제성 분석

일반적인 경제성 분석은 크게 자금의 흐름을 어느 시점의 등가로 환산하여 대안의 경제성을 평가하는 방법과 얻어지는 이익이 등가각 되는 비율을 비교하여 대안의 경제성을 평가하는 방법이 있다. 이를 위한 분석 도구들 중에는 현가(Net Present Value, NPV), 내부수익률(Interal Rate of Return, IRR), 편익/비용(Benefit/Cost, BC) 비율 분석, 회수기간(Payback Period), 투자 대 절감비율(SIR), 감가상각(Depreciation), 민감도 분석(Sensitivity Analysis) 및 전생애비용(Life Cycle Cost) 등이 있다(이관호 2004).

경제성분석의 주요인자로는 첫째, 물가 상승률과 이자율이 있으며, 둘째, 할인율 및 에너지가격 지수가 있다. 물가상승률이란 일반물가수준이 상승하는 과정이다. 건물에너지의 경제성 분석에 있어서 이러한 물가상승률의 영향을 비용과 효용의 측정으로부터 제거시켜야 한다. 물가 상승률은 소비자 물가지수와 생산자 물가지수의 합을 1/2로 나누어서 사용한 연구사례도 있다. 최근 10년(1994-2003년) 및 최근 5년간(1999-2003)의 물가상승률은 각각 3.45%, 1.48%이다. 물가 상승률을 고려한 이자율은 장기 정부채권의 이율을 사용하는 것이 원칙이다(이관호 2004).

본 연구에서는 각 시나리오의 경제성 분석을 위하여 NPV법을 사용하였는데, 경제성 분석을 위한 현재가치(NPV)와 BC 비의 산정은 다음 식으로부터 수익부문과 비용부문으로부터 구할 수 있다. 경제성 평가를 위해서는 비용부문과 수익부문으로 나누어 검토가 이루어진다. 수익부문은 발전하여 생산된 전력으로 인한 전기절감,

Table 1 Specifications of solar photovoltaic(PV) module

Item		Value
System	type of PV module	poly-Si
	absorption rate of solar energy in transmission network	95.0%
PV module	efficiency of nominal PV module	11.0%
	temperature coefficient of PV	0.40%/℃
	loss rate of PV array	5.0%
	power of PV array	3.0kWp
	area of PV system	27.3m^2
Electric power control	mean efficiency of inverter	90%
	capacity of inverter	2.7kW(AC)
	loss rate of power control	5%
PV array	setting slope angle	30°
	setting direction angle	0°(south-facing)

온실가스 저감으로 인한 수입으로 구성되고, 비용부문은 시스템 구입비용과 정기적인 설비 유지 보수 등의 비용으로 구성된다(김명철, 2007).

$$NPV_n = \sum_{i=0}^{n}\left[\frac{B(i)+GHG(i)}{(1+r)^i}\right]-\left[C_0+\sum_{i=0}^{n}\frac{OM(i)}{(1+r)^i}\right] \quad (2)$$

$$BC_n = \sum_{i=0}^{n}\left[\frac{B(i)+GHG(i)}{(1+r)^i}\right]/\sum_{i=0}^{n}\left[C_0+\sum_{i=0}^{n}\frac{OM(i)}{(1+r)^i}\right] \quad (3)$$

여기서, B(i)는 생산된 전력으로 인한 전기절감 수입, GHG(i)는 연간 온실가스 배출 저감에 따른 수입, r는 할인율(%), C_0는 초기투자비, OM(i)는 연간 유지보수비 비용, n는 경제성 평가 예상기간(년)을 나타내는데, 본 연구에서는 회수기간을 25년으로 우선 설정하였다.

경제성 평가를 위해 요구되는 구입 및 설치비, 정부보조금, 연간 유지보수비, 발전된 전력의 판매단가, 물가상승률, 할인율, 경제성 평가 기간 등이다. 태양광 발전 시스템에 대한 경제성 분석을 위한 입력자료는 다음 Table 2와 같다.

환경을 고려한 인자로서 "연간 온실가스 배출 저감에 따른 수입" 항목을 위해서 본 연구에서는 "이산화탄소저감및처리기술개발사업단"에서 제시하고 있는 자료를 인용하여 사용하였다. 유럽연합(EU) 집행위원회도 항공기 배출가스를 억제하기 위해 2011년부터 배출가스만큼의 돈을 내도록 결의한 바 있다(http://www.cdrs.re.kr/).

3.3 연구자료

본 연구에서는 Table 3에서 보는 바와 같이 우리나라 농촌지역을 대표할 수 있는 8개도를 대상으로 분석지역을 선정하였으며, 기상청 웹사이트에서 일사량자료를 구할 수 있는 각 도의 대표적인 지역들을 하나씩 선정하였다. 이것은 태양광 발전과 밀접한 관계가 있는 일사량이 공간적으로 편차가 있으며, 농촌지역의 기하학적 위치와 지형학적 특성을 반영할 경우 태양광 발전량이 각 지역마다 다른 특이성을 보일 것이라는 전제를 분석에 반영하기 위한 것이다. Table 3에서 보는 바와 같이, 8개 도의 주요지점별 2010년 기준 평년 일별 경사면 일사량 자료는 5월에 각 지점에서 최대치를 보이며, 그 값의 분포는 전남 목포에서 최대 5.35, 전북 전주에서 최소 4.94를 나타내고 있다. 그리고 최소치는 강원 춘천에서 11월에 3.44를, 제주시에서 1월에 2.05를 나타내었고, 나머지 지역에서는 모두 12월에 최소치를 보여주고 있다. 이들의 값들을 전체 평균한 년평균 일별 경사면 일사량은 4.07로 나타났다. 본 연구에서는 이 자료를 태양광 일별 발전량을 계산하는데 사용하였다.

한편, 태양광 발전량을 계산하는 식 (1)의 발전효율인 η의 값은 실험자료로부터 구하여 사용하는 경우(안교상 외, 1999; 김대식 외, 2010)도 있으나, 본 연구에서는 Table 4와 같이 지준범(2010)의 연구에서 실제 전국적으로 운영되고 있는 태양광 발전 시스템의 용량과 발전량의 통계자료에서 조사 분석한 주요 도별 발전효율 자료를 사용하였다. Table 4에서 보는 바와 같이, 발전효율은

Table 2 Input data for economic analysis

항 목	입력 자료1)
시스템 구입 및 설치비용	각 시나리오별 설치단가
연간 유지 보수비	구입 설치 비용의 0.5%
발전된 전력 판매단가	231원/kWh(월 500kWh 기준)
발전된 전력 판매단가 상승률	1.1%
물가 상승률	3.4%
할인율	6.5%
경제성 평가 기간	25년
연간 온실가스 배출 저감에 따른 수입	5,000원/CO_2 1톤2) CO_2 배출계수: 석탄 968g/1kWh, 태양광 100g/1kWh, 천연가스(바이오매스) 440g/1kWh 1. 태양광 발전: 968-100= CO_2 868g/1kWh 절감효과 2. 풍력발전: CO_2 968g/1kWh 절감효과 3. 바이오매스발전: 968-440 = CO_2 528g/1kWh 절감효과

1) 김명철 외(2007)에서 인용하여 적용

2) 이산화탄소저감및처리기술개발사업단(http://www.cdrs.re.kr): 신재생에너지원별 온실가스 배출 저감효과는 태양광, 풍력, 바이오매스(=천연가스의 CO_2 배출계수 적용)에 대하여 석탄을 사용하여 전력을 생산하는 경우에 대비하여 저감효과를 상대적으로 계산함

전북에서 17.17%로 최고치를, 강원에서 13.09%로 최소치를 보였으며, 8개 도의 평균은 14.64%로 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 연구들이 제시한 실험자료를 모든 지역에 동일하게 적용하지 않고, 전국적인 공간적 상이성을 반영하기 위하여 Table 4의 자료를 본 분석에 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 전기수요량 분석

본 연구에서 분석을 시도하는 방향에 맞는 우리나라 농촌지역의 농가당 전기사용량에 대한 구체적인 조사 사례는 찾아보기 어렵다. 일반적으로 전기사용량에 대한 통계조사는 표본가구를 대상으로 이루어지는 경우가 많은데, 에너지경제연구원(2007)의 연구에서는 가구원수별 월평균 전력소비량을 우리나라 군지역에 대한 평균으로 제시하고 있다. 동 보고서에서 가구원수가 2인 이하, 3인, 4인, 5인, 그리고 6인 이상에 대하여 조사 분석한 전체 평균치는 218.5kWh, 3인가구는 227.4kWh, 4인가구는 250.5kWh로 나타났는데, 이 값을 년간 사용량으로 환산하면, 각각 2622.0kWh, 2728.8kWh, 3006.0kWh로 되는데, 우리나라 농촌지역의 가구당 전기 사용량은 2006년도의 자료를 기준으로 보면, 가구원수 3인 기준으로 대략 2700kWh 정도 되는 것으로 볼 수 있다.

한편 실제 농촌마을 단위로 전 가구에 대한 전기사용량을 전수조사한 연구(농림부, 2007)에서는 금산군의 막현리(68호), 당진군의 부장리(99호)와 소소리(98호) 등 3개 마을을 대상으로 하였는데, 년간 호당 월별 전기료를 전기사용량으로 환산한 값은 각각 3,678, 4,345, 4,738kWh로 나타났으며, 전체 265가구의 평균은 4,319kWh로 나타난 바 있다.

한편 에너지경제연구원(2011)의 에너지 총조사 보고서에 의하면, Table 5에서 보는 바와 같이 전국의 군지역에 대한 지역별 표본 가구당 전기사용량은 도별로 약간의 차이를 보이지만 평균 2,988kWh로 나타났다. 평균에 비하여 5% 초과한 충남지역이 상대적으로 가장 높은 값을 보였으나 상대오차가 대부분 2%내로 비슷한 것으로 밝혀졌다. 본 연구에서는 동 보고서에서 제시한 전기사용량만 고려한 것이며, 석유, 도시가스 등의 가구당 사용량은 제외하였다. 따라서 동 보고서의 자료가 된 2010년을 기준으로 하면, 우리나라 농촌지역의 가구당 사용량은 평균을 감안하여 2,988kWh로 볼 수 있다. 따라서, 전국적 분포를 고려하면서 도별 전기사용량을 구체적으로 제시하고 있는 Table 5의 자료를 본 연구의 분석대상으

Table 3 Solar radiationa of slope surface in average value for 20 years until 2010

관측 지점	월별 경사면 일사량 자료(kWh/m^2/day)*												
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
강원 춘천	3.81	4.14	4.35	4.77	**5.07**	5.02	4.04	4.27	4.18	4.04	**3.44**	3.45	3.98
경남 진주	4.69	4.73	4.74	5.07	**5.19**	4.67	4.30	4.35	4.19	4.84	4.50	4.67	4.40
경북 영주	3.93	4.21	4.39	4.87	**5.17**	4.80	4.06	4.14	4.10	4.31	3.86	**3.85**	4.07
전남 목포	3.79	4.29	4.64	5.17	**5.35**	4.92	4.52	4.89	4.53	4.87	4.10	**3.61**	4.31
전북 전주	3.54	3.82	4.15	4.74	**4.94**	4.61	3.95	4.04	4.00	4.29	3.58	**3.34**	3.87
제주 제주	**2.05**	3.00	3.81	4.70	**5.10**	4.71	4.92	4.65	4.08	4.20	3.23	2.28	3.72
충남 서산	4.04	4.46	4.62	5.03	**5.31**	5.00	4.06	4.40	4.43	4.60	3.76	**3.67**	4.20
충북 청주	3.88	4.25	4.31	4.83	**5.16**	4.83	4.05	4.18	4.13	4.32	3.63	**3.52**	4.03
평균	3.72	4.11	4.38	4.90	**5.16**	4.82	4.24	4.37	4.21	4.43	3.76	**3.55**	4.07

* 기상청, http://www.kma.go.kr/

Table 4 Generation efficiency of PV system in each region at 2009*

구 분	도명								평균
	강원	충남	충북**	전북	전남	경북	경남	제주	
발전효율(%)	13.09	15.31	13.84	17.17	15.94	13.13	15.25	13.38	14.64

* 지준범(2010), ** 강원, 충남, 경북의 값을 평균하였음

로 설정하였다.

2. 태양광 발전량 잠재량 분석

본 연구에서는 태양광 발전량 계산공식 (1)에 의하여 Table 3의 자료로부터 각 지역의 3kWp PV시스템에 의한 잠재 발전량을 분석하여, 그 결과를 Table 6에 나타내었다. 전남 목포에서 최대치 7,239kWh를, 제주시에서 5,198kWh를 나타내었고, 제주도를 제외하면 남쪽지역이 높은 값을 북쪽지역이 낮은 값을 나타내었으며, 각 지점의 평균치는 6,287kWh를 나타내었다. 한편 평년 평균 일사량 자료에 의한 전기발전량의 계산 결과에 있어서, 3kWp PV 시스템을 적용할 경우, 전국 평균치는 6286.71kWh로 나타나, Table 5에서 제시한 지역별 군지역 표본 가구당 전기사용량의 평균값인 2,988kWh 뿐만 아니라, 충남지역에서 실제 조사하여 상대적으로 높은 값을 보인 4,319kWh 보다 높은 것을 알 수 있었다. 또한, Table 5의 소비량 대비 Table 6의 발전량 비를 분석해 보면, 최대 2.28배에서 최소 1.72배에 이르기까지 가구당 소비량 보다 3kWp PV시스템이 년간 생산하는 전기발전량이 많은 것으로 분석되었다. 이로부터 농촌지역의 농가에서는 3kWp PV 시스템 1개 모듈을 설치할 경우 년간 전기생산량은 충분한 것을 알 수 있었다.

Table 5 Annual energy consumption of sample households in rural area at 2010

구 분		도별 농촌지역(군지역) 에너지 소비량(kWh)							평균
		강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	
전력	소비량	2953.21	2932.64	3133.47	2978.54	2953.56	3030.73	2930.20	2,987.48
	평균대비	0.99	0.98	1.05	1.00	0.99	1.01	0.98	1.00

* 에너지경제연구원, 2011 에너지 총조사 보고서, p.567, 2011, (kcal를 kWh로 단위환산)

Table 6 Results of electric power generation

관측 지점	월별 발전량(kWh)												합계	발전량 / 소비량*
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월		
강원 춘천	422.07	414.25	481.90	511.38	561.66	538.18	447.55	473.03	448.13	447.55	368.79	382.19	5496.69	1.72
경남 진주	605.29	551.38	611.75	633.23	669.83	583.27	554.96	561.41	523.32	624.65	562.04	602.71	7083.85	2.21
경북 영주	436.70	422.54	487.81	523.69	574.49	516.17	451.14	460.03	440.89	478.92	415.08	427.81	5635.28	1.72
전남 목포	511.27	522.72	625.94	674.94	721.72	642.30	609.75	659.66	591.39	656.96	535.25	486.99	7238.88	2.28
전북 전주	514.40	501.37	603.04	666.55	717.83	648.27	573.97	587.05	562.49	623.38	503.43	485.33	6987.10	2.17
제주 제주	232.13	306.83	431.43	515.04	577.50	516.13	557.12	526.54	447.10	475.59	353.95	258.18	5197.52	-
충남 서산	523.46	521.95	598.61	630.71	688.01	626.94	526.05	570.10	555.47	596.02	471.46	475.52	6784.29	2.00
충북 청주	454.46	449.62	504.82	547.48	604.38	547.48	474.37	489.59	468.13	505.99	411.46	412.29	5870.07	1.85
평균	462.47	461.33	543.16	587.88	639.43	577.34	524.36	540.93	504.62	551.13	452.68	441.38	6286.71	-

* Table 5의 소비량 자료 적용

3. 기후변화 시나리오에 의한 태양광 발전량 잠재량 분석

본 연구에서는 RCP 시나리오를 기후변화 시나리오로 채택하고, 태양복사량이 Figure 1과 같이 선형적으로 증가하여 2,100년을 기준으로 각 시나리오별로 3.6%, 2.5%, 1.9%, 1.1% 각각 증가하는 것을 가정하여, 매년 일정량이 증가하는 것으로 가정하였다. 이에 따라 2010년 기준 평년 일사량에 의한 발전량에 비하여 2,100년도에 증가되는 발전량을 계산하였으며, 이 발전량의 값이 90년간 일정하게 선형적으로 증가한다는 가정하에, Table 7과 같은 년간 선형적으로 년간 증가되는 발전량을 도출할 수 있다. 따라서 Table 7의 년간 증가량을 고려하여 경

Table 7 Electric power generation and annual increase power of RCP scenarios

측점	평년발전량(kWh)	시나리오별 년간 증가량(kWh)			
		RCP8.5	RCP6.5	RCP4.5	RCP2.6
강원 춘천	5074.61	6.89	6.22	5.85	5.36
경남 진주	6478.56	9.56	8.69	8.22	7.59
경북 영주	5198.59	7.11	6.42	6.04	5.54
전남 목포	6727.60	8.58	7.69	7.21	6.57
전북 전주	6472.70	8.51	7.66	7.19	6.57
제주 제주	4965.39	4.66	4.02	3.68	3.21
충남 서산	6260.83	8.53	7.70	7.25	6.65
충북 청주	5415.62	7.40	6.68	6.29	5.77

제성분석을 시도하였다.

4. 경제성 분석 결과

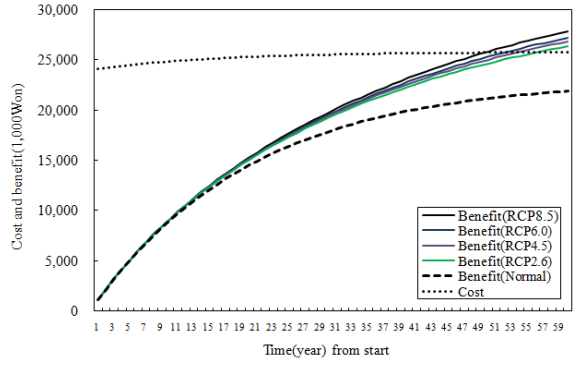
식 (2)와 (3)에 의한 경제성 분석 결과, Table 8과 같이 나타났다. 회수기간 25년을 기준으로 분석한 결과, 평년 및 4가지 RCP 시나리오의 모든 경우에 있어서, 분석대상 모든 지점에서 NPV_{25}는 마이너스를 나타내었으며, BC_{25} 비는 1.0 이하를 나타내었다. 그러나 그 중에서도 전남 목포의 경우 RCP8.5의 경우에 BC_{25}가 0.92로 최대값을 나타내었으며, 그 다음으로 경남 진주에서 RCP8.5의 경우에 0.89를 나타낸 반면, 제주시에서는 최소값을 나타내었다. 이로부터 기존의 경제성 분석 인자들이 그대로 고정된다면, 모든 경우에 있어서 경제성이 낮은 것으로 분석되었다.

한편 Table 9와 Figure 2에서 보는 바와 같이 각 시나리오에 대한 경제성 분석의 결과를 볼 수 있는데, BC비가 1.0 이상이 되는 경우는, 평년 일사량 자료에 대하여 전남 목포에서 37년이 걸리는 것으로 최소값을 보였다. 그리고 RCP 시나리오의 경우에는 마찬가지로 전남 목포에서 RCP8.5의 경우에 30년이, 경남 진주와 전북 전주에서 RCP8.5의 경우에 31년이 걸리는 것으로 분석되었다. 전반적으로 RCP8.5가 다른 시나리오에 비하여 발전량에 있어서 높은 값을 나타내는 것으로 분석되었다. 그럼에도 불구하고, 주어진 경제성 분석 입력조건에서는

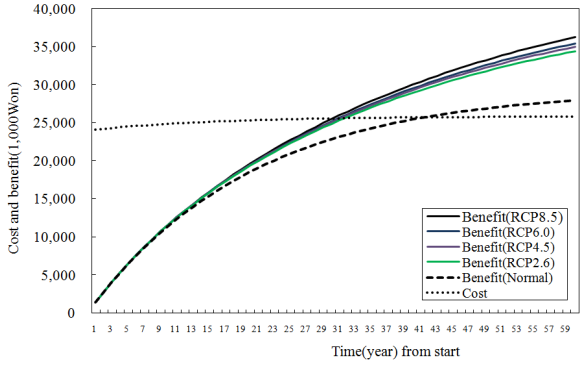
Table 8 Results of economic analysis for electric power generation with RCP scenarios

측점	구분	Scenario(1,000 Won)				
		Normal	RCP8.5	RCP6.5	RCP4.5	RCP2.6
강원 춘천	NPV^{*}_{25}	-9056.75	-7786.10	-7940.56	-8024.81	-8137.15
	BC^{**}_{25}	0.64	0.69	0.69	0.68	0.68
경남 진주	NPV_{25}	-4517.58	-2719.52	-2918.59	-3027.17	-3171.94
	BC_{25}	**0.82**	**0.89**	**0.89**	**0.88**	**0.88**
경북 영주	NPV_{25}	-8655.93	-7342.82	-7501.17	-7587.55	-7702.72
	BC_{25}	0.66	0.71	0.71	0.70	0.70
전남 목포	NPV_{25}	-3712.38	-2155.62	-2359.04	-2470.00	-2617.94
	BC_{25}	**0.85**	**0.92**	**0.91**	**0.90**	**0.90**
전북 전주	NPV_{25}	-4536.51	-2979.20	-3175.55	-3282.64	-3425.44
	BC_{25}	0.82	0.88	0.88	0.87	0.87
제주 제주	NPV_{25}	-9409.89	-8645.25	-8791.30	-8870.97	-8977.19
	BC_{25}	**0.63**	**0.66**	**0.65**	**0.65**	**0.65**
충남 서산	NPV_{25}	-5221.51	-3646.64	-3837.28	-3941.27	-4079.93
	BC_{25}	0.79	0.86	0.85	0.85	0.84
충북 청주	NPV_{25}	-7954.23	-6587.55	-6752.51	-6842.49	-6962.45
	BC_{25}	0.69	0.74	0.73	0.73	0.73

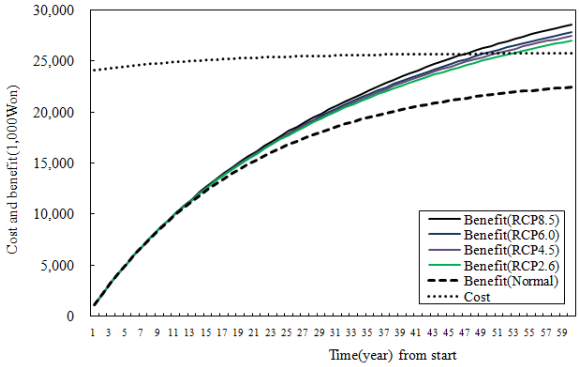
* NPV_{25}: 회수기간 25년 동안 Net Present Value, BC_{25}: 회수기간 25년 동안 Benefit/Cost 비



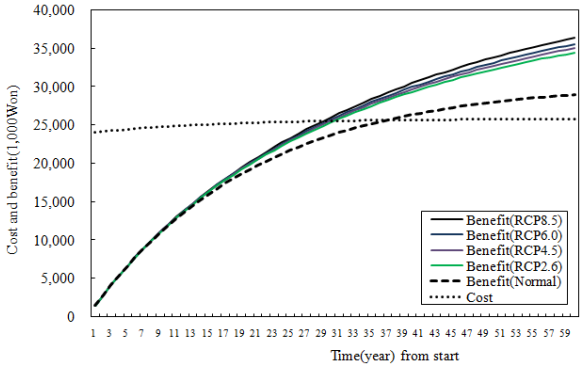
(1) 강원 춘천



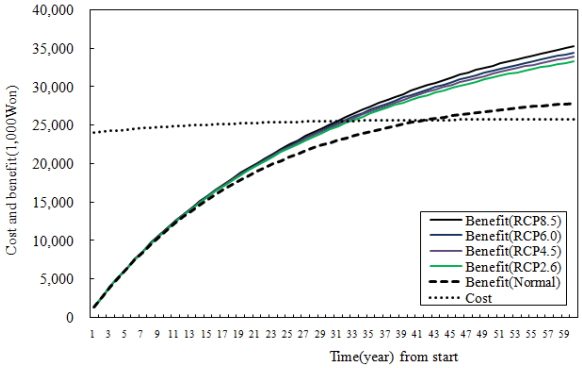
(2) 경남 진주



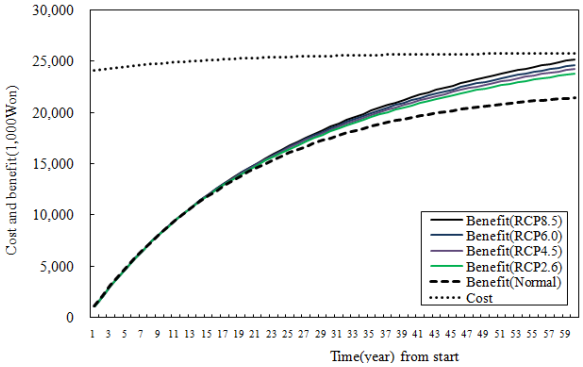
(3) 경북 영주



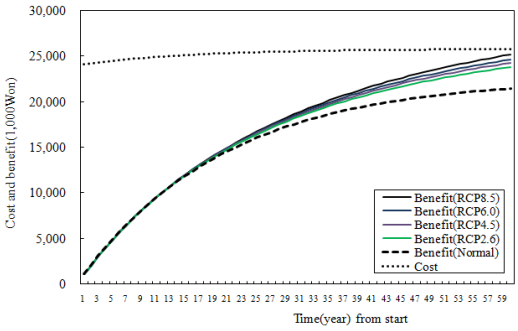
(4) 전남 목포



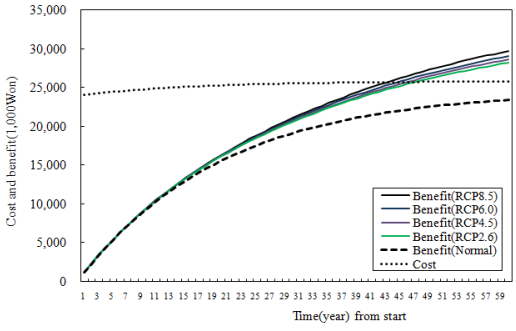
(5) 전북 전주



(6) 제주 제주시



(7) 충남 서산



(8) 충북 청주

Figure 2 The results of economic analysis

Table 9 The number of year for BC ratio bigger than 1.0

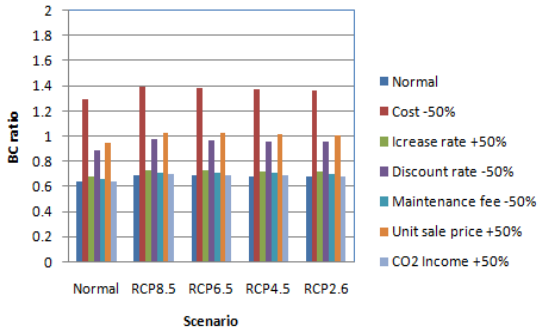
Survey point	Scenarios(the number of year)				
	Normal	RCP8.5	RCP6.5	RCP4.5	RCP2.6
강원 춘천	100<	44	45	46	48
경남 진주	**42**	**31**	**31**	**32**	**32**
경북 영주	100<	48	50	51	53
전남 목포	**37**	**30**	**30**	**31**	**31**
전북 전주	**42**	**31**	**32**	**32**	**33**
제주 제주	100<	65	73	80	91
충남 서산	48	33	34	34	35
충북 청주	100<	44	45	46	48

어떤 시나리오에서도 회수기간 25년을 기준으로 경제성이 없는 것을 알 수 있었다.

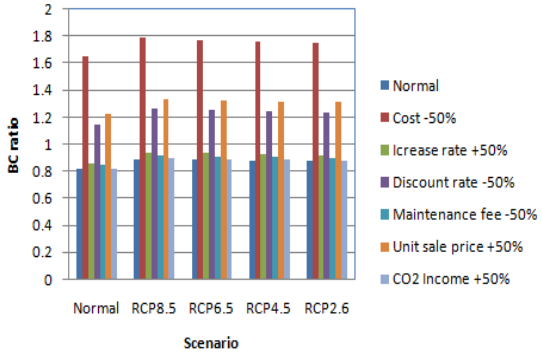
5. 민감도 분석 결과

주어진 Table 2의 입력조건에 있는 각 인자들에 대하여 민감도 분석을 실시하였다. 그 이유는 시간에 따라 유가, 전력 단가, 이자율, 유지비용 등이 변화할 수 있기 때문이다. 특히, 초기 설치비의 경우에는 매년 성능이 좋은 재료의 개발과 더불어 설치비용도 점차 감소될 가능성이 있으며, 정부의 신재생에너지 권장 정책에 따라 설치 보조금이 지급되기 때문이다. 본 연구에서는 민감도 분석을 위한 입력 조건의 시나리오를 설정함에 있어서, 경제성이 있는 방향으로 초기 인자 값에 대하여 +50% 또는 -50%를 추가하는 것으로 하였다. 이에 따라, 초기 설치 단가(cost)는 -50%, 물가 상승률(Increase rate)는 +50%, 할인율은 -50%, 유지비용은 -50%, 전력 판매단가는 +50%, CO_2 판매 수익은 +50%에 대하여 각각 민감도 분석을 실시하였다. 각 시나리오 값에 대한 반대 부호의 50% 변동에 대해서는 Table 2의 기준 인자 값보다 경제성이 더 떨어지는 결과를 나타낼 것이기 때문에 분석을 생략하였다. 민감도 분석의 각각 시나리오들은 하나의 변수에 대한 민감도를 분석한 것으로서 하나의 변수가 50%변동되면 나머지 변수들은 기준 값을 가지게 된다. 설정된 민감도 시나리오별 분석 결과는 Figure 3과 같이 나타났다.

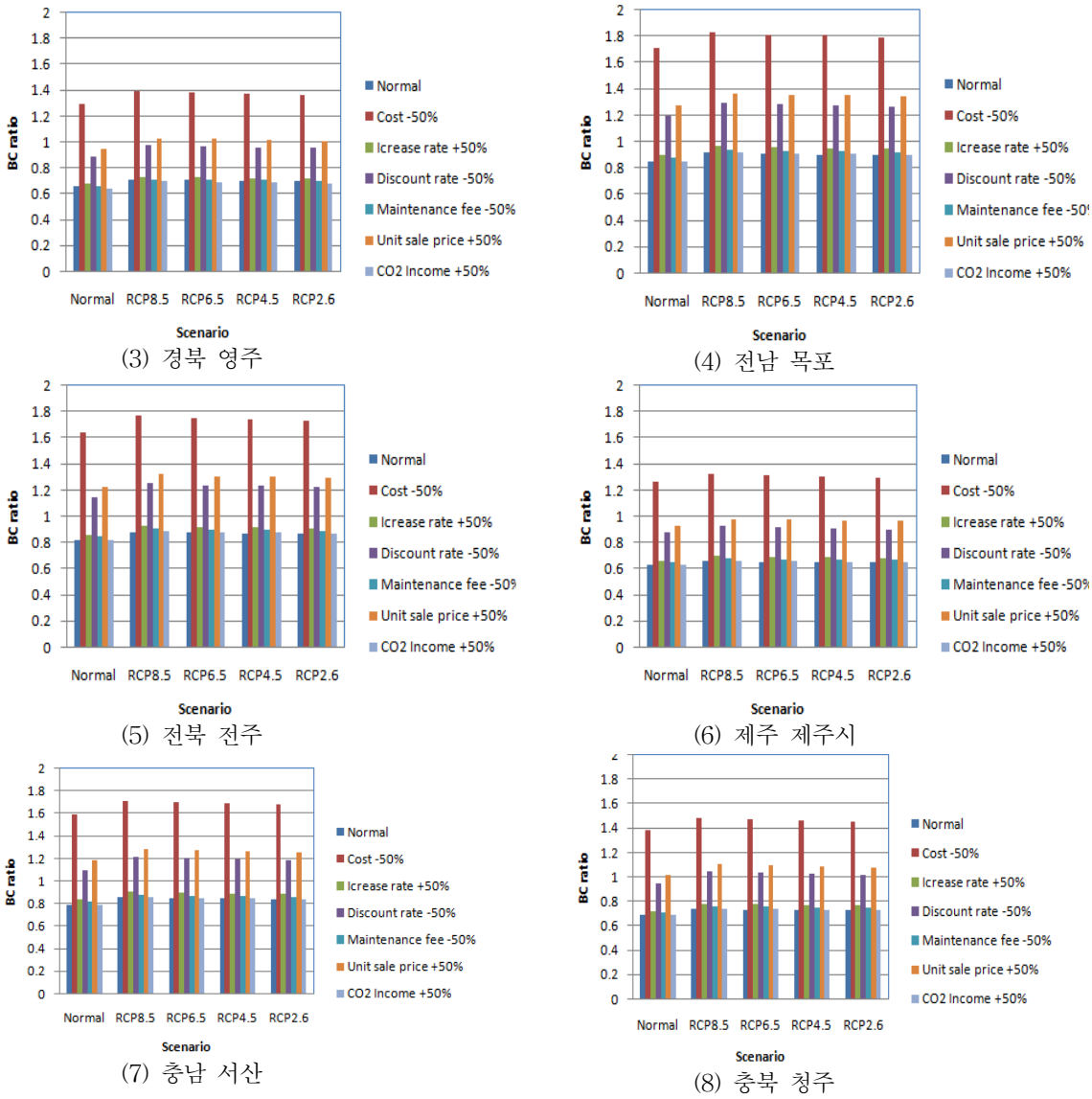
Figure 3에서 보는 바와 같이, BC 값이 높아지는 방향으로 가장 큰 민감도를 보이는 것은 초기 설치비용(Cost), 전력 판매단가(Unit sale price), 할인율(Discount rate)의 순으로 나타났으며, 나머지 인자들은 기준 인자 값과 미세한 차이를 보였다. 초기 설치비용(Cost)이 -50% 변할 때 모든 지점에서 BC 값이 1.0을 훨씬 초과하는 것으로 나타났다. 전력 판매단가가 +50% 변할 경우에는 제주시를 제외하고 모든 지점에서, 그리고 할인율이 -50% 변할 경우에는 제주시, 경북 영주, 그리고 강원 춘천을 제외한 모든 지점에서 RCP 시나리오의 BC 값이 1.0 이상을 나타내었다. 또한 이 세가지 민감도 시나리오에 대해서는 경남 진주, 전남 목포, 전북 전주, 충남 서산 등 네 지역에서도 평년 값의 BC 값이 1.0 이상을 나타내는 것으로 나타났다. 따라서, 정부의 보조금 지급, 유가 상승에 의한 전력 판매 단가의 상승, 그리고 할인율의 변동은 충분한 가능성이 있기 때문에 태양광 발전



(1) 강원 춘천



(2) 경남 진주



(3) 경북 영주 (4) 전남 목포

(5) 전북 전주 (6) 제주 제주시

(7) 충남 서산 (8) 충북 청주

Figure 3 Sensitivity analysis for six scenarios.

시설의 사용은 충분히 경제성이 있을 것으로 평가된다.

6. 결과 및 고찰

농촌마을 단위에서 태양광 발전은 가장 적용성이 높은 것으로 알려지고 있다(김대식 외, 2010). 그러나 지금까지 농촌마을 단위에서 경제성 분석을 지역별 기후특성과 기후 변화시나리오를 고려하여 분석한 연구는 희박하였다. 본 연구에서 분석한 결과, 우리나라 각 지역은 위치, 고도, 지세 등 다양한 인자에 의하여 기후 특성이 다르다. 그 결과 일조시간과 일사량이 다르므로, 각 지역별로 태양광 발전량도 다를 것이라는 전제에 이로부터 경제성을 분석한 결과 각 지역별로 그 차이를 알 수 있었다.

분석 결과, 경남, 전남, 전북 등 남쪽 지역이 중부지역보다 태양광 발전량과 경제성이 높은 것으로 분석되었다. 그러나 제주도는 호우일수가 많은 관계로 남쪽에 있음에도 불구하고 남해안 지역보다 일사량이 적어 태양광 발전량이 낮은 것으로 나타났으며, 경제성도 낮은 것으로 분석되었다. 경남, 전남, 전북 등 남쪽 지역이 중부지역보다 태양광 발전량과 경제성이 높은 것으로 분석되었다. 그러므로 남쪽 지역에 위치한 농촌마을들이 태양광 발전설비를 도입할 경우에 더욱 유리한 것을 알 수 있었다.

기후변화 시나리오를 고려할 경우에 그렇지 않은 경우보다 경제성이 있는 것으로 분석 되었으며, 특히 민감도 분석에서는 정부가 지원하는 설치비용 인자가 가장 높은 민감도를 보여, 정부지원이 있을 경우에는 대부분 지역에서 경제성이 높은 것으로 분석되었다. 그러므로, 설치 및 유지관리에 정부의 적절한 지원(예, 설치 및 유지관리비의 최소 50% 이상)이 있다면, 농촌마을에 태양광 발전시설을 적극적으로 설치하여, 농촌마을의 에너지 자립을 도모할 수 있을 것으로 보였다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 기후변화 시나리오를 고려하여 농촌마을의 태양광 발전시설의 활용에 대한 경제성을 분석하였다. 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 기후변화 시나리오는 IPCC에서 최근에 채택한 RCP 시나리오(RCP8.5, RCP6.5, RCP4.5, RCP2.6)를 사용하였다. RCP 네 가지 시나리오는 2100년을 기준으로 각각 태양복사량의 약 3.6%, 2.5%, 1.9%, 1.1%가 증가하는 것으로서, 이를 고려하여 태양복사량이 증가한다는 가정을 하였으며, 2,100년도에 증가되는 양을 년간 증가하는 양으로 환산하여 사용하였다. 태양광 발전량을 계산하기 위하여, 경기도를 제외한 8개 도의 대표적인 지점의 2010년 기준 평년 경사면 일사량 자료를 사용하였으며, 2009년에 실측된 태양광 발전 시스템의 효율을 도별로 적용하였다.

2. 농촌마을 가구당 전기수요량 분석 결과, 2010년 기준으로 도별로 약간의 차이를 보이나 평균적으로 년간 2,988kWh가 소요되는 것으로 파악되었으며, 3kW PV 시스템을 사용한 태양광 발전량은 도별 평균 발전효율 14.64%를 고려했을 때, 6,287kWh가 생산되어 수요량 대비 태양광발전량은 충분한 것으로 분석되었다.

3. 경제성 분석 결과, 평년 및 4가지 RCP 시나리오의 모든 경우에 있어서, 분석대상 모든 지점에서 NPV_{25}는 마이너스를 나타내었으며, BC_{25} 비는 1.0 이하를 나타내었다. 그러나 전남 목포의 경우 RCP8.5의 경우에 BC_{25}가 0.92로 최대값을 나타내었으며, 그 다음으로 경남 진주에서 RCP8.5의 경우에 0.89를 나타낸 반면, 제주시에서는 최소값을 나타내었다.

4. BC 비가 1.0 이상이 되기 위해서는, 평년 일사량 자료에 대하여 전남 목포에서 37년이 걸리는 것으로 최소값을 보였다. RCP 시나리오의 경우에는 마찬가지로 전남 목포에서 RCP8.5의 경우에 30년이, 경남 진주와 전북 전주에서 RCP8.5의 경우에 31년이 걸리는 것으로 분석되었는데, 전반적으로 RCP8.5가 다른 시나리오에 비하여 발전량에 있어서 높은 값을 나타내는 것으로 분석되었다. 그러나 어떤 시나리오에서도 회수기간 25년을 기준으로 경제성이 없는 것을 알 수 있었다.

5. 경제성 분석 모델의 각 인자들에 대한 민감도 분석을 실시하기 위하여, 경제성이 증가하는 방향으로, 초기 설치 단가(cost)는 -50%, 물가 상승률(Increase rate)는 +50%, 할인율은 -50%, 유지비용은 -50%, 전력 판매단가는 +50%, CO_2 판매 수익은 +50%로 설정하여 분석을 실시하였다. 가장 큰 민감도를 보이는 것은 초기 설치비용(Cost), 전력 판매단가(Unit sale price), 할인율(Discount rate)의 순으로 나타났으며, 나머지 인자들은 기준 인자값의 결과와 미세한 차이를 보였다.

초기 설치비용(Cost)이 -50% 변할 때 모든 지점에서 BC 값이 1.0을 훨씬 초과하는 것으로 나타났다. 이것은 정부보조금이 설치비용의 50%이상이면 경제성이 있다는 것을 의미한다. 전력 판매단가가 +50% 변할 경우에는 제주시를 제외하고 모든 지점에서, 그리고 할인율이 -50% 변할 경우에는 제주시, 경북 영주, 그리고 강원 춘천을 제외한 모든 지점에서 RCP 시나리오의 BC값이 1.0 이상을 나타내었다.

이와 같은 분석 결과, 태양광 발전시설의 설치에 대한 정부의 보조금 확대, 유가 상승에 의한 전력 판매 단가의 상승, 그리고 할인율의 변동 등이 있을 경우를 고려하면, 지역별로 약간의 차이는 있으나, 우리나라의 대부분 농촌지역에 태양광 발전 시설의 사용은 충분히 경제성이 있을 것으로 평가되었다. 또한 기후변화 시나리오를 고려하면, 농촌공간에 대한 태양에너지의 활용은 더욱더 경제성이 있을 것을 판단되었다.

본 논문은 충남대학교 2011년 국외파견지원비에 의해 수행된 연구결과임

참고문헌

1. 기상청, 2011, 기후변화 시나리오 이해 및 활용사례집.
2. 기상청 기후변화정보센터
   - http://www.climate.go.kr/index.html
3. 김대식, 남상운, 2010, 태양에너지를 이용한 농촌 그린빌리지 계획의 경제성 분석에 관한 연구, 한국농공학회논문집, 27-34(영문).

4. 김명철, 주재욱, 서간호, 이경희, 최정민, 2007, 주거용 건물의 태양광 발전시스템 투자회수 기간 산정, 한국태양에너지학회 논문집 27(2), 87-93.
5. 김홍래, 이혜숙, 신재기, 2011, 우리나라 15개 다목적댐 유역별 A1B 기후변화 시나리오 분석, Korean J.Limnol, 44(2), 187-194.
6. 국립기상연구소, 2011, IPCC 5차 평가보고서 대응을 위한 기후변화 시나리오 보고서 2011.
7. 권영아, 권원태, 부경온, 최영은, 2007, A1B 시나리오 자료를 이용한 우리나라 아열대 기후구 전망, 대한지리학회지, 44(3), 355-367.
8. 농림부, 2007, 농촌마을 리모델링 기법개발에 관한 연구 -농촌마을 신재생에너지 활용방안 연구-.
9. 백희정, 이조한, 이효신, 간순영, 김민지, 조천호, 부경은, 강현석, 현유경, 권원태, 2012, RCP 시나리오와 HadGEM2-AO를 이용한 전지구 기후변화 전망, 한국기상학회 봄 학술대회 논문집, 23-24.
10. 신현석, 홍승진, 김병식, 김형수, 2013, RCP8.5 시나리오를 이용한 안성천 유역의 유출특성 분석, 한국방재학회 학술발표대회지, 332-338.
11. 안교상, 임희천, 황인호, 1999, 50kW급 계통연계형 태양광발전시스템 운전특성 분석, 한국태양에너지학회 학술발표대회논문집 : 116-120.
12. 우수민, 오재호, 고아라, Detlev Majewski, 2008, IPCC AR4 기후변화 시나리오에 따른 고해상도 전구모델 GME를 이용한 Time-Slice 실험, 한국기상학회 가을 학술대회 논문집, 150-151.
13. 에너지경제연구원, 2007, 기초에너지 사용량 정립에 관한 연구.
14. 에너지경제연구원, 2011, 2011 에너지 총조사 보고서.
15. 예령, 정세웅, 오동근, 2008, A1B 기후변화 시나리오에 따른 대청댐 유역 토양 유실량 예측, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2008공동 추계학술발표회 논문요약집, 33-34.
16. 이관호, 2004, 환경비용을 고려한 재생에너지의 경제성 분석, 한국태양에너지학회 논문집 24(3).
17. 이경주, 최민영, 이준학, 허준행, 2010, 기후변화 시나리오에 따른 소양강 유역 강수량 규모축소에 관한 연구, 대한토목학회 정기학술대회, 1937-1940.
18. 이조한, 이효신, 간순영, 김민지, 백희정, 부경온, 강현석, 조천호, 2012, RCP 기후변화 시나리오를 이용한 미래 해빙변화 전망, 한국기상학회 봄 학술대회 논문집, 81-82.
19. 전주기상대, 2012, 기후업무 관계기관 간 협혁회의 개최, 전주기상대 보도자료, http://web.kma.go.kr/notify/press/reqional_list.jsp?bid=press2&mode=view&num=3375.
20. 정제호, 김동일, 최현구, 한건연, 2011, 기후변화시나리오에 따른 댐유역의 장기 수질변화 예측, 환경영향평가, 20(2), 107-121.
21. 지준범, 2010, 강원지역의 지형을 고려한 태양에너지 산출에 대한 연구, 강원발전연구원.

접 수 일: (2013년 8월 22일)
수 정 일: (1차: 2013년 9월 7일)
게재확정일: (2013년 9월 7일)
■ 3인 익명 심사필