

## RETScreen을 이용한 가로등의 계통연계형 태양광시스템 적용 효과 분석

- 서울시 광진구를 중심으로 -

### A Study on the Application Effect of Central-Grid PV System at a Streetlamp using RETScreen

- A Case Study of Gwangjin-gu -

강성민\* · 최봉석\*\* · 김승진\* · 문효동\* · 이정우\*\* · 박년배\*\*\* · 전의찬\*\*\*\*,†

Kang, Seongmin\*, Choi, Bong-Seok\*\*, Kim, Seungjin\*, Mun Hyo-dong,

Lee, Jeongwoo\*\*, Park, Nyun-Bae\*\*\* and Jeon, Eui-Chan\*\*\*\*,†

\*세종대학교 기후변화협동과정, \*\*세종대학교 지구환경과학과,

\*\*\*세종대학교 기후변화센터, \*\*\*\*세종대학교 환경에너지융합학과

\*Cooperate Course for Climate Change, Sejong University

\*\*Department of Earth and Environmental Sciences, Sejong University

\*\*\*Climate Change Research Center, Sejong University

\*\*\*\*Department of Environment and Energy, Sejong University

## 요 지

우리나라는 지속적인 경제성장으로 인해 도시의 활동시간이 야간으로 연장되면서 시민들의 야간 활동이 늘어나고 있다. 따라서, 가로등 사용에 따른 에너지 소비량도 점점 늘어나고 있는 추세이다. 본 연구는 계통연계형 태양광시스템을 가로등에 적용하여 효율적으로 가로등의 전력소비를 대체하고 이윤을 창출하는 방안 분석을 위해 RETScreen model을 사용하였다. 에너지분석, 비용분석을 통해 계통연계형 태양광 가로등 시스템의 적용효과 및 타당성을 분석하였다. 분석 결과, 계통연계형 태양광 가로등 1주 당 총 전력생산량은 114 kWh, 계통연계형 태양광 가로등 시스템의 순 현재가치는 155,362원, 자기자본회수는 5.2년으로 약 6년 이후로는 수익을 창출할 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 본 연구에서 제안한 계통연계형 태양광 발전시스템 적용 시 태양광 설비의 내구 연한으로 설정한 20년 뒤에는 401,935원의 수익을 창출할 수 있는 것으로 나타났다. 추가적으로 계통연계형 가로등 시스템의 경제성 평가 시 영향을 줄 수 있는 요인을 고려하고자 유지관리 비용, SMP 가격의 변동을 고려하여 민감도 분석을 실시하였다. 실시 결과, 유지관리 비용의 비율변화와 SMP 가격의

† Corresponding author : E-mail: ecjeon@sejong.ac.kr

변동을 고려할 시 자본회수기간이 1~2년 정도 늘어나, 전반적으로 연구결과에는 큰 차이를 보이지 않았다. 경제성 분석에서 신재생에너지 공급인증서의 가격이 가장 큰 요인으로 작용하기 때문에, 신재생에너지공급인증서의 획득 및 안정적인 판매가 중요할 것으로 판단된다. 그러나 신재생에너지공급인증서를 획득할 경우, 서울형 발전차액지원 제도와 관련하여 이미 일부 기관이 서울시와 협정을 맺어 12년간 신재생에너지공급인증서 구매를 확정하도록 하여 안정적인 판매가 가능하다. 그렇기 때문에 이러한 사항들이 잘 반영된다면, 열악한 서울시의 태양환경에도 가로등을 통한 태양광 발전 사업을 수행할 수 있을 것이라 생각된다.

*키워드* : 스마트 가로등 시스템, RETScreen, 경제성 평가, 신재생에너지

## ABSTRACT

With continued economic growth, Korea has seen an increase in the nighttime activities of its citizens as hours of activity have extended into night. There is an increasing trend in energy consumption related to citizens' nighttime activities. In order to analyze ideas for an efficient replacement of the power consumption of streetlights and for profit generation by applying grid-type solar systems, this study used an RETScreen model. Through energy analysis and cost analysis, the application benefit and viability of grid-type solar street light systems were analyzed. With analysis result of a total weekly power generation of 114 kWh via a grid-connected solar streetlight system, it was shown that the net present value of a grid-connected solar street light system is 155,362 KRW, which would mean a payback period of about 5.2 years, and as such, it was shown that profit could be generated after about 6 years. In addition, if the grid-connected solar power generation system proposed by this study is to be applied, it was shown that 401,935 KRW in profit could be generated after the 20-year useful life set for the solar system. In addition, the sensitivity analysis was performed taking into account the price fluctuations of SMP, maintenance. As a result, a payback period has increased by 1~2 years, and there were no significant differences. Because the most important factor that affect the economic analysis is the cost of supply certification of renewable energy, a stable sales and acquisition of this certification are very important. the Seoul-type Feed in Tariff(FIT) connected to other institutions will enable steady sales by confirming to purchase the certification for 12 years. Therefore, if those issues mentioned above are properly reflected, Central-grid PV system project will be able to perform well in the face of unfavorable condition of solar PV installation.

*Key words* : RETScreen, PV, Central-Grid System, Economic Evaluation, Renewable Energy

### 1. 서론

전 세계적인 문제로 떠오르고 있는 기후변화문제와 지속적인 에너지 소비 증가로, 화석연료를

대체할 수 있는 신재생에너지 활용방안에 대한 중요성이 높아지고 있다(정아름 외, 2012). 세계 에너지 소비량의 절반 이상을 차지하고 있는 도시의 경우, 지속가능한 도시화를 추진하기 위해

분산형 에너지 공급 시스템과 스마트 그리드 도입 등과 같은 도시 에너지원으로 신재생에너지 활용이 요구되고 있다. 우리나라는 에너지 해외 의존도가 약 97%로 국제정세에 매우 취약한 에너지 소비구조를 가지고 있다. 이러한 상황에 따라 우리나라는 에너지 수급 불안정에 따른 에너지 안보 확보를 위해 신재생에너지의 개발 및 보급에 힘쓰고 있다(강수영 외, 2012). 우리나라는 신재생에너지 보급 활성화를 위해 그린홈 100만 호 사업, 신축 공공건축물 대상 신재생에너지 이용 의무화 제도의 도입 등의 정책을 추진하고 있다.

우리나라는 지속적인 경제성장으로 시민들의 야간활동이 늘어나고 있다. 이에 따라, 시민들의 야간활동과 관련하여 도시의 경관 및 보안 유지를 위한 가로등의 수가 점점 늘어나고 있으며, 가로등 사용에 따른 에너지 소비량도 점점 늘어나고 있는 추세이다. 그리고 2011년 2월 에너지 위기단계가 “주의” 단계로 격상함에 따라, 기업의 생산 활동과 시민생활의 불편을 최소화하는 범위에서 에너지 사용을 감소시키기 위해 불필요한 옥외 야간조명에 대한 강제조치를 중점적으로 추진 중이다(에너지관리공단, 2011).

가로등의 에너지 사용량을 줄이기 위한 방안으로 에너지관리공단에서 전국 270만개 가로등을 절전형 LED로 교체하는 사업을 추진하고 있다. 그 중 광주광역시는 최초 사업자로 참여하여 연간 사용되는 가로등의 전력소비량 66,000 MWh 중 26,400 MWh를 절감하는 효과를 보였다(에너지관리공단, 2011). 또한, 가로등의 에너지사용 절감에 대한 대책으로 에너지효율 향상방안, 가로등시스템 운영조정에 의한 에너지 절감방안, 신재생에너지 시스템의 도입을 통한 자가발전 시스템 적용 방안 등이 제안되고 있다. 그 중 가로등의 에너지 절감을 위하여 도입되는 신재생에너지 시스템은 주로 태양광 발전 및 소규모 풍력 발전을 통한 독립형 발전을 사용하는 가로등 형태

가 주로 도입되고 있다. 하지만 독립형 태양광 발전은 배터리 교체로 인한 유지보수 및 남은 전력의 효율적인 활용이 힘들다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 주간에 생산된 전력을 모두 역송전하고, 야간에 전력망으로부터 전력을 공급받는 계통연계형 시스템이 방안으로 부각되고 있다

본 연구는 신재생에너지의 도입을 에너지소비 절감 방안보다 태양광 발전을 통해 기존 전력비용을 대체하고 남은 전력을 판매하는 형태의 계통연계형 태양광시스템을 가로등에 적용하여 효율적으로 가로등의 전력소비를 대체하고 이윤을 창출하는 방안에 대하여 알아보려고 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 태양광발전

태양광 발전은 태양의 빛 에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 태양전지를 이용한 것으로써 우리나라에는 1998년 전후로 해서 보급되기 시작하였다(송기인, 2012). 또한, 태양광에너지는 가장 관심을 받고 있는 에너지원으로 한 시간 동안 지구상에 도달하는 에너지량은 인류의 연간 에너지 사용량의 약 2배가 될 정도로 막대한 자원으로 알려져 있다(이성훈 외, 2012).

태양광 모듈은 2011년 전 세계에 27.1~28.8 GW 가량 설치되었다. 전반적으로 2010년 대비 태양광 모듈 설치량은 49% 확대되었지만, 태양광 모듈의 비용은 유럽 주요국들의 정책 변화 등과 같은 변수로 약 48% 하락하고 있는 추세이다(안지운, 2012).

태양광 산업의 성공 여부는 정부의 정책적인 지원에 따른다. 이에 IEA에서는 개발이 완전하게 이루어지지 않은 기술에 대해 경제적인 경쟁력보다는 안정적인 FIT, 초기보조금과 같은 낮은 리스크의 지원 정책을 사용하는 것이 필요하며, 상대적으로 기술 진보가 이루어진 기술은 고정프리미엄 가격과 같은 시장지향적인 지원정책을 적용

하는 것이 적절하다고 언급하였다(IEA, 2008).

우리나라의 경우, 지식경제부에서 ‘태양광을 제2의 반도체로, 풍력을 제2의 조선으로 육성’ 시키겠다는 비전으로 2015년까지 세계 시장에서 태양광 점유율 15%, 풍력 15%를 목표로 설정하였다. 또한, 국내 신재생에너지 공급 비중은 2030년까지 11%로 확대할 계획이다(지식경제부, 2011). 그리고 서울시의 경우, ‘서울시 친환경에너지 선언(2007)’과 ‘그린디자인 2030 선언(2009)’ 이후 태양광, 연료전지의 설비용량이 크게 증가하고 있는 추세이다(서울시정개발연구원, 2012). 그리고 서울시는 짧은 일조시간과 높은 임대료 및 공사비, 신재생에너지 공급 인증서의 판매경로 등 어려움에 직면해 있는 소규모 태양광 발전시설을 활성화하기 위한 노력을 하고 있다. 이에 따른 방안으로 50 kW 이하의 소규모 태양광 발전시설이 1 kWh를 생산할 때마다 50원씩 보조금을 지원하는 ‘서울형 발전차액 지원제도’ 방안을 내었다. 그리고 서울시와 발전사들과의 협약을 통해 최대 100개 태양광 발전사업자의 신재생에너지 공급 인증서를 책임지고 구매할 수 있도록 12년간 장기계약을 하여 소규모 태양광 발전시설 활성화 방안을 내놓았다(서울시, 2013).

## 2.2 계통연계형 태양광 시스템

계통연계형 태양광 시스템은 기존의 전력공급 계통과 연계하여 태양광 발전시스템에서 발전된 전력을 공급하고, 야간, 우천시와 같이 발전하기 힘든 환경일 경우, 기존의 전력시스템으로부터 전력을 공급받는 시스템이다(한국태양광산업협회, 2012).

기존 가로등의 재생에너지 시스템은 주로 독립형 가로등 시스템이다. 이 시스템은 배터리 교체와 남은 전력의 미활용 등으로 인해 효율적 운용의 한계를 가지고 있다. 최근에 이러한 문제점을 해결하기 위해 주간에 생산된 전력을 모두 역송전하고, 야간에 전력망으로부터 전력을 공급받는

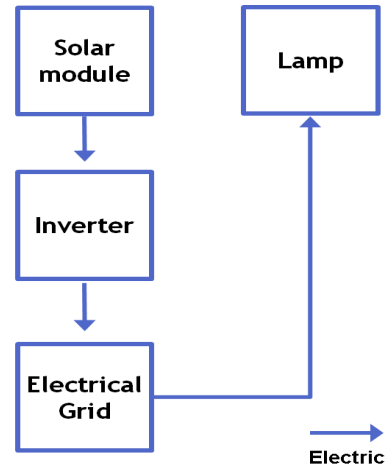


Fig. 1. Central grid PV street lamp system.

계통연계형 시스템이 하나의 방안으로 나타나고 있다(이지희 외, 2012).

## 2.3. RETScreen Model

RETScreen은 신재생에너지를 이용하는 다양한 시스템을 대상으로 신재생에너지 설비 및 설치비용 등 신재생에너지와 관련된 각종 정보를 제공하기 위해 캐나다 Natural Resources Canada(NRCan)의 VANMET Energy Diversification Research Laboratory(CEDRL)에서 개발 보급하고 있는 개방된 프로그램이다(산업자원부, 2006). 이 프로그램은 특정 신재생에너지 프로젝트를 설정하고, 관련된 기상자료, 설비특성, 투자비용 등의 요인을 사용하여 에너지 생산량과 이에 따른 수입 등을 계산하여 에너지 분석 및 경제성 평가를 수행할 수 있다(이성훈 외, 2011).

RETScreen 모델은 하나의 프로젝트에 대한 경제성 분석만을 실시할 수 있기 때문에, 다양한 신재생에너지원 도입에 따른 통합적인 분석은 힘들다는 한계점을 가지고 있다. 하지만 자료 입력 및 분석방법이 간편하여 신재생에너지 프로젝트의 예비타당성 조사 시 유용하게 사용할 수 있는 장점이 있어 하나의 신재생에너지원 도입에 따른

Table 1. Advanced research of PV system by using RETScreen

Author	Project life(year)	Grid type
G. C. Bakos, M. Soursos, N. F. Tsagas(2003)	30	Isolated-grid
G. C. Bakos, M. Soursos(2002)	30	Isolated-grid
M. EL-Shimy(2009)	25	-
Anish Modi, Anirban Chaudhuri, Bhavesh Vijay, Jyotirmay Mathur(2009)	24	Isolated-grid
Calvin Lee Kwan, Timothy J. Kwan(2011)	20	Isolated-grid
Kyoung-Ho Lee, Dong-Won Lee, Nam-Choon Baek, Hyeok-Min Kwon, Chang-Jun Lee(2012)	.	Isolated-grid
Anjum Khalid, Haroon Junaidi(2013)	30	Central-grid
Hyeong Cheol Choi, Nam Hyeong Lee, Jeong Ho Chang, Hye ran Na (2009)	20	-
Yoon-Min Park, Seong-Kwan Hong, An-Seop Choi(2011)	25	Isolated-grid
Sung-Hun Lee, Hyeong-Cheol Choi, Dong-Keun Lee, Jin-O Kim(2011)	20	-
Ji-Hee Lee, Han-Bo Cho, Tae-Han Kim(2012)	20	Central-grid

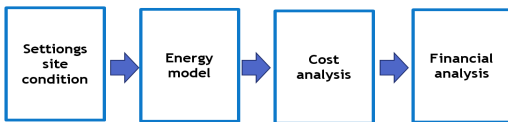


Fig. 2. RETScreen model analysis procedure.

분석을 쉽게 실시할 수 있다(이주수 외, 2013).

RETScreen을 사용한 태양광 발전시설에 관한 선행연구의 분석기간은 태양광 설비의 수명을 고려하여 20년의 기간을 많이 적용하고 있다. 그리고 조사된 11건의 사례 중 발전분배 방식은 배터리에 전력을 충전하는 독립형 발전 방식을 적용하여 분석한 연구가 6건으로 주로 이루어졌다. 그리고 계통연계형 발전 시스템에 대한 분석 연구는 2건으로 상대적으로 적게 나타나, 계통연계형 발전 시스템에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 보인다.

### 3. 연구방법

본 연구에서는 RETScreen model을 사용하여

에너지분석, 비용분석을 통해 계통연계형 태양광 가로등 시스템의 적용효과 및 타당성을 분석하도록 하였다.

### 3.1 대상지역의 선정

#### 3.1.1 대상지역의 가로등 에너지 소비현황

대상지역의 가로등현황은 구청 관계자의 협조를 얻어 가로등 중 보행등의 자료를 수집하였다. 수집 결과, 현재 광진구에 설치되어 있는 보행등의 수는 총 1,931개로 조사되었다. 설치된 보행등은 메탈등 1,060주, 나트륨등 571주, LED등은 300주 설치되어 있어 메탈등이 가장 많이 설치되어 있는 것으로 나타났다. 그리고 총 보행등 중 100 W가 가장 많이 설치되어 있는 것으로 조사되었다.

또한 일일평균 점등시간은 평균 12시간, 점등일수는 365일간 점등하여 매일 일정한 양의 에너지 소비가 이루어지는 것으로 나타났다. 그리고 총 보행등의 하루 에너지 소비량은 2,262 kWh

Table 2. Present condition of street lamp at Gwangjin-gu

Light source	W	The number of lamp
Metal halide	70	366
	100	423
	150	234
	250	37
Sodium	50	47
	100	464
	150	40
	250	20
LED	40	150
	70	150
Total		1,931

이며, 연간 에너지 소비량은 825,717 kWh, 전력 사용 요금은 연평균 약 6천 7백만원이 지출되는 것으로 나타났다.

### 3.1.2 대상지역의 기상현황

본 연구지역의 기상현황은 RETScen에 구축되어 있는 NASA 자료를 사용하였고, 태양광 발전시스템에 직접적 영향을 미치는 기후요소 중 하나인 태양복사량은 신재생에너지 데이터센터에 구축되어 있는 1982~2011년 서울의 평균 일사량 자료를 사용하였다. 서울의 연간 평균기온은 12.9℃, 수평면 일일태양복사량 3.28 kWh/m<sup>2</sup>/day으로 나타났으며, 상대습도와 풍속은 각각 63.7% 2.4 m/s로 나타났다.

### 3.2 에너지모델 설정

Table 3. Annual average climatic elements of site

Month	Air temperature (°C)	Relative humidity (%)	Daily solar radiation-horizontal (kWh/m <sup>2</sup> /day)	Wind speed (m/s)
January	-5.7	56.8	2.03	2.5
February	2.4	54.9	2.78	2.7
March	4.7	55.6	3.53	2.9
April	11.5	56.1	4.39	3.0
May	18.7	63.2	4.72	2.6
June	22.9	69.1	4.46	2.3
July	25.7	78.7	3.32	2.3
August	26.6	76.2	3.60	2.2
September	22.2	69.4	3.59	2.0
October	14.6	64.3	3.10	2.0
November	11.5	61.4	2.07	2.4
December	-0.4	57.8	1.75	2.4
Annual average	12.9	63.7	3.28	2.4

Table 4. The properties of proposed mode

Type	Mono-si
Power capacity	100W
Slope	30°
Inverter efficiency	95%
Inverter capacity	400W

기준 에너지모델은 기존에 대상지역으로 설정한 광진구에 설치된 40 W LED 가로등 1주를 대상으로 설정하였다. 그리고 기본가정은 광진구의 평균 점등시간 및 점등일수를 고려하여 각각 12 시간, 365일로 설정하였다. 대안 에너지모델은 기준 에너지모델에 계통연계형 태양광 시스템을 설치하는 것으로 가정하였다. 적용 태양광 모듈은 일반적으로 태양광 가로등 용으로 많이 사용되는 100 W 급 단결정 셀을 사용하고, 태양광 모듈의 최적효율을 위해 경사각은 30°를 유지하도록 하였다. 또한, 집열판은 유지관리가 용이한 고정형 방식을 선택하였으며, 발전전력의 역송전에 사용되는 인버터는 400 W, 95% 효율을 가진 제품을 설치하는 것으로 가정하였다.

### 3.3 재정모델 설정

재정모델의 할인율은 한국개발연구원에서 제시하고 있는 사회적 할인율 6.5%로 설정하였으며, 평가기간은 태양광 모듈 평균수명에 준한 20년, 초기비용에 대한 대출비율은 40%로 하였으며, 이는 서울시 태양발전 융자지원제도에 근거하여 연 2.5%, 8년 분할 상환하는 것으로 설정하였다. 가로등 전력공급 단가는 2013년 한전에서 고시한 가로등용 전력요금 81.50원/kWh, 역송전 단가는 2013년 8월 11일 기준 162.11원/kWh로 설정하였다. 그리고 RPS 도입에 따른 신재생에너지 인증서(Renewable Energy Certificate)가격은 2013년 7월 거래가격을 기준으로 기존건물에 태양광시설을 설치하여 가중치를 고려한 금액 237.9원/kWh

로 설정하였다. 추가로 보조금은 서울시에서 발표한 서울형 발전차액제도를 적용하여 5년간 50 원/kWh를 지원하는 방안으로 설정하였다. 그리고 가로등에 설치할 태양광 발전 설비비용은 인버터, 태양광 모듈, 컨트롤러를 합한 금액을 적용하였으며, 상세금액은 표 5와 같다.

태양광 설비의 운영유지 비용은 미국전력연구원에서 1 MW 이하의 태양광 발전설비에 대한 유지관리 비용을 전체 설비비용의 1~5% 정도로 추정하고 있다(EPRI, 2010). 본 연구에서는 앞서 조사한 선행연구 중 2건의 연구(이성훈외, 2011.; 박윤민외, 2011)에서 적용된 전체 설비의 1%의 비용을 유지관리비로 설정하도록 하였다.

### 3.4 민감도 분석

본 연구에서는 계통연계형 가로등 시스템의 경제성 평가 시 영향을 줄 수 있는 요인을 고려하고

Table 5. Unit cost of proposed model

Solar panel	154,000 won
Inverter 400 W, 24 V	55,000 won
Controller 12 V	49,500 won
Total	203,500 won

Table 6. Economic evaluation factor of proposed model

Project life	20 year
Discount rate	6.5%
O&M costs	1%
Incentives and grants	50 won/kWh(for 5 year)
Initial costs	203,500 won
Debt interest rate	2.5%
Electricity import cost	81.50 won/kWh
Electricity export cost	162.11 won/kWh

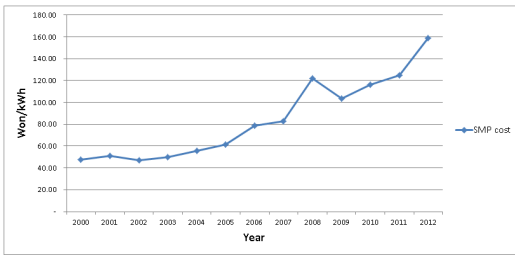


Fig. 3. SMP cost trend.

출처: 한국전력거래소

자 유지관리비용, 전기 역송전 단가를 고려하여 민감도 분석을 실시하였다.

태양광 발전의 경제성 평가 요소 중 태양광 설비비용도 중요하지만, 발전설비의 유지관리 비용의 변동에 따른 영향을 파악하는 것도 중요하다. 본 연구에서 적용된 유지관리 비용은 1%이지만, EPRI(2010)에서 추정하고 있는 1~5% 범위에서 볼 때 추가적인 비용이 소모될 수 있다. 이러한 영향을 파악하고자 전체 설비비용의 3%, 5%를 적용하여 분석을 실시하였다.

그리고 발전된 전력의 판매단가에 해당되는 계통한계 가격(System Marginal Price)의 변동은 태양광 발전시설 경제성 평가에 영향을 줄 수 있는 요인이 될 수 있다. 계통한계 가격은 점점 증가하고 있으며, 2011년부터 2012년까지 연평균 10.87% 상승한 추세를 보이고 있다.

본 연구에서 적용한 2013년 8월 11일 기준 계통한계 가격 162.11원/kWh 이외에 추가적인 영향을 파악하고자 3년 평균계통한계가격 133.37원/kWh, 5년 평균계통한계가격 125.09원/kWh를 적용하여 경제성을 분석하도록 하였다.

### 3.5 시나리오 분석

본 연구에서 설정한 재정모델의 경우, 서울형 발전차액지원제도를 적용하고 있다. 서울형 발전차액지원 제도는 제도상에서 지원되는 금액과 전력역송전단가, REC 가격을 모두 합하여 지원받

는 형태이다. 본 연구에서는 설정한 재정모델의 시나리오 이외에 추가적인 사항을 고려하고자 본 연구에서 기본적으로 가정한 재정모델을 시나리오 I로 두고 서울형 발전차액지원 제도의 보조금을 지원하지 않는 것을 시나리오 II, 신재생에너지 공급인증서 획득이 실패하여 REC를 팔지 못하는 경우를 시나리오 III으로 설정하여 각 요소들이 경제성 분석에 어떠한 영향을 미치는지 파악하기 위하여 분석을 실시하였다.

## 4. 결과

### 4.1 전력소비량 및 생산량 분석결과

대상도시에 적용된 계통연계형 태양광 가로등의 단위면적당 태양복사량은 1.33 MWh/m<sup>2</sup>로 나타났다. 그리고 한국전력공사에 역송전한 연간 총 전력량은 114 kWh로 산출되었으며, 연간 총 전력사용량은 약 175 kWh로 연간 사용되는 전력 비용은 14,296원의 지출이 있을 것으로 분석되었다.

### 4.2 경제성 분석결과

기준에너지 모델에 대안 에너지 모델을 적용한 결과, 순현재가치(Net Present Value)는 155,362원으로 나타났고, 자기자본 측면에서 세전 내부 수익율은 19%, 자산측면에서 세전 내부 수익율은 10.5%로 나타났다. 그리고 단순상환은 5.8년, 자기자본회수는 5.2년 안에 회수 가능한 결과를 보였다. 또한, 시스템 적용 마지막년도가 되는 20년 후에는 401,935원의 수익을 창출할 수 있는 것으로 나타났다. 최종적으로 이러한 결과를 현재 광진구에 설치되어 있는 40 W LED등 150주에 적용하게 되면 20년 후에는 60,290,218원의 수익을 창출할 수 있는 것으로 분석되었다.

### 4.3 민감도 분석 결과



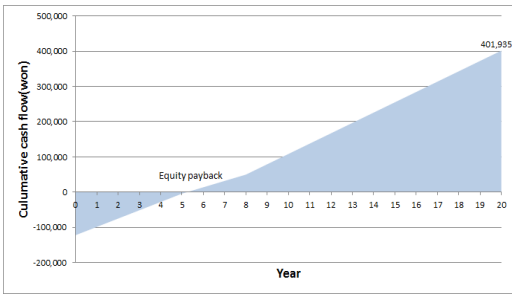


Fig. 4. Cumulative cash flows of proposed model.

계통연계형 태양광 가로등 시스템의 경제성 평가 시 영향을 줄 수 있는 요인을 고려하고자 유지관리비용, 전기 역송전 단가를 고려하여 민감도 분석을 실시하였다.

유지관리비용에 따른 민감도 분석 결과, 자기자본회수 기간은 설치비용의 3%, 5%로 설정할 때 각각 7년, 8년으로 나타나, 본 연구에서 설정한 설치비용의 1%로 설정 시 분석된 자기자본회수 기간 6년과 비교할 때 3%, 5% 각각 1년과 2년의 차이를 보였다. 태양광 발전시설 내구 연한으로 설정한 20년 후의 최종수익 금액에 따른 유지관리비용의 차이는 설치비용의 3% 설정 시 320,534원, 5% 설정 시 239,134원으로 나타나, 설치비용의 1%로 설정 시 401,934원과 비교할 때 3%, 5% 각각 81,400원, 162,800원의 차이를 보였다. 유지관리 비용의 변동에 따라 손익분기점은 최대 5년, 최종 수익금액은 최대 162,800원의 차이를 보이지만, EPRI(2010)에서 추정된 최대 비율인 5%의 비율 적용에도 최종적으로 양의 그래프를 보여 유지관리 비용의 변동에도 영향을 받지만, 최종적으로는 수익이 있음을 파악할 수 있었다.

SMP 가격에 따른 민감도 분석 결과, 손익분기점이 되는 자기자본회수기간은 3년 평균 SMP 가격 133.37원/kWh, 5년 평균 SMP 가격 125.09원/kWh으로 적용하였을 때 모두 약 7년으로 나타났다. 그리고 본 연구에서 설정한 2013년 8월 11일 기준 162.11원/kWh 적용 시 자기자본회수 기

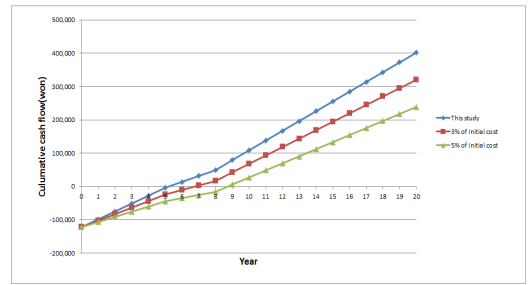


Fig. 5. Cumulative cash flows by changed O&M costs ratio.

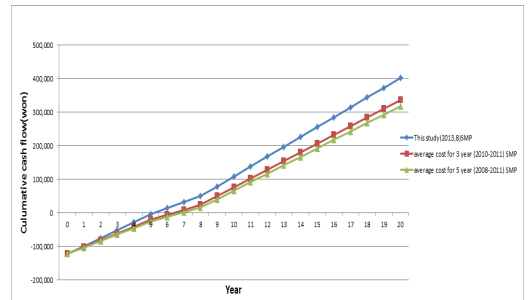


Fig. 6. Cumulative cash flows by changed SMP cost ratio.

간 8년과 비교할 때 3년 평균, 5년 평균가격 모두 약 1년의 차이를 보였다. 또한, 태양광 발전시설 내구 연한으로 설정한 20년 후의 최종수익금액에 따른 SMP 가격의 차이는 3년 평균 SMP 가격 적용 시 336,311원, 5년 평균 SMP 가격 적용 시 317,411원으로 나타나, 2013년 8월 11일 기준 적용 SMP 가격 사용 결과인 401,935원과 비교할 때 3년 평균 SMP 가격, 5년 평균 SMP 가격 각각 65,623원, 84,523원의 차이를 보였다.

SMP 가격 변동에 따른 비용적인 부분에서의 차이는 약 6~8만원의 차이를 보였으며, SMP 가격이 점점 상승하고 있는 추세이기 때문에, 추가적으로 경제성이 더 좋아질 것으로 예상된다.

#### 4.4 시나리오 분석 결과

본 연구에서는 설정한 재정모델의 시나리오 이

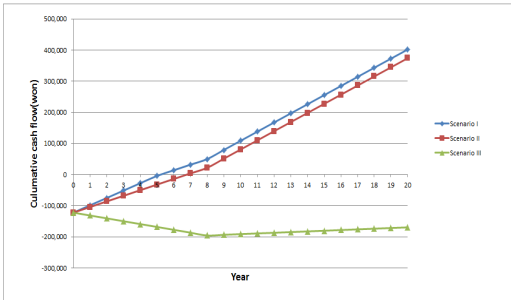


Fig. 7. Cumulative cash flows of scenario analysis result.

외에 추가적인 사항을 고려하고자 진행한 시나리오 분석을 실시하였다. 분석 결과, 본 연구에서 기본적으로 가정한 재정모델을 시나리오 I과 비교할 때 서울형 발전차액지원 제도의 보조금을 지원하지 않는 시나리오 II는 자기자본회수 기간은 약 7년, 20년 뒤 최종 수익금액은 373,934원으로 자본회수 기간은 약 2년, 최종수익금액은 약 3만원의 차이를 보여, 서울형 발전차액지원제도의 보조금이 주어지지 않아도 양의 그래프를 보여 수익을 창출할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만 신재생에너지 공급인증서를 제외하는 시나리오 III의 경우, 경제성 분석 결과 최종적으로 음의 그래프가 나타나며, 가정한 모델의 최종기간인 20년이 될 때에는 -169,345원의 손해를 보는 것으로 분석이 되었다. 시나리오 분석 결과, 신재생에너지 공급인증서 획득 유무가 본 연구에서 제안하는 태양광 가로등 시스템의 손익에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

## 5. 결론

우리나라는 최근 경제가 발달함에 따라 도시의 활동시간이 야간으로 연장되면서 가로등의 에너지 사용이 증가하고 있다. 따라서, 정부에서는 기존 가로등의 광원을 LED로 바꾸는 등 가로등의 에너지 사용을 줄이기 위한 노력을 가하고 있다. 본 연구에서는 기존 전력비용을 대체하고 남은

전력을 판매하는 형태의 계통연계형 태양광시스템을 가로등에 적용하여 효율적으로 가로등의 전력소비를 대체하고, 이윤을 창출하는 방안에 대하여 알아보하고자 하였다. 계통연계형 가로등 시스템의 적용효과를 보기 위하여 RETScreen model을 사용하여 대상지역 서울시 광진구에 현재 설치되어 운영 중인 40 W LED등을 대상으로 에너지 모델과 재정모델을 설정하여 분석하였다. 분석 결과, 적용도시의 일일 태양복사량은 3.28 kWh/m<sup>2</sup>/day로 나타났으며, 계통연계형 태양광 발전으로 인한 가로등의 총 전력생산량은 114 kWh로 나타났다. 그리고 재정모델 설정으로 인한 경제성 분석 결과, 순현재가치는 155,362원으로 나타났으며, 자기자본회수는 5.8년 안에 회수 가능하여 약 6년 이후에는 수익을 창출할 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 적용 모델의 최종년도로 설정한 20년 뒤에는 최종적으로 401,935원의 수익을 창출할 수 있으며, 이를 현재 설치되어 있는 40 W LED등 150구에 적용 시 약 6천만원의 수익을 창출할 수 있는 것으로 나타났다.

추가적으로 계통연계형 가로등 시스템의 경제성 평가 시 영향을 줄 수 있는 요인을 고려하고자 유지관리비용, SMP 가격의 변동을 고려하여 민감도 분석을 실시하였다. 실시결과, 유지관리비용의 비율 변화에 따른 자본회수 기간은 본 연구에서 설정한 설치비용의 1%의 회수기간인 6년과 비교하였을 때 설치비용의 3% 설정 시 1년, 설치비용의 5% 설정 시 2년의 차이를, 최종수익금액에 따른 유지관리비용의 차이는 설치비용의 3% 설정 시 20,534원, 5% 설정 시 239,134원으로 나타나, 설치비용의 1%로 설정 시 401,934원과 비교할 때 3%, 5% 각각 81,400원, 162,800원의 차이를 보였다.

SMP 가격 변동에 따른 민감도 분석 결과, 자본회수 기간은 본 연구에서 설정한 2013년 8월 11일 기준 162.11원/kWh 적용 시 자기자본회수 기간 8년과 비교할 때 3년 평균, 5년 평균가격

모두 약 1년의 차이를 보였다. 또한, 태양광 발전 시설 내구 연한으로 설정한 20년 후의 최종수익 금액에 따른 SMP 가격의 차이는 3년 평균 SMP 가격 적용 시 336,311원, 5년 평균 SMP 가격 적용 시 317,411원으로 나타나, 2013년 8월 11일 기준 적용 SMP 가격 사용 결과인 401,935원과 비교할 때 3년 평균 SMP 가격, 5년 평균 SMP 가격 각각 65,623원, 84,523원의 차이를 보였다. 민감도 분석 결과, 유지관리비용과 SMP 가격 변동이 있어도 경제성은 있는 것으로 나타나, 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

본 연구에서 설정한 제안모델인 기존 LED등을 활용한 계통연계형 태양광 가로등 시스템이 에너지관리공단에서 추진 중인 LED등 보급사업과 연계하여 추가로 설치된다면 계통연계형 태양광 가로등 시스템이 적용될 때 수익을 창출할 수 있을 것으로 판단된다.

그리고 설정한 재정모델의 시나리오 이외에 추가적인 사항을 고려하고자 진행한 시나리오 분석에서는 본 연구의 재정모델의 시나리오를 시나리오 I으로 할 때, 서울형 발전차액지원 제도의 보조금을 지원하지 않는 시나리오 II는 자기자본회수 기간은 시나리오 I과 비교할 때 자본회수 기간은 약 2년, 최종수익금액은 약 3만원의 차이를 보여, 서울형 발전차액지원제도의 보조금이 주어지지 않아도 양의 그래프를 보여 수익을 창출할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만 신재생에너지 공급인증서를 제외하는 시나리오 III의 경우, 경제성 분석 결과 최종적으로 음의 그래프가 나타나며, 가정한 모델의 최종기간인 20년이 될 때에는 -169,345원의 손해를 보는 것으로 분석이 되어, 사업수행 시 신재생에너지공급인증서의 획득 및 안정적인 판매가 중요할 것으로 판단된다. 그러나 신재생에너지공급인증서를 획득할 경우, 서울형 발전차액지원 제도와 관련하여 이미 일부 기관이 서울시와 협정을 맺어 12년간 신재생에너지 공급인증서 구매를 확정하도록 하여 안정적인 판

매가 가능하기 때문에, 이러한 사항들이 잘 반영된다면, 열악한 서울시의 태양환경에도 가로등을 통한 태양광 발전사업을 수행할 수 있을 것이라 생각된다. 또한, 계통연계형 태양광 가로등 시스템을 적용하는데 가장 큰 문제점으로 작용할 수 있는 것은 태양광 모듈 가격이다. 하지만 현재 기술진보에 따라 태양광 모듈의 가격이 점점 낮아지고 있는 추세이기 때문에, 가격의 추이에 따라 태양광 시스템의 도입이 좀 더 원활하게 이루어질 것이라고 생각된다. 본 연구에서는 기존에 설치된 LED 가로등에 계통연계형 태양광 발전시스템을 적용 시 현행 서울시 제도를 도입하여 경제성 평가를 진행하였으며, 경제성 평가를 진행한 결과 양의 그래프를 보여 수익을 창출할 수 있을 것으로 판단하였다. 이러한 연구는 향후 가로등 교체 및 신규 설치 시 재생에너지 설비의 도입에 관한 의사결정에 도움이 될 수 있을 것이라 생각된다.

## 사사

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No.20094010200030)입니다.

## 참고문헌

- 정아름, 박진철, 이언구, 2012, 도시특성에 따른 신재생에너지시스템 복합 적용 방안에 관한 연구, 대한건축학회지, 28, 199-206.
- 강수현, 이용호, 황정하, 조영흠, 2012, PV 시스템이 설치된 대학건물의 전력 생산에 따른 신재생에너지 공급비용 분석, 한국태양에너지학회논문집, 32권 2호, 50-57.
- 산업자원부, 2006, 신재생에너지시스템 경제성분석 프로그램 개발 및 적용 방안 연구.
- 에너지관리공단, 2011, 가로등 설치 및 운영에 관한 매뉴얼(안) 개발.

- 이성훈, 이남형, 최형철, 김진오, 2012, 수상태양광 발전시스템 개발을 위한 적지조사에 관한 연구, 조명·전기설비학회논문지, 26권 7호, 30-38.
- 송기인, 2012, RPS에서 태양광 발전산업 현황과 전망, 대한기계학회지, 52권 3호, 42-46.
- 안지운, 2012, 국제 신재생에너지 정책 변화 및 시장 분석, 에너지경제연구원.
- 한국태양광산업협회, 2012, 태양광발전기술 조사·분석.
- IEA, 2008, Deploying Renewables: Principles for Effective Policies.
- 지식경제부, 2011, “신재생에너지 동향 및 보급확대 정책”.
- 서울시정개발연구원, 2012, 신재생에너지 공급의 무화제도 시행에 따른 서울형 햇빛발전지원제도 도입방안 연구.
- 이주수, 최봉석, 이화수, 전의찬, 2013, RET-Screen를 활용한 풍력발전사업의 투자 적절성 평가 사례연구, 한국기후변화학회지, 4권 2호, 105-114.
- 최형철, 이남형, 장정호, 나혜란, 2009, 수도사업장 태양광개발 예정지에 대한 일사량 및 경제성 평가에 관한 연구, 한국 신재생에너지학회 춘계학술대회 학술발표자료
- 박윤민, 홍성관, 최안섭, 2011, 서울시 한강교량의 태양광발전시스템 적용시 경관조명 에너지 절약에 관한 경제성 분석 및 고찰, 조명·전기설비학회논문지, 25권 1호, 42-49.
- 이성훈, 최형철, 이동근, 김진오, 2011, 일사량 데이터 분석을 통한 태양광발전 시스템 개발을 위한 경제성 평가 방법, 조명·전기설비학회논문지, 25권 10호, 38-46.
- 이지희, 조한보, 김태한, 2012, 스마트 가로등 시스템을 적용한 수익형 도시공원모델에 관한 연구, 한국조경학회지, 40권 4호, 28-35.
- Bakos, G. C., M. Soursos, and N. F. Tsagas, 2003, Technoeconomic assessment of a building-integrated PV system for electrical energy saving in residential sector, **Energy and Buildings** 35, pp. 757-762.
- Modi Anish, Anirban Chaudhuri, Bhavesh Vijay, and Jyotirmay Mathur, 2009, Performance analysis of a solar photovoltaic operated domestic refrigerator, **Applied Energy**, 86, 2583-2591.
- Kwan Calvin Lee and Timothy J. Kwan, 2011, The financials of constructing a solar PV for net-zero energy operations on college campuses, **Utilities Policy**, 19, 226-234.
- Bakos G. C. and M. Soursos, 2002, Techno-economic assessment of a stand-alone PV/hybrid installation for low-cost electrification of a tourist resort in Greece, **Applied Energy**, 73, 183-193.
- Lee Kyoung-Ho, Dong-Won Lee, Nam-Choon Baek, Hyeok-Min Kwon, and Chang-Jun Lee, 2012, Preliminary determination of optimal size for renewable energy resources in buildings using RETScreen, **Energy**, 47, 83-96.
- EL-Shimy M., 2009, Viability analysis of PV power plants in Egypt, **Renewable Energy**, 34, 2187-2196.
- EPRI, 2010, Addressing Solar Photovoltaic Operations and Maintenance Challenges.