

스마트 가로등 시스템을 적용한 수익형 도시공원모델에 관한 연구[†]

이지희* · 조한보* · 김태한**

*상명대학교 대학원 환경자원학과 · **상명대학교 환경조경학과

A Study on the Profitable Urban Park Model using Smart Street Light System

Lee, Ji-Hee* · Cho, Han-Bo* · Kim, Tae-Han**

*Dept. of Environment & Resources, Graduate School, Sang Myung University

**Dept. of Environmental Landscape Architecture, Sang Myung University

ABSTRACT

Recently, as the social interest increase has been focused on new renewable energy system to build-up sustainable urban planning system, the related studies have been actively conducting. As well as in other areas, the construction area, which accounts for over 40% of the total energy consumption, clearly showed this tendency. Whereas, various landscape facilities applying renewable energy equipments have been manufactured and installed, systematic study available for planning and designing is rarely found in Korea. This study is expected to contribute to the landscape planning and designing by quantifying the energy-efficient and economic advantages of the renewable energy system for landscape facilities. For this purpose, the analysis on the energy-efficiency and economic values under the scenario that the current fossil power supply for the streetlights in urban parks in Seoul, Daegu, and Incheon were replaced by photovoltaic power generation were performed through RETScreen[®] a clean energy simulation program based on the NASA Satellite Meteorological Data. As a result, the generated power and the economic values vary depending on the climatic features of the appointed cities. This study will be used to build up the effective decision-making in applying the clean renewable system to the plan and design of landscaping.

Key Words: Smart Street Light, Renewable Energy System, Photovoltaic System, Analysis on Economic Values, Profitable Urban Park

국문초록

최근 지속 가능한 도시시스템 구축을 위해 신, 재생에너지 시스템에 대한 사회적 관심이 집중되고 있으며, 이에 따른 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 전체 에너지 소비의 40% 이상을 차지하고 있는 건설부문 또한 이러한 경향이 두드러지

[†]: 본 연구는 상명대학교 교내연구과제지원으로 수행된 결과임.

Corresponding author: Tae-Han Kim, Dept. of Environmental Landscape Architecture, Sang Myung University, Cheonan 330-720, Korea, Tel.: +82-41-550-5303, E-mail: taehankim@smu.ac.kr

고 있다. 조경부문도 재생에너지설비가 적용된 다양한 조경시설물이 제작, 설치되고 있으나, 계획, 설계단계에서 활용 가능한 체계적인 연구가 아직 국내에 보고되고 있지 않다. 본 연구는 조경시설물에 재생에너지 시스템을 적용하면서 발생하는 에너지, 경제적 효과를 정량적으로 도출하여 조경계획 및 설계에 활용하고자 한다. 이를 위해 서울, 인천, 대구의 도시공원 내 가로등 전력을 계통연계형 태양광시스템으로 대체하는 스마트 가로등 적용 시나리오를 적용하여 에너지, 경제적 해석을 수행하였다. 전산모의는 NASA Satellite Meteorological Data를 이용한 청정에너지 전산모의 프로그램인 RETScreen[®]을 적용하였다. 결과적으로 해당 도시의 기후적 특성에 따라 발전량 및 경제성의 차이를 보였으며, 본 연구결과는 향후 조경계획 및 설계에 건전한 재생에너지 시스템 적용을 위한 의사결정에 활용될 것으로 사료된다.

주제어: 재생에너지시스템, 태양광시스템, 경제성 분석, 수익형 도시공원

I. 서론

최근 국내외로 기후변화로 인한 피해를 저감하고 유한한 화석에너지 중심의 경제구조를 개편하기 위해 다양한 전략들이 추진되고 있다. 이에 따른 대안으로 신, 재생에너지 부문이 크게 대두되고 있으며, 관련분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이는 도시, 건축, 환경측면에서 보다 건전한 적용을 통해 통합적인 에너지전략을 구축하는데 필수적인 요소로 해석되고 있다. 도시생활에서 도시민의 편의와 여가활동을 위한 외부공간의 중요성이 부각되면서 이용자 및 관리자 관점의 유지관리 체계가 요구되고 있다. 이에 대한 효율적인 대안으로 지속적인 전력공급이 가능한 재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있다.

최근 가로시설물을 중심으로 다양한 재생에너지시스템들이 도입되고 있다. 주요 가로시설물인 가로등의 경우, 기존 전력망과의 연동 여부에 따라 크게 독립형 시스템과 계통연계형 시스템 등으로 구분되어 적용되고 있다. 일반적으로 소규모 독립형 시스템이 주로 사용되고 있으나, 스마트 가로등(Smart Street Light) 개념이 적용된 계통연계형 시스템의 경우, 관리, 경제적 측면에서 다양한 연구가 진행 중에 있다.

계통연계형 시스템에 관한 기존연구를 살펴보면 스마트 가로등 시스템의 필터성능개선 시 비용 감소효과와 개별 가로등 운영관리의 효율성을 증대하기 위한 연구(김명호, 2009)가 있었으며, 스마트 가로등을 위한 컨트롤러 개발에 있어 나타나는 효율적 운용기술, 문제점, 필요기술, 기능의 보완에 관한 연구(윤태민 등, 2010), 또한 wifi 무선통신 기술을 접목한 확장형 인터페이스 기능을 포함하는 가로등 원격제어시스템을 개발한 연구(김영백과 송범성, 2011)가 있었다.

반면, 지속가능한 도시공원 유지관리에 관한 기존연구는 시민참여, 이용프로그램, 민간 파트너십을 기반으로 한 효율적 운용방안에 대한 연구(김용국 등, 2011) 등이 주를 이루었다.

가로시설물설치 계획 및 설계를 담당하는 조경분야에서 재생에너지시스템에 대한 체계적인 운용 및 적용에 대한 연구는 국내에서 아직까지 보고되고 있지 않다. 생태적 기능성 및 공

공서비스에 중점을 둔 도시공원의 기존개념에 에너지 생산을 통해 수익형 공원모델을 구축하여 지속가능한 유지관리를 도모할 수 있는 관련기술연구가 필요한 시점이다.

따라서 본 연구는 국내기후환경과 재생에너지자원을 정량적으로 해석하고, 국내 주요도시공원의 에너지, 경제적 관점의 전생애주기 비용분석을 통해 경제적 손익을 창출할 수 있는 수익형 도시공원모델의 가능성을 평가하고자 한다.

II. 이론적 배경

1. RETScreen[®]

RETScreen[®]은 재생에너지 시스템을 적용한 친환경프로젝트의 에너지생산량 및 경제성을 포괄적으로 분석하여 의사결정보조도로 사용되는 전산모의 프로그램이다. RETScreen은 캐나다 퀘벡주 바렌에 소재한 캐나다 천연자원부의 CanmetENERGY 연구센터에서 개발되어 업계, 정부, 학계의 전문가들에 의해 지속적인 기술지원을 제공하고 있다.¹⁾ 현재 222개 국가 및 지역에서 315,000명 이상의 연구자들이 사용 중에 있으며, 35개의 언어가 지원되고 있다.

RETScreen[®]의 전산모의과정은 에너지모델 구축, 재생에너지자원 및 시스템 부하계산, 비용분석, 온실가스배출 감소분석, 경제성 요약 및 민감도 분석 등으로 이루어진다. 단일도구에서 이러한 포괄적인 결과물을 도출할 수 있기 때문에, 여러 국가에서 단순 전력생산량 산출뿐 아니라 재생에너지 시스템 적용에 관한 의사결정도구로 사용되고 있다.

본 연구는 최근 지속 가능한 디자인과 관련하여 재생에너지시스템이 적용된 조경시설물의 계획, 설계를 보다 직관적으로 수행할 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 따라서 다양한 재생에너지원 중에서 디자인요소로 활용 가능한 태양광발전설비가 적용된 가로등시스템을 국내 주요도시의 공원가로등을 대체할 때 발생하는 에너지, 경제적 손익을 산정하고자 한다.

2. 태양광 발전 시스템

1) 시스템 유형

태양광발전시스템의 기본단위인 셀(Cell)은 기전현상을 통해 전기를 생성하는 최소기본단위이다. 여러 셀이 모여서 하나의 모듈(Module)을 형성하고, 이들이 연계되어 어레이(Array)를 이룬다. 이외에 설치작업이나 유지보수의 용이성을 위해 여러 개의 모듈을 단위로 하는 서브 어레이(Sub Array)로 세분되기도 한다.

여기서 발생하는 기전현상은 반도체로 만들어진 태양전지(photovoltaic cell)에 광자가 유입되면서 전하이동이 발생되어 전류가 흐르게 되는 원리를 의미한다. 전류의 세기는 태양전지의 면적에 비례하며, 태양전지는 크게 규소(Si)소재의 실리콘계열 화학합성물계열로 구분된다. 실리콘 태양전지 전체시장의 약 90%를 결정질 실리콘이 차지하고 있는데, 단결정 실리콘이 40%, 다결정 실리콘이 50%를 차지(김동환, 2006)하고 있다. 실리콘계열 중 비결정질 실리콘계열을 박막형(amorphous) 태양전지라고 하며, 전력변환효율이 결정질에 비해 약 50% 정도로 현저히 떨어지나, 온도, 입사각 등 환경요인에 민감하지 않은 물리적 특성을 가지고 있다.

2) PV모듈 효율 계산

PV 모듈 효율을 결정하는 인자는 크게 태양 전지 유형, 설치 각도, 전지수량, 미기상 조건 등이 있으며, RETScreen®에서는 다음 산식을 통해 연산이 수행된다.

$$\eta_p = \eta_r [1 - \beta_p (T_c - T_r)] \tag{식 1}$$

$$T_c - T_a = (219 + 832K_t) \frac{NOCT - 20}{800} \tag{식 2}$$

여기서 평균효율 η_p 는 기준온도 $T_r (=25^\circ\text{C})$ 에서의 PV모듈 효율을 나타내며, T_c 는 평균 모듈 온도, β_p 는 모듈효율산정을 위한 온도계수이다. T_a 는 Evans 방정식에 의한 월평균 기온이며, $NOCT$ 는 정상적으로 작동하는 태양전지온도, K 은 월 청명계수를 나타낸다. η_r , $NOCT$ 및 β_p 는 태양전지모듈유형에 따

Table 1. The physical properties of the solar cell provided by RETScreen®

PV module type	η_r (%)	NOCT(°C)	β_p (%/°C)
Mono-si	13.0	45	0.40
Poly-si	11.0	45	0.40
a-si	5.0	50	0.11
CdTe	7.0	46	0.24
CIS	7.5	47	0.46

라 차이를 보이며, RETScreen에서는 다음과 같이 태양전지모듈의 물리적 특성을 정의하고 있다.

앞서 제시한 산식은 결정질 실리콘계열의 태양전지가 최적 입사각을 유지했을 때 유효한 것으로 다를 경우 다음과 같이 계수 C_f 로 정의된다. 이때 S_M 은 최적의 기울기 각도를 나타내며, S 는 실제 기울기 각도이다.

$$C_f = 1 - 1.17 * 10^{-4} (S_M - S)^2 \tag{식 3}$$

3. 스마트 가로등(Smart Street Light)

1) 스마트 그리드 시스템(Smart Grid System)

기존 전력망은 중앙집중적 연계특성을 지니고 있었으나, 재생에너지설비 활용이 늘어남에 따라 계통간의 연계를 통해 양방향 생산, 소비가 가능한 지능형 전력시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 통상적으로 재생에너지원의 경우, 발전 지속성 측면에서 간헐적인 특성상 분산, 이동관리기술이 매우 중요한 요소로 작용된다. 이렇게 에너지 거래를 기반으로 하는 다중적 전력망 시스템을 스마트 그리드 시스템(Smart Grid System)이라고 한다(도윤미 등, 2009).

2) 스마트 가로등(Smart Street Light)

기존 독립형 가로등은 배터리 교체로 인한 유지 보수, 잉여 전력의 미활용 등으로 인해 효율적인 운용에 한계를 가지고 있다. 이러한 부문의 해결방안으로 주간에 생산된 전력을 모두 역송전하고, 야간에는 전력망으로부터 전력을 공급받는 스마트 가로등이 부각되고 있다.

스마트 가로등은 생산전력을 전력망에 바로 송출하여 별도의 배터리가 필요 없고, 경우에 따라 기존 가로등의 재활용, LED 광원을 통한 저전력시스템 등을 병행할 수 있는 장점이 있다. 경제적 관점에서 효율적인 에너지 공급 및 수급 시스템을 함께 구축할 수 있는 최적화된 재생에너지 시스템이라고 볼 수 있다.

4. 경제성 분석

1) 재정분석지표

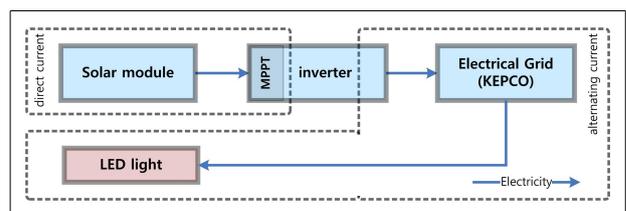


Figure 1. Smart Street Light System

RETScreen[®] 경제성 분석모델은 Brealey와 Myers(1991), Garrison *et al.*(1990) 등에 의한 금융표준모델이 적용되었다(CLEAN ENERGY PROJECT ANALYSIS: TEXTBOOK-RETScreen). 여기에서 초기투자비용이 발생하는 시점을 0년으로 설정되고 비용 및 용자가 이때 발생된다. 현금유동시기는 연말에 산정되며, 경제활동에 따른 인플레이션은 1년부터 적용된다.

2) 재정분석모델

경제성 분석은 내부수익률(Internal Rate of Return), 단순투자회수(Simple Payback), 자기자본회수(Equity Payback), 순현재가치(Net Present Value)를 산출함으로써 이루어진다.

우선 내부수익률(IRR)은 순 현재가치(NPV)가 0이 되는 할인율을 나타내며, 다음 산식은 내부수익률을 표현한 것이다.²⁾

$$0 = \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+IRR)^n} \quad \text{식 4}$$

여기서 N 은 연간단위의 프로젝트 주기, C_n 은 n 년 동안의 현금흐름을 나타내며, IRR 은 내부수익률을 의미한다.

그리고 RETScreen[®]의 단순투자회수(SP)모델은 채무 및 자기자본을 포괄하는 총투자비용이 이익으로 회수되는 물리적인 시간을 연간단위로 산출되는 모델을 적용하였다. 다음은 도입된 단순투자회수 산식이다.

$$SP = \frac{C-IG}{(C_{ener} + C_{capa} + C_{RE} + C_{GHG}) - (C_{OM} + C_{fuel})} \quad \text{식 5}$$

여기서 SP 는 단순투자회수, C 는 프로젝트 총 초기투자비용, IG 는 장려금과 보조금을 의미한다. C_{ener} 은 연간 에너지절약 또는 수입, C_{capa} 는 연간 용량 절약 또는 수입, C_{RE} 는 연간 재생에너지생산량, C_{GHG} 는 온실가스저감으로 인한 수입을 나타낸다. C_{OM} 은 청정에너지 프로젝트에 소요된 연간 사업비용 및 유지관리비용, C_{fuel} 은 연간 연료 또는 전력비용을 나타낸다.

반면 자기자본회수(EP) 모델은 프로젝트가 흑자로 전환되는 첫해 산출을 통해 유추되며, 이에 대한 산식은 다음과 같다.

$$0 = \sum_{n=0}^{N_{PCF}} \tilde{C}_n \quad \text{식 6}$$

여기서 N_{PCF} 는 프로젝트의 흑자전환 첫해, C_n 은 n 년의 세후 현금흐름이다.

마지막으로 순 현재가치(NPV) 모델은 해당 프로젝트의 사업가치를 나타내는 척도로써 최초투자로부터 모의가 종결되는

시점까지의 연도별 손익을 현재가치로 환산된다. 이때 결과가 양수이면 투자 가치가 있는 것으로, 음수이면 투자 가치가 없는 것으로 평가된다. 이에 대한 산식은 다음과 같다.

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{\tilde{C}_n}{(1+r)^n} \quad \text{식 7}$$

여기서 NPV 는 순 현재가치, C_n 은 n 년의 세후 현금흐름, r 은 할인율을 의미한다.

III. 연구범위 및 방법

1. 전산모의조건

본 연구는 스마트 가로등 시스템을 적용한 도시공원모델에 대한 정량적 경제성 평가를 통해 국내 적용 가능성을 도출하고자 한다. 이를 위해 국내기후특성이 대표되는 서울, 인천, 대구를 전산모의 대상도시로 선정하였다. 전산모의는 재생에너지적용계획, 설계 등에서 복합적인 의사결정이 가능한 RETScreen[®]을 사용하였으며, 기후데이터로는 NASA Satellite Meteorological Data를 적용하였다. 이는 RETScreen International의 협업을 통해 NASA에서 개발된 기후데이터로 NASA의 Surface Meteorology와 Solar Energy(SSE)데이터를 조합한 것이다. NASA SEE의 경우 1983년 7월부터 1993년 6월까지의 10년 주기자료를 바탕으로 모델링되었으며, RETScreen[®]과 기본 연동되어 프로그램 내에서 데이터베이스로 구축되어 활용된다.

1) 대상지 평균 기후분석

태양광발전시스템 성능에 직접적 영향을 미치는 기후요소인 기온과 수평면 일일태양복사량은 서울이 11.9℃, 3.22kWh/m²/dy, 인천은 12.2℃, 4.05 kWh/m²/dy, 대구는 14.1℃, 4.70kWh/m²/dy로 대구의 일일태양복사량이 가장 높게 나타났다. 상대습도는 해안에 위치한 인천이 가장 높은 12.2%를 기록했으며, 평균

Table 2. Annual average climatic elements of sites³⁾

Climatic elements	Seoul	Incheon	Daegu
Air temperature(℃)	11.9	12.2	14.1
Relative humidity(%)	63.7	67.8	61.5
Daily solar radiation-horizontal (kWh/m ² /dy)	3.22	4.05	4.70
Atmospheric pressure(kPa)	100.6	100.2	100.9
Wind speed(m/s)	2.4	3.2	2.9
Earth temperature(℃)	12.5	12.5	13.5
Heating degree-days(℃-d)	2,848	2,713	2,199
Cooling degree-days(℃-d)	2,010	1,952	2,306

풍속 또한 3.2m/s로 대상도시 중 가장 높게 기록되었다. 난방도일은 대구가 2,199도일, 냉방도일은 인천이 1,952도일을 보여 가장 낮은 난방, 냉방부하를 기록하고 있다. 자세한 연평균 기후요소는 Table 2와 같다.

2) 대상 도시공원 현황

대상도시의 도시공원으로 서울 오동공원, 인천 센트럴공원, 대구 두류공원으로 선정하였다. 대상공원의 가로등 현황은 해당 관할구청 담당자의 협조를 통해 이루어졌으며, 사용시간, 설치개소현황 등을 파악하였다. 우선 서울 오동공원은 면적 684,366.4m²의 근린공원으로 보안등 현황은 150W 메탈할라이드등 141주, 일일 평균 점등시간⁴⁾이 7시간으로 보고되었다. 인천 센트럴공원은 411,324m²의 면적에 150W 보안등 430주, 75W 보안등 160주가 사용되고 있으며, 일일 평균 점등시간은 10시간으로 조사되었다. 마지막으로 대구 두류공원의 경우 면적 1,653,965m²로 250W 가로등 704주, 일일평균 점등시간은 9시간동안 사용되고 있다.

2. 전산해석모델

1) 부하 및 네트워크 모델

나트륨이 사용되는 현재의 보안등 체계를 기준모델로 하고, 이를 LED등, 태양광발전설비가 적용된 스마트 가로등으로 교체하는 것을 제안모델로 설정하여 전산모의를 진행하였다. 여기서 기준모델은 각 대상공원의 객관적 평가를 위해 일괄적으로 나트륨등 150W, 평균 점등시간 10시간, 주 7일 연속점등을 기본



Figure 2. Seoul Odong Park



Figure 3. Incheon Central Park



Figure 4. Daegu Duryu Park

조건화하였다. 그리고 기준모델의 전체전력 평균부하량(P_G)은 다음과 같은 산식으로 도출되며, 사용되는 전기기구에 대하여 W_{eq}는 소비전력, T_u는 사용시간, N_{eq}는 수량을 의미한다.

$$P_G = \frac{W_{eq} \times T_u \times N_{eq}}{24h} \tag{식 8}$$

이 산식에 의한 기준모델 전체전력 평균 부하량은 서울 8.81kW, 인천 36.88kW, 대구 44kW로 산출되었다.

기존 보안등을 대체하는 제안모델은 LED 60W, 평균 점등시간 10시간, 주 7일 연속점등을 기준하여 연산을 수행하였다. 이에 따른 제안모델 전체전력 평균 부하량은 서울 3.53kW, 인천 14.75kW, 대구 17.6kW로 산출되었으며, 최종 사용자측 에너지효율은 60%로 설정되었다.

2) 에너지모델

(1) 태양광발전시스템

태양광 모듈은 공원용 가로등에 가장 많이 사용되는 단결정 중소형셀 100Wp급을 사용하였으며, 광원은 전력소모 최적화를 위해 LED 60W로 가로등의 높이는 4m로 설정하였다. 결정질 태양광모듈의 최적효율을 위해 경사각은 30°를 유지했으며, 용이한 유지관리를 위해 고정형이 선택되었다. 제안모델의 구체적인 시스템 사양은 Table 3과 같다.

(2) 재생에너지 생산 및 공급모델

제안모델에 적용되는 태양광발전 설비에서 생산되는 전력은 전량 한국전력공사에 역송전되며, 야간에 필요한 전력부하는

Table 3. The properties of proposed model

	Type	mono-si
	Power capacity	100W
	Manufacturer	Grape Solar
	Model	mono-si GS-S-100-TS
	Efficiency	18.3%
	NOCT(°C)	45°C
	Temperature coefficient	0.40%
	Solar collector area	0.5m ²
	Solar tracking mode	fixed
	Miscellaneous losses	3.8%
	Slope (°)	30.0
	Inverter	
Efficiency	95%	
Capacity	400W	
Miscellaneous losses	3.8%	

기준전력망에서 공급받게 된다. 이때 역송전 단가는 481.24원/kWh⁵⁾ 가로등 전력공급단가는 81.13원/kWh⁶⁾이 적용된다. 일반적으로 한국전력공사에 대한 매진행위는 전력수급계약(PPA)을 통해 이루어진다. 이는 전력생산자가 단일구매자인 전력회사에 전력을 판매함으로써 일정수가를 보장하는 계약으로 협상 및 자체규정으로 매년 수가가 결정된다.

(3) 재정모델

경제성 평가를 위해 통계청 기준⁷⁾ 소비자물가 지수 4.0%, 에너지비용 상승률⁸⁾ 8.8%, 할인율 10%가 설정되고, 태양광전력판매단가 상승률은 소비자물가지수와 준한 4.0%가 적용되었다. 모의기간은 태양광모듈 평균수명에 준하여 20년⁹⁾으로 설정하고, 초기비용에 대한 대출비율은 70%, 대출금리¹⁰⁾는 3.25%, 대출상환은 5년으로 책정하였다.

대안모델은 스마트 가로등의 기본요소를 충족하도록 설정되었으며, 단가는 부가가치세를 포함하고 있다. 여기에는 인건비, 기술개발비, 연구비 등의 제품개발비용이 포함되어 있지 않으며, 보다 상세한 모델단가산정은 Table 4와 같다.

또한 초기투자비용 중에서 발생하는 기존 가로등의 철거비용 및 설치비용과 연간 정기, 비정기적으로 발생하는 유지관리비용 등은 본 모의과정에서는 제외되었다.

IV. 결과 및 고찰

1. 전력생산량 분석

대상도시공원에 적용된 30° 경사고정형 스마트 가로등의 단위면적당 연간 태양복사량은 대구 2.04MWh/m², 인천 1.71MWh/m², 서울 1.30 MWh/m²의 순으로 기록되었다. 이에 따른 설비 이용률은 서울 12.8%, 인천 16.7%, 대구 19.6%로 산출되었다. 반면, 한국전력공사에 역송전한 연간 총 전력량은 대구 121.03MWh, 인천은 86.25 MWh, 서울 15.38MWh 순으로 산정되었으며, 이에 따른 단기수익은 대구 58,246,134원, 인천 41,505,907원 서울 7,618,009원을 기록하였다.

제안모델적용 시 발생하는 연간 총 전력부하량은 한국전력공사에서 공급받게 되며, 대구 154.18 MWh, 인천은 129.21MWh,

Table 4. Unit cost of proposed model¹¹⁾

Components	Unit cost (IVA incl.)
Solar Panel: GS-S-100-TS	₩326,444(\$277)
LED lamp: CEC 1304-LFL-60W	₩560,000
Controller 12V	₩66,000
Inverter 400W 24V: Modified sine wave DP-400B	₩88,000
Lamp-Post: ACP-ST-P004A	₩350,000
Total cost (IVA incl.)	₩1,390,444

Table 5. Electric power production of sites

	Seoul Odong-Park	Incheon Central-Park	Daegu Duryu-Park
Annual solar radiation -tilted (MWh/m ²)	1.30	1.71	2.04
Capacity factor(%)	12.8	16.7	19.6
Electricity imported to load(MWh)	30.88	129.21	154.18
Electricity exported to grid(MWh)	15.38	86.25	121.03
Annual energy cost -base model(₩)	-2,505,213	-10,482,807	-12,508,298
Annual export income -proposed model(₩)	+7,618,009	+41,505,907	+58,246,134

서울은 30.88MWh이며, 이에 따른 연간전력비용은 대구 12,508,298원, 인천 10,482,807원, 서울 2,505,213원의 지출이 예상된다.

2. 경제성 분석

스마트 가로등의 세전 내부수익률 중에서 자기자본은 서울 9.9%, 인천 12.0%, 대구 13.7%였으며, 자산은 서울 3.4%, 인천 4.8%, 대구 5.8%였다. 단순상환(SP)은 서울 14.1년, 인천 12.1년, 대구 10.9년 안에, 자기자본회수(EP)는 서울 11.8년, 인천 10.5년, 대구 9.7년 안에 회수가 가능한 결과를 나타냈다.

3. 종합 분석

서울, 인천, 대구 3개 도시 중 대구 두류공원의 제안모델이 전력생산, 경제성 측면에서 가장 우수한 결과가 도출되었다. 반면, 서울 오동공원은 인천 센트럴파크, 대구 두류공원에 비해 완만한 증감율을 기록하였으며, 나머지 두 공원에 적용된 제안 모델은 이보다 급격한 증감율을 기록하였다. 전반적으로 세전 내부수익률은 자기자본측면에서는 9.9~13.7%, 자산측면에서는 3.4~5.8%를 기록했다. 단순상환, 자기자본회수는 각각 최고 3.2년, 2.1년의 차이를 기록하였으며, 서울 오동공원의 경우 12년부터 흑자로 전환하여 20년에는 289,507,195원의 누적수입을 기록하였다. 반면, 인천 센트럴파크는 11년부터 흑자전환 후

Table 6. Economic evaluation measurement of sites

Evaluation measurement	Seoul Odong-Park	Incheon Central-Park	Daegu Duryu-Park
IRR-equity(%)	9.9	12.0	13.7
IRR-asset(%)	3.4	4.8	5.8
SP(year)	14.1	12.1	10.9
EP(year)	11.8	10.5	9.7
NPV(won)	-1,608,663	+105,813,279	+228,182,452

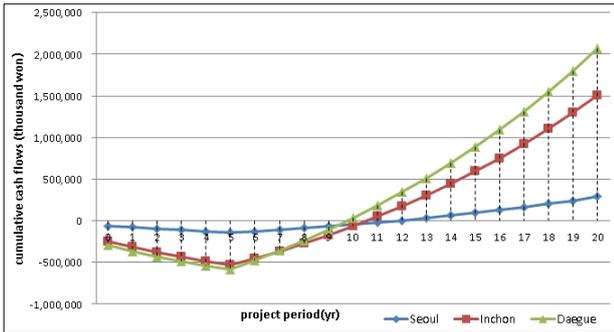


Figure 5. Cumulative cash flows of proposed model

20년에는 1,509,619,528원의 누적수입이 발생하였으며, 대구 두류공원은 10년부터 흑자로 전환되어 20년에는 2,071,373,859원의 수입이 누적되었다. 마지막으로 순 현재가치는 서울 오동공원을 제외한 두 지역 모두 양수를 기록하여 사업성이 있을 것으로 예상된다.

V. 결론

지속 가능한 성장을 위해 건설부문에서는 재생에너지의 적용과 활용에 관한 다양한 연구가 진행 중에 있다. 이에 비해 상대적으로 조경부문은 상대적으로 넓은 적용가능면적을 다루고 있으나, 이와 관련된 연구가 미비하였다. 특히 기존 도시공원에 적용되던 재생에너지 시스템은 설치상의 용이성을 제외하면 배터리교환 비용발생 등 유지관리상의 문제점이 도출되고 있다. 이에 본 연구는 기존 독립형 시스템의 경제성을 개선하고 수익형 도시공원모델에 대한 가능성을 확인하기 위해 스마트 가로등 시스템 적용을 모의하였으며, 결과는 다음과 같다.

1. 각 대상도시에 단위면적별 유입되는 태양복사량은 대구가 수평선상 1.72MWh/m², 30° 고정경사상 2.04MWh/m²로 가장 높게 나타났다. 이는 위도, 전운량으로 인한 청명도등의 위치, 기후적 특성이 반영된 결과로 보여진다.

2. 대구 두류공원의 경우, 대상지 중에서 가장 높은 설비이용율 19.6%를 기록하여, 총 전력생산량은 121.03MWh, 연간 총 58,246,134원의 수익을 거두었다. 이는 제안모델의 연간 전력부하량 154.18MWh의 전력비용을 단순차감 하더라도 45,737,836원의 수익을 창출할 수 있었다. 이는 독립형 시스템이 단순히 보안등 전력부하를 담당하는 것에 비해 상대적 경제성 확보가 가능한 것으로 사료된다.

3. 본 제안모델을 기준으로 볼 경우, 단순상환(SP), 자기자본회수(EP)에서 각각 10.9년, 9.7년을 기록한 대구 두류공원은 상대적으로 높은 사업성을 보였다. 즉, 10년부터 35,988,591원의 순수익이 발생하여 모의 마지막 해인 20년에는 누적수익 2,071,373,859원을 기록하였다. 순 현재가치 또한 228,182,452원

으로 인천 센트럴파크와 함께 사업성이 있는 것으로 모의되었다. 이는 제안모델 적용 후 10년 뒤에 해당공원이 수익형 도시공원으로 전이되는 것을 의미한다.

4. 서울 오동공원의 경우, 대구 두류공원에 비해 단순상환 3.2년, 자기자본회수 2.1년이 늦어져 가장 낮은 경제성을 보였다. 이에 따라 상대적으로 낮은 광환경을 극복할 수 있는 태양 전지소재적용이 필요할 것으로 사료된다.

기존 도시공원은 지역주민의 여가생활, 공공복지증진, 도심 미기후조절 등의 순기능을 수행하였으나, 지속가능한 유지관리에 필요한 재원확보기능이 미비하였다. 본 연구는 스마트 가로등 시스템의 전력생산, 경제성 분석을 통해 도시공원의 수익구조가 물리적으로 가능한지를 모의하였다. 3개 대상도시의 모의 결과 대구 두류공원이 10년 내에 수익구조로 수렴되어 수익형 도시공원모델의 가능성을 유추할 수 있었다.

하지만 본 연구는 도시공원에 태양광시스템이 적용되면서 발생하는 수목에 대한 음영, 주변온도, 모듈의 열화로 인한 성능저하 등을 연산에 포함하지 못하였다. 그리고 한국전력공사에서 시행하고 있는 재생에너지원 전력생산자에 대한 인센티브제도의 지속변수도 고려되지 않았다. 이로 인하여 보다 현실적인 결과산출에 한계를 가지고 있으며, 이는 후속연구를 통해 보완되어야 할 것이다. 또한 공원의 장소적 한계를 극복하기 위해 입사각, 직달태양복사량에 상대적으로 민감하지 않은 비결정질(a-Si) 태양전지가 적용된 가로시설물에 대한 연구개발도 필요할 것으로 사료된다.

본 연구결과는 향후 지속가능한 성장을 위해 기존 조경 설계 및 계획에 수익형 재생에너지 시스템 적용을 위한 기초연구로 활용될 것으로 기대된다.

- 주 1. RETScreen은 캐나다 천연자원부의 CanmetENERGY 연구 센터에서 개발, 관리되며, 업계, 정부, 학계의 전문가들로 이루어진 세계적 인력의 지원을 받는다. 주요 협력업체로는 미 항공 우주국(NASA), 재생 에너지 및 에너지 효율 파트너쉽(REEEP), 국제 연합 환경 계획(UNEP) 및 지구 환경 기금(GEF) 등이 있다.
- 주 2. CLEAN ENERGY PROJECT ANALYSIS: TEXTBOOK -RETScreen
- 주 3. NASA Satellite Meteorological Data
- 주 4. 동지와 하지의 공원 가로등 점등시간이 다르나, 현재 관리자의 평균치 자료에 의거함.
- 주 5. 한국전력공사 2011년 6월 기준 전력구입 기준수가
- 주 6. 한국전력공사 2010년 12월 31일 기준 전력요금수준
- 주 7. 통계청 소비자물가조사 2011, kosis.kr
- 주 8. 경제통계국 물가동향과 2011, 통계표ID: DT_1J08009
- 주 9. 홍사근, 최홍규, 염성배, 송영주, 최영준(2009) 오래된 모듈의 특성에 관한 연구. 한국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집
- 주 10. 한국은행 기준금리 2011년 6월 10일 기준
- 주 11. www.g2b.go.kr, www.solarcenter.co.kr

인용문헌

- 1. 김동환(2006) 국내외태양광 기술 및 산업동향. 공학교육연구 13(2): 42-45.
- 2. 김명호(2009) 스마트가로등 시스템의 전력선 필러성능개선 및 효율 평가.

- 전기학회논문지 58(2): 154-157.
3. 김영백, 송법성(2011) 스마트 가로등 원격제어 시스템에 관한 연구. 한국 전자통신학회 학술대회지 5(1): 412-414.
 4. 김용국, 한소영, 조경진(2011) 민관 파트너십 도시공원 조성 및 관리방식 연구. 한국조경학회지 39(3): 83-97.
 5. 도윤미, 김선진, 허태욱, 박노성, 김현학, 홍승기, 서정혜, 전종암(2009) 스마트그리드 기술 동향: 전력망과 정보통신의 융합기술. 전자통신동향분석 24(5): 74-86.
 6. 윤태민, 반호영, 이찬길(2010) 스마트가로등용 컨트롤러 개발. 2010년 정보 및 제어 학술대회(CICS'10) 논문집 112(2): 14-20.
 7. 홍사근, 최홍규, 염성배, 송영주, 최영준(2009) 오래된 모듈의 특성에 관한 연구. 한국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집 2009(10): 351-354.
 8. CLEAN ENERGY PROJECT ANALYSIS: TEXTBOOK -RETScreen.

원 고 접 수 일: 2012년 6월 4일
 심 사 일: 2012년 7월 5일(1차)
 2012년 7월 16일(2차)
 계 재 확 정 일: 2012년 7월 30일
 3 인 의 명 심 사 필