

# GIS를 이용한 태양광 발전시스템의 활용도 높은 농촌 그린빌리지 적정입지 평가 - 충청남도 금산군 추부면을 중심으로 -

도재형 · 김대식\* · 구희동

충남대학교 대학원 농공학과 · \*충남대학교 농업생명과학대학 지역환경토목학과

## High Utilization of Photovoltaic Power System in Rural Green Village Location Analysis and Evaluation using GIS - With Chubumyeon, Keumsan, Chungnam province -

Doh, Jae-Heung · Kim, Dae-Sik\* · Koo, Hee-Dong

*Dept. of Agri. Eng., Graduate School, Chungnam Nat'l Univ. ·*

*\*Dept. of Agri. Eng., College of Agri. & Life Sciences, Chungnam Nat'l Univ.*

**ABSTRACT** : The composition of rural Green Village requires higher utilization of renewable energy in those selected rural villages. The purpose of this study is to select the best results of rural green villages when using photovoltaic power system(PV system). 10 different rural villages in Chubumyeon, Keumsan, Chungnam province, were selected as study villages. This study shows measured solar radiation data, a 20-year time series data, and GIS spatial analysis; and whose were used to predict the photovoltaic power generation. PV system is used as a form with capacity of 3kWp to use for personal and public houses. Generation data was calculated by the town, where the economics of the Green Village location analysis was performed; and the solar radiation's correction factor was calculated by the 20-year time series data and measured data by study villages. By applying to the data of DEM, slope and aspect of the study villages were found, therefore performed. Spatial analysis tools were performed by using solar radiation map's tools. Those data found were used to calculate the average needed energy every months. When used the properly calculated data, towns performed economical energy consumption in rural Green Village. Every study villages have showed very high potential for PV system. Sungdangri ranked at the first (7,401kWp/year), Jangdaeri follows behind to the second (7,203kWp/year) and Yogwangri at third (7,89kWp/year) which shows higher developed energy than other study villages. The areas covered of these three towns are as follows: Sungdangri at 33,300m<sup>2</sup>, Jangdaeri covers 18,000m<sup>2</sup> and Yogwangri shows 46,800m<sup>2</sup>. With these results, analyzing the potentials using GIS spatial analysis before installation of PV system was possible. Also different villages and topography in study villages have showed various results by the area. For convenience and to shorten research time, it is possible and enough to use solar radiation tools when studying spatial analysis of solar radiation.

**Key words** : Renewable Energy, Solar Energy, Green-village Planning, GIS, Solar radiation, Site selection

### 1. 서 론

신재생에너지의 개발 및 활용이 유가의 불안정, 기후 변화협약의 규제 대응 등 국내외 환경변화에 따른 방안

으로 강구되고 있다. 우리나라 신재생에너지 보급 동향을 살펴보면 기후변화협약 발효와 고유가 상황 지속 등 외부요인에 대응하기 위한 적극적인 정부투자자와 민간참여에 힘입어 공급량이 지속증가 되었다. 특히, 태양광, 풍력 등 주요 신재생에너지에 대한 정부주도 보급 및 주택보급사업 확대 등으로 태양광 분야의 증가율이 18.7%로 높아졌다(에너지관리공단 신재생에너지센터, 2013). 2011년 에너지원별 선정 현황에서 태양광(9405호수), 태

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

양열(731호수), 지열(317호수), 연료전지(185호수) 순으로 가장 보편적으로 적용이 가능한 태양광이 88%를 차지하였다(에너지관리공단, 2011). 이러한 추세로 보았을 때 일반적인 농촌지역의 경우 태양광에너지가 친환경 농촌마을 조성에 활용가능성 높을 것으로 판단된다.

태양광 발전 시스템은 태양전지에 의해 직접적으로 전기를 생산 할 수 있다. 태양광의 특징은 에너지원이 청정·무제한적이고, 유지보수가 용이, 무인화가 가능하며, 긴 수명을 갖는 장점이 있으나, 전력생산이 지역별 일사량에 의존하고, 에너지 밀도가 낮아 큰 설치면적이 필요하며, 설치장소가 한정적이고, 시스템 비용이 고가여서, 초기투자과 발전단가가 높은 단점이 있다. 태양광 발전을 효과적으로 이용하기 위해 발전설비 대비 전력 생산량인 효율성을 고려하여야 한다. 효율성을 높이기 위해서는 설비를 효율적으로 가동하여 가급적 빠른 시간 안에 투자비용 이상의 에너지를 생산해낼 수 있어야 하며, 끊임없는 연구로 기술개발을 이루어내는 방법과 높은 효율을 낼 수 있는 구조나 위치에 발전 시설을 두는 방법이 있다. 태양광에너지는 청정연료인 자연을 이용하고 있기 때문에 자연 환경적인 요인이 작용하게 된다. 따라서 입지 조건에 따라 효율성을 저해할 수도 있고 극대화 시킬 수도 있는 것이다(박정일 등, 2010).

그린빌리지 계획에 있어 많은 선행 연구들이 있지만, 농촌 그린빌리지 개념이 처음 시도된 연구로 남상운과

김대식(2008)은 농촌 그린빌리지 계획을 위한 풍력에너지 자원분석에서 농촌 그린빌리지를 그 마을에서 사용하는 에너지를 그 마을 자체에서 생산하여 사용하므로 화석연료를 사용하지 않아 CO<sub>2</sub>를 전혀 발생시키지 않는 Zero emission마을로 정의하였다. 친환경 농촌마을 계획을 위한 재생에너지 활용방안 연구로 남상운과 김대식(2008b)은 재생에너지를 활용한 친환경 농촌마을 정비방안을 모색하였으며, 태양에너지는 전형적인 농촌마을의 재생에너지원으로 활용가능성이 매우 높은 것으로 판단하였으나, 각 마을 입지에 따라 매우 상이한 특성을 보이는 것을 발견 하였다. 따라서 효율적인 재생에너지 활용을 위해서는 지역적인 특성에 맞는 농촌 그린빌리지 계획을 세워야 할 것을 제안하였다. GIS를 이용한 신·재생에너지 적지분석 연구에는 박정일 등(2010)은 다양한 신재생에너지 중 지형요인 및 기후요인과 관련이 높은 태양광, 풍력, 소수력의 입지 선정에 초점을 맞추어 입지 요인 선정, 기준 수립, 적지분석에 이르기까지 GIS를 활용하는 과정에 대해 연구 및 적용하였으며, 이지영 등(2010)의 연구에서는 태양광 시설의 입지분석에서 GIS를 활용하여 방법론을 제시하고, 객관화하는 것을 목적으로 AHP기법을 이용하여 입지요인을 정량화 하고, 제약조건과 입지기준을 선정하여 입지를 분석한 바 있으나, 본 연구에서는 입지결정 요인 중 일사량과 지형조건에 대한 입지기준을 선정하고, 기상관측자료 및 GIS를

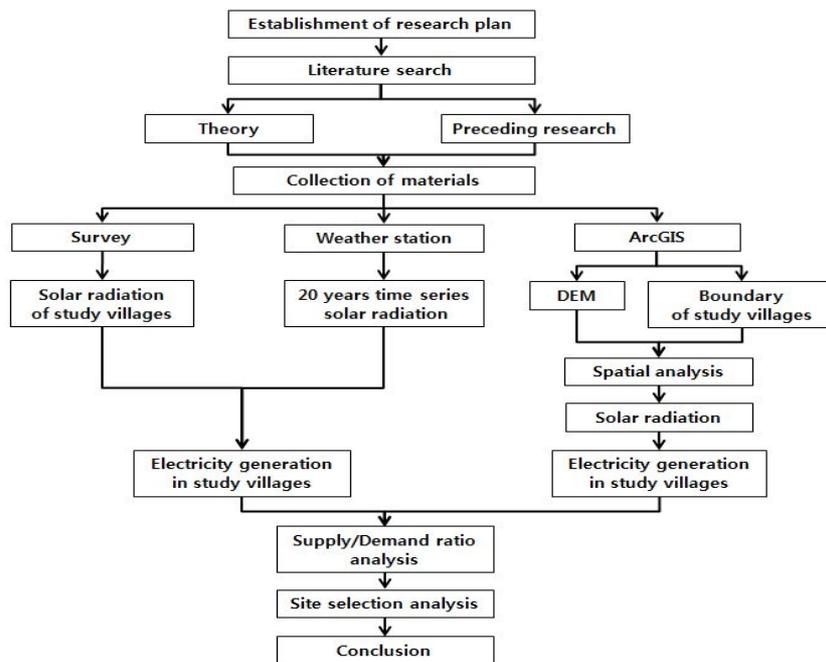


Figure 1. Research execution process

활용하여 새로운 입지분석 기법을 제시하고 있기 때문에 기존의 입지분석 방법과 차이점이 있다.

본 연구의 목적은 국내 실제 농촌마을을 태양에너지로부터 전기를 공급할 수 있는 농촌 그린빌리지를 계획함에 있어 위치에 따라 변화하는 일사량과 발전량을 분석하여 태양광 발전의 최적 입지를 모색하고자 한다. 최소비용을 투자해 최대효과를 기대하는 입지이론을 바탕으로 입지결정과 관련된 기후 및 지형적 특성을 입지요인으로 설정 하였다. 기상자료 및 GIS를 이용하여 일사량을 분석한 결과로부터 태양광 발전량을 예측, 태양광 발전량 지도를 구축하여 마을별 총 발전량을 기초 자료로 하여 공급과 수요의 비로부터 에너지 공급 가능성을 분석하고, 최적의 농촌마을 입지를 평가하고자 한다.

## II. 연구 방법 및 이론적 배경

### 1. 연구방법

본 연구에서는 태양광 발전시설의 특징을 파악하고, 농촌 그린빌리지를 계획함에 있어 최적의 입지를 분석하기 위해 Figure 1과 같은 연구방법을 구성하였다. 태양광 발전에 영향을 미치는 요소는 지리적인 위치, 위도, 경도, 지형의 영향, 식생의 영향, 인구 수, 대기오염 정도 등에 따라 일사량, 일조시간, 강수량, 강수일수, 강수계속 시간, 평균기온, 평균 최고기온, 평균 최저기온, 운량, 상대습도, 안개일수, 황사일수, 연무일수, 박무일수 등의 기상요소가 다르게 나타난다. 본 연구에서는 일사량이 태양광 발전에 가장 큰 영향을 미치는 요인이라 판단하여 일사량 요인에 대한 분석을 실시하였다.

먼저, 자료 수집을 위하여 대상마을에서 일사량 측정을 통해 마을별 일사량 자료를 취득하였고, 대상마을의 시계열 자료를 구축하기 위해 기상청 기상관측자료를 분석하였으며, GIS 공간분석을 통해 지형조건을 고려한 일

사량 자료를 활용하였다. 다음으로 일사량 자료를 기초로 발전량을 계산하여 마을별로 분석하여 공급수요 비를 평가하여 잠재력이 높은 태양광에너지를 활용한 농촌 그린빌리지의 입지를 분석하고자 하였다.

### 2. 대상마을 및 일사량자원 분석

본 연구에서는 태양광에너지를 이용한 그린빌리지 조성을 위하여 충청남도 금산군 추부면의 10개의 마을을 대상지역으로 선정하였다. 대상마을의 일사량 자료는 기상청에서 수집하고 있는 기상자료를 사용할 수 있으나, 전국의 기상측후소 중 일사계를 보유한 곳은 22개소로 대상마을이 속해있는 측후소에서 일사량 자료를 취득하기엔 어려움이 있었다. 금산군 추부면에 가장 가까운 기상관측소는 금산기상관측소(충청남도 금산군 금산읍 소재)가 대상마을로부터 9.71km에 위치하고 있으나, 일사량을 측정하지 않아 자료를 취득할 수 없었다. 대상지역인 추부면은 지리적으로 대전과 인접하기 때문에 일사량 자료를 측정하고 수집하고 있는 대상마을에서 22.2km에 위치한 대전지방기상청(대전광역시 유성구 소재)의 기상관측자료를 이용하였다. 기상측후소는 시·군별로 분포하고 있어 대상지역 측후소에서 일사량을 측정하여도 대상 마을이 받는 일사량으로 보기 어렵다. 이러한 문제를 보완하기 위해 일사계를 이용하여 일사량을 측정하였다. 측정에 사용된 일사계는 Hukseflux사의 LP-02 모델이며, LP-02로부터 측정된 일사량 자료는 Hukseflux사의 LI-19 모델인 datalogger에 저장하여 수집하였다(Table 1).

### 3. 연구자료 및 태양광 발전량 계산

#### 3.1 기상자료에 의한 일사량 자료의 구축

태양광 발전 시스템을 이용한 발전량 분석에 가장 중요한 요인은 마을별 일사량이다. 각 지역별 기상측후소

Table 1. Specification of solar radiation sensor and datalogger

		Description
	Item	Value
LP-02	ISO classification	Second class
	Spectral range	305~20800nm
	Sensitivity (norminal)	15 $\mu$ V/ $Wm^2$
	Temperature range	-40~+80 $^{\circ}$ C
	Range	0 to 2000 $Wm^2$
LI-19	A/D resolution	1 or 10 $\mu$ V
	A/D sample rate	1/second
	Memory capacity	3500 samples

에서 측정된 기상관측자료는 그 지역에 대한 대표적인 자료라 할 수 있으나, 실제 신재생에너지를 이용한 농촌 마을 계획에 있어 대상마을에 적합한 자료라 보기엔 어려움이 있다고 판단한다. 태양광 발전 시스템을 이용한 농촌 그린 빌리지 계획에 필요한 마을별 일사량을 구축하기 위해 대상마을에서 측정된 일사량이 가장 정확하다고 판단되며, 현장조사를 통해 시계열 자료로 가공하기엔 시간과 비례한 측정일이 필요한 단점이 있어 이에 따른 대안으로 측정된 일사량과 최단 거리에 있는 기상청 일사량 자료를 활용하는 방법을 다음과 같이 구축하였다.

- (1) 대상지역과 가장 인접한 기상측후소를 선정
- (2) 선정된 기상측후소와 대상지역의 동일한 날 및 동일한 날씨에 현장조사를 실시
- (3) 보정계수를 통해 대상마을 시계열 자료로 가공

본 연구 방법에서 마을의 고도, 경사, 향 등의 지형적 위치는 고정적이고, 일사량, 날씨, 온도, 습도 등의 일사량 요소는 변하지만, 태양광 발전에서 일사량과 날씨의 요소가 가장 중요하고 온도, 습도 등의 요소는 거리가 가까운 지역에서는 차이가 미비하여 고려하지 않는 것으로 가정하였다. 현장조사를 통한 일사량 자료는 일사계를 이용하여 대전지방 기상청과 동일한 날씨인 맑은 날 2013년 8월 9일부터 2013년 8월 16일 까지 측정된 결과를 이용하였다. 측정은 일사계를 이용하여 마을별 5분 간격으로 1시간 단위로 측정하였으며, 측정된 자료의 단위는 kWh/m<sup>2</sup>으로 변환 하였다. 연구에 필요한 기간에 비해 현장조사 기간이 짧지만, 대전지방 기상청 자료를 활용하여 보정계수를 통해 표본자료로 이용할 수 있었다. 본 연구의 표본자료는 맑은 날 기준으로 구축되어 다른 기상조건일 경우 오차가 발생 할 수 있기 때문에, 향후 보다 정확한 표본자료를 구축하기 위해 다양한 기상조건으로 현장조사를 가능한 많이 할 필요가 있다. 대전지방기상청에서 제시하는 기상관측자료를 이용하여 대상마을의 시계열 일사량 자료를 예측하기 위해 대전지방의 최근 20년(1993~2012) 기상관측자료를 취득하였다. 일사량은 태양의 자연스러운 활동변화에 의해 약 10년 주기로 강약을 반복하며 이에 따라 일사량이 영향을 받는 특징이 있다. 따라, 태양광 발전 시스템의 수명이 수십 년 임을 감안하여 20년 시계열 값을 사용하였다. 대전지방기상청에서 측정된 일사량 자료는 대상마을에 따라 적용하기 위하여 마을별로 보정할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 마을별 보정계수를 구하기 위하여 식(1)을 도입하였다.

$$W = \frac{Q_d}{Q_c} \quad (1)$$

여기서,  $W$ 는 보정계수,  $Q_d$  대전지방기상청 일사량 관측자료(kWh/m<sup>2</sup>), and  $Q_c$  대상마을에서 측정된 일사량(kWh/m<sup>2</sup>) 이다.

### 3.2 태양광 발전량 계산

일사계로 측정된 일사량 자료와 기상청의 일사량관측 자료는 수평면 일사량이다. 태양광발전 시스템에 적용하기위해선 수평면 일사량을 경사면 일사량으로 환산할 필요가 있다. 이론적으로 일사량(전천 일사량)은 직달 일사량과 산란 일사량으로 성분을 구할 수 있고, 산란 일사량의 경우에는 수평면이나 경사면에서 거의 차이가 없다. 이에 반하여 직달 일사량은 경사각에 따라 큰 차이를 보인다. 수평면 직달 일사량( $J_h$ )과 경사면 직달 일사량( $J_s$ )은 법선면 직달 일사량( $J_n$ )에 태양 고도( $h$ )와 경사면의 태양 고도( $h'$ )를 이용하여 다음 식 (2), (3)으로 표현할 수 있다(남상운과 김대식, 2008b)

$$J_h = J_n \sinh \quad (2)$$

$$J_s = J_n \sinh' \quad (3)$$

따라서 수평면 직달 일사량으로부터 경사면 직달 일사량은 다음 식 (4)으로 환산할 수 있다.

$$J_s = J_h \frac{\sinh'}{\sinh} \quad (4)$$

이와 같은 방법으로 수평면 일사량을 경사면 일사량으로 환산하기 위해서는 일사량 성분을 직달과 산란으로 나누고, 월·일·시간대별로 태양 고도를 추적해야 한다. 조덕기 등(2001)의 연구에서는 수평면 일사량에 대한 경사면일사량의 비율을 실험을 통하여 경험적으로 제시된 대전지방에서의 방위별 경사면일사량 실측 분석 자료를 이용하여 환산하였다. 본 연구에서는 같은 자료를 일별 일사량 자료에 적용함에 있어서 월별로 동일한 값을 적용하였다.(남상운과 김대식, 2008b)

Table 2의 태양광발전 시스템은 photovoltaic(PV) 시스템으로 태양광 발전량을 추정할 수 있는데, 총발전량( $E_p$ )은 다음 식 (5)으로 구하였다.

$$E_p = \eta A_p Q_A \quad (5)$$

여기서,  $E_p$ 는 총발전량(kWh),  $\eta$ 는 발전효율,  $A_p$ 는 어레이 면적( $m^2$ ), 그리고  $Q_A$ 는 경사면일사량( $kWh/m^2$ )이다. 태양광발전시스템은 국내 주택용 건물에 가장 많이 보급되어 있는 3kWp 출력 용량의 시스템을 대상으로 선정하였다(김대식 등, 2008).

실세계 지형 정보 중 건물, 수목, 인공 구조물 등을 제외한 지형 부분을 표현하는 수치 모형이다. DEM을 이용하여 경사와 향을 구할 수 있으며, 이 자료들은 공간분석에서 일사량 분석을 하기 위한 기초 자료가 된다.

PV 시스템은 주택용 건물에 설치하는 것으로 마을별 주거지역에 대한 공간 분석을 해야 한다고 판단된다. 주거지역은 각 마을단위로 포락선을 이용하여 나타냈다.

Table 2. Specification of solar photovoltaic (PV) module\*

Item		Value
system	type of solar radiation	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%/°C
	loss rate of PV array	5.0%
	power of PV array	3.0kWp
	area of PV system	27.3 $m^2$
electricity control	efficiency of mean invert	90%
	invert capacity	2.7kW(AC)
	loss rate of electricity control	5%
solar radiation array	setting slope angle	30°
	setting direction angle	0° (south direction)

\*자료: 김대식 등(2008)

### 3.3 GIS자료의 구축

일사량은 태양의 고도가 높을수록 일사량이 증가하며, 태양이 천정에 위치할 때 일사량은 최대가 된다. 또한 지형적 요인에 의해 일사량이 차이를 보일 수 있다. 여러 요인들 가운데 지형의 고도, 방향, 경사에 따라 일사량이 차이가 보일 거라 판단이 되며, 이것을 수치적으로 잘 표현할 수 있는 방법 중에 하나로 GIS를 이용할 수 있다. 수치 표고 모형(DEM: Digital Elevation Model)은

주거지역은 위성지도 또는 토지이용도를 근거로 추출할 수 있으나, 본 연구에서는 ArcGIS online에서 제공하는 위성지도를 이용하였다. Figure 2는 ArcEdit를 이용하여 주거지역 경계에 맞게 선을 그려 마을별 경계지도를 생성 하였다. 고도자료를 경계지도를 이용하여 30m 격자로 나누어 마을별 DEM을 구하였다. 먼저 경사도는 준비된 대상지역의 고도자료로부터 공간분석에서 표면분석의 경사항목을 선택하여 값을 구하였다. 경사 값은 퍼센트



Figure 2. Area site map of Study villages

(%)로 설정하였으며 셀 크기는 30m로 하였다. 방향 역시 DEM으로부터 공간분석에서 표면분석의 향 항목을 이용하여 구하였으며 셀 크기는 30m로 하였다.

### 3.4 태양광 발전량 지도를 이용한 입지분석

입지분석에 관련된 여러 기존 연구에서 분석에 필요한 여러 가지 인자들을 설정하고 적용하였지만, 본 연구에서는 ArcGIS의 공간분석 도구를 이용하여 일사량 지도를 구축하고, 발전량 지도를 구하여 가장 높은 발전량을 보이는 입지를 쉽고 빠르게 찾을 수 있었다. 공간분석 extension인 Solar radiation analysis tool을 이용하여 지리적 공간에서의 대기영향, 태양고도, 향, 경사, 고도, 음역을 분석하여, 대상마을의 일사량 지도를 구축하였다. 발전량 지도는 PV 시스템 발전량을 계산하는 식 (1)로부터 ArcGIS Raster calculator에 활용할 수 있도록 식 (6)을 만들었다.

$$\text{Output map} = \sum([\text{input map}] * R * 1.2011 * \text{Day}) \quad (6)$$

여기서, Output map은 대상마을 발전량 지도(kWh), Input map은 대상마을 일사량 지도(MJ), R는 대상마을의 20년 월 평균발전량/마을의 20년 연 평균발전량의 비 (Table 3), 1.2011는 MJ를 kWh로 환산하기위한 상수( $\frac{1}{3.6}$ ) \* 경사비율(1.65) \* 일일발전량(2.6208)을 계산한 상수, 그리고 Day는 해당 월의 일수 이다. Spatial Analyst의 Raster calculator로 발전량 지도를 생성하게 되면, 발전량이 가장 높은 격자들이 적지라 볼 수 있겠다.

### 3.5 에너지 수요공급 비 분석

농촌 그린빌리지를 계획함에 있어 태양광 발전량에 대한 수요 및 공급 평가가 이루어 져야 한다. 실제 농촌 마을 단위로 전 가구에 대한 전기사용량을 전수조사한 연구(농림부, 2007)에서 충청남도 금산군 막현리, 당진군의 부장리와 소소리를 대상마을로 선정하고 조사한 결과 전체 265가구의 평균은 4,319kWh로 나타난 바 있다. 이번 연구에서는 일사량과 지형조건 요인에 대한 공간적 입지선정이 목적이므로, 선행연구에서 조사된 충청남도 농가 1호당 평균전기 사용량을 이용하여 다음 식 (7)과 같이 계산하였다.

$$R_{sd} = \frac{E_s}{E_d} \quad (7)$$

여기서,  $R_{sd}$ 는 수요공급 비,  $E_s$ 는 전기 발전량 (kWh),  $E_d$ 는 전기 사용량 (kWh) 이다.

## III. 연구결과 및 고찰

### 1. 기상자료에 의한 마을별 발전량 분석

본 연구에서 마을별로 측정된 일사량 자료 및 1993년부터 2012년까지 20년간 기상관측자료를 재가공하여 대상 마을별 일사량 자료를 구축하였다. 2012년 월별 발전량 분석결과 2, 3, 4, 5, 6, 9, 11월이 대체로 발전량이 높았으며, 그 중 봄, 가을에 속하는 5, 10월이 발전량이 높게 분석 되었다. 월별 발전량을 합한 2012년 연 평균 발전량은 성당리가 7,764kWh로 최대값을, 서대리가 6,331kWh로 최솟값을 나타내었다. 발전량의 최대값을 갖는 마을과 최솟값을 갖는 마을은 1,433kWh로 차이를 보였다. 2012년 연 최대 발전량은 자부리가 9,031kWh로 최대값을, 서대리가 7,926kWh로 최솟값을 나타내었다. 2012년 연 최소 발전량은 성당리가 6,738kWh로 최대값을, 서대리가 4,825kWh로 최솟값을 나타내었다. 발전량의 최대값을 나타내는 마을과 최솟값을 갖는 마을은 연 최대 발전량일 때 1,104kWh, 연 최소 발전량일 때 1,913kWh의 차이를 보였다. 발전량 분석 결과로부터 상대적으로 최대값을 보이는 성당리에서도 연 최대 발전량과 연 최소 발전량은 2,052kWh로 차이를 보였고, 성당리의 연 최대발전량과 서대리의 연 최소 발전량을 비교하였을 때, 3,965kWh로 큰 차이를 보였다. 따라서, 같은 마을에서도 일사량 변화로 인해 발전량이 많은 차이를 보일 수 있으며, 마을별 발전량의 차이는 최대 3,965kWh로 발전량이 최대값을 갖는 마을은 발전량이 최솟값을 갖는 마을의 발전량의 약 2배에 근접한 발전량을 보인다.

시계열 자료는 시간의 흐름에 따라 변하는 자료로, 시계열 분석은 미래에 대한 예측에 목적을 두기 때문에 예측결과를 증명하기위해 조사한 일사량 자료로부터 최근 20년간 마을별 누적 발전량을 분석할 필요가 있다. 또한

Table 3. Ratio of monthly mean electricity generation to yearly mean electricity generation

Item	Month												Mean
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ratio	0.62	0.84	1.05	1.30	1.40	1.31	1.12	1.11	1.05	0.92	0.65	0.56	1.21

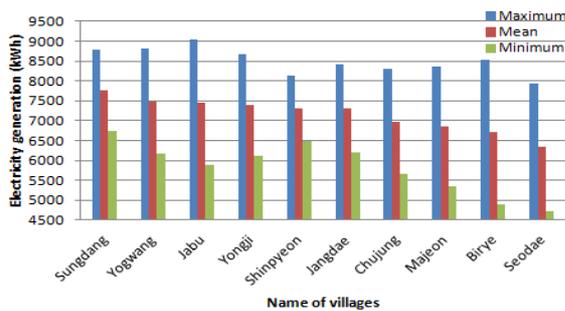
분석 결과로부터 시간이 증가함에 따라 마을별 편차와 누적량의 차이를 분석 할 수 있다고 판단한다. 20년 누적 평균 발전량은 성당리가 149,956kWh로 최대치를, 서대리가 122,274kWh로 최소치를 나타내었다. 발전량의 최대치를 갖는 마을과 최소치를 갖는 마을은 27,682kWh로 차이를 보였다. 최소치를 갖는 서대리의 연 평균 발전량이 6,331kWh로, 20년 누적 평균 발전량은 4.3년의 차이를 보였다. 20년 누적 최대 발전량은 자부리가 174,413kWh로 최대치를, 서대리가 153,094kWh로 최소치를 나타내었다. 자부리와 서대리의 발전량의 차이는 21,318kWh로, 최소치를 갖는 서대리의 연 최대 발전량이

7926kWh이므로, 20년 누적 최대 발전량은 2.6년의 차이를 보였다. 20년 누적 최소 발전량은 성당리가 130,136kWh로 최대치를, 서대리가 91,454kWh로 최소치를 나타내었다. 성당리와 서대리의 발전량의 차이는 38,682kWh로 서대리가 연 최소 발전량이 4,825kWh이므로, 20년 누적 최소 발전량은 8년의 차이를 보였다. 따라서, 20년 누적 성당리의 최대 발전량과 서대리의 최소 발전량은 최대 78,320kWh로 차이가 있으며, 서대리 연 평균 발전량 6,331kWh을 기준으로 최대 12년의 차이를 나타내었다.

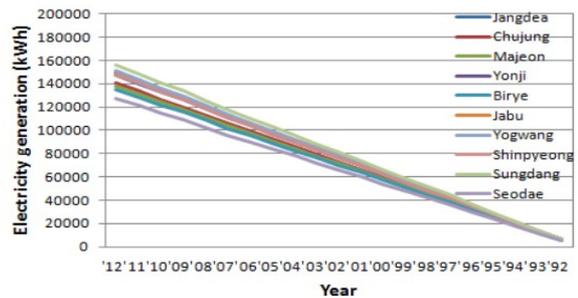
기상자료를 이용하여 미래를 예측하는 방법에는 기후

Table 5. Estimation of 20 Years time series accrued electricity generation in study villages

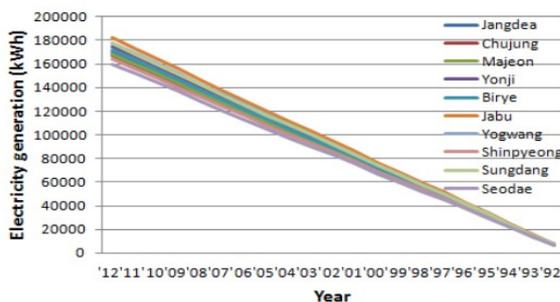
Name of villages	electricity generation (kWh)		
	Minimum	Mean	Maximum
Jangdaeri	136882	141190	147737
Chujungri	129381	134697	140870
Majeonri	117703	136236	141028
Yongjiri	127894	137488	142705
Biryeri	135869	139379	144857
Jaburi	109506	131356	138907
Yogwangri	134477	138486	140490
Shinpyeongri	135932	137847	139983
Sungdangri	130869	142347	149067
Seodaeri	125963	134719	140680



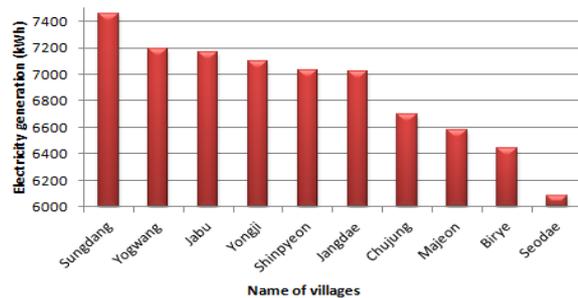
a) Electricity generation in 2012



b) Accrued mean electricity generation



c) Accrued maximum electricity generation



d) 20 years time series electricity generation

Figure 3. Estimation of electricity generation in study villages

Table 4. Yearly mean electricity generation in study villages

Name of villages	electricity generation (kWh)			
	Minimum	Mean	Maximum	Max - Min
Jangdaeri	6,844	7,059	7,386	542
Chujungri	6,469	6,734	7,043	574
Majeonri	5,885	6,811	7,051	1,166
Yongjiri	6,394	6,874	7,135	740
Biryeri	6,793	6,968	7,242	449
Jaburi	5,475	6,567	6,945	1,470
Yogwangri	6,723	6,924	7,024	300
Shinpyeongri	6,796	6,892	6,999	202
Sungdangri	6,543	7,117	7,453	909
Seodaeri	6,298	6,735	7,034	735

변화 시나리오, 시계열 자료 등을 이용한 여러 방법이 있다. 본 연구에서는 추부면 법정리 단위의 좁은 공간 안에서 대상 마을별 차이를 새롭게 발견함에 따라, 태양광 발전 시스템의 최적 입지분석에 대한 새로운 입지기법과 증명을 하기위한 수단으로 시계열 자료를 통해 발전량을 예측하였다. 최근 20년간 일사량 자료를 시계열 자료로 재가공한 결과 평균 발전량은 성당리가 7,456kWh로 최대치를, 서대리가 6,080kWh로 최소치를 나타내었다. 발전량의 최대치를 갖는 마을과 최소치를 갖는 마을은 1,376kWh로 차이를 보였다.

## 2. GIS에 의한 마을별 발전량 분석

DEM으로부터 Solar radiation analysis를 통해 일사량 지도를 추출하였다. 일사량 지도는 30m 격자로 이루어져 있으며, 각 격자들은 월 평균 일사량(MJ/m<sup>2</sup>)의 정보를 포함하고 있다. 마을별로 이루어진 일사량 지도로부터 식(6)을 이용하여 연 평균 발전량 지도 및 20년 누적 발전량 지도를 생성하였다(Figure 4). 추출된 연 평균 발전량 지도는 30m 격자로 이루어져 있으며, 대상마을의 연 평균 발전량 결과는 Table 4과 같다. GIS로 분석한

Table 6. The number of cells

Electric generation (MJ)	The number of cells									
	Biryee	Chujung	Jabu	Jangdae	Majeon	Seodae	Shiun-pyeong	Sungdang	Yogwang	Yongji
5356 ~ 5434.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5434.5 ~ 5513	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5513 ~ 5591.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5591.5 ~ 5670	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5670 ~ 5748.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5748.5 ~ 5827	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
5827 ~ 5905.5	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
5905.5 ~ 5984	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
5984 ~ 6062.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6062.5 ~ 6141	0	0	3	0	6	0	0	0	0	0
6141 ~ 6219.5	0	0	2	0	7	0	0	0	0	0
6219.5 ~ 6298	0	0	4	0	7	3	0	0	0	0
6298 ~ 6376.5	0	0	1	0	4	4	0	0	0	1
6376.5 ~ 6455	0	8	6	0	6	8	0	0	0	2
6455 ~ 6533.5	0	13	5	0	5	5	0	1	0	4
6533.5 ~ 6612	0	12	7	0	9	14	0	3	0	3
6612 ~ 6690.5	0	16	5	0	25	16	0	5	2	2
6690.5 ~ 6769	6	22	29	0	70	10	13	3	10	5
6769 ~ 6847.5	73	13	16	12	80	16	168	6	17	8
6847.5 ~ 6926	97	9	2	16	113	13	18	14	48	14
6926 ~ 7004.5	60	2	0	14	10	5	0	14	6	13
7004.5 ~ 7083	23	0	0	22	0	0	0	3	0	4
7083 ~ 7161.5	11	0	0	15	0	0	0	13	0	0
7161.5 ~ 7240	1	0	0	3	0	0	0	23	0	0
7240 ~ 7318.5	0	0	0	2	0	0	0	16	0	0
7318.5 ~ 7397	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0

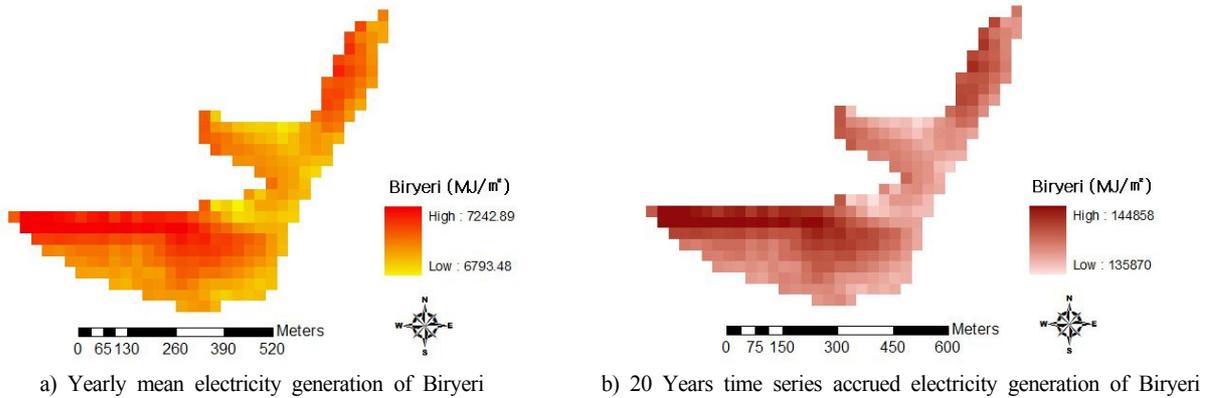


Figure 4. electricity generation map

연 평균 발전량은 같은 마을에서도 발전량의 차이를 보였는데, 자부리에서 최대 1,470kWh 신평리에서 최소 300kWh의 차이를 보였다. 마을별 20년 누적 발전량 결과 성당리에서 149,067kWh의 최대치를, 자부리에서 109,506kWh의 최소치를 두 마을간 발전량은 39,561kWh 차이를 보였다. 최소값을 같은 자부리의 연 평균 최소 발전량이 5475kWh를 기준으로, 성당리와 자부리의 20년 누적 발전량은 7년의 차이를 보였다(Table 5).

본 연구에서는 마을별 발전량이 마을별 연 평균 발전량 지도로부터 같은 마을에서도 지형적 위치에 따라 차이가 있음을 발견하였다. 대상마을 내 격자별로 발전량이 상이하기 때문에 실제 대상마을에 PV시스템 설치 시 태양광 발전량의 효율성을 높이기 위해 격자별 발전량 분석이 필요하다고 판단된다. 따라서 10개 마을의 격자별 분석의 편의성을 위해 최대 발전량과 최소발전량을

26개로 분류하였고(Table 6), 최상위 발전량을 보이는 3개 분류의 평균 발전량, 최다 격자에 모여있는 3개 분류의 평균발전량의 분석 결과는 Table 7과 같다.

### 3. 태양광 발전량 공급수요 비 분석

충청남도 농가 1호당 평균 전기 사용량과 20년 시계열 전기 발전량을 비교 분석 한 결과와 충청남도 농가 1호당 평균 전기 사용량과 GIS로 계산된 발전량을 비교 분석 한 결과 Table 8과 같다. 공급수요 비를 분석해 보면, 최대 1.73배에서 최소 1.4배에 이르기까지 가구당 소비량 보다 3kWp PV시스템이 연간 생산하는 전기발전량이 많은 것으로 분석되었고, 대상마을의 농가에서는 3kWp PV 시스템 1개 모듈을 설치할 경우 연간 전기생산량은 충분한 것을 알 수 있었다.

Table 7. Result of grid analysis

Name of villages	Result of grid analysis			
	Number of the highest cell	Electricity generation (kWh)	Number of the most cell	Electricity generation (kWh)
Jangdaeri	20	7149	44	7059
Chujungri	24	6850	51	6725
Majeonri	203	6859	203	6859
Yongjiri	31	6939	35	6897
Biryeri	35	7072	230	6992
Jaburi	47	6763	50	6747
Yogwangri	52	6924	52	6924
Shinpyeongri	199	6892	199	6892
Sungdangri	37	7249	50	7205
Seodaeri	34	6861	39	6814

Table 8. Potential of electricity

Name of villages	Used electricity (kWh) (Demand)	Potential of electricity based on weather station data		Potential of electricity based on GIS data					
		Electricity generation (kWh) (Supply)	Supply / Demand ratio	Electricity generation (kWh) (Supply)			Supply / Demand ratio		
				The highest cell	The most cell	Yearly mean	The highest cell	The most cell	Yearly mean
Sungdangri	4,319	7,456	1.73	7,249	7,205	7,117	1.67	1.66	1.64
Jangdaeri	4,319	7,190	1.66	7,149	7,059	7,059	1.65	1.63	1.63
Biryeri	4,319	7,166	1.66	7,072	6,992	6,968	1.63	1.61	1.61
Yogwangri	4,319	7,100	1.64	6,924	6,924	6,924	1.60	1.60	1.60
Yongjiri	4,319	7,028	1.63	6,939	6,897	6,874	1.60	1.59	1.59
Shinpyeongri	4,319	7,020	1.63	6,892	6,892	6,892	1.59	1.59	1.59
Majeonri	4,319	6,696	1.55	6,859	6,859	6,811	1.58	1.58	1.57
Seodaeri	4,319	6,575	1.52	6,861	6,814	6,735	1.58	1.57	1.55
Chujungri	4,319	6,439	1.49	6,850	6,725	6,734	1.58	1.55	1.55
Jaburi	4,319	6,080	1.40	6,763	6,747	6,567	1.56	1.56	1.52

4. 입지분석 결과

기상자료를 이용하여 마을별 발전량을 예측하고 분석한 결과 법정리 단위의 마을에서도 발전량이 차이가 있음을 발견하였고, GIS분석결과 마을 안에서도 지형의 형태에 따라 발전량이 차이가 있음을 발견하였다. 최적의 입지를 선정하기 위해서는 마을단위의 입지를 먼저 선정한 후, 격자별로 분석하여 입지를 선정하였다. 마을단위의 입지를 선정하기 위해 마을별로 순위를 나타내었으며, 순위는 기상자료에 의한 연평균 발전량과 GIS에 의한 연평균 발전량의 평균발전량 순으로 계산된 결과 이다(table 9). 성당리가 7401kWh로 1순위, 장대리가 7203kWh로 2순위, 요광리가 7,189kWh 3순위로 다른 마을에 비해 발전량이 높아 PV시스템을 활용한 그린빌리지로 선정될 수 있다고 판단된다.

마을 안에서도 발전량의 차이가 나타나, 각 마을 안에서의 최대 효율을 갖는 입지를 선정할 필요가 있다. 10개 마을의 최대 발전량과 최소발전량을 25개로 분류하고, 최상위 발전량을 보이는 3개 분류의 평균 발전량을 A등급, 최다 격자에 모여있는 3개 분류의 평균발전량을 B등급, 모든 분류의 평균발전량을 C등급으로 분류하였다. 1순위 마을인 성당리는 A등급 일 때 면적은 33,300m<sup>2</sup>, B등급 45,000m<sup>2</sup> C등급 53,100m<sup>2</sup>로 전반적으로 다양하게 등급이 분포되어 있었다. 2순위 장대리는 A등급 일 때 18,000m<sup>2</sup>으로 성당리보다 A등급 면적이 좁게 나타났으며 B, C등급의 면적이 39,600m<sup>2</sup>으로 같게 분포되어 있었다. 3순위 요광리는 분류에 따른 발전량 차이가 없어 모든 등급의 면적이 46,800m<sup>2</sup>으로 같게 나타났다(Table 10, Figure 5).

Table 9. Rank of electricity generation in the study villages

Name of villages	Yearly electricity generation based on weather station(kWh)			Yearly electricity generation based on GIS(kWh)			Total mean	Rank
	Minimum	Mean	Maximum	Minimum	Mean	Maximum		
Jangdaeri	6,202	7,309	8,417	6,844	7,059	7,386	7,203	2
Chujungri	5,657	6,973	8,289	6,469	6,734	7,043	6,861	7
Majeonri	5,349	6,846	8,344	5,885	6,811	7,051	6,714	9
Yongjiri	6,117	7,393	8,669	6,394	6,874	7,135	7,097	5
Biryeri	4,878	6,705	7,843	6,793	6,968	7,242	6,738	8
Jaburi	5,893	7,461	9,031	5,475	6,567	6,945	6,895	6
Yogwangri	6,167	7,487	8,807	6,723	6,924	7,024	7,189	3
Shinpyeongri	6,493	7,318	8,143	6,796	6,892	6,999	7,107	4
Sungdangri	6,738	7,764	8,790	6,543	7,117	7,453	7,401	1
Seodaeri	4,825	6,331	7,926	6,298	6,735	7,034	6,525	10

Table 10. Area of efficiency electricity generation

Name of villages	Area(m <sup>2</sup> )		
	Grade A	Grade B	Grade C
Sungdangri (Rank 1)	33,300	45,000	53,100
Jangdaeri (Rank 2)	18,000	39,600	39,600
Yogwangri (Rank 3)	46,800	46,800	46,800

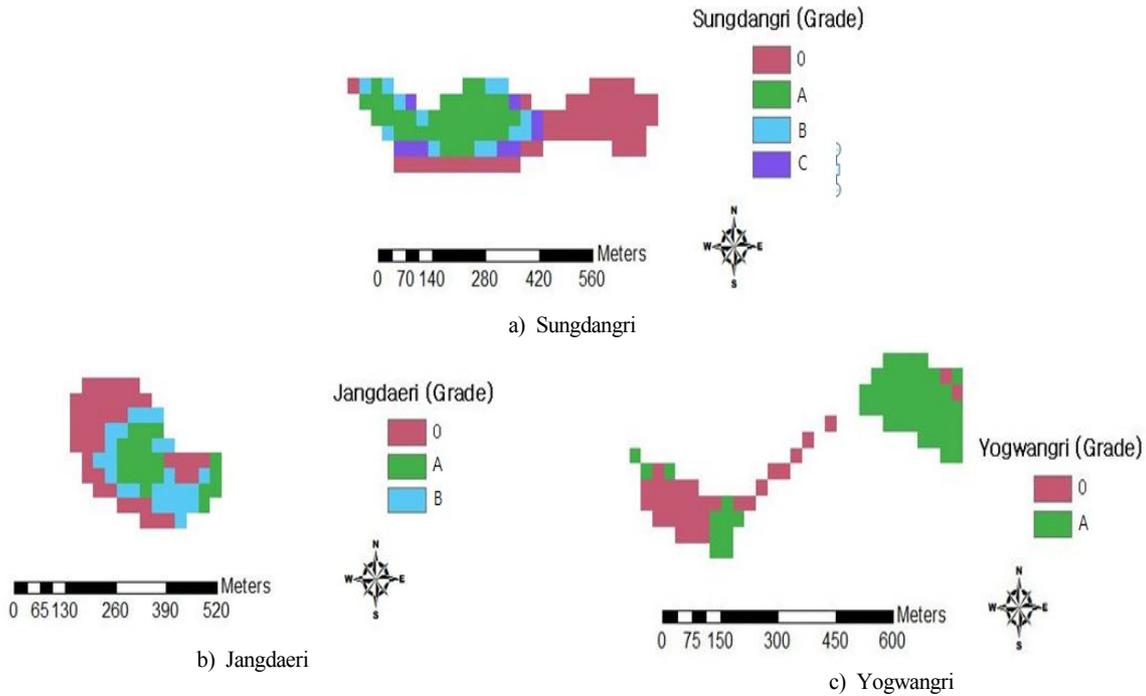


Figure 5. Result of site selection

#### IV. 요약 및 결론

지금까지 신재생에너지와 농촌계획에 관한 많은 연구들이 다양하게 수행되어 왔다. 특히, 태양광 발전시스템을 이용하여 친환경적인 농촌마을의 계획에 필요한 현실적인 공간적 입지분석을 수행한 연구의 시도는 좀처럼 보기 어려웠다. 그 이유는 발전량을 계산하기위한 기본적인 자료인 일사량 자료가 범정리 단위가 아닌 시·군 단위로 측정되어 기록되고 있으며, 금산군 기상대와 같이 일부 군기상대에서는 일사량을 측정조차 하지 않고 있어 기초 자료가 부족한 것이 중요한 원인으로 볼 수 있다. 본 연구에서는 이러한 부분을 보완하고자 일사계를 이용하여 마을 별 실제 측정을 하였고 대상농촌마을에서 가장 가까운 기상대의 기상자료와 비교 분석하여 마을 별 발전량을 구하고, 지형적인 요소를 고려하여

GIS를 이용해 마을 별 발전량을 예측할 수 있었다.

이 연구의 목적은 PV시스템 설치 시 최고 효율을 보이는 농촌 그린빌리지 입지를 선정하기 위해 충청남도 추부면에 위치한 10개의 농촌마을을 대상으로 입지분석을 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 대상마을별 일사량 자료를 구축하기 위해 측정된 일사량 자료와 대전지방기상청 기상관측자료를 기초로 최근 20년(1983~2012) 평년발전량을 구하였다.
2. DEM자료를 이용하여 대상마을의 경사도와 방향도를 기초로 Solar radiation 공간분석 툴을 이용하여 일사량 지도를 구축하였으며, 구축된 일사량 지도로 월 평균 발전량 지도를 생성하였다. 생성된 모든 셀은 30x30으로 하였다.
3. 충청남도 농가 1호당 평균 전기 사용량과 전기 발전량을 비교하여 잠재력 평가를 한 결과 성당리가 1.73

배로 최대치를, 서대리가 1.4배로 최소치를 보였으나, 모든 마을이 전기 사용량에 비해 발전량이 높아 PV시스템의 1개 모듈의 연간 발전량은 충분한 것으로 나타났다.

4. 기상관측자료 및 지형요소를 모두 고려한 대상마을 PV시스템 입지분석 결과 성당리 1순위, 장대리 2순위, 요광리 3순위로 다른 마을에 비해 높은 발전량을 보였으며, 마을 내 A등급의 발전량을 낼 수 있는 면적에 대한 최적의 입지분석 결과 성당리는 33,300m<sup>2</sup>, 장대리는 18,000m<sup>2</sup>, 요광리는 46,800m<sup>2</sup>으로 나타났다.

이상의 분석결과로부터 태양광발전 시스템을 마을에 설치하기 전 GIS 분석을 통해 주택단지 위치 및 지형요소를 고려하여 잠재력을 미리 분석할 수 있었고, 마을단위 및 마을 내에서도 위치에 따라 발전량이 다르게 분포하는 것을 발견하였다. 측정된 일사량 자료 및 기상관측자료와 GIS를 이용하여 발전량 분석 결과의 값은 정확하게 일치하지 않지만, GIS로부터 분석된 결과가 기상관측자료의 표준편차 내에서 분포하고, 두 결과의 차이가 최대 647kWh, 최소 35kWh의 약간의 차이만 보이고 있어 ArcGIS의 Solar radiation 공간분석 도구가 측정치 및 기상관측자료와 유사한 결과를 보인다는 것을 발견하였다. 향후 일사량을 이용한 공간분석에 관한 연구에서는 연구 시간 단축 및 편의성을 높이기 위해 Solar radiation 도구만 활용하여도 충분한 것으로 판단된다. 앞으로 대상 마을별 사용 전력량에 따른 경제성을 검토하여 경제성 분석 및 기후변화 시나리오와 함께 입지분석이 이루어진다면, 보다 나은 농촌 그린빌리지 입지 선정을 위한 의사결정을 지원할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참고문헌

1. 기상청, 2013, <http://www.kma.go.kr/>
2. 김대식, 구승모, 남상운, 2008, 농촌그린빌리지 조성을 위한 일별 잠재력 태양광발전량의 적정확률분포형 추정 — 서산지역을 중심으로, 한국농공학회논문집, 50(6), 37-47.
3. 김대식, 남상운, 2010, 태양에너지를 이용한 농촌 그린빌리지 계획의 경제성 분석에 관한 연구, 한국농공학회논문집, 52(4), 27-34.
4. 남상운, 김대식, 2007, 친환경 농촌마을계획을 위한 주거 에너지 이용실태 조사 분석, 한국농공학회논문집, 49(6), 55-62.
5. 남상운, 김대식, 2008a, 농촌 그린빌리지 계획을 위한 풍력에너지 자원분석, 농촌계획, 14(2), 25-32.
6. 남상운, 김대식, 2008b, 친환경 농촌마을계획을 위한 재생에너지 활용방안 연구 — 태양에너지 자원 분석, 한국농공학회논문집, 50(3), 105-112.
7. 농림부, 2007, 농촌마을리모델링 기법개발에 관한 연구 — 농촌마을 신재생에너지 활용방안연구.
8. 박정일, 박민호, 임이택, 2010, GIS를 이용한 신·재생에너지 적지분석 연구 — 태양광 및 풍력발전소를 중심으로, 한국지적정보학회지, 129-141.
9. 에너지관리공단 신재생에너지센터, 2013, [www.energy.or.kr](http://www.energy.or.kr)
10. 에너지관리공단, 2013, [www.kemco.or.kr](http://www.kemco.or.kr).
11. 이지영, 강인준, 2010, GIS를 기술을 활용한 태양광시설 입지선정에 관한 연구, 한국지형공간정보학회지, 18(2), 99-105.
12. 조덕기, 강용혁, 2007, PV시스템 설치를 위한 경사면 태양광에너지 분석에 관한 연구, 한국태양에너지학회논문집, 27(1), 11-17.
13. 조덕기, 전일수, 전명석, 강용혁, 오정우, 2001, 방위별 경사면일사량 분석에 관한 연구, 한국태양에너지학회논문집, 21(3), 19-24.

접 수 일: (2014년 1월 3일)

수 정 일: (1차: 2014년 1월 23일, 2차: 2014년 3월 6일  
3차: 2014년 3월 10일)

게재확정일: (2014년 3월 10일)

■ 3인 익명 심사필