

농촌그린빌리지 조성을 위한 일별 잠재적 태양광발전량의
적정확률분포형 추정
- 서산지역을 중심으로 -

Estimating Optimal Probability Distributions of Daily Potential Photovoltaic Power
Generation for Development of Rural Green-Village by Solar Energy
- with Area of Seosan Weather Station -

김대식* · 구승모**† · 남상운*

Kim, Dae-sik* · Koo, Seung-mo**† · Nam, Sang-woon*

Abstract

Photovoltaic power generation is currently being recognized as one of the most popular sources for renewable resources over the country. Although it is also being adapted to rural area for many reasons, it is important to estimate the magnitudes of power outputs with reliable statistical methodologies, while applying historical daily solar energy data, for correct feasibility analysis. In this study, one of the well-known statistical methodologies is employed to define the appropriate probability distributions for monthly power outputs for the selected rural area, county of Seo-san, province of Chungnam. The results imply that the assumption of normal distributions for several months may lead to incorrect decision-making and therefore lead to the unreliable feasibility analysis. Generalized beta and triangular distributions were found to be superior to normal distribution, when describing monthly probability distributions for daily photovoltaic power. Based on the appropriate distributions resulted from this study, Monte Carlo simulation technique was also applied to provide additional flexible information for the relevant decision makers. This study found out new finding that the probability distributions should be considered to make planning of the photovoltaic power system in rural village unit, in order to give reasonable economic analysis to the decision makers.

Keywords : Photovoltaic power generation, maximum likelihood estimation, probability distributions, Monte Carlo simulation.

I. 서 론

최근 세계적으로 고유가 시대를 맞이하여 신재생에너지의 활용에 대한 관심과 더불어 우리나라에서도 장기적인 정부차원의 대형 사업들을 시도하고 있으며, 농촌마을 단위에서도 신재생에너지를 활용하는 연구와 사업들이 큰 관심의 대상이 되고 있다. 신재

* 충남대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

** 충남대학교 농업생명과학대학 농업경제학과

† Corresponding author. Tel.: +82-42-821-6749

Fax: +82-42-821-7977

E-mail address: koosm@cnu.ac.kr

2008년 7월 30일 투고

2008년 11월 5일 심사완료

2008년 11월 5일 게재확정

생에너지는 태양에너지와 풍력에너지 등을 포함하여 전체 12개 항목에 이르고 있으며, 이 중에서 태양에너지는 가장 친환경적이며 활용성이 높은 것으로서 이미 많은 사례를 볼 수 있다 (농림부, 2007). 태양광 발전 (Photovoltaic Power Generation)은 태양에너지(일사량)를 전기 에너지로 변환시키는 시스템으로 구조가 단순하고 수명이 길며 안전하고 환경 친화적인 발전으로 발전 규모가 주택용에서부터 대규모 발전 사업용까지 다양하다. 태양에너지를 활용하는 태양광 발전은 태양광주택 10만호 보급사업 등에 힘입어 괄목할 만한 보급 실적을 보이고 있다. 태양광은 2012년까지 주택용, 건물용, 산업용으로 1,399MWp를 보급할 계획으로 주택보급사업, 발전차액지원제도, 공공건물 신재생의무화 등에 힘입어 지속적으로 확대될 것으로 전망되고 있다. 영흥 1MW 태양광 발전소는 인천시 옹진군 영흥면에 위치하고 있으며, 시설용량 1MWp(모듈 정격출력 총합)으로 사업기간은 2006년 5월에서 2006년 10월이었고, 공사비 80억원이 소요된 것으로 한국 남동발전(주)에 의해 사업이 시행되었다. 발전예상량은 연간 122만 6천 kWh/year로서 유훈대체효과가 330toe/y이며 이에 따른 이산화탄소 감축효과는 연간 1,000톤에 달할 것으로 추정된다. 칠곡 200kW 태양광 발전소는 국내 최초의 민간 태양광상업발전소로서 2004년 9월 발전을 시작하였으며 200kW용량으로 연간 발전량은 255,500kW로서 월평균 21,300kW에 이르며, 이를 통한 연간 평균 1억 8,300만원 정도의 수익을 올리고 있다. 태양광을 이용한 마을 단위의 사례로서는 제주도의 동광 그린빌리지를 들 수 있다. 동광 그린빌리지는 2004년 12월에 설치되었으며 그 위치는 제주도 제주시 안덕면 동광리에 위치하고 있고, 인근 자구내 마을을 포함하여 57호(143kW)의 규모로 22억 5000만원의 사업비가 투입된 국내 첫 그린빌리지로 알려져 있다. 동광마을의 문화마을 조성사업의 일환으로 병행하여 설치된 태양광 및 태양열 시스템의 효과로 연간 16만 6000kW를 생산하여 전체 전기사용량의 76%를 대체하고 있다 (농림부, 2007).

그러나 태양광을 이용한 전력생산은 경제성 문제가 수반되어 농촌마을 단위에서 적극적으로 도입할

수 있는 정책에 탄력을 주지 못하고 있다. 따라서 고유가로 인하여 향후 태양광 발전이 경제성이 있는 것으로 분석될 가능성이 있으나, 그에 앞서 태양광에 의한 잠재적 발전량의 타당한 분석이 우선 되어야 한다. 그러므로 본 연구에서는 농촌지역 신재생 에너지의 지속가능한 활용 차원에서 태양광 발전시설의 도입가능성을 타진하기에 앞서, 그 경제적 타당성 분석에 기초적 자료가 될 수 있는 태양광의 전력생산 잠재력을 통계학적 정합성에 근거하여 일별 적정 확률분포형의 추정을 시도하였다. 기존의 연구에서는 태양광과 풍력에너지 등 신재생에너지의 잠재력과 경제성을 분석함에 있어서 월별 단순 평균 값을 사용한 바 있다(김명래, 윤재욱, 2006, 남상운, 김대식, 2008). 그러나 태양광의 밀도는 기본적으로 지역적·계절적 변동이 존재하며, 특히 일별로 태양광 밀도는 시간적·공간적으로 그 지역의 특성 및 시기적 기후에 의하여 달라진다. 월별 태양광 밀도의 경우 일일 태양광의 분포가 항상 정규성(normality)을 갖지 않기 때문에, 단순히 월 또는 연 평균 일사량 값을 해당 태양력 발전시설의 잠재력을 평가할 때 적용하는 것은 바람직하지 않다. 태양광의 발생 분포가 확률에 의존하는 정규분포(normal distribution)가 아닌 다른 분포의 특성을 가질 때에는 월 또는 연 단위의 단순 기하평균(arithmetic mean)은 진정한 모수(parameter)를 대표할 가능성이 작아지게 되므로, 진정한 태양광발전 잠재력을 과대추정 혹은 과소추정하게 될 위험을 내포하게 된다. 이를테면 월별 일일 태양광의 분포가 정규분포의 특성을 가지지 않고 심하게 편향된(biased) 분포를 가질 때에는 그 분포의 왜곡도(skewness)로 말미암아 단순 평균을 그 분포의 대표 값으로 설정하여 월별 태양광 전력 발전량을 추정할 결과 역시 편향된 정보가 된다. 동시에 해당 태양광 발전시설에 대한 왜곡된 경제적 타당성 진단 결과를 이끌어내게 된다. 이러한 경우에는 해당 지역의 태양광 전력 발전량에 대한 적절한 통계분포를 가정하여 모수를 추정한 후에 적합도(goodness of fit) 검정을 통하여 적정 대표값을 추정하는 것이 바람직하다.

따라서 본 연구에서는 이론적 측면에서 태양광의

일별 일사량 관측치를 발전량으로 환산하는 과정을 특정 태양광 시스템(3kWp 출력)을 기준으로 적용하고, 월별 일일 태양광 발전량의 분포를 적절히 기술할 수 있는 통계분포의 모수(parameters)를 추정하는 과정 및 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)의 과정을 제시한다. 그리고 대상지역에 대하여 일별 전력 발전량의 확률분포형의 추정을 시도한 후, 이 결과에 대한 시사점과 향후 적용 가능성에 대하여 논의 하고자한다.

II. 이론적 전개

1. 태양광 발전 전력량의 추정

주택 지붕에 설치되는 태양열 집열판이나 태양광 발전(PV) 시스템은 다른 곳에 설치되는 것에 비하여 효율이나 성능 면에서 우수하다. 지붕은 건물에서 거의 이용되지 않는 부분으로써 단지 비바람을 막는 방어물의 역할을 할 뿐이다. 건물의 경사지붕 등은 태양광 시스템 적용시 낮 동안 최상의 일사를 얻을 수 있다. 남쪽으로 향해 경사진 PV 어레이는 직접적으로 햇빛을 받아 최상의 효율로 작동한다. 이와 같이 태양광시스템은 주택의 경사 지붕에 설치하는 것이 효율적이므로 기상관측소로부터 입수한 수평면 일사량은 경사면 일사량으로 환산해야 한다. 김준태 등(2001)의 연구에 의하면 연간 에너지 발생이 가장 높은 경사각은 남향 27~28도로 나타났고, 남향 5~50도 경사각 및 남측으로부터 동서 방향으로 50도 범위의 방위에서 5%정도 감소하는 것으로 나타나고 있다. 이에 따라 남상운-김대식(2008)의 선행 연구에서는 남향 경사각 30도에 대한 태양에너지의 자원분석이 실시된 바 있다.

남상운-김대식(2008)의 연구에서는 다음과 같은 원리로 30년간 월별 평균 일사량 자료를 이용하여 월별 태양광 발전량을 추정한 바 있다. 이 연구에서는 30년간 일별 일사량 자료를 일별 태양광 발전량 추정에 적용하였다. 이론적으로 일사량(전천 일사량)은 직달 일사량과 산란 일사량으로 성분을 구분할 수 있고, 산란 일사량의 경우에는 수평면이나 경사면

에서 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 식으로 표현할 수 있다(김 등, 2002).

$$J_h = J_n \sinh \quad (1)$$

$$J_s = J_n \sinh' \quad (2)$$

따라서 수평면 직달 일사량으로부터 경사면 직달 일사량은 다음 식으로 환산할 수 있다.

$$J_s = J_h \frac{\sinh'}{\sinh} \quad (3)$$

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 제시하였는데, 본 연구에서는 이와 같이 Table 1에 제시된 대전지방에서의 방위별 경사면일사량 실측 분석 자료를 이용하여 환산하였다(조 등, 2001). 본 연구에서는 동 자료를 일별 일사량 자료에 적용함에 있어서 월별로 동일한 값을 적용하였다.

Table 1 Ratio of the sloping side direct solar radiation to the horizontal direct solar radiation in Daejeon area⁴⁾

Item	Month												Mean
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Slope angle 30°	1.65	1.44	1.29	1.11	1.01	0.97	0.98	1.05	1.19	1.40	1.61	1.77	1.21

경사면 일사량으로부터 태양광발전시스템의 일별 총발전량(E_p)은 다음 식으로부터 구할 수 있다(안 등, 1999).

$$E_p = \eta A_p Q_A \quad (\text{kWh}) \quad (4)$$

Table 2 Spec of solar photovoltaic (PV) module³⁾

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)

여기서 η 는 발전효율, A_p 는 어레이면적(m²), Q_d 는 경사면일사량(kWh/m²)이다. 발전효율은 국내 실험데이터인 9.6%를 적용하였다(안 등, 1999). 태양광 발전 시스템은 국내 주택용 건물에 가장 많이 보급되어 있는 3kWp 출력 용량의 시스템을 대상으로 선정하였으며, 그 특성은 Table 2와 같다.

2. 확률 분포형의 추정

가. 통계 분포의 형태

본 연구에서는 일별 태양광 발전량의 적정 확률 분포형을 추정하기 위하여 현재까지 알려진 이산(discrete) 분포와 연속(continuous) 분포에 관한 37개의 확률분포(Evans 외, 1993) 중에서 주로 적용되는 확률분포들의 정의·치역(domain)·모수 등을 다음 Table 3에 요약하였다. 예를 들어 주어진 관측치의 분포로부터 추정된 분포가 (b)의 지수함수이며 이 함수로부터의 모수에 대한 통계적 적합성이 객관적으로 타당한 동시에, (c)의 정규분포로부터의 모수에 대한 통계적 적합성이 객관적으로 타당하지 않을 경우를 가정하자. 이 경우에는 단순 평균값이 정규분포의 평균값과 동일하게 되므로 실제 분포를 기술하는 대푯값으로써의 신뢰성을 상실하게 되며, 이를 이용한 분석 및 주장은 진정한 모수로부터 과소추정 혹은 과대추정의 위험으로 말미암아 그 타당성이 결

여되어 있다고 판단할 수 있다. 본 연구의 분석단계에서는 일일 태양광 일사량 자료를 이용하여 Table 3에서 소개한 각 분포의 모수를 추정한 후 적합도(goodness of fit) 검정을 거쳐 적정 확률 분포형을 선정한다. 본 연구에서는 적정 확률분포형의 모수를 검정하는 데에 일반적으로 적용되는 χ^2 검정법을 적용하였다.

나. 확률분포형 모수의 추정

효율적인 모수를 추정하는 방법으로써 최대우도추정법(Maximum Likelihood Estimation)이 적용되었다. 최우추정치(Maximum Likelihood Estimators)란 주어진 자료의 관측치와 특정분포의 확률밀도함수를 이용하여, 어떠한 표본이 추출될 때 그 표본이 속할 분포가 특정분포 내에 위치할 확률을 극대화시키는 방법을 의미한다(Gujarati, 1998). 예를 들어 어떠한 항목에 대하여 지수분포를 정의했다면, 시뮬레이션 과정 중에 추출된 여러 표본들이 다른 형태의 분포에 속하지 않고 지수분포를 따를 확률을 극대화시키는 것을 의미한다. 이를 활용하면 확률변수 표본의 실제분포형태에 가장 가까운 연속분포함수를 선정하는 작업을 용이하게 수행할 수 있다.

어떠한 확률분포 $f(x)$ 가 모수 α 와 이에 대응하는 표본값 X 를 가진다고 할 때, 다음과 같은 우도함수(likelihood function)를 정의할 수 있다.

$$L = \prod_{i=1}^n f(X_i, \alpha) \quad (5)$$

위 함수의 최우추정치를 찾기 위해서는 L 을 α 에 대하여 미분하고 이 조건이 극대화될 때 α 에 대하여 해를 구하게 되며, 모수가 두 개 이상인 분포까지 확장될 수 있다.

$$\frac{dL}{d\alpha} = 0 \quad (6)$$

예를 들어 어떠한 표본의 확률분포가 지수함수(exponential function)를 따른다고 가정하자. 지수함수 및 우도함수는 다음과 같이 모수 β 를 갖는 함수의 형태로 각각 정의된다.

$$f(x) = \frac{e^{-x/\beta}}{\beta} \quad (7)$$

Table 3 Definitions, Domains, and Parameters for Major Probability Distribution Functions¹⁾

Type	Probability Function ²⁾	Domain	Mean	Variance	Remark
Beta General	$\frac{(x - \min)^{\alpha_1 - 1} (\max - x)^{\alpha_2 - 1}}{B(\alpha_1, \alpha_2) (\max - \min)^{\alpha_1 + \alpha_2 - 1}}$	$\min \leq x \leq \max$	$\min + \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} (\max - \min)$	$\frac{\alpha_1 \alpha_2}{(\alpha_1 + \alpha_2)^2 (\alpha_1 + \alpha_2 + 1)} \times (\max - \min)^2$	B : Beta Function B_2 : Incomplete Beta Function α_1, α_2 : continuous shape parameter ($\alpha_1, \alpha_2 > 0$)
Exponential	$\frac{e^{-x/\beta}}{\beta}$	$0 \leq x < +\infty$	β	β^2	β : continuous scale parameter ($\beta > 0$)
Triangular	$f(x) = \frac{2(x - \min)}{(m.likely - \min)(\max - \min)}$ for $\min \leq x \leq m.likely$ $f(x) = \frac{2(\max - x)}{(\max - m.likely)(\max - \min)}$ for $m.likely \leq x \leq \max$	$\min \leq x \leq \max$	$(\min + m.likely + \max) / 3$	$\frac{a^2 + b^2 + c^2 - cb - ba - ac}{18}$ $a = \min,$ $b = m.likely,$ $c = \max$	
Normal	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{x - \mu}{\sigma} \right]^2}$	$-\infty < x < +\infty$	μ	σ^2	μ : continuous location parameter σ : continuous scale parameter ($\sigma > 0$)
Pareto	$\frac{\theta a^\theta}{x^{\theta+1}}$	$a \leq x < +\infty$	$\frac{a\theta}{\theta - 1}$	$\frac{\theta a^2}{(\theta - 1)^2 (\theta - 2)}$	Θ : continuous shape parameter a : continuous scale parameter ($\Theta, a > 0$)

1) 분포의 형태, 특징, 모수에 대한 상세한 설명은 여러 관련문헌에서 소개되고 있으나 본 연구에서는 Evans 외(1993)를 주로 참조함.

2) 특정 통계분포[F(X)]의 확률함수[f(x)]는 통계함수의 변수 x에 대한 1차 미분값임($\frac{dF(x)}{dx}$).

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\beta} e^{-x_i/\beta} = \beta^{-n} \exp\left(-\frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^n X_i\right) \quad (8) \qquad \beta = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} \quad (11)$$

한편 계산의 단순화를 위해 위에서 정의된 우도함수에 자연로그를 취하면 다음과 같은 형태로 표현된다.

$$l(\beta) = \ln L(\beta) = -n \ln(\beta) - \frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^n X_i \quad (9)$$

이 함수를 극대화하기 위해 β 에 대해 미분하고 0으로 놓으면 다음과 같은 조건이 성립한다.

$$\frac{dl}{d\beta} = \frac{-n}{\beta} + \frac{1}{\beta^2} \sum_{i=1}^n X_i \quad (10)$$

이 식을 β 에 대해 풀면 다음과 같이 최우추정량 공식이 된다.

다. 몬테칼로 시뮬레이션

몬테칼로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation)은 하나 혹은 여러 개의 특정한 확률분포를 근거로 하여 무작위 변수를 산출해 내는 방법이다. 추정된 특정 확률분포로부터 임의의 숫자를 산출하는 표본추출과정을 통하여 특정사건이 발생할 확률들의 근사치를 구하는 것이라 할 수 있다. 본 연구에서 적용되는 몬테칼로 시뮬레이션은 확률변수를 생성하여 모형을 구성하고 있는 공식이나 법칙에 따라 이를 변형시킴으로써 관측 자료를 획득하는 실험이다. 이러한 과정은 확률적으로 독립적이고 동일한 분포를

갖는 일련의 관찰 자료를 획득하기 위한 시뮬레이션 실험이 많은 횟수 반복된다. 이렇게 획득된 자료는 변형된 확률변수(즉, 시뮬레이션의 결과 값)의 특성을 연구하는 데 사용된다. 의사결정자가 몬테칼로 시뮬레이션을 사용하는 목적은 관심을 갖고 있는 변수 값의 분포가 어떠한지, 그리고 특정조건 하에서 발생 확률이 어떠한 지를 확인하는 것이다. 이와 같이 몬테칼로 시뮬레이션에 의해 획득된 정보는 수리적 분석으로는 일반적으로 획득할 수 없는 여러 의사결정에 관련된 위험(risk)을 평가하는 데 도움을 준다(김선민, 2002). 몬테칼로 시뮬레이션의 구체적 단계는 첫째, 관심 대상에 대한 경험적 또는 기술적 자료를 획득하여 이에 해당하는 적절한 확률분포를 선정하고, 둘째, 선정된 분포에 맞게 난수(random number)를 발생시키고, 셋째, 이 난수에 각 항목의 단위를 곱하여, 넷째, 이 과정을 N번 반복한 후, 마지막으로 N번의 추정과정을 누적빈도로 표시한다. 이러한 경우에 확률분포는 특정 항목의 자료의 수가 통계학적으로 충분한 수인 경우(자료수 ≥ 30), 정규성의 검증을 비롯하여 분포의 형태를 객관적으로 판별하고 이에 따른 모수를 추정해야 한다.

난수의 생성단계에서는 프로그래밍을 이용하여 난수를 발생시키고 이를 세 번째 단계에서 각 항목의 물량을 따로 곱하여 확률적 항목의 수치를 추출한다. 이후 네 번째와 다섯 번째 단계를 N번만큼 반복¹⁾시킴으로서 시뮬레이션의 결과를 산출한다. 이러한 과정은 마이크로소프트 엑셀과 같은 스프레드시트(spreadsheet) 프로그램이 이 기본적인 난수생성기능을 내장하고 있고, 대부분의 수량적 자료가 이러한 프로그램에 관리되기 때문에, 엑셀에 부가될 수 있는(add-on) 시뮬레이션 소프트웨어인 @Risk (Palisade,

1) 시뮬레이션의 결과, 추정값의 신뢰구간이 ± 0.1 의 정확성을 가지면 통상적으로 충분하다고 보고, 표본의 추출횟수는 통상 500번 또는 1,000번 이상이면 충분하다고 알려져 있다. 반복추출의 수가 증가할수록 시뮬레이션의 결과가 중심극한정리에 의해 정규분포를 따르게 되며 이 때 유의도 α 수준에서 요구되는 반복횟수(N)는 표준정규분포의 Z 값과 신뢰구간 절반에 해당하는 범위 E, 그리고 표준편차 s에 의해서 다음과 같이 정의된다.

$$N = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot S^2}{E^2}$$

2008) 등을 사용하면 두 번째 단계부터 반복적인 과정은 손쉽게 해결될 수 있다.

III. 확률분포형의 추정결과

1. 대상지역의 개요

본 연구에서는 기존의 연구(남상운-김대식, 2008)에서 30년간 단순 월별 평균 일사량을 이용하여 태양광 발전량을 분석한 바 있는 연구지역으로써 서산 지역을 선정하였다. 서산측후소는 과거 28년치의 일별 일사량 자료를 보유하고 있어 이 자료를 시계열 자료로 재가공하여 사용하였다. 동 지역에 대하여 일별 발전량과 월별 태양광발전 잠재력의 적정 확률분포를 추정하고, 기존 연구에서 시행한 바 있는 단순 평균법과의 비교를 통하여 확률분포형의 도출과 이의 활용에 대한 중요성을 제시하고, 향후 해당시설 도입 시 사업의 타당성을 진단해 볼 수 있는 유용한 정보를 제공함에 그 목적을 두었다.

2. 추정 결과

다음 Table 4에 서산지역의 수평면 태양광(일사량)의 일일 분포를 월별로 구분하고 적정 확률분포를 추정하여 나타내었다. 또한 그 통계 모수 및 적합도 검정을 위한 χ^2 값과 임계치를 구하여 제시하였다. 사용된 데이터는 동 지역 측후소가 보유하고 있는 과거 28년간(1980년~2007년) 서산 기상관측소의 일일 태양광 일사량자료이다. 여기서 적정통계량이란 Table 3에서 소개한 주요 통계분포 이외에도 Evans 외(1993)에서 소개된 37개의 분포에 대한 추정을 시도한 후, 이 중 χ^2 검정 결과 가장 우등한 분포²⁾를 보이는 것을 의미한다. 즉, 특정 통계분포의 모수를 추정한 후, 그 분포의 χ^2 통계량을 계산하여 그 값이 가장 작은 분포를 적정 통계분포로 선정하

2) 가장 우등한 분포는 χ^2 검정통계량이 가장 작으므로, χ^2 검정의 귀무가설이 기각될 확률이 가장 작은 분포를 의미함. 즉, χ^2 검정통계량이 어떠한 유의도 $\alpha\%$ 에서의 임계치보다 작다면, 임계치의 유의도 이외의 구역($(1-\alpha)\%$)에서 특정 확률분포의 적합성이 인정될 수 있음을 의미함.

였다. 동시에 정규분포를 가정할 때의 모수 및 검정 통계량을 함께 제시함으로써, 두 분포의 통계적 신뢰성에 대한 비교가 가능하도록 나타내었다. 정규분포의 결과치 및 검정통계량을 동시에 비교하는 이유는 적정분포의 기대치와 단순평균간의 차이가 있는지를 확인할 필요가 있기 때문이다.

Table 4의 분석결과를 해석하면 다음과 같다. 서산 지역의 경우, 2월의 태양광에 대한 적정 통계 분포는 삼각분포(triangular distribution)로써, 모수인 minimum, most likely, maximum의 값은 각각 0, 13.57, 19.663으로 추정되었으며, 이때의 χ^2 검정통계량은 50.19로 계산되었다. 한편 이 때의 임계치(critical value)는 유의도 1% 수준에서 52.62이므로, 1% 수준의 유의도에서 지수분포의 가정은 적합한 것으로 해석되었다(50.19<52.62). 한편 정규분포를 가정할 때의 모수는 μ 가 11.03이며, σ 가 4.27이고, 이때의 χ^2 검정통계량은 131로 계산되었다. 그리고 이때의 임계치는 유의도 또한 1% 수준에서 52.62이므로, 1% 수준의 유의도에서 정규분포의 가정은 그 신뢰성에 있어 부적합한 것으로 해석된다(131>52.62). 이러한 판단 하에, 삼각분포를 가정할 때의 평균은 11.08이며, 정규분포를 가정할 때의 평균은 11.03이므로, 정규분포 가정시의 평균값(단순평균)을 이 분포의 대푯값으로 적용하여 계산한다면,

과소추정(underestimation)을 초래할 수 있음을 의미한다. 이와 같은 사례가 12개월 중 2월, 10월, 12월의 경우에 나타남을 알 수 있다. 다른 월의 경우에는 통계학적으로 유의도 1%에서 선정된 적정분포가 적합하다는 유의성을 찾을 수 없었으나, 일관적인 χ^2 검정을 실시한 결과, 그 계산값이 모두 정규분포의 그것보다 우월하다는 분석결과가 도출되었다. 즉 본 연구로부터의 적정분포의 χ^2 값이 정규분포의 χ^2 값보다 작으므로, 정규분포보다는 우월한 분포가 추정되었다고 판단되었다.

한편 일일 일사량 자료로부터 공식 (4)를 적용하여 일일 태양광 잠재적 발전량을 구하고, 이에 대한 적정 확률분포형을 도출한 결과는 Table 5와 같다. 본 연구에서는 경사각 30도를 적용하는 과정에서 월별로 선형적인 변환과정을 거치기 때문에, 월별 분포형은 Table 4와 동일하나 그 크기는 다르다. 총 12개월 모두 정규분포가 아닌 다른 형태의 분포가 우월한 적정분포로 선정되었다. 즉 χ^2 검정결과를 기준으로 1, 5, 6, 7, 8, 11월은 Generalized Beta함수가 우월한 적정분포로, 그리고 나머지 달은 삼각분포가 우월한 분포로 분석됨으로써, 정규분포에 의존한 태양광 발전량의 잠재적 분석과 경제성 분석에 따르는 의사결정은 본 연구에서 제시된 적정분포를 적용할 때의 의사결정보다 과대 또는 과소 추정의 여지가

Table 4 Estimated Probability Functions for Seo-san's Daily Solar Radiation

Items	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TD*	G**	T***	T	T	G	G	G	G	T	T	G	T
mean	7.99	11.08	14.28	17.37	18.02	17.15	14.17	15.08	14.43	11.97	8.03	7.12
OD* Parameters	$\alpha_1=2.33$ $\alpha_2=2.41$	min=0 m.l.=13.57 max=19.66	min=0 m.l.=18.64 max=24.21	min=0 m.l.=23.60 max=28.50	$\alpha_1=1.93$ $\alpha_2=1.75$	$\alpha_1=1.89$ $\alpha_2=1.84$	$\alpha_1=1.72$ $\alpha_2=2.24$	$\alpha_1=1.69$ $\alpha_2=1.37$	min=0 m.l.=18.65 max=24.63	min=0 m.l.=15.32 max=20.59	$\alpha_1=2.04$ $\alpha_2=1.81$	min=0 m.l.=8.60 max=12.75
χ^2 값	98.27	50.19	111.00	138.40	293.00	128.60	120.00	63.48	72.82	54.03	61.38	39.41
mean(μ)	8.11	11.03	13.93	17.07	18.56	17.43	14.33	15.25	14.19	12.30	8.16	7.01
ND* STD(σ)	3.36	4.27	5.73	6.99	8.09	7.91	7.43	6.94	5.65	4.22	3.41	2.75
skewness	-0.36	-0.56	-0.63	-0.66	-0.65	-0.36	-0.04	-0.33	-0.57	-0.67	-0.35	-0.43
χ^2	121.00	131.00	216.00	309.00	404.00	208.00	218.00	181.00	210.00	145.00	101.00	113.00
TV* $\alpha=0.005$	48.29	46.93	48.29	48.29	48.29	48.29	48.29	48.29	48.29	48.29	48.29	48.29
$\alpha=0.001$	54.05	52.62	54.05	54.05	54.05	54.05	54.05	54.05	54.05	54.05	54.05	54.05

Note: * TD: Type of distribution, OD: Optimal distribution, ND: Normal distribution, TV: Threshold value, ** G: generalized beta, *** T: triangular

Table 5 Estimated Probability Functions for Seo-san's Daily Electricity Produced by Solar Radiation(30 degree)

구분	월												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
OD*	TD*	G**	T***	T	T	G	G	G	G	T	T	G	T
	mean	9.62	11.64	13.45	14.07	13.28	12.14	10.14	11.56	12.53	12.25	9.43	9.19
	Parameters	$\alpha_1=2.33$ $\alpha_2=2.41$	min=0 m.l.=14.27 max=20.66	min=0 m.l.=17.55 max=22.80	min=0 m.l.=19.12 max=23.10	$\alpha_1=1.92$ $\alpha_2=1.75$	$\alpha_1=1.89$ $\alpha_2=1.84$	$\alpha_1=1.72$ $\alpha_2=2.24$	$\alpha_1=1.69$ $\alpha_2=1.37$	min=0 m.l.=16.20 max=21.40	min=0 m.l.=15.66 max=21.40	$\alpha_1=2.03$ $\alpha_2=1.81$	min=0 m.l.=11.11 max=16.48
	χ^2 값	97.45	49.68	110.10	139.90	293.00	128.20	119.40	62.58	72.98	54.03	61.90	39.30
ND*	mean(μ)	9.77	11.59	13.12	13.83	13.68	12.34	10.25	11.69	12.32	12.57	9.59	9.06
	STD(σ)	4.05	4.48	5.39	5.67	5.97	5.60	5.31	5.32	4.90	4.32	4.00	3.56
	skewness	-0.36	-0.56	-0.63	-0.66	-0.65	-0.36	-0.04	-0.33	-0.57	-0.67	-0.35	-0.43
	χ^2	1.20E+02	1.31E+02	2.15E+02	3.11E+02	4.04E+02	2.08E+02	2.17E+02	1.79E+02	2.10E+02	1.45E+02	1.02E+02	1.13E+02
TV*	$\alpha=0.005$	48.29	46.93	48.29	48.29	48.29	48.29	48.29	48.29	48.29	48.29	48.29	48.29
	$\alpha=0.001$	54.05	52.62	54.05	54.05	54.05	54.05	54.05	54.05	54.05	54.05	54.05	54.05
Average of 30 years****	9.5	11.2	12.6	13.5	13.5	12.5	10.3	11.7	12.2	12.3	9.1	8.7	

Note: * TD: Type of distribution, OD: Optimal distribution, ND: Normal distribution, TV: Threshold value, ** G: generalized beta, *** T: triangular, **** 남상운, 김대식 (2008)

Table 6 Monthly Electricity Produced by Solar Radiation for Seo-san (kWh/day)

Items	Month												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
AP*	5%	2.97	3.84	4.47	4.69	3.55	3.13	2.16	2.79	4.16	4.06	2.68	3.02
	10%	4.12	5.43	6.33	6.64	5.19	4.60	3.31	4.26	5.88	5.74	3.85	4.28
	15%	5.02	6.65	7.75	8.14	6.51	5.80	4.28	5.47	7.21	7.03	4.78	5.24
	20%	5.79	7.68	8.95	9.40	7.67	6.86	5.16	6.54	8.33	8.12	5.59	6.05
	25%	6.50	8.58	10.00	10.50	8.74	7.84	5.99	7.52	9.31	9.07	6.33	6.76
	30%	7.16	9.40	10.96	11.51	9.74	8.76	6.78	8.45	10.19	9.94	7.01	7.41
	35%	7.79	10.16	11.83	12.43	10.69	9.64	7.56	9.33	11.01	10.74	7.67	8.00
	40%	8.40	10.86	12.65	13.29	11.61	10.50	8.33	10.18	11.77	11.48	8.30	8.56
	45%	9.00	11.52	13.42	14.09	12.52	11.34	9.09	11.01	12.49	12.18	8.92	9.08
	50%	9.60	12.14	14.15	14.86	13.41	12.17	9.86	11.82	13.16	12.84	9.53	9.57
	55%	10.19	12.73	14.83	15.58	14.29	13.00	10.64	12.62	13.81	13.46	10.13	10.03
	60%	10.79	13.30	15.49	16.28	15.18	13.84	11.43	13.42	14.42	14.06	10.74	10.48
	65%	11.41	13.84	16.13	16.94	16.07	14.69	12.26	14.21	15.01	14.63	11.35	10.91
	70%	12.04	14.37	16.74	17.58	16.99	15.56	13.12	15.00	15.58	15.19	11.98	11.33
	75%	12.71	14.91	17.32	18.20	17.94	16.47	14.04	15.80	16.12	15.72	12.63	11.77
	80%	13.43	15.52	17.91	18.79	18.93	17.43	15.03	16.63	16.68	16.28	13.31	12.27
85%	14.23	16.21	18.56	19.38	19.99	18.47	16.14	17.49	17.31	16.92	14.03	12.84	
90%	15.15	17.03	19.34	20.06	21.18	19.63	17.42	18.40	18.06	17.68	14.85	13.50	
95%	16.34	18.09	20.35	20.95	22.61	21.06	19.08	19.42	19.04	18.66	15.84	14.37	

Note: * AP: Accumulated probability

있는 것으로 판단된다.

한편 Table 5에서 선정된 각 월의 적정 분포형에 근거하여 실시한 몬테칼로 시뮬레이션의 분석결과가 Table 6과 같이 나타났다. 각 월의 적정분포의 모수에 근거하여 5,000회의 임의 표본추출과정을 거친 시뮬레이션 결과치들은 연속적인 확률분포로 나타나므로, 일정 구간에 대한 누적확률(cumulative distribution)이 계산될 수 있다. Table 6의 결과를 해석하면, 1월의 일일 태양광 발전량의 경우에는 분포의 최소치부터 4.12kWh 간의 누적확률이 10%로 계산되어 있다. 다시 말해, 시뮬레이션 결과, 분포의 최소치부터 4.12kWh 사이의 전력 생산량 수준을 달성할 수 있는 기대확률이 10%임을 의미한다. 같은 방식으로 누적확률 50%의 경우 달성이 가능한 전력량의 수준은 9.60kWh로 나타나고 있는데 이는 Table 5에서 계산된 분포의 평균에 근접하며, 그 이유는 시뮬레이션 결과의 분포가 비교적 대칭적이기 때문이다.

7월 일일 전력량의 사례에도 동일한 방식의 해석을 적용한다면, 분포의 최소치로부터 17.42kWh까지의 누적(기대)확률은 90%로 계산된다. 본 연구에서는 편의상 분포의 최소치로부터의 누적확률을 5%단

위로 계산하여 제시하였지만, 현실적으로는 다양한 측면에서 해석될 수 있다. 예를 들어 일일 전력생산량의 수준이 3.31kWh부터 17.42kWh까지의 누적(기대)확률은 80%가 되며(90%-10%), 6.78kWh부터 11.48kWh 사이의 누적(기대)확률은 30%(60%-30%)가 된다. 따라서 이러한 형태의 분석결과는, 태양광 발전을 도입하고자 하는 특정 지역의 주체로 하여금, 기존의 확정적(deterministic)이며 경직된 단순한 정보(단순평균이 그 대표적인 예)를 이용하는 것 보다 훨씬 유연성 있고 강력한 의사결정 정보로 활용될 수 있다는 점을 시사한다.

3. 결과 고찰

Table 5와 Fig. 1의 결과에서 보는 바와 같이, 기존 연구에서 사용한 30년간 월별 단순 평균 일사량 값에 의한 전력 생산량의 월 평균값과, 본 연구를 통하여 구한 월별 적정분포형에 의한 잠재적 전력 생산량의 평균 값, 그리고 정규분포를 가정할 경우의 평균 전력 생산량을 비교해 볼 수 있다. 이에 더불어 몬테칼로 시뮬레이션에 의한 적정 분포형에 대한 누가 확률별 월별 전력 생산량과 누가 확률 50%에서 월별 전력 생산량의 추이를 파악할 수 있다. Fig.

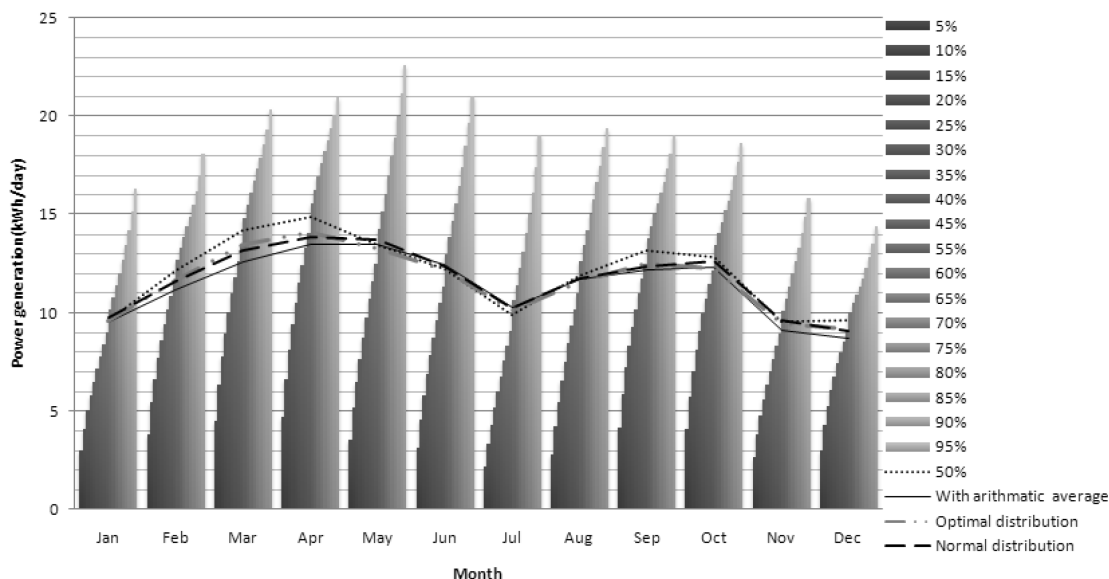


Fig. 1 Comparison of electronic power generation by monthly average solar radiation and daily solar radiation

1에서 보면 1, 5, 6, 7월은 네 개의 선 그래프가 거의 비슷한 값을 보이나 나머지 9개월 동안에는 적정 분포형의 50% 누가 확률의 경우가 가장 높은 값을 보이는 것을 알 수 있다. 특히 단순 평균값을 적용한 경우에 가장 낮은 값을 보여 기존의 연구에서는 태양광 잠재적 발전량을 과소 추정한 것으로 평가된다. 정규분포의 경우에는 적정분포형의 누가확률 50%의 값과 단순 평균값을 적용한 전력 생산량 값의 중간에 위치하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 결과로부터 태양광 발전시설 도입에 대한 경제성 분석을 할 경우에 각 지역별로 잠재적 발전량에 대한 적정 분포형을 고려해야 하며, 이 경우에는 기존의 방법보다 경제성이 다소 높을 것으로 평가될 가능성이 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 농촌지역의 신재생 에너지 활용 차원에서 태양광 발전시설의 도입가능성을 타진하기 위한 사전 연구로서 그 경제적 타당성 분석에 기초적 자료가 될 수 있는 일별 태양광 전력 발전량의 잠재력을 통계학적 정합성에 근거하여 월별 적정분포를 추정하였다. 연구 대상지역은 농촌지역 중에서 신재생 에너지에 대한 선행연구 사례가 있어 본 연구의 새로운 접근 결과가 비교될 수 있고, 일별 일사량 자료를 보유하고 있는 서산지역을 선정하였다.

분석결과, 총 12개월 모두 정규분포가 아닌 다른 형태의 확률분포가 우월한 적정 확률 분포형으로 선정되었다. χ^2 검정결과를 기준으로 1, 5, 6, 7, 8, 11월은 Generalized Beta함수가 우월한 적정 확률분포로, 그리고 나머지 달은 삼각분포가 우월한 분포로 분석되었다. 따라서 정규분포에 의존하는 의사결정은 본 연구에서 제시된 적정분포를 적용할 때의 의사결정보다 과대 또는 과소추정의 여지가 있는 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 추정된 월별 태양광의 적정 확률 분포형에 근거하여 몬테칼로 시뮬레이션 분석을 시행하여 누가확률별 태양광 잠재적 발전량을 추정하였다. 적정 확률 분포형을 고려한 누가확률 50%의 전력 발전량이 정규분포를 가정할 경우나,

기존의 연구들이 시도한 단순 월별 평균값을 적용한 경우보다 12개월 중에 1, 5, 6, 7월(세 가지 방법이 비슷한 값을 보임)을 제외하고 나머지 달에는 높게 추정되는 달이 많은 것으로 분석되었다. 이러한 형태의 분석결과는, 태양광발전을 도입하고자 하는 특정 지역의 주체로 하여금 기존의 확정적이며 경직된 단순한 정보(단순평균이 그 대표적인 예)를 이용하는 것 보다 훨씬 유연성 있고 강력한 의사결정 정보가 활용될 수 있다는 점을 시사한다. 따라서 향후 서산을 중심으로 한 지역에 태양광시설 도입을 계획할 경우에는 본 연구에서의 분석결과와 투자비용과의 비교를 통해 경제성분석에 직접적으로 활용되어 보다 진일보한 의사결정 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

References

1. 김명래, 윤재욱, 2006, 풍력발전을 주 에너지원으로 적용한 그린빌리지 디자인, 한국생태환경건축학회 학술발표대회논문집 6(2), pp. 139-147.
2. 김명철, 주재욱, 서간호, 이경희, 최정민, 2007, 주거용 건물의 태양광 발전시스템 투자회수 기간 산정, 한국태양에너지학회 논문집 27(2), pp. 87-93.
3. 김명희, 1992, 시뮬레이션 기초이론, 한국시뮬레이션학회 산학협동간기강좌교재.
4. 김선민, 2002, 경영시뮬레이션, 한경사.
5. 김준태, 김경호, 백현수, 이수홍, 2001, 태양광발전 시스템이 적용된 주택용 Solar roof 개발에 관한 연구, 한국태양에너지학회 학술발표대회논문집, pp. 140-148.
6. 남상운, 김대식, 2008, 친환경 농촌마을계획을 위한 신재생에너지 활용방안 연구 - 태양에너지 자원분석-, 한국농공학회논문집, 50(3), pp. 139-154.
7. 농림부, 2007, 농촌마을 리모델링 기법개발에 관한 연구, pp. 66-72.
8. 안교상, 임희천, 황인호, 1999, 50kW급 계통연계형 태양광발전시스템 운전특성 분석, 한국태양

- 에너지학회 학술발표대회논문집, pp. 116-120.
9. 조덕기, 전일수, 전명석, 강용혁, 오정무, 2001, 방위별 경사면일사량 분석에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집 21(3), pp. 19-24.
10. Evans, M., N. Hasting and B. Peacock, 1993, Statistical Distribution -second edition-, John Wiley & Sons, Inc.
11. Gujarati, D. N., 1998, Econometrics, McGraw-Hill.
12. Palisade Corporation, 2008, *Guide to Using @Risk*, www.palisade.com.