

효율성 측면에서 태양광 에너지 시설 최적입지에 관한 연구

Optimal Location Analysis in terms of Efficiency for Solar Energy Facilities

양일승*, 안형순**

동신대학교 건축공학과*, 동신대학교 도시계획학과**

Il-Seung Yang(yang1698@hanmail.net)*, Hyung-Soon An(hsan99@dsu.ac.kr)**

요약

본 연구는 효율성 측면에서 태양광에너지 시설의 최적입지 조건을 찾아내고 이를 통해 향후 태양광 시설 입지에 대한 정책적 시사점을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 전라남도 지역에 입지한 92개 사례대상지를 선정하였다. 평균 발전시간을 종속변수로, 그리고 설비조건, 기상조건, 대지조건을 설명변수로 하여 회귀분석을 실시하였다.

분석결과, 유의미한 5개의 변수가 도출되었다. 첫째, 대지면적이 넓을수록 둘째, 하천·섬·바닷가 등에 입지할수록 셋째, 대지의 주 방향이 남향이 아닐수록 넷째, 평균풍속이 높을수록 다섯째, 농림지역이나 자연환경보전지역 등에 태양광시설이 입지할수록 발전효율이 높은 것으로 분석되었다. 본 연구는 통계자료 확보 가능성과 설비종류에 따른 오류를 최소화하고, 전라남도 지역으로 연구를 한정함에 따라 사례 대상지가 많지 않은 점이 연구의 한계이다. 그럼에도 불구하고 향후 태양광시설의 최적입지를 선정하는데 중요한 정책적 함의를 제공하였다.

■ 중심어 : | 태양광 에너지 | 최적 입지 | 평균 발전시간 | 기상조건 | 대지조건 | 회귀분석 |

Abstract

The following study was conducted to determine the optimal location in terms of efficiency for solar energy facilities, and to propose a policy implications for the orientation of the installments. 92 cases in Jeollanam-do Province were selected. A regression analysis was performed between the average electricity generation time as the dependent variable, and the facility, weather and site conditions as the independent variables. As a result, 5 variables were deemed significant. Larger site areas, closer proximity to rivers, islands, oceans, etc., least south-oriented, higher average wind speed, and facilities in agricultural land use and natural environment conservation land use had the highest efficiency. This study minimized the possibility of secure databases and errors following facility types, and was limited in the number of sites studied, since this was only conducted in Jeollanam-do Province. Nevertheless, these conclusions still offer important policy implications for determining the most optimal location for solar energy facilities.

■ keyword : | Solar Energy Facilities | Optimal Location | Average Electricity Generation Time | Weather Conditions | Lots Conditions | Regression Analysis |

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

산업통상자원부(2017)에 의하면, 2016년 기준 우리나라 재생에너지 발전량은 전체 에너지 생산의 7.0%를 차지하면서 2005년 1.1%, 2010년 1.2%와 비교하면 비약적으로 증가하고 있다. 그러나 2016년 기준 재생에너지 발전량이 독일 29.3%, 영국 24.7%, 일본 15.9%로써 선진외국에 비해 우리나라는 여전히 낮은 비중을 보이고 있다. 우리나라는 2030년까지 재생에너지 발전량의 비중을 20%까지 확대한다는 목표로 태양광, 풍력 등의 청정에너지 확대와 대규모 프로젝트를 통해 목표를 달성하고자 추진하고 있다[1].

그동안 재생에너지 비중이 확대된 것은 기상 조건이 유리한 남부지역을 중심으로 농지나 임야지역에 태양광시설의 입지가 활발하게 이루어짐에 따른 결과이다. 또한 태양광 시설 설치로 인해 발생하는 기대수익이 농업활동을 통해 발생하는 기대수익보다 높다는 인식이 확대되고, 농업인구의 노령화 등으로 농촌지역의 태양광 설치가 확대되고 있다.

재생에너지 확대가 화석에너지 사용을 줄이고 이로 인해 지구온난화현상을 완화시킨다는 측면에서 재생에너지의 확대는 바람직한 정책수단임에는 분명하지만, 도시경관적인 측면에서는 농촌경관을 악화시키거나 지역주민들의 민원을 야기시키는 요인으로도 작용함으로써 태양광으로 대표되는 재생에너지 정책은 동전의 양면과 같은 상황이다.

이러한 상황에서 최근 지자체 주도로 재생에너지 계획입지제도를 도입하고자 하는 움직임은 매우 바람직한 정책이라고 판단된다. 2017년 말 “신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법” 개정을 통해 “재생에너지발전지구”를 신설하고 그동안 산발적으로 입지하였던 재생에너지를 집단적으로 설치·운영함으로써 효율성을 추구함과 동시에 도시경관까지 고려할 수 있는 제도를 도입하였다.

본 연구는 재생에너지 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 태양광 시설을 중심으로 향후 입지하게 될 재생에너지발전지구의 입지를 결정함에 있어 발전효율성이 매우 중요하다는 인식하에 시작하였다. 그동안 발전효율성보다는 입지가능성이 태양광시설 입지의 중요한 요소였다면 향후에는 발전효율성이 중요한 요소로 고려되어야 할 것이기 때문이다.

2. 연구의 범위 및 방법

2017년 기준 우리나라 재생에너지원별 비중을 살펴보면, 태양광 5.7GW(38%), 폐기물 3.8GW(25%), 바이오 2.3GW(16%), 수력 1.8GW(12%), 풍력 1.2GW(8%) 순으로 나타났다. 그러나 2030년까지 폐기물, 바이오 등의 비중은 점차 낮추는 대신, 태양광을 전체의 63%, 풍력은 34%까지 확대하고자 하고 있다[1]. 향후 태양광의 비중은 지금보다 현저하게 높게 나타날 것이고, 이를 위한 다양한 제도적, 정책적 지원이 이루어질 것으로 예상된다.

본 연구는 다양한 재생에너지원중에서 앞으로의 변화추세와 정부정책을 고려하여 태양광에너지산업으로 한정하여 연구를 진행하였다. 그 이유는 태양광에너지는 가장 대중적이고 농가 등의 수입에 기여하는 측면이 강하고, 특히 향후 계획적 입지를 고려하여 집단화시킨다는 정책 등을 고려할 때 태양광이 전체 재생에너지에서 차지하는 비중이 높을 것으로 판단되기 때문이다.

태양광의 효율적인 입지를 파악하기 위하여 본 연구는 태양광 시설 입지가 가장 많이 분포하고 있고 태양광 입지의 최적조건을 갖추고 있는 전남지역에 설치된 태양광 시설을 연구대상으로 선정한다. 단, 태양광 모듈이나 인버터 등의 특성에 의해 발전효율이 달라질 수 있는 오류를 피하기 위하여 동일한 기업의 제품군²⁾으로 설치된 지역만을 분석대상으로 한다.

태양광의 효율성을 파악하기 위하여 태양광 발전시간을 산정하여 종속변수로 설정하고 이에 영향을 미칠 수 있다고 판단되는 시설조건, 기상조건, 대지조건을 독

1) 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 제2조 제6호에 의하면 “재생에너지발전지구”란 재생에너지 발전시설을 집단적으로 설치하고 운영하기 위하여 포괄적 계획에 따라 지정·개발되는 일단의 구역이라고 정의하고 있다.

2) 모듈은 한화 QPRIME 계열의 제품, 인버터는 DSP-3334K 계열이 설치된 지역으로 분석대상을 한정하였다. 이를 통해 설비특성에 따른 태양광 발전 효율의 오류를 최소화하고자 하였다.

립변수로 하여 증선형 회귀분석을 실시한다.

연구의 시간적 범위는 2016년으로 한다. 2016년 발전량으로 한정할 이유는 기상조건을 보여주는 각 지자체의 통계연보가 2016년 자료까지 구축되어 있기 때문이다. 시간적 한계와 유사사양의 모듈 및 인버터 설치지역만을 대상으로 선정함에 따라 조사대상지는 총 96개 지역을 선정하였다. 이중 분석에 적절하지 않은 4개 지역을 제외한 92개 지역을 연구의 공간적 범위로 선정하였다.

II. 선행연구 고찰

1. 태양광 에너지 특성

에너지원을 다양화하고 에너지원의 안정적인 공급과 온실가스 배출을 최소화하기 위하여 정부는 다양한 신재생에너지 정책을 추진하고 있다. 이중 태양광 산업은 태양의 빛에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 태양광 설비로서 태양광 모듈에 입사되는 태양광에 의하여 전력이 생산되는 광전자 효과를 이용하여 발전하는 방식이다[2].

태양광 산업의 주요 특성으로는 첫째, 다양한 연관산업으로 이루어진 종합산업이다. 태양광산업은 폴리실리콘 등의 소재, 반도체, 인버터, 전기제어, 배터리, 건축 등 여러 산업의 복합적인 성격을 띠고 있다. 둘째, 태양광산업은 정부주도형 산업이다. 태양광산업은 아직 기존의 화석에너지에 비해 경제성이 낮기 때문에 정부의 보급 및 육성정책에 좌우되는 경향이 있다. 셋째, 태양광산업은 자본집약적인 산업이다. 태양전지는 대규모 투자를 통해 상업적 생산규모를 확보할 때 경쟁력을 갖출 수 있다. 넷째, 태양광산업은 전후방연관효과가 높아 시장창출효과가 큰 산업이다[3].

태양광 에너지는 태양으로부터의 일사량에 의존하기 때문에 잠재량이 무한적이라 할 수 있으며, 타 에너지원에 비해 비용 측면과 유지관리 측면에서 탁월하다. 이러한 이유로 인하여 최근 도시지역은 물론 농촌지역까지 폭넓게 활용되고 있으며, 앞으로도 지속적으로 태양광 발전비율이 높아질 것으로 예상된다.

그러나 현재 태양광 시설 설치에 정부정책에 따라 발전의 효율성이나 최적 입지에 설치되기 보다는 인허가 과정이나 토지확보 용이성 등이 우선적으로 고려되어 설치되고 있는 실정이다. 따라서 기존에 설치된 이러한 시설들이 효율성 측면에서 과연 적절한 입지에 설치되었는지에 대한 검토가 필요한 시점이다.

한편, 기상청에서는 태양광 발전시설 입지 선정을 위해 축적된 기상자료를 활용하여 태양광에너지 최적 활용을 위한 기상자원을 분석하고 이를 기반으로 태양기상자원지도도를 작성하였다. 그러나 지역에 대한 대표값의 분포정도를 이해하는 데에는 매우 유효한 자료이지만 국소적인 일사량의 경우 지역에 따라 큰 차이를 나타내고 지형적인 요소를 고려할 경우 서로 다르게 나타나므로, 기초자료로 활용되기에는 한계가 있다.

비슷한 위·경도상의 모든 지점이 동일한 값으로 일사량을 받는다고 가정할 수 없고 주변 여건에 따라 심한 편차를 나타내기 때문에 소규모 지역에 대한 정확한 입지결정에는 한계가 발생하고, 특히 도시지역의 경우에는 주변 건축물의 형태 및 음영효과, 지형요소에 영향을 많이 받으므로 이를 고려한 입지선정 연구가 필요하다[4].

2. 관련연구 동향

태양광과 관련된 연구는 주로 태양광 에너지 산출 및 태양전지분야, 그리고 발전설비 등의 공학적 연구가 주류를 이루고 있으며 태양광 발전시설 입지에 대한 연구는 매우 부족하다. 본 관련연구에서는 태양광 발전시설 입지에 관한 연구동향을 파악하고 이를 통해 연구필요성을 도출하고자 한다.

김호용(2010)은 태양광 시설의 입지를 위하여 일사량 및 일조시간 등의 변수를 통해 태양광시설의 입지에 대한 연구를 진행하였다. 분석결과, 일사량은 남서방향으로 경사진 지역이 가장 높게 나타나고, 일조시간은 평지가 산악과 같은 경사지역보다 높게 나타나는 것으로 분석하였다[5].

김병우외(2010)는 회귀분석을 통해 일조량, 습도, 온도, 시간 등이 일사량에 미치는 영향을 파악한 결과 일조량이 가장 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다.

또한 태양의 방위각, 태양의 고도, 지형의 상대기울기가 일사량에 미치는 영향을 파악한 결과 지형의 고도가 일사량과 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다[6].

박유민 외(2012)는 태양광 시설이 입지한 81개 지역을 대상으로 크리킹 기법과 네트워크 분석법을 통해 태양광 시설의 입지 적정성을 분석하였다. 분석변수는 기후기준(일사량, 평균기온, 강수량, 습도, 전운량), 지형기준(경사도, 향), 인문기준(토지매입비)으로써 기 개발된 지역중 23곳이 태양광 발전소로 적합하지 않은 지역으로 분석되었다[7].

원종운(2014)는 태양광 모듈의 설치형태를 고정형, 가변형, 추적식으로 구분하고 발전량과 투자비를 고려한 수익률 분석을 실시한 결과, 고정가변형이 가장 효율적인 설치방법이라고 제안하고 있다. 단, 발전량 측면에서는 추적식이 고정형이나 가변형에 비해 우수한 것으로 조사되었다[8].

김수완(2017)은 기상조건과 태양광발전소의 이용률³ 간의 관계를 파악하기 위하여 제주도 지역을 4개 권역으로 구분하고 기 설치된 22개의 MW급 태양광발전소를 대상으로 최근 2년간의 발전데이터를 활용하였다. 연구결과, 이용률은 서부지역이 가장 높은 것으로 조사되었으며, 서부지역의 특성은 일조시간은 남동지역에 비해 짧지만 풍속이 상대적으로 높기 때문에 이용률이 높은 것으로 분석하였다. 그러나 일조시간과 풍속만을 대상으로 태양광 발전 효율을 분석함으로써 태양광 발전의 효율성을 담보할 수 있는 연구결과로서는 다소 부족하다[9].

김진영(2017)은 부산지역의 일사량과 운량을 기준으로 태양광 에너지 잠재량을 산출하고 이를 기반으로 태양광 에너지 잠재량을 제공하기 위한 솔라맵(Solar Map)의 프로토타입을 구축하였다. 그러나 해당 지역의 특정 지형이나 주변 여건 등을 고려하지 못하고 일사량과 운량만을 기반으로 분석한 한계가 있다[4].

이근호(2018)은 기상자료를 활용하여 태양광을 예측하기 위하여 종속변수는 시간별 태양광 발전량을 그리

고 독립변수는 기온, 습도, 기압, 온도, 일조량, 일사량을 사용하여 신경망 모형과 시계열 모형을 통해 분석한 결과, 실제 태양광 발전량과 예측치와 상당히 유사하다는 결과를 도출하였다[10].

태양광 발전효율을 위한 적정입지와 관련된 기존 대부분의 연구는 기상조건과의 관계를 주로 다루었다는 한계가 있으며, 태양광 모듈 및 인버터 등의 설비에 따라 효율성에 차이가 발생함에도 불구하고 설비에 대한 통제를 하지 못한 한계가 있다. 따라서 태양광 설비조건, 기상조건, 대지조건 등 다양한 변인을 통해 효율성 측면에서 태양광의 적정 입지를 위한 연구 필요성이 제기되고 있다.

III. 분석의 틀 설정

1. 조사방법

전술한 바와 같이, 기상조건을 보여주는 각 지자체별 통계연보가 2016년을 기준으로 작성됨에 따라 본 연구의 시간적 범위는 2016년으로 설정했다. 또한 태양광 모듈, 인버터, 변압기 등 발전설비의 효율에 따라 태양광 발전의 효율이 달라진다는 가정하에 동일한 회사의 제품군만으로 연구를 진행하였다.

분석대상지는 주로 민간부문이 설치한 태양광 시설이기 때문에 이를 위한 데이터 구축은 개인 재산권이나 소유권과 밀접한 관련이 있다. 따라서 태양광 설치 및 유지보수를 지속적으로 진행하고 있는 지역을 대상지역으로 선정하였다. 평균 발전시간을 도출하기 위하여 월별 발전데이터를 기반으로 연누적 발전량을 산출하고 이를 평균 발전시간으로 전환하였다.

설비조건은 설치당시 설비의 변화가 없었으며, 기상조건은 각 지자체별 통계연보를 활용하였다. 대지조건은 현지답사와 토지대장, 지형도면분석 등을 통해 자료를 구축하였다.

2. 분석변수 선정

본 연구는 태양광 시설의 효율성 극대화를 위한 최적의 입지를 선정할 필요성이 있다는 판단 하에 태양광

3) 태양광발전의 이용률은 태양광 발전의 발전량과 태양광발전의 설비용량, 발전시간의 곱에 비로 나타낼 수 있다.

$$\text{이용률} = \frac{\text{발전량}(kWh)}{\text{설비용량}(kW) \times \text{분석구간}(h)} \times 100(\%)$$

표 1. 변수의 조작적 정의

구분		조작적 정의	연구자	
종속 변수	평균 발전 시간	연누적발전량/365/설비용량(kw)	김수환(2017), 이근호(2018)	
독립 변수	설비 조건	설치방식*	태양광 모듈이 고정되었거나, 모듈이 태양을 추적하는지 여부 고정형(1),가변형(2),지붕형(3)	원종윤(2014)
		설비용량	태양광 기기의 명판 정격의 합계(kw)	본 연구에서 제안한 변수
		설비종류*	교류와 직류의 전압에 따라 저압은 AC(교류): 600V, DC(직류): 750V 이하이며 고압은 AC(교류): 601~7000V, DC(직류): 751~7000V 이하 저압식(1),고압식(2)	
	기상 조건	평균기온	1년 단위 기온의 산술평균값	김병우(2010), 박유민 외(2012) 이근호(2018)
		강수량	1년 단위 지표면에 떨어진 강수의 양(비, 눈, 우박 등을 포함)	김병우(2010), 박유민 외(2012)
		평균운량	육안으로 보이는 구름의 면적을 0~10사이의 숫자로 표시	박유민 외(2012)
		일조시간	1년 단위 태양광선이 구름이나 안개로 차단되지 않고 지표면을 비춘 시간	김병우(2010), 김호용(2010) 김수환(2017)
	대지 조건	평균풍속	관측 시간에서의 풍속의 평균값	김수환(2017)
		대지면적	토지대장에 명기된 면적	본 연구에서 제안한 변수
		정형성	대지 둘레길이를 면적으로 나눈 값. 단위면적당 대지둘레의 길이	
		용도지역*	「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한 용도지역 도시지역(1),관리지역(2),농림·자연환경보전지역(3)	
		입지특성*	토지지목과 입지환경을 기준으로 분류 전답(1),임야(2),시가지(3),하천·삼바다(4)	김병우(2010),박유민 외(2012)
경사*		방안법을 사용하여 4% 이하의 경사도는 평지로 정의 평지(1),경사지(2)		
주방향*	대지의 주방향이 향하는 방향. 평지는 남향으로 정의 남향(1), 동서북향(2)	박유민 외(2012), 김수환(2017)		

* : 범주형 변수

효율에 영향을 미칠 것으로 판단되는 설명변수를 선정하고 태양광 효율을 대표할 수 있는 종속변수를 선정하여 연구를 진행한다.

이를 위하여 종속변수는 조사 대상 시설의 평균 발전 시간으로 선정한다. 평균 발전시간은 해당 시설의 연누적발전량을 일 단위로 환산하고 이를 설비용량으로 나눠줌으로써 해당 시설이 하루 평균 발전하는 시간으로 환산한 지표 사용한다.

태양광 효율성에 영향을 미치는 설명변수는 크게 태양광 설비조건, 기상조건, 대지조건으로 구분한다.

첫째, 태양광 설비조건은 분석결과 오류(bias)를 최소화하기 위하여 가장 대중적으로 활용되고 있는 모듈과 인버터 형식으로 한정하였다. 태양광 설비에 해당하는 설비용량, 설치방식, 설비종류를 설명변수로 선정하였다.

둘째, 기상조건은 평균기온, 강수량, 평균운량, 일조시간, 평균풍속으로 선정하였으며, 자료는 태양광 시설

이 설치되어 있는 지자체의 통계연보를 활용하였다.

셋째, 대지조건은 대지면적, 정형성(정형화 지수)⁵⁾, 용도지역, 입지특성, 경사, 주방향으로 선정하였다.

전술한 바와 같이 기존 연구에서는 태양광 효율에 영향을 미치는 분석변수를 기상조건으로 한정한 반면, 본 연구에서는 설비조건 중 설비용량과 설비종류를 그리고 대지조건 중 대지면적, 정형성, 용도지역, 입지특성 등을 분석변수로 활용하였다.

3. 분석방법

일반적으로 두 변수간의 인과관계를 탐색적으로 파악하기 위해서는 회귀분석을 사용한다. 또한 설명변수가 두 개 이상일 경우 중선형 회귀분석을 통해 인과관계를 파악한다. 본 연구는 종속변수인 평균발전시간에 영향을 미치는 설명요인을 설비조건, 기상조건, 대지조건으로 선정하여 중선형 회귀분석을 실시한다. 설명변수가 2개 이상일 경우 중선형 회귀분석 모형은 다음과

4) 기존 연구에서는 발전 효율성을 측정하기 위하여 월별 발전량을 사용한 연구가 있지만, 월별 발전량은 발전소간 설비용량 대비 상대적인 발전량 차이를 보여주지 못하는 한계가 있기 때문에 본 연구는 분석대상기간 설비용량을 고려한 태양광발전시간을 산정하여 종속변수로 사용한다.

5) 정형화 지수는 양승우(1994)가 개발한 계수로서 면적이 16m²인 경우, 둘레가 16cm가 되는 것을 착안하여 작성한 계수로서 정사각형인 경우 1.원의 경우에는 0.886이 된다[11].

같다.

$$y = \beta_0 + \beta_1\chi_1 + \dots + \beta_p\chi_p + \epsilon$$

여기서 y 는 반응변수, χ_1, \dots, χ_p 는 p 개의 주어진 설명변수, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ 는 미지의 회귀계수, ϵ 는 오차항을 의미한다.

범주형 변수에 해당하는 설치방식, 설비종류, 용도지역, 입지특성, 경사, 주방향은 가변수를 만들어서 중선형 회귀분석을 실시하였다.

일반적으로 선형 회귀모형에서는 어떤 변수들을 설명변수로 사용할 것인지를 선택하는 문제를 변수선택의 문제 또는 모형 선택의 문제라고 한다. 설명변수를 선택하는 방법으로는 입력변수법, 단계적 선택방법, 전진선택법, 후진제거법, 제거변수법 등이 있다[12].

본 연구에서는 전진선택법과 후진제거법의 문제점을 동시에 고려하여, 모형에 설명변수를 하나씩 추가시키면서 모형 내의 설명변수들 중에서 추가되는 설명변수로 인하여 유의하지 않게 되는 것을 제거시키는 방법을 반복하는 단계적 방법(stepwise method)을 사용한다. 이를 통해 통계적으로 유의한 변수를 찾아내고 이를 통해 태양광발전시간에 미치는 영향 요인을 도출하고자 한다.

IV. 분석결과

1. 분석대상지역 특성

전체 분석 대상지는 전남지역내 92개 지역으로서 각 변수별 평균값은 다음의 [표 2]와 같다.

평균발전시간은 하루 3.40시간 정도를 발전하고 있으며 분석대상지 중 최저 3.12시간부터 최고 3.87시간의 분포를 보이고 있다⁶.

분석대상지의 기상조건을 인근 광주광역시와 비교할 때, 일조시간과 평균풍속은 높은 반면, 평균기온은 낮고 강수량은 상대적으로 적은 것으로 조사되었다. 평균운량은 비슷한 수준을 보이고 있다. 변수별 표준편차값을

살펴보면, 설비용량, 강수량, 일조시간, 대지면적이 표준편차값이 큰 것으로 나타났다.

표 2. 분석 변수 평균값 분포

구 분	분석대상지		광주광역시 평균	
	평균	표준편차		
평균 발전시간	3.3954	0.1545	-	
시설조건	설비용량	394.4591	374.4579	-
기상조건	평균기온	14.5022	0.3290	15.0
	강수량	1193.0174	215.0515	1482.3
	평균운량	5.4217	0.1548	5.5
	일조시간	2205.7913	73.8682	2144.2
대지조건	평균풍속	2.3348	0.6610	1.6
	대지면적	2302.8152	1945.0571	-
	정형성	1.2959	0.3513	-

본 연구에서 사용한 범주형 자료에 대한 빈도수를 파악해보면, 설치방식은 가변형이 절대적으로 높은 분포를 보이고 있으며, 설비종류는 저압식이 고압식보다 다소 높게 분포하고 있다. 용도지역은 관리지역에 설치된 비율이 높게 나타났으며, 입지특성은 비슷한 분포를 보여주고 있다. 설치지역은 주로 평지가 많은 분포를 보이고 있으며, 대지의 주 방향은 남향이 절대적으로 많은 분포를 보이고 있다[표 3].

표 3. 분석 변수 빈도수 분포(범주형 자료)

구 분		빈도수	비율 (%)	
시설 조건	설치방식	고 정 형	13	14.13
		가 변 형	70	76.09
		지 분 형	9	9.78
설비종류		저 압 식	59	64.13
		고 압 식	33	35.87
		도시지역	10	10.87
대지조건	용도지역	관리지역	60	65.22
		농림·자연환경보전지역	22	23.91
		전 답	17	18.48
	입지특성	임 야	23	25.00
		시 가 지	25	27.17
		하천·삼바다	27	29.35
	경사	평 지	61	66.30
		경 사 지	31	33.70
	주방향	남 향	79	85.87
동서북향		13	14.13	

2. 평균발전시간에 영향을 미치는 요인

평균 발전시간을 종속변수로 하고, 설비조건, 기후조

6) 우리나라 평균 일조시간은 약 5.9시간 내외로 나타나지만 평균발전시간과 차이가 발생하는 것은 그늘, 먼지, 적설, 환경오염 및 모듈표면온도, 설비종류 등으로 인해 차이가 발생한다.

긴, 대지조건을 설명변수로 분산분석을 실시한 결과, F-value는 10.364이고, F-Value에 대한 유의확률은 .000이다. 따라서 본 연구에서 도출한 회귀식이 종속변수를 설명하는데 유용하다고 할 수 있다[표 4].

표 4. 분산분석 결과값

모형	제곱합	평균제곱	F	유의확률
회귀	0.606	0.121	10.364	0.000
잔차	0.468	0.012		
합계	1.075			

예측값(상수), 대지면적, 입지특성, 주방향, 평균풍속, 용도지역

오차항의 독립성 검증을 위한 통계량인 더빈-왓슨 값은 2.136이며, 이 정도의 값이면 오차항이 독립적이고 할 수 있다. 즉 자기상관에 문제가 없는 것으로 분석되었다.

회귀분석의 설명력을 나타내는 결정계수 $R^2 = 0.564$ 이며 자유도를 반영한 수정된 $R^2 = 0.510$ 으로 나타났다. 이는 5개의 설명변수를 통해 종속변수를 56.4% 설명할 수 있음을 의미한다.

유의수준 0.05에서 유의한 변수는 대지면적, 입지특성(하천, 바다, 섬), 주방향(남향), 평균풍속, 용도지역(농림·자연환경보전지역)인 것을 분석되었다.

표 5. 회귀분석 결과

변수	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률	공선성 통계량	
	B	표준오차	베타			공차	VIF
(상수)	3.213	.081		39.527	.000		
대지면적	4.069E-5	.000	.512	4.749	.000	.936	1.068
입지특성(하천·섬·바다)	.072	.040	.216	1.810	.078	.765	1.308
주방향(남향)	-.176	.053	-.358	-3.302	.002	.928	1.077
평균풍속	.086	.029	.369	3.023	.004	.731	1.368
용도지역(농림·자연환경보전지역)	.094	.039	.263	2.438	.019	.933	1.072

종속변수 : 평균 발전시간
 $R = 0.751$, $R^2 = 0.564$, 수정된 $R^2 = 0.510$, Durbin-Watson=2.136

첫째, 대지면적은 면적이 넓을수록 평균 발전시간이 높은 것으로 분석되었다. 대지면적이 넓을 경우 태양광 모듈설치의 다양성과 모듈간의 배치가 서로 중첩되지 않는 등 공간활용에 효과적이기 때문이라고 판단된다.

만면 소규모 대지에 태양광 설치시 공간의 협소함 등으로 인해 태양광 모듈설치에 여러 가지 제약조건이 따르기 때문에 비효율적인 발전이 이루어지는 것으로 판단된다. 따라서 현재 산발적으로 입지하는 소규모 태양광 시설을 집적화, 규모화시키는 재생에너지발전지구의 도입은 태양광 효율성 측면에서 긍정적이라 할 수 있다.

둘째, 입지특성으로 하천·섬·바닷가에 위치한 지역일수록 전답, 임야, 시가지에 입지한 태양광시설에 비해 발전효율이 높은 것으로 분석되었다. 하천, 섬, 바닷가 지역은 주변에 지장물이 없는 개방형 경관을 가지고 있는 특성이 있다. 최근 전라남도 지역은 해안선이나 간척지, 저수지 등에 태양광 시설 설치가 확대되고 있는 추세인 점을 감안하면 내륙지역에 비해 입지적으로 적절한 지역에 설치가 확대되고 있다고 할 수 있다.

셋째, 대지의 주방향이 동서북쪽 방향일수록 남향에 비해 발전효율이 높다는 것은 최근의 연구결과를 뒷받침하는 결과라 할 수 있다. 그동안 일반적으로 남향에 설치할 경우 발전효율이 높다는 것이 정설처럼 여겨졌었지만 최근 김수완(2017)의 연구결과나 전자신문(2013)의 보도내용7을 살펴보면 남향에 비해 서향이 더 발전효율이 높다는 연구결과가 도출되고 있다. 본 연구결과와 기존의 일부 연구결과만을 토대로 남향에 비해 다른 향을 가진 모듈설치가 발전효율이 높다고 단정

7) 전자신문 2013년 11월 20일자 기사에서는 미 텍사스주 오스틴에 소재한 '피칸 스트리트 리서치 인스티튜트' 과학자들이 온라인 매체 '쿼츠(Quartz)'에 게재한 보고서에서 서쪽으로 설치된 태양광 패널이 더 많은 에너지를 얻는다고 밝혔다. 보고서는 서향 태양광 패널이 남향에 비해 하루 전력 생산량이 2% 더 많았다고 밝혔다.

할 수는 없지만, 최소한 남향설치가 절대적으로 효율이 높다는 그동안의 일반적 견해를 수정할 필요성이 제기된다고 할 수 있다.

넷째, 평균풍속이 높을수록 태양광 발전효율이 높다고 분석되었다. 바람이 잘 통하는 지역이 발전효율이 높은 것은 특히 여름철 뜨거워진 모듈온도로 인해 발전효율이 저하되는 현상을 완화하기 때문이다. 내륙지역에 비해 바다나 하천에 접한 지역에 발전효율이 높은 것도 바람이 잘 통하는 지역이 발전효율이 높다는 사실을 보여주는 결과라고 판단된다.

다섯째 용도지역상 농림지역이나 자연환경보전지역에 설치된 태양광 시설일수록 도시지역이나 관리지역에 설치된 시설에 비해 발전효율이 높은 것으로 분석되었다. 농림지역과 자연환경보전지역일수록 도시지역이나 관리지역에 비해 지장물이 적고 파노라마식 경관을 보이는 특징이 있다. 이로 인해 태양광 모듈에 음영이 발생할 가능성이 적고 태양광을 직접 받을 수 있는 가능성이 높다고 판단된다.

V. 결론

본 연구는 태양광 발전 효율성을 고려하여 태양광 시설이 입지하는 것이 타당하다는 가정하에 연구가 시작되었다. 특히 최근 태양광 시설의 입지로 인해 야기되는 도시경관 문제와 비효율적인 입지로 인해 자원낭비 등의 문제가 발생되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 정부는 태양광 에너지 시설의 집단화를 통해 효율성을 제고하고자 재생에너지발전지구를 도입하려는 움직임이 있다.

이러한 시점에 과연 태양광 시설의 입지가 적절한 지역은 어떤 특성을 가지고 있는지에 대한 미시적인 연구 필요성이 제기되고 있다. 그동안의 관련 연구들은 기상적인 측면이 효율성에 미치는 영향에 관한 연구가 주로 진행되었다. 반면 도시계획 등 공간계획적인 측면에서의 연구는 전무한 실정이다.

이러한 문제인식하에 본 연구는 태양광 효율을 의미하는 평균 발전시간을 종속변수로 하고 설치방식 등 3

가지의 시설조건, 일조시간 등 5가지의 기상조건, 대지면적 등 6가지의 대지조건을 설명변수로 하여 회귀분석을 실시하였다.

분석결과, 시설조건에 해당하는 변수 중 통계적으로 유의미한 변수는 도출되지 않았다. 일반적으로 모듈과 인버터의 성능이 태양광 효율에 많은 영향을 미치게 되는데 본 연구에서는 모듈과 인버터의 성능이 최대한 유사한 조건에 해당하는 지역만을 연구대상지로 선정하였다. 이러한 이유로 인해 설비조건에 해당하는 설치방식, 설비용량, 설비종류는 유의미하지 않은 것으로 분석되었다.

기상조건 중 유의미한 변수는 풍속으로 분석되었다. 일반적으로 태양광 효율에 영향을 미치는 변수는 일조시간과 풍속이 영향을 미치는 것으로 기존 연구에서 분석되었다. 본 연구는 전라남도 지역만을 대상으로 한 결과, 일조시간이 최저 2014.3시간에서 최고 2360.9시간으로 큰 편차가 발생하지 않았기 때문에 일조시간은 제외된 것으로 판단된다. 대지조건 중 유의미한 변수는 대지면적, 용도지역, 입지특성, 대지의 주방향인 것으로 분석되었다.

이상의 분석결과를 토대로 향후 재생에너지발전지구의 적정입지를 제안하면, 충분한 풍속이 유지될 수 있는 바다나 하천과 인접한 개방적인 공간에 모듈 배치 등의 효율성을 고려한 넓은 대지에 태양광 시설이 입지하는 것이 효율적인 입지조건이라는 정책적 시사점을 제시할 수 있다.

본 연구는 태양광 효율에 영향을 미치는 요인을 도출하고 이를 통해 향후 태양광의 집적설치시 적정 입지를 선정하는데 기여하고자 연구를 진행하였다. 그러나 통계연보의 기상조건을 구득하기 위하여 2016년으로 시간적 범위를 한정된 점과 전라남도 지역만으로 한정함에 따라 92개 지역만이 분석대상지역 이었다는 한계가 있다. 그럼에도 불구하고 향후 태양광 시설의 집적설치를 위한 적정입지를 선정하기 위한 중요한 정책적 함의를 제공하였다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 산업통상자원부, *재생에너지 3020 이행계획*, 2017.
- [2] 임대환, *태양광발전소 사업의 사업성 분석에 대한 사례연구*, 전북대학교 경영대학원, 석사학위논문, 2018.
- [3] 테이코산업연구소, *태양광시장의 실태와 전망*, 진한엠엔비, 2008.
- [4] 김진영, *수치지도 기반의 도시지역 소규모 태양광 발전 최적입지 의사결정부산대학교 일반대학원, 박사학위논문*, 2017.
- [5] 김호용, “공간통계기법을 이용한 태양광발전시설 입지 정확성 향상 방안,” *한국지리정보학회지*, 제13권, 제2호, pp.146-156, 2010.
- [6] 김병우, 강인준, 한기봉, “기후요소와 지형 공간요소를 이용한 일사량 모델링,” *한국지형공간정보학회지*, 제18권, 제4호, pp.79-86, 2010.
- [7] 박유민, 김영호, “환경적, 사회적 영향을 고려한 태양광발전소의 기존 입지 타당성 평가 및 지속가능한 입지 제안,” *한국경제지리학회지*, 제15권, 제3호, pp.437-455, 2012.
- [8] 원중운, *태양광발전시스템의 효율분석에 따른 최적화 시스템 구현* 서남대학교 일반대학원, 박사학위논문, 2014.
- [9] 김수완, *제주지역 대용량 태양광발전소의 발전특성 분석*, 제주대학교 일반대학원, 석사학위논문, 2017.
- [10] 이근호, *기상자료를 활용한 태양광 예측 연구*, 중앙대학교 일반대학원, 석사학위논문, 2018.
- [11] 양승우, *조선후기 서울의 도시조직 유형연구*, 서울대학교 일반대학원, 박사학위논문, 1994.
- [12] 서혜선, 양경숙, 김나영, 김희영, 김미경, *SPSS 회귀분석(제3개정판)*, 한나라아카데미, 2013.

저 자 소 개

양 일 승(II-Seung Yang)

정회원



- 1996년 2월 : 서울시립대학교 건축공학과(공학석사)
- 2000년 2월 : 요코하마국립대학교 계획건설학과(공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 건축공학과 부교수

<관심분야> : 토목건축콘텐츠, 콘텐츠제작기술

안 형 순(Hyung-Soon An)

정회원



- 1995년 2월 : 홍익대학교 도시계획학과(공학석사)
- 2001년 2월 : 홍익대학교 도시계획학과(공학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 도시계획학과 부교수

<관심분야> : 도시계획, 도시설계, 지구단위계획