

태양광 에너지의 효율적인 생산을 위한 발전소 입지분석과 선정*

이기현** · 이건주*** · 강성우****

요 약

태양 에너지는 훌륭한 대체 에너지원으로 알려져 있지만 원자력과 같은 다른 에너지원 발전과 비교하면 발전 시설을 건설하기 위해서 넓은 지역을 필요로 한다. 우천 같은 기상요인은 일사량 부족을 야기하며 태양광 발전에 영향을 끼친다. 태양광 발전소를 건설하기 위해서는 제한된 국내 토지에 비하여 넓은 면적이 필요하며, 이에 따라 발전 효율을 극대화하는 발전소의 최적 입지를 선정하는 것이 필수적이다. 대한민국의 영토는 전체 국토의 63%를 차지하는 방대한 양의 산악 지역으로 이루어져 있다. 태양광 발전소는 일반적으로 경사가 완만한 평지를 필요로 하지만 이러한 평지는 대개 도시나 다른 상업적 용도로 사용된다. 평지는 높은 가격을 형성하고 있고 지속적으로 증가인 추세이다. 그러므로 본 연구는 기상요인과 토지요인에 기초한 AHP(Analytic hierarchy process) 분석을 수행함으로써 최적의 태양광 발전소의 입지를 분석한다. 본 연구는 태양광 발전소의 최적의 입지뿐만 아니라 미래의 태양광 발전소 건설을 위한 합리적인 가격과 부지에 대한 정보를 제공한다.

주요 단어 : 태양광 발전소, 입지 분석, AHP

* 본 논문은 인하대학교 교비 지원을 받아 수행되었음.

** 인하대학교 산업경영공학과(제1저자) znflxk@naver.com

*** 인하대학교 산업경영공학과(제2저자) cyworldcyw@naver.com

**** 인하대학교 산업경영공학과 조교수(교신저자) kangsungwoo@inha.ac.kr

I. 서 론

오늘날 세계적으로 산업화가 진행되면서 에너지 소비량과 온실가스 배출이 급격하게 증가하는 추세이다(Seung-min Lee. 2016). 대한민국의 2014년 온실가스 총 배출량은 1990년도 293,100,000 톤에서 690,600,000 톤으로 135.6% 증가하였다. 온실가스 총 배출량의 86.7%는 에너지를 생산하는데 있어서 배출되는 양이다(Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea. 2017). 온실가스 배출량의 많은 부분을 차지하는 화력 발전은 다량의 오염물질을 배출하여 환경에 악영향을 끼친다(B. Lee et al. 1997). 급격히 증가된 온실가스 배출량은 지구의 사막화를 초래하며 세계인구의 1/5과 지구 토지의 1/3이 이에 영향을 받는다(Bo-Myeong Woo et al. 2000). 사막화에서 야기된 황사가 지속적으로 유입됨으로써 국민들의 환경에 대한 관심이 꾸준히 증가하고 있다. 또한 러시아의 체르노빌 원전 사고와 일본의 원자력 발전소 붕괴로 원자력 발전소의 폐지와 환경에 부정적 영향을 끼치는 화력 발전소 감소의 필요성이 같이 부상 되면서 기존의 화력과 원자력 발전을 신재생 에너지 발전으로 대체하는 친환경 전원믹스가 대두되고 있다(Hyundai Research Institute. 2017). 이에 따라 대한민국은 미래에 사용될 대체 에너지자원으로 태양열, 태양광, 풍력 등 11개의 신재생 에너지를 지정하였다(Seung-min Lee. 2016). 그리고 신재생 에너지 중 태양광 발전은 무한한 태양에너지를 사용하는 것이 가능하여 미래의 대체 에너지로 각광받고 있다(Ji-Yong Kim, Song-Jee June, Ji-Eun Lee. 2011). 그러나 태양광 발전 방식은 전력생산지의 기후조건을 비롯한 여러 제약조건이 따른다. 태양광 발전은 기후조건과 높은 연관성을 가지기 때문에 고려해야 할 조건들이 많다(Yongson-Shin et al. 2008). 발전소 설립에 최우선 고려 사항인 태양광 발전량은 태양 에너지에 의존하는 특성상

기상조건(기온, 전운 양, 일사량 등) 및 대기조건(먼지 등)에 따라 발전량의 변동이 심하다(Seungmin Lee, Woo Jin Lee. 2016). 또한 높은 초기 설치비와 발전 단가(Ji-Yong Kim, Song-Jee June, Ji-Eun Lee. 2011)는 태양광 발전의 효율성을 저하시킨다. 이러한 복합적인 요소가 변수로 작용하기 때문에 효율적인 태양광 에너지의 생산을 위해서는 변화된 기후 환경과 투자비용을 고려한 체계적인 입지조건 선정이 필요하다. 대한민국은 협소한 토지 면적과 63%의 높은 임야 비율을 가지고 있기 때문에 발전소 건립에 있어서 실제적인 토지 조건 또한 고려해야 한다. 온도, 습도 및 주사시간 등 다양한 기후조건을 활용하여 태양광 발전소 입지를 탐색하고자 지속적으로 다양한 연구를 진행하고 있으나, 본 연구는 태양광 발전에 있어서 상관계수가 가장 높은 대기청정, 전천일사, 직달일사, 산란일사 등 총 4가지의 기후요인에 대한 종합적인 분석을 수행하였다. 또한 태양광 발전소 입지에 대한 분석은 계속해서 실행되었지만 분석지역의 범위는 특정 시/군 단위로 제한되었다. 본 연구에서는 특정 지역에 대한 제한적인 분석이 아닌 ‘기상청’에서 대기청정 수치를 제공하는 77개의 시/군에 대한 비교 분석을 실시하여 분석지역의 범위를 전국으로 확장하였다. 따라서 본 연구에서는 기후조건과 에너지 생산의 융합분석을 통하여 변화된 환경에 맞는 전국의 시/군 단위의 77개의 지역을 비교 분석한다. 그리고 태양광 발전소를 설립하는데 있어서 꼭 고려되어야 하는 토지요인과의 추가 융합분석을 통해 전국의 시/군단위의 77개 지역 중 실제 최적입지를 선정한다.

II. 태양광 발전에 대한 선행연구

선행된 연구에 따르면 한 시간 동안 지구상에 도달하는 태양 에너지의 양은 인류의 연간 에너지 사용량에 약 2배가 될 정도로 막대한 자원이지만 다양한 환경적인 영향을 받아 효율적 이용이 매우 제한된다(Sung-Hun Lee ·

Hyeong-Cheol Choi · Dong-Keun Lee · Jin-O Kim. 2011). 따라서 태양광 발전의 제한된 효율을 높이기 위해 기술적인 발전(Jong-Yun Jeong et al. 2016), (Sungsik Choi, Taeyoun Kim, Jaebeom Park, Byungki Kim, Daeseok Rho. 2014), 효율적인 발전소 운영(Kyong-Ho Lee. 2014) 등 다양한 연구가 진행되었다. 본 연구에서는 태양광 발전의 효율을 높이하고자 기초적인 단계인 발전소 설립에서부터 필요한 조건들을 분석하였다. 첫 번째로 태양광 발전의 효율이 높은 지역에 대한 입지조건, 두 번째는 태양광 발전량과 강한 상관관계를 가지는 기후조건, 그리고 마지막으로 현실적인 태양광 발전소 설립에 필요한 비용에 대한 경제적 조건으로 분석하였다.

1. 태양광 발전소 입지에 대한 연구

태양광 발전소 입지에 대한 연구로는 부산 지역을 대상으로 제약 기준과 입지 기준을 설정하고 AHP(Analytic Hierarchy Process: 계층적 의사 결정방법)기법을 사용하여 부산 지역 내의 태양광 시설 입지 분석을 실시한 연구가 있다(Lee Ji Young, Kang In Joon. 2010). 이 연구는 태양광 발전소의 실제 입지 가능한 정보를 구 단위로 제공하고 있지만 부산 지역에 국한되었다. 본 연구에서는 입지 가능한 정보에 대한 구역을 전국의 시/군 단위로 확대하여 살펴보았다.

태양광 발전소 입지에 대한 다른 연구에서는 시스템의 실제 지역에 대한 정보를 컴퓨터를 통해 자동으로 기상관측이 가능하게 하는 AWS(Automatic Weather station: 자동기상관측장비)를 이용하여 측정하였다(Park, Dong Hyun, Kang, In Joon, Han, Ki Bong. 2013). 이러한 관측에서 얻어진 기후 데이터에 GIS(Geographic Information System: 지리정보체계)에서 관측 거리가 가까울수록 높은 가중치를 부가하는 공간보간법을 적용하여 사용 가능한 태양에너지를 관측하고 기록한 태양에너지분포도를 작성하였다. 그리고 사용 가능한

계절별 일사량을 등급화 시킨 계절별 일사량 분포 등급화 프로그램을 개발하였다.

또 다른 연구에서는 GIS환경에서 태양에너지에 가장 영향을 미치는 요인들을 지리적 요인의 일조시간과 일조량으로 설정하고, 이에 대하여 공간통계분석방법 중 주위의 관측된 실제 값들의 선형조합으로 구하고자 하는 지역의 관측값을 예측하는 정규 크리깅 방법을 수행하였다(Ho-Youn Kim, 2010). 이 연구에서는 정확한 값을 추정하기 위하여, 산란일사량에 일정거리만큼 떨어진 두 자료들 간의 차이를 제공한 값의 기댓값인 베리오그램을 적용하여 분석결과를 보정하였다. 이 연구에서는 오차율이 가장 적은 모델을 선정하여 높은 정확도의 모델을 제시하였으나 ‘기상청’에서 수집하는 지역 중 한 곳에 대한 결과값이기 때문에 측정 하지 않은 다른 지역에 대하여 일반화시키는 것이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 전국의 시/군 단위의 지역 실존데이터를 분석하여 실존 결과값을 제시하였다.

2. 태양광 발전과 기상과의 상관관계에 대한 연구

태양광 에너지 발전은 다양한 기상조건에 영향을 많이 받아 효율성이 낮다(Sung-Hun Lee et al. 2011). 이에 태양광 발전효율을 증대시키고자 다양한 연구들이 진행되었다. 태양광 발전을 시행함에 있어 가장 중요한 요소를 주사시간(일조시간)으로 설정한 연구에서는 발전효율의 가장 높은 값을 구하기 위하여 주사시간을 최대로 확보 할 수 있는 지역을 입지로 선정해야 한다고 밝혔다(Kim Jong nam, Um, Dae Yong. 2015). 그러나 태양광 발전에 영향을 끼치는 기상조건으로는 주사시간 외에도 여러 변수들이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 태양광 발전을 수행함에 있어서 영향을 주는 기상조건을 미세먼지, 전천일사, 산란일사 등등으로 세분화시키고, 현실적인 태양광 발전소 건설에 필요한 토지요인을 추가하여 변수를 다각화하였다.

기상조건과 태양광의 상관분석을 위하여 ‘기상청’의 일사 관측지점 22곳의 일사량, 강수량, 황사 일수를 포함한 14가지의 기상요인을 정리하여 제공한 보고서(Korea Meteorological Administration, 2008)가 있다. 이 보고서는 22개의 지역에 대하여 관측하고 같은 값을 가지는 점을 이은 등치선으로 정보를 나타내었다. 이 보고서는 다양한 기상요인을 측정하고 기록 했다는 점에서 높은 가치를 갖고 있지만 관측소가 설치된 지역 22곳에 대해서만 분석을 수행하였다. 본 연구에서는 대한민국 전체의 기상데이터를 바탕으로 태양광 에너지 생산 효율성을 분석하고자, ‘기상자료개방포털’에서 제공하는 기상데이터 전체를 수집하여 분석하였다. 수집된 데이터는 위도 및 경도에 따른 기상 데이터로써 국내의 전반적인 기상요인을 파악 할 수 있다.

3. 태양광 발전과 경제성과의 상관관계에 대한 연구

태양광 발전소를 설립하는 데 있어서 경제성은 효율과 더불어 중요한 요소이다. 따라서 태양광 발전 효율과 투자비용이 동시에 고려되지 않는 태양광 발전소 설립은 비효율적인 투자가 될 가능성이 높다(Eo Sung Yun, 2010). 이러한 비효율성을 줄이기 위하여 태양광 발전 효율과 경제성을 연관시킨 다양한 선행연구들이 진행되어왔다.

경제성에 대한 연구로는 제주도를 포함한 대한민국 9도의 실제로 거래되는 전력거래량과 사업용으로 생산되는 태양광 발전량 그리고 지역별 일사량의 상관관계를 분석하는 연구가 진행되었다(Jun Yong-Joon, Park Kyung-Soon, Park Jong-Il, 2014). 이 연구에서는 전력거래로 인한 경제성은 분석하였지만 태양광 발전소를 건설하는데 필요한 토지비용은 고려하지 않았다. 이러한 점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 현실적인 태양광 발전소 건설에 중요한 영향을 끼치는 토지비용을 AHP 분석의 평가 기준으로 추가하여 분석을 하였다.

다른 경제성에 대한 연구로는 청명한 상태에서 측정된 수평면 전일사량만을 변수로 설정하고 분석하는 기법인 청명일사분석법을 사용하여 두 태양광 발전소의 경제성을 분석한 연구가 있다(Sung-Hun Lee, Hyeong-Cheol Choi, Dong-Keun Lee, Jin-O Kim. 2011). 이 연구에서는 경제성 분석 프로그램인 RET Screen을 이용하여 두 지역의 태양광 발전소의 경제성을 분석하였다. 그 결과 일사량이 높으면 발전량이 높아지고 경제성 평가 결과도 좋아진다는 결과를 도출해냈다. 하지만 실제로 분석에 사용된 데이터의 표본의 수가 두 지역에 불과하여 이 분석된 결과를 일반적인 결과로 수용하게 만드는 것에는 부족한 경향이 있다. 또한 청명일사분석법을 사용하여 분석하였기에 청명하지 않은 날씨의 경우, 결과 도출에 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 일사량을 전천, 직달, 산란일사로 더욱 세분화하고 표본의 수를 전국의 시/군단위에 77개 지역으로 증가시켜 일반적인 결과를 도출하였다.

현실적인 태양광 발전소의 입지를 고려할 때 건설을 위한 토지의 비용도 충분히 고려해야 할 요인이 된다. 토지의 경사도와 토지가격은 음의 상관관계를 가지므로 일반 평지보다 임야비율이 높을수록 토지의 가격이 떨어진다는 결론을 얻을 수 있다(Lee,Dong-Yun. 2013). 본 연구에서는 발전소 건설에 필요한 토지의 비용에 영향을 끼치는 임야비율을 유의미한 변수로 추가하여 경제성에 분석에 대한 다각화를 하였다.

본 연구는 다음과 같은 선행연구들을 기반으로 본 연구 방법론의 실험 대상 지역을 전국으로 확대하고 기상요건을 대기청정, 전천일사, 직달일사, 산란일사로 세분화하여 접근한다. 또한 태양광 발전소의 현실적인 입지 선정에 필수적으로 고려되어야 하는 토지가격에 대한 변수조건을 추가하여 실제적인 최적의 입지를 선정하였다.

Ⅲ. 연구방법론

본 연구는 상관분석을 통해 태양광 발전에 영향을 주는 요인의 가중치를 설정하고, 기상요인과 토지요인의 융합 분석을 통해 최적의 태양광 발전소 입지를 찾아내는 것에 목적을 둔다. 따라서 이를 위해 본 연구에서는 <표 1>에 표기된 것과 같이 단계별로 분석을 수행한다. 첫 번째 단계에서는 태양광 발전에 연관성이 높은 기상 및 토지요소를 상관관계 분석을 실시하여 상관관계 계수를 도출해 낸다. 이 단계에서 도출된 상관관계계수는 두 번째 단계의 가중치를 설정하는데 사용된다.

〈표 1〉 연구 절차

기상 및 토지요인 가정 및 요인에 대한 상관관계분석
(1) 태양광 발전에 영향을 끼친다고 예상되는 요인을 가정
(2) 가정된 요인들의 평균치를 이용한 상관관계분석
AHP분석을 이용한 태양광 발전소의 최적입지 선정
(1) AHP분석을 위한 계층적 구조 설정
(2) 상관관계분석 결과와 데이터 순위 차이를 기반으로 한 평가기준의 가중치 및 대안 사이의 가중치 계산
(3) 일관성 지수를 통한 가중치 검증
(4) 가중치를 통한 분석결과 도출 및 최적의 태양광 발전소 입지 선정

1. 상관관계분석

상관관계분석을 위한 기법에는 Pearson 상관관계분석, Spearman 상관관계 분석, Kendall의 tau, Point biserial r 그리고 Phi - coefficient가 있다. 본 연구에서는 데이터가 순위에 의하여 정렬되어 척도로 이용될 경우 사용하는 Spearman 상관관계 분석을 사용한다. Spearman 상관관계 분석은 두 클러스터 간의 연관

관계를 밝히기 위하여 사용하며, 각 데이터의 값 대신에 각 데이터의 순위를 이용하여 정렬한다. 따라서 Spearman 상관관계 분석은 순위상관계수를 구하는 것이 목적인데 순위상관계수란 두 데이터 간의 상관관계를 비교할 때 하나의 순위가 다른 순위에 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있는 상관계수이다.

순위상관계수는 다음과 같은 식 (1) 을 이용해서 구할 수 있다. 길이가 k 인 두 순위 데이터 X와 Y가 주어졌을 때 다음과 같은 식 (1) 을 이용해서 구할 수 있다(x_i^r, y_i^r 는 각각 의 순위를 나타낸다)(Sun Kyong Hong, Sang Pil Kim, Hyo Sang Lim, Yang Sae Moon. 2014). Spearman 상관계수는 -1의 값부터 1까지의 값으로 수렴하는데 -1의 값은 완벽한 음의 상관관계를 나타내주고 1의 값은 완벽한 양의 상관관계를 나타내 준다.

$$\begin{aligned} \text{Rank Correlation Coefficient}(X, Y) &= 1 - \frac{6}{k(k^2 - 1)} \sum_{i=1}^k (x_i^r - y_i^r)^2 \\ &= 1 - \frac{6}{k(k^2 - 1)} \left(\sum_{i=1}^k (x_i^r)^2 - 2 \sum_{i=1}^k x_i^r \cdot y_i^r + \sum_{i=1}^k (y_i^r)^2 \right) \end{aligned} \quad (1)$$

2. AHP 분석(계층 분석적 의사결정과정)

본 연구방법론의 두 번째 단계에서는 AHP 분석 방법에 따라 다음과 같이 최종목표와 평가기준, 마지막으로 최종목표를 달성하기 위한 대안이라는 세 계층으로 계층화를 한다. 그 후 평가기준과 대안에 대한 가중치를 도출하기 위하여 첫 번째 단계에서 얻은 상관관계계수를 이용하여 평가기준과 대안에 대한 가중치를 계산한다. 마지막으로 가중치의 일관성을 검증한다. 이때 최종적으로 도출된 가중치는 최종적인 목표를 달성하기 위한 우선순위를 나타내 준다. 본 연구에서 도출된 가중치는 최적의 태양광 발전소 입지를 선정하기 위한 전국의 시/군 단위의 지역의 우선순위를 나타낸다.

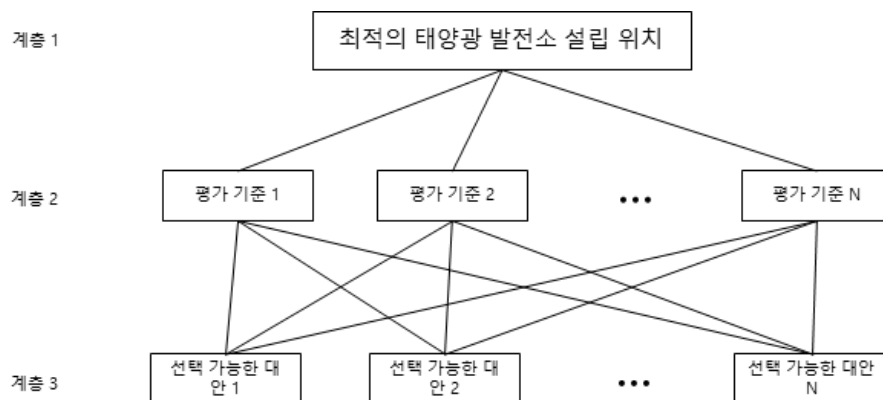
계층 분석적 의사결정과정인 AHP는 의사결정 변수가 다수의 평가기준으로

이루어져 있을 때 우선 평가 기준들을 계층화한 후에 계층을 나누어 중요도에 대한 가중치를 이용하여 결정하는 다 기준 의사결정(Multi-Criteria Decision Making: MCDM)중 하나의 의사결정기법이다(saaty, T. 2008; Kim Gun. 2011). AHP는 복잡한 문제를 계층적 구조로 나누어 설정하고 이러한 요인들 간의 쌍대비교(pair wise comparison)를 통해 평가자의 지식, 경험, 직관을 포착하여 의사결정에 대한 효용을 높이는 방법이다(Keun-Tae Cho. 2003). AHP 기법은 일반적으로 다음 소단계를 따라 대표적인 4가지 절차를 따른다(Jang, Rae Hack. 2003).

2.1 의사결정계층(Decision Hierarchy) 설정

AHP 기법의 적용에 있어 가장 기본적이고 가장 중요한 단계로써 상호 관련된 여러 가지 의사결정 평가 기준과 대안 그리고 최종적인 목표를 계층화시킨다. 계층에는 크게 3가지가 있는데 최종 목표, 평가에 대한 기준, 그리고 선택 가능한 대안으로 구성되어 있다. 평가에 대한 기준들은 상호 비교가 가능하게 설정되어야 한다. 다음 [그림 1]은 계층 구조 설정의 예이다.

[그림 1] 계층 구조 설정의 예



2.2 쌍대비교

쌍대비교 단계에서는 상위계층에 있는 최종목표를 달성하기 위하여 설정한 평가에 대한 기준들의 최종목표에 대한 기여도를 설정하기 위한 작업이다. 본 논문에서는 1단계의 상관관계 분석을 통해 도출된 상관관계계수를 9점 척도를 통해 변환하여 쌍대비교를 실시한다. 다음 <표 2>는 쌍대비교를 수행할 때 필요로 하는 9점척도 표를 도식화한 것이다.

〈표 2〉 쌍대비교표의 9점척도표

Scale(weight)	Meaning
1	Equal
2	Between Equal and Moderate
3	Moderate
4	Between Moderate and Strong
5	Strong
6	Between Strong and Very Strong
7	Very Strong
8	Between Very Strong and Extreme
9	Extreme

모든 행렬의 원소를 대상으로 쌍대비교를 실시하고 그 결과 얻어진 행렬을 쌍대비교행렬이라 한다. 작성된 쌍대비교행렬은 다음 식 (2) 와 같이 주대각선 분은 전부 1로 이루어지며, $w_i(i = 1, 2, \dots, n)$ 는 i 번째 평가항목의 가중치를 나타낸다. 이때 $a_{21} = 1/a_{12}$ 처럼 주대각선분을 대칭으로 하여 서로 역수의 값을 취하는 행렬이다. 본 연구에서는 계량된 데이터의 차이를 도출하고 이에 따라 9점척도를 부여하는 방식으로 가중치를 구하였다. 기존의 AHP분석방법은 가중치를 부여하는 과정에서 전문가들의 주관성이 배재시키기 어렵지만, 본 연

구에서는 객관적인 데이터의 차이를 이용하여 전문가의 주관적 견해를 배재하고 객관성을 확보하였다. 본 논문에서 언급된 평가기준에 대한 대안의 수는 77개의 지역이며 따라서 비교되어야 하는 평가의 수는 20,482번이다. 따라서 전문가에 의한 비교판단은 어려움으로 순위별 차이를 이용한 가중치 부여 방식을 아래 [그림 2]와 같이 프로그래밍으로 계산하였다.

[그림 2] 순위 차이를 이용한 가중치 도출 알고리즘

```

Algorithm subtract
Input : rank number list of each area
Output : number difference between two area

weight_list = ()

for area1 in rank_list :
    for area2 in rank_list :
        difference = area1 - area2
        if |difference| = < 10:
            weight = 1
        if 10 < difference = < 30:
            weight = 0.5
            :
        if difference = < -60:
            weight = 4
        weight_list.append(weight)
  
```

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \cdots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \cdots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \cdots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \cdots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

2.3 가중치 계산 및 신뢰성 검정

일반적으로 정방행렬을 따르는 쌍대비교행렬 A 는 식 $AW = \lambda W$ 를 만족하는 스칼라 λ 와 그에 대응하는 $n \times 1$ 의 고유벡터 W 가 존재하는데 $\sum W = 1$ 을 만족하는 각 고유벡터가 각 쌍대비교행렬의 상대적 가중치가 된다(Haeil Ahn, 2007). 상대적 가중치를 도출한 후 가중치의 일관성을 검정해야 한다. AHP 기법은 다 기준 의사결정 중 하나이며 과정 도중 평가해야 하는 기준이 증가하면 판단해야 하는 수 또한 증가하므로 평가의 일관성을 잃을 수 있다. 예를 들면 다음과 같은 관계를 나타낼 수 있다.

$$\text{산란일사} < \text{전천일사} < \text{대기청정} < \text{산란일사}$$

산란일사가 전천일사보다 낮은 값을 가지고 전천일사는 대기청정보다 낮은 값을 가진다. 그런데 산란일사가 대기청정 보다 높은 값을 가지는 관계는 논리적으로 설명이 불가능하다. 따라서 이러한 오류를 방지하기 위하여 산출한 가중치에 대한 일관성 검정을 해야 한다. 일관성 검정의 과정에서 CR(Consistency Ratio: 일관성 비율)이 0.1 미만이면 일관성 있는 평가가 이루어졌다고 하며, 0.2 이하이면 허용 가능한 평가가 되었다고 하였다.(satty. 1980).

CR은 CI(Consistency Index: 일관성 지수)와 RI(Random Index: 난수 지수)를 활용하여 도출되는데 CI, RI 그리고 CR은 다음 식 (3), 식 (4), <표 3>을 이용하여 도출된다. <표 3>은 대안의 수(n)가 증가할수록 임의지수(RI)도 증가하는 RI 값의 특성을 보여준다.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

〈표 3〉 역수행렬 차원 n 행렬에 따른 RI값

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.52	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

2.4 상대가중치의 종합화

가중치의 종합화 단계에서는 계층의 최상위에 있는 의사결정의 목적을 달성하기 위하여 최하위에 있는 대안들과 평가기준의 우선순위 및 가중치를 도출한다. 도출된 평가기준에 대한 가중치에 대한 행렬과 평가기준에 대한 대안의 가중치의 행렬을 행렬 곱하여 각 대안에 대한 최종 가중치를 구한다. 각 대안에 대한 최종 가중치는 최종목표를 달성하기 위한 우선순위의 값과 같으므로 의사결정을 내릴 때 중요한 지침이 된다.

IV. 사례연구

1. 기상요인 분석

본 연구에서는 국내의 효율적인 태양광 에너지 생산 입지를 선정하기 위하여 이에 영향을 주는 기후요인과 토지요인을 선정하는 실험을 진행하였다. 지역별 신재생에너지 발전 중에 태양광 발전량에 영향을 끼치는 기후변수를 선정하고자, ‘기상자료개방포털’에서 제공하는 전천/직달/산란 일사량에 대한 기상요인에 대한 자료를 각 시/군 단위의 기상데이터로 수집하였다. 또한 태양광 모듈은 오염도와 온도가 올라감에 따라 전압이 감소하여 태양광 모듈의 효율이 떨어진다는 연구(Song Jung-Heon. 2015)에 따라 오염도를 고려하기

위하여 대기청정이라는 예상요인을 추가하였다. 또한 동일한 태양광 모듈이나 인버터를 사용하더라도 설치 환경이나 설계시공에 따라 발전성능은 다양하게 변화한다(So Jung-Hun, Yu Byung-Gyu, Hwang Hye-mi, Yu Gwon-Jong. 2008). 따라서 본 연구는 설치 환경에 따라 변하는 태양광 발전량을 보정하기 위하여 태양광 에너지 부존잠재량 중 기술적 효율을 현재 기술수준에 따라 동일하게 가정하고 얻은 기술적 부존잠재량 데이터로 독립변수를 선정하였다.

1.1 기상 데이터 수집 및 분류

태양광 에너지 부존잠재량 중 현재의 기술수준(에너지 효율계수, 가동율, 에너지 손실요인 등을 고려)으로 산출될 수 있는 에너지 생산량, 즉 기술적 부존 잠재량(Ministry of Trade, Industry and Energy et al., 2016)에 대한 기상 요인 데이터를 수집하고 독립변수로 설정하였다.

‘기상자료개방포털’에서 제공되는 전천/직달/산란 일사량 자료는 위도, 경도 기준으로 측정 되어있다. 본 연구에서는 지역별 기상데이터를 분석하기 위하여 Python과 Naver API를 활용하여 전천/직달/산란 일사량에 대한 위도 및 경도 데이터를 7개의 특별시를 포함하여 전국 270개의 시/군 데이터로 분류하였다. 일사량 및 이에 따른 기상요인은 태양의 자연스러운 활동 변화에 의해 약 10년을 주기로 변화하고(Korea Meteorological Administration. 2008) 태양광 발전소의 특성상 한번 설립되면 수명이 최소한 수십 년임을 감안한다면 태양광 발전소의 발전 효율에는 유의미한 변화는 없다. 따라서 현재 ‘기상자료개방포털’에서 제공하는 2010년도의 전천/직달/산란 일사량에 대한 데이터를 사용하는 것에 문제가 없다. 또한 ‘에너지경제연구원’에서 제공하는 태양광 에너지 생산량과 ‘기상청’에서 제공받은 여러 기상 요인들을 270개의 시/군 데이터로 분류 했다. 그러나 ‘기상청’에서 제공하는 대기오염도에 관한 데이터의 부족으로 77개의 지역의 데이터로 압축하였다. 본 논문에서 다룬 77개의

지역은 [그림 3]에 나타나있다. 협소하게 진행되었던 태양광 발전소 입지에 대한 분석을 전국적으로 확대했다.

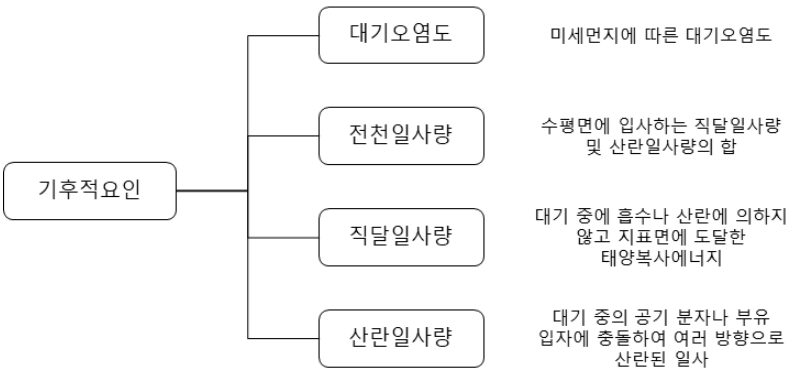
[그림 3] 대기오염도를 측정하는 기상청의 관측소 위치



1.2 예상 기상요인 선정

최적의 태양광 발전소의 입지조건을 선정하기 위하여 입지조건에 영향을 미치는 기후적 요인을 다음 [그림 4]와 같이 선정한다.

[그림 4] 태양광 발전소 입지 최적화를 위한 예상 기상요인



1.3 예상 기상요인 간 상관관계분석

〈표 4〉 기상요인에 대한 Spearman 상관관계분석표

	기술적 부존잠재량순위	대기청정 순위	전천일사량 순위	직달일사량 순위
대기청정 순위	0.628		Spearman 상관계수 P-Value	
	0.000			
전천일사량 순위	0.731	0.535		
	0.000	0.000		
직달일사량 순위	0.418	0.479	0.474	
	0.000	0.000	0.000	
산란일사량 순위	0.382	0.052	0.634	-0.307
	0.001	0.653	0.000	0.007

본 연구에서는 기술적 요인을 배제하기 위하여 독립변수(설비 단위 당 생산량)를 현재의 기술적 효율을 동일하게 적용한 기술적 부존잠재량(기술 수준을 고려할 때 얻어낼 수 있는 에너지 발전량)으로 설정하였다. 이에 따라 변수의 단위가 일치하지 않고 분포가 정규성을 따르지 않기에 Spearman 순위 상관분석을 시행하였다.

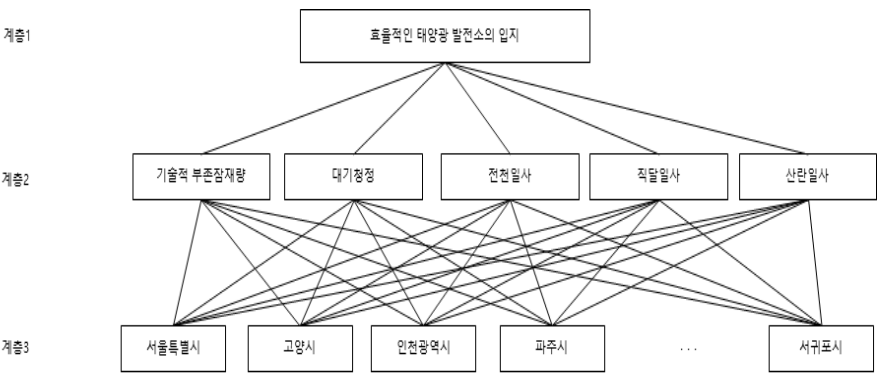
위의 <표 4>를 살펴보면 독립변수인(기술적 부존잠재량) 순위와 대기청정 순위는 양의 강한 상관관계를 가지고 전천일사 순위 또한 강한 양의 상관관계를 가짐을 확인하였다. 직달일사와 산란일사는 기술적 부존잠재량과는 강한 상관관계를 갖지는 못하였지만 기술적 부존잠재량에 영향을 미치는 대기청정과 전천일사량과의 강한 상관관계를 발견하였다. 이러한 결과를 종합하면 전천일사와 직달일사는 대기청정에 영향을 주며 대기청정이 높으면 높을수록 전천일사량이 많으면 많을수록 기술적 부존잠재량은 많아짐을 확인하였다.

1.4 AHP를 활용한 기상요인의 입지순위 분석

1.4.1 계층구조 설정

AHP 분석을 사용하기 위하여 먼저 시행한 상관관계 분석에서 유의미한 상관관계를 가지는 부존잠재량과 대기청정 그리고 전천일사를 평가기준으로 선정하였다. 또한 높은 상관관계는 아니지만 대기청정과 유의미한 관계에 있는 직달일사와 전천일사량과 유의미한 관계에 있는 산란일사 또한 평가 기준으로 선정하였다. 각 대안에는 우리나라의 약 270여 개의 시/군중에 ‘기상청’에서 대기청정도를 제공하는 77개의 시/군지역으로 배치하고 가장 높은 1계층의 목적에는 “효율적인 태양광 발전소의 입지”를 배치하였다. 이상의 내용은 아래 [그림 5]와 같다.

[그림 5] 태양광 발전소 입지 최적화를 위한 기상요인의 계층 설정



1.4.2 평가 기준의 가중치

〈표 5〉 기상요인에 대한 평가 기준의 가중치

	기술적 부존잠재량	대기청정	전천일사	직달일사	산란일사	가중치
기술적 부존잠재량	1	0.5	0.333	1	1	0.134
대기청정	2	1	0.5	1	1	0.190
전천일사	3	2	1	1	2	0.318
직달일사	1	1	1	1	1	0.195
산란일사	1	1	0.5	1	1	0.163
CR = 0.0307						

전 단계에서 도출된 상관관계계수는 변수들 간의 상관관계를 나타내 주고, 이는 한 변수의 증감에 따라 다른 변수가 얼마나 탄력적으로 변화하는지를 나타내어 준다. 이때, 주의해야 할 점은 두 평가기준에 대한 가중치 설정에만 상관계수를 사용해야 한다는 것이다. 예를 들어 전천일사와 산란일사간의 상관관계수가 높다고 하여 산란일사가 전천일사에 영향을 주고 전천일사가 부존잠재량에 영향을 주는 것 같은 연관성을 고려하지 않는다. 쌍대비교 행렬은 두 평가기준만을 비교해야 한다. 본 논문에서 <표 4>에 언급된 상관관계계수를 따라서 위의 <표 5>와 같이 가중치 행렬을 작성하였다.

<표 5>를 살펴보면 평가 기준의 가중치는 전천일사(0.318), 직달일사(0.195), 대기청정(0.190), 산란일사(0.163) 그리고 기술적 부존잠재량(0.134) 순으로 나타났고 CR 값이 0.0307(0.1 미만)이므로 일관성 또한 검증됐다.

1.4.3 각 평가 기준에 대한 대안의 가중치

<표 6~10>은 각 평가 기준에 대한 대안의 가중치를 각각 나타낸 것이다. 대안에 대한 가중치를 계산하기 위하여 각 평가기준에 대한 대안의 순위를 비교하고, 순위의 차이를 기반으로 9점척도표를 사용하여 가중치를 부여하였다. 예를 들면, 대기청정을 평가기준으로 각각의 대안의 순위를 비교한다. 대기청정은 대기 중 오염의 정도에 따라 지역별 청정도를 나타내준 평가기준이며, 1위는 경주시이다. 서울특별시의 대기청정 순위는 42위, 안양시의 순위는 52위, 김포시의 순위는 76위이다. 서울특별시 - 안양시, 서울특별시 - 김포시, 김포시 - 안양시에 대한 순위의 차는 -10, -34, 24 이며 부여된 가중치는 1, 3, 0.5 이다. 위의 예와 같이 지역별 차이를 이용하여 가중치를 계산할 경우 AHP의 가장 본질적인 문제점인 전문가들의 주관성에 의하여 판단되는 객관성의 부족을 해결 할 수 있다. 이에 대한 과정은 위 [그림 2]에 pseudocode로 나타나 있다. 각 평가 기준에 대한 대안의 가중치를 살펴보면 기술적 부존잠재량은 진주시(0.0277)가 가장 높고, 대기청정은 경주시(0.0274), 전천일사는 양산시(0.0275), 직달일사는 양산시(0.0276), 산란일사는 부안군(0.0277)으로 가장 높은 수치를 기록한 지역들이다. 앞서 식 (3)에서 도출된 수식을 통해 도출된 일관성을 평가하는 기준인 CI의 결과값이 0.1 미만의 일관성이 유지된 결과를 얻었다. 본 논문에서 다루어지는 대안의 수는 77개이다('기상청'에서 제공하는 시/군 단위의 대기청정도의 수, 77개). 따라서 본 연구의 대안의 수에 따른 임의지수(RI)는 <표 3>의 대안의 수가 15일 때 (RI=1.59)보다 크므로, 식 (4)에 의해 도출된 CR의 값 또한 0.1 미만의 값을 얻어 일관성이 검증 가능하다.

태양광 에너지의 효율적인 생산을 위한 발전소 입지분석과 선정

〈표 6〉 기술적 부존잠재량에 대한 가중치

	서울	고양	과천	광명	구리	부천	안양	...	부산	가중치
서울	1	1	1	1	1	1	1	...	0.333	0.0046
고양	1	1	1	1	1	1	1	...	0.333	0.0046
과천	1	1	1	1	1	1	1	...	0.333	0.0047
광명	1	1	1	1	1	1	1	...	0.333	0.0048
구리	1	1	1	1	1	1	1	...	0.333	0.0049
부천	1	1	1	1	1	1	1	...	0.333	0.005
안양	1	1	1	1	1	1	1	...	0.333	0.005
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
부안	3	3	3	3	3	3	3	...	1	0.0174

CI=0.02285

〈표 7〉 대기청정에 대한 가중치

	서울	고양	과천	광명	구리	부천	안양	...	부산	가중치
서울	1	2	1	2	3	3	1	...	1	0.0103
고양	0.5	1	0.5	0.5	1	1	0.5	...	0.333	0.0055
과천	1	2	1	2	3	3	2	...	1	0.0108
광명	0.5	2	0.5	1	2	2	1	...	0.5	0.0073
구리	0.333	1	0.333	0.5	1	1	0.5	...	0.333	0.0047
부천	0.333	1	0.333	0.5	1	1	0.5	...	0.333	0.0048
안양	1	2	0.5	1	2	2	1	...	0.5	0.0079
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
부안	1	3	1	2	3	3	2	...	1	0.0124

CI=0.02406

〈표 8〉 전천일사에 대한 가중치

	서울	고양	과천	광명	구리	부천	안양	...	부산	가중치
서울	1	1	1	0.333	2	0.5	1	...	0.333	0.0046
고양	1	1	1	0.5	2	0.5	2	...	0.333	0.0046
과천	1	1	1	0.333	2	0.5	1	...	0.333	0.0047
광명	3	2	3	1	3	2	3	...	0.333	0.0048
구리	0.5	0.5	0.5	0.333	1	0.333	1	...	0.333	0.0049
부천	2	2	2	0.5	3	1	2	...	0.333	0.005
안양	1	0.5	1	0.333	1	0.5	1	...	0.333	0.005
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
부산	3	3	3	3	3	3	3	...	1	0.0174

CI=0.03049

〈표 9〉 직달일사에 대한 가중치

	서울	고양	과천	광명	구리	부천	안양	...	부산	가중치
서울	1	2	0.5	1	1	1	1	...	0.333	0.0077
고양	0.5	1	0.333	0.5	0.5	0.5	0.5	...	0.333	0.0048
과천	2	3	1	2	2	2	1	...	0.333	0.0119
광명	1	2	0.5	1	2	2	1	...	0.333	0.0086
구리	1	2	0.5	0.5	1	1	0.5	...	0.333	0.0067
부천	1	2	0.5	0.5	1	1	0.5	...	0.333	0.0064
안양	1	2	1	1	2	2	1	...	0.333	0.0091
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
부산	0.5	1	0.333	0.5	0.5	0.5	0.5	...	1	0.0047

CI=0.02591

〈표 10〉 산란일사에 대한 가중치

	서울	고양	과천	광명	구리	부천	안양	...	부산	가중치
서울	1	0.5	2	0.333	2	0.333	2	...	0.333	0.0097
고양	2	1	3	1	3	1	3	...	0.5	0.0201
과천	0.5	0.333	1	0.333	1	0.333	1	...	0.25	0.0054
광명	3	1	3	1	3	1	3	...	0.5	0.0218
구리	0.5	0.333	1	0.333	1	0.333	1	...	0.25	0.0061
부천	3	1	3	1	3	1	3	...	1	0.0246
안양	0.5	0.333	1	0.333	1	0.333	1	...	0.25	0.0062
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
부안	3	2	4	2	4	1	1	...	1	0.0277
CI=0.02291										

다음 <표 11>은 각 지역별로 평가 기준 5개에 대한 각각의 대안의 가중치를 나타낸 것이고 <표 12>는 각 평가기준에 대한 가중치를 나타낸 것이다.

〈표 11〉 기상요인에 대한 대안의 가중치

	기술적 부존잠재량	대기청정	전천일사	직달일사	산란일사
서울	0.0046	0.0103	0.0065	0.0077	0.0097
고양	0.0046	0.0055	0.0074	0.0048	0.0201
과천	0.0047	0.0108	0.0059	0.0119	0.0054
광명	0.0048	0.0073	0.015	0.0086	0.0218
구리	0.0049	0.0047	0.0046	0.0067	0.0061
부천	0.005	0.0048	0.0102	0.0064	0.0246
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
부안	0.0174	0.0124	0.0184	0.0047	0.0277

〈표 12〉 각 기상요인에 대한 평가 기준의 가중치

기상요인	요소별 가중치
기술적 부존잠재량	0.134
대기청정	0.190
전천일사	0.318
직달일사	0.195
산란일사	0.163

두 개의 행렬 곱을 통하여 얻은 종합가중치는 다음 <표 13>에 나타나 있다. 종합가중치에서 가장 높은 가중치 즉, 가장 높은 우선순위를 가지는 1순위 대안은 거제시(0.02384)이고 2순위는 순천시(0.023779)이고 가장 낮은 중요도를 가진 지역은 구리시(0.005313)이다.

〈표 13〉 기상요인에 대한 종합 가중치

지역	거제	순천	김해	광주광역시	양산	포항	...	양주	구리
가중치	0.0238	0.0238	0.0232	0.0231	0.0221	0.0220	...	0.0058	0.0053

2. 토지가격 요인 분석

2.1 토지 데이터 가공 및 상관관계 분석

태양광 발전소의 최적의 입지를 선정하는 데 있어서 실제로 소요되는 비용은 무시할 수 없는 중요한 변수이다. 그 중 건설부지 매입을 위한 토지비용은 초기비용의 많은 부분을 차지한다. 즉, 발전소의 입지에 따라 건설비용이 크게 차이 난다. 토지의 가격을 측정하는데 있어 여러 가지 변수가 존재한다. 그 대표적인 예는 임야의 유무이다. 태양광 발전의 특성상 태양에너지를 받아 들이지 않으면 발전을 할 수 없다. 임야 지역은 그 경사각 때문에 이러한 태양광 발전의 효율을 저하시킬 수 있다(Lee Seunghwan, 2017). 또한 임야 지역이 많으면 주변의 토지가격 또한 감소한다(Lee, Dong-Yun, 2013). 이러한

관점에서 태양광 발전소를 설치할 지역의 토지가격과 임야비율은 반드시 고려가 되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 ‘한국감정원’에서 제공하는 전국 시/군 77개의 2017년 거래된 토지가격에 대하여 평균치를 도출하여 정리하였다. 또한 ‘산림청’에서 제공하는 지역별 임야면적비율을 같은 수의 시/군 데이터로 정리하였다. 이러한 자료를 바탕으로 토지가격에 대한 가중치를 구하기 위하여 앞서 실시했던 상관관계수분석과 AHP분석을 실시하여 다음과 같은 가중치를 도출하였다. 다음 <표 14>는 토지가격과 각 지역별 임야비율(임야면적/전체면적)의 Spearman 상관관계수를 나타낸 것이다. 상관관계분석결과 토지가격과 임야의 비율은 음의 상관관계를 갖는다.

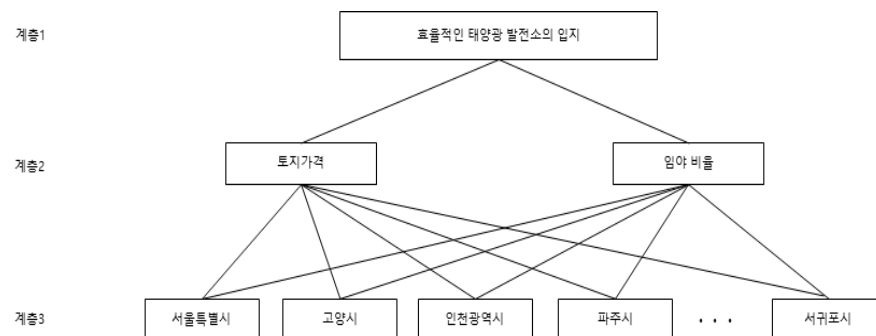
〈표 14〉 토지가격과 임야비율에 대한 상관관계분석

	토지 가격 순위	
임야 비율 순위	-0.480 0.000	Spearman 상관계수 P-Value

2.2 AHP를 활용한 토지요소의 입지 순위 분석

2.2.1 계층구조 설정

[그림 6] 태양광 발전소 입지의 최적화를 위한 토지요인 계층 설정



토지가격 요인에 대하여 AHP 분석을 시행하기 위하여 먼저 시행한 상관관계 분석에서 유의미한 상관관계를 가지는 토지가격과 임야비율을 평가기준으로 설정하였다. 대안에는 앞서 시행한 AHP 분석의 77개의 지역을 가장 하위의 계층인 최종 목표를 달성하기 위한 대안으로 설정하였다. 위의 [그림 6]은 계층을 도식화한 것이다.

2.2.2 평가 기준의 가중치

〈표 15〉 토지요인에 대한 평가 기준의 가중치

토지요인	가중치
토지 가격	0.6666
임야 비율	0.3333

〈표 15〉를 살펴보면 평가 기준의 가중치는 토지가격(0.6666), 지역별 임야 비율(0.3333)로 가중치가 계산되었다.

2.2.3 각 평가기준에 대한 대안의 가중치

〈표 16〉, 〈표 17〉은 각 토지평가 기준에 대한 대안의 가중치를 각각 나타낸 것이다. 각 평가 기준에 대한 대안의 가중치를 살펴보면 토지가격은 삼척시(0.0254)가 가장 높고, 지역별 임야비율은 청주시(0.0276)가 가장 높았다. 토지가격에 대한 CI 값은 0.1 이상의 값이 나왔지만 위에서 언급한 대로 대안의 수가 증가할수록 증가하는 RI의 특성상 식 (4)를 통해 도출된 CR 값은 0.1 미만을 가지게 된다. 따라서 일관성이 검증되었다.

〈표 16〉 토지가격에 대한 가중치

	서울	고양	과천	광명	구리	부천	안양	...	부안	가중치
서울	1	0.5	1	1	1	1	1	...	0.25	0.0044
고양	2	1	1	1	1	1	1	...	0.333	0.0055
과천	1	1	1	1	1	1	1	...	0.333	0.0046
광명	1	1	1	1	1	1	1	...	0.333	0.0053
구리	1	1	1	1	1	1	1	...	0.333	0.005
부천	1	1	1	1	1	1	1	...	0.333	0.0048
안양	1	1	1	1	1	1	1	...	0.25	0.0045
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
부안	4	3	3	3	3	3	4	...	1	0.0157
CI=0.1081										

〈표 17〉 지역별 임야비율에 대한 가중치

	서울	고양	과천	광명	구리	부천	안양	...	부안	가중치
서울	1	1	0.333	1	1	1	0.5	...	0.5	0.005
고양	1	1	0.333	1	1	1	0.5	...	0.5	0.0054
과천	3	3	1	3	3	3	2	...	2	0.0162
광명	1	1	0.333	1	1	2	0.5	...	1	0.0061
구리	1	1	0.333	1	1	2	0.5	...	1	0.0064
부천	1	1	0.333	0.5	0.5	1	0.333		0.5	0.0046
안양	2	2	0.5	2	2	3	1	...	2	0.0103
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
부안	2	2	0.5	1	1	2	0.5	...	1	0.0073
CI=0.02312										

〈표 18〉 지역별 평가 기준에 대한 대안의 가중치 종합

지역	토지가격	임야 비율
서울	0.0044	0.005
고양	0.0055	0.0054
과천	0.0046	0.0162
광명	0.0053	0.0061
구리	0.005	0.0064
부천	0.0048	0.0046
⋮	⋮	⋮
부안	0.0157	0.0073

〈표 19〉 각 평가 기준에 대한 가중치

토지요인	요소별 가중치
토지 가격	0.6666
임야 비율	0.3333

〈표 18〉은 각 지역별로 토지평가기준에 대한 각각의 대안의 가중치를 나타낸 것이고 〈표 19〉는 각 평가기준에 대한 가중치를 나타낸 것이다. 두 개의 행렬 곱을 통하여 얻은 종합가중치는 다음 〈표 20〉에 나타나 있다. 토지요인에 대한 종합가중치에서 가장 높은 가중치를 가지는 1순위 대안은 삼척시(0.025964)이고 2순위는 하동군(0.023964)이고 가장 낮은 중요도를 가진 지역은 서울특별시(0.0046)이다.

〈표 20〉 토지요인에 대한 종합 가중치

지역	삼척	하동	단양	제천	진주	동해	...	부천	서울
가중치	0.0260	0.0240	0.0239	0.0229	0.0205	0.0202	...	0.0047	0.0046

이전의 얻은 기상요인에 대한 종합중요도와 토지요인에 대한 종합가중치의 합을 구하여 최종적인 입지 가중치를 계산한다. 기상요인과 토지요인에 대

한 종합가중치의 합에서 가장 높은 가중치를 가지는 지역이 다른 지역보다 더 최적의 입지라는 결론을 얻는다. 본 연구의 결과 경상남도 하동군이 기상 및 토지조건이 고려되었을 때 태양광 발전소 건설에 최적화된 입지라는 결론을 얻었다.

〈표 21〉 기후요인과 토지요인에 대한 최종 가중치

	하동	거제	삼척	순천	동해	진주	...	수원	구리
기상요인 가중치	0.0220	0.0238	0.0136	0.0238	0.0181	0.0176	...	0.0065	0.0053
토지요인 가중치	0.0240	0.0174	0.0260	0.0151	0.0202	0.0205	...	0.0050	0.0055
최종 가중치	0.0460	0.0412	0.0396	0.0389	0.0383	0.0381	...	0.0115	0.0108

위 <표 21>은 각 대안별 기상요인과 토지요인의 종합가중치의 합을 나타내는 최종 입지 가중치이다.

V. 결론 및 토의

본 연구는 늘어나는 신재생에너지에 대한 관심과 필요성을 나날이 증가하는 이 시점에서 한정된 토지와 자원을 이용하여 최적의 태양광 발전소의 입지를 설정하기 위한 연구이다. 본 연구에서는 신재생에너지 발전에 높은 상관관계를 가지는 기상요인에 대하여 가상의 요인들을 설정하고 상관관계분석을 통하여 상관관계계수를 도출하였다. 이를 이용하여 대한민국의 시/군 단위의 지역별 데이터를 대안으로 설정하고, AHP 분석을 통하여 기상요인에 대한 가중치를 도출하였다. 기상요인에 대한 가중치는 단순히 기상요인들에 대한 분석을 수행한 것이고 이러한 결과는 본 논문 전에도 지속적으로 연구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 실제로 태양광 발전소를 건설함에 있어 고려되어

야 하는 토지가격과 임야면적의 비율이라는 토지에 대한 변수를 추가하여 분석하였다. 시/군 단위로 거래되는 토지의 거래가격을 조사하고 각 지역별 전체면적 대비 임야면적을 계산하여 지역별 임야면적비율의 데이터 셋을 구성하였다. 이러한 데이터 셋을 기반으로 앞서 기상요인에 대한 가중치를 구하는 방법과 동일한 방법으로 토지요인에 대한 가중치를 도출하였다. 마지막으로 최종적인 가중치를 설정하기 위하여 기후요인에 대한 가중치와 토지요인에 대한 가중치의 합을 구하여 태양광 발전소 입지에 대한 최종적인 가중치를 도출해 냈다. 최종적으로 도출해낸 가중치는 기후적인 측면과 현실적인 태양광 발전소 건설에 필요한 토지적인 측면이 모두 포함된 가중치이며, 이 가중치는 실질적으로 고려해야 될 지역들의 우선순위를 나타낸다. 본 연구 이전의 태양광 발전소 입지에 대한 연구들은 협소한 지역에 대한 분석을 시행한 연구가 대다수이지만, 본 논문은 전국의 시/군 단위의 모든 지역에 대한 연구를 진행하여 지역별 우선순위를 도출하였다. 따라서 이 순위가 향후 태양광 발전소 설립할 때 중요한 참고자료가 될 것이라고 기대한다. 본 연구를 수행함에 있어 데이터를 수집하는데 있어서 많은 시행착오를 거쳤으며 그럼에도 불구하고 수집한 데이터 값들의 개수도 전국의 시/군 단위의 데이터의 전부를 수집하지는 못하였다. 따라서 향후 연구에서는 더욱 세분화되고 정확한 값을 가진다면 더욱 정확한 상관관계를 도출해 낼 수 있을 것으로 기대한다. 또한 도심지와 같은 인구 밀집 지역의 전력수송에 대하여 거리에 따른 전력의 손실량에 대한 연구가 진행된다면 추가적인 태양광 발전소 설립 입지선정에 있어 적합도를 더욱 높일 수 있을 것이다.

접수일(2018년 7월 6일), 수정일(2018년 8월 20일), 게재확정일(2018년 8월 25일)

◎ 참 고 문 헌 ◎

- Seung-minLee. (2016). A Study on Fine Dust Quantification of Solar Cell. Department of Mechanical Engineering, Graduate School Kumoh National Institute of Technology a master's thesis
- Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea. (2017). <http://www.gir.go.kr/home/main.do>
- B. Lee, Y.H. Kim, J.M. Cha, K.M. Roh, K.H. Oh, J.Y. Namkung and K.Y. Song. 1997. Generation Planning Algorithm Considering Environmental Constraints Near Thermal Power Plants. The 1997 summer Conference of The Korean Institute of Electrical Engineers
- Bo-Myeong Woo, Kyung-Joon Lee, Gi-Seong Jeon, Kyung-Hoon Kim, Hyung-Tae Choi, Seung-Hyun Lee, Byung-Kwon Lee, So-Yeon Kim, Sang-Ho Lee, Jeong-Ill Jeon. (2000). Studies on the Desertification and Sand Industry Development. J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech. 3(3)
- Ji-Yong Kim, Song-Jee June, Ji-Eun Lee. (2011). Environmental Assessment in the Siting of Solar and Wind Power Plants. J. of Korean Society of Environmental Technology, 12(2), 141~147
- Yongson-Shin, Raehyuck-Jung, Jaewhan-Ko, Jongtaek-Jeon. (2008). Present situation and utilization-rate of a mass solar-powerplant in Korea. The 2008 Fall Conference of The Korean Institute of Electrical Engineers.
- Seungmin Lee, Woo Jin Lee. (2016). Development of a System for Predicting Photovoltaic Power Generation and Detecting Defects Using Machine Learning. KIPS Tr. Comp. and Comm. Sys. Vol.5, No.10 pp.353~360
- Sung-Hun Lee · Hyeong-Cheol Choi · Dong-Keun Lee · Jin-O Kim. (2011). Economic Evaluation Method for Photovoltaic System Development using Insolation Data

- Analysis. Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2011) 25(10)
- Lee Ji Young, Kang In Joon. (2010). A Study of PV System Facilities Using Geo-Spatial Information System. Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information Science, 18(2), 99-105.
- Park, Dong Hyun, Kang, In Joon, Han, Ki Bong. (2013). A Study on Site Selection for Photovoltaic Power Generation Using GIS. Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography 2013 / Seoul / Korea
- Ho Yong Kim. (2010). A Study on the Improvement of the Accuracy of Photovoltaic Facility Location Using the Geostatistical Analysis. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 13(2) 2010, 146~156
- Kim Jong nam, Um, Dae Yong. (2015). Solar Power location analysis for improving the efficiency of solar photovoltaic. Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography 2015 / Seoul / Korea
- Korea Meteorological Administration. (2008). Meteorological resource analysis report for optimal use of solar energy. http://www.kma.go.kr/weather/climate/solar_energy.jsp
- Eo Sung Yun. Analysis of Operational Efficiency and Environmental Efficiency in Korean Fossil Fueled Power plant Using DEA Model. Ajou University Graduate school, Energy Systems Research a master's thesis
- Jun Yong-Joon, Park Kyung-Soon, Park Jong-Il. (2014). A study on the Current State and the Feasibility of Regional Solar Energy Generation Businesses in Korea. The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea Proceedings of the SAREK 2014 Summer Annual Conference
- Sung-Hun Lee, Hyeong-Cheol Choi, Dong-Keun Lee, Jin-O Kim. (2011). Economic Evaluation Method for Photovoltaic System Development using Insolation Data Analysis. Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Volume 25, Issue 10, 2011
- Lee,Dong-Yun. (2013). A Study on Officially Announced Forest Land Price and Forest

- Land Price Determinants. Department of Real Estate Graduate School, Daegu University Gyeongbuk Korea a master's thesis
- Sun Kyong Hong, Sang Pil Kim, Hyo Sang Lim, Yang Sae Moon. (2014). Secure Multi-Party Computation of Correlation Coefficients. Journal of KIISE, Vol 41, No 10, pp 799-809
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1, 2008'
- Kim Gun. (2011). A study of developing core confidence for hotelier with AHP. Department of Hospitality& tourism Management Sejong University. a thesis for a doctorate
- Keun-Tae Cho. (2002). Aggregation of Multiple Evaluator's Weights in Applying the AHP to Evaluate Technology Alternatives. The Korean Operations Research and Management Science Society Vol.19 No.2
- Jang, Rae Hack. (2003). The Decision Making Supporting System to Set Efficient Weights in Making a Decision using AHP. Dept. of Industrial Engineering The Graduate School of Sungkyunkwan University a master's thesis
- Haeil Ahn. (2007). A Comparative Study on Weight and Eigenvalue Calculation for Analytic Hierarchy Process on Decision Making. Spring joint Conference on Korean Operations Research And Management Society , 953-960.
- Satty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. New York : McGraw-Hill
- Song Jung-Heon. (2015). Study on complex efficiency reduction by increasing temperature and pollutant of photovoltaic module. Yonsei University Graduate School Department of Power Engineering a master's thesis
- Ministry of Trade, Industry and Energy , Korea Energy Agency New & Renewable Energy Center. (2016). NEW & RENEWABLE ENERGY WHITE PAPER. 104-110.
- So Jung-Hun, Yu Byung-Gyu ,Hwang Hye-mi, Yu Gwon-Jong. (2008). Comparison Results of Photovoltaic Module Performance using Simulation Model. Journal of the Korean Solar Energy Society Vol.28No.4[2008]

- Lee Seunghwan. (2017). Analysis of the photovoltaic by tilts and azimuths. Department of Precision Mechanical Engineering Graduate School, Kyungpook National University Daegu, Korea a master's thesis
- Korea Meteorological Administration. (2010). <https://data.kma.go.kr/data/weatherResourceMap/selectWeatherResourceMapSla.do?pgmNo=108>
- New & Renewable Energy Data Center(2010). <http://kredc.kier.re.kr/kierflex/#>
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2017) <http://rtdown.molit.go.kr/rtns/rqs/initRfTrList.do#>
- AirKorea. (2016). Monthly Report of Air Quality
- Korea Appraisal Board. (2017). <http://rtdown.molit.go.kr/rtns/rqs/initRfTrList.do#>
- Forest in Korea. (2017). http://www.forest.go.kr/newkfsweb/kfs/idx/Index.do?mn=KFS_01

ABSTRACT

Location Analysis and Selection of Power Plants
for Efficient Production of Solar Energy*

Lee GiHyun** · Lee GeonJu*** · Kang SungWoo****

Solar energy has been known as a successful alternative energy source, however it requires a large area to build power generation facilities compared to other energy sources such as nuclear power. Weather factors such as rainy weather impact on solar power generation because of lack of insolation. In order to build a solar power plant, a large area is required for a limited domestic land hereby selecting the optimal location for the plant that maximizes the efficiency of power generation is necessary. Territory of the republic of Korea is composed of a large amount of mountain areas which account for 63% of entire Korean land. Solar power plants require plain fields. However, these fields are occupied by city or other commercial usage. The price of these fields become expensive and continuously growing. Therefore, this research analyze the optimal site for solar power generation plant by implementing analytic hierarchy process based on both weather factors and land factors. This research suggests not only a optimal location for power generation efficiency but also reasonable price and land for future solar power plants.

Key Words : solar power plants, location analysis

* This paper has been conducted with the support of Inha University.

** Industrial engineering of Inha university. znflxk@naver.com

*** Industrial engineering of Inha university. cyworldcyw@naver.com

**** Industrial engineering of Inha university. kangsungwoo@inha.ac.kr
(corresponding author)

