

2016년도 인문자연탐사 보고서

-삼, 세종시를 탐구하다-

## 제로에너지 타운 5-1 생활권의 GIS기반 태양광 발전 부지 선정

2016. 10. 22

권순현, 김기현, 김동찬, 곽정원, 김수현



세종과학예술영재학교

# 제로에너지 타운 5-1 생활권의 GIS기반 태양광 발전 부지 선정

권순현, 김기현, 김동찬, 곽정원, 김수현

## 1. 탐사의 필요성

가. 세종시의 근래 정책 : 5-1 생활권의 제로에너지 타운 설립 예정  
행정복합도시건설청이 2020년 기준 신재생에너지 15%이상을 목표로 하고 있는 가운데 세종특별자치시는 2016년 초부터 신재생 에너지 관련 정책을 펴고 있다. 2월 23일, 행복청은 "신재생에너지 15% 이상 시기를 당초 2030년에서 10년 앞당긴 2020년까지 달성할 수 있도록 추진해 나갈 계획"이라고 밝혔다.



그림 3 세종시 생활권 지도

또한 이충재 행복도시건설청장은 3월 22일에서 정례브리핑에서 5-1생활권을 통째로 제로에너지 타운화하겠다고 밝혔다. 제로에너지 타운은 신재생에너지를 활용한 에너지 자급자족 주거 공간을 말한다.

### 나. 신재생 에너지 발전설비 부지 선정의 중요성

#### 1) 제로에너지 타운 실현에 필요한 신재생 에너지 설비의 특성

제로에너지 타운을 위한 친환경 설비의 부지 선정은 매우 중요하다. 신재생 에너지 설비에는 태양광, 태양열, 소형 풍력, 대형 수평축 풍력 발전, 지열 발전 등이 있지만, 세종시의 제로에너지 타운 형성에 주요하게 사용되는 신재생에너지는 태양광 에너지와 지열 에너지로 사료되는데, 이는 세종시의 지형, 기후적 특성에 기인한다.

세종시의 지리적 특성이나, 제로에너지 타운의 특성을 고려해 보았을 때, 풍력 발전은 매우 힘들다. 국립기상과학원의 기상자원지도에 따르면 세종시의 고도 80m에서의 평균 풍속은 4m/s 이하로 대형 수평축 풍력 발전에 적합하지 않으며, 소음 문제 때문에 생활권과 밀접하게 건설 될 수는 없는 형태이다.

#### 2) 태양광 발전 설비의 부지 선정 요인

세종시에 설치하기 적합한 신재생 에너지 설비는 지열 발전과 태양광 발전이 있다. 이때 지열 발전의 경우 이에 필요한 설비인 히트 펌프의 설치에 부지 선정이 중요하지 않으며, 설치가 매우 간편한 특징이 있다. 하지만 태양광 발전 설비의 경우 그 발전량과 부지의 면적이 직결하며, 이에 따라 5-1 제로에너지 타운 시민의 삶에 영향을 끼치게 된다.

가장 중요한 요인은 광량이다. 태양광에너지의 경우 지역의 고도와 경사도, 주변 지질에 의한 광량이 매우 큰 영향을 받는다. 이러한 부지 선정이 제대로 이루어지지 않을 경우 설비 면적이 증가하게 되고 이 경우 5-1 생활권 시민의 삶의 질과 직결되게 된다. 또한 세종시의 경우, 여러가지 요인으로 인해, 인구가 급속하게 증가하고 있는 도시 중 하나이다. 이에 따라, 생활권의 확대와 같은 주거 시설 및 문화 시설의 확대가 필요할 것으로 예상된다. 이런 상황에서, 추가적으로 대규모의 부지를 발전소에 투자하기는 힘들어 보인다. 그렇기 때문에, 최적의 부지를 찾아 최소한의 토지로 최고의 효율을 내도록 부지를 선정하는 것이 더욱 중요하다.

또 다른 요인으로는 환경적인 요인이 있다. 5-1 생활권은 금강 주변의 대규모 습지를 비롯한 합강공원도 있어, 현재는 세종 신도시에서 규모가 가장 큰 야생동물 서식지이다. 이때 태양광 발전소를 설치하는 경우, 태양광 발전소가 위치하는 자리에는 큰 나무가 자랄 수 없게 된다. 다시 말하자면, 대규모 발전소 발전소를 건설하는 것은, 그를 위해 그 위치의 산림과 숲을 모두 벌목해야 하므로, 산림과 숲의 파괴는 연속적인 생태계의 파괴를 가져오므로, 심각한 악영향을 끼친다고 할 수 있다.

이러한 고려사항을 두고 있는 가운데 부지를 선정하는 것도 매우 복잡한 일이다. 개발 예정인 5-1생활권만의 경우에서도 그 면적이 약 274만  $m^2$ 로 부지 선정을 위해서 위에서 언급한 요소를 측정하여 고려하는 것은 매우 힘든 일이다.

따라서 본 연구에서는 Google Earth를 기반으로 세종시의 지질도를 추출해 수치표고모델(Digital Elevation Model)을 제작하고, GIS 프로그램을 사용하여 표면 거칠기, 경사도, 고도 등의 요소를 고려한 신재생 에너지 최적효율 발전부지를 선정하고자 한다.

## 2. 탐사 과정

### 가. 5-1 생활권 탐방

제로에너지 타운 건설 예정인 5-1 생활권, 세종시 연동면 합강리를 방문하여, 주변 지리를 조사하였다. 아래의 지도에 나타난 경로를 따라 탐사를 진행하였다.



그림 4 5-1 생활권 탐사 지역

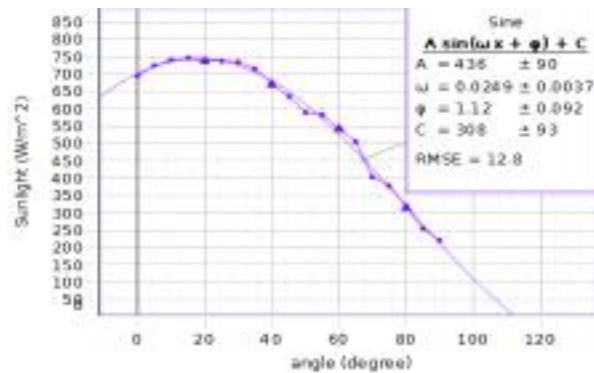
탐사 결과 5-1 생활권의 경우 산지가 대부분이며, 그 산지 사면을 따라 어느정도 경사를 가진 임야가 많았다.

5-1 생활권은 미오천과 금강 본류가 만나는 곳으로 남쪽으로 습지가 존재하는 곳이다. 따라서 탐사로 아래의 오토캠핑장 위치 또한 탐사위치로 설정하였다.



그림 5 5-1 생활권 남쪽의 평지

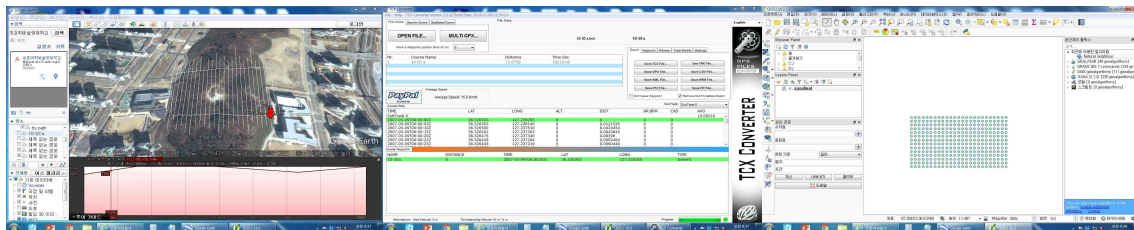
5-1 생활권의 남쪽에는 고도가 낮고 넓은 평야가 존재하였다. 하지만 그 지반이 매우 약하여, 오토캠핑장으로 활용되고 있었던 것으로 보인다. 또한 남쪽 자전거길을 따라 산의 남사면에 일사량이 매우 높은 것을 확인할 수 있었다. 넓은 평야에서 지면과의 각도를 조작변인으로 하여 일사량을 측정하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 측정시각은 2016년 10월 20일 3시 45분로, 이때 태양의 방위각과 고도는 각각 231도 16분, 22도 17분이며, 날씨는 맑았다.



실험 결과를 회귀 분석한 결과, RMSE가 12.8이며, 18도일 때 최대가 되는 sine함수로 회귀시킬 수 있었다. 이를 통해, 경사에 따른 일사량의 변화는 예상과 같이 태양의 고도를 중심으로 최대값이 되는 삼각함수임을 실험적으로 증명할 수 있었다.

#### 나. google earth 기반 수치표고모델(DEM) 제작

수치표고모델(DEM, Digital Elevation Model)이란, 지형의 고도값을 수치로 저장함으로써 지형의 형상을 나타내는 자료이다. 현재 제시되어 있는 세종시의 수치 표고모델의 경우 그 해상도가 5-1 생활권을 관찰하기에 낮은 상태이다. 그래서 google earth의 고도 정보를 이용하여 DEM파일을 자체 제작하였다. 고도 정보는 TCX converter를 이용하여 수집하였다. 그 결과 TCX converter의 데이터 밀도가 낮은 것으로 판단되어 14\*15로 350개의 위치-고도 데이터를 google earth 상에서 직접 추출해 Qgis 프로그램으로 수치표고모델을 제작했다.



#### 다. 음영 기록도에 따른 광량 측정을 위한 아름도담길 탐사

google earth를 기반으로 수치표고모델을 제작하면, 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)를 이용하여 다양한 데이터를 산출해낼 수 있다. 각 지점별로의 고도는 기본으로 하여, 그 지점의 기울기와, 향(경사의 방위)를 알아볼 수 있다. 그리고 음영기록도라는 값을 추출할 수 있는데, 이는 설정된 광원과 셀 사이의 상대적인 고도 차이로 결정된다. 즉 주변 지역의 지형에 따라 생기는 음영(그림자)를 수치화한 것이다. 우리는 단순히 향과 경사뿐만 아니라 음영기록도가 광량과 밀접한 관련이 있을 것이라고 판단되어, 음영기록도 값과 광량을 대응시키기 위해 학교 근처의 아름도담길에 음영기록도별 표본을 선택하여 광량을 측정하였다.



그림 8 탐사 지역인 아름도담길의 입구부분과 산 정상의 약도

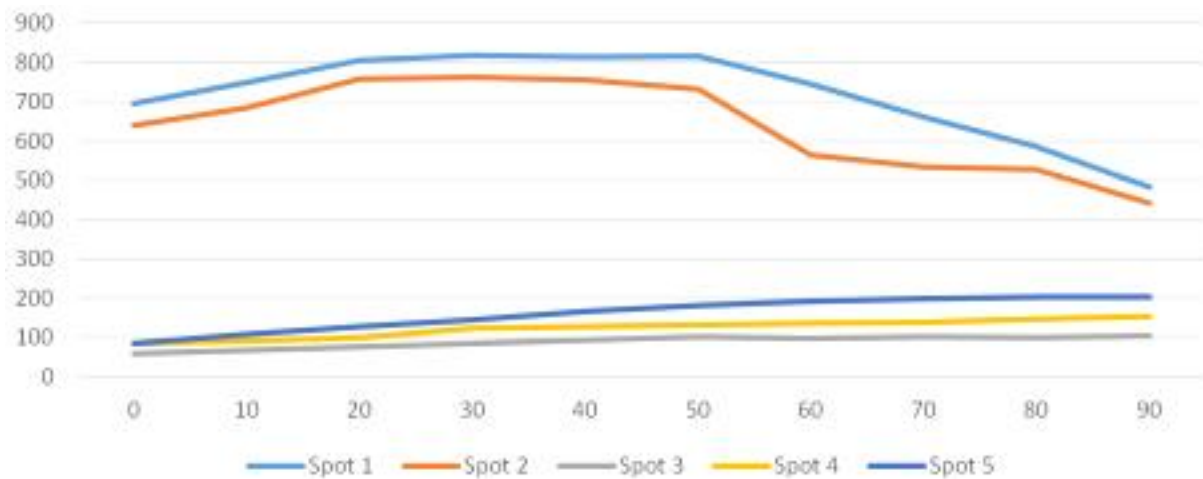
탐사 결과 음영기복도별 표본 지점을 5개정도를 설정하는 것이 가능하였고, 그 위치를 휴대기기의 GPS 기능을 이용해 지도 위에 나타내었다. 그 후 광량 측정 지점마다 측정 시간을 기록하였고, 그 시각의 태양의 방위각과 고도 정보를 이용하여 표본 지점의 음영기복도와 측정값을 대응시키고자 하였다.

측정 결과는 다음과 같다. 표에서 음영기복도가 0인 부분은 GIS에서 정보 수집에 실패한 부분을 의미한다.

각도	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	max	고도	음영기복도
Spot <sub>1</sub>	695.9	750.3	804.4	818.6	814.6	816.6	744.4	660.8	586.8	483.8	818.6	62.5 <sub>7</sub>	147
Spot <sub>2</sub>	640.3	684.8	758	763.3	756.6	732.4	565.4	534.2	528.3	442	763.3	82.4	119
Spot <sub>3</sub>	59.2	69.6	76.8	85.5	94.7	103.7	98.5	103.2	100.4	105.7	105.7	81	0
Spot <sub>4</sub>	86	92.6	100.6	124.5	128.7	132.6	138.3	140.5	147.7	154.6	154.6	75 <sub>9</sub> (6)	95.5
Spot <sub>5</sub>	84.9	110.3	129.3	146.2	166.9	182.5	193.3	199.6	202.9	203.3	203.3	74 <sub>2</sub> (7)	96

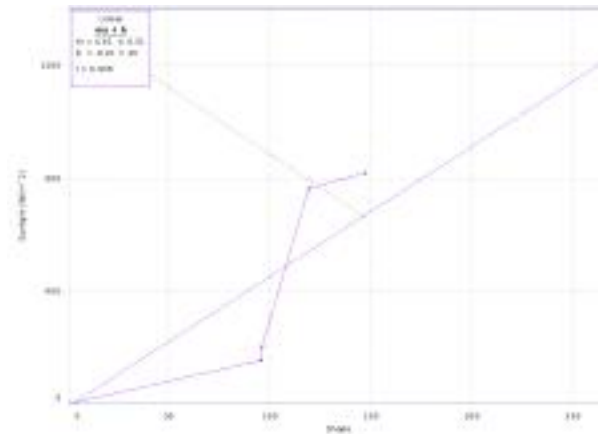
\*괄호는 GIS 셀값, 나머지는 구글 어스 값

이를 그래프로 나타내면 다음과 같다.





이를 선형 회귀분석하여 그래프로 나타내었다.



회귀분석 결과 R값이 0.817이고, 기울기가  $5.55 \pm 2.3$ 인 그래프가 유도되었다. 선형 회귀 분석을 시도한 이유는 다른 지수함수와 2차 이상의 다항식으로 회귀분석을 시도한 것보다 타당성 있기 때문이다.

### 3. 탐구 결과

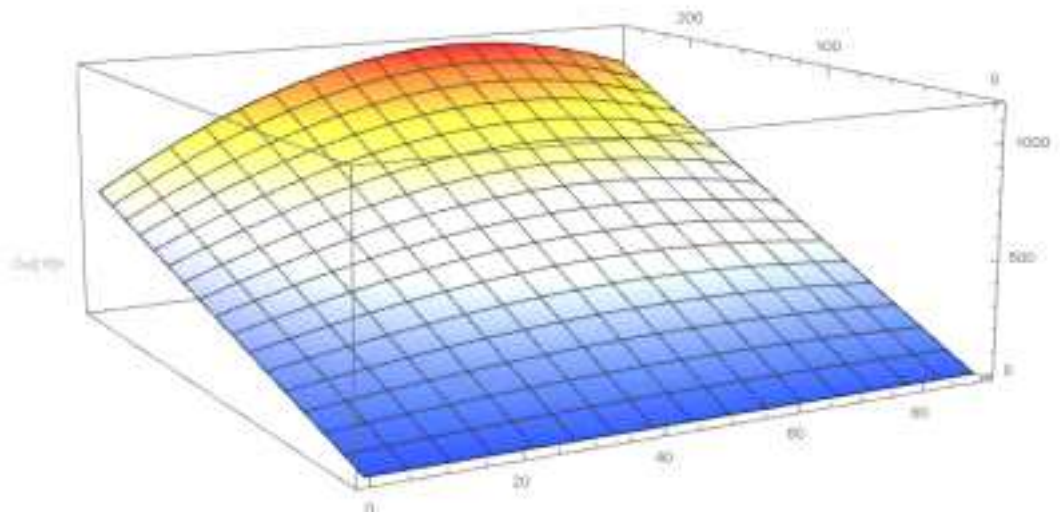
가. 지역의 경사와 음영기복도에 따른 일사량(광량) 함수

5-1 생활권 탐사결과, 경사에 따른 광량이 태양 고도를 중심으로 하는 삼각함수임을 실험적으로 증명하였다. 이때 태양의 남중고도가 한국에서 일 년 동안 37도 양쪽에서 23.5도로 면하며, 해가 떠있는 낮 시간이 여름 중에 긴 것을 감안하여 광량이 최대가 되는 지점을 30도로 설정하였다. 그리고 아름도담길 탐사를 통해 음영기복도에 따른 광량의 최대값(경사가 30도일 때)을 선형으로 유도하였다. 따라서 이 둘을 곱하여, 그 지역의 광량을 그 지역의 경사와 음영기복도의 함수로 나타내는데 성공하였다. 그 식은 다음과 같다.

$$L = 4.61 \times HS \times \cos(S - 30^\circ)$$

(L[W/m<sup>2</sup>]:광량, HS:음영기복도, S:경사)

이 식에서, 경사의 범위를 0도부터 90도로 설정하고, 음영기복도를 세종시 전역의 최솟값과 최댓값인 0부터 250까지 설정하면 다음과 같은 그래프가 나온다. 그래프는 mathematica 프로그램을 이용하여 제작하였다.



가로축은 경사각, 세로축은 음영기복도, 높이는 광량[W/m<sup>2</sup>]을 나타낸 그래프.  
Mathematica 사용

#### 나. 세종시 전역의 햇빛지도 제작

두 번의 탐사과정을 통해 수집한 데이터를 바탕으로, 임의의 지역에 대해 음영기복도와 기울기 값만으로 광량을 유도하는 식을 만들었다. 이 식을 세종시 전역의 DEM에 대응시키면, 세종시 전역에 광량이 어떻게 분포하는지 알 수 있다. 즉 세종시 전역의 햇빛지도를 알 수 있는 것이다. 따라서 위 식을 ArcGIS프로그램을 이용하여 세종시 전역 DEM의 각 셀에 대응시켜 햇빛지도를 만들었다.

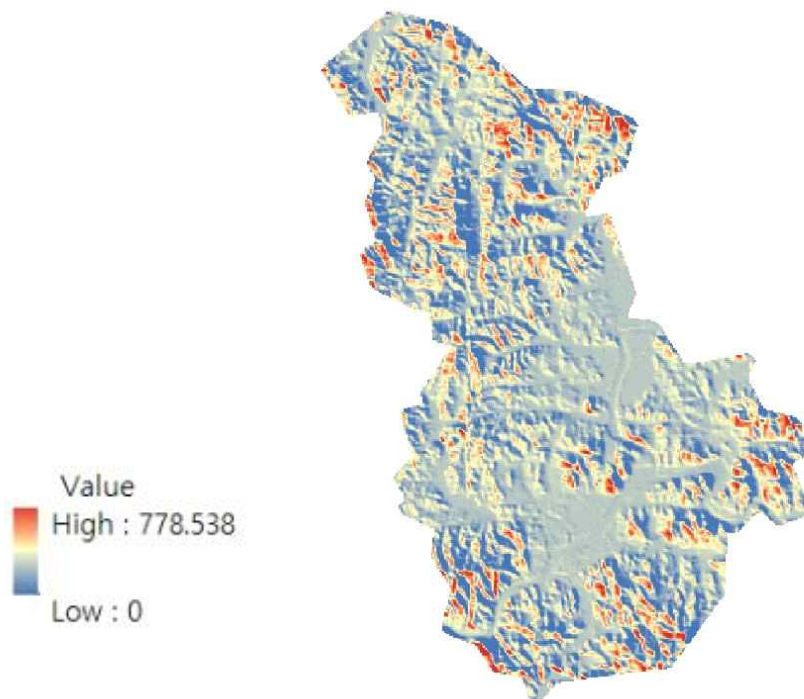
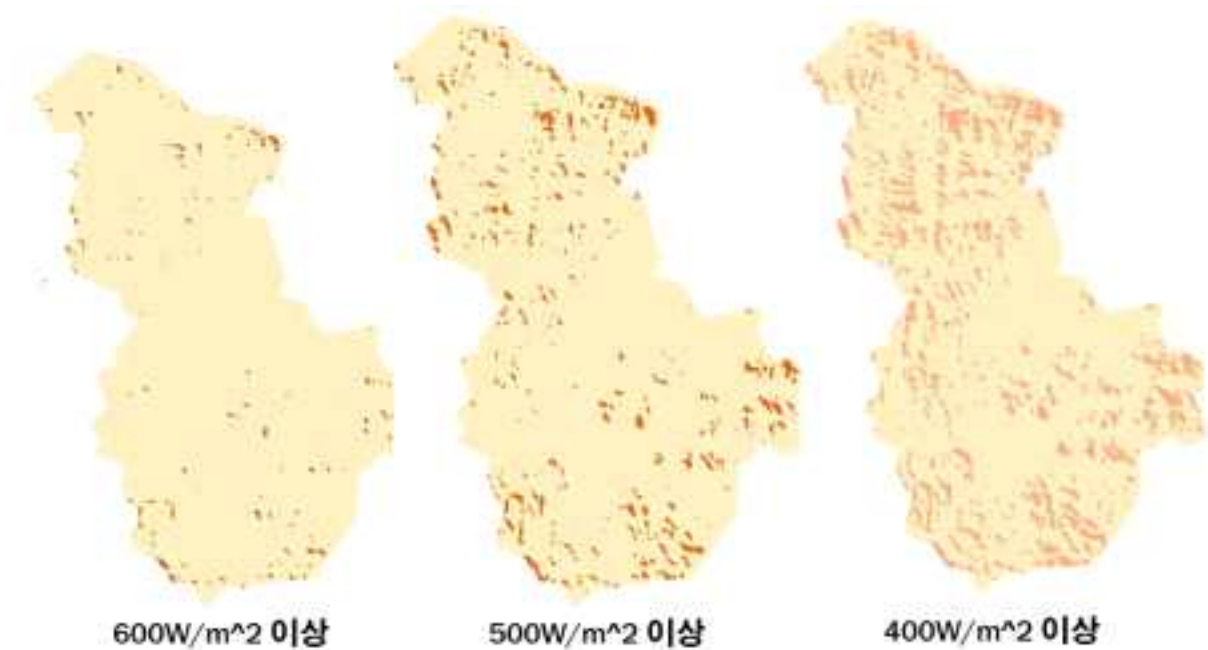


그림 12 세종시 전역의 햇빛지도.

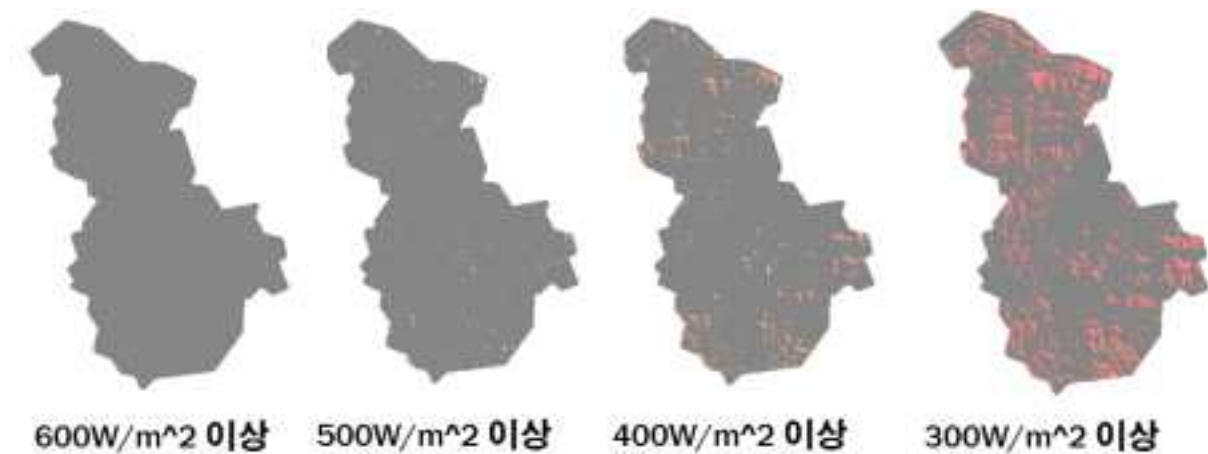


이 지도에서, 음영 기복도를 결정하는 광원은 동짓날을 기준으로 방위각이 230도일 때로 설정하였다. 그 이유는, 일년 중 해가 가장 낮게 뜨는 때에 해가 잘 비치는 곳은 태양광 발전에 적합한 곳이기 때문이다.

이 지도를 이용하여, 임의의 기준에 따라 태양광 발전이 가능한 지역을 선별해 보았다. 우선 광량이 각각  $600\text{W}/\text{m}^2$ ,  $500\text{W}/\text{m}^2$ ,  $400\text{W}/\text{m}^2$  이상인 곳을 선별해 보았다.



이때, 태양전지를 설치할 때 각도를 조절하면 경사에 의한 영향을 어느 정도 고려하지 않아도 될 수 도 있다. 그러므로 경사에 의한 영향을 제거하여 같은 과정으로 선별해 보았다.



따라서 임의의 조건에 따라 태양광 발전 부지를 선정할 수 있음을 확인하였다.

## 4. 결론 및 제언

### 가. 결론

#### 1) 임의의 지역의 음영 기복도와 경사에 따른 광량 함수 유도

먼저, 임의의 지역의 음영 기복도와 경사에 따른 광량 함수를 유도하는 데에 성공하였다. 이는, 정성적이지 않고 정량적인 특성을 가진다는 데에 의의가 있다고 볼 수 있다. 이를 통해 햇빛지도를 제작할 경우, 그 지역이 태양광 발전 사업에 대해 상대적으로 가지는 이점 뿐만 아니라, 실질적으로 발전량이 얼마나 되는지 알아볼 수 있다. 또한, 이러한 함수를 이용하면, 세종시 뿐만 아니라, 임의의 지역에 대해 태양(광원)을 조절하면, 지도를 동일하게 만들 수 있다.

#### 2) 세종시의 전역 햇빛지도가 가지는 의의

세종시 전역에 대해, 햇빛지도를 제작하였는데, 이는 큰 의의를 가진다. 먼저, 햇빛 지도란 전국에서 최초로 서울에서 시행된 서비스이다.

하지만, 이 지도를 세종시에 대해서 제작하게 되면서, 세종시 시민이라면 누구나 이 지도를 보고, 자신이 거주하고 있는 곳이나, 자신이 이사할 곳이 태양광 발전에 적합한지 판단해 볼 수 있게 되었다. 또한, 이 지도는 그 뿐만 아니라 정량적인 요소가 포함되어 있어, 태양광 발전이 어느 정도로 가능한지 또한 알아볼 수 있다.

#### 3) 임의의 조건에 따른 설치부지 선택 가능

이 지도를 통해, 세종시 전역의 태양광량이 어느 정도 되는지 알아 볼 수 있는데, 이 지도를 GIS프로그램을 이용하면 선별 과정을 거칠 수 있다. 연구 결론에서 언급하였듯이, 원하는 조건에 해당하는 지역을 선별하여 한눈에 볼 수 있다. 따라서 이 지도를 통하여 5-1 생활권에서 태양광 설비의 최적 부지를 선정할 수 있다고 본다.

### 나. 연구 개선 방안과 후속연구

먼저, 음영 기복도와 광량 사이의 연계성에 대해서 더 정밀한 실험을 진행한다면 연구의 정밀도를 높일 수 있다. 측정 시각 당시에 기상상황의 악화로 광량과 음영기복도를 대응시키는 데에 대해서 정확도가 떨어졌을 뿐더러, 표본 지점의 개수가 적어 정밀성이 떨어졌다.

후속 연구로서 광량과 대응시키는 요소를 이 두 가지뿐만 아니라 다른 요소를 대응시키고 싶다. 이의 대표적인 예로서 대기에 의한 영향, 즉  $z$ -factor나, 설치 지역의 환경적인 요소 등이 있다.

## 5. 활동 후기

### 곽정원

“에너지지원공학과로의 진학을 생각하는 나로서는 진로와 밀접한 태양광 에너지, GIS 등과 관련된 연구를 진행할 수 있어서 좋았다. 공학 프런티어 캠프에서 배워온 내용을 바탕으로 생각해낸 주제를 친구, 후배들과 함께 고민해보면서 방향을 잡고 좋은 결과물이 나와서 정말 만족스럽다. 특히 이전에는 없던

세종시의 햇빛지도를 만들어냈다는 게 정말 자랑스럽다”

#### 김수현

“먼저, 3일만으로 어려워 보이는 프로젝트이지만 끝내고 발표도 무사히 마쳐 뿌듯하다. 또한, 이 지도를 통해, 세종시민들이라면 누구나 자신이 살고 있는 곳이나, 자신이 이사할 곳이 태양광 발전에 적합한지 어느 정도 알 수 있게 되어 기분이 좋다.”

#### 권순현

“평소에 컴퓨터를 좋아했는데 지리정보체계(GIS)라는 것을 보고, 일반인도 지리를 분석할 수 있다는 것을 알게 되었다. 평범한 수업과는 달리 세종시를 돌아다니면서 직접 측정하고 기록하는 것이 나와 잘 맞는 것 같다. 측정한 데이터로 수치표고모델(DEM)을 만들고 분석해서 태양광 발전기의 효율을 계산하는 일련의 과정이 내가 가고 싶은 길과 비슷하다고 느꼈다.”

#### 김기현

“어려워 보이는 일이었지만 시도하다 보니 성공해서 좋았다. 그리고 팀원 간의 협동심과 문제 해결 정신을 기를 수 있어서 좋은 기회였던 것 같다. 특히, 햇빛 지도를 만든 것은 정말 좋은 경험이었다고 생각한다.”

#### 김동찬

“인문자연탐사를 하면서 정말로 많은 것을 배울 수 있었다. 우선 기본적으로 아예 다루지 못했던 QGIS, ArcGIS, TCX Converter 같은 프로그램의 사용법을 익힐 수 있었고, 태양광 일사량 측정기와 클리노미터와도 같은 기구의 사용법 또한 익힐 수 있었다. 이런 지식적인 부분 이외에도, 팀원 간의 협업의 중요성과 팀원 한 명 한 명의 중요성을 깨닫게 되었고, 보다 성숙한 선배들의 행동에서 내 부족한 점과 고칠 점을 다시 한 번 돌아볼 수 있었다.”

## 6. 참고 문헌

[1]이기림, 이원희 (2016). GIS를 활용한 수상 태양광 발전소 입지 분석. 한국지형공간정보학회지, 24(1), 51-59.

[2]장민철 외 2명 (), DEM을 이용한 음영기복도 제작에 관한 연구