



[2016-10-PV-006]

신재생에너지 자원지도를 이용한 국내 폐광산 지역 광해방지사업지의 태양광발전 잠재성 평가

최요순^{1)*} · 송진영¹⁾

Assessment of Photovoltaic Potentials at Abandoned Mine Reclamation Sites in Korea using Renewable Energy Resource Maps

Yosoon Choi^{1)*} · Jinyoung Song¹⁾

Received 31 May 2016 Revised 4 June 2016 Accepted 9 June 2016

ABSTRACT In many countries, there has been an increase in the number of renewable energy systems installed and operated in abandoned mine sites to promote the reuse of abandoned mine lands. Nowadays, 90% of mines are either closed or abandoned in Korea; most are left unattended. This study assessed the photovoltaic (PV) potential at abandoned mine reclamation sites in Korea using renewable energy resource maps. Using geographic information systems, a spatial database was constructed for 218 abandoned mine reclamation sites that can be classified into five types: water treatment, forest recovery, soil restoration, tailings treatment, and subsidence prevention. The top 10 sites with high annual total global horizontal irradiance (GHI) were selected by performing overlay analysis to combine the solar energy resource and mine reclamation maps. The statistics of the annual total GHI at each type of abandoned mine reclamation site and those at each administrative district were provided. In addition, the system advisor model by NREL was used to conduct energy simulations based on the weather data and 100 kW PV system design at the Samsan Jeil mine water treatment site with the highest annual total GHI. The results indicated that the proposed PV system could generate 111,490 kWh/year.

Key words Abandoned mine(폐광산), Mine reclamation(광해방지), Photovoltaic system(태양광발전 시스템), Renewable energy(재생에너지), Resource map(자원지도)

Subscript

NREL : national renewable energy laboratory

EPA : environmental protection agency

GIS : geographic information systems

SAM : system advisor model

DC : direct current

AC : alternating current

1. 서론

전 세계적으로 광석의 채굴 작업이 끝난 많은 수의 광산들이 폐광되고 있으며, 국내의 경우에도 현재 약 90%의 광산들이 휴광 또는 폐광된 상태이다. 채광이 끝난 폐광산과 인근 지역들은 수질오염, 토양오염, 지반침하 등 다양한 광해(mine hazards)의 위협에 노출되어 있으며, 버려진 다

1) Department of Energy Resources Engineering, Pukyong National University E-mail: energy@pknu.ac.kr
Tel: +82-51-629-6562 Fax: +82-51-629-6553

수의 부지들이 현재 다른 용도로 이용되지 못하고 방치되어 있는 실정이다.^[1]

최근 폐광산 부지의 재활용을 촉진하기 위한 진흥정책의 하나로써 환경복원 사업이 완료된 폐광산 부지에 재생에너지 시스템을 설치/운영하는 사례들이 다수 보고되고 있다. 미국에서는 펜실베이니아 주 Somerset 폐광산 지역의 환경복원 사업 완료지에 34.5MW 규모의 풍력발전 단지를 운영하고 있으며, 약 10,000 가구에 전력을 공급하고 있다. 또한, 237MW 규모의 대규모 풍력발전 단지가 와이오밍 주 Dave Johnston 폐광산 지역에 설치되었으며, 여기서 생산된 전력은 인근 지역의 약 66,000 가구에 공급되고 있다. 테네시 주의 Buffalo mountain 폐광산의 환경복원 사업 완료지에도 29MW 규모의 풍력발전 단지가 조성되었다.^[2]

독일에서는 Meuro 폐광산 지역에 166MW 규모의 태양광발전 시스템이 설치되었다. 이는 현재까지 독일에 설치된 태양광발전 시스템 중 가장 큰 규모이다.^[3] 미국 New Mexico주에 위치한 Chino 폐광산 지역과 Vermont 주의 VAG 폐광산 지역에서도 버려진 부지를 활용한 태양광발전 프로젝트가 진행 중에 있다.^[4,5] 국내에서도 규모는 크지 않지만 강원도 정선군에 위치한 석공함백 광산폐수 수질정화처리 시설에 85 kW급 태양광발전 시스템이 설치되었으며, 강원도 태백시의 석공함태 광산폐수 수질정화처리 시설에도 80kW 규모의 태양광발전 시스템이 설치되어 운영 중에 있다.^[2]

폐광산 지역에 대한 재생에너지 프로젝트를 성공적으로 수행하기 위해서는 재생에너지 시스템을 설치하기에 앞서 대상지역에 적합한 에너지원을 분석하고, 다양한 요인들을 고려하여 프로젝트의 타당성을 평가해야 한다. 미국 국립신재생에너지연구소(National Renewable Energy Laboratory, NREL)와 환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)에서는 RE-Powering America's Land 프로젝트를 통해 미국 내 다양한 환경복원 사업 지(폐광산 지역 포함)들을 대상으로 재생에너지 프로젝트의 예비 타당성 평가를 수행해왔다.^[6] 국내에서도 '폐광지역 개발 지원에 관한 특별법'에 따라 지정된 7개 도시들(태백, 정선, 영월, 삼척, 보령, 문경, 화순)에 대하여 광역적인 규모에서 태양광발전과 풍력발전의 잠재성을 분석한 연구가 수행되었다.^[7,8] 또

한, 신재생에너지 자원지도를 이용하여 강원도 폐광산 지역들을 대상으로 풍력발전 잠재성을 평가한 연구도 수행되었다.^[9] 국지적인 규모에서는 광산폐수 수질정화처리 시설에서의 독립형 태양광발전 시스템과 폐광을 준비 중인 노천광산에서 pit lake를 활용한 수상 태양광발전 시스템의 잠재성을 평가한 연구결과들도 보고되었다.^[10,11] 그러나 국내에 다수 분포하고 있는 광해방지사업지(폐광산 지역의 환경복원 사업지)들을 대상으로 광역적인 규모에서 재생에너지 시스템의 잠재성을 평가하는 연구는 현재까지 수행되지 않았다. 미국의 RE-Powering America's Land 프로젝트와 마찬가지로 국내에서도 전국에 분포한 광해방지사업지들에 대한 재생에너지 시스템의 잠재성을 평가하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

본 연구의 목적은 국내 폐광산 지역의 광해방지사업지들을 대상으로 광역적인 규모에서 태양광발전 프로젝트의 잠재성을 대략적으로 평가하는 것이다. 전국 광해방지사업지들을 오염수질개선, 산림복구, 토양개량복원, 광미유실방지, 지반침하방지 사업지로 구분하여 지리정보시스템(Geographic Information Systems, GIS)에서 사용될 수 있는 형태의 공간 데이터베이스로 구축하고, 이를 태양에너지 자원지도와 함께 분석하여 상대적으로 태양광발전 잠재성이 높은 사업지들을 선별하고자 한다. 또한, 광해방지사업지의 유형과 광역 행정구역을 함께 고려하여 사업지 유형별로 각 지역에 위치한 광해방지사업지들의 연간 누적 일사량 값들에 대한 통계 분석을 수행할 것이다. 마지막으로 가장 높은 태양광발전 잠재성을 가지는 것으로 평가되는 사업지에 대해서는 현장조사 및 NREL의 System Advisor Model(SAM)을 이용한 분석을 통해 보다 상세하게 태양광발전 잠재성을 평가하고자 한다.

2. 연구지역 및 자료

본 연구에서는 국내 218개 광해방지사업지들을 연구지역으로 선정하였다(Fig. 1). 국내 광해방지사업지들은 수행된 환경복원 사업의 유형에 따라 오염수질개선, 산림복구, 토양개량복원, 광미(mine tailings)유실방지, 지반침하방지 사업지로 구분된다. 국내의 경우 전체 광해방지사

업지 중 토양개량복원 사업지가 약 44%, 산림복구 사업지가 약 26%로 높은 비중을 차지하고 있다(Table 1).

Fig. 2는 전국을 8개의 광역 행정구역(경기도, 강원도, 충청남도, 충청북도, 전라북도, 전라남도, 경상북도, 경상남도)으로 구분하고, 각 행정구역에서 광해방지사업지의

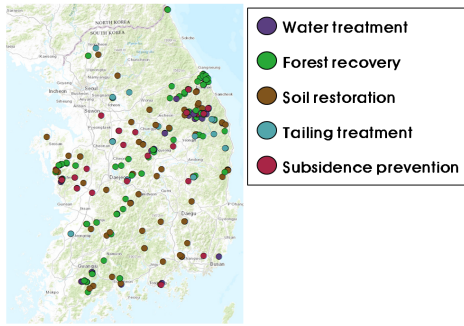


Fig. 1. Locations of the abandoned mine reclamation sites in Korea

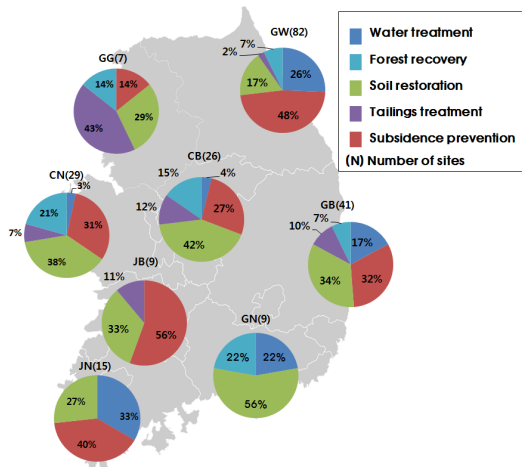


Fig. 2. Composition of the abandoned mine reclamation sites at each administrative district in Korea (GW: Gangwon, GG: Gyeonggi, GN: South Gyeongsang, GB: North Gyeongsang, JN: South Jeolla, JB: North Jeolla, CN: South Chungcheong, CB: North Chungcheong)

Table 1. Composition of the mine reclamation sites in Korea

Type	Number	Percentage (%)
Water treatment	37	4
Forest recovery	80	26
Soil restoration	64	44
Tailings treatment	15	11
Subsidence prevention	22	15
	218	100

수와 유형별 비중을 표시한 것이다. 강원도의 경우 광해방지사업지의 수가 가장 많으며, 유형별 비중은 산림복구 사업지 48%, 오염수질개선 사업지 26%, 토양개량복원 사업지 16% 순으로 높게 나타나고 있다. 광해방지사업지의 수가 가장 적은 경기도에서는 광미유실방지 사업지가 43%, 토양개량복원 사업지가 29%, 지반침하방지 사업지와 산림복구 사업지가 각각 14%의 비중을 차지한다.

218개 광해방지사업지들의 일사량 조건을 파악하기 위하여 국립기상과학원에서 제작/배포하고 있는 태양에너지 자원지도를 사용하였다.^[12] 이 자료는 NREL의 SPECTRAL2 모델과 다층상세모델을 기반으로 개발된 GWNU(Gangneung-Wonju National University) 단층 태양복사 모델을 이용하여 제작되었다. GWNU 모델은 지형에 의해 태양광이 가로막히는 현상을 고려하기 위하여 지형의 경사도, 경사방향 및 천공율을 고려하며, 구름, 강수량, 오존, 에어로졸의 영향도 1km 공간해상도의 자료들을 입력하여 함께 고려한다. 모델의 결과물은 태양복사 에너지의 진행성분에 따라 직달일사량, 산란일사량, 전천일사량으로 나누어 계산된다.^[13] 현재 국립기상과학원에서는 2009년, 2010년의 태양에너지 자원지도(공간해상도 1km)를 년 단위 누적 일사량 자료와 월 단위 누적 일사량 자료로 구분하여 제공하고 있다.

3. 연구방법

3.1 광역적인 태양광발전 잠재성 평가

전국 폐광산 지역 광해방지사업지에서의 태양광발전 잠재성을 광역적인 규모에서 평가하기 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 절차에 따라 분석을 수행하였다.

- (1) 전국 218개의 광해방지사업지들의 주소지를 기반으로 위치 좌표를 계산한 후, 그 결과를 GIS에서 활용이 가능한 벡터(vector) 자료 형식으로 저장하였다. 각각의 사업지들은 GIS에서 점으로 표현되며, 사업지 유형 등과 같은 속성정보는 관계형 데이터베이스 기반의 표 형식으로 입력하여 점으로 표현된 공간정보와 연동되도록 하였다.
- (2) 국립기상과학원에서 2009년, 2010년의 태양에너지

자원지도를 수치자료 형태로 제공받아 2년간의 연간 누적 일사량 자료를 평균 한 후, 그 결과를 GIS에서 활용이 가능한 래스터(raster) 자료 형식으로 저장하였다(Fig. 3). 제작된 래스터 자료는 1km 크기의 공간 해상도를 가진다. 마찬가지로 방법으로 월간 누적 일사량을 나타내는 래스터 자료들(1월-12월)도 2009년, 2010년의 자료를 평균하여 제작하였다.

- (3) 앞서 제작된 광해방지사업지 벡터 자료와 일사량 래스터 자료들 간의 GIS 중첩분석(overlay analysis)을 통해 각각의 광해방지사업지에서의 연 누적 일사량 값과 월별 누적 일사량 값들을 추출한 후, 그 결과를 광해방지사업지 자료의 속성정보로 저장하였다.
- (4) 광해방지사업지 벡터 자료에 사업지별로 입력된 연 누적 일사량 값들을 이용하여 통계 분석을 수행하였다. 연 누적 일사량 값을 기준으로 전국 광해방지사업지중 태양광발전 잠재성이 높은 사업지들을 추출하였다. 또한, 사업지의 유형을 고려하여 유형별로 태양광발전 잠재성이 높은 사업지들을 선별하였다. 마지막으로 광해방지사업지의 유형과 광역 행정구역을 함께 고려하여 사업지 유형별로 각 지역에 위치한 광해방지사업지들의 연간 누적 일사량 값들에 대한 통계 분석을 수행하였다.

3.2 국지적인 태양광발전 잠재성 평가

전국 광해방지사업지들에 대한 대략적인 광역 태양광발전 잠재성 평가를 통해 가장 높은 잠재성을 가지는 사업지를 선정하여 다음과 같이 현장조사 및 전력생산량 시뮬레

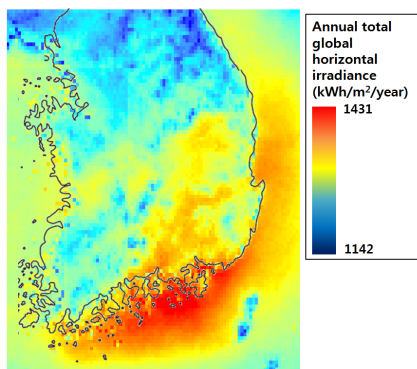


Fig. 3. Solar energy resource map in Korea showing the annual total Global Horizontal Irradiance (GHI, kWh/m²/year)

이션을 수행하였다.

- (1) 해당 사업지의 월별 누적 일사량 값들을 SOLPOS 알고리즘^[14]을 이용하여 SAM에 입력이 가능한 시간 단위 자료로 변환하였다. 또한, 기상청으로부터 해당 사업지의 기온, 풍속 등 기상자료를 제공받아 SAM에 입력이 가능한 자료 형식으로 편집하였다.
- (2) 현장조사를 통해 태양광발전 시스템이 설치될 수 있는 부지의 여부를 확인하고, 설치 후보지점에서 주변 지형, 수목 등에 의한 수광장애 요인들을 분석하였다. 수광장애 요인 분석을 위해 어안렌즈 카메라인 Solmetric SunEye210 장비를 사용하였다.^[15] 이 장비의 사용법과 관련한 자세한 사항은 Song and Choi^[10]에 제시되었다. 현장에서의 수광장애 요인 분석 결과는 shading matrix 형식으로 편집하여 SAM에 입력이 가능하도록 하였다.
- (3) 태양광발전 시스템의 용량을 100kW, 태양광 어레이의 설치 각도를 30도로 설정하여 시스템 설계를 수행하였다. 시스템 설계시 고려된 태양광 모듈과 인버터의 재원은 Table 2에 제시하였다.
- (4) SAM을 이용하여 해당 사업지에서 기대할 수 있는 연간, 월별 전력 생산량을 분석하였다. 모듈 불일치 손실(module mismatch loss)은 2%로 가정하였고, 배선손실(wiring loss)은 직류 2%, 교류 1%로 가정하였다.

4. 연구결과

연간 누적 일사량을 고려한 광역적인 태양광발전 잠재성

Table 2. Design parameters for the 100 kW photovoltaic systems considered in this study

Item	Module	Inverter
Model	Sunpower SPR-205-BLK-U	SMA America SB4000US
Maximum Power	205.2 DC W	3800 AC kW
Maximum power voltage	40 Vdc	600 Vdc
Maximum power current	5.1 Adc	18 Adc

평가를 통해 전국 218개의 광해방지사업지 중 상대적으로 태양광발전 잠재성이 높은 상위 10개의 사업지들을 도출한 결과는 Fig. 4와 같다. 삼산제일 광산의 오염수질개선/지반 침하방지 사업지는 연간 누적 일사량이 1347kWh/m²/year 이며, 이는 전국 광해방지사업지 중 가장 높은 수치이다. 이어서 대원, 남선, 구룡, 삼아, 점동, 초남, 고령, 풍원, 양구동 광산의 광해방지사업지들이 일사량 조건이 우수한 것으로 평가되었다. 이들 사업지들은 대부분 경상남도에 위치하고 있다. 218개 광해방지사업지의 연간 누적 일사량에 대한 통계량 산정 결과(Table 3)와 비교할 때 Fig. 4에 제시된 상위 10개 사업지들은 전국 평균보다 우수한 일사량 조건을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

전국 광해방지사업지를 유형별로 구분하여 평균적인 연

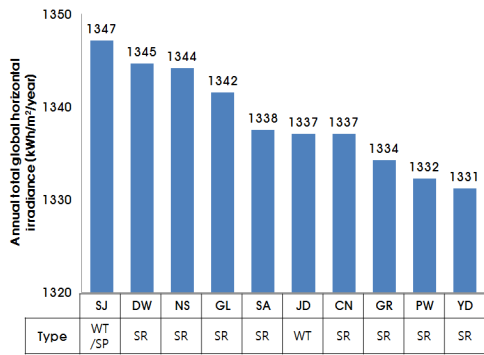


Fig. 4. Top 10 mine reclamation sites with high annual total global horizontal irradiance (SJ: Samsan Jeil, DW: Daewon, NS: Namseon, GL: Gulyong, SA: Sama, JD: Jeomdong, CN: Chonam, GR: Goryeong, PW: Pungwon, YD: Yanggudong, WT: Water treatment, FR: Forest recovery, SR: Soil restoration, TT: Tailings treatment, SP: Subsidence prevention)

Table 3. Statistics of the annual total global horizontal irradiance (kWh/m²/year) at 218 mine reclamation sites in Korea

Administrative district	Mean	Max	Min
Gangwon	1248.69	1341.60	1214.36
Gyeonggi	1243.09	1255.37	1233.64
South Gyeongsang	1331.89	1347.16	1303.75
North Gyeongsang	1282.61	1334.28	1233.49
South Jeolla	1283.29	1337.10	1263.21
North Jeolla	1278.52	1303.80	1254.35
South Chungcheong	1279.88	1307.72	1258.70
North Chungcheong	1279.15	1318.21	1259.78
Whole country	1278.39	1347.16	1214.36

간 누적 일사량 조건을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 사업별 연간 누적 일사량의 평균을 보면, 사업유형에 따라 일사량의 차이가 크지 않고 대체로 유사한 값을 보였다.

Table 4. Statistics of the annual total global horizontal irradiance (kWh/m²/year) at each type of abandoned mine reclamation sites in Korea

Type	Mean	Max	Min	Standard deviation
Water treatment	1265.1	1347.2	1223.2	28.2
Forest recovery	1265.5	1319.5	1214.4	22.7
Soil restoration	1282.6	1344.7	1219.6	30.2
Tailings treatment	1270.1	1319.4	1219.6	29.0
Subsidence prevention	1279.0	1347.2	1241.8	29.3

Table 5. Top 5 mine reclamation sites with high annual total global horizontal irradiance (kWh/m²/year) at each type of abandoned mine reclamation sites in Korea

Type	Site	City	Annual total global horizontal irradiance (kWh/m ² /year)
Water treatment	Samsan Jeil	Goseong	1347.2
	Jeomdong	Gwangyang	1337.1
	Ogdong	Uiseong	1317.1
	Dalseong	Daegu	1310.8
	Ilgwang	Busan	1303.8
Forest recovery	Sampung	Bonghwa	1319.5
	Hagsan	Yeongdong	1318.2
	Jeonheung Ogsan	Uiseong	1317.2
	Ogdong	Uiseong	1317.1
	Dongjeong	Yeongdong	1308.0
Soil restoration	Daewon	Changwon	1344.7
	Namseon	Haman	1344.2
	Gulyong	Gangleung	1341.6
	Sam-A	Goseong	1337.6
	Chonam	Gwangyang	1337.1
Tailings treatment	Jingog	Bonghwa	1319.4
	Ogdong	Uiseong	1317.1
	Ssangjeon	Uljin	1293.3
	Geopung	Ogcheon	1293.2
	Daedu	Jeongeub	1285.7
Subsidence prevention	Samsan Jeil	Goseong	1347.2
	Mulgeum	Yangsan	1327.4
	Tohyeon	Uiseong	1318.9
	Nonsan dongle	Nonsan	1307.7
	Geumjwa	Yechon	1303.2

광해방지사업지를 유형별로 연간 누적 일사량을 고려할 때 태양광발전 잠재성이 높은 상위 5개의 사업지들을 도출한 결과는 Table 5와 같다. 오염수질개선 사업지와 지방침하방지 사업지에서는 삼산제일 광산이 가장 잠재성이 높은 것으로 분석되었다. 산림복구 사업지에서는 삼풍 광산, 토양개량복원 사업지에서는 대원 광산, 광미유실방지 사업지에서는 진곡 광산이 각각 가장 태양광발전 잠재성이 높은 사업지로 평가되었다.

광해방지사업지의 유형과 광역 행정구역을 함께 고려하여 사업지 유형별로 각 지역에 위치한 광해방지사업지들의 연간 누적 일사량 값들을 통계 분석하였다. Fig. 5는 사업지 유형별로 연간 누적 일사량의 최대, 최소, 평균, 75% 백분위, 25% 백분위 값들을 보여준다.

오염수질개선 사업지들의 경우 경상남도에서 평균적으로 가장 높은 연간 누적 일사량을 가지는 것으로 분석되었다(Fig. 5a). 평균적으로 가장 낮은 연간 누적 일사량 값을 가지는 지역은 강원도였다. 경기도와 전라북도의 경우 오염수질개선 사업지가 존재하지 않아 통계량을 산정할 수 없었다.

Fig. 5b는 산림복구 사업지들에 대하여 광역 행정구역별로 연간 누적 일사량의 통계 분석을 수행한 결과이다. 경상북도에 위치한 사업지들에서 평균적으로 가장 높은 연간 누적 일사량 값을 보였으며, 오염수질개선 사업지 유형과 마찬가지로 산림복구 사업지의 경우에도 강원도가 평균적으로 가장 낮은 연간 누적 일사량을 가지는 것으로 분석되었다. 경상남도의 경우에는 산림복구 사업지가 존재하지 않았다.

토양복원개선 사업지 유형에서는 경상북도에 위치하는 사업지들이 평균적으로 가장 높은 연간 누적 일사량 값을 보였다(Fig. 5c). 또한, 광미유실방지 사업지 유형에서는 전라북도가 가장 높은 연간 누적 일사량 값을 보였으나(Fig. 5d), 전라북도에 위치하는 광미유실방지 사업지는 한 곳 뿐이었다. 지방침하방지 사업 유형에서는 경상남도에 위치한 사업지들이 평균적으로 높은 연간 누적 일사량 값을 보였다.

전국 광해방지사업지 중에 연간 누적 일사량이 가장 높게 분석된 삼산제일 광산의 오염수질개선 사업지(Fig. 6)를 대상으로 현장조사 및 전력 생산량 시뮬레이션을 수행

하였다. Fig. 7은 현장에서 SunEye 210 장비를 이용하여 지형 및 수목에 의한 수광장에 요인들을 분석한 결과이다. 파랑색 선은 시기별로 태양이 지나가는 경로를 의미한다. Sunpath 영역에서 초록색으로 표현된 부분은 수광장에

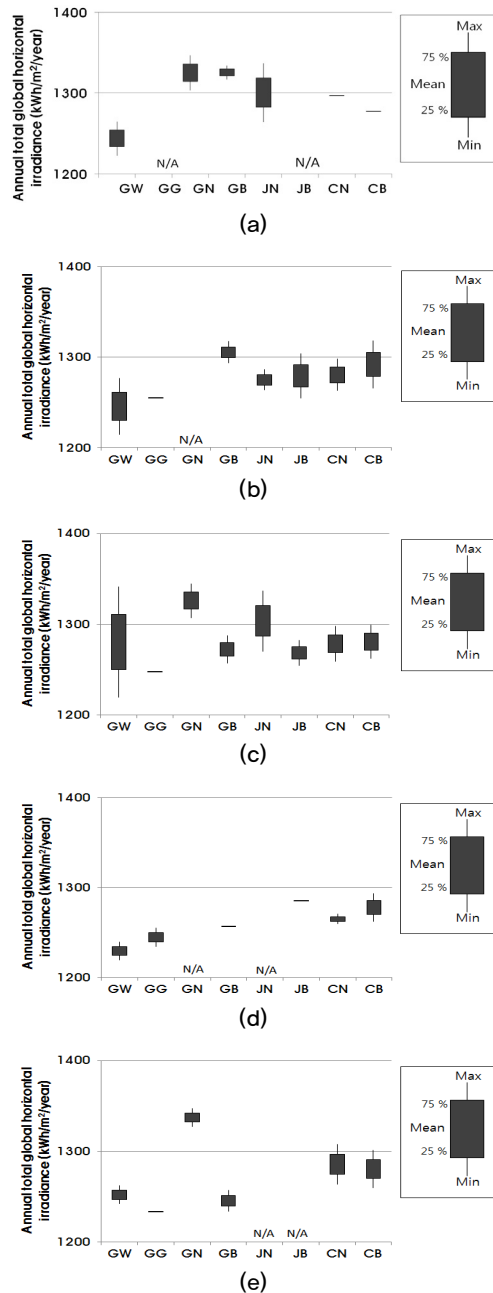


Fig. 5. Statistics of the annual total global horizontal irradiance (kWh/m²/year) at each administrative district in Korea. (a) Water treatment. (b) Forest recovery. (c) Soil restoration. (d) Tailings treatment. (e) Subsidence prevention. (GW: Gangwon, GG: Gyeonggi, GN: South Gyeongsang, GB: North Gyeongsang, JN: South Jeolla, JB: North Jeolla, CN: South Chungcheong, CB: North Chungcheong)

요인들로 인해 그림자가 발생할 수 있는 영역이며, 노란색으로 표현된 부분은 그림자 영향을 받지 않는 영역을 나타낸다.

수광장에 요인 분석을 통해 제작한 shading matrix는 Fig. 8과 같다. Shading matrix에서 가로축은 시간을, 세로축은 1월부터 12월을 의미한다. 또한, 0은 태양이 뜨지 않거나 그림자의 영향으로 인해 태양광발전 시스템이 전력 생산을 하지 못하는 것을 의미하며, 1은 그림자의 영향을 전혀 받지 않는 경우를 의미한다.



Fig. 6. View of mine water treatment facility in the Samsan Jeil mine in Korea

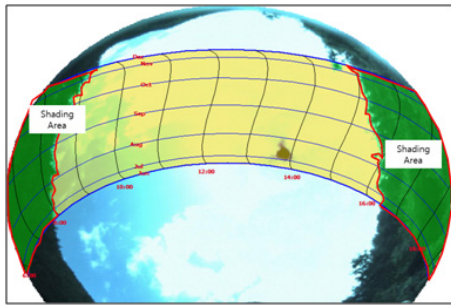


Fig. 7. Fisheye-lens image captured at the mine water treatment facility in the Samsan Jeil mine

Time	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Jan	0.00	0.00	0.00	0.54	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
Feb	0.00	0.00	0.00	0.69	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
May	0.00	0.00	0.19	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Apr	0.00	0.00	0.64	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
May	0.00	0.11	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.63	0.07	0.00	0.00	0.00
Jun	0.00	0.19	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.75	0.14	0.00	0.00	0.00
Jul	0.00	0.09	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.78	0.15	0.00	0.00	0.00
Aug	0.00	0.00	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.74	0.04	0.00	0.00	0.00
Sep	0.00	0.00	0.58	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Oct	0.00	0.00	0.34	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.81	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
Nov	0.00	0.00	0.08	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	0.62	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Dec	0.00	0.00	0.00	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	0.61	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00

Fig. 8. Shading matrix generated from the fisheye-lens image presented in Fig. 7

앞서 제시된 태양광 모듈과 인버터 제원을 고려하여 100 kW 용량의 태양광발전 시스템을 설계한 결과, 필요한 모듈의 수는 총 486개, 인버터의 수는 총 24개로 산정되었다. 또한, 설치 면적의 크기는 604.6m²으로 계산되었다. 현장조사 결과 태양광 발전 시스템을 충분히 설치 할 수 있는 면적이 조성되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

SAM에 삼산제일 광산 지역의 기상자료, shading matrix, 시스템 설계 결과를 입력하여 예상되는 전력 생산량을 분석한 결과는 Fig. 9와 같다. 연간 111,490kWh의 전력생산이 가능할 것으로 예측되었으며, 월별로는 5월에 가장 높은 전력 생산량을 기대할 수 있었다. 6월부터 8월까지의 전력 생산량이 다소 떨어지는데 이는 장마 등의 영향인 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 신재생에너지 자원지도를 이용하여 광역적인 규모에서 국내 폐광산 지역 광해방지사업지 218개에 대한 태양광발전 프로젝트의 잠재성을 평가하였다. 2009년과 2010년의 태양에너지 자원지도를 이용하여 전국 광해방지사업지의 연간 누적 일사량 평균값을 분석한 결과 삼산제일, 대원, 남선, 구룡, 삼아, 점동, 초남, 고령, 풍원, 양구동 광산의 광해방지사업지들이 태양광발전 프로젝트를 수행하기에 상대적으로 유리한 일사량 조건을 가지는 것으로 평가되었다. 광역 행정구역으로 볼 때 이들 사업지들은 대부분 경상남도 지역에 위치하고 있었다.

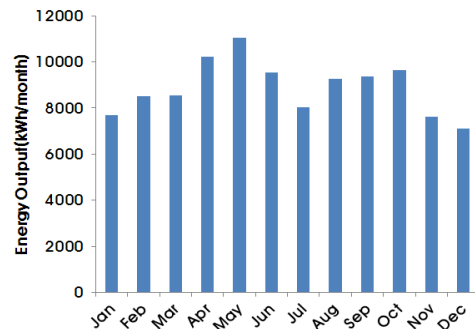


Fig. 9. Monthly electricity production (kWh/month) estimated from the 100 kW photovoltaic system at the Samsan Jeil mine

전국 광해방지사업지를 유형별로 구분하여 평균적인 연간 누적 일사량 조건을 분석한 결과 토양개량복원 사업지에서 약 1282kWh/m²/year로 가장 높게 나타났으며, 동시에 표준편차도 높게 나타났다. 토양개량복원 사업지에 이어 지반침하방지, 광미유실방지, 산림복구, 오염수질개선 사업지 순으로 연간 누적 일사량의 평균값이 높게 나타났다.

광해방지사업지의 유형과 광역 행정구역을 함께 고려하여 사업지 유형별로 각 지역에 위치한 광해방지사업지들의 연간 누적 일사량 값들을 통계 분석한 결과, 각 광역 행정구역 별로 상대적으로 유리한 일사량 조건을 가진 광해방지사업지의 유형이 다소 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

전국 광해방지사업지 중에 연간 누적 일사량이 가장 높게 분석된 삼산제일 광산의 오염수질개선 사업지를 대상으로 현장조사 및 SAM을 이용한 전력 생산량 시뮬레이션을 수행한 결과, 100kW 규모의 태양광발전 시스템을 설치할 경우 연간 11,490kWh의 전력생산이 가능할 것으로 예측되었다.

폐광산 지역에서 재생에너지 프로젝트를 추진함으로써 기대할 수 있는 효과는 다음과 같다. 환경적인 측면에서 볼 때 광산 폐기물에 의한 오염 부지의 재개발을 통해 환경복원 사업을 촉진할 수 있으며, 경제적 측면에서도 재생에너지 활용 시스템의 설계, 시공, 운영과 관련한 새로운 사업 모델과 일자리를 창출하여 지역 경제의 성장에도 도움이 될 수 있다. 또한, 대규모 태양광/풍력 발전 단지를 폐광산 지역의 관광 상품으로 개발하여 새로운 성장 동력을 창출할 수도 있다. 따라서 국내에서도 폐광산 지역의 진흥정책의 하나로써 재생에너지 기술을 효과적으로 도입하여 활용할 수 있는 방안에 대해 검토할 필요가 있으며, 이를 위해 미국의 RE-Powering America's Land 프로젝트와 마찬가지로 전국에 분포한 폐광산 및 광해방지사업지를 대상으로 재생에너지 프로젝트에 대한 사업 타당성 평가가 체계적으로 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 부경대학교 자율창의기술연구비(2016년)의 지원으로 수행되었다.

References

- [1] MIRECO, 2011, "Semi-active Mine drainage Treatment", Institute of Mine Reclamation Technology, Seoul.
- [2] Choi, Y., 2013, "Utilization of Renewable Energy Technology in the Mining Industry", J. of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers, 50(3), pp. 422-429.
- [3] Cichon, M., Runyon, J., 2012, "Renewable Energy Projects of the Year Highlight the Industry's Best Achievements", <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2012/12/renewable-energy-projects-of-the-year-highlight-the-industrys-best-achievements-part-1.html>
- [4] Kiatreungwattana, K., Geiger, J., Haeley, V., Mosey, G., 2013, "Feasibility Study of Economics and Performance of Solar Photovoltaics at the Chino Mine in Silver City, New Mexico", National Renewable Energy Laboratory, Denver.
- [5] Simon, J., Mosey, G., 2013, "Feasibility Study of Economics and Performance of Solar Photovoltaics at the VAG Mine Site in Eden and Lowell, Vermont", National Renewable Energy Laboratory, Denver.
- [6] USEPA, 2012, "A Breath of Fresh Air for America's Abandoned Mine Lands: Alternative Energy Provides a Second Wind, US Environmental Protection Agency", http://www.epa.gov/aml/revital/wind_energy.pdf
- [7] Song, J., Choi, Y., Yoon, S. H., 2015, "Analysis of photovoltaic potential at abandoned mine promotion districts in Korea", J. of the Geosystem Engineering, 18(3), pp. 168-172.
- [8] Song J., Choi, Y., 2015, "Analysis of wind power potentials at abandoned mine promotion districts in Korea", J. of the Geosystem Engineering, 19(2), pp. 77-82.
- [9] Jang, M., Choi, Y., Park, H.D., Go, W.R., 2013, "Assessment of Wind Power Potential at Abandoned Mines in Kangwon Province, Korea", J. of the Korean Society for Mineral and Energy Resources Engineers, 50(4), pp. 470-481.
- [10] Song J., Choi, Y., 2015, "Design of Photovoltaic Systems to Power Aerators for Natural Purification of Acid Mine Drainage", J. of the Renewable Energy, 83, pp. 759-766.

- [11] Song, J., Choi, Y., 2016, “Analysis of the Potential for Use of Floating Photovoltaic Systems on Mine Pit Lakes: Case Study at the Ssangyong Open-Pit Limestone Mine in Korea”, *Energies*, 9(2), pp. 1-13.
- [12] NIMS, 2016, “Weather Resource Maps”, <http://www.greenmap.go.kr>
- [13] Jee, J., Zo, I., Lee, C., Choi, Y., Kim, K., Lee, K., 2013, “Analysis of Very High Resolution Solar Energy Based on Solar-Meteorological Resources Map with 1km Spatial Resolution”, *New & Renewable Energy*, 9(2), pp. 15-22.
- [14] NREL, 2000, “SOLPOS 2.0: Documentation”, <http://rredc.nrel.gov/solar/codesandalgorithms/solpos/aboutsolpos.html>
- [15] Solmetric Corporation, 2011, “Solmetric SunEye 210 user’s guide”, http://resources.solmetric.com/get/Solmetric%20SunEye%20200%20Series%20Users%20Guide_en.pdf