

극지 환경의 독립형 연구 장비를 위한
태양광 발전량 최대화 설계에 관한 연구

A Study on Design to Maximize Photovoltaic Power Generation
for Off-grid Research Equipment in Polar Environments



2025. 02. 28

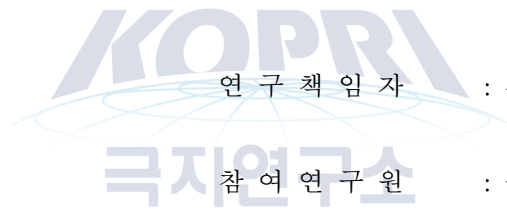
한 국 해 양 과 학 기 술 원
부 설 극 지 연 구 소

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “극지 환경의 독립형 연구 장비를 위한 태양광 발전량 최대화 설계에 관한 연구”과제의 (최종)보고서로 제출합니다.

2025. 2. 28.



연구책임자 : 김 형 권

참여연구원 : 윤 동 진, 정 창 현, 이 주 한

“ : 신 동 섭, 김 수 환, 주 동 찬

“ : 최 형 규, 김 형 준, 김 고 홍

보고서 초록

과제관리번호	PE24330	해당단계 연구기간	1년	단계 구분	1 / 1	
연구사업명	중 사 업 명					
	세부사업명	신진연구원 지원과제				
연구과제명	중 과 제 명					
	세부(단위)과제명	극지 환경의 독립형 연구 장비를 위한 태양광 발전량 최대화 설계에 관한 연구				
연구책임자	김 형 권	해당단계 참여연구원수	총 : 10 명 내부 : 10 명 외부 : 0 명	해당단계 연구비	정부: 30,000 천원 기업: 천원 계: 30,000 천원	
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원부설 극지연구소 미래기술센터		참여기업명	해당없음		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :			
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :			
요약					보고서 면수	39
태양광 발전량 예측 시뮬레이션에 적용하기 위한 환경변수 획득, 분석 및 생성 - 기후 요소(직달일사량, 기온, 지면반사율)는 NASA POWER Project, AWS, 현장조사를 통해 수집하였으며, 데이터 정제 및 가공을 통해 시뮬레이션 입력값 생성 - 지형 요소(지평선)는 현장조사 가능여부에 따라 어안렌즈 카메라 영상에서 추출하거나, REMA의 고해상도 DEM 데이터를 활용하여 확보 극지 환경의 특성을 고려한 태양광 발전량 예측 시뮬레이션 환경 구축 - 극지방의 고위도 특성과 관련된 일사 조건, 태양 고도 변화, 지형에 따른 음영 효과 등을 반영할 수 있는 발전량 예측 시뮬레이션 환경을 구축하고 분석 기반 마련 태양광 발전량 최대화를 위한 시스템 설계 - 극지의 다양한 입지 조건에서 태양전지의 방위각과 경사각 변화에 따른 연간 발전량을 산출하고, 발전량을 최대화할 수 있는 배치 조건 도출 - 케이스 스터디를 통해 극지 환경에서 연중 상시 가동이 가능한 독립형 태양광 전력 시스템 구성 방안 제시						
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	태양광, 발전량, 최대화 ,독립형, 극지 환경				
	영 어	Photovoltaic, Energy Production, Maximize, Off-grid, Polar Environments				

요 약 문

I. 제 목

- 극지 환경의 독립형 연구 장비를 위한 태양광 발전량 최대화 설계에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 연구 개발 목적
 - 극지 환경에서 원격지의 독립된 연구 장비의 태양광 발전량 최대화 설계를 통해 에너지 효율 및 지속가능성을 향상
- 연구 개발 필요성
 - 극지 환경에서 원격지의 독립된 연구 장비에 기존보다 다양한 센서 운영, 데이터 수집량 확대, 위성 통신 등 신기술의 적용을 위하여 태양광 발전량 최대화 설계를 통한 에너지 효율성을 향상이 필요
 - 극지 연구 지역 확대 및 극지 연구 장비 기능 및 성능 고도화를 통하여 지속가능한 극지 연구 환경을 달성하기 위하여 태양광 발전량 예측 시뮬레이션에 극지 환경의 기후학적, 지형학적 특성을 반영하여 정확도 향상이 필요

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 극지 환경의 태양광 발전 관련 선행연구 조사 및 태양광 발전량 예측을 위한 환경 데이터 분석
 - 극지 환경의 독립된 연구 장비를 위한 태양광 발전 관련 선행연구 조사
 - 극지 환경에서의 태양광 발전량 예측 시뮬레이션에 적용하기 위한 기후학적, 지형학적 자료 분석 및 현장조사 장비 구축
- 극지 환경의 독립형 연구장비를 위한 태양광 발전량 최대화 설계 및 예측 시뮬레이션
 - 극지 환경의 특성을 고려한 태양광 발전량 예측 시뮬레이션 환경 구축
 - 극지 연구 장비 설치 예정지의 기후학적, 지형학적 특성을 고려한 태양광 발전량 최대화를 위한 설계 및 발전량 예측 시뮬레이션

IV. 연구개발결과

- 태양광 발전량 예측 시뮬레이션에 적용하기 위한 환경변수 획득, 분석 및 생성
 - 기후 요소(직달일사량, 기온, 지면반사율)는 NASA POWER Project, AWS, 현장조사를 통해 수집하였으며, 데이터 정제 및 가공을 통해 시뮬레이션 입력값 생성
 - 지형 요소(지평선)는 현장조사 가능여부에 따라 어안렌즈 카메라 영상에서 추출하거나, REMA의 고해상도 DEM 데이터를 활용하여 확보
- 극지 환경의 특성을 고려한 태양광 발전량 예측 시뮬레이션 환경 구축
 - 극지방의 고위도 특성과 관련된 일사 조건, 태양 고도 변화, 지형에 따른 음영 효과 등을 반영할 수 있는 발전량 예측 시뮬레이션 환경을 구축하고 분석 기반 마련
- 태양광 발전량 최대화를 위한 시스템 설계
 - 극지의 다양한 입지 조건에서 태양전지의 방위각과 경사각 변화에 따른 연간 발전량을 산출하고, 발전량을 최대화할 수 있는 배치 조건 도출

- 케이스 스터디를 통해 극지 환경에서 연중 상시 가동이 가능한 독립형 태양광 전력 시스템 구성 방안 제시

V. 연구개발결과의 활용계획

- 극지 연구장비의 에너지 자립 실현 및 상시 가동 기반 구축
 - 연구장비 전력 수요와 태양광 발전량, 배터리 용량을 고려하여 적합한 태양광 기반 전력 시스템 설계 결과 도출
- 극지 하계 캠프를 위한 통신 인프라의 전력시스템 설계
 - 태양광 및 배터리 기반으로 태양광 자원이 풍부한 극지 하계 시즌에 일시적으로 운영을 위한 통신 인프라의 개발에 활용(남극 Sky Blu 활주로(BAS)사례)
- 극지 그린에너지 프로젝트로 기술 확산
 - 태양광, 풍력, 수소-연료전지, ESS 연계 시스템의 구축 프로젝트에 적용 가능(Qinling기지(중국) 사례)



S U M M A R Y

I. Title

- A Study on Design to Maximize Photovoltaic Power Generation for Off-grid Research Equipment in Polar Environments

II. Purpose and Necessity of R&D

○ Purpose

- Enhance energy efficiency and sustainability by designing a system to maximize solar power generation for independent research equipment in remote polar environments

○ Necessity

- To enable the operation of more diverse sensors, increase data collection, and apply new technologies such as satellite communications, improving energy efficiency through optimized solar power generation is essential
- To expand polar research areas and enhance the functionality and performance of research equipment, it is necessary to improve the accuracy of solar power generation prediction simulations by incorporating the climatic and topographical characteristics of polar environments

III. Contents and Extent of R&D

- Analysis of Previous Studies and Environmental Data for Solar Power Generation in Polar Environments

- Review of previous research on solar power generation for independent research equipment in polar regions
- Analysis of climatic and topographical data and establishment of field survey equipment for application in solar power generation prediction simulations

- Design and Simulation for Maximizing Solar Power Generation in Polar Environments

- Development of a simulation environment for predicting solar power generation considering the characteristics of the polar environment
- Design for maximizing solar power generation based on the climatic and topographical characteristics of the research equipment installation sites, along with power generation prediction simulations.

IV. R&D Results

- Environmental Data Acquisition, Analysis, and Generation for Solar Power Simulation

- Climate variables (direct solar radiation, temperature, and surface albedo) were collected from the NASA POWER Project, AWS data, and on-site surveys. These datasets were refined and processed to generate input parameters for solar power simulation.
- Topographic data (horizon profiles) were obtained either by extracting from fisheye camera images where field surveys were feasible, or by utilizing high-resolution DEM data from REMA where field access was not possible.
- Construction of a Simulation Environment Reflecting Polar Characteristics
 - A simulation environment was established that accurately reflects the unique solar conditions, solar altitude variations, and topography-induced shading effects specific to high-latitude polar regions.
 - This environment serves as a foundation for analyzing and optimizing solar power generation in such extreme environments.
- System Design for Maximizing Solar Power Generation
 - Annual solar power generation was calculated based on variations in the azimuth and tilt angles of solar panels under various polar site conditions. Optimal panel orientations for maximizing output were derived.
 - Through case studies, design solutions were proposed for standalone solar power systems capable of year-round operation in polar environments.

V. Application Plans of R&D Results

- Establishing Energy Self-Sufficiency and Continuous Operation for Polar Research Equipment
 - Derived optimal solar-powered energy system designs by considering the power demand of research equipment, solar power generation capacity, and battery storage requirements.
- Power System Design for Communication Infrastructure in Polar Summer Camps
 - Applicable to the development of temporary communication infrastructure powered by solar panels and batteries during sun-rich polar summer seasons (e.g., Sky Blu runway in Antarctica, operated by BAS).
- Technology Expansion through Polar Green Energy Projects
 - Applicable to large-scale integrated renewable systems combining solar, wind, hydrogen fuel cells, and energy storage systems (e.g., Qinling Station project in China).

C O N T E N T S

Chapter 1 Introduction

Chapter 2 Current R&D Status in Korea and Other Nations

Section 1 Domestic Technology Development Status

Section 2 Overseas Technology Development Status

Chapter 3 R&D Implementation Contents and Results

Section 1 Environmental Data Acquisition, Analysis, and Generation for Solar Power Simulation

Section 2 Construction of a Simulation Environment Reflecting Polar Characteristics

Section 3 System Design for Maximizing Solar Power Generation

Chapter 4 Degree of R&D Goal Achievement and Degree of Contribution to Outside Research Institute

Chapter 5 Application Plans of R&D Results

Chapter 6 References



목 차

제 1 장 서론

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

제 2 절 국외 기술개발 현황

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 태양광 발전량 예측 시뮬레이션에 적용하기 위한 환경변수 획득, 분석 및 생성

제 2 절 극지 환경의 특성을 고려한 태양광 발전량 예측 시뮬레이션 환경 구축

제 3 절 태양광 발전량 최대화를 위한 시스템 설계

제 4장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 6 장 참고문헌



제 1 장 서론

- 극지 환경에서 원격지의 독립된 연구 장비에 기존보다 다양한 센서 운영, 데이터 수집량 확대, 위성 통신 등 신기술의 적용을 위하여 태양광 발전량 최대화 설계를 통한 에너지 효율성을 향상이 필요
- 극지 연구 지역 확대 및 극지 연구 장비 기능 및 성능 고도화를 통하여 지속가능한 극지 연구 환경을 달성하기 위하여 태양광 발전량 예측 시뮬레이션에 극지 환경의 기후학적, 지형학적 특성을 반영하여 정확도 향상이 필요

□ 기술적 측면

- 극지의 과학기지를 벗어난 독립된 환경에 연구 장비를 설치하기 위해서는 시간의 제약 및 운송능력이 제한됨. 이를 감안하면 풍력 등 다른 신재생에너지 발전장치보다는 비교적 쉽게 운송 및 설치가 가능한 태양광 발전을 적용할 필요가 있음.
- 극지의 다양한 환경적 특성(태양궤적(극야, 백야, 저고도), 적설, 지면반사, 풍속, 주변 지형 등)들을 고려한 태양광 발전량 최대화
- 설치 예정지의 현장조사를 수행을 위한 장비를 개발하고 시뮬레이션에 적용하여 태양광 발전량 예측의 신뢰성을 향상

□ 경제·산업적 측면

- 장기적인 관점에서 지속 가능한 극지 연구를 위하여 극지용 태양광 발전장치의 에너지 효율성 향상을 통한 연구 장비 설치, 운송, 운영 비용 절감 달성
- 에너지 안정성과 독립성을 강화하고 에너지 비용 절감 및 극지 환경에서의 신재생에너지 기술에 대한 기술 경쟁력 확보

□ 과학적 측면

- 극지 환경에 적합한 태양광 발전장치의 에너지 효율성 향상을 위한 설계 방법에 대한 개념 정립
- 향후 기후변화 연구를 위한 연구 지역 확장을 위하여 극지 환경에서 태양광 발전을 통해 지속가능한 에너지 공급 기술 개념 정립

□ 사회·문화적 측면

- 극지 환경에 특화된 태양광 발전장치에 대한 극지 연구 소사이어티의 관심 유도 및 기술 도입을 통해 극지 연구의 지속가능성 향상
- 극지 연구 장비의 에너지 효율을 향상시키고 친환경 에너지 사용의 확대를 통해 극지 연구 활성화 및 지속가능한 발전에 기여

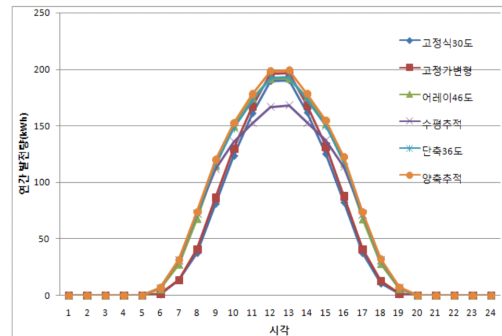
제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

□ 성균관대학교

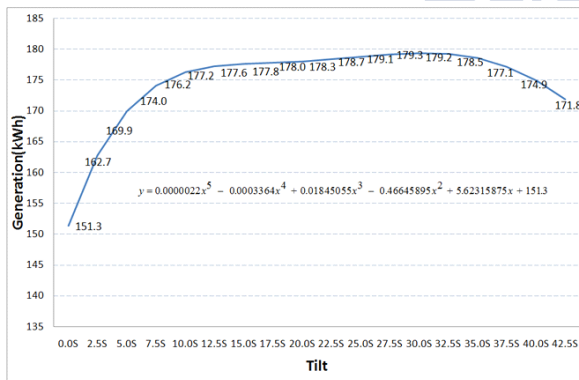
- 국내(대전) 환경 기준으로 일사량 모델 중 하나인 Perez 모델을 기반으로 태양광 시스템별 최적 설치 조건에서 최대 태양광 발전량을 예측

시스템	프로그램 방식		센서 방식	
	연간 발전량	고정식 대비	연간 발전량	프로그램식 대비
고정식	1,215	100.0%		
고정가변	1,274	104.9%		
양축추적	1,526	125.6%	1,559	102.2%
경사단축	1,484	122.1%	1,495	100.7%
수평단축	1,358	111.8%	1,382	101.8%
방위추적	1,465	120.6%		



□ 경북대학교

- 국내(경북 상주) 환경 기준으로 다양한 방향에 일사량계 및 태양광 발전 시스템을 설치하여, 일사량 대비 태양광 발전량을 분석하고 태양광 모듈의 제시 효율과 실제 효율의 차이를 확인 및 분석



□ 숭실대학교

- 국내 환경 기준으로 위도와 해발고도에 따른 태양광 발전 효율을 분석하고 이에 따른 발전량 지표를 제시

□ 부경대학교

- 집광형 태양전지 시스템에서 효율적인 태양광에너지를 얻기 위해 그에 맞는 경사각을 고려한 설계 결과를 제시 및 분석

제 2 절 국외 기술개발 현황

□ IEA

- IEA-PVPS T13-25:2022(Guidelines for Operation and Maintenance of Photovoltaic Power Plants in Different Climates)를 통해 다양한 기후에서의 태양광 발전 플랜트의 운영 및 유지보수를 위한 가이드라인을 제공하면서 Snowy Climate에 대한 고려사항을 제시

□ ENVRI

- ENVRI+ European Horizon 2020 Project WP3.1(Energy for isolated scientific stations)를 통해 독립된 환경에서의 연구장비의 에너지 공급을 위한 지식을 공유.

□ POLENET/PASSCAL

- PASSCAL 웹사이트를 통해 대부분의 지진기록계에 적합하도록 한정하여 극지역에서 연중운용을 위한 태양광 발전장치의 설계도를 공유

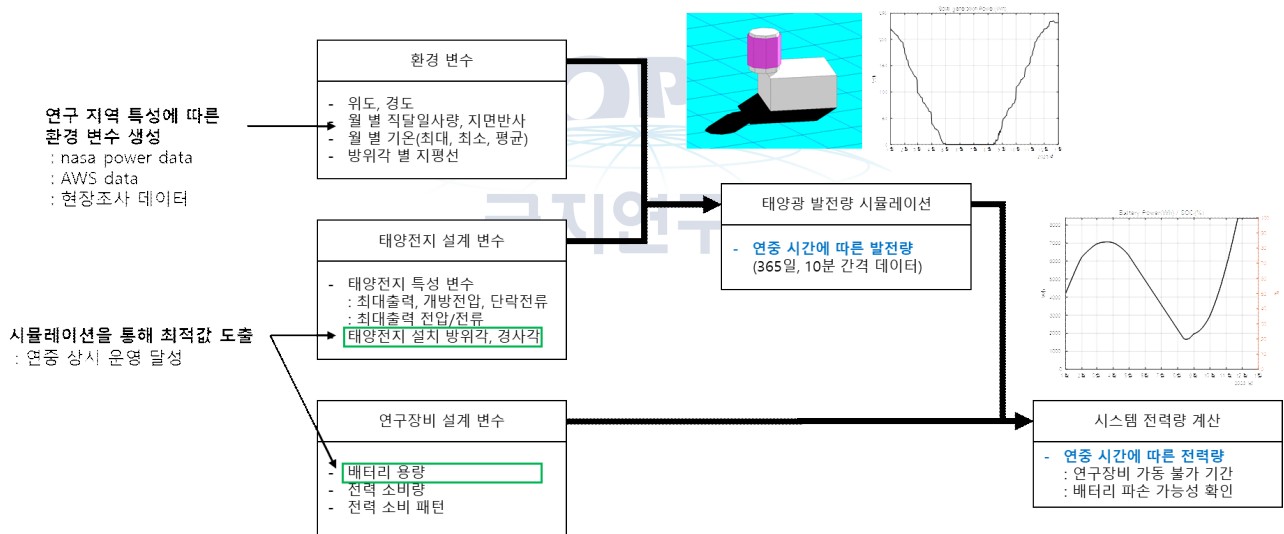


제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과

본 연구는 극지 환경의 독립형 연구장비를 연중 연속 운영하기 위한 태양광 발전 시스템의 최적 설계 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 최근 극지 연구는 관측 센서의 다양화, 데이터 수집량 확대, 위성 통신 등 고성능 장비의 활용이 증가함에 따라 에너지 수요가 높아지고 있다.

극지 지역은 고위도 특성상 태양 고도가 낮고 일사량 변화가 크며, 기후 및 지형적 영향도 매우 복잡적이다. 따라서 본 연구는 태양광 발전량 예측의 정확도를 높이기 위해 극지의 기후학적·지형학적 특성이 반영된 환경 변수를 수집 및 분석하고, 이를 바탕으로 정밀 시뮬레이션 기반의 발전량 최적화 설계를 수행하였다.

또한, 극지 연구 지역의 확대 및 연구장비의 기능 고도화에 대응하기 위해 1년 365일 상시 가동이 가능한 태양광 시스템을 목표로, 다양한 환경 조건과 소비 전력 시나리오에 대응할 수 있는 설계 요소를 고려하였다. 이를 통해 극지 연구의 지속 가능성 확보와 에너지 자립 기반 강화를 도모하고자 하였다.



연구 개발 수행 개념도

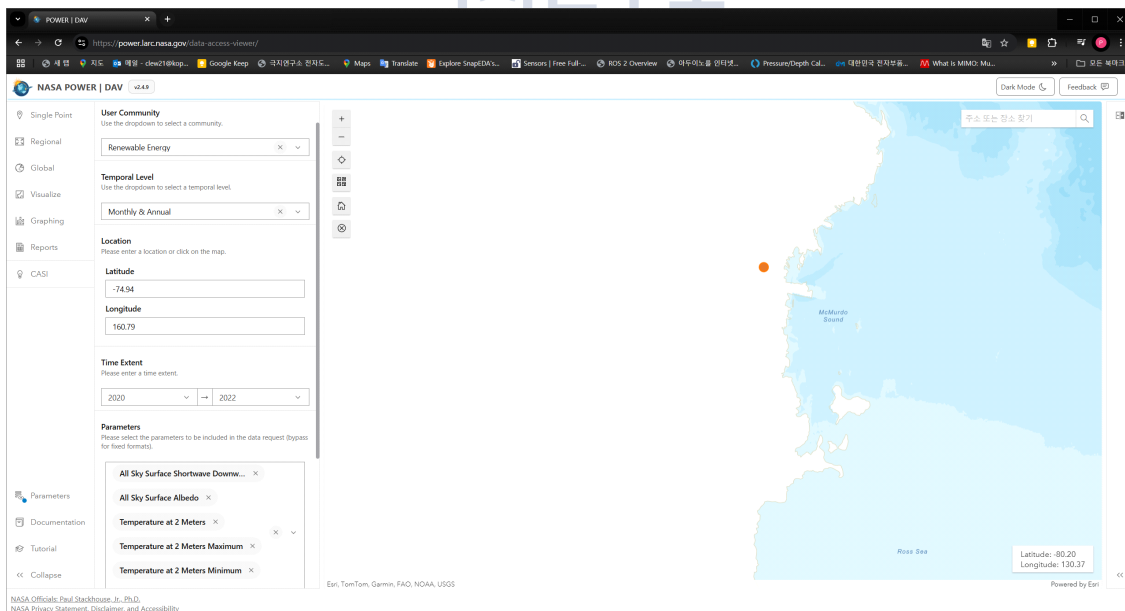
제 1 절 태양광 발전량 예측 시뮬레이션에 적용하기 위한 환경변수 획득, 분석 및 생성

1. 기후 요소(직달일사량, 기온, 지면반사율)

□ NASA POWER Project



NASA Power Project 웹페이지



NASA Power Project Database

- NASA POWER(Prediction Of Worldwide Energy Resources) Project는 NASA가 제공하는 기후 및 기상 관련 데이터 서비스로, 특히 재생에너지 시스템 설계자, 농업 전문가, 건축가, 기후 연구자 등을 위해 지구 전역의 에너지 자원 예측 및 환경

데이터(기상 및 기후 관련 데이터)를 제공

- 태양광 발전량 예측을 위해 요구되는 기후 요소는 월별 직달일사량, 기온(평균, 최대, 최소), 지면반사율이며, 일반적으로 최근 5년~10년의 평균값을 사용함. 다만, 최근 기후변화가 심한 극지역의 특성을 감안하여 최근 3년의 데이터를 활용하였음.
- 시뮬레이션에 실제 하늘 조건(구름 등 포함)을 반영하기 직달일사량과 지면반사율의 경우 'All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance'과 'All Sky Surface Albedo'를 선택하였음.
- 단, Nasa Power를 통해 획득되는 데이터의 공간해상도는 0.5° (위도) $\times$ 0.5° (경도)로 약 50~60 km의 그리드로 연구지역 간 고도차가 큰 남극 연안의 경우 이를 반영해야 할 필요가 있음

□ AWS 데이터

- 우리 연구소에서 설치해 놓은 AWS로부터 혹은 연구 예정지의 미리 AWS를 설치해놓는다면 실제 설치 현장의 기후 요소값 획득으로 시뮬레이션의 정밀도가 향상될 수 있음.
- 단, AWS 구성에 따라 직달일사량과 지면반사율 데이터가 없이 기온 데이터만 있는 경우에는 NASA POWER Project로부터 획득한 데이터와 조합해야함.
- 만약 원시데이터를 활용할 경우 오류가 있는 데이터가 포함되어 있을 수 있으므로 데이터전처리가 필요할 수 있음.

KEMOS

KOPRI Extreme Environment Monitoring System

2025-04-16 13:34:51 UTC

Home

Stations Info

Data Table

Data Charts

Receive Status

About

The Korea Polar Research Institute (KOPRI) conducts research and exploration in the extreme environment. Polar environment is monitored for safe research activities by researchers. All data in this KOPRI Extreme Environment Monitoring System (KEMOS) is raw data and is provided in near real time. If you have any questions about this system or data, please contact Korea Polar Data Center (<https://kopc.kopri.re.kr>; dcjoo@kopri.re.kr).

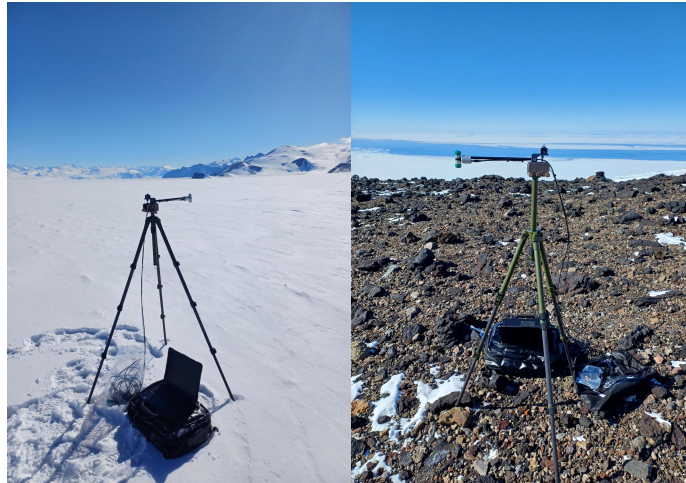
Stations

#	Station name	Air Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Wind Direction (°)	Last data time	Status/Delay
1	King Sejong Station	0.5	98	6.2	WNW	2025-04-16 13:32:00	just now
2	Jang Bogo Station	-27.7	67	1.5	N	2025-04-16 13:32:05	just now
3	Dasan Station	-10.6	72	1.6	S	2025-04-16 13:20:00	just now
4	IBRV Araon	18.4	72	3.9	WSW	2025-04-16 13:00:00	just now
5	Elephant Moraine	-52.9	66	0.0	N	2025-04-12 07:00:00	4 days ago
6	K-route 110km	-	-	-	-	2025-01-01 16:00:00	3 months ago
7	K-route 2200km	-	-	-	-	2024-11-22 02:40:00	4 months ago
8	Styx	-30.0	30	1.5	NNW	2025-04-16 13:00:00	just now
9	Browning Pass IoT	-26.9	42	0.0	SE	2025-04-16 13:00:00	just now
10	Cape Washington IoT	-25.5	66	5.4	S	2025-04-16 13:00:00	just now
11	Mt. Melbourne IoT	-30.2	22	0.0	N	2025-04-16 13:00:00	just now
12	Boomerang Glacier	-27.8	66	1.6	SE	2025-04-16 12:00:00	just now

AWS 웹페이지

□ 현장조사 데이터

- 기후 요소에서 현장조사 데이터는 하계기간에 특정시점에만 한정되어 조사가 가능하므로 지면반사율을 측정하는 것을 목표로 하였으며, 특히 하계 기간 동안 지표면이 드러나는 연구지역(마운트멜번, 에드먼슨포인트)이나 눈에 빙퇴석이 섞여있어 눈의 지면반사율이 저감될 것으로 예상되는 연구지역(브라우닝패스)에서 현장조사를 실시하였음.



현장조사 수행(브라우닝패스(좌), 마운트멜번(우))

□ 기후 요소 데이터 생성

- NASA POWER Project의 데이터는 극지역의 급격한 온도 상승을 감안하여 최근 3년 데이터의 평균 값을 적용하였음.
- 브라우닝패스의 기온 데이터의 경우 AWS로부터 획득한 2023년의 데이터를 활용
- 케이프워싱턴의 기온 데이터의 경우 AWS의 2023년 12월 ~ 2024년 10월의 데이터와 NASA POWER Project 데이터의 경향성이 일치함을 확인하였음. AWS데이터 중 데이터 누락 구간과 오류데이터가 포함되어 있어 최종적으로 NASA POWER Project의 데이터를 활용함
- 마운트멜번과 에드먼슨포인트의 경우 위치가 근접하여 NASA POWER Project로부터 동일한 데이터가 출력되나, 두 지점간 고도차이를 감안하여 고도에 따른 온도 보정을 반영하였음.(고도 1 km당 7.0 °C의 온도 저하, 마운트멜번의 고도는 약 2.7 km)
- NASA POWER Project로부터 획득한 지면반사율 데이터의 경우 4~8월에 급격히 감소하거나, 데이터가 제공되지 않음. 이는 남극의 극야로 인한 것으로 판단되어 3월과 9월의 평균값을 적용하였음
- 실제 현장조사 데이터 수집 기간인 11~12월의 경우 현장조사 시 센서를 통해 수집한 지면반사율을 적용하였음. 마운트멜번과 에드먼슨포인트의 경우 화산지역으로 지열이 높아 실제 하계 기간에는 눈으로 덮여 있지 않음을 확인
- T2M : MERRA-2 Temperature at 2 Meters (°C)
- T2M_MAX : MERRA-2 Temperature at 2 Meters Maximum (°C)
- T2M_MIN : MERRA-2 Temperature at 2 Meters Minimum (°C)
- ALLSKY_SRF_ALB : CERES SYN1deg All Sky Surface Albedo (dimensionless)
- ALLSKY_SFC_SW_DWN : CERES SYN1deg All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (kW-hr/m²/day)

○ NASA POWER Project로부터 수집한 브라우닝패스의 기후 요소 데이터

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
T2M	2020	-9.6	-13.8	-23.7	-28.8	-31.7	-32.5	-30.2	-30.7	-30.2	-26.4	-17.4	-9.3
	2021	-9.5	-15.9	-21.6	-31.6	-32.9	-31.6	-28.0	-31.2	-29.7	-24.2	-17.0	-10.4
	2022	-10.1	-14.9	-22.3	-29.7	-28.1	-29.2	-31.3	-32.1	-32.0	-24.0	-18.2	-11.1
	AVG	-9.7	-14.9	-22.6	-30.0	-30.9	-31.1	-29.8	-31.3	-30.6	-24.9	-17.5	-10.3
T2M_MAX	2020	-2.5	-4.4	-12.0	-18.9	-21.2	-21.9	-13.6	-16.8	-17.0	-14.8	-8.6	-3.6
	2021	-4.0	-9.2	-14.2	-20.4	-18.5	-18.0	-11.2	-11.8	-19.5	-13.5	-8.1	-3.4
	2022	-4.6	-4.0	-5.7	-17.5	-14.7	-13.3	-19.8	-13.4	-21.9	-14.7	-4.0	-4.5
	AVG	-3.7	-5.8	-10.6	-18.9	-18.1	-17.7	-14.8	-14.0	-19.5	-14.3	-6.9	-3.8
T2M_MIN	2020	-15.0	-22.6	-34.9	-37.4	-37.4	-42.2	-43.4	-45.1	-40.8	-36.2	-27.2	-16.8
	2021	-17.0	-23.8	-31.3	-43.0	-42.5	-42.1	-37.7	-41.9	-38.0	-31.7	-26.0	-17.9
	2022	-16.2	-24.8	-32.0	-38.0	-34.6	-39.8	-40.3	-40.1	-40.6	-35.1	-30.8	-17.8
	AVG	-16.1	-23.8	-32.7	-39.5	-38.2	-41.4	-40.5	-42.4	-39.8	-34.3	-28.0	-17.5
ALLSKY_SRF_ALB	2020	0.70	0.68	0.60	0.48	0.23			0.45	0.61	0.66	0.68	0.70
	2021	0.70	0.66	0.62	0.45	0.17			0.42	0.59	0.64	0.68	0.70
	2022	0.71	0.66	0.60	0.48	0.22			0.45	0.52	0.65	0.68	0.71
	AVG	0.70	0.67	0.61	0.47	0.21			0.44	0.57	0.65	0.68	0.70
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2020	9.04	5.51	2.11	0.34	0.00	0.00	0.00	0.10	1.36	4.43	8.37	10.24
	2021	8.97	5.60	2.19	0.31	0.00	0.00	0.00	0.10	1.29	4.49	8.15	10.26
	2022	8.96	5.66	2.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.11	1.32	4.17	8.04	10.23
	AVG	8.99	5.59	2.21	0.33	0.00	0.00	0.00	0.10	1.32	4.36	8.19	10.24

○ AWS로부터 수집한 브라우닝패스의 기후 요소 데이터



○ 데이터 전처리를 통해 시뮬레이션에 반영을 위해 생성한 브라우닝패스 기후 요소 데이터

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
T2M	SIM	-4.8	-9.4	-17.6	-20.4	-26.1	-23.5	-27.6	-28.2	-18.6	-20.6	-11.8	-5.4
T2M_MAX	SIM	2.3	0.2	-6.7	-10.6	-12.6	-8.7	-11.1	-8.4	-8.1	-12.4	-1.9	2.8
T2M_MIN	SIM	-25.1	-21.7	-32.8	-34.8	-40.8	-44.2	-48.8	-48.2	-34.3	-36.8	-31.7	-23.0
ALLSKY_SRF_ALB	SIM	0.70	0.67	0.61	0.59	0.59	0.59	0.59	0.44	0.57	0.65	0.68	0.70
ALLSKY_SFC_SW_DWN	SIM	8.99	5.59	2.21	0.33	0.00	0.00	0.00	0.10	1.32	4.36	8.19	10.24

- NASA POWER Project로부터 수집한 마운트멜번과 에드먼슨포인트의 기후 요소 데이터

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
T2M	2020	-4.1	-7.2	-15.9	-23.4	-27.1	-27.2	-25.1	-24.9	-25.0	-20.2	-11.5	-4.1
	2021	-3.9	-8.6	-14.7	-26.6	-27.4	-26.3	-22.9	-27.1	-24.4	-18.6	-11.3	-5.0
	2022	-4.4	-8.1	-15.9	-24.3	-22.5	-24.4	-25.8	-27.0	-26.4	-18.3	-12.8	-5.9
	AVG	-4.1	-7.9	-15.5	-24.8	-25.7	-26.0	-24.6	-26.3	-25.3	-19.0	-11.9	-5.0
T2M_MAX	2020	0.5	-0.4	-5.7	-14.3	-15.9	-17.0	-10.2	-11.7	-12.4	-9.7	-3.6	0.4
	2021	0.0	-3.4	-8.1	-15.0	-12.4	-13.1	-6.6	-4.9	-13.6	-8.2	-3.5	-0.1
	2022	0.3	0.3	-1.5	-11.6	-9.3	-9.5	-12.6	-8.0	-15.4	-9.1	-1.3	-0.8
	AVG	0.3	-1.2	-5.1	-13.6	-12.5	-13.2	-9.8	-8.2	-13.8	-9.0	-2.8	-0.2
T2M_MIN	2020	-8.3	-14.0	-26.6	-32.1	-33.1	-36.1	-37.8	-40.0	-33.2	-30.4	-22.3	-11.1
	2021	-9.1	-14.5	-24.4	-37.8	-36.0	-36.6	-33.1	-36.9	-33.8	-26.3	-21.3	-11.0
	2022	-9.7	-15.6	-25.6	-33.5	-29.7	-34.0	-34.3	-36.2	-35.2	-29.6	-25.3	-11.5
	AVG	-9.0	-14.7	-25.5	-34.5	-32.9	-35.5	-35.1	-37.7	-34.0	-28.8	-22.9	-11.2
ALLSKY_SRF_ALB	2020	0.29	0.24	0.34	0.44	0.20			0.42	0.70	0.62	0.54	0.40
	2021	0.26	0.20	0.40	0.45	0.19			0.41	0.62	0.61	0.60	0.41
	2022	0.31	0.22	0.35	0.41	0.14			0.41	0.59	0.63	0.62	0.59
	AVG	0.29	0.22	0.36	0.43	0.18			0.41	0.64	0.62	0.59	0.47
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2020	6.52	3.63	1.56	0.33	0.00	0.00	0.00	0.10	1.50	4.33	7.50	8.43
	2021	6.50	3.63	1.59	0.30	0.00	0.00	0.00	0.11	1.33	4.46	7.53	8.73
	2022	6.61	3.57	1.74	0.32	0.00	0.00	0.00	0.11	1.36	4.15	7.51	9.25
	AVG	6.54	3.61	1.63	0.32	0.00	0.00	0.00	0.11	1.40	4.31	7.51	8.80

- 데이터 전처리를 통해 시뮬레이션에 반영을 위해 생성한 마운트멜번 기후 요소 데이터

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
T2M	SIM	-23.0	-26.8	-34.4	-43.7	-44.6	-44.9	-43.5	-45.2	-44.2	-37.9	-30.8	-23.9
T2M_MAX	SIM	-18.6	-20.1	-24.0	-32.5	-31.4	-32.1	-28.7	-27.1	-32.7	-27.9	-21.7	-19.1
T2M_MIN	SIM	-27.9	-33.6	-44.4	-53.4	-51.8	-54.4	-54.0	-56.6	-52.9	-47.7	-41.8	-30.1
ALLSKY_SRF_ALB	SIM	0.29	0.22	0.36	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.64	0.62	0.59	0.47
ALLSKY_SFC_SW_DWN	SIM	6.54	3.61	1.63	0.32	0.00	0.00	0.00	0.11	1.40	4.31	7.51	8.80

- 데이터 전처리를 통해 시뮬레이션에 반영을 위해 생성한 에드먼슨포인트 기후 요소 데이터

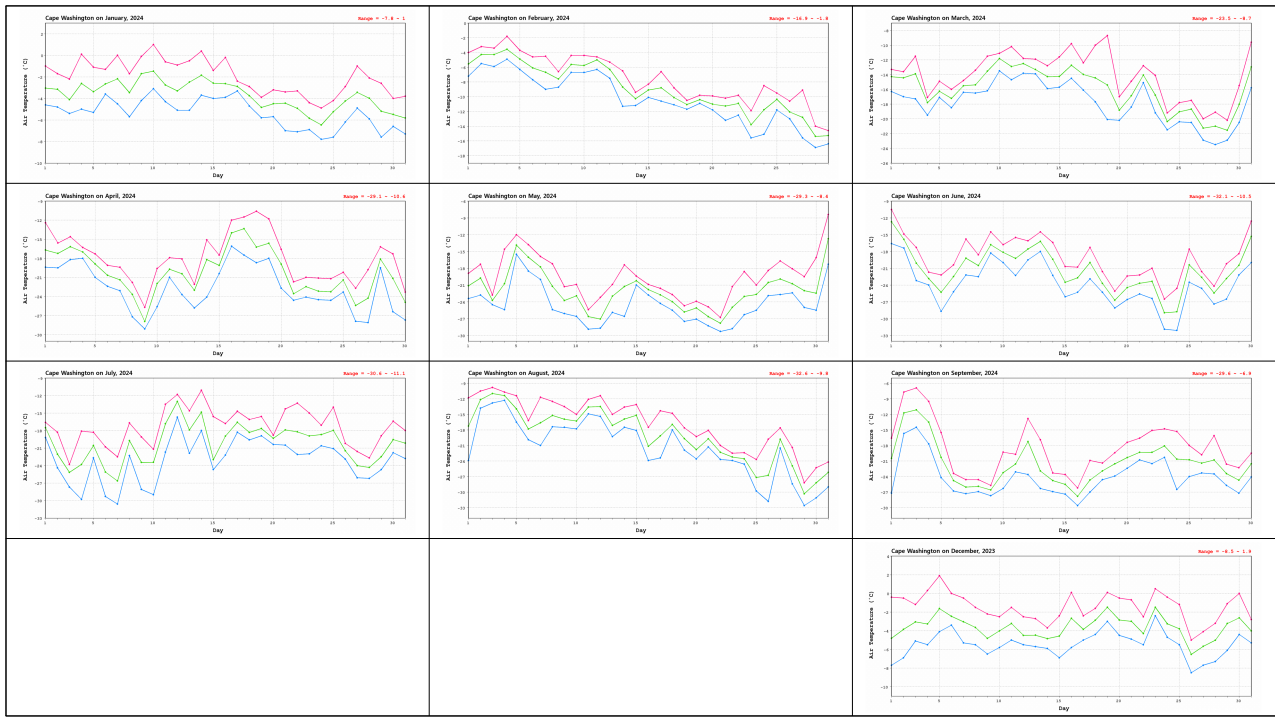
PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
T2M	SIM	-4.1	-7.9	-15.5	-24.8	-25.7	-26.0	-24.6	-26.3	-25.3	-19.0	-11.9	-5.0
T2M_MAX	SIM	0.3	-1.2	-5.1	-13.6	-12.5	-13.2	-9.8	-8.2	-13.8	-9.0	-2.8	-0.2
T2M_MIN	SIM	-9.0	-14.7	-25.5	-34.5	-32.9	-35.5	-35.1	-37.7	-34.0	-28.8	-22.9	-11.2
ALLSKY_SRF_ALB	SIM	0.29	0.22	0.36	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.64	0.62	0.59	0.47
ALLSKY_SFC_SW_DWN	SIM	6.54	3.61	1.63	0.32	0.00	0.00	0.00	0.11	1.40	4.31	7.51	8.80

○ NASA POWER Project로부터 수집한 케이프워싱턴의 기후 요소 데이터

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
T2M	2020	-3.1	-5.9	-14.4	-22.3	-26.0	-26.0	-24.2	-24.1	-24.1	-18.9	-10.5	-3.3
	2021	-3.0	-7.0	-13.4	-25.5	-26.2	-25.4	-22.1	-26.3	-23.3	-17.5	-10.3	-4.1
	2022	-3.4	-6.6	-14.5	-23.2	-21.6	-23.5	-24.8	-25.9	-25.2	-17.4	-11.8	-5.0
	AVG	-3.2	-6.5	-14.1	-23.7	-24.6	-25.0	-23.7	-25.4	-24.2	-17.9	-10.8	-4.1
T2M_MAX	2020	0.2	0.1	-4.9	-15.0	-15.2	-15.6	-10.5	-11.2	-12.7	-8.5	-3.0	0.5
	2021	0.8	-2.4	-7.0	-14.6	-11.4	-12.7	-7.2	-4.3	-13.2	-7.5	-2.5	0.4
	2022	0.8	0.7	-1.5	-11.2	-8.9	-8.9	-12.1	-7.9	-14.5	-7.8	-0.9	-0.3
	AVG	0.6	-0.5	-4.4	-13.6	-11.9	-12.4	-9.9	-7.8	-13.5	-7.9	-2.1	0.2
T2M_MIN	2020	-6.6	-11.6	-24.8	-29.8	-31.3	-34.1	-35.8	-38.1	-31.9	-28.4	-20.0	-9.6
	2021	-7.1	-12.1	-23.1	-36.1	-34.2	-34.7	-31.7	-35.2	-32.2	-24.9	-19.9	-9.8
	2022	-7.6	-13.4	-23.8	-31.6	-28.6	-32.6	-32.5	-34.7	-34.0	-27.8	-23.6	-9.6
	AVG	-7.1	-12.4	-23.9	-32.5	-31.4	-33.8	-33.3	-36.0	-32.7	-27.0	-21.2	-9.7
ALLSKY_SRF_ALB	2020	0.29	0.24	0.34	0.44	0.20			0.42	0.70	0.62	0.54	0.40
	2021	0.26	0.20	0.40	0.45	0.19			0.41	0.62	0.61	0.60	0.41
	2022	0.31	0.22	0.35	0.41	0.14			0.41	0.59	0.63	0.62	0.59
	AVG	0.29	0.22	0.36	0.43	0.18			0.41	0.64	0.62	0.59	0.47
ALLSKY_SFC_SW_DWN	2020	6.52	3.63	1.56	0.33	0.00	0.00	0.00	0.10	1.50	4.33	7.50	8.43
	2021	6.50	3.63	1.59	0.30	0.00	0.00	0.00	0.11	1.33	4.46	7.53	8.73
	2022	6.61	3.57	1.74	0.32	0.00	0.00	0.00	0.11	1.36	4.15	7.51	9.25
	AVG	6.54	3.61	1.63	0.32	0.00	0.00	0.00	0.11	1.40	4.31	7.51	8.80

○ AWS로부터 수집한 케이프워싱턴의 기후 요소 데이터

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
T2M	2024	-3.7	-8.9	-15.9	-20.3	-22.0	-21.3	-20.3	-19.2	-21.4			-3.6
T2M_MAX	2024	1.0	-1.8	-8.7	-10.6	-8.4	-10.5	-11.1	-9.8	-6.9			1.9
T2M_MIN	2024	-7.8	-16.9	-23.5	-29.1	-29.3	-32.1	-30.6	-32.6	-29.6			-8.5



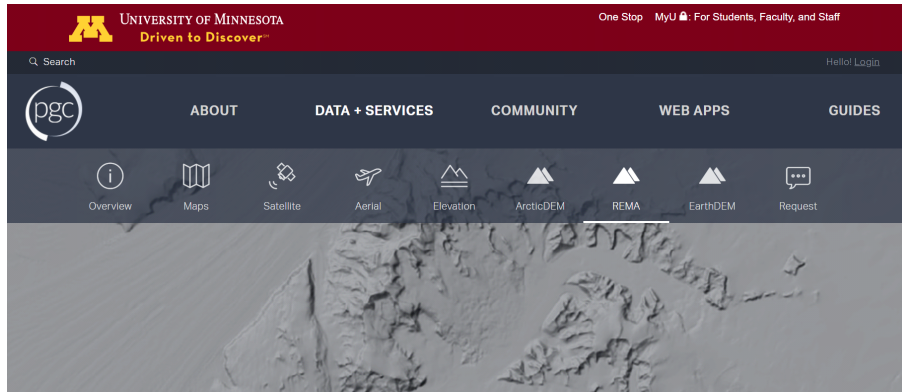
○ 데이터 전처리를 통해 시뮬레이션에 반영을 위해 생성한 케이프워싱턴 기후 요소 데이터

PARAMETER	YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
T2M	SIM	-3.2	-6.5	-14.1	-23.7	-24.6	-25.0	-23.7	-25.4	-24.2	-17.9	-10.8	-4.1
T2M_MAX	SIM	0.6	-0.5	-4.4	-13.6	-11.9	-12.4	-9.9	-7.8	-13.5	-7.9	-2.1	0.2
T2M_MIN	SIM	-7.1	-12.4	-23.9	-32.5	-31.4	-33.8	-33.3	-36.0	-32.7	-27.0	-21.2	-9.7
ALLSKY_SRF_ALB	SIM	0.29	0.22	0.36	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.64	0.62	0.59	0.47
ALLSKY_SFC_SW_DWN	SIM	6.54	3.61	1.63	0.32	0.00	0.00	0.00	0.11	1.40	4.31	7.51	8.80

2. 지형 요소(지평선)

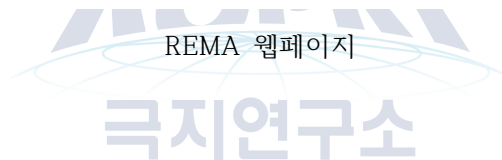
□ REMA

- REMA(Reference Elevation Model of Antarctica)는 Polar Geospatial Center가 중심이 되어 제작된 남극 대륙의 고해상도 고도 정보를 담고 있는 지형 고도 모델(DEM). 위성을 통해서 서로 다른 각도에서 촬영된 이미지 쌍을 활용해 광학 스테레오 삼각측량 기법으로 고도를 생성함



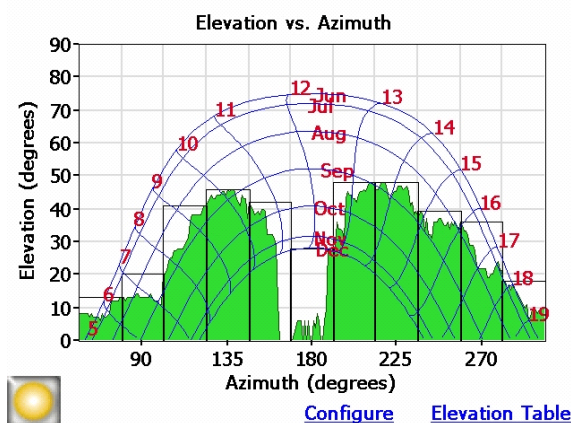
REMA

The Reference Elevation Model of Antarctica (REMA) is a high resolution, time-stamped Digital Surface Model (DSM) of Antarctica at 2-meter spatial resolution.



□ 현장조사 데이터

- 태양광 업계에서 발전량 예측에 지형 요소 반영은 Shade Measurement Tool을 사용하여 방위각에 따라 주변 지형이나 인공건축물에 의해 태양전지가 받는 음영 효과를 고려함.
- 특히 극지와 같은 고위도 지역은 상대적으로 태양고도가 낮아서 주변 지형에 의해 받는 음영 효과가 커서, 전량 예측 시뮬레이션의 정밀도 향상을 위해서 지평선을 반드시 고려할 필요가 있음.



SunEye 210의 활용한 음영분석 예

Hello Hyoungkwan,

Unfortunately the SunEye 210 is unable to operate above the Artic Circle. Much effort went into developing this capacity, but this was ultimately unsuccessful.

I checked Solar Pathfinder, but they also stop at 65° latitude.

I have seen pole-mount arrays that use a full-circle of vertical modules for research stations; it may be possible to find historical data from a similar array (or any far-North array) to use for design purposes.

Thank you & best regards,
Tom

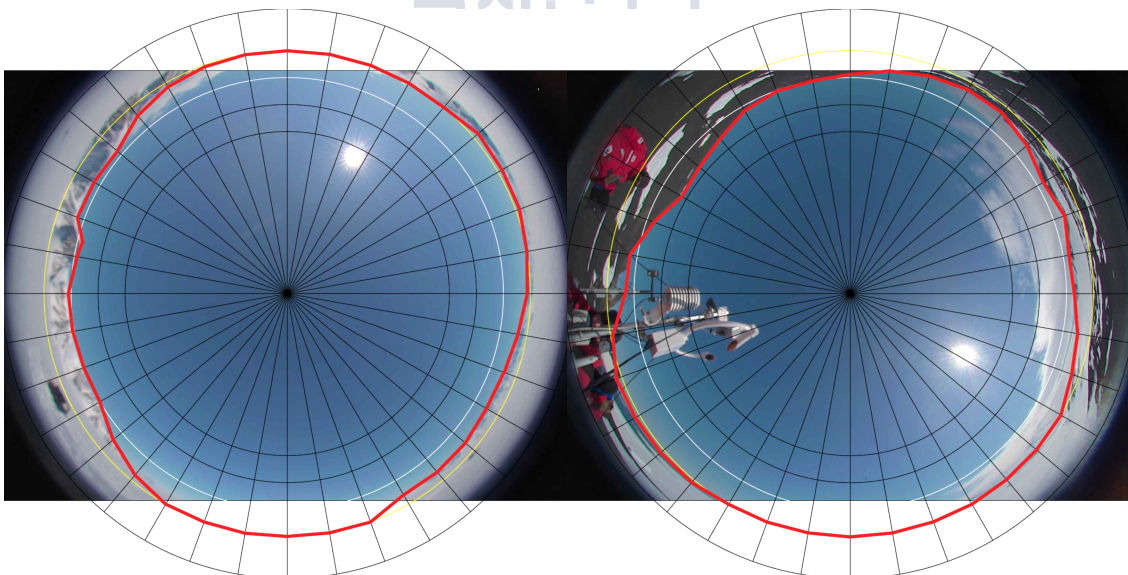
Tom Danaher
Solmetric Technical Support
707-823-4600, option 1 (support)

Solmetric사의 기술 검토 회신

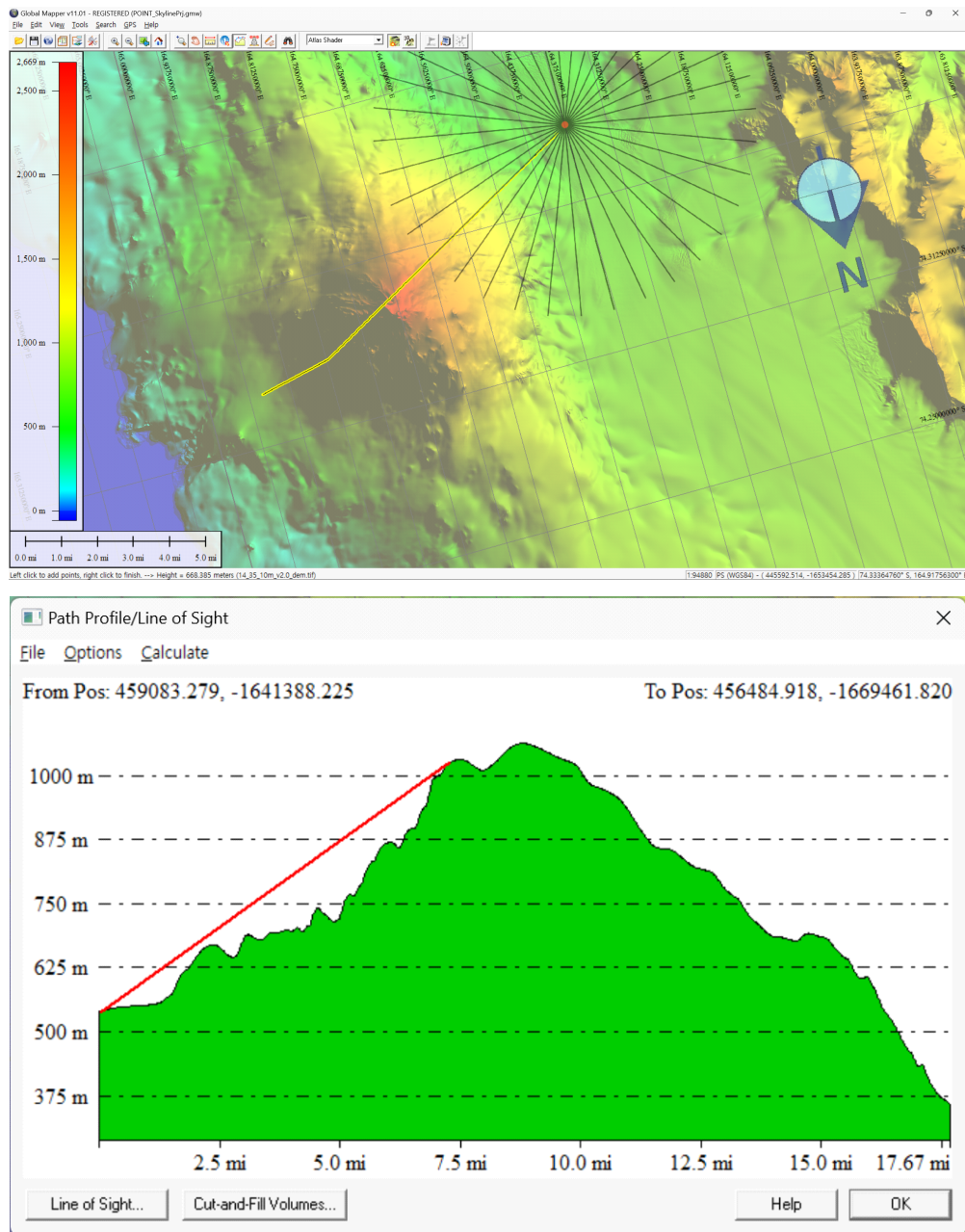
- 현장조사에 활용하려고 했던 Shade Measurement Tool인 SunEye(Solmetric)가 극지역에서 사용이 불가능한 것으로 확인되어, 어안렌즈 카메라를 활용하여 직접 영상을 캡처하고 지평선을 분류하였음.

□ 지형 요소 데이터 생성

- 현장조사가 가능하였던 브라우닝패스와 케이프워싱턴의 경우 어안렌즈 카메라 영상으로부터 지평선을 추출하여 지형 요소 데이터를 생성하였으며, 현장조사가 불가능하였던 마운트멜번과 에드먼슨포인트의 경우 REMA 데이터를 활용하여 Global Mapper 소프트웨어를 통해 지형 요소 데이터를 생성함



어안렌즈 카메라 영상을 통한 지평선 추출(브라우닝패스(좌), 케이프워싱턴(우))

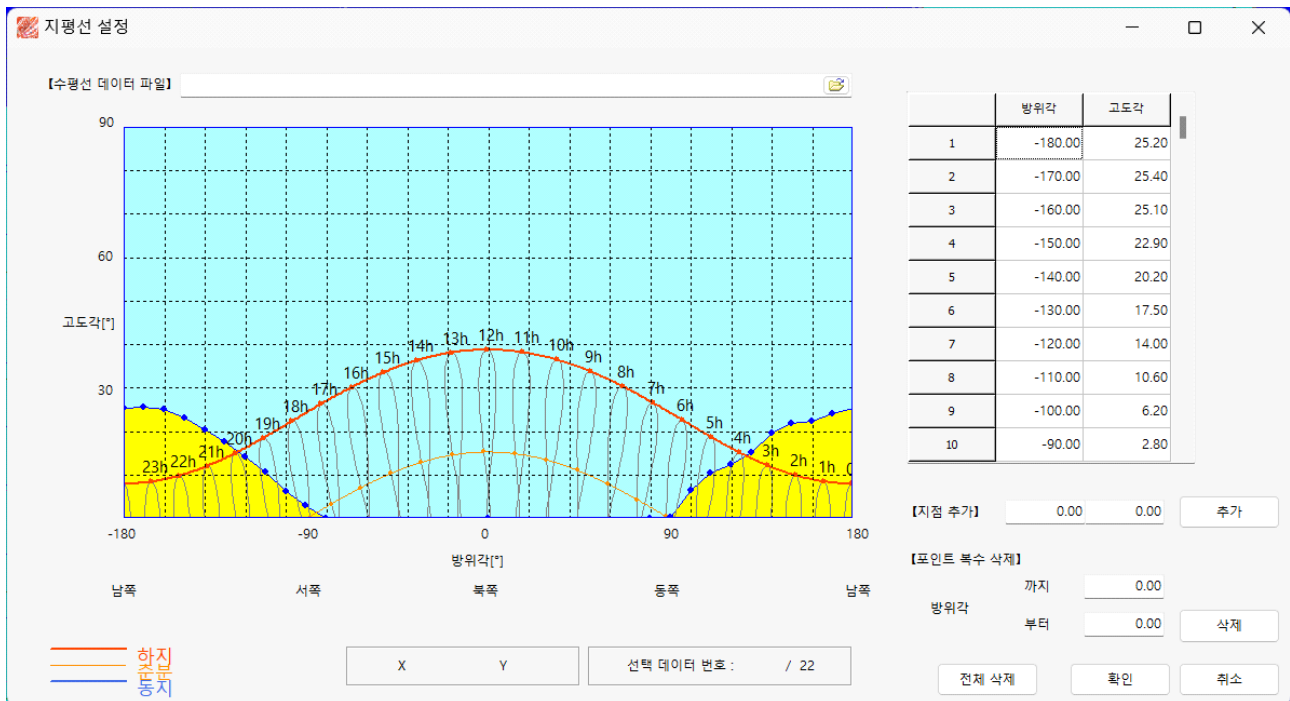


REMA데이터를 통한 지평선 추출

○ 현장조사와 REMA데이터를 통해 생성한 연구지역별 지평선 데이터

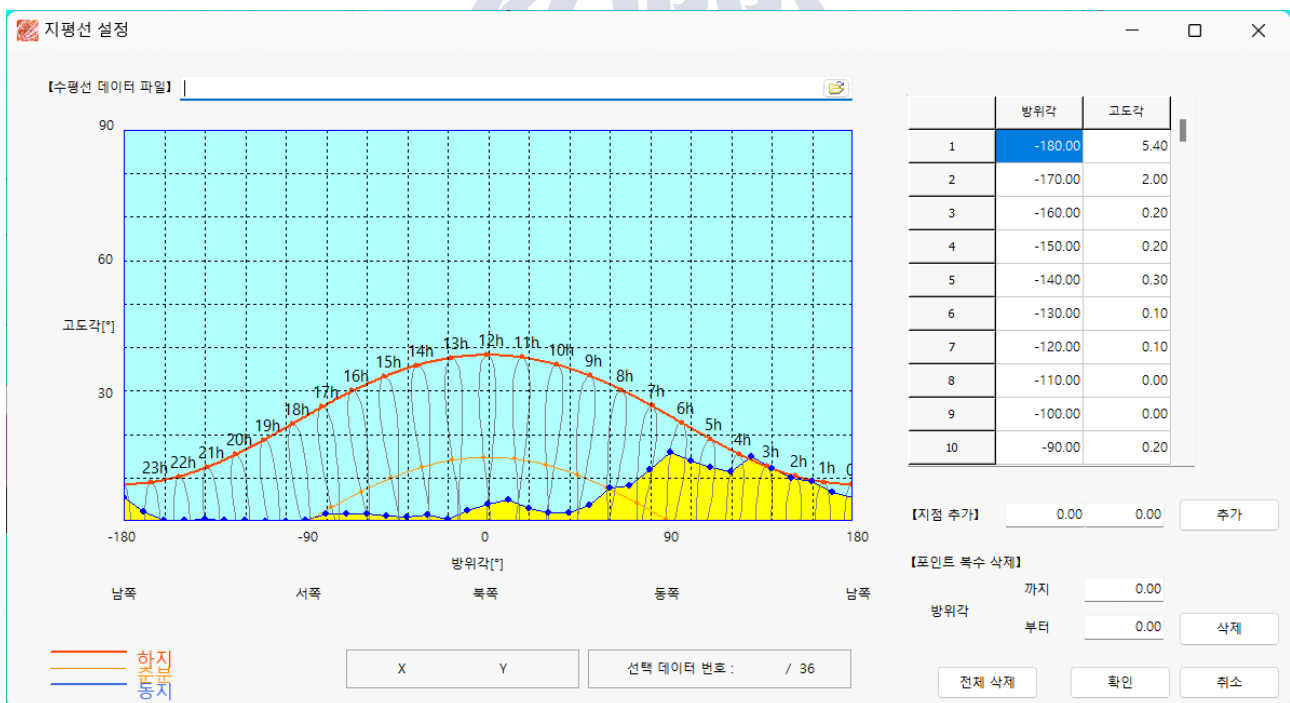
	브라우닝패스	마운트멜번	케이프워싱턴	에드먼슨포인트
azimuth(deg)	elevation(deg)	elevation(deg)	elevation(deg)	elevation(deg)
0(North)	3.9	0.0	5.9	2.6
10	4.8	0.0	7.4	2.1
20	2.9	0.0	7.5	2.8
30	1.9	0.0	7.8	1.6
40	1.9	0.0	6.4	0.0
50	3.5	0.0	6.3	0.0
60	7.7	0.0	5.8	0.0
70	8.2	0.0	7.1	0.0
80	11.8	0.0	8.7	0.0
90(East)	15.9	0.2	11.1	0.0
100	13.8	6.4	12.4	0.0
110	12.3	10.4	13.4	0.0
120	11.4	12.3	13.5	2.0
130	14.9	15.1	16.2	1.6
140	12.0	19.4	18.0	0.0
150	9.7	21.7	19.4	0.0
160	9.0	22.3	17.6	1.4
170	6.7	24.1	11.9	4.5
180(South)	5.4	25.2	7.5	8.2
190	2.0	25.4	1.9	11.0
200	0.2	25.1	0.0	13.6
210	0.2	22.9	0.0	16.4
220	0.3	20.2	0.0	21.0
230	0.1	17.5	0.0	21.7
240	0.1	14.0	0.0	20.8
250	0.0	10.6	0.0	17.9
260	0.0	6.2	0.8	13.2
270(West)	0.2	2.8	0.6	9.8
280	1.6	0.0	0.9	6.5
290	1.7	0.0	1.4	6.9
300	1.7	0.0	1.7	4.9
310	1.0	0.0	1.5	2.8
320	0.9	0.0	2.2	2.0
330	1.4	0.0	2.6	1.7
340	0.4	0.0	0.9	1.1
350	2.4	0.0	3.8	2.1
360	3.9	0.0	5.9	2.6

○ 마운트멜번의 지평선 설정



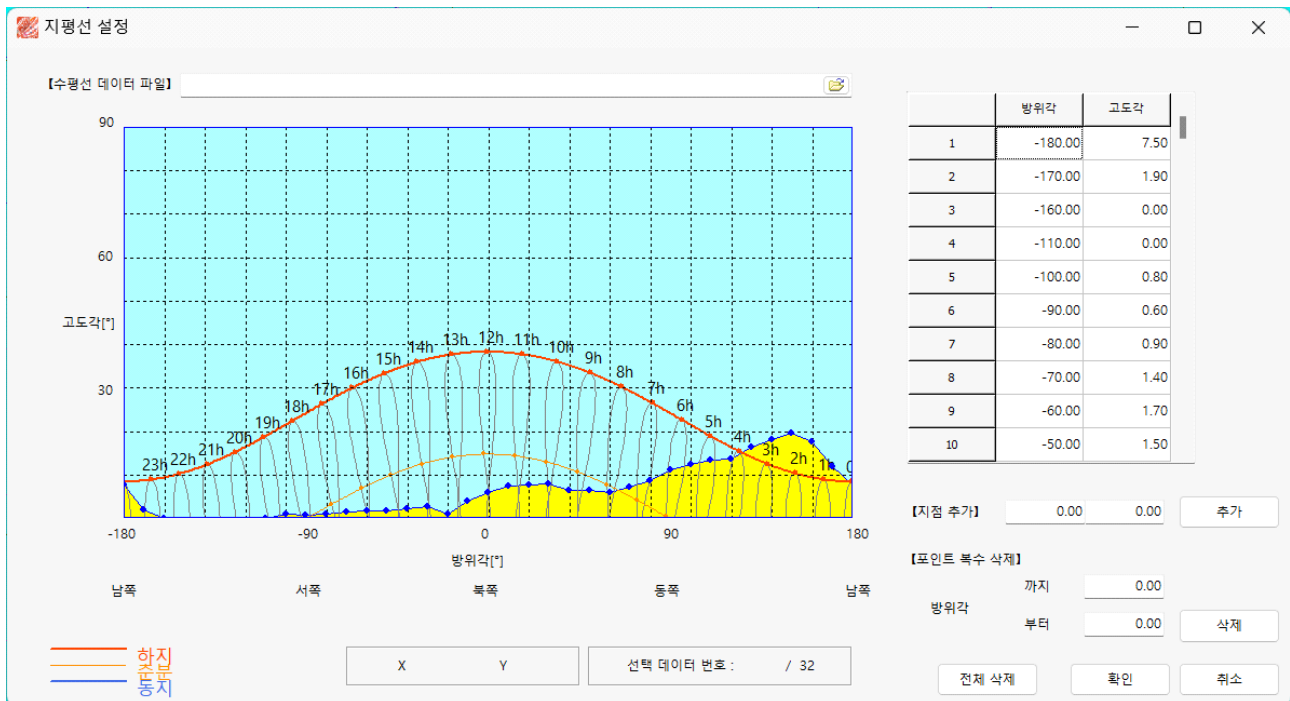
마운트멜번 지평선 설정 사용자 인터페이스

○ 브라우닝패스의 지평선 설정



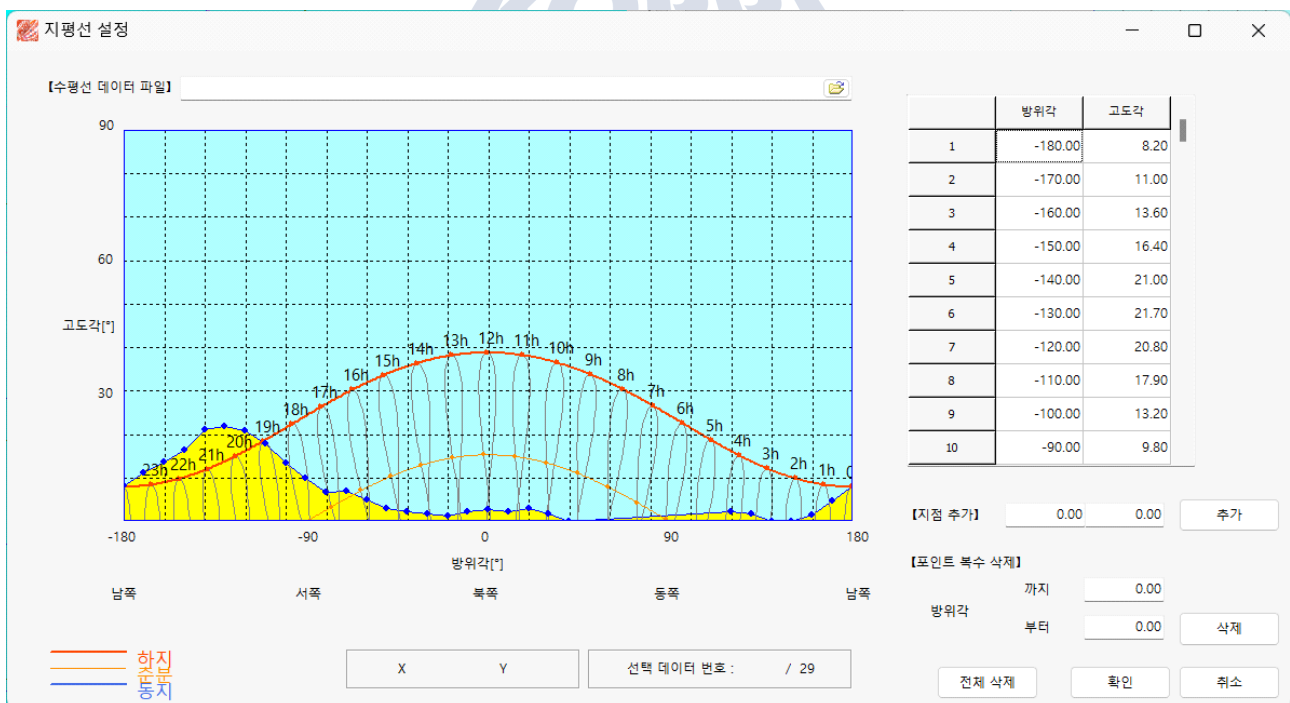
브라우닝패스 지평선 설정 사용자 인터페이스

○ 케이프위싱턴의 지평선 설정



케이프위싱턴 지평선 설정 사용자 인터페이스

○ 에드먼슨포인트의 지평선 설정



에드먼슨포인트 지평선 설정 사용자 인터페이스

제 2 절 극지 환경의 특성을 고려한 태양광 발전량 예측 시뮬레이션 환경 구축

1. 태양광 발전량 예측 시뮬레이션 환경 구축

□ SolarPro

- 태양광 발전량 예측을 위한 시뮬레이션 소프트웨어로 SolarPro를 선정하였음.

SolarPro는 다른 시뮬레이션 소프트웨어와 비교하여 3D 설계 기능을 통해 지형 및 구조물에 맞춘 유연한 패널 배치가 가능하며, 이는 태양의 방위각 변화가 커서 패널의 설치 각도와 방향을 다양하게 구성해야 하는 극지 환경에 적합함. 또한, 정교한 음영 및 반사광 시뮬레이션 기능은 남극과 같이 눈에 의한 반사광 영향이 큰 지역의 태양광 발전량 예측에 매우 효과적임.



High accuracy simulation software, acknowledge by the world.

Full-scale simulation software
Solar Pro was the world's first full-scale simulation software, released in 1997. It realizes highly accurate calculation of generated power by integrating instantaneous values that take into account the effects of solar radiation and shadows on each module.

Cutting-edge technology recognized worldwide
In 2001, it was introduced as the most advanced simulation software by the German photovoltaic power generation magazine 'PHOTON', and has been continuously improved since then. Since then, Solar Pro has been widely used around the world.

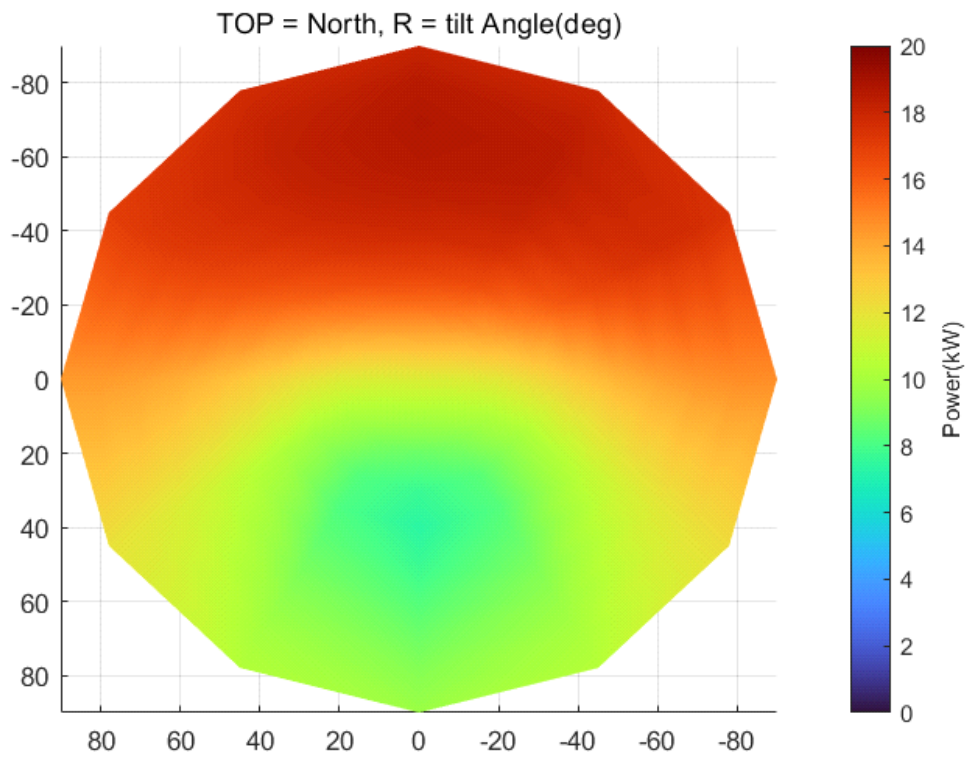
Contribution to the spread of solar power generation
Solar Pro's high technology and contribution to the spread of solar power generation have been highly praised by many public institutions. In 2003, it won the Kyoto Small and Medium Enterprise Excellent Technology Award, and has also been selected as a Small and Medium Enterprise Creative Activity Promotion Act certified project and Oscar certified company.

Simple drawing functions for complex system designs	Precise simulation considering the influence of shadows	Reflected light simulation to prevent light pollution	3D simulation of bifacial module
			
It supports a wide range of installation methods, such as flat placement or wall installation, as well as systems such as tracking and mono solar. Furthermore, the inclination of the solar cell array can be freely adjusted forward, backward, left and right, and it is also possible to simulate a case where it is facing in a direction different from the inclination of the roof or is placed in a complicated location.	If a module is partially shaded, the power generation capacity of the entire string will decrease, and the amount of power generated by the system will drop significantly. Solar Pro performs accurate simulations by taking into account the effects of shading on a module-by-module basis.	The glare of reflected light from solar panels has become a social issue, and it has become essential to take reflected light into consideration when considering panel installation methods. Solar Pro allows you to specify the season and time of day to understand how reflected light affects the surrounding area.	Reflected light can be reproduced in 3D, allowing accurate calculations including the effect of reflected light from reflective objects and the ground on power generation when using bifacial modules. In addition, multiple reflections of reflected light (specular reflection) can be reproduced, allowing simulation of up to two levels of reflected light from the ground, walls, etc.

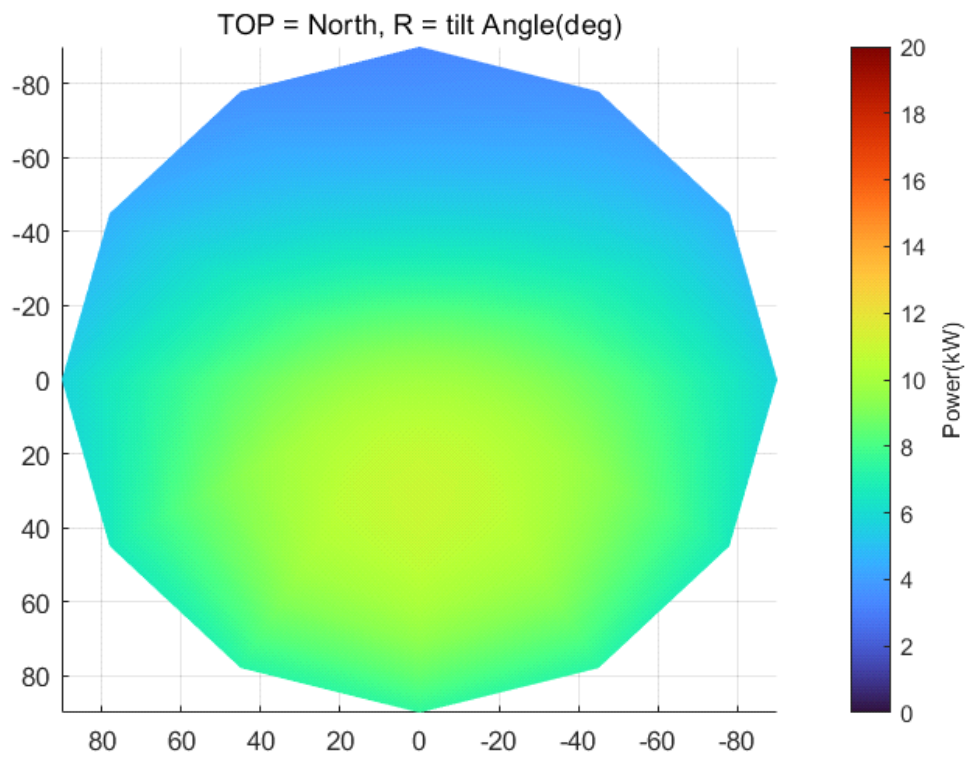
SolarPro 주요 기능

□ 태양광 발전량 예측 시뮬레이션

- 시뮬레이션 소프트웨어의 검증은 위하여 장보고기지와 서울 기준으로 패널의 방위각과 경사각에 따른 연간 누적 발전량 분석을 수행하였음. 서울의 경우 남측 방향의 경사각 약 30도 부근에서 발전량이 최대화 되는 것을 확인할 수 있었음. 이에 반해 장보고기지의 경우 북측방향의 경사각 약 70도 부근에서 발전량이 최대화 되었으며, 서울의 결과 대비하여 북측으로부터 방위각의 멀어짐에 따른 발전량 감소가 상대적으로 적은 것을 확인할 수 있었음.



10W 패널의 연간 발전량(장보고기지, 지면반사율 0.8 적용)



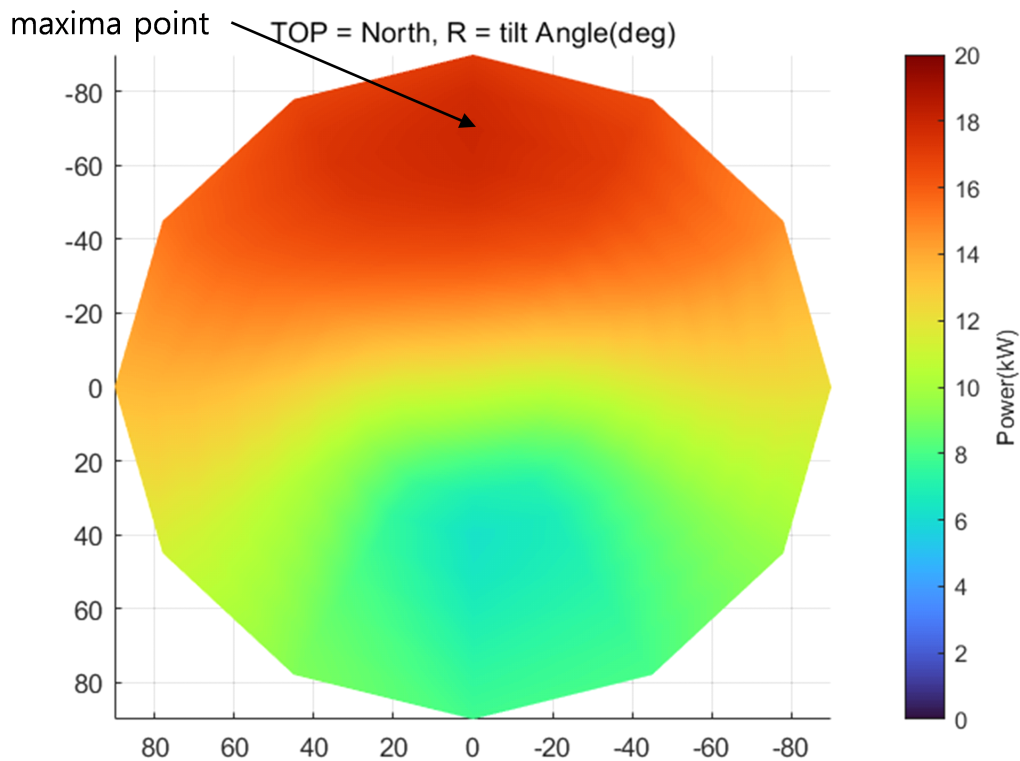
10W 패널의 연간 발전량(서울, 지면반사율 0.2 적용)

제 3 절 태양광 발전량 최대화를 위한 시스템 설계

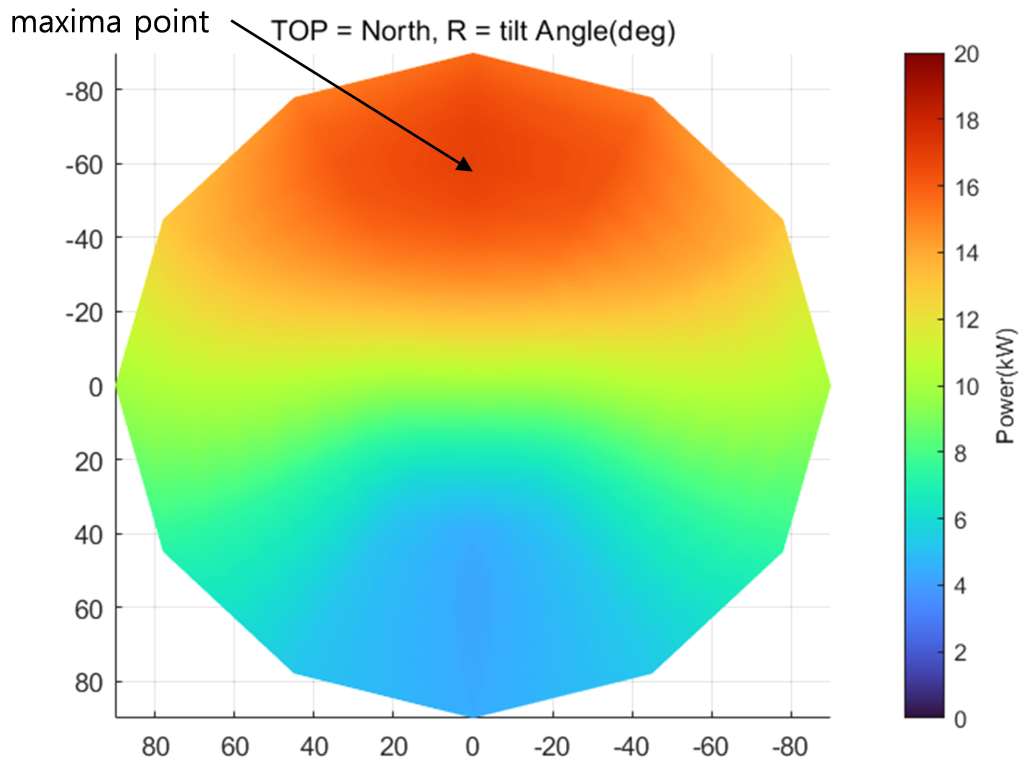
1. 태양광 발전량 최대화를 위한 태양전지 배치 조건 도출

□ 기후 요소 및 지형 요소를 반영한 발전량 최대화 시스템 설계

- 기후 요소 및 지형 요소를 반영한 시뮬레이션을 통해 태양전지의 방위각, 경사각에 따른 연간 누적 발전량 분석을 수행하였음. 각각의 결과에서 주변 지형으로 인한 음영 효과에 의하여 해당 방위각 측의 연간 누적 발전량 감소 현상을 확인할 수 있었으며, 최대 발전량 획득을 위한 태양전지 배치 조건을 산출하였음.



10W패널의 연간 발전량(브라운링패스, 기후 요소 및 지형 요소 반영)

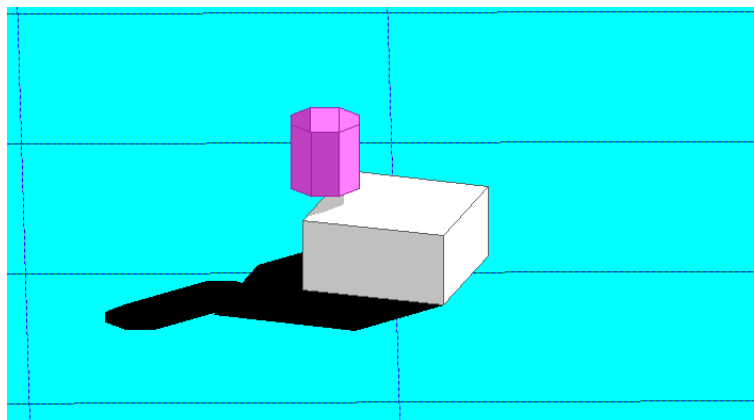


10W패널의 연간 발전량(마운트멜번, 기후 요소 및 지형 요소 반영)

2. 연중 상시 가동을 위한 독립형 태양광 전력 시스템 구성

□ 극지 환경에서 연중 상시 가동이 가능한 독립형 태양광 전력시스템 설계

- 극지 환경에 적합한 수직형 태양광 패널과 다양한 연구장비의 전력 부하 조건으로 여러 가지 케이스를 설정하였음. 각각의 조건에서 연중 상시로 연구장비를 가동할 수 있도록 태양전지를 포함한 전력시스템 구성 방안을 도출하였음.
- 설계조건
 - 위치 : 브라우닝패스, 에드먼슨포인트, 마운트멜번, 케이프워싱턴
 - 소비전력 : 지진계, AWS, SBC를 다양하게 조합하여 구성
 - 태양전지 : 수직형 8면 구성의 50W 태양전지
 - 배터리 : AGM Type 12V / 100 Ah 배터리
- 시뮬레이션 모델

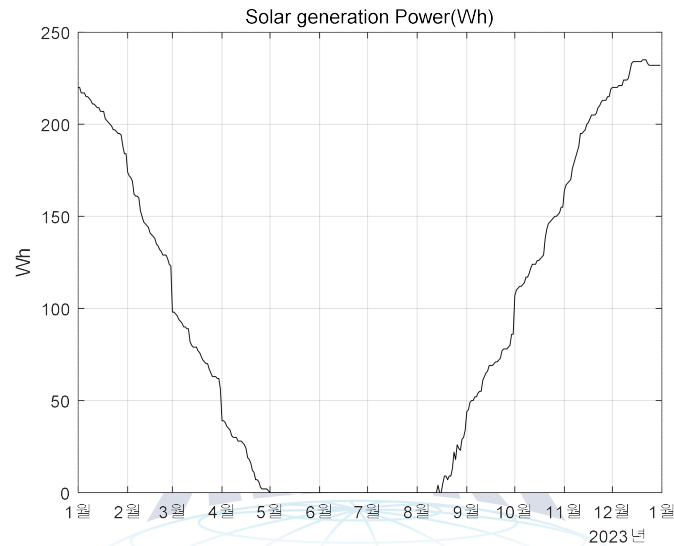


□ 설계 Case #1

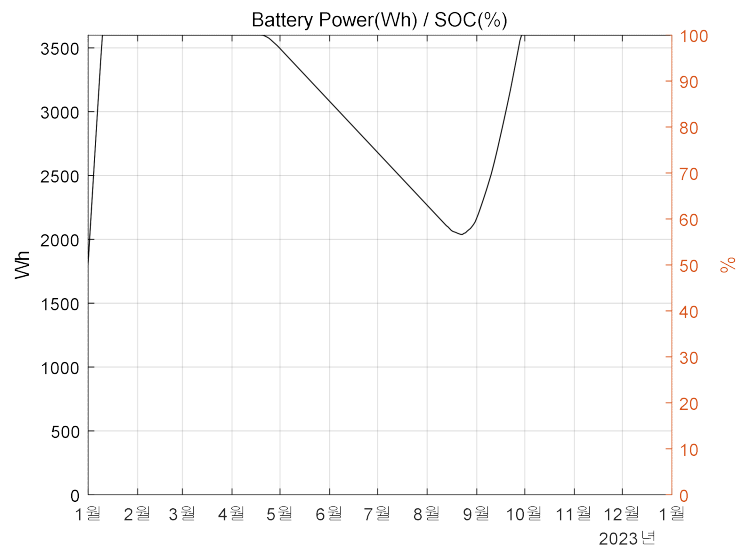
○ 설계조건

- 위치 : 브라우닝패스
- 소비전력 : AWS(4.8Wh, 시간 당 5분 동작)
- 태양전지 : 수직형 8면 구성의 50W 태양전지 1개 구성
- 배터리 : AGM Type 12V / 100 Ah 배터리 3개 구성

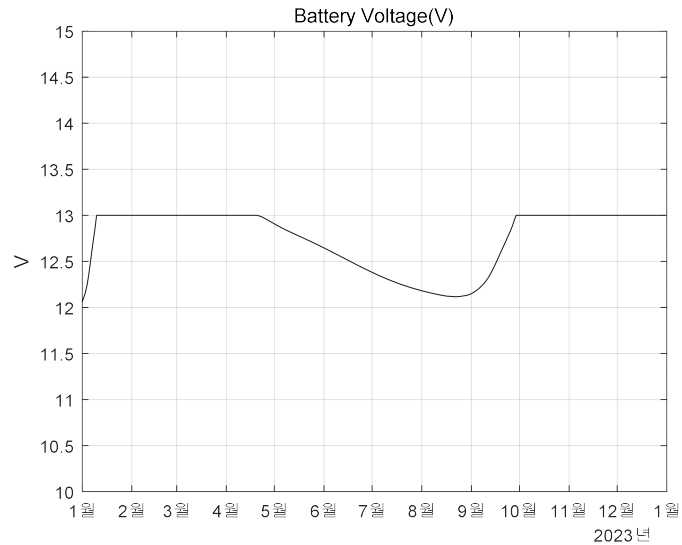
○ 발전량 시뮬레이션 결과



연중 일별 발전량



연중 일별 시스템 전력량 / SOC(%)



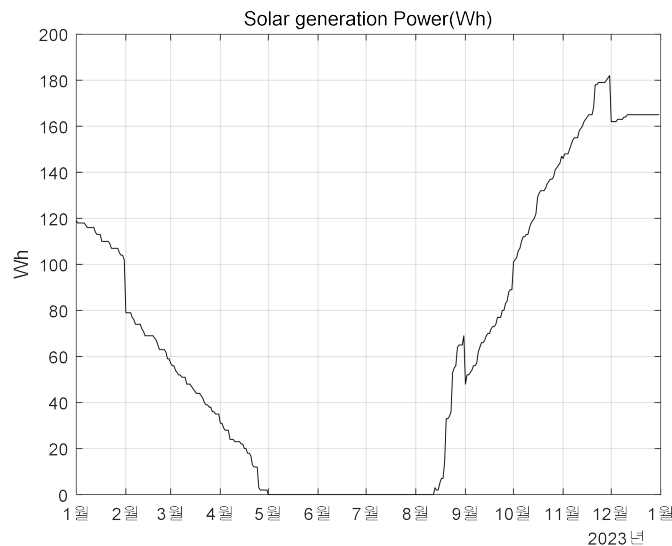
연중 일별 배터리 전압

- 연중 상시 가동을 위하여 태양전지 1개와 배터리 3개로 구성하였으며, 연중 최저 SOC 56%로 방전 상태에서 저온 노출로 인한 배터리 과손 현상 및 배터리 수명으로 인한 성능저하에도 충분한 안전율을 갖는 것으로 판단됨. 또한, 하계 기간 중 배터리가 완충되므로 태양전지 용량은 감축 가능.

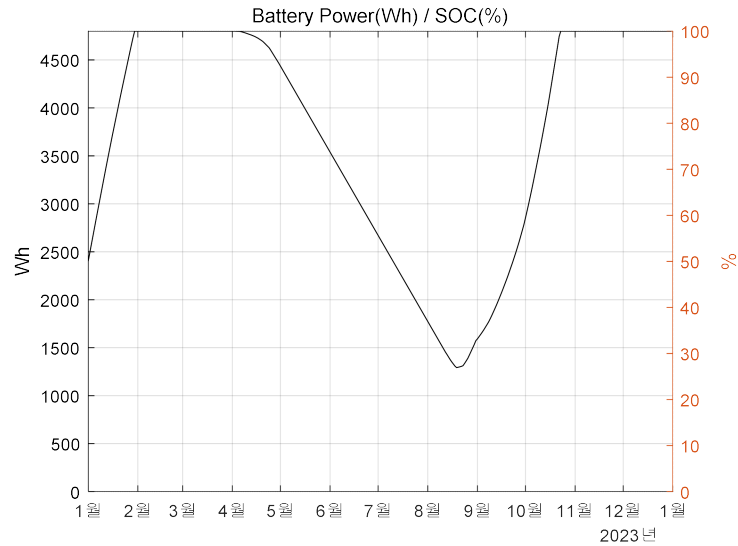


□ 설계 Case #2

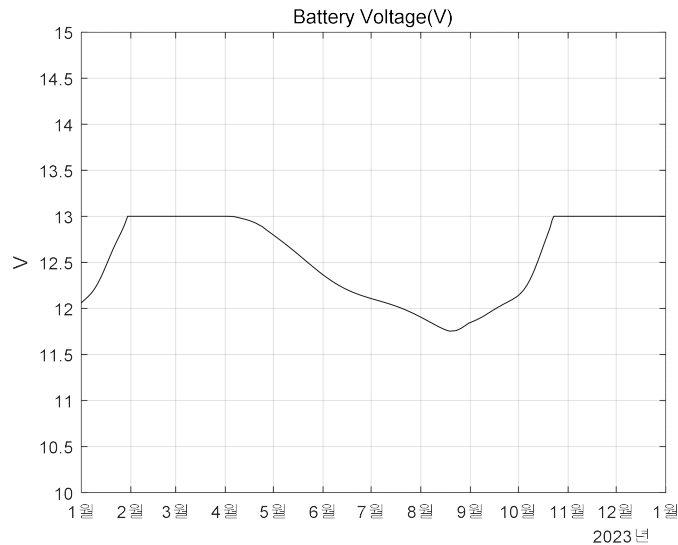
- 설계조건
 - 위치 : 에드먼슨포인트
 - 소비전력 : 지진계(1.05Wh, 연속 동작)
 - 태양전지 : 수직형 8면 구성의 50W 태양전지 1개 구성
 - 배터리 : AGM Type 12V / 100 Ah 배터리 4개 구성
- 발전량 시뮬레이션 결과



연중 일별 발전량



연중 일별 시스템 전력량 / SOC(%)



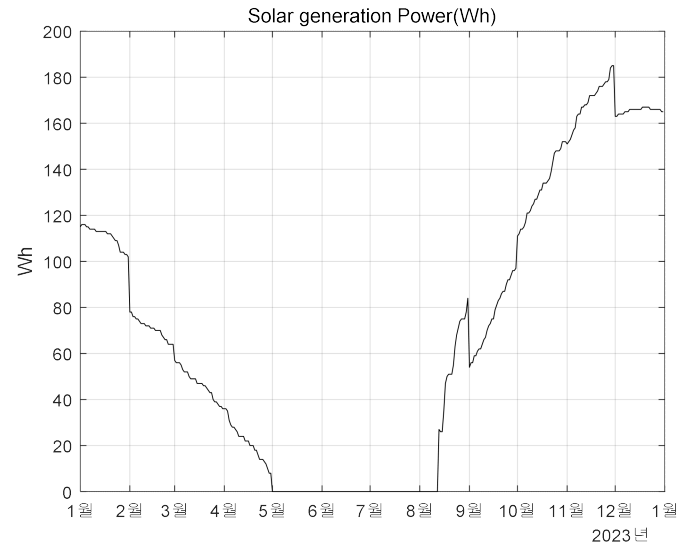
연중 일별 배터리 전압

- 연중 상시 가동을 위하여 태양전지 1개와 배터리 4개로 구성하였으며, 연중 최저 SOC 26%로 방전 상태에서 저온 노출로 인한 배터리 파손 현상 방지를 위하여 배터리 용량 증가가 필요 함. 또한, 하계 기간 중 배터리가 완충되므로 태양전지 용량은 감축 가능.

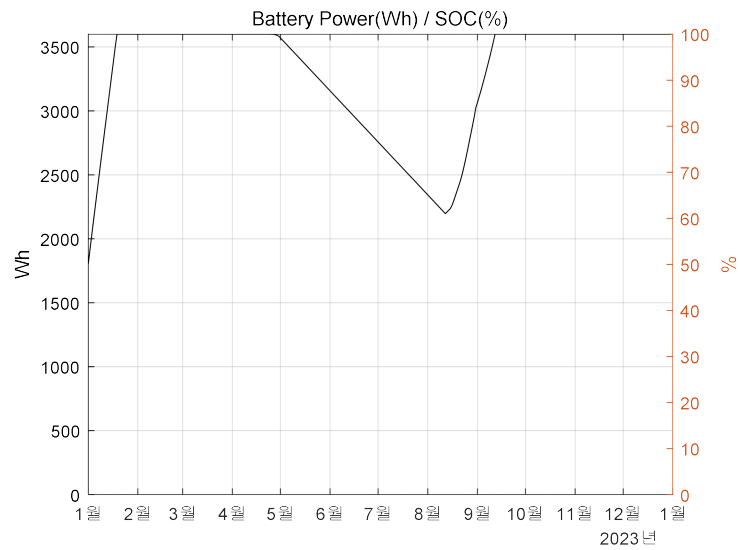
□ 설계 Case #3

- 설계조건
 - 위치 : 마운트멜번
 - 소비전력 : AWS(4.8Wh, 시간 당 5분 동작)
 - 태양전지 : 수직형 8면 구성의 50W 태양전지 1개 구성
 - 배터리 : AGM Type 12V / 100 Ah 배터리 3개 구성

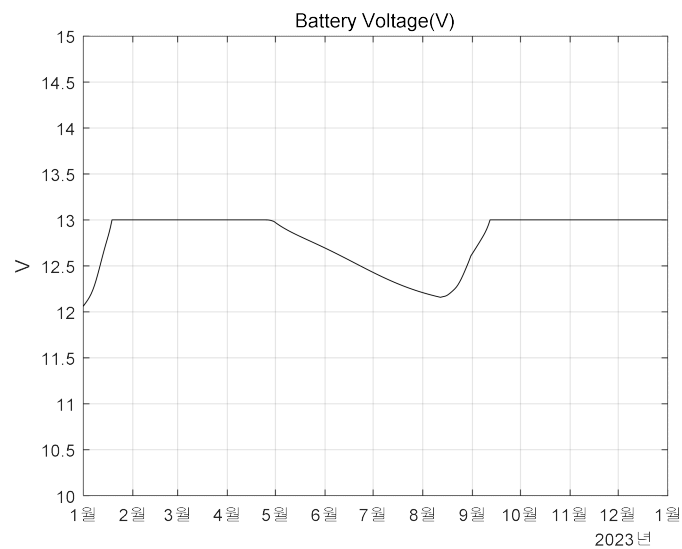
○ 발전량 시뮬레이션 결과



연중 일별 발전량



연중 일별 시스템 전력량 / SOC(%)

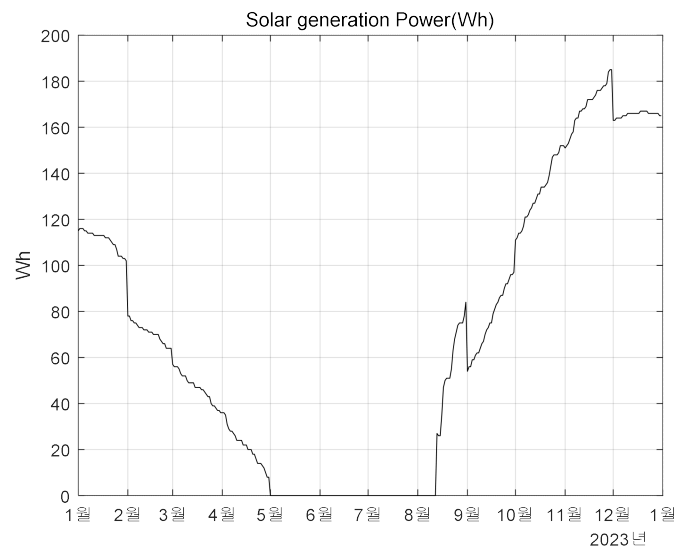


연중 일별 배터리 전압

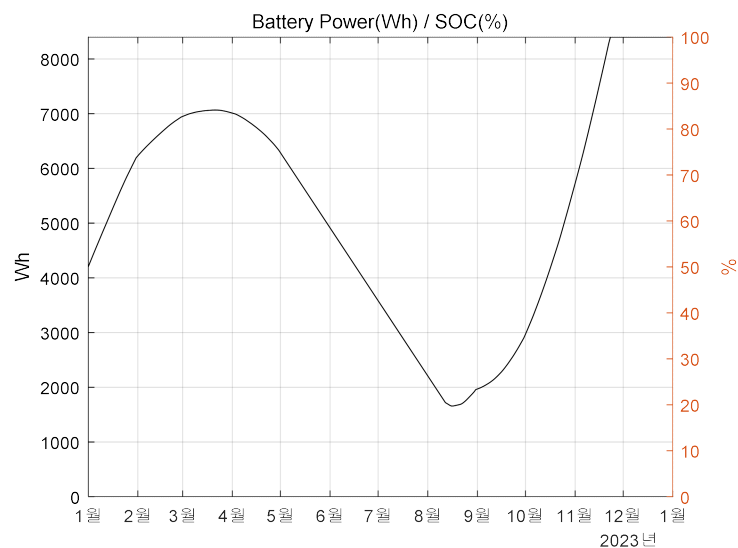
- 연중 상시 가동을 위하여 태양전지 1개와 배터리 3개로 구성하였으며, 연중 최저 SOC 61%로 방전 상태에서 저온 노출로 인한 배터리 과손 현상 및 배터리 수명으로 인한 성능저하에도 충분한 안전율을 갖는 것으로 판단됨. 또한, 하계 기간 중 배터리가 완충되므로 태양전지 용량은 감축 가능.

□ 설계 Case #4

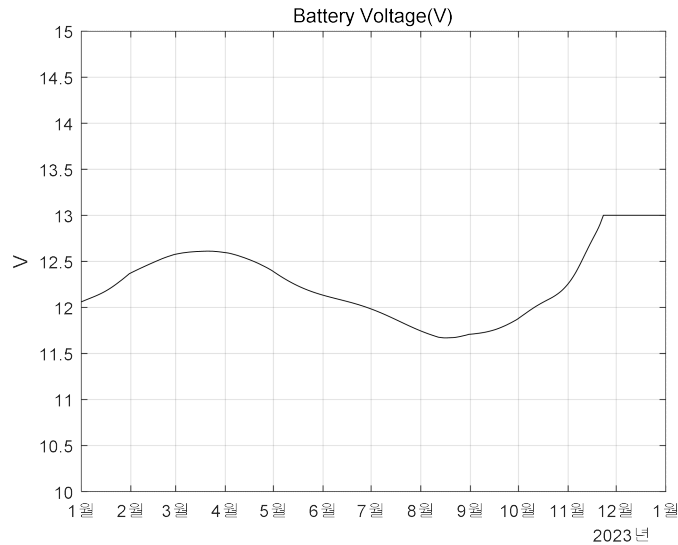
- 설계조건
 - 위치 : 마운트멜번
 - 소비전력 : 지진계(1.05Wh, 연속 동작) + SBC(7.7Wh, 시간 당 5분 동작)
 - 태양전지 : 수직형 8면 구성의 50W 태양전지 1개 구성
 - 배터리 : AGM Type 12V / 100 Ah 배터리 7개 구성
- 발전량 시뮬레이션 결과



연중 일별 발전량



연중 일별 시스템 전력량 / SOC(%)



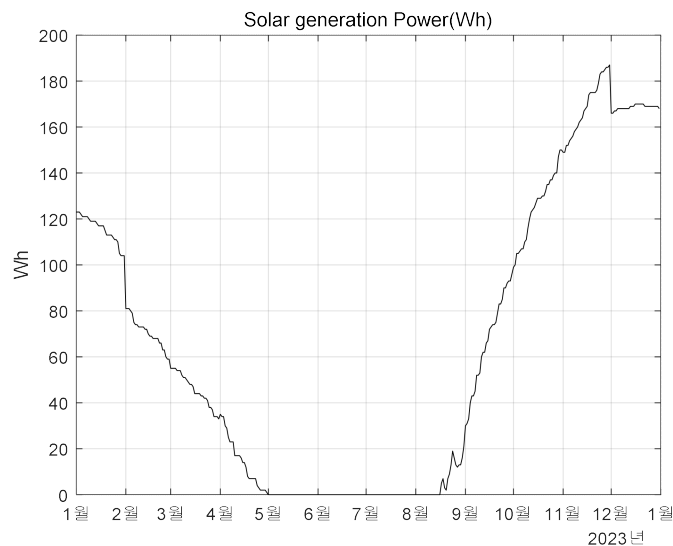
연중 일별 배터리 전압

- 연중 상시 가동을 위하여 태양전지 1개와 배터리 7개로 구성하였으며, 연중 최저 SOC 19%로 방전 상태에서 저온 노출로 인한 배터리 과손 현상 방지를 위하여 배터리 용량 증가 및 초기 배포 시 SOC 향상이 필요함. 또한, 하계 기간 중 배터리가 완충되므로 태양전지 용량은 감축 가능.

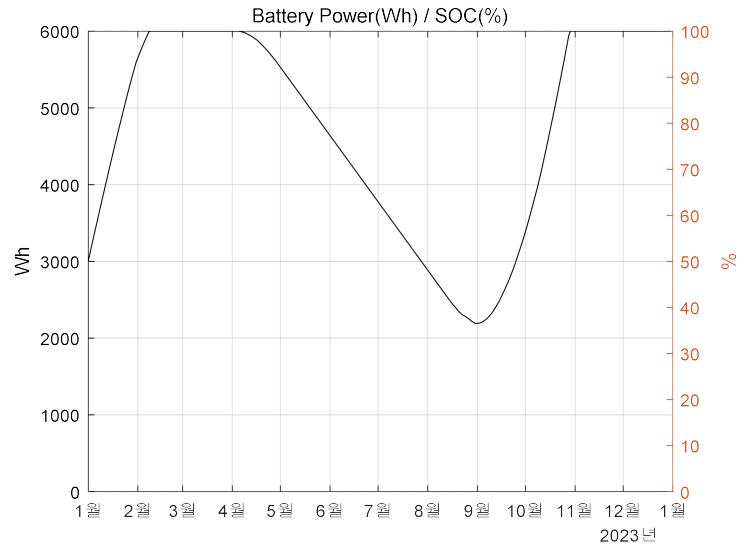


□ 설계 Case #5

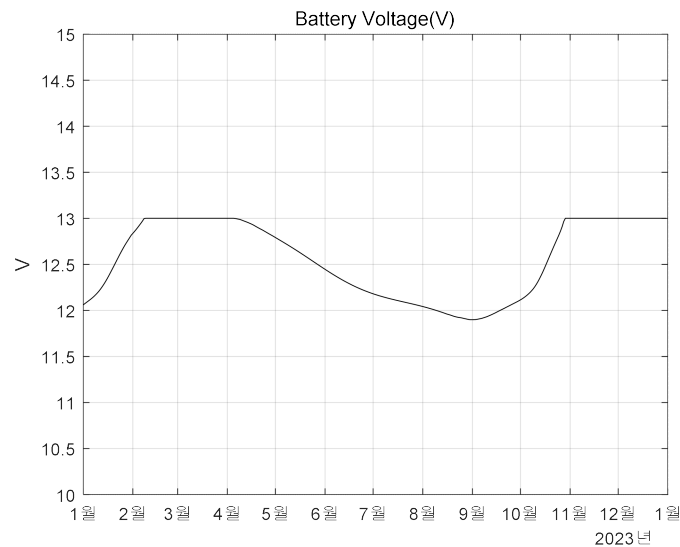
- 설계조건
 - 위치 : 케이프워싱턴
 - 소비전력 : AWS(4.8Wh, 시간 당 5분 동작) + SBC(7.7Wh, 시간 당 5분 동작)
 - 태양전지 : 수직형 8면 구성의 50W 태양전지 1개 구성
 - 배터리 : AGM Type 12V / 100 Ah 배터리 5개 구성
- 발전량 시뮬레이션 결과



연중 일별 발전량



연중 일별 시스템 전력량 / SOC(%)



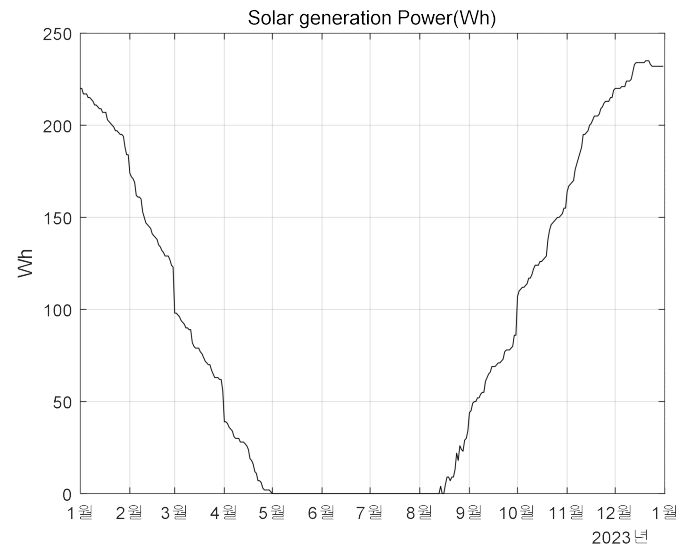
연중 일별 배터리 전압

- 연중 상시 가동을 위하여 태양전지 1개와 배터리 5개로 구성하였으며, 연중 최저 SOC 36%로 방전 상태에서 저온 노출로 인한 배터리 파손 현상 및 배터리 수명으로 인한 성능저하에도 충분한 안전율을 갖는 것으로 판단됨. 또한, 하계 기간 중 배터리가 완충되므로 태양전지 용량은 감축 가능.

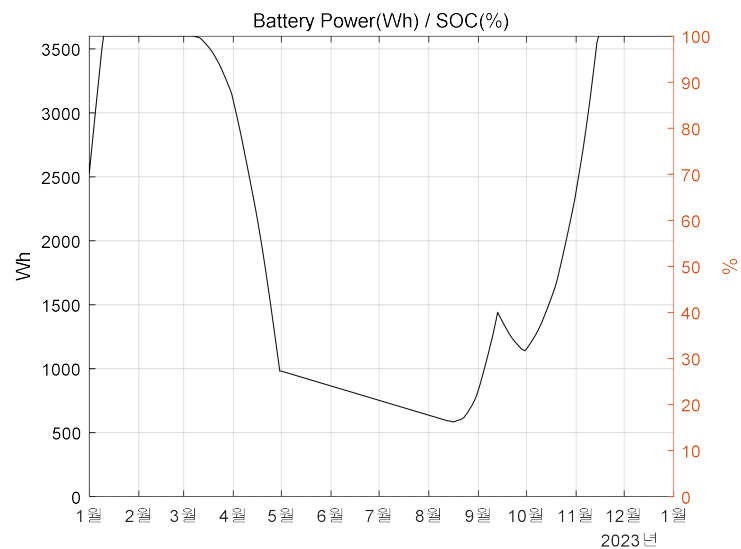
□ 설계 Case #6

- 설계조건
 - 위치 : 브라우닝패스
 - 소비전력 : 전천카메라+SBC(100Wh, 시간 당 5분 동작)
 - 태양전지 : 수직형 8면 구성의 50W 태양전지 1개 구성
 - 배터리 : AGM Type 12V / 100 Ah 배터리 3개 구성

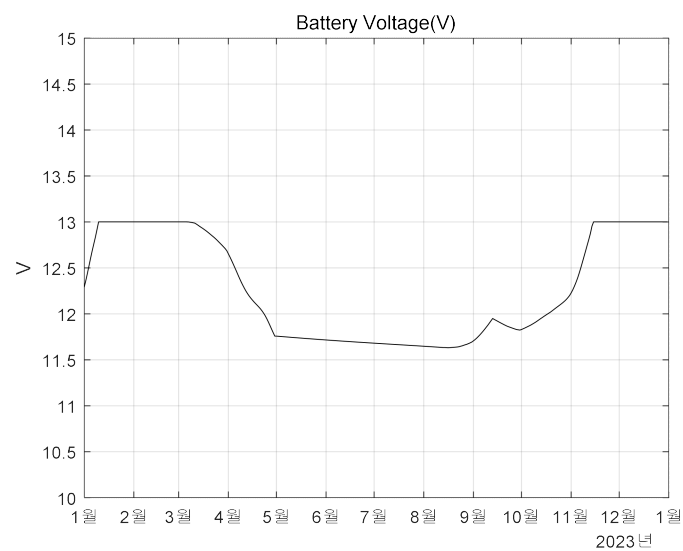
○ 발전량 시뮬레이션 결과



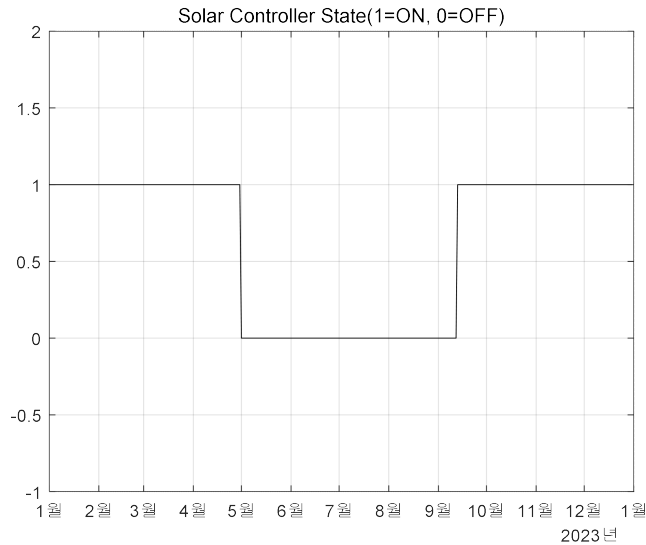
연중 일별 발전량



연중 일별 시스템 전력량 / SOC(%)



연중 일별 배터리 전압



연중 일별 가동 여부

- 하계 기간만 한정하여 가동을 위해서 태양전지 1개와 배터리 3개로 구성하였으며, 연중 최저 SOC 16%로 방전 상태에서 저온 노출로 인한 배터리 파손 현상 방지를 위하여 배터리 용량 증가 필요함. Load Reconnect SOC를 40%로 설정 시 9월 중순 4월 말까지 운영 가능하며, 필요 운영 기간에 따라 태양전지 용량 및 배터리 용량 감축 가능.

□ 결과 분석

- 설계 Case들의 요약 비교 종합표

	Case#1	Case#2	Case#3	Case#4	Case#5	Case#6
위치	브라운닝 패스	에드먼슨 포인트	마운트멜번	마운트멜번	케이프 워싱턴	브라운닝 패스
소비 전력 (Wh)	4.8	1.05	4.8	1.05, 7.7	12.5	100
가동률(%)	8.3	100	8.3	100, 8.3	8.3	8.3
연간 누적 소비전력 (Wh)	3,504	9,198	3,504	14,819	9,125	73,000
태양전지 (W)	50 (수직,8면)	50 (수직,8면)	50 (수직,8면)	50 (수직,8면)	50 (수직,8면)	50 (수직,8면)
연간 누적 발전량 (Wh)	32,726	23,999	25,190	25,190	23,725	32,726
배터리 용량(Wh)	3,600	4,800	3,600	8,400	6,000	3,600
연중연속 동작	O	O	O	O	O	X (9.10~4.30)
최저SOC (%)	56	26	61	19	36	16
하계기간 중 완충	O	O	O	O	O	O
시스템 구축 예산 (천원)	4,300	5,400	4,300	9,200	7,000	4,300

- 발전량 산정에 기상환경에 따른 일사량 감소는 반영되었으나, 극지의 혹독한 기후조건(패널에 적설로 인한 음영 발생)으로 인한 발전량 저하 현상은 반영되지

않았으므로 실제 적용 시 보수적으로 고려할 필요가 있음

- 패널 표면 결빙 및 적설로 인해 발생하는 발전량 저하 현상을 고려하여 수직형 태양전지를 설계에 적용하였음. 또한, 프레임리스 패널 적용을 통해 자연 낙설을 유도할 필요가 있음
- 극지의 저온환경에서 배터리 성능 저하와 배터리 특성에 따른 충전 가능 온도를 감안하여 배터리 합체의 단열 및 히터 적용을 고려할 필요가 있음
- 배터리의 SOC가 낮은 상태에서 저온에 노출될 경우 전해액 동결, 셀 팽창, 내부 리튬 금속 석출 등의 이유로 셀 손상, 수명 감소, 완전 고장이 발생 할 수 있으므로, 일정 SOC이하로 방전되지 않도록 저전압 차단기능 적용 필요.



제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

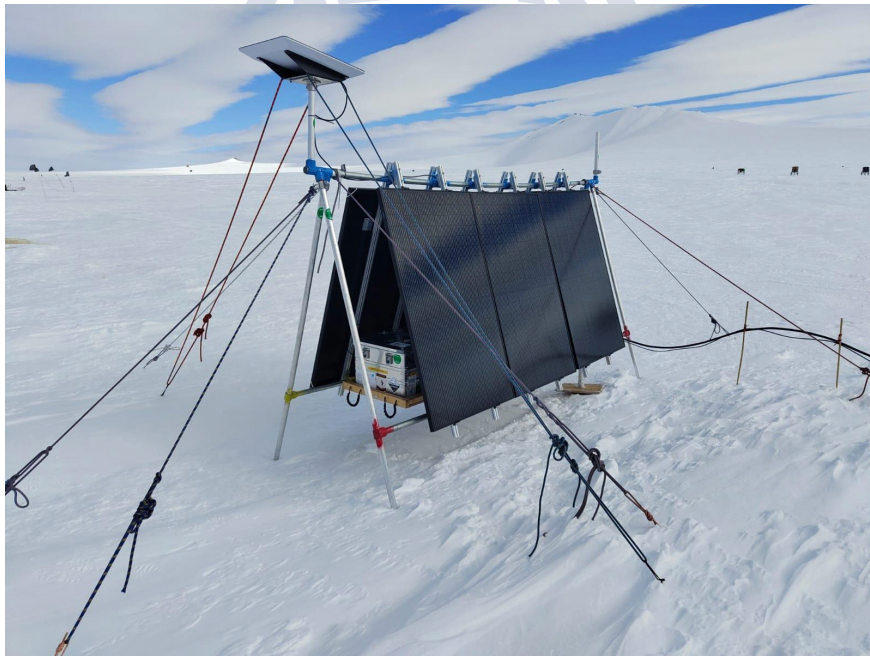
□ 계획대비 연구 성과 달성도

- 대부분의 연구 개발 목표를 달성하였으나, 현장조사 장비의 사용자 편의성이 부족하여 여러 현장에 광범위하게 사용하기 어려움. 이는 향후 소프트웨어 개선을 통해 보완할 계획임.

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위	목표달성도
1차년도 (2024.03 ~ 2025.02)	○ 극지 환경의 태양광 발전 관련 선행연구 조사 및 태양광 발전량 예측을 위한 환경 데이터 분석	- 극지 환경의 독립된 연구 장비를 위한 태양광 발전 관련 선행연구 조사 - 극지 환경에서의 태양광 발전량 예측 시뮬레이션에 적용하기 위한 기후학적, 지형학적 자료 분석 및 현장조사 장비 구축	90%
	○ 극지 환경의 독립형 연구장비를 위한 태양광 발전량 최대화 설계 및 예측 시뮬레이션	- 극지 환경의 특성을 고려한 태양광 발전량 예측 시뮬레이션 환경 구축 - 극지 연구 장비 설치 예정지의 기후학적, 지형학적 특성을 고려한 태양광 발전량 최대화를 위한 설계(고정식 및 추적식) 및 발전량 예측 시뮬레이션	100%

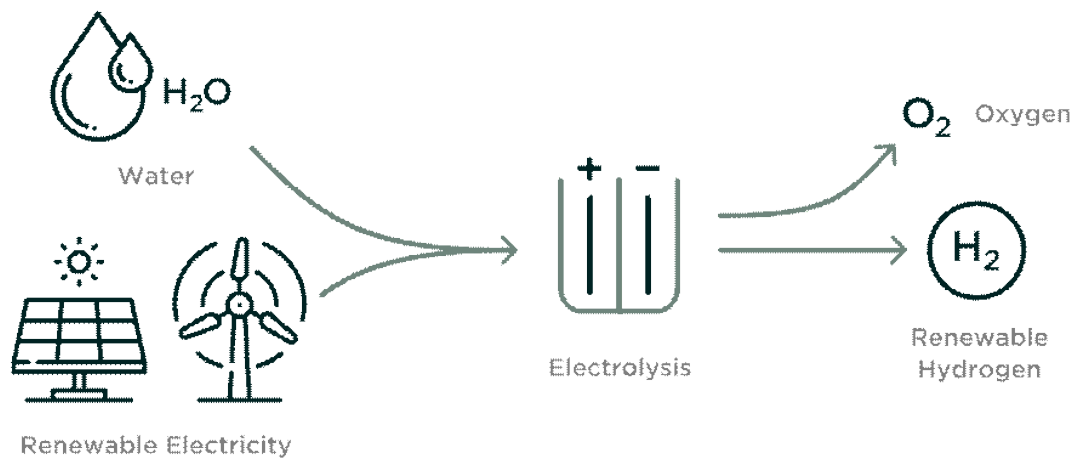
제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- 신규 연구장비 개발 및 현장 설치 시 설계 적용
 - 극지 환경에서 신규 연구장비가 설치될 경우, 해당 위치의 기후 및 지형 조건을 반영하여 태양광 발전량을 최대화할 수 있는 설계안을 도출할 수 있음. 장비의 전력 수요와 태양광 자원, 배터리 용량 등을 종합적으로 고려하여, 에너지 자립형 전력 시스템을 맞춤형으로 설계할 수 있는 기반을 제공가능
- 기존 태양광 발전장치의 유지보수 및 개선계획 수립에 활용
 - 현재 남극 지역에 설치되어 운영 중인 태양광 발전장치에 대해 연간 발전량 예측 및 전력수급 분석을 수행함으로써, 운영 효율을 높이기 위한 개선사항을 도출할 수 있음. 이로써 유지보수 주기 최적화, 시스템 신뢰도 향상 등 지속적인 성능 관리 전략 수립이 가능.
- 극지 하계 캠프 통신 인프라 전력공급 시스템 설계에 적용
 - 태양광 자원이 풍부한 하계 시즌을 활용하여 통신 인프라용 독립형 전력 시스템을 설계·구축할 수 있음. BAS의 Sky Blu 활주로 사례처럼, 본 연구의 설계기법을 기반으로 Starlink, 이리든펜, 연구용 장비 등의 안정적인 전력 공급이 가능하며, 캠프 운영 시 화석연료 의존도를 낮추고 지속가능성을 높일 수 있음.



BAS에서 구축한 Sky Blu 활주로의 하계 캠프용 통신 인프라

- 극지형 그린에너지 프로젝트의 기반 기술로 활용
 - Qinling 기지의 대규모 재생에너지 시스템 구축 사례와 같이, 본 연구에서 개발한 시뮬레이션 기반 태양광 발전 설계 기법은 향후 극지형 친환경 인프라 확산을 위한 기술적 기반으로 활용될 수 있음. 그린에너지 프로젝트 중 태양광 분야의 기반 기술로 활용 가능.



그린에너지 모식도



Qinling 기지의 그린에너지 구축 사례

제 6 장 참고문헌

1. Frimannslund, I., Thiis, T., Aalberg, A., & Thorud, B. (2021). Polar solar power plants - Investigating the potential and the design challenges. *Solar Energy*, 224, 35 - 42. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.05.069>
2. Zuo, G., Dou, Y., Chang, X., & Chen, Y. (2018). Design and application of a standalone hybrid wind - solar system for automatic observation systems used in the polar region. *Applied Sciences*, 8(12), Article 2376. <https://doi.org/10.3390/app8122376>
3. Solbakken, K., Babar, B., & Boström, T. (2016). Correlation of wind and solar power in high-latitude arctic areas in Northern Norway and Svalbard. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*, 1. <https://doi.org/10.1051/rees/2016027>
4. 이승민, 이의찬, 이정훈. (2023). 수직형 태양광발전 연구사례 및 시사점. *전기학회지*, 72(11), 15 - 18.
5. 강병오. (2023). 스마트컨테이너 활용을 위한 태양광발전 에너지하베스팅에 관한 연구. 부경대학교 석사학위논문.
6. ENVRI+ Project. (2017). Report on Application of Energy-unit in Extreme Environments: Energy for Isolated Scientific Stations. European Horizon 2020 Project WP3.1.
7. IEA PVPS. (2022). Guidelines for Operation and Maintenance of Photovoltaic Power Plants in Different Climates (T13-25:2022). International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme.
8. 김춘환. (2019). 고위도 지역에서의 수상태양광 시스템 개발 및 실증. 한국태양에너지학회 춘계학술대회.
9. Alsulaiman, M., & Mohammadi, N. (2020). Optimal pitch distance and tilt angle of PV power plant for different climate. (석사학위논문, Dalarna University).
10. Lee, H.-G. (2015). Optimal design of solar photovoltaic systems. (박사학위논문, University of Miami).
11. 안재현. (2015). 태양전지 모듈의 설치각도에 따른 발전 시스템의 성능평가 연구.
12. 경북대학교. (년 미상). 경사각 및 방위각별 태양광 발전량 분석: 경북 상주 지역 경사각 및 방위각에 변화에 따른 일사량 및 태양광 발전량. 석사학위논문.
13. 부경대학교. (년 미상). 경사각을 고려한 고집광 태양광모듈 효율에 관한 연구. 석사학위논문.
14. 한밭대학교 산업대학원. (2013). 건물적용 태양광발전시스템의 국내 지역별 설치 각도별 연간 전력생산량 예측에 관한 연구. 석사학위논문.
15. 한국생태환경건축학회. (2014). 건물적용 태양광발전시스템의 국내 지역에 따른 설치 각도별 연간 전력생산량 예측에 관한 연구. 한국생태환경건축학회 논문집, 14(1).
16. 전기학회. (2012). Perez 모델을 적용한 태양광 시스템 별 최적 설치 조건 및 최대 발전량

분석. 전기학회논문지, 61(5), 683 - 689.

17. 전기학회. (2013). 태양광 모듈의 구조디자인과 설치 각도에 따른 출력예측. 전기학회논문지, 62(3).
18. 조명전기설비학회. (2014). 위도와 해발높이에 따른 태양광발전 효율 분석 연구. 조명전기설비학회논문지, 28(10), 95 - 100.
19. NASA. Prediction Of Worldwide Energy Resources. <https://power.larc.nasa.gov/>
20. Polar Geospatial Center. REMA - Reference Elevation Model of Antarctica. <https://www.pgc.umn.edu/data/rema/>



연구·정책지원사업 최종 결과보고서 평가의견 반영사항

과제 구분		신진연구원 지원과제(정책·지원과제)	
과제명	극지 환경의 독립형 연구 장비를 위한 태양광 발전량 최대화 설계에 관한 연구 (계정번호:PE24330)	연구기간	2024.03.01. ~ 2025.02.28.
연구책임자	김 형 권	연구비(직접비)	30,000 천원
과제개요, 연구성과 및 최종 결과보고서 평가의견 반영 사항			
(1) 과제목적 ○ 극지 환경에서 원격지의 독립된 연구 장비의 태양광 발전량 최대화 설계를 통해 에너지 효율 및 지속가능성을 향상 (2) 최종성과 ○ 태양광 발전량 예측 시뮬레이션에 적용하기 위한 환경변수 획득, 분석 및 생성 ○ 극지 환경의 특성을 고려한 태양광 발전량 예측 시뮬레이션 환경 구축 ○ 태양광 발전량 최대화를 위한 시스템 설계 (3) 성과의 향후 연구소 활용방안 또는 기대효과 ○ 극지 연구장비의 에너지 자립 실현 및 상시 가동 기반 구축 ○ 극지 하계 캠프를 위한 통신 인프라의 전력시스템 설계 ○ 극지 그린에너지 프로젝트로 기술 확산 (4) 최종 결과보고서에 평가의견 반영 사항			
평가의견		반영사항	비고
○ 태양광 시스템 구축 및 운영에 필요한 예산이 누락되어 있음		○ 각 Case별로 태양광 시스템 구축 및 운영에 필요한 예산을 제시하였음.	연구보고서 p.31 참조
○ 다양한 설치 조건 (패널 각도, 방향, 그림자 등)에 따른 발전량 변화를 시뮬레이션할 필요가 있어보임		○ 브라우닝패스와 마운트멜번의 지형 조건에 따른 그림자 영향이 고려된 상태에서 다양한 설치 조건(패널 각도, 방향)에 따른 발전량 변화를 시뮬레이션을 통해 제시하였음.	연구보고서 p.21,22 참조
○ 태양광 전력 모델링의 과정은 체계적으로 제시되었으나, 활용된 기상 자료의 검증(현장 획득 자료를 이용한 검증 혹은 타 기상 자료를 이용한 검증)에 대한 추가 기술이 필요함		○ Nasa Power Project의 기상 자료를 AWS 데이터와 고도 정보를 바탕으로 검증한 과정에 대한 설명을 보완하여 제시하였음	연구보고서 p.7 참조
○ 각 Case에 대한 설계조건 간 차이점과 성능의 상대적 우위를 요약 비교한 종합표가 제시되었으면 함		○ 전체 Case에 대한 요약 비교 종합표 추가 완료	연구보고서 p.31 참조

◦ SOC, RMSE 등의 기술 지표에 대한 해석은 있지만, 사용자(연구자) 입장에서의 운영 난이도나 설비 유지 관점에서의 논의는 부족해 실현 가능성을 다면적으로 제시하지 못한 점은 보완 필요	◦ 선행연구나 기술조사를 통해 사용자(연구자) 입장에서 고려해야할 사항을 정리하여 제시하였음	연구보고서 p.31,32 참조
◦ 현재는 발전량 '최대화' 방안이지만 극지와 같은 혹독한 기후조건에서는 가장 보수적인 시뮬레이션이 최대화 방안으로 보임	◦ 전체 Case에 대한 요약 비교 종합표에 발전량 시뮬레이션에 기상환경에 따른 일사량 감소는 반영되었으나, 극지의 혹독한 기후조건(예 적설)은 반영되지 않았으므로 이를 고려하여 보수적으로 고려할 필요가 있음을 명시하였음	연구보고서 p.31,32 참조



주 의

1. 이 보고서는 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 수행한 기본연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.