

19CTAP  
-C1417  
28-02

태양광패널의 적지 선별을 위한 고속도로망 주변  
유휴국유지를 대상으로 한 다차원 공간데이터  
프로세싱 기술 개발 최종보고서

2020

국토교통과학기술진흥원  
국토교통부

보안 과제( ), 일반 과제(✓) / 공개(✓), 비공개( )발간등록번호()  
국토교통기술촉진연구사업 제 2차 연도 최종 보고서

R&D / 19CTAP-C141728-02

# 태양광패널의 적지 선별을 위한 고속도로망 주변 유휴국유지를 대상으로 한 다차원 공간데이터 프로세싱 기술 개발 최종보고서

2020. 1. 28.

주관연구기관 / 한양대학교 산학협력단  
공동연구기관 / 안동대학교 산학협력단

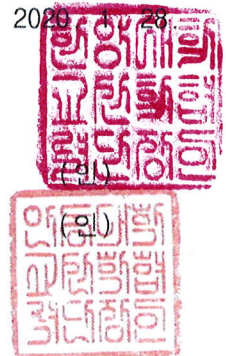
국 토 교 통 부  
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘태양광패널의 적지 선별을 위한 고속도로망 주변 유휴국유지를 대상으로 한 다차원 공간데이터 프로세싱 기술 개발’ (연구개발 기간 : 2018. 4. 17. ~ 2019. 12. 31.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

주관연구기관명 : 한양대학교 산학협력단 (대표자) 이수재  
공동연구기관명 : 안동대학교 산학협력단 (대표자) 이혁재



주관연구기관책임자: 한상욱

공동연구기관책임자: 김병일

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에  
동의합니다.

### 보고서 요약서

|                   |                                            |                                                              |                                |             |                                                                             |
|-------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 과제 고유 번호          | 19CTAP-C141<br>728-02                      | 해당 단계<br>연구 기간                                               | 2018.4.17.~<br>2019.12.31.     | 단계구분        | 2단계/<br>총 2단계                                                               |
| 연구사업명             | 중사업명                                       |                                                              |                                |             |                                                                             |
|                   | 세부사업명                                      | 국토교통기술촉진연구사업                                                 |                                |             |                                                                             |
| 연구과제명             | 대과제명                                       | 태양광패널의 적지 선별을 위한 고속도로망 주변 유휴국유지를 대상으로 한 다차원 공간데이터 프로세싱 기술 개발 |                                |             |                                                                             |
|                   | 세부과제명                                      | 태양광패널의 적지 선별을 위한 고속도로망 주변 유휴국유지를 대상으로 한 다차원 공간데이터 프로세싱 기술 개발 |                                |             |                                                                             |
| 연구책임자             | 한상욱                                        | 해당단계<br>참여연구원 수                                              | 총: 11 명<br>내부: 11 명<br>외부:   명 | 해당단계<br>연구비 | 정부: 220,000 천원<br>민간:       천원<br>정부외:    천원<br>상대국:    천원<br>계: 220,000 천원 |
|                   |                                            | 총 연구기간<br>참여연구원 수                                            | 총: 13 명<br>내부: 13 명<br>외부:   명 | 총 연구비       | 정부: 370,000 천원<br>민간:       천원<br>정부외:    천원<br>상대국:    천원<br>계: 370,000 천원 |
| 연구기관명 및<br>소속 부서명 | 주관연구기관: 한양대학교 산학협력단<br>공동연구기관: 안동대학교 산학협력단 |                                                              |                                | 참여기업명:      |                                                                             |
| 국제공동연구            | 상대국명:                                      |                                                              |                                | 상대국 연구기관명:  |                                                                             |
| 위탁연구              | 연구기관명:                                     |                                                              |                                | 연구책임자:      |                                                                             |

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

|                         |      |
|-------------------------|------|
| 연구개발성과의<br>보안등급 및<br>사유 | 일반과제 |
|-------------------------|------|

#### 9대 성과 등록·기탁번호

| 구분           | 논문 | 특허 | 보고서<br>원문 | 연구시설<br>· 장비 | 기술요약<br>정보 | 소프트<br>웨어 | 화합물 | 생명자원     |          | 신품종 |    |
|--------------|----|----|-----------|--------------|------------|-----------|-----|----------|----------|-----|----|
|              |    |    |           |              |            |           |     | 생명<br>정보 | 생물<br>자원 | 정보  | 실물 |
| 등록·기<br>탁 번호 |    |    |           |              |            |           |     |          |          |     |    |

#### 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

| 구입기관 | 연구시설<br>· 장비명 | 규격<br>(모델명) | 수량 | 구입연월일 | 구입가격<br>(천원) | 구입처<br>(전화) | 비고<br>(설치장소) | NTIS<br>등록번호 |
|------|---------------|-------------|----|-------|--------------|-------------|--------------|--------------|
|      |               |             |    |       |              |             |              |              |
|      |               |             |    |       |              |             |              |              |

#### 요약

본 연구 과제를 통해 공간 데이터를 활용한 딥러닝 기반의 태양광패널 설치 후보지 탐색 및 적지 선별 기술을 개발하였고, SCI(E)급 학술지 4편 투고(출판 1편, 게재가 판정 3편), 국내논문 2편 투고(출판 1편, 게재가 판정 1편), 특허 국내출원 2건, 소프트웨어 등록 3건을 달성.

#### 보고서 면수

84

## 요약문

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                     |               |              |                    |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------|--------------|--------------------|
| 연구의<br>목적 및 내용            | <p>○ 전국 고속도로망 주변의 유휴 국유지를 대상으로 태양광패널의 설치 후보지를 탐색하고 적지를 선별하기 위하여: 1) 수치지도를 기반으로 대상지역의 태양복사에너지를 추정하여 발전효율이 높을 것으로 기대되는 설치 후보지를 탐색하고; 2) 태양광 발전 입지요건에 대한 평가를 기반으로 후보지의 우선순위를 추정하여 적지를 선별하는 기술을 개발함.</p> <p>○ 자료 수집 및 사례연구를 통하여 수집·생성된 데이터를 바탕으로 아래의 기술을 개발함.</p> <p>1) 태양복사에너지 추정 기반 태양광패널의 설치 후보지 탐색 기술: 수치지도를 입력자료로 활용해 대규모 대상지역의 다양한 공간데이터(경사, 방위, 음영, 도로경계)를 이미지 프로세싱으로 자동 생성하고 태양복사에너지를 추정함으로써 태양광패널의 설치 후보지를 탐색하는 기술.</p> <p>2) 다차원 공간데이터 복합평가 기반 태양광패널의 설치 적지 선별 기술: 기설치된 태양광 발전소에서 다양한 입지조건을 도출하여 딥러닝으로 복합평가 모델을 개발함으로써 탐색된 후보지 중 적지를 선별하는 기술.</p> |                     |               |              |                    |
| 연구개발성과                    | <p>○ 태양복사에너지 추정 기반 태양광패널의 설치 후보지 탐색 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수치지도 기반 지형정보 및 도로경계 추출 기술 개발</li> <li>- 경사, 방위, 음영 정보를 고려한 GIS 격자 단위의 태양복사에너지 추정 모델 개발</li> <li>- 저해상도 수치지도로부터 태양복사에너지를 추정하기 위한 2-단계 연산기법 개발</li> </ul> <p>○ 다차원 공간데이터 기반 태양광패널 설치의 적지 선별 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 태양광 발전량에 영향을 미치는 기상요인의 상관관계 분석 및 선형회귀분석 모델 개발</li> <li>- GIS 데이터를 활용하여 지형효과가 반영된 태양복사에너지 추정을 위한 합성곱 신경망 기반의 딥러닝 모델 개발</li> <li>- 기설치된 발전소 데이터를 활용한 순환신경망 기반의 태양광 발전량 추정 모델 개발</li> </ul>                            |                     |               |              |                    |
| 연구개발성과의<br>활용계획<br>(기대효과) | <p>○ 현장활용 방안: 고속도로 주변 유휴국유지를 대상으로 태양광패널의 설치 적지를 선별할 수 있을 뿐만 아니라, 타 지역에도 응용가능한 기술로써 민간 사업자의 태양광 발전 부지 선정 시에도 활용될 것으로 기대.</p> <p>○ 경제적 기대효과: 태양광 발전의 자원 및 부지 마련에 기여함으로써, 사업예산을 획기적으로 절감하고 발전 효율성의 향상을 통하여, 태양광 시장의 활성화에 기여할 것으로 기대.</p> <p>○ 신사업 창출: 태양광 발전의 수익성을 좀 더 정확하게 예측하고 불확실성을 최소화함으로써 개발 사업 확대에 이어지는 효과 기대.</p> <p>○ 기술적 기대효과: 다차원 공간데이터와 딥러닝 기술의 융합은 GIS 기반의 빅데이터 분석을 위한 새로운 연구 분야를 개척하는 것으로 높은 학술적 성과 및 원천기술 확보.</p>                                                                                                                            |                     |               |              |                    |
| 국문핵심어<br>(5개 이내)          | 태양광                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 이미지<br>프로세싱         | 딥러닝           | 공간데이터        | 고속도로망              |
| 영문핵심어<br>(5개 이내)          | Photovoltaics                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Image<br>Processing | Deep Learning | Spatial Data | Highway<br>Network |

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

## < 목 차 >

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 1. 연구개발과제의 개요 .....                            | 5  |
| 1-1. 연구개발의 개요 .....                            | 5  |
| 1-2. 연구개발 대상의 국내외 현황 .....                     | 6  |
| 1-3. 연구개발의 중요성 .....                           | 12 |
| 1-4. 선행 연구 내용 및 결과 .....                       | 14 |
| 2. 연구수행내용 및 성과 .....                           | 16 |
| 2-1. 연구개발 추진전략 · 방법 .....                      | 16 |
| 2-2. 연구 개발 성과 .....                            | 19 |
| 2-3. 연구 수행 내용 및 결과 .....                       | 21 |
| 2-4. 최종 연구 성과 .....                            | 69 |
| 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....                    | 72 |
| 3-1. 목표 .....                                  | 72 |
| 3-2. 목표 달성여부 .....                             | 73 |
| 3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등) ..... | 80 |
| 4. 연구개발성과의 활용 계획 등 .....                       | 82 |
| 붙임. 참고 문헌 .....                                | 84 |

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

# 1. 연구개발과제의 개요

## 1-1. 연구개발의 개요

본 연구는 고속도로 주변에 산재한 유휴국유지 중에 태양광 발전소를 설치하기 적합한 적지를 탐색 및 선별하는 자동화된 기술 개발을 제안하고자 함.

### ○ 연구개발의 배경 및 기술적 필요성

- 최근 태양광 발전의 보급 확대를 위한 정책적 지원과 투자가 활발히 이루어지고 있으나, 발전소 건설을 위한 부지 및 재원 마련을 가장 큰 난제로 지적함.
- 현재 유휴국유지로 지정된 고속도로망 주변의 성토부 및 램프구역(고속도로 유휴국유지 면적 13,492,181 $m^2$ )을 활용하기 위하여서는 기존 인력 중심의 조사를 대체하여 대규모 지역의 태양광발전 후보지를 탐색하고 적지를 선별할 수 있는 자동화 기술의 필요성이 제기됨.

### ○ 연구개발의 목표

- 본 연구는 전국에 걸친 고속도로 주변의 성토부 및 램프구역을 대상으로 태양광패널의 설치적지를 효율적으로 선별하기 위하여, 수치지도 기반의 태양복사에너지 추정 기술과 다양한 입지조건을 속성 레이어를 이용한 다차원 공간데이터 프로세싱 기술을 개발하고자 함.

### ○ 핵심 기술

- 태양복사에너지 추정 기반 태양광패널의 설치 후보지 탐색 기술: 수치지도를 입력자료로 활용해 대규모 대상지역의 다양한 공간데이터(경사, 방위, 음영, 도로경계)를 이미지 프로세싱으로 자동 생성하고 태양복사에너지를 추정함으로써 태양광패널의 설치 후보지를 탐색하는 기술.
- 다차원 공간데이터 복합평가 기반 태양광패널의 설치 적지 선별 기술: 기설치된 태양광 발전소에서 다양한 입지요인을 도출하여 딥러닝으로 복합평가 모델을 개발함으로써 탐색된 후보지 중 적지를 선별하는 기술.

### ○ 연구의 기술적 의의

- 태양광패널의 설치 후보지 탐색 기술은 특정 관측 지점의 측정값을 기반으로 주변 지역의 일사량을 통계적으로 추정하는 기존 연구 및 기상청에서 제공하는 태양기상자원지도(관측22지점)와 달리, 고속도로 주변 유휴지의 지형적 특성을 고려하여 태양복사에너지를 원하는 주기(년, 월, 일, 시)로 추정이 가능하며, 이를 바탕으로 잠재적으로 발전효율이 높은 후보지를 탐색하는 기술임.
- 태양광패널의 설치 적지 선별 기술은 태양복사에너지로부터 추정된 발전량에 근거하여

## 태양광 발전을 위한 고속도로 유휴지 활용 방안 제시

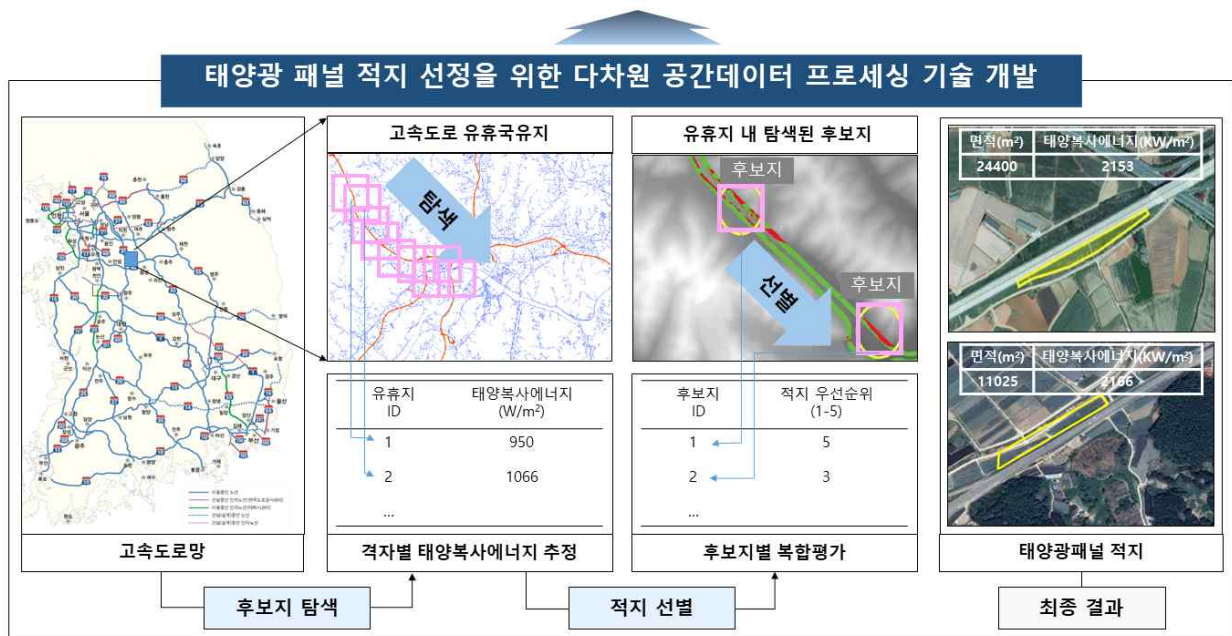


그림 1-1. 연구의 최종목표 및 기술 개념도

부지를 선별하는 기존 연구와 달리 다양한 입지조건(부지면적, 부지형태, 송변전 거리, 지형조건, 기상조건)을 복합적으로 평가하기 위한 기술로써, 기설치된 태양광 발전소에 대한 자료를 활용해 적지를 선별하는 데이터 기반의 자동화 기술임.

### ○ 연구의 활용방안 및 학술적 가치

- 본 연구의 결과는 국토교통부 및 한국도로공사에서 태양광패널의 설치 후보지 탐색 및 적지 선별에 일차적으로 사용할 수 있으며, 민간 사업자의 태양광 발전소 부지 선정 및 태양광 발전소 정책 수립 등 잠재적 활용가치가 높음.
- 방대한 국토를 포괄하는 수치지도의 탐색을 통한 자원지도의 생성 및 분석 기술을 개발하고, 공간 데이터와 같은 다차원 속성의 데이터를 딥러닝에 적용하기 위한 원천 기술을 확보해 관련 분야 연구를 선도할 수 있을 것임.

## 1-2. 연구개발 대상의 국내외 현황

### (1) 연구개발의 배경 및 필요성

#### ○ 연구개발의 사회적 배경

- 산업통산자원부에서 발표한 “2030 국가온실가스감축 기본로드맵”에 따르면 정부는 태양광 발전을 통하여 2030년 기준 36.5GW를 발전하는 것이 목표이나<sup>1)</sup> 발전소 건설을 위

1) 산업통산자원부(2017), 재생에너지 3020 이행계획(안) 발표



그림 1-2. 연구개발 배경 및 필요성의 요약도

한 부지 확보 및 자원 마련이 난제로 예상됨.

- 현재 유흥국유지인 고속도로 성토부 및 램프구역을 활용한다면 태양광 발전소의 부지(고속도로 유흥국유지 면적  $13,492,191m^2$ )<sup>2)</sup> 및 자원(토지 구매 비용 0) 문제에 대한 효과적인 해결책이 될 수 있을 것임.

#### ○ 연구개발의 경제적 배경

- 향후 태양광 발전은 계통한계가격(SMP)과 신재생에너지 공급인증서(REC)와 같은 주요 요인의 가격변동 및 불확실성 증가로 인해 수익성이 과거에 비해 저조할 것으로 예상됨<sup>3)</sup>에 따라 민간 사업자의 시장 참여가 원활하지 못할 것으로 사료됨.
- 태양광 발전의 보급 확대를 위하여서는 유흥국유지를 활용해 토지 구매 비용을 절감하고, 복합평가를 통한 최적의 사업부지(이하 적지)를 선별하는 발전사업의 수익성 제고가 필요할 것으로 사료됨.

#### ○ 연구개발의 기술적 필요성

- 고속도로 총연장(2016년 기준 4,438km)을 따라 산재한 유흥지 중에 태양광 발전에 적합한 후보지를 효율적으로 탐색 및 적지를 선별하기 위해서는 기존의 인력 중심의 현장조사 및 항공사진 검토를 대체할 수 있는 자동화된 방법론이 요구됨. 이를 위하여:
  - ① 수치지도와 같은 공간데이터를 활용한 후보지 탐색 기술이 필요하며,
  - ② 태양광패널의 발전 효율성뿐만 아니라 다양한 입지조건을 복합적으로 평가하기 위한 다차원 데이터 기반의 적지 선별 기술 또한 필요함.
- 이는 태양광 발전의 기존 지식체계에 이미지 프로세싱 및 머신러닝과 같은 데이터 분석 기법을 적용해 GIS와 융합하는 다학제간 연구로써 세계 수준의 원천 기술을 확보하고 신재생에너지 목표발전량 충족과 같은 시급한 사회문제에 적용될 수 있는 연구 과제로써 시의적절함.

#### (2) 태양광패널의 부지 선정과 관련된 국내외 연구 동향 정리

2) 국토연구원(2016), 고속도로 유흥부지의 실태분석 및 활용방향에 관한 기초연구  
3) 에너지공단(2016), 정책설명회

태양광 패널 적지선정  
및 태양복사에너지  
추정 기술

| 2013                                                                                                                                                                                                                                  | 2014                                                                                                                                         | 2016                                                                                      | 2017                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Sharma et al.<br/>"Solar energy generation potential along national highways"<br/>부지 분석 과정의 자동화 부재 및 패널 설치방향의 제한</p> <p>이승희.<br/>강원대학교 내 PV모듈 설치를 위한 적정부지 선정 및 연간에너지 생산량 예측<br/>Google Map과 현장조사를 비교하여 부지 선정 후 발전량 추정 및 경제성 평가</p> | <p>Ghazanfar et al.<br/>"Optimal site selection for solar PV power plant in an Indian state using GIS"<br/>방위각, 경사각 등 패널설치방식에 대해 고려하지 않음</p> | <p>이범현.<br/>"고속도로 유휴부지의 실태분석 및 활용방안에 관한 기초연구"<br/>조건을 제한하여 발전량 추정에 대한 정확도를 높이는 연구가 필요</p> | <p>박성진.<br/>"병원시설 유휴공간을 이용한 태양광 발전시설의 경제성 타당성 연구"<br/>GIS와 현장조사를 비교하여 부지 선정 후 발전량 추정 및 손익평가</p> |

태양광 발전 부지의  
적절성 검토

| 2011                                                                                                                                                         | 2013                                                                                                                                                                                 | 2014                                                                                                                                                                                                                                    | 2015                                                                                      | 2017                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Amit jain et al.<br/>"Modeling impact of solar radiation on site selection for solar pv power plants in India"<br/>복합적인 지형조건을 고려하지 않아 실제 현장에 적용하기 어려움</p> | <p>Juan M. Sanchez-Lozano et al.<br/>"GIS and MCDM methods for the evaluation of solar farms locations: case study in south-eastern Spain"<br/>경제성을 고려한 복합적 부지 타당성에 대한 추가 연구가 필요</p> | <p>In-Ae Yeo et al.<br/>"A proposal for a site location planning model of environmentally friendly urban energy supply plants using an environment and E-GIS DB and an ANN"<br/>특정 부지의 기술적 잠재성에 대해 분석<br/>복합적인 요건을 고려한 부지선정기술 개발 필요</p> | <p>이기림.<br/>"GIS와 계층분석법을 이용한 태양광 발전소 입지 분석"<br/>다차원 데이터 취득을 쉽게 하기 위한 데이터 모델링기술 개발을 제기</p> | <p>Hassan Z.Al Garni et al.<br/>"Solar PV power plant selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia"<br/>비용과 수익을 고려한 부지선정에 대한 접근법이 필요</p> |

그림 1-3. 태양광패널의 설치 부지 선정과 관련된 주요 연구 동향 및 한계점

#### ○ 관련 연구 동향 분석

- 최근 태양광패널의 입지조건 및 예상 발전량에 대한 연구는 활발히 이루어지고 있으나, 광범위한 지역을 대상으로 한 태양광 발전 적지 선별 연구는 다음과 같은 기술적 한계로 인해 실용화 수준에 근접하지 못하는 실정임. 이전 연구는:
  - ① 전국 단위가 아닌 국소 지역을 대상으로 입지조건에 대한 현장 분석에 의존;
  - ② 주변 지역의 통계적 데이터에 근거한 태양복사에너지의 개략적 추정;
  - ③ 태양광패널의 발전효율성, 발전사업의 경제성과 같은 복합적인 요인이 아닌 수요·공급적 측면에서의 단편적인 평가에 초점이 맞추어져 있는 경향을 보임.

#### (3) 국내 논문 현황

##### ○ 국내 연구 동향 정리

- 공공시설 내 유휴지역을 대상으로 주로 항공지도 및 현장조사에 의존하여 태양광패널 설치지역을 선정한 후 표준기상데이터와 같은 통계 자료를 토대로 발전량을 개략적으로 추정함.
- 국내에서는 아직 광범위한 지역을 대상으로 한 태양광 발전부지 선정에 관한 자동화 연구보다는 선정된 특정 지역에 대해 전기판매이익, 손익분기점 등의 경제성 평가와 같은 사례 연구가 주를 이루는 경향임.

표 1-1. 국내 연구 정리

| 번호 | 연도   | 논문 제목                                      | 학술지명            |
|----|------|--------------------------------------------|-----------------|
| 1  | 2013 | 강원대학교 내 PV모듈 설치를 위한 적정부지 선정 및 연간에너지 생산량 예측 | 강원 농업생명환경연구 학술지 |
| 2  | 2015 | GIS와 계층분석법을 이용한 태양광 발전소 입지 분석              | 한국지리정보학회지       |
| 3  | 2016 | 고속도로 유휴부지의 실태분석 및 활용방안에 관한 기초연구            | 국토연구            |
| 4  | 2017 | 병원시설 유휴공간을 이용한 태양광 발전시설의 경제성 타당성 연구        | 전북대학교 학위논문      |

○ 연구목표 달성을 위한 기존 연구의 한계점

- 논문번호 1: 기상조건인 연평균 일조시간 등의 통계자료를 통하여 개략적으로 연평균 발전량을 추정하는 방식은 본 연구 적용 시 분석 부지의 지형조건을 고려하지 않아 발전량 추정에 대한 정확도가 상대적으로 낮을 것으로 예상됨.
- 논문번호 2: 전문가의 의견과 지형분류기법을 통하여 적합인자를 선정하는 방식은 본 연구에 적용하기 위하여서 광범위한 지역을 대상으로 다양한 입지조건에 대한 데이터를 자동으로 취득할 수 있는 기술 개발이 선행되어야 하며, 태양광 발전 부지의 일반적 평가 기준을 다량의 고속도로 유휴지 적용 시 적지 선별의 정확도에 대한 검증이 추가로 필요함.
- 논문번호 3: 고속도로 주변의 유휴지에 대한 전박적인 현황 및 사례를 조사하여 유휴지에 대한 기초적인 활용방안을 제시하였음. 고속도로망 주변 유휴국유지의 태양광 발전 활용에 대한 기초자료를 제시하나 후보지 탐색 및 적지 선별에 대한 기술적 접근법은 연구 범위에 포함되지 않음.
- 논문번호 4: 병원시설의 유휴공간을 대상으로 제시된 태양광 발전시설의 경제성 분석법은 분석에 사용된 계통한계가격(SMP)과 신재생에너지(REC) 등 주요요인의 높은 변동성으로 인해 태양광패널의 적지 선별에 직접적으로 적용되기 힘들며, 본 연구와 분석 대상이 상이함에 따라 분석 방법 또한 추가 검증이 필요함.

(4) 국외 논문 현황

○ 국외 연구 동향 정리

- GIS 및 Google Earth 등으로부터 수집된 공간데이터 데이터를 바탕으로 계층분석과정, 퍼지이론 등의 의사결정모델을 적용한 자원지도 생성 기술 연구가 보고되고 있음.
- 국내 연구와 마찬가지로 발전량 추정에 있어 주변 지역의 통계적 데이터에 의존하는 경향이 있으며, 음영정도, 송변전 위치, 부지면적 등 다양한 입지조건을 고려한 발전부지 선정에 대한 연구는 미흡한 실정임.

○ 연구목표 달성을 위한 기존 연구의 한계점

표 1-2. 국외 연구 정리

| 번호 | 연도   | 논문 제목                                                                                                                                                                                                                             | 학술지명                                                                  |
|----|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1  | 2011 | Modeling impact of solar radiation on site selection for solar PV power plants in India                                                                                                                                           | International Journal of Green Energy                                 |
| 2  | 2013 | Solar energy generation potential along national highways                                                                                                                                                                         | International Journal of Energy and Environmental Engineering         |
| 3  | 2013 | Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain                                                           | Renewable and Sustainable Energy Reviews                              |
| 4  | 2014 | Optimal site selection for solar PV power plant in an Indian state using geographical information system (GIS)                                                                                                                    | International Journal of Emerging Engineering Research and Technology |
| 5  | 2014 | A proposal for a site location planning model of environmentally friendly urban energy supply plants using an environment and energy geographical information system (E-GIS) database (DB) and an artificial neural network (ANN) | Applied Energy                                                        |
| 6  | 2017 | Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia                                                                                                                               | Applied Energy                                                        |

- 논문번호 1: 태양복사에너지에 기반을 둔 태양광발전의 부지 선정에 대한 연구이며, 부지의 지형조건 및 다양한 입지요인이 고려되지 않아 실제 적지 선별에 활용하기에는 한계가 존재함. 또한 임의로 선정된 부지에 대한 경제성 평가가 이루어짐에 따라 대규모 지역의 후보지 탐색을 위한 본 연구와 목적이 상이함.
- 논문번호 2: 고속도로 위 지붕 형태의 태양광패널 설치를 제안하는 연구로 패널 유형에 따른 총발전량을 비교·분석함. 대상 고속도로를 선정한 후 총발전량을 산출함으로써 지붕 형태 태양광패널 설치의 타당성을 평가하는 연구로, 고속도로 주변의 유휴지 중 후보지를 탐색하고 적지를 선별하기 위한 본 연구와 연구의 범위 및 목적이 상이함.
- 논문번호 3: 전문가 설문을 바탕으로 계층분석과정을 통하여 산출한 입지요인의 가중치 및 공개된 GIS 데이터를 활용해 태양광패널의 설치 부지를 검색 및 평가함. 이는 적지 선별을 태양광패널 부지의 일반적 평가기준에 대한 전문가 설문에 의존한 접근법으로 본 연구에서 대상으로 하는 고속도로 유휴지 적용 시 평가기준에 대한 추가적 검증이 요구되며, 공개된 통계적 데이터의 활용은 실제 입지조건(음영영역 등)을 반영하는데 한계가 있음.
- 논문번호 4: 본 연구에서 제안하는 고속도로 주변 유휴지와 같은 다수의 소규모 부지에

대한 후보지 탐색 및 적지 선별이 아닌 대규모의 태양광 발전소에 대한 부지 선정은 연구의 목표로 함. 기존 문헌으로부터 선정된 입지조건을 바탕으로 조건을 만족하는 영역을 검색하는 기술에 중점을 뒀으며, 이는 공개된 통계적 데이터에 의존하는 접근법으로 소규모 지역의 탐색에는 한계를 가짐.

- 논문번호 5: 공개된 GIS 데이터를 활용하여 추정된 발전량과 주변 지역의 전기수요를 근거로 신재생에너지 발전소의 적지를 선별하는 연구로써 입지조건에 대한 복합평가를 기반으로 하는 본 연구와는 제안하는 기술에 차이가 있음. 또한 적용된 격자 단위의 연산은 본 연구에서 다차원 데이터를 활용한 적지 선별 시 고속도로망과 같은 대규모 지역의 탐색에 요구되는 연산 처리량이 과도하여 적합하지 않음.
- 논문번호 6: GIS 소프트웨어 및 공개된 GIS 데이터를 이용해 계층분석과정을 통하여 결정된 가중치를 기반으로 조건을 만족하는 영역을 탐색하는 기술로써, 복합평가에 의한 태양광패널의 설치 적지 선별에 직접적으로 활용하는 데는 한계가 있음.

#### (5) 기술개발 성숙도

##### ○ 최종성과물

- 본 연구 과제는 수치지도를 활용하여 추정된 태양복사에너지를 기반으로 태양광패널의 설치 후보지를 탐색할 수 있는 소프트웨어와 다양한 입지요인을 반영하는 다차원 공간데이터를 복합평가에 활용하여 태양광패널의 설치 적지를 선별할 수 있는 소프트웨어를 개발함.
- 태양복사에너지 추정 기반 태양광패널의 설치 후보지 탐색 기술은 수치지도를 이용한 지형정보 생성 및 태양복사에너지 추정 기술 개발하는 것으로써 기존 모델과의 비교 및 실제 데이터에 기반하여 소프트웨어의 성능을 평가하는 TRL 4단계를 목표로 함.

표 1-3. 고속도로망 주변 유흥국유지를 대상으로 한 다차원 공간데이터 프로세싱 기술

| 구분      |       | 연구 착수                               | 연구 종료                               | 단계별 설명 |                  |
|---------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------|------------------|
| 기초연구 단계 | TRL 1 | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | TRL 1  | 이론적 연구단계         |
|         | TRL 2 | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | TRL 2  | 기술적 개념정립 단계      |
| 실험 단계   | TRL 3 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | TRL 3  | 실험적 증명 단계        |
|         | TRL 4 | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | TRL 4  | 실험실 성능평가 단계      |
| 시작품 단계  | TRL 5 | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | TRL 5  | 유사환경 시험 단계       |
|         | TRL 6 | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | TRL 6  | 유사환경 기술시험 단계     |
| 실용화 단계  | TRL 7 | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | TRL 7  | 실제환경 시작품 데모 단계   |
|         | TRL 8 | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | TRL 8  | 시제품 설치 및 성능시험 단계 |
| 사업화 단계  | TRL 9 | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            | TRL 9  | 현장적용/사업화 단계      |

- 다차원 공간데이터 복합평가 기반 태양광패널의 설치 적지 선별 기술은 복합적인 입지조건을 바탕으로 적지를 선별하는 다차원 공간데이터 탐색 알고리즘을 개발하는 것으로써 수집된 샘플 데이터를 기반으로 부지 복합평가에 대한 예측 성능을 평가하는 TRL 4단계로 목표를 함.

### 1-3. 연구개발의 중요성

#### ○ 지형을 고려한 태양복사에너지 추정치의 중요성

- 태양복사에너지는 태양광 발전의 발전량을 예측함에 있어 직접적으로 영향을 미치는 변수로써 태양광패널의 설치 후보지 탐색 시 대상 부지에 대한 태양복사에너지의 정확한 추정은 필수적임.
- 기존 연구에서는 기상청에서 배포하는 태양기상자원지도나 기상조건이 측정되는 지점을 중심으로 거리반비례가중(Inverse Distance Weighted) 보간법 등을 이용하여 생성된 자원 모델지도 등을 이용하여 태양복사에너지를 추정하였으나, 이는 측정된 데이터가 존재하는 주변 지역의 확률적 분포에 의존하는 개략적인 접근법으로 고속도로망 주변의 유흥지와 같은 비교적 소규모 부지에 적용하기에는 한계가 있음.
- 기상청에서 배포하는 태양기상자원지도(그림 1-4)의 경우 일사 관측 지점 22개 지역의 최근 20년간 일사량을 기반으로 작성되었으며, 22개 관측점 이외의 지역에 대한 기상자료는 지점과 지점 사이의 등치선을 기준으로 추정해야 함. 또한 2009년 1년간의 자료를 기준으로 최근에 작성된 고해상자원지도 (1km×1km)의 경우에도 이 영역 안에서는 지역 편차가 존재할 수 있음을 명시하였음.
- 주변 측정 지역으로부터 개략적으로 추정하는 접근법의 경우 태양복사에너지 및 태양광 발전량의 추정치와 실제 측정값 사이에 큰 오차가 발생할 수 있음이 보고되었으며(그림 1-5의 정규화절대평균제곱근오차 12.5~36.9%<sup>4)</sup>), 이는 태양복사에너지 추정 시 분석 지역의 지형적 특성을 고려하는 것이 중요하다는 것을 보여줌.



그림 1-4. 태양기상자원지도

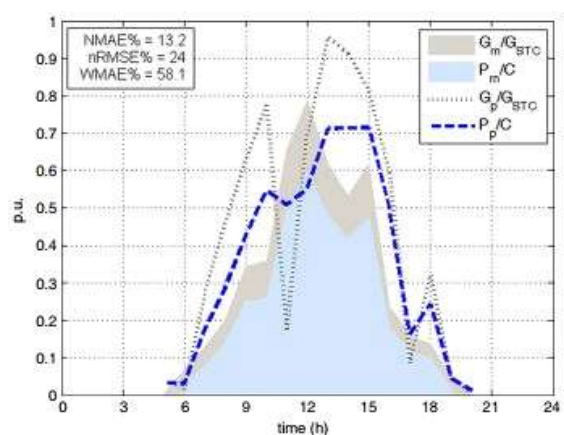


그림 1-5. 추정치와 실제 측정량 비교

4) Leva, S., Dolara, A., Grimaccia, F., Mussetta, M., & Ogliari, E. (2017). Analysis and validation of 24 hours ahead neural network forecasting of photovoltaic output power. Mathematics and Computers in Simulation, 131, 88-100.

- 본 연구는 수치지도를 활용해 고속도로 주변 유휴지의 경사각, 방위각, 음영 영역을 자동으로 산출함으로써 해당 지역의 지형적 특성을 반영하여 실제 이용가능 한 태양복사에너지량을 보다 정확하게 추정한다는데 그 중요성이 있음.

#### ○ 태양광패널의 입지요인에 대한 공간데이터 기반 복합평가의 중요성

- 태양복사에너지는 태양광패널의 설치 후보지를 탐색하기 위하여 일차적으로 요구되는 중요한 입력자료이나 설치 적지를 선별하기 위하여서는 실제 태양광패널의 입지요인에 대한 다각적인 분석이 동시에 수반되어야 함.
- 태양광복사에너지 분포지도와 입지요인의 분석을 통하여 선별된 태양광 발전소의 적지 결과를 비교해보면(그림 1-6)<sup>5)</sup>, 고에너지 지역과 태양광 발전소 적지가 일치하지 않음을 알 수 있음.

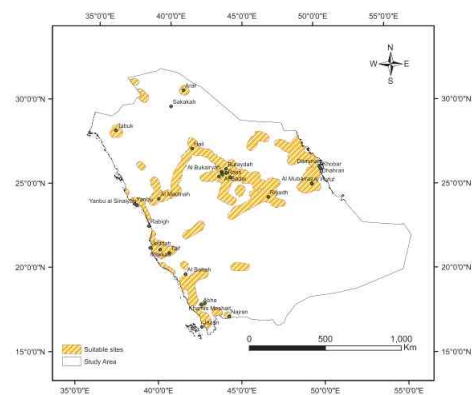
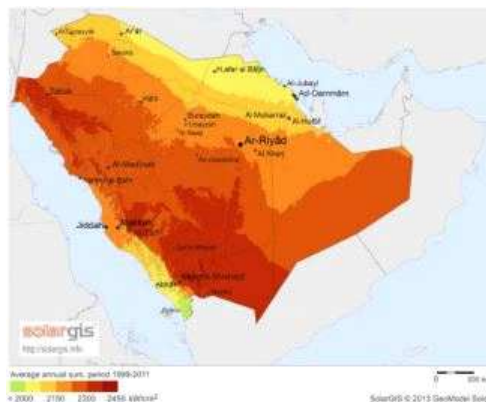


그림 1-6. 태양복사에너지 분포지도와 태양광 발전소의 적지 분석 결과 비교

- 태양광 발전의 부지 선정 시 고려되는 일반적인 기준은 아래와 같으며, 태양광패널의 설치 적지 선별을 위하여서는 이러한 다양한 입지요인이 사업성에 미치는 영향을 정량적으로 고려하는 것이 중요함.
  - ① 지정학적 조건: 일사량 및 일조량 등
  - ② 건설 조건: 부지의 접근성 및 주변 환경
  - ③ 행정상 조건: 인허가 관련 각종 규제
  - ④ 전력계통과의 연계조건: 전력계통 인입선 위치 등
  - ⑤ 경제성 조건: 부재매입 가격 및 부대공사비 등
- 기존 연구에서 주로 적용된 전문가 설문을 바탕으로 선정된 입지요인 및 그 가중치를 바탕으로 GIS 데이터를 검색하는 방법은 선정된 입지요인을 만족하는 영역을 찾을 수는 있으나 실제 선정된 부지가 높은 사업성으로 이어질지에 대해서는 검증되지 않았음.
- 본 연구는 기존에 설치된 태양광패널 데이터에 대한 복합평가를 통하여 다양한 입지요인이 실제 사업성에 미치는 비선형적 관계를 모델링함으로써 태양광패널의 설치 적지를 선별한다는데 그 중요성이 있음.

5) Al Garni, H. Z., & Awasthi, A. (2017). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. Applied Energy, 206, 1225-1240.

## 1-4. 선행 연구 내용 및 결과

### ○ 선행연구과제와의 차별성 및 중복성 분석

- 고속도로망과 같은 대규모 지역을 대상으로 특정조건을 만족하는 부지를 탐색 및 선별하기 위한 GIS 기반의 자동화 기술에 대한 연구는 전반적으로 부재한 실정임.
- 차별성 1: 본 연구과제는 고속도로를 대상으로 한 적지 탐색 및 선별이라는 점에서, 건물을 대상으로 각각 주변 건물의 음영 효과나 태양광 발전시설의 타당성을 분석한 과제 1과 과제 2와는 연구범위가 상이함.
- 차별성 2: 기존의 데이터만을 이용해 개략적으로 추정된 발전량을 기반으로 수익성 분석을 제안한 과제 3은 수치지도 기반의 지형정보 및 복사모델을 통하여 직접적으로 계산된 발전량을 활용한 복합분석 기법을 제안하는 본 과제와 차이가 있으며, 통계적 접근법이 아닌 실제 설치된 발전소의 자료를 활용한 데이터 기반의 분석 기법을 제안하는 점에서 과제 4와 차별성을 가짐.
- 차별성 3: 발전시설 설치 및 운영에 관한 타당성 분석을 제안한 과제 5와는 연구목표 및 제안하는 기술이 다르며, 다양한 입지조건에 기반한 자동화된 적지 검색 기술을 제안한다는 점에서 본 연구는 과제 6과 차별성을 가짐.

### ○ 연구개발과제의 차별화 방안

- 과제 1: 도심지 내 인접 건물의 상황을 고려한 태양광 시스템의 유효 발전량 예측 및 성능 평가에 대한 연구로 주변건물의 음영이 발전량에 미치는 영향을 분석하였음. 본 연구에서는 고속도로망 주변의 유흥국유지에 대한 태양광패널의 후보지 탐색 및 적지 선별에 중점을 두며, 발전량 예측을 넘어 다양한 입지요인을 복합평가하는데 그 차별성이 있음.

표 1-4. 태양광패널의 후보지 탐색 및 적지 선별과 관련된 선행 연구

| 번호 | 부처명         | 사업명             | 과제명                                                        | 예산       |
|----|-------------|-----------------|------------------------------------------------------------|----------|
| 1  | 국토교통부       | 국토교통기술<br>촉진연구  | 도심지 주변건물의 음영을 고려한 태양광 시스템의<br>유효발전량예측기술 및 PV 유효발전성능 시험법 개발 | 529백만원   |
| 2  | 미래창조과<br>학부 | 개인연구지원          | 에너지자립형 건물에서의 분산형 태양광 발전을 위한<br>인텔리전트 플래닝 시스템 개발(IP-DSG)    | 160백만원   |
| 3  | 중소기업청       | 산학협력<br>기술개발    | 태양에너지 기반GIS 정보와 주제도를 활용한<br>태양광발전시설의 입지선정 시스템              | 79.99백만원 |
| 4  | 중소기업청       | 창업성장기술<br>개발    | GIS와 통계분석 기술을 활용한 계통연계형 태양광발전<br>발전량 예측 및 경제성 분석 시스템 개발    | 186.5백만원 |
| 5  | 산업통상<br>자원부 | 에너지정보화<br>및정책지원 | 국가 하천부지 태양광발전시설 설치방안 연구                                    | 59.1백만원  |
| 6  | 환경부         | 지역환경기술<br>센터운영  | 인천지역 신재생에너지 시설적지 분석 및 평가 기술개발                              | 45백만원    |

※본 제안서에서 제안하는 연구주제와 유사한 과제를 국가과학기술지식정보서비스와 국가과학기술정보센터 등을 통하여 검색하고 정리함.

- 과제 2: 건물을 대상으로 분산형 태양광 발전을 위한 기술적·지리적 요인을 고려하여 생애주기비용 분석 및 환경영향평가를 통하여 태양광 발전의 종합적인 평가 방법에 대해 연구하였음. 본 연구는 태양광패널의 설치 적지를 선별하는데 필요한 다양한 입지요인을 공간데이터로부터 자동으로 추출하는 기술을 제안하며, 다차원 공간데이터를 이용해 데이터 기반의 복합평가 기술을 개발함.
- 과제 3: 태양에너지자원지도 및 전력지도를 바탕으로 태양광 발전 시설의 발전량을 추정하며, 설치비용 및 수익성을 고려하여 입지를 평가하는 기법을 연구함. 본 연구는 고속도로 주변 유휴지를 대상으로 그 지역의 지형적 조건을 고려하여 태양복사에너지를 보다 정확하게 추정하며, 전기의 수요·공급적 측면이 아닌 다양한 입지조건에 대한 복합평가 기술을 제안하는데서 차별성을 가짐.
- 과제 4: 태양광 발전의 경제성을 분석하기 위하여 관련 GIS 데이터베이스 구축 및 분석 부지에 대한 사용자의 입력정보를 바탕으로 조건별 태양광 발전량 및 비용을 산정할 수 있는 통계적 기법을 제안함. 본 연구에서는 발전량 예측을 넘어 다양한 입지요인에 대한 복합평가를 통하여 적지를 선별할 수 있는 자동화 기술을 개발함으로써 차별화함.
- 과제 5: 국가 하천부지에 설치된 태양광 발전 시설을 대상으로 안전성, 경제성, 환경성, 기술성 등을 바탕으로 사업의 타당성 분석을 목적으로 하는 실증적 연구로써, 태양광패널의 설치 후보지 탐색 및 적지 선별 기술을 제안하는 본 연구와는 연구 범위와 제안기술에서 차별성을 가짐.
- 과제 6: 인천지역을 대상으로 자원지도 및 현장조사를 통하여 수집된 자료를 바탕으로 신재생에너지 시설의 적지를 실증적으로 평가하는 연구로써, 본 연구는 전국 단위의 유휴지 탐색 및 선별을 위한 자료 수집 및 생성의 자동화 기술이라는 점에서 차별성을 가짐.

## 2. 연구수행내용 및 성과

### 2-1. 연구개발 추진전략 · 방법

#### (1) 과제 추진전략 및 방법

- 공동연구를 통한 연구진 전문분야 집중: 연구목표의 성공적인 달성을 위하여 다른 분야에 전문성을 지낸 두 기관 연구자들의 공동연구로 진행됨. 주관연구기관인 한양대학교 산학협력단 연구진은 이미지 프로세싱 및 머신러닝 분야에 전문성을 가지고 있으며, 공동연구기관인 안동대학교 산학협력단 연구진은 경제성 분석 및 복합평가 기법 분야에서 강점을 가지고 있음. 각 기관은 알고리즘 개발 및 이론 모델 분석에 각각 역량을 집중하여 학문적, 기술적, 실용적 성과 달성을 목표로 연구를 진행하고자 함.
- 다학제 기술의 활용: 본 과제는 토목, 건축, 컴퓨터공학, 에너지, 경제 등 다양한 분야의 이론과 기술을 접목하여 진행함.
- 국내 연구기관, 정부 지자체, 기업과의 협력: 한국도로공사, 한국전력공사 및 태양광 발전 민간 기업들과 자료 수집과 기술 활용에 대한 협업을 진행함.
- 기술 검증: 기술 개발 및 검증을 위하여 실제 데이터(고속도로 주변 유희의 수치지도 및 기존 태양광 발전 자료)를 사용함으로써 시스템의 활용성과 신뢰성을 제고함.

#### ○ 공동 연구 추진전략

- 한양대학교 산학협력단(주관연구기관)는 제안 기술인 태양복사에너지 추정 기반 태양광패널의 설치 후보지 탐색 기술(핵심성과 1)과 다차원 공간데이터 복합평가 기반 태양광패널의 설치 적지 선별 기술(핵심성과 2)을 구현하기 위한 알고리즘 개발 및 최적화를 수행함. 안동대학교 산학협력단(공동연구기관)는 태양복사에너지 이론 모델을 설립하고 제안

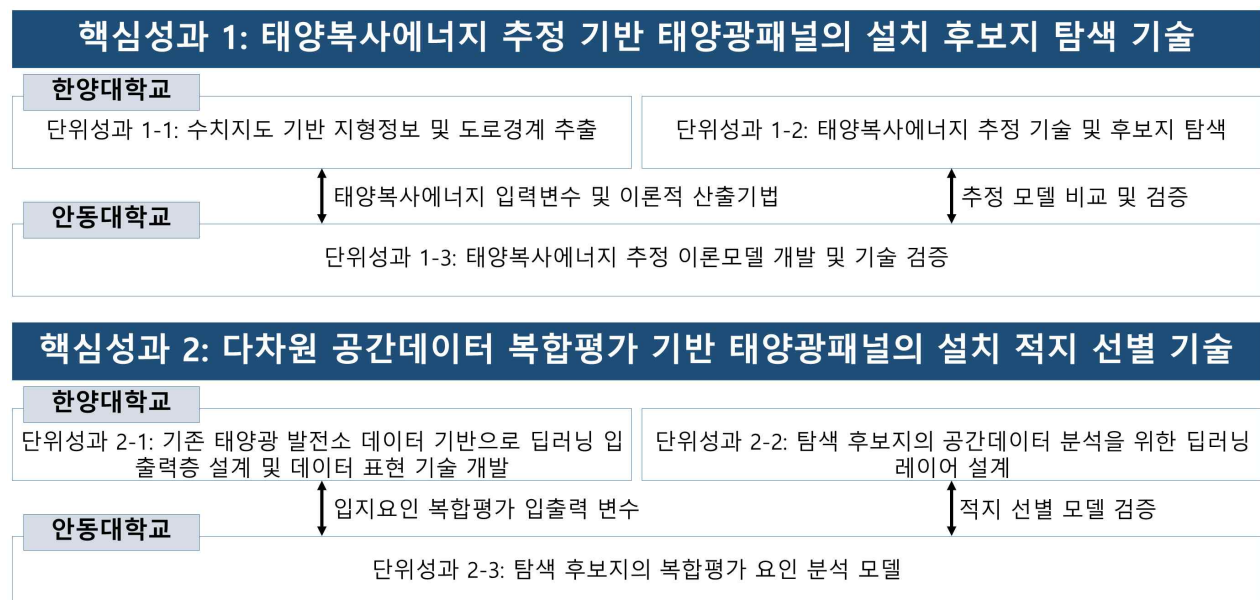


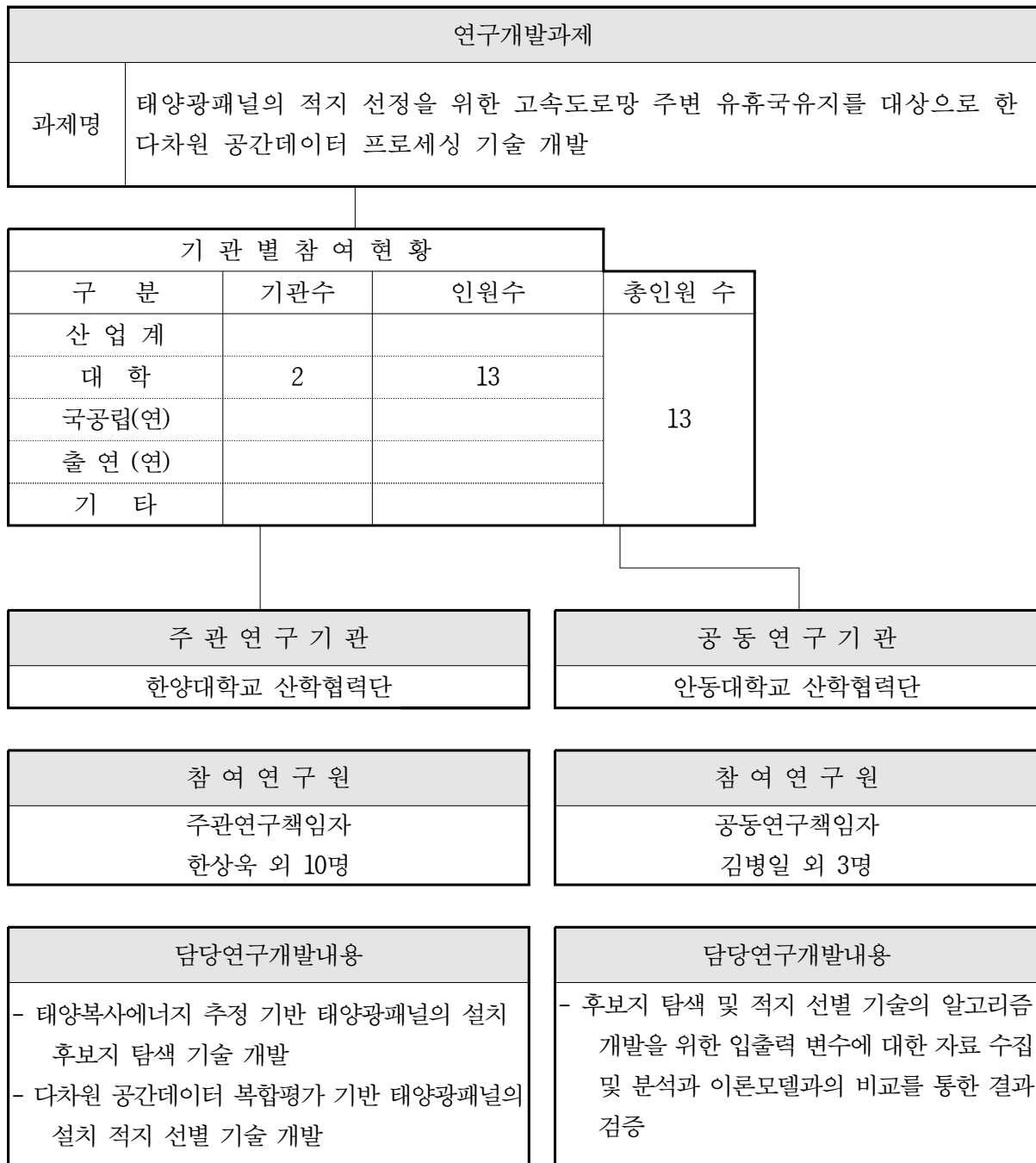
그림 2-1. 공동연구 추진 체계

기술의 결과를 검증하며 (핵심성과 1), 입지요인을 분석하기 위한 이론적 복합평가 모델을 개발하고 선별된 적지의 검증을 진행함(핵심성과 2).

- 본 과제에의 제안 기술은 두 기관이 협업을 통하여 개발하는 공동연구로 두 기관의 유기적 협업을 통하여 효율적으로 연구를 추진하고자 함.

## (2) 연구개발 추진체계

### ○ 연구수행 체계도



### (3) 추진일정

| 구분 | 연구과제명<br>(연구<br>수행기관) | 관련 성과목표/지표                                                  |                                                   |                         | 세부추진내용<br>(연구수행 Activity) | Activity별 산출물    | 소요<br>연구비<br>(백만원) | 1차년도 |     |     |     | 2차년도 |     |     |     |
|----|-----------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------|--------------------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
|    |                       | 핵심성과                                                        | 단위성과                                              | 질적 성과지표                 |                           |                  |                    | 1/4  | 2/4 | 3/4 | 4/4 | 1/4  | 2/4 | 3/4 | 4/4 |
| 총괄 |                       |                                                             |                                                   |                         |                           |                  |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 주관 | 한양대학교<br>산학협력단        | A:<br>태양복사에<br>너지 추정<br>기반<br>태양광패널<br>의 설치<br>후보지<br>탐색 기술 | A-1:<br>수치지도<br>기반<br>지형정보<br>및<br>도로경계<br>추출     | A-1-①<br>A-1-②<br>A-1-③ | 문헌 고찰                     | 문헌요약서            |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             |                                                   |                         | 자료수집                      |                  |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             |                                                   |                         | 기초 알고리즘 개발                |                  |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             | A-2:<br>태양복사에<br>너지 기술<br>및<br>후보지<br>탐색          | A-2-①<br>A-2-②          | 알고리즘 고도화                  | 논문 1건            |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             |                                                   |                         | 후보지 탐색모델 개발               | 일반학술지<br>1건      |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             |                                                   |                         | 소프트웨어 개발                  | 특허출원 1건<br>SW 1건 |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       | B: 다차원<br>공간데이터<br>복합평가<br>기반<br>태양광<br>패널의<br>적지 선별<br>기술  | B-1:<br>딥러닝<br>입출력층<br>설계 및<br>데이터<br>표현 기술<br>개발 | B-1-①<br>B-1-②          | 문헌고찰                      | 문헌요약서            |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             |                                                   |                         | 자료 수집 및 분석                | 일반학술지<br>1건      |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             |                                                   |                         | 기초 알고리즘 개발                | 논문 1건<br>SW 1건   |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             | B-2:<br>공간데이터<br>분석을<br>위한<br>딥러닝<br>신경망<br>설계    | B-2-①<br>B-2-②          | 알고리즘 고도화                  | 논문 1건            |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             |                                                   |                         | 적지 선별 기술 개발               | 특허출원 1건          |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             |                                                   |                         | 소프트웨어 개발                  | SW 1건            |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
| 공동 | 안동대학교<br>산학협력단        | A:<br>태양복사에<br>너지 추정<br>기반<br>태양광패널<br>의 설치<br>후보지<br>탐색 기술 | A-3:<br>태양복사에<br>너지 추정<br>이론모델<br>개발 및<br>기술 검증   | A-3-①                   | 문헌고찰                      | 문헌요약서            |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             |                                                   |                         | 태양복사에너지 산출<br>기법 분석       |                  |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             |                                                   |                         | 기술 검증                     |                  |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       | B: 다차원<br>공간데이터<br>복합평가<br>기반<br>태양광<br>패널의<br>적지 선별<br>기술  | B-3: 탐색<br>후보지의<br>복합평가<br>요인 분석<br>모델            | B-3-①                   | 문헌고찰                      | 문헌요약서            |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             |                                                   |                         | 자료 수집 및 분석                |                  |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |
|    |                       |                                                             |                                                   |                         | 기술 검증                     | 논문 1건            |                    |      |     |     |     |      |     |     |     |

## 2-2. 연구 개발 성과

○ 최종 정량적 연구성과 목표 및 달성도

| 구분              |       | 목표 | 달성 | *달성도 (%) | **종료후 달성(확정) (2020년) | 비고                     |
|-----------------|-------|----|----|----------|----------------------|------------------------|
| 국외 논문<br>게재     | SCI   | 4  | 2  | 50       | 3 (75%)              | 게재가 판정 1편<br>심사중 1편    |
|                 | 비SCI  | -  | -  | 0        | 0                    |                        |
|                 | 계     | 4  | 2  | 50       | 3 (75%)              |                        |
| 국내 논문<br>게재     | SCI   | -  | -  | 0        | 0                    |                        |
|                 | 비SCI  | 2  | 1  | 50       | 2 (100%)             | 게재 예정 1편<br>(2020년 3월) |
|                 | 계     | 2  | 1  | 50       | 2 (100%)             |                        |
| 특허 출원           | 국내    | 2  | 2  | 100      | 2 (100%)             |                        |
|                 | 국외    | -  | -  | -        | -                    |                        |
|                 | 계     | 2  | 2  | 100      | 2 (100%)             |                        |
| 등록·기탁<br>대상 성과물 | 소프트웨어 | 3  | 3  | 100      | 3 (100%)             |                        |

\*본 성과의 달성도는 출판 기준으로 작성.

\*\* 게재가 판정을 받은 논문을 포함한 과제 종료 후 2020년 기준 예상 달성.

### (1) 논문 게재 성과

| 번호 | 논문명                                                                                                                                                              | 학술지명                          | 주저자명                 | 호   | 국명 | 발행기관     | SCI 여부 (SCI/비SCI) | 게재일                             | 등록번호* |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|-----|----|----------|-------------------|---------------------------------|-------|
| 1  | Digital numerical map-oriented estimation of solar energy potential for site selection of photovoltaic solar panels on national highway slopes                   | Applied Energy                | 정재훈 (1저자) / 김병일 (교신) | 242 | 국외 | Elsevier | SCI               | 2019.05.15                      |       |
| 2  | Long short-term memory recurrent neural network for modeling temporal patterns in long-term power forecasting for solar PV facilities: Case study of South Korea | Journal of Cleaner Production | 정윤희 (1저자) / 한상욱 (교신) | 250 | 국외 | Elsevier | SCI               | 2020.03.20 (온라인 출판: 2019.11.28) |       |
| 3  | Proof-of-concept of a two-stage approach for selecting suitable slopes on a highway network for solar photovoltaic systems: A case study in South Korea          | Renewable Energy              | 김병일 (1저자) / 정재훈 (교신) | -   | 국외 | Elsevier | SCI               | 온라인 출판: 2019.11.9               |       |
| 4  | Digital elevation model-based convolutional neural network modeling for searching of high solar energy regions                                                   | Applied Energy                | 허재 (1저자) / 한상욱 (교신)  | -   | 국외 | Elsevier | SCI               | 검토중 (2019년 9월 투고)               |       |

|   |                                                                |              |                     |       |    |          |      |               |  |
|---|----------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|-------|----|----------|------|---------------|--|
| 5 | 태양광 발전소 건설부지 평가 및 선정을 위한 태양광 발전량의 기상조건 상관분석 및 선형 회귀분석 기반 추정 모델 | 한국건설관리학회 논문집 | 허재 (1저자) / 한상욱 (교신) | 20(6) | 국내 | 한국건설관리학회 | 비SCI | 2019.12.01    |  |
| 6 | LSTM-RNN 기반 태양광 발전량 추정을 통한 고속도로 주변 부 태양광발전 시설의 적지 선별 기술        | 대한공간정보학회지    | 허재 (1저자) / 한상욱 (교신) | -     | 국내 | 대한공간정보학회 | 비SCI | 2020년 3월 (예정) |  |

(2) 국내 및 국제학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭                                                                                      | 발표자 | 발표 일시       | 장소     | 국명    |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|--------|-------|
| 1  | 대한토목학회                                                                                     | 허재  | 2018.10.18  | 경주     | 한국    |
| 2  | International Symposium on Automation and Robotics in Construction                         | 허재  | 2019.05.23. | Banff  | 캐나다   |
| 3  | 2019 International Congress and Conference on Computational Design and Engineering (I3CDE) | 김병일 | 2019.07.08  | Penang | 말레이시아 |

(3) 지식재산권(특허, 실용신안, 디자인, 상표, 신품종 등)

| 번호 | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                                          | 국명 | 출원          |             |                 | 기여율  |
|----|-------------------------------------------------------------------|----|-------------|-------------|-----------------|------|
|    |                                                                   |    | 출원인         | 출원일         | 출원번호            |      |
| 1  | 태양복사에너지 추정에 지형적 특징이 미치는 영향을 고려하기 위한 지형표고모델 및 이미지 프로세싱 딥러닝 알고리즘 개발 | 한국 | 한양대학교 산학협력단 | 2019.09.25. | 10-2019-0117889 | 100% |
| 2  | 수치지도 기반 고해상도 태양에너지 지도 제작 및 고속도로 주변 태양광 패널 설치 부지선정 기법              | 한국 | 한양대학교 산학협력단 | 2019.09.24. | 10-2019-0117506 | 100% |

(4) 저작권(소프트웨어)

| 번호 | 저작권명                                                   | 창작일        | 저작자명                   | 등록일        | 등록번호*         | 저작권자명     | 기여율  |
|----|--------------------------------------------------------|------------|------------------------|------------|---------------|-----------|------|
| 1  | 합성곱 신경망 기반 지형효과가 반영된 태양복사에너지 추정모델 개발                   | 2019.05.01 | 허재, 정재훈, 김병일, 한상욱      | 2019.09.20 | C-2019-025947 | 한양대 산학협력단 | 100% |
| 2  | 수치지도 기반 고해상도 태양에너지 지도 제작 및 고속도로 주변 태양광 패널 설치 부지선정 프로그램 | 2019.02.01 | 허재, 정재훈, 김병일, 한상욱      | 2019.09.20 | C-2019-025946 | 한양대 산학협력단 | 100% |
| 3  | 순환신경망(RNN)기반 태양광 발전량 추정 프로그램                           | 2019.01.01 | 허재, 정윤화, 정재훈, 김병일, 한상욱 | 2019.11.08 | C-2019-032707 | 한양대 산학협력단 | 100% |

## 2-3. 연구 수행 내용 및 결과

### (1) 기술적 성과

- 본 과제는 핵심성과 1(태양복사에너지 추정 기반 태양광패널의 설치 후보지 탐색 기술)과 핵심성과 2(다차원 공간데이터 복합평가 기반 태양광패널의 설치 적지 선별 기술)의 총 2개 핵심기술 개발로 구성됨.

가. 태양복사에너지 추정 기반 태양광패널의 설치 후보지 탐색 기술

| 연구 범위                      | 연구 내용                                                                                                         | 연구 수행 방법<br>(이론적 · 실험적 접근방법)                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 수치지도 기반 지형정보 및 도로경계 추출     | 태양복사에너지 추정 이론에 대한 문헌고찰을 기반으로 수치지도로부터 추정의 입력값인 고도, 경사, 방위, 음영값을 추출 및 산출하는 자동화기술 개발 및 시뮬레이션 실험을 통한 검증 (알고리즘 개발) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수치지도 취득/분류 및 보간법을 이용한 격자 데이터 변환</li> <li>- 격자 데이터로부터 고도, 경사, 방위값 공간데이터 산출 기술 개발</li> <li>- 시간별 태양 고도 및 방위 추정 기술 및 음영계산 기법 개발</li> <li>- 수치지도 기반의 태양복사에너지 추정 알고리즘 개발</li> </ul>                                                                                          |
| 태양복사에너지 추정 기술 및 후보지 탐색     | 격자 단위로 추정된 태양복사에너지를 바탕으로 고속도로 경계 자료로부터 후보지의 군집화 및 후보지 탐색 자동화 기술 개발 (알고리즘 개발)                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수치지도로부터 지형등고선 및 도로경계 분류/추출</li> <li>- 고속도로 경계 자료로부터 버퍼 지역 생성 및 성토부 구분 수행</li> <li>- 격자 단위로 추정된 태양복사에너지 자료로부터 발전소 부지 단위의 후보지 군집화 기술 개발</li> <li>- 후보지별 태양복사에너지 산출 및 공간 데이터 검색 알고리즘 개발</li> </ul>                                                                         |
| 태양복사에너지 추정 이론모델 개발 및 기술 검증 | 기설치된 태양광발전소 데이터 수집 및 추정 태양복사에너지와 실거래량과의 관계 분석 (회귀분석) 및 저해상도 기반의 후보지 탐색 기술 개발 및 검증 (알고리즘 개발)                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기설치된 태양광발전소의 월별 전력거래량 자료 수집 및 해당 월별 기상 데이터 수집</li> <li>- 추정 태양복사에너지, 입지조건, 기상조건 등과 실전력거래량과의 회귀분석 및 이를 통한 태양복사에너지 추정 이론 모델 개발</li> <li>- 회귀분석 모델을 이용한 실발전량 추정 및 태양복사에너지 추정모델 검증</li> <li>- 저해상도 수치지도를 활용한 후보지 탐색을 위해 고해상도와 저해상도 수치지도를 단계적으로 연산하는 2단계 분석 기법 개발</li> </ul> |

## 핵심성과 1: 태양복사에너지 추정 기반 태양광패널의 설치 후보지 탐색 기술

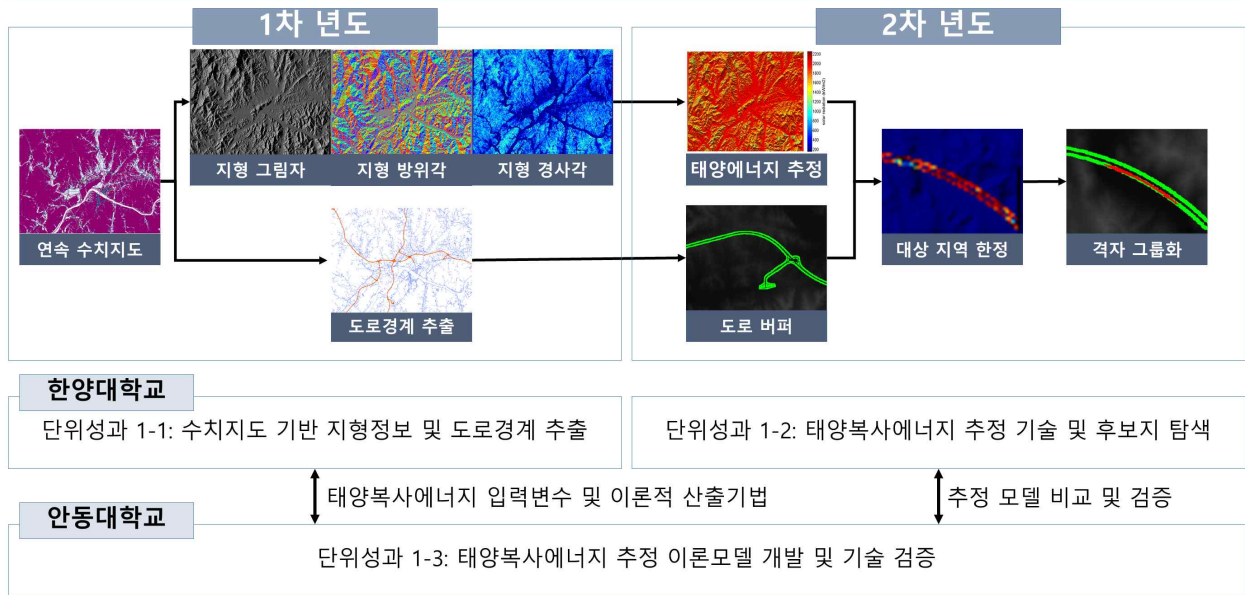


그림 2-2. 핵심성과 1의 연차별 · 기관별 연구개발 내용 및 범위

### 가-1. 수치지도 기반 지형정보 및 도로경계 추출

- 태양복사에너지 추정을 위한 기본 자료인 지형정보와 고속도로 주변의 유희지를 탐색하기 위한 도로경계를 수치지도로부터 자동으로 추출하는 기술 개발을 목표로 함.

- ① 다양한 스케일(1:1000, 1:5000, 1:25,000)의 수치지도 취득 및 지역/전국 단위 적용방안 조사

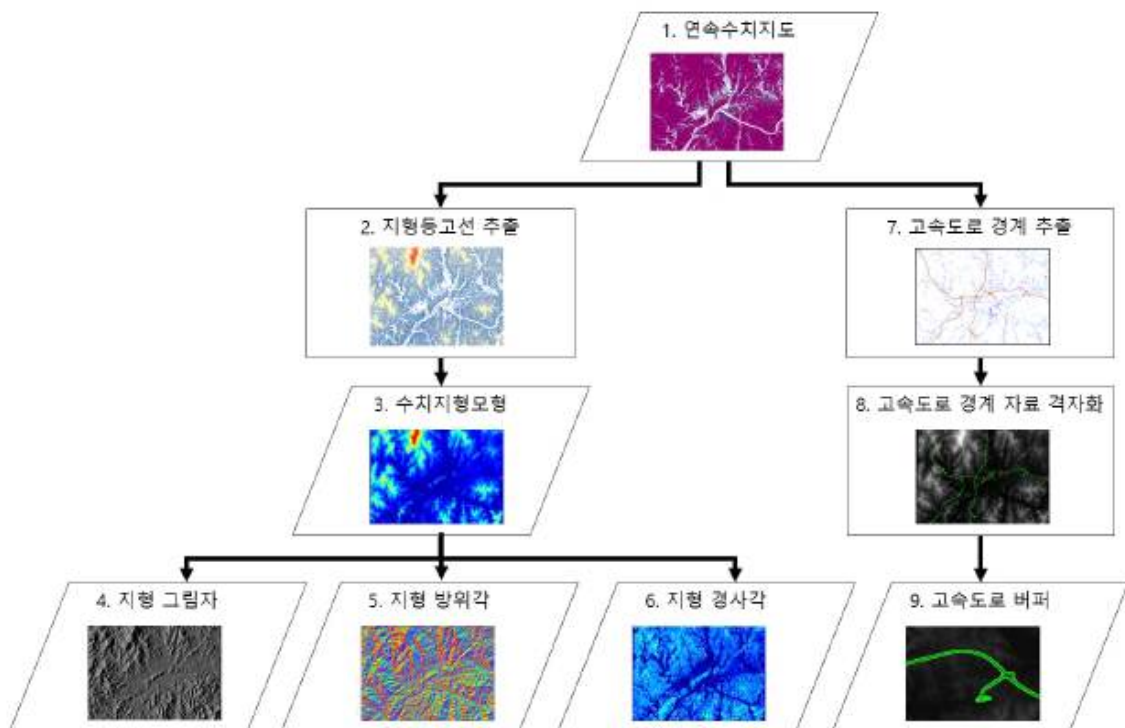


그림 2-3. 기술 요약도: 수치지도로부터 입력자료 추출 및 생성

- ② 태양복사에너지 추정에 필요한 격자기반 공간데이터 (고도, 경사, 방위, 음영) 생성기술개발
- ③ 지형등고선 및 고속도로 경계 분류 및 격자 변환을 통한 고속도로 경계 자료의 버퍼 지역 생성 및 성토부 구분

#### ○ 데이터 수집 및 변환

- 수치지도는 전 국토에 대한 각종 지형공간정보를 전산시스템을 이용해 일정한 축척에 따라 디지털형태로 나타낸 것으로 종이지도와 달리 수정, 갱신, 편집 및 검색이 용이하고 (Cho et al. 2010), 국토지리정보원에서는 2016년 3월부터 무료로 배포하고 있음.
- 본 연구에서는 전 국토에 대한 1:5,000 축척의 수치지도를 수집하였고, 다음의 그림 2-4a와 같이 폴리라인 형태로 저장된 지형등고선을 속성 검색을 이용해 추출하였음. 이후, 지형등고선을 Inverse Distance Weighting (IDW) 보간법을 이용해 격자형태의 수치표고모형 (DEM: Digital Elevation Model)을 생성하고(그림 2-4b), 음영, 방위, 경사 자료 생성에 활용하였음.

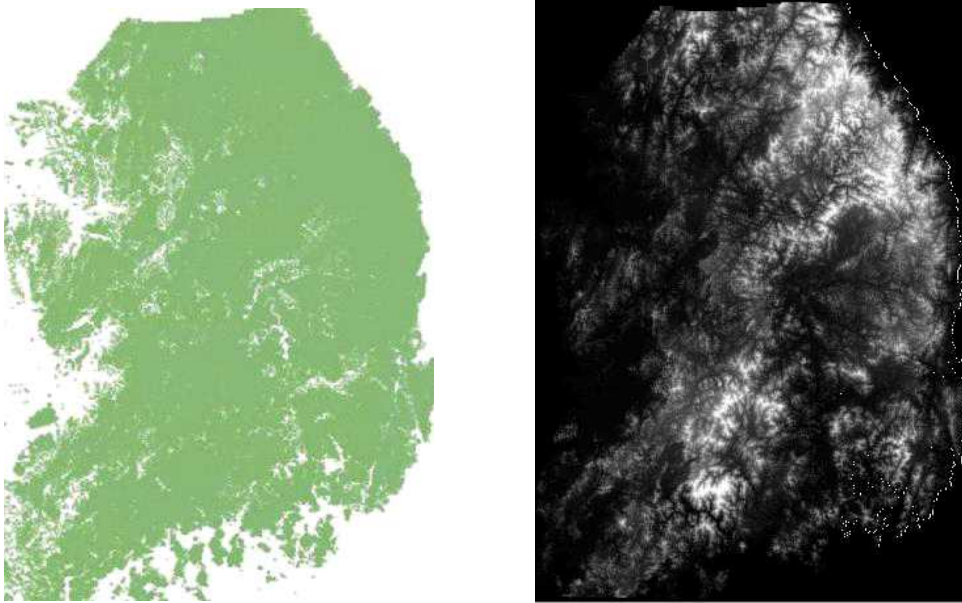


그림 2-4. (a) 1:5,000 축척 수치지도 및 (b) 수치표고모형

#### ○ 지형 음영 영역 산출 기법

- 태양과 지표면 사이에 장애물이 있을 경우 음영 지역이 발생할 수 있으며, 국내 지형과 같이 산악 지역이 많은 경우 태양광 추정에 큰 영향을 미칠 수 있음.
- 본 연구에서는 하루 중 태양고도 및 방위 변화에 따른 음영 영역을 추정하기 위해 Schwanghart and Scherler (2013)가 제안한 cast-shadow 알고리즘을 활용함 (알고리즘 1).
- 알고리즘 1은 우선 태양 방위각을 이용하여 DEM을 태양광원이 북쪽에 위치하도록 회전시키고, 태양의 고도각( $\alpha$ )을 이용하여 그림자 높이를 일정 높이( $\Delta$ )만큼 순차적으로 감소시키면서 (그림 2.1-2), 그림자 높이가 지형 고도보다 높은 지역을 구별하는 이진영상을 생성함.

- 이진영상을 bilinear 보간법을 사용하여 본좌표로 회전·복원하여 음영 값이 0에서 1 사이의 음영 모델을 생성함. 이후, 음영값을 태양에너지추정치와 곱하여 보다 정확한 태양 에너지를 추정할 수 있음.

#### 알고리즘 1. 음영 지역 추출

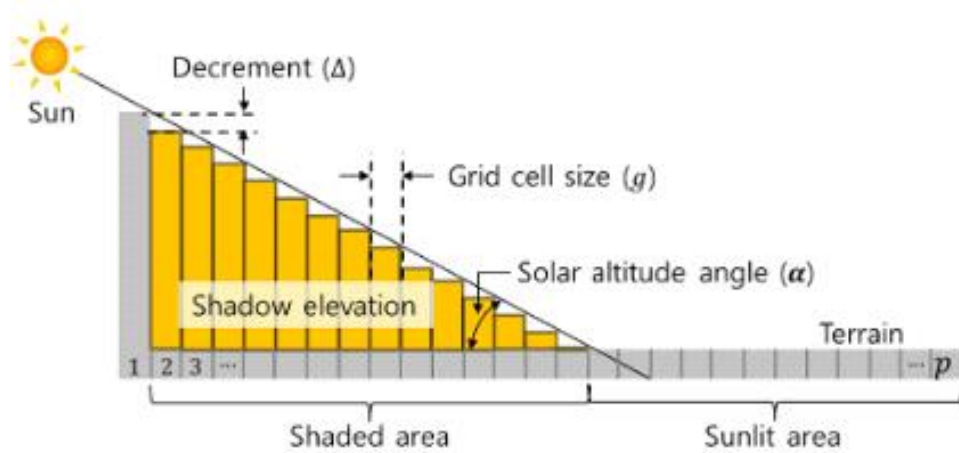


그림 2-5. 지형 음영효과 계산

- 1 Input: Azimuth( $as$ ) and altitude( $\alpha$ ) of the Sun, DEM  
Output: A shade image, S
- 2 Define the grid-cell size,  $g$
- 3 Compute the decrement,  $\Delta = g \times \tan \alpha$
- 4 Generate the rotated DEMR with respect to  $as$
- 5 Count the number of rows ( $p$ ) and columns ( $q$ ) of DEMR
- 6 Create a  $p \times q$  matrix of zeros, S
- 7 For each grid cell,  $S[i][j]$ , where  $i=2:p$  and  $j=1:q$ ,
- 8 Find the terrain elevation in the previous row,  $E_{pt} = \text{DEMR}[i-1][j]$
- 9 Find the terrain elevation in the current row,  $E_{ct} = \text{DEMR}[i][j]$
- 10 Compute the shadow elevation,  $E_s = E_{pt} - \Delta$
- 11 If  $E_s \geq E_{ct}$
- 12  $S[i][j] = 1$
- 13 End
- 14 Rotate S back into the original coordinates
- 15 Return S

#### ○ 지형 음영 영역 산출 결과

- 본 연구에서 구현한 지형공간정보 생성 기법의 테스트를 위해 공주시 부근을 대상으로 5 x 5 m 픽셀사이즈 DEM을 사용하였음.

- 그림 2-6은 2018 년 6 월 1 일 오전 6시부터 오후 7시까지의 공주시 그림자 변화를 나타내고 있음. 그림자 강도는 0에서 1까지의 회색 음영 값(shade value)으로 나타나 있으며, 값이 1에 가까울 수록 음영 수치가 높음을 나타냄.

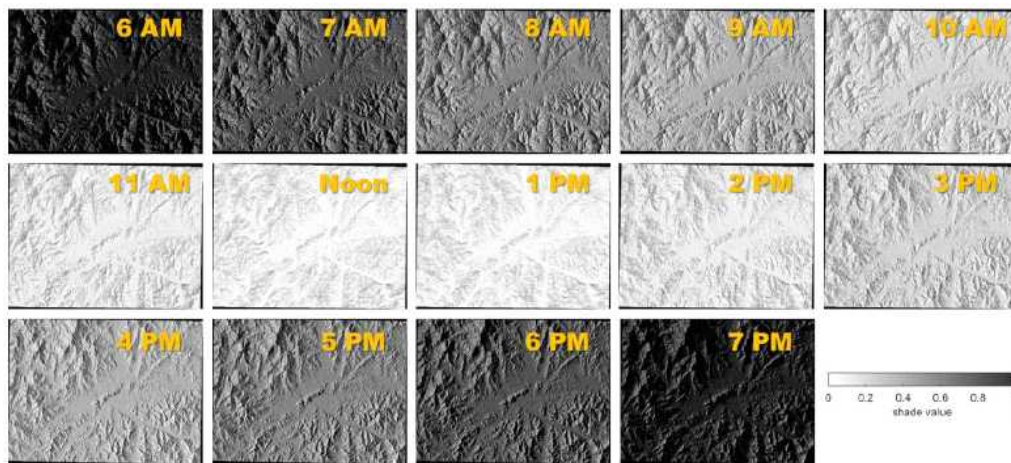


그림 2-6. 2018년 6월 1일 공주지역의 시간대별 음영 지역 변화

#### ○ 지형 방위각 및 경사가 계산 결과

- DEM을 수평 좌표  $x, y$  에 따른 고도값의 함수  $z=f(x,y)$  로 정의할 때 방위각 및 경사각은 다음의 식 (1)과 (2)로 계산됨 (Burrough 1998).

$$Aspect = \text{atan2}(f_y, -f_x) \times 57.29578^\circ \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{if } Aspect > 90.0^\circ, Aspect &= 360.0^\circ - Aspect + 90.0^\circ \\ \text{else, } Aspect &= 90.0^\circ - Aspect \end{aligned} \quad (2)$$

$$Slope = \text{atan}(\sqrt{f_x^2 + f_y^2}) \times 57.29578^\circ$$

- 여기서  $Aspect$ 와  $Slope$ 의 단위는 도(degree)이며,  $Aspect$ 의 경우 정북을 기준( $0^\circ$ )으로 시계방향의  $360^\circ$  방위 변화를 나타냄.  $f_x$ 와  $f_y$ 는 각각 동서 방향 및 남북 방향의 기울기 변화(gradient)를 나타냄.
- 기울기 변화는 DEM 격자 전체에 걸쳐  $3 \times 3$  크기의 탐색윈도우를 이동시켜 주변 격자의 높이변화를 통해 계산됨. 본 연구에서는 3FDWRD(Third-order Finite Difference Weighted by Reciprocal of Distance) 방식을 활용함 (Choi et al. 2010).
- 동일한 간격( $g$ )으로 탐색윈도우(1행:  $z_1, z_2, z_3$ ; 2행:  $z_4, z_5, z_6$ ; 3행:  $z_7, z_8, z_9$ )를 정의했을 때, 중앙 격자  $z_5$ 에 대한 기울기 변화는 다음의 식(3)과 식(4)와 같이 계산됨.

$$f_x = \frac{(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)}{8 \times g} \quad (3)$$

$$f_y = \frac{(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)}{8 \times g} \quad (4)$$

- 지형 방위각 계산의 사례 연구로 다음 그림 2-7은 DEM으로부터 계산된 지형 방위각을 나타내고 있음. 지형 방위각은 총 8 방향의 방위를 구분해 보여주고 있으며, flat은 고도 변화가 없어서 방위각 계산이 불가능한 지역을 나타냄.

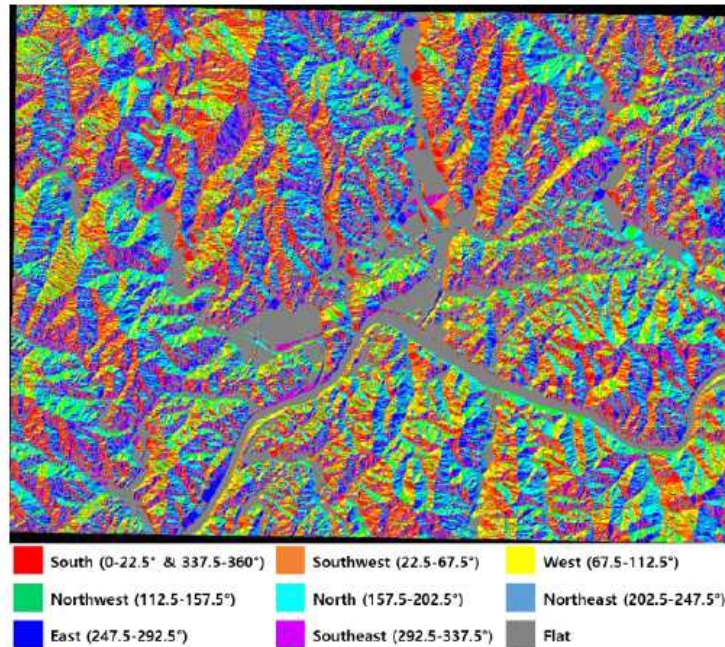


그림 2-7. 공주시 지역 지형 방위각 공간 분포

- 지형 경사각 계산의 사례 연구로 그림 2-8은 DEM으로부터 계산된 지형 경사각을 나타내고 있음. 지형 경사각은 0° 부터 90° 까지의 변화를 나타내고 있으며, 공주시를 관통하는 금강 주변은 대체적으로 평탄한 각도를, 지도 남동쪽 및 북서쪽에 위치한 산지 부근은 급한 경사 변화를 나타내고 있음.

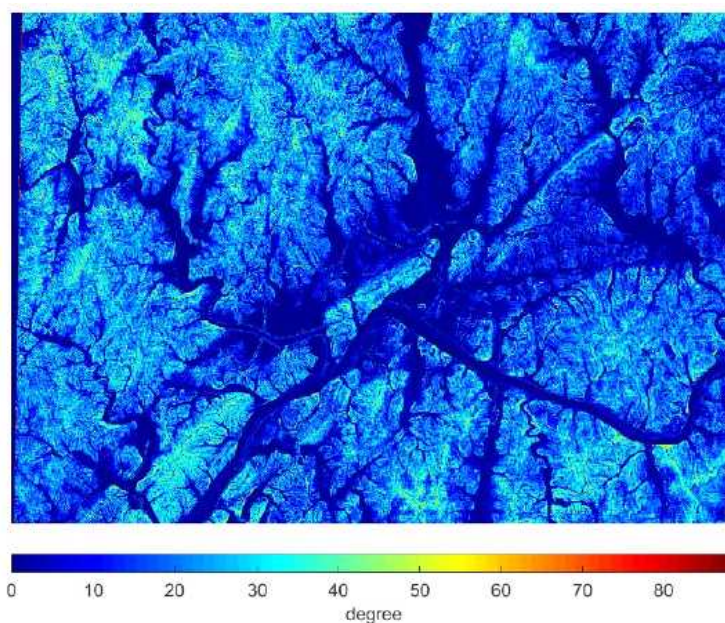


그림 2-8. 공주시 지역 지형 경사각 공간 분포

○ 지형 음영 영역, 방위각, 경사각 계산 정확도 검증

- 본 연구에서는 생성한 공간자료의 객관적인 검증을 위해 상용 소프트웨어인 ArcGIS에서 생성한 음영, 방위각, 경사각 정보와의 비교를 수행하였음.
- 비교 방법에는 두 영상 간의 유사성을 판단하는 데 있어 가장 보편적으로 활용되고 있는 구조적 유사 수치 (SSIM: Structural Similarity Index) 를 활용하였음.
- SSIM은 휘도(luminance), 명암비(contrast), 구조(structure)적 차이를 종합적으로 고려하도록 설계되었으며, 압축 및 변환 등에 의한 왜곡에 대하여 원본 영상과의 유사도를 좀 더 정확하게 비교하는 것으로 보고되고 있음(Jeong and Kim, 2014). 수치가 1에 가까울수록 유사성이 크고, 0에 가까울수록 유사성이 떨어짐을 나타냄.
- 다음의 식 (5), (6), (7)은 각각 휘도( $l$ ), 명암비( $c$ ), 구조( $s$ ) 수치의 계산식을 나타내며,  $\mu_x$ 와  $\mu_y$ 는 이미지  $x$ ,  $y$ 의 평균,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_{xy}$ 는 각 이미지의 표준편차와 공분산을 의미함.

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + c_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1} \quad (5)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + c_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_3} \quad (6)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + c_3}{\sigma_x\sigma_y + c_3} \quad (7)$$

- 식 (5), (6), (7)을 통해 계산된 휘도와 명암비, 구조의 값을 통하여 SSIM index를 식 (8)과 같이 계산할 수 있음.

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma \quad (8)$$

- 본 연구에서는 정확도 분석의 일환으로 SSIM 수치를 이용하여 본 연구를 통해 생성한 공주지역 공간정보 자료와 상용 소프트웨어를 통해 생성한 공간정보 사이의 유사성을 계산하였고, 그 결과 지형 음영 영역의 경우 0.9462, 지형 방위각의 경우 0.9376, 지형 경사각의 경우 0.9754로 높은 유사성을 나타내어 성공적으로 공간 정보가 생성되었음을 확인하였음.
- 특히 본 연구에서는 지형 경사각과 방위각, 음영 지역을 태양복사에너지 추정 알고리즘과 통합하여 자동적으로 처리가 되도록 구현하였음. 반면 기존 상용소프트웨어 사용 시 각각의 공간 정보를 별도로 생성, 결합해야 하며, 이 경우 특히 시간단위로 변화하는 음영지역 자료를 연간 태양에너지 추정에 반영하는 데 있어 제안된 방법이 기존 소프트웨어 대비 높은 효율성을 나타내고 있음.

가-2. 태양복사에너지 추정 기술 및 후보지 탐색

- 태양복사에너지 추정 알고리즘의 고도화 및 고에너지 격자의 라벨링을 통한 군집화 기술을 개발하고, 고속도로 주변 유휴지를 탐색하여 후보지 산출을 목표로 함.

- ① 시간에 따른 경사 지형의 복사에너지를 추정하는 수치지도 기반의 태양복사에너지 모델 개발
- ② 후보지 탐색 범위 제한을 위한 격자기반 도로경계 버퍼생성과 성토부 및 램프 구역 구분 기술 고도화
- ③ 후보지 탐색을 위해 선정된 고에너지 후보 지역의 격자 그룹화 및 통계자료 생성
- ④ GIS 연동을 위한 좌표 변환 및 데이터 형식 변환 기술 개발 및 테스트베드 적용을 통한 기술 성능 검증

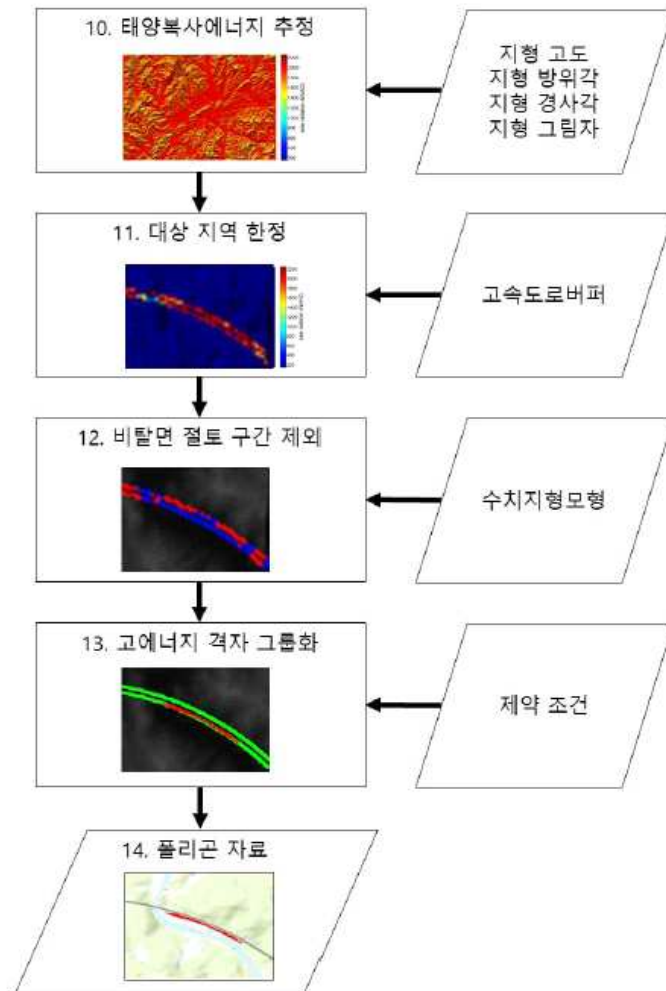


그림 2-9. 기술 요약도: 태양광패널 후보지 탐색

#### ○ 태양복사에너지 추정 이론모델 개발

- 지구의 궤도는 타원형이고 지구와 태양 간의 거리가 일년 내내 변화하기 때문에 지구에 도달하는 태양복사에너지는 시간 변화에 따라 달라짐. 다음의 식 (9)는 이러한 연중 태양 위치 변화에 따른 태양복사에너지를 추정하는 데 사용됨 (Yogi, 2015).

$$I = I_0 [1 + 0.034 \cos(360n/365.25)^\circ] \quad (9)$$

- 여기서  $n$ 은 1월 1일부터 365일 날짜 변화를 가리킴. 지구 대기권 상에서 태양 광선에 수직인 표면에 받는 태양복사에너지를 태양 상수( $I_0$ )라 하며, 최근 NASA의 새로운 측정 결

과에 따라  $1,366.1 \text{ W/m}^2$ 를 사용함.

- 한편, 지구 표면의 복사에너지는 지역별 기후 조건에 따라 달라질 수 있으므로 추정 모델을 보정하기 위해서는 현장에서 취득된 기후 파라미터가 필요함.
- 그러나 시시각각 변화하는 기후 변화의 현장 자료를 취득하고 추정모델에 반영하기에는 한계가 있으므로 본 연구에서는 다음의 식 (10), (11)과 같이 Gueymard (2009)이 제안한 맑은 날을 가정한 태양 복사에너지 추정 모델을 활용함.

$$I_{b,N} = I(e^{-\tau_b m^b}) \quad (10)$$

$$I_{d,h} = I(e^{-\tau_d m^d}) \quad (11)$$

- 여기서  $I_{b,N}$ 은 태양 광선에 수직인 단위 면적당 복사에너지를,  $I_{d,h}$ 은 수평면에서 산란복사 에너지를 나타냄.  $\tau_b$  및  $\tau_d$ 는  $I_{b,N}$  및  $I_{d,h}$  추정에 사용되는 상수값이며, 남한지역의 1년간 변화량은 다음의 표 2-1과 같음. 표에서 해당 상수값들은 매월 21일로 계산되므로 다른 날의 값은 인접한 두 달 사이의 선형 보간법을 통해 계산할 수 있음.

표 2-1. 월별 남한지역  $\tau_d$   $\tau_b$  상수값 ( $37.57^\circ \text{ N} / 126.97^\circ \text{ E}$ )

|          | Jan   | Feb   | Mar   | Apr   | May   | Jun   | Jul   | Aug   | Sep   | Oct   | Nov   | Dec   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\tau_b$ | 0.409 | 0.483 | 0.571 | 0.631 | 0.712 | 0.789 | 0.682 | 0.560 | 0.503 | 0.479 | 0.441 | 0.387 |
| $\tau_d$ | 1.844 | 1.669 | 1.529 | 1.476 | 1.397 | 1.343 | 1.526 | 1.771 | 1.845 | 1.808 | 1.861 | 1.982 |

- 식 (10), (11)에서  $m$ 은 공기 질량비이며, 다음의 식 (12)와 같이 추정될 수 있음. 여기서  $\alpha$ 는 태양의 고도각을 나타냄.

$$m \approx \frac{1}{\sin \alpha + 0.50572(6.07995 + \alpha)^{-1.6364}} \quad (12)$$

- b 및 d는 다음의 식 (13)와 (14)을 통해 추정이 가능함.

$$b = 1.219 - 0.043\tau_b - 0.151\tau_d - 0.204\tau_b\tau_d \quad (13)$$

$$d = 0.202 + 0.852\tau_b - 0.007\tau_d - 0.357\tau_b\tau_d \quad (14)$$

- 위 계산된  $I_{b,N}$  및  $I_{d,h}$ 를 사용하여 수평 태양복사에너지( $I_h$ )는 다음 식 (15)을 통해 추정될 수 있음.

$$I_h = (I_{b,N}\sin \alpha + I_{d,h}) \quad (15)$$

- 그림 2-10은 경사표면에 대한 태양각의 기하학을 나타내고 있으며, 경사 표면의 태양복사 에너지는 다음의 식 (16)과 같이 반사 ( $I_{r,c}$ ), 확산 ( $I_{d,c}$ ), 그리고 직달 ( $I_{b,c}$ )복사 에너지의 합으로 구해짐.

$$I_c = I_{r,c} + I_{d,c} + I_{b,c} \quad (16)$$

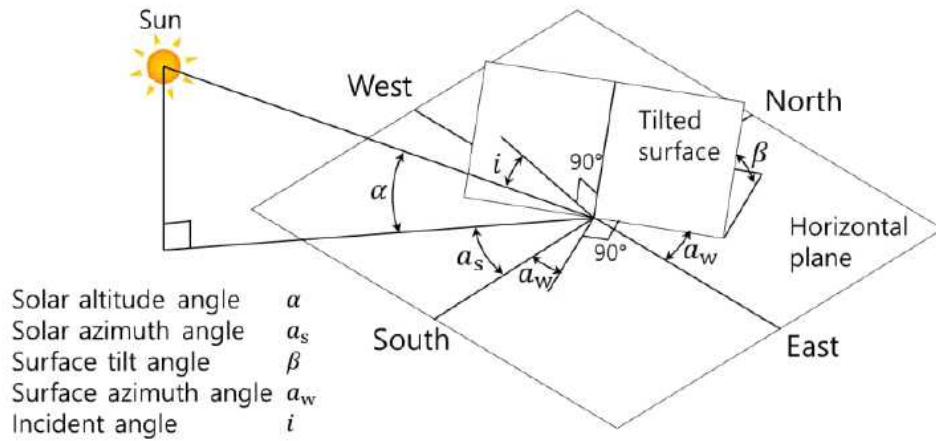


그림 2-10. 경사 표면에서의 태양 광선 기하 모델

- 여기서 반사복사에너지는 다음의 식 (17)과 같이 근사화 될 수 있음. 여기서  $\beta$ 는 기울어진 표면과 수평면 사이의 각도이며,  $\rho$ 는 지상 반사율로 일반적으로 0.2가 사용됨.

$$I_{r,c} = \rho I_h \sin^2(\beta/2) \quad (17)$$

- 확산복사에너지는 다음의 식 (18)을 통해 근사화 될 수 있음.

$$I_{d,c} = I_{d,h} \cos^2(\beta/2) \quad (18)$$

- 마지막으로, 직달복사에너지는 다음의 식 (19)와 같이 계산 될 수 있음.

$$I_{b,c} = I_{b,N} \cos i \quad (19)$$

- 여기서  $i$ 는 경사표면에서의 태양입사각을 나타내며 다음의 식(20)과 같이 계산될 수 있음.  $a_w$ 는표면 방위각,  $a_s$ 는 태양 방위각을 나타냄 (그림 2-10).

$$\cos i = \cos \alpha \cos(a_s - a_w) \sin \beta + \sin \alpha \cos \beta \quad (20)$$

#### ○ 태양복사에너지 추정 결과

- 다음의 그림 2-11은 공주시를 대상으로 한 연간 태양에너지 추정지도를 나타내고 있음.
- 북반구에 위치하는 공주지역의 특성상( $36^\circ 11' \sim 36^\circ 44'$ ) 전반적으로 북쪽 사면은 태양 에너지가 낮지만, 평지 또는 남쪽 사면은 높은 태양에너지가 추정되었음.
- 그 결과 공주시 지역의 맑은날 태양복사에너지 추정치는  $2,000.0 \sim 2,010 \text{ kWh/m}^2$  사이에 밀집되어 있으며, 최대태양복사에너지는 약  $2,260.9 \text{ kWh/m}^2$ 로 추정되었음.
- 본 연구결과는 태양복사에너지의 이론적 모델을 바탕으로 수치지도로부터 특정 지점을 대상으로 하는 맑은 날 기준의 이론적 태양복사에너지 추정이 가능함을 보여줌.

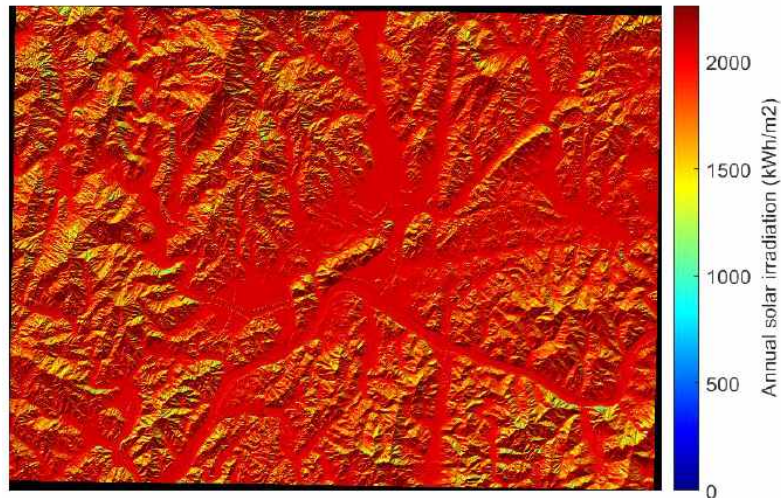


그림 2-11. 2018년 공주시 지역 연간 태양에너지 공간분포

- 추정 결과를 간접적으로 검증하기 위해 기설치된 태양광발전소의 실제 거래량과의 관계를 분석함. 실제 거래량은 해당 지역의 이용가능한 태양광복사에너지에 기상조건의 영향이 고려된 값으로 관련 데이터를 수집하여 선형회귀분석을 실시한 결과 결정계수가 0.979로 제안된 입력변수를 이용한 태양복사에너지 추정이 발전소의 실제 발전량을 잘 설명하는 것으로 평가되며, 또한 기계학습 시 추정 거래량의 오차가 10% 이내로 향상됨을 보여줌.

#### ○ 고속도로 성토부 추출 기술 개발

- 다음 그림 2-12(a)는 테스트 장소인 공주시 지역을 대상으로 추출한 고속도로 네트워크이며, 수치지도로부터 속성정보코드 A0013111을 사용하여 검색/추출이 가능.
- 그림 2-12(b)는 벡터 형태의 고속도로 네트워크를 이진 영상으로 변환하고 모폴로지 팽창연산(dilation)을 이용하여 고속도로 네트워크 주변 30m 지역에 대한 경사 지역을 추출한 결과를 DEM 및 항공사진과 중첩하여 나타낸 그림임.

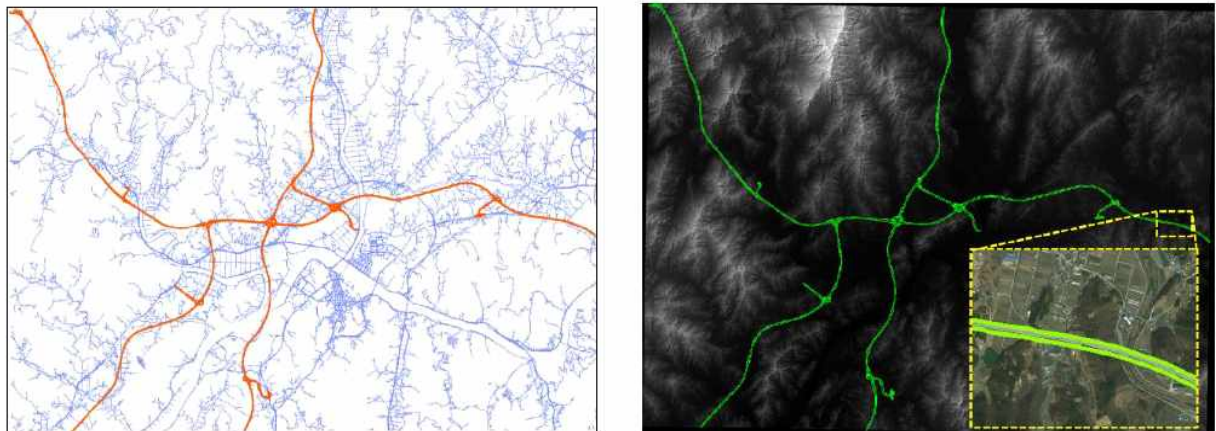


그림 2-12. (a) 수치지도 고속도로 네트워크 및 (b) 고속도로 경사지역 격자자료

- 한편, 절토면에 설치한 태양광 패널은 반사된 빛으로 인해 운전에 영향을 줄 수 있으므로, 성토부만을 태양광 패널 설치 지역으로 활용하고자 함.
- 알고리즘 2은 성토부를 추출하기 위한 영상처리 과정을 제안하고 있음.

#### 알고리즘2. 고속도로 성토부 추출

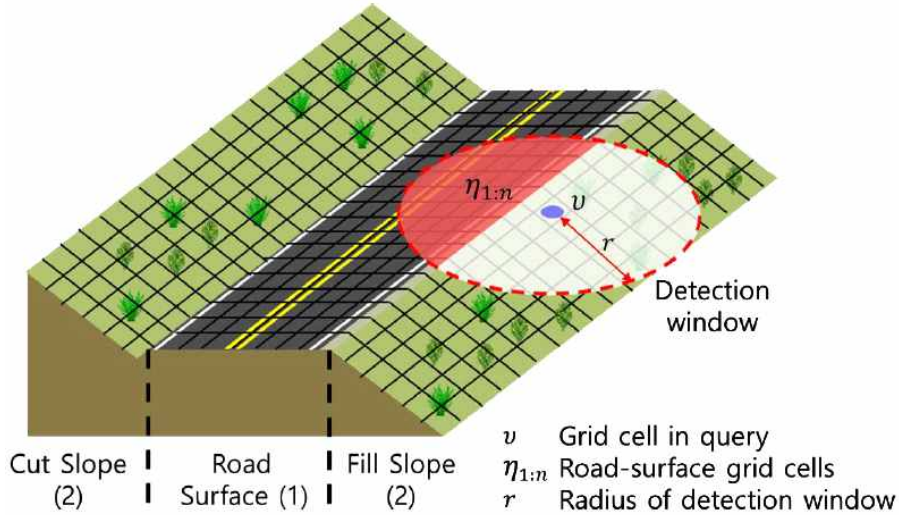


그림 2-13. 고속도로 성토부 추출 컨셉 이미지

- 
- 1 Input: A highway-slope image,  $H_s$ , and DEM  
Output: A highway fill-slope image,  $H_F$
  - 2 Define the disk-shaped detection window with radius,  $r$
  - 3 Count the number of rows ( $p$ ) and columns ( $q$ ) of the DEM
  - 4 For each occupied grid cell,  $v = H_s[i][j]$ , where  $i = 1:p$  and  $j = 1:q$ ,
  - 5 If  $v$  is on the road surface (i.e.,  $v=1$ )
  - 6  $H[i][j] = 0$
  - 7 Elseif  $v$  is on the slope (i.e.,  $v=2$ )
  - 8 Find the elevation,  $E^c = \text{DEM}[i][j]$
  - 9 Find the road-surface grid cells,  $\eta_{1:n}$ , within  $r$
  - 10 Find the elevation,  $E_{1:n}^G$ , of  $\eta_{1:n}$  from the DEM
  - 11 Compute the mean elevation,  $\bar{E}^G = \frac{\sum_{k=1}^n E_k^G}{n}$
  - 12 If  $E^c \geq \bar{E}^G$
  - 13  $HS[i][j] = 0$
  - 14 End
  - 15  $H_F = H_s$
  - 16 Return  $H_F$
-

- 그림 2-13과 같이 우선 반경  $r$ 을 갖는 원형 검색 윈도우를 설정하고, 도로 경사를 구성하는 각각의 픽셀( $v$ )을 대상으로 윈도우 내에서 노면에 해당하는 픽셀들을 검출함. 이 때 반경의 크기는 노면을 포함하기 위해 경사 지역의 범위(30m)보다 충분히 커야함. 본 연구에서는 60m를 사용함.
- 이후, 검색 윈도우에 포함된 노면에 해당하는 픽셀들의 평균 높이값( $\bar{E}^c$ )을 계산함.
- $\bar{E}^c$ 의 값이 픽셀  $v$ 의 높이값보다 클 경우 해당 픽셀을 성토부로 결정하고 반대의 경우 절토부로 결정하여 태양광패널 후보지 선정에서 배제함. 이러한 과정을 모든 경사 지역 픽셀에 대해 반복하여 도로 성토부만을 나타내는 이진 영상( $H_p$ )을 생성함.

#### ○ 고속도로 성토부 추출 결과

- 그림 2-14에서 생성한 경사 이진영상을 사용하여 고속도로 주변 성토부만을 추출한 결과, 전체 연구대상지역 중 약 1.1%의 면적이 고속도로 사면으로 확인되었으며, 그 중 50.8%가 성토부로 분류되었음.
- 그 결과 성토부 태양복사에너지 추정치는 2,010.0 ~ 2,020 kWh/m<sup>2</sup> 사이에 밀집되어 있으며, 최대 태양복사에너지는 2,259.0 kWh/m<sup>2</sup>로 추정됨.

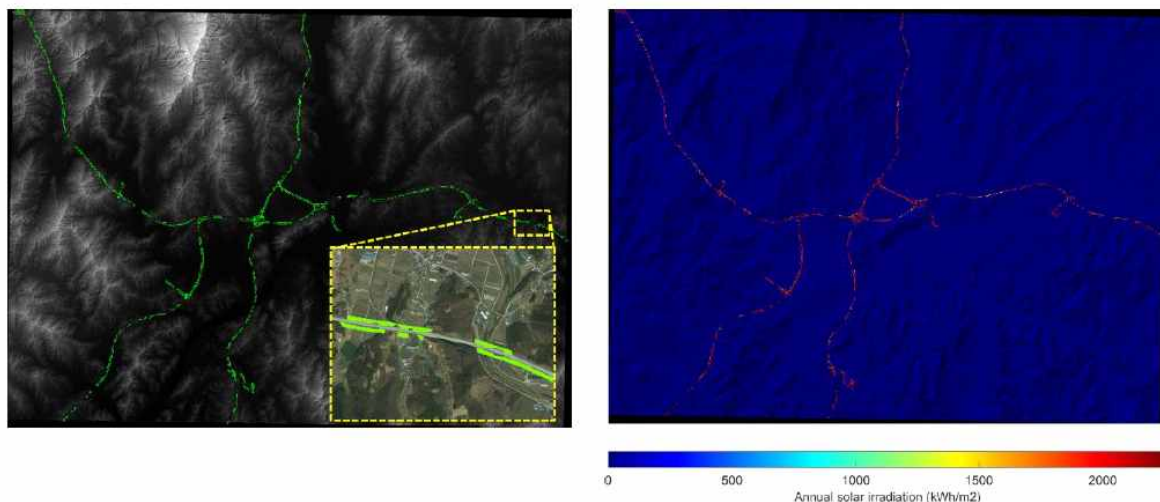


그림 2-14. 2018년 공주시 지역 고속도로 성토부의 연간 태양에너지 공간분포

#### ○ 태양광패널 후보지 탐색 기술 개발

- 알고리즘 3는 성토부 내에서 높은 태양에너지를 갖는 픽셀 지역을 군집화하기 위한 방법을 제안하고 있음. 이는 픽셀 단위(GIS의 라스터 단위)로 추정된 태양복사에너지를 바탕으로 실제 태양광패널이 설치 가능한 부지 단위로의 변환을 통해 부지 단위의 태양복사에너지 추정량을 기준으로 후보지를 선정하기 위한 기술임.
- 앞서 생성한 성토부 이진 영상을 태양에너지지도와 중첩하고 성토부만을 선별함.
- 선별된 성토부 픽셀에 대해 사용자가 정의한 임계값 (본 연구에서는 상위 10%를 채택)보다 큰 태양복사에너지를 가진 픽셀만을 선별하여 새로운 이진영상을 생성함.
- 이후, 상위 10% 픽셀을 대상으로 Connected component analysis를 이용하여 군집화 과정

을 수행함 (Haralick et al. 1992).

- 각 군집에 대한 태양 에너지의 총량을 연간태양에너지지도를 통해 합산하고, 태양 에너지 잠재력이 가장 높은 군집을 최종 후보지로 선정함.

### 알고리즘3. Clustering of solar grid cells

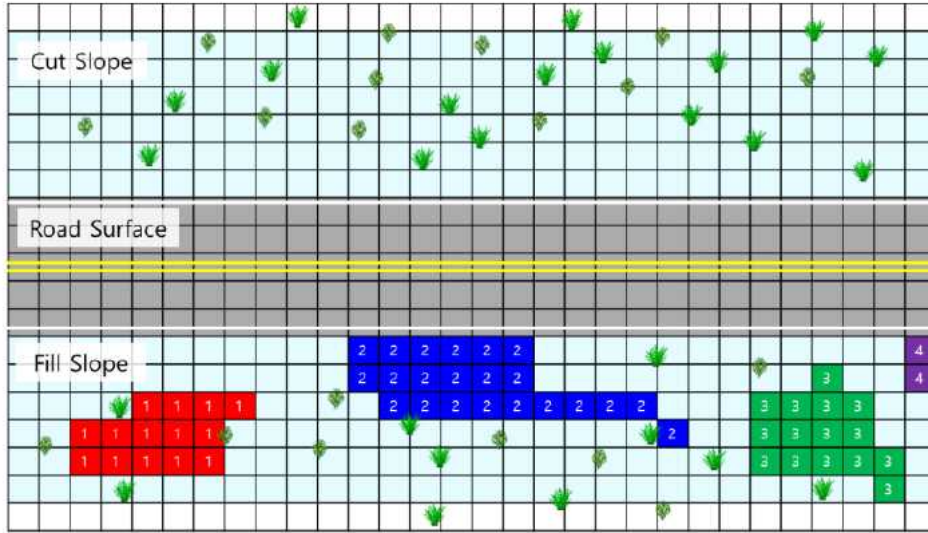


그림 2-15. 고속도로 성토부 군집화 알고리즘 컨셉 이미지

- 1 Input: a highway-fill-slope image, HF, an annual-solar map, A  
Output: clusters of grid cells with high solar energy potential, C
- 2 Define the threshold,  $\delta$
- 3 Count the number of rows ( $p$ ) and columns ( $q$ ) of the annual-solar map
- 4 Create the  $p \times q$  matrix of zeros, C
- 5 For each grid cell,  $C[i][j]$ , where  $i=1:p$  and  $j=1:q$ ,
- 6 If  $A[i][j] \geq \delta$  and  $HF[i][j]=1$
- 7  $C[i][j] \leftarrow 1$
- 8 End
- 9 Perform the labeling process on C to group clusters
- 10 Return C

### ○ 태양광패널 후보지 탐색 결과

- 다음 표 2-2는 태양에너지 총량에 따라 성토부 내 상위 10% 군집을 내림차순으로 정렬하고, 그중 상위 10개의 후보지를 나열한 것임.
- 상위 10개 후보지에 대한 지형 분석결과, 고속도로 경사면의 건설규정에 따라 군집 내 포함된 픽셀들의 평균 경사각은 약  $20^\circ$  로 비슷한 경향을 나타냄. 아울러 군집의 평균 방위

각은 남쪽을 0° 로 설정할 때 대부분 남향으로 분포하고 있는 것으로 나타남 (-90 ° 에서 90 ° 사이).

- 전반적으로 상위 10개 군집간의 평균 연간태양에너지 추정치는 상대적으로 미미한 것으로 나타남(2,181.1 ~ 2,224.9 kWh/m<sup>2</sup>).
- 최종 후보지는 총 연간태양에너지 추정치(49,623.7 MWh)로 결정되었으며, 위치는 공주시 동부 위도 36 ° 29 '3.253“, 경도 127 ° 13'57.800“ 로 나타남.
- 다음 그림 2-16은 최종 후보지의 위치를 각각 DEM과 항공사진에 중첩하여 나타내고 있음. 높은 에너지 추정량과 더불어 해당 후보지 내에는 나무 및 인공 구조물이 거의 없으므로 태양광 패널 설치에 적합한 지역으로 사료됨.

표 2-2. 위치에 따른 평균/총량 태양복사에너지 값

| No. | Area (m <sup>2</sup> ) | Annual solar irradiation |                            | Mean slope (deg) | Mean aspect (deg) | Latitude (deg/min/sec) | Longitude (deg/min/sec) |
|-----|------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
|     |                        | Total (MWh)              | Mean (kWh/m <sup>2</sup> ) |                  |                   |                        |                         |
| 1   | 22,700                 | 49,623.7                 | 2,186.1                    | 24.6             | 27.5              | 36/29/3.253            | 127/13/57.800           |
| 2   | 6,200                  | 13,619.5                 | 2,196.7                    | 21.0             | 32.9              | 36/29/37.776           | 127/6/51.610            |
| 3   | 4,925                  | 10,958.1                 | 2,225.0                    | 25.9             | -50.1             | 36/29/2.275            | 127/3/21.305            |
| 4   | 4,550                  | 9,923.5                  | 2,181.0                    | 19.2             | 42.5              | 36/29/47.265           | 127/6/25.859            |
| 5   | 4,275                  | 9,488.7                  | 2,219.6                    | 24.0             | 61.5              | 36/29/14.470           | 127/13/4.700            |
| 6   | 4,125                  | 9,034.9                  | 2,190.3                    | 18.1             | -97.4             | 36/29/55.619           | 127/10/19.773           |
| 7   | 3,875                  | 8,485.4                  | 2,189.8                    | 21.7             | -86.2             | 36/29/3.124            | 127/5/34.293            |
| 8   | 3,575                  | 7,924.8                  | 2,216.7                    | 21.9             | 61.5              | 36/29/6.353            | 127/5/43.456            |
| 9   | 3,550                  | 7,882.3                  | 2,220.4                    | 22.3             | 13.8              | 36/29/4.839            | 127/6/10.617            |
| 10  | 3,575                  | 7,860.6                  | 2,198.8                    | 25.3             | -103.2            | 36/29/3.253            | 127/13/57.800           |

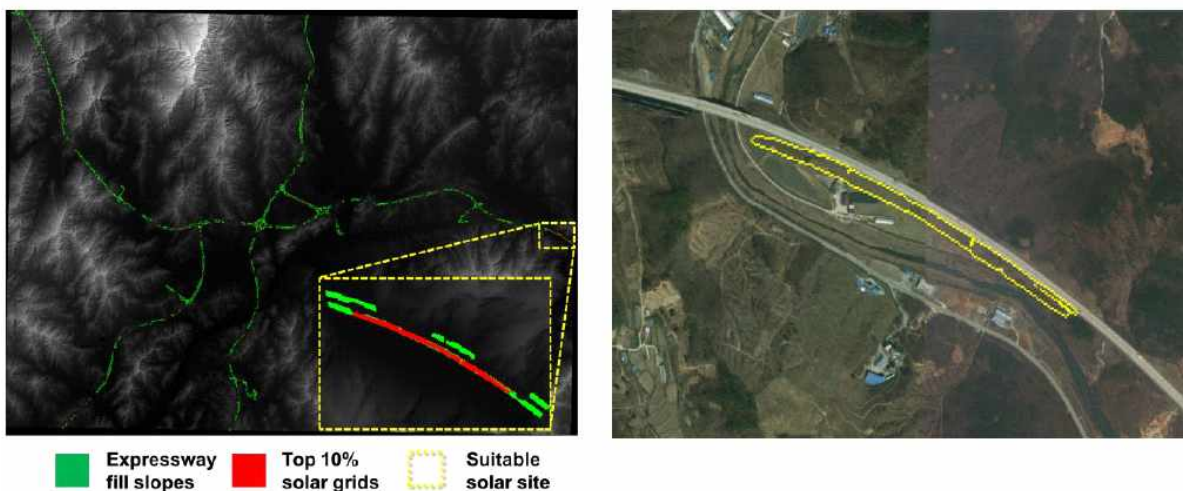


그림 2-16. 공주시 지역 고속도로 성토부 태양광패널 최종 후보지 선정 결과:  
(a)DEM 중첩 영상 및 (b) 항공사진 중첩 영상

### 가-3. 태양복사에너지 추정 이론모델 개발 및 기술 검증

- 기술 검증 시 발생한 수치지도의 해상도 문제를 해결하기 위해 다른 해상도의 수치지도를 활용한 단계적 연산 기법을 개발함.
  - ① 고해상도( $5 \times 5m$ )와 저해상도( $30 \times 30m$ )의 연산처리 비교
  - ② 태양복사에너지 산출 및 후보지 탐색 결과의 비교를 통해 단계적 연산 기법의 적정성 검증
- 또한, 태양복사에너지를 추정하기 위하여 필요한 주요 인자들에 대한 문헌 조사 및 분석을 바탕으로 추정 이론 모델을 개발하며, 추정된 태양복사에너지를 기존 모델과 비교하여 기술 검증을 목표로 함.
  - ① 태양복사에너지 추정 기법 및 지형음영계산 기법의 조사를 통해 및 입력변수 분석
  - ② 평면 지형을 가정한 태양복사에너지 산출 기법 연구
  - ③ 수치지도를 활용하여 추정된 태양복사에너지 결과를 기존 복사모델과의 비교를 통한 검증
  - ④ 적지 선별을 위해 딥러닝 기반 복합평가 기술의 활용 방안 연구

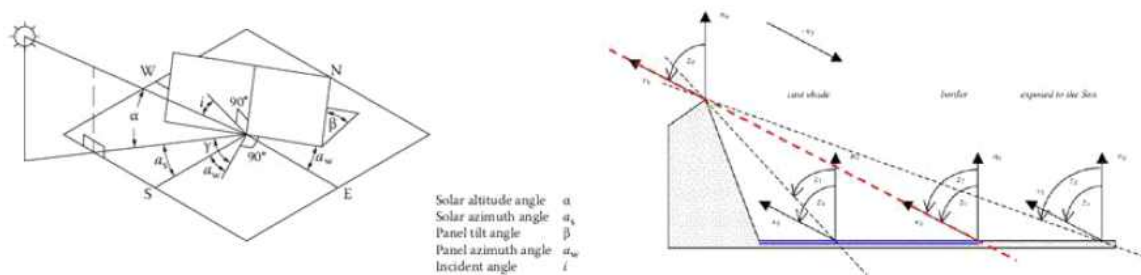


그림 2-17. 지형 방위각(좌) 및 경사각, 음영 영역 분석(우) 개요

- 수치지도의 단계적 연산 기법 개발을 통한 태양광패널의 설치 후보지 탐색 기술 고도화
  - 고해상도( $5 \times 5m$ )의 전국 단위 수치지도를 격자 형태의 자료로 변환하기 위해 GIS (ArcGIS) 상에서 불러올 때 메모리 부족 현상으로 전국지도의 연산 시 문제점이 발생함.
  - 지도 형태의 데이터는 매우 방대하고 처리 수준이 높으므로 데이터 크기에 따라 소프트웨어 작업 환경 및 컴퓨터의 성능에 영향을 많이 받음. 예를 들어, 본 연구에서 사용되는 이미지 맵의 해상도는  $5 \times 5m$  와  $30 \times 30m$  이지만  $5 \times 5m$  경우 데이터에 요구되는 저장 공간 및 처리 수준이 기하급수적으로 높아짐에 따라 공주 지역과 같은 국한된 지역에서만 적용이 가능하였음. 테스트 결과 전국단위 지형표고모델은  $30 \times 30m$ 에서 구현이 가능한 것으로 사료됨.
  - 예를 들어, 표 2-3은 동일 면적의 같은 지역(경기도)을 다른 해상도로 처리했을 때 발생하는 연산적 차이점들을 보여줌. 픽셀 사이즈가 1/6만큼 작아지면 처리해야 할 파일 사이즈는 1/36로 줄어들고 연산 시간은 1/67배 줄어듬. 하지만 픽셀의 사이즈( $30m$ )가 왕복 4차선 도로의 폭보다 넓기 때문에 단일 픽셀 안에 노면과 사면 등이 혼재하는 상황이 발생할 수 있음. 반면에 정확도 향상을 위해 픽셀 사이즈를 줄이게 되면 고해상도 영상의 파일 사이즈가 약 36배 커지고, 일반적인 GIS 연산 환경에서 처리하기 어려울 수 있음.

표 2-3. 고해상도(5×5m)와 저해상도(30×30m)의 연산처리 비교

| 지역                        | 경기도<br>(고해상도)              | 경기도<br>(저해상도)              |
|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Image Size (Rows/Columns) | 2,867 × 3,727              | 17,185 × 22,349            |
| Pixel Size                | 30 × 30 m                  | 5 × 5 m                    |
| File Size                 | 41.9 MB                    | 1,502 MB                   |
| Estimated Solar Area      | 7,578.8 km <sup>2</sup>    | 7,573.2 km <sup>2</sup>    |
| Estimation Period         | 1 year (2018)              | 1 year (2018)              |
| Search Region             | Roadsurface                | Fill Slope                 |
| Maximum Solar Energy      | 2,242.7 kWh/m <sup>2</sup> | 2,242.8 kWh/m <sup>2</sup> |
| Minimum Solar Energy      | 237.5 kWh/m <sup>2</sup>   | 189.0 kWh/m <sup>2</sup>   |
| Processing Time           | 0.9 hour                   | 60.3 hour                  |

- 기술 검증 시 발생한 이러한 문제점을 해결하기 위해 적지를 1:25,000 스케일의 수치지도로부터 생성한 저해상도 이미지(30×30m)를 이용해 먼저 선별하고, 이후 1:5,000 스케일의 수치지도로부터 생성한 고해상도 이미지(5×5m)를 이용해 정확한 태양복사에너지 추정하는 단계적 접근 방식을 개발 및 검증함 (그림 2-18).

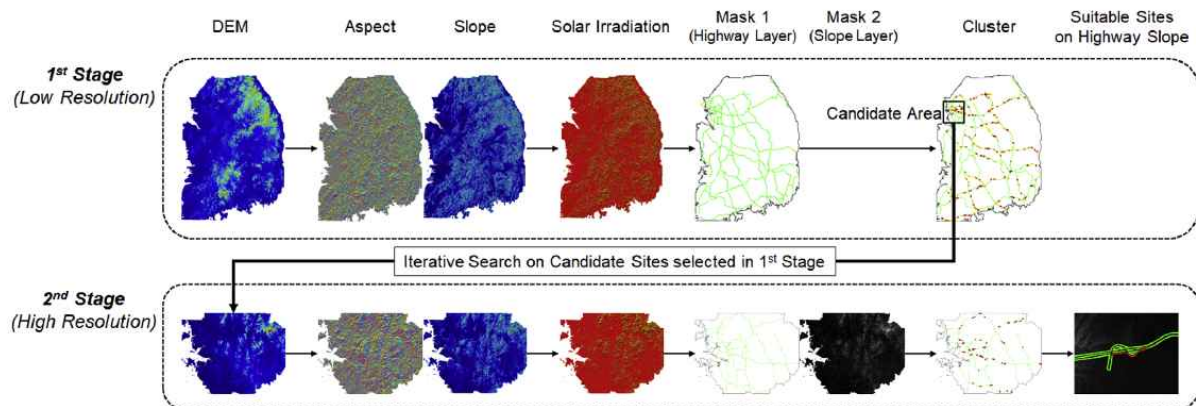


그림 2-18. 2단계 태양광 패널 적지 선별 기법의 모식도

- 기술의 검증을 위해 두 개의 다른 레스터 셀 크기를 가진 연간 태양복사에너지 지도 간 유사성을 SSIM 기법을 활용하여 조사함(Zhou et al. 2004).
- SSIM은 식 (21)를 통해 두 이미지간의 유사성을 결정하며, 식(1)에서  $\mu_x$ ,  $\mu_y$ 는 픽셀 평균값,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ 는 픽셀값의 표준편차,  $\sigma_{xy}$ 는 두 이미지 간 상관관계 값임.

$$SSIM(x,y) = [l(x,y)]^\alpha \cdot [c(s,y)]^\beta \cdot [s(x,y)]^\gamma \quad (21)$$

- 기존 연구(Zhou et al. 2004, Dosselmann 2008)를 바탕으로  $C1=0.01^2$ ,  $C2=0.03^2$ ,  $C3=C2/2$ 를 계산했으며,  $l(x,y)$ ,  $c(x,y)$ ,  $s(x,y)$ 는 식 (22), (23), (24)을 이용하여 계산함. 또한 기존 연구(Zhou et al. 2004, Channappayya et al. 2008)를 근거로 하여  $\alpha=\beta=\gamma=1$ 로 설정함.

$$l(x,y)=\frac{2\mu_x\mu_y+c_1}{\mu_x^2+\mu_y^2+c_1} \quad (22)$$

$$c(x,y)=\frac{2\sigma_x\sigma_y+c_2}{\sigma_x^2+\sigma_y^2+c_2} \quad (23)$$

$$s(x,y)=\frac{\sigma_{xy}+c_3}{\sigma_x\sigma_y+c_3} \quad (24)$$

- SSIM의 판단척도는 0-1 범위로 계산되며 0.8-1.0은 매우 좋음, 0.6-0.79는 좋음, 0.59-0.40은 양호, 0.20-0.39 나쁨, 그리고 0-0.19는 매우 나쁨 정도로 판단함.
- 레스터 픽셀 크기 차이에 따른 오류 정도를 확인하기 위하여 최소 거리법을 수행함.

#### ○ 수치지도의 단계적 연산 기법 적용 결과

- 경기도 지역을 대상으로 2단계 연산 기법을 적용하여 태양광패널의 설치 후보지를 탐색하고, 다른 해상도로부터 산출된 결과값을 비교함.
- 해상도별 이미지 상 추정 태양복사에너지 값들의 상관관계를 나타내는  $\sigma_{xy}$ 는 0.989로 높은 상관관계를 가진 것으로 산출되었으며, 경기도 지역에서의 SSIM 값은 0.4로 해상도 차이에 따른 유사성이 양호하게 나옴.
- 최소거리는 그림 2-19와 같이 1단계 선별과정에서 30 × 30 m 해상도 에너지맵으로 상위 10% 에너지 구간을 묶기 위해서는 240 m 범위로 클러스터를 형성하는 것이 2단계 선별과정에 오류를 최소화시키는 것으로 조사됨.
- 120 m와 240 m 범위내외로 5 × 5 m 해상도 맵에서 고에너지 지역을 군집화(Clustering)할 경우, 성공 비율이 각각 85 %와 90 %로 조사됨.

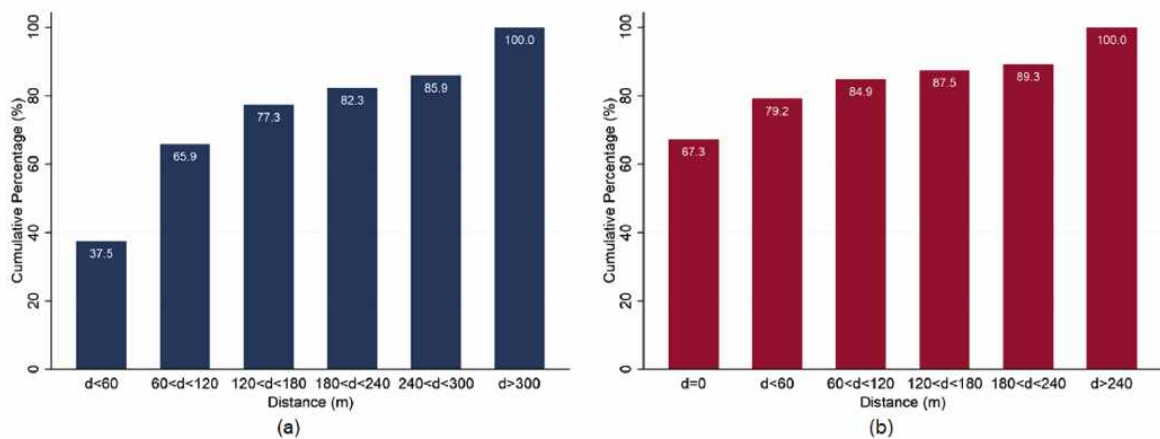


그림 2-19. 최소 거리차이에 따른 클러스터 성공 비율: (a) 센터 기준 거리, (b) 경계 기준 거리

- 최종 결과로 그림 2-20과 같이 1단계 적지 선별(30 × 30 m 에너지맵 사용)을 통해 나온 클러스터 개수는 110개 이며, 2단계 적지 선별(5 × 5m 에너지맵 사용)을 통해 적지 선별을 고도화할 경우 72개 지역이 상위 10% 고에너지 지역으로 선별됨.

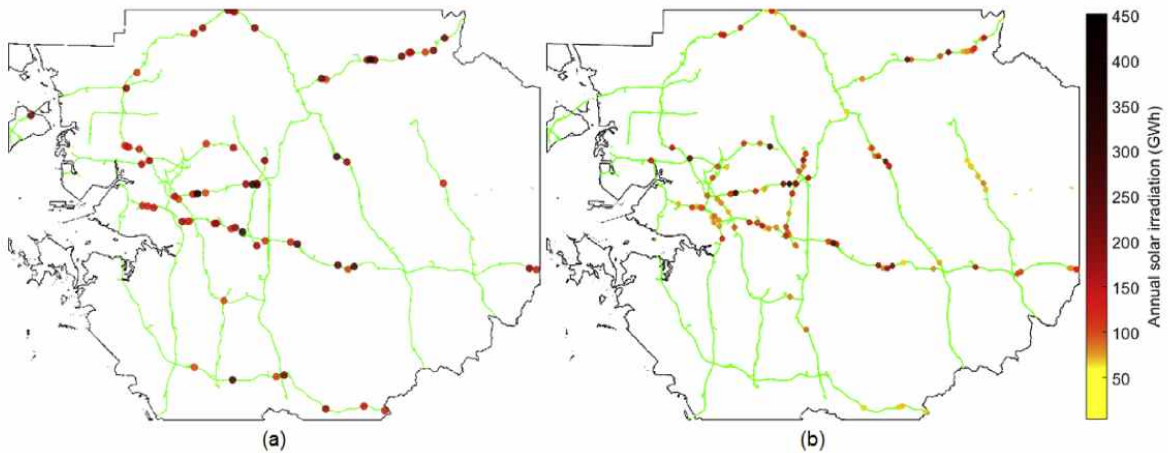


그림 2-20. 2개의 다른 해상도 에너지 맵에서 선별된 고에너지(상위10%) 클러스터 지역개수  
(a) 고해상도: 72개, (b) 저해상도: 110개

- 위성사진으로 동일한 지역에서 고해상도(파란색 픽셀)와 저해상도(빨간색)의 클러스터 겹침 정도를 확인함. 그림 2-21a와 같이 대부분의 성토부 지역에서 두 해상도간 겹침 현상이 잘 나온 것으로 조사됨.

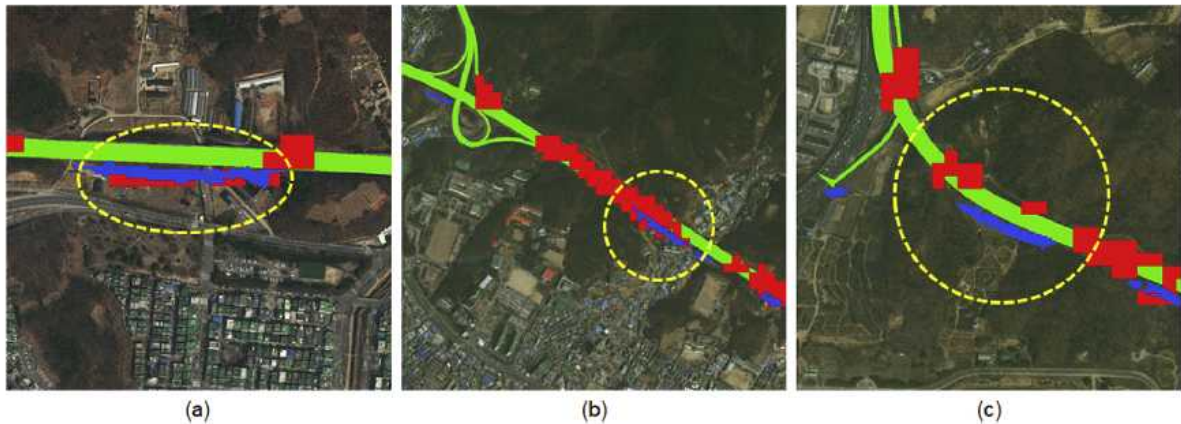


그림 2-21. 위성사진을 통한 고해상도와 저해상도 클러스터 겹침의 정도 비교; (a) 많은 겹침, (b) 제한된 겹침, (c) 적은 겹침

#### ○ 태양광발전소의 입지요인 분석을 위한 국내 발전소 데이터 수집

- 한국 전력거래소로부터 국내 태양광 발전소 설치 규모 및 실거래량 데이터를 수집함. 수집된 발전 관련 데이터와 해당 지역의 기상 정보를 활용하여 태양광복사에너지 추정 기술을 간접적으로 평가하며, 회귀분석을 통해 발전량 추정에 필요한 입력변수에 대한 도출을 목표로 함.
- 기설치된 태양발전소 위치에 대해 추정된 태양복사에너지와 실거래량과의 관계를 분석하기 위해 국내 태양광 발전소 282곳의 상세 주소와 2013년도부터 2018년도 3월까지의 실제 거래량 데이터를 취합함(그림 2-22).

| 거래구분 | 설비용량(MW)  | 주소        | 좌표 개수 | 위도         | 경도          | '13년 1월   | '13년 2월   | '13년 3월    | '13년 4월    | '13년 5월    |
|------|-----------|-----------|-------|------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 전력시장 | 19.050000 | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 1.000000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 60.096075 | 75.265269 | 101.72813  | 117.777253 | 134.312635 |
| 전력시장 | 11.529000 | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 8.237000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 0.055000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 3.968269  | 4.726834  | 6.173942   | 5.003251   | 5.841501   |
| 전력시장 | 0.049000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 4.04238   | 5.76592   | 6.38934    | 6.2169     | 6.92658    |
| 전력시장 | 0.098000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 0.088000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 4.986000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 3.783000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 7.200000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 1.000000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 69.02811  | 95.856576 | 104.761607 | 95.307957  | 120.003558 |
| 전력시장 | 3.400000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 5.002000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 5.750000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 1.200000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 1.502550  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 0.361000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 0.697000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 0.874000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 1.685240  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 2.000000  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 0.381590  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 0.494460  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 0.072220  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 0.424590  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |
| 전력시장 | 0.406540  | 광안 풍력발전단지 | 1     | 34.542065° | 126.337795° | 0         | 0         | 0          | 0          | 0          |

그림 2-22. 전력시장 참여 국내 태양광 전력거래량 내역

- 상세주소가 누락된 발전소의 경우 해당 지역의 위성사진과 비교하여 발전소로 추정되는 지점의 위도, 경도 데이터를 취득함(그림 2-23). 이러한 위치 정보는 해당 발전소의 태양복사에너지량을 추정하기 위해 활용됨.

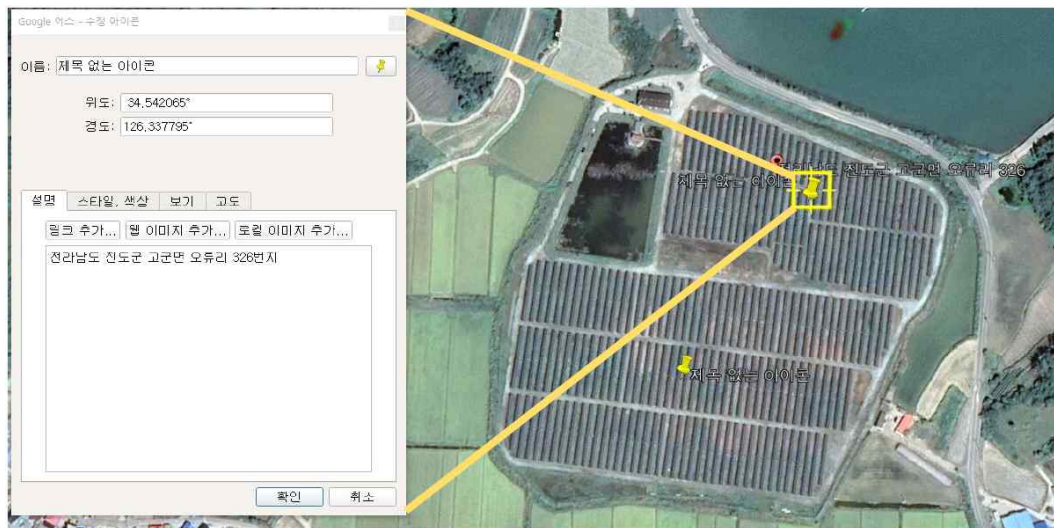


그림 2-23. 위성사진과 비교하여 위도 경도 확인

- 회귀분석 시 사용되는 입력변수의 하나로 태양복사에너지 추정량이 있으며, 다른 기상요건을 나타내는 변수와 함께 사용되어 발전량과의 관계를 통계적으로 분석하고자 함.
- 본 과제를 통해 개발된 수치지도 기반의 태양복사에너지 추정 기술을 활용하여 전국단위의 태양복사에너지 지도를 산출하였으며, 기설치된 발전소 각각의 좌표값을 대입하여 해당 발전소의 태양복사에너지를 추정함(그림 2-24). 추정된 태양복사에너지는 맑은 날을 기준으로 산출된 값으로 실제 발전량과의 관계를 알기 위해 기상 조건 자료가 필요함.

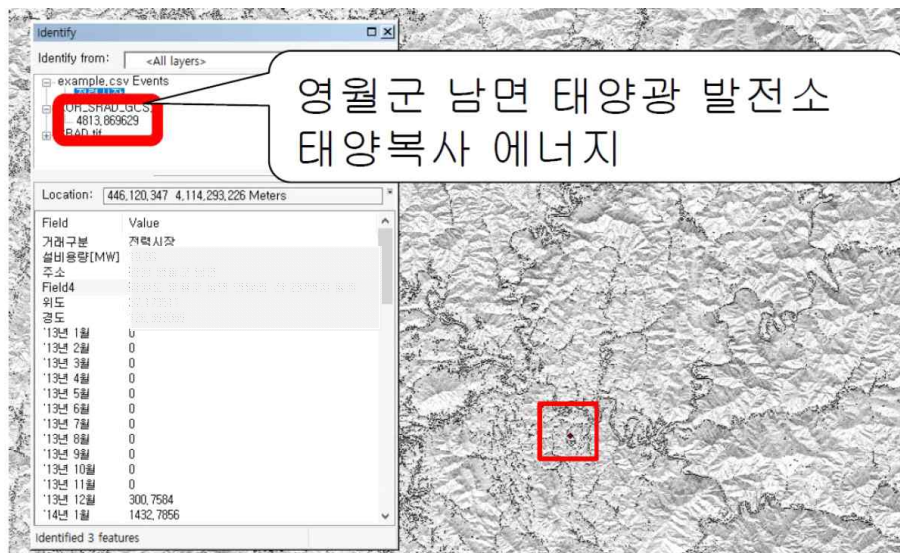


그림 2-24. 실제 발전소의 추정된 태양복사에너지 예시

- 태양광발전 분야의 문헌고찰을 통해 표 2-4와 같이 태양복사에너지와 함께 월별평균기온, 풍속, 운량, 강수량, 일조시간, 상대습도, 미세먼지량 등이 태양광발전소의 발전량에 영향을 미치는 주요 요인으로 조사되었으며, 기설치된 태양광발전소 지점의 해당 기상변수와 관련된 데이터를 수집함.

표 2-4. 회귀분석을 위한 종속, 독립변수의 정의 및 특성

| Division              | Title of explanatory variable | Characteristics                                                                    |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Dependent variables   | Generation efficiency         | PV outputs / Capacity (h) Comparison of amount of facilities to monthly PV outputs |
| independent variables | Precipitation                 | Monthly cumulative precipitation (mm)                                              |
|                       | Fine dust                     | Monthly average of daily fine dust concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )      |
|                       | Humidity                      | Monthly average of daily relative humidity (%)                                     |
|                       | Temperature                   | Monthly average of daily temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )                        |
|                       | Amount of cloud               | Average monthly for cloud area across the sky of an observation site (1~10)        |
|                       | Sunshine time                 | Monthly average of cumulative shine time (hr)                                      |
|                       | Wind speed                    | Monthly average of 24 hours of wind speed (m/s)                                    |
|                       | Solar radiation               | Mwh/m <sup>2</sup>                                                                 |

- 기상청 자료를 활용하여 발전소 인근 지역의 월별 기상 데이터를 취합함. 그림 2-25와 같이 기설치된 태양광발전소의 위치를 기반으로 각각의 발전소별로 월단위 기상 데이터를 수집하였으며, 수집된 자료는 태양복사에너지 추정량과 취합되어 회귀분석의 입력변수로 활용됨.

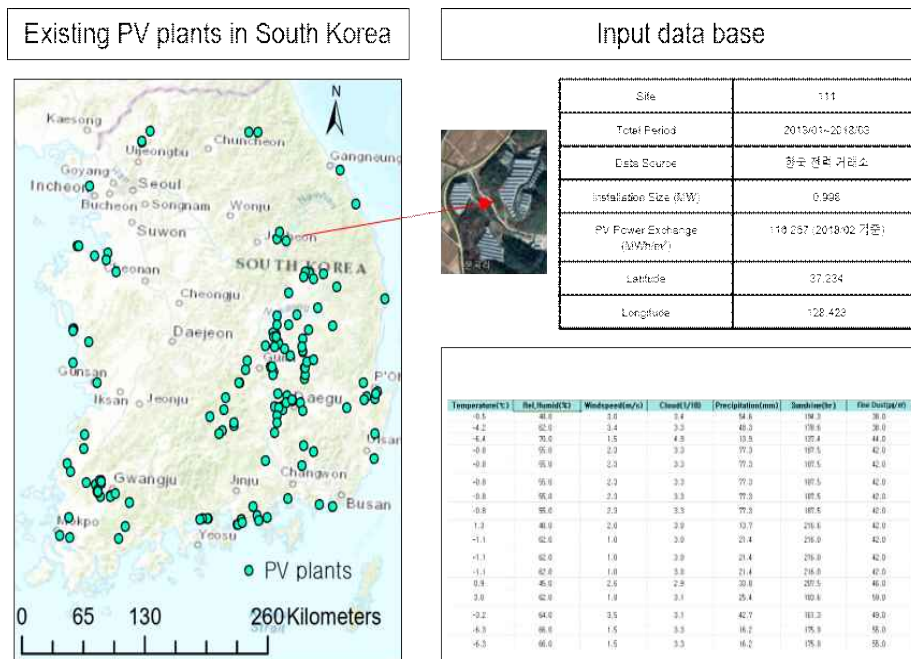


그림 2-25. 회귀분석을 위한 입력변수 자료 취득 과정 개념도

- 최종적으로 취합된 데이터는 발전소별, 월별로 정리되었으며(그림 2-26), 그림에서의 각각의 행이 하나의 샘플(data point)이 되어 입력변수와 출력변수와의 관계가 통계적으로 분석됨.

| 년월   | 월별 전력 거래량<br>(MWh) | 설치규모(kW) | 추정된 태양복사에너지 | 평균기온(°C) | 상대습도(%) | 평균풍속(m/s) | 평균 운량(t/10) | 강수량(mm) | 일조시간(hr) |
|------|--------------------|----------|-------------|----------|---------|-----------|-------------|---------|----------|
| 1301 | 60.09075           | 1.00000  | 102560      | 0.1      | 49      | 2.7       | 3.4         | 68.4    | 212.4    |
| 1301 | 3.988289           | 0.05000  | 100375      | -5.2     | 69      | 1.3       | 4.5         | 25      | 158      |
| 1301 | 4.04238            | 0.04000  | 105508      | -5.9     | 61      | 1.5       | 3.4         | 28.1    | 171.6    |
| 1301 | 69.02811           | 1.00000  | 100205      | -3.4     | 71      | 1.4       | 4.1         | 23.1    | 160.7    |
| 1301 | 170.81892          | 1.53000  | 103870      | 2.5      | 42      | 3.1       | 2.9         | 22.5    | 226.6    |
| 1301 | 201.867964         | 2.00000  | 101608      | -0.6     | 56      | 1.4       | 2.9         | 10.6    | 200.1    |
| 1301 | 109.87392          | 1.00000  | 108078      | -0.6     | 56      | 1.4       | 2.9         | 10.6    | 200.1    |
| 1301 | 27.965448          | 0.30000  | 78430.3     | -0.8     | 66.3    | 1.6       | 5           | 45.64   | 216      |
| 1301 | 83.073744          | 1.00000  | 99184.1     | -1.1     | 62      | 1         | 3           | 21.4    | 216      |
| 1301 | 85.264128          | 0.99000  | 102620      | -1.1     | 62      | 1         | 3           | 21.4    | 216      |
| 1301 | 159.38712          | 1.49000  | 132884      | -0.6     | 56      | 1.4       | 3.1         | 10.6    | 200.1    |
| 1301 | 104.990256         | 0.99000  | 102522      | -0.6     | 56      | 1.4       | 3.1         | 10.6    | 200.1    |
| 1301 | 84.227112          | 0.79300  | 135662      | -0.6     | 56      | 1.4       | 3.1         | 10.6    | 200.1    |
| 1301 | 140.19744          | 1.20000  | 102496      | 1.3      | 48      | 2         | 3           | 13.7    | 216.6    |
| 1301 | 267.6144           | 2.95700  | 102405      | 1.3      | 48      | 2         | 3           | 13.7    | 216.6    |
| 1301 | 182.394            | 2.24900  | 97614.5     | 1.3      | 48      | 2         | 3           | 13.7    | 216.6    |
| 1301 | 103.709664         | 1.00000  | 119966      | -1.1     | 62      | 1         | 3           | 21.4    | 216      |
| 1301 | 5.805664           | 0.04000  | 129318      | -1.1     | 62      | 1         | 3           | 21.4    | 216      |
| 1301 | 25.096788          | 0.37000  | 101829      | -1.1     | 62      | 1         | 3           | 21.4    | 216      |
| 1301 | 102.439968         | 1.00000  | 113208      | -1.1     | 62      | 1         | 3           | 21.4    | 216      |
| 1301 | 4.039312           | 0.04000  | 102429      | -1.1     | 62      | 1         | 3           | 21.4    | 216      |
| 1301 | 5.271184           | 0.09300  | 108292      | -1.1     | 62      | 1         | 3           | 21.4    | 216      |
| 1301 | 6.094446           | 0.05000  | 102505      | -1.1     | 62      | 1         | 3           | 21.4    | 216      |
| 1301 | 130.33026          | 1.50000  | 120201      | -3.1     | 67      | 1.4       | 3.1         | 183.4   | 216      |
| 1301 | 174.14514          | 1.50000  | 111531      | -1.7     | 63      | 1.1       | 3.1         | 14.2    | 186.3    |
| 1301 | 112.872192         | 1.00000  | 132259      | -1.7     | 63      | 1.1       | 3.1         | 14.2    | 186.3    |
| 1301 | 26.414496          | 0.83800  | 82131.8     | -1.7     | 63      | 1.1       | 3.1         | 14.2    | 186.3    |
| 1301 | 49.722364          | 0.49700  | 102405      | -1.7     | 63      | 1.1       | 3.1         | 14.2    | 186.3    |
| 1301 | 59.9688            | 0.78900  | 102639      | -2.2     | 62      | 1.8       | 3.1         | 25.4    | 183.6    |
| 1301 | 341.31672          | 2.98700  | 99778.9     | -4.9     | 68      | 1.2       | 3.5         | 17.6    | 179.2    |

그림 2-26. 2013년 1월 기상데이터 취합 예시

#### ○ 선형 회귀 분석을 통한 태양에너지 이론 모델 개발 및 기술 검증

- 선형회귀(linear regression)는 종속 변수 y와 한 개 이상의 독립 변수(또는 설명 변수) X와의 선형적인 상관관계를 모델링하는 통계적 기법임. 한 개의 설명 변수에 기반 한 경우에는 단순 선형 회귀, 둘 이상의 설명 변수에 기반 한 경우에는 다중 선형 회귀라고 함.

- 본 연구에서 선형 회귀 분석은 태양광발전의 영향을 미치는 다양한 요인 및 추정된 태양복사에너지와 실발전량과의 관계를 통계적으로 분석하고 추정된 태양복사에너지의 검증 을 통해 궁극적으로 개발 기술에 대한 검증을 위한 목적으로 사용함.
- 독립 변수가 설치 규모, 추정된 태양복사에너지, 평균기온, 상대습도, 평균풍속, 평균운량, 강수량, 일조시간, 미세먼지로 총 9가지 요인인 경우로 다중 선형 회귀 분석을 실시하였음.
- 회귀 분석을 수행하기에 앞서 전처리로서, 기설치된 태양광발전소의 이상치값(outlier)들을 제거하기 위해 Mahalanobis의 거리를 사용하여 이상치 값들을 제거하였음.
- 통계적으로 유의한 변수들만 추출하기 위하여 단계적 분석(Stepwise)방법을 사용하여 통계적으로 유의하지 않은 변수들을 제거하여 최종 회귀모델을 산출함.

#### ○ 선형 회귀 분석 결과

- 본 실험에 앞서 2013년~2015년 수집된 데이터를 대상으로 미세먼지를 제외한 8가지 변수를 사용하여 예비실험을 하였으며, 단계적 분석의 결과로 최종 6가지 기상변수(평균기온, 풍속, 운량, 강수량, 일조시간, 상대습도)의 회귀분석 결과 수정된 R제곱은 0.939로 높은 설명력을 가지는 것으로 파악되었음. 추가적인 데이터 수집을 통해 본 실험을 진행함.
- 본 실험에서는 위 설명된 다양한 기상 및 태양복사에너지 등을 나타내는 변수와 기설치된 태양광발전소의 실발전량과의 관계를 분석하며, 2013년 1월부터 2018년 1월까지의 수집 자료를 사용함.
- 단계적 분석을 통해 최종적으로 발전효율 및 태양복사에너지와 더불어 7가지 기상요인(평균기온, 풍속, 운량, 강수량, 일조시간, 상대습도, 미세먼지)이 사용됨.
- 표 2-5의 Durbin-Watson(1.429)의 값이 1에서 3 범위 안에 포함되어 있으므로 독립 변수끼리 독립성이 있다고 판단되어짐.

표 2-5. 다중회귀분석 모형 요약

| Model      | Sum of squares | Degree of freedom | Mean square | F        | p-value           |
|------------|----------------|-------------------|-------------|----------|-------------------|
| Regression | 3380276.801    | 8                 | 422534.600  | 2087.428 | .000 <sup>b</sup> |
| Residuals  | 1263295.798    | 6241              | 202.419     |          |                   |
| Total      | 4643572.599    | 6249              |             |          |                   |

Dependent variables: Generation efficiency

Prediction values: (constant), solar radiation, Amount of cloud, fine dust, humidity, precipitation, sunshine time, wind speed, temperature

- 표 2-6의 수정된 R제곱을 통해 종속 변수에 대한 전반적인 독립 변수들의 설명력이 0.728로 유의미한 값을 확인함.
- 표 2-6의 유의확률(<0.05)을 통해 전반적으로 제안한 회귀분석의 신뢰도가 상대습도를 제외한 나머지 변수들은 높음을 확인함.

- 독립변수가 종속 변수에 미치는 영향력을 나타내는 표준화 계수 베타는 일반적으로 양수 1에 가까울수록 독립변수가 종속변수에 긍정적이고 큰 영향을 미친다고 판단되며, 음수 1에 가까울수록 독립변수가 부정적이고 큰 영향을 미친다고 판단함. 본 연구에서 0.911인 태양복사에너지와 0.236인 일조시간이 종속변수인 발전효율에 긍정적이고 큰 영향을 미치며, 반면 상대적으로 영향을 크게 미치는 운량을 포함하여 온도, 풍속, 강수량, 미세먼지, 습도는 부정적인 영향을 미치는 것으로 조사됨.
- 도출된 선형회귀 모형:  $y = 0.496x_1 - 0.536x_2 - 3.061x_3 - 6.362x_4 - 0.033x_5 + 0.144x_6 - 0.139x_7 - 0.018x_8 + 49.327$
- 여기서,  $y$ 는 발전효율,  $x_1$ 은 태양복사에너지,  $x_2$ 는 온도,  $x_3$ 는 풍속,  $x_4$ 는 운량,  $x_5$ 는 강수량,  $x_6$ 는 일조시간,  $x_7$ 는 미세먼지,  $x_8$ 는 습도, 그리고 49.327은 상수임.

표 2-6.다중회귀분석 결과

| Explanatory variables |                 | Nonstandardized Coefficients |            | Std. Coefficient |         |          |
|-----------------------|-----------------|------------------------------|------------|------------------|---------|----------|
| Model                 |                 | B                            | Std. Error | $\beta$          | t       | p- value |
| Generation efficiency | Solar radiation | 0.496                        | 0.009      | 0.911            | 55.953  | 0.000    |
|                       | Temperature     | -0.536                       | 0.051      | -0.185           | -10.429 | 0.000    |
|                       | Wind speed      | -3.061                       | 0.284      | -0.076           | -10.771 | 0.000    |
|                       | Amount of cloud | -6.362                       | 0.324      | -0.314           | -19.651 | 0.000    |
|                       | Precipitation   | -0.033                       | 0.003      | -0.108           | -11.726 | 0.000    |
|                       | Sunshine time   | 0.144                        | 0.009      | 0.236            | 15.920  | 0.000    |
|                       | Fine dust       | -0.139                       | 0.022      | -0.053           | -6.173  | 0.000    |
|                       | Humidity        | -0.018                       | 0.025      | -0.008           | -0.724  | 0.469    |
|                       | (constant)      | 49.327                       | 2.943      |                  | 16.758  | 0.000    |

Dependent variables: Generation efficiency

R = 0.853, R<sup>2</sup> = 0.728, R<sup>2</sup> change = 0.728.

Standard error of estimated value = 14.227, Durbin-Watson =1.429

- 본 연구의 목적인 발전량 추정을 위해 회귀모형을 통해 도출된 모형을 활용하여 추정된 발전 효율을 식 (25)를 통해 계산하여 발전량으로 전환함.

$$E = \frac{P_g}{F_f}(h) \quad (25)$$

- 여기서  $E$ 는 발전효율,  $P_g$ 는 발전량,  $F_f$ 는 설비용량임.
- 본 회귀분석을 통해 추정된 발전량과 실제 발전량 값의 차이는 표 2-7과 같이 분석되며, 전반적으로 사용된 입력변수들이 실제 발전량을 잘 설명하는 것으로 판단됨.
- 또한, 발전효율에서 전환된 발전량을 실제 발전량과 비교했을 시 그림 2-27과 같은 결과가 도출되며(예, R<sup>2</sup> 0.979), 큰 출력변수 값에서 상대적으로 큰 오차가 발생함을 확인할 수 있으며 이러한 결과는 수집된 데이터의 편향에 의해 발생한 것으로 추정됨. 하지만, 그림 2-27의 육안 비교를 통해서도 전반적으로 양호한 결과값을 산출하는 것으로 판단됨.

표 2-7. 회귀분석에 따른 추정 결과분석:  
실제 발전량과 추정 발전량과의 오차

| Evaluation Metric | Value  |
|-------------------|--------|
| RMSE (MW)         | 48.261 |
| nRMSE (%)         | 1.592  |
| MAPE (%)          | 11.696 |
| R <sup>2</sup>    | 0.979  |

Note: Root mean square error (RMSE); normalized room mean square error (nRMSE); mean absolute percentage error (MAPE); and R squared (R<sup>2</sup>)

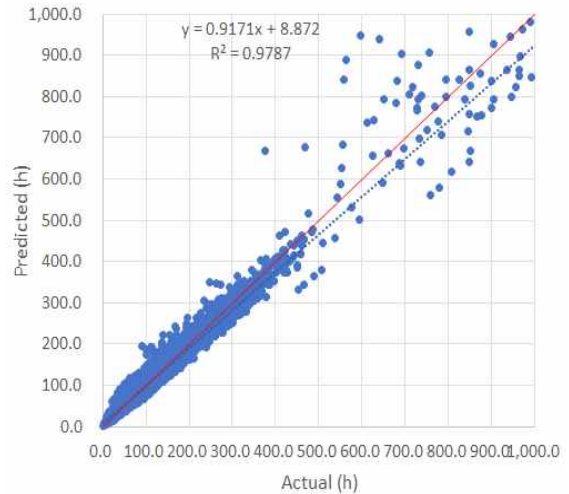


그림 2-27. 실제 및 추정 발전량 비교

나. 다차원 공간데이터 복합평가 기반 태양광패널의 설치 적지 선별 기술

| 연구 범위                           | 연구 내용                                                                            | 연구 수행 방법<br>(이론적 · 실험적 접근방법)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 딥러닝 입출력층 설계 및 데이터 표현 기술 개발      | GIS 기반의 데이터로부터 태양복사에너지를 추정하는 딥러닝 기술 개발 (알고리즘 개발)                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수치지도 이미지를 활용하여 태양복사에너지를 추정하는 합성곱 신경망 기반의 기계학습 기법 개발</li> <li>- 태양복사에너지에 영향을 미치는 영역의 범위를 찾기 위해 다양한 크기의 입력 데이터 실험</li> <li>- 태양복사에너지에 미치는 지형적 특성을 이해하기 위한 다양한 출력층 필터 개발 및 실험</li> <li>- 출력층으로부터 출력된 결과값을 바탕으로 전국단위의 태양복사에너지 지도 변환 기법 연구</li> <li>- 지형 유형에 따른 추정값의 정확도를 비교하여 지형이 태양복사에너지에 미치는 영향 분석</li> </ul> |
| 공간데이터 분석을 위한 딥러닝 신경망 설계(탐색 후보지) | 공간 데이터 및 기상 데이터를 활용하여 특정 지점의 태양복사에너지 및 태양광발전소의 잠재적 발전량을 예측하는 딥러닝 기술 개발 (알고리즘 개발) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 태양광 발전소 적지를 선별하기 위한 순환신경망 기반의 태양광발전량 추정 기술 개발</li> <li>- 다양한 형태의 순환신경망 구조 실험 및 예측 모델 검증</li> <li>- 다양한 깊이의 딥러닝 구조 실험 및 과적합을 방지하기 위한 기법 연구</li> <li>- 하이퍼 파라미터 최적화를 통한 딥러닝 구조 개선 및 모델 검증</li> </ul>                                                                                                          |
| 탐색 후보지의 복합평가 요인 분석 모델           | 데이터 기반의 실발전량 추정을 위한 학습 모델 개발 및 기계학습 기법의 활용 가능성 검증 (기초 알고리즘 개발 및 검증)              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수집된 태양광발전소의 월별 전력거래량 자료 및 해당 월별 기상 데이터를 활용하여 발전량 예측을 위한 기계학습의 활용 가능성을 검증</li> <li>- 회귀분석 모델의 고도화를 통해 추정 정확도의 향상 정도를 분석</li> <li>- 개발된 적지 선별 기술의 평가 방법 검토 및 기술 검증</li> <li>- 개발 기술을 활용한 사례 연구 수행</li> </ul>                                                                                                  |

## 핵심성과 2: 다차원 공간데이터 복합평가 기반 태양광패널의 설치 적지 선별 기술

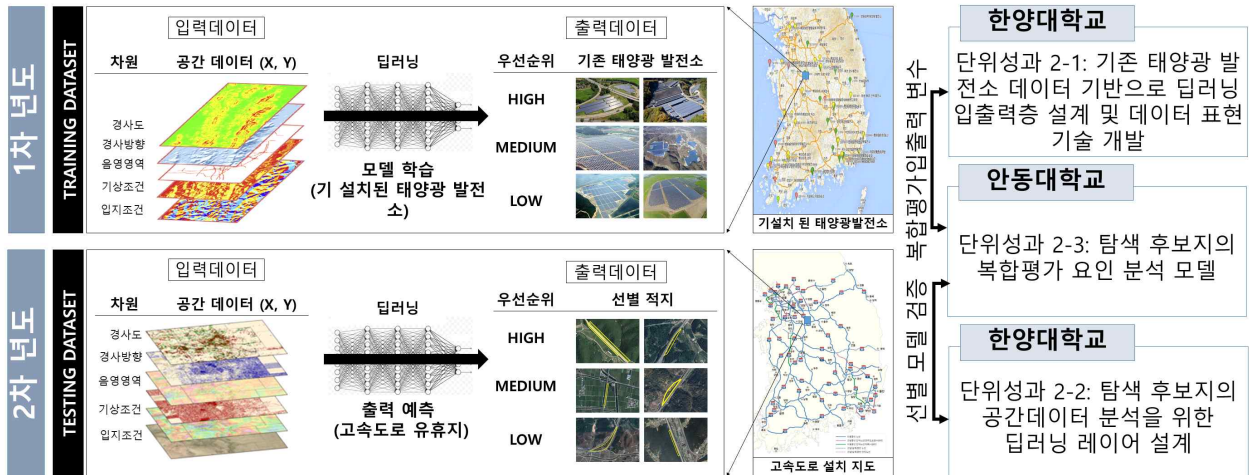


그림 2-27. 핵심성과 2의 연차별 · 기관별 연구개발 내용 및 범위

### 나-1. 딥러닝 입출력층 설계 및 데이터 표현 기술 개발

- 수치표고모델을 기반으로 추정한 태양복사에너지를 신경망 기계학습의 한 종류인 합성곱 신경망(Convolutional neural network)를 통해 에너지 크기에 따라 학습하여 분류/예측할 수 있는 모델을 개발하고자 하며, 기존 태양광 발전소 데이터를 기반으로 복합평가를 연산하기 위한 데이터 표현 기술 및 딥러닝 입출력층 설계를 수행함.

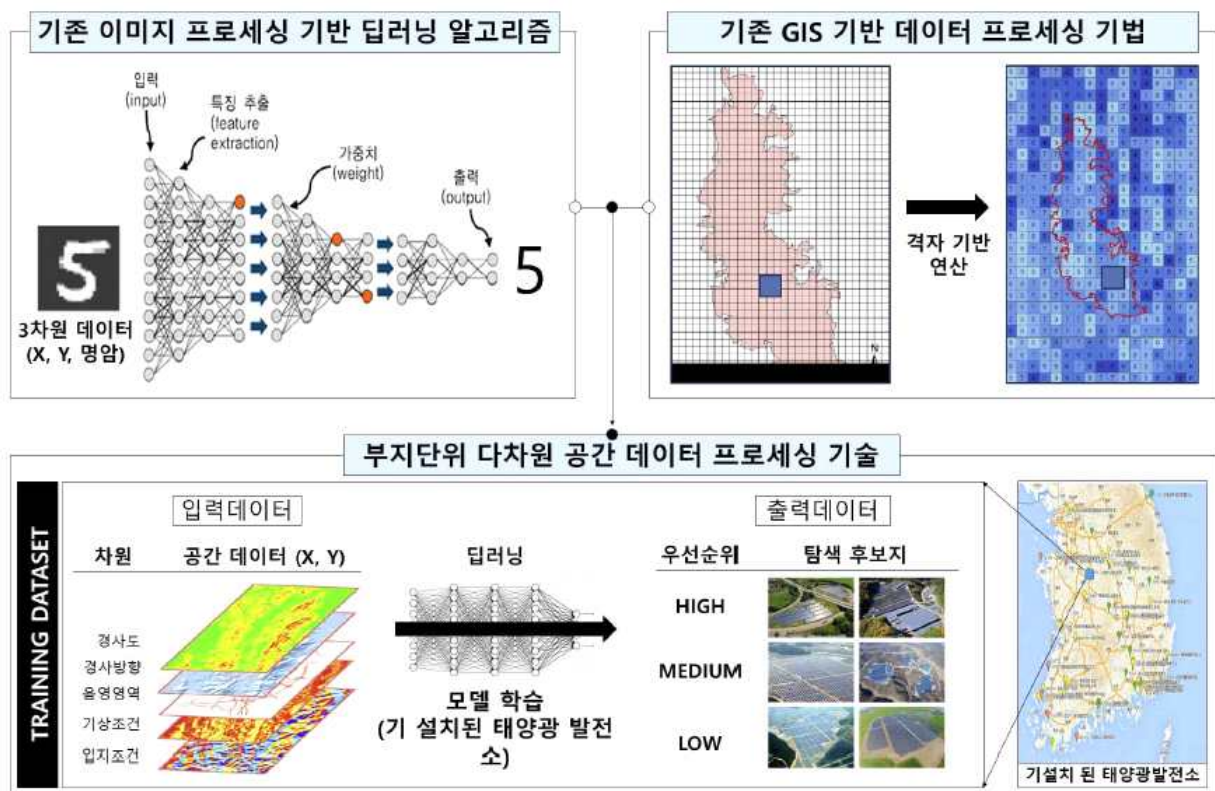


그림 2-28. 기술 요약도: 설치된 태양광 발전소로부터 기초 알고리즘 개발

- ① 한국전력공사(전력통계정보시스템)에 등록된 태양광 발전소(2018년 1월 기준 태양광 발전 28,252대 등록)의 부지조건 (기상, 시설위치, 설비용량 등) 및 전력거래량 등에 대한 자료를 수집
- ② 기설치된 태양광 발전소에 대한 다양한 공간데이터(지형, 경사도, 방위각 등) 생성
- ③ 지형공간(X,Y)과 다차원 지형정보의 결합을 위한 데이터형 구조화 및 데이터 표현 (Data Representation) 기술 개발
- ④ 다차원 데이터(X, Y, nD 지형정보)에 대한 딥러닝 입력층 설계
- ⑤ 복합평가 기준을 기반으로 딥러닝 출력층 설계
- ⑥ 딥러닝 신경망 구조 설계 및 매개변수 최적화

○ 합성곱 신경망 기반 기계학습 훈련을 위한 데이터 취득 및 전처리

- 신경망기반 기계학습방법 중 하나인 분류학습(Classification)을 사용하기 위해서는 고품질의 입력데이터(input data)와 출력데이터(output data)의 수집이 필요하며, 입력데이터의 픽셀크기(pixel size)와 입·출력데이터의 개수를 일치시키고 취득된 데이터를 해당 분류클래스로 분류 및 저장을 하는 전처리과정(Labeling)이 필요함(그림 2-29).
- 기계학습에 필요한 학습데이터를 만들기 위해 앞서 개발된 수치지도 기반 지형정보 수집 및 변환 기술을 활용하여 생성된 30 × 30 m 픽셀 크기의 전국단위 수치표고모델과 태양복사에너지 추정 기술을 활용하여 제작된 태양복사에너지모델(그림 2-29)을 그림 2-30과 같이 가로 60개, 세로 60개 픽셀로 구성된 다수의 정방형 이미지로 분절하고, 동일한 위치에 존재하는 표고모델과 에너지모델 이미지를 각 파일이름에 동일한 숫자로 인덱싱(indexing)함. 입력데이터를 최적화하기 위해 같은 방법으로 가로 30개, 세로 30개 픽셀로 구성된 데이터를 추출하여 비교하였음.
- 이는 신경망 모델의 입력층(수치지도)과 출력층(태양복사에너지)을 일치시키기 위한 과정(그림 2-31)으로 입출력 데이터 간 내재된 패턴 및 상관관계를 모델링하기 위해 수행함.

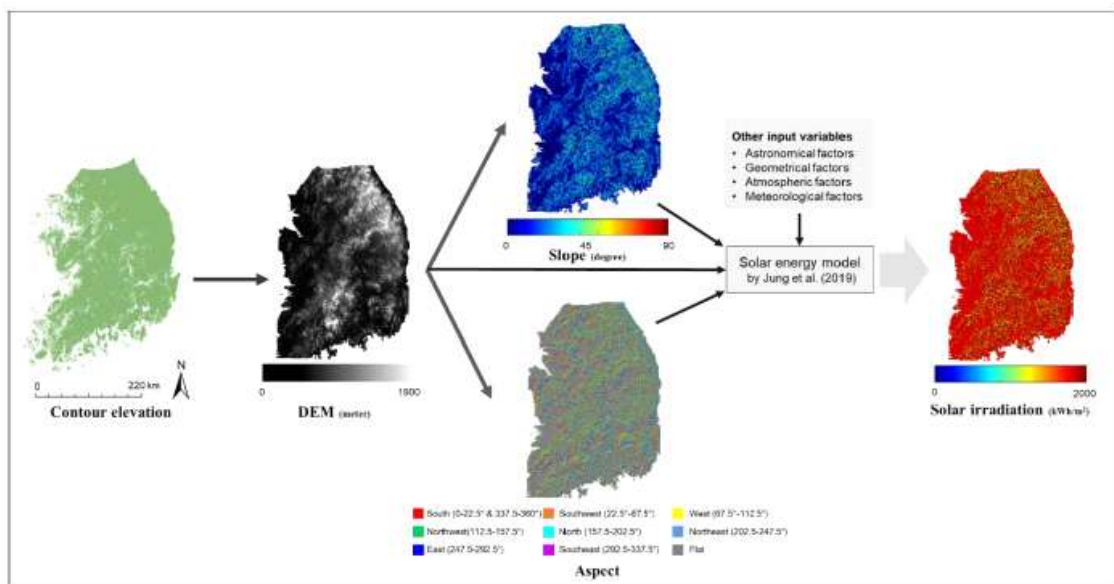


그림 2-29. 태양복사에너지 추정 기술을 활용하여 제작된 태양복사에너지 모델 모식도

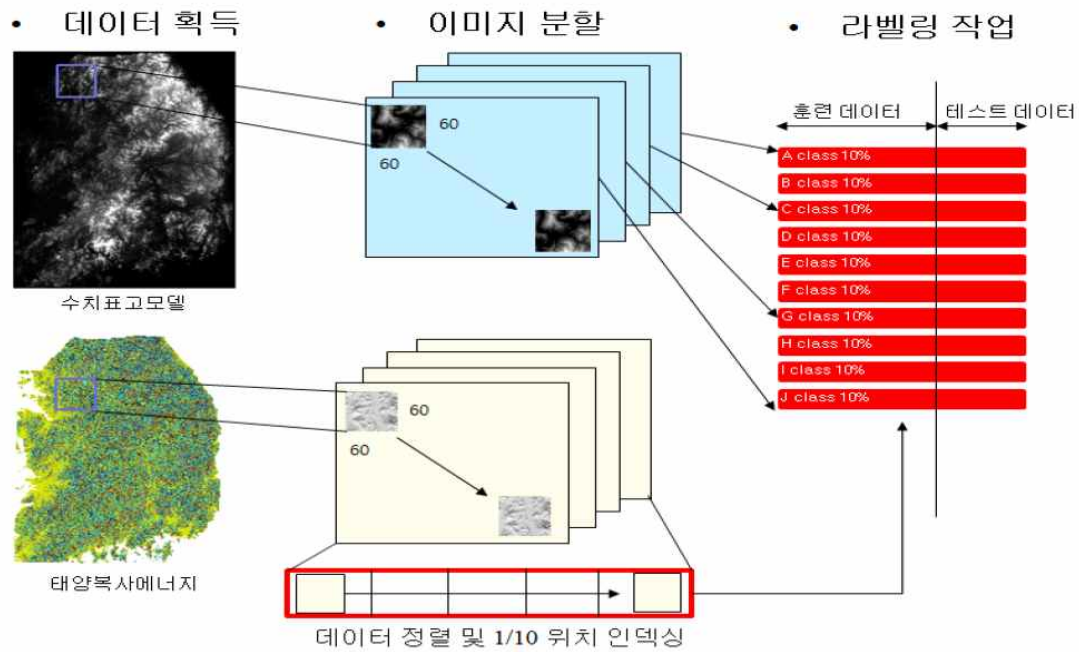


그림 2-30. 데이터 취득 및 전처리 과정도

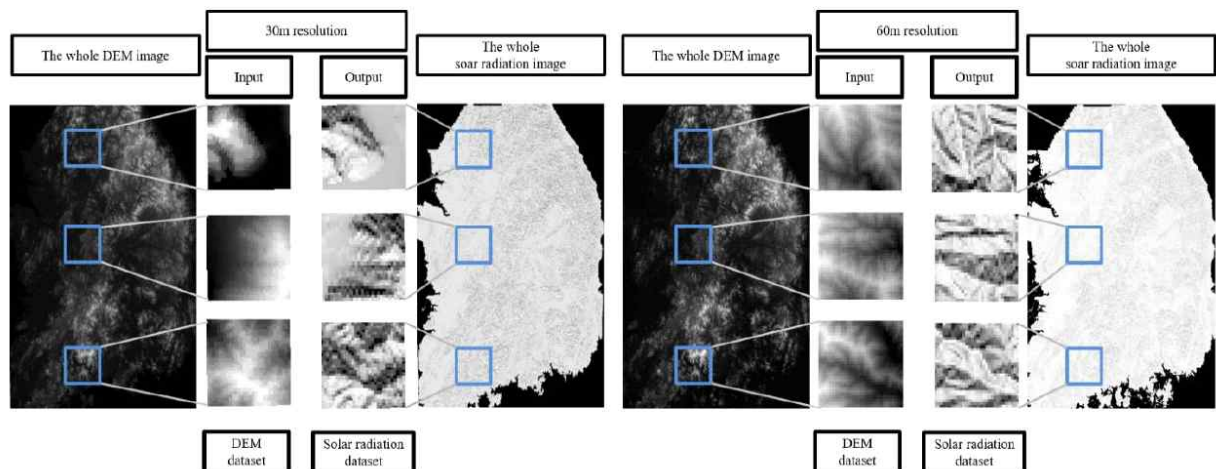


그림 2-31. 전국단위의 단일 지도 이미지를 다수의 훈련 이미지로 분절하는 과정도

- 분류학습을 위한 출력데이터인 태양복사에너지모델은 에너지값을 기준으로 오름차순으로 정렬한 뒤 10구간으로 분류하는 작업(labeling class)을 수행하였고(표 2-8), 인덱싱을 통해 분류된 태양복사에너지(출력데이터)를 수치표고모델 입력 자료와 다시 일치시키는 작업을 수행함.
- 훈련 데이터와 테스트 데이터를 중복적으로 사용할 때 발생하게 되는 기계학습모델의 신뢰성문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 강원도 지역을 대상으로 훈련 데이터, 경상도 일부 지역을 대상으로 테스트 데이터를 구성하였으며, 전체 데이터 중 훈련 데이터는 70%, 테스트 데이터는 30%를 차지함. 이러한 데이터구성은 지형적 유사성에 의한 편향 감소 및 모델 평가 시 모델링에 사용된 데이터의 배제 등을 통해 분류 예측의 신뢰성을 향상시키는 효과가 있을 것으로 사료됨.

표 2-8. 출력층 모델링을 위한 태양복사에너지 분류 범위

| 클래스  | 클래스 범위(kWh/m2) |         |
|------|----------------|---------|
| 1구간  | 0              | 226179  |
| 2구간  | 226179         | 452358  |
| 3구간  | 452358         | 678537  |
| 4구간  | 678537         | 904716  |
| 5구간  | 904716         | 1130895 |
| 6구간  | 1130895        | 1357074 |
| 7구간  | 1357074        | 1583253 |
| 8구간  | 1583253        | 1809432 |
| 9구간  | 1809432        | 2035611 |
| 10구간 | 2035611        | 2261790 |

- 본 연구에서는 30x30m 해상도의 가로/세로 9,444 × 13,192개의 픽셀로 구성된 수치표고 모델(그림 2-32a)과 태양복사에너지모델(그림 2-32b)을 기반으로, 60 × 60 픽셀 크기의 데이터 34,760개를 추출하였음. 이때 각 데이터 포인트는 지형적 연속성이 정확도에 미치는 영향을 최소화하기 위해 겹치는 영역이 없도록 추출되었으며, 바다에 해당하는 영역을 제외시켜서 본 모델링 실험에서는 20,000개의 데이터를 사용함.
- 그림 2-32b의 태양복사에너지추정모델은 라벨링 작업을 통해 10구간의 클래스로 구분하는 작업을 수행함(표 2-8).

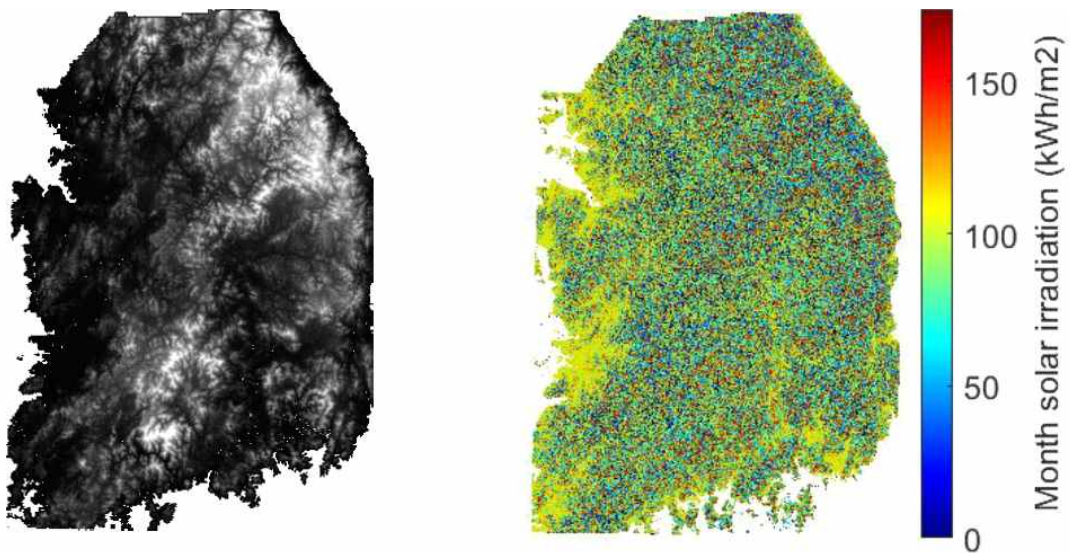


그림 2-32. (a) 입력층 데이터로 사용된 수치표고모형 및 (b) 예측을 위한 출력층 데이터(class)를 구성하는데 사용된 태양복사에너지

○ 기술적 접근법의 타당성 평가를 위한 분류 형태의 합성곱 신경망 모델 개발 및 검증

- 딥러닝(Deep learning)은 여러 층(Layer)의 비선형 모듈(non-linear modules)을 구성하여 단순한 저차원 수준의 표현을 고차원적이고 추상적인 표현으로 변환하는 표현 방법임

(LeCun et al. 2015). 하지만 기존 방식인 다차원 신경망학습(Multi-Layer neural network)을 통한 이미지 패턴 인식은 이미지 픽셀 간의 공간적 관계를 고려하지 않음으로 인해 정확도가 떨어지는 문제점이 있었음(Lawrence et al. 1997).

- 합성곱 신경망은 필터층(Convolutional Layer)을 통해 입력 데이터의 형상에 대한 특징(feature)을 추출하여 합성곱 레이어를 생성하고, 생성된 다수의 합성곱 레이어를 연결하여 고차원적인 특징맵(feature map)을 생성한 뒤, 오류역전파기법을 통해 신경망을 학습시키는 방식임. 이를 통해 이미지 형태의 데이터를 학습시키는데 있어서 기존 다차원 신경망 학습의 한계점을 해결함.
- 합성곱 신경망모델을 개발하기 위하여 본 연구에서는 이미지의 공간적 특징과 관련된 합성곱 계층, 앞 층의 신호(결과값)를 받아 다음 층으로 보낼지를 결정하는 활성화 함수(Activation function)인 ReLu 계층, 주로 출력크기를 조절하는데 사용되는 풀링함수(Pooling) 계층을 그림 2-33과 같이 구성하였음. 처음 입력 데이터가 60 x 60 픽셀크기로 들어가 그림의 합성곱 신경망을 거쳐 나오면 10개의 구간 중 하나의 클래스(출력값)로 분류가 진행되며, 해당 클래스 구간에 있는 입력 데이터와 비교하여 정확도(정분류 횟수/오분류 횟수)를 계산함.

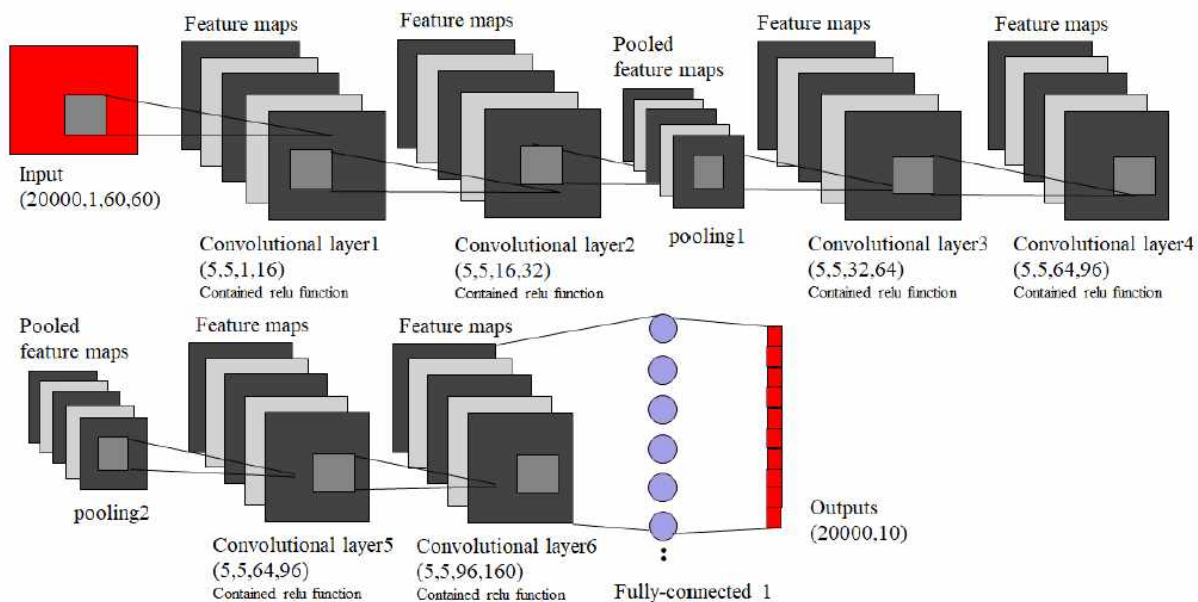


그림 2-33. 기술의 타당성 검증을 위한 합성곱 신경망 아키텍처 평가

- 본 실험에서는 입력값의 최적화를 위하여 30 × 30 픽셀과 60 × 60 픽셀로 형성된 두 데이터셋을 비교하였음. 이는 태양복사에너지에 영향을 미치는 지역의 범위를 간접적으로 추정하기 위함이며, 그림 2-34와 같이 60 × 60 픽셀의 경우 더 높은 정확도를 보였음.
- 그림 2-34는 딥러닝 알고리즘의 학습과정을 통해 정확도가 향상되는 정도를 보여주는 것으로 반복적인 훈련을 통해 갱신된 모델의 매개변수 값들이 오차를 줄이는 방향으로 진행되고 있음을 보여줌.
- 본 연구에서는 입출력데이터가 60 × 60 픽셀사이즈를 가진 이미지(즉, 지도상의 영역)로

훈련시켰을 때 훈련 정확도 최대 94.9%와 테스트 정확도 90.9%를 얻음. 여기서 훈련 정확도는 모델을 학습시킬 때 사용한 데이터로부터 구해진 것을 의미하며, 테스트 정확도는 모델의 학습에 사용되지 않은 새로운 데이터를 대상으로 학습된 모델을 이용해 예측된 결과값을 의미함.

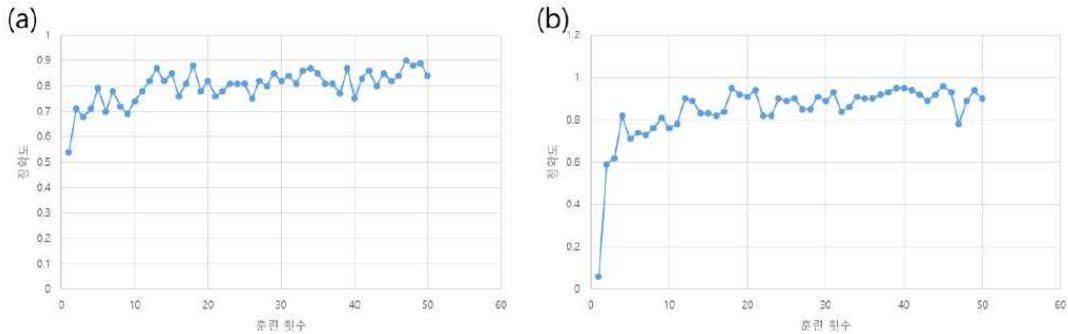


그림 2-34. (a)  $30 \times 30$  픽셀 및 (b)  $60 \times 60$  픽셀의 이미지를 입력 데이터로 활용하여 산출된 모델의 정확도 비교

#### ○ 딥러닝 입출력층 설계 및 회귀분석 기반의 합성곱 신경망 아키텍처 개발

- 분류 형태의 합성곱 신경망 기반 태양복사에너지 추정 모델은 에너지 크기에 따라 지역을 분류하는데 우수한 결과를 보여줬으나, 특정 지역의 태양복사에너지 값을 예측하는데 제약이 존재함.
- 이러한 점을 개선하기 위하여 그림 2-35와 같이 기존 아키텍처에서 사용되었던 마지막 레이어인 소프트맥스(SoftMax function)를 각 입력층과 출력층을 항등하게 대응하여 결과값을 예측하는 회귀 방식(Linear function)으로 교체함.
- 합성곱 신경망의 모델링 과정 중 하이퍼 파라미터 최적화(Hyper parameter optimization)를 통해 예측 오차의 최소화를 위한 신경망의 구조 및 훈련 기법(특징맵, 에폭, 배치 사이즈 등)을 최적화하였음.

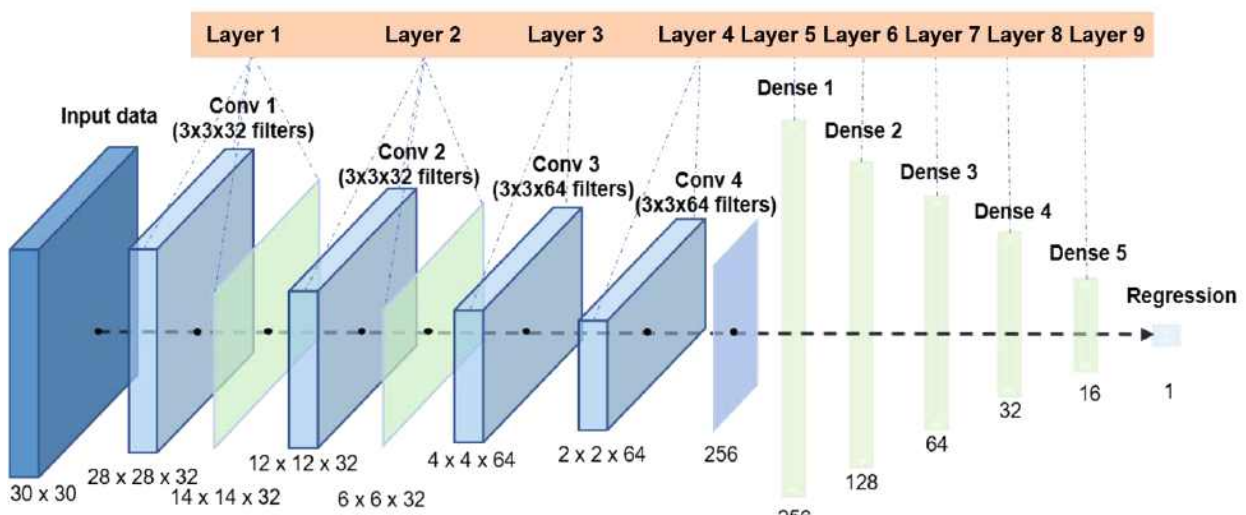


그림 2-35. 회귀분석 기반의 합성곱 신경망 아키텍처

- 예측지역 크기 및 위치에 따라서 태양복사에너지가 다르게 예측되기 때문에(Lai et al. 2010, Chen et al. 2013) 본 연구에서는 그림 2-36과 같이 다양한 입출력 데이터의 크기 및 계산 방식을 실험하여 입출력 데이터를 모델링함.
- 이 실험에는 앞선 분류 형태의 신경망 개발 실험과 달리 30 × 30 또는 60 × 60 픽셀 크기의 입출력 데이터뿐만 아니라 90 × 90 픽셀 크기의 데이터도 추가로 실시함.
- 또한, 앞선 실험에서 진행하였던 30 × 30 픽셀 출력 데이터인 태양복사에너지 값을 전체 평균화하여 라벨링한 것과 달리, 본 실험에서는 입력 데이터와 출력 데이터를 일대일 대응 시키기 이전에 출력 데이터를 하나의 값으로 나타내기 위한 방식을 그림 2-36b와 같이 4개의 방식으로 다양하게 평균을 내서 테스트함.

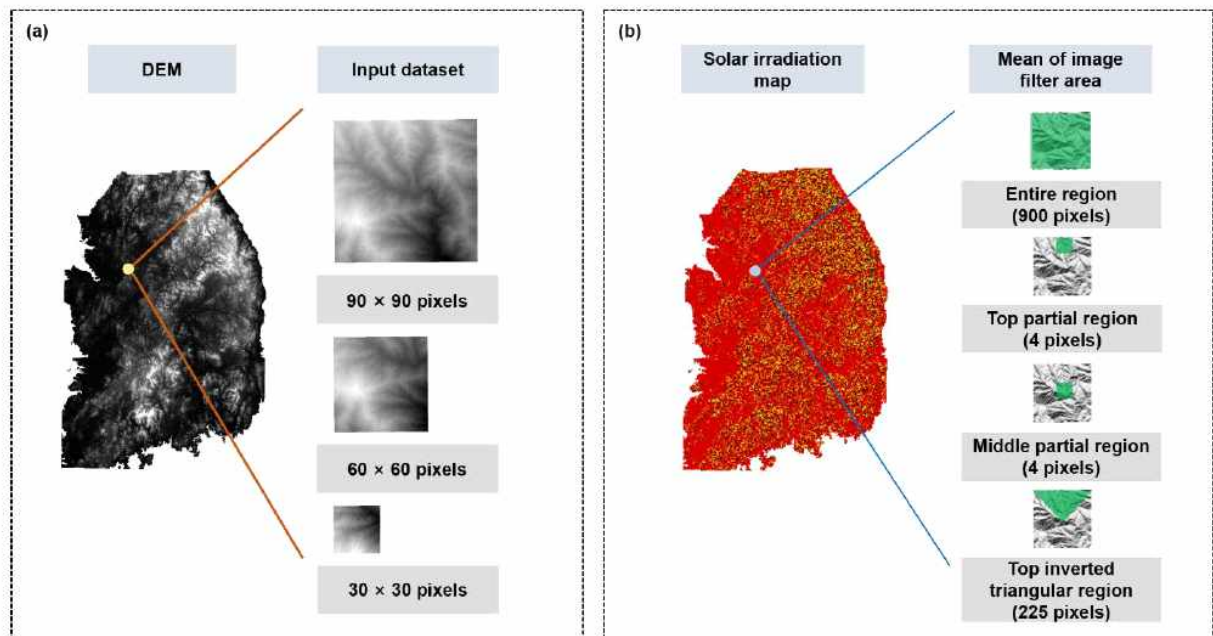


그림 2-36. 입출력 데이터 모델링: (a) 다양한 크기의 입력층 데이터, (b) 다양한 모양을 사용하여 계산된 출력층 데이터

- 본 연구에서 입력층에 사용되는 수치표고모델(DEM) 데이터와 출력층에 사용되는 태양복사에너지 값에 대한 데이터는 일반적으로 딥러닝에서 추천하는 값의 범위(0-1, 0-255)보다 상대적으로 매우 크므로 값의 변환이 필요함.
- 입력층의 경우 식 (26), (27)과 같은 Min-Max Scaler 함수를 통해 DEM(0-1800m)값을 0-1 범위로 변환하였음.

$$X_{std} = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (26)$$

$$xscaled = xstd \times (max - min) + min \quad (27)$$

- 출력층에 해당하는 태양복사에너지의 경우 값의 크기(scale) 뿐만 아니라 데이터 편향 정도도 해결하기 위하여 Min-Max scaler 함수가 아닌 일반 정규분포식을 사용하여 그림

2-37과 같이 변환함.

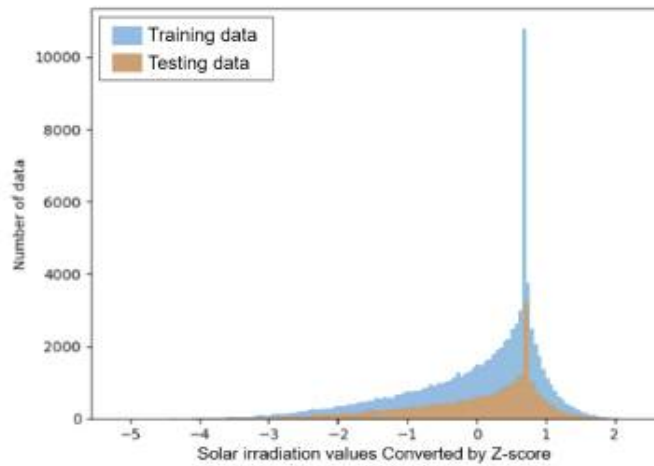


그림 2-37. 정규분포를 통해 변환된 태양복사에너지값의 히스토그램

- 하이퍼 파라미터 튜닝을 통해 개발된 아키텍처 모델의 최적의 성능을 나타낼 수 있는 조건을 탐색하였음. 이러한 성능은 식 (28)과 같이 회귀분석 평가 시 일반적으로 사용하는 MSE(mean squared error)를 기준으로 평가하였음.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (actual - predicted)^2 \quad (28)$$

- 이를 통해 나온 최적의 조건은 배치 크기는 10, 에폭은 20, 옵티마이저(optimizer)는 Adagrad를 사용했을 때이며, 이러한 조건을 사용하여 만든 모델의 훈련 과정은 그림 2-38과 같이 나타남.
- 0.2 부근에서 시작된 추정 손실 값은 훈련이 진행되면서 최종 MSE값이 0.025에 근접할 정도 상대적으로 매우 낮은 오차가 산출됨.

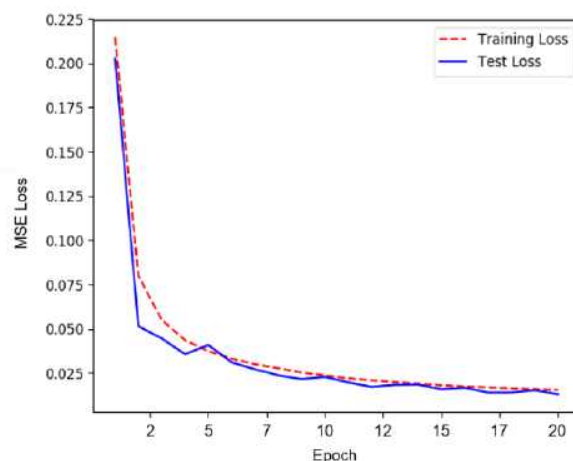


그림 2-38. 태양복사에너지 추정훈련에 따른 손실값(loss) 변화

- 딥러닝 학습과정에서 중요시 여기는 부분 중 하나로 훈련 데이터로 과도하게 학습됨에 따라 학습된 모델을 훈련에 사용되지 않은 테스트 데이터에 적용 시 큰 오차를 일으키는 과적합 현상(over-fitting)의 방지가 필요함. 본 연구에서는 그림 2-38에서 보이는 것과 같이 과적합 현상이 나타나지 않음을 확인할 수 있었음.
- 위에 결과를 통해 정해진 조건들은 다양한 입출력 데이터의 크기 및 계산방식에 따른 모델성능평가에 동일하게 사용되었음.
- 본 연구의 실험에서는 입력층 데이터 크기는 3가지(30 × 30, 60 × 60, 90 × 90) 그리고 출력층 데이터 계산 방식(shape)은 4가지(전체 지역 평균, 상단 중간 4개 픽셀 평균, 하단 중간 4개 픽셀 평균, 상단 역삼각형 지역 평균) 조합으로 총 12가지의 조건을 통해 최적의 입출력 크기 및 계산방식을 탐색하였음.
- 본 연구에서 제시하는 성능평가 결과표는 그림 2-38과 같이 특정 데이터 군에 따라 결과값이 다르게 나오는 문제가 발생하는지 확인하기 위해 실시한 5-fold cross validation 방식을 통해 나온 5번의 결과를 평균하여 나온 것임(그림 2-39).

| Training Data |               |            |            | Testing Data |
|---------------|---------------|------------|------------|--------------|
| Training Data |               |            | Validation | Hold out     |
| Training Data |               | Validation |            | Hold out     |
| Training Data | Validation    |            |            | Hold out     |
| Training Data |               |            |            | Hold out     |
| Validation    | Training Data |            |            | Hold out     |

그림 2-39. 5-fold cross validation 모식도

#### ○ 딥러닝 입출력층 설계 및 회귀분석 기반의 합성곱 신경망 모델 개발의 연구 결과

- 개발된 모델의 예측 결과는 표 2-9, 표 2-10, 그리고 그림 2-40과 같이 30 × 30 픽셀 크기의 입력층 데이터와 전체 지역을 평균으로 한 출력층 데이터 계산방식을 사용했을 때 최적의 성능이 나온 것을 확인할 수 있었음.
- 본 연구의 결과는 정규분포로 변환된 결과값을 평가한 방식과 변환된 결과를 원래의 값으로 다시 환원하여 실제 값과 비교하여 평가한 방식으로 나타냄.
- 정규분포 변환을 통해 나온 값은 식 (28)의 MSE 평가지표로 분석하였으며, 실제 값으로 환원된 값을 분석할 시 데이터 크기에 덜 민감한 식 (29), (30)의 RMSE, MAPE를 사용함.

$$SE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{actual} - \text{predicted})^2} \quad (29)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\text{actual} - \text{predicted}}{\text{actual}} \times 100 \quad (30)$$

- 식 (31)의 R<sup>2</sup> 평가지표의 경우 데이터 크기 변환전후에 값의 차이가 없음.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_1^n (actual - predicted)^2}{\sum_1^n (actual - average\ of\ actual\ values)^2} \quad (31)$$

표 2-9. 12개 조합의 입출력층에 따른 훈련과정에서의 성능평가 결과표

| Output filter shape            | Estimator                  | Input image size |                |                |
|--------------------------------|----------------------------|------------------|----------------|----------------|
|                                |                            | 30 × 30 pixels   | 60 × 60 pixels | 90 × 90 pixels |
| Entire region                  | MSE                        | 0.015            | 0.043          | 0.061          |
|                                | RMSE (kWh/m <sup>2</sup> ) | 12.299           | 17.244         | 13.913         |
|                                | R <sup>2</sup>             | 0.985            | 0.957          | 0.939          |
|                                | MAPE (%)                   | 0.461            | 0.534          | 0.651          |
| Partial top region             | MSE                        | 0.298            | 0.359          | 0.672          |
|                                | RMSE (kWh/m <sup>2</sup> ) | 113.826          | 121.705        | 172.897        |
|                                | R <sup>2</sup>             | 0.702            | 0.641          | 0.327          |
|                                | MAPE (%)                   | 4.282            | 4.628          | 5.452          |
| Partial mid region             | MSE                        | 0.559            | 0.183          | 0.322          |
|                                | RMSE (kWh/m <sup>2</sup> ) | 154.434          | 85.596         | 114.227        |
|                                | R <sup>2</sup>             | 0.499            | 0.818          | 0.675          |
|                                | MAPE (%)                   | 5.830            | 3.215          | 4.338          |
| Top inverted triangular region | MSE                        | 0.016            | 0.082          | 0.048          |
|                                | RMSE (kWh/m <sup>2</sup> ) | 16.155           | 25.907         | 32.413         |
|                                | R <sup>2</sup>             | 0.983            | 0.918          | 0.952          |
|                                | MAPE (%)                   | 0.621            | 1.404          | 1.088          |

표 2-10. 최적의 입출력 데이터 조건에 따른 훈련과 테스트 성능평가 결과표

| Output filter shape | Estimator                  | Input image size (30 × 30 pixels) |         |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------|
|                     |                            | Training                          | Testing |
| Entire region       | MSE                        | 0.015                             | 0.014   |
|                     | RMSE (kWh/m <sup>2</sup> ) | 12.299                            | 10.753  |
|                     | R <sup>2</sup>             | 0.985                             | 0.986   |
|                     | MAPE (%)                   | 0.461                             | 0.470   |

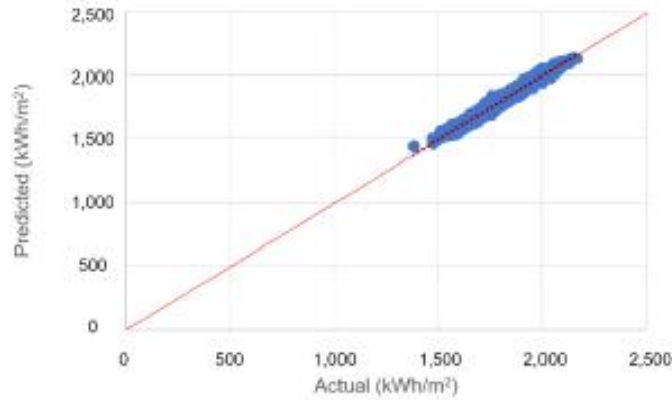


그림 2-40. 실제값과 예측값의 비교

○ 회귀분석 기반의 합성곱 신경망 모델의 결과값을 맵 형태로 변환하는 기술 및 결과

- 딥러닝 알고리즘의 경우 학습 시 데이터 편향에 따른 잘못된 결과도출을 방지하기 위해 데이터 전체를 섞은 후 무작위로 추출하였기 때문에 추정된 값의 실제 위치를 찾기가 어려움.
- 또한 출력층에 태양복사에너지 값을 넣는 과정에서  $30 \times 30$  픽셀 이미지가 하나의 값으로 평균화되므로 원래의 태양복사에너지의 해상도와 일치하지 않는 점이 존재함.
- 자료를 무작위로 추출하여 학습된 합성곱 신경망 모델을 h5 포맷형태로 저장한 후, 저장된 모델에 데이터를 정렬 순서대로 다시 넣음. 다시 넣는 과정에서 모델의 가중치와 추정값은 기존 결과와 동일함.
- 추정값을 GIS상에 나타내기 위해서는 그림 2-41과 같이 추정값과 동일한 위치의 출력 데이터에서 해당 지역에 대한 위도, 경도값을 추출해야함. 실제값, 추정값 그리고 지형정보

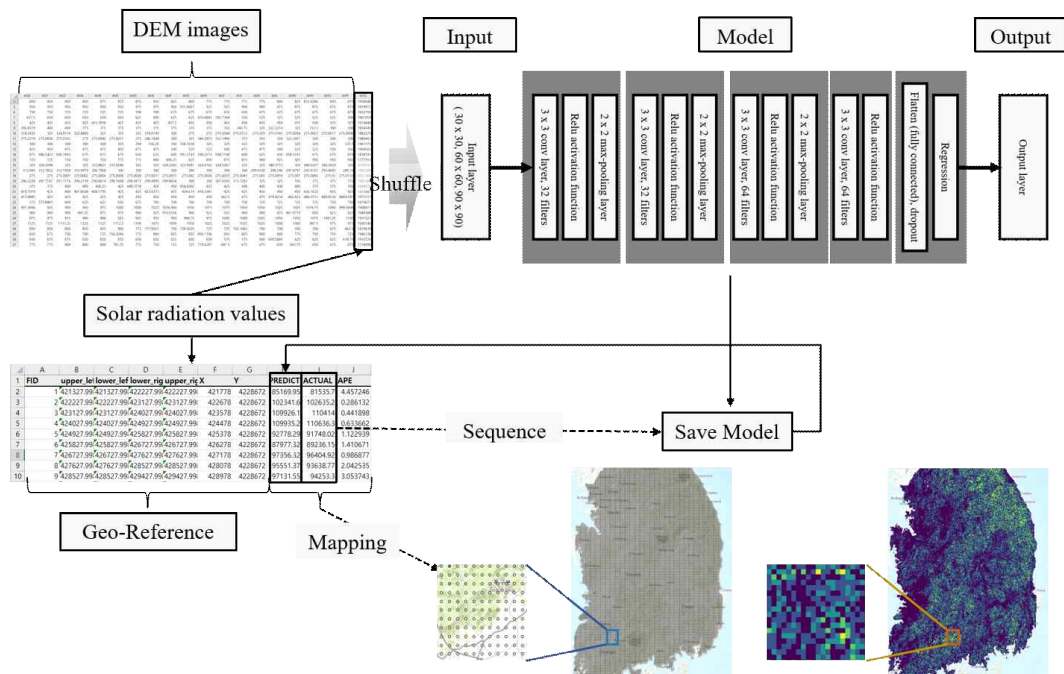


그림 2-41. 무작위로 생성된 결과값을 맵 형태로 변환하는 과정의 개요도

가 들어있는 CSV 파일을 GIS(Geographic Information System)에서 변환하여 맵핑(Mapping)을 완료함.

- 추정된 태양복사에너지 값을 시각적으로 나타내기 위하여 맵핑화 작업을 진행하였으며, 맵 생성 시 시각적인 표현을 돋보이게 하기 위하여 그림 2-42와 같이 에너지 값의 크기에 따라 6개의 구간을 설정 및 각 설정된 구간의 색깔을 다르게 분배함.
- 연구의 결과로 산악지형이 많이 분포되어 있는 강원도지역의 경우 다른 지형에 비해 태양복사에너지 값의 크기가 작았으며, 오류 또한 상대적으로 크게 나타남.
- 식 (32)의 APE를 산출하여 생성한 맵을 통해 지형의 복잡도 및 지형적 특징이 태양복사에너지에 영향을 크게 미치는 것을 확인할 수 있음.

$$\sum_{i=1}^n \frac{actual - predicted}{actual} \times 100 \quad (32)$$

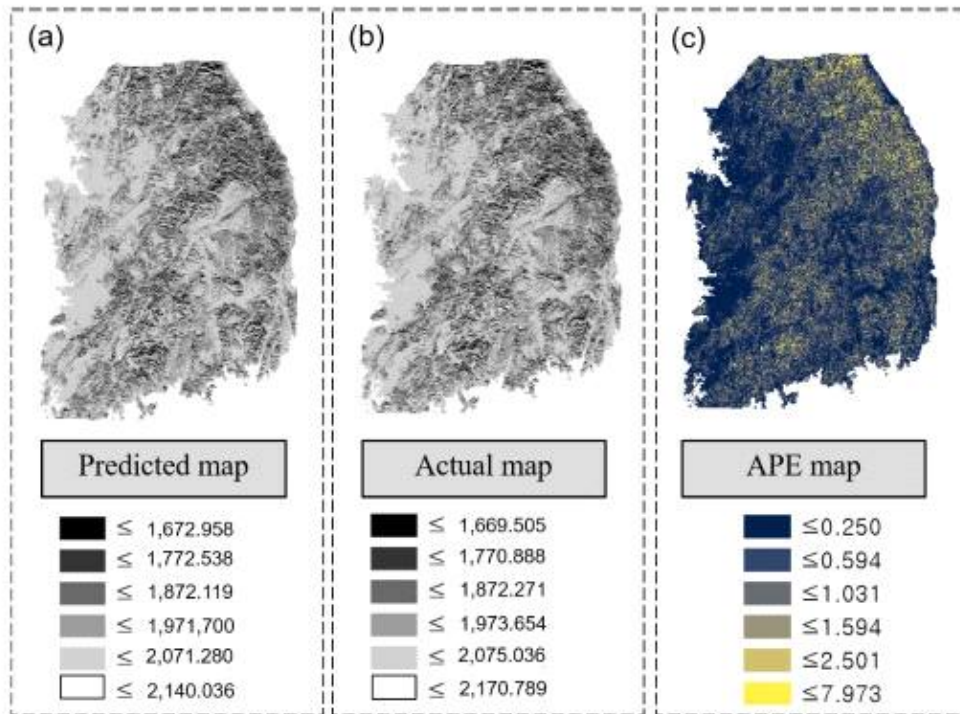


그림 2-42. 전국단위 맵핑화 작업: (a) 추정값에 대한 맵, (b) 실제값에 대한 맵, (c) 추정오류에 대한 맵

- 또한, 지형이 복잡해질수록 태양복사에너지 추정모델의 복잡성이 증가하여 추정 성능에 영향을 미침(Chen et al. 2013)에 따라 지형 유형에 따른 추정값의 정확도를 비교하였음.
- 본 연구에서 개발한 태양복사에너지추정모델 또한 지형의 복잡성에 따라 태양복사에너지 추정 성능이 상이할 수 있으므로 그림 2-43과 같이 평야지형, 도시지형, 그리고 산악지형 각각에 대한 5지역에서 각 100개의 데이터 샘플을 추출하여 모델 성능을 확인하였음.
- 그림 2-43a는 한반도 전국 지역 중 각 지형 유형의 정의에 맞는 지역 5곳을 선정한 것을 나타냄. 또한 그림 2-43b는 5지역을 GIS에서 확대하여 나타낸 것임.

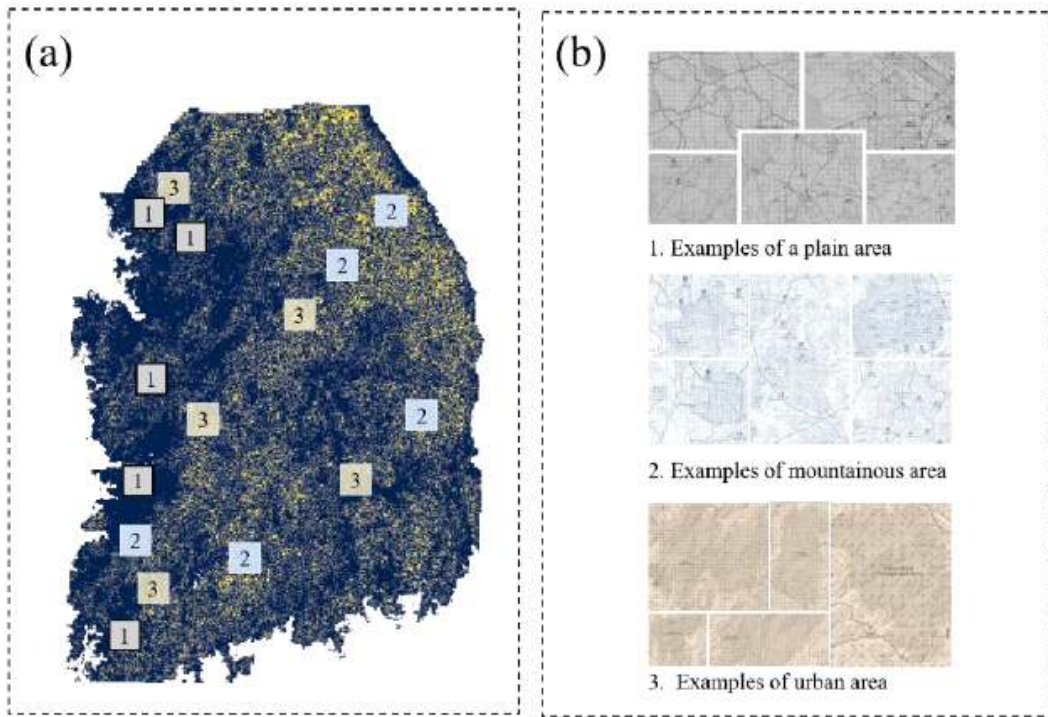
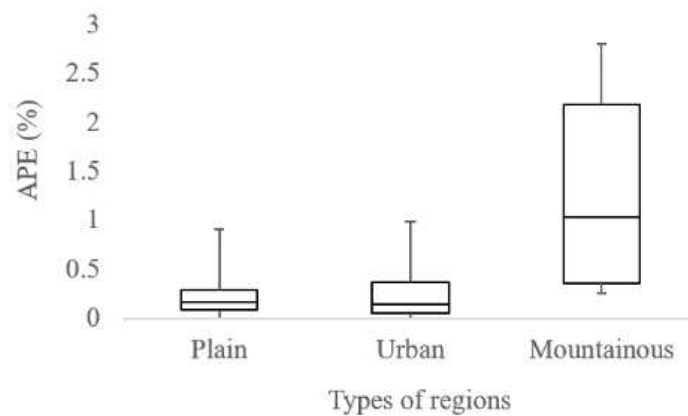


그림 2-43. 3가지 유형으로 분류한 지형 (a) 전국단위로 묘사, (b) 해당 표시 지역을 확대한 모습

- 그림 2-43에서 보이는 것과 같이 지형 유형에 따라 추정 성능을 비교했을 시 도시 지형과 평야 지형에서는 상대적으로 낮은 오차가 도출됨. 하지만 산악지형의 경우 앞서 언급된 지형보다는 상대적으로 오차가 높은 것으로 나타남.



|                    | Plain | Urban | Mountainous |
|--------------------|-------|-------|-------------|
| Mean               | 0.141 | 0.155 | 0.923       |
| Standard deviation | 0.155 | 0.157 | 0.758       |

그림 2-43. 지형 유형에 따른 추정 모델 성능 비교

## 나-2. 공간데이터 분석을 위한 딥러닝 신경망 설계

- 태양광 발전소 적지를 선별하기 위해 기존 발전소 데이터를 기반으로 태양복사에너지와 기상조건으로부터 탐색된 후보지의 예상 발전량을 추정하는 순환신경망 기반의 태양광발전량 추정 기술을 개발하고자 함.

- ① 다양한 형태의 순환신경망 구조 실험 및 예측 모델 검증
- ② 다양한 깊이의 딥러닝 구조 실험 및 과적합을 방지하기 위한 기법 연구
- ③ 하이퍼 파라미터 최적화를 통한 딥러닝 구조 개선
- ④ 시간간격(time step), 계절 및 발전소 용량이 발전량에 미치는 영향 조사
- ⑤ 탐색된 후보지를 대상으로 적용할 수 있는 발전량 기반 태양광 적지 선별 기술 개발

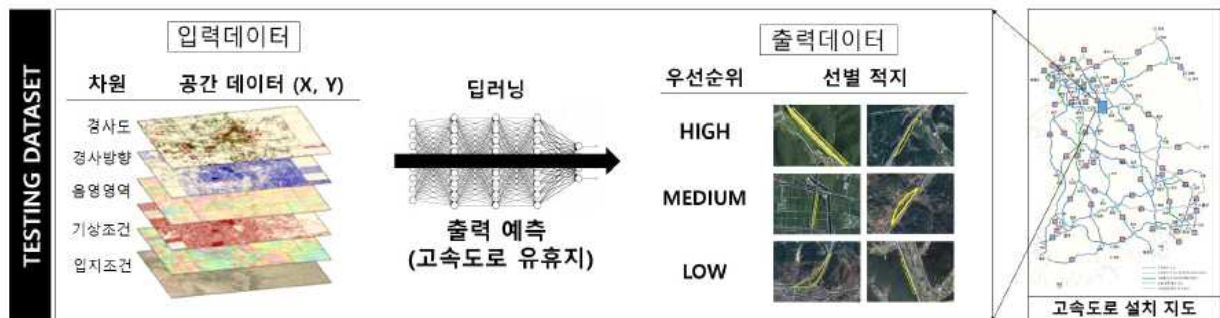


그림 2-44. 기술 요약도: 탐색 후보지 데이터에 적용하여 적지 선별 알고리즘 고도화

## ○ 태양광 발전소 적지 선별을 위한 순환신경망 기반의 태양광 발전량 추정 기술

- 지형적 효과가 태양광 발전에 미치는 영향과 시간 변화에 따른 비선형적 데이터간의 관계 및 패턴을 고려하기 위해 그림 2-45와 같은 장단기 메모리-순환신경망 기법(LSTM-RNN)을 개발하여 지형효과가 고려된 태양복사에너지 데이터와 기상 요소들로부터 전국 태양광 발전량을 추정하는 것이 목적임.
- LSTM-RNN기법은 선형적 데이터 패턴관계를 파악하는데 초점을 맞춘 기존 시계열(time series) 기법의 일종으로 기계학습 기법을 사용하여 장시간의 비선형적 데이터 패턴 또한 파악할 수 있는 장점을 가지고 있음. 공간적인 관계에 초점을 두는 합성곱 신경망과 달리 순환신경망은 시계열 데이터 안에 내재되어 있는 시간적 패턴을 찾아내어 예측에 반영하는데 활용될 수 있음.

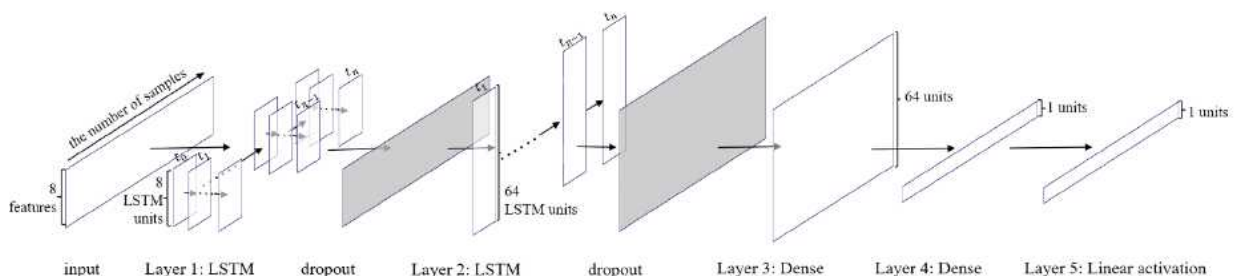


그림 2-45. LSTM-RNN 기반 태양광 발전량 추정 모델의 개요도

- 본 연구에서는 그림 2-46와 같이 입력층으로 8개의 변수(태양복사에너지, 기온, 평균습도, 풍속, 강수량, 운량, 일조시간)를 사용했으며, 출력층은 데이터 편향의 문제를 제어하기 위하여 발전량을 발전용량으로 나눈 발전효율 값을 사용함. 여기서 태양복사에너지는 기 개발된 태양복사에너지 추정 기술 적용하여 구하였고 기상변수들의 데이터는 기상청 자료를 취합하였으며, 이러한 입력변수 데이터로 기 설치된 발전소의 발전효율을 예측함.
- 순환신경망은 과거의 연속된 특정 시간(예, 1월~4월)을 하나의 데이터셋으로 묶고 그러한 과거 데이터의 시간적 관계를 기반으로 현재의 발전량을 예측하는 접근법으로 그림 2-46은 시간간격이 4개월인 경우 입력층으로 들어온 입력 데이터가 어떤 연산을 통해 출력층으로 전달되는지를 보여줌.
- 제안 된 네트워크 모델은 5개의 계층(layer)으로 구성되며 드롭 아웃을 포함한 2개의 LSTM 레이어, 2개의 텐스 레이어(fully connected layer)와 회귀분석 기반의 예측을 위한 선형 레이어(linear activation)로 이루어져 있음. 여기서 샘플은 입력 데이터셋의 행(row)의 수(데이터 포인트)이고, 시간간격(time step)은 예측에 사용되는 이전 시간의 양(예, 4개월)을 의미하며, feature는 입력 데이터 각 샘플에 있는 열(column)의 수, 즉 사용되는 변수의 수를 의미함.
- 딥러닝의 경우 최적의 모델을 개발하는 것이 매우 중요하므로 추정모델을 개발함에 있어 하이퍼 파라미터 튜닝을 실시함. 본 연구에서는 에폭(epoch), 배치 사이즈(batch size), 학습률(learning rate), 초기 가중치(weight initialization), 그리고 최적 함수(optimization function) 조건 변화에 따른 최적의 추정 모델을 조사함.

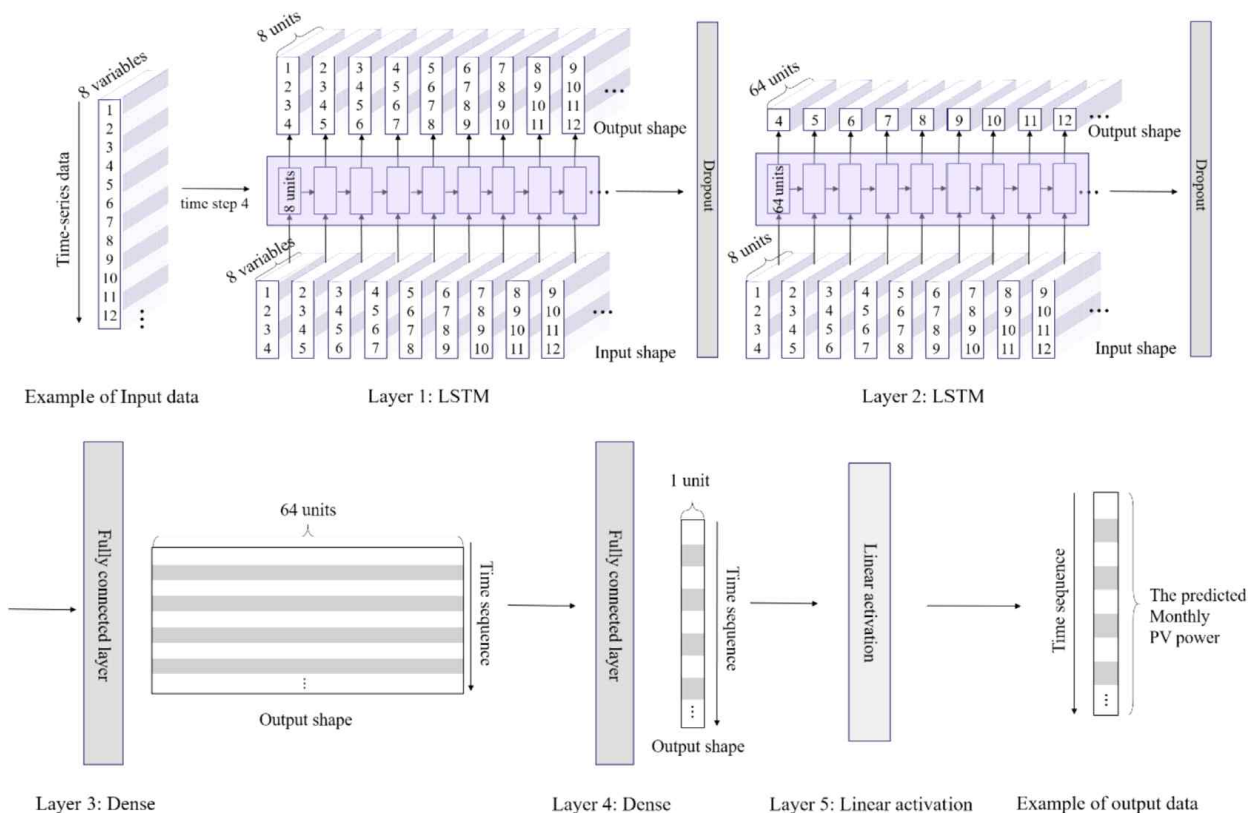


그림 2-46. 개발된 LSTM-RNN 모델의 상세도: 시간간격(time step)이 4개월인 경우

- 시계열 데이터에 내재되어 있는 시간적 패턴이 가진 특성을 이해하기 위해 다양한 시간 간격(time step)을 테스트하였으며, 예측된 오차를 기준으로 판단했을 때 지난 10개월의 데이터를 하나의 데이터셋으로 사용하여 예측했을 때 가장 높은 정확도를 보이는 결과를 얻었음. 그림 2-47은 시간 간격(1개월~12개월)에 따른 오차값의 변화는 보여주며, 시간 간격이 4개월일 때와 10개월일 때 가장 작은 오차를 산출함. 미세하지만 조금 더 나은 결과를 보여주는 시간 간격 10개월을 선택하여 모델의 개발 및 검증을 진행하였음.

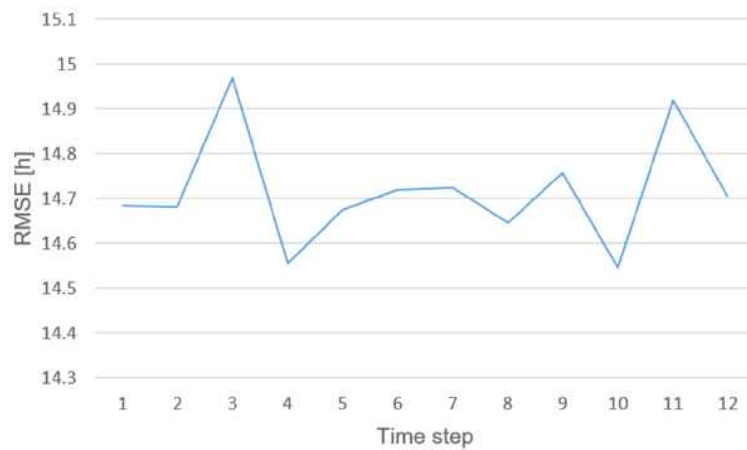


그림 2-47. 시간간격에 따른 RMSE값 변화

- 앞선 연구와 마찬가지로 본 연구에서도 교차 검증 기법으로 개발 기술을 평가하였고, 표 2-11과 같이 테스트 데이터의 경우 약 7%의 nRMSE와 약 11%의 MAPE 값을 얻었으며 이러한 결과는 과적합이 일어나지 않는 것을 보여줌. 또한 nRMSE이 MAPE에 비해 상대적으로 적은 것으로 보아 발전효율 값의 크기와 무관하게 학습이 잘 진행된 것으로 판단되며, nRMSE보다 높은 MAPE로 미루어 보아 작은 발전효율에서 상대적으로 큰 오차가 발생하는 것으로 추정됨.
- 또한 그림 2-48과 같이 예측 결과는 정확한 결과를 나타내는 reference line 근처로 모여 있는 것으로 보아 출력값인 발전효율 값의 크기에 대한 편향이 크지 않는 것으로 판단됨.

표 2-11. 최종 선정된 추정 모델의 성능평가 (time step = 10)

| Time step | Evaluation metric | Training dataset: K-fold cross-validation (K = 5) |        |        |        |        |        | Testing dataset |
|-----------|-------------------|---------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|
|           |                   | Run 1                                             | Run 2  | Run 3  | Run 4  | Run 5  | Mean   |                 |
| 10        | RMSE (h)          | 17.825                                            | 11.960 | 14.578 | 14.048 | 14.325 | 14.547 | 14.003          |
|           | nRMSE (%)         | 9.441                                             | 6.334  | 7.721  | 7.440  | 7.587  | 7.705  | 7.416           |
|           | MAPE (%)          | 13.832                                            | 9.119  | 11.396 | 11.428 | 11.898 | 11.535 | 10.805          |
|           | R <sup>2</sup>    | 0.611                                             | 0.725  | 0.763  | 0.757  | 0.758  | 0.723  | 0.724           |

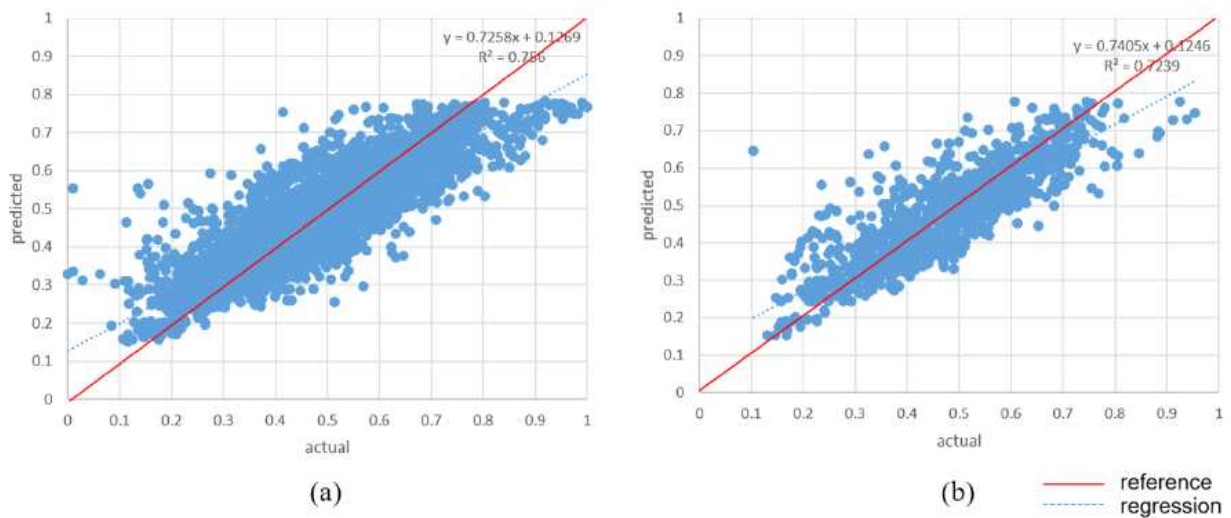


그림 2-48. 발전량 추정치와 실제값의 비교분석: (a) 훈련결과, (b) 테스트결과

- 계절적 패턴이 태양광 발전량 추정에 미치는 영향을 조사하기 위해 월별 오차를 계산하였음. 전체 데이터셋을 활용하여 1년에 대한 추정 성능을 분석한 결과, 월별로 그리고 계절별로 상이한 오차값이 관찰됨(표 2-12). 전체적으로 모든 중앙값 잔차는 0에 가까우며(그림 2-49), 3월에 높은 nRMSE가 관찰되었음. 또한 봄에 상대적으로 높은 오차가 발생하였으며 가을에 상대적으로 작은 오차가 발생함을 보여줌.
- 이는 추정 모델이 월별, 계절적 영향을 받고 있는 것을 의미하며, 이러한 결과는 시계열 데이터 상에 월별, 계절적 패턴이 존재한다는 것을 간접적으로 보여주는 것이라 판단됨.

표 2-12. 월별 및 계절에 따른 nRMSE 값의 변화 비교

| Measure            | Jan.                      | Feb.   | Mar.   | Apr.                       | May    | Jun.   | Jul.                     | Aug.   | Sep.   | Oct.                       | Nov.   | Dec.   |
|--------------------|---------------------------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|--------------------------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| Max residual       | 0.158                     | 0.110  | 0.208  | 0.237                      | 0.209  | 0.209  | 0.140                    | 0.163  | 0.185  | 0.132                      | 0.138  | 0.137  |
| Min residual       | -0.244                    | -0.233 | -0.541 | -0.270                     | -0.302 | -0.196 | -0.319                   | -0.311 | -0.214 | -0.141                     | -0.176 | -0.208 |
| Median residual    | -0.002                    | -0.010 | 0.017  | -0.006                     | 0.000  | 0.005  | -0.005                   | 0.001  | 0.019  | 0.025                      | 0.009  | 0.003  |
| nRMSE (%)          | 7.789                     | 7.674  | 9.020  | 7.698                      | 8.830  | 7.124  | 7.466                    | 7.412  | 5.866  | 6.496                      | 5.903  | 7.030  |
| Standard deviation | 0.078                     | 0.076  | 0.091  | 0.077                      | 0.089  | 0.071  | 0.074                    | 0.074  | 0.057  | 0.063                      | 0.059  | 0.071  |
| Measure            | Spring<br>(Mar, Apr, May) |        |        | Summer<br>(Jun, Jul, Aug.) |        |        | Fall<br>(Sep, Oct, Nov.) |        |        | Winter<br>(Dec, Jan, Feb.) |        |        |
| nRMSE (%)          | 8.516                     |        |        | 7.334                      |        |        | 6.089                    |        |        | 7.498                      |        |        |

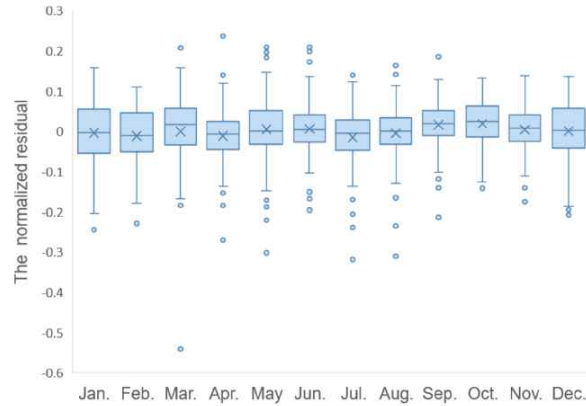


그림 2-49. 정규화된 잔차(오차)의 월별 추이

- 본 연구에서 수집된 발전소의 용량은 소규모로 편향된 경향을 보이는 것으로 판단됨에 따라 용량의 크기에 따른 추정 모델의 결과를 분석함(그림 2-50과 2-51). 통계분석을 통해 저용량 발전소의 태양광 발전량 예측이 오차에 더 민감하다는 결과를 얻었으며, 이를 향후 연구에서 수집데이터의 편향에 유의해야 함을 의미함.

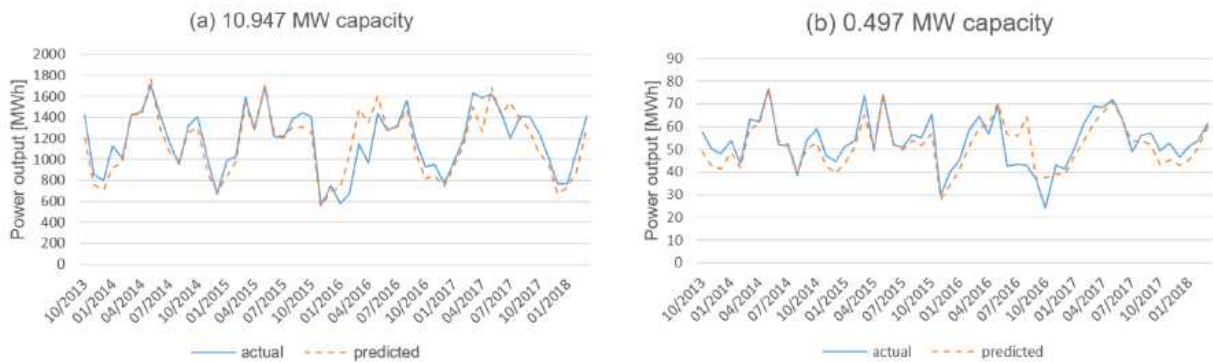


그림 2-50. 용량 크기에 따른 발전량 추정예러 비교: (a) 고용량, (b) 저용량

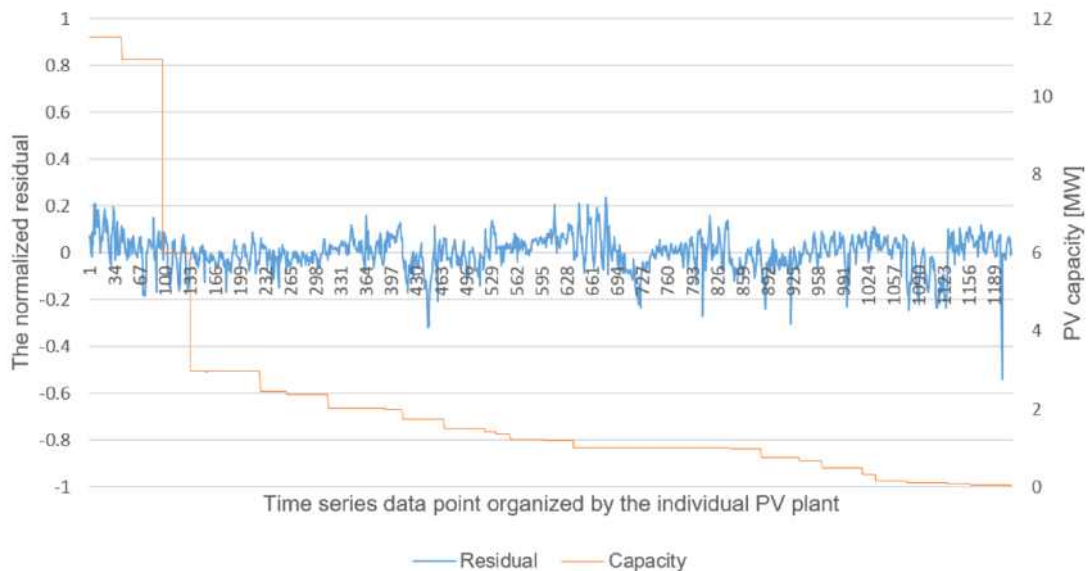


그림 2-51. 용량크기에 따라 변화하는 실발전량과 추정발전량간의 차이 비교

### 나-3. 탐색 후보지의 복합평가 요인 분석 모델

- 문헌 조사 및 기존 태양광 발전소에 대한 자료 분석을 바탕으로 탐색 후보지의 복합평가에 영향을 미치는 주요한 입지요인에 대한 분석 모델을 개발하며 태양광패널의 설치 적지 선별 기술을 적용한 사례연구를 통해 개발 알고리즘의 최종적 기술 검증을 목표로 함.
- ① 태양광 발전에 영향을 미치는 입지요인에 대한 선행연구 및 사례조사를 실시
- ② 태양광 발전 부지의 평가 기준 분석 및 연구 접근법 검토
- ③ 태양광패널 설치 후보지의 우선순위 결정 방법 연구
- ④ 자료 분석을 통하여 후보지의 평가 분석 기법 연구 및 기존 발전소 데이터를 기반으로 기술 검증
- ⑤ 전국 단위의 고속도로망을 대상으로 개발 기술 적용 및 결과 분석

### ○ 기계학습을 이용한 태양광 발전소의 잠재적 발전량 추정 모델 연구

- 본 연구에서는 특정 계절에 오차가 발생이 관측됨에 따라 각 점이 회귀식에 가까이 존재할수록 큰 가중치를 주어 각각 선형방정식을 만들어서 잇는 국지가중회귀(Locally Weighted Linear Regression) 분석(그림 2-52)을 실시하여 개발 기술에 대한 추가적인 검증을 진행함.

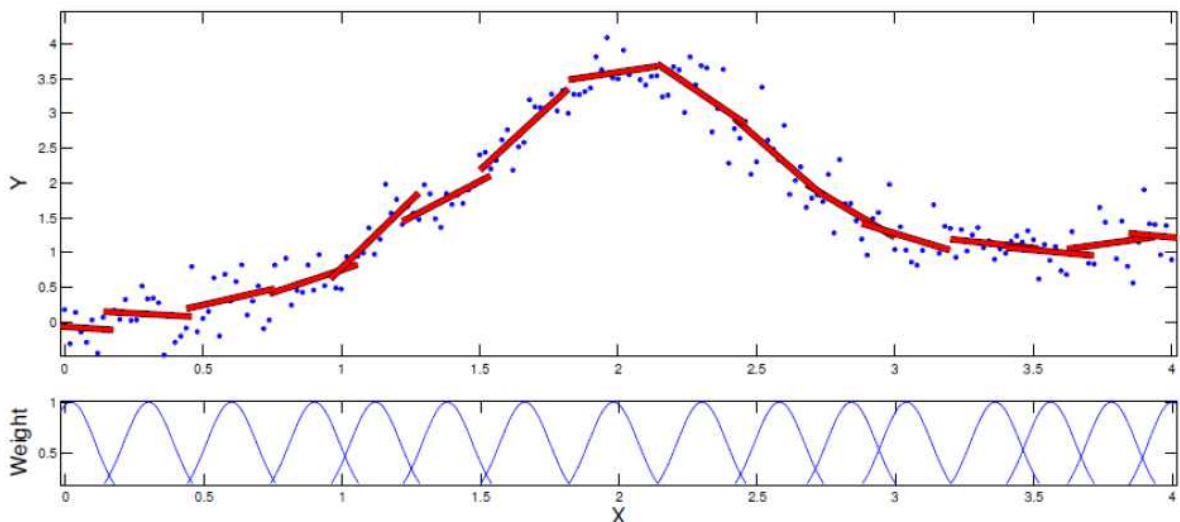


그림 2-52. 국지가중회귀분석의 접근법(Locally Weighted Learning)

- 총 3개 년도의 월별데이터 2,244 개 중에서 훈련 데이터 1,772 개와 테스트 데이터 472 개로 나누어 분석을 진행하였음.
- 본 기술 검증에는 발전 년월, 설치규모, 추정된 태양복사에너지, 평균기온, 상대습도, 평균풍속, 운량, 강수량, 일조시간을 입력변수로 실거래량을 출력변수로 구성한 데이터를 사용하였음.
- 예측 결과인 그림 2-53과 그림 2-54에서 파란색선이 실제값, 주황색선이 예측한 결과를 나타냄. 그림에서 보이듯 예측한 결과가 실제값과 매우 비슷한 경향을 가지는 것이 관찰되었으며 증감의 경향성까지 모두 일치하는 것으로 확인됨.

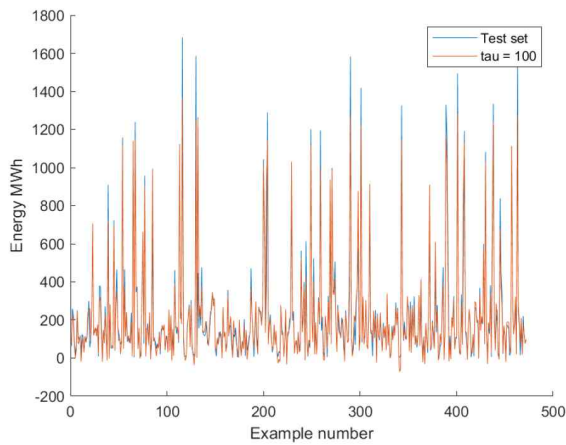


그림 2-53. 국지가중회귀 분석 결과

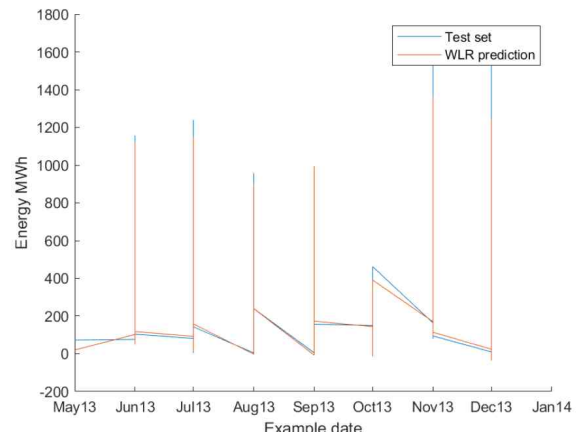


그림 2-54. 실거래량과 추정량의 결과 비교

- 훈련 데이터로부터 학습된 모델을 이용하여 테스트 데이터를 예측한 결과 모델의 정확도는 약 91%로 산출됨.
- 본 연구에서 분석 모델의 고도화를 통해 선형회귀분석에 비해 추정 정확도 17%를 향상시킬 수 있었음.
- 그림 2-55에서처럼 오차 분석 시 특정 계절의 오차만 매우 높음이 관찰됨. 이러한 오차는 특정 계절의 거래량 혹은 기상조건 측정에 편향이 있는 것으로 추정됨.

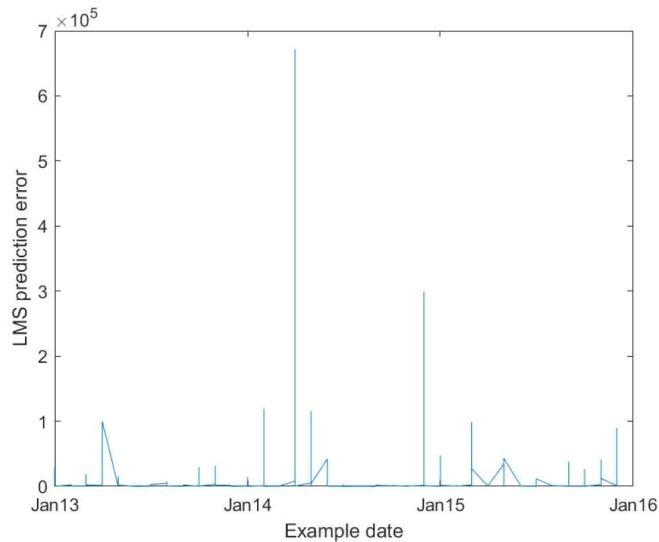


그림 2-55. 기계학습을 통해 예측된 월별 데이터의 오차 비교

#### ○ 전국 단위 고속도로망을 대상으로 사례연구 및 분석

- 본 연구의 궁극적인 목표는 고속도로 주변부 태양광 발전량 추정 및 태양광발전 시설의 적지 선별이며, 따라서 앞서 개발된 기술들을 활용하여 추정한 지형효과가 고려된 태양복사에너지 데이터와 함께 8개의 기상요소(기온, 습도, 풍속, 강수량, 운량, 일조시간)를 입

력요소로 사용하여 LSTM-RNN 기반 월별 태양광 발전량 추정을 진행했으며 발전량이 높은 10개의 고속도로 구간을 선정하여 위성사진을 통해 실제 지역을 검토함.

- 먼저 기 개발된 태양광 발전량 추정 모델을 활용하여 전국 고속도로 주변부에 대한 태양광 발전량을 추정하였음. 본 연구의 해상도는  $30 \times 30$  m으로 한 픽셀 가로 세로 길이가 실제 고속도로 도로폭 보다 넓은 경우가 존재함에 따라 그림 2-56a와 같이 GIS에서 버퍼 기능을 통해 도로폭을 30 m로 확장시킴. 그림 2-56b와 같이 마스크 레이어(mask layer)를 생성 하여 그림 2-56c와 같이 고속도로 주변부만으로 태양광 발전 추정을 제한함.

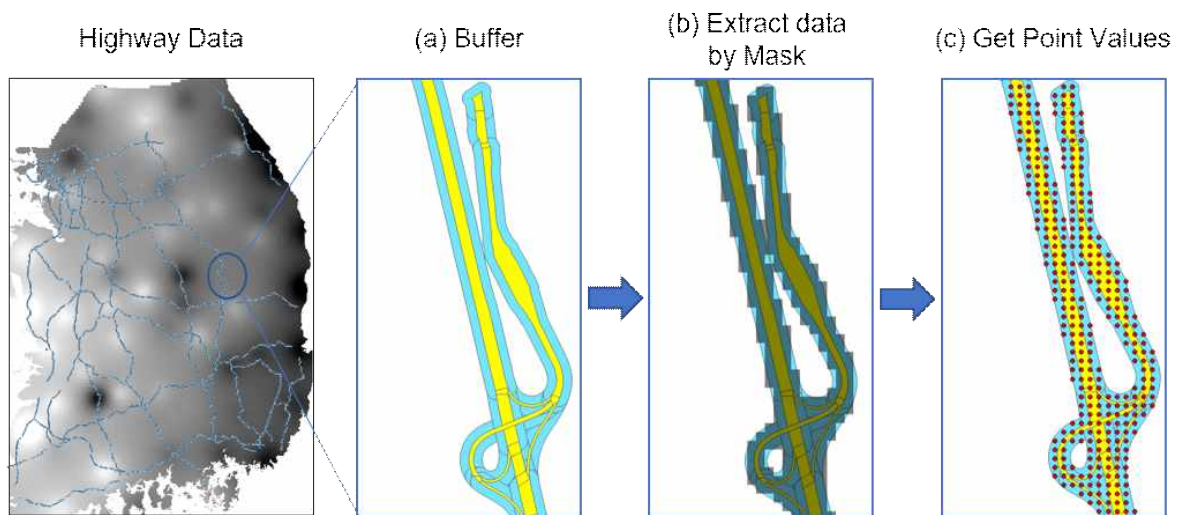


그림 2-56. 전국 고속도로에 대한 태양광 발전량 추정 적용도

- 본 기술 검증을 위해 사용된 자료는 2013년 1월 ~ 2018년 3월 기준 전국 172곳 발전소에서 거래된 월별 거래량 및 발전소 설비용량을 포함하며, 모델 학습 및 평가를 위해 월별 데이터 총 1212 개 중 970 개는 훈련데이터로 242 개는 검증데이터로 사용하였음. 결과 분석을 위해 4개의 평가지표(RMSE, nRMSE, MAPE,  $R^2$ )를 사용하였으며, 표 2-13에 정리된 결과와 같은 성능을 가진 모델을 사용하여 적지 탐색을 진행하였음. 상관관계를 의미하는  $R^2$  는 0.726를 얻었음.

표 2-13. 태양광 발전량 추정 모델 성능 평가

| Evaluation Metric | Value  |
|-------------------|--------|
| RMSE (h)          | 13.942 |
| nRMSE (%)         | 8.683  |
| MAPE (%)          | 10.873 |
| $R^2$             | 0.726  |

- 기술 검증을 위한 사례연구로 전국 고속도로를 대상으로 2017년 11월 기준 고속도로 유희부지의 발전량 예측 및 적지 탐색을 진행함.

- LSTM-RNN 기법을 통해 추정된 발전효율을 바탕으로 고속도로 주변부 대상 태양광 발전소 건설 부지를 평가하기 위하여 고속도로 주변부로 추출된 기상데이터를 사용하여 그림 2-56a와 같이 고속도로 주변부 태양광 발전 효율지도를 제작함. 해당 지도를 그림 2-56b와 같이 확대 해석해보면 인접한 거리라고 해도 지형에 따라 발전효율이 상이한 것을 확인할 수 있음.

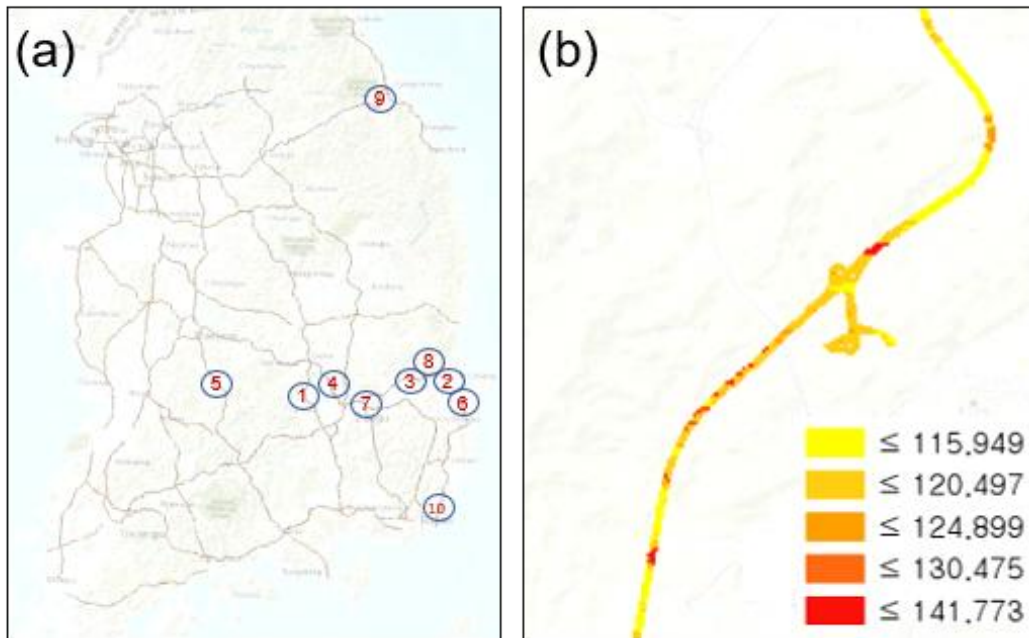


그림 2-56. ArcGIS Pro를 활용하여 제작된 고속도로 주변부 태양광 발전량 지도:

(a) 전국단위 결과 지도, (b) 확대된 결과

- 발전효율이 최대인 상위 10개 지역을 선정된 후, 해당 위치의 위도, 경도 위치체계를 참조하여 Google Earth에서 실제 위치를 탐색하였음(그림 2-57).
- 해당 지역에서 잠재 발전량을 확인하기 위하여 설비용량을 1 MW/h으로 가정하고 발전량을 계산했을 시 그림 2-57과 같이 최대 141.92MW에서 최소 138.01MW으로 추정됨.

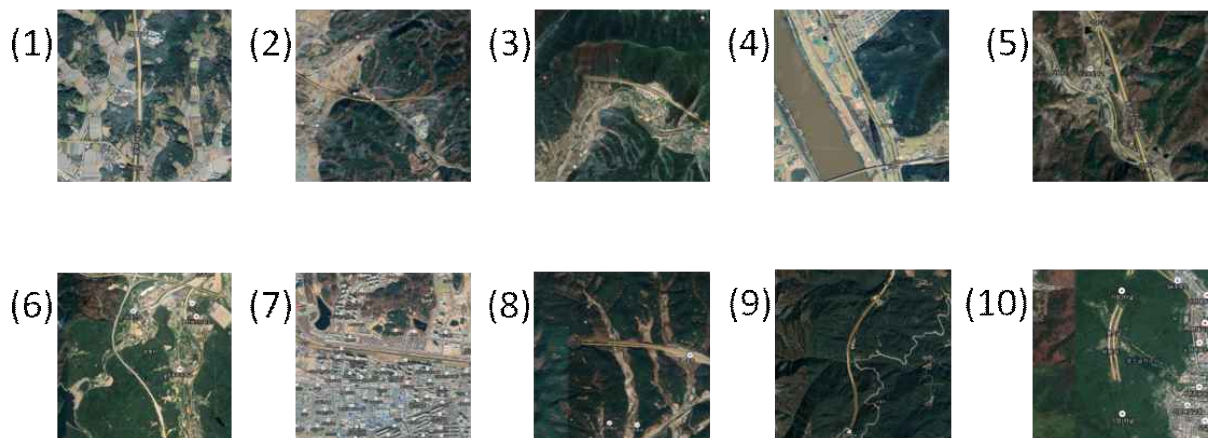


그림 2-57. 적지 탐색 결과: 발전효율 기준 상위 10개 지역의 위성사진

표 2-1. 적지 탐색 결과: 발전효율 기준 상위 10개 지역의 추정 발전량 및 위치

| Rank | PV Power Output(MW) | Site                                                                                         |
|------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | 141.92              | Jungbu Naeryuk expressway: Gaam 1 <sup>st</sup> bridge ~ Gaam 2 <sup>nd</sup> bridge         |
| 2    | 141.53              | Daegu-Pohang expressway: Daljeon tunnel ~ Naedan 2 <sup>nd</sup> bridge                      |
| 3    | 141.46              | Daegu-Pohang expressway: Imgo 1 <sup>st</sup> tunnel ~ Imgo 2 <sup>nd</sup> tunnel           |
| 4    | 141.27              | Gyeongbu expressway: SeokJeong 2 <sup>nd</sup> bridge ~ Namyul bridge                        |
| 5    | 140.97              | Tongyeong-Daejeon expressway: Gadang 1 <sup>st</sup> bridge ~ Gadang 2 <sup>nd</sup> bridge  |
| 6    | 140.89              | Donghae expressway: South Pohang IC ~ South Pohang TG                                        |
| 7    | 139.72              | Gyeongbu expressway: Yulam 2 <sup>nd</sup> bridge ~ Daerim overpass                          |
| 8    | 139.38              | Gaegu-Pohang expressway: Daljeon tunnel ~ Pohang TG                                          |
| 9    | 139.09              | Yeongdong expressway: Daegwallyeong 7 <sup>th</sup> tunnel ~ Seongsan 2 <sup>nd</sup> bridge |
| 10   | 138.01              | Busan-Ulsan expressway: Gijang 1 <sup>st</sup> tunnel ~ Gijang 2 <sup>nd</sup> tunnel        |

## (2) 경제적 성과

- 제안 기술은 고속도로 구간을 대상으로 태양광패널 설치 후보지 탐색 및 적지 선별을 자동적으로 수행함으로써 부지 탐색에 소요되는 예산 및 인력을 획기적으로 감소시킬 수 있을 것으로 기대됨.
- 본 기술을 통하여 예측한 태양광 발전량과 한국전력공사에서 제공하는 전기소비량 지도를 매칭해 발전소 설치 및 송·배전 계획을 수립하는 데 활용할 수 있으며, 이는 전기요금 절감으로 이어질 수 있음.
- 또한, 본 연구는 태양광 발전소 부지 선정의 효율성 극대화 및 최적지 선정을 가능하게 함으로써 향후 태양광 발전 사업의 경제성을 증대시킬 수 있을 것으로 생각되며, 이는 태양광 시장을 활성화시키는 데 기여할 수 있을 것임.
- 본 연구는 고속도로 주변 유희국유지를 대상으로 추정된 예상 발전량 기준 태양광 발전소의 적지를 제시하며, 고속도로 주변 성토부에 태양광패널을 설치할 경우 토지 매입 비용을 절감하는 효과가 있을 것으로 기대됨.
- 또한, 고속도로 주변 성토부를 대상으로 태양광 사업을 진행할 경우 발전소 건립으로 인한 자연훼손을 최소화할 수 있으며, 이는 사업을 추진함에 있어 중요한 장점이 될 것으로 사료됨.

## 2-4. 최종 연구 성과

### ○ 핵심 연구성과

| 연번 | 핵심성과 (CTE)                           | 핵심성과 설명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 성과 유형 | 연구 기관       | 해당 연차   | TRL |
|----|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------|---------|-----|
| 1  | 태양복사에너지 추정 기반 태양광패널의 설치 후보지 탐색 기술    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수치지도 기반 지형정보 및 도로경계 추출 기술 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 수치지도로부터 격자기반 공간데이터(고도, 경사, 방위, 음영) 추출</li> <li>▪ 시간별 태양 고도 및 방위 추정</li> <li>▪ 평면지형을 가정한 태양복사에너지 추정</li> <li>▪ 수치지도로부터 도로경계 및 버퍼 구역 추출</li> </ul> </li> <li>- 태양복사에너지 추정 기술 및 후보지 탐색 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 경사, 방위, 음영 정보를 고려한 고도화된 태양복사에너지 추정</li> <li>▪ 고에너지 격자의 라벨링 처리를 통한 군집화</li> <li>▪ 후보지 탐색 및 기술 검증</li> <li>▪ GIS 연동을 위한 좌표변환 및 폴리곤 생성 기술 적용</li> </ul> </li> </ul>                                              | 소프트웨어 | 한양대학교 산학협력단 | 1,2차 연차 | 4   |
| 2  | 다차원 공간데이터 복합평가 기반 태양광패널의 설치 적지 선별 기술 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 딥러닝 입출력층 설계 및 데이터 표현 기술 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GIS 데이터로부터 딥러닝 입출력변수 추출</li> <li>▪ 입력층 모델링을 위한 데이터 표현 기술</li> <li>▪ 입지요인의 복합평가를 통한 출력변수 선정 및 출력층 모델링</li> <li>▪ 딥러닝 신경망 구조 설계 및 매개변수 최적화</li> </ul> </li> <li>- 공간데이터 및 기상데이터 분석을 위한 딥러닝 신경망 설계 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 태양광 발전소 적지 선별을 위한 딥러닝 기반의 태양광발전량 추정 기법 개발</li> <li>▪ 하이퍼 파라미터 최적화를 통한 딥러닝 모델의 구조 개선 기법 연구</li> <li>▪ 시계열 데이터에 내재되어 있는 패턴 및 관계 학습</li> <li>▪ 기존 발전소 데이터를 활용해 기술 검증 및 알고리즘 최적화</li> </ul> </li> </ul> | 소프트웨어 | 한양대학교 산학협력단 | 1,2차 연차 | 4   |

○ 핵심 연구성과별 설명

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                       |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>핵심성과 1</b>          | 태양복사에너지 추정 기반 태양광패널의 설치 후보지 탐색 기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                       |
| <b>정의</b>              | 수치지도를 입력자료로 활용해 시간 변화에 따른 경사 지형의 태양복사에너지를 추정하는 기술로 태양광패널의 설치 후보지를 탐색하는데 활용                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                       |
| <b>목적</b>              | <p>지형적 특성을 반영하는 수치지도를 활용해 고속도로 주변 유휴국유지의 태양복사에너지를 정확히 추정함으로써 태양광패널의 설치 후보지를 탐색하는 것을 목적으로 함.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 추정된 이용가능 한 태양에너지를 기반으로 잠재적으로 태양광 발전량이 많을 것으로 예상되는 후보지를 추려내며, 이는 후보지를 찾는 인력 및 비용 절감뿐 아니라 태양광 발전의 적지를 선별하기 위한 기초 자료로 활용하기 위함.</li> <li>- 제안 기술은 고속도로 주변 유휴지의 경사 지역 및 음영 영역을 고려하여 원하는 주기(년, 월, 일 시)로 태양복사에너지 산출을 가능하게 함으로써 기술의 진보를 이룸.</li> </ul> |                       |
| <b>성능 목표 및 달성</b>      | <p>(기존기술 수준) 태양자원지도에 의존해 태양복사에너지를 개괄적으로 산출하며, 이는 대상 지역의 실제 설치 환경이 고려되지 않아 약 15%의 오차율을 보이는 수준임.</p> <p>(개발기술 수준) 기 설치된 태양광 발전소의 실거래량과 비교를 통한 간접적 평가의 결과로 1.592%의 nRMSE, 11.696%의 MAPE, 0.979의 R<sup>2</sup>를 달성함.</p>                                                                                                                                                                    |                       |
| <b>성과달성 책임자 (소속기관)</b> | 한상욱(한양대학교 산학협력단)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                       |
| <b>소요기간</b>            | ’ 18.04 ~ ’ 19.12 (1년9개월, 1, 2년차)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                       |
| <b>성과달성 확인방법</b>       | 기 설치된 태양광 발전소의 실거래량과 발전량에 영향을 미치는 변수들 간의 회귀분석을 통해 태양복사에너지 추정량의 정확도를 간접적으로 분석                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                       |
| <b>성과달성에 따른 정량적 성과</b> | 특허 출원/등록                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 출원 : 1건, 등록 : 0건      |
|                        | 논문                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | SCI(E) : 2건, 학술지 : 1건 |
|                        | 저작                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0건                    |
|                        | S/W                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1건                    |
|                        | 신기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0건                    |
|                        | 기타                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0건                    |

○ 핵심 연구성과별 설명

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                       |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 핵심성과 2          | 다차원 공간데이터 복합평가 기반 태양광패널의 설치 적지 선별 기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                       |
| 정의              | 다양한 기상변수들과 같은 다차원 공간데이터를 입력자료로 활용해 딥러닝 신경망을 설계하는 기술로 태양광패널의 입지요인을 복합평가함으로써 후보지의 우선순위를 예측하는 적지 선별에 활용                                                                                                                                                                                                                                                  |                       |
| 목적              | <p>다양한 입지요건을 반영하는 다차원 공간데이터를 활용해 고속도로 주변 유흥국유지를 복합평가하여 태양광패널의 설치 적지를 선별하는 것을 목적으로 함.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 태양광패널의 입지요인을 고려해 복합평가 기준으로 예측된 우선순위가 높은 적지를 선별하며, 이는 태양광 부지 선정의 효율성 극대화 및 적지 선별로 인한 태양광 발전 사업의 경제성을 증대시킬 것을 목적으로 함.</li> <li>- 제안 기술은 다양한 입지요인이 실제 사업성에 미치는 비선형적 관계를 다차원 공간데이터를 기반으로 모델링함으로써 학문적 진보를 이룸.</li> </ul> |                       |
| 성능 목표 및 달성      | <p>(기존기술 수준) 적지 선별은 주로 태양광패널의 발전효율성에 근거하고 있으며 약 10-25%의 오차율을 보이는 수준임.</p> <p>(개발기술 수준) 순환신경망 기반 태양광 발전량 추정 모델로 예측한 결과로 7.416%의 nRMSE, 10.805%의 MAPE, 0.724의 <math>R^2</math>를 달성함.</p>                                                                                                                                                                |                       |
| 성과달성 책임자 (소속기관) | 한상욱(한양대학교 산학협력단)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                       |
| 소요기간            | ’ 18.04 ~ ’ 19.12 (1년9개월, 1, 2년차)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                       |
| 성과달성 확인방법       | 기존 태양광 발전소의 데이터를 수집하여 학습된 딥러닝 모델의 실거래량 예측 정확도를 측정                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                       |
| 성과달성에 따른 정량적 성과 | 특허 출원/등록                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 출원 : 1건, 등록 : 0건      |
|                 | 논문                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | SCI(E) : 2건, 학술지 : 1건 |
|                 | 저작                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0건                    |
|                 | S/W                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2건                    |
|                 | 신기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0건                    |
|                 | 기타                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0건                    |

### 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 3-1. 목표

○ 연구 개발의 최종 목표

| 구분    | 내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 최종 목표 | 전국에 걸친 고속도로 주변의 성토부 및 램프구역을 대상으로 태양광패널의 설치 적지를 효율적으로 선정하기 위하여, 수치지도 기반의 태양복사에너지 추정 기술과 다양한 입지조건을 속성 레이어를 이용한 다차원 공간데이터 프로세싱 기술을 개발                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 세부 목표 | <p><b>태양복사에너지 추정 기반 태양광패널의 설치 후보지 탐색 기술:</b><br/>국토지리정보원에서 배포하는 수치지도를 입력자료로 활용해 다양한 지형 공간데이터(고도, 방위, 경사, 음영, 도로경계)를 생성, 태양복사에너지를 추정함으로써 (오차율 10% 이내) 고속도로 주변 유흥국유지를 대상으로 태양광패널의 설치 후보지를 탐색할 수 있는 자동화된 기술 개발을 목표로 함.</p> <p><b>다차원 공간데이터 복합평가 기반 태양광패널의 설치 적지 선별 기술:</b><br/>한국전력공사 전력거래소에 등록된 태양광 발전소에 대한 다양한 정보(발전소 용량, 전력거래량, 기상조건 등)를 공간데이터와 결합하여 복합평가 모델을 학습, 태양광패널 후보지의 우선순위 추정의 정확도를 90% 이상으로 예측하고, 적지를 선별할 수 있는 복합평가 기술 개발을 목표로 함.</p> |

○ 정량적 성과 목표

| 성과지표               | 성과 목표 | 최소 성과 목표 |
|--------------------|-------|----------|
| SCI(E)급 학술지 게재(2점) | 4건    | 3건       |
| 일반학술지게재(1점)        | 2건    | 2건       |
| 특허출원(1점)           | 2건    | 1건       |
| 소프트웨어(1점)          | 3건    |          |
| 소계(점수)             | 15점   | 9점       |

< 성과지표별 점수 >

| 성과지표                                          | 점수 |
|-----------------------------------------------|----|
| 국내 학술지, 국토교통분야 IF평균('16년 기준) 미만 SCI(E)급 학술지게재 | 1점 |
| 국토교통분야 IF평균('16년 기준) 이상 SCI(E)급 학술지* 게재       | 2점 |
| 특허출원                                          | 1점 |
| 특허등록                                          | 2점 |

## 3-2. 목표 달성여부

○ 총괄: 핵심성과별 성과점검기준표

| 구분        | 핵심성과<br>(CTE)                                                                          |                                     | 단위성과 |                                               | 당해단계 성과목표       |                                                                        |                         |      |                                                                | 해당<br>기관 | 예산<br>(백만원)            | 실적 목표/달성 |                                                               |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------|-----------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------|----------------------------------------------------------------|----------|------------------------|----------|---------------------------------------------------------------|
|           |                                                                                        |                                     |      |                                               | 질적목표<br>(측정 방법) | 목표<br>치                                                                | 달성<br>치                 | 검증방법 | 가중<br>치                                                        |          |                        |          |                                                               |
| 1<br>(주관) | 1                                                                                      | 태양광<br>패널의<br>설치<br>후보지<br>탐색<br>기술 | 1-1  | 수치지도<br>기반<br>지형정보<br>및<br>도로경계<br>추출         | ①               | 시험구역의<br>음영영역 산출<br>정확도 측정                                             | 90%<br>이상               | 95%  | 이론값<br>(기준방법)과<br>유사도 비교                                       | 6.5      | 한양대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 50       | 논문 :<br>SOE급 학술지 1/1 건                                        |
|           |                                                                                        |                                     |      |                                               | ②               | 시험구역의<br>지형 방위각<br>계산 정확도<br>측정                                        | 90%<br>이상               | 94%  | 이론값<br>(기준방법)과<br>유사도 비교                                       | 5        |                        |          |                                                               |
|           |                                                                                        |                                     |      |                                               | ③               | 시험구역의<br>지형 경사각<br>계산 정확도<br>측정                                        | 90%<br>이상               | 98%  | 이론값<br>(기준방법)과<br>유사도 비교                                       | 5        |                        |          |                                                               |
|           |                                                                                        |                                     | 1-2  | 태양복사<br>에너지<br>추정<br>기술 및<br>후보지<br>탐색        | ①               | 기 설치된<br>태양광발전소의<br>실거래량과<br>비교를 통한<br>태양복사에너지<br>추정 정확도를<br>간접적으로 측정  | 결 정<br>계 수<br>0.9<br>이상 | 0.98 | 추정량으로<br>예측하는<br>실거래량<br>회귀모델의<br>결정계수<br>(R <sup>2</sup> ) 측정 | 10       | 한양대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 88       | 논문 :<br>일반학술지 1/1 건<br>특허: 출원 1/1 건<br>SW: 1/1 건              |
| ②         | 다른 해상도의<br>수치지도로부터<br>산출된 대응<br>고에너지<br>후보지들 간의<br>평균거리가 120<br>m 이내로<br>일치하는 비율<br>측정 | 일 치<br>율<br>85%<br>이상               |      |                                               | 85%             | 시험구역<br>테스트를<br>통한 탐색<br>후보지 일치<br>정도 비교                               | 10                      |      |                                                                |          |                        |          |                                                               |
| 2<br>(공동) | 1                                                                                      | 태양광<br>패널의<br>설치<br>후보지<br>탐색<br>기술 | 1-3  | 태양복사<br>에너지<br>추정<br>이론모델<br>개발 및<br>기술<br>검증 | ①               | 태양복사에너지<br>추정의 정확도<br>측정                                               | 0.9<br>이상               | 0.94 | 추정량으로<br>예측하는<br>실거래량<br>회귀모델의<br>결정계수(R <sup>2</sup> )<br>측정  | 5.5      | 안동대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 16       | 논문 :<br>SOE급 학술지 10건<br><br>미발성 현황<br>SOE급 학술지 1건<br>(게재가 판정) |
|           |                                                                                        |                                     |      |                                               | ②               | 수치지도의<br>저해상도 처리<br>기술 개발을<br>위한 해상도별<br>태양복사에너지<br>추정값들 간의<br>상관계수 측정 | 상관<br>계수<br>0.8<br>이상   | 0.99 | 다른<br>해상도의<br>입력데이터<br>로부터<br>산출된<br>결과값을<br>비교                | 5        |                        | 22       |                                                               |
| 소계(핵심성과1) |                                                                                        |                                     |      |                                               |                 |                                                                        |                         |      |                                                                | 47       |                        | 176      | SOE급 학술지 2/1 건<br>일반학술지 1/1 건<br>특허: 출원 1/1 건<br>SW: 1 건      |

| 구분        | 핵심성과<br>(CTE) |                                    | 단위성과 |                                                                                | 당해단계 성과목표                                    |                       |                |                                                                  |         | 해당<br>기관               | 예산<br>(백만원)                                                                                        | 실적 목표/달성                                                                                       |
|-----------|---------------|------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------------------------------------------|---------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           |               |                                    |      |                                                                                | 질적 목표<br>(측정 방법)                             | 목표<br>치               | 달성<br>치        | 검증방법                                                             | 가중<br>치 |                        |                                                                                                    |                                                                                                |
| 1<br>(주관) | 2             | 태양광<br>패널의<br>설치<br>적지<br>선별<br>기술 | 2-1  | 딥러닝<br>입출력 총<br>설계 및<br>데이터<br>표현<br>기술<br>개발<br>(기설치<br>발전소)                  | ① 수치지도로부터<br>입출력<br>데이터의 추출<br>및 데이터형<br>모델링 | 알고<br>리즘<br>작동        | 알고<br>리즘<br>작동 | 수치지도<br>데이터를<br>활용한<br>딥러닝<br>알고리즘<br>가동성 검증                     | 15      | 한양대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 68                                                                                                 | 논문 :<br>SOE급 학술지 10건<br>특허 : 출원 1/1 건<br>SW : 1/1 건<br><br>마달성 현황<br>SOE급 학술지 1건<br>(투고 후 심사중) |
|           |               |                                    |      | 태양복사에너지<br>예측에 대한<br>기초 알고리즘<br>예측 정확도<br>측정                                   | ②                                            | 80%<br>이상             | 91%            | 이론값과<br>예측값을<br>비교                                               | 7.5     |                        |                                                                                                    |                                                                                                |
|           |               |                                    | 2-2  | 공간데이<br>터<br>분석을<br>위한<br>딥러닝<br>신경망<br>설계<br>(탐색<br>후보지)                      | ① 다차원 구조의<br>딥러닝 알고리즘<br>구현 및 고도화            | 알고<br>리즘<br>작동        | 알고<br>리즘<br>작동 | 수치지도,<br>기상지도 등<br>다차원<br>입력층을<br>처리하는<br>딥러닝<br>알고리즘의<br>가동성 검증 | 10      | 88                     | 논문 :<br>SOE급 학술지 1/1 건<br>일반학술지 1/0 건<br>SW : 1/1 건<br><br>마달성 현황<br>일반학술지 1건<br>(게재가 판정<br>3월 출판) |                                                                                                |
|           |               |                                    |      | 기설치된<br>태양광발전소의<br>거래량 예측<br>정확도 향상을<br>측정                                     | ②                                            | 정확<br>도<br>95%<br>이상  | 93%            | 수집된<br>기설치된<br>태양광발전<br>소 거래량<br>데이터와<br>비교                      | 10      |                        |                                                                                                    |                                                                                                |
| 2<br>(공동) | 2             | 태양광<br>패널의<br>설치<br>적지<br>선별<br>기술 | 2-3  | 탐색<br>후보지의<br>복합평가<br>요인<br>분석<br>모델                                           | ① 기설치된<br>태양광발전소의<br>거래량 예측<br>정확도 측정        | 90%<br>이상             | 91%            | 수집된<br>기설치된<br>태양광발전<br>소 거래량<br>데이터와<br>비교                      | 5.5     | 안동대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 16                                                                                                 |                                                                                                |
|           |               |                                    |      | 선별된 부지와<br>유사한 환경의<br>기존 발전소<br>데이터를<br>기반으로<br>예측모델과의<br>상관계수 측정을<br>통한 기술 검증 | ②                                            | 상관<br>계수<br>0.8<br>이상 | 0.73           | 시험구역의<br>위성사진<br>검토를 통한<br>부지 확인 및<br>유사<br>발전소와의<br>거래량 비교      | 5       |                        | 22                                                                                                 |                                                                                                |
| 소계(핵심성과2) |               |                                    |      |                                                                                |                                              |                       |                |                                                                  | 53      |                        | 194                                                                                                | SOE급 학술지 2/1건<br>일반학술지 1/0 건<br>특허 : 출원 1/1 건<br>SW : 2 건                                      |
| 계         |               |                                    |      |                                                                                |                                              |                       |                |                                                                  | 100     |                        | 370                                                                                                | SOE급 학술지 42건<br>일반학술지 2/1 건<br>특허 : 출원 2/2 건<br>SW : 3/3 건                                     |

○ 1차연도 성과점검기준표

| 구분        | 핵심성과<br>(CTE) |                                     | 단위성과 |                                                              | 당해단계 성과목표                                      |                |                |                                                     |         | 해당<br>기관               | 예산<br>(백만원) | 실적목표                                                                                                                               |
|-----------|---------------|-------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------------------------------------------|---------|------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           |               |                                     |      |                                                              | 질적 목표<br>(측정 방법)                               | 목표<br>치        | 달성<br>치        | 검증방법                                                | 가중<br>치 |                        |             |                                                                                                                                    |
| 1<br>(주관) | 1             | 태양광<br>패널의<br>설치<br>후보지<br>탐색<br>기술 | 1-1  | 수치지도<br>기반<br>지형정보<br>및<br>도로경계<br>추출                        | ① 시험구역의<br>음영영역<br>산출 정확도<br>측정                | 90%<br>이상      | 95%            | 이론값<br>(기준방법)과<br>유사도 비교                            | 13      | 한양대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 50          | 특허: 출원 <u>  </u> 건<br>등록 <u>  </u> 건<br>논문: SO(태)급 학술지 <u>  </u> 건<br>일반학술지 <u>  </u> 1 건<br>사제품: <u>  </u> 건<br>SW: <u>  </u> 건   |
|           |               |                                     |      |                                                              | ② 시험구역의<br>지형 방위각<br>계산 정확도<br>측정              | 90%<br>이상      | 94%            | 이론값<br>(기준방법)과<br>유사도 비교                            | 10      |                        |             |                                                                                                                                    |
|           |               |                                     |      |                                                              | ③ 시험구역의<br>지형 경사각<br>계산 정확도<br>측정              | 90%<br>이상      | 98%            | 이론값<br>(기준방법)과<br>유사도 비교                            | 10      |                        |             |                                                                                                                                    |
|           | 2             | 태양광<br>패널의<br>설치<br>적지<br>선별<br>기술  | 2-1  | 딥러닝<br>입출력층<br>설계 및<br>데이터<br>표현<br>기술<br>개발<br>(기설치<br>발전소) | ① 수치지도로부터<br>입출력<br>데이터의 추출<br>및 데이터형<br>모델링   | 알고<br>리즘<br>작동 | 알고<br>리즘<br>작동 | 수치지도<br>데이터를<br>활용한<br>딥러닝<br>알고리즘<br>기동성 검증        | 30      |                        | 68          | 특허: 출원 <u>  </u> 건<br>등록 <u>  </u> 건<br>논문: SO(태)급 학술지 <u>  </u> 1 건<br>일반학술지 <u>  </u> 1 건<br>사제품: <u>  </u> 건<br>SW: <u>  </u> 건 |
|           |               |                                     |      |                                                              | ② 태양복사에너지<br>예측에 대한<br>기초 알고리즘<br>예측 정확도<br>측정 | 80%<br>이상      | 91%            | 이론값과<br>예측값을<br>비교                                  | 15      |                        |             |                                                                                                                                    |
| 2<br>(공동) | 1             | 태양광<br>패널의<br>설치<br>후보지<br>탐색<br>기술 | 1-3  | 태양복사<br>에너지<br>추정<br>이론모델<br>개발 및<br>기술<br>검증                | ① 태양복사에너지<br>추정의 정확도<br>측정                     | 0.9<br>이상      | 0.94           | 추정량으로<br>예측하는<br>실거래량<br>회귀모델의<br>결정계수 ( $R^2$ ) 측정 | 11      | 안동대<br>학교<br>산학협<br>력단 | 16          | 특허: 출원 <u>  </u> 건<br>등록 <u>  </u> 건<br>논문: SO(태)급 학술지 <u>  </u> 건<br>일반학술지 <u>  </u> 건<br>사제품: <u>  </u> 건<br>SW: <u>  </u> 건     |
|           | 2             | 태양광<br>패널의<br>설치<br>적지<br>선별<br>기술  | 2-3  | 탐색<br>후보지의<br>복합평가<br>요인<br>분석<br>모델                         | ② 기설치된<br>태양광발전소의<br>거래량 예측<br>정확도 측정          | 90%<br>이상      | 91%            | 수집된<br>기설치된<br>태양광발전<br>소 거래량<br>데이터와<br>비교         | 11      |                        | 16          | 특허: 출원 <u>  </u> 건<br>등록 <u>  </u> 건<br>논문: SO(태)급 학술지 <u>  </u> 건<br>일반학술지 <u>  </u> 건<br>사제품: <u>  </u> 건<br>SW: <u>  </u> 건     |
| 계         |               |                                     |      |                                                              |                                                |                |                |                                                     | 100     |                        | 150         | 특허: 출원 <u>  </u> 건<br>등록 <u>  </u> 건<br>SO(태)급 학술지 <u>  </u> 1 건<br>일반학술지 <u>  </u> 2 건<br>SW: <u>  </u> 건                         |

- 위 표는 1차연도 종료 후 작성/재출된 성과점검기준표이며, 미달성 실적목표는 다음의 2차연도 성과점검기준표에 추가됨.

○ 2차연도 성과점검기준표

| 구분        | 핵심성과<br>(CTE) |                                     | 단위성과 |                                                           | 당해단계 성과목표       |                                                                                        |                       |                |                                                                  | 해당<br>기관 | 예산<br>(백만원)                    | 실적목표 |                                                                                                                                |
|-----------|---------------|-------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           |               |                                     |      |                                                           | 질적목표<br>(측정 방법) | 목표<br>치                                                                                | 달성<br>치               | 검증방법           | 가중<br>치                                                          |          |                                |      |                                                                                                                                |
| 1<br>(주관) | 1             | 태양광<br>패널의<br>설치<br>후보지<br>탐색<br>기술 | 1-2  | 태양복<br>사에너<br>지 추정<br>기술 및<br>후보지<br>탐색                   | ①               | 기 설치된<br>태양광발전소의<br>실거래량과<br>비교를 통한<br>태양복사에너지<br>추정 정확도를<br>간접적으로 측정                  | 결정<br>계수<br>0.9<br>이상 | 0.98           | 추정량으로<br>예측하는<br>실거래량<br>회귀모델의<br>결정계수( $R^2$ )<br>측정            | 20       | 한양<br>대학<br>교<br>산학<br>협력<br>단 | 88   | 특허: 출원 1 건<br>등록 1 건<br>논문: SOI급 학술지 1 건<br>일반학술지 1 건<br>사제품: 1 건<br>SW: 1 건<br><br>1차년도 실적목표<br>논문: SOI급 학술지 1 건<br>일반학술지 1 건 |
|           |               |                                     |      |                                                           | ②               | 다른 해상도의<br>수치지도로부터<br>산출된 대응<br>고에너지<br>후보지들 간의<br>평균거리가 120<br>m 이내로<br>일치하는 비율<br>측정 | 일치<br>율<br>85%<br>이상  | 85%            | 시험구역<br>테스트를 통한<br>탐색 후보지<br>일치 정도 비교                            | 20       |                                |      |                                                                                                                                |
|           | 2             | 태양광<br>패널의<br>설치<br>적지<br>선별<br>기술  | 2-2  | 공간데<br>이터<br>분석을<br>위한<br>딥러닝<br>신경망<br>설계<br>(탐색<br>후보지) | ①               | 다차원 구조의<br>딥러닝 알고리즘<br>구현 및 고도화                                                        | 알고<br>리즘<br>작동        | 알고<br>리즘<br>작동 | 수치지도,<br>기상지도 등<br>다차원<br>입력층을<br>처리하는<br>딥러닝<br>알고리즘의<br>가동성 검증 | 20       |                                | 88   | 특허: 출원 1 건<br>등록 1 건<br>논문: SOI급 학술지 1 건<br>일반학술지 1 건<br>사제품: 1 건<br>SW: 2 건<br><br>1차년도 실적목표<br>논문: SOI급 학술지 1 건<br>일반학술지 1 건 |
|           |               |                                     |      |                                                           | ②               | 기설치된<br>태양광발전소의<br>거래량 예측<br>정확도 향상을<br>측정                                             | 정확<br>도<br>95%<br>이상  | 93%            | 수집된<br>기설치된<br>태양광발전소<br>거래량<br>데이터와 비교                          | 20       |                                |      |                                                                                                                                |
| 2<br>(공동) | 1             | 태양광<br>패널의<br>설치<br>후보지<br>탐색<br>기술 | 1-3  | 태양복<br>사에너<br>지 추정<br>이론모<br>델 개발<br>및 기술<br>검증           | ①               | 수치지도의<br>저해상도 처리<br>기술 개발을 위한<br>해상도별<br>태양복사에너지<br>추정값들 간의<br>상관계수 측정                 | 상관<br>계수<br>0.8<br>이상 | 0.99           | 다른 해상도의<br>입력데이터로부<br>터 산출된<br>결과값을 비교                           | 10       | 안동<br>대학<br>교<br>산학<br>협력<br>단 | 22   | 특허: 출원 1 건<br>등록 1 건<br>논문: SOI급 학술지 1 건<br>일반학술지 1 건<br>사제품: 1 건<br>SW: 1 건                                                   |
|           | 2             | 태양광<br>패널의<br>설치<br>적지<br>선별<br>기술  | 2-3  | 탐색<br>후보지<br>의<br>복합평<br>가 요인<br>분석<br>모델                 | ②               | 선별된 부지와<br>유사한 환경의<br>기존 발전소<br>데이터를<br>기반으로<br>예측모델과의<br>상관계수 측정을<br>통한 기술 검증         | 상관<br>계수<br>0.8<br>이상 | 0.73           | 시험구역의<br>위성사진<br>검토를 통한<br>부지 확인 및<br>유사<br>발전소와의<br>거래량 비교      | 10       |                                | 22   | 특허: 출원 1 건<br>등록 1 건<br>논문: SOI급 학술지 1 건<br>일반학술지 1 건<br>사제품: 1 건<br>SW: 1 건                                                   |
| 계         |               |                                     |      |                                                           |                 |                                                                                        |                       |                |                                                                  | 100      |                                | 220  | 특허: 출원 2 건<br>등록 1 건<br>SOI급 학술지 4 건<br>일반학술지 2 건<br>SW: 3 건                                                                   |

## ○ 관련 분야 기여도

- 기술적 기여도: 전국에 걸친 고속도로 주변의 유휴 부지를 대상으로 태양복사에너지의 추정 및 태양광 발전소의 잠재적 발전량을 예측하는 연구를 통해 태양광패널의 설치 적지를 신속하고 효율적으로 선정하는 기술을 제시함. 구체적으로 (1) 수치지도를 입력 자료로 활용하여 다양한 지형 공간 데이터를 생성 및 추출하며, 이러한 GIS 데이터를 바탕으로 태양복사에너지 추정을 자동화하는데 기여하였고, (2) 태양복사에너지 추정 시 지도 형태의 데이터를 입력 데이터로 활용하여 음영 효과와 같은 주변 지형의 영향을 고려한 딥러닝 기법을 제안하였으며, (3) 기상 데이터 안에 내재되어 있는 시간적, 계절적 패턴을 학습하여 보다 정확하게 태양광 발전량을 추정하는 기술을 개발함.
- 학문적 기여도: 대부분 특정 지점의 고도, 방위, 경사 등의 지형변수를 1차원 벡터 형태로 사용하여 예측하던 기존 연구와 달리 본 연구는 GIS 기반의 연산 기법을 개발하여 주변 지형, 지물에 의한 음영 효과를 산정할 수 있으며, 이러한 지형에 대한 정보를 함축하고 있는 수치지도를 그대로 사용하여 지형과 태양복사에너지와의 관계를 데이터를 통해 증명하였음. 또한 시간, 분 단위의 짧은 시간 간격을 위주로 진행되었던 기존 태양광 발전 연구와 달리 본 연구에서는 월단위의 상대적으로 긴 시간 간격의 데이터에도 태양광 발전에 영향을 미치는 요인들 간의 패턴이 숨어 있는 것을 확인하였음. 이러한 성과를 통해 본 연구는 데이터 기반의 태양광 예측 분야에 학문적 기여를 한 것으로 사료됨.
- 공공적 기여도: 탈화석이라는 전세계적인 기조에 대응하여 우리나라에서도 태양광 발전의 보급 확대를 위한 정책적 지원과 투자가 활발히 이루어지고 있으나, 발전소 건설을 위한 부지 및 재원 마련과 함께 최근 삼림훼손과 같은 환경문제 역시 대두되고 있는 상황임. 본 과제에서 제안하는 기술은 고속도로 주변 유휴 국유지, 즉 성토부를 활용함으로써 부지 확보와 함께 산지 훼손을 줄일 수 있는 접근법이라 사료됨.
- 경제적 기여도: 제안 기술은 넓은 지역을 대상으로 태양광패널 설치의 적지를 탐색하는데 소요되는 예산을 획기적으로 감소시킬 수 있을 것으로 기대되며 잠재적으로 높은 발전량을 가진 부지를 선정하게 함으로써 태양광 발전 사업의 경제성을 증대시킬 수 있을 것으로 기대됨.

## ○ 기존 기술 대비 개발 기술의 차별성

- 태양복사에너지 추정과 관련된 국내 기술의 경우 태양광패널의 설치 지역을 선정하기 위해 주로 항공사진 및 현장조사, 또는 통계적 자료에 의존하는 경향이 관찰됨. 또한, 국내에서는 광범위한 지역을 대상으로 한 태양광 발전소의 부지 선정에 관한 자동화 연구는 실용화 수준에 근접하지 못하는 실정임. 본 연구는 전국단위의 격자 기반 태양복사에너지 지도를 활용하여 전국 고속도로망 유휴부지 대상으로 태양광패널의 설치 후보지를 자동으로 탐색하는 기술을 개발하였음.
- 또한, 기존 정부, 지자체 또는 민간에서 제공하고 있는 시스템(예, 서울특별시 햇빛지도, 해썬)의 경우, 전국 고속도로 주변부와 같이 광범위한 지역에 대해 정밀한 태양복사에너지를 추정하고 태양광 발전 부지를 자동으로 탐색하는 서비스를 제공하는 데는 한계가 있는 것으로 파악됨. 예를 들어, 서울특별시 햇빛지도의 경우 지역적인 지역(서울시 한정)

을 대상으로 주변 건물 간의 영향을 고려하며, 건물 지붕 및 옥상에 입사되는 태양에너지 잠재량을 산출하는데 초점을 맞추고 있어 주변 지형(경사, 방위, 음영)에 의해 발생하는 지형효과를 고려하는데 한계가 있으며, 태양에너지 추정을 ArcGIS Solar Radiation tool에서 제공하는 태양광에너지 산출 알고리즘에 의존하는 등 원천기술은 개발은 미흡한 것으로 판단됨. 또한, 민간업체(예, 해준의 햇빛비도)의 경우 실측 모니터링 자료를 활용하여 계통 연계형 태양광발전 발전량 예측을 위한 회귀분석 알고리즘 및 3차원 데이터를 기반으로 일사량 분석을 통해 발전소 적정 입지 지역을 탐색하는 기술을 개발하였으나, 일사량을 추정하는데 있어 국립 기상 연구소에서 제공하는 1 km의 낮은 해상도 데이터를 기반으로 작성된 일사량자원지도에 의존한 점, 일사량 추정 시 대규모 지역 적용에 제한이 있는 것으로 알려진 기존 ArcGIS에 탑재된 Solar Radiation tool에 의존하여 음영효과를 반영한 점, 선형 회귀 분석을 활용하여 음영, sky view factor 등 주변 지형의 복합적인 영향을 충분히 고려치 못한 점 등의 한계가 있는 것으로 판단됨. 본 연구는 DEM을 활용한 음영 추정 원천기술을 개발하여 ArcGIS의 Solar Radiation tool과 같이 sky view size에 제약을 받지 않는 장점이 있음. 이를 통해 보다 정밀한 고해상도(30×30 m, 5×5 m) 태양복사에너지 지도를 제작할 수 있으며, 또한 DEM을 입력값으로 하여 지형효과를 효과적으로 반영한 태양복사에너지 추정 기술을 개발함.

- 해외 기술의 경우 GIS 및 Google Earth 등으로부터 수집된 공간데이터를 바탕으로 계측 분석 과정과 같은 개인적 판단이 요구되는 의사결정 모델에 대한 연구가 주로 진행되었음. 또한 자원지도 생성과 관련된 연구가 주로 진행되고 있으나, 태양복사에너지에 영향을 미치는 음영 효과에 대한 연구는 미비한 상황임. 본 연구에서는 GIS 상에 고에너지가 밀집되어 있는 지역을 격자 단위에서 군집화하는 기술을 통해 자동으로 태양광패널의 설치 후보지를 탐색할 수 있으며, 경사, 방위 뿐 아니라 음영 효과를 GIS 데이터로부터 추정 및 추출하는 기술을 개발함으로써 대규모 부지를 보다 효율적으로 탐색할 수 있음.
- 태양광 발전량 추정과 관련된 국내 기술의 경우 공공시설 내 유휴지역을 대상으로 항공지도 및 현장조사에 의존하여 태양광패널 설치지역을 선정한 후 표준 기상 데이터와 같은 통계 자료를 토대로 발전량을 간접적으로 추정함. 본 연구는 딥러닝 기술을 사용하여 복합적인 요인이 고려된 전국단위 태양광 발전량 추정 모델을 개발하였으며, 이를 바탕으로 전국 고속도로망 유휴부지 대상 태양광 발전소의 적지를 자동으로 선별하는 기술을 개발하였음.
- 해외 기술의 경우도 국내 연구와 마찬가지로 발전량 추정에 있어 주변 지역의 통계적 데이터에 의존하는 경향이 있으며, 기설치된 태양광 발전량 데이터가 아닌 태양에너지를 통해 발전량을 간접적으로 추정하는데 초점을 맞추고 있음. 데이터 기반의 기존 기계학습 연구에서도 경사, 방위, 일조시간 등 관련 데이터를 1차원 벡터 형태로 학습하는 신경망 기법이 주를 이루었으나, 이러한 학습 기법은 태양에너지에 영향을 주는 공간적 패턴을 학습하는데 한계가 있음. 또한, 시계열 데이터로부터 시간적 패턴을 학습하는 순환신경망 연구의 경우에도 대부분 1개소 발전소의 데이터를 활용하여 짧은 주기의 발전량 추정에 국한되어 있으며, 이는 학습에 사용되지 않은 다른 지역의 발전량을 예측하는 데는 한계가 있는 것으로 판단됨. 본 연구에서는 딥러닝 기법을 기반으로 기설치된 태양광발전과

관련된 시간/공간데이터를 다차원으로 연산하여 태양광 발전량을 추정하고, 추정된 태양광 발전량을 바탕으로 전국 고속도로 유희부지 대상 적지를 선별하는 다차원 공간데이터 탐색 기술을 개발하였음.

#### ○ 기존 기술 대비 개발 기술의 우수성

- 기존 기술은 일사량 추정을 위해 음영 효과 분석 시 지엽적인 지형효과만 고려하는 것으로 알려진 가시각 분석(sky view 이미지)을 기반으로 하는 ArcGIS의 Solar Radiation tool에 의존하고 있음. 본 연구는 지형(경사, 방위, 음영 등)이 태양복사에너지에 미치는 영향을 태양에너지 추정모델에 반영하기 위해 수치지도로부터 격자기반 공간데이터(고도, 경사, 방위, 음영) 생성기술을 개발하고, 이를 바탕으로 지형공간데이터를 기반으로 시간 변화에 따른 태양복사에너지 추정 모델을 개발함. 특히, 국가(국토지리정보원)에서 무료로 배포하는 수치지도를 활용한 후보지 탐색 기술을 개발함으로써 태양복사에너지 추정에 필요한 기초자료 생성 및 편집에 드는 비용과 시간을 절감할 수 있음. 또한, 개발한 기술을 통해 제작된 격자 기반 전국 태양복사에너지 지도를 활용하여 지역에 상관없이 발전소 부지 탐색을 진행할 수 있고, 이를 바탕으로 잠재되어 있는 고에너지 밀집 지역을 대규모 지역에서 자동으로 찾아낼 수 있는 이점이 있음.
- 태양광 발전량 추정에 있어 기존 기술 및 프로그램은 기상청 혹은 국립 기상 연구소에서 제공하고 있는 저해상도(1 km)의 일사량 지도에 의존하여 태양광 발전량을 추정하고 있는 경향을 보임. 본 연구는 GIS 레이어와 같은 공간데이터도 X, Y좌표에 컬러값(R, G, B) 혹은 명암값(0-255)을 포함하는 이미지 데이터와 그 형태가 유사하다는 아이디어를 착안하여 기존 이미지 프로세싱 기반의 딥러닝 알고리즘을 공간데이터에 적용하였음. 지도 형태의 데이터를 입력층으로 받을 수 있는 이미지 프로세싱 기반의 딥러닝 기술을 사용하여 인접한 지역의 지형효과(예, 음영효과)와 같은 공간적 패턴까지 학습할 수 있는 태양복사에너지 추정 모델을 개발하였으며, 이를 바탕으로 개발된 다양한 입지요인 포함된 공간데이터 및 시계열 데이터를 기반으로 하는 딥러닝 알고리즘은 다차원 입력데이터의 처리 및 복잡한 레이어 설계에 적합한 것으로 판단됨. 또한, 기상 및 태양복사에너지 데이터 상에 내재되어 있는 시간적 패턴(예, 계절의 변화)을 학습함으로써 발전량 추정의 정확도를 향상시킬 수 있는 것으로 판단됨.

#### ○ 정량적 성과지표 달성도

| 성과지표명       |            | 1차연도 |    | 2차연도 |    | 합계 |    |
|-------------|------------|------|----|------|----|----|----|
|             |            | 목표   | 달성 | 목표   | 달성 | 목표 | 달성 |
| 특허          | 출원         | -    | -  | 2    | 2  | 2  | 2  |
|             | 등록         | -    | -  | -    | -  | -  | -  |
| 소프트웨어       |            | -    | -  | 3    | 3  | 3  | 3  |
| 국내외 학술지 게재  | SCI(E) 학술지 | 1    | 0  | 3    | 2  | 4  | 2  |
|             | 일반학술지      | 2    | 0  | 0    | 1  | 2  | 1  |
| 국내외 학술회의 발표 |            | -    | 1  | -    | 2  | -  | 3  |

### 3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

#### ○ 성과 목표 및 달성 현황

- 위 성과점검기준표에 제시한 것과 같이 대부분의 질적 성과지표에 대해 목표를 달성한 것으로 판단됨. 예를 들어, 수치지도 기반 지형정보 및 도로경계 추출(단위성과 1-1)의 경우 본 연구에서 제안한 원천기술인 공간데이터 기반 태양복사에너지 추정 기술 개발의 중간단계로써, 산출된 입력변수인 방위, 경사, 음영 값들을 기존 GIS tool로 생성한 값과 비교하여 검증은 진행하였음. 연산 기법이 상이함에 따라 목표치는 두 결과값들의 유사도 기준 90%로 설정하였으며, 본 연구에서 개발한 원천기술은 기존 기술과 94-98%의 유사도를 보임으로써 목표치를 달성한 것으로 판단됨. 태양복사에너지 추정 기술 및 후보지 탐색(단위성과 1-2)과 태양복사에너지 추정 이론 모델 개발 및 기술 검증(단위성과 1-3)의 경우 기술 개발과정에 있어 하드웨어 한계로 인해 전국단위 태양복사에너지 추정 및 적지 탐색 과정을 두 단계로 나눠 진행하였음. 첫 번째 단계에서는 전국 단위 태양복사에너지맵을 30 m 해상도로 제작하여 전체적인 고에너지 구역을 선별하여 추정값과 이론값의 유사정도를 나타내는 평가지표인 결정계수 기준 목표치 0.9를 상회하는 0.98에 달성했으며, 두 번째 단계에서는 앞서 선별된 지역을 보다 정밀하게 분석하기 위하여 5 m 해상도의 태양복사에너지맵으로 제작 및 적지 탐색을 진행하여 목표치 0.9 상관도를 뛰어 넘는 0.99를 달성함. 이와 같은 결과는 지형에 의해 발생하는 음영효과가 태양복사에너지에 미치는 정도를 본 연구에서 개발한 기술로 정밀하게 산출할 수 있었다는 판단의 근거가 됨. 또한, 딥러닝 입출력층 설계 및 데이터 표현 기술 개발(단위성과 2-1)은 인공신경망 기반 데이터(기상요소, 지형요소)간 1차원적 관계를 분석하는 기존 방식과 달리 지형효과가 태양복사에너지에 미치는 영향을 충분히 고려할 수 있는 공간데이터 기반 딥러닝 기법을 태양복사에너지 추정에 활용하는 새로운 방식임에 따라, 초기 목표치(정확도 80%)를 다른 단위성과보다 비교적 낮게 설정했으나, 본 연구에서 목표로 한 지형패턴 인식 기술 및 태양복사에너지 추정에 성공적으로 적용하여 정확도 91% 달성에 성공함. 그에 반해, 공간데이터 분석을 위한 딥러닝 신경망 설계(단위성과 2-2)에서 목표치인 정확도 95%에 조금 못 미치는 93%를 달성하였으며, 그로 인해 탐색 후보지의 복합평가 요인 분석 모델(단위성과 2-3)에서 목표치인 상관계수 0.8에 못 미치는 0.73을 달성함. 이러한 원인으로 기설정된 태양광 발전소의 발전량 데이터를 수집하는 과정에서 자료 수집의 어려움과 실발전량 데이터의 부재로 인해 잠재적으로 사용량이 반영된 거래량을 출력변수 값으로 사용한 것이라 추정됨. 위 문제점은 공공 데이터의 공개가 활발히 이루어지고 있는 현재 상황을 고려했을 때 딥러닝에 사용되는 데이터의 양을 늘림으로써 예측 정확도를 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 판단됨.

- 양적 성과지표의 경우 출판을 기준으로 했을 때 국내외 학술지 게재 중 SCI(E) 학술지 2편, 일반학술지 1편을 미달성하였음. 하지만, SCI(E) 학술지 2편과 일반학술지 1편은 아래와 같이 게재가 판정을 받은 상태로 2020년 기준 모두 출판될 것으로 예상됨.

- ① Kim, B., Han, S., Heo, J., and Jung, J. (2019). Proof-of-Concept of a Two-Stage Approach to the Selection of Suitable Slopes on a Highway Network for Solar

Photovoltaic Systems: Case Study of South Korea. Renewable Energy, Elsevier.  
<<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.021>> (In press)

- ② Heo, J., Jung, J., Kim, B., and Han, S. (2020). Digital Elevation Model-based Convolutional Neural Network Modeling for Searching of High Solar Energy Regions. Applied Energy, Elsevier, 262, 114588.
- ③ 허재, 박범수, 정윤화, 정재훈, 김병일, 한상욱 (2020). LSTM-RNN 기반 태양광 발전량 추정을 통한 고속도로 주변부 태양광발전 시설의 적지 선별 기술. 대한공간정보학회지. (게재가 판정: 3월 출판 예정).

#### ○ 연구의 한계점 및 후속연구의 필요성

- 고속도로 성토부를 대상으로 태양광 발전소의 실증 사업 및 연구 필요: 본 연구에서는 추정된 태양복사에너지의 검증을 기설치된 태양광 발전소 데이터를 활용하여 간접적으로 평가하였으나 직접 측정에 의한 검증이 여전히 필요한 것으로 사료됨. 또한, 실증 연구를 통해 태양복사에너지와 기상조건 외 다양한 고려사항에 대한 추가적인 조사를 진행할 수 있을 것으로 기대됨.
- 고해상도 수치지도 연산을 위한 인프라 구축: 본 연구 수행 중 고해상도 수치지도( $5 \times 5$  m)의 경우 전국단위의 연산에 어려움을 겪음에 따라 단계별 연산 기법의 개발 등을 통해 태양광패널의 적지 선별에 활용함. 대규모의 고해상도 지도를 연산할 수 있는 인프라 구축을 통해 예측 정확도 등을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 기대됨.
- 연구의 한계점으로 지형 경사도에 의한 음영 외에 수목 등 음영에 영향을 미치는 다양한 지장물에 대한 고려가 미흡한 것으로 판단됨. 본 연구에서는 지형 경사 및 태양 각도에 의해 발생하는 음영효과가 반영된 태양복사에너지 추정에 초점을 맞추고 있으나, 수목, 가로등과 같이 고속도로 주변부에 설치되어 있는 지장물 또한 음영을 발생시키므로 후속 연구를 통해 항공·위성 사진 또는 3차원 DSM(Digital Surface Model) 자료 등을 활용하여 다양한 지장물 효과를 태양복사에너지 추정 기술에 반영하면 기술 정확도 향상에 도움이 될 것으로 판단됨. 또한, 연구의 상용화, 실용화를 위한 기초 연구로 활용하기 위해서 현장 적용을 통한 사례 분석 및 경제성 분석이 추가적으로 필요한 것으로 판단되며, 관련 기관(예, 한국도로공사, 한국건설기술연구원) 및 연구기관과의 협업을 통한 기술적 검증 등의 후속 연구가 필요한 것으로 판단됨.

## 4. 연구개발성과의 활용 계획 등

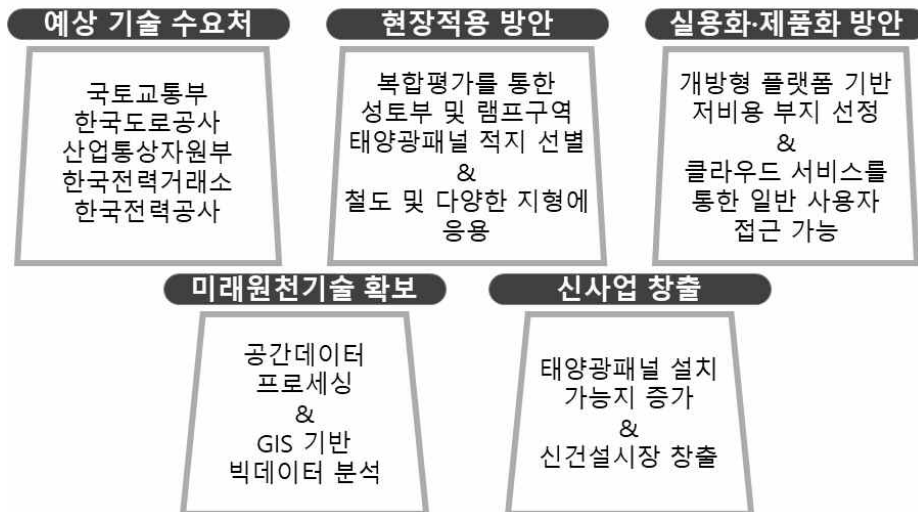


그림 4-1. 연구 최종결과물의 활용방안 요약도

### ○ 예상 기술 수요처

- 본 연구의 직접적인 결과물인 태양광패널 설치 후보지 탐색 및 적지 선별 기술은 고속도로와 관련된 정부 부처 및 에너지와 관련된 부처로 수요처를 나눌 수 있음. 고속도로 시설과 관련하여 국토교통부 및 한국도로공사(건설 및 운영)가 수요처로 기대되며, 전기 발전과 관련하여 산업통상자원부(신재생에너지 정책), 한국전력공사 및 한국전력거래소(판매) 등이 제안 기술의 주요 수요처가 될 것으로 예상됨.
- 또한 공간데이터 분석 기술은 새로운 원천기술로써 그 활용도가 높아 위 언급한 부처의 다양한 사업에 응용될 수 있으며, 국토지리정보원 등의 국가 지리 정보 시스템과 결합하여 빅데이터 분석에 활용될 가능성이 높을 것으로 기대됨.

### ○ 현장적용 방안

- 본 과제를 통하여 개발될 태양광패널 설치 후보지 탐색 및 적지 선별 기술을 고속도로 주변 유휴국유지에 적용하기 위하여 한국도로공사, 민자 고속도로 사업자 등 관련 업체와 협의를 할 예정이며, 해당 고속도로 구간의 고에너지 적지에 대한 선별 결과를 제공함으로써 연구 성과물을 활용할 계획임.
- 제안된 태양광패널 설치 후보지 탐색 및 적지 선별 기술은 고속도로 주변 유휴국유지뿐만 아니라 철도와 같은 타 선형 구조물에도 적용이 가능하고 타지역에도 응용 가능한 기술로써 민간 사업자의 태양광 발전부지 선정 시에도 활용될 수 있음.
- 다만 민간사업으로의 확장에 앞서 태양광패널의 빛반사 등 도로 운영에 영향을 줄 수 있는 요인들에 대한 추가적 검토가 선행되어야하며, 향후 연구를 통해 수치지도 탐색 시 태양광패널의 각도 등에 대한 검색조건을 추가함으로써 기술 확장을 요함.
- 또한 고속도로의 성토부 및 램프구역과 달리 지형적 변화가 심한 타 지역에 적용될 경우 수치지도 상 격자 군집화의 최적 크기를 결정함에 있어 추가 연구가 필요함.
- 또한 발전부지의 인근 송변전 설비에 대한 데이터 수집 및 전기 수요 예측 모델과의 결합 등 추가

- 연구로 확대될 시 태양광 발전량 및 예비력 운용 계획 등 안정적인 발전계획을 수립하는데 활용 가능성이 큰 것으로 기대됨.
- 태양광 발전소 입지 규제와 같은 각종 제도 개선과 관련된 추가 연구에도 활용될 수 있을 것으로 기대됨.

#### ○ 실용화·제품화 방안

- 본 과제에서 제안하는 기술은 국토지리정보원에서 무료 배포하는 수치지도와 같이 저비용으로 공간데이터를 탐색할 수 있는 개방형 플랫폼에 기반을 두고 있어서 다양한 형태로 확장 가능함.
- 본 과제에서 개발한 소프트웨어를 클라우드 기반의 서비스 제공을 하면 일반 수준의 컴퓨터를 보유한 민간 사업자도 태양광 발전소 부지 선정에 활용될 수 있음.

#### ○ 미래원천기술 확보

- 국내뿐만 아니라 세계적인 관심이 집중되고 있는 신재생에너지 사업과 관련해 공간데이터를 이용한 자원 지도의 생성 및 분석은 향후 그 활용도가 매우 높은 원천기술이라 할 수 있음.
- 최근 4차 산업혁명의 원동력 중 하나로 지목된 딥러닝 기술은 높은 성능으로 인해 이미지 및 시그널 분석 분야에 주로 시도되고 있음. 본 연구는 공간데이터와 같은 다른 형태의 다차원 데이터에 적용하는 기술을 시도하는 것으로써, 향후 공간데이터의 빅데이터 분석을 위한 원천기술을 확보하는 데 그 가치가 높을 것으로 예상됨.

#### ○ 신사업 창출

- 국내 고속도로 주변 유휴국유지의 증가(2015년 기준 고속도로 총연장 4,193.3km, 2016년 기준 4,437.57km, 5.5%증가)는 태양광패널 설치가 가능한 지역의 증가로 이어져, 침체되어 있는 태양광 발전 산업에 활력을 불어주고, 성토부 및 램프구역을 대상으로 태양광 발전소 건설이라는 새로운 건설수요가 창출될 것으로 예상됨.
- 태양광 발전의 수익성을 좀 더 정확하게 예측하고 불확실성을 최소화함으로써 민간 차원의 개발 사업 확대에 이어는 효과도 기대됨.

## 붙임. 참고문헌

- Burrough, P. A. and McDonell, R. A. (1998). Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, New York, p.190.
- Cho, N., Park, J., and Kim, M. (2010). The application of distributed synthetic environment data to a military simulation. Journal of the Korea Society for Simulation, 19(4):235-247.
- Jeong, J. and Kim Y. (2014). Structural Similarity Index for Image Assessment using Pixel Difference and Saturation Awareness, Journal of KIISE, 41(10): 847-858.
- Schwanghart W, Scherler D. (2013). TopoToolbox 2—an efficient and user-friendly tool for Earth surface sciences. Earth Surface Dynamics Discussions. 1:261-75.
- Zhou, W., A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli. (2004) Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. IEEE Transactions on Image Processing. 13(4):600-612.
- Gueymard CA, Thevenard D. (2009) Monthly average clear-sky broadband irradiance database for worldwide solar heat gain and building cooling load calculations. Solar Energy. 83:1998-2018.
- Haralick RM, Shapiro LG. (1992) Computer and robot vision: Addison-wesley.
- Dosselmann R. (2008) Assessment of the structural similarity index, Department of Computer Science, University of Regina, Canada.
- Channappayya AC, Bovik RW, and Heath Jr. (2008) Rate bounds on SSIM index of quantized images, IEEE Trans. Image Process. 17:1624-1639.
- Yogi GD. (2015) Principles of solar engineering: third edition: Taylor & Francis Group. P. 756
- LeCun, Y., Bengio, Y., and Hinton, G. (2015). Deep learning. Nature 521 (7553): 436.
- Lawrence, S., Giles, C. L., Tsoi, A. C., and Back, A. D. (1997). Face recognition: A convolutional neural-network approach. IEEE transactions on neural networks, 8(1), 98-113.
- Lai YJ, Chou MD, and Lin PH. (2010). Parameterization of topographic effect on surface solar radiation. JGeophys Res; 115:D01104. <https://doi.org/10.1029/2009JD012305>
- Chen SX, Gooi HB, and Wang MQ. (2013). Solar radiation forecast based on fuzzy logic and neural networks. Renew Energy; 60:195-201.
- Peter E. 2012. Locally weighted learning. Seminar Class on Autonomous Learning Systems.

## 뒷면지

### 주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.