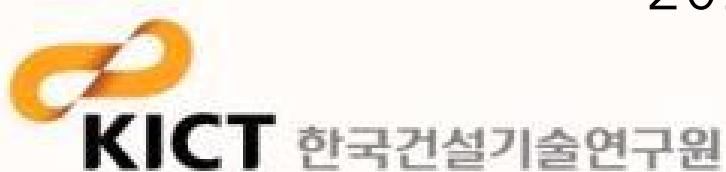


AI 영상인식 기반 내주변 3차원 미세먼지정보 구축 기술 개발

Development of 3D Fine Dust Estimating Technology
based on AI Image Analysis

2022. 12.



AI 영상인식 기반 내주변 3차원 미세먼지정보 구축 기술 개발

Development of 3D Fine Dust Estimating
Technology based on AI Image Analysis

2022.12.

한국건설기술연구원

연구책임자 / 정규수

연구수행자 / 임상훈, 나준엽, 윤준희, 성홍기, 최우철, 장윤미
정인택, 송재인

제 출 문

한국건설기술연구원장 귀하

본 보고서를 “AI 영상인식 기반 내주변 3차원 미세먼지정보 구축 기술 개발”의 3차년도 최종보고서로 제출합니다.

2022년 12월 31일

총괄연구책임자 :	연구위원	정규수
참여연구원 :	선임연구위원	임상훈
	연구위원	나준엽
	연구위원	윤준희
	수석연구원	정인택
	전임연구원	성홍기
	전임연구원	최우철
	전임연구원	장윤미
	박사후연구원	송재인

요약문

I. 연구 제목

AI 영상인식 기반 내주변 3차원 미세먼지정보 구축 기술 개발 (3차년도)

II. 연구개발의 목적

도로변 미세먼지 관측을 위하여 CCTV 등 영상/이미지 데이터를 기반으로 대기 이미지 속 성정보(HSV(Hue, Saturation, Value), 이미지 경계부 등)와 다양한 기상 환경조건(기상 상태, 시·공간 등)에 따른 대기 이미지 상관관계 분석 기술 및 미세먼지 추정 최적 모형을 개발하고, 이를 활용한 미세먼지 3차원 공간정보 기술 개발을 목적으로 한다.

III. 연구개발의 필요성

도로변 미세먼지는 국민 건강을 위협하는 심각한 도시환경 문제로 대두되고 있으며, 현재 제공되고 있는 미세먼지 정보는 고정형 관측장비를 통한 관측 값으로 정확한 국부적 미세먼지 정보제공에 한계가 있다. 따라서 국부적인 도로변 미세먼지 관측을 위해 추가 장비 설치 없이 도입이 가능한 미세먼지 관측 기술의 개발이 시급하며 이를 위하여 미세먼지 환경 모니터링 기술, 미세먼지 AI 분석 기술, 3차원 미세먼지 정보 제공 기술의 개발이 필요하다.

IV. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 크게 1) 도로변 미세먼지 환경 모니터링 기술 개발, 2) AI 영상인식 기반 도로변 미세먼지 분석 기술 개발, 3) 도로변 미세먼지 3차원 공간정보 통합시스템 구축 기술 개발로 구분된다. 3차년도의 경우 도로변 미세먼지 환경 모니터링 기술 개발을 위해 미세먼지 환경 모니터링 시스템 운용 및 고도별 미세먼지 분포, 변화 분석을 수행하였다. AI 영상인식 기반 도로변 미세먼지 분석 기술 개발을 위해 영상분석 최적 데이터셋 구축, 모형 최적화 및 신뢰도 검증, 결측구간 보간 적용 및 방법론을 고도화하였다. 도로변 미세먼지 3차원 공간정보 시스템 구축 기술 개발을 위해 3차원 미세먼지 표출 및 시각화 모듈 개발, 공간정보 통합 시스템 구축 및 성능 검증 작업을 수행하였다.

Executive Summary

I. Title

Development of 3D Fine Dust Estimating Technology based on AI Image Analysis

II. Objectives

To observe fine dust along the road, this study develops the atmospheric image correlation analysis technology according to Atmospheric image attribute information(HSV, Edge, etc.) and various weather environmental conditions(weather conditions, time and space, etc.) and Optimal model for fine dust estimation based on video/image data such as CCTV. Using this, we intend to develop a web platform that can provide 3D spatial information of fine dust.

III. Necessities

Fine dust along the road is emerging as a serious urban environment problem that threatens public health. The currently provided fine dust information is an observation value through a fixed observation device, and there is a limitation in providing accurate local fine dust information. Therefore, it is urgent to develop a fine dust observation technology that can be introduced without installing additional equipment for local roadside fine dust observation. To this end, it is necessary to develop fine dust environmental monitoring technology, fine dust AI analysis technology, and 3D fine dust information provision technology.

IV. Contents and Scopes

This research consists of 1) development of fine dust environmental monitoring system, 2) development of AI image analysis-based fine dust estimating technology development, and 3) development of fine dust 3D spatial information integration system. In the third year, the operation of the fine dust environment monitoring system and the distribution and change analysis of fine dust by altitude were performed to develop roadside fine dust environment monitoring

technology. To develop AI image recognition-based roadside fine dust analysis technology, image analysis optimal dataset construction, model optimization and reliability verification, missing section interpolation application, and methodology were advanced. To develop roadside fine dust 3D spatial information system construction technology, 3D fine dust expression and visualization module development, spatial information integration system establishment, and performance verification were performed.

목 차

제1장 연구개발 과제개요	1
1. 개념 및 정의	1
2. 추진배경 및 필요성	2
제2장 연구개발과제의 수행과정 및 수행내용	4
1. 연구개발 수행과정	4
1.1 연구개발 추진 로드맵	4
1.2 추진체계	5
2. 수행내용	6
2.1 최종 연구개발 목표	6
2.2 연구 WBS 및 세부 수행내용	7
제3장 연구개발과제의 수행결과 및 목표달성을 정도	10
WBS 1 : 도로변 미세먼지 환경 모니터링 기술 개발	10
1. 미세먼지 환경 모니터링 시스템 운용	10
1.1 성과지표 및 목표치	10
1.2 수행결과 및 달성내용	11
2. 고도별 미세먼지 분포 및 변화 분석	17
2.1 성과지표 및 목표치	17
2.2 수행결과 및 달성내용	18
WBS 2 : AI 영상인식 기반 도로변 미세먼지 분석 기술 개발	23
3. 수집데이터의 영상분석 최적 데이터셋 구축	23
3.1 성과지표 및 목표치	23
3.2 수행결과 및 달성내용	24
4. 미세먼지 영상분석 모형 최적화 및 신뢰도 검증	29
4.1 성과지표 및 목표치	29
4.2 수행결과 및 달성내용	30

5. 결측구간 보간 적용 및 방법론 고도화	45
5.1 성과지표 및 목표치	45
5.2 수행결과 및 달성내용	46
 WBS 3 : 도로변 미세먼지 3차원 공간정보 시스템 구축 기술 개발	50
6. 3차원 미세먼지 표출 및 시각화 모듈 개발	50
6.1 성과지표 및 목표치	50
6.2 수행결과 및 달성내용	51
7. 공간정보 통합 시스템 구축 및 성능 검증	68
7.1 성과지표 및 목표치	68
7.2 수행결과 및 달성내용	69
8. 정량적 연구개발 성과	97
 제4장 연구개발 성과의 관리 및 활용계획	101
1. 성과활용방안	101
2. 기대효과	103
2.1 과학기술적 기대효과	103
2.2 경제적 기대효과	103
2.3 사회적 기대효과	104
 참고문헌	105

표 목 차

〈표 3-1〉 성과지표 및 목표치	10
〈표 3-2〉 안양시 TB ROI 대상	13
〈표 3-3〉 성과지표 및 목표치	17
〈표 3-4〉 드론을 이용한 고도별 미세먼지 관측 방법	18
〈표 3-5〉 성과지표 및 목표치	23
〈표 3-6〉 고양시 주엽동 국가측정소 미세먼지농도 월별/등급별 현황	26
〈표 3-7〉 미세먼지 등급별 데이터 현실화 학습 데이터셋	26
〈표 3-8〉 선별 표준 데이터셋	28
〈표 3-9〉 성과지표 및 목표치	29
〈표 3-10〉 AI 모델 성능 비교	31
〈표 3-11〉 ROI별 성능 비교	35
〈표 3-12〉 미세먼지 등급별 데이터 현실화 데이터셋 분석결과	37
〈표 3-13〉 이상치 제거 알고리즘 적용 분석 결과	39
〈표 3-14〉 미세먼지 추정 분석결과	40
〈표 3-15〉 검증용 추정모형 분석결과	44
〈표 3-16〉 성과지표 및 목표치	45
〈표 3-17〉 도로변 미세먼지 3차원 공간정보 시스템 구축 기술 개발 성과지표 및 목표치	50
〈표 3-18〉 데이터 종류별 가시화방안	52
〈표 3-19〉 원천데이터 내역	58
〈표 3-20〉 원천데이터 좌표계	59
〈표 3-21〉 데이터 단순화 비율	65
〈표 3-22〉 통합시스템(수집/저장/분석) HW 및 SW 구축에 대한 성과지표 및 목표치	68
〈표 3-23〉 이동형 미세먼지 센서 테이블	71
〈표 3-24〉 이동형 기상환경 센서 테이블	71
〈표 3-25〉 미세먼지 공공정보 테이블	72
〈표 3-26〉 기상 공공정보 테이블	72
〈표 3-27〉 AI 분석예측 결과 테이블	73
〈표 3-28〉 소프트웨어 구성 내역	75
〈표 3-29〉 웹 접근성 진단 현황	79
〈표 3-30〉 웹 시스템 기능 목록	82
〈표 3-31〉 데이터 수집 성능테스트 결과	93
〈표 3-32〉 데이터 전처리 성능테스트 결과	93
〈표 3-33〉 영상분석 성능테스트 결과	94
〈표 3-34〉 지자체 실용화 계획 수립	95

그림목차

〈그림 1-1〉 연구 개념도	1
〈그림 1-2〉 연구 배경	2
〈그림 1-3〉 연구 필요성	3
〈그림 2-1〉 전체 연구 추진 로드맵	4
〈그림 2-2〉 연구 추진체계	5
〈그림 2-3〉 최종 연구개발 목표 개념도	6
〈그림 3-1〉 안양시 주요 교차로 CCTV 화면(안양시 제공)	11
〈그림 3-2〉 안양여고사거리 CCTV 화면(안양시 제공)	13
〈그림 3-3〉 미세먼지 관측시스템 장비 설치	14
〈그림 3-4〉 미세먼지 관측시스템 웹플랫폼 모니터링(고양, 안양)	15
〈그림 3-5〉 미세먼지 관측시스템 데이터 수집현황(고양)	15
〈그림 3-6〉 미세먼지 관측시스템 데이터 수집현황(안양)	16
〈그림 3-7〉 이상치 제거를 위한 고도별 미세먼지 반복 관측 예시	19
〈그림 3-8〉 지상 관측 (빨강), 전체 드론 관측 (파랑), 상승 및 하강시 드론 관측 (주황, 초록) 미세먼지의 분포	20
〈그림 3-9〉 요일/시간에 따른 고도별 미세먼지 관측 데이터	20
〈그림 3-10〉 기상인자와 고도별 미세먼지 분포간의 상관관계 분석	21
〈그림 3-11〉 10m 관측값에 대한 상대적 연직 가중치	22
〈그림 3-12〉 ROI 후보군 공간 선정 상관관계 분석	24
〈그림 3-13〉 추가 ROI 후보	25
〈그림 3-14〉 지자체 검증용 ROI(빨간색)	27
〈그림 3-15〉 ROI별 미세먼지 데이터 수집	27
〈그림 3-16〉 데이터셋 구축 화면	28
〈그림 3-17〉 분석 프레임워크	32
〈그림 3-18〉 ResNet 분류모델	33
〈그림 3-19〉 EfficientNet 모델	34
〈그림 3-20〉 관심 영역(ROI) 재선정	36
〈그림 3-21〉 월별 PM2.5 등급 비율	36
〈그림 3-22〉 이미지 이상치 보정 방법	38
〈그림 3-23〉 영상분석 결과 산포도(좌 : 딥러닝, 우 : 딥러닝+머신러닝)	40
〈그림 3-24〉 KOLAS 시험검증 결과서	41
〈그림 3-25〉 ResNet 전이학습 모델 구조	42
〈그림 3-26〉 추가 ROI 선정	43

〈그림 3-27〉 modified-IDW를 이용한 3차원 미세먼지 보간의 흐름도	46
〈그림 3-28〉 보간법 검증에 사용된 관측지점 및 관측값 비교(PM10, PM2.5)	47
〈그림 3-29〉 오차 레벨에 따른 보간법별 RMSE 및 MAPE(좌: PM10, 우: PM2.5)	47
〈그림 3-30〉 3차원 보간을 위한 연직분포 모델	48
〈그림 3-31〉 3차원 보간을 통한 미세먼지 지도(10x10x10m)	49
〈그림 3-32〉 고양시 정사영상 기반 3D 모델링(좌) 및 안양시 브이월드 기반 3D 모델링(우)	51
〈그림 3-33〉 CZML 데이터 구조	53
〈그림 3-34〉 CZML 예시	53
〈그림 3-35〉 시간별 CZML 그래픽 객체 - (좌) 오전 6시, (우) 오후 6시	54
〈그림 3-36〉 입체격자를 통한 미세먼지 시각화	55
〈그림 3-37〉 미세먼지 데이터 일부	56
〈그림 3-38〉 미세먼지 관측소 및 입체격자를 통한 미세먼지 데이터 시각화	56
〈그림 3-39〉 시간의 흐름에 따른 미세먼지 수치 시각화 (오전 6시, 오후 12시, 오후 6시)	57
〈그림 3-40〉 3D 모델링(고양, 안양)	57
〈그림 3-41〉 고양시 정사영상, DSM, 텍스처	59
〈그림 3-42〉 DEM 자료	60
〈그림 3-43〉 지형 공간경계 및 저장 경로 계산 방법	60
〈그림 3-44〉 수평폐색지점이 필요한 이유	61
〈그림 3-45〉 안양시 3차원 지형 적용	61
〈그림 3-46〉 3DTiles(B3DM), glTF 레이아웃	62
〈그림 3-47〉 Octree기반 격자체계 적용 방법	62
〈그림 3-48〉 3차원 시각화 서비스 데이터 저장구조	63
〈그림 3-49〉 ECEF 좌표계 계산식	63
〈그림 3-50〉 중첩된 변형 매트릭스와 버텍스 좌표	64
〈그림 3-51〉 3차원 서비스 데이터 생성 절차	64
〈그림 3-52〉 안양시 3차원 공간 구축 결과	65
〈그림 3-53〉 고양시 3차원 공간 구축 결과	66
〈그림 3-54〉 고양시 3차원 데이터 시각화 전/후	67
〈그림 3-55〉 안양시 3차원 데이터 시각화 전/후	67
〈그림 3-56〉 DEM 3차원 데이터 시각화 전/후	67
〈그림 3-57〉 미세먼지 영상 분석 모듈 구성	69
〈그림 3-58〉 미세먼지 통합 관리 저장소	71
〈그림 3-59〉 3차원 미세먼지 공간정보 통합시스템 구성도	73
〈그림 3-60〉 3차원 미세먼지 공간정보 통합시스템 - 웹 시스템 구성도	74
〈그림 3-61〉 3차원 미세먼지 공간정보 통합시스템 소프트웨어 구성도	74
〈그림 3-62〉 UI/UX를 반영한 화면설계	75
〈그림 3-63〉 화면설계서를 반영한 디자인 시안 - 메인화면	77

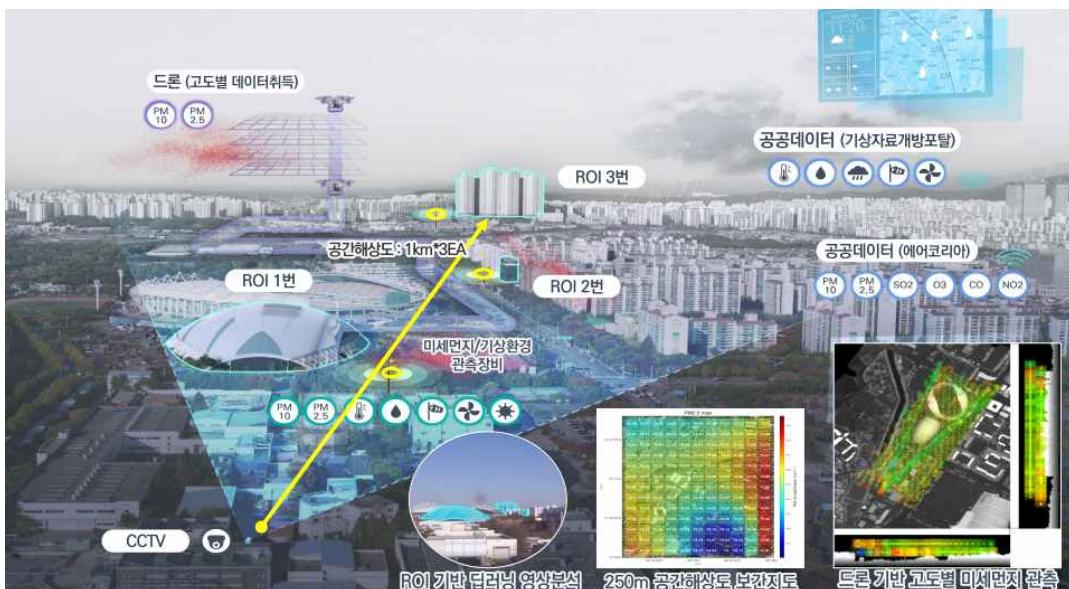
〈그림 3-64〉 디자인 시안을 반영한 퍼블리싱 화면 - 로그인	77
〈그림 3-65〉 디자인 시안을 반영한 퍼블리싱 화면 - 사용자 관리 상세 조회	77
〈그림 3-66〉 디자인 시안을 반영한 퍼블리싱 화면 - 수집/관측	78
〈그림 3-67〉 디자인 시안을 반영한 퍼블리싱 화면 - 예측/보간	78
〈그림 3-68〉 웹 접근성 요약 보고서 - 로그인, 메인	79
〈그림 3-69〉 웹 접근성 요약 보고서 - 사용자 관리, 사용자 관리 상세 조회,	80
〈그림 3-70〉 웹 접근성 요약 보고서 - 사용자 그룹 관리 상세 조회, 사용자 그룹 등록,	81
〈그림 3-71〉 3차원 미세먼지 공간정보 통합시스템 기능 구조도	82
〈그림 3-72〉 로그인 및 메인화면	83
〈그림 3-73〉 시스템 관리 진입 방법	84
〈그림 3-74〉 사용자 관리 기능 화면	84
〈그림 3-75〉 사용자 등록 기능 화면	85
〈그림 3-76〉 사용자 상세정보 조회 기능 화면	85
〈그림 3-77〉 사용자 그룹 관리 기능 화면	86
〈그림 3-78〉 사용자 그룹 등록 기능 화면	86
〈그림 3-79〉 사용자 그룹 상세정보 조회 기능 화면	87
〈그림 3-80〉 마이페이지 기능 화면	87
〈그림 3-81〉 사업 대상지 지도 이동 버튼	88
〈그림 3-82〉 사업 대상지 지도 이동 화면 (좌-고양시, 우-안양시)	88
〈그림 3-83〉 배경지도 전환버튼 기능 위치	89
〈그림 3-84〉 배경지도 전환 기능 실행시 화면 (좌-위성지도, 우-일반지도)	89
〈그림 3-85〉 면적, 거리, 고도 측정 기능 화면	90
〈그림 3-86〉 이미지 저장 기능 수행 화면 및 저장된 이미지 파일	90
〈그림 3-87〉 아이콘 및 3차원 입체격자 시각화 화면	91
〈그림 3-88〉 듀얼맵을 통한 시각화 화면	91
〈그림 3-89〉 공공 미세먼지 수집 데이터(좌) 및 연구용 미세먼지 관측 데이터(우) 시각화 화면	92
〈그림 3-90〉 딥러닝 영상분석을 통한 미세먼지 예측 값(좌) 및 결측구간 보간 값(우) 시각화 화면	92
〈그림 3-91〉 데이터 수집 성능테스트	93
〈그림 3-92〉 데이터 전처리 성능테스트	94
〈그림 3-93〉 영상분석 성능테스트	94
〈그림 3-94〉 안양시 협력체계 공문	96

제1장

연구개발 과제개요

1. 개념 및 정의

현재 우리가 제공 받고 있는 미세먼지 정보는 간헐적으로 설치된 관측소에서 측정되고 있는 지점 관측 값으로서, 공간적으로 대부분의 정보가 누락되어 있다고 할 수 있다. 본 연구는 전국 도로변에 설치되어 있는 CCTV 영상데이터를 기반으로 빈틈없는 내 주변 미세먼지의 입체 관측이 가능한 기술을 개발하고자 한다. 이를 위해, 대기 이미지 속성정보와 기상 환경정보를 이용한 인공지능 기반 대기 이미지 상관관계 분석 기술, 미세먼지 추정 최적 모형 및 3차원 공간정보 구성 기술을 개발하고자 하며 연구개발 개념은 아래 그림과 같다.



<그림 1-1> 연구 개념도

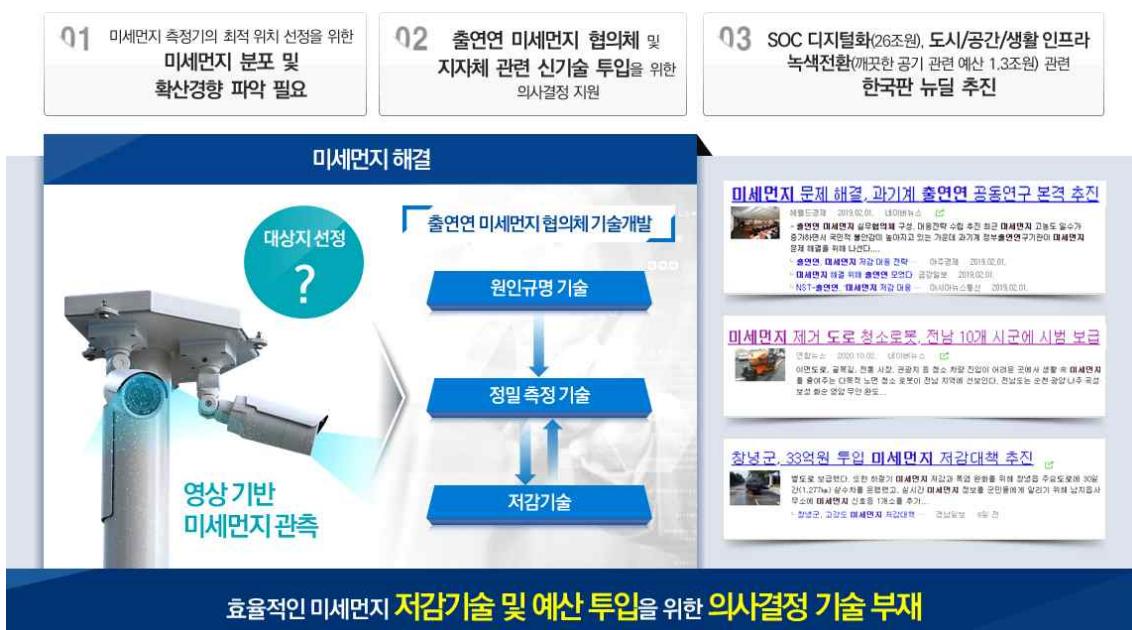
2. 추진배경 및 필요성

도로변 미세먼지는 국민 건강을 위협하는 심각한 도시환경 문제로 대두되고 있으며, 현재 제공되고 있는 미세먼지 정보는 고정형 관측 장비를 통한 지점 관측 값으로 공간 연속적 미세먼지 정보제공에 한계가 있다. 현재 제공 중인 미세먼지 정보는 이용자의 현재 위치로부터 가장 가까운 고정형 측정 장비의 관측정보를 그대로 제공하거나 이용자의 현재 위치에 해당하는 지역 단위의 거시적인 미세먼지 정보만을 제공하고 있다. 도로변 미세먼지 측정지점은 전국에 48개 지점으로 관측범위가 극히 제한적이다. 지역 단위의 거시적인 미세먼지 정보 제공은 이용자의 현재 위치에 맞지 않는 왜곡된 정보 전달의 빌미를 제공할 수 있다. 또한 같은 생활권 지역이라도 도로변, 공사장, 유동인구가 많은 곳, 주택가, 공원, 지면형태, 표고/경사도 등의 주변 환경 및 고도차에 따라 미세먼지 편차가 매우 큰 것으로 나타났다. 그러나 일반 시민들이 얻을 수 있는 미세먼지 정보는 지역단위 측정정보일 뿐 고도별 및 국부적 미세먼지 데이터 취득에는 한계가 있다. 이에 공간 연속적 도로변 미세먼지 관측을 위해 추가 장비 설치 없이 도입이 가능한 미세먼지 관측 기술의 개발이 시급한 상황이다.



<그림 1-2> 연구 배경

정부는 국무총리 소속의 미세먼지특별대책위원회를 설립하여 미세먼지 관련 주요정책, 계획 및 이행 관련 사항을 심의하고 있으며, 기술 개발을 위한 출연연 미세먼지 협의체가 운영되고 있다. 미세먼지 문제 해결을 위해 원인규명 기술, 정밀 측정 기술과 저감 기술 개발에 중점 연구개발을 추진 중에 있으나, 그 기반이 되는 효율적인 미세먼지 저감 기술 및 예산 투입을 위한 의사결정 기술이 부재한 상황이다. 이에 미세먼지 정밀 측정 최적 위치 선정 의사결정을 위한 미세먼지 분포 및 확산경향 파악 기술이 필요하며, 출연연 미세먼지 협의체 및 지자체 관련 신기술 투입을 위한 의사결정 지원이 필요하다. 또한 SOC 디지털화, 도시·공간·생활 인프라 녹색전환 등 한국판 뉴딜 추진을 도모하기 위한 미세먼지 환경 모니터링 기술, 미세먼지 AI 분석 기술, 3차원 미세먼지 정보 제공 기술의 개발이 필요하다.



<그림 1-3> 연구 필요성

본 기술은 한국건설기술연구원 핵심역할 “1. 안전·안심 국토교통기술로 국가·사회 문제 해결” R&R과 전략목표(대과제) “주요역할 2. 지속가능한 국민 생활환경 확보”와 “성과목표(중과제) 국민생활 유해환경 문제 해결 솔루션 제공”에 부합하며, 이는 곧 정부의 120대 국정 과제의 “88. 미세먼지 걱정없는 푸른하늘”과도 일치하는 방향성을 가진다. 본 연구개발 추진을 통해 미세먼지 저감 기술과 더불어 미세먼지 관측 기술에 대한 선도·대표기관 이미지 확보를 통해 국내외적으로 다양한 기술개발 및 활용이 가능할 것으로 기대된다.

제2장

연구개발과제의 수행과정 및 수행내용

1. 연구개발 수행과정

1.1 연구개발 추진 로드맵

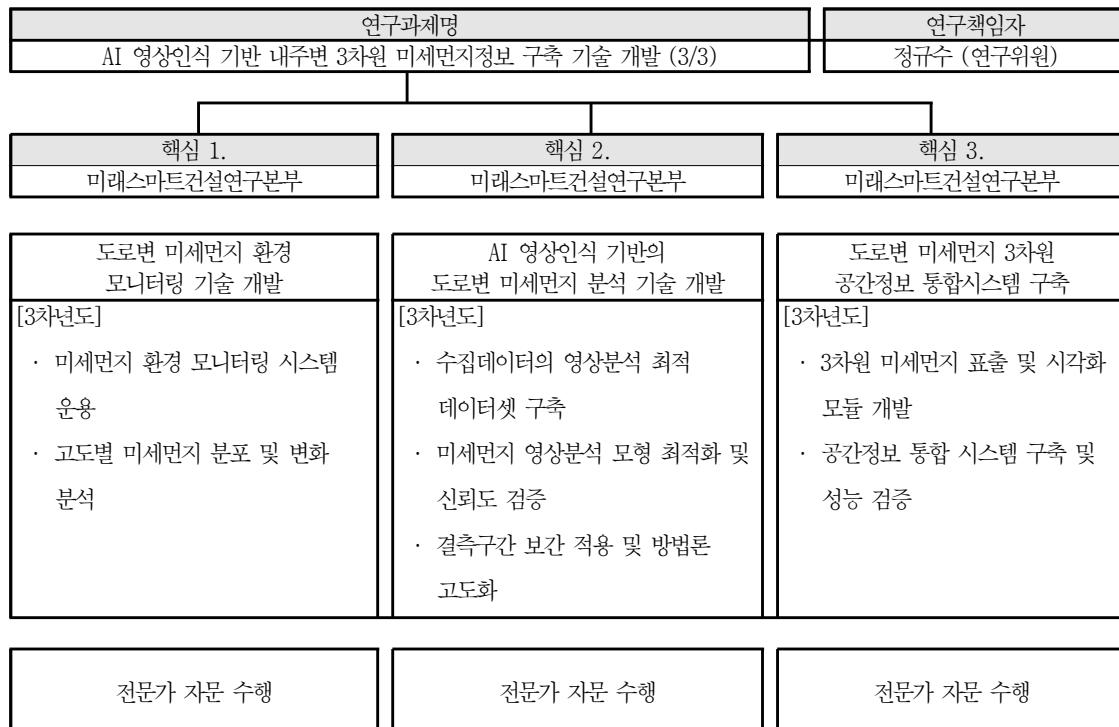
전체 연구의 추진 로드맵은 아래 그림과 같다. 해당연도는 총 3차년도 연구 중 마지막 3차년으로 1~2차년도에 구축된 도로변 미세먼지 환경 모니터링 시스템으로부터 수집된 기상·환경·미세먼지 관측데이터를 이용한 영상분석과 미세먼지정보 표출 및 3차원 시작화, 이를 기반으로 한 3차원 미세먼지정보 통합시스템 개발이 주된 연구내용이다.



<그림 2-1> 전체 연구 추진 로드맵

1.2 추진체계

연구수행 효율성을 극대화하기 위하여 센서·관측 분야, 도로 분야, 공간정보 분야 등 연구 원내 전문가로 연구진을 구성하였으며, 각 핵심 분야별 전문가 자문을 통해 연구 완성도를 향상시키고자 하였다.

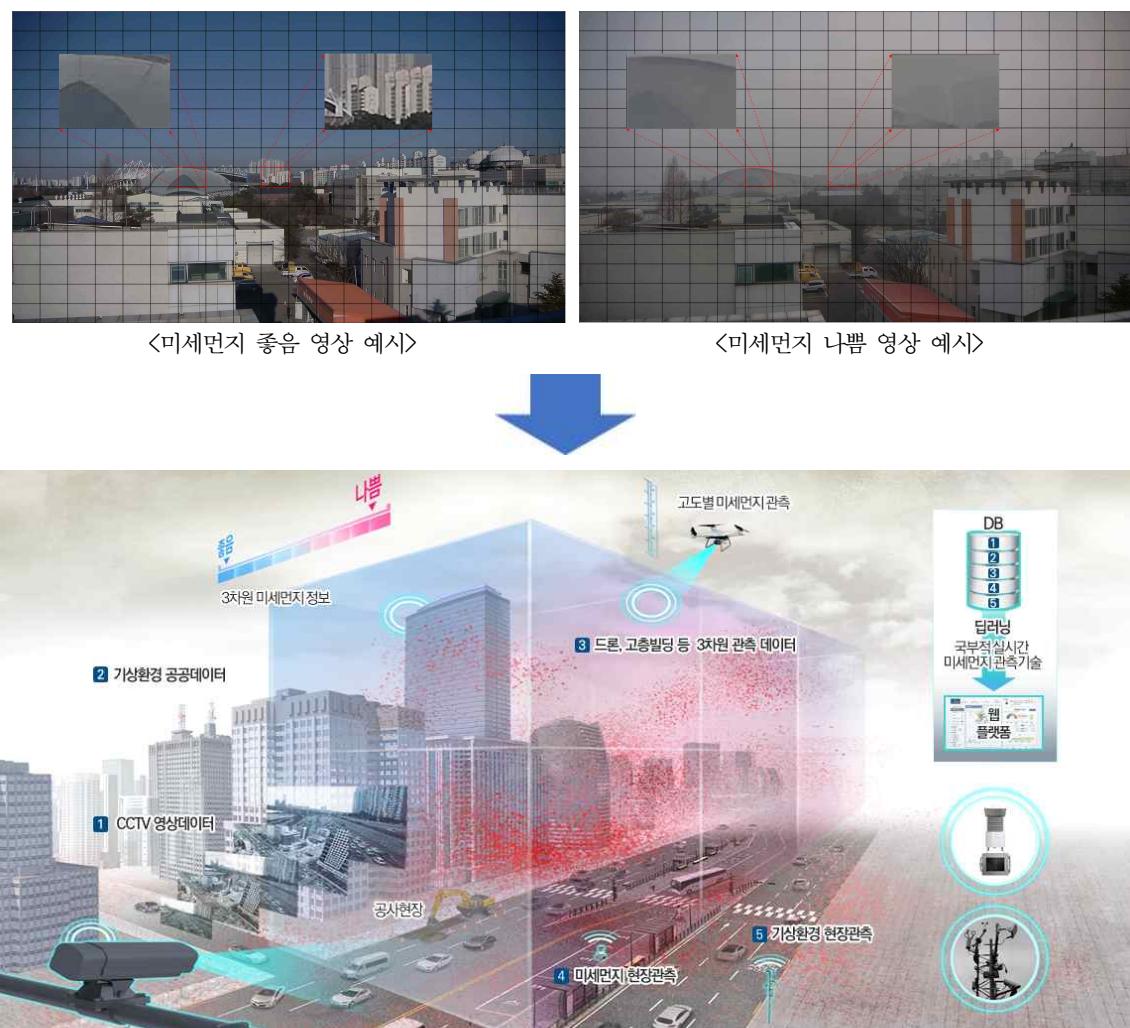


<그림 2-2> 연구 추진체계

2. 수행내용

2.1 최종 연구개발 목표

도로변 미세먼지 관측을 위하여 영상 데이터 기반 3차원 미세먼지 공간정보 분석/제공 기술 개발을 최종 목표로 하며, 추가 장비 설치 없는 공공 빅데이터 연계 분석, 미세먼지 4등급 관측정보, 3차원 고해상도 미세먼지 공간정보 구축을 통해 생활 밀착형 미세먼지 정보를 제공하고자 한다.



<그림 2-3> 최종 연구개발 목표 개념도

2.2 연구 WBS 및 세부 수행내용

당해연도는 전체연도 중 마지막인 3차년도로서 미세먼지 영상분석 모형 최적화 및 신뢰도 검증, 3차원 미세먼지 표출 및 시각화, 공간정보 통합 시스템 구축 및 성능 검증 연구를 종점적으로 추진하였다. 영상분석을 통한 미세먼지농도 추정값을 기반으로 본 과제의 최종 성과물인 3차원 미세먼지정보 통합시스템을 개발하였다.

성과지표 (가중치)	목표치	측정방법 및 산식	달성 도(%)	달성내용 및 미달성 사유
WBS. 1 도로변 미세먼지 환경 모니터링 기술 개발 [249백만 원]				
성과목표 1-1. CCTV, 공공데이터 등 기구축 인프라 활용/연계 방안 마련				
기구축 CCTV 시설 등 활용방안 마련	10개 이상의 CCTV 영상DB 활용이 가능한 1개 이상 지자체 협약	CCTV 영상DB 활용 및 취득 협약 공문	100%	협약 공문 1건
성과목표 1-2. 기상 환경 공공데이터 (미세먼지, 온습도, 풍속, 구름양 등) 수집 및 저장 시스템 설계				
미세먼지 관측 시스템 구축	3건 이상 구축(실험대상지 공간해상도 1km*3EA) 30일 이상 관측운영(1분 관측주기)	구축 설비	100%	미세먼지 관측장비 3대(HW) 관측운영일지 및 데이터테이블(보고서)
성과목표 1-3. 도로 정보수집 인프라(CCTV 등)의 영상/이미지 데이터 수집 및 저장 시스템 설계				
미세먼지 환경 관측을 위한 CCTV 및 NVR 서버 구축	1분단위 영상 데이터 촬영 및 수집	CCTV 영상데이터 수집주기	100%	CCTV 데이터테이블 (보고서)
성과목표 1-4. 미세먼지 실측값 관측을 위한 적정 대상지 분석				
미세먼지 최적 관측 대상지 선정	관측 대상지 적합성 분석 (전문가 자문 10회 이상 수행)	대상지 선정을 위한 중요도분석 및 전문가 자문 수행 여부	100%	적정 대상지 분석서(보고서)
성과목표 1-5. 미세먼지 영향 기상 및 환경정보(풍속, 풍향 등) 수집장비 구축				
기상환경 상시 모니터링 관측시스템 구축	3건 이상 구축 (실험대상지 공간해상도 1km*3EA) 30일 이상 관측운영(1분 관측주기)	구축 현장 사진 관측데이터	100%	기상환경 모니터링 장비 3대 (HW) 관측운영일지 및 데이터테이블(보고서)
성과목표 1-6. 고도별 미세먼지 정보 수집용 드론 장비 구축 및 운용 시스템 개발				
고도별 미세먼지 관측시스템 구축	관측해상도 평균 50m 이하 관측	관측데이터 공간해상도 간격	100%	관측데이터 테이블(보고서)
성과목표 1-7. 미세먼지 환경 모니터링 시스템 운용				
기상환경 상시 모니터링 관측시스템 운용	100일 이상 관측 운영 (1분관측주기)	관측데이터 관측주기	100%	관측운영일지 및 데이터테이블 (보고서)
성과목표 1-8. 고도별 미세먼지 분포 및 변화 분석				
고도별 미세먼지 분포 분석	공간해상도 평균 50m 이하 미세먼지 분포 분석	분석데이터 공간해상도	100%	고도별 미세먼지 분석 보고서

WBS. 2 AI 영상인식 기반 도로변 미세먼지 분석 기술 개발 [315백만 원]

성과목표 2-1. AI 영상분석의 최적 환경 및 딥러닝 모형 선정

영상분석을 위한 최적 딥러닝 모형 선정	선정 딥러닝 모형 적합성 분석 (외부 전문가 자문 3회 이상 수행)	딥러닝 모형 분석/선정 및 전문가 자문 수행 여부(3회 이상)	100%	딥러닝 분석서(보고서)
-----------------------	--	------------------------------------	------	--------------

성과목표 2-2. 이미지분석을 통한 전처리 알고리즘 개발

영상DB의 이미지DB로 변환 모듈 개발	거리별 ROI 이미지 데이터의 변환 정확도 95%	거리별 ROI 이미지 데이터의 변환 테스트(95% 이상)	100%	이미지 분석 전처리(이미지DB 변환) 테스트 결과서(보고서)
-----------------------	-----------------------------	---------------------------------	------	-----------------------------------

성과목표 2-3. 수집 영상/이미지 데이터와 기상데이터의 Data set 구축

미세먼지 영상분석용 데이터 셋 물량	선별 데이터 셋 5만 개 이상	구축된 데이터 셋 수량 측정	100%	데이터셋 테이블(보고서)
---------------------	------------------	-----------------	------	---------------

성과목표 2-4. 영상/이미지 데이터와 기상데이터 전처리 및 딥러닝 분석

미세먼지 추정 영상분석 정확도	미세먼지 등급 추정 정확도 70% 이상	기상청 및 한국환경공단 관측치와의 비교 분석	100%	미세먼지 영상분석 모델(SW) 미세먼지 추정 결과서(보고서)
------------------	-----------------------	--------------------------	------	--------------------------------------

성과목표 2-5. 미세먼지 관련 공공데이터 및 Open API를 적용한 보간

미세먼지 결측지점에 대한 보간	1km 이하 해상도 보간	미세먼지 결측지점에 대한 보간 여부	100%	미세먼지 공간정보 보간 결과서(보고서)
------------------	---------------	---------------------	------	-----------------------

성과목표 2-6. 수집데이터의 영상분석 최적 데이터셋 구축

미세먼지 영상분석용 데이터 셋 물량	선별 데이터 셋 10만 개 이상	구축된 데이터 셋 수량 측정	100%	데이터셋 테이블(보고서)
---------------------	-------------------	-----------------	------	---------------

성과목표 2-7. 미세먼지 영상분석 모형 최적화 및 신뢰도 검증

미세먼지 추정 영상분석 정확도	미세먼지 등급 추정 정확도 80% 이상	기상청 및 한국환경공단 관측치와의 비교 분석	100%	미세먼지 추정 결과서(보고서)
------------------	-----------------------	--------------------------	------	------------------

성과목표 2-8. 결측구간 보간 적용 및 방법론 고도화

미세먼지 결측지점에 대한 보간	1km 이하 해상도의 3차원 공간보간	3차원 미세먼지 결측지점에 대한 보간 여부	100%	미세먼지 공간정보 보간 결과서(보고서)
------------------	----------------------	-------------------------	------	-----------------------

WBS. 3 도로변 미세먼지 3차원 공간정보 시스템 구축 기술 개발 [330백만 원]

성과목표 3-1. 공간정보 시스템 아키텍처 설계

3차원 공간정보 시스템 아키텍처 설계	3차원 미세먼지 공간정보의 시각화 방법론 등 아키텍처 설계	3차원 공간정보 플랫폼 아키텍처 설계 여부	100%	아키텍처 기본설계서(보고서)
----------------------	----------------------------------	-------------------------	------	-----------------

성과목표 3-2. 통합시스템(수집/저장/분석) H/W 및 S/W 구축

관측데이터 수집/저장 정확도, 영상분석 및 데이터 처리성능	관측 데이터의 시스템 수집/저장 정확도 95% 이상, 영상 딥러닝 처리/분석 성능 : 분당 500건 이상	데이터 테이블 기준 저장간격 및 데이터 셋 수량 측정	100%	통합시스템 HW 1대 데이터 수집/저장/분석 SW 1식
----------------------------------	--	-------------------------------	------	-----------------------------------

성과목표 3-3. 정보 수집장치와 공간정보 시스템의 정보 수신 모듈 개발

관측데이터 수집/저장 자동화 환경 구축	미세먼지/기상환경 관측 데이터의 자동 수신 모듈 구축	관측 데이터 자동 수신 모듈 구축 여부	100%	관측데이터 수신 모듈 1식 (SW)
-----------------------	-------------------------------	-----------------------	------	---------------------

성과목표 3-4. 3차원 미세먼지 표출 및 시각화 모듈 개발

3차원 공간정보 시각화 모듈 개발	3차원 미세먼지 공간정보의 시각화 모듈 개발	3차원 미세먼지 공간정보 시각화 모듈 개발 여부	100%	3차원 미세먼지 공간정보 시각화 모듈(SW)
--------------------	--------------------------	----------------------------	------	--------------------------

성과목표 3-5. 공간정보 통합 시스템 구축 및 성능 검증

웹플랫폼 구축 및 데이터 처리 성능 검증	웹플랫폼 구축 및 데이터 처리 성능 : 분당 1,000건 이상	웹플랫폼 구축 여부 및 분당 데이터 처리 건 수 측정	100%	공간정보 통합 시스템 웹플랫폼(SW)
달성도 계 (%)			100%	$\Sigma (\text{지표가중치} \times \text{달성도})$

※ 붉은 바탕색 성과목표가 3차년도 연구내용임

제3장

연구개발과제의 수행결과 및 목표달성 정도

WBS 1 : 도로변 미세먼지 환경 모니터링 기술 개발

1. 미세먼지 환경 모니터링 시스템 운용

1.1 성과지표 및 목표치

미세먼지 환경 모니터링 시스템 운용에 대한 성과지표 및 목표치는 아래 표와 같다.

<표 3-1> 성과지표 및 목표치

구분	내용
성과지표	- 기상환경 상시 모니터링 관측시스템 운용
목표치	- 100일 이상 관측 운영(1분관측주기)
목표치 설정 근거	- 기상청 관측주기(1분) 반영
측정방법 및 산식	- 관측데이터 관측주기
가중치	- 5.6%

1.2 수행결과 및 달성내용

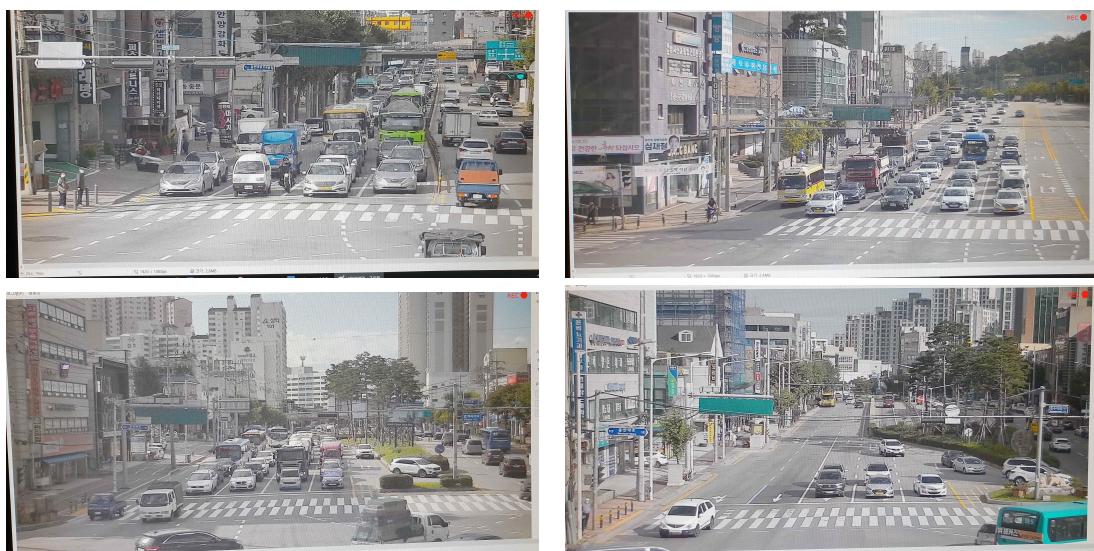
1.2.1 주요 수행연구 결과

- 목표. 기상환경 상시 모니터링 관측시스템 운용(100% 달성)
- 수행연구 :
 - 영상분석 개발기술 검증용 안양시 미세먼지 관측시스템 구축을 위한 적정 대상지 분석
 - 미세먼지 영상분석 개발기술의 검증을 위한 안양시 미세먼지 관측시스템 구축
 - 일산 및 안양시 구축 미세먼지 관측시스템 상시 운영 및 데이터 처리(수집 및 저장) 수행

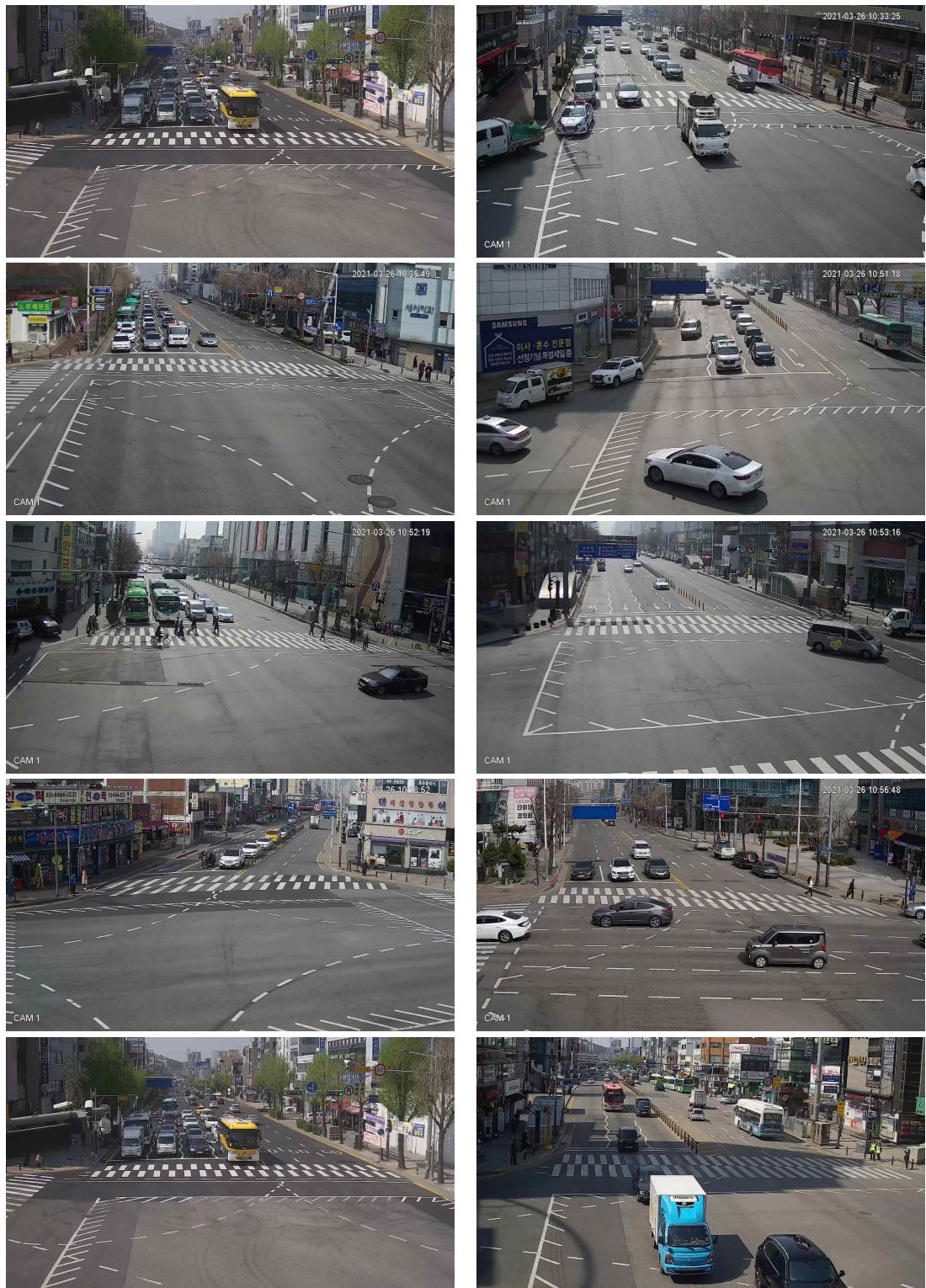
1.2.2 수행연구 세부내용

(1) 안양시 미세먼지 관측시스템 구축을 위한 적정 대상지 분석

안양시 기구축 CCTV 인프라 중 영상분석 개발기술 검증용으로 ‘인덕원교차로’의 CCTV를 활용하고자 하였으나, 해당 CCTV 화면의 최강거리 ROI가 700m 내외인 관계로 원거리 ROI 설정이 가능한 다른 CCTV 영상을 안양시청 협조로 추가 모색하였다. ITS CCTV 특성 상 방범용 CCTV에 비해 원거리 ROI 대상 지정이 가능하나, CCTV 및 방향마다의 화각이 상이하였다. 안양시 제공 CCTV 중 원거리 ROI 설정을 위한 주요 CCTV 후보군은 아래 그림과 같다1).



1) 도로 바닥면을 향하고 있는 CCTV도 있으나, ROI 설정 면적이 크지 않기 때문에 해당 CCTV 역시 원거리 ROI 지정이 가능하다.



<그림 3-1> 안양시 주요 교차로 CCTV 화면(안양시 제공)

원거리 ROI 설정 가능성과 연구목적용 미세먼지 관측기를 설치하기 위한 주변 버스정류장 위치 등을 고려하여 안양시 테스트베드 CCTV 대상을 ‘안양여고사거리(북향)’로 최종 설정하였다. 안양여고사거리 CCTV 영상에서 분석용으로 적합한 ROI는 안양대성학원건물, 만안초등학교, 영화아이닉스아파트, 석수현대아파트로 4개이며, 이들의 CCTV로부터 거리는 300m~1.7km로 조사되었다. 이 중 CCTV로부터 거리가 500m 근거리인 만안초등학교와 1.7km 원거리인 석수현대아파트를 검증용 ROI로 최종 설정하였다.



<그림 3-2> 안양여고사거리 CCTV 화면(안양시 제공)

<표 3-2> 안양시 TB ROI 대상

구분	위치	거리	거리분류	최종 ROI
ROI 1	안양대성학원	300m	근거리	X
ROI 2	만안초등학교	500m	근거리	○
ROI 3	영화아이닉스아파트	1km	근거리	X
ROI 4	석수현대아파트	1.7km	원거리	○

(2) 미세먼지 영상분석 개발기술의 검증을 위한 안양시 미세먼지 관측시스템 구축

안양시는 본 과제에서 사용하고 있는 미세먼지 간이측정기와 동일한 제품(에어룰러 AM100, (주)엠에이티)으로 40개소의 주요 버스정류장 미세먼지 모니터링 시스템이 구축되어 있다. 해당 제품은 미세먼지, 온·습도 등 대기환경 관측 데이터를 모니터링하는 웹 시스템 공유가 가능하다. 다만, 안양시의 경우 자가망 내에서만 운영 가능하므로 외부 웹 접속이 불가하다. 향후 후속사업을 고려했을 때 연구목적 장비 역시 안양시 자가망으로 연계하여 지자체 서비스에 함께 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

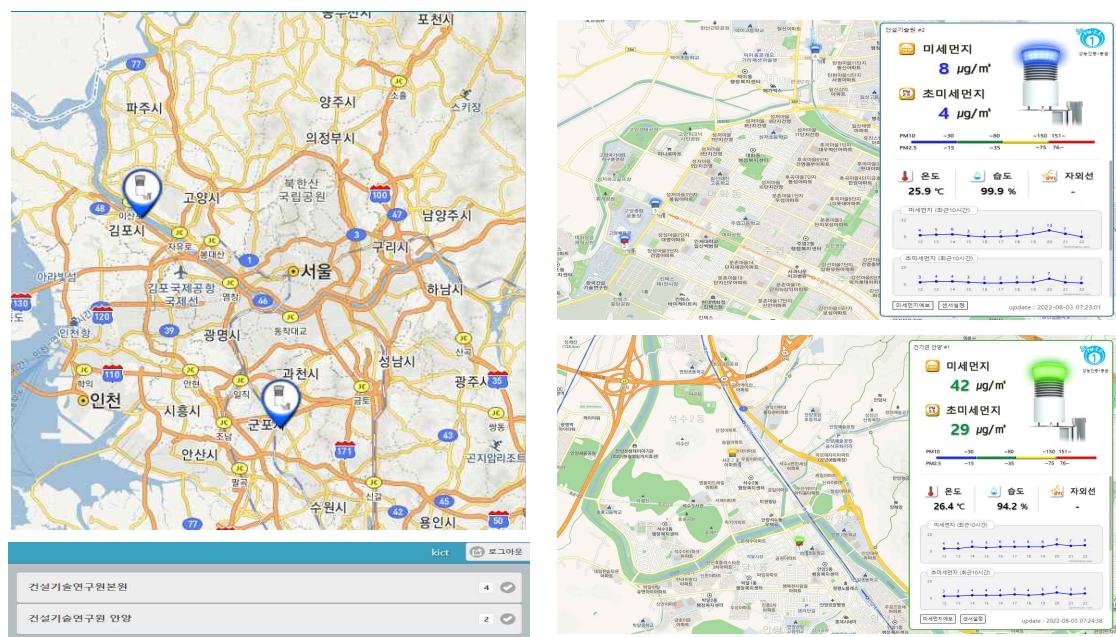
앞서 선정한 안양여고사거리 CCTV의 ROI 주변 버스정류장을 대상으로 현장조사를 수행하였다. 미세먼지농도 관측에 영향을 미치는 주유소, 공사장, 흡연구역 등은 위치하지 않았다. 이에 해당 지점에서의 상시 관측이 가능하도록 관측장비 전기 인입 가능여부를 안양시 청 협조하에 타진하였고, 안양시 TB 대상 미세먼지 관측시스템을 구축하였다. 측정된 미세먼지 관측데이터를 실시간으로 수집·저장이 가능하고, 수집주기 5분 이내 단위의 데이터로 결측없이 수집되도록 하였다. 미세먼지 관측시스템을 통하여 수집하는 데이터는 PM10 및 PM2.5 미세먼지농도 측정값, 온·습도 측정값, 자외선 지수, 측정 경위도 위치값을 포함한다. 관측 데이터는 통신망으로 자동 송수신하여 연속적인 데이터 수집이 가능하도록 하였으며, 관측한 미세먼지 및 기상환경정보 등 센싱데이터는 웹플랫폼 모니터링, excel 등의 파일형태 등으로 수집 가능하다.



<그림 3-3> 미세먼지 관측시스템 장비 설치

(3) 고양시 및 안양시 구축 미세먼지 관측시스템 상시 운영 및 데이터 처리 수행

일산에 구축한 4대의 장비 기반 고양시 미세먼지 관측시스템은 '22년 7월 기준 113일을 관측하여 성과지표 목표치 대비 113%의 성과를 달성하였고 지속적인 상시 관측 운영 중에 있다. 안양시 미세먼지 관측시스템은 '22년 7월 14일 구축하여, 구축 완료시점부터 상시 관측 운영 중이다. 관측장비를 통하여 측정된 미세먼지 및 기상환경 데이터는 에어룰러 웹 시스템을 통해 전용 서버에 자동 송수신되어 수집·저장되고 있다.



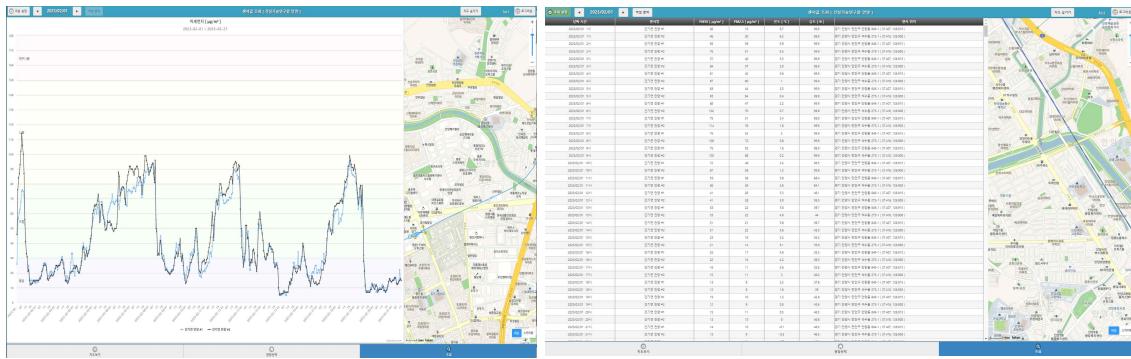
<그림 3-4> 미세먼지 관측시스템 웹플랫폼 모니터링(고양, 안양)

일산에 구축된 미세먼지 관측시스템은 '22년 11월까지 267일(목표대비 267% 수행) 관측 완료하였으며, 지속적으로 상시 관측 중에 있다. 관측된 미세먼지 데이터는 5분, 시간별, 일별, 월별 단위의 데이터로 수집하였으며, 데이터 형식은 표와 그래프로 표출된다.



<그림 3-5> 미세먼지 관측시스템 데이터 수집현황(고양)

안양시의 미세먼지 관측시스템은 7월 14일로 구축 완료됨에 따라 구축 완료시점부터 상시 관측 운영 중에 있다. 안양시에 구축된 미세먼지 관측시스템은 '22년 11월까지 113일(목표 대비 113% 수행) 관측되었다. 안양시 역시 관측된 미세먼지 데이터는 5분, 시간별, 일별, 월별 단위의 데이터로 수집하였으며, 데이터 형식은 표와 그래프로 표출된다.



<그림 3-6> 미세먼지 관측시스템 데이터 수집현황(안양)

2. 고도별 미세먼지 분포 및 변화 분석

2.1 성과지표 및 목표치

고도별 미세먼지 분포 및 변화 분석에 대한 성과지표 및 목표치는 아래 표와 같다.

<표 3-3> 성과지표 및 목표치

구분	내용
성과지표	- 고도별 미세먼지 분포 분석
목표치	- 공간해상도 평균 50m 이하 미세먼지 분포 분석
목표치 설정 근거	- 기상청 관측데이터 연직 공간해상도(50m) 반영
측정방법 및 산식	- 분석데이터 공간해상도
가중치	- 4.5%

2.2 수행결과 및 달성내용

2.2.1 주요 수행연구 결과

- 목표. 공간해상도 평균 50m 이하 미세먼지 분포 분석(100% 달성)
- 수행연구 :
 - 미세먼지 관측용 드론을 이용한 고도별 미세먼지 관측 데이터 구축
 - 고도별 미세먼지 수직 분포 경향 분석(10m 단위)

2.2.2 수행연구 세부내용

(1) 미세먼지 관측용 드론을 이용한 고도별 미세먼지 관측 데이터 구축

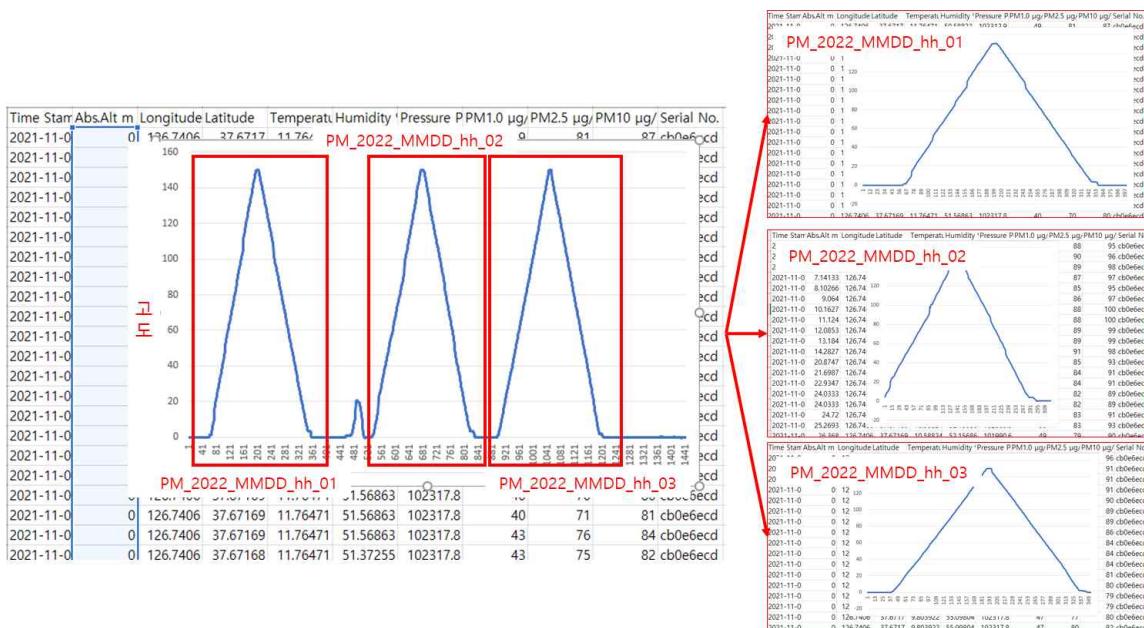
미세먼지 고도별 분포 경향 분석을 위하여 드론을 이용한 미세먼지 수직 분포 정보를 구축하였다. 이 때 고도범위는 실생활권 고도 높이와 드론 최대 비행 높이를 고려하여 0~150m로 설정하였다. 시간 및 요일별 미세먼지 농도의 수직 분포 경향을 확인하기 위하여 연속된 기간 동안 9시, 12시, 15시 등 1일 3회 드론을 이용하여 고도별 미세먼지 농도를 관측하였다. 고도별 미세먼지 관측 지점은 관측값 정확도 검증을 위하여 한국건설기술연구원 인근 고양체육관 지상주차장의 지상 미세먼지 센서 주변으로 설정하였다.

미세먼지 관측 드론의 운용은 수직 관측의 공간해상도, 드론의 다운워시 효과 최소화, 그리고 이상 관측 최소화를 지원하도록 설정하고자 하였다. 수직방향 1m 거리 당 1회 이상 미세먼지 농도 관측 및 다운워시를 고려하여 드론의 운행 속도는 평균 1m/s로 설정하였으며, 이상 관측 최소화 및 이상치 제거를 위하여 왕복 3회에 걸친 반복 관측을 수행하였다. 구체적인 고도별 미세먼지 관측 방법은 아래 표와 같다.

<표 3-4> 드론을 이용한 고도별 미세먼지 관측 방법

항목	내용	설정 기준
경로	수직 방향 0 ~ 150m	고도별 미세먼지 분포 확인
속도	약 1m/s	다운워시 최소화 수직 방향 1m 간격 당 평균 1회의 미세먼지 관측치 수집 (드론용 미세먼지 관측센서의 관측주기인 1회/s를 고려)
관측시간	09시, 12시, 15시	시간별 미세먼지 분포 특성 분석을 위하여 동일한 날의 오전, 정오, 오후에 1회씩 미세먼지 관측

관측방법	왕복 3회 이상의 반복 관측	이상 관측치에 따른 정확도 감소 최소화 이상치 제거 알고리즘 적용을 이용한 중복 관측 데이터 확보 다운위시 발생에 따른 관측치 정확도 감소를 고려하여 드론 상승 및 하강 운행 모두의 경우에서 미세먼지 정보 수집 (10m 단위 평균값 활용)
관측자료	드론 이동속도 (m/s) 미세먼지 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 대기압 (hPa) 기온 (°C) 상대습도 (%)	측정 기기 관측 요소
관측기간	7월 12일 ~ 9월 13일 중 총 29일 관측	

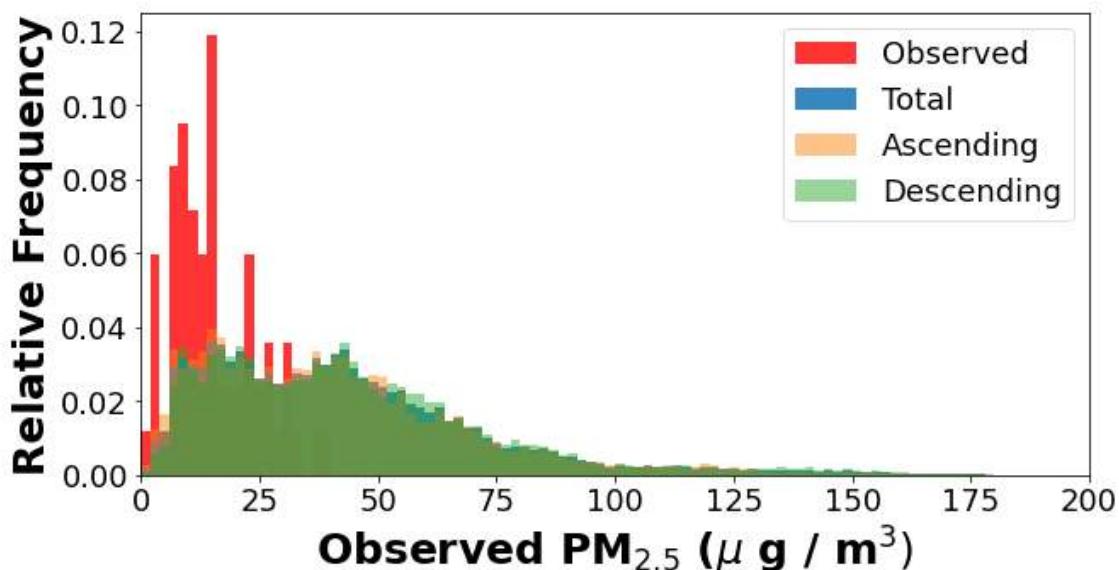


<그림 3-7> 이상치 제거를 위한 고도별 미세먼지 반복 관측 예시

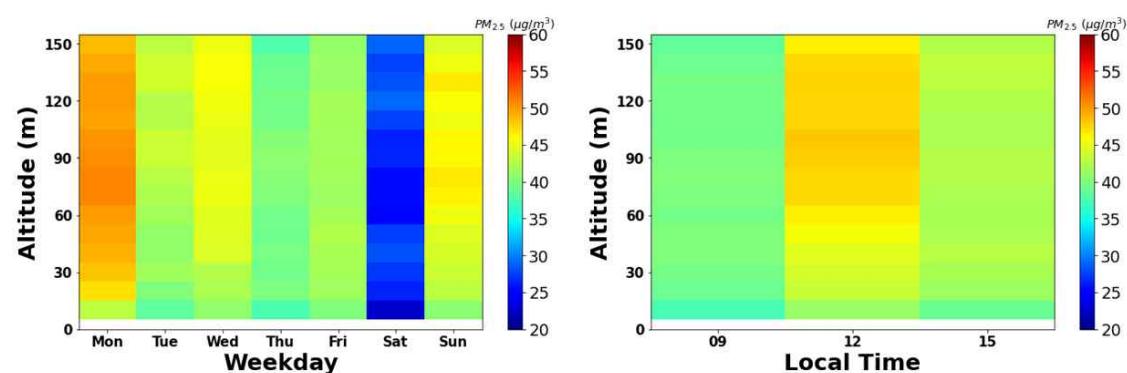
(2) 고도별 미세먼지 수직 분포 경향 분석

드론을 통하여 취득된 고도별 미세먼지 관측 데이터를 이용하여 10m 단위 기반의 미세먼지 분포 시간 및 요일별 분포 경향을 분석하였다. 그 결과, 드론 관측이 지상 관측에 비해 미세먼지 값을 높게 추정하였으며, 드론의 상승과 하강은 분포에 직접적 영향을 미치지 않았다. 또한 미세먼지 농도는 월요일에 높고 토요일에 낮은 패턴을 보이며, 9시, 12시, 15시 중에서는 12시 관측 평균값이 가장 높게 분석되었다.

※ 해당 분석결과 해석은 29일 관측치로서 개략적인 미세먼지 분포 경향을 분석했다는 의의를 가지나, 기상 전체값으로 대표하기는 어려움



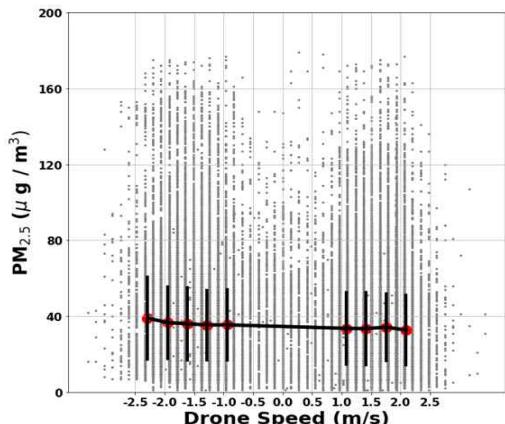
<그림 38> 지상 관측 (빨강) 전체 드론 관측 (파랑) 상승 및 하강시 드론 관측 (주황, 초록) 미세먼지의 분포



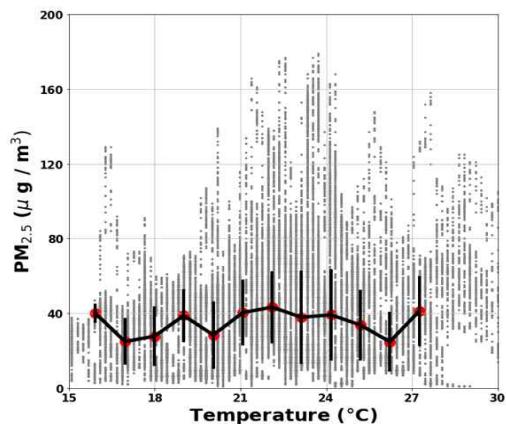
<드론에서 관측된 요일, 고도별 미세먼지 관측 데이터> <드론에서 관측된 시간, 고도별 미세먼지 관측 데이터>

<그림 3-9> 요일/시간에 따른 고도별 미세먼지 관측 데이터

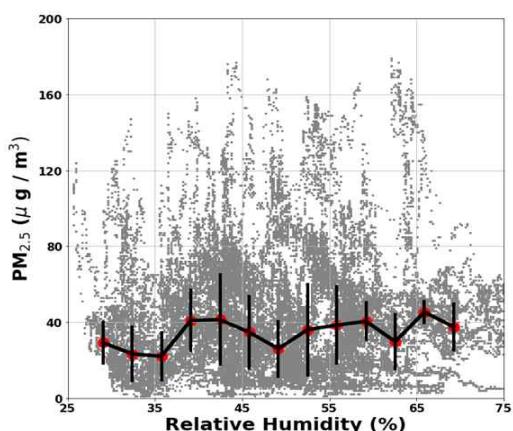
고도별 미세먼지 분포 모델링을 위한 온도, 습도 등의 기상인자와 고도별 미세먼지 분포 간의 상관관계 분석을 수행하였다. 그 결과, 드론에서 관측된 미세먼지농도는 기상 변수에 큰 영향을 받지 않으나, 대기압과 약한 음의 상관관계를 나타냈다. 또한 드론에서 관측된 미세먼지농도는 대기압이 높아질수록 오차가 커지는 것으로 분석되었다.



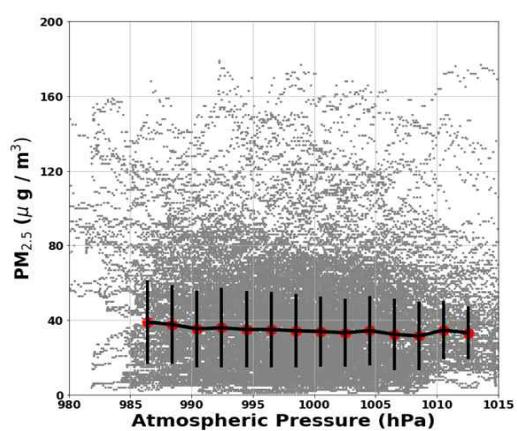
<드론 속도에 따른 미세먼지 데이터>



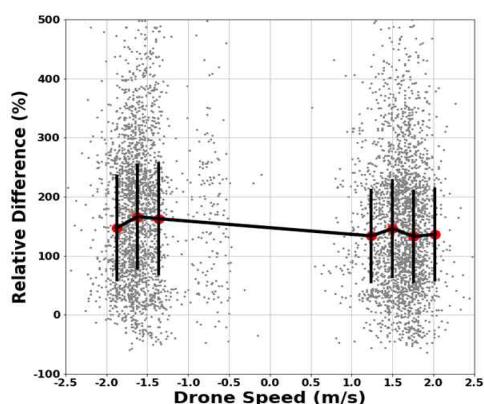
<드론에서 관측된 온도에 따른 미세먼지 관측 데이터>



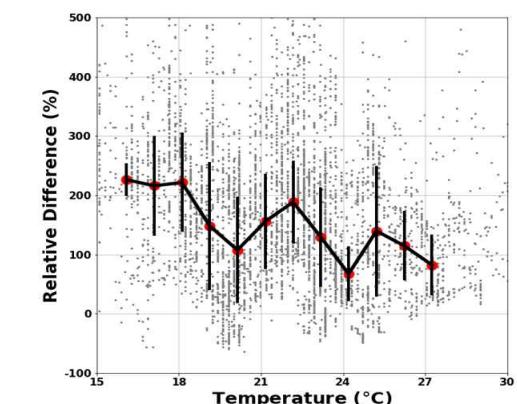
<드론에서 관측된 상대습도에 따른 미세먼지 관측 데이터>



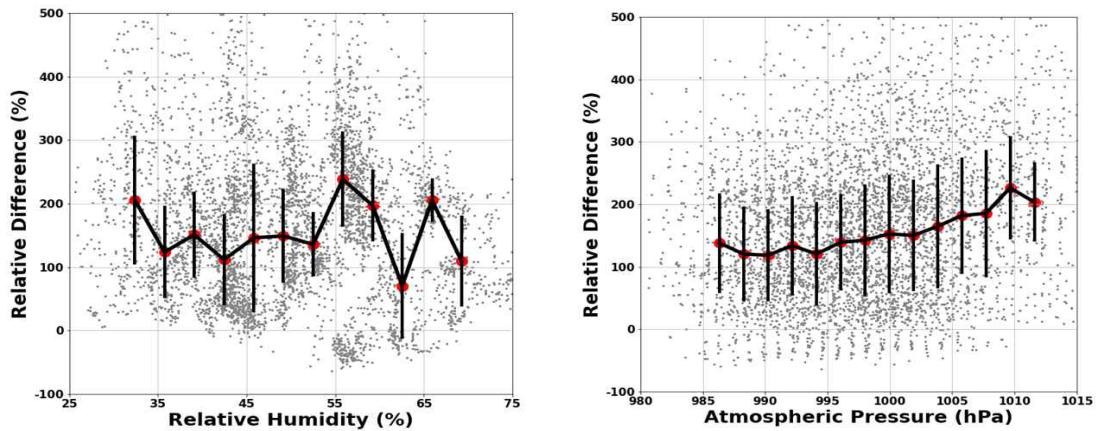
<드론에서 관측된 대기압에 따른 미세먼지 관측 데이터>



<드론 속도에 따른 미세먼지 데이터>



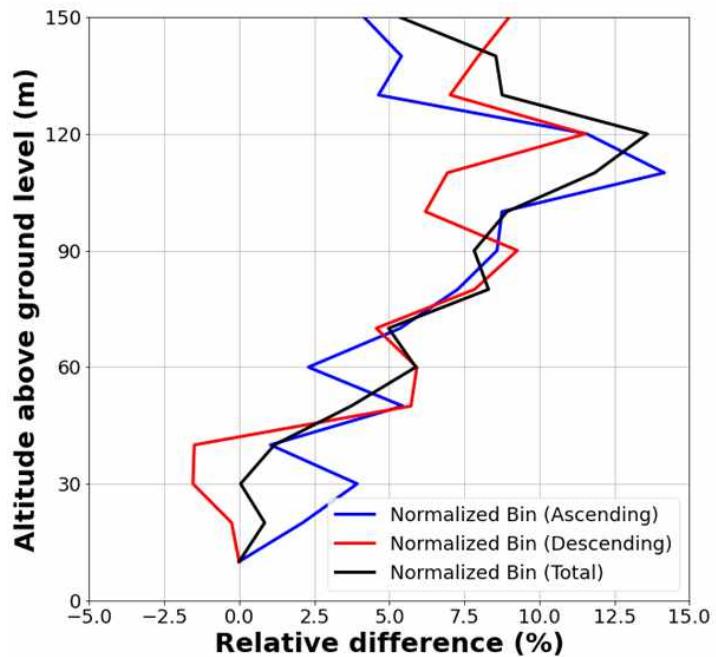
<드론에서 관측된 온도에 따른 미세먼지 관측 데이터>



<드론에서 관측된 상대습도에 따른 미세먼지 관측 데이터> <드론에서 관측된 대기압에 따른 미세먼지 관측 데이터>

<그림 3-10> 기상인자와 고도별 미세먼지 분포간의 상관관계 분석

지면의 미세먼지 농도와 기상인자를 이용한 고도별 미세먼지 분포 경향분석을 수행하였다. 그 결과, 드론에서 관측된 기상 변수에 큰 영향을 받지 않았으나, 대기압과 약한 음의 상관관계를 나타냈다. 또한 10m에서의 미세먼지 농도 대비 연직 높이가 높아짐에 따라 농도도 함께 높아지는 경향을 보였다. 향후 후속 과제에서 미세먼지 등급별, 기상상황별, 시간대별 등 유형별 드론 기반 고도별 관측 데이터를 추가 수집하여, 데이터 분석의 신뢰성을 높일 필요성이 있다.



<그림 3-11> 10m 관측값에 대한 상대적 연직 가중치

WBS 2 : AI 영상인식 기반 도로변 미세먼지 분석 기술 개발

3. 수집데이터의 영상분석 최적 데이터셋 구축

3.1 성과지표 및 목표치

수집데이터의 영상분석 최적 데이터셋 구축에 대한 성과지표 및 목표치는 아래 표와 같다.

<표 3-5> 성과지표 및 목표치

구분	내용
성과지표	- 미세먼지 영상분석용 데이터 셋 물량
목표치	- 선별 데이터 셋 10만 개 이상
목표치 설정 근거	- AI 딥러닝 분석을 위한 적정 빅데이터 분량 * 3차년도 목표: 10만 개 이상
측정방법 및 산식	- 구축된 데이터 셋 수량 측정
가중치	- 4.5%

3.2 수행결과 및 달성내용

3.2.1 주요 수행연구 결과

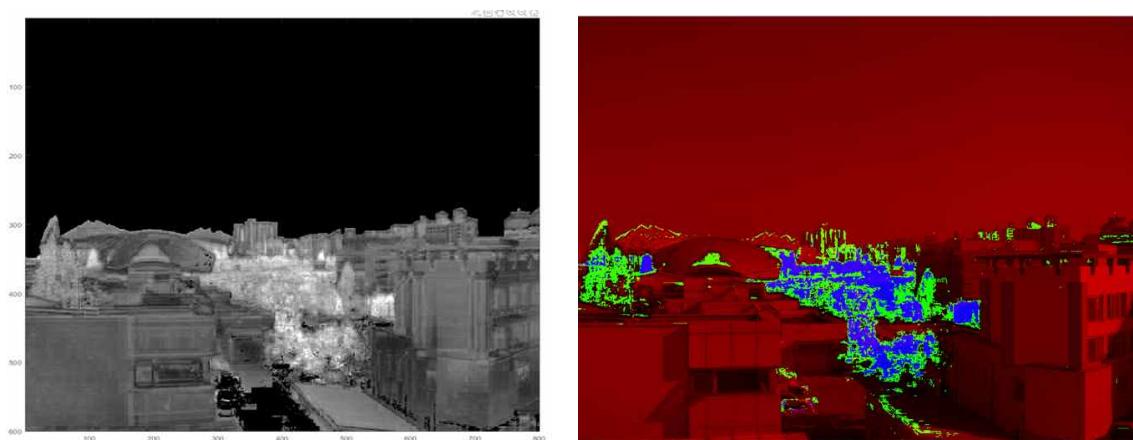
- 목표. 선별 데이터셋 10만 개 이상 (100% 달성)
- 수행연구 :
 - 거리별 ROI 추가 설정
 - 미세먼지 등급별 학습 데이터셋 재구축
 - 지자체 검증용 데이터셋 구축
 - 선별 표준 데이터셋 178,316개 구축, 등급별 데이터 현실화 데이터셋 100,000개 구축(10만 개 이상)

3.2.2 수행연구 세부내용

(1) 거리별 ROI 추가

1) 이미지 상관관계 분석 기반 ROI 후보군 공간 설정

기존 거리별 1개씩 설정되어 있는 ROI의 대표성 확보 차원으로 추가 ROI를 선정하기 위해 CCTV 이미지 상관관계를 분석하여 임계값으로 분류한 ROI 후보 공간을 설정하였다. 아래 CCTV 화면에서의 파란색이 ROI 최적 위치, 초록색이 대안 위치이며, 최종 선정 시 실제 건물 현황, 외부 기상요인 변화 등을 고려해야 할 것으로 판단된다.



<그림 3-12> ROI 후보군 공간 선정 상관관계 분석

2) 거리별 ROI 추가 선정

앞서 수행한 이미지 상관관계 분석 기반의 ROI 후보군 공간을 대상으로 거리별 ROI를 추가 선정하였다. 선정기준으로는 계절, 기상상황 등 외부환경에 영향을 받지 않는 고정 인프라를 대상으로 거리를 가늠할 수 없는 하늘은 포함하지 않으며, 타 위치의 건물 중첩이 최소화되는 건물이다. 또한 기존 ROI와의 비교분석을 위해 유사한 패턴이 반복되는 영역, 엣지 및 색상의 정도 차이를 확인할 수 있는 ROI를 재선정하고자 하였다. 아래 그림과 같이 기존 ROI 지점별 2개의 추가 ROI를 재선정하여, 총 9개의 ROI별 딥러닝 분석을 수행하고자 한다. 이를 토대로 예측력 및 대표성을 고려하여 선별 데이터셋의 최종 ROI를 선정할 예정이다.



<그림 3-13> 추가 ROI 후보

(2) 미세먼지 등급별 데이터 현실화 학습 데이터셋 재구축

기존 데이터셋의 경우 영상, 현장 센서값(미세먼지, 기상환경) 등이 모두 매칭된 데이터로 구성되어 있기 때문에, 실제 미세먼지농도 등급별 분포와의 차이가 발생하였다. 이에 실제 대기상황과의 유사 분석환경 모사를 위해 고양시 주엽동 국가측정소의 월별 1시간 단위 미세먼지 등급별 분포를 조사하였고, 해당 등급별 분포를 기반으로 데이터 평준화 작업을 수행하였다.

실제 미세먼지 등급별 분포('21년)와 기존 데이터셋 등급별 분포를 비교한 결과, 좋음 46.6%(기존 54.4%), 보통 38.8%(기존 21.0%), 나쁨 12.7%(기존 22.6%), 매우나쁨 1.8%(기존 1.9%)로 나타났다. 이를 토대로 1년간 실제 미세먼지 등급별 분포에 맞게 미세먼지 등급별 데이터 현실화 학습 데이터셋을 재구성하였다. 그 결과 신규 학습 데이터는 좋음 37,280개(46.6%), 보통 31,040개(38.8%), 나쁨 10,240개(12.7%), 매우나쁨 1,440개(1.8%)로 재구성되었으며, 이를 기반으로 AI 영상분석을 수행하였다.

<표 3-6> 고양시 주엽동 국가측정소 미세먼지농도 월별/등급별 현황

등급	실제 데이터 (고양시 주엽동 국가측정소 월별 1시간 단위 등급별 분포, '21년 기준)											
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
	좋음	보통	나쁨	매우나쁨	계	744	672	744	720	744	720	744
좋음	406	328	224	375	362	180	249	339	579	383	317	340
보통	227	172	248	292	277	421	461	385	134	343	205	237
나쁨	111	121	211	53	79	119	34	20	7	18	186	156
매우나쁨	0	51	61	0	26	0	0	0	0	0	12	11
계	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744

<표 3-7> 미세먼지 등급별 데이터 현실화 학습 데이터셋

등급	주엽동 국가측정소 등급별 데이터(비율)	1분단위 기구축데이터(비율)	신규 학습 데이터(비율)
좋음	4,082(46.6%)	97,056(54.4%)	37,280(46.6%)
보통	3,402(38.8%)	37,474(21.0%)	31,040(38.8%)
나쁨	1,115(12.7%)	40,325(22.6%)	10,240(12.7%)
매우나쁨	161(1.8%)	3,461(1.9%)	1,440(1.8%)
계	8,760(100%)	178,316(100%)	80,000(100%)

(3) 지자체 검증용 데이터셋 구축

앞서 선정된 안양여고사거리 북서방향 CCTV를 대상으로 영상데이터를 수집하였으며, 이 중 근거리 ROI는 만안초등학교 인근 건물(0.5km), 원거리 ROI는 석수현대아파트(1.7km)로 설정하였다. 해당 데이터는 지자체 검증용으로 지자체 확산, 데이터 경량화 등 실용화를 고려하여 별도 장비설치 없이 CCTV 영상, 공공데이터 위주의 데이터를 활용하였다. 미세먼지 추정농도의 참값 비교·검증 목적으로 ROI별 미세먼지 관측장비를 설치하였다. 지자체 검증용 데이터셋은 해당 CCTV 이미지, ROI별 PM2.5, 공공 기상환경, 일조요인으로 최종 구성하였다.



<그림 3-14> 지자체 검증용 ROI(빨간색)



<그림 3-15> ROI별 미세먼지 데이터 수집

(4) 선별 표준 데이터셋 구축

CCTV 영상, 현장관측 미세먼지/기상환경 데이터, 공공 미세먼지/기상환경 데이터, 일조 요인을 입력값으로 설정한 최종 선별 데이터셋을 구축하였다. 178,316개의 기존 표준 데이터셋과 더불어 미세먼지 등급별 분포에 맞춰 평준화한 100,000개의 등급 평준화 데이터셋으로 분류 구축하였다(2021년 4월~2022년 2월, 08~18시, 1분 주기(강수, 결측 데이터 제외)). CCTV 한 개의 화면에서 더 많은 ROI 미세먼지정보를 추정/추출하기 위한 전이학습 기반 검증용 모델의 경우 실용화 목적으로 경량화한 45,935개의 데이터셋을 구축하였다.

<표 3-8> 선별 표준 데이터셋

구분	수집 방법	데이터 종류	기간/주기	데이터셋
CCTV 영상	실시간 자동 저장	ROI 영역 이미지		
현장관측 미세먼지	API 연계 (Apache Nifi)	PM10, PM2.5		
현장관측 기상환경	CSV(DAT)	습도, 온도, 풍속, 풍향, 조도		
공공 미세먼지	API 연계 (JSON)	PM10, PM2.5, SO2, CO, O3, NO2		
공공 기상환경	API 연계 (JSON)	습도, 온도, 강수형태, 강수량, 풍속, 풍향		
태양 입사각	산출함수	태양 고도, 태양 방위각		

collection_id	sensor_id	sensor_name	poll_ps25	temperature	humidity	sunexposure	azi	sensor_receive_dt	action_cd	depth1	depth2	featurize	latitude	longitude	sublat	sublon	chirone	sublatname	sublonname	sublatid	sublonid	latvec	lonvec	sublatvec	sublonvec	sensor_id	sensor_name	collection_id	record	lat_avg	lo_avg	stdev(lat)	stdev(lon)	be	airtemp_avg	de	setime			
select * from v_sensordata_collectiondata, latvec where (latvec.sensor_id = sensor_id and latvec.collection_id = collection_id) and (v_sensordata_collectiondata.sensor_id = sensor_id and v_sensordata_collectiondata.collection_id = collection_id) and setime > '2021-01-01 00:00:00' and setime < '2022-02-28 23:59:59'																																								
202101100001 SENSG00002		고양미래공원 주차장	22	5	14.30000019	99.90000153	0	2021-10-10 23:57:59.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0002	고양미래공 원주차장	2021-10-11 00:00	109517	1.655733	1.113333	336.9997	1.0191	85	14.82	12.4	0
202101100001 SENSG00003		고양종합운동 장정기기기 등장 사거리	28	4	14.69999981	99.90000153	0	2021-10-10 23:58:30.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0003	고양종합운동 장정기기기 등장 사거리	2021-10-11 00:00	109517	47.35366	0.5803333	204.2196	1.0192	80	15.1	11.8	0
202101100001 SENSG00004		단한역	68	12	14.30000019	99.90000153	0	2021-10-10 23:59:00.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0004	단한역	2021-10-11 00:00	109516	46.85795	0.42	245.4503	1.0191	80	15.1	11.8	0
202101100001 SENSG00005		고양미래공 원주차장	9	5	14.30000019	99.90000153	0	2021-10-10 23:59:00.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0005	고양미래공 원주차장	2021-10-11 00:00	109516	0.863009	0.0816687	299.5348	1.0191	84	14.82	12.3	0
202101100001 SENSG00003		고양종합운동 장정기기기 등장 사거리	28	4	14.69999981	99.90000153	0	2021-10-10 23:59:00.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0003	고양종합운동 장정기기기 등장 사거리	2021-10-11 00:00	109518	48.80831	1.003333	261.8415	1.0191	78	15.07	11.3	0
202101100001 SENSG00004		한현역	68	12	14.30000019	99.90000153	0	2021-10-10 23:59:00.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0004	한현역	2021-10-11 00:00	109517	48.851841	0.0466667	262.1234	1.0191	80	15.1	11.8	0
202101100002 SENSG00002		고양미래공 원주차장	9	5	14.30000019	99.90000153	0	2021-10-10 23:59:00.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0002	고양미래공 원주차장	2021-10-11 00:00	109519	3.24945	1.469333	349.162	1.0191	83	14.82	12.1	0
202101100001 SENSG00003		고양종합운동 장정기기기 등장 사거리	39	6	14.80000019	99.90000153	0	2021-10-11 00:00:00.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0003	고양종합운동 장정기기기 등장 사거리	2021-10-11 00:00	109519	45.61724	1.099667	316.924	1.0191	80	15.0	11.7	0
202101100002 SENSG00004		단한역	68	12	14.30000019	99.90000153	0	2021-10-11 00:00:00.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0004	단한역	2021-10-11 00:00	109519	47.35366	0.5803333	241.6510	1.0191	80	15.1	11.8	0
202101100003 SENSG00002		고양미래공 원주차장	34	7	14.30000019	99.90000153	0	2021-10-11 00:00:00.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0002	고양미래공 원주차장	2021-10-11 00:00	109520	1.162083	1.43	310.4995	1.0191	84	14.82	12.2	0
202101100003 SENSG00003		고양종합운동 장정기기기 등장 사거리	39	6	14.80000019	99.90000153	0	2021-10-11 00:00:00.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0003	고양종합운동 장정기기기 등장 사거리	2021-10-11 00:00	109520	48.49475	1.209667	310.0707	1.0192	81	15	11.8	0
202101100001 SENSG00004		한현역	12	4	14.30000019	99.90000153	0	2021-10-11 00:00:00.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0004	한현역	2021-10-11 00:00	109520	48.49475	0.0360333	298.964	1.0191	80	15.1	11.7	0
202101100004 SENSG00002		고양미래공 원주차장	34	7	14.30000019	99.90000153	0	2021-10-11 00:00:00.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0002	고양미래공 원주차장	2021-10-11 00:00	109521	1.209778	1.851667	350.0169	1.0191	84	14.82	12.2	0
202101100004 SENSG00003		고양종합운동 장정기기기 등장 사거리	27	2	14.69999981	99.90000153	0	2021-10-11 00:00:00.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0003	고양종합운동 장정기기기 등장 사거리	2021-10-11 00:00	109521	41.76292	1.211667	275.5929	1.0192	82	14.86	11.9	0
202101100004 SENSG00004		단한역	28	3	14.30000019	99.90000153	0	2021-10-11 00:00:00.0	412057000	경기고 밀양시 대봉동	126.7572222	37.68015270	도(서)기	0.04	0.5	0.027	0.008	39	16	89	123	0	0	315	0.6	0.4	-0.3	false	SENSG0004	단한역	2021-10-11 00:00	109520	46.35083	0.525	289.5109	1.0191	82	15.1	12.1	0

<그림 3-16> 데이터셋 구축 화면

4. 미세먼지 영상분석 모형 최적화 및 신뢰도 검증

4.1 성과지표 및 목표치

미세먼지 영상분석 모형 최적화 및 신뢰도 검증에 대한 성과지표 및 목표치는 아래 표와 같다.

<표 3-9> 성과지표 및 목표치

구분	내용
성과지표	- 미세먼지 추정 영상분석 정확도
목표치	- 미세먼지 등급 추정 정확도 90% 이상
목표치 설정 근거	- 환경부 미세먼지 간이측정기 성능 등급 평가 기준(1등급 90%) 반영 * 2차년도 목표 : 2등급 70%, 3차년도 목표 : 1등급 80% * 성과목표 및 지표 보완 시 3차년도 목표를 90%로 상향 조정
측정방법 및 산식	- 기상청 및 한국환경공단 관측치 비교 분석
가중치	- 6.7%

4.2 수행결과 및 달성내용

4.2.1 주요 수행연구 결과

- 목표. 미세먼지 등급 추정 정확도 90% 이상 (100% 달성)
- 수행연구 :
 - 영상분석 모델구조 개선
 - 데이터구조 개선
 - 최적 미세먼지 추정 모형 (미세먼지 등급 추정 정확도 딥러닝 91.8%, 결합모형 90.3%)
 - 검증용 추정모델 구축

4.2.2 수행연구 세부내용

(1) 미세먼지 영상분석 관련 기술 동향

1) 이미지 기반 미세먼지 오염도 추정

2016년 Liu 등은 중국의 베이징, 상하이와 미국 피닉스의 이미지를 활용하여 미세먼지 오염도 PM2.5 추정을 연구했다. 이 연구는 전문가 지식에 근거하여 이미지에 포함된 정보들로 다양한 메타정보를 구축하고 이미지 처리 기반의 분석을 활용하였다. 연구를 통해 실제 PM2.5 값과 추정을 통한 PM2.5 값이 높은 상관관계를 가지고 있고 오차가 작으며, 이미지 처리 기반의 분석방법을 통한 높은 정확도의 PM2.5 추정 가능성을 볼 수 있다. 하지만 이미지에 포함된 특징들을 최대한 활용하기 위해, 최신 이미지 분류에 많이 활용되는 딥러닝 기반의 컨볼루션 신경망 등으로 보완하는 방향으로의 연구가 필요할 것으로 보인다.

2) 기계학습 및 딥러닝 기반 추정기술

2018년 대기 이미지를 활용한 미세먼지 오염도 추정에서 기계학습 및 딥러닝 기반의 알고리즘을 활용하여 분류기를 구축하고, 시간이나 날씨 정보를 메타정보를 쓰지 않고 오직 대기 이미지만으로 미세먼지 추정이 얼마나 가능한지 검토하였다. 실제 대기 이미지를 촬영한 이미지 데이터와 각 이미지에 해당하는 PM2.5 데이터를 수집하여, 기준에 따라 4가지 카테고리로 레이블을 부여한 후 각 데이터의 정보를 확인했다. 특정 시각에 대기 이미지가 없

거나 PM2.5 가 측정되지 않은 데이터들을 필터링한 후, 트레이닝 및 테스트 데이터로 분할 했다. 이미지 데이터의 학습을 통해 로지스틱 회귀, 서포트 벡터 머신 1, 2와 멀티 퍼셉트론, 컨볼루션 신경망 1, 2, 3을 사용하여 분류기를 구축하고, 각 분류기의 성능을 측정하고 비교 분석한 결과 컨볼루션 신경망인 CNN2가 80.1%로 가장 뛰어난 성능을 보였다. 특히 이미지 샘플 수가 상대적으로 적은 ‘매우 나쁨’의 경우에도 좋은 성능을 도출한 것으로 나타났다. 연구에서는 한 지점의 대기 이미지를 활용하여 미세먼지 추정을 수행하였는데, 다양한 지점의 이미지에 대한 미세먼지 추정이 가능한 분류기 구축이 필요할 것으로 판단된다.

<표 3-10> AI 모델 성능 비교

모델	LR	SVM1	SVM2	MLP	CNN1	CNN2	CNN3
정확도 (accuracy)	70.8%	73.1%	48.6%	58.3%	71.6%	80.1%	79.5%

3) 기존 미세먼지 예측 모델

- 결정론적 모델

일반적으로 대기화학 및 물리의 기본적인 원리를 적용한 모델이다. 대기 질이 복잡하고 역동적인 오염 수준과 모델 내의 불확실성으로 인해 경험적 모델보다 정확도가 낮다고 보고되었다.

- 경험적 모델

다양한 대기조건에서 측정된 데이터를 기반으로 대기오염물질과 잠재적인 예측 인자 간의 복잡한 관계를 정량화하기 위한 모델이다. 다만, 시간 정보를 고려하는 데 중점을 두고 있어 공간 정보를 고려하는 것에는 한계가 있다. 제시된 경험적 모델로는 통계 기반 방법론을 사용한 모델과 기계학습 기반 방법론을 사용한 모델이 있다.

- CNN(Convolutional Neural Network) 활용 모델

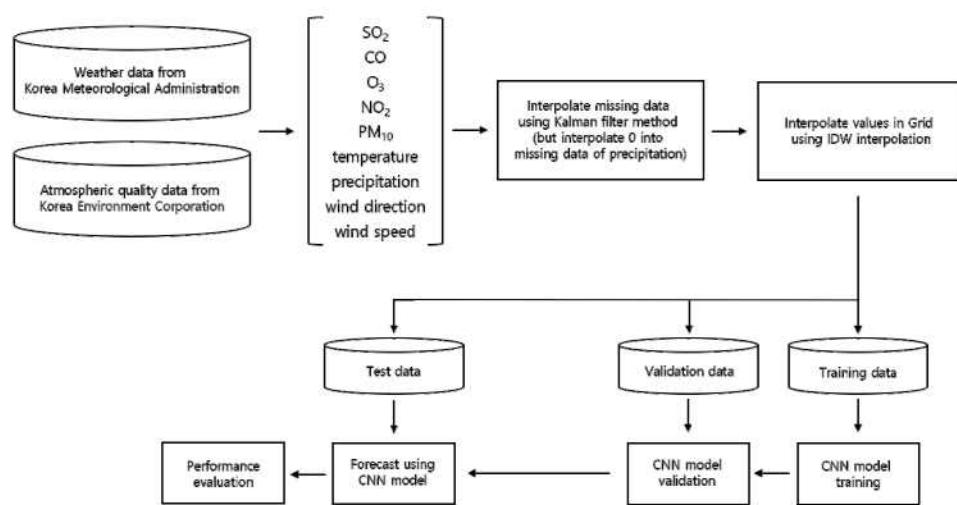
다공간 정보를 반영한 CNN 모델의 예측력이 높다는 보고가 있다. 또한, CNN의 출력은 다중 배열의 형태를 가지므로, 기존에 제시된 예측 모델들이 실존하는 측정소의 위치만을

예측하고 개별 지역만을 예측한다는 한계를 보완할 수 있다. 미세먼지의 변화와 상호작용하는 매개변수들의 측정소 위치가 각각 달라, 직접적으로 공간 정보를 통합하여 예측 모델에 적용하는 데 있어 어려움이 있다.

○ 딥러닝 기반 대기오염 추정 기술

2019년 환경 빅데이터 분석 및 서비스 개발 III에서는 ICNN 모델을 사용하여 CNN 모델과 결합하여 공간 정보를 통합한 대기질 예측 모델을 제안한다. 분석 프레임워크를 보면, 수집한 데이터를 Kalman filter를 통해 측정소별로 결측값을 대치한 후 inverse distance weighting(IDW) interpolation으로 측정소 위치의 값들을 그리드 위치를 보간하는 작업을 실시한다. 보간 작업이 완료된 데이터를 6:2:2 비율로 Training, Validation, Test 데이터로 나눠서 학습, 검증, 예측 성능 평가에 사용하였다.

해당 연구에서 제안한 ICNN 모델은 공간 정보를 효율적으로 반영하는 CNN을 활용해 시 공간 정보를 직접적으로 반영함으로써, 높은 성능의 예측을 수행하였다. 또한 ICNN 모델은 실제 측정소가 위치하는 지역의 데이터를 IDW interpolation을 통해 측정소가 위치하지 않는 지역까지 포함하도록 모델을 설계하여, 도심 지역뿐만 아니라 외곽 지역까지 예보가 가능하다. ICNN 모델의 경우, 지역별로 분리된 학습모델을 하나로 통합함으로써 전체 지역을 예측할 수 있다는 장점도 있다. 다만, 연구에 사용된 데이터는 계절적인 영향까지 고려하기에는 기간이 짧았으며, 한반도에 영향을 주는 국외 요인을 고려하지 않았다는 데 있어 한계가 있다.



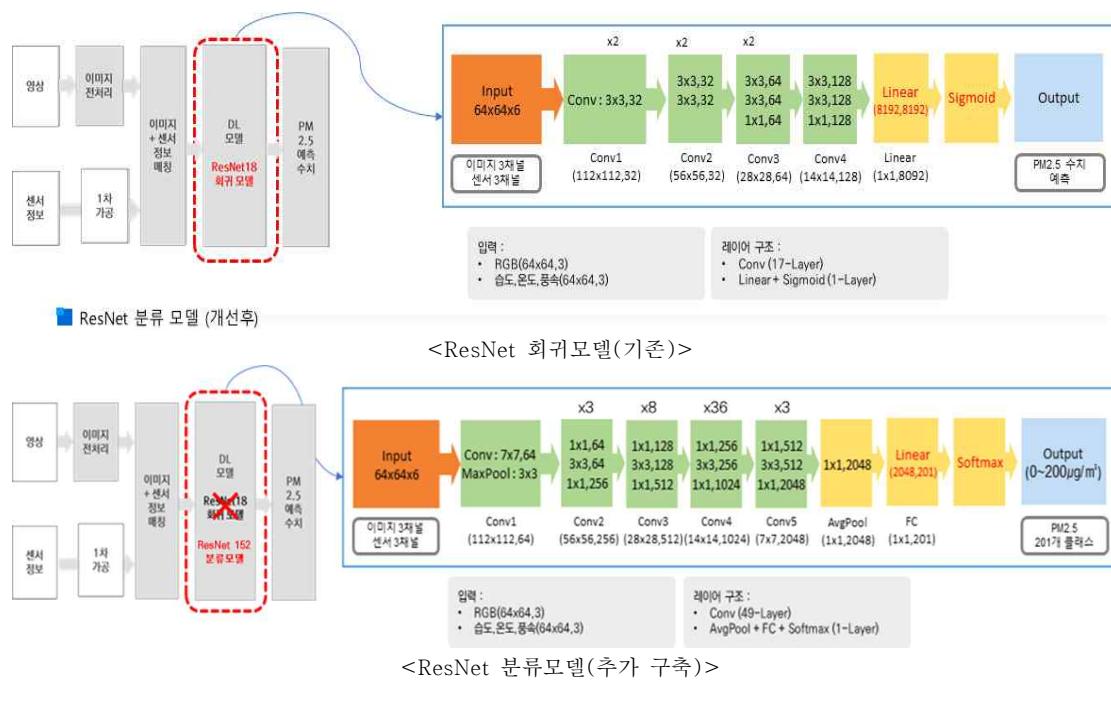
<그림 3-17> 분석 프레임워크

(2) 영상분석 모델구조 개선

1) ResNet 분류모델 구축

미세먼지 영상분석을 위해서 사용된 AI 기반 이미지 분류 기법을 이용한 모델을 구축하였다. 이미지 분류 모델은 컴퓨터 비전 분야에서 많이 사용되는 모델로, 이미지를 입력으로 받아 이미지의 특징을 예측하는 기능을 가지고 있다. 이미지 분류 모델은 딥러닝을 이용하여 구축될 수 있으며, 이미지에 포함된 다양한 특징을 정확하게 인식할 수 있도록 학습한다. 또한, 이미지 분류 모델은 이미지에서 특징점을 찾는 데 사용되는 다양한 응용분야에서 효과적으로 사용될 수 있다. 이미지 분류 모델로는 일반적으로 ConvNet, DenseNet, ResNet InceptionNet, XceptionNet, EfficientNet 등이 있다. 이미지 분류 모델의 성능은 다양한 요인에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, 모델의 설계, 학습 데이터의 양과 종류, 학습 알고리즘 등이 이미지 분류 모델의 성능에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 이미지 분류 모델을 사용할 때는 각 모델의 특징과 성능을 잘 이해하고 적절한 모델을 선택하는 것이 중요하다.

이에 본 연구는 PM2.5 값의 최대범위($0\sim200\mu\text{g}/\text{m}^3$)와 예측 신뢰도를 고려하여, 기존 영상 딥러닝모델로 활용한 Conv(17-Layer) 레이어구조의 ResNet 회귀모델에서 Conv(49-Layer) 레이어구조 기반 ResNet-152 분류모델을 구축하였다. 딥러닝 영상분석만으로 분석된 예측력은 ResNet 분류모델 구축 후 비교분석 결과, 미세먼지 4단계 정확도 92.97%, RMSE 5.93로 크게 향상되었음(표준 데이터셋 적용 시)



<그림 3-18> ResNet 분류모델

2) EfficientNet 모델 구축

기존 ResNet 모델 외 최근 딥러닝모델 개발 경향을 고려하여 EfficientNet 모델을 추가 구축하였다. EfficientNet 모델은 레이어(depth) 및 필터(width) 수, 입력 이미지 크기(resolution) 등을 설정할 때 model scaling 측면에서 모형 규모 대비 효율적인 구조를 갖는 장점을 갖는다. 레이어 구조에 따라 EfficientNet-B4, EfficientNet-B5, EfficientNet-B6 모델을 분류하여 구축하였다. 모델별 추정 정확도는 EfficientNet-B4, EfficientNet-B5, EfficientNet-B6 순서대로 4단계 정확도 91.71%, 91.98%, 92.38%, RMSE 5.81, 5.66, 5.56으로 산정되어 EfficientNet-B6이 근소하게 높은 정확도를 보였다(표준 데이터셋 적용 시). 하지만 EfficientNet-B5 및 B6은 Tesla V100 이상의 고성능 GPU를 요하여(배치사이즈 64 이상 설정 시 학습 불가) 실용화 측면에서는 Efficient-B4 모델을 사용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다. ResNet 분류모델과 EfficientNet 모델의 영상분석 결과(머신러닝 분석결과 포함)를 비교하여 최적 미세먼지 추정 모형을 선정하고자 한다.



<그림 3-19> EfficientNet 모델

(3) 데이터 구조 개선

1) ROI 재선정

미세먼지 영상분석을 위해 설치 미세먼지 센서와 밀접하다고 판단되는 ROI를 지정하여 각각 분석하였고, 분석된 ROI 영역 중에서 가장 성능이 우수한 ROI 영역을 선정하여 학습을 진행하였다. 기존, 추가 ROI 포함 총 9개 ROI별(거리별 3개씩) 딥러닝 분석을 수행하여 예측력 차이를 비교한 결과, 전반적으로 엣지 및 색상정보가 다양한 ROI의 예측력이 높게 분석되었다. 예측력 비교 분석 결과, ROI 1번(CCTV로부터 0.4km 거리)은 1차 재선정한 ROI(RMSE 7.97), ROI 2번(0.9km)은 2차 재선정 ROI(RMSE 5.53), ROI 3번(3.2km)은 기존 ROI(RMSE 4.63)의 예측력이 가장 우수하게 분석되었다. ROI 선정기준에 적합하고 예측력이 높은 해당 ROI를 선별 데이터셋 대표 ROI로 최종 선정하고자 한다.

<표 3-11> ROI별 성능 비교

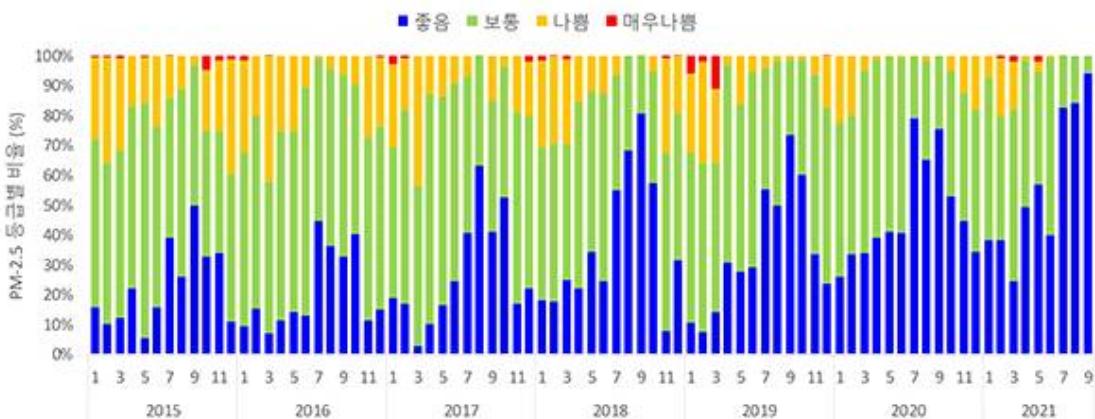
구분		ROI#1			ROI#2		
		기존	1차 재선정	2차 재선정	기존	1차 재선정	2차 재선정
데이터	기간	2021-11-05 ~ 2022-02-14 8~18시					
	총계	49.308	49.302	45.599	49.308	49.302	45.599
	학습 데이터	29.584	29.581	27.359	29.584	29.581	27.359
	검증 데이터	9.862	9.860	9.120	9.862	9.860	9.120
ROI 샘플 이미지	시험 데이터	9.862	9.861	9.120	9.862	9.861	9.120
	ROI						
		ROI#1	ROI#1	ROI#1	ROI#2	ROI#2	ROI#2
AI 모델별 테스트 데이터 정확도	학습 데이터	X	기존 ROI#1 이미지	1차 재선정 ROI#1 이미지	2차 재선정 ROI#1 이미지	기존 ROI#2 이미지	1차 재선정 ROI#2 이미지
		Y	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5	PM2.5
	딥러 닝	모델	ResNet-50	ResNet-50	ResNet-50	ResNet-50	ResNet-50
		RMSE	8.08	7.97	13.6	5.88	7.28
ROI 샘플 이미지	모델	MAPE	24.6	28.04	55.27	23.74	34.85
	ROI						
		ROI#3	ROI#3	ROI#3	ROI#3	ROI#3	ROI#3
구분		ROI#3					
		기존	1차 재선정	2차 재선정			
데이터	기간	2021-11-05 ~ 2022-02-14 8~18시					
	총계	49.310	49.304	45.602			
	학습 데이터	29.586	29.582	27.361			
	검증 데이터	9.862	9.861	9.120			
ROI 샘플 이미지	시험 데이터	9.862	9.861	9.121			
	ROI						
		ROI#3	ROI#3	ROI#3	ROI#3	ROI#3	ROI#3
AI 모델별 테스트 데이터 정확도	학습 데이터	X	기존 ROI#3 이미지	1차 재선정 ROI#3 이미지	2차 재선정 ROI#3 이미지		
		Y	PM2.5	PM2.5	PM2.5		
	딥러 닝	모델	ResNet-50	ResNet-50	ResNet-50		
		RMSE	4.63	11.21	6.32		
	모델	MAPE	25.24	56.84	25.93		



<그림 3-20> 관심 영역(ROI) 재선정

2) 미세먼지 등급별 데이터 현실화

실제 대기상황과의 유사 분석환경 모사를 위해 구축한 미세먼지 등급별 데이터 현실화 학습 데이터셋(주엽동 국가측정소 1년간 미세먼지등급 분포 적용)을 사용하여 추가 미세먼지 등급별 데이터 현실화 영상분석을 수행하고자 한다. 미세먼지 등급별 분포 비율은 각 등급의 미세먼지가 어떻게 분포되어 있는지를 나타내는 비율이며, 2021년도 1월부터 12월까지의 한국환경공단 공공 초미세먼지농도(PM2.5) 등급별 비율을 기준으로 구축된 데이터셋의 비율을 유사하게 재조정하여 학습 후 모델의 성능을 비교하였다.



<그림 3-21> 월별 PM2.5 등급 비율

미세먼지 등급별 데이터 현실화 데이터셋을 적용한 결과, RMSE 4.18로 표준 데이터셋에 비해 예측력이 향상되었다.

<표 3-12> 미세먼지 등급별 데이터 현실화 데이터셋 분석결과

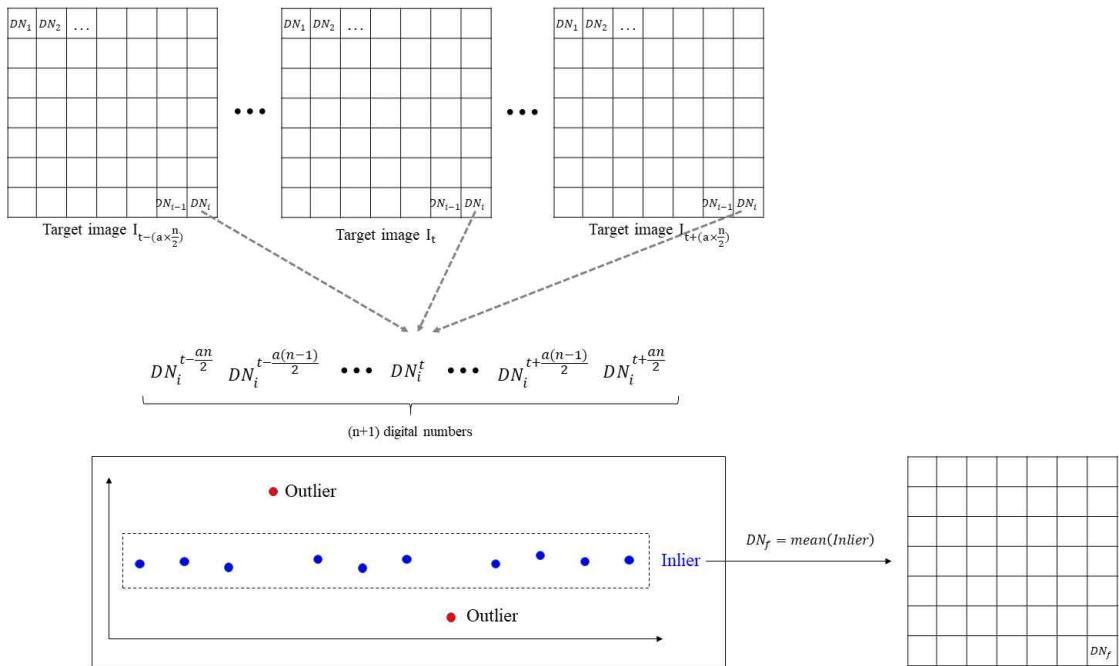
구분		표준 데이터셋 (총 데이터 18만개)	미세먼지 등급별 데이터 현실화 데이터셋 (총 데이터 10만개)
데이터	기간	2021-04-21 ~ 2022-02-14 8~18시	2021-04-21 ~ 2022-02-14 8~18시
	총계	178,316	96,500
	학습 데이터	106,989	57,900
	검증 데이터	35,663	19,300
	시험 데이터	35,664	19,300
미세먼지 등급별 데이터	총계	178,316	96,500
	1등급(0~15)	97,056 (54.43%)	44,969 (46.6%)
	2등급(16~35)	37,474 (21.02%)	37,442 (38.8%)
	3등급(36~75)	40,325 (22.61%)	12,352 (12.7%)
	4등급(76~)	3,461 (1.94%)	1,737 (1.8%)
AI 모델별 테스트데이터 정확도	학습 데이터	X	이미지(분당1장) 센서정보(온도, 습도, 풍속)
		Y	대기센서(PM2.5)
	딥러닝 모델	하이퍼파라미터	학습횟수
		배치크기	30
		베이스 모델	256
		학습시간(시)	ResNet-152
		RMSE	0.95
		MAPE	4.42
			4.18
			25.19

3) 이상치 보정 알고리즘 적용

PM10은 PM2.5를 포함하는 개념이므로, PM2.5가 PM10을 초과할 경우 Outlier로 판별하였다. 또한 본연구에서 사용된 광산란방식 미세먼지측정기는 상대습도 관측 정확도에 민감하게 반응함에 따라, 최대 상대습도가 95% 이상일 경우 상대습도 및 미세먼지 관측치 정확도가 크게 낮을 수 있으므로 Outlier로 판별하였다. 연속적으로 관측된 미세먼지농도 중 급격히 높거나 낮은 관측값(예. 흡연, 거리청소 등)은 슬라이딩 윈도우 기법을 활용하여 Outlier로 판별하였다.

이미지 이상치는 이미지에 포함된 노이즈나 이미지 센서에서 발생된 잡음 등이 이미지의 품질을 저하시키는 원인으로 이러한 이상치를 제거하는 것을 이미지 이상치 보정이라고 한다. 이미지 이상치 보정은 이미지의 품질을 개선하고, 더 나은 이미지 결과를 얻을 수 있는 기법이다. 이미지 이상치 보정을 위해서는 MAD(Median Absolute Deviation) 수식을 이용하여 이미지의 품질을 개선하는데 MAD란 중앙값과의 차이를 이용하여 이미지의 이상치를 보정하는 방법으로 이미지의 중앙값을 찾은 후 각 픽셀과 중앙값의 차이를 계산한 뒤 이 값을 절대값으로 변환한 다음 중앙값을 구한다. 이렇게 구한 중앙값은 이미지의 이상치를 잘 나타낸 수치이며, 이 수치를 이용해 각 픽셀의 값을 조정함으로써 이미지의 이상치를 보정할 수 있다.

이를 위해 이미지에 돌발적으로 나타난 정보(차량, 초점불량 등) 및 각 픽셀의 노이즈를 제거하는 이미지 Outlier 제거 알고리즘 개발하였다. t시간에 촬영된 타깃 이미지(I_t)의 앞뒤로 n장의 이미지를 a초 간격으로 선택한 뒤, n장의 이미지의 i번째 픽셀값들(DN)을 outlier와 inlier로 분류하였다. 이때 중앙값에서 스케일링된 3MAD를 초과하여 떨어져 있는 값들은 outlier로 분류하고, Inlier로 분류된 픽셀값들의 평균을 계산하여 전처리 영상의 해당 픽셀의 새로운 픽셀값으로 부여하였다.



<그림 3-22> 이미지 이상치 보정 방법

이상치 알고리즘 적용 산식은 아래와 같으며, 분석 결과 RMSE가 기준 4.18에서 4.10으로 개선됨을 알 수 있었다.

$$MAD = c \times \text{median}(\text{abs}(DN - \text{median}(DN)))$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{(2)} \times \text{erfcinv}(3/2)} \approx 1.4826$$

* median: 중앙값

* erfcinv: 상보 오차 역함수(Inverse Complementary Error Function)

<표 3-13> 이상치 제거 알고리즘 적용 분석 결과

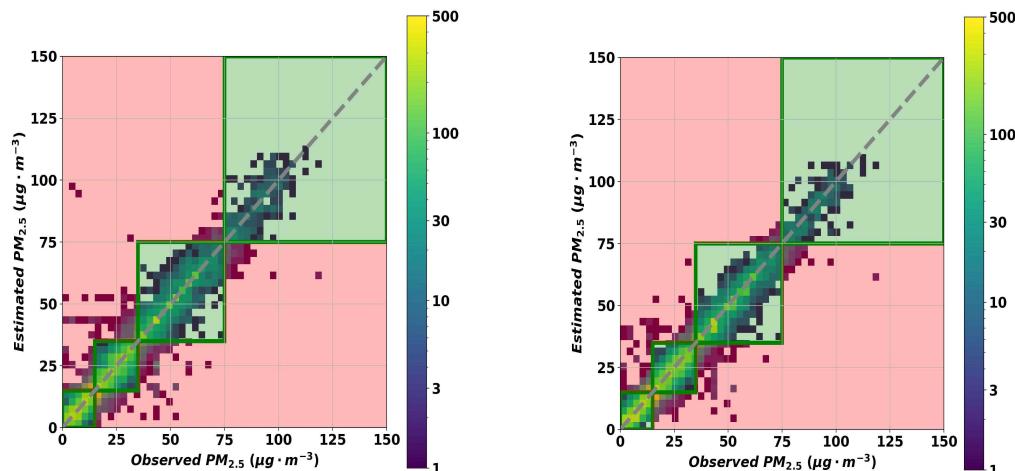
구분		이상치 알고리즘 미적용		이상치 알고리즘 적용	
데이터	기간		2021-04-21 ~ 2022-02-14 8~18시		2021-04-21 ~ 2022-02-14 8~18시
	총계		96,500		96,500
	학습 데이터		57,900		57,900
	검증 데이터		19,300		19,300
	시험 데이터		19,300		19,300
AI 모델별 테스트 데이터 정확도	학습 데이터	X		이미지(분당1장) 센서정보(온도, 습도, 풍속)	
		Y		센서정보(온도, 습도, 풍속)	
	딥러닝 모델	하이퍼 파라미 터	학습횟수 배치 크기	30 256	30 256
		베이스 모델		ResNet-152	ResNet-152
		학습시간(시)		0.95	1.03
		RMSE		4.18	4.10
		MAPE		25.19	23.23

(4) 최적 미세먼지 추정 모형

ResNet-152(분류모델) 모델 기반 데이터 구조 개선(ROI 재설정, 등급별 데이터 현실화, 이상치 제거)을 통한 온도, 습도, 풍속 등 센싱정보 입력 1차 딥러닝 영상분석(CCTV 이미지+현장 센싱정보)을 수행하였다. 딥러닝 영상분석을 토대로 기상 공공데이터(온도, 습도, 풍향, 풍속, 기압 등)와 태양 입사각 변수를 입력한 XGBoost 머신러닝 결합 AI 영상인식 기반 최적 미세먼지농도 추정 모형 프로세스를 구축하였다. 최종 분석결과, 딥러닝모형(ResNet-152) RMSE 4.25, 등급정확도 91.8%, 머신러닝 결합모형(+XGBoost) RMSE 3.61, 등급정확도 90.3%로서, 기설정 성과지표인 4단계 정확도 목표치 80%를 크게 상회하였다. 이를 기반으로 KOLAS 공인 시험인증을 수행하였으며, 딥러닝 영상분석 4단계 정확도 90% 이상 기준을 만족하는 결과를 도출하였다.

<표 3-14> 미세먼지 추정 분석결과

구분		딥러닝 영상분석	딥러닝 + 머신러닝 결합 모형
데이터	기간	2021-04-21 ~ 2022-02-14 (8~18시)	
	총계	100,000	
	학습 데이터	60,000	
	검증 데이터	20,000	
	시험 데이터	20,000	
AI 테스트 데이터 정확도	학습 데이터	X	이미지(분당1장) 센서정보(온도, 습도, 풍속) 기상공공(전체변수, [강수제외]) 태양위치(고도, 방위각) DL 예측값(PM2.5)
		Y	대기센서(PM2.5) 대기센서(PM2.5)
	모델 구성	하이퍼 파라미터 학습횟수 : 50, 배치크기 : 256	subsample : 0.899
	정확도	베이스 모델	ResNet-152 XGBoost
		RMSE	4.25 3.61
		MAPE	20.73 19.74
		4단계 정확도	91.78% 90.25%



<그림 3-23> 영상분석 결과 산포도(좌 : 딥러닝, 우 : 딥러닝+머신러닝)

시험성적서

 WISESTONE 서울 서초구 강남대로 291 남강빌딩 6층 (Tel: 02-6257-5958, Fax: 02-6257-5957)	성적서번호 : 2022-447-VSW-R 페이지(1)/총(7)  ICT시험인증연구소 <small>ICT Testing & Certification Lab.</small>			
<p>1. 신청기관</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ 회사명 : 한국건설기술연구원 ◦ 대표자 : 김병석 ◦ 주소 : 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동) <p>2. 시험성적서의 용도 : 제출용</p> <p>3. 시험대상 제품명 및 버전 : AI 영상인식 기반 3차원 미세먼지정보 분석 기술 v1.0</p> <p>4. 접수일자 : 2022.10.25</p> <p>5. 시험일자 : 2022.11.01 ~ 2022.11.03</p> <p>6. 시험장소 : ■ 고정시험실(위치 : 서울시 서초구 서운로 34, 우정빌딩 별관 지하 1층) / <input type="checkbox"/> 현장시험실</p> <p>7. 시험방법 : 신청기관 제시 기준 및 방법</p> <p>8. 시험결과 : 시험결과 참고</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">확인</td> <td style="width: 60%;">실무자 : </td> <td style="width: 25%;">기술검토자 : </td> </tr> </table> </div> <p style="margin-top: 10px;"> ◦ 이 성적서는 신청기관이 제공한 제품으로만 시험한 결과로서, 제공된 제품의 범위에 대한 품질을 보증하지 않습니다. ◦ 이 성적서는 당 기관의 사전 서면 동의 없이 용도 이외의 사용을 금합니다. ◦ 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인정과 관련이 없습니다. </p> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;"> 2022년 11월 03일  (주)와이즈스톤 대표  </p>		확인	실무자 : 	기술검토자 : 
확인	실무자 : 	기술검토자 : 		

WS-KQP-15-P07(03)

(주)와이즈스톤

시험결과

 WISESTONE 서울 서초구 강남대로 291 남강빌딩 6층 (Tel: 02-6257-5958, Fax: 02-6257-5957)	성적서번호 : 2022-447-VSW-R 페이지(2)/총(7)  ICT시험인증연구소 <small>ICT Testing & Certification Lab.</small>
--	---

시험 결과 요약

번호	시험 항목	신청기관 기준	결과
1	미세먼지농도 4등급 추정 정확도	90% 이상	기준 만족 (91.785%)

<그림 3-24> KOLAS 시험검증 결과서

(5) 검증용 추정모형 구축

검증용 추정모형의 경우 자체 확산 및 실용화를 고려하여 데이터셋 및 모델 구조를 경량화하되, 영상분석 모델 성능 향상을 위해 사전학습 모델을 이용한 전이학습(transfer learning)을 수행하였다. 전이학습은 이미 학습이 끝난 모델 기반으로 새로운 모델을 학습하는 기법이다. 전이학습은 학습이 끝난 모델의 가중치나 정보를 이용하여 새로운 모델을 학습하기 때문에 새로운 모델을 학습하는 데 드는 비용과 시간이 감소된다.

전이학습의 필요성은 다음과 같은 이유로 설명할 수 있다. 학습 데이터가 적은 경우 딥러닝 모델을 학습하는 데는 대량의 데이터가 필요하다. 하지만 일반적으로 대량의 데이터를 수집하고 전처리하는 것은 매우 어려운 일이다. 전이학습을 사용하면 학습이 끝난 모델을 기반으로 새로운 모델을 학습하기 때문에 새로운 모델을 학습하는 데 적은 양의 데이터를 사용할 수 있다. 딥러닝 모델을 학습하는 데는 많은 시간이 필요하다. 일반적으로 딥러닝 모델은 대규모의 데이터를 대상으로 학습을 진행하는데, 이 과정에서 많은 시간이 소요된다. 전이학습을 사용하면 학습이 끝난 모델의 가중치 또는 정보를 이용하여 새로운 모델을 학습하기 때문에 모델 학습 속도를 개선할 수 있다. 전이학습을 사용하면 대부분의 경우에는 학습 속도가 매우 개선된다. 전이학습을 사용하면 학습이 끝난 모델의 가중치 또는 정보를 이용하여 새로운 모델을 학습하기 때문에 새로운 모델의 성능이 개선될 수 있다. 전이학습을 사용하면 일반적으로 모델의 성능이 상대적으로 높아진다.



<그림 3-25> ResNet 전이학습 모델 구조

기존 표준 데이터셋의 경우 기수행된 미세먼지농도 추정 데이터셋 확보가 어려웠기 때문에 전이학습을 미수행하였다. 검증용 추정모형의 경우 기존 표준 데이터셋의 이미지 정보를 전이학습 데이터로 활용할 수 있기에, ResNet-152 기반 전이학습을 적용한 검증용 추정모델을 구축하였다. 이를 통해 동일 CCTV 화면 내 타 ROI 및 지자체 CCTV 영상 샘플에 대한 검증용 추정모형 영상분석을 수행하였다. 검증용 추정모델의 데이터셋 구축을 위한 기존 ROI 외 메시 분할 기반 동일 해상도의 타 ROI를 추가 선정하였다.



<그림 3-26> 추가 ROI 선정

선정 데이터셋은 기존 100,000개에서 45,935개로 축소하였으며, 모델구조의 경우 딥러닝과 머신러닝을 결합한 기존 프로세스가 아닌 이미지 기반 딥러닝분석으로만 검증용 추정모델을 구축하였다. 분석 결과, RMSE는 5.37로 기구축 데이터셋 딥러닝 결과(4.25)보다 높았으나, MAPE(16.63%), 4등급 추정 정확도(92.03%)는 향상된 예측력을 보였다. 이는 CCTV 한 개의 화면에서 더 많은 ROI 미세먼지정보를 추정/추출할 수 있는 가능성을 확인한 것으로, 향후 대시민서비스로서의 신뢰성을 확보할 수 있었다.

안양시 CCTV 영상 데이터 기반 검증용 추정모델 적용 시 RMSE 5.64, 4등급 추정 정확도 76%로 양호한 예측력을 보였다. 기획보된 안양시 CCTV 영상 기반 데이터셋은 3,504 개(학습데이터 2,803개)로 추가 데이터 확보 시 예측력은 보다 향상될 것으로 예상된다.

<표 3-15> 검증용 추정모형 분석결과

구분		기구축 데이터셋 딥러닝 영상분석	전이학습모델 적용 딥러닝 영상분석
데이터	기간	2021-04-21 ~ 2022-02-14 (8~18시)	
	총계	100,000	
	학습 데이터	60,000	
	검증 데이터	20,000	
	시험 데이터	20,000	
AI 테스트 정화도	X	이미지(분당1장), 센서정보(온도, 습도, 풍속)	이미지(분당1장), 센서정보(온도, 습도, 풍속)
	Y	대기센서(PM2.5)	
	모델 구성을 위한 하이퍼파라미터	학습횟수 : 50, 배치크기 : 256	학습횟수 : 200, 배치크기 : 256
정확도	RMSE	4.25	
	MAPE	20.73%	
	4단계 정확도	91.78%	
모델별 산포도			

5. 결측구간 보간 적용 및 방법론 고도화

5.1 성과지표 및 목표치

결측구간 보간 적용 및 방법론 고도화에 대한 성과지표 및 목표치는 아래 표와 같다.

<표 3-16> 성과지표 및 목표치

구분	내용
성과지표	- 미세먼지 결측 지점에 대한 보간
목표치	- 1km 이하 해상도의 3차원 공간보간
목표치 설정 근거	- 3차원 미세먼지정보 지도 구축을 위한 기초 공간범위(1km) 단위 반영
측정방법 및 산식	- 3차원 미세먼지 결측지점에 대한 보간 여부
가중치	- 3.4%

5.2 수행결과 및 달성내용

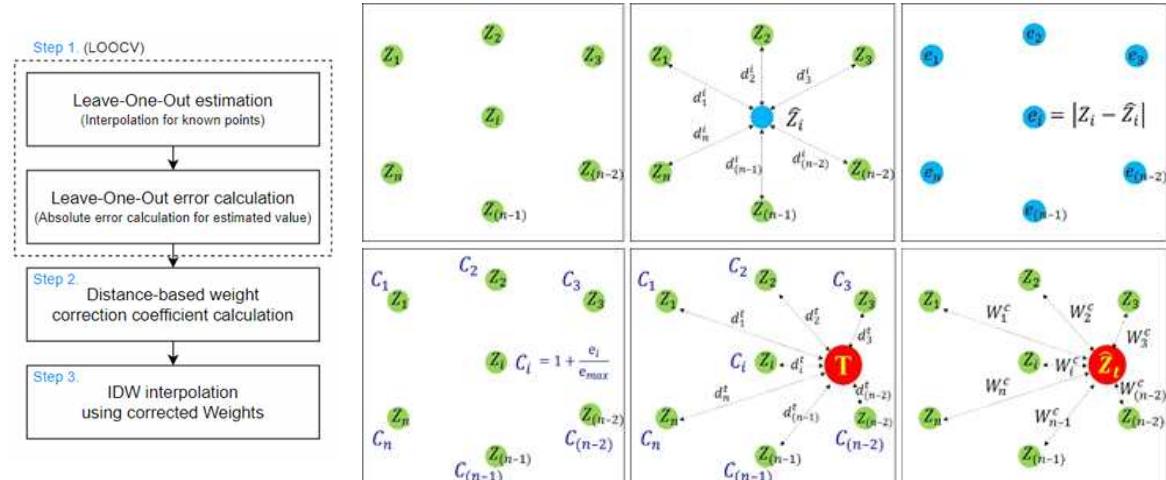
5.2.1 주요 수행연구 결과

- 목표. 1km 이하 해상도의 3차원 공간보간 (100% 달성)
- 수행연구 :
 - 미세먼지 최적 3차원 보간 기법 개발
 - 시공간 변화를 고려한 미세먼지 3차원 보간 기법 고도화
 - 고도별 미세먼지 분포 모델링을 적용한 미세먼지 3차원 보간 기법 개발

5.2.2 수행연구 세부내용

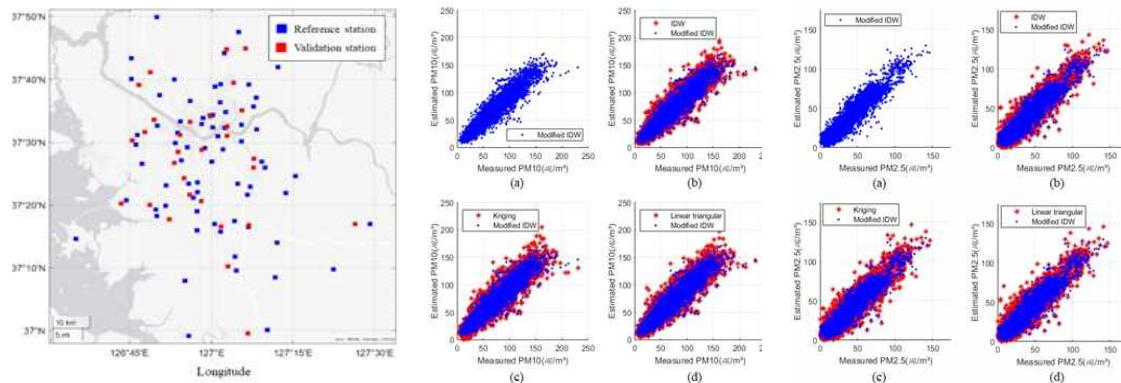
(1) 미세먼지 최적 3차원 보간기법 개발

기존 2차원 보간법에 대한 분석과 3차원 보간 최적화를 통하여 3차원 미세먼지 보간 기법을 개발하였다. 미세먼지에 최적화된 modified IDW 방법론에 대한 고도화를 통하여 3차원 미세먼지 보간 기법을 개발하였다. 참조지점과 추정 대상지 간의 3차원 거리를 이용할 수 있도록 modified IDW를 개선하고자 하였다.

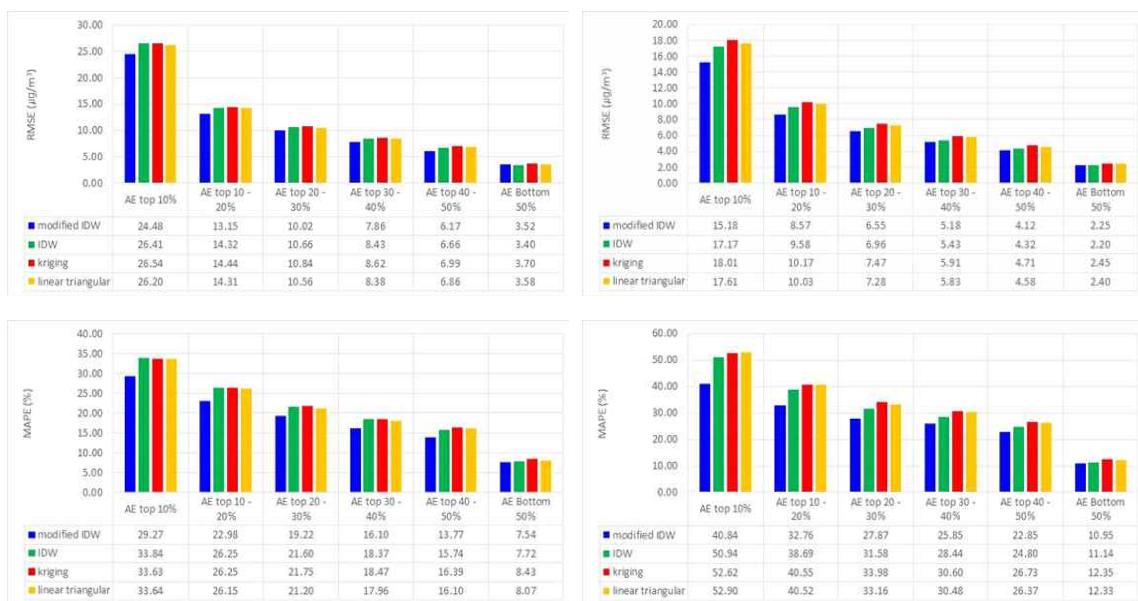


<그림 3-27> modified-IDW를 이용한 3차원 미세먼지 보간의 흐름도

미세먼지 관측치(2020.1.1 – 2021.5.31)를 이용하여 알고리즘에 대한 비교/평가를 수행하였다. 개발된 미세먼지 3차원 미세먼지 보간 기법은 기존 방법들에 비하여 상대적으로 낮은 오차 수준을 나타내었다는 점에서 보다 정확한 미세먼지 추정이 가능한 것으로 분석되었다. 개발된 방법론은 기존 보간법을 이용한 추정치의 오차가 클수록 상대적으로 높은 정확도를 보여주었다는 점에서 보다 정확하고 정밀한 미세먼지 추정을 가능하게 하는 것으로 판단된다.



<그림 3-28> 보간법 검증에 사용된 관측지점 및 관측값 비교(PM10, PM2.5)



<그림 3-29> 오차 레벨에 따른 보간법별 RMSE 및 MAPE(좌: PM10, 우: PM2.5)

(2) 고도별 미세먼지 분포 모델링을 적용한 미세먼지 3차원 보간기법 고도화

최소제곱법을 이용해 관측된 고도별 미세먼지 분포 경향을 기반으로 관측된 고도와 다른 고도의 미세먼지 농도를 추정할 수 있는 연직 분포 모델을 설계하였다. 드론 관측 고도인 0m에서 150m까지 적용하였으며, 해당 모델은 더 높은 연직해상도에도 적용 가능하다.

$$PM_{2.5}(h) = PM_{2.5}(0) + w(h)$$

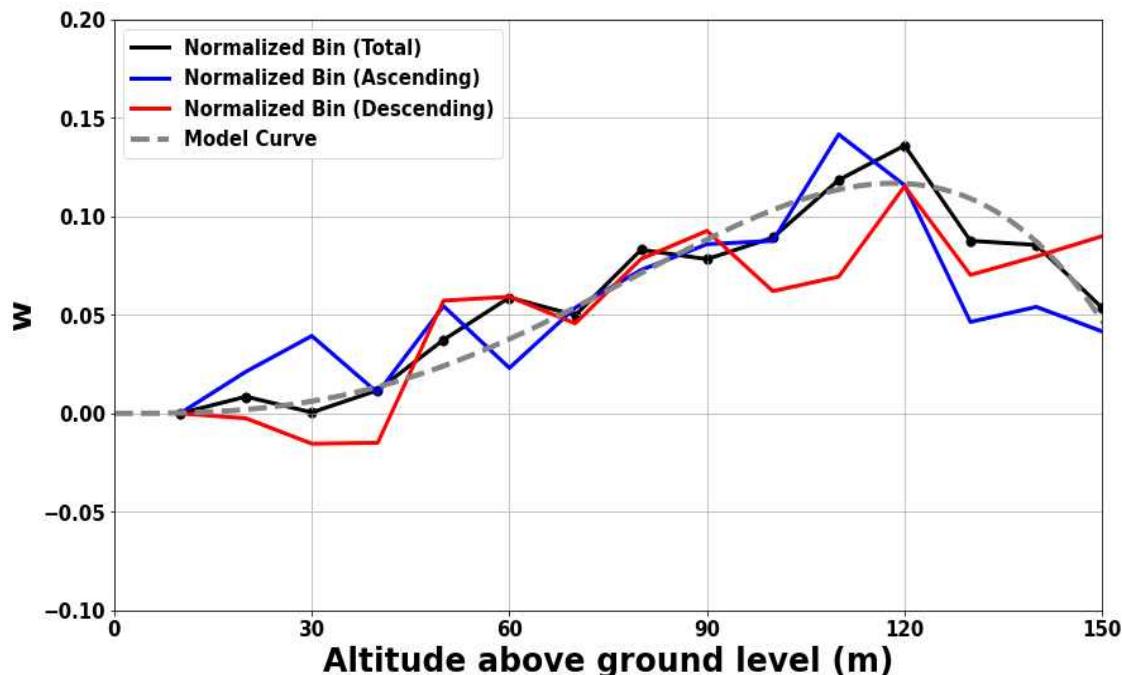
$$(0km \leq h \leq 0.15km)$$

$$w(h) = -1788h^4 + 282h^3$$

$$PM_{2.5}(h) = PM_{2.5}(h_o) - 1788(h^4 - h_o^4) + 282(h^3 - h_o^3)$$

$PM_{2.5}(h)$: 높이 h km에서의 $PM_{2.5}$ 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

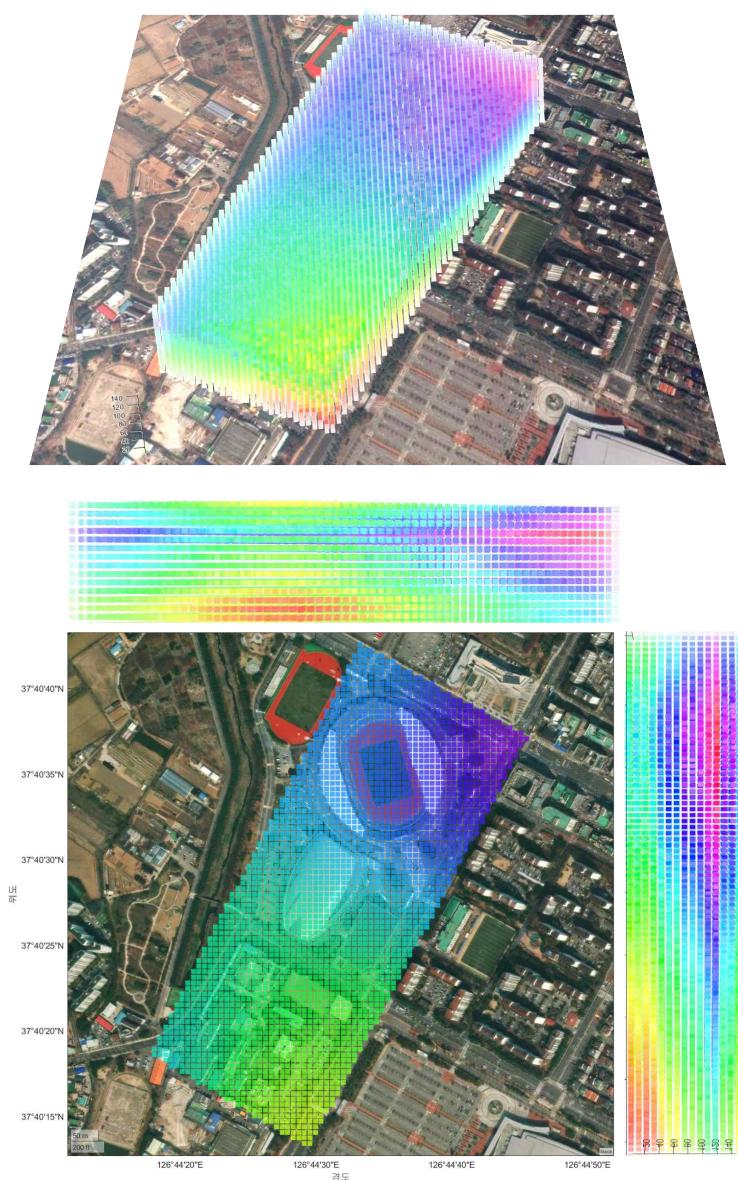
$w(h)$: 높이 h km에서의 가중치 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



<그림 3-30> 3차원 보간을 위한 연직분포 모델

각 관측소에 대한 미세먼지 수직 분포 가중치를 이용하여 계산된 고도별 미세먼지 참조값을 활용한 3차원 보간 기법을 개발하였다. 2차원 보간을 위한 기존의 modified IDW 보간 기법을 고도화하여 3차원 공간의 미세먼지 농도를 추정할 수 있도록 하였다. Modified IDW를 이용한 3차원 보간에서는 보간하고자 하는 위치와 참조위치 간의 3차원 위치의 역

수를 거리 가중치로 결정하고 이를 이용하여 대상위치의 미세먼지 예측값을 도출하였다. 사용된 참조값은 i) 관측소 측정치, ii) 이미지 기반의 미세먼지 추정치, iii) 미세먼지 고도별 모델을 통하여 도출된 각 관측소 위치의 미세먼지 농도이다. 고도별 모델 기반 참조값의 경우, 계산의 효율성을 위하여 보간에 가장 중요하다고 판단되는 위치의 참조값만이 사용되었다(보간대상 지점과 동일고도의 참조값, 최저고도(지표 최근접 위치) 및 최고고도(150m)의 값이 사용됨). 최종적으로 고도화된 modified IDW를 이용하여 $10 \times 10 \times 10\text{m}$ 의 공간해상도 기반 미세먼지정보 구축지도 생성을 위한 보간 알고리즘 개발하였으며, 이를 기반으로 3차원 미세먼지정보 시각화 모듈 개발 및 대시민용 공간해상도 설정이 가능하다.



<그림 3-31> 3차원 보간을 통한 미세먼지 지도($10 \times 10 \times 10\text{m}$)

WBS 3 : 도로변 미세먼지 3차원 공간정보 시스템 구축 기술 개발

6. 3차원 미세먼지 표출 및 시각화 모듈 개발

6.1 성과지표 및 목표치

도로변 미세먼지 3차원 공간정보 시스템 구축 기술 개발에 대한 성과지표 및 목표치는 아래 표와 같다.

<표 3-17> 도로변 미세먼지 3차원 공간정보 시스템 구축 기술 개발 성과지표 및 목표치

구분	내용
성과지표	- 3차원 공간정보 시스템 시각화 모듈 개발
목표치	- 3차원 미세먼지 공간정보의 시각화 모듈 개발
목표치 설정 근거	- 미세먼지 3차원 공간정보 플랫폼 구축을 위한 공간정보 시각화
측정방법 및 산식	- 3차원 미세먼지 공간정보 시각화 모듈 개발 여부
가중치	- 11.2%

6.2 수행결과 및 달성내용

6.2.1 주요 수행연구 결과

- 목표. 3차원 미세먼지 공간정보의 시각화 모듈 개발 (100% 달성)
- 수행연구 :
 - 3차원 표출데이터 가시화방안
 - 3차원 공간해상도 선정
 - 3차원 미세먼지 공간정보 시각화 모듈

6.2.2 수행연구 세부내용

(1) 3차원 표출데이터 가시화방안

1) 3차원 공간정보

주 연구실증 대상지인 고양시 Site의 경우 CCTV 영상으로부터 ROI 방향 드론 정사영상 기반 3D 모델링을 구축하였다. 지자체 검증용 안양시 Site의 경우 범용성 및 지자체 확산을 고려하여 브이월드 3D 모델링 데이터 활용하였다.

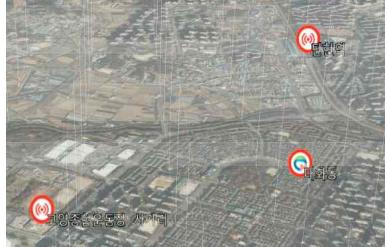
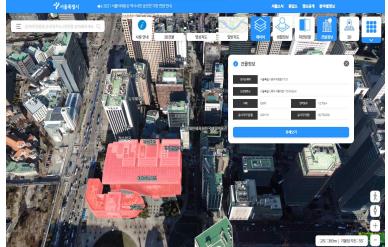
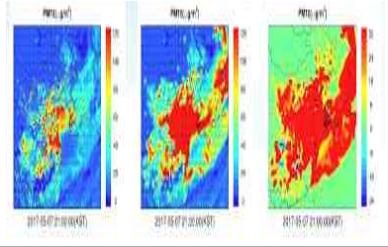


<그림 3-32> 고양시 정사영상 기반 3D 모델링(좌) 및 안양시 브이월드 기반 3D 모델링(우)

2) 데이터 종류별 가시화방안

미세먼지 공간정보 통합시스템에 표출할 가시화 데이터는 딥러닝 영상분석을 통한 미세먼지 추정값, 연구용 미세먼지 관측값, 공공 미세먼지 농도값, 결측구간 보간, 관련 기상 데이터, 시계열 이력 데이터로 구성된다. 각 데이터별 특성을 고려하여 아이콘 시각화, 3차원 큐브, 듀얼맵, description 등 가시화방안을 수립하였다.

<표 3-18> 데이터 종류별 가시화방안

구분	데이터 특성	가시화 방안	예시
딥러닝 영상분석을 통한 미세먼지 추정값	2차원 거리별 위치 데이터	아이콘 시작화	
연구용 미세먼지 관측값	2차원 ROI 위치 데이터	아이콘 시각화/큐브 형태	
공공 미세먼지 농도값	2차원 면적 데이터	추가 레이어 형태/듀얼맵(비 교)	
결측구간 보간	2차원 : IDW 위치 데이터 3차원 : 고도/시간별 가중치 적용 데이터	큐브 형태(도형/색상 시각화)	
관련 기상 데이터	2차원 면적 데이터	description	
시계열 이력	text 통계 데이터	시계열 시각화, 그래프 등	

3) 시간의 흐름에 따른 데이터 시각화를 위한 시계열 데이터 시각화 방안

시간 경과에 따른 미세먼지 농도값의 변화를 지도에 직관적으로 표출하기 위하여 CesiumJS에서 제공하는 JSON 기반의 CZML 포맷을 사용하였다. CZML 포맷은 세슘언어 중 하나로 Cesium을 실행하는 웹 브라우저에 표시하기 위한 그래픽 객체의 속성을 시간에 따라 동적으로 변경해야 할 때 사용하기 가장 적합하며 CesiumJS와 CZML의 관계는 Google Earth와 KML의 관계와 유사하다.

```
{
  "id": Object_ID,
  ... //Other properties
  "someIntervalProperty": [
    [
      {
        "interval": TimeInterval_1,
        "propertyValue": PropertyValue_1
      },
      {
        "interval": TimeInterval_2,
        "propertyValue": PropertyValue_2
      },
      ... //Other time intervals and property values
    ],
    ... //Other properties
  ]
}

{
  "id": "Point_1",
  "name": "A time-dynamic point",
  "point": {
    "color": { "rgba": [255, 255, 0, 255] },
    "position": {
      "epoch": "2012-08-04T16:00:00Z",
      "cartographicDegrees": [
        0, -70, 20, 100000,
        100, -80, 44, 120000,
        200, -90, 18, 130000,
        300, -98, 52, 140000
      ]
    }
}
```

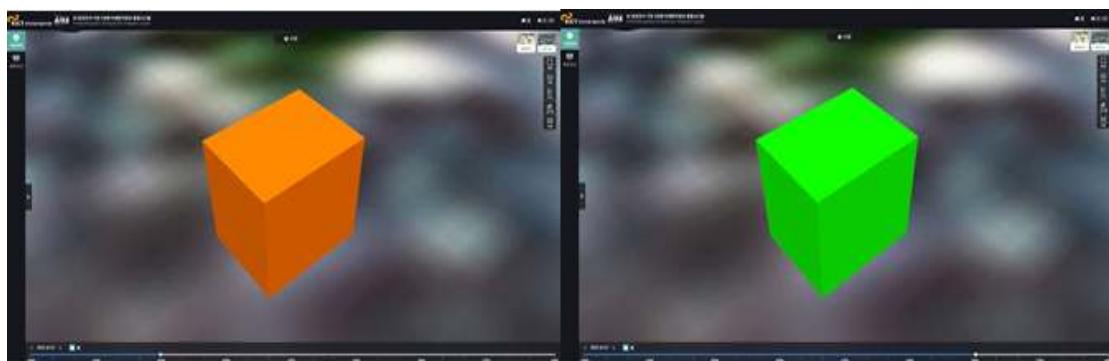
<그림 3-33> CZML 데이터 구조

CZML은 그래픽 객체가 특정한 시간 간격(interval) 내에서 어떠한 속성값(propertyValue)을 가질 것인지 지정할 수 있다. 다음은 실제 사용된 CZML 코드 예시이다.

```
color: Array(21)
▶ 0: {interval: '2022-10-22T00:00:00.000Z/2022-10-22T00:00:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 1: {interval: '2022-10-22T00:00:00.000Z/2022-10-22T00:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 2: {interval: '2022-10-22T00:12:00.000Z/2022-10-22T01:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 3: {interval: '2022-10-22T01:12:00.000Z/2022-10-22T02:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 4: {interval: '2022-10-22T02:12:00.000Z/2022-10-22T03:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 5: {interval: '2022-10-22T03:12:00.000Z/2022-10-22T04:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 6: {interval: '2022-10-22T04:12:00.000Z/2022-10-22T05:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▼ 7:
  interval: "2022-10-22T05:12:00.000Z/2022-10-22T07:12:00.000Z"
  rgba: (4) [1, 0.43438914827149317, 0, 1]
▶ [[Prototype]]: Object
▶ 8: {interval: '2022-10-22T07:12:00.000Z/2022-10-22T08:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 9: {interval: '2022-10-22T08:12:00.000Z/2022-10-22T09:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 10: {interval: '2022-10-22T09:12:00.000Z/2022-10-22T10:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 11: {interval: '2022-10-22T10:12:00.000Z/2022-10-22T13:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 12: {interval: '2022-10-22T13:12:00.000Z/2022-10-22T14:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 13: {interval: '2022-10-22T14:12:00.000Z/2022-10-22T15:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 14: {interval: '2022-10-22T15:12:00.000Z/2022-10-22T17:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▼ 15:
  interval: "2022-10-22T17:12:00.000Z/2022-10-22T18:12:00.000Z"
  rgba: (4) [0.05263157894736842, 0.9919504643962849, 0, 1]
▶ [[Prototype]]: Object
▶ 16: {interval: '2022-10-22T18:12:00.000Z/2022-10-22T19:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 17: {interval: '2022-10-22T19:12:00.000Z/2022-10-22T20:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 18: {interval: '2022-10-22T20:12:00.000Z/2022-10-22T21:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 19: {interval: '2022-10-22T21:12:00.000Z/2022-10-22T23:12:00.000Z', rgba: Array(4)}
▶ 20: {interval: '2022-10-22T23:12:00.000Z/2022-10-22T23:59:59.000Z', rgba: Array(4)}
```

<그림 3-34> CZML 예시

그래픽 객체 속성 중 하나인 색상(color)을 일정 시간 간격(interval)동안 어떤 색(rgbaf)으로 나타낼 것인지 지정하고 있다. 시간 간격을 지정할 경우 (시작시간)/(종료시간) 형태로 사용하게 되는데 이 때 사용된 시간은 ISO 형식(ISO 8601)을 채용하였다. 간격과 색을 표현한 JSON을 배열로 만들어 일정 시간 내 동적인 그래픽 장면을 표출할 수 있다. 다음 그림은 위에 제시한 CZML 예시를 Cesium 뷰어에 투영한 결과이다. 시간 간격(interval)동안 명시된 색상이 그래픽 객체에 적용됨을 확인할 수 있다.



<그림 3-35> 시간별 CZML 그래픽 객체 – (좌) 오전 6시, (우) 오후 6시

시간 동적 그래픽 객체를 3차원 공간에 투영하기 가장 좋은 방법 중 하나인 CZML 포맷은 그래픽 객체의 색상뿐만 아닌 위치, 크기, 모양 등 여러 가지의 속성을 변경할 수 있다. 또한 CZML 객체를 Cesium 뷰어에 로드할 경우 Cesium 시간과 바인딩되어 시간 간격에 따라 속성이 변하므로 손쉽게 사용이 가능하다. 시뮬레이션이나 동영상같이 연속적인 그래픽 장면을 구현하기에도 매우 적합한 방법이다.

4) 공간상태에 대한 시작화를 위한 입체격자 적용

미세먼지 농도값을 3차원 공간에 투영하기 위하여 CZML 포맷으로 정육면체 형태의 입체격자를 생성하여 활용하는 방법을 사용하였다. 지점별 미세먼지 농도를 최대한 세밀하게 시작화하기 위하여 입체 격자의 크기는 최소화, 개수는 최대화하였다. 입체 격자의 개수를 늘린다면 더욱 세부화된 미세먼지 농도 표출이 가능하지만 데이터 조회하는데 걸리는 시간이 그만큼 늘어나므로 최적의 공간해상도 및 데이터 용량을 고려하여 관측소 지점당 $7 \times 7 \times 3$ 규격의 입체 격자로 구성하였다. 다음 그림은 구분선을 표시한 입체 격자를 통해 미세먼지를 시작화한 예시이다.



<그림 3-36> 입체격자를 통한 미세먼지 시각화

(2) 3차원 공간해상도 설정

기존 미세먼지정보 제공서비스의 공간해상도를 살펴보면, 지자체마다 조금씩 상이하나 주로 동단위로 설정되어 있다. 고양시의 경우 5개소 국가측정소가 고양시 전역을 커버하므로, 전체 행정동 44개 중 대략 9개동이 동일한 미세먼지정보를 공유하는 등 지역단위의 일률적인 공간해상도를 갖는 문제를 지닌다. 본 연구는 보다 조밀한 미세먼지정보 제공을 위해 지역단위(예. 동단위)가 아닌 시민의 실생활권 공간단위로 공간해상도를 설정하고자 한다.

기상 관련 공간해상도 사례를 살펴보면, 기상자료개발포털의 기상자원지도 1km, 국지예보모델(LDAPS) 1.5km 등 공기과 대기특성(air parcel)을 반영하여 통상 1km 이상의 2차원 공간해상도를 설정하고 있다. 하지만 본 연구는 AI 영상분석을 통해 시민의 실생활권에서의 미세먼지정보 제공 목적이므로 보다 높은 공간해상도 설정이 필요하다. 공간해상도 설정 시 실시간 가시화를 위한 데이터 처리의 효율성과 연구실증 미세먼지 관측데이터 소설여부를 함께 고려하였다. 이에 본 연구의 2차원 공간해상도는 도보 생활권으로 간주 가능한 500m 이내이며, 브이월드의 격자단위(경위도 36degree-base)를 차용한 옥트리(각각 경계 좌표 간격의 2분(Half)에 따라 규칙적, 반복적 세분화에 기초한 3차원에서 자료 구성을 도식하는 방식) 기반 3차원 격자체계를 구성하여 시민들의 실생활권으로 간주 가능한 크기로 구성하였다(경위도 0.000549316406도 단위로 격자 구성, 고양시가 위치한 위도 37도 기준으로 산출시 가로 약 50미터, 세로 약 60미터, 높이 약 60미터의 3차원 격자).

(3) 3차원 미세먼지 공간정보 시각화 모듈

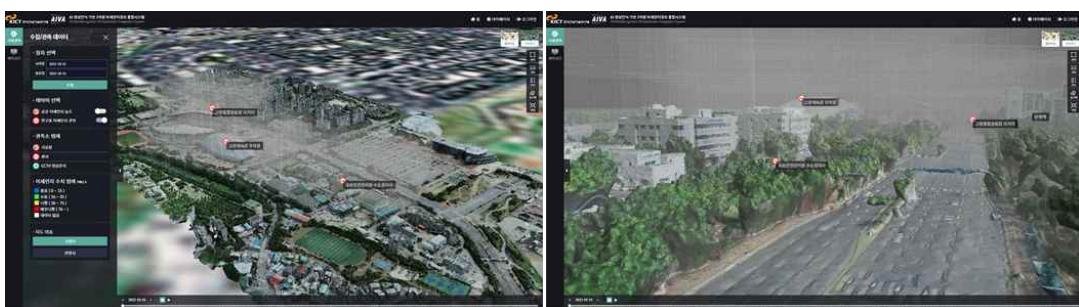
1) 3차원 미세먼지 데이터 분석

미세먼지를 지도 상에 표출하기 적합한 방안으로 입체격자를 통한 시각화 방안을 채택하였다. 공공 미세먼지 농도값, 연구용 미세먼지 관측값, 딥러닝 영상분석을 통한 미세먼지 예측값, 결측구간 보간값을 활용하여 CesiumJS에 적용해 데이터를 시각화 하였다. 시계열 미세먼지 자료 구조를 분석한 결과, 관측소 위치(경위도), 관측 시간, 미세먼지 농도값을 활용하여 표출이 가능하다고 판단하였고 해당 데이터를 입체격자의 색상, 개수, 크기를 통해 시각화하는 방법으로 구현하였다. 다음의 예측 미세먼지 데이터의 일부이다.

123 관측소 명칭	123 관측시간	123 미세먼지 농도값	123 관측소 위치(경도)	123 관측소 위치(위도)
국토안전관리원 수도권지사	202212060521	30	126.741175	37.671163
고양체육관 주차장	202212060521	14	126.741696	37.674483
고양종합운동장 사거리	202212060521	14	126.745766	37.676858
탄현역	202212060521	6	126.761023	37.6939006
국토안전관리원 수도권지사	202212060522	30	126.741175	37.671163
고양체육관 주차장	202212060522	14	126.741696	37.674483
고양종합운동장 사거리	202212060522	14	126.745766	37.676858
탄현역	202212060522	6	126.761023	37.6939006
국토안전관리원 수도권지사	202212060523	30	126.741175	37.671163
고양체육관 주차장	202212060523	14	126.741696	37.674483
고양종합운동장 사거리	202212060523	14	126.745766	37.676858
탄현역	202212060523	6	126.761023	37.6939006
국토안전관리원 수도권지사	202212060524	30	126.741175	37.671163
고양체육관 주차장	202212060524	14	126.741696	37.674483

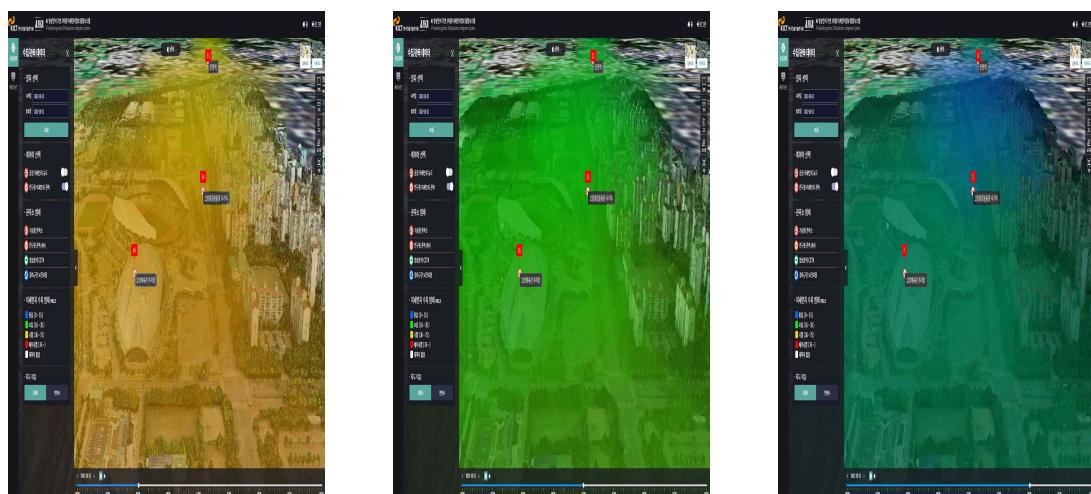
<그림 3-37> 미세먼지 데이터 일부

미세먼지 농도값을 시각화하는 과정에서 관측소를 중심으로 한 입체 격자 기준으로 모든 방향에 일정 개수의 입체 격자를 추가하여 관측소 지점뿐만 아니라 주변 대기에도 미세먼지가 분포되어있음을 표현하였다.



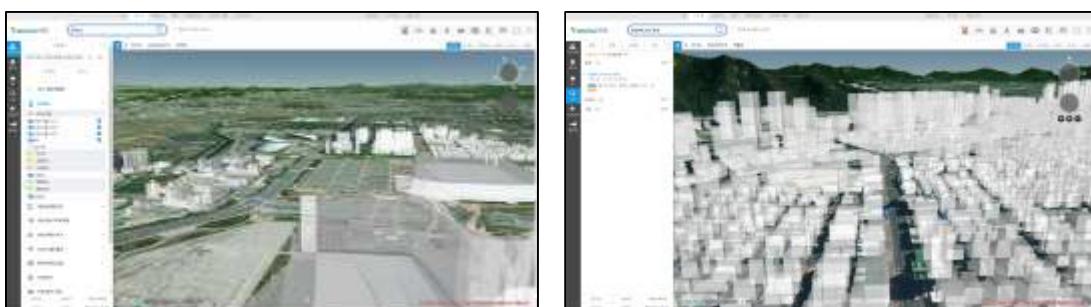
<그림 3-38> 미세먼지 관측소 및 입체격자를 통한 미세먼지 데이터 시각화

범례에 따른 입체 격자의 색상 변경 및 수치 표시를 통하여 기 구축되어있는 미세먼지 농도 데이터를 지도에 표출하였다. 시간경과에 따라 한 지점에 대해 농도값이 변할 경우 해당 변화를 확인할 수 있는 방안이 필요했다. 이에 CZML 포맷 특성 상 특정 시간 가격 내에 그래픽 객체의 속성값을 지정할 수 있는 것을 활용하여 색상이 변하도록 설정하였다. 일정 주기마다 적재된 데이터에서 값을 가져와 표출하는 방안은 과도한 데이터 전송량으로 인하여 사용이 불가능하다고 판단하였고 데이터 조회 시 입체 격자를 생성함과 동시에 시간별 색상값을 부여하는 방식을 채택하였다. 또한, 관측소 측정값을 수치로 표시한 부분도 시간별 수치값을 부여하여 직관적인 미세먼지 농도값의 수치 변화를 확인할 수 있도록 설정하였다.



<그림 3-39> 시간의 흐름에 따른 미세먼지 수치 시각화 (오전 6시, 오후 12시, 오후 6시)

국내 대표 공공 3차원 지도 서비스를 제공하는 브이월드에서 안양시 및 고양시 사업대상지의 3차원 건물 데이터 서비스 현황은 다음과 같다. 브이월드는 LOD 3,4 의 고정밀 실감형 3차원 건물 데이터를 지원하지만 전국의 모든 지역을 대상으로 하지 않으며 사업대상지는 LOD 1의 3차원 건물 형상만을 서비스하고 있다.



<그림 3-40> 3D 모델링(고양, 안양)

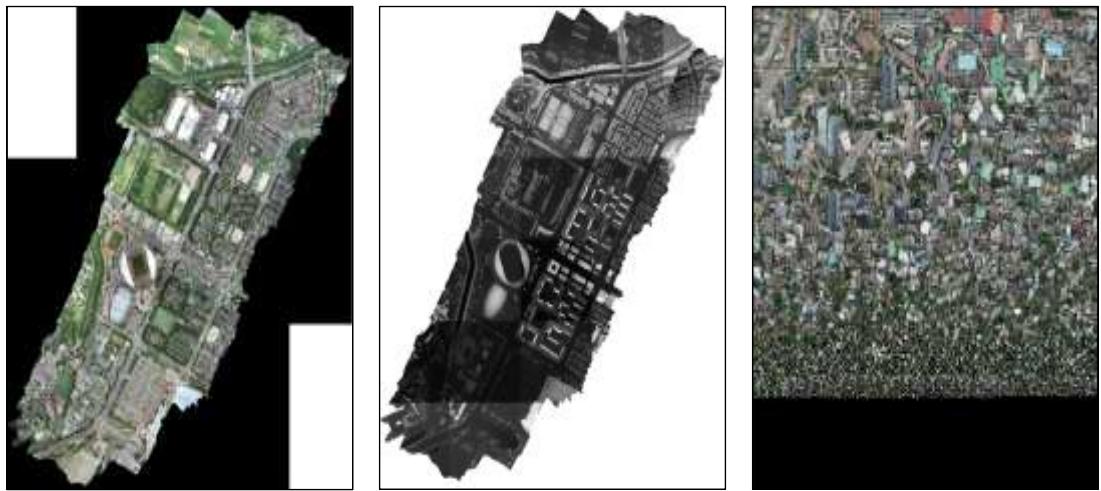
브이월드의 3차원 건물 서비스 데이터만 별도로 사용할 수 있는 방법은 있으나 비공식적인 방법이기 때문에 사용할 수 없고, 공식적으로 사용하기 위해서는 브이월드 3차원 엔진 (Modified-CesiumJS)을 사용해야 하며 이 경우 시스템 개발 난이도가 다소 올라가는 경향이 있다. 또한 폐쇄망에서는 브이월드에서 서비스하는 건물 데이터를 사용할 수 없으며 사업대상지의 3차원 건물데이터의 질(quality) 또한 높지 않다.

본 시스템의 시각화 모듈은 3차원 공간 위에 대기질(미세먼지)을 표현하기 위해 일정 크기로 분할한 공간 큐브에 미세먼지량에 따른 색상을 부여하고 이렇게 만들어진 다수 개의 공간 큐브를 중첩하여 3차원 공간에 투영하는 방법을 사용한다. 이때 일정 거리를 보장하기 위해 공간 큐브 중첩 투영시 알파블랜딩 기법을 적용하는데, 공간 큐브와 상기한 브이월드의 LOD 1의 반투명한 건물 형상이 함께 알파 블랜딩되면 직관성이 떨어지는 결과를 낳는다. 이런 이유로 브이월드의 3차원 서비스 데이터를 사용하는 대신 직접 구축하여 본 시스템에 적용한다. 다음 표는 3차원 공간 구축을 위해 사용하는 원천데이터를 설명한다.

<표 3-19> 원천데이터 내역

범위	종류	포맷	개수(개)	크기(MiB)	비고
고양시	정사영상	TIF	26	1,198 MiB	<ul style="list-style-type: none"> • 크기는 텍스처 포함 • 크기는 소수점 절삭 • MiB = 2^{20} Bytes
	DSM	TIF	29	1,598 MiB	
	3차원 형상 (건물 포함)	DAE	80	3,447 MiB	
		OBJ	89	4,637 MiB	
	3DS		1	1,449 MiB	
안양시	3차원 건물	SHP	20	115 MiB	
전국	DEM	IMG	1	524 MiB	

고양시 원천 데이터는 드론을 활용하여 스캔한 3차원 결과물의 가공품이며 정사영상, DSM, 3차원 형상으로 구성되어 있다. DAE, OBJ, 3DS 포맷으로 중복 제공된 3차원 형상은 지형과 건물의 외형이 혼합된 형태이며 함께 제공된 DSM과 정사영상의 요소를 모두 포함한다. 결국 3차원 형상이 사용 가능한 단일 최종 데이터인 샘인데, 지오메트리는 단순화를 거치지 않은 대용량 low-data 형태와 유사하고 텍스처 이미지는 고해상도지만 갈갈이 찢겨진 형태로 중구난방 매핑되어 있어 단순화가 불가능한 형태로 되어있는 등 일반적인 모델셋(set)과 큰 차이가 있어 웹 특성을 반영한 서비스 데이터 구축에 어려움이 있었다.



<그림 3-41> 고양시 정사영상, DSM, 텍스처

고양시에서 사용할 3차원 모델의 원천 포맷으로 3DS 포맷을 기대하였으나 수령한 3DS 포맷의 데이터는 상기한 지오메트리, 이미지 텍스처의 문제뿐만 아니라 모델축 및 변환행렬 요소에도 문제가 있었다. 모델 문제를 해결하기 위해 3DS 포맷의 기본 모델축(axis)인 right handed +x right, +y forward, +z up 으로 변환을 시도하거나 지오메트리를 단순화하기 위해 갈같이 찢겨진 텍스처 이미지를 분리, 재정렬, 병합하는 등 웹 서비스가 가능한 데이터를 구축하기 위해 많은 시도가 있었음에도 과도한 그래픽 메모리 소비로 인한 WebGL의 Shutdown현상, 데이터 전송량 낭비, 지도 위 배치 좌표가 맞지 않는 등의 치명적인 문제가 해결되지 않았다. 이에 3DS 포맷 데이터 사용 방안을 폐기하였다.

결국, 고양시의 원천 데이터는 가장 일반적인 OBJ 포맷을, 안양시의 원천 데이터는 브이 월드에서 제공한 2차원 SHP 포맷을 사용하는 것으로 최종 결론을 지었다. 다만, 본사가 보유한 3차원 공간 구축 프로그램은 이 두 가지 포맷을 지원하지 않아 대응 기능의 확장 개발이 필요했다.

<표 3-20> 원천데이터 좌표계

범위	종류	좌표계
고양시	3차원 모델	서부 TM (EPSG:5185)
안양시	3차원 모델	UTM-K (EPSG:5179)
전국	DEM	중부 TM (EPSG:5186)

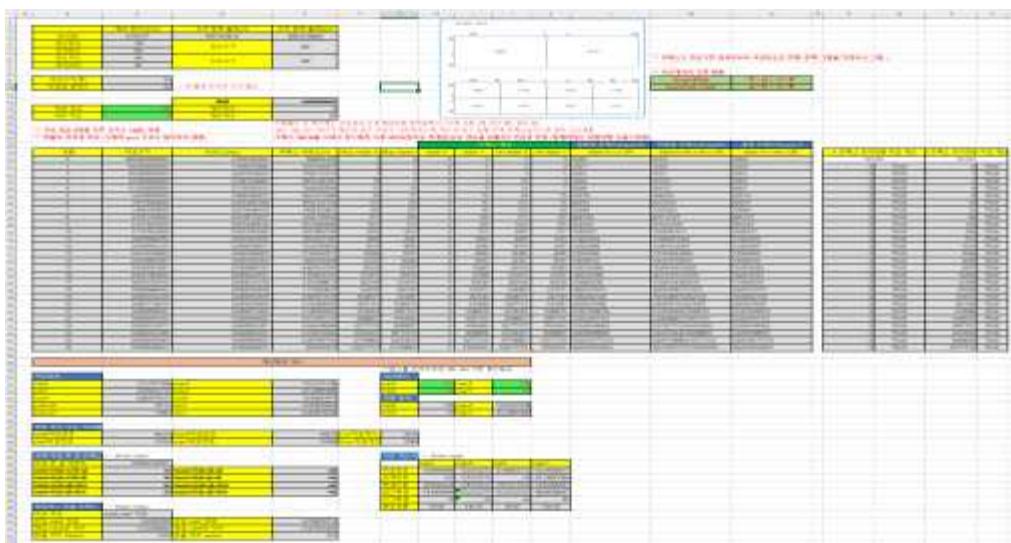
고양시의 3차원 데이터는 이미 지형을 포함하고 있기 때문에 고려대상이 되지 않지만, 별도의 3차원 지형 구축이 필요한 안양시 데이터를 위해 국가공간정보포털에서 제공하는 90m급 해상도의 전국 수치표고모델(DEM)을 활용하였다.



<그림 3-42> DEM 자료

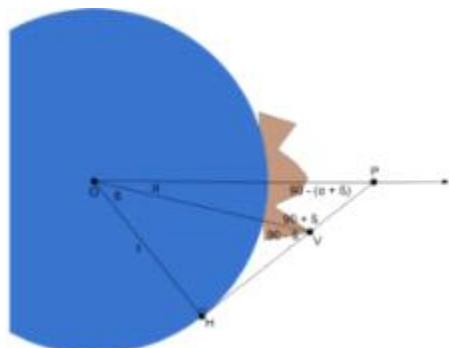
2) 3차원 지형/건물 서비스 데이터 변환

지형 시각화 서비스 포맷으로 Quantized Mesh Terrain(.terrain)을 채택하여 지형모델을 구축하였다. CesiumJS에서 지원하는 다른 포맷인 HeightMap은 GRID 형태의 간단한 구조로 되어있어 빠른 렌더링이 가능하지만 3차원 시스템 특성상 시각화 데이터의 최대 레벨보다 더 확대가 가능하여 지형 갈라짐 현상을 관측할 수 있다. 이런 문제를 극복하기 위해 Quantize Mesh Terrain 포맷을 채택하였다.



<그림 3-43> 지형 공간경계 및 저장 경로 계산 방법

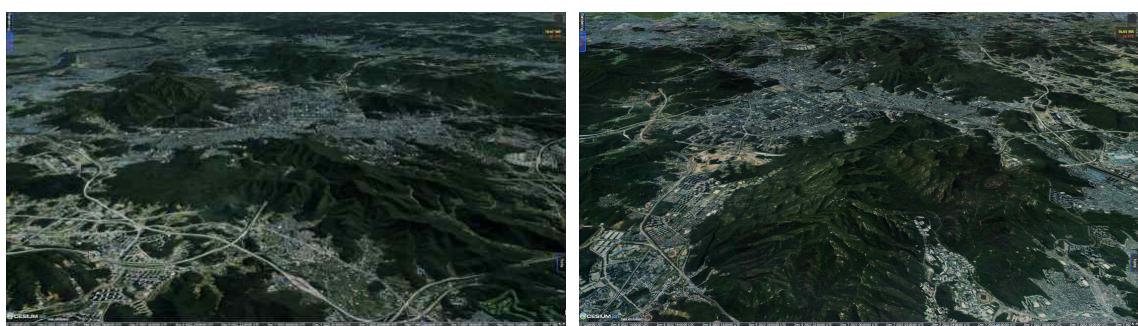
Flat한 3차원 모델 뷰와 다르게 Globe 위에서 시각화 해야하는 3차원 지형 모델(Mesh)은 일반 3차원 모델의 가시 범위 계산과 다르게 자연스럽게 더 이상 보이지 않게되는 지평선 개념이 있기 때문에 수평폐색지점(Dead Reckoning)을 계산하였다.



<그림 3-44> 수평폐색지점이 필요한 이유

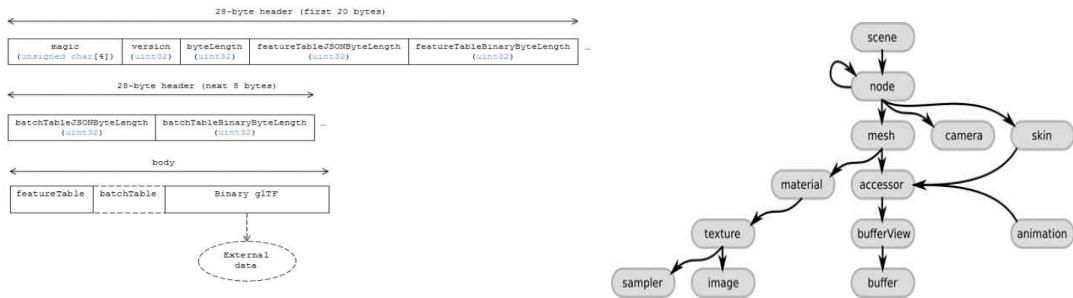
Quantized Mesh Terrain은 ECEF(Earth-Centered Earth-Fixed) 좌표계 기반의 폐색 경계(수평폐색지점) 등의 정보를 담은 헤더와 기준 대비 상대값으로 구성된 지오메트리 데이터를 항목마다 ZigZag / HighWaterMark / Oct 인코딩 방식을 통해 데이터를 압축하고 다시 gZip으로 압축하는 등 복잡한 구조를 가진다.

해상도 90m급 지형데이터(IMG)를 원천데이터로 하여 Quantized Mesh Terrain 포맷 지형 타일을 생성하였다. 다음은 안양시 지역의 3차원 지형 적용 모습이다.



<그림 3-45> 안양시 3차원 지형 적용

OGC(Open Geospatial Consortium, 개방형 공간 정보 컨소시엄 - 국제 표준화 기구) 표준 포맷 중 하나인 Cesium의 3DTiles 포맷을 채택하여 3차원 건물 서비스 데이터를 생성하였다. 3DTile은 Web-3D Data 포맷의 사실상 표준인 glTF를 확장하여 포함하게 되어있으며 그 구조는 다음과 같다.



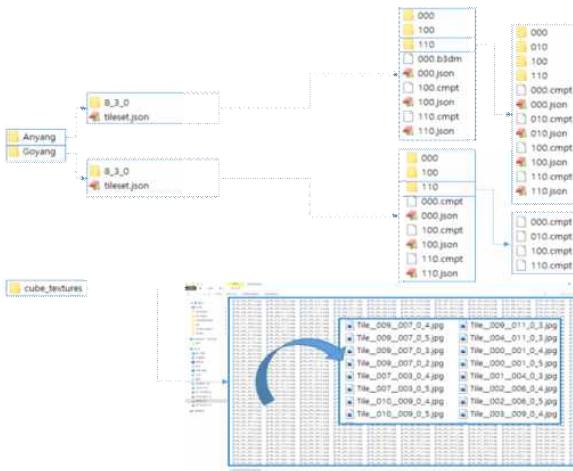
<그림 3-46> 3DTiles(B3DM), glTF 레이아웃

3DTiles 포맷은 3차원 매쉬(mesh) 데이터와 이를 배치하기 위한 메타데이터가 분리되어 별도의 파일로 운용되는데 이를 통해 Octree 또는 QuadTree 형태의 상하구조를 지원하며 구성되는 타일의 크기를 균등/비균등하도록 자유롭게 구성할 수 있다. 본 사업에서는 데이터 전송 및 가시화 속도를 고려하여 Octree 기반 3차원 격자체계에 따라 공간별 데이터를 분리 및 변환, 생성 할 수 있도록 다음과 같이 공간을 분할하고, 시각화 서비스 데이터의 접근성 및 관리 편의성을 고려하여 indexed URL을 정의, 적용하여 3차원 타일 데이터를 생성하였다.

지도 좌표(m)	지구 상위 출처(m)	지구 상위 출처(km)			
WGS84 최소 경도 최대 경도 최소 위도 최대 위도	6378137 -180 180 -90 90	40075016.6855785000 360 360 1669792.362 180			
0차별 기준 지수 0차별 기준 지수 0차별 세로직지 기수	15 1 1	1669792.362 24 12			
율동	0.0000000001				
대상 경도 대상 위도 대상 고도 대상 해률	127.429038 36.715417 45.384855 33	307.429038 126.715417 << 녹색칸 번경 (리스트중)			
0차별 지도 인덱스 지도 인덱스 지도 인덱스 지도 인덱스 후보 경로	20 8 1 1 1 20_8_1	0.1990547613 0.0000000000 고도 인덱스가 1인 타일들이 모두 디리고 (+ 행위지설치해놓고(지설치해기)+, '+'+타일높이) 제상 고도 액션식 -45.384855 0.0000000000			
LFB LFT LBS LBT	000 001 010 011	0 1 2 3	RFB RFT RBS RBT	100 101 110 111	4 5 6 7

<그림 3-47> Octree기반 격자체계 적용 방법

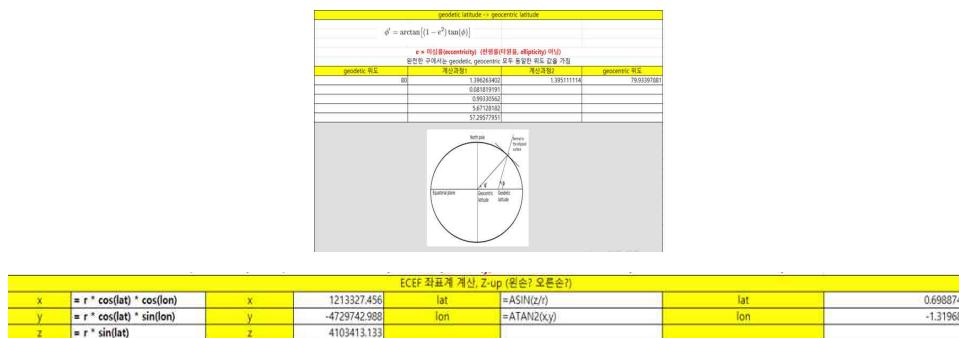
사업 대상지의 3차원 건물 데이터를 서비스 데이터로 변환했을 때 아래와 같은 구조로 저장된다. 텍스쳐 이미지 중복 사용으로 인해 불필요하게 늘어나는 데이터 크기 및 전송시간, 그래픽 메모리 사용량 등을 고려하여 텍스쳐 이미지를 모델 데이터와 분리하여 LOD별로 재구성 및 서비스하는 방안을 채택하였다.



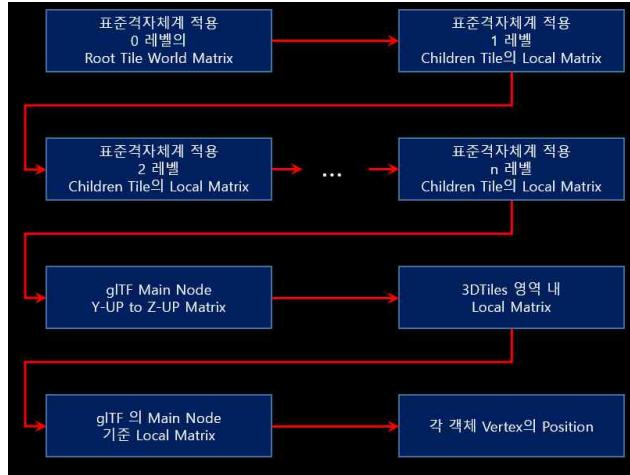
<그림 3-48> 3차원 시각화 서비스 데이터 저장구조

일반적으로 좌표계는 경위도만으로 충분하지만 3DTiles 포맷은 로컬 각각 좌표계로 표현된 3차원 모델(glTF)을 포함해야하기 때문에 버텍스 공간 좌표 단위 및 체계의 통일, 공간 연산의 정밀도를 높이기 위해 ECEF 좌표계로 일괄 변환 처리하였다.

또한, 3DTiles 데이터 간 연결성 부여와 Globe 표면 위에 3차원 모델 배치를 위해 상위 타일공간에 제한적인 상대적(Relation) 변형 매트릭스가 필요하다. 중첩된 변형 매트릭스는 컴퓨터 부동 소수점 정밀도 한계점으로 인한 치명적인 문제를 야기하는데, 버텍스 좌표계 산오차가 발생하여 모델 형상이 일그러지거나 모델의 위치 좌표 계산에 오차가 발생하여 다른 곳에 배치되거나 사잇거리가 가까운 모델은 Depth-Fighting이 일어나는 등의 문제가 그것이다. 이 문제는 3차원 시스템 특성상 화면을 갱신하는 매 프레임(FPS)마다 발생하기 때문에 반드시 막아야하는 현상이며 이를 원천봉쇄하기 위해 ECEF 좌표계를 사용하여 계산하고, 서비스 데이터에 포함되는 변형 매트릭스의 중첩수를 최소화 하였다. 다만, 서비스 데이터로 말미암아 원천 기하 데이터로 역계산하는 것이 어려워지는 작은 단점이 있다.

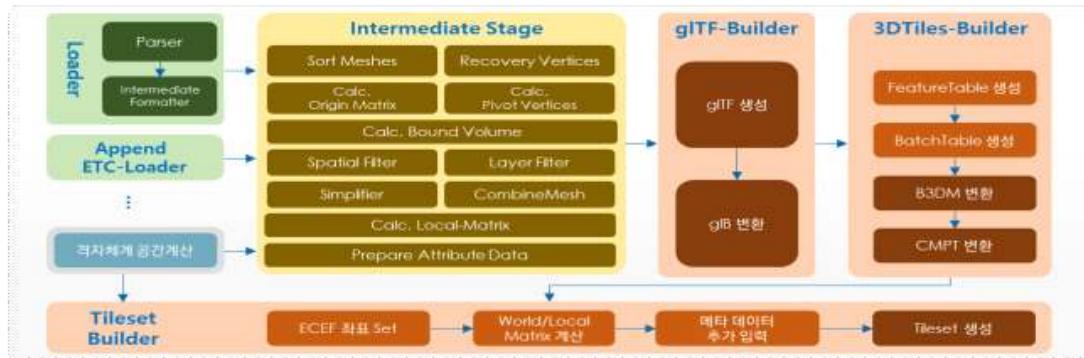


<그림 3-49> ECEF 좌표계 계산식



<그림 3-50> 중첩된 변형 매트릭스와 버텍스 좌표

CesiumJS는 카메라 거리에 따른 기하오류(픽셀 한 개의 실제 크기, 즉 해상도)에 따라 시각화 레벨을 결정하며 시각화 레벨마다 3D 서비스 데이터(3DTiles)를 필요로 하는데 각 시각화 레벨 생성 시 이전 데이터를 유지하고 그 위에 새롭게 추가(ADD)할 것인지, 이전 데이터를 교체(REPLACE)할 것인지를 결정할 수 있다. ADD 메소드를 사용하는 경우 재다운로드가 없어서 시각화가 빠른 장점이 있는 반면 단순화하지 않은 원본 데이터를 사용해야 하므로 전송량 및 전송시간, 그래픽 메모리 사용량에서 불리하다. REPLACE 메소드는 시각화 레벨별 상황에 맞는 기하오류를 적용하여 단순화된 데이터를 사용하기 때문에 서버에서 이를 대응하기 위해 더 큰 저장 공간을 필요로 하고, 클라이언트에서는 시각화 레벨별 서비스 데이터를 전송 받아야하는 단점이 있지만, 전송받는 데이터의 크기가 작아 다운로드 및 렌더링이 빠르고 시각화 레벨간 모델 형상의 차이는 디더링(Dithering) 적용시 오히려 장점으로 작용한다. 본 사업에서는 메소드의 장단점과 원천 데이터의 특성을 고려하여 REPLACE 메소드를 사용하였다.



<그림 3-51> 3차원 서비스 데이터 생성 절차

원천 데이터의 low-data급 버텍스, 고해상도 텍스처, 클라이언트의 네트워크 속도, 그래픽 메모리량 등의 한계를 고려하여 다음과 같이 시각화 레벨을 조정하고 단순화하여 웹 서비스 가능한 데이터로 변환하였다.

<표 3-21> 데이터 단순화 비율

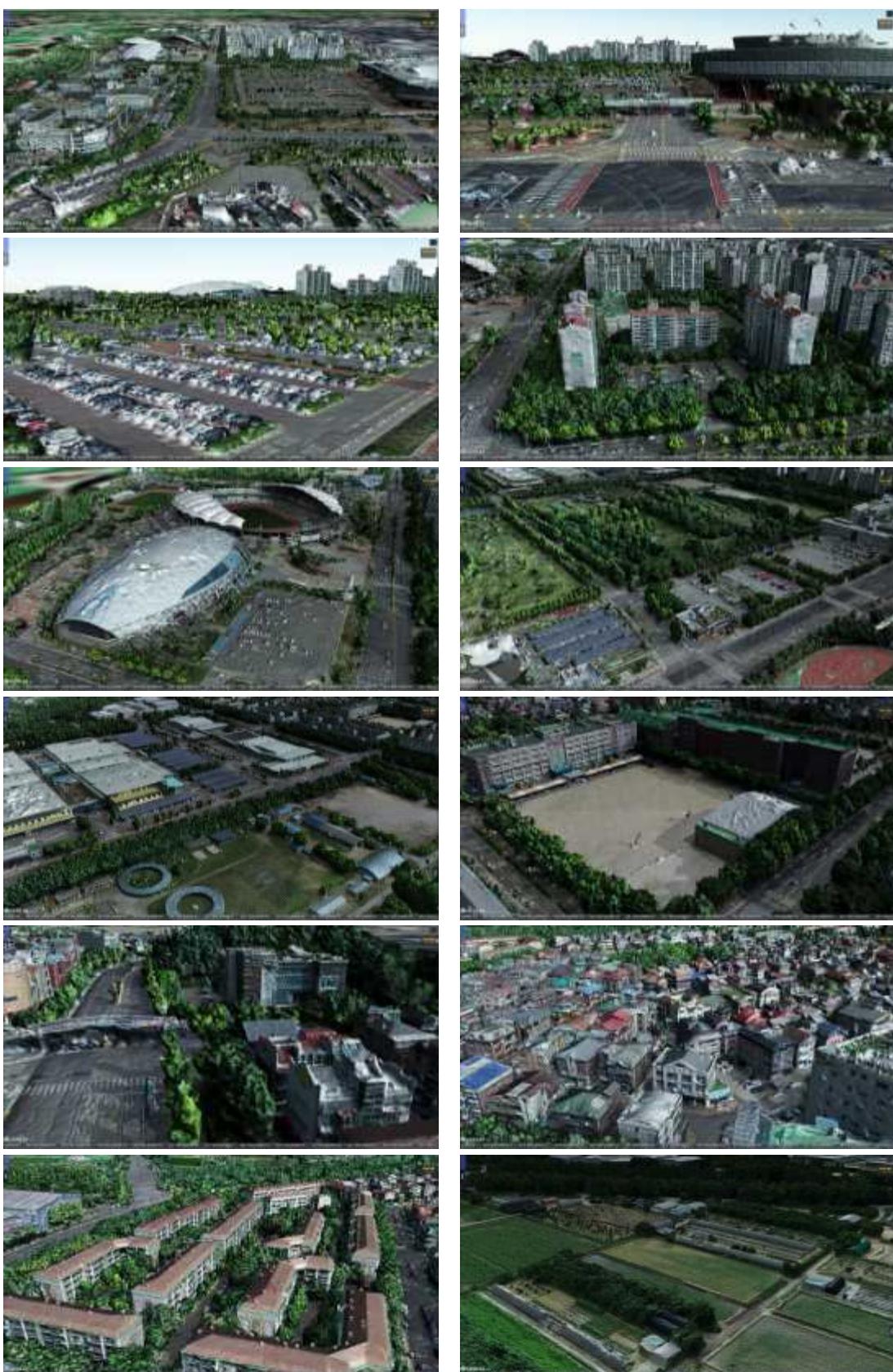
범위	원본 포맷	텍스처 유무	텍스처 단순화 비율	지오메트리 단순화 비율	시각화 레벨
고양시	OBJ	○	87.5%	70%	13 ~ 17
			75%	50%	
안양시	SHP	X	0%	0%	11

2) 3차원 데이터 시각화

Cesium에서 3차원 건물 데이터와 지형 데이터를 시각화하기 위해 Cesium3DTileset과 CesiumTerrainProvider를 사용하였다. 두 클래스는 url을 통해 데이터를 불러와 지도상에 시각화하기 때문에 필요한 3차원 데이터를 WEB에서 제공하게끔 설정하였고, 처음 건물 데이터를 불러오는데 시간이 걸려 WEB의 설정에서 3차원 데이터의 캐시 유효기간을 1달로 수정하였다. 지형 데이터는 고양시 데이터를 시각화할 경우 표출하지 않고 안양시의 경우 표출해야 하며 지형 데이터를 표출하거나 감출 때마다 화면 깜빡임이 심해 화면상에 각 시로 이동하는 버튼을 추가해 해당 버튼을 이용해야 지형 데이터를 제어할 수 있도록 하였다.



<그림 3-52> 안양시 3차원 공간 구축 결과



<그림 3-53> 고양시 3차원 공간 구축 결과



<그림 3-54> 고양시 3차원 데이터 시각화 전/후



<그림 3-55> 안양시 3차원 데이터 시각화 전/후



<그림 3-56> DEM 3차원 데이터 시각화 전/후

7. 공간정보 통합 시스템 구축 및 성능 검증

7.1 성과지표 및 목표치

공간정보 통합 시스템 구축 및 성능 검증에 대한 성과지표 및 목표치는 다음 표와 같다.

<표 3-22> 통합시스템(수집/저장/분석) HW 및 SW 구축에 대한 성과지표 및 목표치

구분	내용
성과지표	- 웹플랫폼 구축 및 데이터 처리 성능 검증
목표치	- 미세먼지 공간정보 통합시스템 구축 및 데이터 처리 성능 : 분당 1,000건 이상
목표치 설정 근거	- 영상분석 데이터 처리 시스템 성능 반영
측정방법 및 산식	- 웹 플랫폼 구축 여부 및 분당 데이터 처리 건수 측정
가중치	- 6.7%

7.2 수행결과 및 달성내용

7.2.1 주요 수행연구 결과

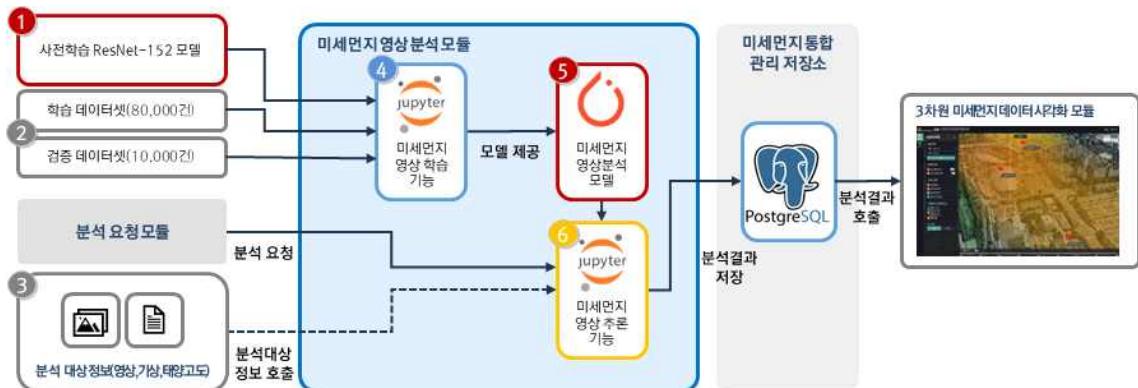
- 목표. 웹플랫폼 구축 및 데이터 처리 성능 검증
- 수행연구 :
 - 미세먼지 공간정보 통합 웹플랫폼 구축
 - 구축 통합 웹플랫폼 성능 검증
 - 미세먼지 공간정보 통합시스템 지자체 실용화를 위한 안양시 협력체계 구축

7.2.2 수행연구 세부내용

(1) 미세먼지 공간정보 통합 웹플랫폼 구축

1) 데이터 통합·연계 모듈 개발

ImageNet 데이터셋으로 사전학습된 ResNet-152 모델을 기반으로 구축된 미세먼지 데이터셋(이미지+센서)을 이용하여 학습 수행 및 추론 기능을 구현하였다. 미세먼지 영상 분석 모듈과 3차원 미세먼지 데이터 시각화 모듈 간의 정보 연계 처리 과정은 다음과 같다.



<그림 3-57> 미세먼지 영상 분석 모듈 구성

① 사전학습 ResNet-152 모델 :

- 사전학습된 ResNet 모델은 1000개 클래스로 구성된 1,330,000건(학습: 1,250,000건/ 검증: 80,000건)의 ImageNet 데이터셋으로 학습된 ResNet 분류 모델이다.

② 학습/검증 데이터셋 :

- 미세먼지 학습/검증 데이터셋 중 독립변수는 영상 내 관심구역(ROI) 이미지, 기상데이터, 태양고도이고, 종속변수는 초미세먼지 농도(PM2.5)이다.

③ 분석 대상정보 :

- 영상 내 가공된 관심구역(ROI) 이미지, 기상정보, 태양고도 정보이며, 학습데이터셋은 8만 건이고, 검증데이터셋은 1만 건이다.

④ 미세먼지 영상 학습 기능 :

- 사전학습 모델의 레이어 별 가중치를 활용하여 미세먼지 학습/검증 데이터셋을 학습 수행한다.

⑤ 미세먼지 영상분석 모델 :

- ResNet모델 기반으로 미세먼지 영상ROI 이미지, 기상정보, 태양고도 정보를 활용하여 학습된 모델

⑥ 미세먼지 영상 추론 기능 :

- 학습이 완료된 미세먼지 영상분석 모델 중 높은 성능의 모델을 사용하여 분석대상 이미지의 미세먼지 농도를 추론한다.

⑦ 미세먼지 통합 관리 저장소 :

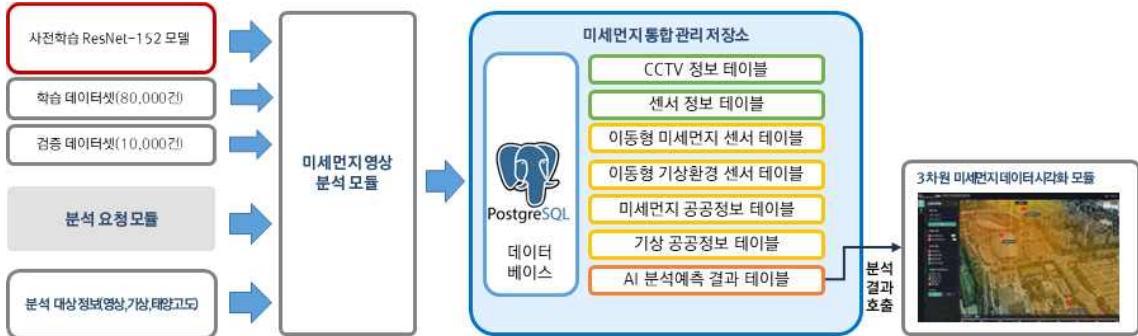
- 추론된 결과를 초미세먼지 농도(PM2.5) 예측치를 미세먼지 통합 관리 저장소 내부의 PostgreSQL 데이터베이스에 저장한다.

⑧ 3차원 미세먼지 데이터 시각화 모듈 :

- 미세먼지 통합 관리 저장소 내부의 PostgreSQL 데이터베이스에 저장된 미세먼지 추론결과를 주기별로 조회하여 3차원 미세먼지 데이터 시각화 모듈에 연계 처리한다.

2) 통합 관리 저장소 구축

통합 미세먼지 저장소에 구축한 데이터베이스의 테이블은 “CCTV 정보”, “센서 정보”, “이동형 미세먼지 센서”, “이동형 기상환경 센서”, “미세먼지 공공정보”, “기상 공공정보”, “AI 분석예측 결과”이며, 미세먼지 통합 관리 저장소는 다음과 같다.



<그림 3-58> 미세먼지 통합 관리 저장소

이동형 센서를 이용하여 설치된 센서 지점 내의 PM2.5, PM10 수치를 1분 단위로 수집하고, 수집한 데이터가 적재된 테이블을 구성하였다.

<표 3-23> 이동형 미세먼지 센서 테이블

No	컬럼명	타입	Not Null	Comment
1	sensorid	varchar	TRUE	센서ID
2	updatetime	varchar	TRUE	수집일시
3	sensorname	varchar	FALSE	센서 명
4	pm10	int4	FALSE	PM10
5	pm25	int4	FALSE	PM2.5
6	temperature	float4	FALSE	온도
7	humidity	float4	FALSE	습도
8	sensorposition	varchar	FALSE	센서 위치

이동형 센서를 이용하여 설치된 센서 지점 내의 온도, 습도, 풍향, 풍속 등의 수치를 1분 단위로 수집하고, 수집한 데이터가 적재된 테이블을 구성하였다.

<표 3-24> 이동형 기상환경 센서 테이블

No	컬럼명	타입	Not Null	Comment
1	sensor_id	varchar	TRUE	센서ID
2	sensor_name	varchar	FALSE	센서 명
3	collection_dt	varchar	TRUE	저장 일자(수집일시)
4	record	int4	FALSE	저장 번호
5	lux_avg	float8	FALSE	조도
6	ws_avg	float8	FALSE	풍속 (m/s)
7	winddir_vct	float8	FALSE	풍향 (Deg)
8	bp	float8	FALSE	기압 (hPa)
9	rh	float8	FALSE	습도 (%)
10	airtemp_avg	float8	FALSE	대기 온도 (Deg C)
11	dp	float8	FALSE	노점 온도 (Deg C)
12	metsens_status	int4	FALSE	상태
13	battv_min	float8	FALSE	배터리 전압 (V)
14	sensor_position	varchar	FALSE	센서 위치

한국환경공단(AirKorea)에서 제공하는 대기환경 정보로, 대기환경 센서가 설치된 지점 내의 PM2.5, PM10, SO2, CO, O3, NO2 등의 수치를 1분 단위로 수집하고, 수집한 데이터가 적재된 테이블을 구성하였다.

<표 3-25> 미세먼지 공공정보 테이블

No	컬럼명	타입	Not Null	Comment
1	collection_dt	varchar	TRUE	수집시간
2	section_cd	varchar	FALSE	행정구역 코드
3	datatime	varchar	FALSE	측정일(오염도측정 연-월-일)
4	mangname	varchar	FALSE	측정망 정보(국가배경, 교외대기, 도시대기, 도로변대기)
5	so2value	float8	FALSE	아황산가스 농도(ppm)
6	covalue	float8	FALSE	일산화탄소 농도(ppm)
7	o3value	float8	FALSE	오존 농도(ppm)
8	no2value	float8	FALSE	이산화질소 농도(ppm)
9	pm10value	float8	FALSE	미세먼지(PM10) 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
10	pm25value	float8	FALSE	초미세먼지(PM2.5) 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
11	modify_yn	bool	TRUE	변경 여부

기상청에서 제공하는 기상환경 정보로, 기상환경 센서가 설치된 지점 내의 온도, 습도, 풍향, 풍속 등의 수치를 1분 단위로 수집하고, 수집한 데이터가 적재된 테이블을 구성하였다.

<표 3-26> 기상 공공정보 테이블

No	컬럼명	타입	Not Null	Comment
1	collection_dt	varchar	TRUE	수집일시
2	section_cd	varchar	TRUE	행정구역 코드
3	basedate	varchar	FALSE	발표일자
4	basetime	varchar	FALSE	발표시각
5	category	varchar	TRUE	카테고리 코드 (kma_category.category)
6	nx	int4	FALSE	격자 X (kma_coordinates.nx)
7	ny	int4	FALSE	격자 Y (kma_coordinates.ny)
8	obsrvalue	varchar	FALSE	관측값
9	modify_yn	bool	TRUE	변경 여부

미세먼지 영상분석 추론 모듈에서 추론된 초미세먼지 농도(PM2.5) 예측값을 수집하고, 수집한 데이터가 적재된 테이블을 구성하였다.

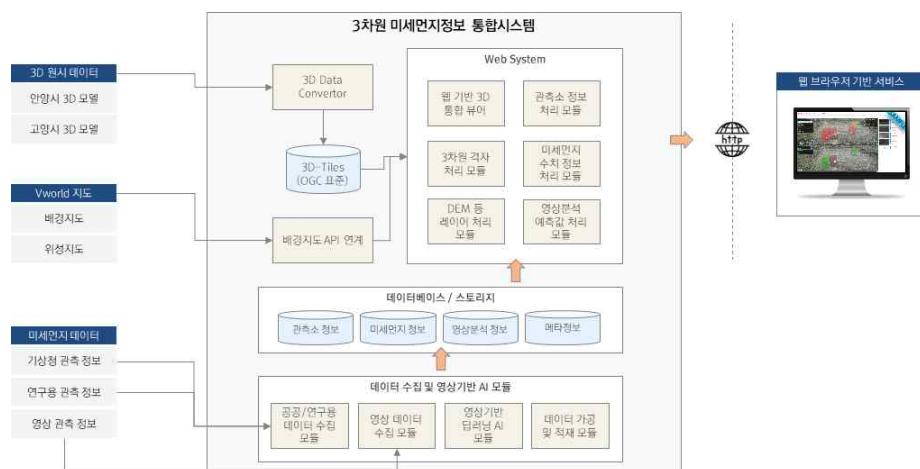
<표 3-27> AI 분석예측 결과 테이블

No	컬럼명	타입	Not Null	Comment
1	id	serial	TRUE	순번(자동생성)
2	predict_dt	varchar	TRUE	분석 일시(yyyyMMddhh24mi)
3	sensorid	varchar	FALSE	센서ID
4	sensor_collect_dt	varchar	FALSE	센서 수집 일시(yyyyMMddhh24mi)
5	y	float4	FALSE	분석대상 값
6	y_pred	float4	FALSE	분석예측 값
7	y_type	varchar	FALSE	분석대상 유형(ex: pm2.5, pm10...)
8	model_name	varchar	FALSE	AI 분석모델 명

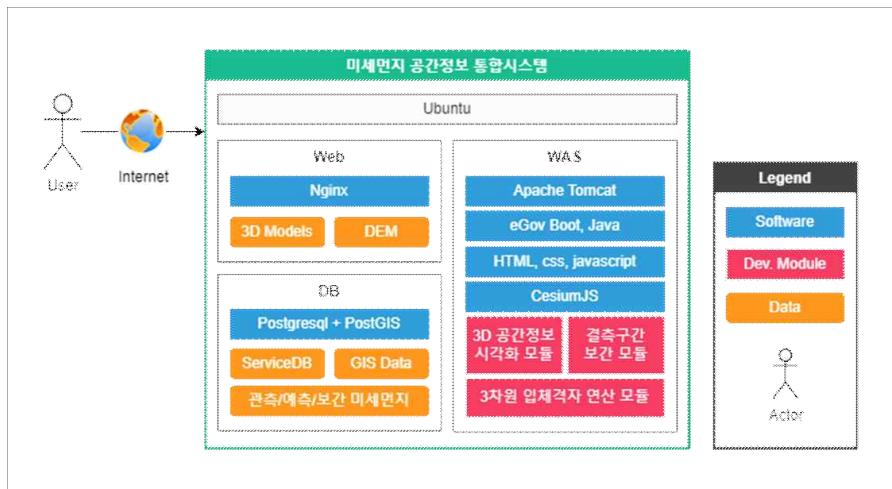
3) 3차원 미세먼지 공간정보 통합시스템

① 시스템 구성

3차원 미세먼지 공간정보 통합시스템은 크게 웹 부문, 애플리케이션 부문, DB 부문으로 나뉘며 인터넷을 통하여 시스템에 접근이 가능하다. 웹 부문에서는 외부로부터 들어오는 요청에 대하여 처리를 하고, 3차원 모델 정보 및 지형 정보 등 정적인 데이터를 서비스하는 역할을 한다. 애플리케이션 부문에서는 본 사업을 수행하며 개발된 시스템을 구동하고 시각화 및 격자, 보간 모듈을 구동시켜 비즈니스 로직을 처리한다. DB 부문에서는 DBMS를 활용하여 미세먼지 데이터 및 서비스를 위한 데이터, GIS 데이터 등을 관리하고 서비스한다.



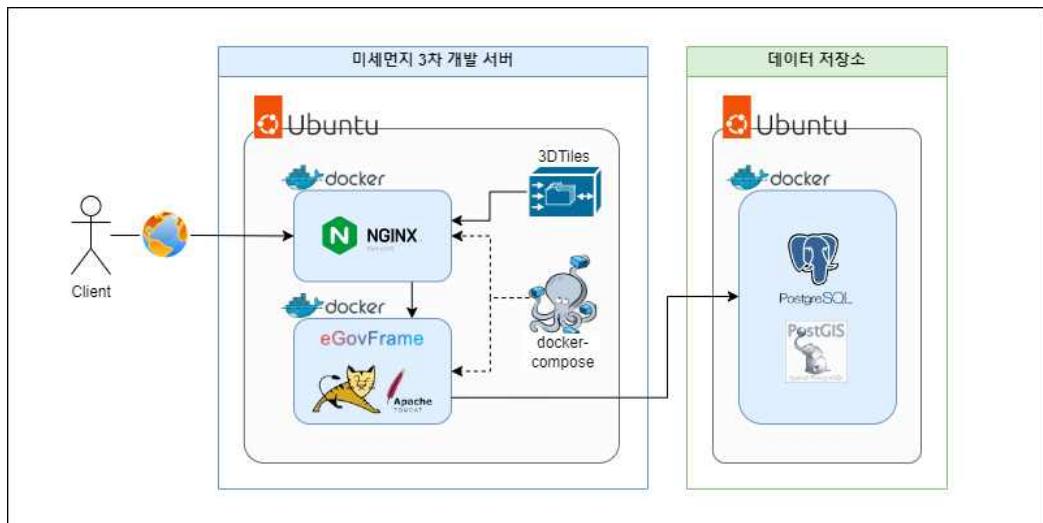
<그림 3-59> 3차원 미세먼지 공간정보 통합시스템 구성도



<그림 3-60> 3차원 미세먼지 공간정보 통합시스템 - 웹 시스템 구성도

② 소프트웨어 구성

3차원 미세먼지 공간정보 통합시스템을 서비스하기 위하여 구성된 소프트웨어로는 웹 서버 역할의 Nginx, WAS 역할의 Apache Tomcat, DBMS 역할의 PostgreSQL로 크게 세 부문으로 구성하였다. 모든 소프트웨어는 오픈소스 기반의 소프트웨어를 적용하였으며, 유지 관리에 용이한 Docker 및 Docker-compose를 활용하여 모든 소프트웨어를 관리하도록 구성하였다.



<그림 3-61> 3차원 미세먼지 공간정보 통합시스템 소프트웨어 구성도

<표 3-28> 소프트웨어 구성 내역

서버	분류	명칭	버전	비고
Web/WAS	O/S	Linux	Ubuntu 22.04	
	Web	Nginx	1.18.0	
	WAS	Tomcat	9.0.65	
	SDK	OpenJDK	11.0.13.8	JAVA
	Framework	eGovFramework	4.0.0	
	Web 3D Lib	CesiumJS	1.98	
DB	O/S	Linux	Ubuntu 22.04	
	DBMS	PostgreSQL	13.1	

③ 사용자 인터페이스 설계

AI 영상인식 기반 3차원 미세먼지정보 통합시스템 서비스는 사용자 중심의 편리성을 고려한 화면구성에 중점을 두고 설계하였으며, 일관성과 직관적인 콘텐츠 운영이 강화된 UI2) /UX³⁾를 적용하였다.



<그림 3-62> UI/UX를 반영한 화면설계

-
- 2) UI(User Interface) : 사용자가 컴퓨터나 모바일 기계 등을 사용자가 좀 더 편리하게 사용할 수 있는 환경을 제공하는 설계 또는 그 결과물
 - 3) UX(User eXperience) : 사용자 경험을 뜻하는 단어로, 사용자가 어떤 제품이나 서비스를 직·간접적으로 이용하면서 축적하게 되는 총체적 경험

사용자와 시스템 사이의 인터페이스 즉, 레이아웃과 구조, 색상과 모양 등 시각적인 결과물 도출과 시스템에 무엇이 담겨야 할지 전반적으로 구성하고 정보를 수집하여 설계하는 모든 단계(화면설계서 기반)를 통합하여 사용자의 의견수렴을 고려한 디자인을 구성하였다.

○ 미니멀리즘 기반의 어포던스(affordance) UI/UX 디자인 적용

본 과업에서는 레이아웃의 기본 요소인 주목성, 심미성, 창조성, 가독성을 고려하여 제작되었으며, 불필요한 요소를 줄이고 전달하고자 하는 정보에 초점을 맞춘 부분적 싱글 페이지 방식의 미니멀리즘 디자인을 기법을 활용하였다. 가독성과 판독성을 높이기 위해 본고딕체(Noto Sans)를 선택하여 사용자가 인지함에 있어서 쉽게 접근할 수 있도록 하였으며, 명료도가 필요한 단어나 문장에는 채도 높은 색상을 사용하여 존재감을 가지도록 하여 단순 명료하게 메시지를 전달하는 기법을 활용하였다. 사용자와 웹 사이의 상호작용을 이끌어 내는 콘텐츠 구조 적용을 위하여 주요 기능을 좌측에, 부가 기능을 우측에 배치해 시선이 자연스럽게 우측에서 좌측으로 흐르게 하여 사용자와 웹 사이의 상호작용을 이끌어 낼 수 있도록 하였다.

○ 최신 시각 트렌드와 직관적인 UI가 갖춰진 플랫 디자인(Flat Design) 프레임 구성

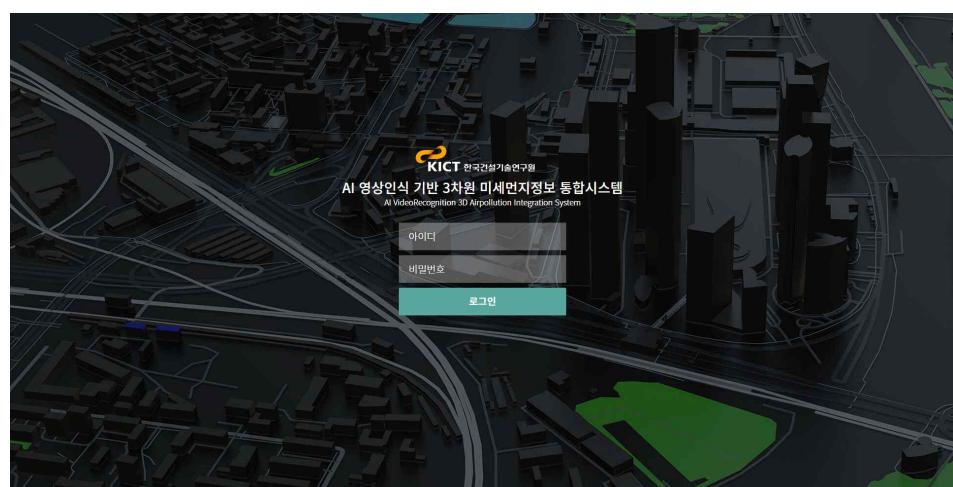
복잡한 그래픽 효과를 배제하고 단순한 색상과 구성을 통해 직관적인 인식이 가능하도록 구성하는 2차원 디자인 방식을 적용하였으며, 최소한의 요소만을 사용하여 대상의 본질을 표현하는 디자인 기법을 활용하였다.

④ 사용자 인터페이스 구현

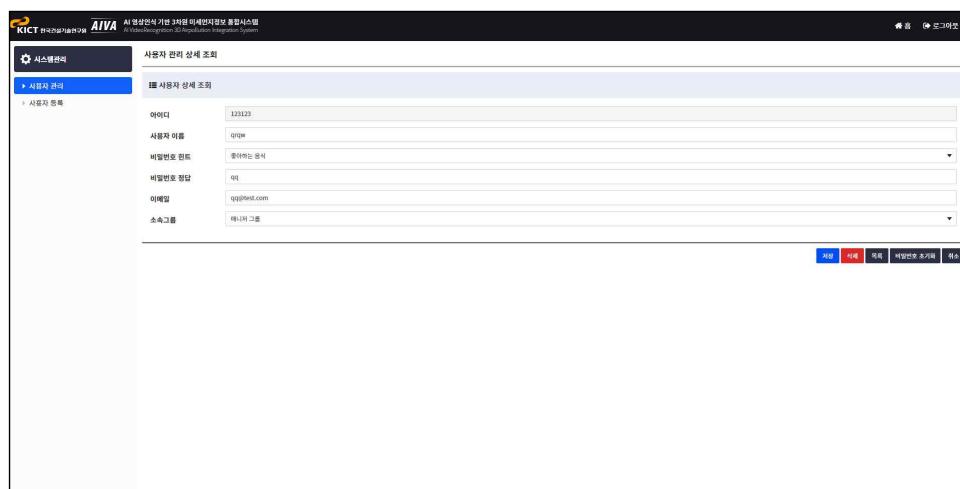
드롭다운 메뉴, 내비게이션 바, 버튼, 탭, 리스트, 페이지 이동 바, 알림 메시지, 셜네일, 진행 바, 색상, 폰트 크기 등 미니멀리즘 기반의 어포던스(affordance) UI/UX 디자인 가이드의 전반적인 내용을 적용하여 주요 화면을 제작한 시안은 다음 그림과 같다.



<그림 3-63> 화면설계서를 반영한 디자인 시안 – 메인화면



<그림 3-64> 디자인 시안을 반영한 퍼블리싱 화면 – 로그인

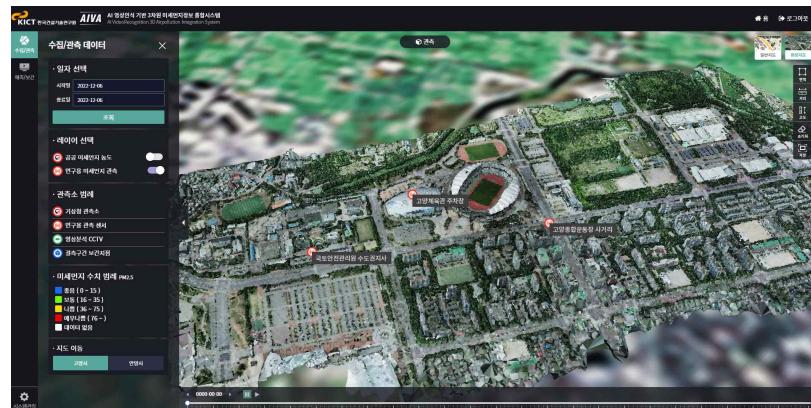


<그림 3-65> 디자인 시안을 반영한 퍼블리싱 화면 – 사용자 관리 상세 조회

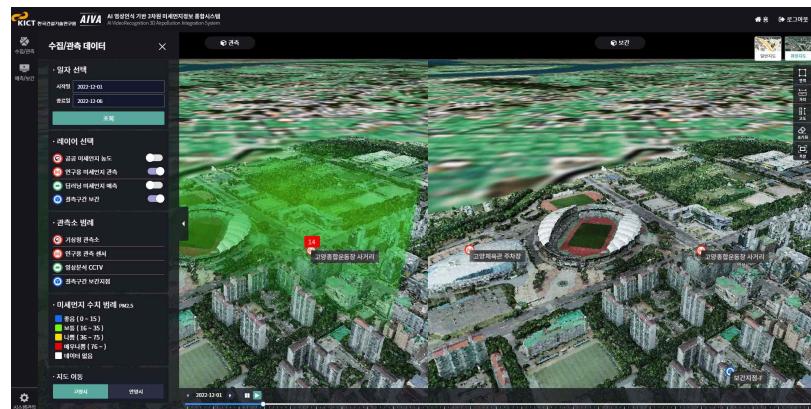
○ 부트스트랩 프레임워크를 적용한 퍼블리싱

AI 영상인식 기반 3차원 미세먼지정보 통합시스템에서는 검증된 오픈소스인 부트스트랩 디자인 프레임워크를 사용하여 구축 하였다. 부트스트랩이란 적용성과 확장성이 뛰어난 jQuery 기반의 오픈 소스 프론트엔드 라이브러리이다. 부트스트랩을 활용하면 여러 웹 브라우저를 지원하기 위한 크로스 브라우징과 목적에 관련된 콘텐츠를 최적화할 수 있기 때문에 유지 보수가 효율적이고, 사용자 입장에서도 기기에 구애받지 않고 항상 최적의 화면을 경험할 수 있다. 부트스트랩은 다음과 같은 특징을 가지고 있고, 아래의 특징들 때문에 효율적으로 시스템을 구축할 수 있다.

- 960.gs 그리드 시스템 기반으로 리스폰시브 레이아웃 모드 지원한다.
- 프레임워크 안의 사전정의 된 class의 변경과 업데이트가 자유롭다.
- 반응형 CSS를 포함한 단일코드로 모든 디바이스에 적용할 수 있다.
- 구현하기 까다로운 javascript들도 간단하게 라이브러리로 제공하고 있어 쉽게 사용가능하다.
- 여러 웹 브라우저를 지원하기 위한 별도의 크로스 브라우징(Cross Browsing)이 불필요하다.



<그림 3-66> 디자인 시안을 반영한 퍼블리싱 화면 - 수집/관측



<그림 3-67> 디자인 시안을 반영한 퍼블리싱 화면 - 예측/보간

○ 웹 접근성 품질인증 준수

본 시스템에서는 장애인이나 고령자 등 정보취약계층이 시스템을 이용하는데 불편함이 없도록 한국형 웹 콘텐츠 접근성2.1(WA) 표준지침을 준수 하였다. 한국형 웹 콘텐츠 접근성 지침은 웹 콘텐츠의 접근성을 향상시키기 위한 기술적 규격을 포함하고 있으며, 시각 장애, 저시력 장애, 청각 장애, 지체 장애, 학습 장애, 지적 장애 등과 같은 개별적인 장애를 가진 사용자들이 쉽게 접근할 수 있는 웹 콘텐츠를 구축하는 데 필요한 방법이다.

<표 3-29> 웹 접근성 진단 현황

No	화면명	완료 여부
1	로그인	완료
2	메인	완료
3	사용자 관리	완료
4	사용자 관리 상세 조회	완료
5	사용자 등록	완료
6	사용자 그룹 관리	완료
7	사용자 그룹 관리 상세 조회	완료
8	사용자 그룹 등록	완료
9	사용자 관리 상세 조회(일반)	완료
10	비밀번호 변경(일반)	완료

웹 접근성 요약 보고서

사이트 주소	http://localhost:8000/the_duck3/index.html	수집 폐이지	1페이지
최종 기준	한국형 웹 콘텐츠 접근성 지침 2.1	진단 일자	2022년 12월 06일

자동 진단 결과

진단 항목	합격수	오류수	준수율
1 대비 텍스트 해설	0	0	-
<a href> 대비 텍스트 링크	0	0	-
<area> 대비 텍스트 링크	0	0	-
<input type="image"> 대비 텍스트 링크	0	0	-
<applet> 대비 텍스트 링크	0	0	-
2 세부 해설	0	0	100.0
파이어폭스 접두사 링크	0	0	100.0
<frame> 대비 링크	0	0	-
<frame> 대비 링크	0	0	-
3 기본 접근성	0	0	100.0
기본언어 대비 외국어	0	0	100.0
4 새창열림 시선권유지	0	0	-
<a href> 대비 새창 열기 링크	0	0	-
<area href> 대비 새창 열기 링크	0	0	-
5 차례를 제공	0	0	100.0
<input type="button"> 대비 차례	0	0	100.0
<input type="checkbox"> 대비 차례	0	0	-
<label> 대비 차례	0	0	100.0
6 터치를 지원	0	0	100.0
<input type="checkbox"> 대비 터치 지원	0	0	100.0
<input type="radio"> 대비 터치 지원	0	0	-
<label> 대비 터치 지원	0	0	100.0
7 터치를 지원	0	0	100.0
속성 이름 중복 오류	0	0	100.0
대고 열고 닫을 오류	0	0	100.0
닫는 대고 누락 오류	0	0	100.0
여는 대고 누락 오류	0	0	100.0
닫고 열는 오류	0	0	100.0

※ 주의사항

- Web은 자동 진단은 웹 접근성 표준 중 기계적으로 진단 가능한 6개 항목에 대한 진단 결과만 제공합니다.
- 웹 접근성 표준은 웹 접근성 표준 자체로 진단할 수 없으며, 반드시 웹 접근성 표준과 함께 시스템에 따른 수동평가를 통해 준수 여부를 확인하여야 합니다.
- 진단항목 중 <input type="checkbox">, <input type="radio">의 경우는 진해 수동 평가에서 수동 평가를 하는 파이어폭스 버전으로 개선됩니다.

웹 접근성 요약 보고서

사이트 주소	http://localhost:8000/the_duck3/index.html	수집 폐이지	1페이지
최종 기준	한국형 웹 콘텐츠 접근성 지침 2.1	진단 일자	2022년 12월 06일

자동 진단 결과

진단 항목	합격수	오류수	준수율
1 대비 텍스트 해설	0	0	-
<a href> 대비 텍스트 링크	0	0	-
<area> 대비 텍스트 링크	0	0	-
<input type="image"> 대비 텍스트 링크	0	0	-
<applet> 대비 텍스트 링크	0	0	-
2 세부 해설	0	0	100.0
파이어폭스 접두사 링크	0	0	100.0
<frame> 대비 링크	0	0	-
<frame> 대비 링크	0	0	-
3 기본 접근성	0	0	100.0
기본언어 대비 외국어	0	0	100.0
4 새창열림 시선권유지	0	0	-
<a href> 대비 새창 열기 링크	0	0	-
<area href> 대비 새창 열기 링크	0	0	-
5 차례를 제공	0	0	100.0
<input type="button"> 대비 차례	0	0	100.0
<input type="checkbox"> 대비 차례	0	0	-
<label> 대비 차례	0	0	100.0
6 터치를 지원	0	0	100.0
<input type="checkbox"> 대비 터치 지원	0	0	100.0
<input type="radio"> 대비 터치 지원	0	0	-
<label> 대비 터치 지원	0	0	100.0
7 터치를 지원	0	0	100.0
속성 이름 중복 오류	0	0	100.0
대고 열고 닫을 오류	0	0	100.0
닫는 대고 누락 오류	0	0	100.0
여는 대고 누락 오류	0	0	100.0
닫고 열는 오류	0	0	100.0

※ 주의사항

- Web은 자동 진단은 웹 접근성 표준 중 기계적으로 진단 가능한 6개 항목에 대한 진단 결과만 제공합니다.
- 웹 접근성 표준은 웹 접근성 표준 자체로 진단할 수 없으며, 반드시 웹 접근성 표준과 함께 시스템에 따른 수동평가를 통해 준수 여부를 확인하여야 합니다.
- 진단항목 중 <input type="checkbox">, <input type="radio">의 경우는 진해 수동 평가에서 수동 평가를 하는 파이어폭스 버전으로 개선됩니다.

<그림 3-68> 웹 접근성 요약 보고서 – 로그인, 메인

웹 접근성 요약 보고서						
WebWatch						
사이트 주소	http://localhost:8080/fine-dual-3rd-group-list	수집 폐이지	1 폐이지			
진단 기준	한국형 웹 컨텐츠 접근성 지침 2.1	진단 일자	2022년 12월 06일			
자동 진단 결과						
진단 항목	합계수	오류수	준수율			
1. 대체 텍스트 제공	+	+	+			
 대체 텍스트 있음	+	+	+			
<area> 대체 텍스트 있음	+	+	+			
<input><image> 대체 텍스트 있음	+	+	+			
<applet> 대체 텍스트 있음	+	+	+			
2. 자세한 내용	7	0	100.0			
페이지 목록 찾기	7	0	100.0			
<frame> 제작 있음	+	+	+			
<frame> 제작 없음	+	+	+			
3. 기본 언어 정하기	7	0	100.0			
기본언어 미정의	7	0	100.0			
4. 사용법을 사용하지	7	0	100.0			
<a> 링크지지 않은 새창열기	+	+	+			
<area> 링크지지 않은 새창열기	+	+	+			
5. 캐시에 저장하기	7	0	100.0			
 대체 텍스트 있음	7	0	100.0			
<area> 대체 텍스트 있음	7	0	100.0			
<input><image> 대체 텍스트 있음	7	0	100.0			
<applet> 대체 텍스트 있음	7	0	100.0			
6. 대고조 문법	7	0	100.0			
7. 출처 오류	7	0	100.0			
속성 이름 중복 오류	7	0	100.0			
대고 말고 단음 오류	7	0	100.0			
모는 대고 누락 오류	7	0	100.0			
에는 대고 누락 오류	7	0	100.0			
대고 중립 오류	7	0	100.0			
8. 주의사항						
• WebWatch 사이트 주소 및 접근성 표준 중 기계적으로 진단 가능한 경우는 해당 항목에 대한 진단 결과를 제공합니다.						
• 진단 결과는 웹사이트 주소와 접근성 표준 신뢰도로 판단될 수 있으며, 반드시 활용은 정확성이 있는 경우에 따른 수동평가를 통해 중요 여부를 확인하여야 합니다.						
• 진단 항목 중 '기본언어 정하기', '마크업 문법'의 준수율은 전체 수집페이지 수 대비 문제 개수는 평균자 수로 비율로 계산됩니다.						
웹 접근성 요약 보고서						
WebWatch						
사이트 주소	http://localhost:8080/fine-dual-3rd-group-list	수집 폐이지	1 폐이지			
진단 기준	한국형 웹 컨텐츠 접근성 지침 2.1	진단 일자	2022년 12월 06일			
자동 진단 결과						
진단 항목	합계수	오류수	준수율			
1. 대체 텍스트 제공	+	+	+			
 대체 텍스트 있음	+	+	+			
<area> 대체 텍스트 있음	+	+	+			
<input><image> 대체 텍스트 있음	+	+	+			
<applet> 대체 텍스트 있음	+	+	+			
2. 자세한 내용	7	0	100.0			
페이지 목록 찾기	7	0	100.0			
<frame> 제작 있음	+	+	+			
<frame> 제작 없음	+	+	+			
3. 기본 언어 정하기	7	0	100.0			
기본언어 미정의	7	0	100.0			
4. 사용법을 사용하지	7	0	100.0			
<a> 링크지지 않은 새창열기	+	+	+			
<area> 링크지지 않은 새창열기	+	+	+			
5. 캐시에 저장하기	7	0	100.0			
 대체 텍스트 있음	7	0	100.0			
<area> 대체 텍스트 있음	7	0	100.0			
<input><image> 대체 텍스트 있음	7	0	100.0			
<applet> 대체 텍스트 있음	7	0	100.0			
6. 대고조 문법	7	0	100.0			
7. 출처 오류	7	0	100.0			
속성 이름 중복 오류	7	0	100.0			
대고 말고 단음 오류	7	0	100.0			
모는 대고 누락 오류	7	0	100.0			
에는 대고 누락 오류	7	0	100.0			
대고 중립 오류	7	0	100.0			
8. 주의사항						
• WebWatch 사이트 주소 및 접근성 표준 중 기계적으로 진단 가능한 경우는 해당 항목에 대한 진단 결과를 제공합니다.						
• 진단 결과는 웹사이트 주소와 접근성 표준 신뢰도로 판단될 수 있으며, 반드시 활용은 정확성이 있는 경우에 따른 수동평가를 통해 중요 여부를 확인하여야 합니다.						
• 진단 항목 중 '기본언어 정하기', '마크업 문법'의 준수율은 전체 수집페이지 수 대비 문제 개수는 평균자 수로 비율로 계산됩니다.						

<그림 3-69> 웹 접근성 요약 보고서 – 사용자 관리, 사용자 관리 상세 조회,

사용자 등록, 사용자 그룹 관리

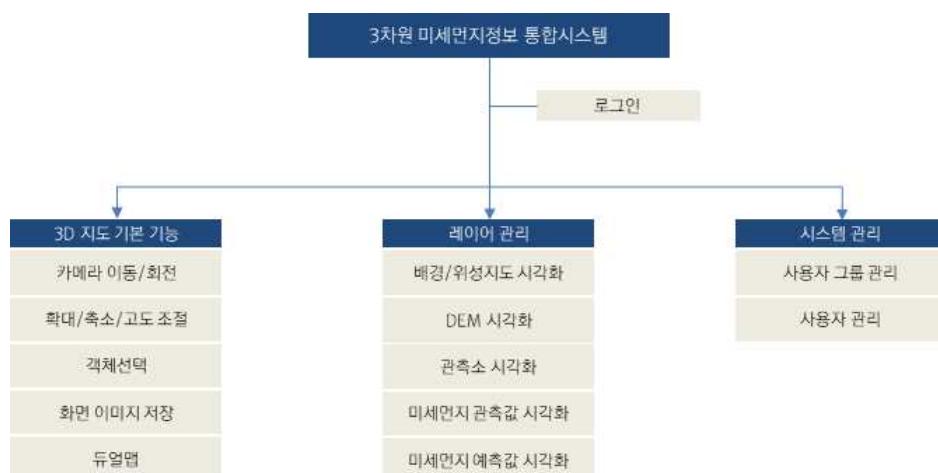
웹 접근성 요약 보고서			
WebWatch			
사이트 주소 : http://localhost:8080/fine-dual-3rd/group/updateView?parentId=GROUP_ADMIN		수집 페이지 : 1페이지	작성 일자 : 2022년 12월 06일
작동 카운트 : 한국정부 온라인 서비스 접근성 지침 2.1		수집 범위 : 전站	작성 일자 : 2022년 12월 06일
작동 칸 단 결과			
작동 항목	합계수	오류수	준수율
1 대체 맵스트 제공	-	-	-
 대체 맵스트 없음	1	0	-
<a href> 대체 맵스트 없음	0	0	-
<input type=image> 대체 맵스트 없음	1	0	-
<applet> 대체 맵스트 없음	-	-	-
2 자세한 제공	1	0	100.0
레이아웃 티피포함	1	0	100.0
<frame> 개별 접근	0	0	-
<frame> 차별 접근	0	0	-
3 기본 언어 설정	1	0	100.0
기본언어 설정이 있는 경우	1	0	100.0
4 서장접두사 사용금지	-	-	-
<a href> 차별 접근 설정하기	0	0	-
<area href> 차별 접근 설정하기	0	0	-
5 사이버 제공	4	0	100.0
<input type=password> 대체 맵스트 제공	3	0	100.0
<input type=checkbox> 대체 맵스트 제공	1	0	-
<input type=radio> 대체 맵스트 제공	1	0	-
6 워크업 분법	-	-	-
날짜와 오후	1	0	100.0
속성 이름 중복 오류	1	0	100.0
태그 앞과 뒤에 공백 오류	1	0	100.0
모든 태그 누락 오류	1	0	100.0
에는 태그 누락 오류	1	0	100.0
태그 중첩 오류	1	0	100.0
주의사항			
<ul style="list-style-type: none"> Web 사용 칸에서는 웹 접근성 표준을 기준으로 신안 가능한 소재 항목에 대한 신안 결과값을 제공합니다. 웹 접근성 주제별로 웹 접근성 표준은 신안한 것으로 판단될 수 있으며, 반드시 웹 접근성 표준을 통해 신안 결과를 확인해 주세요. 신안한 경우 웹 접근성 표준에 맞지 않거나, 웹 접근성 표준에 맞지 않는 경우는 표지자 수의 비율로 계산됩니다. 			
웹 접근성 요약 보고서			
WebWatch			
사이트 주소 : http://localhost:8080/fine-dual-3rd/userpasswordvice		수집 페이지 : 1페이지	작성 일자 : 2022년 12월 06일
작동 카운트 : 한국정부 온라인 서비스 접근성 지침 2.1		수집 범위 : 전站	작성 일자 : 2022년 12월 06일
작동 칸 단 결과			
작동 항목	합계수	오류수	준수율
1 대체 맵스트 제공	-	-	-
 대체 맵스트 없음	0	0	-
<a href> 대체 맵스트 없음	0	0	-
<input type=image> 대체 맵스트 없음	1	0	-
<applet> 대체 맵스트 없음	0	0	-
2 자세한 제공	1	0	100.0
레이아웃 티피포함	0	0	-
<frame> 개별 접근	0	0	-
<frame> 차별 접근	0	0	-
3 기본 언어 설정	0	0	100.0
기본언어 설정이 있는 경우	0	0	100.0
4 서장접두사 사용금지	-	-	-
<a href> 차별 접근 설정하기	0	0	-
<area href> 차별 접근 설정하기	0	0	-
5 사이버 제공	0	0	100.0
<input type=password> 대체 맵스트 제공	0	0	100.0
<input type=checkbox> 대체 맵스트 제공	0	0	-
<input type=radio> 대체 맵스트 제공	0	0	-
6 워크업 분법	-	-	-
날짜와 오후	1	0	100.0
속성 이름 중복 오류	1	0	100.0
태그 앞과 뒤에 공백 오류	1	0	100.0
모든 태그 누락 오류	1	0	100.0
에는 태그 누락 오류	1	0	100.0
태그 중첩 오류	1	0	100.0
주의사항			
<ul style="list-style-type: none"> Web 사용 칸에서는 웹 접근성 표준을 기준으로 신안 가능한 소재 항목에 대한 신안 결과값을 제공합니다. 웹 접근성 주제별로 웹 접근성 표준은 신안한 것으로 판단될 수 있으며, 반드시 웹 접근성 표준을 통해 신안 결과를 확인해 주세요. 신안한 경우 웹 접근성 표준에 맞지 않거나, 웹 접근성 표준에 맞지 않는 경우는 표지자 수의 비율로 계산됩니다. 			
웹 접근성 요약 보고서			
WebWatch			
사이트 주소 : http://localhost:8080/fine-dual-3rd/diversepage		수집 페이지 : 1페이지	작성 일자 : 2022년 12월 06일
작동 카운트 : 한국정부 온라인 서비스 접근성 지침 2.1		수집 범위 : 전站	작성 일자 : 2022년 12월 06일
작동 칸 단 결과			
작동 항목	합계수	오류수	준수율
1 대체 맵스트 제공	-	-	-
 대체 맵스트 없음	0	0	-
<a href> 대체 맵스트 없음	0	0	-
<input type=image> 대체 맵스트 없음	1	0	-
<applet> 대체 맵스트 없음	0	0	-
2 자세한 제공	1	0	100.0
레이아웃 티피포함	0	0	-
<frame> 개별 접근	0	0	-
<frame> 차별 접근	0	0	-
3 기본 언어 설정	0	0	100.0
기본언어 설정이 있는 경우	0	0	100.0
4 서장접두사 사용금지	-	-	-
<a href> 차별 접근 설정하기	0	0	-
<area href> 차별 접근 설정하기	0	0	-
5 사이버 제공	0	0	100.0
<input type=password> 대체 맵스트 제공	0	0	100.0
<input type=checkbox> 대체 맵스트 제공	0	0	-
<input type=radio> 대체 맵스트 제공	0	0	-
6 워크업 분법	-	-	-
날짜와 오후	1	0	100.0
속성 이름 중복 오류	1	0	100.0
태그 앞과 뒤에 공백 오류	1	0	100.0
모든 태그 누락 오류	1	0	100.0
에는 태그 누락 오류	1	0	100.0
태그 중첩 오류	1	0	100.0
주의사항			
<ul style="list-style-type: none"> Web 사용 칸에서는 웹 접근성 표준을 기준으로 신안 가능한 소재 항목에 대한 신안 결과값을 제공합니다. 웹 접근성 주제별로 웹 접근성 표준은 신안한 것으로 판단될 수 있으며, 반드시 웹 접근성 표준을 통해 신안 결과를 확인해 주세요. 신안한 경우 웹 접근성 표준에 맞지 않거나, 웹 접근성 표준에 맞지 않는 경우는 표지자 수의 비율로 계산됩니다. 			

<그림 3-70> 웹 접근성 요약 보고서 – 사용자 그룹 관리 상세 조회, 사용자 그룹 등록,

사용자 관리 상세 조회(일반), 비밀번호 변경(일반)

⑤ 3차원 미세먼지 공간정보 통합시스템 기능 구현

3차원 미세먼지정보 통합시스템은 크게 3차원 통합뷰어, 시스템 관리 기능으로 나뉜다. 3차원 통합뷰어에서는 3D 지도 조작을 위한 카메라 이동, 회전, 확대/축소, 고도조절, 화면 이미지 저장 등의 기본 기능을 구현하였으며, 각종 데이터 시각화 및 3차원 객체를 시각화하기 위해 레이어를 구분하여 배경/위성지도, 수치표고, 관측소, 미세먼지 관측 및 예측값 등을 시각화할 수 있게 기능을 구현하였으며, 시스템 관리 부문에서는 로그인, 사용자 그룹 관리, 사용자 관리를 구현하였다.



<그림 3-71> 3차원 미세먼지 공간정보 통합시스템 기능 구조도

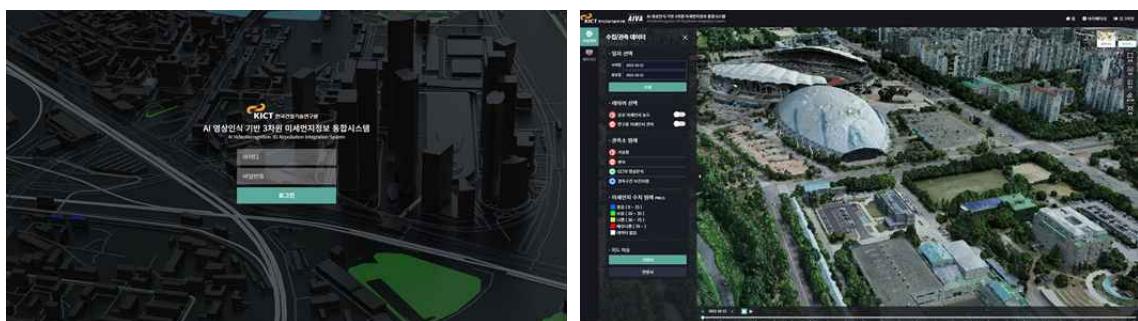
<표 3-30> 웹 시스템 기능 목록

화면	기능	세부내용	설명
시스템 관리	사용자 그룹 관리	사용자 그룹 목록 조회	사용자 그룹 목록 조회 기능
		사용자 그룹 등록	신규 사용자 그룹 등록 기능
		사용자 그룹 상세 조회	사용자 그룹 상세 정보 조회 기능
		사용자 그룹 수정	사용자 그룹 상세 정보 수정 기능
		사용자 그룹 삭제	사용자 그룹 삭제 기능
	사용자 관리	사용자 목록 조회	사용자의 목록 조회 기능
		사용자 등록	신규 사용자 등록 기능
		사용자 상세 조회	사용자의 상세 정보 조회 기능
		사용자 정보 수정	사용자의 상세 정보 수정 기능
		비밀번호 변경	사용자의 비밀번호 수정 기능
		사용자 삭제	사용자 삭제 기능

화면	기능	세부내용	설명
지도	유티리티	지도 기본 조작	지도 이동, 회전, 확대/축소 기능
		이미지 저장	현재 지도 화면을 이미지로 저장
		측정 기능	거리, 면적, 높이 측정 기능
		배경지도 전환 기능	Vworld를 연계하여 배경지도 / 영상지도 전환 기능
		듀얼맵	예측 / 보간 데이터 조회 시 수집 / 관측 데이터와 비교할 수 있도록 듀얼맵 적용
	데이터 조회	3차원 시각화 데이터 표출	안양시와 고양시의 3차원 객체 및 DEM 표출 기능
		기상청 관측소 시각화	기상청의 관측소 위치를 아이콘으로 시각화
		기상청 미세먼지 관측 데이터 시각화	기상청에서 관측한 미세먼지 데이터를 격자 형태로 시각화
		이동형 센서 시각화	이동형 센서 위치를 아이콘으로 시각화
		이동형 센서 미세먼지 수집 데이터 시각화	이동형 센서를 통해 수집된 미세먼지 데이터를 격자형태로 시각화
		영상분석용 CCTV 시각화	영상분석을 위한 CCTV 위치를 아이콘으로 시각화
		영상분석 미세먼지 예측 데이터 시각화	영상분석을 통해 예측된 미세먼지 데이터를 격자형태로 시각화
		보간 지점 시각화	보간 지점의 위치를 아이콘으로 시각화
		보간 데이터 시각화	보간 알고리즘을 통해 산출한 보간 데이터를 격자형태로 시각화
		객체 정보 조회	선택된 아이콘 및 격자의 정보를 조회하는 기능 개발

○ 로그인 및 메인화면

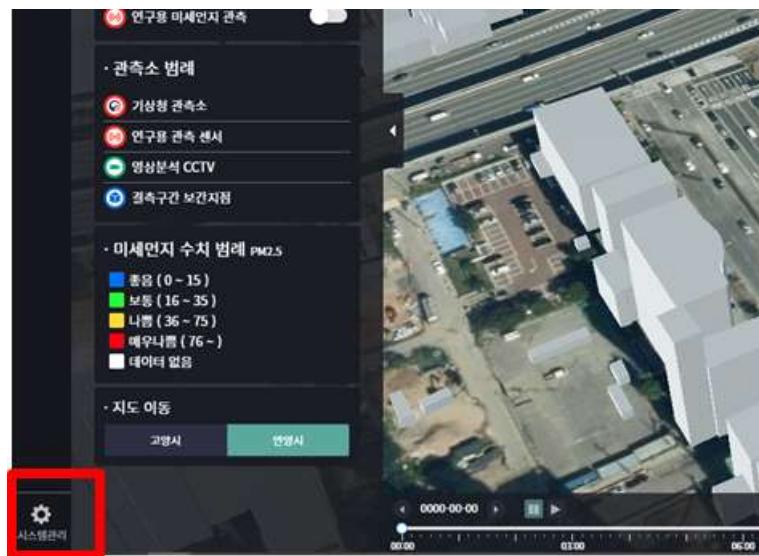
3차원 미세먼지 공간정보 통합시스템은 선택적으로 로그인을 할 수 있도록 구현하였으며, 시스템을 접속하거나 로그인에 성공하면 메인화면으로 이동하는데, 해당 시스템의 메인화면은 3차원 통합뷰어를 메인화면으로 지정하여 운영되도록 구현하였다.



<그림 3-72> 로그인 및 메인화면

○ 시스템 관리

시스템 관리 기능은 관리자 계정으로 로그인 할 경우 화면의 좌측 하단에 ‘시스템관리’버튼이 나타나는데, 해당 버튼을 클릭하면 시스템 관리 페이지로 이동하며 사용자 관리, 사용자 등록, 사용자그룹 관리, 사용자그룹 등록 페이지를 이용할 수 있다.



<그림 3-73> 시스템 관리 진입 방법

사용자 관리 기능은 아이디나 사용자 이름을 기준으로 사용자를 검색하거나 테이블의 체크박스를 통하여 사용자를 선택해 일괄적으로 삭제할 수 있다. 테이블의 사용자 아이디를 클릭하면 사용자 상세 조회 페이지로 이동하며 등록 버튼을 클릭하면 사용자 그룹 등록 페이지로 이동한다.

 A screenshot of the user management page. The top navigation bar includes the KICT logo, AIVA logo, and a search bar with dropdown menus for '검색결과' (Search Result), '아이디' (ID), and buttons for '조회' (Search), '삭제' (Delete), and '등록' (Register). On the left, there's a sidebar with 'System Management' selected and a list of user management sub-options: 'User Management', 'User Registration', and 'User Group Management'. The main content area is titled 'User Management' and shows a table with 4 rows of user data. The columns are '번호' (No.), '아이디' (ID), '사용자 이름' (User Name), and '등록일' (Registration Date). The data is as follows:

번호	아이디	사용자 이름	등록일
1	123123	qrqw	2022-10-21
2	test01	test	2022-10-21
3	manager	매니저	2022-10-14
4	user	일반 사용자	2022-10-14

<그림 3-74> 사용자 관리 기능 화면

사용자 등록 기능은 [아이디 중복 확인] 버튼을 이용해 사용할 아이디를 입력 할 수 있으며 하단의 등록 버튼으로 등록할 수 있다. 목록 버튼을 클릭하면 사용자 관리 페이지로 이동한다.



<그림 3-75> 사용자 등록 기능 화면

사용자 상세정보 조회 기능은 등록된 사용자의 상세정보를 조회할 수 있으며, 아이디를 제외한 다른 정보를 수정하거나 해당 사용자를 삭제 할 수 있다.



<그림 3-76> 사용자 상세정보 조회 기능 화면

사용자 그룹 관리 기능은 아이디나 그룹 이름을 기준으로 그룹을 검색하거나 테이블의 체크박스로 그룹을 선택하고 선택한 그룹을 삭제할 수 있다. 테이블의 그룹을 클릭하면 그룹 상세 조회 페이지로 이동하고 그룹 등록 버튼을 클릭하면 사용자 그룹 등록 페이지로 이동한다.

The screenshot shows the 'User Group Management' section of the AIVA system. At the top, there is a search bar with dropdown menus for '아이디' (ID) and '검색어 입력' (Search term input), and buttons for '조회' (Search), '삭제' (Delete), and '등록' (Register). Below the search bar is a table titled '그룹 관리' (Group Management) with 3 results. The table columns are: 번호 (Number), 아이디 (ID), 그룹 이름 (Group Name), 등록일 (Registration Date), 설명 (Description), and 권한 (Permission). The data in the table is:

번호	아이디	그룹 이름	등록일	설명	권한
1	GROUP_ADMIN	관리자 그룹	2022-10-14	관리자	ADMIN
2	GROUP_MANAGER	매니저 그룹	2022-10-14	매니저	MANAGER
3	GROUP_USER	일반 그룹	2022-10-14	일반 사용자	USER

<그림 3-77> 사용자 그룹 관리 기능 화면

사용자 그룹 등록 기능은 [아이디 중복 확인] 버튼을 이용해 사용할 그룹 아이디를 입력할 수 있으며 아이디와 이름을 입력하면 하단의 등록 버튼으로 등록할 수 있다. 목록 버튼을 클릭하면 사용자 그룹 관리 페이지로 이동한다.

The screenshot shows the 'User Group Registration' section of the AIVA system. At the top, there is a search bar with a dropdown menu for '아이디' (ID) and a button for '아이디 중복 확인' (ID Duplication Check). Below the search bar is a form titled '그룹 등록' (Group Registration) with fields for '그룹 아이디' (Group ID), '그룹 이름' (Group Name), '그룹 정보' (Group Information), and '권한' (Permission). The '그룹 아이디' field has a note: '아이디 입력 : 우측 아이디 중복 확인 버튼 클릭시 입력 가능' (ID Input: Click the duplicate check button to input). At the bottom right are buttons for '목록' (List) and '등록' (Register).

<그림 3-78> 사용자 그룹 등록 기능 화면

사용자 그룹 상세정보 조회 화면은 등록된 사용자 그룹의 상세정보를 조회할 수 있으며, 아이디를 제외한 이름, 정보, 권한을 수정하거나 해당 그룹을 삭제 할 수 있다.

그룹 관리 상세 조회

그룹 상세 조회

그룹 아이디	GROUP_ADMIN
그룹 이름	관리자 그룹
그룹 정보	관리자
권한	ADMIN

저장 삭제 목록

<그림 3-79> 사용자 그룹 상세정보 조회 기능 화면

관리자가 아닌 계정으로 로그인할 경우 우측 상단에 마이페이지 버튼이 표현되며, 해당 버튼을 클릭하면 사용자 상세조회 페이지로 이동하여 정보를 수정하거나 비밀번호를 변경할 수 있다.

사용자 관리 상세 조회

사용자 상세 조회

아이디	user
사용자 이름	일반 사용자
비밀번호 힌트	좋아하는 장소
비밀번호 정답	전자정부표준프레임워크센터
이메일	egovframesupport@gmail.com
소속그룹	일반 그룹

저장 비밀번호 수정 취소

사용자 관리 상세 조회

비밀번호 변경

아이디	user
현재 비밀번호	현재 비밀번호 입력
새 비밀번호	새 비밀번호 입력
새 비밀번호 확인	새 비밀번호 확인

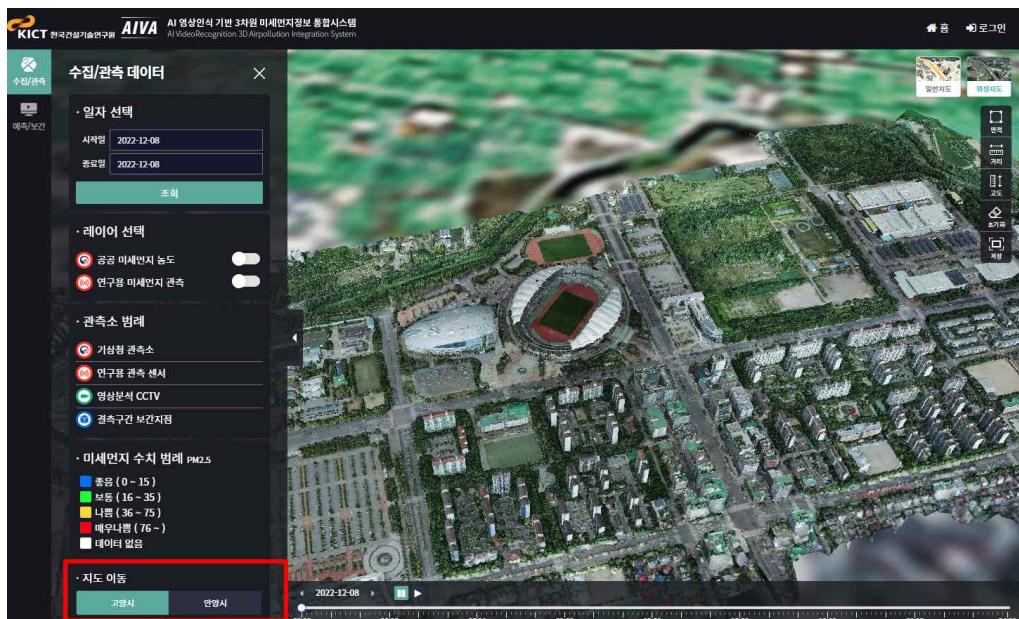
변경 취소

<그림 3-80> 마이페이지 기능 화면

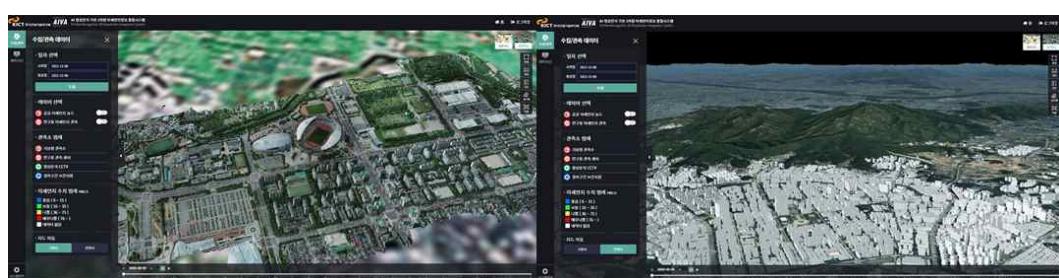
⑥ 3차원 통합뷰어

○ 지도 이동

지도 이동 버튼을 이용해 3차원 건물 데이터가 시각화된 고양시와 안양시의 위치에 보다 쉽게 이동할 수 있다. 건물 데이터와 지형데이터를 시각화 하는데 Cesium3DTileset와 CesiumTerrainProvider를 사용했으며 두 클래스는 URL을 통해 데이터를 불러오기 때문에 필요한 3차원 데이터를 WEB에서 제공하게끔 설정하였다. 처음 3차원 건물데이터를 불러오는 데 시간이 걸려 3차원 데이터에 한해서 정적 자원의 캐시 유효기간을 수정하였다. 지형 데이터는 고양시 데이터를 시각화할 경우 표출하지 않고 안양시의 경우 표출해야 하며 지형 데이터의 가시성을 조절할 때마다 화면 깜빡임이 심하기 때문에 해당 버튼으로 안양시로 이동하면 표현하고, 고양시로 이동하면 지우도록 하였다.



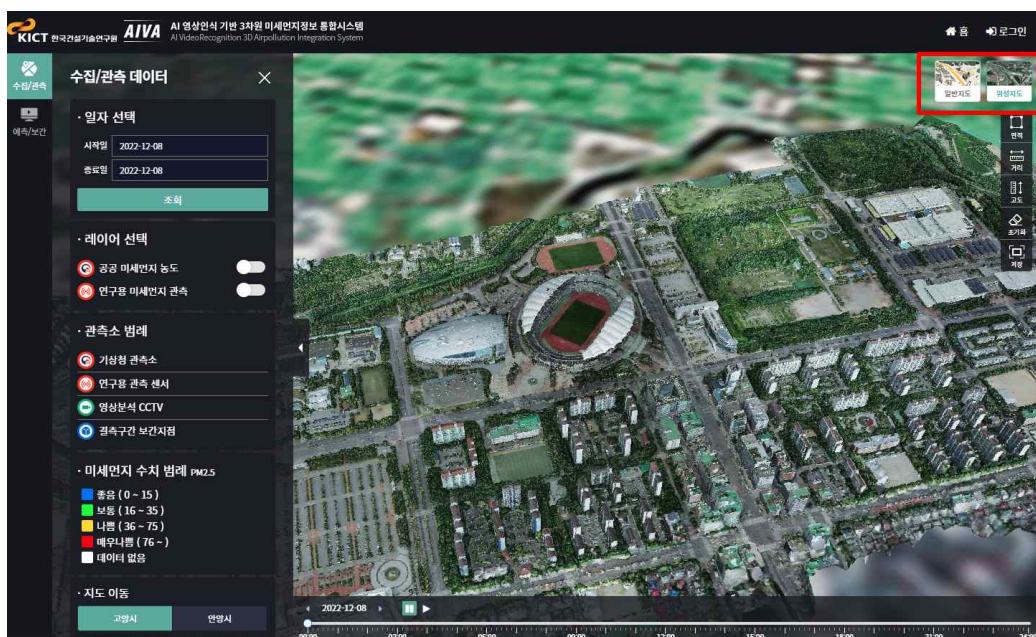
<그림 3-81> 사업 대상지 지도 이동 버튼



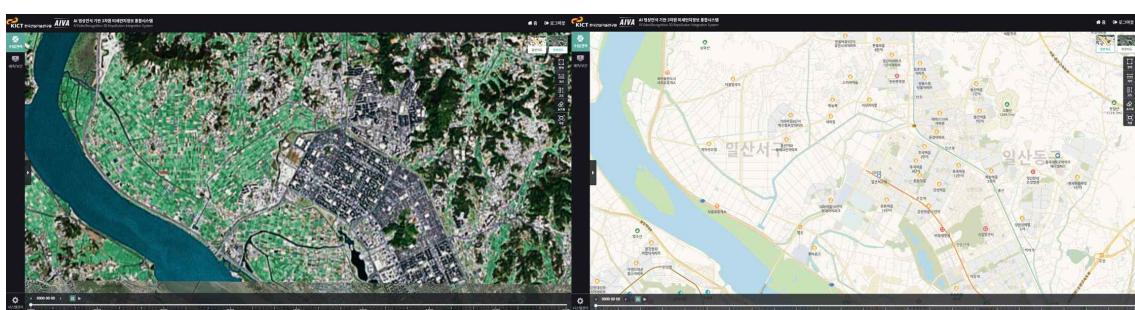
<그림 3-82> 사업 대상지 지도 이동 화면 (좌-고양시, 우-안양시)

○ 배경지도 전환

우측 상단의 버튼을 이용해 일반지도와 위성지도로 배경지도를 전환할 수 있다. 버튼을 클릭하면 화면상에 보여지던 배경지도인 기존의 imageLayer를 지우고 VWORLD에서 제공하는 WMTS를 이용해 얻은 이미지로 Cesium의 ImageryLayer 객체를 생성해 화면에 추가하였다. 제공받는 WMTS의 지도 레벨은 6에서 19 사이로 제한되어 있어 Cesium에서 ImageryLayer 객체를 생성할 때 minimumTerrainLevel, maximumTerrainLevel의 값을 해당 최대, 최소 레벨로 설정해 유효한 레벨의 이미지만을 요청하도록 하였다.



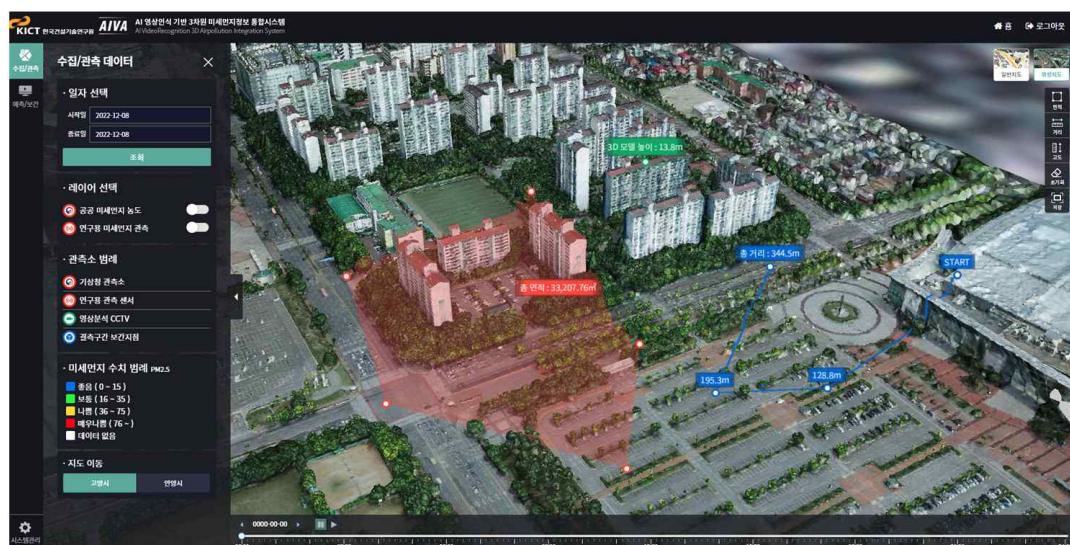
<그림 3-83> 배경지도 전환버튼 기능 위치



<그림 3-84> 배경지도 전환 기능 실행시 화면 (좌-위성지도, 우-일반지도)

○ 면적, 거리, 고도 측정 및 이미지 저장 기능

면적, 거리, 고도를 측정하거나 측정 관련 객체들을 지우고 지도 화면을 이미지로 저장할 수 있다. 면적, 거리, 고도 버튼을 클릭 한 뒤 지도를 좌클릭하면 측정 위치를 지정할 수 있으며 고도 측정은 한번만 사용할 수 있고 면적과 거리 측정은 우클릭으로 기능을 중단한다. 고도를 측정할 경우 지형 높이와 3D 객체 높이를 계산해 각각의 높이와 총 합을 출력하며 고양시는 지형데이터가 없기 때문에 3D 객체 높이만 표시되고 안양시는 둘 다 나온다. 지도 화면 이미지는 'capture_현재날짜.png'의 파일명으로 저장한다.



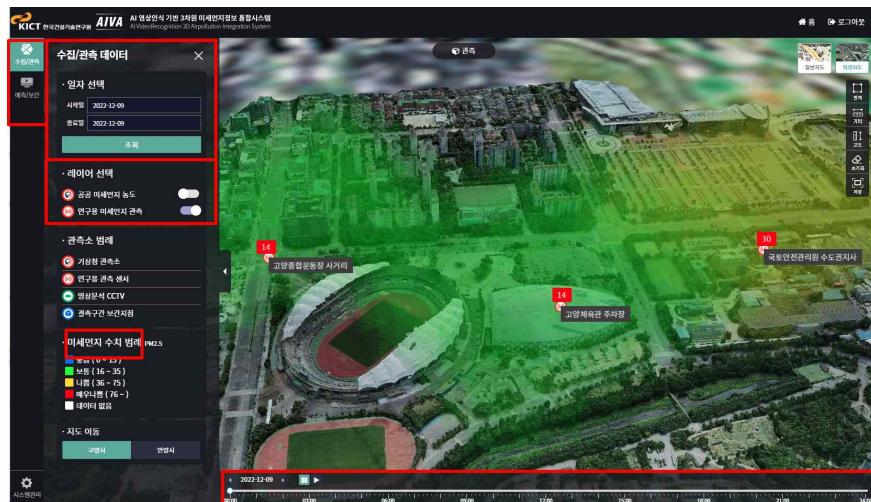
<그림 3-85> 면적, 거리, 고도 측정 기능 화면



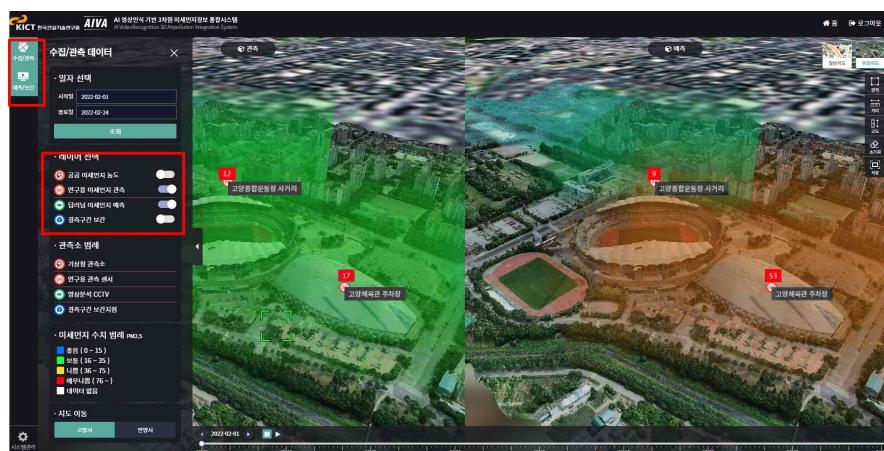
<그림 3-86> 이미지 저장 기능 수행 화면 및 저장된 이미지 파일

○ 아이콘 및 3차원 입체격자 시각화

데이터 관측지점, 분석지점, 보간지점, CCTV 위치를 특정 아이콘과 해당 지점에 대한 라벨을 이용해 표시하였다. 3차원 격자 객체는 DB에 저장된 관측/예측값을 이용해 미세먼지 수치 범례에 맞춰 색상을 정하고 시스템 이용에 영향을 주지 않는 레벨에 맞춰 관측/예측값을 나타내는 라벨과 함께 시각화하였다. 아이콘이나 격자를 클릭하면 해당 객체의 라벨 보기/끄기를 할 수 있다. 좌측 상단에서 ‘수집/관측’, ‘예측/보간’을 선택할 수 있으며 ‘수집/관측’은 항상 활성화되어 있다. ‘수집/관측’만 활성화 되어 있는 경우 ‘공공 미세먼지 농도’ 레이어와 ‘연구용 미세먼지 관측’ 레이어를 선택할 수 있으며 레이어를 선택하고 일자 선택에서 데이터를 조회하면 데이터가 있을 경우 화면상에 격자 객체가 나타난다. 하단의 타임라인을 이용하면 격자 객체를 실시간으로 변하는 것을 확인할 수 있다.



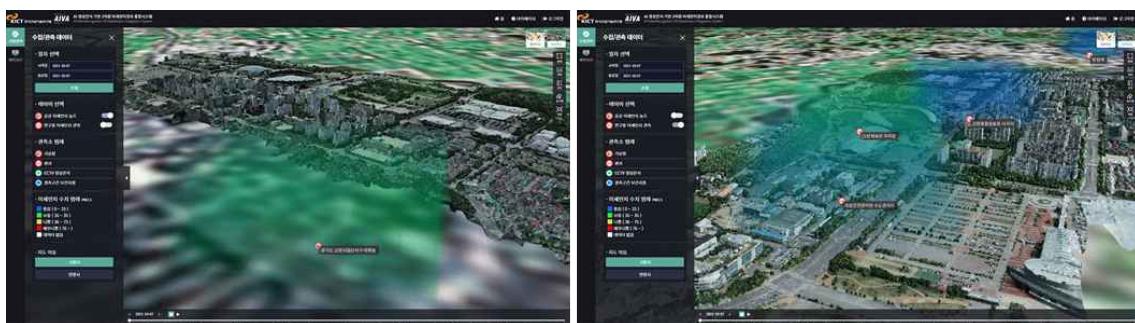
<그림 3-87> 아이콘 및 3차원 입체격자 시각화 화면



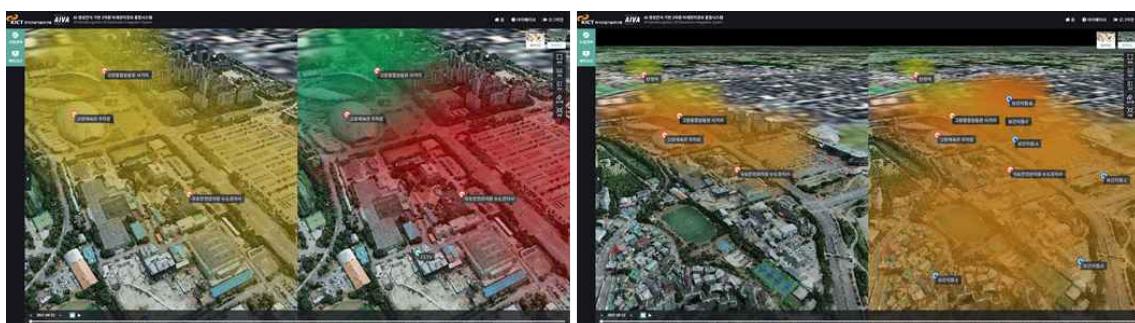
<그림 3-88> 듀얼맵을 통한 시각화 화면

○ 입체격자 기반의 미세먼지 데이터 시각화

공공 미세먼지 수집 데이터 및 연구용 미세먼지 관측 데이터, 딥러닝 영상분석을 통한 미세먼지 예측 값, 결측구간 보간 값을 시각화하는 기능을 구현하였다. 공공 미세먼지 수집 데이터 및 연구용 미세먼지 관측 데이터의 경우 일반적인 싱글맵으로 데이터를 시각화하였으며, 딥러닝 영상분석을 통한 미세먼지 예측값과 결측구간 보간 값의 경우에는 기반이 되는 데이터와 비교하여 확인 할 수 있도록 듀얼맵 형태로 데이터를 시각화하였다. 듀얼맵을 시각화 할 때, 좌측에는 연구용 미세먼지 관측 데이터를 시각화하고 우측에는 예측값과 보간 값을 각각 표현하도록 구현하였다.



<그림 3-89> 공공 미세먼지 수집 데이터(좌) 및 연구용 미세먼지 관측 데이터(우) 시각화 화면



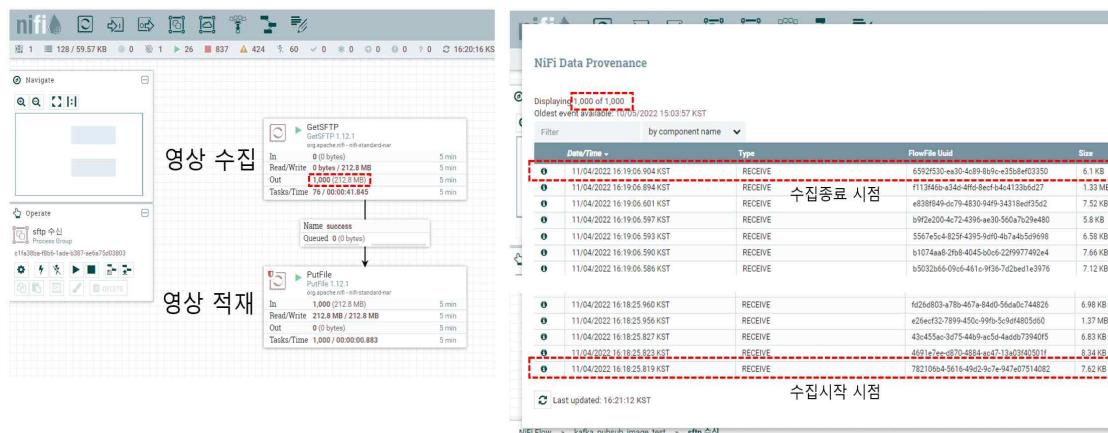
<그림 3-90> 딥러닝 영상분석을 통한 미세먼지 예측 값(좌) 및 결측구간 보간 값(우) 시각화 화면

(2) 구축 통합 웹플랫폼 성능 검증

CCTV 영상데이터, 미세먼지 관측 데이터 등의 데이터 수집, 처리, 분석에 대한 시스템 성능 테스트를 수행하였다. 데이터의 수집, 데이터 전처리, 영상분석의 3가지 부문으로 구분하여 각 성능에 대한 테스트 결과, 분당 1,000건 이상의 성능을 확보하였다. 데이터 수집에 대한 성능 테스트 결과, 1,000건의 데이터를 수집하기 위해서는 약 41초의 시간이 소요된다. 통합시스템은 분당 약 1,463.4건의 영상데이터 수집 성능을 보인다.

<표 3-31> 데이터 수집 성능테스트 결과

성능테스트 적용 데이터		성능테스트 결과	
유형	영상데이터	테스트 분야	영상데이터 수집
데이터 수	1,000개	성능테스트 시간	2021.11.04. 16:18:25~16:19:06
데이터 종류	PNG	처리시간	41초
용량	212.8MB	성능 결과	1,463.4건/분 수집 가능

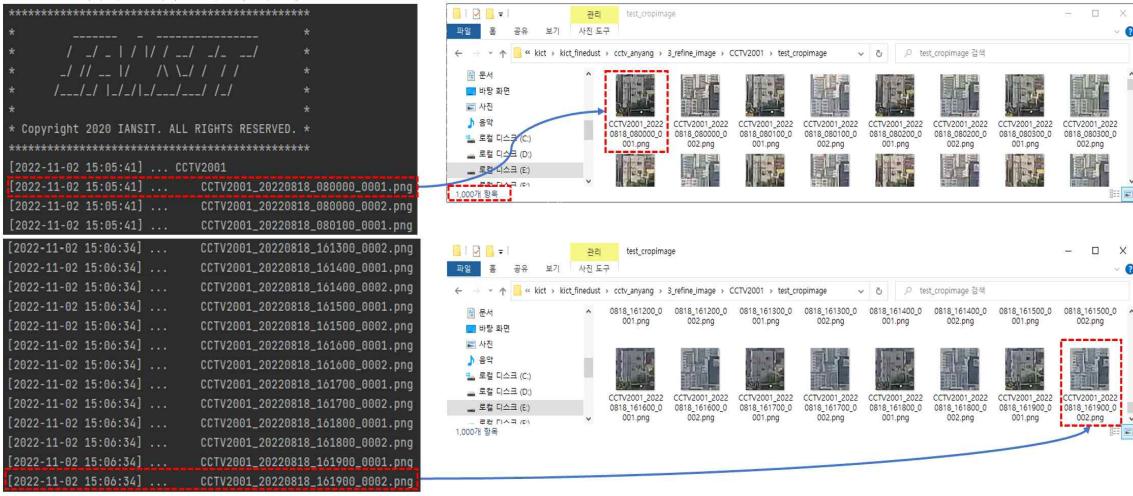


<그림 3-91> 데이터 수집 성능테스트

데이터 전처리에 대한 성능테스트 결과, 1,000건의 데이터를 전처리하기 위해서는 약 53초의 시간이 소요되었다. 이에 통합시스템은 분당 약 1,132.1건의 데이터 전처리 성능을 확보하였다.

<표 3-32> 데이터 전처리 성능테스트 결과

성능테스트 적용 데이터			성능테스트 결과		
유형	입력 이미지	출력 이미지	테스트 분야	영상데이터 전처리	
데이터 수	1,000개	1,000개	성능테스트 시간	2021.11.02. 15:05:41~15:06:34	
데이터 종류	PNG	PNG	처리시간	53초	
해상도	1920*1080	64*64	성능 결과	1,132.1건/분 처리 가능	

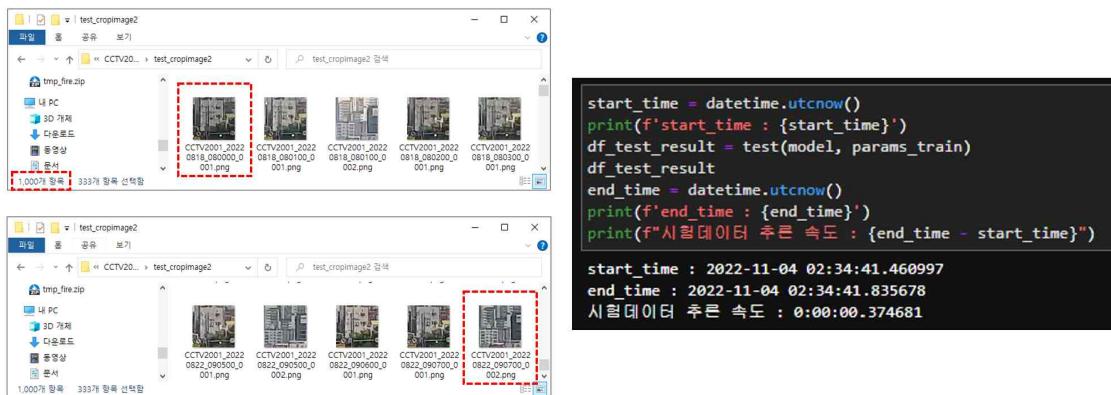


<그림 3-92> 데이터 전처리 성능테스트

영상분석에 대한 성능테스트 결과, 1,000건의 데이터를 분석하기 위해서는 약 0.37초의 시간이 소요되었다. 이에 통합시스템은 분당 약 162,162.2건의 데이터 분석 성능을 확보하였다.

<표 3-33> 영상분석 성능테스트 결과

성능테스트 적용 데이터			성능테스트 결과	
유형	입력 이미지	출력 이미지	테스트 분야	영상데이터 분석
데이터 수	1,000개	1,000개	성능테스트 시간	2021.11.04. 02:34:41~02:34:41
데이터 종류	PNG	PNG	처리시간	0.37초
해상도	1920*1080	64*64	성능 결과	162,162.2건/분 처리 가능



<그림 3-93> 영상분석 성능테스트

(3) 미세먼지 공간정보 통합시스템 지자체 실용화를 위한 안양시 협력체계 구축

미세먼지 공간정보 통합시스템의 지자체 실용화를 위한 연구계획을 수립하였다. 실용화 연구목표는 지자체 CCTV 기반 현장맞춤형 AI 미세먼지 정보 분석 기술 고도화, 지자체 대상 3차원 미세먼지정보 시스템 구축 및 운영 연구로 대별된다. 주요 내용으로는 지자체 맞춤형 현장적용 계획을 수립하고, 다채널 CCTV 연계기술 및 AI 분석모형 최적화 등 현장적용을 위한 기술 고도화 연구를 추진할 계획이다. 또한 대사 지자체 데이터 및 관제 인프라를 고려하여 지자체 맞춤형 데이터셋 수집환경 구축 및 3차원 미세먼지정보 시스템 구축 및 운영, 추가 확산을 위한 비즈니스모델 수립 등을 진행할 계획이다. 지자체 인프라 기반 후속과제 수행을 위해 미세먼지 등 대기환경 분야에서의 정책 추진 및 기술도입 의지가 있는 안양시와의 협력체계를 구축하였다.

<표 3-34> 지자체 실용화 계획 수립

지자체 실용화 연구목표		주요 내용
지자체 CCTV 기반 현장맞춤형 AI 미세먼지 정보 분석 기술 고도화	지자체 맞춤형 현장적용 계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> ·지자체 현장조사 및 Site 선정 ·지자체 맞춤형 현장적용 계획 수립(서버 구축, 시스템 연계 등)
	현장적용을 위한 기술 고도화	<ul style="list-style-type: none"> ·영상 내 대상지점 3차원 위치 분석 ·다채널 CCTV 영상 간 연계기술 개발
	CCTV 영상 기반 AI 분석모형 현장적용	<ul style="list-style-type: none"> ·지자체 CCTV 영상 기반 현장맞춤형 AI 분석모형 구축 ·다채널 CCTV 영상 기반 AI 분석모형 현장적용
지자체 대상 3차원 미세먼지정보 시스템 구축·운영	대상 지자체 맞춤형 데이터셋 수집환경 구축	<ul style="list-style-type: none"> ·지자체 맞춤형 분석 데이터 수집/저장 시스템 구축 ·대상 지자체 맞춤형 데이터셋 구축
	지자체 대상 3차원 미세먼지정보 시스템 구축 및 제공 서비스 운영	<ul style="list-style-type: none"> ·지자체 맞춤형 3차원 미세먼지정보 시스템 구축 ·지자체 서비스 운영 및 개선의견 도출/반영
	지자체 확산 비즈니스모델 수립	<ul style="list-style-type: none"> ·지자체 맞춤형 3차원 미세먼지정보 시스템의 실용화방안 제시 ·지자체 확산을 위한 비즈니스모델 수립

"시민과 함께하는 스마트 행복도시 안양"



안 양 시



안양형뉴딜

수신 한국건설기술연구원 원장

(경유)

제목 KICT 지역협력사업 연구 협조 요청 회신(CCTV를 활용한 3차원 미세먼지정보 서비스)

1. 귀 원의 무궁한 발전을 기원하며, 미래스마트건설연구본부-8984(2022.08.11.)호와 관련입니다.
2. 우리시 스마트도시통합센터에서는 지능형교통(ITS) 및 스마트교차로, 스마트스쿨존, 스마트시티 통합플랫폼, 국가재난안전통신망 IoT 사업 등을 통해 총 6,000여대의 CCTV와 미세먼지 측정기 등으로부터 다양한 정보를 수집 운영 중에 있습니다.
3. 이와 관련하여 귀 연구원에서 추진 중인 "지자체 CCTV 인프라를 활용한 AI 영상인식 기반 3차원 미세먼지정보 서비스" KICT 지역협력사업 연구과제에 참여하여 우리시 CCTV 영상정보 제공, 센터 인프라 활용, 관련 부서 협의 등 원활한 과제 수행이 이루어질 수 있도록 적극 지원할 예정이오니 스마트도시통합센터 기반 지자체 시범 서비스 실증에 참여할 수 있도록 적극 협조 요청드립니다. 끝.

안 양 시



★교통정보보
좌관

통합센터팀장

첨단교통과장 2022. 8. 12.

협조자

시행 첨단교통과-11620 (2022. 8. 12.) 접수

우 14053 경기도 안양시 동안구 시민대로 235, (관양동) / <http://www.anyang.go.kr>

전화번호 031-8045-5014 팩스번호 031-8045-6573 / 대국민 공개

<그림 3-94> 안양시 협력체계 공문

8. 정량적 연구개발 성과

○ 국내·외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주 저자명	호	국명	발행 기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호
1	Climatology of Planetary Boundary Layer Height-Controlling Meteorological Parameters over the Korean Peninsula	Remote Sensing	Shaik Allabakash	12(1 6)	스위스	MDPI	SCIE	2020.8.10	DOI: 10.3390/rs12162571
2	Particulate Matter Estimation from Public Weather Data and Closed-Circuit Television Images	KSCE Journal of Civil Engineering	원태연	26(2)	대한민국	대한토목학회	SCIE	2021.11.02	DOI: 10.1007/s12205-021-0865-4
3	코로나19 전후 미세먼지 농도에 영향을 미치는 요인 비교분석	한국방재학회논문집	최우철	21(6)	대한민국	한국방재학회	비SCI	2021.12.31	DOI: 10.9798/KO SHAM.2021.21.6.395
4	국부적 미세먼지 관측을 위한 Fuzzy AHP 기반의 CCTV 대상지 선정 평가	국토계획	최우철	57(3)	대한민국	대한국토도시계획학회	비SCI	2022.06.30	DOI: 10.17208/jkpa.2022.57.3.150
5	Modified Inverse Distance Weighting Interpolation for Particulate Matter Estimation and Mapping	Atmosphere	최강혁	13(5)	스위스	MDPI	SCIE	2022.05.22	DOI: 10.3390/atmos13050846
6	Anthropogenic influence of temperature changes across East Asia using CMIP6 simulations	SCIENTIFIC REPORTS	Shaik Allabakash	12(1)	영국	NATURE PORTFOLIO	SCIE	2022.07.13	DOI: 10.1038/s41598-022-16110-9
7	Particulate Matter Concentrations over South Korea: Impact of Meteorology and Other Pollutants	Remote Sensing	Shaik Allabakash	14(1 9)	스위스	MDPI	SCIE	2022.09.28	https://doi.org/10.3390/rs14194849

○ 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국산학기술학회 춘계학술대회	성홍기 외 1명	20.07.24	국제컨벤션센터	대한민국
2	한국산학기술학회 춘계학술대회	최우철 외 2명	20.07.24	국제컨벤션센터	대한민국
3	한국산학기술학회 춘계학술대회	장윤미 외 1명	20.07.24	국제컨벤션센터	대한민국
4	KSCE 2020 CONVENTION	성홍기 외 1명	20.10.21	신화월드	대한민국
5	KSCE 2020 CONVENTION	최우철 외 2명	20.10.21	신화월드	대한민국
6	KSCE 2020 CONVENTION	임상훈	20.10.21	신화월드	대한민국
7	ICTC 2020	성홍기 외 1명	20.10.22	라마다플라자	대한민국
8	한국기상학회 가을학술대회	임상훈 외 1명	20.10.29	온라인 발표	대한민국
9	한국기상학회 가을학술대회	임상훈 외 1명	20.10.29	온라인 발표	대한민국
10	대한공간정보학회 춘계학술대회	최우철 외 1명	22.05.19	웨스턴 조선 부산	대한민국
11	대한공간정보학회 춘계학술대회	송재인 외 3명	22.05.19	웨스턴 조선 부산	대한민국
12	대한공간정보학회 춘계학술대회	최강혁 외 1명	22.05.19	웨스턴 조선 부산	대한민국
13	한국지리정보학회 추계학술대회	정규수 외 6명	22.11.03	제주대학교	대한민국
14	한국지리정보학회 추계학술대회	송재인 외 4명	22.11.03	제주대학교	대한민국
15	한국지리정보학회 추계학술대회	성홍기 외 1명	22.11.03	제주대학교	대한민국
16	한국지리정보학회 추계학술대회	장윤미 외 2명	22.11.03	제주대학교	대한민국
17	한국지리정보학회 추계학술대회	최우철 외 2명	22.11.03	제주대학교	대한민국

○ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여 율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	영상 인식 기반 3차원 미세 먼지 정보를 구축하기 위한 시스템 및 그 방법	대한민국	한국건설기술연구원	21.08.1 1	10-2021-0 106118	한국건설기술연구원	21.11.0 9	10-232620 8	100%
2	영역 크기 가변이 가능한 3차원 미세 먼지 정보를 구축하기 위한 시스템 및 그 방법	대한민국	한국건설기술연구원	21.08.1 1	10-2021-0 106122	한국건설기술연구원	22.03.2 3	10-237939 0	100%

○ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	미세먼지 영상데이터 내 ROI(관심영역) 지정 프로그램	20.12.07	한국건설기 술연구원	20.12.16	C-2020-05 0414	한국건설기 술연구원	100%
2	미세먼지 영상데이터 프레임 분할 프로그램	20.12.07	한국건설기 술연구원	20.12.16	C-2020-05 0415	한국건설기 술연구원	100%
3	미세먼지 영상데이터 및 기상정보 시공간 맵핑 프로그램	20.12.07	한국건설기 술연구원	20.12.16	C-2020-05 0416	한국건설기 술연구원	100%
4	미세먼지정보 구축을 위한 딥러닝 기반 영상데이터 수집 시스템	21.11.01	한국건설기 술연구원	21.11.12	C-2021-04 7139	한국건설기 술연구원	100%
5	미세먼지정보 구축을 위한 센싱 및 공공데이터 수집 시스템	21.11.01	한국건설기 술연구원	21.11.12	C-2021-04 7138	한국건설기 술연구원	100%
6	미세먼지정보 예측 딥러닝 분석 시스템	21.11.01	한국건설기 술연구원	21.11.12	C-2021-04 7137	한국건설기 술연구원	100%
7	공간평균속도와 시간평균속도의 관계함수(Garber)를 이용한 속도데이터 맵핑 프로그램	21.11.01	한국건설기 술연구원	21.11.29	C-2021-05 1413	한국건설기 술연구원	100%
8	위치기반 속도 표준편차 기준의 데이터 분할 및 공간 배분 프로그램	21.11.01	한국건설기 술연구원	21.11.29	C-2021-05 1414	한국건설기 술연구원	100%
9	3차원 미세먼지 격자 모듈	22.11.01	한국건설기 술연구원	22.12.19	C-2022-05 4414	한국건설기 술연구원	100%
10	공간 보간을 통한 미세먼지 예측값 계산 모듈	22.11.01	한국건설기 술연구원	22.12.19	C-2022-05 4415	한국건설기 술연구원	100%

○ 기술 거래(이전) 등

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	정책기술료	AI 영상인식을 이용한 미세먼지 추정 방법	(주)이안에스 아이티	2022.08	30,000,000원	30,000,000원

○ 사업화 현황 : 해당사항 없음

○ 표준화 : 해당사항 없음

○ 그 밖의 성과

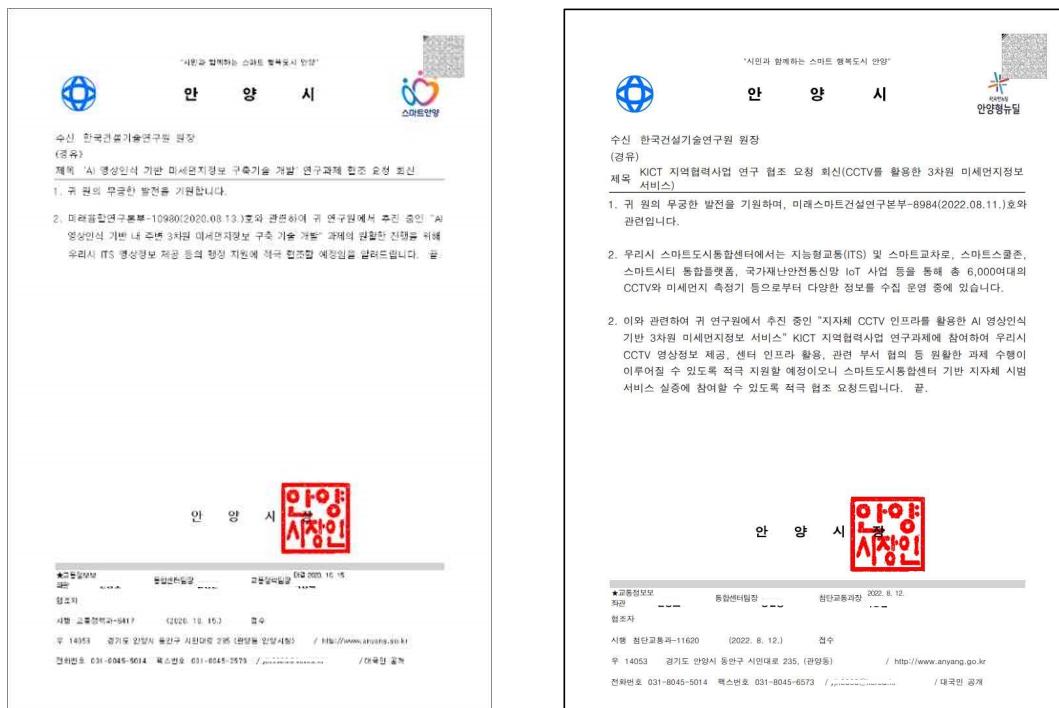
- 연구성과 전시/홍보

번호	전시/홍보명	연구성과(또는 전문세션 발표자)	일시	장소	국명
1	KSCE 2020 CONVENTION 전문세션 개최	최우철, 성홍기, 임상훈(좌장: 정규수)	20.10.21	신화월드	대한민국
2	대한공간정보학회 2022 춘계학술대회 전문세션 개최	최우철, 최강혁, 송재인(좌장: 정규수)	22.05.19	웨스틴 조선 호텔	대한민국
3	한국지리정보학회 전문세션 개최	정규수, 최우철, 성홍기, 장윤미, 송재인(좌장: 정규수)	22.11.03	제주대학교 아라캠퍼스	대한민국
4	언론사 보도자료 배포	CCTV를 활용한 AI 영상인식 기반 3차원 미세먼지 정보 구축 기술 개발	22.11.10	언론사(온라인)	대한민국
5	2022 대한민국 과학기술대전 홍보부스 운영	AI 기반의 CCTV를 이용한 미세먼지 관측 기술	22.12.14~22.12.17	일산 킨텍스 제1전시관	대한민국

- KOLAS 공인 시험

번호	시험명	시험대상	발급일자	시험성적서 번호	국명
1	KOLAS 공인 시험성적서	AI 영상인식 기반 3차원 미세먼지정보 분석 기술 v1.0	2022.11.03	2022-447-VSW-R	대한민국

- 연구성과 실증 및 실용화를 위한 후속연구 관련 지자체 협력체계 구축(안양시)



<연구성과 실증 협조 공문(안양시청, '20년)>

<후속연구 협조 공문(안양시청, '22년)>

제4장

연구개발 성과의 관리 및 활용계획

1. 성과활용방안

- 지자체 및 정부기관과의 협업을 통한 미세먼지 관측 리빙랩(Living Lab) 구현
 - 국부적 미세먼지 관측을 위하여 추가 장비의 설치 없이 기술 적용이 가능
 - 기존 인프라 시설물을 활용하여(고정형 CCTV 등) 내 주변의 국부적 미세먼지를 관측하기 위한 핵심기술로 활용
 - CCTV 영상정보 및 관련 시스템에 연계 · 활용(안양시 업무협조체계 구축)
 - * 스마트교차로, ITS시스템 등 도로변 CCTV 영상정보 연계 구축
 - * 안양시 자체 미세먼지 모니터링시스템(주요 정류장 미세먼지 모니터링 사업 등) 연계 적용
 - * 스마트시티 통합플랫폼 연계모듈을 구축하여 스마트시티 연계 적용
- 기수행 연구성과 연계적용 및 확장
 - 기수행 과제 성과와 연계한 기술 적용을 통해 미세먼지 저감 기술의 적용 위치 선정을 위한 의사결정시스템으로 활용(도로변 유동인구 밀집지역 미세먼지 저감 및 실증 기술 개발)
 - 도로변 유동인구 밀집지역(버스정류장, 스쿨존, 이벤트시설 주변 등)의 미세먼지 집중 모니터링, 미세먼지 회피 경로탐색 기술 적용 등 다양한 헬스케어 서비스 플랫폼 개발 솔루션으로 활용
- 정책 및 기술적용을 위한 의사결정 지원
 - 지자체의 도시 녹지화 사업, 산책로 조성사업과 같이 도심 내 환경개선 및 도시계획 정책수립 시 의사결정에 필요한 평가지표 기술로 활용
 - 미세먼지 저감을 위한 적용대상 관측 기술 분야, 개인 및 사회적 약자의 헬스케어를 위한 플랫폼 구축 등 관련 분야의 정책 결정 지원

○ 중소기업 기술이전

- 미세먼지 국부 관측 기초/원천 기술을 중소기업에 기술이전
- AI 영상/이미지 인식 및 분석 기술의 기술이전을 통하여 중소기업 수익 창출
- 플랫폼, 데이터 시각화 등 스마트폰 애플리케이션 및 솔루션 등 중소기업 기술 개발

○ 일반 도로이용자에 친환경적 기술 지원

- 내 주변 미세먼지 정보를 고려한 개인 맞춤형 통행경로 예보
- 3차원 미세먼지 정보를 통한 고도별 미세먼지정보 확보(산간지역, 고층건물 등)

2. 기대효과

2.1 과학기술적 기대효과

- 세계최초 공공시설(CCTV) 영상정보를 활용한 체감형 생활권 미세먼지 관측 및 정보 제공 핵심기술 확보
 - 지자체 CCTV 영상정보를 활용한 미세먼지 추정 분야 세계 최초 적용, 환경에 따른 무한 확장 가능
 - 시민 생활권 미세먼지 데이터 수집원으로 활용 및 확장 가능
 - 대기환경 분야 최초 공간 기반 3차원 미세먼지 정보 구축 및 서비스 시장 개척
 - 지점 기반이 아닌 면적(공간) 기반의 미세먼지 정보 구축
 - 다양한 서비스 플랫폼 솔루션으로 활용 가능
 - 3차원 미세먼지 관측 및 정보구축 기술 확보
 - 인공지능 기술의 새로운 적용 분야 도출
 - 기존 ID와 같은 특징점 추출과 반대되는 개념, 대기오염, 기상이변과 같은 신규 분야 데이터셋으로 활용 가능
- ※ 국부적 미세먼지 정보제공에서 활용성 증대
※ 스마트 미세먼지 저감조치, 개인 맞춤형 미세먼지 예보, 스마트 헬스 케어 등 다양한 서비스 플랫폼 솔루션 활용
※ 경사/지형 활용 건축물 및 고층공간 활용 증가에 따른 3차원 미세먼지 정보 서비스 시장 니즈 충족

2.2 경제적 기대효과

- 미세먼지 측정기 공공성확보와 국부적 미세먼지 취약지 제공에 따른 비용 대폭 절감효과
 - 고정형 미세먼지 측정 장치의 추가 확장 설치비용 절감
 - 개인 맞춤형 헬스 케어 서비스 플랫폼 개발을 통한 이용자 편의 발생
- 기존 공공시설 활용한 Non-budget 조밀한 미세먼지 정보 제공 및 저감기술의 세계적 선도 우위 기대
 - 기 생산 빅데이터를 재활용한 미세먼지 정보 제공이라는 새로운 활용분야 창출
 - 취약지 위주의 저감지역 의사결정 지원을 통한 비용 절감효과

- 세계 대기환경 시장분야에서 메가급 경제적 파급효과 발생 예상
- ※ 개발된 딥러닝 기반의 관측기술을 기준 시설물인 고정형 CCTV에 적용해 저비용으로 확장 적용
- ※ 국부적 미세먼지 선별적/간헐적 미세먼지 일률적 적용을 줄이는 도로면 미세먼지 저감활동 최적화
- ※ 세계 대기환경 시장 분야는 2013년 632억 달러에서 2018년 707억 달러로 연평균 2.3% 성장률을 추이를 보이며, 환경 센서 시장은 2014년 52억 4,000만 달러에서 66억 달러 규모로 연평균 4.7%의 높은 성장률을 보이는 급성장 시장임

7.3 사회적 기대효과

- 국민 삶의 질 개선을 위한 미세먼지 관련 대책/정책 수립의 기초자료로 생산/제공 가능
 - 미세먼지 패턴의 분석, 발생원 유추 등의 기초자료로 활용, 저감대책, 발생원 제거 등 정책 기반 자료로 활용
- 미세먼지 취약지역 사전대응 기술을 통한 미세먼지 예방 사회 안전망 구축
 - 국가 사회재난인 미세먼지 피해 골든타임 확보
 - 미래 미세먼지 예측 및 대응 효율성 극대화
- 내 주변 미세먼지 정보제공을 통한 국민 알 권리 보장
 - 국민의 여가, 통근, 스포츠 등 대외 활동 패턴에 맞춘 정밀한 미세먼지 정보 인식으로 만족도 제고
- 미세먼지 관측, 저감 분야 등 새로운 일자리 창출
 - 지역적 미세먼지 정보를 기반으로 한 정보관리분야, 미세먼지 영상 관측 장비 분야, 발생원 처리/저감 분야 등 새로운 일자리 창출 기대
- ※ 관련 정부부처, 지자체 등의 의사결정에 도움
- ※ 국민들 위치에 따른 국부적 미세먼지 정보 제공
- ※ 미세먼지 정보를 제공함에 따른 고용 창출 효과 기대
- ※ 관측자료 증대로 미세먼지 예측성 강화

참고문헌

- 관계부처 협동(2019), 미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)
- 과학기술정보통신부(2020), 미세먼지 R&D 추진전략(2020~2024)
- 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원(2019), 안전한 국민생활을 위한 공간정보 기반 지능
형 방범기술 개발 최종보고서
- 환경부(2020), 주간 미세먼지 정책 동향 소식지 1호(2020년 1월)
- 환경부(2020), 주간 미세먼지 정책 동향 소식지 5호(2020년 1월)
- 한국건설기술연구원(2017), IoT-기반 미세먼지 및 열섬저감을 위한 정류장 리모델링 기술
개발 기획 연구
- 한국건설기술연구원(2019), 공간정보 기반 스마트시티 지능형 방범 서비스 기술 실용화 연구
- 한국건설기술연구원(2019), 도로변 유동인구 밀집지역 미세먼지 저감 및 실증 기술 개발
- 한국건설기술연구원(2019), 차량센서 기반의 주행환경 관측·예측·안전운행 도로기술 개발
- 한국건설기술연구원(2020), 미세먼지 영상분석 전처리 툴 제작
- 광주과학기술원(2018), 초미세먼지 측정기술의 현재와 미래 : 초미세먼지 원인 및 영향의
정확한 진단을 위하여
- 국립환경과학원(2019), 대기환경월보(2019년 9월)
- 한국개발연구원(2011), 환경분야 편의행정방안에 관한 연구
- 기상청, 국립기상과학원(2020), 수요자 맞춤형 초고해상도 기상정보 산출기술 개발연구
- IRS Global(2017), 미세먼지에 대한 산업 분야별 대응 전략과 연관 시장의 향후 전망
- 서울연구원(2018), 서울시 미세먼지 관리정책의 사회경제적 편익
- 지식산업정보원(2017), 인공지능 기반 이미지/영상인식 산업별 응용기술 최신 동향분석
- 테크포럼(2019), 차세대 영상인식을 위한 이미지센서 및 카메라모듈 기술세미나
- (주)미래산업리서치(2017), 미세먼지 국내외 관련 산업 이슈분석과 주요 핵심사업 시장전망
- (주)미래산업리서치(2018), 2018 (초)미세먼지 국내외 관련 산업 정책동향과 주요 핵심 산
업 기술 및 시장 전망
- REVIEW OF DIGITAL GLOBES(2015)
- TechNavio, 2017, Global Environment Monitoring and Sensing Market
Market and Market, 2018, Environmental Sensor Market

- 김아영 외(2016), “GIS를 이용한 도심지 대기오염 측정망 최적위치 선정에 대한 연구”, 한국재난정보학회지, 12(4), pp.358-365.
- 김효정 외(2012), “공간 보간법을 이용한 도시지역 미세먼지 측정소의 배치 적절성 평가”, 한국지형공간정보학회지, 20(2). pp.3-13.
- 이금숙(2008), “교통흐름에 기인하는 미세먼지 노출 도시인구에 대한 시공간적 분석”, 한국신문기, 이충대, 하현섭, 최춘석, 김용희(2007), “기상인자가 미세먼지 농도에 미치는 영향”, 한국대기환경학회지, 23(3), 322-331
- 채희정(2009), “풍속과 풍향이 미세먼지 농도에 미치는 영향”, 환경위생공학, 24(3), 37-54
- 박혜민, 김태용, 양민준(2020), “기상인자에 따른 대기 중 미세먼지 감소 및 빗물 특성 연구”, 대한원격탐사학회지, 36(6), 1733-1741
- 김혜림, 문태현(2021), “기상 데이터와 미세먼지 데이터를 활용한 머신러닝 기반 미세먼지 예측 모형”, 한국지리정보학회지, 24(1), 92-111
- 박애경, 허종배, 김호(2011), “서울시 미세먼지 농도에 영향을 미치는 요인 분석:기상요인 및 장거리 이동 물질 중 일산화탄소를 중심으로”, Particle and Aerosol Research, 7(2), 59-68
- 백창선, 염재홍(2019), “위성 영상과 관측 센서 데이터를 이용한 PM10 농도 데이터의 시공간 해상도 향상 딥러닝 모델 설계”, 한국측량학회지, 37(6), 517-523
- 추교황, 이규태, 정명재(2017), “PM2.5 농도 산출을 위한 경험적 다중선형 모델 분석”, 한국지구과학회지, 38(4), 283-292
- 이정훈(2018), “드론을 활용한 대기 중 블랙카본 농도 측정”, 「한국대기환경학회지」, 34(3), pp.486-492.
- 손승우, 유재진, 김동우, 김태현, 성웅기, 윤정호(2020), “드론을 이용한 토지이용별 미세먼지 농도 측정 가능성 모색 연구”, 한국산학기술학회논문지, 21(4), 259-267.
- Alvarado, M. et al.(2017), “A Methodology to Monitor Airborne PM10 Dust Particles Using a Small Unmanned Aerial Vehicle”, Sensors, 17(2), p.343.
- Villa, T. F. et al.(2017), “Determination of the Vertical Profile of Particle Number Concentration Adjacent to a Motorway Using an Unmanned Aerial Vehicle”, Environmental Pollution, 230, pp.134-142.
- Amidror, I. (2002). Scattered data interpolation methods for electronic imaging systems: a survey. Journal of electronic imaging, 11(2), 157-176.
- Chen, Chen-Chia, et al. "Calibration of low-cost particle sensors by using

- machine-learning method." 2018 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS). IEEE, 2018.
- Bell, M. L. (2006). The use of ambient air quality modeling to estimate individual and population exposure for human health research: a case study of ozone in the Northern Georgia Region of the United States. *Environment international*, 32(5), 586-593.
- Di Antonio, Andrea, et al. "Developing a relative humidity correction for low-cost sensors measuring ambient particulate matter." *Sensors* 18.9 (2018): 2790.
- Hodam, S., Sarkar, S., Marak, A. G., Bandyopadhyay, A., & Bhadra, A. (2017). Spatial interpolation of reference evapotranspiration in India: comparison of IDW and Kriging methods. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 98(4), 511-524.
- Kim, H. J., & Jo, W. K. (2012). Assessment of PM-10 monitoring stations in Daegu using GIS interpolation. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, 20(2), 3-13.
- Kumar, A., Gupta, I., Brandt, J., Kumar, R., Dikshit, A. K., & Patil, R. S. (2016). Air quality mapping using GIS and economic evaluation of health impact for Mumbai city, India. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66(5), 470-481.
- Ma, J., Ding, Y., Cheng, J. C., Jiang, F., & Wan, Z. (2019). A temporal-spatial interpolation and extrapolation method based on geographic Long Short-Term Memory neural network for PM_{2.5}. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117729.
- Sajjadi, S. A., Zolfaghari, G., Adab, H., Allahabadi, A., & Delsouz, M. (2017). Measurement and modeling of particulate matter concentrations: applying spatial analysis and regression techniques to assess air quality. *MethodsX*, 4, 372-390.
- Shad, Rouzbeh, Mohammad Saadi Mesgari, and Arefeh Shad. "Predicting air pollution using fuzzy genetic linear membership kriging in GIS." *Computers, environment and urban systems* 33.6 (2009): 472-481.

Soneja, Sutyajeet, et al. "Humidity and gravimetric equivalency adjustments for nephelometer-based particulate matter measurements of emissions from solid biomass fuel use in cookstoves." International journal of environmental research and public health 11.6 (2014): 6400-6416.

Zhang, H., Zhan, Y., Li, J., Chao, C. Y., Liu, Q., Wang, C., ... & Biswas, P. (2021). Using Kriging incorporated with wind direction to investigate ground-level PM_{2.5} concentration. Science of The Total Environment, 751, 141813.

한국환경공단 에어코리아, airkorea.or.kr

기상청 기상자료개방포털, data.kma.go.kr

공공데이터포털, <https://www.data.go.kr>

방재기상정보시스템, <http://afso.kma.go.kr>

고해상도 기상·기후정보' 웹사이트, <http://www.greenmap.go.kr>

S-Map, smap.seoul.go.kr

서지자료

1. 출판물 고유번호 KICT 2022-192	2. 사업분류 주요사업	3. 발행일 2022. 12. 31
4. 제목/부제 AI 영상인식 기반 내주변 3차원 미세먼지정보 구축 기술 개발(3/3)	5. 연구수행기간 2022. 01. 01 ~ 2022. 12. 31	
6. 연구수행기관 한국건설기술연구원	7. 연구 수행자 정규수, 임상훈, 나준엽, 윤준희, 정인택, 최우철, 성홍기, 장윤미, 송재인	
8. 수행기관 주소 10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283	9. 연구의뢰기관 및 주소 해당없음	
10. 공동 수행기관 해당없음	11. 계약 또는 인가번호 해당없음	
12. 초 록 도로변 미세먼지는 국민 건강을 위협하는 심각한 도시환경 문제로, 현재 제공되고 있는 고정형 관측정보로는 공간 연속적 정보제공에 한계가 있다. 이에 추가장비 설치 없이 기구축 CCTV 영상데이터를 기반으로 AI 영상인식 기반의 미세먼지 관측 기술 개발 및 내주변 3차원 공간정보 제공이 가능한 플랫폼 개발 연구를 수행하였다.		
13. 키워드 미세먼지, 관측, 영상분석, 인공지능, 딥러닝		
14. 기타사항 해당없음		
15. 비밀구분 공개	16. 총면수 108	17. 발행부수 -
		18. 가격 -

주의사항

1. 본 보고서는 우리 연구원이 자체연구사업으로 수행한 자체 연구성과로서 정부의 정책이나 견해와는 다를 수도 있습니다.
2. 본 보고서의 내용을 인용할 경우 반드시 출처를 밝혀주시기 바랍니다.
3. 무단복제는 절대 금하며, 저작권 관련법에 의해 처벌을 받을 수 있습니다.

KICT 2022-192

AI 영상인식 기반

내주변 3차원 미세먼지정보 구축 기술 개발

- 출판사등록번호/
 - 발행일/ 2022. 12. 31
 - 발행처/ 한국건설기술연구원
경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)
TEL : (031) 9100-114
www.kict.re.kr
 - 인쇄처/ 카피코
-