

Research Paper

## 디지털 환경영향평가 지원을 위한 AERMOD 시스템 개발

홍현수\* · 최태묵\*\* · 최일환\*\*\* · 김유미\*\*\*\* · 김현수\*

충남대학교 컴퓨터융합학부\*, (주)크리에이텍\*\*, 대전대학교 토목환경공학과\*\*\*, 한국환경연구원\*\*\*\*

### Development of AERMOD System to Support Digital Environmental Impact Assessment

Hyunsu Hong\* · Taemuk Choi\*\* · Ilhwan Choi\*\*\* · Yumi Kim\*\*\*\* · Hyeonsoo Kim\*

Department of Computer Science & Engineering, Chungnam National University\*  
CREATECH CO.\*\*

Department of Civil and Environmental Engineering, Daejeon University \*\*\*  
Korea Environment Institute\*\*\*\*

**요약:** 최근 정보통신기술의 개발과 더불어 환경영향평가서 작성의 디지털화 및 환경영향평가서 내 정보의 접근성 확대에 대한 요구가 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 환경영향평가 디지털화를 지원하기 위하여 대기질 평가에 사용되는 주요 모델인 American Meteorological Society and U.S. Environmental Protection Agency Regulatory Model (AERMOD)을 자동으로 운영할 수 있는 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 사용자가 모델을 운영하기 위한 기초적인 기상자료를 자동으로 수집하고 지형자료를 자동으로 구축할 수 있도록 설계되었으며, 배출원 및 배출량 정보를 입력할 수 있는 웹 기반 사용자 인터페이스를 제공한다. 또한, 기존 Windows OS 환경 하에서 운영되는 AERMOD 모델 결과와 동일한 연산 결과를 Linux OS 환경 하에서 획득하였음을 확인하였기 때문에 연산 서버 환경에서의 운영 편리성을 확보하였다. 이에, 본 연구에서 개발된 AERMOD 모델링 시스템은 표준화된 관련 업무 절차를 제공함과 동시에 디지털 환경영향평가 기술 구축에 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

**주요어:** 디지털 환경영향평가, AERMOD, 대기질 모델, 약취모델, ICT 지원시스템

**Abstract:** With the recent development of information and communication technology, there has been an increasing demand for the digitalization of environmental impact assessment report and the enhancement of information accessibility within these reports. In response, this study developed a system that automates the operation of the American Meteorological Society and U.S. Environmental Protection Agency Regulatory Model (AERMOD), a key model used for air quality assessments, to

First Author: Hyunsu Hong, Tel: +82-42-931-5730, E-mail: nineco@nineco.kr, ORCID: 0000-0001-7248-7223

Corresponding Author: Taemuk Choi, Tel: +82-51-780-8100, E-mail: taemuk@createch.co.kr, ORCID: 0000-0001-5460-7471

Co-Authors: Ilhwan Choi, Tel: +82-42-280-4819, E-mail: 170cm80kg@dju.kr, ORCID: 0000-0001-8613-9385

Yumi Kim, Tel: +82-44-415-7471, E-mail: ymkim@kei.re.kr, ORCID: 0000-0002-8334-4962

Hyeonsoo Kim, Tel: +82-42-821-6657, E-mail: hskim401@cnu.ac.kr, ORCID: 0000-0003-3611-1493

Received 25 November, 2024. Revised: 5 February, 2025. Accepted: 19 February, 2025.

support the digitalization of environmental impact assessments. The system is designed to automatically collect basic meteorological data and construct terrain data required for model operation. Additionally, it provides a web-based user interface for inputting emission sources and emission quantities. The consistency between the Linux-based and Windows-based model systems built to operate AERMOD was ensured through this system. This system is expected to produce standardized results during AERMOD modeling and serve as a foundation for the implementation of digital environmental impact assessments.

**Keywords:** Environmental impact assessment, AERMOD, Air quality model, Odor model, ICT Support system

## I. 서론

환경영향평가는 다양한 개발사업이 환경에 미치는 영향을 체계적으로 평가하고 관리하기 위해 도입된 제도로, 1969년 미국에서 국가환경정책법(NEPA, National Environmental Policy Act)에 따라 처음 시행되었으며, 국내에서는 1977년 환경보전법을 통해 법적 근거가 마련되었다(Kim 2000). 이후 지속적인 법령 개정을 거쳐 환경영향평가는 점차 중요한 역할을 맡게 되었으며, 최근에는 지방자치단체별로 지역 특성에 맞춘 환경영향평가의 필요성이 증가하면서 관련 조례를 통해 평가가 이루어지고 있다(Lee & Cho 2022).

전통적인 환경영향평가서는 종이 문서 형태로 제공되었으나, 현재는 전자파일 형태로 제공되며(www.eiass.go.kr), 온라인 기반 평가 절차의 디지털화가 강조되고 있다(Northmore & Hudson 2022). 이에 따라 평가 항목별 표준화 및 관련 알고리즘 개발 연구가 활발하게 진행되고 있으며(An et al. 2023), 이를 실현하기 위한 웹 기반 시스템 개발 요구가 증가하는 추세다.

환경영향평가에서 대기오염 확산 예측을 위해 미국 환경청(EPA)이 제공하는 AERMOD 모델이 널리 활용되고 있다(Kim et al. 2003). AERMOD는 공사 및 운영 과정에서 발생하는 오염원을 모델링하여 대기질 변화를 예측하는 도구로, 국내에서도 다양한 분야에서 적용되고 있다(Yoon et al. 2009; Park et al. 2024; Han 2022). 특히, AERMOD 모델은 비산먼지 예측, 산업단지에서 발생하는 유해대기오염물질의 확산 예측 및 악취 분포 분석 등에 폭넓게 사용되고 있다. 하지만 국내 환경영향평가 체계에서 AERMOD를 효과적으로 활용하는

데 필요한 모델 운영의 자동화 및 최적화에 관한 연구는 부족한 실정이다(Kim et al. 2022; Kim et al. 2023).

본 연구는 환경영향평가에서 AERMOD 모델 운영의 자동화를 실현하는 것을 목표로 한다. 여기서 ‘자동화’는 단순히 AERMOD 모델을 실행하는 것이 아니라, 국내 환경영향평가 절차에 적합한 기상자료 및 지형자료의 수집·처리, 수용지 설정, 모델 입력자료 생성 및 실행, 결과 해석까지 포함하는 전 과정을 디지털화하는 것을 의미한다. 이를 통해 대기환경영향평가의 효율성을 극대화하고, 평가 과정에서 발생할 수 있는 오류를 최소화하고자 한다.

AERMOD 모델 운영 자동화의 필요성은 크게 네 가지로 정리할 수 있다. 먼저, 환경영향평가 체계에 맞춘 데이터 수집 및 처리의 자동화가 필요하다. 기존 수작업 방식에서는 기상자료, 지형자료 및 수용지 정보의 수집과 처리에 많은 시간이 소요되며, 이 과정에서 오류가 발생할 가능성이 크다. 따라서 자동화된 시스템을 통해 신속하고 정확한 데이터 수집·처리 과정을 구현하고, 평가의 신뢰성을 높일 필요가 있다.

두 번째로, 평가 절차의 일관성과 신뢰성을 확보하는 것이 중요하다. 현재 AERMOD 모델 운영은 개별 연구자 또는 기관에 따라 입력자료 작성 방식과 평가 방법이 상이하여 결과의 일관성이 떨어질 수 있다. 이에 따라 자동화 시스템을 구축함으로써 모델 입력자료의 표준화 및 자동 변환 기능을 구현하고, 평가 절차의 통일성을 확보해야 한다.

세 번째로, 사용자의 접근성과 편의성을 향상시키는 것이 필요하다. 환경영향평가 수행자가 보다 쉽게 대기질 평가를 진행하고 결과를 검토할 수 있도록 웹 기

반 인터페이스를 구축함으로써, 비전문가도 손쉽게 AERMOD 모델을 활용할 수 있도록 지원해야 한다.

마지막으로, 환경영향평가의 디지털 전환을 실현해야 한다. 현재 국내 통합환경관리 체계에서도 AERMOD 모델을 운영할 수 있는 유사 시스템이 존재하지만, 이는 환경영향평가를 목적으로 개발된 것이 아니다. 따라서 본 연구는 환경영향평가에 특화된 데이터 입출력, 평가 절차, 결과 해석 및 검토 과정까지 포함하는 자동화 시스템을 구축하여, 환경영향평가의 디지털화를 실현하고자 한다.

본 연구의 궁극적인 목표는 환경영향평가에서 AERMOD 모델을 보다 효율적이고 신뢰성 있게 운영할 수 있도록 지원하는 디지털 시스템을 구축하는 것이다. 이를 통해 대기질 평가의 기초 자료 구축 시간을 단축하고, 평가 결과의 정확성과 신뢰성을 높이며, 환경영향평가의 디지털 전환을 촉진할 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 연구방법

본 연구는 AERMOD 모델을 운영하기 위하여 전산

환경을 이용하여 기상(지표 및 고공) 및 지형 데이터를 수집 및 전처리한 후 모델을 실행하여 평가 결과를 효과적으로 제공하는 자동화 시스템 개발을 목표로 한다. 이를 실현하기 위해 데이터 수집 및 품질 관리, 시스템 설계, 서버 운영, 모델 검증 및 사용자 중심의 평가 정보 제공 과정을 다음과 같이 구성하였다.

### 1. 개발환경 구성

디지털 환경영향평가를 지원하기 위한 대기질 예측 시스템의 개발은 사용자 입력 모듈과 대기 예측 모듈을 수행할 수 있는 서버 시스템으로 구분하여 진행되었다. Figure 1에 나타낸 바와 같이 사용자 입력 모듈은 JAVA (Version 1.8) 프로그램과 전자정부프레임워크 (eGovFrame V4.0)를 이용하여 사용자 인터페이스를 개발하였으며, 대기 예측 모듈을 수행할 수 있는 서버 프로그램은 Linux (Ubuntu V. 22.04) 환경에서 운영될 수 있도록 구축되었다. 또한, 대기 예측 시스템의 자동화된 운영을 위해 Python (Version 3.8)을 활용하여 전처리 모듈 및 대기 예측 모듈을 실행할 수 있는 모듈을 개발하였다.

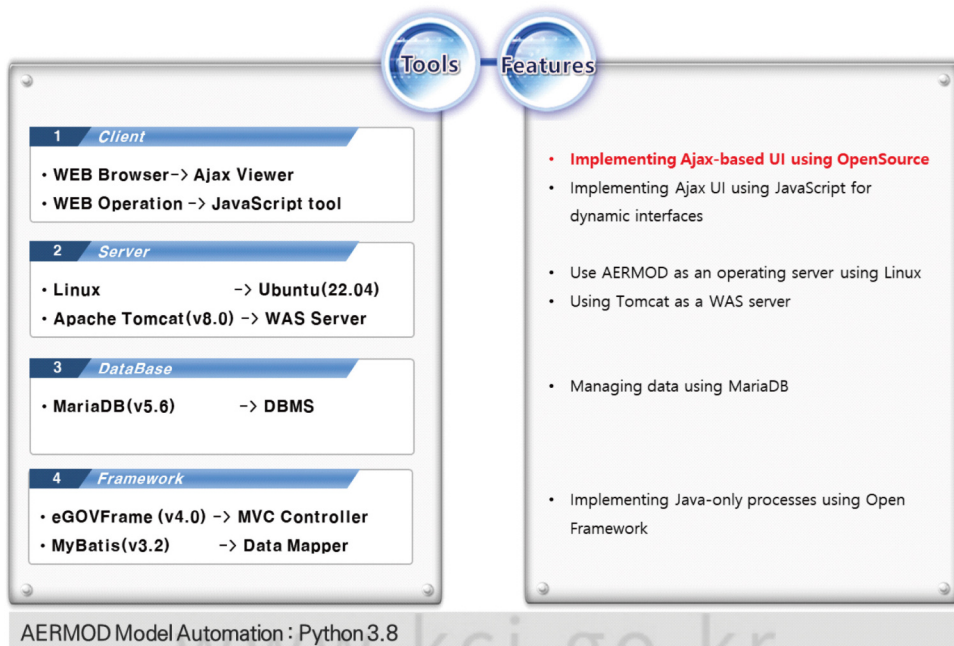


Figure 1. Development environment

## 2. 데이터 수집 및 품질관리

AERMOD 모델의 필수 입력 데이터인 기상자료와 지형자료를 보다 효율적으로 수집하고 처리하기 위해 본 연구에서는 자동화된 시스템을 개발하였다. 이를 통해 기존 방식에서 발생하던 비효율성과 오류를 개선하고, 보다 신뢰성 높은 데이터를 제공할 수 있도록 하였다.

기상자료의 경우, 기존에는 사용자가 기상청에서 제공하는 국내 지표 기상자료 및 고층 기상자료를 개별적으로 다운로드한 후, 수작업을 통해 AERMOD용 입력 형식으로 변환하여 활용하는 방식이 일반적이었다. 그러나 이러한 과정은 변환 오류의 발생 가능성이 높고, 누락되거나 비정상적인 값을 효과적으로 처리하기 어려우며, 최신 자료를 신속하게 반영하는 데 한계가 있었다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 웹 크롤링 시스템을 활용하여 기상자료를 자동으로 수집하고, AERMET에서 요구하는 형식으로 자동 변환하는 프로그램을 개발하였다. 또한, 통계적 보간법을 적용하여 누락된 값을 보완하고, 이상치 탐지 알고리즘을 활용하여 비정상적인 데이터를 자동으로 검출 및 제거하도록 설계하였다. 아울러, 데이터 요청 실패나 서버 오류와 같은 예외 상황을 고려한 예외 처리 기능을 포함하

여 데이터 수집 과정의 신뢰성을 더욱 높였다. 이를 통해 기존 방식보다 안정적이고 효율적인 기상자료 제공이 가능하도록 하였다.

지형자료의 경우, 기존에는 사용자가 수치지도를 개별적으로 다운로드하여 구축하는 방식이 일반적으로 사용되었다. 그러나 이러한 방식은 시간과 노력이 많이 소요되며, 보다 정밀한 공간 해상도를 제공하는 데 한계가 있었다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 Shuttle Radar Topography Mission(SRTM) 1초(1 arc-second, 약 30m) 해상도의 데이터를 활용하여 전국 단위의 지형 정보를 자동으로 수집하는 기능을 개발하였다. 수집된 데이터는 1°(위도·경도) 구역 단위로 변환된 후, USGS DEM 포맷으로 가공하여 AERMOD의 지형 전처리 모델인 AERMAP에서 활용할 수 있도록 구성하였다. 또한, 파일 데이터베이스(DB)를 구축하여 사용자가 특정 지역을 선택하면 해당 지역의 지형자료를 자동으로 생성하고 활용할 수 있도록 하였다. 이를 통해 기존 방식보다 정밀한 지형자료를 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 사용자가 직접 데이터를 다운로드하고 변환해야 하는 번거로움을 해소할 수 있었다.

본 연구에서 개발한 자동화된 데이터 수집 및 변환 시스템을 활용함으로써 환경영향평가 수행 시 보다 높

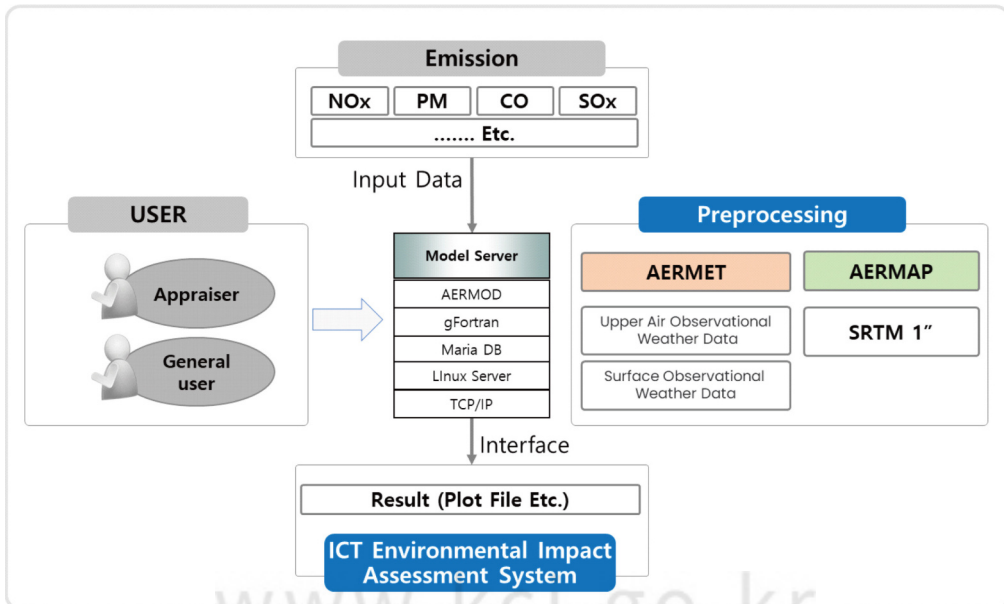


Figure 2. Diagram of dispersion model system

은 수준의 공간 해상도를 확보할 수 있으며, 평가의 신뢰성을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

### 3. 모델 시스템 설계 및 구성

디지털 환경영향평가를 지원하기 위한 대기 모델 시스템 구성은 Figure 2에 나타난 바와 같이, 서버 운영체제로는 리눅스를 채택하여 전처리 도구인 AERMAP과 AERMET 그리고 확산 모델인 AERMOD를 gfortran을 이용하여 구현하여 리눅스 환경 하에서 작동 가능하도록 하였다(EPA 2022a, 2022b, 2022c). 한편, 국내 지표기상 및 고층기상 자료의 수집과 처리를 위해서는 MariaDB를 활용하였다.

### 4. 모델 서버 운영

모델 서버 운영 방식은 웹 환경 하에서의 운영을 기반으로, 사용자가 대기질 평가를 보다 쉽고 효율적으로 수행할 수 있도록 사용자 중심의 인터페이스를 설계하되, 사용자가 필요한 기상자료와 지형자료를 선택하고, 오염원과 배출량에 대한 정보를 입력하여 대기질 평가를 요청할 수 있도록 구현하였다. 사용자가 입력한 정보를 기반으로 AERMOD 실행에 필요한 서버 환경이 자동으로 구성되며, 시스템은 리눅스 서버 환경에서 AERMOD와 관련된 모든 전처리 작업 및 모델 실행 작업을 자동으로 수행한다.

모델 실행과 결과 처리는 사용자가 웹 인터페이스를 통해 원하는 지역과 기간을 선택하고, 평가 항목을 설정하며, 배출량을 입력한 후 AERMOD 실행을 요청하는 방식으로 진행된다. 서버는 AERMET 및 AERMAP 모듈을 자동으로 실행하여 필요한 기상 및 지형 입력 자료를 생성하고, 이를 바탕으로 AERMOD 모델을 실행하여 대기질 모델링 결과를 제공한다.

모델링 결과는 웹 인터페이스를 통해 사용자가 확인할 수 있도록 제공되며, 이를 활용하여 대기질 예측 농도를 산출할 수 있도록 구성되었다. 특히, 공사 시와 운영 시의 평가 항목별 대기환경기준에 적합한 시간 및 각 지점별 최대 평균 농도를 계산하여 농도 변화를 예측하고, 이를 환경기준과 비교하여 평가할 수 있도록 설계 및 구현되었다.

### 5. 시스템 검증 및 평가

시스템 검증 및 평가는 실제 환경영향평가에서 자주 발생하는 상황을 반영한 시나리오를 구성하여 수행하였는데, 공사 시와 운영 시에 발생할 수 있는 대표적인 대기오염원 배출 상황을 모델링하여 AERMOD 시스템의 적용 가능성을 평가하고, 다양한 배출 조건에서도 신뢰할 수 있는 결과를 도출할 수 있음을 확인하였다. 상기 검증용 시나리오는 다음과 같은 세부 목적을 가지고 선정되었다.

첫째, 현실적인 적용 가능성을 검토하고자 하였다. 실제 환경영향평가 과정에서 빈번하게 발생하는 상황을 반영함으로써, 시스템이 실무에서 유용하게 활용될 수 있는지 여부를 검토하였다. 둘째, 모델 신뢰성 확보를 목적으로, 다양한 배출 조건에서 모델의 정확성과 신뢰성을 검증할 수 있는 자료를 제공하고자 하였다. 셋째, 실제 환경평가 과정에서의 활용 가능성 제고를 위하여, 시스템의 적용 범위와 유용성을 입증하고자 하였다.

시스템 검증 및 평가를 위한 시나리오 세부 모델 구성은 Table 1에 제시하였다. 모델링 영역은 UTM 좌표계 기준으로 좌측 하단을 (UTM X: 348,700.0 m, UTM Y: 4,030,300.0 m) 설정하였으며, 격자 간격은 100 m로 하여 131 × 131 points 크기의 계산 영역을 정의하였다. 지표 기상자료는 대전 기상대의 관측 자료를, 고층 기상자료는 오산 고층기상대의 관측 자료를 활용하였다. 기상자료의 분석 기간은 환경영향평가와 동일하게 2020년 8월 17일부터 2021년 8월 17일까지로 설정하였다. 기

Table 1. List of domain used for the AERMOD model

Type	Value
Domain AnchorXY (UTM X, Y) (m)	348700.0, 4030300.0
Domain Grid Count (X, Y)	131, 131
Domain Grid Spacing (X, Y) (m)	100, 100

Table 2. List of emissions applied to the AERMOD

Pollutants	Emissions (g/m <sup>2</sup> ·sec)	
	Construction	Operation
PM <sub>10</sub>	7.04E-06	1.21E-05
PM <sub>2.5</sub>	7.37E-07	1.27E-06
NO <sub>2</sub>	1.08E-07	2.14E-06



상자료의 전처리는 본 개발 시스템과 AERMET을 사용하여 수행하였다.

환경영향평가에서 대기오염물질에 대한 평가는 공사 시와 운영 시로 구분하여 적용되는 점을 고려하여, 본 시나리오에서도 Table 2에 나타난 바와 같이 공사 시와 운영 시로 나누어 대기오염물질 배출량을 평가하였다. PM<sub>10</sub>의 경우, 공사 시 7.04E-06 g/m<sup>2</sup>·sec, 운영 시 1.21E-05 g/m<sup>2</sup>·sec로 설정되었으며, PM<sub>2.5</sub>는 공사 시 7.37E-07 g/m<sup>2</sup>·sec, 운영 시 1.27E-06 g/m<sup>2</sup>·sec, NO<sub>2</sub>는 공사 시 1.08E-07 g/m<sup>2</sup>·sec, 운영 시 2.14E-06 g/m<sup>2</sup>·sec로 각각 적용되었다.

시나리오 지역에 대한 지형은 Figure 3과 같이 구성되었으며, 정온시설에 대한 평가를 위해 Figure 4에 나타난 바와 같이 36개 지점을 선정하여 환경영향평가에서 평가하는 가중농도를 본 시스템을 이용해 모델링하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 지형자료 처리 모듈

본 연구에서는 디지털 환경영향평가에서 대기질 해

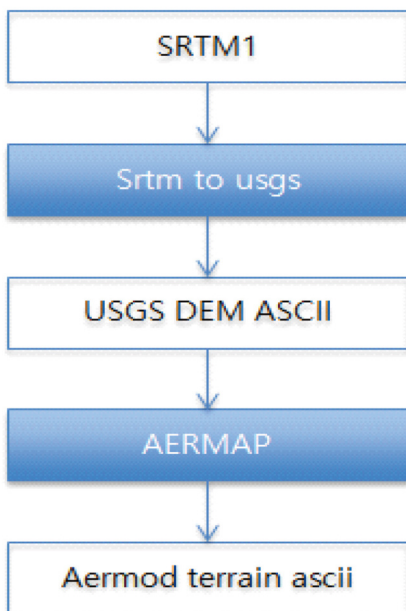


Figure 5. Terrain information conversion procedure for precise air quality analysis using AERMOD

석에 필요한 지형 정보를 위경도 상에서 우리나라에 해당하는 위도 32°~39° 및 경도 125°~132° 사이의 영역을 대상으로 하여, 1도 간격으로 생성된 SRTM 1" 자료로 사용하였다. 이 자료는 AERMAP을 통해 AERMOD에서 운영할 수 있는 USGS DEM Format으로 변환되는데, Figure 5에는 SRTM 1" 형식의 지형 자료를 USGS DEM 형식으로 변환하는 과정을 보여주며, Figure 6에는 우리나라 지형에 대한 SRTM 1" 자료를 그리고 Figure 7에는 이를 USGS DEM 형식으로 변환한 결과를 나타내었다.

#### 2. 기상자료 처리 모듈

기상자료 처리 모듈은 자료 제공기관 웹사이트에서 자동으로 수집하도록 구현하였으며, 디지털 환경영향평가 지원시스템에서 대기질 해석을 위한 DB 구조로 자동 변환하는 기능은 추후 개발 프로그램의 확장성 및 운영체계 독립성 등을 고려하여 Python 언어를 선택하여 개발하였다. 지표 기상자료는 기상청(<https://www.weather.go.kr>)에서, 고층기상자료는 기상청, 와이오밍 대학교 및 NOAA(<http://weather.uwyo.edu>, <https://ruc.noaa.gov/raobs>)에서 수집하도록 하였으며, 대기오염

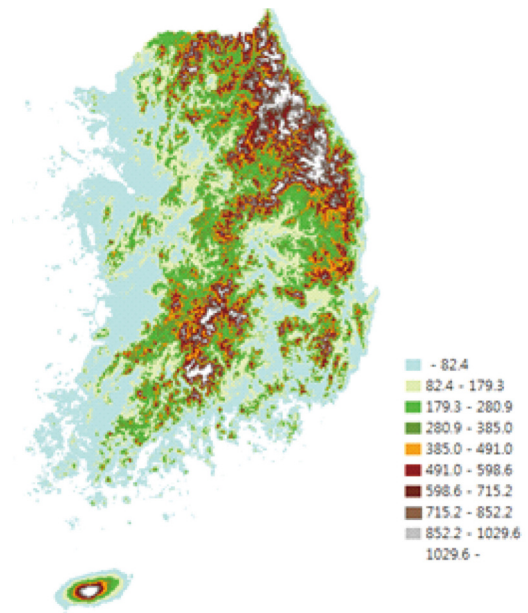


Figure 6. Topographic information implemented in SRTM 1" data

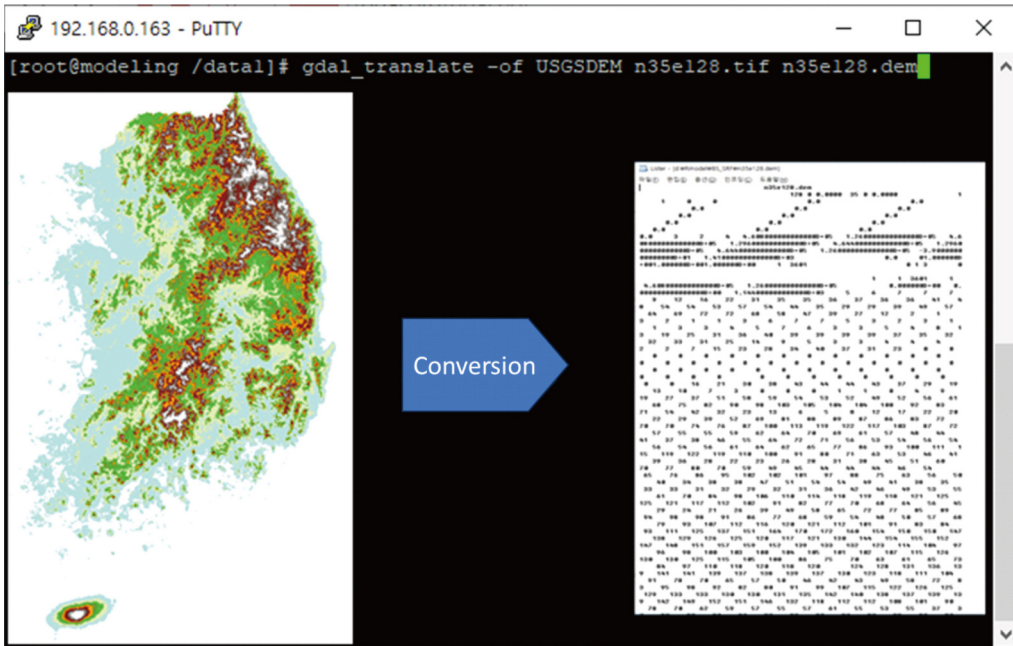


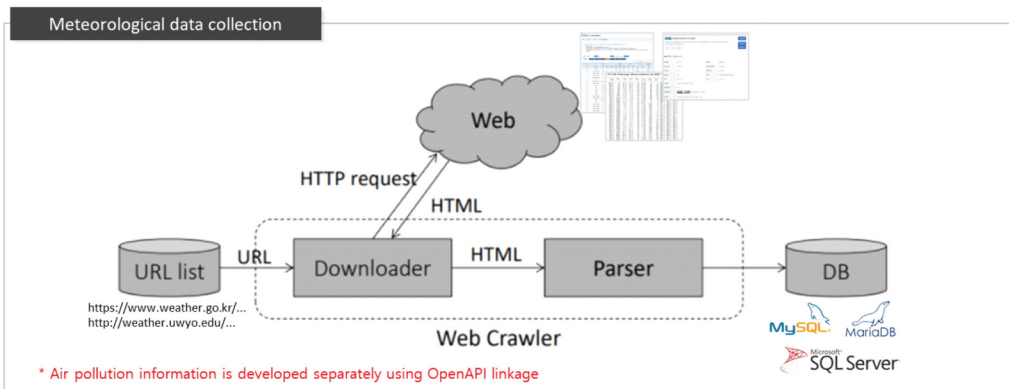
Figure 7. The result of converting the topographic information of our country provided in SRTM1 format into USGS DEM format usable in AERMOD using the dgal\_translate program

측정망 자료는 공공데이터포털의 대기오염정보 (<https://www.data.go.kr>)와 연계하였다. Figure 8에는 상 기 기관 웹사이트로부터 기상자료를 자동 취득하기 위 한 기능 구조의 개요가 나타내었다.

웹 환경 하에서 기상자료를 자동으로 수집하고 이를 자체 DB로 변환하는 프로그램 모듈의 실행 화면은

Figure 9에 나타내었는데, 개발된 모듈은 정보 취득 대 상 웹사이트의 환경에 따라 누락될 수 있는 기상자료 를 재처리하는 기능을 제공하여 빠짐없이 자료를 수집 할 수 있도록 구성되었으며, 데이터 수집 환경을 지속 적으로 모니터링할 수 있는 기능도 보유하고 있다.

기상청에서 지표 기상자료 항목을 저장하기 위한 기



- Designed to extract only the necessary surface weather data and high-altitude weather data from the HTML (HyperText Markup Language) transmitted from the Downloader and store them in the DB.
- Designed to support multiple DBMS including Mysql and SQL Server

Figure 8. Overview of the functions of the software module that automatically collects weather data in a web environment





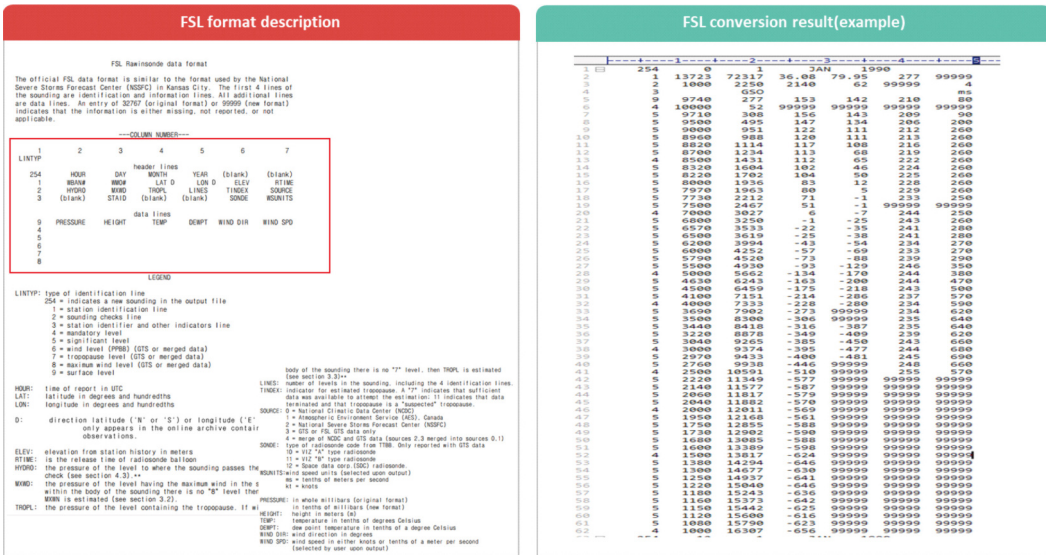


Figure 13. Example of converting FSL to AERMET input format

오염물질에 대한 배출량을 입력할 수 있도록 하였으며, 면오염원은 AreaPoly 및 Rectangle 형식으로 입력할 수 있도록 개발하였다. 선오염원은 시작 및 끝 위치를 입력할 수 있도록 하여, 환경영향평가에서 사용되는 대부분의 오염원 정보를 입력할 수 있도록 하였다.

#### 4. 평가모델 시스템

본 연구에서는 디지털 환경영향평가 지원을 위하여 AERMOD 모델을 운용하는 사용자가 원하는 지역에 대한 대기질 해석 결과를 평가하는 기능을 개발하였다. 수집된 기상 및 지형 자료는 대기질 해석을 위한 주요 입력자료로 사용되며, 이를 바탕으로 개발된 프로그램의 각 모듈들이 단계적으로 운영될 수 있도록 하



Figure 14. Manage point source data

배출원관리
지형모델
기상모델
확산모델

**배출원관리**

점오염원 -

면오염원 -

선오염원 -

## 면오염원

▶ 배출원관리 > 면오염원

대진 제2대립장 조성사업

POLY AREA

AREA

	오염원ID	오염원명	시작 UTM X(m)	시작 UTM Y(m)	UTM Z(m)	VERTEX 개수	Release Height(m)	PLUME Height(m)	사용여부
<input type="checkbox"/>	PA01	공사시 대기	355748.900	4037106.80	17.0	20	3.0	3.0	사용
<input type="checkbox"/>	PA02	운영시 대기	354964.000	4036897.60	110.9	17	3.0	3.0	사용
<input type="checkbox"/>	PA03	운영시 대기	355134.100	4037140.50	15.2	15	3.0	3.0	사용
<input type="checkbox"/>	PA04	운영시 악취	355275.600	4036867.80	115.0	22	3.0	3.0	사용
<input type="checkbox"/>	PA05	운영시 악취	355237.700	4037033.20	60.0	4	3.0	3.0	사용

	오염원ID	오염물질	배출량 (g/sec)	사용여부	VERTEX NO	UTM X(m)	UTM Y(m)	사용여부
<input type="checkbox"/>	PA01	이산화질소	0.00000010	사용	1	355748.900	4037106.80	사용
<input type="checkbox"/>	PA01	미세먼지	0.00000704	사용	2	355734.500	4037059.20	사용
<input type="checkbox"/>	PA01	초미세먼지	0.00000073	사용	3	355462.600	4036981.20	사용
<input type="checkbox"/>					4	355440.800	4037043.80	사용
<input type="checkbox"/>					5	355379.000	4037030.40	사용
<input type="checkbox"/>					6	355307.500	4037035.50	사용
<input type="checkbox"/>					7	355165.000	4037161.70	사용
<input type="checkbox"/>					8	355003.900	4037146.40	사용
<input type="checkbox"/>					9	354847.200	4036789.90	사용
<input type="checkbox"/>					10	354835.800	4036190.00	사용
<input type="checkbox"/>					11	354992.200	4036218.10	사용
<input type="checkbox"/>					12	355172.000	4036172.10	사용
<input type="checkbox"/>					13	355330.100	4036299.50	사용
<input type="checkbox"/>					14	355334.500	4036399.90	사용
<input type="checkbox"/>					15	355428.800	4036798.00	사용
<input type="checkbox"/>					16	355478.800	4036874.00	사용
<input type="checkbox"/>					17	355474.500	4036920.60	사용
<input type="checkbox"/>					18	355745.000	4037023.30	사용
<input type="checkbox"/>					19	355792.400	4036941.50	사용
<input type="checkbox"/>					20	355749.400	4037106.80	사용

대전광역시 유성구 테크노로187 4202 (P)나인텍스  
Copyright © 2023, Inwards Inc. All Rights Reserved.

Figure 15. Manage area source data



Figure 16. Manage line source data

동화하였으며, 이의 구현을 위한 전체 정보 흐름도는 Figure 17에 상세히 나타내었다.

대기환경 예측을 위한 수치 모델의 자동화는 서버 환경에서 운영될 수 있도록, Python과 셸스프립트를

활용하여 사용자 입력자료를 처리할 수 있도록 구현하였다. 구체적으로, AERMET 모델 입력자료는 웹 인터페이스를 통해 사용자가 원하는 지역의 기상자료 및 입력 파라미터를 선택하고 실행을 요청하는 방식으로 구

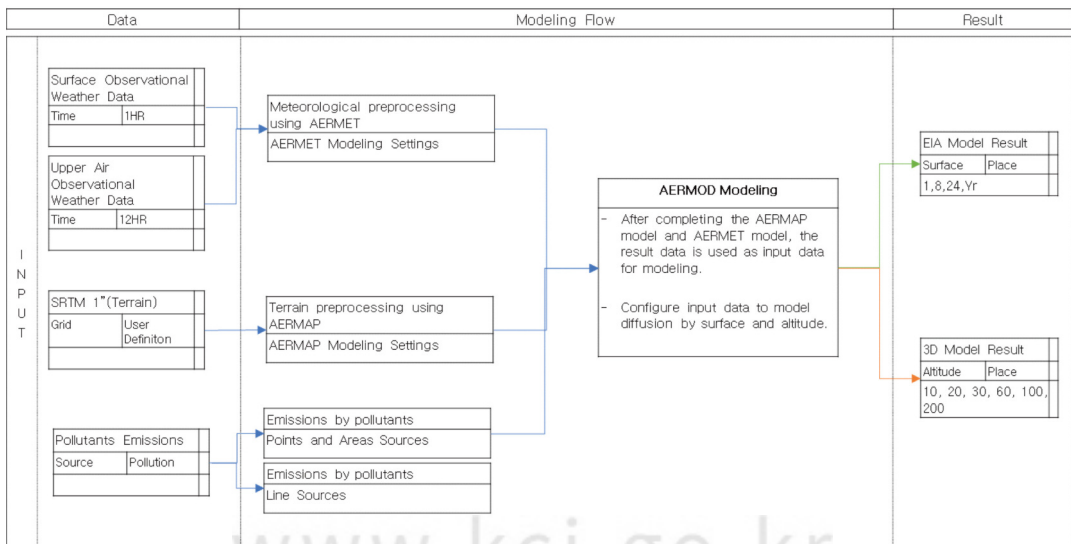


Figure 17. Design of a data flow diagram for automating air quality modeling



Figure 18. Request for air diffusion model

현되었다. 이후 서버는 사용자 실행 요청을 수신하고, AERMET 모델을 자동으로 실행하여 필요한 기상 입력 자료를 자동으로 생성한다. 이 과정에서 모델 실행은 완전 자동화되며, 생성된 기상자료는 AERMOD 모델에 즉시 적용될 수 있도록 준비된다. 또한, AERMAP 모델의 입력자료는 웹 인터페이스를 통해 사용자가 선택한 지역을 대상으로 자동 실행되어 AERMOD 지형 입력자료를 자동으로 생성한다.

기상 및 지형 입력자료가 AERMOD에서 요구하는 형태로 자동으로 생성된 이후, Figure 18에 나타난 바와 같이, 웹 인터페이스를 통해 사용자의 실행 요청을 수신한 서버는 선택된 AERMOD 모델에 대한 연산을 수행한다. 연산이 완료되면, 결과 파일이 자동으로 생성되어 사용자가 다운로드하거나 추가 분석을 할 수 있도록 제공된다. 이 모든 과정은 자동화되어, 사용자의 수동 개입 없이 대기질 해석을 효율적으로 수행할 수 있도록 구축되었다.

### 5. 모델시스템 비교 평가

리눅스에서 운영되는 포트란과 윈도우즈에서 운영되는 포트란의 운영체계에 따른 특성이 다르기 때문에 PM<sub>10</sub> 오염물질에 대한 모델 결과를 이용하여 검증하였다. 본 연구 시스템과 기존 모델링 시스템 결과를 비교하였을 때 평균과 최대값은 Table 3에 나타난 바와 같이 동일하게 나타났으며, Figure 19에 나타난 바와 같이 두 시스템간의 결정계수가 1로 나타나고 있다. 따라서, 본 연구에서 개발한 시스템은 기존 해석 시스템과 동일한 결과를 나타내고 있어, 향후 운영체계에 따른 모델 결과 차이는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

리눅스 시스템 환경을 채택한 이유는 시스템의 안정성과 효율성을 극대화할 수 있다는 점에서 적합하며,

Table 3. Comparison of average and maximum values of model operation results

Type	Linux	Windows
average (µg/m <sup>3</sup> )	1.90294	1.90294
max (µg/m <sup>3</sup> )	138.56638	138.56638

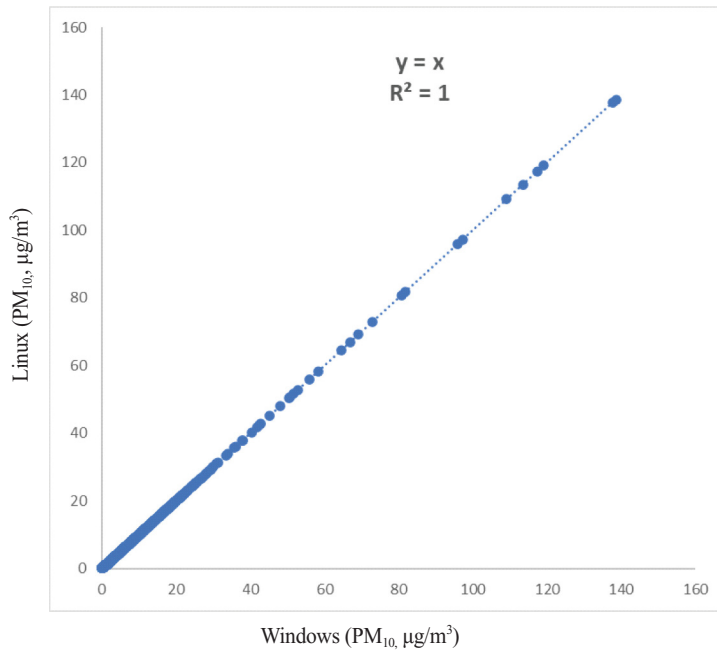


Figure 19. Comparing windows and linux model systems

이를 통해 AERMOD 모델의 전처리 및 실행 과정을 자동화함으로써 다수의 사용자가 동시에 시스템을 효율적으로 이용할 수 있도록 하기 위함이다. 또한, 리눅스 환경에 대한 접근이 제한적인 사용자를 위해 웹 기반 인터페이스를 제공하여 사용 편의성을 보완하였으며, 필요 시 클라우드 환경을 도입하여 시스템의 접근성과 확장성을 더욱 강화하고자 하였다.

## 6. 모델 운영 결과

본 연구에서는 디지털 환경영향평가 지원을 위해 대기모델링 운영 결과를 2.3절에서 구성한 도메인과 배출원을 기반으로 공사 시와 운영 시 조건을 대상으로 확산모델을 적용하여 평가하였다. 환경영향평가에서는 배출원 주변의 현황농도와 모델링을 통해 계산된 가중농도를 합산하여 예측농도를 산정하는 방법을 주로 사용하므로, 본 연구에서도 이와 같은 방식으로 평가를 진행하였다. 평가 대상 대기오염물질은  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$ 이며, 24시간 환경기준을 비교하는 평가가 이루어졌다. 현황농도는 환경영향평가정보시스템에서 공개된 자료를 활용하였다.

평가 결과는 Table 4~6에 제시되었는데,  $PM_{10}$ 의 가중

농도는 공사 시  $0.6\sim 22.5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 운영 시  $0.5\sim 53.4\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $PM_{2.5}$ 의 가중농도는 공사 시  $0.1\sim 2.4\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 운영 시  $0.1\sim 5.5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $NO_2$ 의 가중농도는 공사 시  $0.004\sim 0.167\ \text{ppb}$ , 운영 시  $0.067\sim 3.384\ \text{ppb}$ 로 평가되었다. 오염물질에 대한 가중농도 공간분포는 Figure 20~22에 표현하였으며, 농도분포는 사업지를 중심으로 산악지형과 하천이 남측에서 동쪽으로 이동하는 지형적 특성을 나타내고 있으며, 하천을 중심으로 서쪽에는 주거지역, 동쪽에는 산업단지가 위치하고 있음을 보여준다. 즉, 확산분포 결과 가시화는 상기 지형적 특성을 반영하여 오염물질이 확산되고 가중되는 모습을 시각적으로 확인할 수 있다.

## IV. 결론

본 연구에서는 디지털 환경영향평가 지원을 위한 AERMOD 기반 대기질 평가 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 대기질 해석을 위한 기상, 지형, 배출원 등의 다양한 입력자료를 자동으로 수집하고 처리하여 대기질 예측을 지원하는 기능을 가지고 있으며, 주요 개발 결과는 다음과 같다.

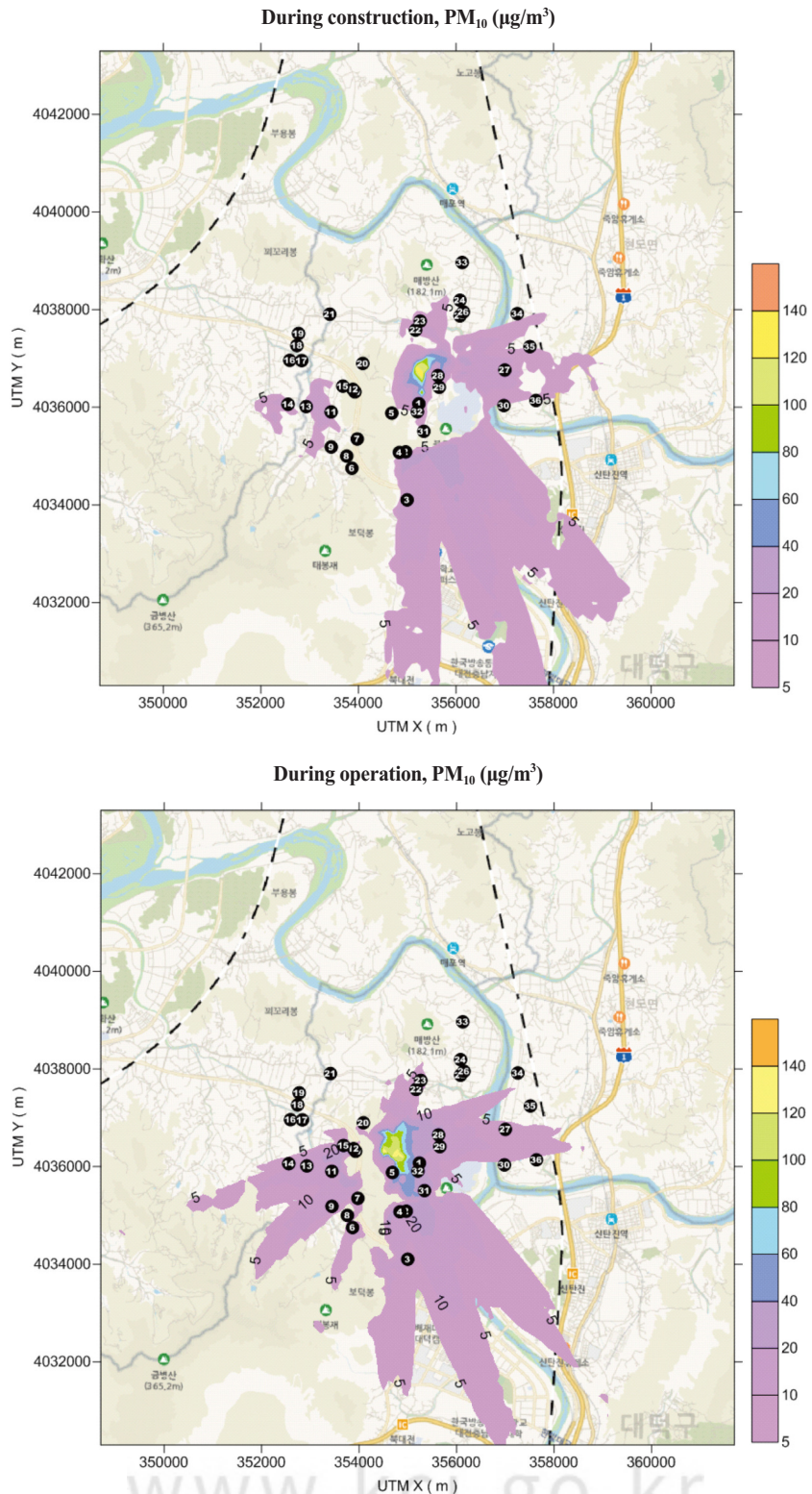


Figure 20. Example of 24-hour average PM<sub>10</sub> concentration distribution

Table 4. PM<sub>10</sub> 24-hour average forecast results during construction and operation

NO.	Distance (m)	Construction (µg/m <sup>3</sup> )			Operation (µg/m <sup>3</sup> )			Apply Site
		Current Conc. <sup>1)</sup>	Add Conc.	Prediction Conc.	Current Conc. <sup>1)</sup>	Add Conc.	Prediction Conc.	
1	156	56.0	22.5	78.5	56.0	28.6	84.6	A-1
2	1,151	57.1	4.0	61.1	57.1	19.6	76.7	A-4
3	2,102	57.1	17.2	74.3	57.1	8.6	65.7	A-4
4	129	56.0	2.2	58.2	56.0	17.7	73.7	A-1
5	321	56.0	3.6	59.6	56.0	53.4	109.4	A-1
6	1,162	57.1	0.6	57.7	57.1	11.1	68.2	A-4
7	1,023	57.1	0.9	58.0	57.1	6.9	64.0	A-4
8	1,436	57.1	0.6	57.7	57.1	4.1	61.2	A-4
9	1,477	57.1	2.0	59.1	57.1	12.0	69.1	A-4
10	440	56.0	0.8	56.8	56.0	6.9	62.9	A-1
11	1,014	56.0	7.8	63.8	56.0	20.5	76.5	A-1
12	443	56.0	0.7	56.7	56.0	43.9	99.9	A-1
13	1,456	64.5	6.6	71.1	64.5	14.9	79.4	A-5
14	1,787	64.5	3.1	67.6	64.5	10.9	75.4	A-5
15	603	56.0	0.9	56.9	56.0	19.5	75.5	A-1
16	1,677	64.5	1.7	66.2	64.5	1.2	65.7	A-5
17	1,435	64.5	2.6	67.1	64.5	1.2	65.7	A-5
18	1,613	64.5	0.8	65.3	64.5	0.7	65.2	A-5
19	1,686	64.5	0.8	65.3	64.5	0.6	65.1	A-5
20	255	56.0	1.1	57.1	56.0	4.6	60.6	A-1
21	1,419	64.5	0.9	65.4	64.5	1.2	65.7	A-5
22	444	62.3	14.7	77.0	62.3	8.6	70.9	A-2
23	638	62.3	10.2	72.5	62.3	7.2	69.5	A-2
24	1,142	62.3	1.6	63.9	62.3	0.5	62.8	A-2
25	843	62.3	1.2	63.5	62.3	0.9	63.2	A-2
26	944	62.3	0.9	63.2	62.3	0.9	63.2	A-2
27	1,222	57.7	10.5	68.2	57.7	7.0	64.7	A-3
28	278	56.0	22.2	78.2	56.0	19.3	75.3	A-1
29	325	56.0	5.1	61.1	56.0	16.7	72.7	A-1
30	1,500	57.7	4.6	62.3	57.7	3.9	61.6	A-3
31	699	56.0	3.0	59.0	56.0	23.7	79.7	A-1
32	283	56.0	7.9	63.9	56.0	29.8	85.8	A-1
33	1,905	62.3	3.5	65.8	62.3	0.7	63.0	A-2
34	1,716	57.7	2.1	59.8	57.7	1.0	58.7	A-3
35	1,749	57.7	4.2	61.9	57.7	2.0	59.7	A-3
36	2,016	57.7	5.0	62.7	57.7	4.8	62.5	A-3
NAAQS		100						-
DJAAQS		100						-

<sup>1)</sup>Current concentration data: EIASS (2021.10)

NAAQS : National Ambient Air Quality Standards

DJAAQS : Daejeon's Ambient Air Quality Standards

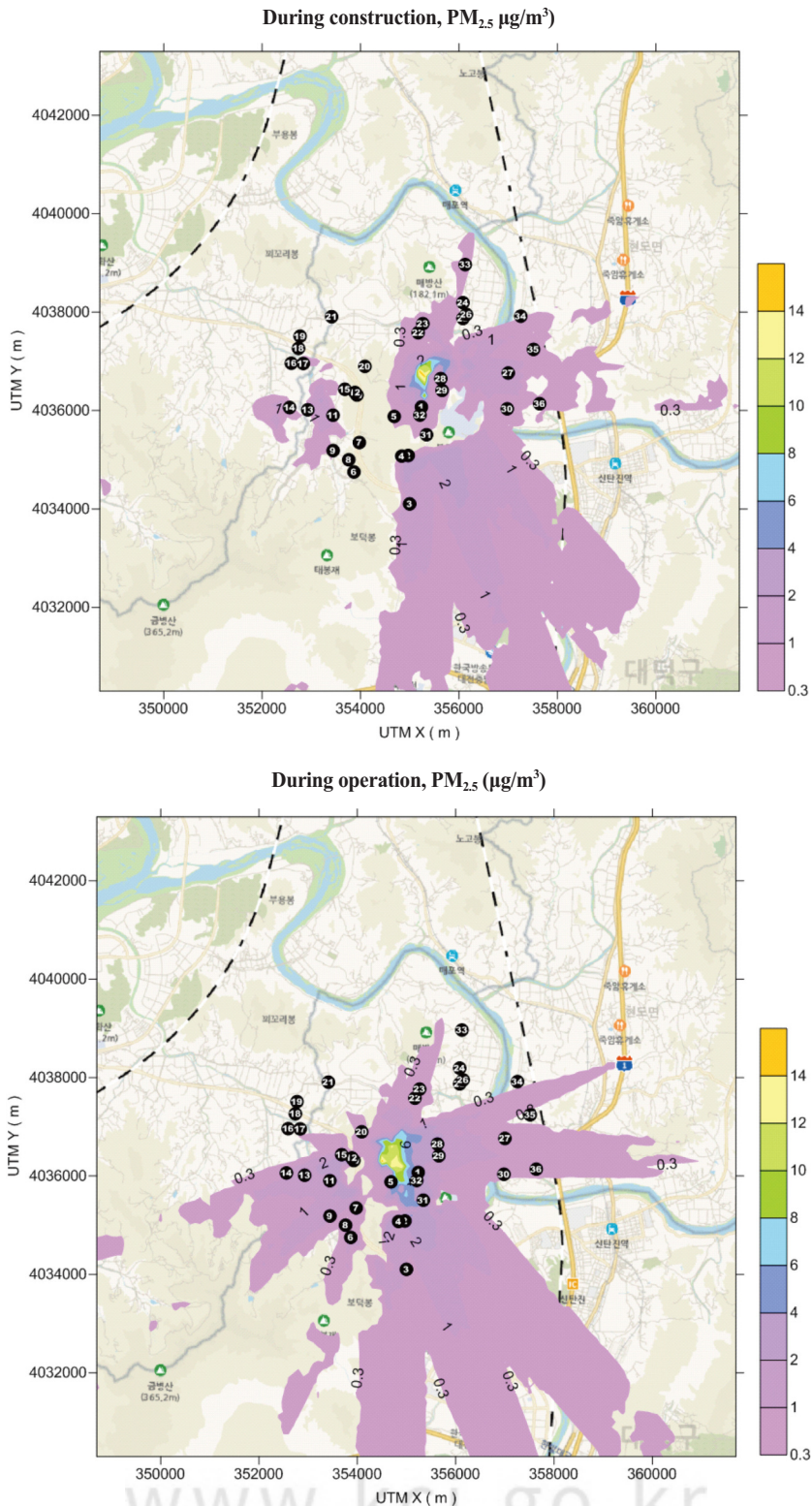


Figure 21. Example of 24-hour average PM<sub>2.5</sub> concentration distribution

Table 5. PM<sub>2.5</sub> 24-hour average forecast results during construction and operation

NO.	Distance (m)	Construction (µg/m <sup>3</sup> )			Operation (µg/m <sup>3</sup> )			Apply Site
		Current Conc. <sup>1)</sup>	Add Conc.	Prediction Conc.	Current Conc. <sup>1)</sup>	Add Conc.	Prediction Conc.	
1	156	45.3	2.4	47.7	45.3	3.0	48.3	A-1
2	1,151	46.0	0.4	46.4	46.0	2.0	48.0	A-4
3	2,102	46.0	1.8	47.8	46.0	0.9	46.9	A-4
4	129	45.3	0.2	45.5	45.3	1.8	47.1	A-1
5	321	46.0	0.4	46.4	46.0	5.5	51.5	A-1
6	1,162	46.0	0.1	46.1	46.0	1.2	47.2	A-4
7	1,023	46.0	0.1	46.1	46.0	0.7	46.7	A-4
8	1,436	46.0	0.1	46.1	46.0	0.4	46.4	A-4
9	1,477	45.3	0.2	45.5	45.3	1.2	46.5	A-4
10	440	45.3	0.1	45.4	45.3	0.7	46.0	A-1
11	1,014	45.3	0.8	46.1	45.3	2.1	47.4	A-1
12	443	56.9	0.1	57.0	56.9	4.5	61.4	A-1
13	1,456	56.9	0.7	57.6	56.9	1.6	58.5	A-5
14	1,787	45.3	0.3	45.6	45.3	1.1	46.4	A-5
15	603	56.9	0.1	57.0	56.9	2.0	58.9	A-1
16	1,677	56.9	0.2	57.1	56.9	0.1	57.0	A-5
17	1,435	56.9	0.3	57.2	56.9	0.1	57.0	A-5
18	1,613	56.9	0.1	57.0	56.9	0.1	57.0	A-5
19	1,686	45.3	0.1	45.4	45.3	0.1	45.4	A-5
20	255	56.9	0.1	57.0	56.9	0.5	57.4	A-1
21	1,419	45.3	0.1	45.4	45.3	0.1	45.4	A-5
22	444	56.9	1.5	58.4	56.9	0.9	57.8	A-2
23	638	55.5	1.1	56.6	55.5	0.8	56.3	A-2
24	1,142	55.5	0.2	55.7	55.5	0.1	55.6	A-2
25	843	55.5	0.1	55.6	55.5	0.1	55.6	A-2
26	944	55.5	0.1	55.6	55.5	0.1	55.6	A-2
27	1,222	55.5	1.1	56.6	55.5	0.7	56.2	A-3
28	278	48.9	2.3	51.2	48.9	2.0	50.9	A-1
29	325	45.3	0.5	45.8	45.3	1.7	47.0	A-1
30	1,500	45.3	0.5	45.8	45.3	0.4	45.7	A-3
31	699	48.9	0.3	49.2	48.9	2.5	51.4	A-1
32	283	45.6	0.8	46.4	45.6	3.1	48.7	A-1
33	1,905	45.3	0.4	45.7	45.3	0.1	45.4	A-2
34	1,716	48.9	0.2	49.1	48.9	0.1	49.0	A-3
35	1,749	48.9	0.4	49.3	48.9	0.2	49.1	A-3
36	2,016	48.9	0.5	49.4	48.9	0.5	49.4	A-3
NAAQS		35						-
DJAAQS		35						-

<sup>1)</sup> Current concentration data: EIASS (2021.10)

NAAQS : National Ambient Air Quality Standards

DJAAQS : Daejeon's Ambient Air Quality Standards

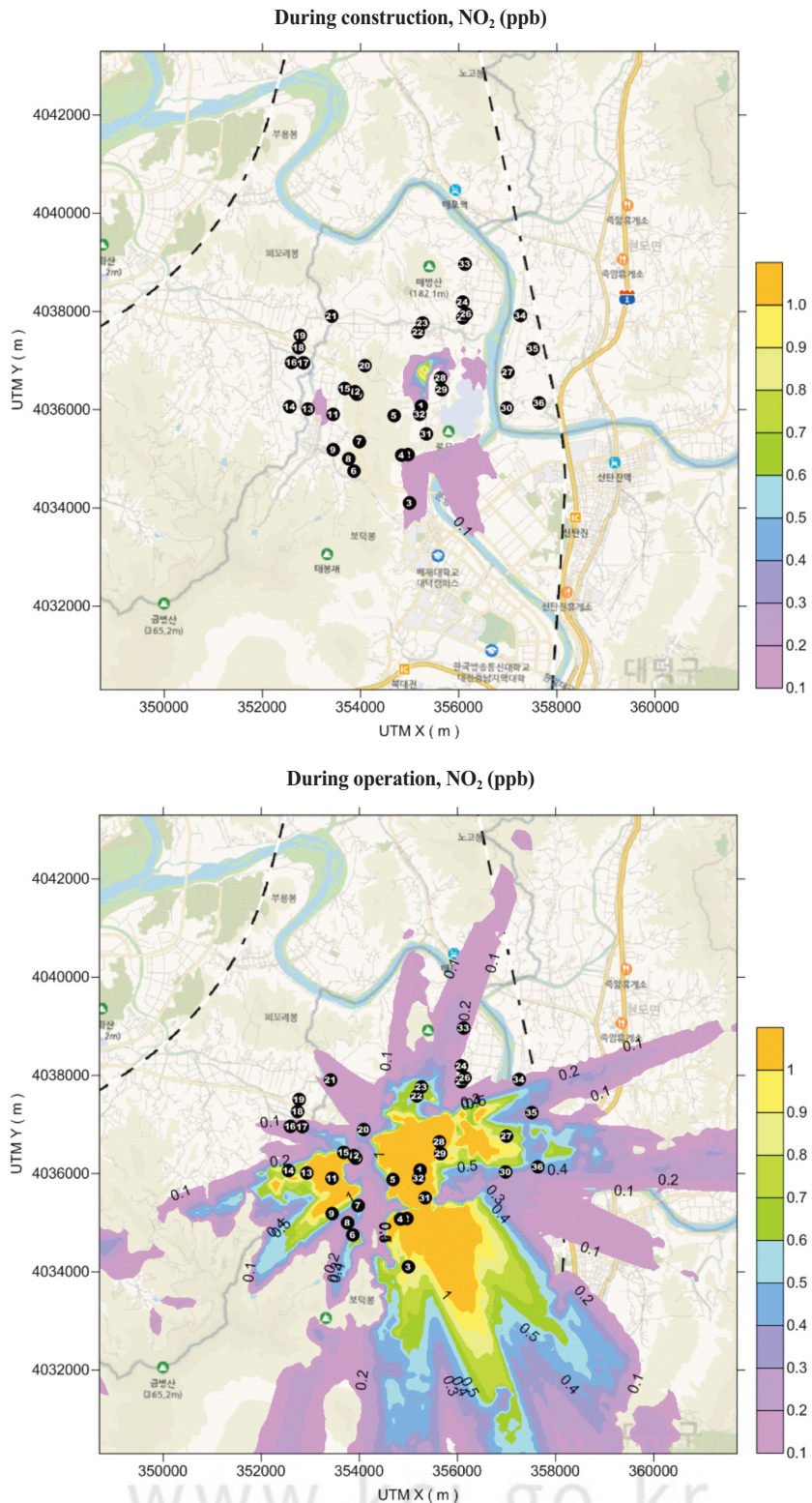


Table 6. NO<sub>2</sub> 24-hour average forecast results during construction and operation

NO.	Distance (m)	Construction (µg/m <sup>3</sup> )			Operation (µg/m <sup>3</sup> )			Apply Site
		Current Conc. <sup>1)</sup>	Add Conc.	Prediction Conc.	Current Conc. <sup>1)</sup>	Add Conc.	Prediction Conc.	
1	156	25	0.167	25.167	25	1.969	26.969	A-1
2	1,151	33	0.030	33.030	33	1.151	34.151	A-4
3	2,102	33	0.128	33.128	33	0.961	33.961	A-4
4	129	25	0.016	25.016	25	1.057	26.057	A-1
5	321	25	0.027	25.027	25	3.384	28.384	A-1
6	1,162	33	0.004	33.004	33	0.655	33.655	A-4
7	1,023	33	0.006	33.006	33	0.446	33.446	A-4
8	1,436	33	0.004	33.004	33	0.253	33.253	A-4
9	1,477	33	0.015	33.015	33	0.740	33.740	A-4
10	440	25	0.006	25.006	25	0.501	25.501	A-1
11	1,014	25	0.058	25.058	25	1.511	26.511	A-1
12	443	25	0.005	25.005	25	2.582	27.582	A-1
13	1,456	22	0.049	22.049	22	1.115	23.115	A-5
14	1,787	22	0.023	22.023	22	0.693	22.693	A-5
15	603	25	0.007	25.007	25	1.150	26.150	A-1
16	1,677	22	0.013	22.013	22	0.219	22.219	A-5
17	1,435	22	0.020	22.020	22	0.244	22.244	A-5
18	1,613	25	0.006	25.006	25	0.072	25.072	A-5
19	1,686	22	0.006	22.006	22	0.067	22.067	A-5
20	255	22	0.008	22.008	22	0.278	22.278	A-1
21	1,419	22	0.007	22.007	22	0.104	22.104	A-5
22	444	22	0.110	22.110	22	0.835	22.835	A-2
23	638	25	0.076	25.076	25	0.568	25.568	A-2
24	1,142	22	0.012	22.012	22	0.075	22.075	A-2
25	843	26	0.009	26.009	26	0.092	26.092	A-2
26	944	26	0.006	26.006	26	0.086	26.086	A-2
27	1,222	26	0.078	26.078	26	0.797	26.797	A-3
28	278	26	0.165	26.165	26	1.756	27.756	A-1
29	325	26	0.038	26.038	26	1.119	27.119	A-1
30	1,500	33	0.034	33.034	33	0.352	33.352	A-3
31	699	25	0.023	25.023	25	1.436	26.436	A-1
32	283	25	0.059	25.059	25	1.872	26.872	A-1
33	1,905	26	0.026	26.026	26	0.187	26.187	A-2
34	1,716	33	0.016	33.016	33	0.132	33.132	A-3
35	1,749	33	0.031	33.031	33	0.250	33.250	A-3
36	2,016	33	0.037	33.037	33	0.484	33.484	A-3
NAAQS		60						-
DJAAQS		60						-

<sup>1)</sup> Current concentration data: EIASS (2021.10)

NAAQS : National Ambient Air Quality Standards

DJAAQS : Daejeon's Ambient Air Quality Standards



## 1. 기상자료 자동 수집 및 처리

기상자료는 지표와 고층 기상자료로 구분하여 자동으로 수집되며, 사용자가 원하는 기간을 선택하여 AERMOD에 적용되는 기상자료를 구축할 수 있도록 하였다. 지표 기상자료는 기상청의 데이터를 자동으로 수집하여 AERMET에 적용할 수 있게 처리하였으며, 고층 기상자료는 기상청 및 와이오밍대학교에서 운영하는 사이트를 통해 자동으로 수집하도록 구성하였다.

## 2. 지형자료 자동 변환 및 DB 구축

지형자료는 SRTM 1" 데이터를 사용하여 1° 간격으로 변환하고, 이를 USGS 파일 포맷으로 변환하여 파일 DB를 구성하였다. 사용자는 DB를 이용해 원하는 지역의 지형자료를 AERMAP을 통해 자동으로 생성할 수 있도록 하였다.

## 3. 배출원 및 오염물질 배출량 정보 처리

대기질 평가를 위한 오염원 및 배출량 정보를 사용자로부터 수집하기 위해 웹 기반 시스템을 개발하였다. 이를 통해 사용자는 평가 정보를 구성할 수 있으며, 공사 시와 운영 시 각각의 대기오염물질별 환경기준(연평균, 24시간, 1시간)에 따른 최대 평균 농도를 계산하여 대기질 평가를 수행할 수 있다.

## 4. 운영 시스템의 호환성 확보

AERMOD 모델 시스템은 리눅스 서버에서 운영되도록 개발하였으며, 리눅스와 기존 윈도우즈 시스템을 모두 사용하여 모델링을 수행한 결과, 두 시스템에서 동일한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 이는 운영 체제에 따른 차이가 없음을 증명하며, 시스템의 호환성을 보장한다.

본 연구에서 예시로 적용한 평가 사례 결과에서 PM<sub>10</sub> 가중농도는 공사 시 0.6~22.5 µg/m<sup>3</sup>, 운영 시 0.5~53.4 µg/m<sup>3</sup>, PM<sub>2.5</sub> 가중농도는 공사 시 0.1~2.4 µg/m<sup>3</sup>, 운영 시 0.1~5.5 µg/m<sup>3</sup>, NO<sub>2</sub> 가중농도는 공사 시 0.004~0.167 ppb, 운영 시 0.067~3.384 ppb로 모의되었다. 오염물질의 확산분포는 지형적 특성이 반영되었음을 확인할 수 있었다.

본 연구는 AERMOD 운영 시스템을 온라인으로 개

발하여 디지털 환경영향평가를 위한 최초의 시스템을 구축했다는 점에서 중요한 의미를 가진다. 기존의 수작업 기반 환경영향평가 절차를 개선하고, 대기질 평가 과정의 효율성과 신뢰성을 높이기 위해 본 연구에서는 모델링의 전 과정을 자동화하는 시스템을 설계하고 구현하였다. 이를 통해 대기질 평가를 위한 기초자료 구축 시간을 단축하고, 평가 과정의 편리성을 증대시키는 동시에 환경영향평가 보고서의 신뢰성을 향상시키는 데 기여할 것으로 기대된다.

특히, 본 연구는 표준화된 모델링 방법을 채택함으로써 평가 결과의 일관성을 유지하고 왜곡을 방지할 수 있도록 설계되었다. 기존의 연구가 AERMOD 모델을 단순히 실행할 수 있는 환경을 구축하는 수준에 머물렀다면, 본 연구는 환경영향평가에 필요한 기상자료 및 지형자료의 수집, 처리, 입력자료 생성, 모델 실행, 결과 해석 및 검토 과정까지 전반적인 자동화를 목표로 한다는 점에서 차별성을 가진다.

이를 위해 국내 환경영향평가 기준을 반영한 데이터 자동화 시스템을 개발하였으며, 공식 기상자료 및 지형자료를 활용할 수 있도록 데이터 처리 방안을 명확히 설정하였다. 또한, 데이터를 자동으로 변환하여 모델 입력자료로 활용할 수 있도록 기능을 설계하고, 사용자가 수작업 없이 입력자료를 작성할 수 있도록 지원하는 인터페이스를 구축하였다. 더 나아가, AERMOD 모델의 실행 결과를 해석하고 검토하는 과정도 자동화하여 보다 객관적이고 신뢰성 있는 평가가 가능하도록 설계하였다. 단순한 모델 실행을 넘어, 환경영향평가 보고서 작성에 필요한 결과 분석 기능을 포함시켜, 평가 수행자가 보다 직관적으로 결과를 확인하고 활용할 수 있도록 웹 기반 시스템을 구축하였다.

향후 연구에서는 환경영향평가서의 작성 기능을 추가적으로 개발하고, 모델 결과의 시각화를 위한 기능을 강화할 필요가 있다. 또한, 기상 및 지형자료 처리의 신뢰성을 더욱 높일 수 있도록 데이터 검증 및 고도화된 처리 기술을 적용하는 연구가 필요하다. 이를 통해 환경영향평가 정보에 대한 접근성을 더욱 확대하고, 평가 결과의 신뢰성과 활용도를 더욱 높일 수 있을 것으로 기대된다.

## 사사

본 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 ICT기반 환경영향평가 의사결정 지원 기술개발사업(2021003360003)의 지원을 받아 작성되었습니다.

## References

- An J., Lee J., Lee B. K., Salama E. S., Lee M., & Ji M. K. (2023). Decision support algorithm for efficient environmental impact assessments: Focusing on aquatic environment assessment in South Korea. *Environmental Impact Assessment Review*, 100, 107067.
- Environmental Protection Agency. (2022a). User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD)
- Environmental Protection Agency. (2022b). User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET).
- Environmental Protection Agency. (2022c). User's Guide for the AERMOD Terrain Preprocessor (AERMAP).
- Han J. H. (2022). Emission characteristics of fine particles and odor using CALPUFF and AERMOD, *Doctoral dissertation*, Hoseo University.
- Kim S. H. (2000). A Study on Reforming the Roles and Scope of Environmental Impact Assessment. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 9(4), 315-322.
- Kim S. H., Park S. H., Joo H. S., So M. S., & Lee N. H. (2022). A Study on Improvement of Air Quality Dispersion Model Application Method in Environmental Impact Assessment (I) - Focusing on AERMOD Meteorological Preprocessor -. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 31(5), 271-285.
- Kim S. H., Park S. H., Joo H. S., So M. S., & Lee N. H. (2023). A Study on Improvement of Air Quality Dispersion Model Application Method in Environmental Impact Assessment (II) - Focusing on AERMOD Model Application Method -. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 32(4), 203-213.
- Lee J. O., & Cho K. D. (2022). Analysis of Local Government Environmental Impact Assessment (EIA) Ordinances and Preparation of Consultation Guidelines for EIA-A Case of Incheon Metropolitan City. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 31(4), 226-240. <https://doi.org/10.14249/eia.2022.31.4.226>.
- Northmore L., & Hudson M. D. (2022). Digital environmental impact assessment: An exploration of emerging digital approaches for non-technical reports. *Environ. Impact Assess. Rev.* 92(106), 689.
- Park S. S., Kim D. H., Kim H. K., & Chon Y. W. (2024). A Study on Health Impact Assessment and Emissions Reduction System Using AERMOD. *Journal of the Society of Disaster Information*, 20(1), 93-105.
- Yoon B. G., Seo J. B., Kim Y. S., Choi W. J., Kim Y. S., & Oh K. J. (2009). A Study of the Amount of Fugitive Dust Generated from New Harbor Construction Site and the Prediction of Effect using AERMOD. *Korean Society of Environmental Health*, 35(4), 304-314.