

# 건설장비의 배출가스 데이터 기반 대기오염물질 배출량 예측 시스템

## The Collected data-based Air Pollutant Emission Prediction for construction equipment in Construction Sites

노재윤\*      김유진\*      김수민\*      한승우\*\*  
Noh, Jaeyun      Kim, Yujin      Kim, Sumin      Han, Seungwoo

### Abstract

As non-road mobile pollutants such as construction equipment are emerging as the main cause of air pollutants emission, construction equipment regulations are gradually strengthening. Research was conducted by correcting the emission coefficient to calculate and predict air pollutant emissions of construction equipment, but it did not reflect site variables such as field and equipment conditions that affect actual emissions. This study derived an Artificial Neural Network emission prediction model based on the actual emission data of excavators and trucks measured at the site and proposed a platform to predict the emission of air pollutants at the site according to the working size and conditions. Through this, it is possible to establish an eco-friendly process plan using a model from the construction plan.

키워드 : 대기오염물질 예측, 일산화탄소, 질소산화물, 공간분할 기반 이상탐지, 인공신경망  
Keywords : prediction of air pollutants, CO, nox, isolation forest, artificial neural network

## 1. 서론

건설기계는 비도로부문 대기오염물질 배출량 중 약 30.1%의 높은 비중을 차지하며<sup>1)</sup>, 건설작업 특성상 엔진의 부하율이 높고 연료 사용량도 많아 배기량이 등록대수에 비해 높다.<sup>2)</sup> 최근 국내의 경우 건설기계 관리 대상을 확대하고, 강화된 유럽의 배기가스 규제 기준(Stage V)을 적용하는 등 배출량 저감을 위한 노력을 하고 있다.<sup>3)</sup> 또한 2020년 10월, 사업장 대기오염물질 총량 관리제도가 확대되어, 환경부는 고농도 미세먼지 발생지역을 중심으로 배출권 거래 대상 사업장의 범위를 확대할 예정이다.<sup>4)</sup> 이에 따라 수도권 대기오염물질 배출량의 약 22%로 높은 비율을 차지하는<sup>5)</sup> 건설장비 및 건설 현장으로의 규제 확대가 예상된다.

기존 연구로는 해상 선박, 농업기계 및 건설기계의 대기오염물질 배출량을 분석하고 국내 실정에 맞는 배출계수를 개발하는 연구들이 진행되었다.<sup>6)7)8)</sup> 그러나 이는 간접적인 배출량 산정방식으로, 실제 장비의 배출량에 영향을 미치는 작업 및 장비조건을 고려하지 않아 정밀한 배출량 산정이 어렵다<sup>9)</sup>. 따라서 본 연구에서는 건설장비의 배출량 실측 데이터를 사용하여, 인공신경망을 통해 배출량 예측식을 도출하고, 이를 현장 작업 규모와 상황 변수에 따라 발생하는 배출량 예측 플랫폼을 제안하였다.

## 2. 연구 수행 방법

본 연구는 그림 1과 같이 배출량 데이터 수집 및 예측모델 학습 단계와, 건설 현장에서 대기오염물질 배출량 예측하는 산정단계로 나뉜다. 건설장비의 등록대수 중 41.6%를 차지하는 굴착기 및 덤프트럭과, 배출량 규제 대상물질 중 가장 높은 비중을 차지하고 있는 CO 및 NO<sub>x</sub>를 대상으로 배출량 예측 모델을 도출하였다. 데이터베이스 구축 단계에서는 PEMS (Portable Emissions Measurement System)로 측정된 기구 면적, 유속등의 조건으로 배출량 단위를 g/h로 환산하였다. 데이터 분석 결과 비선형성을 나타내었으며, 다변량 변수를 포함한 모델을 도출하고자 공간분할기반 이상탐지를 사용하여 이상치를 판별, 제거하였다. 예측식 도출 단계에서는 인공신경망 모델을 학습하여 가장 성능이 좋은 모델을 선정하였고, 해당 모델의 가중치 및 편향값을 매트릭스 형태로 도출하였다. 본 연구의 Iforest-ANN 모델의 성능을 확인하기 위해 선형회귀분석과 ANN모델의 오차를 비교하였다.

\* 인하대학교 건축학부(건축공학과)

\*\* 인하대학교 건축학부(건축공학과) 교수, 공학 박사, 교신저자(shan@inha.ac.kr)

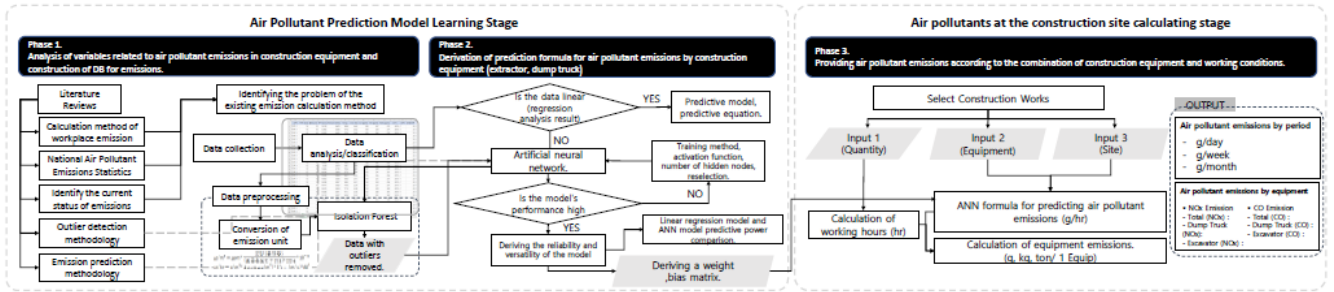


그림 1. 연구 수행 과정

### 3. 연구 수행 결과

공간분할 기반 이상탐지를 통해 변수들의 영향력을 파악했으며, 반복학습을 통해 도출된 Anomaly score를 기준으로 도출된 밀도함수를 분석하였다. 상위 20% 데이터를 이상치로 판단하여 제외하였고, 모든 데이터의 이상치 판단기준은 Anomaly score 0.5에서 0.6 사이의 값으로 선정하였다.

평균제곱오차(MSE)를 통해 모델의 예측력을 비교한 결과, 대기오염물질 CO와 NOx 모두 덤프트럭의 경우 인공신경망 모델의 예측력이 가장 높았으나, 무한궤도식 굴착기와 바퀴식 굴착기의 경우 Iforest-ANN의 예측력이 가장 높은 것으로 나타났다.

표 1. CO의 굴착기 및 덤프트럭의 예측모델별 MSE 비교 결과

Prediction Model	E_CAT	E_WHEEL	Dump Truck
Linear Regression	8130.99	726.66	5558.79
ANN	55.14	746.47	2091.07
Iforest-ANN	51.62	121.18	2912.66

표 2. NOx의 굴착기 및 덤프트럭의 예측모델별 MSE 비교 결과

Prediction Model	E_CAT	E_WHEEL	Dump Truck
Linear Regression	8868.47	3244.64	15590.21
ANN	1147.39	2058.52	4506.77
Iforest-ANN	364.81	828.03	24960.45

### 4. 결 론

공간분할 기반 이상탐지와 인공신경망을 사용하여 작업 환경과 장비제원을 고려한 굴착기와 트럭의 대기오염물질 배출량을 산정하였으며, 토공사 중 흙깎기를 예시로 작업량과 현장 변수에 따라 발생하는 대기오염물질 배출량을 산정하는 플랫폼을 제안하였다. 본 연구의 모델을 통해 건설프로젝트의 계획 단계에서 친환경 공정계획이 가능하며, 환경성 평가에 대비하고, 환경 부담금 및 배출권 거래 계획을 수립하는데 도움을 줄 것이다. 다양한 공정의 대기오염물질 예측 플랫폼을 적용하기 위해 굴착기와 덤프트럭 이외의 건설장비에 대한 배출량 데이터의 추가 수집을 통한 모델 생성과, 공정과정에서 건설장비의 부하율을 높이는 위험요인을 고려한 배출량 산정 플랫폼 개발이 필요하다.

### Acknowledgement

본 논문은 한국연구재단의 지원(과제번호 2021R1A2C1007467)의 지원으로 수행된 연구입니다.

### 참 고 문 헌

1. 환경부. (2020). 2017 국가 대기오염물질 배출량
2. 환경부. (2011). 운행 건설기계 검사방법 및 배출 허용 기준 마련을 위한 연구
3. 권상일. (2020). 국내 건설기계 및 농업기계 차기 배출허용기준
4. 환경부. (2020). 사업장 대기오염물질 총량관리제도 업무 편람
5. “경유차넘어 올하는 경유 건설기계 배출가스 개선에 주력”. 지앤이타임즈. 2021년 5월 3일 접속.
6. 한용희. (2011). 건설 기계와 농업기계의 대기오염과 유해대기오염 배출량 산정
7. 진형아. (2014). 배출계수 개발 및 배출량 산정 체계 고도화를 통한 건설기계의 연식, 출력 및 기종별 대기오염물질 배출량 산정
8. 환경부. (2018). 건설 농업기계 차기 배출허용기준 도입연구
9. 김병수. (2011). 토공장비조합에 따른 공사기간 및 이산화탄소 배출량의 상관성의 분석