

실작업 굴착기의 암모니아, 이산화황 및 탄화수소 배출량에 관한 연구

문 석 호¹⁾ · 신 달 호¹⁾ · 함 지 영²⁾ · 김 형 천²⁾ · 박 수 한^{*3)}

건국대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 국가미세먼지정보센터²⁾ · 건국대학교기계항공공학부³⁾

Study on Real-World Emissions of Ammonia, Sulfur Dioxide and Hydrocarbon from Excavators

Seokho Moon¹⁾ · Dalho Shin¹⁾ · Jeejoung Ham²⁾ · Hyungcheon Kim²⁾ · Suhan Park^{*3)}

Konkuk University¹⁾ · National Air Emission Inventory and Research Center²⁾ · Konkuk University^{*3)}

Key words : Construction Machinery(건설기계), Real-World Emissions(실제 운행 배출량), Fourier Transform Infrared Spectroscopy(푸리에 변환 적외선 분광기), Portable Emissions Measurement System(이동식 배출가스 측정 장비), Ammonia(암모니아), Hydrocarbons(탄화수소), Sulfur Dioxide(이산화황)

* 교신저자, E-mail: suhanpark@konkuk.ac.kr

건설기계는 비도로이동오염원 중 선박을 제외하고 가장 높은 유해물질 배출량을 가지며¹⁾, 도심지를 비롯한 인간의 생활환경과 매우 밀접한 위치에서 가동률이 높은 특징을 가지며, 이에 최근 건설기계의 유해물질 배출량에 관한 관심이 집중되고 있다. 따라서 최근 유럽, 미국, 우리나라를 비롯하여 전세계적으로 건설기계를 포함한 비도로이동오염원의 주요 배출원에 대해 강력한 배출규제가 적용되고 있다.²⁾ 건설기계는 작동 및 운행 특성이 매우 다양하여 실차조건의 동력계 시험이 불가능하기에 최근 수행되는 실제 운행 배출량 관련 연구는 PEMS(Portable Emissions Measurement System)를 탑재하여 측정된다.³⁾ PEMS는 이동원에 탑재하여 배출량을 측정하는 목적에 따라 소형화와 내구성, 내진성이 매우 중요하며 이로인해 측정 물질의 종류와 측정 가능 범위의 성능이 실내측정기에 비해 떨어지는 특징을 가진다. 이러한 이유로 최근 수행되는 건설기계 실제 배출량 관련 연구들은 실내 차대동력계 시험이 가능한 도로이동원에 비해 명확한 한계를 보이고 있다.

따라서 본 연구는 건설기계의 실제 운행조건에서 PEMS로 측정이 어려운 세부적인 탄화수소 배출량(CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_3H_8 , C_6H_{14})과 암모니아(NH_3), 이산화황(SO_2)의 실제 배출량을 이동형 FTIR(Fourier Transform Infrared Spectroscopy)를 통해 측정하고자 한다. 시험 대상 기종은 2024년 06월 기준 국내 전체 건설기계 등록대수의 38.1%를 차지하고 있는 굴착기를 시험대상으로 선정하였다.⁴⁾ 시험차량은 동일 제조사의 휠굴착기로, Tier-4F 규제단계를 만족하는 14톤급과 Stage-V를 만족하는 15톤급을 선정하였다. 이동형 FTIR 장비는 차량에 탑재할 경우 진동 등의 원인으로 정확도가 떨어질 수 있기에 차량 외부에 설치하였다. FTIR과 PEMS를 통해 배출량 데이터를 취득하였으며, OBD(On-Board Diagnostics) 시스템을 통해 UDS 통신에서 제공하는 엔진 제어 데이터를 취득하였다. 실제 배출량 측정 시험은 굴착기의 실제 작업 형태를 고려하여 굴착기의 버킷과 도저 블레이드로 차체를 공중에 지지하여 다양한 엔진 회전속도 범위에서 구동력을 부여한 Test_1과, 고정된 위치에서 흙 상하차 및 평탄화 작업을 3개 엔진 회전속도 영역에서 수행한 Test_2로 구성하였다.

시험 결과 규제 단계에 관계없이 탄화수소계 배출량 중 헥산(C_6H_{14})의 비중이 가장 높은 것으로 나타났다. SO_2 의 경우 Tier-4F 차량에서는 검출되지 않았지만 강화 규제인 Stage V 차량에서 소량 검출되었으며 이는 Tier-4F 차량에 적용된 DeSOx 기능의 SCR(Selective Catalytic Reduction)의 영향으로 추측되었다. NH_3 의 배출량은 비교적 높은 엔진 출력 범위를 사용하는 Test_1에서 두 차량 모두 비교적 높은 배출량을 보였으나 SCR에 부착된 AOC(Ammonia Oxidation Catalyst)의 영향으로 1mg/kWh 수준의 매우 적은 배출량을 보였다. 본 연구를 통해 PEMS로 측정할 수 없는 디젤 엔진의 주요 오염물질(NO_x , PM 등)에 비해 배출량이 적은 것으로 알려진 물질들의 건설기계 실제 배출량을 검증하였으며, 유해물질 배출량 통계에 활용할 수 있는 유의미한 실험값을 구축할 수 있었다.

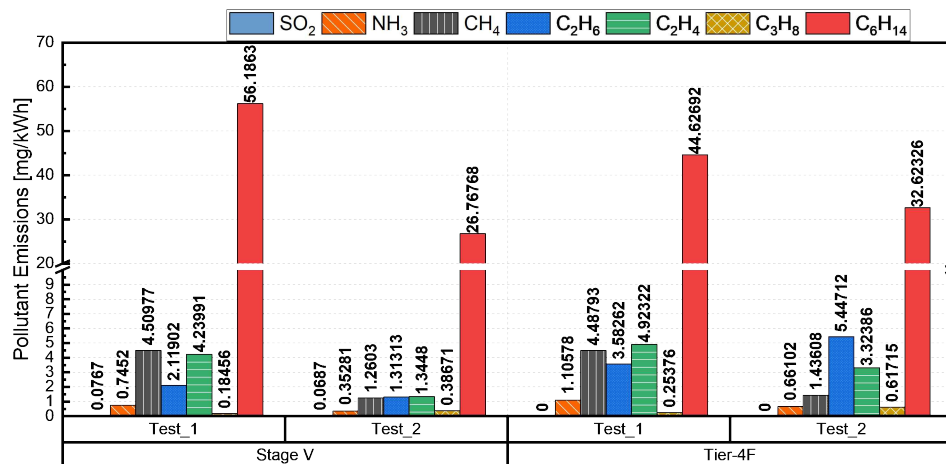


Fig. 1 Pollutant emissions from real-world excavator at test_1 and test_2

References

- 1) CAPSS 2021년 부문별 배출량, 환경부 미세먼지정보센터
- 2) European Commission Regulation (EU) 2022/2387. 2022.
- 3) Lee. D., Park. J., Shin. M., Lee. J. and Park. S. (2022). Characteristics of Real-World Gaseous Emissions from Construction Machinery. *Energies*, 15, 9543. <https://doi.org/10.3390/en15249543>
- 4) 국토교통통계누리 건설기계등록현황, 2024.

Acknowledgement

이 논문은 한국연구재단 중견연구후속지원사업(RS-2023-00208502)과 2024년 환경부 미세먼지정보센터의 연구용역과제 ‘실작업 조건에서의 농업기계 및 건설기계 배출계수 개발 연구(I)’ 의 지원을 받아 수행되었습니다.