

암모니아-천연가스 혼소 엔진 내 람다 변화에 따른 암모니아 후분사 기반

SNCR반응 특성과 NOx 저감 효율에 대한 수치해석

김한영¹⁾ · 오세철^{*1)}

부산대학교 기계공학부¹⁾

Numerical Analysis of SNCR Reaction Characteristics and NOx Reduction Efficiency with Ammonia Secondary Injection under Varying Lambda Conditions in an Ammonia-Natural Gas Dual-Fuel Engine

Hanyoung Kim¹⁾ · Sechul Oh^{*1)}

Pusan National University¹⁾

Key words : Ammonia Post-Injection(암모니아 후분사), SNCR(선택적 비촉매 환원), NOx Reduction(NOx 환원), Zero-Dimensional Numerical Modeling(0차원 수치모델), Dual-Fuel Combustion(혼소 연소), Residual Oxygen(잔여산소)

*교신저자, E-mail: sechuloh@pusan.ac.kr

지구온난화 현상을 저감하기 위해서 탄소중립 달성을 목표로 다양한 기술 개발이 이루어지고 있다. 이 중, 선택적 비촉매 환원(SNCR) 기술은 기존의 연료를 대체할 수 있는 기술 개발이 주목받고 있다. 이러한 대체 연료들 중 암모니아는 탄소를 포함하지 않아 이산화탄소를 배출하지 않는 특징을 가지며, 다른 연료와의 혼소를 통해 기존 연료 시스템과의 호환성을 확보하면서도 온실가스 배출을 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 암모니아 연소 시 NOx 배출 증가하는 문제가 있어, 이를 효과적으로 제어할 수 있는 후처리 기술 개발이 필요하다. 이와 같은 배경에서, 선택적 비촉매 환원(SNCR) 기술은 구조가 단순하고 비용이 낮아 암모니아 기반 엔진 시스템에 적합한 저감 전략으로 부각되고 있다.

본 연구에서는 기존의 암모니아-천연가스 혼소 실험 데이터를 기반으로 엔진 실린더의 0D 수치 모델을 구성하고, 이를 활용하여 암모니아 후분사를 통한 선택적 비촉매 환원(SNCR, Selective Non-Catalytic Reduction) 전략의 NOx 저감 가능성을 평가하였다. 본 연구의 최종 목표는 후분사 암모니아의 최적 분사 시점과 분사량을 도출하여, 실 엔진 조건에서 SNCR 전략 효과를 극대화하는 것이다. 0D 모델링은 MATLAB과 Cantera를 이용하여 수행되었으며, 실린더 내 암모니아 후분사에 따른 화학 반응 경로와 NOx 저감 효과를 시뮬레이션을 하였다. 모델링에 이용된 혼소 실험은 기존 문헌의 결과 중, 전부하 조건에서 압축비 10.5:1, Lambda 1.2, 1100 RPM, 암모니아와 천연가스의 저위발열량(LHV) 기준 에너지 비율 30 : 70 조건에서 수행된 실험을 참고하였다. 암모니아 분사량을 연료에 포함된 암모니아의 10%~110%까지 변경하면서 NOx의 저감 정도를 평가하였다. Lambda 1.2에 대응되는 잔여 산소량에서조차 후분사 암모니아가 산소와 선택적으로 많이 반응하였으며, 잔여 산소량이 0에 가까운 Lambda 1.0에서 동일한 분석을 진행함으로써 후분사된 암모니아가 NOx와 선택적으로 반응하는 것을 확인하였다. 이를 통해 해당 전략이 높은 출력 밀도를 필요로 하는 이론 공연비 운전에서 필요한 기술임을 확인하였다.