

천연가스-암모니아 혼소 엔진 내 람다 별 암모니아 후분사 기반

SNCR 반응 화학 경로 및 반응속도 분석에 대한 수치해석

김민규¹⁾·김한영¹⁾·오세철^{*1)}

부산대학교 기계공학부¹⁾

Investigation on Reaction Pathway and Rate of SNCR via Ammonia Post-Injection in a Natural Gas-Ammonia Dual-Fuel Engine

Mingyu Kim¹⁾ · Hanyoung Kim¹⁾ · Sechul Oh^{*1)}

Pusan National University¹⁾

Key words: Ammonia Post-Injection(암모니아 후분사), Selective Non-Catalytic Reduction(선택적 비촉매 환원), NO_x Reduction(NO_x 환원), Zero-Dimensional Numerical Modeling(0차원 수치해석), Dual-Fuel Combustion(혼소 연소), Chemical Kinetics(화학 반응 속도론)

교신저자, E-mail: sechuloh@pusan.ac.kr

전 세계 온실가스 배출량의 약 17%, 이산화탄소의 배출량의 약 25%를 차지하는 수송 부문에서의 배출량 감축은 [1]탄소중립을 위한 중요한 과제이다. 이에 따라 다양한 대체 연료 사용을 통해 화석연료의 사용을 줄이고 Net-Zero를 달성하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 그 중에서도, 암모니아는 합리적인 에너지 밀도 및 액화온도로 인해 저장에 용이한 무탄소 연료로서, 특히 선박용 추진 파워트레인에서 기존 연료를 대체할 유력한 후보로 제안되고 있다. 그러나 암모니아 연소 과정 중에는 대량의 유해물질인 질소산화물(NO_x)이 생성되어 이를 효과적으로 저감하기 위한 구동 전략이 필요하다. 이러한 배경 하에서 선택적 비촉매 환원법(SNCR)은 별도의 촉매가 필요 없어 비용을 절감할 수 있고 구조가 단순하여, 암모니아 연소 시스템에서 효과적인 NO_x 저감 처리 방식으로 주목받고 있다.

본 연구에서는 기존의 천연가스-암모니아 혼소 실험값[2]을 바탕으로 암모니아 후분사 시 NO_x를 저감하는 선택적 비촉매 환원 기술의 효과를 0차원 시뮬레이션을 통해 분석하는 것을 목표로 하였다. 암모니아 연소 및 DeNO_x 과정을 묘사할 수 있는 chemical mechanism을 활용하여 연소실 내부의 암모니아 연소 및 NO_x 저감 경로를 심층 분석하였다. 주 연소 종료 이후, 팽창과정(CA 430이후) 내에서 후분사 시기를 CA 430-490의 범위에서 변경하였으며, λ=1.0, 1.2, 1.5 3가지의 운전 조건에서 팽창과정 내 다양한 분사 시기를 적용하여 화학반응 및 반응속도를 분석하였다.

그리고 후분사 시기에 따른 화학 경로 분석을 통해 NO_x 저감이 최대가 되는 시기에서의 주요 반응들의 효과를 분석하였다. 후분사 시기 조정을 통해 각 람다별로 최적의 분사시기를 파악하였고, 이를 바탕으로 최적의 후분사 시점을 적용한 결과, 공연비(λ) 1.0, 1.2, 1.5 조건에서 질소산화물(NO)의 ppm이 각각 약 97%, 84%, 76% 저감되는 것을 확인했다. 이 과정에서 NO의 산화·환원을 중심으로 하는 10개의 지배적인 화학 반응식들을 도출하였으며, 최대 저감이 되는 시기에서의 지배적인 화학반응식 $\text{<NH}_2 + \text{NO} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2, \text{NH}_2 + \text{NO} \rightleftharpoons \text{NNH} + \text{OH}>$ 등의 영향을 확인하였다. 또한, NO_x 저감이 낮았던 지점과의 화학반응 비교를 통해 NO_x 저감에 지배적인 화학반응식들을 분석하였다.

<Reference>

- [1] 김은미. (2022). 글로벌 수송 부문의 온실가스 감축 현황과 시사점: 해운 분야를 중심으로. 대외경제정책연구원.
https://www.kiep.go.kr/gallery.es?act=view&mid=a10102040000&bid=0005&list_no=9998&act=view&list_no=9998&cg_code=
- [2] Oh, S., Park, C., Ahn, M., Jang, H., & Kim, S. (2023). Experimental approach for reducing nitrogen oxides emissions from ammonia–natural gas dual-fuel spark-ignition engine. *Fuel*, 332, 126065.