

수소엔진 배출가스 저감을 위한 H₂-SCR 기반 저온 NO_x 저감 시스템 개발이 경 석¹⁾ · 이 중 인¹⁾ · 박 현 솔¹⁾ · 김 재 환²⁾ · 김 정 선²⁾ · 오 광 철^{*1)}한국자동차연구원 동력제어연구본부 열추진연구센터¹⁾ · KG 모빌리티²⁾Development of a Low-Temperature NO_x Reduction System Based on H₂-SCR for Hydrogen Internal Combustion Engine

Kyungseok Lee · Jongin Lee · Hyunsol Park · Jaehoan Kim · Jungsun Kim · Kwangchul Oh*

Korea Automotive Technology Institute¹⁾ · KG Mobility²⁾**Key words** : Carbon neutral, Hydrogen internal combustion engine, Exhaust aftertreatment technology, H₂-SCR, Urea-SCR

교신저자, E-mail: kcoh@katech.re.kr

화석연료 기반 내연기관의 온실가스 배출을 저감하기 위한 근본적인 방안으로 기존 탄화수소계 연료를 대체할 수 있는 무탄소 연료(암모니아, 수소 등)로의 전환이 주목받고 있다. 이 중 수소(H₂)를 연료로 사용하는 수소엔진(H2ICE: Hydrogen Internal Combustion Engine)은 연소 과정에서 이산화탄소(CO₂)가 생성되지 않는 장점이 있다. 그러나 고온 연소 특성으로 인해 질소산화물(NO_x)이 발생하므로 이에 대한 저감 기술이 필수적이다. 또한 강화되는 배출가스 규제를 만족하기 위해 다양한 운전 조건에서의 NO_x 저감 전략이 요구된다. 특히 과도 운전, 급가속 및 고부하 조건과 같이 상대적으로 낮은 공연비 연소 영역에서는 NO_x 생성이 증가할 수 있어 이를 효과적으로 억제할 필요가 있다. 따라서 엔진 제어 최적화와 함께 수소엔진의 배출가스 특성에 적합한 배기후처리시스템 개발이 요구된다.

NO_x 저감을 위한 대표적인 기술로서 urea-SCR 시스템은 상용 차량에 성공적으로 적용되어 왔다. 그러나 이 시스템은 촉매 전단 온도가 약 200 °C 이상에서만 효과적으로 작동하는 한계를 가진다. 수소엔진은 희박연소 특성으로 NO_x 배출이 상대적으로 낮지만, WLTP 모드 초기(모드 개시 후 약 600초 이내)와 같은 냉간 시동 조건에서는 배기가스 온도가 낮아 urea-SCR의 활성도가 제한된다. 또한 냉간 시동, 촉매 워밍업, 과도 운전 및 도심 정체 주행 조건에서 미연 H₂가 일정 수준 배출되는 특성이 있다. 이러한 특성을 고려할 때, 미연 H₂를 환원제로 활용하는 H₂-SCR과 urea-SCR을 결합한 시스템은 저온 영역에서 NO_x와 H₂ 슬립을 동시에 저감할 수 있는 수소엔진 전용 배기후처리 기술로 유망하다.

본 연구의 목적은 개발 중인 다목적 2 L급 소형 상용차용 수소엔진의 배출가스 규제 대응을 위한 배기후처리 시스템을 개발하고, 그 성능을 검증하는 데 있다. 이를 위해 소형 파일럿 규모의 촉매 조성 검토를 수행하고, 실차 형상에 적용 가능한 H₂-SCR 촉매를 제작하였다. 또한 수소엔진의 베이스 엔진인 디젤엔진 디젤엔진을 활용하여 H₂-SCR 반응 특성을 평가하고, 배기가스 내 일산화탄소(CO) 공존 조건에서의 NO_x 저감 효율을 분석하였다. 아울러 urea-SCR 촉매의 환원제 분포 균일도를 평가하여 시스템 적용성을 검토하였다. 본 연구의 결과는 수소엔진 WLTP 모드 전 구간에서 NO_x 및 H₂ 슬립 저감을 위한 제어 전략 수립의 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

[Acknowledgement] 이 연구는 산업통상자원부 “CO₂ Zero 저비용 소형 상용수소엔진차량 개발(RS-2024-00508322) 과제”의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

Photo 1. Development of H₂-SCR catalysts for engine-out NO_x abatement in hydrogen internal combustion engine