

희박 연소 엔진 LNT-pSCR 시스템에서 LNT 부피 및 귀금속 함량 최적화

황 민 승 · 서 성 민 · 송 한 호^{*1)}

서울대학교 기계공학부¹⁾

Optimization of LNT Volume and Precious Metal Amount in Lean Burn Engine LNT-pSCR System

Minseung Hwang · Seongmin Seo · Hanho Song¹⁾

Seoul National University¹⁾

Key words : LNT-pSCR(희박연소용 후처리시스템), PGM(귀금속), Optimization(최적화), NOx(질소산화물)

교신저자, E-mail: hhsong@snu.ac.kr

최근 전 세계적으로 강화되고 있는 자동차 배기가스 규제와 연비 향상 요구에 따라, 희박 연소(Lean Burn) 기술은 차세대 고효율 파워트레인의 핵심 기술로 주목받고 있다. 그러나 희박 연소 조건에서는 과잉 산소로 인해 기존 가솔린 엔진의 삼원촉매(TWC)를 활용한 질소산화물(NOx) 정화가 불가능하다는 한계가 존재한다. 이를 해결하기 위해 LNT(Lean NOx Trap)와 pSCR(Passive Selective Catalytic Reduction)을 결합한 LNT-pSCR 시스템이 대안으로 제시되고 있다. 본 시스템은 LNT에서 희박 연소 시 NOx를 흡착하고, 주기적인 농후(Rich) 연소 시 이를 환원시켜 암모니아를 생성하며, 생성된 암모니아를 후단의 pSCR에 저장하였다가 다시 희박 구간에서 NOx와 반응시켜 정화 효율을 극대화하는 방식이다. 하지만 LNT 촉매는 백금(Pt), 팔라듐(Pd) 등 고가의 백금족 귀금속(PGM)을 다량 함유하고 있어 시스템 전체 비용 상승의 주요 원인이 된다. 반면, 귀금속이 포함되지 않는 pSCR은 단독 운용이 불가능하여 두 촉매 간의 적절한 용량 배분과 LNT 내 PGM 함량 최적화가 필수적이다. 본 연구에서는 LNT-pSCR 시스템의 NOx 정화 성능 유지와 제작 비용 저감이라는 상충하는 목표를 동시에 달성하기 위해 1차원 과도상태 대리 모델(Surrogate Model)을 구축하였다. 구축된 모델은 물질 수지 및 에너지 수지 방정식을 기반으로 하며, LNT의 NOx 흡착·탈착 반응과 pSCR의 암모니아 저장 및 NOx 환원 반응 메커니즘을 포함한다. 실험 데이터를 통한 모델 검증 결과, 희박 연소 조건에서 NOx의 거동과 정화 효율을 안정적으로 예측함을 확인하였다. 이를 바탕으로 전체 촉매 부피를 1.5L로 고정된 상태에서 LNT 부피와 PGM 함량을 변수로 설정하여 다양한 케이스에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 최적화 과정에서는 NOx 정화 효율 극대화, 암모니아 슬립 방지, 시스템 비용 최소화, 농후 운용 시간 비중 감소를 통한 연비 개선 등 5가지 목적 함수를 설정하고, 이를 바탕으로 최적의 LNT 부피와 PGM 함량 조합을 도출하였다. 본 연구 결과는 희박 연소 하이브리드 자동차의 배기가스 저감 촉매 장치 설계 시, 성능과 경제성을 동시에 고려할 수 있는 가이드라인을 제시할 것으로 기대된다.