

대체연료 기반 내연기관 엔진에서의 EGR 시스템(Valve & Cooler) 적용성과 내구성 성능 최적화 연구

김 영 권^{1)*}

(주)코렌스글로벌 미래사업전략팀^{1)*}

Application Feasibility, Durability, and Performance Optimization of EGR Systems (Valve and Cooler) in Alternative-Fuel Internal Combustion Engines

Young-kwon Kim^{1)*}

KORENS Global Future Business Strategy Team^{1)*}

Key words : Alternative fuels(대체연료), Hydrogen engine(수소엔진), Ammonia dual-fuel(암모니아 이중연료)
EGR System(배출가스재순환 시스템), Methanol(메탄올), Material improvement(소재 개선)

* 김영권 책임연구원, E-mail: ykim@korens.com

탄소중립 전환 가속화에 따라 수소, 암모니아, 메탄올, 합성연료(e-fuels)와 같은 대체연료 내연기관의 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 배기재순환(EGR)은 질소산화물(NOx) 저감에 효과적인 대표적인 연소제어 기술이지만, 대체연료 적용 시 내구성, 내식성, Fouling, 시스템 최적화 등 새로운 과제가 발생한다. 본 연구는 대체연료 조건에서 EGR 밸브와 쿨러의 적용성을 검토하고 성능 향상 및 소재 개선 방안을 제안한다. H₂-Engine은 냉각 EGR로 NOx를 효과적으로 억제할 수 있으나 밸브 응답성과 열충격 내구성이 핵심 과제이며, Ammonia Dual-Fuel 엔진은 적정 EGR 도입 시 NOx 저감이 가능하지만 연소 안정성 저하, N₂O/NH₃ 슬립 문제가 발생해 고기밀 밸브 구조와 소재 개발이 필요하다. Methanol Engine은 개미산 응축으로 인한 저온 부식 위험이 커 고내식 스테인리스강 및 니켈계 합금 적용이 요구되며, 합성연료는 입자상 배출은 적지만 NOx 저감을 위한 EGR 냉각 최적화와 침적 관리가 여전히 중요하다. 이를 해결하기 위해 본 연구는 High & Low Pressure EGR Loop, EGR Valve Control, Water Cold(고부하) & 비냉각(저부하*냉간) EGR 스위칭 운전, MPC·AI 기반 동시 제어 전략을 제시하고, SUS439/444와 같은 페라이트계 스테인리스강, Ni계 브레이징 합금, CrN-DLC 코팅 등 소재 개선안을 검토하였다. 연구 결과는 대체연료 내연기관용 EGR 시스템 개발을 위한 가이드라인으로 활용 가능하며, 친환경 운송차량 및 선박 응용에서 효율 향상, 배출 저감, 장기 내구성 확보에 기여할 것으로 기대된다.

Table. 1 이온 부식성 소재평가 및 분석(AL 적용소재)

적용소재	AC4B	AC4C	AC4C-T6	ALDC12	A2618	A5052	AC3AM
NO ₃ -(질산) 이온 부식							
시험 전 무게(g)	34.248	33.174	33.641	34.098	34.280	33.177	4.496
시험 후 무게(g)	34.100	32.842	33.338	33.944	34.103	32.900	4.472
무게 변화율(%)	-0.43	-1.00	-0.90	-0.45	-0.52	-0.84	-0.53
CH ₃ COOH-(아세트산) 이온 부식							
시험 전 무게(g)	34.320	33.005	33.624	34.147	34.284	33.146	6.303
시험 후 무게(g)	33.644	32.326	33.144	33.363	32.917	31.970	5.878
무게 변화율(%)	-1.97	-2.06	-1.43	-2.30	-3.99	-3.55	-6.74
COOH-(포름산) 이온 부식							
시험 전 무게(g)	34.278	33.000	33.635	34.147	34.185	33.162	5.680
시험 후 무게(g)	30.492	32.385	31.973	31.898	27.018	30.480	4.670
무게 변화율(%)	-11.05	-1.86	-4.94	-6.59	-20.97	-8.09	-17.75

Acknowledgment

본 논문은 자동차산업기술개발사업(산업통상자원부 공고 제2022-90호) “연소 효율 개선을 위한 고에너지 다점 점화 및 배기가스 재순환 시스템 기술 개발(20018492)” 사업의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.