

멀티홀 GDI 인젝터를 이용한 메탄올과 가솔린 분무 구조 및 붕괴 특성 비교

김 현 수 · 이 승 원 · 배 수 민 · 황 준 식* · 배 충 식*

한국과학기술원 기계공학과

Comparative Spray Structure and Collapse Characteristics of Methanol and Gasoline Using a Multi-Hole GDI Injector

Hyunsoo Kim · Seungwon Lee · Sumin Bae · Joonsik Hwang* · Choongsik Bae*

Mechanical Engineering Department, KAIST

Key words : Methanol, Constant volume combustion chamber, Diffusive backlight illumination extinction(DBIE), 3D computed tomography, Projected liquid volume(PLV), Liquid volume fraction(LVF), Heat of vaporization,

교신저자, E-mail: jhwang@kaist.ac.kr, csbae@kaist.ac.kr

탄소중립 연료 전환 요구가 높아짐에 따라 메탄올은 수송분야에서 대표적인 알코올계 대체연료로 주목받고 있다. 메탄올은 높은 옥탄가와 산소 함량, 빠른 화염전파속도를 지니며, 재생 가능한 방식으로 CO₂ 포집과 수소를 활용하여 생산할 수 있어 지속가능 연료 전략의 유력 후보로 평가된다. 특히 가솔린 직분사(GDI) 엔진 적용 시 높은 증발잠열을 통한 흡입 혼합기 냉각 효과로 노킹 억제 및 열효율 향상이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 메탄올은 낮은 증기압과 높은 증발잠열로 인해 저온 환경에서 분무 증발이 억제되고 액적이 장시간 체적 내에 잔류하는 문제를 나타낸다. 이는 냉간 시동이나 저온 조건에서 혼합기 형성 지연, 벽면 적심 및 불완전 연소로 이어질 수 있다. 반면, 높은 연료온도와 낮은 연소실 압력 조건에서는 플래시 보일링에 의한 분무 붕괴 현상이 발생하여 분무의 공간 분포와 혼합 특성을 크게 변화시킬 수 있다.

본 연구에서는 측면 실린더 장착형 다공(멀티홀) GDI 인젝터를 이용하여 메탄올과 가솔린(대체연료, E00)의 분무 거동을 비교하였다. 확산 배면조명 소광 기법(Diffusive backlight illumination extinction; DBIE)을 활용한 다각도 고속 계측과 3차원 토모그래피 재구성을 통해 분무 구조와 붕괴 과정을 정량적으로 분석하였다. 실험 결과, 동일한 조건에서 가솔린에 비해 메탄올은 높은 증발잠열 특성으로 인해 액적이 더 많이 잔류하며, 분무 붕괴 과정과 증발 속도에서 뚜렷한 차이를 보였다. 특히 고온 조건에서는 메탄올의 급격한 증발로 인해 주변 기체 온도가 빠르게 낮아지면서 이러한 특성이 더욱 두드러지게 나타났다.

본 연구는 메탄올 분무의 고유한 열역학적 특성이 가솔린 대비 어떤 차이를 만드는지 규명하였으며, 이는 메탄올 연료 특성을 고려한 최적 분사 전략 수립 및 대체연료 기반 GDI 엔진 개발에 기초자료를 제공할 것으로 기대된다.

사사: 이 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (20024960)