

중양 분사식 가솔린 직분사 엔진의

촉매 가열 모드 연소 안정성 향상 전략

고 건 우¹⁾ · 강 동 우¹⁾ · 손 유 상²⁾ · 박 상 재³⁾ · 박 성 욱⁴⁾

한양대학교 대학원 융합기계공학과¹⁾ · 현대자동차 엔진설계실²⁾ · 현대자동차 전동화구동시험1팀³⁾ · 한양대학교 기계공학부⁴⁾

Catalyst heating mode combustion stability enhancement strategy for center-injection gasoline direct injection engine

Geonwoo Ko¹⁾ · Dongwoo Kang¹⁾ · Yousang Son²⁾ · Sangjae Park³⁾ · Seongwook Park^{*4)}

Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Hanyang University¹⁾,

Engine Engineering Design Group, Hyundai Motor Company²⁾,

eP Drivetrain Test Team 1, Hyundai Motor Company³⁾,

Department of Mechanical Engineering, Hanyang University⁴⁾

Key words : Gasoline Direct-Injection (가솔린 직분사), PIV(입자영상유속계), In-cylinder Flow(실린더 내부 유동)

교신저자, E-mail: parks@hanyang.ac.kr

가솔린 직분사(GDI) 엔진에서 적절한 혼합기 형성 및 점화 시점의 점화 플러그 주변 난류 강도 향상은 엔진 성능 및 배기 배출물에 직접적인 영향을 미친다. 특히 냉간 시동 직후 촉매 활성화를 위해 점화 시기를 크게 지각시키는 촉매 가열(Catalyst heating) 모드에서는 낮은 화염 전파 속도와 연소 불안정성이 발생하기 쉬우므로, 분사 전략 최적화를 통해 이를 극복하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 아킨슨 사이클 기반의 센터 인젝션(Center-injection) 광학 GDI 엔진에서 다양한 연료 분사 전략이 실린더 내 유동 및 연소 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

실린더 내부 유동 특성을 정량적으로 분석하기 위해 PIV(입자 영상 유속계) 시스템을 적용하였으며, 실험은 1,500 rpm, 흡기 압력 0.85 bar에서 다양한 분사 시기, 분할 분사 비율, 분사 압력 조건 하에 수행되었다. National Instruments의 CompactRIO 시스템과 30kW급 AC 동력계를 사용하여 엔진을 제어하였으며, MFC와 흡기 가열 챔버를 통해 흡기 상태를 정밀하게 유지하였다. 시드 챔버를 통해 공급된 18 μm 직경의 hollow glass sphere는 실린더 내부에 조사된 2 mm 두께의 레이저 시트에 의해 산란광을 형성하였고, 이를 고속 카메라로 촬영하여 내부 유동 이미지를 취득하였다. 취득한 이미지는 MATLAB 기반의 PIVlab 프로그램을 통해 후처리되었다.

실험에 사용된 2기통 가시화 엔진은 분무 및 실린더 내부 유동을 가시화하기 위해 실린더 라이너 전체를 투명한 쿼츠(Quartz)로 제작하였으며, V-type 엔진의 기통 간 유동 특성을 확인하기 위해 2기통 V-형태로 제작되었다. 또한 피스톤과 실린더 사이의 마찰을 최소화하고 기밀을 유지하기 위해 Rulon 링을 적용한 오일리스(Oil-free) 시스템을 채택하였다.

연구 결과, 단일 분사 조건에서는 분사 시기가 실린더 내 유동 구조와 난류 특성에 결정적인 영향을 미쳤다. BTDC 240° 이후의 후기 분사는 텀블(Tumble) 유동과 상호작용하여 난류 운동 에너지(TKE)를 강화하고 화염 전파를 촉진한 반면, BTDC 320°와 같은 조기 분사는 분무 모멘텀이 흡기 유동을 방해하여 연소 특성을 악화시켰다. 또한, 분할 분사 전략은 벽면 액막(Wall-film) 형성을 억제하여 확산 연소에 의한 '적색 화염(Red-flame)' 지수를 크게 감소시켰으며, 점화 직전 소량의 연료를 추가 분사하는 전략은 국부 난류를 강화하여 화염 전파 속도를 향상시키는 효과를 보였다. 본 연구 결과는 차세대 고효율·저공해 엔진의 촉매 가열 전략 수립을 위한 중요한 학술적 기초 자료로 활용될 수 있다.