Copyright ⓒ 2026 KSAE
26SKSAE_A039

가솔린-메탄올 혼합연료의 GT-Power 기반 1D 엔진 모델링을 위한 포괄적 연구

류 동 우[1)] · 신 재 훈[1)] · 이 호 승[2)] · 박 성 욱[2)] · 문 석 수[*1)]

인하대학교 기계공학과[1)] · 한양대학교 기계공학부[2)]

A Comprehensive Study on GT-Power Based 1D Engine Modeling for Gasoline-Methanol Blends

Dongwoo Ryu[1)] · Jaehun Shin[1)] · Hoseung Yi[2)] · Sungwook Park[2)] · Seoksu Moon[*1)]

Inha University[1)], Hanyang University[2)]

Key words : e-Fuel(재생합성연료), Gasoline-Methanol blends(가솔린-메탄올 혼합연료), GT-Power Simulation(GT-Power 해석), Model Sensitivity Analysis(모델 민감도 분석), Combustion Modeling(연소 모델링), Modeling Methodology(모델링 방법론)

문석수, E-mail: ss.moon@inha.ac.kr

수송 부문의 단기적 탄소 배출량 감축 목표 달성을 위한 현실적인 방안으로, e-Fuel 기반 drop-in 연료를 활용한 기존 내연기관의 탄소 저감 전략이 주목받고 있다. 특히 메탄올은 상온에서 액상으로 존재하는 e-Fuel 중 가장 단순하게 합성할 수 있는 형태로, 가솔린과의 유연한 혼합 사용을 통해 비교적 단기간 내 경제적인 시장 편입이 가능할 것으로 기대된다. 그러나 메탄올 혼합은 연료의 물리·화학적 특성 변화를 수반하여 엔진 내 분무 및 연소 거동에 영향을 미치며, 이는 최종적으로 엔진 효율 및 배기 배출 특성의 변화로 이어진다. 이러한 영향을 정량화하고 최적의 운전 조건을 도출하기 위해서는 다양한 조건을 포괄하는 성능 평가가 요구되며, 이에 분석 효율을 제고하기 위한 방안으로 GT-Power와 같은 1차원 엔진 해석 소프트웨어가 널리 활용되고 있다. 다만, 이러한 해석 도구는 일부 물리 현상을 경험적, 반경험적 보정에 의존하고 있어, 연료의 물성 변화를 반영하는 과정에서 보정이 필요한 핵심 매개변수를 식별하고 영향력을 정량적으로 평가하는 데 상당한 복잡성이 수반된다. 이에 본 연구에서는 가솔린-메탄올 혼합 연료 적용 시 GT-Power 해석의 예측 정확도를 확보하기 위한 방안으로, 연료의 물성 변화가 주요 하위 모델에 미치는 영향을 체계적으로 분석하고 이를 반영할 수 있는 모델링 방법론을 정립하고자 한다.

분석 과정에서는 우선 GT-Power의 주요 하위 모델을 형상, 흡·배기, 열전달, 난류, 물성, 분사 및 연소의 세부 계통으로 구분하고, 연료 조성 변화에 따른 감도를 평가하였다. 그 결과 대부분의 하위 모델은 별도의 수정 없이 적용 가능했던 반면, 물성, 분사 및 연소 모델은 연료 성상 변화에 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 특히 연료 물성 및 분사 모델은 기존 라이브러리의 수정만으로 대응이 가능하였으나, 예측 연소 모델의 핵심 변수인 층류화염속도에 대해서는 기존 모델을 통한 예측 정확도 확보에 한계가 존재함을 확인하였다. 이에 따라 화학 반응 시뮬레이션 기반의 층류화염속도 상관식을 도출하여 연소 모델의 정밀도를 보완하였으며, 최종적으로 연료 물성 변화가 전 계통에 걸쳐 반영된 통합 엔진 해석 모델을 구축하였다. 구축된 모델의 타당성은 단기통 SI 엔진 실험 결과와의 비교를 통해 검증하였으며, Fig. 1 및 Fig. 2는 각각 저부하 및 중부하 조건에서 다양한 메탄올 혼입률에 따른 단기통 엔진의 실린더 압력 계측값과 GT-Power 예측 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 검증 결과, 제안된 모델은 모든 해석 조건에서 0.98 이상의 높은 결정계수(R^2)를 나타내며 실험값과 우수한 정량적 일치성을 확보하였다. 이를 통해 본 연구에서 제안한 모델링 접근 방식이 가솔린-메탄올 혼합 연료의 엔진 해석에서 신뢰성 있는 예측 성능을 확보할 수 있음을 확인하였다.

* 본 연구는 2026년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT)의 연구비 지원에 의한 연구임 (과제번호: 20024960)

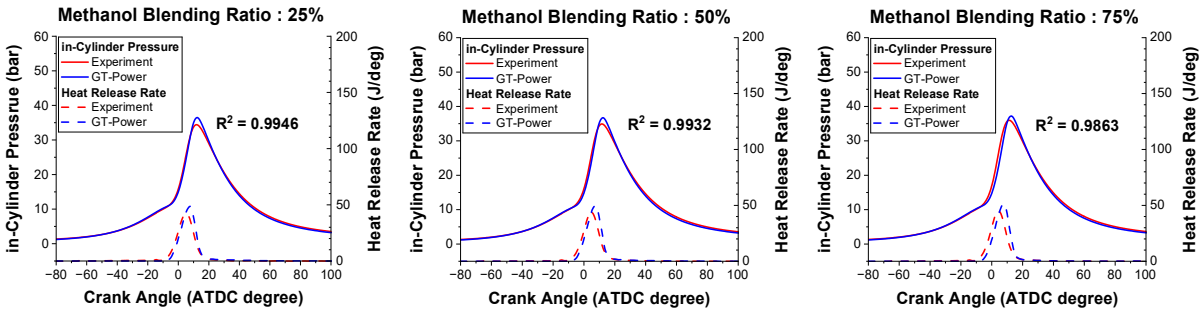

Fig. 1 Comparison of in-cylinder pressure and heat release rate between experiment and GT-Power results under low-load conditions

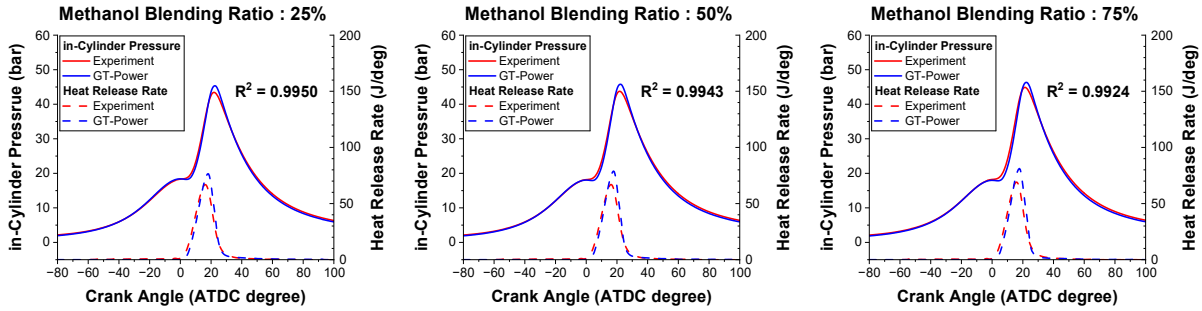

Fig. 2 Comparison of in-cylinder pressure and heat release rate between experiment and GT-Power results under mid-load conditions