

1차원 해석을 통한 대형 SI CNG 엔진의 수첨 효과에 관한 선행 연구

윤 원 준¹⁾ · 박 정 수^{*2)}

조선대학교 기계공학과 대학원¹⁾ · 조선대학교 기계공학과²⁾

Preliminary study on the effect of hydrogen content on CNG fueled heavy-duty SI engine by using 1D simulation

Wonjun Yoon^{*1)} · Jungsoo Park^{*2)}

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

Department of Mechanical Engineering, Chosun University²⁾

Key words : HCNG(수첨 천연가스), Heavy duty engine(대형엔진), Hydrogen(수소), Reforming(개질), 1차원 해석 (1D simulation)

* Corresponding Author, E-mail: j.park@chosun.ac.kr

전 세계적으로 대부분의 에너지를 화석연료에 의존하고 있지만 현재 화석연료는 급격한 산업화로 인해 매장량이 감소하고, 이로 인하여 고유가 시대로 접어들고 있으며 심각한 유해 배기가스가 많이 배출되고 있다. 이러한 환경문제가 대두되면서 화석연료를 대체하는 에너지원으로 천연가스가 사용되고 있다. 천연가스는 화석연료보다 매장량도 풍부하고 구성성분이 주로 메탄(CH_4)으로 되어 있어 배출가스가 비교적 깨끗하고 경제적으로도 높은 평가를 받고 있다. 그러나 메탄을 연료로 사용하면 연소속도가 낮아 엔진성능이 저하될 수 있다. 따라서 수소(H_2)를 첨가제로 활용하는 방법이 오랜 기간 제시되어 왔다. 수소는 빠른 반응성과 높은 화염 속도를 바탕으로 희박가연한계를 확장시킬 수 있고, 소염거리가 매우 짧아 미연탄화수소(unburned HC) 발생을 최소화 할 수 있어 메탄과 함께 사용하면 연소 및 배기특성을 보다 더 개선할 수 있다. 또한 수소는 매우 낮은 점화에너지를 가지고 있으며 화염전파속도가 빨라 SI엔진 적용에 탁월하다. 이러한 수소를 엔진에 안정적으로 공급하기 위해서는 수소 공급원이 필요하다. 수소탱크를 이용하는 방법은 차량의 중량 증가와 수소 스테이션 등의 충전 인프라가 필요하다는 현실적인 한계가 존재하기 때문에 기존 연료탱크와 배기가스를 이용한 On-Board 연료 개질에 관한 연구가 활발하다. 연료 개질 방법으로 수증기 개질, 부분산화, 이산화탄소 개질과 이들 간 개질을 조합하여 흡열/발열 반응을 자체 해결하는 자열 개질이 있는데 이 방법들은 H_2O 와 O_2 기반의 반응이기 때문에 연소 생성물인 배기가스 내 조성을 적절히 활용하면 연료 개질을 통해 연소실 내로 수소를 공급할 수 있다.

본 연구에서는 대형 SI엔진을 대상으로 천연가스에 수소를 첨가하여 성능을 향상시키는 연구를 진행하였다. 1차원 상용 엔진해석 프로그램을 이용하여 수소를 첨가했을 때 연소 경향성을 확인하였으며, 대상의 엔진은 11L급 WGT 장착의 천연가스 스파크 점화 엔진이다. 주연료는 천연가스를 모사하기 위해 메탄을 이용하였고, 보조 연료로서 수소를 부피 비율로 첨가하였다. 수소첨가 비율은 부피 비 기준 0, 5, 10, 15%로 변화 시키며, 해석을 수행하였다. 해석 운전 영역은 1100, 1500, 2100rpm이며 부하는 전부하 조건이다. 연소 모델은 해석 프로그램에서 제공하는 'SI_turb' 모델이 적용되었다. 해당 연소 모델은 연료 종의 당량비에 따른 층류 및 난류 화염 속도 특성이 반영된 predictive 모델이다.

해석 결과, 신뢰도가 확보된 엔진 모델에 수소 첨가시, 연소 경향성을 확보할 수 있었다. 기존의 메탄 기반 연소와 수소가 첨가된 메탄 연료가 들어갔을 때의 엔진 특성을 Fig. 1과 2에 나타내었으며, 운전 조건은 2100rpm 전부하 조건이다. 수소 첨가율을 증가시킬수록, 실린더 내 최대 압력과 온도가 증가하였고, 점화 및 화염 발달 단계에서 압력 및 온도 상승율이 증가함을 보였다. 또한, 수소 첨가 비율이 증가할수록 화염 발달 영역인 MFB 10-90% 영역이 진각되었다. 이는 수소 첨가시 희박 가연 한계가 확장된다는 대표 경향성이 수치 해석을 통해 모사 가능함을 보여준다.

본 연구를 통해, 수소 첨가 시의 엔진 연소 현상을 1차원 모델 상에 구현 가능하였고, 이는 개질 기반의 엔진 시스템으로 확대 적용 가능함을 확인하였다.

향후, 본 연구 대상의 대형 스파크 점화 엔진을 예혼합압축착화(Homogeneous Charge Compression Ignition) 엔진으로 확장함으로써, 가상 엔진의 연소 및 배출 가스 특성을 경향화 할 것이다. 또한, 점화 지연 제어를 위해 reformed EGR (REGR)을 모사함으로써, on-board 개질을 통한 대형 HCCI 엔진의 점화 지연 제어와 고부하 운전 특성에 관해 다룰 것이다.

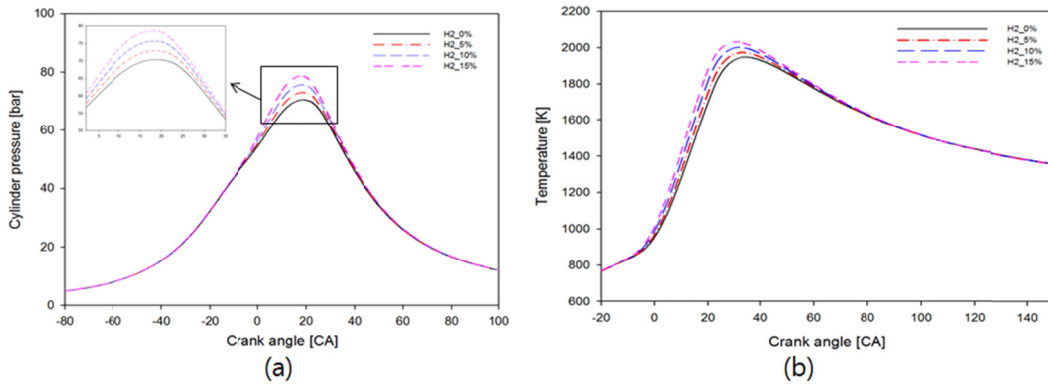


Fig. 1 Effect of hydrogen addition on (a) in-cylinder pressure, (b) in-cylinder temperature @2100 rpm

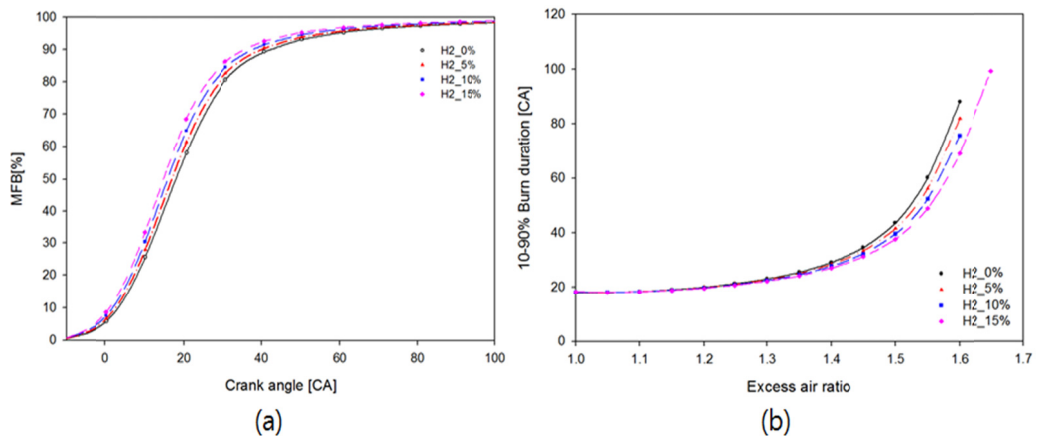


Fig. 2 Effect of hydrogen addition on (a) MFB, (b) lean burn capability @2100 rpm