

# 대형차량 수소 내연기관 기술의 장애물과 극복방안

## Barriers and Solutions of Hydrogen Internal Combustion Engine Technology for Heavy-Duty Vehicles

박현욱 · 이준순 · 오승묵 · 이용규

Hyunwook Park, Junsun Lee, Seungmook Oh and Yonggyu Lee

### 1. 서 론

세계적으로 온실가스 저감의 목표치 상향에 대한 공감대가 형성되면서, 수송 부문에서는 승용 및 대형 차량에 대한 이산화탄소 규제가 강화되고 있다. 특히, EU에서는 2019년 대형차량에 대한 이산화탄소가 처음 도입된 이후, 2023년 초기 목표치 대비 상당히 상향된 수정안을 제시하였다<sup>1)</sup>. 초기와 수정안의 목표에 대한 구체적인 값은 Fig. 1에 나타내었다. 이처럼 강화되는 대형차량의 이산화탄소 규제를 가장 효과적으로 대응하는 방법은 무공해 차량(zero-emission vehicles)을 도입하는 것이다. EU에서 제시한 무공해 동력원 중 하나인 수소엔진은 리튬이온 배터리와 수소 연료전지 대비 우수한 가격경쟁력과 기술성숙도를 바탕으로, 대형차량 시장의 조기 진입을 통한 이산화탄소 규제 대응에 효과적인 것으로 알려져 있다.

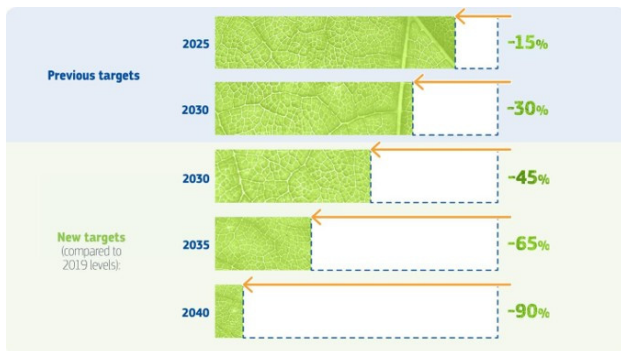


Fig. 1 Revision of EU CO<sub>2</sub> emission standards for heavy-duty vehicles<sup>1)</sup>

### 2. 수소엔진 상용화의 장애물

무탄소 연소를 적용하는 수소엔진은 기존 탄화수소계 연료와는 달리 이산화탄소가 거의 배출되지 않는다. 또한 수소의 높은 옥탄가와 넓은 희박가연 한계를 활용한 희박연소 기술은 수소엔진의 고효율 달성에 이점으로 작용한다. 이러한 장점에도 불구하고

수소 연료의 낮은 밀도는 기존 천연가스 및 디젤엔진 대비 엔진의 낮은 출력을 초래하며, 이는 수소엔진 상용화의 주요 장애물로 지적되고 있다. 이와 같은 수소엔진의 낮은 출력을 극복하기 위해 선진부품사에서는 전용 터보차저가 별도로 개발되고 있으며, 대형차량의 고출력 분야로 확대하기 위한 전기 슈퍼차저와 2단 터보차저 적용 또한 제조사에서 적극적으로 검토되고 있다.

엔진의 낮은 출력과 함께 수소엔진 상용화의 제한요소 중 하나는 수소엔진에서의 이상연소 발생이다. 기존 연료와 달리 수소 연료는 낮은 점화에너지로 인해 역화 또는 조기점화 현상이 발생한다. 또한 다른 연료와 마찬가지로 수소 스파크점화 엔진에서는 노킹 연소가 발생한다. Fig. 2는 한국기계연구원에서 보유한 실제 수소 대기통 엔진에서 발생하는 이상연소 현상을 나타낸 것이다. 수소엔진의 이상연소 발생은 엔진의 고출력 달성에 제한요소로 작용할 뿐만 아니라 심각한 경우 엔진 하드웨어 손상으로까지 이어지므로, 높은 토크와 출력을 요구하는 대형차량에서는 이상연소 억제 기술이 매우 중요하다고 볼 수 있다.

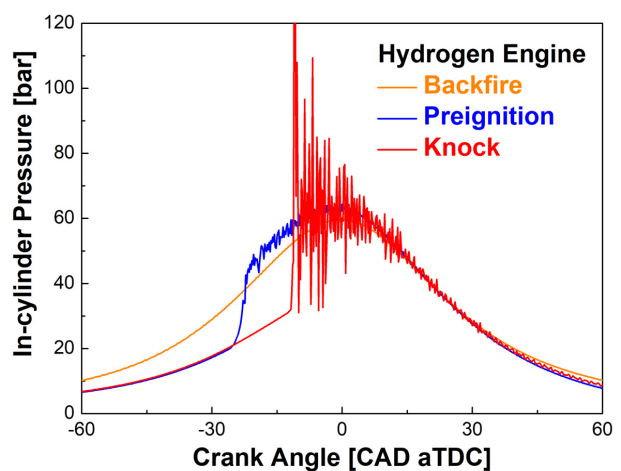


Fig. 2 Abnormal combustion phenomena in an actual hydrogen heavy-duty engine

### 3. 수소엔진의 이상연소 억제 방안

본 특별호의 짧은 분량을 고려하여 수소엔진의 여러 장애물 중 이상연소 억제 기술만을 집중적으로 다루고자 한다. 수소엔진에서 이상연소는 주로 고부하 운전의 낮은 공기과잉률에서 발생하므로, 이를 억제하는 가장 효과적인 방법은 높은 공기과잉률을 채택하는 것이다. 그러나 낮은 공기과잉률 선정은 엔진의 출력을 감소시키므로, 고성능 터보차저 개발의 부담이 증가하여 좋은 선택지가 될 수 없다. 기존 엔진에서 적용된 배기가스재순환 기술은 고정된 공기과잉률에서 이상연소를 억제할 수 있어 터보차저의 부담을 줄일 수 있으며, 실제로 해외 선진사에서 해당 기술을 적용한 엔진을 선보이고 있다. 이러한 장점에도 배기가스재순환 기술 구현에는 시스템이 복잡해지고 가격이 상승하므로, 장단점에 대한 종합적인 고려가 필요하다.

위와 같은 연소기술을 적용하는 것 이외에도 수소엔진에서의 이상연소 억제를 위한 전용 하드웨어 개발이 진행되고 있다. 많은 부품사에서 냉형 점화플러그를 수소엔진에 장착한 결과를 제시하고 있으며, 가격 대비 효율성이 높은 것으로 알려져 있다. 수소엔진의 이상연소 발생을 적극적으로 대응하기 위해 시장성이 높은 수소 포트분사기 대신 중압의 직접분사 방식 또한 채택되고 있다.

### 4. 결론

무탄소 연료인 수소를 적용한 수소엔진은 단중기적으로 이산화탄소 규제를 효과적으로 대응할 수 있는 해답지이다. 수소엔진의 대형차량 부문 시장 조기 진입을 위해서는 엔진출력 증대와 이상연소 억제가 중요하다.

한국기계연구원에서는 현대 인프라코어와 협업하여 기존의 연소 제어기술인 공기과잉률과 배기가스재순환 기술을 적용하고 있으며, 수소엔진 전용 하드웨어(냉형 점화플러그, 연료시스템, 과급시스템)를 활용하여, 수소엔진에서의 고출력 달성과 이상연소 억제를 위한 노력을 기울이고 있다.

### 참고 문헌

- 1) European Commission. (2023). Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT

AND OF THE COUNCIL amending Regulation (EU) 2019/1242 as regards strengthening the CO<sub>2</sub> emission performance standards for new heavy-duty vehicles and integrating reporting obligations, and repealing Regulation (EU) 2018/956.

#### [저자 소개]

박현욱

E-mail : hwpark@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7177

2019년 한국과학기술원 기계공학과 박사.

2019년~현재 한국기계연구원 선임

연구원. 수소 대형엔진, 저탄소/무탄소

발전/산업용 엔진 및 배터리 열폭주 대

응기술 연구에 중사. 한국자동차공학회, 한국분무공학회, 한

국연소학회 등의 회원, 공학박사



이준순

E-mail : js-@kimm.re.kr

2022년 과학기술연합대학원대학교 친환경

경에너지 기계과 박사. 2023년~현재 한

국기계연구원 박사후연구원. 수소 대형

엔진, 저탄소/무탄소 발전/산업용 엔진

연구에 중사. 한국자동차공학회, 한국분

무공학회 등의 회원, 공학박사



오승묵

E-mail : mook@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7382

2004년 한국과학기술원 기계공학과 박사.

1992년~현재 한국기계연구원 책임

연구원. 자동차 및 산업용 동력기관에서

연소공학을 기반으로 하는 열유체역학적

기술 연구에 중사. 한국자동차공학회, 한국분무공학회, 한국

연소학회 등의 회원, 공학박사



이용규

E-mail : ylee@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7657

1999년 서울대학교 기계공학과 박사.

1999년~2002년 University of Leeds

Research fellow. 2002년~현재 한국기

계연구원 책임연구원. 대체에너지 엔진

이용 기술, 엔진 연소 개선을 통한 성능 향상 및 배출저감

기술, 신형식 엔진 기술 연구에 중사. 한국자동차공학회, 한

국분무공학회, 대한기계학회 등의 회원, 공학박사

