

수소 직분사 SI 엔진에서 국부 및 전체 과잉공기비 변화에 따른

초희박 조건 연소 영역 분석

손 중 윤¹⁾, 박 원 아²⁾, 김 기 연¹⁾, 김 정 호³⁾, 김 나 연¹⁾, 민 경 덕³⁾, 민 경 욱⁴⁾, 이 정 우^{*1)}

충남대학교 자율운항시스템공학과¹⁾, 경성대학교 기계자동차공학과²⁾, 서울대학교 기계공학부³⁾,

한국기계연구원 무탄소발전연구실⁴⁾

Combustion Regime Analysis of a SI Engine with a Hydrogen DI under Ultra-lean Condition as Varying Local and Overall Excess Air Ratios

Jongyoon Son¹⁾ · Wonah Park²⁾ · Kiyeon Kim¹⁾ · Jeongho Kim³⁾ · Nayeon Kim¹⁾ · Kyoungdoug Min³⁾ ·

Kyungwook Min⁴⁾ · Jeongwoo Lee¹⁾

Chungnam National University¹⁾, Kyungsung University²⁾, Seoul University³⁾, Korea Institute of Machinery and Materials⁴⁾

Key words : Borghi-Peters diagram(보기-피터스 다이어그램), Direct injection(직분사), Hydrogen(수소), Spark ignition(전기 점화), Ultra-lean combustion(초희박 연소)

교신저자, E-mail: jwoo@cnu.ac.kr

본 연구에서는 수소 직분사 점화식 엔진에서 전체 과잉공기비 2.0 이상의 초희박 조건에서 Borghi-Peters 다이어그램을 이용하여 수소 연소 영역을 분석하였다. 전체 당량비는 흡기 압력을 조절하여 변화시켰으며, 연료 성층화 정도를 나타내는 국부 당량비는 수소 분사 시기를 변화시켜 제어하였다. 이에 따른 연소 특성은 Extended Coherent Flame Model을 이용하여 평가하였다.

분석 결과, 분사 시기가 지연되고 실린더 내 연료 성층화가 강화될수록 연소 영역은 flamelet 영역에서 thin reaction zone으로 전이되는 것으로 나타났다. 이러한 전이는 일반적으로 화염 전파가 제한되는 극초희박 조건에서도 연소 비효율을 완화하는 효과를 보였다. 또한 전체 혼합기가 더욱 희박해질수록 층류 화염 속도는 감소하였으나, 화염 두께와 곡률이 증가하면서 전체 화염 표면적이 확대되어 전반적으로 유사한 연소 기간이 유지되었으며, 연소 영역 역시 thin reaction zone 방향으로 이동하였다.

결과적으로, 흡기밸브 닫힘 이후에 시작되는 지연 분사를 적용한 초희박 연소는 유사한 열효율을 유지하면서 질소산화물 배출을 효과적으로 감소시키는 것으로 확인되었다.

*본 연구는 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행되었으며, 과학기술정보통신부(MSIT) 재원으로 지원된 연구과제(No. RS-2025-02221821, 플라스마 보조 촉매 및 고효율 H_2 / CO_2 저장 기술을 적용한 온보드 개질기 및 H_2 / e-fuel 이중연료 엔진 통합 시스템 개발), 과학기술정보통신부 재원의 한국연구재단 연구과제(No. RS-2024-00335567, 탄소중립 연료 선박을 위한 온보드 연료 생산/개질 및 xH_2 / 수소 이중연료 엔진 통합 시스템의 에너지 효율 연구), 과학기술정보통신부 재원의 한국연구재단 연구과제(No. RS-2025-02310831, 다목적 차세대 용융염 원자로 통합 인력양성센터), 한국기계연구원(KIMM) 기본사업(No. NK262A, 암모니아 크래킹 복합사이클 가스터빈 시스템 핵심 기술 개발), 그리고 서울대학교 첨단기계설계연구소(SNU IAMD)의 지원을 받아 수행되었습니다.