

화학반응 기반의 균질 연소 특성 조사를 통한 가연한계 경향성 추적

임 영 찬¹⁾ · 서 현 규^{*2)}

공주대학교 기계공학과 대학원¹⁾ · 공주대학교 기계자동차공학부^{*2)}

A Tracking of Flammability Limits Tendency through Investigation of Homogeneous Combustion Characteristics Based on Chemical Reaction

Young Chan Lim¹⁾ · Hyun Kyu Suh^{*2)}

Graduate School of Mechanical Engineering, Kongju National University¹⁾

Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University^{*2)}

Key words : Combustion mechanism(연소 메커니즘), Chemical reaction pathway(연소 화학반응 경로), Chemical species(화학 종), Flammability limits(가연 한계), Gaseous fuel(기상 연료), Ignition delay(점화지연)

* 서현규, E-mail: hksuh@kongju.ac.kr.

세계적으로 환경오염물질 배출 규제에 대응하기 위해 차량에서 배출되는 배기 배출물을 저감 하고자 다양한 선행 연구들이 수행되었다. 특히, 탄화수소 연료 연소 시 저온과 고온 영역에서 발생하는 대표적인 연소 생성물인 일산화탄소(CO)와 질소산화물(NO_x)의 저감이 필수 사항이기 때문에, 직분사 엔진 연소 과정에서 이와 같은 배기 배출물 저감을 목표로 HCCI (Homogeneous charge compression ignition) 연소 기법을 적용한 많은 선행 연구가 수행되었고, HCCI 연소를 통한 배기 배출물 저감 가능성이 보고되었다. 일반적으로 HCCI 연소를 적용하기 위해 배기가스 재순환(EGR)을 가장 많이 활용하고 있으나, HCCI 연소 한계가 존재하며 이를 개선하기 위해 균질 연소 거동을 파악하기 위해 열·화학적인 비교 분석 연구가 반드시 수행되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 연소 메커니즘을 기반으로 분위기 온도, 분위기 압력, 당량비 변화에 따른 기상 연료의 균질 연소 특성을 연소 및 배기, 화학반응 특성 비교 분석을 통해 균질 연소 특성 파악이 가능한 맵 데이터를 구축하고, 이를 바탕으로 가연한계 경향성을 추적하여 가연한계를 예측하는 것을 목표로 하였다. 이를 위하여 정적 연소 및 엔진 연소 과정에서 나타나는 기상 연료의 균질 연소 특성과 화학반응 분석을 연소 메커니즘을 기반으로 연소 생성물 및 반응물의 물분율, 화학반응 경로 분석, 연소 온도 비교 분석 연구를 통해 수행하였다. 또한, CVCC (Constant volume combustion chamber) 및 다중 구역 HCCI 엔진 시뮬레이터를 활용하여 다양한 분위기 조건 변화에 따른 기상 연료의 가연한계 경향성을 추적하고 화학반응 경로를 정리하여 비교하였다. 연소 해석에 적용된 메커니즘은 상세화학반응 메커니즘을 기반으로 수정 보완된 연소 메커니즘을 사용하였고, 기상 연료의 모사 화학종은 CH₃OCH₃, n-C₇H₁₆, C₁₁H₂₂O₂, C₁₁H₂₀O₂ 화학종을 사용하여 DME, 디젤, 바이오디젤 모사 연료로서 각각 적용하였다. 해석에 적용된 메커니즘 및 해석 검증 연구는 균질 연소를 유도하기 위해 조기 분사 전략을 적용한 단기통 압축착화 엔진 실험 결과와 비교 분석하였다.

연소 메커니즘을 적용하여 계산된 HCCI 엔진의 실린더 압력 결과는 균질 연소를 유도하기 위해 분사 시기가 BTDC 60 deg, BTDC 25 deg로 적용된 엔진 실험 결과와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 이를 통해 점화지연 특성 및 모사 연료의 기본적인 연소 데이터와 해석 연구에 적용된 연소 메커니즘의 신뢰성을 확인하였다. HCCI 엔진 연소 특성에서 나타난 최대 연소 온도 결과 분포는 분위기 온도 900 K, 분위기 압력 25 ~ 40 atm 조건에서 맵 데이터와 유사한 연소 거동 경향성을 보이는 가연한계 추적 결과를 확인하였다. 이러한 연소 온도 결과는 분위기 온도 및 당량비가 증가함에 따라 연료 반응성이 향상되어 연소 온도가 증가하였고, 연소 기간 동안 높은 연소 온도를 바탕으로 충분한 산소 농도를 유지하는 당량비 0.3 ~ 0.7 조건에서 연소 온도 증가와 함께 NO_x 배출량이 증가하는 경향을 보였다.