

정적 연소기에서 pre-chamber 오리피스 형상 변화에 따른

암모니아 난류 제트 점화에 관한 수치해석적 연구

김 정 현¹⁾, 주 강 민¹⁾, 강 현 웅¹⁾, 박 정 수^{*2)}

조선대학교 기계공학과¹⁾, 조선대학교 기계공학과 대학원¹⁾, 조선대학교 기계공학과^{*2)}

Numerical Study of Ammonia Turbulent Jet Ignition with Pre-Chamber Orifice Geometry Variation in a Constant Volume Combustion Chamber

Jeonghyeon Kim¹⁾ · Kangmin Ju¹⁾ · Hyunung Kang¹⁾ · Jungsoo Park^{*2)}

Undergraduate School, Department of Mechanical Engineering, Chosun University Republic of Korea¹⁾

Graduate School, Department of Mechanical Engineering, Chosun University Republic of Korea¹⁾

Department of Mechanical Engineering, Chosun University Republic of Korea^{*2)}

Key words : Combustion duration(연소 지속 시간), Combustion rate(연소율), Constant volume combustion chamber(정적 연소기), Ignition delay(점화지연), Turbulent jet ignition(난류 제트 점화)

교신저자, E-mail: j.park@chosun.ac.kr

암모니아는 연소 과정에서 이산화탄소를 배출하지 않아 탄소 중립을 위한 내연기관의 차세대 연료로 주목받고 있다. 특히 상온에서 약 10bar의 압력으로 액화가 가능하여 저장 및 운송이 용이하며, 기존 인프라와의 호환성을 바탕으로 지속 가능한 에너지 시스템 구축의 가능성을 가지고 있다. 그러나 암모니아는 탄화수소 계열 연료 대비 낮은 층류 화염 전파속도와 높은 자발화 온도로 인해 스파크 점화(SI, Spark Ignition), 압축 착화(CI, Compression Ignition)점화 방식으로는 안정적인 연소 및 엔진 작동에 한계가 있어 이를 극복하기 위한 연소 전략이 요구된다.

최근 암모니아의 연소 한계 개선을 위해 난류 제트 점화(TJI, Turbulent Jet Ignition)기술이 활발히 연구되고 있다. TJI는 실린더 상부 작은 체적의 pre-chamber에서 연료-공기 혼합물을 예비점화 하여 생성된 강한 난류에너지를 활용하여 실린더 내부의 연소를 촉진하는 방식이다. 이를 통해 점화지연을 감소시키고 화염 전파 속도를 증가시켜 암모니아의 연소 효율 향상 및 가연 한계를 확장할 수 있다. 특히 단순한 구조로 인한 낮은 개발 비용으로 암모니아 연료 엔진의 적용 가능성이 높은 기술로 평가된다. 하지만 TJI를 내연기관에 효과적으로 적용하기 위해서 정적 연소기(CVCC, Constant Volume Combustion Chamber)를 통해 화염의 거동을 분석하고 pre-chamber 설계 변수가 연소 과정에 미치는 영향을 평가할 필요가 있으며, 최적의 pre-chamber 형상을 구축해야 할 필요성이 있다. 따라서 본 연구는 암모니아 연료 엔진에 TJI를 적용하기 위한 기초 연구로서 prechamber의 오리피스 형상 변화에 따른 연소 특성과 화염의 전파 양상을 분석하였다.

본 연구에서는 CFD(Computational Fluid Dynamics) software CONVERGE를 활용하여 800cc급 2기통 PFI(Port Fuel Injection) 가솔린 엔진을 CVCC로 전환하였으며 사용된 CVCC의 형상은 Fig.1과 같다. pre-chamber의 체적은 간극 체적의 5%로 설정하였으며, 초기조건은 당량비와 비열비를 고려한 이상기체 방정식 기반 계산식을 통해 산출하여 해석의 정확성을 확보하였다. 연구는 세 가지 단계로 진행되었다. 첫째, CVCC 내부의 당량비를 0.9에서 1.3까지 변화시키며 당량비에 따른 연소 특성을 확인하였다. 둘째, CVCC 내부 압력을 8bar에서 15bar까지 변경하여 압력 변화가 연소 속도에 미치는 영향을 조사하였다. 마지막으로 오리피스 직경을 1.5mm에서 2.5mm까지 개수를 2개에서 6개까지 변수로 설정하여 오리피스 형상 변화에 따른 화염의 거동을 분석하였다.

연구 결과, Fig.2와 같이 당량비 0.9에서는 실린더에서의 연소가 시작되지 않았으며 당량비 1.1에서 pre-chamber에서의 제트의 길이와 화염의 전파속도가 큰 것을 확인하였다. CVCC 압력이 증가함에 따라 열 방출률과 연소 속도가 선형적으로 증가하는 경향성을 확인하였으며, 압력이 증가할수록 암모니아의 소염 거리가 늘어나 1.5mm의 오리피스 직경일 경우 13bar에서 실린더 내부의 연소가 가능함을 확인하였다. 오리피스 직경이 작을수록 강한 난류가 발생하여 초기 열 방출률이 증가하였으며 2mm의 오리피스 직경에서 연소 지속 시간이 가장 짧은 것을 파

악하였다. 특히 오리피스 개수가 증가함에 따라 점화 지연 시간이 단축되었으나 연소 지속시간이 증가하는 Trade-off 관계가 확인되었다.

본 연구는 최적의 연소 성능을 위해서 연소 환경이 정밀하게 조정될 필요가 있으며 특히 오리피스 직경과 개수의 균형을 고려한 설계가 필요함을 시사한다. 본 연구의 결과는 안정적인 암모니아 연료 엔진에서 TJI 적용을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

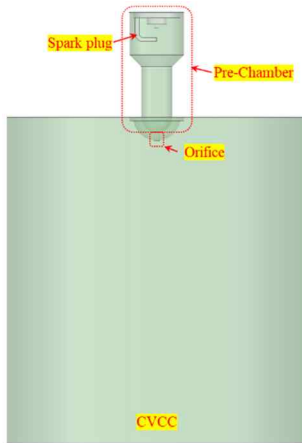


Fig. 1. CVCC geometry

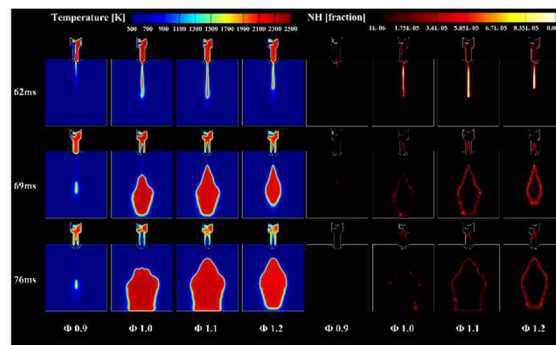


Fig. 2 Effect of Equivalence ratio

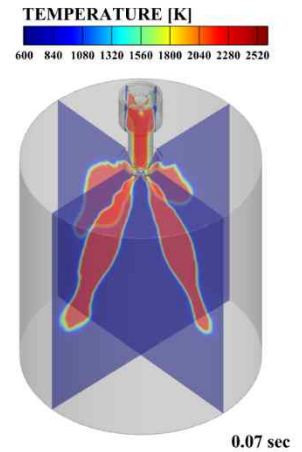


Fig. 3 Effect of orifice numbers

본 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원을 받아 수행되었음 (과제번호 : 20018492)