

토치 점화 장치의 오리피스 직경에 따른 연소특성 파악

권순태²⁾* · 김형식* · 최창연* · 박찬준** · 엄인용**

서울산업대학교 에너지환경대학원, 서울산업대학교 기계공학과

Combustion Characteristics of Orifice Size of Torch in a CVCC

Kwon Soontae* · Kim Hyeongsig* · Choi Changhyeon* · Park Chanjun** · Ohm Inyoung**

Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Technology

Department of Mechanical Engineering, Seoul National University of Technology,

요 약

토치 점화 장치의 연소 특성을 파악하기 위하여 7개의 각기 다른 토치 점화 장치를 설계하였다. 토치 점화장치의 오리피스 직경에 따른 특성을 파악하기 위하여, 토치 점화 장치의 체적과 높이는 고정하고, 오리피스 직경을 4mm에서 16mm까지 2mm씩 증가시키며 실험하였다. 초기 화염 생성 및 전파는 질량 연소율과 연소 촉진율로 분석하였다. 질량 연소율과 연소 촉진율을 계산하기 위하여 정적 연소실 내의 평균 압력을 측정하였다. 또한 shadow graph법을 이용하여, 초기 화염 생성과 화염 전파과정 전 영역을 가시화하였다. 토치 점화 장치를 사용한 경우에는 일반적인 스파크 점화와 비교하여 질량 연소율의 기울기가 증가하였고, 연소 촉진율도 개선된것을 확인하였다. 또한 가시화된 이미지를 확인한 결과 토치 점화 장치를 사용하면 초기 화염 발달 단계에서 화염이 난류 화염으로 전이되어 연소가 촉진된것을 확인하였다.

주요어 : 토치 점화장치, 오리피스 직경, 정적연소실, 질량연소율, 연소촉진율

Abstract- Seven different size of orifice were applied in a constant volume combustion chamber for evaluating the effects of torch-ignition on combustion. The initial flame development and flame propagation were analyzed by the mass fraction burn and combustion enhancement rate. The combustion pressures were measured to calculate the mass fraction burn and the combustion enhancement rates. In addition, the flame propagations were visualized by the shadowgraph method for the qualitative comparison. The result showed that the combustion pressure and mass burned fraction were increased when using the torch-ignition device. The combustion enhancement rates of torch-ignition cases were improved in comparison with conventional spark ignition. Finally, the visualization results showed that the torch-ignition induced faster burn than conventional spark ignition due to the earlier transition to turbulent flame and larger flame surface, during the initial stage.

Key words: Torch-ignition device, orifice diameter, CVCC, MFB, CER

[†] To whom corespondence should be addressed.

서울산업대학교 에너지환경대학원

Tel : 02-970-6936

E-mail: stkwon@snut.ac.kr

1. 서 론

천연가스는 해저, 유전지대 등의 지하에서 채취하는 저급 탄화수소의 혼합물로 메탄이 주성분이다. 최근에는 천연가스의 청정성과 안정성으로 인하여 수송용, 발전용, 산업용, 가정용 등으로 사용하고자 하는 노력이 다양하게 시도되고 있다. 일반적으로 천연가스를 사용하는 가스엔진은 가솔린 엔진의 연소기구를 채용하고 있으며, 일반적인 가솔린 엔진과 비교하여 엔진의 기통 당 배기량이 비정상적으로 과대하게 설계되어 있다는 단점이 있다. 따라서 기통 당 배기량이 큰 엔진에서는 초기 화염 발달을 지배하는 점화와 연소 성능이 엔진에 미치는 영향이 증대된다.¹⁻²⁾ 초기 화염 성장에 유리한 조건을 형성하기 위하여 토치 점화 장치를 사용하였으며, 토치 점화 장치의 오리피스 직경에 따른 특성을 파악하기 위하여, 토치 점화 장치의 오리피스 직경을 변화시키며 실험하였다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구에 사용되어진 실험 장치들의 개략도는 Fig. 1 에 나타냈다. 실험장치는 정적 연소실, 예혼합장치, 화염 가시화 장치로 구성되었다. 정적 연소실은 보어(Bore) 152mm, 스트로크(Stroke) 85.2mm이며, 연소실의 본체는 열과 부식에 강한 스테인리스 스틸(stainless-steel)로 제작하였다. 또한 초기화염의 생성에서부터 연소실 벽면까지의 전체 화염 전파 과정을 관찰하기 위하여, 연소실의 양측면에 두 개의 가시화창(visualization window)를 설치하였다. 연소실 본체와 가시화 창을 위하여 엔진용 고무제 실링제를 이용하여 기밀을 유지하였다. 또한 연소실의 윗면에는 예혼합기의 흡입과 배기가스 배출을 위해, 흡입밸브(intake valve)와 배기밸브(exhaust valve)를 각각 설치하였다. 또한 연소실의 중앙에는 점화 플러그(spark plug)와 토치 점화 장치(torch-ignition device)의 설치가 가능하도록 하였다. 연소실의 측면에는 압력센서(pressure sensor)를 장착하여, 점화 후의 연소실 내의 평균압력을 측정하였다.

정적 연소실에서 연소실험을 할 경우에는 이론 공연비(stoichiometric ratio) 또는 실물엔진의 공연비를 정확히 재연하여 공급해야 하므로 본 연구에서는 정확한 공연비의 혼합기를 제작하기 위하여 수치환법을 이용한 예혼합장치를 제작하여 사용하였다. 본 연구에서는 메탄(CH_4)을 사용하여, 이론공연비로 예혼합기를 만들어 정적연소실에 공급하여 실험하였다.

토치 점화 장치의 연소 특성을 파악하기 위하여, 토치 점화 장치를 제작하였다. 본 연구에 사용되어진 토치 점화 장치의 제원은 Table 1에 나타냈고, 형상은 Fig. 2에 나타냈다. 토치 점화 장치의 오리피스 직경에 따른 연소 특성을 파악하기 위하여, 토치 점화 장치의 입구직경(D) 및 높이(h)는 고정하고, 오리피스 직경(De)을 4mm에서 16mm까지 2mm씩 증가시키며 제작하였다.

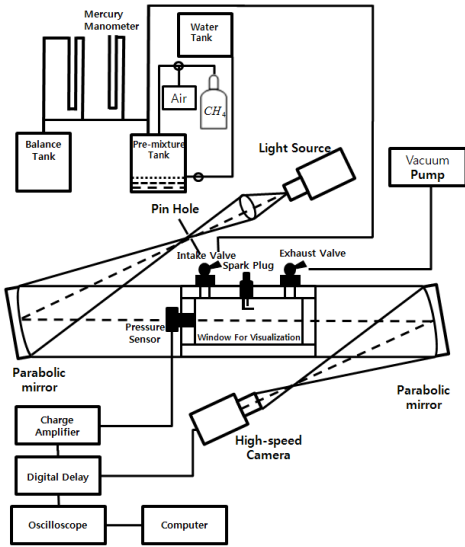


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

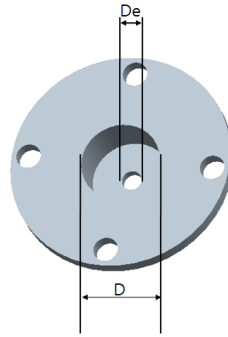


Fig. 3 Schematic of torch-ignition device

Table 1 Specification of torch-ignition device

D_c (mm)	4	6	8	10	12	14	16
D (mm)	16						
h (mm)	10						

3. 실험결과

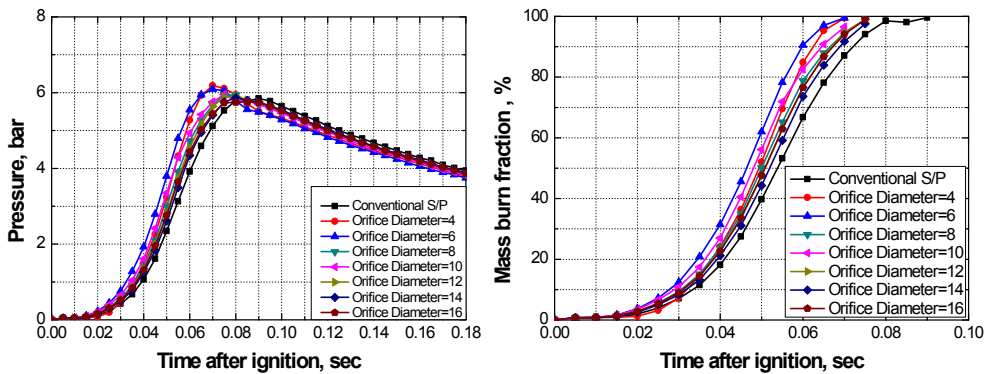


Fig. 4 Pressure rise and Mass burn fraction rise after ignition for torch-ignition and conventional spark-plug

정적 연소실 내에서 일반적인 스파크 플러그와 토치 점화 장치의 오리피스 직경(orifice diameter)변화에 따른 압력 변화 및 질량연소율을 Fig. 4에 나타냈다. 일반적인 점화 플러그(conventional spark plug)를 사용하여 연소 압력을 측정할 경우에는 최대 압력이 5.95bar로 측정되었고, 최대 압력까지 도달한 시간은 0.085sec이다. 하지만 토치 점화 장치

(torch-ignition device)를 장착하여 연소실험을 한 경우에는 연소 압력이 5.95bar~6.31bar로 측정되었으며, 최대 압력 도달 시간은 0.069sec~0.079sec이다. 토치 점화 장치를 장착한 모든 경우에는 연소 압력이 증가하였고, 최대 압력 도달 시간도 단축되었다. 특히 오리피스 직경(orifice diameter)이 4mm인 경우에 최대 압력이 가장 높았고, 최대 압력 도달시간이 가장 짧았다. 토치 점화 장치의 오리피스 직경이 증가할수록 최대 연소 압력은 감소하였지만, 일반적인 스파크 플러그 점화와 비교하여서는 높았다.

측정한 연소 압력을 바탕으로 질량 연소율(mass burned fraction)을 계산하였다. 일반적인 스파크 플러그의 점화와 비교하여 토치 점화 장치를 장착한 경우에는 질량 연소율의 기울기가 증가하였다. 토치 점화 장치를 장착한 모든 경우에 질량 연소율의 기울기가 증가하였지만, 오리피스 직경이 작을수록 질량 연소율의 기울기가 증가하는 폭이 컸다. 이는 토치 점화 장치를 장착한 경우에는 예혼합기가 토치 점화 장치에서 연소 한 후 연소실로 전파되는데, 초기 화염 전파가 오리피스를 통해 급격히 분출되었기 때문으로 판단된다. 특히 오리피스 직경이 작을수록 초기 화염 분출은 활발히 진행되었으며, 이는 Fig. 5의 화염 전파사진으로도 확인하였다. 일반적인 스파크 점화의 경우 초기 화염 생성 및 화염 전파과정이 층류화염 형태를 나타냈다. 하지만 토치 점화 장치를 장착한 경우에는 화염이 오리피스를 통과하면서 난류화염형태로 성장하였으며, 오리피스 직경이 작을수록 고 난류 화염면을 형성하였다. 이는 토치 점화 장치를 장착한 경우 오리피스를 통한 고난류 화염면을 형성시 급속 연소를 일으킨 것으로 판단된다. 또한 오리피스 직경이 증가할수록 층류 화염과 비슷한 형태를 나타냈다. Fig. 6은 연소 촉진율(combustion enhancement rate)을 나타냈다. 연소 촉진율은 연소 압력 상승률(ζ)과 연소 시간 단축율(ξ)로 나타냈다. 토치 점화 장치를 장착한 경우에 연소 압력 상승률은 최대 6.04%, 연소 시간 단축율은 22.7%개선 되었다. 토치 점화 장치를 장착한 모든 경우에 연소 압력 상승률 및 연소 시간 단축율이 개선됨을 확인하였다.

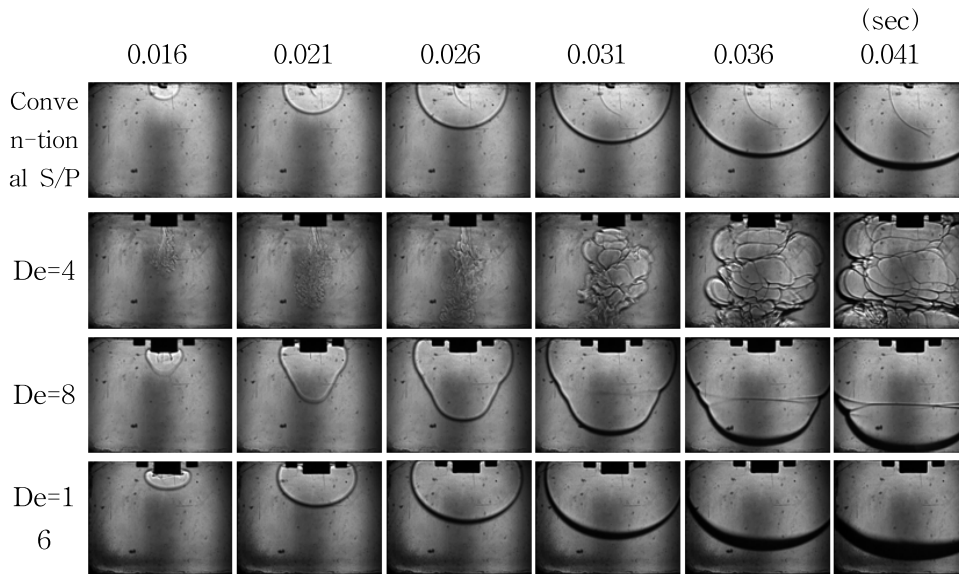


Fig. 5 Image of flame propagation

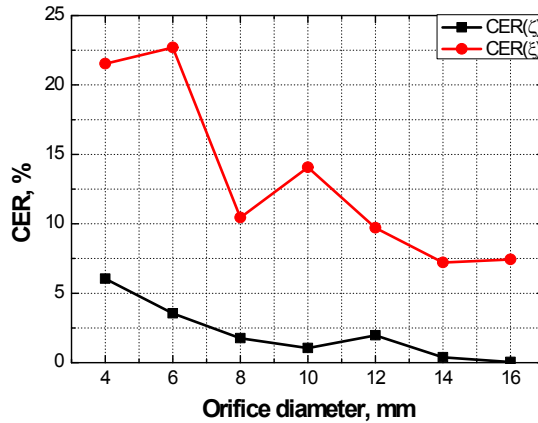


Fig. 6 Combustion enhancement rate(CER) as s function of orifice diameter

4. 결 론

토치 점화 장치를 장착하여 정적연소실에서 메탄-공기 혼합기를 $\phi = 1$ 에서, 토치 점화 장치의 노즐 직경을 4mm에서 16mm까지 2mm씩 증가시키며 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 토치 점화 장치를 장착하여 연소를 한 경우에는 일반적인 스파크 플러그 점화와 비교하여, 모든 경우에 최대 압력이 증가하였고, 연소시간이 단축되었다.
- 2) 토치 점화 장치를 장착하여 정적 연소실 내의 압력을 측정하여 질량 연소율을 계산한 결과, 토치 점화 장치를 장착한 경우에는 질량 연소율의 기울기가 증가하였다.
- 3) 정적 연소실에서 연소과정을 가시화 한 결과, 일반적인 스파크 플러그 점화는 층류화염, 토치 점화 장치를 장착한 경우에는 난류화염이 관찰되었다.
- 4) 토치 점화 장치를 장착한 경우에 연소 시간 단축율은 최대 22.7%, 연소 압력 상승률은 6.04% 개선되었지만, 토치 점화 장치의 오리피스 직경이 증가할수록 연소 촉진율은 둔화되었다.

참고문헌

- 1) Kim, M. H., "Evaluation of Heat Loss by Means of Plasma Jet Ignition during Combustion Duration in the Constant Volume Vessel," Journal of KSAE, Vol. 11, No. 2, pp. 96-103, 2003.
- 2) Kim, B. S., "A study on Combustion Characteristics of the Methane-Hydrogen Lean Mixture by Using Multiple Spark Capacity Discharge in a CVCC(I)," J. Energy Engg., Vol.12(2), pp.124~130, 2003.
- 3) Nakamura, N., Kobayashi, T., Hanaoka, M., and Tagaki, N., "A New Platinum Tipped Spark Plug Extends the Lean Limit and Useful Life," SAE paper, No.830480, 1983.
- 4) Ferguson, C., Internal Combustion Engines, John Willy & Sons, New York, pp.103~148, 1986.
- 5) Ohm, I. Y., Internal Combustion Engine, A-jin, Seoul, pp50~57, 2006.