

디젤엔진에서의 PCCI 연소 특성과 화염 가시화에 관한 연구

박진규* · 이재민* · 김형익* · 김영진* · 이기형*†

A Study on the PCCI Combustion Characteristics and Flame Visualization in a Diesel Engine

Jinkyu Park*, Jaemin Lee*, Hyungik Kim*, Yungjin Kim*, Kihyung Lee*†

ABSTRACT

The use of diesel engines has recently increased due to the need for internal combustion engines with a high thermal efficiency and low harmful exhaust gas. The PCCI(premixed charged compression ignition) technology has been studied specifically to simultaneously reduce NOx and PM. While the PCCI means has the merit of reducing NOx and PM, control of the combustion phase is difficult. In this study, Flame visualization was then performed with an endoscope system in order to compare combustion flame characteristics in an commercial diesel engine.

Key Words :PCCI, LTC, Conventional combustion, Endoscope, Image intensifier

세계적으로 화석연료의 가격 상승과 환경문제로 인하여 CO₂, NO_x 및 PM등의 배기가스에 관한 규제가 강화됨에 따라 디젤 엔진의 효율 상승과 유해 배기가스 저감을 위한 기술개발에 관한 연구가 진행되고 있다.[1,2] 이 중 후처리 시스템의 적용 등 엔진 시스템의 개선만으로는 한계가 있어 엔진 연소 중 유해 배기가스 저감이 가능한 예혼합 압축착화연소(PCCI) 및 저온연소(LTC)가 배기가스규제에 대응할 수 있는 방안으로 평가되고 있다.[3,4]

PCCI 및 LTC 연소 연구에서는 연소 가시화 실험을 통한 화염의 특성 분석이 중요하지만 상용 엔진에서는 연소 가시화 화상 취득이 불가능하므로 통상적으로 단기통 연소 가시화 엔진을 사용하여 상용 엔진에서의 연소 가시화 화상 취득을 위한 기술이 요구 된다.

이에 본 연구에서는 상용 디젤 엔진의 예열 플러그 대신에 연소 화염 측정이 가능한 endoscope 시스템을 설치하여 conventional 연소와 PCCI 연소를 비교 하였다.

본 연구의 실험 엔진은 2L급 4기통 커먼레일 디젤엔진으로 7홀 인젝터가 적용된 엔진이다. PCCI 연소를 구현하고자 PCV controller와 TEMS사의 TDA 8000 인젝터 드라이버를 이용

해 인젝터의 분사량 및 분사 타이밍을 제어 하였다.

연소 가시화 화상을 취득하고자 예열 플러그 자리에 설치하여 화상이 취득이 가능한 Imagineering사의 endoscope 시스템을 초고속카메라에 연결하여 디젤엔진에서의 연소 가시화 화상을 취득하였다. Fig.1은 실험장치의 사진이고 Fig.2는 endoscope 시스템 사진이다.

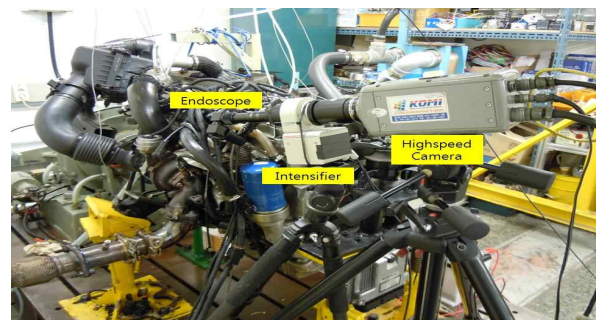


Fig. 1 Schematic diagram of experiment system



Fig. 2 Schematic diagram of Endoscope

* 한양대학교 기계공학과

† 연락저자, hylee@hanyang.ac.kr

TEL : (031)400-5251 FAX : (031)-400-4064

연소화염 취득을 위한 조건으로 엔진 회전수는 1400, 1600rpm 이며 엔진 부하는 BMEP 3, 4bar 이고 냉각수 온도는 80℃, 연료 온도는 40℃를 유지 하여 실험을 진행 하였으며 연소 제어 조건은 Table 1과 같다.

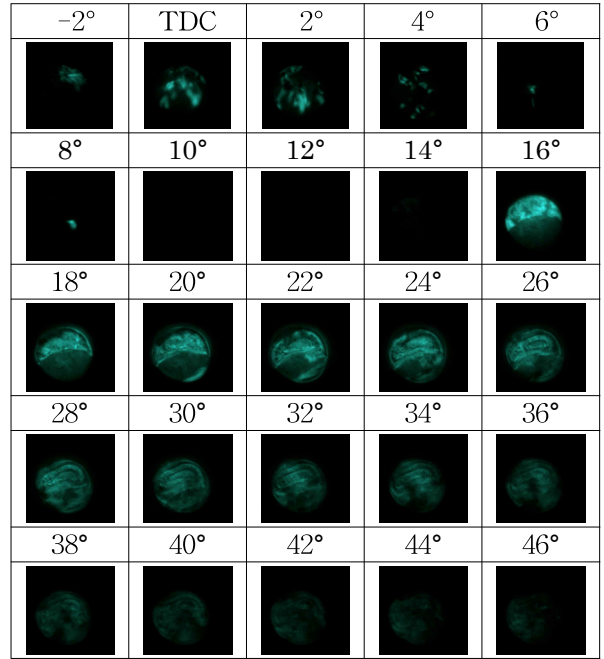
Table 1 Combustion control condition

Conventional	PCCI
Number of injection	
3 (2-pilot, main)	2 (pilot, main)
Pilot/Main injection quantity	
≒ 2.5 : 2.5 : 5.0	3 : 7
Pilot injection timing	
BTDC 12°, 5°	BTDC 60°
Main injection timing	
ATDC 7°	ATDC 5°
Rail pressure	
1000 bar	

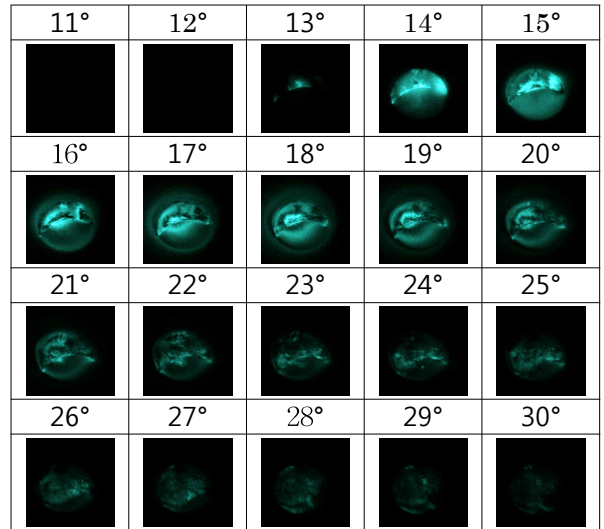
본 연구에서는 기존 연구에서 도출된 최적의 조건인 1400rpm BMEP 3bar 조건에서 conventional diesel combustion 과 PCCI combustion의 연소 가시화를 진행하였으며 진행 중 PCCI 연소시 endoscope를 통하여 들어오는 광원의 밝기가 워낙 미세한 관계로 연소가 불량한 것인지 광원자체가 작은지 판단하기 위하여 1400 rpm에 BMEP 4bar 조건과 1600rpm BMEP 3,4bar 조건을 추가하여 실시하였다. 그 결과 conventional combustion의 모든 조건에서는 화상취득을 위한 자발광의 밝기가 충분하였으나 PCCI 연소 BMEP 3bar 조건에서는 광량이 충분치 않음을 알 수 있었으며 이를 통하여 PCCI 연소가 정상적으로 이루어진다고 판단하고 1400rpm 3bar 조건에서는 image intensifier를 장착하여 연소가시화를 진행하였다.

Fig.3 은 1400rpm, BMEP 3bar 조건에서 endoscope 시스템에 image intensifier를 장착하여 conventional diesel 및 PCCI combustion의 연소가시화 화상을 취득한 결과이다.

Endoscope 시스템 자체가 아주 부분적인 시야를 확보하고 있기 때문에 전체적인 연소를 판단할 수는 없지만 본 촬영분에서는 PCCI 연소시에는 일반 연소 사진과 비교하여 확산연소가 감소되고 있음을 알 수 있었으며, 자발화 시 균일한 혼합기에 기인한다고 판단되는 다점착화가 관측되었다. 또한 일반 연소와 달리 PCCI 모드 의 연소밝기가 너무 낮아 image intensifier를 사용 시 gain값을 일반연소의 5배정도로 설정하여 화상을 취득 하였고 가시화 실험 결과 PCCI 연소는 일반 디젤연소에 비해 화염 밝기의 정도가 매우 낮으며 지속시간이 짧음을 확인 할 수 있었다.[5,6,7]



(a) 1400rpm / BMEP 3bar / conventional diesel combustion



b) 1400rpm / BMEP 3bar / PCCI combustion
Fig. 3 Schematic diagram of Flame visualization with image intensifier

Endoscope 시스템은 시야각이 충분치 않기 때문에 명확한 비교를 진행할 수 없었다. 따라서 좀 더 정확한 비교를 위하여 기존에 진행되어진 단기통 엔진을 이용한 일반 디젤 및 PCCI 연소 가시화 연구결과(IJAT Vol. 12, No. 5, pp. 639-644, 2011)[5]와 비교 및 분석한 결과 급변 실험결과와 단기통 가시화 실험결과가 일치함을 알 수 있었으며 이를 통하여 endoscope 시스템의 상용 엔진 적용 및 연소가시화가 잘 측정되었음을 확인할 수 있었다.

Fig.4 은 기존에 수행되어진 연구에서 얻은 일반 디젤과 PCCI 모드 단기통 가시화 엔진 결과

를 압력선도에 나타낸 것이다.[5]

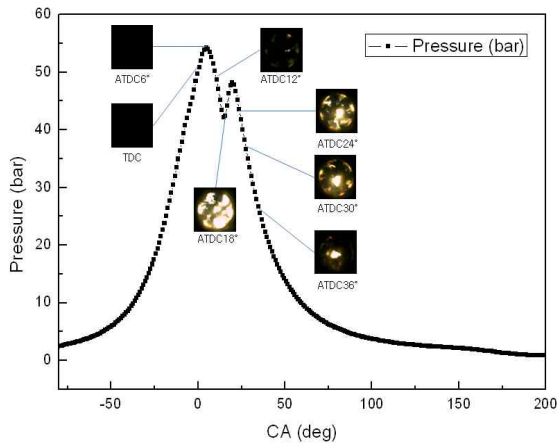
있었다.

후 기

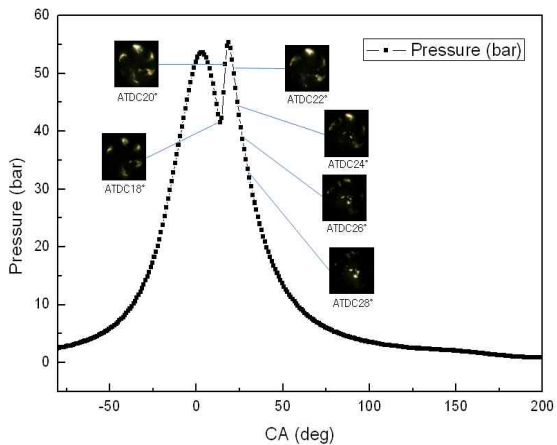
본 연구는 지식경제부에서 지원하는 부품소재기술개발사업("Tier4 대응 Non-Road 50kW급 디젤엔진 개발" 과제)의 일원으로 수행되었으며, 지원기관에 감사의 뜻을 전합니다.

참고 문헌

- [1] C.S.Lee, K.H.Lee and D.S.Kim, "Experimental and numerical study on the combustion characteristics of partially premixed charge compression ignition engine with dual fuel", Fuel, Vol. 82, No.5, pp.553-560,2003.
- [2] J.B.Heywood, "internal combustion engine fundamentals", Mcgraw-Hill, 1988.
- [3] M.Christensen and B. Johansson, "Influence of mixture quality on homogeneous charge compression ignition", SAE technical paper 982454, 1998.
- [4] H.M.Kim, K.B.Kim and K.H.Lee(2009), "A study on the optimization of operating conditions for simultaneous reduction in NOx and PM in a 4-cylinder premixed diesel engine", SAE 2009-01-0926.
- [5] Y.J.Kim, K.B.Kim and K.H.Lee(2011), "Effect of a 2-stage injection strategy on the combustion and flame characteristics in a PCCI engine", IJAT Vol. 12, No. 5, pp. 639-644.
- [6] H. M. Kim, J. H. Lee, K. B. Kim, K. H. Lee, "A Study on the Injection Strategy to Expand the Operating Region of Premixed Charge Compression Ignition Engine", The 7th Thermal and Fluid Engineering Conference, 2008.
- [7] F. Zhao, T. W. Asums, D. N. Assanis, J. E. Dec, J. A. Eng. P. M. Najt, "Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Engines: Key Research and Development Issues", PT-94, 2003.



(a) Conventional combustion



(b) PCCI combustion

Fig. 4 Flame visualization of conventional diesel & PCCI combustion in single cylinder engine

본 연구를 통하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Endoscope 시스템을 이용하여 단기통엔진이 아닌 다기통 상용 엔진에서의 화염을 관측할 수 있었다.
2. Endoscope 시스템을 사용한 다기통엔진 연소화염 측정 결과 좁은 시야각에도 불구하고 산화염과 PCCI 화염의 특징 구분이 가능하였다.
3. 다기통 상용 엔진의 예열 플러그 교체만으로 실린더 내 연소가시화가 가능하였으며, 실 엔진 실험 시 문제점인 진동 및 고온, 고압의 연소실내 조건에도 불구하고 화염가시화가 가능하였다.
4. 계측되어진 연소가시화 결과를 통하여 PCCI 연소가 일반 디젤연소에 비하여 화염의 밝기정도가 낮고 짧은 연소지속시간을 가지며, 부분적이나 착화점이 여러 곳에서 발생함을 알 수