

직접분사식 압축착화엔진에서 고압 2단 분사에 따른 엔진연소 및 배기특성에 관한 연구

정 재 훈¹⁾ · 정 동 원¹⁾ · 임 옥택^{*1)} · 표 영 덕²⁾ · 이 영 재²⁾

울산대학교 기계자동차공학과대학원¹⁾ · 울산대학교 기계자동차공학부^{*1)} · 한국에너지기술연구원²⁾

An investigation of 2-stage high-pressure injections on Combustion and Emissions in a D.I Compression-Ignition Engine

Jaehoon Jeong¹⁾ · Dongwon Jeong¹⁾ · Ocktaek Lim^{*1)} · Youngduck Pyo²⁾ · Youngjae Lee²⁾

¹⁾Graduate of Mechanical and Automotive Engineering, Ulsan University, Mugyeo-dong, Nam-gu, Ulsan680-749, Korea

^{*1)}Korea Institute of Energy Research, 102 Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

²⁾Department of Mechanical and Automotive Engineering, Ulsan University, Mugyeo-dong, Nam-gu, Ulsan680-749, Korea

(Received / Accepted)

Abstract : The CI engine has a high thermal efficiency due to its high compression ratio but it produces PM and NOx. The reason of NOx is the diffusion flame in limited time. Multiple injection has been used to maximize the efficiency. In this study, single cylinder engine was equipped with common rail. Injection pressure is 700bar, dSOI between the main injection and the pilot injection was varied. In order to find out combustion characteristics and NOx were analyzed with diesel and DME. The results show that multiple injections decreases NOx and increases efficiency. Maximum pressure was higher than all cases and its amount for diesel and DME was similar. Regardless the pilot injection, the main fuel injection timing was same. The heat release rate of the main injection for diesel was high while that of pilot injection for DME was high.

Key words : Multiple injection(다단분사), Single injection(단일분사), DME(디메틸에테르), CRDI(커먼레일 직분사), Main injection(주분사), Pilot injection (전분사), SOI(Start of injection: 분사시작시점), dSOI (Distance between the start of main injection and pilot injection)

1. 서론

압축착화엔진은 연소실 내의 공기와 연료가 불균일한 혼합기를 형성함으로써 연소과정 중 국부적인 고온영역이 발생하고, 이로 인해 유해배출물인 NOx 와 PM이 다량으로 발생된다.

유해배출가스를 줄이기 위한 대표적인 기술에는 연료분사시스템 기술이 있으며 CRDI(커먼레일 직

분사)시스템이 대표적이다. 커먼레일시스템은 분사시기, 분사압력, 분사율의 제어가 엔진의 속도와 부하에 독립적이어서 기계식 펌프시스템에 비하여 자유도가 좋고 고압분사가 가능하다.

본 연구에서는 압축착화엔진의 문제점인 NOx와 PM의 동시저감을 위해서 디젤과 대체연료인 DME를 사용한 이단분사를 실시하였다.

2. 실험방법

정재훈, E-mail: rush87@mail.ulsan.ac.kr

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 엔진은 커먼레일 분사시스템을 장착한 단기통 직접분사식 압축착화엔진이다. Table 1은 자세한 엔진의 제원을 나타내었다.

Table 1 Engine specification

Engine type		Water-cooled 4 cycle diesel
Number of cylinder		1
Bore×Stroke		83×92 mm
Displacement		498 cc
Number of valves		2 intake, 2 exhaust
Compression ratio		19.5
Valve timing	Intake	8 °CA bTDC / 44 °CA aBDC
	Exhaust	54.6 °CA bTDC / 7.4 °CA aTDC
Fuel system		Common rail
Injection type		Direct injection
Nozzle holes		7 holes
Nozzle hole diameter		0.141mm

2.2 실험방법

엔진속도는 1200rpm이며 150kW급 와류동력계에서 실험했다. 커먼레일 연료분사시스템을 사용하여 700bar에서 실험하였다. 단일분사 실험시 분사량은 46 mm³로 설정했다. 이단분사 실험시 파일럿분사 분사량은 단일분사 분사량의 1/8인 5.7 mm³로 설정했으며, 주분사 분사량은 7/8인 40.3 mm³으로 설정했다. 먼저 기준이 되는 주분사시점인 -4 oCA, -2 oCA, 0 oCA, 2 oCA, 4 oCA aTDC에서 실험을 한 후 이단분사를 적용하였다. 이단분사 실험시 5가지 주분사시점을 기준으로 dSOI 10 oCA, 16 oCA, 22 oCA 간격을 두었으며 총 15가지 이단분사 조건에서 실험을 했다.

3. 실험 결과

3.1 연소특성

DME 연소특성을 알고자 실린더 내부 압력을 해석 하였다. 여러 케이스 중 주분사 시점이 -4oCA aTDC인 조건을 택하였다. Fig. 1은 주분사 시점과 파일럿 분사 시점 간의 기간 변화에 따른 압력곡선을 나타낸다. 이단분사가 적용된 경우 파일럿 분사 시점이 빠를수록 연소압력이 먼저 증가하고 파일럿 분사에 의해 증가하는 압력곡선이 완만하였다. 최고 압력 또한 파일럿 분사 시점과는 관계없이 모두 높았다. 이는 파일럿 분사 기간에서 분사

된 연료에 의해 실린더 내의 온도와 압력이 상승됨에 따라 주분사 기간에서 분사된 연료의 연소가 촉진되어 실린더 압력이 증가하였다.

Fig. 2는 이전과 동일한 조건에서 주분사 시점과 파일럿 분사 시점 간의 기간 변화에 따른 열 발생률을 나타낸다. 이단분사가 적용된 경우 주분사 기간에 분사된 연료에 의해 나타나는 열 발생률은 단일분사 조건에서 나타나는 열 발생률에 비해 크게 완만하고 열 발생률 발생 시점도 빠르다. 이는 파일럿 분사 기간에서 분사되는 연료에 의해 주분사 기간에서 분사되는 분사량은 단일분사 조건에서 분사되는 분사량보다 작고, 파일럿 분사기간에서 분사된 연료는 실린더 내의 온도와 압력이 상승시킴에 따라 주분사 기간에서 분사된 연료의 연소가 촉진되어 점화 지연시간이 감소되었기 때문이다.

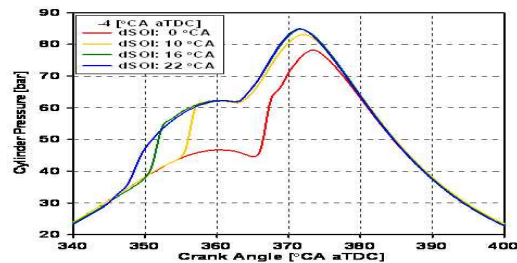


Fig. 1 Cylinder pressure in pilot injection with main injection at -4 oCA aTDC (DME)

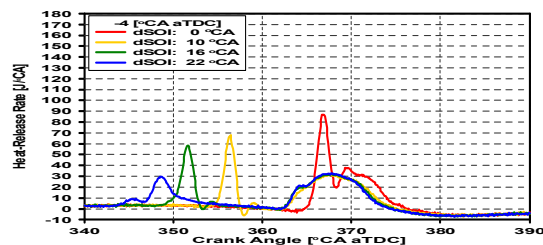


Fig. 2 Heat-release rates in pilot injection with main injection at -4 oCA aTDC (DME)

3.2 배기특성

Fig. 3는 고정된 주분사 시점 aTDC 대하여 DME와 디젤의 주분사 시점과 파일럿 분사 시점 간의 기간 변화에 따른BMEP를 나타낸다. 이단분사가 적용된 경우 단일분사 조건에서 나타나는 BMEP보다 대부분 높았으며, 특히 DME의 경우 이단분사를 통한 출력 향상이 뚜렷하였다. 디젤을 단일분사 및 이단

분사를 적용한 경우 DME를 단일분사 및 이단분사한 경우보다 모든 조건에서 BMEP가 높았다. DME 이단분사가 적용된 경우 단일분사 조건에서 나타나는 BMEP보다 모두 높았으며, 이단분사가 적용된 경우는 BMEP가 증가한 반면 단일분사가 적용된 경우는 BMEP가 크게 감소하였다. 이단분사를 적용하면 연료의 공기 이용률이 높고 파일럿 분사에 의해 연소가 촉진되어 연소효율 증가하기 때문에 BMEP가 증가하였다.

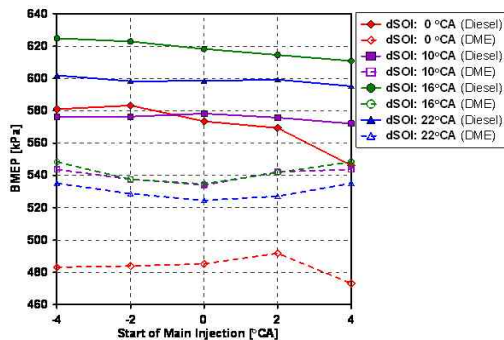


Fig. 3 BMEP in different SOI of main injection and pilot injection

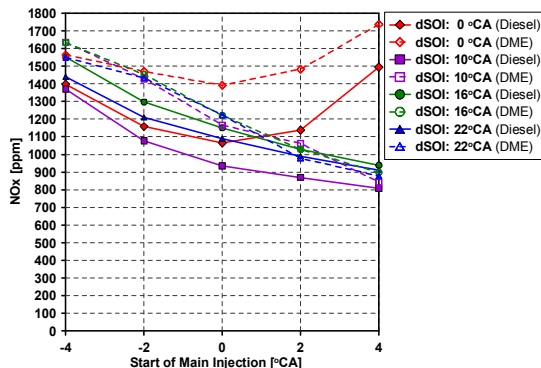


Fig. 4 NOx in different SOI of main injection and pilot injection

Fig. 4는 주분사 시점과 파일럿 분사 시점 간의 기간 변화에 따른 NOx를 나타낸다. 단일분사 조건에서는 연료에 상관없이 주분사 시점이 지각될수록 조금 감소하다가 크게 증가하였으며 DME의 경우가 디젤의 경우보다 발생량이 많았다. 이단분사가 적용된 경우 디젤과 DME에 상관없이 주분사 시점이 지각될수록 NOx 발생량이 감소하였으며, 감소량은 DME가 컸다. DME는 디젤에 비해 NOx의 발생량이 많았지만, 주분사 시점이 지각됨에 따라 4 oCA

aTDC인 조건에서는 NOx 발생량이 유사하였다.

4. 결론

본 연구에서는 압축착화엔진의 문제점인 NOx와 PM을 동시에 저감하고자, PM의 발생이 거의 없는 DME를 실린더 내에 직접분사하고 NOx의 저감을 위하여 이단분사를 실시하여 연소 및 배기특성을 확인했다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 다단분사에 따른 연소특성인 실린더 내부압력 해석 결과 최대압력은 단일분사 보다 모든 조건에서 높았으며, 최대압력의 크기는 디젤과 DME 모두 비슷하다.
- 2) 열 발생률은 다단분사가 단일분사 보다 모든 조건에서 낮았으며 상승률이 완만 하였고, 파일럿 분사 시점에 상관없이 주분사 기간에 분사된 연료의 연소시점은 동일하다.
- 3) 연료의 종류와 분사전략에 상관없이 THC의 발생은 350ppm 이하로 낮았으며, DME를 분사한 경우가 디젤을 분사한 경우보다 THC발생량이 낮았다.
- 4) 단일분사 조건에서 NOx의 발생량은 디젤을 분사한 경우보다 DME를 분사한 경우가 많았으며, 다단분사 조건에서 디젤과 DME에 상관없이 주분사 시점이 지각될수록 NOx 발생량은 계속 감소하였다.

References

1. 자동차 부품 연구원, 미래형자동차 개발 현황, 2007
2. 한국과학기술정보연구원, 미래 환경 자동차, 2008
3. Korea Auto Forum., 2007 자동차환경백서, Secretariat of the Korea Auto Forum, 2007
4. Majewski, W. A and Khair, M. K., Diesel Emissions and Their Control, SAE International, 2006
5. Heywood, J. B, Internal Combustion Engine Fundamentals, Mc Graw-Hill, New York, 1988
6. The Editorial Team, Robert Bosch GmbH, Diesel-Engine Management, Robert Bosch GmbH, 2005
7. Reitz, R. D., Controlling DI Diesel Engine Emissions Using Multiple Injections and EGR, Combustion