

## 디젤엔진에서 경유-CNG 혼합 연소의 성능 및 배기 특성

유 경 현<sup>\*1)</sup> · 박 진 철<sup>2)</sup> · 최 규 호<sup>2)</sup>

군산대학교 기계자동차공학부<sup>1)</sup> · 군산대학교 일반대학원 기계공학과<sup>2)</sup>

### Performance and Emission Characteristics of Dual-fuel(Diesel-CNG) Combustion in a Diesel Engine

Kyunghyun Ryu<sup>\*1)</sup> · Jinchul Park<sup>2)</sup> · Kyuho Choi<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>School of Mechanical & Automotive Engineering, Kunsan National University, Jeonbuk 573-701, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Kunsan National University, Jeonbuk 573-701, Korea

(Received 6 November 2009 / Accepted 14 January 2010)

**Abstract** : This paper describes an investigation of the performance and emission characteristics of a commercial cylinder direct injection diesel engine operating on natural gas with pilot diesel ignition. Engine tests for variations in the pilot injection timing were performed at an engine speed of 1500 rpm. This study showed that the performance of the dual-fuel diesel engine increased as the engine load increased and as the pilot diesel injection timing angle advanced. The peaks of cylinder pressure, pressure rise rate, and heat release rate all increased while the fuel ignition timing advanced with the pilot injection timing. The engine operation was stable, and the least smoke was produced at a pilot injection timing of 12° before top dead center. NOx emissions were only exhausted under high-load conditions, and they increased as the pilot injection timing angle advanced.

**Key words** : Diesel engine(디젤기관), Dual fuel combustion(혼소), CNG(압축천연가스), Smoke(매연), NOx(질소산화물)

#### Nomenclature

BMEP : brake mean effective pressure  
BSEC : brake specific energy consumption  
BTDC : before top dead center  
CNG : compressed natural gas  
COV : coefficient of variation  
IMEP : indicated mean effective pressure  
WOT : wide-open throttle

#### 1. 서론

디젤엔진은 높은 열효율과 경제성에도 불구하고

입자상물질(particulate matters, PM)과 NOx 등의 오염물질 배출로 인한 심각한 환경오염을 발생시킴에 따라 유럽에서는 디젤엔진에 대한 배출가스 규제를 엄격하게 강화시키고 있다.<sup>1)</sup>

더군다나, 국내에서도 자동차로 인한 도시지역의 대기오염을 개선하기 위하여 정부에서는 2000년부터 천연가스버스를 보급하고 있으며, 이의 후속으로 『수도권 대기질 개선에 관한 특별법』이 2003년 12월에 국회를 통과하여 법률로 제정되었으며, 행정기관 및 공공기관을 중심으로 저공해자동차를 의무적으로 구매하는 제도를 도입하였다. 또한 정부에서는 천연가스 자동차 및 하이브리드 자동차를 확대 보급하기 위한 정책을 진행하고 있으며, 제작

\*Corresponding author, E-mail: khryu@kunsan.ac.kr

차 중심의 저공해자동차 보급정책 뿐만 아니라 오염이 심한 경유자동차를 대상으로 저공해화의 방법으로 배출가스 저감장치를 부착하거나 저공해 자동차로 개조하는 정책을 2004년 시범사업을 시작하여 2012년까지 진행하고 있는 실정이다.<sup>2)</sup>

경유자동차의 배출가스를 저감시키기 위한 방안으로는 DPF, DOC, deNOx Trap 등과 같은 후처리장치를 장착하거나 연료의 연소시스템을 개량하는 방법 등 다양한 방법들이 제시되고 있으나, 전 세계적으로 점점 강화되고 있는 배출가스 규격을 만족시키기에는 한계가 있으며, 정부에서 추진하고 있는 운행 경유자동차의 개조 사업의 목적을 달성하기 위해서는 현재의 개조 기술로만은 한계가 있는 것이 사실이다.

특히, 중·대형 버스, 화물 승합차량 등을 대상으로 하는 운행 경유자동차의 천연가스 자동차로의 개조는 사용 중인 엔진 연소실의 변경 및 천연가스 연료공급시스템을 추가해야 하는 여러 난제들을 갖고 있어 이에 대한 충분한 기술개발이 절실히 필요한 상황이다.

최근 주목받고 있는 기술 중의 하나는 경유연료를 착화연료로 사용하고 천연가스를 주 연료로 사용하는 혼소(dual fuel combustion) 엔진시스템이다. 이러한 혼소엔진 시스템은 비교적 값싸고 깨끗한 연료인 천연가스를 높은 압축비를 갖는 압축착화엔진에 사용할 수 있어 환경적인 측면뿐만 아니라 연비측면에서 유리한 장점을 갖고 있다. 이 혼소엔진 시스템은 현재 운행 중인 대형 및 소형 디젤기관자동차를 개조하면 바로 적용할 수도 있어 운행차 배출가스 저감에도 매우 효과적이라고 판단된다.

특히, 기존 디젤엔진을 혼소엔진시스템으로 개조하는 것은 연소실의 변경없이 천연가스 공급시스템만을 장착함으로써 쉽게 천연가스 엔진으로 변경할 수 있는 장점이 있어, 미국에서도 LNG를 이용한 혼소차량 시스템을 개발하여 운영 중에 있는 실정이다. Wong 등<sup>3)</sup>은 Micropilot 인젝터를 적용한 혼소 시스템의 경우, 불규칙한 착화없이도 배기배출물을 낮출 수 있다고 보고하였으며, Beck 등<sup>4)</sup>은 혼소시스템이 기존 디젤엔진보다 빠른 연소와 배기배출물을 적게 배출하는 특성이 있다고 보고하였다. 캐나다

의 CAP 사<sup>5)</sup>에서는 혼소시스템을 적용한 자동차 기술을 선보기도 하였으며, Abd Alla 등<sup>6)</sup>은 간접분사식 디젤엔진에서 메탄이나 프로판을 주 연료로 사용하고 경유를 파일럿 연료로 사용한 경우에 파일럿 연료량이 엔진 성능에 미치는 영향을 보고하기도 하였다.

국내에서도 디젤엔진을 천연가스 전소엔진시스템으로의 개조 기술에 대한 연구는 어느 정도 보고되고 있고<sup>7,8)</sup> 다양한 연구 결과 및 실용화 과정이 여러 차례 보고된바 있으나,<sup>9-11)</sup> 현재까지 천연가스 혼소엔진시스템에 대한 명확한 연소 특성이 규명되지는 못하였고, 연소의 안정성 확보를 위한 다양한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 디젤엔진에서 경유를 착화연료로 사용하는 경유-천연가스 혼소엔진시스템 기술을 고찰하고자 하였다. 특히, 혼소엔진시스템에서 최적의 연소를 위한 착화연료로서의 경유 파일럿분사(pilot injection) 시기가 미치는 영향을 파악하고, 혼소엔진시스템의 엔진성능 및 배출가스 특성을 분석하여 경유차량 개조시스템을 위한 저공해 경유-천연가스 혼소엔진시스템 기술의 기초를 확립하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치 및 연료

본 연구에 사용된 디젤엔진은 수냉식, 단기통, 4행정 직접분사식 상용 디젤기관이며, 시동모터에 의해서 시동이 되고 기관부하와 기관 회전속도는 eddy current type 엔진 동력계(110kW)에 의해 임의로 조정할 수 있도록 하였다. Table 1은 실험에 사용된 엔진의 주요 사양을 나타낸 것이다.

착화를 위한 파일럿(pilot) 연료 공급시스템은 상용 고압펌프를 이용하여 커먼레일에 연료를 가압하고, 레일압력제어기를 통하여 임의로 설정한 압력을 일정하게 유지할 수 있도록 별도로 제작된 커먼레일 시스템을 사용하였다. 파일럿 분사기는 7-hole 커먼레일 인젝터를 사용하였으며 분사량은 엔진 크랭크각도를 기준으로 1° 단위로 제어하였다.

주 연료인 압축천연가스(compressed natural gas, CNG)는 흡입행정시에 공급할 수 있도록 흡기관에

Table 1 Specifications of test engine

Item	Specification
Engine model	ND 130
Number of cylinder	1
Bore × Stroke (mm)	95 × 95
Displacement (cm <sup>3</sup> )	673
Compression ratio	18
Combustion chamber	Open chamber
Coolant temperature (°C)	70 ± 2
Injection type	Direct injection
Fuel injection system	Bosch common-rail
Number of injection hole	7

CNG 인젝터를 장착하였고, 고압연료탱크에서 공급된 천연가스는 레귤레이터를 통하여 6 bar의 일정한 압력으로 CNG 레일로 공급되도록 하였고, 메인 제어기에서 CNG 인젝터로 연료 공급량에 맞게 펄스를 발생하는 방법으로 CNG의 분사량을 제어하였다. 또한, CNG의 공급량은 천연가스 전용 질량유량계(TSM-140, MKP)를 사용하여 측정하였으며, 경유 pilot 연료량은 별도로 설치된 계량병을 이용하여

측정하였다.

실린더 헤드에 설치된 피에조 압력센서(112B10, PCB Piezotronics)를 이용하여 실린더내의 압력신호를 검출하고 charge amplifier(5015A, Kistler)와 DAQ 보드(DaqBook 2020, IOtech)를 거쳐 연소변동해석을 위한 연소실 압력을 측정하였다.

배출가스 성능을 평가하기 위하여 엔진동력계에 장착된 실험용 엔진의 배기다기관으로부터 후방 2m 위치에 배기가스 분석기(HG 550, Hepsiba)와 Opacimeter(OP-120, EplusT)를 설치하여 배기가스를 채취하여 분석하였다. Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다.

Table 2와 Table 3은 실험에 사용된 pilot 연료인 경유와 CNG의 물성치를 각각 나타낸 것으로, 경유의 발열량은 43.116 MJ/kg이고 CNG의 발열량은 43.58MJ/Nm<sup>3</sup>이었다.

## 2.2 실험 방법

실험은 엔진 냉각수 온도는 70 ± 2°C로 일정하게

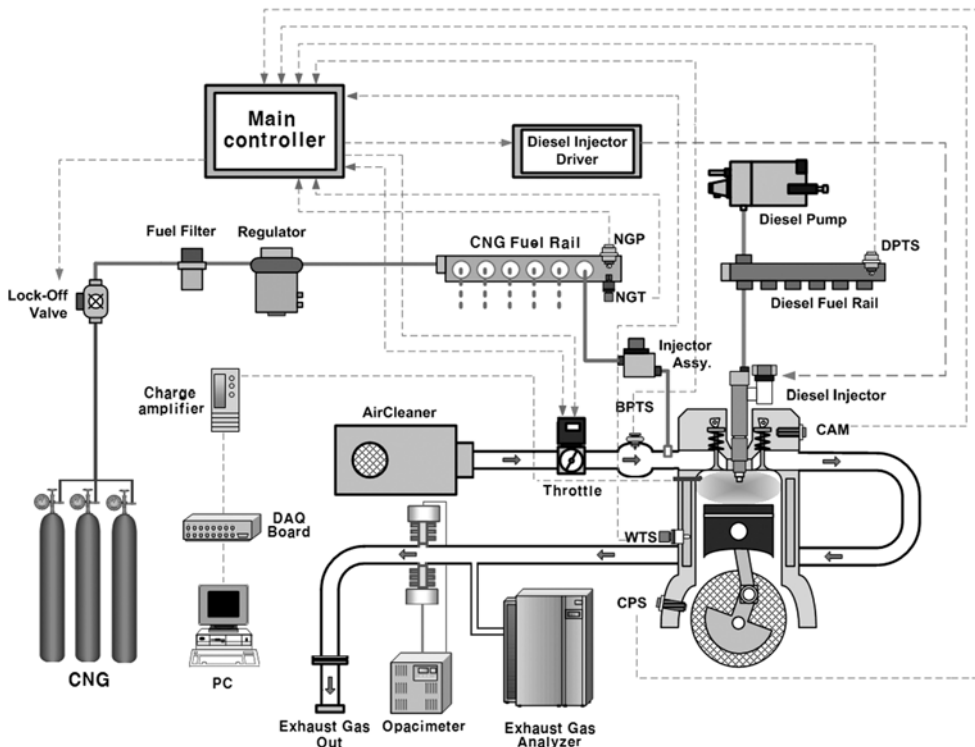


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 2 Properties of diesel fuel used in this study

Item	Unit	Diesel fuel	Test method
Flash point	PM, °C	42	KS M 2010 : 2004
Kinematic viscosity	40°C, mm <sup>2</sup> /s	2.52	KS M 2014 : 2004
Sulfur	mg/kg	8	KS M 2027 : 2005
Cetane index	-	54	KS M 2610 : 2005
Density	15°C, kg/m <sup>3</sup>	826	KS M 2002 : 2006
Lower heating value	MJ/kg	43.116	ASTM D240

Table 3 Properties of CNG used in this study

Item	Unit	CNG	
Net heating value	MJ/Nm <sup>3</sup>	43.58	
Specific gravity	compare to Air	0.55	
Burning range	%	5~15	
Ignition temperature	°C	537	
Component	Methane	Vol. %	85.12
	Ethane	Vol. %	9.32
	Propane	Vol. %	4.58
	i-butane	Vol. %	0.56
	n-butane	Vol. %	0.42
	Nitrogen	Vol. %	0.01

Table 4 Test conditions

Item	Test condition	
Engine speed (rpm)	1500	
Load level	Low (BMEP ≤ 0.4 MPa)	0.18, 0.37
	Medium (0.4 < BMEP < 0.7 MPa)	0.56
	High (BMEP ≥ 0.7 MPa)	0.74
Pilot injection	Pressure (bar)	300
	Injection timing (BTDC, °CA)	22, 17, 12, 7, 2
	Amount of injection (mg/cycle)	0.12
CNG injection	Injection pressure (bar)	6
	Injection timing (°CA)	ATDC 1 ~
	Amount of injection (°CA)	variable

제한된 상태에서, 엔진 회전수를 1,500rpm으로 일정하게 설정해 놓고 엔진부하를 제동평균유효압력 (brake mean effective pressure, BMEP) 0, 0.18, 0.37, 0.56, 0.74 MPa의 범위로 저부하에서 고부하까지 변화시켜 가면서 수행하였다. 파일럿 분사량은 엔진 회전속도 1500rpm과 파일럿 연료의 분사압력 300 bar 상태에서 파일럿분사 지속기간을 3°CA로 일정하게 분사하여 1사이클당 0.12mg 이 분사되도록 하였다. 엔진 회전수 및 부하의 제어는 주 연료인 CNG

의 공급량을 변화시켜가면서 조절하였다. 일반적으로 혼소시스템의 경우, 람다(Lambda) 값을 1.6~1.9의 범위에서 조정하나 본 연구에서는 쓰로틀을 전개한 상태(wide-open throttle, WOT)에서 실험을 수행하였으며, 그 상태에서의 람다 값의 변화를 고찰하였다. Table 4는 실험 조건을 정리하여 나타낸 것이다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 파일럿 분사시기에 따른 엔진 성능 및 연소 특성

Fig. 2는 엔진회전속도 1500rpm에서 파일럿 연료의 분사시기를 BTDC 22°에서부터 BTDC 2°까지 5°CA의 간격으로 변화시켰을 경우, 부하변화에 따른 도시평균유효압력(indicated mean effective pressure, IMEP)을 나타낸 것이다. 파일럿 연료의 분사시기가 지각될수록 IMEP는 감소함을 보였으며, 파일럿 연료의 분사시기가 BTDC 2°CA에서는 급격히 감소하여 불안정한 연소 특성을 보였다. 한편 IMEP는 엔진부하가 증가할수록 증가하는 전형적인 특성을 보였으며, 파일럿 연료의 분사시기가 BTDC 22°CA인 경우에는 제동평균유효압력(brake mean effective pressure, BMEP)이 0.74 MPa인 고부하영역에서 정상적인 연소압력 데이터를 취득하기 어려울 정도로 매우 불안정한 연소 성능을 나타내었다.

Fig. 3은 엔진부하가 변화할 경우 파일럿 분사시기변화에 대한 연소 안정성을 고찰하기 위한 IMEP

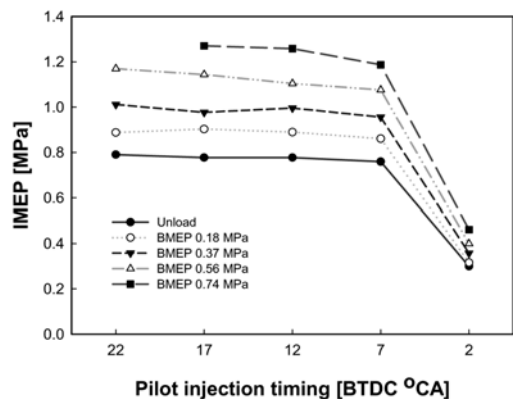


Fig. 2 Effect of pilot injection timing on IMEP at engine speed of 1500 rpm

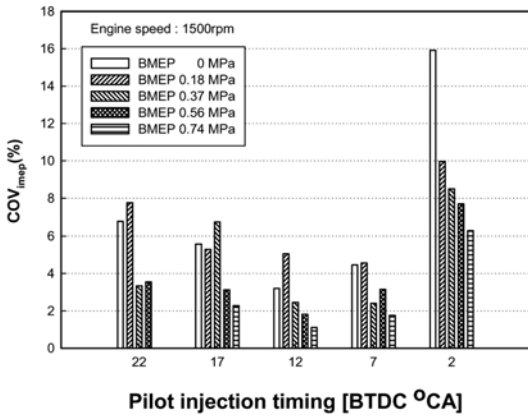


Fig. 3 Coefficient of variation of indicated mean effective pressure at various pilot injection timing

에 대한 변동계수(coefficient of variation, COV)를 나타낸 것이다.

전체적으로 부하가 증가할수록 연소변동이 적게 나타나는 전형적인 특징을 보였으나, 파일럿 분사시기가 BTDC 12°CA를 중심으로 진각되거나 지각 되면 COV가 전체적으로 증가하는 특성을 나타내었다. 파일럿 분사시기가 TDC에 가까운 BTDC 2°CA인 경우에는 COV가 매우 증가하였고 BTDC 22°CA의 고부하영역에서는 압력테이터를 취득하기 어려울 정도로 연소변동이 크게 발생하였다.

Fig. 4는 1500rpm의 엔진회전속도에서 파일럿 연료의 분사시기변화에 따른 제동에너지소비율(brake specific energy consumption, BSEC)를 나타낸 것이다. 파일럿 연료로 사용된 경유와 주 연료인 CNG 연료의 계량 단위 및 발열량이 다르기 때문에 단위 출력당 소비되는 에너지(BSEC)로 계산하여 나타낸 것으로, 파일럿 연료로 사용된 경유의 소비량과 주 연료인 CNG의 소비량을 각각 측정 한 후 각 연료의 발열량을 적용하여 계산된 소비에너지를 합산하는 방식으로 계산하였다. 저부하인 BMEP 0.18MPa를 제외하고는 파일럿 분사시기 변화에 따라 큰 차이를 보이지 않았으나 BTDC 12°CA과 7°CA에서 가장 좋은 에너지소비효율을 나타내었다.

이상을 종합하여 볼 때, 경유-CNG 혼소엔진의 엔진 성능 특성면에서 주 연료인 CNG를 연소시키기 위한 최적의 파일럿 분사시기는 BTDC 12°CA가 적당하다고 판단된다.

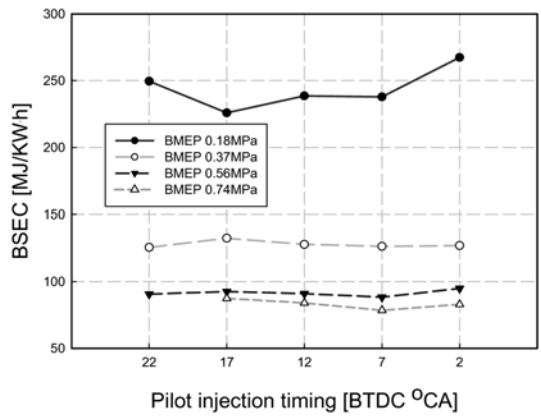


Fig. 4 Characteristic of BSEC versus pilot injection timings at various engine loads and engine speed of 1500 rpm

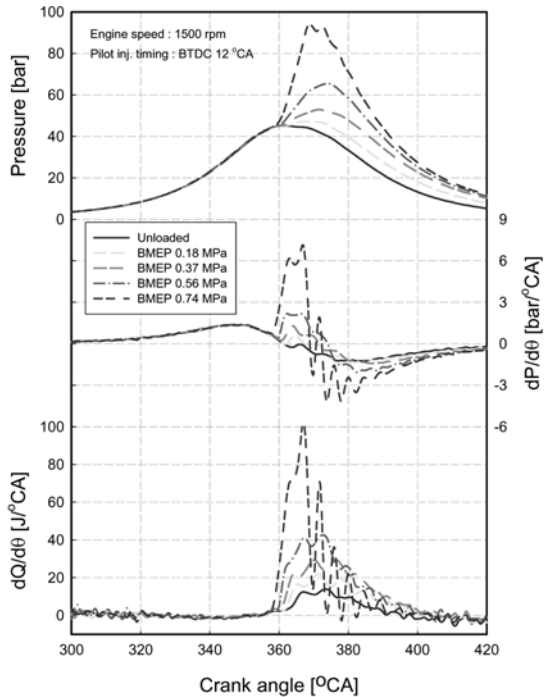


Fig. 5 Characteristic of cylinder pressure, pressure rise rate, and heat release rate versus engine loads at engine speed of 1500 rpm and pilot injection timing of BTDC 12 °CA

Fig. 5는 1500rpm의 엔진회전속도에서 파일럿 연료의 분사시기 BTDC 12°에서의 부하변화에 따른 압력, 압력상승률 및 열발생율을 나타낸 것이다. 엔진부하가 증가할수록 연소실내의 온도가 증가하여 착화시기가 진각됨을 알 수 있었으며, 엔진부하와

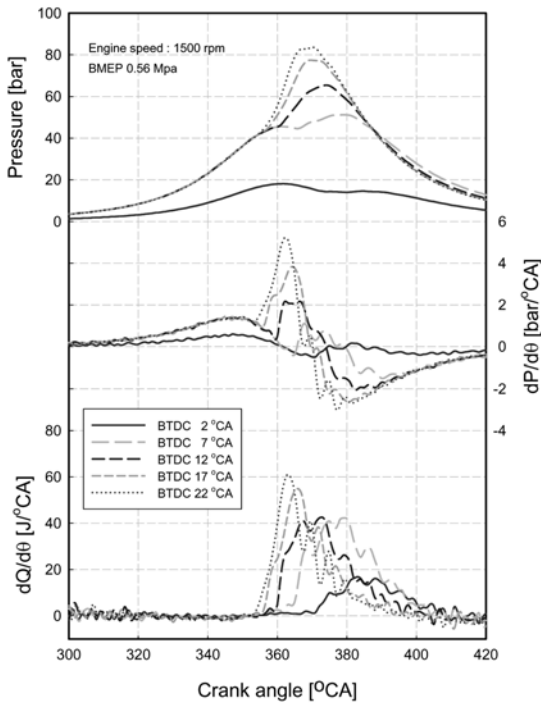


Fig. 6 Characteristic of cylinder pressure, pressure rise rate, and heat release rate versus pilot injection timings at engine load of BMEP 0.56 MPa and engine speed of 1500 rpm

함께 CNG 연료의 공급량이 증가하여 압력, 압력상승을 및 열발생율도 부하변화와 함께 증가하는 특성을 나타내었다. 그러나, BMEP가 전부하에 가까운 0.74MPa 인 경우에는 압력상승율이 매우 급격하게 상승하고 연소가 급격하게 이루어지는 특성을 나타내는 것으로 보아 고부하에서는 연소 온도가 급상승하여 NOx의 배출량이 매우 높게 나타날 것으로 예상된다.

Fig. 6은 1500rpm의 엔진회전속도에서 중부하정도인 BMEP 0.56 MPa에서의 파일럿 연료의 분사시기 변화에 따른 압력, 압력상승을 및 열발생율을 나타낸 것이다. 파일럿 연료의 분사시기가 진각될수록 연소개시 시기도 진각되고, 압력 및 압력상승률 피크도 크게 나타났다. 한편, 파일럿 연료의 분사시기가 BTDC 2°CA에서는 압력 상승이 매우 느리게 나타나며 열발생을 피크도 낮게 나타나는 것으로 보아 상대적으로 낮은 저온 연소를 한 것으로 판단되며, 파일럿 연료인 경유의 불완전 연소로 인해 매연의 배출량이 높게 나타날 것으로 예상된다.

### 3.2 파일럿 분사시기에 따른 배기 특성

Fig. 7은 엔진회전속도1500rpm에서 파일럿 연료의 분사시기 변화와 엔진부하 변화에 따른 매연의 배출 농도를 나타낸 것이다. 파일럿 연료의 분사시기가 BTDC 2°CA인 경우에 매연의 배출 농도가 크게 나타났다. 이는 본 연구에 사용된 디젤엔진의 최적 분사시기가 BTDC 17°CA인 점을 감안하면, 연소실 구조특성상 너무 지연된 파일럿연료 분사는 착화에 어려움을 주어 Fig. 6에서 살펴본 바와 같이 상대적으로 연소가 활발하게 일어나지 못했기 때문으로 분석된다. 한편, 매연 배출 농도는 BTDC 12°CA에서 가장 낮게 나타났으며, 전체적으로 엔진부하가 증가할수록 매연의 배출 농도가 약간 증가하는 전형적인 디젤엔진의 특성이 나타났다. 하지만, 경유만을 사용하는 디젤엔진의 경우와 비교하여서는 매우 낮게 나타나는 특성을 보였다.

Fig. 8은 엔진회전속도 1500rpm에서 파일럿 연료의 분사시기 변화와 엔진부하 변화에 따른 CO<sub>2</sub>의 배출 농도를 나타낸 것이다. 파일럿 연료의 분사시기가 BTDC 2°CA인 경우에 CO<sub>2</sub>의 배출 농도가 낮게 나타났으며, 이는 Fig. 6에서 살펴본 바와 같이 상대적으로 연소가 활발하게 일어나지 못했기 때문으로 분석된다. 한편, CO<sub>2</sub>의 배출 농도는 연소가 활발하게 일어나지 못한 BTDC 2°CA를 제외하고는 파일럿 분사시기가 진각됨에 따라 약간 증가하는 특성을 보였으며, 엔진부하가 증가할수록 전체적으로 CO<sub>2</sub>의 배출 농도는 증가하는 경향을 보였다.

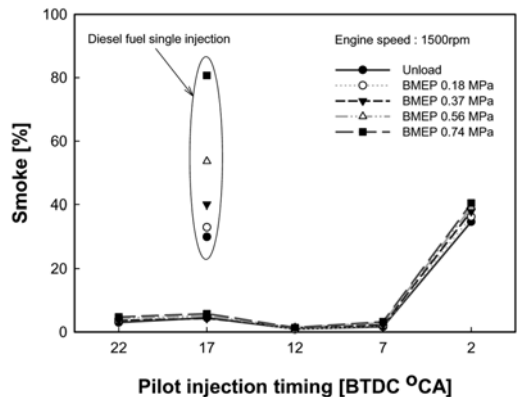


Fig. 7 Smoke versus pilot injection timing at engine speed of 1500 rpm

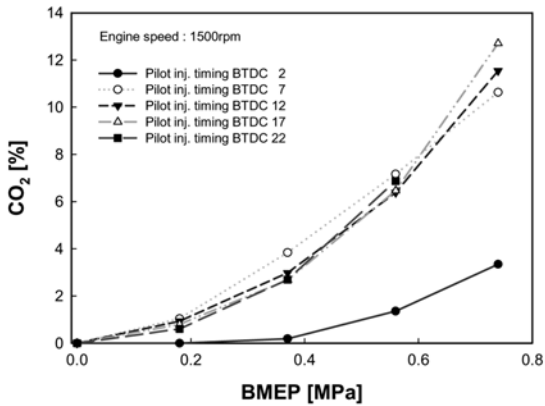


Fig. 8 CO<sub>2</sub> versus pilot injection timing at engine speed of 1500 rpm

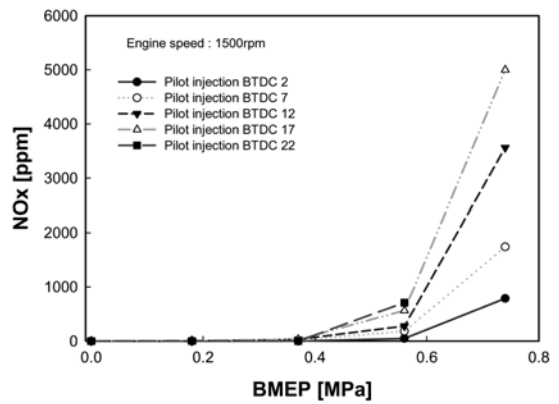


Fig. 10 NO<sub>x</sub> versus pilot injection timing at engine speed of 1500 rpm

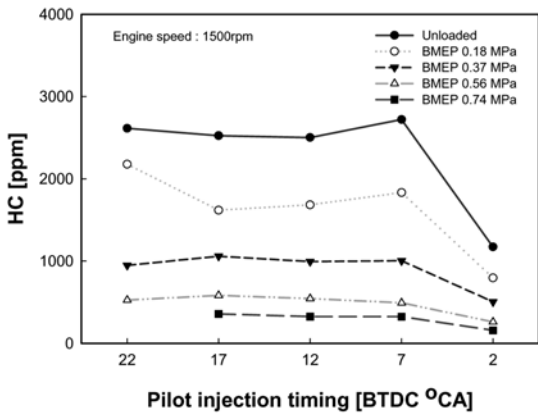


Fig. 9 HC versus pilot injection timing at engine speed of 1500 rpm

Fig. 9는 엔진회전속도 1500rpm에서 파일럿 연료의 분사시기 변화와 엔진부하 변화에 따른 HC의 배출 농도를 나타낸 것이다. HC의 배출 농도는 엔진부하가 증가할수록 감소하는 특성을 보였으며, 연소가 활발하게 일어나지 못한 BTDC 2°CA를 제외하고는 파일럿 분사시기 BTDC 17°CA에서 낮은 HC 배출 특성을 나타냈다.

Fig. 10은 엔진회전속도 1500rpm에서 파일럿 연료의 분사시기 변화와 엔진부하 변화에 따른 NO<sub>x</sub>의 배출 특성을 나타낸 것이다. 엔진부하가 중부하 이상에서 NO<sub>x</sub>의 배출량이 급격하게 증가하는 경향을 나타냈으며 고부하에서 최고의 배출 특성을 나타냈는데, 이는 Fig. 5에서 살펴본 바와 같이 고부하에서 매우 급격하고 활발한 연소를 하였기 때문으

로 분석된다. 한편, NO<sub>x</sub>의 배출 농도는 파일럿 분사시기가 진각될수록 증가하는 특성을 보였다.

#### 4. 결론

경유를 착화연료로 사용하는 경유-천연가스 혼소엔진시스템에서 파일럿분사(pilot injection) 시기 및 엔진부하 변화에 따른 엔진 성능 및 배기 특성을 살펴본 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 파일럿 분사 시기가 진각될수록 그리고, 엔진 부하가 증가할수록 IMEP는 증가함을 알 수 있었으며, BTDC 12°CA에서 높은 출력과 안정적인 연소특성을 보였다.
- 2) 파일럿 연료의 분사시기가 진각될수록 연소개시 시기도 진각되고, 압력 및 압력 상승률 피크도 크게 나타남을 알 수 있었다.
- 3) 매연 배출의 경우, 파일럿 연료의 분사시기가 BTDC 2°CA에서 가장 높게 배출되었으며, BTDC 12°CA에서 가장 낮게 배출함을 알 수 있었다.
- 4) NO<sub>x</sub>의 배출 농도는 엔진부하가 중부하 이상인 경우에서 크게 나타났으며, 파일럿 분사시기가 진각될수록 증가함을 알 수 있었다.

#### 후 기

본 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-331-D00067).

### References

- 1) <http://www.afsglobal.com/index.html>
- 2) S. J. Kim, "A Special Law for the Environmental Improvement of Air Quality in the Metropolitan Area and a Policy for the Supply of Low Emission Vehicles," Fall Conference Proceedings, Special Session, KSAE, pp.31-43, 2004.
- 3) H. C. Wong, N. J. Beck and S. K. Chen, "The Evolution of Compression Ignition Natural Gas Engines for Low Emission Vehicles," ASEM Internal Combustion Engine Division, 2000 Fall Technical Conference, ASME 2000-ICE-318, 2000.
- 4) N. J. Beck, R. L. Barkhimer, W. P. Johnson, H. C. Wong and K. Gebert, "Evolution of Heavy Duty Natural Gas Engines-Stoichiometric, Carbureted and Spark Ignited to Lean Burn, Fuel Injected and Micro-Pilot," SAE 972665, 1997.
- 5) R. A. Erickson, K. Campbell and D. L. Morgan, "Application of Dual-Fuel Engine Technology for On-Highway Vehicles," ASEM Internal Combustion Engine Division, 2003 Spring Technical Conference, ICES2003-586, 2003.
- 6) G. H. Abd Alla, H. A. Soliman, O. A. Badr and M. F. Abd Rabbo, "Effect of Pilot Fuel Quantity on the Performance of a Dual Fuel Engine," Energy Conversion & Management, Vol.41, pp.559-572, 2000.
- 7) Y. C. Han, Y. S. Oh, W. Y. Rha, J. K. Yoon and M. D. Eom, "A Study on Dedicated CNG Engine," Transactions of KSAE, Vol.7, No.2, pp.72-77, 1999.
- 8) T. H. Joo, C. J. Lee, P. C. Na, G. C. Kim, Y. D. Pyo and Y. J. Lee, "Engine Performance and Exhaust Characteristics of 2.5 ton Retrofit CNG Truck," Fall Conference Proceedings, Vol.I, KSAE, pp.340-345, 2004.
- 9) C. Mansour, A Bounif, A. Aris and F. Gaillard, "Gas-Diesel(dual-fuel) Modeling in Diesel Engine Environment," Int. J. Therm. Sci., Vol.40, pp.409-424, 2001.
- 10) J. Kusaka, T. Okamoto, Y. Daisho, R. Kihara, and T. Saito, "Combustion and Exhaust Gas Emission Characteristics of a Diesel Engine Dual-fueled with Natural Gas," JSAE Review, Vol.21, pp.489-496, 2000.
- 11) M. Y. E. Selim, "Effect of Engine Parameters and Gaseous Fuel Type on the Cyclic Variability of Dual Fuel Engines," Fuel, Vol.84, pp.961-971, 2005.