

## 디젤엔진에서 Common-rail 시스템의 분사방법에 따른 기관성능 및 연소특성에 관한 실험적 연구

백 두 성<sup>1)</sup> · 오 상 기<sup>1)</sup> · 한 영 출<sup>2)</sup>

국민대학교 자동차전문대학원<sup>1)</sup> · 국민대학교 기계, 자동차공학부<sup>2)</sup>

## Engine Performance and Combustion Characteristics on The Variation of Injection Characteristics in Diesel Engine with Common Rail System

Doosung Baik<sup>1)</sup> · Sangki Oh<sup>1)</sup> · Youngchool Han<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical & Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received 3 May 2003 / Accepted 19 June 2003)

**Abstract** : Common rail injection system is flexible in injection timing, injection duration and pressure in engine. Many researches have reported on the merits in the application of common rail systems. This research investigated on characteristics and performance for single cylinder diesel engine with a common rail injection system by varying major parameters such as injection timing, injection duration and common rail pressure. The injection timing and injection duration were controlled by electronic pulse generated, and common rail pressure were controlled by PCV driver. The 498cc single cylinder diesel engine was used in this experiment. All data for combustion pressure, injection timing and injection duration were recorded by Labview. Furthermore, this test was focused on how to optimize injection conditions.

**Key words** : Injection timing(분사시간), Injection duration(분사기간), Single cylinder engine(단기통 엔진), PCV driver(Pressure Control Valve Driver)

### 1. 서 론

지구의 대기오염과 고유가 시대에 발 맞춰 저연비 저공해 디젤엔진의 개발은 요즘 자동차 산업의 주된 연구분야로 대두되고 있다. 디젤엔진은 가솔린엔진과 비교하여 열효율이 높고 연비가 우수하여 차세대 연료절약형 고성능엔진의 기본 모델로 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만 디젤연소는 분무의 발달과 혼합기 형성, 착화지연과 착화 후의 열 발생 및 가스교환 등의 물리적·화학적 과정등이 복잡하

게 연결되어 진행될 뿐만 아니라 극히 짧은 시간에 연소가 완료되기 때문에 그 세부적인 면은 아직 확실하게 규명되지 못한 점이 많다. 또한, 엔진속도가 빨라지면 연료와 공기의 혼합시간이 부족하여 혼합효율이 저감되는 단점도 가지고 있다.<sup>1)</sup>

이를 해결하기 위한 여러 가지 방법이 연구되고 있으며 디젤엔진의 소음 저감과 연비개선 및 배출가스 제어에 적합한 디젤엔진의 분사 시스템으로 Common-rail 시스템이 적용되고 있어 좋은 효과를 얻을 수 있는 방법의 하나로 연구되고 있다.

특히, Common-rail 타입의 직접분사식 엔진(HSDI, High Speed Direct Injection)은 일정 압력 이

\*To whom correspondence should be addressed.  
dsbaik@kookmin.ac.kr

상의 고압에서 연료를 직접 분사해 연소하는 디젤 엔진이다. 이러한 Common-rail 타입의 직접분사식 엔진은 전자화를 통해 연료분사시기, 연료분사압력 및 연료분사량 등을 조절할 수 있다.<sup>2,3)</sup> 따라서 본 연구에서는 단기통 디젤기관에 장착한 Common-rail 연료분사 시스템의 분사압력, 분사시기 및 분사기간 등을 변화시켜 최적의 분사조건을 찾고자 하였으며, 또한 파일럿 분사에 의한 연소특성도 실험하였다.

## 2. 실험장치

### 2.1 실험엔진

본 연구에 사용된 엔진은 Common-rail 타입의 직접분사식 단기통 엔진으로서 제원은 Table 1과 같다.

실험에 사용된 단기통 디젤엔진은 Fig. 1과 같이 크랭크 케이스 내에 Balance weight가 있어 진동을 억제할 수 있는 구조를 가지고 있고, Timing gear가 있어 밸브 타이밍을 변경할 수 있는 형태이다.

### 2.2 실험장치

연소압력 측정에 사용된 장치의 구성은 Fig. 2와 같고 단기통 엔진은 37kW DC동력계로서 제어하였다.

Table 1 Specification of the test engine

Engine type	Common rail diesel
Displacement volume	498cc
Bore × Stroke	83 × 92
Compression ratio	19.5

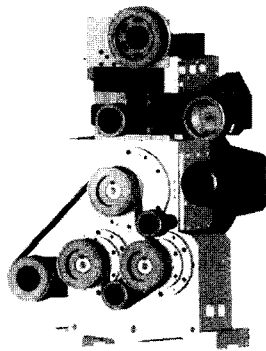
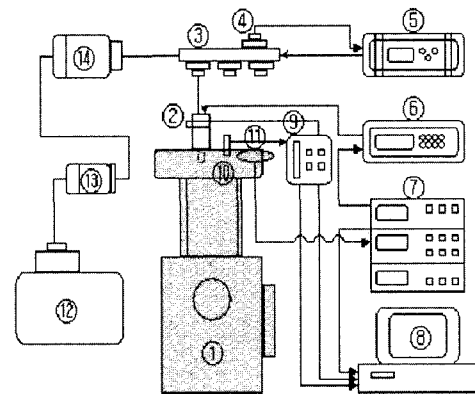


Fig. 1 Single cylinder diesel engine "Rsi-090D"

분사압력은 연료압력조절장치(Pressure control Valve Driver, TEMS)를 이용해서 800 bar, 1000 bar, 1200 bar 및 1350 bar 등으로 조건을 변경시키며 연구를 진행했다. 연료분사량은 Common-rail 인젝터 드라이버(TDA-3200H, TEMS Ltd)를 이용해서 분사기간을 400 $\mu$ s, 500 $\mu$ s, 600 $\mu$ s 및 700 $\mu$ s로 변화를 주어 연료량을 조절하였다. 분사시기의 조절은 캠축에 장착된 엔코더의 펄스 신호를 받은 Pulse generator가 분사시작 펄스신호를 발생시키는 형태로 제어하였고 그 범위는 BTDC 15°~ ATDC 2°의 범위로 제한하였다. 엔진속도는 800rpm과 1500rpm의 두 영역으로 나누어 실험을 진행하였다. 연소압력의 측정은 글로우 플러그에 장착한 압력센서(Kistler 6051A, 0~200 bar)를 이용하였다.

단기통 실린더 내 연소압력과 분사 펄스 신호 등의 모든 신호는 PCI-6024E A/D board(National In.)에서 디지털 신호로 변화시켜 중복 데이터를 줄이기 위해서 Lab-View 프로그램을 통해 20,000 scan rate의 속도로 데이터를 컴퓨터에 저장했다. 측정된 데이터는 시간에 대한 압력변화를 나타내고 있기 때문에 이를 다시 크랭크 각에 대한 압력변화로 바꾸어주어야 한다. 이를 위해 다음의 식을 이용했다.<sup>4)</sup>



- |                           |                                  |
|---------------------------|----------------------------------|
| 1. Engine                 | 8. Computer for data acquisition |
| 2. Injector               | 9. Amplifier                     |
| 3. Rail                   | 10. Pressure sensor              |
| 4. Rail Pressure sensor   | 11. Angle sensor                 |
| 5. Pressure control valve | 12. Fuel tank                    |
| 6. Injector driver        | 13. Low pressure pump            |
| 7. Pulse generator        | 14. High pressure pump           |

Fig. 2 Experimental setup of HSDI single-cylinder engine

$$\frac{S_p}{\bar{S}_p} = \frac{\pi}{2} \left[ 1 + \frac{\cos \theta}{\sqrt{\left(\frac{l}{a}\right)^2 - \sin^2 \theta}} \right] \quad (1)$$

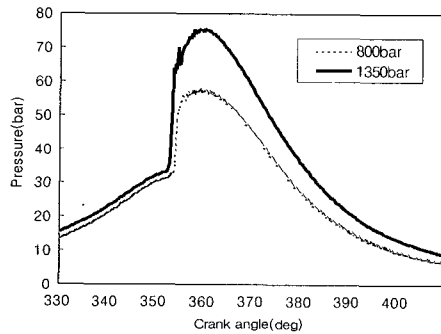
여기서,  $\bar{S}_p$ 는 평균 피스톤 속도이고,  $S_p$ 는 실제 피스톤 속도이다.  $(l/a)$ 는 커넥팅로드와 크랭크 반경의 비를 나타낸다.

### 3. 실험결과

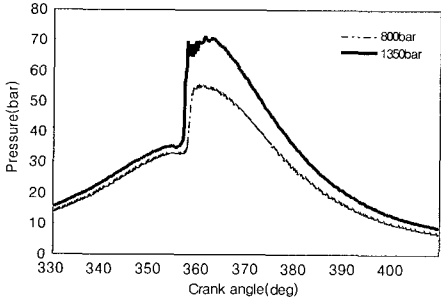
#### 3.1 분사압력에 따른 연소압력 변화

Fig. 3과 4는 엔진회전수 800rpm과 1500rpm에서 분사압력 800bar와 1350bar의 두 조건에서의 분사압

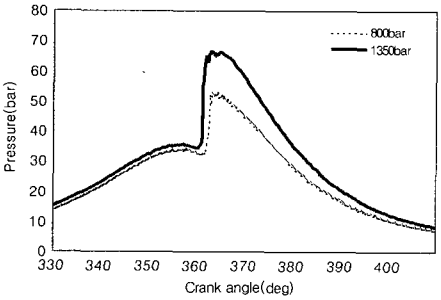
력곡선으로서 압력변화에 따른 연소개시 시간은 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 그러나 최고압력의 변화는 분사압력의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 이는 같은 분사시간을 가지고 있을 때 분사압이 높을수록 더 많은 분사량을 가지게 된다는 것을 나타낸다. 따라서 분사압이 높을수록 미세한 분사시간의 조절이 가능하다는 것을 알 수 있다. Fig. 3의 분사시간은  $450\mu s$ 이고 Fig. 4의 분사시간은  $600\mu s$ 이다. 또한, 분사 시간이 진각될수록 분사압력에 따른 연소압력의 차이는 커지는 것으로 나타났다. 이는 TDC에 가까워짐에 따라 실린더 내 압력이 높



(a) Injection timing BTDC 12°

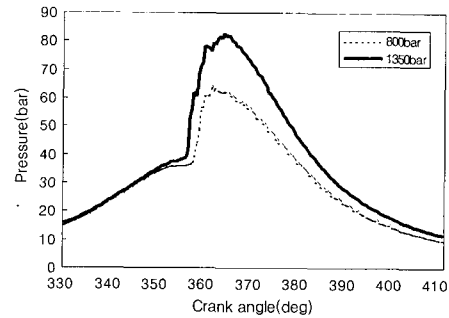


(b) Injection timing BTDC 8°

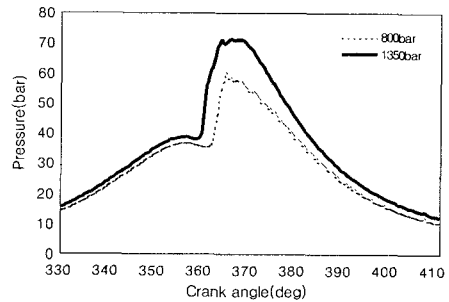


(c) Injection timing BTDC 4°

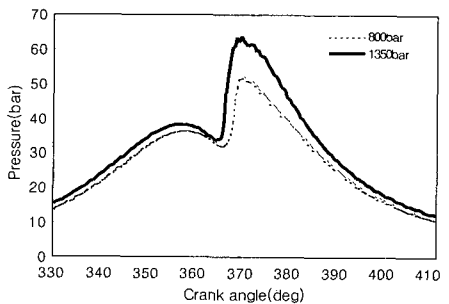
Fig. 3 Effect of injection pressure at engine speed 800rpm



(a) Injection timing BTDC 12°



(b) Injection timing BTDC 8°



(c) Injection timing BTDC 4°

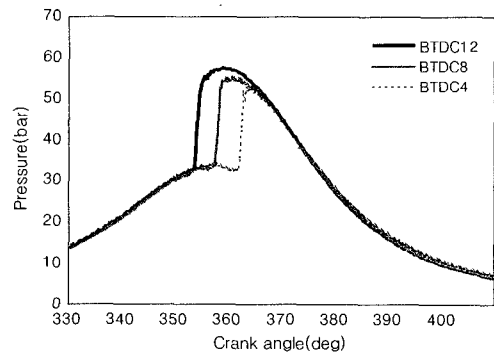
Fig. 4 Effect of injection pressure at engine speed 1500rpm

아지고 이에 따라 착화지연 기간이 줄어들기 때문인 것으로 생각된다.

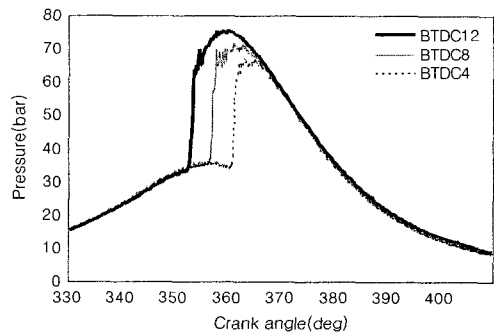
### 3.2 분사시기에 따른 연소압력 변화

분사시기 변화에 따른 연소압력 실험은 800rpm, 1500rpm의 두 속도 영역과 800bar, 1350bar의 각각 다른 두 Common-rail 압력에서 실험했다. 또한 분사시기는 BTDC 12°, BTDC 8° 및 BTDC 4°의 세 구간으로 나누어 실험했다.

결과는 Fig. 5와 Fig. 6에서 알 수 있듯이 속도, 분사압력 및 분사시기에 대해 연소 최고압력은 선형적으로 변함을 알 수 있다. 분사압력이 높아짐에 따라 연료의 미립화가 이루어져 연소효율 향상을 가져오는 것으로 판단되고 이에 따라 후연소기간이 짧아져 스모크의 저감에도 도움이 될 것으로 판단된다.<sup>5)</sup> 하지만, 지나친 연소압력의 상승은 NOx의 발생을 가져오며, 따라서 분사시기 지연을 통하여 적절하게 연소압력을 감소시키는 것이 필요하다.



(a) Injection pressure 800bar



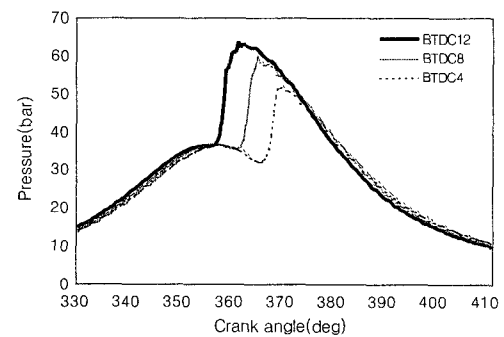
(b) Injection pressure 1350bar

Fig. 5 Effect of injection timing at engine speed 800rpm

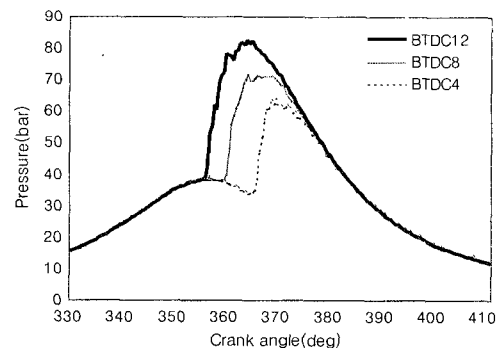
### 3.3 Pilot 분사에 따른 영향

Fig. 7 (a)를 보면 파일럿 분사를 한 경우 연소 최고 압력은 일반의 경우보다 약 5 bar가 감소하였다. 또한 급격한 압력의 상승이 없으므로 비교적 정속 주행에 유리할 것이라고 추측할 수 있다. 같은 조건의 실험결과와 비교하면 출력이 30.77kW, 29.1kW로 다소 감소한 것을 알 수 있는데 이는 주분사와 파일럿 분사의 시간 간격이 너무 작기 때문으로 보인다. Fig. 7의 (b)~(e)의 다른 그림을 보면 일반적인 파일럿 분사의 특징을 잘 나타내고 있다. 최고 압력은 감소하고 압력의 상승이 없으므로 비교적 정속 주행에 유리할 것이라고 추측할 수 있다. 또 6~7%의 성능향상과 배기개선도 가져왔다.

Fig. 8은 출력에 있어 분사간격이 미치는 영향에 대한 실험결과로서 1200 $\mu$ s 근방에서 가장 큰 출력을 내고 있다. 이에 따라 본 단기통 Common-rail 시스템에 적용한 파일럿 분사에 대한 최적점이 1200 $\mu$ s 정도인 것으로 판단되나, 각기 운전조건에 따른 분



(a) Injection pressure 800bar



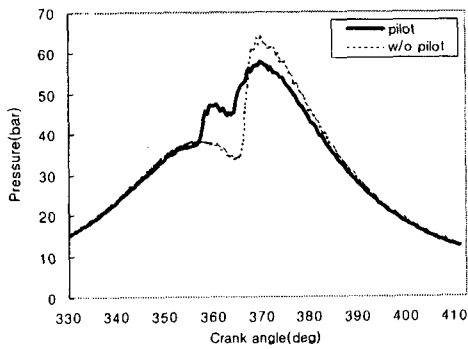
(b) Injection pressure 1350bar

Fig. 6 Effect of injection timing at engine speed 1500rpm

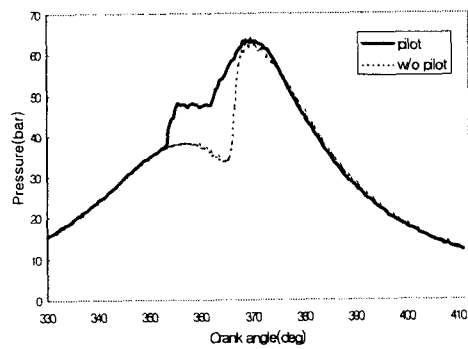
사회적점을 찾기 위해서는 다양한 실험을 통한 맵 데이터를 구축해야만 한다.

### 3.4 분사시간 변화에 따른 연소압력 변화

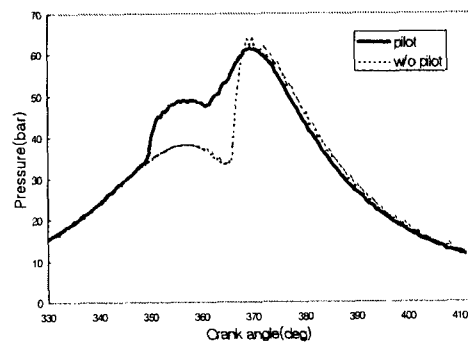
Fig. 9는 엔진회전수 1500rpm에서의 분사시간의 영향에 대한 결과로서 분사시기를 BTDC 12°로 고정된 채 분사시간을 400 $\mu$ s에서 700 $\mu$ s까지 변화시키며 실험했으며, 이 영역내에서의 분사시간 변화에 의한 점화시기의 변화는 없는 것으로 나타났다.



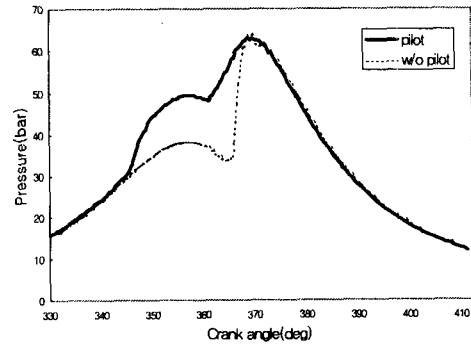
(a) 800 $\mu$ s injection gap



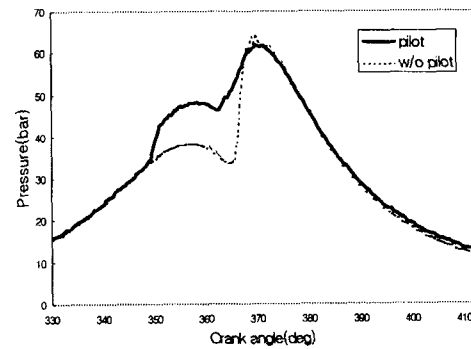
(b) 1200 $\mu$ s injection gap



(c) 1600 $\mu$ s injection gap



(d) 2000 $\mu$ s injection gap



(e) 2400 $\mu$ s injection gap

Fig. 7 Comparison of combustion pressure between pilot injection and w/o pilot injection

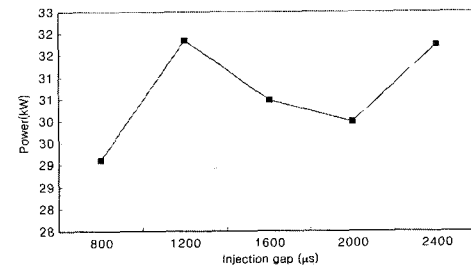
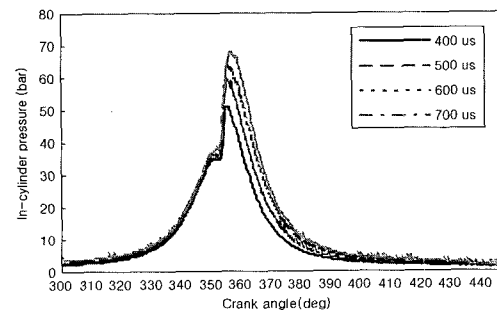
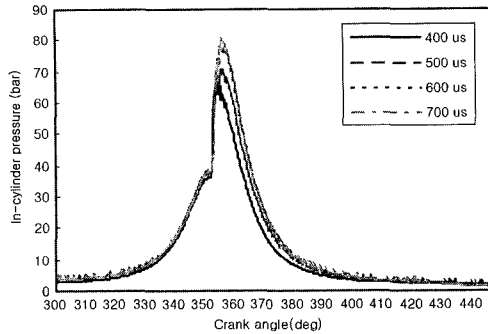


Fig. 8 Effect of injection gap on power



(a) Injection pressure 800bar



(b) Injection pressure 1350bar

Fig. 9 Effect of injection duration at engine speed 1500rpm

#### 4. 결론

Common-rail 타입의 단기통 HSDI엔진에 대한 연소 실험 결과는 다음과 같다.

1) Common-rail 압력이 고압일 때 연소지연 기간이 짧은 것을 확인할 수 있었다. 이는 고압에 의해 연료의 분무화가 촉진되고 연료분무량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

2) 파일럿 분사에서 주분사와 파일럿 분사의 간격은 최소  $800\mu s$  이상이 되지 않으면 출력이 떨어지는 것을 확인했다. 이는 주분사와 파일럿 분사와의 시간 간격이 너무 작기 때문에 파일럿 분사에 의해 주분사가 영향을 받기 때문으로 판단된다. 또한 본 실험에서는  $1200\mu s$  정도가 가장 좋은 것으로 되었다.

3) 파일럿 분사에 의해 5~7%의 출력 증가를 가져오며, 연소압력의 변화가 급격하지 않음을 확인했다.

4) 파일럿 분사를 적용함에 따라 연소최고압력이 낮아지는 것을 확인했고 이로 인해 NOx가 감소되리라고 예측된다.

#### References

- 1) C. Beatrice, "Combustion Behavior Analysis in a Transparent Research Engine Equipped with a Common Rail Diesel Injection System", SAE 2000-01-1825, 2000.
- 2) J. Schommers, "Potential of Common Rail Injection System for Passenger Car DI Diesel Engines", SAE 2000-01-0944, 2000.
- 3) V. Schwarz, G. Koing, P. Dittrich and K. Binder, "Analysis of Mixture Formation, Combustion and Pollution Formation in HD Diesel Engines using Modern Optical Diagnostics and Numerical Simulation", SAE 1999-01-3647, 1999.
- 4) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill Book Company, pp.42-46, 1989.
- 5) M. A. Ganser, "Common Rail Injectors for 2000 bar and Beyond", SAE 2000-01-0706, 2000.