

## 직접 디젤 연료분사계의 분사 특성과 기관 성능 개선에 관한 연구

## Injection Feature and Engine Performance Improvement of the Direct Diesel Fuel Injection System

윤 천 한\*, 김 경 훈\*\*  
Cheon Han Yoon, Kyung Hoon Kim

## Abstract

This study has focused on using fuel injections as variables for measuring performance and reducing exhaust gas in turbo-charger diesel engine. In experiments, we changed nozzle hole diameter, diameter of an injection pipe, and injection timing as variable.

The results show that torque, fuel consumption and smoke are reduced as nozzle hole diameter decreases, while NOx increases. When the diameter of injector is reduced, torque, fuel consumption and smoke are deteriorated, but NOx is decreased. In addition, when the time for injection is advanced, torque, fuel consumption and smoke are improved, but the density of NOx is increased

**Key Words :** Diesel engine(디젤기관), Engine performance(기관성능), Fuel injection system(연료분사계), Turbo-charger(터보차저), NOx(질소산화물), BSFC(연비), Smoke(매연)

## 1. 서론

디젤기관은 연료의 경제성, 내구성 등이 우수하여 중·대형 상용차에는 대부분 탑재되어 있다. 화석연료의 유한성에 따른 에너지 소비절약 및 기관으로부터 배출되는 유해배출가스에 대한 규제가 강화되고 있으며, 최근 환경개선을 위한 사회적 요구가 점점 강해지고 있는 실정이다. 그러나 가솔린자동차에 비하여 기관의 연소 특성상 일산화탄소, 탄화수소의 배출량은 적으나, 입자상

물질과 질소산화물이 많이 배출되어 문제가 되고 있으며, 이에 대한 대책으로 배출가스 허용기준을 강화하고 유해배출가스량이 적은 기관의 개발과 더불어 이를 방지할 수 있는 후처리장치 등을 개발하고 있다. 따라서 유해배출가스의 저감과 에너지 절감을 위해서는 연소실 개선<sup>(1)-(2)</sup>, 적정 선회비<sup>(3)</sup>, 터보차저<sup>(4)</sup>, 연료분사계의 개량<sup>(5)</sup>, NOx 촉매, DPF 등의 개발이 활발하게 진행되고 있지만, 아직도 많은 연구를 필요로 하고 있으며, 연료분사계는 디젤기관 성능 향상과 배출가스 저감에 직접적으로 작용하므로 대단히 중요한 인자로서 연료분사계의 여러 인자를 변수로 하여 많은 연구들이 수행되고 있는 실정이다<sup>(6)-(8)</sup>. 또한 분사압력, 분사율, 분사기간, 분사시기 등의 연료분사

\* 회원, 경희대학교 대학원

\*\* 회원, 경희대학교 기계·산업시스템공학부

의 변수를 자유롭게 변화시켜 기관의 운전조건에 가장 적합한 시스템으로 만들려는 전자화의 연구도 진행되고 있다<sup>(9)</sup>.

디젤기관의 연소실 내에서 NOx의 생성을 억제하기 위해서는 연소공간의 화염온도 저하와 고온상태로의 지속시간의 단축이 효과적이다. 연소와 관련하여 직접적으로 NOx의 배출 수준과 관계가 있는 인자로서는 연소, 기관 형상, 연료분사계, 흡기와 배기계, 운전조건, 연료 등이 있으며, 이들 각 요소의 적당한 조합으로 NOx를 저감할 수가 있다<sup>(10)~(12)</sup>.

디젤기관의 혼합기 형성과정은 연소실 내의 연료분사의 시간적·공간적인 복잡한 과정을 거치면서 분무의 미립화 및 증발과정을 통하여 연소실 내의 공기와 혼합하고 착화 연소함으로써 연소 상태에 큰 영향을 미치는 것이다. 이러한 분무에 관한 연구<sup>(13)</sup>는 종래부터 많은 연구가 진행되어 왔으나, 분사계 전반에 걸쳐 성능과 유해 배출가스에 미치는 영향을 체계적으로 조사된 연구는 그다지 많지 않다.

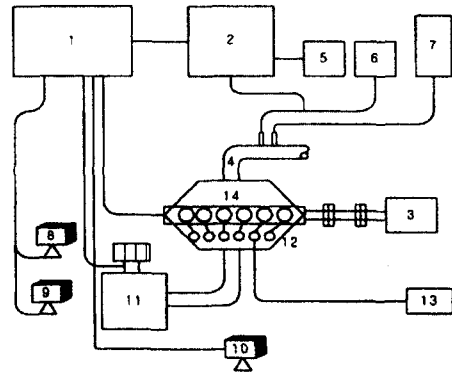
따라서 본 연구에서는 위에서 언급한 인자들 중에서 기관 성능과 유해배출가스의 저감을 위하여 가장 효과적인 연료분사계를 변수로 설정하였으며, 터보차저 디젤기관에서 노즐의 분공 지름, 분사관의 지름, 분사시기 등의 변경에 따른 영향을 고찰하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

실험장치는 그림 1과 같이 디젤기관의 성능 및 배출가스를 측정할 수 있도록 구성하였고, 기관은 보어(Bore) 123.0mm, 스트로크(Stroke) 155.0mm, 6기통 11,050cc, 압축비 17.1:1인 리엔트란트형(Re-entrant type) 연소실을 갖는 터보차저 디젤기관으로서 그 주요 제원은 표 1에 나타냈으며, 기관실험은 표 2와 같은 다이내모미터로 실시하였다. 연료분사계는 연료분사압력의 고압화를 위해 Bosch식 S3000형 분사펌프로써 풀러지 지름은  $\phi 12\text{mm}$ 이고, 분사량이 155mm/st.가 되도록 조정하였으며, 분사량, 분사율 등은 15kW의 테스트벤치(Tester bench)에서 실시하였고, 연료분사시스

템의 주요 제원은 표 3에 나타냈다.



- 1. Diesel Engine                      2. PM Analyzer
- 3. Smoke Meter                        4. Gas Analyzer
- 5. Exhaust Surge Tank                6. Dynamometer
- 7. Controller                            8. Data Acquisition System
- 9. Inlet Air Surge Tank                10. Fuel Tank
- 11. Cooling System

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specifications of test engine

Items	Specification
Engine type	L6
Injection	Direct Injection
Bore × Stroke	123.0 mm × 155.0 mm
Displacement	11,050 cc
Used fuel	Diesel fuel
Combustion chamber	Re-entrant

Table 2 Specifications of experimental apparatus

Items	Specification
Dynamometer	Eddy current type
Maximum power	330 kW
Maximum torque	1960 Nm
Maximum speed	3000 rpm
Manifold air temp.	-20~60 °C
Oil pressure	980 kPa

2.2 실험방법

연료분사계는 디젤기관의 심장부라고 할 수 있는 중요한 기구로서 운전자의 조작에 따라 최적의 시기에 고압의 연료를 만들어 매우 정확한 분사량으로 기관의 연소실에 무화상태로 분사시키고, 또한 기관의 부하에 대하여 미세한 분사량 조절이 가능한 기구로 되어 있다<sup>(14)</sup>.

일반적으로 열형(In-line type) 연료분사계에서 분사관 내의 압력은 다음과 같은 식<sup>(15)</sup>으로 나타낼 수 있으며, 연료분사계의 회전수와 정적 송유율에 비례한다.

$$P = \frac{E}{a} \frac{1}{A_p} v N_p \quad (1)$$

또한 기관의 목표성능과 출력, 연비 등을 고려하여 연료분사량을 산출할 때에는 다음과 같은 식을 사용한다.

$$Q = \frac{be \cdot HP \cdot a \cdot 10^3}{60 \cdot N_e \cdot \gamma \cdot n \cdot z} \quad (2)$$

디젤기관에서 연료분사계는 기관성능을 좌우하는 매우 중요한 인자이며, 특히 분사량, 분사시기, 분사기간, 분사율, 노즐의 분공 지름, 분사관의 지름 및 길이 등은 기관과의 초기 매칭(Matching) 시 주요 인자로서 취급하고 있다.

기관의 성능과 배출가스의 특성을 파악하기 위한 주요 변수를 표 4에 나타냈다.

실험은 기관 회전수 1000, 1400, 1800, 2200rpm 구간에서 기관 성능과 유해배출가스를 측정하였으며, 연료분사장치는 6기통 PE-P형 열형(In-line type) 펌프로써 지름이  $\phi 12\text{mm}$ 인 우권 양리드(Double lead)의 플런저(Plunger)를 사용하였다. 연료분사계의 분사량, 분사율(DQ), 펌프축 압력(PP), 노즐축 압력(PN) 등의 측정을 위하여 연료 분사펌프를 15kW의 테스터벤취에 장착하여 구동시켰으며, 펌프 회전수는 구동축에 설치된 타코미터(Tachometer)를 이용하여 측정하였다. 컨트롤랙(Control rack)의 위치는 1/100mm까지 측정할 수 있는 다이얼게이지를 사용하였으며, 분사량이 125mm/st.인 경우와 130mm/st.인 경우의 분사

특성을 그림 2에 나타내었다.

노즐의 분공 지름 변경에 따른 분사특성은 펌프회전수 1100rpm에서 분사관  $\phi 2.2\text{mm}$ , 길이 650mm, 개변압 21.6MPa로 조정하여 실시하였고, 분사량을 155mm/st.로 조정하여 노즐의 분공 지름  $\phi 0.31 \times 5$ ,  $\phi 0.32 \times 5$ ,  $\phi 0.33 \times 5$ 인 경우를 그림 3에 나타냈다.

Table 3 Specification of injection system

Parts	Specifications
Pump type	Bosch S3000
Plunger diameter	$\phi 12 \text{ mm}$
Plunger lead	D 22+45
Control rack position	10.6 mm/450 rpm (at Boost com. 450mmHg)
	3.9 mm/325 rpm
	10.9 mm/700 rpm
	9.2 mm/1160 rpm
Automatic timer	0.5° /700 rpm
	3° /1100 rpm

Table 4 Values of parameter used

Items	Specification
Injection pipe dia.	$\phi 2.0 \text{ mm}$ , $\phi 2.2 \text{ mm}$
Injection timing	7°, 9° BTDC
Nozzle orifice	$\phi 0.29 \times 5 - 155^\circ$
	$\phi 0.31 \times 5 - 155^\circ$
	$\phi 0.32 \times 5 - 155^\circ$
	$\phi 0.33 \times 5 - 155^\circ$

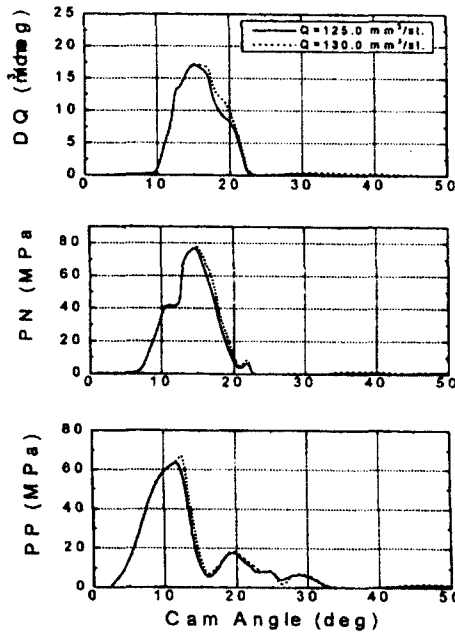


Fig.2 Characteristics of injection at 1100rpm  
(d:  $\phi 0.29 \times 5$ , D:  $\phi 2.0-650$  mm)

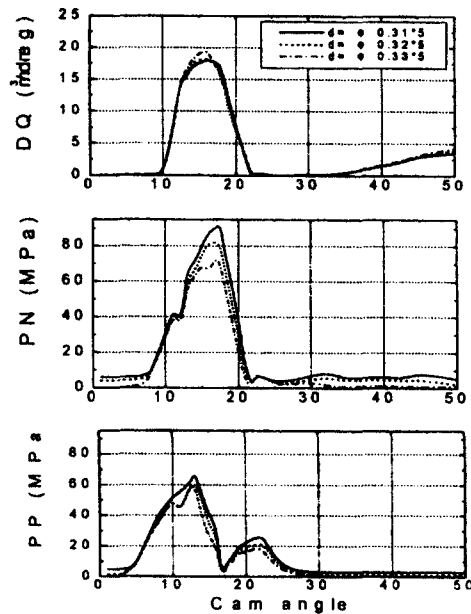


Fig.3 Characteristics of injection at 1100rpm  
(Q:  $155 \text{ mm}^3/\text{st.}$ , D:  $\phi 2.2-650$  mm)

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 노즐 분공 지름의 영향

동일한 캠과  $\phi 12\text{mm}$ 의 풀러저를 적용하고 동일한 분사량하에서 노즐의 분공 지름  $\phi 0.31 \times 5$ ,  $\phi 0.32 \times 5$ ,  $\phi 0.33 \times 5$ 인 노즐로 전부하 실험을 한 결과 그림 3과 같이 분공 지름이 클수록 분사율이 많고 작을수록 분사기간이 길어짐을 알 수 있다. 또한 그림 4와 같이 분공 지름이 작은  $\phi 0.29 \times 5$ 의 경우에 분사압이 상승함에 따라 초기 분사율이 감소하고, 미립화가 촉진되어 연비와 스모크의 배출량은 줄일 수 있으나,  $\text{NO}_x$ 는 악화되었다.

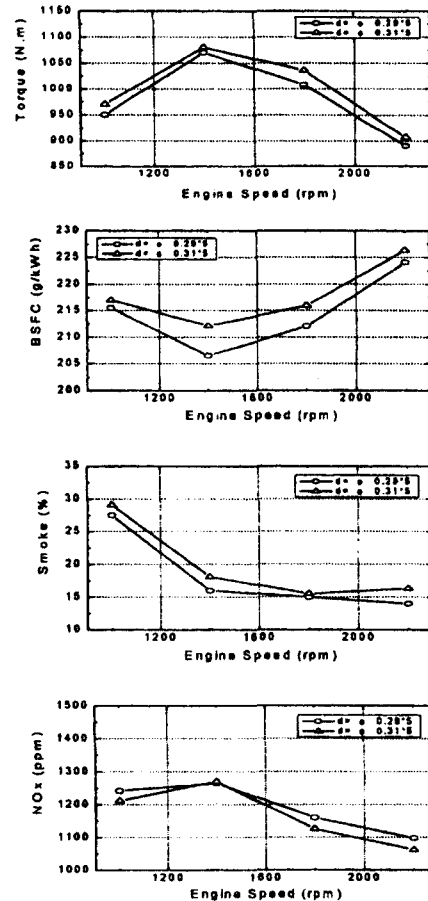


Fig.4 Effects of nozzle hole diameter  
(Q :  $155 \text{ mm}^3/\text{st.}$ )

### 3.2 분사관 지름의 영향

동일한 분사노즐을 사용하고 분사관의 지름을 변화시켰을 때의 특성을 그림 5에 나타내었다.

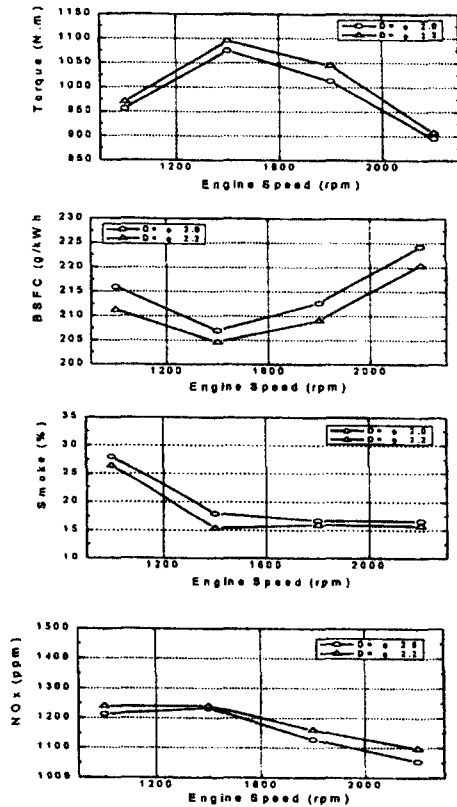


Fig.5 Effects of injection pipe diameter  
(Q:155 mm<sup>3</sup>/st., L:650 mm)

중·고속 영역에서의 연비는  $\phi 2.2\text{mm}$  쪽이, 저속 영역에서의 스모크는  $\phi 2.0\text{mm}$  쪽이 우세하였다. 분사관의 지름이 상대적으로 큰  $\phi 2.2\text{mm}$ 로 확대시키면, 분사관 내의 마찰저항을 감소시키는 효과 때문에 중·고속 영역에서 분사압의 증대 및 분사기간의 단축효과가 있으며, 분사관 내의 체적이 증대하여 잔압이 증가되어 분사시기가 진각된다. 따라서 연비 및 스모크의 농도를 저감하는 효과를 가져오게 되지만 NOx는 증가한다.

반면에 저속 영역에서는 분사관 지름의 증대로 인하여 송유속도가 저하되어 분무 입경을 증대시키는 결과를 가져오므로서 매연농도를 악화시킬

을 알 수 있었으며, 중·고속영역에서  $\phi 2.2\text{mm}$  쪽의 분사시기의 진각으로 인해 실린더 내의 최고 압력이 높아져서 NOx의 배출량은 많아졌다.

### 3.3 분사시기의 영향

그림 6은  $\phi 0.29 \times 5$ 인 노즐을 사용하여 분사량이 155mm<sup>3</sup>/st인 상태에서 측정된 결과이다. 분사시기를 진각하여 플런저의 상승속도가 큰 영역에서 분사시킬 경우에 분사압은 증가하고 분사기간을 감소시켜 연비와 스모크는 향상시킬 수 있었으나, 초기 분사량이 증가됨에 따라 NOx의 배출량은 증가하였다.

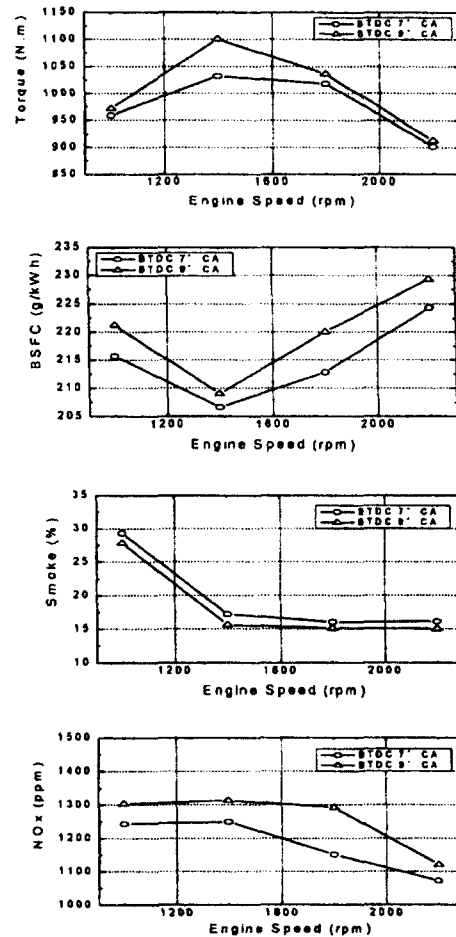


Fig. 6 Effects of injection timing  
(Q : 155 mm<sup>3</sup>/st.)

## 4. 결 론

본 연구에서는 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 노즐의 분공 지름이 작은 경우 분사율은 낮으나, 분사압력은 상당히 높아지고 분사기간도 증가함을 알 수 있다.
- (2) 노즐의 분공 지름만  $\phi 0.29 \times 5$ 로 감소시켜 분사압을 높인 경우 연비와 스모크의 배출량은 줄일 수 있으나, NOx는 악화되었다.
- (3) 중·고속 영역에서의 연비는  $\phi 2.2\text{mm}$  쪽이, 저속 영역에서의 스모크는  $\phi 2.0\text{mm}$  쪽이 우세하였으며,  $\phi 2.2\text{mm}$ 인 경우에 NOx의 배출량이 많아졌다. 저속 영역에서는 분사관 지름의 증대로 인해 매연농도를 악화시킬 수 있었고, 중·고속영역에서  $\phi 2.2\text{mm}$  쪽이 NOx의 배출량이 많아졌다.
- (4) 분사시기를 전각시키면 분사압은 증가하고 분사기간을 감소시켜 연비를 향상시킬 수 있으나, 초기 분사량이 증가되고 NOx의 배출량이 증가되었다.
- (4) 전체적인 결과에서 초기 분사율을 줄이고 분사기간을 감소시켜야 할 것으로 사료되며, 이를 위해서는 분사노즐의 분공 지름을 줄이고 분사압력을 증가시킴과 동시에 각 인자의 적당한 조합이 필요하다고 사료된다.

## 참고문헌

- (1) M. Ikegami, M. Fukuda, Y. Yoshihara and J. Kaneko, "Combustion Chamber Shape and Pressurized Injection in High Speed Direct Injection Diesel Engine", SAE 900440, 1990.
- (2) A. Coghe, G. Brunello and E. Tassi, "Effects of Intake Ports on the In-Cylinder Air Motion under Steady Conditions", SAE 880384, 1988.
- (3) S. Shundoh, T. Kakegawa, K. Tsujimura and S. Kobayashi, "The Effects of Injection Parameters and Swirl on Diesel Combustion with High Pressure Fuel Injection", SAE 910489, 1991.
- (4) 채재우, 정성관, 백중현, "터보과급 디젤기관의 성능에 관한 실험적 연구", 한국자동차공학회논문집, 제2권, 제6호, pp. 76~85, 1994.
- (5) S. Watanabe, T. Takahashi and H. Sami, "A Study on Effects of High Pressure Injection for DI Diesel Cobustion", JSAE, Vol. 44, No. 8, pp. 79~85, 1990.
- (6) 윤천한, 김경훈, "디젤기관의 연료분사계가 연소특성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구", 한국박용기관학회지 제25권 제6호, 2001.
- (7) 윤천한, 김경훈, "디젤연소에 미치는 분사계의 효과에 관한 연구", 액체미립화학회, 2001.
- (8) 윤천한, 김경훈, "디젤기관에서 기관성능과 유해배출가스에 관한 실험적 연구", 대한기계학회 열 및 유체공학부문 추계학술대회 논문집 pp. 453~458, 2001.
- (9) M. Shimoda, K. Funai, K. Shimokawa, T. Otani and Joko, "Application of Heavy Duty Diesel Engine to Future Emission Standards", SAE 910482, 1991.
- (10) D. J. Timoney, "Smoke and Fuel Consumption Measurements in a Direct Injection Diesel Engine with Variable Swirl", SAE 851542, 1985.
- (11) H. Hiroyasu and M. Arai, "Structure of Fuel Spray in Diesel Engines", SAE 900475, 1990.
- (12) A. D. Gosman, "Multidimensional Modeling of Cold Flows and Turbulence in Reciprocating Engines", SAE 850344, 1985.
- (13) A. D. Gosman, Y. Y. Tsui and A. P. Watkins, "Calculation of Three Dimensional Air Motion in Model Engine". SAE, 840229, 1984.
- (14) 윤천한, "직분식 디젤기관의 연료분사계가 기관성능과 배출가스에 미치는 영향", 아주대학교 석사학위논문, pp. 6~11, 1993.
- (15) Paul G. Burman et. el, "Fuel Injection and Controls for Internal Combustion Engines", pp. 37, 1962.