

V8형 디젤엔진의 성능에 미치는 분사계의 영향에 관한 연구

윤 준 규* · 박 병 학**

A Study on Effects of Fuel Injection System on the Performance in a V8-Type Diesel Engine

J. K. Yoon* · B. H. Park**

Key words : nozzle hole diameter(노즐분공경), injection angle(분사각), injection timing(분사시기), nozzle protrusion(노즐돌출량), injection pipe(분사관), fuel consumption(연료소비율), combustion chamber(연소실)

Abstract

The effects of fuel injection system on the performance in a V8-type diesel engine was studied in this paper. Fuel injection system is important factor which influence the engine performance and exhaust emission because the properties in the injected fuel depend on the atomization characteristics. In this study, using diesel engine of 17.7:1 compression ratio, the engine performance and exhaust emission are measured experimentally according to 1000, 1400, 2200rpm in the full-load conditions. The chosen parameters for the major system are such variable conditions as nozzle hole diameter, injection angle, nozzle protrusion, injection pipe diameter, shape of combustion chamber, and intake system.

The results are as follows ; As the nozzle hole diameter and injection angle become smaller, and as the injection timing gets advanced, the fuel consumption and concentration of smoke are decreasing, whereas concentration of NO_x is increasing. And concentration of NO_x is increasing in accordance with the increase of injection pipe diameter and nozzle protrusion. Also, it is shown that re-entrant type combustion chamber is more effective than that of toroidal type in the improvement of NO_x reduction.

* 경원전문대학 자동차정비과 (원고접수일 : 97년 12월)
** 여수수산대학교 기계공학과

1. 서 론

디젤엔진의 배기가스에 관한 규제가 점차 강화되면서 NOx 및 Smoke의 저감에 관한 연구는 학계 및 관련업계의 연구기관을 통해 활발히 진행되고 있으나, 일반적으로 NOx 및 Smoke의 저감을 위해 엔진성능의 악화를 감수하는 경우가 많다. 최근에는 연비악화를 방지하면서 NOx 및 Smoke 농도를 저감시키는 수단으로 분사압력의 고압화로 연료를 균일하게 미립화하고 급속연소시키기 위한 초고압 분사시스템에 대한 연구와, 연소실형상에 따라 Squish를 강화시켜 혼합촉진을 위한 흡기포트의 형상 및 Swirl비를 개선하는 연구 등도 많이 이루어지고 있는 추세이다.¹⁾²⁾ 디젤엔진내의 혼합기 형성과정은 연소실내의 연료분사로부터 시작되는 공간적 및 시간적으로 복잡한 과정으로서 혼합기생성은 노즐분공경을 통과한 후의 연료의 공간적 전파와 분포에 관여함과 동시에 분사의 시간적, 양적 제약을 받게 된다. 이는 결국 노즐로부터 분사된 연료의 분무가 미립화 및 증발되는 과정을 거쳐 연소실내의 공기와 혼합됨으로써 연소성능에 영향을 주게 된다.

본 연구는 직접 분사식 4행정 8실린더용 디젤엔진의 성능개선 및 분사계의 최적화 연구를 위하여 노즐분공경, 분사각, 노즐돌출량, 분사시기 등의 각 인자와 연소실형상 및 흡기방식을 변경시켜 엔진의 성능 및 Emission에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 분사계의 개요

직접 분사식은 대부분 피스톤의 중앙 상면머리부가 반구형으로 설계되어 있어, 그 사이가 연소실로 형성되어 공기 복와류가 형성된다. 그 속에 홀형 노즐이 연료를 분사하여 연소하도록 되어 있다. Fig. 1는 직접분사식 디젤엔진에 사용되는 홀형 노즐이 연소실에 장착되어 있는 상태로 노즐돌출량 및 분사각의 예를 나타낸 것이다. 또 Fig. 2는 분무특성의 3요소인 무화, 관통 및 분포도를 보여 주고 있다. 일반적으로 분사펌프의 초기 연료분사

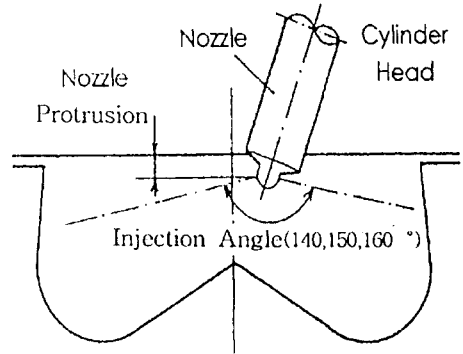


Fig. 1 The Configuration of Nozzle Protrusion and Injection Angle

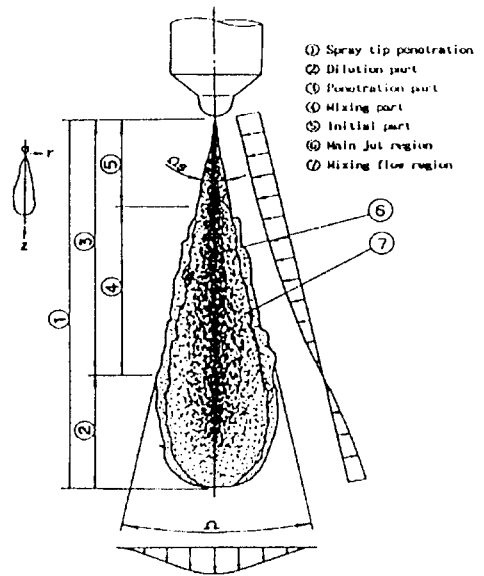


Fig. 2 Schematic of Diesel Fuel Spray Defining Parameters

량 및 Rack위치를 설정할 때에는 목표성능 즉, 출력과 연비에 관련된 인자를 고려하여 다음과 같은 식으로 결정한다.

$$Q = \frac{be \cdot HP \cdot 10^3 \cdot \alpha}{N_c \cdot 60 \cdot \gamma \cdot n \cdot z} \quad (1)$$

여기서, Q : 연료분사량(mm³/st)
 be : 연료소비율(g/kwh)
 HP : 엔진출력(kw)

α : 통내의 비 ($\approx 1.05 \sim 1.10$)

N_e : 엔진회전수(rpm)

γ : 연료의 비중

n : 엔진의 실린더 수

z : 4행정 엔진(1/2)

연료분사과정은 분사펌프의 플런저에 의하여 압송된 연료를 일정한 속도로 분사관내에 보낸다. 이 때 플런저의 속도, 플런저의 단면적이 크고 연료의 전용적이 작을 때는 압력상승이 일어나 거의 음속으로 노즐에 도달하여, 니들을 들어 올려 분사하기 시작한다. 이 압력의 변화량은 다음식³⁾으로 나타낼 수 있고, 체적탄성계수 및 유속에 비례하며 음속에 반비례한다.

$$\Delta P = P_1 - P_o = v_p \frac{E}{a} \quad (2)$$

여기서, P_1 : 분사관내의 연료압력

P_o : 분사펌프측의 연료압력

E : 연료의 체적탄성계수

($\approx 2.1 \times 10^8 \text{kg/m}^2$)

v_p : 분사관내의 유속

a : 음속 ($\approx 1400 \text{m/s}$)

분사가 종료되면 분사관은 딜리버리밸브와 노즐의 니들에 의하여 밀폐되면서 분사관내에는 연료에 의한 잔압이 형성한다. 이 잔압은 고압분사계에서 엔진성능 및 연소에 미치는 영향은 크므로 안정성이 요구된다.

디젤엔진에서 연료분사계의 중요한 인자는 분사량, 노즐분공경, 분사각, 노즐출량, 분사관의 직경과 길이, 분사시기 및 연소실형상 등의 결정이다. 이들 인자들을 통하여 최적의 연소조건을 찾기 위해서는 성능 및 Emission특성에 의해 엔진의 연소실내에 어떤 사양으로 연료를 분사하면 좋을 지를 결정하게 된다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서 사용된 엔진의 주요 제원은 Table. 1과 같이 수냉식 직접분사식 엔진으로서 Bore경

Table. 1 Specification of Test Engine

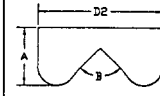
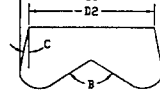
Engine Type	8-Cylinder, Water-Cooled, Direct-Injection, 4-Cycle	
Bore*Stroke	137*142	
Displacement(cc)	16,745	
Max. Power(kw)	242 at 2200rpm	
Max. Torque(N.m)	1080 at 1400rpm	
Valve Timing	Intake Open : BTDC 15° Close : ABDC 45° Exhaust Open : BBDC 48° Close : ATDC 16°	
Firing Order	1-8-4-2-7-3-6-5	
Connecting Rod Length(mm)	234	
Combustion Chamber	Toroidal	Re-entrant
		
	A B D2	B C D1 D2
	30 120° 78	120° 9° 79.6 75.6 78.2 74.3
Compression Ratio	17.7	

Table. 2 Specification of Injection Pump, Nozzle and Pipe

Item	Specification	
Governor of Injection Pump	Type	RFD
	Rack Position (mm/rpm)	9.4/500
		9.5/700
Timer of Injection Pump	Advance, θ (°/rpm)	10.4/1100
		0/500
		$0.5^{+0.5}$ /700
Nozzle & Holder Ass'y	Opening Pressure(Mpa)	1st : 18 , 2nd : 25
	Hole Dia	$\phi 0.32 \times 3 + \phi 0.33 \times 2$
		$\phi 0.34 \times 3 + \phi 0.35 \times 2$
		$\phi 0.35 \times 3 + \phi 0.36 \times 2$
		$\phi 0.36 \times 3 + \phi 0.37 \times 2$
Injection Angle	140° , 150° , 160°	
Protrusion(mm)	2.96 , 3.98 , 4.99	
Injection Pipe	Dia	$\phi 2.0$, $\phi 2.2$
	Length(mm)	610

137mm, Stroke 142mm의 압축비 17.7:1인 V8 실린더용 디젤엔진을 사용하였으며, 이때 연소실의 사양은 Toroidal형 및 Re-entrant형을 선택하였다. 분사펌프 및 Nozzle은 Table. 2와 같이 ZEXEL PS3S로 노즐분공경 및 분사각 등의 사양을 선택하였고, 실험장치의 개략도는 Fig. 3과 같다.

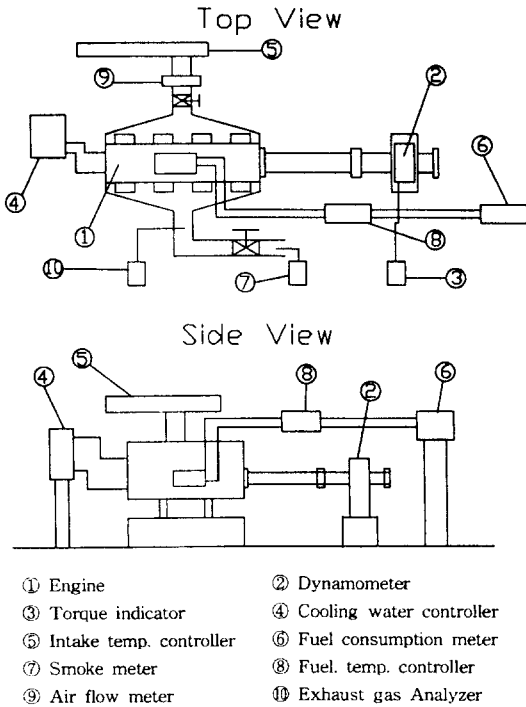


Fig. 3 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

3.2 실험방법

실험은 엔진의 운전상태를 일정하게 유지하기 위해 냉각수 출구온도 $80 \pm 2^\circ\text{C}$, 흡기온도 $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 연료입구온도 $35 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 조정하고, 정격출력점에서 흡기압력 -25mmHg/2200rpm, 배기압력 120mmHg/2200rpm의 운전조건이 되도록 흡배기측의 압력을 조정하여, 설정된 분사펌프의 Rack위치를 최대(동력계의 부하 100%위치)로 놓은 전부하상태에서 엔진회전수 1000, 1400 및 2200rpm의 변화에 따른 연료분사계의 각 인자와 연소실험상 및 흡기방식을 변경시켜 엔진의 성능 및 Emission을 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 노즐분공경의 영향

분사시기 BTDC 12.5°CA 에서 동일한 분사각 150° 로 노즐분공경을 변화시켰을 때의 성능 및

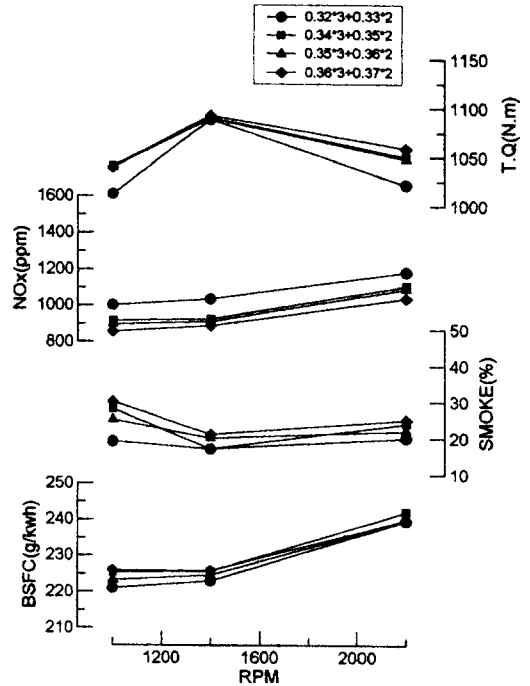


Fig. 4 Effects of Nozzle Diameter (at BTDC 12.5°CA , $Pr = 2.96\text{mm}$)

Emission에 대한 특성을 Fig. 4에 나타내었다. 일반적으로 분공경을 축소시키면 분사압의 증대에 의한 분무입경의 미립화, 분무도달거리의 적정화 등의 장점으로 인해 연비 및 Smoke농도를 개선할 수 있어 적절한 노즐분공경의 선택이 가능하다. 그 결과로서 노즐분공경이 작은 $\phi 0.32 \times 3 + \phi 0.33 \times 2$ 의 경우는 전영역에서 NOx농도가 증가하나 연비 및 Smoke 농도는 감소하는 반면에, 노즐분공경이 큰 $\phi 0.36 \times 3 + \phi 0.37 \times 2$ 의 경우는 전영역에서 NOx농도는 감소하나 연비 및 Smoke농도는 증가한다. 결국 본 연구에서 선택한 노즐 분공경이 클수록 NOx농도는 감소하나, 연비 및 Smoke농도는 증가하는 경향을 알 수 있었다.

4.2 분사각의 영향

분사시기 BTDC 12.5°CA 에서 노즐분공경 $\phi 0.32 \times 3 + \phi 0.33 \times 2$, 돌출량 2.96mm인 노즐을 통해 분사되는 분사각변화의 결과에 따른 성능 및 Emission에 대한 특성을 Fig. 5에 나타내었다. 그

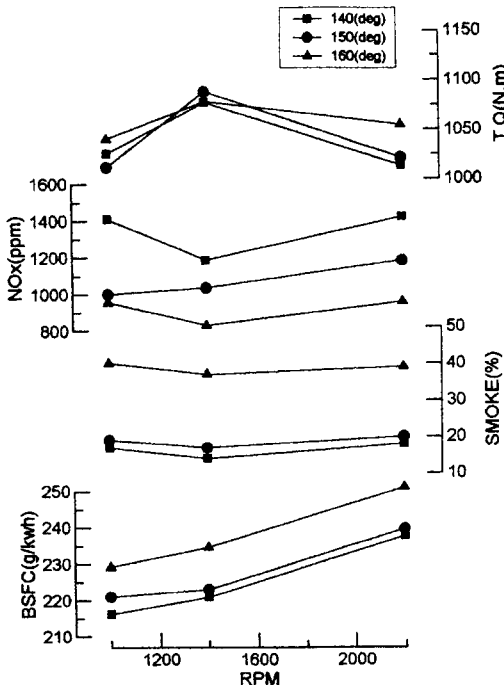


Fig. 5 Effects of Injection Angle
(at BTDC 12.5° CA, $\phi 0.32 \times 3 + 0.33 \times 2$, Pr=2.96mm)

결과로서 분사각 140°의 경우가 150°, 160°의 경우에 비해 연비 및 Smoke농도는 감소되나, NOx 농도는 증가됨을 알 수 있었다. 이는 연소실 벽면과의 충돌점이 분사각 140°의 경우가 150°, 160°인 경우보다 연소실 벽면하부에 형성되어 충돌 후 연소실 하면으로 반사되는 분무의 양이 증가되어 분산이 좋아지고, 분산된 분무는 공기유동에 편승되어 공기와의 혼합증가효과를 기대할 수 있기 때문이라 생각되어 진다.

4.3 노즐돌출량의 영향

분사시기 BTDC 12.5° CA에서 분사각이 150°인 분공경 $\phi 0.32 \times 3 + \phi 0.33 \times 2$ 노즐로 돌출량의 크기를 조정하기 위해 동가스킷을 삽입하여 2.96mm, 3.98mm, 4.99mm로 변화시켰을 때의 성능 및 Emission에 대한 특성을 Fig. 6에 나타내었다. 노즐돌출량에 따라 분무가 연소실 벽면에 충돌하는 위치가 달라져 충돌시의 벽면에 부착하는 분무량과 충돌후 분무의 확산형태에 변화를 주어 공기와

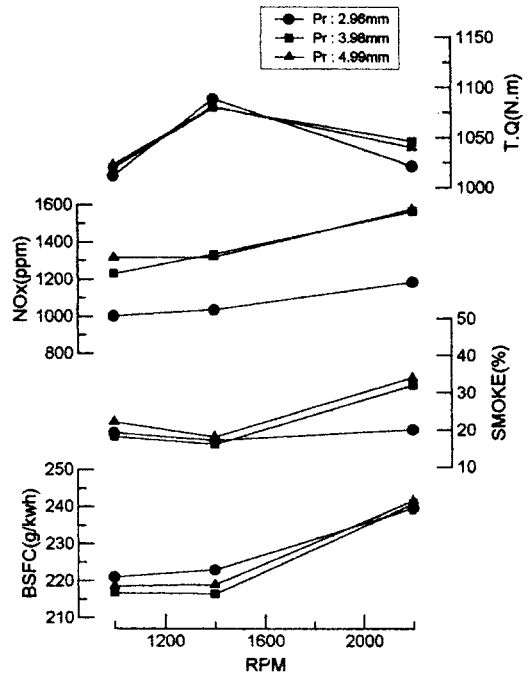


Fig. 6 Effects of Nozzle Protrusion
(at BTDC 12.5° CA, $\phi 0.32 \times 3 + 0.33 \times 2$)

의 혼합상태에 영향을 미친다. 그 결과로서 돌출량 3.98mm의 경우가 연비는 좋으나 NOx농도는 증가되며, 돌출량 4.99mm의 경우는 3.98mm의 경우에 비해 중고속영역에서 다소 NOx농도의 차이가 있지만 전반적으로 돌출량이 클수록 NOx농도는 증가되는 경향을 알 수 있다. 이는 연소사진촬영의 분석결과⁵⁾를 인용하면 노즐돌출량이 큰 쪽이 화염의 전파영역이 크며, 피스톤상면 틈새부의 공기량이 적은 상태에서 화염과 공기와의 혼합 및 연소가 진행되므로 틈새부의 가스온도가 높아져 NOx농도는 증가된다고 할 수 있다.

4.4 분사시기의 영향

분공경 $\phi 0.32 \times 3 + \phi 0.33 \times 2$, 분사각 150°, 돌출량 2.96mm인 노즐을 사용하여 분사시기를 BTDC 12.5, 14.5, 16.5° CA로 변화시켰을 때의 성능 및 Emission에 대한 특성을 Fig. 7에 나타내었다. 일반적으로 분사시기를 진각시킴에 따라 분사개시시의 온도가 낮으므로 착화지연기간이 길어

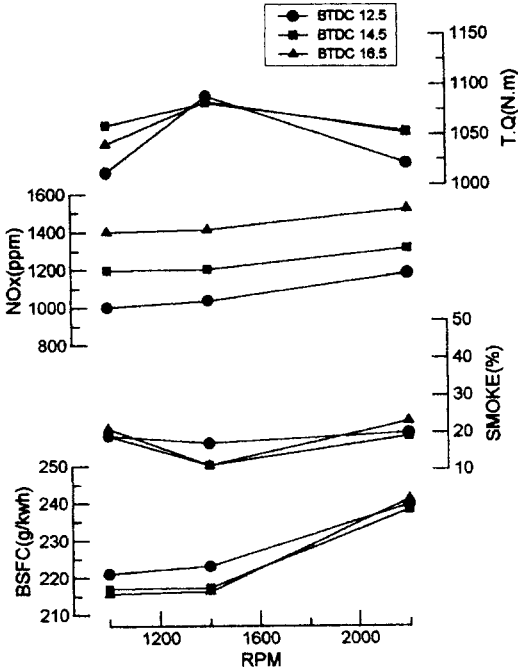


Fig. 7 Effects of Injection Timing (at $\phi 0.32 \times 3 + 0.33 \times 2$, Pr=2.96mm)

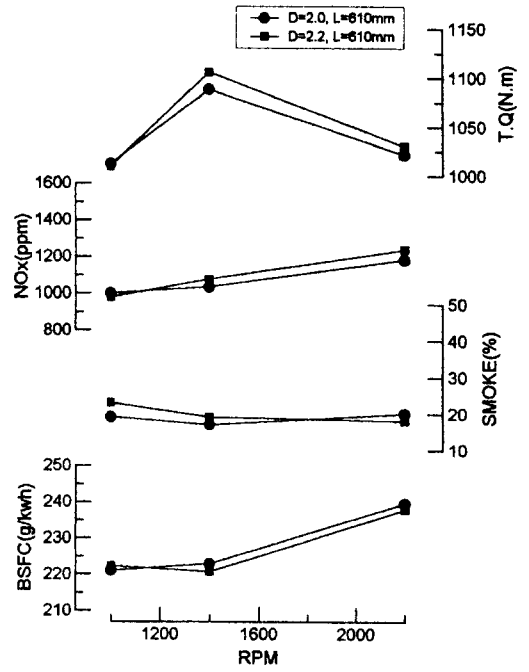


Fig. 8 Effects of Injection Pipe Diameter (at BTDC 12.5 ° CA, $\phi 0.32 \times 3 + 0.33 \times 2$, Pr=2.96mm)

저 분사기간중의 예혼합 연소부분이 커진다. 이로 인해 실린더내의 압력이 상승하므로 분무에 공기 도입이 증가하여 분무내의 평균당량비는 감소된다. 따라서 분사시기를 진각시킴으로써 연비 및 Smoke농도는 저감된다고 생각되나, 반대로 NOx 농도는 증가됨으로 적절한 분사시기에서 최적화시킬 필요가 있다.

4.5 분사관의 영향

분사시기 BTDC 12.5° CA에서 분공경 $\phi 0.32 \times 3 + \phi 0.33 \times 2$, 분사각 150°, 돌출량 2.96mm인 노즐을 사용하여 분사펌프에서 노즐까지 분사관의 직경을 변화시켰을 때의 성능 및 Emission에 대한 특성을 Fig. 8에 나타내었다. 중고속영역에서의 연비는 분사관 $\phi 2.2$ 의 경우가, 저속영역에서의 Smoke농도는 분사관 $\phi 2.0$ 의 경우가 우수하다. 분사관의 직경을 확대하면 분사관내의 마찰저항이 감소하기 때문에, 저속영역에서는 분사관의 단면적증대로 송유속도가 낮아 실제의 분사압력이 떨

어져 분무입경을 증대시키는 결과를 초래하여 Smoke농도를 악화시킬 수 있다. 반면에, 고속영역에서는 분사관내의 용적이 증대되어 상대적으로 되돌림량의 감소로 인하여 잔압이 증가하여 분사압력의 증대 및 분사기간의 단축효과로 연비 및 Smoke농도의 저감효과를 가져오나 NOx농도는 증가된다.

4.6 연소실의 영향

분사시기 BTDC 12.5° CA에서 분공경 $\phi 0.32 \times 3 + \phi 0.33 \times 2$, 분사각 150°, 돌출량 2.96mm인 노즐을 사용하여 연소실형상을 연소실의 상부벽면 각도를 0°로 한 Toroidal형에서 9°의 Re-entrant형(D₁:79.6, D₂:75.6)으로 변경시켰을 때의 성능 및 Emission에 대한 특성을 Fig. 9에 나타내었다. 이 경우 압축비는 17.7:1로 동일하게 하였다. 그 결과로서 연비 및 Smoke농도는 전영역에 걸쳐 Toroidal형이 유리하며 Re-entrant형이 조금 악화되는 경향을 보이고 있다. 연료가 분사되어 착

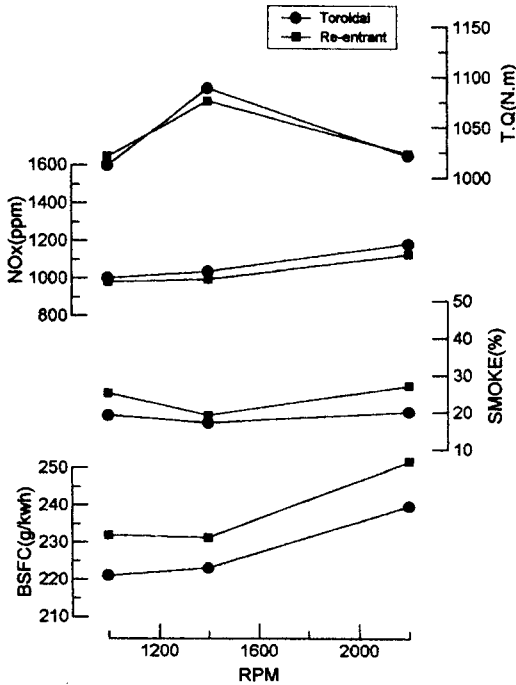


Fig. 9 Effects of Combustion Chamber (at BTDC 12.5 ° CA, φ 0.32 × 3+0.33 × 2, Pr=2.96mm)

화되기까지의 착화지연기간은 동일하나, 착화후의 최고압력은 Toroidal형이 높아 연소가스의 평균온도도 상대적으로 높게 되어 NOx농도는 증가된다.⁶⁾ Hou 등이 Simulation을 이용하여 각종 연소실내에서의 계산 및 실험한 결과⁷⁾에 의하면 Re-entrant형이 Toroidal형에 비해 Squish 및 난류가 강하며 상사점후 연소실내의 Swirl 감쇄는 적으므로 연소실내에서의 활발한 공기유동특성은 반드시 유리한 엔진성능을 가져온다고 할 수 없다. 그러나 오히려 공기유동의 정도가 낮은 경우에 그 우위성이 발휘된다는 결과를 참고로 하면, Fig. 9의 Emission결과와 같이 Re-entrant형이 NOx농도는 낮으나 반드시 상부벽면각도를 크게 할수록 좋은 결과를 얻기에는 어려울 것이다. 또한 디젤엔진의 연소는 분무의 미립화, 공기유동 및 연소실내의 기하학적 형상 등 3가지 요인에 의해 좌우되므로 단지 연소실형상 한가지 요인만 변경시켜 얻은 결과로 그것이 적합하다고는 할 수 없으나, 전체적인 경향을 살펴보는 데는 어느 정

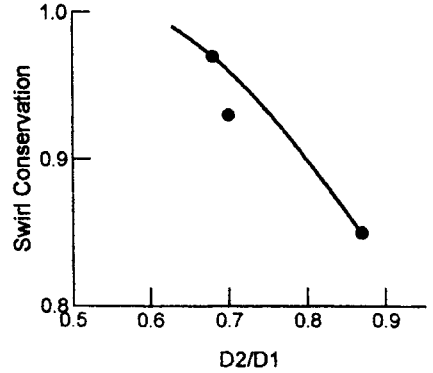


Fig. 10 The Relationship between D₂/D₁ and Swirl Conservation

도 타당성이 있을 것으로 사료된다.

4. 7 연소실 입구경에 따른 영향

Re-entrant형에 대한 연소실내의 Swirl보존성을 Takatsuki 등은 다음과 같은 식을 제안하고, 이 식을 이용하여 계산한 Swirl보존성 및 연소실의 입구경(D₂)과 최대경(D₁)의 비에 대해서 비교한 것을 Fig. 10과 같이 나타내었다.

$$Swirl\ 보존성 = \left(\int_{TDC}^{50^\circ} SR(\theta) \cdot d\theta \right) / (SR(TDC) \times 50) \quad (3)$$

여기서, SR=연소실내의 Swirl비

이 결과를 통하여 Swirl보존성은 D₂/D₁과 상관관계가 있다는 것을 보여주고, 공기유동의 활성화에는 Re-entrant형으로 대표되는 연소실의 입구경을 작게 하면 Emission에 대한 개선효과가 있다고 규명하였다.⁸⁾ 그러나 Swirl보존성을 높이기 위해서 연소실의 입구경을 너무 작게 하면 Smoke 농도는 저감되나, 연소실형상의 변경으로 Squish가 강하게 되어 예혼합연소의 촉진에 따라 연소온도가 상승함으로써 오히려 NOx농도는 악화되며, 피스톤의 온도상승으로 신뢰성저하에 우려가 될 수 있으므로 연소실의 최적설계가 필요하다. Fig. 11은 분사시기 BTDC 12.5° CA에서 분공경 φ0.32 × 3+φ0.33 × 2, 분사각 150°, 돌출량 2.96mm인 노즐을 사용하여 연소실의 입구경(D₂)를 φ75.6에서 φ74.3mm로 변화시켰을 때의 성능 및

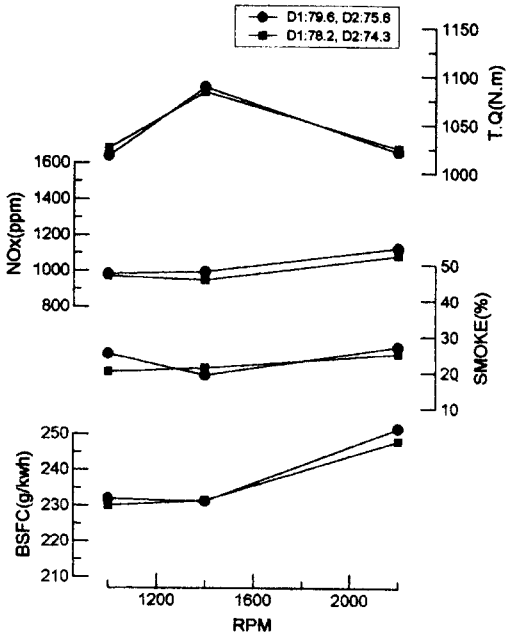


Fig. 11 Effects on the Entrance Dia. of Combustion Chamber (at BTDC 12.5 ° CA, $\phi 0.32 \times 3 + 0.33 \times 2$, Pr=2.96mm)

Emission에 대한 특성을 나타내었다. 그 결과로 연소실의 입구경이 작은 $\phi 74.3\text{mm}$ 의 경우가 NOx 농도가 감소되는 경향을 파악할 수 있었다.

4.8 흡기계의 영향

분사시기 BTDC 12.5°CA에서 분공경 $\phi 0.32 \times 3 + \phi 0.33 \times 2$, 분사각 150°, 돌출량 2.96mm인 노즐을 사용하여 흡기계의 형상을 Fig. 12와 같이 부등간격 흡기방식에서 등간격 흡기방식으로 변경하여 실험하였다. 그 결과로는 Fig. 13에서 나타낸 바와 같이 부등간격 흡기방식보다 등간격 흡기방식이 저속영역에서는 흡입공기량의 분배가 원활하여 체적효율을 향상시키고 평균유효압력의 증대로 연비 및 Smoke농도의 감소효과가 있으나, 중고속영역에서는 오히려 체적효율 및 평균유효압력이 떨어져 연비 및 Smoke농도는 증가되고 NOx농도는 감소된다. 이 결과로 흡기방식에 따라 저속 및 중고속영역에서 성능 및 Emission에 대한 장단점이 있으므로 어떤 흡기방식이 더 좋다고

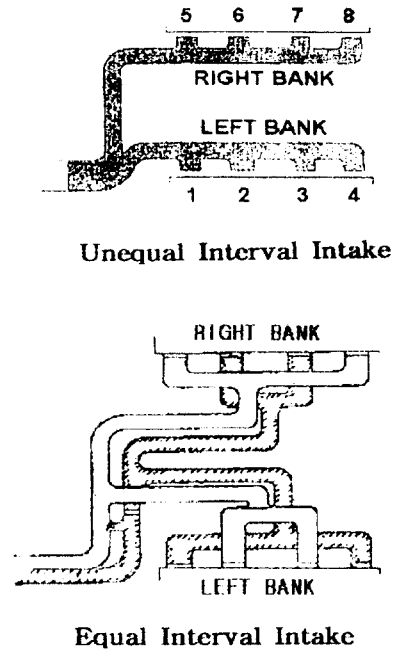


Fig.12 The Comparison on Configuration of the Untake System

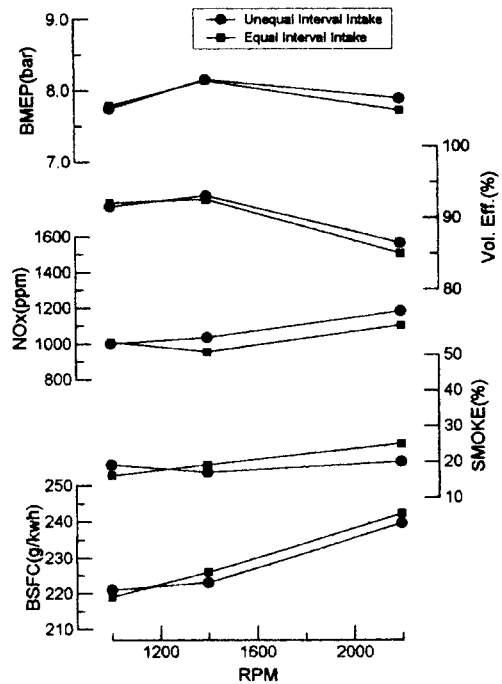


Fig.13 Effects of Intake System (at BTDC 12.5 ° CA, $\phi 0.32 \times 3 + 0.33 \times 2$, Pr=2.96mm)

구명할 수는 없다. 결국 보다 좋은 성능 및 Emission 개선을 위해서는 밸브개폐시기의 최적설계 및 흡배기의 관성효과에 대한 기술 등이 요구된다는 것을 알았다.

5. 결 론

직접분사식 4행정 8실린더용 디젤엔진의 성능 개선 및 분사계의 최적화 연구를 위하여 분사계의 각 인자와 연소실형상 및 흡기방식을 변경시켜, 엔진의 성능 및 Emission에 미치는 영향을 조사한 결과는 다음과 같다.

(1) 분공경이 작을수록 분무입경이 작아 미립화가 촉진되어 연소과정에서 연비 및 Smoke농도는 감소되나, NOx농도는 증가된다.

(2) 분공경 $\phi 0.32 \times 3 + \phi 0.33 \times 2$ 노즐의 경우에서 분사각 140° 가 150° , 160° 에 비해 연비 및 Smoke농도는 감소되나, NOx농도는 증가된다.

(3) 노즐돌출량의 크기가 너무 크면 오히려 성능 및 Emission을 악화시킨다.

(4) 동일한 노즐을 이용하여 분사시기를 진각시킴으로써 실린더내의 압력이 상승하여 연비 및 Smoke농도는 감소되나, NOx농도는 증가된다.

(5) 분사관직경의 확대는 고속영역에서 잔압의 증가로 인해 실제의 분사시간이 단축됨으로써 연비 및 Smoke농도를 개선시킬 수 있으나, NOx농도의 저감에는 불리할 수 있다.

(6) 연소실에 Re-entrant각도를 9° 로 주었을 때 연비 및 Smoke농도는 증가되나, NOx농도는 감소된다. 또한 연소실 입구경을 작게함으로써 NOx농도를 개선하는 효과를 얻을 수 있다.

(7) 등간격 흡기방식은 저속영역에서 체적효율 및 평균유효압력이 증가되어 성능 및 Emission의

개선효과가 있으나, 중고속영역에서는 반대적인 경향을 나타낸다.

참고문헌

- 1) T. Kato et al. : Spray Characteristics and Combustion Improvement of DI Diesel Engine with High Pressure Fuel Injection, SAE Paper 890265
- 2) T. Minami et al. : Analysis of Fuel Spray Characteristics and Combustion Phenomena under High Pressure Fuel Injection, SAE Paper 900438
- 3) 長尾不二夫 : 內燃機關講義 上卷, 養賢堂, pp259, 1981.
- 4) H. Kondoh et al. : Emission Aspect and NOx Reduction Technique for Small and Medium Sized Diesel Engine, 日本內燃機關, Vol.33, No.412, pp.42, 1994.
- 5) H. Hiroyasu et al. : Combustion Process in a D.I. Diesel Engine with High Pressure Injection Effect of Spatial Distribution of Fuel Spray in a Combustion Chamber on NOx Emission, JSAE, Vol.22, No.4, pp.53-58, 1991.
- 6) 권순익 : 직접분사식 디젤기관에서 Reentrant형 연소실형상이 연소특성에 미치는 영향, 한국자동차공학회, No.943817, pp.130-131, 1994.
- 7) Z. Hou et al. : Effect of Combustion Chamber Geometries on In-Cylinder Flow Motor and Exhaust Emission in a Direct Injection Diesel Engine, The 10th Internal Combustion Engine Symposium, Japan, pp. 13-18, 1992.
- 8) T. Takatsuki et al. : Development of a New Low-Pollution and High Output Combustion Chamber, JSAE, Vol.48, No.10, pp.36-39, 1994.