

# 직접분사식 디젤기관의 고압분사계 응용기술

## An Application Technology of Higher Injection System in a Direct Injection Diesel Engine

김 한 주, 정 영 철, 정 익 재  
H. J. Kim, Y. C. Jung, I. J. Jung



김 한 주  
• 1956년 12월생  
• 대우중공업 중앙연구소 엔진  
제품기술부  
• 디젤엔진성능개발, 정회원



정 영 철  
• 1966년 7월생  
• 대우중공업 엔진제품기술부  
• 디젤엔진성능개발, 정회원



정 익 재  
• 1948년 10월생  
• 대우중공업 엔진제품기술부  
• 디젤엔진성능개발

### 1. 서 론

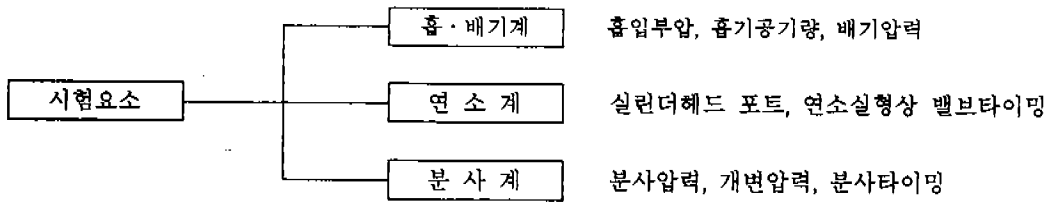
최근 환경보호에 대한 사회 전반의 관심이 높아지면서, 이제까지 문명의 이기로 전 인류에게 사랑받아온 자동차가 환경의 주범으로 인식되기에 이르렀으며, 이에 따라 전 세계적으로 배기규제가 강화되려 있다. 다른 한편으로 소비자는

더욱 고성능, 저연비의 품질좋은 자동차를 요구하고 있어, 기관 각 제작사는 저공해, 고성능의 새로운 엔진개발에 몰두하고 있다.

당사에서는 이러한 사회환경 변화 및 수요자의 요구특성에 부응한 새로운 대형 트럭용 디젤 기관을 개발하게 되었으며, 디젤 연소개선에 가장 효과가 큰 고압분사 시스템을 적용하기 위하여 연료분사펌프, 분사노즐, 연소실 등을 새롭게 설계, 제작 하였다.

고압분사에 따른 질소산화물과 연소소음의 증가를 억제 하기위해 많은 분사노즐 및 연소실 관련 최적화 실험을 수행하였으며 특히 질소산화물의 저감을 위해 과도하게 지연된 분사시기에 대한 보상을 위해 분사노즐의 분공길이, 돌출높이 및 진각특성 등에 이르기 까지 세심한 튜닝이 이루어졌다.

이상과 같이 고압분사시스템 적용 및 관련부품 조합의 최적화를 통해 동급기관중 최대의 출력을 확보하면서 유해가스를 대폭 저감시킬 수 있었으며, 특히 터보엔진의 약점으로 지적 되어온 저속 회전영역의 토크 및 매연을 획기적으로 개선시켰을 뿐만 아니라 기관부품의 내구성, 정비성 향상을 위해 실린더라이너, 피스톤-링 등 많은 기관부품의 소재개발 및 재설계를 통하여 품질향상을 꾀해 새로운 디젤기관을 개발하였다.



## 2. 시험부품선정

### 2.1 분사계 부품

디젤기관의 연소효율향상은 분사펌프, 노즐로부터 실린더헤드, 피스톤의 연소실에 이르기까지의 연소조건에 따라 크게 변화된다. 최근 분사펌프는 기관의 성능향상과 함께 배출가스의 저감을 위하여 연료의 분사압력을 증가시켜 분무상태를 미립화하고 분사기간을 짧게하는 방향으로 나아가고 있다. 본 연구에서도 위와같은 목적으로 고압분사를 피함과 동시에 미립화된 연료가 연소실에서 고르고 넓게 분포되고 연소종료시까지 이동할 수 있는 관통력을 얻기위한 적정 노즐의 분공경, 분공수와 들출량을 변경, 최적연소상태를 파악하고자 하였다.

본 연구에서는 상기한 시험요소중 분사계, 연소계 조건 변경에 의한 기관성능에의 영향을 중

점적으로 고찰하였다. Table 1은 본 실험기관의 주요제원이며, 연료의 고압분사를 위해 연료분사펌프를 BOSCH P3000 형으로부터 P7100 형으로 변경하였다.

Table 2는 연료분사펌프의 주요제원을 나타낸 것이며, Table 3은 기관의 주요부품 변경인자이다. Fig.1은 분사노즐의 주요형상을 나타낸 것이다.

### 2.2 연소실

고압분사에 의한 NOx의 증가 해결책의 하나로써 분사시기를 지연시켰을때, 증가경향을 나타내는 매연, 미립자물질, 연료소비율을 저감시키는 방안으로써 기존의 Toroidal형을 연소실내에서 연유된 강한 공기유동이 연소속도를 빠르게하고 다공노즐을 사용하며 스웰에 의한 화염의 접침을 막기위하여 스웰의 강도를 줄인 Reentrant형으로 변경하였다. 또한 피스톤 상면의 밸

Table 1 Specification of experimental engine

Engine	V-type, 4-stroke, Water cooled, Turbocharged
Injection type	In-line, Direct Injection
Cylinder no.	8
Bore × Stroke	128mm × 142mm
Displacement	14.6liter

	Conventional	Modified
분공수 × 분공경	4 × φ0.42mm	5 × φ0.32mm
LSP	1.5mm	0.8mm

Table 2 Main specification of Injection pump

	BOSCH P3000	BOSCH P7100
Cam lift(mm)	11	12
Base circle(mm)	32	34
Allowable pressure (bar)	800	1100

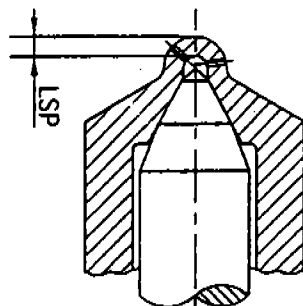


Fig.1 Schematic shape of nozzle



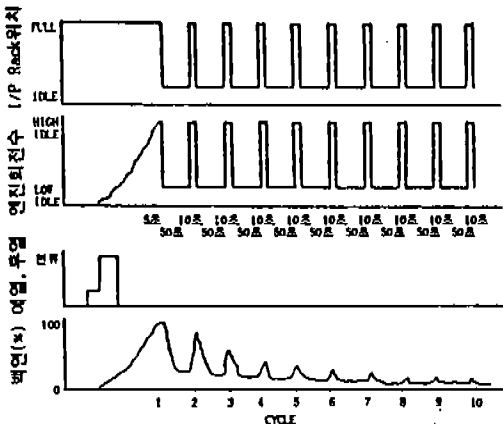


Fig.4 Test mode of white smoke

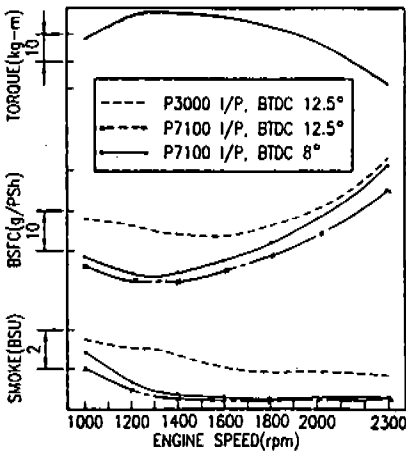


Fig.5 Influence on injection pump

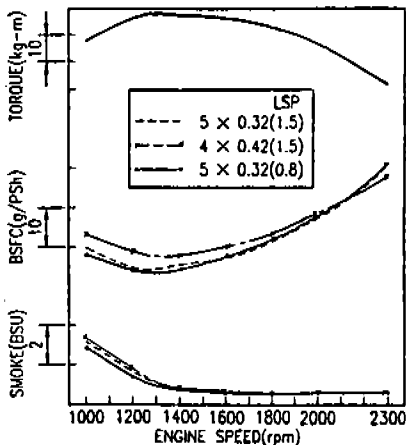


Fig.6 Influence on nozzle

2000Hr의 연속 내구운전, 밸브계동 구동부의 내구성위한 100Hr의 과속운전, 피스톤, 배어링등 평가를 위한 90°C 이상의 고수온 운전등 많은 내구성 평가실험을 실시하였다.

Table.4는 내구부품의 시험대상을 나타낸 것이다.

### 3.2 냉동실 및 백연 측정장치

한랭시 기관의 냉시동성, 백연농도를 평가하기 위해서는 기관을 영하온도 15°C 이하로 냉동시키기 위한 냉동실(Cold Chamber)이 필요하다. 본 연구에서는 당사에서 보유하고 있는 영하 40°C 까지 냉동이 가능한 냉동실을 사용하였으며, 냉각장치 및 전기장치 등은 차량조건과 유사하게 구성하고자 했으며, 연료분사펌프의 조정레버 조작은 수동으로 행하였다.

Fig.3은 냉동실의 구성도이고, Fig.4는 백연의 측정모드를 나타낸것이다.

백연정도에 대한 평가방법은 실제 운행조건을 고려하여, 영하 15°C에서 8시간이상 냉동시킨 상태에서 Fig.4에 의하여 실험을 하였다.

## 4. 실험결과

### 4.1 연료분사펌프의 영향

연료분사펌프는 점차 고압화 추세에 있어 A 형식으로부터 P3000, 7100형식에 이르고 있으며, 또한 분사펌프의 내부구조 변경을 통해 강도도 크게 강화되었고 프리스트로크, 연료분사량이 증가되어 분사펌프의 분사압력이 1100bar에까지 도달되고 있다.

기관성능에 직접적인 영향을 주는 분사계에서의 분사율 특성을 고려해 볼때, 고분사율에는 최대분사압력을 얻기위한 고분사율이, 또한 고속회전수 영역에서는 적절한 연소효율 및 탄화수소의 감소를 유도하기 위한 저분사율의 적용이 효과적인 것으로 알려져 있다.

한편 분사압력이 가능한한 높을수록 기관성능 향상에 도움이 되겠지만 이에 수반되는 NOx, 소음의 증가는 가변적인 분사시기 조절등을 통해 최적화시켜야 되는데, 장래는 전자제어 연료분

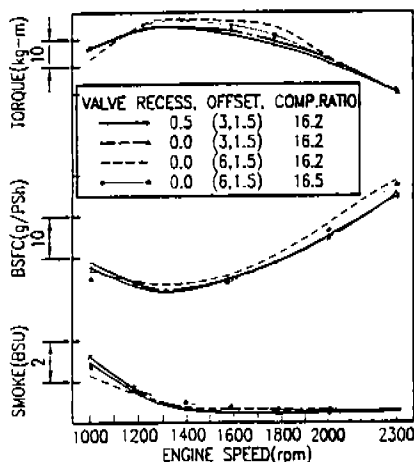


Fig.7 Test result of engine performance on combustion chamber

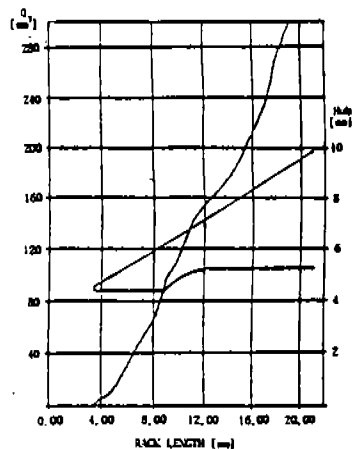


Fig.8 Characteristic of PLA plunger

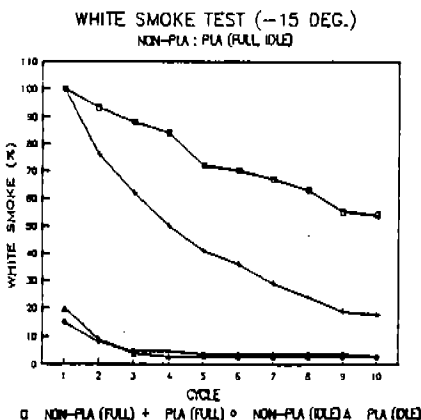


Fig.9 White smoke of PLA Plunger

사를 적용시 가능하겠지만 현실적으로 가격등을 고려하면 기관자체의 분사노즐, 연소실의 변경을 통한 적용기술이 필요로 된다.

Fig5는 동일한 분사시기에서 연료분사펌프의 변경시 기관성능을 나타낸것이다.

P7100형식의 연료분사펌프 적용시 기관의 전회전수 영역에서 현저한 연료소비를 향상, 매연 감소를 가져왔으나, 반면 NOx가 크게 증가되는 일반적인 경향을 보여주었다.

NOx수준을 기준으로 평가한 결과 분사시기를 약 5도 정도 지연을 시킬경우에도 고압의 연료 분사가 유리함을 알 수 있었다.

#### 4.2 분사노즐의 영향

분사노즐의 분구면적이 작을수록 동일 연료분사량에서 분사압력이 증가되며 기관속도가 증가하면 최고압력에 도달하게 된다. 이 최고압력은 연료분사펌프와 분사노즐홀더의 내구한계성을 고려해야 한다.

본 연구에서는 최고강도의 P7100형식의 연료분사펌프 및 높은 강도의 분사노즐을 적용한 관계로 배출가스의 감소를 위하여 가능한한 분구경이 작은 분사노즐을 응용하고자 하였다.

Fig6은 분사노즐변경에 따른 엔진성능비교를 나타낸 것이며, 분구경이 작은 분사노즐을 적용할 경우 기관의 전회전수 영역에서 연료소비율, 매연이 상대적으로 좋은 결과를 가져왔다. 한편, 고속회전수 영역에서 연료소비가 점점 악화되는 경향을 보이고 있는데, 이는 분사된 연료의 미립자간의 결합으로 인해 연소효율이 저하된 것으로 판단된다.

또한 저속회전수 영역의 매연저감과 함께 연료분사의 관통력, 확산범위를 증가시키기 위해 분구길이를 짧게 한 결과 양호한 결과를 가져왔다.

#### 4.3 연소실의 영향

배출가스 감소를 위해서는 분사시기의 지연을 하는것이 대부분이며, 이에 대한 한랭시의 냉시동성을 향상시키기 위해 피스톤의 압축비 증가 등의 연소실의 변경이 따르게 된다.

또한 연소실 중심과 노즐 중심위치간의 Off-

set량을 최소화시키며 연료분사의 분무길이를 가능한한 연소실의 벽면에 일정하게 하도록 해야한다.

본 연구에서는 피스톤의 압축비를 15.5에서 16.5로 변경 및 Offset량을 작게하여 기관성능의 영향을 고찰하였다.

Fig.7은 피스톤의 연소실 변경에 의한 기관성능을 나타낸 것이다.

피스톤의 압축비가 커질수록 매연이 증가되는 경향을 보였다.

#### 4.4 백연(White Smoke)

4.4.1 플런저 특성 : PLA Plunger(Part Load Advanced Plunger)

기관의 백연저감을 위해서는 정적분사시기를 진작시키는 것이 가장 효과적인 방법이나 전부

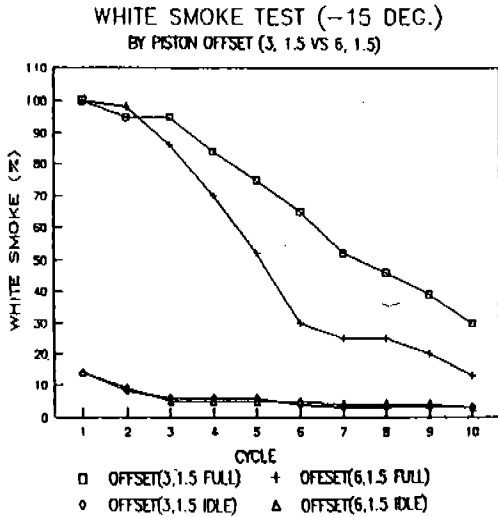


Fig.10 Influence on combustion chamber

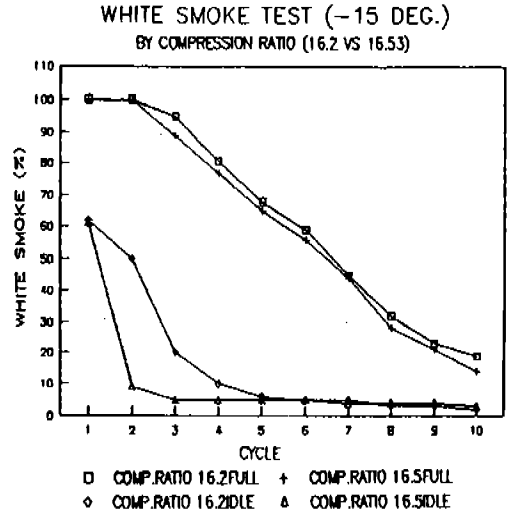


Fig.11 Influence on compression ratio of piston

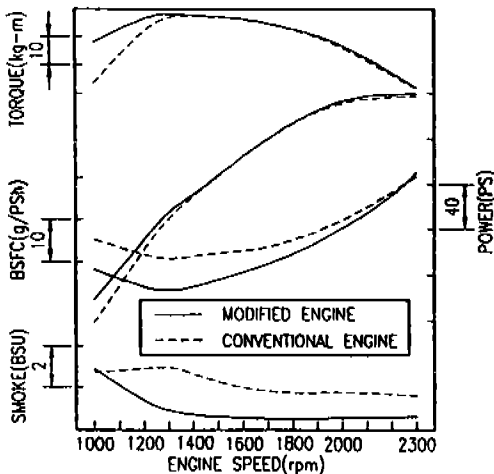


Fig.12 Engine performance

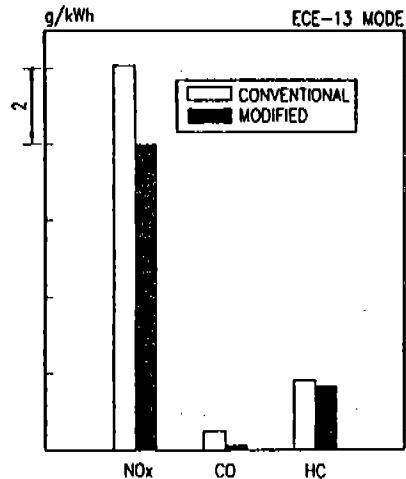


Fig.13 Exhaust emission by ECE-13 mode

하에서의 질소산화물의 증가로 인해 적용이 부적절하다. 그래서 백연발생이 많이 배출되는 구간인 부분부하영역에서의 동적 분사시기를 진각시키기 위해 플런저 상부에 특수가공을 하게 한다. 이 경우 보통 기관회전수의 전부하량의 30%~40% 정도에까지 2~3deg/cam.의 분사시기의 진각을 유도한다.

Fig.8은 PLA Plunger의 특성 및 형상을 나타낸 것이다.

#### 4.4.2 PLA Plunger의 영향

PLA Plunger를 적용하면 부분부하경우에 분사시기의 진각을 유도하여 기관성능의 향상을 얻게되나 약간의 질소산화물의 증가를 가져오므로 최소한의 변화를 주도록 백연 및 기관성능을 평가하면서 최적의 설계를 해야한다.

Fig.9는 표준 Plunger와 PLA Plunger의 백연농도를 비교한 것이다.

#### 4.4.3 연소실의 영향

연소실 중심과 분사노즐 중심의 Offset량의 변화에 의한 백연측정결과를 Fig.10에 나타내었다.

이 Offset량이 작을수록 백연이 감소됨을 알수 있었다. 이 경우 백연감소에 유리하게 작용하지만 연소실 중심이 노즐에 근접되어 연소압력의 증가에 의한 피스톤의 열용력을 고려해야 되며, 피스톤의 온도측정을 통해 설계되어야 한다.

한편, 연소실의 압축비를 증가시킬 경우 Fig.11에서와 같이 백연감소에는 효과가 현저하나 배연증가 및 질소산화물의 증가가 나타나므로 기관성능의 악화를 최소화하도록 연소실의 압축비가 설정되어야 한다.

### 4.5 종합성능

고압화된 연료분사계 적용에 따른 최적의 기관성능을 얻고자 연소실, 분사노즐변경은 물론 밸브타이밍등 분사시기관련 기관부품을 변경시키면서 평가시험을 하였다.

또한 질소산화물의 저감연구와 관련하여 발생된 백연, 시동성 등 다수의 제반 문제점을 플런저가공, 분사타이머 변경을 통해 최소한의 기관성능의 악화와 함께 개선시켰다.

Fig.12는 본 연구에서 여러종류의 기관부품 변

경을 통해 얻은 종합성능을 P3000형식의 연료분사펌프를 적용시킨 디젤기관과 비교하여 나타낸 것이며, 또한 배출가스를 비교한 결과를 Fig.13에 나타내었다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 직립열형 분사펌프중 가장 고압화된 연료분사펌프를 적용함에 따른 기관성능에의 영향을 고찰하고자 했으며, 또한 다공 분사노즐, reentrant 연소실, 분사시기 변화 등 다수의 부품변경을 통해 최적의 연소성능을 얻기 위한 분사계, 연소계의 특성을 파악한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 연료분사펌프 형식을 Bosch P3000으로부터 Bosch P7100으로 변경시키고, 다공 분사노즐 및 reentrant 피스톤과의 최적화 변경시험을 통해 저속토크의 향상 및 배출가스 저감을 얻을 수 있었다.
- 2) 고압분사계를 적용시 배연, 연료소비율의 기관성능이 기관회전수의 저속영역에서는 우수하나 고속영역으로 갈수록 악화되는 경향을 나타내었다.
- 3) 백연발생의 주요요인은 분사시기 지연 및 연소실의 압축비의 영향에 인하여 나타나는 것으로 확인되었으며, 이는 부분부하시의 분사시기 진각, 압축비 증가를 통해 개선시킬 수 있었다.
- 4) 기관성능 증가에 따라 기관부품인 노즐홀더의 강도증대, 실린더라이너 및 피스톤링의 재질변경, 밸브구동부의 재설계등 부품소재개발 기술의 응용이 요구되었다.
- 5) 고압분사계의 적용기술은 출력향상 및 저공해 기관개발에 필수적인 것으로 보였으며, 최적의 연소성능을 얻기 위해서는 축적된 개발기술, 경험적인 응용기술등이 상당히 필요로함을 알게 되었다.

### 참 고 문 헌

1. 김한주, 이진호, 조순호, "디젤기관 최적연소

- 를 위한 분사계 연구”, 한국자동차공학회 1994  
년도 춘계학술대회 943806.
2. Hiroshi Ishiwata, “Recent Progress in High  
Pressure Injection and Rate Shaping Techno-  
logy for Diesel In-Line Pumps”, SAE 940194.
3. 최명학, 채규승, 김한주, 조순호, “대형 디젤  
엔진의 백연저감 기술”, 대우기보 제32호,  
(1994.6), p.3-5.