

## 전자 제어식 고압 연료분사장치 개발

### The Requirement of Development on Electronically Controlled High-pressure Fuel Injection System for the Diesel Engine

이 재 기  
J. K. Lee



이 재 기  
· 1957년 9월생  
· 정회원  
· (주)두원정공 기술연구소  
· 신제품연구부

#### 1. 개 요

최근 서울의 일부 지역에서는 오존 주의보에 의한 대기 오염의 수치가 발표되고 있어 이의 심각성이 대두되고 있다. 대기오염의 주범은 자동차이며, 자동차에서 주로 많이 배출되는 질소산화물(NO<sub>x</sub>)과 탄화수소(HC) 및 디젤자동차에서의 입자상 물질(PM: Particulate Matter)등이 대기 환경에 미치는 영향이 크므로 이러한 물질의 저감에 대한 요구가 점차 강화 되어가고 있다(Fig.1 참조)

특히, 디젤 엔진이 가솔린 엔진에 비해 대기오염의 주원인이라는 편견이 일반적으로 널리 알려져 있지만, 이는 눈에 보이는 Black Smoke에 대한 거부반응이 있다는 점이다. 실제로 디젤 엔진의 유해 배출 성분 중에서 NO<sub>x</sub>는 가솔린과 비슷한 수준이나 HC

와 CO 성분은 상당히 적게 배출되고 있다. 또한, 디젤 엔진은 연료 경제성 및 지구 온난화의 원인인 CO<sub>2</sub> 배출이 적다는 장점이 있으므로 디젤 엔진에서 많이 배출되는 성분으로서 입자상 물질(PM) 및 NO<sub>x</sub>를 줄이는 방안이 요구되고 있다. 이를 저감시키는 방법은 여러 가지가 있으나 분사계 측면에서 전자제어식 고압 연료 분사가 요구되고 있으며 이의 개발 필요성에 대해서 논하기로 한다.

#### 2. 배기가스 규제 만족을 위한 기술 동향

규제 만족을 위한 기술을 살펴보면, 종래 기술은 단기 목표로서의 대응 기술로 가능하지만, 장기 목표 달성으로는 불가능하다. 장기 목표 대응 기술로서 중요한 것은

첫째, chassis base(승용차 및 2.5톤 이하의 트럭, 버스)에 대해서는

- ① 연소의 최적화(연소실계, 분사계, 유동계)
- ② 전자제어식 연료분사 펌프 등에 의한 연료 분사 시기, 분사량 및 분사율의 정밀제어
- ③ Feed back 기능 부착 EGR system 등

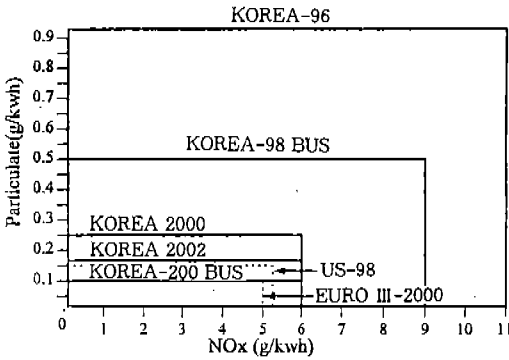


Fig.1 Heavy Duty Diesel Engine Emission Regulation

에 따른 운전의 최적 만족과 최대 EGR의 실현

- ④ 과급기의 응답성 개량 및 인터쿨러 (Intercooler)의 고성능화
- ⑤ 산화 촉매 DPF 등의 후처리 장치 둘째, Eng. base(차량 중량 2.5ton 이상 트럭, 버스)에 대해서는

- ① 연소의 최적화(연소실계, 분사계, 유동계)
- ② 연료분사 펌프의 개량
- ③ Unit injector 채용 등에 따른 연료분사의 고압화 또는 Pilot 분사를 포함한 연료분사율의 최적제어
- ④ 윤활유 소비량의 저감
- ⑤ 산화 촉매, DPF 등의 후처리 장치

등이 있으며 이러한 요소 기술로서 신규 개발 또는 고도화함으로써 차종에 맞는 요소 기술을 적절하게 조합 시켜 규제를 만족케 하는 연구개발이 진행되고 있다. 특히, 연료 분사 장치는 전자제어실 연료분사 펌프 등에 의한 고압 분사, 연료분사 시기, 분사량 및 분사율의 정밀제어, Pilot 분사 등의 기술이 필요하며, 세계적으로 디젤의 장기 배기 가스 규제를 만족시키기 위한 분사계의 유효한

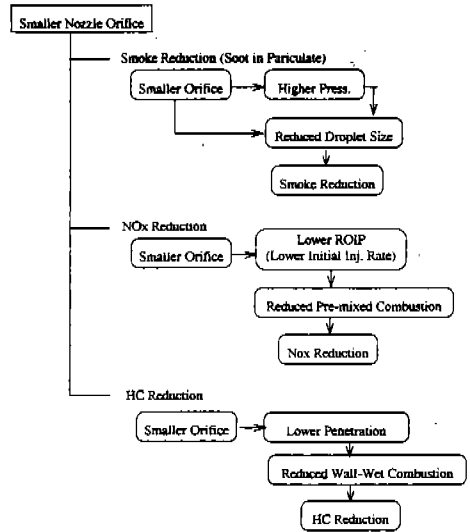


Fig.2 The effect of the smaller nozzle orifice

수단이라 할 수 있다. 그 방법은 아래와 같다.

1) 소분공 Nozzle의 채용

Nozzle 분공을 작게 하면, 분사압력은 고압으로 되고, 분무의 미립화가 촉진되어 공기와의 혼합이 잘 되므로 Smoke 및 입자상 물질(PM)의 Soot분이 감소한다. 또한, 분사 시작에서 혼합기가 착화할때까지의 기간(착화 지연 시간)중에 분사하는 분사량이 감소하기 때문에 예혼합연소를 적게하며, 급격한 연소 온도의 상승을 억제하는 것이 가능하게 되어 NO<sub>x</sub>를 감소시키는 것이 된다.(Fig.2 참조)

2) 분사율 가변

입자상 물질(PM)의 발생 과정을 보면, 고부하에서는 분사율의 상승과 고압화를 얻을 수 있으므로 입자상 물질(PM)의 Soot분을 감소시킬 수 있다. 또한, 저부하에서는 분사율을 낮추면 분무의 도달거리가 짧게 되어 연소실 벽의 과도한 냉각을 방지하고, HC 또는 입자상 물질(PM)중에서 유기용제를

녹일 수 있는 성분 SOF(Soluble Organic Fraction)분을 감소 시킬 수 있다. Fig.3과 같이 분사압력파형과 분사율파형을 실현하는 분사시스템 혹은 부하영역에 따른 고압분사

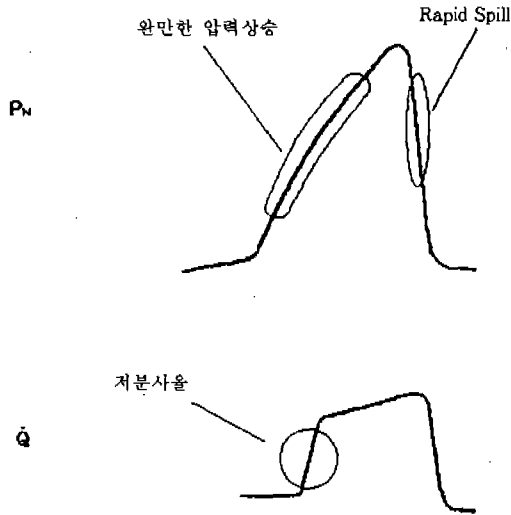


Fig.3 배기 Emission저감을 목적으로 한 분사 압력파형( $P_n$ )과 저분사율파형( $Q$ )

와 저분사율을 가변하는 분사시스템의 개념을 생각 할 수 있다.

3) 전자제어

분사펌프에서 중요한 특성은 분사압력 외에 분사량과 분사시간의 제어 특성이다. 최적의 분사시기를 얻기 위해서, 회전수, 부하, 온도, 대기압력 등에 맞는 MAP제어를 하게 함으로서, 조건에 적합한 최적의 제어 특성을 얻을 수 있고, 기계식의 복잡한 기구에 의한 습동부의 마찰이나 부품간의 Clearance 등에 의해 영향을 미치는 특성의 오차를 최소화할 수 있는 효과를 기대 할 수 있다. 또한, 가속 운전 시의 분사량의 급변을 억제하기 위한 응답 Speed의 제어나, 고압분사와 저분사율의 양립을 회전수와 부하 MAP제어에 따라 가능하게 된다.(Fig.4 참조)

2.1 배기가스 규제에 의한 분사계의 장래

현재 디젤 엔진 분사계는 대부분 저크식의 Mecha 구동방식이다. 그 중에서 Pump-Pipe-Nozzle 방식이 압도적이다. 미국에서

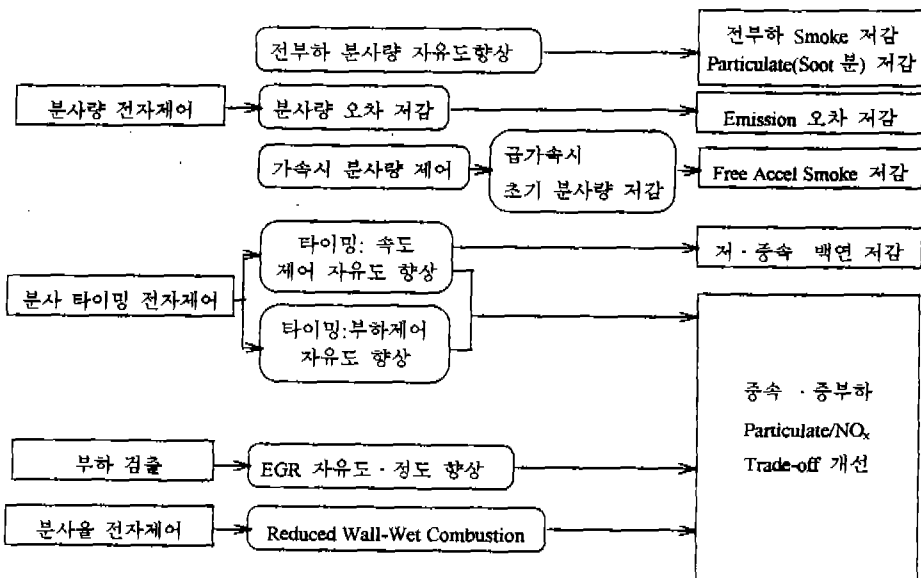


Fig.4 전자제어에 의한 배기 Emission 저감기술

주로 발전되어 왔던 분사파이프를 갖추고 있지 않은 Unit Injector 또한 역사적인 위치를 차지하고 있다. 그러나, 앞으로 분사계의 분사압력 수준이 어디까지 필요할 지가 아주 중요시되어, 일본 ACE연구소를 시작으로 200MPa 이상의 초고압이 실험되고 있으며, 이 상태에서의 Smoke 저감에 대한 효과가 확인되고 있다. 또한, 이미 120MPa~140MPa까지의 분사압은 점점 실용화되어지고 있으며, 현재, 고압화를 달성하기 위한 분사장치로서는

Pump-Line-Nozzle	In-Line-Pump : TICS	: 120MPa
	축압식 : Common Rail	: 150MPa
	Unit Pump : PLD	: 150MPa
	분배형 Pump : 고압분배형 Pump	: 100MPa
Pump-Nozzle	Unit Injector	: 150MPa 이상

목표로 하고 있으며 현재 엔진을 기초로 한 개발 상황을 살펴보면 연료분사계에 대해서는 연료 분사의 고압화와 부하에 의한 분사율의 정밀 제어가 과제라 되어 있다.

이를 위해 새로운 분사장치로서 In-line Pump, 전자제어 축압식 Unit injector(Common Rail), 전자제어 Unit injector 및 중소형 엔진용 신형 고압 분사 펌프 개발도 계속되고 있다.

In-line 펌프인 경우 노즐 분공의 소경화, 다분공 노즐, 특수 분공 노즐 등으로부터 공기 이용율을 증대시켜 흑연, 연비 등의 개선이 있으며, 또한 Sac Vol.이 없는 노즐에서는 PM의 개선효과가 얻어지고 있다. 그러나 초기 연소의 억제에서 NO<sub>x</sub> 저감을 목적으로 하여 개발이 진행 중에 있는 Cam 형상의 변동에 대해서는 목적으로 하는 효과를 얻고 있지 못하므로 Cam 형상에 대한 검토가 계속되고 있으며 Pilot 분사에 대해서는 분사량 및 분사 타이밍의 변동 폭 저감 등이 과

제로 되어 있다. In-line 펌프에 대해서는 현재보다 높은 고압화가 요구되고 있지만 여기에 따른 내구성의 저하, 소음의 증대에 대한 해결이 필요하다.

전자제어 축압식 Unit injector에 대해서는 분사의 고압화 및 Pilot 분사에 의한 분사율 제어에 대해 우수한 특성을 갖고 있으며, 중형 엔진의 시험에서는 Pilot 분사에서 흑연, 연비 등의 개선효과를 얻을 수 있다.

그러나, 대형 엔진의 적용 가능성에 대해서는 신속히 검토할 필요가 있음과 동시에 고압화에 따른 내구성, 신뢰성 및 안전성의 확보에 대해 충분한 검토가 필요하다.

전자제어식 Unit injector에 대해서는 NO<sub>x</sub>, 입자상 물질(PM) 등의 개선효과를 얻을 수 있지만 분사의 안정성 등의 문제가 있고 양산에 대한 대응 가능성도 검토할 필요가 있다.

이상과 같이, 입자상 물질(PM) 저감책으로서 고압분사는 디젤의 기본이며, 연소개선을 얼마만큼 효율적으로 하느냐와 고압분사를 축으로 입자상 물질(PM)저감이 가능하게 될 때 NO<sub>x</sub> 저감을 어떻게 실현시킬 것인가가 열쇠가 된다고 생각된다. 여기에서 엔진의 기통 내 연소 개량이 어느 단계까지 가능한가가 분사계에서의 포인트이며, 분사율의 가변화 기술은 점점 더 진전되어 가고 있다.

따라서, 세계 곳곳에서 진전되고 있는 분사계 개발은 엔진 본체측의 기본적 구조 변화 없이 차세대의 Low Emission 요구에 맞춰 나가야만 하는 것이며, In-line Pump의 고압화, Unit Injector, Common Rail 등 여러 가지 방식이 기술적으로 충분히 개발된 단계에 있고 이 시스템이 차세대의 요구에 맞는 성능, 기능을 갖고 있다는 것을 증명하고 있다. 차세대로 향한 현시점에서 예측해보면, 여러 가지 System이 등장하고 다양화

될 것으로 보이며, 특히, Unit Injector와 Common Rail에 기대 효과가 많을 것으로 사료된다.(Fig.5 참조)

Unit Injector의 시스템으로서는 크게

- Solenoid Valve A'ssy
- Pl. A'ssy
- Nozzle A'ssy
- ECU

로 구성되어 있으며, 기본 원리로서는 엔진으로부터 구동된 캠으로부터 플런저를 작동시켜 플런저가 하강하면서 Solenoid Valve가 닫히면, 플런저실에 충전되어 있던 연료는 가압 되어 노즐의 Needle Valve를 개방시켜 연료분사가 시작되고, Solenoid Valve가 열리게 되면 플런저실에 가압된 연료는 리턴통로를 통해 빠져나가므로서 연료분사가 종료되는 시스템으로 구성되어 있다.(Fig.6 참조)

또한, Common Rail 시스템은

- 고압 공급 펌프
- Common Rail
- Injector
- ECU
- 센서

등으로 구성되어 있으며, 기본 원리로서는 고압 공급 펌프에서 생산된 고압 연료를 Common Rail에 저장시켜 전자밸브에 의해 Nozzle Needle Valve의 개폐를 작동시키므로서 분사의 개시와 종료를 제어한다. Common Rail내의 연료 압력은 압력 센서와 Pump의 토출량 제어기구에 의해 엔진에서 요구하는 최적치를 제어하게 되어 있다.(Fig. 7 참조)

지금까지 개발되고 있는 Unit injector와 Common Rail의 장단점을 살펴보면 Unit injector는

	B O S C H	Z E X E L	D E N S O	L U C A S	D T C
Conventional In-line Pump					
TICS		■			
U/I-PLD					
Common Rail					
기계식 분배형 펌프 EDC 분배형 펌프	■	■	■	■	
고압분배형 펌프					

주력계통    
  정밀될 수 있는 계통    
  소량생산    
  제공부

Fig.5 분사계 Maker 동향(2000년)

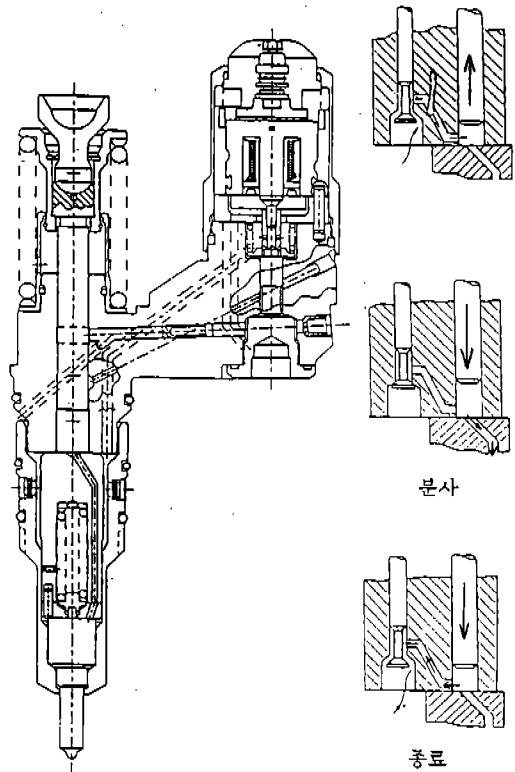


Fig.6 전자제어식 Unit Injector

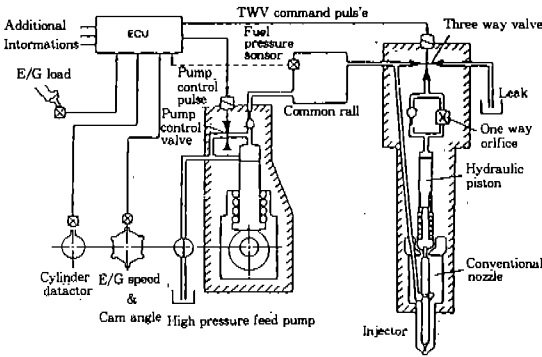


Fig.7 System Schematic Diagram of ECD-U2

- 고압 분사가능(150MPa 이상)
- Rapil spill
- Full 전자제어 가능(분사량, 분사)
- 각기통 전자제어
- 엔진의 Compact화(분사 system이 Head cover 내에 장착)

이런 장점이 있으나 엔진 설계 변동에 따른 시설비가 많이 든다는 것이다.

Common Rail은

- 동력 손실이 적다
- 엔진회전수 및 부하에 관계없이 분사압 설정이 가능
- 분사 초기와 후기의 압력이 일정
- 다양한 분사 패턴 가능(Pilot, Interval 등)
- Full 전자제어 가능
- 엔진 개조가 적으나

고압에 따른 Common Rail의 안정성 및 신뢰성 확보가 문제점으로 되고 있다. 그러나 이러한 문제점들은 2000년대 이후 점차적인 수량의 증가와 기술의 발전으로 Cost down 및 안정성, 신뢰성 확보가 해결될 것이라 생각된다.

#### 4. 결 론

한국의 경우 2000년대까지 분사압력은 80 MPa~100MPa 정도의 수준으로 예상되며, 엔진의 상품성 확보를 위해 분사 타이밍의 전자제어화가 점점 진전될 것으로 생각된다.

한편 유럽, 미국에서는 입자상 물질(PM) 저감을 위해 고압분사화가 가속화되어지고 있으며, 분사압을 120MPa~150MPa 정도까지를 목표로 하여 Soot분을 중심으로 입자상 물질(PM)을 규제, 허용 수준까지 가지고 갈 것이라는 것이 기본적인 추이이다. 여기에 대해 국내에서도 언젠가는 선진국 수준의 규제치와 거의 동일 수준으로 될 것이며, 이것이야말로 지구환경 보호에 대해서 선진국의 역할을 다할 수 있는 선진 메이커의 주요 사명감이라고 볼 수 있다.

이러한 사명감 속에서 우리 두원정공은 고압용 전자제어 분사계 시스템의 모체인 Unit Injector를 개발, 여기에 필요한 요소기술(고속 Solenoid Valve, 고압 Seal, 고압용 Nozzle, ECU) 등을 확보하고, 더 나아가 Common Rail 및 고압 분배형 펌프 개발에 더욱더 박차를 가함으로써 CO<sub>2</sub> 가스에 의한 지구 온난화와 동시에 연료 사정 또한 악화되고 있는 가운데 디젤엔진의 연비의 효율성은 장래적으로도 유력한 원동력이 될 수 있으며, 이러한 그런 디젤을 달성하기 위한 우리 펌프 기술자의 큰 노력이 필요할 것이라고 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1. P. Lauvin, et al., "Electronically controlled high pressure unit injector system for Diesel engines" SAE 911819.
2. M. Miyaki, et al., "Development of New

- Electronically controlled fuel injection system ECD-U2 for Diesel engines” SAE 910252.
3. Rudolf Diesel, “디젤엔진은 어떻게 만들어 졌는가”, 산해당.
  4. T. Somoda, et al., “The effect fuel injection pressure on Diesel engine performance”, SAE Paper 891919.
  5. Zelenka. P, et al., “Ways toward the clean heavy duty Diesel”, SAE 900602.
  6. 立石又二, “디젤기관의 현상과 장래”, 自技會 심포지움, “디젤기관의 연료분사와 연소배기”, p. 1~8.
  7. J. E. Sibley, et al., “The caterpillar 3176 heavy duty Diesel Engine”, SAE 88.
  8. 石田泰彦, “Diesel 기관의 배기규제 대응 기술”, 미쯔비시 공업技報, Vol. 26, No. 4.
  9. 森一後, et al., “디젤엔진의 배출가스 저감기술의 연구”, 미쯔비시 자동차 Technical Review 1992, No. 4.