

디젤연료분사장치에 대한 기술개발 동향 Developing Trends of Diesel Fuel Injection Pumps in DPICO

김 창 수* 김 용 환*

C.S Kim, Y.H Kim

1. 연료분사장치와 DIESEL ENGINE

1.1 디젤용 연료분사장치의 역사

DIESEL ENGINE의 역사는 1893년 Rudolph Diesel에 의하여 합리적인 열기관의 이론과 구조라는 논문이 발표되고, 새로운 열 엔진을 발명, 특허를 받아 시작되었으니 DIESEL ENGINE의 역사도 한세기를 넘어섰다.

그 후에 최초의 DIESEL ENGINE을 만든 것은 1897년 18마력급의 4 CYCLE 단기통 엔진의 시작에 성공한 뒤에 디젤엔진은 발전과 개량을 거듭하며 세계 시장을 바꾸어 놓았다.

오늘날 화물 자동차, 버스, 트랙터 등과 같은 상용차의 대부분이 디젤엔진을 쓸 뿐 아니라 디젤엔진을 장착하는 승용차도 계속적으로 증가 되고 있는 추세고, 국내에서도 디젤차량의 점유율은 1995년말을 기준으로 약 35%를 차지하고 있다.

DIESEL ENGINE의 발전과 더불어 연료분사장치도 함께 발전하였다.

1927년 독일의 R. BOSCH사는 연료분사펌프 전문 Maker로서는 처음으로 관련 부품의 제조를 개시하였고, 이후 계속적으로 기술 개발을 하여 경제성이 좋은 연료분사장치를 제조해 디젤 자동차용 연료분사장치의 주류를 이루고 있다.

1.2 배출가스 규제의 강화

1970년대 경제개발계획 이후의 지속적인 성장과 더불어 국민들의 생활 수준이 향상되었고,

이에 따라 자동차의 수요도 급속도로 증가되고 있다.

이러한 자동차 대수의 증가에 따라 자동차의 대기오염이 사회적인 큰 문제로 대두되고 있다.

따라서, 자동차의 배출가스에 대한 규제도 점점 강화되고 있고, 특히 배출가스중에 HC, CO, NOx을 저감하는 것이 과제로 되고 있다.

이러한 물질들이 어느정도 이상의 농도로 되면 광화학 SMOG의 원인으로 되고 지역적인 생활환경에 영향을 준다.

가솔린엔진과 디젤엔진은 서로 연소 방식이 다르기 때문에 이에 대한 대책도 서로 다르지만 세계적으로 여러가지 배출가스 대책을 세우며, 새로운 신기술 개발에 박차를 가하고 있다.

당사는 디젤연료분사장치 전문 Maker로서 DIESEL ENGINE에 대해서만 언급하기로 하였다. 디젤엔진에 대해서 주로 대기 환경보존을 위해 문제가 되는 것은 질소산화물(NOx)과 입자상 물질(Particulate) 이다.

지구상에서 대부분의 물질은 연소하면 배기 물질을 생성한다.

디젤엔진도 연료를 연소시켜 동력 에너지를 얻는 기관인 이상 예외는 아니다.

그 중에서도 CO₂와 CO, HC는 디젤엔진의 특유한 구조로 인하여 배출량은 지극히 적어 문제가 되기는 커녕 지금까지 높이 평가를 받고 있다.

그러나, PM은 Diesel 특유의 배출 물질이기 때문에 디젤은 오염 물질이라는 나쁜 이미지를

* 두원 정공

받게 되었다.

압축착화방식은 디젤엔진이 높은 열효율을 만들어 내는 큰 원인이지만, 반면에 압축되어진 고온의 실린더내에 연료를 분사시켜 자연 착화하게하는 방식이므로 분무시 농도가 많은 부분의 연료가 모두 연소하지 않는 가운데 연소과정이 종료되어 배출되는 연료는 흑연(매연)으로 된다.

또 하나의 배출물질은 NOx로 이것은 공기중에서 물질이 연소되면 발생하는 물질로 디젤엔진에서만 배출되는 것이 아니다.

그러나, 왜 디젤이 NOx가 많은가?

기술적으로 이야기하면 디젤엔진은 배기의 후처리 단계에서 NOx를 없애는 획기적인 기술이 미흡하고, 개발되어 있지 않은 점이다.

가솔린의 경우는 1970년대에 3원촉매 기술이 개발되어 배기중의 NOx를 환원 분해하여 무해한 질소와 산소로 분해시켜 버린다. 이 장치의 등장으로 가솔린의 배기가스 대책은 한 단계 진보하게 되었다. 그러나 DIESEL ENGINE에는 3원촉매를 적용할 수 없기 때문에 다른 방법으로 여러가지 배기가스 개선 기술을 개발하여 왔다.

TURBO과급화, 흡입공기의 개선, 배기후처리기술, 연소실의 개량, 분사시기의 제어, 연료의 고압화와 분사율제어 등으로 점점 강화되는 배기가스 규제를 만족시켜 가고 있고, 디젤의 좋은점을 현재 이상으로 더욱 더 발전시키려는 노력이 계속 진행되고 있다.

1.3 DIESEL ENGINE의 우수성

왜 TRUCK과 BUS는 디젤엔진을 이용하고 있는가?

가장 큰 이유는 열효율이 다른 엔진에 비하여 높기 때문이다. 현재 DIESEL TRUCK의 내구년수는 10년, 주행거리로 100만km라고 한다. 이 기간 동안에 들어간 Truck의 Life-Cost를 산출해보면 약 75%가 연료비라고 한다.

또한, Diesel Engine은 구조적으로 순간적인 순간 동력을 발휘하지는 못하나 힘있게 끌어당기는 힘을 발휘하므로 많은 화물을 탑재하고

주행할 수 있는 능력을 가지고 있다. 따라서 DIESEL은 엔진의 대형화에 따른 열효율의 LOSS도 적고 구조적으로도 TRUCK이나 BUS에 이용하는 것이 최적이라고 한다.

디젤은 원래 "돼지의 위장을 가진 엔진"이라고도 불리워진다.

어떤 연료로도 가능하기 때문이다. 발명의 초기에는 분말탄소가 실험에 사용되었고, 최근에는 배기가스의 CLEAN화로 METHANOL, 수소등을 디젤의 연료로 실험중에 있다.

1.4 두원정공과 DIESEL ENGINE

두원정공은 연료분사장치 전문 Maker로서 1974년에 설립되었다.

연료분사장치는 디젤엔진의 연소를 제어하는 중요한 부분으로서 두원정공은 그 디젤엔진의 심장부라 일컫는 부품을 만드는 Maker이다.

① 연료분사장치의 구조

연료분사장치의 구조는 크게 3가지 부분으로 구성되어 있다

- i) 연료 탱크로부터 빨아 올려진 경유를 압축, 가압하여 분사관을 통해 실린더내의 Nz로 분사시키는 Pump Proper부
- ii) 연료분사 시기를 조절하는 Timer부
- iii) 분사되는 연료량을 제어하는 Governor부이다.

② Pump Proper부

Pump중에서 중요한 Part중의 하나는 Plunger라고 하는 가압부이다. 연료는 이곳에서 엔진의 구동력을 받아 Camshaft의 회전운동을 상하 왕복운동으로 바꾸면서 Cam의 작용으로 가압되고 압축된다. 이 압축된 연료가 Delivery를 밀어 올려 분사관내로 들어가 Nz로부터 실린더내에 분사된다. 이 때문에 Plunger실에서 Nz까지의 부분을 고압부라고 부르기도 한다.

③ Timer부

디젤엔진에서 연료를 어느시기에 분사하느냐는 연소의 특성을 제어하는 중요한 과정이다. 디젤연소는 연료의 분사에서 종료까지의 시간이 불과 1000분의 3초정도 밖에 되지 않는다. 이 짧은 기간에 엔진의 상황에 맞게 분사시간을 바꾸는 것이 타이머의 역할이다.

지금까지는 Flyweight의 원심력을 이용한 기계식이 주류였으나, EMISSION규제 강화로 점점 전자화의 추세로 갈 전망이다.

④ Governor부

Accel Pedal을 밟은 상태와 회전수에 따라 얼마만큼의 연료를 분사시키는가를 제어하는 것이 가바나의 역할이다. 이 장치가 없으면 엔진은 회전수가 끝까지 상승되어 엔진이 파괴되 버리게 된다.

앞으로 환경 대책은 분사량을 조절하여 연소를 적절하게 하는 제어방법이 중요하리라 본다. 이 부분도 기계식이 주류이지만 ECU에 의해 제어되는 전자제어 System으로 갈 전망이다.

⑤ 두원정공의 연료분사장치 개량

앞으로 EMISSION 규제의 강화와 더불어 연료 분사 장치의 기술도 다방면으로 개량되고 있다. 개량되고 있는 기술에 대해서는 Nz 개량에서부터 CAM의 형상까지 연료 분사계 전반에 걸쳐 수행되고 있어 한마디로 말할 수 없다. 그러나 그 중에서 가장 중요한 것은 향후의 환경 규제 대책과 Diesel Engine의 성능향상을 위하여 요구되는 기술은 Diesel 연료분사 장치의 전자화 연구에 있다.

전자화에 대한 연구는 90년도에 연료분사 펌프의 Governor 전자 제어화에 의한 연구로 산업용에 사용되는 연료의 분사량을 전자제어로 조절할 수 있는 System을 개발하였고, 현재 VE-EDC 개발연구와 PE형 초고압 연료분사장치 개발등 앞으로는 분사율 제어와 연료의 고압 분사화를 중점으로 하여 연료분사장치의 성능을 향상시키는 연구를 계속적으로 연구할 예정이다.

1.5 두원정공의 연료분사장치 개발연혁

*1974년 5월

경기도 안성에서 한국디젤기기(주) 법인 설립

*1976년

디젤엔진용 연료분사장치 Nz,Pl.,DV.국산 개발

*1979년

디젤엔진용 연료분사장치 Nz Holder 국산개발

*1983년

기술연구소 설립

*1984년

ZEXEL, R.BOSCH사와 합작 VE-PUMP

국산화 개발

*1985년

PE-A(D)형 I/PUMP국산화 개발

*1990년

PE-P형 I/PUMP국산화 개발

*1992년

상호변경(한국디젤기기(주)→(주)두원정공)

*1994년

PE-M형 I/PUMP국산화 개발

*1996년

초고압 전자제어식 연료분사장치 개발중

2. 본 론

2.1 VE-Pump(VE I/P)의 개발동향

현재 국내 소형디젤 연료분사장치(VE I/P)는 간접분사식(IDI) 방식으로 소형트럭 및 승합차에 적용중에 있으며, 용도별로 구분하여 부가장치가 붙지 않은 STANDARD형을 그림 1에, 연소효율 및 출력향상을 위한 과급장치(BCS : Boost Compensator System)을 부착한 터보 혹은 터보 인터 콜러형을 그림 2에, 고지에서 연료량을 조절하는 ACS(Aneroid Compensator System)를 부착한 고지용을 그림 3에 나타내었다.

연료의 압송방법은 원형 CAM을 이용한 측방향 PLUNGER를 사용하며, 펌프측 압력이 400 bar 수준이다. 그리고 연료량 조절은 LINK기구와 스프링의 조합으로 이루어진 가바나에 의해 조정되며, 타이밍 조절은 펌프내의 압력에 의해 작동되는 진각 장치를 이용한다.

특히 배기규제 및 소음을 저감시킬 수 있도록 부분부하에서 연료분사시기를 지연시키는 장치를 포함하고 있다. 여기서 연료량 제어 및 타이밍 제어가 기계적인 작동에 의해 이루어지고 있으므로 선형적인 특성을 가지게 되고, ENGINE 혹은 차량 MATCHING시 자유도가 적게되어 있다.

다음은 터보 및 고지 사양에 사용되는 부가장치 설명이다.

BCS(Boost Compensator System)는 동일한 엔진 배기량에 대하여 과급기를 장착한 엔진에서는 배기가스를 이용하여 흡기터어빈을 회전시켜 흡기관으로 공급되는 공기량을 증가시킨다. 연소실내로 공급된 공기량에 대하여 공연비를 일치시켜 연소상태를 양호하게 하고 출력을 높이기 위하여 BOOST 압력에 비례하여 연료 분사량을 증가시키는 장치이다.

ACS(Aneroid Compensator System)는 고도가 낮은 곳에서 개발된 엔진 차량은 고도가 높아 질수록, 후연방출 증가, 연료소비 증가에도 불구하고 엔진 구동력 불충분, 연소실내 탄소잔존 등의 문제가 발생하므로 고도에 맞추어 연료량을 감소시키는 장치이다.

현재 BCS 및 ACS를 이용한 소형 디젤 연료 분사장치는 개발 적용 중에 있으며, 장래의 소형 디젤 연료분사장치의 개발 동향은 고압 분사 및 분사시기의 전자제어 시스템으로 발전해 나아갈 것으로 예상된다.

따라서, 배기규제에 따른 승합차 및 소형트럭의 분사장치 대응기술을 살펴보면, VE I/P 기계식의 고압화, 위치 제어식의 VE 전자화, 시간제어식 VE 전자화 등이 있으며, 중전의 분사장치와는 방식이 다른 전자식 유니트 인젝터와 COMMON RAIL의 신 분사장치의 양상을 보이며, 그림 4~그림 7에 그 형상을 나타내었다. 특히 전자화에 따라 상기 부가장치들은 삭제되며, 이들 기능을 모두 흡수하게 된다.

1) VE I/P 기계식의 고압화

연료 미립화를 통한 공기 이용률의 개선을 도모하는 개념에서 출발되어 현 IDI 방식에서 DI 방식으로 변화되며, 연료분사장치의 큰 변

화없이 CAM LIFT의 개선 PLUNGER 경 증가로 고압을 발생할 수 있도록 하고 있다. 특히 CAM 형상의 개선으로 분사율 또한 개선하고 있다.

2) 위치제어식 VE 전자화 (그림 4)

연료 압축방식을 축방향 PLUNGER(현 기계식 VE I/P와 동일)를 사용하며, ROTARY SOLENOID를 이용, CONTROL SLEEVE의 위치를 제어하도록 하여 최적의 연료량을 조정한다. 타이밍은 SOLENOID VALVE를 이용 펌프내의 압력을 제어하여 이루어지며, 특히 NEEDLE LIFT SENSOR로 부터 현재 타이밍 위치를 인식하여 목표값에 대한 보정을 할 수 있어 최적의 타이밍 제어가 가능토록 하고 있다.

이들 전자화에서도 IDI 및 DI 의 모든 방식에서 추진되고 있다.

3) 시간제어식 VE 전자화(그림 5)

SOLENOID VALVE를 이용하여 연료량을 시간적으로 제어하여 분사량 뿐만 아니라 분사율까지도 제어 가능토록 하고 있으며 모두 DI 방식이다.

연료압축 방식으로는 축방향 PLUNGER 및 RADIAL PLUNGER를 사용 고압을 발생하고 있다. 특히 RADIAL PLUNGER를 이용한 경우 축방향 PLUNGER보다 고압발생을 할 수 있게 되어있다. 타이밍 제어는 위치제어식 VE 형식과 동일하다.

분배형 PUMP의 경우 압력 및 적용범위는 표 1에 나타내었다.

기계식 DI에서는 PUMP측 압력을 800 bar까지 생성할 수 있으며, 전자식에서는 1100 bar까지 압력을 높일 수 있게 된다.

DI/IDI의 구성비를 살펴보면 서유럽에서 IDI 대비 1993년에는 15%인 것이 1997년에는 33%, 2002년에는 70%로 증가할 추세에 있다. 특히 디젤전자 PUMP의 적용예측은 기계식 대비 1993년에는 9%인 것이 1997년에는 53%, 2002년에는 90%로 예상된다. 여기서 국내 소형 디젤 전자화는 기계식 대비 1996년에 8%, 1997

표1. 분배형 디젤연료분사장치의 압력범위 및 적용엔진 배기량

구분	PUMP의 종류	PUMP축 압력(bar)	적용배기량 (l /Cyl.)
분배형 펌프(VE)	VE(기계식, IDI)	400	0.5 - 0.7
	VE(기계식, DI)	800	0.6 - 0.8
	위치제어전자식 (IDI방식)	400	0.5 - 0.7
	위치제어전자식 (DI방식)	900	0.6 - 0.8
	시간제어전자식 (속방향PLUNGER)	400/800	0.5 - 0.8
	시간제어전자식 (RADIAL PLUNGER)	1100	0.6 - 1.0

년에 21%, 2000년에 52% 수준으로 예측되고 있다.

앞으로의 분배형 펌프의 개발양상은 고압화에 따른 전자화 추세로 갈 것으로 예상된다.

2.2 PE-Pump(In-Line)형 연료분사펌프의 개발동향

PE-Pump형 연료분사펌프는 주로 2-TON 이상의 TRUCK, BUS 및 특장용의 중, 대형 디젤엔진에 적용되고 있는 시스템으로 지금까지는 비교적 분사압력이 낮고 제어방식도 기계식을 사용하여 엔진의 성능을 유지하여 왔으나 최근 디젤엔진의 성능향상과 배기가스 CLEAN 화 요구에 의해 분사압력의 초고압화 및 전자 제어 시스템을 채용하는 추세에 있다.

그림 8에 나타낸 PE-Pump의 전체 System은 차량의 연료탱크로부터 펌프 본체에 연료를 공급하는 Feed Pump, 연료를 고압으로 가압하는 펌프 본체, 고압의 연료를 엔진의 연소실에 미립화 분사시키는 노즐, 그리고 펌프 본체와 노즐을 연결하는 파이프로 기본적인 구성이 이루어지고 연료분사량과 분사시기를 제어하기 위하여 펌프 본체 좌, 우측에 기계식 제어방법을 사용하는 가버너와 타이머 장치를 부가하여 전체 연료분사장치 시스템을 이루고 있다.

1) 현재 생산적용중인 PE-Pump (In-Line Pump) 현황

현재 사용되고 있는 중, 대형 엔진용 PE-Pump는 엔진의 크기별로 연료분사장치의 사양도 다르다. 아래 표 2에서와 같이 Pumps에서의 최대 분사압력은 약800bar, Nz측은 1,000bar 수준이고, 분사량이나 분사시기를 제어하는 방법도 엔진의 회전수를 이용하는 기계식 제어 방법을 사용하고 있다.

따라서, 향후 디젤엔진이 요구하는 성능에는 지금까지 사용하는 연료분사방식으로는 목표를 달성할수 없어 노즐에서의 최대 분사압력은 약 1500bar 수준의 초고압 사양이 개발되고 있고 엔진 상태에 따른 최적의 제어를 위하여 전자 제어 시스템을 채용하는 것이 필수조건으로 요구되어지고 있는 추세이다.

국내에서도 96년도 배기가스규제를 만족시키기 위하여 분사압력을 고압화하는 방법이 사용되었는데 그 전반적인 경향은 그림 9에 보이는 바와 같이 PE-A TYPE은 PE-AD로 PE-AD는 PE-P 형으로 1단계씩 UP GRADE된 것을 알 수 있다.

표2. 현재 적용중인 IN-LINE PUMP 주요사양

엔진 출력	~100PS	100~200PS	200~300PS	300~PS
PUMP TYPE	PE-A	PE-AD	PE-P (S3000,S3S)	PE-P (S3S)
최대분사 압력(Pp)	600 bar	680 bar	750 bar	800 bar
가버너 형식	기계식 RSV,RLD	기계식 RSV,RLD, RFD	기계식 RSV,RLD, RFD	기계식 RSV,RLD, RFD
타이머 형식	기계식 SCDM	기계식 SCDM, SAG	기계식 SPG	기계식 SPG, SDDG

2) 초고압 연료분사장치 소개

지금까지 초고압 연료분사장치는 학계, 전문 연구기관 및 연료분사장치 Maker등에서 많은 연구가 이루어져 왔으나 실용화 추진되고 있는 시스템은 표3에서와 같이 크게 4가지로 구별된다.

이 시스템들에 대해 살펴보면 분사압력은 모두 약 1200bar 이상의 초고압 성능을 내는 것과 전자제어 시스템을 채용하여 성능을 향상시킨 방법이 모두 동일한 것을 알수 있는데 이는

향후의 디젤엔진용 연료분사장치가 갖추어야 할 성능을 나타낸 것으로 볼수 있다.

지금까지 개발된 초고압 연료분사장치는 각각 장, 단점이 있는데 In-line Type은 기존의 시스템과 거의 유사하여 장착성과 엔진의 개조가 적다는 장점이 있고, Unit Injector와 Unit Pump는 구조가 비교적 간단하고 성능이 다른 시스템에 비해 약간 우수하다는 점이 있으나 엔진의 신규설계부분이 많다는 단점이 있다. 그리고 C/R System은 동력 손실이 적고 전회전 영역에서 압력을 제어할 수 있는 여유가 있다는 장점이 있다. 그러나 이러한 장, 단점들은 미소한 부분들로 점진적인 기술의 발전으로 해결될 것으로 생각되어진다.

표 3. 초고압 연료분사장치 특징

Type	In-Line	U/I	Common Rail	Unit Pump
최대분사 압력	1200~1400	약 1500	1200~1300	1400~1500
송유 Module	송유펌프	송유펌프	송유펌프	송유펌프
압축 Module	Jerk	Jerk	Jerk+유압	Jerk
전달 Module	Pipe	Direct	Common Rail	Pipe
제어특성	Solenoid +Act.	Solenoid	Solenoid	Solenoid

3) 향후 대응기술 및 과제

① 고압분사 부문

그림 10에 보여준 것처럼 분사압력을 현재 약 800bar 수준에서 향후 1200bar 이상으로 1.5배정도 증가 시키기 위해서는 연료분사장치 중 가압부와 노즐부의 재료선택, 열처리 및 가공 방법등에서 초고압에 견딜수 있도록 고려되어야한다. 또 고압에 따른 각 seal부의 대책기술등이 필요할 것으로 생각된다.

② 전자제어 부문

전자제어 시스템 부문은 그림 11에서 같이 나타낸 바와 같이 크게 각종 입력 정보를 주어진 조건에 의해 처리하는 ECU 부문과 이 처리 결과를 구동하는 액츄에이터 부문으로 나눌수

있는데 먼저 ECU 부문에서는 제어로직 개발이나 Program등 S/W 부문이고급화가 필요하고 H/W적인면에서도 Compact화 및 노이즈 대책기술등의 어려운 기술이 남아있다.

그리고, 액츄에이터 부문에서는 솔레노이드가 수 ms 안에 동작이 이루어지고 ON-OFF Time이 정밀하게 제어되어야 하는 특성이 요구되므로 이에 대한 설계기술이나 제작기술이 매우 중요한 것으로 알려져 있는데 국내에는 아직 이러한 고속, 고 정밀제어 솔레노이드 기술이 미비한 상태이다.

③ 기타

디젤엔진의 성능 향상을 위해서는 연료분사 장치의 고성능, 고기능화 이외에 엔진에서도 연소실이나 흡, 배기계등의 개선이 함께 이루어져야 함으로 엔진의 개량에도 기술의 발전이 계속되어야 할 것이다. 또한 기존의 기계식 연료분사장치에서 전자식으로 변화함에 따른 각종 시험이나 평가 기술의 개발 및 know-how 구축이 필요할 것으로 생각 되어진다.

2.3 Nz & N.H ASS'Y 개발동향

DIESEL ENGINE을 둘러싼 여러가지 사회적 환경 (특히 점점 강화되고 있는 배기규제)에 따른 Nz & N.H ASS'Y에 부여된 과제(표 4)를 해결하기 위한 여러가지 연구·개발이 진행되고 있다.

1) 소형·경량화

① DI E/G

종래의 IDI(부실식) E/G용 NOZZLE로서는 DN-S TYPE 이 널리 사용되고 있었는데, E/G의 소형·경량화에 따라 NOZZLE도 소형·경량화 되어 DN-P TYPE이 주력으로 되고 있다.

DN-P TYPE은 DN-S TYPE과 비교하여E/G 취부나사가 M24에서 M20으로 소형화, 총중량에서 약 50%, 가동부중량에서 약 70% 경량화 되어, E/G HEAD 의 설계 자유도가 크며, 또 가동부중량의 경량화에 따라 NOZZLE 착좌시 소음의 저감과 동시에 응답성 향상에 따른 분사

표 4

사외적 요구	ENGINE. FIE에의 요구	Nz & N.H.LASSY 과제	개발방향 (대용수단)
연비 향상	· 직분(DI)화 ⇒ 소형화, 경량화	· ENGINE에서의 자유도 확대	· DN-P, DLL-P · (VEI/P)+(DLL-P)
출력 향상 (무화개발)	· 연소개선 ⇒ 고압, 고송유율화 ⇒ N-Q특성 개발	· 개변압, LIFT제어	· 신2단계변압 N.H
배기 대응	· 미연HC ⇒ 후적저감 · 연료분배최적화 · SMOKE ⇒ 미립화고분사율 · Nox ⇒ 예혼합연소단축 · 전자제어 ⇒ 제어기능자유도	· SAC VOLUME저감 · 분무의 관통력 제어 · 고압화 · 유량계수 개선 · 초기분사율 저감 · SENSOR기능 (LIFT점출)	· VCO NOZZLE · 소분공 NOZZLE · 소분공 NOZZLE · EXTRUDE HONE · 신2단계변압 N.H · SOI부 N.H
소음 저감	· 초기분사율제어	· THROTTLE 유량 안정성 · 초기분사율 저감	· 신2단계변압 N.H

말기의 연료의 끊어짐을 Sharp 하게 할 수 있는 이점이 있다.

② DI E/G

종래, DI(직분식) E/G에는 DLL-S TYPE이 사용되어 왔으나, 소형 DI E/G에는 DLL-P TYPE 이 개발되어 널리 채용 되고 있다. DLL-P TYPE은 DLL-S TYPE에 비해 가동부중량이 약 70% 경량화 되고 있다. 또한 종래 IDI 연소실이 고압화 추세에 맞추어 DI(직분)화 함에 따라 DLL-P TYPE도 종래의 사용영역 이하로 그 사용영역이 넓어지고 있는 추세이다.

이 모든 타입의 인젝터를 그림 12에 나타내었다.

2) 신 2단계변압 N.H (그림 13)

기존의 2단계 변압 N.H는 분사 PUMP의 고압화, 고송유율화 진행에 따른 주행성 악화 IDLE 회전변동 - 대책수단으로서 ①개변압을 낮추어(제1개변압) 이들 발생영역을 저속측의 실용영역외로 이행, ②NOZZLE의 LIFT양을 작게하여(Pre-Lift) Over Shoot 방지, 즉 각 Cycle마다의 Q변동(부제분사)을 억제하기 위해 저속저부하영역과 그외의 영역에서의 N.H 작

동범위를 다르게 한 구조로서 고안되어 적용되고 있었다

그러나, 기존의 2단계변압N.H는 그 구조상 ①E/G취부시 취부 Torque에 의한 Pre-Lift 변화에 취약하고, ② 그 Pre-Lift 정도가 낮아 Throttle 유량의 안정성 확보에 신뢰성이 저하되는 단점이 있으며, 또한 ③ 초기분사율제어 측면(NOx,저속소음)에서도 한계를 갖고 있어 이러한 취약점을 개선한 새로운 구조의 신2단계변압N.H가 개발되어 적용되고 있으며, E/G의 소형, 고출력화에 따라 소형 DI E/G에도 그 사용영역을 넓혀가고 있다. 이 구형 및 신형 인젝터의 형태를 그림 13에 나타내었다.

3) VCO (Valve Covered Orifice) NOZZLE

종래 DIESEL E/G에서 HC 배출의 가장 큰 요인으로서 분사 종료후 NOZZLE의 SAC부분에 남아있는 미연 연료가 커다란 문제로서 지적되어 왔다. 이에대한 대책으로서, NOZZLE의 경량화에 따른 가동부중량의 저감에 의해 작동시 Needle Valve 착좌부의 충격부하가 감소됨으로서 SAC근처의 실제자유도가 향상되어, 분사종료시 Needle Valve로서 분공의 입구부를 막는 구조를 가져, 미연연료에 의한 HC배출을 최소화시킨 VCO NOZZLE이 개발되어 그 사용범위가 점점 넓어지고 있다. 그 효과를 그림 14에 보여주고 있다.

4) 소분공+EXTRUDE HONE(지립유동가공) NOZZLE

최근의 고압화 추세에 따라 NOZZLE의 분공경도 $\phi 0.26 \sim \phi 0.34$ 의 수준에서 $\phi 0.25$ 이하로 분공경이 점점 작아지고 있으며, 그 경향은 더욱 강화되고 있다. 그러나 NOZZLE의 소분공화에 따른 상대적인 분사율저하 라는 단점이 대두되어 그 적용 한계가 나타나게 되었다. 이에 대한 대책으로서 NOZZLE의 분공입구부에 R을 임의의 크기로 주어 (Extrude Hone 가공) 유량계수를 키운, 고분사율을 얻을수 있는 EXTRUDE HONE NOZZLE이 개발되어 현재 실용화 검토되고 있다.

5) SOI(Start of Injection) SENSOR부착 N.H
 최근 실용화되어 적용되고 있는 I/P의 전자 화 추세에 따라 N.H.A에서도 E/G에서 각 Cycle 마다의 최적의 분사시기를 검출하여 Feed Back 제어할 수 있도록 그림 15에 나타 낸 것과 같이 Sensor를 부착하게 되었고, Sensor 의 종류에 따라 여러가지 Type의 N.H.A가 개발되어 왔으며, 그 중에 Piezo Sensor Type 이 일부 실용화 되었다.

2.4 초저공해 엔진용 연료분사장치 개발

1) VE형 전자제어식 연료분사장치 개발

① 개발배경

환경에 대한 인식이 새로워지고 환경관련 기 술이 국가간에 새로운 이슈로 등장하는 환경변 화와 더불어, 국내외적으로 강화되는 배기규제 에 대응하기 위하여 디젤엔진 및 디젤연료분사 장치의 기술방향이 고압화, 전자화를 지향하지 않으면 어려운 실정에 도달하게 되었다. ECU 국내기술수준은 가솔린 엔진의 경우 기술도입 에 의하여 생산중에 있고 점차 발전하고 있는 단계에 있지만 디젤엔진은 금년부터 양산이 시 작되어지고 있지만 앞으로는 디젤 전자제어 연 료분사장치의 수요가 급속히 요구될 것으로 판 단됨에 따라 본 시스템을 개발하게될 필요성이 매우 중요하게 대두되게 되었다.

② 전자 제어식 연료분사장치의 구조

VE형 전자제어식 연료분사장치의 기본구성 개요를 그림 16에 나타내었다.

기존의 기계식 연료분사장치와 다른점은 분 사시기를 제어하기 위한 TIMING CONTROL VALVE 를 장착하였고, 연료량 제어를 하기 위하여 기계식 가바나 부분대신 전자가바나를 장착하고, 또한 입력정보를 검출하기위해 각종 센서 및 스위치류를 장착하여 시스템을 구성하 고 있다.

전자제어 연료분사장치 제어는 그림 17과 같 이 입력부, 제어부, 출력부로 구성되어 있다. 입력부에서는 각종센서와 스위치에서 검출된 물리적 신호를 전기적 신호로 검출하고, CONTROL UNIT 에서 연산처리를 행하여 그

처리 결과에따라 분사 TIMING, 분사량 제어 를 수행하게 된다. 전자제어 연료 분사장치는 디젤 엔진에 대한 이와같은 제어를 반복 처리 함으로써 표5와 같은 효과를 얻을수 있다.

표 5. 전자제어식 연료분사장치의 효과

동력성능 향상	· 분사량 최적화에 의한 동력성능 향상 · STEP SPILL PORT에 의한 고티력 MATCHING
쾌적성 향상	· 각종 분사량 제어에 의한 IDLE시 ENGINE 진동 저감 · 주분사 제어에 의한 실화, 소음 악화 방지
배기가스 저감	· 과도 분사량 제어에 의한 가속시 SMOKE 저감 · 분사 TIMING MAP 제어에 의한 EMISSION 저감 · 최적제어에 의한 HC, PARTICULATE 저감 · 동적분사시기 FEED BACK 제어에 의한 EMISSION 저감

③ 향후 개발 계획

VE형 고압전자제어 연료분사장치를 개발하 면서, 연구개발 성과로 고압화 부품류의 설계 안정성 확보를 위한 구조해석 연구가 이루어졌 으며, 원칩마이크로프로세서를 이용한 전자제 어 유닛 하드웨어 설계및 기본 로직을 확보 하게 되었다.

또한 전자제어 시스템의 효과적인 정적모델, 동적모델을 개발하여, 시뮬레이션 전용프로그 램을 사용하여 시뮬레이션 프로그램을 개발하 였다. 이러한 개발된 기반기술을 발판으로 향 후에는 제어변수의 매칭실험연구를 수행할 계 획이며, 고압화 부품들에 대한 신뢰성 실험평 가를 통한 결과를 계속 반영하여 안정성 있는 시제품을 개발할 계획이다.

2) PE(IN-LINE)형 초고압 연료분사장치 개발

① 개발목적 및 배경

국내외적으로 환경오염에 대한 문제점이 대 두되고 이에 대한 대응책의 일환으로서 계속 강화되는 자동차 유해 배출가스의 규제강화를 만족시키기 위한 장래의 연료분사장치 기술을 국내 개발코자 추진하는데 있다.

② 기술개발 목표

배기가스규제 대응 : 2000년 EM 규제치

연비향상 : 기존대비 5% 향상
 분사압력 고압화 : 1200bar 이상을 목표로 추진하고 있다.

③ 현재까지의 기술개발 결과

1차 목표로 선정된 분사압력 1000bar를 달성하기 위하여 기존의 연료분사장치를 변경하여 실험 평가한 결과 최대 분사압력 약1040bar의 시스템을 개발하였다. 그림 18-1은 Np=1000rpm, Q=110mm³/st 일때의 노즐측 분사압력을 측정된 결과로 노즐의 분공경이 작아질수록 즉, 노즐에서의 총 분경면적이 작아질수록 분사압력은 높아지는 일반적인 결과가 얻어졌으나 그림 18-2에서와 같이 노즐에서의 분사기간이 길어짐에 따라 엔진에서의 성능 향상을 기대하기에는 부족한 결과로 평가 되었고 분사압력을 높임과 동시에 분사기간을 줄일수 있는 방법을 연구해야하는 방향을 얻게 되었다.

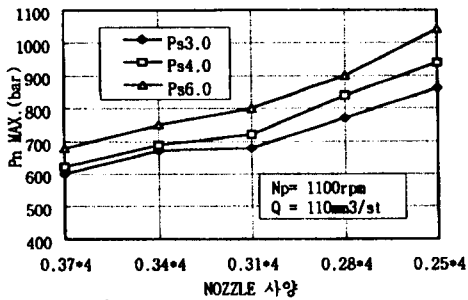


그림 18-1. NOZZLE SIDE LINE PRESSURE

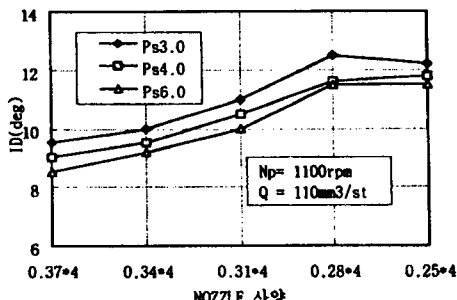


그림 18-2. INJECTION DURATION

전자제어 시스템 개발은 일반적인 개념하에 검출부, 제어처리, 및 구동실행(액츄에이터)부로 크게 나누어져 있다. 또한 ECU의 동작상태,

연료분사장치 시험 및 엔진시험시 편리하도록 입력변수를 Manual로 하는 별도의 장치를 설계하였으며, ECU내의 정보를 외부에서 알수 있도록 별도의 Display 장치를 개발연구하였다

④ 향후 연구개발 계획

향후에는 분사압력 초고압화에 따른 내구성 확보기술, ECU COMPACT화 및 제어기능 향상, 제어 LOGIC 고압화 개발, 실험평가기술 확보, 실차적용 FULL SYSTEM 개발을 E/G실험과 병행으로 계속 추진하면서 시제품을 보완, 개발할 예정이다.

3)천연가스차량용 연료공급장치의 개발

① 천연가스차량용 연료공급장치의 개발배경

현대 산업문명의 발달과 더불어 지구온난화와 대기오염문제등의 환경문제가 대두됨에 따라 청정연료로 인식되는 천연가스를 자동차연료로써 사용하려는 연구개발이 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 이는 한정된 원유매장량에 비하여 천연가스 매장량은 상대적으로 풍부하고 저렴하며 국가 기관망이 점차 갖추어짐에 따라 수송분야에서 현실적인 대체에너지로 인식되고 있으며, 특히 국가적으로도 에너지수급의 안정성 및 효율성 확보와 대도시 대기오염을 낮추기 위한 방안으로도 천연가스차량(NGV; Natural Gas Vehicle)의 개발이 요구되고 있다.

이에 당사는 대도시에서 운행되는 시내버스에 사용할 수 있는 "천연가스차량용 연료공급장치"를 개발하고 있으며, 시내버스용 디젤엔진을 천연가스 전소용 엔진으로 개조하여 연료공급장치의 제반성능을 확인 중이다.

② 천연가스엔진용 연료공급장치의 개발

표 6. 실험용 엔진의 주요 사양

분류	기존 디젤엔진	디젤개조 CNG 전소엔진
형식	4사이클직접분사식	4사이클 예혼합연소
실린더 배치	6기통 직렬식	6기통 직렬식
연소실 형식	Totoidal	Compact Bowl In Piston
압축비	18 : 1	변수(11.5 : 1)
배기량	9.42 Liter	9.42 Liter

천연가스엔진용 연료공급장치는 혼합기의 형성방식에 따라 기화기(Carburetor)와 인젝터방식으로 구별할 수 있으며, 인젝터방식은 SPI(Single Point Injection)와 MPI (Multi Point Injection)방식이 있다. MPI방식은 SPI방식보다 역화 및 충전효율 면에서 유리하나 공회전 및 저속 저부하영역에서 기동간 연료량 편차 및 사이클간 연료량 편차로 만족할 만한 운전성능을 얻기가 어려운 것으로 알려져 있다. 이에 대한 대안으로 5 ~ 10 bar의 가스연료압력에서 동작하는 SPI방식 연료공급장치 하드웨어 및 소프트웨어를 개발하고, 향후 보다 정밀한 저유량제어 및 내구신뢰도가 확보되는 인젝터 및 흡입공기량 제어장치를 개발하여 MPI방식도 개발할 예정이며, 인젝터는 볼타입과 핀틀타입 2가지를 개발하고 있다.

인젝터의 유량을 결정하기 위한 인젝터의 사용조건은 인젝터 오리피스틀 통과하는 유동이 초그상태(Choked Condition)를 유지하여 공급압력에 종속되도록 하기 위하여, 메탄의 임계압력비는 0.54와 효율을 고려하여 인젝터 입구 압력은 7 kg/cm² 이상으로 하였다. 인젝터 구동전압은 DC 12V를 사용하고, Peak and Hold방식의 MC 3484 Solenoid Driver Chip을 선정하였다. 인젝터의 유량특성 및 내구성능 파악용 Test Bench를 제작하여 CNG인젝터의 응답성과 내구성을 측정하였다. ECU는 현재 대형차량용 흡입공기량센서가 개발되어 있지 않은 관계로 흡기다기관내 압력을 이용하는 Speed Density Method를 사용하였다.

본 "천연가스엔진용 연료공급장치 개발"에 사용한 시내버스용 시험엔진의 주요사양은 표 6과 같다. 기존 디젤엔진의 Reentrant형 연소실을 CNG전소엔진으로 개조키 위해서 Bowl in Piston으로 변경하면서 압축비를 11.5 : 1로 낮추었다. Bowl형상 및 치수, Squish Area, 압축비만을 고려하였으며, 기타사양은 디젤피스톤과 동일하게 가공하였다. 실린더 헤드부에 위치한 분사노즐 및 노즐슬리브를 제거하고 실린더헤드 일부분을 가공하여 스파크플러그를 장착하였다. 디젤연료분사펌프를 탈거하고 60-2 Timing Wheel을 장착하고 전기점화장치

를 설치하였으며, TPS(Throttle Position Sensor)가 내장된 흡기교축변(Throttle Valve)을 설계하여 흡기다기관 이전에 설치하였다. 기타 천연가스엔진용 연료공급장치에 필요한 압력조정기, 슬레노이드밸브 및 각종 차량용 센서를 장착하였다.

개조 연소실에 대한 평가와 연료공급계 및 점화계 등 통칭 EMS (Engine Management System)에 대한 최적화를 실시하였다. 엔진출력 및 배기성능을 최적화하고 팔라듐/로듐(25/1)을 104g/ft³ Loading한 삼원촉매를 장착 후 실험에서 얻어진 ECU Map Data을 사용하여 엔진출력성능 및 G-13 Mode 배기규제 시험을 실시하였으며 그 결과는 표 7과 같다.

표 7. 배기측정 결과 [단위:g/kwh]

		THC	CO	NOx	PM	비고
2000년 국내 배기규 제치	경유 사용 중량 자동차	1.2	4.9	6.0	0.25	D-13 Mode
	가스 사용 중량 자동차	1.3	33.5	5.5		G-13 Mode
개발 최종결과		0.4	2.83	0.97		G-13 Mode

개조한 CNG 전소엔진과 개발한 연료공급장치를 최적화한 결과 삼원 촉매를 사용한 이론공연비상 상태에서 디젤대비 정격 출력은 약3%, 최대토크는 10% 향상 되었으며, G-13 Mode배기시험결과 국내 2000년 배기규제치를 만족하는 결과를 얻었다. 현재 CNG 인젝터의 제어성능 및 신뢰성을 개선하는 연구와 제어장치 H/W 및 S/W를 개선하는 연구가 진행중이다.

3. 맺음말

연료분사장치에 있어서 미래의 과제는 디젤의 배출가스를 거의 없도록 연구하는 것 이외에 연비향상을 위해서도 계속 연구되고, 또한 지구환경보호라는 대과제에도 대응할 수 있는 첨단 기술로 점점 연구될 것으로 본다.

그에 대한 분사계의 기술은 분사율 제어와 연료분사의 고압화 기술이다.

첫번째의 분사율의 제어에 대해서 알아보자
 분사율 제어의 기본적인 고찰은 처음에는 서서히 상승하면서 주분사후에는 빠른 Spill을 요구하는 형태로 발전되고 있다. 왜냐하면, 질소산화물(NOx)의 발생은 처음 수천분의 1초사이에 분사된 연료량에 의해 결정되므로 그사이의 분사량이 많으면 NOx도 증대한다. 따라서, 초기분사량을 적게함으로서 NOx를 저감시키는 것이 가능하게 되었다.

Particulate는 분사종료시의 연료의 끊어짐이 얼마만큼 빠르게 행해지는가에 의해 발생량이 크게 변화된다. 따라서, 앞으로는 그 2가지점에 주목하여 초기의 연료분사량을 가능한 한 낮게 억제하고 주분사후에는 급격히 Spill될수 있도록 하는 기술개발이 계속 연구될 것으로 보인다.

두번째, 연료분사의 고압화는 분무기의 원리와 같다. 분무기 레버를 세게 누르면 미세한 안개 형상으로 되고 천천히 누르면 물방울이 굵게 된다.

디젤의 경우도 마찬가지로 연료를 세게 분사함으로써 무화된 연료분무를 실린더안으로 드려보내 연소하기 쉽고, 후연(매연)등의 Particulate의 발생을 억제하는 하는 것이 가능하게 되었다. 앞으로도 분사압력을 계속 높여가는 기술과 고압에 견딜수 있는 장치의 연구개발이 중점적으로 될 것으로 보인다.

끝으로 향후 환경대책으로 앞으로의 환경문제의 해결에는 자동차의 배기가스 정화만으로 실현 가능할것인가? 아니라고 생각된다.

지구 전체의 위기로까지 가고 있는 환경문제는 현재 전세계의 가장 중대한 문제로 논의되어 가고 있다

우리 두원정공은 디젤연료분사장치의 개량을 통하여 환경과 공해에 대하여 생각해왔고, 향후에도 계속적으로 이 자세는 변하지 않을 것이다.

또한 후세에 남길 환경이라는 것이 무엇인가를 의미하면서 문화와 생활을 향상시키면서 환경도 보호해 가는 방법을 계속 추구할 것이다.

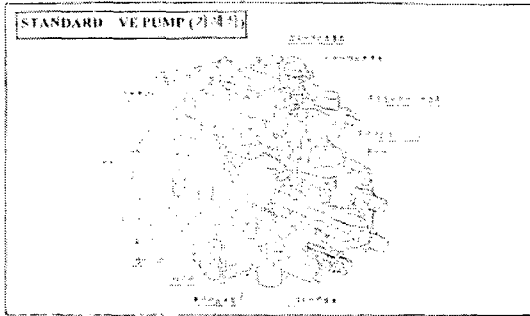


그림 1 Standard VE pump (기계식)

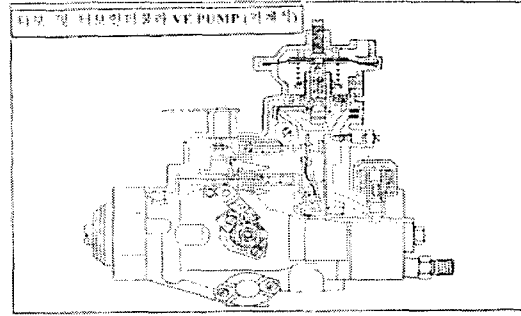


그림 2 터보 및 터보 인터셉터 VE pump (기계식)

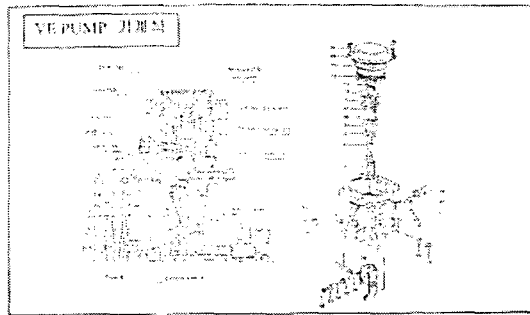


그림 3 VE pump 기계식

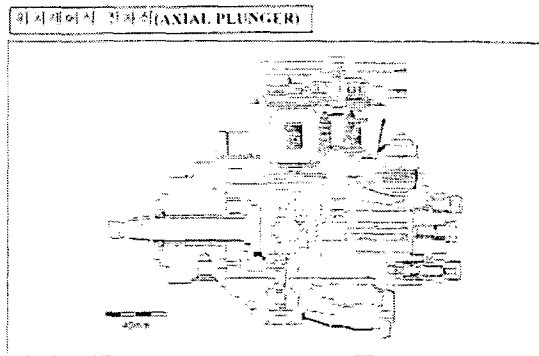


그림 4 위치제어식 전자식 (Axial plunger)

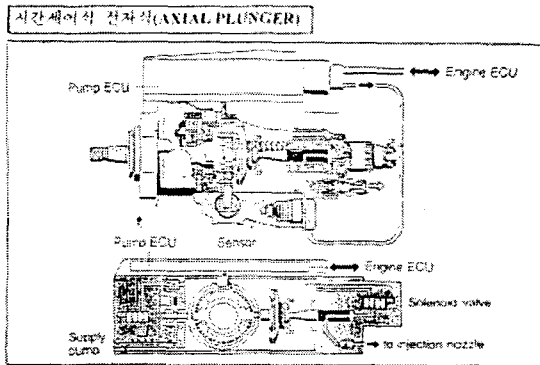


그림 5 시간제어식 전자식(Axial plunger)

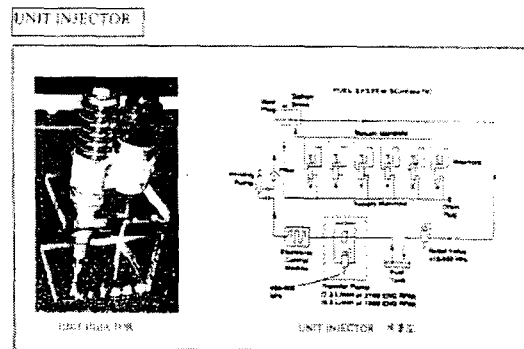


그림 6 전자식 유니트 인젝터 및 계통도

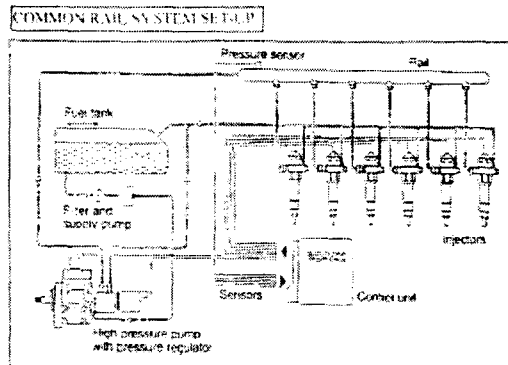


그림 7 Common Rail System Setup

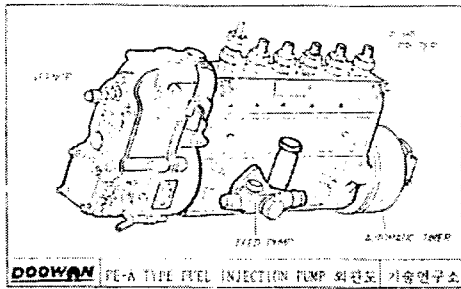


그림 8 PE-A type fuel injection pump 외관도

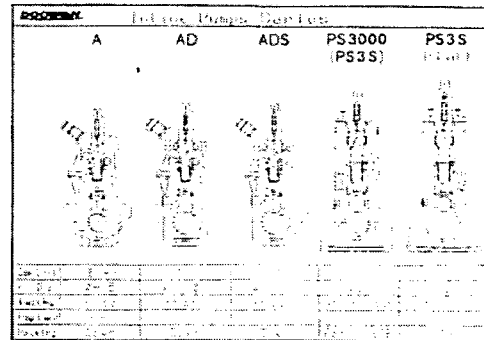


그림 9 In-line pumps series

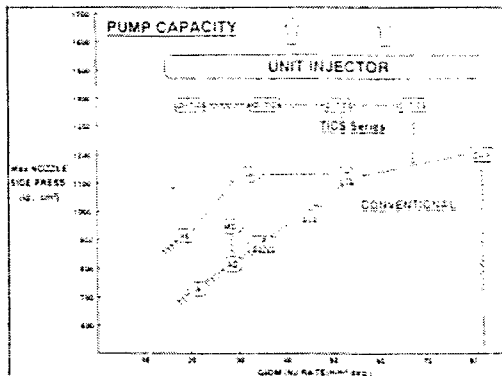


그림 10 고압 분사 실현 방안

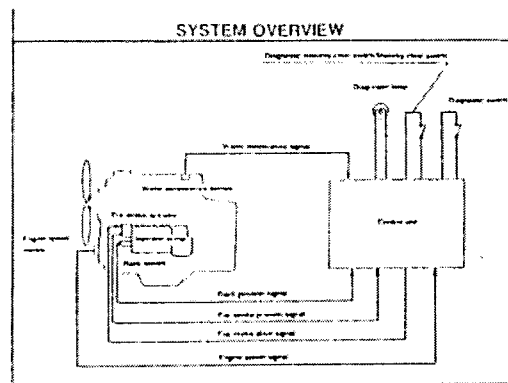


그림 11 디젤 엔진의 전자 제어 계통도

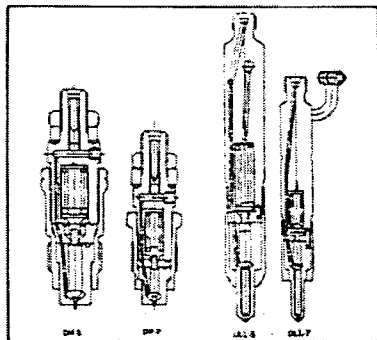


그림 12 D.L 엔진용 인젝터의 종류

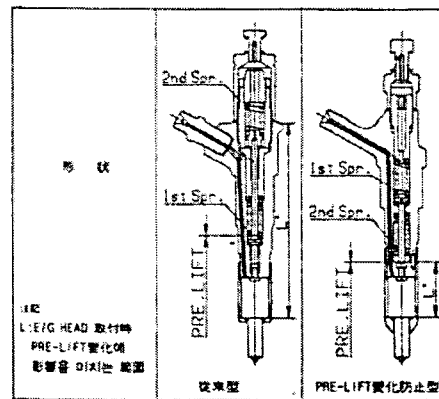


그림 13 신2단계변압 N.H의 구조

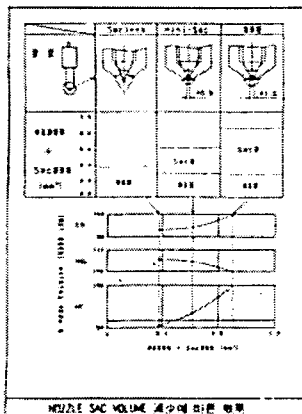


그림 14 Nozzle sac volume 감소에 따른 효과

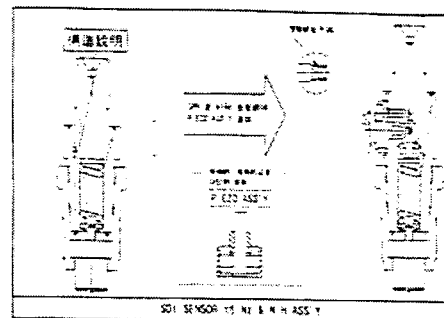


그림 15 Start of Injection Sensor가 부착된 Nozzle과 Nozzle Head Assembly

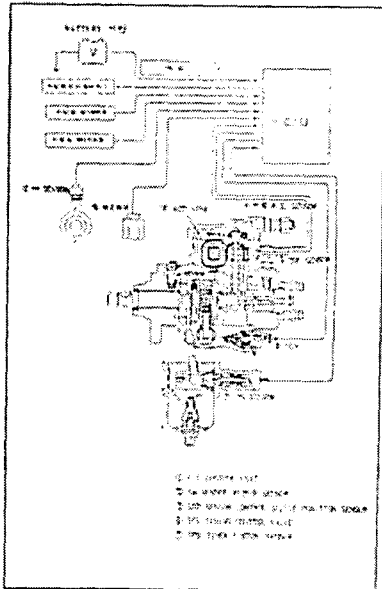


그림 16 전자제어 연료분사장치의 구성

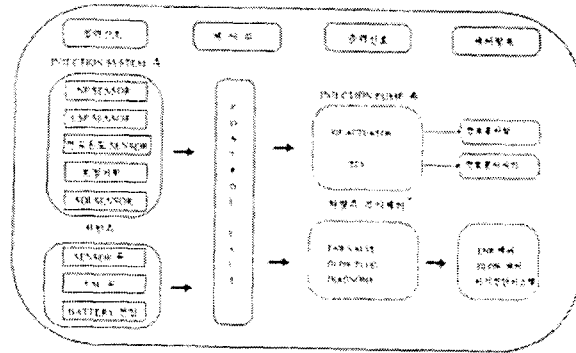


그림 17 전자제어 연료 분사장치 제어

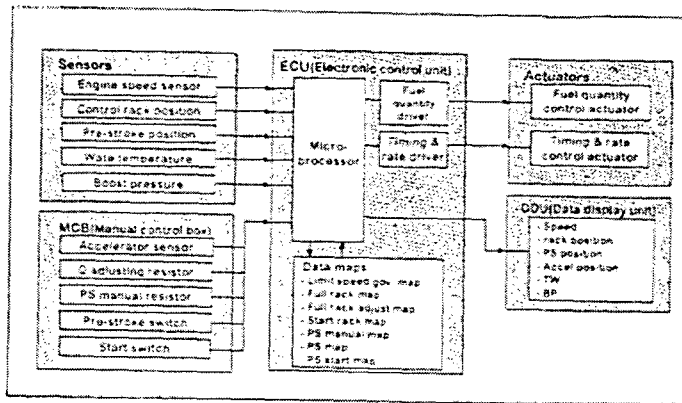


그림 19 System blocks for electronic diesel control(EDC)

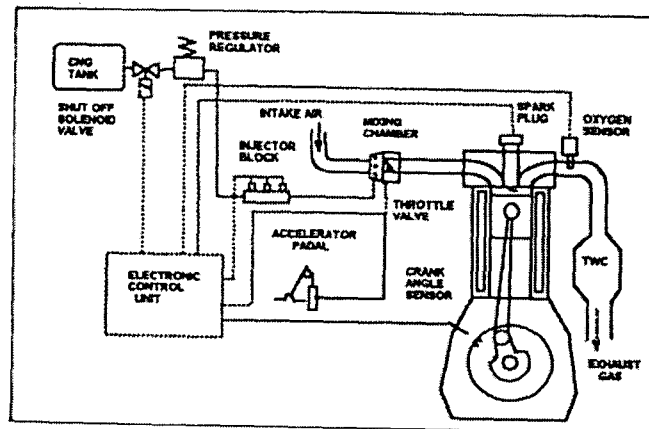


그림 20 CNG 전소엔진 연료장치 개략도