

# 직접분사식 디젤기관의 코몬 레일식 연료분사밸브 기술 Injector Technology of Common Rail System in DI Diesel Engine

안수길 · 조규학  
S. K. Ahn, K. H. Cho

## 1. 서론

내연기관의 연비저감과 저공해화를 위한 연구는 많은 발전을 해왔다. 그 결과 가솔린기관의 경우 최근 고압축비의 가솔린 직접분사(GDI)기관이 개발되어 최적전자제어와 후처리기술로 사회적 요구인 연비와 저공해화에 크게 이바지하게 되었다. 그러나, 연비와 내구성 및 신뢰성이 가솔린기관보다 우수한 디젤기관은 소음과 유해성 배출가스의 저감이 어렵기 때문에 이에 대한 많은 연구가 요구된다. 게다가, 이산화탄소로 인한 지구온난화를 방지하고, 석유자원의 고갈을 연장하기 위한 "Super Car Project"(USA 1ℓ로 34.5km 가는 차)나 "3L Car Program"(EU 3ℓ로 100km 가는 차)을 달성하기 위해서는 소형 직접분사식 고속 디젤기관이 아니면 사실상 불가능한 것으로 알려지고 있다. 그래서 소형 직분식 디젤기관의 소음과 유해 배출가스의 감소를 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 그 결과 자동차에 사용되는 소형 직분식 디젤기관의 분사장치로서 Common Rail System의 적용이 일반화되고 있다. 뿐만 아니라 선박용 대형 디젤기관에서도 이 시스템의 적용을 위한 연구가 진행되고 있다.<sup>1)</sup> 우리나라의 경우 주력 수출품 중의 하나인 자동차와 선박에서 주 동력원으로 디젤기관을 사용하고 있기 때문에 디젤기관에 적용되는 Common Rail System의 기술 확보가 요구된다. 여기에서 직분식 디젤기관의 분사장치의 기술 개발에 필요한 Common Rail System의 현황을 기술하고자 한다.

## 2. 분사장치의 요건 및 현황

디젤기관의 저소음·저공해·저연비를 위한 분사장치의 요건은 분사시기, 분사량, 분사율제어(rate shaping)와 고압분사(High pressure injection)이

다. 일반적으로 사용되는 기존의 Jerk type (Bosch type)은 분사시기와 분사량 및 분사압을 자유롭게 제어할 수 없다. 더군다나, 분사량은 캠(Cam)의 회전속도(기관의 회전수)에 따라 변화하므로 저속에서 분사압의 저하로 성능불량의 원인이 되기도 한다. 따라서 상기의 분사요건을 일부 만족시키는 것이 Electric Unit Injection System<sup>1,2)</sup>이고, Common Rail System이 가장 바람직한 System이라고 생각된다. Common Rail System은 Camless Injection System으로 타 분사 System에 비하여 엔진부하를 줄일 수 있고, 전기적신호에 의해 상기 분사요건을 만족시킬 수 있기 때문에 전 세계적으로 개발하여 사용하려는 추세에 있다. 그러나, 이러한 기술은 Lucas Varity, Robert Bosch, Jeakshell등 일부 회사에서만 보유하고 있기 때문에 우리나라의 경우 전량 수입하여 일부 차량에 설치하고 있는 실정이다.

## 3. 구성

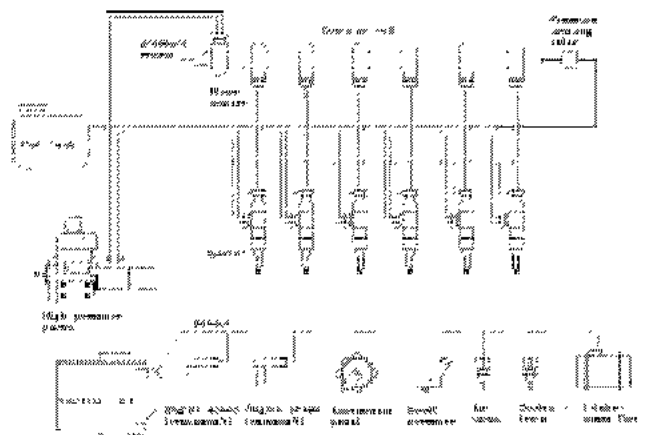


Fig. 1 Common Rail System

Common Rail System의 구성은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 고압연료 공급펌프, Common Rail, 연료분사밸브(Injector), ECU 및 각종 액츄에이터와 센서(Sensor)로 구성되어 있다.

접수일 : 2002년 1월 4일  
안수길 : 부경대학교 기계공학부  
조규학 : 부경대학교 대학원

3.1 고압연료 공급펌프(High Pressure Pump)

고압연료 공급펌프는 Common Rail에 연료를 고압으로 공급하는 펌프로서 연료의 공급량과 압력을 동시에 조절할 수 있다. 고압연료 공급펌프의 구조는 Rotary type의 Piston 펌프가 주로 사용되며, 크랭크축에 의해 구동된다. Fig. 2는 연료공급 펌프의 한 예로서 보쉬(Bosch)에서 개발한 고압연료 공급펌프이다. 이 고압연료 공급펌프의 연료 공급량은 ECU에서 Shut Off 솔레노이드 밸브에 보내는 펄스신호에 의해 고압연료 공급펌프의 유효행정이 변화함에 따라 결정된다.<sup>3)</sup> 또한, 공급압력은 압력제어 솔레노이드 밸브의 스프링의 힘과 기자력(Magnetic force)의 합에 비례하여 조절되며, 압력제어 솔레노이드의 기자력은 ECU에서 제어하는 압력제어 솔레노이드의 입력전류에 의해 조절된다. 따라서, 연료의 공급량과 압력을 ECU에서 제어할 수 있으므로 엔진의 회전수와 부하에 맞는 최적분사를 위한 압력제어가 가능하게 된다.

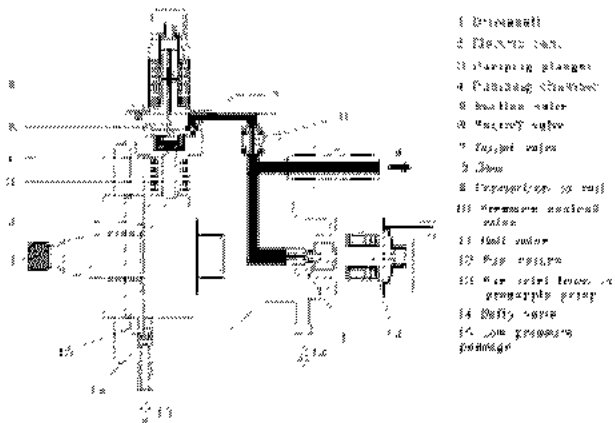


Fig. 2 High pressure Supply pump

3.2 Common Rail

Common Rail은 고압연료 공급펌프에서 공급된 연료를 저장함과 동시에 분사시의 압력맥동을 줄여주는 역할을 한다. Common Rail에는 Pressure limiter 밸브, Flow limiter 밸브 및 압력센서가 설치되어 있다. Pressure limiter 밸브와 Flow limiter 밸브는 과도한 압력상승을 막고, 유량유동에 의한 맥동을 줄여준다. 압력센서는 Common rail의 압력을 출력신호로 ECU에 보내며, 이 신호는 연료분사 밸브의 분사시간 결정에 주요한 요소이다.

3.3 연료분사밸브(Injector)

연료분사밸브는 Common Rail에서 공급받은 고압의 연료를 연소실 내부에 공급하는 역할을 한다.

ECU에서 보내는 전기적 신호에 의해 연료분사밸브의 유압제어 솔레노이드 밸브가 작동하여 분사시기와 분사량이 제어된다. 공급펌프의 압력을 동시에 제어하면 분사율(Injection rate)제어도 가능하다. 디젤엔진용 전자제어 연료분사밸브는 여러 종류가 연구되어 왔으며, 그 종류에 따라 작동 메커니즘이 조금씩 다르다. 연료분사밸브의 종류 및 작동에 대한 자세한 설명은 다음 장에서 서술한다.

3.4 ECU

ECU는 각 센서에서 보낸 입력신호에 따라 엔진의 상태를 판단하고, 엔진의 원활한 운전을 위하여 전기적 신호를 출력하여 각 액츄에이터를 작동시킨다. 즉, 엔진의 제어를 위한 각종 데이터(회전수 및 부하에 따른 Data map)를 내장하고 있어 각 센서의 신호에 따라 액츄에이터(각종 솔레노이드 밸브)를 적절히 작동시켜 최적제어를 한다. 또한, 고장의 경우 경고를 해줌으로 사고를 막는 기능도 있다. Fig. 3은 엔진제어에 대한 한 예를 Diagram으로 나타낸 것이다. 이에 대한 자세한 내용은 참고문헌<sup>4-7)</sup>으로 대신하고, 전기적 문제이므로 다루지 않겠다.

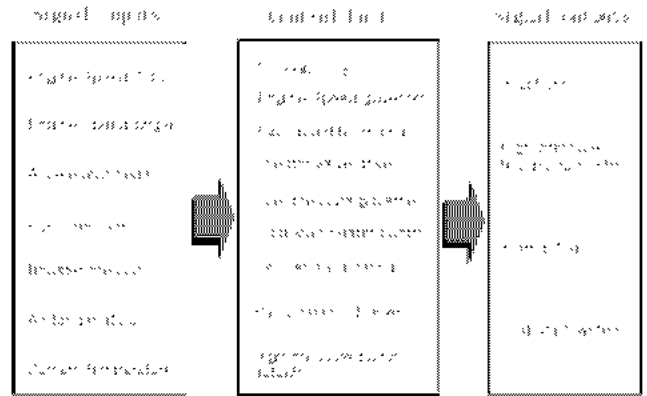


Fig. 3 ECU Control System

3.5 Sensor

Sensor로는 엔진속도센서, 크랭크각센서, 엑셀페달위치센서, 연료압력센서, 공기유량센서, 흡기온도센서, 냉각수온센서 등이 있다. 이들 센서는 엔진의 각종 정보를 ECU에 알려주고, ECU에서는 이들 정보에 의한 최적 분사시기와 분사량을 결정한다. 이에 대한 간단한 예문을 Fig. 4에 나타내었다. 엑셀페달위치센서와 외부입력신호(엔진속도센서, 공기유량센서)의 입력신호가 초기 연료 분사량 결정에 주요한 입력요소가 되고, 흡기온도센서, 냉각

수온센서 등의 기타 입력신호로 이를 보상한다. 또한, 코몬 레일에 장착된 연료압력센서의 신호로 분사시간을 결정한다.

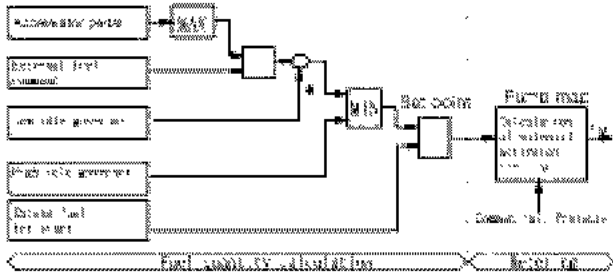


Fig. 4 Fuel quantity calculation(example)

#### 4. Injector의 작동 및 요소기술

전자제어 연료분사밸브의 구성요소로는 크게 솔레노이드부, 유압 제어 밸브부, 노즐로 되어 있다. 전자제어 연료분사밸브의 종류로는 Electric Unit Injector System의 Unit Injector<sup>2)</sup>와 Common Rail System의 Spool valve type<sup>9)</sup>, 3 Way type<sup>3,4,8)</sup>, 2 Way type<sup>7,8,12)</sup> 그리고 개선된 2 Way type<sup>10)</sup>으로 대별된다.

연료분사밸브의 핵심기술은 솔레노이드와 유압 제어 밸브로서, 솔레노이드의 형식으로는 가솔린 엔진의 경우 Flat Faced Cylindrical Plunger type<sup>11)</sup>이 주로 사용되었으나, 디젤엔진의 경우는 Flat Faced Armature type<sup>3,4,7,8,10,12)</sup>이 주로 사용되고 있다. 유압 제어 밸브로는 Spool valve, 3 Way 그리고 2 Way type이 사용된다.

유압제어밸브는 연료분사밸브의 주요부분으로 솔레노이드와 일체화되어 있으며, ECU의 시그널에 의해 제어되는 솔레노이드의 흡인력에 의해 작동된다. 연료분사밸브의 유압시스템은 유압제어밸브와 유압라인 및 오리피스로 구성된다. 유압제어부는 초고압 연료의 흐름을 제어하기 때문에 다음과 같은 고려사항을 만족하여야 한다. 첫째, 신뢰성의 확보이다. 연료분사밸브는 분사를 위한 on off동작을 반복하게 됨으로 확실한 on off 작동과 신뢰성 확보가 필요하다. 둘째, 고압연료의 누출과 작동부의 고착을 최소화하여야 한다. 연료분사밸브는 각 부품이 조립되어 있고, 긴 유로와 각종 삽동부가 존재함으로 작동에 따라 발열과 이물질로 인한 고착 및 고압연료의 누출을 최소화하여야 한다. 셋째, 유압제어밸브의 제어력을 최소화하여야 한다. 유압제어밸브는 연료의 압력에 비하여

힘이 작은 솔레노이드의 기자력에 의해 작동하기 때문에 밸브의 작동에 영향을 미치는 유압력을 최소화하여야 한다. 이러한 고려사항을 만족하는 연료분사밸브의 종류별 특성과 작동을 알아보자.

#### 4.1 Electric Unit Injector<sup>2)</sup>

Fig. 5는 Electric Unit Injector를 나타낸다. 이 연료분사밸브는 기존의 Jerk type과 같이 캠에 의해 플런저가 상하운동을 한다는 점에서 기존의 Unit Injector System과 큰 차이는 없으나 ECU로서 연료의 분사량과 분사시기를 제어할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 분사압력과 분사율의 제어는 불가능하다. 이 인젝터의 작동은 플런저의 상승 시 연료가 공급되고, 플런저가 하강할 때 스프링밸브(Spill Valve)를 닫음과 동시에 플런저 하부에 공급된 연료의 압력이 증가하여 노즐의 니들밸브에 작용함으로써 분사(150MPa)가 시작된다. 반면, 스프링밸브가 열리게 되면, 가압된 연료가 Return line으로 빠져나감으로 분사가 종료된다. 따라서 스프링밸브의 개폐에 의해 분사시기와 분사량의 제어가 가능하다. 그러나, 분사압이나 분사율의 제어(기관성능, 배기 특성 및 소음에 크게 영향을 미침)는 불가능하다.

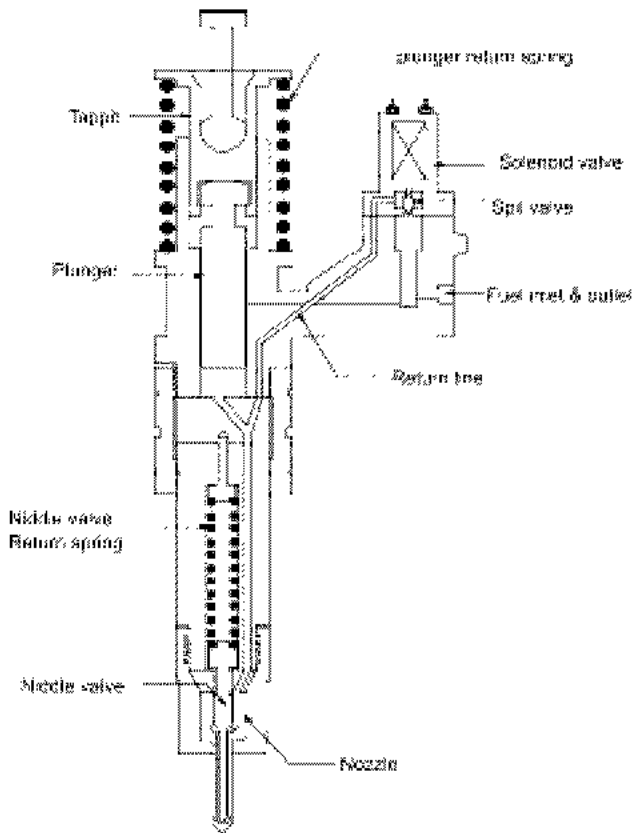


Fig. 5 Electric Unit Injector

4.2 Common Rail Injector

Fig. 6은 Common Rail Injector중 Spool valve에 의해 작동하는 Spool valve type Injector(9,23)이다. 이 연료분사밸브의 작동은 솔레노이드 밸브의 작동에 의해 개방된 유로로 고압의 연료가 스푼밸브의 왼쪽 단면에 공급되어 스푼밸브를 오른쪽으로 밀면, 주 연료라인으로 대량의 고압연료가 부스터 피스톤의 상부에 공급된다. 부스터 피스톤의 상부에 공급된 고압의 연료가 부스터 피스톤을 가압하면 부스터 피스톤의 하부는 부스터 피스톤의 면적차이에 의해 상부압력보다 훨씬 높은 초고압이 형성된다. 이렇게 형성된 초고압의 연료가 니들밸브에 작동됨으로써 분사가 이루어진다. 따라서 이 연료분사밸브를 사용하는 System은 공급압력이 기존의 분사압력(200~300bar)과 비슷한 압력으로 연료를 고압으로 분사할 수 있어 고압화로 인한 엔진부하의 증가 없이 초고압분사(150MPa) 및 분사시기와 분사량 조절이 가능하다. 그러나 구조가 복잡하고, 솔레노이드에 전원을 인가한 후 분사시작까지의 지연시간이 길며, 연료분사밸브의 부피가 커지는 단점이 있다. 이 연료분사밸브는 대형저속기관의 연료분사밸브로 쓰기에는 적당하나 나쁜 연료(벙커유)를 사용할 경우에는 연료의 순환(Cir-

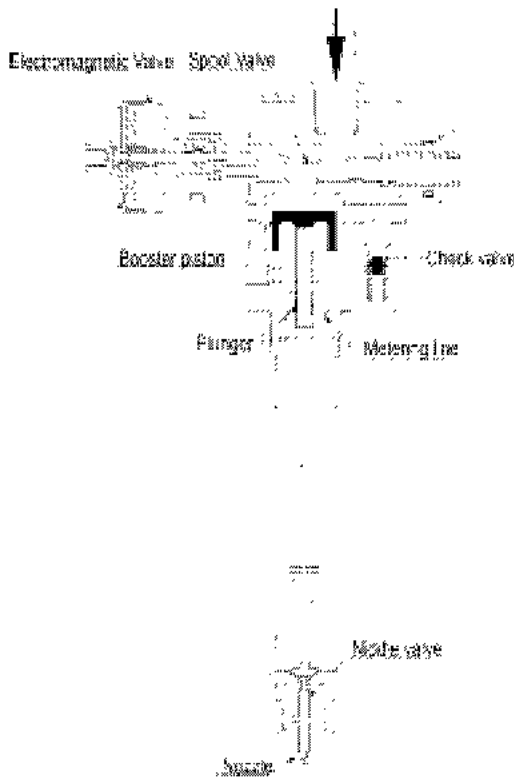


Fig. 6 Spool valve type Injector

culatation)과 Spool Valve쪽에 공급되는 연료의 Filtering에 주의가 요구된다.

Fig. 7은 Nippondenso에서 개발한 ECD U2 System(Common Rail System)용 3 Way type 연료분사밸브이다.<sup>4)</sup>

이 연료분사밸브의 작동은 그림에서 보는 바와 같이 No Injection의 경우 솔레노이드 밸브가 작동하지 않으며 Outer valve의 입구가 열려있어 고압의 연료가 Command piston의 상부에 작용하게 된다. 따라서 Command piston의 상부에 작용하는 힘이 니들밸브(Needle valve)의 상승을 막음으로서 분사가 일어나지 않는다.

Injection의 경우 유압제어 솔레노이드 밸브가 작동하여 Outer valve를 상승시켜 Outer valve가 연료입구를 닫는 것과 동시에 Return line을 개방하여 Command piston 상부의 연료를 배출한다. 그 결과 니들밸브의 상승을 막고있던 Command piston의 상부압력이 배제되어 니들밸브의 하부에서 작용하는 연료의 압력(120MPa)에 의해 니들밸브가 들림으로써 분사가 시작된다.

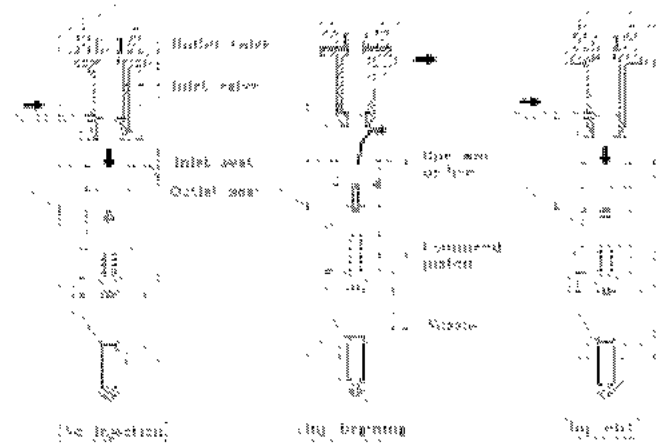


Fig. 7 3 Way type Injector

이 연료분사밸브는 그림에서 보는바와 같이 Spool valve type의 연료분사밸브에 비하여 크기가 작으며, 작동지연시간이 거의 없다. 그러나, 유압제어밸브를 2단으로 제작함으로써 구조적으로 복잡하고, 제작에 상당한 어려움이 따른다. 또한, Command piston(Control piston, Booster piston, Hydraulic piston)이 있으므로 작동시 열에 의한 팽창으로 니들밸브의 양정이 변화할 수 있고, Command piston의 고착과 마찰로 인해 재현성이 불량해질 우려도 있다. 게다가 분사개시작동에서 솔레노이드 밸브의

Outer valve가 중간상태에서는 연료의 입구와 Return line이 동시에 열려있게 되어, 초고압의 연료가 Return line으로 빠져나감으로써 상당한 에너지의 손실이 생긴다.

앞에서 설명한 3 Way type Injector는 분사시작 순간에 고압연료의 Return량이 연료의 압력에 따라 기하급수적으로 증가하여 120MPa에서는 총 유동량의 60~80% 정도가 Return된다. 이렇게 Return되는 연료는 고압연료공급펌프의 부하로 작용하여 동력소모가 증가된다.<sup>6)</sup> 이를 막기 위해 Bosch와 Misubishi에서 2 Way type 연료분사밸브를 제안하였다.<sup>7,8)</sup> Misubishi는 Return line의 오리피스로 일반적인 오리피스를 사용하였고, Bosch에서는 특허를 신청한 볼 밸브 type의 유압제어 밸브를 사용하였다. Fig. 9는 Bosch에서 제작한 볼 밸브(ball valve) type의 유압제어 밸브를 장착한 연료분사밸브이다. 이 연료분사밸브는 Command piston 상부에 연료를 공급하는 feed orifice와 Return 라인에 bleed orifice와 유압제어밸브로 볼 밸브를 설치하였다. 그 결과 고 부하에서는 분사시작 시 Return되는 연료의 통로가 작게되어 고압연료의 손실이 감소함으로써 운전부하가 감소하였다. 그러나, 저 부하에서는 Needle의 작동 지연으로 인해 Return량이 증가하여 운전부하의 증가를 초래하였다. 또한, Command piston이 설치되어있음으로 인한 고찰과 마찰로 인한 재현성 불량 문제는 여전히 남아있다.

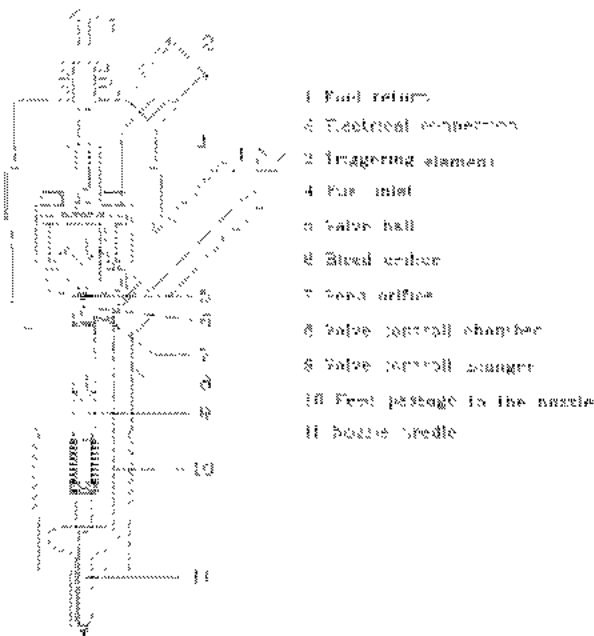


Fig. 9 2 Way type Bosch Injector

이 연료분사밸브의 작동에서 No Injection은 솔레노이드(triggering element) 밸브가 스프링에 의해 닫혀있어 feed orifice를 통해 공급된 고압연료의 압력이 Command piston에 작용되고, Command piston은 노즐의 니들스프링과 니들밸브를 누르고 있음으로 분사가 이루어지지 않는다. Injection의 경우 유압제어 솔레노이드가 작동하여 bleed orifice 상부의 볼 밸브가 열림으로 Command piston 상부에 공급되는 고압연료가 bleed orifice를 통하여 배출된다. 따라서 feed orifice와 bleed orifice의 유동비의 차이만큼 Command piston 상부압력이 낮아지고, 니들밸브에 작용하고 있는 연료의 압력(2000bar)이 스프링의 힘과 Command piston의 상부에 작용하는 압력보다 커지면서 분사가 시작된다. 이때 분사량은 feed orifice와 bleed orifice의 유동비와 분사압력 그리고 분사기간에 의해 결정된다.

이와 비슷한 시기에 Lucas에서는 Command piston이 없이 솔레노이드 밸브를 니들밸브 근처에 장착함과 동시에 니들밸브를 통하는 유로를 최대한 줄인 연료분사밸브를 제안하였다. Fig. 10은 Lucas에서 제안한 연료분사밸브(150~1600bar)이다.<sup>10)</sup> 이 연료분사밸브는 Command piston을 제거함으로써 Command piston으로 인한 고찰이나 재현성 불량 문제를 해결하였다.

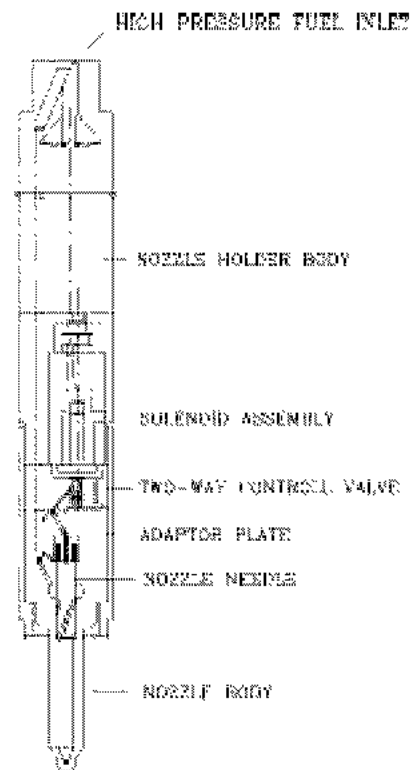


Fig. 10 2 Way type Lucas Injector

위에서 설명한 연료분사밸브들은 분사시기와 분사량의 제어는 유압제어 솔레노이드밸브의 작동시기와 작동기간에 의해 제어할 수 있으나, 분사율의 제어는 어렵다. 분사율 제어의 경우 유압제어 솔레노이드 밸브의 작동을 초고속으로 하는 방법이 가장 좋다. 예를 들어 0.1 deg 간격으로 분사율을 제어하기 위해서는 4000rpm의 경우 솔레노이드의 응답성능은 4.2 $\mu$ s의 고성능을 요한다. 이러한 응답성능의 솔레노이드는 양정이 0.5mm, 아마추어(유압제어밸브)의 질량이 10g인 경우 3300N의 흡인력을 가져야하기 때문에 불가능한 것으로 보이며, 지금까지 발표된 솔레노이드 중에 이러한 성능을 가진 솔레노이드는 없다. 따라서 그 대안으로 솔레노이드밸브의 작동을 다단으로 하거나 Common Rail의 압력을 변화시킬 수밖에 없다. 솔레노이드 밸브의 작동을 다단으로 하는 방법으로 다단스프링을 사용하는 방법과 전원인가방법 등이 제안되었으며<sup>13)</sup>, Command Rail의 압력을 제어하는 방법으로 분사기간 중에 레일의 압력을 변화시키는 것은 거의 불가능하므로 압력이 다른 2개의 레일(고압과 저압)을 사용하는 방법<sup>14)</sup> 등이 제안되었다.

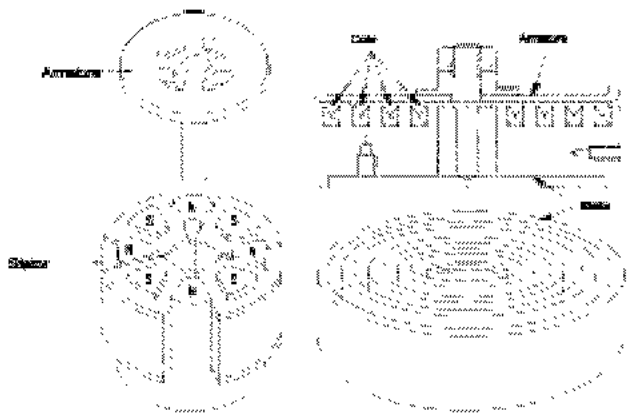
이상으로 Injector의 종류별 작동과 특성 및 문제점을 살펴보았다. 지금까지 나온 연료분사밸브의 문제점 중 앞으로 더욱 개선해야 할 것으로 Return 유량의 최소화와 분사율 제어방법을 연구할 필요가 있다.

### 4.3 Common Rail Injector용 Solenoid

솔레노이드의 성능은 응답성과 흡인력 및 재연성 등에 의해 결정된다. 이러한 솔레노이드의 성능은 솔레노이드의 재료, 형상<sup>20,21)</sup>, 코일의 종류, 감는 코일의 수, 및 전원입력방법<sup>19,20,21,25)</sup>에 따라 크게 변한다. 솔레노이드는 그 형상에 따라 E core 솔레노이드, Helenoid<sup>15)</sup>, Colenoid<sup>16)</sup>, Disole<sup>18)</sup> 및 Multipole<sup>17)</sup> 등으로 발전해왔으며, 전원인가방법도 고전류인가후 유지전류인가방식<sup>21)</sup>, chopping에 의한 방법<sup>20,25)</sup>, Dummy Energizing 방법<sup>19)</sup>, Pre energizing방법<sup>20)</sup> 등 많은 연구의 진전이 이루어져왔다. 최근, 연료분사밸브용 솔레노이드로 Fig. 11에서 보는 바와 같은 DISOLE와 Multipole 솔레노이드를 변형한 형태가 주로 사용되고 있으며, 전원인가방법으로는 chopping과 Pre energizing방법을 혼용하여 사용하고 있다. 게다가 설계기술과 자성재료의 개발에 힘입어 더욱 향상된 성능을 가지게 되었다. 그러나, 디젤엔진의 연료분사밸브용 솔레노이드의 경우 작동기간(분사기간:1~3ms)이 극히 짧고, 반복적으로 작동하며, 고압연료를 제어하기 위한 유압제어밸브의 작동용

으로 사용되기 때문에 재연성과 응답성 및 흡인력에 제약이 많다. 특히, 앞에서 언급한 분사율 제어를 위한 초고속 솔레노이드(응답성능 4.2 $\mu$ s)는 아직 발표된바가 없다. 솔레노이드는 연료분사밸브 내에 설치되는 부품으로 연료분사밸브의 설계사양(위치와 크기)에 따라 솔레노이드의 모양과 크기가 변화할 수밖에 없다. 따라서 연료분사밸브의 크기와 설계사양 및 사용환경(장착위치, 온도)에 따라 솔레노이드의 최적화가 필요하다.

현재 많이 사용되고 있는 연료분사밸브용 솔레노이드의 아마추어의 형상으로는 Flat faced Cylindrical plunger type과 Flat faced armature type이 있다. Flat faced cylindrical plunger type은 구조적으로 설계 및 제작이 용이하고 작동 시물레이션은 쉬우나, 흡인력이 약하여 디젤엔진에는 거의 사용되지 않고, 가솔린 기관용 연료분사밸브에 주로 사용된다. 반면, 디젤엔진의 경우 Proto type injector인 Spool valve type injector부터 Flat faced armature type의 솔레노이드를 사용하게 되었다. Flat faced armature type 솔레노이드는 흡인력과 성능은 우수하나, 장착위치에 따른 설계와 제작이 어렵고, 설계에 따른 성능의 변화가 많아 최적화에 많은 어려움이 있다. 그래서 디젤기관의 연료분사밸브용 솔레노이드를 위한 최적설계와 그에 따른 성능요소(재료, 코일의 종류, 코일을 감는 수, 양정, 아마추어의 질량)의 결정을 위한 연구가 필요하다.



(a) Ring type multipole solenoid (b) DISOLE

Fig. 11 Flat faced armature type solenoid

## 5. 결론

이상으로 디젤엔진의 Common Rail System에 관한 각 구성부품에 따른 작동과 특성을 알아보았다.

이와 같이 디젤기관의 고압연료를 치밀하게 제어하면서 분사하기 위한 Common Rail System의 국산화를 위해서는 고속이고 흡인력이 큰 솔레노이드와 고압을 형성할 수 있는 펌프 그리고 유압제어밸브 등에 관한 요소기술, 정밀가공과 열처리 등의 제작기술, 고압에 견디는 재료의 개발 및 소형 경량화를 위한 설계기술 등이 필요할 것으로 생각된다.

## 6. 참고문헌

1. J. Hlousek "Electrically Controlled Fuel Injection System for Midium Speed Diesel Engines" SAE 981928
2. Pierre Lauvin et al. "Electrically Controlled High Pressure Unit Injector System for Diesel Engines" SAE 911819
3. Shohei ITOH "Common rail" p46~48 Engine Technology september 1999. Vol.1 No.4 Japan
4. Masahiko Miyaki et al. "Development of New Electronically Controlled Fuel Injection System ECD U2 for Diesel Engines" SAE 91025?
5. Rolf Isermann et al. "Modeling and Real Time Simulation of Diesel Engines for Control Design" SAE 980796
6. Andreas Greff "A New Approach for a Multi Fuel, Torque Based ECU Concept using Automatic Code Generation" SAE 2001 01 0267
7. Wolfgang Boehner and Karsten Hummel "Common Rail Injection System for Commercial Diesel Vehicles" SAE 970345
8. Tetsuro Kato et al. "Common Rail Fuel Injection System for Improvement of Engine Performance on Heavy Duty Diesel Engine" SAE 980806
9. Kurt Obländer et al. "The Influence of High Pressure Fuel Injection on Performance and Exhaust Emissions of a High Speed DI Diesel Engine" SAE 890438
10. N. Gerrassi and P. Dupraz "A Common Rail Injection System for High Speed Direct Injection Diesel Engines" SAE 980803
11. Yoshihiro Tanimura and Satoshi Sugiyama "Weight Reduction of Magnetic Solenoid Valves using a Composite Magnetic Material" p40~44自動車技術 Vol55, No.4 2001
12. M. A. Ganser "Common Rail Injectors for 2000 bar and Beyond" SAE 2000 01 0706
13. M. A. Ganser " Common Rail Injector with Injection Rate Control" SAE 981927
14. Susumu Kohketsu et al. "Flexibly Controlled Injection Rate Shape with Next Generation Common Rail System for Heavy Duty DI Diesel Engines" SAE 2000 01 0705
15. A. H. Seilly "HELENOID Actuators A New Concept in Extremely Fast Acting Solenoids" SAE 790119
16. A. H. Seilly "COLENOID Actuators Further Delopments in Extremely Fast Acting Solenoids" SAE 810462
17. Michael M. Schechter "Fast Response Multipole solenoids" SAE 820203
18. Takeo Kushida "High Speed Powerful and Simple Solenoid Actuator 'DIESOLE' and its Dynamic Analysis Results" SAE 850373
19. Takashi Kajima "Development of a High Speed Solenoid Valve Investigation of the Energizing Circuits" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol 40, No.4, AUGUST 1993
20. Takashi Kajima and Yoshihisa Kawamura "Development of a High Speed Solenoid Valve Investigation of Solenoids" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol 42, No.1, FEBRUARY 1995
21. T. Kajima, et al. "Development of a High Speed solenoid Valve (Experimental Results under Actual Loads)" JAME(C) 60 579, pp.2744~2751 1994년
22. Mingguao Yang and S.C. Sorenson "Modelling of the Dynamic Processes in an Electronic Diesel Fuel Injection System" SAE 920240
23. Herbert C. Roters "Electromagnetic Devices" 1994
24. R. L. Brkhimer et al. "Development of a Durable, Reliable and Fst Responding Solenoid Valve" SAE 831326
25. Mingguao yang et al. "Study of Injection Control valve in a New Electronic Diesel Feul System" SAE 980813