

디젤연료 분사장치의 최근 개발 동향

이 대 업 박사 · 일본기계기술연구소 연소공학연구소

CO₂의 배출저감 측면에서 디젤엔진은 가솔린 엔진에 비하여 유리하지만, PM이나 NO_x등의 유해물질의 배출면에서는 불리한 점을 갖음은 주지의 사실이다. 따라서 디젤엔진에서의 배기 규제치를 만족시키기 위하여 직분화, 연료분사 장치의 개량, EGR, NO_x 촉매, PM 트랩필터등이 연구되고 있고 직분식은 부실식에 비하여 같은 배기량으로 높은 출력과 양호한 연비의 실현이 가능하기 때문에 디젤엔진은 급격히 직분으로 진행(1999년 현재 일본은 약 40%, 유럽은 약 75%의 디젤엔진을 직분화)되고 있다. 이러한 직분화의 경향에 따라서 연료분사장치 기술은 현재 디젤엔진의 배출가스 저감 기술의 주역이 되고 있고 직분식 디젤엔진에서의 착화 및 연소는 전 단계의 연료분사, 분무형성에 크게 좌우되기 때문에 장래에도 당분간은 연료분사 장치의 기술이 디젤엔진의 배기 가스 저감에 크게 기여를 할 것이다. 본고에서는 디젤엔진의 유해 배출물 저감에 중심적인 역할을 하고 있는 연료 분사장치의 최근의 개발 동향에 대하여 간략히 알아본다.

연료분사 장치의 최근의 동향

연료의 분사를 위한 변수에는 분사압력, 분사

율, 분사기간, 분사 타이밍등이 있고 이러한 변수를 자유롭게 변화시켜 엔진의 운전 조건에 따라 최적의 분사를 하고자 하는 것이 분사장치의 궁극의 목표라고 할 수 있다. 현재 및 장래의 분사장치에 요구되고 있는 기능들에는 엔진 회전수에 의존하지 않는 고압분사, 소리 및 진동 저감을 위한 파이롯트 분사, NO_x 촉매이용을 위한 포스트 분사, NO_x 생성 저감을 위한 ramp 및 boot형 분사등이 있고 최근 주목을 받고 있는 커몬레일 시스템도 이러한 분사자유도의 확대를 목표로 하고 있는 것이다.

이와 같은 분사의 자유도의 확대 및 분사정확도의 향상, 그리고 차량의 다른 구성요소와의 협조 제어등이 더욱 필요하게 되어 분사 장치의 제어도 점차 복잡해지고 있다. 분사타이밍 및 분사량의 제어를 기계식으로 하는 것과 전자식으로 하는 분사 펌프의 일본 국내 생산 점유량을 보면 2000년 현재 약 6 : 4의 비율을 나타내고 있고 지난 몇년간 전자제어식 분사펌프의 생산이 크게 증가하고 있음을 알 수 있다. 이러한 전자제어의 범위가 확대됨에 따라, 액츄에이터의 응답성 및 정밀도의 향상, 각종 센서의 수의 증가 및 정밀도의 향상 또한 이에 따른 제어 로직의 고도화등의 요구가 높아지고 있다.

다음에는 현재 생산 판매되고 있는 각 분사 장치
치를 비교한다.

TICS : TICS는 Zexel이 1988년에 개발한 분사
율 가변제어 기구를 갖고 있는 열형(鴉型) 분사펌

<표 1> 각 분사 장치의 장단점 비교

	장 점	단 점
TICS	<ul style="list-style-type: none"> · 프리스트로크 가변 시스템에 의하여 분사율의 가변이 가능하다. · 파이롯트 스퀫의 주가에 의하여 파이롯트 분사가 가능하다 · 종래형의 열형 펌프와의 호환성이 있어, 차량 탑재를 위한 엔진축의 큰 개조가 필요하지 않다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 분사타이밍 및 파이롯트 분사등의 자유도가 낮다 · 분사압력이 엔진 회전수에 의존하기 때문에 저회전시의 분사압력이 낮다 · 무거운 중량
대향플런저식 분배형펌프	<ul style="list-style-type: none"> · 종래의 페이스캠식의 분배형 펌프에 비하여 고압 분사가 가능하다. · 일부, 전자밸브에 의한 압송을 제어하는 타이머에서 파이롯트 분사가 가능하다 · 소형, 경량이기 때문에 탑재성이 좋다 	<ul style="list-style-type: none"> · 커몬레일 시스템과 비교하여 분사 타이밍 및 파이롯트 분사등의 자유도가 낮다. · 분사 압력이 엔진 회전수에 의존하기 때문에 저회전시의 분사 압력이 낮다
Unit pump	<ul style="list-style-type: none"> · 종래의 열형펌프에 비교하여 분사관등의 데드 스페이스가 축소되어 있기 때문에 고압분사가 가능하다 · 전자 제어 밸브로 분사를 하기 때문에 분사 타이밍 및 파이롯트 분사에 다소의 자유도가 있다 · 각 기통에 유닛을 설치하기 때문에 정밀한 분사 제어가 가능하다 	<ul style="list-style-type: none"> · 커몬레일 시스템에 비교하여 분사 타이밍 및 파이롯트 분사등의 자유도가 낮다. · 종래의 열형 펌프보다는 개선되었지만 저회전시의 분사압력이 충분히 고압이 되지 않는다. · 구동 토크가 크다
Unit Injector	<ul style="list-style-type: none"> · 데드 스페이스를 가능한 한 줄일 수 있기 때문에 시판되고 있는 분사장치 가운데 가장 고압의 분사가 가능하다 · 각 기통에 유닛을 설치하기 때문에 분사의 정밀한 제어가 가능하다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 커몬레일 시스템에 비하여 분사 타이밍 및 다단분사등의 자유도가 낮다 · 종래의 열형펌프보다는 개선되어 있으나 저회전시의 분사압력이 충분히 고압이 되지 않는다 · 기존형 엔진에 탑재하기 위해서는 엔진 헤드 의 대폭적인 개조가 필요하다 · 구동 토크가 크다.
유압구동식 Unit Injector	<ul style="list-style-type: none"> · 분사 타이밍을 자유롭게 변화시키는 것이 가능하다 · 엔진 회전수에 의존하지 않고 고압분사가 가능하다. · 구동 토크가 작다 · 기계적 노이즈가 적다 	<ul style="list-style-type: none"> · 축입식의 커몬레일 시스템에 비하여 다단 분사의 자유도가 낮다. · 오일계와 연료계 2계통의 유압 시스템이 필요하다
커몬레일	<ul style="list-style-type: none"> · 분사 타이밍, 시기, 분사압력을 독립적으로 변화시키는 것이 가능하다. · 다단 분사가 가능하다. · 엔진회전수에 의존하지 않고 고압분사가 가능하다 · 구동 토크가 작다 · 기계적 노이즈가 적다. 	<ul style="list-style-type: none"> · 항상 고압의 연료가 충전되어 있어 내구성 및 안전성에서 지크식 펌프보다 주위하지 않으면 않된다. · NOx 생성억제에 유효하다고 생각되는 boot형 분사율의 실현이 곤란하다

〈표 2〉 연료분사 장치의 성능 비교

	TICS	대향플런저식 분배형펌프	Unit pump	Unit Injector	유압구동식 Unit Injector	커몬레일	
차량 클래스	저-중부하	승용-저부하	저-중부하	승용-고부하	승용-고부하	승용-고부하	
분사 방식	Jerk	Jerk	Jerk	Jerk	Booster	Accumulator	
펌프 형식	플런저 + 캠	대향플런저 + 캠	플런저 + 캠	플런저 + 캠	유압펌프 + 증압피스톤	플런저 + 캠 등	
Injection valve	Spring	Spring	Spring	Spring	Spring	Solenoid	
최고 분사압(MPa)	130	130	180	200	140	140	
분사압의 장래목표	150	180	220	220	180	180	
분사 성능	Pilot분사	△	○	○	○	◎	◎
	Post분사	×	×	×	×(○)	○	◎
	Timing	○	○	○	○	◎	◎
	Boor형분사	△	△	△	△	×(○)	×(○)
	저속시의 고압분사	△	△	○	○	◎	◎

◎:자유도 大, ○: 자유도 小, △:자유도 無, ×:불가, (○):추가장비 필요

프로씨 현재는 소-대형 트럭을 중심으로 탑재되어 있다.

대향 플런저식 분배형 펌프 : Bosch의 VP44로 대표되는 대향 플런저식 분배형 펌프는, 로터가 회전하여 플런저가 내면의 캠을 따라 대향 피스톤 운동을 함에 따라 연료를 가압하는 방식으로써 직분으로의 이행이 뚜렷한 승용차 클래스의 차량을 중심으로 탑재되고 있다.

Unit Pump : 이 방식은 다음에 소개하는 unit injector로부터 압송부를 분리한 것이다. 분사 성능, 탑재성등의 장단점에서 종래형의 열형 펌프와 unit injector의 중간을 차지하고 있고, 특별히 unit pump를 갖고 있는 유리한 점이 없기 때문에 자동차용으로써 일본 국내에서의 탑재에는 없다.

Unit injector : 이 방식은 연료를 압송하는 플런저와 분사하는 노즐을 일체화한 것으로써 탑재를 위하여 엔진 헤드의 대폭적인 개조가 필요하기

때문에 일본 국내에서는 그렇게 많이 보급되고 있는 않다. 그러나 유럽에서는 소형 승용차로부터 대형 트럭에까지 많이 탑재되고 있다 1998년 10월, 닛산디젤공업(주)가 디젤엔진의 연료분사 시스템으로써는 일본에서 처음으로 대형 트럭(직렬6기통, 13리터, 440마력)에 탑재하였고 수트저감, 연비 향상, 그리고 사용시간에 따른 열화도 적은 것으로 판단되고 있다

유압구동식 unit injector : 미국 캐터필러사가 개발한 HEUI로 대표되는 유압구동식 unit injector는 캠에 의한 압송 대신에 증압 피스톤의 상부와 하부의 압력을 받는 면적차를 이용하여 연료를 가압한다. 이를 위하여 연료계와는 별도로 일차압용으로써 오일펌프와 오일 레일을 갖고 있다.

커몬레일 시스템 : 현재의 커몬레일 시스템은 크게 나누어 고압 서플라이 펌프, 커몬레일, 전자 밸브 제어의 인젝터, 그리고 콘트롤 유닛등으로 구성되어 있다. 서플라이 펌프로 사전에 고압화된

연료는 커몬레일에 축압되고 그것을 인젝터로부터 방출함으로써 분사를 한다. 종래의 저크식 분사장치에 비하여 분사의 자유도가 높기 때문에 향후 소형 승용차로부터 대형트럭까지 폭 넓게 보급될 것으로 생각된다. 그러나 보급된지 4-5년 정도밖에 경과하지 않았기 때문에 아직 '未熟의 大器'라고 불려지고 있고, 더욱 고압화를 위한 200MPa 분사압을 달성하기 위해서는 해결해야 할 점이 많다고 지적되고 있다. 그러나 향후의 자동차용 디젤엔진의 개발에 있어서 연료 분사장치가 차지하는 역할은 점차 커지고 그 가운데 커몬레일 방식은 구조가 개선되면서 당분간 주역을 지킬 것으로 예측되고 있다. 이상의 각 분사장치의 장단점 비교를 <표 1>에 나타내었고, 성능 비교는 <표 2>에 나타내었다.

연료분사 장치의 장래의 동향

이상에서 언급한 기능 이외에 향후 분사장치에

추가로 요구되는 기능으로써는 보다 높은 분사 압력, 분사율 제어, 다단 분사, 미소 분사량의 정밀도 향상등이 있다.

이 가운데 분사율 제어(Rate shaping)에 관해서는 일정압에 축압한 연료를 전자밸브의 ON/OFF로 해방하여 분사를 하는 현재의 커몬레일 시스템에서는 실현이 곤란하다. 따라서 현재의 커몬레일 시스템의 분사 자유도를 더욱 확대하여 분사율 제어를 수행하기 위해서는 압력 제어식의 커몬레일 시스템 또는 피에조 소자를 이용한 인젝터등이 고안되고 있다.

이 이외에 필요에 따라 노즐의 분사공 크기 및 수의 변화가 가능한 가변 분공노즐등도 연구되고 있다. 또한 이상과는 별도로, 메탄올, DME등의 신연료에 대응하기 위해서는 기존의 방식과는 완전히 다른 독자적인 분사장치가 등장할 가능성도 있다.

<이대엽 편집위원 : Lee@mgflame.mel.go.jp>