

실린더내 분사 가솔린 엔진

A Direct Injection Gasoline Engine

조 진 호
J. H. Cho



조 진 호
· 정회원
· 한양대학교 자동차공학과

1. 개 설

지금의 전자제어 연료 분사식 가솔린 엔진은 디젤엔진과 같은 연료분사가 주류이다. 그러나 실린더내에 연료를 직접 분사하는 디젤엔진과는 달리 미리 흡기 포트내에 연료를 분사하여 흡입되는 공기와 혼합된 상태에서 실린더내로 흡입되는 방식이다. 따라서 연료 공급의 응답지연이나 혼합기의 생성정확도가 종전의 기화기 방식보다 몇단계 위인 위치에 있긴하나 이것이 가장 이상적인 수준에서 혼합기 형성을 볼때에는 아직 만족할만큼의 단계와는 거리가 있다. 즉 각 실린더 별에 대하여 독립적으로 연료를 분사하는 전자제어식 연료분사 시스템이라 하여도 연료 공급의 응답성이나 연소의 제어에는 한계가 있기 때문이다.

만약 디젤엔진의 경우와 같이 연료를 실린더내에 직접 계량 분사할 수 있게 되면 위에서와 같은 점에서는 비약적으로 개선될 수 있다. 즉 연료제어의 정확도가 지금보다는 더욱 높은 차원에서 가능하게 되고 따라서 보다 희박혼합기로서 효율적인 연소가 실현될 수 있다.

실린더내 직접 분사 가솔린 엔진은 앞서부터 모터쇼등에서 신기술로 가끔 논의되어온 예가 있었고 특히 2 사이클 엔진에 그 예를 많이 볼 수 있었다. 근번 발표된 이 실린더내 분사가솔린엔진은 40 : 1이상의 희박혼합기로서 운전이 가능하며(현재 실용화되고 있는 희박연소엔진 23 : 1 전후 인데 비하여) 연료의 절약적인 측면에서 볼때 실용화에 이르게 되면 대단한 저연비의 연료 절약형의 엔진이 될것이다.

그리고 연료의 분사 압력은 종전의 희박연소 엔진과는 달리 일반 가솔린 엔진에 비할바 아니고 디젤엔진에 가까운 정도의 고압분사인 것으로 발표되고 있다.

2. 주요제원과 기술의 구성

금번 발표된 미쓰비시의 실린더내 분사 가솔린 엔진은 회박연소기술을 바탕으로 하는 MPI식 전자제어 연료분사엔진으로 그 주요제원은 표1과 같고 기술적인 구성은 그림1과 같다.

엔진의 기본구조는 일반 회박연소엔진과 같으나 압축비가 높은 것과 연료 분사 압력이 크게 높아서 51.0kgf/cm²(5.0MPa)로 종래의 연료 분사 압력인 3.0~3.5kgf/cm²에 대하여 실로 15배 이상의 고압이다. 그리고 실린더내의 가스 유동을 제어하는 「직립포트」, 연소를 제어하는 「凹부를 가진 크라운면 피스톤」, 실린더내에 연료를 직접분사하는데 필요한 「고압연료펌프」, 분무의 미립화와 분산을 제어하는 「고압 스윙 인젝터」를 기본 기술로 하고 여기에 전자제어 기술이 조합되어 있다.

3. 초 회박연소에 의한 저연비의 실현

실린더내 분사 가솔린엔진은 공연비 40 :

표 1 엔진의 주요제원

항 목	4G 93 실린더내 분사	4G 93 종래형
내경×행정(mm)	81.0×89.0	←
총 배기량(cc)	1,834	←
실린더 수	직렬 4 실린더	←
밸브수	형 식	DOHC
	밸브수	흡기2밸브, 배기2밸브
압 축 비	12.0	10.5
연 소 실	팬트 루프 (凹부 크라운면 피스톤)	팬트루프
흡기 포트	직립 포트	표준 포트
연료 공급 방식	실린더내 직접분사	포트분사 MPI
공급 연압(MPa)	5.0	0.33

1의 초회박연소를 가능하게 하여 새로운 연료 절약형의 저연비화를 실현하고 있다. 이 회박 혼합기는 종래의 회박연소 엔진의 개발에서 축적된 공급 연료의 충상화 기술에 의하여 확실한 연소를 실현시킨다. 이는 종래의 엔진과는 달리 실린더내의 공기 유동을 다른 방법으로 이루워 지도록 하여 독자적인 분무구조를 갖는 연료를 압축행정의 말기 부근에 실린더내에 직접 분사함으로써 공급 연료의 충상화를 도모한다.

3.1 실린더내의 공기유동과 연료분무구조

흡기포트는 종래형 엔진에서와 같은 실린더 헤드 의 옆방향이 아니고 앞에서의 그림1에서와 같이 상하방향으로 부착된다. 이 「직립포트」는 강력한 하강류를 발생시켜 실린더내에 종래 엔진과는 역방향의 텀블선회류를 생성한다. 텀블류는 그림2에서 나타내는 「凹부 크라운면 피스톤」에 의하여 강화되어 연료의 혼합상태를 제어하는 중요한 역할을 하

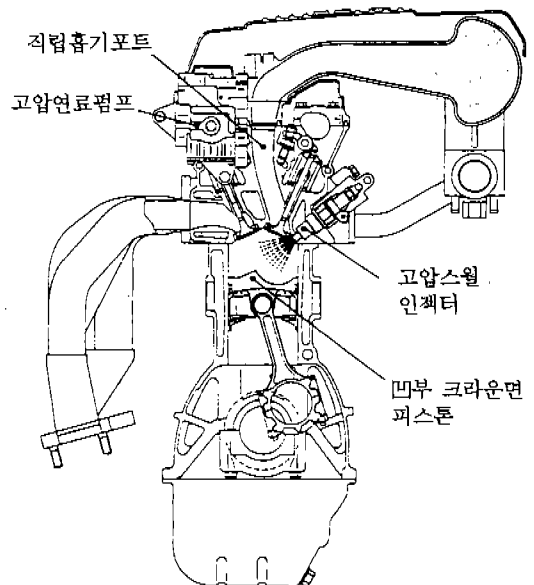


그림 1 실린더내 분사 가솔린 엔진의 구성



그림 2 연소실내 텀블류를 보다 강력하게 만드는 凹부 크라운면 피스톤.

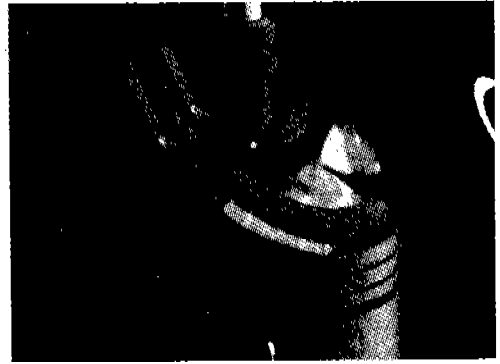


그림 4 압축행정말기 凹부 크라운면 피스톤을 향하여 분사되는 연료의 양상

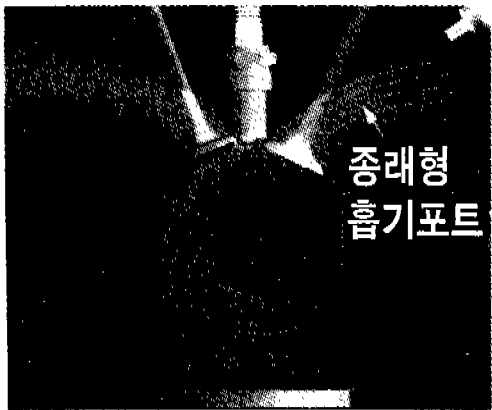
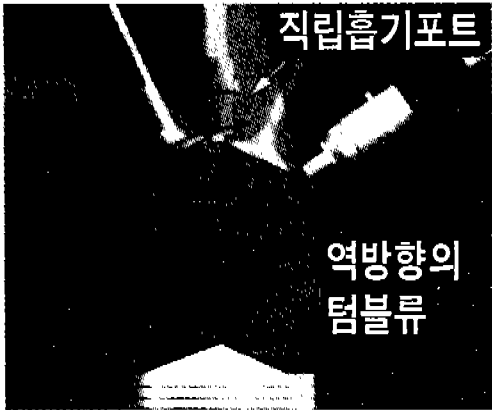


그림 3 실린더내에 공기 유동의 양상, 하는 종래형 엔진, 상은 실린더내 분사엔진의 경우



그림 5 고압 스월 인젝터에 의한 컴팩트한 분무의 양상

고 있다. 그림3은 실린더 내에서의 공기유동의 양상을 종래의 엔진과 비교하여 나타낸 것이다. 연료는 압축행정 후기의 점화직전에 凹부 크라운면 피스톤을 향하여 그림4에서와 같이 분사된다. 연료를 분사(분무)하는 「고



그림 6 점화 직전의 연료 분무와 혼합기의 거동
 좌 : BTDC 40°, 중앙 : BTDC 30°,
 우 : BTDC 20° (점화직전)

압 스윙 인젝터」는 연료를 미립화하고 구상의 콤팩트한 분무구조를 형성한다.

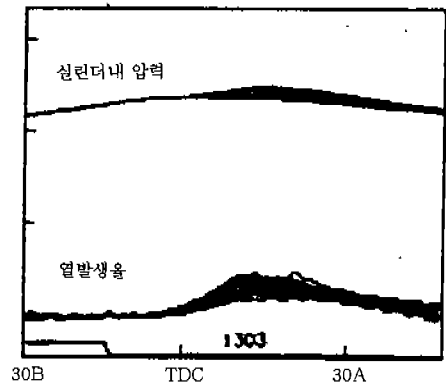
그림5는 그 양상을 나타낸것이고 이 연료 분무는 텀블류에 의하여 피스톤 크라운면의凹부 공간내에서 확산됨이 없이 신속하게 기화하여 착화가 가능한 농후혼합기의 상태에서 점화 플러그쪽으로 옮겨간다.

그림 6은 해석용 엔진에 있어서 점화직전의 연료 분무와 혼합기의 거동을 관찰한 것이다. 점화 플러그 주변에 농후 혼합기가 모이지고 층상혼합상태가 실현되고 있음을 알 수 있다. 그 결과 연소실 전체의 공연비는 40 : 1로서 초희박의 상태하에서도 점화가 가능하게 되고 따라서 초희박연소가 실현된다.

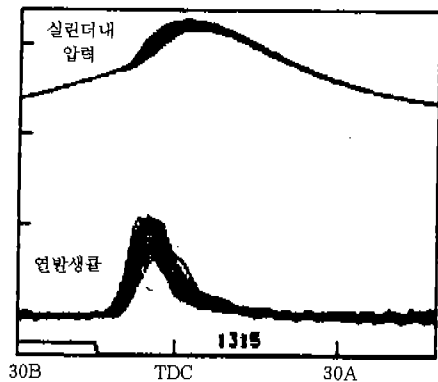
3.2 연소 특성과 연비 성능

연소가 가장 완만하고 불안정한 아이들링시의 연소 특성을 그림7에 나타낸다. 실린더 내 분사는 40 : 1인 초 희박의 혼합기로 운전되어도 연소 속도가 대단히 빠르며 안정되어 있고 급속 연소가 유지된다. 따라서 아이들 회전속도는 종래의 엔진보다 낮게 설정될 수 있고 또한 아이들 연비의 향상에 효과를 더하고 있다.

그림 8과 9는 아이들시와 정상주행시의 연비 향상 효과의 예를 나타낸 것이다.



크랭크 각도



크랭크 각도

그림 7 아이들링시의 연소특성 비교

상 : 종래형 엔진, 하 : 실린더 내 분사 40 : 1인 초희박의 혼합기인 경우도 실린더 내 분사는 연소속도가 빠르고 안정되어 있다.

아이들시의 연료 소비량은 종래 엔진에 비하여 40%가량이나 향상되고 시속 40Km 정속주행시의 연료 소비율도 25% 정도까지 향상되고 있으며 이로부터 연소 한계 공연비가 계략적으로 22로부터 40으로 확대되고 있음을 이해할 수 있다.

3.3 배출가스의 청정화

회박연소의 경우는 NOx의 저감이 큰 과제가 된다. 이 엔진은 회박연소하에서 EGR이 도입되어도 급속 연소가 유지되어 연소가 악화되지 않음으로써 NOx의 저감을 대량 EGR에 의존할 수 있다.

대량 EGR에 의하여 엔진으로부터 배출된

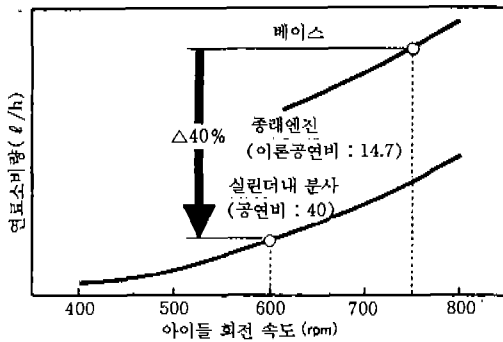


그림 8 아이들링시의 연비개선 효과

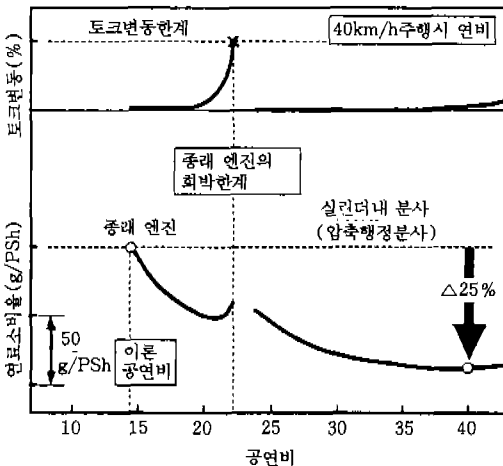


그림 9 정상주행 (40km/h) 주행시의 연비개선 효과

직후의 NOx를 종래 엔진에서 3원 촉매를 기능시키는 이론 공연비 레벨로부터 약 90% 저감시킬 수 있다. 그림10은 그 양상을 나타낸 것이다.

3.4 고효율 흡기에 의한 고출력의 실현

고출력의 실현은 체적효율과 고압축비화의 실현에 의하여 이루어진다.

3.4.1 체적효율의 향상과 고압축비화

특히 고출력을 필요로 하는 고부하 운전시의 체적 효율 향상은 직립흡기포트에 의한 원활한 흡기류로서 실현되고 있다. 뿐만 아

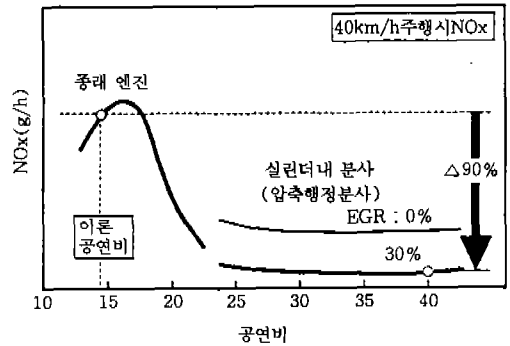


그림 10 배출가스의 청정화 초회박 공연비의 경우 EGR을 도입하여도 급속 연소가 유지되어 연소가 악화되지 않는점을 살려 NOx 저감을 도모한다. 40 : 1의 초회박 공연비에서는 종래 엔진의 이론 공연비인때에 비하여 90% 가량의 NOx를 저감시킬 수 있다.

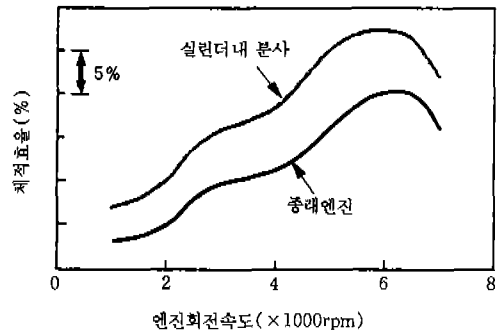


그림 11 체적효율의 향상. 전 회전 영역에서 종래 엔진보다 향상되고 있다.

니라 고부하 운전시는 거기에 더하여 흡기 행정중 실린더내에 가솔린을 직접 분사함으로써 가솔린의 기화열을 이용, 실린더내 가스의 온도를 저하시켜 밀도를 높여주는 냉각 작용도 활용한다. 이들의 효과로부터 그림 11에서와 같이 종래 엔진에 비하여 전 운전 영역에서 체적효율이 향상됨을 알 수 있다.

가솔린에 의한 흡기 냉각의 효과로 노킹현상의 발생이 억제되고 그 결과 압축비를 더욱 높힐 수 있어서 12:1의 고압축비화가 실현되고 있다. 압축행정 후기에 분사된 가솔린은 앞에서 나타낸 구형의 컴팩트한 분무 형상으로부터 그림 12에서와 같이 콘모양으로 퍼지면서 실린더내에 균일하게 확산혼합되면

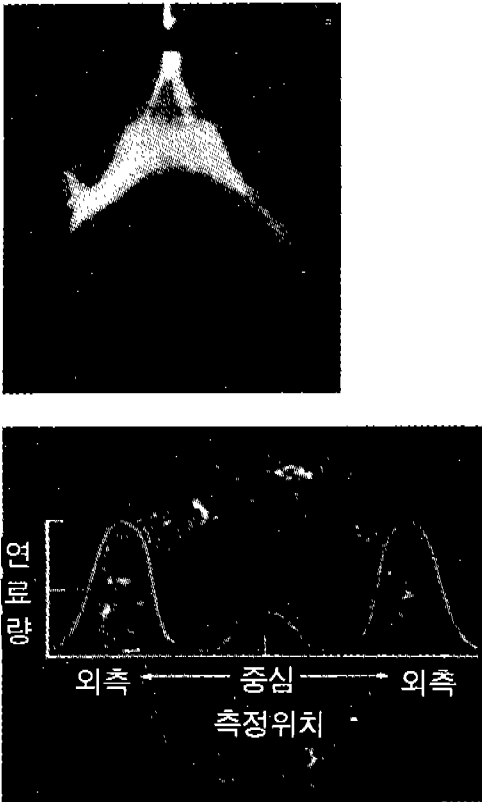


그림 12 분사된 연료의 수직단면(좌)과 수평단면(우), 콘 모양으로 퍼져서 균일하게 확산된다.

서 기화한다. 따라서 흡기냉각은 더욱 효과적으로 이루어지게 되고 흡기 냉각에 의한 엔티노크성의 향상과 고압축비화는 그림 13과 같이되고 그결과 연소 효율은 더욱향상된다.

3.4.2 출력성능

그림 14에서와 같이 체적효율의 향상과 고압축비화의 실현으로 종래의 엔진에 비하여 전 영역에서 출력과 토크가 공히 약 10% 정도 향상된다.

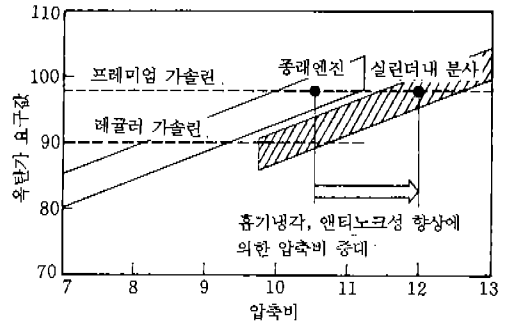


그림 13 흡기 냉각에 의한 엔티노크성의 향상으로 더욱 고 압축비화가 가능하게 되었다.

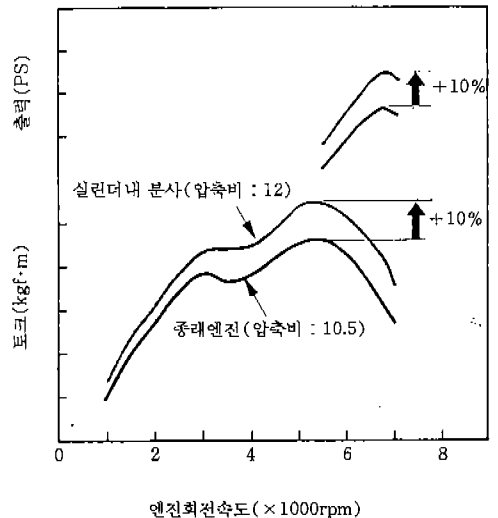


그림 14 체적효율의 향상과 고압축비화에 의한 출력 향상

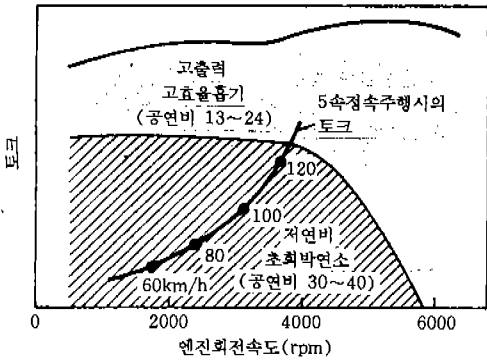


그림 15 연소모드, 정상주행으로 120Km/h까지, 공연비 30~40의 초희박연소가 가능하다.

탑재엔진		10·15모드 연비 MT차 (km/ℓ)			
		5	10	15	20
1.8ℓ	실린더내 분사	[Bar chart showing performance]			
	종래 엔진	[Bar chart showing performance] → 25% 향상			
2.0ℓ 인터쿨러 터보 디젤차		[Bar chart showing performance]			

그림 16 시가지 주행 연비의 종래 엔진 탑재차와 실린더내 분사 가솔린 엔진 탑재차 및 2.0ℓ 인터쿨러 터보 디젤차와의 비교

3.5 실제 차량에 있어서의 연소제어와 그 성과

실제 차량의 주행에서는 연소모드를 2개로 나누고 있다. 각각의 모드에 대응하는 연료 분사제어를 하여 고출력과 저연비의 양립을 실현하였다.

3.5.1 연소모드

그림15에서와 같이 운전 영역은 저 연비 영역과 고출력영역의 2개로 나누어진다. 그리고 각각의 영역에서 최량의 혼합비가 되도록 분사량과 분사 타이밍을 제어한다. 초 희박 연소로 운전되는 연료 절약을 최우선으로 하는 저연비 구역은 정상주행으로 120km/h까지를 커버하고 있다. 이 운전 영역에서는

압축행정 말기에 연료가 분사되고 앞에서 기술한 층상혼합에 의한 공연비의 30~40의 초 희박연소 운전이 실현된다.

고출력 영역은 전개운전을 포함하는 고부하·고속운전 영역이다. 이 운전영역에서는 흡기행정중에 연료를 분사 균일혼합과 연료 기화에 의한 흡기의 냉각 및 엔티노크성의 향상으로 고토크, 고출력 운전이 가능하게 된다.

3.5.2 연비성능

그림16은 10, 15모드에 있어서의 연비성능을 종래엔진과 실린더내에 분사가술린 엔진을 비교 한 것이다. 종래엔진 탑재차에 비하여 약 25%의 연비 성능의 향상이 이루어지고 있다. 연비면에서 절대적으로 유리한 것으로 되어있는 디젤엔진 탑재차와 비교하여도 비록 적은 값이지만 약간의 연비성능 향상을 인정할 수 있다.

3.5.3 출력성능

전운전영역에 걸쳐서 토크 및 출력의 향상을 볼 수 있음은 앞에서 기술한바와 같다. 실제의 성과를 나타내는 데이터로서 “가속성능”에 있어서도 AT 및 MT차 공히 출력 향상을 나타내는 지표의 하나인 가속성능이 약 5%정도 향상되고 있다.

6. 맺음말

이상 소개한바와 같이 미쓰비시의 경우 현상의 기술로서도 실린더내 분사는 4ℓ 클래스 엔진까지 확대가능하고 앞으로 더욱 엄격해질 배출가스의 규제와 저연비의 요구로 디젤엔진에 대신하여 소형트럭에까지 탑재가 확대될것으로 추측된다. 그리고 이와같은 초 희박연소에 의한 저연비와 체적효율 향상에 따른 고출력의 양립은 지구환경보호측면에서도 크게 기대할 새로운 기술의 개가라 할 수 있을 것이다.