

# 대 배기량기관의 희박연소를 위한 기술적 대책의 예

## The Sample of Refinement for Lean Burn System in Large Class Engines

조 진 호  
J. H. Cho



조 진 호  
· 한양대학교 자동차공학과  
정회원

기관의 저연비화는 비단 경제적인 면뿐 아니라 환경 등 사회적인 면에서 보았을 때에도 차량이 갖추어야 할 필수적인 요건이라 할 수 있다. 지금의 추세로는 차량에 희박연소기관을 탑재하는 것은 앞으로 더욱 증가될 것으로 예측된다. 이 저연비에 효과적으로 대응될 수 있는 희박연소는 일반적인 3원촉매를 사용 할 경우 지금까지는 배기량 2ℓ를 넘는 대배기량기관에서는 실용화가 어려운 것으로 되어있어서 희박연소기관 대부분은 1.8ℓ급까지로 되어있다. 그런데 최근 일본의 미쓰비시사는 별개의 희박연소용 촉매를 사용하지 않으면서 2.5ℓ급의 희박연소화한 대배기량기관을 차량에 탑재하는데 성공한 것으로 발표하고 있다. 더구나 지금까지 대부분의 희박연소기관에 채용되고 있는 전역 공연비센서가 아닌 보통의 O<sub>2</sub>센서이고 이와같이 큰 배기량기관의 희박연소화를 실현한 것은 세계에서 최초의 것으로 보고하고 있다.

### 1. 기술적인 개요

이 회사는 이미 1.5ℓ와 1.8ℓ급 기관의 희박연소화를 실현시킨바 있다. 이 희박연소기관의 실용화기술은 MVV(Mitsubishi Vertical Vortex)인 텀블충상급기이다.

이 MVV는 보통으로는 불가능한것으로 되어 있는 희박혼합기를 안정적으로 연소시킬 수 있는 기술로서 실린더내에 보다 강력한 텀블을 적극적으로 생성시킬 수 있는데 그 특징이 있다.

이번에 발표된 V6·2.5ℓ 희박연소기관도 이 기술의 연장선상에 있고 다만 희박연소한계의 공연비를 검출하는 방법에 있어서 새로운 기술을 개발, 부가시키고 있는 것이 그 특징이다. 그리

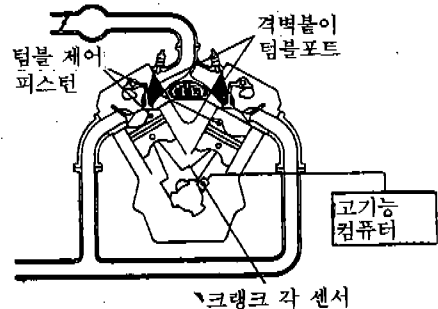


그림 1 MVV기관에 쓰여지고 있는 희박연소화를 위한 기본기술의 개요

고 어떤 새로운 고도의 센서를 개발하거나 기관의 구조를 변경하는 등 없이 종래부터 사용되어 오던 것을 응용한 가운데 새로운 기술을 개발한 것을 특징으로 들 수 있다.

그림 1은 V6·2.5ℓ MVV기관에서 연료에 무연 레귤러 가솔린을 사용, 희박연소화를 위하여 쓰여지고 있는 기본적인 기술의 개요를 나타낸 것이다.

### 2. 주요제원과 성능

표 1은 기관의 주요제원을, 그리고 그림 2는 그 기관의 성능곡선을 나타낸 것이다.

배기량이 같은 2.5ℓ 급의 DOHC기관이 압축비가 10.0, 무연 프리미엄 가솔린을 사용하여 최고출력 200ps/6000rpm, 최대토크 24.5kgf·m/5000rpm의 출력성능을 얻는 것과 비교할 때 그림에서와 같이 이 기관을 탑재한 차량의 경우도 성능곡선상에서 보았을때 동력성능면에서 크게 뒤지지 않음을 알 수 있다.

### 3. 착화를 위한 층상흡기

희박연소 운전시 사용되는 희박혼합기로는 점화플러그의 스파크에 의하여 확실하게 점화되기

는 거의 불가능하다. 따라서 흡기행정에서 혼합기를 흡입할 때 점화플러그 부근에는 비교적 농후한 혼합기가 모여져서 점화를 가능케 하고 그 이외의 부분은 공기만이 되는 분포상태를 만든다. 그림으로써 연소실 전체의 공연비 평균값을 구하면 희박혼합기가 되도록하는 방식을 취하고 있으며 이것이 층상흡기 방식이 된다(그림 3).

그러기 위하여는 그림에서와 같은 격벽이 부착

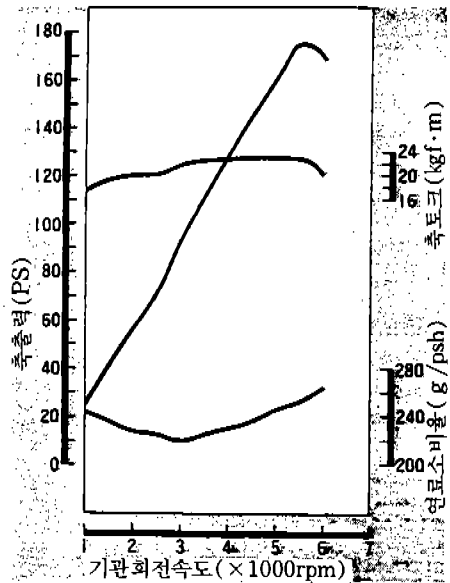


그림 2 MVV기관의 성능 곡선

표 1 기관의 주요제원

항 목		V6·2.5ℓ 희박연소 MVV기관
내경×행정(mm)		83.5×76.0
총배기량(cc)		2,497
실린더수 및 배치		V형 6실린더, 횡치식
밸브기구	형식	롤러 로커암식 SOHC
	밸브수	흡기 : 2밸브, 배기 : 2밸브
압축비		9.5
연소실		팬트루프 (텀블체어 피스틴)
흡기포트		격벽붙이
연료공급장치		ECI멀티(전자제어 연료분사)
공연비제어 센서		표준 O <sub>2</sub> 센서
아이들 회전수 (rpm)	N렌지	700
	D렌지	600

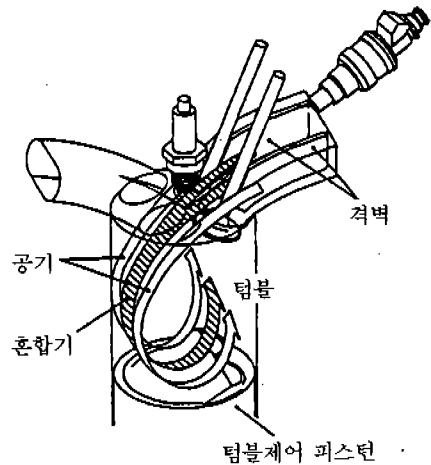


그림 3 흡입행정시의 실린더 「텀블층상흡기」로서 평균적으로는 희박혼합기가 된다.

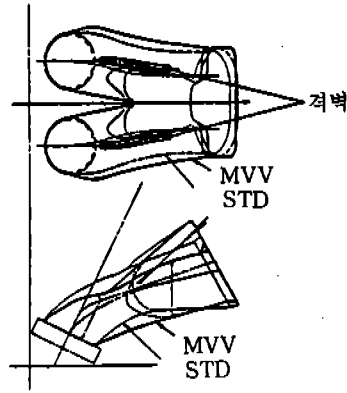


그림 4 격벽부착 흡기포트의 형상과 구조

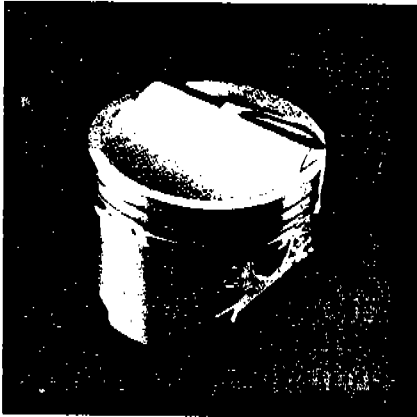


그림 5 텀블 제어 피스톤의 외관

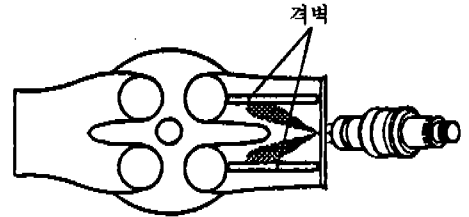


그림 6 연료의 분사상태, 격벽에 의하여 연료를 연소실 중앙부에 모은다.

된 흡기포트와 연료의 분사를 위한 연료분사밸브의 배치, 그리고, 분사방식, 또 그것에 독특한 헤드형상을 가진 텀블 제어 피스톤이 층상급기를 하는데 있어서 기술적인 관점으로 된다. 그림 4는 격벽부착 흡기포트의 형상과 구조를 나타낸 것이고 그림 5는 텀블 제어 피스톤의 외관을 나타낸 것이다.

이 구조의 흡기포트에 대하여 연료의 분사는 그림 6에서와 같이 이루어진다. 그렇게 함으로써 격벽부착 흡기포트와 연료의 분사위치 관계로부터 점화플러그 부분에 짙은 혼합기가 모아져서 스파크에 의한 점화를 가능토록 한다. 그런데 흡

기행정에서 만들어지는 농후혼합기가 점화플러그 부근에 모아지도록 하여도 점화행정에 이를 때까지의 압축행정 도중 연료입자의 확산을 방지하여야 하며 이 역할을 하는것이 텀블 제어 피스톤이다. 그림 7은 이 텀블 제어 피스톤에 의한 실린더내의 가스유동특성을 일반적인 피스톤과 비교하여 나타낸 것이다.

격벽부착 흡기포트에 의하여 그 구조가 보다 명확해진 텀블류는 텀블 제어 피스톤에 의하여 점화직전까지 혼합기가 확산되지 않는 상태에서 그 세가 보다 강화된다. 이 강력한 텀블류에 의하여 점화플러그에 스파크가 튀는 시점까지 그

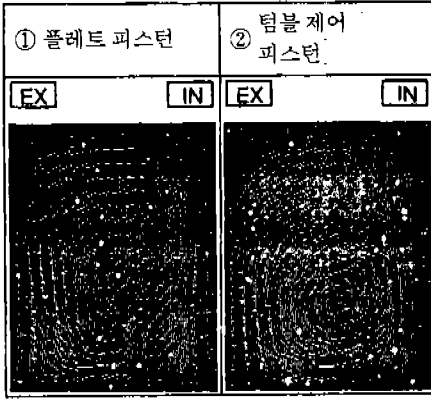


그림 7 실린더내의 가스 유동특성

부근에 농후혼합기의 분포가 계속될 수 있게 된다.

#### 4. 연소의 확산과 텀블효과

점화플러그의 스파크에 의해 전극 가까이 농후혼합기에 점화, 화염핵이 생성된다. 안정된 희박연소의 실현을 위하여는 이 화염핵은 소멸(실화)되는일 없이 점차 부근 혼합기로의 화염전파가 이루어져야한다. 이와같은 연소확산은 농후혼합기의 존에서 형성되어야 하고 이 일은 텀블 제

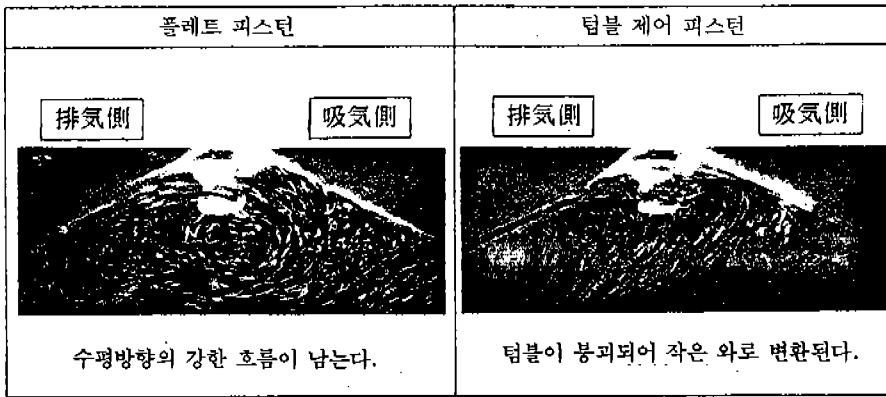


그림 8 연소실내의 공기유동, 어느것이나 압축상사점 전 15도

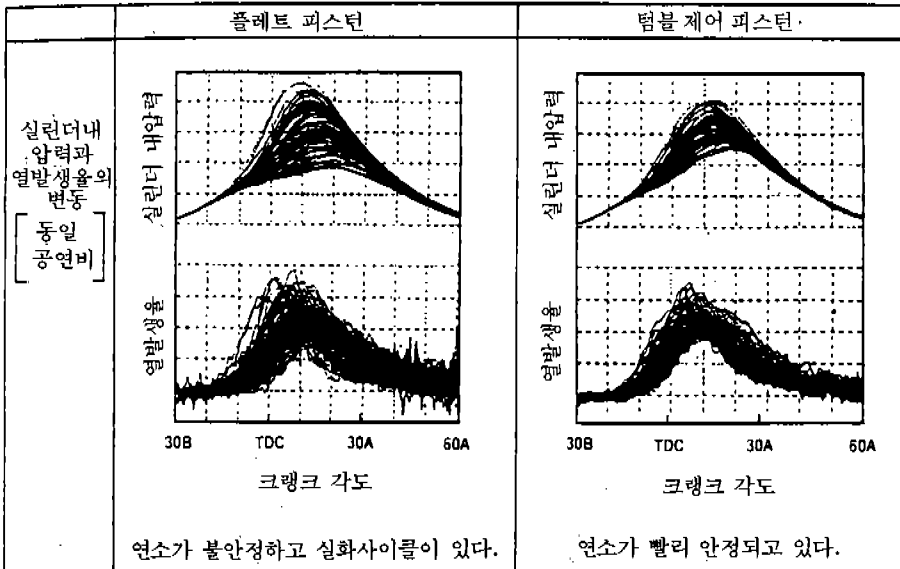


그림 9 실린더내의 압력과 열발생율의 변동 (동일 공연비)

어 피스톤에 의한 확산방지 즉 농후혼합기의 「호트러짐의 제어」 기술로 이루어진다. 압축행정의 전반과 중반까지는 앞에서 기술한 텀블류, 즉 세로방향의 선화구조를 가진 흐름이 형성되고 후기로 접어들면 피스톤의 특수한 헤드형상에 의하여 만들어지는 좁고 편평한 연소실 효과에 의하여 그 텀블류는 실린더헤드에 충돌, 붕괴되면서 작은 와로 변해간다(그림 8). 이 비교적 농후 혼합기의 와가 스파크에 의해 발생된 화염핵을 실화시키는 일 없이 안정된 화염전파로 희박연소를 실현시켜 준다. 그림 9는 그 효과의 한 예를 나타낸 것이다.

### 5. 혼합기의 희박한계 파악방법

일반적으로 희박연소기관의 희박연소 운전영역에 있어서 희박한계의 공연비 제어는 전 영역 공연비 센서에 의하여 혼합기의 공연비를 직접 검출함으로써 이루어진다.

그런데 실제의 공연비는 연료의 성상, 흡기의 습도, 각 실린더사이에서의 흡기량이나 연료분사량의 변동 등 여러가지 요인에 의해 불균일 현상인 호트러짐이 반드시 생긴다.

뿐만 아니라 공연비 센서에도 계측오차에 의한 호트러짐이 있어서 공연비 센서에 의한 희박한계 제어에는 이 호트러짐에 대한 여유를 더 보아 주어야 할 필요가 있게 된다. 즉 그 기관 자체는 보다 희박한 혼합기로도 운전될 능력이 있으나 그 보다 약간 짙은 혼합기로 운전하는 것이 지금까지의 희박연소 형태이다(그림 10).

배기량이 큰 기관에서 희박연소를 실현하는데에는 그 여유를 극력 적게하여 참의 희박한계로 운전되도록 할 것이 필요하다. 희박한계가 극에 달하게 되면 연소는 불안정하게 되고 이 때의 현상을 검출하면 간접적으로 그 기관으로서 운전될 수 있는 혼합기의 희박한계를 알 수 있다. 그리고 이때의 검출은 그 보다 더 혼합기가 희박하게 되면 연소가 불안정하게 될것이다라고 하는 예측에 따른 제어가 아니고 지금 불안정하게 되어 있다는 현실의 상태를 검출하여 제어하는 것이므로 검출에 따르는 여유확보는 필요치 않게 된다.

즉 그 기관의 희박연소능력 그 자체와 희박공연비로 운전이 가능하게 되는 것을 이용, 이를 배기량이 큰 기관인 신 MVV기관에 적용시켜서 그 한계를 찾아내는 것이 새로운 기술의 요점이다.

### 6. 신 MVV기관에 있어서의 공연비 희박한계 제어

희박한계에 달하여 연소가 불안정하게 되면 기관의 토크변동이 증대된다. 그리고 토크변동의 증대판정은 크랭크축의 회전속도가 변동되는 것을 검출함으로써 이루어진다.

즉 연소가 안정적으로 이루어질때의 크랭크축의 회전속도는 압축행정에서는 저하되고 연소행정에서는 증가되어 행정마다 규칙적인 변동이 반복된다. 그러나 어느 한 실린더의 연소가 악화되는 경우는 연소행정에서의 크랭크축 회전속도 증

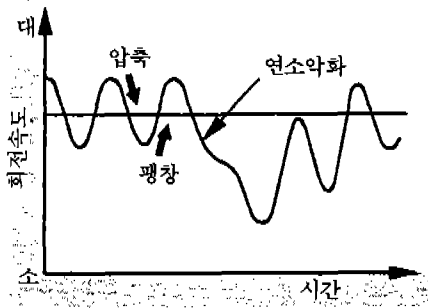


그림 10 연소한계의 양상

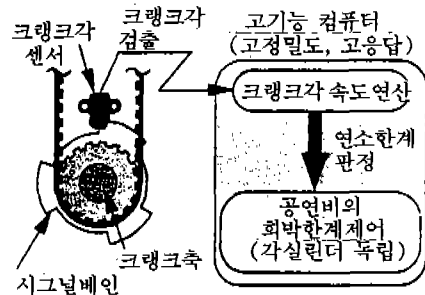


그림 11 크랭크각센서로부터 크랭크축 회전속도를 연산, 공연비의 희박한계제어를 한다.

가량이 그에 해당하는것 만큼 작아지게 된다. 따라서 매 행정마다의 크랭크축 회전속도변동을 끊임없이 검출하게 되면 「연소의 악화=혼합기의 회박한계 도달」의 판단이 가능하게 된다(그림 10).

크랭크축 회전속도의 변동검출은 이미 장착되어 있는 크랭크각 센서를 이용함으로써 가능하다(그림 11). 그리고 기관에 따라서는 연소압력센서에 의하여 연소압력을 직접검출하여 회박한계를 판정하는 경우도 있다.

컴퓨터에는 회박연소한계로서 크랭크축의 회전속도 변화량의 크기가 설정, 입력되어 있다. 따라서 이 변동량을 기초로 하여 공연비를 피드백 제어하면 회박한계의 공연비가 유지되는 것이다. 즉 회전변동이 설정치보다 작아지게되면

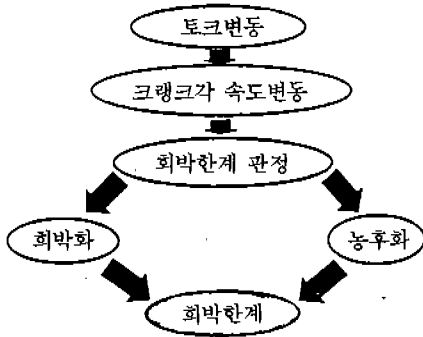


그림 12 회박연소한계에서의 회전속도 변동을 설정하여 놓고 이변동량이 되도록 공연비를 제어한다.

연료분사량을 서서히 줄여나가고 그 결과 변동량은 점차 커지게 된다.

또 변동량이 설정치보다 커지는 시점에서 분사량을 서서히 다시 증량하면 변동량은 점차 작아진다. 이렇게 회전속도의 변동이 설정치보다 작아지는 시점에서 연료분사량을 서서히 적게 한다고 하는 분사량의 증감제어, 즉 피드백 제어를 각 실린더 마다에 반복함으로써 항상 회박한계의 공연비가 유지된다(그림 12).

지금까지 기술한 바와 같이 아무런 특별한 기구를 사용하는 일 없이 제어의 로직만으로 회박한계의 제어가 가능함을 이해할 수 있다. 따라서 전 영역 공연비 센서 등 고도의 기술을 구사하는 케이스보다 회박한계를 더욱 확대하여 배기량이 큰 기관에서의 회박연소화가 실현된다. 따라서 공연비 센서는 전자제어기관에 일반적으로 쓰여지는 O<sub>2</sub>센서이고 회박연소 운전이외의 운전영역에서 작용한다.

그림 13은 지금까지 설명한 신 MVV기관에 적용된 회박연소기술의 성과를 종래형 MVV기관과 비교한 것이다.

회박연소 운전영역에서 회박공연비의 제어한계가 보다 회박측으로 확장되고 그 결과 종래의 회박연소기관보다 연료소비율이 저하될 뿐만 아니라 NO<sub>x</sub>의 배출량도 감소되고 있음을 알 수 있다.

그림 14는 실제 연비의 향상효과를 나타낸 것으로 10, 15 모드 연비에서 종래형과 비교할때 약 16%의 향상효과가 있는 것으로 발표되고 있다.

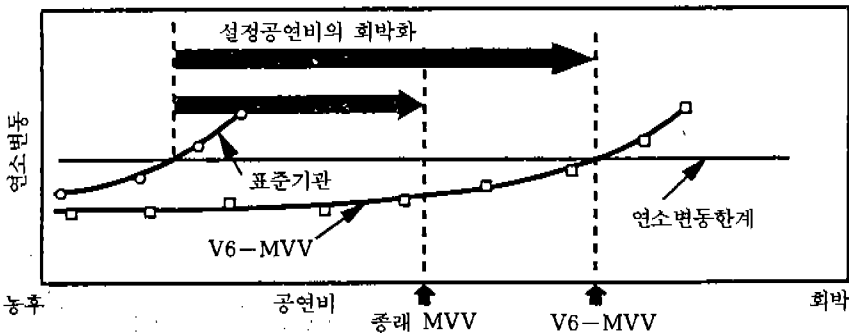


그림 13 각 실린더마다에 피드백 제어를 반복 함으로써 항상 회박한계의 공연비가 유지된다.

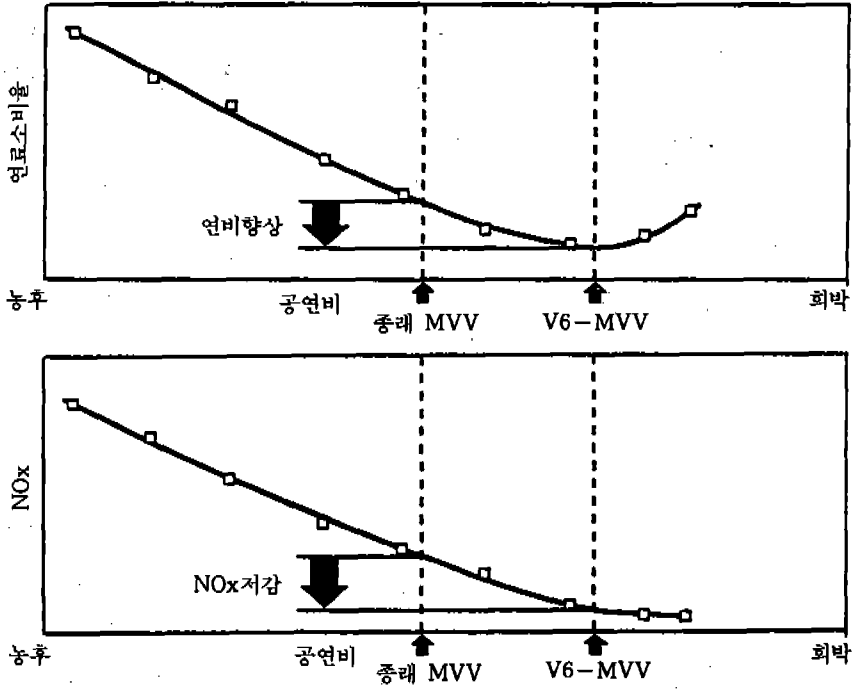


그림 14 희박연소기술의 성과 예