

자동차용 가솔린 엔진의 연비향상을 위한 최신기술

Recent Technology for Improvement of Fuel Economy in Automotive Gasoline Engines

이 기 형
K. H. Lee



이 기 형
• 1960년 9월생
• 내연기관 및 팽용용 연소계측
• 한양대학교 기계공학과
• 정회원

1. 서 론

자동차용 가솔린 엔진에 대한 개발의 역사 중에서 저연비화(고효율화)는 고출력화와 더불어 엔진의 가장 근본적인 목표성능으로서 많은 연구가 수행되어 왔다. 최근에는 에너지 고갈 문제 뿐만 아니라 산성비에 의한 산림파괴와 CO₂에 의한 지구 온난화문제등과 같은 지구 환경문제가 심각하게 부각되고 있으므로, 연비향상에 대한 사회적인 요구가 한층 강화되고 있는 실정이다. 앞으로도 인구의 증가와 개발도상국의 발전등의 요인으로 인하여 에너지의 소비량은 더욱 증가될 전망이며, 연비향상에 대한 중요성은 더욱 높아질 것으로 추측된다.

특히 전세계적으로는 아직 자동차의 보급율이 현저하게 신장되고 있는 추세이므로 지구 환경과의 조화를 이루기 위하여는 자동차 한대당의 배기 및 에너지 소비량을 대폭 저감시킬 필요가 있다. 따라서 이를 위한 기본 항목 중의 하나인 엔진의 연비향상 기술과 구체적인 실현 가능성에

대한 요구가 심화되고 있다.

본 글에서는 장래의 자동차용 엔진 중에서 가솔린 엔진이 차지하게 될 비중과 전망에 대하여 간단하게 고찰하여 본 후, 가솔린 엔진의 연비향상 기술에 대한 연구 개발 동향 및 구체적인 연비저감 효과, 그리고 실용화를 위하여 해결해야 할 기술과제등에 대하여 소개하고자 한다.

2. 가솔린 엔진의 장래 전망

가솔린 엔진은 현재와 마찬가지로 21세기에도 자동차용 엔진의 주류를 이룰 것인지를 고찰하기에 앞서서 우선 자동차의 수요예측을 해 보기로 하자. 그림 1에 나타나 있는 바와 같이 20세기

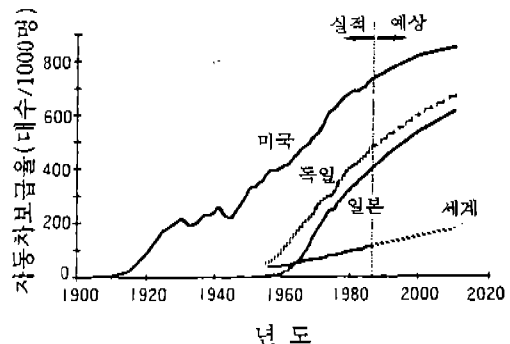


그림 1 자동차 보급율의 추세

초부터 현재까지의 자동차 보급율은 일시적으로는 감소되는 시기도 있었으나, 전반적으로 신장하고 있는 경향을 나타내고 있다.¹⁾ 또한 세계 전체의 자동차 보급율은 아직 낮은 상태이며, 자동차의 최고 선진국인 미국에서도 보급율은 증가하고 있으며, 일본과 독일의 보급율은 20년 이전의 미국 수준인 점등을 고려해 볼 때, 향후 20년 정도까지의 자동차 수요는 계속 증가될 추세이며, 21세기초경에는 연간 7000만대 전후의 규모가 될 것으로 추산된다.

최근 10년간의 주요 선진국에 있어서의 승용차용 엔진의 종류별 구성 비율을 보면 그림 2와

같이 80~90%, 평균적으로는 90% 이상이 가솔린 엔진이다. 요즘 일반화되고 있는 4밸브 엔진은 2밸브 엔진에 비하여 출력의 향상 뿐만 아니라 최대 열효율면에서도 향상되고 있으므로 가솔린 엔진의 증가비율은 계속 높아지고 있다.

그럼 향후 20~30년후에는 이러한 비율이 어떻게 변화될 것인지, 또는 가솔린, 디젤이외의 제 3, 제4의 엔진이 출현할 것인지를 예측하는 것이 매우 흥미로운 일일 것이다. 자동차용 엔진과 연료에 대한 장래 예측은 오일쇼크 이후 많이 수행되어 왔으며 GM이 70년대 말에 발표한 내용을 그림 3에 나타내었다.²⁾ 이 결과에 따르면 80년대 중반에 DISC(Direct Injection Stratified Charge)엔진과 전기자동차가 출현하고, 90년대 초에는 가스터빈 자동차가 시장에 도입되며, 2000년 이후는 모든 자동차가 전기자동차로 바뀔 것이라는 예측이었다. 그러나 실제 상황은 그림 2와 마찬가지로 현재도 10년전과 변함없이 그림 3에서 예측한 대체엔진은 출현하지 않고 여전히 가솔린과 디젤 엔진이 주류를 이루고 있는 실정이다. 이러한 차이의 원인으로는 원유의 수급과 가격의 안정, 대체 엔진 기술확립까지의 소요시간 등에 대한 예측이 빗나갔기 때문으로 해석된다. 또한 기술적으로는 확립되었다고 하더라도 자동차용 엔진으로 시장에 투입되기 위하여는 수많은

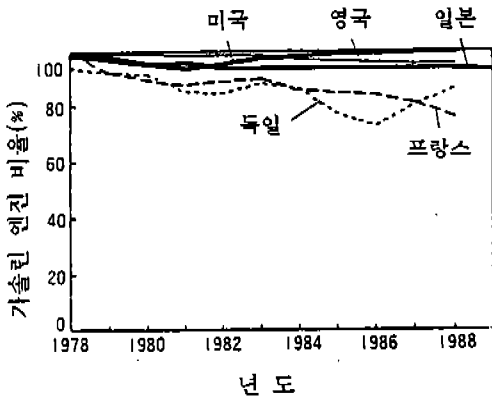


그림 2 승용차에 대한 가솔린 엔진의 비율

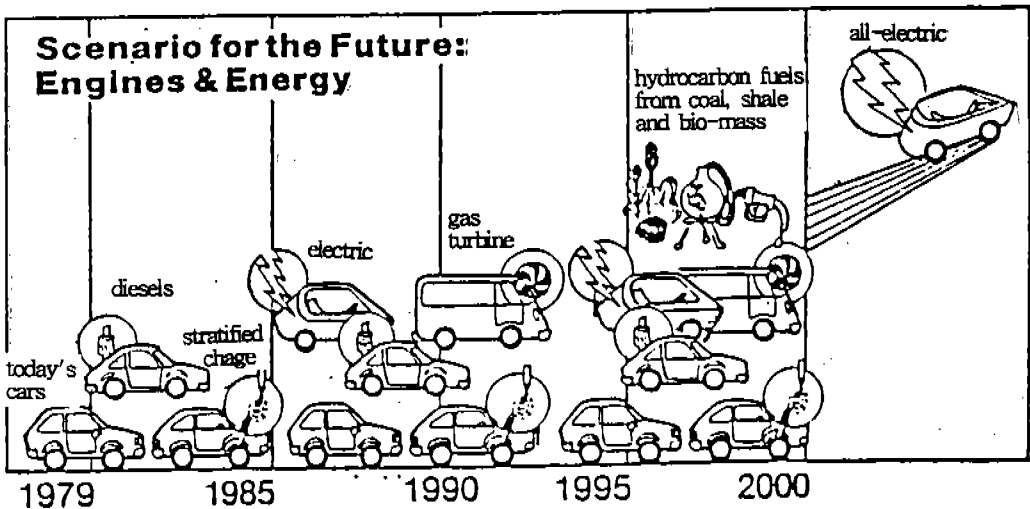


그림 3 승용차용 엔진의 장래 예측에(GM)

	Engine Type	CO ₂ (g/mile)	Tank mileage	Specific Power	Exh. Emission
Conv. Eng.	S.I(Gasoline)	[Bar chart]	[Bar chart]	○	○
	C.I(Diesel)	[Bar chart]	[Bar chart]	△	△
Alt. Fuel SI Eng.	M-OH	[Bar chart]	[Bar chart]	○	△
	CNG(LNG)	[Bar chart]	[Bar chart]	△	○
Alternative Eng.	H ₂	[Bar chart]	[Bar chart]	△	△
	DISC	[Bar chart]	[Bar chart]	○	△
	CGT	[Bar chart]	[Bar chart]	○	△
	EV	[Bar chart]	[Bar chart]	×	◎

그림 4 자동차용 대체 엔진의 특성 비교

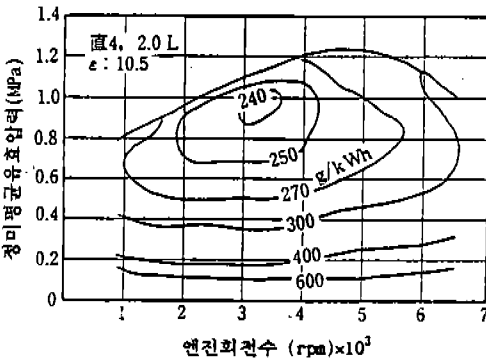


그림 5 자동차용 엔진의 정미 열효율 현황

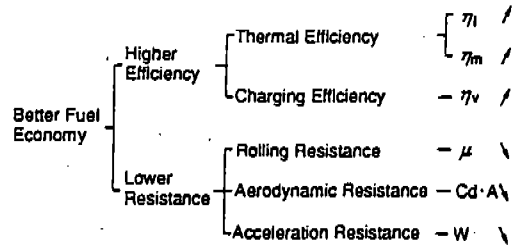


그림 6 자동차의 연비 향상 방법

요구항목들에 대한 종합적인 가격요인이 현행 엔진을 초월하여야 하므로 실용화에는 많은 어려움이 따르고 있다고 할 수 있다.

엔진에 대한 주요한 요구 항목에 대하여 현행 엔진을 포함한 장래의 후보 엔진들을 평가 비교 하면 그림 4와 같다. 여기에 엔진자체 뿐만 아니라 급유를 위한 주유소의 설비 비용까지 고려하면 승용차용으로는 가솔린엔진이 지금까지와 마찬가지로 장래에도 주력 엔진이 될 것으로 예측된다. 따라서 장래의 지구환경문제에 대응하기 위하여는 우선 가솔린 엔진의 열효율 향상기술 개발이 매우 중요한 과제로 부각되고 있는 실정이다.

3. 가솔린 엔진의 연비 향상 기술

가솔린 엔진이 개발된지 100여년이 지난 현재에도 4밸브 엔진의 정미 열효율은 그림 5에 나타나 있는 수준 정도로서 중속고부하 영역인 최대효율점에서 약 34%이며, 실제 운전 빈도가 높은 저부하 영역에서의 열효율은 매우 낮은 상태이다.³⁾ 따라서 가솔린 엔진의 연비 향상에 관한 연구는 더욱 강화될 필요가 있으며, 현재 연비 향상에 적용되고 있는 최신 기술과 개선효과 및 이러한 기술등의 적용을 위한 기술과제등을 명백히 파악해 두는 것이 중요하다고 생각된다.

자동차의 주행연비를 향상시키는 방법을 대별

하면 그림 6과 같이 정리할 수 있다. 엔진과 동력 전달계(Power Train)에 대하여는 효율 향상이 요구되며, 차체와 타이어는 주행 저항의 저감과 차량 전체로서는 중량 저감이 요구되고 있다. 또한 연비 향상을 위한 엔진만의 인자와 구체적인 향상 방법을 정리하면 그림 7과 같다. 도시열효율(η_i)과 기계효율(η_m)을 향상시켜 정미 열효율을 증가시키는 방법이 있으며, 또 다른 방법인 체적효율(η_v)의 향상은 고기어화(High Gear)와의 조율에 의하여 동일 동력 성능하에서의 연비 향상을 도모하는 방법이다.

각 효율을 증가시키기 위한 다양한 항목들 중에서 기본적인 몇가지 항목에 대하여 구체적인 열효율 향상 효과와 그 기술을 실용화하기 위한 과제에 대하여 소개한다.

3.1 고압축비화

가솔린 엔진의 이론 사이클의 열효율은 압축비와 비열비만의 함수이므로, 압축비가 높아지면 열효율은 증가된다. 그러나 냉각손실과 마찰손실 등 여러가지 손실이 존재하는 실제 사이클에서는 그림 8에 나타내는 바와 같이 도시 열효율은 이론 사이클의 값보다 크게 저하되고 있으며, 또한 엔진의 종류에 따라서는 동일 압축비하에서도 도시 열효율은 서로 다르다.⁴⁾

압축비가 9.0에 있어서의 열효율을 기준으로 한 정미 열효율의 향상율을 나타낸 그림 9에서 알 수 있는 바와 같이 행정 체적이 작을수록 또한 부하가 낮을수록 고압축비화의 효과가 작아지는 것을 알 수 있다.⁵⁾ 이러한 차이는 S/V(표면적/체적)값의 차에 의하여 냉각손실과 연소효율이 달라지기 때문이라고 생각된다. 압축비를 9에서 10으로 증가시켰을 경우의 η_c 향상율은 1~3%, 9에서 11의 경우는 1~6%로서 엔진에 따라서 달라진다. 고압축비화에 따른 열효율 향상율은 엔진배기량이 클수록 증가되는 결과를 나타내고 있으며, 이 결과 그림을 이용하면 고압축비화에 의한 효율향상의 가능성이 예측될 수 있다.

최근의 자연 급기식 4밸브 엔진의 압축비는 9.5~10.5의 범위내가 대부분을 차지하고 있으나, Mitsubishi사의 4G92엔진과 같이 압축비를 11까지

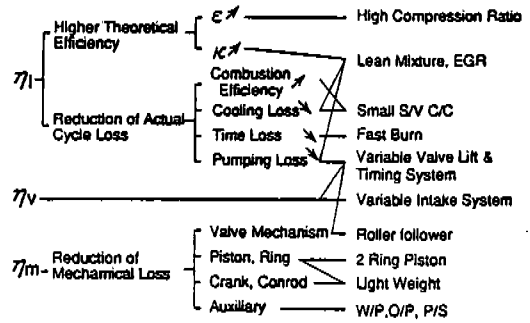


그림 7 엔진의 연비 향상 방법

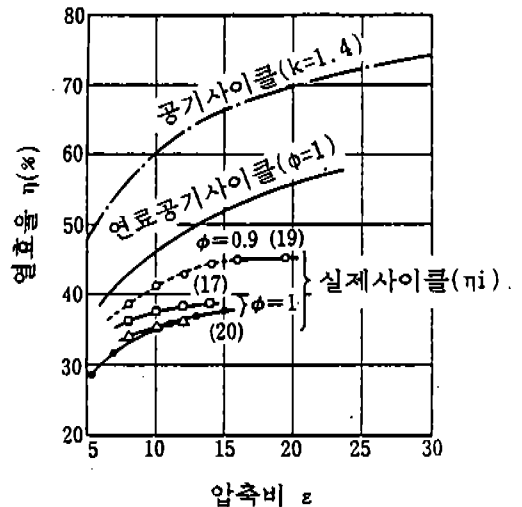


그림 8 압축비와 열효율의 관계

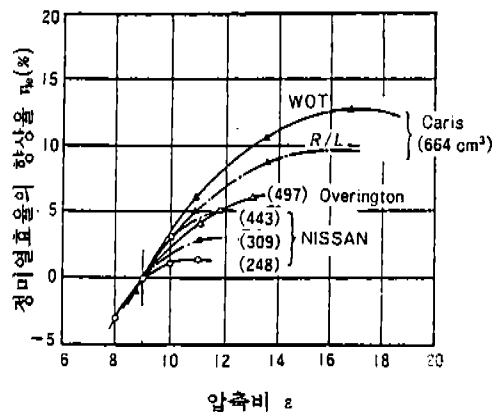


그림 9 고압축비화에 의한 정미 열효율의 개선효과

높인 엔진도 등장하고 있다. 현재의 사용 압축비는 주로 노킹(Knocking)한계로부터 결정되므로 압축비를 높이기 위하여는 고옥탄가의 연료를 사용하는 방법⁶⁾과 엔진의 Anti-Knock 특성을 개선시키는 방법을 사용하고 있다. 엔진의 Anti-Knock 특성을 향상시키는 방법으로 넓은 스퀴시(Squish)면적과 콤팩트(Compact)한 연소실 형상이 유리하다는 사실이 알려져 왔으나⁷⁾, 이러한 연소실은 S/V값이 증가됨에 따라서 냉각 손실이 증가되므로 실제 연비 개선 효과는 적다고 할

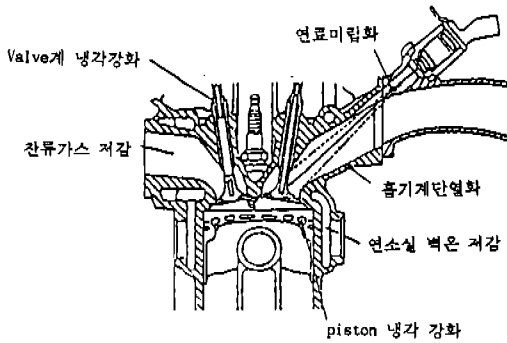


그림 10 고압축비 연소실의 요소 기술

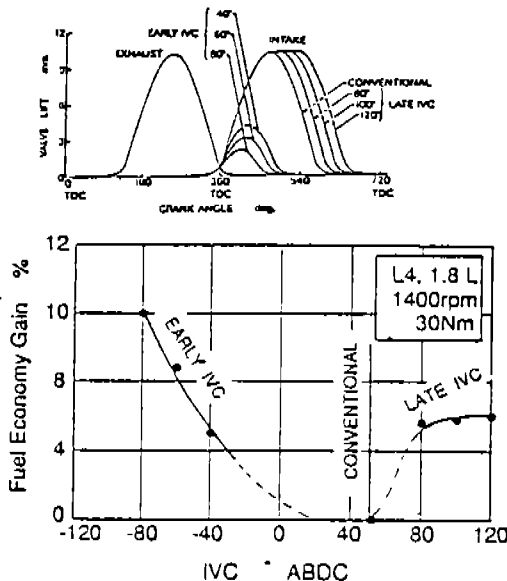


그림 11 가변 밸브 기구에 의한 연비 향상 효과

수 있다. 따라서 고압축비화에 의한 실용 영역에서의 연비 개선을 위하여는 고스퀴시 면적에 의존하지 않는 Anti-Knock 특성 향상 기술의 개발이 필요하며, 현재 외국에서는 그림 10과 같은 기술들을 채용함으로써 압축비 12인 고압축비화 연소실 개발을 위한 연구가 활발히 진행 중에 있다.

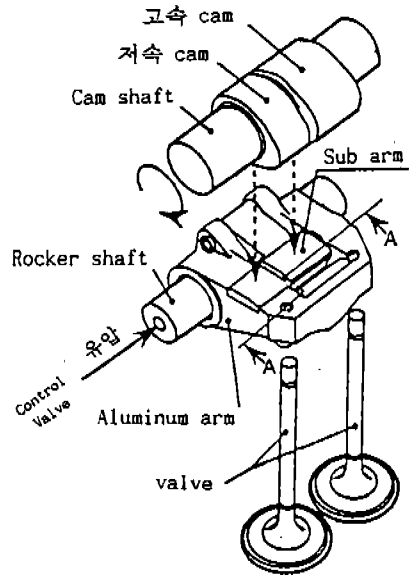


그림 12 가변 밸브 기구의 구조

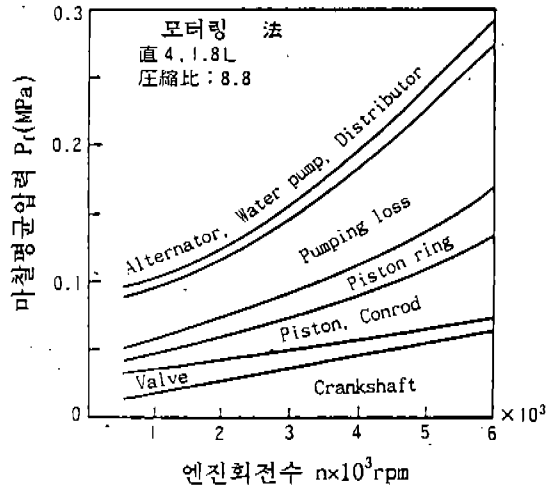


그림 13 기계 손실의 내역과 회전수에 의한 내역

3.2 가변 밸브 기구 및 펌프 손실 저감 기술

가변 실린더수, 가변 행정 체적 엔진은 두 엔진 시스템 모두 공연비와 밸브 시기는 일정하게 유지하면서 저부하 영역에서 작동 실린더수와 행정체적을 가변기구에 의하여 감소시켜, 작동 사이클을 고부하 운전 영역으로 이동 시킴에 따라 주로 펌프 손실을 저감시키기 위한 기술이다. 한편 가변 밸브 시기는 그림 11과 같이 흡기 밸브의 닫힘 시기(IVC)를 종래의 시기보다 촉진 또는 지연 시킴으로써 펌프 손실을 저감시키고 있다.⁸⁾ 이와 같이 밸브의 시기를 조절하기 위하여 그림 12와 같은 두 종류의 캠을 가진 가변 밸브 기구가 이용되고 있으며, 이러한 엔진 시스템을 채용할 경우 모드(Mode)연비로 5~10% 정도의 높은 향상 효과를 얻을 수 있다. 그러나 가변 실린더수 시스템에서는 부분 실린더 운전시의 소음 및 진동 악화 문제가 야기되며, 가변 시스템 전반적인 문제로는 복잡한 기구에 기인하는 신뢰성, 가격, 중량면에서의 악화 문제가 발생되므로 이러한 기술들은 아직도 해결하여야 할 많은 문제점들을 안고 있는 실정이다.

3.3 기계 손실 저감 기술

그림 13은 모터링(Motoring)법에 의하여 측정된 회전수에 따른 기계손실의 변화와 세부내역이다.⁹⁾ 밸브계를 제외한 각 부위의 기계손실은 회전수의 상승과 더불어 증대되고 있지만 밸브계는 역으로 회전수가 높을수록 캠과 캠축사이의 윤활조건이 개선되어 기계 손실이 저감되고 있는 결과를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 저속 영역에서는 전 기계 손실중에서 밸브계가 차지하는 비율이 비교적 크다고 할 수 있다.

최근 이 밸브계의 손실 저감 수단으로서 미끄럼 베어링(Roller Bearing)을 채용하는 경우가 증가하고 있으며, 이 경우의 기계 손실 저감효과를 그림 14에 나타내었다. 미끄럼 베어링에 의하여 밸브계 손실은 저속 영역에서 약 70% 정도의 저감이 가능하게 되었고, 그 결과 모드연비가 2~3% 향상되는 효과를 얻을 수 있다.⁹⁾

이 외에도 기계 손실 저감을 위하여는 운동부

품의 경량화와 습동부의 최적 표면 정도 및 윤활부의 광범위화(Wide Range)등 재료, 가공 기술 관련의 과제들이 산적해 있다.

3.4 소배기량 과급엔진

회전수가 일정한 경우, 고부하 일수록 정미 열효율이 높아지는 것은 주로 펌프손실의 저감과 기계효율의 향상에 기인하기 때문이다. 따라서 어떤 일정한 출력조건하에서는 가능한 한 소비

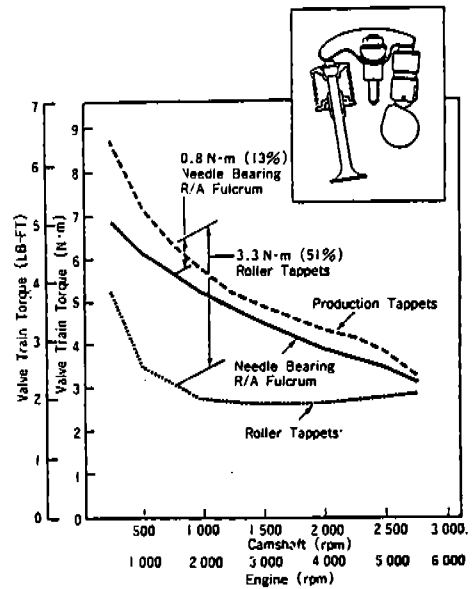


그림 14 Roller bearing에 의한 기계손실 저감 효과

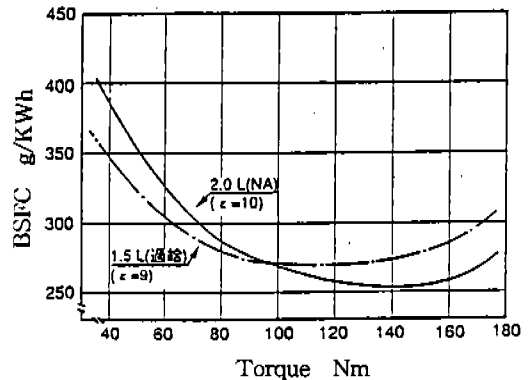


그림 15 소배기량 과급 엔진의 연비 특성

기량화 하여 사용운전 영역을 고부하측으로 이동시키는 것이 연비 향상면에서는 유리하다. 소비기량화에 의하여 저하된 토크, 출력은 과급기에 의하여 보강하는 것이 소비기량 과급엔진 시스템의 기본 개념이다.¹⁰⁾

이러한 시스템에서는 저부하 연비의 대폭적인 개선이 가능하지만, 고부하 영역에서는 과급에 의한 노킹발생을 억제하기 위하여 압축비를 저하시켜야 하며, 또한 과급기의 구동손실등의 영향으로 인하여 전부하 토크특성이 동일 배기량의 무과급 엔진보다 연비면에서 악화된다. 이러한 예를 나타낸 그림 15에서 알 수 있는 바와 같이 약 1/2부하보다 작은 영역에서는 연비가 개선되고 있으나, 1/2부하 이상에서는 역으로 악화되고 있다. 이와 같은 소비기량 과급엔진 시스템은 고부하시의 연비 악화 문제 이외에도 과급기 시스템의 사이즈, 가격, 소음·진동 문제등 해결하여야 할 많은 문제들이 있으므로 이러한 기술의 채용시에는 과급기 자체의 설계 기술과 동시에 적용 기술에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

3.5 회박연소 및 EGR 기술

혼합기 분포의 회박화와 EGR(Exhaust Gas Recirculation)의 장점은 두 시스템 모두 동일 출력의 이른 공연비에서의 운전에 비하여 작동 가스량이 증가하므로 펌프 손실이 감소한다는 점이다. 또 하나의 장점으로서 연소 온도가 저하되기 때문에 냉각 손실의 감소 뿐만 아니라, 비열비의 증가도 초래하므로 부분 부하 연비로서 5~10% 정도의 향상이 가능하다는 점을 들 수 있다. 특히 이와 같은 회박연소와 EGR은 지금까지 소개한 다른 연비 향상 기술에 비하여 비용이 적게 들과 동시에 모든 운전 영역에서의 연비 향상 효과가 나타나고 있으므로 현재 가장 주목을 받고 있는 연비 기술이라고 할 수 있다. 그러나 이러한 기술을 실용화하기 위하여는 연소개선(급속 연소화)기술이 필요하다. 왜냐하면 A/F(Air/Fuel)와 G/F(air+EGR/Fuel)의 증가는 연소속도를 저하시켜 연소 변동의 증대를 초래하기 때문이다.

그림 16은 한 예로서 점화 플러그의 수와 슈라우드(Shroud)밸브를 이용한 흡입 유속 강화에

의하여 연소 기간을 촉진시켜 EGR율과 BSFC(Brake Specific Fuel Consumption)의 관계를 비교한 그림이다.¹¹⁾ 이 결과로부터 연소 기간이 가장 긴 A사양의 경우는 EGR율의 증가와 함께 BSFC는 악화되는 경향을 보이고 있으나, 가스 유동의 강화와 점화에 의하여 연소 기간이 단축된 B, C사양에서는 EGR에 의한 BSFC 개선 효과를 얻을 수가 있음을 알 수 있다.

회박 연소의 정의 및 특성을 나타낸 그림 17과 같이 회박 연소도 연소 개선 기술에 의하여 큰 연비 개선 효과를 얻을 수가 있으며, 특히 공연비의 회박화에 따라서 NOx의 배출 농도도 감소되는 특징을 보이고 있으므로 연비 향상과 배기

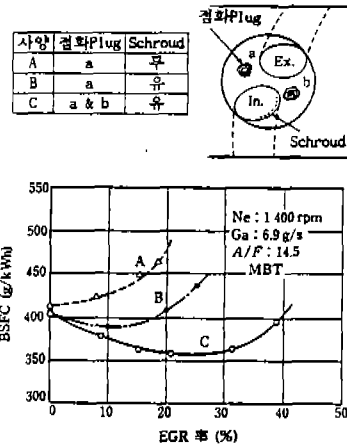


그림 16 점미 연료 소비율(BSFC)에 대한 EGR율의 영향

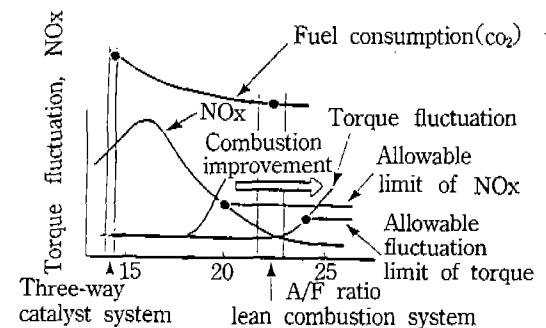
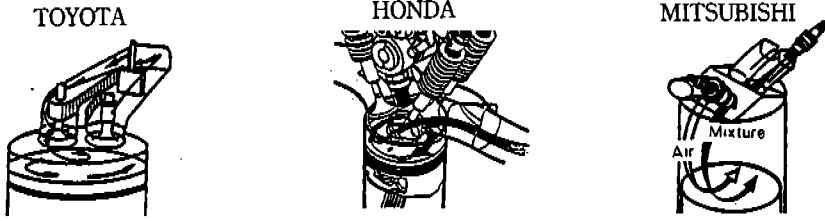


그림 17 회박연소(Lean-Burn)의 정의 및 특징



	TOYOTA	HONDA	MITSUBISHI
In-cylinder flow	Swirl	←	Tumble
Flow control	Valve in port	in. valve lock	—
Lean limit A/F	25	←	←
Fuel injection control	Sequential	←	←
Torque fluctuation control	Lean Mixture sensor	←	←
Year of production	1984~	1991~	←

그림 18 최근 시판 중인 희박 연소 엔진의 시스템 비교

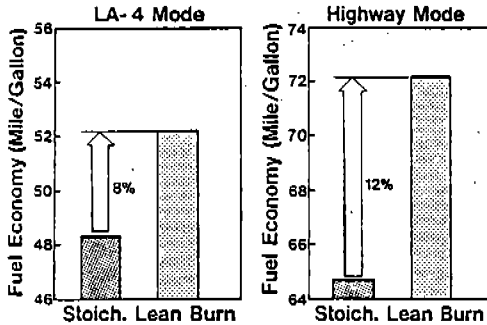


그림 19 희박 연소 엔진의 연비 향상 효과

%의 향상 효과가 기대되고 있음을 시사하고 있다.¹³⁾ 그러나 희박 영역에서는 삼원 촉매를 사용할 수 없으므로 NOx가 목표수준까지 저하되는 공연비와 희박 운전 한계와의 양립성을 확보하는 기술이 매우 어려운 문제로 남아 있다. 이를 위한 해결 방안으로는 저 NOx연소, 희박 운전 한계 확대, 공연비 제어등의 기술향상과 후처리로서 NOx를 저감시킬 수 있는 Lean NOx촉매의 기술 개발¹⁴⁾등이 필요하다.

3.6 경량화 기술

저감을 동시에 만족시킬 수 있는 기술로서 각광을 받고 있다. 1991년도에 시판된 희박 연소 엔진의 특징을 그림 18에 나타내었다.¹²⁾ 모든 엔진들은 유동장의 강화와 연료 분사시스템의 최적화 및 공연비 제어 시스템 기술을 채용함으로써 희박 영역에서의 연소 안전화를 달성하고 있음을 알 수 있다. 최근에는 보다 새로운 시스템으로 개선하여 시판 중에 있으며, 1994년에는 NIS-SAN에서도 희박연소 엔진을 시판하고 있다. 이러한 사실들도 미루어 보아 희박연소에 대한 관심이 더욱 고조되고 있음을 짐작할 수 있다.

이와 같은 희박연소 시스템에 의하여 얻을 수 있는 연비 향상 효과를 그림 19에 나타내었으며, 이 결과는 운전 조건에 따라서 다르지만 약 8~12

지금까지는 엔진의 연소와 각종 손실에 관련된 연비 향상 기술에 대하여 소개하였다. 그러나 현재 미국의 상원에서 제안되어 심의 중인 기업별 평균 연비 규제(CAFE)에 대응하기 위하여는 지금까지 설명한 연비 대응기술로는 부족하다고 여겨지므로, 차량의 경량화도 함께 고려하여야 할 것이다. 차량 중량의 감소에 의하여 회전 저항이 저감되고, 필요구동 마력의 저감이 가능하게 되어 연비가 향상되는 효과를 기대할 수 있다. 이러한 차량 중량과 모드 연비와의 관계를 그림 20에 나타내었으며, A/T와 M/T차 모두 차량 중량이 무거울수록 연비가 악화되는 경향을 보이고 있다.¹⁵⁾

특히 엔진의 중량이 차량 중량에서 차지하는

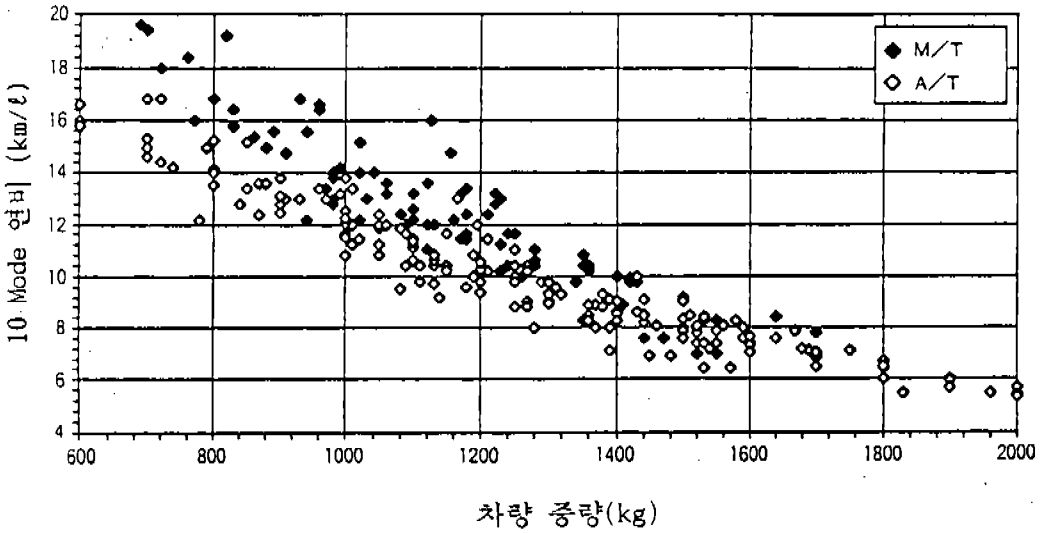


그림 20 차량 중량과 모드 연비와의 관계

표 1 엔진의 경량화 방법과 기술과제

경량화수법	구체적인 예	대상부품	기술과제
설계의 최적화	두께의 Slim화 부품의 폐지·일체화	전부품	구조해석기술의 확립 제조기술의 확립
재료치환	철강재료의 고강도화	Connecting rod Crankshaft, Camshaft	재료개량 제조기술의 확립
	알루미늄(Al)화	Cylinder block Valve lifter	내열 및 내마모성재료 개발 재활용성의 확보
	수지화	Rocker cover Intake manifold	내열재료개발 재활용성의 확보
	마그네슘(Mg)화	Rocker cover Impeller	내열및 내부식성재료 개발 재활용성의 확보

비율이 10~15% 정도이므로 엔진의 경량화 기술 또한 연비 향상 기술의 중요한 과제라고 할 수 있다. 엔진의 구성 부품은 약 300종류가 있으나, 그 중에서 본체구조제와 주운동계 부품의 중량이 엔진 전체의 약 60%를 차지하고 있으므로 엔진 경량화를 위하여는 본체구조제와 주운동계 부품의 경량화가 필수적임을 알 수 있다. 엔진의 경량화 방법과 기술과제에 대하여 표 1에 정리하였다. 최근의 구조해석 기술의 진보에 따른 설계의 최적화 기술과 신소재등 재료기술의 혁신에 따른 재료 치환기술로 대별할 수가 있다. 향후 재료 치환기술의 동향으로는 차량전체에서

철강재료의 비율이 낮아지고, 알루미늄의 비율이 증가될 것으로 예측되며, 경합금 및 수지재료의 재순환(Recycle)문제가 중요한 과제로 부각될 전망이다.

4. 맺음말

현재 널리 사용되고 있는 가솔린 엔진의 연비 향상 기술과 그 적용에 및 구체적인 연비향상효과에 대하여 소개하였다. 그러나 자동차용 엔진에 요구되는 특성은 너무나 다양하기 때문에 일반적으로는 서로 상반관계에 있다고 할 수 있다.

이러한 요구특성들을 동시에 개선시키는 일은 용이하지 않지만, 그때의 시대적인 상황에 적절하게 중점 특성의 향상에 노력이 기울여 진다면 결과적으로는 모든 특성이 향상되어질 것으로 기대된다. 또한 최근 컴퓨터와 계측기기등의 진보에 힘입어 지금까지와는 전혀 다른 개념의 엔진개발(직접분사식 성층급기엔진¹⁶⁾, 2스토로크 과급엔진등)에 대한 연구도 진행 중에 있으므로 가솔린엔진의 장래는 매우 긍정적이라고 여겨진다. 「환경과조화」라는 현재의 중점과제에 착목하여 보다 진보된 고효율 엔진을 개발하는 것이 현재 엔진 관련 연구자와 기술자들에게 주어진 역할이라고 생각된다.

참 고 문 헌

1. 日本自動車工業協會, “自動車統計年表”
2. 村中, “低燃費ガソリンエンジンの展望”, Symposium on Lean-Burn Gasoline Engine, No. 16, pp.42~47, 1991.
3. Werner Schwarzel, “Der neue Zweiliter-Vierventil motor von Opel”, MTZ49, Nr.4, 1988.
4. 日本自動車技術會編, “自動車技術 Handbook 基礎・理論編”, 1990.
5. Muranaka, s. et al., “Factors Limiting the Improvement in Thermal Efficiency of S.I. Engine at Higher Compression Ratio”, SAE paper 870548, 1987.
6. Thring, R.H. et al., “Gasoline Engine Combustion-The High Ratio Compact Chamber”, SAE paper 820166, 1982.
7. Caris, D.F. et al, “Mechanical Octanes for Higher Efficiency”, SAE Transaction, Vol.64, pp. 76~100, 1956.
8. Hara, S. et al, Effects of Intake-Valve closing Timing on Spark-Ignition Engine Combustion”, SAE paper 850074, 1985.
9. 津田외, “乗用車用エンジンの燃費向上技術”, 自動車技術, Vol.44, No.17~22, 1990.
10. 寺岡, “スーパーチャージャについて”, 内燃機關, Vol.32, No.408, pp.59~64, 1993.
11. Nakajima, Y. et al., “Effects of Exhaust Gas Recirculation on Fuel Consumption”, IME proceedings Vol.195, No.30, 1981.
12. 井上, “自動車用エンジン技術の現状と將來”, 自動車技術會, Vol.46, No.4, pp.31~37, 1992.
13. 西澤, 江, “ホンダVTEC-E リーンバーンエンジン”, Symposium on Lean-Burn Gasoline Engine, No.16, pp.26~32, 1991.
14. 조원석, “저공해 자동차와 재료기술”, 자동차 공학회지, Vol.16, No.4 pp.6~22, 1994.
15. 石塚외, “乗用車用エンジンの輕量化技術”, Nissan Technical Review, No.29, pp.40~45, 1991.
16. Schapertons, H. et al., “VW’s Gasoline Direct Injection(GDI) Research Engine”, SAE paper 910054, 1991.