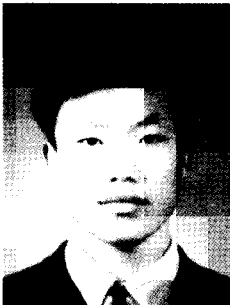


이륜차용 저 배기 형 소형엔진기술



조 규 백

(KIMM 열유체환경연구부)

- '88 - '95 부산대학교 정밀기계공학과 학사
- '95 - '97 부산대학교 정밀기계공학과 석사
- '97 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



정 동 수

(KIMM 열유체환경연구부)

- '70 - '77 서울대학교 기계공학과 (학사)
- '84 - '88 KAIST 기계공학과 (석사)
- '90 - '95 부산대학교 정밀기계과 (박사)
- '77 - 현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 서론

이륜차는 원동기와 자전거의 두 요소를 융합시킨 것으로, 1898년 프랑스의 미쇼와 루이스 길롬 페로에 의해 소형 증기 기관을 장착한 본쉐카가 최초의 이륜차로 볼 수 있다. 내연기관이 이륜차에 장착되기 시작한 것은 1887년 고틀리브 다임러가 자신이 만든 내연기관을 탑재하면서부터이다. 이 엔진은 공냉식 엔진으로 배기관을 기계적으로 작동시켰으나 흡기관은 피스톤의 흡입력으로 열었고 스페이스 기화기와 핫 튜브 점화를 사용하여 700rpm으로 회전하였다. 이후 내연기관은 급속도로 발전을 하였는데 1894년에 힐데브란도 형제와 알포이 울프물러는 2기통 4행정 엔진을 만들었다. 이전의 엔진이 증기기관과 2행정엔진의 조합한 것에 비해 획기적으로 발전한 것이었으나 피스톤의 커넥팅로드가 직접 뒷바퀴를 구동하였고, 플라이 휠이 없었기 때문에 하사점에서 상사점으로 되돌아 올 때는 고무벨트의 장력을 이용하였기 때문에 이때까지도 그 면모가 다 갖춰지지 않았다.

초기의 이륜차용 엔진은 4행정 엔진을 사용하였으며 1950년대 이후부터 이륜차용 2행정 엔진이 개발되기 시작하였으며 이때부터 이륜차용 엔진은 4행정엔진과 2행정 엔진의 두 가지 형태로 발전하게 되었다. 4행정 엔진은 큰 출력이 요구되는 대형 이륜차에 주로 사용되었으며 2행정 엔진은 비교적 구조가 간단하고 가격이 싸며, 마력당 중량이 가볍기 때문에 주로 소형 이륜차에 사용되었다.

2행정 엔진은 소기작용이 불안정하여 다량의 미

연가스가 남아 신기와 혼합되고 또 한편으로 신기의 일부가 연소되지 못하고 배기구를 통해 빠져나가기 때문에 출력저하, 높은 연료 소비율, 심각한 배기가스 문제를 안고 있다. 뿐만 아니라 4행정 엔진에서도 자동차용 엔진에 비해 기술이 낙후되어 있는 실정이며 지금까지는 배기가스 규제가 거의 이루어지지 않았기 때문이다. 표 1은 세계각국의 이륜차에 대한 배기가스 규제치를 보여준다.

이륜차의 배기가스 저감을 위한 저배기 기술들은 주로 엔진시스템을 최적화 하여 연소를 제어하는 전처리 기술과 배기 포트를 빠져 나온 배기 가스를 대상으로 하는 후처리 방법으로 나눌 수 있다. 전처리 방법들은 포트 및 연소실 형상 최

적화, 소기 및 흡배기 계통, 밸브 기구, 연료공급 시스템 등에 적용하는 기술로서 엔진의 출력 향상 및 저 배기, 저 연비에 중점을 두며 비용이 많이 드는 단점을 안고 있다. 후처리 방법은 기존 엔진 시스템에는 영향을 주지 않고 배기 매니홀드에 주로 적용되는 기술로 촉매 나 이차공기 분사 등의 기술들이 있다. 본 특집에서는 2행정 엔진을 중심으로 이륜차용 소형엔진에 적용되는 저배기 기술들에 대해 살펴보고자 한다.

2. 전처리 기술

2.1 점화장치(Ignition unit)

표 1. 세계 각국의 배기가스 규제 현황

Country	Classified	Test Mode	HC	NOx	CO	Validate
AUSTRIA	MOPED	ECE-R47	1.0	0.2	1.2	1988.10
	>50cc, 2S	ECE-R40	7.5	0.1	8.0	1991.10
	>50cc, 4S		3.0	0.3	13.0	
CANADA	ALL		5.0	-	12	1997.9
EU	2S	ECE-R40	4.0	0.1	8.0	1997
	4S	ECE-R40	3.0	0.3	13.0	
	MOPED	ECE-R47	3.0		6.0	2000.6
		1.2		1.0		
JAPAN	2S	ISO6460	3.0	0.1	8.0	1998.10
	4S		2.0	0.3	13.0	
S. KOREA	2S	ECE-R40	4.0	0.1	8.0	2000.1
	4S	(ECE-47R)*	3.0	0.3	13.0	
SINGAPORE	ALL		5.0		12	1990
TAIWAN	2S	CNS	1.75(2.0)**		3.25(3.5)	1998.1
	4S		1.75(2.0)		3.25(3.5)	
THAILAND	ALL	ECE-R40.01	3.0		4.5	1995
INDIA	ALL	IDC	3.6		4.5	1996.4
	ALL		2.0		2.0	2000.4
USA	ALL	CVS-78	5	-	12	
(CALIFORNIA)	<700cc		1.0	-	12	
	>700cc		1.4	-	12	

* : >50cc 는 ECE-R40 모드, <50cc는 ECE-R47 모드 적용.

** : 인증(양산) 값임.

단위는 g/km 임.

이륜차용 점화장치로 많이 사용되는 CDI (Capacitor Discharge Ignition)는 자가동력 점화 (self-powered ignition)원으로서 콘덴서에서 점화플러그로의 빠른 방전특성을 가진다. 엔진 플라이 휠에 있는 여기코일(exciter coil)과 마그넷(magnet)는 CDI장치의 콘덴서로 전압을 충전시키고 펄스코일이 플라이 휠의 위치를 감지하고 콘덴서의 방전시기를 결정한다. 콘덴서 전압은 적당한 시기에 점화코일을 통해 점화플러그로 방전된다. CDI는 엔진의 시동을 쉽게 하고 불리한 조건하에서도 점화가 잘되도록 하며, 배터리가 필요 없고 유지보수도 필요 없다.

DC-CDI(Direct-Current CDI)는 배터리에 의해 동력이 전달되는 CDI장치이다. 배터리로부터 직류전류는 수백 볼트(volt)까지 상승된 후 콘덴서로 충전된다. 배터리를 충전하기 위해 대형의 알터네이터가 필요하다. DC-CDI는 아주 낮은 엔진 rpm에서도 양호한 연소를 보장한다.

TCBI(Transistor-Controlled Brakeless Ignition)는 배터리/코일 점화장치에서 접촉식 차단 접점(contact breaker point)을 펄스 코일로 바꾼 것이다. 펄스코일은 접촉식 차단 접점을 여는 역할을 하는 트랜지스터에 의해 증폭되는 신호를 신뢰성 있게, 정확하게 발생시킨다. TCBI는 유지보수가 필요 없으며, 점화플러그의 수명을 연장시키고, 연료의 경제성 및 배출가스 저감시킨다.

Digital TCBI는 점화플러그의 점화를 소형컴퓨터를 사용하여 시기를 맞춘다. 컴퓨터는 점화시기가 기록되어있으며, 펄스코일 신호로부터 엔진 회전수를 읽어들이고 적절한 시점까지 기다린 후 점화시킨다. 점화시기는 필요에 따라 최대 출력을 얻기 위해 이상연소가 일어나지 않는 한도 내에서 진감 되기도 하고 지연되기도 한다.

Digital CDI는 점화시기가 기록된 컴퓨터 칩을 내장하고 있으며 여기에 기록된 점화시기는 엔진의 회전속도, 부하조건에 따라 MBT(Minimum advance for Best Torque)를 얻을 수 있는 각도이다. Digital CDI는 모든 엔진 회전수 영역에서

최대의 출력을 얻을 수 있으며 엔진 회전수 및 부하의 변화에 신속하게 대응한다. 다음 그림 1은 혼다 CR125 기종에 적용된 디지털 점화장치에 기록된 3-D 맵을 보여준다.

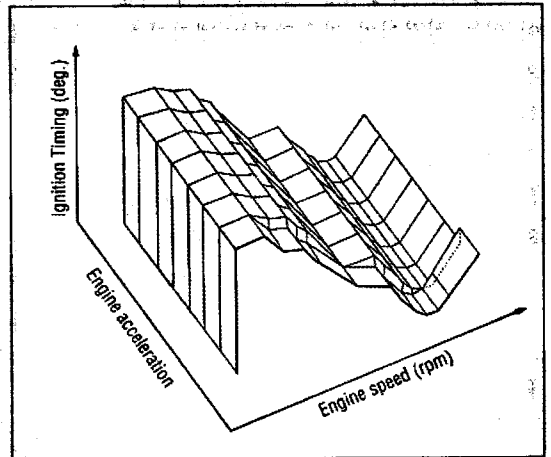


그림 1. 혼다 CR125의 solid-state 3-D map

2.2. 연료 공급 계통(Fuel supply system)

2.2.1 기화기(Carburetor)

기화기는 공기와 연료를 혼합하여 엔진에서 연소가 일어나도록 한다. 기화기는 엔진속도가 변화함에 따라 공기와 연료의 양을 조절하거나 제한하기도 한다. 또한 시동 시나 급격한 속도 강하 같은 다른 운전조건에 대해 공연비를 변화시키기도 한다.

대부분의 기화기는 니들과 니들 제트로 불리는 연료밸브와 연결된 슬라이드라는 공기밸브를 가진다. 슬라이드가 상승하면, 엔진으로 들어가는 공기량이 증가되고 니들 역시 상승하여 니들 제트로부터 많은 양의 연료를 공기와 혼합시킨다. 슬라이드의 형상과 니들 및 니들 제트의 크기는 저속에서 고속 영역까지 공연비를 제어한다. 공회전 및 낮은 엔진 회전영역에선 아주 소량의 공기가 니들과 니들 제트를 지나가기 때문에 연료가 효율적으로 혼합되지 않는다. 이때에는 제트가 보다 작은 파일럿 서킷이라 부르는

별도의 회로가 작동하여 공연비를 제어한다.

CV 기화기(Constant Velocity carburetor) : 기존의 슬라이드형 기화기에서는 슬라이드가 엔진으로 흡입되는 공기량을 제어한다. CV 기화기에서는 butterfly 밸브가 엔진으로 흡입되는 공기유동을 제어한다. CV 기화기에서 슬라이드는 기화기 상부에 위치한 다이어프램에 의해 제어된다. 엔진 회전수가 높아지면 니들 제트를 지나가는 공기의 속도를 거의 일정하게 유지하기 위해 슬라이드가 상승하면서 벤추리의 면적을 크게 한다. 기화기를 지나는 일정한 속도는 스톱들이 갑자기 움직여도 연료 공기의 정확한 제어가 가능하도록 하여 낮은 엔진속도에서도 부드럽고 신속한 대응을 하도록 한다. 그림 2은 CV 기화기의 단면을 보여준다.

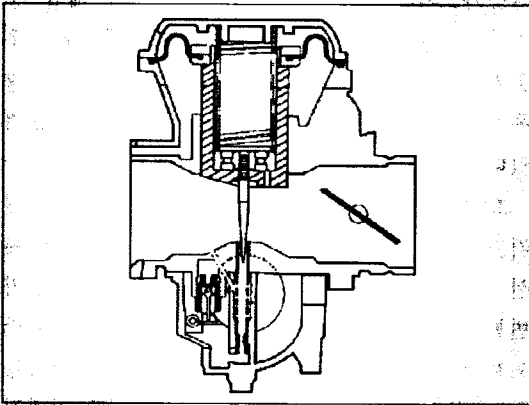


그림 2. CV 기화기의 단면

평판기화기(Flat slide carburetor) : 슬라이드가 둥글기보다 평판에 가깝기 때문에 보다 작은 엔진의 전 영역에서 공기의 흐름이 우수하여 연료와의 혼합을 개선시킬 수 있다. 평판 슬라이드 기화기는 설치할 때 공간을 적게 차지하며 에어 크리너와 다른 부품들이 설치될 수 있는 공간을 더 많이 허용해준다. 보다 나은 혼합은 넓은 출력 영역에서 최고의 출력을 보장해준다. 그림 3은 평판형 슬라이드 기화기의 구조를 보여준다.

초승달형기화기(Crescent slide carburetor) : 그림 4는 초승달형 슬라이드 기화기로서 고속의

엔진 영역에서 양호한 공기 흐름을 위해 부드럽게 스톱들링한다. 이 형상은 스톱들이 열리는 중간 과정에서 부드러운 전환이 되도록 메인과 파이롯 서킷(pilot circuit)통로가 공간에 가까이 갈 수 있도록 한다. 이 기화기는 공회전에서 최고속도까지 엔진을 부드럽게 변화시킨다.

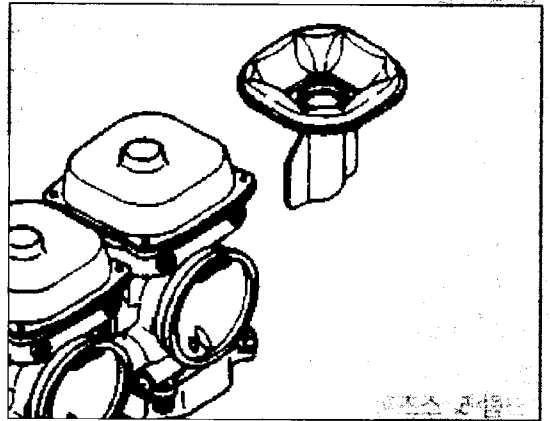


그림 3. 평판기화기

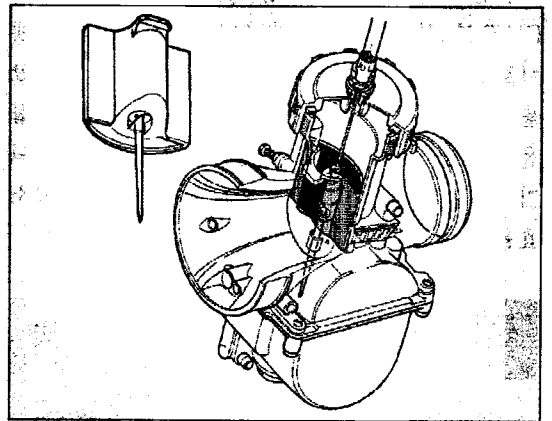


그림 4. 초승달형기화기

2.2.2 전자제어 연료 분사장치(EFI : Electronic Fuel Injection)

전자제어 연료분사장치는 운전조건의 변화에 따른 보상을 할 수 있기 때문에 기화기 보다 효과적이다. 이 보상 능력은 엔진이 필요로 하는 최적의 혼합기를 공급할 수 있으며, 좋은 스톱들 응답특성과 연비를 가질 수 있다. 흡입 공기의

온도, 압력, 엔진 회전수와 스로틀 각도를 모니터 하기 위해 센서가 사용되며 이들로부터 얻은 정보는 전자제어모듈(ECM)에서 분사시기와 량을 결정하는데 이용된다. 이 방식은 엔진의 운전 조건 변화에 따라 정확하게 연료 혼합기를 제어할 수 있다. 그림 5는 스즈끼 사의 EFI 구성도를 보여준다.

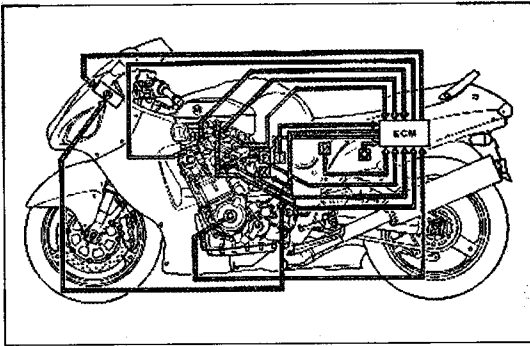


그림 5. 스즈끼의 전자제어 연료분사장치 구성도

그림 6은 혼다의 고압 연료분사장치(PGM-FI)로서 실린더당 2개의 인젝터 스로틀 바디에서로 마주보고 설치하여 50psi의 압력으로 연료를 공급한다. 연료는 각 인젝터의 4개의 노즐 틱을 통해 아주 미세한 분무를 만들어지고 연소되기 좋게 공기와 혼합되어 엔진에서 최대의 연소 효율과 출력을 얻는다.

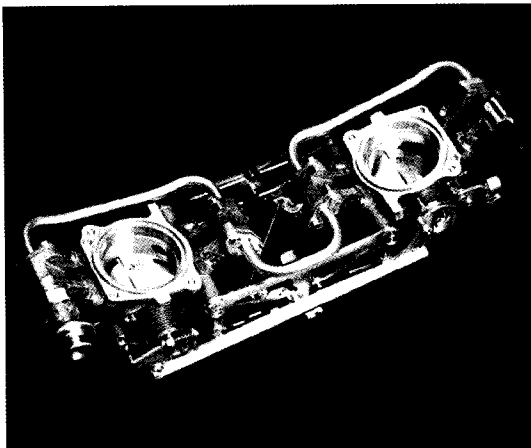


그림 6. 혼다의 고압연료분사장치

2.3 배기 포트 조절 (Port throttle)

2행정 엔진은 저속, 저 부하 시 소기 과정의 불안정으로 인해 다량의 공기 연료 혼합기가 연소되지 않은 채 빠져나가며, 많은 량의 잔류가스가 연소실 내에 그대로 남게 된다. 이로 인해 엔진의 연비와 배출가스는 나빠지고 연소는 불안정해진다. 이때 배기 포트에 단면적을 가변시킬 수 있는 butterfly 밸브나 배기시기 조절밸브(exhaust timing edge control valve)를 설치하여 단면적의 일부를 막음으로서 연소되지 않고 빠져나가는 연료 공기 혼합기의 량을 줄여 연비를 개선하고 미연 탄화수소의 배출량을 크게 줄이는 방법이다.^[1] 그리고 높은 출력이 요구되는 고속 고 부하 영역에선 막았던 포트를 전개하여 배출가스의 흐름을 원활하게 함으로써 배압 증가에 의한 출력손실이 발생하지 않는다. 이 경우 소기과정에서 발생하는 미연탄화수소의 배출량을 약 40%까지 저감할 수 있는 것으로 알려져 있다.^[1]

그림 7은 혼다 CR125R 기종에 장착된 RC 배기 밸브(Revolutionary Control exhaust valve)로서 저속 및 중속의 속도 범위에서 부드러운 가변특성을 갖는 것으로 알려져 있다. 그림 8은 스즈끼 사의 AETC(Automatic Exhaust Timing Control) 시스템으로 엔진 회전수에 따라 기계적

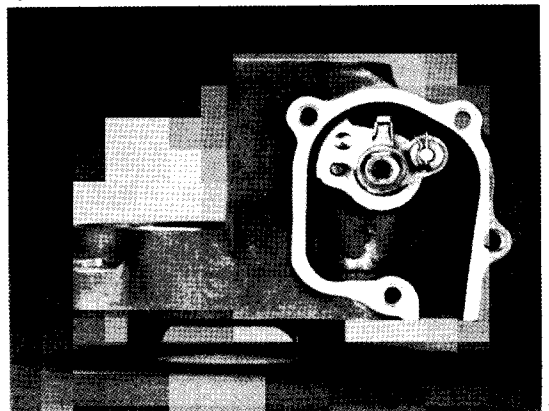


그림 7. 혼다의 RC배기밸브

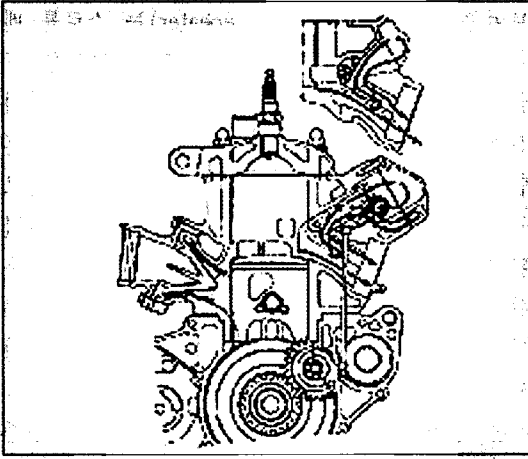


그림 8. 스즈끼의 AETC System

으로 조절되는 밸브에 의해 배기포트의 개폐 시기를 조절하기 때문에 낮은 영역에서는 포트의 일부를 막아 연료효율 및 출력을 높이고 고속영역에선 완전히 열어 흡배기 효율과 출력을 최대로 한다.

2.4 활성 라디칼 연소(Active Radical combustion)

저속, 저 부하 시에 소기 과정의 불완전으로 인해 실린더 내에 잔류가스의 비율이 높아지고,

이 때문에 전기점화에 의한 화염의 전파는 방해 를 받게 된다. 이것이 불완전 연소가 되고 연소 되지 않은 혼합기와 윤활유가 그대로 배출되어 2-stroke 엔진 공해의 대표적 원인이 되고 있다. 활성 라디칼 연소는 높은 잔류가스율을 오히려 역이용하여 잔류가스의 열과 압력을 유지하여 그것으로 하여금 점화원이 되어 자발화 하는 것 을 말하며 노킹과는 엄연히 구분된다.

Onishi와 Ishibashi^[2,3]에 의해 처음 확인된 이 자발화는 잔류가스의 온도와 압력에 따라 계속 유지될 수 있으며, 매우 안정적이고 효율적인 것 으로 알려져 있다. 그리고 활성 라디칼 연소는 부드러우며 이상연소(detonation)가 없고 낮은 rpm 조건에서도 연비개선 및 HC 배출물 저감에 큰 효과가 있으며 최대 60% 이상 개선할 수 있는 것으로 알려져 있다.

아래 그림 9는 이 시스템을 적용한 혼다의 EXP-2엔진의 연소 과정을 보여준다.

1. 새로운 연료(흰색)가 연소실로 들어가며 연소가스(회색)를 실린더의 반대편에 위치한 배기포트쪽으로 밀어낸다.
2. 들어온 연료는 연소가스와 섞이며 연료의 일부는 연소가스에 의해 둘러싸인다. 배기 밸브는 닫혀지고 혼합기는 압축되어진다.

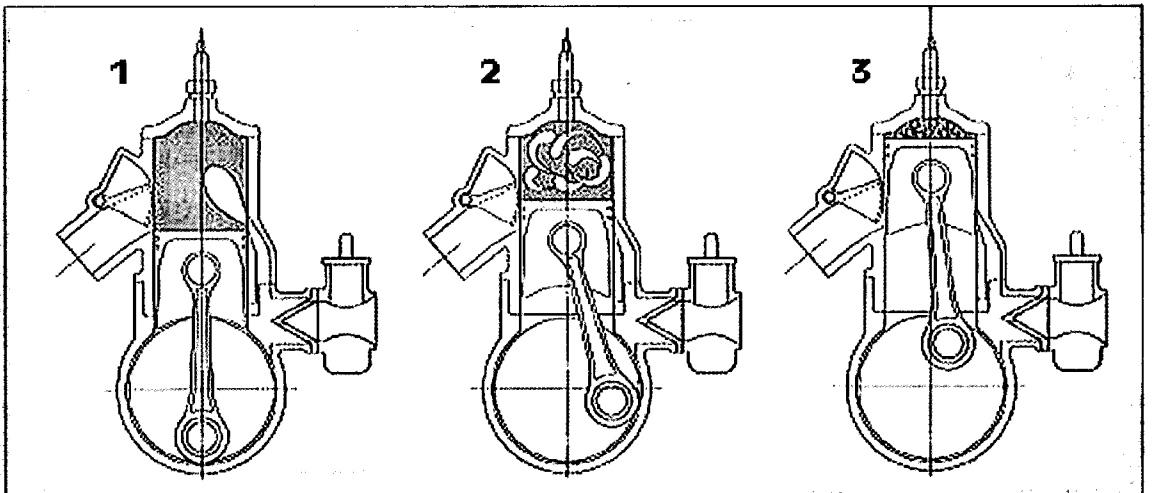


그림 9. 혼다의 EXP-2 엔진의 AR연소 과정

3. 연료/연소가스 혼합은 압축되어지며 피스톤이 TDC에 다다랐을 때 자발화된다. 이는 모든 연료를 연소시키며 대기 중으로 배출되는 미연 탄화수소를 감소시킨다.

2.5 층상 소기(Stratified scavenge)

기존의 2행정 엔진은 공기와 연료가 크랭크 케이스로 유입되면서 실린더 내로 균일한 혼합기를 공급받으며 운전된다. 이 기간 동안 높은 비율의 미연 연료(HC)가 배기 포트를 통해 빠져나가게 된다. 층상 소기는 실린더로 유입되는 흐름을 두 개로 나뉘는데, 하나는 연료/공기의 혼합기 그리고 두 번째는 순수 공기나 희박한 혼합기이다. 소기과정에서 충전되는 연료는 배기로부터 통제되며 손실은 이론적으로 순수한 공기만 일어난다. 연료는 인젝터나 기화기로부터 공급되어질 수 있다. 층상 소기와 층상 급기는 다른 개념이며, 층상 급기는 소기과정 후에 실린더 내에서 시작되고 층상 연소를 위해 연료와 공기가 균일하게 혼합되지 않는다.^[4]

그림 10은 Queen's university Belfast에서 제작한 층상소기 엔진과 연료공급장치의 구조를

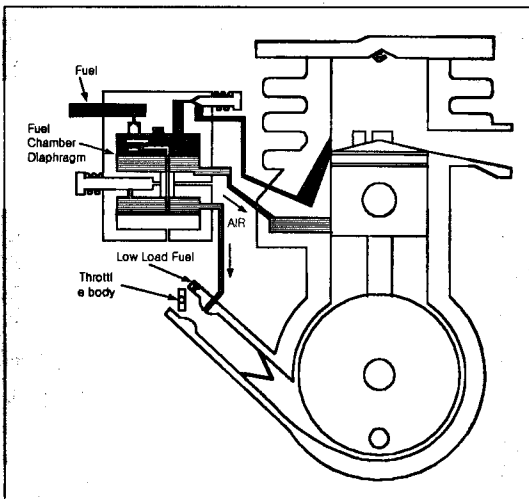


그림 10. 영국 북아일랜드 퀸즈대학의 층상소기 엔진

보여준다.^[4] 연료공급장치(repeater)는 스로틀 벤추리의 진공에 비례하여 후면통로로 연료를 공급한다. 흡기 매니폴드 내의 스로틀 바디는 공회전과 저 부하시 크랭크 케이스 내로 균일한 혼합기를 공급한다. 연료공급 장치는 두 개의 실로 구성되어 있고 각각의 실에는 푸쉬로드로 연결된 다이어프램이 있다. 스로틀바디의 진공은 푸쉬로드를 위로 움직이고 연료 실 공간이 압축되어 연료는 후면 연결통로로 들어간다. 이 상태에서 크랭크 케이스내로 공기만 공급된다.

본 층상소기방식을 적용한 결과 비슷한 수준의 BMEP를 갖는 엔진과 비교하여 전부하 조건에서 65%의 HC 배출률 저감과 20%의 BSFC 개선 효과를 얻을수 있는 것으로 알려졌다.

그림 11은 미쯔비시 중공업에서 제안한 두 가지 층상 소기의 방식을 보여준다.^[5] 하나는 공간적 층상이며 다른 하나는 시간적 층상이다. 그림 11(a)는 연결통로가 두 개로 나뉘어져 있으며 각 통로는 공연비가 다른 혼합기를 공급한다. 한 통로는 크랭크 케이스의 압력이 부압일 때 외부로부터 공기를 빨아들이기 위해 설치되어 있다. 크랭크 케이스는 공기/연료 혼합기를 빨아들이기 위해 기화기가 설치된 다른 통로가 연결되어 있다. 실린더에 대한 각 통로의 방향과 열림, 소기 포트는 개별적이다. 그림 11(b)에서는, 공기가 연결통로를 통해 실린더의 열려진 출구 주위의

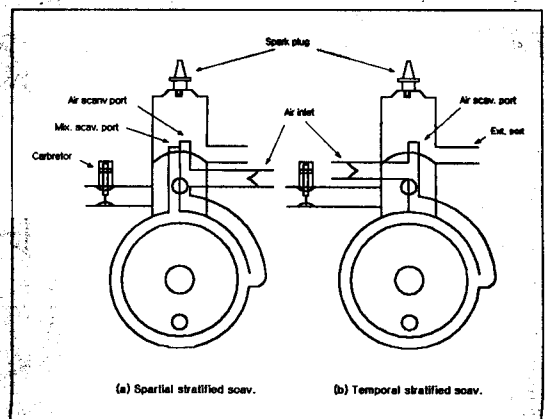


그림 11. 2행정 엔진의 층상소기개념

외부로부터 유입된다. 이 경우도 동일하게 공기 연료 혼합기가 동시에 다른 연결통로를 통해 유입된다. 그림 11 (a)과 (b)의 차이는 크랭크 케이스로부터 실린더에 연결되는 통로의 수가 두 개인가 하나인가 이다. 둘 다 외부로부터 공기를 유입하고 크랭크 케이스가 가압될 때 역류를 막기 위해 공기 통로와 리드밸브가 필요하다.

미쯔비시 중공업에서는 연료공기 혼합기의 단거리통과유동(short-circuiting)이 소기의 첫 단계에서 발생하는데 착안하여 시간적 층상 개념을 적용한 그림 11 (b)와 같은 시스템을 개발하였으며, 실험결과 HC를 75% 저감하였으며 연료소비를 65%, 급기효율(trapping efficiency)을 20% 이상 개선하였다.

2.6 층상 급기 (Stratified Charge)

이 개념은 앞에서 언급한 층상소기와는 달리 소기가 종료된 후 실린더에 균일하지 않은 혼합기가 공급되는 것을 가르치며 다음과 같은 과정을 거치게 된다. 먼저 소기과정에서 공기로 실린더 내를 소기한 다음 모든 포트가 닫힐 때까지 기다린 후 연료를 남아 있는 공기로 분사하게 된다. Y. Ishibashi 등은^[6] 직분식과 AR연소를 결합한 저압 기강식(氣腔, pneumatic) 연료분사 엔진을 개발하였으며 그림 12와 같은 구조를 가진다. 이 시스템은 크랭크축에 의해 구동되는 로터리 밸브, 기강식 연료분사를 위해 실린더내 압력이 축적되는 공기실, 그리고 저압 인젝터로 구성되어있다.

시스템의 구동 원리는 다음과 같다. 소기과정 동안 공기실로 공기가 압축되어지고, 연소와 팽창과정 동안, 연료가 공급되어진다. 연소가 끝난 후, 실린더내 가스는 크랭크 케이스로부터 공급되는 공기에 의해 소기되어진다. 이 과정에서 혼합기나 연료는 들어가지 않는다. 로터리 밸브의 흡은 소기포트의 위에 있는 혼합기 포트에 열리며, 공기실에서 축적되었던 가스는 연료

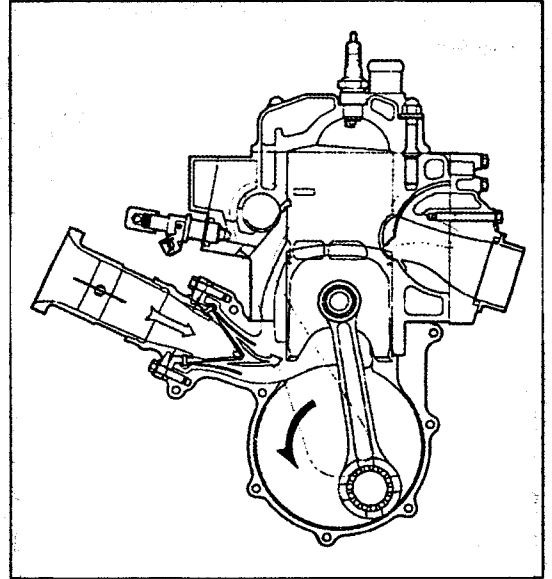


그림 12. 기강식 층상급기 연료분사 엔진

를 불어내는데, 이것이 기강식 연료 분사이다. 가스와 연료는 급속하게 실린더 내에서 감압되어지며 수 ms이내에 무화된다. 이때에도 배기 포트는 여전히 열려져 있으며 기강식 연료분사의 시기는 연료의 확산이 배기 포트까지 이루어지지 않도록 되어져 있다. 로터리 밸브는 공기실의 압력이 연소실의 압력까지 떨어지지 않도록 혼합기 포트를 차단하는데 이는 압축행정 때문에 의해 압력이 증가하기 때문이다. 기강식 연료분사가 완전히 끝나면 로터리 밸브의 두 개의 흡은 충전 포트와 연결된다. 실린더내 압력이 상승함에 따라 가스유동은 충전포트를 통해 공기실로 흐른다. 피스톤이 충전 포트의 끝에 도달하였을 때 공기실은 다시 실린더와 단절되며 가스는 공기실에 축적되어진다. 로터리형 인젝터에 의해 생성된 넓은 분무는 고속 고 부하 영역에서 높은 출력을 보장하였으며 저속 저 부하 영역에서는 AR연소에 의해 불완전 연소문제를 해결하였다.

그림 13은 Piaggio사의 Vespa ET2엔진의 작동 메카니즘을 보여준다.

이 엔진의 헤드 가까이에서 포트를 통해 실린더

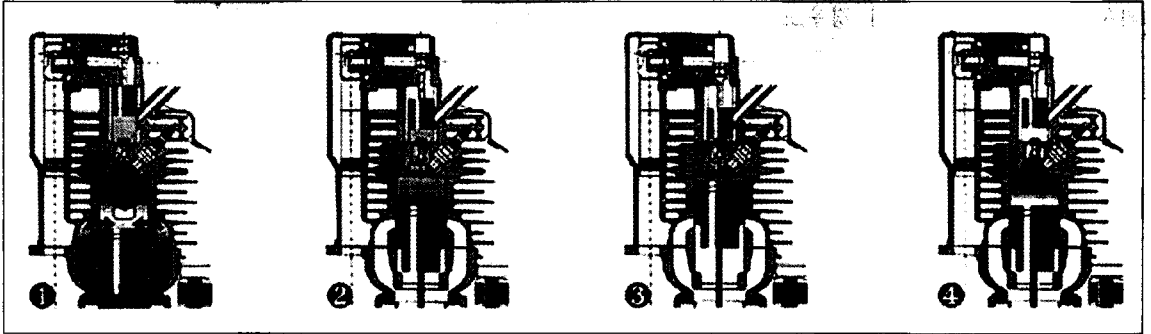


그림 13. Piaggio사의 Vespa E2 엔진의 작동 메카니즘

로 전달되는 공기를 펌핑하는 피스톤 펌프가 설치되어있다. 흡입되는 공기는 특별한 이중 원통형 기화기(double barreled carburetor)의 한 구멍에 의해 막혀진다. 이 기화기의 절반은 연료가 섞이지 않은 깨끗한 공기만 흐른다. 연료 공급은 크랭크축에 의해 구동되는 작은 피스톤이 있는 실린더 헤드에서 일어난다. 약 0.8"의 이 피스톤은 이중 원통형 기화기의 나머지 절반을 통해 아주 진한 가스-공기 혼합기를 빨아들이는 펌프 역할을 한다. 하향 행정에서 상승압력이 스프링에 의해 눌러진 포켓 밸브가 시트에서 떨어질 때까지 상승하고 충전은 실린더로 분출되어질 때 진한 혼합기를 약 70psi까지 압축한다. 이것은 점화플러그를 향해 분출되며 점화되어진다. 연소압력은 순간적으로 포켓 밸브를 닫으며 화염은 점차 희박한 혼합기로 전파된다.

2.7 직접분사 방식(Direct Fuel Injection)

엄밀히 말하자면 직접분사방식도 총상 급기의 한 방법으로 분류할 수 있으나 여기서는 기계적 방식으로 연료를 가스상태로 공급하거나 또는 전자 제어식을 사용하나 포트에 연료를 분사하는 방식을 채택하고 있는 경우 총상 급기로 정의하고 실린더 내에 연료를 액체상태로 직접 분사하는 시스템에 한정하여 설명하기로 한다.

자동차용 4행정엔진에서는 운전모드에 따라

두 가지 연료분사 방식을 사용하는데, 저속, 저부하에서는 압축행정 과정에 연료를 희박하게 공급함으로써 총상연소를 이루며, 큰 출력이 요구되는 고속, 고 부하에서는 흡입행정 동안 연료를 공급하여 연료 혼합기를 연소실내에 균일하게 분포시키고 연소를 시킨다.

그러나 2행정 엔진에서는 부하조건이나 속도 범위에 따라 연료분사 시기를 정확하게 조절하기가 어렵고, 소기과정이 끝난 후 분사된 연료가 혼합기를 형성할 시간도 짧기 때문에 엔진에 적용하기가 상당히 힘들다.^[7] 이런 이유로 대부분의 시스템은 가스상태로 분사하거나, 소기관 또는 흡기관에 연료를 분사시킨다.^[8]

그러나 직분식 2행정 엔진은 4행정 엔진과 비교하여 더 많은 장점을 가진다. 먼저 연료소비율(bsfc)은 35-45% 정도 줄일 수 있으며, 오염물질인 HC는 94%까지, CO는 90%까지 저감할 수 있고, 출력은 10%까지 증가시킬 수 있는 것으로 알려지고 있다.^[9] 그리고 혼합기 형성 시간이 짧기 때문에 매연이 생길수 있으나 이는 공기보조 연료분사기술을 적용함으로써 해결할 수 있다.^[10]

그림 14는 후지 중공업의 water craft에 적용된 직분식 2행정엔진의 단면을 보여준다. 이 시스템은 기화기를 흡기관에 설치하여 균일한 혼합기를 공급하게 하였으며 연소실에 인젝터를 설치하여 연료를 분사함으로써 총상화 시키는 방법을 동시에 적용하고 있다.

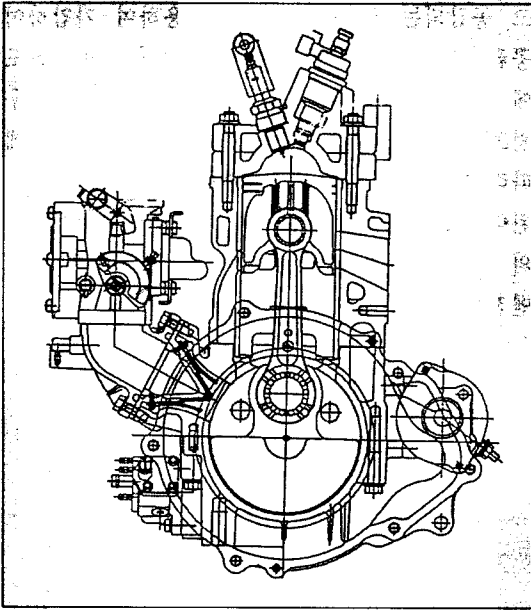


그림 14. 가솔린 직접분사 엔진의 구조

2.8 가변 밸브 방식(Variable Valve Timing and Lift Electronic Control System)

대부분의 이륜차용 엔진의 흡 배기계는 고속 영역에 맞춰져 있기 때문에 저속에서는 출력 및 연비, 배출가스 특성이 최적으로 맞춰져 있지 않다. 가변 밸브 방식은 이러한 문제를 해결하기 위해 각 속도 영역에서 최대의 성능을 발휘할 수 있도록 저속에서는 2밸브로, 고속에서는 4밸브로 밸브 수를 가변 시킬 수 있게 고안된 시스템이다.^[11]

그림 15는 혼다의 CB400SF 모델에 적용된

VTEC 시스템의 구조 및 작동 원리를 보여준다. 가변밸브 시스템의 구조는 그림 16 (a)와 같이 밸브리프트에 설치된 밸브동작 변화 시스템 (valve operation change system)과 유압회로를 갖는 유압제어시스템(hydraulic control system)으로 구성되어 있으며 4밸브 엔진에 적용된다. 밸브 리프트에 설치된 밸브 변화 핀의 위치에 의해 밸브의 정지 및 동작이 제어된다.

그림 15(b)는 밸브가 작동하지 않는 상태를 보여준다. 밸브 정지 상태에서는 유압이 슬라이드 핀에 작용하지 않아 리턴 스프링에 의해 정지핀(stopper pin) 방향으로 힘을 받는다. 이 경우, 밸브 리프트가 캠에 의해 작동하지만 밸브 스템이 슬라이드 핀의 구멍으로 들어가기 때문에 밸브는 작동하지 않는다. 밸브 리프트 및 변화 메카니즘은 캠 프로파일에 따라 움직이는 외부 밸브 스프링에 의해 지지된다.

그림 15(c)는 밸브가 작동하는 상태를 보여준다. 유압은 실린더 헤드에서 통로를 통해 들어와서 밸브리프트 벽면에 있는 홈과 구멍을 통해 슬라이드 핀에 작용하고, 이때 슬라이드 핀은 리턴 스프링 쪽으로 밀려가면서 핀의 평평한 부분이 밸브 스템을 누르게 되며 밸브는 밸브 리프트와 함께 작동하게 된다. 밸브, 밸브 리테이너, 그리고 코터(cotter)는 캠 프로파일에 따라 움직이는 내부 스프링에 의해 지지되어진다.

가변 밸브 시스템은 저속의 영역에서 2밸브로 작동하여 밸브기구에 의한 마찰 손실을 감소시키고 저속에 맞는 흡 배기계를 구성함으로써 출

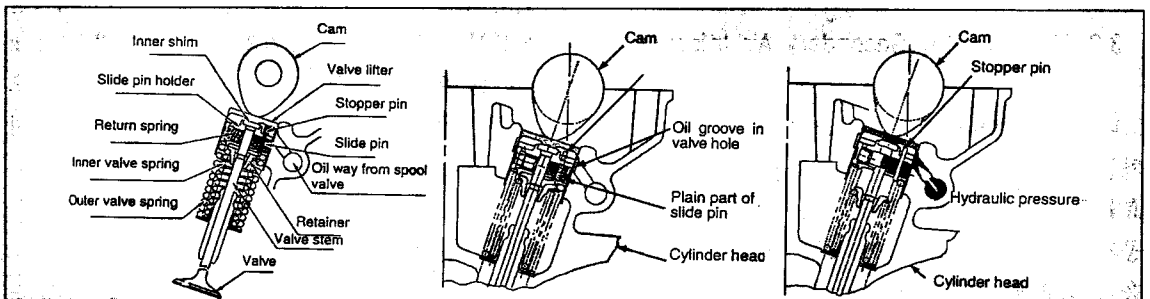


그림 15. HYPER VTEC의 구조 및 작동원리

력 및 배출가스 뿐만 아니라 연비도 5.5% 개선한 것으로 알려졌다.

3. 후처리 기술(After treatment technologies)

3.1 촉매(Catalytic converter)

후처리 기술은 말 그대로 배기 포트를 빠져나온 배출가스를 대상으로 적용하는 기술이며 촉매와 이차공기분사를 들 수 있다. 촉매(catalytic converter)는 자동차와 마찬가지로 하니콤 모양의 셀 구조를 갖는 담체에 백금 등 귀금속을 워쉬 코트(washcoat)와 함께 코팅함으로써 배출가스가 통과할 때 배출가스 성분들이 서로 반응하여 오염물질을 줄이는 방법이다. 그러나 이륜차에서는 세라믹 담체 대신 금속 담체를 사용하며 코팅성분도 4행정에서는 3원 촉매를, 2행정에서는 산화 촉매를 사용한다. 2행정에서 환원 촉매를 사용하지 않는 이유는 연소온도가 낮아 질소산화물의 생성이 거의 없으며, 불완전한 소기과정에서 미연 탄화수소의 배출물이 많기 때문이다. 촉매를 사용하여 배출물을 저감할 경우 최대 90% 이상 저감할 수 있는 것으로 알려졌다.^[12] 그러나 촉매를 장착한 머플러는 촉매의 반응열에 의한 온도상승과 심한 진동으로 열적 내구성 및 기계적 강도가 요구된다. 그림 16은 금속 촉매를 장착한 머플러의 내부구조를 보여준다.

3.2 이차공기분사(Secondary Air Injection)

대부분의 이륜차 엔진에서는 촉매와 더불어 이차공기 분사 장치를 병행하여 사용하는데 촉매의 효율을 높이기 위한 목적이다. 자동차에도 이차공기 분사 장치가 사용되나 이는 엔진의 촉매 반응 온도를 높이기 위해 시동 후 일정 시간만큼만 운전되며 그 이후에는 작동을 하지 않는다. 그리

고 공급되는 공기는 펌프를 이용하여 가압하여 공급한다. 그러나 이륜차에서는 촉매가 반응온도에 도달하여도 계속 공급을 하며 대부분의 경우 펌프를 사용하지 않고 배기가스의 압력 파형에 따라 발생하는 부압에 의해 대기의 공기가 공급된다. 보통, 2행정 엔진에서 이차공기 분사 장치의 위치는 배기 파이프 상부에 위치하며 4행정 엔진에서는 밸브 시트 뒤에 위치한다.



그림 16. 촉매를 적용한 이륜차용 머플러 내부구조

그림 17은 이륜차용 2행정 엔진 및 4행정 엔진에 설치된 2차 공기 분사장치의 적용 예를 보여준다.^[13] 2행정 엔진용 이차공기 분사 장치는 스폰지, 에어 크리너, 배기가스의 역류를 방지하는 리드밸브와 같이 간단하게 구성되어 있으며, 흡기 공기 공급용 에어 크리너를 같이 사용하기도 한다. 그러나 4행정 엔진용 이차공기 분사 장치는 공기제어 밸브가 더 필요하다. 이 제어 밸브는 기화기의 부압에 의해 작동하며 기능은 엔진의 급 감속시 과잉공급된 연료가 배기 매니홀드에서 이차 공급된 공기와 반응하여 역화(back fire)를 일으키는 것을 방지하기 위해 순간적으로 이차공기 공급을 중단시키며 기화기 전후의 압력이 일정해지면 다시 공기 공급을 재개한다.

4. 결론

지구환경 오염방지를 위한 노력들이 전 세계

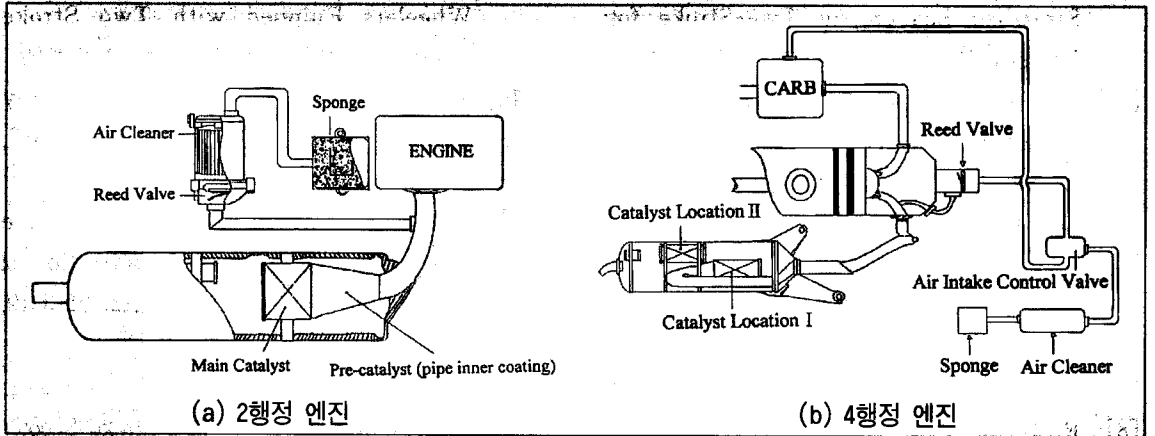


그림 17. 2차 공기 분사장치의 적용 예

적으로 모든 부분에서 이루어지고 있으며, 선진국이 주축이 되어 대기오염방지를 위한 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 이륜차는 자동차에 비해 배기량이 약 1/20 정도밖에 되지 않고 보급대수 면에서도 자동차에 비해 소수이지만, 주로 사람들이 밀집된 도심지를 운행하고 있고 그동안 배출 공해가스에 대한 규제도 엄격하지 않아서 상대적인 공해가스의 배출 수준이 높아 도심지 대기 오염에 한 몫을 차지하게 되었다. 선진국에서는 발달된 첨단 기술을 바탕으로 엔진의 개조를 통한 오염 배출가스의 저감이 효과적으로 이루어지고 있으며 우리나라에서도 이륜차 선진국과의 기술 차를 줄이기 위하여 기술 개발 노력을 열심히 하고 있다.

대도시의 열악한 대기환경을 개선하고 국민들에게 쾌적한 생활 환경을 제공하려는 노력으로 국내는 물론 전 세계적으로 점차 배출가스 규제치를 강화하고 있다. 이러한 향후 규제치를 만족시키기 위해서는 당분간은 개발 기간이 짧고 비용도 저렴하며 기술적으로도 비교적 쉬운 후처리 기술을 선호하고 있으나 근본적인 해결을 위해서는 많은 비용과 노력이 소요되더라도 엔진의 연소시스템을 최적화 하는 전처리 기술에 초점을 맞춰야 할 것이다. 그렇게 함으로써 기술 경쟁력을 갖추어 국내 시장의 의존도를 줄이고

해외로 수출을 확대해 나가야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] K. Tsuchiya et al., "Emission Control of Two-Stroke Motorcycle Engines by the Butterfly Exhaust Valve", SAE Paper No. 800973, 1980.
- [2] S. Onishi et al., "Active Thermo-Atmosphere Combustion(ATAC)-A New Combustion Process for Internal Combustion Engines", SAE Paper No. 790501, 1979.
- [3] Y. Ishibashi et al., "A Trial for Stabilising Combustion in Two-Stroke Engines at Part Throttle Operation", International Seminar on 'A New Generation of Two-Stroke Engines for the Future', Paris, November, 1993.
- [4] S. Mc Elligott et al., "Stratified Scavenging Applied to a Small Capacity Two-Stroke Scooter for the Reduction of Fuel Consumption and Emissions", JSAE 9938026, 1999.
- [5] Y. Yoshida et al. "Development of

- Stratified Scavenging Two-Stroke for Emission Reduction”, JSAE 9938024, 1999.
- [6] Y. Ishihashi et al. “A Low Pressure Pneumatic Direct Injection Two-Stroke Engine by Activated Radical Combustion Concept”, SAE Paper No. 980757, 1998.
- [7] C. Stan et al. “Development, Modeling and Engine Adaptation of a Gasoline Direct Injection System for Scooter Engines”, JSAE 9938068, 1999.
- [8] R. Gentili et al. “ATAC and GDI in a Small Two-Stroke Engine” SAE Paper 1999-01-3273, 1999.
- [9] Stan, C.; Lefbvre, J. L., “Development of a Direct Injection Concept for Two Wheelers Equipped with Two Stroke Engines”, SAE Paper 1999-01-1248, 1999.
- [10] T.Miyamoto et al, “Structure of Spray from an Air-Assist Hollow-Cone Injector”, SAE Paper No. 960771, 1996.
- [11] T. Tsukui et al., “Development of the Directly Actuated Variable Valves Control System”, SAE Paper No. 1999-01-3319, 1999.
- [12] A. Mallamo, “Development of a Catalytic Exhaust System for a Two-Stroke Scooter Engine”, SAE 1999-01-3238
- [13] H. C. Wu et al., “Emission Control Technologies for 50 and 125cc Motorcycles in Taiwan”, SAE Paper No. 980938, 1998.