

## 저공해 엔진 기술의 현황 및 방향

### Low Emission Vehicles: Their Prospective Engine Technologies

김 창 호\*  
Chang Ho Kim

#### 1. 머리말

1970년대 미국을 비롯하여 세계각국의 배기규제 강화는 석유 파동의 여파로 밀어닥쳤던 연비개선에 대한 강한 요구와 함께 자동차 업계로 하여금 새로운 기술개발경쟁에 박차를 가하게 하는 중요한 계기가 되었다. 최근(90년 9월) 미국 California주에서는 저공해 차량에 대한 강화된 법이 통과되었다.

표 1 CARB 저공해차량 배기가스 규제치  
(50k mile)

(단위 : g/mile)

적용차종	NMOG*	CO	NO <sub>x</sub>	HCHO	비 고
MY1993	0.25	3.4	0.4	-	
TLEV	0.125 (0.156)	3.4 (4.2)	0.4 (0.6)	0.015 (0.018)	MY 1994 10%
LEV	0.075 (0.090)	3.4 (4.2)	0.2 (0.3)	0.015 (0.018)	MY 1997 25%
ULEV	0.040 (0.055)	1.7 (2.1)	0.2 (0.3)	0.008 (0.011)	MY 1997 2%

( )안의 값은 100,000 mile 규제치

주) NMOG : Non-Methane Organic Gases  
TLEV : Transitional Low Emission Vehicle  
LEV : Low Emission Vehicle  
ULEV : Ultra Low Emission Vehicle

\* 현대자동차 마부리 연구소

표 1은 CARB(California Air Resource Board)에서 통과된 저공해 차량의 단계별 규제치를 나타내고 있다.<sup>1)</sup>

본고에서는 배기가스 저감(특히 HC를 중심으로)에 대해 알려져 있는 기술들을 소개하고 가시적인 목표로 주어진 CARB의 저공해 차량에 적용 가능한 기술들을 예측해 보며 여러분야 전문가들의 열띤 토론의 장을 만들어 향후 엔진개발의 방향 설정에 기여해 보고자 한다. 여기서 논의의 범위를 승용차용 엔진으로 한정함을 첨언해 둔다.

#### 2. 저공해 가솔린엔진 기술

본 장에서는 기존의 가솔린엔진의 개선을 통한 저공해 차량 기술을 소개하겠다. 여기에는 혼합기 형성을 향상시키는 것에서부터 엔진본체의 연소실 형상 개선등과 같은 근본적인 연소개선을 통한 엔진배출 유해성분을 줄이는 방법을 비롯하여 발생한 유해가스를 보다 효과적인 방법으로 후처리하는 기술에 이르기까지 광범위하게 소개되고 있다.

##### 2.1 엔진본체의 개량

엔진의 여러 설계요소들이 배기가스 생성에 미치는 영향을 정확히 이해하여 유해성분의

발생을 근원적으로 저감하는 전형적인 방법이다.<sup>2,3)</sup>

또한 여기서는 연소개선을 통하여 안정된 연소가 가능토록 하여 초기실화(misfire)를 방지하고 점화시기를 늦추어 배기가스온도 상승을 통한 촉매활성화 시간을 단축시키는 것도 중요한 관점이다.

엔진의 불필요한 냉각을 줄여 연소실내의 quenching layer를 줄이거나 냉각수 용량 및 냉각회로를 개선하여 시동후 빠른 warm-up을 이룩하는 간접적인 방법도 검토되고 있다.<sup>4,5,6)</sup>

다음의 항목이 엔진의 설계와 개발시 고려되어야 하며 구체적인 언급은 생략하나 유해성분을 근원에서부터 감소한다는 측면에서 저공해 엔진개발시 계속적으로 세심한 개선이 이루어져야 한다.

- 연소실 형상의 최적화
  - Compact 연소실(S/V비)
  - Squish 최적화
- Crevice 체적 최소화
- 연소실내 유동개선
- 밸브 타이밍(오버랩) 최적화
- 오일소모 개선
- 냉각 및 warm-up 특성 개선

2.2 혼합기 형성의 개선

카브레이터를 장착한 엔진에 비하여 전자제어를 이용한 연료분사 장치는 혼합기 형성 및 공연비 제어에 획기적인 발전을 가져다 주었다. 앞으로 개발될 저공해 엔진에 연료분사 장치도 많은 개량이 있을 것으로 예상된다.<sup>7)</sup> 각 실린더별로 흡기 port에 직접 연료가 분사되는 MPI(Multi Port Injection)엔진에서도 혼합기 형성의 개선을 위한 노력으로 분사노즐의 위치, 분사방향 및 분사시기의 최적화 개발이 이루어져 왔다. 여기서는 최근에 소개되는 혼합기 형성 개선 기술에 대해 소개하고자 한다.

2.2.1 연료분사 인젝터의 개량

○ 2-Spray Injector

흡기 밸브가 2개 이상인 엔진에서 2-Spray Injector는 연료가 흡기 port 벽면을 적시는

것을 감소시켜 혼합기 형성을 개선할 수 있어 점차 보급이 확대되고 있다. 이때 Spray 사이의 각도와 흡기 port 간의 최적 상태가 결정되어야 한다.

○ Swirl Injector

노즐 출구 직전에 Swirl을 발생시킬 수 있는 장치를 두어 분사된 연료를 기존 인젝터에 비해 연료의 입자 크기가 작아 저온시 무화가 개선되어 냉시동 및 HC저감에 도움이 된다.

○ Air-Assisted (/Shrouded) Injector

최근에 압축공기를 이용하여 연료의 무화를 획기적으로 개선한 연료분사장치가 2행정 기관에서 각광을 받고 있으며 그와 유사한 장치가 저공해 엔진에서도 도입이 검토되고 있다. 비슷한 효과를 얻을 목적으로 압축공기 대신에 대기압과 흡기관의 압력 차이로 얻어지는 공기흐름에 연료를 분사함으로써 연료의 무화를 개선하는 인젝터가 개발중에 있다.

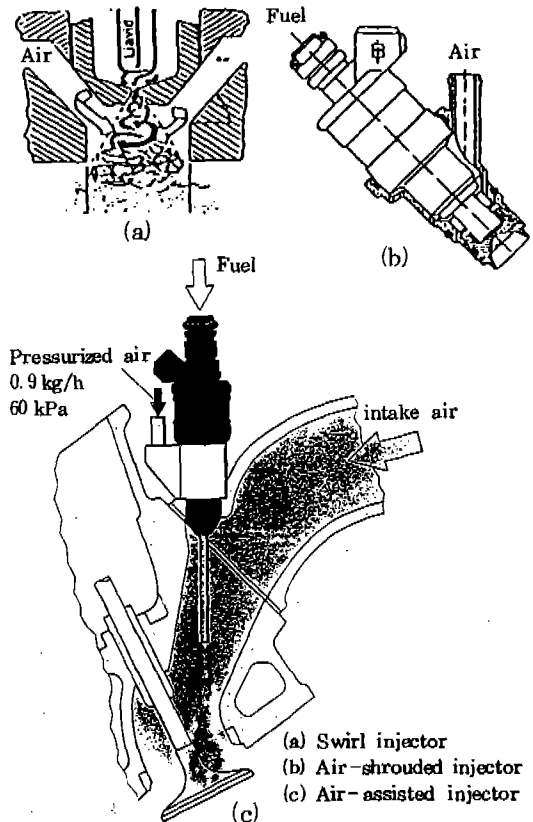


그림 1 인젝터의 예

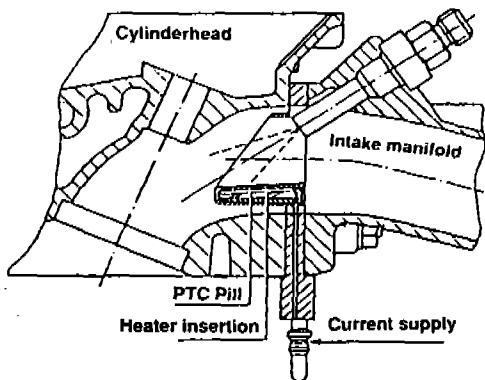


그림 2 혼합기 가열을 위한 PTC Heater 장착 예

그림 1은 최근에 소개되고 있는 인젝터들의 예를 보여준다.

### 2.2.2 혼합기 가열 히터장치

흡기 port 내부에 PTC 히터를 장착하여 가열된 부분에 연료를 분사함으로써 warm-up 구간에서의 무화를 촉진시키는 장치이다. 이 방법에는 저공해 가솔린 엔진에서 혼합기 형성 개선뿐만 아니라 알코올 엔진에서의 냉시동성을 개선할 수 있는 방법으로 검토된 바 있으나 과도한 전력소모, 흡기관내 유동저항 증가 및 warm-up 이후의 wall wetting 문제를 안고 있다. 그림 2는 흡기 port 내에 PTC 히터가 장착된 예를 보여주고 있다.

### 2.3 엔진 전자제어의 개선

3원촉매와 더불어 전자제어를 이용한 정교한 공연비 제어가 배기가스 저감에 결정적인 역할을 해왔다. 또한 앞으로 보다 강화된 저공해 차량에서 전자제어가 더욱 정교하게 그리고 폭넓게 적용될 것은 자명하다.<sup>8,9)</sup>

시동시와 시동직후 warm-up 구간에서의 보다 정교한 공연비 제어의 향상이 요구된다.

시동시 한 행정이라도 먼저 정상적인 점화가 이루어지고 초기 실화(misfire)가 방지되어야 하며 warm-up 구간에서 지나치게 진한 연료공급을 피할 수 있는 공연비제어가 가능하도록 되어야 한다.

이를 위해서는 제어기능 개선뿐만 아니라 최단시간내에 학습제어에 들어갈 수 있도록

O2 센서의 조기 활성화가 필요하다. 정교한 공연비 제어는 warm-up 구간 뿐만 아니라 다이내믹 상태에까지 확대될 필요가 있으며 이종의(촉매 전후의) O2 센서를 채택하여 차량의 초기상태 뿐만 아니라 노후화 되는 과정에서 정상 상태의 공연비 제어가  $\pm 0.05$  A/F 이내에 들도록 보완하는 control algorithm 개발이 계속되고 있다.

이외에 법규와 관련하여 요구되는 각종 감시장치인 OBD(On Board Diagnosis) 관련 사항은 본고의 범위를 벗어나므로 생략한다.

### 2.4 배기계 후처리 기술

엔진에서 발생하는 공해성분을 근원적으로 낮추는 데에는 한계가 있다. 특히 LEV 이후의 저공해 차량의 실현을 위해서는 후처리 기술에 보다 더 의존해야 할 것이다. 배기계 후처리 기술은 크게 나누어 촉매 자체기술 개발과 촉매의 활성화 시간을 줄이는 실용기술로 나눌 수 있다. 전자는 촉매의 전환 효율을 유지토록 하는 등의 기술로서 본고의 범위를 벗어나며 본장에서는 후자에 대한 기술소개를 주로 하겠다.

보고된 자료에 의하면 TLEV(0.125 gpm HC)를 만족하기 위하여 촉매가 적어도 30초 이내에, 그리고 LEV(0.075 gpm HC) 수준의 달성을 위해서 15초 이내에 활성화 온도(약 350°C)에 도달하여야 한다고 하나 기존의 차량에서는 약 100초 전후에 활성화 온도에 도달하는 실정이다. 그러므로 여하이 냉시동 후 촉매 활성화 시간을 단축할 수 있는가가 후처리 기술의 핵심을 이루고 저공해 차량의 성패를 좌우한다고 할 수 있다.

#### 2.4.1 저열용량의 배기계 적용

기존 엔진에서 사용되던 주철제의 비교적 길이가 긴 배기매니홀드의 형상을 Compact 하거나 살두께가 얇은 경량 주물제 매니홀드를 적용하여 C/T(Cold Transient)구간에서의 HC량을 15% 가량 줄이는 것이 가능하다. 또한 열전도율이 낮고 파이프를 용접하여 제작이 가능하며 획기적으로 열용량을 줄일 수 있는 SUS제 매니홀드가 점차 확대

되어 사용되고 있으나 연장된 보증기간의 내구성 문제가 해결되어야 할 사항이다.<sup>10)</sup>

2.4.2 Warm-up 촉매 (Closed-Coupled Catalyst)

엔진에서 배출된 배기가스 온도는 배기관을 통한 열전달에 의하여 약 1m당 100℃ 정도로 감소하게 되므로 촉매를 가능한한 엔진 가까이로 이동하면 촉매 활성화가 빠르게 된다. 이를 위하여 촉매를 배기매니폴드에 가깝게 장착한 warm-up (closed-coupled) 촉매가 좋은 효과를 보이고 있다.

일부에서는 소형의 촉매를 각 배기 port 내 장착을 시도하고 있다. 이때에는 촉매가 고온의 배기가스와 직접 접하게 되므로 활성화는 빠르나 열화에 의한 특성변화 및 내구성의 문제가 남게 된다.

열화를 줄이기 위하여는 밸브를 설치하고 배기가스가 엔진의 warm-up 구간에만 지나게 하는 by-pass warm-up 촉매도 개발되고 있다.

Warm-up 촉매 뿐만 아니라 주 촉매도 가능한한 엔진에 가깝게 위치할 수 있도록 차체 설계가 이루어져야 한다.

2.4.3 2차 공기 분사 기술

엔진이 warm-up 되기 이전에는 진한 공연비가 필요하게 된다. 이 구간에 조정된 양의 공기를 배기 port 나 촉매 앞에 분사하여 주면 촉매의 활성화 시간이 단축될 뿐만 아니라 이로 인하여 C/T 구간에서 HC와 CO의 수준이 30~40% 이상 감소가 가능하다.

2차 공기의 이용은 엔진의 warm-up 구간에서만 사용하며 최적의 공기량은 시험을 통해 결정되어야 한다. 2차 공기 분사는 후술하는 전기가열 촉매와 함께 사용될 때 더욱 효과적이다.

2.4.4 전기가열 촉매 (EHC)

배기계의 열용량을 줄이거나 촉매의 위치를 앞당겨 촉매의 활성화 시간을 단축시키는데는 한계가 있어 CARB의 LEV (0.075gpmHC) 이후의 수준을 만족할 수 없을 것으로 예상된다.

이를 극복하기 위하여 개발된 것이 전기가열 촉매 (EHC : Electrically Heated Catalyst)

로서 후처리 기술중에서 가장 주목받는 기술 중 하나이다.<sup>11,12)</sup>

이는 주 촉매 앞에 소형의 촉매를 설치하고 축전지의 전원으로 촉매를 예열하여 엔진의 시동시 촉매가 활성화 온도에 즉시 도달토록 하는 방식이며 2차공기 분사와 함께 사용될 때 특히 효과적이다.

그림 3은 EHC를 사용했을 때 촉매의 초기 (fresh) 상태와 300시간 내구후에서의 배기가스 저감율을 나타낸다. 300시간 내구후에도 EHC와 2차 공기분사를 동시에 적용한 경우에 Bag 1A (FTP 주행모드에서 초기 140초 구간)에서 HC와 CO의 배출이 76%와 92% 감소했다.

그림 4는 전 FTP 시험 구간중에 발생하는 HC 배출누적량을 나타낸다. 시동후 20초에서 200초 사이에는 EHC가 현저한 HC 저

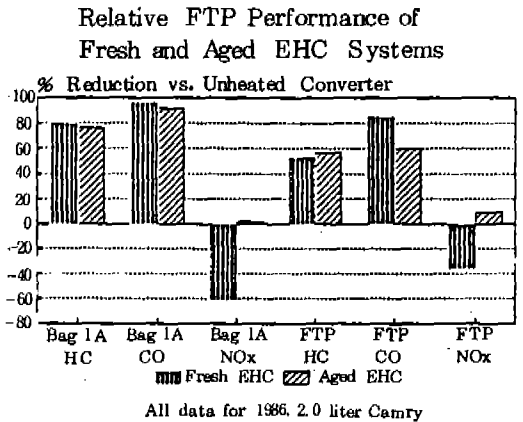


그림 3 Comparative Emission Performance for Fresh and Aged EHCs.<sup>11)</sup>

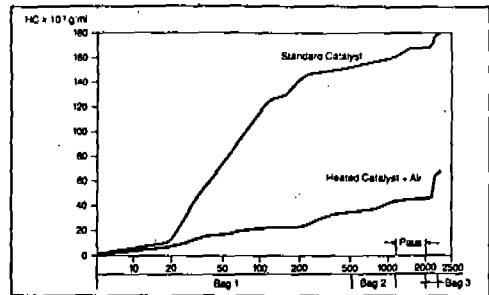


그림 4 Accumulated hydro carbon emission (g/mi) plotted against the time log of the complete FTP-test of the vehicle.<sup>12)</sup>

감효과를 보이며 기존 촉매가 활성화되는 시간인 200 초 이후에는 두 촉매가 같은 정화율을 보인다.

예열기간의 단축과 그에 따른 축전기 등 전기시스템의 보완 및 충분한 실차 시험을 통한 신뢰성 확인등이 실용화를 위하여 선행되어야 할 것이다.

#### 2.4.5 배압 조정 밸브 (EBPV)

최근 LOTUS 에서 소개된 기술로서 촉매와 소음기 사이에 배압조정 밸브를 설치하여 엔진의 warm-up 구간을 단축하는 장치이다.<sup>13)</sup> 이는 warm-up 구간에서 배압의 증가로 인하여 엔진의 펌핑일이 증가하여 부하가 증가하게 되고 따라서 배기가스의 온도와 유량이 증가하여 촉매 활성을 빠르게 할 뿐만 아니라 엔진 자체의 warm-up도 빠르게 된다. 부수적인 효과로는 배압의 증가로 연소실내의 소기가 나빠져 내부 EGR의 효과도 기대되며 배기가스의 촉매 내부에 체류시간이 연장되어 변환 효율의 증가도 기대할 수 있다. 자료에 의하면 EBPV의 장착으로 촉매 활성화 시간이 140 초에서 90 초로 줄어들었고 C/T구간에서 HC와 NO<sub>x</sub>의 배출이 약 40% 감소하였다.

### 3. 대체 연료를 이용한 저공해 엔진기술

석유자원의 고갈과 에너지 자원의 해외 의존도를 낮추기 위한 에너지 정책의 일환으로 오래전부터 대체에너지의 개발이 추진되어 왔다. 그러나 최근에 와서는 오존층의 파괴와 지구 온실화 및 생태계의 파괴 등 환경보존에 대한 관심이 높아지면서 저공해 연료로서 대체연료에 대한 관심과 정책 추진 움직임이 있어왔다. 여기서는 청정연료로서 알콜연료(특히 메타놀), 압축천연가스 및 수소가스 엔진 기술을 소개하고 아울러 전기 자동차의 실용 가능성과 문제점을 살펴 보고자 한다.

#### 3.1 메타놀 자동차

메타놀이 저공해 자동차 연료로서 인정되어 최근 미국내 California주를 비롯하여 일부지역에서 시범적으로 운행될 가능성이 높아짐에 따라

전용 메타놀 차량이 도입되기 이전에 중간단계로서 메타놀과 가솔린의 임의의 비율에서도 사용이 가능한 FFV(Flexible Fuel Vehicle)의 개발이 주요 자동차 업체에서 활발히 진행되고 있다.<sup>14,15)</sup>

표 2는 FTP 모드 주행시 배출되는 배기가스 배출량과 연비를 메타놀과 가솔린 혼합비율에 따라 나타내고 있다. 메타놀 함량의 증가에 따라 OMHCE와 NO<sub>x</sub>의 감소가 나타남을 볼 수 있고 전용 가솔린(MO)으로 운전한 것과 비교하면 메타놀 연료가 저공해 연료임을 알 수 있다.

다만 표에서도 보는 바와 같이 formaldehyde 배출량이 월등히 높아 이에대한 저감대책이 선행되어야 한다.

표 3은 CARB에서 제시한 비록 초기 상태의 테이타이나 메타놀 FFV에 전기가열 촉매와 2차 공기 분사를 적용할 때의 LEV 이후의 보다 강화된 배기규제를 만족할 수 있는 높은 가능성을 보여주고 있다.

#### 3.2 압축 천연가스 자동차(CNG)

세계적으로 많은 보존량을 갖고 있는 천연가스의 주성분은 산지에 따라 다소 차이는 있지만 주성분은 메탄이며 그외에 에탄, 프로판, 부탄 등 오존발생에 영향이 적은 간단한 탄화수소로 조성되어 있다.

표 4는 CNG와 가솔린의 배기가스 특성을 보여준다. 전체 탄화수소(THC)의 발생은 CNG가 가솔린에 비교하여 월등히 높으나 THC의 대부분이 메탄이므로 NMHC(Non-Methane HC)의 배출은 가솔린에 비해 현저히 줄어들어 오존발생 요인은 기존 가솔린 엔진에 비해 50~90%가량 감소한다. 또한 가스상태로 연소실에 유입됨으로 혼합기가 균일하게 형성되어 CO의 배출도 반 이하로 감소한다. NO<sub>x</sub>는 가솔린과 비교할 때 같은 공연비와 압축비에서는 배출 수준이 낮으나 옥탄가가 높으므로(주성분인 메탄은 RON 130임) 압축비를 높여 출력상승을 도모했을 때는 증가한다.

배기가스의 특성을 고려할 때 전기가열 촉매의 사용과 혼합기 형성의 개선을 이룩한다면 CNG 엔진은 CARB의 ULEV 수준을 만

족시될 가능성이 매우 높을 것으로 판단된다. 다만 기존 탄화수소 연료와 비교하면 단위 무게당 발열량은 동일한 수준이나 단위 체적당 발열량은 200기압으로 압축시 가솔린의 약 1/4 수준으로 연료탱크 적재가 문제가 되며 particulate 배출이 매우 낮아 승용차 보다는 medium duty veh. 이상인 버스등에 더 적합한 것으로 보인다.

### 3.3 수소 자동차

물의 전기분해나 천연가스인 메탄을 steam reforming 함으로서 얻어지는 수소가스는 무한한 자원과 열효율이 크고 공해가 없는 등의 장점을 갖고 있지만 자동차용 연료로 사용시 적지않은 문제점등을 가지고 있다. 그중에서도 수소가스를 안전하고 경제성 있게 보관할 수 있는 방법의 해결과 수소 제조과정의 효율

표 2 FTP Mode Emission 및 연비<sup>14)</sup>

FUEL	EMISSION grams/mile				FUEL ECONOMY mile/gal
	OMHCE	CO	NO <sub>x</sub>	ALDEHYDE	
MO (GASOLINE)	0.16	1.79	0.15	0.004	23.6
M 25	0.13	1.50	0.14	0.011	20.7(23.8)
M 50	0.12	2.05	0.12	0.010	17.9(24.1)
M 85	0.11	1.66	0.10	0.014	13.7(24.3)

( ): 가솔린 동등 열량

표 3 Corsica FFV Emissions<sup>15)</sup>

(단위 : g/mile)

Catalyst	NMOG	CO	NO <sub>x</sub>	HCHO	MeOH
Stock Catalyst	0.031	1.75	0.25	0.0205	0.21
Camet(Heat, No Air)	0.102	1.51	0.13	0.0048	0.07
Camet(Heat, Air)	0.021	0.40	0.17	0.0036	0.01

표 4 CNG와 가솔린 사용시 배기가스 성분 비교<sup>16)</sup>

Vehicle/ Fuel System	THC g/mile	NMHC g/mile	CO g/mile	NO <sub>x</sub> g/mile	Form. mg/mile
1984 Olds Delta 88/CNG Systems Gen II					
Gasoline	0.40	0.26	9.84	0.40	4.03
Natural Gas	2.46	0.08	1.69	1.18	4.82
Difference	2.05	-0.18	-8.15	0.78	0.79
% Difference	507.9%	-68.3%	-82.8%	195.0%	19.6%
1987 Chevrolet Caprice/Air Sensors CNG Fuel Inj.					
Gasoline	0.33	NA	6.28	0.88	NA
Natural Gas	1.79	0.20	3.40	0.78	NA
Difference	1.46	NA	-2.88	-0.10	NA
% Difference	442.4%	NA	-45.9%	-11.4%	NA
1986 Buick Park Ave./IMPCO Carburetor					
Natural Gas	1.991	0.188	0.071	0.438	4.46

성 향상은 선결되어야 할 중요한 문제들이다.

수소 엔진의 배출가스 특성은 높은 화염온도에 따른 NO<sub>x</sub>의 생성을 제외하고는 무공해 차량이라 할 수 있다.

### 3.4 전기 자동차

무공해차량(소극적 의미에서)의 판매가 CARB에 의해서 1998년 의무화됨에 따라 자동차 업체들은 각 업체별로 혹은 컨소시엄을 형성하여 전기자동차 개발에 열을 올리고 있다.

전기자동차는 운행중 유해 배출가스의 발생이 전무하고 구조가 간단하여 소음 및 고장이 현격히 줄어든다는 잇점이 있으나 현재의 축전지로서는 에너지 밀도가 낮아 주행거리가 제한되고 충전시간과 제작원가가 상승하는 불리한 점을 가지고 있어 아직도 실용화에는 많은 문제점을 안고 있다.

따라서 획기적으로 에너지 밀도가 높은 축전지의 개발 여부가 앞으로의 전기자동차 보급에 큰 과제라 할 수 있다.

근래에는 주행거리를 증대시킬 목적으로 축전지외에 전기충전용 소형 저공해 엔진을 추가로 탑재한 혼합형 전기자동차(hybrid electric veh.)가 소개되고 있어 ULEV의 만족이 기대되고 있다.

## 4. 결 론

지금까지 기존 가솔린 엔진을 이용한 저공해 엔진기술과 대체연료차량의 저공해 차량으로서의 가능성을 살펴보았으며 다음과 같은 몇가지 결론에 도달하였다.

1) 에너지 정책의 특별한 변화가 없는 한 기존의 가솔린 엔진 보안을 위주로 한 저공해 차량이 향후 개발의 주력을 이룰 것으로 보인다.

2) 93MY 이후의 강화된 규제와 TLEV를 만족하기 위해서는 엔진 본체의 개선과 혼합기 형성의 개선 및 보다 정교한 엔진제어 향상을 위주로 개발이 이루어져야 하겠다.

3) LEV 이후의 강화된 배기규제를 만족시키는데 있어 가장 유력시 검토되는 기술로는 전기 가열촉매, 연료 혼합기 개선 및 그에

다른 정교한 제어기술 향상 그리고 꾸준한 연소개선을 들 수 있다.

4) 대체연료를 사용한 저공해 차량 특히 메타놀과 CNG 엔진은 기술적인 측면에서 가능성은 있으나 현재의 에너지 사정이나 정책상으로는 큰 잇점이 없어 금세기내 대대적인 보급은 어려울 것 같다. 그러나 실용화를 위한 계속적인 연구 개발이 이루어져야 한다.

5) 전기 자동차가 실용화되기 위해서는 지금보다 획기적인 축전지의 기술 개발이 선행되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Staff Report, "Proposed Regulations for Low Emission Vehicles and Clean Fuels", Prepared by CARB, AUG. 13, 1990.
2. E. Obert, "Internal Combustion Engine and Air Pollution"
3. J.N. Mattavi, "Effects of Combustion Chamber Design of Combustion in Spark Ignition Engines", SAE 821578.
4. A.J. Sorrell, et. al., "Spark Ignition Engine Performance During Warm-up", SAE 890567.
5. G.E. Andrews, et. al., "Transient Heating and Emissions of an SI Engine During the Warm-up Period", SAE 880264.
6. J.A. Kaplan, "Modelling the Spark Plug Ignition Engine Warm-up Process to Predict Component Temperatures and Hydrocarbon Emissions", SAE 910302.
7. Y. Ohyama, et. al., "Study on Variable Injection Pattern Control System in a Spark Ignition Engine", SAE 910080.
8. M. Matsumoto, et. al., "Improvement of Lamda Control Based on an Exhaust Emission Simulation Model That Takes into Account Fuel Transportation in the Intake Manifold", SAE 900612.
9. N.F. Benninger and G. Plapp, "Requirements and Performance of Engine Mana-

- gement Systems under Transient Conditions", SAE 910083.
10. Masayuki Honma, "Development of Stainless-steel Tube Exhaust Manifold", 자동차기술, Vol. 43, No.9, 1989.
  11. W.A. Whittenberger, et. al., "Electrically Heated Metal Substrate Durability", SAE 910613.
  12. I. Gottberg, et. al., "New Potential Exhaust Gas Aftertreatment Technologies for 'Clean Car' Legislation", SAE 910840
  13. S.P. Wood, et. al.: "Clean Power-Latus 2.2 Lt Chargecooled Engine", SAE 900269.
  14. K. Sugihara, et. al., "Research and Development of Flexible Fuel Vehicles at Nissan", SAE 902159.
  15. R.L. Bechtold, et. al., "Ford Methanol FFV Performance/Emission Experience", SAE 902157.
  16. C.S. Weaver, "Natural Gas Vehicles-A Review of the State of the Arts", SAE 892133.