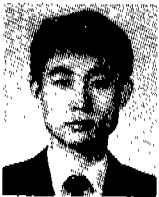


## 대체연료 자동차 개발 현황

### Development of Alternative Fuel Vehicle

오 승 준  
S. J. Oh



오 승 준  
· 1969년 10월생  
· 대우자동차 기술연구소  
기술기획실

#### 1. 서 론

근래 들어 석유 에너지에 대한 대체 에너지 개발을 위한 노력이 여러 분야에서 활발하게 이루어지고 있다. 이는 석유 자원의 고갈에 대한 대비라기보다는 전세계적으로 심각해져가고 있는 환경오염이라는 보다 더 심각한 문제에 대한 대처로서 인식되어져 가고 있다. 1992년 6월에 열린 지구환경 정상 회담 결과 자동차 배출가스규제 기준의 국제협약화가 예상되고 있으며 EC등은 이산화탄소 세금이라 불리우는 환경세 도입의 압박을 가해오고 있다. 특히 미국연방정부는 1970년에 발표한 Clean Air Act 법안의 내용을 대폭 개정한 수정법안을 발표하여 자동차 배기가스의 규제치를 강력하게 규정하였다. 이 수정법안은 전 미국지역에서 오존오염도가 가장 심한 캘리포니아주의 규제법에도 영향

을 미쳐 1990년 9월 캘리포니아주는 세계에서 가장 엄격한 규제안인 “저공해차와 청정연료 공급”에 관한 규제를 채택하기에 이르렀다. 이에 당사는 기존의 자동차연료인 가솔린이나 경유에 비해 유해 배기 물질을 현저히 줄일 수 있는 대체 에너지를 사용하는 자동차의 개발을 위해 많은 노력을 기울이고 있는데, 본 논문에서는 천연가스자동차와 전기자동차를 중심으로 당사의 개발현황을 소개하겠다.

#### 2. 천연가스 자동차(Natural Gas Vehicle)

현재 전세계적으로 운행되고 있는 천연가스 자동차는 약 100만대에 이르고 있다. 표 1에서와 같이 주요 보유국은 구소련, 이태리, 아르헨티나, 뉴질랜드 등인데 그 대부분을 Light Duty Vehicle(99.7%)이 차지한다. 현재 운행중인 NGV는 대부분 Aftermarket에서 제조되어 운행되고 있으며 배출가스 저감을 위해서라기 보다는 연료값이 저렴하기 때문에 이용되고 있는데 이러한 개조차량은 차량성능 및 배출가스 저감 측면에서 한계가 있다. 그러나 최근 들어서는 강화되는 배출

표 1 세계 NGV 보급 현황

COUNTRY	TOTAL NGVS	REFUELLING STATION	HEAVY DUTY NGV
ARGENTINA	250,000	380	140
AUSTRALIA	1,000	20	
AUSTRIA	10	2	
BANGLADESH	48	17	21
BRAZIL	3,330	7	305
CANADA	31,000	180+500VRA	65
CHINA	2,000	10	2,000
CIS	315,000	350	
COLOMBIA	1,000	12	
INDONESIA	500	5	
IRAN	800	1	
ITALY	250,000	265	
JAPAN	230	4+4 VRA	
MEXICO	1	1	
NETHERLANDS	430	17+95 VRA	20
NEWZEALAND	50,000	350	160
PAKISTAN	270	1	
SWEDEN	51	4	
SWITZERLAND	20	2+9 VRA	
THAILAND	130	3	11
TURKEY	200	1	200
UK	300	20+30 VRA	8
USA	30,000	700	100
TOTLA	936,320	2,989	3,030

가스 규제등으로 인하여 미국, 일본, 독일의 자동차 업체에서 NGV의 개발에 박차를 가하여 배출가스 저감 측면에서 상당히 우수하고 차량성능면에서도 가솔린 차량에 버금가는 NGV가 개발되고 있으며 양산체제를 갖춰가고 있다.

당사에서는 90년부터 천연가스의 풍부한 매장량 및 청정 연료로서의 특성을 이용해 천연가스 전용 차량 개발에 착수했으며, 그간 전용엔진 개발, 전용 촉매 개발, 전자제어에 의한 점화 시기, 연료 분사 시기 최적화를

통해 저공해 대체 연료 차량인 NGV I, II, III를 개발한 바 있다. 따라서 본 논문에서는 당사의 개발 경험을 바탕으로 CNG(Compressed Natural Gas) 엔진 및 천연가스 자동차 개발 현황에 대해 알아 보겠다.

## 2.1 CNG 엔진 개발

자동차 연료로서 천연가스는 가스상태이므로 가솔린에 비해 연료의 밀도가 상당히 떨어진다. 따라서 연료를 고압 가스통에 200bar 정도로 가압하여 저장하는데 이때문에 이를 CNG(Compressed Natural Gas, 압축천연가스)라 부른다.

일반적으로 천연가스 엔진의 경우 연료가 기체 상태로 흡기매니폴드에 분사됨으로써 가솔린에 비해 엔진으로 들어가는 공기의 유입량이 감소하여 엔진 성능 저하 현상이 나타난다. 또한 연료의 발열량을 고려할 경우 동일 압축비상에서 비교시 출력이 가솔린 엔진에 비해 10% 이상 떨어지게 된다. 따라서 가솔린에 비해 떨어지는 천연가스 엔진의 출력을 향상시킬 수 있는 방안은 천연가스의 연료 특성인 고옥탄가(ROK 120)을 이용하여 압축비를 높여 출력을 증가시키는 방법과 엔진으로 들어가는 공기의 증진효율을 증가시키는 방법으로 모아질 수 있다.

이를 위해 압축비를 9.7에서 12.2까지 변경시키며 이에 따른 엔진 성능 특성을 살펴 보았으며 증진효율 향상을 위해 흡기계를 변경하였다. 또한 밸브리프트와 열림기간이 서로 다른 여러종류의 캠축을 사용하여 캠 형상 변경이 CNG엔진 성능에 미치는 효과를 살펴 보았다.

### 2.1.1 압축비 변경 효과

압축비 변경을 위해 피스톤의 dish volume 을 변경하여 압축비를 9.7~12.2로 만들었으며 엔진 DYNO상에서 전부하 성능 시험을

실시하였다. 그 결과 압축비가 증가할수록 열효율이 높아져 성능이 향상되는 것을 알 수 있었다. 그러나 압축비를 너무 높이면 엔진에 무리가 되어 강도를 높이기 위한 재설계가 수반되어야 할 뿐만 아니라 배기가스 특성면에서도 불리해진다. 즉 압축비를 9.7에서 12.2로 높였을 경우 최대 출력은 약 7% 증가하나 이에 따른 연소 온도, 압력 상승으로 engine-out emission은 증가하게 된다. 특히 NOx의 증가폭이 상당히 커지며 HC의 배출량도 증가한다. 따라서 압축비 선정을 위해서는 엔진 성능과 배출 가스 사이의 적절한 조화가 필요하며 출력성능 및 배기성능 측면에서 유리해 압축비를 11.0으로 정했다.

### 2.1.2 밸브타이밍 변경 효과

압축비 변경 시험에서 결정된 결과를 바탕으로 압축비를 11.0으로 고정시키고 밸브리프트 및 열림기간이 다른 몇 종류의 캠축을 제작하여 전부하 성능 및 부분부하 상태에서의 배출가스 특성을 살펴보았다. 이 중에서 가장 성능이 우수한 캠축을 하나 선정했는데 이는 중고속 영역에서 월등한 출력 특성을 나타냈으며 NOx도 가장 적게 배출하는데 이

는 밸브 오버랩 증가로 인한 연소실내의 잔류가스의 증가가 internal EGR 효과를 가져온 것으로 파악된다. 그러나 이로 인한 연소 불안정으로 THC emission은 다소 증가하는 경향을 나타냈다.

### 2.1.3 흡기포트 및 매니폴드 변경

유도저항 감소를 위해 실린더헤드의 흡기포트 직경을 7% 증가시켰으며 이에 따라 유동저항은 6% 감소했다. 또한 흡기 포트 직경 확장에 따른 흡기매니폴드 직경 증대 및 tuning을 통하여 고속성능 향상을 이룰 수 있었다.

앞 절의 압축비 및 캠축 효과를 모두 고려하여 실험한 결과 같은 배기량의 가솔린 엔진과 비교하여 최대 토크는 가솔린 대비 95%, 최고 마력은 97%에 도달됨을 알 수 있었다.

### 2.1.4 CNG 엔진 내구 개발

개발 엔진에 대한 5만 마일 내구 시험 결과 엔진 성능 및 구조상의 결점은 발견되지 않았으나 일부 실린더의 밸브에서의 마모가 가솔린 엔진에 비해 큰 것으로 나타났다. 이는 연료가 가스상태이므로 가솔린에 비해 윤활 특성이 떨어지게 때문이다. 따라서 밸브

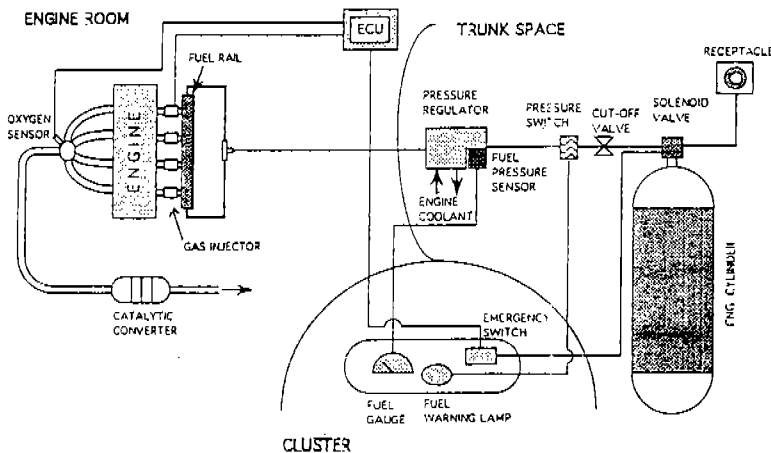


그림 1 NGV-III 연료 시스템

및 seat ring의 마모를 줄일수 있는 방안이 요구된다.

## 2.2 천연가스차량(NGV) 개발

### 2.2.1 NGV-III 연료 시스템

대우자동차의 NGV-III는 CIELO(AT 3 단) 차량을 기본으로 제작되었으며, 위에서 개발된 1.6L CNG엔진을 탑재하고 fuel system을 그림 1과 같이 변경하였다. 연료공급 체계를 살펴보면, 우선 recepticle을 통해 압축천연가스를 연료탱크에 저장한다. 저장 압력은 200bar이며 연료탱크는 무게를 줄이기 위해 복합재료를 이용하여 만든 것을 이용했다. 시동을 걸면 연료탱크의 solenoid valve가 열려 연료가 공급되고 pressure regulator를 거쳐 gas injector를 통해 엔진으로 분사된다. pressure regulator는 공급압력의 변동에 관계없이 연료를 항상 일정한 압력으로 강하하여 fuel rail로 공급하여 안정된 연료분사 제어가 이루어지도록 한다. 급격한 압력 강하로 인한 pressure regulator에서의 결빙현상을 없애기 위해 엔진 냉각수를 순환시킨다.

또한 정확한 점화시기 제어를 위해 Distributorless System을 채택하였으며 연료 분사량의 정밀제어와 injection 소음 감소를 위해 group injection 방식을 채택하였다. 그리고 안전성 측면에서 고압 line을 최소화하기 위해 pressure regulator를 연료탱크에 가깝게 위치시켰으며 트렁크 공간확보를 위해 종전의 50ℓ용기 2개 탑재에서 80ℓ용기 1개로 대체하여 트렁크 여유 공간을 확보했다. NGV-III 제원은 표 2와 같다.

### 2.2.2 CNG 전용 축매의 개발

CNG 차량에서 배출되는 THC(Total Hydrocarbon)중 연료 조성에 따라 차이는 있으나 통상 80%이상을 Methane 성분이 차지하고 있다. Methane은 탄화수소계중 빛

과 반응하여 오존을 형성하는 Photo Chemical Reactivity가 가장 낮아 캘리포니아 배출 가스 규제에서는 제외되고 있으나 CO<sub>2</sub>와 더불어 강력한 Green House Effect Gas로 분류되어 향후 규제가 예상되어 이에대한 저감 기술 개발이 NGV 개발에 있어 필수적이라 할 수 있다. 따라서 Methane 정화효율이 높

표 2 NGV-III SPECIFICATION

MODEL		CIELO AT3
ENGINE	TYPE	IN-LINE 4 CYL. MPI
	DISPLACEMENT	1,598cc
	BORE×STROKE	79mm×81.5mm
	CR	11
INJECTOR		BOSCH CNG INJECTOR
CATALYTIC CONVERTER		SPECIALLY FORMULATED C/C UNDERFLOOR ONLY
FUEL TANK	MATERIAL	ALL COMPOSITE
	WATER CAPACITY	80 ℓ
	OPERATING PRESSURE	250 bar

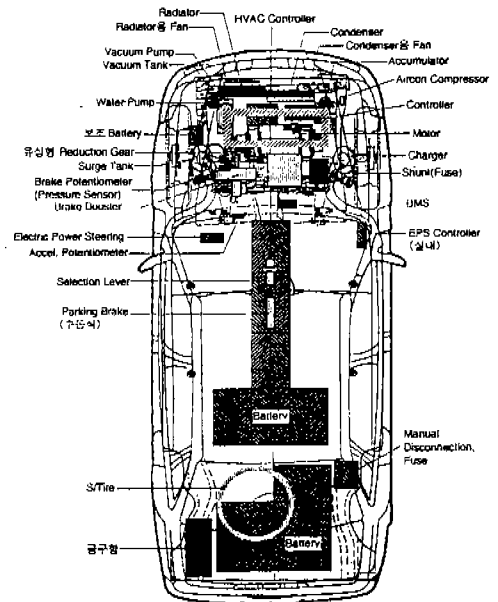


그림 2 DEV-4 시스템

으면서 동시에 NMHC, CO, NO<sub>x</sub>의 정화효율을 높일 수 있는 촉매 조성 및 그 형태를 선정하는 것이 필요하다. 반복 시험을 통하여 정화효율이 가장 높은 촉매 형태는 front brick은 백금 및 로듐 성분을 함유하고 rear brick은 팔라듐 성분을 갖는 촉매를 배치하는 것이며 그 조성 비율도 정화효율이 높은 사양을 선정했다.

### 2.2.3 배출가스 TEST 결과(g/km)

위에서 기술한 NGV-Ⅲ 차량에 CNG 전용 underfloor catalytic converter를 장착하고 FTP-75 emission test mode에 따라 배기시험한 결과는 표 3과 같다. 엔진 및 차량은 fresh 상태이나 converter 및 O<sub>2</sub> sensor는 rapid aging mode에 의해 80,000km aging된 상태이다.

결과를 보면 본 NGV는 특별한 장치의 추가없이 현재 가장 강력한 배기규제인 미국 CARB의 초저공해 배기규제(ULEV)를 만족하는 것을 알 수 있다.

## 3. 전기자동차

현재까지 국내에서 개발된 전기자동차중 차량으로써 운행이 가능한 것은 개조형 전기자동차이고, PURPOSE BUILT CAR 형태의 전기자동차는 전시목적의 차량으로서 개발되었을 뿐이며, 제품으로서의 완성도는 상당히 저조한 수준이다. 그리고 개조형 전기자동차는 기존의 내연기관 자동차의 차량을 그대로 이용하기 때문에 많은 양의 축전지 탑재에 따른 공간성 및 경량화 확보문제와 전후륜 각각의 무게 배분 문제, 모터와 제어 시스템 등 전기자동차 부품과 기존 차량시스템 사이의 특성 불균형으로 인하여 차량성능이 감소되고 승차감이 저하되며, 공간활용성 면에서 실용성이 떨어진다. 그러므로 고성능

표 3 NGV-Ⅲ 배기시험 결과

	NMHC	CO	NO <sub>x</sub>
ULEV 규제	0.028	1.05	0.12
측정치	0.024 (0.01)*	1.0	0.06
측정치/규제치	86% (36%)*	95%	50%

\* NMHC RAF (0.43)를 고려한 경우

의 전지 및 동력시스템, 고효율의 재생에너지 시스템, 공간성을 최대한 살린 새로운 개념의 차량설계와 경량구조의 차체 및 샤시를 갖춘 새로운 기술체계의 전기자동차 개발이 필요하다.

당사에서는 개조전기자동차 부문에서 93년 12월에 Lemans Van 차량을 본래 Van 차량의 용도를 그대로 살리면서 전기자동차로 개조하였고, 94년 11월에는 Espero 차량을 전기자동차로 개조완료 하였는데, 이차는 Trunk 공간을 원래 그대로 유지하였고, 승차가능인원 또한 5인승을 유지하면서도, 0~100km 가속성능이 13.2초로 일반 가솔린 차량과 동등 수준을 기록하였다. 그리고 금년 4월에는 씨에로 차량 10대를 전기자동차로 개조한 DEV-4를 개발하여, Fleet Test를 준비중에 있다. DEV-4의 최고속도는 120km/h이고, 일 충전 주행거리는 40km 정속주행시 300km까지 주행가능하다.

DEV 4의 시스템은 그림 2와 같고, 주요 장치를 살펴보면 다음과 같다.

### 3.1 BODY

CIELO를 기본으로 하여 배터리 장착을 위해 좌우 앞좌석 중앙의 console부위와 뒷좌석 언더바디 부분, 스페어 타이어 장착부위를 개조하였다.

## 3.2 POWER TRAIN

### 3.2.1 MOTOR

가속성능 15sec(0→100km/h)를 만족시키기 위해 모터는 최고출력 60kw, 최대 토오크 160Nm 정도의 성능을 발휘한다.

### 3.2.2 DC-DC Converter

충전을 위해 DC 264V를 DC 13.5V로 변환하여 공급하고 최대용량은 최대 100A이다.

### 3.2.3 Charger

12V의 Lead-Acid 배터리 22개가 직렬로 연결된 Nominal Voltage 264V의 배터리 팩을 충전하기 위해 On Board Type로 적용된다. 성능은 용량 3kw 입력전력 AC 220V, 충전시간 6기간이며 차량외부에 급속충전기를 위한 PORT를 장착, 충전시간을 2시간 이내로 단축시켰다.

### 3.2.4 Reduction Gear

모터의 회전수는 기존 엔진의 회전수 보다 매우 크기 때문에 모터의 회전수를 감소시켜주는 별도의 Reduction Gear를 제작하였다.

### 3.2.5 냉각방식

수냉식(water cooling system)을 채택하였다.

## 3.3 축전지

현재 전기자동차 보급에 가장 큰 장애요인은 일충전 주행거리, 충전시간 등 축전지의 성능 한계에서 비롯된 것이며 이에 따라 축전지의 고성능화에 많은 투자가 이루어지고 있다.

전기자동차용 축전지는

- 약 15~32개의 축전지를 탑재해야 하므로 가볍고 부피가 작아야 한다.
- 일충전 주행거리를 길게하기 위한 큰 에너지밀도를 필요로 한다.
- 가속 및 등판성능을 좋게 하기 위한 큰

출력 밀도를 필요로 한다.

- 교환에 따른 재정적인 부담을 줄이기 위해 수명이 길고 저가여야 한다.
- 가스발생이나 감전, 화재, 폭발의 위험이 없고 유지보수가 쉬워야 한다.

이와 같은 성능을 가져야 하는 축전지에 대하여 현재로서는 납축전지, Ni/Cd, Ni/MH, Na/S, Li 2차전지등이 개발되고 있으며, 당사의 DEV 4에서는 차량 제작목적이 FLEET TEST임을 고려하여, 가격이 비싼 Ni/MH 대신 성능이 안정적이고 가격이 1/3 정도 저렴한 미국 Delphi사의 납축전지를 사용하였다.

## 3.4 브레이크 시스템

전기자동차에는 엔진이 없기 때문에 기존의 브레이크 시스템을 활용하기 위해서는 진공펌프를 장착하였으며, 진공펌프 장착으로 발생하는 기본적인 소음과 진동은 Damping Block과 소음차단재를 사용하여 억제시켰다. Regenerative Braking System을 장착, 주행시에는 배터리의 전력이 소비되지만 제동시에는 모터가 발전기 역할을 제어했다.

## 4. 결론 및 향후 개발 목표

CNG 엔진 및 NGV의 개발은 대체연료 차량 개발에 있어서 꼭 필요한것으로써, 현재 각국의 정책 등으로 미루어보아 향후 NGV시장은 1990년대 후반부터 급격히 팽창할 것이며, 따라서 이들 시장의 효과적인 공략을 위한 NGV 자동차 개발이 필요하다. 해석 및 시험을 통해 CNG엔진의 출력 한계는 가솔린 대비 96% 정도로 판단되나, 이 정도의 출력 손실은 NGV의 주 사용 용도로 미루어 보아 문제가 되지 않는다. 따라서 출력 상승을 위해 부가의 장치를 장착하는 경우 가격 경쟁력을 지나치게 상실하는 결과를

초래하고 또한 이들 장치의 내구 성능상 향후 요구되는 법규 만족이 어려울 것이라고 생각되므로 CNG엔진 개발의 초점도 엔진 설계의 최적화에 맞추어서 이루어져야 하며 모체가 되는 가솔린 엔진과 동일 생산 LINE에서 생산이 가능하도록 설계되어야 한다.

또한 전기자동차의 경우, 도입기에는 가솔린 차량과의 경쟁 뿐만 아니라 Hybrid 전기자동차와 같은 유사 차량간의 경쟁때문에 시장 성장 속도가 매우 불확실할 것으로 판단되며 이로 인하여 전기자동차 만의 고유모델을 개발하는 것은 큰 위험부담을 가질 것이다. 이러한 위험 부담을 줄이며 전기자동차 시장 확대에 적절히 대응할 수 있는 방안 중의 하나는 동일 Platform의 차량에 전개 MOTOR 구동계, Hybrid 구동계, 심지어는 내연기관 구동계를 모두 장착할 수 있는 차

량을 개발하는 것이다. 이러한 차량은 이미 생산되고 있는 내연기관 차량을 개조하는 것으로는 개발이 불가능하고 개념 설계의 단계에서 기존의 내연기관 차량과는 다른 개념으로 설계되어야 할 것으로 보인다.

### 참 고 문 헌

1. CNG차 보급 활성화 Workshop, 환경부, 1995.
2. 압축천연가스를 사용하는 고효율 엔진의 설계 기술 개발에 관한 연구, 상공자원부, 1994.
3. 전기자동차 실용화 계획, 자동차부품연구원, 1995.
4. 자동차 환경 기술, 한국자동차공업협회, 1994.