

## 천연가스기관 기술개발동향

### A Review on Natural Gas Engine

이 장 회  
J. H. Lee



이 장 회  
· 1956년 4월생  
· 정회원  
· 한국기계연구원  
동력시스템연구부

본 소고에서는 국내외적으로 현재까지 진행된 천연가스자동차 기술에 대해 각 시스템별로 기술적인 특징을 분석 정리하여 천연가스 자동차의 기술개발 방향을 제시하고 한국기계연구원에서 수행한 내용에 대하여 간단히 소개하고자 한다.

#### 1. 머리말

1930년대에 이탈리아에서 개발되기 시작한 천연가스 자동차(NGV)는 1970년대에 몇차례의 석유위기를 겪으면서 석유 에너지의 대체연료로 뉴질랜드등에서 본격적으로 연구가 시작되었고, 1990년대에 와서는 천연가스의 저공해성에 착안한 세계각국에서 경쟁적으로 개발이 급속히 진행되고 있으며 그 결과 전세계적으로 22개국에 걸쳐서 약100만대이상의 차량이 개조되어 운행중인 것으로 알려져 있다. 특히 최근에 와서는 급속한 차량의 증가로 인하여 자동차 배출오염물질이 급격히 증가, 대도시 대기 오염의 주된 원인으로 등장함에 따라 이에 대한 해결책의 하나로 부각된 천연가스 자동차에 대한 심도 있는 연구가 진행되고 있다.

#### 2. 천연 가스의 연료적 특징

천연가스는 상온에서 기체인 탄화수소계 연료로서 전세계 매장량은 120조 $m^3$ 로 추정되고 있으며, 그 성분은 산지별로 조금씩 다르나 주성분이 메탄( $CH_4$ )으로 구성되어 있어 천연가스의 연료적 특성은 메탄의 연료적 특성에 의해 좌우된다. 따라서 탄소 성분이 작아  $CO_2$ 등에 의한 지구온난화 방지책의 하나로도 사용될 수 있는 대표적인 대체 연료 중 하나로서 그 물성치는 표 1과 같다<sup>(3)</sup>

일반적으로 천연가스의 비중은 공기보다 낮아 대기로의 확산이 쉽고, 자발화 온도가 높아 차량 충돌시의 안전성은 LPG나 가솔린에 비해 비교적 높은 것으로 평가되고 있으며<sup>(4)</sup>, 연소 범위가 넓어 회박연소가 가능하다. 가솔린에 비해 자발화 온도가 높아 높은

표 1 연료별 물성치 비교<sup>3)</sup>

구분	메탄	천연가스	프로판	휘발유	경유	수소	메탄올	에탄올
분자식	CH <sub>4</sub>	주로CH <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>17</sub>	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	H <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
액 비중 (g/cm 비중점, 대기압)	0.423	0.423	0.5076	0.702	0.876	0.071	0.79	0.79
공기에 대한 비중 (g/l, 16°C, 760mmhg)	0.552	0.61	1.52	—	—	0.0695	—	—
정압비열 (15~30°C)	0.526	0.526	0.388	0.400	0.400	0.345	—	—
고발열량(kcal/kg)	13251	13384	12021	11362	10685	33900	5420	7095
저발열량(kcal/kg)	11929	12107	11060	10563	10135	28662	4765	6414
비중점(°C, 대기압)	-161.5	-161.5	-41.04	—	—	-252.8	64.6	78.5
이른 연료 공기 혼합비	체적기준	9.52	10.53	23.87	—	—	2.39	—
	질량기준	17.21	12.24	15.67	14.93	15.01	34.25	6.45
연소 한계	상한(%)	15	15	9.5	4.7	—	74.2	36
	하한(%)	5	5	2.2	1.5	—	4.1	6.7
폭발위험도*	2	2	3.3	2.1	—	17.15	4.4	3.4
연소온도(°C)	1957	1918	1980	1500-1700	—	—	—	—
연소속도(m/s)	0.67	0.67	0.81	0.83	—	4.85	1.14	—
최저자발화온도(°C)	481	481	481	210-300	340	580	470	420
옥탄가 [(RON+MON)/2]	120	120	105	87	—	—	99	98

주) 폭발위험도\*=(연소상한-연소하한)/연소하한

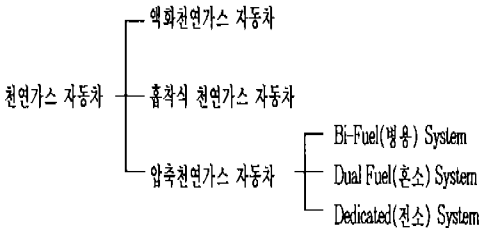
표 2 압축천연가스 차량의 시스템 비교(○:유리 △:중간 ×:불리)

엔진 시스템		비용	배기감소 효과	기술적 난이도	비고	
가솔린 (LD)	신규 차량	Dedicated	○	○	△	• CNG 연료공급망 완비시 가능 • 초기보급에 유리
		Bi-Fuel	△	△	○	• 가솔린 모드/CNG모드 전환가능 • CNG모드에서 출력 감소
	사용차	Bi-Fuel	△	△	○	• 위와 동일함
디젤 (LD, HD)	신규 차량	Dedicated	○	○	△	• CNG 연료공급망 완비시 가능 • 초기보급에 유리
		Dual Fuel	×	△	○	• 제작사에서도 기존 디젤엔진 이용하여 개발
	사용차	Dual Fuel	△	△	○	• 초기보급에 유리 • 가격이나 기술적 측면에서 훨씬 유리하나 CNG 사용비율이 적으면 사업 의미가 감소

점화 에너지를 필요로 하며, 연소 속도가 느리므로 점화시기를 진각시키거나 급속연소방식이 채택되어야 한다. 뿐만 아니라 단위 질량당 발열량은 높으나 단위 체적당 에너지 밀도가 낮아 연료통의 부피와 무게가 증가하는 단점이 있으나 기체 연료 사용에 의한 연료 계통에 잔유물이 형성되지 않아 엔진의 내구성이 향상되는 장점과 냉시동성의 개선에 의한 배기가스 저감, 높은 옥탄가에 의해 압축비 상승이 가능하므로 출력의 향상을 꾀할 수 있다.

### 3. 천연가스 차량의 종류

천연가스 자동차는 연료 탑재 방식에 따라 압축천연가스(CNG) 자동차, 액화 천연가스(LNG) 자동차 및 활성탄을 이용한 흡착식 천연가스(ANG) 자동차로 분류된다.<sup>5)</sup>



액화 천연가스 자동차는  $-162^{\circ}\text{C}$ 로 냉각 액화한 천연가스(LNG)를 극저온 단열용기에 저장하여 연료로 사용하는 방식으로 LNG를 기화기(Vaporizer)에서 기화하여 Mixer나 흡기매니폴드 분사하여 연료로 공급하는 방식과 LNG를 액상 그대로 실린더내로 직접 분사하여 실린더내의 점화플러그에 의해 점화시키는 방식이 있다. 액화 천연가스(LNG) 자동차는 압축 천연가스(CNG) 자동차에 비해 주행거리가 길다는 장점이 있으나 LNG 단열 용기의 개발, LNG 충전 기술 개발등이 선행되어야 하므로 실용화에는 상당한 시일

이 소요될 것으로 보인다.

흡착식 천연가스(ANG) 자동차는 활성탄 등의 흡착체에 천연가스를  $30\sim 60\text{kg}/\text{cm}^3$ 로 가압하여 저장하는 방식으로서 충전 압축기 등 충전 시설비용 절감이 가능하나 흡착체의 비용이 고가이고 저장효율이 낮아 현재의 기술 수준으로는 실용화에는 많은 문제점이 있다.

따라서 대부분의 천연가스 차량에 관한 연구는 압축 천연가스 차량에 초점이 맞추어져 있으며, 압축 천연가스 자동차는 Conversion 하는 대상차에 따라 신차에 대한 OEM방식과 기존 엔진의 개조 방식으로 구별되고 표2에 그 장단점을 정리하였다. CNG공급망이 완비된 지역에서는 OEM에 의한 전소(Dedicated) 방식이 배기가스측면이나 경제성면에서 이상적이거나, 천연가스 차량의 보급확산을 위해서는 CNG공급망이 미비된 지역에서도 사용가능한 천연가스 겸용시스템(Bi-fuel 혹은 Dual-fuel)이 현실적으로 널리 사용되고 있다. 그러나 최근에 와서는 CNG공급망의 확충에 따라 대기오염 개선효과가 전 큰 전소 방식이 본격적으로 보급되고 있다.

#### 3.1 Bi-Fuel System

Bi-Fuel System은 그림1과 같이 기존의 가솔린 엔진에 Mixer 또는 가스 인젝터, 압력조정기등 전환키트와 압축천연가스 저장용기등 천연가스 연료 공급장치를 추가 설치하여, 필요에 따라 가솔린 또는 천연가스로 운행이 가능한 시스템으로서 기존 엔진에 대한 개조가 불필요하여 기존 차량에 대한 Retrofit이 쉬운 장점이 있어 현재 사용중인 천연가스 자동차의 대부분이 이 시스템을 채택하고 있다. 단점으로는 CNG모드에서 출력이 약  $10\sim 20\%$ 정도 감소하며, 압축용기 탑재 등에 의한 차량의 적재 공간 감소와 차량의 무게가 증가하게 되며, CNG 전소시스템

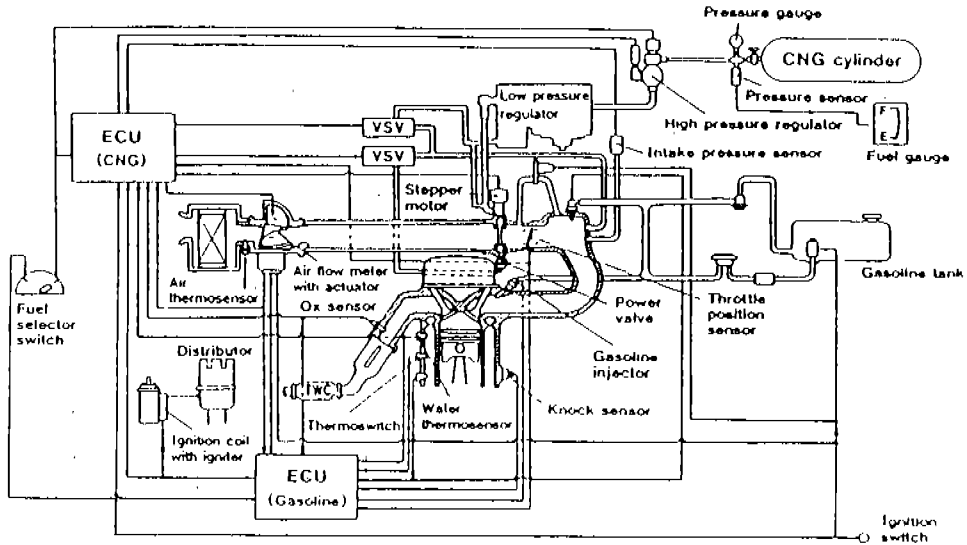
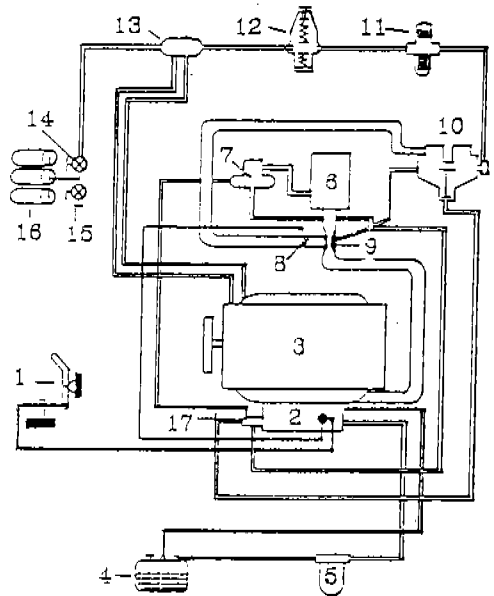


그림 1 Bi-Fuel 시스템 구성도(Toyota)<sup>7)</sup>

에 비해 배기 저감효과가 적고, 초기 설치비가 증가한다. 뿐만아니라 운전자가 기술련만 사용하기가 쉬워 실제 CNG사용에 의한 대기오염 저감효과를 극대화하기 위해서는 별도의 유인정책이 요구된다.

### 3.2 Dual Fuel System

Dual Fuel System은 그림 2와 같이 기존의 디젤엔진에 천연가스 연료 공급장치를 추가 설치하여, 필요에 따라 경유 또는 경유 + 천연가스(혼소 모드)로 운행이 가능한 시스템으로서, 혼소 모드에서는 흡기매니폴드에서 Mixer나 가스 인젝터로 연료를 공급, 혼합기를 형성하여 실린더 내로 흡입하고 압축 말기에 고압의 경유를 Pilot Injection하여 경유의 압축 착화에 의해 점화가 일어나도록 하고 있다. 장점으로는 기존 엔진의 개조가 적으며 기존 차량에 대한 Retrofit이 쉬운 뿐만아니라 출력 저하도 없다. 단점으로는 Bi-Fuel System과 마찬가지로 부가적인 천연가스 공급장치가 설치되므로 차량의 적재공간 감소와 무게 증가, 초기 설치비의 증가등이



- |                  |                   |
|------------------|-------------------|
| 1. 가속 페달         | 2. dual fuel 분사펌프 |
| 3. 디젤 엔진         | 4. 디젤 연료탱크        |
| 5. 디젤연료 필터       | 6. 공기청정기          |
| 7. 가스량 미세 조정 밸브  | 8. 가스 스톱 밸브       |
| 9. 가스믹서          | 10. 2단 가스압력 조절기   |
| 11. 솔레노이드밸브 및 필터 | 12. 고압 압력 조절기     |
| 13. 프리 히터        | 14. 가스 ON/OFF 밸브  |
| 15. 가스충전 밸브      | 16. CNG 실린더       |
| 17. 가스조절 밸브      |                   |

그림 2 Dual Fuel 시스템 구성도(KIMM)<sup>2)</sup>

있으며, 혼소 모드에서는 두 가지 연료를 동시에 제어해야 하는 등 시스템이 복잡해진다. 배기 가스측면에서는 기존의 디젤 차량에 비해 매연 및 NOx의 배기 저감효과는 상당하나 HC 및 CO는 기존의 경유차보다 일부 증가하는 경향이 있으며, 전반적으로 CNG 전소시스템에 비해 배기 저감효과가 적다.

### 3.3 CNG 전소(Dedicated) 시스템

CNG 전소 시스템은 기존의 가솔린 엔진의 연료 계통을 완전히 제거하고 압축비를 증가시켜 연소를 최적화 하는 방법과 기존의 디젤 엔진의 연료 분사계를 제거하고 분사노즐 설치부위에 점화플러그를 설치하여 오토사이클화하는 방법이 있으며, 연료 공급방

식에 따라 Mixer, 흡기매니폴드 분사, 실린더내 직접분사등이 있으나 Mixer에 의한 연료공급방식은 다량의 연료공급이 가능하여 HD(Heavy Duty)엔진에 사용되고 있지만 공연비의 정밀제어가 어려워 배기 가스측면에서 불리하여 점차로 사라져 가는 추세이다. 그림 3에 나타나 있는 실린더내 직접 분사방식은 공기 이용률을 극대화 할 수 있고 예혼합 연소가 아닌 확산연소가 가능하므로 예혼합 연소시에 필연적으로 발생하는 Crevice volume과 Wall quenching에 의한 HC과 CO의 증가를 억제할 수 있을것으로 기대되나 아직 실용화에는 미흡한 점이 있다. 따라서 흡기매니폴드 분사가 주로 사용되고 있으며, MPI(Multi-Point Injection)가 SPI(Sin-

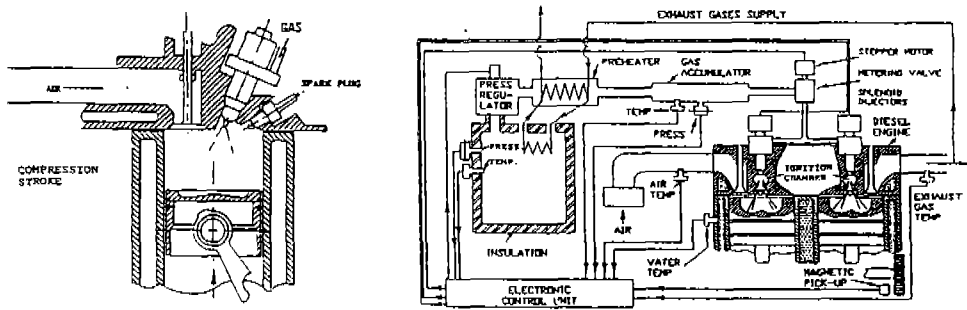


그림 3 실린더내 직접분사 개념도<sup>9),10)</sup>

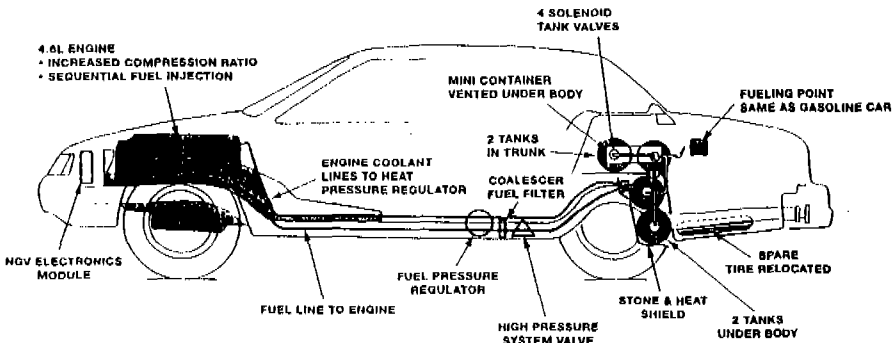


그림 4 MPI식 전소 차량 구조<sup>19)</sup>

gle Point Injection)에 비해 성능이 우수하지만 경우에 따라서는 SPI가 MPI보다 배기가스측면에서 유리한 결과가 보고되기도 한다.<sup>18)</sup>

그림 4는 MPI 방식의 천연가스차량 구조도이다.

#### 4. 천연 가스 엔진의 배기 가스 저감기술

현재 사용중인 천연 가스 엔진의 배기 가스 저감기술은 희박 연소(Lean Burn)방식과 이론 공기량 연소(Stoichiometric Combustion)로 나뉘어 지며, 일반적인 천연 가스 엔진의 공연비 변화별 배기가스농도의 변화는 그림 5와 같다.

##### 4.1 희박 연소

희박 연소방식의 개념은 그림 5에 나타난 바와 같이 희박 영역에서 연소시킴으로써 NOx를 줄이고 산화 촉매(Oxidising Catalyst)를 사용하여 희박 영역에서 증가하는 CO와 HC을 산화시켜 배기가스를 저감시키는 기술이다. 희박 연소의 경우 실화(Misfire)가 발생하기 쉽고 연소속도가 느려 완전 연소가 어렵다. 따라서 이의 해결을 위해 그림 6의 Nebula 연소실같은 급속회박 연소실을 사용하고, 점화 장치를 개선하는등 보완이 요구된다. 그림 7은 그림 6의 여러 가지 연소실에 대해서 공연비별 배기가스성분의 변화를 나타낸 것으로서 희박 영역으로 갈수록 NOx는 감소하고 HC은 증가하고 있으며, 실화 한계(Misfire Limit)는 연소실 형상에 따라  $\lambda=1.7\sim1.9$ 로 나타나고 있다.

##### 4.2 이론 공기량 연소

이론 공기량 연소( $\lambda=1$ )는 연료의 완전 연소에 필요한 공기를 공급하면서 엔진을 운전하는 것으로서 그림 7에서 나타난 바와 같

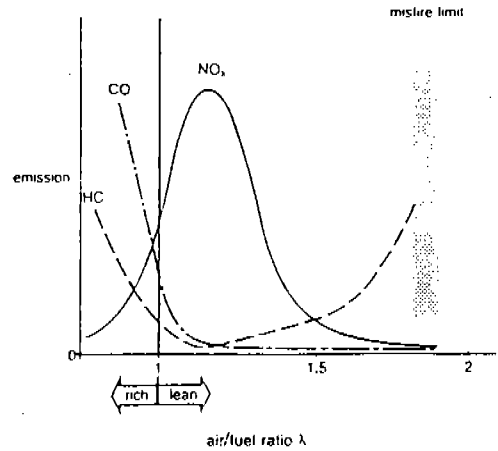


그림 5 공연비별 배기가스 농도 변화<sup>15)</sup>

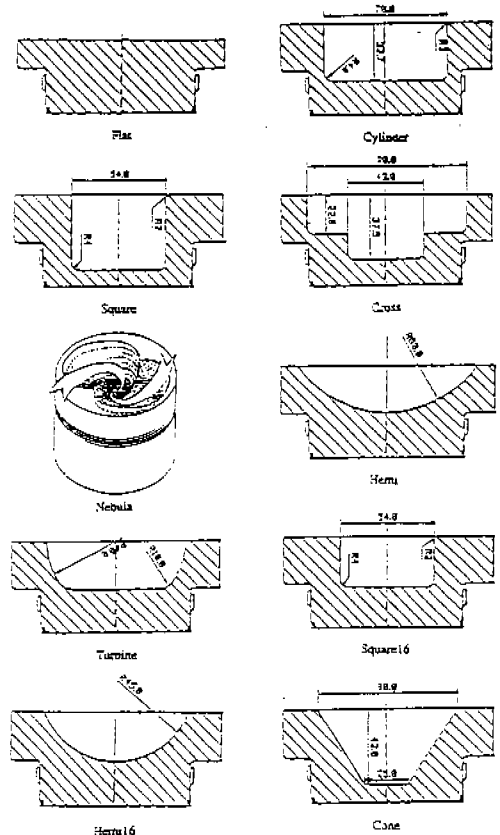


그림 6 CNG 엔진의 여러 가지 연소실 형상<sup>12), 13)</sup>

이  $\lambda=1$ 에서 전체적으로 배기가스 배출량이 큰 경향이 있다. 이 배기가스를 삼원 촉매 (Three-Way Catalyst)를 사용하여 산화 또는 환원반응을 일으켜 배기가스를 저감하는 기술이며, 이와 병행하여 배기 가스 재순환 장치(EGR)를 사용하여 연소실내 연소 온도를 낮추어  $\text{NO}_x$ 의 발생을 억제하기도 한다. 그림 8은 그림 6의 여러 가지 연소실에 대해서 EGR량에 따른 배기가스의 변화를 나타낸 것으로서 EGR량의 증가에 따라  $\text{NO}_x$ 가

감소하고 있으며 HC양은 증가하고 있다. 그림 9는 삼원 촉매의 전환 효율을 나타낸 것으로서 삼원 촉매의 작동 범위가  $\lambda=1$  주위의 좁은 영역에서만 효율적으로 작동한다. 따라서 회박 연소방식에서는 삼원 촉매의 사용이 제한되고 있으며, 이론 공기량 연소방식에서는 삼원촉매장치의 사용이 필수적이다.

가솔린 엔진용 삼원촉매장치를 그대로 사용할 경우 가솔린과 CNG의 이론 당량비에

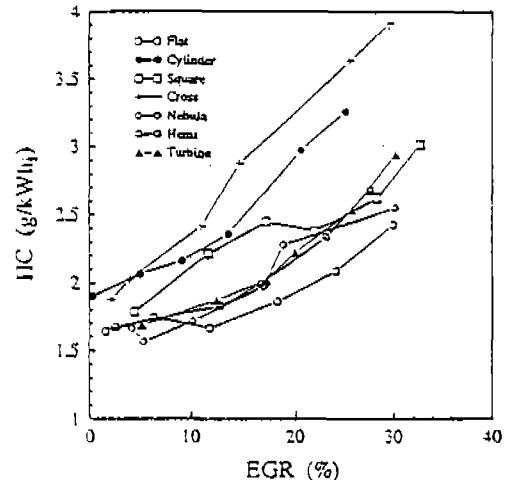
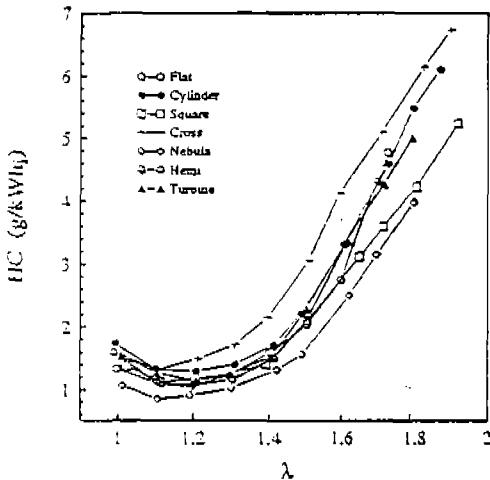
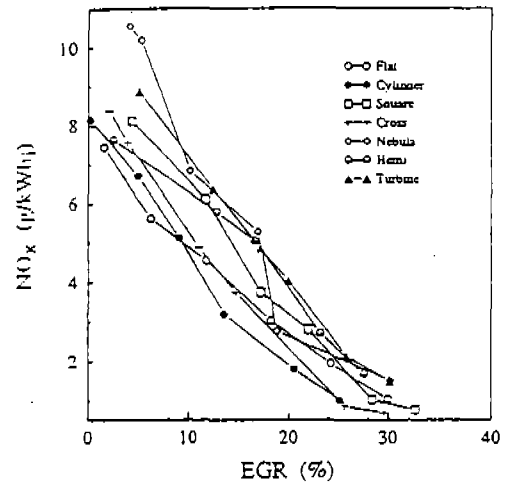
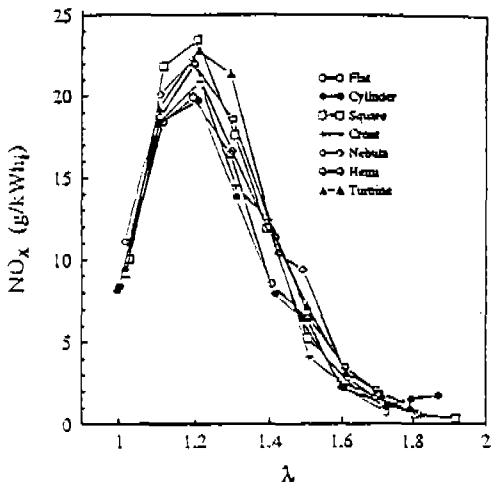


그림 7 연소실 형상에 따른 공연비별 배기가스 농도 변화(MBT)<sup>13)</sup>

그림 8 연소실 형상에 따른 EGR량 변화별 배기가스농도 변화(MBT)<sup>13)</sup>

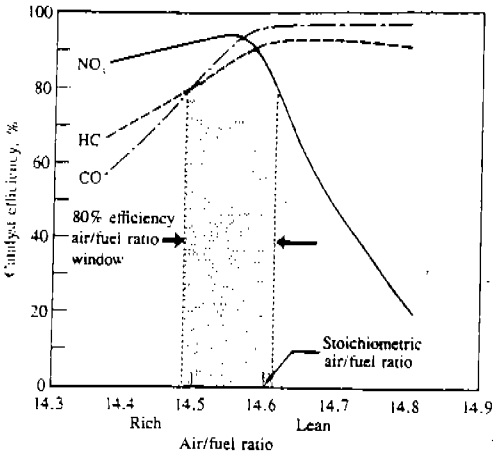


그림 9 공연비별 삼원 촉매장치의 전환효율<sup>8)</sup>

약간의 차이가 있어 효율면에서 불리하여 현재 CNG전용 삼원촉매장치 개발 연구가 활발하게 진행되고 있다. 일반적으로 압축천연가스 차량에서는 희박연소 방식보다 이론 공기량 연소가 배기가스측면에서 유리하나, EGR사용에 따라 이론 공기량 연소가 출력면에서는 불리하다.<sup>13)</sup>

### 5. 한국기계연구원(KIMM)의 천연가스 차량 개발

대체 연료로서의 천연가스의 저공해성과 CNG공급망이 불충분한 국내 실정을 고려하여 기계연구원에서는 1994년에 기아자동차, 창원기화기와 공동으로 러시아의 기계식 Dual Fuel시스템 기술을 도입하여 기아 2.5톤 청소차를 개발하였으며, 실용화와 성능보완을 위하여 뉴질랜드 시스템을 도입한 전자식 Dual Fuel시스템을 개발 완료하였다. 그리고 금년에는 기아의 스포티지 차량을 Bi-Fuel 시스템으로 개조하는 작업을 기아자동차의 협조로 수행중에 있으며, 이어서 승용차의 전소시스템에 대해서도 연구를 수행할 예정이다. 이 외에도 G7환경과제로 대우중공업에서 주

관하여 수행중인 시내버스용 전소 엔진개발과제의 위탁 과제로 연소 가시화용 단기통엔진을 개발중이다. 본 소고에서는 이미 개발 완료된 Dual Fuel시스템에 대해서 간단히 소개하고자 한다.

#### 5.1 Dual Fuel 시스템 구조

기계연구원에서 개조한 Dual Fuel 시스템의 구조는 러시아 NAMI의 GD(Gas Diesel) 시스템으로서 그림 2와 같이 천연가스 연료공급장치와 디젤연료량 조절장치로 구성되어 있으며, 천연가스 연료공급장치는 고압의 가스실린더, 1차 고압가스조절기, 가열장치(Pre-Heater), 솔레노이드 밸브, 2차 가스압력조절기, 가스 Mixer 등의 부품으로 구성되어 가스실린더에 저장되어 있는 고압의 가스를 대기압 정도로 감압하여 연소실에 공급하는 역할을 한다.

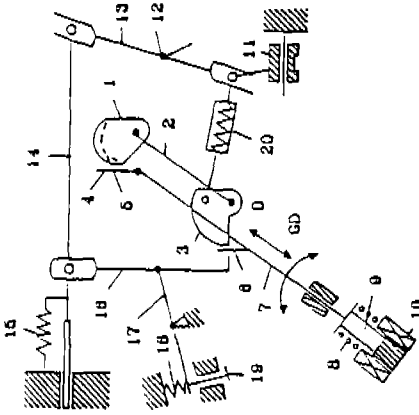
가스 Mixer에 감압된 가스를 공급해 주는 2차 가스압력조절기는 가스 부족으로 인한 엔진 출력 감소를 방지하기 위하여 2차 가스압력조절기의 1차실에 가스압력스위치를 부착하여 Dual Fuel 모드시 운전중에 1차실 가스압력이 2.7bar이하가 되면 디젤 모드로 자동 전환되도록 하였다.

디젤 연료량 조절장치는 기존의 디젤분사 펌프 내부를 개조하여 Dual Fuel 모드시에는 그림 10과 같이 토크캠과 랙(Rack) 사이에 설치한 부차물에 의해 랙의 최대 이동량을 조절함으로써 디젤의 유량이 감소되도록 하였다. 또 Dual Fuel모드에서 배출가스중 CO를 저감하기 위하여 일산화탄소용 산화촉매를 사용하였다.

#### 5.2 성능 시험 및 결과

엔진 성능 시험은 동력계상에서 행하였으며, 배기가스분석계와 보쉬형 스모크 미터를 사용하여 배기가스를 측정하였다. 성능 시험





- |                     |                                   |
|---------------------|-----------------------------------|
| 1. additional cam   | 11. additional sleeve             |
| 2. axle             | 12. intermediate main lever       |
| 3. corrector cam    | 13. rack lever                    |
| 4. lever            | 14. control rack                  |
| 5. adjusting screw  | 15. spring                        |
| 6. banner           | 16. corrector lever               |
| 7. cam axle         | 17. additional corrector lever    |
| 8. spring           | 18. corrector spring              |
| 9. solenoid plunger | 19. adjusting screw for corrector |
| 10. solenoid        | 20. corrector traction            |

그림 10 Dual Fuel 엔진의 연료 조절 장치<sup>2)</sup>

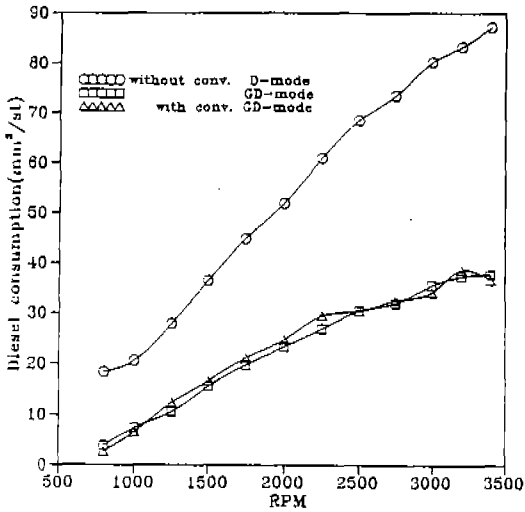


그림 11 MBT에서 회전수별 가스 디젤 혼합 비율<sup>2)</sup>

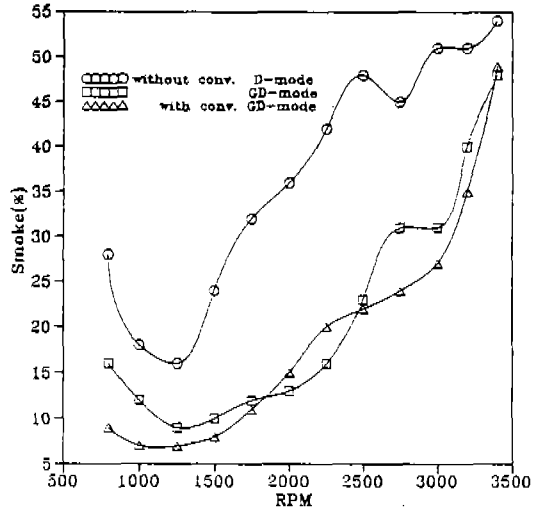


그림 12 MBT에서 회전수별 스모크 변화<sup>2)</sup>

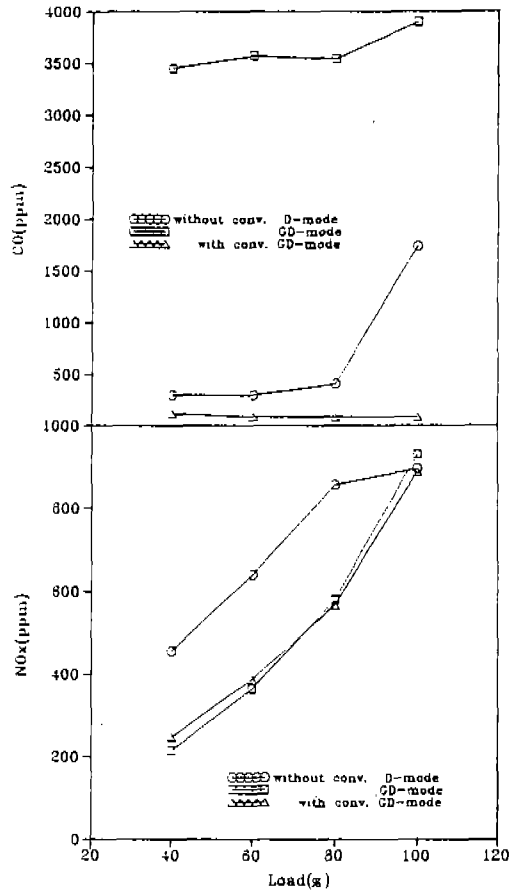


그림 13 부하별 배기가스 특성 (rpm=2700)<sup>2)</sup>

조건은 800rpm에서 3400rpm까지 전부하 상태에서 가스 디젤의 혼합비율과 스모크를 측정하였으며 그 결과 Dual Fuel모드에서 가스혼합비율이 55~78%이었으며, 중·저회전수에서 스모크는 50%이하로 감소하였다. 또 1400, 2200, 2700rpm에서 부하별로 성능시험한 결과는 Dual Fuel모드에서 CO는 급격히 증가하였으나 산화촉매를 사용한 결과 디젤 모드의 경우보다도 더 낮은 값을 나타내었다. 또 NOx량은 100%부하를 제외하고는 전반적으로 낮게 나타났다.

주행성능시험은 고속도로 및 도심지 도로에서의 실용주행성 시험과 전용시험로에서 정지연비성능, 발진가속성능, 추월가속성능, 각단최고속도, 등판 주행성시험 등을 행하였다. 정지연비성능은 주행시의 가스소비량을 측정불가능하여 디젤소비량으로 계산하였으며, Dual Fuel모드시의 디젤소비량은 디젤모드시의 약 20%정도로 나타났으며, 발진가속성능, 추월가속성능, 각단최고속도, 등판 주행성시험 등의 시험 결과는 전반적으로 Dual Fuel모드가 디젤모드에 비해서 성능이 우수함을 알 수 있었다.

그러나 CNG 사용비율이 예상보다 적고 일부 운전영역에서 CO, 매연증가, 공연비 조절의 정밀도 부족등이 발견되어 기계식 방식에서 전자제어식 방식으로 개조하여 지속적인 연구를 진행중에 있다.

## 6. 결 론

도심의 대기오염이 심화됨에 따라 비교적 저공해 차량인 천연가스차량이 널리 보급될 전망이다.

현재 국내의 빈약한 CNG 보급망과 기존 차량의 대기 오염문제를 단기적으로 해결하기 위해서는 천연가스 겸용(Bi-fuel 또는 Dual Fuel)엔진의 사용이 바람직하나, 장기

적으로는 대기오염개선효과를 극대화하기 위해서 전소엔진의 개발보급이 요구된다.

연료공급방식은 천연가스 공급량의 문제로 인하여 기계식 Mixer가 선호되던 HD엔진에서 조차도 공연비 제어가 어려운 기계식 Mixer에서 전자 제어식 가스 인젝터방식으로 전환되어 가는 추세이며, 이른 공기량 연소방식이 배기가스측면에서는 회박연소방식보다 유리하여 LD엔진에서는 많이 사용되고 있으나, 출력이 중요시되는 HD엔진에서는 회박연소방식이 선호되고 있다.

현재의 천연가스엔진에서는 매니폴드에서 분사하여 혼합기가 엔진으로 유입되는 예혼합연소가 대부분이나, 실린더내 직접분사기술이 실용화된다면 확산연소에 의한 새로운 연소시스템에 대한 기술개발이 요구된다.

대도시 대기오염문제해결을 위한 하나의 방안으로서 국내에서도 하루빨리 천연가스 충전시설등 공급망이 구축되어 천연가스 차량이 운행되기를 바라마지 않는다.

## 참고문헌

1. 환경부, "자동차공해저감을 위한 CNG차 보급활성화 Workshop", 1995. 12.
2. 정동수 외, "CNG/LPG 겸용 Fuel Injection 장치 개발에 관한 연구, KIMM 보고서, 1992
3. 정동수 외, "천연가스 겸용엔진 연료공급 장치개발(Ⅲ), KIMM 보고서, 1994
4. 박 선 외, "CNG차량 개발 연구", 에너지기술연구소 보고서, 1989
5. 김관진, "천연가스 자동차의 개발동향", 아세아기보
6. 金榮吉, "天然ガス自動車", 自動車研究 第13卷 11號, 1991
7. 日本ガス協會, "천연가스 자동차의 實用化に向けて", 天然ガス 자동차의 實用

- 化 調査 報告書, 1992
8. J. B. Heywood, Internal Combustion Engine, McGraw-Hill, New York, 1988
  9. D. Miele, T. Krepec and t. Glannacopoulos, "Electronic Injection System for Natural Gas in a Diesel Engine Development and Testing" SAE 890852, 1989
  10. T. Krepec, H. Kekedjian, M. Tummala and M. Pharand, "Towards Direct Gas Injection in NGV's", EV01, NGV94 Conference Proceeding, 1994
  11. M. G. Kingston Jones and D. M. Heaton, "Nebula Combustion System for Lean Burn Spark Ignited Gas Engines", SAE 890211, 1989
  12. B. Johansson and K. Olsson, "Combustion Chamber for Natural Gas Engines Part 1 : Fluid Flow and Combustion", SAE 950516, 1995
  13. B. Johansson and K. Olsson, "Combustion Chamber for Natural Gas SI Engines Part 2 : Combustion and Emissions", SAE 950517, 1995
  14. N. J. Beck, W. P. Johnson, A. F. George, P. W. Peterson, B. van der Lee and K. Iopp, "Electronic Fuel Injection for Dual Fuel Diesel Methane", SAE 89162, 1989
  15. Christopher S. Weaver, "Natural Gas Vehicles—A Review of the State of the Art", SAE 892133, 1989
  16. Jacob Klimsra, "Performance of Lean Burn Natural Gas Fueled Engines—On Specific Fuel Consumption, Power Capacity and Emissions", SAE 901495, 1990
  17. Jacob Klimsra, "The Dynamixer—A Natural Gas Carburetor System for Lean Burn Vehicle Engines", SAE 901498, 1990
  18. Kevin D. Beaty and Rolf Egnell, "Development of a Low Emission VOLVO 9.6 Liter Natural Gas Fueled Bus Engine", SAE 921554, 1992
  19. Catalog, "1996 Ford Crown Victoria—Dedicated Natural Gas Vehicle", Ford, 1996