

해외 천연가스 자동차의 연구개발동향

Research and Development Trends of CNG Vehicle in Foreign Countries

전 흥 신*
Heung Shin Jeon

1. 서 론

최근 천연가스를 연료로한 천연가스자동차(CNG차량 : Compressed Natural Gas Vehicle 또는 NGV : Natural Gas Vehicle)가 주목을 받고 있다. 천연가스는 대체로 가압하의 기체상태로서 유공성 지하암층에 존재하며 조성은 산지에 따라 약간씩 다르나 자동차용 연료로서는 주로 파라핀계 탄화수소의 초급동족체인 메탄이 90%이상 함유되어 있으며 여기에 에탄, 프로판, 부탄 등의 동족체와 질소 등이 소량 함유되어 있고, 압축만으로는 액화시킬 수 없는 불활성가스이기 때문에 통상 고압으로 압축시켜 운반하거나 사용하고 있다. 이와같은 천연가스를 가솔린 및 디젤기관의 대체연료로서 유망시되고 있는 근본적인 이유는 매장량이 풍부하고, 가공하지 않고 그대로 사용가능하며, 경제적이고, 유해배출물이 적은 크린 에너지이기 때문이다.

자동차용 연료로서 천연가스의 이용은 이탈리아에서 이미 60여년전인 1930년대부터 현재까지 일부 가솔린차량에 천연가스연료를 사용할 수 있도록 가솔린-천연가스 겸용 차량이 사용되고 있으며, 최근에는 미국, 캐나다,

호주를 비롯한 선진국은 물론 버마, 태국, 방글라데시 등 동남아시아의 개발도상국 까지도 차량용 연료로서 천연가스의 도입을 적극적으로 추진하고 있다.

국내의 경우는 아직까지 천연가스를 차량용연료로서 도입이 추진되고 있지 않지만, 1987년부터 인도네시아에서 연간 약 200만 톤의 물량을 20년간 장기적으로 국내에 도입키로 되어 있으며, 1989년 9월에 우리나라 대륙붕 제6광구에서 240억 m^3 (1,880만톤)의 천연가스가 매장되었다고 하는 빅뉴스가 있었던 점과 정부에서도 에너지의 안정공급보다는 크린에너지를 확대보급하고 있다는 점에서 조만간 천연가스가 자동차용 대체연료로서 사용이 가능하리라 사료되고 있어 본 원고에서는 자동차 연료의 대체에너지 및 도시 대기오염의 저감을 꾀할 수 있는 천연가스 자동차의 개발동향을 소개하고자 한다.

2. 천연가스 자동차의 보급현황 및 연구개발 동향

2.1 천연가스 자동차의 보급현황

천연가스를 연료로한 기관은 새로운 것이 아니라 기존 가솔린 및 디젤기관의 구조를 일부 개조하거나 혹은 그대로 사용할 수 있

* 정희원, 한국동력자원연구소, 수송연구실

고, 기관의 출력성능, 배기성능, 내구성 및 운전성 등이 만족시킬만한 특성을 가지고 있어 오래전부터 산업용, 발전용의 디젤기관 및 자동차용 연료로 일부 사용되어 왔다.

자동차용 연료로서는 이미 제 2차 세계대전 개시전인 1930 년대에 석유가 부족한 이탈리아, 일본에서 가솔린 연료를 대체하기 위한 방안으로 가솔린-천연가스 겸용차량이 개발되어 사용되기 시작하였다. 미국에서는 1960 년대초에 천연가스의 저공해성에 주안하여 대기오염이 심각한 캘리포니아주의 대기오염

문제를 해결하기 위한 방안으로 도입을 시작하였으나 천연가스 공급이 어려워짐에 따라 그 보급이 주춤하였다.

그후 천연가스 차량에 대한 연구가 활발하지 못하다가 1980 년대에 들어서, 석유가격의 상승으로 국가의 석유수입에 따른 부담을 줄이기 위한 방안 및 대기오염문제를 해결하기 위한 방안으로서 뉴질랜드, 캐나다, 아르헨티나 및 인도네시아, 말레이시아, 파키스탄, 태국, 방글라대시 등의 천연가스 산출국들이 중심으로 승용차량의 대체연료로서 천연가스의 도입을 적극 추진하게 되었다. 1980년대 후반에 북미, 유럽, 오세아니아 등 선진국에서는 천연가스 차량에 대한 관심을 도시환경오염의 주범인 대형디젤엔진을 천연가스 전용기관의 적용에 중점을 두고 정부기관 및 연구소가 중심이 되어 천연가스 차량에 대한 연구를 활발히 수행하게 되었다. 현재는 표 1에 나타난 바와같이 20여개국 이상에서 총 60여만 대 이상의 천연가스 차량이 보급되어 있다. 보급대수가 많은 나라는 이태리, 소련, 뉴질랜드, 미국, 캐나다, 아르헨티나 등 6개국이고 이들 나라에서는 가솔린차량을 천연가스차량으로 개조하는 것이 하나의 큰 산업이며, 특히 이들 국가중 소련, 캐나다, 아르헨티나는 2~3년전에 비해 개조차량이 점차 증가하고 있다.

표 1 천연가스 자동차의 보급현황¹⁾

국 명	전환대수합계	디젤차 전환	가솔린차 전환	총전소
이탈리아	270,000	70	270,000	230
소련	200,000	-	200,000	250
뉴질랜드	110,000	50	110,000	450
미국	30,000	50	30,000	290
캐나다	15,000	10	15,000	130
아르헨티나	10,000	-	10,000	43
중국	1,500	0	1,500	-
호주	1,050	150	900	25
이란	800	0	800	2
파키스탄	270	-	270	1
인도네시아	100	0	100	6
버마	50	2	48	1
방글라대시	31	13	18	1
체코	30	0	30	-
아일랜드	22	0	22	1
프랑스	15	0	15	-
헝가리	15	15	0	-
태국	11	11	0	1
말레이시아	10	-	-	-
영국	9	2	7	1
칠레	9	1	8	1
덴마크	8	2	6	3
콜롬비아	5	0	5	1
일본	2	0	2	1
벨기에	1	0	1	-
핀란드	1	0	1	-
합계	(640,000)	(380)	(639,000)	(1,400)

2.2 천연가스 자동차의 연구개발동향²⁾

천연가스 차량에 대한 각국의 노력은 정부기관 및 연구소가 중심이 되어 활발히 수행하여 많은 데이터의 축적을 꾀하고 있다. 특히 주목할만한 것은 세계은행에서 개발도상국들에 대하여 자금을 융자해주면서 천연가스차량 도입에 적극 협력하고 있으며 이에 대해 뉴질랜드가 계획을 갖고 설비, 공급 등의 지원을 하고 있다. 천연가스 차량에 대한 각국의 구체적인 연구내용에 대해서는 표 2에 나타내었다. 각국의 CNG차량에 관련된 공통적으로 관심을 갖고 있는 것은 승용차의 전환, 노선차량의 전환, 도시도심주행용차량, 천연가스 전용차량, 공공연료공급시스템, 디젤엔진으로

표 2 천연가스 자동차와 관련한 각국의 구체적인 연구내용³⁾

국 명 \ 연구내용*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
캐 나 다	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
이 탈 리 아	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
뉴 질 랜 드	*	*	*	*	*		*		*	*	*	*	*	*	
미 국	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*	*	*
네 델 란 드	*	*	*	*					*	*	*	*		*	
덴 마 크	*		*	*			*		*			*	*	*	
소 련	*	*	*	*						*				*	*
프 랑 스	*	*				*	*						*		
호 주	*							*					*		*
스 웨 덴			*	*		*						*			
파 키 스 탄	*		*							*					*
체코슬로바키아		*								*			*		
헝 가 리	*		*							*					
아르헨티나	*	*													
일 본		*						*							

* 연구내용의 항에 대한 번호는 다음을 의미한다.

- | | |
|-----------------|----------------------------|
| 1. 승용차의 전환 | 9. 컨버전 키트에 대한 연구 |
| 2. 노선차량의 전환 | 10. 공공연료 공급시스템 |
| 3. 도시 도심 주행용차량 | 11. Self-service refueling |
| 4. 천연가스 전용차량 연구 | 12. 배기배출물 저감에 관한 연구 |
| 5. 교육, 홍보 프로그램 | 13. 디젤엔진으로의 전환 |
| 6. 복합저장용기의 연구개발 | 14. 규제 및 기준 |
| 7. 저압력 저장의 연구개발 | 15. 다른 수송용기관(선박, 기관차) |
| 8. 소형 압축기(가정용) | |

의 전환 및 배기배출물의 저감에 관한 연구 등이다.

각국의 CNG차량 개발 동향에 특히 주목할 것은 1984년에 미국 포드사가 천연가스 전용 차량인 AFV(Alternative Fuel Vehicle)를 개발하였고, 1988년 일본에서는 스즈키 공업이 LNG(Liquid Natural Gas)로 구동하는 ARE(Advanced Recipro Engine)를 개발하여 시험중에 있으며, 최근 미국, 호주에서는 디젤 엔진을 천연가스 전용기관으로 대체하는 것에 중점을 두고 있다.

디젤엔진의 CNG적용에 큰관심을 갖게된 배경에는 미국환경청(EPA)이 발표한 트럭,

버스 등의 디젤차에 관한 대단히 엄격한 1991년 배기가스 규제(표 3)가 있다.

표 3 미국 EPA 디젤차 배기가스 규제치 (단위 : g/HP-hr)

년 도	1985	1988	1991	1994
탄화수소(HC)	1.3	1.3	1.3	1.3
일산화탄소(CO)	15.5	15.5	15.5	15.5
질소산화물(NOx)	10.7	6.0	5.0	미 정
미립자(particulates)	-	0.6	0.1	0.1
도시버스				
트럭 등	-	0.6	0.25	0.1

이 규제에 대응하기 위해 기존의 경유를 사용하는 디젤엔진에 관해서 여러가지 기술적 검토가 있었지만 비용의 대폭적인 상승없이는 규제에 적합한 대응책이 나오질 않아 연료를 경유로부터 천연가스로 전환하는 것으로 고려하게 되었고 최근 스파크점화방식 CNG차량(버스)이 표 4와 같이 EPA의 1991년 배기규제를 만족한 것으로 이미 실증되어 현재는 내구시험단계에 있다.

표 4 미국 EPA의 1991년 디젤차 배기가스 규제와 실측치 데이터 비교⁴⁾

(단위 : g/HP-hr)

엔진	DDA사 V671A	커밍사 L-10	EPA 규제치 1991년
연료	경유	천연가스	
탄화수소(HC)	1.36	<1.30 ¹	1.30
일산화탄소(CO)	1.92	<5.00	15.50
질소산화물(NOx)	10.83	4.50	5.00
미립자(particulates) 도시버스 트럭 등	0.171	0.05	0.10
			0.25 ²

EPA 부적합

1 : 산화촉매사용

2 : 1994년부터는 모든 디젤차에 대해 미립자의 규제치는 0.10g/HP-hr이 된다.

이하 각국의 CNG 기관의 개발과 관련된 현황을 간략히 기술한다.

1) 미국의 현황

- 1960년대 초반부터 LA의 대기오염문제로 CNG차량에 대한 연구시작

- 1980년대 메탄 사용차량에 대한 R & D 지원을 위해 PL-96-512법령 제정공포 및 이를 근거로 한 연구개발 프로그램 실시

- 1982년 AGA 주관하에 CNG차량 개조 표준화작업 완료(NFPA-52-1982)

- CNG엔진 개조부품으로 DFSI 사등 수개사에서 CNG-가솔린 겸용시스템을 판매중

- FORD사의 천연가스 전용기관 AFV (Alternative Fuel Vehicle) 개발

- GM(General Moter)사의 mono-fuel CNG시스템 개발

- 1989년 6월 의회에서 자동차메이커들이 1997년까지 1백만대 정도의 대체 연료자동차를 9개도시에 판매토록 의무화 할 것을 제안

2) 이탈리아의 현황

- 지금까지 약 60여년간의 CNG차량운행경험이 있음

- 1954년 CNG충전소 설치에 대한 법규 제정

- CNG실린더 구입비는 국가가 자금을 융자해 주고 있음

- 운수성은 CNG차량으로 개조하기 위한 개조키트에 대한 적합성과 안전성을 시험, 보증하고 있으며, 다수의 제조회사에서 판매하고 있음

3) 뉴질랜드의 현황

- 1976년 Auckland Gas Co.가 천연가스 차량으로 개조시작

- 인도네시아에 CNG차량 개조기술을 지원하고 있음

- 현재 CNG차량 개조작업이 진행되고 있는 국가임

4) 캐나다의 현황

- 에너지소비를 자국산 에너지화(LPG 및 천연가스)하기 위하여 5년간의 연구개발 계획과 600만불의 연구예산 확정 프로그램 수행

- 1982년 서부지역에 천연가스 공급망과 토론토지역에 연료충전소를 개설

- 캐나다 가스협회에서는 CNG연료 공급시스템의 부품에 관한 예비규격 및 설치코드의 사안을 발표함

- 대체연료를 사용하는 차량에 대하여 판매세와 도로세를 면제해 주는 등 정부차원에서 적극적인 장려책을 펴고 있음

5) 아르헨티나의 현황

- 1983년 부에노스아이레스에서 약 20대를 천연가스차량으로 개조

- 1984년 향후 10년간에 13만 5천여대의 천연가스 차량으로 변환 혹은 전체차량

의 약 3%를 전환 및 360개소의 충전소를 건립할 계획 발표

- 1984년 8월 에너지장관은 CNG 사용에 대한 기술과 공중 안전규격을 승인

- CNG 전환을 위한 에너지성, 운수성, 산업성, YDF(국영석유회사), GDE 및 기타 공공, 개인회사를 대표하는 운영위원회 설치

6) 일본의 현황

- 1941년 가솔린 대체연료를 위한 천연가스차량이 개발되어 1961년에는 최대 500대의 천연가스 버스가 나가다현에서 사용됨

- 1988년 스즈키공업 및 5개회사가 참여하여 LNG(액화천연가스) 전용차량인 ARE(Advanced Recipro Engine) 개발

7) 기타국가의 현황

- 영국, 프랑스, 네델란드, 호주 등에서도 CNG차량에 대한 운행실적을 가지고 있으며 정부 및 민간베이스로 꾸준히 연구개발활동을 하고 있음

- 소련, 헝가리, 체코 등 공산국가에서도 현재 CNG 차량이 운행되고 있음

- 파키스탄은 천연가스가 풍부하여 차량 및 산업용의 대체연료로서 CNG개발프로그램을 시행해 오고 있음

- 인도네시아, 방글라데시, 태국 등의 동남아시아 국가 및 중남미 여러국가에서 석유수입에 따른 국가재정적부담 저감 및 환경보존이라는 측면에서 천연가스 자동차의 도입을 적극 추진중에 있음.

3. 천연가스 자동차

3.1 구조특성

1) 연료공급시스템

전기점화식 가솔린 기관을 가솔린-GNG 겸용 기관으로 개조하는 경우는 기존의 가솔린 연료공급라인에 추가로 GNG연료 공급라인을 설치하여 필요에 따라 두가지 연료중 한가지를 선택하여 사용할 수 있도록 한 것이다. 이것은 기술적인 문제가 적을뿐만 아니라 설치시간도 짧기 때문에 대부분의 천연가스 차량은 이 방식을 취하고 있다. 그림 1에 CNG-가솔린 겸용차

량과 연료공급계통도를 도시하였다. 이에 대하여 천연가스 전용기관은 대체연료인 CNG만을 전용으로 사용할 수 있도록 한 연료공급시스템으로 그 구조는 원천적으로 전술한 겸용시스템에 근간을 두고 있으며 포드사가 개발한 AFV(Alternative Fuel Vehicle)가 이에 속한다.

압축점화식 디젤기관을 CNG기관으로 개조하는 경우에는 천연가스는 자발화온도가 높기 때문에 기존의 디젤엔진을 그대로 사용할 수 없으며 어떤 착화원을 줄 수 있는 개조가 필요하다. 이 경우에 CNG를 실린더내로 흡입시키는 방식에 따라 휴미게이션(fumigation) 방식과 직접분사방식으로 구분할 수 있다. 직접분사방식은 실린더에 공기만을 흡입시켜 고온 고압의 상태로 압축한후 압축행정말기에 고압의 가스를 보조유(Pilot Oil)와 함께 분사시키는 형식으로 실제 차량용 기관보다는 정지형 기관에 많이 사용되고 있는 방식이다.

차량용 디젤기관은 주로 휴미게이션 방식이 사용되며, 이것은 가스에어믹서나 흡기다지판에서 공기의 흐름속에 가스를 유입시켜 여기에서 생성된 혼합기가 실린더로 흡입되어 스파크에 의하여 점화를 일으키도록한 형식으로 가솔린기관과 비슷한 형태이다. 그림 2에 디젤 듀알퓨엘 기관의 연료공급계통도 및 천연가스를 연료로한 버스를 나타내었다.

2) 연료공급계통의 부분품

CNG 차량의 연료공급계통의 부분품으로는 CNG 실린더, 압력조정기 및 가스에어믹서가 있다.

미국에서는 교통성의 DOT-3AA규격을 만족하는 직경 254mm, 길이 965mm, 사용압력 2400psi의 Seamless 강제 실린더가 사용되고 있다. 이것은 55℃인 대기온도에서 21℃의 가스압력의 1.25배까지 충분히 충전시킬 수 있으며 55℃ 이상의 고온에서도 정해진 양의 가스를 충전시킬 수 있다. 저위발열량을 기준으로 할 때 상술한 강제실린더 1개는 만충전시 약 10리터의 휘발유에 해당하는 CNG를 충전한다고 볼 수 있다.

최근에는 CNG 실린더의 경량화를 위한 수

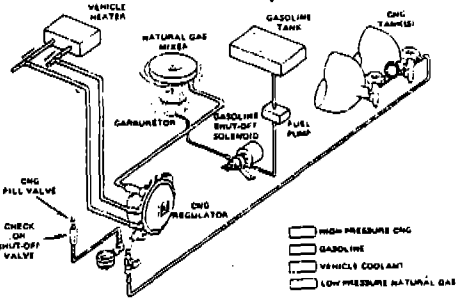
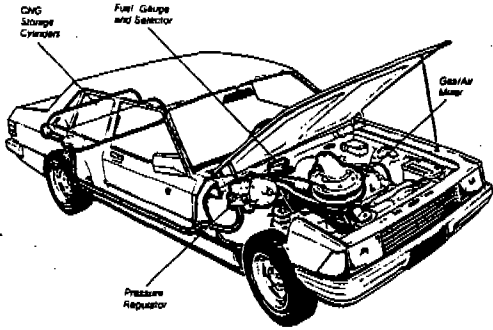


그림 1 천연가스-가솔린 겸용기관

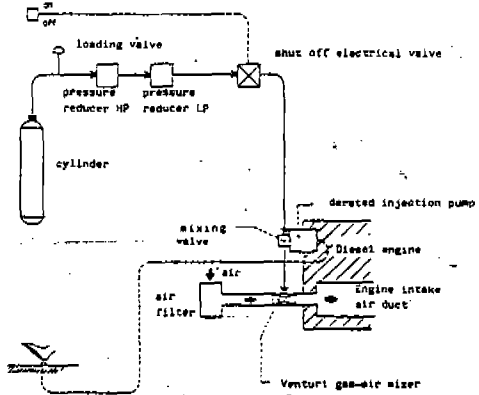
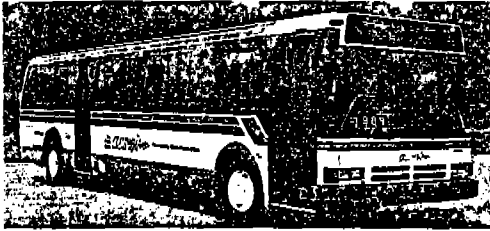


그림 2 디젤듀얼퓨엘기관¹⁰⁾

단으로서 기밀성을 가진 금속 Linner (동 또는 알루미늄)을 섬유강화 플라스틱으로 보강시킨 FRP 실린더가 개발되어 실용화되고 있으며, 더욱 경량화된 실린더로서 라이너에 합성수지를 사용한 복합재료 실린더가 개발되어 유망시되고 있다.

압력조정기는 연료공급계통의 가스압력이 통상 2400~3600 psig 정도이기 때문에 가스에어믹서로 흡입되기 직전에 대기압 정도로 감압시키는 작용을 한다. 이러한 감압작용은 2단 혹은 3단에 걸쳐 진행된다. 그림 3에 미국 IIE Energy 사의 3단 압력조정기의 상세도를 나타내었다.

가스에어믹서는 차량의 전운전영역에 걸쳐 적당한 공연비가 유지될 수 있도록 CNG 양

을 제어 및 공기와 혼합시키는 작용을 하는 것이다. 이것은 LPG 차량용 가스에어믹서와 비슷한 것으로서 압력조정기 내에서 엔진부하에 따라 변동하는 다이어프램에 의하여 CNG 흡입량이 조절된다. 여기에서도 아이들 조정나사가 설치되어 있어 공연비를 조절하도록 되어 있다.

3) 점화장치

CNG-가솔린 겸용기관의 경우는 기존 가솔린기관의 전기점화장치가 그대로 이용되나, 가스기관은 일반적으로 희박혼합기를 연소시키기 때문에 점화용량이 좀더 큰것이 요구된다.

가스기관의 전기점화장치로 가장 먼저 사용되었던 것은 고압(High tension) 마그네트 또는 저압(Low tension) 마그네트 방식이었으

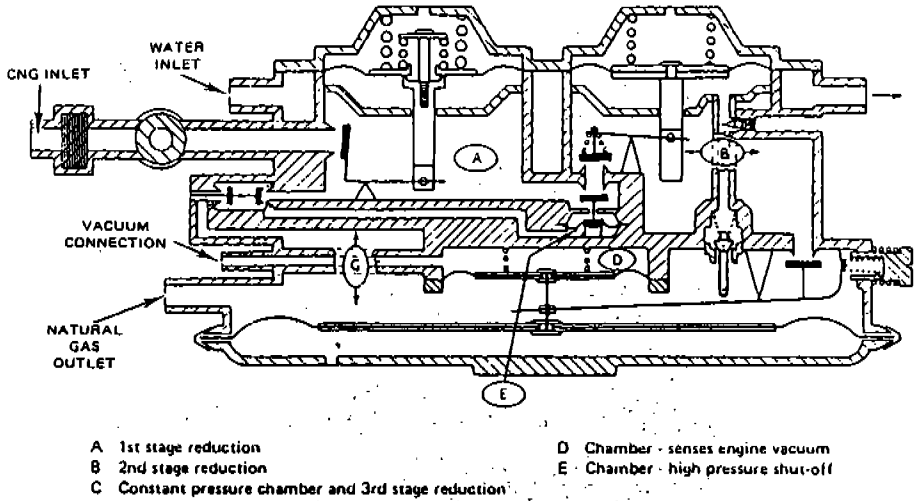


그림 3 압력조정기⁶⁾

나, 최근에는 가솔린 기관에 사용하고 있는 Electric Jump Spark 점화시스템이 보편화되어 있으며, 특히 전자회로를 이용한 무접점식 점화장치가 가장 바람직한 것으로 알려져있다.

4) 기관구조변경

기존의 가솔린 및 디젤기관을 CNG 기관용으로 개조시키기 위해서는 CNG가 가솔린 및 디젤유와 다른 물리적, 화학적 성질때문에 기존의 기관의 연료공급계통도의 구조변경 이외에도 압축비의 증가, 밸브 개폐시기의 조정, 공기연료 혼합비 및 점화시기의 조정, 점화에너지 증가, 과급 등 천연가스 물성에 최적화된 연소조건을 만들어 주기 위하여 여러가지 부품을 별도로 구입하든지 혹은 엔진의 부분품을 개조하여야 한다. 그림 4에 엔진의 개략도를 도시하였고, 표 5에 엔진 각부분품에 대한 개조 가능여부를 표시하였다.

베이스엔진 : 천연가스는 액체상 연료와는 다른 가스상연료이므로 연소실에서 가스의 누출을 막을 방법이 필요하다.

엔진 헤드 : 천연가스는 메탄가가 높기 때문에 압축비를 증가시키기 위하여 엔진 헤드나 혹은 실린더 헤드의 개조를 필요로 한다. 디젤 스파크 점화방식의 경우에는 스파크플러그, 코일 및 인제터를 천연가스용 기관에 맞는 것

을 설치해야 하므로 개조를 필요로 한다.

기화기(혹은 가스에어믹서) : 가솔린기관을 개조시에는 기화기의 전 혹은 후의 위치에 천연가스를 도입시킬 수 있는 장치가 필요하다. 단 천연가스 전용차량인 경우에는 기존의 기화기는 필요없게 된다. 디젤기관의 개조시는 흡기관에서 천연가스를 도입할 별도의 가스

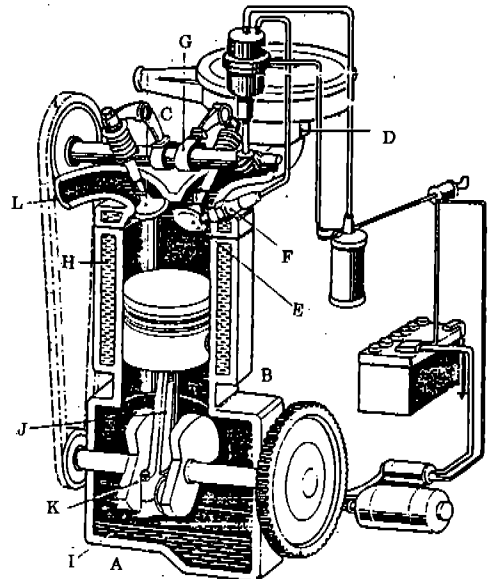


그림 4 대표적인 엔진의 개략도

표 5 CNG기관으로 개조시 영향을 받는 부분품

항 목	개 조 기 관		천연가스 -가솔린 겸용차량	천연가스 전용차량	경 유 과 이 분 사 방 식	디 젤 스 파 크 점 화 방 식
	A	B				
베이스 엔진	A		*	*	*	*
크랭크 케이스	B		—	—	—	—
엔진 헤드	C		—	*	—	*
기화기(공기에어믹서)	D		*	*	*	*
디젤유 분사펌프	E		—	—	*	*
점화장치	F		*	*	—	*
캠, 밸브의 형상변경	G		—	*	*	*
엔진냉각시스템	H		*	*	*	*
윤활시스템	I		—	—	—	—
피스톤, 로드	J		—	*	—	*
크랭크샤후트	K		—	*	—	*
배기시스템	L		*	*	*	*
액체연료 피딩펌프	M		—	*	—	*

주) * 표시는 CNG기관용으로 개조시 부품이 영향을 받는 것을 의미함.

너믹서(혹은 믹서)를 설치하여야 한다.

디젤유분사펌프 : 디젤유를 적절히 공급하는 장치이며, 디젤스파크 점화방식에서는 필요없게 된다.

점화방식 : 천연가스의 연소속도가 느리기 때문에 점화시기를 변경시켜야 한다. 디젤스파크 방식에는 별도의 점화장치가 필요하게 된다.

캠, 밸브의 형상변경 : 캠의 형상은 출력 증가, 유해배기물의 감소를 위하여 개조를 필요로 한다.

엔진냉각시스템 : 실린더내압력을 상승시키기 위하여 천연가스를 예열시키도록 엔진 냉각시스템을 변경시켜야 한다.

피스톤, 로드 크랭크샤후트 : 압축비를 증가시키기 위하여 개조를 필요로 한다.

3.2 성능 특성

1) 연료경제성

CNG와 가솔린을 사용시의 연료경제성의 비교는 표 6에 정리한 바와같이 에너지함량을 기준으로 할 때 CNG차량의 연료경제성은 가솔린 차량보다 우수 혹은 악화되는 것으로 보

고되고 있어 명확하지 않은 실정이다.

그러나 천연가스의 연료특성상 CNG의 Lean misfire limit는 가솔린의 공기과잉을 1.3에 비해 1.5로 훨씬 넓어 가솔린기관보다 더 희박한 공연비에서도 운전이 가능하게 된다. 이러한 운전상태에서는 연료소비율이 개선되는 유리한 점이 있는 반면에 이에 따라 기관출력이 감소하므로 출력면에서는 불리한 요인으로 작용하게 된다.

표 6 가솔린기관 대비 가솔린-천연가스 겸용기관의 연료경제성 비교

연료경제성	문 헌
5 ~ 10 % 향상	Mc Jones ⁶⁾ Marshall ⁷⁾
변 화 없 음	Tim G. Adams ⁸⁾ Gerard J. Born ⁹⁾
10 % 감소	Michael R. Seal ¹⁰⁾ Fresh Water ¹¹⁾ Fleming ¹²⁾

포드사가 개발한 CNG전용차량인 AFV의 EPA City 연료소비율은 22mpg인 것에 대하여 가솔린 차량이 21mpg로서 CNG전용차량의 연료경제성이 가솔린 차량보다 양호한 값을 보이고 있다.⁸⁾

2) 기관출력

CNG차량의 출력은 가솔린차량에 비해 10~15%정도 감소한것으로 보고하고 있다(표7 참조). 이러한 출력감소 원인은 실린더내 혼합기의 단위체적당 발열량이 상대적으로 낮고(연료자체의 발열량은 CNG가 가솔린보다 크지만, 가솔린의 이론공연비는 14.7:1에 비하여 CNG의 이론공연비는 17:1로 더 크기 때문임), 가솔린에 비해 CNG의 경우가 유입공기 양을 가솔린의 경우보다 크게 대체하기 때문에 체적효율이 떨어지며 마지막으로 CNG의 화염속도는 가솔린의 화염속도보다 느리기때문에 타이밍손실(혼합기가 동시에 연소되지 않음으로 인한 손실)이 가솔린보다 크기 때문인 것으로 지적되고 있다.

그러나 포드사가 개발한 CNG 전용차량인 AFV는 압축비를 8.8:1에서 12.8:1까지 변화시켜 성능시험을 행한 결과 그림 5에 나타난 바와같이 동일압축비인 8.8:1에서는 CNG 사용시 11%의 출력손실이 있으나, 고압축비인 12.8:1로 운전하였을 때는 점차 출력이 회복될 수 있는것을 보이고 있다.

표 7 가솔린기관 대비 가솔린-천연가스 겸용기관의 출력성능의 비교

출 력	문 헌
10%~ 15% 감소	Gerard J. Born ⁹⁾ S. L. Genslak ¹³⁾ New Zealand's Report*
약간감소	Tim G. Adams ⁸⁾ Japan**

* New Zealand's transportation experience general results

** 1984년, Tokyo Gas's results

3) 배기배출물

CNG는 Lean misfire limit가 가솔린의 공기과잉율 1.3보다 훨씬 넓은 1.5이므로 가솔린보다 훨씬 더 희박한 공기연료비로서 운전할 수 있어 유해 배기배출물이 저감되는 유리한 점이 있다.

R. D. Fleming¹²⁾등이 단기통 CFR 엔진으로 가솔린과 CNG의 배기배출물 특성을 실험한 결과에 따르면 대체로 동일한 공기과잉율에서 가솔린과 천연가스의 배출농도는 거의 비슷하며, 탄화수소 배출농도는 어느 공연비에 서나 CNG의 경우가 가솔린에 비해 현저히 낮고, 질소산화물 배출농도는 공기연료비의 변화에 따라 약간의 차이는 있으나 CNG의 경우가 가솔린에 비해 현저히 낮다고 보고하고 있다.

또한 Fleming 등이 6대의 시험차량을 대상으로 하여 실차실험데이터를 평균한 값을 가솔린 차량의 배기배출물 농도와 비교한 결과에 따르면(그림 6 참조), CNG사용시의 일산화탄소 및 탄화수소는 가솔린 차량에 비해 상당량이 감소하고 질소산화물은 약간 감소하였다고 보고하였다.

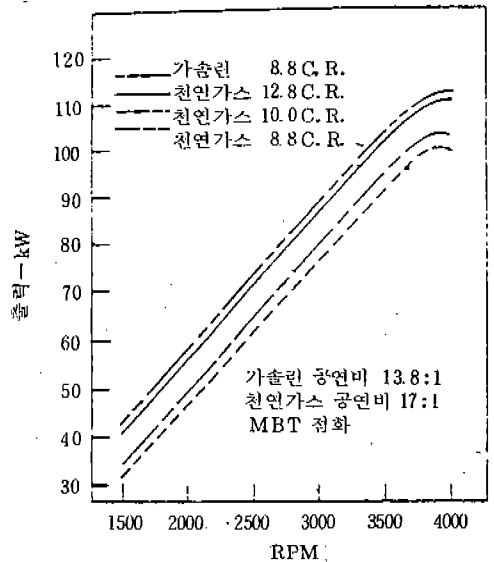
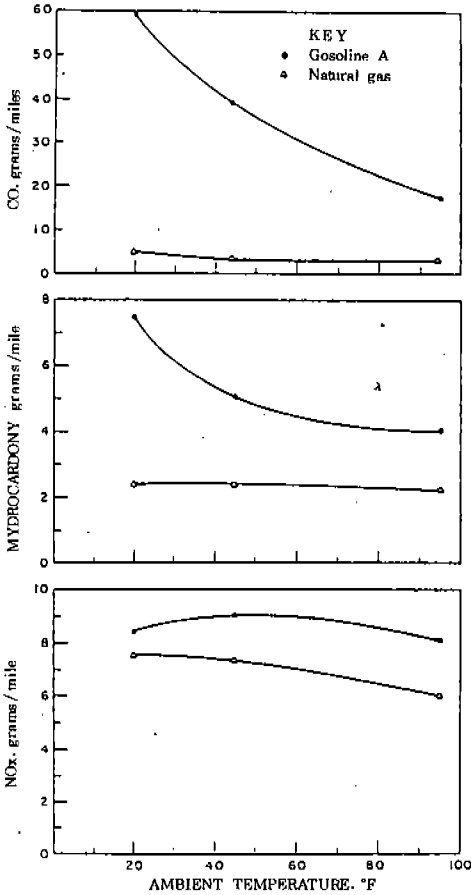


그림 5 포드사의 AFV의 출력성능⁸⁾



항상 가스상태로 기관에 유입되어 기관이나 연료계통에 잔유물을 형성하지 않으므로 기관의 신뢰성과 내구성을 향상시키며, 점화플러그의 수명 역시 길어진다고 보고하고 있다.

3.3 천연가스 차량의 문제점

자동차용 대체연료로서의 CNG는 다른 대체연료와 비교하여 보면 매장량이 풍부하고 거의 가공하지 않고 그대로 사용가능하며, 가격이 저렴하고, 최적운전조건에서 가장 우수한 배기배출물 특성을 제공하는 크린 연료일 뿐만 아니라 표 8에 나타난 바와같이 종합적으로 압축천연가스를 우수하다고 평가하고 있다. 그러나 천연가스차량의 가장 큰 문제점은 CNG 저장용실린더의 중량 및 부피 그리고 1회 충전당 주행거리이다. 이것은 천연가스는 압축만으로 액화시킬 수 없는 불활성가스이기 때문에 CNG 차량은 천연가스를 고압으로 압축하여 사용하고 있기 때문이다. 만약 천연가스를 액체상태로 하기 위해서는 대기압하에서 -161°C 의 저온을 유지할 수 있는 용기가 필요하게 되므로 경제성이 불리하게 된다. 일

표 8 자동차 연료의 비교¹⁴⁾

	가솔린	메탄올	LPG	CNG	
충전 편리성	0	-3	-1	-2	
연료탱크용량	0	-2	-1	-2	
연료회환성	0	-3	0	0	
한냉시의시동성	0	-3	-1	0	
엔진마모	0	-2	+2	+3	
유지관리비	0	-1	0	+2	
조정성	엔진냉각시	0	-2	-1	0
	엔진난기시	0	-1	0	0
압축비	0	+2	+2	+3	
용해물의활성	0	-2	0	+1	
배이퍼룩	0	-3	0	0	
연소실퇴적물	0	+1	+2	+3	
엔티녹성	0	+1	+1	+2	

주) 0은 가솔린과 동등
 +는 가솔린에 비해 우수한 경우,
 -는 그 반대를 의미함.

그림 6 주위온도 변화시의 천연가스 및 가솔린 대비 배기배출물 농도¹²⁾

4) 운전성 및 내구성

Freshwater 등¹¹⁾이 행한 CNG 차량의 가속성능 실험결과에 의하면 CNG 차량은 가솔린 차량에 비해 가속성능이 뒤떨어지는 것으로 보고하고 있으며, 미 정부의 General Service Administration의 보고¹⁰⁾에 의하면 CNG 차량의 경우에는 0~60초 동안에 측정된 가속성능이 가솔린 차량에 비해 25~40% 정도 저하한다고 보고하고 있다. 그러나 그밖의 운전성은 가솔린 차량에 비해 크게 뒤지지 않으며 흡입다기관내에서의 증발과정을 필요하지 않기 때문에 기존 가솔린차량보다 시동이 용이해지며 특히 한냉시의 시동이 더욱 용이한 것으로 알려지고 있다. 그의 천연가스 연료는

본에서 개발되고 있는 ARE 는 액화천연가스 (LNG)를 연료로 하고 있다.

CNG 차량은 비록 천연가스가 압축되어 있다 할지라도 CNG의 밀도는 액상의 연료의 밀도보다 상당히 낮아 한번의 충전으로 주행할 수 있는 거리는 짧은 단점이 있어 CNG실린더를 크게하고 두개 이상을 설치하여 보상을 하고 있지만 여전히 CNG 차량의 주행거리는 기존 가솔린 차량의 주행거리에 비하여 크게 감소된다. 또한 고압저장탱크의 탑재공간으로 인해 차량의 이용공간이 줄어들게 되고 차량의 중량 또한 더 늘어나는 단점이 있다.

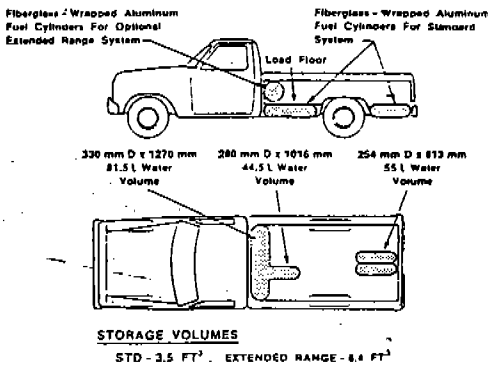


그림 7 AFV의 실린더 배열 위치도⁸⁾

이에 대해 미국의 포드사에서는 CNG 전용 차량인 AFV(Alternative Fuel Vehicle)에는 그림 7에 나타난 바와같이 알루미늄 실린더 총 4개를 장착(중량 136kg 증가)하여 주행거리를 360km 까지 확장하였으나 여전히 문제점으로 지적되고 있다.

3.4 CNG 충전방법 및 충전장치

이탈리아에서는 약 230여개소의 대규모 공공 가스 충전소가 운용되고 있으며, 미국의 경우는 가스수송망이 잘 발달되어 있어 CNG 충전소는 주로 차고 (fleet car garage)에 직접 설치되어 있다. 기본적으로 시설면에서는 미국의 차고용 충전소와 큰 차이는 없으며 단지 압축기의 용량에 다소 차이가 있을 뿐이다.

CNG를 충전시키는 방법으로는 Time filling system과 Fast filling system을 사용

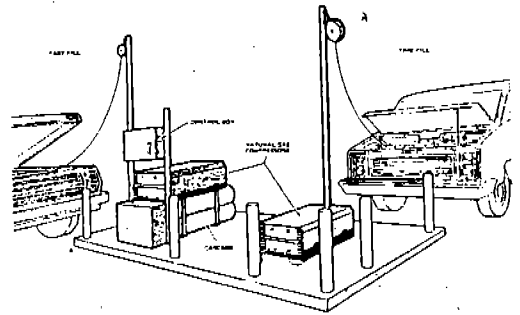


그림 8. CNG 충전소

하고 있다. Time filling system은 차량이 사용되지 않은 야간에 장시간에 걸쳐 가스를 충전시키는 방법을 말하며, Fast filling system은 CNG를 미리 고압의 상태로 충전시켜 놓은 실린더군(cylinder cascade)을 이용하여 약 2~5분 정도의 짧은 시간동안에 충전시키는 방법을 말한다.

3.5 안전성

1) CNG물성의 상대적 위험도

연료의 물성측면에서 각 연료의 상대적 위험도를 도출한 Bowen의 평가¹⁵⁾에 의하면(이 평가는 첫째, 차량에 사고가 유발될 수 있는 요인, 즉 위험기준을 분류하고 둘째, 위험기준에 영향을 미치는 연료의 물리적, 화학적 특성치와 신체위험도를 정리한 다음 셋째, 이 특성치의 상호비교에 의해 각 연료의 상대적 위험도를 도출한 것이다) 메탄은 상당한 양이 공기중에 노출되었을 때에 한해서 일시적으로 질식현상을 일으킬 뿐이며, 그 외에는 특기할만한 특성이 없다고 하였다. 기타 눈접촉, 흡입, 피부침투 및 섭취측면에 있어서도 가솔린, 메탄올, 프로판 등에 비해 안전한 것으로 평가되고 있다.

2) 사고발생시의 CNG 차량 안전성

CNG의 사고형태는 CNG실린더가 누설된 가스에 의한 화재에 노출되는 경우와 차량과의 충돌사고로 CNG실린더가 피해를 받는 경우 등 두가지로 나눌 수 있다.

첫번째의 경우는 사고발생시의 CNG(기체)가 실린더로부터 누설되어 공기중에 가연혼합기를 형성할때는 실린더내에 충전된 가스의

양이 다른 차량용연료(액체)보다 상대적으로 소량일 뿐만아니라, 확산계수가 커 대기중으로 신속히 확산되기 때문에 가스누설에 따른 위험성은 타연료에 비하여 상당히 적은 것으로 판명된다.

두번째의 경우는 많은 시험결과 CNG실린더의 안전성이 입증되고 있다. 일례로 미국 Dynamic Science 사¹⁶⁾가 주관한 기술린 CNG 겸용차량의 충돌시험(시험조건 : Plymouth Sedan에 6개의 25인치 고압실린더를, chevrollet Pick up Truck에 51인치 2개의 실린더를, International Stake Truck에 51인치 2개의 고압실린더를 2000psi의 질소로 충전된 탑재하여 21mph-30mph 속도로 전방 및 후방 충돌시험)결과는 실린더와 탑승인원에게 아무런 피해가 없었고, 이와는 별도의 실험으로 25인치 및 51인치의 실린더를 낙하높이 10~30ft, 충돌속도 17~44mph로 강판위에 설치한 콘크리트 패드에 낙하시켰을때, 실린더와 밸브에는 외관상 약간의 피해가 있었을 뿐 실린더로부터의 가스누설은 없었다고 보고하고 있다. 또한 미국 화재방지협회(NFPA)는 기존 국제적인 기준과 현행 미국관례를 근거로 52-1984로 CNG 차량 연료시스템에 대한 기준을 정해놓고 있다.¹⁷⁾

이상 CNG차량의 안전성은 연료자체의 물성 및 연료탱크를 포함한 연료공급 시스템의 구조적인 측면에서도 기존 기술린 차량이나 LPG 차량에 비해 뒤지지 않다고 판단하고 있다.

4. 결 론

이상 CNG차량에 대한 해외의 동향과 자동차 대체연료로서의 CNG의 특성 및 CNG 차량에 대한 구조, 성능 및 안전성에 대하여 검토 소개하였다. 근년 자동차용 대체연료로서의 관점은 저공해성이 중요하게 부각되고 있다. 이에 따라 국내의 대도시환경오염 방지를 위한 한가지 방안으로서 CNG의 채용이 활발하게 논의되어오고 있으며, 한국동력자원 연구소 및 그의 일부 정부출원기관에서 CNG를 차량용연료로서 이용하려는 노력이 수행되

고 있다. 본 원고를 계기로 앞으로 많은 관련 연구자 및 국내 자동차 산업체에서도 CNG기관에 많은 관심을 가져주었으면 다행이라 하겠다.

참 고 문 헌

1. "NEV Around The World", NGV '88, 1988.
2. 차원민, 박선, 전홍신, "CNG기관 개발 연구에 대한 타당성 검토", 한국동력자원 연구소, 1989. 7.
3. IGU-CNG Task force Report, "NATURAL GAS for VEHICLES a global perspective", June, 1988.
4. "Power Generation Subprogram Status Report, 1988~1989", GRI, 1989.
5. IIE Energy Co.의 카타로그
6. Mc Jones et al., "Assessment of Methane-Related Fuels for Automotive Fleet Vehicles Technical, Supply and Economic Assessment", DE 83-013287, 1982.
7. Marshall et al., "State of the Art Assessment of Methane-Fueled Vehidles", DE 82-009287.
8. Tim G. Adams, "The Development of Ford's Natural Gas Powered Ranger", SAE 852277.
9. Gerard J. Born, Enoch. J. Durbin, "The Natural Gas Fueled Engine", Methane fuel for the future, 1982. Plenum Press.
10. Michael R. Seal et al., "Propane/Methane Development Program", SAE 831198.
11. M. A. Freshwater, "Keeping the Vehicle Moving-A Practical Study of Identical Vehicles Using Alternative Fuels", SAE 811386.
12. R. D. Fleming, et al., "Emission Characteristics of Natural Gas as an Automotive Fuel", SAE 710833.

13. S. L. Genslak, "Gaseous Fuels for Automotives", SAE 720125.
14. Richard E. Wyndn, "Choosing an Alternate Fuel NGV '88", 1988.
15. T. L. Bowen, "Hazard Associated with Hydrogen Fuel", "Proceedings of the 11th Inter society Energy Conversion Engineering Conference, Vol. I, 1976.
16. Dynamic Science, "Dual Fuel Motor Vehicle-Safety Impact Testing", PB 207-66811971.
17. Pipeline and Gas Journal, 1986, 1.
18. 박선 외, "가스보급확대를 위한 기술개발 연구", KE-83-9, 한국동력자원연구소, 1984.
19. 宮田嘉明, 岡崎志朗, "海外の都市ガス自動車動向", 日本ガス協會誌 2月號, 1990.