

# 01 엔진기술

## 1. 엔진기술 분류

천연가스기관 및 천연가스자동차의 개발은 1930년대 이탈리아와 러시아에서 남아도는 천연가스의 소비를 증진시키고자 천연가스를 연료로 하는 기관이 탑재된 천연가스자동차를 제작하면서 처음 시작된 것으로 알려져 있다.

이후 세계 각국은 1970년도부터 석유파동의 문제를 해결하기 위한 에너지 절약 및 대체 에너지 활용의 일환으로 천연가스기관 및 천연가스자동차의 개발을 본격적으로 시작하였다. 1990년부터는 천연가스연료의 청정성을 이용하여 대도시의 자동차 증가에 의한 대기 오염을 방지하고자 하는 목적과 함께 특히 대형 경유자동차의 배기가스를 줄이고자 하는 방편으로 개발되기 시작하였다.

초기의 천연가스기관은 기존 가솔린 승용차에 탑재하기 위해 가솔린연료와 천연가스연료를 병행하여 사용하는 겸용(Bi-fuel) 방식의 기관으로 개발되었다. 이 방식은 천연가스 자동차 보급의 초기에 부족한 천연가스 공급에 대한 인프라의 문제를 해결하기에 적합한 장점이 있었다.

또 기존의 경유연료와 천연가스 연료를 동시에 사용하는 혼소(Dual-fuel) 방식이 있다. 기관시동 및 운전 중에 경유를 파일럿 분사(Pilot injection)하여 점화원으로 활용하는 방식이다.

이후 천연가스만을 사용하는 전소(Dedicated) 방식의 천연가스기관이 주류를 이루고 있다. 전소방식은 천연가스연료의 우수한 청정성과 독특한 연소특성을 활용하여 출력성능 및 배기성능을 향상시키는데 유용한 방식이다.

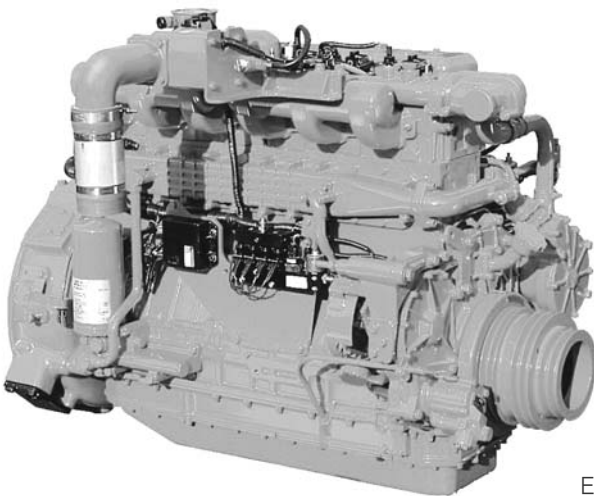
천연가스기관은 가솔린기관 및 디젤기관을 기반으로 모두 개조할 수 있는 장점을 가지고 있다. 가솔린기관을 천연가스기관으로 개조하는 경우에는 연료공급 장치를 제외하고

기존의 기관과 거의 동일한 구조로 개조할 수 있다. 디젤기관을 개조하는 경우는 기존의 압축비로는 천연가스의 자기착화온도에 의해 압축착화가 쉽지 않다. 따라서 디젤기관을 개조하는 경우 예혼합기를 공급하고 압축에 의한 착화방식을 가솔린기관과 마찬가지로 스파크플러그를 통한 점화방식으로 변경하여야 하므로 기존 디젤연료 계통의 분사펌프, 분사노즐 등의 연료공급계통을 변경함은 물론 연소계통 및 제어계통 등을 동시에 변경하여야 한다.

천연가스기관의 성능향상을 위한 연소실 내 연료공급방식은 1세대, 2세대, 3세대, 4세대 기술 등으로 발전해 오고 있다. 우리나라 천연가스버스에는 제2세대와 제3세대 기술이 적용되고 있으며, 4세대 이상의 기술개발을 통한 성능개선이 필요하다.

천연가스(Natural Gas)는 메탄(CH<sub>4</sub>)이 주성분인 가스로 탄소성분이 기존의 가솔린(C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>) 및 디젤연료(C<sub>17</sub>H<sub>36</sub>)보다 현저히 적을 뿐만 아니라 분진, 유황 등 불순물도 거의 함유되어 있지 않아 청정연료라 불리고 있다. 또한 천연가스는 옥탄가(ROK=130)가 높은 내노크성(Antiknock, 노크나 이상연소에 대한 저항능력) 연료이므로 기관의 압축비를 높일 수 있어 열효율과 출력의 향상을 도모할 수 있다. 연소에 대한 가연한계가 넓어 성층화연소를 유도하면 희박한계가 더욱 넓어져 초희박연소가 가능하고 청정연료이므로 배기성과 기관 내구성 및 안전성이 우수한 점 등 여러 장점으로 비교적 내연기관으로의 적응성이 우수한 연료로 평가되고 있다.

이러한 천연가스는 해저 및 유전의 상부로부터 채취할 수 있고 전 세계에 골고루 분포하고 있다.



EURO-4 만족 천연가스 엔진.

### 가. 제1세대 기술

1세대 기술은 가솔린기관의 기화기 방식과 LPG기관의 믹서 방식 등이 해당하며, 흡기관 공급방식으로 연료용기로부터 공급된 CNG를 공기혼합장치인 믹서(Mixer)를 통하여 흡기관에 공급하는 초기의 방식이다. 믹서 타입 연료시스템은 가솔린 자동차 엔진의 기화기 방식에 해당하는 기술로 연료탱크의 고압연료를 대기압으로 감압하여 믹서로 공급하는 방식이다.

천연가스자동차는 현재 남미와 동남아시아 등에 많이 보급이 되어 있으나, 경제적인 여건 및 낙후된 기술력으로 인해 공연비 제어가 완전히 기계적으로 이루어지는 오픈 루프 믹서방식 또는 전자 제어가 가미된 피드백 믹서 방식의 엔진이 대부분을 차지하고 있다. 이러한 방식은 가솔린 대비 출력성능이 떨어지고 배출가스 측면에서도 한계가 있다.

### 나. 제2세대 기술

인젝터나 솔레노이드 밸브 등을 사용하여 연료공급을 전자제어를 통하여 흡기관이나 스토틀밸브 부근에 연료를 분사하는 방식이다.

가솔린기관에서는 TBI(Throttle Body Injection) 방식이라고 부르기도 하며, 연료공급 장치가 흡기관에 설치된 독립연료분사(SPI: Single Point Injection) 방식이다.

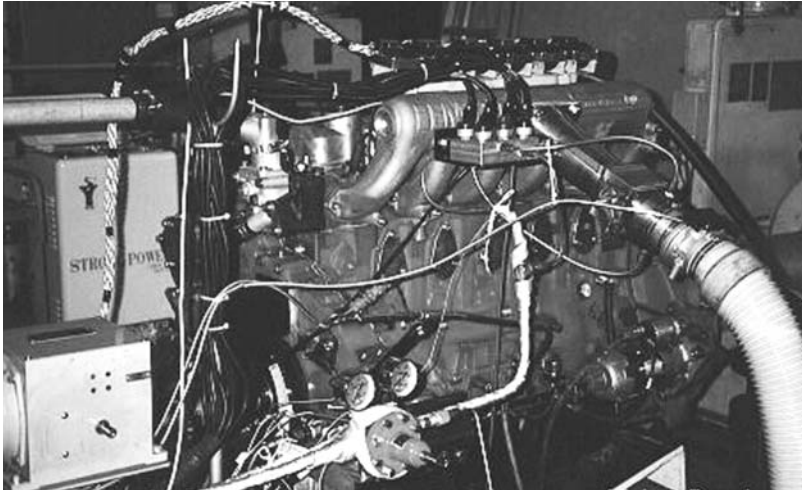
현재 우리나라에 보급되어 있는 시스템은 모두 Woodward사의 시스템으로 비교적 우수한 제어성능을 가진 TBI 방식이며, 모든 연소실에 공급되는 연료량이 여러 개의 인젝터의 조합으로 이루어진 미터링 밸브로 조절하여 Throttle body 앞에서 공급하는 방식이다.

캐나다의 AFS(Alternative Fuel Systems Inc.)사는 천연가스 엔진과 인젝터, 레귤레이터 등의 천연가스 자동차용 부품을 생산하는 업체로 Throttle body에 인젝터를 장착하여 연료를 분사하는 전소 TBI 시스템을 개발, 대형차량에 적용하고 있다. 가솔린과 천연가스를 선택적으로 사용하는 TBI 겸용시스템을 개발하여 멕시코의 택시 개조시장에 참여하고 있고, 10리터급 대형 엔진의 린번 전소시스템도 개발하고 있다.

### 다. 제3세대 기술

2000년대 후반 국내에서 개조되는 CNG자동차와 환경부에서 진행하는 CNG 버스, 청소차의 경우 주로 적용되는 기술이 3세대 엔진기술이다.

각 기통별로 연소실로 들어가기 바로 전 흡기 매니폴드에 설치된 각각의 인젝터로 연료량을 기통별로 제어하는 연료분사 방식이다. 흡기관에 설치된 인젝터를 통해 각각의 엔진



시내버스엔진을 개조한 대형 천연가스 전소엔진

실린더에 연료를 분사하는 다중 연료분사방식(MPI: Multi-point Injection)으로 흡기밸브 직전의 흡기다기관에 연료를 공급하는 방식이다. 캐나다의 Cummins westport사는 대형 혼소엔진을 개발하고 있고, 특히 천연가스와 디젤 연료를 동일 인젝터에서 분사할 수 있도록 액츄에이터를 개발, 적용하여 배출가스와 출력 면에서 우수한 성능을 입증하고 있다. 미국의 Clean Air Power사는 천연가스와 디젤 연료를 동시에 사용하는 혼소 엔진 및 부품을 생산하는 업체로 410마력 이하의 대형 혼소엔진 시스템 위주로 개발을 진행하여 LNG 차량에 적용하고 있으며, 특히 CARB 등의 지원에 의해 지속적인 연구가 진행되어 MPI 시스템을 혼소엔진에 적용, 미국 LEV 규제를 만족하고 있다. 이와 함께 NOx와 HC를 더욱 저감하기 위하여 ERG와 DOC(Diesel Oxidation Catalyst)를 적용하는 시험 등을 수행하고 있다. 호주의 ACE는 MPI 전소제어 시스템을 개발하여 대형엔진에 적용, 촉매 없이도 EURO-4 수준까지 배출가스를 저감하여 르노 등에 엔진을 공급하고 있다.

#### 라. 제4세대 기술

실린더 내 직접분사방식으로 각 연소실마다 인젝터를 설치하고 인젝터를 통하여 직접 연료를 연소실내에 분사하는 방식으로 가솔린기관의 GDI(Gasoline Direct Injection), 디젤기관의 CRDI(Common Rail Direct Injection)와 유사한 방식이다. CRDI의 경우 국내 대부분의 디젤자동차에 적용이 되어 운행 중에 있으며, 가솔린의 GDI의 경우는 현재 상용화가 진행되어 몇 가지 차종에 대해 적용 중에 있다.

## 2. 엔진기술 동향

1980년대 말까지의 천연가스자동차에 사용된 연료 시스템은 연료를 엔진에 공급하는 믹서(Mixer) 타입의 단순한 전환시스템(conversion system)이 주를 이루었다.

주로 가솔린 대비 낮은 연료가격에 기인한 연료 경제성 측면에서 활용되었다고 볼 수 있기 때문이다.

이후 1990년대에 들어서면서 자동차 배기가스로 인한 대기오염 악화에 따라 각국의 자동차 배출가스 규제가 강화되면서 보다 정밀한 공연비 제어가 필요하게 되었으며, 이에 따라 천연가스 차량에도 전자제어 시스템이 장착되기 시작하였다.

특히 유해배기가스를 정화시키는 3원촉매장치(3 way catalytic converter)의 경우 HC, CO, NOX를 모두 90% 이상 정화시키는 정화 효율 밴드폭이 가솔린보다 좁아 보다 정밀한 공연비 제어가 필수적이다.

천연가스버스의 기본 구조는 종래의 디젤버스와 같고, 연료계통만이 변경되었다. 사용 연료인 천연가스는 디스펜서를 통하여 고압의 천연가스를 차량내의 가스용기에 저장하며, 이때의 저장된 연료량은 운전석에서 압력계로 모니터링 할 수 있도록 되어 있다. 또한, 내부압력의 과다 상승 시 안전밸브를 거쳐 외부로 벤팅하는 안전장치가 설치되어 있다. 압축된 가스는 용기로부터 연료배관을 거쳐 감압밸브에서 사용압력인 일정한 압력으로 감압된 후, 공기와 혼합되어 엔진 내부로 공급되는 구조이다.

국내 천연가스자동차 엔진 중 기존의 6기통 디젤엔진을 모태로 하여 개발한 CNG엔진은 불꽃 점화방식의 Lean-burn엔진으로 개발되었다.

이와 관련 북미, 유럽, 일본 등지에서는 대학, 연구기관 및 기업이 협력하여 대형 천연가스 자동차 연료공급장치에 관한 SPI 방식 및 MPI 방식의 연구개발이 활발히 수행되어 왔다.

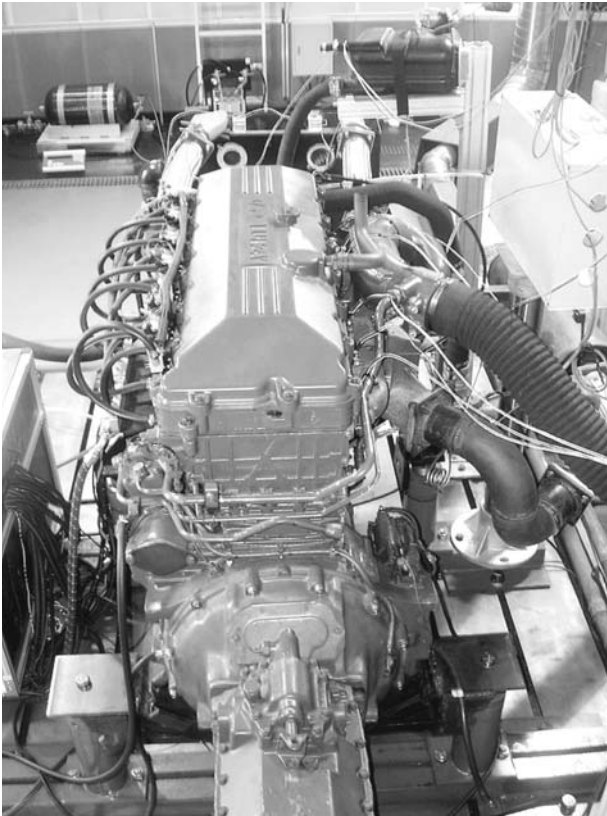
먼저 캐나다의 AFS사는 천연가스 엔진과 인젝터(Injector), 레귤레이터(Regulator) 등의 천연가스 자동차용 부품을 생산하는 업체로 쓰로틀바디에 인젝터를 장착하여 연료를 분사하는 혼소 SPI 시스템을 개발하여 대형 차량에 적용하였다. 이러한 가솔린과 천연가스를 선택적으로 사용하는 SPI 겸용 시스템을 개발하여 멕시코의 택시 개조시장에 참여하고 있고, 10ℓ급 대형엔진의 린번 전소 시스템도 개발하고 있다.

캐나다의 Cummins westport사는 대형 혼소 엔진개발에 주력하고 있다. 특히 천연가스와 디젤 연료를 동일 인젝터에서 분사할 수 있도록 액츄에이터를 개발하여 배출가스와 출력면에서 우수한 성능을 입증하고 있다.

미국의 Clean Air Power(CAP)사는 천연가스와 디젤 연료를 동시에 사용하는 혼소 엔진 및 부품을 생산하는 업체로 410마력 이하의 대형 혼소엔진 시스템 위주로 개발을 진행하여 LNG 차량에 적용하고 있다. 특히 캘리포니아 주정부 CARB 등의 지원에 의해 LEV 규제 기준을 만족하는 MPI 시스템 혼소엔진을 개발하였다.

호주의 AEC사는 MPI 전소제어시스템을 개발, 대형엔진에 적용하여 촉매없이도 EURO-IV 수준까지 배출가스를 저감하여 MAN과 르노 등에 엔진을 공급하는 것으로 알려져 있다.

위와 같은 외국기업의 천연가스자동차 기술개발과 함께 각국 정부는 각종 개발지원 프로그램을 만들어 기술개발과 보급에 앞장서고 있다.



13리터 헤비듀티 LNG 엔진 성능개발.

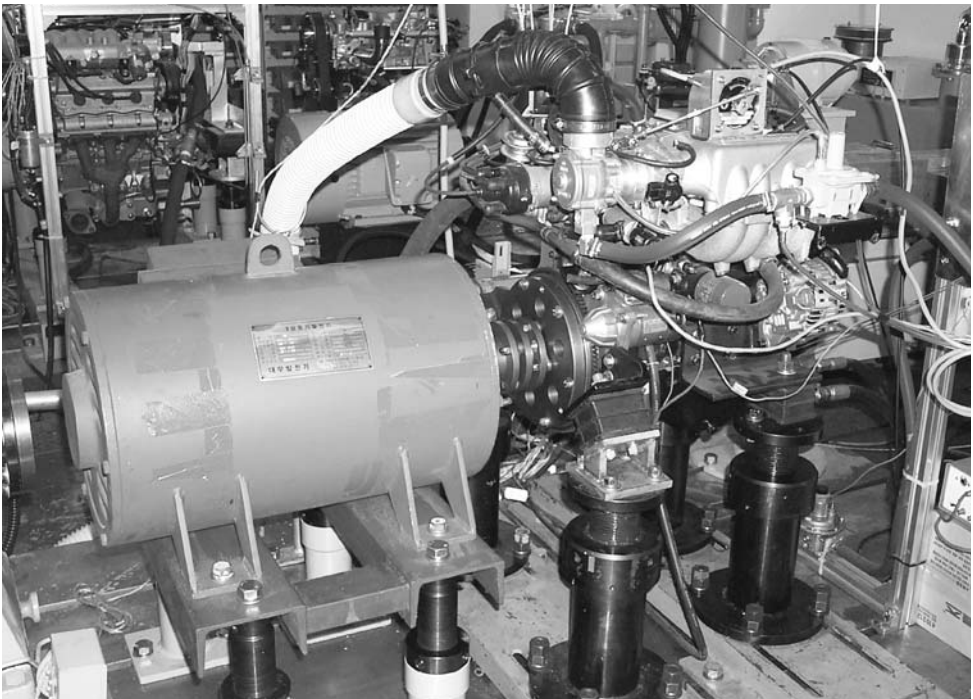
### 3. 개조 엔진기술 동향

천연가스자동차 개조시장 및 기술은 자동차 제작사로 하여금 천연가스자동차를 제작하는 촉진제 역할을 해주기도 하지만 충전소 인프라 구축에 더 큰 촉진역할을 한다.

즉 천연가스자동차 제작비용보다 상대적으로 적은 비용으로 천연가스자동차 개조차량을 보급하여 천연가스 수요시장을 형성함으로써 충전소 인프라 구축을 유도하는 기능을 발휘하게 되는 것이다.

이러한 차량 개조사업은 자동차 제작기술이 상대적으로 낙후되어 있고 자금여건이 열악한 개도국에서 활발하다. 그 결과 동남아시아, 중동, 남미 등지에서는 정부의 정책적 지원에 힘입어 개조시장이 형성되어 있고 상당한 수준의 개조기술을 보유하고 있는 것으로 알려져 있다.

천연가스자동차 개조기술은 운행 중인 차량의 가솔린엔진과 디젤엔진을 천연가스차량으로 개조하는 기술이다.



발전기와 연결한 열병합발전용 천연가스엔진.

가솔린 승용차를 천연가스자동차로 개조하는 것은 배기가스 수준, 자동차 성능에 따라 적용되는 기술과 시스템이 다르다. 자동차 성능보다는 개조비 절감을 위해 1세대 혹은 2세대 천연가스자동차 엔진시스템을 사용하여 개조하는 경우가 있다.

이러한 개조방식은 연비는 좋으나 출력이 휘발유에 비하여 낮고, 응답속도가 늦는다는 단점이 있다. 그러나 MPI 방식을 적용한 가솔린 차량에 천연가스자동차 개조기술의 1세대 혹은 2세대 시스템을 적용하면 오히려 역화되고 배출가스도 가솔린에 비하여 악화될 수 있다.

이런 이유로 개발도상국에서도 최근에는 제3세대 기술인 MPI방식을 적용한 천연가스자동차 개조기술 적용이 확대되고 있다. 하지만 가격이 상대적으로 높아 보급 속도가 느린 편이다.

디젤엔진 개조는 가솔린 엔진 개조에 비하여 복잡하고 비용도 많이 들어간다. 디젤엔진을 개조하는 국가는 미국, 유럽 등의 선진국을 포함하여 이란, 태국, 우리나라 등 개발도상국에 이르기까지 전 세계적으로 진행되고 있으며 기술수준은 매우 높다.

디젤엔진 개조는 실린더 헤드개조, 피스톤 가공, 인젝터 설치 등 많은 수작업을 필요로 하지만 디젤엔진에 비하여 매연, 질소산화물, CO 등이 적게 나오기 때문에 세계 각국 정부에서 개조비 지원을 하고 있다.

자동차 강국인 우리나라는 오히려 개조시장이 비교적 적기 때문에 개조기술이 우수하지 못한 실정이다. 최근 승용차량 개조가 진행되었고 디젤차량 개조도 한국가스공사에서 정책적으로 진행하였지만 개조시장이 너무 협소하여 기술개발의 동기부여가 미약한 실정이다. 이로 인하여 개도국 등 관련 해외시장에의 진출에도 어려움을 겪고 있다.

천연가스자동차 개조기술 및 시장의 국제적 추이를 보면 충전소 인프라 구축이 낮은 초창기 시장에는 개조시장이 확대되는 경향을 보이고 있다. 그러나 충전소 인프라 구축이 국가별로 일정수준 이상 보급되어 가스공급 여건이 조성되면 자동차제조사에서 OEM 전용으로 차량을 개발하여 제작 및 판매를 하는 단계에 접어든다. 그 단계 이후에는 개조시장은 쇠퇴하게 되며 궁극적으로는 자동차제조사에서 천연가스자동차를 제작 공급하는 체계로 전환되는 것이 일반적인 천연가스자동차 개조시장 및 기술추이이다.