

소형승합차량용 CNG 전소엔진 전환기술 개발

김강출, 권오석, 표영덕, 고창조, 이영재
한국에너지기술연구소

Development of Conversion Technology to CNG Dedicated Engine for Small Van

G. C. Kim, O. S. Kwon, Y. D. Pho, C. J. Koh, Y. J. Lee
Korea Institute of Energy Research

1. 서론

천연가스차량은 기존 내연기관 차량을 크게 수정하지 않고 개발이 가능하며, 연비 및 배출가스, 그리고 안전성 측면에서 우수한 특성을 가지고 있다. 또한, 연료인 천연가스의 매장량이 풍부하기 때문에 대체연료자동차로서 그의 보급이 확대되고 있으며, 이미 전세계적으로 120만대 정도의 천연가스차량(NGV)이 운행되고 있다.

국내에서도 최근에, 저공해 대체에너지차량 개발의 일환으로 자동차업계 및 연구기관 등에서 천연가스차량에 대한 연구개발을 활발히 추진하고 있으며, 현재 프로토타입의 천연가스전소 승용차 9대와 천연가스전소 시내버스 4대가 안산 및 인천지역에서 공식적으로 시범운행을 실시하고 있다. 특히 정부부처인 환경부에서는 2002년도 월드컵을 맞이하여 월드컵이 개최되는 주요도시의 시내버스를 천연가스버스로 전환하려는 시책을 적극 추진하고 있어서, 가까운 장래에 국내에도 천연가스차량의 보급이 확대될 것으로 전망된다.

이에, 본 연구에서는 현재 국내에서 연구개발이 추진되고 있지는 않지만, 업무용차량(배송차량 등)이나 통근·통학차량 등 플릿차량으로서 많이 활용되고 있고, 또한 최근에는 다목적차량(MPV)으로서 승용차를 대체하여 국내외적으로 급성장 추세를 보이고 있는 소형승합차를 대상으로 천연가스차량으로의 전환기술을 개발하고자 하였다.

2. CNG 전소엔진 개발

2-1. 전환대상 엔진 및 차량

기존엔진을 천연가스전소엔진으로 전환하는 경우에는 천연가스엔진과 동일한 불꽃점화방식의 가솔린엔진을 베이스엔진으로 하는 것이 보다 효율적이기 때문에, 본 연구에서도 소형승합차인 기아자동차(주)의 카니발 중에서 가솔린엔진을 장착한 모델을 전환대상 차량으로 선정하였다. <표 1>에 전환대상 엔진 및 차량의 주요 제원을 나타낸다.

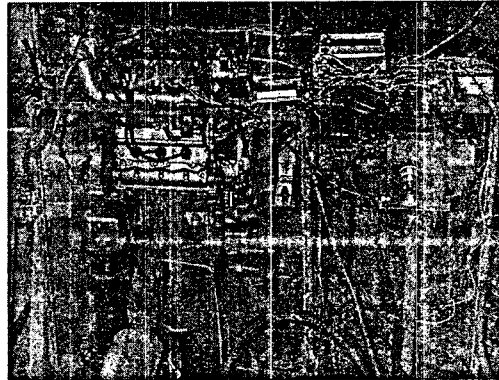
2-2. CNG 전소엔진으로의 전환

천연가스 전소엔진으로 전환하기 위하여, 기존 가솔린 엔진의 엔진제어시스템 및 연료공

급시스템 등을 탈거하고, 후술하는 CNG 엔진용 엔진제어시스템 및 연료공급시스템을 장착하였다. [그림 1]에 본 연구에서 개발한 CNG 전소엔진의 전경을 나타낸다.

<표 1> 전환대상 엔진 및 차량의 주요 제원

Vehicle			Engine	
Items		Specifications	Items	Specifications
Exterior	Length	4,890 mm	Max. Power	160PS/6500rpm
	Width	1,895 mm	Max Torque	21kg.m/4000rpm
	Hight	1,730 mm	Bore×Stroke	80×82.8
Interior	Length	2,595 mm	NO. of Cylinder	6
	Width	1,625 mm	Displacement	2497cc
	Hight	1,235 mm	Bore pitch	88mm
Axle Base		1,635 mm	Bank angle	90°
Wheel Base	Front	1,600 mm	Weight	152.1kg
	Rear	1,835 mm	Length×Width×Height	493×694×676 mm
Max. Speed		175km/h	Compression ratio	10.4
Fuel Economy		20.8km/L at 60km/h	ECU system	Siemens



[그림 1] 천연가스 전소엔진의 전경

가. CNG 전소엔진 제어시스템

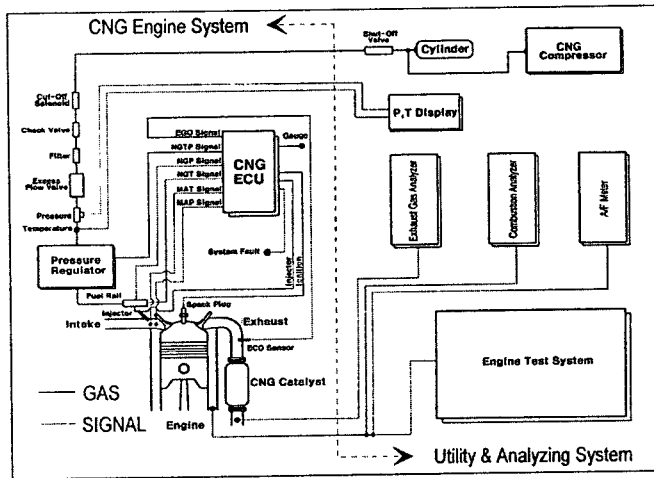
천연가스와 가솔린은 연료의 물성이 상이하어, 엔진 운전조건에 따른 연료분사량과 점화시기 등이 다르기 때문에, 기존 가솔린엔진의 ECU 및 Map Data를 활용할 수 없다. 또한 천연가스엔진의 최적화를 위해서는 연료분사량, 분사시기, 점화시기 등 제반 변수값을 변화시켜야 한다. 따라서, 본 연구에서는 연료 분사량 및 분사시기, 점화시기, 공기연료비 등 엔진의 제반 운전변수를 변화시킬 수 있는 범용 엔진컨트롤시스템(MoTec사의 M8 ECU)을 사용하였다.

한편, 엔진 제어를 위하여 필요한 센서로서, 1번 실린더의 압축상사점 위치를 검출하는 캠축 위치센서, 크랭크축에 설치하여 크랭크각을 검출하는 크랭크각센서, 엔진 드로틀위치센서, 공기온도센서, 엔진온도센서 등은 기존엔진의 것을 그대로 사용하였으나, 연료인 천연가

스의 온도와 압력을 측정하기 위하여 연료 압력센서와 온도센서를 추가로 장착하였다. 그리고, 엔진의 응답성을 높이기 위하여, 기존엔진에서 사용하던 Mass Flow 방식의 흡입공기량 센서를 Speed Density 방식인 MAP(Manifold Absolute Pressure) 센서로 변경하였고, 공연비 센서는, 이론공연비엔진에서 사용되는 EGO (Exhaust Gas Oxygen) 센서 대신에 Lambda 센서로 교체하여 여러 공연비 조건에서 운전이 가능하도록 하였다.

나. CNG 전소엔진 연료공급시스템

[그림 2]에서 보는 것처럼, CNG Compressor에 의해 약 200kg/cm²로 압축된 천연가스는 고압 연료라인을 통해 천연가스 전소엔진의 연료공급계로 유입된다. 고압 연료라인과 연료 공급계 사이에는, 수동으로 작동되는 비상차단밸브(Shut Off Valve), 가스경보기에 의해 가스누출이 감지되거나, 엔진전원 OFF시에 자동으로 연료가 차단되는 고압솔레노이드밸브(Cut-Off Solenoid Valve), 천연가스 내의 각종 이물질이 엔진에 유입되는 것을 방지하기 위한 CNG Filter를 설치하였다. 필터를 거친 고압의 천연가스는, 연료라인의 파손 등에 의해 일정량 이상의 연료가 급격히 방출되는 경우에 연료를 차단하는 연료과류방지밸브(Excess Flow Valve)를 통하여, 천연가스 압력 레귤레이터(Regulator)로 유입된다. 레귤레이터에서는 200kg/cm² 정도의 고압으로 공급된 천연가스를 인젝터 분사압력(7 bar)까지 감압하며, 감압된 연료는 온도 및 압력 보정을 위한 온도센서와 압력센서를 거쳐, 최종적으로 Common Fuel Rail에 유입되어, CNG Injector를 통해 각 실린더의 흡기포트 내로 분사된다.



[그림 2] CNG 전소엔진 및 엔진시험시스템의 개략도

다. CNG 전소엔진 점화시스템

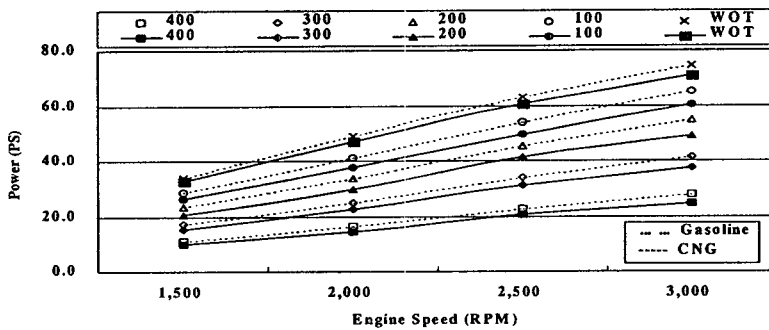
점화시스템에 대해서는, ECU 점화시그널과 점화코일(Ignition Coil) 사이에 파워트랜지스터(Power Transistor)를 추가로 설치하여, ECU 점화시그널에 의해 1차 점화코일에 흐르는 전류를 단속하여, 2차코일에 고전압을 발생시켜 점화가 일어나도록 구성하였다. 천연가스엔진의 경우에는 보다 높은 점화에너지를 방출하는 점화코일을 사용하거나, 기존 가솔린엔진에서보다 고열가인 점화플러그를 사용하기도 하지만, 예비실험에서, 본 천연가스 전소엔진의 경우에는 기존의 점화계를 사용하여도, 착화 및 연소안정성 등에 전혀 문제점이 없었기 때문에 기존 가솔린엔진의 점화계를 대부분 그대로 사용하기로 하였다.

3. CNG 전소엔진 성능시험

CNG 전소엔진의 성능을 평가하기 위한, 성능시험시스템은 [그림 2]에서 보는 것처럼, 크게 나누어, 천연가스 전소엔진, 천연가스 압축·저장계, 엔진성능측정기기류 등으로 구성된다. 천연가스의 압축저장시스템은 미국 IIE ENERGY사의 CNG Compressor/Cascade System을 사용하였으며, 동 시스템에 의해 도시가스공급망을 통해 공급된 천연가스를 약 3600psi의 압력까지 압축·저장하여 천연가스엔진에 공급하였다. 그리고 엔진회전속도, 토크, 연료소비량, 각종 배출가스농도, 흡입 공기량, 온도(윤활유, 천연가스, 엔진냉각수, 흡입공기), 압력(흡기관 부압, 윤활유, 천연가스공급압력 등), 공연비(당량비) 등 엔진동력계와 제반 측정기기류에서 출력되는 신호는 데이터에퀴지션시스템에 의해 측정되었으며, 이를 기초로 출력, 연료소비율 등을 산출하였다.

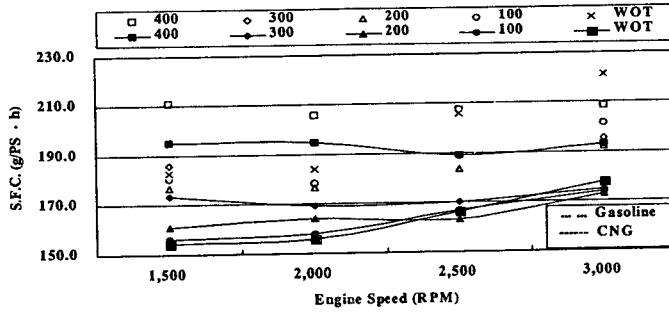
3-1. 천연가스엔진과 가솔린엔진의 성능비교

[그림 3]에 여러 엔진 회전속도 및 부하 조건에서의 천연가스 전소엔진과 가솔린엔진의 출력특성을 나타낸다. 천연가스 전소엔진과 가솔린엔진 모두 엔진 회전속도 변화에 따른 출력 변화특성은 비슷하나, 체적효율의 저하로 인하여 동일한 흡기관부압 조건에서는 천연가스 전소엔진의 출력이 다소 저하됨을 볼 수 있다. 그러나, 본 연구에서의 출력저하는 통상 알려져 있는 10% 정도의 출력저하에 비해 적으며, 이는 천연가스 연료의 공급방식을 MPI로 하고, 분사압력을 7bar로 높여서, 체적효율의 저하를 최소화하였고, 천연가스연료의 특성에 맞추어 점화시기 및 연료분사량/분사시기를 최적화하였기 때문이라고 생각된다. 한편, 천연가스는 연료의 옥탄가가 가솔린에 비해 훨씬 높아서(가솔린의 RON 95 대비 RON 130 정도), 엔진의 압축비를 가솔린 사용시보다 훨씬 높일 수 있기 때문에(가솔린엔진의 9.0 대비 통상 11.0 정도), 고압축비화하면 출력저하폭을 보다 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

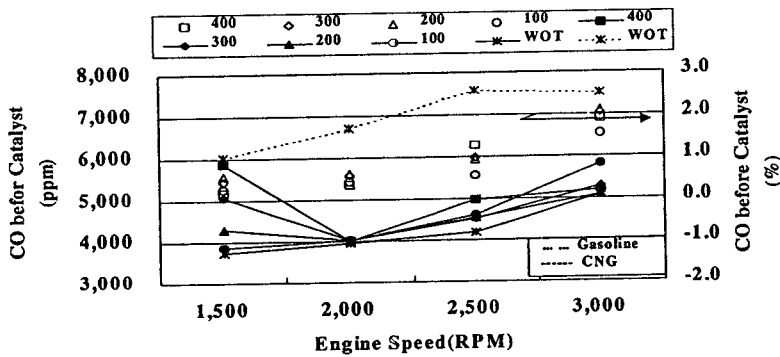


[그림 3] 천연가스엔진과 가솔린엔진의 출력 특성 비교

[그림 4]는 여러 엔진 회전속도 및 부하 조건에서의 천연가스 전소엔진과 가솔린엔진의 단위출력·시간당의 연료소비량(g/PS·h)인 연료소비율 특성을 보여주고 있다. 그림에 의하면 천연가스 전소엔진의 경우에는 가솔린엔진에 비하여 모든 엔진 회전속도 및 흡기관부압 조건에서 연료소비율이 감소하여, 최대출력시인 WOT 조건에 있어서 15 ~ 20 %의 연료소비율이 저하함을 볼 수 있다. 천연가스의 저위발열량은 약 11,900 kcal/kg으로서 가솔린의 약 10,500 kcal/kg에 비해 14 % 정도 높기 때문에, 에너지소비율(kcal/PS·h)로 환산하면, 4 ~ 9 %의 에너지절약효과가 있으며, 엔진의 압축비를 높여 효율을 보다 개선하면 10 ~ 20 % 정도 에너지소비효율을 증가시킬 수 있어서, 천연가스 전소엔진은 에너지절약에 효과가 있음을 알 수 있으며, 이에 따라 CO₂ 저감효과도 얻을 수 있을 것으로 생각된다.



[그림 4] 천연가스엔진과 가솔린엔진의 연료소비율 특성 비교



[그림 5] 천연가스엔진과 가솔린엔진의 촉매전 CO 배출농도 비교

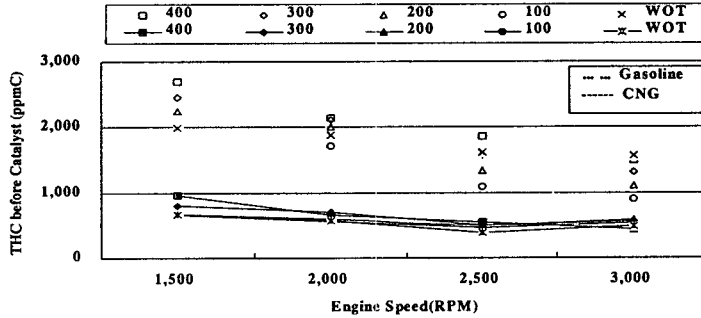
3-2. 천연가스엔진과 가솔린엔진의 배출가스비교

[그림 5] ~ [그림 7]에 여러 엔진 회전속도 및 부하 조건에서의 천연가스 전소엔진과 가솔린엔진의 촉매전(Engine Out) CO, THC 및 NOx 배출특성을 나타낸다. 그림에 의하면, 천연가스엔진의 CO, THC, NOx 배출농도 모두 대부분의 운전조건에서 가솔린엔진에 비해 매우 낮음을 알 수 있다.

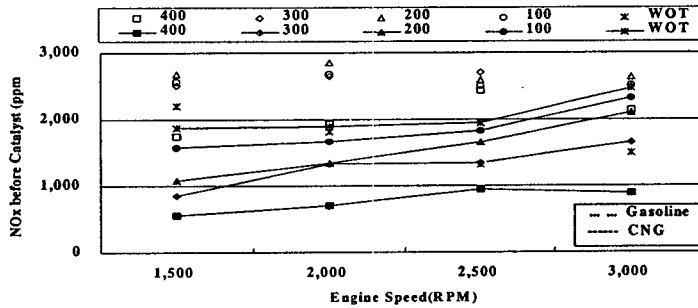
4. 결론

본 연구에서는 소형승합차용 가솔린엔진을 CNG 전소엔진으로 전환하였다. 동 개조엔진을 사용한 성능시험 결과, 동일한 흡기관부압조건에서 베이스엔진에 비해 천연가스 전소엔진의 경우에 토크가 다소 저하하여, 최대토크 조건인 WOT(드로틀밸브 전개) 경우에는 3 ~ 5% 정도 감소하였다. 그러나, 통상 알려진 천연가스엔진의 토크저하폭인 10%보다는 낮은 값을 나타내었으며, 이는 천연가스의 연료공급방식을 MPI방식으로 하고, 분사압력을 7bar로 높여 체적효율의 저하를 최소화하였으며, 천연가스의 특성에 맞추어 점화시기 및 연료 분사량/분사시기를 최적화하였기 때문인 것으로 생각된다. 배출가스 특성에 있어서는 대부분의 운전

조건에서, 천연가스 전소엔진의 촉매전단(Engine Out) CO, THC, NOx 배출농도가 가솔린엔진에 비해 매우 낮게 배출되었으며, 에너지 측면에서도 4 ~ 9 % 정도의 에너지절약효과가 있었다.



[그림 6] 천연가스엔진과 가솔린엔진의 촉매전 THC 배출농도 비교



[그림 7] 천연가스엔진과 가솔린엔진의 촉매전 NOx 배출농도 비교

5. 참고문헌

- [1] 金榮吉, 天然가스自動車, 自動車研究 13卷 11號, 1991.
- [2] 이영재 외, 대형 디젤엔진의 천연가스전소엔진으로의 개발연구, KIER 연구보고서, 1994.
- [3] International Conference and Exhibition for Natural Gas Vehicles, "NGV Becoming a Global Reality", 26-28 May 1998 Cologne, Germany
- [4] 자동차환경 기술 및 정책동향, '97 서울모터쇼 기술세미나
- [5] 金榮吉 외 3인, New Clean Energy Vehicle, 山海堂
- [6] 최규훈 외, 천연가스차량의 시험운영 및 성능시험 연구, 기아자동차 연구보고서, 1997
- [7] Position Paper on Natural Gas Vehicles, LANGV Position Paper 1997
- [8] Jouke van der Weide, et al., Experience with CNG and LPG Operated Heavy Duty Vehicle with Emphasis on UD HD Diesel Emission Standards, SAE 881657.
- [9] John S, Heenam, "Fuel System Pressure Control Improves NGV Performance", SAE 960851