

노후 경유자동차의 천연가스 자동차로의 개조기술 개발

이중성[†]·김봉규· 채정민 ·한정옥*· 나평철**

Engine Management System remodeling from diesel to CNG system on used diesel truck(3.3L)

J.S. Lee[†], B.G. Kim, J.M. Chea, J.O. Han, P.C. Na**

Key Words: certification(인증), Compressed Natural Gas(압축천연가스), retrofit (개조) used diesel vehicle (노후 경유 차량), retrofit (개조), Particulate Matters(PM:디젤 입자상 물질)

Abstract

The government have been tightening EM regulation gradually but the effect is not good because of rapid increase of vehicles. And medium & heavy duty diesel vehicles, even though the number is small, exhaust very large pollutants(about over 50%). Especially it is more severe about old trucks and buses. Accordingly, CNG vehicle and the retrofit of diesel to CNG must be an alternative in order to protect the atmospheric environment and improve the air quality in the metropolitan area. The main object of this study is to secure the retrofit technology of diesel to CNG vehicle and the management system of CNG engine.

we passed the government emission certification test. In addition to this, the mass production for retrofit is also studied. Results of emission and durability test for certification are as follows; there was no problem during 30,000km vehicle durability test and good emission levels satisfying the regulation.

LPG 및 CNG 차량으로의 개조를 적극 추진하고 있다.

1. 서 론

정부의 지속적인 배출가스 허용기준 강화에도 불구하고 자동차의 급격한 증가로 인하여 대기의 질이 크게 악화되고 있으며 특히 중·대형 경유 차량은 오염물질 배출량이 훨씬 많고 노후차량일 수록 더 심각하다. 이에 따라 정부에서는 「수도권대기환경개선특별법」을 마련하여 무·저공해 자동차의 보급을 추진하고 있으며 운행 중인 디젤 차량에 대한 배출가스 저감장치의 부착과

자동차 연료로서의 천연가스는 풍부한 매장량과 청정성 그리고 경제성과 저공해성을 모두 갖춘 연료이다. 특히 고옥탄가와 넓은 연소한계 그리고 낮은 미연탄화수소 배출특성과 지구 온난화 물질인 이산화탄소 배출 저감 등의 특성을 갖고 있고 디젤엔진과 가솔린엔진 모두에 적용이 가능한 우수한 연소 및 배출특성을 갖고 있어 향후 세계적으로 강화되는 자동차 배출가스규제에 능동적으로 대처할 수 있는 가장 현실적인 대체연료라고 할 수 있다.

현재 2004년도부터 시작한 DPF와 DOC같은 배출가스 저감장치와 LPG 저공해엔진 개조장치들은 인증이 획득되어 구체적인 정부 지원책이 마련되어 이에 대한 사업이 활발히 진행되고 있는 실정이다. 그러나 천연가스 자동차는 배출가스 저감뿐만 아니라 연료비 저감측면에서 매우 우수

† 회원, 가스공사

E-mail : jslee@kogas.or.kr

TEL : (031)400-7532 FAX : (031)416-9014

* 가스공사

** 엔진텍

함에도 불구하고, 천연가스자동차로의 개조 및 인증 사업은 준비단계로 인증취득 장치가 없어 천연가스 개조자동차에 대한 정부 지원책이 마련되어 있지 않은 상태이다.

따라서 수도권 대기의 질을 개선하고 천연가스 자동차의 보급 확대를 위해서는 운행 중인 노후 경유자동차를 천연가스자동차로 개조하는 기술개발 및 관련 인증을 획득함으로써 중·대형 운행 경유자동차의 CNG 차량으로의 개조 기술을 확보할 필요가 있다.

이에 본 연구를 통해 배출가스규제(EURO-3)를 만족하기 위한 정밀 공연비 제어 기술을 개발하고 NGV 차량으로의 개조기술을 확보하기 위해 3.3L TCI 엔진이 탑재된 3.5톤 차량을 주요 개조 목표로 설정하였다. 3.3L TCI엔진은 2톤, 2.5톤, 3.5톤 차량에 공히 탑재되어 있으며 1개 차량에 대하여 인증을 획득하면 동일엔진이 탑재되어 있는 상기 3개 차종에 대한 인증을 확보 할 수가 있다.

2. 연구내용 및 방법

연구개발의 내용은 압축착화방식의 디젤기관 차량인 1997년식 3.5톤 경유 트럭(Mighty 카고)을

시스템의 구조를 변경하였다.

Table 1 specifications of diesel engine

	Engine type	
	Diesel (개조전)	CNG (개조후)
Engine model	D4AE/AL (’97년식) HD3.5T truck	←
Engine type	In-Line 4	←
Aspiration method	NA	←
Displacement (cc)	3298	←
Bore × Stroke(mm)	100 × 105	←
Comb. Chamber	IDI	Bath tub
Ignition Type	CI	SI
Compression ratio	16.5	11.5
Max. Power (PS/ rpm)(15만주행)	118/3400 (105/3400)	←
Max. Torque (kg · m/rpm)	29/2000 (24.5/2000)	←
Fuel Tank size(ℓ) (water volume)	60	242

2.1 엔진 사양 및 주요 개조 장치

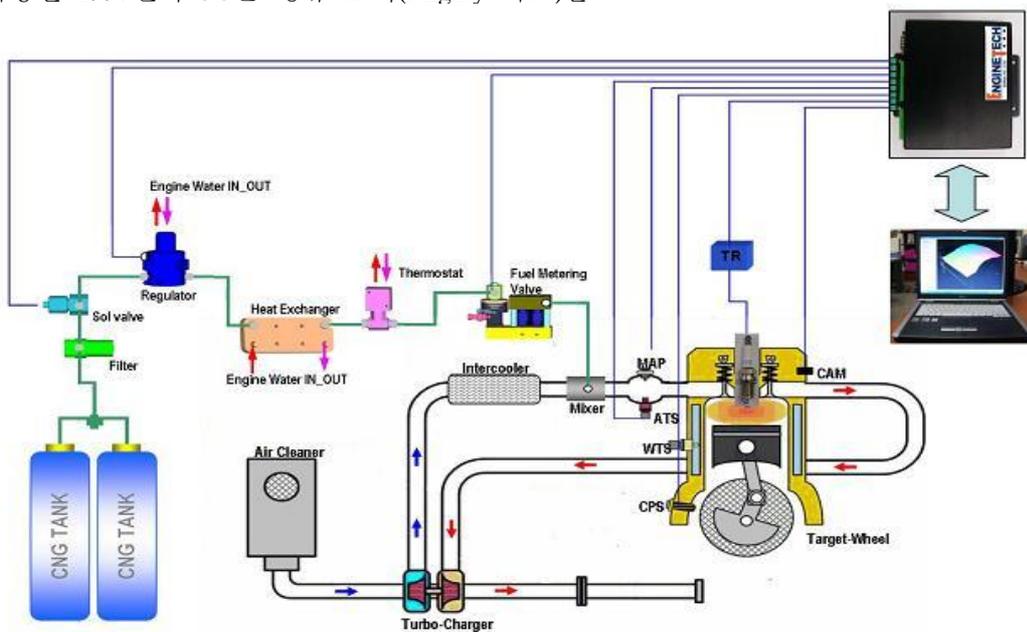


Fig. 1 Schematic diagram of CNG engine system

불꽃점화 방식의 천연가스차량으로 개조하기 위하여 연소실 형상, 연료공급, 제어시스템 및 점화

Table 1은 연구에 사용된 차량에 탑재한 엔진의 재원과 CNG 엔진으로 개조한 후의 변경된 제

원들을 나타낸 것으로, 배기량이 3298cc이고 압축비가 16.5인 디젤엔진을 동일한 배기량으면서 압축비가 11.5인 불꽃점화방식의 천연가스엔진으로 개조 하였다.

디젤엔진에 장착하였던 In-line type의 연료분사 펌프와 연료분사기는 탈착하여 제거하였으며, 연료분사기를 탈착한 위치에 점화플러그를 장착하여 불꽃점화시스템으로 구조를 변경하였다

Fig. 1은 디젤엔진시스템을 개조한 CNG 엔진 시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

2.2 연소실 및 피스톤 변경

CNG 엔진용 D4AE-C 실린더 헤드사양은 기존 경유엔진용 실린더 헤드의 분사노즐자리에 점화플러그를 장착할 수 있도록 정밀가공 후 기밀시험을 실시하여 제작하였다.



Fig. 2 Retrofit cylinder head



Fig. 3 Retrofit piston



Fig. 4 Target Wheel

CNG엔진용 D4AE-C 피스톤 사양은 신품 피스톤의 연소실 형상을 가공하여 압축비(11.5)를 변경한 사양으로 교환 조립하였다.

피스톤링은 신품으로 교환하며, 조립 시 피스톤 링 절개부의 위치에 유의하여 조립하여야 하며, 절개부는 서로 90° 위상으로 조립하였다.

2.3 크랭크각 검출, 점화시스템 및 흡기부 장착

Fig. 4와 같이 CNG엔진용 D4AE-C 타겟 휠(Target Wheel) 사양은 잇수가 60-2개 사양으로 엔진의 점화시기의 판단을 위하여 크랭크 풀리 전단에 조립하였다. 이 때 크랭크 풀리 내경에 타겟 휠어댑터를 설치하고 어댑터에 타겟 휠을 장착하였다.

크랭크 앵글 센서(Crank Angle Sensor) 브라켓은 오일 팬 체결볼트와 함께 조립하여 체결하고, 타겟 휠과 크랭크 앵글 센서와의 간격은 0.5~0.7mm간격으로 조정하여 장착하였다.



Fig. 5 Crank angle Sensor



Fig. 6 Ignitor

점화플러그는 CNG 버스용 백금이리듬 점화 플러그를 사용하였다. 점화코일 (Ignition Coil)은 Stick Coil 형태로 고전압 배선(하이텐션 코드)이 없이 파워 트랜지스터(Power TR)에서부터 점화 신호를 받는다.



Fig 7 Ignition Coil

Fig. 8은 CNG 엔진용 흡기 매니폴드는 쓰로틀 바디를 장착한 상태를 나타내며, Fig. 9는 터보차저를 출구의 흡기온도를 제어하기 위하여 인터쿨러를 장착한다. 인터쿨러는 라디에터 전면 하단에 장착한다.



Fig. 8 Intake manifold and throttle body



Fig. 9 Intercooler

2.4 연료공급 및 제어시스템

CNG 시스템은 엔진상태를 감지하는 센서, 센서의 출력 신호로부터 시스템을 제어하는 ECU, ECU의 제어하에서 작동되는 액츄에이터로 구성된다. ECU는 연료분사, 공회전 속도 그리고 점화시기와 같은 활동을 제어하며 다양한 진단 테스트 모드를 가지고 있어서 고장이 발생하면 간단하게 진단할 수 있도록 한다.

2.4.1 연료분사제어

인젝터 작동시기와 분사시기를 제어하여 연속적으로 변하는 엔진 작동상태에 따라 최적의 공연비를 실현한다. 인젝터는 Fuel Metering Valve 라는 module 형태로 엔진의 실린더 블록에 장착되고 스로틀 바디 전단에 설치된 흡기 파이프로 연료를 공급한다. 공급된 연료는 파이프 내경에 설치된 믹서를 통하여 흡입공기와 균일하게 혼합되어 엔진으로 공급된다. 고압레귤레이터는 고압으로 압축되어진 연료를 일정압력(0.8MPa)으로 조

정하여 인젝터로 연료를 공급하는 역할을 한다. 혼합된 연료는 크랭크샤프트가 2회전할 때마다, 각 실린더의 흡기 밸브가 열리는 시기에 공급되며, 점화순서는 1-3-4-2 순으로 수행된다.

2.4.2 공회전 속도 제어

공회전 조건과 공회전시의 엔진부하에 따른 최적의 공회전 속도를 유지하기 위하여 스로틀 밸브를 지나는 바이패스 공기량을 조절한다. ECU는 엔진 냉각수 온도와 에어컨 부하에 대해 공회전 속도를 일정하게 유지하기 위해 아이들 스피드 컨트롤(ISC) 모터를 구동한다. 또한 엔진이 공회전 상태일 때 에어컨 스위치의 On/Off에 따라 공회전 속도가 변할 수 있는데 이 때 아이들 스피드 컨트롤(ISC) 모터가 바이패스 공기량을 조절하여 공회전 속도를 일정하게 유지 시킨다.

2.4.3 점화시기 제어

ECU는 외장형 점화 파워트랜지스터(Power TR)를 On/Off하여 점화코일에 유입되는 1차 전류를 제어한다. 이러한 제어는 엔진 작동조건에 따른 최적의 점화시기를 제공하기 위해서이다. 점화시기는 엔진 속도, 흡입 공기량, 엔진 냉각수 온도와 대기압 등에 따라 ECU가 결정한다.

2.4.4 기타 제어 기능

ECU는 크랭크센서로부터 엔진의 회전수를 검출하여 엔진회전수가 최고회전수를 초과하면 순간적으로 인젝터에서 연료를 차단하고 다시 복귀한다. 그리고 운전자의 의도를 스로틀 포지션 센서를 통하여 감지하여 급가·감속 시 연료량을 순간적으로 가감시켜 빠르게 대응한다.

3. 개조 결과 및 고찰

3.1 개조 후 엔진 성능 및 안정성

천연가스엔진으로 개조 한 후 엔진의 출력성능 및 내구성능을 평가하기 위하여 315HP(GE Co. Ltd.) 엔진동력계를 이용하여 출력성능 평가, 내구시험 및 배기특성시험을 실시하였으며, 동력계 시험을 마친 후에는 개조한 엔진을 차량에 장착하여 출력, 가속성을 평가하였다.

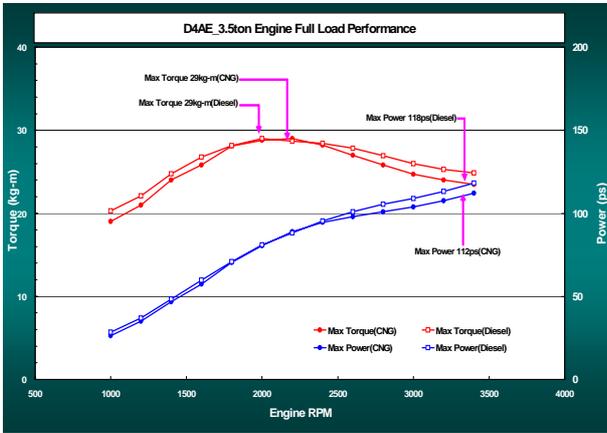


Fig. 10 Performance of diesel engine and CNG engine at full load(D4AE CNG/Diesel)

차량의 운전특성은 동력성능으로 평가하는 것이 일반적이거나 중·대형차량에서는 최대토크와 최고출력으로 차량의 성능을 평가한다. Fig. 10은 현대 마이티 3.5ton D4AE 디젤엔진(신차기준)과 자체 개발한 D4AE 천연가스엔진(개조엔진)의 출력과 토크를 비교한 그래프이다.

최대토크는 디젤엔진과 천연가스엔진이 유사하게 29kg-m이고 최고출력은 디젤엔진 대비 천연가스엔진이 약 6마력 떨어지는 112마력으로 나타났다. 상기 디젤엔진은 신차기준이고 중고 디젤엔진은 약 105마력 정도로 사실상 디젤엔진과 천연가스엔진의 출력은 유사한 수준으로 판단하고 있다.

3.1.1 저·중속 운전특성

천연가스엔진은 디젤엔진 대비 저·중속 토크가 떨어지기 때문에 출발 시 약간의 지연시간 발생하지만 저·중속 운전 중에는 거의 차이가 없다. 오르막 정차 후 출발 시 디젤엔진 대비 저속토크 부족으로 반 클러치를 많이 사용하여 클러치 내 구수명이 약간 단축될 수 있으나 운전습관으로 충분히 극복 가능하다.

3.1.2 고속 운전특성

고속운전에서는 큰 부하를 요구하지 않기 때문에 주행성능은 별 차이가 없을 것으로 판단하고 또한 최고속도는 두 차량 모두 동일한 수준으로 판단한다.

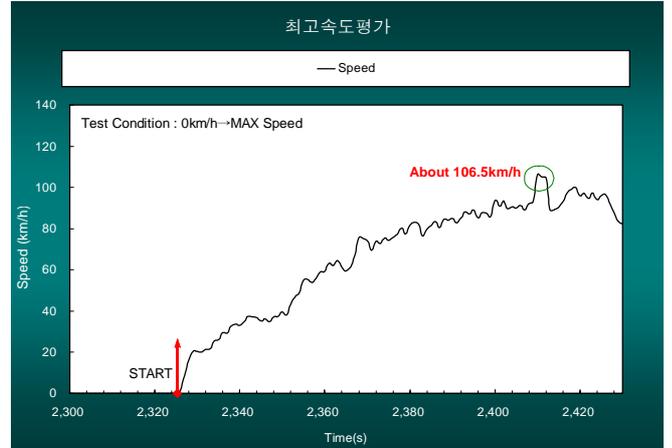


그림 11 Accelerating ability of retrofit CNG vehicle

3.2 CNG엔진과 디젤엔진의 배기특성비교

(D-13mode)

천연가스 자동차의 배출가스 중에서 유해가스로 규제하는 성분은 CO, HC, NOx이며, 디젤자동차에는 CO, HC, NOx 이외의 PM과 매연(smoke)을 규제하고 있으며 경유자동차의 경우는 NOx와 PM의 배출량이 많이 문제시 되고 있다.

아래의 배출가스시험 결과 값은 중량자동차 엔진시험모드인 D-13모드의 결과를 나타낸 것으로 현대자동차 마이티 D4AE엔진의 결과와 이 엔진을 천연가스 엔진으로 개조하였을 때의 결과를 나타낸 것이다.

디젤을 베이스로 개조한 천연가스 엔진의 결과는 기존 디젤엔진에서 문제시 되고 있는 NOx와 PM을 혁신적으로 저감하였다.

Table 2 Exhaust emissions of diesel engine and CNG engine (13 Mode)

		CO	HC	NOx	PM
		[g/kwh]	[g/kwh]	[g/kwh]	[g/kwh]
디젤	규제치	4.9	1.2	11.0	0.9
	실측치	4.55	0.87	9.92	35% (SMK)
CNG	K2002	33.5	1.3	5.5	-
	인증시험 결과(CNG)	3.389	1.024	1.475	0

4. 결 론

인증시험기관 실차시험을 통하여 3.5톤 경유 차량의 천연가스 차량으로의 개조에 따른 내구신뢰성 및 차량 동력성능이 개조 전 경유 차량과 동등수준으로 적합함을 확인할 수 있었다.

동 차량에 탑재된 엔진을 탈거하여 공인인증기관에서 실시한 배출가스시험 결과 2002년 6월 가스차량 배출가스 기준을 만족함에 따라 경유자동차의 천연가스 엔진개조 장치에 대한 내구 신뢰성 및 차량 동력성능 그리고 배출가스 규제 대응에 대한 모든 기술적인 인증 절차를 만족하였다.

특히 배출가스성능에 있어서 가스자동차 배출가스 규제를 만족함에 따라 경유자동차에서 가장 문제시 되고 있는 PM과 매연(smoke) 배출량이 거의 없는 수준으로 대기 환경 개선 효과는 매우 지대하며 DOC(Diesel Oxidation Catalyst)나 DPF(Diesel Particulate Filter)와 같이 주로 매연이나 PM 저감을 주목적으로 하는 것이 아니라 CO, HC, NOx 등의 물질도 동시에 저감됨으로 인해 환경 개선 효과는 매우 큰 것으로 판단되며 향후 저공해 차량 보급의 선두적인 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) Lee, J. S. and Na, P.C., 2006, "Engine Management System remodeling from diesel to CNG system on used diesel truck(3.3L) and certification" Report of KOGAS, Vol. 1
- (2) Lee, J. S. and Kim, J. H., 2006, " Engine Management System remodeling from diesel to CNG MPI system on used diesel truck(Bongo Frontier) and certification" Report of KOGAS, Vol. 1

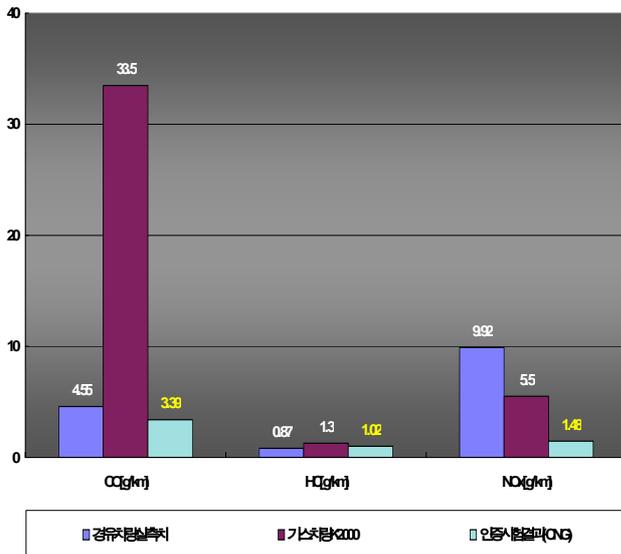


Fig. 12 Exhaust emissions

3.3 실차 내구시험 data logging 항목

주행 시 엔진의 정상적인 상태를 확인하기 위하여 차속과 엔진 회전수, 배기가스온도와 엔진 냉각수 온도 및 배기가스압력을 모니터링 (monitoring) 하였다.

그 결과 주행 중 엔진 회전수와 배기가스 온도 및 엔진 냉각수 온도의 정상적인 조건에서 작동하였다.

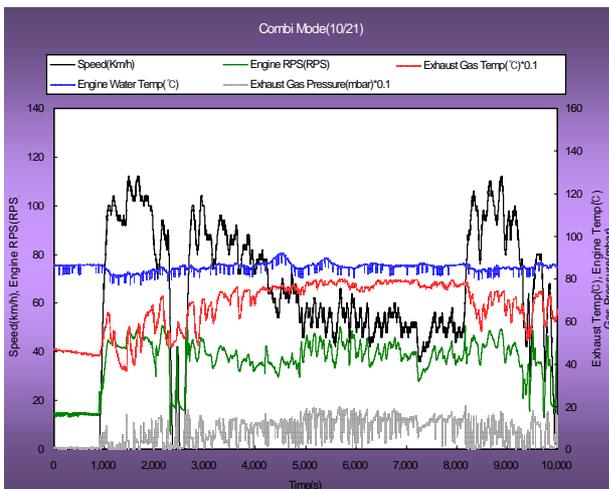


Fig. 13 Data logging of fleet test