

소형 트럭용 CNG/가솔린 겸용 엔진 개발과 성능 분석

Development of CNG/Gasoline Bi-fuel engine for a small truck and the evaluation of engine performance

권 오 운· 김 재 수· 박 용 국· 김 성 준
Kwon, O-Woon Kim, Jae-Soo Park, Yong-Kook Kim, Sung-Joon

Abstract

A diesel truck of 1 ton is re-powered by a gasoline engine and the fuelling system of gasoline engine is modified to gasoline/CNG bi-fuel system. The engine characteristics such as fuel economy and power are evaluated by driving test, sloping test and dynamometer. The driving test prove the driving cost is saved by 55% and the maximum speed is raised by 13%, which is mainly due to the higher calorific value of CNG. The sloping test is done on the road of which slope is 15%. The truck shows the mean velocity of 88km/h, which means that a re-powered truck is working fine. The BHP are measured by dynamometer. The power and torque produced by a re-powered truck are reduced by 13% and 14% respectively from the power of gasoline engine. The BHP reduction is one of main problems which one has to solve in near future.

키워드 : 천연가스, 천연가스 자동차, 개조 차량, 겸용 엔진

Keywords : natural gas, CNG vehicle, re-powered vehicle, bi-fuel engine

1. 서론

1.1 연구 배경

현대 들어 산업화와 도시화로 인하여 대기환경은 극도로 악화되었다. 정부는 대기오염에 대한 심각성을 인식하고 대기오염물질을 산업과 경제의 전 분야에서 방지하고 관리하기 위하여 "고체 연료사용 규제" 정책을 시행하는가 하면, SOx, NOx, CO, PM10등의 오염 물질을 기준으로 하여 서울특별시, 인천광역시와 경기도의 15개시를 '대기환경 규제 지역'으로 지정하여 오염물질을 발생

시키는 산업체에 대한 규제를 실시하고 있는 실정이다. 또한, 전국의 대기오염 실태에 대한 실시간 오염 상황을 파악하고, 대기질 개선대책 수립에 필요한 기초자료를 확보하기 위하여 환경부(환경관리청)와 지자체에서 '지역대기측정망' 등 10개 종류의 측정망 360개소를 설치·운영하여 관리 감독을 진행하고 있다. '대도시 대기질 관리에 관한 국제워크샵'에서 발표되어진 내용을 보면, 자동차 배출허용기준 강화 및 저유황 보급정책 추진(러), 구형 모델 일부 차종의 북경시내 주행 제한(중), 일정비율 이상의 저공해자동차 보급의무(10%), 2년마다 운행차량에 대한 정밀검사(미), 자동차 NOx, PM 법 제정(01), 저공해자동차 세금 감면, 제작차 배출허용기준 강화(일) 등, 사업장 대책뿐만 아니라 자

* 강원대학교 대학원 석사과정

** (주) 엔지브이아이

*** 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 교수

동차에 대한 구체적인 대응 방안을 제시시행 하고 있는 실정이다. 특히 자동차에서 배출되어지는 배출가스(NOx, SOx, COx, HC, PM등)는 대기환경의 가장 큰 오염요인중 하나이며 이 오염 인자들에 대한 해결을 위한 연구들이 많이 진행 되어지고 있으며, 특히 청정연료인 천연가스, 수소진지를 자동차의 중요한 대체 에너지원으로 사용하여 대기오염을 감소시키자는 운동이 강력히 전개 되어지고 있다.

1.2 연구 목적

현재 자동차에 사용하고 있는 차량 연료는 gasoline, diesel, LPG, NG(Natural gas), 수소 등이 있다. 그중 국내외적으로 가장 많이 사용 되어지고 있는 연료는 gasoline, diesel, LPG 이며, 현재 CNG(compressed natural gas)는 LNG(liquefied natural gas) 형태로 국내로 들여와 기화시설을 거쳐 각 사업소에, 각 가정에 공급 되어지고 있다.

자동차 연료로서 천연가스는 가스 상태로 분사되기 때문에 공기와 혼합이 용이하여 액상의 연료에 비하여 시동성이 양호하고 균질혼합기를 형성할 수 있는 반면에, 천연가스를 기존 SPI(single point injection) 기관에 적용하는 경우, 천연가스의 흡입으로 인한 체적 효율의 저하로 엔진 출력이 감소되는 문제점이 있다. 아울러 천연가스는 옥탄가가 130정도로 높기 때문에 안티노크 특성이 우수한 특성을 가지고 있다. 따라서 CNG 전용기관의 개발에 있어서는 천연가스의 높은 옥탄가를 활용하여, 압축비를 높이고 엔진 출력과 열효율을 증대시키는 연구들이 활발히 수행되어지고 있다. Table 1은 자동차 연료들의 물성 값을 보여준다.

Table 1 자동차 연료 비교[9]

Item	CNG	휘발유	경유
성분	CH ₄	C ₈ H ₁₇	C ₁₂ H ₂₆
공기대 비중	0.61	3.4	4.0
밀도(g/cm ³)	0.423	0.702	0.876
비등점(℃)	-162	상온	상온
옥탄가	130	91~98	93
발열량(kcal/l)	2,000 (200bar)	8,400	9,200
연소온도(℃)	1918	1500~700	-
착화온도(℃)	481	210~300	260
이론 공연비	17.21	14.93	15.01

이번 연구에서도 천연가스의 저장성을 높이고 자동차 연료성능을 증대코자 천연가스를 200bar 이상으로 압축한 CNG를 연료로 사용하였다. 천연가스는 그 산지별로 그 정제 과정의 차이로 말미암아 그 불성치가 상이한데 국내는 한국가스공사의 일괄 처리로 인하여 그 불성치의 변동에 큰 문제를 발생하지 않아 사용자의 엔진 출력과 열효율의 형평성을 유지할 수 있는 장점이 또한 있다.

천연가스는 고압실린더 용기에 저장이 되는데, 현재 국내에서 상용 되어지고 있는 용기는 Type 1 ~ Type 4의 4종이 있는데 각각 steel/ aluminum 과 glass/carbon fiber의 조성 비율을 조절하여 실린더 용기의 무게를 감량하는 방향으로 구분되어진다. Table 2는 연료들로부터 배출되어지고 있는 배기오염 물질의 배출량을 나타내고 있다. 대기환경 개선을 위한 노력의 일환으로 이번 연구는 자동차의 연료 변경을 통한 대기오염 물질의 저감효과를 얻을 것으로 기대된다.

Table 2 연료별 오염물질 연간 배출량[10] (단위:톤)

Item	CO	NOx	SOx	PM10
경유	229,379	545,754	23,285	37,902
휘발유	375,554	69,753	590	-
LPG	124,659	43,463	641	179
CNG	1,883	2,164	-	-

이번 연구는 배출가스 오염물질이 가장 많은 디젤 연료를 천연가스로 전환시키고자 소형 디젤 트럭을 선택하였다. 차량은 연료공급 방식에 따라 dual(혼소 : 디젤을 착화용으로 하여 천연가스와 동시 사용), bi-fuel(겸용 : 가솔린/천연가스를 선택적 사용), dedicated (전소 : 천연가스를 100% 사용)의 3가지 엔진 시스템으로 구분하게 되며, 각각의 방식은 연료 공급 인프라의 현실에 맞추어 차량에 적용이 가능한 기술들이다. 현재 국내에는 175기의 천연가스 충전소가 마련되어 있으며, 11,523(‘한국 주유소협회’ 주유소 06년 현황)기의 주유소에 비해 천연가스 보급소는 매우 부족한 실정이다. 이런 현실 속에서도 천연가스를 주 연료로 활용하며 가스 소모 후 재충진을 위한 주행 연료로 가솔린을 이용할 수 있도록 하여 천연가스 차

량의 보급을 돕고자 연료 겸용 엔진 개발과 그에 따른 개조 차량의 엔진 성능 분석을 연구 목적으로 하였다.

2. 기술 개발

2.1 기술 개발 개요

개조 순서는 다음과 같이 3단계로 구분할 수 있다.

- ①. 디젤 차량의 디젤 엔진을 탈거
- ②. 가솔린 엔진의 장착
- ③. CNG/gasoline 연료 계통 장착

Fig. 1은 천연가스/가솔린 연료 시스템이 구성되어진 엔진 시스템이다. 천연가스/가솔린 연료 겸용 시스템은 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 CNG용 인젝터와 가솔린 인젝터가 이중으로 장착되어지는 특징을 갖는다. 각각의 인젝터를 제어하기 위하여 각각 연료량을 제어해주는 ECU의 추가 장착이 수반되어진다.

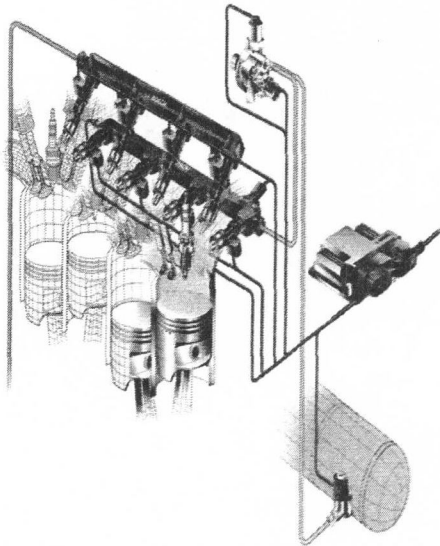


Fig. 1 CNG 연료 개통도

Fig. 2는 CNG kits를 나열한 사진이다. 현재 세계 시장에서 거래가 되어지고 있는 개조 상품들은 일체화되어 판매되어지고 있다.



Fig. 2 CNG conversion kits

엔진 시스템 변경을 위해 디젤 차량의 디젤 엔진을 가솔린 엔진으로 교체 하였고, 연료계통은 각 연료에 맞게 개조를 실시하였다. 디젤 엔진을 그대로 사용하지 않고 가솔린 엔진으로 교체한 이유는, 현재 생산 되어지고 있는 1ton 트럭용 천연가스 엔진이 없기 때문이다. 개조 엔진은 1ton 트럭의 디젤 엔진 출력을 최대한 유지 할 수 있도록 가솔린 엔진 중에서 제원대비 예상 출력을 개조 차의 상용성을 고려하여 80%를 상회 할 수 있는 G4CS 엔진을 선정하였다. Table 3은 개조를 위한 중요 부품 목록 이다.

Table 3 개조 중요 부품 LIST

1. Engine	11. Front pipe
2. Engine mounting	12. Catalyst
3. Engine support bracket	13. Fuel gauge
4. Transmission	14. Fuel hose
5. Mission bracket	15. Fuel filter
6. Mission mounting	16. Fuel pump
7. Cross member	17. CNG regulator
8. Accel pedal	18. CNG injectors
9. Power pump	19. CNG ECU module
10. Air cleaner box	20. CNG cylinder

주요 부품 중 CNG kits(regulator, injectors, ECU, cylinder)는 전문 공급업체를 통하여 수입이 가능하며 그 외에 부품들은 국내 수급이 가능하다. 개조용 기본 차량은 국내의 현대 포토 2를 선정하였으며, Table 4는 기존 차량의 제원표이다.

Table 4 기존 차량 제원

구 분	Diesel Engine (D4BH TCI)
점화 방식	압축착화방식
연료의 종류	경유(디젤)
배기량 (cc)	2,476
기통수	4기통
출력 (ps)	94/3,800
토크 (kgf·m)	22.5/2,000
공차중량(kg)	1,690
표준연비(km/ℓ)	10.0

2.2 기술 개발 내용

2.2.1 개조 내용

(1) 개조 대상 엔진의 사양은 다음과 같다.

Model : G4CS

Displacement : 2351 cc

Max. power: 114.2/5000 (ps)

Max. torque: 19/2400 (kgf·m)

Weight: 153 kg

디젤 대비 예상 출력을 80% 이상 유지하기 위하여 상용 엔진 중에서 출력 및 토크를 비교하여 선정하였다. 디젤 엔진을 그대로 사용하지 않은 이유는 천연가스의 연소 온도가 디젤에 비해 높기 때문에 교체하지 않고 개조하여 사용할 경우 엔진의 성능 문제가 발생하기 때문이다.

(2) CNG ECU

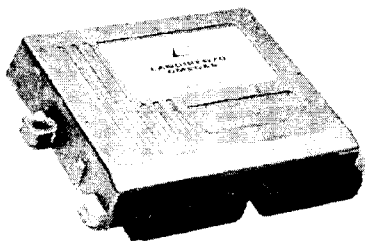


Fig. 3 CNG ECU Module

Electical supply: from 8 to 16V

Functioning temperature -40/+100℃

Maximum absorption power: 10A

Flash memory: 128kb

Processor speed(PLL): 50MHz

Injector drivers: 10

Solenoid valve outputs: 2

ECU는 각종 엔진 signal(injectors , Engine RPM , Battery voltage)과 이외의 signals(Gas pressure , Water temperature , Fuel level sensor , Gas temperature) 을 받아 제어하여 Driving system(Commutator, Driving solenoid valves, Deactivating injectors, Serial communications with the fuel switch, indicating the fuel level, operating the buzzer, communicating with the interface(pc) software)으로 signal을 출력 하여 엔진을 제어한다. 또한 software를 통하여 그 설정 변경이 가능하다.

(3) CNG Regulator

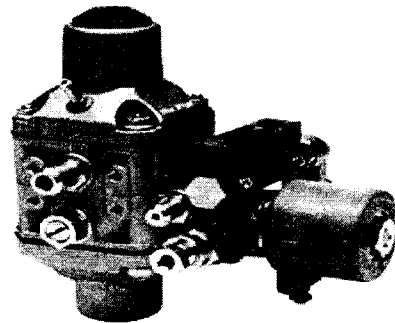


Fig. 4 CNG Regulator

Weight 2250g

Nominal operating flow rate: 40Kg/h

Working temperature: -20 to 120℃

Safety valve calibration pressure:
3.5 bar(350 kPa)

Working pressure: 0.95 bar(95 kPa)

Regulator는 압력 저하 장치로써 200bar 이상의 천연가스를 차량 유입 압력으로 감압 시켜주는 장치이다. 천연가스 차량의 특성상 연료의 저장성을 높이기 위하여 압축천연가스를 사용하고 있기 때문에 천연가스 차량의 특징적인 장치중의 하나이다. 측면에 부착되어진 Solenoid valve를 통하여 유입 가스량을 조절한다. 또한 방출 압력 량을 조절할 수 있도록 장치가 고안되어져있다.

(4) CNG Filter

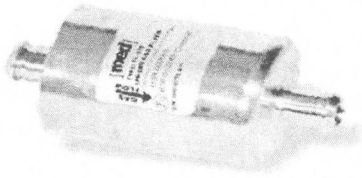


Fig. 5 CNG Filter

Weight 200g
 Maximum working pressure: 4.5 bar

Filters는 감압된 천연가스 연료를 filtering하는 기능을 갖고 있다.

(5) CNG Injectors

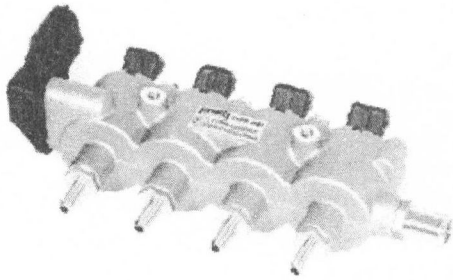


Fig. 6 CNG Injectors

Weight(4-cylinders): 850g
 Working temperature: -40 to 120°C
 Maximum working pressure: 3 bar

Injector는 fuel filter로부터 유입된 가스가 open signal로 인하여 inter solenoid에 최대 4A의 전류가 공급되어지는 시기에 개방이 되며 이후에 열림 상태를 유지하기 위한 전류량은 1A가 차단 시기까지 공급되어진다.

Injector의 개방 시간동안 방출된 가스는 tube를 통하여 엔진 내부로 유입이 되는데 이때 흡기관과 압력과 흡기관내의 유동 저항을 최대한 낮추어 원활한 연료 유동을 만들어 주기 위하여 흡기관의 최 하단부인 흡기 밸브 근처에 장착하였다.

(6) CNG high pressure cylinder(Type 2)

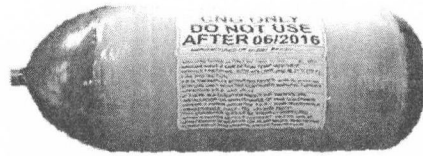


Fig. 7 CNG cylinder

Internal volume: 84L
 Internal pressure: 207 bar
 Length: 1320 mm
 Weight: 64 kg
 Gas storage: 19.5m³
 Gas Weight: 14 kg
 Material: Steel/Aluminum+Glass/Carbon Fiber

Type 2 cylinder는 차량 중량 면에서는 Type 3, 4에 비해 무거우나 가격 대비 성능이 우수한 장점이 있으며, 적재함에 용기함을 추가 제작하여 장착하였다. 그러나 차량의 적재율은 20% 감소 하였다.

용기는 안전성 시험인 "실온압력 반복실험, 환경 시험, 극·온 반복시험, 파열시험, 복합재료 결합시험, 낙하시험, 화염시험, 가속응력 파열시험, 충격 시험, 투과시험, 천연가스 반복가압시험, 파열 전 누출시험의 정밀검사와 배치 검사"를 통과한 용품이다.

(7) Tank valve

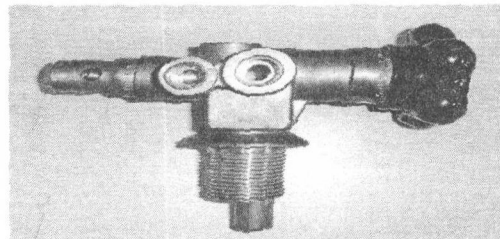


Fig. 8 CNG Tank valve

Weight: 1.03 kg
 Working temperature: 110°C
 Type: 수동식

용기의 외부 온도가 300°C 이상이면 용기 내압은 500~600bar로 상승하게 된다. 이러한 문제를

해결하기 위하여 TPRD(Thermo pressural radiate device) / PPRD(Pressure pressural radiate device)가 장착된 안전 밸브를 사용하고 있다.

PRD는 작동 온도/압력 이상이 발생하면 PRD 내부의 유리관 내의 액체가 온도/압력 증가로 인하여 팽창하게 되고 그 팽창압력으로 인해 유리관의 과열이 발생하게 된다, 이때 가스를 대기 중으로 방출하게 되는데, 밸브의 이런 기능들은 연료 용기의 외부에서 제공 되는 열원과 충격으로부터의 연료 탱크 폭발 사고를 미연에 방지 할 수 있는 안전장치의 기능을 담당한다.

(8) Three way catalyst

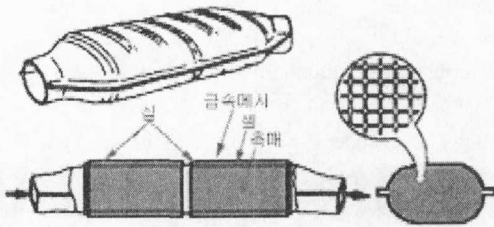


Fig. 9 Three way catalyst

엔진에서 배출되는 HC, CO, NOx의 3가지 유해 물질을 동시에 산화 및 환원시켜 정화하기 위하여 삼원촉매를 사용하였으며 특히, 천연가스의 연소 특성 중 CO와 NOx의 배출량이 다른 유해 오염원에 비해 상대적으로 많은 양이 배출되어지는 현상을 억제하기 위하여 장착하였다.

(9) Diesel & Gasoline ECU 작동 원리

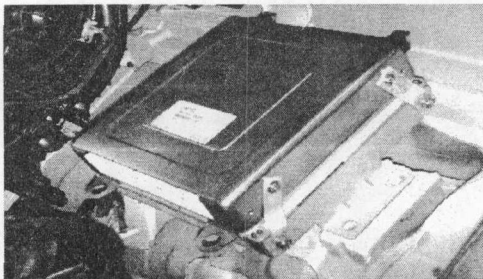


Fig. 10 ECU (Gasoline & Diesel)

개조된 자동차는 가솔린 ECU를 통하여 가솔린 엔진 시스템으로 시동하며 수온 센서를 통하여 입력된 온도 값이 20℃ 이상이면 천연가스 ECU를 통하여 천연가스 엔진시스템으로 module 변경이

이루어진다. 가솔린 ECU는 가솔린 엔진 구동을 조절하며 디젤 ECU는 전원 main relay와 wire harness를 담당 한다.

2.2.2 성능 측정 방법

(1) 엔진성능 시험 장치

①Dynamometer : AG 150(Froude cinsine)

②Air folw meter:

8116MP/NH-SSS-133-AC230-AIR(EPI)

③Fuel folw meter : HFC-303 (HASTING)

(2) Emission 측정 장치

① CO, HC 분석 : MEXA-554JK(HORIBA)

② NOx 분석 : CLG 700EL (ECO Physics)

(3) Driving 측정 장치:

① 속도, 운행거리 측정:

CDT-201 BLACK EYE

(4) Slopping Test

① 한국 공업 규격 자동차 가파른 비탈길 시험 방법 KS R 1013

3. 개발 결과 및 성능평가와 토론

3.1 엔진 성능평가 및 토론

개발된 엔진의 성능을 비교 분석하기 위하여 제동마력(BHP)과 연비 그리고 최대속도, 등판능력을 측정 평가하였다.

(1) Driving Test

Table 5 Results of driving test

Item	Mileage (km/ℓ)	Driving cost (Won/ km)	Max. speed (km/h)
Diesel	9.5	119	130
Gasoline	8.0	182	148
CNG	10.2 (km/m ³)	53	147

각 연료 상황에서 주행한 결과 연비는 다른 천연가스 차량에 관한 연구와 비교할 경우 2%내외 정도의 차이만을 갖고 있으며, 주행 비용은 디젤에 비해 천연가스 차량은 55%정도의 비용 절감 효과를 더 갖는 것을 볼 수 있다.

또한, 최대속도항목에서 디젤엔진은 저속엔진, 가솔린엔진은 고속 엔진인 변을 고려하면 적절한 속도 차이이다.

개조 차량의 실 주행 가속도 비교 선도(Fig. 11)를 통하여 운전자의 운전 습관으로 인하여 기어 변속구간의 가속 변동의 차이가 발생되어지나 각 연료별 주행 및 적재(1.5 ton) 주행 시 최종적으로 각 상황에서 60s 이내에 최고 속도에 도달하는 것으로 나타난다.

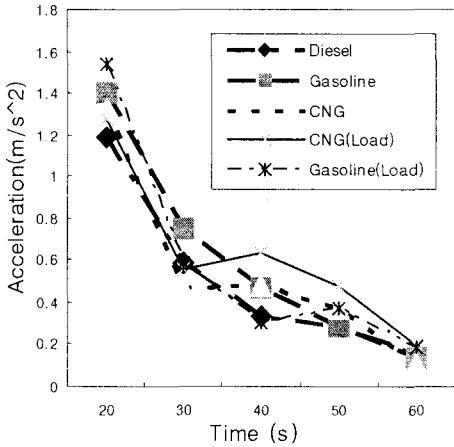


Fig. 11 Variation of acceleration with the driving time of Re-powered truck

(2) Stopping Test

Table 6은 등판능력을 측정하기 위하여 'KS R1013'에서 요구하는 측정 모드를 사용하여 측정한 자료이다.

Table 6 Results of Stopping Test

Fuel	θ	Loading Weight	Mean Velocity	power
CNG	15%	1500 kg	48 km/h	90.5 ps
		0	88 km/h	93.7 ps

Table 6에서 θ 는 경사도를, 부하는 시험 중 적재 중량을 통한 중 하중을 나타내며, 평균속도는 구간(20m 이상)을 통과하는 동안 차량의 평균 속도를 나타낸다. 등판 소요 출력은 아래의 식으로 계산한다.

$$P = \frac{gW L \sin \alpha}{735.5t} \quad (g: \text{중력가속도}, W: \text{시험 시 차량}$$

총 질량, L: 등판거리, α : 경사각도, t: 등판 소요 시간)이다.

(3) Dynamometer Test

Table 7은 개조 전과 후의 차량 엔진 성능을 나타낸 표이다. 개조 차량의 성능은 제원 대비 90% 이상의 출력을 발생시키고 있다.

Table 7 Results of dynamometer test

Item	BHP(ps)	
	2500 rpm	3800 rpm
Diesel	-	94.0
Gasoline	63.3	97.6
CNG	55.0	85.0

Fig. 12에서 보면, 각 연료 상태에서 출력 성능은 천연가스가 가솔린보다 torque는 14%, Power는 13% 정도 낮은 것으로 나타났다. 이런 현상은 연료의 충전 효율이 낮아져 발생하는 것으로 연구 전 예상되었던 부분이며 기대치를 torque와 power 모든 면에서 디젤에 비해서는 10% 가솔린에 비해서는 20% 내외의 성능 저하 현상을 기대했으나 그 이상의 기대에 부응하는 성능 결과가 나타났다.

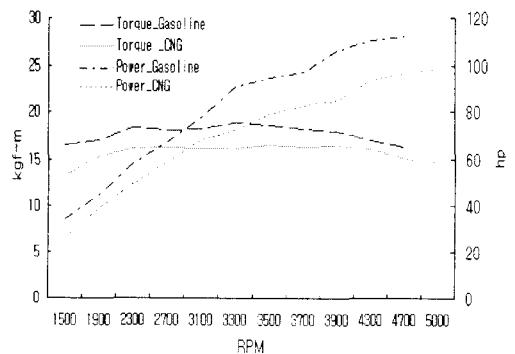


Fig. 12 Variation of power & torque with RPM

4. 결론

소형 트럭용 천연가스/가솔린 겸용 엔진 개발은 소형 트럭의 디젤 엔진을 가솔린 엔진으로 교체하여 천연가스 연료 시스템을 추가 장착하여 이루어

졌다. 차량의 주 연료를 디젤에서 천연가스로 변경한 결과 엔진출력은 3800rpm에서 85 ps이고 토크는 2500rpm에서 15.7kgf·m이었다. 천연가스 차량의 출력이 디젤 차량에 비해 10% 낮았는데 이는 주로 충전효율에 기인한 것으로 믿어진다. km당 연료비를 서로 비교한 결과 천연가스가 디젤 대비 55%가 절감 되는 것으로 평가되었다. 최대속도는 147 km/h의 성능을 보였는데 이것은 또한 디젤 차량의 최대 속도에 비해 12% 빠른 속도이다. 최고 속도 도달 시간은 60s이며, 등판 소요 출력은 93.7 ps를 얻어내었다, 또한 '교통안전공단 자동차 검사소'를 통하여 동력 전달 장치 변경, 주행 장치(차축) 변경, 연료 장치 등의 변경에 대한 "구조변경 승인"을 얻어내어 개조 차량의 안전성이 입증되었다.

천연가스/가솔린 겸용 엔진 시스템에 대한 기술 개발은 승용차에서만 있었으며, 트럭에 대한 천연가스/가솔린 겸용 엔진 개발은 국내 최초로 시도된 것이다. 개조차 사업계 관행상 개조 차량의 기존 차량 대비 출력 성능 80% 이상을 상용화 가능으로 인정하는 것을 기준으로 할 경우, 이번 개조는 90%로의 출력을 이루었으므로 충분히 성공적이었다고 할 수 있으며, 중·대형 트럭에 대한 천연가스/가솔린 겸용 엔진 시스템 기초 기술이 완성되었다고 할 수 있겠다.

추후, 연구과제로 연료 용기함 적재로 인한 적재용 20%감소 문제 해결과 LNG의 활용 기술에 대한 중점적 연구가 진행 되어야 할 것이다.

"천연가스 엔진의 흡기계 형상 변화에 따른 저속 엔진 성능 향상에 관한 연구", 한국자동차공학회 추계학술대회논문집, PP. 170~176, 2003

- [6] Dan D. Giordano and Peter W. Peterwsen, "A Turbocharged Lean-Burn 4.3Liter Natural Gas Engine", SAE paper 951939
- [7] "압축천연가스를 사용하는 대형사용 차량용 엔진 기술 개발에 관한 연구", 통상 산업부, 1997.11
- [8] M. A .Kalam, H. H. Masjuki, M. A. maleque, M. A. Amalina, H.Abdesselam, T. M. I. Mahlia, M. U. Aslam and M. Varman, "Power Improvement of A Modified Natural Gas Engine", Malaya Mechanical Engineering
- [9] 주)C. F. Taylor. ICE in Theory and practice, VolII, MIT Press
- [10] "연료별 배출량 통계", 국립환경 과학원, 2003

참고 문헌

- [1] B. S. KIM, Y. J. Lee and C. J. Koh, "Performance Characteristics of CNG Vehicle at Various Compression Ratios", Energy Eng, Vol.5, No.1, 1996
- [2] "압축천연가스를 이용한 상용차량 개발에 관한 중간보고서", 상공 자원부, 1994.5
- [3] "압축천연가스를 사용하는 고효율 엔진의 설계 개발에 관한 연구", 상공자원부, 1997
- [4] 김 진영, 강 정호, 하 종률, "압축비 변경에 따른 CNG" "압축비 변경에 따른 CNG 기관의 특성 연구" 한국자동차공학회논문집, 제13 권 4호, PP. 145~151, 2005
- [5] 이 민호, 차 경욱, 조 규백, 최 교남, 정 도수,