한국대기보전학회지 제 13 권 제 3 호
J. KAPRA Vol. 13, No. 3 (1997) pp. 215~220
Journal of Korea Air Pollution Research Association

매연저감을 위한 천연가스 Dual-Fuel 엔진의 시내버스 적용평가

The Evaluation on Smoke Reduction by Natural Gas Dual Fuel Engine for City Bus

엄명도 · 조강래 · 오용석[1] · 한영출[1]
국립환경연구원 자동차공해연구소
[1]국민대학교 기계공학과

(1996년 12월 13일 접수, 1997년 7월 10 채택)

Myoung Do Eom, Kang Rae Cho, Yong Suk Oh[1], Young Chool Han[1]
Motor Vehicle Emission Laboratory, National Institute of Environmental Research
[1]*Department of Mechanical Engineering, Kook Min University*

(Received 13 December 1997; accepted 10 July 1997)

Abstract

CNG dual fuel engine for heavy duty diesel engine developed by AFS International in Canada has been equipped to a Korean city bus engine and tested to compare the engine performance and the emission characteristics with the existing diesel fueled engine. Also the dual-fuel engine was applied to the city bus for road test. The results are summarized as follows.

Performance optimization has been carried out to have engine power equivalent to or better than the diesel fueled engine. Smoke is decreased by 85% by Korean smoke 3 mode test. By 13 mode test CO is increased by 453% and THC is increased by 2,086%. NOx is decreased by 7% in laboratory. D-13 test mode was changed in 1996 Korean regulation. Even though THC is increased very much, it's not too serious problem since CO and HC emission of diesel engine is very little compared to gasoline engine and more than 75% of THC is CH_4. But the reduction technologies of CO and HC has to be considered.

Key words : CNG, carbon monoxide, total hydrocarbon, nitrogen oxides

1. 서 론

날로 증가하는 자동차의 대수로 인하여 대도시의 대기오염도 점차 심화되어가고 있는 실정이다.

대도시에는 대형 디젤차동차인 시내버스가 오염물질 배출의 주범을 차지하고 있으며, 그 배출가스의 대부분은 매연(smoke)과 질소산화물(NOx: nitrogen oxides)이다. 디젤자동차는 주로 경유를 연료로 사용하여 압축착화에 의해 연소를 하므로 매연과 질소산화물을 배출하게 된다.

최근들어 공해문제 대책의 일환으로 압축천연가스(CNG: compressed natural gas)가 대체연료로 각광을 받고 있으며 압축천연가스는 주성분이 메탄이기 때문에 저공해 연료이다. 선진국에서는 오래전부터 연구가 되어 실용화를 하고 있으나 우리나라에서는

서울을 비롯한 대도시에 대부분 도시가스(천연가스)가 공급되고 있으나 아직까지 자동차에 적용시키는데는 기반설비(가스충전 설비)가 미흡한 관계로 자동차에 적용시키는 실용화는 지연되고 있다.

우리나라에서도 자동차 제작사에서 가솔린 승용차의 100% CNG화 연구를 하여왔고, 산업계 및 연구계에서도 대형 디젤기관의 천연가스 혼소화(dual-fuel)연구 및 대형 디젤기관의 100% CNG화 연구를 수행하고 있다. 혼소 자동차라고 하는 것은 석유고갈에 대비한 대체연료 측면에서 개발되어 왔지만, 최근에는 매연저감 대책의 기술로 이용하고 있다. 혼소의 가장 큰 장점은 평상시 천연가스와 소량의 경유로 운행하다가 천연가스가 다 소비되면 경유만으로 운행할 수 있는 점이다.

본 연구에서는 대도시 공해 주범인 시내버스의 매연을 줄이고자 운행 중인 시내버스 기관을 개조하여 경유와 천연가스를 혼용하여 사용할 수 있는 기관을 개발하였으며 실험적으로 기관의 성능 및 배출가스 실험을 한 후 실차 주행성능 등을 평가하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구의 실험대상 기관은 현대자동차(주) 제작 D6BR모델로서 기관출력은 185 ps/2,500 rpm, 최대토오크는 49.3 kgm/1,400 rpm이며, 본 실험에 쓰인 혼소기관의 개략도는 그림 1에 나타내었다.

2.2 혼소기관의 시스템

본 연구에 사용된 CNG 혼소기관의 연소실은 그림 2에 나타내었으며, 실험대상기관의 혼소시스템 개략도를 그림 3에 나타내었다.

이 시스템은 천연가스와 공기가 디젤사이클에 의해 연소실로 흡입, 압축되어 경유분사에 의해 착화가 이루어지며 고부하로 가면서 천연가스가 공급되는 방식이다. 그림 3에 나타난 바와 같이 가스의 공급은 흡기포트에 장착된 인젝터에서 이루어지며 전자제어장치(ECU)에 연결되어 냉각수 온도, 기관회전수, 스로틀개도(TPS), 흡입공기 유량 등을 받아 가스유량을 제어하게 된다. 혼소기관의 장점은 기존의 경유기관을 그대로 사용하면서 연료분사펌프를

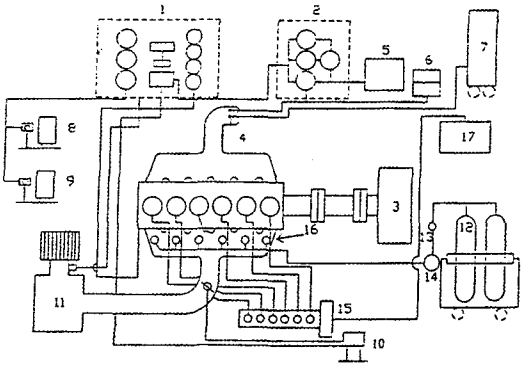

Fig. 1. Schematic diagram of test apparatus.
1. Dynamometer control desk 2. Exhaust gas analyzer 3. Engine dynamometer 4. Exhaust gas 5. Data recorder 6. Smoke meter 7. MDT (mini dilution tunnel) 8. Cooling water temperature controller 9. Oil temperature controller 10. Throttle actuator 11. Air surge tank 12. CNG tank 13. Solenoid valve 14. CNG flow meter 15. Diesel injection pump 16. CNG injec-tor 17. Diesel fuel tank

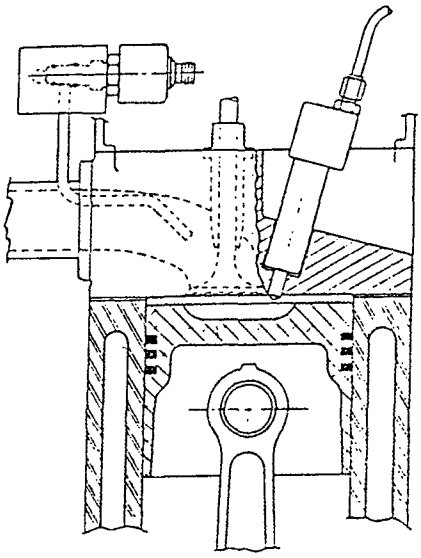

Fig. 2. Shape of dual-fuel combustion chamber.

개조를 함으로서 비용이 적게 들며 매연도 상당히 저감시킬 수 있고 출력저하 역시 거의 없고 가스연료가 다 소모되면 경유만으로 주행할 수 있는 이점이 있다. 단점으로는 배출가스중 CO나 HC가 많이

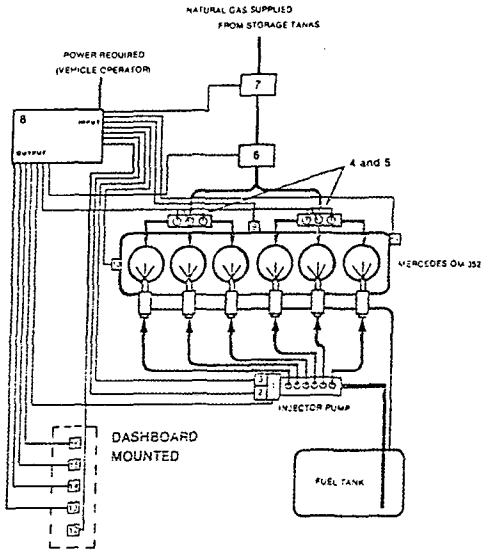

Fig. 3. *Schematic diagram of dual-fuel system.*
1. Rack actuator 2. Hall effect pulse generator 3. Rack position sensor 4. Gas manifold 5. Servo-jet high speed valve 6. 3-way gas shut-off valve 7. Natural gas pressure sensor 8. Electronic engine controller 9. Intake air temperature sensor 10. Intake manifold pressure sensor 11. Intake manifold pressure sensor 12. Cooling water temperature sensor 13. System on and off switch 14~15. System on-off light 16~17. Diesel and natural gas gauge

배출되나 최근에는 디젤용 산화촉매(DOC: Diesel Oxidation Catalyst)가 개발되어 이를 보완할 수 있을 것이다.

2.3 실험방법

2.3.1 CNG 혼소 기관의 성능

CNG 혼소 기관은 디젤연료를 사용하는 기관에 천연가스를 공급하기 위하여 연료분사펌프의 가버너를 전자화하여 디젤연료만 사용하거나 또는 혼소(dual-fuel)를 사용하도록 개량한 기관이다. 매연발생은 기관의 저부하에서는 일어나지 않고 고부하영역으로 갈 수록 많이 배출한다. 매연저감을 위하여 연료는 시동시(crangking)와 저부하에서 공급되도록 하였고 그 유량은 약 30% 정도이고 나머지는 천연가스로 공급할 수 있도록 하였다. 천연가스의 공급은 흡기다기관의 흡기포트에 6개의 가스인젝터를 장착하여 천연가스가 공급되고, 매연저감을 위해서는 고부하영역에서 천연가스를 공급하게 하였고, 질소산화물의 경우는 분사시기를 지연시켜 매연과 질소산화물을 동시에 저감하도록 하였다. 질소산화물을 저감하기 위하여 분사시기는 기존 디젤기관에서의 지연시기인 BTDC 17°와 배출물의 규제치에 적합하면서 동력성능이 기존 기관에 상당하는 BTDC 14° 및 10°까지 지연시켜 실험하였다. 그러나 BTDC 10°에서는 분사시기를 너무 지연한 관계로 후연소가 일어나 심한 소음이 발생하여 시험하지 않았으며, 기관의 출력변화는 작으면서 동시에 매연 및 질소산화물을 저감시키는 최적의 운전조건범위는 BTDC 14°이었으며 이 분사시기에서 시험하였다.

2.3.2 실차적용시험

시내버스에 CNG혼소 기관을 장착하여 주행성능 등을 파악하기 위하여 차량의 주행거리, 연비, 매연, 소음을 측정하였다. 본 실험을 위한 실차실험 노선은 제일여객 156번을 선정하였고, 노선의 선정 이유는 등판길이가 길고 고부하 운전조건들이 많아서 발진가속성능, 정속주행 성능 및 소음 등을 잘 파악할 수 있는 노선이기 때문이다. 혼소 시험자동차(시내버스)의 발진가속 및 정속주행성능은 여러명의 운전기사를 교체해 가면서 다른 버스의 운전성과 CNG혼소버스의 운전성을 비교하였다. 매연의 측정은 무부하 급가속 시험모드로 실험하였다.

2.3.3 차량 제원 및 장치

혼소기관을 시내버스에 장착하기 위하여 실험실에서 천연가스 혼소기관의 성능시험을 한 후 그 기관을 차량에 탑재하였으며 차량의 제원은 표 1과 같다.

실차 장착의 천연가스 관련부품으로는 연료탱크, 레귤레이터, 솔레노이드밸브, 각종 배관류이고 연료

Table 1. Specification of D6BR engine

Item	Specification
Kind of Vehicle Type	HYUNDAI RB 520-16
Vehicle Capacity	85 Persons
Vehicle Weight	12,575 Kg
Engine Type	D6BR (HYUNDAI)
Displacement	7,545 cc
Rated Power	185 PS
No. of Cylinder	6 Cylinder
Fuel	Diesel / CNG

Table 2. Specification of CNG tank.

Type	Max. Pressure	Capacity	Tank Size			Standard Tap Size	Weight	
			Diameter		Length			
	PSI	Liter	Inch	mm	Inch		Lbs	Kg
13 FR 44	3,000	81.82	14	356	43.62	3/4	171	78

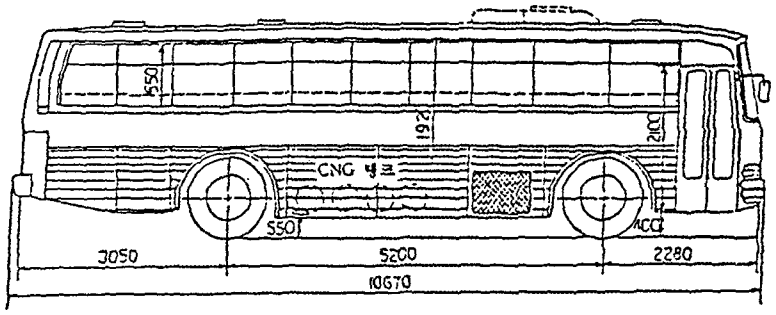

Fig. 4. View of CNG installation for city bus.

탱크는 미국 Press Steel사의 제품으로 강재 용기에 FRP코팅을 한 제품을 사용하였으며 용기의 재원은 표 2와 같고 천연가스 탱크 장착위치는 그림 4에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 혼소기관의 성능결과

혼소기관에 있어서 혼소시 변화되는 기관의 성능 곡선을 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 보는 바와 같이 경유사용시와 혼소사용시에 있어서 기관의 출력과 토오크는 차이가 거의 없는 것으로 나타났으며 기관의 냉각수 온도, 오일온도 및 배출가스 온도 등에도 큰 변화가 없었다. 연료소비율의 경우 혼소상태가 경유만 사용할 때와 비교하여 높게 나타났으며 가스연료를 사용하는 쪽은 연료가 예혼합에 의해 혼합이 이루어지므로 공기만을 흡기에 도입하는 경유연소방식보다 연료소비량이 많아지는 것으로 사료된다.

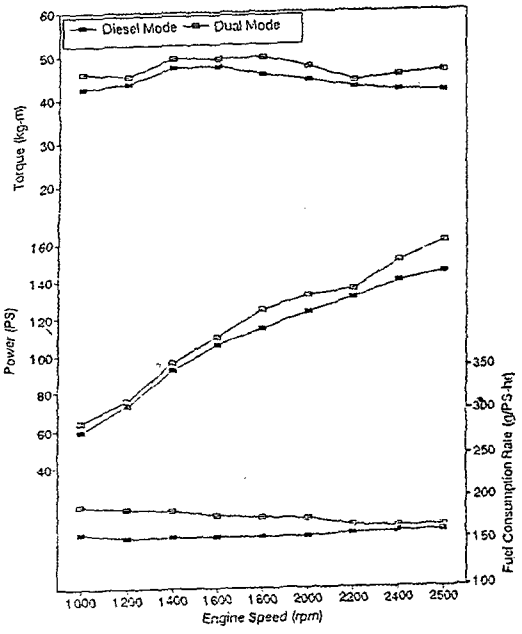

Fig. 5. Compariason of the CNG dual engine performance with diesel mode and dual mode.

3.2 배출가스 평가

우리나라의 환경관련법에서 현재 규제하고 있는 자동차 배출가스 검사방법으로 경유사용 기관과 CNG 혼소기관을 비교하여 각각의 배출가스 결과를 그림 6에 나타내었다.

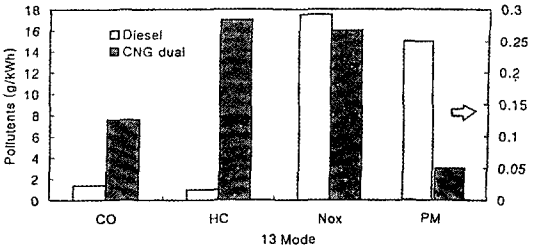

Fig. 6. Experiment result of the exhaust emission by each test mode.

그림 6에서 보는 바와 같이 D-13모드 결과 가스상 물질인 CO 및 THC는 각각 453%, 2,086% 증가하였고 NOx는 7% 감소하였다. 여기서 사용한 D-13모드는 유럽에서 사용되는 규제시험모드로 농도규제에서 중량규제로 전환한 96년형 경유사용 자동차 배기가스 규제모드이다.

매연모드 실험결과 CNG 혼소 사용전의 매연농도는 1,000 rpm 29%, 1,500 rpm 30% 및 2,500 rpm 11%였으며 CNG 혼소사용시 엔진회전수 1,000 rpm 2%, 1,500 rpm 3% 및 2,500 rpm 3%로 나타났고 매연 3모드 전체 평균 약 85%로 저감된 것을 알 수 있었다.

주로 가스상물질의 증가 원인은 디젤기관이 원래 순수 공기만을 연소실에 흡입하지만 CNG 가스 연소를 사용함으로서 공연비가 농후한 조건에서 연소되기 때문에 미연소에 의해 CO와 THC 농도가 많이 증가한 것으로 생각된다. 그러나 일반적으로 디젤자동차에서 배출하는 CO와 THC는 가솔린 연료를 사용할 때보다 아주 적게 배출되기 때문에 디젤기관에 대한 CNG 혼소의 경우 CO 및 THC가 많이 배출된다 하더라도 크게 문제시 되지 않을 것으로 생각된다. 또한 THC의 대부분은 메탄이며 메탄은 인체에 해롭지 않고 광화학 반응성이 낮기 때문에 도시스모그 발생에 크게 발행시키지 않는다. 그러나 앞으로도 CO나 HC 등을 정화시킬 수 있는 산화촉매장치 등의 개발이 요구된다.

3.3 실차 실험 결과

실제버스에 투입하여 주행성능 등을 측정하여 본 결과 아래와 같다.

차량의 주행거리는 약 6,000 km였고 일일 주행거리는 약 250 km, 경유연료 운행시의 연비는 3.02 km/ *l* (일일 80 *l* 주유시), 혼소 운행시의 연비는 6.76 km/ *l* (일일 37 *l* 주유)였다. 경유연료 소모량은 경유 100%에 비해 44.7%가 저감되었으며 혼소 사용시의 경유 대체율은 약 65%~70% 였고, 일일 경유소비량은 37 *l* , 천연가스 소모량은 1,350 PSI (93.75 bar)였다.

주행성능 중 운전성능은 혼소사용시가 경유로만 사용하는 것보다 더욱 부드럽게 느껴졌으며, 기어변경시 반응성에 있어 약간의 이상이 발생하였으나 전자제어장치의 조정으로 해소할 수 있었다.

소음에 있어서도 혼소사용시의 차실내 엔진부위의 소음은 경유 사용시보다 많이 저감한 것을 알 수 있었다. 등판성능도 혼소사용시가 경유 사용시와 같게 나타났다. 무부하급가속 매연의 경우에서는 경유 사용시가 28%, 혼소사용시가 3%로 약 89% 저감하였다.

CNG 충전기의 용량 부족으로 인하여 버스에 달려있는 용기 4개에 2,500PSI까지 충전하였으며, 1일 주행거리 250 km를 주행하고 약 1,000PSI 정도의 잔류 가스가 남아 있어 당초 의문시 되었던 1일 2회충전에 의문은 없어졌다.

4. 결 론

매연저감을 위하여 시내버스용 천연가스 혼소기관을 이용하여 실험적으로 성능 및 배출가스 특성을 분석하였고 실차 주행성능실험을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) CNG 혼소기관의 실험중 최적화에 있어 경유만 사용할 때와 CNG 혼소로 할 때 최대 출력은 큰 차이가 없었다.
2) 배출가스 평가 결과 D-13 모드로 측정한 결과 CO 453% 및 THC 2,086%로 증가하였고 반면 NOx는 7% 저감되었다. 매연 모드 측정 결과 경유를 사용할 때 3개의 모드 평균 농도가 23%에서 CNG 혼소시 2.7%로 약 85%가 저감되었다.
3) 등판성능도 혼소사용시가 경유사용시와 같게 나타났으며 무부하급가속 매연의 경우는 경유 사용시가 28%, 혼소사용시가 3%로 약 89%의 저감을 보였다.

사 사

본 논문은 정부의 환경공학기술 개발 사업의 일환으로 실시된 연구결과의 일부임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

한국가스연맹 (1995) 천연가스 자동차 보급방안, 16-65pp.

엄명도, 조강래, 이석호 (1993) CNG 혼소장치 개발, 22-61pp.

Beck, N.J. and W.P. Johson (1989) *Electronic Fuel Injection for Dual Fuel Diesel Methane*, SAE891652

Beck, N.J.(1990) *Natural Gas: A Rational Approch to Clean Air*, SAE 902228.

Beck, N.J. and S.K. Chen (1990) *Injection Rate Shapping and High Speed Combustion Analysis: New Tools for Diesel Engine Combustion Development*, SAE 900630.

Beck, N.J., W.P. Johnson, and P.W. Peterson (1991) *Optimized E.F.I. for Natural Gas Fueled Engines*, SAE 911650.

Karim, G.A.(1983) *The Dual Fuel Engine of the Compression Ignition type Prospects Problems and Solutions: A Review*, SAE 831073.

Nylund, N. and A. Riikonen (1991) *Low Polluting Gas Fueled Heavy Duty Vehicles*, SAE 912365.

Klimstra, J.(1990) *Performance of Lean: Burn Natural Gas Fueled Engines on Specific Fuel Consumption, Power Capacity and Emissions*, SAE 901495.