

〈논 문〉 SAE NO. 97370107

**디젤기관에서 CNG혼소에 의한 배출가스  
저감에 관한 실험적 연구**  
**An Experimental Study on the Emission Reduction of  
Dual-Fuel Engine by CNG**

한 영 출\*, 엄 명 도\*\*, 오 용 석\*\*\*, 이 성 옥\*\*\*  
 Y. C. Han, M. D. Eom, Y. S. Oh, S. W. Lee

**ABSTRACT**

CNG dual fuel engine for heavy duty diesel engine has been equipped to a Korean bus engine and tested to compare the engine performance and the emission characteristics with the existing diesel fueled engine.

The results are summarized as follows. Diesel fueled engine has the fuel injection timing of BTDC17°. The injection timing of CNG modified engine is retarded to BTDC14° for reduction of NOx. 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 6 mode test CO is increased by 313% and THC is increased by 1407%. NOx is decreased by 27%. Even though THC is increased very much, it's not too serious problem since CO and THC emission of diesel engine are very little compared to gasoline engine and THC don't give bad effect on human health. But the reduction technologies of CO and THC need to be considered.

주요기술용어 : CNG(압축천연가스), Carbon Monoxide(CO), Total Hydrocarbon(THC), Nitrogen Oxides(NOx)

**1. 서 론**

최근 들어 석유 에너지에 대한 대체 에너지 개발을 위한 노력이 여러 분야에서 활발하게 이루어지고 있다. 이는 석유 자원의 고갈에 대한 대

비 뿐만 아니라 전세계적으로 심각해져 가고 있는 환경 오염 문제에 대처하기 위한 노력의 일환으로 인식되어 가고 있다. 대도시 환경오염의 주범인 자동차의 경우도 저공해성의 실현이 모든 자동차 제작사 및 부품업체의 당면과제이다.

현재 미국, 이태리, 러시아, 캐나다 및 뉴질랜드 등에서 이미 천연가스자동차가 실용화되어 있으며 기타 국가에서도 천연가스 차량의 실용화를 위한 연구가 활발히 진행중이다.<sup>1)</sup>

\*정회원, 국민대학교

\*\*정회원, 국민대학교 대학원

\*\*\*국민대학교 대학원

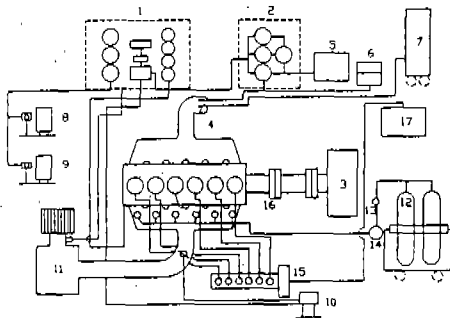
우리 나라에서도 승용차의 100% CNG화 연구, 대형 디젤기관의 100% CNG화 연구 및 CNG혼소화 연구를 자동차 제작사, 부품회사 및 국책 연구기관에서 수행하고 있다.<sup>2)~9)</sup>

본 연구에서는 대도시의 공해 주범인 시내버스의 매연(입자상물질 포함)을 줄이고자 시내버스 기관을 대상으로 경유와 CNG를 혼용하여 사용할 수 있도록 개조하였고 순수 경유를 사용할 때와 CNG혼소를 사용할 때에 있어서 성능 및 배출가스를 비교하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구의 시험 기관은 출력 155ps/2500rpm, 최대토크 49.3kg·m/1400rpm의 기관(Hyundai. Co. D6BR)이며 Fig.1은 CNG 혼소 기관의 시험장치 개략도이다.<sup>2)</sup>



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 injector
17. Diesel Fuel tank

Fig.1 Schematic Diagram of Test Apparatus

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 디젤기관의 성능

CNG혼소 기관으로 개조하기전 기본적인 디젤 기관의 성능을 파악하기 위하여 이 디젤기관의 전 분사시기를 조정해 가면서 성능과 배출가스 농도를 측정하였다. 분사시기를 조정하는 것은 천연가스의 경우 열량이 높아서 같은 분사시기에 천연가스를 공급하게 되면 고농도의 질소산화물이 많이 배출되기 때문에 이를 낮추기 위한 것이며 따라서 디젤기관에서도 마찬가지로 분사시기를 조정하였다. 기관제원의 분사시기는 BTDC17°이었으며 BTDC14° 및 BTDC10° 단계로 조정하였다.

#### 2.2.2 CNG 혼소기관의 성능

CNG 혼소기관으로 개조하기 위하여 디젤기관의 연소실과 연료분사노즐은 그대로 사용하고 단지 분사펌프의 가버너를 탈거하고 그 대신에 경유연료를 자동적으로 제어할 수 있는 랙 조절 서보모터를 장착하였다. 여기서 경유 사용시와 기관 동력 및 토크를 같게 유지되도록 ECU를 최적화하였다. 연료 분사시기는 BTDC17°, BTDC14° 및 BTDC10°까지 지연시켜가면서 기관의 성능과 배기가스도 측정하였다. 특히 혼소기관의 연료소비량의 계산은 CNG를 이루고 있는 각 성분의 발열량과 밀도 및 성분의 함량비로부터

$$Q_{CNG} = Q_{flow} \times K \quad (Q_{flow} : \text{CNG유량계의 측정값}, K : \text{유량계 수정계수}(=0.96))$$

를 이용하여 구하였다.

CNG혼소를 하는 주 목적은 매연저감이며 이를 위하여 경유연료는 아이들 및 저부하에서 사용하고 35%이상의 부하에서부터 천연가스가 공급하도록 하였다. 혼소비는 천연가스 유량이 약 70~80%가 되게 하였고 나머지는 경유가 공급 되도록 하였다. 이 혼소비는 ECU의 칩에 데이터를 변경 저장하게 하여 조절할 수 있다. 기관제원의 분사시기인 BTDC17°에 천연가스를 공급하여보기도 하였으나 연소시 고온상태에서 생성되는 다량의 질소산화물이 발생할 뿐만 아니라

기관의 노킹현상도 발생하였다. 이는 경유보다 단위발열량이 높은 천연가스가 연소시 고온상태를 유지하기 때문으로 사료되며 연료분사시기를 CNG의 연료 사용시 질소산화물이 기존 경유 연료와 같거나 낮은 농도를 유지하는데는 BTDC14°로 조정하는 것이 최적이었고 이 곳을 세팅점으로 하였다.

2.2.3 배출가스 평가

우리나라의 대기환경보전법에서 규정하고 있는 “제작 자동차 배출허용기준·소음허용기준의 검사방법 및 절차에 관한 규정”에 의해 96년 이전 모드인 D-6모드, 96년 규제모드인 D-13모드, 매연모드 및 연구 목적으로 일본 D-13모드로 실험하였다.

D-6모드는 농도규제 시험모드이며 D-13모드 및 일본 D-13모드는 중량농도 실험모드이다. D-13모드는 13단계의 기관회전수 및 부하조절을 하여 각 모드별 측정치를 가중계수를 곱하여 합산하여 산출한다. 또한 매연모드는 기관의 최대 출력시 회전수의 40%, 60% 및 100% 회전수에서 최대부하시 매연을 측정하는 실험모드이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 디젤기관의 성능

3.1.1 성능실험 결과

디젤기관에 있어서 경유사용시 연료 분사시기를 BTDC17°에서 BTDC14°로 지연시켰을 때의 변화되는 기관의 성능곡선을 Fig.2에 나타내었다.

일반적으로 디젤기관의 연료분사시기를 지연시키면 출력이 떨어지는 것이 보통이나 본 실험에서는 동력과 토크를 기존 디젤기관과 일정하게 유지시키기 위해 ECU를 최적화하였으며 따라서 Fig.2에서 보는바와같이 연료분사시기를 3° 지연시켜 동력과 토크는 변화가 없고 연료소비율은 다소 증가하였다.

3.1.2 배출가스측정 결과

디젤기관의 성능실험시 동시에 측정된 배출가스 결과는 분사시기를 지연함으로써 1000rpm부터 2500rpm전구간을 평균하여 BTDC14°가

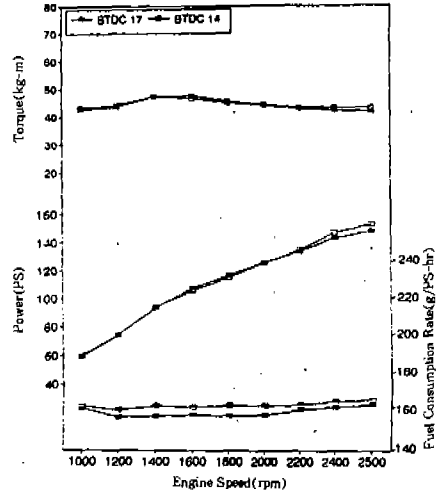


Fig.2 Comparison of the Engine Performance with BTDC17°(Diesel Mode) and BTDC14°(Diesel Mode)

BTDC17°보다 CO는 약 20% 증가하였고 NOx는 약 22.4% 감소하였다. 반면에 THC는 별차이가 없는 것으로 나타났다. 대부분 디젤기관의 연소는 분사시기를 지연하게 되면 연료분사후기에 연소가 일어나므로 질소산화물이 줄어드는 대신 매연이나 CO농도가 증가하는 것이 상례이다.

3.2 CNG 혼소기관의 성능

3.2.1 성능실험 결과

CNG 혼소기관의 성능곡선을 Fig.3에 나타내었다. 성능과 토크는 디젤기관과 비교할 때 큰 차이가 없지만 연료소비율은 혼소기관측이 30(g/Ps · hr)가량 높게 나타났다.

CNG 혼소시 기관의 최적인 분사시기는 BTDC14°임을 알 수 있고 이때 경유 사용시와 성능을 비교해 보면 출력에 있어서는 CNG 혼소시가 경유 사용에 비하여 큰 차이는 없었다. 연료소비율은 CNG혼소 사용할 때 경유사용시보다 증가하였으며, 매연농도는 전 회전수 구간에 걸쳐 평균 90% 이상 감소하였다.

3.2.2 배출가스 측정결과

CNG 혼소기관의 기관 성능측정시 배출가스 결과를 Fig.4, 5 및 6에 나타내었다. CNG혼소시 디젤모드보다 CO가 약 73%, THC가 약 89%

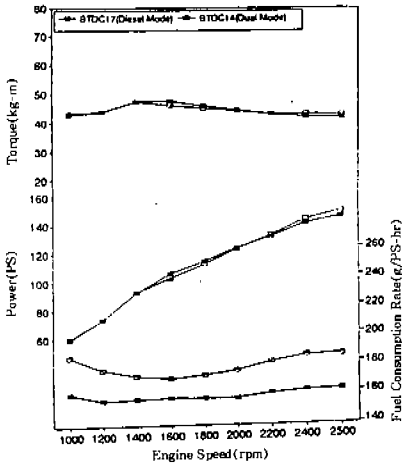


Fig.3 Comparison of the Engine Performance with BTDC17°(Diesel Mode) and BTDC14°(Dual Mode)

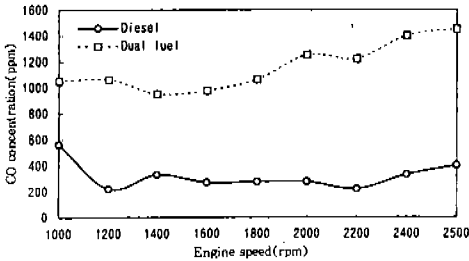


Fig.4 Test Results of CO with BTDC14° (Diesel Mode & Dual Mode)

증가하였고 NOx도 약 22.5% 증가하여 가스상 물질은 모두 증가한 것으로 나타났다. Fig.4, 5에서 혼소모드의 가스물질이 rpm에 따라 차이가 큰 이유는 디젤모드에 동력을 맞추기위해 ECU의 조작에 의해 연료량의 변화로 인한 것이며 Fig.6에서 NOx는 분사시기 지연에 밀접한 관계에 있으므로 분사시기를 지연한 상태(BTDC14°)에서는 NOx가 이미 줄어든 상태이다. 이때 같은 분사시기에서 CNG 혼소모드로 전환하면 성능측정시는 기관이 최대부하의 상태로 되기 때문에 폭발행정시 열량이 높은 CNG연료가 연소하면서 많은 질소산화물을 생성시키는 것으로 생각된다.

CNG 혼소기관에 있어서 디젤기관의 제원표상

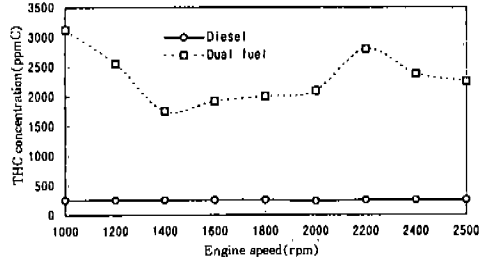


Fig.5 Test Results of THC with BTDC14° (Diesel Mode & Dual Mode)

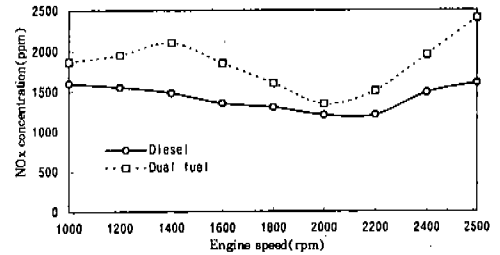


Fig.6 Test Results of NOx with BTDC14° (Diesel Mode & Dual Mode)

의 분사시기 BTDC17°와 CNG 혼소기관의 BTDC14°를 비교하여 그 결과를 Fig.7, 8 및 10에 나타내었다.

Fig.7, 8 및 9에서 보는 바와 같이 1000rpm 부터 2500rpm 전 구간에 걸쳐 CNG 혼소 사용시 경유사용시 보다 CO농도와 THC농도가 각각 증가하였고 NOx는 거의 변화가 없었다.

여기서 CNG 혼소 사용시 CO농도와 THC농도가 증가하는 이유는 가스연료가 공기와 혼합하여 흡입되는 것으로서 공기만을 연소실에 도입하는 디젤기관에 비하여 공기량의 감소에 의해 CO농도와 THC농도가 증가하게 된다. NOx의 경우 디젤사용시 분사시기 지연없이 제원표상에 측정된 NOx 값이 높기 때문에 일단 분사시기를 지연한 후에 단위 열량이 경유보다 높은 CNG를 공급함으로써 연소온도가 상승하여 NOx 배출이 증가하여도 그 특성이 거의 같게 나타나기 때문이다.

3.2.3 매연농도 결과

CNG 혼소기관에 있어서 디젤기관의 제원표상의 분사시기 BTDC17°와 CNG 혼소기관의

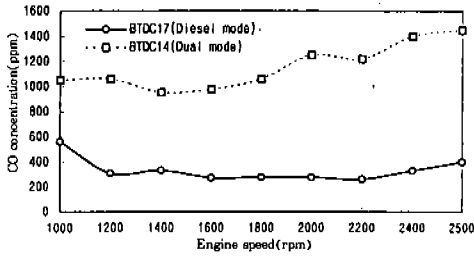


Fig.7 Test Results of CO with BTDC17° by Diesel Mode and with 14° by Dual Mode

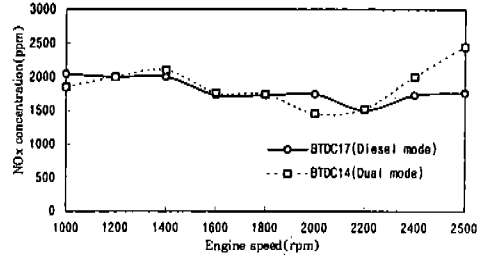


Fig.9 Test Results of NOx with BTDC17° by Diesel Mode and with 14° by Dual Mode

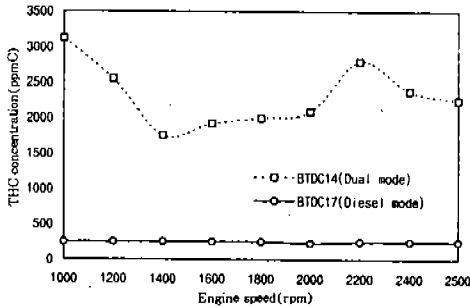


Fig.8 Test Results of THC with BTDC17° by Diesel Mode and with 14° by Dual Mode

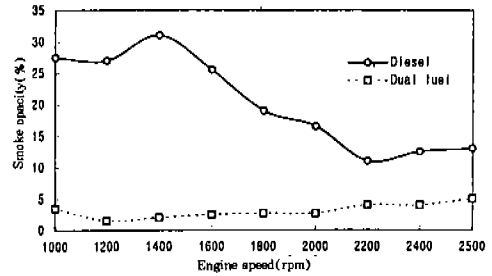


Fig.10 Smoke Opacity with BTDC17° (Diesel Mode) and BTDC14° (Dual Mode) by Engine Performance Test

BTDC14°를 비교하여 그 결과를 Fig.10에 나타낸다.

Fig.7에 나타난 바와같이 CNG혼소를 함으로서 디젤기관보다 전 기관 회전수 구간에 걸쳐 매 연농도가 대폭 줄어들었으며 특히 저속회전수에서는 감소율이 높은 것을 볼 수 있었다.

### 3.3 배출가스의 결과 및 고찰

우리나라에서 환경관련법에 현재 규제하고 있는 자동차 배출가스 검사방법과 외국에서 규제하고 있는 시험방법으로 경유사용 기관과 CNG혼소 기관을 비교하여 각각 배출가스 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

Fig.11에서 보는 바와 같이 6모드 시험 결과 BTDC17° 경유모드 보다 BTDC14° CNG 혼소모드가 가스상 오염물질인 CO 및 THC는 313% 및 1407%로 증가하였으며 NOx는 27% 저감하였다. 96 규제모드인 D-13모드 결과 가스상 물질인 CO 및 THC는 453% 및 2086%로 증가하였고 NOx는 7% 저감하였다. 일본 규제모드

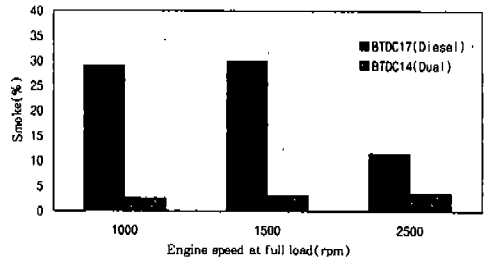


Fig.11 Test Results of Smoke Emissions by Smoke Mode

인 JAPAN-13모드 결과 가스상물질인 CO 및 THC는 443% 및 1845%로 증가하였고 NOx는 26% 저감하였다. 6모드, D-13모드 및 일본 D-13모드는 주로 가스상물질을 측정하는 시험방법이며 D-13모드가 D-6모드보다 강화된 모드이다. 매연모드 시험결과 CNG 혼소사용전의 매연농도는 1000rpm 29%, 1500rpm 30% 및 2500rpm 11%였으며 CNG 혼소사용시 기관회전수 1000rpm 2%, 1500rpm 3% 및 2500rpm

3%로 나타나 매연 3모드 전체 평균 약 85%의 저감을 보였다. 주로 가스상물질의 증가는 디젤 기관이 원래 순수 공기만을 연소실에 도입하나 CNG 가스 연소를 사용하므로써 공연비가 농후한 조건에서 연소되기 때문에 미연소에 의해 CO와 THC 농도는 많이 증가하는 것으로 사료된다. 그러나 일반적으로 디젤자동차에서 배출하는 CO와 THC는 가솔린 연료를 사용할 때보다 아주 적게 배출되기 때문에 디젤엔진에 대하여 CNG 혼소기관이 CO 및 THC가 많이 배출된다 하더라도 크게 문제시 되지 않을 것으로 사료된다. 또한 THC의 대부분은 메탄이며 메탄은 인체에 해롭지 않고 광화학 반응성이 낮기 때문에 도시 스모그 발생에 크게 기여하지 않는다.<sup>10)</sup>

따라서 CNG 혼소기관은 디젤기관에 비해 성능이 떨어지지 않고 매연이 대폭 저감되어 향후 도심의 공해문제를 해결할 수 있는 대체연료기관으로 평가한다. 또한 CO나 THC에 대한 저감 기술도 고려되어야 할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

CNG 혼소기관을 이용한 실험에서 성능 및 배출가스 측정결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 본 연구에 사용된 디젤기관을 CNG 혼소기관으로 최적화하였을때 기관의 성능을 크게 저하시키지 않는 범위에서 NOx와 매연을 동시에 저감시키는 최적의 분사시기는 BTDC14°였다.
- 2) 디젤기관의 분사시기 지연에 따른 성능을 비교하여 본 결과 동력과 토크에는 큰 변화가 없었지만 연료소비율은 14° 일때가 5 (g/Ps·hr)가량 높게 나타났다. 또한 순수 경유사용시와 CNG 혼소의 경우 성능의 차이가 거의 없었으나 연료소비율은 혼소기관쪽이 30(g/Ps·hr)가량 높게 나타났다.
- 3) 기관 성능 평가시 측정된 평균 매연 농도는 순수 경유사용시 약 20.2%, 혼소 사용시 약 2.8%의 농도로 나타나 약 86%가 저감되었다. CNG 혼소장치는 디젤기관에 비해 성능이 떨어지지 않고 매연이 대폭 저감되어 향후 도심의 공해문제를 해결할 수 있는

대체연료 기관으로 평가한다.

- 4) 배출가스 평가 결과 CNG 혼소기관의 최적 화시 현행 배출가스 규제 6모드에서 CO는 약 313% 및 THC 약 1407%로 증가하였고 반면 NOx는 약 27% 저감하였다. 또한 D-13 모드로 측정된 결과 CO 약 453% 및 THC 약 2086%로 증가하였고 반면 NOx는 약 7% 저감되었다. 또한 CO나 THC에 대한 저감 기술도 고려되어야 할 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1. 한국가스연맹, "천연가스 자동차 보급 방안" pp.16~65, 1995.
2. 엄명도외, "CNG혼소장치 개발, CNG 혼소엔진에 대한 성능 평가" pp.22~61, 1993.
3. N. J. Beck and W. P. Johnson, "Electronic Fuel injection for Dual Fuel Diesel Methane" SAE 891652
4. N. J. Beck, "Natural Gas-A Rational Approach to Clean Air", SAE 902228, 1990.
5. N. J. Beck, S. K. Chen, "Injection Rate Shapping and High Speed Combustion Analysis-New Tools for Diesel Engine Combustion Development" SAE 900630, 1990.
6. N. J. Beck, W. P. Johnson AND Peter W. Peterson, "Optimized E. F. I. for Natural Gas Fueled Engines", SAE 911650, 1991.
7. G. A. Karim, "The Dual Fuel Engine of the Compression Ignition type Prospects Problems and Sloutions-A Review", SAE 831073, 1983.
8. Nattural Gas Vehicles 1990, 1990.
9. Nylund, N. and Riikonen, A., "Low Polluting Gas Fueled Heavy Duty Vehicles", SAE 912365.
10. 김희강외, "대기오염과 제어" pp.361~371, 1995.