

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0041

## 천연가스 전소기관의 성능 및 배출가스 특성에 관한 연구

### A Study on Performance and Characteristic of Exhaust emission in CNG Dedicated Engine

한영출\*, 김경배\*\*, 오용석\*\*\*  
YoungChool Han, KyungBae Kim, YongSuk Oh

#### ABSTRACT

In this study a heavy duty diesel engine was modified into a 11-liter 6-cylinder SPI CNG dedicated engine, which was tested to investigate the performance and exhaust emission under the maximum load condition as the engine speed was increased in the range of 1,000~2,200 rpm. The exhaust emission was also measured at D-13 mode as well as AVL-8 mode.

주요기술용어 : CNG(압축천연가스), Dedicated engine(전소엔진), D-13 mode(D-13 모드)

#### 1. 서론

CNG 차량은 대기오염 저감 및 에너지 수급안정이라는 2가지 문제를 동시에 해결할 수 있는 대체에너지로서 가장 현실적인 방안으로 대두되고 있다. 기관구조를 크게 변경시키지 않고도 사용이 가능하며 옥탄가가 130 정도로 높기 때문에 높은 압축비에서 노킹 없는 운전이 가능하여, 열효율과 출력이 높을 뿐만 아니라 연소 한계 범위가 넓어 희박연소의 실현이 용이하고 저연비화 및 저 NOx화가 가능하고.<sup>1~3)</sup> 또 입자상물질의 경우는 1991년 미국의 캘리포니아의 경우 도시버스를 대상으로 실험한 결과, 입자상물질은 규제가 0.1g/bhp-hr일 때 산화촉매를 미장착한 경우 약 0.03~0.06g/bhp-hr로 나타나 CNG 연료

사용시 입자상물질은 낮은 수준임이 나타났다.<sup>5)</sup> 또한 기관의 내구성이 향상되며, 유독성, 화재 위험성 및 폭발성 면에서 가장 안전한 연료로 알려져 있으며 매장량, 산출지역분포 및 가격면에서도 석유보다 유리하여 연료의 안정적 공급이 용이하므로 공급 측면에서도 매우 유리한 연료로 평가되고 있다.

CNG를 디젤기관에 적용하는 방법은 기존 디젤기관의 실린더에 천연가스와 공기의 혼합기를 흡입시키고 이를 직접 분사된 경유의 분무화염으로 착화시키는 혼소(Dual-fuel) 방식과 기존 디젤기관의 인젝터 대신에 점화플러그를 장착하여 천연가스를 전기점화에 의하여 착화시키는 전소(Dedicated)방식이 있다.<sup>4)</sup> 본 연구에는 CNG 전소기관을 여러 가지 조건에서의 기관 성능 및 배기특성에 관한 실험을 통해 대체기관으로서의 가능성을 검증하기 위해서, 11,000cc급 디젤기관이 CNG 전소기관으로 개조된 기관의 운전에 따른 출력성능 및 배출물 등을 기관회전속도 1000rpm~2200rpm

\* 회원, 국민대학교 기계·자동차공학부

\*\* 회원, 시립인천 전문대학 기계과

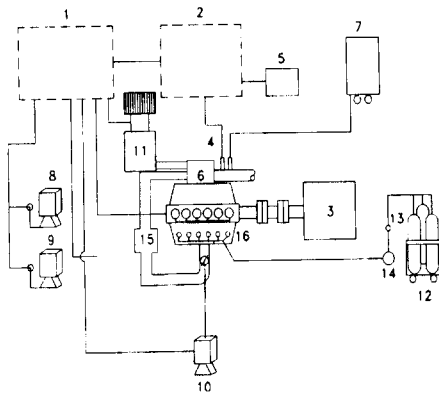
\*\*\* 회원, 국민대학교 기계공학과 대학원

까지 200rpm씩 증가시키면서 실험하였다. 또한 기관 동력계에서는 대형 디젤기관의 배출가스 규제모드인 D-13 모드와 AVL 8 모드를 이용하여 배출물을 측정하였으며 이 때에 THC를 CH<sub>4</sub>와 NMHC로 분류하여 전체 THC 중에 NMHC가 차지하는 비율을 알아보았다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

CNG 전소기관의 성능 및 배출물 측정에 사용된 시험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.



1. Dynamometer control desk
2. Exhaust gas analyzer
3. Engine dynamometer
4. Exhaust gas
5. Data recorder
6. Turbocharger
7. MDT(Mini dilution tunnel)
8. Cooling water temperature controller
9. Oil temperature
10. Throttle actuator
11. Air surge tank
12. CNG tank
13. Solenoid valve

14. CNG flow meter
15. Intercooler
16. Spark plug

Fig. 1 Schematic diagram of test apparatus

본 논문에서 사용한 기관은 11,000cc급 CNG 전소기관으로 그 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Test engine specification

Item	CNG Engine
Displacement	11,051cc
Compression ratio	10.5:1
Max. horse power	280ps/2,200rpm
Max. torque	113kg · m/1,400rpm

측정장치로는 기관동력계 및 배출가스 분석기 등으로 구성되어 있다. 기관 동력계는 수동력계이고 기관의 배출가스 분석기는 직접채취식 분석기(HORIBA, MEXA-9100D)이며, 분석원리는 CO는 NDIR(Nondispersive infrared)법, THC는 HFID(Heated flame ionization detector)법 및 NO<sub>x</sub>는 CLD(Chemiluminescence detector)법으로 분석하고, 분석된 데이터는 6 Pen recorder에 기록하여 출력한다. 제원은 Table 2와 같다. 또한 THC 중의 CH<sub>4</sub> 및 NMHC 분석에 사용한 가스 분석기의 제원은 Table 3과 같다.

Table 2 Specification of exhaust gas analyzer

Model	MEXA-9100D, HORIBA, Japan					
Component of interest	CO	CO	CO <sub>2</sub>	NO	THC	NO <sub>x</sub>
Measuring principle	NDIR	NDIR	NDIR	NDIR	HFID	CLD
Measuring concentration range	0~0.1% 0~0.3%	0~0.3% 0~10%	0~8% 0~16%	0~2000ppm 0~5000ppm	0~100ppmC 0~5000ppmC	0~20% 0~10000ppm

Table 3 Specification of CH<sub>4</sub> analyzer

Model	FFI-402, Japan		
Component of interest	THC	CH <sub>4</sub>	NMHC
Measuring principle	FID	FID	FID
Measuring concentration range	10~5000 ppm	100~5000 ppm	100~5000 ppmC

CNG유량계는 공급되는 CNG소비량을 측정하는 것으로서 측정원리는 관로내에 흐르는 유량을 필라멘트 센서에 의해 측정하며 그 제원을 Table 4에 나타내었다.

Table 4 Specification of the CNG flow meter

Item	Specification
Company	OMEGA engineering Inc., USA
Model	FMA - 7892
Max. flow	10.35MPa
Power	AC 110V

### 2.2 실험방법

기관성능 실험은 당량비 0.7, 부스트압력을 1.72bar에 고정한 상태에서 기관회전속도를 1,000~2,200rpm 사이를 200rpm씩 증가시켜 가면서 기관의 출력, 토크 및 연비를 3분 동안 30초마다 Data를 측정하여 평균값을 사용하였다. 배출가스 시험은 D-13 모드와 AVL 8모드에 따라 측정하였으며, 또한 측정된 THC 중에서 NMHC 배출정도를 알아보기 위해서 CH<sub>4</sub> 가스분석기를 사용하여 THC 중의 CH<sub>4</sub> 양을 측정하여 CH<sub>4</sub>와 NMHC의 성분비를 알아보았다. 압축비와 공연비를 제외하고 모두 동일한 경우의 기존 디젤기관 성능 및 배출가스 결

과와 비교하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 기관의 성능 및 배출가스

Fig. 2는 CNG 전소기관과 기존 디젤기관의 실험결과를 비교한 축출력을 보여주고 있다. CNG 전소기관의 결과와 기존의 디젤기관을 비교하면 출력면에서 CNG 전소기관이 약 14%정도 낮은 결과를 나타냈는데 이러한 결과는 CNG 전소기관의 경우 압축비가 10.5 정도로 낮고 기체연료의 사용에 따른 낮은 체적효율과 CNG 기관의 당량비 및 점화시기의 영향에 의한 원인으로 생각하며, 기관회전수가 고속인 부분에서는 디젤기관의 터보차저와는 다르게 웨이스트 게이트의 작동범위가 넓은 것도 하나의 요인으로 작용한 것으로 판단된다.

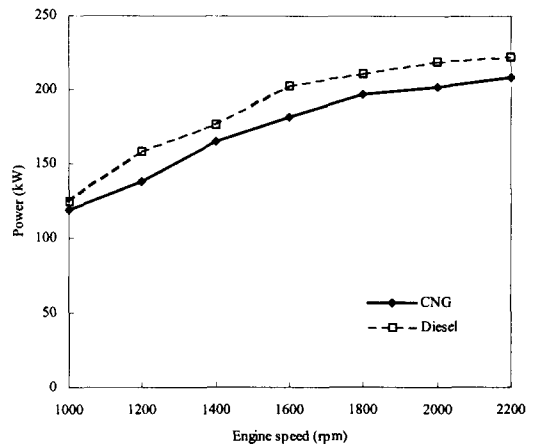


Fig. 2 Comparison of the baseline diesel & CNG engine power

Fig. 3은 CNG 전소기관의 결과와 기존 디젤기관을 토크면에서 비교한 그림으로 CNG 전소기관이 최대 토크 영역인 1400rpm 영역에서 약 8% 정도 낮게 나타났으며 이는 축출력의 원인과 동일한 이유로 판단된다.

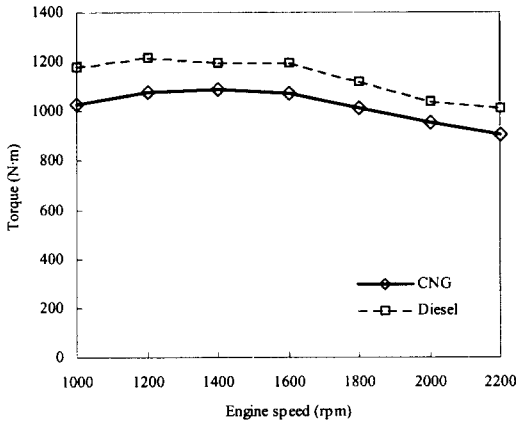


Fig. 3 Comparison of the baseline diesel & CNG engine torque

Fig. 4는 연료소비율 곡선을 나타낸 것으로 CNG 전소기관의 연료소비율이 기존 디젤 기관과 거의 동등한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 사용한 CNG 전소기관은 당량비 0.7의 희박연소 방식을 사용하였기 때문에 연료소비율 면에서 상당히 유리한 결과가 얻어진 것으로 판단된다.

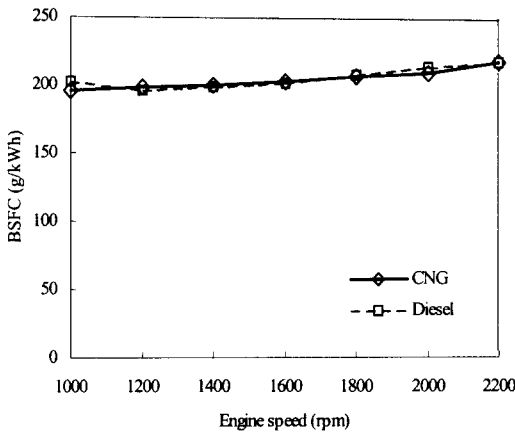


Fig. 4 Comparison of the baseline diesel & CNG engine BSFC

Fig. 5, 6 및 7은 기관회전속도 1000~2200rpm 영역에서 CNG 전소기관의 배출

가스 CO, THC 및 NOx 측정결과를 기존 디젤기관의 결과와 비교한 것이다. CO 및 THC는 기존의 디젤기관에 비해 상당량 증가하여 CO의 경우 평균적으로 약 7배, THC의 경우 약 9배 정도 더 많이 배출되는 것으로 나타났으며 NOx의 경우는 기존 디젤기관에 비해서 약 22%정도 저감하는 것으로 나타났다.

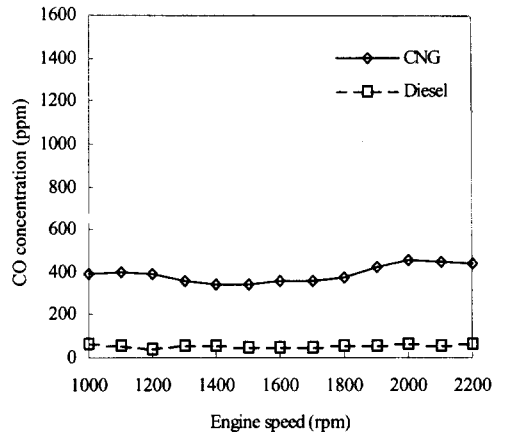


Fig.5 Test result of the CO emission

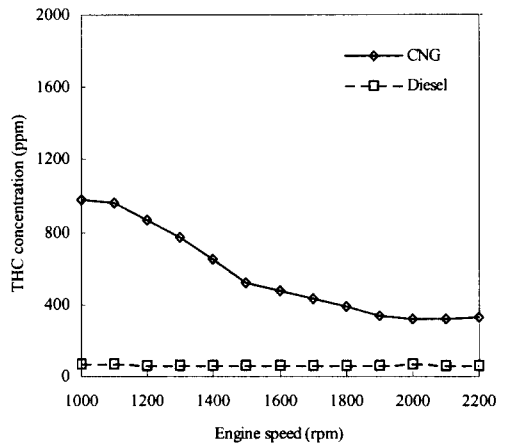


Fig. 6 The result of the THC emission

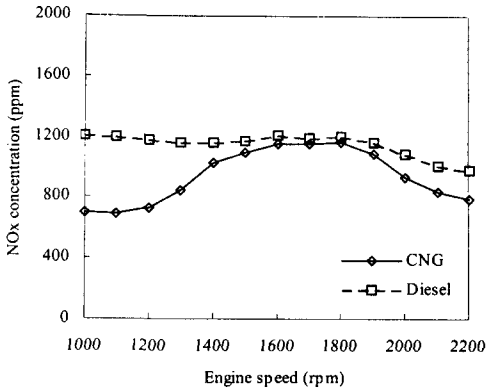


Fig. 7 The result of the NOx emission

### 3.2 모드 실험결과

Fig. 8 및 9는 D-13모드와 AVL 8모드 테스트 결과 중에서 THC를 메탄과 NMHC로 분리하여 나타낸 그래프이다. 전체 THC 중에서 CH<sub>4</sub>가 차지하는 비율은 약 60%정도이고 NMHC가 차지하는 비율은 약 40% 정도인 것으로 나타났다. 현재까지 메탄에 대한 규제를 시행하고 있는 곳은 없고 국내에서도 NMHC만을 규제의 대상으로 정하고 있으므로 CNG 전소기관에서 배출되는 HC는 규제치를 충분히 만족하는 것을 알 수 있다. 그러나 앞 절에서 설명한 바와 같이 차후에 CH<sub>4</sub>에 대한 규제가 강화될 것으로 예측하여 적절한 촉매장치의 개발로서 CH<sub>4</sub>의 배출을 억제하는 노력이 필요할 것으로 여겨진다.

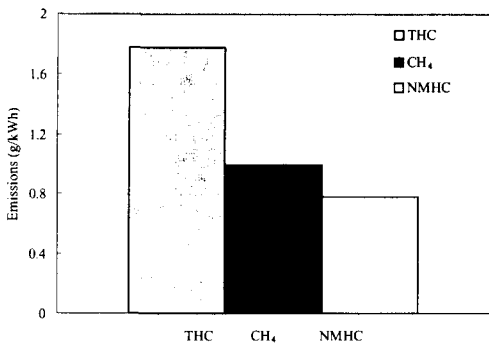


Fig. 8 The result of D-13 mode test(CNG)

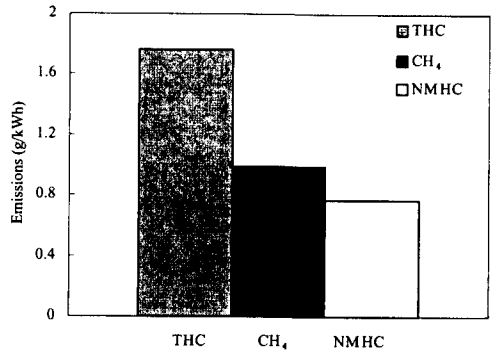


Fig. 9 The result of AVL-8 mode test(CNG)

### 4. 결론

CNG 전소기관을 이용한 성능 및 배출가스 실험결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기관성능 실험결과 CNG 전소기관이 기존의 디젤기관에 비해서 BSFC는 거의 비슷하였으나, 출력 및 토크가 각각 약7% 및 8% 정도 낮은 것으로 나타났으며 이는 CNG 전소기관의 낮은 압축비와 체적효율 등에 기인된 것으로 사료된다.

2) CO 및 THC는 기존의 디젤기관에 비해 평균적으로 약 7배, 약 9배정도 증가하는 것으로 나타났으며 NOx의 경우는 기존 디젤기관에 비해서 약 22%정도 저감하는 것으로 나타났다.

3) 모드 실험결과 전체 THC 중에서 CH<sub>4</sub>가 차지하는 비율은 약 60%정도이고 NMHC가 차지하는 비율은 약 40% 정도인 것으로 나타났다.

### 참고 문헌

- 1) 遠藤拓也외, "新エネルギー自動車", 山海堂, pp. 17~25, 1993.
- 2) Sohtaro Kishida, "天然ガス自動車の實用化

- 調査について“, JSAE 9730290, 1997.
- 3) 石井 光教 등, “天然ガス燃料組成が排氣特性に及ぼす影響”, 日産自動車研究所, 1995.
- 4) 환경부, “CNG자동차 보급확대방안을 위한 Work shop”, 1995.
- 5) 정용일, “자동차와 환경”, 한국기계연구원, 1995.