

CNG 全燒機關의 排出가스에 關한 實驗的 研究

An Experimental Study on Exhaust Emissions of CNG Dedicated Engine

한 영 출 · 오 용 석¹⁾ · 남 하 옥²⁾

국민대학교 기계자동차공학부, ¹⁾국민대학교 대학원, ²⁾기술품질원 기계금속부

(1999년 8월 30일 접수, 2000년 3월 6일 채택)

Youngchool Han, Yongsuk Oh¹⁾ and Hawuk Nam²⁾

Department of Mechanical-Automotive Engineering, Kook Min University

¹⁾*Graduate school of Kook Min University*

²⁾*Manufacturing Engineering Department, Agency for Technology and Standards*

(Received 30 August 1999; accepted 6 March 2000)

Abstract

A CNG dedicated engine, one of the types in natural gas engine, is assessed as the most effective mechanism for the reduction of exhaust emissions. This work described the measuring results of a CNG dedicated engine by the experiment.

In this study, the characteristics of the CNG engine was investigated and then measured exhaust gas by engine performance mode at maximum load condition with increasing the engine speed in the range of 1,000~2,200rpm. The exhaust emission was also measured at D-13 mode as well as AVL-8 mode.

Key words : CNG dedicated engine, exhaust emission, D-13 mode, AVL-8 mode

1. 서 론

전 세계적으로 차량의 지속적인 증가와 산업의 고도화로 인한 환경 파괴 중 특히 대기오염에 의한 도심지와 인구 밀집지역의 직접적인 생활권 오염 피해가 심각해지고 있다. 이에 따라 선진국에서는 자동차 배출가스에 대한 규제가 더욱 엄격해지고 있다. 환경부(1995)에 의하면 우리 나라도 전체의 5%에 불과한 대형 디젤 자동차로부터 배출되는 배기가스가 전체 오염물질의 절반 이상을 차지하고 있으며 대중교통부문 및 화물운송부문에서는 디젤

자동차의 계속적인 증가가 예상되기 때문에 디젤 자동차로 인한 대기오염은 더욱 악화될 것으로 예상되고 2,000년의 자동차의 배출가스 배출 규제도 더욱 강화된 실정이다. 또한 원유 사용량의 급증으로 국가 에너지 수급 정책상 원유 의존도를 낮추는 문제도 대두되고 있다. 이와 같은 추세에서 수송분야의 도심지 대기오염 저감 및 국가 에너지 수급안정이라는 두 가지 문제를 동시에 해결할 수 있는 방안으로써 CNG (Compressed natural gas : 압축천연가스) 차량의 개발이 가장 현실적인 방안으로 대두되고 있다고 엄명도(1997), Sohtaro Kishida (1997) 등에 의해 언급되었다.

따라서 본 연구에서는 대도시에서 특히 문제가 되는 디젤자동차로부터 배출되는 배출물을 억제하고 에너지 수급상 원유 의존도를 낮추는 것을 목적으로 대중교통 부분과 수송부분의 대부분을 차지하고 있는 기존의 대형 디젤기관을 청정연료인 CNG 전소기관으로 개량하여 여러 가지 조건에서의 배기 특성에 관한 실험을 통해 배기저감을 시도하였다.

실험에 있어서 배기량 11,000 cc의 디젤기관을 CNG 전소기관으로 개조한 기관을 사용하였으며 CNG기관의 운전 에 따른 배출가스를 여러 기관회전수와 부하에 대해서 실험하여 이를 기존의 디젤기관 결과와 비교하였다. 또한 청정 연료로서의 가능성을 검증하기 위하여 기관 동력계 상에서 D-13 모드와 AVL-8모드 시험에 따른 CNG기관의 배기 성능을 기존 디젤기관 및 차후의 배기 규제치와 비교하였다.

본 연구를 통하여 CNG 전소기관의 배출가스의 저감정도를 비교·분석하여 CNG 전소기관의 개발 필요성과 CNG가 청정연료로서 뿐만 아니라 대체 에너지로서의 중요성을 재인식하여 앞으로 대기오염 방지 및 대체에너지 개발에 일익을 하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

디젤기관을 CNG 전소기관으로 개조하여 기관 성능 및 배출물 측정에 사용된 실험장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

3.1.1 실험기관

본 연구에서 사용한 기관은 CNG 전소기관으로 그 제원은 표 1과 같다. 기존 디젤기관의 압축비에서 CNG 기관에 적합한 압축비로 낮추기 위해서 피스톤 헤드부의 형상은 Open-dish형으로 되어 있으며 디젤 인젝터부분에 점화플러그가 장착되어 있다.

CNG 기관용 터보차저는 기존의 디젤기관과는 다르게 흡입 공기량에 따라 연료량이 제어되므로 과도한 실린더의 열부하를 막기 위해서 고안한 솔레노이드 밸브에 의해 구동되는 웨이스트게이트(waste gate)를 장착한 터보차저를 사용하였다. 따라서 기관의 과급압은 기존의 디젤에 비해 낮은 편이며 웨이스트게이트의 작동은 ECU에 의해 제어된다.

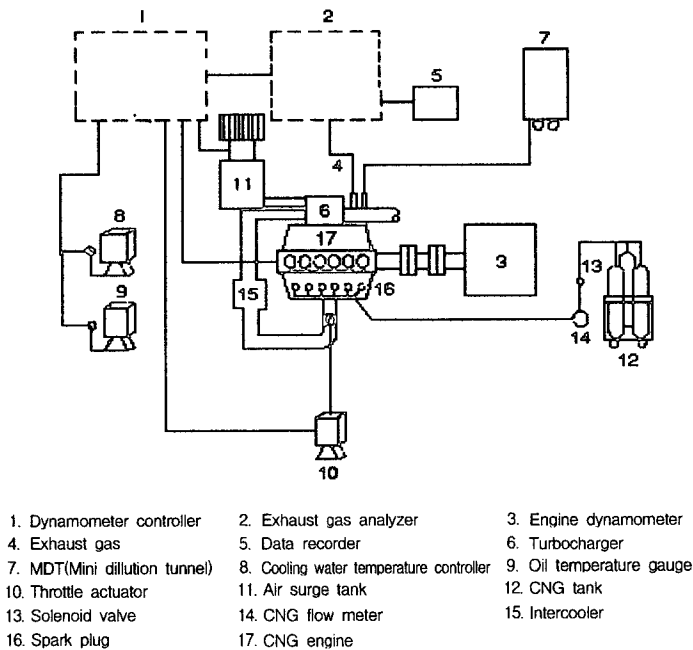


Fig. 1. Schematic diagram of test apparatus.

2. 1. 2 측정장치

측정장치로는 기관동력계 및 배출가스 분석기 등으로 구성되어 있고 기관 동력계는 수동력계 (ZOL-LNER사, GPM4/330300)이며 기관의 배출가스 분석기는 직접채취식 분석기 (HORIBA사, MEXA - 9100H)이며, 분석원리는 CO는 NDIR (Nondispersive infrared)법, THC는 HFID (Heated flame ionization detector)법 및 NOx는 CLD (Chemiluminescence detector)법으로 분석하며, 분석된 데이터는 6 Pen recorder에 기록하여 출력한다.

2. 1. 3 연료

遠藤拓也 (1993)에 구분된 기관연료로서 CNG의 성분, 연소특성을 다른 연료들과 비교하면 표 2와

Table 1. Specification of test engine.

Item	CNG engine
Type	4 stroke, in-line
Combustion chamber type	Open-dish
Fuel injection	SPI
Cylinder bore × stroke-number	123 mm × 155 mm-6
Piston displacement	11,051 cc
Compression ratio	10.5 : 1
Max. horse power	206 kW/2,200 rpm
Max. torque	113 kg · m/1,400 rpm
Injection order	1-5-3-6-2-4
Injection nozzle type	SPI, SP021

Table 2. Property of automotive fuels.

Property	Species			
	CNG	Methane	Diesel	Gasoline
Molecular formular	CH ₄ ⁺ ...	CH ₄	C ₁₂ H ₂₆	C ₈ H ₁₈
Molecular weight	16	16	170~200	about 100
Latent heat of evaporation (kJ/kg)	511	511	335	230~272
Specific gravity	0.423	0.423	0.876	0.702
Specific gravity for air (g/l, 16°C 760 mmHg)	0.61	0.55	876	702
Static pressure specific heat (15~30°C)	0.526	0.526	0.400	0.400
Higher caloric value (MJ/kg)	56	56	45	48
Lower caloric value (MJ/kg)	46	50	43	44
Boiling point (°C, 1 atm)	-162	-162	188~340	25~220
Stoichiometric F/A (mass criterion)	17.2	17.2	15.0	14.7
Ignition temperature (°C)	481	481	225	210~300
Methane value (Octane value)	89(130)	100(130)	-	(93)

같다.

2. 2 실험방법

실험은 전부하 조건에서 당량비 0.7, 부스트압력을 1.72 bar로 고정된 상태에서 기관 제원에 맞추어 기관회전속도를 1,000~2,200 rpm 사이를 100 rpm씩 증가시켜 가면서 배출가스를 측정하였다. 이렇게 측정한 실험값을 기관의 작동 조건은 압축비와 공연비를 제외하고 모두 동일한 경우의 기준 디젤기관 배출가스 결과와 비교하였다.

기관동력계상에서 CNG 전소기관 개조 전·후에 배출되는 CO, HC 및 NOx를 측정하기 위하여 우리

Table 3. D-13 Mode driving pattern.

Mode No.	Speed/load rate (%)	Weight factor
1	0/0	0.25/3
2	60/10	0.08
3	60/25	0.08
4	60/50	0.08
5	60/75	0.08
6	60/100	0.25
7	0/0	0.25/3
8	100/100	0.10
9	100/75	0.02
10	100/50	0.02
11	100/25	0.02
12	100/10	0.02
13	0/0	0.25/3

Table 4. AVL-8 Mode driving pattern.

Mode No.	Speed/load rate (%)	Weight factor (%)
1	0/0	35
2	11/25	6.34
3	21/63	2.91
4	32/84	3.34
5	100/18	8.4
6	95/40	10.45
7	95/69	10.21
8	89/95	7.34

Table 5. Heavy diesel engine emission regulations.

Nation	Implement-ation date	Test method	Emission (g/kWh, g/psh)				
			NOx	THC	CO	PM	Smoke (%)
Korea	98. Jan. 1	D-13 (g/kWh)	9.0	1.2	4.9	0.5	25
	2000. Jan. 1		6.0	1.2	4.9	0.25/0.10 bus	25
	2002. Jan. 1		6.0	1.2	4.9	0.15/0.10 bus	25

나라에서 중형디젤기관에 적용하여 규제하고 있는 D-13모드의 시험방법에 따라 배출되는 오염물질을 측정하였으며, 미국에서 규제하고 있는 중형디젤기관 시험사이클인 HDDTC (U.S. Heavy duty diesel transient test cycle)를 대체하는 AVL-8모드도 함께 시험하여 각각의 배출가스 측정치를 규제치와 비교하였다. 또한 측정된 THC 중에서 현재 규제의 대상이 되고 있는 NMHC의 배출정도를 알아보기 위해서 CH₄ 가스분석기를 사용하여 THC 중의 CH₄ 양을 계측하여 CH₄와 NMHC의 성분비율을 알아보았다. 표 3 및 4는 현행 대형의 디젤기관 규제 모드인 D-13모드와 AVL-8모드의 운전조건 및 중량계수를 나타낸 것이며 표 5는 국내의 대형 디젤기관의 배출가스 허용기준을 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 배출가스

그림 2, 3 및 4는 기관회전속도 1000~2200 rpm, 당량비 0.7의 조건에서 CNG 전소기관의 배출가스 CO, THC 및 NOx 측정결과를 기존 디젤기관의 결과와 비교한 것이다. 기존의 디젤기관에 대해서 CNG 전소기관으로 개조한 경우의 배출가스 특성을 보면 CO 및 THC는 기존의 디젤기관에 비해 상당량 증가하여 CO의 경우 평균적으로 약 7배, THC의 경우 약 9배 정도 더 많이 배출되는 것으로 나타났

으며 NOx의 경우는 기존 디젤기관에 비해서 약 22% 정도 저감하는 것으로 나타났다.

디젤기관에서는 순수한 공기만을 흡입, 압축하여 연료분사에 의하여 착화연소를 일으키기 때문에 항상 과잉공기상태에서 연소한다. 특히 HC는 전체의 혼합비가 희박하여 가스 온도가 낮을 때나 분무에 의한 혼합기가 저온의 연소실 벽에 닿아 냉각되었을 때 주로 발생한다. 따라서 정상적인 연소조건에서는 가솔린기관의 연소시보다 CO나 HC는 약 1/10 수준으로 배출된다. 그러나 CNG 전소기관에서는 CNG 연료가 가스상이므로 체적효율이 감소되어

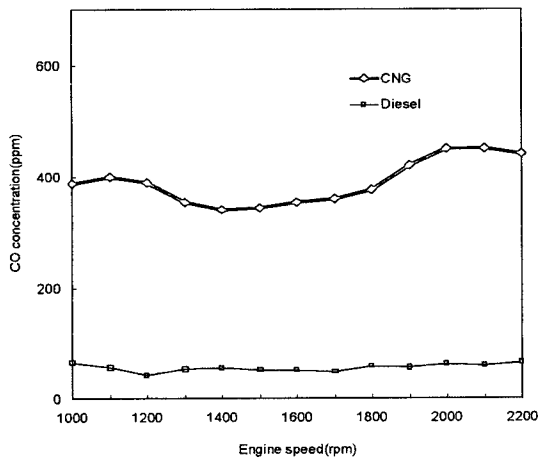


Fig. 2. Test result of the CO emission.

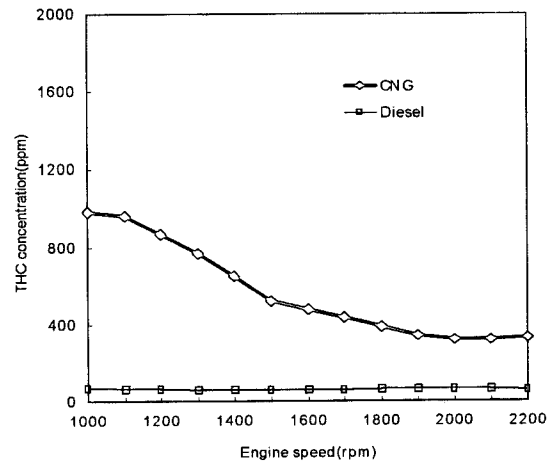


Fig. 3. Test result of the THC emission.

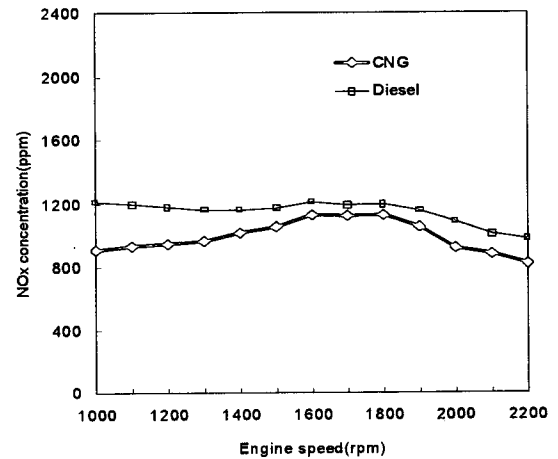


Fig. 4. Test result of the NOx emission.

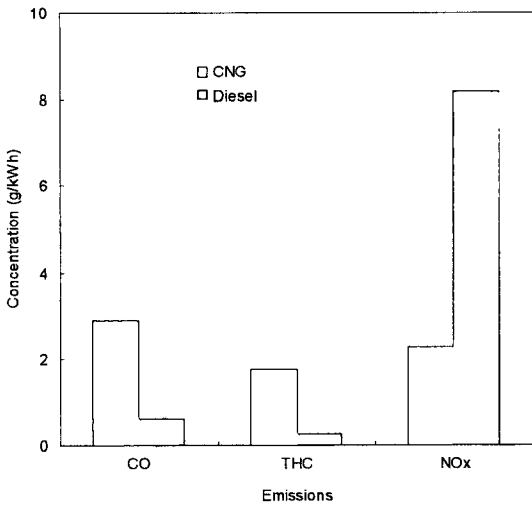


Fig. 5. The result of D-13 mode test (CO, THC, NOx).

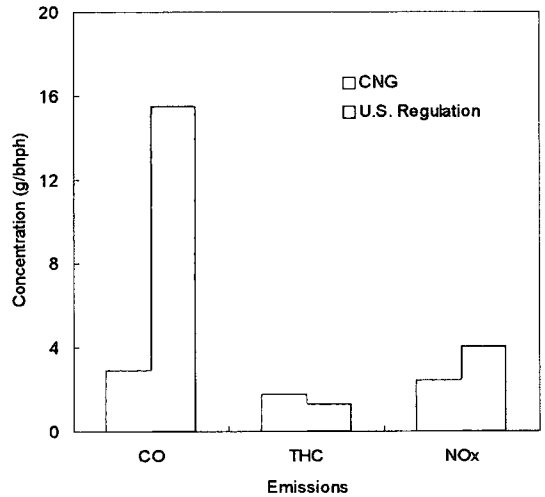


Fig. 6. The result of AVL-8 mode test (CO, THC, NOx).

기존 디젤기관에 비해 당량비가 감소되므로 디젤기관에 비해 CO를 상대적으로 많이 발생하며 기체이면서 주로 CH₄로 구성된 CNG 연료 자체의 특성에 의하여 THC가 많이 배출하는 것으로 생각된다.

3.2 배출가스 모드 실험결과

디젤기관과 CNG 전소기관의 D-13모드 시험 결과를 비교하여 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 나타난 바와 같이 전소기관에서 배출되는 CO와 THC는 기존 디젤기관에 비해 CO가 약 2.29 g/kWh 높게 배출되고 THC도 약 1.52 g/kWh 높게 배출되는 것으로 나타났으며, 반면에 NOx는 약 5.91 g/kWh 만큼 낮게 배출되는 것으로 나타났다. 이는 CNG 전소기관의 경우 기존의 디젤기관에 비해서 CNG 에혼합 연료에 의해서 연소되므로 상대적으로 실린더내의 공기 도입량이 적고 연소속도가 느리며 기체연료이기 때문에 실린더 간극으로 연료가 들어가 미연소된 연료 또는 불완전 연소에 압축비가 낮고 기체연료의 사용에 의해서 체적효율이 감소하여 연소온도가 낮아졌기 때문인 것이다. CNG 기관에서 배출하는 THC는 CNG 자체가 주로 CH₄로 구성되어 있기 때문에 THC의 대부분을 차지하는 것도 CH₄이고 이는 NMHC보다 광화학 스모그에 미치는 영향이 적어 현재의 배기규제에 포함되어 있지 않으며 CO 및 NMHC는 촉매적으로 산화

가 쉽게 이루어지므로 촉매장치의 장착에 의하여 상당량이 저감될 것으로 생각한다.

그림 6은 AVL-8모드 시험 결과를 나타낸 것이다. 미국의 대형 디젤기관 시험 모드인 HDDTC (Heavy duty diesel transient cycle)는 시간에 따라서 토크와 속도를 변화시키면서 측정하므로 기관상태가 시간 변화에 따라 연속적으로 변화하는 Transient cycle이다. 이것을 간단하게 구현하기 위해서 AVL사에서 HDDTC에서 운전하는 토크와 속도를 중첩시켜 가장 빈번하게 운전되는 8곳을 추출하여 이곳에서의 에미션 값을 계산하여 HDDTC 결과를 유추해 냈는데 이러한 시뮬레이션 방법을 AVL-8모드 시험라고 하며, 이 방법을 이용하여 CNG 전소기관의 배기 성능 시험을 실시하였다. 시험 결과 CO 및 NOx는 규제치를 충분히 만족하고 있으며 THC의 경우 규제치를 약간 상회하는 결과를 나타냈으나 이것은 메탄과 NMHC를 모두 포함한 수치이며 전체 THC 중에서 메탄이 차지하는 비율이 60% 정도이므로 규제치를 충분히 만족하는 결과를 얻었다.

4. 결 론

디젤기관을 CNG 전소기관으로 개조하여 국내 대형디젤기관의 규제모드인 D-13모드, 이와 비슷한 AVL-8모드를 대상으로 하여 배출가스를 실험한

결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. CNG 전소기관의 배출가스 모드 시험 결과 D-13모드 및 AVL-8모드에서 디젤기관에 비해 CO, HC는 증가하고 NOx는 감소하는 경향을 나타내었다.

2. 특히 US 규제치와의 비교에서 불 때 CO 및 NOx는 충분히 만족하며 THC의 경우도 60%의 비율을 차지하는 메탄을 제외하면 규제치를 모두 만족함을 확인하였다.

3. 앞으로 더 엄격해질 배기가스 규제치를 만족시키기 위하여 CNG 촉매 시스템과 희박연소를 위한 CNG 직분사 시스템의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

엄명도, 조강래, 오용석, 한영출 (1997) “매연저감을 위한 천연가스 Duel-Fuel 엔진의 시내버스 적용평가”, 한국대기보전학회, 13, 3.

환경부 (1995) “CNG자동차 보급확대방안을 위한 Workshop” pp. 14-21.

遠藤拓也 (1993) “新エネルギー自動車”, 山海堂, pp. 17-25.

엄명도 (1997) “CNG 혼소기관에 관한 연구”, 국민대학교 박사학위 논문, pp. 1-3.

Sohtaro Kishida (1997) “天然ガス自動車の實用化調査について”, JSAE 9730290.