

압축비 변경에 따른 CNG차량의 성능특성 연구

김봉석 · 이영재 · 고창조
한국에너지기술연구소 수송기술연구팀

Performance Characteristics of CNG Vehicle at Various Compression Ratios

Bong Seock Kim, Young Jae Lee and Chang Jo Koh
Transportation Research Team, Korea Institute of Energy Research

요 약

천연가스는 기존 내연기관의 구조를 크게 변경시키지 않고도 사용이 가능하며, 저공해성, 안전성, 내구성 등에 있어서 우수한 특성을 가지고 있고, 매장량이 풍부하다는 점에서 자동차용 대체연료로서 유망시 되고 있다. 본 연구에서는 기존 가솔린 기관을 CNG 전용기관으로 개조한 후, 공연비, 점화시기 등과 같은 기관 운전조건들을 최적화한 CNG 전용기관을 기존 가솔린차량에 탑재하여, 사시동력계상에서 연료소비량 및 배기배출물 농도를 측정·비교하였다. 또한, 실도로상에서 가속성, 운전성 등의 차량 주행특성에 대해서도 평가하였다. 그 결과, 시차 CNG 차량의 경우에는 가솔린 차량에 비하여 연비는 향상되었고 배기배출물은 저감되었으나 출력은 약간 감소되었다.

Abstract—Natural gas is one of the promising alternative fuels for automotive vehicles, because it has lower exhaust emissions and better fuel economy characteristics than those of gasoline, and can be used in conventional gasoline engines without major modifications. In the present study, a conventional gasoline engine was modified to a CNG engine, which can be operated with CNG only, and an engine bench test was performed to calibrate the operating parameters of the engine such as air fuel ratio, spark advance, etc. at various operating conditions. The modified CNG engine, then, was installed on a commercial gasoline vehicle and a vehicle driving test on chassis dynamometer was performed to examine the fuel economy and exhaust emission characteristics. As a result, the prototype CNG vehicle showed lower exhaust emissions and better fuel economy characteristics, but slightly reduced brake horse power, compared to the gasoline vehicle.

1. 서 론

천연가스는 기존 내연기관의 구조를 크게 변경시키지 않고도 사용이 가능하며, 저공해성, 안전성, 내구성 등에 있어서 우수한 특성을 가지고 있고, 매장량이 풍부하다는 점에서 자동차용 대체연료로서 유망시 되고 있다. 따라서, 오래전부터 보급이 추진되어, 이미 세계적으로 100만대정도의 NGV(천연가스차량)가 운행되고 있다. 이들 차량의 대부분은 기존가솔린차량을 개조한 가솔린/CNG 바이퓨얼방식의 차량이나, 최근에는 천연가스의 특성을 충분히 살릴 수 있는 CNG전용 기관

의 개발이나 대형엔진에의 적용도 활발히 추진되고 있다.^{1,2)}

국내에서도 최근에, 저공해 대체에너지차량 개발의 일환으로 NGV에 대한 연구개발이 비교적 활발히 추진되고 있다. 한국에너지기술연구소에서 '83년 이래 승용차용/디젤차량용 CNG엔진에 대한 조사 및 실험연구를 추진하고 있으며, 창원기화기에서 캐나다 AFS사의 듀얼퓨얼엔진시스템을, 기계연구원에서 구조선 나미의 듀얼퓨얼엔진시스템을 도입하여 적용연구를 추진하고 있다. 또한, 현대자동차 및 대우자동차에서는 CNG승용차량을, 아시아자동차에서는 중부하 CNG전소 엔진을, 대

우중공업에서는 정치형 중부하 천연가스전소엔진을, 두원정공과 기계연구원에서는 천연가스/LPG 겸용 인젝터의 개발을, 한국가스공사에서는 CNG실린더의 개발을 추진하고 있다. 이와 같이, 현재 국내에서 CNG엔진/차량에 대한 연구개발이 추진되고 있기는 하나, 관련부품은 아직 양산화되어 있지 않아서 기술수준이 외국에 비해 현저히 뒤떨어져 있는 실정이다. 그러나, 대기 공해의 저감을 위하여 관련기관에서 천연가스차량의 도입을 신중히 검토하고 있는 등 정부차원에서 관심이 많아, 향후 천연가스차량의 양산을 위한 연구개발 및 그의 보급이 적극 추진될 것으로 보인다.

한편, 천연가스를 기존 가솔린기관에 적용하는 경우, 천연가스의 흡입으로 인한 체적효율의 저하로 인하여 엔진출력이 감소되는 문제점이 있다. 아울러, 천연가스는 옥탄가가 높아서 엔티노크특성이 우수한 특성을 가지고 있다. 따라서, CNG전용기관의 개발에 있어서는 천연가스의 높은 옥탄가를 활용하여, 압축비를 높여서 엔진출력과 열효율을 증대시키는 방안이 강구되고 있다¹¹⁾.

전보¹²⁾에서는, 기존 가솔린기관을 CNG전용기관으로 개조하기 위하여 압축비를 변경하고 기관회전수, 공기과잉율, 점화시기 등의 제 운전변수를 변화시켜, 이때의 기관출력, 토크, 연료소비율, 열효율 및 배기배출물(CO, HC, NOx) 등을 고찰하였다. 그 결과, 압축비를 높여줌에 의해 CNG기관의 출력은 가솔린기관보다 증가하였으며, 연료소비율과 열효율 역시 향상되었다. 또한, CNG기관의 일산화탄소 배출농도는 공기과잉율 1.0 이하의 농후혼합기영역에서는 가솔린기관과 비슷한 수준으로 배출되었으나, 1.0 이상의 희박혼합기영역에서는 가솔린기관에 비해 감소하였다. CNG 기관의 탄화수소 배출농도는 가솔린기관에 비해 부분적으로 증가 또는 감소되었지만 CNG기관에서 배출되는 탄화수소의 주성분인 메탄은 광화학스모그를 형성하지 않는 것으로 알려져 있어서 문제시 되지 않는 것으로 나타났다. CNG기관의 질소산화물 배출농도는 동일한 공기과잉율에서 비교할 경우에는 가솔린기관에서보다 증가하였고, 또한 압축비의 증가에 따라 더욱 증가하였다. 그러나 희박혼합기운전에서는 그의 배출농도가 감소됨을 볼 수 있었다.

따라서, 본보에서는 앞서 개발한 CNG전용기관을 탑재한 CNG전용차량의 주행성능특성을 고찰해 보고자 하였다. 본연구는 압축비 9.0과 11.0의 CNG기관 및 압축비 9.0의 기존 가솔린기관을 탑재한 시험차량을 대상으로 시험을 실시하였으며, 시험차량을 사시동력계상에 설치한 상태에서, 각각에 대한 연료소비량 및 배기배출물 농도를 측정·비교하였다.

2. 시험장치 및 방법

2-1. 시험장치

시험시스템은 Fig. 1에서와 같이 시험자동차, 사시동력계, 연료유량계, 진공계, 배기가스측정기, 데이터앤키지션 및 분석장치 등으로 구성되어 있으며, 그의 상세는 다음과 같다.

2-1-1. 시험자동차

시험자동차는 당 연구실 보유차량인 현대자동차(주) 제조의 스텔라를 사용하였다. 동 차량의 시험전까지의 총주행거리는 34,700 km이었으며, 엔진튜닝, 윤활유교환 등 제반 정비사항을 점검한 후 시험에 사용하였다. 시험자동차에는 CNG와 가솔린의 절환장치가 부착되어 있으며, CNG사용시에는 기관의 압축비를 9:1 및 11:1로 각각 변경한 경우에 대하여, 가솔린사용시에는 기준 압축비인 9:1에 대하여 시험하였다. CNG사용시 기관의 압축비는 전보¹²⁾에서 언급한바와 같이 실린더 헤드의 밀면을 절삭함에 의해 변화시켰다. Table 1에 시험기관 및 차량의 제원을 나타낸다.

2-1-2. 사시동력계

사시동력계는 등가관성설정용 플라이휠이 있는 가솔린자동차 배기가스측정 전용의 것으로서, 최대흡수마력 75ps/2500rpm, 최대속도 5000 rpm이며, 그 밖의 제원은 Table 2에서와 같다. 사시 동력계에서는 시험차량이 도로를 실제로 주행할 때의 주행저항에 상당하는 부하가 작용되도록 하였다.

2-1-3. 연료유량계 및 진공계

CNG의 연료소비량측정에는 열식질량유량계(Thermal mass flowmeter, Oval사 Model F-333, Range: 0~500 l/min, Accuracy: 1% F.S, Response time: 0.6 s)를, 가솔린의 연료소비량측정에는 디지털유량계(Ono Sokkisa Model DF-312, Range: 0~120 l/h, Accuracy: 0.5% F.S)

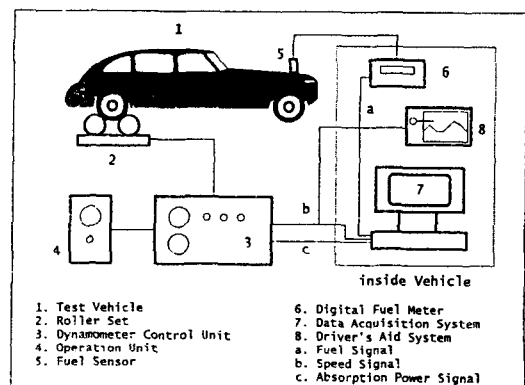


Fig. 1. Schematic diagram of test system.

Table 1. Specifications of test engine and vehicle.

	Contents	Specification		
		Gasoline	Natural gas	
Engine	Type	4 Cyl. IN-OHC	←	
	Bore (mm)×Stroke (mm)	74.5×86	←	
	Displacement (cc)	1499	←	
	Compression ratio	9.0	9.0	11.0
	Combustion chamber type	Hemispherical	←	
	Max. output (ps/rpm)	94/6300	78/5200	85/5500
	Max. torque (kg-m/rpm)	13.0/4000	11.8/3000	12.5/3500
	Fueling system	Carburetor	Mixer	
Vehicle	Transmission	4MT	←	
	Axle ratio	4.1	←	
	Tire	185/70 SR 13	←	
	Wheelbase (mm)	2579	←	
	Curb weight (kg)	1060	←	

Table 2. Specifications of chassis dynamometer.

	Contents	Specification
Power absorption system	Model	CBS-200 (Seidensha)
	Max. absorption power	75 ps/2500 rpm
	Max. speed	5000 rpm
	Speed detector	Opticoder LE-60B
Flywheel	Inertia compensation range	1750-3850lbs (step: 300)
	Disk	300, 600, 1200, 1750 lbs
	Max. speed	3000 rpm
Roller	Proof load capacity	2000 kg
	Max. speed	3000 rpm
Maker	Nissan Motor Sales Co.	

를 각각 사용하였다. 시험차량이 도로를 실주행할 때의 부하측정과 샤시동력계상에서의 부하설정을 위해서는 진공계(Ono Sokki사 Model PT-761, Accuracy: 0.25% F.S)를 사용하였다.

2-1-4. 배기가스 측정기

일산화탄소의 농도측정에는 비분산적외선 분석법의 배기가스분석기(Beckman사 Model 864, Range: 0~8%, Accuracy: $\pm 0.5\%$ F.S, Response time: 1s)를, 탄화수소의 농도측정에는 비분산 적외선 분석법의 배기가스분석

기(Beckman사 Model 402, Range: 0~8000 ppm, Accuracy: 5% F.S, Response time: 1 s)를, 질소산화물의 농도측정에는 화학발광반응법의 배기가스분석기(Beckman사 Model 951A, Range: 10~10000P/10⁶, Accuracy: 0.5% F.S, Response time: 1s)를 각각 사용하였다.

2-1-5. 데이터에퀴지션 및 분석장치

샤시동력계에서 출력되는 순시주행속도 및 순시흡수 동력, 연료유량계에서 출력되는 순시연료유량은 데이터에퀴지션시스템에 연결되어 각 신호당 리얼타임으로 샘플링된 후, 매 시험종료후에 분석되었다. 데이터에퀴지션 및 분석에는 Interface board(National Instrument사 Model AT-MIO-16 L, Maximum sampling rate: 100 kHz)를 내장한 PC를 사용하였다.

2-1-6. 연료

시험에 사용한 가솔린은 유공(주)의 것을, 천연가스는 한국가스공사(주)의 인도네시아산을 사용하였다. 동 천연가스의 조성분은 메탄(86.3%), 에탄(8.6%), 프로판(4.0%), 부탄(1.1%) 등이다.

2-2. 시험방법

소정의 도로부하를 설정한 샤시동력계상에서 LA-4모드 주행, 정속주행 및 일정마력주행 시험을 실시하였다. 샤시동력계의 등가관성질량은 1202 kg으로 설정하였으며, 부하는 도로에서 가솔린차량의 실측치를 이용하여 20 km/h, 40 km/h 및 60 km/h의 3점 부하를 설정하였다.

시험절차로서는 LA-4모드를 추적하여 1회 운전을 실시, 시험장치와 시험자동차가 안정되게 한 다음, 동 모드 1회 운전을 1 테스트로 하여 이를 5회 반복한 후, 잇달아 정속(60 km/h 및 100 km/h) 및 일정마력운전(사시동력계 흡수마력기준 2 ps, 4 ps, 6 ps, 8 ps 및 10 ps) 시험을 실시, 각 시험에 대한 제반 데이터를 수집하였다. LA-4모드시험시에는 연료소비량과 배기배출물농도를 측정하였으며, 정속주행시험과 일정 마력주행시험시에는 각각 120초 동안의 연료소비량을 측정하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3-1. 연비

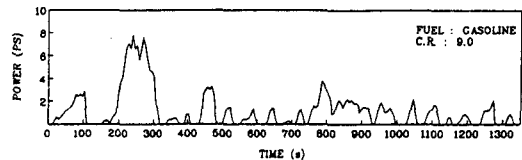
3-1-1. LA-4모드연비

Table 3은 압축비 9.0의 가솔린사용시(이하 가솔린 9.0)와, 압축비 9.0 및 11.0의 CNG사용시(이하 CNG 9.0 및 CNG 11.0)의 LA-4모드 주행연비를 비교한 것이다. 단, 가솔린과 CNG는 각기 액상 및 기상의 연료이므로 통상의 연비표시방법인 km/l를 사용하지 않고, 중량베이스인 km/kg을 사용하여 비교하였다.

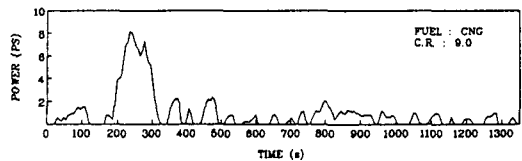
표에 의하면, 가솔린 9.0의 LA-4모드연비는 15.50 km/kg임에 대하여, CNG 9.0의 연비는 16.90 km/kg으로서 CNG사용시에 연비가 9.0% 향상됨을 볼 수 있다. CNG 11.0인 경우에는 18.73 km/kg의 연비를 보여주고 있어서, 가솔린 9.0에 비해 20.8%, CNG 9.0에 비해 10.8% 연비가 향상됨을 볼 수 있다. 이는, 천연가스의 단위질량당 발열량(11,700 kcal/kg)이 가솔린의 단위질량당 발열량(10,550 kcal/kg)보다 10%정도 더 높다는 이유외에, 액상인 가솔린보다 기상인 CNG의 경우가 흡기다기관내에서의 혼합 및 분배성이 양호하고, 아울러 연소실내에서의 연료의 증발과정이 없어서 보다 완전한 연소가 가능해졌기 때문인 것으로 생각된다¹³⁾. 즉, 기화기식이나 단점분사식(Single point injection)을 사용하는 가솔린기관의 경우는 노즐로부터 무화된 입자가 드로틀밸브에 충돌하면서 발생하는 액막류 형성과정, 라이저와 흡기다기관내에서의 무화과정 및 기화기 내면 벽면에 흐름을 형성하여 흡기 다기관내에 액막류를 형성하는 과정을 거쳐야 하고, 다점분사식(Multi-point injection)을 사용하는 가솔린기관의 경우도 흡기 다기관내에서의 무화 및 기화과정 등을 거쳐야 되나, 기상의 CNG는 이와 같은 과정이 필요없다.

Fig. 2의 (a), (b) 및 (c)는 가솔린 9.0, CNG 9.0 및 CNG 11.0에 대하여 LA-4모드운전을 하였을 때의 시간-순시출력 선도를 나타낸 것으로, 이들 선도간에는 약간의 상이한 점이 발견되고 있다. 이는, 사시동력계상에서 동일차량에 의해 운전할 경우에 있어서, 동일 속도에서의 주행저항은 엔진의 차이와 무관하게 같아야 하지만, 운전자가 주행모드추적기(Driver's aid)를 추적하여 주행할 때에 가속패턴 등이 수시로 변화하는 등 가속페달의 조작상태가 변화하기 때문이다. 한편, 동 시험에 있어서는 LA-4모드에서 규정하는 속도의 에러구간내에서 운전하였기 때문에 상기와 같은 상이점은 시험결과 분석 시 큰 문제점으로 대두되지 않았다.

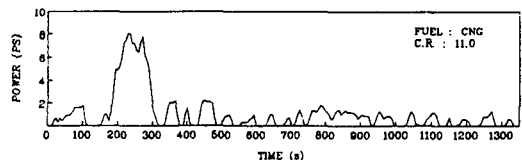
3-1-2. 정속주행연비
Table 4는 가솔린 9.0, CNG 9.0 및 CNG 11.0에 대한 정속주행연비를 비교한 것이다. 표에 의하면, 속도 60 km/h인 경우 가솔린 9.0의 연비는 24.74 km/kg임에 대하여, CNG 9.0의 연비는 28.09 km/kg, CNG 11.0의 연비는 32.58 km/kg으로서, 각기 가솔린사용시에 비하여 13.5% 및 31.7% 연비가 개선됨을 보여주고 있다. 속도 100 km/h인 경우에도 유사한 경향이 보여지며, CNG 9.0과



(a) Gasoline 9.0



(b) CNG 9.0



(c) CNG 11.0

Fig. 2. Time versus instant power traces at LA-4 mode driving.

Table 3. LA-4 mode fuel economy.

Fuel type	Compression ratio	Fuel economy (km/kg)	Fuel economy improvement (%)
Gasoline	9.0	15.50	base
CNG	9.0	16.90	+ 9.0
	11.0	18.73	+20.8

Table 4. Fuel economy at constant speed driving.

Speed (km/h)	Fuel type	Compression ratio	Fuel economy (km/kg)	Fuel economy improvement (%)
60	Gasoline	9.0	24.74	base
	CNG	9.0	28.09	+13.5
	CNG	11.0	32.58	+31.7
100	Gasoline	9.0	18.62	base
	CNG	9.0	21.72	+16.6
	CNG	11.0	23.41	+25.7

Table 5. Fuel Economy at constant horsepower driving.

Horsepower (ps)	Gasoline 9.0	CNG 9.0		CNG 11.0	
	Fuel economy (km/kg)	Fuel economy (km/kg)	Fuel economy improvement (%)	Fuel economy (km/kg)	Fuel economy improvement (%)
2	25.65	29.20	+13.8	33.61	+31.0
4	23.54	26.97	+14.6	31.45	+33.6
6	21.68	24.84	+14.6	29.02	+33.9
8	20.30	23.47	+15.6	27.46	+35.3
12	18.77	21.63	+15.2	23.95	+27.6

CNG 11.0은 각기 가솔린사용시에 비하여, 16.6% 및 25.7%의 연비향상을 보여주고 있다. 이와 같이, 정속주행시 CNG 9.0 및 CNG 11.0의 연비가 가솔린 9.0의 연비에 비해 개선되는 이유는 상술한 바와 같으며, CNG 11.0의 연비가 CNG 9.0의 연비에 비해 향상되는 것은 압축비 증가에 따른 당연한 결과이다.

3-1-3. 일정마력주행연비

Table 5는 사시동력계의 흡수마력을 2 ps, 4 ps, 6 ps, 8 ps 및 10 ps로 변화시킨 각각의 경우에 대하여 가솔린 9.0, CNG 9.0 및 CNG 11.0의 연비를 비교한 것이다. 표에 의하면, CNG 9.0과 CNG 11.0의 경우, 가솔린 9.0에 비하여 흡수마력에 따라 다소 차이가 있지만, 13.8~15.6% 및 27.6~35.3% 정도 연비가 향상됨을 볼 수 있다. 일정마력주행시, CNG 9.0과 CNG 11.0의 연비가 가솔린 9.0의 연비에 비하여 향상되는 이유도 상술한 바와 같다.

3-2. 배기배출물

Fig. 3의 (a), (b) 및 (c)에 가솔린 9.0, CNG 9.0 및 CNG 11.0에 대하여 LA-4모드운전을 하였을 때의 일산화탄소의 시간-순시농도선도를 나타낸다. 그림에 의하면, 가솔린 9.0의 경우에는 전 영역에 걸쳐 그의 농도변화가 그리 크지 않고, 또한 최대 3%정도의 피크치를 보여주고 있으나, CNG 9.0의 경우에는 그의 농도변화가 크고, 피크치가 가솔린사용시에 비해 훨씬 큼을 볼 수 있다. 압축비를 11.0으로 증가시킨 경우에는 전체적으로 CNG 9.0보다는 피크치가 감소하나 이 역시 가솔린

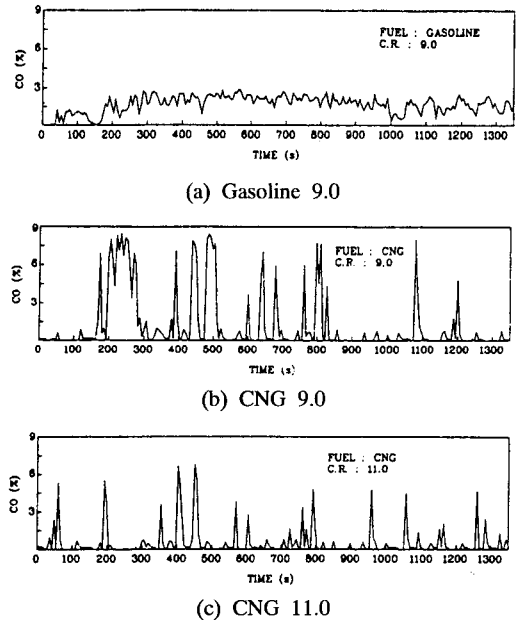


Fig. 3. Time versus instant CO concentration traces at LA-4 mode driving.

기관에 비해서는 큰 값을 볼 수 있다. 이러한 원인은 CNG 9.0의 경우에는 가솔린에 비해 기관출력이 감소하므로 고속, 가속모드에서 공기과잉율의 변화가 크게 되어, 기관운전이 불안정한 경향을 나타내기 때문에 CO

농도가 증가하게 된다. 그러나, CNG 11.0의 경우에는 압축비의 증가에 따른 출력의 향상으로 기관운전이 비교적 안정되어, CO 농도가 감소하게 된다.

한편, 이들 시간-순시농도를 매초단위로 적분하여 그의 적산치를 구한 Table 6에 의하면, 가솔린의 경우를 100으로 할 때, CNG 9.0의 경우에는 75.6, CNG 11.0의 경우에는 32.3의 적산치를 보여주고 있어서, CNG사용시에는 가솔린사용시에 비해 일산화탄소의 총 배출농도가 크게 저하하고, 특히 압축비의 증가에 의해 그의 저하폭이 더욱 커짐을 볼 수 있다. 일반적으로, 승용차량의 배기배출물의 측정은 정적채취법(CVS: constant volume sampling)을 이용하나, 본 연구에서는 동 장비를 구비하지 못하였기 때문에, 동일모드 주행시의 배기배출물의 순시치의 총량을 적분하여 이를 비교하였다. 물론, Road load가 수시로 변화하지만, 동일한 주행모드로 주행하였을 경우의 배기배출물의 적분총량을 비교에 사

용하였기 때문에, 동 방법에 의한 배기배출물 비교는 가능하다고 판단되었다.

Fig. 4의 (a), (b) 및 (c)에 가솔린 9.0, CNG 9.0 및 CNG 11.0에 대하여 LA-4모드운전을 하였을 때의 질소산화물의 시간-순시농도선도를 나타낸다. 그림에 의하면, 가솔린 9.0과 CNG 9.0의 피크치는 거의 차이가 없으나, 압축비를 증가시킨 CNG 11.0의 경우에는, 질소산화물의 피크치가 크게 증가하고 있으며, 이는 전보¹²⁾에서 언급한 바와 같이 실린더내의 연소최고온도의 상승에 기인한 것으로 생각된다.

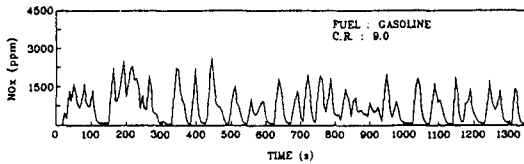
한편, Table 7에 나타낸 시간-순시농도의 적산치를 비교하여 보면, 가솔린 9.0을 100으로 하였을 때, CNG 9.0은 65.0, CNG 11.0은 86.2을 보여주고 있어서, CNG 사용시에는 가솔린사용시에 비하여 질소산화물의 총 배출농도가 크게 저감하나, 압축비가 증가하면 그의 저감폭은 약간 줄어들 수 있다.

Table 6. CO concentrations at LA-4 mode driving (total amount).

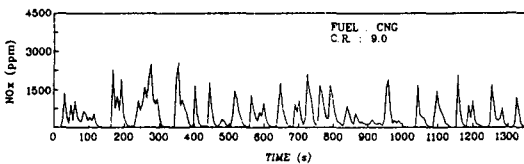
	Gasoline 9.0	CNG 9.0	CNG 11.0
CO concentrations	100	75.6	32.3
compared to gasoline	base	24.4% decrease	67.7% decrease

Table 7. NOx concentrations at LA-4 mode driving (total amount).

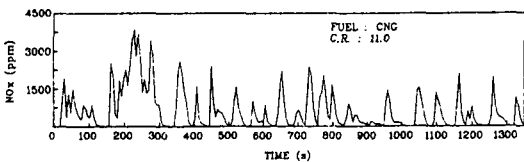
	Gasoline 9.0	CNG 9.0	CNG 11.0
NOx concentrations	100	65.0	86.2
compared to gasoline	base	35.0% decrease	13.8% decrease



(a) Gasoline 9.0

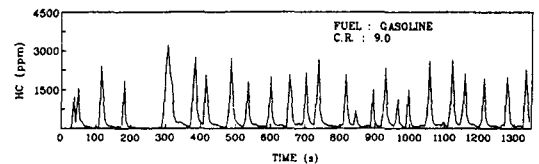


(b) CNG 9.0

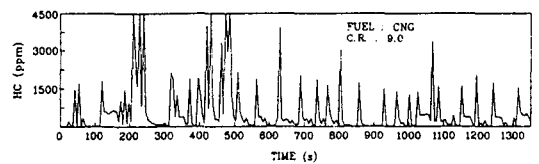


(c) CNG 11.0

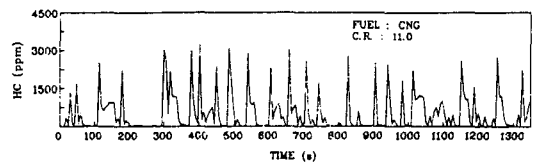
Fig. 4. Time versus instant NOx concentration traces at LA-4 mode driving.



(a) Gasoline 9.0



(b) CNG 9.0



(c) CNG 11.0

Fig. 5. Time versus instant HC concentration traces at LA-4 mode driving.

Table 8. THC concentrations at LA-4 mode driving (total amount).

	Gasoline 9.0	CNG 9.0	CNG 11.0
THC concentrations	100	137.0	125.0
compared to gasoline base		37.0% increase	25.0% increase

Fig. 5의 (a), (b) 및 (c)에 가솔린 9.0, CNG 9.0 및 CNG 11.0에 대하여 LA-4모드운전을 하였을 때의 전탄화수소(THC)의 시간-순시농도전도를 나타낸다. 그림에 의하면, 가솔린 9.0과 CNG 11.0의 피크치는 거의 차이가 없으나, CNG 9.0의 피크치는 크게 증가함을 볼 수 있다.

한편, Table 8에 나타낸 시간-순시농도의 적산치를 비교해 보면, 가솔린사용시를 100으로 하였을 때, CNG 9.0은 137, CNG 11.0은 125로서 상당히 증가하고 있다. CNG사용시에 전탄화수소의 적산치가 이처럼 크게 증가한 이유는 확실치 않으나, 본 차량시험의 경우에 가솔린, CNG기관 모두 공기과잉율을 1.0 부근으로 설정한 것을 그 이유의 하나로 들 수 있다. 왜냐하면, 전보¹²⁾의 배기배출물 특성에서 논한 바와 같이 이 부근의 공기과잉율에서는 CNG기관의 탄화수소 배출농도가 가솔린기관의 그것에 비하여 증가하기 때문이다. 그러나, CNG차량에서 배출되는 탄화수소의 주성분인 메탄(CH₄)은 가솔린기관에서 주로 배출되는 타 탄화수소와는 달리 광화학스모그를 형성하지 않는다는 관점에서 문제되지 않을 것으로 판단된다^{14,15)}. 또한, 메탄은 다른 석유계 연료에 비해 탄소의 비율이 적기 때문에 동일한 지구온난화가스인 CO₂의 발생량이 가솔린사용시에 비하여 30%정도 적을 뿐만 아니라, 타 유해배기물질(NMHC, CO, NOx)을 기존 차량에 비하여 크게 줄일 수 있다는 관점에서 CNG차량이 기존차량에 비하여 대기오염에 있어서 크게 유리하다고 평가되고 있다¹⁶⁾. 한편, THC만 측정된 상태에서 탄화수소를 정량적인 관점에서 결론을 내리기에 어려운 점이 있기는 하지만, 전술한 바와 같이, CNG차량의 HC의 주성분이 메탄이라고 알려져 있기 때문에, 상기와 같은 고찰은 무리가 없다고 생각된다.

3.3. 주행성능 및 주행거리

상술한 LA-4모드주행, 정속주행, 일정마력주행 시험에 있어서 CNG사용으로 인한 가속성이나 운전성의 악화는 인지할 수 없었으며, 따라서 CNG차량의 주행성능은 가솔린차량의 그것과 거의 동일한 것으로 판단되었다. 또한, 상술한 시험이외에 시험차량에 CNG 9.0 기관

을 탑재한 상태하에서 고속도로 및 시 외곽도로 등의 실도로를 주행하였으나, 이 경우에도 CNG사용으로 인한 주행성의 저하는 인지할 수 없었다. 한편, 동 시험차량에 2개의 CNG실린더(직경 25.4 cm×길이 101.6 cm, 중량 49 kg)를 탑재하고, 각각의 실린더에 1900 psi의 압력으로 천연가스를 충전하였을 때의 총 주행거리는 220 km이었다. 본 연구에서 사용한 CNG실린더는 2400 psi까지 천연가스를 충전할 수 있으므로, 이 경우의 총 주행거리는 300 km정도에 달할 것으로 생각된다.

4. 결 론

압축비 9:1 및 11:1인 CNG전용기관을 탑재한 CNG차량의 주행성능을 평가하기 위하여, LA-4 모드주행, 정속주행, 일정마력주행 시험을 실시하고, 이때의 연료소비율 또는 배기배출물 농도를 살펴보았다. 이러한 시험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) LA-4모드 운전결과, 기존 가솔린차량에 비하여, 압축비 9.0인 CNG차량은 9.0%, 압축비 11.0인 CNG차량은 20.8% 연비가 향상되었다.

2) 60 km/h의 정속주행 시험결과, 기존 가솔린차량에 대하여 압축비 9.0인 CNG차량은 13.5%, 압축비 11.0인 CNG차량은 31.7% 연비가 향상되었다. 또한, 100 km/h 정속주행 시험결과, 기존 가솔린차량에 비하여 압축비 9.0인 CNG차량은 16.6%, 압축비 11.0인 CNG차량은 25.7% 연비가 향상되었다.

3) 일정마력 주행시험결과, 기존 가솔린차량에 비하여 압축비 9.0인 CNG차량은 15%정도, 압축비 11.0인 CNG차량은 30%정도 연비가 향상되었다.

4) LA-4모드 운전시의 배기배출물 농도의 적산치를 기존 가솔린차량과 비교하면, 일산화탄소 및 질소산화물의 배출농도는 압축비 9.0인 CNG차량의 경우에는 각각 24.4%, 35.0% 저감되었고, 압축비 11.0인 CNG차량의 경우에는 각각 67.7%, 13.8% 저감되었다. 한편, 탄화수소의 배출농도는 압축비 9.0인 CNG차량이 37%, 압축비 11.0인 CNG차량이 25% 증가하였으나, CNG차량에서 배출되는 탄화수소의 주성분인 메탄은 광화학스모그를 형성하지 않는다는 관점에서 문제되지 않는 것으로 판단되었다.

5) 상기 시험 및 실도로상의 차량주행결과, CNG사용으로 인한 가속성이나 운전성 등 주행성의 악화는 인지할 수 없었다.

참고문헌

1. 山本雄二 外: “ホンダNGV(天然ガス自動車)の紹

- 介”, 内燃機關, **32, 1**, 39-45 (1993).
2. 宮田達司 外: “商用車用CNG(壓縮天然ガス)エンジン”, 自動車技術, **48, 11**, 97-104 (1994).
 3. G.E. Hundleby: “Low Emissions Approaches for Heavy-Duty Gas-Powered Urban Vehicles”, SAE Paper 892134 (1989).
 4. Andrea Unich, *et al.*: “Natural Gas: A Promising Fuel for I.C. Engine”, SAE Paper 930929 (1993).
 5. 天然ガスエンジンに関する調査研究, 日本機械工業聯合會S (1991).
 6. Alternative Fuels in Transportation, Society of Automotive Engineers, SP-937 (1992).
 7. Alternative Fuels: Alcohols, Hydrogen, Natural Gas and Propane, Society of Automotive Engineers, SP-982 (1993).
 8. NGV 94, International Gas Union (1994).
 9. G.J. Waldron and R.G. Allen: “Natural Gas fo Vehicles (NGV)”, SAE Paper 912558 (1991).
 10. Advanced Hydrogen/Methane Utilization Technology Demonstration, Hydrogen Consultants INC., Final Report No.XR-2-11175-1 (1994).
 11. Mitsunori Ishii: “Analysis of Emissions Reduction Potential and Power Output of Natural Gas Engine”, Japanese Automotive Technology, **47(10)**, 60-65 (1993).
 12. 김봉석, 이영재, 고창조: “압축비 변경에 따른 CNG 기관의 성능특성 연구”, 한국자동차공학회지, **13(3)**, 49-57 (1991).
 13. R.L. Evans, F. Goharian and P.G. Hill: “The Performance of a Spark-Ignition Engine Fuelled with Natural Gas and Gasoline”, SAE Paper 840234 (1984).
 14. H. Hayashi: “Introduction of the Automotive Engine (6)”, Journal of Internal Combustion Engine, **12(140)**, 92 (1973).
 15. R.D. Fleming and G.B. O'Neal: “Potential for Improving the Efficiency of a Spark Ignition Engine for Natural Gas Fuel”, SAE Paper 852073 (1985).
 16. 自動車と地球環境問題に関する調査研究報告書, 日本自動車研究所 (1990).