

천연가스 전소엔진과 가솔린엔진의 성능과 배출가스 특성비교

김진영^{*1)} · 박원옥¹⁾ · 정성식²⁾ · 하종률²⁾

동아대학교 기계공학과 대학원^{*1)} · 동아대학교 기계산업시스템공학부²⁾

The Comparison of Performance and Emission Characteristics between CNG Engine and Gasoline Engine

Jinyoung Kim^{*1)} · Wonok Park¹⁾ · Sungsik Chung²⁾ · Jongyul Ha²⁾

^{*1)}Graduate School, Dong-a University, Busan 604-714, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Dong-a University, Busan 604-714, Korea

(Received 29 June 2002 / Accepted 15 January 2003)

Abstract : Natural gas is one of the promising alternative fuels because of the abundant deposits and the cleanness of emission gas. It can be used in conventional gasoline engine without major modification.

Natural gas has some advantages than gasoline i.e. the high octane number, good mixing condition because of gas and wide inflammable limit.

In the present study, a 1.8 l conventional gasoline engine is modified for using the CNG as a fuel instead of gasoline. Performance and emission characteristics are compared between gasoline and CNG with 4 cylinder SI Engine which is controlled by programable ECU.

Parameters of experimentation are equivalence ratio, spark timing and fuels. We analyzed the combustion characteristics of the engine using the cylinder pressure i.e. ignition delay, combustion duration and cycle variation.

As a result, CNG engine shows lower exhaust emissions but brake torque is slightly reduced compared to gasoline engine. Overall combustion duration is longer than that of gasoline because of lower burning speed.

Key words : Compressed natural gas(압축천연가스), Emission(배출가스), Alternative fuel(대체연료), Performance(성능)

1. 서론

자동차 운행의 급증으로 인해 야기되는 자동차 배출가스의 저감을 위해 엔진기술개발, 후처리장치 부착, 연료질 개선 등의 노력을 하고 있다. 그러나 보다 근본적인 배출가스 저감방안이 필요한 시기이며, 따라서 기존의 석유계 연료에 비해 오염물질이 적게 배출되는 청정 및 대체 연료를 사용하는 저공해 연료자동차의 개발과 보급에 세계적인 관심이

증대되고 있다.

대체연료중 천연가스는 배기 배출물의 생성이 적으며, 비교적 열효율이 높고, 풍부한 매장량으로 인한 연료공급의 안정성, 저렴한 연료가격과 낮은 CO₂ 배출로 인해 지구온난화 방지대책으로도 사용 확대가 기대되는 연료이다.¹⁾

자동차 연료로서 천연가스는 옥탄가가 130정도로 높기 때문에 압축비를 높일 수 있고, 가스상태로 분사되기 때문에 공기와 혼합이 용이하여 액상의 연료에 비하여 시동성이 양호하고 균질혼합기를 형성할 수 있다.

* To whom correspondence should be addressed.
sunof21@hanmail.net

CNG 전소엔진은 연료를 공급하는 방식에 따라 휴미게이션(Fumigation) 방식과 직접분사식으로 나눌 수 있다. 주로 흡기관에서 연료를 공기와 혼합하여 연소실 내로 공급하는 휴미게이션 방식이 사용되고 있으며, 최근에는 천연가스의 특성을 충분히 살릴 수 있는 CNG 전용 기관의 개발이나 대형엔진에의 적용도 활발히 추진되고 있다.

점차 배기규제가 강화됨에 따라 인젝터를 사용하여 정밀한 제어를 시도하고 있다. 에어믹서 타입은 연료의 혼입으로 인해 체적효율의 저하와 주행상태에 대한 응답성의 지연으로 출력이 감소되는 단점이 있다. 그러나 인젝터 타입은 연료가 고압으로 공급되기 때문에 출력향상과 배기가스 저감을 위한 정밀한 제어가 가능하다.^{2,5)}

본 연구에서는 천연가스의 연소 및 배출가스특성을 밝히기 위하여, 상용 가솔린 엔진의 연료공급장치를 제거하고, 천연가스 연료시스템을 설치하여 MPI방식의 CNG전소엔진으로 개조하였다. 또한 엔진 구동조건을 변화시킬 수 있는 엔진제어시스템을 구축하였다.

CNG전소엔진 및 가솔린 엔진의 제반 성능특성(토크, 출력, 연소압력, 배기가스 온도 등)과 배기가스 특성을 비교하기 위해, 부하 및 당량비 변화에 대하여 엔진성능시험을 행하였고, 이런 결과로부터 천연가스의 연소 및 배출특성을 밝혀 엔진구동을 위한 최적조절을 도출한다.

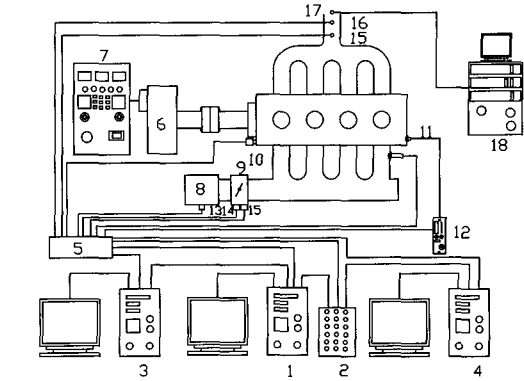
2. 실험장치 및 방법

2.1 CNG 전소엔진

Fig. 1은 본 연구에 사용된 실험장치의 구성도를 나타낸 것이다. 실험장치는 1.8 l DOHC 4기통 상용 엔진을 베이스 엔진으로 사용하였다. 기관의 주요 제원은 Table 1과 같다.

상용 가솔린엔진의 연료공급장치를 제거하여 CNG 연료시스템을 설치하였고, 동력계, 기관 주변 장치를 제어하는 제어부, 배기가스 분석장치와 연소해석장치로 구성되어 있다.

실험엔진의 제어를 위한 ECU는, 엔진운전 중에 연료분사시기 및 연료분사량, 점화시기등 엔진의 제반 운전변수를 소프트웨어에 의해 변화시킬 수



- 1. Main PC
- 2. Signal Process Unit
- 3. Air Mass Calculating PC
- 4. Ignition Timing Control PC
- 5. Interface & A/D Board
- 6. Dynamometer
- 7. Dynamometer Controller
- 8. Air Cleaner
- 9. Throttle Body
- 10. Encoder
- 11. Pressure Sensor
- 12. Pressure Sensor Amplifier
- 13. Mass Air Flow Sensor
- 14. Throttle Position Sensor
- 15. UEGO Sensor
- 16. O₂ Sensor
- 17. Exhaust Gas Sampling
- 18. Exhaust Gas Analyzer

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specifications of test engine

Items	Specification
Type of engine	4-valve 4-cylinder SI engine (DOHC)
Type of combustion chamber	Pent roof
Intake valve Open	6° BTDC
Close	46° ABDC
Exhaust valve Open	50° BTDC
Close	10° ABDC
Bore × Stroke	81.0 × 87.0
Compression ratio	9.5 : 1

있는 범용엔진 제어시스템(M8 ECU, MoTec Co.)을 사용하였다.

크랭크축의 회전각도 검출, 제어를 위하여 캠축에 엔코더를 연결하여, 그 출력을 기준 신호로 사용하였고, 연소압력을 취득하기 위하여 1번 실린더에 압력센서를 설치하였다. 또한 광역산소센서(UEGO Sensor, NGK Spark Plug. Co.)를 배기다기관에 설치하여 배기가스 중의 산소농도에 따른 공연비를 구하였다. 측정가능범위는 공기과잉률 $\lambda=0.7\sim 1.4$ 범위로 본 연구에는 $\lambda=0.8\sim 1.3$ 으로 0.1 간격으로 측정하였다.

배출가스의 분석을 위하여 배기가스 분석기(EXSA-1500 Horiba Co.)를 배기관에 설치하여 촉매

변환전의 배기가스 조성을 분석하였다. 배기가스 농도의 계측은 배기가스 샘플시작부터 2분 경과후의 결과기록을 정리하였다.

2.2 연료공급시스템

Fig. 2는 압축천연가스 연료공급시스템의 개념도를 나타낸 것이다. 22MPa의 고압으로 충전된 실린더에서 압력 레귤레이터(Regulator)에 의해 설정압력으로 감압되고 MPI용 인젝터(MESA injector)를 통해 분사된다. 고압연료라인에는 수동으로 작동되는 비상차단밸브, 엔진전원 OFF시에 자동으로 연료가 차단되는 고압솔레노이드 밸브와 연료라인의 파손 등에 의해 일정량 이상의 연료가 급격히 방출되는 경우에 연료를 차단하는 연료 과류방지밸브(Excess flow valve)를 설치하였다.

압력 레귤레이터는 고압가스의 팽창으로 인한 급격한 냉각이 발생하지 않도록 내부에 온수를 순환시킨다. 감압된 연료는, 압력계를 사용하여 레귤레이터의 출구 압력을 확인한 후 연료 공급파이프로 유입되고, CNG인젝터를 통해 각 실린더의 흡기포트 내로 분사된다.

인젝터 분사압력은 체적효율의 저하를 최소화하면서 흡기유동에 영향을 미치는 않는 범위를 고려하여 0.71MPa로 설정하여 분사하였다.^{1,6)}

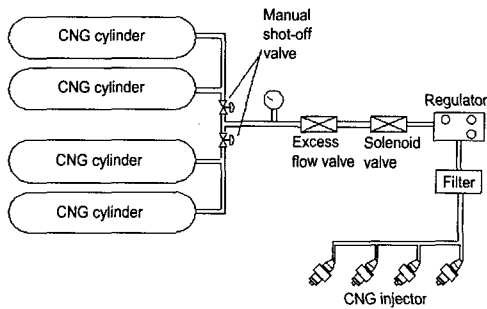


Fig. 2 CNG fuel system of experimental apparatus

3. 연구결과 및 고찰

3.1 점화시기 변화에 따른 영향

Fig. 3은 연소특성을 비교하기 위하여 점화시기에 따른 연소압력을 나타낸 것이다. 기관회전수 2000rpm, 스로틀 개도율 30%, 이론공연비 조건으로

고정한 상태에서 점화시기를 변경하면서 CNG의 연소압력을 측정하여 가솔린과 비교하였다. 연소압력은 동일조건에서 50회의 연소압력을 앙상블 평균하여 구하였다.

점화시기가 진각됨에 따라 연소최고압력이 높아지고, 연소압력 상승률도 증가함을 볼 수 있다. 동일 점화시기에서 연소실험결과 CNG는 가솔린에 비해 연소최고압력이 5%정도 낮게 나타났으며, 압력상승기울기도 낮음을 볼 수 있다.

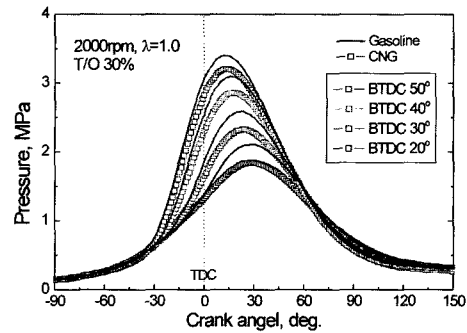


Fig. 3 Effect of ignition timing on cylinder pressure for gasoline and CNG

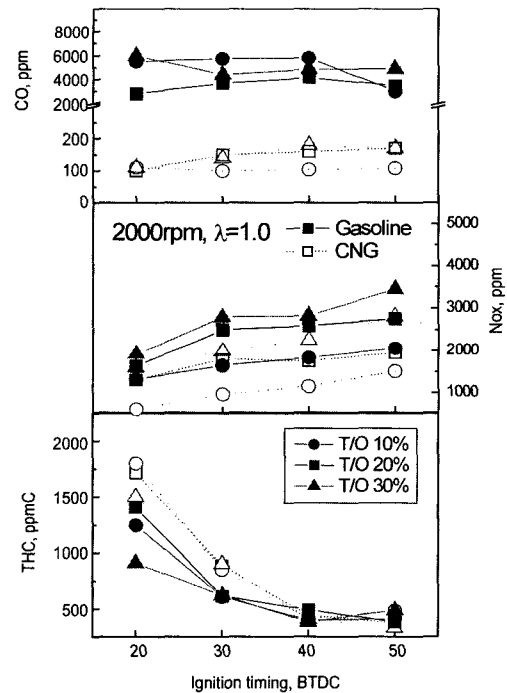


Fig. 4 Effect of ignition timing on emissions level according to fuel type

이는 CNG의 주성분인 메탄의 느린 연소속도 (CNG : 0.67%, 가솔린 : 0.83%)⁷⁾가 원인인 것으로 판단된다.

Fig. 4는 점화시기의 변화와 스로틀 개도율에 따른 배출가스의 특성을 나타낸 것이다.

CO의 배출농도 분포는 점화시기의 변화에 따라 다소 증가하고 있지만, 그 변화 폭이 적어 점화시기의 영향은 적은 것으로 판단된다. 이론공연비 조건에서는 가솔린에 비해 CNG의 경우에 CO의 배출농도가 1/10수준으로 배출되었다.

NOx의 경우, 점화시기의 진각에 따라 증가하는 경향을 보였다. 또한 THC의 경우 점화시기가 진각됨에 따라 저감되는 경향을 보였다. 이는 점화시기가 진각됨에 따라 TDC 부근에서 급속연소가 진행되고, 연소최고압력 및 배기가스 온도가 높아진다. 이로 인해 NOx의 배출농도는 증가하고, THC의 저감 효과가 발생한 것으로 판단된다. CNG 사용시 가솔린에 비해 NOx는 20~40%정도 저감되는 반면, CNG의 배출 특성상 메탄이 많이 포함되기 때문에⁸⁾ THC는 5~50%정도 증가하였다.

3.2 부하조건에 따른 영향

Fig. 5는 부하조건에 따른 연소특성을 밝히기 위해

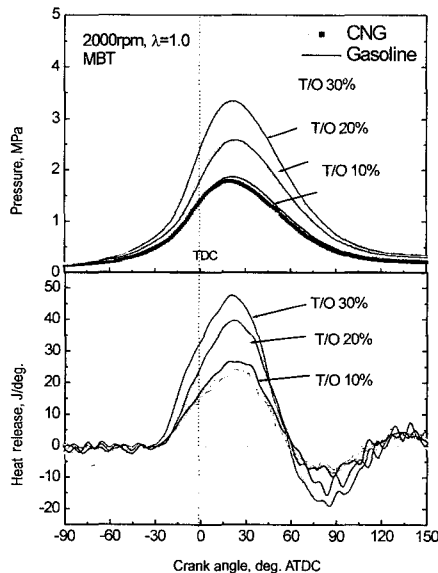


Fig. 5 Effect of ignition timing on heat release according to fuel type

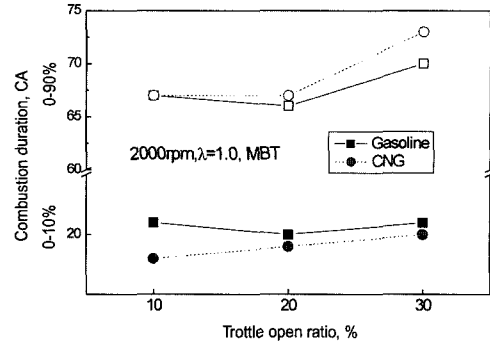


Fig. 6 Behavior of combustion duration according to throttle opening and fuel type

여 가솔린 및 CNG의 연소압력과 열발생률을 나타낸 것이다. 열발생률 곡선에서의 연소기간으로 점화지연구간(0-10%)과 총 연소기간(0-90%)을 구분하여 Fig. 6에 나타내었다. 스로틀 개도율의 증가에 따라 연소압력이 증가하였으며, 가솔린과 CNG의 차이는 크게 나타나지 않았다. 이는 예비실험을 통해 최적점화시기(MBT)를 측정후 점화시기를 각 연료특성에 맞게 고려한 결과인 것으로 판단된다.

CNG의 경우 점화지연구간이 가솔린에 비해 2~5°CA 정도 단축되었다. 이는 기상으로 분사되기 때문에 혼합기의 온도 감소요인이 줄어들었기 때문으로 추측된다. 반면 연소속도의 차이로 전체 연소기간은 가솔린에 비해 증가하는 것을 Fig. 5와 Fig. 6에서 관찰할 수 있다.

3.3 당량비 변화에 따른 영향

Fig. 7은 부하에 따른 연소특성을 파악하기 위해 공기과잉률에 대한 토크의 값을 나타낸 것이다. 가솔린은 다소 농후한 $\lambda=0.9$ 조건에서 최대토크를 보이는 반면, CNG의 경우에는 $\lambda=1$ 조건에서 최대치를 보이고 있다. 이는 예시외의 IMEP결과에서도 동일한 결과를 확인하였다.

CNG를 연료로 사용할 때 제동토크는 가솔린에 비하여 평균 5~12%정도 감소함을 보였다. 이는 단위체적당 발열량과 연소속도에 의한 타이밍손실 등에 따른 현상으로 판단된다. 그 영향으로 스로틀 개도율이 증가함에 따라 제동토크의 감소폭이 줄어들고 동시에 농후영역 보다는 희박한 영역에서 토크

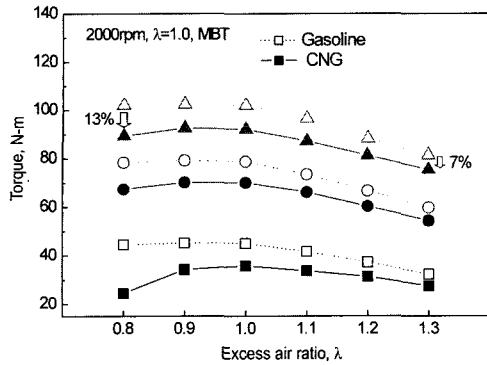


Fig. 7 Effect of excess air ratio on brake torque according to throttle and fuel type

의 감소폭이, 12%에서 5~6%로 줄어든 것을 확인할 수 있다.

CNG의 옥탄가가 가솔린에 비해 훨씬 높기 때문에 엔진의 압축비를 높일 경우 상술한 출력저하 문제를 해소할 수 있을 것으로 판단된다.^{9,10)}

Fig. 8은 공기과잉률에 따른 배기가스 온도와 유해배출가스의 배출농도를 나타낸 것이다.

배기가스의 온도는 이론공연비 부근에서 가장 높음을 볼 수 있다. 단위체적당 발열량의 차이 및 연소 속도 등으로 CNG가 가솔린에 비해 10~40℃정도 낮았다.

CO의 배출농도 경향은 λ < 1인 농후혼합기 측으로 갈수록 급격히 증가하고, λ > 1.0인 희박혼합기 측에서는 거의 배출되지 않았다. 가솔린이 CNG에 비해 농후영역으로 갈수록 15%정도 배출농도가 증가하였다.

THC의 배출농도 경향은 λ < 1인 농후혼합기 측에서 이론공연비에 가까워질수록 완만히 감소하다가, 공기과잉률 λ ≥ 1.2인, 보다 희박한 혼합기 측에서는 다시 완만히 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한, CNG가 가솔린에 비해 높은 배출농도를 보였다. 그러나 THC에는 메탄성분이 많이 포함되어 있으며, 메탄은 비규제성분이므로 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단한다.¹³⁾

NOx의 배출농도는 공기과잉률 λ=1.1의 다소 희박한 혼합기 조건에서 최대치를 보이고, 그보다 희박한 영역이나 농후한 영역으로 갈수록 감소하는 경향을 보인다. 또한, CNG의 경우가 가솔린의 경

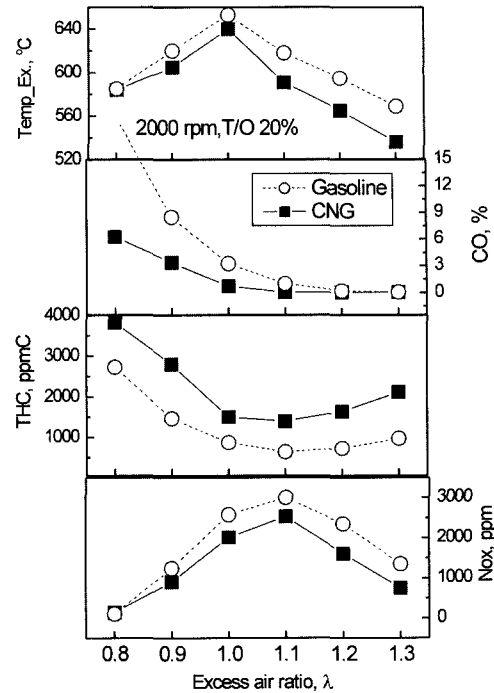


Fig. 8 Relation between excess air ratio and emission

우에 비해 NOx 배출농도가 5~46%정도 저감되었다. 이는 배기가스온도 결과에서도 보듯이 연소온도가 낮아진데 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

4. 결론

MPI인젝터를 적용한 천연가스 전소엔진과 가솔린엔진의 성능과 배출가스 특성을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동일한 점화시기에서 CNG가 가솔린에 비해 5% 정도 낮은 연소압력을 보였다. 또한 점화시기가 진각됨에 따라 CO와 NOx의 배출농도는 각각 90%, 40-50%정도 감소하는 반면 THC는 5-50%정도 증가하였다.
- 2) CNG는 기체상태로 분사되기에 혼합기의 온도의 저하가 발생하지 않은 영향으로 점화지연구간이 단축되지만, 연소속도의 저하로 가솔린에 비해 전체연소기간은 늘어났다.
- 3) 제동토크의 최대값은 가솔린의 경우 λ=0.9부근에 나타나는 반면 CNG는 λ=1.0부근에서 나타났다.

4) 공기과잉률에 대한 배출가스의 경향은 CNG가 가솔린에 비해 CO, NO_x는 저감하는 반면 THC는 증가하였다. CNG의 THC는 90% 이상이 메탄이라고 알려져 있고, 메탄은 비규제 성분으로 대기오염에 큰 문제가 없을 것으로 판단한다.

References

- 1) H. J. Han, "Study of Diffusion Activation Plan for Low Emission Fuel Vehicle," KEI, 1996.
- 2) G. E. Hundleby, "Low Emissions Approaches for Heavy-Duty Gas-Powered Urban Vehicles," SAE 892134, 1989.
- 3) A. Unich, Istotuto, D. W. Lyons, "Natural Gas : A Promising Fuel for I.C. Engine," SAE 930929, 1993.
- 4) NGV 94, International Gas Union, 1994.
- 5) G. J. Waldron, R.G. Allen, "Natural Gas of Vehicles(NGV)," SAE 912558, 1991.
- 6) "Development of Conversion Technology of Small Van to High Efficiency CNG Sole Vehicle," KIER-991404, 1999.
- 7) Automotive LP Gas 3rd Edition, World LP Gas Association, 1998.
- 8) Yuu, Torikai, Sato, Iwamoto, "Selective Catalytic Reduction of NO by Hydrocarbons in Oxidizing Atmosphere," Catalyst (in Japan), Vol.33, No.2, 1991.
- 9) M. Ishii, "Analysis of Emissions Reduction Potential and Power output of Natural gas Engine," Japanese Automotive Technology, Vol.47, pp.60-65, 1993.
- 10) B. S. Kim, Y. J. Lee, C. J. Koh, "Performance Characteristics of CNG Vehicle at Various Compression Ratios," Journal of KSAE, Vol.13, No.13, pp.49-57, 1991.