論文 한국공작기계학회지 제 8 권 제 2 호 1999. 4.
Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers

디젤엔진개량에 의한 천연가스차량전환에 관한 연구

한 영 출*, 오 용 석**, 나 완 용***

A Study on Natural Gas Vehicle Conversion by Diesel Engine Improvement

Young-Chool Han*, Yong-Suk Oh**, Wan-Yong Rha***

Abstract

Natural gas is considered to be one of the most promising candidates for a clean substitute fuel and a great amount of research on the compressed natural gas(CNG) fueled vehicle has been performed. In this study, we try to understand the property of CNG fuel with using CNG engine experiment. In order to present the direction and application of CNG, we experiment with various operating conditions, that is, spark timing, A/F ratio, air quantity and fuel quantity, etc. 11,967 cc engine was used in the experiment and the engine fuel ratio was determined in the way that the performance of dedicated CNG engine is corresponded to that of existing diesel engine. The performance and dedicated CNG engine were measured by changing the fuel injection timing.

The dedicated CNG engine was proved to be good in describing the experimental results and according to the actual road test, acceleration and constant speed driving for dedicated CNG engine was better than existing diesel engine.

Keywords : Compressed Natual Gas Vehicle(압축 천연 가스 차량), Dedicated(전소), Injecction Timing (분사시기), Spark Timing(점화시기)

1. 서 론

21세기를 맞이하여 전 세계적으로 산업의 고도화와 그에 따른 환경 파괴로 인하여 지구 온난화, 산성비, 오존층 파괴에 의한 생태계 피해, 도심 스모그 현상으로 인한 인구 밀집 지역의 생활권 오염 등의 여러 피해가 보고되고

* 국민대학교 기계·자동차 공학부
** 국민대학교 대학원
*** 신성대학

있다[1,2,3].

이러한 환경오염 분야 중 특히 대기오염은 금세기의 주력 에너지로 사용되고 있는 화석연료에서 비롯되었기 때문에, 선진국에서는 오래전부터 자동차 배기가스에 대한 규제를 강력히 시행해 오고 있다[4]. 자동차의 증가에 의한 원유 사용량이 증가되면서 국가 에너지 수급정책상으로도 원유 의존도를 낮추는 문제가 대두되고 있으며, 특히 중동지역의 의존 비율을 낮추는 것이 바람직한 것으로 알려져 있다. 이에 대한 대안으로 발전용 및 난방, 취사용으로 천연가스 사용이 효과적이므로 천연가스의 사용량이 증가추세에 있으나, 계절별 수요 변동이 심하여 수급 불안정, 공급 설비의 비효율성을 초래한다. 자동차에 의한 대기오염의 문제점을 해결하고자 세계 각국의 정부, 연구기관 및 자동차생산 업체 등에서는 저공해 자동차에 대한 연구개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 현재 연구중에 있는 대체 연료로는 알콜연료와 LPG 및 천연가스, 차세대 에너지원으로 전기와 수소가 있다.

이중 천연가스는 내연기관의 구조를 변경시키지 않고도 사용이 가능하며, 옥탄가도 130정도로 높기 때문에 가솔린엔진에 비하여 압축비를 높이고도 노킹없이 운전이 가능9)하며, 열효율과 출력의 향상을 도모할 수 있고, 연소한계가 넓어 희박 연소의 실현이 용이하고 저 연비화, 저 NOx화가 가능하다. CNG 엔진의 개발은 고갈되는 석유연료의 대체 에너지8)의 성격을 가지지만, 대형상용차량용 CNG엔진은 점차 증대되는 자동차 배출가스로 인한 대기오염 저감을 가장 큰 목적[6,7]으로 한다.

Table 1 Base diesel engine specification

Item	In-line 4Cycle
Cylinder No.	6
Displacement	11,967 cc
Ignition type	CI
Valve type	OHC - 4 Valve
Inlet type	NA
Max. Speed	2,200 rpm
Max. Power	250 PS

따라서 디젤 엔진을 천연가스 엔진으로 개조하였을 때, 국내의 배출가스규제치를 만족하고 국내 대도시를 주행하는 시내버스의 경우 디젤 엔진을 사용함으로써 발생되는 Smoke 및 입자상물질(PM, Particulate Matters)의 저감을 목적으로 하였다[5]. 따라서 본 논문을 통하여 개발하고자 하는 CNG 엔진의 개발 목표성능을 기존의 Base 디젤 엔진과 동일한 출력을 유지하며, 국내 2000년대 배출가스 에미션 규제를 대응 할 수 있도록 하는 것이다. CNG 기관의 실용화를 위하여 국내 대도시를 주행하는 시내버스급 차량 탑재에 가능하도록 하기 위하여, 시내버스차량용 기관으로써 출력성능 확보가 가능하도록 다음과 같이 Base 디젤엔진을 선정하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

CNG 전소엔진을 구성하기 위하여 Base 디젤엔진과 대비하여 CNG 엔진에서 적용되는 시스템을 먼저 검토하였다. 연료 공급 방식은 전자제어를 통하여 연료량을 결정할 수 있도록 6개의 CNG Injection 방식을 선정하였으며, 배기매니폴드에 위치한 EGO(Exhaust Gas Oxygen) 센서로부터 산소 상태를 신호로 받아 이론공연비 연소를 제어할 수 있도록 분사 연료량을 보정하는 피드백방식으로 하였다. MPI 방식의 연료공급장치는 역화 및 충진효율면에서는 유리하나 엔진 공회전 및 저속·저부하 영역에서 기통간 공기량과 사이클간 연료량 편차로 인하여 만족할만한 운전성능을 얻기 위한 기술 적용이 매우 어렵고, 또한 제어 장치가 복잡해짐에 따라 장치의 가격이 고가인 단점이 있다.

대형 디젤 엔진을 이용한 CNG 엔진의 개발에 있어서 점화장치의 개발은 기존의 엔진 장치를 이용할 수 없고, 또한 대부분 소형 가솔린 엔진에 적용되는 기술만이 알려져 있으므로, 개발에 어려움이 따르는 분야이다.

Table 2 Specifications of development engine

Items	Specifications
Displacement	12L, ϕ128×155 mm
Type	6-in Horizontal, Naturally Aspiration
Gas Injector	Servojet Injector SPI 014
Mixer	Premixed Uniform mixer
Spark Plug	BKR6N-11
Ignition Coil	S-car Coil (R1/L1=0.9Ω/6.0mH)
High Tension Cord	SYC. PKD R-16-0AIPS
ECU	Injector & Ignition Coil Driver Control λ-feedback Control

Table 3 Target performance of dedicated CNG

Item	Base diesel engine
Cylinder No.	6
Displacement	11,967 cc
Ignition type	CI
Inlet type	NA
Max. Speed	2,200 rpm
Max. Power	250 PS

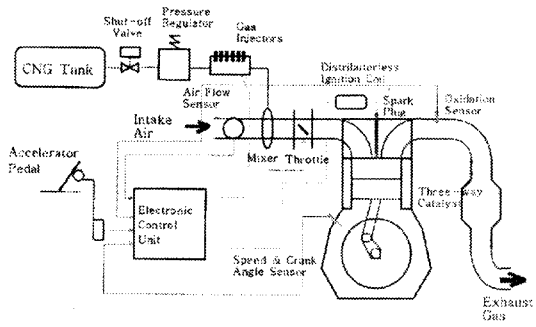


Fig. 1 Schematic of dedicated CNG

따라서 본 논문에서는 각 시스템의 시방을 선정하여 최적 매칭을 통한 엔진 성능 향상을 도모하였다. 특히 흡기 매니폴드, 점화장치 등의 연구가 이루어 졌다. 본 연구의 CNG 전소엔진의 구성도를 Fig. 1에서 나타내었으며 Table 2는 개발 엔진의 주요 제원, Table 3는 CNG 전소엔진의 개발목표성능을 나타내었다.

2.2 실험방법

기관의 정확한 자료측정을 위하여 공기압축기, 배기브레이크, 테일 파이프, 냉각팬 등의 부속장치들을 제거하였고, 동력계상의 냉각수 제어장치를 이용하기 위하여 온도써미스터를 제거하였다.

엔진회전수 및 흡기다기관 절대압력을 기준으로 개발시험을 진행하였으며, 초기 시험에서는 기본 점화시기를 설정하고 배기다기관에서 측정한 공연비를 주시하여 시험자가 연료량을 조절하는 개방루프로 제어하였으며, 엔진의 기본 점화시기와 연료량 맵을 설정한 후, UEGO센서를 사용한 연료량 보정 피드백제어를 수행하였다.

CNG 전소 엔진의 시험은 우선 Base 디젤엔진 수준으로 맞추어 출력성능을 시험하였다. 엔진 시험을 통하여 연료공급계통의 인젝터 수량, 용량 및 스로틀 바디의 용량 등을 평가하였으며, 또한 연소실 형상 및 압축비 변경에 따른 최적점화시기의 산출을 위하여 MBT시험을 수행하였다.

엔진의 공연비 측정은 배기관에 장착된 Exhaust Gas Oxygen 센서로부터 얻어지며, 이때의 측정 데이터를 CNG 유량기를 지나는 연료 유량의 측정과 흡입공기량의 측정 결과와 비교하여 신뢰도를 확보하였다.

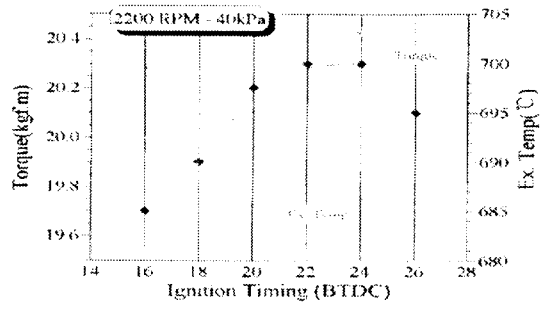
본 연구의 CNG 엔진 시험에 있어서 최종목표는 디젤엔진을 기초로하여 이에 대응하는 엔진의 부품을 설계하고 최적 성능 매칭을 기하고자 하는 것이다. 이를 위하여 Base 디젤엔진에 대한 출력성능, 배기성능에 대한 성능 비교기준을 마련하고, CNG 엔진의 해당 설계 변경 부분에 대한 포텐셜 테스트 및 세부 튜닝을 진행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 점화시기 및 연료량 결정

3.1.1 MBT실험에 따른 고찰

점화시기 선정시험 방법은 난기 상태에서 수온과 실온은 안정상태로 설정한 후, 낮은 기관 회전수부터 시작하여 계측점에 기관회전과 부하를 설정하여, 점화시기를 지각시키면서 최대 토크보다 개략 2~5% 토크저하점에서 개시하여 필요항목을 계측하였다. 이와같이 부하 및 기관속도별로 운전하면서 점화시기 변경에 따른 토크 변동, 연료량 및 배기가스 온도 등 기관성능을 측정하여, 각 운전조건에 따른 기본 연료량 및 점화시기를 결정하였다. 그 예로 기관의 최고출력영역인 2200rpm에서 부하에 따른 MBT시험한 결과는 Fig. 2와 같다.



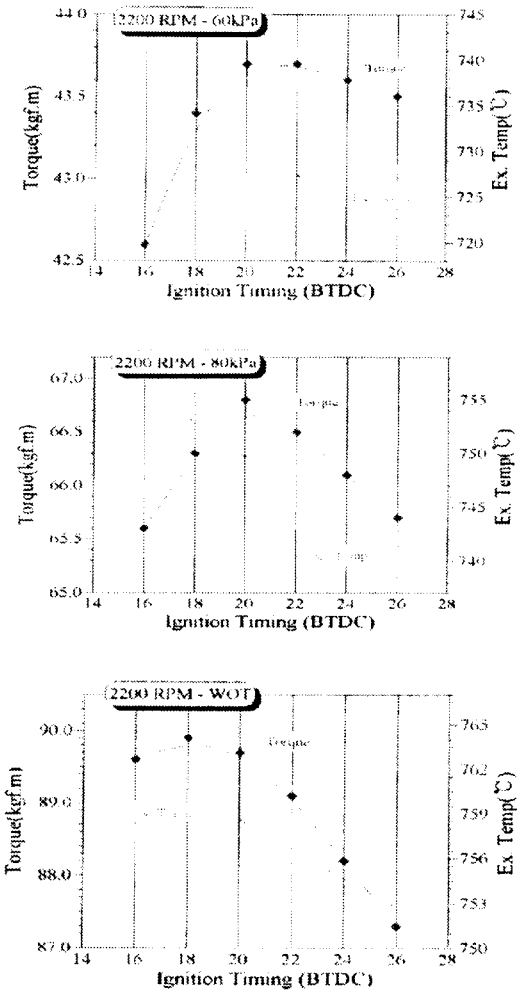


Fig. 2 MBT experiment result (@2200rpm)

3.1.2 점화시기 선정

일반적으로 점화시기 선정시 Knock한계 점화시기 보다 일정한 간격으로 지각시켜야 한다. 연료성상의 시방 편차, 엔진 개개의 편차, 운전상태의 편차 및 기온 대기압의 편차 등을 고려하여 지각의 정도를 결정한다. 특히 CNG 엔진은 옥탄가 관리가 되지 않기 때문에 편차가 커서 점화시기 선정시 Knock한계치와 7° ~10 ° 지각을 시키는 것이 일반적이다. 일반적으로 점화시기는 Knock한계치보다 하한으로 사용하여 기관 파손을 피했으며 MBT가 Knock한계치 보다 위로 갈때는 압축비를 높여 MBT를 내려가게 하도록 하였다. 압축비의 최적치는 실점화 진각이 MBT시의 토크보다 2%이내로 저하되는 시기를 기준으로 조절하였다. 기관운전 조건에 따른 MBT점화시기는 Table 4와 같다.

Table 4 MBT injection time with engine condition

Pressure \ Injection time		Injection time (BTDC)							
MAP (kPa)	WOT	8	12	14	16	16	16	16	18
	90	12	14	14	16	16	18	16	18
	80	12	14	14	16	18	18	18	20
	70	14	14	16	16	18	20	20	21
	60	14	14	16	18	19	20	20	21
	50	14	15	18	18	20	22	22	21
	40	16	15	20	20	20	22	22	23
	30	-	18	20	22	22	24	26	26
Speed (rpm)		800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200

3.1.3 연료량 선정

연료량은 이론공연비로 일정하게 제어하는 것을 기본으로 하였다. 이론공연비로 일정하게 제어하기 위하여 A/F 기록기를 사용 공연비를 계측하고 개방루프제어로 원하는 운전조건에서 기본 분사량을 설정하고 기관의 운전을 안정화시켰다. 연료의 밀도가 LNG연료공급 압력의 변화 및 온도변화에 따른 변동이 발생하여 정확한 공연비로 제어하기 위해 배기관에 UEGO센서를 설치하여 공연비를 ECU로 피드백하여 PI제어로 연료량을 보정하여 정확한 이론공연비로 제어하였다. Table 5은 기관운전 조건에 따른 연료량을 나타낸 것이다. 연료의 밀도가 LNG연료공급 압력의 변화 및 온도변화에 따른 변동이 발생하므로 가스 인젝터 통전시간에 대한 질량유동이 선형적으로 변하지 않으므로, CNG 유량기로 계측한 연료의 질량유량을 기준으로 하였다.

Table 5 Fuel quantity with engine condition

Pressure \ Fuel quantity		Fuel quantity (g/min)							
MAP (kPa)	WOT	253	312	366	428	498	552	592	670
	90	222	276	331	384	444	504	540	614
	80	196	243	292	342	393	444	484	522
	70	168	208	252	294	336	387	443	457
	60	140	173	212	254	293	314	379	389
	50	112	142	175	205	235	262	311	324.2
	40	89	111	133	158	182	205	237	249.4
	30	-	79.5	95	112	128	142	174	178
Speed (rpm)		800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200

3.2 성능고찰

CNG 엔진의 성능을 확인하기 위하여, MBT시험 결과에 따른 점화시기 및 연료량을 기준으로 전부하 성능 및 부분부하 성능 시험을 수행하였다.

3.2.1 동력 성능 시험

Fig. 3와 Fig. 4은 각각 시험기관의 부하별 출력성능과 토크 성능을 나타낸 것이다. 동력성능 측면에서는, 초기 설정한 목표(250PS)를 10%정도 증가한 출력 성능을 달성하였으며 동급 디젤엔진 출력보다 다소 상회하는 결과를 얻었다. 토크 성능 결과는 기관운전 전 구간에서 기관 회전속도에 관계없이 균일한 경향을 나타내었고 디젤기관에 버금가는 출력성능을 나타내었다. 또한 이들 각 조건에서 운전상태의 불안전성은 없었으며, 노킹 역시 발생하지 않았다. Fig. 5은 시험기관의 부하별 배기가스 온도를 나타낸 것이다. 배기다기관이 모아지는 부분의 직후에서 측정한 값으로 디젤엔진의 배기가스 온도보다 다소 높게 나타났다. 특히 전부하시에는 50℃이상 증가하였고, 그 밖의 조건에서도 디젤기관의 배기온도에 비해 높은 경향을 보여주었다.

Fig. 6은 시험기관의 부하별 연료 공급량을 나타낸 것이다.

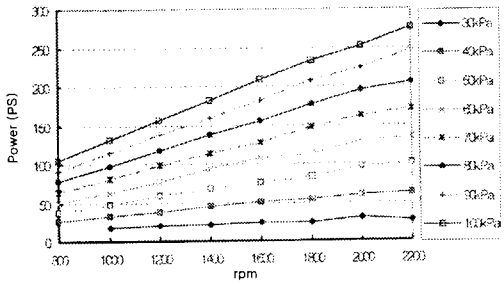


Fig. 3 Power characteristics of CNG

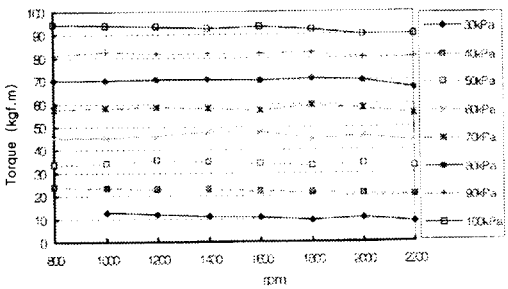


Fig. 4 Torque characteristics of CNG

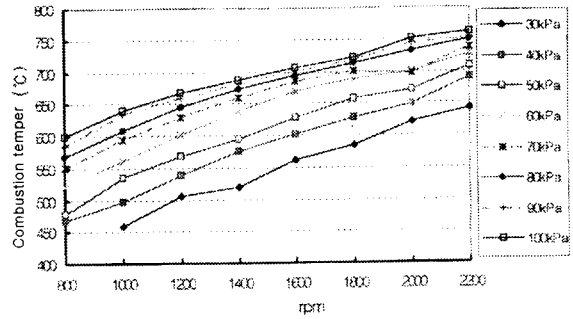


Fig. 5 Combustion temperature of CNG

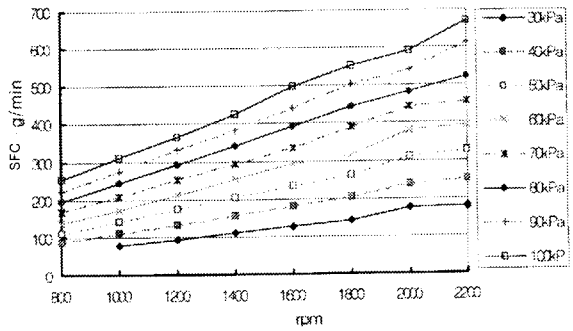


Fig. 6 SFC characteristics of CNG

4. 결 론

본 연구를 통하여 CNG 전소엔진의 성능개발 시험의 결과는 다음과 같다.

(1) 기관 성능 개발 시험을 통하여 흡기다기관, 점화장치 및 연소실 등에 대한 실험이 이루어졌으며, 전운전 영역에 대한 MBT시험을 실시하여 점화시기와 연료량에 대한 기본 데이터를 얻을 수 있었다.

(2) CNG 전소엔진의 성능에 미치는 인자와 특성을 파악하여 CNG 전소엔진에 대한 이론정립과 최적의 운전조건을 위한 방향성을 제시하였다.

참 고 문 헌

1. T. T. Maxwell and J. C. Jones, Alternative Fuel, SAE Inc., 1995
2. C. S. Weaver, "Natural Gas Vehicles - A Review of the State of Art", SAE892133

3. R. Meyer, S. M. Shahed and V. K. Duggal, "Development of a Heavy Duty on High-Way Natural Gas-Fueled Engine", SAE922362
4. G. B. Weller, "The Legend Project", '94 NGV Conference BookⅡ, EV13, 1994, Paper, pp.409-420
5. T. Topaloglu and J. E. Trumer, "Ontario's Experience with Natural Gas Powered Buses", '94 NGV Conference BookⅠ, FX03, 1994, Paper, pp.173-186
6. T. K. Garrett, Automotive Fuels and Fuel Systems Volume Ⅰ, SAE Inc., 1991
7. Hamburge, D.R And Schulman, M.A., "A Closed Loop A/F Control Model for Internal Combustion Engines', SAE800826
8. "자동차의 매연 감소를 위한 구조설계 개발 연구", 한국과학기술원, 1987
9. 김봉석 외, "압축비 변경에 따른 CNG 기관의 성능특성 연구", 자동차공학회지, 1991, Vol.13. No.3