

디젤엔진을 기초로 하는 천연가스엔진의 배기 성능에 관한 연구

이주희, 백승엽, 마진한, 최경호*

계명대학교 기계·자동차공학과, *계명대학교 기계·자동차공학부
juhee@kmu.ac.kr

A Study on Exhaust Performance of the Diesel engine based Natural gas engine's

Ju-Hee Lee, Seung-Yup Baek, Jin-Han Ma, Gyeong-Ho Chio

Department of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University

1. 서 론

전세계적으로 에너지 사용 증가에 따라 환경오염이 심화되고 화석연료의 매장량 감소로 청정·대체연료의 보급 및 확대의 필요성이 고조되고 있다. 이에 화석연료의 사용을 줄이고 에너지 이용 효율을 높이기 위한 열병합발전 시스템(Cogeneration System)이 대안으로 부각되고 있다. 열병합발전 시스템은 한 가지 에너지를 열원으로 전력과 열을 동시에 생산하며 배열을 효과적으로 이용하는 기술이며 종합에너지 이용효율이 75~90%에 달하는 장점을 가지고 있다.^{[1]~[4]}

국내에서는 이러한 열병합발전 시스템의 장점을 활용하기 위해 1980년대부터 자동차엔진을 가스엔진으로 전환하여 소형열병합발전 시스템에 적용하는 연구가 활발히 이루어졌다. 그러나 자동차용 가스엔진은 이동식으로서 가혹한 부하의 변동 등에는 잘 견디나 열병합발전용 엔진의 내구조건인 연간 8000시간, 약 10년 이상의 장시간 저속·정속 운전 조건은 만족시키지 못하는 것으로 나타났다. 이 조건을 만족시키기 위해서는 뛰어난 내구성을 가지고 있는 디젤엔진 적용이 적절하나 디젤엔진은 낮은 배기가스온도로 배열 이용이 제한되어 종합효율이 낮고 가스엔진에 비해 배출가스 특성이 나쁜 등 열병합발전 시스템에 적용하기에는 위해서는 많은 문제점을 가지고 있다. 한편 천연가스엔진은 디젤엔진에 비해 높은 배열을 가져 종합효율의 문제를 개선하였으며, 그 사용연료는 유황분의 불순물을 포함하고 있지 않아 아황산가스(SO₂)를 배출하지 않으며 디젤엔진에서 문제가 되고 있는 입자상물질을 배출하지 않는 것으로 알려지고 있다. 그리고 가솔린과 디젤과 같은 파라핀계 연료이므로 내연기관의 구조를 변경시키지 않고 그대로 사용할 수 있으며 매장량이 풍부하고 산출지역 분포 및 가격면에서도 원유보다 유리하여 청정·대체연료로서 손색이 없다.^{[2][5][6]}

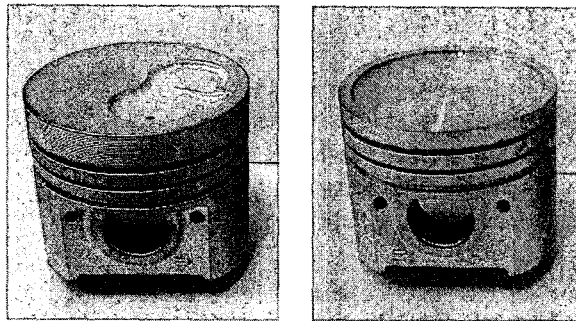
이에 본 연구에서는 디젤엔진을 천연가스엔진으로 개조하여 엔진 성능 및 배출가스 데이터를 수집하고 수집한 데이터를 통해 천연가스엔진의 기술력을 높이는 동시에 고효율·저공해형 열병합발전엔진개발의 기초자료 확보에 목적을 두고 있다.

2. 실험엔진 개조방법 및 내용

개조대상 엔진으로 대동공업 2197cc의 직립 수냉식 4사이클 디젤엔진을 선정하였으며 개조방법은 아래와 같다.

2-1. 압축비 변경

압축착화엔진(compression ignition engine)을 전기점화엔진(electrical spark ignition engine)으로 개조 시에는 연료의 옥탄가를 고려한 압축비 변경이 필요하다. 기존 디젤엔진의 압축비는 22로서 고압축비이며 압축비를 낮추기 위해서 간극 체적을 늘리는 방법을 사용하였다. Fig. 1과 같이 피스톤의 상단부분을 가공하여 체적을 줄여 압축비를 변경하였다.



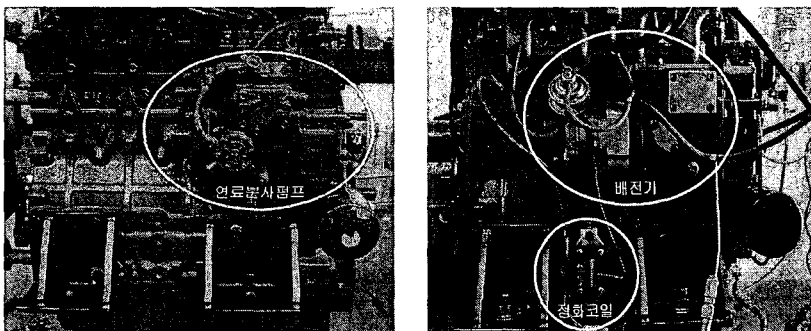
(a) Compression ratio 22

(b) Compression ratio 9

Fig. 1 The Piston of before retrofit and after retrofit

2-2. 점화계통 개조

천연가스 연료는 자기착화온도가 630~730℃ 정도로 매우 높기 때문에 자기착화가 이루어지기 어려우므로 점화원인 스파크플러그가 필요하다. 전기점화엔진으로 개조하기 위해서 연료분사노즐을 제거하고 실린더헤드를 냉각수통로 및 오일순환통로와 경계를 이루도록 가공하여 점화플러그가 연소실내로 삽입 되도록 하였다. 아울러 Fig. 3과 같이 디젤엔진의 분사펌프를 제거하고 분사펌프의 연료분사 타이밍기어에 진공식 진각장치(Vacuum advance) 배전기를 장착하여 흡입되는 부압에 따른 점화시기 제어가 가능하도록 하였다.



(a) Diesel engine Fuel injection pump

(b) Natural gas engine Ignition system

Fig. 2 The Ignition system of before retrofit and after retrofit

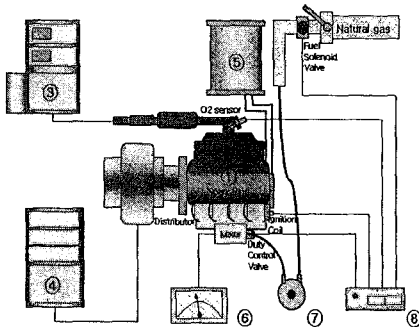
2-3. 연료계통 개조

실내 도시가스 배관으로 공급되어지는 천연가스 연료는 0.7kgf/cm²의 기체연료로서 엔진으로 공급되기 위해서는 대기압 정도로 감압을 할 수 있는 별도의 장치가 필요하다. 본 연구에서는 LPG 엔진에서 주로 사용되고 있는 기화기를 이용하여 감압과 기화 역할을 하는 1차측을 제거하고 2차측만 사용하여 대기압으로 감압된 연료가 믹서로 공급되도록 하였다. 믹서로 공급되어진 연료는 흡기관 부압에 의해 실린더 내로 유입되며 엔진의 운전조건에 따른 원활한 혼합기 공급을 위해 주연료 공급부의 메인제트 크기를 기존 $\phi 5.5\text{mm}$ 에서 $\phi 6.5\text{mm}$ 로 변화 하였다.

3. 실험장치 및 실험 방법

3-1. 실험장치

본 실험에서 사용된 실험장치의 개략도를 Fig. 3에 나타내었다. 실험엔진은 디젤엔진으로 연료분사펌프와 노즐을 제거하고 피스톤과 실린더헤드를 변경하였으며 전기점화엔진의 점화장치와 가스혼합장치를 추가하여 가스엔진으로 전환하였다. Table. 1에 실험엔진의 주요 제원을 나타내었다.



- ① Engine
- ② Dynamometer
- ③ Exhaust gas Analyzer
- ④ Dynamometer Controller
- ⑤ Cooling water
- ⑥ Duty Monitor
- ⑦ Vaporizer
- ⑧ ECM

Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

Table. 1 Test engine specification

Item	Base diesel engine	Natural gas engine
Type	4-cylinder 4-stroke	
Displacement	2197cc	
Bore(mm)	87.0	
Stroke(mm)	92.4	
Power	43PS/2600rpm	44PS/3400rpm
Compression Ratio	22:1	9:1
Fuel supply system	Fuel pump /nozzle	Gas fuel mixer / regulator
Spark system	Auto ignition	Electric discharge

엔진의 성능을 측정하기 위해 환용사의 230KW EC Type 동력계를 사용 하였으며 배출가스를 측정하기 위해서는 HORIBA사의 MEXA 9100DEGR 배기가스분석기를 사용하였다. 그 외 매연을 측정하기 JASTEC사의 CMS-3000 광학식 매연 장치를 사용하였으며 배기가스관에 설치되어진 O₂센서의 작동여부를 판단하기 위하여 아날로그 Duty Monitor를 사용하였다.

3-2. 실험방법

디젤엔진 성능 실험 후 천연가스엔진으로 개조하여 특성을 비교하였으며 엔진 성능 실험은 점화시기 BTDC 10°, 750rpm으로 냉각수 온도가 80℃가 되도록 충분히 워밍업 시킨 후 실험을 하였다

디젤엔진에서 전부하는 동일 회전수에서 최대 토크가 발생된 지점으로 하였고 천연가스엔진은 트로틀 밸브 열림이 최대일 때 전부하로 하였다. 이러한 상태에서 동력계 Controller를 통해 데이터를 취득하였다.

배출되는 배기가스를 채취하기 위해서 배기분석기를 이용하였으며 배기분석기에서 출력되는 신호를 데이터분석시스템을 이용하여 저장하였다. 또한 엔진에서 배출되는 순수한 배출가스 농도를 파악하기 위해서 삼원촉매 장치는 사용하지 않았다. 실험은 열병합발전용 엔진에서 주로 사용되는 영역인 1500rpm과 1800rpm에서 전부하·반부하시의 배출가스를 파악하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 출력 및 토크 특성

실험엔진의 전부하 상태의 출력 특성과 토크 성능을 아래에 나타내었다.

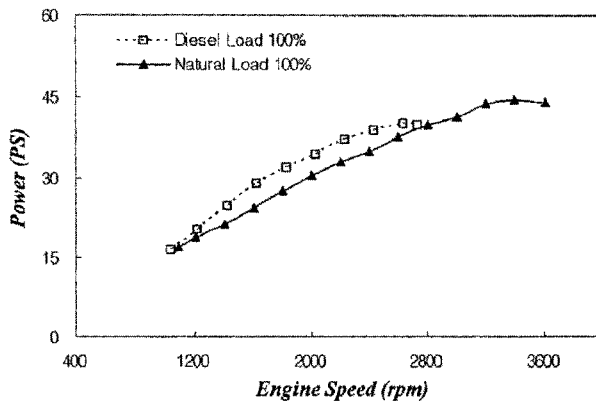


Fig. 4 Comparison of baseline diesel & natural gas engine power

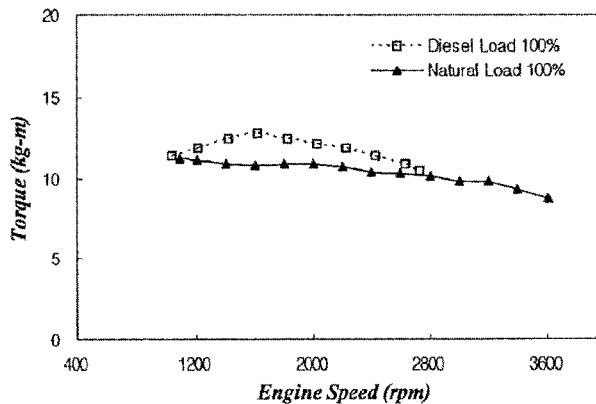


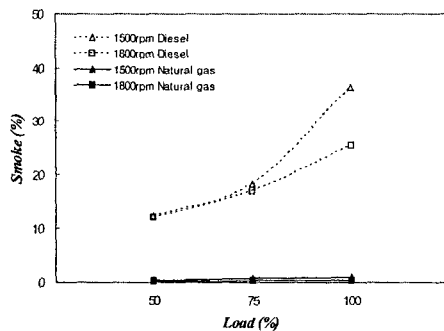
Fig. 5 Comparison of baseline diesel & natural gas engine torque

Fig. 4의 출력실험 결과 천연가스엔진의 최고 출력은 3400rpm 44PS로 디젤엔진의 2600rpm 40PS 보다 10% 높게 나타났으며 고속회전영역까지 운전이 가능 하게 되었다. 하지만 같은 회전영역에서는 천연가스엔진이 디젤엔진보다 다소 낮은 출력을 보이고 있다. 이러한 결과는 천연가스엔진의 경우 압축비가 디젤엔진에 비해 낮고 천연가스연료의 특성상 기체 상태로 공급되어지므로 전부하시 체적효율이 감소되어 성능이 저하 되었다고 생각 된다.

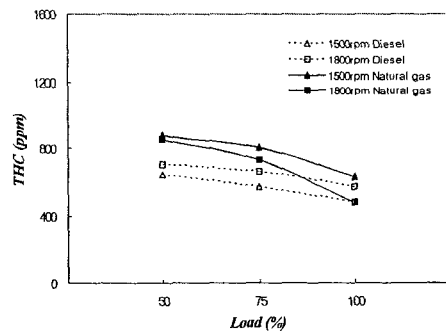
Fig. 5의 토크실험 결과 천연가스엔진은 회전속도 변화에 관계없이 일정한 경향을 나타내고 있으며 디젤엔진에 비해 다소 저하 되는 특성을 보이고 있다. 이는 출력저하 원인과 동일한 이유로 생각된다.

4-2. 배출가스 특성

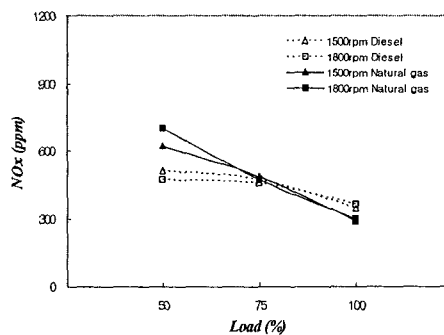
Fig. 6은 1500rpm과 1800rpm에서 전부하·반부하시의 Smoke, THC, NO_x, CO 측정결과를 나타내었다. 천연가스엔진으로 개조 후 Fig. 6 에서 보듯이 (a)의 Smoke는 우수한 저감효과를 보이고 있으며 (b)의 THC는 1800rpm 전부하시에만 감소효과를 보이고 있다. (c)의 NO_x는 전부하시 약20% 정도 저감효과를 보이며 (d)의 CO는 전영역에서 천연가스엔진이 높게 나타났다. 이는 촉매장치를 적용하여 정화 할 수 있을 것이다.



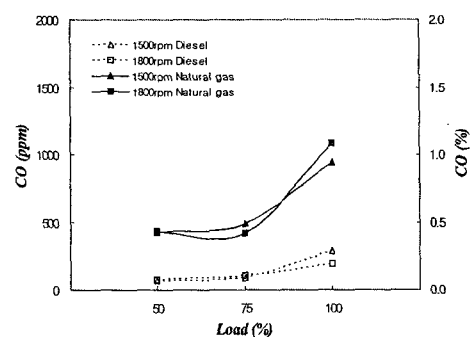
(a) Comparison of Smoke with various load



(b) Comparison of THC with various load



(c) Comparison of NO_x with various load



(d) Comparison of CO with various load

Fig. 6 Comparison of Exhaust emissions

5. 결론

본 연구에서 디젤엔진을 천연가스엔진으로 개조하여 성능특성 및 배기특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 디젤엔진의 압축비변경, 점화계통 개조, 연료계통 개조를 통해 열병합발전용 엔진 개발의 기초 자료를 확보하였다.
- 2) 엔진출력은 전부하 영역에서 천연가스엔진이 디젤엔진보다 최고 10% 상승하였으나 디젤엔진과 같은 회전 영역에서는 낮게 나타났다. 이는 천연가스엔진의 낮은 압축비와 연료의 특성으로 인한 체적효율의 저하로 판단된다.
- 3) 매연배출량은 디젤엔진 개조로 현저하게 저감되고 THC는 1800rpm 전부하에서만 15%정도의 저감효과를 보이고 있다. NO_x 역시 전부하에서만 약17%의 저감 효과를 보였다. CO는 디젤엔진에 비해 평균적으로 약5배 높게 나타났다.

본 연구를 종합할 때 차후 연구에서는 압축비 변화에 따른 성능 실험과 공기·연료 당량비 변화에 따른 실험이 필요하다고 생각되며 촉매장치에 따른 배기 특성에 관한 실험도 병행 되어야 한다고 생각 한다.

참고문헌

1. 한화진: "저공해 연료자동차 보급 활성화 방안 연구", 한국환경기술개발원, (1996)
2. 에너지관리공단: "열병합발전 기술 가이드북", (2003)
3. C. S. Weaver: "Natural Gas Vehicles - A Review of the state of Art", SAE892133
4. G. B. Weller: "The Legend Project", NGV Conference BOOKII, EV13, pp.409-420(1994)
5. 박명호 외 : "천연가스연료의 연소특성에 관한 연구", 대한기계학회 23권 10호, (1999)
6. 한국가스공사연구개발원: "천연가스 자동차 보급 및 운영에 대한 경제성 평가", (2001)