



천연가스 혼합에 의한 디젤기관의 연소특성

†박 명 호

강원대학교 기계공학과

(2006년 11월 23일 접수, 2007년 3월 12일 채택)

Diesel Engine Combustion Characteristics on the Natural Gas Mixing

†Myungho Park

Dept. of Mechanical Eng., Kangwon National University

(Received 23 November 2006, Accepted 12 March 2007)

요 약

본 연구에서는 디젤기관에서 배출되는 배출가스의 저감을 위하여 경유와 천연가스의 혼합비율이 서로 다르게 연료의 분사량을 조절 전부하 운전시의 토크값을 4:0, 3:1, 2:2 및 1:3의 4종류로 설정 디젤기관의 연소특성을 살펴보았다. 엔진회전수의 변화에 의한 배출가스의 변화를 알아보기 위하여 회전수를 1500, 2000, 2500 및 3000 rpm으로 설정 NOx, 흑연, 일산화탄소 및 탄화수소의 배출농도값을 측정하였다. 그 결과 디젤연료만을 사용하였을 경우보다 천연가스를 혼합하였을 경우 NOx, 일산화탄소 및 탄화수소의 배출농도는 다소 증가하였으나, 흑연의 배출농도는 감소하는 경향을 나타내었다.

Abstract – In this study, a new method of combustion characteristics have been proposed to reduce exhaust emissions in a diesel engine using four kinds of mixed fuel. Mixed fuels show four different torque ratios between diesel oil and natural gas, which are 4:0, 3:1, 2:2 and 1:3. In order to investigate the exhaust gas during combustion, exhaust gases are sampled by gas analyzer, for example NOx, Soot, CO, and HC, as the RPM changed. As a result, the NOx, CO, and HC concentrations of mixed fuel are higher than those of diesel oil only. However, the Soot concentration of mixed fuel is lower when diesel oil is burned.

Key words : Natural gas, Dual fuels, Combustion characteristics, Lean burn

I. 서 론

현재 국내의 자동차 보급대수는 점점 증가추세에 있으며, 대도시의 자동차 교통량의 증가 및 정체 등의 악화로 인해 발생하는 자동차 배출가스는 더욱더 환경악화를 초래하고 있다. 또한, 정부에 의해 수차법에 걸친 배출가스 규제가 강제적으로 진행되어 왔지만, 환경농도의 저감과는 거리가 멀었다고 볼 수 있다[1]. 이것은 특히, 디젤차량으로부터 배출되는 배기가스와 깊은 관련이 있고, 이 문제는 대도시뿐만 아니라 지구환경 전체에 커다란 영향을 미치리라 사료된다.

이러한 상황에서 해결방법의 하나로 제안된 것이 디젤기관에 천연가스를 혼합시킨 다상연료(Dual Fuel) 디

젤기관이다. 천연가스는 최근들어 자동차용 대체연료로 주목을 받고 있는 친환경적이며 장기적으로 안정적으로 공급될 수 있는 청정에너지원으로 유전, 가스전으로부터 산출되고 탄화수소를 주성분으로 하는 가연성가스를 말한다. 디젤기관의 배출가스중 특히 문제가 되고 있는 것은 NOx와 흑연으로 이들은 서로 트레이드오프(Trade off) 관계에 있기 때문에 동시에 저감시키기 위해서는 여러방법을 강구해야 하며, 이 이외에 CO, HC 등도 예로 들 수 있으나, 가솔린기관과 비교하여 배출량이 소량으로 문제시 되지는 않는다고 볼 수 있다. 이에 비하여 천연가스는 CO, HC 뿐만 아니라 NOx, 흑연등도 그다지 배출되지 않고 내(耐)노킹성이 강하며 높은 압축비로 작동되기 때문에 열효율 및 출력 증가를 도모할 수 있는 저공해 청정연료라 말할 수 있다[2-4].

†주저자: parkmh@kangwon.ac.kr

본 실험에서는 천연가스를 디젤기관에 직접 압축·착화하는 것이 어렵기 때문에 경유를 착화제로 하는 이중연료방식(Dual Fuel Method)을 채택 경유와 천연가스의 혼합비율을 4가지로 조합한 혼합연료[5]를 이용하여 회전수의 변화가 각각의 연료의 배기가스 배출농도에 미치는 영향에 관하여 살펴보았다.

II. 실험장치 및 실험방법

2.1. 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 실험장치의 개략도를 나타내고 있다.

실험장치는 엔진본체와 동력계 시스템, 공기량 측정장치, 연료량 측정장치 및 배기가스 분석을 위하여 후연농도 측정장치, NOx 측정장치, CO 및 HC 측정장치로 구성하였다. 본 연구에서 채택한 이중연료방식은 기존의 디젤엔진에 천연가스 공급장치를 추가한 것으로, 기본적으로 엔진 본체는 일체의 가공을 하지 않았고, 흡기계통 및 배기계통에 약간의 측정기구의 추가만을 하였다. 흡기계는 엔진이 공기를 흡입할 때 천연가스를 부압을 이용 흡입시키도록 벤츄리 혼합기를 설치하였고, 천연가스 유량을 조절하기 위하여 거버너와 니들밸브를 설치하였다. 배기가스 분석장치는 NOx 분석기(島律製作所, NOA 305形), 스모그 측정기, CO 및 HC 센서를 사용하였으며, 이외에 엔진 크랭크축에 와전류식 전기동력계를 연결하여, 회전수와 토크의 제어 및 측정이 이루어 지도록 하였다.

Table 1은 기관의 주요 제원을 나타낸 것으로 실험에 사용된 기관은 배기량 276 cc의 단기통 특수와류실식 디젤기관을 기본으로 하여 실험을 수행하였다. 또한,

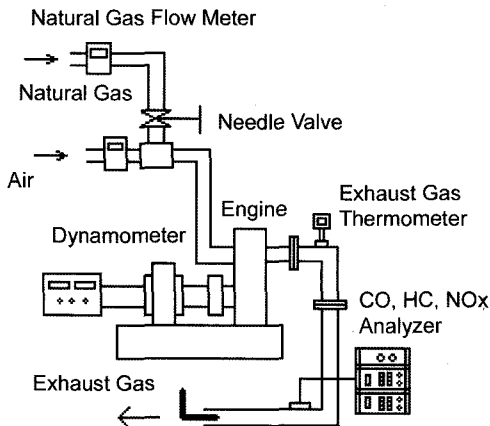


Fig. 1. Schematic representation of the experimental apparatus.

Table 1. Specification of test engine

Type	OC62D(KUBOTA)
Engine type	4 Stroke
Displacement volume	276 cc
Bore×Stroke	72 mm×69mm
Compression ratio	24.5 : 1
Number of cylinder	1.0

Table 2. Properties of test fuels

Item	Natural gas	Diesel
Component (Vol %)	CH ₄ (88.2)	-
	C ₂ H ₆ (7.0)	-
	C ₃ H ₈ (1.8)	-
	C ₄ H ₁₀ (3.0)	-
Carolic heat (kcal/kg)	11,866	10,150
Air/Fuel ratio (Nm ³ Air/Nm ³ fuel)	10.92:1	11.1:1
Specific weight (Air=1.0)	0.65	0.82~0.84
Air/Fuel ratio (kg Air/kg fuel)	16.8:1	13.9
Imflami limit (Vol. %)	4~14	-
Maximum burning velocity (cm/s)	39	-
Gas	13A	-
Ignition Temperature (°C)	-	250

이번 실험에 사용된 천연가스 및 경유의 물성값을 Table 2에 나타내었다.

2.2. 실험조건

실험조건은 먼저 엔진속도의 변화에 따른 배기가스의 농도를 관찰하기 위하여 회전수를 1500, 2000, 2500 및 3000 rpm으로 설정하였으며, 연료 혼합비의 조성은 디젤, 디젤 < 천연가스, 디젤 = 천연가스 및 디젤 < 천연가스 순으로 조합시켰으며 엔진의 분사시기는 보통 공기기관의 분사시기인 상사점전 16.0°로 설정하였다.

2.3. 실험방법

실험방법은 경유와 천연가스의 혼합비율 및 연료분사시기를 변화시키면서, 전부하 운전시에 임의의 회전수를 설정 이때 발생한 토크값을 기준으로 하였다. 즉, 엔진의 속도조절 레버로 연료의 분사량을 조절, 와전류식 전기동력계에 의한 임의의 회전수를 유지시키면서 전부하시의 3/4, 2/4, 1/4의 3종류의 토크를 발생시켰다. 이 상태에서 엔진의 흡기측에 공기와 함께 천연가스를 흡입시켜 각각의 토크값이 4/4에 부족한 분을 보충하도록 하여 경유와 천연가스의 혼합비율을 4종류로

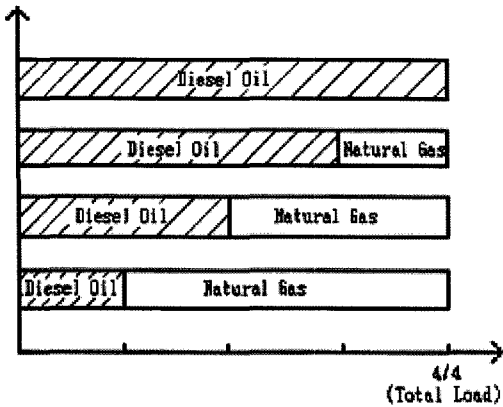


Fig. 2. Mixed ratio between diesel oil and natural gas.

설정하였다. Fig. 2는 경유와 천연가스의 혼합비율을 나타내고 있다.

III. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 BTDC 16.0°에서 경유와 천연가스의 비율을 변화시켜 얻어진 NOx의 측정결과를 나타내고 있다. 연료혼합 비율에서 디젤연료만을 연소시켰을 경우를 제외하고는 2000 rpm 부근의 모든 분사시기에서 노킹이 확인되었고, 동시에 NOx가 증가함을 확인할 수 있었다. NOx의 경우 연소온도의 상승과 함께 증가하는 경향이 있는 데, 특히 NOx가 증가한 원인으로 천연가스의 경우 연소속도가 느리고 압축확화성이 나빠서 연소되지 않고 대기상태로 있다가 경유가 착화되는 시점에서 동시에 연소가 급격히 진행되어 연소실내의 온도가 급상승하여 NOx가 증가하였다고 추정된다.

Fig. 4는 BTDC 16.0°에서 각 연료비에서의 흑연농도의 변화를 타나낸 것이다. 이번 실험에서는 천연가스 비율이 증가할수록 흑연량이 감소됨을 확인할 수 있었

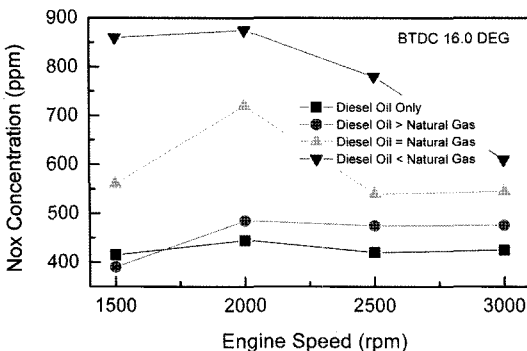


Fig. 3. Result of NOx concentration measurement.

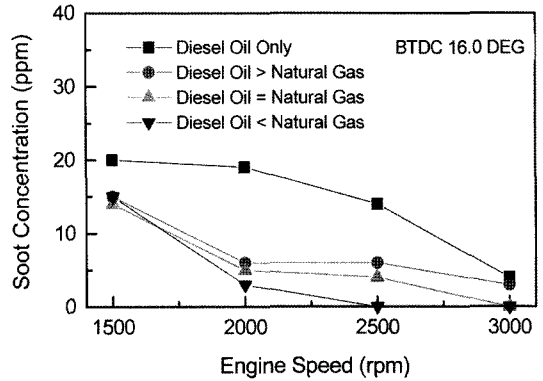


Fig. 4. Result of soot concentration measurement.

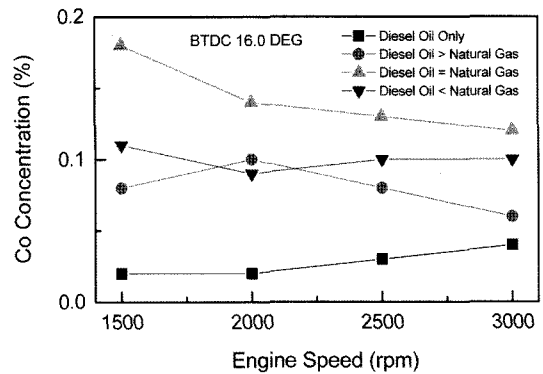


Fig. 5. Result of CO concentration measurement.

는 데 흑연의 경우 과농혼합기 또는 연소실온도에 의해 결정되는 양으로 흑연량이 감소된 원인으로 경유의 분사량을 줄이고 균일하게 예혼합된 천연가스 비율을 증가시켰기 때문이라고 보여진다.

Fig. 5는 CO 농도의 측정결과를 나타낸 것으로 실험 결과 CO의 배출농도는 천연가스를 첨가한 경우가 디젤연료를 단독으로 연소시켰을 경우와 비교, 천연가스를 첨가한 모든 영역에서 증가하였다. 특히, 실제 디젤기관의 연소에서는 보통 이론공연비를 넘어서 운전되는데 비하여, 천연가스의 첨가는 연소실내의 공기가 충분하지 않은 희박연소의 원인이 될 수 있고 이것이 연소온도의 저하 및 불완전연소로 이어져 CO 배출량의 증가에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

Fig. 6은 HC 농도의 측정결과를 나타내고 있는데, HC의 농도는 첨가된 천연가스량이 증가시킬수록 비례하여 증가하는 경향을 볼 수 있었고, 원인으로 천연가스를 흡입할 때 밸브가 오버랩되어 연료가 미소량 그대로 외부로 배출되었기 때문이라고 사료된다. 즉, HC의 생성은 연소실내의 혼합기가 연소조건이 좋지 않은 잔

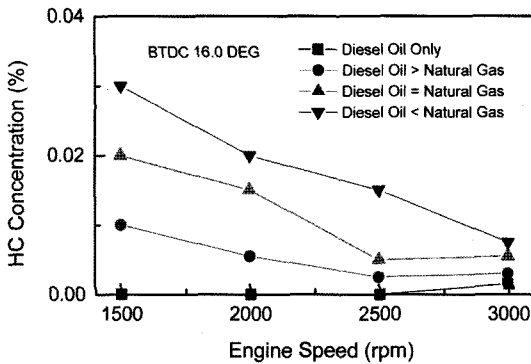


Fig. 6. Result of HC concentration measurement.

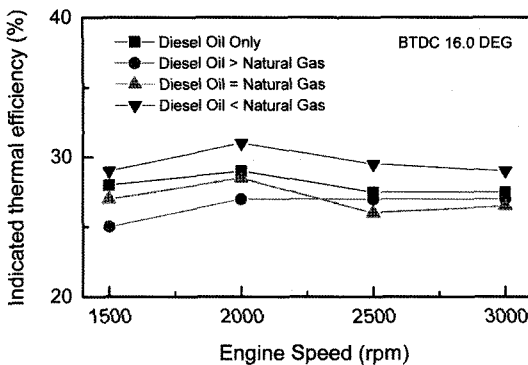


Fig. 7. Indicated thermal efficiency.

류가스가 많은 경우나 희박공연비의 경우 등에 다량으로 배출되는 경우가 있으므로 흡기측으로의 연료의 역류나 배기측을 통한 연료배출로 인한 발열량의 저하가 온도강하로 이어져 HC의 농도를 증가시켰을 것으로 볼 수 있다.

Fig. 7은 BTDC 16.0°에서의 도시열효율을 나타내고 있다. 결과에서 볼 수 있듯이 천연가스 혼합비율이 가장 클 때 도시열효율이 증가하였다. 천연가스의 경우 경유와 비교 발열량이 높기 때문에 동일 출력을 내는데 적은 열량이 소모됨과 동시에, 고압축기관인 디젤기관의 연소특성을 살려 천연가스를 이용한 것이 열효율 증가에 도움을 주었을 것으로 판단된다. 그러나, 천연가스 혼합비율이 동일하거나 적은 경우, 경유의 도시열효율과 비교 감소하는 경향을 볼 수 있었는데 천연가스의 연소특성상 연소속도가 느리고 따라서 충분한 연

소가 진행되지 않은 것이 원인이 되어 열효율을 저하로 이어졌을 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 천연가스를 혼합한 디젤연료(디젤, 디젤>천연가스, 디젤=천연가스 및 디젤<천연가스)를 이용, 분사시기가 16.0°일 때 기관의 회전수를 1500, 2000, 2500 및 3000 rpm로 변화시키면서 배기가스 농도 및 도시열효율의 변화를 살펴보았다. 그 결과 디젤연료에 천연가스를 첨가하였을 경우 NOx 배출농도는 경유와 비교하여 증가하는 경향이 나타났으며, 반대로 흑연의 배출농도는 감소하는 경향을 나타냈다. 또한, CO, HC의 배출농도는 증가하였으나 문제가 될 정도는 아니라고 사료되며 도시열효율의 비교에서는 천연가스의 첨가비율이 가장 클 때 증가하였다.

후 기

본 연구를 수행하는데 있어 협력하여 주신 구주공대 연소실험실 여러분께 감사사를 드립니다.

참고문헌

- [1] Naber, J.D. and D.L. Siebers, "Effects of Natural Gas Composition on Ignition Delay Under Diesel Conditions", *Combustion and Flame*, **99**, 192-200, (1994)
- [2] Park, M.H., "Effects of the Amount of Natural Gas in Fuel Blends on the Exhaust Gas of the Diesel Engines", *KSAE*, 67-72, (1997)
- [3] Lee, Y.C. and Y.S. Baek, "A Comparative Analysis on Characteristics and Manufacture of Methane/natural Gas Hydrates", *KIGAS*, 7(3), 67-72, (2003)
- [4] Lee, J.S. and J.O. Han, "A study on Characteristics of Pollutants from LNG Facilities", *KOSKO SYMPOSIUM* **28**, 223-226, (2004)
- [5] Lim, H.S. and J.T. Lee, "An Investigation of Combustion and Emission Characteristics in Heavy-duty Hydrogen-CNG Engine", *Trans. of the Korea Hydrogen and New Energy Society*, 276-282, (2004)