

디젤기관에 있어서 흡기습도 변화가 연소 특성과 배기배출물 특성에 미치는 영향

임 재 근* · 김 동 호**

Effects of Suction Air Humidity on the Combustion and Exhaust Emissions Characteristics in Diesel Engine

J. K. Lim* · D. H. Kim**

Key words : Suction Air Humidity(흡기습도), Exhaust Emission(배기배출물), Relative Humidity(RH)(상대습도), Specific Fuel Consumption(SFC)(연료소비율), Ratio of Pressure Rise(압력상승률), Net Heat Release(누적열발생량)

Abstract

A study on the combustion and exhaust emissions characteristics of diesel engine with various suction air humidity is performed experimentally. In this paper, suction air humidity is changed from RH 50% to RH 90%, the experiments are performed at engine speed 1800rpm, and main measured parameters are cylinder pressure, fuel consumption rate, CO, HC, NOx and Soot emissions etc.

Increase of suction air humidity from RH 50% to RH 90% does not effect specific fuel consumption, decreases maximum pressure in cylinder, ratio of maximum pressure rise and net heat release, and delays ignition timing. Also, that increases CO and HC emissions, decreases NOx emissions, but does not constant in changing tendency on soot emission.

1. 서 론

과학의 발달과 산업의 발전은 인간에게 편리한 삶을 주었으나, 자연환경의 훼손을 낳았고, 지구의 온난화 현상과 이상기후 등 여러가지 나쁜 영향을

주고 있다.

따라서 세계 각국에서는 환경오염의 심각성을 인식하고 오염을 줄이기 위하여 부단히 노력하고 있는데, 환경오염중에서 심각한 부분이 대기오염이며, 그것은 자동차, 선박 및 공장에서 배출되는

* 群山大學校 機關工學科(원고접수일 : 2000년 1월)

** 韓國海洋大學校 大學院

연소가스가 주범이다. 디젤기관은 가솔린기관에 비하여 열효율이 높고 큰출력을 발생시킬 수 있으며, 연료유 값이 싸므로 많이 이용되고 있는데, 여러가지 해로운 배기배출물이 환경을 오염시키고 있다.

디젤기관에서 배출되는 주요 오염물질은 일산화탄소(CO), 미연탄화수소(HC), 질소산화물(NOx) 및 매연(Soot) 등인데, 이 중에서 CO 및 HC의 저감대책은 연료의 완전연소와 관련시켜 여러가지 처리방법¹⁻³⁾이 개발되고 있으며, 매연도 여러가지 방법을 비롯하여 매연 억제용 연료첨가제 등 몇가지 방법⁴⁻⁶⁾이 추진되고 있다.

그런데 NOx의 저감법은 일반적으로 출력저하, 연료소비율 증가, CO, HC 및 매연 등의 배출물이 증가하므로, 실용적인 방법의 개발이 쉽지 않다.

지금까지 연구되고 있는 NOx의 저감법은 연소제의 개선, 배기재순환, 물첨가 및 부실식 연소 등이 있는데, 이 중에서 물첨가법으로 물 전용노즐을 사용하여 실린더내에 물을 분사시키는 방법과, 물과 연료를 섞은 Emulsion 연료를 사용하여 NOx를 저감시키는 방법⁷⁻¹⁰⁾ 등이 있다.

물첨가법은 NOx를 현저히 감소시키나 피스톤링, 라이너, 흡·배기밸브의 부식 및 마모속도의 증가와 윤활유 속에 물의 혼입 및 열화 등의 문제점을 가지고 있다¹⁰⁾. 그래서 많은 양의 물을 첨가하지 않고 흡입공기를 약간 가습시키면 상기의 문제점은 거의 발생되지 않고 NOx는 상당히 감소될 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 직접분사식 4행정 디젤기관에 있어서 흡입공기의 습도변화가 연소특성 및 배기배출물 특성에 미치는 영향을 분석·고찰하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에 사용된 실험장치의 구성도는 Fig. 1과 같으며, 실험기관은 선박용 디젤기관으로 주요 제원은 Table 1와 같다.

기관의 출력은 와류형 전기동력계를 사용하여

측정하였고, 연소실의 압력측정을 위하여 첫 번째 실린더에 압전식(Piezo-electric type) 압력변환기를 설치하였다. 연료소비율은 용적식 유량계를 사용하였고, 흡입공기량의 계측은 오리피스식 공기 유량계를 사용하였다. 그리고 기관의 흡기측에 서지탱크(Surge tank)를 설치하여 흡기의 흐름이 균일하여 지도록 하였다.

또 배기배출물은 배기분석기(Signal EMIRAK RAG4873)와 보쉬(Bosch)형 매연측정기를 사용하였고, 흡기습도와 온도를 변화시키기 위해 서지탱크(Surge tank) 다음에 충분히 큰 용량의 가습-가열실을 설치하여, 3세트의 초음파 가습기와 3세트의 가열기(220V, 500W)를 장착하였으며, 기관 흡입구 근처에 디지털 습도계(HANNA CO., HI-

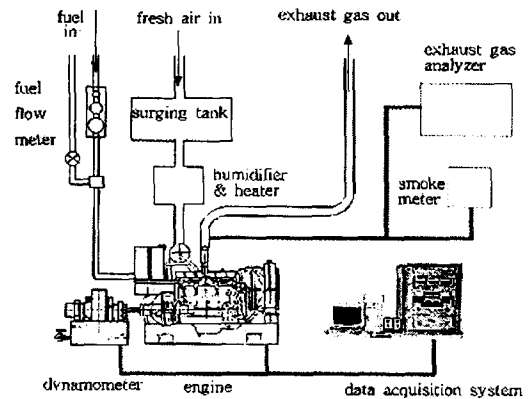


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Cylinder number	4
Cooling type	Water-cooled
Cycle	4
Injection type	Direct injection
Bore × Stroke (mm)	102 × 100
Piston displacement (cc)	3,268
Max. output	43 PS/1800 rpm (31.63kW/1800 rpm)
Compression ratio	17 : 1
Fuel injection timing	BTDC 18°
Fire order	1 - 3 - 4 - 2

8564)와 온도계(JUN KYOUNG CO., SD-503)를 설치하여 흡기의 상대습도와 온도를 측정하였다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 기관회전속도 1800rpm의 경우에 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로, 흡기온도를 20°C로 일정하게 유지하면서, 흡기의 상대습도를 50% 및 90%로 변화시키면서, 기관회전속도, 기관부하와 함께 3개 파라미터중 2개를 고정한 상태에서 하나만을 변화시키면서 실험을 하였다.

본 실험에서 흡기온도와 습도의 변동율은 ± 2.0% 이고, 기관회전속도의 변동율은 ±0.5% 이며, 기관부하의 변동율은 ±1.5% 이하 이다.

실험을 하는 동안 수냉식 열교환기를 사용하여 기관의 냉각수와 윤활유 온도를 일정하게 유지하였고, 기관의 작동 및 연소 상태를 파악하기 위하여 지압선도, 연소실 압력상승률 선도, 열발생량 선도 등을 그렸으며, 각 부위(배기관 입·출구, 냉각수 입·출구, 윤활유, 흡입공기)의 온도를 측정하였다. 또 배기가스 분석기와 매연측정기를 "0" 점 조정과 표준가스(측정범위의 80%인 보정용 가스)농도와 일치하도록 보정실험을 한 후에 각종 배기배출물을 측정하였고, 동력계는 표준중량(5kg)의 추를 사용하여 보정한 후 정확한 토오르크값을 확인하고 동력을 측정하였다. 그리고 실험에 사용된 연료유의 화학적 성분과 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Compositions and properties diesel oil

Item	Value
Carbon residue	0.08 wt%
Calorific value	42.8 MJ/kg
Stoichiometric ratio	14.44 kg/kg
Evaporation heat	180 kJ/kg
Cetane number	54
Sulfur	400 ppm
Flash point	49 °C
Viscosity	2.67 cSt @ 40 °C
Water & sediment	0.00 %
Specific gravity	0.8342 @ 4 °C

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 연소 특성

3.1.1 연료소비율

흡기습도 변화가 연료소비율에 미치는 영향을 고찰하기 위해 각 실험 조건에 따른 연료소비율을 Fig. 2에 그래프로 나타내었다.

연료소비율은 흡기습도가 증가함에 따라 모든 영역에서 거의 변함(최대 +2g/kWh/RH40%)이 없었는데, 그 이유는 습도증가로 인한 수분의 증가가 연료소비율에 영향을 줄만큼 연소상태에 큰 영향을 미치지 못한 것으로 생각된다.

3.1.2 연소실 압력

흡기습도 변화가 연소실 압력에 미치는 영향을

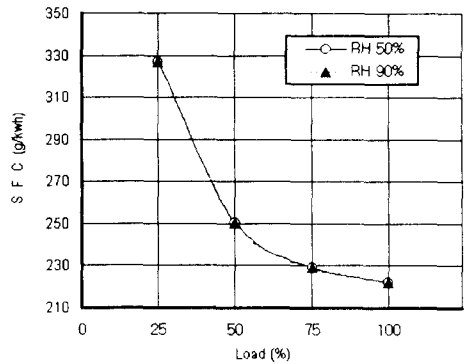


Fig. 2 Specific fuel consumption on relative humidity of suction air

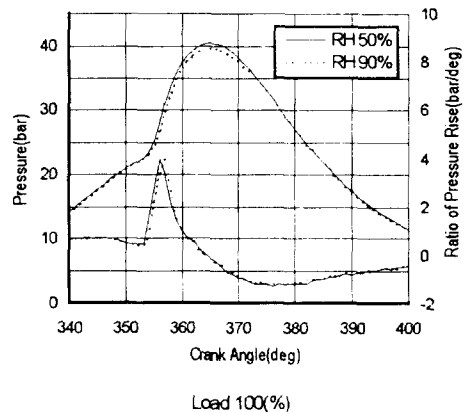


Fig. 3 Cylinder pressure and ratio of pressure rise on relative humidity of suction air

고찰하기 위해 각 실험 조건에 따른 실린더내의 연소실 압력과 연소실 압력상승률은 Fig. 3과 같다.

흡기습도가 높아짐에 따라 최고연소압력과 최고압력상승률은 모두 약간 감소하였는데, 최고압력이 감소(최대 $-0.82\text{bar/RH}40\%$)하는 것은 흡기관으로 유입하는 공기의 단위 체적당 산소함유량이 감소하고 수분 양이 증가하여 연소실내 화염온도가 저하하므로 열팽창률이 상대적으로 적어 실린더내의 최고압력이 감소한다고 생각된다.

최고압력의 발생시기와 착화시기는 습도가 높을수록 지연되는 경향을 보이는데, 그 이유는 가습으로 인한 수분의 증발잠열로 연소속도가 감소되기 때문으로 추정된다.

최고압력상승률도 흡기의 습도가 증가함에 따라 (최대 $-0.04\text{bar/RH}40\%$) 낮아지는데, 그것은 습도가 증가할수록 수분의 혼합비율이 커져서 연소속도가 감소되고 최고압력이 낮아져, 연료가 착화하여 완전연소될 때까지의 기간이 길어지기 때문이다.

3.1.3 열발생율

Fig. 4는 흡기습도 변화가 열발생율과 누적열발생량에 미치는 영향을 고찰하기 위해 그래프로 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 흡기습도가 높아짐에 따라 착화지연기간이 약간 증가하는데, 그 이유는 실린더내의 연소가스 온도가 낮고 상대적으로 산소량이 적기 때문으로 생각된다. 또 누적열발생량은 약간

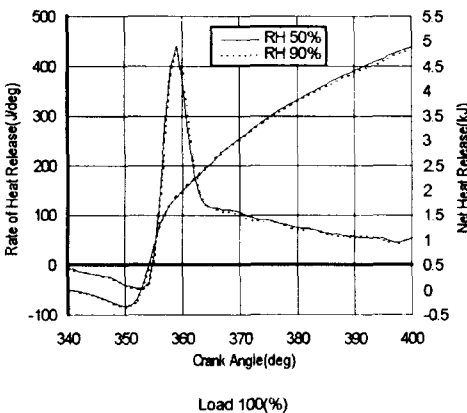


Fig. 4 Heat release profile showing the effects of suction air relative humidity

감소(최대 $-0.07\text{kJ/RH}40\%$)하는데, 그 이유는 흡기습도의 증가로 흡기의 산소함유량이 감소하여 공기과잉률이 작아지고, 수증기량의 증가가 연료의 분사상태 등에 나쁜 영향을 주어 열발생을 억제시키기 때문으로 생각된다.

3.2 배기배출물 특성

3.2.1 일산화탄소(CO) 배출물

Fig. 5는 습도변화에 따른 CO배출물 특성에 대하여 그래프로 나타낸 것이다.

CO는 연소되어야 할 연료에 대하여 산소가 부족한 상태에서 발생하는데, 디젤기관에서는 공기과잉률이 높은데도 CO농도가 증가하는 경우가 있다. 이것은 디젤기관의 연소가 전체적으로는 산소과잉 상태일지라도, 국부적으로는 분무확산연소로 인하여 산소와 혼합이 좋지 않기 때문에 산소가 부족하여 CO가 발생하고, 발생한 CO가 완전한 연소를 하지 못한 상태에서 연소가스 온도가 낮아져서 배출되기 때문이다.

그림에서 습도가 증가할수록 CO배출량이 많이 (최대 $+65.0\text{ppm/RH}40\%$) 나타났는데, 그 이유는 흡기중의 산소량이 감소되고 연소실 온도도 낮아지며, 수분이 분무확산연소에 도움을 주지 못했기 때문으로 생각된다.

3.2.2 미연탄화수소(HC) 배출물

Fig. 6은 HC배출물 특성을 나타내기 위하여 일정한 기관회전속도에서 부하와 습도를 변화시키면서 실험한 결과이다. HC배출물은 실화(失火),

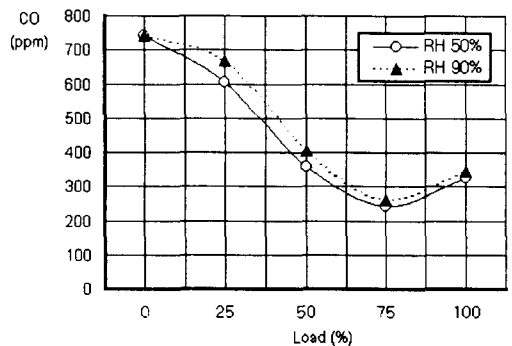


Fig. 5 CO emission characteristics on effect of relative humidity according to the engine load at a given engine speed.

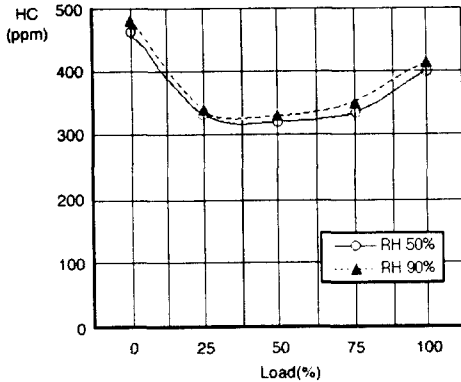


Fig. 6 HC emission characteristics on effect of relative humidity according to the engine load at a given engine speed.

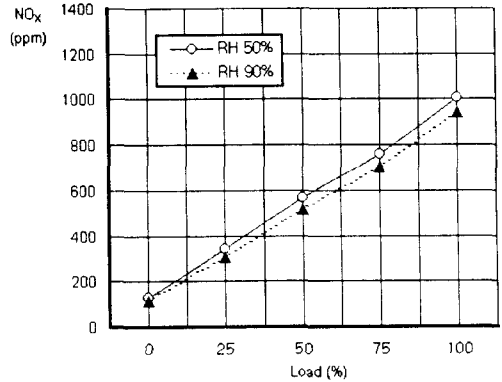


Fig. 7 NOx emission characteristics on effect of relative humidity according to the engine load at a given engine speed

소염(消炎), 불량분사, 불균일분사 등으로 인해 연료가 완전연소되지 않고 배출되는 물질이 증가하여, 불완전 연소로 인한 미연(未燃) 탄화수소 연료 분자가 많이 남기 때문에 생긴다.

그림과 같이 흡기의 습도가 증가할수록 HC배출물이 많이 발생(최대 +18ppm/RH40%)되었는데, 그 이유는 수분이 착화시기를 지연시키고, 연료분사를 불량하고 불균일하게 하여 완전연소를 방해하였기 때문으로 생각된다.

3.2.3 질소산화물(NOx) 배출물

디젤기관에서 배출되는 NOx 중 대기오염에 중요한 영향을 미치는 것은 NO와 NO₂이고, NO는

그중에서 90% 이상이며, 고온 연소과정 동안에 공기중의 질소와 연료중의 질소가 산소와 고온반응을 하여 생성된다¹¹⁾.

Fig. 7은 부하와 습도를 변화시킨 경우의 NOx 배출물 특성을 나타낸 것이다.

그림과 같이 NOx배출물은 저부하 영역에서 고부하 영역으로 갈수록 증가하였는데, 그것은 저부하보다 고부하에서 많은 연료가 분사되어 연소하므로 연소가스 온도가 높기 때문이며, 흡기습도가 증가할수록 상당한 양(최대 -62ppm/RH40%)이 감소했는데, 이것은 NOx생성에 있어서 다른것보다 화염온도가 큰 영향을 미친다는 연구보고(12)와 같이, 흡기수분의 증발잠열로 인한 화염온도의 저하와 수분이 공기보다 열함량량이 많아 연소가스 온도가 낮아질 뿐만 아니라 수분이 열발생량을

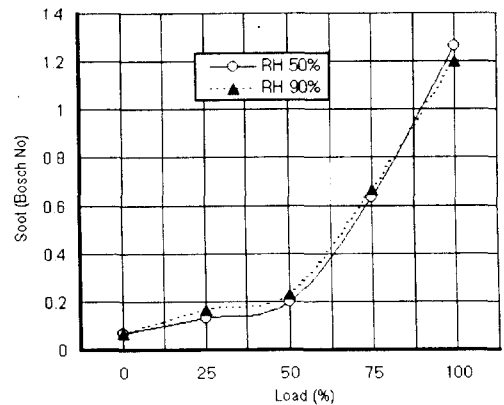


Fig. 8 Soot emission characteristics on effect of relative humidity according to the engine load at a given engine speed

줄이기 때문으로 생각된다.

3.2.4 매연(Soot) 배출물

Fig. 8은 기관의 부하와 흡기습도를 변화시킨 경우의 매연배출물 특성을 나타낸 것이다.

디젤기관의 매연 농도는 실험 결과 부하를 증가시키면 고부하 영역에서 매연 생성농도가 급격히 증가되는데, 그 이유는 매연과 상관관계가 있는 흡기 산소농도가 낮아지고 상대적으로 탄소가스 농도가 높아 연소가스의 열용량이 증가하여 연소가스 온도가 낮아지기 때문이다.

그러므로 이론적으로는 흡기습도가 높을수록 화염온도가 낮아져 매연의 생성량이 증가해야 되

나, 실험 결과는 습도변화에 따라 매연배출량은 아주 적은 변화(-0.07BN~+0.03BN/RH40%)가 있었으며, 부하에 따라 증가와 감소가 일정하지 않았다. 이것은 흡기습도가 매연 생성량에 영향을 줄 만큼 화염온도를 충분히 낮추지 못했기 때문으로 생각된다.

4. 결 론

직접분사식 4행정 디젤기관에 있어서 기관회전 속도를 일정히 유지하고 부하와 흡기습도를 변경하면서 실험한 경우에 흡기습도의 변화가 연소특성과 배기배출물특성에 미치는 영향을 분석한 결과, 흡기습도를 증가시켰을 때, 연료소비율은 거의 변함이 없고, 실린더내 최고압력과 최고압력상승률은 감소되며, 착화시기는 지연되고, 누적열발생량은 감소된다. 또 일산화탄소와 미연탄화수소는 증가되고, 질소산화물은 감소되며, 매연은 약간의 증가와 감소가 부하에 따라 일정치 않다.

후 기

본 연구는 군산대학교 수산과학연구소의 일부 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Stumpp, G. : "Reduction of Exhaust Emissions of Diesel Engines by means of the Injection Equipment," CIMAC' 73, pp.441~456
2. Needham, J. R., May, M. P., Doyle, D. M., Faulkner, S. A. and Ishiwata, H. : "Injection Timing and Rate Control-A Solution for Low Emissions," SAE900854.
3. Ahmad, T., Plee, S. L. and Myers, J. P. : Effects of Intake-Air Composition on Gas-Phase and Particulate-Bound HC Emissions from Diesel , " SAE811196.
4. Golothan, D. W. : "Diesel Engine Exhaust Smoke : The Influence of Fuel Properties and the Effects of Using Barium-Containing Fuel Additive," SAE760092.

5. Lyon, D., Tims, J. M. and Muller, K.(U.K.) : "Techniques for Reducing Exhaust Emissions from Diesel Engines," Basic Fuel Properties, 2/1~2/7.
6. Mogaka, Z. N., and Wong, V. W. : "Performance and Regeneration Characteristics of a Cellular Ceramic Diesel Particulate Trap," SAE 820272.
7. Mr. OKADA. Dr. UTSUMI. Mr. NAKANO : "Combustion of Emulsified Residual Fuels in a Marine Diesel Engine," CIMAC' 85, pp.77~93.
8. Murayama, T., Morishima, Y., Tsukahara, M. and Miyamoto, N., "Experimental Reduction of NOx, Smoke, and BSFC in a Diesel Engine Using Uniquely Produced Water(0~80%) to Fuel Emulsion" SAE 78224, 1978.
9. Yasuhisa Endo, "Reduction of Exhaust Gas Emission for Marine Diesel Engine," Jour. JSME, Vol. 9 5, No.882, 1992.
10. 石油産業活性化センター, "ディゼルエンジンの超低NOx化に関する調査報告書", 平成 2年, PEC-89T14.
11. MAN · B&W, "Emission Control of Two-stroke Low Speed Diesel Engine, MAN · B&W Paper, 1990.
12. 飯田訓正 外 1名, "D.I. Diesel Engine의 吸氣組成이 NOx와 微粒子 에 미치는 影響", 日本 機械學會 講演 論文集 904-4號, pp. 100~102, 1990.

저 자 소 개



임재근(林載根)

1950년 4월 3일생. 한국해양대학교 기관공학과 졸업(1972년), 조선대학교 대학원 기계공학과 석사(1983년) 동대학원 박사(1993년). 현재 군산대학교 기관공학과 교수, 한국박용기관학회 상임 연구이사.



김동호(金東浩)

1968년 6월 19일생. 한국해양대학교 기관공학과 졸업(1991년), 군산대학교 대학원 석사(1998년). 현재 한국해양대학교 대학원 박사과정, 국군수송사령부 항만운영단 선박관리사.