

소형 어선에서 육상용기관의 효율적인 이용방법에 대한 연구 A Study on Efficient Methods of Using Land Engine in the Small Fishing Vessel

임재근 · 조상곤 · 황상진
J. K. Lim, S. G. Cho and S. J. Hwang

Key Words : Exhaust Temperature(배기온도), Performance(성능), Exhaust Emission(배기배출물), Diesel Engine(디젤기관), Specific Fuel Consumption(SFC)(연료소비율), F.W.Cooler(청수냉각기)

Abstract : A study on the performance and exhaust emissions of diesel engine with reducing exhaust gas temperature is performed experimentally. In this paper, experiments are performed at engine speed 2200rpm, 2600rpm and load 0%, 25%, 50%, 75% and 100% by test engine with F.W. cooler passing through exhaust gas. Main measured & analyzed parameters are exhaust gas temperature, specific fuel consumption, NOx and soot emissions etc.

The obtained conclusions are as follows.

- (1) Specific fuel consumption is the least value at load 75% and it is decreased 1.5% after remodeling F.W. cooler.
- (2) NOx emission is the most value at load 100% and it is increased 30.1% after remodeling F.W. cooler.
- (3) Soot emission is the most value at load 100% and it is decreased 20.0% after remodeling F.W. cooler.

1. 서 론

디젤기관은 많은 발전을 거듭하여 연료소비율 면에서 다른 동력기관보다 우수한 성능을 가지고 있으며, 열효율 및 내구성 면에서도 우수하여 그의 적용이 해상기관과 육상기관에 확대되고 있다.

그러나 다른 열기관에 비하여 디젤기관은 질소산화물(NOx)과 매연(Soot) 배출량이 많은 결점을 가지고 있으므로, 기관성능을 저하시키지 않고 이들을 저감시킬 수 있는 대책이 절실히 요구되고 있다.

최근에 대기오염방지를 위하여 갈수록 엄격해지는 배기가스 규제에 대응하고, 경제성을 악화시키지 않게 하기 위하여, 전처리 및 후처리 방법이 연구되고 있으며, 전처리 방법으로는 질소산화물을 저감시키기 위한 여러가지 방법(EGR, 물분사, 연료분사 시기 지연 및 연소실형상 개조 등)이 이용되고 있고,^{1~5)} 후처리 방법에는 주로 배기중의 미립자를 제거할 목적으로 배기계에 여과장치를 비롯한 산화촉매장치 등이 사용되고 있다.^{6~8)}

특히 국제해사기구(IMO)는 2004년 3월 29일부터

4월 2일까지 제51차 해양환경보호위원회 (ME PC)를 개최하고, 해양의 대기오염을 규제하기 위해 지난 1997년에 채택된 “선박으로부터 대기오염 방지를 위한 규칙(해양오염방지협약 부속서VI)”이 2005년부터 발효됨에 따라 선박도 육상의 교통수단과 같이 대기오염 규제를 받게 된다고 밝혔다.⁹⁾

이에 따라 질소산화물 배출을 저감할 수 있는 선박기관의 사용을 의무화하고, 황산화물 배출을 줄이기 위하여 고유황이 함유된 연료유의 사용이 금지된다.

그런데 요즈음 대부분의 소형 어선에서는 선박용기관을 사용하지 않고, 값이 저렴하다는 이유로 육상용기관을 사용하고 있다.

따라서 본 논문에서는 육상용 디젤기관을 어선용기관으로 효율적 이용을 위하여, 기관에서 배출되는 배기가스를 설계 제작하여 배기다기관 직후에 설치한 청수냉각기를 통과 할 때 배기가스온도 저하로 인한 연료 소비율, NOx와 Soot의 배출 특성 등을 실험적으로 분석 고찰하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

본 실험장치는 기관, 동력계, 연료유 유량계, 배기

접수일 : 2005년 6월 3일
임재근 : 군산대학교 동력기계시스템공학전공
조상곤, 황상진 : 군산대학교 대학원

가스 분석기 및 자료 취득 장치 등을 Fig. 1과 같이 구성하였고, 실험에 사용된 육상용 기관은 Fig. 2와 같으며, 제원은 Table 1과 같다.

육상용 기관에 취부해서 해상용으로 사용하기 위하여 해수로 냉각할 수 있는 청수 냉각기를 배기가스가 통과하도록 설계·제작하여 설치한 기관은 Fig. 3과 같다.

기관의 출력을 측정하기 위하여 와류형 전기 동력계를 설치하였고, 연료소비율을 측정하기 위하여 용적식 유량계를 설치하였으며, 흡입공기와 배기가스 그리고 냉각수의 온도를 측정하기 위하여 디지털 온도계를 설치하였다. 또한 배기 배출물을 측정하기 위하여 영국의 Signal Emirak에서 제작한 배기분석기(Signal EMIRAK RAG 4873)와 보쉬(Bosch)형 Soot 측정기를 연결시켰다.

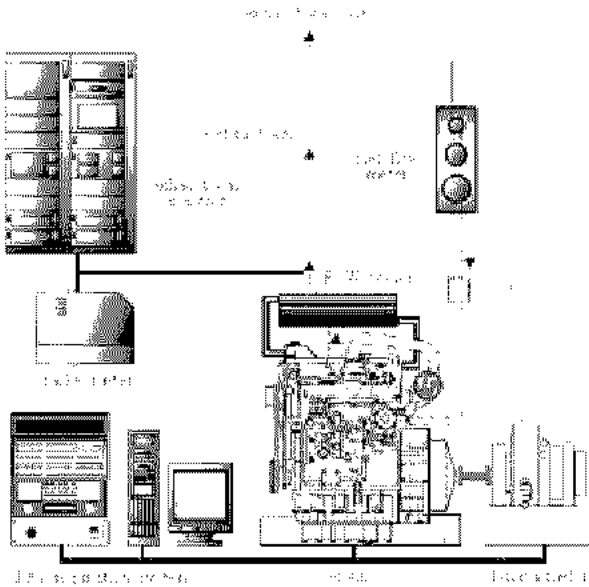


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

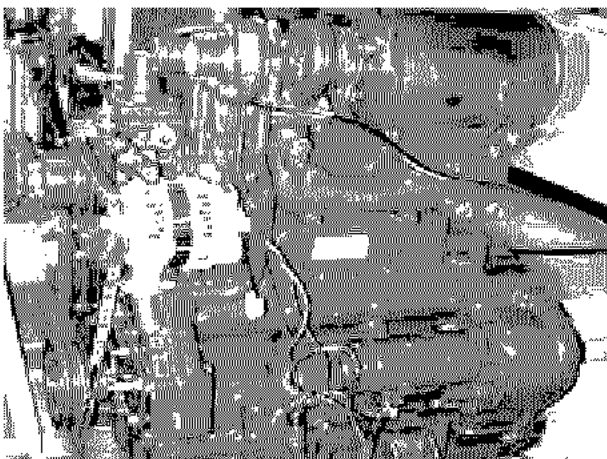


Fig. 2 Test engine before remodeling F. W. cooler

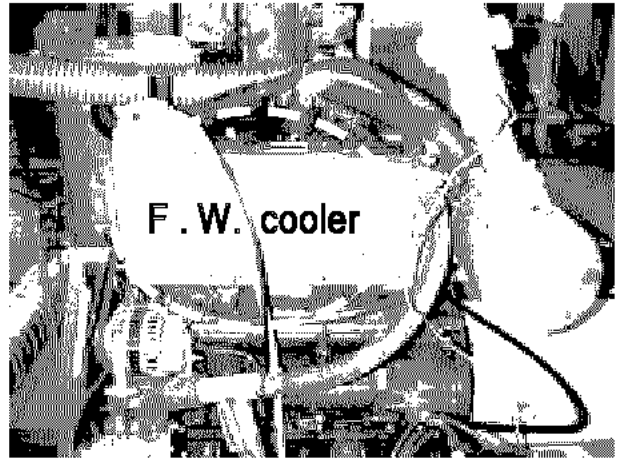


Fig. 3 Test engine after remodeling F. W. cooler

Table 1. Specification of test engine

Item	Specification
Cylinder number	3
Cooling type	Water-cooled
Cycle	4
Injection type	Direct injection
Bore × Stroke(mm)	100 × 110
Piston displacement(cc)	2,591
Max. output	55 PS/2600 rpm (40.5 KW/2600 rpm)
Compression ratio	18.4:1
Fuel injection timing	BTDC 17°
Fire order	1 - 3 - 2

2.2 실험방법

본 연구에서는 기관회전속도를 1600, 1800, 2000, 2200, 2400 및 2600 rpm의 6가지 경우에 대해서 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로 변화시키면서, 배기가스가 통과하는 간접냉각식 청수냉각기를 설치하기전의 경우(BR)와 설치했을 경우(AR)에 대하여 축 토크 및 연료소비율을 측정하였고, 각 부위(배기관, 기관 냉각수 입·출구, 청수냉각기 입·출구, 윤활유 및 흡입공기 온도 등)의 온도를 측정하였다.

또 배기분석기와 매연측정기를 "0"점 조정하고, 표준가스(측정범위의 80%인 보정용 가스) 농도와 일치하도록 보정실험을 한 후에 NOx와 Soot를 측정하였고, 동력계는 표준중량(5kg)의 추를 사용하여 정확한 토크 값이 되도록 보정한 후에 동력을 측정했으며, 실험을 하는 동안 기관의 냉각수와 윤활유 온도를 일정하게 유지하였다.

그리고 실험에 사용된 연료유의 화학적 성분과 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Compositions & properties of 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 분석 및 고찰

실험기관의 회전속도를 1600, 1800, 2000, 2200, 2400 및 2600rpm의 6가지 경우에 대해서 실험을 하였는데, 각종 실험 자료가 각 종류에 따라 같은 경향으로 나타났기 때문에 그래프의 복잡한 중복을 피하고 명확한 분석을 위하여 본 논문에서는 2200rpm 및 2600rpm의 2가지만 비교·검토 하였다.

3.1 성능특성

3.1.1 성능곡선

Fig. 4는 실험기관의 성능곡선을 나타낸 것으로 가로축에 기관회전수, 세로축에는 연료소비율, 기관 출력, 축 토크 등을 보여 주며, 실선은 일반 육상용 청수 냉각기를 설치하기 전의 경우(BR)이고, 점선은 배기가스가 통과하는 간접냉각식 청수 냉각기를 설치한 경우(AR)이다.

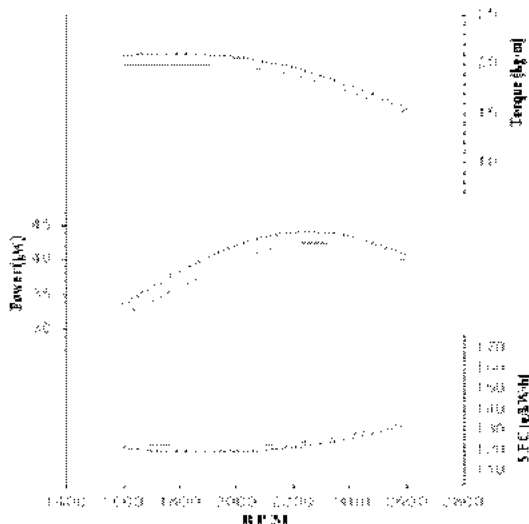


Fig. 4 Performance curve(load 100%)

3.1.2 연료소비율

Fig. 5는 연료소비율을 나타낸 것으로, 연료소비율은 완만하게 아래로 볼록한 곡선 형태를 보여주고 있는데, 부하가 75%에서 가장 적으며, 냉각기를 remodeling 한 후에 1.5% 낮게 나타났다.

그것은 배기관의 배기가스 온도를 낮추면 가스의 체적은 온도에 비례하므로 배기 행정 중에 배기관의 배압(back pressure)이 감소되어 실린더내의 연소가스를 더욱 많이 배출 시킬 수 있으므로 잔류가스가 적어지며, 따라서 새로운 공기가 실린더내로 많이 들어와 공기과잉율과 충전효율이 증가되어 국부적인 확산연소 영역에서 연료의 연소상태가 더욱 양호하여 기관의 출력이 증가되기 때문에 연료소비율이 감소된다고 생각된다.

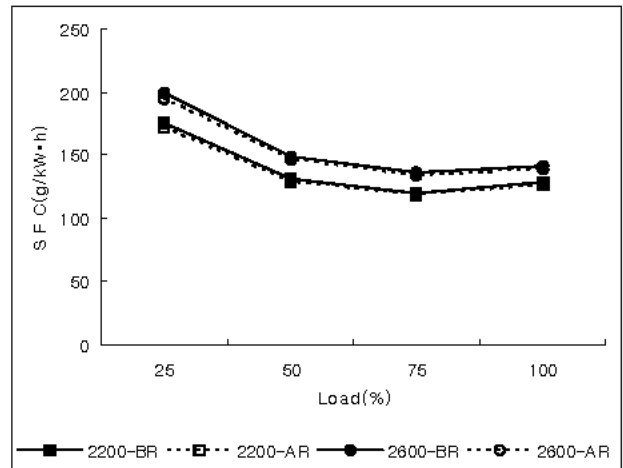


Fig. 5 Specific fuel consumption

3.1.3 배기가스온도

Fig. 6은 배기가스 온도를 나타낸 것으로, 배기가스 온도는 동일회전수의 경우에는 부하가 증가함에 따라서 연료의 분사량이 증가하여 거의 직선적으로 상승하였고, 청수 냉각기를 remodeling한 후에 그 온도는 2200rpm, 부하 100%에서 90°C정도 저감되었으며, 온도 저감량은 부하가 증가 할수록 크게 나타났다.

그리고 2200rpm 보다 2600rpm의 경우가 약간 낮은 온도를 나타냈는데, 그 이유는 아주 고속의 경우에 연료의 연소상태가 나빠지기 때문으로 생각되며, 특히 중속에서 고속으로 갈수록 연료의 착화시기가 늦어지기 때문에 열발생율이 낮아서 온도가 낮은 것으로 생각된다.

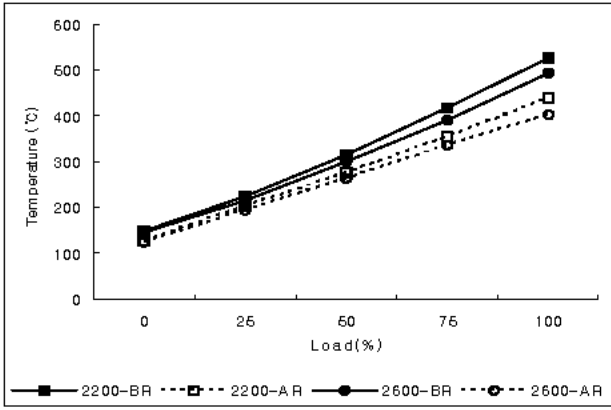


Fig. 6 Temperature of exhaust gas

3.2 배기배출물 특성

3.2.1 NOx 배출물

Fig. 7은 NOx 배출물 특성을 나타낸 것으로, NOx 배출물은 부하가 증가할수록 거의 직선적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 청수냉각기를 remodeling 한 후에 그 양이 증가하였고, NOx 증가량은 부하가 증가 할수록 크게 나타났는데, 최대 증가율은 기관회전수 2600rpm, 부하 100%에서 30.1%에 달했다.

NOx의 생성은 고온에서 O₂의 해리반응으로 생긴 O원자가 N₂와 반응하여 NO와 N이 생성되고, 다시 그 N과 반응하여 NO를 생성한다.¹⁰⁾

그러므로 NOx의 생성을 지배하는 것은 연소온도, 산소의 국부농도 및 연소의 지속시간이며, NOx는 확산연소단계동안 반응영역의 희박한 쪽에서 많이 생성된다.

따라서 청수냉각기를 remodeling함으로써 소기의 충전효율이 높아 산소 농도가 증가할 뿐만 아니라, 연소상태가 양호해 지므로 연소온도가 높고, 산소의 국부 농도가 높으며, 더욱 희박연소가 일어나므로 그만큼 NOx가 많이 생성된다고 생각된다.

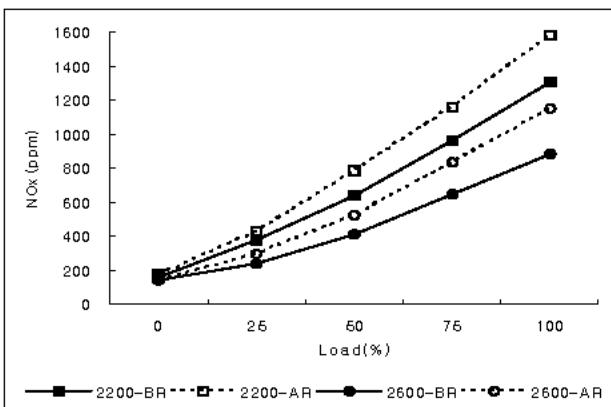


Fig. 7 NOx emission characteristics

Wilson 등¹¹⁾도 분무 중심에서 생성되는 NO는 국부적인 산소 농도에 의해 영향을 받게 되는데, 같은 양의 연료를 분사시켜 분무의 중심에서 산소 농도가 증가된다면, 그로 인하여 NO의 생성량은 증가된다고 했다.

3.2.2 Soot 배출물

Soot는 불완전 연소의 생성물로 방출되며, 이것은 서로 다른 모양의 덩어리 이거나 미세한 탄소 미립자로 구성된다.

Fig. 8은 Soot 배출물 특성을 나타낸 것인데, Soot 배출물은 부하가 증가할수록 아래로 약간 볼록한 형태로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 청수냉각기를 remodeling 한 후에는 그 양이 감소하였는데, 감소율은 기관회전수 2600rpm, 부하 100%에서 20.0%에 달했다.

그 이유는 실린더내의 잔류가스가 감소할 뿐만 아니라 흡입공기의 충전효율이 증가되어 연료의 연소 상태가 양호하게 되므로 미연탄소미립자가 감소하기 때문으로 생각된다.

K. Narusawa 등¹²⁾은 6기통 4행정 직접분사식의 디젤기관을 실험하여, 일정한 회전수에서 흡기 산소 농도와 배기 산소농도를 파라미터로 하여 분석·고찰한 결과, Soot농도는 배기가스 중의 산소농도와 밀접한 관계가 있음을 밝혔다.

즉, 배기가스 중의 산소농도가 많을 때는 적을 때보다 Soot가 적게 생성된다고 했는데, 본 실험에서 흡입공기의 충전효율이 높게 되어 실린더 안에 산소농도가 많아지기 때문에 연소상태도 좋아지고, Soot도 적게 생성되었다.

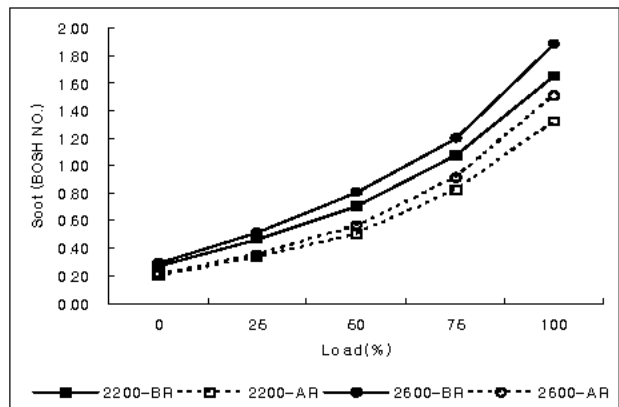


Fig. 8 Soot emission characteristics

또한 디젤기관으로부터 배출되는 Soot농도는 온도의 함수로서 연소가스 온도가 증가할수록 감소하는데¹³⁾, 특히 연소가스 온도가 상승하면 O₂, OH 등에 의해 Soot의 산화가 촉진 된다고 했다.¹⁴⁾

이것도 역시 본 실험결과와 일치하여 배기가스 온도가 높은 경우에 Soot 농도가 낮게 나타났다.

4. 결 론

육상용 디젤기관을 어선용 기관으로 효율적 사용을 위해 배기가스 청수냉각시스템을 설계 제작 부착하여 성능실험한 결과 다음의 결과를 얻었다.

- (1) 연료소비율은 부하 75%에서 가장 적으며, 청수 냉각기를 remodeling 한 후에 1.5% 감소하였다.
- (2) NOx 배출물은 부하 100%에서 가장 많으며, 청수 냉각기를 remodeling한 후에 30.1% 증가 하였다.
- (3) Soot 배출물은 부하 100%에서 가장 많으며, 청수 냉각기를 remodeling한 후에 20.0% 감소하였다.

후 기

본 연구는 군산대학교 수산과학연구소의 일부 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

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., et. al., Injection Timing and Rate Control a Solution for Low Emissions, SAE 900854.
3. Plee, S. L., Ahamed, T. and Myers, J. P., Flame Temperature Corelation for the Effects of EGR on Diesel Particulate and NOx Emissions, SAE 811195.
4. Soon-ik Kwon, et. al., 1990, Effects of cylinder Temperature and Pressure on Ignition Delay in Direct Injection Diesel Engine, Bulletin of the M.E.S.J., Vol. 18, NO. 1, pp. 3~16.
5. Lyon, D., Tims, J. M. and Muller, K.(UK), 1971, "Techniques for Reducing Exhaust Emissions from Diesel Engines Basic Fuel Properties, 2/1~2/7.
6. Mr. OKADA, Dr. UTSMI, Mr. NAKANO, "Combustion of Emulsified Residual Fuels in a Marine Diesel Engine, CIMAC'85, pp. 77~93.
7. Murayama, T., Morisima, 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.
8. MAN·B&W, 1990, Emission Control of Two-stroke Low Speed Diesel Engine , MAN·B&W Paper.
9. 해양수산부, 2004, "해양수산부 브리핑", 제 61호.
10. Eyzat, P and Guibet, J. C., A New Look at Nitrogen Oxides Formation in Internal Combustion Engine, SAE 680124.
11. Wilson, R. P., Muir, E. B. and Pellicciotti, F. A., Emissions Study of a Single-cylinder Diesel Engine, SAE 740123.
12. Narusawa, K., Odaka, M., Koike, N., Tsukamoto, Y. and Yoshida, K., An EGR Control Method for Heavy-duty Diesel Engines under Transient Operations, SAE 900444.
13. Kamimoto, t. and Bae, M. H., High Combustion Temperature for the Reduction of Particulate in Diesel Engines, SAE 880423.
14. Neoh, K. G., Howard, J. B. and Sarofim, A. F., 1981, Soot Oxidation in Flames, Particulate Carbon Formation during Combustion, pp. 261-282.