

MDO (Marine Diesel Oil) 에멀전 연료에 의한 디젤엔진의 배출가스 저감 The Exhaust Gas Reduction of Diesel Engine by MDO (Marine Diesel Oil) Emulsion Fuel

김문찬
Moon-Chan Kim

청주대학교 환경공학과
Department of Environmental Engineering, Cheongju University

(2014년 4월 9일 접수, 2014년 6월 25일 수정, 2014년 7월 25일 채택)

Abstract : In this study, the characteristics of emulsified fuel and engine emissions were studied with engine dynamometer. Micro-explosion took place in the combustion chamber. While combustion, emulsion fuel scattered to micro particles and it caused to smoke reduction. The heat produced from water vapour reduce the temperature of internal combustion chamber and it caused to inhibition of NOx production. It can be verified by the lower exhaust temperature of each ND-13 mode using emulsion fuel than that of MDO fuel. The NOx and smoke concentration were reduced by increasing water content in emulsion fuel. The power also decreased according to the increment of water content of emulsion fuel because emulsion fuel has low calorific value due to high water content than MDO. As a result of ND-13 mode test with 17% moisture content, it was achieved 24% reduction in NOx production, 76% reduction in smoke density, 11% reduction of SO₂ and 13% reduction in power loss.

Key Words : MDO, Emulsify, Emulsion Fuel, NOx, Smoke

요약 : 본 연구는 에멀전 연료의 특성과 배출가스에 관하여 연구하였다. 엔진 배출가스 측정은 엔진 dynamometer로 실시하였다. 유화연료는 연소실내에서 미세폭발을 일으켜 연료를 잘게 쪼개어 주어 smoke를 감소시킨다. 그리고 물이 연소실내의 기화열을 빼앗아 연소실 내부의 온도를 낮추어 NOx 생성을 억제하는 효과를 갖는다. ND-13모드의 각 모드별 배출가스온도가 MDO에 비해 유화연료를 사용했을 때 낮게 나온 것으로 뒷받침 될 수 있었다. 유화연료의 함수율이 증가함에 따라 NOx와 smoke의 배출량은 줄어들었으며, 출력도 함수율 증가에 따라 유화연료 자체의 발열량 감소로 인하여 줄어든 것으로 판단된다. ND-13모드에서 MDO 유화연료를 시험결과 함수율 17% 유화연료의 NOx 감소량은 약 24%, smoke의 총감소량은 약 73%, SO₂ 감소량은 약 11%, 그리고 약 13%의 출력손실을 확인하였다.

주제어 : MDO, 유화, 유화연료, 질소화합물, 매연

1. 서론

경제발전과 산업화로 인해 전 세계적으로 화석연료의 사용량은 증가하였고, 현재에 이르러는 화석연료가 현대 사회의 생활에 중심에 있다. 화석연료는 사용함에 있어 편안함을 제공하지만, 화석연료의 연소에 의한 배출가스가 미치는 영향으로 크게 온실가스에 의한 지구온난화와 오존층 파괴, 황산화물(SOx)과 질소산화물(NOx)에 의한 산성비 등 지구 규모에서 일어나고 있다.¹⁾

육상 운송수단인 승용차, 트럭, 대형트럭, 버스에 대한 규제는 2006년 EURO-4에서 2011년 적용되어진 EURO-5로 인해 점점 강화되어 지고 있다. 반면 선박의 경우 법적으로 배출기준이 자동차에 비해 기준이 낮은 실정이며, 선박용 연료는 고점도 연료유로 오염물질의 농도가 높고, 불완전 연소가 능성이 높아 오염물질 제거, 연소조건 개선 및 배기가스 처리의 필요성이 강조되고 있다.²⁾

국제해사기구(International Marine Organization)에서는 1997년 9월 26일 영국런던 IMO본부에서 열린 MMEPC37차 회의에서 선박으로부터 기인하는 오존층파괴물질, 질소산화물

(NOx), 황산화물(SOx), 휘발성 유기화합물(VOCs), 선내소각기의 배출가스 및 연료유의 품질을 규제 대상으로 하는 MARPOL 부속서[선박으로부터 대기오염 방지를 위한 규칙]을 재정·채택하였다. 그리고 그 부속서 6의 발효조건으로 15개국 수락 및 수락 국가의 상선 선복량이 전 세계 상선 선복량의 50% 이상, 그리고 발효일은 발효 요건이 충족된 날로부터 1년 후로 정하였고, 2004년 5월 18일 사모아가 15번째로 비준함으로써 해당조건을 만족하게 됨에 따라 1년 후인 2005년 5월 19일 MARPOL부속서 6[선박으로부터의 대기오염 방지를 위한 규칙]이 발효되었다. Table 1에는 NOx배출규제에 따른 Tier I~III을 나타내었다.³⁾

Table 1. Exhaust permission standard of vessel

RPM	Tier 1 (2000)	Tier 2	Tier 3
n < 130	17.0 g/kWh	14.36 g/kWh	3.4 g/kWh
n < 130 < 2000	45.0 g × n(-0.23) g/kWh	44.0 g × n(-0.23) g/kWh	9 g × n(-0.2) g/kWh
2000 < n	9.8 g/kWh	7.66 g/kWh	2.0 g/kWh

† Corresponding author E-mail: mckim@cju.ac.kr Tel: 043-229-8573 Fax: 043-229-8906

배출가스의 제거 방법은 크게 2가지로 분류가 된다. 연료를 사용하기 전에 일정 처리를 거쳐 황 성분이나 인체에 해로운 배출가스를 배출하는 금속분 등의 제거, 연소설비 개선, 연료분사시기 지연, 연소실 형상 개조, 연료분사계 개선, 배기재순환, 물 분사법, 디젤유-물의 유화를 이용한 유화연료사용 등의 전처리방법과 배출가스중에 포함된 NOx를 제거하는 후처리방법으로서 촉매분해, 촉매환원, 흡수, 흡착 등의 후처리방법이 있다.

후처리 방법 중 가장 많이 사용되어지고 있는 SCR (selective catalytic reduction)과 같은 후처리장치를 사용하여 질소산화물을 줄이고자 하여도 선박유의 경우 높은 황화합물로 인하여 배출가스중에 매연과 황산화물질과 질소산화물질이 다량 배출되기 때문에 SCR의 내구성이 현저히 떨어지게 되므로 연료의 전처리 과정이 필요하다.⁴⁾

반면, 대체연료 기술은 기존 엔진에 적용하기 위하여 출력저하, 부식성, 연료 점도 등과 같은 단점을 개선시키기 위한 연구가 활발하게 진행 중이다. 대체연료 기술 중 에멀전 연료는 경유와 같은 기존 연료로부터 손쉽게 구할 수 있고, 풍부한 water와 emulsifier(유화제)를 일정 비율로 첨가 및 혼합한 연료이다. 또한 함수 연료로써 연소과정 중 water의 기화에 기인한 증발 잠열 흡수로 인하여 연소실내 연소온도 저하와 급격한 증발에 의한 미소폭발(micro-explosion)로 인하여 연료의 미립화를 도모할 수 있다. 이에 따라 NOx, SO₂, Soot을 동시에 저감할 수 있다. 이 외에도 기존의 엔진 기술, 엔진 신 연소 기술 및 후처리 기술과 달리 추가적인 장치가 필요하지 않으며, 별도의 개조 없이 기존 엔진에 사용이 가능한 장점도 있으므로 이에 관한 연구가 주목 받고 있다.^{5,6)}

본 연구는 선박유로 사용되는 MDO를, 유화제를 이용하여 에멀전 연료로 개선하여 사용하였을 경우, 에멀전 연료의 연소 특성과 출력에 대하여 알아보았다. 엔진동력계를 사용하여 출력을 측정하였으며, 엔진동력계 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 또한 엔진연소 실험을 통하여 배출되는 NOx, SO₂는 AVL사의 SESAM FT-IR을 사용하였고, smoke는 diaphragm pump를 사용한 여지반사식 smoke meter (MODEL : AVL415)를 사용하여 각각 측정하였으며, 장치의 계략도를 Fig. 2에 나타내었다.

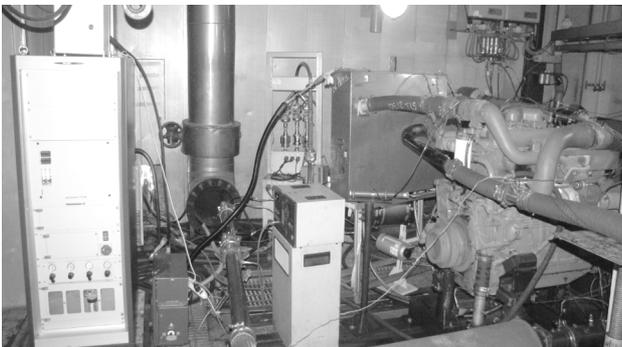


Fig. 1. Photograph of engine dynamo.

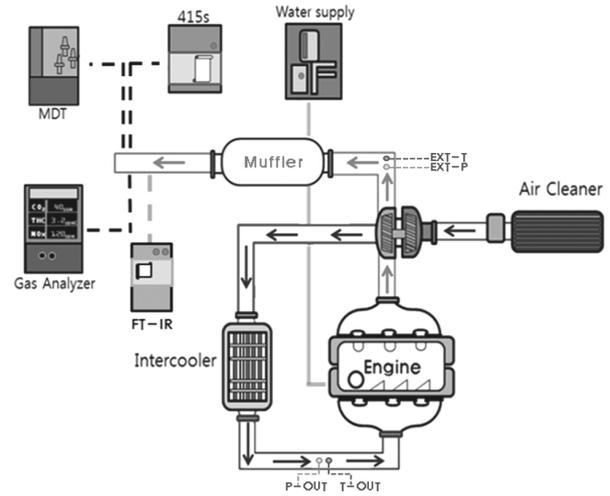


Fig. 2. Schematic of experiment systems.

2. 이론적 배경

2.1. 유화

어떤 액체 속에 그것과 잘 섞이지 않는 다른 액체를 작은 낱알로 분산시켜 젖 모양의 액체로 만드는 일, 또는 분산된 그 상태를 유화(乳化, emulsion)라 한다.⁷⁾

일반적으로 유화를 큰 분류로 나누게 되면 2가지 형태로 분류가 되며, 유화의 형을 결정하는 것은 유화제의 종류로서, 친수성 유화제는 수상이 분산매가 되는 O/W 에멀전이, 친유성 유화제는 유상이 분산매가 되는 W/O 에멀전이 만들어진다.⁸⁻¹⁰⁾

2.2. 유화연료 제조방법

일반적인 유화의 제조방법은 2분류로 나누어지며, 첫 번째는 물리적 방법이며, 두 번째는 화학적 방법이다.

물리적 방법으로는 제조 시에 교반, 난류혼합, 진동, 초음파, 분사, 충격 등의 방법을 사용한다. 계면활성제를 사용하지 않기 때문에 제조단가가 저렴하다. 또한 쉽게 제조가 가능하다는 장점이 있다. 이로 인해 대량제조에 용의하나, 쉽게 응집되어 분리가 일어난다.

화학적 방법의 경우 계면활성제를 사용하는 방법으로 HLB (hydrophilic lipophilic balance)가 맞을 경우 쉽게 유화가 가능하지만 적당한 계면활성제 제조와 대량제조에 어려움이 많다. 물리적 방법과 화학적 방법을 병행하는 것이 단일 방법으로 제조하였을 시 보다 유화연료의 전체적인 미립화와 안정성을 더 높게 만들 수 있다.^{11,12)}

3. 실험

3.1. 유화연료의 제조

본 연구에서는 유화연료의 제조방법은 물리·화학적 방법을 이용하여 연료를 제조하였다. 선박유에 유화제를 첨가

하여 용해시킨 후 물을 첨가하여, 교반기를 통하여 3~5분 동안 교반을 실시하였다. 그 후 homogenizer를 통하여 균일 혼합을 이룬 후에 ultrasonic generator를 이용하여 유화연료를 제조하였다.

제조 시 사용되어진 원료로는 선박유, H₂O 외에 유화제가 사용되어졌다. 사용되어진 유화제의 경우 3600 (Sorbitan monostearate), SP80 (Sorbitan monooleate, Dongnam Chemical Ind. Ltd), SP85 (Sorbitan trioleate, Dongnam Chemical Ind. Ltd, IC Chemical), NP~NP4 (Polyoxyethylene nonylphenol ether, ether derivatives, derivatives, IC Chemical)를 사용하였으며 단일 또는 2가지 이상의 유화제를 혼합하여 유화제를 사용하였다.

사용되어진 기기로는 가열식 교반기, homogenizer (model; IKA Ultra-Turrax[®] T 18 basic)와 ultrasonic generator (model; Jeil Ultrasonic Co. Ltd JIW-1500T)이다.

제조방법은 Fig. 3에 나타내었으며, 연료의 물성성분은 Table 2에 나타내었다.

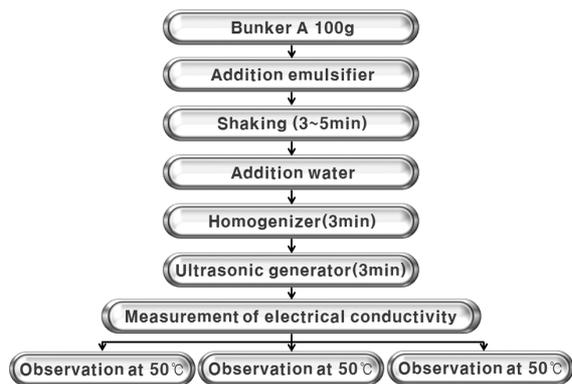


Fig. 3. Preparation process of emulsified fuel.

Table 2. Property of marine diesel oil (MDO)

Test item	Unit	Property	Method
Net calorific value	J/g	41,060	KS M 2057:2006
Gross calorific value	J/g	43,670	KS M 2057:2006
Element analysis (H)	Weight %	11.51	ASTM D 5291:2010
Water (distillation method)	Volume %	0.5	KS M ISO 3733:2008
Sulfur (high temperature method)	Weight %	0.15	KS M 2414:2006
Ash	Weight %	0.012	KS M ISO 6245:2003
Density (15°C)	Kg/m ³	923.6	KS M 2002:2006
Sediment	Weight %	0.06	KS M ISO 3755:2003
Copper plate corrosion (100°C, 3 h)	-	1	KS M 2018:2007
Flash point (Cleveland open cup tester)	°C	104	KS M ISO 2592:2007

Table 3. Specification of test engine

Items	Specification
Fuel supply system	DI-injection (in-line)
Max power	240 kW (340 PS)
Max torque	1421 N.m (145 kg.m)
Fuel consumption	186 g/kW.h (143 g/PS.h)
Bore × Stroke	123 (4.84) × 155 (6.10) mm(in.)
Displacement	11,051 L
Cylinders	6

3.2. 유화연료의 연소 장비 및 분석기기

연소 장비로는 버스용 엔진에 MDO와 MDO로 만든 유화연료를 연소하였으며, 10,000 cc급 대형버스 엔진에 실시하였으며, 사용되어진 엔진 제원은 Table 3과 같다.

연소 장비의 제어장치는 engine dynamometer로 하였으며, 유화연료의 연소 시 배출되는 배출가스의 경우 FT-IR (Jasco Co.) 및 diaphragm pump를 사용하여 분석하였으며, FT-IR은 분해능 0.5~1 cm, S/N Ratio는 30,000 : 1, high intensity ceramic light source를 가진 제품이었다. 선박엔진의 매연은 디젤자동차의 입자상물질로 PM을 측정하는 것과는 달리 가시매연으로 smoke를 측정하므로 diaphragm pump를 사용한 여지반사식 smoke meter (MODEL : AVL415)를 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. MDO 유화연료의 연소실험

유화연료의 연소실험은 전부하 영역 및 ND-13모드에서 실험을 진행하였고, 전부하 영역에서 rpm은 1,500 rpm, 2,000 rpm이며, 부하영역은 10%, 25%, 50%, 75% 100%이며, ND-13 모드에서의 rpm은 아이들링, 회전수 A, 회전수 B, 회전수 C로 이루어지며, 여기서 회전수 A, B, C는 ND-13모드의 원동기 회전수 설정치가 된다. 부하영역은 10%, 25%, 50%, 75% 100%이었다.

4.2. NOx 배출량 저감 효과

Fig. 4에 1,500 rpm에 부하에 따른 NOx의 농도를 나타내었다. 부하가 증가함에 따라 NOx의 농도는 증가하며 1,500 rpm에서 100% 부하일 경우 MDO 연료를 사용했을 때 약 860 ppm 가량 까지 상승하는 것으로 나타났다. 한편 물이 15% 함유된 에멀전 연료와 물이 20% 함유된 에멀전 연료 모두 MDO 연료보다 NOx 배출량이 적었으며, 물이 20% 함유된 에멀전 연료가 물이 15% 함유된 에멀전 연료보다 NOx 배출량이 조금 더 적게 나타났다. Fig. 5는 2,000 rpm에서 부하에 따른 NOx 농도를 나타낸 것인데, 부하가 증가할수록 NOx의 배출농도가 증가하는 것으로 나타났으나 Fig. 4에 비해서는 부하에 따른 NOx 증가율이 낮게 나타났다. 2,000 rpm에서 100% 부하일 경우 MDO 연료를 사용했을 때 약 500 ppm 가량으로 Fig. 4의 1,500 rpm에서 100% 부하일 때

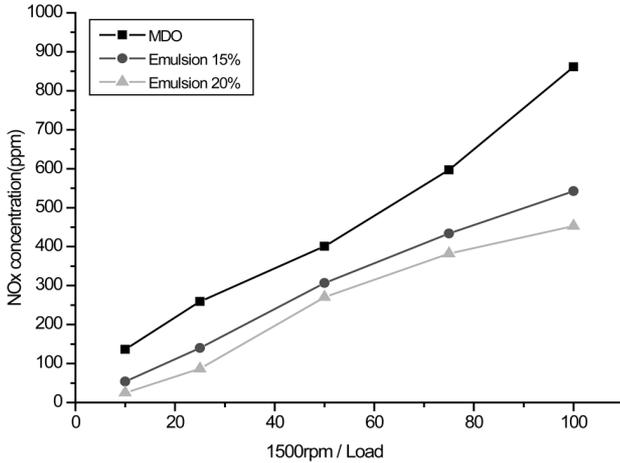


Fig. 4. NOx concentration on each load (1,500 rpm).

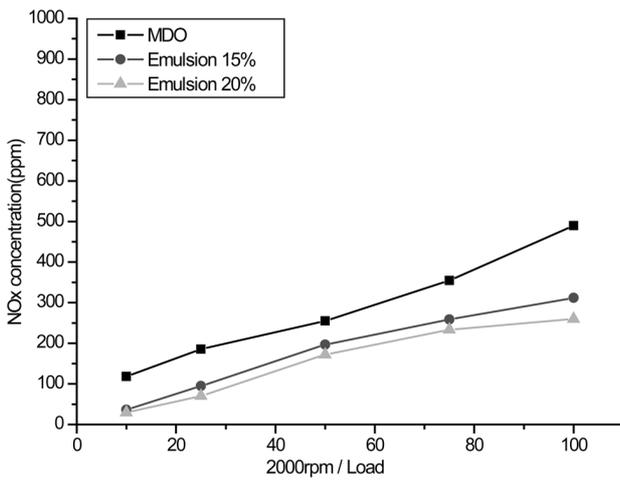


Fig. 5. NOx concentration on each load (2,000 rpm).

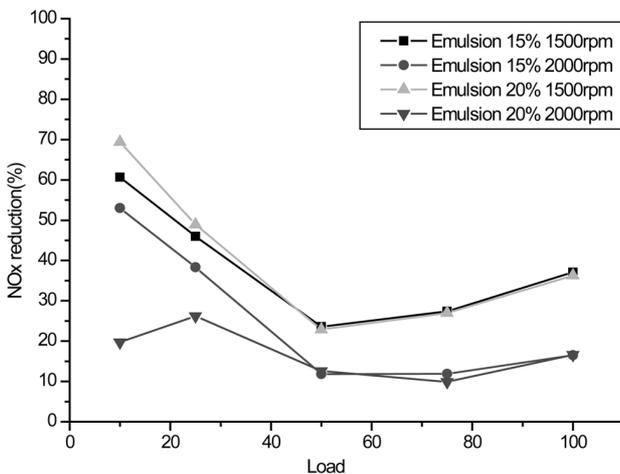


Fig. 6. NOx reduction on each load (1,500 rpm, 2,000 rpm).

860 ppm 보다는 확연히 줄어든 수치를 나타내었다. Fig. 6에 에멀전 연료 사용에 의한 질소산화물 저감율을 나타내었다. Fig. 6에서 보는 것과 같이 1,500 rpm에서 함수율 15% 및 20%의 경우 저부하 영역인 10%, 25% 부하에서 40% 이상의 NOx 배출량 감소율을 보이고 있으나, 50% 이상 부하 영역에

서는 감소율이 줄어드는 것으로 나타났다. 그러나 전체 NOx 감소량은 부하가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 또한 2,000 rpm에서 함수율 15%와 20%의 경우 50% 이상의 부하에서 13% 미만의 작은 감소율을 보였지만 저부하 영역인 10%, 25% 부하에서 20% 이상의 높은 NOx 배출량 감소율을 보였다. 1,500 rpm에서와 마찬가지로 전체 NOx 감소량은 부하가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다.

4.3. 유화연료와 MDO의 연료사용량 비교

Fig. 7은 함수율 20%의 유화연료를 1,500 rpm과 2,000 rpm에서 각 부하별 총 연료 소비량을 MDO만을 사용했을 때와 비교한 것이다. 함수율 20%의 유화연료가 MDO보다 1,500 rpm에서 동일한 부하 조건에서 약 17.3% 더 소모 되었으며, 2,000 rpm에서는 동일한 부하 조건에서 약 14.5% 더 소모되었다. 따라서 유화연료의 전체사용량은 MDO보다 평균 15.9% 더 소모된 것으로 나타났다.

Fig. 8은 Fig. 7의 결과를 바탕으로 함수율 20% 유화연료

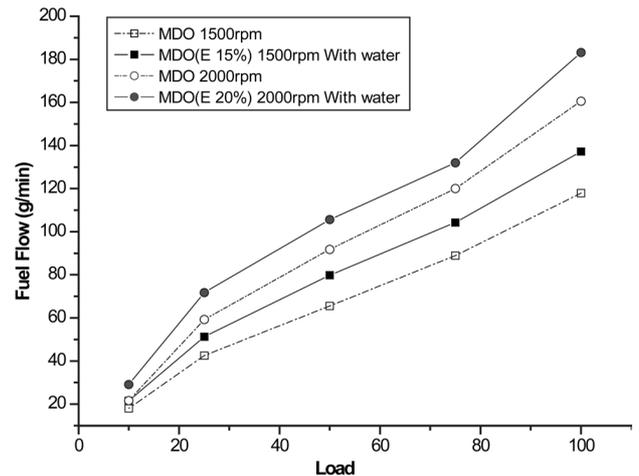


Fig. 7. Total fuel consumption of emulsion fuel of 20% water content on each load (1,500 rpm, 2,000 rpm).

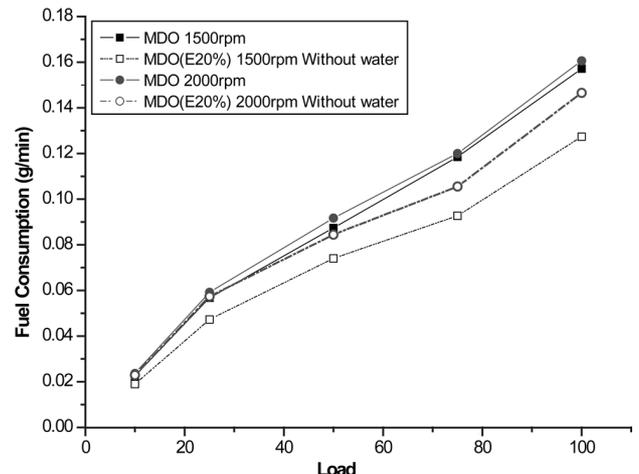


Fig. 8. Net fuel consumption of emulsion fuel of 20% water content on each load (1,500 rpm, 2,000 rpm).

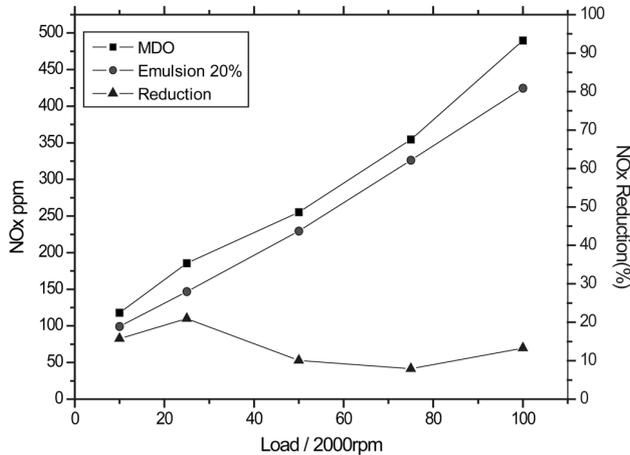


Fig. 9. NOx reduction of emulsion fuel of 20% water content on each load (1,500 rpm, 2,000 rpm).

에서 물 함량을 제외한 순수한 MDO량으로 환산한 결과를 나타낸 것이다. 함수율 20%의 유화연료가 MDO보다 1,500 rpm에서 동일한 부하 조건에서 순수한 MDO 소모량을 계산하면 약 2.8% 덜 소모 되었으며, 2,000 rpm에서는 동일한 부하 조건에서 순수한 MDO 소모량을 계산하면 약 5.5% 덜 소모되었다. 따라서 함수율 20%의 유화연료 중 순수한 MDO 연료의 사용량은 동일 부하 조건에서 MDO보다 평균 4.1% 덜 소모되어 약 4.1%의 연료가 절약된 것으로 나타났다.

Fig. 9는 동일한 부하조건에서 MDO와 함수율 20% 유화연료를 2,000 rpm에서 배출가스 중 함수율 20%에 대한 수증기양을 제외한 질소산화물을 측정할 자료이다. 즉 Fig. 7의 각 모드별 연료소모량에 따라 배출가스 중 함수율 20%에 대한 수증기양을 제외한 NOx의 저감율을 측정할 자료인데, MDO를 사용했을 때와 비교하면 부하별로 약 8~20% 정도 감소되는 것으로 나타나, Fig. 8의 순수 연료사용량과 비교했을 때 실제 사용된 연료도 MDO보다는 함수율 20%인 유화연료가 더 적었으며 NOx 배출량도 실질적으로 적게 배출됨을 보여주었다.

Fig. 10은 ND-13 각 모드별 MDO와 유화연료의 배출가스 온도를 측정할 결과이다. 공회전 모드인 1, 7, 13번 모드에서는 약 5°C~10°C 정도 차이가 나는 반면 부하가 있는 모드에서는 10°C~70°C 정도 유화연료를 사용한 경우가 MDO 사용한 경우 보다 더 낮게 나타났다. 이것은 유화연료를 사용하면 유화연료내 물의 기화에 의해 기화잠열을 빼앗아 가기 때문인 것으로 판단된다. 유화연료를 사용하였을 경우

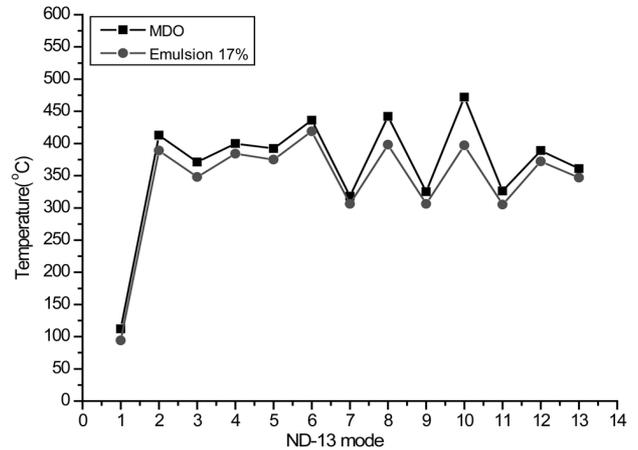


Fig. 10. Temperature changes on each ND-13 mode.

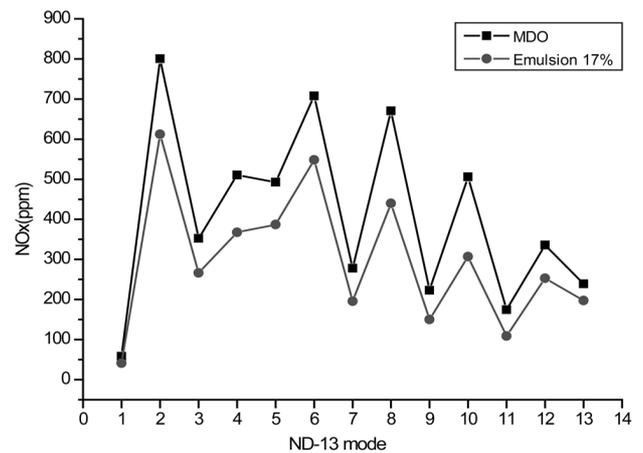


Fig. 11. NOx concentration on ND-13 mode.

배출가스 온도가 낮아지므로 질소산화물 배출도 줄어들 것으로 예상된다.

Fig. 11은 ND-13 모드에서 함수율 17%의 유화연료의 NOx 배출량을 측정할 결과이다. MDO와 비교하였을 1, 7, 9, 11, 13의 저부하 영역에서는 고부하 영역인 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12에 비하여 NOx 배출량의 감소가 적으나, 전체적으로 전 영역에서 NOx의 감소를 확인할 수 있었으며, 총 24.13%의 NOx 배출량 감소를 확인하였다. Fig. 10의 배출가스 온도와 비교해 볼 때 유화연료를 사용하였을 경우 배출가스 온도가 낮아져서 질소산화물 배출도 줄어들 것으로 판단된다.

Table 4는 2000 prm의 전부하 영역에서 smoke와 출력을 측정할 결과를 나타내었다.

Table 4. The effects of exhaust gas and power on emulsion fuel

2,000 rpm	MDO			Emulsion 15%			Emulsion 20%			
	Torque	SO ₂ (ppm)	SMOKE (FSN)	PWR_PS (PS) *K_ISO	SO ₂ (ppm)	SMOKE (FSN)	PWR_PS (PS) *K_ISO	SO ₂ (ppm)	SMOKE (FSN)	PWR_PS (PS) *K_ISO
10%		22,1	0,62	30,252	47,8	1,02	29,003	59,2	1,18	29,712
25%		24,1	0,81	75,987	36,0	0,63	74,413	43,1	0,59	75,156
50%		27,2	0,72	151,459	28,8	0,38	148,953	31,0	0,33	149,644
75%		31,4	0,95	226,523	32,0	0,39	223,382	34,3	0,31	224,133
100% (Full)		40,3	0,81	317,668	35,6	0,36	268,343	36,1	0,33	250,959

4.4. Smoke 및 출력 저감 효과

Table 4에서 보는 것과 같이 전부하 영역에서 실험결과 함수율 15%의 경우 smoke의 총 감소량은 약 12%, 그리고 약 16%의 출력손실을 확인하였다. 또한 함수율 20%의 경우 smoke의 총감소량은 약 59%, 그리고 약 21%의 출력손실을 확인하였다. 함수율이 높을수록 smoke의 발생량이 줄어들며, 또한 출력도 함수율이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 함수율 증가에 따른 전체 발열량이 줄어들면서 나타나는 결과로 판단된다. ND-13모드에서 MDO 유화연료를 시험결과 함수율 17% 유화연료의 smoke 감소량은 약 73%, SO₂는 약 11%의 감소, 그리고 약 13%의 출력손실을 확인하였다. 함수율 15%, 20%에 대한 NO_x, smoke, 출력에 대한 감소율을 Fig. 12에 나타내었다. 함수율 15%에 비하여 함수율 20%인 유화연료에서 NO_x, 출력, smoke가 더 감소하였으며 특히 smoke 감소가 두드러지게 나타났다.

4.5. 유화연료 사용 효과

W/O형 유화연료는 물이 분산질로써 기름이 물을 감싸고 있는 형태인데, 이러한 W/O형 유화연료는 연소실내에서 미세폭발을 일으켜 연료를 잘게 쪼개어 주어 완전연소에 가깝게 이끌어 주어 smoke를 감소시키며, 또한 물이 연소실내의 기화열을 빼앗아 연소실 내부의 온도를 낮추어 NO_x 생성을 억제하는 효과를 갖는 것으로 판단된다. 이것은 Fig. 10의 각 모드별 배출가스온도가 MDO에 비해 유화연료를 사용했을 때 낮게 나온 것으로 뒷받침 될 수 있었다.

또한 유화연료는 함수율이 증가할수록 smoke, SO₂가 감소하는데, NO_x와 동일하게 저부하보다, 고부하에서 더 많이 감소되는 것을 알 수 있었다.

수분함량이 증가함에 따라 smoke, SO₂가 줄어드는 것은 연소온도의 저하, 유화연료의 미세폭발로 인한 액적의 표면적 증가로 인해 공기와 연료의 혼합 촉진, 수증기 농도의 증가, 수증기 증가로 인한 착화 지연 등에 의한 효과 때문으로 판단된다.

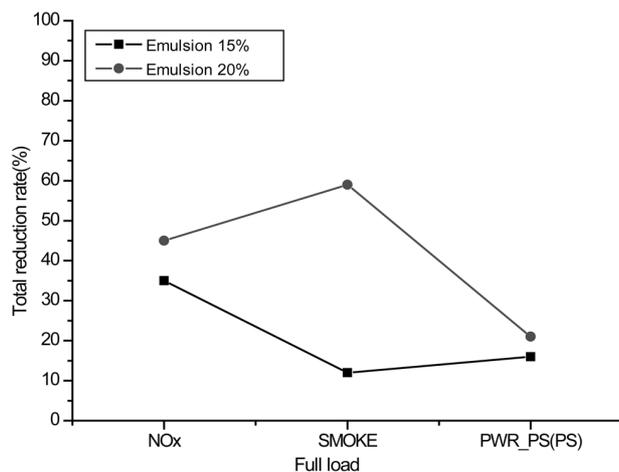


Fig. 12. Total reduction rate on each emulsion fuel (15%, 20%).

유화연료를 사용하여 질소 산화물을 저감하고 매연을 저감하는 기술은 종래부터 연구되어 왔으며, 특히 보일러에 대하여 집중적으로 연구되어 왔다. 2016년부터 적용되는 Tier 3 규제에 대응하기 위하여 질소산화물을 현재보다 80% 더 저감하여야 하는데, 그러기 위해서는 SCR (selective catalytic reduction) 설비를 적용하여 질소산화물을 제거하고 있다. 그러나 선박용 연료는 MDO, Bunker-A 등 중질유를 사용하여 매연 발생이 심하여 SCR 촉매를 덮어 활성을 저하시키게 된다. 따라서 중질유 사용에 따른 가시매연(smoke)을 제거해야만 SCR 촉매의 내구성이 유지되므로 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 선박용 연료로 MDO를 사용하여 smoke의 저감이 함수율 20%인 경우 최고 73%까지 저감되는 것을 확인하였으며, 부가적으로 질소산화물도 20% 이상 감소시켜 SCR 장치에서의 부하를 줄여주어 Tier 3 규제에 도움을 주는 효과가 있는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서 MDO와 MDO 유화연료를 디젤엔진에 연소 실험을 통하여 배출가스와 출력에 미치는 영향에 대해 연구하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 유화연료의 함수율이 증가함에 따라 전체적으로 NO_x, SO₂, smoke가 감소하는 경향을 보였으며, 출력 또한 같이 감소하는 것을 알 수 있었다. 출력의 감소는 유화연료의 함수율 증가로 인하여 엔진연소 시 발열량 부족에 의해 출력이 감소된 것으로 판단된다.
- 2) 수분의 증가에 따라 기화 잠열의 증가로 인하여 유화연료의 연소시 배출가스의 온도가 감소되는 것으로 나타났다.
- 3) 전부하 영역에서 실험결과 함수율 15%의 경우 NO_x의 총 감소량은 약 35%, smoke의 총 감소량은 약 12%, SO₂의 총 감소량은 약 12%, 그리고 약 16%의 출력손실을 확인하였다.
- 4) 전부하 영역에서 실험결과 함수율 20%의 경우 NO_x의 총 감소량은 약 45%, smoke의 총감소량은 약 59%, SO₂의 총 감소량은 약 10%, 그리고 약 21%의 출력손실을 확인하였다.
- 5) ND-13모드에서 MDO 유화연료를 시험결과 함수율 17% 유화연료의 NO_x 감소량은 약 24%, smoke의 총감소량은 약 73%, SO₂ 감소량은 약 11%, 그리고 약 13%의 출력손실을 확인하였다.
- 6) 유화연료의 전체사용량은 MDO보다 평균 15.9% 더 소모되었으며, 함수율 20%의 유화연료 중 순수한 MDO 연료의 사용량은 동일 부하 조건에서 MDO보다 평균 4.1% 덜 소모되어 약 4.1%의 연료가 절약된 것으로 나타났다.

사 사

이 논문은 2013학년도 청주대학교 산업과학연구소가 지원한 학술연구조성비(특별연구과제)에 의해 연구되었음.

참고문헌

1. Kim, D.-S. and Kim, T.-O., "Airpollution Control Technology," Donghwa Technology Publishing Co, pp. 16~27(2004).
2. Kwon, K.-S. and Choi, K.-J., "Development of technology about fuel change and miniature of fuel sludge for medium and low engine," MarineCom Technology Seminar(2007).
3. Ministry of Environment, "Performance Standard and Inspection Method of Airpollution Control Equipment," Ministry of Environment Report, 2001-35, p. 1(2001).
4. Park, J.-K., "Ultra Low NOx Technology of Diesel Engine," The Korean Society of Automotive Engineers, Scientific Essay, pp.5~12(1992).
5. Andrea, B., Renxian, L. and Konstantinos, B., "Influence of Water-Diesel Fuel Emulsions and EGR on Combustion and Exhaust Emissions of Heavy Duty DIDiesel Engines Equipped with Common-Rail Injection System," SAE Technical Paper 2003-01-3146(2003).
6. Hironori, S. and Koji, U., "Feasibility Study on the Utilization of Water-in-Oil Type Emulsified Fuels to Small DI Diesel Engines," JSAE 20119602(2001).
7. Lee, H.-S., "Combustion Characteristics of Water Mixed Emulsion Fuel and Effect of Burner and Engine Performance," Korea Maritime and Ocean Univ. Thesis, pp. 7~17(2004).
8. Davies, J. T. and Rideal, E. K., Interfacial Phenomena 2nd ed., p. 371, Academic Press, New York(1963).
9. Choi, C.-K., "Effects of Fluidic Characteristic of O/W Emulsion by Fatty alcohol and Fatty Acid," *Soc. Cosmetic Sci. Kor.*, **35**(2), 103~104(2009).
10. Oh, S.-M., "Low Emission Diesel Engine Technology by Using Emulsion Fuel," *Machinery Mater.*, **12**(2) 47~50(2000).
11. Becher, P., Emulsions: Theory and Practice, Reinhold Publishing, New York, p. 267(1965).
12. Becher, P., et al, Encyclopedia of emulsion technology, Vol. 1, Marcel Dekker Inc, pp. 94~127(1983).