

## 소형 어선용 디젤기관에서의 연료유 성상에 따른 배기배출물 특성에 관한 연구

서정주 · 왕우경\* · 김상암<sup>1</sup>  
전남대학교 해양기술학부, <sup>1</sup>전남대학교 대학원

### **An experimental study on characteristics of exhaust emissions with fuel properties changes in a diesel engine for small-sized fishing vessel**

**Jung-Ju SUH, Woo-Kyung WANG\* and Sang-Am KIM<sup>1</sup>**

*Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Jeonnam 550-749, Korea*

*<sup>1</sup>Graduate School, Chonnam National University, Jeonnam 550-749, Korea*

In order to test the applicability of bunker-A in a diesel engine for small-fishing boat, the investigation of the engine performance and the exhaust emission was performed under various conditions of fuel property, intake air pressure and fuel temperature. It was also performed based on IMO NOx Technical code. At high load, the energy consumption rate of bunker-A was lower than that of diesel oil, and the characteristics of exhaust emission of bunker-A were similar to those, and NOx emission rates of both fuels satisfied the IMO NOx emission regulation limits. The energy consumption rate and characteristics of exhaust emission were improved as the intake air pressure was increased, but these were not improved remarkably as the temperature of bunker-A was heated. However, at low load the energy consumption rate, CO emission rate and HC emission rate of bunker-A were higher than those of diesel oil, but NOx emission rates of the fuels were about the same. In addition, at low load the energy consumption rate and CO emission rate of bunker-A were increased as the intake air pressure and the temperature were higher than normal conditions. Accordingly, it is thought that the use of bunker-A in a kind of test engine is possible at high load. On the other hand, it is thought that more research is needed to improve the combustion efficiency under low temperature and low load condition.

Keywords: Bunker-A, IMO NOx Technical Code, Energy consumption rate, Characteristics of exhaust emission, Combustion efficiency

\*Corresponding author: wangwk@jnu.ac.kr, Tel: 82-61-659-3136, Fax: 82-61-659-3139

## 서 론

최근 들어 해양환경에 대한 관심과 우려가 높아지고, IMO (International Maritime Organization - 국제해사기구) 산하의 MEPC (Maritime Environmental Protection Committee - 해양환경 보호위원회)에서 1997년 제정된 MARPOL 73/78 부속서Ⅶ (국제오염방지협약 73/78, 부속서Ⅶ, 선박으로부터 대기오염방지를 위한 규정)이 2005년 5월에 발효되어, 선박용 디젤기관의 배기배출물 중에서 질소산화물 (NOx) 및 황산화물 (SOx)에 대한 국제적 규제가 실시됨에 따라 세계 10위권의 해운국이며 세계 1-2권의 조선국인 우리나라는 IMO기준의 수용이 불가피하게 되었고, 그 규제기준을 충족하기 위한 연구와 기술개발이 진행되고 있다.

일반적으로 선박기관의 배기가스를 통하여 배출되는 오염물질은 질소산화물 (NOx), 황산화물 (SOx), 미연탄화수소 (HC), 일산화탄소 (CO) 및 매연 (Soot) 등이 있으며, 특히 IMO 규제의 초점이 되고 있는 선박용 디젤기관에서 배출되는 NOx의 총량은 우리나라 전체 배출량의 18.6% 정도이며 그 중 어선이 전체 선박 배출량의 약 61.6%를 차지하고 있다고 보고된 적이 있다 (Kim et al., 2000). 그러므로 어선에서 배출되는 NOx가 연안 대기오염의 주원인이 된다고 생각되며 그 대응책이 요구된다.

그리고 최근 국제유가의 상승으로 인한 연·근해어선들의 연료비 부담이 증가하여 현재 어선에 사용되고 있는 값 비싼 경유 (MGO) 대신에 값이 보다 저렴한 경질중유 (bunker-A, MF30)의 사용을 검토하고 있으며, 실제 중형·중속기관을 탑재한 어선에 적용하여 시험한 결과가 IMO에서 규제하는 국제기준치를 만족한다고 보고되고 있다 (Kang et al, 2006; Nam et al., 2007). 그러나 선박용 연료유 성상에 따른 배기배출물에 관한 연구가 기관의 출력과 회전수의 다양한 범위에서 진행되어야 하며, 특히 어선의 경우는 어로조건에 따라 기관부하의 변동이 심하므로

연근해 어선의 주종을 이루고 있는 소형 선박용 디젤기관의 기관성능, 연소특성 및 배기배출물 특성에 관한 연구가 필요하다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 IMO의 NOx 기술적 코드 (IMO, 2008)에서 제시된 운전조건과 방법에 따라 소형 어선용 디젤기관을 대상으로 연료유 성상, 흡입공기압력, 연료유온도가 기관성능 및 배기가스 배출특성에 미치는 영향을 조사하여 소형 어선용 디젤기관의 경질중유 사용 가능성을 검토함과 더불어 향후 국내·외의 대기오염 규제기준을 만족시킬 수 있는 어선용 디젤기관의 개발방향을 제시하는 기초자료를 제공하고 자 한다.

## 실험장치 및 방법

Fig. 1은 본 실험에 사용된 장치의 개략도를 나타낸 것으로, 그 주요부분은 실험기관, 전기동력계, 데이터수집장치, 배기가스분석기, 연료유공급시스템 및 흡입공기시스템 등으로 구성되어 있다. 실험에 사용된 기관은 직접분사식 4행정 자연흡기 수냉식 디젤기관으로 Table 1에 기관

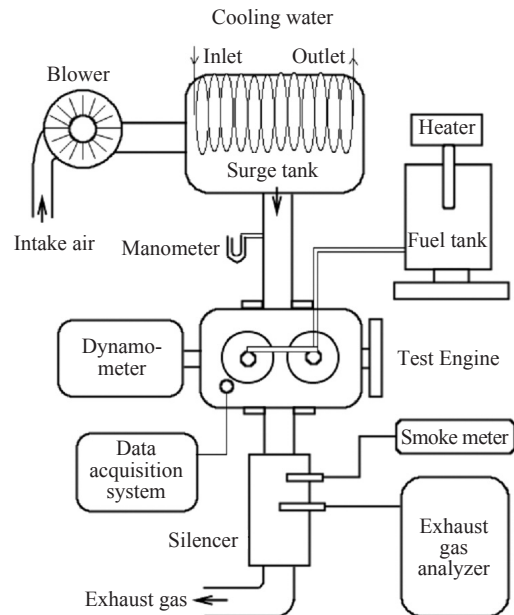


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

**Table 1. Engine specification**

Description	Specification
Model	KWANG YANG YANMAR 2TD
Engine type	Water-cooled 4stroke diesel engine
Number of cylinder	2
Piston displacement	1806cc
Bore × Stroke	100mm × 115mm
Rated output	19.1kW
Compression ratio	17 : 1

**Table 2. Specifications of exhaust gas engine analyzer**

Meas. item	Instrument type	Meas.range
NOx	EMIRAK III - 466 (CLD)	0 - 5000ppm
CO	EMIRAK III - 411 (NDIR)	0 - 1000ppm
CO <sub>2</sub>	EMIRAK III - 401 (NDIR)	0 - 20%
O <sub>2</sub>	EMIRAK III - 360 (ZRDO)	0 - 25%
THC	EMIRAK III - 546 (FID)	0 - 5000ppm

사양을 나타내었으며, 사용된 배기가스분석기의 주요사양은 Table 2에 나타내었다.

IMO의 NO<sub>x</sub> 기술적 코드는 프로펠러 법칙 (Nagatanigawa, 1999)을 따르는 주기관의 시험운전모드로서 E3 모드를 제시하고 있으므로, E3 모드에 맞게 실험시의 기관운전조건을 설정하였으며 Table 3은 실험기관의 회전수와 출력 및 배기가스 배출률 계산시의 가중계수 (weighting factor)를 나타낸다. 실험에 사용한 연료유는 경유와 A중유로서 Table 4는 연료유들의 주요 물리적 특성을 나타낸다. 실험시의 냉각수 출구온도는  $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , 흡기매니폴드에서의 흡입공기압력은 송풍기를 이용하여 표준대기압 (1.013bar) 과 표준대기압 + 0.1bar로 각각 유지하였으며, 그때의 흡입공기온도는 공기냉각기를 이용하여  $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였다. 연료유온도는 부하에 따라 약간의 차이는 있었으나 연료유 미가열시 기관입구에서  $42 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , A중유의 경우 연료유 가열시 기관입구에서의 온도는  $58 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였다. 한편 연료유 가열시의 흡입공기온도는  $40 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 로 미가열시에 비해  $10^{\circ}\text{C}$  정도 높게 유지되었다.

**Table 3. Experimental conditions of the engine**

Load (%)	25	50	75	100
RPM	1323	1680	1911	2100
Torque (N · m)	34.5	54.3	71.6	86.9
Output (kW)	4.7	9.5	14.3	19.1
Weighting factor	0.15	0.15	0.5	0.2

**Table 4. Properties of tested fuels**

Property (B/A)	units	Diesel oil	Heavy oil (B/A)
Specific gravity @15° C		0.8356	0.9121
Viscosity @50° C	mm <sup>2</sup> /s	2.7	4.9
LHV	kJ/kg	43.0	39.2
Hydrogen	mass%	13.6	10.9
Carbon	mass%	86.2	86.1
Nitrogen	mass%	-	0.4

배기가스 중의 각 성분에 대한 가스농도는 EMIRAK III 배기가스분석기에서 1분마다 분석되어 컴퓨터에 저장되어지며, 10분간의 평균데이터를 이용하여 IMO의 NO<sub>x</sub> 기술적 코드에서 제시한 보정과 환산방법에 의해 배기배출률 (g/kWh)을 계산하였다. 연료소비량은 뷰렛 내의 연료가 100CC 소모되는 시간을 측정하여 계산하였으며, 연소실 내의 압력은 크랭크각  $1^{\circ}$  마다 1사이클에 720개의 데이터를 연속 5사이클씩 5회 수집하여 그 평균치를 나타내었다.

### 실험결과 및 고찰

#### 기관 성능특성

Fig. 2는 경유 (DO), A중유 (BA) 및 가열된 A중유 (BAH)를 연료유로 하여 부하에 따른 연소최고압력을 나타낸 것이다. 그림에서 보면, 저부하 (약 25%부하)에서는 경유가 높게 나타났으며 고부하영역 (약 75 - 100%부하)에서는 경유에 비해 A중유 및 가열된 A중유에 있어서 연소최고압력이 높게 나타났다. 그리고 흡입공기압력을 표준대기압보다 0.1bar 상승시켜 운전하였을 때에는, 저부하시의 가열된 A중유를 제외하고는 모든 부하에서 연소최고압력이 6 - 7bar 정도

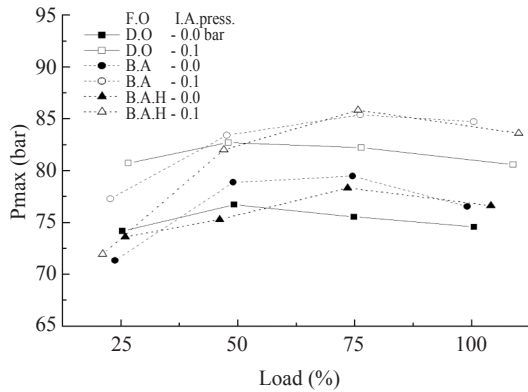


Fig. 2. Maximum pressure versus load for each condition.

상승함을 알 수 있었다. 연소최고압력은 착화지 연기간과 그 기간 중에 형성된 가연혼합기량, 연소속도 및 연소최고압력의 위치 등에 의해 복합적인 영향을 받으므로, 연료유의 착화성과 분사시점에서의 실린더내의 압력과 온도 및 와류 등이 중요한 변수로 작용한다고 알려져 있다 (Borman, 1998).

Fig. 3은 에너지소비율 (BSEC)을 나타낸 것이다. 고부하영역에서는 경유에 비해 A중유가 에너지소비율이 낮았으며, 흡입공기압력을 상승시켰을 경우에도 에너지 소비율이 감소하였다. A중유와 가열된 A중유의 에너지소비율을 비교해 보면 가열하지 않은 A중유의 에너지소비율이 약간 낮음을 알 수 있었다. 중부하(약 50%부하)에서는 연료유, 흡입공기압력 및 연료유 가열에 따른 에너지소비율의 변화가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 그러나 저부하에서는 경유가 가장 낮았으며, 흡입공기압력 0.1bar하에서 가열된 A중유의 경우가 에너지 소비율이 가장 높았다. 고부하영역에서 A중유의 에너지소비율이 감소하는 것은 경유에 비해 중유의 착화지연기간이 길어 예혼합연소량이 증가하여 연소초기에 열 발생률이 높아 유효일이 증가하기 때문이며, 흡입공기압력 상승으로 인해 에너지소비율이 감소하는 것은 공기과잉률이 증가하여 연소효율을 개선시키기 때문이라 생각된다. 한편 저부하

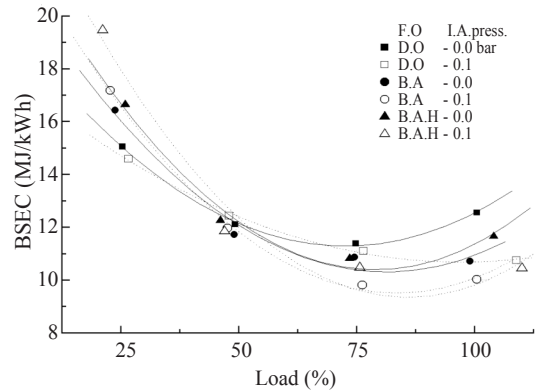


Fig. 3. Energy consumption rate versus load for each condition.

에서 착화성이 낮은 A중유는 연소온도가 낮고 공기과잉률이 큰 희박공연비하에서 경유에 비해 보다 많은 불완전연소를 일으키기 때문이라 생각된다.

#### 배기가스 배출특성

Fig. 4는 경유와 A중유에 있어서 질소산화물 (NOx)의 배출률을 나타낸 것이다. 부하가 증가함에 따라 NOx의 배출률이 급격히 감소하였으며, A중유를 사용하였을 경우 고부하영역에서 배출률이 경유에 비해 약 10-25% 증가함을 나타내고 있다. 또한 흡입공기압력을 표준대기압보다 0.1bar 상승시켰을 경우 고부하영역에서는 10-25% 정도 NOx의 배출률이 높게 나타났으며, 중부하에서는 약간 상승함을 알 수 있었다. 그러나 저부하에서는 연료유의 종류와 흡입공기압력 상승에 따른 일관성 있는 변화가 나타나지 않았다.

NOx는 연소가스의 온도가 높고 고온의 시간이 길수록 많이 발생되며 예혼합연소기간 중에 주로 형성되는 것으로 알려져 있다 (Lilly, 1984). 동일한 운전조건에서 NOx가 많이 발생하면 양호한 연소상태로 판단하며, NOx의 발생을 억제하면 기관출력과 매연 및 미연탄화수소의 발생을 증가시키므로 그 대책이 곤란하다. 따라서 경

유에 비해 A중유는 세탄가가 낮아 착화지연이 길어지고 그 결과 예혼합연소기간 중에 열발생률이 높아 NOx의 배출률이 높아진다고 생각된다. 그리고 흡입공기압력을 상승시켰을 경우에는 공기과잉률의 증가로 인해 연소효율이 좋게 되어 NOx의 배출률이 증가되는 것이라 생각된다. 한편 저부하에서의 배출농도는 고부하영역에 비해 낮으나 상대적으로 기관의 출력이 낮으

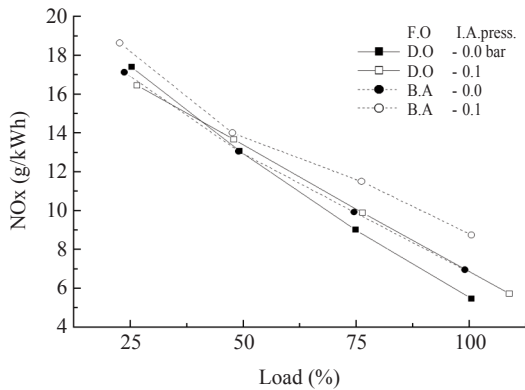


Fig. 4. NOx emissions versus load for each condition.

므로 인해 배출률이 높게 나타나는 것이다.

Fig. 5는 국제해사기구의 해양오염방지협약 부속서 VI에 제시된 130kW 이상의 선박용 디젤 기관의 정격 회전수에 따른 NOx의 배출규제 기준선과 본 실험의 각 부하에 해당하는 기관회전수에서 구한 경유와 A중유의 NOx 배출률과 그 값에 Table 3에 제시된 가중계수를 적용해 구한 가중평균 NOx 배출률 (weighted average NOx emission rate)을 나타낸 것이다. 아직은 130kW 미만의 선박용 디젤기관에 대한 NOx 배출기준이 없고 그 규제도 실시되고 있지 않지만, 본 실험의 결과에 이 기준을 적용해 보면 정격회전수 (2100rpm)에서는 본 실험결과들이 IMO의 NOx 규제치를 만족하고 있다. 그러나 정격회전수에서의 가중평균 NOx 배출률은 모두 그 규제치를 약간 상회함을 알 수 있었다.

Fig. 6은 일산화탄소 (CO)의 배출률을 나타낸 것으로, 경유는 부하가 증가함에 따라 배출률도 증가하였으며 흡입공기압력이 낮았을 때 더욱 높게 나타났다. A중유의 경우 저부하에서 CO

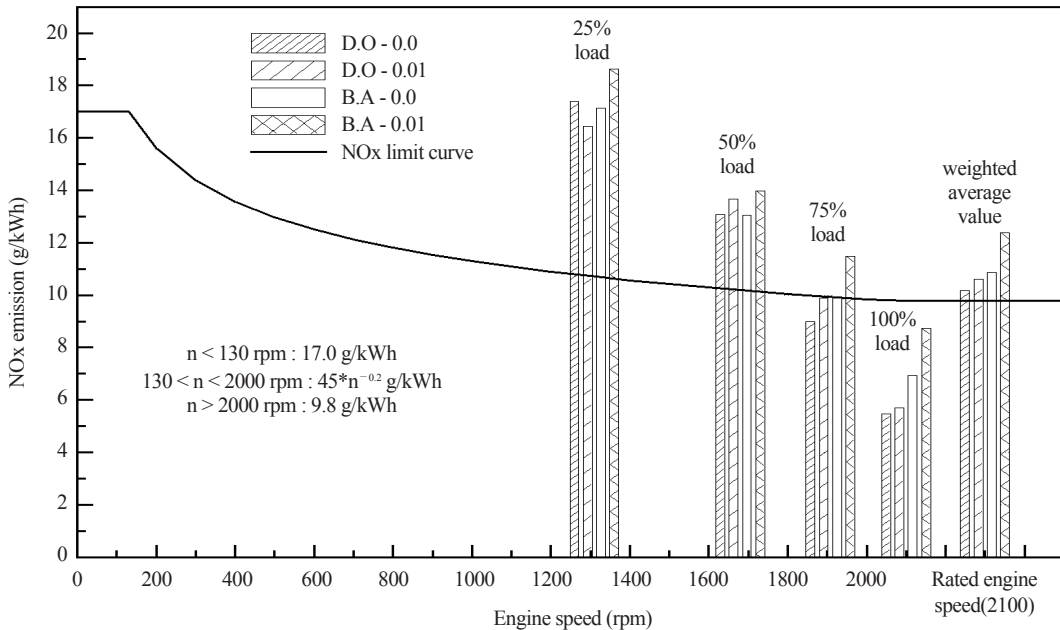


Fig. 5. The IMO NOx emission regulation limits and NOx emissions for each condition.

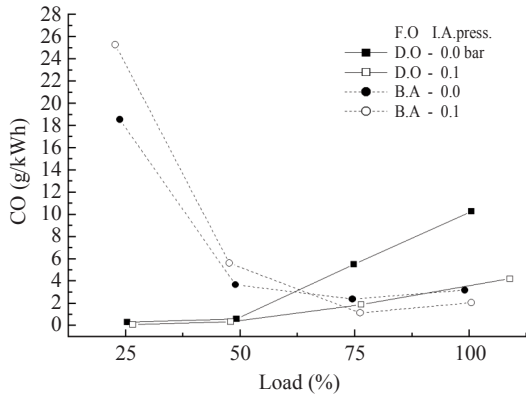


Fig. 6. CO emissions versus load for each condition.

배출률이 아주 높았고 흡입공기압력이 높을 때 그 배출률이 더 높게 나타났으며, 고부하영역에서는 경유보다 CO 배출률이 낮았고 흡입공기압력이 높을 때 그 배출률이 약간 낮게 나타났다. 디젤기관에서 CO 발생량은 공기과잉률, 연소온도 및 연소실내의 연료와 공기의 분포 등과 관계가 있으며, 특히 연소온도가 낮은 상태에서 연료가 많고 공기가 부족한 영역에서 많이 발생한다고 알려져 있다 (Woo et al, 2000). 경유는 착화성이 좋아 저부하의 낮은 연소실온도에서도 연소효율이 높고, 반면에 고부하영역에서는 착화 지연이 짧아지고 예혼합연소기간 중에 A중유에 비해 열발생률이 낮으며 따라서 혼합제어연소기간 중에 연소되는 연료량이 많아 국부적으로 과농축의 연료가 연소하면서 산소부족으로 인한 CO 배출률이 높아진다고 생각된다. 그러나 흡입공기압력이 증가함으로 인해 배출률이 현저히 감소함을 알 수 있었다. A중유의 경우 저부하에서 공기과잉률이 높고 연소실온도가 낮은 상태에서 국부적으로 희박측의 연료가 연소에 의해 열해리되고 팽창과정에서 산화되지 못한 채 배기가스로 배출되므로 CO의 배출률이 높아지고, 흡입공기압력을 상승시켰을 경우 그 영향이 더 큰 것으로 생각된다. 그리고 고부하영역에서는 공기과잉률은 낮으나 예혼합연소기간 중의 열발생률이 높아 연소온도가 높고 기관의 회

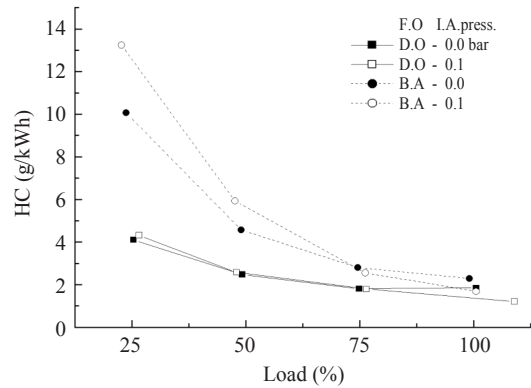


Fig. 7. HC emissions versus load for each condition.

전수가 높아 적절한 공기유동으로 인해 국부적 과농영역이 줄어들어 연소효율이 증가하고, 흡입공기압력을 높이면 그 효과가 더 커지며, 또한 발생된 CO가 팽창과정 중에 산화되기 때문이라 생각된다.

Fig. 7은 미연탄화수소 (HC)의 배출률을 나타낸 것으로, 저부하의 표준대기압하에서 A중유의 HC 배출률이 경유에 비해 약 2.5배 높게 나타났으며 흡입공기압력이 0.1bar 높을 때는 약 3.25배 이상 높았다. 그러나 부하가 증가함에 따라 배출률이 급격히 낮아졌다. 고부하영역에서는 A중유가 경유에 비해 배출률이 약간 높았으며, 흡입공기압력을 높였을 때 배출률이 약간 낮게 나타났다. HC는 연소실내에 분사된 연료가 연소온도의 저하에 의해 연소반응을 못하고 그대로 배출되는 것으로, HC의 생성기구는 분무의 입경과 관통, 연소실 벽면온도 및 흡입공기온도와 밀접한 관계를 가지고 있다 (Heywood, 1988). 따라서 착화성이 낮은 A중유는 공기과잉률이 높고 연소실 온도가 낮은 저부하의 조건하에서 분사되어 미처 착화하지 못한 분무가 연소실 벽면 주변에서 희박혼합기 상태로 존재하다 연소치 못하고 그대로 배출되며, 흡입공기압력을 높였을 경우 공기과잉률의 증가와 공기유동으로 인한 연소실의 냉각으로 인해 HC가 더 증가하는 것이라 생각된다. 고부하영역에서 경유에 비



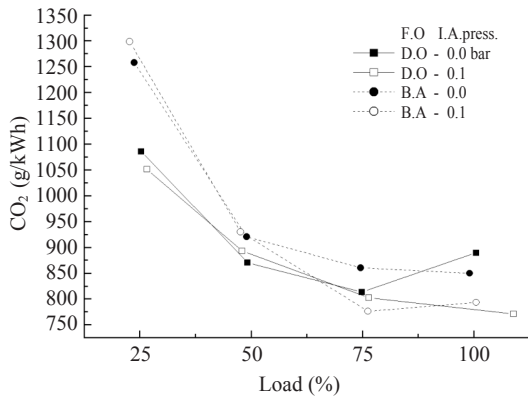


Fig. 8. CO<sub>2</sub> emissions versus load for each conditions.

해 A중유의 배출률이 높은 것은 연료유의 점도에 따른 무화상태와 관통에 기인한 것으로, 공기과잉률이 낮은 상태에서 국소적 과농축의 미처 증발하지 못한 분무액적들과 연소실 벽면 주위의 직경이 큰 분무액적들이 연소반응을 하지 못한 채 그대로 배출되기 때문이라 생각된다. 그리고 흡입공기압력이 상승함에 따라 공기과잉률이 높아지고 그에 따라 국소적 과농축이 해소되어 연소효율이 증가하기 때문에 HC의 배출률이 다소 낮아진다고 생각된다.

Fig. 8은 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>)의 배출률을 나타낸다. CO<sub>2</sub>의 배출은 연소된 연료량에 비례한다. 그리고 CO<sub>2</sub>의 배출량은 완전연소를 판단하는 기준으로 주어진 연료량에 대해 최대가 되어야 한다. 그러나 CO<sub>2</sub> 배출량이 최대라고 해서 운전중인 기관의 효율이 최대라고는 할 수 없으며, 연소과정에 있어서 열발생시기가 아주 중요하기 때문이다 (Lilly, 1984). 그러므로 동일한 연료량을 사용하여 출력당 시간당 CO<sub>2</sub> 배출량인 CO<sub>2</sub> 배출률 (g/kWh)이 낮을수록 기관의 효율이 높고 온실가스 감축에 효과적이라 할 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 저부하에서는 경유를 연료유로 사용했을 시 CO<sub>2</sub> 배출률이 낮았으며, 고부하영역에서는 A중유와 경유의 CO<sub>2</sub>의 배출률이 비슷하였으나 흡입압력을 상승시켰을 경우에 CO<sub>2</sub>의 배출률이 낮아짐을 알 수 있었다.

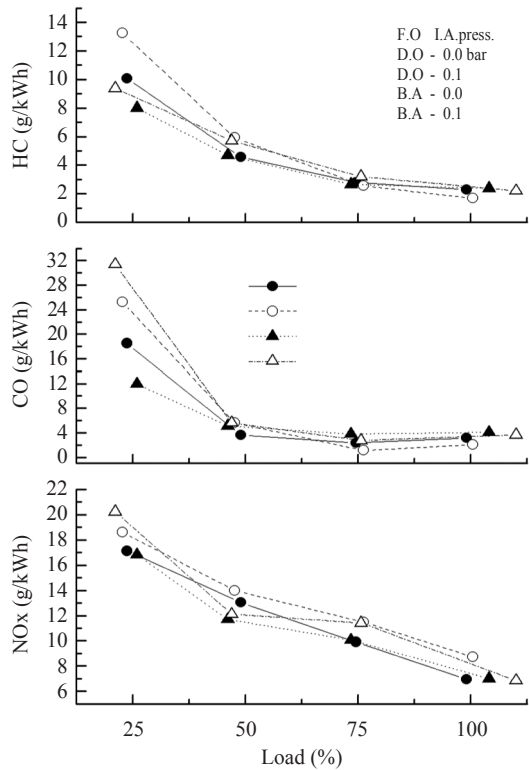


Fig. 9. Exhaust emissions versus load for F.O temp. and intake air press.

Fig. 9는 A중유의 연료유온도와 흡입공기압력 변화에 있어서 부하에 따른 NO<sub>x</sub>, CO 및 HC의 배출률을 나타내고 있다. 그림에서 보면 저부하에서 흡입공기압력 상승 및 연료유를 가열하여 운전하였을 경우, 다른 조건에 비해 NO<sub>x</sub> 및 CO의 배출률이 높았으며, 특히 CO의 배출률이 높게 나타났다. 또한 저부하의 표준대기압하에서 연료유온도를 가열하여 운전하였을 때 NO<sub>x</sub>, CO 및 HC의 배출률이 약간 낮게 나타났다. 고부하영역에서는 연료유온도에 따라 배출률의 변화가 뚜렷이 나타나지 않았으며, 흡입공기압력 상승 및 연료유를 가열하여 운전하였을 경우 NO<sub>x</sub>의 배출률이 약간 높아짐을 알 수 있었다. 따라서 Fig. 3의 에너지소비율과 함께 검토해 볼 때, 저부하에서는 흡입공기압력 상승보다는 A중유의 가열이 에너지소비율과 배기가스 배출

를 개선에 도움이 되었으며, 고부하영역에서는 흡입공기압력 상승이 에너지소비율과 배기가스 배출률을 감소시키는 결과를 나타내었다.

### 결 론

본 연구에서는 소형 어선용 디젤기관의 경질 중유 사용 가능성을 검토하기 위해서 경유와 A중유를 사용하여 IMO의 NOx 기술적 코드 (IMO, 2008)에서 제시된 운전조건과 방법에 따라 연소 실험을 행하고 흡입공기압력과 연료유온도 변화가 기관성능과 배기가스 배출특성에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 고부하영역에서는 A중유의 에너지소비율이 경유에 비해 낮게 나타났으며 배기가스 배출특성은 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 경유와 A중유의 사용에 따른 NOx의 배출률이 IMO 규제치를 만족하였다. 그리고 흡입공기압력을 상승시켰을 경우에 에너지소비율과 배기가스 배출특성이 개선되었으나, A중유 가열에 따른 에너지소비율 및 배기가스 배출특성의 개선효과가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 저부하에서는 A중유의 에너지소비율이 경유에 비해 높았으며 배기가스 중의 CO와 HC의 배출률도 A중유가 높았으나, NOx의 배출률은 A중유와 경유가 비슷했다. 그리고 A중유를 가열하였을 경우 배기가스 배출률이 약간 감소하였으나, 흡입공기압력과 연료유온도가 동시에 상승함에 따라 오히려 에너지소비율이 증가하고 CO의 배출률이 상승함을 알 수 있었다. 따라서 소형 어선용 디젤기관이 고부하영역에서 운전될 때 A중유를 연료유로 사용하는 것은 가능하지만, 저부하시에 A중유를 사용하기 위해서는 저온시의 연소효율을 개선할 수 있는 연구가 더 필요하다고 생각된다.

### 감사의 글

이 논문은 2009년도 전남대학교 연구년교수 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

### 참고문헌

Borman, G. L. and K. W. Ragland, 1998. Combustion Engineering. McGraw-Hill Book Company, New York, pp. 391 – 392.

Heywood, J. B., International combustion engine fundamental. McGraw-Hill Book Company, New York, pp. 620 – 625.

IMO, 2008, NOx technical code 2008, IMO MEPC 58/23/Add.1, ANNEX 14, pp.1 – 102.

IMO, 2008. Revised MARPOL annex VI. MEPC 58/23/Add.1 ANNEX 13, pp.16.

Kang, D. S. and J. G. Nam, 2006. A study on the Fuel Combustion of MF30 class blending oil and economical efficiency for diesel engine by the fuel. Proc. of the 2006 autumn conference on KSPSE, pp. 5 – 15.

Kim, D. S and M. D. Eom, 2000. Estimation of exhaust NOx emission from marine engines. Journal of Korea Society of Marine Engineers, 24 (3), 441 – 445.

Lilly, L. C. R., 1984. Diesel engine reference book. Butterworths and Co Ltd, London, pp. 18/8 – 18/10.

Nagatanigawa, S., 1999. Textbook of marine diesel engine. Sungsandang, Sowoen press, Tokyo, pp. 378 – 379.

Nam, J. G., D. C. Lee and D. S. Kang, 2007. A study on the emission characteristics of diesel engine by different fuel oils. Proc. of the 2007 first conference on KOSME, pp. 127 – 134.

Woo, S.K., K. S. Yoon and Y. H. Yoon, 2000. A study on the emission characteristics of NOx in medium speed diesel engine. Journal of Korea Society of Marine Engineers, 22 (4), pp. 526 – 534.

2010년 8월 31일 접수

2010년 10월 11일 1차 수정

2010년 10월 14일 수리