Check for updates

동력시스템공학회지 제26권 제3호 pp. 14-22 2022년 6월 ISSN 2713-8429(Print) ISSN 2713-8437(Online)
Journal of Power System Engineering https://doi.org/10.9726/kspse.2022.26.3.014
Vol. 26, No. 3, pp. 14-22, June 2022

바이오 디젤을 이용한 해상용 디젤엔진의 부하별 배기가스 특성 분석
Analysis of the Exhaust Gas Characteristics by Load of Marine Diesel Engine Using Bio Diesel

조광식* · 최용준* · 한승훈*†
Kwang-Sik Jo*, Yong-Jun Choi* and Seung-Hun Han*†

(Received 18 March 2022, Revision received 16 June 2022, Accepted 16 June 2022)

Abstract : Recently, the global weather change phenomenon is appearing as abnormal climate changes all over the world. These changes in global temperature are reported by researchers as the effect of global warming. Such weather changes will occur frequently and continue to occur in countries around the world, including Korea, so national policy support is needed. In addition, international cooperation is actively needed although there are differences in policy depending on the interests of each country; and cooperation must be strengthened to avoid disaster caused by ecological destruction. Globally, low-carbon, green growth is being promoted against climate change in accordance with the carbon tax agreement. Bio fuels that can be used directly for transportation are also being researched in Korea, but it is reported that they are being used more abroad. Bio fuel is a renewable resource such as vegetable oil or animal fat, which is environmentally beneficial, decomposes safely by microorganisms, is reproducible, and has less air pollution than fossil fuels. Various studies are being attempted on the use of bio fuel because it can be applied to the existing system without modification or modification of the existing diesel engine, has fewer pollutants, and can be produced anywhere in the world. Unlike many bio diesel fuel (BDF) studies on automobile engines or on land, there are relatively few studies on bio diesel fuel for marine engines. This study uses marine gas oil (MGO), bio diesel fuel, and pure bio fuel for marine diesel engines used in ships in actual operation according to fuel type and load. The purpose is to measure the exhaust gas and air pollutants emitted during operation in real time to operate the engine efficiently and eco-friendly with the optimum engine load and fuel oil mixing ratio.

Key Words : Exhaust gas, Nitrogen oxide (NOx), Carbon dioxide (CO_2), Carbon monoxide (CO), Bio diesel fuel (BDF)

*† 한승훈(ORCID:https://orcid.org/0000-002-9125-7439) : 교수, 경상국립대학교 기계시스템공학과
E-mail : shhan@gnu.ac.kr, Tel : 055-772-9150
*조광식(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-7118-325X) : 대학원생, 경상국립대학교 기계시스템공학과
*최용준(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-5947-4516) : 대학원생, 경상국립대학교 기계시스템공학과

*† Seung-Hun Han(ORCID:https://orcid.org/0000-002-9125-7439) : Professor, Department of Mechanical System Engineering, Gyeongsang National University.
E-mail : shhan@gnu.ac.kr, Tel : 055-772-9150
*Kwang-Sik Jo(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-7118-325X) : Graduate studeant, Department of Mechanical System Engineering, Gyeongsang National University.
*yong-Jun Choi(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-5947-4516) : Graduate studeant, Department of Mechanical System Engineering, Gyeongsang National University.

1. 서 론

최근 지구의 날씨 변화 현상이 세계 곳곳에서 이상 기후변화로 나타나고 있다. 지구촌의 이러한 온도변화는 온난화에 의한 영향이라고 연구자들에 의해 보고되어지고 있다. 우리나라 또한 이런 기상이변이 자주 발생하고 지속적으로 발생하리라 예상되기 때문에 국가적인 정책지원이 필요한 실정이다. 또한 세계 각국의 이익에 따라 정책적으로 차이는 있지만, 생태계 파괴에 따른 재앙을 피하고자 국제협력이 적극적으로 필요하고 협력이 강화 되어져야만 한다.[1] 전 세계적으로 탄소 협약에 따라 기후 변화[2,3]에 대한 저탄소 녹색성장을 추진하고 있으며, 탄소 배출권 제도를 통해서 국제사회 협력을 위한 적극적인 활동이 이루어지고 있다.

항만시설에서도 배출가스 연구[4]에 의해서 육상전원 공급설비(Alternative Maritime Power) 등이 단계적으로 도입되고 있다. 최근에 풍력 발전이[5] 자연에서 만들 수 있는 에너지로 성장하고 있으며, 또한 태양광 발전[6]이 우리 생활 주변에 많이 설치되고 있다. 그리고 운송 수단에 직접적인 사용이 가능한 바이오 연료(Bio Fuel)[7,8]도 국내에서 연구하고 있지만, 국외에서 더 많은 활용을 하고 있다고 보고 되어지고 있다.[9]

바이오 연료의 성분은 메탄올이나 에탄올과 같은 알코올에 자연 오일이나 지방을 화학적으로 결합하여 만든 대체 연료이다. 바이오 연료는 식물성 오일이나 동물성 지방과 같은 재생 가능한 자원으로서 환경적으로 유익하고 미생물은 안전하게 분해하며 재생성이 좋고, 화석연료보다 대기오염이 적은 것이 특징이다. 또한 바이오 연료는 물리적·화학적 성질이 유사하여 경유를 대체 또는 혼합하여 디젤기관 연료유 계통에 별다른 수정 없이도 사용할 수 있다.[10]

바이오 연료 사용은 기존 디젤기관의 개조나 수정과정 없이 기존시스템에 적용 가능하다는 점과 공해물질이 적으며, 전 세계 어느 곳에서든지 생산이 가능하다는 장점 때문에 다양한 연구가 시도되어지고 있다. 바이오 연료는 경유와 성상이 비슷하며, 경유에 비해 발열량이 적고, 탄소 함유량이 적은 반면에 연료 자체에 산소를 함유한 특징이 있다. 그러나 바이오 연료의 점도가 경유보다 높기 때문에 일반적으로 경유와 바이오 연료를 혼합하여 사용하는 방법을 택하고 있으며, 국내에서도 바이오 연료와 경유를 혼합한 바이오 디젤유(Bio Diesel Fuel, BDF)를 시판하고 있다. 현재 국내에서 시판되고 있는 바이오 디젤유는 경유와의 혼합비율이 너무 낮으며, 연료의 가격도 비싼 편이다.[11] 자동차 엔진 또는 육상에서의 많은 바이오 디젤 연료 연구와는 다르게 해상용 엔진의 실증에 대한 바이오 디젤유의 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 연구는 실제 운항 중인 선박에서 사용 중인 해상용 디젤기관에 마린 경유(Marine Gas Oil, MGO), 바이오 디젤유, 바이오 연료를 이용하여 연료 유종 및 부하에 따른 운전 중 배출하는 배기가스의 대기 오염물질을 실시간으로 측정하여 최적의 엔진 부하 및 연료유의 혼합비에 따른 엔진을 효율적이고 친환경적으로 운영하고자 하는 데 목적이다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

본 실험에 사용된 엔진은 YANMAR 6HAL2-DTN 직접 분사식 4행정 디젤엔진(Vertical 4 Cycle Diesel Engine)으로 많은 중·소형 선박의 발전기관으로 채택되어 운전되고 있으며, 현재까지 엔진의 총 운전시간은 6,128시간이다.

Table 1은 대상 엔진에 대한 제원을 나타낸다. Fig. 1은 실험 엔진(Test Engine)을 나타내며 연료 공급 펌프 흡입 측에 3-방향 밸브(3-Way Valve)를 부착하여 엔진에 공급되는 연료를 변경하였다. Fig. 2는 실험 장치의 계통도를 나타낸다.

Table 2는 대상 엔진의 최초 건조 시 실시한 배출가스 인증 시험 조건을 나타낸다. 배출가스 인증 시험 모드는 대상 엔진의 일정 속도에서 측정한 D2 모드를 사용하였으며, 기관의 최대출력 조건인 200 KW, 기관회전수 1,200 rpm을 기준으로

인증 시험을 시행하였고 시험 연료는 중유(Heavy Fuel Oil, HFO)를 사용하였다.

Table 1 Specification of Test Engine

Engine Manufacturer	Yanmar Diesel Co., Ltd
Engine Model	6HAL2-DTN
Date of Engine Build	February, 2001
Serial Number	1708
Engine Type	Vertical Single Acting 4 - Cycle Diesel Engine
Number of Cylinder	6
Cylinder Bore×Stroke (mm)	130×165
Total Stroke Volume (ℓ)	13.14
Mean Piston Speed (m/s)	6.60
Rated Output (PS)	(271)
Rated Revolution min^{-1}	1200
Mean Effective Pressure (kgf/㎠)	(15.47)
Dry Mass(Approx.)(kg)	1420
Fuel Oil	Marine Diesel Oil
Firing Order	1-4-2-6-3-5-1

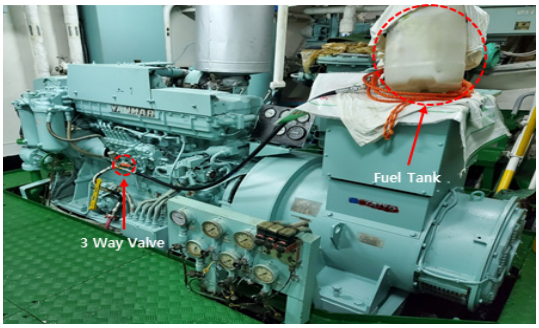

Fig. 1 Photo of Test Engine

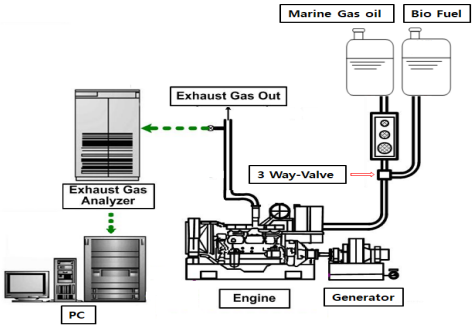

Fig. 2 Schematic Diagram of Test Engine

Table 2 Test Condition of Exhaust Gas Emission of Test Engine

Engine test cycle	D2
Rated speed (rpm)	1200
Rated power (kW)	200
D2 mode (g/kWh)	9.49
Fuel type	Heavy Fuel Oil (0.865 @ 20℃)

Table 3 Result of Exhaust Gas Emission Test on Technical File

D2 Mode	1	2	3	4	5
Power (%)	100	75	50	25	10
Speed (%)	100	100	100	100	100
Fuel flow rate (kg/h)	40.9	31.2	21.1	12.0	6.6
Air flow rate (kg/h)	1128.1	922.4	711.1	544.4	471.4
Exhaust gas flow rate (kg/h)	1177.3	960.3	737.2	559.2	476.9
Exhaust gas temperature (℃)	456.3	419.8	368.3	285.7	198.7
concentration, dry (ppm)	1184.20	1144.35	940.13	491.84	247.77
CO concentration, dry (ppm)	50.02	50.02	50.02	122.52	231.31
CO_2 concentration, dry (%)	7.80	7.25	6.33	4.68	2.95
emission value (g/kWh)	9.49				

Table 3은 엔진 제조사에서 제공한 Technical File 상의 배출가스 인증 시험 결과이다. 질소산화물(NOx) 배출값이 9.49 g/kWh로 대상 엔진 건조 당시의 질소산화물 배출기준인 10.9 g/kWh 이하로 만족하는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 배출가스 내 CO, CO_2를 측정하기 위해 비접촉식으로 측정 정확성이 높고 수명이 길어 가장 우수한 가스 검지 방식으로 평가되고 있는 적외선 스펙트럼을 이용한 비분산적외선 분석법(Non-Dispersive Infrared Gas Analysis Method)을 적용하였으며, 질소산화물 측정을 위해 전자센서를 이용한 전자화학 센서법(Electrochemical

Table 4 Specifications of Exhaust Gas Analyzer

Measure-ment gas	Method measure-ment	Range	Resolu-tion	Accuracy
CO	NDIR	0...3,000 ppm	1 ppm	±0.03 ppm or ±3% reading
CO_2	NDIR	0...40%	0.01%	±0.5% or ±3% reading
NOx	EcSM	0...3000 ppm	1 ppm	±0.5% or ±3% reading

Sensor Method, EcSM)을 사용하였다. Table 4는 고농도 가스 분석용인 MRU사 Vario Plus의 주요 제원이다.

2.2 실험 장치의 연료

Table 5 Properties of Marine Gas Oil

Specification	Net Calorific Value	42.8 MJ/kg
	Density g/cm³ @ 15℃	0.822-0.834
	Acidity Total mgKOH/g	0.40 Max
	Ash mass wt%	0.02 Max
	Romsbottom Carbon, 10% residue mass% wt%	0.15 Max
	CAL. Cetane Index(D4737)	48.0 Min
	Viscos. Kin, @40℃ mm²/S	1.9-5.5
	Flash Poin℃	45-67
	Sulfur wt (ppm)	3.6-6

Table 6 Properties of Bio Fuel

Specification	Net Calorific Value MJ/kg	37.2
	Density g/cm³ @ 15℃ g/cm³	0.92
	Acidity Total mgKOH/g	15.0
	Ash mass wt%	0.10 Max
	Ash Content ppm	460
	Nitrogen ppm	500
	Viscos. Kin, @50℃ mm²/S	26.89
	Flash Poin℃	132.0
	Sulfur wt ppm	260

Table 5와 6은 실험에 사용된 마린 경유 및 바이오 연료의 특성을 나타낸다.

2.3 실험 방법

본 연구에서는 실험 엔진의 기관 회전속도 1,200 rpm에 대하여 부하 10%(20 kW), 25%(50 kW), 50%(100 kW)의 3가지 부하에서 경유와 바이오 연료의 혼합비율인 경유 100%와 바이오 연료(0%)는 B0, 경유(80%)와 바이오 연료(20%)는 B20, 경유(50%)와 바이오 연료(50%)는 B50, 바이오 연료(100%)는 B100의 4가지 유종의 조건으로 총 12 mode를 설정하였고, 경유와 바이오 연료의 혼합은 교반기(Mixer)를 이용한 균질한 연료를 사용하여 배출되는 배기가스를 측정하였다.

Fig. 3은 기관실 통합 제어 시스템을 나타낸다. 운전 중인 실험 엔진(Test Engine)의 상태는 통합 제어 시스템을 통해 실시간으로 확인하였다.

Fig. 4는 실험 엔진의 배전반을 나타낸다. 배전반에서 나타내는 부하를 확인한 후 엔진에 출력을 조정하였다.

Fig. 3 Integrated Engine Control System

Fig. 4 Load of Test Engine

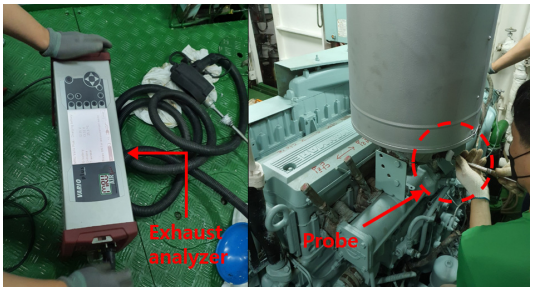

Fig. 5 Configuration of Exhaust Gas Measurement Equipment for Test Engine

Fig. 5는 배기가스 실험 장치와 실험 엔진의 배기가스 측정을 나타낸다. 배기가스 측정을 위해 샘플링 프로브(Probe)를 실험 엔진의 배기 매니폴드 후단에 설치하였으며, 프로브가 고온에 계속 방치되는 것을 막고자 배기관에 넣고 빼고를 반복하면서 측정하였다.

실험 엔진에 사용된 연료유 변경은 3단 밸브를 이용하였으며, 연료탱크의 눈금을 확인하고, 연료유 질량을 측정하여 연료유 변경이 확실하게 이루어진 것을 확인하였다.

설정한 12 mode에 대해 10분씩 총 120분 동안 배출가스를 측정하였으며, 엔진 출력을 유지하는 10분 중 기관의 운전이 안정화된 마지막 3분 동안의 데이터를 평균하여 해당 기관 출력조건의 배기가스 측정값으로 사용하였다.

Table 7 Operation Condition of Test Engine

	Power	Bio Fuel	Operation interval	Measurement duration
Unit	kW	%	min	min
mode 1	20	B0	10	3
mode 2	50	B0	10	3
mode 3	100	B0	10	3
mode 4	20	B20	10	3
mode 5	50	B20	10	3
mode 6	100	B20	10	3
mode 7	20	B50	10	3
mode 8	50	B50	10	3
mode 9	100	B50	10	3
mode 10	20	B100	10	3
mode 11	50	B100	10	3
mode 12	100	B100	10	3

연료유의 확실한 변경을 위해 각 mode 사이에 5분 동안의 간격을 두었다. Table 7은 이번 실험에서 설정한 실험 엔진의 12 mode를 나타낸다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 배기가스 측정 결과

Fig. 6은 대상 엔진의 건조 당시 NOx Technical File 상의 배기가스 특성을 나타낸다. 대상 엔진의 사용 유종은 중유이다. 부하가 증가할수록 질소산화물, 이산화탄소(CO_2)는 증가하는 경향을 보이고, 일산화탄소(CO)는 감소하였다.

대상 엔진의 출력 및 바이오 디젤 연료의 혼합비는 Table 7의 설정값을 잘 추종하였고, 실험 환경으로 기관실 온도와 압력은 각각 30℃와 1 bar로 배기가스 측정 기간 동안 일정하게 유지되었다.

1) NO_x (질소산화물)

Fig. 7은 부하에 따른 질소산화물 배출량을 나타낸다. B0 유종에서는 부하가 10%에서 25%로 증가하면서 질소산화물 배출량이 117% 증가하였고, 부하 25%에서 50%로 증가하면서 48% 증가하는 것을 알 수 있었다. 바이오 연료 첨가 비율 B0와 B100 두 유종을 서로 비교했을 때 질소산화물 배출량이 부하 10%에서는 배출량이 6% 증가, 부하 25%에서는 배출량이 13% 증가, 부하 50%에서는 배출량이 5% 증가하는 것을 알 수 있었다. 이

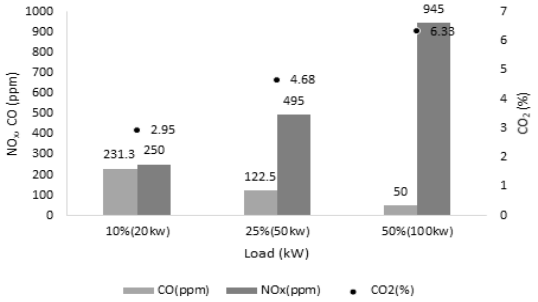

Fig. 6 Characteristics of Exhaust Gas of NOx Technical File

러한 결과는 바이오 연료 첨가율에 따른 증가율보다 부하를 높이는 것이 질소산화물 배출량이 큰 폭으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 원인은 바이오 연료의 산소함유량이 높기 때문에 착화지연이 길어져 착화 직후의 열 발생량이 증가하여 연료 중의 산소량과 함께 질소산화물 발생량이 소폭 증가함을 알 수 있으며, 부하의 증가에 따라 실린더 내의 연소온도가 상승하면서 질소산화물이 큰 폭으로 증가한 것으로 판단된다.

질소산화물의 특성은 흡입 공기와 연료가 혼합고온 반응하여 생성하는데, 저부하보다 고부하 상태에서 연료의 분사량이 많아져 실린더 내 화염 평균온도가 상승함에 따라 질소산화물 발생이 촉진되어진다. 또한 바이오 연료 비율 증가로 질소산화물이 약간 증가하는 것은 연소 촉진으로 연소실 온도증가로 이루어져 있기 때문이라고 판단된다.

엔진 건조 시의 배기가스 측정 데이터와 바이오 디젤 함유량에 의한 측정된 배기가스 데이터를 질소산화물 배출량 기준으로 비교해 보면, B0 유종에서는 부하 10%에서 질소산화물 배출량이 6% 증가되었고, 부하 25%에서는 배출량이 14% 증가하였다. B20 유종에서는 각각 21%, 12%, B50 유종에서는 15%, 23%, B100 유종에서는 11%, 24% 모두 증가하는 것을 알 수 있었다. 그러나 부하 50%에서는 B0, B20, B50, B100 모든 유종에 대해서 5~10% 정도 감소하는 것을 알 수 있었다. 이러한 이유로는 저부하에서 마린 경유가 상대적으로 중유보다는 연소가 활발하게 이루어져 연소실 온도 증가로 인한 영향으로 질소산화물 배출 증가로 이루어졌고, 50% 부하에서는 공기와 연료의 양호한 혼합상태에 따른 중유의 연소가 정상적으로 이루어져 연소실 온도가 상승한 것으로 짐작된다.

2) CO_2(이산화탄소)

Fig. 8은 부하에 따른 이산화탄소 실험 결과를 나타낸다. B0 유종에서 부하가 10%에서 25%로 증가하면서 이산화탄소 배출량이 54% 증가하였고, 부하 25%에서 50%로 증가하면서 30% 증가하는 것을 알 수 있었다. 바이오 연료 첨가 비율 B0와 B100 유종으로 비교했을 때 이산화탄소 배출량이 부하 10%에서는 배출량이 9% 증가, 부하 25%에서는 배출량이 13% 증가, 부하 50%에서는 배출량이 13% 증가로 유종에 따른 증가율보다는 부하 증가가 많은 영향을 미치며 연소하는 연료가 많을수록 배출되는 이산화탄소는 증가된다. 즉 이산화탄소는 모든 유종에서 부하가 증가하면서 많이 배출되었는데, 그 원인은 부하가 증가하면서 연료 소비량이 증가하였다고 판단된다.

Fig. 8에서 보면, 엔진 부하가 증가하고 바이오 연료 혼합률이 증가할수록 이산화탄소 배출량은 다소 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 바이오 연료 자체 내에 포함된 산소 성분의 증가로 인해 연소 후 배출량이 증가한 것으로 보이며, 특히 엔진 부하 10%에서 부하 25%로 증가할 때 이산화탄소 배출량이 다소 증가하였는데, 이는 저 부하에서보다 부하가 상승하면서 연소 활성화가 좋아져 배출량이 증가한 것으로 보여진다.

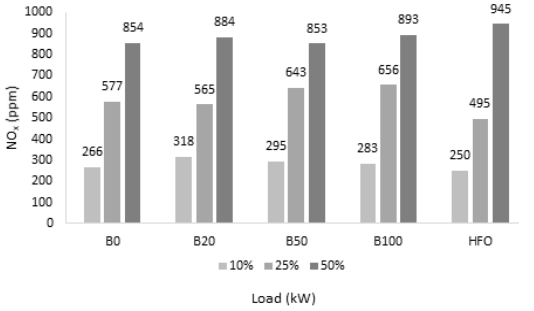

Fig. 7 Characteristics of NOx Emission

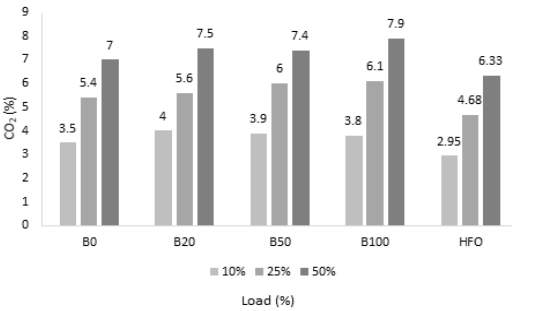

Fig. 8 Characteristics of CO_2 Emission

3) CO(일산화탄소)

Fig. 9는 일산화탄소 배출량을 나타낸다. B0 유종에서는 부하가 10%에서 25%로 증가하면서 일산화탄소 배출량이 31% 감소하였고, 부하 25%에서 50%로 증가하면서 135% 증가하는 것을 알 수 있었다. 바이오 연료 첨가 비율 B0와 B100 유종으로 비교했을 때 일산화탄소 배출량이 부하 10%에서는 배출량이 10% 감소, 부하 25%에서는 배출량이 9% 감소, 부하 50%에서는 배출량이 7% 감소하는 것을 알 수 있었다.

일산화탄소는 탄화수소계 연료의 불완전 연소로 인하여 연소의 중간단계에서 많이 생성되는 화합 물질로서, 압축 연소에서 생성되는 양은 공기 과잉률과 연소온도, 연소실 형성에 따른 연료와 공기의 균질성에 의한 종합적인 상호관계가 있다.[12] 일산화탄소 배출가스는 연소상태가 불완전한 연소상태로 인하여 생성되는데, 부하 10%에서 다소 증가하였고 부하 50%에서 급증하였는데, 이것은 산소가 연료에 비해 포화상태일지라도 부분적으로 확산연소가 좋지 않으므로 불완전 연소에 의한 연소실 온도가 낮아졌기 때문으로 판단된다. 또한 엔진 특성에 따른 차이는 있지만, 대상 엔진은 부하의 25%에서 일산화탄소 배출량이 최소로 되고 부하가 증가하면서 일산화탄소 배출량이 다시 증가하는 경향을 나타냈다.

또한 바이오 연료의 첨가 비율에 따른 일산화탄소 배출량은 B100 유종이 가장 낮은 일산화탄소 배출량을 보여 주고 부하가 증가할수록 일산화탄소 배출량은 많아짐을 알 수 있었다.

엔진 제작 시 배기가스 측정 데이터와 바이오 디젤 함유량에 의한 측정된 배기가스 데이터를 일산화탄소 배출량 기준으로 비교해 보면, 부하 10%에서 중유가 B0, B20, B50, B100 모든 유종에 대해서 29% 증가하였고, 부하 25%에서 1.5% 증가, 부하 50%에서는 470%로 크게 감소하는 것을 알 수 있었다. 이러한 원인은 저부하에서는 중유가 바이오 디젤보다 연소상태가 좋지 않음을 알 수 있었고, 부하 50%에서는 중유의 연소상태가 좋아져 일산화탄소 배출량이 현저하게 감소함을 알 수 있다.

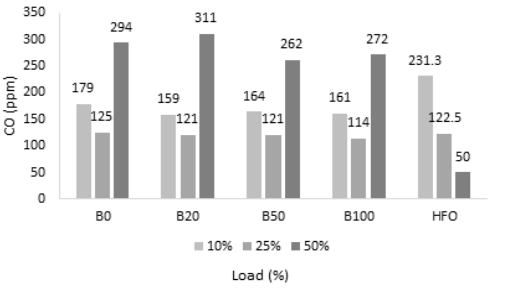

Fig. 9 Characteristics of CO Emission

3.2 배출량 계산

대상 엔진에서의 연료 소비량 및 흡기 유량, 배기 유량 등은 선박 배관 및 설치상의 문제로 인해 직접적인 측정이 이루어지지 못하였다. 대신 대상 엔진에서 측정한 배기 물질 농도를 단위 출력당 배출량으로 계산하기 위해 Table 3에 있는 엔진 제조사에서 제공한 엔진 공인시험 결과를 활용하여 얻은 출력에 따른 연료 소비량 추정치는 Fig. 10과 같다. Fig. 10의 연료 소모량 추정치를 바탕으로 IMO의 Technical Code에 나와 있는 탄소 평형법[13]을 활용하여 계산한 배기 유량 및 단위 출력당 유해 물질 배출량은 Table 8과 같다.

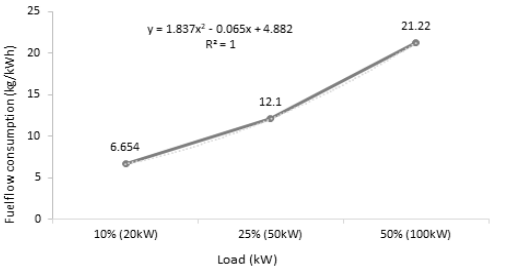

Fig 10. Result of Fuel Consumption and Approximation according to Engine Power

Table 8 Condition of Operation Test

	Unit	10% (20kW)	25% (50kW)	50% (100kW)
Fuel flow rate	kg/h	6.6	12	21.1
Exhaust gas flow rate	kg/h	477	559	737
NOx	g/kWh	7.96	7.83	8.29
CO	g/kWh	4.27	1.39	2.16
CO_2	%	3.5	5.4	7.0

4. 결 론

본 연구는 어업실습선 새바다호의 해상용 발전기를 이용하여 엔진의 배출가스 측정시험을 실시하였다. 대상 엔진의 부하별로 구성한 3가지, 유종 변화를 중심으로 구성한 4가지 총 실험군 12 mode로 질소산화물, 이산화탄소, 일산화탄소를 측정하였으며, 연료 소모량은 엔진 제조사 제공 데이터로부터, 배기 유량은 IMO Technical Code에 있는 탄소 평형법을 활용하여 추정·계산하였고, 연료 소모량에 대해서 오차율 1% 이내인 것을 확인하였다. 그 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 질소산화물 배출량은 9.49 g/kWh로 기관 건조당시의 NOx 배출기준인 10.9 g/kWh로 Tier Ⅱ 수준을 만족하였고, 전 유종에서 부하 10%에서 25%로 증가할 때 질소산화물 배출량은 110% 증가, 부하 25%에서 50%로 증가할 때 46%가 증가하였다. 질소산화물 배출 결과를 보았을 때 바이오 연료의 첨가 비율보다는 부하의 증가로 인한 질소산화물 배출증가율이 큰 폭으로 증가함을 알 수 있었다.

2) 이산화탄소는 전 유종에서 부하 10%에서 25%로 증가할 때 이산화탄소 배출량은 52% 증가, 부하 25%에서 50%로 증가할 때 29%가 증가하였다. 모든 영역에서 부하가 증가하면서 많이 배출되었는데, 이는 바이오 연료가 산소 성분을 포함하고 있어 연소 활성화가 증가하여 배출량이 증가한 것으로 보인다.

3) 일산화탄소는 전 유종에서 부하 10%에서 25%로 증가할 때 일산화탄소 배출량은 27% 감소, 부하 25%에서 50%로 증가할 때 137%가 증가하였다. 부하 50%에서 일산화탄소 배출량은 크게 증가하였고, 부하 25%에서는 배출량이 가장 작게 나타났다. 대상 엔진의 특성에 따른 차이는 있지만, 최적의 공연비 상태에서도 부분적으로 확산연소가 좋지 않으므로 불완전 연소에 의한 연소가스 온도가 낮아지기 때문으로 판단된다.

후 기

본 논문은 2021년도 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업(2021RIS-003)과 ㈜제이씨케미칼의 일부 지원으로 수행된 결과이며, 조광식 석사학위 논문의 일부임을 밝힙니다.

Author Contributions

K. S. Jo; Investigation, Resources, writing-original. Y. J. Choi; Visualization. S. H. Han; Project Administration, Supervision, writing-review & editing.

References

1. J. H. Choi and S. G. Cho, 2020, "Effect on Characteristics of Combustion by changing in Biofuel Temperature and Ratio of Bio injection Diesel Fuel", Journal of Power System Engineering, Vol. 24, No. 3, pp. 43-50. (https://doi.org/10.9726/kspse.2020.24.3.043)
2. Intergovernmental panel on climate change, 2015.
3. Y. H. Park, S. Y. Chung, Y. H. Son and W. K. Lee, 2010, "Investigation on Enhancing Efficiency in International Cooperation for Climate Change Adaptation of Republic of Korea", Journal of Climate Change Research, Vol. 1, No. 2, pp. 179-188.
4. S. C. Yang, C. J. Moon, Y. H. Chang, S. Y. Soh, J. Y. Chung and E. S. Kim, 2006, "Internet Monitoring of Wind-photovoltaic Hybrid Generation System", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 20, No. 4, pp. 43-48. (https://doi.org/10.5207/JIEIE.2006.20.4.043)
5. J. W. Park, C. U. Shin, G. D. Kim, and J. H.

Yoon, 2013, "A Study on Generation Characteristic of Building Integrated Photovoltaic System", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 33, No. 3, pp. 75-81. (http://dx.doi.org/10.7836/kses.2013.33.3.075)

6. K. H. Park, J. Y. Kim, C. J. Kim, J. H. Ko and H. I. Park, 2012, "The Effect of Bio-Diesel Fuel on Industrial Diesel Engine", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 36. No. 1, pp. 72-77. (http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2012.36.1.72)
7. J. K. Kim, G. Ainll, K. K. Song, J. Y. Jung and H. G. Kim, 2011, "An Experimental Study on Spray Characteristics of Diesel and Bio-diesel Fuel", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 35, No. 1, pp. 53-59.
8. D. Y. Kim, I. E. Cho, S. W. Lee and S. I. Oh, 2007, "A Study on Spray and Combustion Characteristics Affected by Temperature of Bio-diesel Fuel", Journal of the Korea Society of Automotive Engineers, 07-S0082, pp. 533-538.
9. J. H. Choi and S. G. Cho, 2020, "A Study on the Characteristics of Exhaust Gas Emission by Changing in Biofuel Ratio and Bifuel Temperature in Diesel Engine", Journal of Power System Engineering, Vol. 24, No. 2, pp. 94-102. (https://doi.org/10.9726/kspse.2020.24.2.094)
10. S. G. Cho, 2015, "An Experimental Study on Combustion Characteristics of Biodiesel Fuel in Marine Diesel Engine", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 19, No. 3, pp. 29-35. (http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2015.19.3.029)
11. S. H. Jang, 2009, "Combustion Characteristics of Biodiesel Fuel as an Alternative Fuel for a D.I. Diesel Engine(2)", Journal of The Korean Society for Power System Engineering, pp. 54-59.
12. J. H. Choi and Sang-Gon Cho, "A Study on the Characteristics of Exhaust Gas Emission by Changing in Biofuel Ratio and Biofuel Temperature inDiesel Engine", Journal of The Korean Society for Power System Engineering, Vol. 24, No. 2, pp. 94-102. (https://doi.org/10.9726/kspse.2020.24.2.094)
13. IMO MEPC 66/21, 2008, TECHNICAL CODE (2008) Technical code Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engine, pp, 98-99.