

# 소형 어선용 디젤기관의 운전조건과 부탄올 혼합유의 배기 배출물 특성에 관한 연구

김상암 · 왕우경<sup>1\*</sup>

전남대학교 실습선 기관장, <sup>1</sup>전남대학교 기관시스템공학과 교수

## A study on exhaust emission characteristics according to operating conditions and butanol blended fuels in a small diesel engine for fishing vessel

Sang-Am KIM and Woo-Gyeong WANG<sup>1\*</sup>

Chief engineer, Training ship, Chonnam National University, Chonnam 59626, Korea

<sup>1</sup>Professor, department of power system engineering, Chonnam National University, Chonnam 59626, Korea

In this study, blending oils of diesel oil and butanol were used as fuel oil for diesel engine to measure combustion pressure, fuel consumption, air ratio and exhaust gas emission due to various operating conditions such as engine revolution and torque. Using these data, the results of analyzing the engine performance, combustion characteristics and exhaust emission characteristics such as NO<sub>x</sub> (nitrogen oxides), CO<sub>2</sub> (carbon dioxide), CO (carbon monoxide) and soot were as follows. The fuel conversion efficiency at each load was highest when driven in the engine revolution determined by a fixed pitch propeller law. Except 30% butanol blending oil, fuel conversion efficiency of the other fuel oils increased as the load increased. Compared to diesel oil, using 10% and 20% butanol blending oil as fuel oil was advantageous in terms of thermal efficiency, but it did not have a significant impact on the reduction of exhaust gas emissions. On the other hand, future research is needed on the results of the 20% butanol blending oil showing lower or similar levels of smoke concentration and carbon monoxide emission rate other than those types of diesel oil.

Keywords: Blending oil, Engine performance, Combustion characteristics, Exhaust emission characteristics, Fixed pitch propeller law

### 서론

해양환경 보존의 중요성에 대한 의식의 확대에 의해 국제해사기구(IMO)는 선박으로부터의 대기오염방지협약(MARPOL 73/78 ANNEX VI)을 채택하여, Tier I 규제부터 Tier III 규제까지 강화하고 있으며, 북미와 유럽

등에서는 2015년부터 당사국들이 직접 ECA (emission control area)를 지정하여 선박기관에서 배출되는 환경오염물질을 IMO 규제보다 강도 높게 규제해 왔다. 이와 같이 선박으로부터 배출되는 오염물질의 국제적인 규제 동향에 따라 우리나라도 ‘항만지역등 대기질 개선에 관

\*Corresponding author: wangwk@jnu.ac.kr, Tel: +82-61-659-7136, Fax: +82-61-659-7139

한 특별법'(MOF, 2019)을 제정하여 5대 대형 항만 및 인근해역을 황산화물 배출규제해역으로 지정(MOF, 2019)하여 2020년 9월부터 시행하고 있으며, 해양수산부의 제3차 해양수산발전기본계획(2021-2030)에서는 선박 대기오염물질 통합 관리체계 구축 및 규제강화를 통해 선박대기오염물질(SOx, NOx, VOCs, PM 등)에 대한 지속적인 제도 및 규제를 개선하여 우리나라 연안을 선박으로부터 배출되는 오염물질로부터 보호하기 위한 프로그램들이 준비되고 있다. 그러므로 이들 후속 프로그램들을 진행하기 위해서는 연·근해에서 조업하는 중·소형 어선기관의 배기가스 배출특성, 발생량 및 대기오염에 미치는 영향들에 관한 조사가 선행되어야 하며, 이에 대한 자료의 축적과 연구를 바탕으로 우리나라의 실정에 맞는 제도 및 규제 개선이 필요하다고 생각된다. 한편, 해양수산부 통계시스템 자료(MOF, 2019)에 의하면, 2019년 등록된 동력어선 중 원양어선을 제외한 연·근해 어선 및 기타 어선의 척수는 64,839척이며 총 출력은 11,586,056 kW로서 이는 2019년 12월 서울시에 등록된 경유 승합차(MOLIT, 2019) 88,472대(대당 출력 약 130.6 kW)의 총 출력 11,554,443 kW에 해당한다. 그리고 어선기관의 운전시간이 많다는 것을 고려하면, 우리나라 연·근해에서 조업 및 운항하는 어선들에 의해 배출되는 배기가스량과 그로 인한 대기오염의 정도를 익히 추정해 볼 수 있다. 일반적으로 디젤기관의 유해 배기배출물들은 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 미연탄화수소(HC), 일산화탄소(CO), 입자상 물질(particulate matter, PM)과 온실가스인 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 등이며, 어선용 디젤기관은 주로 경유를 연료유로 사용하고 조업 시에는 부하변동이 심하므로 인해 NOx, PM 및 CO<sub>2</sub> 등의 배출이 특히 문제가 될 수 있다. 그러므로 최적의 기관운전조건과 연소제어를 선택하여 기관성능을 저하시키지 않고 배기배출물을 저감시킬 수 있는 대책이 요구되며, CO<sub>2</sub> 발생을 줄이기 위해서는 기관의 열효율 향상이 필요하다. 그러나 디젤기관 연소과정의 제어를 통해 열효율 향상과 더불어 PM을 저감시키는 것은 가능하지만, NOx와 PM을 동시에 저감시키는 것은 디젤기관의 연소특성으로 인해 어려운 과제이다. 이러한 관점에서 친환경 연료들에 대한 연구들이 진행되고 있으며, 특히 생물학적 공정으로 제조되는 바이오에탄올(bio-ethanol), 바이오메탄올(bio-methanol) 및 바이오부탄올

(bio-butanol) 등은 탄소 중립(carbon neutral)이란 측면에서 이산화탄소의 순 배출량이 거의 없고 지속적으로 공급이 가능한 에너지원으로서 주목받고 있다. 그리고 알코올 연료 중에서도 부탄올은 에탄올 및 메탄올에 비해 증발잠열이 작으며, 물리적·화학적 성질이 경유에 가깝고 경유와의 혼합성도 우수하므로 인해 디젤기관의 연료로 사용하면 유해 배출물인 질소산화물(NOx)과 미립자(particulate)의 배출을 줄여 환경오염을 감소하고 화석연료의 소비를 줄일 수 있는 잠재력을 가지고 있다고 알려져 있다(Kamimoto and Kobayashi, 1991).

따라서 본 연구에서는 경유와 부탄올을 혼합한 혼합유를 디젤기관의 연료유로 사용하여, 기관회전수와 토크 등의 다양한 운전조건 변화에 따른 연소압력, 연료소비량, 공기비 및 배기가스 성분 등을 측정하였다. 그리고 이들 자료들을 이용하여 기관성능, 연소특성, NOx, CO<sub>2</sub>, CO 및 매연(soot) 등의 배기배출물 특성들을 분석하여 최고의 기관효율과 아울러 배기배출물이 적은 운전조건과 부탄올 혼합비를 제시함으로써 향후 어선기관에서 배출되는 환경오염물질 배출규제와 어선용 기관의 성능향상을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 장치 및 방법

### 실험장치

실험장치는 실험용 기관(test engine, YANMAR-2TD), 기관의 회전수와 토크를 제어하여 제동마력을 측정하기 위한 와전류식 동력계(dynamometer, HE-40), 연소압력 및 흡·배기온도 등의 측정을 위한 데이터 수집장치(data acquisition system, NI-PCI-MIO-16E), 연료소모량 측정장치를 포함한 연료공급장치, 배기가스 성분을 측정하기 위한 배기가스 분석기(gas analyzer, MK4000)

Table 1. Specification of test engine

Type	Naturally - aspirated, 4 stroke DI diesel engine water cooling type
Number of cylinder	2
Bore × Stroke	100 × 115 mm
Compression ratio	17
Injection pressure	20 MPa
Injection nozzle	Multi-hole nozzle ( 5 holes, ϕ 0.28 mm )
Output × Speed [MCR]	19 kW × 2000 rpm

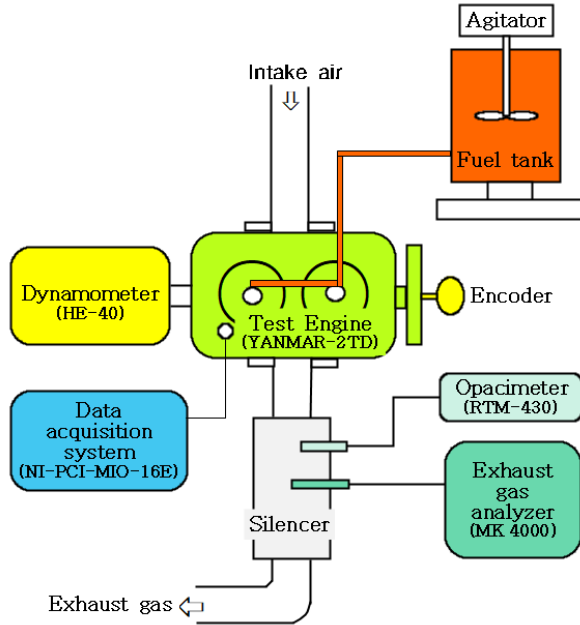


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

및 매연 측정을 위한 광투과식 매연측정기(opacimeter, RTM-430) 등으로 구성되어 있으며, Table 1과 Fig. 1은 실험용 기관의 주요제원 및 실험장치의 개략도를 각각 나타낸다.

**실험방법**

실험에 사용한 연료유는 경유와 경유에 부탄올을 각각 10%, 20% 및 30%의 질량비율로 혼합한 혼합유를 사용하였으며, Table 2는 경유와 부탄올의 물리·화학적 특성 및 Table 3은 부탄올 혼합유의 혼합비중 및 에너지밀도를 각각 나타낸다.

기관 운전조건은 실험기관의 연속최대출력(MCR, 19 kW, 2000 rpm, 90.8 N-m)을 전부하로 하여 고부하(90%), 중부하(60%) 및 저부하(35%)로 구분하고, 저부하 및 중부하에서는 3가지 회전수 및 고부하에서는 2가지 회전수에서 기관출력에 맞게 토크를 결정하였으며, 부하에 따른 기관회전수의 결정은 고정피치프로펠러법칙(Technical paper, 2008)을 참조하였다. Table 4는 부하별 기관운전조건을 나타낸다. 실험시의 냉각수 출구 온도는 60±5℃로 유지하였으며, 연료유 온도는 연료분사밸브 입구에서 45±3℃, 실내온도는 12℃로 측정되었다. 측정값들은 크랭크 각 1 deg. 마다 1사이클에 720개

Table 2. Properties of test fuels

Fuel	Diesel oil	n-Butanol
Specific gravity (at 15℃/4℃)	0.83	0.81
Kinematic viscosity (cSt at 20℃)	5	3.64
Vapour pressure (mmHg at 25℃)	1	6.7
Flash point (℃)	45	29
Auto ignition point (℃)	210	340
Heat of vaporization (MJ/kg)	0.23	0.43
Specific heat (J/g·K)	1.84	2.39
Energy density (MJ/kg)	42.6	33.1

Table 3. Energy density of butanol blending oil

Fuel	Property	10% Butanol	20% Butanol	30% Butanol
	S.G (at 15℃/4℃)		0.828	0.826
Energy density (MJ/kg)		41.65	40.7	39.75

Table 4. Engine operating conditions with loads

Load	No.	kW	rpm	Torque (N·m)
Low (35%)	1	6.37	1335	45.6
	2	6.62	1665	38.0
	3	6.98	1905	35.0
Medium (60%)	4	11.24	1335	79.0
	5	11.03	1665	64.5
	6	11.66	1905	58.5
High (90%)	7	16.74	1675	95.5
	8	17.14	1905	86.0

씩 10사이클씩 연속 수집되었으며, 5회 측정하여 그 평균값을 취하여 기관성능과 연소특성을 규명하는데 이용하였다. 그리고 동일한 운전조건에서 연료소비량은 3회 측정하였으며, 배기가스 성분 및 매연 측정은 1분마다 5회 측정하여 평균값을 이용하였다.

**결과 및 고찰**

**운전조건과 기관성능**

Fig. 2는 기관운전조건에 따른 경유의 도시연료변환 효율(indicated fuel conversion efficiency)과 제동연료변환 효율(brake fuel conversion efficiency)을 나타낸다. 이들은 1사이클 중에 공급된 연료의 저위발열량에 대한 한 사이클의 도시일량과 제동일량의 비율을 각각 나타낸다. 기관운전조건은 저부하(1, 2, 3), 중부하(4, 5, 6)

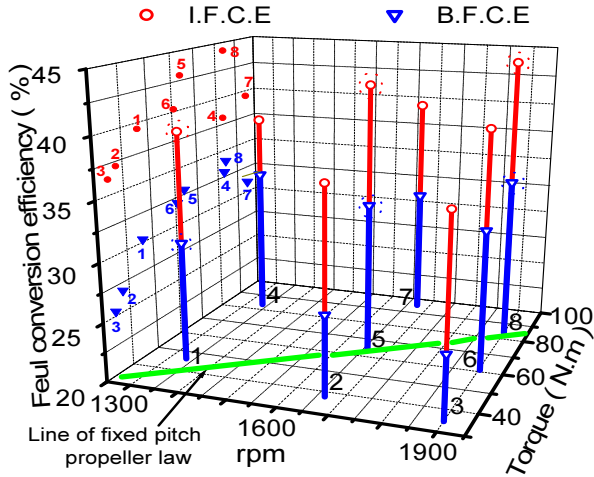


Fig. 2. Fuel conversion efficiency according to engine driving conditions with D.O.

및 고부하(7, 8)에서 각각 기관회전수와 토크를 조정하였다. 그림의 Y-Z면에서 도시연료변환효율을 보면, 저부하에서는 회전수가 낮고 토크가 큰 운전조건인 1에서 39.5%로 효율이 높았으며, 중부하에서는 회전수와 토크가 각각 중간 정도의 운전조건인 5에서 42.94%로 높았으며, 고부하에서는 회전수가 높고 토크가 낮은 운전조건인 8에서 44.27%로 실험운전조건에서 가장 효율이 높았다. 이는 기관부하에 따른 연료량과 기관회전수에 따른 흡입공기량에 의한 공연비 및 분사시의 공기유동 등이 연소효율에 영향을 미치게 되고, 기관부하가 증가할수록 효율이 약간 증가하는 것은 저부하 운전보다 고부하 운전에서 연소실 온도가 높아 연소효율이 높아지기 때문이라 생각된다. 한편, 제동연료변환효율을 보면, 저부하에서는 기관회전수가 낮고 토크가 큰 운전조건인 1에서 30.22%로 효율이 높았으며, 중부하에서는 3가지 운전조건에서 효율이 32.01~32.94%로 거의 비슷하였으며, 고부하에서는 회전수가 높고 토크가 낮은 운전조건인 8에서 33.94%로 제동연료변환효율이 높게 나타났다. 그리고 그림의 X-Z면에 도시된 고정피치프로펠러 법칙에 의한 기관회전수와 토크를 나타내는 선(line of fixed pitch propeller law)에 근접한 운전조건(1, 5, 8)에서 도시연료변환효율과 제동연료변환효율이 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

Fig. 3은 기관부하와 부탄올 혼합비율에 따른 제동연료변환효율을 나타낸다. 그림의 1, 2, 3은 저부하, 4, 5,

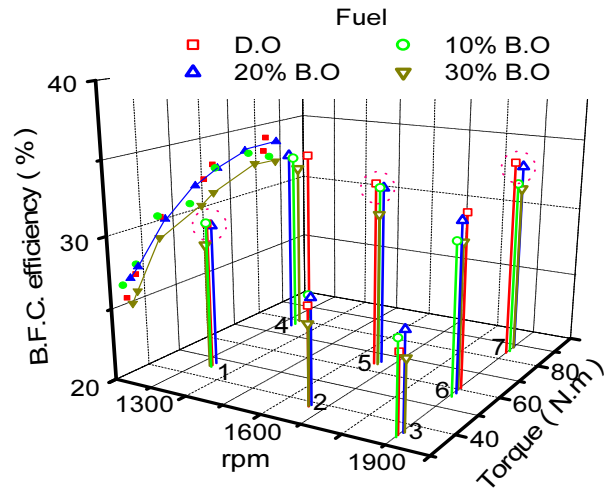


Fig. 3. Brake fuel conversion efficiency according to engine driving conditions with D.O. & butanol blended oils.

6은 중부하 및 7은 고부하를 나타낸다. 그림에서 보면, 모든 실험운전조건에서 경유, 10% 및 20% 부탄올 혼합유의 효율은 거의 유사하나, 30% 부탄올 혼합유의 제동연료변환효율이 약간 낮게 나타났다. 그리고 1905 rpm에서는 연료유에 따라 제동연료변환효율이 약간 차이가 있으며 중부하 이상에서는 경유와 20% 혼합유가 약간 높게 나타났다. 제동출력은 도시출력과 기계효율로서 결정되며, 기계효율은 기관의 회전수에 주로 영향을 받게 되고 도시출력은 기관의 연소상황에 크게 영향을 받는다. 따라서 경유에 비해 착화성이 낮고 증발잠열이 큰 부탄올의 혼합량이 증가할수록 착화 지연에 보다 많은 영향을 미치게 되고, 특히 30% 부탄올 혼합유의 경우 그 영향을 크게 받아 연소상황이 도시연료변환효율에 영향을 미치므로 인해 제동연료변환효율이 낮게 된다고 생각된다. 또한 기관회전수 1905 rpm의 모든 부하에서 연료유에 따른 효율의 변화가 다소 큰 것은 기관회전수가 높을 때에는 부탄올 혼합유의 연소특성이 공연비 및 공기유동의 영향에 민감하기 때문이라 생각된다.

Fig. 4는 Fig. 2의 각 부하에서 도시연료변환효율이 가장 좋은 기관회전수와 토크의 운전조건(그림의 1, 5, 8)에서 부탄올 혼합비율에 따른 도시연료변환효율과 공기비를 나타내며, 공기비는 배기가스분석을 통한 질소 평형에 의한 계산법(Choi, 2016; Oh et al, 2011)을 이용하여 구하였다. 그림에서 보면, 부하가 증가할수록 공연비가 낮고 도시연료변환효율은 경유, 10% 및 20% 혼합

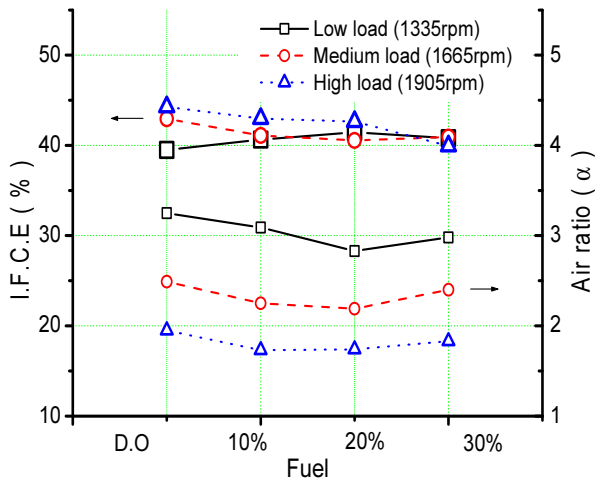


Fig. 4. Indicated fuel conversion efficiency and air ratio according to fuels with engine loads.

유에서는 높게 되었으나, 30% 혼합유에서는 공연비의 변화에도 불구하고 부하에 따른 도시연료변환효율의 변화는 적었다. 부하가 증가할수록 공기비가 작아지는 것은 자연급기식 기관에서는 1사이클당 분사되는 연료량의 증가에 비해 기관회전수의 증가에 따른 흡입공기량의 증가가 크지 않기 때문이며, 또한 부하가 증가할수록 도시연료변환효율이 증가하는 것은 공기비가 적어 배기가스로의 열손실이 줄어들고 연소실 온도가 고온으로 되어 양호한 연소상태를 유지하기 때문이라 생각된다. 그러나 30% 부탄올 혼합유에서는 공기비 및 연소실의 분위기온도가 연소과정에 미치는 영향보다도 연소과정이 부탄올의 물리·화학적 특성에 크게 영향을 받기 때문이라 생각된다. 그리고 저부하에서 부탄올 혼합유가 경유에 비해 효율이 약간 증가하는 경향을 보이는 것은 부탄올 혼합에 따른 착화지연으로 인한 열발생 시기가 평균유효압력을 상승시키는 효과를 나타내는 것으로 생각된다(Kim and Wang, 2019).

**배기배출물 특성**

Fig. 5는 기관부하 및 부탄올 혼합비율에 따른 매연의 농도를 나타내며, 매연농도는 광투과식 매연측정기 (opacimeter, RTM - 430)로 측정하였다. 그림에서 보면, 연료유에 따라 저부하에서 2.32~3.02% 및 중부하에서 4.24~5.10% 정도로 각 부하에서 연료유에 따라 1% 미만의 차이를 보였으나, 고부하에서는 11.60~21.28% 정

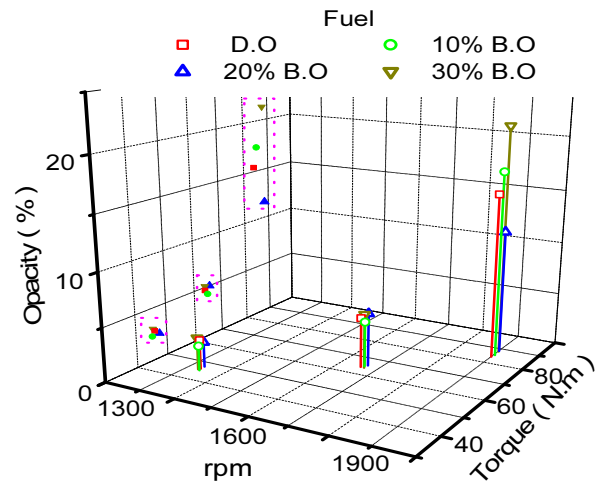


Fig. 5. Opacity of exhaust gas according to engine loads with D.O & butanol blended oils.

도로 농도가 높고 그 차이도 약 10%로 높았으며, 특히 20% 부탄올 혼합유의 농도는 11.60%이나 30% 부탄올 혼합유의 농도는 21.28%로 높게 나타났다. 매연은 화염 중의 연료가 농후한 영역에서 산소부족으로 인해 연료가 열분해 되어 주로 생성되며, 자연 급기식 기관의 흡입 공기량은 기관회전수에 의해 결정되고 사이클당 공급연료량은 부하 증가에 따라 증가한다. 따라서 고부하에서는 기관회전수가 높아 오히려 체적효율이 감소하는 반면 부하증가로 공급연료량은 증가하므로 인해 국부적으로 농후한 혼합기가 많이 형성되어 매연농도가 높아진다고 생각된다. 그리고 고부하에서 연료유에 따른 매연농도의 차이가 큰 것은 저속 및 중속에 비해 고속 운전 시 회전수 변화가 크고 또한 부탄올 혼합비율이 연소특성에 민감한 영향을 미치기 때문이라 생각된다. 그러나 고부하에서 20% 부탄올 혼합유의 매연농도가 낮게 나타나는 것이 합산소 연료인 부탄올 첨가의 효과인지는 보다 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

Fig. 6은 기관부하 및 부탄올 혼합비율에 따른 일산화탄소의 배출특성을 나타낸다. 그림에서 보면, 저부하에서 5.22~6.19 g/kW·h 정도로 경유를 제외한 부탄올 혼합유에서 일산화탄소의 배출률이 약간 높게 나타났으며, 중부하에서 3.28~3.69 g/kW·h 정도로 다른 부하에 비해 일산화탄소의 배출률이 낮았으며 부탄올 혼합비율에 관계없이 배출률이 거의 비슷하게 나타났다. 그리고 고부하에서는 4.44~6.13 g/kW·h 정도로 특히 30% 부탄올 혼

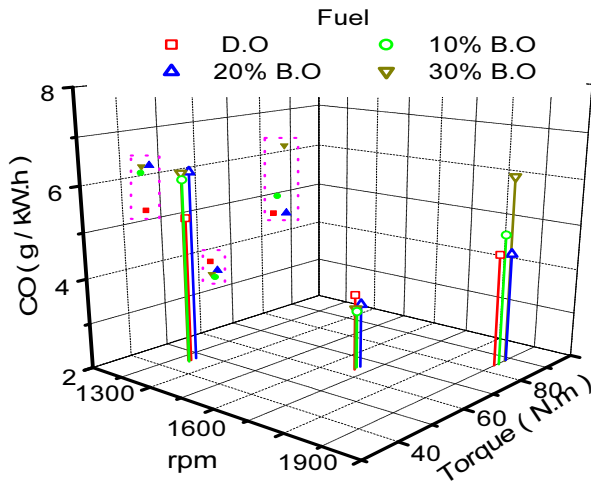


Fig. 6. Brake specific carbon monoxide emissions according to engine loads with D.O & butanol blended oils.

합유에서 그 배출률이 높게 나타났다. 일산화탄소는 연료가 농후한 혼합기에서 산소부족으로 인한 불완전연소로 인해 주로 발생하며, 배기가스 중의 일산화탄소를 줄이기 위해서는 화염영역에서 발생한 일산화탄소를 팽창행정의 초기에 산화시키는 것이 중요하다(Ferguson and Kirkpatrick, 2001). 따라서 중부하에서는 혼합기의 농도가 적절하고, 연소시 발생한 일산화탄소도 적절한 공기유동으로 인해 산화가 잘 되기 때문이라 생각된다. 저부하에서 부탄올 혼합유의 경우에는 연소실의 낮은 분위기 온도, 부탄올의 낮은 착화성과 높은 증발잠열로 인해 착화지연이 길어지고 급속연소기간 중에 미처 연소하지 못한 연료들이 희박상태에서 열분해하여 팽창행정 중에 충분히 산화되지 못하기 때문이라 생각된다. 또한 고부하의 30% 부탄올 혼합유의 경우에는 부탄올의 함량이 높고 사이클 당 분사량이 많아 혼합기의 농도가 농후하므로 인해 연소 시 국부적 산소부족으로 인해 일산화탄소의 발생이 많으며 또한 부탄올 함량이 높으므로 인한 착화지연과 강한 공기유동으로 인해 일산화탄소의 산화가 저해 받기 때문이라 생각된다.

Fig. 7은 기관부하 및 부탄올 혼합비율에 따른 질소산화물의 배출특성을 나타낸다. 질소산화물은 국제해사기구의 MARPOL협약 및 해양수산부령의 ‘선박에서의 오염방지’에 관한 규칙’에 준한 배출규제대상 물질로서, 출력 130 kW를 초과하는 디젤기관은 최소한 기준1 (Tier I)을 만족시켜야 한다(MEPC, 2010; MOF, 2020). 그림에서 보

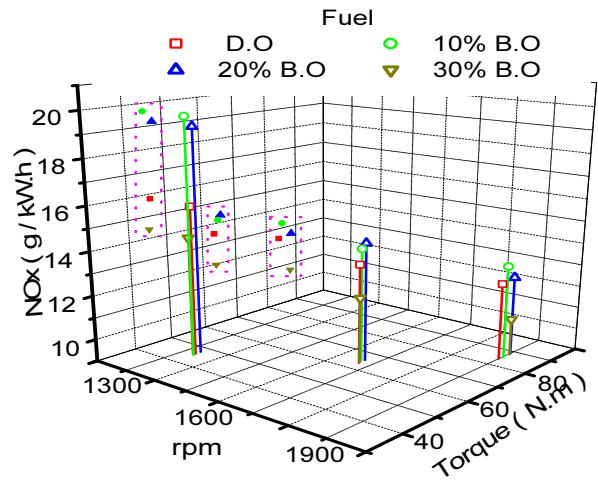


Fig. 7. Brake specific nitrogen oxides emissions according to engine loads with D.O & butanol blended oils.

면, 저부하에서의 질소산화물 배출률은 14.39~19.66 g/kWh, 중부하에서는 11.96~14.36 g/kWh 및 고부하에서는 10.67~13.24 g/kWh 정도였으며, IMO의 Tier I의 해당 기관회전수에 따른 질소산화물의 기준인 9.94~10.67 g/kWh를 초과하고 있다. 이는 본 실험에 이용된 기관은 제조일이 20년 이상 경과된 출력이 낮은 기관으로 NOx technical code 적용을 받지 않는 기관으로서, 그 당시의 기관설계의 관심은 배기배출물 보다는 열효율 향상에 초점이 맞추어진 것으로 생각되며, 아직도 양식장 및 연안 어업에 이용되는 F.R.P 선박의 80% (15,800여척)가 선령이 20년 이상 된 선박으로 알려져 있다(MOF, 2019). 그리고 부하가 증가할수록 질소산화물 배출률이 낮게 나타났으며, 모든 부하에서 10% 및 20% 부탄올 혼합유의 질소산화물 배출률이 약간 높은 성향을 보였으며, 특히 저부하에서 10% 및 20% 부탄올 혼합유의 질소산화물 배출률이 높게 나타났다. 이는 질소산화물의 대부분은 일산화질소(NO)로서 연소과정의 초기에 고온의 연소가스에서 생성되고 있으며, 초기 연소 온도는 분사시기와 예혼합연소량에 많은 영향을 받는다고 알려져 있다(Lilly, 1984). 따라서 경우에 비해 증발잠열과 비열이 크고 자발화 온도가 높은 부탄올의 혼합비가 증가할수록 착화지연과 예혼합연소과정에 영향을 미치므로 인해, 저부하의 10% 및 20% 부탄올 혼합유는 경우에 비해 착화지연기간이 길고 예혼합 연소기간도 길어져서 예혼합연소량이 증가하므로 연소 온도가 높아져서

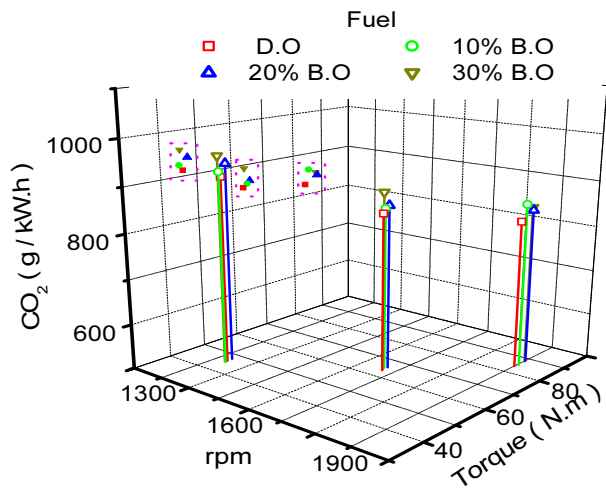


Fig. 8. Brake specific carbon dioxide emissions according to engine loads with D.O & butanol blended oils.

질소산화물의 배출률이 높게 나타났으며, 30% 혼합유의 경우에는 착화 지연에 따른 예혼합연소량의 증가에 비해 체적증가가 크기 때문에 연소 온도가 높지 않기 때문이라 생각된다. 또한 중부하와 고부하의 경우에는 연소실의 온도가 높아 부탄올 혼합비에 따른 예혼합연소기간 중의 연소량이 크게 차이를 보이지 않기 때문이라 생각된다.

Fig. 8은 기관 부하와 부탄올 혼합 비율에 따른 이산화탄소 배출률을 나타낸다. 이산화탄소의 배출량은 연소된 연료량에 비례하며, 동일한 연료량이 공급될 때는 이산화탄소의 배출량이 최대가 되는 것이 보다 완전연소에 가깝다고 할 수 있다. 그러나 열발생 시기가 아주 중요하므로 이산화탄소 배출량만으로 기관의 효율을 판단할 수 없다(Lilly, 1984). 그림에서 보면, 저부하에서는 913.08~957.73 g/kW·h, 중부하에서는 847.75~891.59 g/kW·h 및 고부하에서는 825.07~860.45 g/kW·h로서 부하가 증가할수록 이산화탄소의 배출률이 약간 낮게 나타났다. 그리고 저부하 및 중부하에서는 부탄올 혼합비가 증가할수록 배출률이 약간씩 증가하였으며, 고부하의 경우에는 부탄올 혼합유의 경우에는 배출률이 거의 비슷하게 나타났다. 이는 Fig. 4에서 알 수 있듯이 부하가 증가할수록 도시연료변환효율이 증가하므로 인해 연료소비율이 감소하므로 이산화탄소의 배출률이 감소하며, 또한 유사한 부하에서 부탄올 혼합비가 증가할수록 발열량이 낮아지므로 동일한 출력을 얻기 위해 보다 많

은 연료유가 공급되었으므로 이산화탄소의 배출률이 증가한 것으로 생각된다.

## 결론

경유와 부탄올을 혼합한 혼합유를 소형 디젤기관의 연료유로 사용하여 기관성능, 연소특성 및 배기배출물 특성들을 분석한 결과들은 다음과 같다.

1. 각 부하에서의 연료변환효율은 고정피치프로펠러법칙에 의해 결정된 기관회전수에 근접한 운전조건에서 가장 높았으며, 30% 부탄올 혼합유를 제외한 연료유들에서는 부하가 증가할수록 연료변환효율이 증가하였다.

2. 매연농도는 고부하에서 특히 높게 나타났고, 경유에 비해 20% 부탄올 혼합유의 농도가 낮았으나 30% 혼합유의 농도는 특히 높게 나타났다.

3. 저부하에서 부탄올 혼합유들의 일산화탄소 배출률이 경유에 비해 높았으며, 고부하에서 30% 부탄올 혼합유의 일산화탄소 배출률이 특히 높게 나타났다.

4. 질소산화물 배출률은 부하가 증가할수록 감소하였으며, 경유에 비해 10% 및 20% 부탄올 혼합유의 배출률이 높게 나타났으며, 30% 혼합유는 모든 부하에서 낮게 나타났다.

5. 이산화탄소 배출률은 부하가 증가할수록 낮아졌으나, 경유에 비해 부탄올 혼합유의 배출률이 약간 높게 나타났다.

이상의 결과들을 종합해 보면, 기관회전수와 토크를 변경하여 부하를 조정할 경우에는 고정피치프로펠러법칙에 따른 회전수에서 운전하는 것이 연료변환효율을 향상시킬 수 있다고 생각된다. 그리고 경유에 비해 10% 및 20% 부탄올 혼합유를 연료유로 사용하면 열효율의 측면에서는 유리하나, 배기배출물 감소에는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 한편, 20% 부탄올 혼합유의 경우에 매연농도와 일산화탄소 배출률이 경유의 경우보다 낮거나 비슷하게 나타난 결과에 대해서는 향후 연구가 필요하다고 생각된다.

## 사사

이 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(ICT기반 수산자원관리 연구센터).

## References

- Choi BC. 2016. Combustion engineering. Munundang, Seoul, 125, 146.
- Ferguson CR and Kirkpatrick AT. 2001. Internal combustion engines applied thermosciences. John Wiley & Sons, New York, USA., 284.
- Kamimoto T and Kobayashi H. 1991. Combustion Process in Diesel Engines. Prog. Energy Combustion Science 17, 163-189.
- Kim SA and Wang WG. 2019. Analysis of performance and combustion characteristics of D.O./butanol blended fuels in a diesel engine. KSFOT 55, 411-418. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2019.55.4.411>.
- Lilly LCR. 1984. Diesel engine reference book. Butterworths, London, U.K., 18/8-18/9.
- MEPC (Marine Environment Protection Committee). 2010. Amendment to the technical code on control of emission of nitrogen oxides from marine diesel engines. resolution MEPC 177(58). Retrieved from <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments>. Accessed 30 Jan 2021.
- MOF (Ministry of oceans and fisheries). 2019. Designation of sulfur oxide emission regulated areas. No.2019-202. notice of MOF. Retrieved from <https://www.mof.go.kr/article/view.do>. Accessed 20 Jan 2021.
- MOF (Ministry of oceans and fisheries). 2019. Registered fishing boat status in Statistics system of MOF. Retrieved from <https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do>. Accessed 28 Feb 2021.
- MOF (Ministry of oceans and fisheries). 2019. Special act on improving air quality in port areas. No.16308. law of MOF. Retrieved from <https://www.law.go.kr>. Accessed 28 Feb 2021.
- MOF (Ministry of oceans and fisheries). 2020. Regulation on the prevention of pollution on ships. No.451. rule of MOF. Retrieved from <https://www.law.go.kr/LSW/lsInfoP.do>. Accessed 30 Mar 2021.
- MOLIT (Ministry of land, infrastructure and transport). 2019. Seoul motor vehicle registration status. Retrieved from <http://stat.molit.go.kr/portal/cate/statFileView.do>. Accessed 28 Feb 2021.
- Oh YT, You GH, Choi DS and Choi SH. 2011. Combustion engineering. Mijeon science, Seoul, 144.
- Technical paper. 2008. Basic principles of ship propulsion. MAN Marine Engines & Systems, Copenhagen, Denmark, 20.

---

2021. 05. 25 Received

2021. 06. 22 Revised

2021. 07. 12 Accepted