

주·보기용 4행정 대형디젤엔진의 IMO운전모드에 따른 배기 배출특성

김현규* · 김규보** · 전충환*** · 장영준†
(2001년 5월 15일 접수, 2002년 7월 26일 심사완료)

The Emission Characteristics of a 4-stroke Large Diesel Engines for Propulsion and Generation Application in IMO modes

Hyun kyu Kim, Gyu Bo Kim, Chung hwan Jeon and Young jun Chang

Key Words: Exhaust Emission(배기배출물질), Marine Diesel Engine(선박용 디젤엔진), Maximum Combustion Pressure(연소최고압력), Injection Timing(분사시기), Intake Air Pressure(흡입공기압력), Intake Air Temperature(흡입공기온도)

Abstract

Environmental protection on the ocean has been interested and nowadays the International Maritime Organization(IMO) has advanced on the prevention of air pollution from ships. This study presents the emission characteristics of 4 stroke marine diesel engines in E3 cycle (propulsion application) and D2 cycle (generation application). Also the effects of important operating parameters in terms of intake air pressure and temperature, and maximum combustion pressure on the specific emissions are described. Emissions measurement and calculation are processed according to IMO Technical Code. The results show that NOx emission level in E3 cycle is higher than that in D2 cycle due to lower engine speed at low load and the maximum combustion pressure by fuel injection timing control and intake air temperature has strong influence on NOx emission production. And CO, HC emissions are not affected by maximum combustion pressure and intake air pressure and temperature.

1. 서 론

선박용 엔진에 관한 국제적인 규제, 승인기구인 국제해사기구(IMO, international maritime organization)는 지구환경보호가 세계적으로 대두됨에 따라 선박으로부터의 대기오염을 방지하기 위해 1990년대 초부터 본격적인 오염물질에 대한 규제를 시작하였다. 특히 1997년 9월 IMO본부에

서 대기오염방지협약을 채택, 기존의 해양오염방지 협약인 73/78 MARPOL 의정서에 부속서-VI를 추가시켰으며, 디젤엔진과 관련하여 NOx 기술적 코드(NOx technical code)를 만들었다.^(1,2)

부속서-VI에는 2000년 1월 1일 이후 건조되는 선박에 탑재되는 출력 130kW이상의 디젤엔진에 대해서 엔진회전속도에 따라 질소산화물(NOx)의 배출률을 규제하고 있으며, NOx 코드는 사용승인을 위한 기술보고서의 작성방법, 시험방법 및 승인방법에 대해 상세히 서술하고 있다.

특히 IMO 규제의 초점이 되고 있는 선박용 디젤기관에서 배출되는 질소산화물은 연소실내에 고압으로 분사된 연료분무가 공기와의 혼합, 증발, 연소의 과정에서 생성된다. 따라서, NOx 배출 수준은 엔진에 공급되는 공기의 온도와 압력

† 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소
E-mail : changyj@pusan.ac.kr
TEL : (051)510-2332 FAX : (051)512-5236
* 주식회사 STX 기술연구소
** 부산대학교 대학원 기계공학과
*** 회원, 부산대학교 기계기술연구소
지능기계시스템공학과

에 의해 영향을 받으며 연료분사시기에 기인한 연소최고압력의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다.⁽³⁾ 또한 연소실에 공급되는 공기의 온도와 압력은 대기의 온도와 압력, 과급기의 성능, 공기 냉각기의 열교환 성능 및 공기냉각기에 공급되는 냉각수의 온도 등에 영향을 받는다.^(4,5) 대기의 온도와 압력은 운전장소와 계절에 영향을 받고 냉각수의 온도는 운전계절과 운전설비에 영향을 받기 때문에 기관의 운전조건에 의한 NOx 배출의 변동정도를 확인하여야만 한다.^(6,7) Fig. 1은 현재 IMO에 의해 제정된 선박용 엔진의 배출가스 규제 기준을 나타낸다.

본 연구에서는 IMO 운전 조건을 근거로 하여 선박 주기용(propulsion application)으로 사용되는 4행정 디젤엔진은 고정피치프로펠러 운전을 위한 변속운전모드(E3 운전 사이클)로 운전하고, 보기용(generation application)으로 사용되는 4행정 디젤엔진을 발전기 구동 운전을 위한 정속운전모드(D2 운전 사이클)로 운전하면서 흡입공기의 온도와 압력 및 연소최고압력의 변화가 배기 배출특성에 어떻게 영향을 끼치는지를 밝히고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

실험에 사용된 디젤엔진은 선박 주기용으로 사용되는 4행정 디젤엔진과 보기용으로 사용되는 디젤엔진으로 모두 과급기를 부착하였고 흡입공기 냉각방식(air-cooler)이다. Table 1은 시험에 사용된 디젤엔진의 주요사양을 나타낸다.

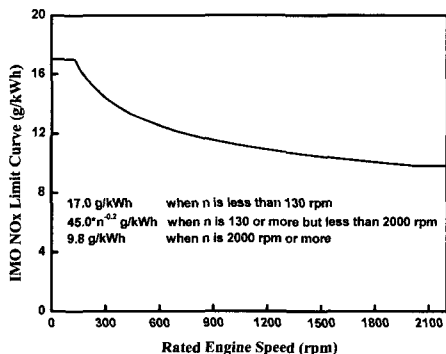


Fig. 1 The IMO emission regulation limits for marine diesel engine

주요 실험장치로는 엔진 토크의 제어 및 측정을 위한 동력계, 연료소모량 측정을 위한 질량 유량계 및 배기가스 중에서 NOx, CO, CO₂, O₂, THC등의 농도 측정(ppm, Volume %)을 위한 배기분석기 등이다. Table 2는 사용된 배기분석기의 주요사양을 나타낸다. 온·습도센서와 대기압력계를 이용, NOx의 대기 온도와 습도에 대해 보정하였으며, 그 외 엔진 각 부위의 온도와 압력을 측정하였다.

Fig. 2는 배기가스 농도 측정을 위한 흐름도를 나타낸다.

측정된 배기가스 농도를 질량기준의 배출률(g/kWh)로 표시하기 위해서는 사용된 연료의 정

Table 1 Specification of the test diesel engines

Item	Unit	Propulsion	Generation
Power/cyl. at MCR	kW	245	210
Engine speed	rpm	775	720
No. of cylinder	-	8	9
Bore	mm	280	280
Stroke	mm	320	320
Compression ratio	-	13.9	13.3
Max. comb. pressure	bar	145	130

Table 2 Specification of exhaust gas analyzer

Meas. item	Instrument type	Meas. range
NOx	CLA-150M (CLD)	0~2000 ppm
CO	AIA-120 (NDIR)	0~1000 ppm
CO ₂	AIA-120 (NDIR)	0~10 %
O ₂	MPA-120 (PMD)	0~25 %
THC	FIA-126D (HFID)	0~500 ppmC ₁

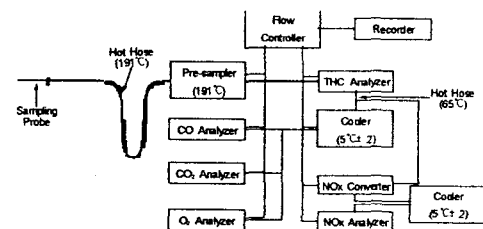


Fig. 2 Flow diagram of emission measurement

Table 3 The specification of fuel oil

Physical property	Units	Value
Specific gravity @15℃	-	0.8296
Viscosity @40℃		2.70
LHV	kcal/kg	10266
Hydrogen	%mass	13.12
Carbon	%mass	86.62
Nitrogen	%mass	0.022
Sulfur	%mass	0.038
Oxygen	%mass	-

Table 4 IMO test mode and weighting factors

Test Cycle	E3 CYCLE				
	Load, %	100	75	50	25
Speed, %	100	91	80	63	-
Weighting factor	0.2	0.5	0.15	0.15	-
Test cycle	D2 CYCLE				
	Load, %	100	75	50	25
Speed, %	100	100	100	100	100
Weighting factor	0.05	0.25	0.3	0.3	0.1

확한 성분분석이 필요하다. Table 3은 사용된 연료의 주요성분에 대한 분석결과이다.

2.2 실험방법 및 실험조건

IMO의 NO_x 기술적 코드에는 선박 주기용 디젤엔진에 대해서는 고정피치프로펠러 운전을 위한 변속운전모드(E3 운전 사이클)로, 보기용 디젤엔진에 대해서는 발전기 구동 운전을 위한 정속운전모드(D2 운전 사이클)로 구분되어 있다. Table 4는 E3 운전 모드와 D2 운전 모드의 운전 조건 및 가중계수를 나타낸다.

주기용 E3 운전모드는 부하에 따른 속도변화가 주어지 있지만, 보기용 D2 운전모드는 부하에 관계없이 일정속도로 유지된다.

본 연구의 실험변수의 하나인 흡입 공기의 압력과 온도를 조절하기 위해 흡기매니폴드에 공기 배출밸브를 설치하여 엔진부하율 100%기준에서 흡입공기압력을 0.2 bar 감소시켰고(E3-2, D2-2) 공기냉각기에 공급되는 냉각수의 온도를 허용최대온도인 36℃로 전 부하영역에서 일정하게 제어하여 흡입공기온도를 증가시켰다(E3-3).

Table 5 Experimental conditions

Experimental condition	Propulsion	Generation
Laboratory condition	E3-1	D2-1
Charge air pressure down	E3-2	D2-2
Charge air temperature up	E3-3	-
Maximum combustion pressure up	E3-4	D2-4

분사량과 운전속도의 변동 없이 연료분사시기를 약 2도 진각시켜 100% 부하에서의 연소최고압력을 6 bar(4%) 정도 증가시킴으로써 연소최고압력이 배기 배출에 미치는 영향을 살펴보았다(E3-4, D2-4). 변속운전모드와 정속운전모드에 대한 세부실험조건은 Table 5와 같다.

2.3 배기 배출률(g/kWh) 계산

일반적으로 배기분석기를 이용하여 계측된 배기가스의 농도는 부피농도(ppm 또는 %)이며, THC를 제외하고는 수분이 포함되지 않은 건기(dry)기준이다. 규제치로 표시되는 질량농도로의 변환을 위해 IMO에서 제시한 필요한 보정 및 환산 방법은 다음과 같다.

① 각 실험조건에서 계측을 시작하기 위한 연소 안정을 THC값으로 확인한 후, 그 때부터 1분간 연속 측정하여 평균농도를 계산한다.

② 건기(dry)기준의 농도를 습기(wet)기준으로 보정한다.

$$\text{Conc(wet)} = K_w \times \text{Conc(dry)} \quad (1)$$

$$K_w = 1 - \frac{1.608 \times H_a}{1000 + (1.608 \times H_a)}$$

여기서, H_a는 습증기선도 상의 절대습도(g/kg)이다.

③ NO_x에 대해서는 식 (2)에 따라 온도(T_a)와 습도(H_a) 보정을 한다.

$$\text{Conc(IMO, wet)} = K_{\text{HDIES}} \times \text{Conc(wet)} \quad (2)$$

$$K_{\text{HDIES}} = \text{fn}(T_a, H_a)$$

④ 질량유량을 계산하기 위해 배기유량(G_{exRw})

은 연료소비율과 배기가스 중의 O₂와 CO₂농도를 이용하여 NO_x 기술적 코드에 있는 C/O₂ 평형법을 사용하여 구한다.

$$M_{GAS}(g) = u \cdot \text{Conc}(\text{IMO, wet}) \cdot G_{\text{exRw}} \quad (3)$$

여기서, u는 변환계수이다.

⑤ 배출률(g/kWh)은 출력을 이용하여 구한다.

$$M_{GAS}(g/kWh) = \frac{\sum_{i=1}^n M_{GAS_i} \cdot W_{F_i}}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot W_{F_i}} \quad (4)$$

여기서, P_i는 엔진출력(kW)이며, W_{F_i}는 Table 4에 표시된 가중계수 값이다.

3. 실험결과 및 고찰

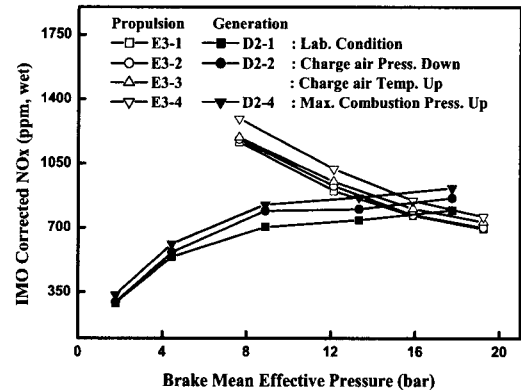
3.1 질소산화물 배출특성

운전조건에 따른 질소산화물(NO_x)과 산소(O₂)의 배출 농도(ppm, %), 배출률(g/kWh)을 각각 Fig. 3, 4에 나타내었다.

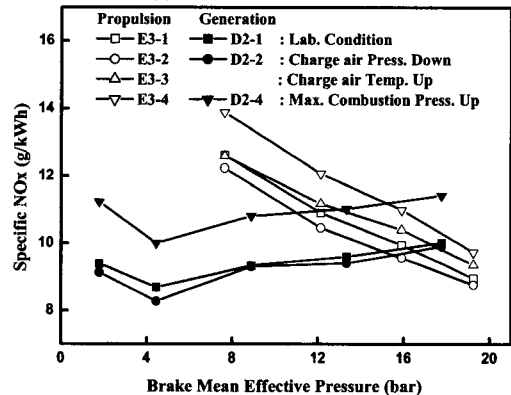
주기용 엔진의 배출특성을 나타내는 엔진 부하와 회전속도를 동시에 증가시키는 E3 사이클에서, NO_x의 배출농도(ppm)와 배출률(g/kWh)은 엔진 부하 증가에 따라 감소하는 경향을 뚜렷하게 보인다. O₂는 엔진 부하율 75%까지 크게 증가하는 경향을 보인 후 일정해진다. 엔진 부하가 감소함에 따라 NO_x가 증가하는 것은 엔진회전속도 느리고 부하가 작은 영역에서 연소가스들이 연소될 수 있는 충분한 시간을 가짐으로서 높은 온도의 연소가스가 발생하여 온도의 지배를 받는 NO_x생성에 큰 영향을 미치기 때문이며,⁽⁸⁾ O₂가 증가하는 것은 엔진회전속도의 증가에 의해 과급기를 통한 공기량이 증가하기 때문이다. 또, 부하의 증가에 따른 과급기에 의한 공기량의 증가는 고온압축 연소시 연소가스의 온도저하에 영향을 주므로 부하 증가에도 불구하고 NO_x량이 더욱 감소하게 된다.

보기용 엔진의 배출특성을 나타내는, 일정한 엔진회전속도에서 엔진 부하를 증가시키는 D2 사이클에서, NO_x의 배출농도(ppm)는 엔진 부하의 증가에 따라 증가 경향을 보이지만, 배출률

(g/kWh)의 경우는 10% 부하가 가장 높고 25% 부하가 가장 낮았으나 나머지 부하에서는 비슷한 값을 가진다. 이는 25% 부하에서부터 과급기의 영향이 매우 커져 흡입공기에 의한 냉각효과가 작용하기 때문이며, 이는 O₂결과와 잘 일치한다. O₂는 배출농도(%)와 배출률(g/kWh) 모두 엔진 부하 증가에 따라 감소 경향을 나타낸다. 특히 부하 25%에서 감소율은 매우 급격하며 이는 과급기의 영향이다. 그러나 배출농도(ppm)에서 NO_x가 증가하는 것은 엔진 부하의 증가에 따라 연료분사량이 증가되고 상대적인 공기량의 감소로 초기의 많은 공기량에 의한 연소가스의 냉각작용이 둔화되고 이를 통한 연소가스의 온도를 상승시키기 때문으로,⁽³⁾ O₂가 엔진 부하 증가에 따라 감소하는 것에서 확인할 수 있다. 그러나, 배출률(g/kWh)이 감소하는 것은 연료량과 공기량에 의한 배기량의 증가율이 엔진 부하의 증가율과 비교할 때 상대적으로 작기 때문이다.



(a) Volume concentration



(b) Corrected specific emission

Fig. 3 NO_x emission characteristics

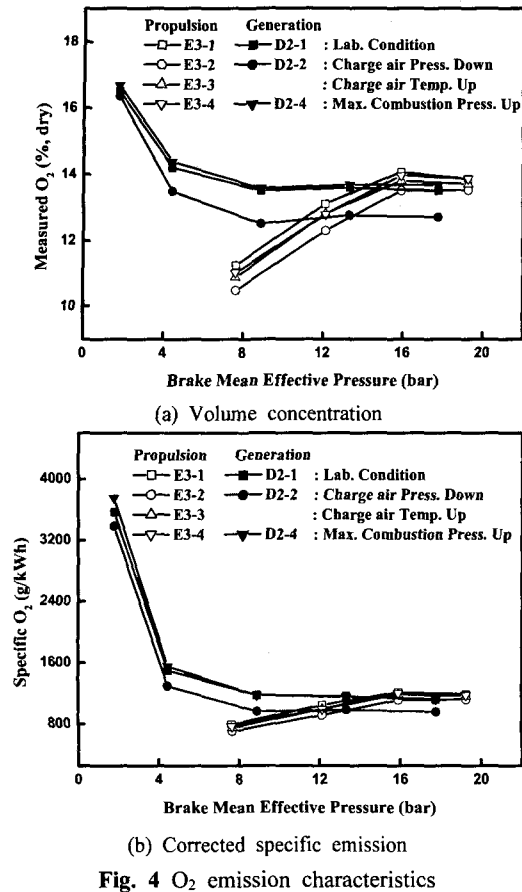


Fig. 4 O₂ emission characteristics

따라서 농도계측에서 나온 결과로 배출률의 증감을 단순히 판단해서는 안 된다.

동일 엔진 부하에서, NO_x 배출은 엔진회전속도가 낮게 설정된 E3 사이클이 D2 운전 사이클보다 높게 나타나고 있다. 이것은 E3 운전 사이클의 경우가 D2 사이클의 경우보다도 엔진회전속도가 낮아, 착화지연이 증가하여 초기연소가 증대하기 때문에 상사점 근방에서의 연소온도가 높고, 상대적으로 고온연소기간이 길기 때문에 연소기간중의 열발생량 증가로 Thermal NO_x에 의해 NO_x 농도가 증가하기 때문이다.⁽⁹⁾

흡입공기압력(P_{air})을 엔진 부하 100% 기준에서 Lab. Condition보다 0.2 bar 감소시켰을 때 (○, ●), NO_x의 배출농도(ppm)는 주기용 엔진의 경우(○) Lab. Condition과 유사한 결과를 가지면서 3% 이내로 약간 증가하는 경향을 보이며, 보기용 엔진의 경우(●) 저부하 조건에서는 Lab. Condition과 유사하며 중부하 이상에서는 8~12%

정도 증가하였지만, 배출률(g/kWh)은 주기용 엔진의 경우 3~4% 정도 감소하고, 보기용 엔진의 경우 중부하 조건에서는 Lab. Condition과 유사하지만 그밖에 조건에서는 2~5% 정도로 다소 감소하는 경향을 나타낸다. O₂의 배출 농도(%)와 배출률(g/kWh)의 경우는 주기용 엔진의 경우 고속, 고부하 조건에서는 Lab. Condition과 유사하며 그 밖의 조건에서는 각각 4~7%, 8~13% 정도 감소하였고, 보기용 엔진의 경우 저부하 조건에서는 각각 5~7%, 14~18% 정도로 감소하는 결과를 나타내었다.

NO_x의 배출농도(ppm) 증가는 P_{air}의 감소에 의한 공기량의 감소로 공기의 고온연소가스의 냉각효과가 감소하기 때문이며,⁽¹⁰⁾ 배출률(g/kWh)의 증가는 공기량의 감소에 의해 배기량이 감소하여 나타난 결과이다.

엔진 전체 부하영역에서 공기냉각기에 공급되는 냉각수에 대해 36℃로 제어하여 흡입공기온도(T_{air})를 증가시켰을 때(△), 주기용 엔진에 대해 저속, 저부하 조건에서는 Lab. Condition과 유사하지만 그 외에는 NO_x의 배출농도(ppm)와 배출률(g/kWh)이 각각 5~6%, 2~5% 정도 증가하지만, O₂의 배출 농도(%)와 배출률(g/kWh)은 고속, 고부하 조건에서 Lab. Condition과 유사하며 그밖에 조건에서 각각 3%, 5% 정도 감소한다. NO_x의 증가는 T_{air}의 증가에 의해 공기를 통한 연소가스 냉각효과를 감소시켜 연소시 화염온도가 증가되기 때문으로 사료되며, O₂의 감소는 흡입공기 온도가 증가함에 따라 공기밀도의 감소에 의해 실제 공기량이 감소하였기 때문이다.

연료분사시기를 2도 진각시켜 연소최고압력(P_{max})을 엔진 부하 100%에서 6bar 증가시켰을 때(▽, ▼), 전체 부하 영역에서 NO_x 배출 농도(ppm)와 배출률(g/kWh)이 가장 많은 증가폭을 나타내고, O₂의 배출 농도(%)와 배출률(g/kWh)은 Lab. Condition의 경우보다는 감소한다. NO_x의 증가는 연료분사시기의 진각에 의해 착화지연기간이 증가하여, 착화지연기간동안 분사된 연료가 일순간 연소함에 따라 P_{max}가 증가하고 주연소기간이 상사점 쪽으로 당겨져 실린더 내 연소가스온도가 더욱 높고, 또 연소가스의 고온 유지시간도 증가하기 때문에 NO_x 생성은 더욱 증가하는 것으로 사료되며, O₂의 감소는 P_{max}가 상사점으로 당겨짐

에 따라 과급기를 통과하기 전의 배기가스 압력이 낮아짐에 따라 과급률이 떨어져 흡입 공기량이 감소하는 것으로 사료된다.

전체 부하 영역에서 사이클과 관계없이 흡입공기압력과 흡입공기온도, 연소최고압력이 NOx 배출에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있으며, 특히 연소최고압력의 경우 NOx 배출에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Fig. 5는 여러 운전조건에서의 각 엔진 부하에 대한 NOx 배출량을 식 (4)의 사이클 배출률로 계산하여 나타낸 것이다. D2 사이클(정속운전)보다 E3 사이클(변속운전)에서의 NOx 사이클 배출률이 높게 나타났고, D2와 E3 사이클에 있어서 Lab. Condition에 비해 연소최고압력이 증가되었을 경우에 각각 1.4g/kWh, 1g/kWh 증가하였고, 연소최고압력의 영향이 NOx 배출에 가장 크게 영향을 끼치는 것을 확인하였다.

3.2 CO, CO₂ 및 THC 특성

Fig. 6, 7, 8에는 여러 운전조건에서 측정된 CO, CO₂ 및 THC의 배출농도와 배출률을 엔진 부하에 따라 나타내었다.

Fig. 6에서 엔진 회전속도가 일정한 D2 사이클은 엔진 부하 증가에 따라 CO의 배출 농도(ppm)와 배출률(g/kWh)은 감소하는 경향을 나타내지만, 엔진 부하의 증가에 따라 엔진 회전속도가 증가하는 E3 운전모드에서는 엔진 부하 75%까지는 CO가 감소하다가 다시 증가하는 특성을 보이고 있다. D2 사이클의 경우, Fig. 4에 나타낸 O₂의 엔진 부하에 따른 감소에서 알 수 있는 것처럼, 초기의 매우 희박한 영역에서 공기에 의한 냉각 효과로 원활한 연소를 이루지 못해 CO의 많은

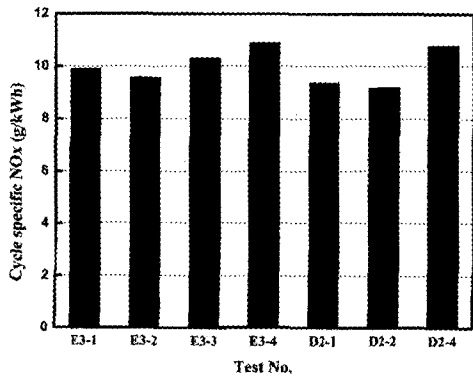


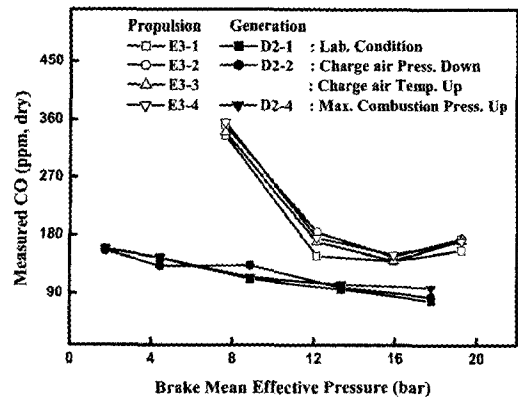
Fig. 5 NOx cycle value at each test condition

배출을 초래하지만, 부하가 증가할수록 연료량의 증대로 연소가 안정되면서 비교적 높은 연소가스가 발생하여 CO의 배출이 감소되는 것으로 사료된다. E3 사이클에서 CO의 엔진 부하에 따른 배출특성은 Fig. 4의 O₂ 배출특성이나 연소특성과 반대되는 경향을 보이는데, 이는 연소실 내의 국소 과농 연소영역의 발생에 기인하는 것으로 사료된다.

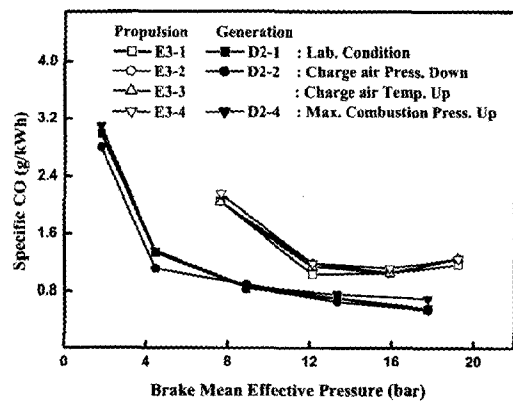
Fig. 7는 CO₂의 배출 농도(%)는 두 가지 사이클의 NOx 배출에서 고려하였던 연소실 내 연소특성과 잘 일치하는 결과를 나타내고 있다.

CO₂의 엔진 부하에 따른 배출률(g/kWh)은 운전 사이클에 상관없이 연료소비율의 변화특성에 영향을 미치는 것으로,⁽⁹⁾ 부하의 증가에 따른 CO₂의 저감이 연료소비율의 향상을 나타낸다.

Fig. 8에서 THC는 D2 사이클에서 초기 매우 희박한 영역에서 공기의 냉각을 통해 많은 배출량이 확인되는 것을 볼 수 있다.⁽³⁾



(a) Volume concentration



(b) Corrected specific emission

Fig. 6 CO emission characteristics

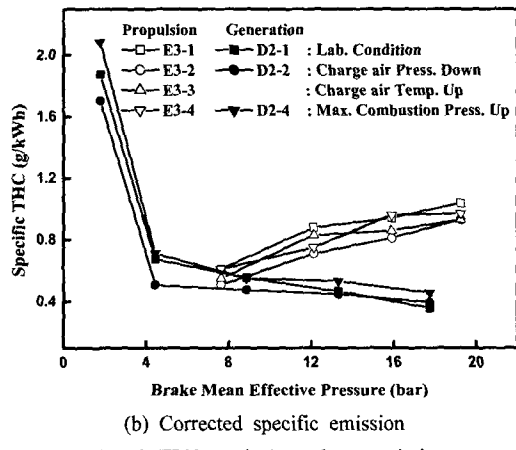
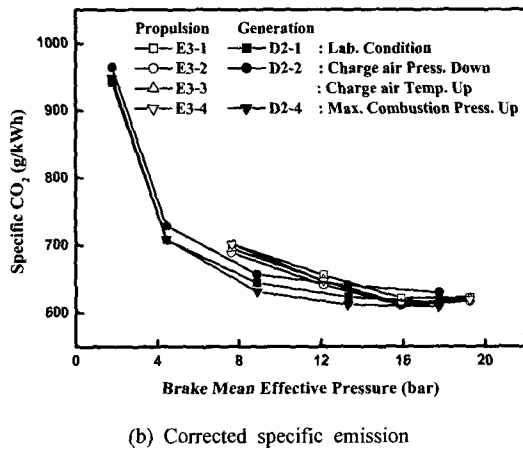
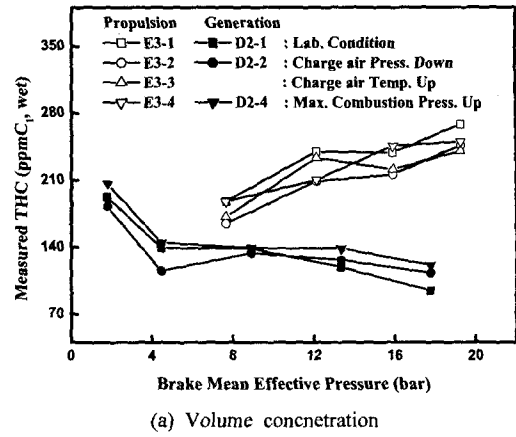
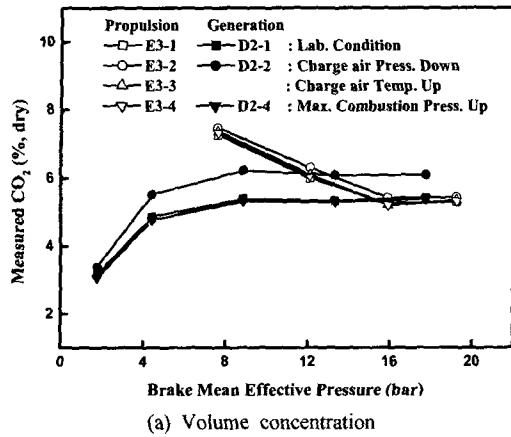


Fig. 7 CO₂ emission characteristics

Fig. 8 THC emission characteristics

E3 사이클의 경우 엔진회전속도와 부하의 증가에 따라 THC가 증가되는 경향을 볼 수 있는데 이것은 부하의 증가에 따른 연료 분사량 증가에 의해 국부적인 과농 연소영역에서 불안정 연소가 발생하여 나타나는 경향으로 사료된다.⁽³⁾ 그러나 흡입공기의 온도와 압력 및 연소최고압력이 THC의 배출에 영향을 주고 있지만 그 특성이 분명하지 않다.

4. 결론

선박용 4행정 디젤엔진을 D2 사이클(정속, 보기용)와 E3 사이클(변속, 주기용)로 운전하여 배기 배출특성을 조사하였다.

또, 흡입공기의 압력과 온도 및 연소최고압력을 변경하여 배기배출물질 발생에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) D2 사이클에서 NO_x의 배출농도(ppm)는 엔진 부하 증가에 따라 증가하지만 배출률(g/kWh)은 감소한다. 그러나, E3 사이클에서 NO_x의 배출농도(ppm)와 배출률(g/kWh)은 엔진 부하 증가에 따라 감소한다.

흡입공기의 압력과 온도가 높을수록, 연소 최고압력이 높을수록, 즉 연료분사 시기가 빠를수록 NO_x의 배출량은 증가하며, NO_x 배출에 가장 큰 영향을 끼치는 것은 연료분사 시기 조정에 의한 연소최고압력의 변화이다.

(2) O₂의 배출은 D2 사이클에서 엔진 부하 증가에 따라 감소하지만, E3 사이클에서는 증가한다.

또, 흡입공기의 압력은 높고, 온도는 낮을수록, 즉, 공기량이 많을수록 O₂의 배출은 증가한다.

(3) CO의 배출은 D2 사이클에서 부하의 증가에 따라 감소되는 경향으로 O₂의 배출 특성과

일치하였고, E3 사이클에서도 감소하는 경향을 보이지만, O₂의 배출특성과는 반대이다.

(4) CO₂의 배출 농도(%)는 D2 사이클에서는 엔진 부하 증가에 따라 증가하지만 E3 사이클에서는 감소 경향을 보인다. 그러나, 배출률(g/kWh)은 운전 사이클에 상관없이 엔진 부하 증가에 따라 감소한다.

(5) THC의 배출은 D2 사이클에서 감소되는 경향을, E3 사이클에서 증가되는 경향을 보인다.

(6) 흡입공기의 온도와 압력, 연소최고압력의 변화는 CO, CO₂ 및 THC의 배출에 영향이 없다.

참고문헌

- (1) IMO, 1997, "Consideration and Adoption of the Protocol of 1977 to Amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as Modified by the Protocol of 1978," MP/CONF. 3/34.
- (2) IMO, 1997, "The Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines," MP/CONF. 3/35.
- (3) HEYWOOD, J. B., 1988, "Internal Combustion Engine Fundamental," McGraw-Hill.
- (4) Tsukamoto, T., Ohe, K. and Okada, H., 1995, "Effect of Intake Air Condition on NO_x Emission from Two-stroke Marine Diesel Engine," ISME, Yokohama, pp. 76~79.
- (5) KUSHIYAMA, H., Yanase, S. and Araki, K., 1995, "Study of Engine Performance Deviation Depend on Conditions," ISME Yokohama, pp. 389~393.
- (6) Schnohr, O. and Frederiksen, P., 1995, "NO_x Optimizing of Auxiliary Engines," 21st CIMAC Congress.
- (7) Kondoh, H., Kawano, T. and Masuda, K., 1999, "Influences of Fluctuation Factors on NO_x Emission From Medium Speed Diesel Engine," 22nd CIMAC Congress.
- (8) Takeuti, N., 1998, "NO_x Reduction Test of Low Speed Diesel Engine," Journal of the Marine Engineering Society in Japan, Vol. 33, No. 5, pp. 346~352.
- (9) Nishida, O., Fujita, H. and Harano, W., 1997, "Actual Exhaust of NO_x, SO_x & Dusts from Training Ship 「Fukae-maru」," Journal of the Marine Engineering Society in Japan, Vol. 32, No. 12, pp. 915~922.
- (10) Woo, S. K., Yoom, K. S. and Yoon, Y. H., 2000, "A Study on the Emission Characteristics of NO_x in Medium Speed Engine," Journal of the Korean Society of Marine Engineers, Vol. 24, No. 4, pp. 526~534.