

선박 발전용 4행정 디젤엔진의 IMO 운전모드에 따른 NO_x 배출특성에 관한 연구

장영준† · 김현규* · 김규보** · 전충환***

(원고접수일 : 2002년 9월 23일, 심사완료일 : 2003년 12월 26일)

A Study on the Characteristic of NO_x Emissions by IMO Operating Modes in a Four Stroke Marine Power Generation Diesel Engine

Young-Jun Chang† · Hyun-Kyu Kim* · Gyu-Bo Kim** · Chung-Hwan Jeon***

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 performance and the emission characteristics of 4 stroke marine diesel engines for generation application in D2 cycle(IMO mode). The effects of important operating parameters, such as intake air pressure, intake air temperature and maximum combustion pressure on NO_x emissions were also described. Emissions measurement and calculation are processed according to IMO Technical Code.

The results show that the maximum combustion pressure by fuel injection timing control and intake air temperature has strong influence on NO_x emission production. But NO_x emission is not affected by intake air pressure and exhaust gas back pressure.

Key words : Exhaust Emissions(배기 배출물질), Marine Diesel Engine(박용 디젤엔진), Maximum Combustion Pressure(연소최고압력), Injection Timing(분사시기), Intake Air Pressure(흡입공기압력), Intake Air Temperature(흡입공기온도), NO_x(질소산화물).

1. 서 론

선박용 엔진에 관한 국제적인 규제 및 승인기구인 국제해사기구(IMO, international maritime

organization)는 지구환경보호가 세계적으로 대두됨에 따라 선박으로부터의 해양오염을 방지하기 위해 1990년대 초부터 본격적인 오염물질에 대한 규제를 시작하였다. 특히 1997년 9월에 IMO는

† 책임저자(부산대학교 기계공학부 기계기술연구소), E-mail : changyj@pusan.ac.kr, T : (051)510-2332

* 주식회사 STX 기술연구소

** 부산대학교 기계공학과 대학원

*** 부산대학교 기계공학부 기계기술연구소

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

부속서-VI에는 2000년 1월 1일 이후 건조되는 선박에 탑재되는 실린더 당 정격출력 130 kW 이상의 디젤엔진에 대해서 엔진회전속도에 따라 질소산화물(NOx)의 배출률을 규제하고 있으며, NOx 기술적 코드는 엔진사용 승인을 위한 기술 보고서의 작성, 시험 및 승인 방법에 대해 상세히 서술하고 있다.

IMO 규제의 초점이 되고 있는 선박용 디젤엔진에서 배출되는 질소산화물은 연소실내에 고압으로 분사된 연료분무가 공기와의 혼합, 증발, 연소의 과정에서 생성된다. 따라서, NOx 배출량은 엔진에 공급되는 공기의 온도와 압력에 의해 영향을 받으며 연료분사시기에 기인한 연소최고압력의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있다.⁽³⁾

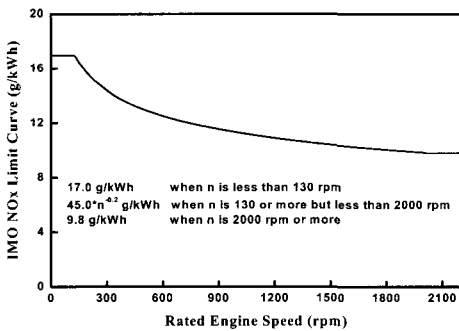


Fig. 1 The IMO NOx emission regulation limits for marine diesel engine²⁾

또한, 연소실에 공급되는 공기의 온도와 압력은 대기의 온도와 압력, 과급기의 성능, 공기냉각기의 열교환 성능, 공기냉각기에 공급되는 냉각수의 온도 등에 영향을 받는다.^(4,5) 대기의 온도와 압력은 운전계절과 계절에 영향을 받고 냉각수의 온도는 운전계절과 운전설비에 영향을 받기 때문에 기관의 운전조건에 의한 NOx 배출의 변동 정도를 확인하여야만 한다.^(6,7) Fig. 1은 현재 IMO에 의해 제정된 선박용 디젤엔진의 배출가스 규제 기준

을 나타낸 것으로 엔진의 회전속도에 따른 NOx 배출규제 정도를 나타낸 것이다. 엔진회전속도가 130 rpm 이하일 경우에 대해서는 17 g/kWh로, 2000 rpm 이상에 대해서는 9.8 g/kWh로 규제하고 있으며, 130~2000 rpm에 대해서는 $45 \times n^{-0.2}$ g/kWh의 관계로 그 배출정도를 규제하고 있다.

본 연구에서는 IMO 운전 조건을 근거로 하여 대형선박에서 발전용으로 많이 사용되는 정격출력이 130 kW/Cyl.인 A엔진과 210 kW/Cyl.인 B엔진을 발전기 구동 방식인 정속운전모드(D2 운전 사이클)로 운전하면서 흡입공기의 온도와 압력 및 연소최고압력, 배기 압력의 변화가 NOx의 배기 배출특성에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

실험에 사용된 4행정 디젤엔진은 선박 발전용으로 사용되는 것으로 과급기가 설치되어 있고, 과급기를 통과한 고온(약 130°C)의 공기를 냉각하기 위해 공기냉각기가 설치되어 있다. Table 1은 시험에 사용된 디젤엔진의 주요사양을 나타낸 것으로 발전기 구동용 엔진에 맞게 일정한 주파수(720rpm=60Hz)의 전기를 생산하기 위해 전부 하영역에서 동일한 엔진회전속도로 운전하기 위해 정격회전속도(rated speed) 720 rpm으로 운전되었다.

Table 1 Specification of the test diesel engines

Item	Unit	A Engine	B Engine
Power/cyl. at MCR	kW	130	210
Engine speed	rpm	720	720
Number of cylinders	-	6	9
Bore	mm	230	280
Stroke	mm	300	320
Compression ratio	-	13.0	13.3
Max. comb. pressure	bar	130	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

본 실험을 위해 사용된 장치로는 정속운전모드(D2 운전 사이클) 구현시 엔진의 출력 제어 및 측정에 엔진 출력에 부합하는 발전기를 사용하였고, 연소최고압력을 측정하기 위한 Pmax게이지, 연료소모량 측정을 위한 질량 유량계 그리고 배기 중에서 NOx, CO, CO₂, O₂ 및 THC의 농도 측정(ppm, Volume %)이 가능한 배기분석기이다. Table 2는 본 실험에 사용된 배기분석기의 주요 사양을 나타낸다. 온도센서와 습도센서, 대기압력계를 이용하여 측정된 NOx 배출 농도를 대기 온도와 습도에 대해 보정하였으며, 그 외 엔진 각 부위의 온도와 압력을 계측하였다. Fig. 2는 배기 농도 측정을 위한 흐름도를 나타낸다.

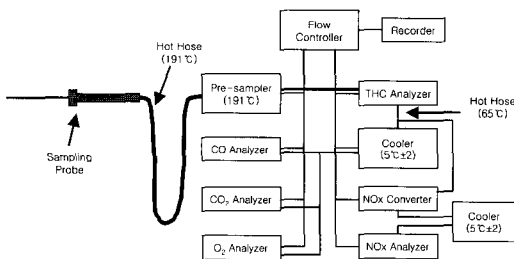


Fig. 2 Flow diagram of emission measurement

Table 3 The specification of fuel oil

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

측정된 배기 농도를 IMO 규제기준인 질량기준의 배출율(g/kWh)로 표시하기 위해서는 사용된 연료의 정확한 성분분석이 필요하다. Table 3에는 사용된 연료의 주요성분에 대한 분석결과를 나타내었다.

2.2 실험 방법 및 조건

IMO의 NOx 기술적 코드에는 선박 발전용 디젤엔진에 대해서 발전기 구동 운전을 위한 정속운전모드(D2 운전 사이클)를 제시하고 있다. Table 4는 D2 운전 모드의 운전조건 및 가중계수를 나타낸다. 보기용 D2 운전모드는 엔진의 회전속도를 100%로 일정하게 유지하면서 부하를 변화시킨다.

Table 4 IMO test mode and weighting factors

Test cycle	D2 CYCLE				
	Load, %	75	50	25	10
Speed, %	100	100	100	100	100
Weighting factor	0.05	0.25	0.3	0.3	0.1

Table 5 Experimental conditions

Experimental condition	A Engine	B Engine
Laboratory condition	□, A-1	■, B-1
Exhaust back pressure up	○, A-2	●, B-2
Charge air pressure down	△, A-3	▲, B-3
Charge air temperature up	▽, A-4	--
Maximum combustion pressure up	◇, A-5	◆, B-5

Table 5은 실험조건을 나타낸 것으로 NOx 기술적 코드에 언급되어있는 흡입공기의 온도와 압력, 분사시기 변화를 통한 연소최고압력 변화, 배기 배출구의 배압 변화를 실험변수로 설정하여 NOx 배출특성 및 엔진성능 변화에 대한 실험을 수행하였다. 우선 배기 배출관에 밸브를 설치하여 배압을 허용압력까지 상승시켰고(○, ●) 흡입 공

기의 압력 변화는 흡기매니폴드에 공기 배출밸브를 설치하여 엔진부하율 100%기준에서 0.2 bar 감소시켜 흡입공기의 압력을 낮추었다(△, ▲). 그리고 흡입 공기의 온도를 높이기 위해 공기냉각기에 공급되는 냉각수의 온도를 허용최대온도인 36℃로 높여 전 부하영역에서 이 온도를 유지하도록 제어하였고 이를 통해 흡입공기온도를 24℃ 기준조건에서 44℃ 수준으로 유지하도록 하였다(▽). 연소최고압력을 높여주기 위해 연료분사시기를 약 2도 진각시켜 엔진부하율 100%기준에서 6 bar(약 4%) 정도 증가시켰다(◇, ◆). B 엔진의 경우는 실험 시는 흡입공기 냉각수의 온도를 허용최대온도까지 높여 수행하여 흡입공기 냉각수의 온도를 더 이상 증가시키지 못하여 변수로 이용하지 않았다.

2.3 배기 배출율(g/kWh) 계산

배기분석기를 이용하여 계측된 배출농도는 부피농도(ppm 또는 %)이며, THC를 제외하고는 수분이 포함되지 않은 건기(dry)기준이다. 규제치로 표시되는 질량농도(g/kWh)로의 변환을 위해 IMO에서 제시한 필요한 보정 및 환산 방법은 다음과 같다.

① 각 실험조건에서 계측을 시작하여, 연소 안정을 THC값으로 변화 정도를 확인한 후, 1분간 연속 측정하여 평균농도를 계산한다.

② 건기(dry)기준의 농도를 식(1)과 같이 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_a 는 습증기선도 상의 절대습도(g/kg)를 나타낸다.

③ NOx에 대해서는 식(2)에 따라 대기 온도(T_a)와 대기 습도(H_a)에 대해 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 배출량은 식(3)을 이용하여 구하며, 배기 배출유량(G_{EXHW})은 연료소비율과 배기가스 중의 O₂와 CO₂농도를 이용하여 NOx 기술적 코드에 있는 C/O₂ 평형법을 사용하여 구한다.

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

여기서, u 는 변환계수이다.

⑤ 배출률(g/kWh)은 출력과 가중계수를 이용하여 구한다.

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

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

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 엔진성능특성

Fig. 3, 4, 5는 실험에 사용된 두 엔진을 여러 가지 실험 조건에서 운전하여 계측된 엔진성능특성의 변화를 나타낸 것으로 연소최고압력, 연료소비율 및 공기과잉률을 엔진 부하의 증가에 따라 나타내었다.

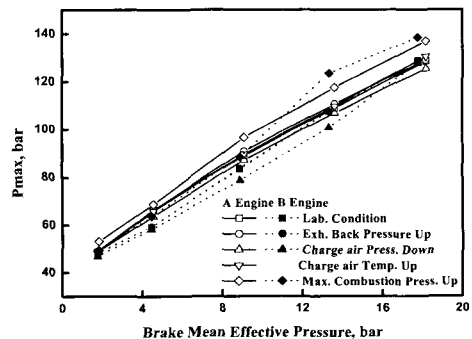


Fig. 3 Maximum pressure for each condition

두 엔진의 경우에 있어서 분사시기를 2도 진각 시킴으로서 다른 조건에서보다 연소최고압력이 높게 나타냄을 알 수 있는데 기준조건(Lab.

Condition)의 경우보다 A엔진의 경우 최고 8% 정도, 그리고 B엔진의 경우 14% 정도 높게 나타났으며, 이는 엔진제원상의 연소최고압력 130 bar 보다 높게 나타난 것이나 실험에 사용된 엔진의 경우 정격출력에 대한 110% 정도에서도 연속 운전이 가능하도록 되어 있다. 분사시기를 진각시킴으로서 착화지연기간 동안 상대적으로 많은 양의 연료가 연소되지 못하고 연소실에 존재하게 되며 이러한 조건에서 연료가 일순간 연소되어 연소최고압력의 상승을 유발하게 된다.

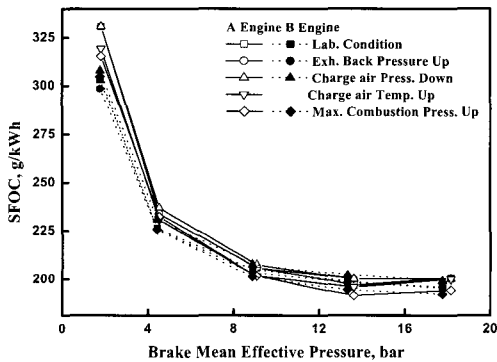


Fig. 4 Specific fuel oil consumption for each condition

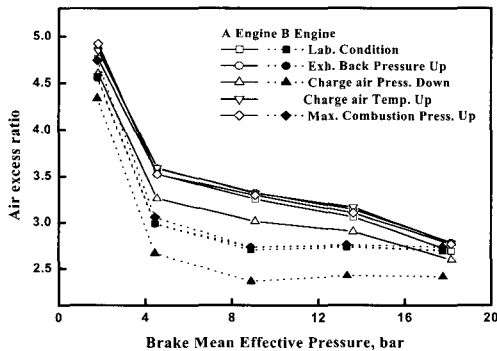


Fig. 5 Air excess ratio for each condition

흡입공기의 압력을 낮추었을 경우 A엔진은 최고 4% 정도, B엔진은 6% 정도 각각 연소최고압력이 낮게 나타났다. 하지만 배압을 증가시켰을 경우나 흡입공기의 온도를 높였을 경우에는 기준조건(Lab. Condition)과 큰 차이를 보이고 있지

않다.

흡입공기의 압력을 낮추었을 경우 연소실 내의 충전효율이 감소하여 상대적으로 충분한 연소압력을 생성하지 못하였는데 Fig. 5에 나타난 공기과잉률의 결과를 통해 흡입공기가 다른 조건에서보다 상대적으로 적게 충전됨을 알 수 있다. Fig. 4는 연료소비율을 나타낸 것으로 디젤엔진의 부하나 엔진회전속도에 영향을 받는 디젤엔진의 분사장치 특성상 부하나 엔진회전속도가 동일한 조건에서는 각 실험조건마다 흡입공기의 압력에 큰 영향을 받지 않으면서 거의 일치하는 결과를 나타내고 있다. 이는 거의 일치하는 연료소비율에서 연소상태의 변화에 따라 압력분포가 변하게 됨을 설명하게 된다.

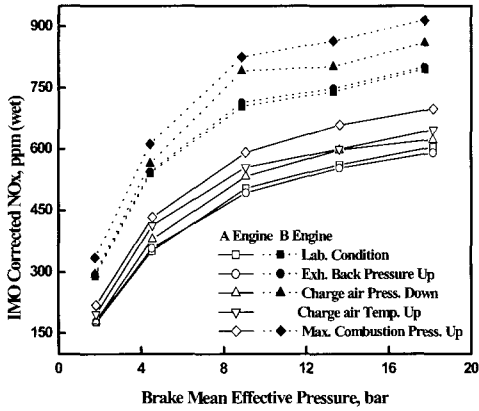
Fig. 5는 공기과잉률을 나타내었다. 각 실험조건중에서 특히 흡입공기 압력을 감소시켰을 경우 A, B 엔진에 있어서 기준조건(Lab. Condition)의 경우보다 각각 7%, 12% 정도 감소된 경향을 나타내고 있지만 배압을 증가시켰을 경우나 분사시기를 진각시켜 연소압력을 상승시킨 경우, 흡입공기의 온도를 상승시켰을 경우에는 공기과잉률에 큰 변화를 주지 않는 것을 확인할 수 있다. 흡입공기 압력을 감소시킬 경우 엔진의 연소실에 대한 흡입공기의 충전 효율을 떨어뜨리게 되고 디젤 분사계 특성상 흡입공기에 관계없이 운전조건에 따라 제어되기 때문에 상대적으로 각 운전조건에서 공기과잉률이 다른 실험조건들에 비해 감소된 것이다.

3.2 질소산화물과 산소의 배출 특성

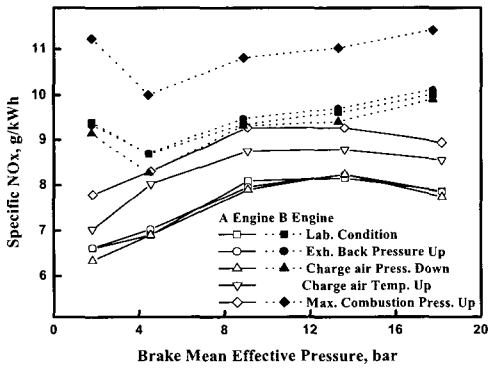
운전조건에 따른 질소산화물(NOx)과 산소(O₂)의 배출 농도(ppm, %), 배출률(g/kWh)을 각각 Fig. 6, 7에 나타내었다.

각각의 그림은 일정한 엔진회전속도에 대한 부하의 증가를 제동평균유효압력(bar)으로 나타내었고, 기본조건을 기준으로 실험변수로 적용된 배압 증가와 흡입공기압력 감소, 흡입공기온도 증가, 분사시기 진각에 따른 연소압력 상승의 조건에 대한 질소산화물과 산소의 배출특성을 비교한 것이다. 그림에서 A 엔진이 B 엔진에 비해 전체적으

로 낮은 NO_x 배출 경향을 보이고 있는데 이는 B 엔진이 상대적으로 큰 연소실 체적과 많은 연소실을 가짐으로서 절대적으로 배출되는 배기량이 많기 때문에 나타나는 현상이다.



(a) Volume concentration

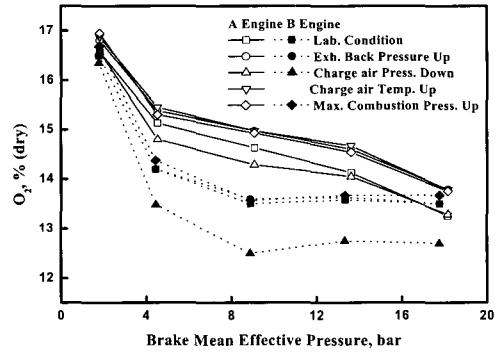


(b) Corrected specific emission

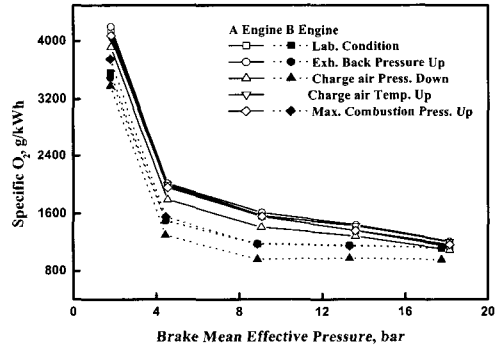
Fig. 6 NO_x emission characteristics

Fig. 6(a)는 NO_x의 배출특성을 체적농도로 나타난 것으로 두 엔진에서 모두 부하가 증가함에 따라 배출농도가 증가하는 현상을 관찰할 수 있고, 실린더 수가 더 많은 B 엔진의 경우가 상대적으로 높은 농도 값을 나타내고 있으며, 두 엔진에서 부하의 증가에 따른 배출농도의 증가폭은 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 7에 나타난 결과와 같이 고부하 조건에서 공기과잉률이 감소하며, 또한 상대적으로 연료가 많이 분

사되어 연소실 내부에 국부적으로 농후한 혼합기를 형성하게 되고 이는 불완전 연소를 유발시키면서 낮은 연소온도를 갖게 되고 이러한 현상은 NO_x의 생성을 줄이게 되어 나타나는 현상으로 사료된다.



(a) Volume concentration



(b) Corrected specific emission

Fig. 7 O₂ emission characteristics

또한 각 실험변수에 대한 NO_x의 배출농도를 관찰할 수 있는데 연소최고압력이 증가한 경우에는 그 배출농도가 가장 높은 것을 관찰할 수 있는데 이는 기준조건(Lab. Condition)의 경우보다 A, B엔진에서 최고 23%, 17%정도 많이 배출되는 것으로 다른 실험조건과 달리 높은 연소압력으로 인해 고온연소가 발생하면서 열적 NO_x (thermal NO_x)의 생성을 촉진시킨 것이다⁽⁸⁾. 이러한 온도의 영향을 받는 형태로 흡입공기의 온도를 증가시켰을 경우도 엔진의 연소실 내부온도

를 고온상태로 유지하여 NOx의 배출농도가 증가된 것이라 설명할 수 있으며, 기준조건(Lab. Condition)의 경우보다 최고 17% 정도 증가되었다⁽⁹⁾. 흡입공기압력을 감소시킨 경우도 배출농도가 A, B엔진에서 기준조건의 경우보다 약 8%, 12% 정도 증가하는 것을 관찰할 수 있는데 이는 과급장치와 흡입공기 냉각방식을 사용하는 엔진에서 과급된 낮은 온도의 흡입공기들이 기준조건의 경우보다 상대적으로 작게 흡입되어 연소실 내부 조건을 고온상태로 유지할 수 있도록 하여 배출농도가 증가된 것으로 사료된다.⁽¹⁰⁾ 하지만 배압을 형성시켰을 경우는 NOx 배출농도에 큰 차이를 보이지 않고 있는 것을 확인할 수 있다.

NOx의 배출량을 체적농도에서 질량률로 환산하였을 경우에는 체적농도결과와 달리 곡선의 기울기가 심하지 않은 것을 확인할 수 있는데 이는 각 엔진의 부하별 연소 최적조건의 차이(과급기특성, 연소실 공급 공기량, 연료 연소율 등)에 기인한 것으로 판단되며 이러한 결과는 배기 분석기로 직접 측정되는 농도(ppm) 단위값을 보고 배출율(g/kWh)의 증감을 단순히 판단해서는 안된다는 것을 의미하는 것이다.

각 엔진에 대한 실험조건에서 분사시기를 진각시켜 연소최고압력을 높인 경우와 흡입공기의 온도를 높였을 경우는 NOx의 배출을 농도값으로 나타내었을 경우와 동일하게 높은 배출량을 나타내고 있으며 기준조건의 경우보다 A, B엔진에서 20%, 19%정도 더 배출되는 것으로 나타났다. 그러나 흡입공기압력을 낮추었을 경우는 오히려 기준조건과 유사하거나 작은 값을 나타내고 있는데 이러한 결과는 흡입공기압력을 낮추었을 경우 흡입되는 공기량의 감소로 배출되는 가스의 절대적인 양이 감소되어 나타내는 결과로 Fig. 7에 나타난 산소의 배출특성 결과에서 관찰할 수 있다. 흡입공기 온도를 높였을 경우 배출농도에서 나타난 결과와 같이 높게 나타나는 것을 관찰할 수 있는데 기준조건의 경우보다 약 16%정도로 높은 배출량을 보이고 있다. 이것은 상대적으로 흡입공기의 온도를 높임으로써 공기밀도가 감소하여 연소실로 흡입되는 공기량이 약간 감소하게 되고 엔진의 연

소실 내부 조건을 고온상태로 유지할 수 있도록 하여 상대적으로 많은 양의 NOx가 배출되는 것으로 사료된다. 그리고 배압을 증가시킨 경우에는 NOx 배출농도 결과와 마찬가지로 기준조건과의 일치하는 결과를 나타냄을 알 수 있다.

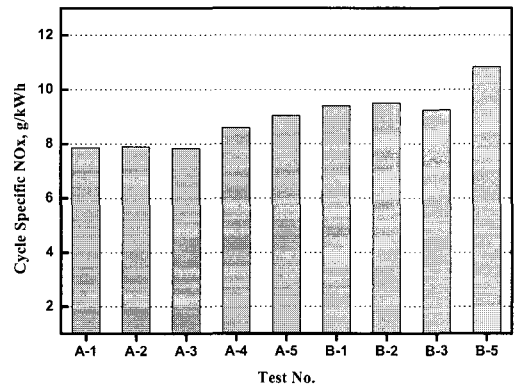


Fig. 8 NOx cycle value at each test condition

Fig. 8은 A, B엔진에 대한 각 실험조건에서 NOx의 배출량을 식(4)의 사이클 배출율로 계산하여 나타낸 것이다. A, B엔진 모두 연소최고압력이 증가되었을 경우(A-5, B-5)에 기준조건의 경우보다 각각 1.17 g/kWh, 1.42 g/kWh 증가하였고, 다른 실험조건에 비해 연소최고압력의 영향이 NOx 배출에 크게 영향을 끼치는 것을 확인하였다.

4. 결 론

선박의 적용되는 발전용 4행정 대형 디젤엔진을 D2 사이클(정속운전조건)로 운전하여 NOx의 배출특성을 조사하였다.

또한, 배기 압력과 흡입 공기 압력, 흡입 공기 온도, 연소최고압력에 변화를 주어 각 엔진운전상태 변화와 NOx 발생에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

D2 사이클에서 NOx의 배출농도(ppm)은 두 엔진의 경우 저부하 조건에서 중부하 조건까지는 급속히 증가하다가 중부하 조건이상에서는 증가폭이 감소하며, 배출율(g/kWh)은 부하조건에 관계

없이 그 증감이 작게 나타난다. 그리고 실린더 수와 연소실체적이 더 큰 B엔진의 경우가 A엔진의 경우보다 배출농도(ppm)나 배출율(g/kWh)은 더 높게 나타난다.

흡입공기압력의 감소와 배기 압력의 증가는 두 엔진에 대해 NOx 배출에 큰 영향을 미치지 못한다. 그러나 흡입공기압력감소의 경우는 미소하게 감소하는 것으로 나타난다.

하지만 흡입공기온도를 증가시킨 경우와 분사시기를 진각시킴으로써 증가된 최대연소압력의 상승은 NOx 배출량의 증가에 영향을 끼치며, 특히 최대연소압력을 증가시킨 경우는 NOx 배출량 증가에 가장 큰 영향을 미친다.

O₂ 배출량은 B 엔진의 경우가 중부하조건에서 더 작게 나타나며 저부하와 고부하조건에서는 두 엔진이 유사하게 나타난다. 흡입공기 압력을 감소시킨 경우는 두 엔진에 있어서 모두 감소하며, 흡입공기온도나 연소최고압력, 배기 압력에 의해서는 큰 변화를 나타내지 않는다.

참고문헌

- [1] IMO, "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, 1997.
- [2] IMO, "The Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines," MP/CONF. 3/35, 1997.
- [3] HEYWOOD, J. B., "Internal Combustion Engine Fundamental," McGraw-Hill, pp. 491~566, 1988.
- [4] T. Tsukamoto, K. Ohe, H. Okada, "Effect of Intake Air Condition on NOx Emission from Two-stroke Marine Diesel Engine," ISME, Yokohama, pp.76-79, 1995.
- [5] H. KUSHIYAMA, S. Yanase, K. Araki, "Study of Engine Performance Deviation Depend on Conditions," ISME Yokohama, pp.389-393, 1995.
- [6] O. Schnohr, P. Frederiksen, "NOx Optimizing of Auxiliary Engines," 21st CIMAC Congress., Paper D64, 1995.
- [7] H. Kondoh, T. Kawano, K. Masuda, "Influences of Fluctuation Factors on NOx Emission From Medium Speed Diesel Engine," 22nd CIMAC Congress, pp. 803~812, 1999.
- [8] O. Nishida, H. Fujita and W. Harano, "Actual Exhaust of NOx, SOx & Dusts from Training Ship 「Fukae-maru」," Journal of the Marine Engineering Society in Japan, Vol.32, No.12, pp.915-922, 1997.
- [9] Stephen R. Turns, "An Introduction to Combustion: Concepts and Applications," 2nd ed., McGraw-Hill, pp. 168~171, 2000.
- [10] S. K. Woo, K. S. Yoom, Y. H. Yoon, "A Study on the Emission Characteristics of NOx in Medium Speed Engine," Journal of the Korean Society of Marine Engineers, Vol.24, No.4, pp.526-534, 2000.

저 자 소 개



장영준 (張英俊)

1947년 5월생, 1975년 부산대학교 기계공학과 졸업, 1977년 동대학원 기계공학과 졸업(석사), 1986년 일본 동경공업대학 기계공학과 졸업(박사), 현재 부산대학교 기계공학부 교수당회 중신회원



김현규 (金鉉珪)

1948년 3월생, 1990년 부산대학교 정밀기계공학과 졸업, 1992년 동대학원 정밀기계공학과 졸업(석사), 1998년 동대학원 정밀기계공학과 박사과정 수료, 1992년~현재 주식회사 STX 기술개발팀 근무, 당학회 단체회원



김규보 (金圭保)

1973년 9월생, 2000년 부경대학교 기계공학과 졸업(학사), 2000년~현재 부산대학교 기계공학과 대학원 재학 중당학회 학생회원



전충환 (全忠煥)

1962년 10월생, 1985년 부산대학교 기계공학과 졸업, 1987년 동대학원 기계공학과 졸업(석사), 1994년 동대학원 기계공학과 졸업(박사), 1995년~1996년 펜실베니아 주립대 추진공학연구센터 Post/Doc, 1996년~2002년 부산대학교 기계공학부 전임 연구교수, 현재 부산대학교 기계공학부 기계기술연구소 교수 당학회 중신회원