선박용 디젤기관(4-Stroke)의 특정인자가 질소산화물에 미치는 영향 고찰

이재우+ ·권오신++ ·김주태+++ ·이병운++++

Effects of Each Characteristics on NOx Emission Values for Marine 4-Stroke Diesel Engine

J. W. Lee+ ·O. S. Kwon++ ·J. T. Kim+++ ·B. W. Lee++++

Abstract : It becomes necessary for engine manufactures to verify whether lots of engines on test bed during shop test are in compliance with NOx Technical Code for marine diesel engines more efficiently on the basis of engine group test concept which contains parent engine and member engines since all the engines are not needed to take NOx measurement. In addition, it becomes more obliged to consider parameters which affect NOx emission level and describe these parameters in NOx technical file as engine information and settings to define engine operation range with tolerance to make sure the engines are still in compliance with NOx emission limit on board after shop test. During preparation of engine group test for 4-stroke marine diesel engines, we evaluated NOx emission value under different engine operating conditions and found that there are certain parameters, for example, Charge air temperature and Max. cylinder pressure which have influence on NOx emission level. The NOx emission shall be satisfied with NOx technical code by means of controlling such parameters.

Key words : NOx technical code(선박용 디젤엔진의 NOx 배출 제어에 관한 기술코드), 엔진 Group test(엔진 그룹개념 질소산화물 배출량 시험), Charge air pressure(소기 압력), Max. cylinder pressure(실린더 최고 압력)

1. 서 론

선박으로부터 오염방지를 위한 국제협약(MARPOL 73/78)의 당사국은 1997년 9월 26일 MP Conference Resolution 2에 의해 “선박용 디젤엔진의 NOx 배출제어에 관한 기술코드” (Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines)를 채택했다. MARPOL 73/78의 부속서VI - “선박으로부터 대기오염방지에 대한 협약”하에서 또한 발효 후에 이 부속서의 제13규칙이 적용되는 130 kW 이상의 모든 선박용 디젤엔진은 이 코드의 규정에 따라 각각의 선박이 속해있는 국가의 검사대행기관(주관청 검사기관)의 입회 하에 Test를 수행하고 배출되는 질소산화물 배출량이 선박용 디젤엔진의 NOx 배출제어에 관한 기술코드(이하 ‘NOx Technical Code’)에서 언급한 제한 값(Limit

+ 이재우(현대중공업(주) 엔진기계사업본부 엔진기술개발부),E-mail : noxlee@hhi.co.kr, Tel. : 052)230-7269
++ 권오신, 현대중공업(주) 엔진기계사업본부 설계총괄
+++ 김주태, 현대중공업(주) 엔진기계사업본부 엔진기술개발부
++++ 이병운, 현대중공업(주) 엔진기계사업본부 엔진기술개발부

Value) 만족 여부에 대한 확인 시험을 엔진제조자의 공장에서 주관청 검사기관 입회하에 수행하여야한다.

엔진제조자는 공장 시운전시 수많은 생산엔진에 대하여 보다 효율적으로 선박용 디젤엔진의 NOx Technical Code 만족여부를 확인할 필요성(엔진 Group Test)과 추후 선상에서의 엔진 운전에 대한 범위 및 정확성 제한을 위한 각각의 특정 인자별로 발생하는 질소산화물의 배출량에 대한 정확한 지표산출의 필요성이 대두되었다.

이글은 당사에서 제작한 Four(4) Stroke Marine Diesel 엔진에 대하여 엔진 Group Test를 준비하면서 질소산화물 발생에 영향을 주는 각각의 특정 인자별 질소산화물 발생량과의 관계에 대하여 언급하고자 한다.

2. 실험 대상 엔진

아래에 언급한 3종의 엔진에 대하여 질소산화물발생에 영향을 주는 각각의 특정 인자를 확인하기 위하여 질소산화물 배출량 Test를 수행하였다.

2.1. Hyundai-MAN B&W L23/30
- Engine Type : L23/30
- Norminal Rating : 130 kW/cyl. at 720 rpm
- De, up-Rating : 104, 143 kW/cyl.
- Pmax. : 130±3 bar
- Number of Cylinder : 5, 6, 7, 8

2.2. Hyundai-MAN B&W L27/38
- Engine Type : L27/38
- Norminal Rating : 300 kW/cyl. at 720 rpm
- De, up-Rating : 240, 330 kW/cyl.
- Pmax. : 190±5 bar
- Number of Cylinder : 5, 6, 7, 8, 9

2.3. Hyundai-MAN B&W L28/32H
- Engine Type : L28/32H
- Norminal Rating : 210 kW/cyl. at 720 rpm
- De, up-Rating : 168, 231 kW/cyl.
- Pmax. : 130±3 bar
- Number of Cylinder : 5, 6, 7, 8, 9

3. 실험 설비

당사의 중형엔진 시운전 공장에서 HORIBA社로부터 구매한 Station용 Analyzer를 사용하여 계측을 실시하였다.

NOx Technical Code에서 규정한 시운전 시 각각의 측정 파라미터에 의해 측정되는 값의 정확성을 위하여 각종 Gauge는 별도의 공인기관에서 Calibration을 수행하였고, Analyzer Function Test를 수행한 장비를 사용하였다.

Fig. 1 Exhaust Gas Analyzer

Item	Description
A	Flow Controller
B	CO / CO_2 Analyzer
C	THC / O_2 Analyzer
D	NOx Analyzer
E	Temperature Controller
F	Cooler Unit
G	Pre-Sampler
H	Chart Recorder
I	SPAN Gases
J	Zero / Operation Gases

4. 실험 방법

NOx Technical Code에서 규정한 방법에 의거 배기가스 배출량 Test를 수행하였다.

Test Cycle은 D2 Mode 이다.

5. 질소산화물(NOx) 계산방법

NOx Technical Code에서 규정한 탄소와 산소의 밸런스법 (Universal Carbon/Oxygen-Balance Method) 을 사용하여 연료소비량과 배기가스 농도로부터 배기가스 질량 유량을 계산하였다.

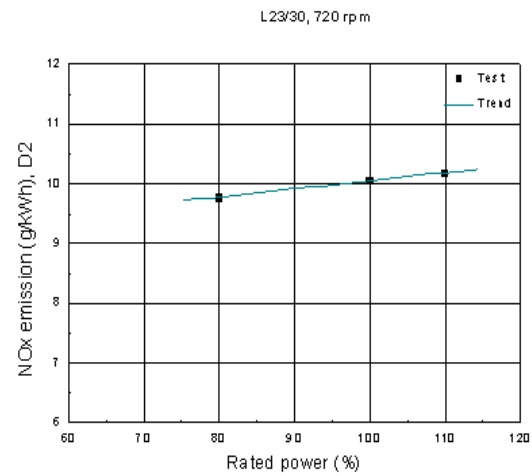
질소산화물 배출량 계산에 필요한 Reference 소기온도(Tscv. ref.)는 각각의 Load에서의 실제 계측된 소기온도(Tscv.)를 적용하였다.

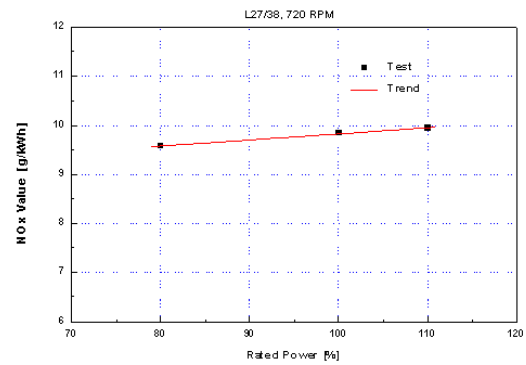
6. 특정 인자별 질소산화물(NOx) 발생량 고찰

6.1. 엔진 정격마력 제어 (Rated Power Control)

엔진정격마력에 대하여 선박에서 요구하는 보다 다양한 Power의 범위를 Cover 하기 위하여 정상설계 기준마력(100% at Rated Power) 기준으로 Up-Rated(110% at Rated Power) 및 De-Rated(80% at Rated Power)에 대하여 질소산화물 발생량과의 관계를 확인하는 시험을 하였다.

본 Extension Test는 정확한 질소산화물 발생량을 확인하기 위하여 각 엔진에 대하여 열다섯(15) Load의 IMO NOx Emission Test를 수행하였고, 그 결과는 아래의 그림과 같다.





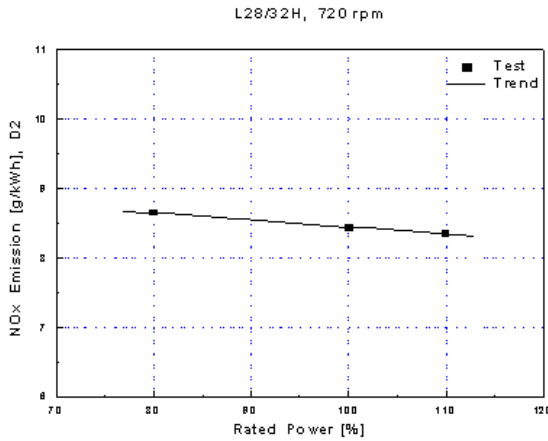


Fig. 2 Rated Power Control

상기의 결과로 볼 때 엔진정격마력의 변화에 따른 질소산화물 발생량은 엔진 전체에서 발생하는 질소산화물량에 미치는 영향이 미미함을 확인 하였다.

엔진 Group Test를 벗어난 Rating에서의 IMO NOx Emission Test시에도 본 NOx 발생량과 관련한 자료로 사용할 수 있다고 판단된다.

NOx Technical Code에서 부여한 엔진 시운전 공장에서의 마력 측정용 Gauge에 대한 허용 오차 ±2%는 타당하다고 하겠다.

6.2. 소기압력 제어 (Charge Air Pressure Control)

엔진성능에 영향을 주지 않는 범위 내에서 엔진소기 압력을 정상설계기준 압력 대비 증감하여 Pressure Setting 후 각각의 경우가 질소산화물 발생량과 관계를 확인하는 시험을 하였고, 그 결과는 다음과 같다.

계측은 Down Stream으로 수행 하였다.

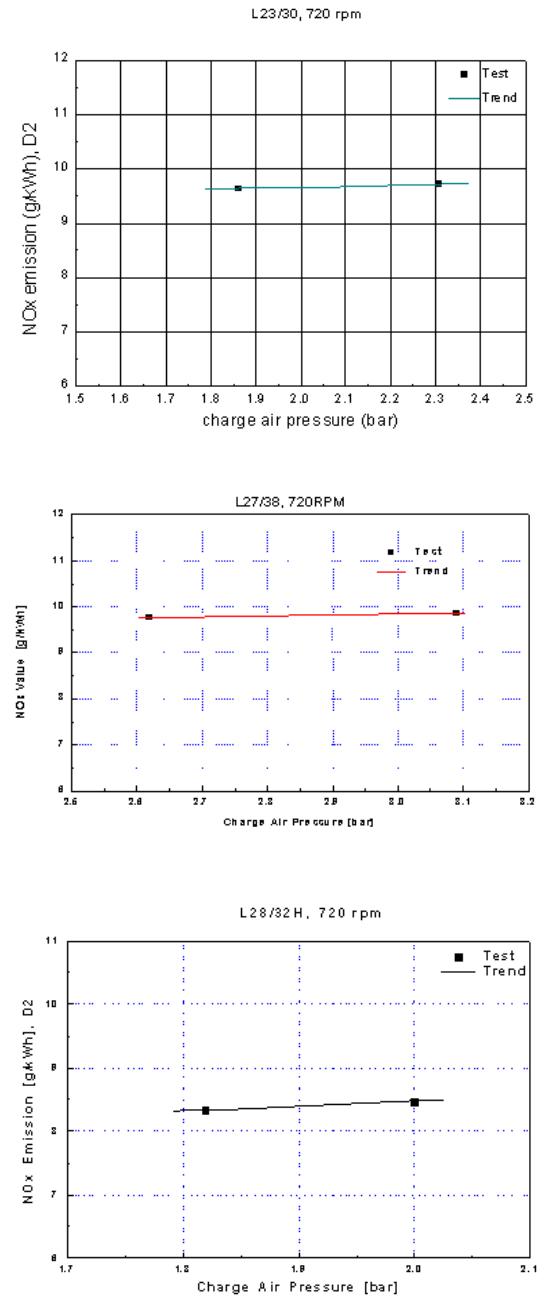


Fig. 3 Charge Air Pressure Control

상기 결과를 보면 엔진에서의 소기압력과 질소산화물 발생량의 관계는 매우 중요한 의미를 내포하고 있다. 다시 말하면, 상기 Engine들에 대한 질소산화물 발생량에 대한 경향은

Turbocharger로 부터 발생하는 소기압력의 흐름에 많은 연관이 있음을 알 수 있다.

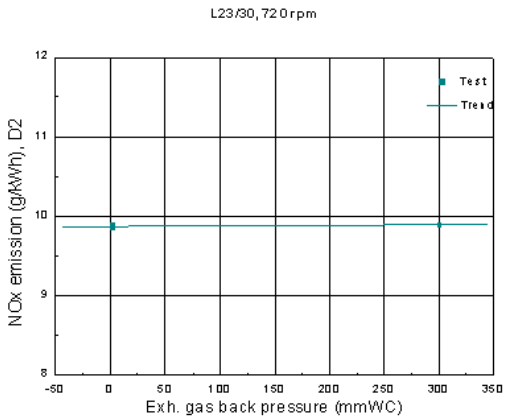
이는 다른 Turbocharger Maker 및 Diffuser and Nozzle Ring의 Design이 다르더라도 엔진에서 요구하는 동일 소기 압력을 발생시키면 질소산화물 발생량은 변동이 없음을 의미하고, Member Engine에 다른 Turbocharger를 적용할 수도 있다는 것을 보이고 있다.

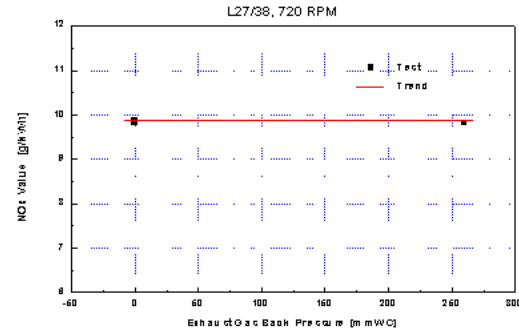
그렇지만, NOx Technical Code를 만족하기 위해서는 Turbocharger Maker or 다른 종류의 Turbocharger를 적용 할 시는 필히 주관청 검사기관의 승인을 득해야 한다.

6.3. 배기가스 배압 제어 (Exhaust Gas Back Pressure Control)

엔진 배기가스에 대한 표준 설계값(max. 250 mmWC at 100% Load)을 기준으로 광범위한 범위(2 and 301 mmWC)에 대하여 질소산화물 발생량과 관계를 확인하는 시험을 하였고, 그 결과는 아래와 같다.

계측은 Down Stream으로 수행 하였다.





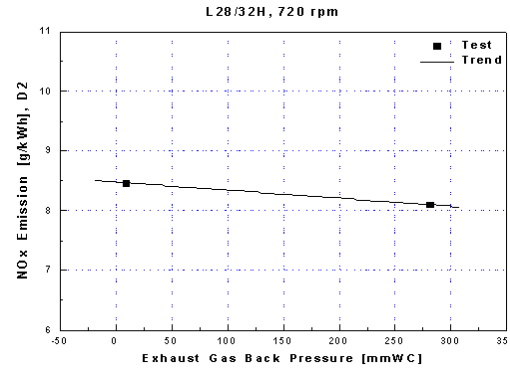


Fig. 4 Exhaust Gas Back Pressure Control

상기 결과를 보면 엔진에서의 배기가스 압력은 질소산화물 발생량에 미치는 영향이 거의 없음을 알 수 있다.

NOx Technical Code에 따른 측정값 계산에는 적용하지 않아도 되는 인자임을 확인 할 수 있었다.

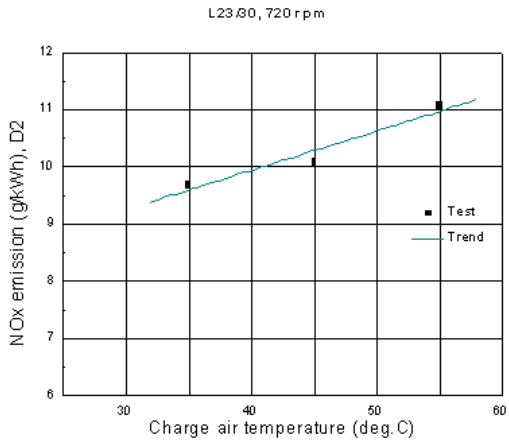
특정엔진은 배기가스배압에 따라 질소산화물발생량이 감소함을 확인 하였고, 이는 NOx Technical Code에서 언급한 배기가스 Sampling Position과 관련한 규정도 타당하다고 할 수 있다.

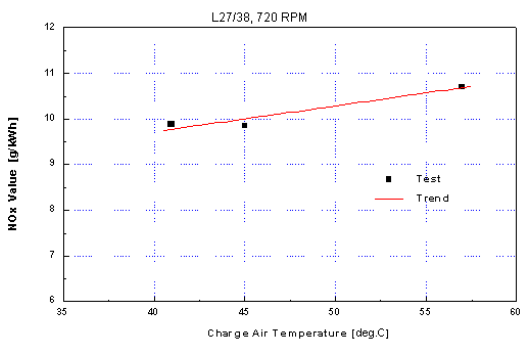
6.4. 소기온도 제어 (Charge Air Temperature Control)

NOx Technical Code, Chapter 5, Item 5.5.2.2

에 의하면 Test Bed에서의 질소산화물 계측은 Cooling Sea Water 25 deg.C with Reference Ambient Condition 이라고 명시 되어 있다.
그러나, 엔진 소기 온도는 실제 본선에서 적용되는 Cooling Water System에 의해 결정됨을 감안, 실선의 선박 운항 조건을 고려하여 Air Cooler Cooling Water 36 deg.C를 감안(선박에 따라 다를 수 있음) Tropical Condition 기준으로 엔진 소기온도를 조정 후 NOx Technical Code에 따라 엔진부하를 변경하면서 질소산화물 발생량과 관계를 확인하는 시험을 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

계측은 Down Stream으로 수행하였고, 각 Load별 엔진소기 온도는 부하감소에 따라 자동적으로 변경되는 값을 사용하였고 별도의 조정은 하지 않았다.





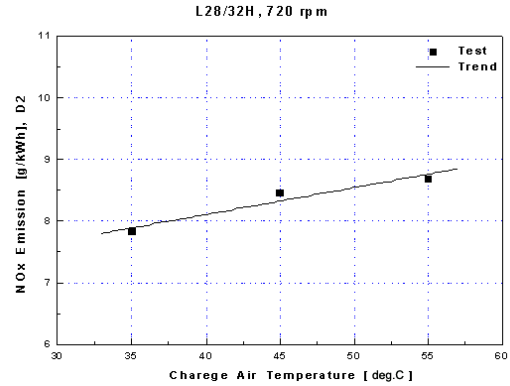


Fig. 5. Charge Air Temperature Control

상기의 결과에도 나타난 바와 같이 엔진 소기 온도의 변화와 질소산화물 배출량과는 매우 밀접한 관계가 있음을 보여주고 있다.

박용디젤엔진에 있어 질소산화물 발생량을 제어하기 위해서는 집중적으로 관리를 해야 하는 인자들 중 하나임을 알 수 있었다.

6.5. 최고실린더 압력 제어 (Max. Cylinder Pressure Control)

초기 엔진 설계 값에서 엔진이 정상적으로 작동 할 수 있는 최대 허용 실린더 압력을 조정한 후 NOx Technical Code에 따라 엔진부하를 변경하면서 질소산화물 발생량과 관계를 확인하는 시험을 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

각 Load별 엔진 최고 실린더 압력은 부하감소에 따라 자동적으로 변경되는 값을 사용하였고 별도의 조정은 하지 않았다.

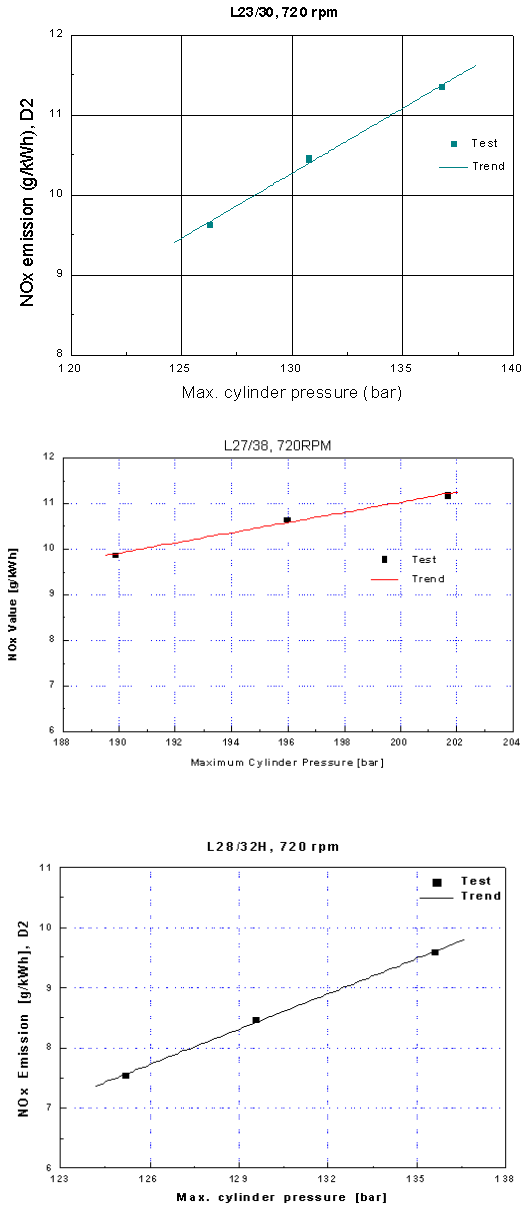


Fig. 6 Max. Cylinder Pressure Control

상기의 결과에서 최고실린더 압력 변화와 질소산화물 배출량과는 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

박용디젤엔진에 있어 질소산화물 발생량을 Control하기 위해서는 집중적으로 관리를 해야 하는 인자들 중의 하나임을 나타내고 있다.

7. 결론

Four(4) Stroke Marine Diesel 엔진에 대하여 엔진 Group Test를 실시하여 질소산화물 발생에 영향을 주는 각각의 특성인자별로 검토를 하였고, 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1) 엔진정격마력 변화는 질소산화물 발생량에 미치는 영향은 미미하다.

2) 엔진소기압력 변화는 질소산화물 발생량에 미치는 영향은 미미하고, 질소산화물 발생량은 Turbocharger로부터 발생하는 소기압력과 소기의 흐름에 영향을 받는다.

3) 엔진배기가스 배압 변화는 질소산화물 발생량에 미치는 영향은 미미하다.

4) 엔진소기온도 변화는 질소산화물 발생량과 밀접한 관계를 가짐으로 집중적으로 관리 할 필요성이 있다.

5) 엔진최고압력 변화는 질소산화물 발생량과 밀접한 관계를 가짐으로 집중적으로 관리 할 필요성이 있다.

참고 문헌

(1) IMO, "Annex VI of MARPOL 73/78 Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships and NOx Technical Code"

(2) 전효중, “내연기관 강의 제 15장”

(3) 손진록, 선박의 대기오염 규제 및 대책, (사)한국기관학회지, 제25권, 제3호