

◎ 速報研究論文

중속 디젤기관의 질소산화물 배출특성에 관한 연구

우석근* · 윤진식** · 윤영환**

A Study on the Emission Characteristics of NOx in Medium Speed Diesel Engine

S. K. Woo* · K. S. Yoon** · Y. H. Yoon**

Key words : Medium Speed Diesel Engine(중속디젤기관), Nitrogen Oxides(질소산화물), 연료분사시기(Fuel Injection Timing), Exhaust Emission(배기 배출물)

Abstract

In this study, the characteristics of exhaust emissions in medium speed diesel engine under various operating conditions were investigated through experiments to derive the optimum conditions for minimizing the exhaust emissions, especially, nitrogen oxides. The 355 KW×1200 rpm medium speed diesel engine was intensively examined to investigate the trend of exhaust emissions in case that the parameters affecting combustion conditions such as fuel injection timing, intake air temperature and pressure, engine speed and load were changed. The exhaust emissions for 9 sets of medium speed diesel engine were analyzed in addition. From this study, NOx level could be reduced by 30~50% through the adjustment of retarded fuel injection timing, lowered intake air temperature and increased charging air pressure.

1. 서 론

최근 환경공해 문제는 전세계적으로 중요한 해결과제의 하나로 인식되고 있다. 대기오염을 줄이기 위하여 주 오염원의 하나인 내연기관에 대한 배출가스 규제가 강화되거나 신설되어 내연기관에서의 유해 배출가스의 저감노력이 지속적으로 이루어져 오고 있다. 특히 차량용 내연기관인 소형

가솔린 엔진과 디젤엔진에서는 지속적인 규제 강화와 연구개발 노력으로 현저한 저감효과를 가져왔다. 그러나 육상 설비용 내연기관이나 선박용 내연기관인 중속 또는 저속의 중·대형 디젤기관의 경우에는 경유 외에도 중유 및 C중유와 같이 저급의 연료를 사용함에도 불구하고 그 규제수준이 미약하거나 일부 유해성분에 대한 규제가 전혀 없어 이와 같은 중·저속 디젤기관에서의 유해 배출가

* 쌍용중공업(원고접수일 : 2000년 5월)

** 창원대학교 기계공학과

스 저감에 관한 연구는 제한적으로 이루어지고 있는 실정이다. 이러한 배경으로 볼 때, 중유 및 C중유를 사용하는 중·저속 기관의 배기 배출물의 저감에 관한 연구가 보다 깊게 이루어질 필요가 있다.

중속 디젤기관에서의 유해 배출물에 관한 연구는 디젤기관의 연소특성상 질소산화물(NOx)과 입자상 물질 (Particulate) 또는 매연(Smoke)에 관한 분야가 중심이 되어 왔다.⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾ 우리나라의 경우에도 디젤기관의 배출물에 관한 관심이 높아져 디젤기관의 배기가스 생성기구 및 영향인자에 관한 많은 연구가 이루어졌으나 중심적인 연구대상은 차량용 소형 디젤기관이었다. 그러나 선박추진용, 펌프구동용, 각종 발전기용의 디젤엔진은 차량용 디젤엔진에 비하여 회전수는 낮고 연소실 및 실린더 직경은 크며, 연소폭발압력은 높아 배기 배출물의 농도 및 배출특성에 다소 차이가 있다. 또한 배기 배출물을 감소시키는 방안도 경제성을 고려하면 많은 차이가 있다.

한편, 배기 배출물의 규제는 차량용에 한하여 집중적으로 적용되어 왔으나, 최근에는 육상산업용 및 해상용 엔진 등으로 규제범위를 넓히고 있다.⁽⁷⁾ 그러므로 선박용 및 육상설비용 디젤기관에 대한 배기가스 배출특성에 관한 자료의 축적과 연구가 시급히 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 국내에서 생산되는 중속 디젤엔진의 배기 배출물인 질소산화물, 일산화탄소(CO) 및 매연(Smoke) 등의 농도를 측정하고 배기 배출물 특히 질소산화물에 영향을 주는 인자를 파악하여 향후 국내외의 규제를 만족시킬 수 있는 디젤엔진의 개발방향을 제시하는데 목적을 두었다.

이를 위하여 본 연구에서는 출력 335 kW, 회전수 1200 rpm인 정속 디젤기관에 대하여 연료분사시기, 회전속도, 흡입공기온도 및 흡입공기압력 등 배출물농도에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 여러 가지로 변경하고 배기 배출물의 농도를 측정하여 각종 인자들의 변화에 따른 배출특성을 검토하였다.

아울러 중속 디젤엔진의 주용도인 발전용에 사용되는 정속엔진 4종과 차량 및 선박의 추진용에 사용되는 변속엔진 5종의 배기 배출물 농도를 측

정하고 이들의 배출특성을 검토하였다.

2. 배기 배출물 생성에 관한 기초이론

2.1 디젤기관 연소

압축착화기관인 디젤기관에서의 연소과정은 분사된 연료가 증발하고 가연혼합기를 형성하기까지의 착화지연기간, 착화지연기간 중 예혼합된 혼합기가 급격히 연소하는 예혼합연소기간, 연소 중에 분사되는 연료가 연소하는 주연소기간 또는 확산연소기간, 그리고 분사가 종료된 후 잔류연료가 연소하는 후연소기간 등 4단계의 연소기간으로 구분할 수 있다.

이 4단계 연소기간 중 예혼합연소기간 중에 연소온도가 급격하게 상승하고 주연소기간과 후연소기간을 거친 후 급격하게 가스의 온도가 낮아진다. 디젤기관의 배기 배출물은 이 예혼합연소기간과 주연소기간 중에 이루어지는 고온·고압상태 하에서의 급격한 화학반응의 결과로 주로 생성되며 후연소기간 이후에도 연소실내 피스톤의 하강으로 연소실내 가스의 온도와 압력이 저하됨에 따라 예혼합연소기간과 주연소기간에서 생성된 물질의 조성이 더 이상 변화하지 않고 동결(Freezing)된 상태로 배출되는 것으로 알려져 있다.⁽⁸⁾

예혼합연소기간과 주연소기간 중의 연소반응에 영향을 미치는 인자들로서는 거시적으로 흡입공기량과 공기온도, 연료분사시기 등을 고려할 수 있으며, 미시적으로 미립화된 각각의 연료입자와 주변 공기가 혼합되어 형성하는 국소혼합기의 상태, 연료의 미립화 상태, Swirl, Squish, Tumble 강도 등 연소공기의 유동상태 등을 고려할 수 있다.

그러나 중속 중형 디젤기관은 고속기관에 비해 연소기간이 상대적으로 길고, 연소실 용적이 커서 분무의 관통거리를 충분히 확보할 수 있다. 그러므로 소형 고속 디젤엔진에 비하여 연소실내 공기의 유동이 크지 않으므로 배기 배출물에 영향을 미치는 인자들은 주로 흡입공기량 및 공기온도, 연료분사시기 등이라고 볼 수 있다.

이러한 영향인자들에 의해 연소반응 후 생성되는 물질은 완전연소 시에 발생하는 이산화탄소(CO₂)와 질소산화물 외에 일산화탄소, 황화합물

(SOx), 미연 탄화수소(HC) 그리고 매연 또는 입자상 물질 등으로 구성되어 있다.

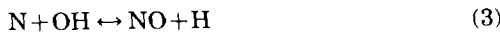
이들 물질 중 특히 디젤기관에서 저감을 위한 연구의 대상이 되는 부분은 NOx와 입자상물질이며 기타 성분은 디젤기관의 연소과정과의 관련이 상대적으로 미약하거나 그 배출수준이 낮은 물질들이다.

2.2 질소산화물의 생성기구

기관에서 배출되는 질소산화물의 종류에는 NO, NO₂, N₂O 등이 있으며 이들은 NOx로 통칭된다. 디젤기관내에서 배출되는 질소산화물은 NO, NO₂가 대부분을 차지하고 있다.⁽⁶⁾

질소산화물은 혼입 공기중에 포함되어 있는 질소가 고온의 연소실 분위기속에서 산화반응을 함에 따라 생성되며, 일부는 연료에 포함된 질소성분이 산화반응하여 생성된다.

연소화염이 형성된 고온부분에서 생성되는 NO는 디젤기관에서 배출되는 질소산화물의 대부분을 차지하며 주로 이론공연비가 가까이에서 일어나고 Extended Zeldovich 모델로 알려진 다음 반응식의 지배를 받는 것으로 알려져 있다.^{(6),(9)}



윗 식에 따라 NO 생성율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d[NO]}{dt} = \frac{2R_1(1 - ([NO]/[NO]_e)^2)}{1 + ([NO]/[NO]_e)R_1/(R_2 + R_3)} \quad (4)$$

여기서 [], []_e는 각각 비평형 상태와 평형상태에서의 단위체적당 몰농도를 나타내며 R₁, R₂ 및 R₃는 각각 식(1)~(3)의 반응에 대한 한 방향 평형 반응율이다. NO 생성율에서의 온도의 영향은 [NO]/[NO]_e < 1일 때 d[NO]/dt의 초기값을 고려함으로써 설명될 수 있다. 초기 NO생성율은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{d[NO]}{dt} = \frac{6 \times 10^{16}}{T^{1.2}} \exp\left(-\frac{69090}{T}\right) [O]^{1/2} [N_2]_e \quad (5)$$

위의 식에서 지수항은 온도의 강한 의존성을 나타내므로 NO의 생성율은 연소온도에 절대적인 영향을 받는 것을 알 수 있다. 아울러 풍부한 산소는 NO의 발생을 증가시키며 연소기간이 길어지면 당연히 그 기간중의 NO생성량은 증가된다.⁽⁶⁾

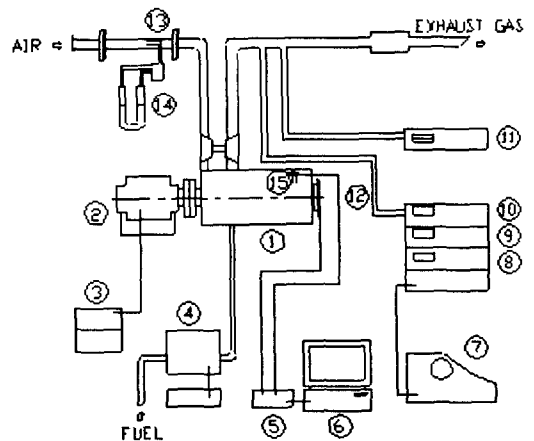
3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

중속 디젤기관의 배기 배출 특성을 조사하기 위해 Fig. 1과 같이 실험장치를 구성하였다.

중속 디젤기관의 질소산화물과 CO, O₂ 등의 배출물 특성을 검토하기 위하여 Table 1과 같은 사양의 중속 디젤기관을 주 연구 대상으로 하였다. 또한 중속 디젤기관들의 배출물 특성을 비교하기 위하여 Table 2와 같이 9개 기종의 기관들을 대상으로 배출물 농도를 측정하였다.

배기가스의 분석은 HORIBA사의 MEXA-9100H 가스분석기를 사용하였다. 이 분석기는 배출물 중 NO는 광화학발광분석방식(Chemi-lumi-



- | | |
|------------------------------------|----------------------------|
| 1. Diesel engine | 9. O ₂ analyzer |
| 2. Hydraulic engine dynamometer | 10. CO analyzer |
| 3. Dynamometer controller | 11. Smoke meter |
| 4. Fuel consumption measuring unit | 12. Crankangle encoder |
| 5. A/D converter | 13. Pitot tube |
| 6. Computer | 14. U-tube manometer |
| 7. Pen recorder | 15. Needle lift sensor |
| 8. NO/NOx analyzer | |

Fig.1 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

nescence Detection), CO는 비분산적외선방식(Non-dispersive Infrared Detection)을 이용하며 O₂의 경우는 자기압력방식(Magneto Pneumatic Detection)에 의하여 분석하며 1%이내의 분해능을 가지고 있다.

연료소비율 측정은 중량식 연료소비율 측정계를 사용하였다.

연료가 분사되는 시기를 정확히 판정하기 위하여 연료분사노즐 내에서 니들밸브(Needle Valve)가 들리는 시기를 Needle Lift Sensor를 사용하여 확인하였다.

3. 2 실험방법

본 연구에서는 연료분사시기, 공연비, 흡입공기의 온도 및 압력과 기관회전수 등 각종 운전조건에 따른 배출가스의 농도변화를 고찰하기 위하여 Table 1에 표시된 바와 같은 1200 rpm 정속 디젤기관을 대상으로 하여 연속정격최대출력 대비 25%, 50%, 75%, 100%에서 운전하여 각 운전조건

에서의 연료분사시기를 바꾸어가며 배기가스 배출농도 및 연료소비량, 흡입 공기량, 배기가스온도 등을 측정하였다.

1200 rpm 정속기관을 제외한 기타 비교용 기관들(Table 2)도 같은 출력비율로 운전하여 배기 배출물 농도 및 각종 성능 인자들을 측정하였다.

중속 디젤기관의 배기 배출특성에 미치는 연료분사시기의 영향을 고찰하기 위하여 크랭크축과 캠축 및 분사펌프축 간의 정렬상태의 조절을 통하여 연료분사시기를 설계 기준치 21 deg. BTDC에서 전후로 각각 2, 4, 6 deg 씩 변화시켰다. 연료분사시기 조정결과와 실제 연소실 내로 분사되는 시점을 비교 확인하기 위하여 Needle Lift Sensor를 1번 실린더에 삽입된 노즐 내에 설치하여 니들의 양정을 측정하여 확인하였다.

흡입공기의 압력은 Turbochager와 공기냉각기 연결관에 공기 배출밸브를 설치하여 조절하였으며, 흡입공기의 온도는 공기냉각기에 공급되는 냉각수의 양을 조절하여 변경하였다.

Table 1. Specifications of Medium Speed Diesel Engine

Items	Specifications
Engine Type	4 Cycle, Intercooled-Turbocharging
Injection Type	Direct Injection
Bore × Stroke	160mm × 200mm
Number of Cylinder	6 Cylinder
Output × Speed	355KW × 1200rpm (Constant Speed)
Injection Timing	21 deg. BTDC
Combustion Pressure	Max. 108kg/cm ²
Opening Pressure	350kg/cm ²
Injection Pressure	max. 1100kg/cm ²

4. 실험결과 및 고찰

4. 1 기관부하 및 연료분사시기에 의한 영향

Fig. 2는 실험 디젤기관(355 kW, 1200 rpm)의 부하별 연료소비율, 공연비, 흡입공기온도 및 배기가스 온도를 나타낸 것이다.

Fig. 3은 여러 가지 연료분사시기에 대하여 기관의 부하에 따른 배기 배출물과 연료소비율의 변화를 도시한 것이다. 아울러 분사시기에 따른 이들 인자들의 변화를 명확히 나타내기 위하여 정격출

Table 2. Specifications of Various Types of Medium Speed Diesel Engines

Symbol	Engine Type	Injection Type	No. of Cyl	Bore × Stroke (mm × mm)	Output × Speed (kW × rpm)	Combustion Chamber
C-1	Constant Speed	Direct	6	132.9 × 160	184 × 1200	Open Chamber
C-2	"	"	6	160 × 200	335 × 1200	Open Chamber
C-3	"	"	8	200 × 300	1022 × 900	Open Chamber
C-4	"	"	6	220 × 260	974 × 720	Open Chamber
V-1	Variable Speed	"	6	165 × 185	425 × 2360	Open Chamber
V-2	"	Indirect	8	170 × 175	676 × 2600	Pre-Chamber
V-3	"	"	16	185 × 200	2260 × 1790	Pre-Chamber
V-4	"	Direct	4	255 × 270	665 × 1000	Open Chamber
V-5	"	"	6	280 × 320	1471 × 775	Open Chambe

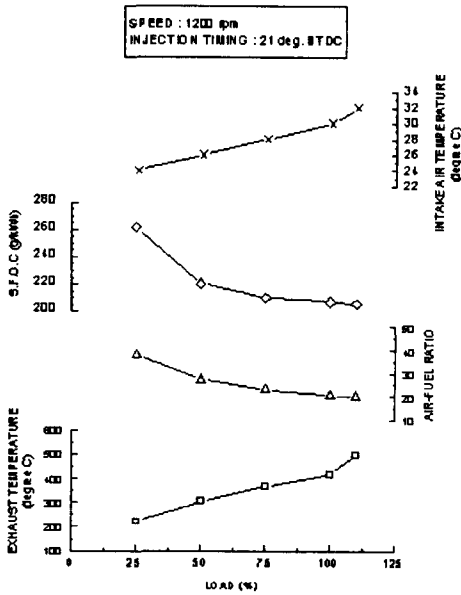


Fig. 2 Performance Data of Experimental Engine

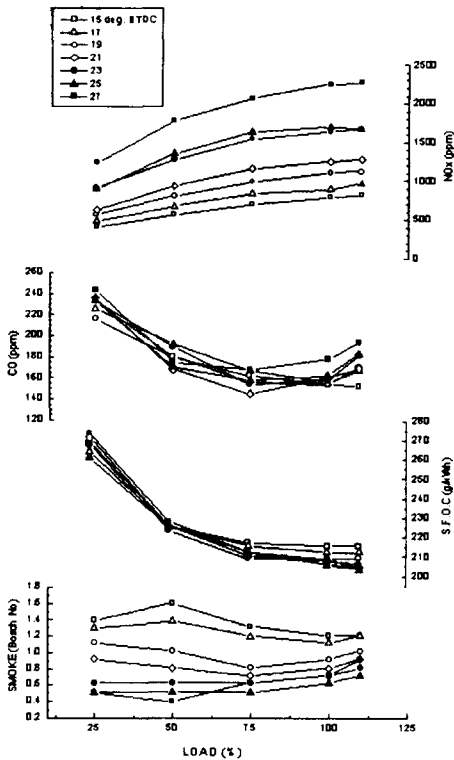


Fig. 3 Emission Level with respect to Engine Load(1200rpm, Injection Timing 21 deg. BTDC)

력인 100% 부하에 대하여 분사시기 변화에 따른 배기 배출물과 연료소비율의 변화를 Fig. 4에 별도로 표시하였다

Fig. 3에 나타난 바와 같이 질소산화물의 경우는 연료분사시기가 27 deg. BTDC인 경우 25% 부하에서 1200 ppm, 100% 부하에서 2300 ppm 정도로 나타난 질소산화물의 농도가 15 deg. BTDC까지 분사시기를 지연시킨 경우 25% 부하에서 400 ppm, 100% 부하에서 800 ppm으로 현저한 변화를 나타내고 있다. 이는 연료분사시기를 빠르게 할수록 초기의 열발생율이 크고 연소온도의 고온 지속시간이 길어져 질소산화물의 발생에 많은 차이를 나타내는 것으로 판단된다. 또한 각 연료분사시기에 있어서 부하가 증가할수록 질소산화물의 농도는 증가하고 있는데, 이는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 부하가 증가함에 따라 연소온도가 증가하기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 4의 100% 부하인 경우를 보면 상사점 가까이 지연하여 분사할수록 질소산화물의 농도가 감소되는 것이 명확히 나타나고 있다.

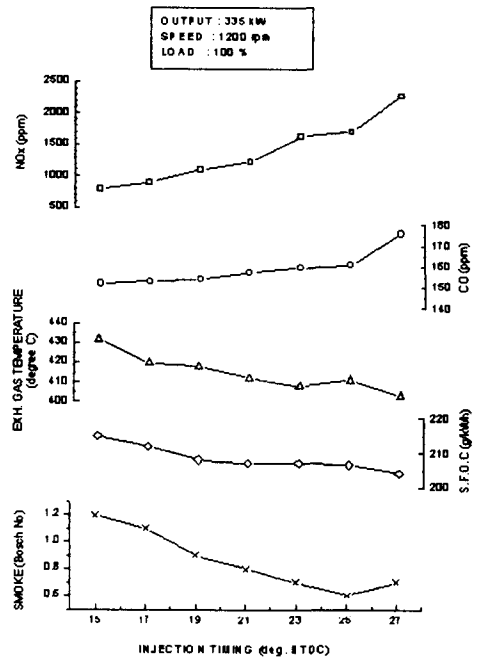


Fig. 4 Emission Level with respect to Injection Timing

Fig. 3에서 일산화탄소의 경우를 보면 여러 가지 연료분사시기에 대하여 저부하영역에서는 부하가 증가함에 따라 전반적으로 그 농도가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 어느 한도 이상의 고부하에서는 부하가 증가함에 따라 일산화탄소의 농도가 높아지는 경향을 나타내고 있다. 저부하영역에서 일산화탄소의 감소는 부하의 증가에 따라 연소온도의 상승 등 연소조건이 좋아지기 때문이라고 생각된다. 그러나 고부하영역에서 일산화탄소의 증가는 부하의 증가에 따라 연료의 증가로 인한 연료-공기혼합기의 부분적인 조대화 등 연소조건이 충분히 이루어지지 않기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 4에도 명확히 나타난 바와 같이 100% 부하에서는 분사시기를 지연할수록 일산화탄소 농도가 감소하는 것을 알 수 있으나 Fig. 3에 나타난 바와 같이 저부하영역에서는 일산화탄소의 배출농도가 연료분사시기 변화에 대하여 일정한 경향을 보이지 않아서 연소온도가 충분히 높지 않은 이 조건에서는 일산화탄소의 농도가 공기유동 및 혼합기 상태 등의 조건에 보다 많은 영향을 받는 것으로 추측된다.

매연농도의 경우는 부하의 변화에 따른 변화경향이 일정하지 않은 것으로 나타나고 있다. 그러나 분사시기의 지연에 따라 매연농도는 전반적으로 상승하는데 이로써 질소산화물과 매연의 농도를 동시에 억제하기는 용이하지 않음을 알 수 있다.

연료소비율의 경우는 고부하영역에서는 분사시기가 지연됨에 따라 연료소비율이 증가하고 있으나, 저부하영역에서는 일정한 경향없이 분포되고 있다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 대상기관의 정격출력인 100% 부하에서의 분사시기의 지연에 의한 연료소비율의 변화를 보면 분사시기 21 deg. BTDC를 기준으로 하였을 때 분사시기의 지연에 따라 연료소비율은 3% 전후하여 증가하지만 질소산화물은 50%이상의 저감을 실현할 수 있었다. 반면에 분사시기를 25 deg. BTDC 및 27 deg. BTDC와 같이 설계분사시기보다 전진시킬 경우 연료소비율에 있어서 약간의 개선을 나타내고 있으나 질소산화물의 경우는 급격한 증가를 나타내고 있다.

4.2 흡입공기온도에 의한 영향

대상 기관은 실린더내에 보다 많은 공기를 공급하기 위하여 과급을 시행하고 또한 과급기에서 나온 공기는 공기냉각기를 통하여 냉각됨으로써 밀도가 증대된다. Fig. 5는 대상 기관의 회전수를 일정하게 하고, 공기냉각기를 나온 흡입공기온도를 변화시킨 경우에 대하여 질소산화물과 일산화탄소 농도의 변화를 표시하고 있다.

배출되는 질소산화물의 농도는 흡입공기의 온도가 증가함에 따라 급격하게 증가하는 것으로 나타나고 있다. 흡입공기온도가 32°C이하로 낮은 온도부근에서는 질소산화물의 농도가 60 ppm이내의 변화범위 내에서 완만한 증가 경향을 보이다가 온도가 39°C에 이르면서 급격히 상승하는 경향을 보이므로 질소산화물이 흡입공기온도에 따라 민감한 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 또한 일산화질소가 전체 질소산화물의 90% 이상을 차지하는 것으로 나타나고 있다. 일산화탄소의 농도는 질소산화물의 경우와는 반대로 흡입공기온도를 높일수록 감소하는 경향을 나타내어 흡입공기의 온도를 변화시킴으로써 질소산화물과 일산화탄소의 농도를 동시에 저감시킬 수 없음을 보여주고 있다.

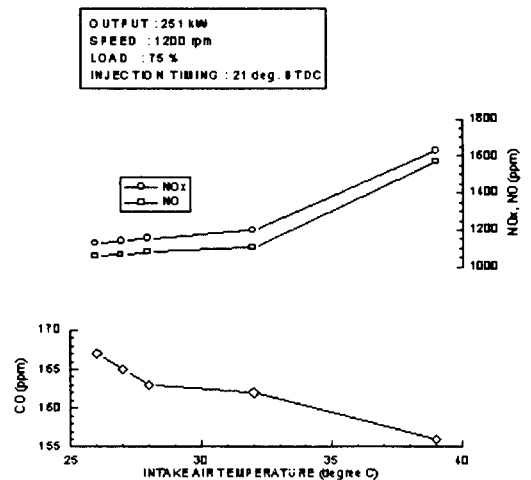


Fig. 5 Variation of NO_x, NO and CO Concentration with respect Intake Air Temperature

4.3 흡입공기압력에 의한 영향

Fig. 6은 대상 기관의 부하와 회전수를 일정하게 하고 흡입공기압력을 증가시킬 경우의 배출물의 농도변화를 나타낸 것이다.

그림에서와 같이 흡입공기압력이 증가할수록 질소산화물이 거의 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 흡입공기압력이 흡입공기량과 비례하고, 흡입공기량의 변화는 공연비에 영향을 주어 디젤기관에서의 질소산화물 배출농도에 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 일산화탄소의 경우도 또한 공기압력에 비례하여 감소하는 경향을 나타내었다. 즉 공연비가 커져 과잉된 공기량이 많을수록 일산화탄소와 질소산화물 모두 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

4.4 기관회전수에 의한 영향

Fig. 7은 대상 기관의 출력을 일정하게 하고 기관 회전속도를 변화시킨 경우의 배기 배출물의 농도변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 기관회전수가 증가할수록 질소산화물, 일산화탄소 및 매연 등 배기 배출물의 농도는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 회전수가 증가할수록 연소가 진행되는 절대시간이 짧아지므로 고온연소가스의 연소실내 체류시간이 상대적으로 짧아지기 때문에 질

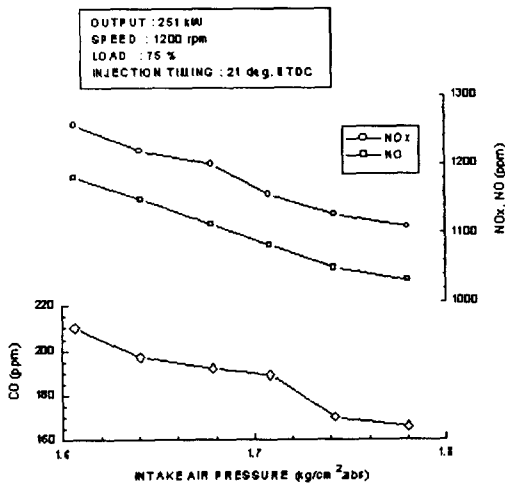


Fig. 6 Variation of NOx, NO and CO Concentration with respect to Intake Air Pressure

소산화물의 감소에 크게 영향을 끼치는 것으로 생각된다. 이와 함께 동일 출력에서의 회전속도 증가에 따른 실린더내의 공기과잉율의 증가에 의하여 실린더내의 연소온도가 강하하는 것도 배출가스 농도를 저감시키는 주요한 요인으로 생각된다.

4.5 중속 디젤기관에서의 NOx 배출특성

중속 디젤기관의 전반적인 질소산화물 배출특성을 검토하기 위하여 기관을 발전기를 구동하는 정속기관들과 선박의 프로펠러 등을 구동하는 변속기관들로 구분하여 부하에 따른 질소산화물의 농도를 측정하여 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

그림에서 C1~C4로 표시된 정속기관에서는 부하증가에 따라 질소산화물이 증가하는 일정한 경향을 나타내었다. 기중에 따라 배출농도의 차이는 있으나 저부하에서 600~900 ppm, 고부하에서 1000~1500 ppm 정도의 질소산화물을 배출하는 것으로 측정되었다. 그러나 기관의 실린더 직경과는 특정한 관련이 없는 것으로 나타나고 있다. 변속기관에서는 대체적으로 기관출력이 프로펠러의 특성상 기관회전수의 3승에 비례하므로 부하가 증가할수록 질소산화물에 대한 영향은 더욱 크게 나

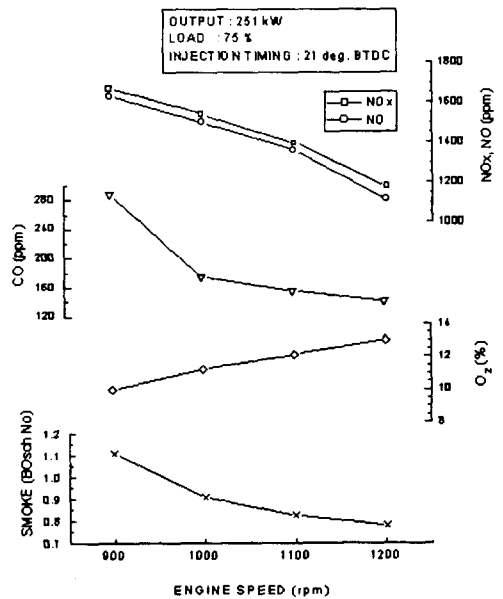


Fig. 7 Emission Level with respect to Engine Speed

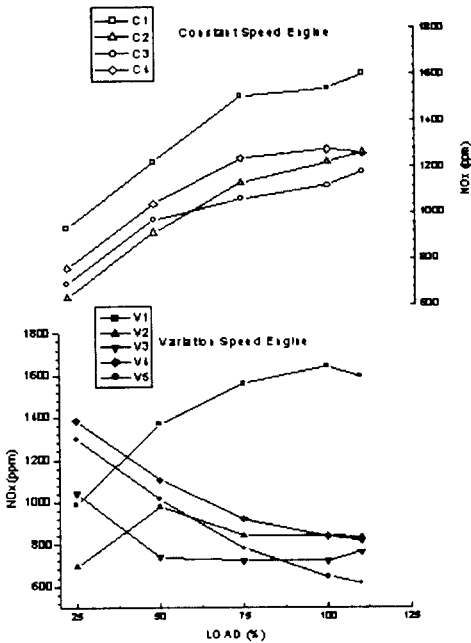


Fig. 8 NOx Concentrations for Various Types of Diesel Engines

타난다. 변속기관 중 선박용 주기관으로 사용되는 V4와 V5의 경우는 부하의 증가에 따라 질소산화물이 감소하였는데 이는 고부하로 갈수록 흡입되는 공기량이 많아지기 때문이라 생각된다. 나머지 특수용 3개 기관은 상이한 경향을 나타내고 있다. 변속기관에서는 기관회전수와 연료분사량, 공연비, 연소온도 등의 영향이 기종에 따라 변화하는 운전 특성상 질소산화물 배출특성이 전반적으로 일정하게 나타나지 않고 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 중속 디젤기관의 질소산화물 배출특성을 검토하기 위하여 355 kW, 1200 rpm 정속 디젤기관을 대상으로 기관부하, 연료분사시기, 흡입공기온도, 흡입공기압력 및 회전수 등 여러 운전조건을 변경시켜가며 질소산화물을 비롯한 배출물의 배출특성을 측정하고, 아울러 운전특성이 다른 중속 디젤기관들에 대하여 부하에 따른 질소산화물의 농도를 측정, 비교함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 중속 디젤기관에서 배출되는 질소산화물의 농도는 분사시기가 상사점 가까이 지연될수록, 또한 공연비가 커질수록 감소한다.
2. 흡입공기의 온도가 낮을수록, 흡입공기의 압력이 높을수록 질소산화물의 농도가 감소한다.
3. 회전수가 일정한 정속기관에서는 기관부하가 증가할수록 질소산화물의 농도도 함께 증가하는 경향이 있으나 기관회전수와 기관출력이 같이 변동하는 변속기관에서는 질소산화물 농도의 변화 경향이 일정하지 않다.
4. 측정된 중속 디젤기관 중 정속 디젤기관의 질소산화물 배출농도는 저부하 운전조건에서는 600~900 ppm, 고부하에서는 1000~1500 ppm 정도로 나타나고 있다.
5. 중속엔진에서 질소산화물은 연소에 관련된 인자, 즉 연료분사시기, 공기냉각기에서의 냉각수 온도, 과급압력 등을 조절하여 배출농도를 30~50% 감소시킬 수 있다. 그러나 질소산화물에 대한 최적화시에 연료소비율은 증가한다.

참고문헌

1. I. A. Voiculescu, G. L. Borman, "An Experimental Study of Diesel Engine Cylinder-Averaged NOx Histories", SAE 780228, 1978
2. John C. Hilliard, Richard W. Wheeler, "Nitrogen Dioxide in Engine Exhaust", SAE 790691, 1979
3. Yuzo Aoyagi, Takeyuki Kamimoto, "A Gas Sampling Study on the Formation Processes of Soot and NO in a DI Diesel Engine", SAE 800254, 1980
4. 舟津浩二, 芳賀一郎, 永瀬和彦, "ディーゼル 排出物中の NOx の 發生機構に 關する 考察", 日本機械學會論文集(B編), 57卷 534號, 1991
5. S. C. Kyriaskides, J. C. Dent, P. S. Mehta, "Phenomenological Diesel Combustion Model including Smoke and NO Emission", SAE 860330, 1986
6. H. Kondoh, K. Sesumi, T. Nitta, T. Yumiba, "Diesel NOx Reduction in Single-Cylinder

- Engine”, 20th CIMAC '93, D39, 1993
7. International Maritime Organization, “Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engine”, 1997
 8. John B. Heywood, “Internal Combustion Engine Fundamentals”, McGraw-Hill, 1988
 9. 出版分科會, “燃燒に伴う環境汚染物質の生成機構と抑制法”, 日本機械學會, 1980

저 자 소 개



우석근(禹碩根)

1949년 7월생, 1972년 서울대학교 기계공학과 졸업, 1994년 창원대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 1975-1977년 국방과학연구소 연구원, 1977년-현재 쌍용중공업(주) 상무이사, 당학회 회원



윤건식(尹健植)

1960년 2월생, 1982년 고려대학교 기계공학과 졸업, 1984년 고려대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 1988년 동 대학원 기계공학과 졸업(공학박사), 1992년-현재 창원대학교 기계공학과 부교수, 당학회 회원



윤영환(尹英煥)

1946년 9월생, 1974년 고려대학교 기계공학과 졸업, 1976년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(석사), 1983년 University of Iowa 기계공학과 졸업(공학박사), 1985년-현재 창원대학교 기계공학과 교수, 당학회 회원