

소형선박용 배기가스 후처리장치에 관한 연구

이중섭*, 이치우**,#

*경남과학기술대학교 엔진부품검증센터, **경남과학기술대학교 자동차공학과

A Study on the Exhaust Gas After Treatment for Small Ship

Chung-Seob Yi*, Chi-Woo Lee**,#

*Gyeognam National University of Science and Technology, Engine Parts Verification Center

**Gyeongnam National University of Science and Technology, Automotive Engineering

(Received 19 April 2017; received in revised form 22 April 2017; accepted 30 April 2017)

ABSTRACT

In this research, to cope with the exhaust being reviewed to establish legal regulations for domestic small vessels, a basic experiment on an exhaust emissions post-treatment system was conducted to construct the design data required for securing a localized technology. The data was secured based on the arithmetic mean calculated through setting the engine load to 25%, 50%, and 75% and conducting five. A 2800-cc turbo charger diesel-type engine was used in the experiment, and an engine dynamometer was used in the conducted tests. As a result, NOx was reduced by approximately 20% and PM was reduced by approximately 97%. Although the results indicated no significant changes to CO in test mode-1, it was greatly reduced as it transitioned into the next phase.

Key Words : Diesel Engine(디젤엔진), Exhaust Gas(배기가스), Small Ship(소형선박), Aftertreatment(후처리), Engine Dynamometer(엔진동력계)

1. 서 론

현재 지구온난화로 인해 선진국을 중심으로 내연기관에 대한 배기가스 규제가 점차 높아지고 있다. 육상에서 사용되는 내연기관의 대부분인 자동차의 경우 Euro-VI로 규제하고 있다.

해상의 경우 국제해사기구인 IMO(International Maritime Organization)에서 선박배출 온실가스 규

제에 따라 Tier-III가 2016년부터 Table 1.과 같이 질산화물에 대한 환경규제를 대폭 강화하고 있다.

Tier-III는 Tier-보다 무려 NOx 배출량을 80% 저감할 것을 요구하고 있으며 현재 배기가스 저감 대책으로 연소실에서 완전연소를 유도하는 방식과 화학적 촉매를 사용하여 NOx를 N₂와 H₂O로 환원시키는 SCR(Selective Catalytic Reduction) 시스템을 적용하고 있다.

선박은 대부분 열효율과 토크가 높은 디젤엔진을 선호하고 있으며, 디젤엔진 특성상 연료비 절감을 위한 저급 디젤유를 사용하였기 때문에 운전 비용을 고려하여 디젤엔진을 사용해왔다.

Corresponding Author : leecw@gntech.ac.kr

Tel: 82-55-751-3649, Fax: 82-55-751-3643

Table 1 NOx emission limits (IMO regulation)

| Division | application date | NOx limit (g/kWh) | | |
|----------|------------------|-------------------|----------------------|---------|
| | | n<130 (rpm) | 130≤n< 2000 | 2000≤ n |
| Tier I | '00.11 | 17.0 | $45 \times n^{-02}$ | 9.8 |
| Tier II | '11.11 | 14.4 | $44 \times n^{-023}$ | 7.7 |
| Tier III | '16.11 | 3.4 | $9 \times n^{-02}$ | 1.93 |

Tier II : Approximately 20% reduction compared to Tier I
 Tier III : Approximately 80% reduction compared to Tier I

대형선박의 경우 배기가스 규제에 대응하기 위해 천연가스 엔진을 서서히 적용하고 있으며, 기존 선박의 경우 배기가스 후처리장치를 별도 설치하여 Tier-III에 대응하고 있다. 반면 근해를 중심으로 사용하는 소형선박의 경우 아직 국내에는 관련 법규가 제정되지 않고 있는 실정이다. 그러나 향후 국제적인 공동이슈인 온실가스 저감 및 대기환경에 대한 관심과 규제가 점차 강화되고 있는 추세에서 소형선박의 배기가스 배출물에 대한 대응을 준비할 필요가 있다.^[1-3]

본 연구는 현재 국내 소형선박에 대한 법적규제를 마련하기 위해 검토 중에 있는 배기가스 배출물에 대응하기 위하여 배기가스 후처리 장치에 대한 기초적인 실험을 통해 국내기술 확보를 위한 설계 자료를 마련하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 실험엔진

본 연구에 적용되는 엔진은 Fig. 1과 같이 현재 육상용으로 상용화되고 있는 2,900cc 과급 디젤엔진을 사용하였고, Table 2와 같은 엔진제원을 가지고 있다. 엔진은 마린엔지니어링은 되지 않았고, 배기가스 배출물에 대한 실험만 수행하기 때문에 별도의 개조장치를 하지 않았다. 다만 엔진동력계에 설치하기 위해 흡기 및 배기관을 수정하였다.



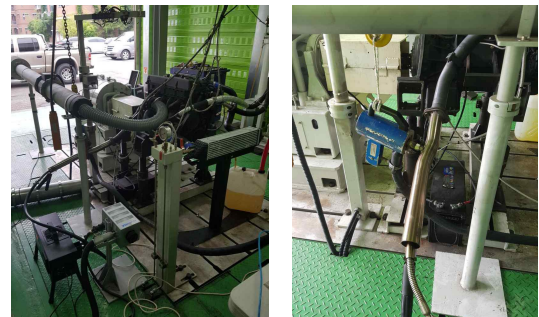
Fig. 1 Engine model for experiment

Table 2 Specifications of test engine

| | |
|-------------------|----------------------|
| Engine type | Diesel turbo-charger |
| Displacement | 2,874cc |
| Cylinder No. | 5 |
| Power | 120PS/4,000rpm |
| Torque | 25.5kg-m/2,400rpm |
| Compression ratio | 22:1 |

2.1.2 동력계 및 시험장치 구성

실험에 사용된 Dynamometer, Dynamometer Control System, Throttle Control System, Water Temp Control System, Fuel Consumption Meter로 구성되어 있으며, 동력계의 제원은 Table 3와 같고, Fig. 2와 같이 실험엔진을 동력계에 설치하여 엔진시험과 배기가스 측정을 수행하였다.^[4-6]



(a) Engine and dynamometer



(b) Emission gas analyzer



(c) Fuel Consumption meter

Fig. 2 Experimental setup for engine power test

Table 3 Specifications of dynamometer

| | |
|------------------------------------|---------|
| Absorption power (PS/kW) | 663/490 |
| Absorption torque (kg.m/N.m) | 75/735 |
| Maximum speed (RPM) | 13,000 |
| Rotor inertia (kg/m ²) | 0.46 |
| Cooling water volume (LPM) | 125 |
| Weight (kg) | 900 |

2.2 실험방법

Throttle valve를 최초 0%에서 매 1분당 1%씩 개방하고 엔진 스피드(RPM)에 변화를 주어 엔진 동력 값이 목표 출력이 될 때까지 측정하였다. 본 연구에서 엔진부하 25%, 50%, 75% 동일한 조건에서 5회 실시하여 산술평균하여 데이터를 확보하였다. 또한 실험에서 얻어진 데이터로 Throttle valve 개방에 따른 RPM의 변화와 엔진동력 데이

터를 분석하였다. 실험에 대한 전반적인 순서는 첫 번째로 엔진 및 배기가스 후처리 장치를 작동하여 예열 및 안정화를 시킨다. 두 번째로 엔진의 운전 조건은 Mode-1-> Mode-2 -> Mode-3 순서로 진행하고 배기가스 후처리 장치의 전단에서 각 MODE 별로 배기가스를 측정한다. 세 번째로 전단 측정완료 후 다시 엔진운전을 Mode-1-> Mode-2 -> Mode-3으로 진행하여 배기가스 후처리장치의 후단에서 각 MODE 별로 배기가스를 측정한다. 네 번째로 Mode전환 시 약 3분~5분 이상 안정화 시간으로 두고 Mode 전환 시 불안정한 상태에서의 측정값은 무시한다. 다섯 번째로 Mode별 전/후단 측정시간은 10분 이상으로 한다. 마지막으로 10분 동안 측정값의 평균을 결과 값으로 한다.

2.3 실험대상

배기가스 후처리 시스템에 대한 동력측정 및 배기가스 분석을 시험하기 위해 Fig. 3과 같이 배기가스가 유입되면 디젤 배기가스에 포함된 매연 등 입자상 물질을 포집하기 위하여 SiC DPF를 거

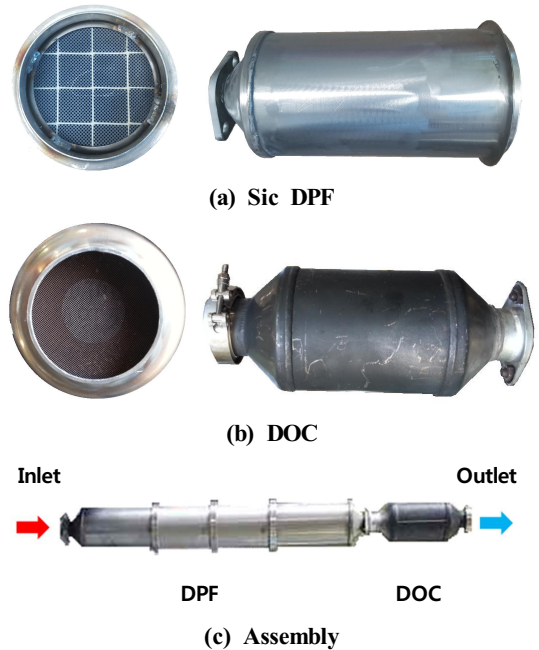


Fig. 3 After treatment system of exhaust gas

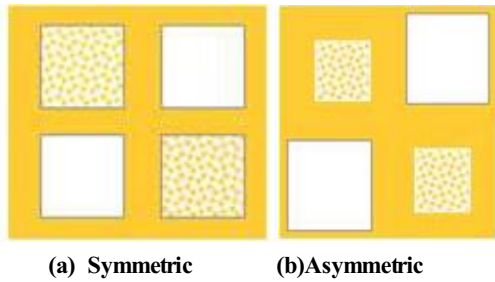


Fig. 4 The types of DPF inner shape

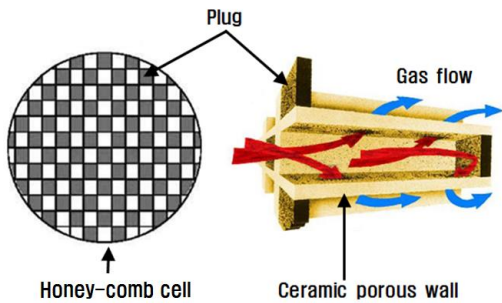


Fig. 5 Internal structure of ceramic monolith filter

Table 4 Test conditions

| | Mode-1 | Mode-2 | Mode-3 |
|------------|--------|--------|--------|
| Power(%) | 25 | 50 | 75 |
| Speed(rpm) | 1,000 | 1,500 | 2,000 |

치고 입자상 물질에 대한 배기가스 정화를 마치게 되면 최종 디젤산화촉매(DOC : Diesel Oxidation Catalyst)를 거쳐 소음기로 빠져나가는 시스템이다.

본 실험에 사용된 Sic DPF는 Fig. 4와 같이 대칭형이 적용되었고, Fig. 5와 같은 구조에서 배기가스의 흐름이 진행된다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 엔진성능 시험결과

Fig. 6은 시험모드에서 배기가스 후처리 장치

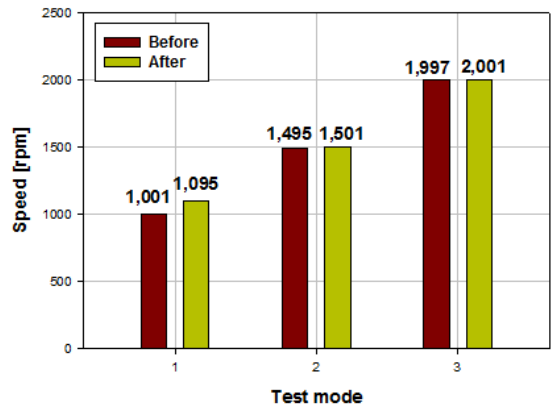


Fig. 6 Comparisons of engine speed at test mode

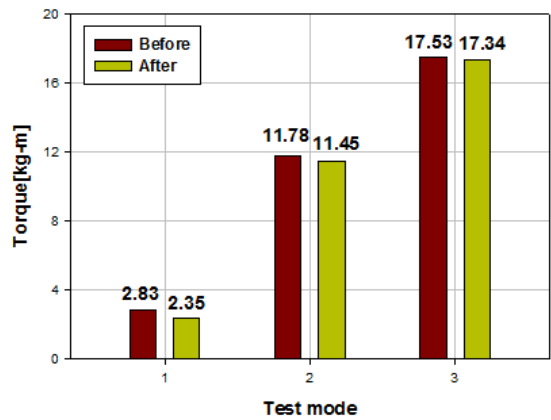


Fig. 7 Comparisons of engine torque at test mode

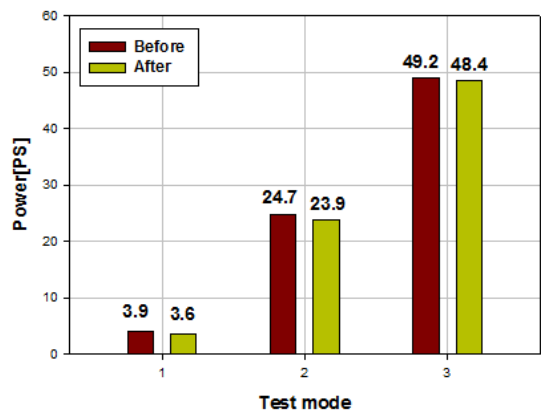


Fig. 8 Comparisons of engine power at test mode

설치 전후에 대한 엔진회전수를 비교한 것이다.

후처리 장치가 설치됨에 따라 배압이 증가되는 현상이 발생함에 따라 엔진 회전수가 증가함을 확인할 수 있었다. 시험모드-1일 경우 엔진회전수가 1,000rpm으로 상대적으로 낮은 회전수이기 때문에 배기저항체인 후처리장치가 설치됨에 따라 엔진회전수가 약 100rpm상승한 반면 시험모드-2와 3에서는 엔진회전수가 증가된 상태이기 때문에 후처리 장치에 의한 엔진회전수 증가가 미미하였다.

Fig. 7은 시험모드에 대한 토크 변화를 배기가스 후처리장치 설치 유무에 따라 비교한 것이다. 배기저항이 발생하는 후처리 장치가 설치됨에 따라 배기손실이 발생하여 토크가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 시험모드-1의 경우 후처리 장치를 설치하지 않을 때와 후처리 장치를 설치하였을 경우 약 16% 정도 낮아졌고, 시험모드-2의 경우 약 2.8%, 시험모드-3의 경우 약 1% 낮아짐을 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 시험모드에 따른 엔진출력을 비교한 것으로 배기가스 후처리 장치를 설치하였을 경우 상대적으로 엔진출력이 다소 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 토크와 마찬가지로 엔진출력의 경우 시험모드-1의 경우 약 7%의 출력저감이 발생하였고, 시험모드-2는 약 3%, 시험모드-3은 약 1.6% 출력저감이 발생하였다. 배기가스 후처리장치를 설치함에 따라 배기저항이 증가함에 따라 토크와 출력이 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 배기가스 시험결과

Fig. 9는 시험모드에 따른 질소산화물인 NOx를 비교한 것이다. 각 모드별 질소산화물이 배기가스 후처리 장치를 통과하면서 저감되는 것을 확인할 수 있었다. 시험모드-1의 경우 약 16% 저감되었고, 시험모드-2와 3의 경우 약 21%의 질소산화물 저감이 발생하였다.

Fig. 10은 일산화탄소인 CO를 측정된 결과이며, 시험모드-1의 경우 엔진회전수가 낮기 때문에 상대적으로 많은 양의 일산화탄소가 발생됨을 확인할 수 있었다. 반면 엔진회전수가 증가되는 시험모드-2와 3으로 갈수록 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

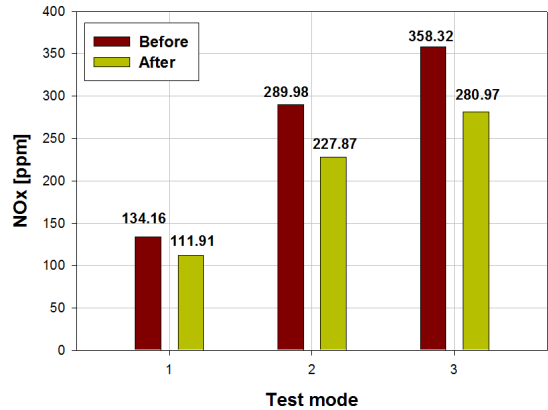


Fig. 9 Comparisons of NOx emission at test mode

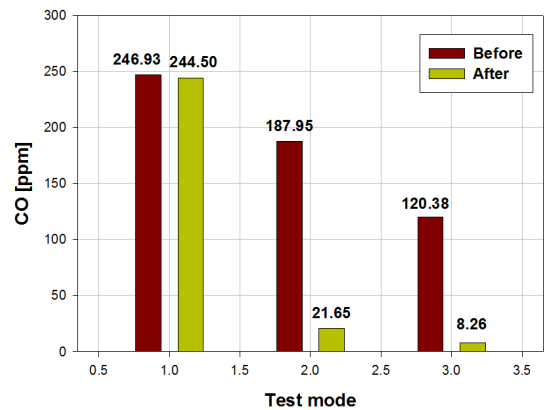


Fig. 10 Comparisons of CO emission at test mode

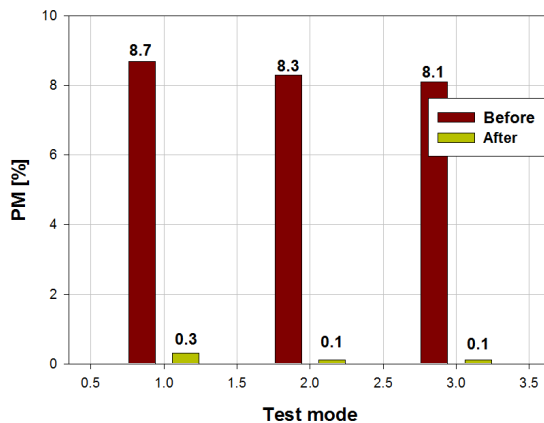


Fig. 11 Comparisons of diesel particle matter at test mode

또한 후처리 장치를 설치하였을 경우 시험모드-1의 경우 거의 저감되지 않은 반면 시험모드-2와 3의 경우 약 90%정도 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 11은 시험모드에 따른 입자상물질인 PM 비교한 것이다. 배기가스 후처리 장치를 설치하지 않았을 경우 각 시험모드별 거의 유사한 결과를 보여주고 있었다. 반면 배기가스 후처리 장치를 설치하였을 경우 약 96% 이상의 높은 저감율을 나타내고 있었다. 따라서 배기가스 후처리 장치를 설치함에 따라 출력이 다소 낮아지는 경향이 있는 반면 유해가스 저감에 효과적임을 확인할 수 있었다.

5. 결론

2,900cc 과급 디젤엔진을 사용하여 동력계 시험을 통해 엔진성능에 대한 기본적인 성능을 확인할 수 있었다.

배기가스 후처리 장치가 설치됨에 따라 엔진의 기본적인 성능인 출력과 토크가 다소 낮아졌다. 특히 토크의 시험모드-1의 경우 후처리 장치를 설치하지 않을 때와 후처리 장치를 설치하였을 경우 약 16% 정도 낮아졌고, 출력의 경우 약 7%의 출력 저감이 발생하였다.

배기가스 저감의 경우 질소산화물인은 시험모드-2와 3의 경우 약 21% 저감하였고, 일산화탄소는 약 90%정도 저감되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 입자상물질의 경우 약 96% 이상 저감되었다.

후 기

“본 논문은 2016년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- 1 Yang, Y. J., "Study on Simulation of Fuel Injection Nozzle for Marine Medium Speed Diesel Engine", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 3, pp. 41-47, 2013.
 - 2 Sim, H. S., Lee, M. K., Lee, K. Y., "A Development Study on an Engine Control Module of an Electronic Marine Diesel Engine", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14 No. 5, pp. 134-140, 2015.
 - 3 Yi, C. S., Jeong, I. G., Suh, J. S., Park, C. D., Jeong, K. Y., "A Numerical Analysis on Flow Uniformity of SCR Reactor for 5,000PS Grade Marine Engine", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 6, pp. 28-35, 2012.
 - 4 Lee, C. W., "A Study on Engine Performance and Exhaust Emission Characteristics of Gasoline Engine using Bio-ethanol Blended Fuel", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 131-137, 2012.
 - 5 Kim, T. H., Lee, C. W., "A Study on Engine Performance and Exhaust Emission Characteristics of Response Power 150HP Turbocharged Diesel engine", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 6, pp. 100-106, 2012.
 - 6 Kim, T. H., Lee, C. W., "A Comparative Study on Engine Performance and Exhaust Emission Characteristics of Response Power 150HP & 240HP Turbocharged Marine", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12 No. 1, pp. 43-51, 2013.
- 1 Yang, Y. J., "Study on Simulation of Fuel Injection Nozzle for Marine Medium Speed Diesel Engine", Journal of the Korean Society