

선박용 4행정 디젤엔진의 정속 부하변동 운전시 매연배출특성에 대한 실험연구

오상훈*·김재민**·김현규***·유봉환****

An Experimental Study on the Emission Characteristics of Smoke from the Marine Four-Stroke Diesel Engines Operated in Constant Speed and Various Load Steps

Sang-Hoon Oh+, Jae-Min Kim++, Hyun-Kyu Kim+++ and Bong-Whan Yoo++++

Abstract : The emission of particulate matter from marine diesel engines is already restricted by regional regulations in some countries, and IMO has been preparing the regulation for particulate matter from 53rd MEPC. But confusingly, the gravimetric PM measurement methods and procedures are not established clearly yet. On the other hand, smoke measurement method is set clearly, and it can also indicate PM, though it is not direct gravimetric method. As the preparing step for regulations about PM, we measured the smoke density of exhaust emission from the marine four-stroke diesel engines operated in constant speed and various load steps on the test-bed, using the filter-type smoke measuring instrument. As a result, we understood the emission characteristics of smoke from the engines. Additionally, to obtain the objective reliability of our measurement data, we carried out experimental studies about various measuring parameters that could affect the smoke density.

Key words : Particulate Matter(입자상물질), Smoke density(매연농도), Emission Characteristics(배출특성), Marine diesel engine(선박용 디젤엔진)

1. 서론

해양환경오염의 증가와 더불어 미국, 유럽 등 세계 각국에서는 자국영해를 항해하는 선박에 대하여 배기배출물에 대한 규제를 강화시키고 있으며, 특히 최근에는 Table 1에 나타나 있는 바와 같이 NOx, THC, CO 등의 가스상물질 뿐만 아니라 입자상물질에 대한 중량규제를 단계적으로 실시하고 있으며, 2007년부터는 대부분의 선박용 디젤 엔진이 규제 대상이 된다.^[1] 이에 따라 국제연합 산하기구인 국제해사기구에서도 입자상물질에 대한 규제가 논의되고 있는 상황이다.

디젤엔진의 입자상물질은 연소과정 동안에 불완전연소, 연료 및 윤활유의 열분해 등에 의해 생성된 여러 가지 중간물질 중 일부가 응집, 흡착, 응축과정을 거쳐 형성된다. 하지만 입자상물질은 화학적으로 매우 불안정하며, 서로 다른 성분간의 화학적 상호작용에 의한 변화가 쉽기 때문에 측정방법과 절차에 대한 규정이 명확하게 확립되어 있지 않으며, 계측시스템 구성도 매우 복잡하다.^[2] 더구나 선박용 디젤엔진의 경우 연료성분이 조악한 중유를 사용하고 있기 때문에 상대적으로 입자상물질의 배출량이 많아서 상용화된 입자상물질 계측장비를 적용하는 것이 수월하지 못하며, 신뢰성도 떨어진다.

본 연구에서는 입자상물질 배출규제에 대응하기 위한 방안으로서 직접 입자상물질의 배출량을 측정하지 않고, 가시적인 매연 배출량으로부터 개략적인 배출정도를 예측할 수 있는 필터식 매연계측장비를 이용하여 정속 부하운전조건에서 선박용 4행정 디젤엔진으로부터 배출되는 매연농도를 측정/분석하였다.^[3] 아울러 계측된 매연농도값의 객관적인 근거를 확보하기 위해 매연농도 측정에 영향을 주는 시험조건인자에 대한 평가를 수행하였다.^[4]

Table1. US EPA Tier 2* Marine Emission Standards

Category	Displacement (D)	CO	NOx+THC	PM	Date
	dm ³ per cylinder	g/kWh	g/kWh	g/kWh	
1	Power ≥ 37 kW D < 0.9	5.0	7.5	0.40	2005
	0.9 ≤ D < 1.2	5.0	7.2	0.30	2004
	1.2 ≤ D < 2.5	5.0	7.2	0.20	2004
	2.5 ≤ D < 5.0	5.0	7.2	0.20	2007 ^a
2	5.0 ≤ D < 15	5.0	7.8	0.27	2007 ^a
	15 ≤ D < 20 Power < 3300 kW	5.0	8.7	0.50	2007 ^a
	15 ≤ D < 20 Power ≥ 3300 kW	5.0	9.8	0.50	2007
	20 ≤ D < 25	5.0	9.8	0.50	2007
	25 ≤ D < 30	5.0	11.0	0.50	2007

* - Tier 1 standards are equivalent to the MARPOL Annex VI NOx limits
a - Tier 1 certification requirement starts in 2004

2. 매연 배출특성 실험방법

디젤엔진의 매연배출특성 실험내용에 대해 간략히 기술하면, 실험대상 엔진은 배기과급기, 흡기냉각기가 장착된 각각 6기통과 8기통 선박용 4행정 디젤엔진으로서 주로 정속 부하변동운전 모드에서 발전기를 운전하는데 사용되고 있으며, Table 2에 주요 엔진사양을 나타내었다.

매연계측장비는 Fig. 1과 같이 필터공급장치, 광원 및 반사계, 시료채취 펌프 등으로 구성된 AVL사의 매연계측장비 (Type:415S)를 이용하였다. 또한 측정데이터의 정확성 및 재현성을 높이기 위해 가열식 샘플링 튜브를 사용하여 배기배출물을 일정량 채취하였으며, 매연농도는 필터에 포집된 입자의 상대적인 반사율로부터 계산된다. 이 농도값은 mg/Nm³으로 환산이 가능하다. 시험조건인자는 배기관에 설치되는 샘플링 프로브의 각도와 깊이, 샘플링 튜브길이를 대상으로 하였다.

+ 오상훈(STX엔진(주) 기술연구소), E-mail:shohl@stxengine.co.kr, Tel: 055)280-2616

++ 김재민, STX엔진(주) 기술연구소

+++ 김현규, STX엔진(주) 기술연구소

++++ 유봉환, STX엔진(주) 기술연구소

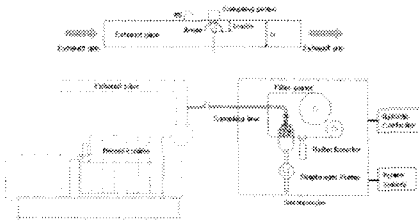


Fig. 1 Measuring system of exhaust emissions

Table 2. Specifications of test engines

Item	Unit	Model	
		6L23/30	8L28/32
Number of cylinder	#	6	8
Nominal Power	kW	780	1680
Speed	rpm	900	720
Cylinder diameter	mm	230	280
Piston stroke	mm	300	320

3. 결과 및 고찰

시험조건인자에 대한 매연배출농도의 영향분석에서 프로브의 설치방향과 깊이에 대하여 각각 Fig. 2와 3에 나타내었다. 이 결과들에서 배기가스는 완전히 발달된 유동이므로 시험인자에 매연농도변화가 민감하지 않은 것을 알 수 있다.

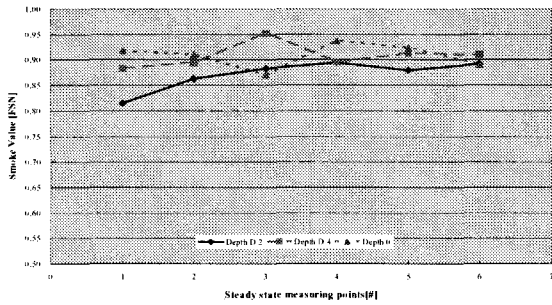


Fig. 2 The smoke density of probe depth conditions

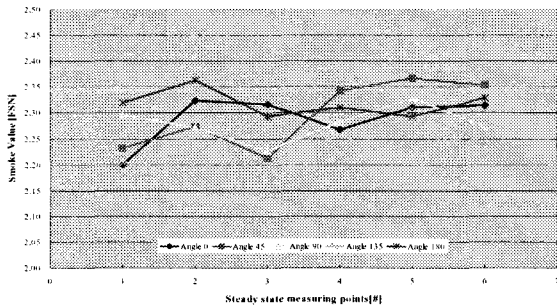


Fig. 3 The smoke density of probe angle conditions

부하변동에 대한 매연발생량은 Fig. 4와 5에 나타난 것처럼 저부하 운전조건에서 많이 발생하며, 50% 이상의 고부하 운전 조건에서는 완전연소에 가까워지므로 매연의 발생량이 작아짐을 알 수 있었다. 샘플링 확장튜브를 사용할 경우, 튜브를 가열하여 튜브내벽에 매연이 흡착되는 것을 방지하였으나 튜브 길이가 증가함에 따라 매연농도가 작아지는 경향을 나타내었다. 여기서 계측기의 재현성은 $\pm(0.005 \text{ FSN} + \text{측정값의 } 6\%)$ 의 오차범위를 가지며, 튜브길이의 증가에 대한 매연농도값이 각각의 오차범위 하한값을 벗어나기 때문에 샘플링 튜브길이

에 대한 측정데이터의 정확성과 양호한 재현성을 확보하기 위한 측정방안을 마련해야 할 것으로 사료된다.

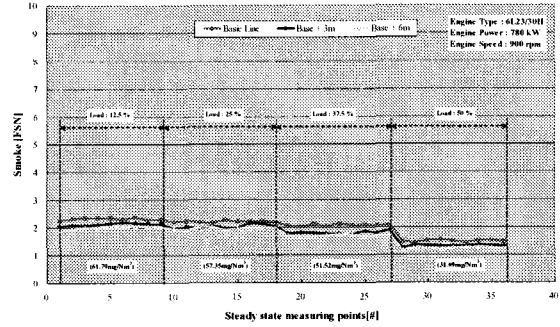


Fig. 4 The smoke density of load steps with various heating tube(Model : 6L23/30)

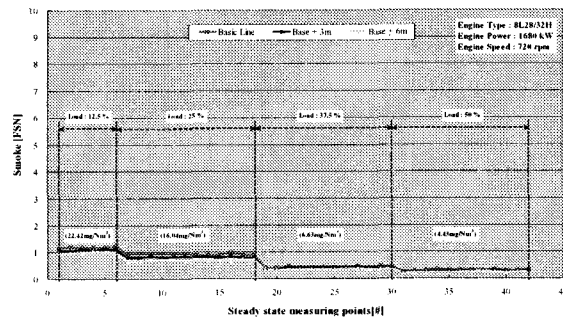


Fig. 5 The smoke density of load steps with various heating tube(Model : 8L28/32)

4. 결론

본 연구에서는 디젤엔진의 매연 배출특성 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 엔진의 운전조건 변화에 대한 매연배출량 측정에서는 부하 증가에 따라 매연이 점차 감소하고, 엔진모델에 대해서도 농도변화에 약간의 차이가 있음을 확인하였으며, 주로 50%부하 이하의 영역에서 많은 양의 매연이 배출되는 것을 알 수 있었다.
- 2) 시험조건인자 변경 실험에서는 샘플링 프로브의 설치각도와 깊이에 대해서는 민감하지 않지만, 확장튜브길이의 증가에는 많은 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] US EPA Tier 2, Control of Emissions of Air Pollution from New CI Marine Engines at or above 37kW, 1999.
- [2] 이진욱, 디젤 극미세 입자의 측정기술 및 평가, 오토저널, 제27권, 제4호, p9-15, 2005.
- [3] ISO 10054, Measurement apparatus for smoke from engines operating under steady-state conditions-filter type smokemeter, 1998.
- [4] Maeda, K, Measurement of PM emission from marine diesel engines, CIMAC Congress, Paper No.:107, 2004.