

선박엔진의 NO<sub>x</sub> 배출량 산정

김 대 식\* · 엄 명 도\*

**Estimation of Exhaust NO<sub>x</sub> Emission from Marine Engines**

D. S. Kim · M. D. Eom

**Key words** : 선박엔진(marine engine), 배출량(total emission), 질소산화물 NO<sub>x</sub> 배출계수(emission factor)

**Abstract**

Considering international status of our country as world class ship builder and geographical characteristics encircled by sea in three facets, controlling of air pollutants emission from marine engines becomes more and more important issue in recent days. Implementation of immediate pollutants emission control regulation and standardization of test and certification procedure are required to reduce air pollution from marine engines. But cost increments due to additional equipment of emission control device and development and certification test expenses as well as depreciation of fuel economy should be considered. To satisfy those air pollution reduction and economic requirements, we should make our own interpretation of IMO standard and implementation schedule depending on our country's status. For this purpose we measured NO<sub>x</sub> emission from small and middle class marine engines to calculate emission factor and total pollutant emission in our country. With the comparison and analysis of other countries emission control regulation we proposed basic data of total emission from marine engine and future emission control standard in our country.

According to our estimation, 62% of total NO<sub>x</sub> emission of marine engines comes from fishing boat and 38% from commercial vessels. The portion of NO<sub>x</sub> emission from marine engine is 18.6% of whole country NO<sub>x</sub> emission. Due to the voyage characteristics of middle and large vessel and necessity of international harmonization of marine engine pollutants emission control standard, it is inevitable to adopt IMO standard for middle and large marine engines. But considering technological and cost effect of fishing boat operating in near sea, it is reasonable to set a standard within 80% of measured value at the moment and gradually implement the same IMO standard in near future.

\* 국립환경연구원 자동차공해연구소(원고접수일 : 2000년 3월)

## 1. 선박엔진의 오염물질 관리현황

대기오염 배출가스를 저감하기 위해서는 규제 기준의 도입, 시험 및 인증방법의 제정이 시급하나 배출가스를 저감하기 위한 장치의 부착과 개발시험 및 인증절차로 인한 비용의 상승, 배출가스 기준대응에 따른 연비 저하 문제가 있기 때문에 우리나라의 실정에 맞는 허용기준의 제정과 적용시기의 결정이 필요하다. 선박에서 배출되는 오염물질을 규제하는 국제기구 및 선진국의 움직임에 따라 세계 10위권의 해운국이며 세계 1~2위권의 조선국인 우리나라의 국제사회에서의 위상을 고려할 때 IMO기준의 수용이 불가피하고, 개도국 인정 혹은 선별수용이나 장기간 유예조치도 어려운 실정이어서<sup>1)</sup> 연안에서 운항되는 중·소형선박엔진의 배출가스 발생량 및 대기오염 기여도를 파악하여 이를 근거로 규제기준의 제정이 시급하다.

미국(EPA)은 1994년에 선박엔진에 대한 배출가스 기준치를 제정하였으나 그 당시 선박엔진 산업에 대한 충분한 조사가 이루어지지 않아 육상용의 비도로용 엔진과 동일한 규제기준을 채택하였다. EPA의 규제기준은 NOx만 규제하는 IMO 기준과 달리 HC, CO, PM을 560kW미만의 선박엔진에 대해서는 1999년 1월1일부터 560kW이상의 선박엔진에 대해서는 2000년 1월1일부터 적용하도록 제정하였다. 그 이후 IMO의 선박엔진의 오염물질 관리 프로그램에 참여하여 1997년 협약에서 명하였으며, 미국내 선박엔진의 오염물질 규제기준을 IMO기준과 동일화하는 자국업체의 의견을 수렴하여 규제기준을 IMO기준으로 대체하는 방안을 검토중이다<sup>2)</sup>.

## 2. 오염물질 배출량 산정방법

선박에 의한 오염물질 배출량을 산정하기 위한 용도별, 중량별 및 엔진마력별 선박대수는 해양수산부 통계연보를 인용하였으며<sup>3)</sup>, 연간 총가동시간과 부하계수는 부산지역, 강릉지역 및 여수지역의 어선조합과 여객선터미날의 선박 소유자를 대상으로 조사하여 산출하였다.

선박엔진은 운항 특성상 육상용 엔진과 달리 부

하의 변동이 적으므로 육상용 엔진의 시험보다 단순한 모드를 사용하며, 국제해사기구(IMO)에서 엔진의 NOx 배출량을 측정하기 위하여 규정한 시험모드는 엔진의 사용조건을 고려하여 4종류로 나누어 E2모드, E3모드, D2모드 및 C1모드를 적용한다. E2, E3 및 D2모드는 모두 정격출력 부하의 100%, 75%, 50% 및 25%에서 측정하고 E2와 D2는 정격출력 회전수의 100%, E3는 100%, 91%, 80% 및 63%의 회전수에서 측정한다. 본 연구에서는 배출량 발생에 영향이 큰 주기용 엔진으로 가장 보유대수가 많은 선박에 탑재되는 신규 제작엔진 8대를 대상으로 하여, 정속·정부하 운전조건인 IMO의 E3모드로 오염물질 발생량을 측정하여 출력 및 시간당 원단위배출계수(元單位排出係數, g/kWh)를 구하였다.

$$\begin{aligned} \text{총배출량(g/년)} = & \sum \text{선박유형별 [(선박대수} \times \\ & \text{평균출력(kW)} \times \text{부하계수} \times \\ & \text{사용시간(h/년)} \times \\ & \text{원단위배출계수(g/kWh)})] \end{aligned}$$

우리나라의 동력어선은 73,780척이고, 이 중 26,860(36.4%)척이 1톤 미만의 소형어선이며, 그림 1과 같이 5톤 미만이 60,333척으로 전체어선의 81.8%를 차지하고 있다. 전체어선의 81.8%를 차지하고 있는 5톤 미만의 어선에 대한 마력분포를 조사한 결과 대부분 300마력 이하의 엔진을 탑재하고 있는 것으로 파악되었다<sup>4)</sup>. 어선의 톤급별 배출가스 발생량에 대한 영향을 추정하고 배출가스 측정대상 엔진을 선정하기 위해 톤급별 엔진의 총누적마력을 분석해 보면 그림 2와 같이 1톤~5톤 사이의 엔진이 가장 크고, 다음에 50~100톤, 5~10톤, 200톤 이상의 순으로 나타났다.

또 국내에서 보유한 어선 이외(여객선, 화물선, 유조선)의 선박은 5134척으로 이를 톤급별, 종류별로 분류하면 그림 3과 같이 5톤~20톤 미만의 선박이 1573척으로 전체의 30.6%를 차지하고 있다. 톤급별 배출가스 발생량에 대한 영향을 추정하기 위해 톤급별 총누적 마력을 비교해 보면 그림 4와 같이 2만톤~5만톤급 선박이

가장 크고 2천~5천톤, 1만톤~2만톤, 1000~2000톤 순으로 나타났다. 우리나라 어선의 조업특



큰 톤급의 엔진을 위주로 하여 140kW, 220kW, 340kW, 740kW, 1300kW, 3600kW, 18000kW 엔진에 대하여 평가하였다. 시험에 사용된 동력계는 각 엔진제작사가 보유하고있는 AC 동력계를 사용하였으며 배출가스 측정장치는 HORIBA사의 MEXA-9100D로서 질소산화물 측정원리는 화학발광법을 사용하였다. 엔진동력계에 대상엔진을 장착하고 시험조건을 맞추후 엔진출력 및 연료소비율은 KSR0071 기준으로, 배출가스 측정은 IMO NOx 규제모드인 E3 모드에 따라 측정하였고 그 측정결과를 대표 배출계수로 사용하였으며, 표 2와 같다.선박의 오염물질 배출량은 앞에서 구한 선박의 대수, 분류별 평균출력, 부하계수, 연간 사용시간, 원단위 배출계수 등을 고려하여 산출하였으며, 어선의 경우 그림 5와 같이 50톤~100톤 사이의 선박이 가장 배출량이 많고 200톤 이상, 1톤~5톤미만 순으로 나타났다. 여선 이외의 선박은

Table 2. Exhaust emission test results

	engines(kW)	emission[g/kWh]		remarks
		NOx	standards	
a	140	14.28	9.80	E3 cycle
		12.89		E2 cycle
b	220	8.20	9.84	E3 cycle
		7.47		E2 cycle
c	340	12.43	10.04	E3 cycle
		12.49		E2 cycle
d	740	11.87	E3 cycle	
e	1300	18.22		
f	3600	12.83		
g	18000	16.10		
		12.07		

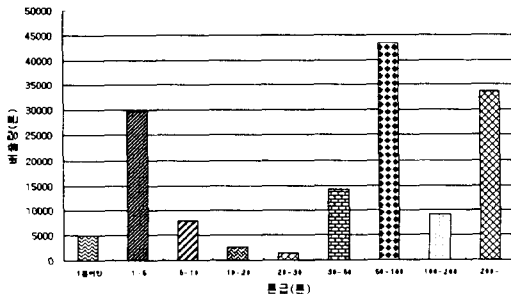


Fig. 5 NOx emission by fishing boats

그림 6과 같이 2천톤~5천톤 사이의 선박이 가장 배출량이 많고 500톤~1000톤미만, 1000톤~2000톤미만 순으로 나타났다.

선박에서 질소산화물의 총배출량을 위의 식으로 구하면 239,039톤이고, 이중 93.5%을 차지하는 어선의 배출량은 147,295톤으로 전체 배출량의 61.6%를 차지하고 있다. 대형 여객선 및 화물선의 경우 척수는 상대적으로 아주 작으나, 큰 누적출력으로 인해 전체 기여율에 대한 영향이 큰 것으로 나타났다. '97년도 국내에서 발생한 총 질소산화물 배출량은 총 128만톤이고" 이중 선박에서 배출된 질소산화물은 총 23.9만톤으로 전체의 약18.6%에 해당하는 것으로 조사되었다.

그림 7은 조사대상 엔진별 오염물질 측정결과를 국제해사기구(IMO)의 선박엔진 분류별 질소산화물(NOx) 배출허용 규제치와 비교하여 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 7대의 엔진중 2대만이 IMO 허용기준 이내의 측정결과를 나타냈으며

나머지 5대는 허용기준을 초과하는 것으로 나타났다. 소형엔진 보다 대형엔진에서 초과율이 높았

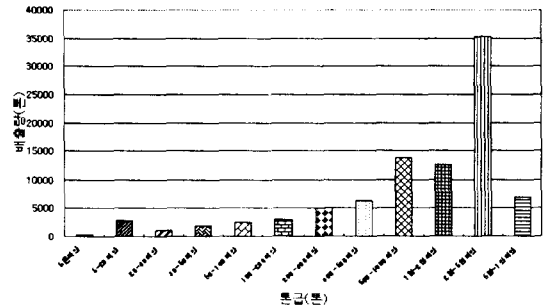


Fig. 6 NOx emission by commercial vessels

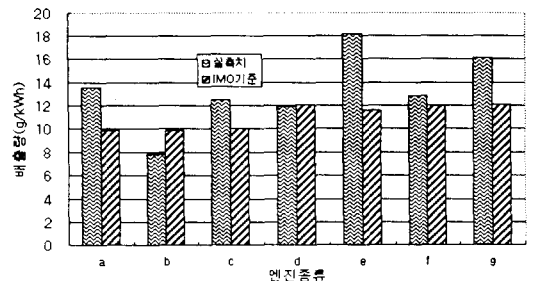


Fig. 7 Comparison between test results and IMO standard

으나 현재의 선박엔진에 연료 분사시기와 분사량을 조정할 때는 대부분 규제치에 적합할 것으로 조사되었다<sup>5)</sup>.

여러 국가를 운항하는 대형 화물선의 경우 2000년부터 발효되는 IMO규제를 채택하는 국가가 많기 때문에 IMO 규제에 적합한 엔진을 탑재하는 것이 불가피하다<sup>6)</sup>. 따라서 2000rpm 이하의 중·대형엔진에 대해서는 IMO규제기준과 동일한 규제치를 채택하는 것이 필요하다. 연·근해에서 조업하는 어선에 주로 탑재되는 2000rpm 이상의 소형엔진에 대해서는 시험방법은 IMO 모드를 채택하는 것이 필요하나 국내 기술 및 산업에 미치는 영향을 고려하여 IMO규제치와 실측치의 중간수준인 현재엔진의 실측치의 80%를 달성하는 것을 1차적인 목표로 삼고 2003년부터 IMO 규제치와 동일하게 적용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

선박에서 발생하는 질소산화물의 총량은 어선이 전체선박의 61.6%를 차지하여 이에 대한 규제기준의 제정과 관련업계의 대응이 시급히 필요한 것으로 조사되었다. 선박에서 발생하는 질소산화물 총량은 '97년 우리나라 전체 배출량의 18.6%로 매우 높은 것으로 파악되었다. 여러 국가를 운항하는 선박의 특성상 국제적 규제기준인 IMO 기준의 채택이 불가피 하고 우리나라의 연·근해에서 조업하는 소형선박의 특성상 초기에는 실측치의 80%를 달성하는 것을 목표로 삼고 향후 IMO의 규제치와 동일한 규제치를 적용하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. IMO 대기오염 방지협약중 질소산화물 배출규제 및 관련산업의 대응 현황, 1998년 2월, 한국선급, 김 종현
2. Control of Emission of Air Pollution from New CI Marine Engines at or above 37kilowatts, Environmental Protection Agency, May 1998
3. 해양수산부 통계연보, 1998년
4. 한국어선협회지, 1998년 1월호
5. Emission Control Two-Stroke Low Speed Diesel Engine. MAN B&W, 1995
6. Technical Code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines, UN IMO, MP/Conf. 3/35 Annex, 1997
7. 대기오염물질배출량('97), 환경부, 국립환경연구원, 1998

#### 저 자 소 개



##### 김대식(金大植)

1959년생, 1982 서울대학교 공과대학 기계공학과 졸업, 1984년 서울대학교 대학원 기계설계학과 졸업(석사), 1984년-1997년 기아자동차 중앙연구소, 1998~현재 국립환경연구원 근무.



##### 엄명도(嚴明道)

1957년생, 1980년 국민대학교 공과대학 기계공학과 졸업, 1982년 국민대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 1998년 동대학원 졸업(박사), 1981~현재 국립환경연구원 근무