

선박 원동기 배출허용기준 적용·관리 방안 마련 연구

Development on Emission Standards of Marine Diesel Engine

김철진*, 박성욱**

Chol-Jin Kim^{†*}, Sung-Uk Park^{**}

요 약 문

국내 원동기 배출허용기준 및 연료유 기준을 미국 및 유럽 등과 같이 일원화된 관리를 하기 위하여 대기환경보전법 개정이 되었다. 이에 따라 하위 법령 및 세부기준을 마련하기 위하여 국내외 관련 기준을 조사하고, 노후 선박용 원동기 시험을 진행하며, 선박 원동기 배출량을 산정하여 선박 원동기 배출허용기준(안)을 수립하고 기준 적용에 따른 규제 비용 및 편익 분석을 수행하였다.

※ **Keywords** : 원동기(Engine), 배출(Emission), 기준(Standard), 미국환경보호청(Environment Protection Agency), 연료유(Fuel oil)

1. 서 론

정부는 국내 원동기 배출허용기준을 선진국 수준으로 선제적으로 강화함으로써 대기개선 및 산업경쟁력을 제고하기 위하여 경유차, 천연가스버스, 휘발유차에 대한 차기 배출허용기준

도입과 건설기계, 농기계 및 선박용 원동기의 일원화된 관리기반 구축을 위한 기준 강화 및 신설을 골자로 하는 “자동차 배출허용기준 개선 방안”을 수립·발표하였다.

선박부문에 있어서 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에서 정한

† 논문 주저자

* 선박안전기술공단 기술연구실

** 한양대학교 기계공학과 조교수

질소산화물, 황산화물 규제치를 적용하고 있을 뿐 미국이나 유럽 등과 같이 다른 규제사항에 대해 취약한 실정이다. 선박 원동기 배출허용기준을 설정하고 인증할 수 있도록 개정된 대기환경보전법이 2013년 2월 2일 이후부터 시행함에 따라 배출허용 기준 설정, 적용대상 및 시기 등을 규정하는 하위 법령 개정이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 국내 현재 적용중인 배출 가스 허용 기준에 대한 분석, 해외의 허용기준과의 비교를 통해 국내 현실에 맞도록 배출허용기준(안)을 제시하고자 하며, 규제 기준값을 제시하기 위하여 국내에 사용되는 선박 원동기 등의 자료 및 시험을 통하여 배출량을 예측하여 배출규제의 타당성을 뒷받침하고자 한다.

2. 선박 원동기 배출가스 허용기준

국의 선박원동기 배출허용기준은 IMO MARPOL (International Convention for the Prevention of Marine Pollution from Ships) Annex VI Regulation 13에 따라 질소산화물(NO_x)의 배출 제한과 Regulation 14에 따라 연료유내 황함 유량의 제한 또는 EGC system(Exhaust Gas Cleaning)의 장착으로 규제된다.

국내 선박원동기 배출허용기준은 MARPOL 기준을 그대로 수용한 해양환경관리법에 따라 그 적용대상 및 적용시기만을 달리하여 규제하고 있다.

2.1 MARPOL Annex VI

국제해사기구의 규제는 1980년대 말부터 논의 되어 1990년대 초부터 대기오염 배출규제가 시작

되었다. 1997년 9월 국제해사기구 본부에서 MARPOL Annex VI를 채택하였으며, 2005년에 협약 비준국가의 수가 기준을 넘어 2005년 5월 19일 부로 본 협약이 정식 발효되었다. IMO MARPOL Annex VI는 선박 원동기로부터 배출되는 대기 오염원 중 질소산화물(NO_x)과 황산화물(SO_x)을 규제 대상으로 하며 황산화물의 규제는 연료유의 황함유량 제한 또는 기준의 적합한 배기가스 정화 장치(EGC, Exhaust gas cleaning system)의 부착에 따른다.

질소산화물과 황산화물의 규제는 일반해역과 배출규제해역으로 나누어 적용하고 있다. 배출 규제해역(Emission Control Area, ECA)은 질소산화물과 황산화물을 함께 규제하는 해역과 황산화물만을 규제하는 SECA(SO_x Emission Control Area)로 나뉘어진다.



Fig. 1 배출규제해역 및 추가 예상 지역

Table 1 MARPOL Annex VI 질소산화물 배출기준

n(=rpm)	Tier I	Tier II	Tier III
n < 130	17.0	14.4	3.4
130 ≤ n < 2,000	45.0 × n ^{-0.2}	44.0 × n ^{-0.23}	9.0 × n ^{-0.2}
2,000 ≤ n	9.8	7.7	2.0
비고	현행	- Tier II : 2011. 1. 1 이후 - Tier III : 2016. 1. 1 이후, ECA 향해 선박만 적용	

Table 2 MARPOL Annex VI 연료유내 황함유량

	연료유내 황함유량	적용시기
일반해역	4.50% m/m	2012년 1월 1일 전
	3.50% m/m	2012년 1월 1일 이후
	0.50% m/m	2020년 1월 1일 이후
배출규제해역	1.50% m/m	2010년 7월 1일 전
	1.00% m/m	2010년 7월 1일 이후
	0.10% m/m	2015년 1월 1일 이후

Table 3 황함유량 제한에 일치하는 EGC system 배출기준

연료유내 황함유량	배출량(SO ₂ ppm/CO ₂ %v/v)
4.50% m/m	195.0
3.50% m/m	151.7
1.50% m/m	65.0
1.00% m/m	43.3
0.50% m/m	21.7
0.10% m/m	4.3

2.2 US EPA(Environment Protection Agency)

미국은 37kW 이상인 압축착화 박용 디젤 원동기의 오염물질 배출규제의 최종법규(40 CFR Parts 89.92)를 1999년에 제정하였다. 1999년도에는 MARPOL Annex VI의 규제와 동일한 수준인 US Tier I을 따를 수 있도록 하였으나 강제 규제가 아닌 권고 정도였다.

'04년부터는 US Tier II를 각 카테고리별로 질소산화물, 탄화수소, 일산화탄소, 입자상물질로 나누어 규제하였으며 권고안이 아닌 법적 구속력을 가진 배출 규제로 실시하였다. 지속적인 개정을 통해 현재는 모든 출력에 대해 2008년 제정한

Tier III 규제를 2009년부터 단계적으로 적용하고 있다.

Table 3 카테고리 분류기준

카테고리	실린더당 배기량(D)	
	Tier I- II	Tier III-IV
1	$D < 5 \text{ dm}^3$ *	$D < 7 \text{ dm}^3$
2	$5 \text{ m}^3 \leq D < 30 \text{ dm}^3$	$7 \text{ m}^3 \leq D < 30 \text{ dm}^3$
3	$30 \text{ dm}^3 < D$	

* 37kW 이상 원동기

미국의 규제는 1999년 37kW이상의 디젤 원동기에 대해서 처음으로 적용되었으며 이후 비도로용 엔진에 준하는 Tier II 규제가 카테고리 1, 2에 적용되었다. 2002년에는 레저용 선박에 장착되는 디젤 원동기에 대한 규제가 제정되었으며, 2003년 환경단체의 소송으로 인해 카테고리 3에 대해서 MARPOL Annex VI와 동일한 기준을 적용한 Tier I을 시행하였다. 2008년 카테고리 1, 2에 대해서 이전보다 강력한 규제인 Tier III, IV를 제정하였고, 2009년부터 2014년까지 Tier III에 대해서 단계적으로 시행하고 있다. Tier IV의 경우 2014년부터 시행될 예정이며 이는 600kW 이상 원동기에 한하여 후처리 장치를 도입하여 더욱 강력한 규제기준을 적용할 예정이다. 2009년에는 카테고리 3에 대해서도 Tier II와 Tier III의 새로운 규제를 제정하였으며 Tier II-III의 NO_x기준은 IMO MARPOL Tier II-III 기준과 동일하며 추가적으로 HC는 2.0 g/kWh, CO는 5.0g/kWh로 규제하고 PM은 기준은 없으나 엔진제조사는 반드시 계측하여 PM량을 보고하도록 하여 Tier II는 2011년, Tier III는 2016년에 시행예정이다.

Table 5 미국 선박 원동기 배출규제(US EPA Tier II)

카테고리	배기량(ℓ)/출력(kW)	규제물질과 규제치 (g/kWh)			규제 시기
		NOx+THC	PM	CO	
카테고리 1	D < 0.9 P ≥ 37	7.5	0.40	5.0	2005
	0.9 ≤ D < 1.2	7.2	0.30	5.0	2004
	1.2 ≤ D < 2.5	7.2	0.20	5.0	2004
	2.5 ≤ D < 5.0	7.2	0.20	5.0	2007
카테고리 2	0.5 ≤ D < 15.0	7.8	0.27	5.0	2007
	15 ≤ D < 20 P < 3300	8.7	0.5	5.0	2007
	15 ≤ D < 20 P ≥ 3300	9.8	0.5	5.0	2007
	20 ≤ D < 25	9.8	0.5	5.0	2007
	25 ≤ D < 30	11.0	0.5	5.0	2007

Table 6 미국 선박 원동기 배출규제(US EPA Tier III)

카테고리	배기량(ℓ)/출력(kW)	규제물질과 규제치 (g/kWh)		규제 시기
		NOx+THC	PM	
카테고리 1 (≤35kW/ℓ engines)	D < 0.9 P < 19	7.5	0.40	2009
	D < 0.9 ^a 19 ≤ P < 75	7.2	0.30	2009
		4.7 ^b	0.30 ^b	2014
	D < 0.9 75 ≤ P < 3700	5.4	0.14	2012
	0.9 ≤ D < 1.2 75 ≤ P < 3700	5.4	0.12	2013
	1.2 ≤ D < 2.5 75 ≤ P < 3700	5.6	0.11 ^c	2014
	2.5 ≤ D < 3.5 75 ≤ P < 3700	5.6	0.11 ^c	2013
3.5 ≤ D < 7 75 ≤ P < 3700	5.8	0.11 ^c	2012	

카테고리	배기량(ℓ)/출력(kW)	규제물질과 규제치 (g/kWh)		규제 시기
		NOx+THC	PM	
카테고리 1 (>35kW/ℓ & all recreational engines)	D < 0.9 P < 19	7.5	0.40	2009
	D < 0.9 ^a 19 ≤ P < 75	7.5	0.30	2009
		4.7 ^b	0.30 ^b	2014
	D < 0.9 75 ≤ P < 3700	5.8	0.15	2012
	0.9 ≤ D < 1.2 75 ≤ P < 3700	5.8	0.14	2013
	1.2 ≤ D < 2.5 75 ≤ P < 3700	5.8	0.12	2014
	2.5 ≤ D < 3.5 75 ≤ P < 3700	5.8	0.12	2013
3.5 ≤ D < 7 75 ≤ P < 3700	5.8	0.11	2012	
카테고리 2	7 ≤ D < 15	6.2	0.14	2013
	15 ≤ D < 20	7.0	0.27 ^d	2014
	20 ≤ D < 25	9.8	0.27	2014
	25 ≤ D < 30	11.0	0.27	2014

a : 75kW 미만 및 0.9리터 이상의 엔진은 75~3,700kW 엔진 기준에 따름
b : 2014년에는 0.20g/kWh PM 및 5.8kWh NOx+THC로 선택가능
c : 600kW미만 엔진은 2018년도부터 0.10g/kWh
d : 3,300kW이하 엔진에는 0.34g/kWh

Table 7 US EPA Tier III CO emission standards

출력(kW)	CO (g/kWh)
P < 8	8.0
8 ≤ P < 19	6.6
19 ≤ P < 37	5.5
P ≥ 37	5.0

Table 8 미국 선박 원동기 배출규제 (US EPA Tier IV)

출력(kW)	규제물질과 규제치 (g/kWh)			규제 시기
	NOx	HC	PM	
P ≥ 3,700	1.8	0.19	0.12	2014
2,000 ≤ P < 3,700	1.8	0.19	0.06	2016
	1.8	0.19	0.04	2014
1,400 ≤ P < 2,000	1.8	0.19	0.04	2016
600 ≤ P < 1,400	1.8	0.19	0.04	2017

2.3 해양환경관리법

국내의 선박에 대한 배출가스 규제는 해양환경 관리법을 따르며 이 법안은 IMO MARPOL Annex VI의 내용을 준용하여 그 시기와 적용방법만을 달리하였다.

Table 9 질소산화물배출규제의 적용시기 및 적용 방법

출력	구 분	적용 배출허용기준
130kW 초과 294kW 미만	2011.7.1 이후 2013.1.1 전 건조된 선박	기준 1(Tier I)
	2013.1.1 이후 건조된 선박	기준 2(Tier II)
	교체 디젤기관	교체될 당시의 배출허용기준 ※ 동일한 형식 및 출력의 디젤기관 으로 교체하는 경우는 제외 ※ 2013.1.1 전에 건조된 선박에 2013.1.1 전에 제작된 디젤기관 으로 교체하는 경우 기준 1 적용 ※ 2011.7.1 전에 건조된 선박에 2011.7.1 전에 제작된 타선박· 타용도 사용 중고 디젤기관으로 교체시 2021.12.31까지 적용면제

	추가 디젤기관	추가로 설치될 당시의 배출허용 기준
	실질적 변경 디젤기관	○ 2011.7.1 전 건조된 선박 : 기준 1(Tier I) ○ 2011.7.1 이후 건조된 선박 : 건조될 당시의 배출허용기준
	연속최대출력 10% 초과 증가 디젤기관	
294kW 이상	2006.6.29 이후 2013.1.1 전 건조된 선박	기준 1(Tier I)
	2013.1.1 이후 건조된 선박	기준 2(Tier II)
	교체 디젤기관	교체될 당시의 배출허용기준 ※ 동일한 형식 및 출력의 디젤기관 으로 교체하는 경우는 제외 ※ 2013.1.1 전에 제작된 디젤기관 으로 교체하는 경우 선박이 건조 될 당시의 배출허용기준 적용 ※ 2006.6.29 전에 건조된 선박에 2006.6.29 전에 제작된 타선박· 타용도 사용 중고 디젤기관으로 교체시 2021.12.31까지 적용면제
	추가 디젤기관	추가로 설치될 당시의 배출허용 기준
	실질적 변경 디젤기관	○ 2006.6.29 전 건조된 선박 : 기준 1(Tier I) ○ 2006.6.29 이후 건조된 선박 : 건조될 당시의 배출허용기준
	연속최대출력 10% 초과 증가 디젤기관	

* 출처 : 선박안전기술공단 정부대행검사실

황산화물의 배출규제는 연료유의 황함유량 제한 또는 국토해양부령이 정하는 기준에 따르는 황산화물용 배기가스정화장치의 부착으로 이루어진다. 연료유의 황함유량 기준은 다음 장에서 보다 자세히 다루며, 황산화물용 배기가스정화장치의 배출제한 기준량은 배기가스 중 이산화황(ppm)배출량 대비 이산화탄소(부피백분율)배출량의 비율이 43.3SO₂ (ppm) / CO₂ (% , v/v)인 것을 말한다.

3. 선박사용 연료유 기준

3.1 해양환경관리법

해양환경관리법 제45조에서는 「항만운송사업법」에 따라 선박급유업의 등록을 한 자와 「조세특례제한법」에 따라 어업용 면세유를 공급하는 수산업 협동조합은 다음 기준에 미달하는 연료유를 선박에 공급하지 못하도록 규정하고 있다.

Table 10 해양환경관리법 황함유량 기준

해양환경관리법 시행령 제42조(연료유의 황함유량 기준)	해양환경관리법 시행령 제43조(연료유의 품질기준)
1. 경유의 황함유량은 1.0% (무게퍼센트)이하여야 한다. 2. 중유의 황함유량은 병커 A는 2.0%(무게퍼센트), 병커B는 3.0%(무게퍼센트), 병커C는 3.5% (무게퍼센트)이하여야 한다.	1. 석유를 정제하는 방법에 따라 제조된 연료유의 경우 다음 각 목의 요건을 모두 갖추어 가. 탄화수소 혼합물(성능을 향상시키기 위한 첨가제를 포함한다)일 것 나. 무기산이 포함되지 아니할 것 다. 국토해양부령으로 정하는 첨가제 또는 화학 폐기물이 포함되지 아니할 것 2. 위의 방법에 따라 제조된 연료유의 경우 다음 각 목의 요건을 모두 갖추어 가. 선박의 기관을 작동할 때 배출되는 질소산화물의 배출허용기준을 초과하지 아니할 것 나. 혼합되는 원물질에 무기산이 포함되지 아니할 것 다. 선박의 안전을 저해하거나 기계의 성능에 나쁜 영향을 미치지 아니할 것 라. 인체에 해롭지 아니할 것 마. 대기오염을 가중시키지 아니할 것

3.2 KS M ISO 8217 : 선박연료의 규격

이 표준은 선박연료 사용 전 적절한 처리를 하기 전에 선박 디젤기관과 보일러에 사용하는 석유 연료에 대한 요구사항을 규정하고 있으며 이 표준의 연료 사양은 선박용으로 사용되는 것과 성질과 유형이 동일하거나 유사한 고정형 디젤기관용 연료에도 적용할 수 있다.

Table 11 Distillate Marine fuels

시험항목	단위	기준	ISO-F 범주				
			DMX	DMA	DMZ	DMB	
동점도, 40℃	mm ² /s	이하	5.500	6.000	6.000	11.00	
		이상	1.400	2.000	3.000	2.000	
밀도, 15℃	kg/m ³	이하	-	890.0	890.0	900.0	
세탄 지수	-	이상	45	40	40	35	
황분	% m/m	이하	1.00	1.50	1.50	2.00	
인화점	℃	이상	43.0	60.0	60.0	60.0	
황화수소	mg/kg	이하	2.00	2.00	2.00	2.00	
산가	mg KOH/g	이하	0.5	0.5	0.5	0.5	
총 침전물-열여과법	% m/m	이하	-	-	-	0.10	
산화 안정도	g/m ³	이하	25	25	25	25	
10% 부피 잔류 연료의 잔류탄소분 : 마이크로법	% m/m	이하	0.30	0.30	0.30	-	
잔류 탄소분 : 마이크로법	% m/m	이하	-	-	-	0.30	
담점	℃	이하	-16	-	-	-	
유동점 (상충부)	겨울철 품질	℃	이하	-6	-6	-6	0
	여름철 품질	℃	이하	0	0	0	6
외관	-	-	투명하고 맑음				
수분	% V/V	이하	-	-	-	0.30	
회분	% m/m	이하	0.010	0.010	0.010	0.010	
운활성, 60℃, 보정된 마모 혼경(wsd 1.4)	μm	이하	520	520	520	520	

Table 12 Residual Marine fuels

시험항목	단위	기준	ISO-F 범주										
			RM A	RM B	RM D	RM E	RMG				RMK		
			10	30	80	180	180	380.0	500.0	700.0	380.0	500.0	700.0
동점도, 50℃	mm ² /s	이하	10.00	30.00	80.00	180.0	180.0	380.0	500.0	700.0	380.0	500.0	700.0
밀도, 15℃	kg/m ³	이하	920.0	960.0	975.0	990.0	991.0				1010.0		
CCAI	-	이상	850	880	880	880	870				870		
황분	% m/m	이하	법적 요구사항										
인화점	℃	이상	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0				60.0		
황화수소	mg/kg	이하	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00				2.00		
산가	mg KOH/g	이하	2.5	2.5	2.5	2.5	60.0				60.0		
열화 총 침전물 (total sediment aged)	% m/m	이하	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10				0.10		
탄소 잔류물 : 마이크로법	% m/m	이하	2.50	10.00	14.00	15.00	18.00				20.00		
유동점 (상온부)	저울 철 품질	℃	이하	0	0	30	30	30				30	
	여름 철 품질	℃	이하	6	6	30	30	30				30	
수분	% V/V	이하	0.30	0.50	0.50	0.50	0.50				0.50		
회분	% m/m	이하	0.040	0.070	0.070	0.070	0.100				0.150		
바나듐	mg/kg	이하	50	150	150	150	350				450		
나트륨	mg/kg	이하	50	100	100	50	100				100		
알루미늄 + 실리콘	mg/kg	이하	25	40	40	50	60				60		
ULO 칼슘과 아연, 또는 칼슘과 인	mg/kg	-	연료는 ULO가 없어야 한다. 연료는 다음 조건 중 하나를 만족할 때 ULO를 포함하는 것으로 보아야 한다. - 칼슘 30 초과 및 아연 15 초과, 또는 - 칼슘 30 초과 및 인 15 초과										

3.3 석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시

이 고시는 석유 및 석유대체연료 사업법 및 같은 법 시행규칙에서 위임된 석유제품의 품질기준을 규정한다.

Table 13 경유

항목	등급	자동차용	선박용
유동점(℃)		0.0 이하 (겨울용 : -17.5 이하)	0.0 이하 (겨울용 : -12.5 이하)
인화점(℃)		40 이상	
동점도(40℃, mm ² /s)		1.9 이상~5.5 이하	1.5 이상~6.0 이하
증류정상(90%유출 온도, ℃)		360 이하	
10% 잔유중 잔류 탄소분(무계%)		0.15 이하	0.20 이하
물과 침전물 (부피%)		0.02이하	
황분 (mg/kg)		10 이하	1.0 이하(무계%)
회분 (무계%)		0.02 이하	0.01 이하
세탄값 (세탄지수)		52 이상	40 이상
동판부식 (100℃, 3h)		1 이하	
필터막힘 점 (℃)		-18 이하	-
윤활성@60℃ (HFRR 마모흔경, μm)		400 이하	-
밀도@15℃(kg/m ³)		815 이상~835 이하	-
다고리방향족 함량 (무계%)		5 이하	-
방향족화합물 함량 (무계%)		30 이하	-
바이오디젤 함량 (부피%)		2 이상 5 이하	-

Table 14 중유

항목 \ 등급	A 중유	B 중유	C 중유
인화점(°C)	60 이상	65 이상	70 이상
동점도(50°C, mm ² /s)	20 이하	50 이하	540 이하
유동점(°C)	5.0 이하	10.0 이하	-
잔류탄소분(무계%)	8 이하	12 이하	-
물과 침전물(부피%)	0.5 이하	0.5 이하	1.0 이하
회분(무계%)	0.05 이하	0.10 이하	-
황분(무계%)	2.0 이하	3.0 이하	4.0 이하

4. 선박 원동기 배출량 산정

4.1 배출량 산출방법

배출량 산출방법은 “선박엔진의 NO_x 배출량 산정 (김대식, 엄명도 저)” 논문에서 제시한 방법으로 선박척수, 평균출력, 부하계수, 사용시간, 원단위 배출계수의 5가지 파라미터를 사용하여 산출하였으며 일반적으로 선박원동기에서 배출되는 오염물질의 총량은 정박 중에 발생하는 배출량과 운항 중에 발생하는 배출량과의 합이지만, 본 연구에서는 운항시의 총 배출량만 고려하였다.

$$\text{총배출량(g/년)} = \sum \text{선박유형별} [(\text{선박척수} \times \text{평균출력(kW)} \times \text{부하계수} \times \text{사용시간(h/년)} \times \text{원단위배출계수(g/kW-hr)})]$$

배출량 산정에 필요한 파라미터 중 원단위 배출계수 산정은 선박원동기가 다양한 종류를 가지고 있고 같은 톤급이라도 출력이 여러 가지로 다르고 또한 주기원동기 보기원동기로 분류되어 구하기에

어려움이 있다.

선박원동기 오염물질 배출계수의 정확한 산출을 위해서는 정확한 통계자료의 활용이외에도 실제 운전조건과 원동기의 사용년한 정도를 충분히 고려할 필요가 있다. 이에 따라 신품 원동기 7대를 대상으로하여 배출계수를 구한 2000년 국립환경과학원의 자료와 최근 5년간 공단에서 승인한 질소 산화물 기술목록(NO_x Technical File)자료를 활용하여 배출계수를 예측하였다.

배출계수는 NO_x Technical code E3 mode의 운전조건에서 오염물질을 측정하여 출력 및 시간당 배출원단위로 환산하여 이것을 배출계수로 사용하였다. 기술목록의 각 출력별로 유사한 출력을 가진 원동기들의 자료를 평균하여 그 출력의 대표값을 사용하였으며, 국립환경과학원에서 시험한 7대 신규 원동기에 대해서는 2000년에 시험한 원동기로 약 10년에 걸쳐 원동기의 열화가 진행되었다는 가정하에 중고 원동기의 열화정도를 측정한 시험으로부터 회귀식을 도출하여 10년 전 원동기가 열화가 됨에 따라 달라졌을 배출계수를 재산정하였다.

Table 15 최근 5년간 신품원동기 출력별 배기 배출량

출력	NO _x +THC (g/kW-h)	CO (g/kW-h)
100	7.1919	1.0190
200	7.5871	0.7177
300	7.7592	0.7854
350	6.7900	0.7251
400	8.6576	0.9652
500	8.5476	0.9014
900	9.1654	1.0394
1,000	7.6627	0.9710
2,000	8.4512	0.8166
3,000	9.9760	0.5123

Table 16 2000년 국립환경과학원 시험 원동기의 NOx배출량

출 력	NOx(g/kW-h)
147	14.30
235	8.20
345	12.43
735	11.87
1,323	18.22
3,530	12.83
16,560	16.10

4.2 선박원동기 분석

해양수산부의 국가승인통계와 공단의 통계 자료를 바탕으로 동력어선과 일반선의 톤급별 평균출력 산출하였다.

Table 17 동력어선 평균출력

구 분	총 척수	누적마력	평균출력(kW)
1톤미만	3,257	135,087	30
1~5	21,652	4,313,844	146
5~10	5,937	2,361,008	292
10~20	804	331,655	304
20~30	862	434,158	371
30~50	398	215,348	398
50~100	778	543,663	514
100~200	263	317,552	889
200톤이상	490	834,138	1,253

Table 18 일반선 평균출력

구 분	총 척수	누적마력	평균출력(kW)
1톤 미만	20	1,013	37
1~5	469	77,176	121
5~10	485	110,902	160
10~20	840	280,953	246
20~30	762	316,681	306
30~50	478	251,989	388
50~100	598	386,004	475
100~200	451	381,984	623
200~300	95	116,350	901
300~500	102	133,595	964
500~1,000	48	74,524	1,143
1,000~2,000	24	43,623	1,338
2,000~5,000	21	65,573	2,298
5,000톤 이상	15	128,266	6,294

“선박엔진의 NOx 배출량 산정(김대식, 엄명도 저)” 논문 및 공단에서 조사한 바에 따르면 우리나라 어선의 조업특성은 5톤 이하의 소형어선은 주로 낚시, 어장 관리등에 사용되기 때문에 작업장으로 이동하는데 소요되는 왕복 2시간내외의 시간 동안에만 원동기의 1/2~전부하(평균 75% 부하)를 사용하고 어로 작업을 하는 약 4시간 동안에는 공회전으로 작업하는 경우가 대부분이어서 부하계수는 상대적으로 낮은 것으로 파악되었다. 따라서 어선의 경우 평균부하인 부하계수 0.75를 사용하였으며, 어선의 연간 사용시간은 평균 1,320시간으로 집계되어 모든 어선 원동기에 대해 동일한 기준을 적용하였다.

일반선박 중 가장 큰 부분을 차지하는 여객선의 운항특성을 조사한바 소형 및 대형 여객선 모두 약 90%부하로 운항하고 있으며, 500kW 이하 원동기가 장착된 일반선박은 연간 사용시간이 2,078시간, 그 이상 출력에 대해서는 2,880시간으로 조사되었다.

Table 19 선박 운항특성

구 분	출 력	연간 사용시간	부하계수
어 선	전 출력	1,320	0.75
일반선	500kW 미만	2,078	0.90
	500kW 이상	2,880	0.90

4.3 중고원동기 시험

중고원동기의 배출가스 열화특성 및 기준 초과율을 분석하기 위하여 2001년식 265kW 중고선박용 원동기에 대해 ISO 8178에 따라 시험을 시행하였고 동일 신품 모델의 EU인증을 위해

국립환경과학원에서 시행했던 2001년, 2006년 시험결과와 비교하여 보았다.

Table 20 중고 선박원동기 배출가스 시험 결과

구 분	2001년	2006년	2012년
NOx+THC (g/kW-h)	7.71	6.05	16.665
CO (g/kW-h)	0.49	0.51	3.194
PM (g/kW-h)	0.159	0.125	0.074

*E3 mode

4.4 배출량 산출

선박 보유 자료는 톤급별, 연도별로 분류되어 있다. 연도별 분류는 선박의 등록된 연수를 나타낼 뿐, 원동기의 연식을 대표하지는 않는다. 선박용 원동기의 교체주기는 법적으로 정해져 있지 않으나, 개방검사기간이 8~10년인 점을 감안하여 교체 주기를 10년으로 하여 배출량을 산정하였다. 5년 이하와 11년~15년 이하 원동기에 대해서는 신제품으로 분류하여 공단의 배출계수를 사용하여 배출량을 계산하였으며, 6~10년 사이의 원동기는 8년간 원동기가 열화가 되었을 것으로 판단하여 2000년에 실험된 자료를 기준으로 하여 중고원동기 배출가스 시험결과를 회귀분석하여 열화 정도를 평가하여 배출량을 산출하였다.

중고 원동기 시험을 통한 회귀분석을 통하여 원동기 사용시간 대비 배출수준을 살펴보면 5년 이내에는 큰 변화가 없으나 5년 이후에는 변화를 보이는데, NOx + THC, CO의 경우는 급격하게 증가하나 PM의 경우는 오히려 감소하는 결과를

보였다. 이로부터 지수적 변화를 고려한 회귀 분석이 이루어졌으며, 교체 주기를 10년으로 하였을 때, 5년 이후인 6년부터 10년사이의 평균인 8년에 해당하는 만큼 열화정도를 고려하여 배출 계수를 구하였다. 또한 모든 출력 값에 대한 자료를 조사한다는건 불가능 하기에 근접한 출력에 해당하는 부분에 대해서는 동일 배출수준을 유지한다고 가정하여 배출 계수를 도출하였다.

동력어선의 경우 최근 5년 이내 원동기에 비해 중고 원동기의 NOx + THC의 경우 최대 7배까지 증가하며, CO 배출계수는 최대 60배까지 증가하고 있다. 최근 5년 이내에 생산된 원동기에 비해 10년 이상 된 원동기에 대해서는 열화로 인해 배출량이 상당히 증가할 것으로 예측된다. 중고 원동기 시험 결과에서도 확인하듯이 2001년도에 시험한 CO 배출수준과 비교하면 최대 1,193%까지 열화된다는 것을 확인할 수 있다.

Table 21 동력어선의 원단위 배출계수

구 분	NOx+THC		CO	
	5년 이내 원동기	중고 원동기	5년 이내 원동기	중고 원동기
1톤 미만	7.19	27.72	1.02	14.12
1~5	7.19	27.72	1.02	14.12
5~10	7.59	21.64	0.72	12.49
10~20	7.76	21.64	0.79	12.49
20~30	6.79	25.87	0.73	13.62
30~50	8.66	25.87	0.97	13.62
50~100	8.55	25.87	0.90	13.62
100~200	9.17	25.31	1.04	13.47
200톤 이상	7.29	31.66	1.16	15.18

4.5 배출량 산출 결과 및 평가

배출량 산출을 통해 얻어진 배출량은 각 출력별 또한 건조 년도를 고려하여 도출된 배출량에서 NOx + THC의 배출량은 211,853톤이며, 가장 많은 선박 척수를 차지하는 1~5톤 선박이 60,204톤으로 전체의 약 28.4%를 차지하고 30톤 미만 선박들이 전체의 54%를 차지하여 소형 선박에서 가장 많은 배출량을 보임을 알 수 있다. 또한 교체 또는 선박 건조가 5년 이내인 원동기의 배출량 보다 5년 이상 10년 미만의 열화가 진행된 원동기에서 발생하는 배출량이 높은 것으로 나타난다. CO배출량의 경우도 NOx 배출량과 동일한 패턴을 나타내고 있다.

Table 22 일반선의 원단위 배출계수

구 분	NOx+THC		CO	
	5년이내 원동기	중고 원동기	5년이내 원동기	중고 원동기
1톤 미만	7.19	35.60	1.02	14.12
1~5	7.19	35.60	1.02	14.12
5~10	7.19	35.60	1.02	14.12
10~20	7.59	29.52	0.72	12.49
20~30	7.76	29.52	0.79	12.49
30~50	6.79	33.75	0.73	13.62
50~100	8.66	33.75	0.97	13.62
100~200	8.55	45.62	0.90	30.10
200~300	9.17	45.62	1.04	30.10
300~500	9.17	45.62	1.04	30.10
500~1,000	9.17	51.97	1.04	31.81
1,000~2,000	7.29	51.97	1.16	31.81
2,000~5,000	7.29	46.58	1.16	30.36
5,000톤 이상	9.98	49.85	0.51	31.24

Table 23 NOx +THC 배출량

구 분	척	5년 이하	6~10	11~15	16~20	21년 이상	배출량 총계 (톤/년)
1톤 미만	3,277	20	278	219	1,515	5	2,037
1~5	22,121	3,008	15,206	7,372	34,064	555	60,204
5~10	6,447	3,062	8,392	3,862	11,166	1,509	27,991
10~20	1,644	910	5,294	1,162	1,608	1,658	10,632
20~30	1,624	1,124	5,365	1,154	3,706	2,089	13,438
30~50	876	754	4,018	776	2,771	1,532	9,852
50~100	1,395	954	4,001	1,528	3,773	7,498	17,754
100~200	715	280	1,040	1,147	11,009	12,362	25,839
200~300	585	133	830	142	3,675	14,470	19,251
300~500	103	481	2,964	481	2,052	1,095	7,073
500~1,000	48	272	1,847	272	1,231	724	4,346
1,000~2,000	24	126	1,081	126	721	411	2,466
2,000~5,000	21	174	1,387	174	1,110	481	3,326
5,000톤 이상	15	488	3,253	488	2,440	976	7,645
합 계	38,895	11,787	54,957	18,904	80,839	45,366	211,853

Table 24 CO 배출량

구 분	척	5년 이하	6~10	11~15	16~20	21년 이상	배출량 총계 (톤/년)
1톤 미만	3,277	3	141	31	772	2	948
1~5	22,121	427	7,655	1,046	17,281	197	26,606
5~10	6,447	297	4,763	371	6,256	534	12,221
10~20	1,644	89	2,496	113	759	643	4,100
20~30	1,624	117	2,486	120	1,717	811	5,251
30~50	876	82	1,748	85	1,206	572	3,693
50~100	1,395	104	1,790	167	1,688	2,795	6,543
100~200	715	30	667	123	7,054	6,760	14,633
200~300	585	19	456	21	1,992	6,804	9,292
300~500	103	55	1,955	55	1,354	622	4,041
500~1,000	48	31	1,131	31	754	389	2,335
1,000~2,000	24	20	662	20	441	229	1,372
2,000~5,000	21	28	904	28	723	282	1,965
5,000톤 이상	15	25	2,038	25	1,529	518	4,135
합 계	38,895	1,326	28,891	2,235	43,526	21,158	97,135

CAPSS에서 매년 발표하는 대기오염물질 배출량 값과 배출량 계산식을 이용한 값과 비교하여 보면 CAPSS 발표자료의 경우 배출량 산정방식이 선박의 운항시와 접안시의 연료소비율과 배출계수의 곱으로 배출량을 산정한 반면 본 연구에서는 실험 값에 근거하여 선박 운항시간, 부하계수 등을 고려하여 배출량을 측정하였으며, 오래된 원동기 사용으로 인한 열화를 감안하여 배출량 증가를 예측하였다. 또한 CAPSS의 배출계수는 1994년 US EPA에서 발표한 값을 사용하고 있어 국내 선박의 상황 등을 반영하지 못하며, 노화 또는 중고 원동기에서 나오는 배출량의 평가를 하기 어렵다는 한계점을 지니고 있다. 두 배출량을 비교하여 보면, CAPSS배포자료 대비 배출량 산정식을 통한 결과가 더 높은 값을 가지고 있다. 이러한 결과는 노후 또는 중고 원동기의 열화로 인한 높은 배출계수 평가가 주된 원인으로 작용하였을 것으로 판단되며, 자료 부족으로 PM에 대한 비교가 수행되지 못하였으나 본 결과를 근거로 유추하였을 때, 현재 선박에서 배출되는 PM이 CAPSS자료보다 더 높은 수준으로 배출될 것으로 예상된다.

Table 25 선박원동기 오염물질 배출량 비교

구 분	NO _x +THC(톤/년)	CO(톤/년)
CAPSS	84,085	7,152
본 연구	211,853	97,135

5. 선박원동기 배출허용기준 적용(안)

5.1 선박원동기 분류기준

미국과 유럽의 자국기준의 적용대상 원동기는

출력 및 배기량에 따라 분류되어 있다. 미국의 경우 US Tier II 기준에서 37kW 이상 출력의 실린더당 배기량이 5리터 미만인 원동기로부터 실린더당 배기량이 30리터 이상인 원동기까지 3가지의 카테고리로 나누어서 규제를 적용하였다. 유럽의 원동기 분류기준은 미국의 분류기준과 동일한 기준을 사용하며 각 카테고리에 대한 명칭만 다르다 또한 유럽에서는 내륙선박(Inland water vessels)규제가 비도로용 엔진 규제에 포함되어 있기에 V로 시작하는 카테고리 명칭을 사용할 뿐 분류기준은 미군의 US Tier II 기준과 동일하게 적용한다. 미국의 US Tier III부터는 최소 출력 조건인 37kW에 대한 언급이 사라졌으며 카테고리 1과 2의 구분이 기존 실린더당 배기량 5리터에서 7리터로 변경되었다. 카테고리 3에 대해서는 기존 기준인 실린더 당 배기량이 30리터 이상으로 유지되었다.

따라서, 국내 자국 기준 도입시 선박용 원동기 분류 기준이 출력과 실린더당 배기량을 고려한 기준으로 바뀌어야 할 것이다.

5.2 국내 선박원동기 배출규제 기준

IMO MARPOL Tier I-III규제의 규제 대상 물질은 질소산화물이며 국내 기준도 동일한 규제 물질, 규제치를 사용하고 있다. US EPA Tier I은 IMO MARPOL Tier I과 동일하나 US EPA Tier II-IV의 경우 규제물질이 질소산화물 외에 탄화수소, 일산화탄소, 입자상물질이 추가되었으며, 규제시기 또한 출력 및 배기량별로 단계적으로 나누어 시행한다. 유럽의 기준은 미국의 US EPA Tier II와 동일한 규제치를 사용하나 규제시기만

다르게 하여 적용하였다. 이를 바탕으로하여 선진국 수준으로 선제적으로 강화하기 위한 국내에 도입될 자국 기준법으로 US EPA Tier III를 도입하는 것이 합리적이거나 국내 바로 시행하는 것에는 무리가 있을 것으로 판단되어 3년간의 유예기간을 두어 2016년에는 US EPA Tier II 기준을 도입하고 2019년부터 US EPA Tier III 기준을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

선박연료유에 대한 기준은 한국산업규격 및 석유 제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시의 품질기준이 있고, 대기환경보호를 위한 해양환경관리법에 명시되어 있는 연료유의 황함유량 제한이 있다. 국제사회에서는 대기환경 보호를 위해 연료유에 포함되어 있는 황함유량을 적용시기 및 해역 별로 점차 강화하고 있으며, 이런 사항들을 잘 반영하고 있는 해양환경관리법의 현행 기준을 그대로 유지하는 것이 바람직할 것으로 판단되다.

6. 규제비용 분석

6.1 선박원동기 개발 비용

선박원동기 배출허용기준 도입으로 발생하는 비용계산을 위해서 많은 부분들이 고려되어야 하지만 그 중 선박원동기 제작사가 부담해야 할 비용이 가장 큰 부분을 차지한다. 배출허용기준이 강화될 경우 제작사에서 부담해야 할 투자비용은 개발비, 시설투자비, 가격상승분 등을 합산하여야 하지만 공개된 자료가 없기에 유럽에서 발표한 대형 자동차에 적용된 값을 차용하였다. 배출허용기준 강화에 따른 제작사의 원동기 1대당 투자비용은

약 1,583EURO(2,282,830원)/대로 하여 비용을 추정하였다.

6.2 원동기 신제품 등록 및 중고 원동기 교체 수

공단에 최근 5년간 신제품으로 예비검사 및 제조 확인을 받은 디젤원동기 자료를 바탕으로 연평균 새로 등록되는 원동기를 예측하였다. 또한, 이를 동력어선과 일반선박으로 나누어 각 평균출력에 대응되는 값에 증가량을 배분하였다. 배분의 기준은 현재 국내 등록된 선박의 비율중 동력어선이 차지 하는 비율이 약 98%이므로 각 유사 평균출력에 대해서 동력어선과 일반선박이 98%, 2%의 비율을 유지하여 사용하였다. 최근 5년간 새로 등록된 신제품 디젤원동기는 총 3,705대이며 연평균 741대 등록 되었으며, 이 중 동력어선에 719대, 일반선박에 22대 등록되었다고 가정하였다.

원동기 교체주기를 10년으로 가정하였을 시, 매년 발생하는 교체대상의 선박들이 존재하게 된다. 선박원동기 교체 조사 결과 대부분 중고 원동기들을 많이 사용하고 있다. 선박 원동기 배출허용기준안이 원동기 교체 대상이 된 선박에도 적용될 경우를 고려하기 위해서 매년 교체하게 될 중고 원동기 교체 대수를 예측해 보았다. 집계된 국내 선박 통계 자료를 기반으로 노후화 원동기를 사용하고 있을 것으로 예상되는 선박은 등록한지 '6~10년', '16년~20년', '21년 이상' 범주에 있는 선박들이다. 이중 '21년 이상' 범위에 있는 선박 중 절반이 노후화 원동기를 사용하고 있을 것이라 예측하였다. 따라서 각 범위에 포함되는 선박 수의 20%를 원동기 교체 대상으로 분류하여 중고 원동기 교체 대수를 예측 하였을 때, 총 4,216척의 선박이 매년 교체대상으로

분류되었다. 이를 매년 등록되는 신품 원동기로 대체한다면 신품 선박 디젤원동기는 매년 4,957대가 된다.

Table 26 최근 5년간 신품 선박용 디젤원동기 등록 대수

구 분	신품 선박용 디젤원동기	연 평균
50마력 미만	20	4
50~100마력	114	23
100~200마력	467	93
200~300마력	380	76
300~400마력	1,520	304
400~500마력	402	80
500마력 이상	802	160
계	3,705	741

Table 27 동력어선 및 일반선박의 톤급별 원동기 등록 분포

구 분	동력어선	일반선박
1톤 미만	4	-
1~5	114	2
5~10	224	4
10~20	189	3
20~30	64	1
30~50	31	1
50~100	48	1
100~200	27	1
200~300	18	2
300~500	-	2
500~1,000	-	2
1,000~2,000	-	1
2,000~5,000	-	2
5,000톤 이상	-	-
합 계	719	22

6.3 규제 비용의 분석

선박원동기 배출허용기준 강화에 따른 제작사에서 발생하는 비용을 계산하기 위해서 다음과 같은 방식을 이용하여 계산하였다.

투자비용(2,282,830원/대) × 출력별 원동기 등록대수(741대/년) 또는,
 투자비용(2,282,830원/대) × 출력별 원동기 등록대수(4,957대/년)

매년 신품 선박 디젤원동기에만 기준 적용시 연간 약 17억원의 비용이 발생하며, 중고 원동기까지 적용시 연간 약 113억원의 비용이 발생하게 된다.

7. 규제편익 분석

7.1 배출량 저감량 분석

선박원동기 배출허용기준이 도입 시 현행 배출량과 비교하여 배출량이 감소할 양을 예측하였다. 기준안의 배기량 범위 중 평균 범위인 실린더당 배기량 1.2리터 이상 2.5리터 미만 기준을 사용하였으며, 출력은 동력어선은 카테고리 1의 기준을 따르는 반면 일반선박의 경우 900kW이상 원동기에 대해서만 카테고리 2의 기준을 적용하였다.

Table 28 동력어선 및 일반선박(< 900kW) 적용 기준

구분	출 력	실린더 당 배기량	NOx+ THC	PM	CO
2016	75 ≤ P < 3,700	D < 0.9	7.5	0.40	5.0
		0.9 ≤ D < 1.2	7.2	0.30	5.0
		1.2 ≤ D < 2.5	7.2	0.20	5.0
		2.5 ≤ D < 5.0	7.2	0.20	5.0
2019	75 ≤ P < 3,700	D < 0.9	5.4	0.14	5.0
		0.9 ≤ D < 1.2	5.4	0.12	5.0
		1.2 ≤ D < 2.5	5.6	0.11	5.0
		2.5 ≤ D < 3.5	5.6	0.11	5.0
		3.5 ≤ D < 7	5.8	0.11	5.0

Table 29 일반선박(≥ 900kW) 적용 기준

구분	출력	실린더 당 배기량	NOx+THC	PM	CO
2016	P < 3,700	5.0 ≤ D < 15	7.8	0.27	5.0
		15 ≤ D < 20 (< 3,300kW)	8.7	0.50	5.0
		20 ≤ D < 25	9.8	0.50	5.0
		25 ≤ D < 30	9.8	0.50	5.0
2019	75 ≤ P < 3,700	7.0 ≤ D < 15	5.4	0.14	5.0
		15 ≤ D < 20	5.4	0.12	5.0
		20 ≤ D < 25	5.6	0.11	5.0
		25 ≤ D < 30	5.6	0.11	5.0

배출량 저감량 비교는 배출허용기준안을 신상품 원동기에만 적용하는 방안과 신상품 및 중고 원동기에 적용하는 방안으로 총 2안으로 나누어 분석하였다.

실제 신상품 선박 디젤 원동기 등록 대수는 매년 변동이 있으나 등록대수는 변하지 않는다는 가정하에 저감량을 계산하였다. 따라서 매년 741대의 배출허용기준안을 만족하는 원동기가 도입된다고 하였을 때, 최근 5년 이내에 생산된 원동기의 배출량과 비교를 하면 NOx+THC의 경우 2016년 기준 매년 102톤, 2019년 기준 매년 532톤이 감소할 것으로 예측된다. CO의 경우 최근 5년 이내 생산된 원동기의 CO 배출수준이 배출허용기준안을 충분히 만족하기에 사회적 편익을 발생하지 않을 것으로 판단하였다. PM의 경우 현재 배출량을 추정하지 못함에 따라 2016년에 적용될 배출허용기준의 150%정도 발생한다고 가정하고 배출저감량을 계산한 결과 매년 약

29.9톤, 2019년에는 30.5톤이 감소할 것으로 예측하였다.

배출허용기준이 신상품 및 중고원동기에 적용시 NOx+THC의 경우 2016년 기준 매년 26,292톤, 2019년 기준 매년 3,110톤이 감소할 것으로 예측되며, CO의 경우 2016년 기준 매년 11,754톤, 2019년 기준 매년 442톤이 감소할 것으로 예측되며, PM의 경우 엔진이 노후화 될수록 감소하는 경향이 있으므로 배출허용기준의 중고원동기 적용에 따른 PM 저감량으로 인한 사회적 편익은 발생하지 않는다고 판단하였다.

Table 30 신상품원동기 NOx+THC저감량

구 분	규제전	규제후 (2016년)	규제후 (2019년)
1톤 미만	1	1	1
1~5	122	122	95
5~10	500	475	369
10~20	452	419	326
20~30	164	173	135
30~50	111	93	72
50~100	217	182	142
100~200	232	183	142
200~300	206	207	151
300~500	46	49	28
500~1,000	54	58	33
1,000~2,000	25	34	19
2,000~5,000	87	117	67
5,000톤 이상	0	0	0
합 계	2,215	2,113	1,581

Table 31 신품 및 중고원동기 NOx+THC저감량

구 분	규제전	규제후 (2016년)	규제후 (2019년)
1톤 미만	360	94	73
1~5	10,068	2,684	2,087
5~10	4,663	1,788	1,391
10~20	2,089	865	652
20~30	2,310	726	537
30~50	1,716	463	346
50~100	2,939	826	552
100~200	4,677	969	686
200~300	3,478	936	394
300~500	1,231	304	174
500~1,000	793	197	113
1,000~2,000	58	116	66
2,000~5,000	669	239	137
5,000톤 이상	1,301	256	146
합 계	36,754	10,462	7,352

Table 33 신품원동기 PM저감량

구 분	규제전	규제후 (2016년)	규제후 (2019년)
1톤 미만	0.09	0.06	0.02
1~5	4.53	3.02	1.66
5~10	18.25	12.17	6.69
10~20	17.63	11.76	6.47
20~30	7.29	4.86	2.67
30~50	3.87	2.58	1.42
50~100	7.63	5.09	2.80
100~200	7.50	5.00	2.75
200~300	8.71	5.81	2.74
300~500	2.68	1.79	0.39
500~1,000	3.21	2.14	0.47
1,000~2,000	1.88	1.25	0.28
2,000~5,000	6.45	4.30	0.95
5,000톤 이상	0.00	0.00	0.00
합 계	89.72	59.83	29.31

Table 32 신품 및 중고원동기 CO저감량

구 분	규제전	규제후 (2016년)
1톤 미만	183	65
1~5	5,041	1,864
5~10	2,351	1,242
10~20	818	600
20~30	1,012	504
30~50	711	321
50~100	1,241	574
100~200	2,874	673
200~300	1,805	597
300~500	787	155
500~1,000	459	101
1,000~2,000	269	59
2,000~5,000	394	122
5,000톤 이상	815	131
합 계	18,761	7,007

7.2 규제 편익 예측

오염물질 저감 시 발생될 환경적 편익을 계산하기 위해서 EU에서 발생한 각 배출별 환경 편익 자료를 사용하였다.

Table 34 각 배출성분 별 환경 편익

구 분	CO	HC	NOx	PM
백만원/톤	2.09	2.43	4.85	285.86

NOx 및 HC의 경우 규제 시 합한 배출량으로 평가하기에 배출물 저감으로 발생하는 편익 계산의 편의를 위해 저감량의 70%는 NOx, 30%는 HC로 가정하여 계산하였다. 이와 같은 방법을 사용하여

편익을 계산한 결과 신폼 원동기에만 배출허용 기준을 적용하였을 때 2016년 기준 매년 89.7억원, 2019년 기준 매년 109.1억원 가량의 편익이 발생하며, 신폼 및 중고 원동기에 배출허용기준을 적용할 경우 2016년 기준 매년 1,415.4억원, 2019년 기준 매년 461.1억원 가량의 편익이 발생할 것으로 예측되었다.

후 기

본 연구는 환경부의 지원으로 수행한 정책연구의

연구결과임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- (1) 김대식, 엄명도 「선박엔진의 NO_x 배출량 산정」, 2000
- (2) 국립환경과학원 「비도로 이동오염원 배출량」, 2009
- (3) 농림수산식품부 「국내 어선 등록 현황」, 2010