

선박 대기오염물질 배출 현황 및 저감을 위한 국가 관리 대책 연구: 해양경찰 업무를 중심으로

이승환* · 강병용** · 정봉훈*** · 구자영****

* 중부지방해양경찰청 과장, ** 중부지방해양경찰청 주무관, *** 해양경찰청 국장, **** 중부지방해양경찰청 청장

National Management Measures for Reducing Air Pollutant Emissions from Vessels Focusing on KCG Services

Seung-Hwan Lee* · Byoung-Yong Kang** · Bong-Hun Jeong*** · Ja-Yeong Gu****

* Director, Central Regional Coast Guard, Incheon 22006, Korea

** Senior Manager, Central Regional Coast Guard, Incheon 22006, Korea

*** Director General, Headquarters of Korea Coast Guard, Incheon 21995, Korea

**** Commander, Central Regional Coast Guard, Incheon 22006, Korea

요약 : 미세먼지 등 대기오염이 일상화되고 국민 건강을 위협하면서 육상뿐만 아니라 해상 선박에서 발생하는 대기오염물질에 대한 관리 필요성이 대두되고 있다. 이에 본 연구는 선박 배출량 현황을 바탕으로 해양경찰 업무 중심의 선박 대기오염물질 점검 실태를 진단하고 배출 저감을 위한 국가 관리 대책을 제안한다. 최근 국립환경과학원(NIER, 2018)에 따르면 선박에서 배출된 총량(CO, NO_x, SO_x, TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, VOCs, NH₃, BC)은 국내 전체 발생량의 6.4%로 나타났고, 이 중 NO_x는 13.1%, SO_x는 10.9%, 미세먼지(PM₁₀/PM_{2.5})는 9.6%를 차지하고 있다. 선박 발생량 중에서는 국내의 입출항 화물선이 50.6%로 가장 많은 배출을 보였고, 어선의 배출 비율도 42.6%로 적지 않음을 알 수 있었다. 지역적으로 해양경찰 관할 5개 권역을 기준으로 부산항, 울산항을 포함한 남해권 44.1%와 광양항, 여수항을 포함한 서해권 24.8% 순으로 배출이 많았다. 해양경찰은 대기오염물질 관리를 위해 승선 점검을 통한 선박 배출 상황을 관리하고 있지만, 각종 배출 장치의 가동이나 연료유 기준 등의 실측에는 많은 시간과 노력이 필요하고, 또한 선박의 바쁜 운항스케줄에 따른 제약으로 대부분 서류상의 점검으로 진행됨으로써 관리에 한계가 있다. 따라서 선박 대기오염물질 관리를 위해서는 대기오염물질 발생을 실측 점검으로 바꾸도록 규제를 강화하고 해경 합계 등을 활용한 해역별 모니터링 시스템을 구축하여 실질적 현장 데이터에 기초한 관리가 이뤄지도록 하는 한편, 장단기적으로 환경친화적 선박 도입을 위한 기술 개발과 법·제도적 지원이 필요하다.

핵심용어 : 선박, 대기오염물질, 미세먼지, 배출량, 국가 관리 대책, 해양경찰

Abstract : Particulate matter levels are rapidly increasing daily, and this can affect human health. Therefore, air pollutant emissions from sea vessels require management. This study evaluates the status of air pollutants, focusing on air pollutant emissions from the vessels of the Korea Coast Guard (KCG), and proposes national management measures to reduce emissions. According to a report recently released (2018) by the National Institute of Environmental Research (NIER), emissions from vessels constituted 6.4% of the total domestic emissions, including 13.1% NO_x, 10.9% SO_x, and 9.6% particulate matter (PM₁₀/PM_{2.5}). Among the rates of pollutant emission from vessels, the emission rates of domestic and overseas cargo vessels were the highest (50.6%); the ratio of fishing boats was 42.6%. With respect to jurisdictional sea area, 44.1% of the emissions are from the south sea, including the Busan and Ulsan ports, and 24.8% of the emissions are from the west sea, including the Gwangyang and Yeosu ports. The KCG inspects boarding lines to manage emission conditions and regulate air pollutant emissions, but it takes time and effort to operate various discharge devices and measure fuel oil standards. In addition, owing to busy ship schedules, inspection documents are limited in terms of management. Therefore, to reduce the air pollutant emissions of such vessels, regulations will be strengthened to check for air pollutants, and a monitoring system based on actual field data using KCG patrol ships will be established, for each sea area, to manage the emissions of such vessels. Furthermore, there is a need for technological development and institutional support for the introduction of environmentally friendly vessels.

Key Words : Vessel, Air pollutant, Particulate matter, Emission, National management measure, Korea Coast Guard (KCG)

* First Author : rokko@korea.kr, 032-728-8091

† Corresponding Author : kjy1136@korea.kr, 032-728-8010

1. 서론

공기 역학경 2.5 μm 이하인 미세먼지(PM2.5, Particulate Matter <2.5 μm)를 기준으로, 2018년도 세계에서 대기질이 안 좋은 국가 73개국 중 한국이 27위를 차지했다. 대기오염으로 이슈가 되었던 방글라데시의 미세먼지 농도는 연평균 97.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 나쁜 것으로 나타났으며, 한국은 24.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다(AirVival, 2019). 이는 세계보건기구(WHO, World Health Organization)의 연평균 권고 기준 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 많게는 9.7배이며, 우리나라도 2.4배가 넘는다(WHO, 2006). 이에 따라 국민의 대기 환경에 대한 우려와 공기질 회복에 대한 요구가 증가하면서, 대기오염 관리에 대해 보다 적극적인 국가적 차원의 대응이 필요해 보인다.

먼저, 미세먼지는 2013년 WHO 산하의 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서 사람에게 1군 발암물질로 지정하고 있다. 대기오염물질 농도가 높을수록 사망위험이 증가하며(Lee, 2019), 실제 전 세계적으로 매년 700만명 정도가 대기오염으로 조기 사망하고 있다고 보고되고 있다(WHO, 2018).

대기오염 연구는 1948년 미국 펜실베이니아의 도노라(Donora), 1952년 영국 런던에서의 스모그 등 재난적 사건을 겪으면서 미국과 유럽을 중심으로 연구가 이뤄져 왔으나, 최근 중국의 베이징 황사·스모그의 발생과 편서풍 영향으로 인해 우리나라에서도 대기오염이 심각해지면서, 이에 대응하기 위한 국내 연구도 활발히 진행되고 있다. 그러나 현재의 국내 연구를 보면, 대기오염물질 규제를 위한 법제적 연구(Ryu, 2019; Yoon and Ahn, 2013), 중국 등 인접국과의 협력방안 연구(Kim, 2018; Lee, 2017), 지역별 대기측정 관리(Ko and Park, 2019)와 오염원 배출 저감을 위한 기술적 연구(Moon et al., 2019) 등이 다양하게 수행되고 있으나, 서로 독립적으로 이루어지는 성격이 강하여 상호 연계성이 부족해 보인다.

특히, 우리나라의 대기오염물질 중 해양 부분에서 유발되는 양이 무시될 수 없음을 보여주는데, 전국의 대기오염물질 중 선박에서 배출되는 SOx와 미세먼지의 양이 각각 10.9%, 9.6%를 차지하며, 특히 부산시로 한정할 경우에는 각각 73.2%, 51.4%로 매우 심각한 수준을 나타내고 있다(Lee et al., 2017). 이에 해양 분야에서 항만의 대기오염 연구도 마찬가지로 선박으로부터의 배출규제를 위한 국제법규 및 법제적 연구(Jee and Im, 2018; Lee and Lee, 2017), 인천 등 지역적 배출량 산정(Zhao et al., 2019; Kim et al., 2017) 및 대기오염물질 배출 저감을 위한 기술적 연구(Lee and Kwak, 2018) 등 다양하게 이루어지고 있다.

이와 같이 최근 미세먼지를 포함한 대기오염 문제가 국가적 현안이 되고, 항만도시의 경우에는 육상 배출원에 못지

않게 해양으로부터 대기오염물질의 유입으로 심각한 영향을 받고 있다. 이들 대기오염물질은 주로 선박으로부터 발생하고 있으며, 이에 대한 대책이나 관리를 어민이나 선사, 해양 단·업체에 맡기는 수준을 넘어 국가적 차원의 체계적 대응이 필요한 부분이다. 이에 본 연구는 국가 차원의 통일된 대기오염물질 배출량에 대한 산정방법을 토대로 선박으로부터의 오염물질 배출량 산정과 선종별, 지역별 현황을 조사하고, 현재 해양경찰 소관 업무를 중심으로 선박 대기오염물질에 대한 점검 현황을 진단한 후에 배출 저감을 위한 효과적인 국가적 관리 대책을 제안하고자 한다.

2. 대기오염물질 산정방법 및 선박 배출량

대기오염물질 유발 원인(배출원)은 발전소, 공장, 자동차, 선박 등과 같이 고온의 연소과정에서 나오는 미세입자 오염물질과 3~5월경의 황사와 같이 흙먼지 등 토양 기인 또는 소각과정에서 나오는 큰 입자 오염물질이 주를 이루고 있다. 우리나라의 배출원 분류는 유럽의 기준을 기초로 하고 있으며, 2007년부터 국내 현실에 맞추어 Table 1과 같이 13개 대분류 체계로 나누고 있다. 특히, 해양 부분은 대분류 체계에서 '비도로이동 오염원'에 포함되고, 소분류 체계에서 '선박'으로 구체화되어 있다(NIER, 2018).

2.1 대기오염물질 배출량 산정방법

국가 대기오염물질 배출량은 국립환경과학원(NIER, National Institute of Environment Research)의 대기정책지원시스템(CAPSS, Clean Air Policy Support System)으로 산정하고 있다. 환경부의 대기환경보전법 제17조(대기오염물질의 배출원 및 배출량 조사)에 따라 배출량을 산정하기 위해 각 사업장별 대기배출원관리시스템(SEMS, Stack Emission Management System)의 연료사용량, 굴뚝 정보, 소각량 및 제품 생산량 자료와 굴뚝 원격감시시스템 측정자료 등을 활용하고 있다. 배출원 분류별 대기오염물질 배출량에 대한 개괄적 산정방법을 아래와 같이 Table 1에 정리하여 나타냈다. 특히, 해양 부분을 차지하는 선박으로부터의 대기오염물질 발생량 산정은 배출원 분류체계상 '비도로이동 오염원'의 산정방법과 배출계수를 적용하고 있다.

Table 1. Method for estimating air pollutant emissions

SCC	Source category	Estimation Method
01	Energy industry	- Point sources are based on the SEMS, using the Bottom-Up approach. Estimate the emissions. - The remaining fuels are classified as area sources, and emissions are calculated using the Top-Down approach based on statistical data from the Korea Oil Corporation, Coal
02	Non-industry	

SCC	Source category	Estimation Method
03	Manufacturing	Association and City Gas Company. - The emission factor is partially applied by modifying domestic research results such as Enforcement Regulations of the Atmospheric Environment Conservation Act <Table 10> and NIER.
04	Production process	- Based on product output or raw material input - Emission factor is applied by proven such as European CORINAIR*, US EPA*, and domestic surveys.
05	Energy transport and storage	- The sector estimates VOCs* emissions from the supply of fossil fuels, especially volatile gasoline. - Except for gas stations, emission factors are from Europe CORINAIR. gas stations reflect domestic research results.
06	Use of organic solvent	- Estimates of VOCs emissions from the use of highly volatile organic solvents such as paints, inks, solvents for laundry and household goods. - Calculation by dividing into industrial facility paintings, building and non-industrial coatings, cleaning, laundry, other printing, household, and asphalt pavement.
07	Road movement pollution source	- Estimating Air Pollutant Emissions from Vehicles, calculation by classifying vehicle type and fuel. - Emission factors applied by the NIER data, of car models not included and unheated engine emissions are applied by the European CORINAIR.
08	Non-road transport pollution (ship included)	- Emissions are estimated by classifying them into railways, ship operations, aircraft, construction equipment, and agricultural machinery with internal combustion engines other than automobiles. - Emission factors ¹⁾ were calculated using domestic data and coefficients developed by the US EPA and FAA*.
09	Waste disposal	- Calculates air pollutant emissions from waste incineration, wastewater treatment, landfilling, and composting. - Emissions from waste treatment are calculated only by incineration of household waste and workplace waste (excluding flaring).
10	Agriculture	- Estimates ammonia emissions from livestock manure management and fertilizer use.
11	Other area pollution source	- Pollutant emissions from vegetation, wetlands or soil, forest fires and fires.
12	Scattering dust	- Dust caused by roadwork and dust discharged to the atmosphere without a certain outlet in the workplace or process.
13	Biological combustion (2011)	- Bio-combustion includes pollutants emitted from meat and fish, open-air incineration, agricultural residue incineration, wood stoves and boilers, firewood and charcoal kilns to the atmosphere. - Emission factor is applied to domestic development factor.

※ Source: NAPES (National Air Pollutants Emission Service), 2019

* CORINAIR: Core Inventory Air
EPA: Environment Protection Agency
VOCs: Volatile Organic Compounds
FAA: Federal Aviation Administration

2.2 대기오염물질 종류 및 선박 부분 관리물질

우리나라는 1999년부터 CO, NOx, SOx, TSP(Total Suspended Particles), PM10(Particulate Matter < 10 μm), VOCs, NH₃ 7개의 대기오염물질을 선정하여 배출량을 산정하기 시작하였으며, 2011년에 PM2.5, 2014년에는 BC(Black Carbon)이 추가되어, 2015년부터 9종의 물질을 국가통계로 공표하고 있다(NIER, 2018).

한편, 해양 부분에서는 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)의 MARPOL 73/78의 부속서VI(선박으로부터 대기오염방지를 위한 규칙)의 국제협약에 따라 Table 2와 같이 선박으로부터 배출되는 NOx, SOx와 미립자, VOCs, ODS(Ozone Depleting Substances)와 선내소각, BC 등을 관리물질로 지정하고 있다.

Table 2. Type of air pollutants from the ship

Name	Features and hazards
Nitrogen oxides (NOx)	- NO, NO ₂ , etc. Occurs when fossil fuels in automobiles, ships, factories react with oxygen and nitrogen in the air during high temperature combustion. - Cause of photochemical smog with hydrocarbons, reduce immunity due to respiratory diseases, interfering with oxygen transport in the blood, cause of secondary fine dust.
Sulfur oxides (SOx) and Particulate Matter	- Kind of sulfate : SO ₂ , H ₂ SO ₃ , SO ₃ , H ₂ SO ₄ , MgSO ₄ , K ₂ SO ₄ , CuSO ₄ , etc. Coal and petroleum contain 0.1~0.5% of sulfur, which produces H ₂ SO ₃ gas and SO ₃ when burned. - Acid rain caused by H ₂ SO ₃ gas and SO ₃ , gas acts on mucous membrane causing respiratory disease, cause of fine dust.
Volatile organic compounds (VOCs)	- Organic chemicals that readily produce vapors at ambient temperatures, and are therefore emitted as gases from certain solids or liquids. VOCs emission from chemicals, factories, plastic manufacturing process. * Regulation for emission : gasoline, naphtha, crude oil - As a carcinogen, photochemical smog is formed when NOx and VOCs react to sunlight.
Ozone Depleting Substances (ODS)	- ODS include CFC*, Halon, HCFC*, etc.(96 substances). used in refrigerator and air-conditioning equipment, refrigerants, heat insulating material, detergent, extinguishing agent. - Ozone depletion, it increases the amount of ultraviolet radiation that reaches earth's surface. UV can have detrimental effects on both human and environment such as skin cancer, cataracts, damaging the marine environment.

* CFC: Chloro Fluorocarbon
HCFC: Hydro-Chloro Fluorocarbon

선박으로부터 발생되는 이들 대기오염물질들은 태양 광선에 의한 화학반응을 통한 스모그 발생과 오존 파괴, 이로

1) The Source of Ship's Emission Factors

- CO, NOx, SOx, TSP, PM10, VOC: EEA(2006), EMEP/CORINAIR emission inventory guidebook
- NH₃: US EPA(1994), Development and selection of ammonia emission factors

인한 호흡기 질환, 피부암 등 인체 피해를 야기하고, 대기 중의 합성 반응을 통해 2차적 미세먼지를 유발시키는 전구 물질로 보고되고 있다(KCG, 2018).

2.3 선박 기인 대기오염물질 배출량 산정

선박으로부터의 대기오염물질 배출량은 식(1)과 같이 각 항구별 사전에 평가된 정박 시 연료소비량과 접안 시 운항 모드에서의 연료소비량을 합산하고, 선박 가중치로서 평가된 배출계수를 적용하여 산정한다. 연료소비량 단위는 톤(ton)으로 나타냈으며, 부피 환산을 위해 Bunker-C의 비중은 0.96²⁾을 적용하고 있다.

$$E = \sum (A_{anch.} + A_{app.}) \times EF \quad (1)$$

E : 선박 배출량(kg/년)
 $A_{anch.}$: 정박시 연료소비량(ton)
 $A_{app.}$: 접안시 연료소비량(ton)
 EF : 배출계수(kg/L)

다만, 선박의 입출항 척수는 Table 3과 같이 현재 관리되고 있는 국내외 외항선 및 연안선의 배출량만을 산정 대상으로 삼고, 내수면에서의 내륙 운항 여객 및 화물선은 산정에서 제외하고 있다.

Table 3. Vessel source classification system

SCC	Pollutant source	Category	Transportation	Subclass	Space
08030000	Non-road transport	Vessel			
08030100	Non-road transport	Vessel	Inland ship		
08030101	Non-road transport	Vessel	Inland ship	Ferry	
08030102	Non-road transport	Vessel	Inland ship	Cargo	
08030200	Non-road transport	Vessel	Inland ship		
08030201	Non-road transport	Vessel	Merchant ship	Overseas	Mobile source
08030202	Non-road transport	Vessel	Merchant ship	Coastline	Mobile source

선박이 정박한 경우의 연료소비량은 식(2)와 같이 입출항 척수에 연료소비계수와 보정계수를 적용하여 산정한다. 여기서 선종별 및 톤급별 연료소비계수는 각각 Table 4와 Table 5에 나타냈다.

2) Bunker-C의 비중은 정유사별 IFO(Intermediate Fuel Oil) 블렌딩 비율에 따라 차이가 있으며 물질안전보건자료(MSDS)에서는 0.9~1.1(20℃)로 제공하고 있음. NIER 국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(2013)에서는 표준 Bunker-C 비중을 0.96으로 계산함.

$$\text{정박시 연료소비량(ton)} = \text{입출항대수(회/년)} \times 0.5 \times \text{연료소비계수(ton/day)} \times 0.79(\text{day/회}) \times 0.2 \quad (2)$$

* 0.5 : 입항과 출항이 2번 계산되므로 보정하기 위한 계수
 연료소비계수 : NIER 2015 보고서 내 <표176>에 제시된 식 중 선박 형태 All ships를 이용하여 평가(Table 4 참고)
 0.79 : 평균정박일수(2001년 울산항에 입항한 선박 560척을 표본 조사 한 결과치)
 0.2 : 정박 중 연료소비량은 최대출력 시 연료소비량의 20%로 가정

Table 4. Fuel consumption factor by vessel type

Vessel type	Average fuel consumption (ton/day)	Fuel consumption by Gross Tonnage (ton/day)
Solid bulk	33.8	20.186+0.00049×GT
Liquid bulk	41.1	14.865+0.00079×GT
General cargo	21.3	9.8197+0.00143×GT
Container	65.9	8.0552+0.00235×GT
Passenger/Ro-Ro/Cargo	32.3	12.834+0.00156×GT
Passenger	70.2	16.904+0.00198×GT
High speed ferry	80.4	39.484+0.00972×GT
Inland cargo	21.3	9.8197+0.00143×GT
Sail ship	3.4	0.4268+0.00100×GT
Tugs	14.4	5.6511+0.01048×GT
Fishing	5.5	1.9387+0.00091×GT
Other ships	26.4	9.7126+0.00091×GT
All ships	32.8	16.263+0.001×GT

* Source: EEA EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, 1999, based on maximum power

Table 5. Fuel consumption factor by vessel tonnage

Classification	Average	Fuel consumption factor (ton/day)
less than 100ton	100	16.363
100-500ton	300	16.563
500-1,000ton	750	17.013
1,000-3,000ton	2,000	18.263
3,000-5,000ton	4,000	20.263
5,000-7,000ton	6,000	22.263
7,000-10,000ton	8,500	24.763
10,000-15,000ton	12,500	28.763
15,000-20,000ton	17,500	33.763
20,000-25,000ton	22,500	38.763
25,000-30,000ton	27,500	43.763
30,000-50,000ton	40,000	56.263
50,000-60,000ton	55,000	71.263
60,000-75,000ton	67,500	83.763
75,000-100,000ton	87,500	103.763
100,000ton or more	100,000	116.263

* Source: NIER's Manual of the National Air Pollutant Emission Calculation Method, Vol.III, 2013

선박 대기오염물질 배출 현황 및 저감을 위한 국가 관리 대책 연구: 해양경찰 업무를 중심으로

선박이 운항모드에서 접안하는 경우의 연료소비량은 식 (3)과 같이 톤급별 입출항 척수와 운항거리 적용치를 톤급별 연료 경제성 수치로 나눈 값으로 산정한다. 즉,

$$\text{접안시 연료소비량(ton)} = \frac{\sum(\text{톤급별 입출항수} \times \text{운항거리})}{\text{톤급별 연료경제}(km/kL)} \quad (3)$$

여기서 선박 톤급별 연료 경제성 수치는 아래의 Table 6에 나타냈다.

Table 6. Fuel economy by vessel tonnage

Classification	Average sailing distance (km/ship)	Average fuel consumption (L/ship)	Fuel economy (km/L)
100ton or less	16,248	103,489	0.157
101-1,000ton	16,248	103,489	0.157
1,001-10,000ton	72,323	1,528,174	0.065
10,001-20,000ton	152,391	5,861,204	0.026
20,001-50,000ton	152,391	5,861,204	0.026
50,001ton or more	203,335	247,043,808	0.012

※ Source: NIER's Manual of the National Air Pollutant Emission Calculation Method, Vol.III, 2013

또한, 오염물질 배출계수는 Table 7에 나타낸 것과 같이 미국과 유럽의 연구자료를 기반으로 선박에서 사용하는 연료유의 단위 무게당 CO, NOx, NH₃, SOx, TSP(PM10), VOCs 등 대기오염물질 발생량에 대해 사전에 산정된 계수를 적용하고 있다.

Table 7. Air pollutant emission factor of vessel

(unit: kg/kL)							
Vessel classification	Operate mode (fuel)	CO	NOx	NH ₃	SOx	TSP (PM10)	VOCs
Steam	Output	0.93	6.43	0.11 ^b	19.07	6.78	0.21
	Cruise (Maneuver/Cruise)	0.41	6.69		19.07	2.4	0.08
	Anchoring (bunker oil Combustion)	Neg	4.37		19.07	1.2	0.38
	Anchoring (diesel oil Combustion)	Neg	2.66		17.03	0.6	0.36
Engine ^c	All sailing driving mode	7.4	87	0.11 ^b	20S	6.7	2.4

※Source: US EPA(1991), Nonroad Engine and Vehicle Emission Study-Report

※Source^a: EEA(2006), EMEP/Corinair Emission Inventory Guidebook-2006

※Source^c: US EPA(1994), Development and selection of ammonia emission factors

* Sulphur Content(%) of Bunker-C is applied constantly as 4%

마지막으로 선박으로부터 발생하는 이러한 대기오염물질 배출량을 산정하기 위한 항만 및 선박입출항 데이터는, Table 8과 같이 해양수산부(MOF, Ministry of Oceans and Fisheries) 통계자료인 ‘선박입출항 척수’와 산업통상자원부의 에너지경제연구원(KEEI, Korea Energy Economics Institute)의 톤급별 연료 경제성 자료를 기준으로 선박 대기오염물질 배출량을 산정하고 있다.

Table 8. Acquisition Data on Ship Emission and agency

Acquisition		Agency
Port information	Port code, administrative Code, year of survey	MOF
Ship entry-exit port	Tonnage, outer port-domestic/overseas ship, coastline ship	
Space information	Port code, name of port, maps	
Fuel economy	Transportation by water, tonnage	KEEI

3. 선박 대기오염물질 배출량 분석

3.1. 선박 대기오염물질 배출 현황 분석

국가 대기오염물질 배출량 통계(NIER, 2018)를 참고하여 선박으로부터 발생한 배출량을 분석하였다. 국내 전체 배출량에 대한 선박 대기오염물질 발생량 현황을 Table 9에 정리하여 나타냈다.

Table 9. Amount of air pollutant emission from vessel

(2015, unit : ton)										
Subclass	Total	CO	NOx	SOx	TSP	PM10	PM2.5	VOCs	NH ₃	BC
Total	4,562,894	792,776	1,157,728	352,292	604,243	233,177	98,806	1,010,771	297,167	15,934
Non-road mobile source	571,550	135,700	304,376	39,424	15,320	15,317	14,106	40,311	117	6,879
Vessel	293,440	60,491	151,735	38,467	7,091	7,091	6,539	20,970	14	1,042
Compared with total (%)	6.4	7.6	13.1	10.9	1.2	3.0	6.6	2.1	0.0	6.5
Compared with non-road (%)	51.3	44.6	49.9	97.6	46.3	46.3	46.4	52.0	12.0	15.1

선박에서 발생된 대기오염물질 총량은 293,440톤으로, 국내 전체 배출량의 6.4%로 나타났다. 물질별 발생량은 NOx > CO > SOx > VOCs 순으로, NOx의 경우에는 전체 배출량 대비 13.1%, SOx는 10.9%, 미세먼지(PM10/PM2.5)는 9.6%를 차지하고 있다. 또한, ‘비도로이동 오염원’ 내에서는 선박 기인 총량이 51.3%로 절반 이상을 나타내고 있으며, 특히 SOx의 경우에는 97.6%로 ‘비도로이동 오염원’의 대부분을 차지하

여, IMO 2020 황 함유량 규제에 대한 당위성을 충분히 드러내고 있다. 그 외에 CO, NOx, PM10, PM2.5, VOCs 등도 50%에 가까운 점유율을 차지하고 있어, 이들 물질에 대한 배출 규제 및 현장 관리를 강화할 필요가 있다. 또한 선박 BC의 경우에도 전체 배출량 대비 6.5%, 비도로 오염원 대비 15.1%의 점유율을 나타내고 있지만, 철도, 항공, 건설기계 등 '비도로이동 오염원'이 국내 전체 배출량에서 차지하는 비율이 43.2%나 되기 때문에, 이에 대한 관리도 소홀히 할 수 없는 상황이다.

3.2 선종별 대기오염물질 발생량 분석

선종별 대기오염물질 발생량 현황을 Table 10에 정리하여 나타냈다. 선종별 발생량은 화물선 > 어선 > 여객선 순으로 나타났으며, 국내외 입·출항 화물선은 주로 대형선박 위주로 Bunker-C 등 중질유를 연료유로 사용하고, 엔진 출력이 높아 가장 많은 발생량을 보이고, 어선의 경우에는 전체 선박 대비 88%의 높은 점유율(2015 KOSIS, 2016)에 따른 연근해 조업 활동을 통해 화물선에 못지않은 발생량을 나타내고 있음을 알 수 있다.

Table 10. Amount of air pollutant emission by vessel type

(2015, unit : ton)								
Subclass	CO	NOx	SOx	PM10	PM2.5	VOCs	NH ₃	BC
Total	60,491	151,735	38,467	7,091	6,539	20,970	14	1,042
Ferry	692	7,361	1,248	255	233	259	0.7	43
Cargo	8,032	85,767	36,698	4,904	4,447	2,969	7.6	637
Fishing boat	45,640	58,564	519	1,771	1,697	14,773	5.3	353
Leisure boat	6,125	41	-	160	160	2,967	0.1	8

* Total is rounded at the first decimal place, and it is different with the sum of numbers by vessel type

또한 화물선은 NOx, SOx의 배출 비중이 높아 선박 전체 총량 대비 각각 56.5%, 95.4%로 나타내고 있는 것에 비해, 어선의 경우에는 NOx, CO, VOCs의 발생량이 선박 전체 대비 각각 38.6%, 75.4%, 70.5% 순으로 많음을 알 수 있다. 이를 통해 현장 점검 시에 선종별로 점검 내용을 달리할 필요도 있어 보인다.

3.3 지역별 선박 대기오염물질 발생량 분석

지역적 발생량을 파악하기 위해, 먼저 해양경찰 관할 5개 권역을 기준으로 소속 지역에 따른 선박 대기오염물질 발생량을 Table 11에 정리하여 나타냈다.

Table 11. Amount of air pollutant emission by region

(2015 / unit: ton)

Region	CO	NOx	SOx	PM10	PM2.5	VOCs	NH ₃	BC
Total	60,491	151,735	38,467	7,091	6,539	20,970	14	1,042
Central*	12,284	29,787	7,949	1,443	1,332	4,386	2.8	207
Incheon	1,225	3,874	1,584	237	217	544	0.4	29
Gyeonggi	1,364	5,448	2,322	333	304	596	0.5	42
Chungnam	1,212	5,255	2,161	308	281	478	0.5	39
Sea*	8,483	15,210	1,882	565	530	2,768	1.4	97
Total comparison(%)	20.3	19.6	20.6	20.3	20.3	20.9	20.4	19.8
West*	14,966	35,569	9,030	1,678	1,548	5,197	3.2	245
Jeonbuk	1,223	1,271	498	94	88	530	0.1	10
Jeonnum	3,106	15,225	6,172	875	797	1,196	1.4	113
Sea*	10,637	19,073	2,360	709	663	3,471	1.7	122
Total comparison(%)	24.7	23.4	23.4	23.6	23.6	24.7	23.3	23.5
South*	25,822	71,659	18,077	3,272	3,012	8,617	6.4	488
Busan	2,198	17,997	7,487	1,022	928	854	1.6	133
Ulsan	781	8,147	3,468	464	421	288	0.7	60
Gyeongnam	835	6,053	2,239	319	290	295	0.5	44
Sea*	22,008	39,462	4,883	1,467	1,373	7,180	3.6	251
Total comparison(%)	42.6	47.2	46.9	46.1	46.0	41	46.7	46.8
East*	5,749	10,428	2,494	515	478	2,218	0.9	74
Gangwon	1,074	2,136	857	139	128	488	0.2	17
Gyeongbuk	1,466	2,537	925	162	150	683	0.2	20
Sea*	3,209	5,755	712	214	200	1,047	0.5	37
Total comparison(%)	9.5	6.8	6.4	7.2	7.3	10.5	6.5	7.1
Jeju*	1,670	4,292	917	183	169	552	0.4	28
Jeju	157	1,579	581	82	75	58	0.1	11
Sea*	1,513	2,713	336	101	94	494	0.3	17
Total comparison(%)	2.7	2.8	2.3	2.5	2.5	2.6	2.9	2.6

* 중부청 관할 권역: 인천광역시, 경기도(평택시, 안산시, 시흥시, 김포시, 화성시), 충청남도 (보령시, 서산시, 당진시, 서천군, 홍성군, 태안군)

* 서해청 관할 권역: 전라북도(군산시, 고창군, 부안군), 전라남도(목포시, 여수시, 광양시, 고흥군, 보성군, 장흥군, 강진군, 해남군, 영암군, 무안군, 함평군, 영광군, 완도군, 진도군, 신안군)

* 남해청 관할 권역: 부산광역시, 울산광역시, 경상남도(창원시, 통영시, 사천시, 거제시, 고성군, 남해군, 하동군)

* 동해청 관할 권역: 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군), 경상북도(포항시, 경주시, 영덕군, 울진군, 울릉군)

* 제주청 관할 권역: 제주시, 서귀포시

* 바다는 2014년부터 해상 선박 배출원의 일부로 구분하여 나타내고 있음. 해양수산부의 2015년 선박 입·출항 현황을 기준으로 권역별 대비 비율로 적용

권역별로는 남해권이 압도적으로 많은 발생량을 보이고, 다음으로 서해권, 중부권 순으로, 각각 44.1%, 24.8%, 19.8%의 점유율을 나타내고 있다. 지역별로는 부산이 제일 높은

선박 대기오염물질 배출 현황 및 저감을 위한 국가 관리 대책 연구: 해양경찰 업무를 중심으로

발생량을 보이고 있으며 이는 부산항, 부산 신항의 입출항 화물선 척 수에 비례해서 나타난 것으로 판단된다. 다음으로 여수항, 광양항을 포함한 전남지역 그리고 울산, 경기(평택항), 경남(마산항, 진해항), 충남(당진항, 대산항), 인천 순으로, 이들 지역에 대한 선박 대기오염물질 관리 및 저감 조치를 강화할 필요가 있어 보인다. 또한 지역별로는 크게 두드러지게 나타나는 대기오염물질은 보이지 않으며, 전국 대비 권역별, 지역별 분포 비율과 거의 유사한 수준으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

또한 지역별 대기오염물질을 보면, 전남지역의 CO, VOCs의 배출이 다른 지역보다 높게 나타나고 있다. 이는 선종에 따른 분류에서 설명한 바와 같이 어선의 조업 활동에 의한 영향으로 판단된다. 이와 같이 각 권역별, 지역별 선박 기인 오염물질을 관리함에 있어 화물선뿐만 아니라 어선에서의 배출 규제 및 대기오염물질 저감 조치를 위한 노력이 필요해 보인다.

4. 선박 대기오염물질 점검 현황

4.1 국내의 법률적 규제 현황

2019년 3월 국회에서는 미세먼지를 재난으로 규정하고, 대기오염 관리를 위해 ‘재난 및 안전관리 기본법’, ‘대기환경보전법’, ‘대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법’, ‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’, ‘항만지역 등 대기질 개선에 관한 특별법’, ‘액화석유가스의 안전관리 및 사업법’, ‘실내공기질관리법’, ‘학교보건법’ 등의 제·개정 관련 법률을 통과시켰다(Kwanbo, 2019a; 2019b). 이번에 통과된 법률안의 특징은, 첫째로 수도권에 한정해 관리하던 대기관리권역을 전국으로 확대하고, 지금까지 관심도가 낮았던 항만 내에 선박으로부터 발생하는 대기오염물질을 관리 대상에 포함시켰다. 둘째로 해양에서 미세먼지의 배출원으로 선박을 지목하고, 선박의 입출항이 많은 주요 항만을 미세먼지 특별관리지역으로 지정하여 고시할 수준에 있다(Kang et al., 2019). 이들 관리지역은 황산화물 배출규제해역으로 지정되고, 항만 내에 대기질 측정망의 설치, 선박의 항속 제한 및 환경친화적 신조 선박 도입 등을 통해 선박으로부터의 대기오염물질 저감 조치를 적극 실행해야 한다.

한편, 국제적으로도 IMO의 MARPOL 협약 상의 NOx, SOx, VOCs, ODS 등의 주요 오염물질에 대한 배출 관리 이외에도, 2019년 5월에 제74차 MEPC(Marine Environment Protection Committee)회의에서는 IMO 2020 환경규제를 예정대로 2020년 1월 1일부터 실행하기로 정하고, 선박 연료유의 '황 함유량' 포함 기준을 최대 3.5%에서 0.5%로 대폭 낮추기로 하였다(IMO Res. MEPC.320(74), 2019). 이에 앞서 인접한 중국은

2019년 1월부터 자국의 모든 항만을 배출규제해역(ECA, Emission Control Area)으로 발표하였고, 우리나라도 부산, 인천, 울산, 여수·광양, 평택·당진 등 5대 주요 항만에 대해서 배출규제해역(ECA)으로 지정하여, 2020년 9월부터 ECA 내에서는 IMO 2020 보다 강화된 선박 연료유의 황 함유량을 0.1% 이하로 제한하도록 하는 규제 조치가 시행된다.

4.2 해양환경관리법상의 대기오염물질 점검

우리나라는 MARPOL의 부속서 VI과 해양환경관리법 제 41조(대기오염물질 배출방지설비 설치)부터 제47조(휘발성 유기화합물 배출규제)까지의 규정을 근거로 대기오염방지설비의 설치·운영, 오존층과괴물질의 배출금지, 질소산화물 배출기준 초과 내연기관의 작동금지, 황 함유량 기준초과 연료유의 사용금지, 소각 설비 등에 대하여 점검하고 위반 여부를 확인하고 있다. 구체적인 점검 사항에 대해서는 근거 법령과 함께 Table 12에 정리하여 나타냈다.

Table 12. Article for the prevention of air pollutant emission

Article		Checklist	Penalty
Ar 41	Facility to prevent discharge of air pollutant	Shall install a facility in conformity with the criteria set	Ar 129①.3 1 year, 10 million won
		Shall be maintained and operated in conformity with the criteria set	Ar 132③.1 penalty 1 million won
Ar 42	Regulation for emission of ozone depleting substance	Shall not emit ozone depleting substances(ODS)	Ar 129①.4 1 year, 10 million won
		Shall handle facilities contained ODS to designated company or organization	Ar 132③.2 penalty 2 million won
		Keep records of emission and replenishment	Ar 132④.6 penalty 300 thousand won
Ar 43	Regulation on emission of nitrogen oxides	Shall not operate diesel engines in excess of the permissible emission level	Ar 129①.5 1 year, 10 million won
Ar 44	Sulfur content standard for fuel oil	Shall not use fuel oil exceeding the sulfur content standard ※ B-A 2.0%/ B-B 3.0%/ B-C 3.5%/ Diesel 1.0% (Diesel : Territorial sea & EEZ 0.05%)	Ar 129①.6 1 year, 10 million won
Ar 45	Supply, confirmation of fuel oil	Shall not supply ships with fuel oil below the quality standard	Ar 129①.7 1 year, 10 million won
		Do not offer bunker delivery note and fuel oil samples(false)	Ar 132②.4 penalty 3/5 million won
		Keep bunker delivery note(3years), samples(1years)	Ar 132④.9-10 penalty 500 thousand won
Ar 46	Prohibition on shipboard incineration	Prohibit ship onboard incineration	Ar 132③.3 penalty 1 million won
		Shall be maintained and operated in conformity with the criteria set	Ar 132③.4 penalty 1 million won
Ar 47	Emission control for VOCs	Shall install and operate an oil vapor emission control unit ※ Designed port(Busan, Ulsan, Yeosu, Gwangyang, Incheon, Pyeongtaek, Dangjin, Daesan)	Ar 129①.3 1 year, 10 million won

선박에서 배출되는 대기오염물질은 해양환경관리법을 근거로 내국적 선박은 해양경찰청에서 외국적 선박은 해양수산부에서 각각 점검하고 있다. 해양경찰청에서는 연간 계획에 따른 선박 출입검사를 통해 선박의 대기오염물질 배출규제에 대한 이행 유무를 관리하고, 2019년에는 약 1450척 정도를 대상으로 선박 출입검사를 진행하고 있다. 또한, 2020년 1월 1일부터 시행되는 IMO 2020 환경규제의 연착륙을 위해 2017년부터 일정 기간을 정하여 연료유 황 함유량에 대한 집중 점검을 시행해 오고 있다. 황 함유량 점검은 산업통상자원부의 고시(제2015-140호)를 근거로 석유제품의 품질기준과 검사방법에 따라 황 함유량, 동점도 2개 항목을 분석하는데, 황 함유량 분석을 통해 유종별로 기준 준수 여부를 판단하고, 유종에 따른 ‘동점도’는 보조적으로 활용하고 있다. 구체적으로 먼저 1단계에서 선박 연료유 시료를 채취(연료탱크별 시료 채취)하면, 2단계에서 해양경찰청 소속 연구센터에서 1차 분석을 하고, 기준을 초과하면 3단계에서 석유관리원에 분석 의뢰를 통하여 기준 초과에 대한 이상 유무를 재확인하여 최종적으로 의법조치(처벌) 절차를 거치고 있다. 기준초과 연료유 공급자(급유업체)와 선박 소유자를 대상으로 황 함유량 외에도 NO_x, VOCs, ODS, 불법 소각 등의 추가적인 위법 여부를 확인하면서 항만에서의 대기오염물질에 대한 배출 관리 및 저감 조치를 유도하고 있다.

4.3 대기오염물질별 점검 내용

해양경찰에서 수행하는 대기오염물질의 점검 절차를 Table 13에 정리하여 나타냈다. 선박에서의 점검은 기본적으로 외관검사, 일반서류 검사, 대기관련 서류검사와 대기오염물질에 대한 구체적 점검 순으로 이루어지고 있다.

4.3.1 SO_x

기본적으로 모든 선박의 연료유가 적용 대상이 된다. 연료유 공급서 및 견본보관 대상은 400톤 이상의 선박과 합계 출력 130 kW 이상의 선박과 부선 등으로 황산화물과 관련한 법정 비치서류의 보유 여부와 서류상 내용의 적합 상태(IAPP, International Air Pollution Prevention Certificate 보유 및 추록상태), 선박에 적재한 연료유의 황 함유량에 대한 허용 기준 준수 여부를 확인하고, 필요시에는 그 시료를 채취하여 분석한다.

또한, 황산화물배기가스정화장치(Scrubber)를 설치한 경우에는 선박의 설비를 검사하고, 연료유 성적서 및 견본을 확인하며 연료유의 정상적인 유통 여부도 조사하게 된다.

Table 13. Korea Coast Guard : inspection procedure of vessel

Category	Procedure
Visual inspection	· Check the emission of pollutant
▼	
Document	· Ship's certification · Ship's particulars
▼	
Document (air)	· Bunker delivery note, fuel oil samples · Fuel oil changeover procedure · Ozone depleting substances records · Vapour emission control system records · VOCs management plan · Incinerator operation guidelines ※ Oil / garbage discharges record, ship's log book
▼	
NO _x	· Check document · Check IAPP, EIAPP · Check for engine accessories
▼	
SO _x	· Bunker delivery note, fuel oil samples · Sampling and check sulfur content standard
▼	
VOC _s	· Check document · Designated port and cargo operation
▼	
ODS	· Check for ozone depletion material · Check repair records · Check for Disposal of waste
▼	
Incineration	· Check incinerator operation · Specify the incinerator user and test · Test the incinerator · Check the prohibited substances

4.3.2 NO_x

합계출력 130 kW 이상의 내연기관이 있는 선박에 적용하며, MPP(Marine Pollution Prevention Certificate) 또는 IAPP 등의 발급, 검사 여부를 확인하고 있다. 질소산화물저감장치가 설치된 경우에는 설비의 운용 및 작동상태를 점검한다. 기관이 기준에 부적합한 경우, SCR(Selective Catalytic Reduction), EGR(Exhaust gas Recirculation) 등의 질소산화물저감장치가 장착되어 있어야 한다. 질소산화물 배출 허용기준 준수 여부 검사는 MPP 또는 IAPP 등의 대기오염방지검사증서 및 EIAPP (Engine International Air Pollution Prevention Certificate) 보유로 같음하고 있다.

4.3.3 VOCs

휘발성유기화합물배출규제항만에서 휘발유, 나프타, 원유 등의 화물을 적하하는 선박을 적용 대상으로 하며, 유증기수집제어장치 기술 기준의 적합 여부를 확인하고, 해양시설 배출제어장치와의 연결을 위한 Pipe장치, 산소농도계측감시장치, 압력감시장치 등의 관리 상태를 점검하고 있다. 또한 부산, 인천, 평택·당진, 울산, 대산, 여수, 광양 등 휘발성유기화합물배출규제항만에서는 유증기수집제어장치의 작동 여부까지도 확인한다.

4.3.4 ODS(Ozone Depleting Substances)

냉동기, 에어컨 등 냉매 물질을 사용하는 모든 선박에 적용되며, 국제항해 400톤 이상의 선박을 대상으로 IOPP (International Oil Pollution Prevention Certificate) 또는 IAPP 등 서류를 확인하고, 오존층과피물질을 포함하는 설비의 제거, 기록 및 처리에 대한 적합 여부를 점검하고 있다. 또한 염화불화탄소(CFC), 할론(Halon)가스, 수소염화불화탄소(HCFC) 등의 오존층과피물질을 포함하는 설비에 대한 목록 작성, 관리 상태를 확인하고, 냉동기, 에어컨 등의 보유 및 수리, 제거 시에 적합한 업체 인도했는지 여부와 오존층과피물질 수급량과 처리량에 대한 일치 여부 등을 검사하고 있다.

4.3.5 소각기(Incinerator)

소각기를 설치한 선박과 해양환경관리법 제46조(선박 안에서의 소각금지 등)에서 지정한 소각금지물질을 보유한 모든 선박에 적용되며, IOPP (또는 IAPP) 등 관련 서류의 확인, 소각기의 적정 사용, 연소실 개방을 통해 소각금지물질의 소각 여부를 점검하고 있다. 또한 소각기의 임시 작동 테스트(보조 점화기 및 연소기의 연소상태)를 통해 상태 점검 및 제한온도 설정, 온도 경보장치의 작동여부도 확인한다.

4.3.6 Black Carbon(BC)

모든 선박에서 추진기관이나 보일러의 연소로 배출되는 검댕은 해양배출 단속의 대상이 된다. 현장에서는 기름기록부와 폐기물기록부 상의 소각 기록을 확인하고, 규정에 맞는 소각 설비의 유지 및 작동 여부를 확인한다. 실제 Blowing 작업이나 연돌 청소에 따른 배출 등은 고의적인 폐기물 해양배출로 적발하고 있다.

5. 선박 대기오염물질 저감 관리 대책

현재 해양경찰청에서 수행하는 선박 대기오염물질에 대한 현장 점검은 각종 오염방지증서, 기관일지 등 선박비치 기록부 및 연료유공급서, 오존층과피물질기록부, 휘발성유기화합물관리계획서 등 대부분 서류상의 점검에 의존하고 있다. Scrubber, EGR, 유증기수집제어장치, 소각 설비 등 오염물질 저감 장치의 정상적인 작동 확인 및 연료유 채취를 통한 황 함유량 분석에는 많은 시간과 노력이 필요하지만 선박의 바쁜 운항스케줄로 인해 제약이 따른다. 또한, 앞에서 설명한 바와 같이 어선에서의 대기오염물질 발생량도 화물선 다음으로 많은 부분을 차지하고 있음에도 불구하고, 총톤수 400톤 및 출력 130 kW 미만의 대기오염물질 저감 장치의 설치 대상이 아닌 선박에 대해서는 사실상 점검 사각지대로 남아 있는 상태이다.

선박에서 발생하는 대기오염물질을 효과적으로 관리하기 위해서는, 우선적으로 선박으로부터의 배출 실태, 오염 현황 및 이동 경로와 이로 인한 영향 등에 대한 정확한 정보가 필요하다. 이에 선박의 톤급별 대기오염 실측 점검이 무엇보다 중요하고, 항만에 대한 지역별 대기오염물질 모니터링을 강화할 필요가 있다. 또한, 규제가 능사는 아니지만 육상시 설과의 형평성을 맞추는 법·제도의 보완과 대형 선박뿐만 아니라 어선 등 소형선에 대해서도 대기오염물질 저감 기술 개발에 대한 노력이 병행되어야 할 것이다.

5.1 선박 대기오염물질의 실측 점검

국제적으로 IMO의 MARPOL 협약에서 선박으로부터 배출규제의 대상은 NOx, SOx, VOCs, ODS 등의 물질과 선내 소각 등으로, 국내에서는 해양환경관리법 및 선박에서 오염방지에 관한 규칙에 세부내용을 반영하여 관리하고 있다.

그러나 선박에서 발생하는 대기오염물질에 대한 점검은 현장 배출가스의 측정방식이 아니다. NOx의 경우에는 기준에 적합한 설비를 갖추었는지를, SOx는 황 함유량 기준초과 연료의 사용금지 여부를, 이 외에 기준에 적합한 소각 설비를 설치하였는지를 서류상으로 점검하고 있어 규제의 실효성에는 의문이 있다.

대기환경보전법(제16조)에는 각각의 대기오염물질에 대한 배출시설별 배출허용기준을 정하고, 이에 대해 환경부에서 적용대상 공장, 시설 등 각 사업장의 굴뚝 자동측정기를 통해 배출가스를 실시간으로 모니터링해가며 배출기준 준수 여부를 점검하고 있다. 또한 이들 사업장을 대상으로 무인측정드론, 이동측정차량, 무인비행선 등을 활용하여 실시간으로 굴뚝 상부의 대기질 농도 등을 분석하고, 허용기준을 초과하는 사업장에 대해서는 선별적으로 출입검사를 통해 단속하고 있는 사례를 볼 수 있다.

그러나 하나의 사업장 규모에 해당하는 선박의 경우에는 정박 또는 운항 중에 발생하는 대기오염물질을 측정하는 시스템이 구축되어 있지 않다. 이에 따라 일정 규모 이상의 선박에 대해서는 점검관이 출입검사를 통해 배출가스 농도를 직접 측정하게 하거나, 육상의 대규모 사업장과 마찬가지로 배출가스 자동 측정 장치를 설치하여 실시간 모니터링 할 수 있는 시스템이 마련되어야 할 것이다.

이를 위해 해양환경관리법의 규정 신설 등의 개정을 통해 현장에서의 실측의 근거를 마련하고, 대기환경보전법을 개정하여 대기오염물질 배출허용기준에 선박 기인 대상물질을 추가하는 한편, 육상에서 사용하는 장비의 휴대성을 강화하여 측정 장비, 점검 기술 및 절차도 개발할 필요가 있다. 이러한 규제 동향은 최근 항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법이 제정되어 2020년 1월 1일부터 하역장비의 엔진

출력범위별 CO, HC, NOx, PM10에 대한 배출허용기준을 적용하고 있는 것을 통해서도 알 수 있다.

또한 SOx의 경우, 현재 연료유 황 함유량을 규제하고 있으나, 허용기준 초과 여부에 대해서는 한국석유품질관리원에 채취 시료에 대한 분석 의뢰를 통해 최종적인 위법여부를 판단하고 있는데, 해양경찰 연구센터와 각 지방해양경찰청에서도 유류에 대한 감식분석 능력을 충분히 가지고 있기 때문에 앞으로 해양경찰 점검관은 이를 보다 적극적으로 활용할 필요가 있다.

5.2 선박 대기오염물질 해역별 모니터링 강화

현행 NIER에서 발표하는 선박 대기오염물질 배출량은 MOF의 선박입출항 통계와 선종별, 톤수별 평균 연료유 소모량 대비 대기오염물질 발생량을 산술적 통계기준으로 산정하고 있다. 한편 육상에서는 대기오염 측정소를 설치하거나 이동측정차량을 통해 CO, NOx, SOx, O3, PM10, PM2.5 등을 측정하여 자료를 제공하고 있다. 이처럼 해양에는 대기오염 측정망이나 모니터링 시스템이 구축되어 있지 않은 실정이다. 이를 보완하기 위해 해양경찰 함정을 이용하는 방법을 제시하고자 한다.

해양경찰청은 우리나라 전 해역을 경비하기 위해 300여척 이상의 함정을 운용 중에 있다. 배타적 경제수역까지 광역 경비를 수행하는 대형함정과 연·근해를 경비하는 중·소형 함정에 대기오염물질 측정 장비를 설치한다면 각각의 위치에서 상시 대기오염물질 측정이 가능할 것이다. 우리나라 전 해역을 경비함정의 경비구역에 따라 섹터별로 구분하여 정기적인 해상순찰을 실시하고 있어, 실시간으로 해양에서 대기오염물질 측정이 가능하고 수집된 데이터를 육상으로 전송할 수 있다.

해역별 모니터링은 섹터를 나누어 선박의 이동 경로에 따라 대기오염물질(CO, NOx, SOx, O3, PM10, PM2.5), 위치좌표, 현지 기상(풍향, 풍속, 온도, 습도)을 측정하고, 해안가에 위치한 해양경찰 파·출장소(전국 약 330개소)에 배치되어 있는 드론에 측정 장비를 탑재(환경부의 대기오염측정 드론은 단시간 내에 대기오염물질의 측정 및 의심지역에 대한 시료 채취 기능이 탑재됨)하여 추가적인 측정망 구축도 가능하다.

선박에서 배출된 오염물질은 대기 중으로 확산되어 분포하지만, 해양에서 대기오염을 정기적으로 실측 모니터링 한다면 대기오염확산 모델링 등을 통해 대기 흐름에 따른 오염물질의 변화와 해상에서 선박 대기오염물질 배출로 인한 영향 등 그 상관관계를 연구할 수 있는 기초자료로도 활용할 수 있을 것이다.

선오염원(Line Source)으로 분류되는 선박의 통항량과 이동경로에 따른 해양 대기오염의 상관관계를 연구함에 있어

실측은 가장 확실하고 정확한 데이터를 제공할 수 있기 때문에 사용목적에 적합한 대기오염확산 모델³⁾을 선택하여 시간적, 공간적으로 역추적하고 모델링 결과를 검증해 볼 수 있을 것이다.

더 나아가 NIER에서는 육상의 배출원에서 발생된 오염물질이 대기확산 과정을 거쳐 수용체에 도달하기까지 대기확산 모델링을 통해 대기오염물질 저감 정책을 수립하고, 정책시행의 효과와 배출원의 기여도를 평가하는데 활용하고 있다. 또한 대기질 모델링 가이드라인(NIER, 2013)을 만들어 대기질 모델링 수행절차와 평가방법 등에 대한 기준을 제시하고, 대기정책 모델링 지원시스템(CAPMOS, Clean Air Policy Modeling System)을 구축하여 대국민 서비스를 제공하고 있다.

5.3 육상시설 대비 선박 대기오염 처벌 형평성 보완

황산화물의 경우에는 탈황기술의 발전으로 원유 정제에 서부터 제품유 생산단계까지 이미 기준치 이하의 황 함유량 기준을 맞출 수 있다. 이에 연료유를 사용하는 선박은 급유업체의 유통과정에서 낮은 품질의 기름을 혼합하여 사용하지 않는 이상, 정상적인 범위 내에서 관리할 수 있다. 그러나 아직까지도 선박 대기오염물질 점검과정에서 연료유 시료 채취를 통해 기준치를 초과하는 선박들이 발견되고 있다. 이 때문에 재생유나 불법 면세유 등에 대한 유통과정을 보다 면밀하게 살펴볼 수 있도록 제도적 관리가 필요해 보인다. 특히, 재생유의 경우에는 유창초소업체에서 수거한 폐유를 재생업체를 통해 불법 유통되지 않도록 엄격한 관리가 필요하다.

대기오염물질에 대한 처벌에 대해서도 해상과 육상을 비교를 해볼 때에 개선의 여지가 있다. 해양환경관리법은 대기오염물질 배출기준을 초과한 경우나 기준에 적합한 설비를 설치하지 않은 경우, 황 함유량 기준을 초과한 연료유를 고의로 사용하거나 품질기준에 맞지 않는 연료유를 공급한 경우에 대한 처벌로 1년 이하 징역 또는 1천만원 이하의 벌금을 규정하고, 선내 불법소각의 경우에는 100만원 이하의 과태료를 적용하고 있다.

한편, 대기환경보전법에서는 대기오염 방지시설을 설치하지 않고 운영하는 경우에는 7년 이하 징역 또는 1억원 이하의 벌금을 규정하고, 황 함유량 기준을 초과하는 연료유를 공급 또는 판매하는 경우에는 3년 이하의 징역 또는 3천만원 이하의 벌금으로 엄격한 처벌조항이 적용되고 있다. 이에 따라 형평성 차원에서 보면, 선박에서의 대기오염에 관

3) 대기오염확산 모델 : 대기오염물질이 대기 중에서 확산, 이동되는 현상과 오염농도의 변화를 물리적, 화학적인 이론을 바탕으로 시간 및 공간(3차원)의 함수로 나타낸 수학적인 방정식

한 사항이 상대적으로 느슨한 상태이고, 해상에서의 강력한 대기오염 관리를 위해서는 육상과 비슷한 수준으로 규제를 강화할 필요가 있다.

5.4 선박 대기오염물질 저감 기술개발

선박은 항내에 집안하여 대기 중인 상태에서도 전기와 각종 설비를 사용하기 위하여 자체 추진기관 및 발전기를 가동함으로써 많은 양의 대기오염물질을 발생시키고 있다. 그래서 이를 해결하기 위한 항만 내에 선박 육상전원공급장치(AMP, Alternative Maritime Power)의 설치 작업을 조속히 추진할 필요가 있다.

또한, 대형 선박뿐만 아니라 어선 등 소형선에 대해서도 에너지 효율을 높이고, 기존 화석연료 사용을 줄임으로써 대기오염물질 발생량을 감소시키는 방향으로 기술개발이 이루어져야 할 것이다. 중기적으로 국제변화 추세에 맞추어 LNG, LPG 추진선의 도입과 경제성을 갖춘 선박 대기오염방지설비의 개선으로 NO_x, SO_x의 감축이 어느 정도 가능할 것으로 보인다. 이에 해양경찰청에서도 앞으로 신규 또는 노후선박 대체로 경비함정과 방제정 등을 LNG 추진선박으로 건조하는 계획을 진행하고 있다.

장기적으로는 화석연료를 전혀 사용하지 않는, 즉 대기오염물질을 배출하지 않는 혁신적인 방법이 필요하다. 한 예로 전기추진선의 개발·도입도 좋은 대안으로 나타나고 있다. 노르웨이에서는 2015년에 Electric-Diesel 하이브리드 추진선인 'Ampere Ferry'호를 운항하기 시작했고, 2018년에는 세계 최초 100% 전기추진선인 'Future of the Fjord'호를 Fjord 관광해역에 도입하여 연간 수백 톤의 대기오염물질 발생량을 감축시킬 것으로 예상하고 있다. 국내에서도 현재 초기 단계로 전기선박 육상시험소를 2015년에 창원에 준공하는 것을 시작으로, 앞으로 비화석연료 추진기의 개발과 수소, 암모니아 연료유 활용 등 환경친화적 선박 도입을 위한 기술 개발과 더불어 시장 확산을 위한 인센티브 부여 방안이 적극 추진되어야 할 것이다.

6. 결론

겨울이 시작되면서 미세먼지를 포함한 대기오염이 일상화되고, 그동안 관심도가 낮았던 선박이 항만 대기오염물질의 배출원으로 지목됨에 따라, 이에 대한 저감 관리대책이 필요하게 되었다.

국립환경과학원(NIER, 2018)에 따르면 선박 대기오염물질 발생량은 총 292,440톤으로 국내 전체 배출량의 약 6.4%로, 물질별로는 NO_x > CO > SO_x > VOCs 순으로 나타났고, 이 중 NO_x는 전체 배출량 대비 13.1%, SO_x는 10.9%, 미세먼지

(PM10/PM2.5)는 9.6%를 차지하고 있다. 선종별로는 화물선이 가장 많은 발생량을 보이고, 어선의 경우에도 등록 척수(전체 선박 중 88%)가 많다 보니 발생량 또한 적지 않음을 알 수 있었다.

해양경찰은 이러한 선박 대기오염물질을 관리하기 위하여 MARPOL 부속서 VI과 해양환경관리법을 근거로 NO_x, SO_x, VOCs, ODS와 소각 장치, BC 등에 대한 현장 점검을 통해 위법사항을 단속하고 있다. 그러나 각종 배출 저감 장치의 가동이나 연료유 기준 준수 등의 실측에는 많은 시간과 노력이 필요하여 대부분 서류상의 점검에 의존하고, 어선 등 소형선에 대한 검사 사각지대의 발생 등으로 관리의 한계가 있는 것이 사실이다.

이에 따라 선박으로부터 발생하는 대기오염물질 저감을 위한 제안으로, 첫째 정확한 오염 및 배출 실태를 파악하기 위한 점검관의 현장 실측 점검을 의무화하도록 규정을 바꾸고, 둘째 해양경찰 함정을 활용한 전국적인 대기오염물질 모니터링 시스템을 구축하여 실질적 현장 데이터에 기초한 관리가 이루어지도록 할 필요가 있다. 셋째로 육상의 강화된 대기오염물질 배출기준을 해상에도 적용함으로써 배출 규제에 대한 강력한 의지를 보이고, 마지막으로 기술개발 측면에서 단기적으로 항만에 선박 육상전원공급장치 AMP의 조속한 설치와 중기적으로 선박 건조 시부터 에너지효율을 높이는 방법의 적용과 함께 LNG, LPG 추진선의 도입, 궁극적으로는 화석연료를 전혀 사용하지 않는 환경친화적 선박의 도입을 위한 기술 개발과 법·제도적 지원을 통해 선박으로부터 발생하는 대기오염물질을 획기적으로 줄이려는 노력이 필요해 보인다.

References

- [1] AirVisual(2019), 2018 World Air Quality Report-Region & City PM2.5 Ranking, IQAir, p. 7.
- [2] IMO Resolution MEPC.320(74)(2019), <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Documents/Resolution%20MEPC.320%2874%29.pdf>.
- [3] Jee, J. H. and C. H. Im(2018), A Study on Orientation of Legislation for Domestic Law and SO_x Emission Control from the Ship, Journal of Korean Maritime Police Science, Vol. 8, No. 3, pp. 53-70.
- [4] KCG(2018), Guide to Prevent Air Pollution in Ships, pp. 13-15.
- [5] Kim, J. Y.(2018), A Comparative Study on the Korea-China Environmental Protection Law Systems - Focused on Air Pollution Laws, Journal of Sinology and China Studies, Vol.

- 74, pp. 247-275.
- [6] Kim, K. H., B. H. Kwon, M. S. Kim, and D. C. Lee(2017), Dispersion of Air Pollutants from Ship Based Sources in Incheon Port, *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, Vol. 23, No. 5, pp. 488-496.
- [7] Ko, D. W. and S. H. Park(2019), A Study on the Influences of Neighborhood Built Environment on Air Pollutants in Seoul, *Journal of The Korean Regional Development Association*, Vol. 31, No. 1, pp. 123-139.
- [8] KOSIS(2016), Registered Ships and Registered Fishing Boats, 2015 Evaluation of the Quality of Regular Statistics Result, Statistics Korea.
- [9] Kwanbo(2019a), No. 19466, pp. 6-9.
- [10] Kwanbo(2019b), No. 19471, pp. 4-37.
- [11] Lee, E. K., S. H. Choi, and M. H. Kang(2017), Rapid Installation of AMPs to Reduce Particulate Matter in Port Cities, *Weekly Report of Korea Maritime Institute*, Vol. 35, pp. 1-23.
- [12] Lee, H. C. and H. J. Lee(2017), Prevention of Pollution from Ships and MARPOL 73/78, *Law Review*, Vol. 58, No. 3, pp. 151-175.
- [13] Lee, J. H. and J. S. Kwak(2018), Marine Generator System for Reduction in Air Pollutants, *Transactions A of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 42, No. 10, pp. 939-944.
- [14] Lee, S. B.(2019), A Study on the Influence of Fine Dust on Human Body, *POSTECH BRIC*, No. 26, p. 5.
- [15] Lee, S. C.(2017), Japanese Measurement on Fine Particles (PM2.5) Emission Pollution and Cooperation of Korea-China -Japan to Reduce Fine Particles Pollution, *Environmental and Resource Economics Review*, Vol. 26, No. 1, pp. 57-83.
- [16] Moon, J. H., S. H. Jo, T. Y. Moon, S. J. Park, J. Y. Kim, N. H. Khoi, and J. G. Lee(2019), Oxy Combustion Characteristics of Anthracite in a 100 kWth Circulating Fluidized Bed System, *The Korean Journal of Chemical Engineering*, Vol. 57, No. 3, pp. 400-407.
- [17] NIER(2013), *Manual of the National Air Pollutant Emission Calculation Method*, Vol. III.
- [18] NIER(2018), 2015 National Air pollutants Emission, *NIER NAPES*, pp. 7-19.
- [19] Ryu, Y. R.(2019), China's International Legal Position on International Environmental Issues - Focusing on Korea-China Fine Dust Responsibility, *Environmental Law Review*, Vol. 41, No. 2, pp. 27-70.
- [20] WHO(2006), *WHO Air Quality Guidelines for Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide - Global Update 2005*, pp. 9-13.
- [21] WHO(2018), <https://www.who.int/bulletin/volumes/96/6/18-010618/en/>.
- [22] Yoon, E. S. and S. K. Ahn(2013), Environmental Governance in Korea: The Case of Air Pollution Management, *Journal of Law and Politics Research*, Vol. 13, No. 2, pp. 675-703.
- [23] Zhao, T. T., G. J. Yoon, and H. S. Lee(2019), A Study on Estimating Ship Emission - Focusing on Gwangyang Port and Ulsan Port, *Journal of Korea Port Economic Association*, Vol. 35, No. 2, pp. 93-108.

Received : 2019. 12. 26.

Revised : 2020. 03. 13. (1st)

: 2020. 04. 01. (2nd)

Accepted : 2020. 04. 27.