Journal of Korea Port Economic Association
Vol.38, No.1, 2022, pp.129-142.
https://doi.org/10.38121/kpea.2022.3.38.1.129

인천항 선박 대기오염물질 배출량 산정 및 친환경 정책 효과에 대한 연구*

이정욱** · 이향숙***

A Study on Calculation of Air Pollutant Emissions from ships at Incheon Port and the Effects of Eco-Friendly Policies

Lee, Jungwook · Lee, Hyangsook

Abstract

In the past, interest in air pollution was concentrated on greenhouse gases, but in recent years, interest in fine dust has been increasing. The media and environmental organizations continue to emphasize air pollution caused by fine dust. The awareness of fine dust is increasing, and air pollution generated at ports is analyzed to be serious as a domestic factor excluding foreign inflows. Recognizing this, in order to reduce air pollution generated at ports, special laws on improving air quality, such as port areas, have been enacted in Korea, and attempts are being made to curb air pollution caused by ports. In this law, it is a policy that regulates air pollutants generated not only by ships but also throughout ports such as vehicles and unloading machines, and representative are ECA, VSR, and AMP.

This study attempted to analyze the effects of these eco-friendly policies at Incheon Port. First of all, a study was conducted to calculate emissions assuming that there was no policy, analyze each policy, and finally calculate and compare actual emissions reflecting all policies. The methodology presented by the European Environmental Administration and the U.S. Environmental Protection Agency was used, and pollutants to be analyzed were analyzed for sulfur oxides (SO_X), carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_X), total floating substances (TSP), fine dust and ultra-fine dust (PM_{10}, $PM_{2.5}$) and ammonia (NH_3).

As a result of the analysis, it was analyzed that the actual emission reflecting all policies was about 4,097 tons/year, which had an emission reduction effect of about 760 tons/year compared to about 4,857 tons/year when the policy was not reflected. When the effects of each policy were analyzed individually, it was found that ECA 4,111 tons/year, VSR 4,854 tons/year, and AMP 4,843 tons of air pollutant emissions occurred The results of this study can be used as basic data and evidence for policy establishment related to the atmospheric environment at Incheon Port.

Key words: Port of Incheon, Air pollutants, Emissions, particulate matter

▷ 논문접수: 2022. 02. 28. ▷ 심사완료: 2022. 03. 11. ▷ 게재확정: 2022. 03. 28.

* 『본 논문은 해양수산부 제4차 해운항만물류 전문인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임』
** 인천대학교 동북아물류대학원 박사과정, 제1저자, jwleey1@naver.com
*** 인천대학교 동북아물류대학원 부교수, 교신저자, hslee14@inu.ac.kr

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

과거에는 대기오염에 대한 관심이 온실가스에 집중되어 있었으나, 최근 몇 년 사이 미세먼지에 대한 관심이 고조되고 있다. 영국의 방송채널 BBC에 따르면 미세먼지 입자에 보통 금속, 질산염, 황산염, 타이어 고무, 매연 등이 포함되어 있는데 이 물질들이 기관지를 거쳐 폐에 흡착되면서 호흡기 질환을 일으키며, 심지어 호흡기와 직접적 연관이 없는 간, 비장, 중추 신경계, 뇌, 심지어 생식 기관까지 손상시킬 수 있음을 발표하였다. 국내에서도 미세먼지에 대한 경각심이 지속적으로 높아지고 있으며, 국제환경단체 그린피스에서는 한국이 OECD(경제개발협력기구)회원국 중 초미세먼지 오염이 가장 심각하다는 조사결과를 발표하였다. 특히 한국은 WHO(세계보건기구)가 권고하는 초미세먼지 농도($10\mu g/m^3$)기준을 충족하는 도시가 단 한 곳도 없음을 강조하였다.

미세먼지의 발생에는 여러 배출원이 있지만 국외유입을 제외한 국내 배출원으로서 항만에서 발생하는 대기오염이 심각한 것으로 보고되고 있다. 국립환경과학원 대기정책지원시스템에 따르면 2019년 기준 국내 대기오염 배출량 중 선박에기인한 오염물질이 CO, NO_X, SO_X, PM2.5 각각 14.8%, 15.0%, 13.3%, 9.8%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이렇게 선박에 기인하는 대기오염이 심각한 큰 이유는 대형선박이 저급연료인 벙커C유 주로 이용하기 때문이다. 벙커C유는 연료에 많은 황을 함유하고 있기 때문에 황산화물의 배출의 주범이 되고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 국제해사기구(IMO)에서는 전 해상에서 선박연료유의 황함유량을 0.5%까지 규제하는 것을 목표로 하는 연료유 황함유량 규제를 2020년 1월 1일 발효하였다.

이러한 국제적인 흐름에 맞추어 국내에서도 「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법」(약칭 항만대기질법)을 제정하여, 항만에서 발생하는 대기오염을 감소시키려는 노력을 보이고 있다. 항만대기질법에서는 선박에서 배출되는 대기오염물질을 감소시키기 위해 ECA(선박배출규제해역), VSR(선박저속운항), AMP(육상전원공급설비)등의 정책을 추진하고 있다. 또한 하역장비, 차량 등에서도 발생하는 대기오염물질을 감소시키기 위해 친환경 장비로의 교체 등을 지원하고 있다.

항만에서는 선박, 차량, 하역장비 등 여러 대기오염물질 배출원이 존재하나, 본 연구에서는 항만의 여러 배출원 중 가장 큰 비중을 차지하는 선박 부문에서 배출된 오염물질의 총량을 파악하여 대기오염물질 배출관리를 위한 기초자료로 활용하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 2021년 인천항에 입·출항하는 선박에서 배출된 대기오염물질의 배출량을 산정하고, ECA, VSR, AMP 등 친환경 정책이 시행되지 않았을 경우와 대비하여 그 효과를 분석하는 것을 연구범위로 한다. 또한 시나리오 분석으로서 각 개별 정책의 효과분석도 함께 시행하였다.

분석 대상 물질은 황산화물(SO_X), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_X), 총부유분진(TSP), 미세먼지(PM10), 초미세먼지(PM2.5), 암모니아(NH_3)를 대상으로 분석하였다. 배출량 산정 방법은 유럽환경청과 미국환경보호국에서 제시하는 방법을 이용하였으며, 자세한 방법은 Ⅳ장에 제시하였다.

II. 선행연구 검토

1. 기존문헌 고찰

인천항의 대기오염물질 배출량 분석에 대한 연구와 선박부문의 친환경정책 효과분석에 대한 다수의 문헌을 고찰하였다. ECA도입에 의한 연료황함유량 규제 및 VSR, AMP의 효과분석에 대한 연구가 다수 존재하였다.

Ching-Chih Chang(2012)은 대만 가오슝항을 대상으로 시행 중인 친환경 정책 중 VSR 프로그램에 대한 효과 분석을 시행하였다. 분석결과, 선박의 속도를 12knot로 제한할 시, CO_2 68.5%, PM 68.3%, NOx 68.3%, SO_2 55.4%, HC 68.3%의 배출저감 효과가 있는 것으로 나타났다.

Juha Kalli, et al(2013)는 ECA로 지정된 발틱해, 북해, 영국해협을 항해하는 선박을 대상으로 대기오염물질 배출량 변화를 분석하였다. 2010년부터 ECA 내에서 선박 연료의 황함유량이 1.5% →1.0%로 제한됨에 따라 2009년과 대비 SOx와 PM2.5가 각각 39%, 23% 배출저감되었으며, 2015년부터는 1.0% →0.1%로 제한됨에 따라 SOx와 PM2.5가 각각 87%, 54% 배출저감 될 것으로 예측하였다. NOx의 경우 추가적인 NECA(질소산화물 배출규제해역) 지정시 2020년까지 11%, 2040년까지 79% 배출저감, 지정되지 않을시 2020년까지 6%, 2040년까지 22% 배출저감될 것으로 전망하였다.

Mar Viana, et al(2015)는 흑해 인근의 마르마라해와 터키해협에 SECA를 도입함으로써 예상되는 대기오염물질 배출량에 대하여 예측하고, 이로 인한 보건적 · 의학적 영향을 분석하였다. SECA도입에 의해 마르마라해에서 배출되는 대기오염물질 중 PM10과 PM2.5를 67%, SO2(이산화황)을 90%까지 배출저감 시킬 수 있는 것으로 판단하였으며, 이로 인해 연간 30명 수준의 호흡기질환 관련 사망자가 감소할 것으로 예상하였다.

Matthias Karl, et al(2019)는 이미 SECA로 지정된 발틱해를 대상으로 NECA를 추가로 지정할 시 장래 연도의 대기오염물질 배출량을 예측하였다. 분석결과, NECA지정시 2040년 기준 2012년과 비교하여 NOx 배출은 80%, PM2.5 배출은 72% 저감 가능할 것으로 규명되었다.

Kyunghwa kim, et al(2019)는 석탄, 천연가스, 핵에너지, 석유 등 타 연료를 사용하는 경우와 비교하여 AMP의 대기오염물질 배출 저감량을 분석하였다. 분석결과, 석유 연료 이용시와 비교하여 GHG(온실가스), SOx, NOx, PM10 부문에서 각각 89%, 98%, 86%, 97% 감소한 것으로 분석하였다.

이정욱 외(2021)는 인천항에서 배출된 대기오염물질의 총량을 산정하였다. 선박, 차량, 하역기계, 하역/야적 재비산먼지, 도로 재비산먼지, 철도 총 6개 부문에 걸쳐 배출량을 분석하였으며, 분석결과 총 7,122톤의 대기오염물질이 발생한 것으로 분석하였다. 이 중 선박에서 발생한 배출량이 4,107톤으로 가장 많은 비중(57.6%)을 차지하는 것으로 나타났다.

2. 시사점 및 연구의 차별성

친환경항만 정책의 효과분석에 대한 연구로서 해외 항만을 대상으로 한 다수의 연구가 존재하였다. 다만 국내의 연구는 아직 제한적인 것으로 나타났다.

본 연구에서는 국내 수도권에 위치한 항만인 인천항을 대상으로 대기오염물질 배출량을 분석하고, 항만대기질법에서 추진하고 있는 친환경 정책의 효과에 대해 분석하고자 한다.

Ⅲ. 인천항 현황 분석

1. 개요

인천항은 현재 인천광역시 중구, 남구, 연수구에 걸쳐 위치하고 있으며, 신항, 내항, 연안항 등 8개의 항으로 구성되어 있다. 컨테이너 물동량 기준 국내 2위 규모의 항만이며, 서해안에 위치함으로써 중국과의 교역에서 중요한 역할을 한다. 인천광역시 연수구 송도에 위치하고 있는 신항의 컨테이너 터미널 개장에 기존에 입항이 어려웠던 대형 컨테이너 선의 입항이 가능해졌고, 이를 기반으로 지속적 성장을 추구하고 있다.

2. 물동량 현황

컨테이너 물동량의 경우 2019년 소폭하락하긴 하였으나, 2021년 3,353천TEU로써 역대 최대 물동량을 기록하며 지속적인 성장세를 보이고 있다. 인천항의 최근 5년 컨테이너 물동량 변동추이는 아래의 〈표 1〉과 같다.

표 1. 인천항 컨테이너 물동량

년도	TEU	전년대비 증감율(%)
2017	3,048,233	-
2018	3,121,368	2.4%
2019	3,091,955	-0.9%
2020	3,271,604	5.8%
2021	3,353,315	2.5%

자료 : Port-mis

화물물동량의 경우 2017년부터 2020년까지 이후 지속적으로 하락하고 있는 추세를 보이다 2021년에 반등하는 모습을 보였다. 인천항의 2017~2021년도 화물물동량 변동추이는 〈표 2〉와 같다.

표 2. 인천항 화물 물동량

년도	화물물동량(톤/RT)	전년대비 증감율(%)
2017	165,871,136	-
2018	163,863,679	-1.2%
2019	157,736,921	-3.7%
2020	152,137,006	-3.6%
2021	157,681,191	3.6%

자료 : Port-mis

3. 인천항 대기오염물질 배출 저감 정책

현재 인천항에서 도입하고 있는 주요 대기오염물질 배출저감 정책은 다음과 같다.

첫째, 항만대기질법이 시행됨으로써 ECA제도가 도입되었다. ECA 해역 내에서는 일반 해역보다 황함유량이 낮은 연료유를 사용하여야 한다. 항만대기질법에서는 2021년 기준 순항시 0.5%, 정박 및 접안시 0.1% 이하의 황함유량을 가지는 연료를 사용할 것을 규정하고 있다. 현재 국내 5대 주요 항만지역을 ECA로 규정하여 SOx 배출감소를 도모하고 있다.

둘째, 항만 인근에서 운항하는 선박의 속도를 감소하여 대기오염물질 배출을 저감시키기 위한 정책으로서 VSR제도를 운영하고 있다. 참여 대상 선종은 3,000톤 이상의 외항선이며, 컨테이너선, 자동차운반선, LNG운반선, 세미컨테이너선이 포함된다

셋째, 선박은 부두에 접안하는 동안에도 선박에서 전기장치를 가동하기 위해 보조엔진을 가동하여 전기를 발전시킨다. 선박이 접안하고 있을 때 육상에서 전기를 공급받으며, 선박의 엔진을 정지하여 오염물질 배출 저감을 도모하기 위한 장치인 AMP를 설치하여 운영중이다.

기타 차량 및 하역장비 부문에서도 대기오염을 줄이기 위해 다양한 정책을 시행하고 있다.

Ⅳ. 배출량 산정 방법론

유럽환경청의 배출량 산정 가이드북은 분석을 위한 방법론을 설명하고 있으며, 분석의 정교함과 자료수집의 여부 따라 Tier1~Tier3의 방법을 설명하고 있다.

Tier1의 경우 가장 정확성이 떨어지며 선박에 대한 자료를 확보하기 어려울 경우 연료소비량에 기초하여 배출량을 산정한다.

Tier2의 경우 엔진 제원에 대한 데이터가 있을 경우 연료소비량 및 엔진유형에 따라 배출량을 산정한다.

Tier3의 경우 엔진 제원과 선박의 이동과 관련한 데이터가 있을 경우 대기오염 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하며, 3가지 방법 중 가장 정교한 방법이다.

본 연구는 선박별 입항횟수, 선박의 크기, 각 선종별 부두에서의 정박시간과 함께 선종별 보조엔진의 출력, 선종별 보조엔진의 부하계수, 배기가스별 배출계수 등을 종합적으로 고려하는 Tier3 방법을 적용하여 배기가스 산출량을 산정하였다. 선박부문의 배출량 산정식은 다음과 같다.

$$E = P_j \times \sum_j T_j \times LF_j \times EF_i \quad \text{(식1)}$$

E = 대기오염물질 배출량

j = 선박의 종류

i = 대기오염물질의 종류

P_j = 선종별 보조엔진의 출력(Kw)

T_j = 선종별 활동시간(시)

LF_j = 선종별 보조엔진의 부하계수

EF_i = 물질별 보조엔진의 배출계수(g/kWh)

보조엔진의 제원은 주엔진의 제원과 보조엔진의 제원간의 비율을 통해 산정하였다. 산정에 이용한 비율은 다음 〈표 3〉과 같다.

표 3. 선박종류별 주엔진-보조엔진의 비율

선박 종류	주엔진-보조엔진 비율
벌크선	0.222
컨테이너선	0.220
여객선	0.278
일반화물선	0.191
RORO선	0.259
유조선	0.211
잡역선	0.100

자료: Current methodologies in preparing mobile source port-related emission inventories, EPA(2009)

또한 보조엔진의 부하계수는 다음 〈표4〉의 값을 각각 적용하였다.

표 4. 보조엔진의 부하계수

선박 종류	부하계수
벌크선	0.10
컨테이너선	0.19
여객선	0.64
일반화물선	0.22
RORO선	0.26
유조선	0.26
잡역선	0.22

자료 : Current methodologies in preparing mobile source port-related emission inventories, EPA(2009)

보조엔진의 배출계수는 다음 〈표 5〉의 값을 적용하여 분석하였다.

표 5. 보조엔진의 배출계수

구분	CO	NOx	SOx	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOC	NH_3
MSD	7.4	59.7	20	1.4	1.31	1.8	0.007

자료: Current methodologies in preparing mobile source port-related emission inventories, EPA (2009)

Ⅴ. 선박 활동 자료 수집

본 연구에서는 해양수산부에서 제공하는 포트미스(Port-MIS) 시스템을 통해 선박의 이동정보를 수집하였다. 또한 한국해양교통안전공단, 한국선급에서 제공받은 선박 제원자료를 분석에 활용하였다. 2021년 기준 인천항에는 총 13,292척의 선박이 입항하였으며, 선박의 중복 접안을 고려할 경우 총 17,245척의 선박 활동이 존재하였다. 선종별, 항별 입항선박수 통계는 다음 〈표 6〉과 같다.

접안시간의 경우 여객선(53.4시간)이 가장 긴 것으로 나타났으며, 컨테이너선(14.7시간)이 가장 짧은 것으로 나타났다. 또한 평균 순항 시간의 경우 RoRo선(3.4시간)이 가장 길며, 잡역선(1.4시간)가장 짧은 것으로 나타났다. 선종별 평균 접안시간 및 순항시간은 다음〈표 7〉과 같다.

표 6. 입항선박 통계

(단위: 척)

구분	북항	내항	연안항	남항	신항	기타항	합계
벌크선	296	272	-	1,280	-	166	2,014
컨테이너선	9	3	-	752	2,005	-	2,769
여객선	1	-	10	-	-	-	11
일반화물선	1,214	626	134	999	9	130	3,112
RoRo선	1	283	1	1,331	-	-	1,616
냉장화물선	-	-	-	-	-	-	-
유조선	3,723	378	169	1,576	142	1,098	7,086
잡역선	276	28	63	217	2	51	637
합계	5,520	1,590	377	6,155	2,158	1,445	17,245

자료 : Port-mis

표 7. 선종별 평균 접안 및 순항 시간

(단위: 시)

선종별	평균 접안시간	평균 순항시간
벌크선	47.5	2.0
컨테이너선	14.7	2.3
여객선	53.4	2.6
일반화물선	42.2	2.8
RoRo선	22.8	3.4
유조선	-	-
잡역선	24.7	1.4

자료 : Port-mis

VI. 배출량 분석 결과

1. 정책 미 반영시

친환경정책이 반영되지 않았을 때, 배출된 대기오염물질은 총 4,857톤으로 분석되었으며, 이중 NOX가 가장 많은 것으로 나타났다.

선박 활동별로는 순항시의 배출량이 가장 많은 것으로 나타났으며, 선종별로는 유조선에서 배출된 대기오염물질이 가장 많은 것으로 나타났다.

표 8. 정책 미 반영시 배출량(선박 활동별)

단위: 톤/년

구분	CO		NOx		SOx		TSP(PM10)		PM2.5		VOC		NH_3	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
정박	26.7	7.0%	214.7	6.7%	72.3	7.0%	5.1	6.7%	4.7	6.7%	6.5	5.9%	0.025	7.0%
순항	185.2	48.5%	1604.5	50.3%	500.5	48.5%	38.1	50.8%	35.6	50.6%	61.9	56.4%	0.175	48.5%
접안	170.1	44.5%	1368.6	42.9%	459.6	44.5%	31.8	42.4%	30.0	42.7%	41.4	37.7%	0.161	44.5%
합계	382.0	100%	3187.8	100%	1032.4	100%	75.0	100%	70.3	100%	109.8	100%	0.361	100%

표 9. 정책 미 반영시 배출량(선박 종류별)

단위: 톤/년

구분	CO		NOx		SOx		TSP(PM10)		PM2.5		VOC		NH_3	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
벌크선	57.1	14.9%	479.9	15.1%	154.3	14.9%	11.3	15.1%	10.6	15.0%	16.7	15.3%	0.054	14.9%
컨테이너	86.8	22.7%	706.1	22.1%	234.6	22.7%	17.1	22.8%	15.9	22.7%	24.1	22.0%	0.082	22.7%
여객선	0.1	0.0%	0.5	0.0%	0.2	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.000	0.0%
일반화물	71.4	18.7%	582.8	18.3%	193.0	18.7%	13.7	18.3%	13.1	18.6%	20.4	18.6%	0.067	18.6%
RoRo	51.0	13.3%	464.9	14.6%	137.8	13.3%	10.2	13.6%	9.5	13.5%	15.5	14.1%	0.048	13.4%
냉장화물	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.000	0.0%
유조선	111.7	29.3%	922.2	28.9%	302.0	29.3%	22.0	29.3%	20.5	29.2%	31.9	29.1%	0.106	29.3%
잡역선	3.9	1.0%	31.6	1.0%	10.5	1.0%	0.8	1.0%	0.7	1.0%	1.1	1.0%	0.004	1.0%
합계	382.0	100%	3187.8	100%	1032.4	100%	75.0	100%	70.3	100%	109.8	100%	0.361	100%

2. ECA 도입 효과분석

ECA 내부에서는 선박 연료유의 황함유량 기준을 순항시 0.5%, 정박 및 접안시 0.1%로 규제하고 있다. ECA 정책이 반영되었을때의 배출량은 4,111톤으로 정책 미 반영시와 비교하여 746톤의 대기오염물질 배출저감 효과가 있는 것으로 나타났다.

특히 SOx 및 PM10·PM2.5의 감소가 두드러지는 것으로 나타났는데, 이는 ECA해역에서는 연료유의 황함유량을 규제하기 때문인 것으로 판단된다. 기타 대기오염물질에 대한 배출저감은 미미한 것으로 나타났다.

표 10. ECA 정책 효과 반영시 배출량(선박 활동별)

단위: 톤/년

구분	CO		NOx		SOx		TSP(PM10)		PM2.5		VOC		NH_3	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
정박	26.7	7.0%	214.7	6.7%	15.4	4.4%	2.2	5.5%	2.1	5.5%	6.5	5.9%	0.025	7.0%
순항	185.2	48.5%	1604.5	50.3%	250.3	71.2%	25.3	61.5%	23.6	61.3%	61.9	56.4%	0.175	48.5%
접안	170.1	44.5%	1368.6	42.9%	85.9	24.4%	13.6	33.0%	12.8	33.2%	41.4	37.7%	0.161	44.5%
합계	382.0	100%	3187.8	100%	351.6	100%	41.1	100%	38.5	100%	109.8	100%	0.361	100%

표 11. ECA 정책 효과 반영시 배출량(선박 종류별)

단위: 톤/년

구분	CO		NOx		SOx		TSP(PM10)		PM2.5		VOC		NH_3	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
벌크선	57.1	14.9%	479.9	15.1%	55.7	15.8%	6.4	15.5%	5.9	15.4%	16.7	15.3%	0.054	14.9%
컨테이너	86.8	22.7%	706.1	22.1%	66.2	18.8%	8.6	21.0%	8.0	20.9%	24.1	22.0%	0.082	22.7%
여객선	0.1	0.0%	0.5	0.0%	0.1	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.000	0.0%
일반화물	71.4	18.7%	582.8	18.3%	66.3	18.9%	7.6	18.4%	7.2	18.7%	20.4	18.6%	0.067	18.6%
RoRo	51.0	13.3%	464.9	14.6%	37.4	10.6%	5.1	12.5%	4.8	12.4%	15.5	14.1%	0.048	13.4%
냉장화물	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.000	0.0%
유조선	111.7	29.3%	922.2	28.9%	121.9	34.7%	12.9	31.5%	12.1	31.4%	31.9	29.1%	0.106	29.3%
잡역선	3.9	1.0%	31.6	1.0%	3.9	1.1%	0.4	1.1%	0.4	1.0%	1.1	1.0%	0.004	1.0%
합계	382.0	100%	3187.8	100%	351.6	100%	41.1	100%	38.5	100%	109.8	100%	0.361	100%

3. VSR 도입 효과분석

VSR은 선박의 순항 속도를 감소시켜 대기오염물질 배출감소를 도모하는 정책이다. ECA와 달리 강제 규제하는 정책은 아니며, 인센티브 지급 등을 통해 참여를 유도하고 있다. 참여율은 컨테이너선 72%, 자동차운반선 31%, 세미컨테이너선 68%이며, LNG 선박은 참여하지 않은 것으로 파악되었다.

분석결과, 총 4,854톤의 대기오염물질이 배출되는 것으로 나타났다. ECA와 달리 전체 물질에서 배출저감효과를 보였으며, 총 2.8톤의 대기오염물질이 배출저감되는 것으로 나타났다. 물질별로는 NOx(1.9톤)가 가장 많은 배출감소를 보였으며, SOx(0.6톤), CO(0.2톤)가 뒤를 잇는 것으로 나타났다.

표 12. VSR 정책 효과 반영시 배출량(선박 활동별)

단위: 톤/년

구분	CO		NOx		SOx		TSP(PM10)		PM2.5		VOC		NH_3	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
정박	26.7	7.0%	214.7	6.7%	72.3	7.0%	5.1	6.7%	4.7	6.7%	6.5	5.9%	0.025	7.0%
순항	185.0	48.5%	1602.6	50.3%	499.9	48.5%	38.1	50.8%	35.5	50.6%	61.8	56.4%	0.175	48.5%
접안	170.1	44.5%	1368.6	43.0%	459.6	44.5%	31.8	42.5%	30.0	42.7%	41.4	37.7%	0.161	44.5%
합계	381.8	100%	3186.0	100%	1031.8	100%	75.0	100%	70.3	100%	109.7	100%	0.361	100%

표 13. VSR 정책 효과 반영시 배출량(선박 종류별)

단위: 톤/년

구분	CO		NOx		SOx		TSP(PM10)		PM2.5		VOC		NH_3	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
벌크선	57.1	15.0%	479.9	15.1%	154.3	15.0%	11.3	15.1%	10.6	15.0%	16.7	15.3%	0.054	14.9%
컨테이너	86.6	22.7%	704.2	22.1%	233.9	22.7%	17.0	22.7%	15.9	22.6%	24.1	21.9%	0.082	22.7%
여객선	0.1	0.0%	0.5	0.0%	0.2	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.000	0.0%
일반화물	71.4	18.7%	582.8	18.3%	193.0	18.7%	13.7	18.3%	13.1	18.7%	20.4	18.6%	0.067	18.7%
RoRo	51.0	13.4%	464.9	14.6%	137.8	13.4%	10.2	13.6%	9.5	13.5%	15.5	14.1%	0.048	13.4%
냉장화물	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.000	0.0%
유조선	111.7	29.3%	922.2	28.9%	302.0	29.3%	22.0	29.3%	20.5	29.2%	31.9	29.1%	0.106	29.4%
잡역선	3.9	1.0%	31.6	1.0%	10.5	1.0%	0.8	1.0%	0.7	1.0%	1.1	1.0%	0.004	1.0%
합계	381.8	100%	3186.0	100%	1031.8	100%	75.0	100%	70.3	100%	109.7	100%	0.361	100%

4. AMP 도입 효과분석

AMP는 선박이 접안하였을 때 사용하는 장비이므로 접안시의 배출량만 감소시킨다. 또한 AMP의 경우에도 VSR과 마찬가지로 선사의 자발적 참여로 운영되고 있다. 2021년 한 해 동안 376,396kWh의 전력이 고압AMP를 통해 선박에 공급되었으며, 이를 대기오염물질 배출저감효과로 분석하였다.

분석결과, 총 4,843톤의 대기오염물질이 배출되는 것으로 나타났다. VSR과 마찬가지로 전체 물질에서 배출저감효과를 보였으며, 총 14.6톤의 대기오염물질이 배출저감되는 것으로 나타났다. 물질별로는 NOx(9.5톤)가 가장 많은 배출감소를 보였으며, SOx(3.2톤), CO(1.2톤)가 뒤를 잇는 것으로 나타났다.

표 14. ECA 정책 효과 반영시 배출량(선박 활동별)

단위: 톤/년

구분	CO		NOx		SOx		TSP(PM10)		PM2.5		VOC		NH_3	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
정박	26.7	7.0%	214.7	6.8%	72.3	7.0%	5.1	6.8%	4.7	6.7%	6.5	5.9%	0.025	7.0%
순항	185.2	48.6%	1604.5	50.5%	500.5	48.6%	38.1	51.0%	35.6	50.7%	61.9	56.5%	0.175	48.6%
접안	168.9	44.3%	1359.1	42.8%	456.4	44.3%	31.6	42.3%	29.8	42.5%	41.1	37.5%	0.160	44.3%
합계	380.8	100%	3178.3	100%	1029.2	100%	74.8	100%	70.1	100%	109.5	100%	0.360	100%

표 15. ECA 정책 효과 반영시 배출량(선박 종류별)

단위: 톤/년

구분	CO		NOx		SOx		TSP(PM10)		PM2.5		VOC		NH_3	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
벌크선	57.1	15.0%	479.9	15.1%	154.3	15.0%	11.3	15.1%	10.6	15.0%	16.7	15.3%	0.054	14.9%
컨테이너	86.8	22.8%	706.1	22.2%	234.6	22.8%	17.1	22.8%	15.9	22.7%	24.1	22.0%	0.082	22.8%
여객선	0.1	0.0%	0.5	0.0%	0.2	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.000	0.0%
일반화물	71.4	18.8%	582.8	18.3%	193.0	18.8%	13.7	18.3%	13.1	18.7%	20.4	18.6%	0.067	18.7%
RoRo	49.8	13.1%	455.3	14.3%	134.6	13.1%	10.0	13.3%	9.3	13.2%	15.2	13.9%	0.047	13.1%
냉장화물	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.000	0.0%
유조선	111.7	29.3%	922.2	29.0%	302.0	29.3%	22.0	29.4%	20.5	29.3%	31.9	29.1%	0.106	29.4%
잡역선	3.9	1.0%	31.6	1.0%	10.5	1.0%	0.8	1.0%	0.7	1.0%	1.1	1.0%	0.004	1.0%
합계	380.8	100%	3178.3	100%	1029.2	100%	74.8	100%	70.1	100%	109.5	100%	0.360	100%

5. 모든 정책효과 반영시

모든 정책효과가 반영된 실제 배출량을 분석한 결과, 총 4,097톤의 대기오염물질이 배출된 것으로 분석되었다. SOx(681톤)가 가장 배출저감효과가 큰 것으로 나타났으며, 이는 ECA의 영향이 큰 것으로 볼 수 있다. 뒤를 이어 PM10(34.1톤), PM2.5(32톤)가 배출저감효과가 큰 것으로 분석되었다.

선박의 활동별로 살펴보면 순항시에 발생한 배출량이 2,148톤으로 가장 많은 것으로 나타났다. 접안시의 배출량이 1,680톤으로 뒤를 이었다. 선종별로 살펴보면 유조선에서 배출된 대기오염물질이 1,212톤으로 가장 많은 것으로 나타났으며, 컨테이너선(897톤), 일반화물선(755톤)이 뒤를 잇는 것으로 분석되었다.

표 16. 모든 정책 반영시 배출량(선박 활동별)

단위: 톤/년

구분	CO		NOx		SOx		TSP(PM10)		PM2.5		VOC		NH_3	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
정박	26.7	7.0%	214.7	6.8%	15.4	4.4%	2.2	5.5%	2.1	5.5%	6.5	5.9%	0.025	7.0%
순항	185.0	48.6%	1602.6	50.5%	250.0	71.2%	25.2	61.6%	23.5	61.4%	61.8	56.5%	0.175	48.6%
접안	168.9	44.4%	1359.1	42.8%	85.6	24.4%	13.5	32.9%	12.7	33.1%	41.1	37.5%	0.160	44.4%
합계	380.6	100%	3176.4	100%	351.0	100%	40.9	100%	38.3	100%	109.4	100%	0.360	100%

표 17. 모든 정책 반영시 배출량(선박 종류별)

단위: 톤/년

구분	CO		NOx		SOx		TSP(PM10)		PM2.5		VOC		NH_3	
	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율	배출량	비율
벌크선	57.1	15.0%	479.9	15.1%	55.7	15.9%	6.4	15.5%	5.9	15.5%	16.7	15.3%	0.054	14.9%
컨테이너	86.6	22.7%	704.2	22.2%	65.9	18.8%	8.6	21.0%	8.0	20.9%	24.1	22.0%	0.082	22.7%
여객선	0.1	0.0%	0.5	0.0%	0.1	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.000	0.0%
일반화물	71.4	18.8%	582.8	18.3%	66.3	18.9%	7.6	18.5%	7.2	18.8%	20.4	18.6%	0.067	18.7%
RoRo	49.8	13.1%	455.3	14.3%	37.1	10.6%	5.0	12.3%	4.7	12.3%	15.2	13.9%	0.047	13.1%
냉장화물	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.000	0.0%
유조선	111.7	29.4%	922.2	29.0%	121.9	34.7%	12.9	31.6%	12.1	31.5%	31.9	29.2%	0.106	29.5%
잡역선	3.9	1.0%	31.6	1.0%	3.9	1.1%	0.4	1.1%	0.4	1.0%	1.1	1.0%	0.004	1.0%
합계	380.6	100%	3176.4	100%	351.0	100%	40.9	100%	38.3	100%	109.4	100%	0.360	100%

Ⅶ. 결 론

본 연구에서는 2021년 기준 인천항에 입출항 한 선박에서 배출된 대기오염물질의 총량을 산정하고, 각 친환경정책의 효과분석을 시행하였다. 선박의 활동자료는 포트미스의 자료를 활용하였으며, EEA(유럽환경청)과 EPA(미국환경보호국)에서 제안하는 방법 및 계수를 활용하여 분석을 수행하였다.

분석결과 총 4,097톤의 대기오염물질 배출량이 발생한 것으로 나타났다. 이는 선행연구의 분석결과인 4,107톤과 유사한 수치이다. 물질별로는 NO_X가 3,176톤으로 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 〈표 16 참고〉 선박의 활동별로 살펴보면 순항시에 발생한 배출량이 2,148톤으로 가장 많은 것으로 나타났다. 이는 순항시의 배출량을 효과적으로 감소시킬 수 있는 VSR정책이 확대되어야 함을 시사한다.

정책별 효과분석에서는 ECA로 인한 배출저감 효과가 가장 큰 것으로 나타났다. ECA 내부에서는 선박 연료의 황함유량을 규제하기 때문에 대기오염물질 배출량 중 황산화물과 미세먼지 배출저감 효과가 크게 나타났다. 또한 자율적 참여에 의존하고 있는 VSR 및 AMP와 달리 ECA는 강제적 정책으로서 해당 해역을 운항하는 모든 선박은 대기질법에서 규제하는 황함유량을 준수하여야 한다. 이로인해 타 정책보다 ECA의 대기오염물질 배출저감효과가 큰 것으로 분석되었다. 향후 VSR의 참여와 AMP의 이용을 확대하기 위한 정책 개발이 필요할 것으로 판단된다.

표 18. 인천항 부문별 대기오염물질 배출량

단위: 톤/년

구분	CO	NOx	SOx	TSP (PM10)	PM2.5	VOC	NH_3
정책 미시행 시	382.0	3,187.8	1032.4	75.0	70.3	109.8	0.361
ECA 정책 반영 시	382.0	3,187.8	351.6	41.1	38.5	109.8	0.361
VSR 정책 반영 시	381.8	3,186.0	1031.8	75.0	70.3	109.7	0.361
AMP 정책 반영 시	380.8	3,178.3	1029.2	74.8	70.1	109.5	0.360
모든 정책 반영 시	380.6	3,176.4	351.0	40.9	38.3	109.4	0.360

2050 탄소중립 추진전략을 국가적 차원에서 주요 추진과제로 설정하고, 국제사회에서도 기후변화 위기 및 대기오염에 대응하기 위한 관심과 노력을 기울이고 있다. 이와 같은 세계적, 국가적 흐름에 따라 항만지역의 대기환경의 개선이 필요한 시점이다. 항만지역의 대기환경오염은 선박으로 인한 미세먼지와 초미세먼지 배출량이 많이 포함되어 있어 다른 지역에 비해 더욱 심각한 수준이다. 특히 인천항은 인구밀집지역과 근접한 항으로서 배출된 대기오염물질이 수도권의 대기환경에도 악영향을 줄 수 있으므로 이와 같은 문제를 사전에 예방하기 위한 대책이 요구된다.

본 연구의 결과는 대기환경과 관련된 정책수립의 기초자료 및 근거자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 추가적인 연구로서 선박 이외 차량, 하역장비 등에서 발생하는 대기오염물질 배출량을 산정하여 선박 외 부문에 대한 연구자료로 활용이 가능할 것이며, 기후조건에 따라 대기오염물질이 주변지역에 어떻게 확산되는지를 분석하여 인근지역에 미치는 영향을 분석 할 수 있을 것이다.

참고문헌

국립환경과학원(2013), 국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람Ⅲ.

국립환경과학원(2016), 국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정 Ⅲ, 2016.

이정욱 · 이향숙. (2021). 인천항의 대기오염물질 배출량 산정 연구. 한국항만경제학회지, 37(1), 143-157.

조정정 · 범태황 · 이향숙. (2020). An Study on Estimating Cargo Handling Equipment Emission in the Port of Incheon. 한국항만경제학회지, 36(3), 21-38.

조정정 · 윤경준 · 이향숙. (2019). 선박에 기인한 대기오염물질 배출량 산정 연구-광양항과 울산항을 중심으로. 한국항만경제학회지, 35(2), 93-107.

Chang, C. C., & Wang, C. M. (2012). Evaluating the effects of green port policy: Case study of Kaohsiung harbor in Taiwan. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17(3), 185-189.

EEA, 2016. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016.

Fiadomor, R. (2009). Assessment of alternative maritime power (cold ironing) and its impact on port management and operations.

Kalli, J., Jalkanen, J. P., Johansson, L., & Repka, S. (2013). Atmospheric emissions of European SECA shipping: long-term projections. WMU Journal of Maritime Affairs, 12(2), 129-145.

Karl, M., Bieser, J., Geyer, B., Matthias, V., Jalkanen, J. P., Johansson, L., & Fridell, E. (2019). Impact of a nitrogen emission control area (NECA) on the future air quality and nitrogen deposition to seawater in the Baltic Sea region. Atmospheric Chemistry and Physics, 19(3), 1721-1752.

Kim, K., Roh, G., & Chun, K. (2019). Analysis of the Emission Benefits of Using Alternative Maritime Power (AMP) for Ships. Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 25(3), 381-394.3

U.S. EPA(2009). Current methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories. ICF International Final report to Environmental Protection Agency.

Viana, M., Fann, N., Tobías, A., Querol, X., Rojas-Rueda, D., Plaza, A. & Fernández, C. (2015). Environmental and health benefits from designating the marmara sea and the Turkish straits as an emission control area (ECA). Environmental science & technology, 49(6), 3304-3313.

Zhang, Y., Fung, J. C., Chan, J. W., & Lau, A. K. (2019). The significance of incorporating un-identified vessels into AIS-based ship emission inventory. Atmospheric Environment, 203, 102-113.

인천항 선박 대기오염물질 배출량 산정 및 친환경 정책 효과에 대한 연구

이정욱 · 이향숙

국문요약

과거에는 대기오염에 대한 관심이 온실가스에 집중되어 있었지만, 최근 몇 년 사이 미세먼지에 대한 관심이 고조되고 있다. 언론 및 환경단체 등에서는 미세먼지에 의한 대기오염에 대해 지속적으로 강조하고 있다. 미세먼지에 대한 경각심이 높아지는 가운데 국외 유입을 제외한 국내 요인으로써 항만에서 발생되는 대기오염이 심각한 것으로 분석되고 있다. 이를 인지하고 항만에서 발생하는 대기오염을 감소시키기 위해 국내에서도 항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법을 제정하여 항만에서 기인하는 대기오염을 억제시키려는 시도를 하고 있다. 이 법에서는 선박뿐만 아니라 차량, 하역기계 등 항만 전체에서 발생하는 대기오염물질을 규제하며, 선박과 관련한 정책으로는 ECA, VSR, AMP가 있다.

본 연구에서는 인천항을 대상으로 이러한 친환경 정책의 효과에 대해 분석하고자 하였다. 우선적으로 정책이 없을 경우를 가정하여 선박에서 발생한 대기오염물질 배출량을 산정한 후, 각각의 정책에 대한 분석과 최종적으로 모든 정책이 반영된 실제 배출량을 산정하여 비교하는 연구를 수행하였다. 유럽환경청과 미국환경보호국에서 제시하는 방법론을 이용하였으며, 분석대상 오염물질은 국립환경과학원에서 제공하는 황산화물(SO_X), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_X), 총부유물질(TSP), 미세먼지 · 초미세먼지(PM_{10}, $PM_{2.5}$), 암모니아(NH_3)를 대상으로 하였다.

분석결과, 모든 정책이 반영된 실제 배출량은 약 4,097톤/년으로 정책 미 반영시의 약 4,857톤/년에 비해 약 760톤/년의 배출저감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 각 정책의 효과를 개별적으로 분석하였을때는 ECA 4,111톤/년, VSR 4,854톤/년, AMP 4,843톤의 대기오염물질 배출량이 발생하는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 인천항 대기환경과 관련된 정책수립의 기초자료 및 근거자료로 사용될 수 있을 것이다.

주제어: 인천항, 대기오염물질, 배출량, 미세먼지