

## 선박에 기인한 대기오염물질 배출량 산정 연구 -광양항과 울산항을 중심으로

조정정\* · 윤경준\*\* · 이향숙\*\*\*

### A Study on Estimating Ship Emission - Focusing on Gwangyang Port and Ulsan Port

Zhao, Ting-Ting · Yun, Kyong-Jun · Lee, Hyang-Sook

#### Abstract

Recently, air pollution from the marine ports has become a serious issue all over the world. Because marine trade accounts for 99.7% of Korea's trade, efforts are required to recognize the level of port pollution and establish environmental policies. This study estimates air pollution emitted during the berthing process in the Gwangyang and Ulsan ports. Data on ship activity and characteristics are collected and reasonable methodologies and factors from EEA and EPA are adopted. The results show that 253.09 tons of CO, 1986.61 tons of NO<sub>x</sub>, 684.01 tons of SO<sub>x</sub>, 47.88 tons of PM<sub>10</sub>, and 44.69 tons of PM<sub>2.5</sub> are emitted at the Gwangyang port. Further, the Ulsan port emitted 212.28 tons of CO, 1712.54 tons of NO<sub>x</sub>, 573.72 tons of SO<sub>x</sub>, 40.16 tons of PM<sub>10</sub>, and 37.48 tons of PM<sub>2.5</sub>. A stage-by-stage plan for installing AMP infrastructure is suggested as part of a green port policy. This research provides the current pollution status and contributes guidelines for the direction of future policy.

*Key words: Air Pollution in Gwangyang Port, Air Pollution in Ulsan Port, Ship Emissions, Policy Proposal*

▷ 논문접수: 2019. 05. 31.   ▷ 심사완료: 2019. 06. 07.   ▷ 게재확정: 2019. 06. 21.

\* 인천대학교 동북아물류대학원 박사과정, 제1저자, zhaotingting91@gmail.com

\*\* 인천대학교 동북아물류대학원 박사과정, 제2저자, kyun@korea.kr

\*\*\* 인천대학교 동북아물류대학원 교수, 교신저자, hslee14@inu.ac.kr

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

21세기에 들어 글로벌 무역의 급격한 발전으로 인해 화물물동량이 증가하고 있는 추세이다. 해상, 항공, 철도, 도로 등 화물교통수단 중 화물처리 능력 및 운송비용에 있어서 가장 높은 경쟁력을 보이는 것은 해상운송으로, 전 세계 90% 이상의 화물을 처리하고 있다. 한국은 지리적·경제적 특성으로 인해 무역 의존도가 68.8%로 매우 높은 나라이다(한국무역협회, 2017년). 또한, 지정학적으로 육상을 통한 교역이 어려워 전체 수출입화물 교역량의 99.7%가 해상을 통해 운송되고 있다(백병선, 2010).

최근 환경오염 문제의 심각성이 대두되면서 그 주범으로 해상운송이 꼽히고 있다. 세계보건기구(WHO: World Health Organization)에서 2016년에 세계 108개 국가 4,300개 도시를 대상으로 환경실태를 조사한 결과, 세계 인구의 92% 이상이 오염된 공기를 호흡하고 있으며, 연간 700만 명의 조기 사망자가 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 대부분의 세계 거대도시에서 WHO 기준의 5배 이상에 달하는 대기오염물질이 배출되고 있는 것으로 조사되었다. 해상부문의 대기오염의 주요 원인이 되는 이유는 선박의 노후화, 질 낮은 연료 등에 있다. 한국 해양수산개발원에서는 컨테이너선 한 척이 배출하는 황산화물(SOx)이 경유 승용차 5,000만대, 초미세먼지(PM2.5)는 트럭 50만 대의 배출량에 해당된다는 사실을 규명하였다. 더구나 미세먼지와 초미세먼지 문제가 부산, 인천 등 항만도시에서 더욱 심각하게 나타난다고 발표하였다. 부산항은 미세먼지로 인한 오염이 심각한 세계 10대 항만에 선정되기도 하였다(해양한국, 2017).

항만으로부터 발생한 대기오염을 저감시키기 위해 국제기구 및 선진항만을 중심으로 선박 오염물질 배출량을 규제하기 위한 다양한 방안이 제시되고 있다. 우선 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)에서는 2016년 1월 이후 건조 선박에 대해 일산화탄소, 미세먼지 등 배기가스 배출량 저감형 TIER-IV엔진 장착을 의무화하고, 2019년부터는 선박 총톤수 5천을 초과하는 선박에 대해 연료 사용량 보고를 강제화하여 지속적으로 모니터링할 예정이다. 2020년부터는 선박 연료유의 SOx 함량을 현재 3.5%에서 0.5%로 낮춰 저유황 연료 사용하거나, 탈황장치(Scrubber) 설치를 유도할 계획이다.

대표적 선진항만인 미국 LA(Los Angeles)항과 LB(Long Beach)항에서는 2006년부터 San Pedro Bay Clean Air Action Plan (CAAP)을 실시하여 2017년 기준 질소산화물 미세먼지, 황산화물을 각각 57%, 87%, 98% 줄여내는 성과를 거두었다. 로테르담항의 경우 Rotterdam Climate Initiative(RCI) 프로그램을 가동하여 CO<sub>2</sub>를 지속적으로 감축하고 있다. 그밖에 홍콩항, 천진항 등 많은 항에서 적극적으로 친환경 정책을 도입하고 있다.

한국에서는 최근 악화된 대기질로 인해 전 국민적으로 환경오염 정책에 대한 불만이 증가하고 있는 추세이다. 이에 한국 정부에서는 2017년 9월에 「미세먼지 관리 종합대책」을 발표하여 2022년까지 국내 배출량 30% 이상 감축하고, 나뭇잎 일수를 70% 줄이겠다고 공표하였다. 그러나 전체 예산의 80% 이상을 육상교통에 투입하여 사실상 항만에 기인한 대기오염물질 배출에 대한 인식이 부족한 것으로 평가되고 있다. 최근에는 해수부와 환경부가 업무협약을 통해 2022년까지 항만 미세먼지를 50% 줄이기 위한 세부전략을 제시한 바 있다.

부산항에서는 대기오염 문제 해결을 위해 선박환

경지수(ESI: Environment Ship Index), 육상전력공급 장치(AMP: Alternative Maritime Power), LNG트랙터 도입 등을 시행하고 있다. 인천항의 경우 친환경 비전을 선포하여 2025년까지 미세먼지를 40% 감축 하겠다는 목표를 제시하였다. 또한 부산항(하역부 문)과 인천항(항만 전체)에서는 대기오염물질 배출량을 산정하기 위한 용역을 수행하여 오염정도를 정확히 파악하고자 하였다. 그에 비해 국내 물동량 2위와 3위인 광양항과 울산항에서는 관련 연구 및 친환경 정책 도입이 상대적으로 미미한 상황이다. 따라서 본 연구는 광양항과 울산항에서 배출하는 대기오염물질의 양을 산정하고, 항만에 적합한 친환경 정책을 제시하고자 한다. 본 연구는 광양항과 울산항이 향후 친환경 항만으로 도약하기 위한 기초자료를 제공한다.

## 2. 연구의 범위

본 연구는 광양항과 울산항에 입항한 선박 접안하는 동안 발생하는 대기오염물질 배출량을 산정하는 것으로 다음의 절차를 따른다.



그림 1. 연구 수행절차

우선 대기오염으로 인한 영향권을 설정한 후,

관련 연구를 검토를 통해 합리적인 적용 방법론을 선정한다. 자료는 선박의 항내 활동을 기록하는 해상관제자료(VTS: Vessel Traffic Services)를 2017년 기준으로 수집하고, 클리닝 과정을 거쳐 대기오염물질 배출량을 산정한다. 대기오염물질 유형은 국립환경과학원의 가이드라인에 따라 CO(일산화탄소), NOx(질소산화물), SOx(황산화물), PM<sub>10</sub>(미세먼지), PM<sub>2.5</sub>(초미세먼지), VOC(휘발성유기화합물), NH<sub>3</sub>(암모니아)로 규정한다. 이어서 국내의 우수 항만 사례를 토대로 접안시 적용 가능한 친환경 정책인 AMP 도입을 제시한다.

## II. 선행연구 검토

전 세계적으로 환경문제가 심각하게 인식되면서 대기오염물 배출과 관련된 국내외 연구가 활발히 진행되고 있다. 선행연구는 크게 선박 대기오염물질 배출 산정 연구와 친환경 항만정책 연구로 구분된다.

### 1. 선박 대기오염물질 배출 산정에 관한 연구

Qin, Z. et al.(2017)은 상하이의 대기오염물질 규제 해역인 ECA(Emission Control Area)의 운영효과를 분석하였다. 이를 위해 연료 중 황 함량에 따라 SO<sub>2</sub> 배출량 차이가 어떻게 변화하는지 규명하였다. 2020년에 황 함량이 현재의 3.5%에서 0.5% 또는 0.1%로 감소할 경우 현재 비해 91,763.09톤, 103,998.17톤의 SO<sub>2</sub> 감소효과가 발생할 것으로 예상하였다. 또한, 선박 속도를 현 25노트에서 12노트로 저하시킬 경우 마찬가지로 감소효과를 유발할 것으로 내다보았다. 더불어 접안시 AMP를 사용하게 되면 보조엔진 가동 없이 영배출 효과를 바라볼 수 있다고 제시하였다,

이민우 외(2016)는 2011년과 2012년의 부산항 선박 활동 데이터를 이용하여 정박시 발생하는 배기 가스 및 연간 환경비용을 산출하였다. 2011년에 50,686척과 2012년 48,842척을 대상으로 분석한 결과, 주요 오염원인 NOx, SO<sub>2</sub>, PM의 배출량은 각각 30,853톤, 36,281톤, 6,856톤이며, 선박 중 유조선의 배출량이 42%로 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 또한, CALPULL Model를 통해 대기확산 패턴 분석을 수행하여 계절, 날씨 등에 따른 영향을 파악하였다. 이를 토대로 향후 부산항에서 엄격한 대기오염물질 배출 규제 정책을 도입해야 함을 강조하였다.

Song, Y (2015)는 여객선, 화물운반선, 컨테이너선, 어선 등으로 선박 유형을 구분하고, 총 31개 대기오염물질 측정기를 설치해 통한 실제 배출량 측정을 통해 대기오염물질(NOx, HC, CO, PM)별 배출계수를 산출하였다. 또한, AIS(Automatic Identification Systems) 데이터를 이용하여 중국 보이해만(渤海湾)에 있는 항만을 대상으로 2013년 기준 대기오염물질 배출량을 산출하였다. 분석결과를 ArcGis로 공간 분포 및 시각화하여 선박이 항만에 가까워지면서 배출량이 많아지고, 항구와 약 15해리 거리에서 배출량이 가장 많은 것을 규명하였다. 친환경 정책으로 우선 AMP시설을 이용하는 것이 타당하며, 특히 당산항(唐山港), 진항도항(秦皇島港), 황화항(黃骅港)의 경우 해상운행 속도 감소 및 ECA(배출규제해역)설정이 필요하다고 주장하였다.

Y.T Chang et al.(2014)은 2012년에 인천항 출입하는 모든 선박을 대상으로 입항부터 묘지 정박, 순항, 접안 및 출항까지 상향식(Bottom-up approach) 방법론을 통해 대기오염물질 배출량을 산정하였다. 그 결과, SO<sub>2</sub> 990톤, NOx 1,551톤 및 PM 142톤이 산출되었다. 순항시 SO<sub>2</sub>는 전체의 82%, NOx는 87%, PM는 76%로 다른 운행 모드에

비해 많이 배출하는 것으로 나타났다. 인천항에 속도를 12노트(Knot)로 규제하는 동시에 연료유 중에 유황 함량을 낮추는 방법 적용시 감약 1/3의 배출 감소효과를 보일 수 있다는 결과를 도출하였다.

박두열 외(2011)는 2009년도 부산항 대상으로 선박 입출항 자료를 이용하여 선박이 항해 중, 정박 중, 이·접안으로 나누어서 선박에서 기인한 대기오염 물질인 NOx, HC, SO<sub>2</sub>, PM10 및 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하였다. 결과에 의하면 NOx 8.7톤, SO<sub>2</sub> 82.300톤, HC 0.35톤, CO<sub>2</sub> 4,860톤, PM10 670톤이 산출되었다. 국립환경과학원에서 발행된 CAPSS(대기정책지원시스템, 2007) 결과와 비교 시 배출량이 2배 수준으로 차이가 발생함을 알 수 있었다.

## 2. 친환경 항만정책에 관한 연구

박한선 외(2016)는 온실가스 배출감축 및 친환경 기술 적용 확대를 위해 국내 선박 기술적 현황, 적용 및 지원 현황을 분석하고, 향후 민간차원의 정책 지원방안과 추진 방향을 제시하였다. 우선 친환경 선박의 현황 및 실태 분석을 진행하였고, 이어서 국내외 해운 주요국의 친환경 선박 및 기술확보 전략을 파악하였으며, 기업 조사 및 업계 전문가 의견을 수렴하여 해당 정책의 필요성에 대한 검증 받았다. 이를 토대로 친환경 선박의 도입이 필요하고, 신조선에 EEDI(Energy Efficiency Design Index, 에너지효율설계지수)의 친환경 선박기술이 적용되어야 하며, 이를 위해서는 금융지원이 필요하다고 언급하였다. 노후 선박 폐선은 해외 해운산업 사례 분석을 통해 구속력이 있는 법제도를 마련함으로써 정유사에서는 저유황 공급을 지원하고, 해운사에서는 저감 장치를 부착하는 것이 필요하다고 강조하였다.

이호춘 외(2016)는 문헌연구, 설문조사 및 국내 업계 전문가 자문, 인터뷰 등을 통해서 항만 지역

에서 선박으로부터 배출된 대기오염물질을 체계적으로 관리하기 위해 방안을 제시하였다. 기술적 관리방안, 인벤토리 구축 및 인체 건강에 미치는 영향에 대해 해외 친환경 관리 도입사례를 통해 논의하고, 시사점을 도출하였다.

김태균 외(2014)는 울산항에서 지속 가능한 친환경 정책을 수립하기 위해 해외 선진항만의 정책 및 추진현황을 살펴보았다. 또한, 국내 항만사례에 대해 분석하고, AHP 방법론 적용을 통해 친환경 항만 조성을 위해 가능한 정책들의 우선순위를 제시하였다. 그 결과, 우선적으로 LED 조명 교체, AMP 시설 구축 등이 필요한 것으로 나타났다.

장봉현(2009)은 광양항을 사례로 하여 항만 수송 및 교통 현황과 해상교통 환경 현황을 면밀히 분석하고, 항만의 친환경 관리 측면의 정책 방향을 제안하였다. 환경친화적 항만은 항만개발과 운영에서 지속가능성을 확보해야 하며, 자연의 생태 특성을 극대화하고 자원을 절약하는 정책 도입이 필요함을 강조하였다.

### 3. 연구의 차별성

선행연구 검토 결과, 주요 항만에서 발생시키는 대기오염물질을 산정하기 위한 연구가 다수 이루어졌다. 다만 연구에 따라 오염물질의 유형, 운행 모드, 적용 방법론에는 다소 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 연구대상으로는 해외의 경우 주요 선진항, 국내의 경우 부산항과 인천항이 주로 선정되는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 취급하는 물동량 많음에도 불구하고 관련 연구가 매우 제한적인 광양항과 울산항 대상으로 연구를 진행하고자 한다. 최근 2017년 1년간 선박 활동자료를 사용하여 접안시 발생하는 대기오염 정도를 파악한다. 공신력 있는 기관인 유럽 환경청인 EEA와 미국 환경청인 EPA의 방법론 및

계수를 적용하여 결과의 신뢰성을 높이고자 한다. 이어서 광양항과 울산항에 적합한 친환경 정책을 제시하고, 대기오염물질 저감효과에 대해서도 논하고자 한다.

## III. 광양항 및 울산항 현황

### 1. 항만 물동량

무역항별로 진입하는 선박의 유형이 다르며, 수출입하는 화물의 종류가 다양하다. <표 1>에서 입항선박 현황을 살펴보면 2017년 기준 전체 무역항에 입항한 선박의 수량은 총 195,112척이다. 항만별 비중을 살펴보면 부산항이 25.5%로 가장 많았으며, 이어서 광양항, 울산항, 인천항이 각각 13.2%, 12.3%, 9.3%를 차지하는 것으로 나타났다.

화물처리량을 살펴보면 부산항이 401,233천 톤으로 전체 항만의 1/4을 처리하여 압도적인 1위를 차지하였다. 이어서 광양항은 292,279천 톤으로 18.6%로 2위, 울산항은 202,346천 톤으로 3위를 차지하였다.

품목별로 살펴보면 광양항(27.0%)과 울산항(31.4%)의 액체화물의 처리 비중이 타 항만에비해 월등히 높은 것으로 나타났다. 컨테이너화물의 경우 부산항이 74.6% 이상을 차지하였으며, 인천항이 11.1%, 광양항이 8.1%로 그 뒤를 이었다.

### 2. 친환경 정책

최근 국내 항만에서는 각종 친환경 시설을 도입하고자 하는 노력이 증대되고 있다. 광양항과 울산항에서는 공통적으로 AMP, LED 조명, 태양광 발전, RTGC 전환사업, 친환경 호퍼 도입 등을 추진하고 있으며, 특히 울산항은 환경선박지수 제도를 부산항에 이어 두 번째로 도입하였다.

표 1. 2017년도 주요항만 선박 입항 및 화물처리 실적

구분	입항선박 (비중, %)	전체화물 (비중,%)	액체화물 (비중,%)	컨테이너 (비중,%)
단위 (Unit)	척 (Ships)	천 톤 (K ton)	천 톤 (K ton)	천TEU (K TEU)
합계	195,112(100.0%)	1,574,341(100.0%)	530,945(100.0%)	27,468(100.0%)
부산항	49,842(25.5%)	401,233(25.5%)	31,368(5.9%)	20,493(74.6%)
광양항	25,658(13.2%)	292,279(18.6%)	143,360(27.0%)	2,233(8.1%)
울산항	24,034(12.3%)	202,346(12.9%)	166,649(31.4%)	466(1.7%)
인천항	18,118(9.3%)	165,521(10.5%)	57,881(10.9%)	3,048(11.1%)
평택·당진항	9,726(5.0%)	112,491(7.1%)	30,076(5.7%)	643(2.3%)
대산항	7,273(3.7%)	90,290(5.7%)	74,254(14.0%)	110(0.4%)
포항항	6,461(3.3%)	58,890(3.7%)	303(0.1%)	102(0.4%)
기타항	54,000(27.7%)	25,1291(16%)	27,053(5.1%)	372(1.4%)

자료: 울산항만공사 홈페이지

접안시 적용 가능한 시설인 AMP에 대해 살펴보면 여수·광양항에는 2016년까지 저압용 AMP 총 20기가 설치되었다(해양한국, 2017). 최근 포스코 광양 제철소에서는 AMP 사용을 위해 내·외항선 25척에 고압 소켓과 분전반을 설치하고, 육상에는 440V(저압)과 고압 플러그를 설치하였다(Shipping Gazette, 2018). 울산항의 경우 2017년에 울산 본항, 온산항 및 신항에 AMP 총 40기를 설치·운영하였으며, 이후 본항에 5기를 추가 설치하였다(해양한국, 2017).

표 2. 친환경 정책 현황

친환경 사업명	광양항	울산항
AMP	○	○
LED 조명	○	○
태양광 발전	○	○
RTGC 전환사업	○	○
친환경 호퍼	○	○
환경선박지수(ESI) 제도	X	○

## IV. 대기오염물질 배출량 산정

### 1. 자료수집

배출량 산정하기 위해 개별 선박의 활동자료 및 제원 자료를 수집하였다.

선박 활동자료는 항내에서 국내외 선박을 모니터링하는 해상교통관제(VTS, Vessel Traffic Service) 자료를 수집하여 선박종류별 접안시간을 산출하였다.

선박의 제원 자료는 총톤수, 주엔진 파워, 보조엔진 파워, 엔진의 RPM 등이 수집 가능한 것으로 파악되었다. 한국선급(Korean Register of Shipping)에서 총 555척, 선박안전기술공단(Korea Ship Safety Technology Authority)에서 총 96척 선박에 대한 자료를 수집하였다.

## 2. 대기오염물질 분석 방법론

본 연구에서는 연료 기반의 배출량 산정방법을 채택하였다. EEA(2016)에서는 선박데이터가 Tier 3에 속하면서 연료소비 자료의 확보가 가능할 경우, 연료를 기반으로 하는 분석방법을 우선시하는 것을 제안하였다(그림 2). 이 경우 개별 선박의 활동자료를 토대로 전체 대기오염물질 배출량을 산정해내는 상향식(Bottom-up) 방법이 적용된다. 국내에서 배출량 관련 통계를 제공하는 국립환경과학원에서도 현재 연료 기반의 방법론을 채택하고 있다.

대기오염물질 배출량 산정을 위한 각 계수들은 배포 시기, 정교성, 신뢰성 등을 면밀히 고려 EEA 또는 EPA의 자료를 채택하였다.

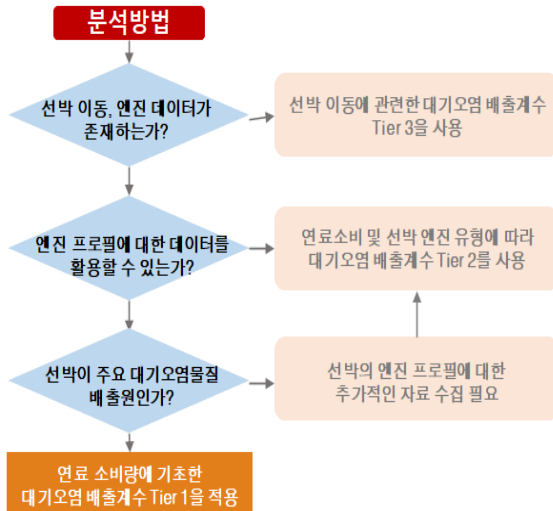


그림 2. 방법론 선정

자료: Emission inventory guidebook, EEA(2016)

대기오염물질을 산정하기 위한 방법론은 다음과 같다.

$$E_{s,i} = \sum_j (FC_s \times EF_i) \text{---(식1)}$$

여기서,

- E: 대기오염물질 배출량(톤)
- s: 선박 종류
- i: 대기오염물질 종류
- j: 보조 엔진
- FC: 연료소비량 추정(톤)
- EF: 배출계수(Emission Factor)

$$FC = S \times T = (P \times BFSC \times LF \times T) \text{--- (식2)}$$

여기서,

- S: 시간별 연료소비량
- T: 가동시간(H)
- P: 보조엔진 파워(KW)
- BFSC: 엔진의 추정 비율(g/kWh)
- LF: 부하계수(Load Factor)

가동시간은 실제 선박의 점안시간을 산정하여 적용하였다. 주엔진 파워 자료가 수집되지 않은 선박에 대해서는 주엔진 파워와 선박 총톤수와의 관계 규명을 통해 데이터를 보정하였다. 이를 위해 주엔진 파워를 종속변수로 하고 선박 총톤수를 독립변수로 하는 회귀분석을 수행한 결과, 모든 선박 유형에서 높은 양의 관계(신뢰수준 95%)가 나타났다(그림 3).

이어서 보조엔진 파워는 주엔진 파워와 보조엔진 파워의 비율을 통해 산정하였다(표 3).

보조엔진의 추정 비율은 217g/kWh(EEA, 2016)를, 보조엔진의 부하계수는 <표 4>의 값을 각각 적용하였다.

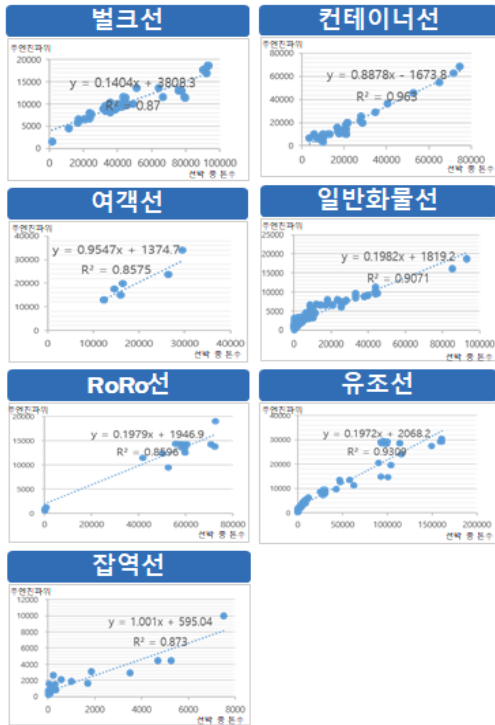


그림 3. 주엔진 파워에 대한 회귀분석 결과

표 3. 선박종류별 주엔진에 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
잠역선	0.100

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

선박의 배출계수는 선박의 유류 종류와 엔진의 RPM(Revolutions per minute)에 따라 달라진다. 유류 종류는 항계 내에서 주로 사용되는 연료인 MDO(Marine Diesel Oil)로 설정하였다. 선

박의 제원자료로 수집되었던 엔진의 RPM을 토대로 속도 등급(Slow/Medium/High)을 지정하였다(표 5).

표 4. 보조엔진의 부하계수

선박 종류	집안시
벌크선	0.10
컨테이너선	0.19
여객선	0.64
일반화물선	0.22
RORO선	0.26
유조선	0.26
잠역선	0.22

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

표 5. 엔진의 회전 속도 분류

회전 속도 구분	엔진의 RPM
Slow	<130 RPM
Medium	130-1,200 RPM
High	>1,200 RPM

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

지정된 속도 등급에 따라 보조엔진의 배출계수를 다음과 같이 결정하였다(표 6).

표 6. 보조엔진의 배출계수

단위: g/kWh

구분	CO	NOx	SOx	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	VOC	NH <sub>3</sub>
HSD	7.4	46.8	20	1.4	1.31	1.8	0.007
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, U.S. EPA (2009)



### V. 대기오염물질 배출량 산정 결과

2017년 기준으로 광양항과 울산항에서 선박 접안시 발생한 대기오염물질 배출량의 산정결과는〈표 7〉, 〈표 8〉과 같다.

광양항에서는 대기오염물질 중 NOx의 배출량이 가장 많은 것으로 분석되었으며, 다음으로 SOx, CO의 순으로 나타났다(그림 4).

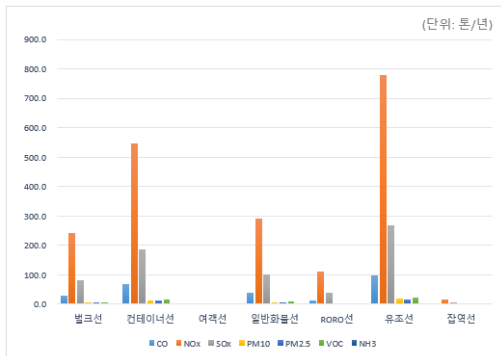


그림 4. 광양항 선박종류별 대기오염물질 배출량

선박종류별로 살펴보면 전체의 약 39.3%가 유조선으로부터 배출되었으며, 이어서 컨테이너선(27.3%), 일반화물선(14.7%), 벌크선(12.1%)의 순으로 나타났다(그림 5).

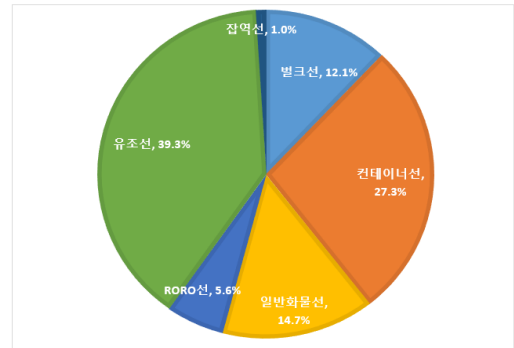


그림 5 광양항 선박종류별 배출량 비율

울산항에서도 NOx의 배출량 가장 많았으며, SOx, CO 순으로 나타났다(그림 6). 선박종류별로 살펴보면 유조선의 배출량이 70.8%로 압도적으로 높은 것으로 나타났으며, 이어서 일반화물선(9.8%), RORO선 (7.5%), 컨테이너선(6.4%)이 그 뒤를 이었다.

전반적으로 NOx의 배출량이 가장 많고, SOx, CO가 2위, 3위를 차지하였으나, 상대적으로 배출량이 적은 미세먼지(PM<sub>10</sub>)와 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)로 인한 피해가 최근 매우 심각한 것으로 알려져, 이에 대한 인식이 필요하다.

표 7. 광양항 선박종류별 대기오염물질 배출량

구분	단위:톤/년							합계
	CO	NOx	SOx	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	VOC	NH <sub>3</sub>	
벌크선	30.13	242.35	81.44	5.70	5.32	7.33	0.03	372.3
컨테이너선	68.41	546.81	184.89	12.94	12.08	16.64	0.06	841.83
일반화물선	37.65	290.30	101.76	7.12	6.65	9.16	0.04	452.68
RORO선	14.49	109.79	39.17	2.74	2.56	3.53	0.01	172.29
유조선	99.73	779.52	269.55	18.87	17.61	24.26	0.09	1209.63
잠역선	2.66	17.84	7.20	0.50	0.47	0.65	0.00	29.32
합계	253.09	1986.61	684.01	47.88	44.69	61.56	0.24	3078.08

표 8. 울산항 선박종류별 대기오염물질 배출량

단위: 톤/년

구분	CO	NOx	SOx	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	VOC	NH <sub>3</sub>	합계
벌크선	9.44	76.19	25.53	1.79	1.67	2.30	0.01	116.93
컨테이너선	13.52	109.08	36.54	2.56	2.39	3.29	0.01	167.39
여객선	0.18	1.44	0.48	0.03	0.03	0.04	0.00	2.20
일반화물선	20.78	167.66	56.17	3.93	3.67	5.06	0.02	257.29
RORO선	15.98	128.91	43.19	3.02	2.82	3.89	0.02	197.83
유조선	150.37	1213.10	406.40	28.45	26.55	36.58	0.14	1861.60
잠역선	2.00	16.16	5.41	0.38	0.35	0.49	0.00	24.79
합계	212.28	1712.54	573.72	40.16	37.48	51.63	0.20	2628.02

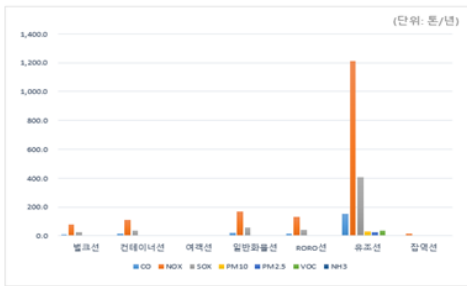


그림 6. 울산항 선박종류별 대기오염물질 배출량

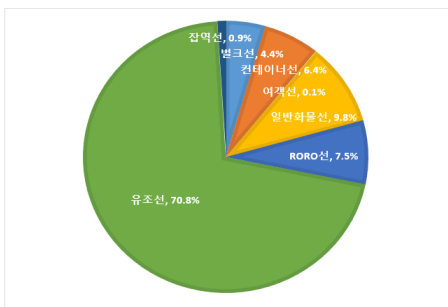


그림 7. 울산항 선박종류별 배출량 비율

보다 객관적인 비교를 위해 광양항과 울산항의 대기오염물질을 인천항(인천항만공사, 2017)과 비교해보았다. 이를 위해 항만별 화물취급량(천톤) 대비 대기오염물질(kg) 비율을 원단위로 산정한 결과는

다음 <표 9>와 같다.

표 9. 항만별 원단위 대기오염물질 배출량

단위: kg/천톤

구분	CO	NOx	SOx	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	VOC	NH <sub>3</sub>
광양항	0.8659	6.7970	2.3403	0.1638	0.1529	0.2106	0.0008
울산항	1.0491	8.4635	2.8353	0.1985	0.1852	0.2552	0.010
인천항	1.5086	12.1338	4.0768	0.2852	0.2670	0.3667	0.0014

인천항은 NOx을 12.13kg로 가장 많이 배출한 반면, 울산항과 광양항은 각각 8.46kg과 6.80kg을 배출하여 비교적 큰 차이가 발생하였다. SOx의 경우 인천항의 경우 천톤당 4.08kg으로 광양항과 울산항에 비해 약 2배정도 많이 배출되었다. CO 배출량도 마찬가지로 인천항(1.5kg), 울산항(1.05kg), 광양항(0.87kg)의 순으로 나타났다.

입항선박 수량 및 화물처리량은 광양항, 울산항, 인천항 순으로 많았으나, 인천항에서 단위 배출량이 더 많이 발생한 이유는 여객선이 진출입 수량이 광양항과 울산항보다 많았으며, 이로 인해 높은 보조엔진 부하계수가 적용되었기 때문인 것으로 판단된다.

## VI. AMP 도입 계획

### 1. AMP 정책 효과

선박 접안시 적용 가능한 친환경 정책으로는 AMP가 대표적이다. 해외 선진항만에서 최근 도입을 증대시키고 있는 추세이다.

미국 캘리포니아주 산페드로(San Pedro)만에 위치한 LA항과 LB항에서는 2006년부터 CAAP(San Pedro Bay Clean Air Action Plan)를 실시하였다. 2050년까지 온실가스 배출량을 1991년 대비 80% 이하로 감축할 것이라는 목표(San Pedro Bay Ports Clean Air Action Plan, 2016)를 달성하기 위해, 특히 선박 접안시 AMP시설 사용에 대한 명확한 계획을 수립하여 집중적으로 감축하고자 하였다(표 10). AMP시설을 세계최초로 도입한 사례로, 이를 통해 접안 중인 선박의 보조엔진을 정지시키고 육상전력을 통해 필요한 에너지를 공급하고 있다.

또한, 중국에서도 “대기오염방지법”에 의해서 신설 부두 계획시 AMP 시스템을 설계에 포함하도록 하고 있다. 기존 부두의 경우 점차적으로 개조하는 것을 권고하고 있다. 현재 총 926개 선석에 대해 2018년까지 AMP시설을 구축하고, 2020년까지 1,543개 선석에 대해 추가적으로 설치할 예정이다(이연경 외, 2018).

표 10. LA/LB항 AMP 추진 계획

기한	입항선박 AMP 사용규제	오염물 배출량 감축목표
2010년부터	입항선박 AMP 설치선석에 사용	10% 감축
2012년부터	입항선박 AMP 설치선석에 사용	25% 감축
2014년부터	입항선박의 50% 사용	50% 감축
2017년부터	입항선박의 70% 사용	70% 감축
2020년부터	입항선박의 80% 사용	80% 감축

자료: California Environmental Protection Agency, AIR RESOURCES BOARD-At-Berth Ocean-Going Vessels Regulation

국내에서는 부산항, 인천항, 광양항, 울산항 등 주요 항만에서 현재 도입하고 있으나, 시설 및 인력 부족으로 인해 아직까지는 이용이 활성화되지 못하고 있다.

### 2. AMP 연도별 추진계획

접안시 AMP시설을 사용한 경우에 주요 대기오염물질인 NOx, SOx, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>를 98%이상 감축할 수 있다(신광철, 2018). 선박별 저감효과를 알아보기 위해 2017년 광양항과 울산항에서 접안하는 선박 1척당 평균 대기오염물질 배출량을 우선 산출하였다(표 11).

표 11. 광양항 및 울산항 선박 평균 배출량

대기오염물질	평균 배출량 (톤/척)	
	광양항	울산항
NOx	0.07426	0.06873
SOx	0.02557	0.02302
PM <sub>10</sub>	0.00179	0.00161
PM <sub>2.5</sub>	0.00167	0.00150

선박 접안시 대기오염물질 감축량은 AMP 보급률에 달려있다. 이에 따라 국가 차원 또한 항만 차원에서 구체적인 예산 및 설치 계획을 세우는 것이

표 12. AMP 보급률에 따른 대기오염물질 저감량

구분	대기오염 물질	보급률	저감량	보급률	저감량	보급률	저감량	보급률	저감량
		(%)	(톤)	(%)	(톤)	(%)	(톤)	(%)	(톤)
		2019	2020		2025		2030		
광양항	NOx	20%	393.3	50%	983.4	80%	1573.4	90%	1770.1
	SOx	20%	135.4	50%	338.6	80%	541.7	90%	609.5
	PM <sub>10</sub>	20%	9.5	50%	23.7	80%	37.9	90%	42.7
	PM <sub>2.5</sub>	20%	8.8	50%	22.1	80%	35.4	90%	39.8
울산항	NOx	20%	339.1	50%	847.7	80%	1356.3	90%	1525.8
	SOx	20%	113.6	50%	284.0	80%	454.4	90%	511.2
	PM <sub>10</sub>	20%	8.0	50%	19.9	80%	31.8	90%	35.8
	PM <sub>2.5</sub>	20%	7.4	50%	18.6	80%	29.7	90%	33.4

필요하다. 또한, 선박에서 전기를 연결할 수 있는 시설을 자체적으로 구축하여야 이용이 가능하다.

본 연구는 AMP 보급률을 단계적으로 제시해 보았다(표 12). 이를 수행할 경우 2030년까지 대기오염물질 배출량을 90% 감축할 수 있을 것으로 예상된다.

### VII. 결 론

본 연구는 광양항과 울산항을 대상으로 선박 접안시 발생하는 대기오염의 정도를 파악하고, AMP의 단계별 도입 계획을 제시하였다. 이를 위해 2017년 기준으로 선박의 활동 및 제원 자료를 수집하고, 해외 공인된 환경기관들의 방법론 및 계수를 적용하여 7개 대기오염물질에 대한 배출량을 산정하였다. 그 결과, 광양항은 CO 253.09톤, NOx 1986.61톤, SOx 684.01톤, PM10 47.88톤, PM2.5는 44.69톤, VOC 61.56톤, NH3 0.24톤의 대기오염물질을 배출하였다. 울산항의 경우 CO 212.28톤, NOx 1712.54톤, SOx 573.72톤, PM10 40.16톤, PM2.5는 37.48톤, VOC 51.63톤, NH3 0.20톤을 배출하였다. 이어서 항만별 화물취급량(천톤) 대비 대

기오염물질(kg) 비율을 통해 오염정도를 인천항과 비교한 결과, 인천항이 적은 물동량에도 불구하고 가장 많은 오염물질 배출하였으며, 울산항, 광양항의 순으로 나타났다.

친환경 정책으로는 본 연구가 선박 접안시 발생하는 대기오염물질 배출량에 집중하였기 때문에 AMP의 연도별 도입 전략 및 저감효과를 제시하였다. 그 밖에 선박 속도 감소 프로그램, LNG선박 및 병커링 추진, ECA 도입 등을 향후 고려해 볼 수 있을 것이다.

본 연구는 많은 물동량을 취급함에도 불구하고 관련 연구가 적었던 광양항과 울산항을 대상으로 대기오염 정도를 파악한 것으로, 이를 통해 현황을 진단하고, 향후 관련 정책 수립을 위한 참고자료로 활용이 가능하다. 이러한 연구는 일회성에 그칠 것이 아니라 지속적으로 수행되어 대기오염물질의 양을 주기적으로 모니터링 및 관리하기 위한 시스템으로 연결되어야 할 것이다.

본 연구는 항만 부문에서 선박 접안시 발생하는 대기오염물질만을 산정하였는데, 이를 함께 내로 확대하여 항내 이동시 발생하는 대기오염물질 산정함으로써 항만 전체의 오염정도를 파악할 필요가

있다. 이를 위해서는 선박의 속도 정보를 수집해야 하는 어려움이 있어 향후 AIS 자료와 연계하여 분석하는 시스템을 구축해야 한다.

추후 해양수산부에서 결정하는 방법론, 타 항만에서 산정하는 배출량 등을 지속적으로 모니터링하여 본 연구결과를 업데이트하는 것이 필요하다. IMO에서는 내년부터 연료 중 황 함유량을 감소하도록 하고 있고, 한국정부에서는 국내 해역에서 ECA를 추진할 가능성이 높다.

또한, AMP 등 친환경 시설을 이용하는 선박의 종류 및 대수, 이용시간 등의 자료 수집을 통해 친환경 정책 도입으로 인한 대기오염물질 감소효과를 평가하기 위한 시스템이 필요하다.

산정된 대기오염물질 배출량을 토대로 대기확산을 분석을 통해 계절, 날씨, 풍향 등 영향요인에 따른 오염 정도를 판단해보는 것도 필요하다. 이를 토대로 항만 대기오염이 항만 구역 및 주변 거주지에 실제 미치는 영향 정도를 파악해 볼 수 있을 것이다.

### 참고문헌

국립환경과학원(2013), 국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(III).

김태균, 김환성(2014), 우리나라 항만특성에 맞는 그린포트정책 수립에 관한 연구 - AHP를 이용한 울산항 그린포트 정책 우선순위 개발, 한국항해항만학회지 제38집 제5호, 549-559.

박두열, 황철원, 정창훈, 외(2011), 동도를 이용한 2009년도 부산항 선박배출량 산정에 관한 연구, 한국환경과학회지, 제20집 제5호, 599-610

백병선(2010), 한국의 해상교통로에 대한 초국가적 위협의 분석 및 향후 대응방안에 관한 연구, 국가전략, 제16집 3호, 91-118.

신광철(2018), 울산항 녹색항만(Green Port)정책 재정립을

위한 개선방안에 관한 연구, 한국해양대학교 대학원 석사학위논문

이민우, 이향숙(2016), 선박 배기가스 배출량 및 환경비용 산출에 관한 연구, 한국항만경제학회지, 제32집, 제4호, 15-28.

인천항만공사(2017), 인천항 대기오염물질 배출량 산정 용역 중간보고.

장봉현(2009), 녹색성장시대에 환경친화적 항만관리정책의 발전방향-광양항 중심으로, 한국항만경제학회지, 제25집, 제2호, 361-384

한국해양수산개발원(2016) 우리나라 선박 배출 대기오염물질의 체계적 관리방안,

한국해양수산개발원(2016), 우리나라 선박의 친환경기술 적용 확대방안.

한국해양수산개발원(2017), AMP 설치 수요조사 및 추진 과제 연구.

KMI동향분석(2017), 항만도시 미세먼지 대책 수립 시급, 5월 제28호

Shipping Gazette(2018), 광양항 전천후부두 선박 육상전원 공급 가동식 개최, 6월 26일 ([http://www.ksg.co.kr/news/main\\_news-View.jsp?page=28&bbsID=news&schVal=AMP&categoryCode=search&bbsCategory=KSG&pNum=118171&backUrl=news\\_search](http://www.ksg.co.kr/news/main_news-View.jsp?page=28&bbsID=news&schVal=AMP&categoryCode=search&bbsCategory=KSG&pNum=118171&backUrl=news_search))

해양한국(2017), 주요 항만 AMP설비 현황, 8월 30일 (<http://www.monthlymaritimekorea.com/news/articleView.html?idxno=20182>)

한국무역협회(2017), (<https://www.kita.net/>)

여수·광양항만공사 홈페이지(<https://www.ygpa.or.kr/kr/>)

울산항만공사 홈페이지(<https://www.upa.or.kr/main.do>)

California Environmental Protection Agency, AIR RESOURCES BOARD-At-Berth Ocean-Going Vessels Regulation-California air resources board. (<https://www.arb.ca.gov/ports/shorepower/shorepower.htm>)

EEA(2016), Emission inventory guidebook.

EEA(2017), Air emissions inventory report.

Port of LA/LB(2016), SAN PEDRO BAY PORTS CLEAN AIR ACTION PLAN 2017([www.cleanairactionplan.org](http://www.cleanairactionplan.org)).

Port of LA/LB(2006), San Pedro Bay Ports Clean Air

Action Plan.

- Qin, Z. and Yin, J.B. (2017), Evaluation of Effects of Ship Emissions Control Areas Case Study of Shanghai Port in China, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board (2611), 50-55.
- Song Y(2015), Research of Emission Inventory and Emission Character of Inland and Off shore ships, Beijing Institute of Technology
- U.S EPA (2009), Current methodologies in preparing mobile source port-related emission inventories.
- Y.T. Chang, Y.H. Roh and H.S Park(2014), Assessing noxious gases of vessel operations in a potential Emission Control Area, Transportation Research Part D (28) 91-97

## 선박에 기인한 대기오염물질 배출량 산정 연구 -광양항과 울산항을 중심으로

Zhao, Tingting\* · 윤경준\*\* · 이향숙\*\*\*

### 국문요약

최근 항만에서 기인한 대기오염물질에 대한 심각성이 고조되고 있다. 한국은 무역의존도가 매우 높고 수·출입 교역량의 99.7%가 해상을 통해 운송되고 있어, 항만 대기오염의 정도를 파악하고 이에 대비하기 위한 친환경 정책이 필요하다. 이에 본 연구에서는 많은 물동량을 취급함에도 불구하고 관련 연구가 적었던 광양항과 울산항을 대상으로 선박 접안시 발생하는 대기오염물질 배출량을 산정하였다. 이를 위해 2017년 기준으로 선박의 활동 및 제원자료를 수집하고, 해외 환경기관인 EEA와 EPA 방법론 및 계수를 적용하였다. 그 결과, 광양항은 CO 253.09톤, NOx 1986.61톤, SOx 684.01톤, PM<sub>10</sub> 47.88톤, PM<sub>2.5</sub>는 44.69톤, VOC 61.56톤, NH<sub>3</sub> 0.24톤의 대기오염물질을 배출하였다. 울산항의 경우 CO 212.28톤, NOx 1712.54톤, SOx 573.72톤, PM<sub>10</sub> 40.16톤, PM<sub>2.5</sub>는 37.48톤, VOC 51.63톤, NH<sub>3</sub> 0.20톤을 배출하였다. 이어서 선박 접안시 적용 가능한 친환경 정책인 AMP의 단계적 도입 방안을 제시하였다. 본 연구는 광양항과 울산항을 대상으로 대기오염 정도를 파악한 것으로, 이를 통해 현황을 진단하고, 향후 관련 정책 수립을 위한 참고자료로 활용 가능하다.

주제어: 대기오염물질, 배출량, 광양항, 울산항, AMP

