

기본연구 2016-09

우리나라 선박 배출 대기오염물질의 체계적 관리방안

A study on the Systematic Management of Air
Pollutants from ships in Korea

2016. 12.

이호준 · 황진희 · 박한선 · 류희영



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

보고서 집필 내역

〈연구책임자〉

이 호 춘 : 연구총괄, 제1장, 제2장 제1절 제3절,
제3장, 제4장 제1절 제2절, 제4절, 제5장

〈연구진〉

황 진 회 : 제2장 2절, 제4장 제2절

박 한 선 : 제4장 제2절

류 희 영 : 제2장 제2절

〈외부연구진〉

김 일 규(부경대 교수) : 제4장 제3절

오 용 식(한국해양대 교수) : 제2장 제2절 4(일본)

장옌(张艳)(중국 복단대 교수) : 제2장 제2절 3(중국)

산·학·연·정 연구자문위원

박 주 성 (한국선급 팀장)

이 영 찬 (한국해양대학교 교수)

한 상 용 (동서대학교 교수)

정 철 락 (해양수산부 해사산업기술과 사무관)

* 순서는 산·학·연·정 순임

연구감리자

길 광 수 (한국해양수산개발원 선임연구위원)

발간사

IMO 해양환경보호위원회(MEPC, Marine Environment Protection Committee)는 지난 10월 영국 런던에서 개최된 제70차 회의에서 2020년부터 선박에서 사용되는 연료유의 황 함유량을 기존의 3.5%에서 0.5%로 강화하기로 결정했다. 이번 결정은 저유황유(0.5%)의 공급 부족과 연료유 가격 인상으로 인한 선사의 경영난 가중 등을 고려해 황 함유량 규제를 2025년까지 연기하는 것을 고려했던 이전의 분위기와는 상반되는 결과이자 향후 IMO가 선박에서 배출되는 대기오염물질에 대한 규제를 어떤 방향으로 진행해 나갈지를 판단해 볼 수 있는 시금석이 될 것이다.

우리나라는 선박에서 배출되는 대기오염물질의 배출 현황에 대한 체계적인 연구를 광범위하게 수행했던 사례가 많지 않다. 그 이유는 지금까지 대기오염물질의 관리 대상이 대부분 내륙에 있는 공장과 자동차 등에 집중되어 온 것이 가장 큰 이유이며, 제도적으로 선박의 대기오염물질 배출에 관한 관리부서가 명확하게 지정되지 못한 점 또한 주요 이유가 된다.

이번 연구는 우리나라 선박에서 배출되는 대기오염물질의 체계적 관리방안을 수립하기 위해 필요한 법·제도적 관리체계와 기술적 관리체계 방안을 제시하는 것을 목표로 연구를 수행하였다. 최종적으로 법·제도적 관리체계 개선방안으로는 관련 법·제도 개선, 배출규제해역(ECA) 제도 도입, 동북아 지역 협력 네트워크 구축 등이 제시되었으며, 기술적 관리체계 개선방안으로는 선박 배출 대기오염물질 인벤토리 구축, 연안 지역 모니터링 구축, 영향도 분석 툴 개발 등이 제시되었다.

이번 연구는 선박에서 배출되는 대기오염물질에 대한 관리가 시급하고 이러한 관리를 위해서는 법·제도적 고찰, 정책적 연구, 기술적 측정 및 산정, 환경·보건적 평가 등 다양한 연구와 조사가 수행될 필요가 있음을 강조하였다. 하지만 이것은 멀고도 험한 여정의 첫 걸음에 불과하며, 궁극적으로 지향하는

바는 선박 배출 대기오염물질의 체계적 관리를 통해서 정부는 관리비용의 축소, 선사는 규제비용의 감소, 국민들은 대기환경질의 개선이라는 세 마리 토끼를 동시에 모두 잡을 수 있기를 기대한다.

본 연구는 우리 연구원의 이호춘 전문연구원이 연구책임을 맡았고, 황진희 부연구위원, 박한선 부연구위원, 류희영 연구원이 공동으로 연구에 참여했다. 또한 부경대학교 김일규 교수, 한국해양대 오용식 교수, 중국 복단대학교 장옌 교수가 외부 연구진으로 참여했다. 그리고 한국해양대학교 이영찬 교수, 동서대학교 한상용 교수, 한국선급 박주성 팀장, 해양수산부 정철락 사무관 그리고 우리 연구원의 길광수 선임연구위원이 연구과정에서 심의 및 연구자문을 맡아 주셨다. 또한 어려운 여건 속에서도 컨조인트 설문조사를 무사히 마무리해 주신 GRI리서치의 이범신 대표와 중국어 자료와 원고의 번역에 도움을 준 희가혜 연구원과 여동금 박사께도 연구진을 대신하여 감사의 말씀을 드린다.

끝으로 이 보고서가 우리나라에서 선박으로부터 배출되는 대기오염물질의 환경·보건적 심각성을 널리 알리고 대기오염물질에 대한 체계적 관리방안의 필요성을 다시 한 번 일깨워 주는 계기가 되기를 바라며 정부 정책담당자와 관련 분야 연구자들에게 기초자료로 널리 활용될 수 있기를 진심으로 희망해 본다.

2016년 12월
한국해양수산개발원
원 장 양 창 호

목 차

연구성과 요약.....	i
Executive Summary.....	vii
제1장 서 론.....	1
제1절 연구의 배경 및 필요성.....	1
제2절 연구의 목적.....	2
제3절 연구의 범위와 내용	3
1. 연구의 범위.....	3
2. 연구의 내용.....	3
제4절 연구의 방법론.....	4
제5절 선행연구 검토.....	5
제2장 선박 배출 대기오염물질의 국제적 관리 동향.....	8
제1절 IMO 관리 현황.....	8
1. 국제협약에 의한 관리.....	8
2. 배출규제해역에 의한 관리.....	11
제2절 해외 주요국 관리체계 현황.....	15
1. 미국.....	15
2. EU.....	20

3. 중국.....	25
4. 일본.....	45
제3절 시사점.....	53

제3장 우리나라 선박 배출 대기오염물질의 관리 현황 및 배출량 감소의 경제적 효과 분석..... 55

제1절 국내 관리체계 현황 및 문제점.....	55
1. 법제도 현황.....	55
2. 배출 현황.....	56
3. 문제점.....	61
제2절 선박 배출 대기오염물질 배출량 감소의 경제적 효과 분석.....	62
1. 분석의 배경 및 조사 설계.....	62
2. 분석 방법론.....	66
3. 분석 결과 및 시사점.....	77

제4장 선박 배출 대기오염물질의 관리체계 개선 방안..... 82

제1절 개선 목표 및 방향.....	82
1. 개선 목표.....	82
2. 개선 방향.....	83
제2절 법제도적 관리체계 개선 방안.....	85
1. 선박 배출 대기오염물질관련 법·제도 개선 방안.....	85
2. 배출규제해역(ECA) 제도 도입 방안.....	93
3. 동북아 지역 협력 네트워크 구축 방안.....	97
제3절 선박 배출 대기오염물질의 기술적 관리체계 개선 방안.....	100
1. 선박 배출 대기오염물질 인벤토리 구축 방안.....	100
2. 선박 배출 대기오염물질 연안 지역 모니터링 구축 방안.....	112

3. 선박 배출 대기오염물질 영향도 분석 툴 개발 방안.....	121
제4절 실행 방안.....	134
1. 주체별 역할 분담 방안.....	134
2. 중장기 로드맵 작성.....	135
제5장 결론 및 정책제언.....	137
제1절 요약 및 결론.....	137
제2절 정책제언.....	140
1. 항만구역의 대기오염물질 관측시스템 구축.....	140
2. 친환경선박의 보급 확대.....	141
3. 국내 ECA 지정 검토를 위한 정책연구 추진.....	142
4. 동북아 지역 협의체 구성에 관한 국제협력 연구 추진.....	143
제3절 향후 연구과제.....	144
참고문헌.....	145
부록	
1. 일본 연구기관과 정부의 선박 배출가스 관련 조사 활동 현황.....	159
2. 선박 배출량 산정방법론.....	170
3. 선박 유형별 배출계수.....	190
4. 가스상 대기오염물질의 종류.....	193
5. 설문지.....	199
6. 직교실험계획에 의한 시나리오 조합.....	203

표 목 차

<표 1-1> 선행연구와의 차별성.....	7
<표 2-1> MARPOL73/78 부속서 종류.....	10
<표 2-2> 대기오염방지 행동계획 주요 목표	29
<표 2-3> 중국 항만에서 선박의 대기오염물질 배출량.....	32
<표 2-4> 중국의 ECA 시행계획(시기 및 적용 지역).....	38
<표 3-1> 우리나라 질소산화물(NO _x) 배출량.....	58
<표 3-2> 우리나라 황산화물(SO _x) 배출량.....	59
<표 3-3> 우리나라 미세먼지(PM ₁₀) 배출량.....	60
<표 3-4> 표본의 구성 현황.....	63
<표 3-5> 사전조사의 표본 분석.....	64
<표 3-6> 대기질 개선으로 인한 건강피해 감소수준별 지불의사금액(WTP).....	64
<표 3-7> 대기오염 개선관련 속성 평가단위 및 속성 수준	65
<표 3-8> 컨조인트 분석법을 적용한 연구사례.....	67
<표 3-9> 사회·경제적 변수 정의 및 표본 통계량.....	76
<표 3-10> 모형 추정결과.....	77
<표 3-11> 속성별 월평균 한계지불의사액.....	79
<표 3-12> 인천시와 부산시 장래 가구 수.....	80
<표 3-13> 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 경제적 편익 산정결과(5% 감소)...	81
<표 3-14> 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 경제적 편익 산정결과(10% 감소).....	81
<표 4-1> CORINAIR SNAP code.....	100
<표 4-2> NFR의 배출원 정의.....	100
<표 4-3> NFR의 배출원 정의.....	102

<표 4-4> 선박엔진에 대한 NOx 배출제한.....	104
<표 4-5> 레크레이션용 선박에 대한 규제(EU Emission Directive 2003/44)...	105
<표 4-6> 개선 과제별 중장기 로드맵	131
<표 부록-1> Tier 1 Emission Factors for medium to large ship using bunker fuel oil.....	165
<표 부록-2> Tier 1 Emission factors for medium to large ship using MDO/MGO.....	166
<표 부록-3> Tier 1 Emission factors for ship using gasoline.....	167
<표 부록-4> Tier 2 Emission factors for NOx, NMVOC, PM and specific fuel consumption for different engine types/fuel combinations.....	169
<표 부록-5> Tier 2 Emission factors for recreational boats.....	170
<표 부록-6> Estimated average main engine power by ship category	171
<표 부록-7> Percentage of installed Main Engine power by engine type/fuel class(2010 fleet).....	172
<표 부록-8> 소형선박에 대한 Tier 2 배출계수	173
<표 부록-9> Tier 3 emission factors for NOx, NMVOC, PM for different engine types/fuel combinations and vessel trip phases.....	178
<표 부록-10> Tier 3 emission factors for NOx, NMVOC, PM and Specific Fuel Consumption for different engine type/fuel combinations and vessel trip phases in g/kWh.....	179
<표 부록-11> Tier 3 emission factors for recreational vessels.....	180
<표 부록-12> 선박 유형(운항모드)을 고려한 배출 계수 (g/kwh).....	183
<표 부록-13> 선박 유형(접안모드)을 고려한 배출 계수 (g/kwh).....	184
<표 부록-14> 선박 유형(정박모드)을 고려한 배출 계수 (g/kwh).....	185

그림 목 차

<그림 1-1> 연구 흐름도.....	5
<그림 2-1> IMO의 단계별 SO _x 규제 기준.....	11
<그림 2-2> 전 세계 ECA 지정 현황.....	14
<그림 2-3> 북해 및 발트해 ECA.....	14
<그림 2-4> 북미지역 ECA.....	15
<그림 2-5> 카리브해지역 ECA.....	15
<그림 2-6> 중국 징진지, 장강 삼각주, 주강 삼각주 위치.....	26
<그림 2-7> 중국 2000~2012년 기간 동안 SO ₂ 배출추이	27
<그림 2-8> 중국 주강 삼각주 지역 ECA 적용 수역	39
<그림 2-9> 중국 장강 삼각주 지역 ECA 적용 수역	40
<그림 2-10> 중국 발해만 지역 ECA 적용 수역	41
<그림 2-11> AEROS 서비스 제공 화면.....	48
<그림 2-12> 이산화질소 농도 추이.....	48
<그림 2-13> LNG추진 예인선 사키가케(SAKIGAKE).....	52
<그림 3-1> 컨조인트 분석법의 적용 절차.....	71
<그림 4-1> 비전 및 목표.....	82
<그림 4-2> 환경정책의 비용/편익 경로.....	95
<그림 4-3> 선박의 연료연소에 따른 배출과 운항활동의 흐름도.....	101
<그림 4-4> 산 페드로 항만지역의 대기 측정망 구축 현황 및 사이트 사례..	114
<그림 4-5> MM5 모형의 개요.....	124
<그림 4-6> CMAQ 모형의 개요.....	125

연구성과 요약

우리나라 선박 배출 대기오염물질의 체계적 관리방안 연구

1. 연구의 목적

본 연구의 목적은 국내 연안 및 항만 지역에서 발생하는 선박 배출 대기오염물질을 효과적으로 관리할 수 있는 관리체계를 마련하는 것이다. 이를 위해서 IMO에서 추진하고 있는 강력한 선박 배출 대기오염물질의 규제방안인 ECA 제도의 국내 도입 가능성도 검토해 보고자 한다.

또한 본 연구는 ECA 제도의 도입을 포함해 선박 배출 대기오염물질을 효과적으로 관리하기 위한 법제도적 관리체계 개선사항과 기술적 관리체계 개선사항을 제시하는 것을 주요 목적으로 하고 있다. 이러한 개선과제들의 발굴 및 실행방안 마련을 통하여 국내 연안 및 항만 지역에서 선박으로부터 배출되는 대기오염물질을 체계적으로 관리할 수 있는 지속가능한 관리방안을 확립하는 것이 본 연구의 궁극적 목적이다.

2. 연구의 방법 및 특징

1) 연구방법

〈표〉 본 연구 방법의 특징

특징	주요 내용	방법론
문헌 연구	- 국내외 선박 배출 대기오염물질 관리정책 관련 연구보고서 및 논문(기사) 분석 - 국내외 선박 배출 대기오염물질 배출량 통계 등 관련 분야 자료 분석	- 선박 배출 대기오염물질의 규제 및 관리 방안과 관련된 국내외 보고서 및 선박 배출 대기오염물질 배출량 통계관련 국내외 자료 수집 및 분석

특징	주요 내용	방법론
설문 조사	- 선박 배출 대기오염 물질의 건강효과 추정 - 조사 설계/설문지 작성 /조사 시행/결과 분석	- 선박 배출 대기오염물질의 감소로 인한 건강 개선 효과에 관한 컨조인트 분석법(Conjoint Analysis) 설문 조사
국내 전문가 자문 및 인터뷰	- 선박 배출 대기오염 물질의 인벤토리 구축 등 기술적 관리방안에 관한 상세 조사 - 건강개선 효과에 대한 가치추정에 관한 상세 조사	- 대기환경 분야 전문가 및 경제적 가치추정 분야 전문가들을 대상으로 선박 배출 대기오염물질의 기술적 관리방안과 건강개선 효과에 대한 가치추정 방법에 관한 자문 수행
해외 전문가 자문	- 일본, 중국 등 주요 인근 국가들의 ECA 도입에 관한 현황 조사	- 우리나라 인근 국가들의 해외 전문가들을 통해서 각국의 ECA 도입 현황 등에 관한 사항 정리

2) 연구의 특징

본 연구는 선박 배출 대기오염물질의 배출량 감소에 의한 건강개선 효과를 추정하기 위하여 컨조인트 분석을 수행하였다. 선박에서 배출되는 SO_x, NO_x, PM_{2.5} 등으로 인해 우리 인체는 건강피해를 받게 되는데 대표적인 건강영향 속성들이 조기사망, 폐암, 천식, 심혈관질환 등이다. 본 연구에서는 이들 건강 속성들을 대상으로 컨조인트 분석을 통해 선박 배출 대기오염물질의 배출량 감소로 인해 유발되는 속성별 경제적 가치를 추정하였다.

이러한 건강개선에 관한 컨조인트 분석 방법론은 국내에서 육상의 대기오염 물질 감소로 인한 건강효과 개선의 추정을 위한 방법론으로 이미 이용된 바 있을 뿐만 아니라 미국, 유럽, 일본 등 다양한 국가들에서 보건 개선에 따른 경제적 가치추정 방법론으로 널리 이용되고 있는 방법론이다.

3. 연구 결과

1) 연구 결과 요약

(1) IMO 및 주요 국가들의 선박 배출 대기오염물질에 대한 관리 현황

IMO는 MARPOL73/78을 통해서 선박에서 발생하는 액체, 고체, 기체 형태의 모든 오염물질에 대한 관리를 수행하고 있으며 최근에는 2005년 5월에 발효된 부속서 VI을 통해서 선박에서 발생하는 대기오염물질 방지에 역량을 집중하고 있다. 특정 해역에서 보다 강화된 선박 배출기준을 적용하는 배출규제해역(ECA)도 전 세계적으로 확대되고 있는 추세이다.

미국은 연방대기질기준(NAAQS) 설정과 ECA 지정을 통해 대기질 악화를 선제적으로 방지하고 있으며 EU의 경우는 환경대책프로그램(EAP)을 마련해 회원국들과 입법화 과정을 거쳐서 환경정책 개발을 시행하고 있다. 중국은 최근에 주장 삼각주, 장강 삼각주, 보하이만 지역 등 3개 지역을 ECA 지역으로 선포해 선박 배출 대기오염물질 관리에 대한 빠른 추진 속도를 보이고 있다. 반면 일본은 동북아 국가들 가운데 ECA 검토를 가장 먼저 했음에도 불구하고 여전히 도입에는 시차를 두고 있다.

IMO와 주요 국가들의 선박 배출 대기오염물질에 대한 관리현황을 보면 시간이 지날수록 규제의 범위와 강도가 강화되고 있으며 이러한 규제가 산업과 연계되어 개별 국가에 미치는 영향이 갈수록 증가하고 있다는 사실을 확인할 수 있다.

(2) 우리나라 선박 배출 대기오염물질의 관리 현황

우리나라 선박 배출 대기오염물질의 관리 현황을 보면 환경부는 육상 오염원에 집중하고 해수부는 해양에서의 수질관리에 더 집중하는 관계로 선박에서 발생하는 대기오염물질에 대한 관리가 적절하게 수행되지 못하고 있는 실정이다. 이러한 사실은 선박에서 배출되는 비중이 높은 황산화물, 질소산화물, 미세먼지의 지역별 배출량 자료를 통해서 재확인 할 수 있다. 특히 배후권역에 대규모 항만을 두고 있는 부산과 인천의 경우 타 지역에 비해 SOx, NOx, PM₁₀ 배출량에서 비도로이동오염원이 차지하는 비중이 상대적으로 높게 관측되는 것

으로 나타났다.

우리나라 선박 배출 대기오염물질에 대한 관리가 지금까지 체계적·효율적으로 진행되지 못했으며 이런 결과로 주요 항만도시에서 선박의 배출 비중이 높은 대기오염물질(SO_x, NO_x, PM₁₀ 등)의 비도로이동오염원 비중이 높게 나타나고 있으며 이것이 국민보건에 심각한 영향을 미치게 되는 문제점을 유발하게 되었다.

(3) 배출량 감소에 의한 건강효과의 경제적 가치 추정

본 연구에서는 선박에서 배출되는 대기오염물질의 배출량 감소에 의한 건강효과의 경제적 가치를 추정하기 위해서 컨조인트 분석방법론을 이용해 설문조사를 수행하였다. 분석 결과 부산과 인천을 포함한 전체지역을 대상으로 한 추정결과에 의하면 대기오염으로 인한 건강피해 속성별 월평균 한계지불의사액(MWTP)은 조기사망이 13,329.7원/천명으로 가장 크고, 폐암이 8,637.9원/천명, 심혈관질환 631.8원/천명, 천식 213.6원/천명의 순으로 나타났다.

또한 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해를 현재수준보다 각각 5%, 10%씩 감소시켜 발생하는 경제적 편익(2016년 말 기준)을 추정한 결과 전체지역을 대상으로 향후 5년 동안 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해를 현재수준보다 각각 5% 감소시켜 발생하는 경제적 편익(2016년 말 기준)은 1,901억 원에 이르는 것으로 분석되었다

이러한 컨조인트 분석 결과는 선박에서 배출되는 대기오염물질이 국민 건강 및 질병피해에 미치는 영향을 직접적으로 추정했다는 점에서 의의를 가질 뿐만 아니라 선박에서 배출되는 대기오염물질이 영향을 미치는 주요 속성변수들인 조기사망, 폐암, 천식, 심혈관질환별로 달성 가능한 다양한 건강효과의 경제적 가치에 대한 정량적 정보를 제공해 줄 수 있다는 점에서 정부의 관련 사업에 대한 비용편익 분석에 직접 활용이 가능할 것으로 판단된다.

(4) 법제도적 관리 방안과 기술적 관리방안 제시

선박 배출 대기오염물질에 대한 국·내외 관리현황과 문제점 등을 바탕으로 본 연구의 개선목표와 개선방향을 설정하였으며 개별 개선과제들도 함께 도출

하였다. 결론적으로 선박 배출 대기오염물질 관리체계 개선 방안으로 법제도적 방안과 기술적 방안들을 마련하였다. 법제도적 개선 방안들에는 관련 법률 개정 방안, 배출규제해역(ECA) 도입 방안, 동북아 지역 협력 네트워크 구축 방안 등을 설명하였으며, 기술적 방안들에는 선박 배출 대기오염물질에 대한 인벤토리 구축, 연안구역 모니터링체계 구축, 대기오염물질의 영향도 분석 툴 개발 등을 제시하였다.

(5) 우리나라 선박 배출 대기오염물질의 체계적 관리 방안

본 연구에서 제시하는 선박 배출 대기오염물질의 체계적 관리란 선박에서 배출되는 대기오염물질의 관리 대상과 주체 등에 관한 명확한 법적 기반을 바탕으로 배출규제해역(ECA) 제도, 동북아 협력 네트워크 구축 등의 제도적 방안과 선박 배출량 인벤토리 구축, 모니터링체계 구축, 영향도 분석 툴 개발 등의 기술적 방안들을 결합하여 대기환경 보호와 국민건강 개선이라는 궁극적인 목표를 달성하는 체계이다.

2) 정책적 기여

본 연구를 통해 선박 배출 대기오염물질에 대한 체계적 관리방안이 마련되면 국내 연안 및 항만지역의 대기질 개선을 위한 정책 수단으로 활용이 가능할 뿐만 아니라 관련 선박의 대기오염물질 저감 관련 해사산업의 발전에도 기여 가능함

(1) 국내 연안 및 항만지역의 대기질 개선에 기여

선박 배출 대기오염물질관련 법제도 개선, 배출규제해역(ECA) 제도 도입, 동북아 지역 협력 네트워크 구축, 선박 배출 대기오염물질에 대한 인벤토리 구축, 연안구역 모니터링체계 구축, 대기오염물질의 영향도 분석 툴 개발 등을 통해서 우리나라 연안 및 항만지역의 대기질 개선을 위한 기초자료 제공 및 정책방안 마련을 위한 법·제도적 근거 제공 가능

(2) 국민 보건 향상에 기여

법제도적 관리방안과 기술적 관리방안을 통해서 국내 연안과 항만지역의 대

기질 향상이 달성될 경우 해당지역에 근무하는 종사자와 인근 지역에 거주하는 국민들의 보건 향상에 크게 기여 가능

(3) 선박 배출가스 저감 관련 해사산업 발전에 기여

선박 배출 대기오염물질에 대한 규제가 강화되거나 배출규제해역(ECA) 제도 등이 도입될 경우 선박 배출 대기오염물질을 처리하기 위한 장치와 설비에 대한 수요가 증가할 뿐만 아니라 신조의 경우 LNG연료추진선 등 친환경 선박의 도입 수요가 크게 증가할 것으로 예상되며 이 경우 관련 기자재 및 조선 산업의 성장에 기여 가능

(4) IMO 국제협약에 선제적 대응 가능

우리나라가 선박 배출 대기오염물질에 대한 체계적 관리 방안을 수립할 경우 IMO에서 추진하고 SOx, NOx 등의 배출규제 강화에 대하여 선제적 대응이 가능할 뿐만 아니라 해당 분야의 글로벌 어젠다를 선도해 나갈 수 있는 역량 확대도 가능

3) 기대효과

본 연구는 정책적 시사점 외에도 학술적인 측면에서 다양한 기여가 가능할 것으로 판단됨

(1) 선박에서 배출되는 대기오염물질의 배출량 산정 방안 연구에 기여

다양한 선박에서 배출되는 SOx, NOx, PM 등의 배출량 산정 방법론과 장래 추정치 예측 방법론 등의 개발에 기여

(2) 선박에서 배출되는 대기오염물질의 저감 기술 및 장비 개발 R&D 연구 활성화에 기여

선박에서 발생하는 대기오염물질을 줄일 수 있는 운항, 관리 기술 등의 연구 활성화에 기여 가능할 뿐만 아니라 SOx, NOx, PM 등 대기오염물질의 제어 장비 개발관련 R&D 연구도 촉진

Executive Summary

A Study on the Systematic Management of Air Pollutants from Ships in Korea

1. Purpose

The purpose of this study is to establish a system capable of effectively manage air pollutants emitted from ships in coastal and port areas in Korea. For this purpose, the study intends to review the possibility of introducing Emission Control Areas (ECAs) which is a strict regulation for controlling airborne emissions from ships implemented by the IMO.

In addition, the study mainly aims to present legal and institutional improvement measures as well as technological improvement measures to effectively manage air pollutants from ships, including the adoption of ECA system. In this regard, detailed improvement tasks and implementation measures are proposed. Therefore, the ultimate goal of this study is to establish a sustainable management strategy to systematically manage air pollutants emitted from ships in Korean coastal and port areas.

2. Methodologies and features

1) Methodologies

<Table> Characteristics of the Methodologies

Methodology	Applying Area	Characteristics of the Methodologies and details
Literature Review	- Analyze research and academic papers (articles) related to air pollutants from ships in Korea and overseas - Analyze related data including the statistics on emissions of air pollutants from ships in Korea and overseas	- Collect and analyze domestic and foreign research papers related to the regulations and control measures on air pollutants from ships as well as its statistics on emissions

Methodology	Applying Area	Characteristics of the Methodologies and details
Survey	- Estimate the health effect of air pollutants from ships - Survey design/write survey papers/conduct the survey/analyze the result	- Conduct conjoint analysis on the effects of health improvement caused by the reduction of air pollutants from ships
Consult and interview with domestic experts	- Investigate in detail on technical management measures such as building an inventory of air pollutants emitted from ships - Investigate in detail regarding the value estimation of health improvement effects	- Consult with experts in atmospheric environment and those in economic value estimation sectors. - Ask for consultation on the technical management measures of air pollutants and value estimation methods on health improvement measures
Consult with foreign experts	- Study the current status of neighboring countries on the introduction of ECA, including Japan, China, etc.	- Summarize the current status of introducing ECA in each neighboring countries by consulting with foreign experts

2) Features

The study carries out conjoint analysis in order to estimate the impact of health improvement resulting from the reduction of emissions of air pollutants from ships. Substances such as SO_x, NO_x, and PM_{2.5} emitted from ships cause damage to human health. In particular, some of them are known to cause representative attributes such as premature death, lung cancer, asthma and cardiovascular disease, etc. This study conducts conjoint analysis on these health attributes, estimating the economic impact per each attribute caused by the reduction of emissions of air pollutants from ships.

The conjoint analysis methodology on health improvement was already used in Korea as a methodology for estimating the health improvement from reducing air pollutants on land. Furthermore, it is widely used an economic value estimation methodology following the health improvement in various countries such as the U.S., Europe, Japan, etc.

3. Results

1) Summary

1) The management status of air pollutants from ships in IMO and major countries

In accordance with MARPOL73/78, IMO manages all noxious substances in the form of liquid, solid and gas generated from ships. Recently, IMO is concentrating its effort to prevent air pollutants from ships through Annex VI of MARPOL, which took effect in May 2005. In addition, Emission Control Areas (ECAs) in which stricter controls are established to minimize airborne emissions in specific sea areas are increasingly spreading across the world.

The United States preemptively prevents air quality from deteriorating by establishing National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) and designating ECAs. The European Union came up with Environmental Action Program (EAP), implementing environmental policy through legislation process with member countries. China designated three regions including Pearl River Delta, Yangtze River Delta and Bohai Bay as ECA, speeding up the management of air pollutants emitted from ships. Japan was the first Northeast Asian country to review the introduction of ECA. However, the country has not yet introduced the system.

Looking at the management status of air pollutants from ships, IMO and major countries are increasingly strengthening the scope and intensity of regulation. Also, such regulation is connected with industries, increasing its impact to individual countries.

2) Korea's current status of managing air pollutants from ships

Looking at the management status of air emissions from ships in Korea, air pollutants emitted from ships is not properly managed. While the Ministry of Environment (MOE) is focusing on pollution sources on land, the Ministry of Oceans and Fisheries (MOF) is more concentrating on the water quality management at seas.

This fact can be reconfirmed by the data on regional emissions of sulfur oxide, nitrogen oxide and particulate matter which are highly produced from ships. In particular, compared with other port areas, Busan and Incheon, where large ports are located in hinterlands, show a high proportion of air pollutants emissions from non-road mobile sources in emissions of SO_x, NO_x, and PM₁₀.

The air pollutants from ships are not managed in a systematic and efficient manner in Korea. As a result, major port cities show a high percentage of air pollutants emissions from non-road mobile sources in emissions of SO_x, NO_x, and PM₁₀ which are produced

highly by ships. This has led to the problems that cause a serious impact on the public health.

3) Estimation of economic value of health effect resulting from emission reduction

The study performs survey with conjoint analysis methodology in order to estimate the economic value of health effect resulting from the reduction of air pollutants from ships.

The estimation result covering all areas including Busan and Incheon shows marginal willingness to pay (MWTP) on health damage per each attributes. According to the result, premature death ranks the largest amount of 13,329.7 KRW / one thousand persons, followed by lung cancer of 8,637.9 KRW / one thousand persons and asthma of 213.6 KRW/ one thousand persons.

Furthermore, the study estimates the economic benefits of reducing the health damage by 5% and 10% respectively resulting from air pollution from ships (as of the end of 2006). The estimation result shows that the economic benefit of reducing the health damage caused by air pollution from ships by 5% from the current level would reach as much as 190.1 billion KRW (as of the end of 2016) for the next 5 years.

Such result of conjoint analysis is meaningful in that it makes a direct estimation of impact between air pollutants from ships and the damage to the public health. In addition, the study conducts the analysis based on major attribute variables which are influenced by air pollutants from ships, such as premature death, lung cancer, asthma and cardiovascular disease. Therefore, the analysis can provide quantitative information on the economic values of various health benefits achieved by reducing air emissions from ships. In this regard, government related projects can directly use the study in their cost-benefit analysis.

4) Proposing legal and institutional as well as technological management plans

The study presents the current status of managing air pollutants from ships in Korea and overseas as well as problems. Based on this, it establishes improvement goals and directions with detailed improvement tasks. Consequently, legal and institutional measures and technological measures are proposed to strengthen the management system for air pollutants emitted from ships. The study explains on measures to amend relevant laws, to introduce ECA and to establish cooperation network in Northeast Asia as legal and institutional plans. Technological measures include establishing an inventory for air pollutants from ships, building a monitoring system in coastal areas and developing a tool for analyzing the impact of air pollutants.

5) The systematic management of air pollutants from ships in Korea

The systematic management of air pollutants from ships that this study suggests should be based on a clear legal foundation on the subjects under the management and management authority. Based on this, institutional measures such as establishing ECA system and building cooperation network in Northeast Asia should be combined with technological measures including building an inventory for air pollutants, establishing monitoring system and developing an impact analysis tool. In doing so, the systematic management ultimately strives to achieve the protection of atmospheric environment and the improvement of the national health.

2) Policy contribution

If the systematic management measures of air pollutants from ships are established based on this study, it would be used as a policy tool to improve the air quality in coastal and ports areas in Korea. In addition, it can contribute to the development of maritime industry related to the reduction of air pollutants from relevant ships.

1) Contribute to the improvement of air quality in Korea's coastal and port areas

The study is able to provide basic data to improve the air quality in Korea's coastal and ports areas and offer legal and institutional foundation for preparing policy measures through the following measures: improving the laws and institutions related to air pollutants from ships, introducing ECA system, building cooperation network in Northeast Asia, building an inventory regarding air emissions from ships, setting up a monitoring system in coastal areas and developing a tool for analyzing the impact of air pollutants.

2) Contribute to the improvement of public health

If the air quality of Korea's coastal and port areas is improved through legal, institutional and technological measures, it would greatly contribute to raising the public health of those working relevant areas as well as those living in nearby regions.

3) Contribute to the development of maritime industry which is related to the reduction of air pollutants from ships

If the regulation on air emissions from ships is strengthened or ECA system is introduced, it would boost the demand for facilities and equipment for processing the air pollutants emitted from ships. At the same time, the demand for introducing

eco-friendly ships such as LNG-fueled ships will significantly increase, contributing to the development of related equipment and shipbuilding industries.

4) Able to proactively respond to IMO international agreements

When Korea establishes systematic management measures for air pollutants from ships, it would proactively respond to stricter controls on emissions, such as SO_x and NO_x implemented by IMO. In addition, it will increase our national capacity to drive the global agenda in this sector.

3) Expected benefits

Besides policy implications, the study is able to make various contributions in academic perspective

1) Contribute to the research on the method of estimating the air pollution emissions from ships

The study contributes to the development of methodologies in estimating emissions of SO_x, NO_x and PM which are produced from ships as well as forecasting future estimates

2) Contribute to the vitalization of R&D research on equipment development and reduction technology of air pollutants from ships

It is able to contribute to the vitalization of research on navigation and management technology for reducing air pollutants from ships. In addition, the study will facilitate the R&D research on the development of control equipment of air pollutants such as SO_x, NO_x, PM, etc.

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 필요성

세계 13위의 경제규모¹⁾를 가진 우리나라의 수출입 물동량 대부분은 해상운송이 담당하고 있으며 대형 선박의 해상교통량은 부산, 울산, 광양, 인천 등과 같은 주요 항구에 집중되고 있다. 또한 장래에 우리나라의 경제규모가 계속해서 증가함에 따라 수출입 물동량 또한 비례해서 늘어날 것으로 예상되며 이로 인해 우리나라 항만 및 연근해에서 선박으로부터 배출되는 대기오염물질의 총량도 함께 증가할 것으로 예상되고 있다.

현재 대부분의 선박들은 선박연료로 벙커C²⁾와 MDO(Marine Diesel Oil)³⁾를 사용해서 운항에 필요한 동력을 얻거나 정박 중 필요한 전기를 생산하고 있다. 이러한 선박연료인 벙커C와 MDO는 연소 단계에서 벤조피렌과 같은 발암물질이 포함된 황산화물(SO_x, 이하 SO_x), 질소산화물(NO_x, 이하 NO_x) 그리고 초미세먼지(PM_{2.5}, particulate matter 2.5, 이하 PM_{2.5})⁴⁾와 같은 오염물질을 배출하고 있으며 이로 인해 항만 인근 지역의 대기오염을 가중시키고 국민건강에 심각한 피해를 끼치는 것으로 알려져 있다.

국제해사기구(IMO, International Maritime Organization, 이하 IMO)는 국제해

1) IMF 통계자료에 따르면 2014년 명목GDP 기준 우리나라는 세계 13위 수준이다.

2) 벙커C 가운데 주로 많이 사용되는 종류는 IFO180과 IFP380이 있으며, 일반 컨테이너 선박에서는 보다 저렴한 IFO380을 주로 사용한다.

3) 선박의 엔진 연료가 아닌 보일러 등의 보조기관의 가동에 주로 사용되고 있다.

4) 지름 10 μ m 이하인 먼지를 말하며 환경법령에서는 흔히 PM₁₀으로 부른다. 사람의 폐포까지 깊숙하게 침투해 각종 호흡기 질환의 직접적인 원인이 되며 특히 연소작용에 의해 발생하므로 황산염, 질산염, 암모니아 등의 이온 성분과 금속화합물, 탄소화합물 등 유해물질로 이뤄져 있다. 이 때문에 일반먼지보다 더욱 엄격하게 규제하고 있으며 최근 선진국에서는 지름 2.5 μ m 이하인 PM_{2.5}를 따로 관리하는 방안도 검토되고 있다.(http://www.airkorea.or.kr/dictionary_3, 2016년 4월 4일 검색)

양오염방지협약[MARPOL73/78] 부속서 VI을 통해서 선박에서 배출되는 대기오염물질(air pollution)에 대한 규제를 시행하고 있으며, 최근 들어 SOx와 NOx에 대한 배출규제 기준을 지속적으로 강화해 나가고 있다.⁵⁾ 또한 IMO는 현재 북해, 발트해 그리고 미국 동부와 서부 연안 등의 지역을 배출규제해역(ECA, Emission Control Area, 이하 ECA)으로 설정해 선박에서 배출되는 SOx와 NOx에 대한 규제를 강화하고 있으며 향후 ECA 지역은 전 세계적으로 확대될 전망이다. 더불어 현재 SOx, NOx 등에 집중하고 있는 규제 대상도 향후 PM_{2.5} 등을 포함해 다양한 오염원에 대한 규제로 확대될 것으로 전망되고 있다.

우리나라는 현재 ECA를 도입하고 있지 않으며, 항만에서 대기오염물질 규제를 별도로 시행하고 있지 않는 상태이다. 따라서 ECA 제도를 포함해 선박에서 배출되는 대기오염물질에 대한 전반적인 제도적·기술적 관리방안을 검토하는 작업은 향후 유사한 정책 개발 과정에 중요한 자료로 활용될 수 있을 뿐만 아니라 주변국들의 정책 변화에 민첩하게 대응할 수 있는 기초 자료로 활용될 가능성이 매우 높은 것으로 기대된다.

제2절 연구의 목적

본 연구의 목적은 국내 연안 및 항만 지역에서 발생하는 선박 배출 대기오염물질⁶⁾을 효과적으로 관리할 수 있는 관리체계를 마련하는 것이다. 이를 위해서 IMO에서 추진하고 있는 선박 배출 대기오염물질의 규제방안인 ECA 제도의 국내 도입 가능성도 함께 검토해 보고자 한다. 이러한 관리체계를 검토하는 정책적 목적은 신규 정책의 도입 이전에 사전적으로 정책의 선결 조건을 검토하고 효과를 분석해서 정책 집행 시 발생할 수 있는 오류를 최소화하고 관련 이

⁵⁾ IMO 해양환경보호위원회(MEPC, Marine Environment Protection Committee)는 제70차 회의(2016. 10, 런던)에서 2020년부터 선박에서 사용되는 연료유 내 황 함유량을 기존 3.5%에서 0.5%로 강화기로 결정했다.

⁶⁾ 본 연구에서 대상으로 하는 선박 배출 대기오염물질은 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 미세먼지(PM₁₀), 초미세먼지(PM_{2.5}), 휘발성화합물(VOCs) 등이며, 별도의 규제를 받고 있는 온실가스 물질은 포함하지 않는다.

해당사자들의 반대에 대한 목소리를 경청하기 위함이다.

또한 본 연구는 ECA 제도를 포함해 선박 배출 대기오염물질을 효과적으로 관리하기 위한 방안으로 법제도적 개선과제와 기술적 개선과제의 상세 내용을 제시하는 것을 주요 목적으로 하고 있다. 이러한 개선과제들의 추진 내용과 실행방안 마련을 통하여 국내 연안 및 항만 지역의 선박으로부터 배출되는 대기 오염물질을 체계적으로 관리할 수 있는 지속가능한 관리체계를 확립하는 것이 본 연구의 궁극적 목적이다.

제3절 연구의 범위와 내용

1. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 우리나라 연안 지역을 주요 대상으로 하되 해외 사례조사의 경우 조사 대상국 등을 포함하고 있으며 해당국의 다양한 정책 부서 및 유관기관을 포함한다.

또한 시간적 범위는 2015년을 기준년도로 하여 자료를 수집하고 분석하되 해외사례 등 일부 자료의 경우 2015년도 자료가 부재한 경우 가장 최신의 자료를 활용한다. 기본적으로 모든 통계자료는 지난 5년간을 기본으로 하되, 분석의 목적과 대상에 따라 5년 이상의 자료를 활용한다.

2. 연구의 내용

본 연구는 크게 5개의 장으로 나눌 수 있다. 제1장 서론에 이어 제2장에서는 IMO 및 해외 주요 국가별 선박 배출 대기오염물질의 관리 현황을 살펴본 후 문제점과 시사점을 도출하였다.

제3장 우리나라 선박 배출 대기오염물질의 관리 현황 및 배출량 감소의 경제적 효과 분석에서는 먼저 국내 관리체계 현황과 배출 현황을 살펴본 후 문제점을 도출하였다. 이후 선박 배출 대기오염물질의 대기질 개선에 관한 컨조인트 분석을 통해 배출량 감소의 경제적 효과에 관한 결과를 제시하였다.

제4장 선박 배출 대기오염물질의 관리체계 개선 방안에서는 4장에서 제시된 문제점들을 해결하기 위한 개선 목표와 개선방향을 제시한 후 법제도적 관리체계 개선 방안과 기술적 관리체계 개선 방안을 제시하였다. 법제도적 관리체계로는 법규정 개정 방안과 배출규제해역(ECA) 도입 방안 검토를 수행하였으며, 기술적 관리체계 개선방안으로는 인벤토리 구축 방안, 항만구역 모니터링체계 구축 방안, 대기오염물질의 영향도 분석 툴 개발 방안에 대해서 개선방안을 제시하였다.

제5장 결론 및 정책제언에서는 본 연구의 분석 결과를 요약하고, 정책적으로 필요한 사항에 대해 정책제언을 추가했으며, 마지막으로 향후 추가적인 연구가 필요한 사항을 제시하였다.

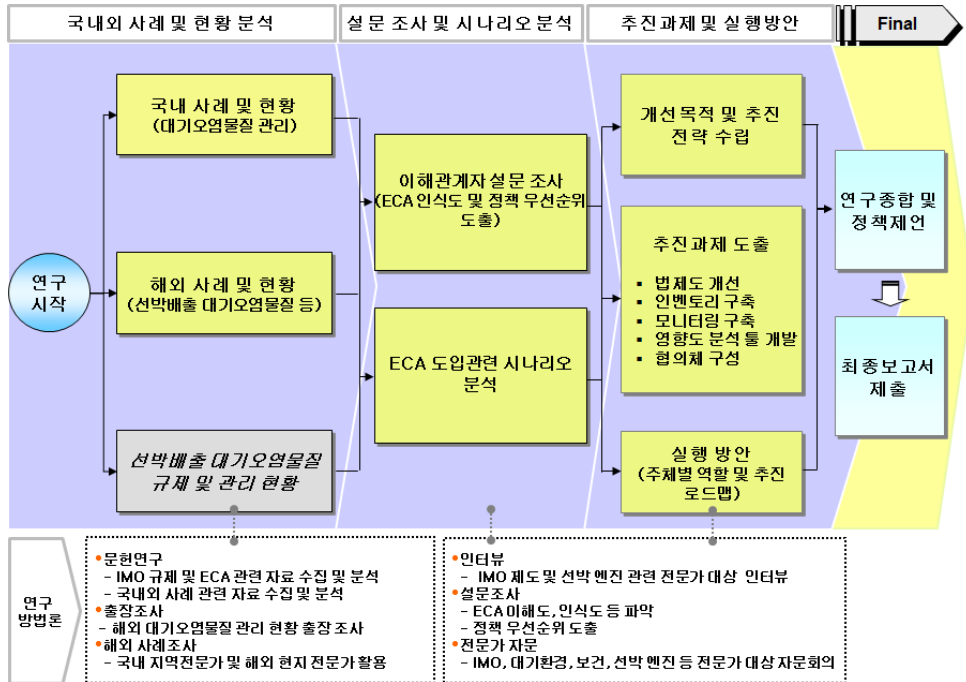
제4절 연구의 방법론

본 연구는 IMO에서 추진하고 있는 ECA 제도를 포함해 주변국들의 동향 파악이 매우 중요하다. 따라서 관련 문헌조사와 해외 출장조사를 집중적으로 수행하였으며, 주변국 동향 파악을 위하여 국내의 지역 전문가 또는 일본과 중국의 현지 전문가 등을 대상으로 원고 청탁을 수행하였다. 또한 개선과제들 가운데 선박 배출 대기오염물질의 인벤토리 구축 방안, 모니터링 구축 방안, 영향도 분석 툴 개발 방안 등 대기환경 공학적 전문성이 요구되는 분야에서는 관련 분야 전문가들의 자문과 원고 청탁을 병행하였다.

또한 선박 배출 대기오염물질의 배출량 감소에 따른 건강효과를 추정하기 위해서 컨조인트 분석을 수행하였으며 정책 방안의 우선순위를 조사하기 위하여 전문기관에 의뢰하여 의사결정계층분석(AHP, Analytic Hierarchy Process) 설문조사를 수행하였다.

선박과 보건관련 개선과제 도출을 위하여 본 연구에서는 IMO 전문가를 비롯하여 다양한 분야의 전문가들과 인터뷰와 자문회의를 진행하였다. 또한 대기환경, 보건, 선박 엔진 등 선박 배출 대기오염물질의 배출 시스템 및 피해 확산 등에 관해서 관련 분야 전문가들의 도움을 받았다.

〈그림 1-1〉 연구 흐름도



제5절 선행연구 검토

선박 배출 대기오염물질의 관리에 관한 선행연구들을 살펴보면 먼저 해양환경에 관한 연구에서 기본계획의 성격을 갖는 「환경관리해역 기본계획 및 해역별 관리계획 수립 연구」⁷⁾가 있다. 본 연구에서는 우리나라의 ‘2013년~2017년 환경관리해역 기본계획(안)’과 더불어 ‘2013년~2017년 환경관리해역 관리계획(안)’을 수립하고 신규해역 지정(안)을 마련하였다. 하지만 본 연구에서 선박 배출 대기오염물질에 대한 관리방안 등은 포함되어 있지 않으며 주로 수질오염의 관리방안에 집중하고 있다.

7) 해양수산부, 「환경관리해역 기본계획 및 해역별 관리계획 수립 연구」, 2012.

국립환경과학원이 진행한 「국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정」⁸⁾은 국내 연근해를 운항하는 어선, 연안여객선, 연안화물선 등 내항선박을 대상으로 선종별, 용도별, 규모별 대기오염물질 및 온실가스 배출 현황을 실측한 연구이다. 본 연구는 선종별 내연기관의 연식과 형식 등을 고려하여 선박 운항조건에 따른 대기오염물질 및 온실가스 배출의 특성을 직접 조사하고 분석하였다는 점에서 의의가 있으나 외항선 등을 포함한 연안을 운항하는 모든 선박을 대상으로 하지 않았으며 항만 내 접안 및 정박에 의한 배출량이 포함되지 않는 한계를 가지고 있다.

Young-Tae Chang et al(2014)⁹⁾에서 저자는 인천항을 입출항하는 모든 선박을 대상으로 대기오염물질 배출량을 산정하고 선종별 배출 비중과 저속 운항과 저유황유 사용에 따른 SO_x, NO_x, PM 등의 저감 비율 등을 추정하였다. 본 연구는 인천항에 국한하여 조사한 제약이 있기는 하지만 국내에서 선박 배출 대기오염물질 배출량 산정과 저감 방안 등을 모형에 의해 분석한 연구라는 측면에서 본 연구와 밀접한 관계를 가지고 있다.

마지막으로 본 연구는 아직까지 국내에서 시행되고 있지 않은 ECA에 관하여 도입의 필요성과 국내 도입을 위한 추진방안을 제시하면서 선박 배출 대기오염물질을 체계적으로 관리할 수 있는 법제도적 관리방안과 기술적 관리방안을 도출하여 정책 수단으로 제안한다는 점에서 큰 의미를 찾을 수 있다.

8) 국립환경과학원, 「국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정」, 2014. 4.

9) Young-Tae Chang, Younghoon Roh, Hyosoo Park,(2014). “Assessing noxious gases of vessel operations in a potential Emission Control Area”, Transportation Research Part D 28, 91-97.

〈표 1-1〉 선행연구와의 차별성

구 분	선행연구와의 차별성		
	연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	1 - 과제명: 「환경관리해역 기본계획 및 해역별 관리계획 수립 연구」(2012, 해양수산부) - 2013년~2017년 환경관리해역 기본계획(안) 수립 - 2013년~2017년 3개 환경관리해역 관리계획(안) 수립	- 문헌 및 인터넷 등을 통한 국내외 연구사례 조사 - 현장조사: 해역의 장기점사용, 양식장 등 수산업, 항만현황, 오염해역준설 등 - 관측자료: 국가해양환경측정망 자료 - 해양환경 및 해양생태 분야 전문가 및 관계부처 관계자 대상 전문가 회의 및 워크숍 거쳐 의견 수렴	- 연구의 개요 - 환경관리해역 기본계획(안) - 해역별 관리계획 - 환경관리해역 관리범위 조정(안) 신규해역 지정(안) 마련
	2 - 과제명: 「국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정」(2014.4, 국립환경과학원) - 국내 연근해 선박 내연기관의 형식, 용도, 규모별 등의 대기오염물질 및 온실가스 현황 파악 - 대기정책지원시스템(CAPSS), 온실가스 정책지원시스템(GHG-CAPSS)에 적용할 수 있는 활동자료 또는 통계자료 수집체계 구축방안 도출 - 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출량 산출 시스템 구축	- 문헌 및 인터넷 등을 통한 국내외 연구사례 조사 - 연근해 선박을 대상으로 대기오염물질 배출량 실측 조사 - 해운, 대기오염 및 기후변화 전문가들을 대상으로 전문가 회의 및 워크숍 개최	- 국내·외 관련 연구 동향 분석 - 국내 연근해 등록선박 현황 분석 및 배출량 산정방법론 설정 - 국내 연근해 선박의 활동자료 개발 - 선박 내연기관의 연식, 규모, 형식 등의 구분에 따른 배출계수 개발 타당성 검토 현장조사 - 선박 내연기관의 연식, 선종, 형식 등을 고려한 선박 운항조건에 따른 대기오염물질 및 온실가스 배출특성 분석 - 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출량 산출 시스템 구축
	- 논문명: “Assessing noxious gases of vessel operations in a potential Emission Control Area”, Transport Research Part D, 28, pp91~97, 2014	- 개별 선박을 대상으로 배출가스를 측정한 자료를 기초자료로 활용 - 선박의 배출가스 자료를 모형에 넣어서 배출량 분석	- Introduction - Methodology and data: 선박의 배출가스 산정 모형 이용 - Results and discussion: 선종별 선박의 배출가스 배출량 산출 - Conclusion

구 분	선행연구와의 차별성		
	연구목적	연구방법	주요 연구내용
본 연구	- 선박에서 배출되는 대기 오염물질을 관리할 수 있는 정책방안 마련 - 선박에서 배출되는 대기 오염물질의 체계적 관리를 위한 실행방안 제시	- 문헌조사 - 설문조사(컨조인트 분석) - 해외 항만 출장조사 - 전문가 집단을 통한 의견 수렴	- 선박기인 대기오염물질에 대한 규제 현황 및 배출량 저감 정책 사례 분석 - 국내 연안 지역의 ECA 도입 타당성 검토 - 선박 배출 대기오염물질의 관리체계 개선방안

제2장 선박 배출 대기오염물질의 국제적 관리 동향

제1절 IMO 관리 현황

1. 국제협약에 의한 관리

1) MARPOL73/78

IMO가 제정한 MARPOL73/78은 국제해양오염방지협약[International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL]의 약어로 해상을 운항하는 선박으로 인해 발생하는 해양오염을 방지하기 위해서 제정된 국제협약이다.¹⁰⁾ MARPOL73/78은 1973년에 IMO가 채택한 협정과 1978년에 추가해서 채택한 협정을 합쳐서 부르게 되면서 MARPOL73/78로 불리게 되었다.¹¹⁾ MARPOL73/78은 20개 조문으로 된 본문과 6개의 부속서로 구성되어 있으며 선박으로부터 발생하는 액체, 고체, 기체 형태의 오염물질을 규제하기 위한 절차와 방법이 규정되어 있다.¹²⁾

MARPOL73/78 부속서는 선박에서 발생하는 오염인자에 따라 6개로 구분되어 있다. 부속서 I은 유류(oil), 부속서 II는 유해액체물질(noxious liquid substances), 부속서 III은 포장유해물질(harmful substances carried by sea in packaged form), 부속서 IV는 하수(sewage), 부속서 V는 쓰레기(garbage) 그리고 마지막으로 추가된 부속서 VI은 대기오염물질(air pollution)에 대한 규제를 담고 있다.

10) 1967년 3월 18일 약 20만톤에 달하는 원유를 싣고 영국 남서부 끝부분에 위치한 란즈엔드(Lands End)와 실리 섬(Scilly Isles) 사이 해역에서 좌초한 사상 최악의 원유 유출사고인 Torry Canyon호 사고는 MARPOL 협약이 제정되는 데 큰 역할을 수행하였다.

11) 1978년에 채택된 MARPOL 의정서는 1973년 협약을 흡수·대체한 하나의 협약으로 보고 있다는 의미에서 MARPOL73/78으로 부르고 있으며, 1983년 10월 2일에 발효되었다.

12) 선박으로부터 발생하는 대기오염물질 방지를 위한 부속서 VI은 1997년에 추가되었다.

MARPOL73/78은 1983년 발효 이후 여러 차례에 걸쳐서 개정이 이루어져 왔으며 이러한 개정을 통해 협약의 실효성과 회원국들의 참여율을 제고시켜 오고 있다. 대기오염물질과 관련된 주요 개정 사항을 살펴보면 1997년 개정에서 부속서 VI이 채택된 이후 2005년 개정에서는 북해 SECA 설정이 이루어졌으며 2008년 개정에서는 부속서 VI 개정본이 채택되었다.

〈표 2-1〉 MARPOL73/78 부속서 종류

구분	부속서 명	발효일
Annex I (부속서 I)	Prevention of Pollution by Oil (유류 오염 방지에 관한 규정)	1983. 10. 02 (2007. 01. 01)
Annex II (부속서 II)	Control of Pollution by Noxious Liquid Substances in Bulk (벌크형태의 유해액체물질 오염 통제에 관한 규정)	1987. 04. 06 (2007. 01. 01)
Annex III (부속서 III)	Prevention of Pollution by Harmful Substances Carried by Sea in Packaged Form (포장형태의 해상수송용 유해물질 오염 방지)	1992. 07. 01
Annex IV (부속서 IV)	Prevention of Pollution by Sewage from Ships (선박에서 배출하는 하수 오염 방지)	2003. 09. 27
Annex V (부속서 V)	Prevention of Pollution by Garbage from Ships (선박에서 배출하는 쓰레기 오염 방지)	1988. 12. 31
Annex VI (부속서 VI)	Prevention of Air Pollution from Ships (선박에서 발생하는 대기오염물질 방지)	2005. 05. 19

자료: IMO 홈페이지(<http://www.imo.org>) 자료를 이용해서 KMI 정리

2) MARPOL73/78 부속서 VI

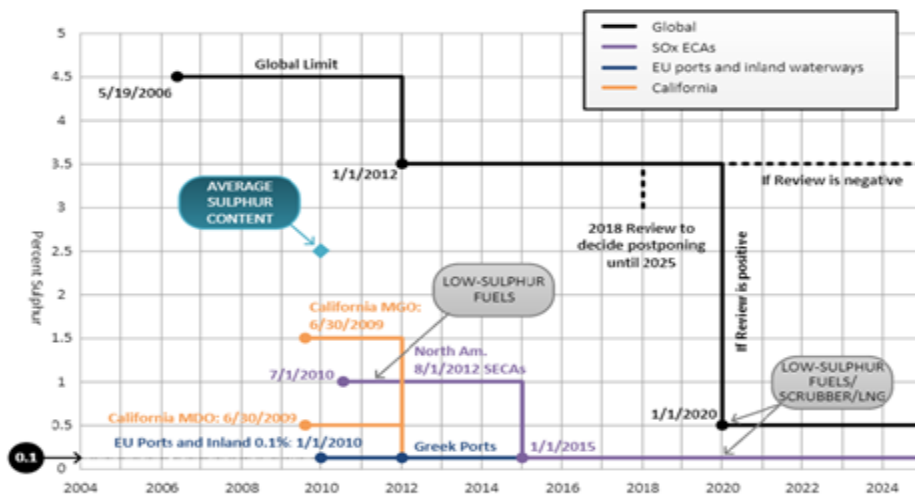
MARPOL73/78 부속서 VI 선박에서 발생하는 대기오염물질 방지 규칙은 IMO에서 1997년 9월 26일 채택되었으며 2005년 5월 19일부터 발효되었다.¹³⁾ 현재 시행되고 있는 규칙의 내용은 IMO 해양환경보호위원회(MEPC, Marine Environment Protection Committee, 이하 MEPC) 제58차 회의(2008. 10. 10)에서 채택된 MEPC.176(58) 결의서(MARPOL 부속서 VI 개정안)¹⁴⁾ 내용이다.

¹³⁾ 부속서 VI의 발효 조건은 15개국 가입 및 가입국의 선복량이 세계 선복량 50% 이상의 조건을 충족한 날(2004. 5. 18)부터 1년 후에 발효되는 것이다.

개정된 부속서 VI은 이전보다 강화된 NO_x, SO_x 규정을 담고 있으며 오존층 파괴물질 목록 및 기록부 비치, 원유를 운송하는 선박의 승인된 휘발성유기화합물(VOC) 관리계획서의 본선 비치 요건 등을 담고 있다.¹⁵⁾

NO_x에 대한 규제는 부속서 VI Regulation 13 Nitrogen Oxides(NO_x)에 제시되어 있는데 2016년 1월 1일 이후 건조된 선박에 대해서는 보다 강화된 Tier III¹⁶⁾가 적용된다. SO_x에 대한 규제는 시기별·지역별로 단계적으로 강화시켜 가는 걸로 설정되어 있는데 글로벌 차원에서는 2012년 1월 1일부터 기존 황 함유량 4.5%에서 3.5%로 강화된 후 2020년 1월 1일부터는 황 함유량 0.5% 조건을 충족해야 한다. ECA에서는 이보다 엄격한 조건이 부여되는데 2010년 7월 1일부터 황 함유량 1.0% 조건을 충족해야 하고 2015년 1월 1일부터는 황 함유량 0.1% 조건을 충족해야 하는 걸로 설정되어 있다.

〈그림 2-1〉 IMO의 단계별 SO_x 규제 기준



자료: ADI analytics 홈페이지 (<http://adi-analytics.com/2015/06/16/>, 2016. 06. 12 검색)

¹⁴⁾ 발효 시점은 2010. 07. 01이다.

¹⁵⁾ 한국선급, KR Technical Information, NO.2010012/IMO

¹⁶⁾ Tier III 아래에서 NO_x 허용치는 130rpm 미만일 때 3.4 g/kWh, 130rpm 이상 2,000rpm 미만일 때 9-n(-0.2) g/kWh, 2,000rpm 이상일 때 2.0 g/kWh

2. 배출규제해역에 의한 관리

1) 배출규제해역(ECA)

선박에서 배출되는 SO_x, NO_x, PM 등의 대기오염물질을 보다 강력하게 규제하기 위해서 IMO에서 마련한 제도 가운데 하나가 배출규제해역(ECA) 제도이다. MARPOL 부속서 VI에 마련된 ECA 신청 절차와 기준 등에 따라 희망하는 국가들은 ECA를 신청할 수 있으며 IMO에서는 신청서에 대한 평가를 거쳐서 최종적으로 ECA를 지정하게 된다.

일반적으로 ECA로 지정된 해역 내에서는 선박에서 배출되는 대기오염물질에 대한 배출기준을 다른 해역보다 높게 설정하고 있고 이에 대한 단속과 처벌은 ECA를 관리하는 국가에서 수행하고 있다. 시간이 지날수록 해양환경오염에 대한 국가들의 관심이 증가함에 따라 향후 ECA는 늘어날 것으로 전망되고 있으며, 특정 국가의 해역뿐만 아니라 여러 국가들의 영해가 중첩되는 넓은 해역들에 대한 ECA도 늘어날 것으로 예상하고 있다.¹⁷⁾

2) 신청 절차와 기준

선박으로부터 배출되는 SO_x, NO_x, PM 등의 대기오염물질을 체계적으로 관리하고자 하는 모든 국가들은 IMO에 ECA 지정을 신청할 수 있다. 이러한 신청은 신청에 필요한 데이터와 함께 MARPOL 부속서 VI의 부록 III(ECA 지정을 위한 절차와 기준)에 제시된 절차와 기준에 맞추어 진행이 되어야 한다. 특정 해역에 대해 2개국 이상이 ECA 지정에 관심을 가질 경우 당사국들은 서로 협력해서 공동 제안을 해야 한다. ECA 신청 건은 MEPC를 통해서 부속서 VI의 개정 사항으로 검토가 진행되며 만약 채택이 되면 발효일은 최소 16개월 이상의 기간을 필요로 한다.

ECA를 지정하고자 하는 국가들은 전형적으로 국민 보건, 생물 다양성, 해양

¹⁷⁾ IMO는 ECA 지정의 남발을 막기 위해서 신청 절차와 기준을 기존보다 강화해 나가고 있는데, 특히 ECA 지정 전후의 환경적, 경제적 영향 평가 등에 대한 상세한 자료 제출을 ECA 신청국들에게 요구하고 있다.

환경 보호 등이 긴급하게 필요한 지역을 선택하게 되는데 이러한 곳은 대체로 해상교통량이 많을 뿐만 아니라 인근에 도심을 갖고 있어 국민 보건에 심각한 영향을 미치는 경우가 일반적이다. ECA 신청국들은 ECA를 지정하고자 하는 지역에 대한 설명을 포함해 선박에서 배출되는 대기오염물질에 대한 규제가 필요하다는 것을 스스로 증명해야 하고, ECA 지정으로 인해 발생하는 비용과 편익에 대한 자료도 함께 제시하여야 한다.

부속서 VI의 부록 III에 제시된 ECA 신청 시에 필요한 주요 사항들은 다음과 같다.

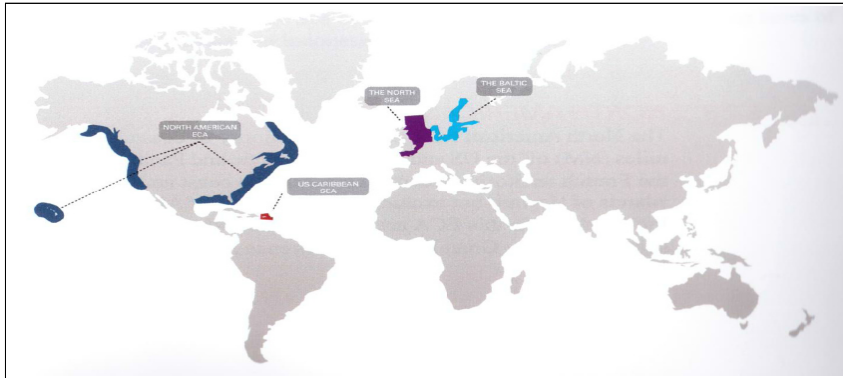
- 신청 지역에 대한 상세 기술 (신청 지역이 표기된 해도 포함)
- 규제 대상 대기오염물질의 형태 (NO_x, SO_x, PM 또는 3가지 모두)
- 선박 배출 대기오염물질로 영향을 받는 인구와 환경 지역에 대한 기술
- 선박 배출 대기오염물질이 신청 지역의 대기오염 주변 농도와 부정적 환경 영향에 대한 평가 (보건과 환경에 대한 배출 물질의 영향 포함)
- 신청 지역의 기상에 관한 정보 (풍향 패턴, 지형학·지리학·해양학·형태학 조건)
- 신청 지역의 해상 교통 상황 (교통량 패턴과 교통 혼잡도 포함)
- 육상에서 대기오염물질을 다루기 위해서 취하는 규제 수단에 대한 기술
- 육상 규제 대비 선박 배출 대기오염물질을 줄이기 위한 상대적 비용과 국제 무역에 종사하는 해운업에 미치는 경제적 영향

3) 지정 현황

2016년 6월 기준 전 세계에서 공식적으로 ECA로 지정된 곳은 총 4개 해역이 있다. 최초의 ECA 지정은 북해와 발트해 지역이었고, 이후 북미 동·서안과 카리브해 지역이 추가로 지정되었다. 향후 추가적으로 ECA 지정이 고려되고 있는 후보 지역들에는 노르웨이, 일본, 홍콩, 지중해, 동해, 호주 연안, 한국 연안, 중국 연안, 싱가포르·말레이시아·인도네시아 항로 주변 등이 포함된다.¹⁸⁾

18) Fathom, 『Operating in Emission Control Areas: The Guide』, 2015, p17

〈그림 2-2〉 전 세계 ECA 지정 현황

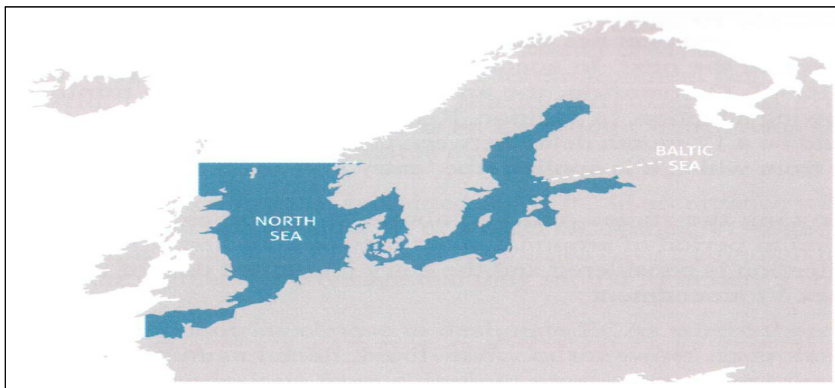


자료: Fathom, 『Operating in Emission Control Areas: The Guide』, 2015

가. 북해 및 발트해 지역

북해 및 발트해 ECA는 최초로 지정된 ECA이며 북해와 발트해 전 해역을 포함하고 있다. 특히 북해에는 영국 해협(English Channel)도 포함되어 있다.

〈그림 2-3〉 북해 및 발트해 ECA

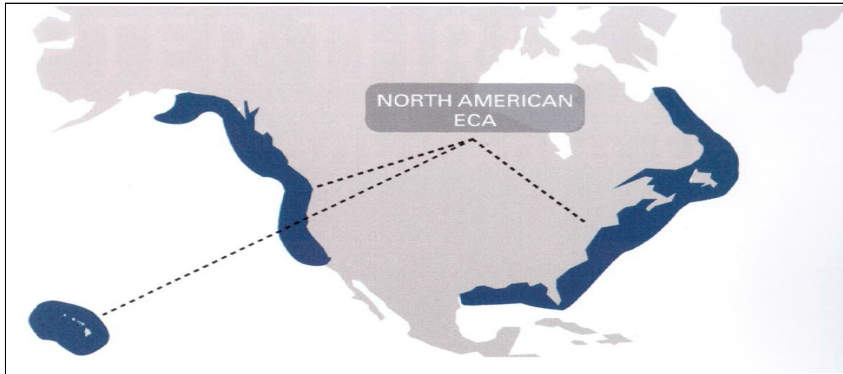


자료: Fathom, 『Operating in Emission Control Areas: The Guide』, 2015

나. 북미 지역

북미지역 ECA는 미국과 캐나다의 대서양 및 태평양 연안(200해리)이 포함되며 미국 하와이, 멕시코만 연안, 프랑스령 대서양 연안¹⁹⁾도 포함하고 있다.

〈그림 2-4〉 북미지역 ECA



자료: Fathom, 『Operating in Emission Control Areas: The Guide』, 2015

다. 카리브해 지역

카리브해 지역 ECA는 IMO MEPC 회의를 통해 2011년 7월 15일에 지정이 되었으며 2014년 1월부터 시행되었다. ECA로 지정된 해역을 보면 미국령 푸에르토리코와 버진아일랜드 주변 해역이며 직선기선 기준 약 50해리가 포함되었다.

〈그림 2-5〉 카리브해지역 ECA



자료: Fathom, 『Operating in Emission Control Areas: The Guide』, 2015

19) 생피에르앤드미켈롱 섬(island territories of Saint-Pierre and Miquelon)

제2절 해외 주요국 관리체계 현황

1. 미국

1) 관련 법제도

2015년 8월에 미국 오바마 대통령이 발표한 청정전력계획(CPP, Clean Power Plan, 이하 CPP)은 미국 역사상 가장 강력한 온실가스 배출량 감축 조치로 평가 받고 있다.²⁰⁾ 2009년 12월 코펜하겐에서 열린 UN 기후변화 정상회의에서 오바마 대통령은 온실가스 배출을 2005년을 기준으로 2020년까지 17%, 2050년까지 83% 감축하겠다는 목표를 선언하였으나, 자국 내 입법과정에서 의회와 재계의 반대로 인해 무산된 적이 있다. 그 뒤 오바마 대통령은 의회의 승인을 받을 필요가 없는 행정명령 형식으로 2013년 6월 기후변화 행동 대응계획을 발표하였고, 미국 환경보호청(EPA, Environmental Protection Agency, 이하 EPA)은 이를 뒷받침하기 위한 방안으로 CPP를 제안한 것이다. 미국은 각 주마다 대기 관리에 관한 개별적인 환경관련 법을 가지고 있으나 연방 차원에서 통합적으로 관리되어야 할 필요성이 제기됨에 따라 CPP가 마련되었다.²¹⁾

즉 CPP는 한 도시에서 발생하는 대기오염물질이 해당 지역 밖의 근처 다른 도시에도 영향을 미치는 등 대기오염 문제가 개별적으로 해결되는 것이 아니라 국가 차원의 규제가 필요하다는 것을 인식하고, 연방정부에서 통합적으로 해결하려는 노력을 기울이기 시작한 것이다. CPP는 각각의 주정부 차원의 대기환경 정책들을 대체하는 것이 아니라, 주정부가 수립한 대기환경 정책만으로 해결되지 않는 대기오염 문제들에 대해 주정부 정책들을 보완하는 역할을 한다.

EPA에서는 1973년 연방대기질기준(National Ambient Air Quality Standards, 이하 NAAQS)을 제정하였는데, 이 기준은 인체위해성을 근거로 하는 공중보건

20) CPP는 1963년에 제정된 청정대기법(Clean Air Act)에 근거하고 있으며, CPP에 따르면 미국의 온실가스 배출량 감축 목표는 2030년까지 2005년 대비 미국 내 발전소의 탄소 배출량 감축 목표는 32%(당초 30%)까지, 풍력이나 태양광 등과 같은 재생가능 에너지 비중은 28%(당초 22%)까지 대폭 상향 조정했다.

21) CPP는 대기오염 분야에 처음 적용되는 연방 차원의 규제라고 할 수 있다.

에 대한 1차 기준과 환경 영향을 근거로 하는 공공복지에 대한 2차 기준으로 나뉘어 있다.²²⁾

청정대기법에서는 일산화탄소, 납, 이산화질소, 오존, 미세먼지(PM_{2.5}, PM₁₀), 이산화황 등 여섯 가지 대기오염물질에 대해 NAAQS를 정하고 있으며, 정해진 기간 안에 각각의 주가 해당 기준을 달성하도록 요구하였다. 그러나 각각의 오염원에 대한 배출 기준은 청정대기법에 의해 정해져있지 않으며, 이는 NAAQS를 달성하기 위해 각각의 주정부가 정해서 시행해야 한다.

NAAQS를 달성하지 못한 각 주정부들은 해결 방안을 모색한 이행계획을 제출하여 EPA의 승인을 받아야 하며, 이때 이행계획에는 배출량 인벤토리, 대기질 모델링, 대기질 기준을 만족시키기 위한 배출량 저감 계획 등을 수립해야 한다. 이행계획이 NAAQS를 달성하기에 충분치 않다고 판단될 경우에 EPA는 그 주정부를 대신하여 주 이행계획을 수립할 수 있다. 주 이행계획은 청정대기법에 근거하여 수립되기 때문에 오염원이 이행계획에 명시된 규정을 위반할 경우에는 EPA와 해당 주정부 모두 그 오염원에 대해 법적인 조치를 취할 수 있다.

이와 같이 미국의 대기오염 관리법인 청정대기법은 NAAQS 기준 미달 지역의 대기오염 수준을 최대한 단시간에 개선하여 달성 지역으로 끌어내고, 향후 대기질 기준을 초과할 가능성이 있는 지역 또한 적절한 대책을 미리 수립함으로써 미래의 대기질 악화를 선제적으로 방지하는 것에 큰 목적을 두고 있다.

2) 주요 정책

MARPOL 부속서 VI에서 규정하고 있는 ECA는 선박에서 발생하는 NO_x, SO_x, PM 등의 유해물질 배출을 방지, 감소 및 통제하기 위하여 인근 당사국으로부터 IMO에 통보된 해역(지역)을 의미한다.

현재까지 IMO에 통보된 미국 관할의 ECA는 북미 동·서안 200해리 해역 및 미국령의 카리브 해역²³⁾이다. 가장 최근에 지정된 카리브 해역은 Res.MEPC.

²²⁾ 미국 EPA 홈페이지(<https://www.epa.gov>) 참조

²³⁾ In the region of Puerto Rico and US Virgin Islands

202(62)에 따라 2014년 1월 1일부터 발효되었다.

MARPOL 부속서 VI의 14.4규칙에 의거하여, 미국 ECA로 운항하는 선박들에게 적용되는 황 함유량 허용치가 0.1% m/m 이하로 요건이 강화되었으며 해당 선박은 아래와 같은 문서와 절차를 수행해야 한다.

첫째, 연료유 공급서(Bunker Delivery Note)에는 다음의 정보가 포함되어 있어야 하며, 3년 동안 본선에 보관되어야 한다.

- 선명과 IMO 번호
- 급유 항만
- 연료유 공급일자
- 연료유 공급자의 성명, 주소, 전화번호
- 연료유 제품명
- 연료유 톤 기준 양(metric ton)
- 연료유 15℃ 기준 밀도(Kg/m³)
- 황 함유량(% m/m)

둘째, 연료유 공급서는 인도되는 연료유의 대표 샘플과 함께 제공되어야 하며, 연료유 공급자의 대리인과 연료유 공급 작업을 완료 시 책임사관이나 선장에 의해 밀봉이 되고 서명이 되어야 한다. 또한 그 해당 연료유가 다 소모될 때까지 본선에 보관되어야 하며, 어떤 경우든 공급 후 12개월 이상 보관되어야 한다.

셋째, 연료유 전환 절차서로 황산화물 배출규제해역에 들어가거나 떠나는 선박들은 배출규제해역에 들어가기 전 1.0% m/m를 초과하는 연료유를 완전히 씻어낼 수 있도록 충분한 시간을 허용하는 연료 교환이 수행되었다는 것을 증명하는 문서화된 절차가 수립되어야 한다.

넷째, 항해일지(log book) 기재사항으로 황산화물 배출규제해역에 들어가기 전 완료된 연료유 전환 작업, 또는 그러한 해역으로부터 나온 후 개시된 연료유 전환 작업이 실행된 선박의 위치, 날짜, 시간뿐만 아니라 각 탱크의 저유황 연료유 용량을 기재하여야 한다.

다섯째, 황산화물 배기가스 세정장치(scrubber)가 설치된 경우, 승인된 작동 설명서(operational manual)를 비치하여야 한다.

또한 MARPOL Annex VI에 따라 북미 ECA²⁴⁾는 2012년 8월 1일부터 해당 규정을 준수하고 있다. 북미 ECA 내 동 규정 적용 대상 선박으로는 ‘공선’(public vessels)²⁵⁾을 제외한, 북미 ECA를 운항하는 모든 선박에 적용된다.

만약 선주나 운항자가 북미 ECA 내 연료유 황 함유량 규정을 준수하기 위해 최선의 노력을 다했음에도 불구하고 규정에 적합한 연료유를 구매하지 못한 경우, 미국 정부는 모든 관련 상황 및 규정 준수를 위해 취한 선주와 운항자의 행위를 고려하여 위법 여부를 결정하게 된다. 모든 노력에도 불구하고 선박이 규정에 적합한 연료유를 구매할 수 없을 시 북미 ECA에 들어오기 전 미국 항만 당국 및 선박의 기국 주관청에 해당 사실을 보고 해야 한다.²⁶⁾

또한 업무 지연 방지를 위해, 선주 및 운항자는 해당 선박이 북미 ECA의 연료유 황 함유량 제한 규정을 준수하지 못할 것으로 판단되면 즉시 ‘적합연료유 사용불능 보고서’(Fuel oil non-availability report)를 작성해 미국 EPA에 제출해야 한다. 단, 해당 보고서는 북미 ECA에 들어오기 최소 96시간 전 제출이 되어야 한다.

‘적합연료유 사용불능 보고서’에는 다음과 같은 내용이 포함되어야 한다.

- 선명, 기국명, IMO 번호 또는 선급 번호
- 북미 배출규제해역에 들어가기 전 계획된 항해계획(voyage plan)의 사본, 미국 첫 번째 입항예정 항구명, 도착 항구명
- 북미 배출규제해역 내 항해 시행을 인지한 시간 및 당시 선박의 위치
- 선주/운항자가 예상하는 북미 배출규제해역에 들어가는 시간, 떠나는 시간, 예상 작업 일수 및 선박의 주추진 기관 사용 예정 시간
- 북미 배출규제해역에 들어가 운항 시 사용될 연료유의 황 함유량
- 북미 배출규제해역에 들어가기 전 관련 규정 준수를 위해 취한 조치 사항 상세 및 규정에 맞는 대체 연료유를 수급하기 위해 취한 조치 사항 상세
- 연료유 공급자의 회사명, 주소, 연락을 취한 날짜 및 시간

²⁴⁾ Res.MEPC.190(60)에 명시된 지역 또는 MARPOL 부속서 6/부록 7에 명시된 지역

²⁵⁾ 40 C.F.R. 1043.20에 정의된 군함, 군대 수송선 및 국가 소속의 비상업용 선박

²⁶⁾ MARPOL Annex VI Reg.18.2, 40 C.F.R. 1043.100(a)(1)

- 규정에 맞는 연료유 수급을 하지 못한 경우, 선박이 규정에 맞는 연료유 수급을 계획한 항구명 및 연료유 공급자 회사명
- 탑재된 엔진 스펙에 따른 사용 연료유의 제약(해당사항이 있는 경우), 점도 또는 다른 매개 변수, 운항상 제약을 해결하기 위해 취한 조치 상세
- 미국 기항 첫 번째 항구에서 규정에 맞는 연료유 수급 가능성(유효성) 및 그러한 연료유를 수급받기 위한 선주/운항자의 계획
- 만약 미국 기항 첫 번째 항구에서 규정에 맞는 연료유를 수급할 수 없는 경우, 최소 황 함유량을 포함하는 연료유 상세 정보 또는 미국 차기 항구에서 이용 가능한 최소 황 함유량 연료유 상세 정보
- 해당 선박이 12개월 이내 북아메리카 배출규제해역을 운항 한 적이 있다면, 미국에서 기항한 모든 항구명 및 기항 날짜, 규정에 맞는 연료유 사용 여부(해당사항이 있는 경우)
- 해당 선박이 12개월 이내 ‘적합연료유 사용불능 보고서’를 미 당국에 제출한 적이 있다면, 이전에 제출한 보고서 횟수 및 규정에 맞지 않는 연료유 사용 시 기항한 항구명 및 일자(해당사항이 있는 경우)
- 선장, 선주, 운항자, 미국내 법정 대리점(인), 관련 모회사, 및 관련 규정 위반에 관한 추가 질의/회신이 가능한 지정된 대표 연락처를 포함한 모든 관련 연락처
- 미국 정부는 제출된 ‘적합연료유 사용불능 보고서’에 아래 내용에 관한 회사 측 확인 및 회사 대표자의 사인이 있는 경우에 한해 보고서의 유효성을 인정함

이를 근거로 미국 정부는 제출된 ‘적합연료유 사용불능 보고서’에 포함된 내용을 선주나 운항자가 해당 규정 준수를 위해 취한 노력의 일부로 고려하게 되는 것이다.

선주 및 운항자는 계획된 항구에서 규정에 적합한 연료유 수급이 어려워도 적합한 연료유를 수급을 위해 지속적인 노력을 해야 하며, 미국 정부는 이러한 문제를 구매 절차 및 거래처 조절을 통해 사전에 예방할 수 있을 것으로 생각

한다. 그러나 해당 규정을 준수하기 위해 기존 항해 계획 변경 및 연기, 접안 항구 및 정박지 변경이 요구되지는 않는다.²⁷⁾

규정 준수를 위해 요구되는 다른 추가 조치로는 일단 선주 및 운항자가 북미 ECA에 들어가면 MARPOL Annex VI 연료유 관련 규정 위반을 피하기 위해 해당 해역에 들어가기 전 규정에 맞는 연료유 구매 수급을 완료해야 하며 선박이 북미 ECA에서 해당 항차를 완료할 수 있게 충분한 양의 저유황유를 사전에 구매해야 한다.

또한, 단기간 내에 북미 ECA로 다시 들어올 것으로 예상되는 선박이 ECA로 들어오기 전 규정에 적합한 연료유 수급이 불가능 할 경우, 미국 정부는 사전에 선박이 북미 ECA에서 해당 항차를 마칠 수 있게 충분한 양의 저유황유를 수급할 것을 권고한다. 만약 선박이 충분한 연료유를 수급하지 못해 규정을 준수하지 못할 경우, 추후 북미 배출규제해역 운항 시 불이익 요소가 될 수 있다.

미국 정부는 추가 문서와 선주 및 운항자로부터 ‘적합연료유 사용불능 보고서’를 입증할 자료를 요구할 수 있으며 해당 선박이 항구 내에 있는 동안 광범위한 검사 또는 조사를 시행할 수도 있다.

2. EU

1) 관련 법제도

비영리단체인 HEAL(Health and Environment Alliance)의 보고서에 따르면 EU 내의 석탄 화력에 의한 발전은 전력 소비량의 4분의 1을 차지하고 있으며 초미세먼지와 이산화유황, 질소산화물 등의 유해물질을 대량으로 배출하면서 매년 석탄 화력발전으로 인한 대기오염으로 사망하는 사람의 수는 평균 1만 8천 200여 명, 피해액은 연간 약 428억 유로에 달하는 것으로 전망하고 있다.²⁸⁾

이에 EU는 온실가스 감축, 저탄소경제 실현, 재생에너지 개발 등 기후변화 방지를 위한 정책 개발 등 여러 부분에서 환경보전을 위한 조치를 통해 대기질

²⁷⁾ MARPOL Annex VI Reg.18.2.2, 40 C.F.R. 1043.100

²⁸⁾ HEAL(Health and Environment Alliance), 「The unpaid health bill」, 2013. 3, p.5.

을 향상시키려는 노력을 해왔으며, 여러 환경 법규 제정을 통해 대기오염물질을 줄이는 데 가시적인 효과를 거두었다. 또한 EU는 대기오염물질에 관한 정보를 수집하고 정보를 제공하기 위해 PASODOBLE 프로젝트를 통해 ‘Myair’라는 대기오염 정보 시스템을 개발하기도 했다.²⁹⁾

EU는 2020년까지 국제 해운업계의 이산화탄소 배출량 목표를 2005년 대비 20% 삭감으로 정하여 이산화탄소 배출량 상한을 정하자고 제안했다. 또한 에너지 효율을 개선한 선박에 경제적인 인센티브를 주면서 배출 목표를 초과한 경우 다른 지역에서 배출권 획득이 가능하도록 하는 제도를 제안하는 등 환경 문제에 있어서 적극적인 행보를 보여 왔다. 또한 EU의 입법기관인 유럽의회(European Parliament)와 최고 의사결정기관인 유럽이사회(Council of the European Union)는 국제 해운업계의 이산화탄소 배출량 삭감 목표를 포함한 IMO와 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 2009년 4월 합의가 2011년 말까지 이루어지지 않을 경우, EU의 배출량 삭감 목표에 따라야 한다고 결의하기도 했다.

EU는 각 회원국의 입법화 과정을 통해 환경 관리 기준을 정하고 집행하는데, 이러한 과정은 EU의 환경정책 개발을 위한 기능을 수행하고 있는 환경실천 프로그램(EAP: Environment Action Programme)에 의해 시행되고 있다. EU는 EAP를 통해 EU의 환경기준을 통합적으로 수립하고 각 회원국과 입법화과정을 거쳐 최종적으로 그 목표치를 달성하는 데 목적을 두고 있다.

1973년부터 1977년까지 5년 동안 진행된 제1차 EAP 이래로 4차 EAP까지는 5년간의 프로그램으로 시행되었다. 제5차 EAP(1992~2000)는 ‘지속가능성’(Sustainability)의 주제를 갖고 대기질 기준 확립에 집중하였으며, 제6차 EAP(2002.7.~2012.7.)에서는 대기오염 정책의 효율성과 집중도를 높이기 위한 전략을 시행할 것을 요구하였다. 각 주제전략은 EU 집행위원회(European

29) EU가 투자하는 PASODOBLE 프로젝트는 유럽 전역을 대상으로 하는 ‘Myair’라는 대기오염 정보 시스템을 개발하였다. 해당 시스템은 공기질에 관한 데이터를 환경관련 기관, 의료기관 뿐만 아니라 일반 대중에게도 제공해주는 시스템이다. PASODOBLE의 “Myair” 시스템은 대기오염 관련 정보를 헬스케어 전문가와 호흡기 질환을 연구하는 연구자 및 과학자, 대기오염을 모니터링하는 환경관련 기관, 대기질 예보를 하는 지방정부의 공무원, 관광 및 스포츠와 관련된 조직 등에 전달된다

Commission)가 규정을 제정하는 데 있어 고려하는 핵심요소로서, 서로 다른 정책 선택에 따른 경제적, 사회적, 환경적 영향을 평가하고, 이해당사자들의 의견을 충분히 수렴하여, 기존의 규제 틀을 최대한 간소화하는 데 중점을 두고 있다. 이 일곱 가지 주제전략 중 하나가 대기오염이다.³⁰⁾

2005년 9월 EU 집행위원회는 대기오염에 대한 주제전략을 채택하였는데, EU의 대기오염에 대한 잠정 목표를 설정하고 이 목표를 달성하기 위한 적절한 조치를 제시하였다. 기존에 준수하고 있는 현행 법규를 현재의 실정에 맞추어 개정하고 심각한 오염물질을 파악하여 수정, 다른 프로그램이나 정책에 환경 문제에 대한 고려를 연관시키는 등의 내용이 포함되어 있다.

회원국, 산업계, 환경단체 등의 의견이 다양하게 반영된 대기오염 주제전략에서는 2020년까지 달성할 장기적 대기환경 목표에 따라 주요 오염물질에 대한 배출량 감축 목표를 설정하였다. 설정된 목표에 따르면 2020년까지 현재 기술적으로 가능한 수준으로부터 PM_{2.5} 농도는 75%, 지표면 오존 농도는 60% 감축이 필요하며, 2000년 대비 SO₂ 배출량은 82%, NO_x 배출량은 60%, VOC 배출량은 51%, 암모니아 배출량은 27%, 1차 PM_{2.5} 배출량은 59%를 감축해야 하는 것으로 나타났다.³¹⁾

2) 주요 정책

EU는 EU 항구의 경우 ‘정박 시’ 선박에서 사용하는 연료유의 황 함량에 대한 새로운 허용치를 도입하여 개정안을 발표했으며, 이에 Directive 2055/33/EC가 2010년 1월 1일에 발효 되었다. EU는 MARPOL 부속서 VI에 2008년 개정으로 확립된 유황 제한 지침을 반영하기 위해 2055/33/EC에 Directive 2012/33/EC를 작성하여 개정안을 채택했다.

Directive 2012/33/EC와 MARPOL Convention 부속서 VI에 따르면 2015년 ECA지역의 황산화물 배출농도가 2014년 12월 31일까지는 1% m/m로 지정되었고 2015년 1월 1일부터는 0.1% m/m로 강화됐다. 동 규정에 따르면 EU 항내 정

30) 수도권대기환경청, “수도권 대기환경관리 중장기 정책방향 설정”, 2012. 9. pp. 71-72.

31) 수도권대기환경청, “수도권 대기환경관리 중장기 정책방향 설정”, 2012. 9. p.72.

박 시 및 내륙수로 전용선박에 사용되는 모든 연료유는 황 함량 0.1% m/m 이하여야 하며 연료 교환 시각의 로그북 기록, 연료유 샘플에 대한 서명과 보관이 있어야 한다. 또한 정박은 묘박, on buoys 및 하역작업에 관계없이 접안하고 있는 상태를 포함하며, 연료유는 모든 형식의 연료유로써 기관 및 보일러 등에서 사용하는 연료유까지를 포함한다.

동 규정은 선박의 운항 중, 선박의 안전 및 구명 목적으로 사용되는 선박의 연료유, 정박시간이 2시간 미만이거나 정박 시 모든 선내 엔진을 정지하고 육상 전원을 사용하는 경우 등은 예외로 하고 있다. 이 외에 또 다른 중요한 사항으로는 ECA 외부의 SOx 및 부유성 미립자 배출 제한 기준을 2020년 1월 1일 이후부터 0.5% m/m 이하로 도입한다는 것이다. 이는 2018년 완료 예정인 IMO의 연료유 적합성에 대한 검토 결과에 따라 2025년 1월 1일로 도입 시기가 연기될 수도 있다.

2018년 1월 1일부터 EU 항만에 입출항하는 5,000GT 이상의 모든 선박의 이산화탄소 배출량 및 운항 데이터에 대한 모니터링, 검증, 보고(MRV) 강제화를 위한 EU MRV 법안도 2015년 7월 발효되었다.

이는 EU 회원국 항만에 입출항하는 선박의 이산화탄소 배출 모니터링, 보고 및 검증을 위한 규정을 정하기 위함으로 EU 회원국 항만에 입출항하는 군함, 어선, 목선, 비자향선 및 비상업적인 목적의 관공선을 제외한 총톤수 5,000톤을 초과하는 모든 선박이 그 대상이 된다.

법안에 따르면 완전성, 일관성, 정확성, 합리성에 따라 해당 선박의 이산화탄소 배출량 측정 방법은 부속서 I, 다른 관련 정보는 부속서 II에 언급된 방법으로 파악하여 모니터링을 해야 한다.

또한 EU 회원국은 기국 선박 및 해당 항만에 입출항 선박에 대하여 동 규정 준수 여부를 검사하여야 한다. 동 규정을 어길 경우, EU 회원국 자체적으로 벌칙을 제정한다. 연속적으로 보고 기간 2회 이상, 동 규정 의무를 지키지 않을 경우, 해당 선박은 EU 회원국 항만에 입항 거부의 불이익까지 당할 수 있다. 위원회(EC)는 매년 6월30일까지, 법안 제11조 배출량 보고서 내용에 따라 보고된 이산화탄소량 및 아래 정보를 공개한다.

- 선명, IMO 번호 및 선적항
- 선박의 에너지효율³²⁾
- 연간 이산화탄소 배출량
- 동 규정이 적용된 항차에서 사용된 연간 총 연료사용량
- 동 규정이 적용된 항차의 운항거리 당, 연간 평균 연료사용량 및 이산화탄소 배출량
- 동 규정이 적용된 항차에서 운송된 화물 및 운항거리 당, 연간 평균 연료사용량 및 이산화탄소 배출량
- 동 규정이 적용된 항차의 연간 총 운항시간
- 적용된 모니터링 방법
- 적합확인서 발행일 및 만료일
- 배출량 보고서를 평가한 검증자 상세
- 제10조에 따라 자발적으로 모니터링 및 보고된 기타 다른 정보들

해당 규정 시행에 대해 IMO와 관련 기관에 보고하고 지속적으로 제3국과 해당 건에 대한 의견 교환을 할 것이다. 추후 국제적으로 MRV 체계가 정립되는 경우, 필요하다면 동 규정과 통일성을 유지하기 위하여 개정을 검토할 예정이다.

3. 중국

1) 중국의 대기질 현황과 국가차원의 대기관리계획 출현 배경

가. 중국의 대기질 현황³³⁾

중국은 여전히 석탄을 주요 에너지원으로 사용하고 있고, 자동차 배기가스

³²⁾ 예를 들어 에너지효율설계지수(ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX: EEDI), 효율지수가치(Efficient Indicator Values: EIV) 등이 있다.

³³⁾ 심창섭 외, 「동북아 지역의 대기관리를 위한 국제협력 기획연구」, 한국환경정책·평가연구원, 2013. 참조.

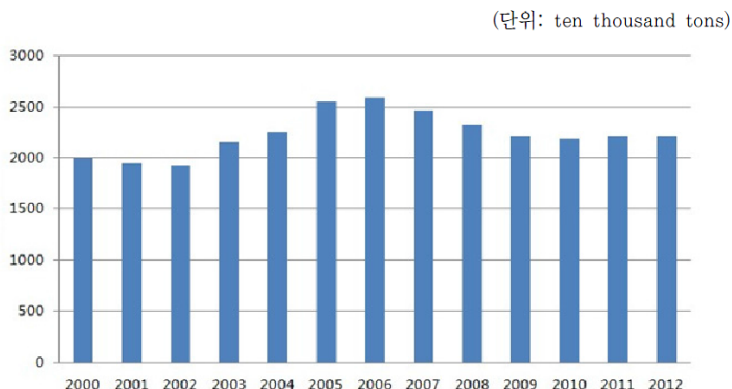
문제가 매년 심각해지고 있다. 이로 인한 NO_x, SO_x 배출량도 세계에서 가장 높은 수준을 나타내고 있다. 특히 도시의 경우 자동차로 인한 자동차 매연이 매우 심각하여 SO₂의 기준치를 계속 넘어서고 있다. 미세먼지와 NO_x도 매우 심각한 상태이다. 또한 주장 삼각주 지역의 스모그 현상도 매우 심각해지고 있다.

〈그림 2-6〉 중국 징진지, 장강 삼각주, 주장 삼각주 위치



다음 그림은 2000~2012년 기간 중국의 SO₂ 배출 현상이다. 2000~2005년까지 지속적인 증가를 나타내다가 2006년부터 소폭으로 감소경향을 나타내기 시작하였는데, 이는 제11차 5개년 계획기간동안(2005~2010년) 배출총량규제를 시행하였기 때문으로 판단된다.

2011년 기준 SO₂ 배출량을 부문별로 나누어보면 산업부문에서 1900만 톤이 배출되어 총배출량의 90.3%를 차지하며 가장 중요한 배출원으로 나타났다.

〈그림 2-7〉 중국 2000~2012년 기간 동안 SO₂ 배출추이

나. 국가차원의 대기관리계획 출현 배경

중국의 대기 환경은 급속히 악화되고 있는데, 그 주된 원인을 그간의 빠른 경제성장으로 인한 화석 에너지 연료 의존도 상승과 자동차의 증가에 따른 것으로 보고되고 있다³⁴⁾.

중국의 대기오염 분포를 지역적으로 분석하면, 중국 서부지역은 감소하고 동부지역은 증가하는 추세에 있고, 주장 삼각주(珠三角) 지역과 장강 삼각주(长三角) 지역은 스모그 출현일수가 빠른 속도로 증가하는 추세인 것으로 보고되고 있다. 이는 중국의 대기오염이 우리나라에 더 많은 영향을 미치는 구조로 전개되고 있다는 점을 시사한다.³⁵⁾

그리고 중국은 대기오염으로 인해 건강영향이 심각한 것으로 보고되고 있다. 실제로 중국 대다수 도시의 연평균 초미세먼지 농도는 세계보건기구 권고치를 크게 웃돌고 있다. 이러한 이유로 중국인들도 대기오염을 심각한 사회문제로 받아들이고 있다.³⁶⁾

34) 강택구 외, 『한중 대기오염 저감 관리 비교와 협력방안』, 대외경제정책연구원, 2013.

35) 김지선, “최신 중국 동향”. 『한중 Zine INChinaBrief』 vol.121, 인천발전연구원, 2013. ; 이상윤 외, 『월경성 대기오염물질 관리를 위한 단계별 대응방안 연구』, 한국환경정책평가연구원, 2015.에서 재인용.

36) 『중국청년보』(中國青年報)가 중국 31개 성과 시의 주민 6,913명을 대상으로 2013년에 수행한

대기오염으로 인한 건강문제에 대한 중국인의 우려는 중국정부로 하여금 강력한 대기질 관리대책을 수립할 수 있는 근거를 제공해 주었다. 따라서 국가단위의 대기오염방지 행동계획을 수립하였고, 상기 계획을 달성하는 방안으로 지자체는 구체적인 대기질 개선을 위한 행동계획을 수립하였다.

대기오염 문제를 개선하기 위해 중국의 신지도부는 출범 3개월 만에 산업구조조정, 낙후생산시설 폐쇄, 관련법령정비 및 지역방어대책 완비 등 10가지 조치를 마련했다.³⁷⁾ 구체적으로 중국 정부는 2013년 6월에는 「중화인민공화국 환경보호세법」을 제정해 최초로 소위 탄소세로 알려진 이산화탄소 배출세를 포함시켰다. 이와 함께 중국 환경보호부는 2013년 8월에 자국 기업인 중국석유공사(CNPC)와 중국석유화학공사(Sinopec)가 오염감축목표를 달성하지 못하자 신규 프로젝트 승인을 보류하고 설비 보수·확장 공사도 중단시키는 등 대기오염 관리를 위한 강력한 의지를 표명하였다.³⁸⁾

2) 중국의 대기관리 분야 주요법률과 계획

가. 대기오염방지법

중국의 대기오염방지법은 2000년에 마지막으로 개정되었고, 이는 대기오염 개선 노력을 가능하게 하는 법으로 중국의 최초 대기오염방지제도로서 중요한 의미를 갖는다. 대기오염방지법에는 대기오염물질 총량제어 및 배출허가제도, 오염물질 배출기준 관리 제도, 배출물질 오염자 부담 제도가 있다.³⁹⁾

설문조사에서, 응답자의 91.5%가 대기오염이 본인의 생활에 영향을 미친다고 대답했음. 함동익, 한동익. “21세기 중국의 과업, 대기오염”. 『중인 세계경제』 12월호. <http://goo.gl/zBHk2v>, 2015.5.8. ; 이상운 외, 『월경성 대기오염물질 관리를 위한 단계별 대응방안 연구』, 한국환경정책평가연구원, 2015.에서 재인용.

37) 바오샤오첸(鮑曉倩), 선후이(沈慧). “중국, 대기오염방지 총력전 돌입”. 『중국』 vol.12, 아주경제·인민화보사. 2013. ; 이상운 외, 『월경성 대기오염물질 관리를 위한 단계별 대응방안 연구』, 한국환경정책평가연구원, 2015.에서 재인용.

38) 한동익, “21세기 중국의 과업, 대기오염”, 『“click” 경제교육』, KDI, 2013. 12월. ; 이상운 외, 『월경성 대기오염물질 관리를 위한 단계별 대응방안 연구』, 한국환경정책평가연구원, 2015.에서 재인용.

39) 심창섭, 『동북아 지역의 대기관리를 위한 국제협력 기획 연구』, 2013.

나. 대기오염방지 행동계획(2013~2017년)

중국 국무원이 지난 2013년 9월에 발표한 ‘2013~2017년 대기오염방지 행동 계획’은 2017년까지 전국 지(地)급 이상 도시⁴⁰⁾는 PM₁₀ 농도를 2012년 대비 10% 이상 감축하여 대기질이 양호한 일수를 점진적으로 제고한다는 방침을 나타낸 것이다.

지방정부 차원에서도 ‘대기오염방지 행동계획’에 따라 주요도시별 (북경-천진-하북(징진지)⁴¹⁾, 북경, 천진, 상해) 실행계획을 속속 발표했다. ’13.9.18 환경보호부와 북경, 천진, 하북, 산서, 산둥, 내몽고 등 6개 지방정부는 ‘대기오염방지 목표책임 서약서’에 공동 서명했다.

〈표 2-2〉 대기오염방지 행동계획 주요 목표

구분	대상	목표	비고
PM ₁₀	전국 지(地)급 이상 도시	2012년 대비 10% 이상 감축	2012년 말 기준 285개 도시
PM _{2.5}	징진지(북경, 천진, 하북)	2012년 대비 25% 이상 감축	• 동부지역 연평균 PM_{2.5} 농도는 60~90ug/m³ 수준(WTO 기준치는 25ug/m³) • 북경은 연평균 PM_{2.5} 농도는 60/m³ 수준으로 억제(2010년 북경의 PM_{2.5} 농도는 70~80ug/m³) 수준)
	장강(長江) 삼각주	2012년 대비 20% 이상 감축	
	주강(珠江) 삼각주	2012년 대비 15% 이상 감축	

자료: 중국 환경부 보도자료(2013.12.30.)를 참고하여 작성. ; 이상윤 외, 『월경성 대기오염물질 관리를 위한 단계별 대응방안 연구』, 한국환경정책평가연구원, 2015.에서 재인용.

중국 정부는 2017년까지 대기질 개선을 위해 1조 7,000억 위안(약 300조 원)의 예산을 투입할 계획이라고 발표했다.⁴²⁾ 특히 재정부(경제건설국)는 2013년

40) 지(地)급은 현(縣)급과 성(省)급 중간에 위치한 행정단위(2012년 말 기준 333개)로 지급시, 자치주, 지구(地區), 맹(盟)으로 구분되는데, 2012년 말 현재 지급시는 285개임

41) 징진지(북경, 천진, 하북) 및 인근지역(산서, 내몽고, 산둥)은 중국에서 대기오염이 가장 심각한 지역임. 환경보호부가 2013.10.22일 발표한 자료에 따르면, 2013년 3분기 전국 74개 주요 도시들의 대기질 기준 미달 일수[공기질량지수: AQI 2급(51-100) 이상]는 31.1%이고, 징진지 지역 소재 13개 도시의 대기질 기준 미달일수는 62.5%로 평균의 2배를 상회하여 오염정도가 매우 심각한 것으로 나타남.

42) 2013.7월 저우성젠 환경보호부 대변인 발표.

연말까지 징진지 및 인근지역 6개 성(시)에 중앙재정 50억 위안(약 8,700억 원)을 투입했다. 이중 20억 위안은 오염정도가 가장 극심함에도 경제발전 낙후로 예산투입이 어려운 하북성에 집중되었다.

중점시책에는 에너지, 공업, 교통, 건설, 농업, 생활 분야 등이 망라되었다. 오염배출원 관리 강화를 위해 석탄연소 소형보일러 퇴출, 중점업종 오염 정비, 건설현장 등 비점오염원 관리가 강화되었다. 도시교통관리 강화를 위해 공공교통수단 확충, 도시 자동차 보유량 통제 및 자동차 환경관리 강화, 유류제품 품질 향상, 오염심각 차량(黃標車)의 퇴출 가속화, 신에너지 자동차 보급 등이 주요시책으로 발표되었다. 산업구조 고도화를 위해 산업 및 환경 진입기준 강화, 낙후산업 퇴출이 가속화된다. 에너지 소비구조 개선을 위해 석탄소비총량 통제 및 청정에너지 대체 등이 추진된다. 예정보 체계 구축 및 성과 평가를 위해 예정보, 비상대응체계, 책임평가제 등이 추진된다.

다. 제12차 주요지역 대기환경보호 5개년 계획

제12차 주요지역 대기환경보호 5개년 계획은 19개의 성을 포함하고 있으며, 제11차 환경보호 5개년 계획에 비해 미세먼지를 포함하여 더 넓은 범위의 오염 물질을 다루고 있다.

베이징, 텐진, 허베이, 장강 삼각주 등 핵심지역 간의 협력을 통한 관리감독 체계를 구축하였고 관련 팀도 구성하였다. 또한 중대사업의 평가제도, 환경보호 공유 메커니즘을 구축함으로써 전체지역의 대기질 관리감독 능력을 제고시키고 있다.

3) 중국 핵심업계에서의 대기오염방지 대책⁴³⁾

가. 자동차 오염방지

2015년까지 2005년 이전에 등록된 황색표시차량(Yellow Nabel Cars)인 노후 자동차를 폐기하는 계획을 갖고 있으며 자동차의 환경기준을 더욱 강화하여 배

⁴³⁾ 심창섭 외, 「동북아 지역의 대기관리를 위한 국제협력 기획연구」, 한국환경정책·평가연구원, 2013. 참조.

기기준 미달 차량의 생산 및 판매, 등록을 금지 조치시키고 있다. 차량용 연료 질의 향상과 신재생에너지 사용을 권장하고 있고, 도시의 대중교통 발전을 추진하고 있다.

나. 전력부문 오염방지

중국 전력부문의 오염방지에는 배출권 거래, 탈황/탈질, 오염물질 배출 요금 부과 정책이 있다. 중국의 20개 성과 시에서는 시범적으로 배출권 거래제를 시행하고 있다. 화력발전소에 탈황요구조건 달성 시 설비당 0.015 Yuan/kwh의 탈황전기로 보조금을 지원하고 있고, 탈질의 경우 설비당 0.08 Yuan/kwh의 보조금을 지원하고 있다.

4) 중국 항만의 대기오염물 실태와 관리 필요성

가. 중국 항만의 선박 오염배출 및 대기환경 실태

최근 중국 해운항만산업은 급속히 발전하고 있다. 세계 10대 항만 중에 7개가 중국에 있다. 2014년 중국 컨테이너 화물 물동량은 2,024억 TEU에 달하고 이는 세계의 1/4를 차지한다. 중국 항만 선석(泊位)은 31,259개가 있으며, 1만 톤급 이상의 선석이 2,221개에 달한다.

그리고 중국에는 400여 개 항만이 있으며, 주장 삼각주, 장강 삼각주, 보하이만 삼각주 등 오대 항만군에서 분포하고 있다. 2014년 해운발전보고통계에 따르면, 주장 삼각주, 장강 삼각주, 보하이만 삼각주의 물동량은 전국 주요 연안 및 내하 화물물동량의 8%, 29%, 19%를 각각 차지한다. 주장 삼각주, 장강 삼각주, 보하이만 삼각주의 컨테이너 물동량은 전국의 25%, 31%, 17%를 각각 차지한다.

교통운송부가 발표한 「2015년 교통운송업 발전 통계 공보」에 따르면, 2015년 말 기준으로 중국은 16만 9,500척의 선박을 보유하고 있다. 교통운송부 해운발전보고에 따르면, 2006년에 비해 2015년의 수상 화물 물동량 및 화물 환적량은 각각 146.7%, 65.4% 증가했다. 중국에서의 해운항만산업의 발달은 항만을 포함한 항만도시의 대기환경을 급속도로 악화시켰다.

중국 각 항만에 있는 선박의 SOx, NOx, CO, PM_{2.5} 및 PM₁₀ 등 대기오염물질의 배출량은 다음 <표 2-3>과 같다.

<표 2-3> 중국 항만에서 선박의 대기오염물질 배출량

Region	Port name	Air pollutants emission (unit: 10 thousands tons/year)						base year	Reference
		SOx	NOx	CO	HC	PM _{2.5}	PM ₁₀		
PRD	Hong Kong port	1.71	0.82	/	/	/	0.10	2007	Yau et al., 2012
		1.24	1.45	0.14	/	/	0.14	2007	Ng et al., 2013
	Shenzhen port	0.16	0.67	0.07	0.01	0.02	0.02	2003	Li et al.,2011 (in Chinese)
		1.36	2.33	0.22	/	0.17	0.22	2010	Yang et al.,2015
	Guangdong Provice	14.6	23.1	3	/	0.72	0.79	2010	Ye et al.,2014 (In Chinese)
	PRD port cluster	6.29	9.16	1.05	/	/	0.23	2006	Zhang et al., 2010. (In Chinese)
YRD	Shanghai Port	5.12	5.82	/	0.46	/	/	2003	Yang et al., 2007
		3.54	5.73	0.49	0.21	0.37	0.46	2010	Fu et al.,2012 (in Chinese)
		8.16	15.18	0.71	/	1.14	1.23	2010	Fan et al., 2016
	Yangshan port	0.56	1.08	0.11	0.05	0.09	0.11	2009	Song et al., 2014
	YRD port cluster	38	71	2.9	/	5.1	5.7	2010	Fan et al., 2016
Bohai- Rim area	Tianjin port	/	0.43	0.07	0.02	/	0.02	2006	Jin et al., 2009. (In Chinese)
		6.05	7.27	0.57	0.24	0.49	0.54	2013	Song, 2015. (In Chinese)
	Tangshan port	7.97	11.22	0.87	0.36	0.70	0.76	2013	Song, 2015. (In Chinese)
	Bohai Gulf	23.09	30.58	4.79	0.99	1.97	2.15		

주장 삼각주에서는 많은 해상 네트워크와 항만이 있어 광둥성에서 가장 번영한 지역이다. 주장 삼각주 항만국에는 광저우항(广州港), 선전항(深圳港), 잔장항(湛江港), 주하이항(珠海港), 산터우항(汕头港), 차오저우항(潮汕港), 계양항(揭阳港), 산미항(汕尾港), 혜주항(惠州港), 호문항(虎门港), 중산항(中山港), 장먼항(江门港), 양장항(阳江港), 마오밍항(茂名港) 등 14개 이상의 항만이 포함되어 있다.

나. 중국 항만의 선박 오염배출 및 대기환경 실태에 관한 연구 결과

주장 삼각주 항만군의 중심지로, 선전항과 홍콩항은 선박 배출 종류에 대해 많은 연구가 수행되었다. Li et al.(2011)의 2013년 선전항의 선박 배출 종류에 대한 연구 결과를 보면, SO₂의 배출량은 1.57톤이므로 이동형 배출량의 58.62%를 차지한다. Yang et al.(2015)의 연구 결과, 2010년 선전시 선박의 SO₂, NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2.5} 및 VOCs 등 6종 오염물질의 배출량은 각각 13.6, 23.3, 2.2, 1.9, 1.7, 1.1톤이다. Yau et al. (2011)의 연구에 따르면, 2007년 홍콩 37,150척 원양선박의 NO_x, SO₂ 및 PM₁₀의 배출량은 각각 1.71, 8.19, 1.04톤이다. 운송 중에 선박 배출은 이와 같은 3가지 오염물질의 60~68%를 차지한다.

배출량 공간 분포의 관점에서 동박료해협(东博寮海峡)에 있는 항로 및 쿠이충(葵涌)과 청의(青衣)에 있는 컨테이너항의 정박지는 배출량이 가장 많은 구역이다. 2007년 홍콩 원양선박의 NO_x, SO₂ 및 PM₁₀ 배출량은 연간 전세계 선박 배출량의 0.07%, 0.05%, 0.06%를 차지한다.

Ng et al. (2013)는 AIS 데이터를 이용해 2007년 홍콩 원양 선박의 배출량을 연구했다. 컨테이너선박의 배출량이 가장 높은 것으로 보여 SO₂, NO_x, PM₁₀, VOC 및 CO의 배출량은 9.89, 11.48, 1.17, 521, 1.17톤이므로 총배출량의 80 ~82%를 차지한다.

Roger et al.(2012)는 홍콩의 황산염과 블랙 탄소에 대해 분석했다. Ye et al. (2014)는 주장 삼각주 선박 배출이 이 지역의 PM₁₀, NO₂, SO₂ 및 O₃ 등 4가지 오염물질 농도에 미치는 영향을 연구했다.

Zhang et al.(2010)의 연구에 따르면, 주장 삼각주 지역에서 비도로이동오염원에서 해상 오염원의 배출량이 가장 높아 SO₂, NO_x, CO 및 PM₁₀의 배출량은 각각 94.4%, 73.8%, 39.4%, 50.5%를 차지한다.

Ye et al.(2014)의 연구에 따르면, 광둥성 해상 선박의 SO₂, NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2.5} 및 VOCs 배출량은 1.46, 2.31, 3.0, 7.9, 7.2, 9.3톤이다. 객선 및 화물선에 의한 배출은 주로 서강연안, 주장 삼각주 지역의 항로에, 그리고 항만의 배출은 연해도시에 분포하고 있다. Yu et al. (2004)는 홍콩지역 감시소에 있는 블랙 탄소 및 유기탄 데이터를 정리하여 컨테이너항만 동쪽에 있는 감시소가 선박 배

출의 순풍향에 위치하므로 여름의 블랙탄소 농도는 겨울보다 높아 계절성 변화 특징이 나타난다.

따라서 항만에서 선박의 오염물질 배출은 홍콩 지역 공기의 블랙농도에 미치는 주요 요인이다. Yau et al.(2013)는 선박 배출이 홍콩 항만근처 주택 단지의 PM 농도 수준에 미친 영향을 연구했다. PMF를 해석한 8개 잠재 오염원을 이용하여, RO와 선박 디젤유가 2개 선박 오염 배출원으로써 PM_{2.5}에 각각 12%, 7%를 기여했다.

선박 배출은 샘플채취지 주변 PM_{2.5} 농도 수준에 7.5 µg/m³(25%)를 기여했다. 선박 배출은 항만근처 PM 농도 수준에 크게 미칠 수 있는 것으로 보인다. Roger et al.(2012)는 다른 오염물이 홍콩 PM 중에 있는 황산염, SO₂, 블랙 탄소에 기여도를 연구해서 주변 수역의 선박 배출은 도시 중심의 황산염 농도에 8~56%를 기여한 것을 밝혔다. Ye (2014) 는 주장 삼각주의 선박 배출이 공기 품질에 미치는 영향에 대해 시뮬레이션을 한 결과에 따라, 선박 배출은 PM₁₀, NO₂, SO₂의 농도수준을 향상시키고 O₃의 농도수준을 하강시켰다.

상해, 강소 및 절강 3지역을 포함한 주장 삼각주 지역은 중국의 핵심 경제지역이며, 연해 항로와 장강 내하 운송 항로의 합류점이다. 주장 삼각주 항만군은 상해항, 닝보-저우산항, 전장항(镇江港), 난통항(南通港), 련윈강항(连云港), 타이저우항(泰州港), 윈저우항(温州港) 등 15개를 포함하고 있다.

상해항 및 닝보-저우산항은 장강 삼각주 항만군의 중심으로 2013년부터 세계에서 최대한 컨테이너 항만이 되었다. Yang et al.(2007)의 연구에 따르면 2003년 상해항의 선박 배출 종류별로 정리한 NO_x, SO₂, PM, HC 및 CO₂ 배출량은 각각 5.82, 5.12, 6.96, 4.56 및 3.01톤이다. Fu et al.(2012)는 2010년 상해항 근처에 있는 SO₂, NO_x 및 PM_{2.5} 배출량을 3.5, 4.7, 3.7톤으로 추측했다. Su (2014)가 2016년에 상해 양산항을 대상으로 수행한 선박 배출에 대한 연구 결과에 따르면 CO₂, CH₄, N₂O, PM₁₀, PM_{2.5}, NO_x, SO_x, CO 및 HC의 배출량은 5.78, 10, 33, 1.08, 859, 1.08, 5.62, 1.14, 519톤이다. Fan et al.(2016)는 장강 삼각주 및 동해 400km 해안선 이내의 선박 배기가스 배출량을 추산하여 2010년 SO₂, NO_x, PM_{2.5} 배출량이 각각 3.8, 7.1, 5.1톤이라고 밝혔다.

Zhao et al.(2013)는 상해 양산항의 SO_2 , NO_2 및 O_3 농도 수준을 감측했고 TSP, $\text{PM}_{2.5}$ 및 분립사이즈인 에어러졸 샘플을 수집했다. 상해항 선박 배출한 $\text{PM}_{2.5}$ 중 64%가 내륙 쪽으로 전했다. 선박 배출 때문에 양산도의 공기오염수준이 육지수준과 같다. 선박 배출 관련 오염물의 농도 최대치는 육지 농도의 평균수준보다 훨씬 높다. 그리고 HYSPLIT 모드에 있는 후향궤적을 이용해 연해 기류하에 선박은 SO_2 , NO_2 및 O_3 농도에 많이 기여했다.

Fan et al.(2016)는 후향궤적을 이용해 장강 삼각주의 고배출지역 6개에 대해 분석하여 선박 배출이 주변 대기환경에 미치는 영향을 연구한 결과는 근해 구역은 선박 배출의 영향이 크다. 겨울에 비해, 여름의 선박 배출은 주장 삼각주 대기환경에 미치는 영향이 더 크다.

주장 삼각주 및 장강 삼각주 항만군에 비해 발해만은 밀봉한 내해이며, 천진항, 탕산항, 친황다오항(秦皇島港), 황화항(黃驊港) 등 억 톤급 항만 4개를 보유하고 있다. 천진항은 컨테이너 물동량이 100만 TEU를 상회한다.

Kim Taosheng 등(2009)은 천진항 운송선박에 대해 조사하고 배출 통제 수준에 따라 배출 데이터를 선택한 후, 연료 소비량 방법을 이용해 2006년 천진항 운송선박의 NO_x , HC, CO 및 PM_{10} 배출에 대해 계산하고 천진항 운송선박 대기오염물질의 배출 리스트를 만들었다. 그리고 2010년, 2020년 천진항 운송선박의 대기오염 배출에 대해 예측했다.

Song Ya'nan(2015) 연구에 따르면, 2013년 천진항의 PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, NO_x , SO_x , CO, HC, CO_2 배출량은 각각 0.54, 0.49, 7.27, 6.05, 0.57, 0.24, 347.11톤이다. 2013년 탕산항의 PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, NO_x , SO_x , CO, HC, CO_2 배출량은 각각 0.76, 0.70, 1.04, 11.22, 7.97, 0.87, 0.36, 462.95톤이다.

Liu Jing 등(2011)은 다른 중국 항만군에 있는 항만 및 선박 대기오염물 배출량을 연구했고 다오염원 대기 확산 모형을 이용해 청도시 연해지역의 오염물 배출량의 공간분포를 시뮬레이션했다. 항만과 항로의 SO_2 , NO_x 배출량은 이 도시의 SO_2 , NO_x 의 총배출량 중에 8%, 12.9%를 차지한다.

다. 선박 배출 대기오염물 관리 필요성

중국경제 발전에 따라, 해운항만산업은 폭 넓게 발전해 왔다. 중국 해운항만 산업의 발전과정에서 환경오염 문제도 동시에 늘어나고 있다. 최근 몇 년간 중국 환경오염 문제는 갈수록 심해지고 선박은 대기오염원의 하나로써 많은 주목을 받았다.

육상 교통원의 영향 및 통제는 이미 환경기관으로써 관심을 많이 받았다. 중국 환경보호부가 발표한 「중국 자동차 오염방지 연보」에서 자동차 오염관련 상황 및 관리방법을 밝혔다. 중국 환경보호부가 발표한 「2016년 중국자동차환경 관리연보」에 따르면, 북경, 천진, 상해 등 9개 도시의 $PM_{2.5}$ 를 분석한 결과, 각 지역의 배출중의 이동원은 $PM_{2.5}$ 에 15~52.1%를 기여한다.

2015년 전국 자동차 배출 오염물은 4,532.2만 톤, 그중에서 NO_x 584.9만 톤, HC 430.2만 톤, CO 3,461.1만 톤, PM 56.0만 톤이다. 전국 자동차 보유량은 2014년에 비해 5.8%를 증가했지만 오염물 배출량은 2014년에 비해 0.3% 줄어들었다.

「2015년 정부 업무 보고」에서 자동차 배기가스 정비, 석유 제품 기준 및 품질 제고, 주요지역 주요도시에서 국가5단계표준(国五标准) 차량 휘발유 제공, 2005년 이전에 등록된 황색표지차량(黄标车)에 대해 전면 운행 중지를 실시한다고 밝혔다. 동시에 2015년 8월에 수정한 「중화인민공화국 대기오염방지법」을 통과하여 자동차 환경관리에 대해 더 높은 요구를 제안했다.

「대기오염방지법」 및 정부 업무 보고요구를 실행하기 위하여, 각 지역, 각 기관은 자동차 오염방지 및 배출 감축 위한 방안 및 정책을 제정하였다. 그리고 신차 감시관리, 운행 자동차 환경보호관리, 황색표지차량(黄标车) 운행 중지, 자동차용 연료 개선, 자동차 요소 제공 등에 대한 정책을 실시하여 자동차 환경관리는 많은 실적을 이뤘다.

항만 및 선박의 대기오염물질 배출은 대기오염의 상황을 악화시키고 있다. 연해도시에서 선박오염, 특히 초소형 입자(粒子)의 배출은 자동차 배기가스에 비해 더욱 심하다. 육상 교통 오염 통제보다 현재 중국 수역 대기오염원 배출에 대한 기본적인 작업은 부족한 상황이고, 앞으로 5~10년에서 더욱 포괄적인

연구가 필요하다.

수정한 「대기오염방지법」에서 수역 대기오염 통제에 대해 총괄적인 요구가 제시되었다. 「대기오염방지법」 및 수역 대기오염 배출 통제를 실행하기 위하여, 중국 교통운송부는 2015년 8월에 「선박 및 항구 오염방지 특별행동실시방안(2015-2020년)」, 2015년 12월에 「주장 삼각주, 장강 삼각주, 환발해(경진기) 선박 배출 통제구역 실행방안」을 발표하여 항구 수역 선박 대기오염을 억제하려고 계획하고 있다.

5) 중국 선박 배출 대기오염물 관리 정책

중국은 선박 배출 대기오염물을 관리하기 위해 선박 배출 통제구역(ECA) 도입과 더불어 선박오염 통제를 위한 다양한 대책을 마련하였다. 이하에서는 중국의 ECA 정책을 살펴보고, 일련의 선박오염방지 대책을 간략히 고찰한다.

가. 선박 배출 통제구역(ECA) 도입을 통한 관리

(1) 도입 경과 및 도입 목표

중국 정부는 선박에서 나오는 배출가스를 제한하는 계획을 발표했다.⁴⁴⁾ 이 규정은 ECA 지역 내에서 운항, 접안 및 작업하는 선박에 사용되는 선박용 연료유의 황 함유량을 규제하는 것으로 중국 ECA 지역 내 선박으로부터 배출되는 황산화물을 2020년까지 65% 줄이는 것을 목표로 한다.

동 규정에 따라 중국 ECA 지역 내 핵심 항만에 정박하는 모든 선박은 2017년 1월 1일부터 0.5%의 황 함유량을 만족하는 연료유를 사용해야 한다. 동 규정은 매년 단계별로 규제 조건이 강화된다.

44) 2015년 12월 4일, 교통운수부 공식 홈페이지, 珠三角、长三角、环渤海(京津冀) 水域船舶排放控制区实施方案的通知)

〈표 2-4〉 중국의 ECA 시행계획(시기 및 적용 지역)

시행시기	적용대상	황 함유량 제한치	기 타
2016.1.1.~	ECA 지역 내 모든 선박	3.5% n/m 이하 또는 0.5% n/m 이하*	(*ECA 지역 내 특정 항구에서 요구할 시)
2017.1.1.~	ECA 지역 내 핵심항만에 정박하는 모든 선박	0.5% n/m 이하	접안기간* 동안 적용 (*입항 후 1시간부터 출항 전 1시간까지)
2018.1.1.~	ECA 지역 내 항만에 정박 하는 모든 선박	0.5% n/m 이하	//
2019.1.1.~	ECA 지역 내 모든 선박	0.5% n/m 이하	
2019.12.31~	ECA 지역 내 모든 선박	0.1% n/m 이하*	그간 효과 평가 후 시행

자료: 중국 교통운수부 해사국 발표자료 정리.

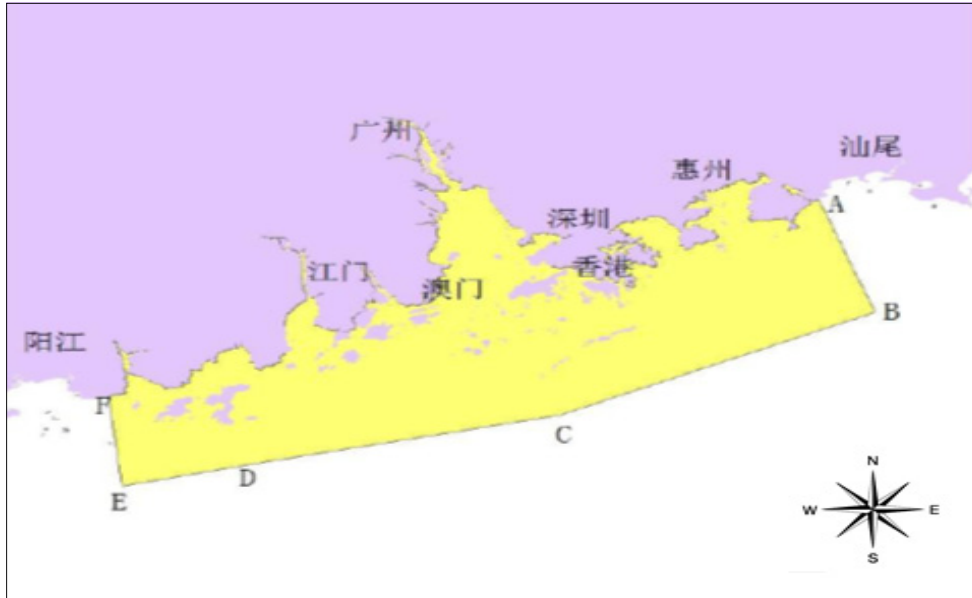
(2) ECA 지정 해역

중국 교통운수부 소속 해사국(MSA, Maritime Safety Administration)이 지난 2015년 12월에 발표한 중국 내 배출규제해역(ECA)은 주장 삼각주(Pearl River Delta), 장강 삼각주(Yangtze River Delta), 보하이만(Bohai Bay Rim) 등 3개 지역이다.

(가) 주장 삼각주

우선 주장 삼각주 지역의 핵심항구는 선전(深圳), 광저우(广州), 주하이(珠海) 등이고, 광저우(广州), 동관(东莞), 후이저우(惠州), 선전(深圳), 주하이(珠海), 중산(中山), 포산(佛山), 장먼(江门), 자오칭(肇庆) 9개 도시 관할의 모든 선박 운항 수역이 해당된다. 홍콩 및 마카오 수역은 ECA에 포함되지 않는다.

〈그림 2-8〉 중국 주장 삼각주 지역 ECA 적용 구역



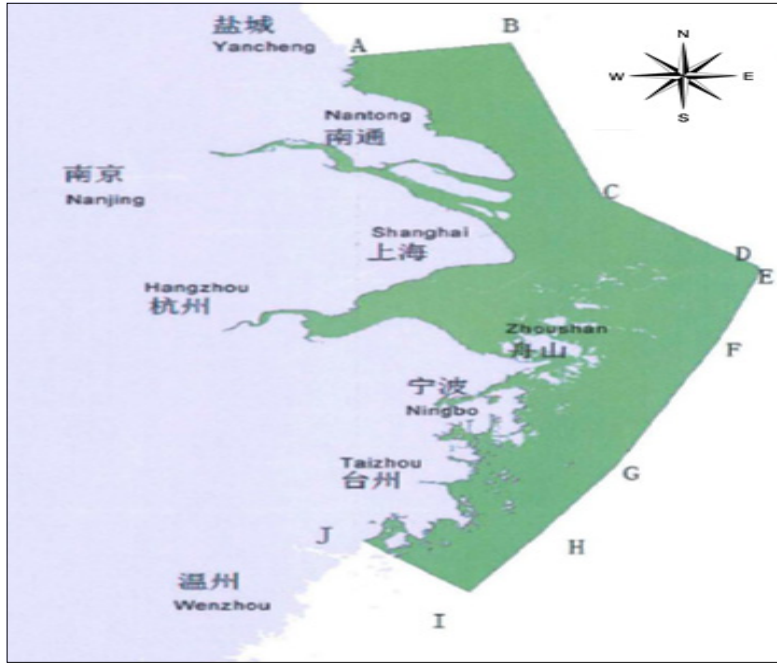
주: ECA 적용 구역은 노란색으로 표시된 부분임(홍콩과 마카오는 제외됨) A: The cross point of Huizhou and shoreline of Shanwei, B: 12 nm off Zhengtuyan, C: 12 nm off Jiapeng Islands, D: 12 nm off Jiawei Island, E: 12 nm off Dafanshi Island, F: The cross point of Jiangmen and shoreline of Yangjiang. Key/Core Port Areas

자료: 중국 교통운수부

(나) 장강 삼각주

장강 삼각주(Yangtze River Delta) 지역의 핵심항구는 상하이(上海), Ningbo-저우산(宁波-舟山), 쑤저우(苏州), 난통강(南通港) 등이 해당된다. 그리고 난징(南京), 쩌진양(镇江), 양저우(扬州), 타이저우(泰州), 난통(南通), 창저우(常州), 우시(无锡), 쑤저우(苏州), 상하이(上海), 지아싱(嘉兴), 후저우(湖州), 항저우(杭州), 샤오싱(绍兴), Ningbo, (宁波), 저우산(舟山), 타이저우(台州) 등 16개 도시 관할의 모든 선박 운항 구역이 해당된다.

〈그림 2-9〉 중국 장강 삼각주 지역 ECA 적용 수역



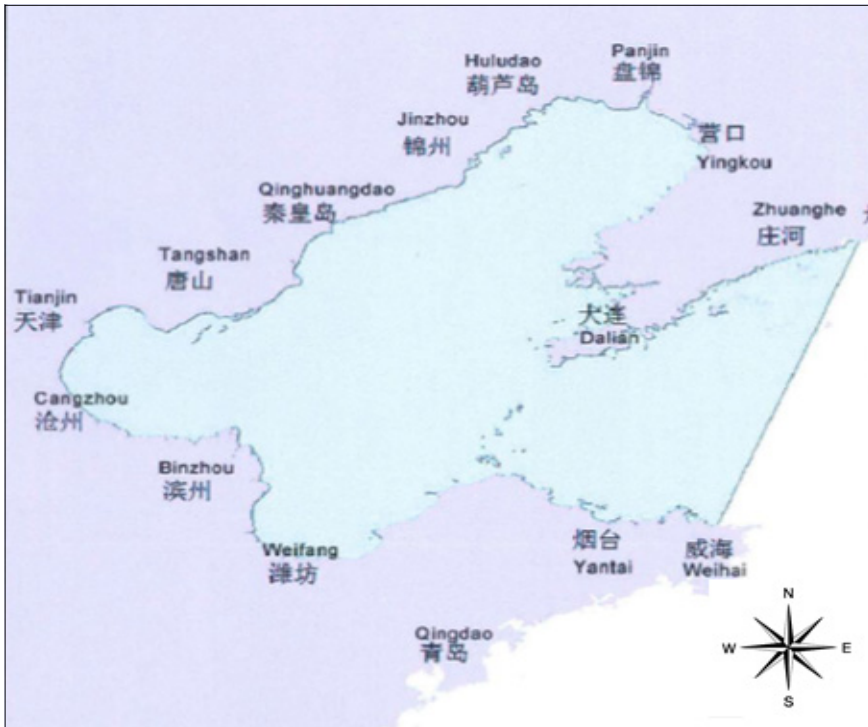
주: ECA 적용 수역은 녹색으로 표시된 부분임. A: The cross point of Nantong and shoreline of Yancheng. B: 12 nm off Waikajiao Island. C: 12 nm off Sheshan Island.. D: 12 nm off Haijiao Reef. E: 12 nm off Dongnan Reef. F: 12 nm off Liang Xiongdi Islet. G: 12 nm off Yushan Islands. H: 12 nm off Taizhou Islands. I: 12 nm off the cross point of Taizhou and shoreline of Wenzhou. J: The cross point of Taizhou and shoreline of Wenzhou. Key/Core Port Areas: Shanghai port, Ningbo port, Zhoushan port, Suzhou port and Nantong port.

자료: 중국 교통운수부

(다) 발해만 수역

발해만 수역(Bohai Gulf Area)은 파리엔-단둥 해안선 교차점과 옌타이-웨이하이 해안선 교차점을 이은 선 이내 지역으로 핵심항구는 티엔진(天津), 친황다오(秦皇島), 탕산(唐山), 황화강(黃驊港) 등이 속한다. 그리고 파리엔(大連), 잉커우(營口), 판진(盤錦), 진저우(錦州), 후루다오(葫蘆島), 친황다오(秦皇島), 탕산(唐山), 티엔진(天津), 창저우(滄州), 빈저우(濱州), 동잉(東營), 웨이팡(濰坊), 옌타이(煙台) 13개 도시 관할의 모든 선박 운항 수역이 포함된다.

〈그림 2-10〉 중국 발해만 지역 ECA 적용 수역



주: ECA area as shown in diagram C. The area of the ECA is that within the cross point of shoreline of Dalian and Dandong to cross point of shorelines of Yantai and Weihai. Key/Core Port Areas: Tianjin port, Qinghuangdao port, Tangshan port and Huanghua port

자료: 중국 교통운수부.

(3) ECA 지정의 의의

첫째, 구역 공기 환경 개선, 해양 녹색 발전 전략 구현, 선박 배출 통제구역의 설정은 중국 3대 연해 및 내하 구역, 특히 항만 도시의 환경공기 품질을 향상시킬 것이다. 2020년까지 주장 삼각주, 장강 삼각주 및 환발해(경진지) 수역 선박 SO_x 및 PM은 2015년보다 각각 65%, 30%를 떨어질 것으로 추측했다. 그 중에서 선박 배출량은 대부분 줄어든 것이다.

둘째, 낙후 생산설비 도태, 산업구조조정 촉진, 저유황 연료 생산, 청정에너지, 선박 엔진 및 배기가스 처리 등 기술개발추진, 녹색 저탄소 기술, 선형 표준

화 발전 및 응용을 통해 고오염, 고에너지 소비선박을 단계적으로 도태시켜 선박 산업구조조정을 실현하고 지속적인 해운경제 발전을 촉진시켜 중국 일대일로 전략에 이바지한다.

셋째, 국제 조약 실행, 책임이 있는 대국 이미지를 보여 국제 선박 배출 감축에 중요한 역할을 한다. 국제조약의 규정에 따라 2020년 또는 2025년에 선박 연료 중에 황 함유량이 0.5% m/m인 요구를 세계적으로 실시할 것이다. 중국은 이 기준의 실시 시간을 3년이나 앞당겼다. 중국은 선박 배출 감축 분야에 노력하는 것을 보인다.

(4) ECA 지정 후 향후 일정

이들 3개 지역에 대한 ECA 적용은 다음과 같이 단계별로 실시한다. 2016년에는 ECA 역내 항만 중 여건이 되는 항만에 한해서 접안이나 묘박 시 황 함유량 0.5% 이하 연료유를 사용하도록 권고하고 있다. 그리고 이를 단계별로 확대하여 2017년 1월부터 ECA내 주요 항만으로 범위가 확장되며, 2018년에는 ECA 역내 모든 항만 내 접안 및 묘박 중인 선박을 대상으로 시행되며, 2019년 1월 1일부터는 ECA 역내를 운항하는 모든 선박⁴⁵⁾은 황 함유량 0.5% 이하의 연료유를 사용해야 한다.

상기의 규정은 선박 접안 및 묘박시점 1시간 이후부터 출항 1시간 전까지 적용되며, 선박육상전원장치(AMP) 등 선박 배출가스 저감을 위한 대체수단을 사용할 수 있다.

이에 대해 상하이항 등 중국 내 11개 항만은 자율적으로 ECA를 적용하기로 했다. 이로써 선박기인 황 함유량(0.5% 이하 기준) 배출제한을 자발적으로 시행해왔던 홍콩항에 이어 중국 내 11개 항만에서 자발적으로 황 함유량 배출제한을 적용하기로 했다.

자발적 ECA적용 항만은 센젠항, 광저우항, 저우지양항, 상하이항, 닝보-저우산항, 수저우항, 난통항, 텐진항, 친황다오항, 탕샨항, 후양화항 등 11개 항만이다.

중국 선박 배출가스 제한기준은 기존 ECA 시행지역의 기준 대비 낮은 수준

⁴⁵⁾ 단, 군함, 어선, 레저용 선박은 제외 대상이다.

이다. 중국이 설정한 배출제한기준은 IMO(국제해사기구)의 MARPOL Annex VI의 규정, 즉 2020년 1월부터 황 함유량 0.5% 이하의 연료유 사용을 충족하는 수준이다. 따라서 중국이 설정한 배출제한 규정은 ECA를 이미 시행하고 있는 발틱해(Baltic Sea), 북해(North Sea), 북미(North America), 미국 캐리비안(Caribbean) 지역의 기준인 황 함유량 0.1% 이하의 기준에는 못 미치는 수준이다. 중국 당국은 황 함유량 0.1% 이하 연료유 사용 규정 도입에 대해서는 2019년 이후에 검토 후 적용할 계획으로 있다.

(5) 업계에 미치는 영향 및 업계의 대응⁴⁶⁾

교통운수부 수운과학연구원 분석에 의하면 항만구역의 오염 중 선박이 배출하는 오염이 70%를 초과하여 중국 배출통제구역의 주요 통제대상은 선박이기 때문에 이 실시는 해운기업에 직접적으로 영향을 줄 것이라고 했다.

업계에서는 “연료 전환을 위해서는 다수의 노후선박 개조가 필요한데 비용이 선박당 약 1만 위안에서 1.5만 위안의 추가비용이 들기 때문에 전체 운항비용이 상승할 것이다.” 그리고 “저유가 원료는 보통 연료보다 톤당 20~30달러 비싸기 때문에 비용 증가”가 필연적임을 언급했다.

그리고 중국에서 우려하는 것은 저유황 원유 시장 공급이 아직 중국에는 형성되지 않았다는 것이다. 이들 시장은 대부분 유럽, 구미, 싱가포르 및 한국에 형성되고 있다는 것이다. 중국 내의 원유가공 기술은 높은 수준에 이르렀지만 설비의 감가상각이 빠르고 저유황 원유의 비용이 높아서 공급이 부족할 것으로 예상하고 있다.

최근 산동해운의 미국항로와 북유럽항로 선박이 각각 한국과 싱가포르에서 저유황 원유를 공급한 사례가 있다. 관계자는 “선사는 모두 연료는 적게, 화물을 많이 적재하길 원한다. 그러나 저유황 원료의 저장공간이 부족하여 원래는 직항항로로 갈 수 있는 항로를 변경하여 중간에 급유를 해야 하기 때문에 매우 불편해졌다”라고 산동해운 운수부 관계자가 언급했다.

중국의 배출통제구역 설정은 필수 불가결한 사항이다. 전국적으로 대기오염

46) 中国航务周刊 발췌번역, 2016.1.13.

이 심해지고 항만구역의 오염문제가 대두되는 상황이기 때문이다. 중국 해운전문지 기사 등에 따르면, 상하이항과 닝보항 등 배출통제구역 핵심항만 중 다수는 이미 타이어 크레인 등 항만에서 사용하는 기계의 원료를 석유에서 전기로 전환하여 배출통제 요구에 따르고 있다.

상하이 항만그룹 SIPG 관계자는 항구에 출입하는 컨테이너 트럭에 대해서 LNG 전용차로 개조하는 작업을 진행 중이라고 했다. 닝보항 역시 닝보전력회사와 협력하여 닝보 컨테이너 및 벌크선 터미널에 각각 고압 전력 시스템을 구축한다. 2015년 11월 닝보항 스마트 전력대체 시범항목으로 전력공사가 진행되고 있고 2017년에는 항만 전력이 닝보항 터미널 전제를 커버할 수 있을 것으로 예상된다. 닝보뿐만 아니라 저장성 역시 항만 전기발전을 중점사업으로 하고 있다. 2015년 12월 17일 저장성 항무국은 장삼각 구역의 배출통제구역 좌담회를 개최하여 저장성의 전력설비 구축, 연료사용 현황, 선사에 끼치는 영향 등 의견을 교환한 바 있다.

나. 선박오염 통제를 위한 기타 정책

중국 선박 및 항만 오염통제를 강화하기 위하여 교통운송부는 선박 및 항만에 대한 관리 및 통제 업무를 위해 일련의 정책을 발표하였다. 2015년 8월에 교통운송부는 「선박 및 항구 오염방지 특별행동실시방안(2015~2020)」(교수발[2015] 133호)을 발표했다. 2020년까지 주상 삼각주, 장강 삼각주, 환발해(경진지)수역 선박 SO_x, CO_x, PM는 2015년에 비해 각각 65%, 20%, 30%를 감소시킬 목표를 설정하였다.

선박 부두 먼지 오염 및 부두 석유가스 회수를 정비하기 위하여 항만 작업 오염에 대한 특별한 정비업무를 실행하였다. 2015년 이전에 「석탄·광석 부두 먼지 통제 설계 규범」을 발표했다. 원유 및 완성유 부두 석유가스 회수 방안을 발표하고 중요구역에서 차수별로, 종류별로 부두 석유가스 회수 시범을 실행했다. 2016년 이전에 석탄, 광석 부두에 있는 대형 야적장의 방풍억지(防风抑尘) 시설 건설 및 밀봉저장을 추진한다. 「부두 석유가스 회수 시설 건설 기술 규범」을 발표하였다.

「교통운송부가 수운업 액체 천연가스 응용을 추진한 지도의견」(교수발 [2013] 625호)을 실행하기 위하여, 새로운 에너지 자원이 수운업에 있는 응용을 추진한다. LNG 주입 정류소 및 건설 계획을 세우고 선박 및 항만 LNG 응용 시범을 추진한다. 2016년 이전에 「액화천연가스 부두 설계 규범」, 「액화천연가스 주입 부두 설계 규범」등을 수정하였다.

항만 대기오염 배출을 감소하기 위하여 선박 접안 시 육상 전기(岸電) 기술의 이용을 촉진한다. 교통운송부는 2016년 「항만 선박 육상전기(岸電) 시범 항목 명단」을 발표해서 부두의 육상전기(岸電)의 이용을 추진시켰다. 2016년 이전에 관련기관에 힘을 입어 기항 선박이 육상전기를 사용한 전력 공급·판매 체계를 건설한다. 항만 육상전기 시설 건설관련 표준 또는 선박 육상전기 사용에 대한 촉구 정책도 보완했다.

2016년 5월 교통운송부가 발표한 「교통운송 에너지절약환경보호 “제13차 5개년” 발전계획」(교계획발 [2016] 94호)에서도 선박 항만 오염을 중점 의제에 속한다. 경진지, 장강 삼각주, 주장 삼각주 SO_x, NO_x, PM 배출량은 2015년 기반에 각각 65%, 20%, 30%를 감소시키는 목표를 제출했다.

「선박 및 항구 오염방지 특별행동실시방안(2015~2020년)」의 전면적인 실시, 「주장 삼각주, 장강 삼각주, 환발해(경진지) 수역 선박 배출 통제구역 실시 방안」을 단계적으로 실시, 원유·완성유 부두 석유가스 회수 정비 추진, 항만 작업 오염 특별 정비, 선박구조조정, 선박오염물 회수 시설 건설, LNG 연료이용 등 교통운송 오염 방지 등이 중점 업무에 속한다.

4. 일본

1) 일본 대기오염 규제 및 감시체제와 항만구역 대기오염 상황

가. 일본의 대기오염에 관련된 규제체제

1993년 제정된 환경기본법은 일본의 환경정책의 근간을 정하는 기본법이다. 이 법에는 환경기준의 설정과 환경기본계획의 책정 등 구체적 시책에 관한 규

정도 포함하고 있으나 대체로 시책의 방향성을 나타내고 있다. 구체적 시책은 규정의 취지에 따라 개별 법제상, 재정상의 조치에 따라 실시된다.

환경기본법 제정 이전에는 공해대책기본법(1967년 제정)과 자연환경보전법(1972년 제정)에서 공해대책과 자연환경대책을 다뤘으나, 이 법의 제정에 따라 기존의 공해대책기본법은 폐지되고 자연환경보전법은 개정되었다. 또한 순환형사회형성추진기본법(2000년 제정) 및 생물다양성기본법(2008년 제정)은 환경기본법의 기본이념에 따라 제정된 하위법으로 간주되는 기본법이다.

환경기본법 제15조의 규정에 따라 정부는 환경기본계획을 책정해야 한다. 환경기본계획은 정부 전체의 환경보전에 관한 종합적이고 장기적인 시책의 대강 및 환경보전에 관한 시책을 종합적이고 계획적으로 추진하기 위해 필요한 사항을 정하는 계획으로 중앙환경심의회 의 의견을 반영하여 환경성에서 작성하고 각의를 통해 결정된다.

환경기본계획은 1994년 제1차 환경기본계획이 책정된 이래 6년마다 한 번씩 작성되어 최근에는 2012년 제4차 환경기본계획이 결정되었으며, 대기환경보전 등 9개의 중점과제를 담고 있다. 또한 일본의 지방자치체에서도 환경기본계획의 책정을 규정하는 조례(환경기본조례)를 제정하는 사례가 많다.

일본의 대기오염에 관해서는 1968년에 제정된 대기오염방지법으로 규제된다. 대기오염방지법에서는 매연, 휘발성유기화합물, 분진, 유해대기오염물질, 자동차배출가스 등 5종류의 규제가 있다. 단, 선박 배출가스에 대한 규제는 대기오염방지법이 아닌 1970년에 제정된 “해양오염등및해상재해의방지에관한법률”에서 규정하고 있다. 이 법은 MARPOL73/78 조약의 발효에 따라 2005년 개정에 의해 선박의 대기오염방지규제를 개시했다.

2005년에 시행된 선박대기오염방지규제는 질소산화물의 방출을 억제하기 위한 원동기 규제, 유황산화물의 규제를 위한 연료유 사용 규제, 휘발성유기화합물질의 방출금지, 오존층 파괴물질을 포함한 재료와 설비의 신규탑재 금지, 선박에서의 소각규제, 선박검사 규정 등을 담고 있으며, 대개 MARPOL조약의 변경내용을 국내법으로 적용시키고 있다.

나. 대기오염물질 광역감시시스템

일본의 대기오염방지법에서는 대기의 오염 상황에 대한 상시감시와 긴급 조치 및 공표를 지자체와 환경성의 의무로 규정하고 있다. 이에 따라 환경성에서는 대기오염물질 광역감시시스템(Atmospheric Environmental Regional Observation System, AEROS, <http://soramame.taiki.go.jp/>)을 갖추고 대부분의 연안, 항만지역을 포함한 전국의 대기오염상황에 관해 24시간 정보를 제공한다.

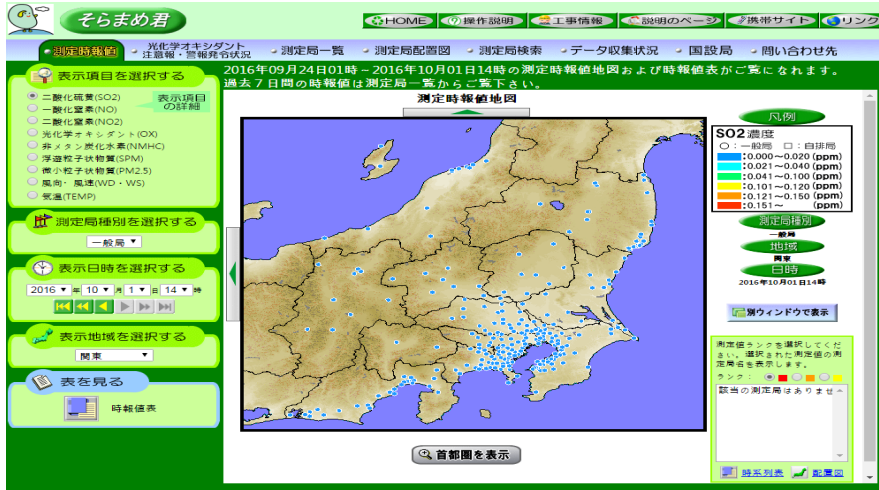
이러한 상시적 광역감시시스템을 갖추기 위해서 일반환경 대기측정국이 전국에 1,581개소 설치되었으며, 이와 별도로 자동차 배출가스 측정국이 451개소 설치되어 있다. 측정항목은 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 광화학옥시던트, 탄화수소(NMHC), 입자상물질(SPM, PM_{2.5}), 기타 대기상황(WD, WS, TEMP) 등이며, 대기오염 측정결과와 광화학옥시던트주의보, 경보발령정보의 전국적 데이터지도를 제공하고 있다. 또한 황사에 대해서는 별도의 정보시스템(LIDAR: Light Detection And Ranging)을 갖추고 있다.

최근 일본의 환경백서에서는 이러한 상시적 광역감시시스템을 이용한 대기 질의 측정 결과를 인용하여 2014년 환경기준을 이산화질소농도 기준으로 일반환경대기측정국에서는 100% 달성했으며, 자동차배출가스측정국에서는 99.5% 달성했다고 기록하고 있다. 연평균치는 매년 감소하여 일반환경대기측정국에서는 0.010ppm, 자동차배출가스측정국에서는 0.019ppm을 기록하는 등 매우 낮은 수준에서도 저하 경향을 보이고 있다.

이산화질소뿐 아니라 부유입자상물질(SPM)과 황산화물(SO₂), 일산화탄소(CO), 탄화수소(NMHC)에 있어서도 환경기준달성률이 거의 100%에 이르고 있고 대기 중 농도도 저하 경향을 보이고 있다.

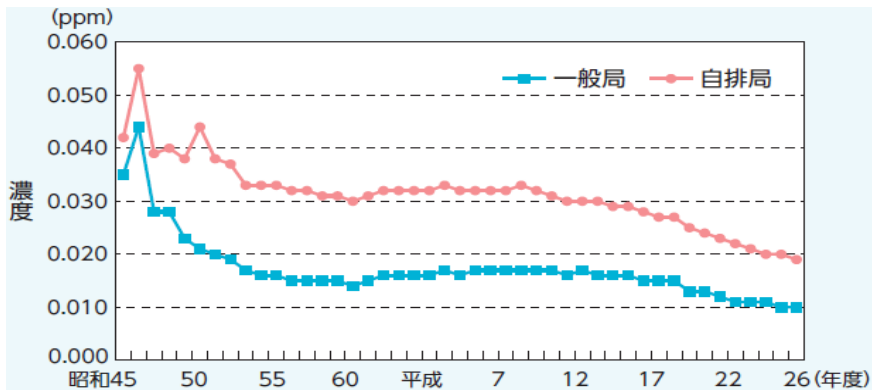
다만, 미소입자상물질(PM_{2.5})과 광화학옥시던트에서는 환경기준달성률이 매우 낮은 수준으로 나타나고 있다. 미소입자상물질에 있어서는 환경기준달성률이 일반국 37.8%, 자동차국 25.8%로 크게 낮아지고, 광화학옥시던트에서는 그 달성률이 일반국 0.0%, 자동차국 3.6%에 불과하다.

〈그림 2-11〉 AEROS 서비스 제공 화면



자료: AEROS 홈페이지(<http://soramame.taiki.go.jp>)

〈그림 2-12〉 이산화질소 농도 추이



자료: AEROS 홈페이지(<http://soramame.taiki.go.jp>)

다. 항만구역의 대기오염 상황

일본 환경성에서는 선박과 항공기를 배출원으로 하는 대기오염물질 삭감에 관한 검토 조사를 2010년 이후 3년간 실시했다. 먼저 2010년의 조사는 대기오염 상시감시 측정국의 측정결과를 분석하여 항만 주변의 대기오염상황 등을 파악하려는 목적에서 이뤄졌다.

분석대상물질은 이산화황(SO_2), 이산화질소(NO_2) 및 부유입자상물질(SPM)이었고, 분석대상항만은 항만 주변에 상시감시측정국이 설치된 항만으로, 도쿄만, 오사카만, 이세만, 기타큐슈 등 21개 주요 항만이였다.

조사의 결과를 살펴보면, 먼저, 모든 물질이 전국 평균과 비교하여 분석대상항만 주변의 농도가 높은 경향을 보인다는 것을 발견했다. 또한 분석대상항만의 평균치는 항만으로의 거리가 가까울수록 높은 경향이 있으나, 개별 항만에서는 그 경향이 다른 경우도 나타났다. 풍향별로는 분석대상항만 주변의 측정국 평균이 항만을 풍상으로 하는 경우 농도가 높은 경향이 나타났으며, 측정국이나 물질에 따라서는 항만을 풍상으로 하는 풍향에서 농도가 주간의 시간대에 높은 경향이 나타났다.

따라서 분석대상항만 주변의 농도가 높은 경향이 나타났으며, 영향의 크거나 범위에 있어서 불명확하지만, 항만 주변의 공장, 선박으로부터의 영향이 있는 것으로 추정하였다.

2011년의 조사는 광화학옥시던트를 대상으로 항만 주변의 상시감시국 측정치를 이용 분석하였으며, 전국평균치와 항만 주변과의 현저한 차이는 발견되지 않았다. 2012년에는 항행 중의 선박 배출가스의 영향을 파악하기 위해 실시되었다. 실측지점은 항로(TOKYO만, URAGA수로)에서 가깝고, 주변에 현저한 배출원이 없는 곳을 선정했으며, 조사기간은 해풍의 영향이 탁월한 여름(8.25~9.9)에 실시했다. 측정대상물질은 SO_2 , NO, NO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ 및 $\text{PM}_{2.5}$ 내의 유황분이었으며, 조사방법으로는 측정기간 중의 매시 평균치를 산출하여 각 물질의 시간변화의 경향을 확인하였고, 특징적인 농도변화가 관측된 측정일을 대상으로 케이스 스터디를 실시하여 농도변화의 요인을 조사했다.

조사결과를 보면, 실측지점에 있어서 실측치가 커지는 것은 항로방향으로부

터의 풍향이 탁월한 때, 실측지점 부근의 선박의 항행량이 많은 때로 판명되었으며, 실측결과를 환경기준과 비교한 결과, 항행 중의 선박 배출가스의 영향은 매우 한정적이라고 결론짓고 있다.

2) 일본의 선박 배출 대기오염물질 관리에 대한 검토

전술한 바와 같이 일본에서는 오래전부터 대기오염에 대한 법제를 갖추고 전국적 감시시스템을 운영한 결과 대부분의 대기오염물질을 성공적으로 관리해왔다. 또한 최근의 조사결과에서 항만구역에서의 대기오염 문제 역시 심각한 수준이 아닌 것으로 나타나고 있다.

그럼에도 2005년 선박 배출가스에 대한 규제를 신설했을 뿐 아니라, 2010년에는 정부 내에 ECA에 관한 기술검토위원회를 설치하여 자국 내 ECA 설치의 필요성을 심도 있게 논의했다. 그것은 IMO 등 국제기구의 환경규제에 대한 대응적 성격을 띠고 있으며, 정부뿐 아니라 연구기관에서도 MARPOL 규제가 논의되기 시작한 시점에서부터 연구를 개시해왔다.

이 절에서는 일본의 연구기관과 정부의 선박 배출가스 관련 조사 및 검토의 결과를 소개한다.

가. 해사산업연구소의 조사활동

해사산업연구소는 1964년 재단법인으로 설립되었으며, 해사산업에 관한 연구 조사를 통해 일본의 관련정책 입안에 기여하는 것을 목적으로 하였다. 또한 선박으로 인한 대기오염 문제의 조사에 일본 내에서 가장 먼저 착수하였으며, 선박 배출가스 등 해운, 해사산업에서의 환경문제에 대한 연구의 결과물을 3개 발표했다. 2011년 공익재단법인 일본해사센터가 그 업무를 인수해서 현재에 이르고 있다.

나. 해양정책 연구재단의 조사활동

일본 해양정책연구재단에서는 2010년부터 2012년까지 “배출규제해역(ECA) 설정에 의한 대기환경개선효과의 산정사업”을 실시하고 2013년 그 결과를 발표했다. 이 조사사업은 일본재단의 연구비 조성에 의해 수행되었다.

다. 일본 정부의 조사 및 검토

일본 정부는 2010년 2월부터 ‘선박으로부터의 대기오염물질방출규제해역에 관한 기술검토위원회(ECA기술위원회)’를 국토교통성 내에 설치하고, 2013년 3월까지 총 6회 위원회를 개최하여 ECA 도입의 필요성에 관한 검토를 수행하여, 2013년 6월 “선박으로부터의 대기오염물질방출규제해역에 관한 기술검토 결과보고서”를 제출했다.

3) 일본의 선박 대기오염 방지대책과 전망

일본 주변해역에 대한 ECA에 대한 면밀한 검토의 결과 그 설치의 필요성이 부정되었음에도 불구하고 일본 정부는 해상오염방지법의 개정, 해양환경관련 기술개발 지원사업, 천연가스 연료선의 보급, 항만의 저탄소화 대책 등 선박의 대기오염 방지를 위한 노력을 기울이고 있다.

가. 해양오염 및 해상재해 방지에 관한 법률(해상오염방지법)

일본에서는 1966년 “선박의 기름에 의한 해수의 오염방지에 관한 법률”을 제정하여 해상오염에 대한 규제를 시작한 이래, 1970년 동법의 규제대상과 범위를 확대하여 해상오염방지법을 제정하였고, 2004년 선박으로부터의 배출가스에 의한 대기오염방지 등을 포함하여 개정했다. 그 주요 내용은 다음과 같다.

먼저 질소산화물(NOx) 감축을 위한 원동기 규제이다. 즉, 국제대기오염방지 원동기증서(EIAPP)를 교부받은 원동기의 탑재, EIAPP 증서 및 승인된 원동기 취급설명서를 선내에 비치, 원동기취급설명서에 따른 원동기의 설치 및 운전을 포함하고 있다. 다음으로 황산화물(SOx) 감축을 위한 연료유 규제이다. 즉, 연료유의 유황분 농도를 규제에 포함시켰고, 연료유공급증명서 및 시료의 선내비치를 의무화하고 있다.

세 번째로 유조선, 케미컬선, 가스선으로부터의 휘발성 유기화합물질의 방출을 금지하였으며, 휘발성물질 방출방지설비의 부착과 사용을 의무화했다. 또한 오존층파괴물질을 포함한 재료와 설비의 탑재를 금지했고, 다이옥신 등 선박에서의 소각을 엄격히 규제한다. 네 번째로 총톤수 400톤 이상의 선박을 대상으로 해양오염 등 방지증서 및 국제대기오염방지증서의 비치를 의무화했다.

나. 선박으로부터의 CO₂ 배출량 삭감, 억제대책

국토교통성에서는 2013년부터 차세대 해양환경관련기술개발 지원사업을 시행하고 있으며, CO₂ 배출량 삭감을 목적으로 한 민간의 기술개발을 지원한다. 2015년까지 선체 분야, 기관 분야, 추진 분야, 차세대추진플랜트 분야, 연료전환 분야, 운항 분야, 재생가능에너지 분야에서 19건의 지원실적이 있으며, 연간 지원금액은 4억 엔 내외이다.

다. 천연가스연료선의 보급

경제산업성에서는 에너지절약형 로지스틱스 추진사업을 지원하고 있으며, 이 사례로 NYK에서는 LNG 추진선 2척을 건조하여 활용하고 있다.

또한 NYK의 자회사 UECC에서는 자동차운반선 2척을 LNG 추진선으로 하여 가와사키중공업 건조 중에 있으며, 최근(2016.9) 1척을 준공했다. 한편 국토교통성에서는 천연가스연료선의 안전기준 책정 등 조기실용화를 위한 환경정비에 박차를 가하고 있다.

〈그림 2-13〉 LNG추진 예인선 사키가케(SAKIGAKE)



주: 사키가케(SAKIGAKE) 선박은 2015년에 KEIHIN DOCK에서 건조하였다.

자료: <http://www.nyk.com/>

라. 항만의 저탄소화 대책

국토교통성에서는 아래와 같이 다양한 항만의 저탄소화 대책을 추진하고 있다.

- 저환경부하 물류시스템 구축: 내항피더서비스 충실화, 철도를 이용한 내륙 컨테이너 수송, 드라이포트를 활용한 공컨테이너 수송 효율화
- 선박에의 육상전원공급: 2009년 5개 항만에서 실증실험 실시, 전국확대
- 항만에서 태양광발전시설 도입 촉진: 전국 9개 항만
- 항만하역기계의 친환경화: 크레인의 하이브리드화, 지게차의 전동화, 신에너지산업기술종합개발기구(NEDO)의 지원, 예산액 연간 4억 엔
- 항만에서의 온실효과가스 삭감을 위한 매뉴얼 작성

제3절 시사점

IMO와 해외 주요국들의 선박 배출 대기오염물질에 대한 관리 현황을 통해서 우리는 해양환경 오염의 규제 대상이 기존의 ‘물’ 중심에서 ‘공기’로 점차 이동하고 있다는 점을 알 수 있다. 이러한 움직임은 해양 환경규제 대상의 영역이 점점 확대되고 다양화되고 있다는 사실과 함께 기존 육상 중심의 대기질 관리정책이 육상과 연계된 연안과 항만 구역 등으로 점차 영역을 넓혀 가고 있다는 점 또한 상기시켜주고 있다.

IMO는 MARPOL73/79라는 국제협약을 기반으로 해양에서 발생하는 다양한 환경오염 문제를 처리해 오고 있으며, 특히 2005년 5월에 발효된 부속서 VI을 통해서선박에서 발생하는 대기오염물질 방지를 강력하게 추진하고 있다. 또한 IMO 글로벌 차원의 규제와는 별도로 특정 해역에서 배출규제해역(ECA) 제도를 지정해 운영해 오고 있다. 이러한 배출규제해역은 자국 연안 및 항만에서의 환경통제 강화를 원하는 국가들과 이해관계가 일치되는 점이 있어서 점차 확대되고 있는 추세이다. 이처럼 IMO는 선박 배출 대기오염물질에 대해서 공간적으로는 글로벌 차원과 지역별 차원으로 구분하고 시간적으로 단계별 접근을 통해서 규제를 강화해 나가는 방향으로 조금씩 전진해 나가고 있다.

미국은 청정대기법에 기반을 두고 대기오염물질을 관리하고 있으며 연방대기질기준(NAAQS)을 설정해 대기질 악화를 선제적으로 방지하고 있다. 선박에서 배출되는 대기오염물질을 방지하기 위해서 자국 연안과 카리브해 연안을 ECA로 지정해 관리하고 있으며 다양한 정책 수단을 통해서 대기질 관리를 수행하고 있다. EU의 경우는 환경대책프로그램(EAP)을 마련해 회원국들과 입법화 과정을 거쳐서 환경정책 개발을 시행하고 있다. 2005년 9월에 EU 집행위원회가 채택한 ‘대기오염에 대한 주제전략’에서는 2020년까지 달성할 오염물질 배출량 감축 목표를 설정하였다. 이 밖에도 항만 구역의 황 함유량 규정인 Directive 2055/33/EC 등 다양한 정책을 시행하고 있다.

중국은 대기오염 문제가 심각한 만큼 다양한 법률과 계획 등을 마련해 광범위한 대기오염 관리 정책을 수행하고 있다. 대표적인 것으로는 ‘대기오염방지 행동계획(2013-2017)’과 제12차 주요지역 대기환경보호 5개년 계획 등이 있다. 하지만 이러한 조치들에도 불구하고 여전히 산업 개발과 인구 증가로 인해 화석 연료 사용이 줄어들지 않는 관계로 대기오염 상태가 획기적으로 개선되지는 못하고 있는 실정이다. 최근에 주장 삼각주, 장강 삼각주, 보하이만 지역 등 3개 지역을 ECA 지역으로 선포한 것도 이와 무관하지 않은 조치이다.

일본은 1993년에 제정된 ‘환경기본법’을 근간으로 다양한 대기오염 관리 정책을 수행하고 있다. 대기오염물질 광역감시시스템(AEROS)을 구축해 연안과 항만지역까지 24시간 대기오염정보를 제공하고 있다. 또한 ECA 도입 검토를 위해서 정부 차원의 기술검토위원회를 운영하였으며 2013년 6월 기술검토위원회 결과보고서를 통해서 당분간 ECA 도입은 고려하지 않는 것으로 결정을 내린 바 있다. 일본 정부의 이러한 결정의 배경에는 일본은 이미 전국 단위의 감시 시스템을 구축해 대부분의 대기오염물질을 성공적으로 관리하고 있다는 자부심이 근저에 놓여 있다고 볼 수 있다.

제3장 우리나라 선박 배출 대기오염물질의 관리 현황 및 배출량 감소의 경제적 효과 분석

제1절 국내 관리체계 현황 및 문제점

1. 법제도 현황

국내에서는 SO_x, NO_x, PM_{2.5} 등의 대기오염물질에 관한 관리는 기본적으로 환경부에서 관할하고 있다. 하지만 환경부에서는 육상에서 발생하는 대기오염물질에 대한 관리를 주로 하고 있으며 해상(특히 선박)에서 발생하는 대기오염물질에 관한 직접적인 관리는 별도로 수행하고 있지 않다. 해양환경에 관한 관리를 책임지고 있는 해양수산부 역시 해양의 수질오염 등에 관한 관리에 집중하고 있으며 해상에서의 대기오염물질에 관한 기준 등이 별도로 존재하고 있지 않다.

환경부는 「대기환경보전법」과 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」 등을 통해서 대기오염물질을 배출하는 사업장과 자동차와 선박 등에서 발생하는 배출가스 등에 대한 규제를 시행하고 있다. 하지만 선박에서 배출되는 대기오염물질에 관한 사항을 보면 환경부는 선박의 디젤기관에서 배출되는 대기오염물질의 종류⁴⁷⁾와 허용기준⁴⁸⁾만 설정하고 있으며 실질적인 단속이나 처벌 업무는 수행하고 있지 않다.

해양수산부는 「해양환경관리법」을 통해서 MARPOL73/78 부속서 VI ‘선박으

47) 대기환경보전법 제76조 (선박의 배출허용기준 등), 대기환경보전법 시행령 제60조(선박 대기오염물질의 종류) 법 제76조제1항에서 "대통령령으로 정하는 대기오염물질"이란 질소산화물을 말한다.

48) 대기환경보전법 제76조 (선박의 배출허용기준 등), 대기환경보전법 시행규칙 제124조(선박의 배출허용기준)

로부터 발생하는 대기오염물질 방지' 규칙을 국내 수용하기 위한 별도의 장⁴⁹⁾을 마련해 두고 있으나 배출규제해역(ECA) 등 보다 진전된 조치들에 관한 사항들은 포함되어 있지 않다.

『해양환경관리법』 제4장 '해양에서의 대기오염방지를 위한 규제'에 속하는 개별 조항들을 보면 제41조(대기오염물질의 배출방지를 위한 설비의 설치 등), 제41조의2(선박에너지효율설계지수의 계산 등), 제41조의3(선박에너지효율관리 계획서의 비치), 제42조(오존층파괴물질의 배출규제), 제43조(질소산화물의 배출규제), 제44조(연료유의 황 함유량 기준 등), 제45조(연료유의 공급 및 확인 등), 제46조(선박 안에서의 소각금지 등), 제47조(휘발성유기화합물의 배출규제 등), 제47조의2(휘발성유기화합물 관리), 제48조(적용제외) 등이 있다.

또한 동법 제129조(벌칙) 부분에서는 제4장 개별 조항의 규정을 위반한 자에 대하여 1년 이하의 징역 또는 1천만 원 이하의 벌금에 처하도록 정하고 있다. 하지만 이러한 벌칙은 다른 규정의 위반 사항과 비교할 때 처벌 강도가 가장 경미한 수준이며 보다 엄격한 법 집행과 집행의 실효성을 담보하기 위해서는 법 제43조, 제44조와 제45조에 대해서는 벌칙 강화도 필요할 것으로 판단된다.

2. 배출 현황

환경부의 '2015 환경통계연감'(2016)에 따르면 2012년 기준 국내에서 발생하는 질소산화물 총 1,075만 207톤 가운데 도로이동오염원(대부분 경유차)에서 발생하는 것이 32%로 가장 많았으며 비도로이동오염원⁵⁰⁾ 21%, 제조업체(주로 공장 등)에서 16%, 에너지산업(주로 발전소 등)에서 16%, 나머지 비산업·생산 공정·폐기물처리·기타에서 15%가 각각 배출되었다

2012년 기준 부산지역 전체 질소산화물 발생량에서 비도로이동오염원이 차지하는 비중이 전체의 약 57%로 전국 평균인 21%보다 2.7배 높게 나타나고 있다. 부산의 대기오염물질 배출량에서 비도로이동오염원의 과도한 쏠림 현상은

49) 제4장 해양에서의 대기오염방지를 위한 규제

50) 선박 외에 철도, 항공, 농업기계, 건설장비 등을 포함하고 있다.

비단 질소산화물에만 한정되지 않으며 황산화물 배출량의 경우는 비도로이동 오염원이 차지하는 비중이 62%까지 올라가고 있다. 이처럼 부산에서 비도로이동 오염원의 비중이 높게 나타나는 이유는 부산권역이 배후에 부산북항, 감천항, 부산 신항 등 다수의 대규모 항만을 두고 있는 관계로 잦은 선박의 입출항과 정박으로 인한 영향이 큰 것으로 추정되고 있다.

부산과 마찬가지로 인천 역시 전체 질소산화물 발생량에서 비도로이동오염원이 차지하는 비중이 전체의 약 23%로 전국 평균인 21%보다 다소 높게 나타나고 있다. 인천의 대기오염물질 배출량에서 비도로이동오염원의 쏠림 현상은 부산과 마찬가지로 질소산화물뿐만 아니라 황산화물 배출량에서도 비도로이동오염원이 차지하는 비중이 23%(전국 평균 16%)까지 증가하고 있다. 인천에서 비도로이동오염원의 비중이 높게 나타나는 이유 역시 부산과 마찬가지로 인천 권역의 배후에 인천 내항, 남항, 북항, 송도 신항 등 다수의 대규모 항만을 두고 있는 것이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 추정되고 있다.

최근에는 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})에 대한 관심도 고조되고 있는데 비도로이동오염원이 차지하는 비중은 제조업 연소 다음으로 많은 12%를 차지하고 있다. 비도로이동오염원이 만들어내는 미세먼지의 상당 부분은 선박에서 발생하는 것으로 추정되고 있으며 이 가운데 많은 부분이 항만을 배후에 두고 있는 부산(16%), 인천(4%), 경기(14%), 전남(14%) 등의 지역에서 발생하고 있다. 특히 부산의 경우 선박에 의한 PM_{2.5} 발생 비중이 전체 발생량의 약 56%를 차지하고 있다는 조사결과가 발표되기도 하였다.⁵¹⁾

선박에서 과다하게 배출되는 대표적인 대기오염물질인 황산화물, 질소산화물, 미세먼지 등의 발생원별 배출량과 지역적 분포를 보게 되면 인근 지역에 대규모 항만을 두고 있는 경우가 많아서 이들 오염물질과 선박과의 관계도 매우 밀접한 관계임을 추정해 볼 수 있다. 따라서 이러한 대기오염물질의 배출량을 줄이기 위해서는 선박에서 배출되는 대기오염물질에 대한 관리와 규제가 매우 중요한 위치를 차지하게 된다.

⁵¹⁾ 국립환경과학원 조사에 의하면 부산지역의 PM_{2.5}의 경우 선박 등에 의한 비도로오염원의 비중이 전체의 56%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.(국제신문, 2015. 2. 8. 기사)

〈표 3-1〉 우리나라 질소산화물(NOx) 배출량

구분	총계	에너지 산업 연소	비산업 연소	제조업 연소	생산 공정	도로 이동 오염원	비도로 이동 오염원	폐기물 처리	기타 면오 염원
2004	1,377,526	421,861	90,781	110,470	53,145	490,481	191,008	19,780	-
2005	1,306,724	390,895	93,658	108,186	55,327	455,217	188,631	14,811	-
2006	1,274,969	364,310	89,127	101,197	56,577	450,080	196,441	17,237	-
2007	1,187,923	156,304	82,396	155,053	48,725	495,084	237,101	13,097	163
2008	1,045,104	163,678	82,584	155,535	44,820	428,204	154,784	15,319	179
2009	1,014,318	143,274	86,636	159,511	41,409	368,048	207,829	7,426	185
2010	1,061,210	153,441	96,480	164,942	49,022	382,226	208,878	6,062	158
2011	1,040,214	166,709	90,876	181,219	53,077	322,307	217,098	8,732	197
2012 (비중)	1,075,207 (100%)	169,346 (16%)	87,935 (8%)	172,761 (16%)	59,002 (5%)	345,666 (32%)	225,561 (21%)	14,782 (1%)	154 (0%)
서울	61,771	599	19,693	296	-	27,652	12,769	743	20
부산	54,468	1,361	6,047	1,907	743	13,092	31,104	205	8
대구	24,744	1,365	3,771	1,970	63	13,342	3,950	277	6
인천	45,655	11,673	4,565	3,049	1,003	14,382	10,523	455	6
광주	12,531	347	2,601	427	30	5,475	3,525	122	4
대전	12,962	247	3,021	478	35	6,851	2,131	194	5
울산	59,783	16,143	2,164	15,830	1,778	7,440	14,953	1,473	4
세종	7,196	-	142	244	65	1,524	5,105	115	1
경기	166,600	13,049	16,283	7,776	2,936	86,537	33,516	6,468	36
강원	75,759	5,629	3,670	43,756	42	15,064	7,354	235	9
충북	62,179	340	3,537	29,444	189	20,900	6,853	911	5
충남	138,730	65,358	3,891	18,400	10,635	24,607	15,248	581	11
전북	38,881	2,811	3,241	3,109	1,137	17,587	10,220	770	6
전남	102,612	13,245	4,000	14,874	22,509	19,216	27,832	927	9
경북	102,350	2,268	6,374	24,686	16,724	35,995	15,762	530	10
경남	97,581	32,243	4,493	6,488	1,102	32,496	20,024	722	13
제주	11,405	2,669	442	28	10	3,504	4,695	54	2

자료: 환경부, 「환경통계연감 2015」(2016)

〈표 3-2〉 우리나라 황산화물(SOx) 배출량

구분	총계	에너지 산업 연소	비산업 연소	제조업 연소	생산 공정	도로 이동 오염원	비도로 이동 오염원	폐기물 처리	기타 면오 염원
2004	446,804	194,309	54,797	65,681	75,210	6,600	48,718	1,489	
2005	408,462	139,064	58,706	68,181	82,371	5,190	53,506	1,444	
2006	446,488	152,263	77,504	74,966	84,937	1,213	53,926	1,679	
2007	402,525	94,317	64,083	102,172	85,709	856	52,814	2,574	
2008	417,980	96,670	60,845	104,529	82,720	690	69,663	2,863	
2009	387,727	79,801	57,158	97,188	83,694	845	67,228	1,813	
2010	401,741	81,589	57,810	103,733	93,365	798	62,919	1,528	
2011	433,959	84,464	53,957	109,878	109,342	366	67,557	8,395	
2012	417,645 100%	91,053 22%	40,245 10%	96,617 23%	117,191 28%	211 0%	65,188 16%	7,140 2%	0%
서울	4,486	6	4,058	39	-	24	90	270	
부산	29,115	423	8,984	450	1,246	10	17,996	5	
대구	4,390	1,540	1,235	1,522	41	10	13	30	
인천	15,884	6,260	2,949	1,688	1,311	9	3,593	74	
광주	899	1	800	10	20	4	12	52	
대전	1,321	117	1,087	25	23	5	10	53	
울산	58,522	9,489	884	5,858	34,031	5	8,166	89	
세종	99	-	2	31	42	1	14	8	
경기	16,402	1,921	2,191	3,079	2,662	52	5,037	1,460	
강원	21,998	4,020	3,394	11,787	947	8	1,783	59	
충북	12,020	80	2,680	8,302	795	11	42	110	
충남	83,130	33,663	2,478	20,247	22,082	13	4,566	81	
전북	6,572	1,384	1,203	1,387	1,317	10	1,154	117	
전남	77,777	5,886	2,379	12,574	38,706	10	13,751	4,471	
경북	45,092	2,221	4,493	24,318	11,421	18	2,525	95	
경남	37,354	22,599	1,260	5,260	2,541	18	5,542	135	
제주	2,584	1,443	169	39	7	2	893	31	

자료: 환경부, 「환경통계연감 2015」(2016)

〈표 3-3〉 우리나라 미세먼지(PM₁₀) 배출량

구분	총계	에너지 산업 연소	비산업 연소	제조업 연소	생산 공정	도로 이동 오염원	비도로 이동 오염원	폐기물 처리	기타 면오 염원
2004	62,491	5,032	2,861	10,903	6,738	28,898	7,977	82	-
2005	67,343	8,229	2,978	16,000	6,888	25,312	7,870	64	-
2006	64,795	7,701	3,577	14,349	6,370	23,911	8,604	284	-
2007	98,143	2,951	2,208	53,144	6,074	22,694	10,477	302	294
2008	110,797	3,080	2,307	73,441	5,971	17,937	7,400	340	321
2009	103,735	2,588	2,103	64,444	5,326	15,397	13,348	187	343
2010	116,808	2,816	2,421	76,011	6,451	15,255	13,401	165	288
2011	131,176	4,546	2,213	89,463	7,394	13,030	13,901	242	386
2012	119,980 100%	4,582 4%	2,062 2%	77,833 65%	7,600 6%	12,969 11%	14,332 12%	330 0%	272 0%
서울	1,727	13	234	1	-	793	634	17	35
부산	3,131	67	163	110	31	524	2,217	6	14
대구	1,361	34	84	479	1	539	206	7	11
인천	2,041	490	55	272	227	439	538	10	10
광주	494	2	60	1	1	239	181	3	7
대전	497	5	71	1	1	289	116	5	9
울산	3,509	182	37	1,113	782	303	1,066	20	7
세종	343	-	2	2	1	62	273	2	1
경기	6,044	173	219	624	66	2,809	1,954	137	62
강원	3,871	84	168	2,385	99	640	474	5	16
충북	3,603	7	154	2,066	75	869	404	20	9
충남	30,818	1,950	130	25,512	1,165	1,003	1,028	11	20
전북	1,721	74	110	81	47	750	631	18	10
전남	18,359	276	143	11,886	3,180	798	2,019	41	16
경북	32,859	35	282	28,183	1,837	1,443	1,051	10	18
경남	9,132	1,152	114	5,114	86	1,316	1,311	16	23
제주	470	38	38	1	0	154	231	3	4

자료: 환경부, 「환경통계연감 2015」 (2016)

3. 문제점

지금까지 선박에서 배출되는 대기오염물질의 법제도적 관리 현황과 실제 배출량 통계를 통한 배출 현황을 살펴보았다. 법률적인 측면에서 관리상의 문제점은 환경부가 관할하는 「대기환경보전법」과 해수부가 관할하는 「해양환경관리법」 등에서 선박 배출 대기오염물질의 오염발생원에 대한 관리 단계부터 위반 시 단속을 통해 처벌하는 단계 전반을 포함하는 법률적 관리체계가 다소 미비하다는 점이다. 환경부는 자동차, 공장 등 육상 오염원에 집중하고 해양수산부는 해양에서의 수질관리 측면에 집중하는 관계로 선박에서 발생하는 대기오염물질에 대한 관리가 적절하게 수행되지 못하게 되는 문제점을 발생시키게 되었다.

이러한 사실은 선박에서 배출되는 비중이 높은 황산화물, 질소산화물, 미세먼지의 지역별 배출량 자료를 통해서 재확인할 수 있다. 주변에 대규모 항만이 분포하는 부산과 인천의 경우 비도로이동오염원이 차지하는 질소산화물과 황산화물의 상대적 비중이 타 지역보다 높게 나타났으며 미세먼지의 배출량 역시 비슷한 양상을 보여주고 있다.

따라서 항만을 배후에 두고 있는 지역들의 경우 선박에서 배출되는 대기오염물질이 지역 주민들의 건강에 피해를 줄 가능성이 매우 높으며 이를 개선하기 위한 정책 수단의 개발은 민감한 지역 현안이 될 뿐만 아니라 중요한 국가 어젠다가 될 수 있다.

제2절 선박 배출 대기오염물질 배출량 감소의 경제적 효과 분석

1. 분석의 배경 및 조사 설계

1) 분석의 배경

선박에서 배출되는 황산화물, 질소산화물, 미세먼지 등의 대기오염물질들은 개인들의 건강에 매우 심대한 피해를 줄 수 있는 위험성을 내포하고 있으며 이러한 대기오염물질에 장기간 반복해서 노출되게 되면 호흡기질환을 비롯하여 폐암, 천식, 심혈관질환, 급성기관지염, 만성기관지염 등 다양한 질환을 유발하게 된다. 또한 이로 인해 증가하는 의료비용과 개인들의 활동에 대한 제약이 발생하는 것들은 모두 사회적 비용의 증가로 연결될 수 있다.

따라서 선박 배출 대기오염물질로 인해 나타나는 다양한 건강피해에 대해서 환경질 변화에 따른 개인들의 건강피해 속성별 가치를 직접적으로 도출할 수 있다면 환경질 개선에 대한 개별 정책효과를 보다 정밀하게 예측하는 것이 가능하다. 또한 이러한 정책효과를 기반으로 정책의 비용편익 분석도 활용가능하며 다양한 정책대안을 대상으로 최소비용의 정책대안 발굴에도 큰 도움을 줄 수 있다.

2) 조사 설계

가. 조사 표본

본 조사는 부산광역시 및 인천광역시에 거주하는 일반 시민들 가운데 만 20세~만 64세 연령의 남녀 500명을 대상으로 성별, 연령별로 편중되지 않게 골고루 표본을 추출하는 방식으로 진행되었다.⁵²⁾ 조사방식은 추출된 조사 표본을 대상으로 조사원들이 직접 일대일 개별면접조사 방식으로 조사를 진행하였다. 조사의 시간적 범위는 2016년 10월 18일부터 10월 26일까지 약 2주간 진행되었

⁵²⁾ 최종 조사 표본은 500명이나 조사 오류를 감안해 실제 조사는 이보다 약 10% 많은 550명을 대상으로 진행하였다.

다. 구체적인 표본의 분포 현황은 아래의 <표 3-4>에 제시되어 있다.

500명 응답자의 사회 경제적 특성은 다음과 같다. 먼저 응답자 중 남성 비중은 49.2%이고, 기혼자 비중은 72.2%, 가구주 비중은 67.0%, 평균 연령은 42.7세, 평균 교육연수는 14.8년, 평균 가족 수는 3.2명, 대도시 거주 비중은 89.4%, 흡연자 비중은 26.2%, 월평균 가구소득은 345.6백만 원 등으로 분석되었다.

<표 3-4> 표본의 구성 현황

(단위: 명)

구분		연령					소계	계
		20대	30대	40대	50대	60대이상		
인천	남자	24	28	28	26	17	123	250
	여자	25	28	28	27	19	127	
	소계	49	56	56	53	36	250	
부산	남자	24	28	28	26	17	123	250
	여자	25	28	28	27	19	127	
	소계	49	56	56	53	36	250	
계	남자	48	56	56	52	34	246	500
	여자	50	56	56	54	38	254	
	계	98	112	112	106	72	500	

나. 사전 조사

본 조사에 앞서 부산과 인천에 거주하는 경제활동 종사자 108명을 대상으로 사전 설문을 수행하였다. 부산지역과 인천지역 비중은 각각 49.1%와 50.9%, 남녀 비중은 51.9%와 48.1%, 연령별 분포는 40대가 23.1%로 가장 높게 나타났다.

사전 설문조사의 결과를 보면 전체 질환의 25% 수준 감소에 대한 가구당 추가적인 소득세 지불의사액은 평균 26,223원, 50% 수준 감소에 대한 금액은 38,325원, 75% 수준 감소에 대한 금액은 평균 55,300원인 것으로 조사되었다.

〈표 3-5〉 사전조사의 표본 분석

구분		표본 수	%	구분		표본 수	%
		(108)	100.0			(108)	100.0
지역	부산	(53)	49.1	연령	20대	(20)	18.5
	인천	(55)	50.9		30대	(23)	21.3
성별	남자	(56)	51.9		40대	(25)	23.1
	여자	(52)	48.1		50대	(22)	20.4
					60대	(18)	16.7

〈표 3-6〉 대기질 개선으로 인한 건강피해 감소수준별 지불의사금액(WTP)

구분	사례수	건강피해 25% 감소 시 연간 가구당 추가소득세 지불의사액 분포(%)							평균 (원/년)
		1만원 미만	1~2만원 미만	2~3만원 미만	3~5만원 미만	5~10만원 미만	10만원 이상	계	
전체	(108)	31.5	21.3	22.2	2.8	17.6	4.6	100.0	26,223
부산	(53)	37.7	22.6	17.0	3.8	13.2	5.7	100.0	26,964
인천	(55)	25.5	20.0	27.3	1.8	21.8	3.6	100.0	25,509
구분	사례수	건강피해 50% 감소 시 연간 가구당 추가소득세 지불의사액 분포(%)							평균 (원/년)
		1만원 미만	1~2만원 미만	2~3만원 미만	3~5만원 미만	5~10만원 미만	10만원 이상	계	
전체	(108)	27.8	13.9	24.1	7.4	18.5	8.3	100.0	38,326
부산	(53)	32.1	13.2	24.5	5.7	15.1	9.4	100.0	40,155
인천	(55)	23.6	14.5	23.6	9.1	21.8	7.3	100.0	36,564
구분	사례수	건강피해 75% 감소 시 연간 가구당 추가소득세 지불의사액 분포(%)							평균 (원/년)
		1만원 미만	1~2만원 미만	2~3만원 미만	3~5만원 미만	5~10만원 미만	10만원 이상	계	
전체	(108)	26.9	4.6	18.5	15.7	16.7	17.6	100.0	55,301
부산	(53)	32.1	5.7	15.1	17.0	17.0	13.2	100.0	59,104
인천	(55)	21.8	3.6	21.8	14.5	16.4	21.8	100.0	51,636

다. 속성 수준 및 선택대안집합 설계

본 조사에서는 황산화물, 질소산화물, 미세먼지 등이 건강에 미치는 영향을 파악한 기존 조사 결과들과 관련 분야 전문가들의 의견 수렴을 거쳐 일차적으로 건강영향 속성을 추출한 후 사전조사를 거쳐서 최종적으로 건강영향 속성을 선정하였다.

최종적으로 도출된 건강영향 속성들은 조기사망, 폐암, 천식, 심혈관질환이며 여기에 추가적으로 개인들의 지불의사액을 포함시켜 5개의 속성들로 직교설계를 통해서 총 78개의 선택 대안들을 도출하였다.⁵³⁾

〈표 3-7〉 대기오염 개선관련 속성 평가단위 및 속성 수준

속성	평가 단위	속성 수준				
조기 사망	인구 100만 명당 조기사망 감소 건수/년 (현재 연간 650명 사망)	0명 감소 (0%수준 개선)	325명 감소 (50%수준 개선)	650명 감소 (100%수준 개선)		
폐암	인구 100만 명당 폐암 환자 감소 건수/년 (현재 연간 920명 발생)	0명 감소 (0%수준 개선)	460명 감소 (50%수준 개선)	920명 감소 (100%수준 개선)		
천식	인구 100만 명당 천식 환자 감소 건수/년 (현재 연간 35,400명 발생)	0명 감소 (0%수준 개선))	17,700명 감소 (50%수준 개선)	35,400명 감소 (100%수준 개선)		
심혈관 질환	인구 100만 명당 심혈관질환 환자 감소 건수/년 (현재 연간 10,400명 발생)	0명 감소 (0%수준 개선)	5,200명 감소 (50%수준 개선)	10,400명 감소 (100%수준 개선)		
추가소득세 (가구당)	선박 배출 대기오염 개선을 위해 매월 추가 지불하는 가구당 소득세	1,000원	2,000원	3,000원	4,000원	5,000원

⁵³⁾ 본 연구의 경우 가능한 선택대안의 경우의 수는 $3^4 \times 5$ 개이나, 직교설계를 통해서 최종 81개의 선택대안들이 도출되었고 이 가운데 현재 상태와 동일한 선택대안 3개를 제외한 78개가 최종적으로 선택되었다.(부록 6 참조)

2. 분석 방법론

1) 비시장가치 추정방법

비시장가치 평가방법은 다양한 환경영향들의 가치를 시장재(market goods)의 생산증가로부터 얻어지는 편익과 같은 다른 후생결과와 비교될 수 있도록 화폐 가치로 평가할 수 있는 체계를 제공한다. 이 방법은 시장에서 거래되지 않는 환경재에 대한 가치추정이 가능하여 다양한 범위의 환경적 이슈에 적용 가능하다.

비시장가치 추정방법은 크게 현시선호방법(revealed preference approach)⁵⁴⁾과 진술선호방법(stated preference approach)⁵⁵⁾으로 구분된다. 현시선호방법은 여행 비용평가법(travel cost method)과 헤도닉가격기법(hedonic price method)과 같이 환경적 특성의 가치를 측정하기 위해 관련된 시장거래로부터의 정보를 이용한다. 이 추정방법들의 적용 가능성을 뒷받침하는 여러 문헌들에도 불구하고 현시선호방법은 가치추정결과가 사후적(ex-post)인 성격을 갖기 때문에 시장자료에 의존할 수밖에 없는데, 선박 배출에 의한 대기오염 피해비용 산정과 같이 현재 시장에서 자료를 구하기 곤란한 경우 적용에 어려움이 발생할 수 있다.

진술선호방법은 응답자들에게 가상적 상황을 제공하고 예산제약 하에서 자신의 효용을 최대화할 수 있는 선택을 통해 다양한 환경적 영향들에 대한 가치를 추정한다. 이때 얻어지는 가치는 주어진 가상적 상황에 대한 조건부 가치이다. 대표적인 진술선호방법인 조건부 가치측정법(contingent valuation method)은 환경재와 지불의사금액(WTP)의 변화에 따른 상충관계를 추정하는 방식으로 1970년대 이후 널리 사용되고 있으며 사회적으로 타당성을 인정받고 있다. 그러나 조건부 가치측정법은 가치측정 대상이 단일속성으로 이루어진 환경재의 가치 추정에 국한되기 때문에 본 연구에서와 같이 선박으로부터 배출되는 대기오염물질에 의한 조기사망, 폐암, 천식, 심혈관질환 등 다양한 속성들을 추정하고자 할 경우에는 적용이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 다양한 속성별 추정을 위해 널리 활용되고 있는 컨조인트 분석법을 적용하고자 한다.

54) 직·간접적으로 시장을 관찰하는 방식이다.

55) 가상적 시장을 이용하여 사람들에게 의사를 직접 묻는 방식이다.

2) 컨조인트 분석법

가. 개요

컨조인트 분석법은 상충관계에 놓여 있는 응답자의 선호체계에 명확하게 초점을 둔 지불의사유도방법으로서 선박 배출 대기오염에 의한 다양한 건강피해 속성들과 다양한 응답자의 지불의사액 간의 상충관계들을 동시에 추정할 수 있다.⁵⁶⁾ 또한 경영 분야의 마케팅 연구나 상품개발에 폭넓게 사용되어 온 컨조인트 분석법이 최근 환경 분야에서도 그 적용이 늘고 있다. 컨조인트 분석법을 다룬 기존의 대부분 연구문헌들은 자연자산에 대한 휴양적 가치에 집중되어 있으며, 그 적용 분야와 대표적인 연구들은 <표 3-8>과 같다.

〈표 3-8〉 컨조인트 분석법을 적용한 연구사례

적용 분야	연구문헌
사냥과 낚시	Gan and Luzar (1993), Mackenzie (1993) Roe, Boyle, and Telsi (1996)
휴양지역의 선택	Gan (1992) Adamowicz, Louviere, and Williams (1994)
유해시설의 위치선정에 대한 일반 국민들의 선호(도심매립지 선정)	Opaluch et al. (1993)
수질	Whitmore and Cavadias (1974) Smith and Desvousges (1986)
국립공원의 가시거리	Rae (1983)
기름악취	Lareau and Rae (1989)
다양한 에너지계획 선정	Johnson and Desvousges (1997)
Caribou 산림지역의 멸종동식물 보호 가치	Adamowicz et al. (1998)

컨조인트 분석법은 지불의사유도방법(elicitation method)에 따라 조건부 선택법(contingent choice method), 조건부 순위결정법(contingent ranking method), 조건부 등급결정법(contingent rating method) 등 크게 3가지로 구분될 수 있다. 첫째, 조건부 선택법은 응답자들에게 다양한 건강피해 속성들과 지불의사액⁵⁷⁾으

⁵⁶⁾ Mackenzie, J. (1993); Adamowicz, W., J. Louviere, and M. Williams, (1994)

로 구성된 2개 이상의 가상적 상황들을 제시하고 응답자가 자신의 예산제약 하에서 가장 좋아하는 상황을 선택하게 함으로써 서로 상충관계에 놓여있는 건강피해 속성 수준에 따른 화폐가치를 추정한다. 둘째, 조건부 순위결정법은 응답자들이 제시된 가상상황들에 대한 그들의 선호를 숫자로 된 척도에 근거하여 표현하도록 질문한다. 즉 응답자들에게 제시된 가격을 포함한 다양한 속성들로 구성된 2개 이상의 가상적 상황들에 대해서 가장 좋아하는 것(most-preferred)부터 가장 싫어하는 것(least-preferred)까지 순위를 정하도록 묻는다. 셋째, 조건부 등급결정법은 더 엄밀한 정보를 얻기 위하여 가상순위법에서 도출된 각 순위상황들에 대하여 그 중요도에 따라 최소 1점부터 최대 5점까지 점수를 부여하도록 하는 방법이다. 단, 상위순위에 대한 점수는 하위순위에 대한 점수보다 크거나 같아야 한다.

위 3가지 분석방법들 중에서 조건부 선택법은 경제이론에 부합할 뿐만 아니라, 그 이론적 배경이 확률효용모형(random utility model)에 근거하기 때문에 다른 방법들보다도 더 강한 이점을 지니고 있다.

나. 컨조인트 분석법의 장단점

컨조인트 분석법의 장점은 다음과 같다.

첫째, 컨조인트 분석법은 양분선택형 질문법(dichotomous choice question format)을 사용하는 조건부 가치측정법과 마찬가지로 응답자들이 제시된 가상적 상황들에 대해 그들이 만족하는 선택 및 서열(등급)을 표현하기 때문에 환경질 변화에 따른 건강피해 속성별 가치에 대한 소비자 잉여를 직접 화폐가치로 표현할 필요가 없다.⁵⁷⁾

둘째, 컨조인트 분석법은 응답자들에게 암묵적으로 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 속성별 가치를 평가하도록 함으로써 조건부 가치측정 연구문헌에서 중요한 관심사였던 비구분효과(embedding effects)를 직접 다룰 수 있도록

⁵⁷⁾ 본 연구에서는 제시된 건강피해 속성들의 개선에 대한 가격이 된다.

⁵⁸⁾ 이러한 점은 응답자가 환경질 변화에 따른 건강피해 속성 수준 변화에 대한 그들의 선호를 화폐가치로 표현하는 데 어려움을 갖는 개방형 질문법을 사용하는 조건부가치측정법에 대한 상대적 장점이라 할 수 있다.

해준다.

셋째, 컨조인트 분석법은 응답자들에게 다양한 가상적 상황들을 제시함으로써 실현 가능한 다양한 개선방안을 구별해내고 이에 따라 최소비용의 대안이 실행되어질 수 있다. 반면 조건부 가치측정법에서는 실제로 실행가능하지 않을 수도 있는 하나의 대안만을 다루기 때문에 실행 가능한 다른 대안들에 대한 어떠한 정보도 얻을 수 없다.⁵⁹⁾

넷째, 컨조인트 분석법은 응답자들에게 제시된 여러 개의 가상적 상황들에 대해 그들의 선호를 표현하도록 함으로써 더 많은 정보를 얻을 수 있다. 이와 같은 반복성을 갖는 것은 일치성(consistence)과 통일성(coherence)에 대한 개별적인 검정을 용이하게 해준다. 그러한 검정들은 조건부 가치측정법 체계 하에서는 수행하기가 어렵다.

위에서 열거된 여러 가지 장점들에도 불구하고 컨조인트 분석법은 다음과 같은 단점들도 지니고 있다.

첫째, 컨조인트 분석법의 적용을 위해서는 환경질 변화에 상응하는 적절한 보상 서비스를 식별하는 것이 필요한데, 연구자는 사전에 대중들이 받아들일 수 있는 다른 서비스들을 알지 못한다. 이때, 전문가그룹(focus group)은 가능한 대안들을 결정하는 데 도움을 줄 수 있다.

둘째, 이 방법은 서로 상충관계에 있는 다양한 대안들을 포함한 질문을 요구하기 때문에 응답자들에게 많은 부담을 줄 수 있다. 그러나 분리된 표본전략(split-sample strategy)을 사용한다면 질문의 수가 줄어들 수 있으나, 더 많은 응답자들이 필요하다. 또는 응답자가 질문에 답하는 데 싫증을 느끼면 후반의 대답들이 질이 떨어지고, 순위를 정하는 방법들을 이해하는 데 어려움을 갖는 사람들은 초반부의 대답들이 질이 떨어진단다. 때로 일부 응답자들은 이러한 상충관계에 있는 질문들은 대중이 아닌 전문가의 영역이라고 생각할 수도 있다.

셋째, 컨조인트 분석법 역시 조건부 가치측정법이 지니고 있는 단점들을 모두 해결하지는 못한다.⁶⁰⁾

⁵⁹⁾ 즉, 조건부가치측정법을 통해 도출된 유일한 환경개선 대안이 실제로 실행 가능한 최소비용의 대안이 아닐 수도 있다.

다. 컨조인트 분석법의 적용절차

본 연구에서 적용하고자 하는 컨조인트 분석법의 적용절차는 일반적으로 <그림 3-1>과 같이 정리할 수 있다.

먼저 1단계에서는 포괄적인 문헌조사를 통해 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 영향들을 식별해내고 이 중 시민들이 식별할 수 있는 대표적 속성들을 정한다. 이어서 2단계에서는 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 영향 속성들의 평가단위와 다양한 수준들을 구체화하여야 한다.

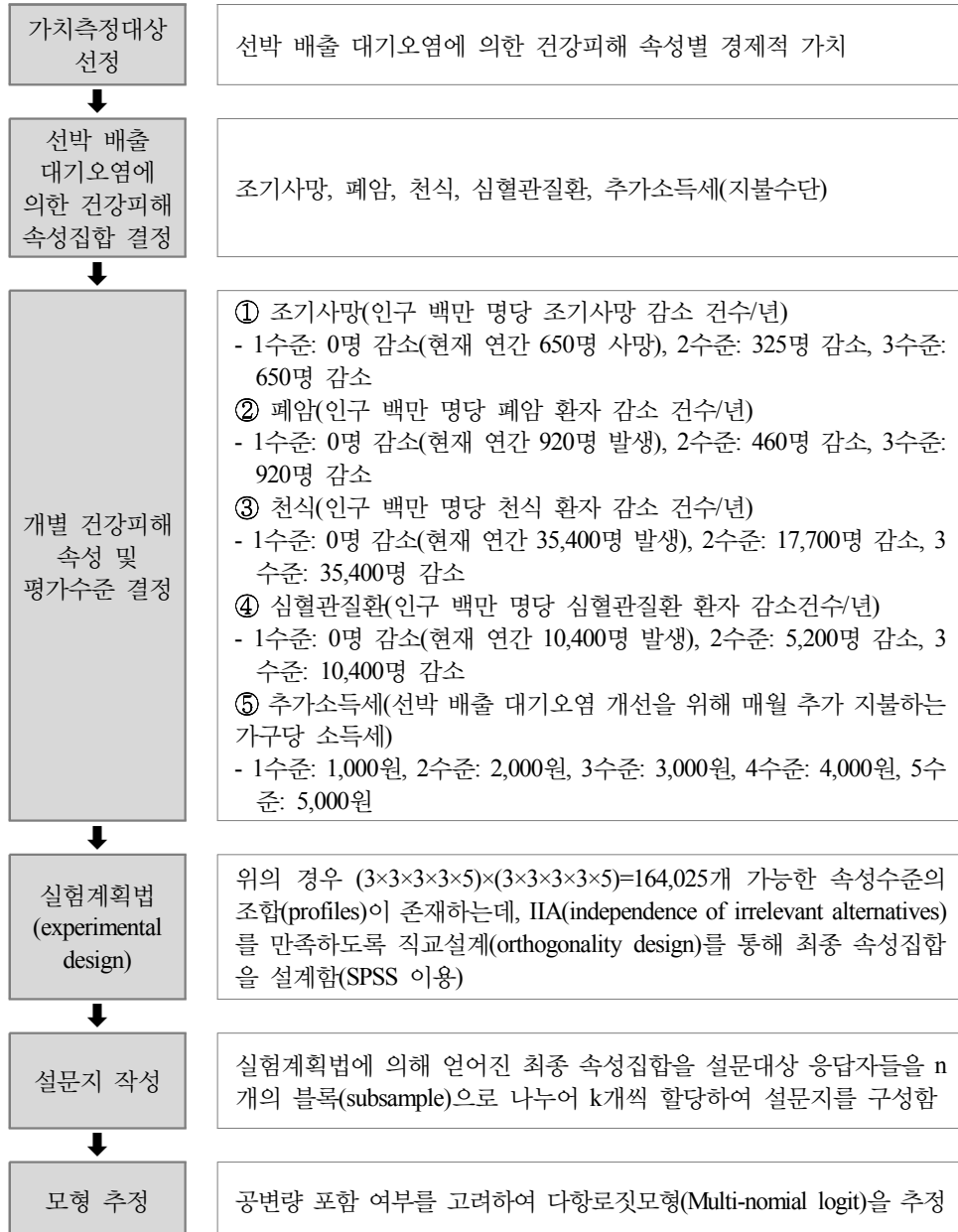
3단계에서는 실험계획법(experimental design)을 통하여 2단계에서 결정된 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 영향 속성들의 다양한 수준들로 구성된 현재 상태를 포함한 최종 선택대안들을 도출한다. 이때, 모든 선택대안들을 응답자에게 질문하는 것은 불가능할 뿐만 아니라 비효율적이므로 직교설계(orthogonal design)를 통해서 전체 시나리오 집합을 대표할 수 있는 대표적 시나리오 집합을 구성한다.

4단계에서는 시민들에게 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 속성별 경제적 가치를 도출하기 위한 설문지를 작성하고 직접 현장에 나가 설문을 시행하는 단계로 충분히 교육받은 설문조사원의 역할이 강조된다.

마지막으로 5단계에서는 설문으로부터 얻어진 자료를 취합·분석하여 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 속성별 경제적 가치를 도출하고 결과를 해석하는 단계이다.

60) 예를 들어, 실제 상황이 아닌 가상적 상황 하에서의 선택행동이라는 점과 응답자들에게 친숙하지 않을 수도 있는 서비스를 설명하는 데 따르는 어려움 등이 있다.

〈그림 3-1〉 컨조인트 분석법의 적용 절차



라. 속성별 지불의사액 추정모형

컨조인트 분석법 중 조건부 선택법을 적용하여 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 영향 속성별 경제적 가치를 추정하기 위한 지불의사액 추정 모형을 설정하고자 한다.

(1) 확률효용모형

조건부 선택법은 조건부 가치측정법에서와 마찬가지로 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 영향을 완화하기 위한 개별 응답자들의 속성별 지불의사액을 추정하기 위해 확률효용모형(random utility model)을 이용하여 정형화할 수 있다. McFadden(1974)⁶¹⁾에 의해 개발된 다항로짓모형(multinomial logit model)은 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 영향 속성들이 어떻게 응답자의 선택확률에 영향을 주는지를 모형화하는 데 있어 통계적인 체계를 제공한다.⁶²⁾ 이 모형에서 가장 기본이 되는 것은 간접효용함수이다. 응답자 i 가 선택대안 집합 C_i 내의 한 선택대안 j 로부터 얻는 간접효용함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$U_{ij} = V_{ij}(Z_{ij}, S_i) + e_{ij} \quad (1)$$

여기서 V_{ij} 는 관측이 가능한 정형화된(deterministic) 부분이고, e_{ij} 는 관측이 불가능한 확률적(stochastic) 부분이다. V_{ij} 는 현재의 선택대안과 가상의 선택대안들의 속성들(Z_{ij})과 개별 응답자들의 특성치들(S_i)의 함수이다. 응답자 i 가 선택대안 집합 C_i 내의 j 번째 대안이 아닌 모든 대안들에 대해 $U_{ij} > U_{ik}$ 을 만족한다면, 선택대안 j 를 선택할 것이다. 이때, 응답자 i 가 선택대안 j 를 선택할 확률은 다음과 같이 주어진다.

61) McFadden, D., "Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior," in P. Zarembka, ed., *Frontiers in Econometrics*, New York: Academic Press, 1974.

62) 다중로짓모형은 선택행위들이 관련 없는 대안들로부터의 독립성(independence from irrelevant alternatives; IIA)을 따른다고 가정한다. 즉, 이것은 "한 개인이 어느 두 선택대안에 대한 선택확률의 비율은 전혀 또 다른 선택대안에 의해 영향을 받지 않는다"는 것을 의미한다.

$$P_i(j|C_i) = \Pr\{V_{ij} + e_{ij} > V_{ik} + e_{ik}\} = \Pr\{V_{ij} - V_{ik} > e_{ik} - e_{ij}\} \quad (2)$$

식(2)를 추정하기 위해서는 오차항의 분포에 대한 가정이 이루어져야 한다. 다항로짓모형 하에서 오차항은 통상 독립적(independent)이며 일치적(identical)인 제 I형태 극치 분포(Type I extreme value distribution)를 따른다고 가정된다(McFadden, 1974). 이 경우 응답자 i 가 선택대안 j 를 선택할 확률은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_i(j|C_i) = \frac{\exp(\mu V_{ij})}{\sum_{k \in C_i} \exp(\mu V_{ik})} \quad (3)$$

여기서 μ 는 오차항의 분산과 역의 관계를 갖는 비례(scale) 모수이다. 식(3)에서 이 모수는 분리하여 추정될 수 없으므로, 일반적으로 불변오차분산(constant error variance)을 의미하는 1과 같다고 가정된다.⁶³⁾ 식(3)은 로그우도함수(log-likelihood function)를 극대화하는 최우법(maximum likelihood procedure)을 이용하여 추정할 수 있다.⁶⁴⁾

(2) 지불의사액 추정모형

본 연구에서는 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 영향들을 완화하기 위한 속성별 가구당 월 지불의사액(추가 소득세)을 도출하기 위해 다음과 같이 2개의 모형을 설정하였다. 즉, 개별 건강피해 영향속성에 대한 한계효용이 모든 속성수준에서 일정하다는 제약 하의 공변량을 포함하지 않는 모형(모형 I)과 공변량을 포함한 모형(모형 II)이다.

우선 모형 I에서는 간접효용함수의 관측 가능한 부분인 V_{ij} 이 상수항이 없는 속성벡터 $Z = (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5) = (\text{조기사망, 폐암, 천식, 심혈관질환, 추가소득세})$ 의 선형함수로 표현된다.⁶⁵⁾

⁶³⁾ Ben-Akiva, M. and S. Lerman, Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

⁶⁴⁾ Stern, S., "Simulation-Based Estimation," Journal of Economic Literature, Vol. 35, 1997, pp. 2006-2039.

$$V_{ij} = \beta_1 Z_{1ij} + \beta_2 Z_{2ij} + \beta_3 Z_{3ij} + \beta_4 Z_{4ij} + \beta_5 Z_{5ij} \quad (4)$$

여기서 β_1 부터 β_5 는 응답자의 효용에 영향을 미치는 개별 속성들에 대한 추정계수들이다. 이때, 개별 속성들의 현재수준으로부터 한 단위 증가(개선)에 대한 한계지불의사액(marginal willingness-to-pay; MWTP)은 식(4)를 전미분하여 다음과 같이 얻을 수 있다.⁶⁶⁾

$$MWTP_{Z_1} = dZ_5/dZ_1 = -\beta_1/\beta_5 \quad (5)$$

$$MWTP_{Z_2} = dZ_5/dZ_2 = -\beta_2/\beta_5$$

$$MWTP_{Z_3} = dZ_5/dZ_3 = -\beta_3/\beta_5$$

$$MWTP_{Z_4} = dZ_5/dZ_4 = -\beta_4/\beta_5$$

식(5)는 식(4)에서의 가격 속성에 대한 추정계수가 소득의 한계효용과 같다는 해석에 근거한다(Hanley et al., 1998). 개별 속성들에 대한 한계지불의사액을 의미하는 식(5)는 소득변화와 개별 속성들 간의 한계대체율(marginal rate of substitution)을 효과적으로 나타내고 있다.

그러나 모형 I은 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 영향들의 속성별 경제적 가치를 보다 정확하게 추정하기 위해 두 가지 측면에서 개선될 수 있다. 우선 한 가지 방법은 모형 I에 응답자들의 사회·경제적 변수들을 추가적으로 포함하는 것이다. Greene(2000)에 제시되어 있는 특정 선택대안 집합 내의 개별 선택대안들에 대해서 가상적으로 설정된 더미변수들(dummy variables)에 사회·경제적 변수들을 곱하는 방법은 본 연구에서와 같이 응답자가 다수의 질문

⁶⁵⁾ 상수항은 추정 절차에서의 특이성(singularity) 문제를 피하기 위해 추정모형에서 빠져야 한다. 이러한 특이성(singularity) 문제는 자료가 상수항 또는 사회·경제적 변수들과 같이 몇 개의 선택대안들 사이에 일정하게 포함될 때 발생한다.

⁶⁶⁾ 컨조인트 분석법에서의 후생추정치는 일반적으로 Hanemann(1984)에 의해 기술된 다음의 공식을 이용하여 유도될 수 있다. $W = -1/\lambda[V_{i0} - V_{i1}]$. 여기에서 가격속성의 추정계수인 λ 는 소득의 한계효용을 의미하고, V_{i0} 와 V_{i1} 는 각각 고려되고 있는 환경상태의 변화 이전과 이후의 간접효용을 나타낸다. 이 공식을 따르더라도 본 연구에서의 후생추정치는 동일하게 계산된다.

들에 응답하는 경우 분리된 더미변수들의 수가 급격히 증가하므로 실용적이지 못하다. 따라서 본 연구에서는 응답자들의 사회·경제적 변수들을 선택대안 집합 내의 개별 속성값들에 곱함으로써 모형을 개선하고자 하였다. 그 결과, 모형 I에 사회·경제적 변수들을 포함한 모형 II는 식(6)과 같이 수정되었다.

$$\begin{aligned}
 V_{ij} = & \beta_1 Z_{1ij} + \beta_2 Z_{2ij} + \beta_3 Z_{3ij} + \beta_4 Z_{4ij} + \beta_5 Z_{5ij} \\
 & + \sum_{k=1}^6 \gamma_k Z_{1ij} \cdot S_i^k + \sum_{k=1}^6 \delta_k Z_{2ij} \cdot S_i^k + \sum_{k=1}^6 \omega_k Z_{3ij} \cdot S_i^k \\
 & + \sum_{k=1}^6 \theta_k Z_{4ij} \cdot S_i^k + \sum_{k=1}^6 \eta_k Z_{5ij} \cdot S_i^k
 \end{aligned} \quad (6)$$

단, $S = (S^1, S^2, S^3, S^4, S^5, S^6) = (INCOME, METRO, EXPER, EDUC, SMOKING, WEAK)$ 는 개별 응답자의 사회·경제적 변수를 나타내는 벡터이며, <표 3-9>는 이 변수들의 정의와 표본 통계량을 보여주고 있다.

모형 II에서의 선박 배출 대기오염에 의한 개별 건강피해 영향 속성에 대한 한계지불의사액은 모형 I에서와 동일한 방법으로 계산될 수 있다. 식(7)은 개별 건강영향 속성별 한계지불의사액이 응답자의 사회·경제적 변수에 영향을 받고 있음을 나타내고 있다. 본 연구에서는 한계지불의사액의 계산을 위해 사회·경제적 변수들의 평균값을 이용하였다.

$$MWTP_{Z_1} = dZ_5/dZ_1 = -(\beta_1 + \gamma_1 S^1 + \dots + \gamma_6 S^6)/(\beta_5 + \eta_1 S^1 + \dots + \eta_6 S^6) \quad (7)$$

$$MWTP_{Z_2} = dZ_5/dZ_2 = -(\beta_2 + \delta_1 S^1 + \dots + \delta_6 S^6)/(\beta_5 + \eta_1 S^1 + \dots + \eta_6 S^6)$$

$$MWTP_{Z_3} = dZ_5/dZ_3 = -(\beta_3 + \omega_1 S^1 + \dots + \omega_6 S^6)/(\beta_5 + \eta_1 S^1 + \dots + \eta_6 S^6)$$

$$MWTP_{Z_4} = dZ_5/dZ_4 = -(\beta_4 + \theta_1 S^1 + \dots + \theta_6 S^6)/(\beta_5 + \eta_1 S^1 + \dots + \eta_6 S^6)$$

〈표 3-9〉 사회·경제적 변수 정의 및 표본 통계량

변수명	변수의 정의	표본	평균값	표준오차
INCOME	월 가구소득 (단위: 만원) (1: 100만원 미만, 2: 100만원~149만원 3: 150만원~199만원, 4: 200만원~249만원 5: 250만원~299만원, 6: 300만원~399만원 7: 400만원~499만원, 8: 500만원~599만원 9: 600만원~699만원, 10: 700만원 이상)	전체	6.456	2.319
		인천시	6.536	2.310
		부산시	6.376	2.327
METRO	응답자의 대도시 거주 여부 (1: 대도시 거주, 0: 중소도시 또는 농어촌)	전체	0.894	0.308
		인천시	0.844	0.363
		부산시	0.944	0.230
EXPER	최근 1년간 외출 시 대기오염 때문에 눈 따가움, 호흡곤란 및 천식, 가슴 답답함 등 을 경험 여부 (1: 있음, 2: 없음)	전체	0.562	0.496
		인천시	0.600	0.490
		부산시	0.524	0.500
EDUC	응답자의 교육수준 (년)	전체	14.808	2.337
		인천시	14.688	2.240
		부산시	14.928	2.425
SMOKING	응답자 흡연 여부 (1: 흡연, 0: 비흡연)	전체	0.262	0.440
		인천시	0.300	0.458
		부산시	0.224	0.417
WEAK	응답자 가구내 미취학 아동 또는 65세 이 상 가족 존재 여부(1: 있음, 0: 없음)	전체	0.292	0.455
		인천시	0.252	0.434
		부산시	0.332	0.471

3. 분석 결과 및 시사점

1) 모형 분석 결과

선박 배출 대기오염물질 감소의 건강효과에 대한 다항로짓모형은 TSP 5.0 프로그램을 이용하여 추정하였다. 응답자료를 전체지역, 인천시, 부산시 등으로 구분하여 모형을 추정한 결과는 <표 3-10>에 제시되어 있다.⁶⁷⁾ Wald-통계량을 기준으로 할 때, 모든 추정된 방정식들은 유의수준 1%에서 통계적으로 유의했다. 또한 간접효용함수에 포함된 모든 속성들의 추정계수들은 유의수준 1%에서 통계적으로 유의했고, 모든 추정계수의 부호는 예상했던 것과 일치하였다.

예를 들어 조기사망, 폐암, 천식, 심혈관질환 등의 속성에 대한 추정계수들은 양(+)의 부호를 지닌다. 즉, 이것은 위의 대기오염으로 인한 건강피해 감소 수준이 증가할수록 응답자는 현재 상태의 선택대안(대안 3)보다 다른 선택대안들(대안 1 또는 대안 2)을 선택할 확률이 증가한다는 것을 의미한다. 반면 추가소득세에 대한 계수가 음(-)의 부호라는 것은 추가 소득세의 형태로 응답자가 지불하는 금액이 증가할수록 응답자의 효용을 감소시킨다는 것을 의미한다.

<표 3-10> 모형 추정결과

변수명	추정계수 (t-통계량)					
	전체지역		인천시		부산시	
조기사망 (천명/년)	1.2002	(10.066)**	1.0959	(6.518)**	1.3145	(7.745)**
폐암 (천명/년)	0.7778	(9.295)**	0.8549	(7.226)**	0.7062	(5.941)**
천식 (천명/년)	0.0192	(8.796)**	0.0174	(5.660)**	0.0212	(6.796)**
심혈관질환 (천명/년)	0.0569	(7.657)**	0.0415	(3.982)**	0.0731	(6.865)**
추가소득세(1,000원)	-0.0900	(-4.141)**	-0.0945	(-3.087)**	-0.0860	(-2.776)**
관측치 개수	2,000		1,000		1,000	
로그-우도값(log-likelihood)	-1,851.6		-948.6		-898.0	
Wald-통계량a	555.2		249.0		310.2	
(p-value)	(0.0000)		(0.0000)		(0.0000)	

주 1) aWald-통계량에 대한 귀무가설은 모든 추정계수가 0이라는 것으로 이에 대응하는 p-value가 통계량 아래의 괄호 안에 제시되어 있음

2) *, **는 각각 유의수준 5%와 1%에서 통계적으로 유의함을 의미함

⁶⁷⁾ 분석에 사용된 모형은 공변량을 불포함한 모형(모형-I)이다.

선박 배출 대기오염으로 인한 건강피해를 조기사망, 폐암, 천식, 심혈관질환 등 속성별로 1단위 감소시키기 위한 응답자의 월평균 한계지불의사액(MWTP)은 식(5)와 식(7)을 이용하여 산정할 수 있다. 대기질 개선으로 인한 건강피해 속성별로 1단위를 감소시키기 위한 월평균 MWTP 추정치들은 각각 <표 3-11>에 제시되어 있다.

전체지역에 대한 추정결과에서 대기오염 개선으로 인한 조기사망 1천 명을 줄이기 위한 가구당 월평균 MWTP은 13,329.7원이며, 이 MWTP의 t-통계량은 4.242로 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하게 분석되었다. 구체적으로 전체지역을 대상으로 한 추정결과에 의하면 대기오염으로 인한 건강피해 속성별 월평균 MWTP는 조기사망이 13,329.7원/천명으로 가장 크고, 폐암이 8,637.9원/천명, 심혈관질환 631.8원/천명, 천식 213.6원/천명의 순으로 나타났으며, 건강피해 속성별 월평균 MWTP의 순위는 인천시와 부산시 등 지역별로 차이가 없음을 알 수 있었다. 단, 건강피해 속성별 월평균 MWTP를 지역별로 비교하면 폐암 속성을 제외하면 부산시의 모든 속성들에 대한 월평균 MWTP가 인천시보다 크게 산정되는데, 이것은 부산시에 거주하는 응답자들이 대도시 거주 비중과 교육수준이 높고, 가구 내 미취학 아동 또는 65세 이상 고령자가 많이 있기 때문인 것으로 판단된다.

아울러 본 연구에서는 대기오염으로 인한 건강피해 속성들에 대한 월평균 MWTP에 대해 하나의 추정치만을 제시하지 않고 이 추정치에 대한 불확실성을 반영하기 위해서 각 추정치에 대한 신뢰구간을 제시하고자 하였다. 개별 속성들에 대한 월평균 MWTP 추정치의 95% 신뢰구간을 계산하기 위하여 Krinsky and Robb⁶⁸⁾이 제안한 몬테카를로 모의실험⁶⁹⁾을 이용하였다.⁷⁰⁾

68) Krinsky, I. and A. Robb, "On Approximating the Statistical Properties of Elasticities," Review of Economics and Statistics, Vol. 68, 1986, pp. 715-719.

69) Park, T., J. B. Loomis, and M. Creel, "Confidence Intervals for Evaluating Benefits from Dichotomous Choice Contingent Valuation Studies," Land Economics, Vol. 67, 1991, pp. 64-73.

70) 몬테카를로 시뮬레이션 방법의 절차는 다음과 같다. 추정된 다중로짓모형으로부터 얻어진 모수 추정치들과 분산-공분산 행렬과 같은 다변량 정규분포로부터 N 회 복원추출을 하여 N 개의 모의(simulated) 한계 WTP들을 계산한 후, 이 값들을 따르는 분포에서 양끝의 2.5%에 해당하는 관측치들을 제외시킨다.

〈표 3-11〉 속성별 월평균 한계지불의사액

속 성	전체표본		인천시		부산시	
	한계 지불의사액 (t-통계량) ^a	95% 신뢰구간 ^b	한계 지불의사액 (t-통계량) ^a	95% 신뢰구간 ^b	한계 지불의사액 (t-통계량) ^a	95% 신뢰구간 ^b
조기사망 (단위: 원/천명)	13,329.7 (4.242)**	8,907.2~ 25,184.6	11,596.6 (3.140)**	6,793.3~ 29,254.9	15,290.1 (2.851)**	8,803.1~ 47,622.7
폐암 (단위: 원/천명)	8,637.9 (4.229)**	5,753.8~ 16,305.3	9,046.1 (3.172)**	5,341.7~ 23,404.7	8,213.7 (2.811)**	4,561.0~ 26,555.2
천식 (단위: 원/천명)	213.6 (4.195)**	141.0~ 402.1	184.5 (3.063)**	104.8~ 472.2	246.3 (2.848)**	139.1~ 790.0
심혈관질환 (단위: 원/천명)	631.8 (4.039)**	409.6~ 1,198.3	439.2 (2.745)**	212.9~ 1,179.5	850.4 (2.804)**	481.2~ 2,768.7

주 1) ^a표준오차는 델타법(Delta method)을 사용하여 계산하였음

2) ^b신뢰구간은 5,000회 복원추출에 의한 Krinsky and Robb의 몬테칼로 모의실험을 이용하여 계산하였음

3) **는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의함을 의미함

2) 건강피해의 수준 변화에 따른 경제적 가치 추정 및 시사점

본 연구에서는 <표 3-11>의 추정결과를 기준으로 선박 배출 대기오염으로 인한 조기사망, 폐암, 천식, 심혈관질환 등 건강피해를 현재수준보다 5%, 10% 감소시키기 위한 경제적 가치를 다음과 같은 절차에 따라 추정하였다.

첫째, 먼저 <표 3-11>의 추정값들은 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 속 성별로 월평균 MWTP(원/천명)을 나타내므로 이 추정값을 이용하여 현재수준의 조기사망자(650명/1백만 명), 폐암환자(920명/1백만 명), 천식환자(35,400명/1백만 명), 심혈관질환자(10,400명/1백만 명)를 100% 감소하기 위한 가구당 연평균 지불의사액을 산정한다. 둘째, 여기에 건강피해 감소 목표치인 5%, 10%를 반영하고 추가로 인천시와 부산시의 장래 가구 수를 곱한 뒤 장래 5년간(2017년~2021년) 발생하는 연도별 경제적 편익(경상가치)을 산정할 수 있다. 셋째, 특히 본 연구에서는 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해를 감소시킴으로써 발생하는 경제적 편익을 국내 예비타당성조사에서 활용하는 할인율 5.5%를 적용하여 2016년 말 기준의 현재가치로 산정하였다.

〈표 3-12〉 인천시와 부산시 장래 가구 수

(단위: 가구)

지역	2017	2018	2019	2020	2021
전체지역	2,369,297	2,393,277	2,416,493	2,439,342	2,462,190
인천시	1,047,386	1,062,924	1,078,191	1,093,229	1,108,269
부산시	1,321,911	1,330,353	1,338,302	1,346,113	1,353,921

자료: 통계청(<http://kosis.kr>), 장래 인구(가구) 추계결과, 2016.11.

위의 절차에 따라 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해를 현재수준보다 각각 5%, 10% 감소시켜 발생하는 경제적 편익(2016년 말 기준)을 추정한 결과는 <표 3-13> 및 <표 3-14>와 같다.

구체적으로 향후 5년 동안 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해를 현재수준보다 각각 5% 감소시켜 발생하는 경제적 편익(2016년 말 기준)은 인천시 744억 원, 부산시 1,201억 원으로 산정되어 부산시에서 발생하는 경제적 편익이 인천시보다 약 61.6% 크게 산정되었다. 전체지역을 대상으로는 향후 5년 동안 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해를 현재수준보다 각각 5% 감소시켜 발생하는 경제적 편익(2016년 말 기준)은 1,901억 원에 이르는 것으로 분석되었다.⁷¹⁾

이번 조사는 선박에서 배출되는 대기오염물질이 국민 건강 및 질병피해에 미치는 영향을 직접적으로 추정했다는 점에서 가장 큰 의의를 가지고 있다. 또한 선박에서 배출되는 대기오염물질이 영향을 미치는 주요 속성변수들인 조기 사망, 폐암, 천식, 심혈관질환별로 1단위 개선에 필요한 금액을 도출해 냈다는 점에서 정책적인 측면에서 크게 기여가 가능할 것으로 여겨진다.

이번 조사에서 도출된 결과는 선박 배출 대기오염 개선 정책을 다루는 정책 입안자들에게 선박 배출 대기오염 개선으로 인해 달성 가능한 다양한 건강효과와 경제적 가치에 대한 정량적 정보를 제공해 줄 수 있다. 정책 입안자들은 이러한 정보를 활용하여 선박 배출 대기오염물질 감소사업에 대한 비용 편익

71) 전체지역에서 발생하는 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 감소편익은 단순히 인천시와 부산시에서 발생하는 경제적 편익을 더하여 구한 것이 아니고, 전체지역을 대상으로 한 MWTP를 이용하여 산정하였다. 그럼에도 불구하고 위의 값은 단순히 인천시와 부산시에서 발생하는 경제적 편익을 합한 값인 1,944.7억 원에 비해 약 2.2% 차이가 존재한다.

(B/C) 분석을 보다 수월하게 진행할 수 있으며 선택 가능한 사업 방안들에 대한 조합을 직접 설계할 수도 있을 것이다.

〈표 3-13〉 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 경제적 편익 산정결과(5% 감소)

(단위: 억원)

연도	구분	2017	2018	2019	2020	2021	합계
인천시	경상가치	169.4	171.9	174.4	176.8	179.3	871.8
	현재가치	160.6	154.5	148.5	142.7	137.2	743.5
부산시	경상가치	278.1	279.8	281.5	283.2	284.8	1,407.4
	현재가치	263.6	251.4	239.7	228.6	217.9	1,201.2
전체지역	경상가치	437.1	441.5	445.8	450.0	454.2	2,228.5
	현재가치	414.3	396.6	379.6	363.2	347.5	1,901.3

〈표 3-14〉 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해 경제적 편익 산정결과(10% 감소)

(단위: 억원)

연도	구분	2017	2018	2019	2020	2021	합계
인천시	경상가치	874.1	883.0	891.5	900.0	908.4	4,456.9
	현재가치	828.5	793.3	759.2	726.5	695.0	3,802.6
부산시	경상가치	338.8	343.9	348.8	353.7	358.5	1,743.7
	현재가치	321.2	308.9	297.0	285.5	274.3	1,486.9
전체지역	경상가치	556.1	559.7	563.0	566.3	569.6	2,814.7
	현재가치	527.1	502.8	479.5	457.1	435.8	2,402.4

제4장 선박 배출 대기오염물질의 관리체계 개선 방안

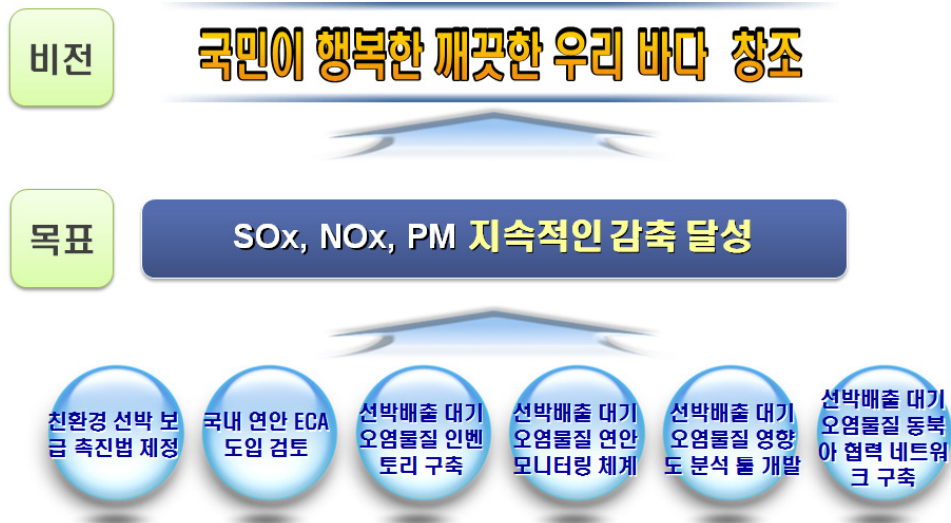
제1절 개선 목표 및 방향

1. 개선 목표

본 연구의 비전은 ‘국민이 안심하는 깨끗한 우리 바다 창조’이며 이러한 비전을 달성하기 위한 개선 목표는 SOx, NOx, PM(PM₁₀, PM_{2.5}) 등 선박 배출 대기오염물질의 지속적인 감축 달성에로 설정하였다.

또한 이러한 개선 목표를 달성하기 위한 주요 개선과제들로는 친환경선박 보급 촉진을 위한 법 제정, 국내 연안에 ECA 설정 검토, 선박 배출 대기오염물질의 인벤토리 구축, 항만 및 연안 지역 모니터링체계 구축, 영향도 분석 툴 개발, 동북아 협력 네트워크 구축 등 6가지를 선정하였다.

〈그림 4-1〉 비전 및 목표



2. 개선 방향

선박 배출 대기오염물질의 배출량 감소를 위해서 제도적 측면, 환경·보건적 측면, 국제협력적 측면의 개선방향을 아래와 같이 제시한다.

1) 선박 배출 대기오염물질의 배출량 감소를 위한 정부차원의 체계적 관리 기반 확대

제도적 측면에서 선박에서 배출되는 대기오염물질을 근원적으로 차단하기 위해서는 관련 법제도를 통해서 선박에서 배출되는 대기오염물질에 대한 명확한 규제 근거 마련이 필요하다. 이를 통해서 오염물질의 관리 주체가 명확해질 뿐만 아니라 책임 소재도 보다 분명해질 수 있다. 또한 기술적 관리방안들을 마련하여 항만과 인근 해역에서 선박이 배출하는 대기오염물질에 대한 실시간 모니터링이 가능하게 되면 보다 효과적인 기준 설정과 단속이 가능할 것이다.

이러한 법제도 개선과 기술적 관리 방안 수립은 궁극적으로 선박에서 배출되는 대기오염물질에 대한 체계적 관리를 가능하게 해 줄 것이며 이를 통해서 선박에서 배출되는 주요 대기오염물질의 50% 저감 목표 달성에 한 발 더 다가갈 수 있을 것이다.

2) 선박 배출 대기오염물질의 배출량 저감을 통한 대기환경 및 국민보건 개선 증대

환경·보건적 측면에서 선박 배출 대기오염물질의 감소는 국민보건 개선에 크게 기여할 수 있다. 특히 황산화물, 질소산화물, 미세먼지(PM_{2.5}) 등이 조기사망, 호흡기질환, 폐암, 심혈관질환 등을 초래하고 있다는 실증 연구 결과가 있는 관계로 이러한 대기오염물질에 대한 관리는 국민 삶의 질과 직결된다고 볼 수 있다.

따라서 육상에서 발생하는 대기오염물질과 마찬가지로 선박에서 배출되는 대기오염물질도 선박의 입출항이 빈번한 항만과 연안 주변에 거주하는 국민들의 보건에 심대한 악영향을 줄 수 있기 때문에 전체 국민보건 개선을 위해서는 선박 배출 대기오염물질에 대한 관리 또한 매우 중요하게 다루어져야 할 사항이다.

3) 동북아 협력 네트워크 구축을 통한 우리나라 주변 해역에 대한 관리범위 확대

국제협력적 측면에서 중국 등에서 발생한 황사, 스모그 등이 국경을 넘어서 까지 우리나라 국민들에게 건강피해를 끼치고 있는 상황을 고려해 볼 때 이웃한 국가들 간의 환경보호를 위한 국제협력은 매우 중요한 요소이다. 특히 중국에서 넘어오는 황사와 스모그는 중금속이 다량 함유되어 있을 뿐만 아니라 우리나라의 관리 범위 밖에 존재하기 때문에 지역 협력 네트워크를 구축하여 대기오염물질을 감소시켜 나가야 할 매우 중요한 분야이다.

이와 마찬가지로 우리나라 연안에서 발생하는 대기오염물질의 상당 부분이 다른 나라 선박들에 의해 발생되고 있다. 특히 이 가운데 우리나라와 인접한 중국과 일본 국적의 선박들이 발생시키는 대기오염물질의 비중이 높을 것으로 예상되는 바 이들 국가들과 상호 협조하여 선박 배출 대기오염물질을 감소시켜 나가려는 국제적인 협력 네트워크를 구축해 나갈 필요가 있다.

이러한 동북아 협력 네트워크는 일차적으로 우리나라 주변 해역에서 발생하는 대기오염물질을 감소시켜 줄 것이며 나아가 국내 항만에 입출항하는 선박들에서 발생하는 대기오염물질이 감소되어 결국 우리나라 국민들에게 피해를 주는 선박 배출 대기오염물질의 감소로 이어질 수 있다.

제2절 법제도적 관리체계 개선 방안

1. 선박 배출 대기오염물질관련 법·제도 개선 방안

1) 필요성

현행 선박 배출 대기오염물질과 관련한 법은 해양수산부의 해양환경관리법에 대부분의 해양오염물질과 대비하여 대기오염물질로 규정하고 있다. 특히, 해양환경관리법은 국제해사기구(IMO)에서 채택한 해양오염방지협약(MARPOL73/78)의 부속서 6(선박으로부터의 대기오염방지)의 규정을 국내법에 수용하여 연안

에서 운항하는 선박과 국적선에 적용하기 위하여 제정되었다. 또한, 해양환경관리법은 해양환경관리공단의 설립근거를 규정하고 있으며 대기오염물질뿐만 아니라 해양환경기본계획을 바탕으로 대기오염물질에 대한 규정을 다루기보다는 해양환경이 보존, 연안 해양환경 변화 모니터링 및 해양오염방지를 위한 법 제도의 운영과 해양환경정책에 대한 내용이 주류를 이루고 있다. 따라서 해양환경관리법은 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 효과적인 대응, 대기오염물질에 대한 관리체제에 대한 내용의 중요도, IMO의 개정내용에 대한 신속한 제·개정에 탄력적 대응, 복잡한 이해관계자로 구성된 현행 해양환경관리법의 복잡성, ECA에 대한 내용에 관련된 규정과 차후에 필요한 대기오염방지를 위한 국가기본계획이나 시행계획을 담기에는 부적합하다고 하겠다.

지금의 해양환경관리법에서 규정하고 있는 대기오염물질 관리에 대한 법 규정은 선박에 국한하여 배출되는 대기오염물질, 예를 들면 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 휘발성유기화합물(VOCs) 및 온실가스의 이산화탄소의 규제 등 선박의 배출통제 규제에 초점이 맞추어져 있다. 그리고 ECA 관련된 규정의 법 성격에도 부합되지 않는다고 볼 수 있어 종합적인 선박 배출 대기오염물질에 대한 법 체제의 정립이 필요하다. 또한, 환경부의 대기오염방지법 등 타 부처의 대기오염에 대한 업무경계를 명확히 하고 국제적인 대기오염방지에 관한 사항의 신속한 대응, 중국, 홍콩 등 자국연안의 대기오염물질 배출을 통제하기 위한 자국법의 도입과 외국적 선박에 대한 통제부분을 포함하고 있어 우리나라 선박에도 영향을 미치고 있다. 따라서 우리나라도 환경보호의 국제적 흐름에 참여하고 연안의 대기오염, 수도권 지역의 대기환경 개선, 황사나 미세먼지로 인한 피해의 감소 등을 위한 특수한 환경인 선박으로부터 배출되는 대기오염물질에 대한 규제와 시기를 포함한 법적 체계를 정비하여 ECA 지정 등을 위한 법 제도 및 관리체제에 대한 정비가 필요한 시점이라고 하겠다.

2) 추진 방안

가. 현행 해양환경관리법의 분법화 추진⁷²⁾

현행 해양환경관리법은 다양하고 복잡한 구조로 여러 이해관계자가 존재하고 해양환경이라는 범위를 “물”에서 “대기”로 확장하여 포함시키고 있으며 해양오염물질의 규제에 초점이 맞추어져 있고 해양환경보호라는 큰 아이덴티티가 있기 때문에 대기오염물질을 담기에는 역부족이다. 이는 환경부의 대기오염방지를 위한 종합적인 법률에서 선박 배출을 담아 부처 간 업무경계에 혼란을 초래할 수 있는 여지가 있기 때문에 해양환경관리법으로부터 선박대기오염에 관한 부분을 별도로 분리하여 규정하여야 한다. 또한 이 연구에서 중점적으로 검토한 선박의 입출항에 직접적인 영향을 미치고 있는 ECA의 기준의 설정, 시행시기의 공포, 외국적선박에 대한 통제 등 국제협력 등을 포함한 내용을 규정하여 해양환경관리법과 분법을 추진하는 것이 법의 성격, 법의 효용성, 국제법적인 내용의 포함과 더불어 시행의 효과성을 제고할 수 있을 것이다.

나. 대기오염물질관리 및 해사산업의 육성에 관한 법률 제정

국제해사기구(IMO)의 해양오염방지협약(MARPOL73/78) 부속서 1부터 6까지의 적용 대상 구분은 기름, 유해액체물질, 포장 및 용기로 운송되는 오염물질, 선박오수, 폐기물, 대기오염으로 구분되어 있다. 동 협약의 부속서 5까지는 해양오염물질에 대한 규제규정이지만 6의 경우는 대기오염을 다루고 있으며 또한 연료절감효과를 이산화탄소 배출 저감과 연계하여 에너지효율 규정을 제4장에 두고 있다. 이는 성격이 다른 오염물질을 한 협약에 억지로 포함시켰다고 볼 수 있다. 이는 협약의 빠른 발효와 신속한 이행을 위한 자구책이긴 했지만 바람직한 방안은 아니었다.

오히려 선박유해도로방지협약과 같이 별도로 협약을 제정하는 것이 더 좋은 방안이 될 수 있었다. 국내법의 경우 이 선박유해도로방지협약 조차도 해양환경관리법에 규정하고 있기 때문에 해양환경관리법은 여러 가지 협약과 해양환

⁷²⁾ 이영호·이윤철(2008. 7) 등 다수의 해사법 관련 논문들에서 해양환경관리법의 분법화 주장이 제기된 바 있다.

경관리공단의 설립근거까지 포함하고 있는 거대법이라 할 수 있다. 따라서 대기오염물질에 대한 부처 간의 업무경계의 명확화를 비롯하여 해양오염물질과 대기오염물질, 이산화탄소와 같이 오염물질은 아니지만 규제와 통제가 필요한 물질 등을 구분할 필요가 있다. 수도권과 한반도 전역의 대기오염에 관한 환경 개선과 더불어 미세먼지를 다량으로 뿜어내고 있는 연안의 선박으로부터 대기오염물질의 배출을 효과적으로 관리하고 법 이행의 실효성을 높이기 위하여 별도의 대기오염물질의 관리에 관한 법률이 제정되어야 할 필요성이 있다. 또한 단순히 기본법으로서 대기오염물질의 규제에 관한 해양환경관리법의 분법을 통한 독립된 법의 제정보다는 관련 산업을 지원하고 육성할 수 있는 법령 제정이 이루어져야 한다. 이 경우에 대기오염물질의 배출감소를 위하여 필요한 다양한 산업이 양성될 수 있다. 질소산화물(NO_x) 배출감소를 위하여 선택적촉매장치(SCR)나 황산화물(SO_x)의 규제를 위한 선박연료유의 질 및 소모량 관리, 에너지효율과 관련된 모니터링 및 데이터수집시스템(DCS) 등 해사산업에 직결되고 향후 해사산업의 발전과 일자리 창출에 도움이 되는 다양한 전후방산업의 경제적 효과를 고려하여 개발과 육성 지원을 하는 산업진흥법 성격의 입법이 이루어져야 한다. 또한, 기술개발(R&D)을 지원·육성하고 표준화·상용화시키는 모든 것을 법적 근거를 바탕으로 실행할 수 있도록 지원해 주는 새로운 해사산업의 육성과 관련된 법을 제정하여 발전시켜야 한다.

다. ECA와 관련된 중·장기 계획 수립

현재 여러 가지 국내외적 여건과 해운산업의 침체, 사전의 R&D 연구 결과의 부족으로 ECA에서 요구하는 기초과학자료의 제출에 어려움과 ECA 지정 예상지역에 대한 조사 분석 데이터가 전무한 실정이다. 타 주변국가의 발 빠른 움직임과 아국 선박의 피해와 협상카드로 사용하기 위해서라도 항만지역과 해역조사를 통하여 ECA 지정에 부합되는 기초연구와 R&D에 대한 투자가 선행되어야 한다.

라. ECA 지정을 위한 환경영향평가

우선, 현재 ECA 지정과 관련하여 우리나라 연안에 대한 지질학적 조사와 환

경영향평가를 통하여 지정요건에 부합되는 해역조사에 대한 데이터베이스 확보를 위한 연구를 수행할 필요가 있다. 최소한 IMO에서 요구하는 ECA 지정요건을 충족하는 것이 기본적인 요건이라고 할 수 있다. 중국의 경우, IMO의 ECA 지정요건의 만족과 기준에 부합되는지에 대한 공개적 연구보고서나 자료에 대한 제공이 없이 국가 자체적으로 ECA에 대한 지정과 시기를 발표하고 시행에 들어갔다. 또한, 제도시행에 대한 법적 공포는 이루어졌지만 이에 따른 연구 결과에 대한 자료도 없는 실정이다. 문제는 지방자치제와 중앙정부의 해상청과의 구체적인 이행에 관하여는 이견이 있는 실정이며 시행과 제도운영에 있어서도 상호보완관계가 성립될 필요가 있다고 하겠다. 따라서 우리나라의 경우에는 연안 해역에 대한 환경영향평가를 거쳐 해양보존과 대기오염에 따른 피해검토를 우선적으로 실시하여 객관적인 기준이 제정되었음을 제시하여야 한다.

마. 대기오염 모니터링체계 구축(권역별, 지역별)

일부 산발적으로 지자체나 연구기관을 통하여 온실가스에 해당되는 이산화탄소의 배출량에 대한 연구 결과나 자료가 제시된 적은 있으나 선박 대기오염물질에 대한 지역별, 권역별 배출량으로 볼 수 있는 항만구역에 대한 대기오염물질의 오염도 조사에 대한 연구가 부족하다. 이에 따른 연구를 중앙정부와 지자체 및 항만공사를 비롯한 관련기관에서 연구를 수행하여 ECA지정을 위한 객관적인 데이터베이스 자료를 확보하는 것이 중요하다고 하겠다. 항만구역에는 디젤엔진을 탑재한 차량에서 배출되는 대기오염물질도 함께 혼합되어 있으므로 선박이 입항하여 작업하는 동안에 배출되는 것을 고려하여 고품질의 벙커로 교체하여 사용하는 규정을 적용하는 것도 검토할 필요가 있으며 이와 관련된 연안 해역에서의 대기오염물질의 배출량을 모니터링하는 시스템을 구축할 필요가 있다.

바. 인접국 대기오염(황사, 미세먼지 등) 국제협상 필요

우리나라의 경우, 중국으로부터 배출된 대기오염이 수도권 지역과 중부지역까지 영향을 미치고 있다. 특히, 황사나 황해지역의 엄청난 숫자의 중국어선과 선박의 통행량은 궁극적으로 매연과 더불어 미세먼지를 다량 배출하고 있으며

이에 대한 중국과 정부차원에서의 국제협상이 이루어져야 한다. 인접한 국가의 국제협상을 위해서는 객관적인 정보와 데이터를 바탕으로 대기오염물질을 비롯한 특히, 미세먼지 등에 관한 국제협상에서의 양자회담을 통해 상호 협조하고 ECA의 지정을 위한 노력을 상호보완 관계를 정립하여 추진할 필요가 있다. 이와 관련된 정기적인 국제협상을 정부정책 수립과 관련법에 규정하여 정부의 의무사항을 규정한다면 보다 효과적으로 대응할 수 있을 것이다.

사. 철저한 항만국통제(PSC) 실시 - 집중점검기간 설정 및 시행

대기오염물질의 규제의 실질적인 효과를 고려한다면 외국적 선박에 대하여는 항만국통제를 철저히 실시하여야 한다. 특히, 우리나라 연안해역의 선박대기오염에 의한 대기환경개선을 개선하고 수도권 지역의 대기환경은 미세먼지를 비롯하여 중국선박의 영향을 많이 받고 있으므로 인천항에 항만국통제를 강화할 필요가 있다. 또한 실질적으로 우리나라 자체의 집중점검기간을 설정하여 시행하고 점차 환경친화적 선박으로 전환할 수 있도록 중국의 노후선박 조기폐선 등과 같이 금융지원 등을 비롯한 관련법을 제정하는 것도 대안이 될 수 있다.

일선 현장에서 실질적으로 가장 효과적인 대응방법으로 볼 수 있는 것이 항만국통제관들에 의한 선박의 점검과 이에 따른 조치라고 할 수 있으므로 항만국통제의 강화와 점검자들의 역량강화를 위한 교육 및 훈련 프로그램을 개발하여 주기적으로 재교육을 실시하여 관련 국제규정뿐만 아니라 국내규정의 철저한 이행이 수반될 수 있도록 항만국통제 절차에 반영하고 아태지역 MOU인 Tokyo-MOU에서 활용할 수 있도록 지원하여야 할 것이다.

3) 기대 효과

가. 국제기구 IMO에 대한 효과적인 대응,

선박으로부터 배출되는 대기오염물질의 법 제도에 대한 체계적인 관리를 통한 법 제도의 개선은 결과적으로 IMO의 협약의 이행에 있어서도 보다 비용 효과적으로 대응할 수 있는 체계를 갖추는 것을 의미한다고 하겠다. 또한 새로운 법령의 제정을 통하여 대기오염물질에 관한 사항을 규정한다면 현행 복잡한 통

합구조로 되어 있어서 개정이 힘든 해양환경관리법의 문제점을 해소할 수 있고 부처 간의 이해관계의 조정 또한 효과적으로 될 수 있다. 특히, 독립법이 갖는 특성으로서 매년 개정되는 IMO 협약의 내용을 탄력적으로 수용할 수 있고 개정할 때마다 여러 부처 및 해수부 내에 관련국 및 과 단위에 부서의견을 수렴하는 과정을 거치지 않을 수 있으므로 행정소요비용과 절차에서 상당한 효과를 나타낼 것으로 기대하고 있다. 또한 IMO에서 2016년부터 강제화를 시행하고 있는 IMO 회원국감사제도의 효과적인 대응도 기대할 수 있다.

나. 소관부처의 구분과 업무경계 확보

현행 복잡한 해양환경관리법의 체계에서 각 부처의 이해관계와 부처 내의 이해관계 및 업무경계에 있어서 상당한 혼선과 행정력 낭비를 해결할 수 있는 방안이 될 것으로 기대된다. 예를 들면 외교부와 환경부에 주관하고 있는 유엔기후변화협약에 따른 온실가스에 대한 해수부의 담당부처에 있어서도 선박에 관한 사항이므로 IMO를 대응하고 있는 해사안전국의 해사산업기술과에서 대응하는 부분도 있고 해수부 전체의 외부대응에 대한 온실가스감축에 관한 사항이므로 해양환경정책과에서 대표로 대응하는 경우도 있는데 상호 정보교환이나 내용과 정책에 대한 공유에 어려움이 있어 혼선을 초래한 경우를 볼 수 있다.

법체계가 정비되고 관리된다면 선박대기오염물질에 대한 것을 포함하여 온실가스감축에 관한 사항도 부처 내의 업무경계가 명확하게 구분할 수 있는 장점이 있다고 하겠다. 해운산업의 주관부처인 해수부에서는 선박에 의한 대기오염물질에 대한 규제와 관련 정보를 법체계 정비로 인하여 일관되게 추진할 수 있을 것으로 기대한다.

다. 법 집행의 일관성 및 지속성 확보

현행 해양환경관리법에서 해양환경에 대한 5개년계획을 세워 추진하고 있으며 5년마다 기본계획을 수정하여 최근의 트렌드나 직면한 현실적인 법 제도 운용에 다른 내용을 보완하고 있다. 실질적으로 해양환경에 초점이 맞추어져 있다 보니 대기오염물질에 관한 사항은 소홀히 할 우려가 있는 데 별도의 대기오염물질에 관한 법체계가 정립이 되어 제도적으로 운영된다면 법 집행의 일관성

과 지속성이 확보될 것으로 사료된다. 특히, 부처 간의 기획과 집행에 관한 사항의 구분이나 예방과 대응에 대한 사항의 구분이 명확하게 하여 법 제도의 일관성과 지속성이 확보될 것으로 기대된다.

라. 법 집행의 효율성 제고

정부의 입법에 따른 소관부처의 법률에 따라 각 부처에서는 법의 집행을 위한 세부 정책을 개발하고 관련정책에 대한 세부계획을 수립하여 시행하고 있다. 이는 정부조직법에 따라 각 부처의 소관사항과 직결된다고 하겠다. 그리고 정부조직법에 따라 각 부처는 법 집행의 엄격하고 투명한 절차를 확립하여 법을 집행하도록 하고 있다. 이와 관련하여 법 체제의 정립과 개선은 해양과 관련되고 국제적 성격을 가지고 있으며 특히 선박과 관련된 해양 거버넌스의 체제 확립과 정책개발에 대한 절차적 효율성에도 기여할 것으로 기대된다.

마. 법 적용의 사각지대 발굴 가능, 환경보호 효과

법 제도의 체계의 정립의 법의 효용성과 사장되어있는 법조문을 발굴하여 개선하는 것 또한 가장 중요한 정책수행의 업무라고 할 수 있다. 특히, 대법으로 복잡한 구조를 가지고 있는 해양환경관리법의 효용성 제고를 위해서라도 대기오염에 관한 사항을 분리하고 세세한 부분까지 법 집행의 여부를 모니터링하고 법의 사각지대를 발굴하기 위해서는 독립된 법령체계로 갈 필요가 있다.

또한 규제법 차원에서 조명하고 적용상의 문제점을 수시로 발굴하여 처리하기 위해서 대기오염물질에 관한 별도의 법 관리체계로의 개선이 된다면 법의 사각지대를 효과적으로 방지할 수 있으므로 결국 기대되는 환경보호효과로 연결될 수 있다고 볼 수 있다. 또한, 미래에 대기오염물질의 관리체계와 더불어 ECA의 규정을 삽입하여 규정하고 이에 따른 준비절차를 마련하고 시행계획을 수립하여 시행된다면 우리나라 연안의 대기오염물질에 의한 피해를 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

2. 배출규제해역(ECA) 제도 도입 방안

1) 필요성 및 현황

일반적으로 ECA 지정은 국민 보건, 생물 다양성, 해양환경 보호 등이 필요한 지역을 선택하게 된다. 따라서 개별 국가에서 ECA 지정은 해상교통량이 다른 지역보다 많고 대기환경이 악화된 지역이나 선박으로부터 나오는 대기오염 물질에 의해 국민들의 건강이 악화되었다는 보고서 등이 발표된 지역을 우선적으로 검토할 수 있다. 그리고 좀 더 적극적인 방안으로 항만을 포함한 도시의 대기환경을 현재 상태보다 더 악화시키지 않겠다는 방침 하에 ECA를 지정할 수도 있다.

우리나라에서 ECA를 지정하기 위해서는 해당지역에 대한 실태를 우선 조사해야 한다. 그러나 현재 우리나라 항만도시 전체를 대상으로 모든 선박에서 배출하는 대기오염물질을 조사한 보고서가 없고, 또 항만도시의 대기환경과 대기질에 대한 공식보고서도 발표된 사례가 없는 상태이다. 앞서서도 이미 밝혔지만, 해양환경에 관한 기본계획인 「환경관리해역 기본계획 및 해역별 관리계획 수립 연구」에서도 선박 배출 대기오염물질에 대한 관리방안은 없고 수질오염의 관리방안에 집중하고 있다. 국립환경과학원의 「국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정」⁷³⁾ 보고서는 국내 연근해를 운항하는 내항선박을 대상으로 대기오염물질 및 온실가스 배출 현황을 실측했으나, 외항선 등을 제외하고 항만 내 접안 및 정박에 의한 배출량을 포함하지 않아 한계가 있다. Young-Tae Chang et al(2014)⁷⁴⁾의 연구는 인천항에 국한하여 선박의 대기오염물질 배출량을 산정하였다.

73) 국립환경과학원, 「국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정」, 2014. 4.

74) Young-Tae Chang, Younghoon Roh, Hyosoo Park,(2014). "Assessing noxious gases of vessel operations in a potential Emission Control Area", Transportation Research Part D 28, pp.91-97.

2) ECA 제도 도입을 위한 추진방안

가. ECA 제도 도입 절차

ECA를 지정하는 방법은 3가지 방법을 고려할 수 있다. 첫째, 우리나라에서 IMO에서 정한 ECA 지정기준과 절차에 따라 진행하는 방법이다. 서유럽에서 실시하는 방법이 여기에 해당한다. 둘째, 우리나라 중앙정부 또는 지자체에서 개별적으로 ECA를 추진하는 방법이다. 현재 중국이 실시하는 방법이다. 셋째, 우리나라의 인근 해역에서 다른 나라와 공동으로 ECA 지정을 추진할 경우 당사국이 서로 협력해서 공동 제안을 하는 방법이다. 본 보고서에서는 IMO에서 정하는 방식에 따라 ECA를 지정하는 방안을 우선 검토한다.

우리나라 항만 등에서 선박으로부터 배출되는 SOx, NOx, PM 등의 대기오염물질을 체계적으로 관리하고자 하는 경우, 우리나라는 IMO의 MEPC에 ECA 지정을 신청할 수 있다. 신청작업은 신청에 필요한 자료와 MARPOL 부속서 VI의 부록 III(ECA 지정을 위한 절차와 기준)에 제시된 기준에 맞춰 정해진 절차에 따라 진행되어야 한다. 우리나라에서 IMO 규정에 따라 ECA 지정을 신청하면 규정에 따라 검토가 진행되고, 만약 채택되면 발효일은 최소 16개월 이상의 기간을 필요로 한다.

우리나라에서 ECA 지정 신청을 하는 경우, 해당지역에 대한 설명을 포함하여 선박에서 배출되는 대기오염물질에 대한 규제가 필요하다는 것을 스스로 증명해야 하고, ECA 지정으로 인해 발생하는 비용과 편익에 대한 자료⁷⁵⁾도 제시해야 한다.⁷⁶⁾

나. 선박 배출 대기오염물질의 실태 파악

ECA 지정을 위해 우선 필요한 선박에서 배출되는 대기오염물질의 실태를 파악해야 한다. 이때 선박은 특정 선종이 아니라 모든 선박, 외항선과 내항선, 상선과 어선, 선박의 용도와 관계없이 전체 선박을 대상으로 해야 한다.

⁷⁵⁾ 일본의 경우 ECA 지정을 사전에 검토하면서 비용은 분석했으나 편익은 검토하지 않았고, 현재 ECA 지정을 IMO에 신청하지 않은 상태이다.

⁷⁶⁾ 부속서 VI의 부록 III에 제시된 ECA 신청 시에 필요한 주요 사항들은 p.12에 제시되어 있다.

그리고 선박이 운항 중일 때와 항만에 정박 중일 때를 구분하고, 연료 종류별로 배출물질을 파악해야 한다.

참고로 일본에서는 오래전부터 대기오염에 대한 법제를 갖추고 전국적 감시 시스템을 운영하고 대부분의 대기오염물질을 모니터링했다. 즉 일본 환경성에서는 선박과 항공기를 배출원으로 하는 대기오염물질 삭감에 관한 검토 조사를 2010년 이후 3년간 실시했다. 2010년의 조사는 대기오염 상시감시 측정국의 측정결과를 분석하여 항만 주변의 대기오염상황 등을 파악하려는 목적에서 이뤄졌다. 분석대상물질은 이산화황(SO₂), 이산화질소(NO₂) 및 부유입자상물질(SPM)이었고, 분석대상항만은 항만 주변에 상시감시측정국이 설치된 항만으로, 도쿄만, 오사카만, 이세만, 기타큐슈 등 21개 주요 항만이였다. 2011년의 조사는 광화학옥시던트를 대상으로 항만 주변의 상시감시국 측정치를 이용 분석하였다. 그리고 2012년에는 항행 중의 선박 배출가스의 영향을 파악하기 위해 실시되었다. 특히 일본은 2010년에는 정부 내에 ECA에 관한 기술검토위원회를 설치하여 자국 내 ECA 설치의 필요성을 심도 있게 논의했다. 그것은 IMO 등 국제기구의 환경규제에 대한 대응적 성격을 띠고 있으며, 정부뿐 아니라 연구기관에서도 MARPOL 규제가 논의되기 시작한 시점에서부터 연구를 개시해왔다.

다. ECA 지정시의 비용 편익 분석

일반적으로 환경규제 정책을 도입하는 경우 이해관계자의 의견대립을 최소화하고 최선의 정책을 선택하기 위해 경제적 비용과 편익을 분석한다. 선박으로부터 발생하는 대기오염물질을 규제하기 위해 도입하는 ECA도 비용편익 분석이 필요하고, IMO에서 이를 의무화 하고 있다.

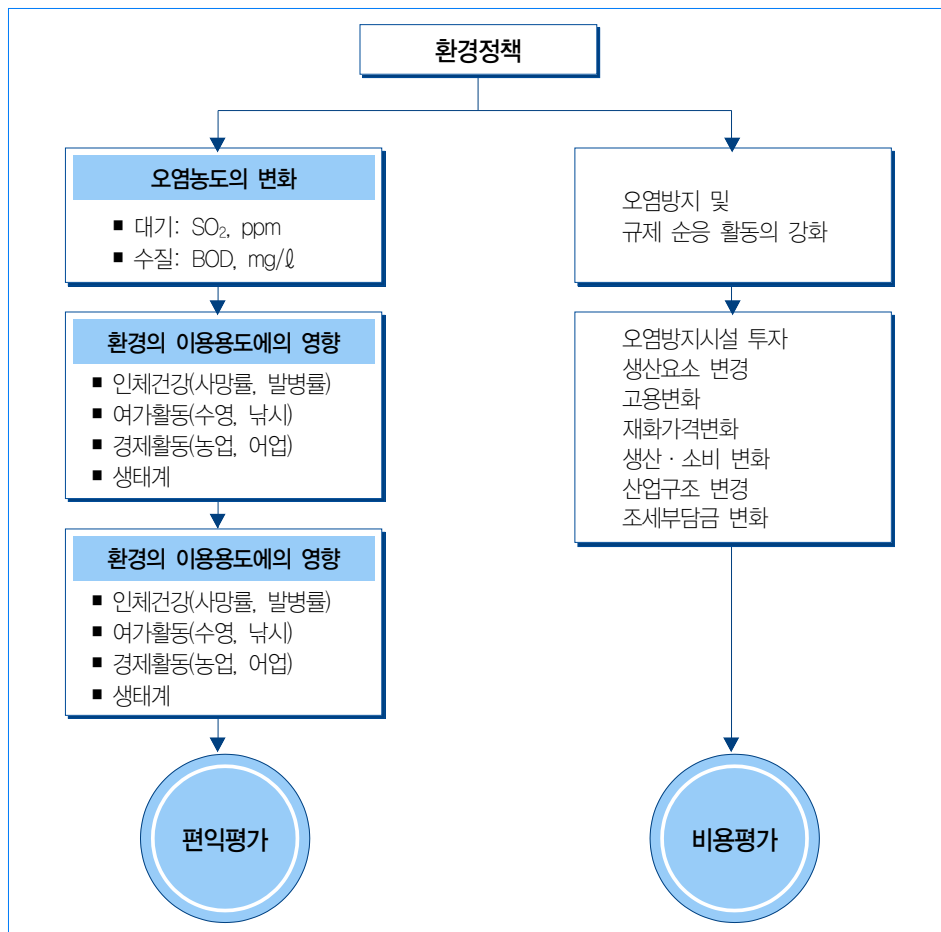
환경규제의 경제적 비용과 편익을 구체적으로 산출하기 위해서는 이들 규제 및 투자사업이 편익의 경로에서 환경질(오염농도)에 구체적으로 어떻게 영향을 미치고 이것이 환경의 어떤 이용용도에 어떻게 영향을 줄 것인가에 대한 분석(비용과 편익의 경로분석)이 우선적으로 요구된다. 다음 <그림 4-2>는 환경규제 및 투자사업이 비용과 편익의 효과를 나타내기까지의 과정을 보여주고 있다.

비용측면에서는 환경규제 시 규제를 받게 되는 기업이 오염방지 및 규제순

응의 활동을 강화함으로써 오염방지시설에 대한 투자, 생산요소 투입변경, 재화의 가격변화, 생산과 소비변화 등에 의한 비용부담의 요인이 발생하게 된다.

거시경제적으로 규제받는 산업 분야의 고용 및 소득은 감소하고 환경관련 산업의 고용 및 소득은 증가하는 등 전체적인 산업구조의 개편과 함께 고용, 물가, 소득의 변화가 예상된다고 할 수 있다. 또한 투자사업의 경우 환경투자에 직접적으로 소요되는 경비, 간접경비(예를 들면, 쓰레기 매립지를 건설하는 경우 주민보상비 및 환경적 피해), 투자액 조성에 따른 왜곡적(tax distortion) 비용이 발생하게 된다.

〈그림 4-2〉 환경정책의 비용/편익 경로



3. 동북아 지역 협력 네트워크 구축 방안

1) 필요성 및 현황

선박 배출 대기오염물질의 관리에 있어서 우리나라가 국내 연안과 항만 지역을 아무리 잘 관리하더라도 인접한 중국과 일본의 항만에 기항하는 선박들이 다른 수준의 규제 적용을 받게 될 경우 국내 항만만 규제 수준을 강화시켜 나가는 데에는 한계가 있을 수밖에 없다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 동북아 국가들 간 협력 네트워크를 구축하여 상호 실질적인 도움이 되는 방안 마련을 추진할 필요가 있다. 이는 한국, 중국, 일본, 러시아 등을 포함하고 있는 동북아 지역의 해역이 반폐쇄해⁷⁷⁾로써 환경오염문제가 발생하면 많은 국가들에 피해가 발생할 수 있는 지형적 특성을 갖고 있기 때문인 점도 있다.

동북아 지역의 환경협력 현황을 보면 동북아 환경협력(NEASPEC: North East Asian Subregional Programme of Environmental Cooperation)⁷⁸⁾, 한중일 3국 환경장관회의(TEMM: Tripartite Environment Ministers Meeting)⁷⁹⁾, 북서태평양보전실천계획(NOWPAP: Northwest Pacific Action Plan)⁸⁰⁾, 동아시아 산성비 모니터링 네트워크(EANET: Acid Deposition Monitoring Network in East Asia)⁸¹⁾, 동북아 장거

77) 유엔해양법협약(UNCLOS) 122조. 폐쇄해 또는 반폐쇄해라 함은 2개국 이상에 의하여 둘러싸이고 좁은 출구에 의하여 다른 해양에 연결되거나 또는 전체나 그 대부분이 2개 이상 연안국의 영해 및 배타적 경제수역으로 구성되어 있는 만, 내만 또는 해양을 말한다.

78) NEASPEC은 중국, 북한, 일본, 몽골, 러시아 및 한국 등 총 6개국으로 구성된 동북아 환경보호협력을 위한 정부 간 협의체이며 UNESCAP에서 조정 역할을 수행하고 있다. 국경을 넘는 자연보호활동, 월경오염 감소, 황사방지, 친환경효율적인 경제성장 도모, 해양보호구역 지정 등의 활동을 추진하고 있다.(<http://www.neaspec.org> 참조)

79) 1999년부터 시작된 한국, 중국, 일본 3국 환경장관회의는 환경관리를 도모하고, 지역 내 환경관리와 관련한 리더십을 발휘하며 세계환경수준 제고에 기여함을 목적으로 하고 있다. 황사, 산성비 등 월경성 환경문제에 공동대처하기 위하여 중국 서부생태복원사업, 중국 내 호소수질 개선사업, 환경산업 라운드 테이블, 공동 환경교육 등의 사업을 시행하고 있다.(<http://www.temm.org> 참조)

80) NOWPAP은 UNEP 지역해 프로그램의 일환으로 1994년 채택되었다. 연안 및 해양환경을 현명하게 이용, 개발, 관리함으로써 역내거주민들이 장기적 혜택을 볼 수 있도록 하며 후손들에게도 지속가능한 이용을 보장함을 목적으로 한다. 사무국은 일본 토야마와 부산에 있으며, 참여하는 4개국이 각각 1개씩의 지역활동센터를 운영하고 있다.

81) 2001년 일본 주도하에 동아시아지역 산성강하물의 현황을 파악하고 산성강하물 피해방지 대책을 수립하기 위해 지역적, 국가적 수준의 자료를 제공하며, 모니터링 참가국 간에는 협조체제를 구축함을 목적으로 한다.

리이동 대기오염물질 공동연구(LTP: Long-range transboundary air pollutants in Northeast Asia)⁸²⁾, 황해해양생태 전략행동프로그램(YSLME: Yellow Sea Large Marine Ecosystem)⁸³⁾ 등 다양한 지역 간 환경협력 활동들이 진행되고 있다.

이처럼 이미 동북아 지역의 환경 협력에 관한 다양한 채널들이 존재하기 때문에 기존 채널들을 활용해서 선박 배출 대기오염물질에 대한 국제협력 네트워크를 구축하는 것이 가장 효과적인 방안이 될 것으로 여겨진다.

2) 추진 방안

선박 배출 대기오염물질 관리를 위한 동북아 지역 협력 네트워크가 구축 방안으로는 기존에 마련된 동북아 지역의 환경관련 협력 채널을 이용하거나 선박 배출 대기오염물질에 특화된 새로운 형태의 신규 협력 네트워크를 구성하는 두 가지 방안을 고려해 볼 수 있다.

기존의 동북아 지역 환경협력 채널을 이용하는 경우는 기존 채널을 이용하기 때문에 보다 단기간 내에 실질적인 협력 방안을 만들어 낼 수 있는 장점이 있는 반면에 기존 프로그램의 특성상 이미 선박 배출 대기오염물질의 관리 외에 다른 현안 사항들도 다수 존재하기 때문에 우선순위에서 뒤로 밀리는 우려도 발생할 수 있다. 반면 새로운 형태의 신규 협력 네트워크를 구축하는 경우는 선박 배출 대기오염물질에 집중할 수 있는 장점이 있는 반면 기구 설치와 운영에 관한 참여국들 간의 협의와 조정에 상당한 기간이 소요될 것으로 전망되기 때문에 정작 관련 현안에 대해서 집중할 수 있는 시간이 부족할 수 있는 문제점이 발생할 가능성도 있다. 따라서 실효성 측면에서 볼 때 기존의 동북아 지역 환경협력 채널을 이용하는 방안이 빠르게 진행되고 있는 선박 배출 대기오염물질의 국제 규제에 대한 대응 차원에서 보다 타당할 것으로 판단된다.

⁸²⁾ 한국이 2001년부터 주도적으로 추진하는 한국, 중국, 일본 3국이 참여하여, 대기오염물질을 측정하고 국가 간 배출, 이동, 침적에 관한 연구를 수행하고 있다.

⁸³⁾ 2005년 3월 UN개발계획(UNDP)와 지구환경기금(GEF)의 지원 하에 황해의 광역생태계에 대한 국가 간의 관리 책임소재가 애매한 점을 고려하여 생태적으로 연관된 일정한 범위의 해역을 하나의 단위로 보고 생태계에 영향을 미치는 모든 요소들을 총체적이고 유기적으로 다루는 것으로 목표로 하고 있다. 이러한 목표 하에 황해 생태계에 대한 자료를 공유하고, 황해를 공동관리 하기 위한 전략을 세우고 실천하여 황해 생태계를 보전하는 활동을 수행한다.

3) 기대 효과

선박 배출 대기오염물질 관리를 위한 동북아 지역의 협력 네트워크가 구축·운영될 경우 국내 연안 및 항만구역에서 대기오염물질의 관리가 보다 용이하게 진행될 수 있으며 배출량 감소에 있어서도 실효적인 성과의 달성 가능성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

또한 동북아 지역의 협력 네트워크를 통해서 관련 국가들의 선박 배출 대기오염물질의 배출량 정보 및 산정방법론 등에 관한 기술적 정보 공유도 가능할 것으로 판단되며 이러한 정보를 적극 활용할 경우 국내 선박 배출 대기오염물질의 인벤토리 산정방법론에 대한 신뢰성 제고도 가능할 것으로 기대된다.

제3절 선박 배출 대기오염물질의 기술적 관리체계 개선 방안

1. 선박 배출 대기오염물질 인벤토리 구축 방안

1) 필요성 및 현황

현재 우리나라는 미세먼지 오염이 전 국가적인 관심사로 부각되어 미세먼지의 직접적인 배출 및 이차미세먼지 생성물질의 배출 저감을 위한 여러 정책들의 필요성이 빠르게 증가하고 있다. 항만 주변 및 인근 연안 지역의 경우 중대형 화물선의 운항 및 정박 시 배출되는 대기오염물질이 대기질과 주민건강에 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이러한 지역주민의 보건 문제는 언론을 통해서 공론화될 경우 항만 주변 주민들과의 마찰을 불러올 수 있는 주요 사안이 될 가능성이 높기 때문에 시기적절한 대책 마련이 중요하다. 미국과 같은 주요 선진국의 경우 이미 십여 년 전부터 수출입 항만 인근지역의 대기오염 개선과 주민 건강 보호를 위해 대형 화물선에서 배출되는 대기오염물질의 발생량을 저감시키는 다양한 정책을 실시하고 있다. 우리나라도 이와 유사한 정책의 도입이 매우 필요하며 이를 위해서 기초적인 현황조사 및 장래예측 자료의 구축이 매우 필요한 상황이다.

그동안 국외 항만관련 대기오염물질 배출 및 저감 방안에 관한 관심은 주로 선박을 대상으로 이루어져 왔으나, 이에 대한 국제적인 배출규제가 진행되고 항만 도시지역의 대기질에 대한 관심이 증가하면서 최근에는 항만시설 및 주변 지역 전체에 대한 포괄적인 연구와 조사가 수행되고 있다. 미국 캘리포니아 산 페드로 만의 LA항과 LB항의 경우 각각 2001년과 2002년부터 선박, 항만하역장 비, 트럭, 기관차에 대한 대기오염물질 배출량을 산정해 오고 있으며, 항만 대기오염 관리를 위한 청정대기행동계획(Clean Air Act Plan) 등 다양한 대책들을 수립하여 시행해오고 있다. 한편, 국내에서 선박에 의한 오염물질의 배출량 산정에 관한 연구는 제한적이고, 특히 선박 배출 대기오염물질이 인근 지역의 대기질에 미치는 영향에 관한 실증 연구가 매우 부족한 상황이다.

2) 추진 방안

최근 선진국 주요 항만에서는 지역 환경보전을 위해 대기환경개선을 위한 현황 조사와 제도 개선을 위한 노력이 진행되고 있다. 이에 따라 기존의 선박 및 항만 대기오염 배출량 산정이나 배출량 저감을 통한 환경개선을 위한 연구와 정책개발에 많은 관심이 모아지고 있고 실질적인 프로젝트가 다양하게 진행되고 있다.

따라서 본 조사에서는 여러 선진국에서 활용되고 있고 국제적으로 대기오염 물질을 산정하기 위해 적용하고 있는 선박부분에 대한 산정 방법론 및 적용 배출계수를 검토하여 우리나라 실정에 맞는 일관되고 합리적인 배출량 산정 방법론을 마련하는 기초연구 자료로 활용하기 위해 관련 내용들을 논의하고자 한다.

가. EU 선박 배출 대기오염물질량 산정 방법

CORINAIR(Core Inventory of Air Emissions) 지침서는 기후변화, 산성화, 부영양화, 오존, 대기질 및 유해물질의 확산 등의 환경문제와 관련된 모든 오염원으로부터의 대기배출 인벤토리 및 데이터베이스 시스템에 대한 전반적인 정보를 수록하기 위하여 유럽환경청(EEA, European Environment Agency, 이하 EEA)이 작성하였다.

EEA의 배출원 분류체계에서 선박 분야의 SNAP(Selected Nomenclature for sources of Air Pollution)코드와 NFR(National Format for Reporting)에 대한 내용은 각각 아래 <표 4-1>, <표 4-2>와 같다.

〈표 4-1〉 CORINAIR SNAP code

SNAP code	title	Coverage
080402	National sea traffic	입·출항이 자국 내에서 발생하는 소형 레저선을 포함한 모든 선박을 대상으로 하며, 어선과 군사용 선박은 제외
080403	National fishing	국적과 어업활동지에 상관없이 상업용 어업활동과 관계된 모든 선박을 대상으로 하며, 해당 국가에서 판매된 모든 연료는 국내어업활동 분야에서 배출된 것으로 간주하기 때문에 이 분야에 international bunkering은 고려되지 않음
080404	International sea traffic (international bunkers)	해당국가에서 국제운항선박에 판매된 유류연소에서 배출되는 것으로 이 부분에 대해서는 UNFCCC와 UNECE에 정보차원에서 제공함
080304	Inland goods carrying vessels	내륙운하 등에서 운영되는 화물선들로 주로 평균출력 500KW의 200~800KW사이의 저속 디젤 엔진이 장착된 선박류를 포함

자료: EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook(2009)

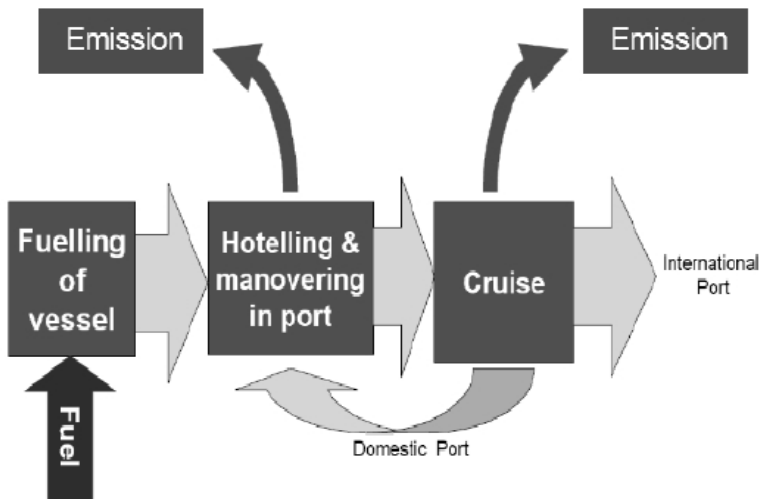
〈표 4-2〉 NFR의 배출원 정의

Source category	정의
1.A.3.d Water-borne Navigation	배출물질의 발생원은 어선을 제외한 호버크래프트 및 수중익선을 포함한 동력선박에서 추진용으로 사용된 연료, 국내/국제 운항에 대한 구분은 국적이 아닌 입출항지를 기준으로 함
1.A.3.d.i International Water-borne Navigation(International bunkers)	배출물질의 발생원이 국제운항에 사용된 모든 국제선박의 사용 연료로서 바다, 내륙운하, 호수, 연안해역 등에서 발생할 수 있으며, 입출항지가 서로 다른 나라일 경우를 말함, 여기서 어선은 제외됨
1.A.3.d.ii Domestic Water-borne Navigation	배출물질의 발생원은 동일 국가 내에서 입출항이 발생하는 모든 국적선박의 사용연료, 어선의 경우 1.A.4.c.iii에 군사용선박의 경우는 1.A.5.b로 할당됨
1.A.4.c.ii (mobile combustion)	배출물질의 발생원은 국적과 어업활동지에 상관없이 내륙, 연안, 심해에서의 조업활동에서 발생하는 선박의 사용연료, 해당 국가에서 판매된 모든 연료는 국내어업활동 분야에서 배출된 것으로 간주함. International bunkering은 발생되지 않음
1.A.5.b. Mobile(water-borne navigation component)	그 외 모든 수상장비류 등의 활동에 사용된 연료에서 발생된 배출, 자국의 군사용 활동에 공급된 연료와 자국에서 공급되었으나 타국의 군사용으로 사용된 연료에서 발생한 배출을 포함
Multilateral operations(water-borne navigation component)	UN현장에 따른 다국적 활동에 사용된 선박으로 부터의 연료사용에 대한 배출, 자국, 타국에 공급된 모든 연료를 포함

(1) 선박 배출원의 개요

선박 배출물질 중 연료연소에 의해 배출되는 경로는 크게 두 가지로 구분된다. 하나는 선체추진을 위한 주동력 기관에서의 배출이며, 다른 하나는 전력 제공 또는 정박 시와 같은 때 기타 부가적 목적을 위한 보조기관에서의 배출이다. 선박에서의 연료연소와 관계된 배출을 운항활동에 따라 살펴보면 <그림 4-3>과 같은 흐름도로 표현될 수 있다.

<그림 4-3> 선박의 연료연소에 따른 배출과 운항활동의 흐름도



상기 <그림 4-3>과 같은 흐름도에서 배출원단위(개별선박)의 정박-접안-운항 등의 개별 구간에 대한 배출량의 할당에 있어서 국가 배출량(National Emission)과 국외 배출량(International Bunkering Emission)에 대한 구분이 필요하며, 그 정의는 국적이나 운항지를 기준으로 하지 않고 선박의 입출항에 기초하여 다음 <표 4-3>과 같이 정의한다.

〈표 4-3〉 NFR의 배출원 정의

운항형태	Domestic	International
입출항이 동일 국가 내에서 발생할 경우	Yes	No
입출항이 서로 다른 국가일 경우	No	Yes

- 대부분이 선박 운항은 개별 운항단위(individual trip segments-from one departure to the next arrival)로 자료가 취합되며, IPCC GPG 2000이 요구하는 대로 중간에 정지하는 다른 형태의 운항은 따로 구분되지 않음.

이와 같은 운항형태에 대한 구분이 필요한 이유는 지속적이고 일관된 방법에 의한 배출보고와 개별 국가의 에너지 수급 자료에 있어서 중복산정을 피하거나 제외되는 것을 파악하기 위함이다.

(2) 선박 배출원의 기술적 검토

선박 디젤엔진의 경우 선박산업에서 추진용 주엔진과 보조용 발전엔진 등에 가장 널리 사용되고 있다. 2000년 기준 전 세계에서 운항 중인 선박들 가운데 3만 대 이상을 조사한 결과 약 95 %가 디젤엔진이었으며 약 5 % 정도가 증기터빈기관, 약 0.1 %는 여객용 선박으로 가스터빈이 사용되고 있었다. 주요 선박엔진들의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

- Slow speed diesel engines: 최대 300 rev/min의 속도로 작동되며, 통상 80~140 rev/min 사이에서 운전되는 2행정, 4~12 실린더의 크로스헤드형 엔진(Cross head engines)이다. 최근 일부 디자인은 제동 평균 유효압력(BMEP)가 17 bar이고, 4,000 kw/cylinder를 초과하는 모델들이 있으며, 해양산업에서 주추진용을 목적으로 사용
- Medium speed diesel engines: 이 범위의 엔진들은 300~900 rev/min에서 작동되는 4행정으로 통상 트랭크형 피스톤이 최대 직렬 12기통 또는 V형 20기통의 형태. 현재 사용되는 디자인은 출력범위 100~2,000 kw/cylinder 이며, 제동평균유효압력의 범위가 10~25 bar로 주로 주추진용 또는 보조추진용의

목적으로 사용. 디젤 발전장치로도 사용.

- High speed diesel engines: 최대 운전 900 rev/min 이상의 엔진을 말하며, 본래 상기의 중속디젤엔진의 소형버전 또는 육상용 트럭의 대형버전. 소형선박에 사용되거나 선박의 보조 출력용으로 장착(On board power).
- 그 외 Steam turbines, Gas turbine 등이 있음.

또한, 상기 5가지 형태의 엔진들은 사용연료에 따라 Bunker fuel oil(BFO, RO), Marine Diesel Oil(MDO), Marine Gas Oil(MGO)를 구분하는데, 이것은 배출되는 물질들이 엔진형태에 따라서도 다양하지만, SO_x나 중금속과 같이 연료 사용량과 더 밀접한 관계를 가지는 경우도 있기 때문이다.

선박에서 배출되는 물질들은 연료사용에 따른 엔진의 내부연소에 의해서 생성되는 것으로 엔진의 내부연소특성과 관련 있는 CO, VOC, PM, NO_x과 연료의 성분과 관련된 CO₂, SO_x, 중금속, 2차 생성입자(예.Sulphate) 등으로 매우 다양하다.

가스상 물질의 배출에 있어 제어될 수 있는 기술적 요인은 배기가스처리 기술과 연관된 연소제어기술과 연료자체에 대한 제어가 있을 수 있다.

IMO의 MEPC에서는 선박의 배기가스 처리 및 이산화탄소 지수화 등에 대한 가이드라인 채택을 회원국들에게 그 내용을 소개하고 있으며, 그 내용은 다음과 같다.

- NO_x limits [Regulation 13]
- Ozone depleting substances [Regulation 12]
- Sulphur oxides, through sulphur in fuel [Regulation 14]
- Sulphur oxides further through the designation of sulphur dioxide emission control area (SECA), [Regulation 14]
- VOC from tankers [Regulation 15]
- CO₂와 PM을 줄이기 위해서 엔진디자인, 연료분사시스템 등을 개선한 효율의 최적화
- 디젤기관에서 NO_x 배출 저감을 위한 배기가스재처리장치 (EGR: Exhaust Gas Recirculation)

- 배기가스 후처리기술인 선택적환원촉매법 (SCR: Selective Catalytic Reduction)과 비선택적환원촉매법 (SNCR: Selective Non Catalytic Reduction)을 이용한 NOx 제거
- SO₂ 제거를 위해 바닷물을 이용한 습식처리기술, EU의 중유 (Heavy Oil)나 경유 (Gas oil)의 황 함량지침 (EU-directives 1993/12, EU-directive 1999/32)과 황산화물 배출규제해역(SECA)에서의 황 함량지침(EU-directive 2005/32), MEPC의 연료 중 황 함량과 강화된 NOx 기준과 이에 따른 선박건조기준

선박 엔진에 대한 강화된 NOx 기준은 <표 4-4>와 같다.

<표 4-4> 선박엔진에 대한 NOx 배출제한

Regulation	NOx limit	RPM(n)
Tier I 2000.01.01 ~2011.01.01	17 g/kWh $45 \times n^{-0.2}$ g/kWh 9.8 g/kWh	$n < 130$ $130 \leq n < 2000$ $n \geq 2000$
Tier II 2011.01.01~	14.4 g/kWh $44 \times n^{-0.23}$ g/kWh 7.7 g/kWh	$n < 130$ $130 \leq n < 2000$ $n \geq 2000$
Tier III 2016.01.01~	3.4 g/kWh $9 \times n^{-0.2}$ g/kWh 2 g/kWh	$n < 130$ $130 \leq n < 2000$ $n \geq 2000$

* n: 정격기관속도(Rated engine speed)-크랭크샤프트분당 회전수

이후 IMO에서는 2008년 8월에 1990~2000년 이전에 건조된 선박 중 출력 5,000 kW 그리고 90 L/cylinder 이상의 기관에 대해서도 질소산화물 배출규제가 소급적용 되었다. EU의 Directive 2003/44에는 레크레이션용 선박에 대해서도 <표 4-5>와 같이 엔진종류별로 배출규제를 하고 있다.

〈표 4-5〉 레크레이션용 선박에 대한 규제(EU Emission Directive 2003/44)

Engine type	Impl. date	CO=A+B/P ⁿ			VOC=A+B/P ⁿ			NOx	TSP
		A	B	n	A	B	n		
2행정 가솔린 (2-stroke gasoline)	1/1 2007	150.0	600.0	1.0	30.0	100.0	0.75	10.0	-
4행정 가솔린 (4-stroke gasoline)	1/1 2006	150.0	600.0	1.0	6.0	50.0	0.75	15.0	-
디젤 (Diesel)	1/1 2006	5.0	0.0	0	1.5	2.0	0.5	9.8	1.0

* n: 정격기관속도(Rated engine speed)-크랭크샤프트분당 회전수

(3) 산정방법론

Tier 1, Tier 2, Tier 3에 따라 배출량 산정 방법론은 조금씩 차이가 난다. Tier 1과 Tier 2는 배출량 산정 시 기본활동도의 지표로 유량판매량을 이용하며, 선박종류별로 평균화된 특성을 가정하여 계산하는 방법이다. 반면 Tier 3는 개별 선박의 운항정보를 기초로 하여 배출량을 산정하는 방법이다.⁸⁴⁾

나. 미국 선박 배출 대기오염물질량 산정 방법

EU 선박 배출 대기오염물질 산정방법론과 비교했을 때, 특징적인 부분을 중심으로 미국에서 활용되고 있는 선박 배출 대기오염물질 산정방법론을 살펴보고자 한다. 먼저 입항하는 개별 선박의 배출량을 산정하기 위해서는 선박의 입출항 자료, 선박엔진의 상세 자료(엔진출력, 최고속도)를 이용해 엔진 가동시간과 배출계수를 구한다. 즉 배출량 산정은 실제 개별선박의 실제 운항정보와 엔진출력(kW) 정보를 이용하여 활동도(운항시간) 산출법으로 알려진 기법을 사용하며 배출량 산정에 사용되는 식은 아래와 같다.

$$E = MCR \times LF \times A \times EF$$

84) 산정방법론에 관한 보다 자세한 사항은 부록2 참조 바람

여기서 E는 선박 배출량(g/hr), MCR(Maximum continuous rated engine power)은 엔진 최고출력(kW), LF(Load factor)는 부하량(무차원), A(Activity)는 주엔진 또는 보조엔진 가동시간(hr), EF(Emission factor)는 배출계수(g/kWh)를 나타낸다. 선박의 배출량 계산에 있어 개별 선박의 엔진 정보, 즉 선박에 탑재되어 있는 주엔진 디젤기관, 보조엔진 디젤기관, 보조보일러로 되어있는 엔진종류별로 구분하여 산출한다. 또한 각각의 기관은 선박의 운항이나 정박상황에 따라 달리 가동되므로 항해 중(at sea), 정박 중(at port), 접 이안(manuevering)으로 나누어 배출량을 산출한다.

선박의 주엔진 출력(MCR) 및 최고속도(부하량 산출을 위한)는 ISR(Lloyd's Internet Ships Register) 자료를 사용한다.⁸⁵⁾ ISR은 전 세계를 운항 중인 87,000여 척의 선박정보를 보유하고 있으며 300톤 이상의 선박에 대해서 엔진 상세자료(주엔진 출력 및 최고속도) 검색이 가능하다.

(1) Load Factor

주엔진의 부하량(LF)은 Propeller Law(식 6)를 이용하여 산출하였으며 보조엔진의 부하량은 선박종류와 운항모드별로 유도된 ICF Consulting사가 제공한 자료를 활용한다.

$$LF = (AS/MS)^3$$

여기서 AS(actual speed)는 항만 항계 내의 속력 규정의 구역별 최고항행속력을 적용하여 배출량 산정에서 주요 인자인 주엔진의 엔진부하(LF)와 엔진 가동시간(A)을 산출한다. MS(maximum speed)는 최고속도(knot)를 나타내며 ISR에서 검색하면 얻을 수 있는 정보이다.

(2) 배출 계수

선박의 대기오염물질 배출량 산정에 사용된 배출계수는 Lloyd's register의 엔진 서비스 정보를 기초로 선박 배출량 데이터베이스를 만들고 이를 분류 가공하여

⁸⁵⁾ <http://www.ships-register.com>

엔진의 종류와 연료의 종류에 대한 선박의 배출계수(NO_x , SO_2 , HC, CO_2 , PM)를 각각의 운항, 접안, 정박오드에 대해서 산출한 자료를 사용한다.

다. 배출량 산정 프로그램을 이용한 선박 배출 대기오염물질 인벤토리 구축 방안

(1) 배출량 산정 프로그램

미국 선박 배출 대기오염물질의 산정방법론을 바탕으로 구축된, 항만 연안 지역 선박 배출량 산정 프로그램은 각 항구별 선박의 입출항 정보와 개별 선박 엔진상세자료를 기초로 배출계수, 부하율, 항만시설 코드와 주엔진 출력식 등을 LMIU code (Lloyd's Marine Intelligence Unit) 기준으로 데이터베이스화 하여 항만의 정책수립 및 연구목적의 자료를 도출하고, 선박의 배출량을 산정하여 도표화가 가능하며 모든 오염물질은 좌표화되어 대기확산모델링의 기초자료 및 분석자료로 활용이 가능하다.

항구별 선박입출항 정보를 정리 후 그 자료를 데이터베이스에 연산이 가능한 형태로 입력하는 프로그램을 제작, 선박의 입출항 자료를 분류하여 분류코드(LMIU code)를 생성, 분류코드별로 대기오염물질의 양을 자동으로 산정하여 데이터베이스화하는 알고리즘 개발과 항구별, 시간대별, 배출물질별, 선박종류별로 선박 대기오염 배출량을 산정하고 결과물을 도식화하고 파일화하기 위한 프로그램개발 등을 통해 인벤토리 구축이 가능하게 된다.

사용자는 제공되는 프로그램을 통해서 선박 입출항 정보 및 관련 데이터(port-mis DB)를 통합 DB에 저장하고 입력되는 모든 데이터는 indexing 되어 저장되며 필요 정보 검색 시에는 전체 data를 full scan하지 않고 index scan 방식으로 검색하여 결과가 제공된다.

(2) 프로그램 알고리즘

선박의 배출량 계산에 필요한 개별 선박의 엔진상세 정보, 배출계수, 로드팩터(load factor), 입출항 자료, LMIU 선박분류, 주엔진 출력식, 선박의 이동경로를 포함한 정박지 정보 등을 excel 파일로 정리하여 저장한다. 저장된 자료는 연도별 입출항 자료에 입혀지는 작업을 거쳐서 연도별 배출량 계산

작업을 수행하게 된다. 입력 자료는 필요 시 업데이트가 가능하며 연도별로 계산 작업 수행 시 오류가 난 입력자료를 확인하여 수정이 가능하다. 프로그램 입력부분은 선박의 입출항 정보, 기술자료, Lloyd ships engine data, 조사한 자료로 구성되고 선박의 입출항 정보는 선박의 입출항 시각, IMO number, call sign, vessel name, gross tonnage, 입항목적 등의 자료를 제공하는데 입출항 시각은 선박의 정박시간을 구하는 목적에 사용되는 정보이며 IMO number, call sign과 vessel name은 선박의 엔진상세 정보를 검색하는 인자로 모두 DB화 된다. 기술자료는 주엔진/ 보조엔진의 배출계수와 선박의 분류, 주엔진 출력식, 항만에서의 선박 배출 좌표 등의 내용을 포함한다.

Lloyd Ships Engine Data는 엔진출력(kW)과 최고속도(knot)를 ISR(Internet Ships Register)에서 검색하여 거의 모든 선박 엔진정보를 DB화할 수 있다. 그리고 부산항 관제센터에서 실제 선박 종류별 이동속도를 조사하여 배출량 계산에 활용한다. DB화한 정보는 검색을 통해서 데이터 확인, 보완작업을 지속적으로 할 수 있으며 excel 파일로 저장이 가능하여 자료 활용을 용이하게 하며, 부산항 입출항 선박이 정박하는 장소(부두, 정박지 등)와 이동항로에 좌표를 부여하고 code화하여 분류한다. 부여된 code는 선박의 운항모드 및 정박지에서의 배출량 취합을 용이하게 한다. 입항 장소별 분류정보에는 지역의 명칭, 항로 거리, 항만 시설 코드 등의 정보를 포함하고 있다. 분류된 정박지 및 이동 경로를 구간으로 나누어 좌표값을 지정해 두어 좌표별로 배출량을 확인할 수 있으며 대기오염 모델링 작업과 연동 가능하도록 한다. 좌표는 위경도, degree와 UTM 좌표를 모두 포함하고 있어 목적에 따라 적용이 가능하다.

3) 소요 예산 및 기대 효과

본 추진과제인 선박 배출 대기오염물질 인벤토리를 구축하기 위해서는, 본 시스템의 기본 프레임을 구축하는 작업에 최소 1~2년의 기간이 필요하고 연안 특정 지역의 적용 가능한 인벤토리까지 구축하는 데 필요한 총 작업 시간은 2~3년으로 추정된다. 또한 본 과업을 수행하기 위해서는 기본 프레임 작업에 1억~2억, 적용 가능한 인벤토리 구축 과업에는 2~3억 정도의 예산이 필요할 것으

로 예상된다.

선박 배출 대기오염물질 인벤토리가 구축되면 모든 선박에서 발생하는 대기오염물질의 배출 총량에 대한 추정이 가능하며 이를 통해서 선박 배출 대기오염물질의 장래 감소 목표치와 단계별(연차별) 감소 목표치 설정이 가능하다. 이를 통해서 정책 집행의 실효성 파악이 용이해질 뿐만 아니라 개별 정책에 대한 예상 효과 분석도 일정 부분 가능해질 것으로 전망된다. 더불어 모니터링체계가 완벽하게 구축될 경우에는 실시간 배출량 산정도 가능할 것으로 기대된다.

2. 선박 배출 대기오염물질 연안 지역 모니터링 구축 방안

1) 필요성 및 현황

우리나라의 경우 삼면이 바다인 관계로 연안을 통해서 이동하는 선박의 수가 많을 뿐만 아니라 주요 항만의 통항로와 입출항 지역의 경우 다수의 선박이 밀집하기 때문에 선박에서 배출되는 대기오염물질의 농도가 상대적으로 높을 가능성이 매우 높다. 하지만 지금까지 이러한 국내 연안과 항만 구역에 대한 모니터링체계가 미비했던 관계로 선박으로부터 나오는 대기오염물질의 배출 현황이 실제로 어느 수준인지를 알 수 있는 방법이 전무한 상태이다.

선박 배출 대기오염물질에 대한 모니터링체계를 구축하는 것은 선박에서 배출되는 대기오염물질이 일정한 조건아래에서는 육상에도 영향을 미칠 수 있기 때문에 육상의 대기오염물질 관리 차원에서도 매우 중요한 관리체계의 일부분이다. 특히 부산과 인천 등 배후권역에 대규모 항만을 두고 있는 지역의 경우 잦은 선박의 입출항으로 인해 선박에서 발생하는 대기오염물질로부터 자유로울 수가 없는 구조이다. 따라서 전국 항만과 연안을 대상으로 한 국내 연안 지역 모니터링체계 구축은 선박 배출 대기오염물질의 관리를 위한 첫 단계이자 육상 대기오염물질 관리를 위한 마지막 단계가 될 수 있다.

2) 추진 방안

가. 선박 배출 대기오염물질

일반적으로 대기오염물질로 오염된 공기는 순수한 공기성분, 수분 및 다양한 대기오염물질로 혼합되어 있다. 특히 선박 배출 대기오염물질 중 PM_{10} , $PM_{2.5}$, 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x) 등이 주된 관심 대상 물질이다.

이렇게 선박 배출 대기오염물질에 의해 오염된 공기 중 특정 오염물질의 농도를 분석하기 위해서는 먼저 대표성과 신뢰성을 가질 수 있는 적절한 시료채취 위치와 채취지점을 선정 한 후, 특정 오염물질만을 선택 분리할 수 있는 방법을 통해, 시료를 채취한 후, 적절한 전처리와 분석방법을 통하여 측정해야 한다.

이론적으로 가능하면 시료 채취 지점수를 많이 선정하여 분석된 농도자료는 대표성과 신뢰성을 높게 유지할 수 있다. 그러나 시간과 경비의 제약으로 인해 시료채취 지점수를 무한정 선정할 수 없기 때문에, 가능한 농도자료의 신뢰성과 대표성이 확보될 수 있는 시료 채취 위치를 적절히 선정함으로써 이와 같은 문제를 완화할 수 있다. 특히 해안에 가까운 연안 지역은 해풍의 영향을 많이 받는 지역이므로 이러한 주요 요인들을 적절하게 고려하여 대기오염물질 시료 채취 지점을 선정해야 한다.

대기오염물질의 생성기구에 따라 배출원으로부터 배출된 형태 그대로인 1차 오염물질(primary pollutants)과 1차오염물질이 대기 중에서 1차오염물질 간 화학반응 혹은 1차오염물질과 대기 중의 정상성분과 화학반응을 통하여 생성된 2차 오염물질 (secondary pollutants)로 분류될 수 있다. 그러나 일반적으로 사용되는 대기오염물질의 분류는 대기오염물질의 물리적인 성상에 따른 분류로써, 물리적 상태가 고체상인 물질들은 입자상 대기오염물질 그리고 물리적 상태가 가스상인 물질들은 가스상 대기오염물질로 분류된다.

(1) 입자상 대기오염물질

일반적으로 대기오염물질 중 입자상 대기오염물질이 차지하는 비율은 약 9% 정도이다. 대기 중 입자상물질의 입경 범위는 $0.001\ \mu m \sim 500\ \mu m$ 정도이나, $0.1\ \mu m \sim 10\ \mu m$ 범위의 입경을 갖는 입자상물질이 대부분이며 입자상 대기오염물질

은 적은 양에 비하여 환경에 미치는 피해는 심각하다.

입자상 대기오염물질은 대기 중에서 입자상물질 자신의 무게에 의하여 대체로 침강분리되는 강하분진과 무게가 가벼워서 침강분리가 잘되지 않는 부유분진으로 크게 나눌 수 있다.

입자상 대기오염물질의 가장 중요한 발생공정은 화석연료의 연소공정이다. 선박과 같은 이동배출원에서 발생하는 입자상 대기오염물질은 연료의 불완전 연소에 의한 탄소, 탄화수소, 그리고 연료첨가제 중에 포함된 금속에 의한 금속성재 등이 있다.

입자상 대기오염물질은 대류권 내의 대기 중에 부유하면서 가시도에 영향을 미치며, 특히 입경 $0.1\mu\text{m}\sim 1\mu\text{m}$ 정도의 입자들이 시야에 방해를 준다. 일반적으로 입자상 대기오염물질은 고도 2km 이하의 대기 중에 존재하면서 햇빛을 산란하여 입경에 따라 다양한 광학적 효과를 나타낸다.

이와 같이 입자상 대기오염물질이 대기권 내에 존재하는 위치에 따라, 단순한 광학적 효과를 유발할 뿐만 아니라 지구의 기후에도 영향을 미칠 수 있다. 또한, 입자상 대기오염물질은 입자 표면에 가스상 오염물질 혹은 중금속 등을 부착하고 있는 경우가 대부분이기 때문에 인체와 생물체에 많은 악영향을 미칠 수 있다. 인체에 호흡을 통하여 입자상 대기오염물질이 침투하는 경우 입경이 $10\mu\text{m}$ 보다 큰 입자들은 호흡기에서 효과적으로 제거되나, 약 $0.5\sim 10\mu\text{m}$ 사이의 입자들은 폐에까지 도달하여 침전될 수 있다.

특히, $2\sim 4\mu\text{m}$ 정도의 입자들이 폐 내에 가장 잘 침전되며, 이러한 입자들은 표면에 여러 가지 독성물질들을 부착하여 인체 내로 운반하는 역할을 하게 된다. 특히, 황산화물과 연관되어 입자상 대기오염물질의 대기 중 농도가 증가하게 되면, 상부 호흡기 감염이나, 심장병, 기관지염, 천식과 폐렴 등을 유발하고 독성을 가진 중금속 fume 등은 인체나 동물에 치명적인 피해를 줄 수 있다.

(2) 가스상 대기오염물질

가스상 대기오염물질에는 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x), 탄화수소(Hydrocarbon), 할로겐 화합물, 일산화탄소(CO), 오존(O_3), 그리고 이산화탄소(CO_2) 등이 있으며,

이들 중 대표적인 가스상 대기오염물질은 황산화물, 질소산화물, 일산화탄소, 오존 그리고 탄화수소류이며, 대부분의 가스상 대기오염물질들은 화석연료의 연소 과정에서 주로 발생된다.

나. 선박 배출 대기오염 측정망의 개념 및 설치목적

일반적인 대기오염 측정망은 대기오염실태를 파악하고 대기질 개선대책 수립을 위한 기초 자료 확보 차원에서 대기환경 기준물질의 농도변화를 모니터링하기 위해 설치된다고 할 수 있다. 우리나라의 경우 1980년대 심각한 대기오염에 대응하여 설치되기 시작하였으며, 2000년대 들어서는 기준물질 이외에도 대기환경학적으로 중요한 대기오염물질을 측정하기 위해 계속적으로 설치되고 있다.

이러한 대기오염 측정망은 그 설치목적에 따라 대기환경 기준물질을 측정하는 일반대기오염 측정망과 대기환경 기준물질 이외의 물질을 측정하는 특수대기오염 측정망, 전체항목을 측정하는 종합대기 측정소 등 크게 3가지로 구분해 볼 수 있다.

또한 운영주체에 따라 국가 측정망과 지방 측정망으로 나누어 볼 수 있다. 국가 측정망은 환경부에서 운영·관리하는 교외대기 측정망, 국가배정농도 측정망, 유해 대기물질 측정망, 광화학 오염물질 측정망, 산성강하물 측정망, 지구대기 측정망 등이며, 지방 측정망은 광역지자체 및 지방자치단체에서 운영·관리하는 측정망으로 도시대기 측정망, 도로변대기 측정망, 대기중금속 측정망, 시정거리 측정망 등이다. 또한 종합대기 측정소는 중앙정부와 지방자치단체가 공동으로 운영·관리하는 측정소로 분류할 수 있다.

대기오염 측정망의 설치 및 운영목적은 각 측정망에 따라 다양하게 구분된다. 그러나 일반적으로 아래와 같이 하나 혹은 둘 이상의 복합적인 목적으로 설치·운영된다고 볼 수 있다. 아래 분류 중 선박 배출 대기오염물질 측정망은 세 번째의 주요배출원의 주변 영향 관측에 해당된다고 볼 수 있다.

- 특정 지역의 최고 농도 관측
- 인구밀도가 높은 지역의 지역 대표농도 관측
- 주요 배출원의 주변 영향 관측
- 일반적인 배경농도 관측

- 지역 간 오염물질 이동범위 분석
- 교외지역의 시정장애, 농작물 영향 등 복지관련 영향 관측

이상과 같은 대기오염 측정망 지점의 경우 전국적으로 430개 이상이 설치·운영되고 있다. 그러나 수도권을 제외하고는 그 수가 매우 부족한 것으로 나타난 바, 한정된 수의 측정망으로 다양한 규모의 대기오염 현상을 전체적으로 파악하는 데는 무리가 있을 것으로 사료된다.

따라서 지금까지 운영되고 있는 대기오염 측정망을 살펴보면, 특정목적에 따라 한정된 지역을 대표하는 몇몇 지점에 한하여 측정망을 설치하고 이를 운영하고 있는 실정이다.

측정소 적정 개수를 결정하기 위해서는 무엇보다 어떠한 대기오염물질을 얼마나 큰 공간적 규모에서 측정할 것인가를 설정하는 것이 중요하다. 미국 EPA(환경 보호청)의 경우 지속적인 연구와 조사를 통해 측정소의 관측목적과 측정하고자 하는 대기오염물질의 공간적 규모 간의 관계를 설정하고 있다.

다. 설치 사례

(1) 국내 사례: 부산광역시

연안 지역의 대표적인 사례로, 부산광역시는 1974년 3개소의 대기오염 측정소를 설치·운영하기 시작하였으나 최초에는 측정망의 설치기준 등이 명확하지 않아 많은 문제점이 발생되었다. 그 이후 1997년 대기오염 측정망 운영지침이 만들어지면서 도시지역 전체를 대상으로 측정망의 분류, 측정항목, 측정주기 등을 일반적인 사항과 운영방법 및 설치기준 등이 지역적 특성에 맞게 제시되었으며, 2000년 이후 용도지역별로 대기오염 측정망을 설치하여 운영 중이다.

2012년 기준으로 부산광역시의 도시대기 측정망은 18개소, 도로변대기 측정망 2개소, 대기중금속 측정망 5개소, 종합대기 측정소 1개소가 설치되어 있다.

하지만, 위에서 언급된 내용은 연안 도시지역 전체를 대상으로 부산시와 같은 광역 도시지역과 관련된 모든 요소를 포함하는 일반적인 대기오염도 측정이 목적이므로 선박 배출과 같이 특수한 오염원에 의한 항만 주변 지역 오염 영향 정도 분석을 위한 모니터링 시스템 구축이 필요하다.

(2) 해외 사례: 미국 캘리포니아 산 페드로만 항만지역

<그림 4-4>에서 소개되는 내용은 미국 산 페드로만 항만 지역의 청정대기행동 계획(Clean Air Action Plan)과 관련된 연안 지역 대기 측정망 구축 사례이며, 아래에 추가적으로 제시된 4개의 사이트는 본 측정망을 구성하고 있는 실제 현장 장비의 구성 및 운영 현황을 다양한 사례로 보여주고 있다. 항만 지역을 중심으로 대기질을 측정하기 위해 항만 내부지역과 항만 외부지역으로 구분하고 전체 항만 지역을 둘러싸는 다수의 측정 지점으로 구성된 측정망을 구축하여 운영 중이며 지속적으로 측정된 데이터를 실시간으로 인터넷을 통해 제공하고 있다.

따라서 선박과 같은 특수 오염원에 의한 주변 지역 대기오염 영향정도 분석을 위한 측정망의 운영적인 측면에서 보면, 부산항과 같이 항만의 신설과 기존 항만의 기능 변경, 그리고 선박 물동량 변화 등 다양한 요인들에 의해 선박 대기오염물질 배출 및 오염도의 공간적 패턴이 변화하고 측정망 주변의 물리적 여건들이 계속적으로 변화하는 경우에서 기존의 측정망 체계의 재검토, 확충 및 보완이 필요하며 미국의 사례와 같이 특정 연안 지역에 대한 측정망 신설도 필요할 것으로 판단된다. 그림 3에서는 현재 우리나라 일반 고정식 및 이동식 대기오염 측정 장비의 현황 및 운영 사례를 보여주고 있다.

〈그림 4-4〉 산 페드로 항만지역의 대기 측정망 구축 현황 및 사이트 사례



자료: 구글 지도(<http://maps.google.com>)를 이용하여 재작성

마. 연안 지역 대기오염 측정망의 구축 및 개선방안

(1) 연안 지역 공간변화에 의한 선박 배출 대기오염 측정망 배치 개선

기존의 대기오염 측정망의 기존 배치형태 및 위치선정은 전체 도시지역을 대상으로 일반적인 대기질을 측정하는 것을 목적으로 인구밀도, 주변 토지이용 현황 등에 따라 결정됨으로서 해당 측정망에서 조사된 대기오염자료들을 바탕으로 선박 배출에 의한 연안 지역 대기질 개선방안을 마련하는 데에는 한계가 있다. 따라서 선박과 같은 특수 오염원에 의해 크게 영향을 받는 연안 지역 대기오염 측정망은 배치 및 운영에 관한 문제점을 개선하기 위해, 선박 대기오염 물질 배출량, 항만관련시설 및 장비의 대기오염물질 배출량, 오염농도, 기상 등의 요인들을 종합적으로 분석하여 합리적인 배치방안을 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다. 특히 연안 지역은 해풍의 영향을 많이 받는 지역이므로 이러한 요인을 바탕으로 측정망의 위치를 선정해야 한다.

(2) 지역특성을 고려한 대기오염 측정망의 지점 수 확충

자료에 따르면, 예를 들어 부산지역 대기오염 측정망 수는 국가 측정망을 포함하여 총 18개소로 수도권 지역에 비해 부족한 것으로 조사되었다. 일례로 현재 수도권의 대기오염 측정망 수는 150여 개로 도시대기, 도로변대기, 배경농도, 산성강하물, 유해 대기, 중금속 등 다양한 오염물질들의 농도를 목적에 따라 측정하고 있다. 특히, 연안 지역은 선박의 입출항과 정박으로 인해 선박 배출 대기오염물질의 영향을 많이 받으므로, 기존의 측정망을 유지한 상태에서 추가적으로 대기오염 측정망 수를 확보하여 연안 지역의 대기오염 농도를 보다 정확하게 측정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

이와 유사한 관점에서 측정망 수를 늘림과 동시에 측정물질의 종류나 측정주기 등 측정망의 특성을 보완·정비해 나갈 필요도 있다. 즉, 현재 운영 중인 연안 지역 대부분의 측정망은 여러 가지 오염물질을 모두 파악하는 겸용적 성격을 띠고 있는 바, 항만과 도시의 복합지역의 오염물질 증감 원인, 전체적인 배경농도 측정 등을 명확히 파악하기에는 어려움이 따른다고 할 수 있다. 따라서 선박 배출 대기오염물질과 같이, 특정 지역의 특수한 오염물질만을 집중적

으로 파악할 수 있는 측정망을 필요한 지역에 설치하여 활용하는 방안을 고려할 필요가 있다.

여기서 주의해야 할 것은 각 측정망의 중복성 여부를 판단하여 되도록 중복되지 않은 지역에 설치해야 한다는 것이다. 대기오염 측정망의 위치 적정성을 판단하기 위해서는 해당지역의 환경특성, 인구수, 오염물질 배출특성, 농도 변화 등을 종합적으로 고려하여야 한다.

(3) 연안 지역 측정망의 평가체계 마련 및 운영관리 개선

선박과 관련하여 연안 지역의 대기오염 모니터링 측정망을 효율적으로 운영하기 위해서는 무엇보다 주기적이고 체계적인 측정망 평가과정이 필요하다. 앞서 문제점에서 지적한 바와 같이 측정망 주변의 물리적 여건은 시간이 지남에 따라 계속적으로 변화함으로 주기적으로 측정망 운영 전반에 관한 평가를 수행하고 보완해 나가야 한다. 따라서 최소 3년 정도의 주기로 측정망의 수와 지점의 적절성을 평가하고 이를 보완해 나가는 체계를 운영해야 할 것으로 사료된다.

연안 지역 도시 대기오염 측정망의 운영관리의 측면에서 연안 지역 도시들은 대부분 지자체 측정망으로 시 자체의 재원으로 위탁관리하고 있다. 이러한 시스템으로 인해 현재 연안 도시의 측정망 관리는 인력 및 예산 부족 등으로 어려움을 겪고 있는 것으로 나타났으며 위탁업체의 지도와 감독에는 많은 문제점이 발생하고 있다. 따라서 자료의 정확성 및 효율적인 관리를 위해서는 운영여건의 개선이 필요할 것으로 판단된다.

이러한 문제에 비추어 보아 장기적으로 연안 지역 대기오염 측정망의 운영 효율성을 높이기 위해서는 일부는 지자체에서 운영하고, 60% 이상은 환경부나 해양수산부 또는 환경관련 국가단체에서 직접 운영하고 관리하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 즉, 국가와 지방자치단체의 역할 분담을 고려하여 연안 지역과 같이 선박 배출 오염물질에 의해 대기환경이 지역적으로 문제가 되는 곳은 지자체나 해양수산부와 같은 관련 부서에서 운영하고, 국가적인 측면에서 중요한 지역들은 환경부에서 직접 운영하는 방안이 보다 효율적이라 판단된다. 보다 구체적인 운영 및 예산 지원범위 등은 의견을 충분히 수렴하여 조정해 나갈 필요가 있다.

3) 소요 예산 및 기대 효과

본 추진과제인 선박 배출 대기오염물질의 연안 지역 모니터링 시스템을 구축하기 위해서는, 기존에 운영 중인 산 페드로만 항만 지역을 기준으로 특정 연안 지역에 총 7개 측정 지점을 포함한 모니터링 네트워크 시스템을 갖추고자 할 경우, 부지 비용을 제외하고 1개 측정 지점당 기본 측정장비 구입비용과 측정장비 설치비용 등을 포함하여 1.5억~2.5억 원 정도의 예산이 필요할 것으로 추정되며 7개 지점에 측정 장비를 설치한 후, 데이터 네트워킹을 구축하려면 추가로 2억~3억 원의 예산이 필요할 것으로 예상된다. 총 사업 기간은 측정 장비의 설치 및 테스트, 네트워킹 시스템의 안정화 테스트 및 보완 기간을 포함하여 최소 1년~2년 정도의 기간이 필요할 것으로 추정된다.

선박 배출 대기오염물질의 연안 지역 모니터링 시스템을 구축하게 되면 우리나라 연안 및 항만지역에서 발생하는 선박 배출 대기오염물질의 실시간 배출 현황이 파악되며 선박 배출량 인벤토리 자료와 연계할 경우 연간 감축 목표치에 대한 실적 관리도 가능해진다. 또한 지역별, 항만별 실적관리도 가능해져 배출량 감소가 미흡한 지역 또는 항만에 대해서는 집중 관리도 시행이 가능해진다. 이처럼 우리나라 연안 및 항만구역에 선박 배출 모니터링 시스템이 구축될 경우 다양한 자료의 실시간 수집과 이를 바탕으로 맞춤형 정책의 구현이 가능하게 되며 이러한 정책들을 통해서 궁극적으로 선박 배출 대기오염물질의 체계적 관리가 가능하게 될 것으로 기대된다.

3. 선박 배출 대기오염물질 영향도 분석 틀 개발 방안

1) 필요성 및 현황

선박 배출 대기오염물질의 모니터링 시스템을 통해 수집된 관측 자료를 갖고 수학적 모델링 기법을 도입하여 대기환경에 미치는 영향을 분석하는 작업은 선박 배출 대기오염물질이 자연환경과 인체에 미치는 피해의 심각성을 살펴볼 수 있는 중요한 자료가 된다. 따라서 선박 배출 대기오염물질의 영향도를 분석

할 수 있는 모형(툴)을 개발하는 것은 선박 배출 대기오염물질의 관리 방안에서 매우 중요한 역할을 담당한다고 볼 수 있다.

현시점에서 가장 발달된 모형⁸⁶⁾을 이용해 우리나라 연안과 항만구역을 항해하는 다양한 선박들에 적합한 모형을 개발하는 작업은 매우 중요한 업무가 될 것이다. 왜냐하면 영향도 분석에 사용되는 모형의 신뢰도는 정책의 신뢰도와 바로 연결될 뿐만 아니라 관련 정책의 성공과 실패에도 직접적인 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 따라서 신뢰도 높은 영향도 분석 모형을 개발하는 작업은 선박 배출 대기오염물질의 관리 방안 마련에 있어서 인벤토리 구축 및 모니터링 시스템 구축과 더불어 가장 중요한 작업들 가운데 하나라고 볼 수 있다.

2) 추진 방안

가. 대기오염물질 영향 해석

선박 배출 대기오염물질의 영향도 분석을 과학적이고 체계적으로 수행하기 위해서는 수학적 모델링 기법이 필수적으로 도입되어야 한다. 도입된 과학적 기법을 활용하여 대기환경을 해석하여 평가하고 미래의 대기환경을 예측하기 위한 작업과정을 대기환경 모델링이라 하는데, 이는 기본적으로 대기 중으로의 대기오염물질 배출과 기상변수, 그리고 오염물질의 제거 및 수송과정과 관련된 매개변수 등 변수들의 변동에 따른 대기질 등 대기환경의 시공간적인 변화의 연관관계를 규명하는 것으로부터 시작된다. 실제 대기 중에서 대기오염물질의 농도와 환경여건에 영향을 미치는 제반 인자들의 복잡한 기작과 반응, 상호작용 등을 단순화하고 이를 물리적 또는 수학적, 통계적으로 표현하게 되는데, 이 과정에서 통계분석, 컴퓨터 시뮬레이션 등을 위해 사용되는 도구가 대기질 모형(air quality model)이다.

대기질 모형 중 수확모형으로서 국내에서 널리 이용되고 있는 모형은 비반응성 모형인 ISC, AERMOD, CALPUFF 등과 에어로졸 기작(2차 오염물질)을 포함하는 반응성 모형인 CAMx, UAM, CMAQ 등이다. 이 중 내부알고리즘이 최

⁸⁶⁾ CMAQ(Community Multiscale Air Quality) 모형은 대기질 모형들 가운데 기술적으로 가장 앞서 있을 뿐만 아니라 대기질 관리 정책 수립에 자주 사용되는 모형으로 평가받고 있다.

근 관련 분야의 진전된 연구 성과를 비교적 잘 반영하고 있고 국내외의 적용빈도가 높은 모형은 CAMx, CMAQ 등이다. 이 모형들은 알고리즘에서 에어로솔 기작을 포함하고 대도시권 대기질을 다룰 수 있는 종합적인 대기질 모형이며 이 중에서도 최신 연구성과를 가장 앞서 반영하고 있으면서 대기질 관리 정책 수립 시 적용된 사례가 많은 모형은 CMAQ이다. CMAQ은 미국 EPA가 정한 모형 중 하나로 대도시나 지역의 대기정책을 수립하고 평가할 때 사용된다. 오염물질의 배출, 확산, 제거과정을 3차원 격자 내의 각 화학종에 대한 물질 수지식을 이용하여 계산한다. 이 물질 수지식은 각 격자에서 일어나는 물리 화학적인 과정을 계산하여 평균적인 화학종 농도를 시간 변화에 따라 기술한다.

(1) 대기질 모델링의 구성요소

대기질과 관련된 다양한 요인들을 하나의 도구로 매 순간 정확하게 묘사하는 것이 불가능하기 때문에 지금까지 개발되어 사용되는 모형은 종류가 매우 다양하며 매우 단순한 형태의 모형에서 상당히 정교한 모형까지 다양하다. 일반적으로 대기질 모델링체계는 기상 자료와 배출량 자료를 통하여 생성된 대상 지역의 시간별 격자별 입력 자료가 생성되고 이를 이용하여 대기질 모형에 의한 대상물질의 시간별 격자별 농도를 계산한다. 대기질 모델링체계는 대기질 해석을 위한 일련의 구성요소들을 활용하기 쉽도록 체계화한 것으로 대기질 모형과 기상모형, 배출모형 주요 세부분과 입출력 자료를 분석하는 데 필요한 체계 등으로 구성된다.

대기질 모형은 오염물질의 배출, 이동, 확산, 반응, 침적 등 전반적인 인과관계를 이해하고 각종 정책 대안에 따른 영향과 효과를 분석하기 위한 도구로 사용된다. 대기질 모델링체계가 구축되어 일상적으로 운영되기 위해서 가장 중요한 점은 구현 가능성이라 할 수 있다. 대기질 모델링 기법은 현재까지도 활발하게 연구가 진행되고 있는 분야이며 그 개념은 선진기법이 다수 포함되어 있다. 배출량 자료나 확산, 반응과 관련한 국내자료는 매우 미비한 상태이며 현실을 반영한 실현가능한 기법을 적용하여야 한다.

가장 중요한 기술요소인 기상모형과 대기질 모형은 대상 지역 적용을 전제

로 이론적으로 타당하여야 하며 가능하면 기술적으로 검증된 것이어야 한다. 또한 모형결과는 관측값과 비교되어 오차에 대한 신뢰성을 보장할 수 있어야 한다. 또한 과거에는 배출모형을 포괄하는 대기질 모델링체계를 운영하기 위해서는 고성능, 고용량의 컴퓨터를 사용하는 것이 일반적이었으나 최근 컴퓨터 기술의 진보와 함께 워크스테이션급과 고성능 HW/SW를 장착한 개인용 컴퓨터급으로 전환되었다. 현실적으로 사용이 원활한 모형을 선택하여 입출력자료의 신뢰성이 보장되고 통산적인 운영이 가능한 모형체계를 구성하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

나. 선박 배출 대기오염물질 영향 해석을 위한 모델 선정

1970년대 중반 종합적인 대기질 예측모형이 처음 도입된 이래 지난 30여 년 동안 대기질 모델링 영역은 지속적인 발전을 이루어 왔다. 오염물질의 이동 및 확산, 침적, 가스상 물질의 광화학 반응 등에 대한 모사는 괄목할 만한 수준으로 개선되어 왔으나 대기 중 구름 및 빗방울 속의 화학성분, 미세먼지의 주요 성분인 에어로솔의 생성과 성장 및 소멸에 대한 모사는 아직까지도 초기단계라 할 수 있다. 초기 에어로솔 모형은 주로 무차원인 상자모형 형태로 개발된 3차원 종합 대기질 모형과 연계하여 그 타당성을 검토하는 정도로 사용되다가 최근 들어 에어로솔 모형을 최적화한 기상-에어로솔 모형이 개발되어 사용되고 있다. 1970년 초 해륙풍과 같은 국소지역 바람장과 난류 확산이 오존생성에 주요한 역할을 미친다는 것이 밝혀지게 되면서 상자모형에 이동 및 확산을 첨가한 것이 UAM(Urban Airshed Model) 모형이며 대기의 물리화학적 과정, 광화학 반응기작 등이 수정되어 보완되어 이용되어 왔다. 1990년 중반이후 다중규모현상을 포함하여야 한다는 것이 밝혀짐에 따라 대기오염물질의 이동 및 확산을 위주로 개발된 종합 산성비 모형이 활용되기 시작하였다. 미국 EPA에서는 산성 침적 모형인 RADM2(Regional Acid Deposition Model)와 UAM을 기반으로 하는 이른바 제 3세대 모형으로 대류권의 오존, 산성침적, 시정, 미세먼지 등을 동시에 다룰 수 있는 Model-3, CMAQ(Community Multiscale Air Quality) 시스템을 개발하여 발전시키고 있다.

현재 연구단계뿐만 아니라 정책수립단계에서 사용할 수 있는 에어로솔 기작을 포함한 종합적인 대기질 모형은 CAMx와 CMAQM, REMSAD, UAM- Aero모형이 있다. 이 중에서 가장 과학 기술적으로 앞서 있고, 대기질 관리 정책 수립 시 적용된 사례가 많은 모형이 CMAQ 모형이며 따라서 선박 배출 대기오염물질의 영향도 분석을 위한 도구로서는 CMAQ 모형을 기반으로 한 툴 개발이 가장 적합하다고 판단된다. 이미 CMAQ와 같은 대기질 모형은 도시지역이나 대규모 공단지역에서의 대기질 개선 대책 마련, 특정지역의 환경기준달성을 위한 배출허용총량 산정, 총량 규제 시 배출량 할당 그리고 각종 건설사업 등의 시행에 따른 장래 대기질 예측 등과 같은 대기정책 수립이나 환경영향 평가 등을 위한 많은 부분에서 이미 사용되고 있다.

또한, 대기환경관리 분야에서 대기질 모형(Air quality model)의 역할은 매우 중요하다. 대기질 모형은 오염물질의 배출, 이류 및 확산, 반응, 침적 등 일련의 과정들을 수식으로 표현하여 전산화한 것으로 대기오염의 배출원(source)과 수용체(receptor) 사이의 인과관계를 이해하기 위한 핵심적인 도구이다. 대기질 모형은 대기 중 오염물질의 확산과 반응을 이해하는 도구로 사용되며, 현재의 대기질을 평가하고 미래의 대기질을 예측하며 다양한 관련정책 시행에 따른 영향을 평가하는 규제도구(regulatory tool)로도 사용될 수 있다. 인위적 혹은 자연적 조건에 따른 대기질 평가를 위해 대기질 모형이 사용되며 다양한 관리 대안에 따른 대기질 변화를 예측하여 합리적인 방안을 도출하는 데 가장 유용한 수단이라 할 수 있다. 초기의 대기질 모형은 배출되는 오염물질이 주변에 어떻게 확산되어 어느 정도의 농도로 나타날 것인가를 예측하는 목적에서 출발하지만 최근에는 도시나 국지 규모, 지역규모의 복잡한 반응성 오염현상 해석과 전구(global) 단위 대기의 화학조성 모델링까지 다룰 수 있게 될 정도로 매우 큰 기술적 진보가 있었다. 우리나라에서도 대기질 모형의 중요성은 일찍이 인식하고 있었지만 독자적인 개발에는 막대한 비용과 시간이 필요하기 때문에 모형개발에 본격적인 연구가 이루어지지 못하고 있다. 지금까지 주로 외국의 모형을 도입하여 국내에 적용하는 연구가 대부분이다.

한편, 대기질과 관련된 인위적인 현상과 자연적인 현상 모두를 수학적으로 나타

내는 것은 아직까지 불가능하다. 따라서 모형을 사용하여 대기질의 인과관계를 규명하는 것에는 아직까지 한계가 있다. 모형을 운영하는 데 필요한 다양한 입력 자료의 불확실성도 대기질 모형의 결과에 오차를 가져오는 원인이 된다. 대기질에 영향을 미치는 요소로는 배출원, 이동 및 확산, 화학반응 및 침적, 수용점 등으로 매우 다양하며 일반적으로는 나머지 조건이 같다면 특정오염원에서 배출된 오염물질이 주변지역의 대기질에 미치는 영향은 배출량이 클수록 커진다. 그러나 배출조건이나 확산 및 이동을 결정하는 기상조건 등이 크게 영향을 미치는 경우가 있으므로 단순히 배출총량에 근거하여 대기질을 예측하는 것은 무리가 있다. 이런 조건을 종합하여 인과관계나 영향요인을 규명하는 것이 필요하며 대기질 모형이 핵심적으로 중요한 역할을 한다.

(1) 국외 대기질 모델링 적용사례

국외 대기질 모델링 현황 및 사례는 현재 CMAQ 모형이 가장 활발히 이용되고 있는 미국을 중심으로 살펴보면, 미국의 경우 시행계획에서 요구되는 기상 및 배출량 입력 자료의 신뢰도와 화학수송모델링의 정확도는 매우 높은 수준이며 이러한 높은 수준의 신뢰도가 확보된 모형은 향후보다 다양한 대기환경 정책 지원 및 기타 기초연구자료로서 활용도가 높다.

(2) 국내 대기질 모델링 적용 사례

대기질 모델링 관련 최근의 국내 동향을 살펴보면, 자연배출량 산출방법 검증 및 자연배출량에 의한 오존 등 대기 중 농도에 미치는 영향 분석, 배출량 평가 및 개선을 위한 대기질 모델링 및 배출량 변화에 따른 민감도분석, 대기질 모델링을 이용한 장거리 사례 모사 및 특성 분석, 고농도 오존 모사 및 시공간 패턴 해석, 대기 중 입자상 오염물질의 특성 및 농도 모사, 광화학 모델을 이용한 수은 모사, 그리고 이동, 화학, 에어로졸 및 연직확산 모듈 비교 및 모델 비교, 기상자료 변화에 따른 대기질 모사 농도변화 등 다양한 분야에 걸친 연구가 이뤄지고 있다.

(3) 기상모형의 선정

기상모형으로서 흔히 이용되는 모형은 MM5, RAMS, WRF 등이 있다. 이 중

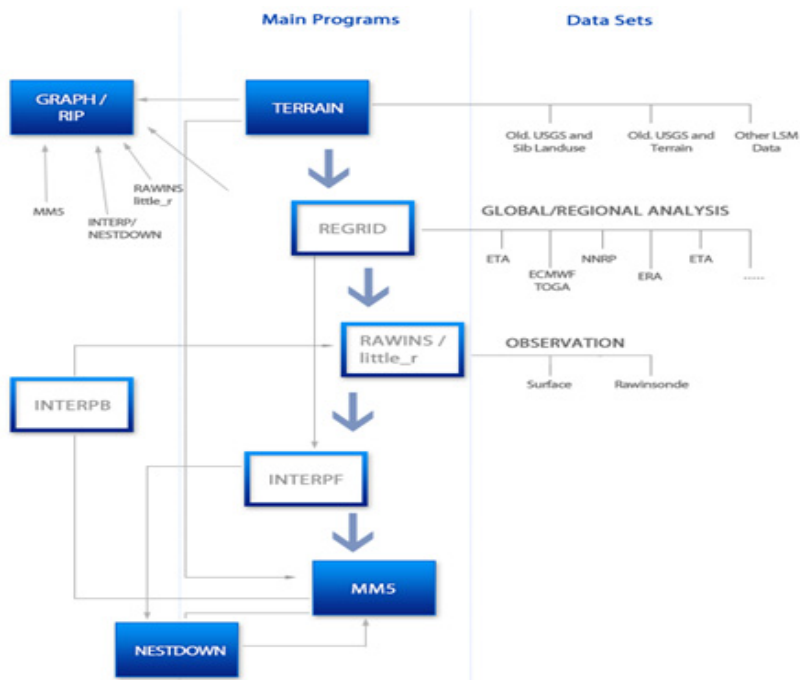
에서 RAMS는 비교적 양호한 모형임에도 불구하고 상업용 모형으로서 비용문제가 있으므로 일부에서만 제한적인 사용자 그룹에서만 사용되고 있다. MM5는 우리나라 기상청의 수치예보모형으로 사용되면서 정확성이 입증된 모형이다.

대기질 모델링의 입력 자료로서 기상변수는 대기확산의 매우 중요한 요소 중의 하나이다. 정확한 3차원 기상장 생성은 대기질 모델링의 정확도 향상에 결정적 요인이 된다. 3차원 기상장과 난류장을 생성하기 위한 기상모형으로 중규모 기상수치 모형체계가 바로 MM5이다. MM5는 미국 국립기상연구소(National Center for Atmospheric Research)와 펜실베이니아 주립대학이 공동 개발한 모형으로 초기에는 중규모 현상의 기상예측에 주로 사용되었으나 최근에는 다중 등지격자, 비정역학, 4차원 자료동화, 다양한 물리적 과정의 선택적 모사 등 많은 부분이 개선되어 왔다. 모형의 첫 단계인 TERRAIN 모듈은 대상영역에 대하여 해상도별로 지형고도와 토지이용 등에 대한 분석과 재구성을 하게 된다. 다음 단계인 REGRID 모듈에서는 재분석된 기상자료를 읽어 고도에 따라 예측하고 선택된 투영 및 격자체계에 대한 내삽을 수행하며 INTERPF 모듈에서 이를 MM5 입력을 위한 자료형태로 전환하고 수직방향의 내삽분석 등을 수행하며 마지막으로 MM5 모듈을 통해 기상요소들의 예단적(prognostic) 수치예측을 수행한다. MM5의 사용에 있어서 전공지식이 요구되는 수치 계산상의 안정도 점검, 수평 및 연직 초기화 및 경계조건 생성, 구름 모수화 선택 등의 다양한 부분들이 존재하기 때문에 원칙적으로 MM5 수치모의는 기본적인 전공지식을 보유한 전문가에 의해 이루어진다. 현재 기상청에서는 한반도 영역에 대하여 30km 해상도로 MM5 결과를 제공하고 있으므로 사용자는 기상청으로부터 이 자료를 전송받는다면 대상지역에 대한 MM5 수치모의 시 경계조건으로 사용할 수 있다. 현실적으로 국공립기관 외 일반 기업체는 기상청으로부터 MM5의 결과를 손쉽게 전송받기는 쉽지 않으므로 이 경우에는 NCEP, ECMWF 등의 미국과 영국에서 제공하는 전 지구 규모에 대한 자료를 전송받아 초기조건과 경계조건으로 사용하고 몇 단계의 MM5 등지격자를 실행하면 대상역역의 3차원 기상장을 얻을 수 있으나 시간적으로 비용이 많이 드는 단점이 있다.

MM5의 3차원 기상장은 대기질 영향 예측을 위한 첫 번째 스텝이라 할 수 있

으며 기상장의 신뢰도는 대기질 모델링 결과에 매우 큰 영향을 미치므로 대상지역의 기상장을 정확히 수치모의 하는 것은 대기질 영향 예측의 정확성과 직접 연관되어 매우 중요한 과정이라 할 수 있다. 다음 <그림 4-5>는 MM3 모형의 개요를 나타내고 있다.

<그림 4-5> MM5 모형의 개요

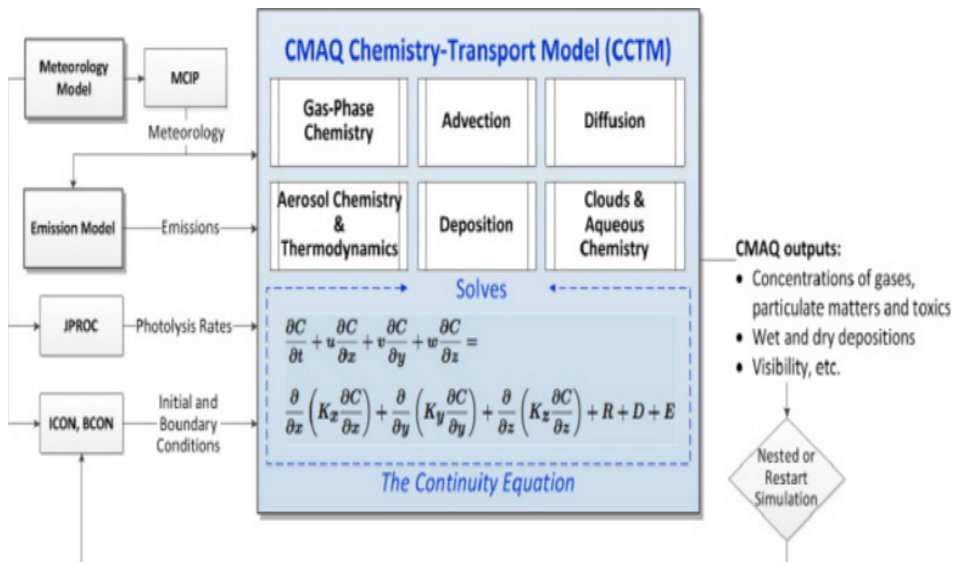


(4) 대기질 모델링 선정

앞서 언급된 CMAQ 모형(Community Multi-scale Air Quality Model)은 미국 EPA가 정한 규제모형(regulatory model)중 하나로 이미 대도시나 지역의 대기정책을 수립, 평가할 때 사용되고 있다. 현재 가장 활발하게 이용되고 있는 대기질 모형일 뿐만 아니라 가장 최신의 과학기술적 성과가 구현되어 있는 모형 중의 하나이다. CMAQ 모형은 오염물질의 배출, 확산, 화학반응, 제거과정을 3차

원 격자 내의 각 화학종에 대한 물질수지를 계산한다. 물질수지식은 각 격자에서 일어나는 물리화화적인 과정을 계산하여 평균적인 화학종 농도를 시간변화에 따라 기술한다. CMAQ 모형은 기상 및 배출량 자료의 전처리, 초기/경계조건 처리 등 일련의 시스템으로 구성되어 있다. 주 모형을 실행하기 위한 전처리 모형과 주모형인 화학수송모형(CMAQ Chemical Transport Model; CCTM)으로 구성된 것이다. 모형의 가장 핵심부분인 CCTM은 기상자료와 배출량 자료를 받아들여 오염물질의 이동-확산-반응-침적과정을 계산한다. 다음 <그림 4-6>은 CMAQ 모형의 개요를 나타낸 것이다.

<그림 4-6> CMAQ 모형의 개요



다. 대기질 모델링 톨 구축

(1) 대기질 모델링 기간 설정

과거에는 대기개선 목표의 수립 및 달성여부를 판단하기 위하여 5~6일 정도의 짧은 특정 사례기간에 대하여만 대기질 모델링이 가능했지만 컴퓨터 속도와 저장장치의 발달로 장기간에 걸친 모델링을 실행하는 것이 가능하게 되었다. 하지

만 선박 배출 대기오염물질의 영향도 분석과 같은 작업을 1년 정도의 짧은 기간 동안에 걸쳐 수행하고 이를 해석하는 데에는 시간적인 제약과 분석의 어려움 등 현실적 어려움이 따른다. 따라서 대기오염물질의 특성, 대기환경기준 등을 고려하여 적정 모델링 기간을 선정해야 있다. 선박 배출 대기오염물질의 영향도를 파악하기 위해서는 분석의 목적에 따라 적합한 모델링 기간을 설정하여 모델링을 진행하여야 한다.

(2) 대기질 모델링 도메인 설정

모델링 도메인은 모사지역의 지형적 경계를 나타내는데, 적절한 모델링 도메인 크기는 원칙적으로 대기오염 문제의 본질과 대상지역에 영향을 주는 대기오염물질 배출량의 크기에 의하여 결정된다. 수평 해상도는 모델링 도메인 내에서 개별 격자의 지형적 규모를 나타내며, 수직 해상도는 수직방향으로의 격자개수를 나타낸 것이다. 수평 및 수직 해상도의 설정은 배출량의 공간 변화 정도와 이용 가능한 배출자료의 공간 해상도, 혼합고의 시간적 및 공간적 변화, 중규모 또는 소규모 기상현상이 대기오염물질 간의 관계에 영향을 끼칠 가능성, 컴퓨터 또는 비용 제약 등을 고려하여 적절하게 결정하여야 한다.

과거에는 하나의 도메인을 사용하여 모델링을 수행하였지만 최근에는 일반적으로 동지화(nesting) 기법을 사용하여 모델링 도메인을 설정한다. 실질적인 모델링 대상지역이 우리나라에 국한되는 경우에도 중국이나 일본을 포함하는 동아시아 도메인에서부터 한반도 도메인, 권역규모 도메인 등으로 점차 축소되는 동지화된 도메인으로 대상지역을 포함하는 모델링 영역을 설정한다.

모델링 도메인은 바람에 의한 대상지역의 대기오염물질 농도 영향을 고려하기 위하여 주요 풍상측을 충분히 포함할 수 있어야 하며, 경계조건으로부터의 영향을 최소화할 수 있어야 한다.

(3) 대기질 모델링을 위한 자료준비

대기질 모델링은 기상모형과 배출량 모형을 통해 대기질 모델링을 위한 입력 자료를 생산하고 대기질 모형을 통해 대상영역의 농도를 산출한다. 대기질 모델링을 위해서는 기상자료 준비, 배출량 자료준비를 통해 대기질 모델링을

수행하게 된다. 기상자료 준비과정은 기상 모형 선정, 모사 기간 선정, 모델링 도메인 선정, 기상 모델링을 위한 입력자료 준비, 기상물리 옵션설정, 자료 동화, 대기질 모형의 입력자료 형태로 변화, 기상 모델링 결과분석 및 검증 순이다. 대기질 모델링을 위해서는 해당 연도의 배출량이 필요하며, 이를 위한 배출량 자료는 다음의 단계를 거쳐 준비한다.

- 모델링 영역에서의 해당연도 배출원 목록 작성이 필요하다.
- 대기질 모형을 위한 배출량 입력자료 작성을 위해서는 부가적인 자료가 필요하며, 이 자료는 시·공간 및 화학종별 배출량 할당을 위한 자료이다.
- 부가자료(시·공간 및 화학종별 자료 등)를 배출량 모형에 적용하여 대기질 모형에서 필요로 하는 배출량을 작성한다.
- 대기질 모형 입력 자료로 작성된 배출량은 대기질 모델링에 사용되기 전에 충분한 검증을 거쳐야 한다.

마지막으로, 대기질 모델링을 위한 기상과 배출량 자료가 준비되면, 대기질 모형 선정, 모사기간 선정, 모델링 도메인 선정, 초기/경계조건 설정, 대기질 모델링 옵션 설정, 대기질 모델링 결과분석 및 검증 순으로 대기질 모델링을 수행한다.

라. 연안 지역 대기질 모델링체계의 구축 방향

연안 지역 대기질 모델링체계를 구축하게 되면 선박 배출 대기오염물질과 관련된 각종 대기질의 영향도나 지역적 영향 및 효과 등을 분석할 수 있고, 연안 지역에서 비교적 높게 나타나는 오존에 대한 예보의 정확성을 크게 향상시킬 수 있다. 따라서 선박 배출 대기오염물질의 복잡한 영향도를 분석하기 위해서는 본 연구에서 검토한 모델링체계가 절대적으로 필요하다.

현재 선박 배출 대기오염물질에 의한 연안 지역 대기질 모델링체계는 아직까지는 시스템 자원이나 기술적으로 한계를 가지고 있고, 방대한 자료체계가 수반되어야 하기 때문에 단시간에 완벽한 구축을 이루기는 어렵다. 따라서 상시적인 모델링체계를 구축하고 지속적으로 운영하면서 선박 배출의 영향이 큰 연안 지역의 고유한 특성에 맞도록 정비해 나갈 필요가 있다.

상시적 모형체계가 구축되면 선박 배출 대기오염물질량과 연안 지역 대기질의 인과관계 분석이 가능하고 다양한 대기질 관련 정책 시나리오에 따른 결과 평가가 쉽게 가능하게 되므로 정책의 우선순위 결정과 예산 배분의 효율을 크게 높일 수 있다. 또한 예측 기능을 강화하면 현재 기상청이 하고 있는 일기예보와 같은 개념의 대기질 예보체계로도 발전시킬 수 있다.

마. 모델링 결과의 검증 강화

선박 배출 대기오염물질과 관련된 모델링 결과뿐 아니라 입출력 및 평가 자료에 대한 검증을 포괄하되, 검증용 측정 자료를 사전에 정의하는 것이 바람직하다. 여기에는 연안 지역 대상측정소의 범위와 규모를 정의하기 위해 측정소의 국지적 특성, 설치 목적, 산출되고 있는 데이터의 특성 등을 종합적으로 고려할 필요가 있다. 이를 위한 자료 검증과 사전분석기법을 마련하고, 표준 모니터링사이트 선정을 위한 선정기준과 표준안 등이 요구된다.

모델링 결과의 평가와 검증에서 가장 중요한 영역은 수용 가능한 모델링 성과(정합성)와, 특정계수나 조건에 따른 민감도라고 할 수 있다. 민감도분석은 모델링 과정 및 결과를 진단하기 위한 방법으로 입력자료 변화에 따른 여타 모델링 결과의 변화양상을 분석하며, 이를 통해 미래 배출원에 대한 변화 영향이나 정책변수의 영향 등을 가늠해 볼 수 있다. 예를 들어, PM_{10} 과 NO_2 의 배출량을 본래 배출량의 100%, 80%, 60%, 40%, 20%, 0%로 설정하여 입력자료를 구성하고 배출량 삭감에 따른 모델 예측농도의 변화를 분석하는 방식이다.

3) 소요 예산 및 기대 효과

선박 배출 대기오염물질 영향도 분석 툴 개발을 위해서는, 최적 모델 구입, 영향도 분석을 위한 알고리즘 개발 및 모델 보완, 모델 입력 자료 구축, 그리고 모델의 보정 및 검증에 최소 2년~3년 정도의 기간이 필요할 것으로 예상되며, 필요한 예산의 경우에는 모델의 구입 비용을 제외하고 연간 1.5억~2억의 예산이 필요할 것으로 추정된다.

연안 지역 대기질 관리는 구체적으로 정의된 대기질의 목표기준을 지키기 위해 선박 대기오염물질 배출량의 변화와 대기질의 변화를 연계시킴으로써, 선

박 배출원 관리 및 규제대책의 가상 실행, 제안된 선박 배출원 관리대책과 전략의 평가, 기타 대기오염배출원의 영향도 평가, 기존의 대기오염도 분석 등 다양한 기능을 수행할 수 있다. 또한 선박 배출 대기오염물질의 영향도를 감안한 연안 지역별 맞춤형 대책 수립이나, 선박 배출량과 영향도를 감안한 배출원별 대책 추진 등이 가능하다. 따라서 선박 배출 대기오염물질의 영향도 분석 틀은 국내 연안 지역 대기질 정책수립을 위한 맞춤형 자료를 제공해 줄 수 있을 것으로 기대된다.

제4절 실행 방안

1. 주체별 역할 분담 방안

1) 선사

선사들은 배출규제해역(ECA) 등 새로운 제도에 대한 사전적 대응 전략 마련이 필요하며 선박의 환경문제에 대해서 더 이상 비용의 문제가 아닌 경쟁력 차원의 관점에서 접근할 수 있는 인식의 변화가 필요하다.

또한 선사들은 단기적 관점이 아닌 장기적 관점에서 선박 배출 대기오염물질의 감소 문제를 바라볼 수 있어야 하며, LNG연료 추진선 등 새로운 패러다임의 친환경 선박 도입에 대해서 보다 진지하게 고민이 필요한 시점이다.

2) 지자체

지자체들은 연안 및 항만구역에서 배출되는 대기오염물질에 대한 기초 관측 자료 수집에 정부와 함께 실질적인 투자를 늘려야 한다. 지자체들의 경우 지역 문제에 대해서 가장 잘 알고 있기 때문에 모니터링 시스템의 위치 선정 등 세부 사항 등에서 좋은 의견을 제시할 수 있다. 따라서 지자체들은 선박 배출 대기오염물질의 관리를 위한 모니터링 시스템 구축과 인벤토리 구축 등에 적극적인 참여 의사를 보여야 한다.

그리고 지자체들은 지역 주민들에 대한 홍보와 설득 작업을 진행해야 한다. 선박 배출 대기오염물질에 대한 정보를 처리함에 있어서 배출량 등에 대한 정보만을 강조해서 지역 주민들에게 불안감과 막연한 두려움을 초래할 것이 아니라 정확한 사실 전달과 더불어 추진 대책에 대한 설명을 더욱더 강조할 필요성이 있다.

3) 정부

정부는 지금보다 더 적극적인 자세로 선박 배출 대기오염물질 관리 정책에 나서야 한다. 정부의 정책 담당자들은 정책 집행에 있어서 환경과 산업이 상충되는 부분이 있을 경우 이해 당사자들 간의 조정과 합의를 통한 새로운 컨센서스를 만들어가는 역할을 적극적으로 수행해야 할 필요가 있다. 더불어 정책 담당자들은 국민들의 공익 개선에 대한 막중한 책임감을 항상 잊지 말아야 한다.

본 연구에서 제시한 개선 과제들 가운데 법제도 개정 사항과 국제 협력 부분은 정부의 역할이 절대적으로 중요한 과제들이다. 정부는 이와 관련된 사전 검토를 통해서 보다 신속한 법률 개정과 국제 협력 추진 등이 진행될 수 있도록 노력해야 할 필요가 있다.

4) 국민

국민들과 지역 주민들은 선박에서 배출되는 대기오염물질이 얼마나 심각하고 위험한 상태인가에 대한 자각이 필요하며 지금보다 더 많은 관심과 의견을 집단적으로 표현해야 할 필요가 있다.

특히 부산과 인천 등 배후권역에 항만 등을 갖고 있는 지역의 주민들은 자신들의 생활 주거지가 선박 배출 대기오염물질로부터 자유롭지 못하다는 인식을 바탕으로 보다 적극적인 행동과 의견 표출이 필요하다. 다만 이러한 행동들이 집단적 이기주의로 비취질 수 있기 때문에 평화적인 수단을 통해서 정부 및 지자체와 협의하는 성숙된 시민의 모습을 보이는 것 또한 매우 중요하다.

2. 중장기 로드맵 작성

선박 배출 대기오염물질을 체계적으로 관리하기 위한 개선방안들에는 법제도 개선, ECA 도입 검토, 동북아 협력 네트워크 구축, 대기오염물질 인벤토리 구축, 연안 모니터링체계 구축, 영향도 분석 툴 개발 등이 있다.

이들 가운데 법제도 개선 사항은 다른 개선 방안들에 대한 법적인 근거 마련 차원에서 가장 먼저 시행될 필요성이 있다. ECA 제도에 대한 검토 역시 일본과 중국 등 주변국들의 상황을 고려해 볼 때 조속히 시행될 필요성이 있다. 도입 여부에 상관없이 제도의 도입으로 인해 발생할 수 있는 효과와 영향에 대한 분석은 면밀하게 서둘러 준비할 필요성이 있다. 동북아 협력 네트워크 구축도 중기적 관점에서 중국과 일본을 대상으로 사업 추진을 검토할 필요성이 높다. 이러한 법제도 및 국제협력 관련 사항들은 주로 정부 주도로 진행되어야 할 일들이 대부분을 차지하고 있기 때문에 정부의 역할이 매우 중요하다.

〈표 4-6〉 개선 과제별 중장기 로드맵

구 분	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	2021년이후	비 고
법제도 개선							정부
ECA 검토							정부 선사 연구소
동북아 협력 네트워크 구축							정부
인벤토리 구축							정부 지자체 연구소
모니터링 체계 구축							정부 지자체 연구소
영향도 분석툴 개발							정부 연구소

제5장 결론 및 정책제언

제1절 요약 및 결론

선박 배출 대기오염물질의 체계적 관리방안 연구를 통해서 도출된 연구 결과를 보면 먼저 IMO와 주요 국가들의 선박 배출 대기오염물질에 대한 관리 현황에 관한 사항이 있다. IMO는 MARPOL73/78을 통해서 선박에서 발생하는 액체, 고체, 기체 형태의 모든 오염물질에 대한 관리를 수행하고 있으며 최근에는 2005년 5월에 발효된 부속서 VI을 통해서 선박에서 발생하는 대기오염물질 방지에 역량을 집중하고 있다. 특정 해역에서 보다 강화된 선박 배출기준을 적용하는 배출규제해역(ECA)도 전 세계적으로 확대되고 있는 추세이다. 미국은 연방대기질기준(NAAQS) 설정과 ECA 지정을 통해 대기질 악화를 선제적으로 방지하고 있으며 EU의 경우는 환경대책프로그램(EAP)을 마련해 회원국들과 입법화 과정을 거쳐서 환경정책 개발을 시행하고 있다. 중국은 최근에 주장 삼각주, 장강 삼각주, 보하이만 지역 등 3개 지역을 ECA 지역으로 선포해 선박 배출 대기오염물질 관리에 대한 빠른 추진 속도를 보이고 있다. 반면 일본은 동북아 국가들 가운데 ECA 검토를 가장 먼저 했음에도 불구하고 여전히 도입에는 시차를 두고 있다.

IMO와 주요 국가들의 선박 배출 대기오염물질에 대한 관리현황을 통해서 우리는 시간이 지날수록 규제의 범위와 강도가 강화되고 있으며 이러한 규제와 산업과 연계되어 개별 국가에 미치는 영향이 갈수록 증가하고 있다는 사실을 확인할 수 있다.

둘째, 우리나라 선박 배출 대기오염물질의 관리 현황을 보면 환경부는 육상 오염원에 집중하고 해수부는 해양에서의 수질관리에 더 집중하는 관계로 선박에서 발생하는 대기오염물질에 대한 관리가 적절하게 수행되지 못하고 있는 실정이다. 이러한 사실은 선박에서 배출되는 비중이 높은 황산화물, 질소산화물,

미세먼지의 지역별 배출량 자료를 통해서 재확인할 수 있다. 특히 배후권역에 대규모 항만을 두고 있는 부산과 인천의 경우 타 지역에 비해 SO_x, NO_x, PM₁₀ 배출량에서 비도로이동오염원이 차지하는 비중이 상대적으로 높게 관측되는 것으로 나타났다.

우리나라 선박 배출 대기오염물질에 대한 관리가 지금까지 체계적·효율적으로 진행되지 못했으며 이런 결과로 주요 항만도시에서 선박의 배출 비중이 높은 대기오염물질(SO_x, NO_x, PM₁₀ 등)의 비도로이동오염원 비중이 높게 나타나고 있으며 이것이 국민보건에 심각한 영향을 미치게 되는 문제점을 유발하게 되었다.

셋째, 본 연구에서는 선박에서 배출되는 대기오염물질의 배출량 감소에 의한 건강효과의 경제적 가치를 추정하기 위해서 컨조인트 분석방법론을 이용해 설문조사를 수행하였다. 분석 결과 부산과 인천을 포함한 전체지역을 대상으로 한 추정결과에 의하면 대기오염으로 인한 건강피해 속성별 월평균 한계지불의 사액(MWTP)은 조기사망이 13,329.7원/천명으로 가장 크고, 폐암이 8,637.9원/천명, 심혈관질환 631.8원/천명, 천식 213.6원/천명의 순으로 나타났다.

또한 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해를 현재수준보다 각각 5%, 10%씩 감소시켜 발생하는 경제적 편익(2016년 말 기준)을 추정한 결과 전체지역을 대상으로 향후 5년 동안 선박 배출 대기오염에 의한 건강피해를 현재수준보다 각각 5% 감소시켜 발생하는 경제적 편익(2016년 말 기준)은 1,901억 원에 이르는 것으로 분석되었다.

이러한 컨조인트 분석 결과는 선박에서 배출되는 대기오염물질이 국민 건강 및 질병피해에 미치는 영향을 직접적으로 추정했다는 점에서 의의를 가질 뿐만 아니라 선박에서 배출되는 대기오염물질이 영향을 미치는 주요 속성변수들인 조기사망, 폐암, 천식, 심혈관질환별로 달성 가능한 다양한 건강효과의 경제적 가치에 대한 정량적 정보를 제공해 줄 수 있다는 점에서 정부의 관련 사업에 대한 비용편익 분석에 직접 활용이 가능할 것으로 판단된다.

넷째, 선박 배출 대기오염물질에 대한 국·내외 관리현황과 문제점 등을 바탕으로 본 연구의 개선목표와 개선방향을 설정하였으며 개별 개선과제들도 함께

도출하였다. 결론적으로 선박 배출 대기오염물질 관리체계 개선 방안으로 법제도적 방안과 기술적 방안들을 마련하였다. 법제도적 개선 방안들에는 관련 법률 개정 방안, 배출규제해역(ECA) 도입 방안, 동북아 지역 협력 네트워크 구축 방안 등을 설명하였으며, 기술적 방안들에는 선박 배출 대기오염물질에 대한 인벤토리 구축, 연안구역 모니터링체계 구축, 대기오염물질의 영향도 분석 툴 개발 등을 제시하였다.

마지막으로 본 연구에서 제시하는 선박 배출 대기오염물질의 체계적 관리란 선박에서 배출되는 대기오염물질의 관리 대상과 주체 등에 관한 명확한 법적 기반을 바탕으로 ECA 제도, 동북아 협력 네트워크 구축 등의 제도적 방안과 선박 배출량 인벤토리 구축, 모니터링체계 구축, 영향도 분석 툴 개발 등의 기술적 방안들을 결합하여 대기환경 보호와 국민건강 개선이라는 궁극적인 목표를 달성하는 체계이다.

제2절 정책제언

1. 항만구역의 대기오염물질 관측시스템 구축

선박 배출 대기오염물질을 관리하기 위한 정책 방안을 마련하기 위해서는 현장에 대한 실측 자료의 구축이 매우 중요하다. 선박 배출 대기오염물질이 연안 및 항만 인근 지역의 대기오염에 미치는 영향을 조사하기 위해서는 대기오염 관측시스템과 같은 직접적인 방법과 대기오염물질 확산모델과 같은 간접적인 방법들을 사용해야만 한다.

간접적인 방법의 경우라 하더라도 직접적인 관측 자료가 없으면 모델 분석이 불가능하기 때문에 1차적으로는 관측시스템 구축에 의한 실측자료의 축적이 매우 중요하다.

대기오염 관측시스템은 여러 가지의 실시간 측정 장비 및 시료 채집기 등을 이용해서 고정된 장소에서 주기적 또는 연속적으로 대기오염물질의 농도를 장

기간 측정해서 통계학적으로 의미 있는 자료를 수집해야만 한다. 대기오염물질의 농도는 바람의 세기 및 방향, 대기압, 온도, 강우의 세기 및 빈도 등에 따라 큰 영향을 받고 측정 시점의 대기 및 기상상태에 따라 매우 민감하게 변하므로 단기적인 모니터링 자료는 신뢰성이 현저히 낮다. 따라서 장기적인 대기오염 모니터링 네트워크의 구축 및 운영에 집중할 필요가 있다.

하지만 이러한 작업에는 상당한 인력과 예산이 필요하다. 따라서 관측 스테이션 선정 및 설치에 많은 제약이 따르게 되고 제한적인 인력 및 예산의 효율을 높이기 위해서는 이동식 장비를 이용해서 관측 스테이션 설치에 적당한 장소를 찾는 방법이 대안이 될 수 있다.

선박 배출 대기오염물질이 항구 및 인근 연안 지역의 대기오염에 미치는 영향을 좀 더 정확하게 산정하기 위해서는 장기적인 관점에서 대기오염을 관측하는 동시에 관측 자료를 이용해서 대기오염물질 확산모델을 분석하는 상호 보완적인 방식을 통해서 보다 정확하고 신뢰도 높은 자료의 축적이 가능하게 될 것이다.

마지막으로 연안 및 항만구역 대기오염물질 관측시스템의 성공적인 구축을 위해서는 담당 부처의 예산 확보 의지와 노력이 매우 중요하다. 사업의 시급성을 고려해서 단기적 현안을 위한 예산과 일정 시간이 필요하지만 중장기적으로 추진이 꼭 필요한 예산을 구분해서 접근하는 전략적 방안 마련도 필요할 것으로 생각된다.

2. 친환경선박의 보급 확대

친환경선박이란 좁은 의미에서는 MARPOL 73/78 부속서 6의 제4장(에너지효율관리)에 따른 선박에너지효율설계지수(EEDI)를 만족시키는 선박을 말하지만 넓은 의미에서는 에너지 효율이 높으면서 환경관련 규제에 대해 진보된 성과를 낼 수 있는 선박 전체를 의미한다. IMO에서 추진하고 있는 황산화물 규제를 예를 들 경우 글로벌 차원의 0.5% 규제를 충족할 뿐만 아니라 SECA 기준인 0.1%까지 충족하는 선박이 있으면 우리는 상대적으로 더 환경친화적인 선박인 친환경선박이라 부를 수 있다.

친환경선박은 선박의 설계 단계부터 친환경 기술을 적극 도입하고 건조 후 운항 단계에서도 새로운 친환경 기술의 도입에 적극적일 경우 진정한 의미에서 친환경선박의 자리를 유지할 수 있다. 하지만 이러한 친환경선박의 건조와 운항은 추가적인 건조 비용과 기술 인력을 요구하게 된다. 따라서 선주 입장에서는 친환경기술의 도입에 따른 비용 절감과 추가적으로 투입되는 자본과 인력에 대한 경제성 비교를 고려하지 않을 수 없다.

친환경선박의 보급이 활성화될 경우 선박에서 배출되는 대기오염물질의 배출량은 극적으로 감소될 수 있으며 이러한 선박의 오염물질 배출량 감소는 결국 국민보건의 개선으로 연결된다. 따라서 정부가 친환경선박의 보급 촉진에 위한 정책 수단 마련에 나서야 할 분명한 이유가 여기에 존재하는 것이다.

친환경선박에 대한 민간 선사의 적극적인 투자를 이끌어 내기 위한 정부 정책이 마련될 경우 친환경선박의 보급은 지금보다 훨씬 더 광범위하고 빠르게 진행될 수 있을 것으로 기대된다. 중국에서 성공적으로 시행한 바 있는 노후선 조기폐선 지원 사업⁸⁷⁾ 등은 친환경선박의 보급 활성화를 위한 모범 사례가 될 수 있으며 우리 정부도 국제선사의 경쟁력 확보와 국민보건의 개선 차원에서 더 늦기 전에 친환경선박의 보급 활성화 지원에 나설 필요가 있다.

3. 국내 ECA 지정 검토를 위한 정책연구 추진

중국은 2016년 1월 1일부터 항만에서의 대기오염물질 관리를 위해서 자국법으로 ECA를 지정해서 운영하고 있다. 현재 주장 삼각주, 장강 삼각주, 보하이만에 위치한 특정 항만에 선박이 입출항할 경우에는 황 함유량 0.5% 기준을 충족해야만 한다. 중국의 ECA 시행은 바로 인접한 국가인 우리에게 많은 생각과 고민을 안겨다 준다. 우리나라도 국내 연안에 중국과 보조를 맞추어 ECA를 지정해야 하는지 아니면 좀 더 시간을 더 갖고 IMO의 타임스케줄을 따라가면 되는 것인지 등에 대한 여러 고민이 생겨난 것이다.

⁸⁷⁾ 중국 정부는 노후선의 조기 폐선 지원을 위해서 폐선 선박 1GT당 1,500위안의 보조금을 지급하였다.(폐선 시 50% 지원, 신조 시 50% 지원)

따라서 우리나라도 서둘러 중국의 ECA 단계적 강화에 따른 국내 선사들의 대응 방안 마련을 지원하면서 우리나라도 ECA를 도입하는 문제에 대해서 본격적으로 논의를 진행시켜야 할 상황을 맞이하고 있다. 일본은 이미 2010년도에 정부 주도로 기술검토위원회를 운영한 바 있으며 우리나라도 초기 단계에서는 기술적 검토를 먼저 진행해야 할 것으로 생각된다. 그리고 선박 배출 대기오염 물질이 국민보건에 미치는 피해를 추정하고 보건 개선에 대한 편익가치 추정 등의 작업을 함께 병행해야 할 것이다.

최근 해양수산부 주도로 ‘환경친화적 선박의 개발 및 촉진에 관한 법률’ 제정 움직임이 본격화되고 있는 것은 다소 늦긴 했지만 매우 다행스러운 일이다. 또한 이러한 법률 제정 과정에서 우리나라 연안을 대상으로 ECA를 지정하는 사안에 대해서 별도의 전문가 TF가 구성되어 심도 깊은 논의가 진행될 필요가 있다. 결국 이러한 논의들은 ECA 도입 결정 여부를 떠나서 선박에서 배출되는 대기오염물질의 체계적 관리를 위한 첫 단추가 될 수 있기 때문에 매우 의미있는 작업이 될 수 있다.

4. 동북아 지역 협의체 구성에 관한 국제협력 연구 추진

최근 중국발 황사에서도 나타나듯이 이제 대기오염 문제는 우리나라만의 문제가 되던 시대는 이미 지나갔다. 선박 배출 대기오염물질 또한 마찬가지로 국내 연안과 항만 지역을 아무리 잘 관리하더라도 인접한 중국과 일본에서 공감하고 협조를 하지 않을 경우 실질적인 오염물질 감소에 도달하기에는 많은 문제점들에 봉착할 가능성이 높다.

예를 들어 우리나라가 국내 연안을 ECA로 지정해 운영할 경우 일본과 우리나라를 오가는 선박을 보유한 선사들의 경우 일본에서는 ECA를 운영하지 않고 있다는 점을 들어 우리나라가 ECA를 운영하는 것에 대하여 계속적으로 불만을 제기할 가능성이 높다. 반면 중국의 경우는 ECA 도입에 적극적으로 나서고 있는 상황이라 중국과는 동일한 문제가 발생할 가능성이 적을 것으로 보인다. 이처럼 우리나라가 선박 배출 대기오염물질을 줄이기 위한 어떤 정책을 집행하려고 할 경우 주변국들과의 공조 체제가 없으면 상대적으로 정책의 집행력이 감

소하는 문제점이 발생할 가능성이 존재한다.

이것과는 다르지만 주변국들과의 협력이 필요한 또 다른 경우도 존재한다. 예를 들어 한중일 국간들 간에 경제수역이 겹치는 해역에 대상으로 ECA 도입을 고려할 경우 한중일 국가들 간의 협력이 필수적인 사항이 될 것이다. 이러한 경우 한중일 중복 수역에 대한 ECA 도입은 관련 삼국의 긴밀한 공조 체계가 마련되지 않을 경우 도입 추진이 쉽지 않을 전망이다.

또한 지리적으로 인접한 한중일 삼국 간에는 선박에서 발생하는 대기오염 문제를 포함해서 공동 수역에 대한 ECA 도입 등 공동으로 협력해야 할 과제가 다수 존재한다. 따라서 한중일 삼국을 포함한 동북아 지역 국가들의 현안 사항들에 대한 검토를 위한 국제협력 연구의 추진은 매우 필요하며, 이를 통해서 선박 배출 대기오염물질의 관리를 위한 동북아 지역 협의회 구성 방안도 보다 구체화될 수 있을 것이다.

제3절 향후 연구 과제

본 연구에서는 선박에서 배출되는 대기오염물질의 체계적 관리방안 마련을 위해서 IMO와 주요 국가들의 국제적 관리 동향과 우리나라의 관리 현황을 살펴본 후 개선 목표를 설정하였다. 또한 이러한 목표를 달성하기 위한 개선 과제들로 현행 법·규정에 대한 개정, 배출규제해역(ECA) 도입 검토, 동북아 지역 협력 네트워크 구축, 대기오염물질의 인벤토리 구축, 국내 연안 및 항만구역의 모니터링체계 구축, 대기오염물질의 영향도 분석 툴 개발 등을 설정하고 이들 과제에 대한 추진 방안을 제시하였다.

하지만 제한된 시간에 다수의 개선 과제들에 대한 추진 방안을 마련하는 과정에서 일부 과제들은 보다 정밀하고 다양한 분석을 수행하지 못한 한계가 존재한다. 예를 들어 본 연구에서는 ECA 도입에 따른 영향 분석에서 ECA 도입으로 직간접적인 영향을 받는 산업들에 대한 보다 세밀한 분석이 진행되지 못하였다. 따라서 향후 추가 연구에서는 ECA 도입에 따른 관련 산업의 연관효과

분석, 경제적 타당성 분석 그리고 ECA 시행 국가들을 대상으로 시행 전·후의 효과 분석 등에 대한 연구가 추가적으로 진행될 필요가 있다. 그리고 일본의 경우 ECA 도입에 대한 기술적 검토를 여러 차례 진행한 경험이 있는데, 우리나라도 이와 유사한 기술적 검토가 조속히 진행될 필요가 있다. 다만 우리나라는 이러한 기술적 검토에 비용편익 분석 등 경제성 분석과 사회적 영향 등에 관한 사항들도 함께 포함되어 검토가 진행될 필요가 있다.

마지막으로 본 연구에서 제시한 선박 배출 대기오염물질의 기술적 관리방안들은 대부분 기술개발(R&D) 과제로 진행이 필요한 것들이기 때문에 본 연구 이후에 최대한 빠른 시점에 관련 기획과제가 진행될 필요가 있다. 최근 들어 정부를 중심으로 LNG 연료추진선 등의 친환경 선박의 보급 확산 등에 대한 논의⁸⁸⁾가 활기를 띠고 있는데, 이러한 자리에서 본 연구의 개선 과제들이 함께 검토될 수 있다면 매우 의미 있는 변화가 시작될 수 있을 것으로 기대된다.

88) 2016년 11월에 해양수산부와 산업통상자원부는 정부합동으로 “LNG추진선박 연관산업 육상 방안”을 발표하였다.

참고문헌

〈국내 문헌〉

- 경기개발연구원, 경기도 대기오염측정망의 적정성과 개선방안연구, 1998
- 경기개발연구원, 경기도 대기환경정보시스템 구축방안, 2007
- 곽승준·유승훈, “동강자연환경 보존의 경제적 편익추정: 조건부 가치측정방법의 적용을 중심으로”, 『경제학연구』, 제49집, 제2호, 한국경제학회, 2001, pp. 163-184.
- 국립환경과학원, 「국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출」, 2014. 4.
- 권오상, “가상순위결정법을 이용한 자연생태계의 경제적 가치평가”, 『경제학연구』, 제48집, 제3호, 한국경제학회, 2000, pp. 177-196.
- 김성연, 정문호, 손부순, 양원호, 최경호, 서울시일부 지역의 대기 중 미세먼지에 관한 연구, 한국 환경보건학회지, 31(4), 2005, pp. 301-308.
- 김성천, 송재종, 임성호, 강달선, 군산 지역에서 PM₁₀의 농도 및 성분 특성에 관한 연구, 한국 환경위생학회지, 26, 2000, pp. 18-24.
- 김신도, 김창환, 서울지역 미세먼지의 물리화학적 특성, 서울시연구, 9(3), 2008, pp. 23-33.
- 김용표, 서울의 미세먼지에 의한 대기오염. 한국대기환경학회지 22(5), 2006, pp. 535-553.
- 김용표, 박세옥, 김진영, 심상규, 문길주, 이호근, 장광미, 박경윤, 강창희, 고산에서의 1994년 3-4월 측정연구 - (Ⅱ) 기체상 대기오염물질의 특성연구, 한국대기보전학회지, 12(1), 1996, pp. 91-99.
- 김우규, 전영신, 이현환, 김현미, 서울 부유분진 농도의 황상 특성에 관한 사례 연구, 한국대기보전학회지, 11(2), 1995, pp. 199-209.
- 김지아, 진형아, 김철희, 부산 지역 미세먼지 농도의 시간변동 특성 및 기상인자 분석을 통한 먼지 생성 해석, 한국환경과학회지, 16(10), 2007, pp. 1157-1167.

- 김태선, 도시 주거 지역 완충녹지의 대기오염 저감 효과, 한양대학교 석사학위논문, 2003
- 김태형, 대기오염 측정망 배치기법에 관한연구 - 울산 온산 지역을 사례로, 서울대학교, 환경대학원, 1986
- 문난경, 김순태, MM5와 WRF를 사용한 대기질 모델링 결과 비교, 한국대기환경학회, 한국대기환경학회 학술대회논문집 한국대기환경학회 2009년 춘계학술대회논문집, 2009. 5, pp. 524-525.
- 문난경, 이강열, 김순태, 수도권 지역의 오존예측에 대한 CMAQ과 CAMx 결과 비교, 한국대기환경학회, 한국대기환경학회 학술대회논문집 한국대기환경학회 2008년 추계학술대회논문집, 2008. 10, pp. 383-385.
- 박상진, 이종범, 최태훈, BEIS v3.09를 이용한 자연 배출량에 따른 CMAQ의 오존농도 모사에 미치는 민감도 분석, 한국대기환경학회 2009년 춘계학술대회논문집, 2009. 5, pp. 536-537.
- 박수갑, 이종범, CMAQ 모델에 의한 수도권 지역에서 자연 배출 VOC가 오존농도에 미치는 민감도, 한국대기환경학회 2007년 환경공동학술대회 초록집, 2007. 5, pp. 1548-1551,
- 박일수, 이덕길, 강인구, 서울지역 겨울철 SO₂ 농도를 지배하는 기상인자, 한국대기보전학회지, 7(2), pp. 96-104.
- 부산지방해운항만청, '부산항 항법에 관한 규칙', 2009
- 서광석, 『대기오염개론』, 대학서림, 2001
- 서광엽, 대기오염 측정망 원격관리 시스템 구축에 관한 연구, 조선대학교 박사학위논문, 2009
- 수도권대기환경청, "수도권 대기환경관리 중장기 정책방향 설정", 2012. 9.
- 신용섭, 『새로운 환경공학개론』, 형설출판사, 2004
- 서울시정개발연구원, 교통 대기질 연계 데이터 구축 및 관리 활용방안연구, 2008
- 손정석 등, Models-3/CMAQ을 이용한 '09년 봄철 장거리 이동 사례 연구, 한국대기환경학회, 한국대기환경학회 학술대회논문집 한국대기환경학회 2009년추계학술대회논문집, 2009. 10, pp. 179-181.
- 손정석, 조석연, CMAQ의 이동/화학/에어로졸 모듈 간 비교 연구, 한국대기환경학회, 한국

- 대기환경학회 학술대회논문집 한국대기환경학회 2007년 환경공동학술대회 초록집, 2007. 5, pp. 352-355.
- 손혜영, 김철희, 부산지역 대기측정망 자료에 나타난 미세먼지 농도의 시계열 해석, 한국대기환경학회지, 25(2), 2009, pp. 133-140.
- 유은철, 박옥현, GIS기반 의사결정지원시스템을이용한부산대기질측정망의최적화, 한국대기환경학회지, 23(5), 2007, pp. 300-309.
- 이관희, 문종이, 박홍모, HYSPLIT 모델을 이용한 오염물질의 대기확산 특성 사례분석, 한국방사성폐기물학회 춘계학술대회 논문요약집, 2007, pp. 247-248.
- 이병규, 김정기, 울산지역 Road Dust의 중금속 성분 용출분석, 한국대기환경학회 2003 춘계 학술대회 논문집, 2003
- 이상득, 국지 순환풍 모델을 이용한 광양만권대기오염물질의 수치모델링. 한국 대기환경학회지, 19(1), 2003, pp. 13-23.
- 이영호 · 이윤철, “해양오염사고 대비 · 대응을 위한 해양환경관리법의 개선방안”, 「해사법연구」 제20권 제2호, 한국해사법학회, 2008. 7.
- 이용미, 이현주, 유철, 송정희, 김지영, 홍지형, 수도권 지역에서 대기질 측정망 자료를 이용한 광화학모델의 이동오염원 배출량 검증, 한국대기환경학회지, 25(5), 2009, pp. 369-381.
- 이용미, 이현주, 유철, 송정희, 김지영, 홍지형, 수도권 지역에서 대기질 측정망 자료를 이용한 광화학모델의 이동오염원 배출량 검증, 한국대기환경학회지, 25(5), 2009. 10, pp. 369-381.
- 이유진 등, 동아시아 지역에서의 CMAQ v4.3 모델을 통한 에어로졸총적분 농도와MODIS와 TOMS 위성 데이터의 비교 연구, 한국대기환경학회, 한국대기환경학회 학술대회논문집 한국대기환경학회 2006년 추계학술대회논문집, 2006. 10, pp. 153-155.
- 이종범 등, 위성자료를 이용한 MM5 4차원자료동화가 광화학모델의 정확도에 미치는 영향 고찰, 한국대기환경학회, 한국대기환경학회지(국문) 한국대기환경학회지, 25(4), 2009. 8, pp. 264-274.
- 이종범, 김영하, 배출량 변화에 따른 CMAQ의 오존농도 모사에 대한 민감도분석, 한국대기환경학회, 한국대기환경학회 학술대회논문집 한국대기환경학회 2004년 추계학술

- 대회논문집, 2004. 11, pp. 247-249.
- 이종범, 김영하, 이미희, 배출량 변화에 따른 Models-3/CMAQ의 오존생성 민감도 분석, 한국대기환경학회, 한국대기환경학회 학술대회논문집 한국대기환경학회 2004년 춘계학술대회논문집, 2004. 4, pp. 401-402.
- 이종범, 김재철, 동해안의 복잡지형에서 기상장 개선에 따른 CALPUFF 모델의 평가, 한국대기환경학회지, 25(1), 2009, pp. 15-25.
- 이종범, 김재철, 천태훈. 위성자료를 이용한 MM5 4차원자료동화가 광화학모델의 정확도에 미치는 영향 고찰, 한국대기환경학회지, 25(4), 2009, pp. 264-274.
- 이종범, 박상진, 김재철, 장운정, 기상장의 종류와 해상도에 따른 HY-SPLIT 모델의 결과 비교. 환경영향평가, 19(3), 2010, pp. 223-230.
- 이종범, 송은영, Models-3/CMAQ을 이용한 고농도 오존 현상 모사, 한국대기환경학회, 한국대기환경학회 학술대회논문집 한국대기환경학회 2006년 추계학술대회논문집, 2006. 10, pp. 455-456.
- 이종범, 이미희, Models-3/CMAQ에 의하여 모사된 수도권 하계의 오존 농도의 시공간적 패턴 해석, 한국대기환경학회, 한국대기환경학회 학술대회논문집 한국대기환경학회 2004년 추계학술대회논문집, 2004. 11, pp. 250-251.
- 이종범, 황경진, PAMS 자료와 MODEL-3/CMAQ을 이용한 수도권 지역의 VOCs 배출량 평가, 한국대기환경학회 2005년 춘계학술대회논문집, 2005. 5, pp. 194-195.
- 이형배, 충남지역 대기 중 입자상 오염물 특성 조사, 상명대학교 석사학위논문, 2007
- 이희관, 김응철, 황상순, 인천지역에서의 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구, 인천지역 환경기술개발센터, 2008
- 장영기, 송동웅, 국내 대기오염 모델링의 현황과 과제. 한국대기보전학회지, 11(1), 1995, pp. 1-14.
- 전병일, 황용식, 최근 5년간 부산지역의 미세먼지(PM_{10})농도 특성에 관한 연구, 환경영향평가, 16(6), 2007, pp. 533-542.
- 전병일, 황용식, 2006-2008년 봄철 부산지역 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 의 질량농도 및 금속성분의 화학적특성, Korean Earth Science Society, v.31, no.3, 2010, pp. 234-245.
- 정장표, 이승훈, PSCF 모형의 예측력 향상을 위한 개선방향, J. of Environmental Science

- and Technology Research Center, 15(1), 2005, pp. 9-16.
- 정진도, 황승민, 최희석, 아산지역 황사/비황사시 $PM_{2.5}$, PM_{10} 농도 특성에 관한 연구, 대기 환경공학회지, 30(11), 2008, pp. 1111-1115.
- 진윤하, 서울지역 PM_{10} 농도 특성과 바람장과의 관계, 서울대학교 석사학위논문, 2004. 12.
- 최규훈, 김기현, 강창희, 이진홍, 황사와 비황사기간의 중금속 농도 분포 특성: 2001년 황사 기간에 대한 비교연구, 한국대기환경학회지, 19(1), 2003, pp. 45-56.
- 최만식, 이선기, 최재천, 이민영, 소백산 대기 중 입자상 물질의 화학적 특성에 관한 연구 - 금속원소의 계절적인 변화와 기원을 중심으로, 한국대기보전학회지, 11(2), 1995, pp. 191-198.
- 최민규, 청정지역에서 입자상물질(PM_{10})의 특성에 관한 연구, 건국대학교 석사논문, 1997
- 한국선급, KR Technical Information, NO.2010012/IMO
- 한진석, 김신도, 서울시 대기 중 입자상 오염물질의 조성에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 12(4), 1996, p.389-398.
- 해양수산부, 「환경관리해역 기본계획 및 해역별 관리계획 수립 연구」, 2012.
- 환경부, 대기오염공정시험방법, 환경부고시 제2007-145호, 2007
- 환경부, 대기오염 측정망 기본계획 (2006~2010), 2005
- 환경부, 대기오염 측정망 운영 과학화 및 발전방향 모색을 위한 포럼, 2005, pp. 3-81.
- 환경부, '대기오염 측정망 설치·운영지침', 2010
- 환경부, 『대기환경연보』 각 연도

〈국외 문헌〉

- 일본 국토교통성, 선박으로부터의 대기오염물질 방출규제해역에 관한 기술검토위원회 보고서, 2013.
- 일본 국토교통성, 해사레포트, 2015.
- 일본 해사산업연구소, 선박으로부터의 배출가스에 의한 대기오염 방지대책에 관한 조사, 1994.
- 일본 해사산업연구소, 외항해운에 있어서 환경보전대책, 안전대책의 방향에 관한 조사,

- 1996.
- 일본 해사산업연구소, 환경보전문제에 관한 해사산업의 대책에 관한 조사, 2004.
- 일본 해양정책연구재단, 배출규제해역 설정에 의한 대기환경개선효과의 산정사업 보고서, 2013.
- 일본 환경성, 선박 및 항공기 배출 대기오염물질 삭감에 관한 검토조사보고서, 2010, 2011, 2012.
- 일본 환경성, 환경백서, 2016.
- Adamowicz, W., J. Louviere, and M. Williams, "Combining Revealed and Stated Preference Methods for Valuing Environmental Amenities," *Journal of Environmental and Economics Management*, Vol. 26, 1994, pp. 271-292.
- Bastell, R. R. and J. J. Louviere, "Experimental Choice Analysis," *Marketing Letters*, Vol. 2, 1991, pp. 199-214.
- Ben-Akiva, M. and S. Lerman, *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, Cambridge, MA: MIT Press, 1985.
- Capaldo, K., Corbett, J.J., Kasibhatla, P., Fischbeck, P., Pandis, S.N, Effects of ship emissions on sulphur cycling and radiative climate forcing over the ocean, *Nature* 400, 743, 746, 1999.
- Carlsson, F. and P. Martinsson, "Do Hypothetical and Actual Marginal Willingness to Pay Differ in Choice Experiments?," *Journal of Environmental and Economics Management*, Vol. 41, 2001, pp. 179-192.
- Chang S. C., Lee C. T., Secondary aerosol formation through photochemical reactions estimated by using air quality monitoring data in Taipei City from 1994 to 2003, *Atmos. Environ.*, 41, 2007, pp. 4002-4017.
- Chen, F. and Dudhia, J., Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part. I: Model description and implementation, *Atmospheric Environment*, 38, 2001, pp. 2803-2817.
- Chow, J. C., Watson, J. G., Lu, Z., Lowenthal, D. H., Frazier, C. A., Solomon, P. A., Thuillier, R. H. and Magliano, K., Descriptive analysis of PM_{2.5} and PM₁₀ at

- regionally representative locations during SJVAQS/AUSPEX, *Atmos. Environ.*, 30 (12), 1996, pp. 2079-2112.
- Colella, P. and Woodward, P.R., The piecewise parabolic method (PPM) for gas dynamical simulations, *Journal of Computational Physics*, 54, 1984, pp. 174-201.
- Concawe, "The contribution of sulphur dioxide emissions from ships to coastal deposition and air quality in the channel and southern north sea area". Report No 2/94. The Oils Companies", European Organization for Environment and Health Protection. Brussels. (Pre-publications), 1994.
- Cooper D.A., HCB, PCB, PCDD and PCDF emissions from ships, *Atmospheric Environment* vol. 39, 2005, pp. 4901-4912
- Cooper, D.A., K. Peterson and D. Simpson, *Atmospheric Environment*, vol. 30, 1996, pp. 2463-2473.
- Cooper, D.A., and Gustafsson, T., 'Methodology for calculating emissions from ships: 1. Update of emission factors'. Report series SMED and SMED&SLU 4, 2004.
- Corbett, J. J., Koehler, H. W., Updated emissions from ocean shipping, *Journal of Geophysical Research*, 108 (D20), 4650, 2003.
- DeGaetano, A. T. and Doherty, T.O.M., Temporal, spatial and meteorological variations in hourly $PM_{2.5}$ concentration extremes in New York City, *Atmospheric Environment*, 38, 2004, pp. 1547-1558.
- Derwent, R.G., Stevenson, D.S., Doherty, R.M., Collins, W.J., Sanderson, M.G., Johnson, C.E., Cofala, J., Mechler, R., Amann, M., Dentener, F.J., The contribution from shipping emissions to air quality and acid deposition in Europe, *AMBIO* 34 (1), 2005, pp. 54-59.
- Diener, A. A., Muller, R. A. and Robb, A. L., Willingness-to-Pay for Improved Air Quality in Hamilton-Wentworth: A Choice Experiment, Hamilton, Ontario: Department of Economics, McMaster University, 1998.
- Donaldson, K. and MacNee, W., Potential mechanisms of adverse pulmonary and cardiovascular effects of particulate air pollution (PM_{10}), *International Journal of*

- Hygiene and Environmental Health, 203, 2001, pp. 411-415.
- Dore, A.J., Vieno, M., Tang, Y.S., Dragosits, U., Dosio, A., Weston, K.J. and Sutton, M.A.. Modelling the atmospheric transport and deposition of sulphur and nitrogen over the United Kingdom and assessment of the influence of SO₂ emissions from international shipping, *Atmospheric Environment*, 41, 2007, pp. 2355-2367.
- EMEP, www.ceip.at/emission-data-webdab/emission-as-reported-by-parties/
- Endresen, O., Sorgard, E., Sundet, J.K., Dalsoren, S.B., Isaksen, I.S.A., Berglen, T.F. and Gravir, G., Emission from international sea transportation and environmental impact, *Journal of Geophysical Research*, 108 (D17), 4560, 2003.
- Entec UK Limited, 'Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments'. Contract No: 070501/2004/383959/MAR/C1 August, 2005.
- Entec UK Limited, 'Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community'. Final report July 2002.
- Entec UK Limited, 'Ship Emissions Inventory – Mediterranean Sea, Final Report for Concawe', April, 2007.
- EPA, 'Compilation of Air Pollutant Emission Factors: Volume II: Mobile sources – Vessels AP-42', Fourth edition, September, 1985.
- Ex-Tremis, Ex-Tremis - Ex-Tremis project - Maritime Inventory. For information see the website www.ex-tremis.eu/ and final report: Chiffi, Fiorello, Schrooten, De Vlieger, Ex-Tremis, 'Exploring non-road transport emissions in Europe', JRC-IPTS, 2008.
- Fathom, 「Operating in Emission Control Areas: The Guide」, 2015
- Gery, M.W., Whitten, G.Z., Killus, J.P. and Dodge, M.C., A photochemical kinetics mechanism for urban and regional scale computer modeling, *Journal of Geophysical Research*, 94 (D10), 1989, pp. 925-956.
- González-Cabán, A. and J. B. Loomis, "Economic Benefits of Maintaining Ecological

- Integrity of Rio Mameyes, in Puerto Rico,” *Ecological Economics*, Vol. 21, 1997, pp. 63-75.
- Greene, W.H., *Econometric Analysis*, London: Prentice Hall International, 2000.
- Grell, G.A., Dudhia, J. and Stauffer, D.R., *A Description of the Fifth-Generation PENN State/NCAR Mesoscale Model (MM5)-NCAR/TN-398+STR*. NCAR, Boulder, CO., 1994.
- Haglund, F., A review on the use of gas and steam turbine combined cycles as prime movers for large ships. Part III: Fuels and emissions, *Energy Conversion and Management*, 49, 2008, pp. 3476-3482.
- Hanley, N. and C. L. Spash, *Cost-Benefit Analysis and the Environment*, Aldershot: Edward Elgar, 1993.
- Hanley, N., R. E. Wright, and W. Adamowicz, “Using Choice Experiments to Value the Environment,” *Environmental and Resource Economics*, Vol. 11, 1998, pp. 413-428.
- Hearne, R. R. and Z. M. Salinas, “The Use of Choice Experiments in the Analysis of Tourist Preferences for Ecotourism Development in Costa Rica,” *Journal of Environmental Management*, Vol. 65, 2002, pp. 153-163.
- Hensher, D. A., “Stated Preference Analysis of Travel Choices: The State of Practice,” *Transportation*, Vol. 21, 1994, pp. 107-133.
- Hsiao, W., Mo, ZY., Fang, M., Shi, XM. and Wang, F., Cytotoxicity of PM_{2.5} and PM₁₀ ambient air pollutants assessed by the MTT and the Comet assays, *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 471, 2000, pp. 45-55.
- International Maritime Organization, *Ship’s Routing*. Fifth edition. International Maritime Organization. London, 1987.
- IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.
- IPCC, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. OECD, 1997.
- IPCC, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 1996.

- Klokk, S.N., 'Measures for Reducing NOx Emissions from Ships'. Marintek. Workshop on control technology for emissions from off-road vehicles and machines, ships and aircrafts, Oslo, 8-9 June, 1995.
- Krinsky, I. and A. Robb, "On Approximating the Statistical Properties of Elasticities," *Review of Economics and Statistics*, Vol. 68, 1986, pp. 715-719.
- Laakso, L., Hussein, T., Aarnio, P., Kpomppula, M., Hiltunen, V., Viisanen, Y., Kulumala, M., Diurnal and annual characteristics of particle mass and number in urban, rural and Arctic environment in Finland, *Atmos. Environ.*, 37(19), 2003, pp. 2629-2641.
- Lancaster, K., "A New Approach to Consumer Theory," *Journal of Political Economy*, Vol. 74, 1966, pp. 132-157.
- Lawrence, M.G., Crutzen, P.J., Influence of NOx emissions from ships on tropospheric photochemistry and climate, *Nature* 402 (6758), 1999, pp. 167-170.
- Lloyd's Register, 'Marine Exhaust Emissions Research Programme'. Lloyd's Register Engineering Services, London, 1995
- Lloyd's Register, 'Marine Exhaust Emissions Research Programme: Phase II Transient Emission Trials'. Lloyd's Register Engineering Services, London, 1993.
- Louviere, J. J., "Conjoint Analysis Modeling of Stated Preferences: A Review of Theory, Methods, Recent Developments and External Validity," *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 10, 1988a, pp. 93-119.
- Louviere, J. J., *Analyzing Decision Making: Metric Conjoint Analysis*, California, USA: Sage Publications, 1988b.
- Lu, G., Brook, J.R., Alfara, M.R., Anlauf, K., Leitch, W.R., Sharma, S., Wang, D., Worsnop, D.R., Phinney, L., Identification and characterization of inland ship plumes over Vancouver, BC, *Atmospheric Environment* 40(15), 2006, pp. 2767-2782.
- Luciali, P., Ugolini, P., Pollini, E., Harbour of Ravenna: the contribution of harbour traffic to air quality, *Atmos. Environ.*, 41, 2007, pp. 6421-6431.

- Mackenzie, J, "A comparison of contingent preference models", *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 75, August, 1993, pp. 593-603.
- Mahrer, Y. and Pielke, R.A., The effect of the topography of sea and land breeze in a two-dimensional numerical model, *Monthly Weather Review*, 105, 1977, pp. 1151-1162.
- Mallawaarachchi, T., Blamey, R. K., Morrison, M. D., Johnson, A. K. L. and Bennett, J. W., "Community Values for Environmental Protection in a Cane Farming Catchment in Northern Australia: A Choice Modeling Study," *Journal of Environmental Management*, Vol. 62, 2001, pp. 301-316.
- Marintek, 'Exhaust gas emissions from international marine transport'. Norwegian Maritime Technology Research Institute, Trondheim, 1990.
- Marr, I. L., Rosser, D. P., Meneses, C. A., An air quality survey and emissions inventory at Aberdeen Harbour, *Atmos. Environ.*, 41, 2007, pp. 6379-6395.
- McFadden, D., "Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior," in P. Zarembka, ed., *Frontiers in Econometrics*, New York: Academic Press, 1974.
- MEET,. Spencer C. Sorensen (ed). 'Future Non-Road Emissions'. MEET deliverable No 25. The European Commission, 1998.
- Morrison, M., Bennett, J. W., Blamey, R. K. and Louviere, J., "Choice Modeling and Tests of Benefit Transfer," *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 84, No. 1, 2002, pp. 161-170.
- Park, T., J. B. Loomis, and M. Creel, "Confidence Intervals for Evaluating Benefits from Dichotomous Choice Contingent Valuation Studies," *Land Economics*, Vol. 67, 1991, pp. 64-73.
- Sillman, S. (1999) The relation between ozone, NOx and hydrocarbons in urban and polluted rural environments, *Atmospheric Environment*, 33, 1821-1845.
- Song, S.-K., Shon, Z.-H., Kim, Y.-K., Kang, Y.-H., Oh, I.-B. and Jung, C.-H., Influence of ship emissions on ozone concentrations around coastal areas during summer season, *Atmospheric Environment*, 44, 2010, pp. 713-723.

- Stern, S., "Simulation-Based Estimation," *Journal of Economic Literature*, Vol. 35, 1997, pp. 2006-2039.
- Streets, D.G., Guttikunda, S.K., Carmichael, G.R., The growing contribution of sulfur emissions from ships in Asian Waters, 1998 2005, *Atmospheric Environment* 34, 2000, pp. 4425 4439.
- Streever, W. J., Callaghan-Perry, M., Searles, A., Stevens, T. and Svoboda, P., "Public Attitudes and Values for Wetland Conservation in New South Wales, Australia,," *Journal of Environmental Management*, Vol. 54, 1998, pp. 1-14.
- Stubberud, G., 'Proposed international requirements for reduction of emissions from ships'. From the Workshop on Control Technology for Emissions from Off-Road Vehicles and Machines, Ships and Aircraft, Oslo, June 8-9, 1995.
- Thomas Reed Publications, Reed's Marine Distance Tables. Seventh edition, Thomas Reed Publications Limited. Surrey, 1992.
- Trozzi C., 'Update of Emission Estimate Methodology for Maritime Navigation', *Techne Consulting report ETC.EF.10 DD*, May, 2010.
- Trozzi C., Vaccaro R., 'Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships', In: MEET, Methodologies for calculating Emissions and Energy consumption from Transport, European Commission, Transport Research Fourth Framework Programme Strategic Research DG VII, 1998.
- Trozzi C., Vaccaro R., 'Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships: a 2006 update', *Environment & Transport*, 2nd International Scientific Symposium including 15th conference Transport and Air Pollution, Reims, France : 12-14 June, 2006.
- U.S. Environmental Protection Agency, 'Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories', Final Report Prepared for U.S. Environmental Protection Agency by ICF International, April, 2009.
- Vakeva, M., Hameri, K., Puhakka, T., Nilson, E., Hohti, K., Makela, J., Effects of meteorological process on aerosol particle size distribution in an urban

- background area, J. Geophy. Res., 105(9), 2000, pp. 807-821.
- Vutukuru, S. and Dabdub, D., Modeling the effects of ship emissions on coastal air quality: A case study of Southern California, Atmospheric Environment, 42, 2008, pp. 3751-3764.
- Wang, G., Wang, H., Yu, Y., Gao, S., Feng, J., Gao, S. and Wang, L., Chemical characterization of water soluble components of PM₁₀ and PM_{2.5} atmospheric aerosols in five locations of Nanjing, China, Atmos. Environ., 37, 2003, pp. 2893-2902.
- Winther 2008b, 'New national emission inventory for navigation in Denmark', Atmospheric Environment, Volume 42, Issue 19, June 2008, pp. 4632-4655
- Winther, M. 2008a. Fuel consumption and emissions from navigation in Denmark from 1990-2005 — and projections from 2006-2030. Technical report from NERI No 650, pp. 109, 2008.
- Winther, M., and Nielsen O., 'Fuel use and emissions from non road machinery in Denmark from 1985-2004 — and projections from 2005-2030'. Environmental Project 1092. The Danish Environmental Protection Agency, 2006, p. 238.

〈인터넷 자료〉

<https://www.gov.uk/>

http://www.airkorea.or.kr/dictionary_3

<http://kosis.kr>, 통계청 장래 인구(가구) 추계결과(2016.11. 검색)

부록 1. 일본 연구기관과 정부의 선박 배출가스 관련 조사 활동 현황

1. 해사산업연구소의 조사활동

해사산업연구소는 1964년 재단법인으로 설립되었으며, 해사산업에 관한 연구조사를 통해 일본의 관련정책 입안에 기여하는 것을 목적으로 하였다. 또한 선박으로 인한 대기오염 문제의 조사에 일본 내에서 가장 먼저 착수하였으며, 선박 배출가스 등 해운, 해사산업에서의 환경문제에 대한 연구의 결과물을 3개 발표했다. 2011년 공익재단법인 일본해사센터가 그 업무를 인수해서 현재에 이르고 있다.

1) 선박으로부터의 배출가스에 의한 대기오염 방지대책에 관한 조사(1994년)

1994년에 발표된 이 조사의 목적은 IMO의 배출가스 규제 검토에 대응하여 해운업계에의 경제적 영향을 조사하는 것이며, 오다(織田政夫) 도쿄상선대학 교수를 위원장으로 하여 총 18명으로 구성된 조사위원회가 구성되어 조사를 주도하였으며, 조사위원회에는 학연계뿐 아니라 산업계와 정부기관(운수성)도 참여했다.

조사의 주 내용은 NOx, SOx 배출수준의 저감에 따른 경제적 영향을 검토하기 위해 엔진과 관련된 코스트, 정화장치의 설치에 관련된 코스트, 개조공사비, 선박운항의 추가비용 등을 검토했다. 산업계에 대한 설문조사와 더불어 모델선박을 상정하여 각 코스트 구성요소를 구체적으로 시산했다.

2) 외항해운에 있어서 환경보전대책, 안전대책의 방향에 관한 조사(1996)

1996년에 발표된 이 조사의 목적은 외항해운에 있어서 환경보전대책, 안전대책의 원활한 추진을 위한 방향을 검토하는 것이었다.

주요 연구내용으로는 환경보전대책, 안전대책에 관한 국내외의 동향을 조사하고 해외선사(주요 6개 선사)의 대비상황을 분석했으며, 결론적으로 일본 해운선사의 대비책을 검토했다.

한편 연구의 주요 결론으로, 추가적으로 발생하는 경제적 부담에 대비하는

계획을 추진하며, 이를 위해 관련업계의 조정이 필요하고, 검토를 위한 네트워크를 구성할 것을 제안했다. 아울러 국민에 대한 계몽활동 역시 권고하고 있다.

3) 환경보전문제에 관한 해사산업의 대책에 관한 조사(2004)

2004년에 발표된 이 조사의 목적은 해운업, 조선업, 박용공업 등 해사산업의 환경보전 문제에 대한 대책의 실태를 조사하고 향후의 방향을 검토하는 것이었다.

관련업계에 대한 폭넓은 설문조사를 통해 얻은 조사의 결론으로, 먼저 규제에 대해서 관련 당사자가 미리 준비할 수 있도록 규제 내용을 조기에 구체적으로 제시해야 하며, 친환경 기기, 선박의 보급 촉진을 위한 인센티브의 도입을 제안했다. 또한 업계단체의 정보 발신을 강조하고 타 업계와의 연계를 촉구하고 있다. 마지막으로, 민간기업의 친환경 연구개발, 비용절감노력, 증가비용에 대한 비용 분담 노력을 강조하고, 조악한 연료유에 대해서는 해사관련업계와 석유업계가 공동 대응할 것을 촉구했다.

2. 해양정책 연구재단의 조사활동

일본 해양정책연구재단에서는 2010년부터 2012년까지 “배출규제해역(ECA) 설정에 의한 대기환경개선효과의 산정사업”을 실시하고 2013년 그 결과를 발표했다. 이 조사사업은 일본재단의 연구비 조성에 의해 수행되었다.

1) 조사의 개요

이 조사는 일본 주변해역에서 선박에 의한 대기환경영향의 평가가 가능한 계산모델을 독자적으로 작성, 시뮬레이션을 통해 연안역 주민의 건강과 육지 및 해역으로의 환경영향을 평가하며, 일본에서의 ECA 설정에 관해서 국제적으로 신뢰를 얻을 수 있는 과학적인 자료를 작성하여 선박에 관한 환경정책의 적절한 책정에 기여하는 것을 목적으로 하고 있다.

연구의 주요 내용은 다음과 같다.

- 선박자동식별장치(AIS) 탑재선박의 항행자료를 이용하여 종래에 없었던

세밀한 배출가스 분포데이터를 획득, 최신의 대기질 시뮬레이션으로 일본 주변에 있어서 상세한 배출가스 농도를 구하고 그 영향을 평가

- 배출량의 변화, 예측환경농도와 환경기준과의 적합성 평가
- 유럽, 미국의 사례를 참고하여 인체건강영향, 생태계 영향을 정량적으로 평가
- 통일된 지표를 이용하여 미국, 유럽의 사례와 정량적으로 비교하여 일본에서의 ECA의 유효성에 관하여 다각적 시점에서 검토를 시도

2) 위원회의 구성

이 조사를 위해 해양정책연구재단에서는 재단 내에 사무국을 두고 배출규제 해역설정에 관한 대기질 환경개선효과 산정위원회와 배출규제해역설정에 관한 평가모델 조사연구위원회 등 2개의 위원회를 구성했다.

배출규제해역설정에 관한 대기질 환경개선효과 산정위원회의 구성상황은 다음과 같다.

- 위원장: 다카사키(高崎講二) 규슈대학 교수, 환경에너지공학 전공
- 위원: 총 8명, 환경연구소(2), 수산대학, 선박기술연구협회, 일본선주협회, 내항해운조합총연합회, 해양연구개발기구, 해양정책연구재단 각 1명
- 옵서버: 총 18명, 국토교통성 종합정책국(1), 해사국(3), 해양수산시스템협회(2), NYK(1), MOL(3), K-line(3), 석유연맹(2), 국토환경연구소(2), 환경계획연구소(1)

배출규제해역설정에 관한 평가모델 조사연구위원회의 구성은 다음과 같다.

- 위원장: 다케바야시(武林亨) 게이오대학 교수, 공중위생학 전공
- 위원: 총 3명, 가나자와공대, 일본환경위생센터, 농업환경기술연구소
- 옵서버: 총 8명, 국토교통성 종합정책국(1), 해사국(3), 일본선박기술연구협회(1), 국토환경연구소(2), 환경계획연구소(1)

3) 조사의 결과

이 연구에서의 평가결과만을 놓고 보면 2020년을 기준으로 일본의 해역에

ECA for N을 설정하는 것이 유효하다고 하기 어렵다는 결론에 도달했다. ECA for N 설정은 연안부에 O₃ 농도의 증가를 야기할 가능성이 지적되었다.

다만, 도쿄만과 오사카만에서는 2020년을 목표로 ECA for S를 설정하는 것이 일정한 개선효과를 확인할 수 있다는 결론 역시 도출했다. 육상의 환경개선 효율지표로 평가하면 PM 삭감량 1톤당 PM_{2.5} 농도에 대한 개선효과는 선박과 자동차가 동등하게 평가되었다.

도쿄만에서 ECA for S 설정의 옵션으로는 다음의 3가지가 제안되었다.

- 도쿄만 전체
- 정박 중의 선박
- 양자의 중간(정박 중의 선박과 주요항로 이외의 해역)

오사카만에서 ECA for S 설정의 옵션으로 다음의 2가지가 제안되었다.

- 오사카만 전체
- 정박 중의 선박
- 오사카만에서는 주요 항로대를 추출하기가 곤란하므로 중간영역은 옵션이 될 수 없음

또한 도쿄만 지역을 대상으로 한 인체건강영향평가의 결과는 다음과 같다.

- ECA for S의 설정으로 도쿄만 지역에서 연간 157명의 입원자 감소가 기대됨. 베이스라인의 0.296%에 해당
- ECA for N의 설정으로 도쿄만 지역의 입원자수는 연간 9.65명 감소, 베이스라인의 0.018%에 해당함

3. 일본 정부의 조사 및 검토

일본 정부는 2010년 2월부터 ‘선박으로부터의 대기오염물질방출규제해역에 관한 기술검토위원회(ECA기술위원회)’를 국토교통성 내에 설치하고, 2013년 3

월까지 총 6회 위원회를 개최하여 ECA 도입의 필요성에 관한 검토를 수행하여, 2013년 6월 “선박으로부터의 대기오염물질방출규제해역에 관한 기술검토 결과보고서”를 제출했다. 그 주요 내용은 다음과 같다.

1) 조사의 개요

조사의 목적은 선박으로부터의 배출가스 중 NO_x, SO_x 및 PM에 대하여 일반해역보다 엄격한 규제가 부과되는 대기오염물질방출규제해역(ECA)에 관해 일본에서의 설정 필요성 및 필요한 경우의 지정범위 등을 검토하는 것이었다. 검토의 추진체제는 다음과 같다.

- 위원회에 있어서 ECA 설정의 필요성을 검토할 때 1) 선박으로부터의 대기오염물질의 배출상황의 파악, 2) 일본의 대기오염상황 및 선박에 의한 영향의 파악, 3) ECA 설정에 의한 환경개선효과의 예측, 4) 비용영향의 조사를 실시
- 검토의 결과 ECA 설정이 필요하다고 판단되는 경우에는 IMO에 ECA설정의 제안 문서를 제출할 필요가 있으므로, 미국, 캐나다 제안의 예를 참고로 하며 검토를 진행
- 일반재단법인 일본선박기술연구협회의 ‘대기오염방지규제의 원활한 도입을 위한 조사연구’사업(학식경험자, 독립행정법인 해상기술안전연구소, 기타 관계단체의 협력에 의해 실시)과 연계하여 당해사업 중에 실시된 ‘선박으로부터의 대기오염물질방출 인벤토리의 작성’, ‘ECA 실시관련 비용의 조사’ 등에 관하여 위원회에서 내용을 검증하고 적절히 조언하며, 그 성과를 활용하며 검토를 추진

이러한 조사와 검토를 위해 다음과 같이 위원회가 구성되었다.

총 13명의 관련 전문가(대학, 연구소) 및 관련 업계단체(선주협회, 조선공협회, 수산회, 석유연맹 등) 참여

- 위원장: 와카마츠(若松伸司) 에히메대학 농학부 교수
- 국토교통성, 환경성, 수산청의 참여(옵서버)

2) 검토의 과정

일본의 대기오염상황 및 선박에 의한 영향의 검토에 있어서 ‘현황’이라 함은 분석에 필요한 데이터나 문헌 등이 가장 풍부하게 집적된 2005년으로 하였다. ‘장래’라 함은 미국, 캐나다 제안의 예를 따라 2020을 상정하여 2005년의 데이터를 기초로 현시점에서 예정되어있는 규제의 침투나 선박활동량의 추이 등을 고려하는 것으로 하였다.

가. 선박으로부터의 대기오염물질의 배출상황의 파악(방출 인벤토리의 작성)

현황(2005년)에 있어서 일본광역(10km mesh) 및 관동지역(1km mesh)에서의 선박으로부터의 대기오염물질의 방출량 및 분포(선박방출 인벤토리)를 재단법인 Ship and Ocean재단(통칭 해양정책연구재단) 및 수산청의 협조를 얻어 독립행정법인 해상기술안전연구소(해기연)가 작성했다.

장래(2020년)의 선박방출인벤토리는 현황(2005년)의 선박방출인벤토리를 기초로 현시점에서의 실시 또는 예정되어있는 규제의 침투, 선종구성의 변화, 선박활동량의 추이 등을 반영하여 해기연에서 작성했다.

현황(2005년)의 선박 이외의 배출원으로부터의 대기오염물질의 방출인벤토리(선박 이외의 방출인벤토리)는 일반재단법인 석유에너지기술센터, 일반재단법인 전력중앙연구소 등 각 분야의 지식을 가진 연구기관이 작성, 공개하고 있는 자료를 기초로 해기연에서, 각 제공처의 허가, 협력을 얻어 데이터의 보완 등을 수행했다.

장래(2020년)의 선박 이외의 방출인벤토리는 현황의 선박 이외의 방출인벤토리를 기초로 자동차 등의 국내 주요 인위발생원에 관해서는 당해 데이터 제공처의 허가, 협력을 얻어 현시점에서 예정되어있는 규제의 침투 등을 반영한 것을 해기연에서 작성했다.

나. 일본의 대기오염상황 및 선박에 의한 영향의 파악(대기질 시뮬레이션의 실시)

일본광역(18km mesh) 및 관동지역(6km mesh)을 대상으로 미국 환경보호청이 개발한 모델(CMAQ4.7.1: Community Multiscale Air Quality modelling system)을 이용하여 현황(2005) 및 장래(2020)에 있어서 대기질 시뮬레이션을 수행했다.

또한 이 시뮬레이션에서는 SOx, NOx, VOC 등으로부터 2차생성되는 PM_{2.5}도 대상으로 하고 있다. 단, NOx, VOC로부터의 2차생성에 관해서는 발생메커니즘이 해명의 도중에 있어서 SOx로부터의 2차생성과 같이 인과관계가 명확하지 않은 것에 유의할 필요가 있다.

다. ECA 설정에 의한 환경개선효과의 예측

검토의 결과, ECA 설정의 필요성이 있다고 인정되는 경우에는 해안선으로부터 배타적 경제수역까지의 범위에서 ECA의 해역폭을 검토할 필요가 있으므로 복수의 가정 케이스(12해리, 200해리)에 관해서 장래(2020)에 있어서 ECA 내의 규제대응을 고려한 선박방출 인벤토리를 새로 작성하여 각각의 가정 케이스에서의 환경개선효과를 대기질 시뮬레이션에 의해 예측했다. 그 결과는 전 발생원에 의한 농도와 선박 이외의 배출원에 의한 농도(즉, 선박을 제로로 가정한 상태) 사이에 해역폭에 따른 환경개선효과가 특징적으로 제시된 것이 되었다.

라. 비용영향의 조사

ECA의 비용영향에 관해서 일정의 가정조건(2020년의 선박 연료유의 유허분 농도의 세계규제, 일본 주변 200해리에서의 ECA 상정) 하에 관계단체로부터의 인터뷰 등을 통해 얻은 자료를 사용하여 해기연에서 시산했다.

NOx에 관련된 ECA에서는 선택환원촉매(SCR)에 의한 NOx 방출저감장치의 도입코스트와 운전코스트(환원제로써 사용되는 요소수)를 시산했다. SOxPM에 관련된 ECA에서는 유허분 농도 0.5%의 연료유로부터 0.1%의 연료유로 전환하는 것으로 발생하는 코스트 증분으로써 일반 A중유와 저유황 A중유(경유 상당)에서의 연료가격의 차이를 시산했다. 또 ECA대응 대체기술으로써 배출가스재순환(EGR)에 의한 NOx 방출저감장치 및 SOx 방출저감장치(SOx 스크러버)의 기술개발 동향을 조사했다.

3) 검토의 결과

상기 검토의 추진방법에 따라 현황(2005) 및 현시점에서 예정된 규제의 침투나 선박활동량의 추이 등을 고려한 장래(2020)에 관한 대기질 시뮬레이션의 결

과로부터 ECA 설정의 필요성을 검토했다.

일차생성물질인 NO_2 , SO_2 에 관해서는 전 발생원에 의한 전체의 농도가 현시점에서 이미 환경기준법에 기초한 환경기준을 거의 만족하고 있고, 현행의 규제의 침투 및 금후 예정되어있는 규제에 의해 금후 더욱 감소를 지속할 것으로 기대되어, 장래(2020)에 있어서도 환경기준을 만족할 것으로 예측되는 점, 또, 육역에서의 선박의 영향에 관해서는 이미 도입된 NO_x 의 2차규제, 이산화탄소 방출억제지표(EEDI)에 의한 CO_2 규제, 2020에는 선박의 연료유의 유황분 농도의 세계규제(상한치를 현재의 3.5%에서 0.5%로 대폭 인하)가 예정되어있는 것 등으로부터 장래(2020)에 있어서는 더욱 감소할 것으로 예측되는 결과가 도출되었다. 이로부터 NO_2 및 SO_2 의 관점으로부터는 현시점에서는 ECA설정의 필요성이 있다고는 판단되지 않았다.

NO_x 및 VOC를 주요 전구물질로하여 2차적으로 생성되는 대기오염물질인 광화학산소(O_3)에 관해서는 현재 환경기준은 거의 달성되어 있지 않고, 장래(2020)에 있어서도 달성은 어려울 것으로 예측되지만, 육역에 있어서 선박의 영향은 작고, ECA의 효과는 한정적인 것으로 예측되는 결과가 도출되었다. 또한 제4차 환경기본계획(2012년 결정)에 있어서 ‘광화학산소 농도의 동향 등의 실태파악 및 생성기구의 해명에 관한 더욱 상세한 조사 및 새로운 과학적 지식의 수집 등을 추진함과 동시에 광화학산소 및 그 원인물질의 배출 인벤토리의 작성이나 예측 시뮬레이션 모델의 구축에 관한 일을 강화하고 그 결과를 기초로 광화학산소에 관한 대책을 검토할 필요가 있다’고 명시된 점을 포함하여, 현시점에서 ECA 설정의 필요성이 있다고는 판단되지 않았다. 단, 그 영향에 관해서는 향후에도 주시할 필요가 있다고 생각된다.

SO_x , NO_x 및 VOC를 전구물질로 하여 2차적으로 생성되는 물질을 다량 포함하는 $\text{PM}_{2.5}$ 에 관해서도 현재 환경기준은 많은 지점에서 달성되지 않았고, 장래(2020)에 있어서도 달성이 어려울 것으로 예측되었다. 육역에 있어서 선박의 영향에 관해서는 2020년에는 유황분 농도의 세계규제가 예정되어있고, 그것에 동반하여 현저히 감소할 것으로 예측되어, 여기에 편승하여 ECA를 설정하여도 그 효과는 한정적일 것으로 예측되었다. 더욱이 환경기본계획에 있어서 ‘ $\text{PM}_{2.5}$

에 관해서도 농도의 동향 등의 실태파악이나 생성기구의 해명에 관한 조사 등의 추진, 그 원인물질의 배출 인벤토리 작성, 예측시뮬레이션 모델의 구축에 관한 일 등의 강화가 필요하다'고 명시된 점도 수용하여 현시점에서 ECA 설정의 필요성이 있다고는 판단되지 않았다. 단, 그 영향에 관해서는 향후에도 주시할 필요가 있다고 생각된다.

또한 광역 시뮬레이션에서의 ECA설정의 필요성 검토 결과로부터는 구체적으로 효과 및 영향을 검토할 협역 ECA의 후보는 나타나지 않았으나, 관동지역을 예로 수행한 협역 시뮬레이션에서도 선박에 의한 대기환경으로의 영향은 한정적이고 상기의 검토 결과에 영향을 끼치지 않는 것으로 확인되었다. 또 검토의 과정에서 과학적 지식의 축적 또는 사회적 정세의 변화 등 검토에 큰 영향을 미칠 사항에 관하여 검토의 재개에 관한 사항으로 정리했다.

4) 향후의 과제

기술검토위원회에서는 당시의 ECA설정의 필요성을 전반적으로 부정하면서도 다음과 같은 3가지의 과제를 제시했다.

가. 금후의 정세변화에의 대응

환경기본계획에서는 광화학산소 및 $PM_{2.5}$ 에 관해서 '농도의 동향 등의 실태파악 및 생성기구의 해명에 관한 더욱 상세한 조사 및 새로운 과학적 지식의 수집 등을 추진함과 동시에 광화학산소 및 그 원인물질의 배출 인벤토리의 작성이나 예측 시뮬레이션 모델의 구축에 관한 일을 강화'를 추진하는 것으로 되어있다. 또 자동차나 공장 등 육상배출원으로부터의 오염물질 배출에 관한 대책이 진전되는 한편, 대륙 유래의 대기오염물질의 증가도 알려져 있고, 환경기준이나 기준달성을 위한 대책에 관해서 새로운 방침이 제시되는 등의 경우에는 선박으로부터의 배출에 관해서도 이번에 정비된 인벤토리 등의 정밀도의 향상 등 현재의 과학적 지식지반을 유지, 발전시키는 것으로 보다 적절히 대응할 필요가 있다.

또, 선박으로부터의 대기오염방지를 위한 국제적인 규제는 2013년 EEDI에 의한 CO_2 규제가 개시된 것 외에 2016년 NO_x 3차규제의 적용이, 또 2020년에 연료유 중 유황분 농도의 세계적 규제강화(그 실행가능성에 관해서는 2018년까

지 IMO가 검증 예정)가 예정되어있고, 이번 ECA 검토에 있어서도 전제로서 고려되었다. 이러한 규제의 침투 상황, 또는 실시 시기 등의 내용 변경이 있는 경우에는 필요에 따라 대기오염물질의 방출인벤토리 및 대기질 시뮬레이션을 최신화하고, 그것에 기초하여 대기오염상황 및 선박영향의 형가를 검증하는 등 적절한 대응이 가능하도록 준비할 필요가 있다.

나. 선박에 의한 대기환경에의 영향 검토에 관한 금후의 과제

상기의 경우 이외에도 향후에도 선박에 의한 대기환경에의 영향 검토를 지속해나가는 것이 중요하다. 그것을 위해 금후 다음과 같은 과제에 대응해가는 것이 바람직하다.

- 선박방출인벤토리의 최신화 및 정밀도 향상
- 선박 이외의 방출인벤토리 및 대기질 시뮬레이션 기술에 관한 연구성과, 동향의 파악
- 선박에 관한 환경대책비용의 조사, 사회경제환경의 평가수법에 관한 연구성과, 동향의 파악, 인체 또는 생태계 등에 끼치는 대기오염의 영향에 관한 연구성과, 동향의 파악
- 선박에 관한 대기오염물질의 청정화기술의 개발 동향, 성능의 파악, 블랙카본 기타 IMO에서 논의되는 선박에 의한 대기환경에의 영향에 관한 연구성과, 동향의 파악

다. 선박에 의한 대기환경에의 영향의 검토에 관한 체제

국토교통성은 향후에도 대기환경대책에 관한 국내 및 IMO 등 해외에서의 검토의 상황을 주시하고 파악하는 데 노력하면서 위원회에서의 검토를 통해 구축된 국내협력체제를 활용하여 해기연 등의 관계기관으로부터 최신의 조사연구 성과 및 과학적 지식을 제공받아 적절한 시기에 ECA 기술검토위원회를 개최하여 선박에 의한 대기환경에의 영향의 파악 및 대책에 관한 기술적 검토를 수행할 필요가 있다.

해기연 등의 관계기관은 금후의 과제에 대응하면서 최신의 과학적 지식 및 데이터에 의해 국가의 기술적인 검토에 협력하는 것이 요망된다.

부록 2. 선박 배출량 산정방법론

Tier 1 (기본 방법)

- 알고리즘(Algorithm)

선박의 배출량 산정에 있어 Tier 1 방법의 전체적인 계산식은 다음과 같다.

<계산식 1>

$$E_i = \sum_m (FC_m \times EF_{i,m})$$

E_i : 오염물질 i 의 배출량 (tonnes) ;

FC_m : 선박분야의 연료 m 의 판매량 (tonnes) ;

$EF_{i,m}$: 오염물질 i , 연료 m 에 대한 배출계수 [$kg/tonnes$] ;

M : 연료종류 (Bunker Fuel Oil, Marine Diesel Oil, Marine Gas Oil)

상기 <계산식 1>의 선박 배출량 산정의 기본 개념은 연료종류에 따른 소모량과 그 연료를 소모하는 선박들의 효율 또는 저감 기술의 적용여부 등의 평균적 기술상태를 고려한 배출계수(Emission factor)와의 관계이다.

- 기본배출계수(Default Emission Factors)

Tier 1 방법은 연료별, 오염물질별 배출계수를 사용하고 있다. SO_2 와 같은 경우는 연료 중 황 함량으로 산정하기 때문에 국가에 따라 연도별, 대상선박별로 연료의 황 함량을 고려해야 한다.

EEA에서 제공하는 중 연료별 오염물질별 기본배출계수는 각각 <표 부록-1>, <표 부록-2>, <표 부록-3>과 같다.

〈표 부록-1〉 Tier 1 Emission Factors for medium to large ship using bunker fuel oil

Tier default emission factors					
	Code	Name			
NFR Source Category	1.A.3.d.i	International navigation			
Fuel		Bunker Fuel Oil			
NOT estimated		NH ₃ , Benzo(a)pyrene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)Fluoranthene, Indeno(1,2,3-dc)pyrene, Total 4 PAHs			
Pollutant	value	Unit	95% confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
NOx	79.3	kg/tonne fuel	0	0	Entec(2007). See also note(2)
CO	7.4	kg/tonne fuel	0	0	Lloyd's Register(1995)
NM VOC	2.7	kg/tonne fuel	0	0	Entec(2007), See also note(2)
SOx	20	kg/tonne fuel	0	0	Note value of 20 should read
TSP	6.2	kg/tonne fuel	0	0	Entec(2007)
PM ₁₀	6.2	kg/tonne fuel	0	0	Entec(2007)
PM _{2.5}	5.6	kg/tonne fuel	0	0	Entec(2007)
Pb	0.18	g/tonne fuel	0	0	average value
Cd	0.02	g/tonne fuel	0	0	average value
Hg	0.02	g/tonne fuel	0	0	average value
As	0.68	g/tonne fuel	0	0	average value
Cr	0.72	g/tonne fuel	0	0	average value
Cu	1.25	g/tonne fuel	0	0	average value
Ni	32	g/tonne fuel	0	0	average value
Se	0.21	g/tonne fuel	0	0	average value
Zn	1.2	g/tonne fuel	0	0	average value
PCB	0.57	mg/tonne fuel	0	0	Cooper(2005)
PCDD/F	0.47	ugI-TEQ/tonne fuel	0	0	Cooper(2005)
HCB	0.14	mg/tonne fuel	0	0	Cooper(2005)

- 주: 1. S= percentage sulphur content in Fuel: pre-2006: 2.7% wt.[source:Lloyd's Register. 1995]. For European Union as specified in the Directive 2005/33/EC::
- 1.5% wt. from 11 August 2006 for Baltic sea and from 11 August 2007 for the North Sea for all ships:
 - 1.5% wt. from 11 August 2006 in EU territorial seas, exclusive economic zones and pollution control zones by passenger ships operating on regular services to or from any Community port at least in respect of vessels flying their flag and vessels of all flags while in their ports:
 - 0.15 by wt. from 1 January 2010 for inland waterway vessels and ships at berth in Community ports.
2. Emission factors for NOx and NM VOC are the 2000 value in cruise for medium speed engines(see Tier 2).
3. Reference: 'average value' is between Lloyd's Register(1995) and Cooper and Gustafsson(2004).
4. BC fraction of PM($f=BC$) = 0.12 Source: for Further information see Appendix A

〈표 부록-2〉 Tier 1 Emission factors for medium to large ship using MDO/MGO

Tier 1 default emission factors					
	Code	Name			
NFR Source Category	1.A.3.d.i	International navigation			
Fuel		Marine diesel oil/ Marine gas oil (MDO/MGO)			
Not applicable		Aldrin, Chlordane, Chlordecone, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Heptabromo-biphenyl, Mirex			
Not estimated		NH ₃ , Benzo(a)pyrene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Indeno(1,2,3-dc)pyrene, Total 4 PAHs			
Pollutant	Value	Unit	95% confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
NOx	78.5	kg/tonne fuel	0	0	Entec(2007). See also note(2)
CO	7.4	kg/tonne fuel	0	0	Lloyd's Register(1995)
NM VOC	2.8	kg/tonne fuel	0	0	Entec(2007), See also note(2)
SOx	20	kg/tonne fuel	0	0	Note value of 20 should read
TSP	1.5	kg/tonne fuel	0	0	Entec(2007)
PM ₁₀	1.5	kg/tonne fuel	0	0	Entec(2007)
PM _{2.5}	1.4	kg/tonne fuel	0	0	Entec(2007)
Pb	0.13	g/tonne fuel	0	0	average value
Cb	0.01	g/tonne fuel	0	0	average value
Hg	0.03	g/tonne fuel	0	0	average value
As	0.04	g/tonne fuel	0	0	average value
Cr	0.05	g/tonne fuel	0	0	average value
Cu	0.88	g/tonne fuel	0	0	average value
Ni	1	g/tonne fuel	0	0	average value
Se	0.1	g/tonne fuel	0	0	average value
Zn	1.2	g/tonne fuel	0	0	average value
PCB	0.038	mg/tonne fuel	0	0	Cooper(2005)
PCDD/F	0.13	ugl-TEQ/tonne fuel	0	0	Cooper(2005)
HCB	0.08	mg/tonne fuel	0	0	Cooper(2005)

- 주: 1. S= percentage sulphur content in fuel: pre-2000: 0.5% wt.[source:Lloyd's Register. 1995]. For European Union as specified in the Directive 2005/33/EC::
- 0.2% wt. from 1 July 2000 and 0.1% wt. from 1 January 2008 for marine diesel oil/marine gas oil used by seagoing ships(except if used by ships crossing a frontier between a third country and a Member state);
 - 0.1% wt. from 1 January 2010 for inland waterway vessels and ships at berth in Community ports.
2. Emission factors for NOx and NM VOC are the 2000 value in cruise for medium speed engines(see Tier 2).
3. Reference: 'average value' is between Lloyd's Register(1995) and Cooper and Gustafsson(2004).
4. BC fraction of PM(f=BC) = 0.12 Source: for Further information see Appendix A

〈표 부록-3〉 Tier 1 Emission factors for ship using gasoline

Tier 1 default emission factors					
	Code	Name			
NFR Source Category	1.A.3.d.i	National navigation			
Fuel	Gasoline				
Not applicable	Aldrin, Chlordane. chlordecone, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Heptabromo-biphenyl. Mirex, toxaphene, HCH, DDP, PCB, HCB, PCP, SCCP				
Not estimated	NH ₃ , Pb, Cd, As, Cr Ni, Zn, PCDD/F, Benzo(a)pyrene, Benzo(k)fluoranthene Indeno(1,2,3-dc)pyrene, Total 4 PAHs				
Pollutant	Value	Units	95% confidence interval		Reference
			Lower	Upper	
NOx	9.4	kg/tonne fuel	0	0	Winther & Nielsen (2006)
CO	573.9	kg/tonne fuel	0	0	Winther & Nielsen (2006)
NMVOC	181.5	kg/tonne fuel	0	0	Winther & Nielsen (2006)
SOx	20	kg/tonne fuel	0	0	Winther & Nielsen (2006)
TSP	9.5	kg/tonne fuel	0	0	Winther & Nielsen (2006)
PM ₁₀	9.5	kg/tonne fuel	0	0	Winther & Nielsen (2006)
PM _{2,5}	9.5	kg/tonne fuel	0	0	Winther & Nielsen (2006)

자료: the table contains averaged figures between 2-stroke and 4-stroke engines, assuming a share of 75% 2-stroke and 25% 4-stroke ones. If more detailed data are available the tier 2 method should be used. BC fraction of PM(f=BC0 = 0.05 Source:for further Information see appendix A

- 활동도 자료(Activity Data)

Tier 1 방법은 선박의 활동에 기인한 연료별 국가판매량 자료에 기초한다. 따라서 EEA에서는 선박의 NFR(National Format for Reporting) 코드에 따라 연료별 판매량 자료를 분류할 것을 제안하고 있다.

Tier 2 (기술적 분류에 의한 방법)

- 알고리즘(Algorithm)

Tier 2는 Tier 1과 같이 연료종류별 소비량 자료에 기초하지만, 연료별로 소모하는 선박들의 엔진제원(기본적으로 저속, 중속, 고속엔진)에 대한 분류를 필요로 하는데, 계산식을 살펴보면 아래와 같다.

<계산식 2>

$$E_i = \sum_m \left(\sum_j FC_{m,j} \times EF_{i,m,j} \right)$$

E_i : 오염물질 i 의 배출량 (tonnes)

$FC_{m,j}$: 엔진형태 j 인 선박에 대한 연료 m 의 소비량 (tonnes) ;

$EF_{i,m,j}$: 연료 m 을 사용하는 엔진형태 j 인 선박의 오염물질 i 에 대한 배출계수
(kg/tonnes)

F : 연료종류 (Bunker Fuel Oil, Marine Diesel Oil/Marine Gas Oil)

J : 엔진형태

- 엔진과 사용연료에 따른 Tier 2 수준의 배출계수

Tier 2의 배출계수는 NOx와 NMVOC를 제외하고는 연료별 모든 물질들에 대해 Tier 1의 배출계수와 동일하다. 사용연료별 엔진형태별 NOx와 VOC, PM₁₀ 그리고 단위 출력 당 연료소비량(g-fuel/kWh)에 대한 Tier 2 수준의 배출계수는 아래 <표 부록4>와 같다.

표에서 볼 수 있듯이 2000년과 2005년, 2010년에 보고된 NOx의 배출계수가 상이함을 알 수 있고, 이는 IMO NOx Technical Code가 적용된 2005년과 2010년의 새로운 엔진에 비해 2000년 이전의 NOx 배출계수가 약 3.4%, 6.8% 감소

된 것을 알 수 있다.

NMVOC의 배출계수는 HC 값의 98 %정도 되는 것으로 유추할 수 있다(1997년 IPCC에 보고된 CH₄ 계수 기준). ENTEC의 자료에 따르면 NO_x와 VOC의 배출량은 선종과는 무관하며, 사용연료와 선박에 장착된 엔진의 형태에 크게 좌우되는 것으로 나타났다. 또한 소형의 레저용 보트의 Tier 2 수준 배출계수는 아래 <표 부록5>와 같다.

<표 부록-4> Tier 2 Emission factors for NO_x, NMVOC, PM and specific fuel consumption for different engine types/fuel combinations

Tier 2 default emission factors							
Engine type	Fuel type	NO _x 2000 (kg/tonne)	NO _x 2005 (kg/tonne)	NO _x 2010 (kg/tonne)	TSP-PM ₁₀ (kg/tonne)	PM _{2.5} (kg/tonne)	Specific fuel consumption (g fuel/kWh)
Gas turbine	BFO	20.0	19.3	18.6	0.3	0.3	305
	MDO/MGO	19.7	19.0	18.3	0.0	0.0	290
High-speed diesel	BFO	59.6	57.7	55.6	3.8	3.4	213
	MDO/MGO	59.1	57.1	55.1	1.5	1.3	203
Medium-speed diesel	BFO	65.7	63.4	61.3	3.8	3.4	213
	MDO/MGO	65.0	63.1	60.6	1.5	1.3	203
Slow-speed diesel	BFO	92.8	89.7	86.5	8.7	7.8	195
	MDO/MGO	91.9	88.6	86.5	1.6	1.5	185
Steam turbine	BFO	6.9	6.6	6.4	2.6	2.4	305
	MDO/MGO	6.9	6.6	6.4	1.0	0.9	290

자료: Entec(2002), Entec(2007), emission factors calculated in kg/tonne of fuel using specific fuel consumption.

BFO-Bunker Fuel Oil, MOD-Marine Diesel Oil, MGO-Marine Gas Oil

BC fraction of PM(f-BC): BFO:0.12, MDO/MGO:0.31, source:for further information see Appendix A

〈표 부록-5〉 Tier 2 Emission factors for recreational boats

Tier 2 default emission factors				
Fuel	Pollutant	Units	Conventional	2003/44/EC
Diesel	NOx	kg/tonne fuel	38.4	32.8
	CO	kg/tonne fuel	19.8	18.6
	NM VOC	kg/tonne fuel	7.45	6.18
	TSP	kg/tonne fuel	4.60	3.71
	PM ₁₀	kg/tonne fuel	4.60	3.71
	PM _{2.5}	kg/tonne fuel	4.60	3.71
	NH ₃	g/tonne fuel	7.00	7.00
Gasoline: 2-stroke	NOx	kg/tonne fuel	3.27	
	CO	kg/tonne fuel	481	
	NM VOC	kg/tonne fuel	233	
	TSP	kg/tonne fuel	12.6	
	PM ₁₀	kg/tonne fuel	12.6	
	PM _{2.5}	kg/tonne fuel	12.6	
	NH ₃	g/tonne fuel	3	
Gasoline: 4-stroke	NOx	kg/tonne fuel	26.8	25.8
	CO	kg/tonne fuel	851	348
	NM VOC	kg/tonne fuel	26.7	29.2
	TSP	g/tonne fuel	188	188
	PM ₁₀	g/tonne fuel	188	188
	PM _{2.5}	g/tonne fuel	188	188
	NH ₃	g/tonne fuel	5	5

자료: Winther & Nielsen, 2006

BC fraction of PM(f-BC) : Diesel:0.55, Gasoline:0.05,

자료: for further information see Appendix A

- 활동도 자료(Activity data)

Tier 2의 배출량 산정방법은 국내운항과 국제운항에 따른 선박의 총연료사용량 배분에 기초하여 산정된다. NOx와 NMVOC에 대해 위에서 언급된 Tier 2 수준의 더욱 자세한 배출계수를 적용하기 위해서는 국가통계를 이용한 선박의 엔진형태, 연료별로 평균화된 배출계수 그리고 기타 선박활동도 자료의 취합 및 배분이 필요하다.

EU국가들은 이러한 국가별 입항 자료들을 해양통계지침(Maritime Statistics Directive-Council Directive 96/94/EC)에 따라 유럽통계청 (Eurostat)에 의해 수집 및 제공되고 있으며, 이러한 분기별 통계는 주요항만 (전체 통행량의 90%를 차지함)에 대해서 이동경로, 승객현황 및 화물현황까지 포함되어 조사되고 있다.

Tier 2 수준의 배출량 산정을 위해서는 다음과 같은 활동자료들이 요구된다.

- 선박형태별 항만 통계자료: Liquid bulk ships(tankers), Dry bulk carriers, Container ships, General cargo, Passenger (크루즈선박은 제외), Cruise ships, Fishing vessels, 기타.
- 선박별 주엔진 출력 자료(<표 부록6> 참조)

〈표 부록-6〉 Estimated average main engine power by ship category

Ship category	Main engine power (kW)	
	1997 fleet	2010 fleet
Liquid bulk ships	6,695	6,543
Dry bulk carriers	8,032	4,397
Container	22,929	14,871
General cargo	2,657	2,555
Ro Ro Cargo	7,898	4,194
Passenger	3,885	10,196
Fishing	837	734
Other	2,778	2,469
Tug	2,059	2,033

자료: Trozzi, 2010

- 선박종류별 연료 및 엔진속도에 따른 비율(<표 부록7> 참조)과 이와 연관된 국가통계 연료소모량 자료

〈표 부록-7〉 Percentage of installed Main Engine power by engine type/fuel class(2010 fleet)

Ship category	SSD MDO/ MGO	SSD BFO	MSD MDO/ MGO	MSD BFO	HSD MDO/ MGO	HSD BFO	GT MDO/ MGO	GT BFO	ST MDO/ MGO	ST BFO
Liquid bulk ships	0.87	74.08	20.47	20.47	0.52	0.75	0.00	0.14	0.00	0.00
Dry bulk carries	0.37	91.63	0.63	7.29	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Container	1.23	92.98	0.11	5.56	0.03	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
General cargo	0.36	44.59	8.48	41.71	4.30	0.45	0.00	0.10	0.00	0.00
Ro Ro Cargo	0.17	20.09	9.86	59.82	5.57	2.23	2.27	0.00	0.00	0.00
Passenger	0.00	3.81	5.68	76.98	3.68	1.76	4.79	3.29	0.00	0.02
Fishing	0.00	0.00	84.42	3.82	11.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other	0.48	30.14	29.54	19.63	16.67	2.96	0.38	0.20	0.00	0.00
Tugs	0.00	0.00	39.99	6.14	52.80	0.78	0.28	0.00	0.00	0.00

SSD-Slow Speed Diesel, MSD-Medium Speed Diesel, HSD-High Speed Diesel, GT-Gas Turbine, ST-Steam Turbine: MDO-Marine Diesel Oil. MGO-Marine Gas Oil, BFO-Bunker Fuel Oil

자료: Trozzi, 2010

- Tier 2 방법의 활동도에 연계될 수 있는 배출계수 ; 상기 Tier 2의 배출계수 참조

레저용 수상장비들에 대해서는 EU에서는 별도로 국가 통계자료로 수집되고 있지 않다. 따라서 해당국가의 규제나 등록대수를 고려하여 연료사용량을 유추하고 있으며, 덴마크의 경우 레저용 수상장비들의 엔진수명은 디젤의 경우 15년 미만, 가솔린엔진(2행정, 4행정)의 경우 10년 미만으로 고려하고 있다. 사용 연료와 엔진종류에 따른 배출계수는 다음과 같다.

〈표 부록-8〉 소형선박에 대한 Tier 2 배출계수

Tier 2 default emission factors					
Emission Factors by engine standard					
Fuel	NFR Sector	Pollutant	Units	Coventional	2003/44
Diesel	1A3dii- Small Boats	CH ₄	g/tonne fuel	121	100
		CO	g/tonne fuel	19,827	18,575
		CO ₂	kg/tonne fuel	3,241	3,241
		N ₂ O	g/tonne fuel	130	130
		NH ₃	g/tonne fuel	7	7
		NMVOC	g/tonne fuel	7,447	6,180
		NO _x	g/tonne fuel	38,420	32,775
		PM ₁₀	g/tonne fuel	4,596	3,715
		PM _{2.5}	g/tonne fuel	4,596	3,715
		TSP	g/tonne fuel	4,596	3,715
Gasoline: 2-stroke	1A3dii- Small Boats	CH ₄	g/tonne fuel	2,084	
		CO	g/tonne fuel	481,588	
		CO ₂	kg/tonne fuel	3,197	
		N ₂ O	g/tonne fuel	13	
		NH ₃	g/tonne fuel	3	
		NMVOC	g/tonne fuel	233,133	
		NO _x	g/tonne fuel	2,627	
		PM ₁₀	g/tonne fuel	12,642	
		PM _{2.5}	g/tonne fuel	12,642	
		TSP	g/tonne fuel	12,642	
Gasoline: 4-stroke	1A3dii- Small Boats	CH ₄	g/tonne fuel	2,683	2,876
		CO	g/tonne fuel	850,727	347,915
		CO ₂	kg/tonne fuel	3,197	3,197
		N ₂ O	g/tonne fuel	70	70
		NH ₃	g/tonne fuel	5	5
		NMVOC	g/tonne fuel	26,775	29,232
		NO _x	g/tonne fuel	26,658	25,788
		PM ₁₀	g/tonne fuel	188	188
		PM _{2.5}	g/tonne fuel	188	188
		TSP	g/tonne fuel	188	188

- Danish Inventory Winther & Nielsen(2006)에 기초함
- 중금속과 POPs Tier 1의 소형선박 배출계수 참조
- SO₂ 배출량(kg/tonne) = 20 × S [연료 중 황함량(% wt)]

Tier 3: 선박운항 방법론(Ship movement methodology)

Tier 1과 Tier 2는 배출량 산정 시 기본활동도의 지표로 유량판매량을 이용하며, 선박종류별로 평균화된 특성을 가정하여 계산하는 방법이다.

Tier 3는 개별선박의 운항정보를 기초로 하여 배출량을 산정하는 방법이다. Tier 3 방법론은 선박엔진에 대한 제원, 연료사용, 가동주기뿐만 아니라 선박의 상세한 운항정보에 대한 수집이 가능할 때 사용될 수 있으며, 이 방법론은 선박의 시간에 따른 실제 운항을 고려하는 것이다. 이 방법론에 따라 선박부분의 배출량을 산정할 때는 다른 배출부분과의 에너지 소비를 고려하여 국가 전체 에너지소비와 균형을 맞추어야 하기 때문에 지속적인 에너지소비 보정이 필요하다.

선박 운항활동에 대한 관점에서 선박의 활동을 살펴보면, 일반적으로 (a) 항구의 선착장에 접근(approaching & docking), (b) 항구에 정박(hotelling), (c) 항구에서 출발, (d) 항해(cruising)의 구간으로 구분된다. (a)는 선박이 목적지에 도착하면서 감속이 시작되어 정박까지의 구간이며, (c)구간은 정박지에서 출발하여 선박이 (d)상태의 속도에 도착할 때까지의 구간이다.

연료의 소비와 대기오염물질 배출의 관점에서 상기의 선박운항활동을 살펴보면, 접안(manuevering)과정인 (a)와 (c), 정박(hotelling)과정인 (b), 그리고 운항과정인 (d)로 구분할 수 있다. 선박은 정박상태(hotelling phase)에서도 선박내부의 조명, 열 공급, 냉방/냉각 그리고 환기 등을 위해서 지속적으로 연료를 소모하며, 이에 따른 대기오염물질 배출이 발생하게 된다. 일부 스팀선박의 경우 전력생산을 위해 보조 디젤기관을 사용하기도 하지만 일반적으로 저부하 상태에서 하나 이상의 주보일러를 사용한다.

액체운송용 화물선(liquid bulk ships) 같은 경우 화물의 운송, 하적, 밸러스트 조정을 위한 펌프 등에 필요한 동력을 저장소(tanker)의 용량에 따라 전기적인 설비 또는 스팀터빈보일러를 사용하고 있으며, 이때 부수적인 동력요구가 발생한다.

이러한 운항형태에 따른 세부적인 배출량을 산정하기 위해서는 아래와 같은 다음과 같은 사항들의 고려가 필요하다.

- 알고리즘(Algorithm)

Tier 3에 의한 배출량 산정은 선박의 개별 운항모드에 따른 배출의 합으로 계산되며 그 내용을 계산식으로 표현하면 아래 <계산식 3>과 같다.

<계산식 3>

$$E_{voyage} = E_{Hotelling} + E_{Maneuvering} + E_{Cruising}$$

상기 식에서 개별 구간의 배출량은 아래 <계산식 4>과 같이 구할 수 있다.

<계산식 4>

$$E_{Trip,i,j,m} = \sum_P (FC_{j,m,p} \times EF_{i,j,m,p})$$

여기서,

ETrip = emission over a complete trip (tonnes)

FC = fuel consumption (tonnes)

EF = emission factor (kg/tonne), <표 14> 참조

I = pollutant (NOx, NMVOC, PM)

m = fuel type (bunker fuel oil, MDO/MGO, gasoline)

j = engine type (slow-, medium-, high-speed diesel, etc.)

P = the different phase of trip (cruise, hotelling, maneuvering)

<표 부록9>에 제시되어 있지 않은 오염물질의 배출량은 Tier 1 방법론 및 배출계수 적용을 통해 산정할 수 있다. 해당 운항모드별 연료소모량을 확인할 수 없을 경우 출력이나 운항시간을 고려하여 연료소모량을 유추할 수 있으며, 이를 적용할 때에는 주엔진과 보조엔진의 출력, 부하계수 및 운항모드별 운항시

간 등의 세부적인 자료를 확인할 수 있어야 한다. 배출량을 산정하기 위한 식은 아래와 같다.

<계산식 5>

$$E_{Trip,i,j,m} = \sum_P \left[Tp \sum_e (Pe \times LF_e \times EF_{e,i,j,m,p}) \right]$$

여기서,

ETrip = emission over a complete trip (tonnes)

EF = emission factor (kg/tonne), <표 15> 참조

LF = engine load factor (%)

P = engine nominal power (kW)

T = time (hours)

e = engine category (main, auxiliary)

I = pollutant (NOx, NMVOC, PM)

j = engine type (slow-, medium-, high-speed diesel, etc.)

m = fuel type (bunker fuel oil, MDO/MGO, gasoline)

p = the different phase of trip (cruise, hotelling, maneuvering)

여기서, 선박의 이동시간(Crusing time)은 아래와 같이 계산될 수 있다.

<계산식 6>

$$Time_{Cruising}(hours) = \sum \frac{Distance\ Cruised(km)}{Average\ Cruising\ Speed(km/hr)}$$

또한, 국가 통계에 활동도가 조사되지 않는 소형선박들은 선종, 연료형태, 기

관형태, 기술적 적용, 엔진부하에 대한 활동도, 연간 가동시간 등을 고려하여 아래 <계산식 7>과 같이 연료사용량과 배출량을 산정할 수 있다.

<계산식 7>

$$E_{i,m} = \sum_b \sum_e \sum_z (N_{b,e,z} \times T_{b,e,z} \times P_{b,e,z} \times LF_{b,e,z} \times EF_{b,e,z})$$

여기서,

E = emission by small boats per year (tonnes)

N = number of vessels (vessels)

T = average duration of operation of each vessel per year (hours/vessel)

P = nominal engine power (kW)

LF = engine load factor (%)

EF = emission factor (g/kWh)

b = vessel type (yawl, cabin boat, sailing, etc.)

e = engine type (inboard, onboard, 2S, 4S)

I = pollutant (NMVOC, NH₃, NO_x, PM) or fuel consumption

m = fuel type (gasoline, diesel)

z = technology layer (conventional, 2003/44/EC)

- 엔진, 사용연료 그리고 활동도에 따른 배출계수 개별선박에 대한 사용연료와 기관종류에 대한 NO_x, NMVOC 및 PM 배출계수는 아래 <표 부록9>와 <표 부록10>를 이용하여 적용할 수 있으며, <표 부록9>의 경우 연료사용량에 따른 오염물질 배출량 단위로 되어 있고, <표 부록10>의 경우에는 kWh당 오염물질 배출량 단위로 구성되어 있다. 그 외 오염물질은 Tier 1의 배출계수를 사용하여 배출량을 산정할 수 있다. 소형 레크레이션 선박이나 상업용 선박의 경우, 배출계수는 <표 부록11>에 제시되어 있다.

〈표 부록-9〉 Tier 3 emission factors for NO_x, NMVOC, PM for different engine types/fuel combinations and vessel trip phases

Engine	Phase	Engine type	Fuel type	NO ₂ EF 2000 (kg/tonne)	NO ₂ EF 2005 (kg/tonne)	NO ₂ EF 2010 (kg/tonne)	NMVOC EF (kg/tonne)	TSP PM ₁₀ PM _{2.5} EF (kg/tonne)
Main	Cruise	Gas Turbine	BFO	20.0	19.3	18.6	0.3	0.3
			MDO/MGO	19.7	19.0	18.3	0.3	0.0
		High-speed diesel	BFO	59.6	57.7	55.6	0.9	3.8
			MDO/MGO	59.1	57.1	55.1	1.0	1.5
		Medium-speed diesel	BFO	65.7	63.4	61.3	2.3	3.8
			MDO/MGO	65.0	63.4	60.6	2.4	1.5
		Slow-speed diesel	BFO	92.8	89.7	86.5	3.0	8.7
			MDO/MGO	91.9	88.6	86.5	3.2	1.6
		Steam turbine	BFO	6.9	6.6	6.4	0.3	2.6
			MDO/MGO	6.9	6.6	6.4	0.3	1.0
	Manoeuvring Hotelling	Gas Turbine	BFO	9.2	8.9	8.6	1.5	4.5
			MDO/MGO	9.1	8.8	8.5	1.5	1.6
		High-speed diesel	BFO	43.6	42.3	40.6	2.5	10.3
			MDO/MGO	43.0	41.7	40.1	2.6	4.0
		Medium-speed diesel	BFO	47.9	46.2	44.6	6.3	10.3
			MDO/MGO	47.5	45.7	44.3	6.6	4.0
		Slow-speed diesel	BFO	67.4	65.1	62.9	8.2	11.2
			MDO/MGO	66.7	64.2	62.1	8.6	4.4
		Steam turbine	BFO	5.1	4.8	4.7	0.9	7.1
			MDO/MGO	5.0	5.0	4.7	0.9	2.8
Auxiliary	Cruise Manoeuvring Hotelling	High-speed diesel	BFO	51.1	49.4	47.6	1.7	3.5
			MDO/MGO	50.2	48.6	46.8	1.8	1.4
		Medium-speed diesel	BFO	64.8	62.5	60.4	1.7	3.5
			MDO/MGO	64.1	62.0	59.7	1.8	1.4

자료: Entec(2002), Entec(2007), the emission factors for NMVOC was derived as 98% of the original HC emission factors value, based on reported CH₄ factors from (1997).

주: See Table 3-1 and Table 3-2 for emission factors for other pollutant

BC fraction of PM(f=BC):BFO: 0.12, MDO/MGO: 0.31, Source: for further information see Appendix A

〈표 부록-10〉 Tier 3 emission factors for NO_x, NMVOC, PM and Specific Fuel Consumption for different engine type/fuel combinations and vessel trip phases in g/kWh

Engine	Phase	Engine type	Fuel type	NO _x EF 2000 (g/kWh)	NO _x EF 2005 (g/kWh)	NO _x EF 2010 (g/kWh)	NMVOC EF (g/kWh)	TSP PM ₁₀ PM _{2.5} EF (g/kWh)	Specific fuel consumption (g fuel/kWh)
Main	Cruise	Gas turbine	BFO	6.1	5.9	5.7	0.1	0.1	305.0
			MDO/MGO	5.7	5.5	5.3	0.1	0.0	290.0
		High-speed diesel	BFO	12.7	12.3	11.8	0.2	0.8	213.0
			MDO/MGO	12.0	11.6	11.2	0.2	0.3	203.0
		Medium-speed diesel	BFO	14.0	13.5	13.0	0.5	0.8	213.0
			MDO/MGO	13.2	12.8	12.3	0.5	0.3	203.0
		Slow-speed diesel	BFO	18.1	17.5	16.9	0.6	1.7	195.0
			MDO/MGO	17.0	16.4	15.8	0.6	0.3	185.0
		Steam turbine	BFO	2.1	2.0	2.0	0.1	0.8	305.0
			MDO/MGO	2.0	1.9	1.9	0.1	0.3	290.0
	Manoeuvring Hotelling	Gas turbine	BFO	3.1	3.0	2.9	0.5	1.5	336.0
			MDO/MGO	2.9	2.8	2.7	0.5	0.5	319.0
		High-speed diesel	BFO	10.2	9.9	9.5	0.6	2.4	234.0
			MDO/MGO	9.6	9.3	8.9	0.6	0.9	223.0
		Medium-speed diesel	BFO	11.2	10.8	10.4	1.5	2.4	234.0
			MDO/MGO	10.6	10.2	9.9	1.5	0.9	223.0
		Slow-speed diesel	BFO	14.5	14.0	13.5	1.8	2.4	215.0
			MDO/MGO	13.6	13.1	12.7	1.8	0.9	204.0
		Steam turbine	BFO	1.7	1.6	1.6	0.3	2.4	336.0
			MDO/MGO	1.6	1.6	1.5	0.3	0.9	319.0
Auxiliary	Cruise Manoeuvring Hotelling	High-speed diesel	BFO	11.6	11.2	10.8	0.4	0.8	227.0
			MDO/MGO	10.9	10.5	10.2	0.4	0.3	217.0
		Medium-speed diesel	BFO	14.7	14.2	13.7	0.4	0.8	227.0
			MDO/MGO	13.9	13.5	13.0	0.4	0.3	217.0

BFO-Bunker Fuel Oil, MDO-Marine Diesel, MGO-Marine Gas Oil

자료: Entec (2002), Entec (2007), the emission factors for NMVOC was been derived as 98% of the original HC emission factors value, based on reported CH₄ factors from IPCC (1997).

주: See Table 3-1 and Table 3-2 for emission factors for other pollutants.

BC fraction of PM (f-BC); BFO: 0.12, MDO/MGO: 0.31. Source: for further information see Appendix A

〈표 부록-11〉 Tier 3 emission factors for recreational vessels

Fuel type	Vessel type	Engine Type		Technology Layer	Nominal power	NMVOC	NH ₃	NO _x	TSP PM ₁₀ PM _{2.5}	Fuel	
					[kW]						[g/kWh]
Gasoline	Other boats (<20 ft)	Out board	2S	2003/44	8	45.49	0.002	2	10	791	
				Conv.	8	254.69	0.002	2	10	791	
			4S	2003/44	8	21.60	0.002	7	0.08	426	
				Conv.	8	21.60	0.002	7	0.08	426	
	Yawls and cabin boats	Out board	2S	2003/44	20	36.17	0.002	3	10	791	
				Conv.	20	170.45	0.002	3	10	791	
			4S	2003/44	20	12.60	0.002	10	0.08	426	
				Conv.	20	12.60	0.002	10	0.08	426	
	Sailing boats (<26 ft)	Out board	2S	2003/44	10	42.61	0.002	2	10	791	
				Conv.	10	254.69	0.002	2	10	791	
			4S	2003/44	10	21.60	0.002	7	0.08	426	
				Conv.	10	21.60	0.002	7	0.08	426	
	Speed boats	In board	4S	2003/44	90	9.00	0.002	12	0.08	426	
				Conv.	90	9.00	0.002	12	0.08	426	
			Out board	2S	2003/44	50	31.51	0.002	3	10	791
					Conv.	50	170.45	0.002	3	10	791
		4S		2003/44	50	12.60	0.002	10	0.08	426	
				Conv.	50	12.60	0.002	10	0.08	426	
		Water scooters	Out board	2S	2003/44	45	31.91	0.002	3	10	791
					Conv.	45	170.45	0.002	3	10	791
	4S			2003/44	45	12.60	0.002	10	0.08	426	
				Conv.	45	12.60	0.002	10	0.08	426	
Diesel	Motor boats (27-34 ft)	In board		2003/44	150	1.67	0.002	8.6	1	275	
				Conv.	150	1.97	0.002	8.6	1.2	275	
	Motor boats (>34 ft)			2003/44	250	1.58	0.002	8.6	1	275	
				Conv.	250	1.97	0.002	8.6	1.2	275	
	Motor boats (<27 ft)			2003/44	40	1.77	0.002	9.8	1	281	
				Conv.	40	2.17	0.002	18	1.4	281	
	Motor sailors			2003/44	30	1.87	0.002	9.8	1	281	
				Conv.	30	2.17	0.002	18	1.4	281	
	Sailing boats (>26 ft)			2003/44	30	1.87	0.002	9.8	1	281	
				Conv.	30	2.17	0.002	18	1.4	281	

자료: Winther & Nielsen, 2006

BC fraction of PM (f-BC); Diesel: 0.55, Gasoline: 0.05. Source: for further information see Appendix A

- 활동도 자료(Activity data)

LMIS(Lloyd's Maritime Information Service)의 데이터베이스에는 세계를 항해하는 모든 선박의 운항자료가 수집되어 있다. 이 DB는 선박의 크기, 목적지와 목적지까지의 도착 및 출항시간, 기관의 종류와 수 등에 대한 정보를 선박총톤수 250~500톤 이상의 모든 선박들에 대해서 전산자료형태로 포함하고 있으며, 여객선과 어선 그리고 소형항구에 대한 자료는 포함되지 않는다.

EU의 경우 모든 주요 국제여객선의 입출항에 대한 운항시간자료는 수집되고 있으나, 소형 여객선에 대한 자료 (기관에 대한 제원 등을 포함)는 해당국가의 자료를 참고해야 한다. 국제해양개발협의회(International Council for the Exploration of the Seas)에는 조업지역과 도착항과 같은 수산활동의 이동정보는 있지만 국가 배출량작성과 연관된 자료들은 아니다. 따라서 이러한 자료는 선박의 등록정보와 연결하여 분석할 필요가 있다. 어선의 경우 여객이나 화물선박이 움직이는 정형화된 선로의 이동이 아니라 조업활동에 따라 이동경로가 다양하기 때문에 조업시간에 대한 정보를 유추해야 하기 때문이다. 해당 국가의 영해 내에서 국제운항에 대한 자료는 세관 또는 해양경비에 관계된 기관의 자료를 이용할 수 있다.

Tier 3 수준의 배출량을 산정하기 위해 연료소비량 정보를 사용하여 적용할 수 있다.

- 연료소비량에 기초한 배출량 추정

이 방법은 상이한 운항모드에 따른 개별 선박이나 엔진 형식에 따른 조합에 대한 연료소비량의 세부적인 정보가 있을 때 적용할 수 있다.

(1) 개별 선박의 엔진 형식 및 유종, 그리고 선박 운항모드별 연료소비량을 수집한다. 이 데이터는 연간 전체의 자료 또는 연중 대표성을 갖는 시기의 자료일 수 있고, 모든 선박 또는 엔진 형식이나 유종에 따른 대표성을 갖는 선박의 자료일 수도 있다. 이 자료의 사용여부는 자료 수집 가능여부와 연구의 정확도에 따라 달라질 수 있다.

(2) <표 부록9>에 제시되어 있는 배출계수와 각 선박의 엔진형식 및 유종에 따른 연료사용량을 곱하여 배출량을 산정한다.

- 일관성 있는 시계열 확인 및 재산정

배출량을 산정하기 위해 적용한 활동자료를 동일한 방법으로 수집할 수 있는 일관성이 필요하다. 이것이 불가하다면 방법론 적용의 일관성을 확인하기 위한 자료 수집이 필요하다. 또한, NO_x, PM, NMVOC 및 CO의 배출량은 엔진의 유형 및 기술에 따라 달라진다.

적용기술별 배출계수가 개발되어 있지 않다면 모든 시계열 범위에 동일한 배출계수를 적용하는 것이 타당하다. 실제 연료소비량 데이터가 수집될 경우 전체적으로 연료소비량의 적용은 쉽게 배출량 추정에 반영된다. 하지만 엔진 고유의 배출계수 또는 제어기술에 대한 배출계수가 일부 적용될 수도 있다. 따라서 시계열적으로 배출계수의 변경은 문서화할 필요가 있다.

선박용 디젤유와 벙커유는 선박의 주사용 연료이며, 이 때문에 시계열적으로 연료 내 포함되어 있는 황 및 금속 함량을 확인하기 위해 연료유에 대한 분석을 시행해야 한다.

부록 3. 선박 유형별 배출계수

〈표 부록-12〉 선박 유형(운항모드)을 고려한 배출 계수 (g/kwh)

LMIU Code Ship Type		NOx	SO ₂	HC	CO ₂	PM
A11	liquefied gas	8.80	12.40	0.31	816	1.03
A12	chemical	16.30	11.00	0.55	650	1.34
A13	oil	14.80	11.70	0.50	690	1.43
A14	other liquids	16.30	11.00	0.55	649	1.30
A21	bulk dry	17.70	10.60	0.59	627	1.61
A22	bulk dry/oil	16.70	10.10	0.56	646	1.50
A23	self-discharging bulk dry	14.20	11.40	0.48	695	1.27
A24	other bulk dry	17.20	10.60	0.57	634	1.52
A31	general cargo	16.20	10.90	0.54	649	1.28
A32	passenger/general cargo	15.60	11.20	0.53	658	1.15
A33	container	17.30	10.80	0.57	635	1.56
A34	refrigerated cargo	17.10	10.80	0.57	636	1.47
A35	ro-ro cargo	15.30	11.10	0.52	655	1.17
A36	passenger/ro-ro cargo	13.30	9.90	0.42	688	0.73
A37	passenger	163.20	11.80	0.46	697	0.81
A38	other dry cargo	11.20	12.80	0.39	755	0.96
B11	fish catching	14.00	11.40	0.47	678	0.83
B12	other fishing	13.30	12.20	0.45	721	1.31
B21	offshore supply	13.90	11.00	0.49	677	0.79
B22	other offshore	13.50	11.10	0.44	684	0.78
B31	research	14.10	11.50	0.48	675	0.85
B32	towing/pushing	13.70	10.80	0.42	674	0.80
B33	dredging	14.10	11.40	0.49	675	0.84
B34	other activities	12.50	10.70	0.42	716	0.75
W11	other activities	13.40	11.10	0.47	651	0.77
W12	other activities	12.70	11.50	0.20	678	0.80

〈표 부록-13〉 선박 유형(접안모드)을 고려한 배출 계수 (g/kwh)

LMIU Code	Ship Type	NOx	SO ₂	HC	CO ₂	PM
A11	liquefied gas	10.10	12.40	0.60	810	1.50
A12	chemical	13.30	12.20	1.00	716	1.50
A13	oil	12.50	12.60	1.10	743	1.70
A14	other liquids	13.40	12.20	0.90	716	1.40
A21	bulk dry	13.50	12.20	0.50	718	1.00
A22	bulk dry/oil	13.40	12.20	0.50	721	0.90
A23	self-discharging bulk dry	13.30	12.30	0.50	725	0.90
A24	other bulk dry	13.40	12.20	0.50	719	0.90
A31	general cargo	13.40	12.20	0.50	721	0.90
A32	passenger/general cargo	13.40	12.30	0.50	722	0.90
A33	container	13.50	12.30	0.50	720	0.90
A34	refrigerated cargo	13.40	12.30	0.50	720	0.90
A35	ro-ro cargo	13.30	12.30	0.50	722	0.90
A36	passenger/ro-ro cargo	13.20	12.20	0.50	725	0.90
A37	passenger	13.20	12.30	0.50	725	0.90
A38	other dry cargo	13.00	12.50	0.50	731	0.90
B11	fish catching	13.20	12.20	0.40	723	0.90
B12	other fishing	13.20	12.40	0.50	727	0.90
B21	offshore supply	13.20	11.80	0.50	723	0.90
B22	other offshore	13.20	12.30	0.50	724	0.90
B31	research	13.20	12.30	0.50	724	1.00
B32	towing/pushing	13.10	12.20	0.50	725	1.00
B33	dredging	13.10	12.30	0.50	724	1.00
B34	other activities	13.00	11.00	0.50	724	0.90
W11	other activities	13.30	12.30	0.50	721	0.90
W12	other activities	12.80	12.40	0.40	726	1.10

〈표 부록-14〉 선박 유형(정박모드)을 고려한 배출 계수 (g/kwh)

LMIU Code Ship Type		NOx	SO ₂	HC	CO ₂	PM
A11	liquefied gas	9.80	12.50	0.67	818	1.55
A12	chemical	13.30	12.20	1.04	715	1.60
A13	oil	12.50	12.70	1.10	745	1.82
A14	other liquids	13.40	12.20	0.92	715	1.44
A21	bulk dry	14.00	11.90	1.30	698	1.84
A22	bulk dry/oil	13.50	11.50	1.20	712	1.74
A23	self-discharging bulk dry	12.40	12.40	0.96	743	1.62
A24	other bulk dry	13.70	11.90	1.24	704	1.79
A31	general cargo	13.20	12.10	1.03	715	1.59
A32	passenger/general cargo	13.10	12.30	0.92	720	1.48
A33	container	13.80	12.00	1.19	705	1.73
A34	refrigerated cargo	13.70	12.00	1.06	707	1.58
A35	ro-ro cargo	12.80	12.20	1.06	719	1.68
A36	passenger/ro-ro cargo	11.80	11.40	1.90	741	1.57
A37	passenger	11.80	12.60	0.97	747	1.71
A38	other dry cargo	10.70	13.40	0.86	788	1.75
B11	fish catching	12.50	12.30	0.85	730	1.48
B12	other fishing	11.90	12.90	0.92	760	1.66
B21	offshore supply	12.00	12.00	1.09	734	1.75
B22	other offshore	11.80	12.30	0.95	739	1.72
B31	research	12.10	12.50	1.06	734	1.80
B32	towing/pushing	11.70	12.00	1.01	735	1.87
B33	dredging	11.90	12.50	1.14	736	1.90
B34	other activities	11.20	11.50	0.96	755	1.69
W11	other activities	12.10	12.20	0.89	716	1.51
W12	other activities	10.90	12.60	0.56	740	2.05

부록 4. 가스상 대기오염물질의 종류

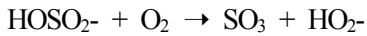
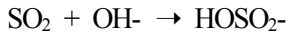
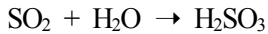
황산화물

대부분 연료 중의 황(Sulfur)분이 연소 시 공기 중의 산소와 결합하여 생성되고 대기 중으로 배출된다. 황분이 산화하면 먼저 이산화황(아황산가스: SO_2)이 되고 더 산화하면 삼산화황(=황산가스: SO_3)이 되는데, 이를 통틀어 황산화물이라 하고 SO_x (SO_2 와 SO_3)로 나타낸다. SO_2 는 공기 중에서 쉽게 SO_3 로 산화하고 이는 공기 중 수분과 반응하여 미세한 황산(H_2SO_4)방울이 된다. 황산화물 가스는 무색의 강한 자극성 기체로 어떤 농도 이상이면 호흡기에 유독하고, 저농도에서도 저항성이 약한 식물에 해를 주어 고사시킨다.

또 황산화물은 질소산화물과 함께 산성비(Acid Rain)를 내리게 하는 원인이 되어 빌딩과 금속구조물을 부식시키고 동식물에 해를 끼친다. 산성비는 좁게는 어느 도시나 공단지역에 한정된 피해를 주지만 황산화물이 대량 배출되면 넓게 때로는 피해지역이 국경을 넘는 광역으로 확산된다. 그리하여 호수, 지표수, 지하수의 산성화로 수중동식물을 죽게 하고, 산림과 농토를 황폐화시킨다.

황산화물은 질소산화물과 더불어 주로 발전소 제련(Smelting)산업과 수송기관에서 석탄과 석유를 연소시킬 때 발생한다. 황산화물에 의한 대기오염 저감 대책에는 사전적 및 사후적 방법이 있는데 전자는 저황 연료(저황 원유나 석탄) 또는 청정연료(천연가스, LPG)를 선택하거나 석유제품을 미리 탈황(Desulfurization)하는 원천적 방법으로 가장 바람직한 것이고, 후자는 중유나 석탄의 연소로 생긴 연도가스(煙道가스, flue Gas)중의 아황산가스를 탈황한 뒤 굴뚝으로 배출하는 이른바 배연탈황법으로 경제성면에서 대규모 시설에만 적용 가능한 한계가 있다.

또한, 대기 중에서 광화학반응이나 촉매반응에 의하여 다른 대기오염물질과 반응하고 2차 오염물질을 형성하는 특징이 있다. 대기 중에서 수분과 반응하여 아래의 기작을 통해 황산을 생성한다.



사람이나 동물이 아황산가스에 노출되면 기관지 수축현상이 일어난다. 일반적인 경우 아황산가스 농도가 5ppm 이상이 되면 인체에 반응이 나타나지만 민감한 사람은 1~2ppm에서도 가벼운 반응을 보인다. 동일한 아황산가스 농도에서도 습도가 낮은 경우에는 피해가 작지만 미립자 혹은 황산 등 흡입성 물질이 혼합되어 있는 경우에는 피해가 증가한다.

식물의 경우 잎의 하부 기공으로 침투한 아황산가스는 해면조직과 색소조직을 파괴한다. 따라서 광택이 없고 건조한 잎의 주변과 잎맥에 반점이 생성되고 이로 인해 잎의 수분이 상실되고 건조되어 황갈색 혹은 상아색으로 퇴색하여 죽게 된다.

질소산화물

가스상 대기오염물질 중 질소산화물에는 N_2O , NO , NO_2 , NO_3 , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5 등이 있다. 이러한 질소산화물 중에서 NO , NO_2 가 가장 중요한 질소산화물이며, 일반적으로 질소산화물(NO_x)이라고 하면 이들 두 물질을 말한다.

이산화질소는 적갈색의 반응성이 큰 기체로서, 대기 중에서 일산화질소의 산화에 의해서 발생하며, 대기 중에서 휘발성 유기화합물과 반응하여 오존을 생성하는 전구물질(precursor)의 역할을 한다. 주요 배출원은 자동차와 선박, 그리고 파워 플랜트와 같은 고온 연소공정과 화학물질 제조공정 등이 있다.

자연 상태에서 상당량의 질소산화물이 생물학적으로 발생되나, 배출농도가 적고 주변지역으로 거의 확산되지 않으므로 자연적인 발생원에 의한 환경오염은 무시한다. 인위적으로 발생하는 질소산화물은 화석연료의 연소과정에서 주로 발생된다.

질소산화물은 질소원의 종류에 따라 대개 fuel NO_x 와 thermal NO_x 로 분류

된다. Fuel NOx는 연료 중에 포함된 질소가 산화 조건에서 질소산화물로 전환된 것을 말한다. 그러나 황산화물과는 달리 fuel NOx는 연료 중에 포함된 질소가 모두 질소산화물로 전환되지는 않으며, 경우에 따라 다르지만 연료에 포함된 유기질소의 최대 약 60%정도만 질소산화물로 전환되는 것으로 알려져 있다. 반면에 thermal NOx는 연료를 연소시키기 위하여 공급된 공기 중의 질소가 1000°C이상의 고온 산화조건에서 산소와 결합하여 생성된 것이다. 화석 연료의 연소과정에서 배출되는 질소산화물은 대부분 thermal NOx에 해당되며, NO₂ 보다 NO의 배출량이 월등히 많다. Thermal NOx의 배출원으로는 화력발전소, 산업용 보일러 이외에도 내연기관을 사용하는 자동차와 선박 등 이동오염원도 중요한 배출원이다.

화석 연료의 연소 고정에서 질소산화물은 대기 중에서 여러 가지 2차 오염물질을 형성하는 특징이 있으며, 중요한 2차 오염물질은 질산, 오존과 광화학 스모그 등을 들 수 있다. 이산화질소(NO₂)는 대기 중에서 수산화라디칼(-OH)과 반응하여 질산(HNO₃)을 생성하며, 이것이 산성비의 원인이 된다.

또한, 이산화질소가 광분해되는 순환과정에서 오존이 생성되게 된다. 성층권 내에 존재하는 오존은 인간에게 유익한 작용을 하지만, 지표면 근방에 존재하는 오존은 강력한 산화제로서 인체와 생태계에 악영향을 미친다.

질소산화물이 대기 중에서 탄화수소화합물과 공존하는 경우에는 광화학반응에 의하여 광화학 스모그를 형성하는데, 이와 같이 생성된 광화학 스모그는 기도축소, 눈, 코와 목구멍 등을 자극하고 많은 호흡성 질환을 유발하는 것으로 알려져 있다. 일산화질소(NO)는 무색의 기체로 인체와 생물체에 대한 영향이 그다지 크지 않고 이산화질소는 적갈색 스모그를 유발하며, 0.2~0.6ppm 정도에서도 면과 나일론 섬유를 탈색시킨다. 식물의 경우에는 이산화질소의 농도가 25ppm을 초과하면 식물세포를 파괴하여 꽃식물의 잎에 갈색이나 흑갈색의 반점이 생기게 한다.

인체에 대하여 급성 혹은 만성피해를 유발하여 급성의 경우 코를 강하게 자극하고 폐충혈, 폐수종, 기관지염과 폐렴을 유발시켜 결국 사망에 이르게 한다. 1~3ppm 정도의 농도에서 냄새를 느낄 수 있으며 500ppm에서는 즉시 폐수종을

유발하고 1일 이내에 사망한다. 만성적인 피해의 경우 10~40ppm 정도의 농도에 장기간 노출된 사람은 만성 폐섬유화 및 폐수종을 일으키는 것으로 보고되어 있다.

일산화탄소

일산화탄소는 무색, 무미, 그리고 무취의 가스로 화석연료의 연소 시 산소가 부족한 상태에서 탄소가 불완전 연소하였을 때 발생된다. 특별한 경우 고온에서 이산화탄소와 탄소가 함께 분해되어 일산화탄소를 생성하는 경우도 있다. 화석연료의 연소 시 연료와 연소 장치의 종류, 연소 장치의 조업상태 즉, 연소 온도, 체류 시간, 공기비 등에 따라 일산화탄소의 발생량은 크게 다르다. 화력발전소는 화석연료를 대량 소모하기 때문에 대기오염물질의 중요한 고정발생원이지만, 화력발전소의 연소관리가 매우 철저하기 때문에 일산화탄소의 배출량은 다른 오염원에 비하여 상대적으로 적다. 오히려, 주택난방과 교통 기관에서 발생하는 일산화탄소의 배출량이 거의 대부분을 차지한다.

일산화탄소는 공업적으로 매우 용도가 많은 가스로써 일산화탄소의 강한 환원력을 이용하여 금속산화물을 환원시키는 데 주로 사용된다. 이외에도 일산화탄소를 원료 물질로 하여 메탄올, 시안화물, 알데히드, 케톤 그리고 금속탄화물의 생산에 이용되기도 한다. 도시 대기 중의 일산화탄소 농도 수준에서는 일산화탄소가 물질이나 식물에 뚜렷한 피해를 미치지는 않지만 인체에는 좋지 않은 영향을 미친다. 일산화탄소는 산소보다 헤모글로빈에 대한 친화력이 200배 정도 커서 적은 양의 일산화탄소로도 인체 내 산소 운반량을 현저히 감소시킨다. 인체가 일산화탄소를 흡입하면 혈류 내 탄화헤모글로빈(COHb)을 형성하여 혈류의 산소 운반량이 감소되며, 이로 인하여 뇌의 활동이 영향을 받고 심장 박동이 빨라지는 산소결핍현상이 나타난다.

오존

오존은 성층권의 오존층 내에 존재하며 유해한 자외선을 차단하는 역할을 하지만, 지표면 근방의 대기 중에도 0.04~0.1ppm의 낮은 농도로 존재한다. 대기 중에 배출된 NOx와 휘발성 유기화합물 등이 자외선과 광화학 반응을 일으켜 생성된 PAN, 알데하이드, Acrolein 등의 광화학 산화제의 일종으로 2차 오염물질로 생성되기도 한다. 오존의 전구 물질인 휘발성 유기화합물은 자동차, 선박, 화학공장, 정유공장과 같은 운송 수단, 산업 시설, 그리고 번개 등에 의한 자연적 생성 등 다양한 배출원에서 발생한다.

오존은 탄화수소화합물과 함께 광화학 스모그를 형성하여 인체에 피해를 주기도 하지만 자극성이 강하고 산화성이 큰 가스로서 오존 그 자체만으로도 인체와 생물체에 큰 피해를 준다. 특히 오존에 반복 노출 시 폐에 피해를 줄 수 있는데, 가슴의 통증, 기침, 메스꺼움, 목 자극, 소화 등에 영향을 미치며, 기관지염, 심장질환, 폐기종 및 천식을 악화시키고, 폐활량을 감소시킬 수 있다. 또한 기관지 천식환자나 호흡기 질환자, 어린이, 노약자 등에게는 많은 영향을 미치므로 주의해야 할 필요가 있다. 오존의 농도가 0.02~0.05ppm 정도이면 냄새를 감지할 수 있고 0.1ppm에서 30분 이상 노출되면 두통을 일으킨다. 0.1~1.0ppm 농도에서는 눈에 영향을 주어 시각 장애를 일으키고 폐포 내의 공기확산능력을 떨어뜨린다. 0.8~1.7ppm 정도에서는 폐충혈이 일어나고 9ppm이 되면, 폐수종을 유발하게 된다. 만성중독의 경우에는 기관지 천식 이외에 폐, 장, 등을 악화시키고 체내 효소계를 교란시켜 DNA, RNA에 작용하여 유전인자에 변이를 초래할 수 있다.

식물의 경우에는 잎의 율타리 세포를 파괴하여 얼룩 모양의 반점을 만들고 심하면 해면상 조직까지 파괴하여 잎을 백색 또는 황갈색으로 탈색시킨다. 뿐만 아니라 농작물에 직접적으로 영향을 미쳐 수확량이 감소되기도 한다. 고무의 경우에는 고무 표면에 열화 현상을 유발한다.

따라서 오존이 성층권에 존재하는 경우에는 인간과 생태계에 매우 유익하지만 지표면 근방에 존재하는 경우에는 심각한 피해를 줄 수도 있다.

탄화수소류

이것은 VOC(Volatile Organic Compound: 휘발성 유기화합물)라고도 한다. 휘발유 등 석유제품의 사용 중 증발되는 휘발성 물질은 물론 석유, 알코올, 기타 유기산 등의 불완전연소로 생기는 각종 미연소물질 등이 포함된다. 여기에는 메탄류는 물론 알데히드, 케톤류와 벤젠, 벤조피렌 등 각종 다핵탄화수소(PAH)가 포함되어 있는데, 그중 어떤 것은 발암물질이고, 대개 매우 자극적이고 냄새가 심하다.

탄화수소는 PAH류 외에는 인체에 유해성이 없으나 질소산화물과 함께 햇빛을 받으면 광화학반응을 일으켜 2차적으로 오존, PAN 등의 오염물질을 생성하여 시정장애, 눈병, 호흡기장애나 식물에 손상을 초래한다. 따라서 현재는 대기 중의 탄화수소 농도 대신 간접적으로 오존농도를 규제한다.

부록 5. 설문지

선박 배출 대기오염물질에 관한 국민의식 조사

ID

안녕하십니까?

본 설문은 선박에서 배출되는 대기오염물질의 건강효과와 관련하여 귀하의 개인적인 의견을 조사하려는 목적으로 한국해양수산개발원에 의해 시행되는 설문입니다. 본 설문에는 절대로 옳은 답이나 틀린 답이 있는 것이 아니므로 충분히 생각하신 후, 귀하 또는 귀하 가구의 입장에서 의견을 말씀해 주시면 됩니다. 만약 이해가 되지 않는 부분이 있으시면 주저하지 마시고 언제라도 설문 조사 원에게 질문해 주십시오.

귀하의 고견은 향후 부산 지역의 선박 배출 대기오염물질 저감정책 수립에 큰 도움이 될 것입니다. 본 설문에서 응답한 귀하의 의견에 대해서는 통계법 제8조와 제9조에 의거하여 그 비밀이 철저히 보장되오니, 번거롭더라도 성실한 답변을 해 주시어 귀하의 고견을 꼭 반영할 수 있도록 해 주시면 감사하겠습니다.

한국해양수산개발원

(주)지알아이리서치

전화: 02-6263-7001

※ 본 설문은 만 20세 이상 65세 이하의 소득이 있는 세대주(기혼) 또는 주부만을 대상으로 하오니 해당되지 않으신 분은 설문지를 되돌려 주십시오.

면접 완료 후 기록하십시오.

응답자 성명 : _____ 전화 : _____

응답자 주소 : ____구(면) ____동(리) ____번지 (____아파트 ____동 ____호)

면접 일시 : 2016년 ____월 ____일 ____시 ____분부터 ____시 ____분까지 (____분간)

면접원 성명 : _____ 전화 : _____

S/V 성명 : _____

선박 배출 대기오염물질이 국민건강에 미치는 가치평가 설문

최근 사회적 공분을 샀던 폭스바겐의 배기가스 배출량 조작사건처럼 경유차에서 배출되는 유해물질은 일반인들이 생각하는 것보다 훨씬 심각한 것으로 나타났다. 환경부의 '2015 환경통계연감'(2016)에 따르면 2012년 기준 국내에서 발생하는 질소산화물 총 1,075만 207톤 가운데 도로이동오염원(대부분 경유차)에서 발생하는 것이 32%로 가장 많았으며 비도로이동오염원(중장비·농기계·선박 등) 21%, 제조업체(주로 공장 등)에서 16%, 에너지산업(주로 발전소 등)에서 16%, 나머지 비산업·생산공정·폐기물처리·기타에서 15%가 각각 배출되었다

부산지역의 경우 부산지역 전체 질소산화물 발생량에서 비도로이동오염원이 차지하는 비중이 전체의 약 57%로 전국 평균인 21%보다 2.7배 높게 나타나고 있다. 부산지역 대기오염물질 배출량에서 비도로이동오염원의 과도한 쏠림 현상은 비단 질소산화물에만 한정되지 않으며 황산화물 배출량의 경우는 비도로이동오염원이 차지하는 비중이 62%까지 올라가고 있다. 이처럼 부산에서 비도로이동오염원의 비중이 높게 나타나는 이유는 부산권역이 배후에 부산북항, 감천항, 부산 신항 등 다수의 대규모 항만을 두고 있는 관계로 잦은 선박의 입출항과 정박으로 인한 영향이 큰 것으로 추정되고 있다.

이러한 대기오염은 인간의 건강에 피해를 입히고 그에 따른 노동생산성을 감소시켜 사회적으로 큰 비용을 발생시키게 됩니다. 특히, 대기오염의 건강피해는 호흡기 질환과 심혈관 질환의 대부분을 차지하고 있습니다. 조기사망, 폐암, 천식, 그리고 급성 및 만성 기관지염 등이 대표적인 예입니다. 미세먼지(PM₁₀)는 조기사망, 폐암, 급성 및 만성 기관지염 등을 유발하며, 우리가 잘 알고 있는 오존은 천식의 주범이기도 합니다.

과거 1989년 일본 나고야시 남부에서는 주민들이 공장과 자동차 등이 배출하는 대기오염물질 때문에 기관지 천식을 앓거나 악화되었다며, 국가와 10개 기업들을 상대로 42억엔의 피해배상과 차량배기가스 규제를 청구한 소송사건이 있었습니다. 이에 대해 일본 정부는 '61년부터 '78년 까지 이산화황 및 질소산화물, 미세먼지 등 대기오염물질을 배출하여 기관지천식 환자를 발생시킨 10개 기업의 배상책임 인정하여, 이 기업들이 주민들에게 15억엔을 배상하라는 판결을 2001년에 내렸습니다.

이와 같이 대기오염으로 인한 건강피해 사례는 나날이 심각해지고 있으며, 건강피해는 심각한 사회적 비용을 발생시키고 있습니다.

A1. 귀하께서는 이 설문지를 받기 이전에 부산과 경남 지역의 대기오염 현황에 대해 얼마나 알고 계셨습니까?

(1) 잘 알고 있다. (2) 알고 있다. (3) 보통이다. (4) 모른다. (3) 전혀 모른다

A2. 귀하께서는 이 설문지를 받기 이전에 대기오염이 건강에 미치는 효과에 대해 얼마나 알고 계셨습니까?

(1) 잘 알고 있다. (2) 알고 있다. (3) 보통이다. (4) 모른다. (3) 전혀 모른다

→ A4로 가시오

A3. 귀하께서는 어떤 경로로 대기오염이 건강에 미치는 효과에 대한 소식을 접하셨습니까? (하나만 선택)

- (1) 방송매체를 통해서 (2) 문자매체(신문, 잡지 등)를 통해서
(3) 인터넷을 통해서 (4) 가족친지나 친구동료를 통해서
(5) 기타 ()

A4. 귀하께서는 최근 1년간 부산과 경남지역에서 외출시 대기오염 때문에 눈 따가움, 호흡곤란 및 천식, 가슴 답답함 등을 경험하신 적이 있습니까?

- (1) 있다.(중상 , 횡수 회) (2) 없다.

(※조사원은 응답자들에게 다음 내용을 읽어 주십시오)

앞서 설명한 바에서 알 수 있듯이 부산지역의 대기오염수준이 악화되면, 지역 주민들의 조기사망률과 호흡기관련 질병률이 높아지게 될 것입니다. 반면, 부산과 경남지역의 대기오염 수준이 개선된다면, 대기오염으로 인한 건강피해가 감소될 것입니다.

본 설문은 이러한 대기질 개선으로 인한 건강피해(사망률 및 질병률) 감소효과의 가치를 평가하고자 합니다. 건강피해 감소효과의 수준을 나타내는 속성들은 ①조기사망, ②폐암, ③천식, ④심혈관질환이 있습니다.

[보기카드 A-1 제시]

대기질 개선으로 인한 건강피해 감소효과에 대한 응답자의 지불의사액을 알아보기 위해 **지불수단으로서 향후 5년 간 매년 응답자의 가구가 부담해야 할 추가적인 소득세**를 사용했습니다.

이제 귀하에게 질문카드가 제시됩니다. 각 카드에는 조기사망, 폐암, 천식, 심혈관질환, 그리고 소득세 인상을 통한 귀하 가구의 추가적인 월 지불의사액 등 서로 다른 5가지 속성들로 구성된 다양한 가상의 “건강효과 대안카드(현재 상태 포함)”가 제시되어 있습니다.

속성	속성설명	속성수준				
조기 사망	인구 100만 명당 조기사망 감소 건수/년	변화 없음 (650명 사망)	325명 감소 (50%수준 개선)	650명 감소 (100%수준 개선)		
폐암	인구 100만 명당 폐암 환자 감소 건수/년	변화 없음 (460명 사망)	460명 감소 (50%수준 개선)	920명 감소 (100%수준 개선)		
천식	인구 100만 명당 천식 환자 감소 건수/년	변화 없음 (35,400명 사망)	17,700명 감소 (50%수준 개선)	35,400명 감소 (100%수준 개선)		
심혈관질환	인구 100만 명당 심혈관질환 환자 감소 건수/년	변화 없음 (10,400명 사망)	5,200명 감소 (50%수준 개선)	10,400명 감소 (100%수준 개선)		
추가소득세 (가구당)	선박 배출 대기오염 개선을 위해 매월 추가 지불하는 가구당 소득세	1,000원	2,000원	3,000원	4,000원	5,000원

(※ 조사업원은 가구당 1월에 1회, 향후 5년 동안 부담한다는 사실을 반드시 주지시켜 주십시오.)

A5. 현재 상태를 포함한 서로 다른 3개의 대안들에 대해 귀하가 가장 좋아하는 순서대로 □ 안에 1~3까지 순위를 매겨 주십시오. 그리고 귀하께서 순위를 정하신 카드에 대해 순서대로 1~5의 숫자로 점수를 매겨 주십시오. 5점은 가장 좋은 대안, 1점은 가장 나쁜 대안을 의미합니다. 한 가지 주의하실 점은 순위가 내려 갈수록 점수는 작아지거나 같아야 한다는 것입니다.

(면접원은 각 순위에 대한 식별번호와 그에 따른 점수를 적어 주십시오)

순 위	1위	2위	3위
식별번호			
점 수			

순 위	1위	2위	3위
식별번호			
점 수			

순 위	1위	2위	3위
식별번호			
점 수			

순 위	1위	2위	3위
식별번호			
점 수			

(※ 조사업원은 응답자에게 컨조인트 카드 2, 카드 3, 카드 4를 연속해서 제시해 주십시오)

부록 6. 직교실험계획에 의한 시나리오 조합(음영부분이 있는 시나리오는 제외)

ID	대안A					대안B					대안C				
	조기사망	폐암	침식	심혈관 질환	추가 소득세	조기사망	폐암	침식	심혈관 질환	추가 소득세	조기사망	폐암	침식	심혈관 질환	추가 소득세
1	0명 감소(0%) 수준 개선)	920명 감소(100%) 수준 개선)	35,400명 감소(100%) 수준 개선)	10,400명 감소(100%) 수준 개선)	2,000원	0명 감소(0%) 수준 개선)	460명 감소(50%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	3,000원	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0원
2	0명 감소(0%) 수준 개선)	920명 감소(100%) 수준 개선)	35,400명 감소(100%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	1,000원	325명 감소(50%) 수준 개선)	460명 감소(50%) 수준 개선)	17,700명 감소(50%) 수준 개선)	10,400명 감소(100%) 수준 개선)	1,000원	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0원
3	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	10,400명 감소(100%) 수준 개선)	2,000원	650명 감소(100%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	35,400명 감소(50%) 수준 개선)	5,200명 감소(50%) 수준 개선)	2,000원	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0원
4	325명 감소(50%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	17,700명 감소(50%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	2,000원	0명 감소(0%) 수준 개선)	460명 감소(50%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	5,200명 감소(50%) 수준 개선)	1,000원	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0원
5	650명 감소(100%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	35,400명 감소(100%) 수준 개선)	10,400명 감소(50%) 수준 개선)	2,000원	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	35,400명 감소(100%) 수준 개선)	5,200명 감소(50%) 수준 개선)	1,000원	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0원
6	325명 감소(50%) 수준 개선)	460명 감소(100%) 수준 개선)	35,400명 감소(100%) 수준 개선)	5,200명 감소(50%) 수준 개선)	2,000원	325명 감소(50%) 수준 개선)	460명 감소(50%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	10,400명 감소(100%) 수준 개선)	2,000원	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0원
7	325명 감소(50%) 수준 개선)	920명 감소(100%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	3,000원	650명 감소(100%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	17,700명 감소(50%) 수준 개선)	5,200명 감소(50%) 수준 개선)	2,000원	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0원
8	0명 감소(0%) 수준 개선)	460명 감소(50%) 수준 개선)	17,700명 감소(50%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	4,000원	325명 감소(50%) 수준 개선)	460명 감소(50%) 수준 개선)	35,400명 감소(100%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	3,000원	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0원
9	325명 감소(50%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	17,700명 감소(50%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	5,000원	650명 감소(100%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	5,000원	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0원
10	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	2,000원	325명 감소(50%) 수준 개선)	460명 감소(50%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	5,200명 감소(50%) 수준 개선)	4,000원	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0명 감소(0%) 수준 개선)	0원

ID	대인A						대인B						대인C					
	조기사망	폐암	천식	심혈관 질환	추가 소득세		조기사망	폐암	천식	심혈관 질환	추가 소득세		조기사망	폐암	천식	심혈관 질환	추가 소득세	
11	650명 감소(100%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	3,000원		650명 감소(100%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	3,000원		0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원	
12	650명 감소(100%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	3,000원		0명 감소(0%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	5,000원		0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원	
13	650명 감소(100%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	1,000원		0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	3,000원		0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원	
14	325명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	1,000원		325명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	2,000원		0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원	
15	650명 감소(100%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	2,000원		325명 감소(50%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	3,000원		0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원	
16	650명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	4,000원		325명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	4,000원		0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원	
17	0명 감소(0%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	5,000원		0명 감소(0%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	4,000원		0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원	
18	0명 감소(0%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	1,000원		325명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	1,000원		0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원	
19	325명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	3,000원		325명 감소(50%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	4,000원		0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원	
20	325명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	3,000원		650명 감소(100%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	2,000원		0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원	

[illegible]

ID	대인A					대인B					대인C				
	조기사망	폐암	천식	심혈관 질환	추가 소득세	조기사망	폐암	천식	심혈관 질환	추가 소득세	조기사망	폐암	천식	심혈관 질환	추가 소득세
31	650명 감소(100%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	1,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	2,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
32	325명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	2,000원	650명 감소(100%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	3,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
33	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	3,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	1,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
34	650명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	3,000원	650명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	3,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
35	0명 감소(0%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	5,000원	650명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	4,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
36	650명 감소(100%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	3,000원	325명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	1,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
37	650명 감소(100%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	1,000원	325명 감소(50%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	5,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
38	325명 감소(50%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	1,000원	650명 감소(100%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	4,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
39	0명 감소(0%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	2,000원	325명 감소(50%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	5,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
40	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	4,000원	650명 감소(100%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	5,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원

[illegible]

ID	대안A					대안B					대안C				
	조기사망	폐암	천식	심혈관 질환	추가 소득세	조기사망	폐암	천식	심혈관 질환	추가 소득세	조기사망	폐암	천식	심혈관 질환	추가 소득세
51	325명 감소(50%) 수준 개선	460명 감소(100%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	1,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	2,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
52	325명 감소(50%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	3,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	3,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
53	0명 감소(0%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	4,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	2,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
54	650명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	5,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	3,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
55	325명 감소(50%) 수준 개선	460명 감소(100%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	4,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	1,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
56	325명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	4,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	1,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
57	650명 감소(100%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	4,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	650명 감소(100%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	2,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
58	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	1,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	1,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
59	0명 감소(0%) 수준 개선	920명 감소(100%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	3,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	460명 감소(50%) 수준 개선	35,400명 감소(100%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	4,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원
60	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	5,200명 감소(50%) 수준 개선	3,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	325명 감소(50%) 수준 개선	17,700명 감소(50%) 수준 개선	10,400명 감소(100%) 수준 개선	4,000원	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0명 감소(0%) 수준 개선	0원

[illegible]

[illegible]

우리나라 선박 배출 대기오염물질의 체계적 관리방안

2016年 12月 29日 印刷

2016年 12月 31日 發行

편집검
발행인 양 창 호

발행처 한국해양수산개발원
부산광역시 영도구 해양로301번길 26

전 화 051-797-4800 FAX : 051-797-4810

등 록 1984년 8월 6일 제313-1984-1호

조판·인쇄/효민디앤피 051-807-5100

판매 및 보급 : 정부간행물판매센터 Tel : 02-394-0337

정가 15,000원