기본연구 2021-09

빅데이터의 연계·활용을 통한 선박의 배출량 산정체계 고도화 방안 연구

A Study on Advancement of Estimating the Emission from Ships through Connection and Utilization of Big Data

안용성 · 박영길 · 김주형 · 성연호 · 한보름 · 이향숙 · 최상진 · 이태동 · 정순철

KMI 한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	**안용성, 박영길, 김주형, 성연호, 한보름, 이향숙, 최상진, 이태동, 정순철**
내부연구진	연구책임자 안용성 한국해양수산개발원 해양연구본부 부연구위원 공동연구원 박영길 한국해양수산개발원 해양연구본부 부연구위원 공동연구원 김주형 한국해양수산개발원 해양연구본부 연구원 공동연구원 성연호 한국해양수산개발원 해양연구본부 연구원 공동연구원 한보름 한국해양수산개발원 해양연구본부 연구원
외부연구진	공동연구원 이향숙 인천대학교 교수 공동연구원 최상진 ㈜이아이랩 대표 공동연구원 이태동 ㈜에코시안 전무 공동연구원 정순철 에코네트워크㈜ 부문장

연구기간	2021. 1. 1. ~ 2021. 10. 31.

보고서 집필내역

연구책임자	안용성 연구총괄, 제1장, 제2장 제3절, 제3장 제2절, 제4장 제2절 일부, 제5장, 제6장
내부연구진	박영길 제5장 제2절 김주형 제3장 제1절 성연호 제3장 제1절 한보름 제3장 제1절
외부연구진	이향숙 제2장 제1절 최상진 제2장 제2절 이태동 제4장 제1절 정순철 제4장 제2절

산·학·연·정 연구자문위원	Olivier Tasse, Fredrik Windmark, David Segersson 스웨덴 기상수문연구원(SMHI) Jukka-Pekka Jalkanen 핀란드 기상연구원(FMI)

발간사

최근 유무선 네트워크 및 인공지능, 클라우드 등으로 대표되는 4차 산업혁명 신기술이 산업은 물론 우리 생활 전반을 이전과는 다른 패러다임으로 바꾸어가고 있다. 또한, 이러한 기술적 진보는 사회의 모습을 변화시키는 동시에 또다시 새로운 기술의 수요, 환경의 변화를 요구하고 있다.

항만 분야 역시 하역·물류 및 운송 등 항만 내외에서 이루어지는 수많은 활동의 효율 개선을 위한 자동화에 이어, 근래에는 최적화를 위한 스마트화에 집중하고 있다. 하지만, 항만의 디지털 전환기술 기반이 꾸준히 진행되고 있음에도, 또 다른 최우선 이슈, 즉 항만 환경, 특히 대기환경 개선을 위한 모니터링과 같은 분야에서는 이를 연계 또는 활용하지 못한 채 기존의 방식에서 벗어나지 못하고 있다.

본 연구는 항만, 나아가 국가의 대기정책 및 법령들이 대기질 개선을 통한 쾌적한 국민 생활환경 조성을 지향하고 있음에도, 정작 배출 및 오염, 영향 등의 현황 및 인과관계 규명을 위한 모니터링 및 조사 등에 소홀함을 지적한다. 또한, 기존의 항만 배출량 조사 및 산정체계가 개별 선박 또는 물류 활동, 지점, 구간 등의 배출, 오염에 대한 정확한 추정보다는 국내외 제도적 수요에 대응하기 위한 국가 전체의 연 단위 배출통계 생산에 그 목적을 두고 있어, 최근 산업 및 사회문제 해결에 요구되는 정확하고 세밀한 데이터의 수요에 대응하지 못하고 있다.

이에 본 연구는 현행 하향식 산정방식 위주의 산정 패러다임에서 활동데이터 기반의 상향식 배출 산정 패러다임으로의 전환을 제안한다. 이를 위하여 해운·항만 관련 국내 기간계 데이터의 가용성·유효성 검토를 통하여 배출량 산정에 연계·활용 가능한 '데이터 인벤토리'를 작성하고, 고밀도 시공간 격자의 선박 대기오염물질 배출량을 산정하기 위한 활동데이터 기반 산정모형 및 도입·활용 방안을 제시하였다. 특히, 연구를 통해 최적의 데이터 조합을 도출하고 이를 바탕으로 구성·제시한 산정모형의 정확도를 검증하기 위하여, 기존 방식과 산정 단계별 오류 발생 가능성 및 수치 결과를 비교분석하여 명확한 차이를 확인하였다.

이는 기존 방식의 정확도 및 활용도의 한계를 획기적으로 개선하는 동시에, 추후 유무선 통신 및 지능형 관리제어 기술 등의 발전에 따라서 항만의 물류 및 대기환경

관련 현황·변화 등을 실시간 산정 및 분석, 예측할 수 있는 새로운 기술 패러다임의 첫 번째 시도이자 결과물이라 할 수 있다. 또한, 온실가스 및 대기오염물질의 배출을 제로화하는 한편, 초연결 및 지능형 제어 개념을 적용하여 항만 서비스 및 운영을 최적화하기 위한 새로운 기술서비스 시장이 초박빙의 경쟁에 돌입하고 있는 상황에서, 디지털 전환 시장을 선점하고 이를 선도하기 위한 구체적 방안을 제시했다는 데에 큰 의의가 있다고 하겠다.

새로운 개념을 정립하고 적용하기 위해 해외 주요 선행연구그룹과 그간의 성과와 경험을 공유하는 등, 선도적인 연구를 성공적으로 수행한 안용성 부연구위원과 연구진으로 참여한 박영길 부연구위원, 김주형 연구원, 성연호 연구원, 한보름 연구원, 그리고 공동 연구진으로 참여하여 연구의 결과를 보다 정확하고 풍성하게 만들어준 이향숙 교수, 최상진 대표, 이태동 전무, 정순철 부문장의 노고에 깊이 감사를 드린다. 아울러, 경험에 바탕한 소중한 의견으로 연구의 완성도를 높혀주신 Olivier Tasse, Fredrik Windmark, David Segersson, Jukka-Pekka Jalkanen께도 감사를 드린다.

2021년 12월
한국해양수산개발원
원장 김 종 덕

목차

정책제안 _i

요약 _v

Executive Summary _xxvii

01 서론 _1

제1절 연구 배경 및 목적 1
1. 연구의 배경 및 필요성 1
2. 연구 목적 4

제2절 연구 내용 및 방법 6
1. 연구 범위 및 주요 내용 6
2. 연구 방법 10

제3절 선행 연구 12
1. 선행 연구 12
2. 본 연구의 차별성 31

02 국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론 _35

제1절 해외 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론 36
1. 국제해사기구(IMO), Fourth IMO GHG Study 2020 36
2. 유럽 환경청(EEA), EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook 49
3. 미국 환경청(EPA), Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories 58

제2절 국내 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론 70
1. 국립환경과학원(환경부), 국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(I, II, III) 70
2. 환경부(국가 미세먼지 정보센터), 국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(IV) 79

제3절 시사점 84
1. 현행 해외 선박의 배출량 산정 패러다임 84
2. 현행 국내 선박의 배출량 산정 패러다임 86

03 선박 배출량 산정 패러다임 전환의 필요성_89

제1절 활동데이터 기반 배출산정 모형 구성 및 적용사례 분석 90
1. STEAM 90
2. Shipair 103
3. 시사점 117

제2절 선박 배출량 산정 패러다임 전환의 필요성 119
1. 현행 배출량 산정 패러다임의 한계 119
2. 패러다임 전환의 필요성 121

04 국내 선박의 배출량 산정을 위한 활동데이터 기반 산정 모형_127

제1절 활동데이터 기반 배출산정 모형 적용을 위한 가용 데이터 인벤토리 128
1. 국내 기간계 데이터의 유효성 검토 128
2. 활동데이터 기반 배출산정 모형 적용을 위한 가용 데이터 인벤토리 작성 156

제2절 활동데이터 기반 배출산정 모형 165
1. 활동데이터 기반 배출산정 모형의 구성 165
2. 활동데이터 기반 배출산정 모형의 적용 179
3. 비교·분석 및 정확도 개선 검증 186

05 활동데이터 기반 선박 배출량 산정방법론 도입·활용 방안 _201

제1절 국내 기간계 데이터 연계·활용을 통한 활동데이터 기반 배출량 산정방법론 도입·활용 방안 201
1. 국가 대기오염물질·온실가스 산정 패러다임의 전환 201
2. 선박 등록 및 운항정보 활용체계 개선 203
3. 선박 운항정보의 빅데이터화 208

제2절 법·제도 정비방안 211
1. 관련 법령의 완결성 개선 211
2. 탄소중립 모니터링체계의 일원화 216
3. 선박 제원 및 운항정보 등록체계 개선 218

06 결론 _225

제1절 결론 225

제2절 정책 제언 228
1. 선박 대기오염물질·온실가스 통합 모니터링-분석·예측 플랫폼 구축·운용 228
2. 선박의 운항·배출의 지능형 관리기술 표준화 추진 237

참고문헌 _241

표 목차

〈표 1-1〉 연구의 목적 ····· 5
〈표 1-2〉 국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정 방법론 검토 ····· 7
〈표 1-3〉 산정 패러다임 전환의 필요성 도출 ····· 7
〈표 1-4〉 활동데이터 기반 배출산정 모형의 구성·적용 ····· 8
〈표 1-5〉 활동데이터 기반 배출량 산정방법론의 도입·활용 방안 ····· 9
〈표 1-6〉 국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론 검토 ····· 15
〈표 1-7〉 선행 연구 검토 ····· 20
〈표 1-8〉 본 연구의 차별성 ····· 33
〈표 2-1〉 선박의 운항형태 구분 ····· 41
〈표 2-2〉 ECA 시행으로 인한 연료 전환 반영 ····· 42
〈표 2-3〉 엔진, 연료 및 제조 연도별 SFCbasE ····· 43
〈표 2-4〉 엔진부하에 따른 저부하 계수(LLF) ····· 46
〈표 2-5〉 하향식(Top-down) 방법론의 배출계수 ····· 48
〈표 2-6〉 Tier 1 대기오염물질 배출계수(EF) ····· 52
〈표 2-7〉 Tier 2 배출계수 및 연료 소비계수 ····· 53
〈표 2-8〉 Tier 3 배출계수(연료 기반) ····· 54
〈표 2-9〉 Tier 3 배출계수(에너지 기반) ····· 57
〈표 2-10〉 Tier 3 엔진 부하계수 ····· 58
〈표 2-11〉 선박 유형의 분류 ····· 61
〈표 2-12〉 선박 엔진의 분류 ····· 61
〈표 2-13〉 선박 속도의 구분 ····· 61
〈표 2-14〉 선박의 보조엔진 출력계수(ARB 조사) ····· 62
〈표 2-15〉 선박 운항형태의 구분 ····· 63
〈표 2-16〉 선박 보조엔진의 부하계수 ····· 64
〈표 2-17〉 선박 주엔진의 배출계수 ····· 65
〈표 2-18〉 선박 보조엔진의 배출계수 ····· 65
〈표 2-19〉 NOx 조정계수 ····· 66
〈표 2-20〉 온실가스 물질별 배출계수 ····· 66
〈표 2-21〉 주엔진의 Low Load Multiplicative Adjustment Factors ····· 67
〈표 2-22〉 선박 유형별 보일러의 에너지 부하 ····· 68

〈표 2-23〉 보일러의 배출계수 ····· 69
〈표 2-24〉 연차별 목표 ····· 70
〈표 2-25〉 배출 자료 평가 공통양식 ····· 75
〈표 2-26〉 항만 배출량 산정을 위한 배출원별 활동 자료 조사 내용 ····· 77
〈표 2-27〉 대기오염물질 배출량 대분류체계 ····· 80
〈표 2-28〉 선박 여객선 분류체계 ····· 81
〈표 2-29〉 선박 화물선 분류체계 ····· 82
〈표 2-30〉 선박 화물선 배출량 산정방법 비교 ····· 83
〈표 2-31〉 어선 및 레저 선박 배출량 산정 개요 ····· 83
〈표 2-32〉 비도로 이동오염원 수집 활동 자료 형식 및 해상도 ····· 87
〈표 3-1〉 STEAM 버전별 개선 항목 ····· 91
〈표 3-2〉 모형 요구 데이터 종류 ····· 94
〈표 3-3〉 선박 종류와 운항형태별 보조엔진 출력 ····· 97
〈표 3-4〉 NOx 배출계수 ····· 98
〈표 3-5〉 요구 데이터의 구성 ····· 106
〈표 3-6〉 선박의 운항형태 분류 기준 ····· 108
〈표 3-7〉 보조엔진 엔진 사용계수(순항, 부두 내) ····· 111
〈표 3-8〉 엔진부하율 가정 ····· 112
〈표 3-9〉 배출계수 참고 자료 ····· 113
〈표 3-10〉 선박 유형별 냉각시설 배출계수 ····· 114
〈표 3-11〉 선박(화물) 연료사용량 추정방법 ····· 122
〈표 4-1〉 선박 활동데이터 연계체계 ····· 129
〈표 4-2〉 디지털 중단파(D-MF/HF) 기지국 위치 ····· 130
〈표 4-3〉 어선의 위치발신장치의 적용 현황(2017년) ····· 131
〈표 4-4〉 PORT-MIS 제공 기관별 행정업무 ····· 134
〈표 4-5〉 PORT-MIS 의무보고 대상 및 보고제외 대상 ····· 136
〈표 4-6〉 AIS 설치 시 설비 충족요건 ····· 137
〈표 4-7〉 자동식별장치(AIS) 설치 대상 선박 ····· 139
〈표 4-8〉 VTS 관제 의무 대상 선박 ····· 143
〈표 4-9〉 e-Navigation의 주요 기능 및 상황별 운영 절차 ····· 147

〈표 4-10〉 지능형 해상교통정보서비스 적용 대상 및 적용제외 대상 ····· 148
〈표 4-11〉 PORT-MIS 내 관제입력 List 출력 제공 자료 ····· 149
〈표 4-12〉 AIS 정보 수집사항 ····· 150
〈표 4-13〉 자동식별장치(AIS)별 특징 ····· 151
〈표 4-14〉 자동식별장치(AIS)별 동적정보 전송 주기 ····· 151
〈표 4-15〉 AIS 기반의 선박 DB 제공사항 ····· 153
〈표 4-16〉 VTS 수집 데이터의 종류 ····· 154
〈표 4-17〉 e-Navigation 제공정보 ····· 155
〈표 4-18〉 요구 데이터 항목: 정적정보 ····· 156
〈표 4-19〉 요구 데이터 항목: 동적정보 ····· 157
〈표 4-20〉 PORT-MIS 제공정보 구분 ····· 157
〈표 4-21〉 활동데이터 기반 배출산정 모형 적용 시 유효성: PORT-MIS ····· 158
〈표 4-22〉 AIS 제공정보 구분 ····· 159
〈표 4-23〉 활동데이터 기반 배출산정 모형 적용 시 유효성: AIS ····· 159
〈표 4-24〉 AIS 기반 선박 운항 DB 제공정보: IHS Markit ····· 160
〈표 4-25〉 V-Pass 수집데이터 ····· 162
〈표 4-26〉 e-Navigation OPEN-API 형태 제공정보 구분 ····· 163
〈표 4-27〉 활동데이터 기반 배출산정 모형 적용 시 유효성: e-Navigation 서비스 · 164
〈표 4-28〉 요구 데이터의 분류 ····· 169
〈표 4-29〉 총톤수(GT)를 활용한 엔진출력 추정식 ····· 173
〈표 4-30〉 선박 종류별 주엔진 엔진출력 대비 보조엔진의 엔진출력 비율 ····· 173
〈표 4-31〉 선박 종류별 보일러 평균 출력값 ····· 174
〈표 4-32〉 디젤엔진의 RPM에 따른 분류 ····· 177
〈표 4-33〉 유럽환경청(EEA) Tier3 배출계수 ····· 177
〈표 4-34〉 기존 환경부 방식 적용 결과 ····· 180
〈표 4-35〉 PORT-MIS 활동데이터 기반 순항, 접안 거리 구분 ····· 182
〈표 4-36〉 PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형 적용 결과 ····· 183
〈표 4-37〉 AIS 활동데이터 기반 상향식 모형 적용 결과 ····· 185
〈표 4-38〉 비도로 이동오염원-선박 배출원 분류 ····· 187
〈표 4-39〉 배출량 산정 대상 및 범위 비교 ····· 187

〈표 4-40〉 활동 특성 반영 비교 ····· 189
〈표 4-41〉 활동 자료의 해상도 비교 ····· 192
〈표 4-42〉 엔진 유형 및 연료 종류에 따른 배출계수 비교 ····· 193
〈표 4-43〉 배출계수 비교 ····· 194
〈표 4-44〉 배출량 산정 모형별 배출량 산정 결과(순항) ····· 199
〈표 4-45〉 배출량 산정 모형별 배출량 산정 결과(접안) ····· 199
〈표 4-46〉 배출량 산정 모형별 배출량 산정 결과(정박) ····· 200
〈표 5-1〉 활동데이터 기반 배출량 산정방법론 도입방안: 산정 패러다임의 전환 ···· 203
〈표 5-2〉 편람(Ⅳ), PORT-MIS의 선박 용도 분류 비교 ····· 204
〈표 5-3〉 활동데이터 기반 배출량 산정방법론 도입방안:
배출량 산정 대상 및 경계 범위 ····· 205
〈표 5-4〉 활동데이터 기반 배출량 산정방법론 도입방안: 선박의 등록·면허 신고정보
항목 ····· 207
〈표 5-5〉 활동데이터 기반 배출량 산정방법론 도입방안: 운항정보 보고·수집 ····· 208
〈표 5-6〉 활동데이터 기반 배출량 산정방법론 도입방안: 선박 운항정보의 빅데이터화 · 210
〈표 5-7〉 선박 및 항만의 모니터링 관련 규정 보강 ····· 213
〈표 5-8〉 대기오염물질 배출량 산정체계 개선 ····· 215
〈표 5-9〉 온실가스 배출 보고 대상 선박 ····· 217
〈표 5-10〉 탄소중립 모니터링체계의 일원화 ····· 218
〈표 5-11〉 법령에 따른 선박의 등록/신고 제원 차이 ····· 220
〈표 5-12〉 선박 제원정보 항목 등록-보고제도 개선 ····· 220
〈표 5-13〉 AIS 의무 장착 대상 선박 ····· 221
〈표 5-14〉 AIS 정보 사용 제한 현황 ····· 222
〈표 5-15〉 선박 오염물질 배출량 조사를 위한 AIS 정보의 수집·활용 확대 ····· 223
〈표 6-1〉 단·중기 주요 추진과제(~2024년) ····· 229
〈표 6-2〉 국내 선박 배출원 분류체계별 주요 데이터 수집 현황 ····· 232
〈표 6-3〉 단·중기 주요 추진과제(~2024년) ····· 233
〈표 6-4〉 단·중기 주요 추진과제(~2024년) ····· 236
〈표 6-5〉 단·중기 주요 추진과제(~2024년) ····· 239

그림 목차

〈그림 1-1〉 연구의 주요 내용 ····· 6
〈그림 1-2〉 활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형 적용을 위한 요구 데이터의 개념 · 11
〈그림 1-3〉 연구의 단계 ····· 12
〈그림 2-1〉 국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정 방법론 검토 ····· 36
〈그림 2-2〉 상향식(Bottom-up) 방법론의 수행 과정 ····· 38
〈그림 2-3〉 하향식(Top-down) 방법론의 수행 과정 ····· 47
〈그림 2-4〉 EEA 적용 방법론 선택 과정 ····· 51
〈그림 2-5〉 요구 자료 수집체계 ····· 60
〈그림 2-6〉 NIER I~II 이전 국내 선박 배출원 분류체계 및 연구 범위 ····· 72
〈그림 2-7〉 선박 총괄 공간 할당(PM10 예시) ····· 73
〈그림 2-8〉 선박 배출량 산출시스템 메뉴 구조 ····· 74
〈그림 2-9〉 선박 부문 배출 자료 불확도(DARS) 평가 공통양식(예) ····· 76
〈그림 2-10〉 인천항 배출원별 공간 분포 ····· 78
〈그림 2-11〉 여객선 운항시간에 따른 배출량 공간 할당 ····· 81
〈그림 2-12〉 선박 배출량 산정을 위한 주요 활동 자료 ····· 87
〈그림 3-1〉 활동데이터 기반 상향식 모형 구성·적용사례 분석 ····· 89
〈그림 3-2〉 STEAM 모형의 데이터처리 수행 단계의 구성 ····· 92
〈그림 3-3〉 STEAM2 산정 단계별 주요 내용 ····· 93
〈그림 3-4〉 6개 여객선의 연간 연료 소비량 비교 ····· 101
〈그림 3-5〉 EMEP(좌)와 STEAM2(우)의 산정 결과 비교: PM ····· 102
〈그림 3-6〉 EMEP(좌)와 STEAM2(우)의 산정 결과 비교: CO ····· 103
〈그림 3-7〉 Shipair 개요 ····· 104
〈그림 3-8〉 Shipair 모듈의 데이터 처리 작업 과정 ····· 105
〈그림 3-9〉 선박 이동경로 및 운항형태 기록 예시 ····· 109
〈그림 3-10〉 Shipair 모형 적용 연료소비량 추정치와 실제 측정치 비교 ····· 116
〈그림 3-11〉 Shipair 모형 및 STEAM2 적용 배출량 추정치 비교 ····· 116
〈그림 4-1〉 활동데이터 기반 배출산정 모형의 구성·적용 ····· 128
〈그림 4-2〉 LTE-M망 서비스 영역도 ····· 132
〈그림 4-3〉 PORT-MIS 구축·운영 목적 ····· 133
〈그림 4-4〉 통합 PORT-MIS 서비스 구축 개념도 ····· 134

〈그림 4-5〉 선박 입출항에 따른 PORT-MIS 행정정보 서비스 절차 ····· 135
〈그림 4-6〉 AIS 구성도 ····· 137
〈그림 4-7〉 AIS 통신의 연계구조 ····· 138
〈그림 4-8〉 AIS 운영국·기지국 설치 현황 및 운영범위 ····· 138
〈그림 4-9〉 VTS의 계통도 ····· 140
〈그림 4-10〉 전국 VTS 센터 위치도 ····· 141
〈그림 4-11〉 VTS 입출항 시 보고절차 ····· 142
〈그림 4-12〉 VTS의 해상교통관제 업무 프로세스 ····· 142
〈그림 4-13〉 한국형 e-Navigation 서비스의 기능체계 ····· 144
〈그림 4-14〉 한국형 e-Navigation 서비스의 수신거리 및 주요 제공서비스 ····· 145
〈그림 4-15〉 e-Navigation 통신체계 ····· 146
〈그림 4-16〉 AIS를 활용한 배출량 산정모형의 주요 인자 및 흐름도 ····· 167
〈그림 4-17〉 산정 단계별 주요 내용 ····· 167
〈그림 4-18〉 배출량 산정 범위(부산항 항계) ····· 179
〈그림 4-19〉 기존 환경부 방식 적용 결과 ····· 181
〈그림 4-20〉 PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형 적용 결과 ····· 184
〈그림 4-21〉 AIS 배출량 산정 모형 적용 결과 ····· 186
〈그림 4-22〉 AIS, PORT-MIS 관제교신 지점 구분(예시) ····· 191
〈그림 4-23〉 배출량 산정 모형 비교·분석 ····· 196
〈그림 4-24〉 AIS, PORT-MIS 관제교신 지점 적용 구분(예시) ····· 198
〈그림 6-1〉 해운·항만 대기정책의 기초 현황 파악 단계의 미비에 따른 문제점 ····· 226

약어 목록

▌A

- AI: Artificial Intelligence
- AIS: Automatic Identification System
- API: Application Programming Interface
- ARB: Air Resources Board
- AS: Actual Speed
- ASEAN: Association of Southeast Asian Nations

▌B

- BC: Black Carbon
- BFO: Bunker Fuel Oil

▌C

- CAPSS: Clean Air Policy Support System
- CCS: China Classification Society
- CEQA: California Environmental Quality Act
- CH_4: Methane
- CHE: Cargo/Container Handling Equipment
- CO: Carbon Monoxide
- CORINAIR: Core Inventory of Air Emissions
- CSTDMA: Carrier Sense Time-Division Multiple Access
- CV: Coastal Vessel

▌D

- DARS: Data Attribute Rating System
- DSC: Digital Selective Calling
- DSP: Data Service Platform
- DWT: Dead Weight Tonnage

E

- EC: European Commission
- ECA: Emission Control Area
- EDB: Emission Database
- EEA: European Environment Agency
- EEDI: Energy Efficiency Design Index
- EEOI: Energy Efficiency Operational Indicator
- EF: Emission Factor
- EMEP: European Monitoring and Evaluation Program
- EMSA: European Maritime Safety Agency
- EPA: Environmental Protection Agency

F

- FC: Fuel Consumption
- FGI: Focus Group Interview
- FMI: Finnish Meteorological Institute

G

- GFW: Global Fishing Watch
- GHG: Greenhouse Gas
- GIS: Geographic Information System
- GPS: Global Positioning System
- GT: Gas Turbines
- GT: Gross Tonnes
- GWP: Global Warming Potential

H

- HC: Hydrocarbons
- HC: Harbor Craft
- HCFCs: Hydrochlorofluorocarbons
- HDV: Heavy-Duty Vehicle
- HELCOM: Helsinki Commission
- HF: High Frequency
- HFCs: Hydrofluorocarbon
- HFO: Heavy Fuel Oil
- HSD: High-speed Diesel

I

- IALA: International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities
- IEA: International Energy Agency
- IHS: Information Handling Service
- IMO: International Maritime Organization
- IoT: Internet of Things
- IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
- ISO: International Organization for Standardization
- IVEF: Inter VTS Exchange Format

K

- KOMSA: Korea Maritime Transportation Safety Authority
- KR: Korean Register of Shipping

L

- LBSI: Lean-Burn Spark-Ignited
- LF: Load Factor
- LLF: Low Load Factors
- LMIS: Lloyd's Maritime Information Service
- LNG: Liquefied Natural Gas
- LSHFO: Low Sulfur Heavy Fuel Oil

M

- M&S: Modeling and Simulation
- MBMs: Market-Based Measures
- MCR: Maximum Continuous Rating
- MDO: Marine Diesel Oil
- ME: Main Engine
- MEPA: Marine Exchange/Port Authority
- MF: Medium Frequency
- MGO: Marine Gas Oil
- MMSI: Maritime Mobile Service Identity
- MS: Maximum Speed
- MSD: Medium-speed Diesel

N

- N_2O: Nitrous Oxide
- NEPA: National Environmental Policy Act
- NG: Natural Gas
- NGMS: National GHGs Management System
- NH_3: Ammonia

- NIER: National Institute of Environmental Research
- NMVOC: Non-methane Volatile Organic Compound
- NOx: Nitrogen Oxides

O

- OGV: Ocean-Going Vessel
- OPS: Onshore Power Supply

P

- PBL: Netherlands Environmental Assessment Agency(Planbureau voor de Leefomgeving)
- PM: Particulate Matter
- PM_{10}: Particulate Matter less than 10 microns in diameter
- $PM_{2.5}$: Particulate Matter less than 2.5 microns in diameter
- PORT-MIS: Port Management Information System
- PS-LTE: Public Satety LTE
- PWD: Pier/Wharf/Dock

R

- RL: Rail Locomotive
- RO: Residual Oil
- RORO: Roll-on/Roll-off
- RPM: Revolutions Per Minute
- RSZ: Reduced Speed Zone
- RV: River Vessel

S

- SCC: Source Classification Codes
- SEEMP: Ship Energy Efficiency Management Plan

- SEI: Ship Emission Information
- SEMS: Stack Emission Management System
- SFC: Ship Fuel Consumption
- SFOC: Specific Fuel oil Consumption
- SMA: Swedish Maritime Administration
- SMHI: Swedish Meteorological and Hydrological Institute
- SOTDMA: Self-organized Time-Division Multiple Access
- SOx: Sulfur Oxides
- SSD: Slow-speed Diesel
- ST: Steam Turbines
- STEAM: Ship Traffic Emission Assessment Model

T

- TEU: Twenty-foot Equivalent Unit
- TSP: Total Sediment Potential

U

- UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change
- USACE: U.S. Army Corps of Engineers

V

- VDES: VHF Data Exchange System
- VHF: Very High Frequency
- VMS: Vessel Monitoring System
- VOC: Volatile Organic Compound
- VTS: Vessel Traffic System

정책제안

▌분석 내용 및 방법

1. 국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론, 활동데이터 기반(Activity-based method)의 상향식 배출산정 모형 및 이를 적용한 **주요 사례의 상세 조사, 비교·분석(Comparative Analysis)**

2. 기존 문헌 및 연구자료를 수집·분석하고, 이를 통해 확보한 정보 및 지식을 확인·수정하기 위한 방법으로 **국내외 선행 연구그룹과 핵심그룹 인터뷰(FGI) 수행**

   - SMHI(스웨덴 기상·수문연구소): Olivier Tasse, Fredrik Windmark, David Segersson; 전화 인터뷰(수시), 온라인 화상회의(2021. 10.)
   - FMI(핀란드 기상연구소): Jukka-Pekka Jalkanen; 전화 인터뷰(수시), 온라인 화상회의(2021. 9.)

3. 국내 선박 및 항만 배출량 산정에 적용 가능한 **'활동데이터 기반 배출산정 모형'의 초안**을 구성하고, 이를 적용하기 위해 필수적인 **요구 데이터의 유효성 및 가용성 검토**

4. 연구를 통해 도출한 **'활동데이터 기반 선박 배출산정 모형'의 정확성 개선 정도 검증**

① 기존 방식(환경부, PORT-MIS 적용 방식)과 산정 단계별 오류 발생 가능성의 차이를 비교·분석하여 정확도 개선 정도를 검증하는 한편,

② 최적 데이터 조합의 활동데이터 기반 배출산정 모형을 부산항 입출항 선박(카테고리별 샘플 선정) 대상으로 배출량 산정에 시범 적용하여 기존 방법론에 의한 수치 결과와 비교검증 수행

▌정책제안

1. 선박 대기오염물질·온실가스 통합 모니터링 및 분석·예측 플랫폼 구축·운용

▪ **대기오염물질·온실가스 산정 패러다임의 전환**

- 선박의 활동을 나타내는 데이터의 수집 주기 및 범위, 시공간적 측면의 단위격자를 조밀하게 구분하고 단위격자 간 누락 또는 오류 발생을 최소화하는 방향으로 추진
- 개별 선박의 활동을 정확하게 반영한 배출량을 산정하는 것은 물론, 특정 시간·공간 범위 내에서 조건의 변화에 따른 배출량의 변화 또는 특정 조치의 적용 시 삭감량 등을 보다 정교하게 예측 가능

▪ **선박의 등록·면허 시 제출 정보 항목 확대**

- 「선박법」, 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」에 따른 선박의 등록·신고 시 보고 항목에 해당 선박의 기관 종류, 최대출력(마력), 기관의 수 등을 포함하는 엔진(및 보조엔진)의 제원 및 제반 정보 항목 추가하는 방안 검토 필요
- 선박·항만의 배출량 산정 및 분석 등을 특수 용도로 지정하고, 일정한 비식별화 조치 등을 통해 선박 검사정보의 공유·활용 가능하도록 제도 개선

▪ **대기오염물질·온실가스 통합 모니터링 및 분석·예측체계 구축**

- 대기오염물질과 온실가스의 모니터링 및 분석·예측 과정의 일원화 검토

※ '배출-이동·확산-영향' 단계별 과정과, 이를 바탕으로 수행하는 분석·예측의 진행 과정에서 요구되는 조사 대상(배출원) 및 재료 데이터의 종류 역시 유사

- 정확도 높은 모니터링 및 분석의 과정을 통해 현 상황의 문제점을 올바르게 파악할 수 있으며, 이를 바탕으로 도출된 문제 및 정책 대상 등의 필요한 정책 투입의 우선순위, 최적의 기술적·정책적 조치 선택·적용 가능

▪ **'스마트 커넥티드' 개념 구현을 위한 기술 및 정책 개발**

- 제도의 개선, 최적 기술 개발 등을 통해 가능한 부분부터 유무선 네트워크 및 센싱 디바이스 기반의 자동 수집으로 빅데이터화, 실시간 통신·수집체계를 구축하고, 분석·예측 및 제어 등을 위한 지능형 제어기술, 디지털 트윈 기술 등을 순차적으로 적용하여 '스마트 해상교통 관제' 또는 '스마트 항만 운영' 플랫폼 개발
- 이를 바탕으로, '스마트 커넥티드(Smart Connected)' 기반의 해운·항만 배출·영향 모니터링 체계 구축

2. 선박의 운항·배출의 지능형 관리기술 표준화 추진

- 선도적인 기술 개발 및 적용으로, 최적화 모니터링 및 분석·예측 기술, 이를 구현하기 위한 시스템, 나아가 독립 시스템의 연계를 통한 연합 플랫폼(Federation system)의 기준 및 표준안 개발, 적용 확대
- 이를 통해, 초연결 즉, 스마트 커넥티드 및 지능형 제어 개념을 적용하는 최적화 기술의 개발·적용을 위한 초박빙의 경쟁에 돌입하고 있는 신규 항만 환경시장 주도 가능

요약

1. 연구의 목적

- **해운·항만 관련 국내 기간계 데이터의 가용성·유효성 검토를 통하여, 선박의 전국·지역 배출량 산정은 물론 항만 내 선박의 배출량 산정에 연계·활용 가능한 후보 재료 데이터에 대한 '데이터 인벤토리' 작성**
- **활동데이터(Activity-based method) 기반의 상향식 배출산정 모형 구성 및 적용**
  - 선박의 활동을 시공간적으로 보다 조밀하고 정확하게 반영하여, 궁극적으로는 실시간 산정, 활용을 가능케 하는 중요한 기술적 기반으로 작용할 수 있음
  - 유무선 네트워크 및 센싱기술 등을 활용하여 재료 데이터를 실시간 수집·적용하는 경우, 실시간 배출량 산정은 물론 빅데이터 개념의 재료 데이터 및 배출량 산정 결과 데이터를 활용하는 실시간 분석·예측 등 활용도를 크게 높일 수 있음
- **'스마트 커넥티드' 기반으로 고밀도 시공간 격자의 선박 배출량을 산정하기 위한 활동데이터 기반 산정방법론 도입·활용 방안 제시**
  - 고밀도 시공간 격자의 고해상도 선박 배출 산정 패러다임의 전환으로, 배출량 산정 결과의 정확도를 획기적으로 개선할 수 있음

2. 연구의 방법 및 특징

1) 연구의 방법

- **기존 문헌 및 연구자료를 수집·분석하고, 이를 통해 확보한 정보 및 지식을 확인·보완하기 위한 방법으로 국내외 선행 연구그룹과 핵심그룹 인터뷰(FGI) 수행**
  - 국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론, 활동데이터 기반(Activity-based method)의 상향식 배출산정 모형 및 이를 적용한 주요 사례를 조사, 비교·분석을 수행함
  - 국가미세먼지정보센터 및 온실가스정보센터의 담당 부서와 전화 면담, 핀란드 기상연구원(FMI), 스웨덴 기상수문연구원(SMHI)와 개별적인 온라인-세미나 시리즈를 개최, 수행함
  - 가용성 검토 대상 기간계 데이터 DB에 대한 조사 역시 기존 문헌 및 연구자료를 수집·분석한 후, 해당 데이터 관리·운용 기관 담당자에 대한 핵심그룹 인터뷰를 진행하는 방식으로 수행함
- **국내 해운·항만 관련 기간계 데이터(PORT-MIS, AIS, VTS, e-Navigation 등)의 유효성 및 가용성을 검토하고, 그 결과를 반영하여 최적의 데이터 조합을 도출하는 한편 이를 적용하는 상향식 산정모형 확정**
- **최적 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형 구성 및 적용을 통한 정확도 검증**

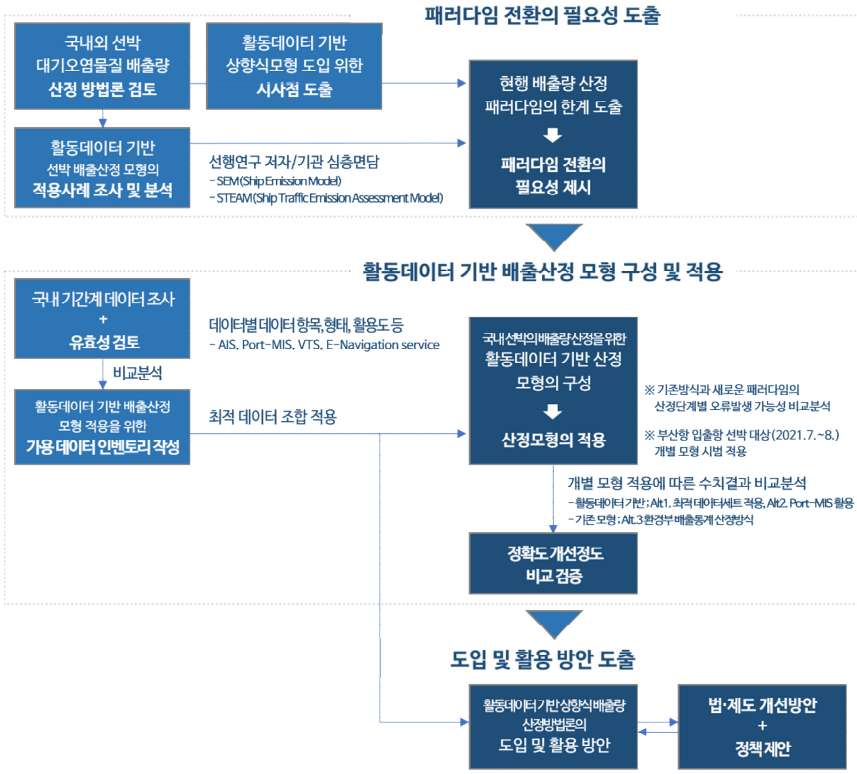
① 기존 방식(환경부, PORT-MIS 적용 방식)과 산정 단계별 오류 발생 가능성의 차이를 비교·분석하여 정확도 개선 정도를 검증하는 한편,

② 활동데이터 기반 배출산정 모형을 부산항 입출항 선박의 배출량 산정에 시범 적용하여, 기존 방법론에 의한 수치 결과와 비교·검증을 수행함

2) 연구의 특징

- 본 연구는 기존의 산정 패러다임에서 벗어나, 선박 배출량 산정체계의 패러다임을 스마트 커넥티드 기반의 상향식 방법론으로 새롭게 제시하여 배출량 산정 결과의 정확도를 획기적으로 개선하는 한편,
  - 추후 스마트 지능형 분석-예측 플랫폼의 기술적·정책적 기반 제공하고자 기획되었음

〈요약 그림-1〉 연구의 주요 내용



자료: 저자 작성

- **배출량 산정 대상 선박별 제원(선박 및 엔진 등) 및 빅데이터 기반의 활동데이터를 바탕으로 보고-수집-산정 주기(시간 격자) 및 위치(공간 격자)를 조밀화하는 상향식 방법론 적용**
  - 전국·지역별·개별 항만별 대상 선박의 배출량을 산정할 수 있도록, 선박 및 엔진 등의 제원정보 및 활동데이터 수집, 기간계 데이터의 가용성·유효성, 빅데이터화 가능성 등을 심층적으로 검토, 적용하였음
  - 최적의 산정모형 구성 및 적용을 위해, 선박의 활동데이터를 구득하기 위한 재료 데이터를 AIS로 국한하지 않고 PORT-MIS, VTS, e-Navigation 서비스 등, 국내 관련 기관계 데이터의 가용성 검토를 거쳐 최적의 데이터 조합을 도출·적용하였음

3. 연구 결과

1) 활동데이터 기반 배출산정 모형 적용을 위한 가용 데이터 인벤토리

- **국내 해운·항만 관련 기간계 데이터의 조사·검토 결과를 바탕으로, 활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형에 적용 가능 여부 및 한계 등을 정리**
  - 개별 DB가 제공하는 선박 운항 및 입출항 관련 데이터 중 선박의 배출량 산정을 위한 직·간접적 요구 데이터의 항목을 선별하여 정리하고,
  - 이들 데이터의 성격에 따라서 정적정보(Static data)와 동적정보(Dynamic data)로 구분하고, 앞서 검토한 유효성 검토 결과를 바탕으로 활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형에 적용 가능 여부, 관련 특성 및 한계 등을 정리하였음

▪ 항만운영정보 시스템(PORT-MIS)

〈요약 표-1〉 PORT-MIS 제공정보 구분

정보 항목	내용 및 형식	유 형	활용도	구 분
호출부호	선박의 호출번호	DB	○	정적
관제횟수	대상기간 관제횟수	DB	△	동적
입항신고항차	대상기간 신고횟수	DB	△	동적
일시	신고 일시	DB	△	동적
교신시설	통신 대상 교신시설 고유번호	DB	△	동적
부선 여부	부선 여부 확인	DB	○	정적
특이사항	특이사항	DB	-	-
구분	관제 구분	DB	○	동적
외/내항	외항선 / 내항선 / 항내선 구분	DB	○	정적
선명	선박명	DB	○	정적
국적	선박 국적	DB	○	정적
총톤수	선박 총톤수	DB	○	정적
선박 종류	선박 분류	DB	○	정적
선사/대리점	대상 선박 선사/대리점	DB	-	-
입출항 시간	입출항 시간	DB	○	동적
입항 장소	입항 장소(부두명 등)	DB	○	동적
전 출항지	전 출항지	DB	△	동적
목적지	목적지	DB	△	동적
진출입 시간	관제구역 진출입 시간	DB	○	동적
진출입 통과위치	관제구역 진출입 통과위치	DB	○	동적

주: ○는 직접 활용 가능한 우선 활동 자료, △는 최우선 활동 자료 적용 불가 시에 추정 자료 활용 가능
자료: 저자 작성

〈요약 표-2〉 유효성 검토 결과: PORT-MIS

활용 가능성	한 계
• '항만 내 선박의 배출량 산정' 시 유용 ※ 실시간 산정 모형에 적용 시, 누락 시간·위치 추정 필요하며, 정확한 추정 어려움	• 특정 신고 시점 외 시간·위치정보 제공 ×
	• 항만 내 특수 용도 선박 등 신고 대상에 포함×

활용 가능성	한 계
• 실시간 활동 자료 기반 산정 시, 보완 DB로 활용도 높음 ※ 선박의 Identification 및 등록·면허 등의 제원정보 제공	• 엔진 제원 및 관련 정보 제공 ×

자료: 저자 작성

▪ 선박 자동식별 시스템(AIS)

〈요약 표-3〉 AIS 제공정보 구분

정보 항목	유 형	활용도	구 분
선박명	DB	○	정적
IMO 번호	DB	○	정적
MMSI 번호	DB	○	정적
호출부호	DB	○	정적
통신 일자 및 시간	DB	○	동적
위치	DB	○	동적
선수 방향	DB	△	동적
선박 속력	DB	○	동적

주: ○는 직접 활용 가능한 우선 활동 자료, △는 최우선 활동 자료 적용 불가 시에 추정 자료 활용 가능
자료: 저자 작성

〈요약 표-4〉 유효성 검토 결과: AIS

활용 가능성	한 계
• 선박의 활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형 적용 시 유용 ※ 선박의 시간별 위치, 속력 등 활동 자료 제공 ※ 송수신 주기가 충분히 짧아 조밀한 시공간 격자 단위의 배출량 산정 용이	• 추후, 실시간 지능형 배출제어 등을 위한 '실시간' 산정 모형에 적용 시, 송수신 주기 간 누락 시간·위치 추정 필요
	• 미설치 선박의 활동 자료 수집·제공 ×
	• 선박 제원 및 관련 정보 제공 × ※ 선박의 Identification 및 매칭을 통해, PORT-MIS의 선박 제원, 입출항 관련 행정 정보 연계 필요

활용 가능성	한 계
	• 엔진 제원 및 관련 정보 제공 ×
	※ 선박의 Identification 및 매칭을 통해, 선박 검사기관(선급 등)의 엔진 제원정보 연계 필요

자료: 저자 작성

▪ **해상 교통관제 시스템(VTS)**

- 선박의 활동과 관련한 현행 관련 데이터를 통합적으로 수집·활용하고 있으며, 이를 활용할 수 있다면 개별 선박의 활동을 정확하게 파악할 수 있는 매우 정확한 데이터 도구가 될 수 있음
- 그러나 현재 VTS는 보안 등의 이유로 해상 교통관제 외의 용도로 폐쇄망 외로 연계·활용을 제한하고 있으며, 따라서 이를 출력하거나 데이터의 형태로 외부로 연계하는 기술적 방안을 고려하지 않고 있음

▪ **한국형 e-Navigation 서비스의 DSP**

〈요약 표-5〉 e-Navigation OPEN-API 형태 제공정보 구분

정보 항목	유형	활용도	구 분
LTE-M 최근 위치정보 조회	DB	○	동적
모바일 최근 위치정보 조회	DB	○	동적
선박 제원정보 조회	DB	○	정적
AIS 선박 항적 조회	함수	○	동적
항만 가이드라인 요청	비동기	-	
선박거동 예측서비스 요청	비동기	△	동적
외부망 해양안전정보 요청	비동기	-	
항로 요청	비동기	△	동적
항로 확정	비동기	△	동적
항로 종료	비동기	△	동적
밀집도 서비스 요청	비동기	-	

정보 항목	유형	활용도	구 분
긴급신고정보	DB	-	
파일럿카드 조회	DB	-	
취약성 분석 조회	DB	-	
항행경보 조회(충돌)	DB	-	
항행경보 조회(좌초)	DB	-	
V-Pass 항적 조회	함수	○	동적
센서정보 조회	DB	△	동적
화재선박 조회	DB	-	
복원성선박 조회	DB	-	

주: ○는 직접 활용 가능한 우선 활동 자료, △는 최우선 활동 자료 적용 불가 시에 추정 자료 활용 가능
자료: 해양수산부(검색일: 2021. 10. 12)의 내용 저자 편집

〈요약 표-6〉 유효성 검토 결과: e-Navigation 서비스

활용 가능성	한계
• 실시간 지능형 배출제어 등을 위한 '실시간' 산정 모형에 적용 시 최적의 DB ※ 선박의 시간별 위치, 속력 등 실시간 활동 자료 제공 ※ LTE-M 통신망 사용하여, 지연 최소화; 실시간 배출량 산정 가능	• 현재 시범사업 운영 중으로, 추후 사업의 지연, 변경 없이 대상 선박 및 지역 등의 누락 없는 DB 구축 필요
	• 엔진 제원 및 관련 정보 제공 × ※ 선박의 Identification 및 매칭을 통해, 선박 검사기관(선급 등)의 엔진 제원정보 연계 필요

자료: 저자 작성

2) 활동데이터 기반 배출산정 모형의 구성 및 적용

▪ 모형의 알고리즘

- 본 모형의 데이터 처리 수행 단계는, ① 선박의 식별, ② 정적정보 및 동적정보의 수집, ③ 데이터 선별 및 결정(선박의 유형/종류, 연료유 등 분류

포함), ④ 선박 내 배출원(주엔진, 보조엔진, 보일러)별 요구 데이터 정리, ⑤ 에너지량 추정 및 배출계수 선정, ⑥ 배출량 계산 및 합산, 총 6단계로 구분

- **요구 데이터**

〈요약 표-7〉 요구 데이터의 분류

정적정보				
IHS Fairplay (엔진 제조사, 지역 당국, 선주)				
내부 데이터베이스				
식별	선박 제원, 특성	주엔진 특성	보조엔진 특성	기타
해상이동업무식별번호(MMSI)	건조 연도	주엔진 연료 유황 함량	보조엔진 연료 유황 함량	해수밀도
IMO 번호	길이	주엔진 적용 저감기술	보조엔진 적용 저감기술	프로펠러 각속도
선박명	너비	주엔진 연료소비량 (SFOC)	보조엔진 연료소비량 (SFOC)	프로펠러 rpm
선박 유형	흘수	주엔진 모델	보조엔진 개수	–
–	총톤수	주엔진 스트로크 유형	설치된 보조엔진 출력	–
–	중량톤수	주엔진 rpm	연료 종류	–
–	설계 속도	주엔진 개수	–	–
–	캐빈 수	설치된 주엔진 출력	–	–
–	선체 유형	연료 종류	–	–
–	접수표면적	측정된 배출계수	–	–
–	수선간장	–	–	–
+				
동적정보				
AIS 시스템				
순간 속력	위치	선박 유형		

자료: 저자 작성

▪ **배출량 산정**

- AIS 데이터의 위치 보고(Position report) 지점 및 송수신 주기를 기본으로 시공간 단위격자를 분할하고, 이들 단위격자당 에너지량을 추정·합산하여 구간별 에너지량을 추정함

$$E_{Trip,i,j,m} = \sum_{p}[T_{p,s}\sum_{c}(P_c \times LF_{c,s} \times EF_{c,i,j,m,p})]$$

ETrip: 선박의 오염물질 배출량(tonnes)
T: 운항시간(hr)
P: 엔진 출력(kW)
LF: 엔진부하율(%)
EF: 배출계수(g/kWh)
c: 선박 내 배출원(주엔진, 보조엔진, 보일러)
i: 오염물질(NOx, NMVOC, PM 등 8대 대기오염물질)
m: 연료 종류(Bunker Fuel Oil, Marine Diesel Oil, Marine Gas Oil)
j: 엔진 종류(가스터빈, 저속, 중속, 고속 디젤엔진, 스팀터빈 등)
p: 운항형태(순항, 접안, 정박)
s: 격자별 구분

자료: 저자 작성

- 개별 선박의 단위격자 또는 구간별 엔진부하율은 '프로펠러 법칙(Propeller law)'을 활용하여 추정함

$$LF_{s,p,c} = (AS_{s,p,c}/MS)^3$$

LF: 엔진부하율, Load Factor(%)
AS: 선박의 실제속력, Actual Speed(knots)
MS: 선박 제원상 최대속력, Maximum Speed(knots)
c: 선박 내 배출원(주엔진, 보조엔진)
p: 운항형태(순항, 접안, 정박)
s: 격자별 분류

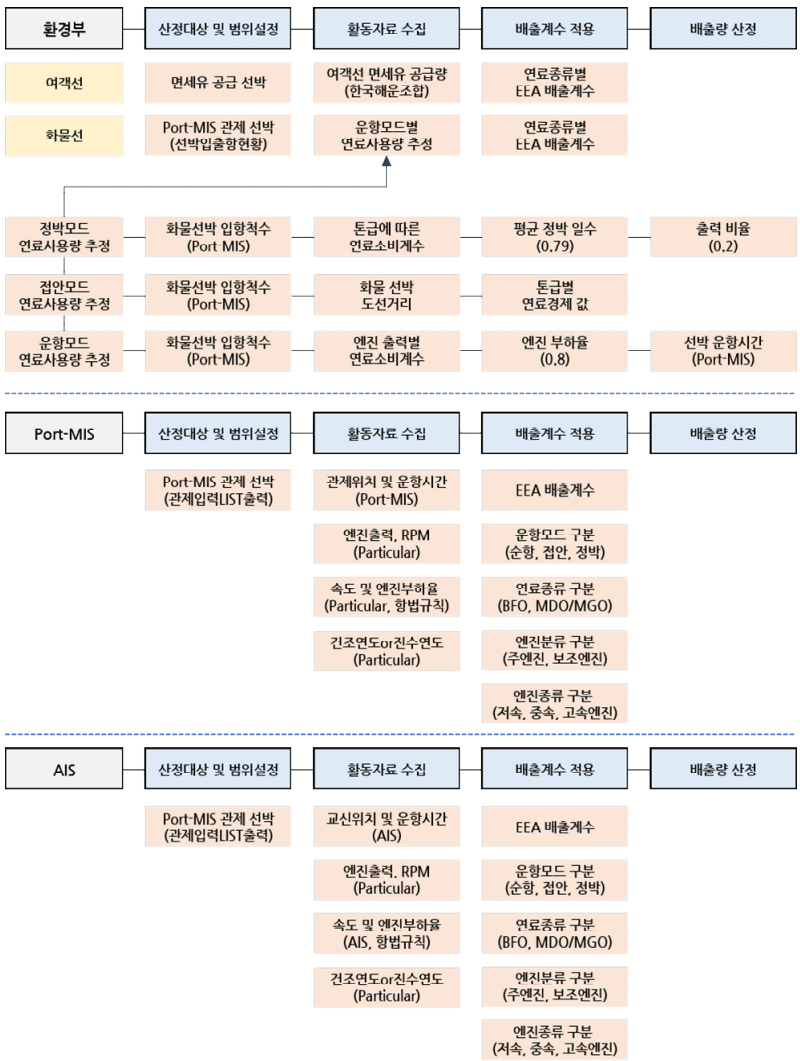
자료: EPA(2009), pp. 2-11 ~ 2-12

- 배출계수는 운항형태별(순항, 정박, 접안), 연료 종류별(BFO, MDO/MGO), 선박 내 배출원(주엔진, 보조엔진) 및 엔진의 유형별(가스터빈, 저속·중속·고속 디젤엔진, 스팀터빈 등), 오염물질별로 개별 선박이 부합하는 조건에 따라서 EEA의 Tier3 배출계수를 적용함

3) 3개 모형 간 비교·분석 및 정확도 개선 검증

▪ 산정 단계별 주요 인자의 비교·분석

〈요약 그림-2〉 배출량 산정모형 간 비교·분석



자료: 저자 작성

- 배출량 산정 대상 및 범위

〈요약 표-8〉 배출량 산정 대상 및 범위 비교

구 분	내 용
기존 환경부 방식 (편람Ⅳ)	• 배출량 산정 범위: 국가 전체/1년 통계 생산 후 지역/월별 할당 • 대상: 여객선, 화물선, 어선, 레저 – 여객선: 연안여객선(외항 제외) – 화물선: 국내 무역항 입출항 화물선 – 어선: 면세유 사용 선박 – 레저: 등록 레저 선박
PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 배출량 산정 범위: 항계 내 특정 시공간 범위/전체 제한적 적용 가능 • 대상: PORT-MIS 관제선박
AIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 배출량 산정 범위: AIS 송수신 범위 내 특정 시공간 범위/전체 적용 가능 • 대상: AIS 교신 선박

자료: 저자 작성

- 개별 선박 활동 특성의 반영

〈요약 표-9〉 활동 특성 반영 비교

구 분	내 용
기존 환경부 방식 (편람Ⅳ)	• 1년/전국 거시통계생산에 최적화된 방식으로, 자료의 수집 및 배출량 산정 상대적으로 용이 • 특정 시공간 범위의 정확한 구분, 배출량 할당 어려움 • 개별 선박의 실제 활동 반영 어려움
PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 선박의 입출항 내역 포함, 항계 내 이동정보(7개 교신항목) 반영된 배출량 산정 가능 • 일정 시공간 범위의 구분, 배출량 할당 제한적으로 가능 • 개별 선박의 실제 활동 반영 제한적으로 가능
AIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• AIS 교신·수집된 활동 자료 활용하여 선박의 실제 이동정보(위치 및 시간, 속력 등) 정확하게 반영 배출량 산정 가능 • 정책·연구 수요에 따른 다양한 수요, 특정 시공간 범위의 정확한 구분, 배출량 산정 가능 • 개별 선박의 실제 활동 고해상도 반영 가능

자료: 저자 작성

- 활동 자료의 해상도

〈요약 표-10〉 활동 자료의 해상도 비교

구 분	내 용
기존 환경부 방식 (편람Ⅳ)	• 현 방식은 선박군별 패턴, 활동 등을 일률적으로 추정-적용하여, 실제 활동 반영을 위한 방식으로 부적합 - 평균 정박 일수: 2001년 울산항 선박 560척 표본조사 결과(0.79) - 운항형태별 엔진부하율: 정박(20%), 순항(80%) 가정
PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 관제 지점 간 활동의 양상 반영이 어려우나, 제한적인 정보를 활용하여 장주기 구간에 대한 활동의 대략 반영에 유리 - 관제내역을 활용하여 개별 선박의 정박 및 제한적인 활동 지점별 시간, 위치(부두) 파악 가능 - 운항형태별 엔진부하율: 항내 최고속력을 실제속력으로 가정하고 선박 제원상의 최고속력으로 엔진부하율 추정 가능
AIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 개별 선박의 AIS 교신 지점 간 활동 정확하게 반영 가능 ※ 교신 주기 간격을 조밀하게 설정할수록, 활동 반영의 정확도 높아짐 - 교신내역을 활용하여 개별 선박의 모든 활동의 위치, 시간 파악 활용 가능 - 운항형태별 엔진부하율: 선박의 교신위치 간 실제속력 도출이 가능하므로 실제속력과 선박 제원상의 최고속력을 활용하여 운항형태별 엔진부하율 추정 가능

자료: 저자 작성

- 배출계수의 적용

〈요약 표-11〉 배출계수 비교

구 분	내용
기존 환경부 방식 (편람Ⅳ)	• 개념적으로 EEA-Tier1 수준의 배출계수 적용
PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 개념적으로 EEA-Tier3 수준의 배출계수 일부 적용
AIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 개념적으로 EEA-Tier3 수준의 배출계수 적용 • 추후 EEA-Tier3 수준보다 세밀한 조건 반영으로 상향하더라도 적용 가능

자료: 저자 작성

4) 배출량 산정 결과의 비교·분석

▪ 운항형태: 순항

〈요약 표-12〉 배출량 산정 모형별 배출량 산정 결과(순항)

단위: ton

구분	NOx	VOC	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SOx	CO	NH_3
PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형	155.562	4.776	7.714	7.714	7.714	48.325	17.880	0.003
AIS 활동데이터 기반 상향식 모형	519.048	16.782	27.307	27.307	27.307	170.323	63.019	0.020

자료: 저자 작성

- AIS 모형에서는 IMO의 기준에 따라서 선박의 대지속력이 5knots 이상일 경우 '순항' 형태로 분류되지만, 이는 항로 내 항행 최고속력보다 낮은 속도임

→ 실제 '순항' 이동이었음에도 PORT-MIS 모형에서는 '접안' 형태로 분류되었을 가능성 있음

▪ 운항형태: 접안

〈요약 표-13〉 배출량 산정 모형별 배출량 산정 결과(접안)

단위: ton

구분	NOx	VOC	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SOx	CO	NH_3
기존 환경부 방식 (편람Ⅳ)	111.203	3.786	8.694	8.694	7.853	28.046	10.377	0.010
PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형	178.495	18.563	29.979	29.979	29.973	68.979	25.003	0.012
AIS 활동데이터 기반 상향식 모형	75.906	7.883	12.756	12.756	12.751	30.166	10.781	0.006

자료: 저자 작성

- 항계 내 '순항' 형태의 실제 활동이 PORT-MIS 모형에서는 '접안' 형태로 분류되어 산정된 결과인 것으로 추정됨

▪ 운항형태: 정박

〈요약 표-14〉 배출량 산정 모형별 배출량 산정 결과(정박)

단위: ton

구분	NOx	VOC	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SOx	CO	NH_3
기존 환경부 방식(편람Ⅳ)	944.342	32.153	73.833	73.833	66.687	238.170	88.123	0.083
PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형	394.919	12.390	24.292	24.292	24.048	180.648	44.747	0.170
AIS 활동데이터 기반 상향식 모형	433.673	13.506	26.493	26.493	26.233	195.780	48.940	0.186

자료: 저자 작성

- AIS 데이터 기반 모형에 의한 산정 결과가 참값에 매우 가깝다고 가정했을 때, 기존 방식에 의한 '정박' 시 배출량은 56.0~124.9% 정도 과대 산정된 것으로 이해할 수 있음(NH_3의 경우, 180.6% 정도 과소 산정)

5) 활동데이터 기반 배출량 산정방법론 도입·활용 방안

▪ 국가 대기오염물질·온실가스 산정 패러다임의 전환

〈요약 표-15〉 산정 패러다임의 전환

현행 배출량 산정 패러다임의 한계		도입·활용을 통한 개선방안
구 분	내 용	
실제 운항 조건의 정확한 반영 어려움	• 거시적 국가·지역 개념의 1년 또는 분기별 배출량 산정을 위한 하향식 산정으로, 실제 운항 조건의 정확한 반영 어려움 • 부분적으로 상향식 방법론 도입·적용하고 있으나, 요구 데이터의 누락·제한으로 가정에 의한 추정을 연속 적용하여 오히려 오류 발생 가능성 증가	• 요구 데이터의 수집 주기·범위, 즉 시공간적 단위격자를 조밀하게 구분함으로써 보다 정확한 산정 결과 생산 → 선박의 활동 반영하기 위한 기존의 선박 운항 관련 DB 중 최적의 조합, 이를 위한 본격 상향식 산정모형 개발·적용

자료: 저자 작성

▪ **선박 등록 및 운항정보 활용체계 개선**

- 배출량 산정 대상 및 경계 범위, 기준 등 명확하게 제시

〈요약 표-16〉 배출량 산정 대상 및 경계 범위

현행 배출량 산정 패러다임의 한계		도입·활용을 통한 개선방안
구 분	내 용	
실제 배출 산정 기준 불명확	• 현행 배출원 분류 기준 불명확; 기준으로 제시되고 있는 PORT-MIS 용도 코드 등과 부합하지 못하여, 중복·누락 발생	• 기존 법·제도를 근거로 하는 선박의 '등록 및 면허' 체계를 선박(배출원) 분류의 기준으로 적용
	• 배출량 산정범위(전국) 및 지자체 간 관할 구역 구분 기준 불명확	• 국가 배출량 산정의 해상 경계 범위, 지자체별 관할 범위, 구분의 근거 등을 명확하게 지정·제시

자료: 저자 작성

- 선박의 등록·면허 신고정보 항목의 개선

〈요약 표-17〉 선박의 등록·면허 신고정보 항목

현행 배출량 산정 패러다임의 한계		도입·활용을 통한 개선방안
구 분	내 용	
필수 정적 정보 보고·수집체계 미비	• 선박의 등록·면허정보 DB에서 엔진의 개수 및 제원 등의 필수 정적정보 확인·수집 불가	• 선박의 등록·면허정보 신청, 입출항 신고 시, 해당 선박의 주엔진 및 보조엔진, 발전기 등의 제원, 특성 등을 필수 제출 정보 항목으로 추가

자료: 저자 작성

- 운항정보 보고·수집체계 및 활용도 개선

〈요약 표-18〉 운항정보 보고·수집

현행 배출량 산정 패러다임의 한계		도입·활용을 통한 개선방안
구 분	내 용	
선박 활동 데이터 수집에 제한	• AIS 및 위치식별장치 미설치, 부정 운용 등으로, 전체 배출 산정 대상 중 누락되는 부분 발생	• AIS 및 위치식별장치 설치 의무 대상 확대
	• 「선박안전법」 제9조, 제15조에 따라서 선박 활동데이터의 활용 용도 제한	• 선박의 배출량 산정, 분석·예측의 용도로 활용 가능하도록 관련 법 개정

자료: 저자 작성

▪ 선박 운항정보의 빅데이터화

〈요약 표-19〉 선박 운항정보의 빅데이터화

현행 배출량 산정 패러다임의 한계		도입·활용을 통한 개선방안
구분	내 용	
배출량 데이터의 활용도 제한	• 현재, 선박의 배출량 통계는 통계 생산 주기 1년의 전국 배출량 산정 구조로, 시공간적 해상도 매우 낮음 • 3년 지연 산정·발표로, 통계 활용의 시의성 매우 떨어짐 • 최근 특정 시점 및 지점 또는 구간 등에 대한 데이터 및 통계, 이를 활용한 분석·예측 데이터 등의 수요 급증	• 선박의 동적정보의 수집 주기를 가능한 조밀하게 구분하여, 해당 데이터의 빅데이터화, 이를 활용하기 위한 생산-관리체계 구축 • 중장기적으로, 센싱-디바이스 간 실시간 통신기술 개발·적용하여, '스마트 커넥티드(초연결)' 기반 시스템 구축

자료: 저자 작성

4. 정책제안

1) 선박 대기오염물질·온실가스 통합 모니터링-분석·예측 플랫폼 구축·운용

▪ 대기오염물질·온실가스 산정 패러다임의 전환

〈요약 표-20〉 단·중기 주요 추진과제(~2024년)

추진 사항	추진 주체
• 선박 활동데이터 기반 실시간 배출량 산정모형 개발 • 항만 활동데이터 기반 실시간 배출량 산정모형 개발	해양수산부 해양환경정책과, 해사산업기술과 등 ※ 국립환경과학원, 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터와 긴밀 협의 필요
• 선박 배출물질의 실시간 이동·확산, 영향 분석모형 개발 • 항만 배출물질의 실시간 이동·확산, 영향 분석모형 개발	
• 배출량 산정 위한 '국가 배출량 산정 경계 범위' 설정	해양수산부, 환경부 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터
• 지역별 공간 할당 위한 해상 관할경계 검토 및 협의 ※ 배출량의 지역경계 및 할당 기준, 배출로 인한 영향 산정·평가의 관리관할 기준 마련 필요	국무조정실, 행정안전부, 유관 지자체

자료: 저자 작성

▪ **선박의 등록·면허 시 제출정보 항목 확대**

- 「선박법」, 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」에 따른 선박의 등록·신고 시 보고 항목에 해당 선박의 기관 종류, 최대출력(마력), 기관의 수 등을 포함하는 엔진(및 보조엔진, 보일러 등)의 기본·제원 정보 등을 추가하는 방안이 필요함
- 선박의 배출량 산정을 특수 용도로 지정하고 일정한 비식별화 조치 등을 통해 선박 검사정보의 공유·활용이 가능하도록 제도 개선 필요함

▪ **'스마트 커넥티드' 개념 구현을 위한 기술 및 정책 개발**

〈요약 표-21〉 단·중기 주요 추진과제(~2024년)

추진 사항	추진 주체
• 선박 활동데이터 기반 실시간 배출량 산정모형 개발 • 항만 활동데이터 기반 실시간 배출량 산정모형 개발	해양수산부 해양환경정책과, 해사산업기술과 등 ※ 국립환경과학원, 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터와 긴밀 협의 필요
• 선박 배출물질의 실시간 이동·확산, 영향 분석모형 개발 • 항만 배출물질의 실시간 이동·확산, 영향 분석모형 개발	
• 해운·항만 행정정보 빅데이터화 사업 추진	해양수산부 해사산업기술과, 항만운영과, 해양수산과학기술정책과 등
• '스마트 해상교통 관제' 위한 무선 통신 네트워크 및 센싱디바이스 최적화 기술 개발, 도입	해양수산부 해사산업기술과, 해양수산과학기술정책과, 해양경찰청 등
• '스마트 항만 운영' 위한 유무선 통신 네트워크 및 센싱 디바이스 최적화 기술 개발, 도입	해양수산부 해양환경정책과, 해양수산과학기술정책과, 항만운영과 등
• 배출량 산정 위한 '국가 배출량 산정 경계 범위' 설정	해양수산부, 환경부 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터
• 지역별 공간 할당 위한 해상 관할경계 검토 및 협의 ※ 배출량의 지역경계 및 할당 기준, 배출로 인한 영향 산정·평가의 관리관할 기준 마련 필요	국무조정실, 행정안전부, 유관 지자체

자료: 저자 작성

▪ 대기오염물질·온실가스 통합 모니터링 및 분석·예측체계 구축

〈요약 표-22〉 단·중기 주요 추진과제(~2024년)

추진 사항	추진 주체
• 해운·항만 대기오염물질·온실가스 통합 모니터링 및 분석·예측체계 개발	해양수산부 해양환경정책과, 해사산업기술과, 해양수산과학기술정책과 등 ※ 국립환경과학원, 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터와 긴밀 협의 필요
• 해양 대기환경 관리부서 신설 ※ 환경 연구·관리 수요의 급증, 탄소중립 및 대기오염 등 전문화된 서비스 제공을 위해, 수환경 및 대기환경 분리 필요	해양수산부
• 해운·항만 대기오염물질·온실가스 모니터링 및 관리지침(안) 개발	해양수산부 해양환경정책과, 해사산업기술과 등
• 대기오염물질·온실가스 통합 모니터링 및 관리 시스템 개발 ※ 현재 운용 중인 대기배출원관리시스템(SEMS), 국가온실가스종합관리시스템(NGMS)의 통합 및 정보 연계 운용 검토 • 대기오염물질·온실가스 통합 모니터링 및 DB 구축, 운용	환경부 국립환경과학원, 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터

자료: 저자 작성

2) 선박의 운항·배출의 지능형 관리기술 표준화 추진

▪ **최근 국제사회는 온실가스 및 대기오염물질의 배출을 제로화하는 한편, 스마트 커넥티드 및 지능형 제어 개념을 적용하는 최적화 기술의 개발·적용을 위한 초박빙의 경쟁에 돌입하고 있는 상황**

- 배출원(해운·항만 물류·교통의 주요 구성요소)의 활동 및 배출·영향의 실시간 모니터링 및 관리 최적화 기술을 선제적으로 개발·도입함으로써, 미래 친환경 스마트 해운·항만 구축 및 운영의 핵심기술을 확보할 수 있음
- 선도적인 기술 개발 및 적용으로, 최적화 모니터링 및 분석·예측 기술, 이를 구현하기 위한 시스템, 나아가 독립 시스템의 연계를 통한 연합플랫폼의 기준 및 표준안을 개발하여, 국내 주요 항만 등에 시범 적용 및 확대를 거쳐 향후 아시아 역내 항만기구 혹은 IMO(국제해사기구), ISO(국제표준화기구) 차원의 관련 기술 표준안으로 제정되도록 추진해야 함

〈요약 표-23〉 단·중기 주요 추진과제(~2024년)

추진 사항	추진 주체
• 지능형 선박 배출 모니터링 및 분석·예측 플랫폼 개발 • 지능형 항만 배출 모니터링 및 분석·예측 플랫폼 개발 → 해운·항만 탄소중립·대기오염 모니터링 및 분석·예측 위한 통합 DB-지능형 플랫폼 구축, 운용 → 통합 모니터링 플랫폼의 정보 연계·활용으로, '스마트 해상교통 관제' 또는 '스마트 항만 운영'의 최적화 플랫폼 구축, 운용	해양수산부 해양환경정책과, 해사산업기술과, 항만운영과, 해양수산과학기술정책과 등 ※ 국립환경과학원, 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터와 긴밀 협의 필요
• 선박·항만 활동데이터 기반 실시간 배출량 산정, 이동·확산, 영향 분석 기술 표준화 사업 • 범용 기준 및 표준화, 시범 적용 후, 국제 표준화 추진	
• 동북아/+아세안(ASEAN) 항만·해운 탄소중립 및 대기오염 저감 위한 지역 협력기구 출범 추진 ※ 국제현안 공동대응, 지식·경험 공유 등 →「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법」 반영, 개정 추진	해양수산부, 항만공사 등

자료: 안용성(2020) p.268 외 저자 작성

5. 기대 효과

▪ **고밀도 시공간 격자의 '스마트 커넥티드' 기반 상향식 선박 배출산정 모형의 도입으로,**

- 선박의 국가 및 지역 배출량은 물론 항만 내 선박의 배출량 역시 동일한 방식으로 산정할 수 있으며,
- 시공간 격자를 조밀하게 적용할수록 선박의 실제 운항을 정확하게 반영하여 보다 참값에 가까운 산정 결과를 기대할 수 있음
- 유무선 네트워크 및 센싱기술 등을 활용하여 재료 데이터를 실시간 수집-적용하는 경우, 실시간 배출량 산정은 물론 빅데이터 개념의 재료 데이터 및 배출량 산정 결과 데이터를 활용하는 실시간 분석·예측 등 활용도를 크게 높일 수 있음

▪ **'스마트 항만 대기환경 관리·운영' 플랫폼의 기반으로, 미래 '친환경 스마트 항만(Eco-Smart Port)'의 구축·운영을 위한 기술역량 획기적으로 제고 가능**

- 기간계 데이터의 연계·활용을 위한 실시간 빅데이터 보고-수집체계를 구축하고 분석 및 예측, 나아가 제어까지 가능한 클라우드 기반의 지능형 디지털 트윈 플랫폼 기술 등을 순차적으로 적용함으로써, 개별 선박 및 항만에 최적의 친환경 운영 솔루션을 제공할 수 있음

〈요약 표-24〉 기대 효과

연구 목적	기대 효과
• 해운·항만 관련 국내 기간계 데이터의 가용성·유효성 검토를 통하여, 선박의 활동데이터(Activity-based method) 기반의 상향식 배출산정 패러다임에 연계·활용 가능한 후보 재료 데이터에 대한 '데이터 인벤토리' 작성 • '스마트 커넥티드' 기반으로 고밀도 시공간 격자의 선박 대기오염물질 배출량을 산정하기 위한 상향식 배출산정 모형을 제시하고, 이를 도입·적용하기 위한 고도화 방안 제시	• 고밀도 시공간 격자의 선박 배출 산정 패러다임의 전환으로, 배출량 산정 결과의 정확도를 획기적으로 개선 • '스마트 항만 대기환경 관리·운영' 플랫폼의 기반 제공 → 친환경 개념의 스마트 항만(Eco-Smart Port) 구축·운영을 위한 대내외 기술역량 제고

자료: 저자 작성

EXECUTIVE SUMMARY

1. Purpose

- This study aims to construct a 'data inventory' of candidate source data based on the review of validity and availability of domestic legacy data pertaining to shipping and ports. The data inventory is not only capable of estimating national and regional emissions from ships, but also being linked and connected to estimate the emission from ships within ports.
- A bottom-up model for estimating the emission is constructed and applied based on activity-based methods.

- By reflecting a ship's activities into denser and more precise and accurate temporal and spatial grids, this model can serve as an important technical foundation, ultimately allowing real-time estimation and application.
- If source data is collected and applied in real-time based on wired and wireless networks and sensing technology, it will enable real-time estimation of the emission from ships, as well as real-time analysis and forecasting based on source data in the concept of big data as well as estimated emission results.

- Under a ‘Smart Connected’ framework, this study suggests measures for adopting and utilizing activity-based data with an aim to estimate ship emissions from high density spatial-temporal grids.
  - Shifting towards a new emission estimating paradigm of high-density, high resolution spatial-temporal grids will significantly improve the accuracy of the result of emission estimation.

2. Methodology and Features

1) Methodology

- This study conducted Focus Group Interview (FGI) with domestic and foreign research groups that have carried out preceding studies as a method to collect, analyze existing literature and research data and then confirm and complement the knowledge attained.
  - After investigating domestic and foreign methodologies for estimating air pollutants from ships, activity-based bottom-up estimation models and major application cases, a comparative analysis was utilized.
  - While conducting a telephone interview with relevant departments in the National Air Emission Inventory and Research Center (NAIR) and Greenhouse Gas Inventory and Research Center, this study also held an online seminar with

the Finnish Meteorological Institute (FMI), and the Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) respectively.

- When investigating DB of legacy data targeted for reviewing the availability, this study conducted FGI with those in charge of managing and operating corresponding data, after collecting and analyzing existing literature and research data.

▪ After reviewing the validity and availability of legacy data ((AIS, PORT-MIS, VTS, e-Navigation etc.) pertaining to Korean shipping and ports, this study extracted an optimal combination of data set by reflecting the result, and then confirm a bottom-up model.

▪ Verification of the accuracy by organizing and applying an optimal activity data-based bottom up estimation model

① By comparing and analyzing the difference from existing methods (applied by MOE and PORT-MIS) on the possibility of occurring errors by estimation phase, the degree of accuracy improvement was verified.

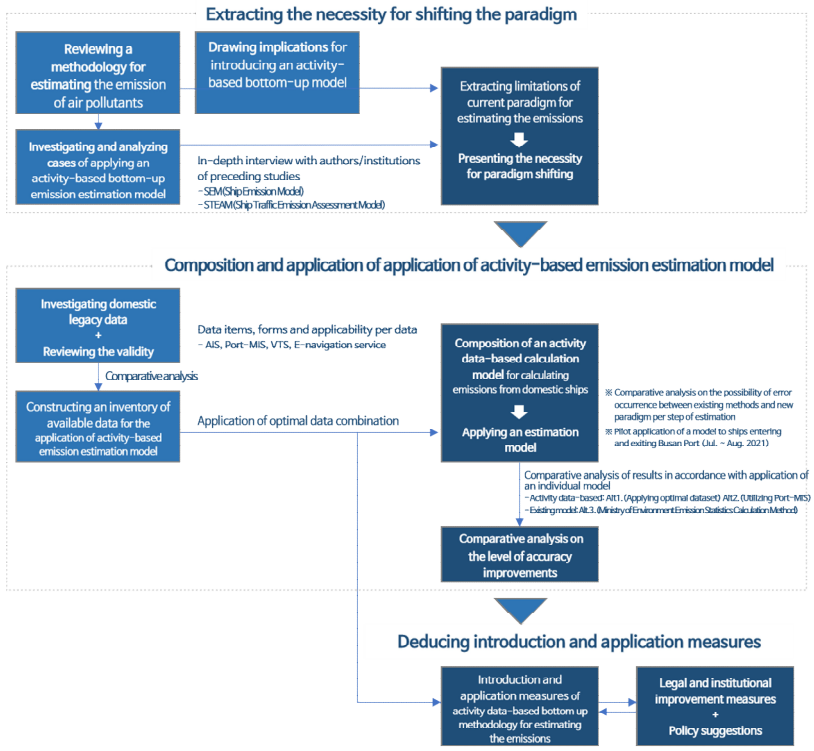
② A comparison analysis was performed by applying the activity-based emission estimation model to ships entering and departing Busan port as a pilot testing, and compare the result with that of existing methodologies.

2) Features

- Departing from existing paradigms of estimating the emission from ships, this study significantly improves the accuracy of estimation results by presenting a bottom-up estimation methodology based on 'Smart Connected' framework.

- This study is designed to lay a technical and policy foundations for building a smart intelligence-based analysis and forecasting platform.

〈Summary Picture-1〉 Major content of this study



Source: Prepared by the author

▪ Designating descriptions by ship (ship and engine etc.) subject for estimation as well as big-data based activity data as base, a bottom-up methodology was applied which allows the period of report-collection-estimation (temporal grid) as well as location (spatial grid) denser.

- An In-depth review was conducted for the application of data in order to estimate the emission for target ships nationwide per region, as well as individual port. In particular, this study collected description information on ships, engines and activity-based data, while reviewing the availability, effectiveness and the possibility of turning them into big data etc.
- For organizing and applying an optimal combination of data, this study did not limit the data into AIS, but rather reviewed the availability of relevant legacy data such as PORT-MIS, VTS, and e-Navigation service, hence, to extract and apply an optimal combination of data set.

3. Results

1) The inventory of available data for the application of an activity-based emission estimation model

▪ Based on the results of review and survey on legacy data pertaining to Korean shipping and ports, this study summarized the applicability as well as limitations of an activity-based bottom-up model for estimating the emission.

- From the data relevant to shipping operation and entering and exiting of ports provided by individual DBs, this study selected and summarized direct and indirect demand data sets for estimating the emission from ships.
- The data was divided into static data and dynamic data depending on characteristics. Based on the result of validity reviewed earlier, the applicability on whether the data can be applied to an activity-based bottom-up model, relevant characteristics and limitations were summarized.

▪ Port Management Information System (PORT-MIS)

〈Summary table-1〉 Classification of PORT-MIS Information

Information item	Content and form	Type	Utilization	Classification
Call sign	Call number of the ship	DB	○	Static
Number of control	Number of control during a target period	DB	△	Dynamic
Voyage No. for arrival report	Number of report during a target period	DB	△	Dynamic
Time and Date	Time, date of report	DB	△	Dynamic
Traffic system	ID number of traffic system for communications	DB	△	Dynamic
Barge flag	Check the presence of barge	DB	○	Static
Remark	Remark	DB	-	-
Classification	Control classification	DB	○	Dynamic
Outer/Inner Port	Classification of Outer/Inner/Intra-port	DB	○	Static
Name	Name of a ship	DB	○	Static
Nationality	Nationality of a ship	DB	○	Static
Gross tonnage	Gross tonnage of a ship	DB	○	Static
Ship type	Type of a ship	DB	○	Static
Owner/Agent	Owner/Agent of a target ship	DB	-	-

Information item	Content and form	Type	Utilization	Classification
Time of Arrival/Departure	Time of Arrival/Departure	DB	○	Dynamic
Location of Arrival	Location of arrival (name of port etc.)	DB	○	Dynamic
Port of prior departure	Port of prior departure	DB	△	Dynamic
Destination	Destination	DB	△	Dynamic
Time of Entry/Exit	Time of entry/exit of control area	DB	○	Dynamic
Location of Entry/Exit Passage	Location of entry/exit passing control area	DB	○	Dynamic

Footnote: ○: Preferential activity data able to directly utilize, △: able to utilize for estimation data when preferential activity data is unavailable
Source: Prepared by the author

〈Summary table-2〉 Result of validity review: PORT-MIS

Applicability	Limitations
• Useful when 'estimating the emission from ships within ports' ※ Need to estimate missing time and location in case of applying into a real-time estimation model and unable to make correct estimation	• Unable to provide (×) other than specified time and place of report
	• Special purpose ships within ports are not (×) included to subject for report
• Useful as a complementary DB when estimation is made based on activity-based data ※ Providing description information such as Identification of a ship and license, registration information	• Not (×) providing descriptions of engine and relevant information

Source: Prepared by the author

▪ Automatic Identification System (AIS)

〈Summary table-3〉 Classification of Information provided by AIS

Information item	Type	Utilization	Classification
Ship name	DB	○	Static
IMO Number	DB	○	Static
MMSI Number	DB	○	Static
Call sign	DB	○	Static
Date and Time of Traffic	DB	○	Dynamic
Location	DB	○	Dynamic
Bow Direction	DB	△	Dynamic
Ship Speed	DB	○	Dynamic

Footnote: ○: Preferential activity data able to directly utilize, △: able to utilize for estimation data when preferential activity data is unavailable
Source: Prepared by the author

〈Summary table-4〉 Result of validity review: AIS

Applicability	Limitations
• Useful when applying to an activity-based bottom up emission estimation model for ships ※ Providing activity-based data such as location and speed per time of a ship ※ The interval between transmitting and receiving periods is short enough to estimate the emission at dense spatial-temporal grids.	• When applying to a real-time based estimation model for real-time intelligent emission control, missing time and location between transmitting and receiving periods should be detected.
	• Not (×) providing and collecting activity-based data of unequipped ships
	• Not (×) offering ship descriptions and relevant information ※ Need to connect port descriptions by PORT-MIS and administrative information related to entering and exiting ports through identification and matching of ships

Applicability	Limitations
	• Not (×) providing engine descriptions and relevant information
	※ Need to connect ship inspection institutes (Korean Register etc.) through identification and matching of ships

Source: Prepared by the author

▪ Vessel Traffic System (VTS)

- The VTS connects and utilizes current data pertaining to ships' activities in a comprehensive manner. If available, these data can be an extremely accurate tool for identifying and understanding activities of an individual ship.
- Due to security reasons, however, the VTS restricts the connection and utilization of data outside the closed network for purposes other than marine traffic control. Therefore, the system does not consider technical measures to produce output or connect the outside in the form of data.

▪ DSP of Korea e-Navigation Service

〈Summary table-5〉 Classification of information provided in the form of e-Navigation OPEN-API

Information item	Type	Utilization	Classification
Latest LTE-M location inquiry	DB	○	Dynamic
Latest Mobile location inquiry	DB	○	Dynamic
Inquiry of ship description information	DB	○	Static
AIS ship track inquiry	Function	○	Dynamic
Port guideline request	Asynchronous	-	
Ship movement forecasting service request	Asynchronous	△	Dynamic

Information item	Type	Utilization	Classification
Marine safety information request of external networks	Asynchronous	–	
Sea route request	Asynchronous	△	Dynamic
Sea route confirmation	Asynchronous	△	Dynamic
Sea route end	Asynchronous	△	Dynamic
Density service request	Asynchronous	–	
Emergency report information	DB	–	
Pilot card inquiry	DB	–	
Vulnerability analysis inquiry	DB	–	
Navigation warning inquiry (collision)	DB	–	
Navigation warning inquiry (stranding)	DB	–	
V-Pass track inquiry	Function	○	Dynamic
Sensor information inquiry	DB	△	Dynamic
Ship fire inquiry	DB	–	
Ship stability inquiry	DB	–	

Source: MOF (Date of search: 12th of Oct, 2021)

〈Summary table-6〉 Result of validity review: e-Navigation service

Applicability	Limitations
• An optimal DB when applying to a 'real-time' estimation model for real-time intelligent emission control ※ Providing real-time activity-based data such as location per time of a ship and speed ※ Minimizing the delay by utilizing LTE-M network: able to estimate the emission in real-time	• Currently operating a pilot project, and need to construct a DB without missing target ships and regions
	• Not (×) providing engine descriptions and relevant information ※ Need to connect ship inspection institutes (Korean Register etc.) through identification and matching of ships

Source: Prepared by the author

2) Organization and application of an activity-based emission estimation model

▪ Algorithm of the model

- This model follows the 6 steps for data processing that include; ① identifying a ship, ② collecting static and dynamic information, ③ selecting and determining the data (including type/classification of a ship, fuel oil etc.), ④ summarizing required data per source of emission (main engine, auxiliary engine, boiler etc.) within a ship, ⑤ estimating energy amount and selecting emission factors, and ⑥ calculating and aggregating the emission amount.

▪ Required data

〈 Summary table-7〉 Classification of required data

Static information				
IHS Fairplay (Engine manufacturer, regional authority, ship owner)				
Internal DB				
Identification	Ship description, characteristics	Features of main engine	Features of auxiliary engine	Others
Maritime Mobile Service Identity (MMSI)	Year of construction	Sulfur content of main engine fuel oil	Sulfur content of auxiliary engine fuel oil	Seawater density
IMO number	Length	Reduction technology applied to main engine	Reduction technology applied to auxiliary engine	Angular velocity of propellers
Ship name	Width	SFOC of Main engine	SFOC of auxiliary engine	Propeller rpm
Ship type	Draft	Main engine model	No. of auxiliary engine	-

Static information				
IHS Fairplay (Engine manufacturer, regional authority, ship owner)				
Internal DB				
Identification	Ship description, characteristics	Features of main engine	Features of auxiliary engine	Others
–	Gross tonnage	Stroke type of main engine	Output of installed auxiliary engine	–
–	Weight tonnage	Main engine rpm	Fuel type	–
–	Design speed	No. of main engine	–	–
–	No. of cabins	Output of installed main engine	–	–
–	Hull type	Fuel type	–	–
–	Wetted surface area	Calculated emission factors	–	–
–	Length between perpendicular	–	–	–
+				
Dynamic information				
AIS System				
Instantaneous speed	Location	Ship type		

Source: Prepared by the author

▪ Estimation of the emission

- Based on the point of location reported by AIS data and the interval between transmitting and receiving periods, temporal and spatial grids are divided. And then, energy amount per each unit of grids is estimated and aggregated to estimate the energy amount per section.

$$E_{Trip,i,j,m} = \sum_{p}[T_{p,s}\sum_{c}(P_c \times LF_{c,s} \times EF_{c,i,j,m,p})]$$

ETrip: Amount of pollutants emitted from a ship (tons)
T: Shipping time (hr)
P: Engine output (kW)
LF: Engine load factor (%)
EF: Emission factor (g/kWh)
c: Source of emission within a ship (main engine, auxiliary engine, boiler) i: Atmosphere pollution matter (8 air pollutants including NOx, NMVOC, PM)
m: Type of fuel (Burker Fuel Oil, Marine Diesel Oil, Marine Gas Oil)
j: Type of engine (Gas turbine, low-, mid-, high speed diesel engine, steam turbine)
p: Type of operation (cruising, berth, anchoring)
s: Classification by grid

Source: Prepared by the author

- The unit grid of individual ships or engine load factor per each section is estimated in accordance with the 'Propeller law'.

$$LF_{s,p,c} = (AS_{s,p,c}/MS)^3$$

LF: Load Factor(%)
AS: Actual Speed(knots)
MS: Maximum Speed(knots)
c: Source of emission within a ship (main engine, auxiliary engine)
p: Type of operation (cruising, berth, anchoring)
s: Classification by grid

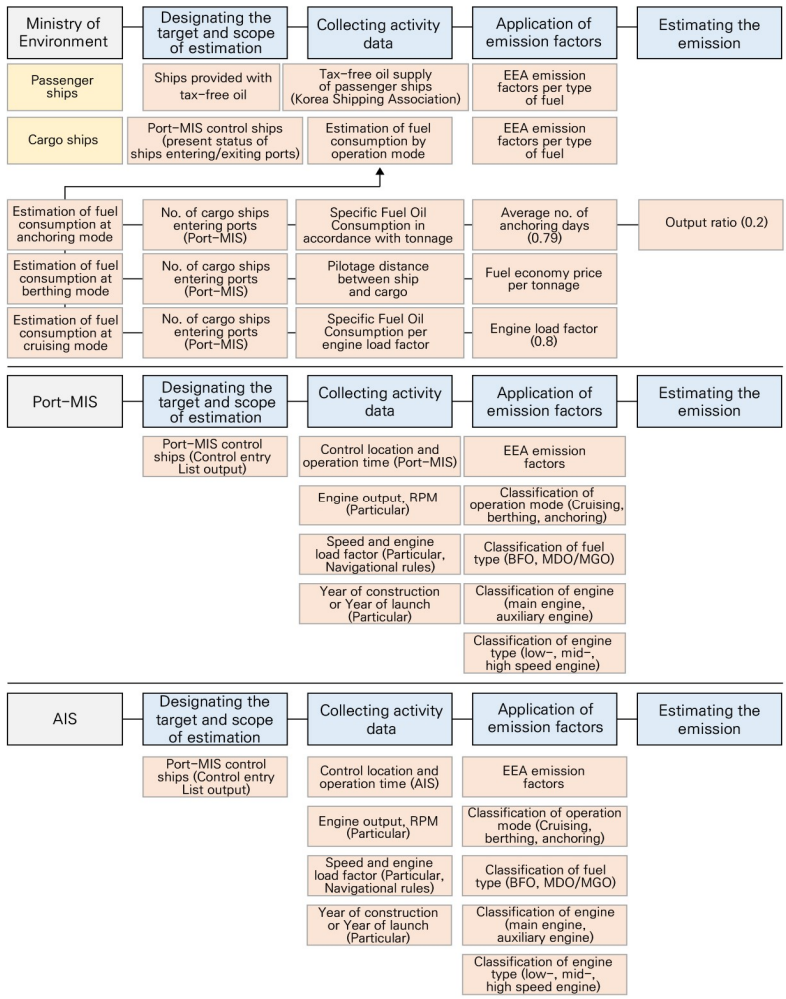
Source: US EPA(2009), pp.2-11~2-12.

- With regard to emission factors, Tier 3 emission factors from EEA was applied in accordance with conditions of an individual ship depending on the type of operation (cruising, berthing, anchoring), type of fuel (BFO, MDO/ MGO), main source of emission within a ship (main engine, auxiliary engine), type of engine (gas turbine, low-, mid-, high speed diesel engine, steam turbine etc.) and pollutants.

3) Comparative analysis between 3 models and verification for accuracy improvements

▪ Comparative analysis of main factors per estimation step

〈Summary picture-2〉 Comparative analysis between emission estimation models



Source: Prepared by the author

- Target and scope of estimating the emission

〈Summary table-8〉 Comparison of target and scope of estimation

Classification	Content
Existing MOE methods Manual IV	• Scope of estimating the emission: After producing the national/1 year statistics, and allocating per region/month • Target: passenger ships, cargo ships, fishing vessels, leisure vessels – Passenger ships: Coastal passenger (excluding ocean-going passenger ships) – Cargo ships: cargo vessels entering/exiting domestic trade ports – Fishing boats: vessels using tax-free oil – Leisure vessels: registered leisure vessels
PORT-MIS activity-based bottom-up model	• Scope of estimating the emission: Limited application of specific temporal and spatial scope/entirety within port limit is available • Target: Port-MIS control ships
AIS activity-based bottom-up model	• Scope of estimating the emission: Application of specific temporal and spatial scope/entirety within AIS transmitting and receiving areas is available • Target: Ships in AIS vessel traffic

Source: Prepared by the author

- Reflecting characteristics of individual ships' activities

〈Summary table-9〉 Comparison of reflecting the characteristics of activities

Classification	Content
Existing MOE methods Manual IV	• An optimizing model for producing 1 year/national macro statistics, hence, relatively easy to collect the data and estimate the emission • Difficult to accurately divide specific temporal/spatial scope and difficult to allocate the emission • Difficult to reflect actual activities of individual vessels
PORT-MIS activity-based bottom-up model	• Able to calculate the emissions including record of ships entering and exiting ports and reflecting movement information (7 traffic items) within port limits • Available for the division of specific temporal and spatial scope as well as emission allocation, although limited

Classification	Content
	• Available for limited application of reflecting actual activities of individual ships
AIS activity-based bottom-up model	• Able to estimate the emissions by accurately reflecting real movement information (location, time and speed etc.) utilizing activity data transmitted and collected through AIS • Able to estimate the emissions according to a variety of demand following policy and research demand as well as accurately divide specific temporal and spatial scope • Capable of reflecting actual activities of individual ships in high resolution

Source: Prepared by the author

▪ Resolution of activity data

〈Summary table-10〉 Comparison of resolution of activity data

Classification	Content
Existing MOE methods Manual IV	• The Current method uniformly estimates and applies patterns and activities per group of ships, inappropriate for reflecting actual activities. - Average No. of anchoring days: the result of sampling survey on 560 ships at Ulsan port in 2001 (0.79) - Engine load factor per type of operation: Assuming anchoring (20%), cruising (80%)
PORT-MIS activity-based bottom-up model	• Difficult to reflect the pattern of activities between control points, however, favorable for roughly representing long periodic sections utilizing limited information - Able to identify anchoring of individual ships as well as time and location (ports) per point of limited activities utilizing control records - Engine load factor per type of operation: Able to estimate engine load factor based on the maximum speed of ship's description, while assuming maximum speed within a port as real speed
AIS activity-based bottom-up model	• Able to accurately reflect activities between AIS traffic points of individual ships ※ The denser the interval between traffic periods is set, the more accurate the representation of activities is. - Able to identify and utilize the location and time of all activities of individual ships utilizing control records

Classification	Content
	- Engine load factor per type of operation: Extracting the real speed between communication locations is available, hence, able to estimate the engine load factor by type of operation utilizing real speed and maximum speed on a ship's description

Source: Prepared by the author

- Application of emission factors

〈Summary table-11〉 Comparison of emission factors

Classification	Content
Existing MOE methods (Manual Ⅳ)	Applying emission factors at the level of EEA-Tier 1 conceptually
PORT-MIS activity-based bottom-up model	Partially applying emission factors at the level of EEA-Tier 3 conceptually
AIS activity-based bottom-up model	Applying emission factors at the level of EEA-Tier 3 conceptually Still applicable when reflecting more precise conditions than EEA-Tier3 level later

Source: Prepared by the author

4) Comparative analysis of emission estimation results

▪ Form of operation: Cruising

〈Summary table-12〉 Result of estimating the emission per model (Cruising)

(Unit: ton)

Classification	NOx	VOC	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SOx	CO	NH_3
PORT-MIS activity-based bottom-up model	155.562	4.776	7.714	7.714	7.714	48.325	17.880	0.003
AIS activity-based bottom-up model	519.048	16.782	27.307	27.307	27.307	170.323	63.019	0.020

Source: Prepared by the author

- In accordance with IMO standards, if the ground speed of a ship is over 5knots in an AIS model, it is classified as 'cruising'. However, this is lower than the maximum speed in sea routes.

→ If the ship movement were 'cruising' in reality, it can be classified as 'berthing' in a PORT-MIS model.

▪ Form of operation: Berthing

〈Summary table-13〉 Result of estimating the emission per model (Berthing)

(Unit: ton)

Classification	NOx	VOC	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SOx	CO	NH_3
Existing MOE methods (Manual Ⅳ)	111.203	3.786	8.694	8.694	7.853	28.046	10.377	0.010
PORT-MIS activity-based bottom-up model	178.495	18.563	29.979	29.979	29.973	68.979	25.003	0.012
AIS activity-based bottom-up model	75.906	7.883	12.756	12.756	12.751	30.166	10.781	0.006

Source: Prepared by the author

- It is estimated that actual activities in the form of 'cruising' within port limits were classified as 'berthing' in a PORT-MIS model and produced the result.

▪ Form of operation: Anchoring

〈Summary table-14〉 Result of estimating the emission per model (Anchoring)

(Unit: ton)

Classification	NOx	VOC	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SOx	CO	NH_3
Existing MOE methods (Manual Ⅳ)	944.342	32.153	73.833	73.833	66.687	238.170	88.123	0.083

Classification	NOx	VOC	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SOx	CO	NH_3
PORT-MIS activity-based bottom-up model	394.919	12.390	24.292	24.292	24.048	180.648	44.747	0.170
AIS activity-based bottom-up model	433.673	13.506	26.493	26.493	26.233	195.780	48.940	0.186

Source: Prepared by the author

- If the estimation result based on an AIS data-based model is very closer to true values, the emissions estimated when 'anchoring' based on existing methods were understood as 56.0~124.9% overestimated. (approximately 180.6% underestimated in the case of NH_3).

2) Measures for adoption and utilization of activity-based estimation methodology

▪ Shifting a paradigm for estimating national air pollutants and greenhouse gases

〈Summary table-15〉 Shifting the paradigm of estimation

Limitations of current paradigm of estimating the emission		Improvements through adoption and utilization
classification	Content	
Difficulties in accurately reflecting actual shipping conditions	• A top-down estimation approach for estimating the emission for 1 year or quarters at the national or regional perspective, which is unable to accurately reflect actual shipping conditions	• The interval and scope of collecting required data, in other words, the denser the temporal and spatial unit grid is classified, the more precise estimation results will come out.

Limitations of current paradigm of estimating the emission		Improvements through adoption and utilization
classification	Content	
	• Partially introducing and applying a bottom-up methodology, however, due to omission or restriction of required data, estimation based on assumptions, the possibility of errors increases	→ The most optimal combination among existing shipping operation DB to reflect activities of a ship, hence, a bottom-up estimation model is developed and applied in earnest.

Source: Prepared by the author

▪ Improvements of ship registration and utilization of shipping information

- Clearly presenting the target, scope and standards of estimating the emission

〈Summary table-16〉 Target and boundaries of estimating the emission

Limitations of current paradigm of estimating the emission		Improvements through adoption and utilization
Classification	Content	
Unclear standards of actual estimation of emission	• Unclear current standards for classifying source of emission; Not corresponding to PORT-MIS Use Code, suggested as the standards, generating duplication and omission	• 'Registration and license' system of a ship based on existing laws should be applied as the standard for classifying sources of emission (ship)
	• Unclear standards for classifying the jurisdiction among emission estimation scope (nation) and local governments	• Clearly designate and present maritime boundaries for estimating national emissions, jurisdictional scope by local government, and grounds for the classification

Source: Prepared by the author

- Improvements of information items for ship registration and license reporting

〈Summary table-17〉 Information items for ship registration and license reporting

Limitations of current paradigm of estimating the emission		Improvements through adoption and utilization
Classification	Content	
Inadequate reporting and collection system of necessary static information	• Unable to confirm and collect necessary static information from Ship registration and license information DB such as the number of engines and ship descriptions	• When applying for a ship's registration and license information as well as reporting entry and exit of a port, items such as descriptions and characteristics of main engines, auxiliary engines and generator should be included as necessary information

Source: Prepared by the author

- A system for reporting and collecting shipping information and improvement of utilization

〈Summary table-18〉 Reporting and collection of shipping information

Limitations of current paradigm of estimating the emission		Improvements through adoption and utilization
Classification	Content	
Restrictions in collecting activity data of a ship	• Due to the failure of installing and operating AIS and location identifiers, there were areas left out from the target for emission estimation	• Expanding the mandatory target for installing AIS and location identifier
	• Restricting the use of ship activity data in accordance with article 9 and article 15 of the 'Ship Safety Act'	• Revising relevant laws to allow the utilization for the purpose of estimating, analyzing and forecasting the emission from ships

Source: Prepared by the author

▪ Turning ship operation information into big data

〈Summary table-19〉 Turning ship operation information into big data

Limitations of current paradigm of estimating the emission		Improvements through adoption and utilization
Classification	Content	
Limiting the utilization of emission data	• Statistics of the emission from ships are generated by one year at the national level, and the temporal and spatial resolution is extremely low • With 3 year delayed estimation and announcement, the timeliness of statistical utilization is very low • Recently the demand for specific timing or specific point or period has been skyrocketing along with analysis and forecasting data based on the demand.	• By classifying the interval of collecting dynamic information of ship as dense as possible, these data should be turned into big data, establishing a production-management system for utilization. • In a mid-to-long term, real-time communication technology between sensing devices, and building a 'smart connected' (hyper-connected) system.

Source: Prepared by the author

4. Policy suggestions

1) Construction and operation of a comprehensive monitoring-analysis and forecasting platform for air pollutants from ships and greenhouse gases

▪ Shifting a paradigm for estimating air pollutants and greenhouse gases

〈Summary table-20〉 Short-to mid-term key implementation tasks (~2024)

Implementation item	Main agent of implementation
• Developing ships' activity-based model for estimating the emission in real time • Developing ports' activity-based model for estimating the emission in real time	The Marine Environment Policy division and Maritime Industry and Technology division of the MOF etc. ※ Close cooperation is required with the National Institute of Environmental Research, Greenhouse Gas Inventory and Research Center (GIR) and National Air Emission Inventory and Research Center
• Developing a real-time movement, diffusion and impact analysis model for the emission from ships • Developing a real-time movement, diffusion and impact analysis model for the emission from ports	
• Designating 'National boundaries for estimating the emission' for calculate the emission	Ministry of Oceans and Fisheries, Greenhouse Gas Inventory and Research Center (GIR) and National Air Emission Inventory and Research Center of MOE
• Reviewing and discussing marine jurisdictional boundaries for spatial allocation by region ※ Need to establish the standards for regional boundaries and allocation of the emission as well as managerial and jurisdictional standards for estimating and assessing the impact of the emission	Office for Government Policy Coordination, Ministry of the Interior and Safety and relevant local governments

Source: Prepared by the author

- Expanding information items submitted when a ship is registered/licensed
- When registering and reporting a ship in accordance with the 'Ship Act' and the 'Act on the Arrival and Departure of Ships', it is necessary to devise measures to include information as the following as reporting items, such as descriptions of engines (including auxiliary engines) and generation information of a ship including type of engine, maximum speed (horsepower) and the number of engines.
- After designating the estimation of the emission as a special purpose, the system should be improved to allow ship inspection information to be shared and utilized through a certain procedures such as de-identification.
- Developing technology and policy to realize the 'Smart Connected' concept

〈Summary table-21〉 Short-to mid-term key implementation tasks (~2024)

Implementation item	Main agent of implementation
• Developing ships' activity-based model for estimating the emission in real time • Developing ports' activity-based model for estimating the emission in real time	The Marine Environment Policy division and Maritime Industry and Technology division of the MOF etc. ※ Close cooperation is required with the National Institute of Environmental Research, Greenhouse Gas Inventory and Research Center (GIR) and National Air Emission Inventory and Research Center
• Developing a real-time movement, diffusion and impact analysis model for the emission from ships & ports	
• Pushing forward a project for turning shipping and ports related administrative information into big data	Marine and Fisheries Science & Technology Policy Division

Implementation item	Main agent of implementation
• Developing and introducing mobile communication networks and sensing optimization technology for 'Smart maritime transport control'	Maritime Industry and Technology division, Marine and Fisheries Science & Technology Policy Division of the MOF and Korea Coast Guard
• Developing and introducing mobile communication networks and sensing optimization technology for 'Smart port operation'	Marine Environment Policy division, Marine and Fisheries Science & Technology Policy Division and Port Management division of the MOF
• Designating 'National boundaries for estimating the emission' for calculate the emission	MOF, the National Institute of Environmental Research, Greenhouse Gas Inventory and Research Center (GIR) of MOE and National Air Emission Inventory and Research Center
• Reviewing and discussing marine jurisdictional boundaries for spatial allocation by region ※ Need to establish the standards for regional boundaries and allocation of the emission as well as managerial and jurisdictional standards for estimating and assessing the impact of the emission	Office for Government Policy Coordination, Ministry of the Interior and Safety and relevant local governments

Source: Prepared by the author

▪ Establishing a comprehensive monitoring, analysis and forecasting system for air pollutants and greenhouse gases

〈Summary table-22〉 Short-to mid-term key implementation tasks (~2024)

Implementation item	Main agent of implementation
• Establishing a comprehensive monitoring, analysis and forecasting system for air pollutants and greenhouse gases from ships and ports	The Marine Environment Policy division, Maritime Industry and Technology division, and Marine and Fisheries Science & Technology Policy Division of the MOF etc. ※ Close cooperation is required with the National Institute of Environmental Research, Greenhouse Gas Inventory and Research Center (GIR) and

Implementation item	Main agent of implementation
	National Air Emission Inventory and Research Center
• Establishing a new management department for ocean atmospheric environment ※ Need to separate water environment and atmospheric environment to provide specialized services with the rising demand of environmental research and management, carbon neutrality and air pollution	Ministry of Oceans and Fisheries
• Developing Guideline for monitoring and management of air pollutants and greenhouse gases from ports and ships (Draft)	The Marine Environment Policy division and Maritime Industry and Technology division of the MOF etc.
• Establishing a comprehensive monitoring and management system for air pollutants and greenhouse gases ※ Reviewing the integration and connected operation of the existing the Stack Emission Management System (SEMS) and the National GHGs Management System (NGMS) currently in operation • Comprehensive monitoring as well as establishing and operating DB for air pollutants and GHGs	The National Institute of Environmental Research, Greenhouse Gas Inventory and Research Center (GIR) of MOE and National Air Emission Inventory and Research Center

Source: Prepared by the author

2) Proceeding with the standardization of an intelligent management technology for operation and emission of ships

▪ While making effort to achieve zero emission of GHGs and air pollutants, the international community is entering into cutthroat competition for developing and applying optimized technology that reflects the concept of 'Smart Connectivity' and intelligent control.

- By preemptively developing and adopting monitoring and optimization technology on activities of sources of emission

(major components of shipping, ports, logistics and traffic) in real-time and emission and its impact, core technologies can be secured for the establishment and operation of future-oriented eco-friendly smart shipping and ports.

- With the development and application of leading technologies, therefore, it is necessary to develop a technology for optimized monitoring and analysis forecasting as well as the system for realize the technology, further to a standards for federation system by connecting independent systems. After conducting a pilot testing to major ports in Korea, it should be expanded and legislated to become technology standards within Asian port authorities or at the level of the International Maritime Institute (IMO) or International Organization for Standardization (ISO).

〈Summary table-23〉 Short-to mid-term key implementation tasks (~2024)

Implementation item	Main agent of implementation
• Developing an intelligent monitoring, analysis and forecasting platform for estimating the emission from ships • Developing an intelligent monitoring, analysis and forecasting platform for estimating the emission from ports → Establishing and operating a comprehensive DB-Intelligent platform for monitoring, analyzing and forecasting carbon neutrality and air pollutions from ships and ports → Constructing and operating an optimal platform of 'Smart maritime traffic control' or 'Smart port operation' by connecting and utilizing information at a comprehensive monitoring platform	The Marine Environment Policy division, Maritime Industry and Technology division, Port Management division and Marine and Fisheries Science & Technology Policy Division of the MOF etc. ※ Close cooperation is required with the National Institute of Environmental Research, Greenhouse Gas Inventory and Research Center (GIR) and National Air Emission Inventory and Research Center
• A project for technological standardization of ports and ships activity based real-time platform for estimating the emission, movement, dispersion, and impact analysis	

Implementation item	Main agent of implementation
• Proceeding with international standardization after setting multi-purpose criteria and standardization followed by a pilot project	
• Pushing ahead the launching of a regional cooperation organization for promoting carbon neutrality and reducing air pollutants with Northeast Asia /+ ASEAN ports ※ Joint response to international issues, and sharing knowledge and experience etc. → Pushing forward the revision of the Port Air Quality Act	MOF, Port Authorities etc.

Source: Prepared by the author

5. Expected benefits

▪ The introduction of a 'smart connected' based bottom-up model for estimating the emission in the form of highly dense temporal and spatial grids will enable the following;

- National and regional emission from ships can be estimated in the same method as the emission from ships within ports
- The denser the temporal and spatial grids are applied, the more accurate the actual operation of ships is reflected, and hence, closer to true values can be expected.
- When source data is collected and applied in real-time utilizing wired and wireless networks and sensing technologies, it allows real-time estimation of the emission. Furthermore, it enables to sharply increase the applicability of source data in the concept of big data as well as real-time analysis and forecasting based on estimated results.

▪ Technology for the construction and operation of 'Eco-Smart Port' can be dramatically improved as a foundation for the platform of 'atmospheric environmental management and operation of smart port'.

- It is also able to provide eco-friendly operational solution optimized for each ships and ports with the construction of IoT-based real-time reporting – collection system of big data for connecting and utilizing existing data and phasing in intelligent M&S or digital twin technology for analysis and forecasting.

〈Summary table-24〉 Expected benefits

Purpose	Expected benefits
• Through a review of availability and validity of existing domestic data pertaining to ports and ships, this study intended to construct a 'data inventory' of source data able to connect and apply to activity-based bottom-up paradigm for estimating the emission. • This study presents a 'Smart-connected' based bottom-up model for estimating the emission from ships in the form of highly dense temporal and spatial grids as well as advancement methods for the model's introduction and application.	• Shifting the paradigm of estimating the emission in the form of highly dense temporal and spatial grids would sharply increase the accuracy of the estimation result. • Providing the foundation for a platform of 'atmospheric environmental management and operation of smart port' → Enhancing external and internal capacity for the operation and construction of Eco-smart Port

Source: Prepared by the author

01
서론

제1절 연구 배경 및 목적

1. 연구의 배경 및 필요성

1) 연구의 배경

현재, 환경부의 선박 대기오염물질 배출량 산정은 기본적으로 연료 사용량을 적용하는 하향식 방법론을 기반으로 하고 있으나, 대기오염에 대한 국민적 관심으로 인해 정확한 배출량 산정 결과에 대한 수요가 급증하고 있으며, 동시에 산정 결과의 신뢰도 개선을 위한 산정체계 고도화에 대한 요구 역시 증대되고 있다. 하지만 환경부의 국가 통계는 물론, 2017년 이후 해양수산부에서 자체적으로 마련한 선박 배출량 산정체계 역시 기존 Tier1 수준의 연료 사용량 기반 산정방법론을 유지하고 있으며, 산정 결과의 공표 시점이 3년씩 지연되어 결과의 활용도를 저하시키고 있다는 지적도 꾸준히 제기되고 있다.

한편 최근 대기오염물질의 주요 발생원으로 지목되고 있는 '항만'의 경우, 환경부의 기존 산정체계에서는 항만의 배출에 대한 별도의 분류 및 산정체

계를 마련하지 못하고 있으며, 이에 따라서 대기오염 개선을 위한 각종 법령에서 선박을 포함하는 항만의 주요 배출원에 대해서 집중 관리방안을 제시하고 있지만, 이를 체계적으로 계획·추진하기 위한 주요 근거자료, 즉 항만의 배출·오염·이동·영향 실태를 정확하게 생산하지 못하고 있다.

산정 결과의 정확도를 개선하고, 나아가 해운·항만 활동의 스마트화(실시간 데이터의 자동수집 및 AI 기반 분석-예측-대응 등)와 연계를 고려하여, 기간계 데이터의 연계·활용을 통한 '상향식(Bottom-up)' 기반의 산정방법으로 '국가 대기오염물질 통계'의 비도로 이동오염원 중 선박의 국내 총배출량 및 지역별 배출량 등을 산정하기 위한 방법론의 전환이 필요한 시점이다. 같은 방식으로, 항계 등 항만 내 일정 경계구역 내 선박의 활동 데이터를 수집·적용하여 항만 내 선박의 배출량 산정을 위한 별도의 최적 방법론의 정립 역시 시급하다.

2) 연구의 필요성

(1) 선박 배출량 산정방법론의 새로운 패러다임 개발 필요

최근 국내외 항만은 4차 산업혁명의 주요 요소기술, 즉 유무선 네트워크 기반 기술(IoT), 이를 활용한 빅데이터 기술, 수집된 데이터를 재료로 분석·예측하기 위한 AI 기술 등을 적극적으로 활용하여 항만운영의 효율성을 획기적으로 개선하기 위한 스마트 항만 사업을 추진 중이다. 항만 분야의 '스마트 항만' 개념의 출현으로, 항만 대기환경 관리 분야 역시 스마트화를 위한 기반기술의 일환으로 해운물류 및 대기환경 관련 기간계 데이터의 빅데이터화, 이들의 연계·활용을 통한 선박 배출량 산정방법론의 새로운 패러다임이 요구되는 시점이다.

이는 스마트화(Smartification)의 기본 전제인 '스마트 커넥티드(Smart-connected)'[1] 개념의 도입·적용을 위해 기간계 데이터의 유효성 검토 및 가용 데이터 인벤토리 구축에 이어, 요구 데이터를 빅데이터화, 연계·활용하여 산정 결과의 정확성을 획기적으로 개선하는 동시에 결과도출에 소요되는 기간을 최소화하는 산정 패러다임으로 정의할 수 있다. 선박의 경우, 빅데이터 개념의 재료 데이터(실시간 위치, 시간 등)를 적용하는 상향식(Bottom-up) 산정방식으로, 배출원(선박)의 활동을 시공간적으로 보다 조밀하고 정확하게 반영함으로써 실제 참값에 근접하는 '추정치'를 도출할 수 있다.

또한, 이를 통해 현재 다부처 연구개발사업으로 추진 중인 4차산업 기술 기반의 '디지털-트윈 기반 선박·항만 배출-오염-이동영향 분석·예측 플랫폼'의 기술적 기반을 제공할 수 있다.

(2) 활동데이터 기반(Activity-based method) 상향식 배출산정 모형 개발 및 적용 필요

일반적으로, 선박의 대기오염물질 배출량을 산정하는 방법은 하향식, 상향식 방법론의 두 가지로 구분할 수 있다. 하향식 방법론의 경우 수집 가능한 연료 사용량 통계자료와 배출계수의 곱으로 배출량을 산정하며, 상향식 방법론은 개별 선박의 제원 및 운항정보(위치 및 시간 등)에 따른 부하 또는 연료 사용량, 배출계수 등의 곱으로 배출량 산정하여 이를 합산한다.[2]

현재 국가 대기오염물질 배출량 통계의 담당 부처인 환경부(국립 환경과학원 및 국가 미세먼지 정보센터)는 선박의 배출량을 산정하기 위해, ① 연료 사용량(판매량) 수집이 가능한 선박은 수집된 연료사용량과 배출계수의 곱

1) 센싱디바이스-유무선 네트워크 기반의 신기술을 도입·적용하여, 산업 및 전체 생산·운영 프로세스 등에서 필요로 하는 구성요소 간 실시간 연결 및 자동 제어 등을 구현
2) 산정체계별로(국가 및 지역별 데이터의 정확도, 가용성, 수집 조건 등에 따라서) 연료, 엔진, 선박, 운항형태 등의 종류를 적용하는 수준은 상이

으로, ② 일반 화물선과 같이 연료 사용량의 수집이 불가한 경우 선박의 제원 및 활동데이터(패턴 도출 등)로 연료 사용량을 추정하여 배출량 산정에 활용하는 등, 점차 상향식 방법론을 혼합 적용하고 있다. 이는 주로 배출량 산정에 요구되는 재료 데이터의 파악, 구득의 어려움은 물론, 이들 데이터의 가용성·유효성을 파악하는 데까지 나아가지 못하는 데 원인이 있으나,[3] 공식 국가 대기오염물질 통계 적용과는 별개로 중장기적인 산정체계 개선을 위해 활동데이터 기반(Activity-based method) 상향식 배출산정 모형 개발 및 적용을 위한 연구가 시급하다.

2. 연구 목적

앞서 살펴본 바와 같이, 선박 배출량 산정 결과의 정확도 및 활용도를 획기적으로 개선하기 위해서는 현행 하향식 산정방식 위주의 산정 패러다임에서 활동데이터 기반의 상향식 배출 산정 패러다임으로의 전환이 필요하며, 이는 선박의 활동을 시공간적으로 보다 조밀하고 정확하게 반영하여 궁극적으로는 실시간 산정, 활용을 가능케 하는 중요한 기술적 기반으로 작용할 수 있다.

이에, 본 연구는 해운·항만 관련 국내 기간계 데이터의 가용성·유효성 검토를 통하여 선박의 전국·지역 배출량 산정은 물론 항만 내 선박의 배출량 산정에 연계·활용 가능한 후보 재료 데이터에 대한 '데이터 인벤토리'를 작성하고,[4] 이른바 '스마트 커넥티드' 기반으로 고밀도 시공간 격자의 선박 대기오염물질 배출량을 산정하기 위한 활동데이터 기반 산정방법론의 도입·활용 방안을 제시하고자 하였다.

3) 국가 통계에 적용하기 위한 데이터의 경우, 구득의 가능성에서 더 나아가 해당 데이터의 지속적인 확보 가능성이 담보되어야 함

4) 선박의 정적정보 및 동적정보(빅데이터 기반)를 포함하는 개별 기간계 데이터의 주요 정보(생산기관.부처, 수집-생산 주기 등), 가용성/유효성 검토 결과 등으로 구성

〈표 1-1〉 연구의 목적

연구 목적	기대 효과
• 해운·항만 관련 국내 기간계 데이터의 가용성·유효성 검토를 통하여, 선박의 활동데이터 기반의 상향식 배출 산정 패러다임에 연계·활용 가능한 후보 재료 데이터에 대한 '데이터 인벤토리' 작성 • '스마트 커넥티드' 기반으로 고밀도 시공간 격자의 선박 대기오염물질 배출량을 산정하기 위한 상향식 배출산정 모형을 제시하고, 이를 도입·활용하기 위한 방안 제시	• 고밀도 시공간 격자의 선박 배출 산정 패러다임의 전환으로, 배출량 산정 결과의 정확도를 획기적으로 개선 • '스마트 항만 대기환경 관리·운영' 플랫폼의 기반 제공 → 친환경 개념의 스마트 항만 (Eco-Smart Port) 구축·운영을 위한 대내외 기술역량 제고

자료: 저자 작성

이를 통해 선박의 국가 및 지역 배출량은 물론 항만 내 선박의 배출량 역시 동일한 방식으로 산정할 수 있으며, 시공간 격자를 조밀하게 적용할수록 선박의 실제 운항을 정확하게 반영하여 보다 참값에 가까운 산정 결과를 기대할 수 있다. 또한 유무선 네트워크 및 센싱기술 등을 활용하여 재료 데이터를 실시간 수집-적용하는 경우, 실시간 배출량 산정은 물론 빅데이터 개념의 재료 데이터 및 배출량 산정 결과 데이터를 활용하는 실시간 분석·예측 등 활용도를 크게 높일 수 있다.

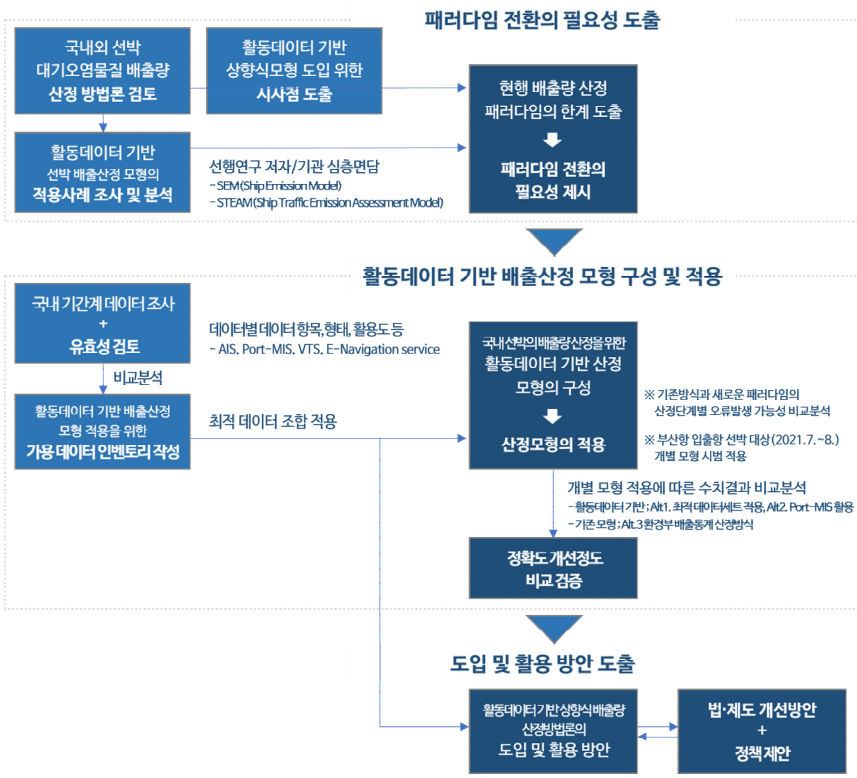
나아가서, 이를 바탕으로 기간계 데이터의 연계·활용을 위한 유무선 네트워크 통신기술 기반의 실시간 빅데이터 보고-수집체계를 구축하고 기간계 데이터의 연계·활용을 위한 지능형 분석·예측 플랫폼을 구현할 수 있다. 이 과정에서 디지털 트윈 및 AI 기술 등을 순차적으로 적용하여, 미래 항만 대기환경 관리 최적화를 위한 '친환경 스마트 항만(Eco-Smart Port)'의 설계 및 구축·운영을 위한 기술역량을 획기적으로 제고할 수 있을 것으로 보인다.

제2절 연구 내용 및 방법

1. 연구 범위 및 주요 내용

본 연구는 국내 기간계 데이터의 가용성·유효성 검토 결과에 따른 최적 데이터 세트를 적용하여 활동데이터(Activity-based method) 기반의 상향식 배출산정 모형을 구성하고, 이를 도입·적용하기 위한 정책방안을 제시하는 데 목적이 있다.

〈그림 1-1〉 연구의 주요 내용



자료: 저자 작성

이를 위해, 우선 제2장에서는 선박 대기오염물질 배출량 산정을 위한 국내외 주요 방법론을 살펴보고, 현행 1년 통계 주기 하향식 위주의 산정 패러다임을 활동데이터 기반의 상향식으로 전환하는 데 유효한 시사점을 도출하였다.

〈표 1-2〉 국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정 방법론 검토

구 분	내 용	비 고
국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정 방법론	해외 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론 검토	• 국제해사기구(IMO) • 유럽환경청(EEA) • 미국 환경청(EPA)
	국내 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론 검토	• 국립환경과학원(환경부), 국내 연근해 선박에 의한 기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ) • 국립환경과학원(국가 미세먼지 정보센터, 국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅳ)
	활동데이터 기반 상향식 모형 개발 위한 시사점 도출	

자료: 저자 작성

제3장에서는 선박의 활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형 및 주요 적용사례의 비교·분석 및 심층 검토 과정을 통해 우리 모형 구성을 위한 시사점을 도출하였다. 또한, 이를 바탕으로 현행 배출량 산정 패러다임의 한계, 그리고 이를 개선하기 위한 패러다임 전환의 필요성을 정리하였다.

〈표 1-3〉 산정 패러다임 전환의 필요성 도출

구 분	내 용	비 고
활동데이터 기반 배출산정 모형의 구성·적용사례	활동데이터 기반 선박 배출산정 모형의 구성·적용사례 조사, 분석	• STEAM • Shipair • 문헌 검토, 선행 연구그룹 개별 세미나 결과 반영, 시사점 도출
산정 패러다임 전환의 필요성	현행 선박 배출량 산정 패러다임의 한계 도출	• 실제 운항의 정확한 반영 어려움 • 배출량 데이터의 활용에 제한

구 분	내 용	비 고
	패러다임 전환의 필요성 제시	• 선박 배출량 통계 신뢰도의 획기적 개선 • 배출량 데이터의 연계·활용 확대

자료: 저자 작성

제4장에서는 활동데이터 기반 배출산정 모형을 구성하고 이를 시범적으로 적용하였다. 우선 이를 위해, 항만운영정보 시스템(PORT-MIS), 선박자동식별 시스템(AIS), 해상교통관제 시스템(VTS), 한국형 e-Navigation 서비스의 DSP(Data Service Platform) 등 국내 해운·항만 관련 주요 기간계 데이터의 가용성 및 유효성을 검토하고, 이를 바탕으로 활동데이터 기반 배출산정 모형 적용을 위한 가용 데이터 인벤토리를 작성하였다.

이어서, 이를 통해 최적의 데이터 조합을 도출하고, 이를 적용하여 국내 선박 및 항만 배출량 산정에 적용 가능한 '활동데이터 기반 배출산정 모형'을 구성하여 제시하였다. 또한, 이를 기존 방식(환경부, PORT- MIS 적용 방식)과 산정 단계별 오류 발생 가능성을 비교·분석하고, 이어서 부산항 입출항 선박에 적용한 수치 결과의 3개 모형 간 비교·분석을 통해 새로운 패러다임 적용으로 인한 정확도 개선 정도를 검증하였다.

〈표 1-4〉 활동데이터 기반 배출산정 모형의 구성·적용

구 분	내 용	비 고
가용 데이터 인벤토리	국내 기간계 데이터의 유효성 검토	• 항만운영정보 시스템 (PORT-MIS) • 선박자동식별 시스템(AIS) • 해상교통관제 시스템(VTS) • 한국형 e-Navigation 서비스
	활동데이터 기반 배출산정 모형 적용을 위한 가용 데이터 인벤토리 작성	• 정보 항목/데이터 유형, 활용 가능성 및 한계 등
활동데이터 기반 상향식 선박 배출산정 모형의	활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형 구성	• 최적 데이터조합 적용 활동데이터 기반 산정 모형 구성

구 분	내 용	비 고
구성·적용	비교·분석 및 정확도 개선 검증	• 활동데이터 기반 산정모형과 기존 모형의 적용에 따른, 산정 단계별 오류 발생 가능성 검토; 정확도 검증1 • 모형적용(우리 모형, 기존 모형); 배출량 산정 • 개별 모형 간 수치 비교·분석; 정확도 검증2

자료: 저자 작성

제5장에서는 활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형을 도입·활용하기 위한 정책방안을 앞서 도출한 현행 패러다임의 한계에 대한 개선방안으로 정리하고, 이어서 이를 위한 법·제도 개선방안을 제시하였다.

〈표 1-5〉 활동데이터 기반 배출량 산정방법론의 도입·활용 방안

구 분	내 용	비 고
활동데이터 기반 상향식 배출량 산정방법론의 도입·활용 방안	국가 대기오염물질·온실가스 배출산정 패러다임의 전환	
	선박 등록 및 운항정보 활용체계 개선	• 배출량 산정 대상 및 경계 범위 • 선박의 등록·면허 신고정보 항목 • 운항정보 보고·수집
	선박 운항정보의 빅데이터화	
법·제도 개선방안	관련 법령의 완결성 개선	• 선박 및 항만의 모니터링 관련 규정 보강 • 제도 이행을 위한 역할 근거 규정 명시
	대기오염물질 배출량 산정체계 개선	
	선박 제원 및 운항정보 등록체계 개선	• 선박의 엔진(추진기관) 제원 및 기본정보 보고항목 추가 • 선박자동식별 시스템(AIS) 정보의 수집·활용 확대

자료: 저자 작성

2. 연구 방법

본 연구의 주요 단계별 결과물은 크게, ① 활동데이터 기반의 상향식 선박 대기오염물질 배출량 산정체계에 적용 가능한 국내 관련 기간계 데이터 인벤토리의 작성, 이를 통해 도출된 최적의 데이터 조합을 도출하고, ② 이를 적용하여 국내 선박 및 항만 배출량 산정에 적용 가능한 '활동데이터 기반 선박 배출산정 모형' 구성 및 적용, ③ 기존 방식(환경부, PORT-MIS 적용 방식)과 비교·분석을 통한 정확도 개선 정도의 검증, 마지막으로 ④ 활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형의 도입 및 활용방안 정도로 요약할 수 있다.

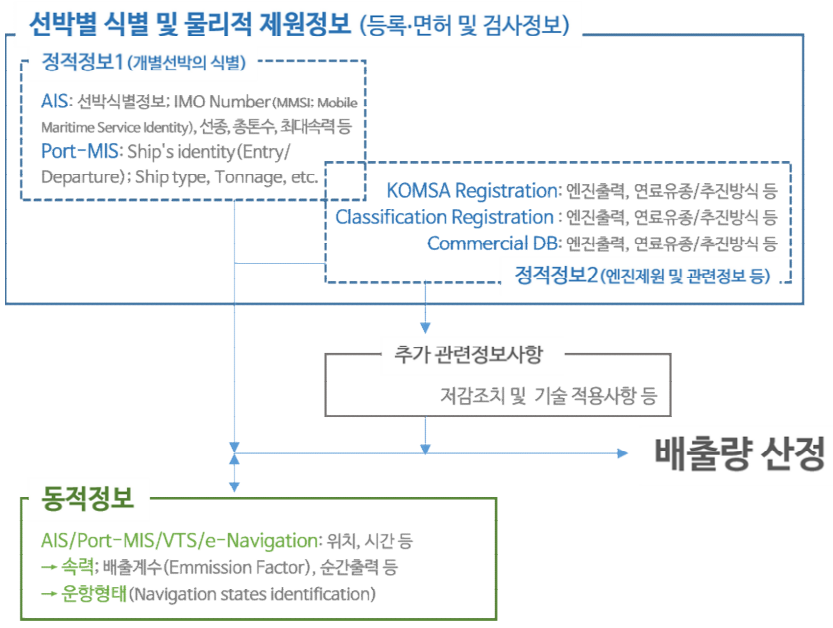
우선 국내 선박 및 항만 배출량 산정에 적용 가능한 '활동데이터 기반 배출산정 모형'을 구성하기 위해 국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론, 활동데이터 기반(Activity-based method)의 상향식 배출산정 모형 및 이를 적용한 주요 사례를 조사, 비교·분석하였다. 이를 위해, 기존 문헌 및 연구 자료를 수집·분석하고, 이를 통해 확보한 정보 및 지식을 확인·수정하기 위해 국내외 선행 연구그룹과 핵심그룹 인터뷰(FGI)를 수행하였다.[5)]

방법론 및 사례연구 결과를 토대로 국내 선박 및 항만 배출량 산정에 적용 가능한 '활동데이터 기반 배출산정 모형'의 초안을 구성하고, 이를 적용하기 위해 필수적인 요구 데이터(정적정보 및 활동데이터 등)의 후보군을 선정하였다. 이들 후보군에 해당하는 국내 해운·항만 관련 기간계 데이터의 유효성 및 가용성을 검토하고, 그 결과를 반영하여 최적의 데이터 조합을 도출하는 한편 이를 적용하는 산정모형을 확정하였다. 이 과정에서, 가용성 검토 대상(PORT-MIS, AIS, VTS, e-Navigation 등)에 대한 조사 역시 기존

5) 코로나19의 확산 우려로 국내외 연구자들과의 대면 인터뷰를 지양하고, 이메일, 전화 및 화상회의(온라인 세미나) 등의 방식으로 이들에 대한 심층 면담을 진행하였다; 국가미세먼지정보센터 및 온실가스정보센터와 전화 면담, Jukka-Pekka Jalkanen(FMI), David Segersson(SMHI)과 개별적인 온라인-세미나 시리즈 개최

문헌 및 연구 자료를 수집·분석한 후, 해당 데이터 관리·운용 기관 담당자에 대한 핵심그룹 인터뷰를 진행하는 방식으로 수행하였다.

〈그림 1-2〉 활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형 적용을 위한 요구 데이터의 개념



자료: 저자 작성

연구를 통해 도출한 '활동데이터 기반 선박 배출산정 모형'의 정확성을 검증하기 위해서, ① 기존 방식(환경부, PORT-MIS 적용 방식)과 산정 단계별 오류 발생 가능성의 차이를 비교·분석하여 정확도 개선 정도를 검증하는 한편, ② 최적 데이터 조합의 활동데이터 기반 배출산정 모형을 부산항 입출항 선박을 대상으로 배출량 산정에 시범 적용하여 기존 방법론에 의한 수치 결과와 비교·검증을 수행하였다.

〈그림 1-3〉 연구의 단계



자료: 저자 작성

제3절 선행 연구

1. 선행 연구

본 연구를 통해 도출하고자 하는 '선박의 활동데이터(Activity-based method) 기반의 상향식 배출산정 모형'은 과거 배출량 산정에 필요한 요구 데이터가 준비되지 못한 상황에서 배출량 통계, 특히 국가 또는 지역, 1년 또는 월·분기별 전체 배출량 통계를 구축하기 위한 단계에서 도입된 하향식 산정모형의 정확도 및 활용도 측면의 한계를 획기적으로 개선하는 한편, 추후 유무선 네트워크 및 인공지능(AI) 기술의 발전 및 적용에 따라서 실시간 산정 및 분석을 가능하게 하는 첫걸음이라 할 수 있다. 이는 기존 패러다임을

전적으로 전환하는 개념으로, 선행 연구에 대한 조사 및 검토는 ① 국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정지침 및 보고서, ② 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형을 자체적으로 구성하거나 적용한 연구의 두 가지로 구분하여 수행하였다.

우선 기존 방식의 내용 및 동향 검토를 위해 현재 선박 배출량 산정에 적용되고 있는 국내외 주요 산정방법론의 지침 및 보고서를 조사하였다. 국제해사기구(IMO)의 'Fourth IMO GHG Study 2020'는 선박을 외항(International shipping) 및 내항선박(Domestic navigation), 어선(Fishing)으로 구분하여 2012년부터 2017년까지 HFO, MDO, LNG 연료 사용으로 인한 대기오염물질 배출량을 추산하고, 이를 위한 산정 방법론을 제시하였다. 특히, 가용 데이터 및 용도에 따라서 적용할 수 있는 하향식 산정방법[6]과 상향식 산정방법[7]을 구분하여 제시하였다. 또한, 상향식 산정방법의 적용을 위해, 선박 내 배출원을 주엔진 및 보조엔진, 보일러로 구분하고, 엔진 및 연료의 종류별로 각각 주엔진과 보조엔진, 보일러에 대한 배출계수를 제시하였다.

유럽 환경청(EEA)의 'EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019'는 요구 데이터의 종류 및 정도 등에 따라서, Tier1(연료 종류별 연료 소비량 구분), Tier2(선박 엔진 종류별 연료 소비량 구분), Tier3(선박 엔진 종류별, 운항형태별 연료 소비량 구분)의 총 세 가지 수준으로 제시하고, 수준별 산정방법과 배출계수를 제시하였다. 특히, 선박에 사용되는 연료유를 ① 벙커유 및 잔사유(BFO, RO), ② MDO, ③ MGO 등으로, 운항형태는 ① 연료의 공급(Fuelling of Vessel) 단계와 함께 ② 정박(Hotelling), ③ 접안(Maneuvering), ④ 운항(Cruise)으로 구분하고, 선박의 엔진 종류는 주엔진과 보조엔진으로 구분하였다.

6) 연료 공급·판매량 통계(fuel statistics) 자료 기반
7) 선박의 활동 자료(Activity data) 기반

영국 환경부(Defra)의 'UK Ship Emission Inventory(2010)'는 선박의 운항 구역을 '해상(Sea)' 및 '항내(Port)'로 구분하여 산정방법과 배출계수를 제시하였다. 해상 배출량(Sea Emission) 산정 시, 선박의 배출계수는 '에너지 사용으로 발생한 배출량(g/kWh)' 개념으로, 역시 엔진 및 연료의 종류에 따라서 구분하였다. 엔진의 종류는 ① 저속 디젤엔진(Slow-speed diesel), ② 중속 디젤엔진(Medium-speed diesel), ③ 고속 디젤엔진(High-speed diesel), ④ 가스터빈 엔진(Gas turbine), ⑤ 스팀터빈 엔진(Steam turbine)으로, 연료유는 MGO, MDO 및 RO로 구분하였다. 항내 배출량(Port Emission) 산정을 위한 배출계수 역시 엔진·연료의 종류별로 구분하고, 보조엔진의 배출계수는 별도로 제시하였다.

네덜란드 환경영향평가청(PBL)의 'Methodologies for estimating shipping emissions in the Netherlands'는 선박의 운항구역을 '영해 운항', '정박' 및 '내륙해 운항'으로 구분하여 산정방법과 배출계수를 제시하였다. 영해 운항에 대한 배출계수는 '수송화물량 대비 배출량(kg/GT.km)' 개념으로 선박의 유형 및 규모에 따라 구분하고, 정박에 대한 배출계수는 '연료 소비량 대비 배출량(g/kg fuel)' 개념으로 엔진 종류 및 연료 종류에 따라 구분하여 제시하였다. 내륙해 운항에 대한 배출계수는 '에너지 사용으로 발생한 배출량(g/kWh)' 개념으로, 연료의 종류는 경유로 한정하였다.

국립환경과학원의 「국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅲ, 2013)」은 선박을 총 4개 오염원(점·면 오염원, 도로이동오염원, 비도로 이동오염원, 비산먼지) 중 비도로 이동오염원의 하위 항목으로 구분하고, 선박의 배출원 분류, 활동데이터 수집방법, 배출량 산정방법, 이를 위한 배출계수 등을 제시하였다. 기본적으로, 대기오염물질 배출량 추정치는 연료소비량과 대기오염물질 배출계수의 곱으로 산정하며, 선박의 운항형태를 '순항', '정박', '접안'으로 구분하였다.

국가미세먼지정보센터의 「국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅳ, 2020)」은 2013년 발행된 「국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅲ)」 이후 개선사항을 반영하여 산정방법 및 배출계수를 업데이트하였다. 특히, 해상선박 배출원을 세분화하여 분류체계를 재정의하고, 선종별·유종별 배출계수 적용이 가능하도록 배출계수를 개선하여 제시하였다.

이들 국내외 주요 산정방법론은 제2장에서 보다 자세하게 심층 분석을 수행하고, 이들의 비교·분석을 통해 우리 모형 구성을 위한 시사점을 도출하여 정리하였다.

〈표 1-6〉 국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론 검토

구 분		기존 산정체계 검토	
		개요	주요 내용
해외	1	국제해사기구(IMO), Fourth IMO GHG Study 2020(2021)	• 선박을 외항(International shipping), 내항(Domestic navigation), 어업(Fishing)으로 구분하고, 2012년부터 2017년까지 HFO, MDO, LNG 세 가지 연료 사용으로 인한 대기오염물질 배출량 추산, 이를 위한 산정 방법론 제시 • 배출량 산정체계를 하향식 산정방법(연료 공급·판매량 통계 자료(fuel statistics) 기반)과 상향식 산정방법(선박의 활동 자료(Activity data) 기반)으로 구분
	2	유럽 환경청(EEA), EMEP/EEA air pollutant emission inventory Guidebook 2019	• 산정체계의 요구 변수의 종류, 정도에 따라서 Tier1, Tier2, Tier3 수준별 산정방법과 배출계수 제시 · Tier1: 선박의 연료의 소비량과 연료 종류별 배출계수를 적용하여 배출량 산출 · Tier2: 선박의 종류 및 엔진의 종류별 연료 소비량과 해당 조건에 부합하는 배출계수를 적용하여 산출 · Tier3: Tier2 수준의 선박의 종류 및 엔진의 종류별 배출계수(연료 소비량 개념)를 다시 선박의 운항형태(정박, 접안, 운항)별로 구분
	3	영국 환경부(Defra), UK Ship Emission Inventory(2010)	• 운항 구역을 ‘해상(Sea)’ 및 ‘항내(Port)’ 로 구분 • 해상 배출의 경우, 선박의 배출계수를 에너지 사용량 대비 배출량(g/kWh) 개념으로 정의, 엔진 및 연료 종류에 따라 구분

구 분		기존 산정체계 검토	
		개요	주요 내용
			• 항내 배출량 역시 에너지 사용으로 발생한 배출량(g/kWh) 개념으로 엔진 및 연료 종류에 따라 구분하고, 보조엔진의 배출계수는 별도로 제시
	4	네덜란드 환경영향평가청(PBL), Methodologies for estimating shipping emissions in the Netherlands	• 영해 운항, 정박, 내륙해 운항으로 선박의 운항구역을 구분하여 배출계수 제시 · 영해 운항 시 배출량 산정을 위한 배출계수는 수송화물량 대비 배출량(kg/GT.km)의 개념으로, 선박의 유형·규모에 따라 구분 · 정박 시 배출계수는 연료의 소비에 따른 배출량(g/kg fuel) 개념으로, 엔진 종류와 연료 종류에 따라 구분 · 내륙해 운항 시 배출계수는 에너지 사용으로 발생한 배출량(g/kWh) 개념으로, 경유에 한정
국내	1	국립환경과학원, 국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅲ, 2013)	• 선박을 총 4개 오염원(점·면 오염원, 도로이동오염원, 비도로 이동오염원, 비산먼지) 중 비도로 이동오염원의 하위 항목으로 구분 • 선박의 배출원 분류, 활동데이터 수집방법, 배출량 산정방법, 이를 위한 배출계수 등을 제시 • 기본적으로, 대기오염물질 배출량 추정치는 연료소비량과 대기오염물질 배출계수의 곱으로 산정; 선박의 운항형태를 '순항', '정박', '접안'으로 구분
	2	국가미세먼지정보센터, 국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅳ, 2020)	• 개선사항 업데이트 · 분류체계 개선, 해상선박 배출원 분류 재정의, 세분화 · 단일 유종 배출계수를 선종 특성을 고려한 선종별·유종별 배출계수 적용이 가능하도록 배출계수 개선

자료: 저자 작성

이어서, 선박의 배출량 산정을 위한 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형을 자체적으로 구성하거나 적용한 연구를 검토하였다. Jalkanen *et al.*(2009)는 덴마크 헬싱키위원회(HELCOM)의 AIS 데이터를 활용하여 발트해 통항 선박의 활동데이터를 추정하고, 활동데이터 기반의 상향식 '해상운송 배출산정 모형(STEAM: Ship Traffic Emission Assessment Model)'을 적용하여 2007년 NOx, SOx, CO_2 배출량을 산정하였다.

Segersson(2013)은 스웨덴 SMHI 대기질 관리시스템(Airviro)의 선박 배출 DB(EDB-module)에서 AIS와 선박정보(Ship properties)를 이용하여, 선박의 실시간 배출량 산정모형 'Shipair'를 구성, 배출량을 산정하고, 자체 모형의 산정 결과와 STEAM2, EMEP에 의한 결과를 비교·분석하였다. 또한, Airviro 시스템의 이동·확산 모형에 연계하여, 선박의 배출 및 이에 따른 이동·확산 양상을 분석하였다.

Winther *et al.*(2014)는 덴마크 헬싱키위원회(HELCOM)의 AIS 데이터 및 위성 AIS 데이터를 활용하여 북극 해역 통항 선박의 활동데이터를 추정하고, 배출량 산정을 위한 자체 모형을 구성하였다. 이를 통해 같은 해역의 2020, 2030, 2050년 배출량을 예측하고, 추가적으로 이동·확산 모형을 적용하여 선박 배출물질의 이동·확산으로 인한 인근 지역 대기 중 농도 분포 및 침적 양상을 분석하였다.

Su Song(2014)은 중국 양산항 입출항 선박의 AIS 데이터를 활용하여 대기오염물질 배출량 및 이로 인한 사회적 비용(양산항의 입출항 호수, 물동량, 운영 수익 등의 세 가지 측면)을 산정하였다. 이를 위해 선박별 운항형태(at sea, maneuvering, hotelling at anchorage, hotelling at berth)에 따른 에너지 사용량에 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하고, 이때, 운항형태는 선박의 속도를 기준으로 적용하였다.

Coello *et al.*(2015)는 영국 어선의 배출량을 정확하게 산정하기 위한 방안으로, 선박 활동데이터 기반 모형(Bottom-up activity-based method)을 구성하고, 대상 해역 총 5,188척 어선의 약 5,550만 건의 AIS 데이터를 활용하여 개별 어선별로 주엔진과 보조엔진의 배출량을 산정, 합산하는 방식으로 배출량을 산정하였다. 선박의 속도와 최대, 최소 부하 데이터로 개별 어선 주엔진의 부하율을 추정하였으며, 이때 선박의 속도를 산정하기 위하여, ① 연속 AIS 데이터 지점별 속도의 평균으로 산정하는 방법과

② 대원 거리(great-circle distance)로 시간으로 산정하는 방법을 적용하였다.

Jalkanen, Johansson, and Kukkonen(2016)는 '해상운송 배출산정 모형(STEAM)'을 적용하여 산정모형을 구성하고, 유럽 전역의 AIS 네트워크 및 유럽 해운안전청(EMSA)으로부터 수집된 AIS 설치 선박(총톤수 300톤 이상)의 2011년 AIS 데이터를 활용하여 CO_2 및 대기오염물질의 배출량을 산정하였다.

Cheng Li 외(2016)는 주강 삼각주(Pearl River Delta) 해역 통항 선박 중 AIS를 설치하고 선박의 기본정보를 확인 가능한 선박을 대상으로, 선박별 운항형태(cruising, reduced-speed, maneuvering, hotelling)별 에너지 사용량을 계산하고, 계산된 에너지 사용량에 배출계수를 적용하여 2013년 배출량을 산정하였다. 배출량 산정 결과를 바탕으로 선박의 종류 및 운항형태, 시공간별 배출 특성을 도출하고, 배출량 산정의 불확실성을 분석하였다.

Dongsheng Chen 외(2016)는 톈진항 인근 VTS 관제 범위 내 AIS에서 인식하는 모든 선박의 AIS 데이터를 활용하여, 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형을 구성하였다. 이를 통해 톈진항 인근 해역 통항 선박의 2014년 월별 총배출량을 산정하고, 대기오염물질별 배출 분포 등을 도출하여, 이를 비교·분석하였다.

Liu, Chen and Chen(2019)는 대만 최대 항만인 가오슝항의 입출항 외항선(OGV)을 대상으로, 이들의 AIS 데이터를 이용하여 SOx, NOx 배출량을 산정하였다. AIS 데이터에서 발견되는 결측치에 대해서는 경험적 판단을 통해서 데이터를 조정하였으며, 이 과정에서 선박의 특성, 계절 요인 등은 고려하지 않았다.

Weng *et al.*(2019)는 '해상운송 배출산정 모형(STEAM)'을 적용하여, 양쯔강 하구 통항 선박의 AIS 데이터를 활용한 조밀격자 단위(0.001° ×0.001°)로 산정모형을 구성하였다. 이를 통해 2014년 배출량을 산정하고, 결과를 바탕으로 선종, 운항형태, 엔진 출력별 배출량을 구분하고, 월별, 지점/구간별 배출량의 추이를 분석하였다.

Zheng Wan 외(2020)는 선박의 운항형태(cruising, reduced-speed, maneuvering, hotelling)별 에너지 사용량을 추정하고 배출계수를 적용하는 상향식 산정모형을 구성하여, 보하이만, 양쯔강 삼각주(Yangtze River Delta), 주강 삼각주(Pearl River Delta) 해역 항만별 입출항 선박의 2018년 배출량을 산정하였다. 이를 통해 운항형태별 배출 특성과 배출 분포 등을 도출하고, 이를 바탕으로 선박 배출 저감을 위한 방안을 마련하였다.

Wang, Qin and Zhang(2020)는 양쯔강 삼각주 해역 통항 선박의 배출량의 시공간적 분포를 도출하기 위하여 활동데이터 기반 산정방식(AIS dynamics method)을 적용한 모형을 구성하고, 운항형태별 배출 특성과 배출 분포 등을 도출하였다. 특히, 연구 결과에 따르면 저속 항해(Low speed) 시 선박의 배출량이 가장 크게 나타났으며, 육상전원 공급시설을 활용하는 경우 저감효과가 가장 클 것으로 예측하였다.

장영태·조성현·조아현(2020)은 선박의 대기오염물질 배출량 추정을 위한 기존의 PORT-MIS 데이터 기반 Bottom-up 방식 및 이를 보완한 AIS 데이터 기반 Bottom-up 방식 대기오염물질 배출량 추정 모형을 각각 구성하고, 개별 모형으로 산출한 배출량 추정 결과를 비교, 분석하여 정확도를 검증하였다.

〈표 1-7〉 선행 연구 검토

구 분		선행 연구 검토		
		연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
해외	1	과제명: A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea area 연구자(연도): Jalkanen *et al.*(2009) 연구 목적: 선박의 위치 및 속도 추정을 위한 AIS 데이터를 사용하는 '해상운송 배출산정 모형(STEAM)'을 적용하여, 선박 배출량 산정의 정확성 제고 도모	• 배출량 산정모형 (STEAM) 구성 및 적용 • 비교·분석 및 보정	• AIS 데이터를 활용하여 발트해 통항 선박의 활동데이터를 추정, STEAM 모형을 적용하여 2007년 NOx, SOx, CO2 배출량 산정 ※ 대상 지역 범위: 발트해 및 해역 입구(Skaw in the Skagerrak(57.74N, 10.6325E) • STEAM 모형 적용을 위한 입력요구 데이터 상세 • 산정 단계별 알고리즘 상세 • 파고(Wave height) 등 외부 요인에 의한 보정 요인 분석 • RoRo/Passenger ship 6척의 연료사용량 자료 적용, STEAM 모형에 의한 추정량 비교·분석
	2	과제명: A dynamic model for shipping emissions: Adaptation of Airviro and application in the Baltic Sea 연구자(연도): Segersson(2013) 연구 목적: 선박의 배출로 인한 대기오염 영향을 파악하기 위해, 대기오염물질 및 온실가스(GHG) 배출량 산정체계의 정확도 개선, 적용	• 배출량 산정모형(Shipair) 구성 및 적용 • 비교·분석 • 이동·확산 모형 적용	• SMHI 대기질 관리시스템(Airviro)의 선박 배출 DB(EDB-module)에서 AIS와 선박정보(Ship properties)를 이용하여, 선박의 실시간 배출량 산정모형 'Shipair' 구성 • 자체 모형의 산정 결과와 STEAM2, EMEP에 의한 결과 비교·분석 • Airviro 시스템의 이동·확산 모형에 연계하여, 선박의 배출 및 이동·확산 산정
	3	과제명: Emission inventories for ships in the arctic based on satellite sampled AIS data	• 배출량 산정모형 구성 및 적용 • 이동·확산 모형 적용	• 덴마크 헬싱키위원회(HELCOM)의 AIS 데이터 및 위성 AIS 데이터를 활용하여 북극 해역 통항 선박의 활동데이터를 추정, 이를 통

구 분		선행 연구 검토		
		연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
		연구자(연도): Winther *et al.*(2014) 연구 목적: 북극 해역 통항 선박의 AIS 데이터를 활용하여 2012년 BC, NOx, SO2 배출량을 산정하고, 이를 바탕으로 선박 배출물질의 이동·확산으로 인한 인근 지역 대기 중 농도 분포 및 침적 양상 분석		해 같은 해역의 2020, 2030, 2050년 배출량 예측 • 이동·확산 모형 적용하여, 인근 지역 대기 중 농도 분포 및 침적 양상 분석 ※ 대상 지역 범위: 58.95N 이상의 북극 해역 • 선박별 운동량에 배출계수를 적용하여 배출량 산정; 선박 운동량은 EEDI, 속도, 거리, 엔진 출력 등으로 계산 • 선종별 EEDI를 활용하여 엔진 출력(Engine power) 조정
	4	과제명: Ship emissions inventory, social cost and eco-efficiency in Shanghai Yangshan port 연구자(연도): Su Song(2014) 연구 목적: 중국 양산항 입출항 선박의 AIS 데이터를 활용하여, 대기오염물질 배출량 및 이로 인한 사회적 비용 산정	• 배출량 산정모형 구성 및 적용 • 선박의 배출로 인한 사회적 비용 산정	• 선박별 운항형태(①at sea, ②maneuvering, ③hotelling at anchorage, ④hotelling at berth)에 따른 에너지 사용량에 배출계수를 적용하여 배출량 산정; 운항형태는 선박의 속도를 기준으로 적용 ※ 대상 지역 범위: 상하이 항만 당국이 정한 양산 항만 및 인근 수역; 항만 및 수역을 7개 구역으로 구분(①anchorage, ②fairway, ③precautionary zone, ④precautionary zone to breakwater, ⑤harbor transit(within breakwater), ⑥docking, ⑦berth) • 양산항 입출항 컨테이너 선박을 대상으로, 2009년 12개월 입출항 호출 수(총 6,518회)의 배출량을 AIS 데이터 기반으로 산정 • 선박의 배출로 인한 사회적 비용(보건, 환경 등) 산정 • 양산항의 입출항 호수, 물동량, 운영 수익 등의 세 가지 측면에

구 분		선행 연구 검토		
		연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
				따른 사회적 비용을 산출하여, 이를 '항만의 환경 효율(eco-efficiency)'로 정의
	5	과제명: An AIS-based approach to calculate atmospheric emissions from the UK fishing fleet 연구자(연도): Coello *et al.*(2015) 연구 목적: 영국 어선의 배출량을 정확하게 산정하기 위한 방안으로, 기존의 '연료 사용량' 모형(Fuel-based method) 에서 선박 활동데이터 기반 모형(Bottom-up activity-based method) 제시	• 배출량 산정모형 구성 및 적용 • 산정방식 비교·분석	• AIS 기반의 'AIS-based emissions calculation methodology'를 적용, 선박의 활동데이터를 이용한 배출량 산정 ※ EEA(2013)의 Tier 3 산정 방법론 중 에너지 기반 산정 방법 적용 ※ 대상 지역 범위: 40~65°N, 20°W~12°E; AIS 데이터를 송신하는 어선에 한정하여 배출량 산정(2012.5.~2013.5.; 총 5,188척의 어선의 AIS 데이터 약 5,550만 건 활용) • 개별 어선별로 주엔진과 보조엔진의 배출량 산정, 합산; 선박의 속도와 (최대, 최소) 부하 데이터로 개별 어선 주엔진의 부하율 산정; 선박의 속도를 산정하기 위하여, ① 연속 개별 AIS 데이터 포인트별 속도의 평균으로 산정하는 방법과 ② 대원 거리(great-circle distance)로 시간으로 산정하는 방법 활용 • 선박의 운항형태를 속도에 따라서 순항(cruising), 접안(maneuvering), 정박(anchor)으로 구분
	6	과제명: A comprehensive inventory of ship traffic exhaust emissions in the European sea areas in 2011	• 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형(STEAM) 적용 • 배출량 산정, 비교·분석	• 유럽 전역의 AIS 네트워크 및 유럽해운안전청(EMSA)으로부터 수집된 AIS 설치 선박(총톤수 300톤 이상)의 2011년 AIS 데이터를 활용하여, CO2 및 대기오염물질의 배출량 산정

구 분		선행 연구 검토		
		연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
		연구자(연도): Jalkanen, Johansson, and Kukkonen(2016) 연구 목적: '해상운송 배출산정 모형(STEAM)'을 적용, 유럽 전역의 AIS 설치 선박의 2011년 AIS 데이터를 활용하여 활동 데이터 기반(Activity-based method) 상향식 모형으로 배출량 산정		• '해상운송 배출산정 모형(STEAM)'을 적용, 전 유럽 해역을 2.5km×2.5km의 격자로 배출량 산정, 분석 ※ 대상 지역 범위: 유럽 해역 전역 • 선박 종류, 유럽 내 해역별, 총톤수별 배출량 산정 결과, 기존 EMEP 배출량 통계와 비교
	7	과제명: An AIS-based high-resolution ship emission inventory and its uncertainty in Pearl River Delta region, China 연구자(연도): Cheng Li 외(2016) 연구 목적: 주강 삼각주(Pearl River Delta) 해역 통항 선박의 2013년 배출량을 산정하여, 선박의 종류 및 운항형태, 시공간별 배출 특성을 도출하고, 배출량 산정의 불확실성의 가능성 분석	• 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형 구성 및 적용 • 선박/운항형태별 시공간별 산정 결과 비교·분석	• 선박별 운항형태별(cruising, reduced-speed, maneuvering, hotelling) 에너지 사용량을 계산하고, 배출계수를 적용하여 2013년 배출량 산정 ※ 대상 지역 범위: 주강 삼각주(Pearl River Delta) 수역(21.54~54.53°N, 111.55~115.64°E); 선박의 기본정보를 확인 가능한 5,000여 척의 OGV, CVs, 7.600여 척의 RVs 중, 확보된 해당 수역 내 700여 개 이동궤적 (Navigation trajectories; AIS 데이터) 활용 • 선박 용도(OGVs, Coastal vessels(CVs), River vessels(RVs) 및 종류(Chemical tanker, Conventional cargo ship, Dry bulk carrier, Container, Gas tanker, Oil tanker, Tug, Passenger ship, Fishing ship,

구 분		선행 연구 검토		
		연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
				Others), 엔진(main engines, auxiliary engines), 운항형태별 배출량 산정결과의 시공간별 비교 분석
	8	과제명: Estimating ship emissions based on AIS data for port of Tianjin, China 연구자(연도): Dongsheng Chen 외(2016) 연구 목적: AIS 데이터를 활용하여, 중국 북부에서 최대 규모인 톈진항(세계 6위) 인근 해역 통항 선박의 배출량을 기존의 방법론에서보다 시공간 격자를 조밀하게 도출	• 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형 구성 및 적용 • 선박/운항형태별 시공간별 산정 결과 비교·분석	• AIS 데이터를 활용하여, 톈진항 인근 해역 통항 선박의 2014년 월별 총배출량, 대기오염물질별 배출 분포 등으로 구분, 산정 ※ 대상 지역 범위: 중국 당국이 정한 톈진항 인근 VTS 관제 범위 내; AIS에서 인식하는 모든 선박 대상 • 개별 선박별로 주엔진, 보조엔진, 보일러의 배출량 산정, 합산; 주엔진의 경우, 선박의 출력, 운항형태별 부하율 및 지속 시간, 배출계수 등을 매개변수로 적용하여, 배출량 산정 • 개별 선박의 운항형태를 순항(sailing), 접안(maneuvering), 정박(hotelling)으로, 속도를 기준으로 구분
	9	과제명: Utilization of Vessel Automatic Identification System(AIS) to Estimate the Emission of Air Pollutant from Merchant Vessels in the Port of Kaohsiung 연구자(연도): Liu, Chen and Chen(2019) 연구 목적: 대만 가오슝항의 입출항 외항선	• 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형 구성 및 적용 • 선박/운항형태별 시공간별 산정 결과 비교·분석	• AIS 데이터를 활용하여, 가오슝항 입출항 외항선(OGV)의 배출량 산정 ※ 대상 지역 범위: 22°35'N, 120°17'E 지점을 중심으로 20nm 범위 동심원 내 • 개별 선박의 주엔진,보조엔진, 보일러의 배출량 산정; 주엔진의 경우, ①AIS의 선박의 속도 정보로 시각별 부하율을 산정하고, ②부하율의 변동에 따라 운항형태를 구분, 운항 시간을 추정, ③운항 시간과 엔진 출력 정보 및 부하율로 운항형태별

구 분		선행 연구 검토		
		연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
		(OGV)을 대상으로, 이들의 활동데이터를 이용하여 SOx, NOx 배출량 산정		에너지량을 추정, ④운항형태별 에너지량에 해당 배출계수 적용하여 배출량 산정 • 운항형태를 부하율에 따라서 순항(sailing), 접안(manevering), 정박(hotelling)으로 구분 • AIS 데이터에서 발견되는 결측치에 대해서는 경험적 판단을 통해서 데이터 조정; 선박의 특성, 계절 등 요인 등은 고려에서 제외
	10	과제명: Ship emission estimation with high spatial–temporal resolution in the Yangtze River estuary using AIS data 연구자(연도): Weng *et al.*(2019) 연구 목적: '해상운송 배출산정 모형(STEAM)'을 적용, 양쯔강 하구 통항 선박의 AIS 데이터를 활용하여 2014년 배출량을 조밀격자 단위(0.001°× 0.001°)로 산정	• 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형(STEAM) 적용 • 시공간 격자에 따른 배출량 산정, 분석	• 양쯔강 하구 통항 선박의 2014년 AIS 데이터를 활용하여, CO2 및 대기오염물질의 배출량 산정 ※ 대상 지역 범위: 양쯔강 하구 (31°N~31.55°N, 121.3°E~122.5°E) • 해당 해역 통항선박의 AIS 데이터 중, 선박의 기본정보(정적정보 및 위치 및 속도, 시간 등 동적정보를 추출하여 활용; 추가적으로 필요한 엔진 제원 등의 세부정보를 로이드 선급 및 중국선급(CCS)에서 추출 가능한 총 119,396척의 선박을 산정 대상으로 설정 • 산정 결과를 바탕으로, 선종, 운항형태, 엔진 출력별 배출량을 구분하고, 월별, 지점/구간별 배출량의 추이 분석
	11	과제명: A sampling method for calculating regional ship emission inventories 연구자(연도): Peng *et al.*(2020)	• 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형(STEAM) 적용 • 시공간 격자에 따른 배출량 산정, 분석 • 비교·분석 및 보정	• '해상운송 배출산정 모형(STEAM)'을 적용, 양쯔강 통항선박의 2018년 AIS 데이터를 활용하여 활동데이터 기반 방식으로 2018년 2~5월간 배출량 산정; 내수면 통항선박 총 34,788척 대상

구 분		선행 연구 검토		
		연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
		연구 목적: AIS의 설치 확대에 따라서 확보된 내수면 운항 선박의 배출량을 산정하고, 이를 바탕으로 샘플 수 대비 에러 발생비율을 분석, 적용하여 기존 활동데이터 기반 산정방식의 불확실성 개선		※ 대상 지역 범위: 양쯔강 수역 (105.557°E~119.233°E, 28.851°N~32.476°N); 선종별 밀도(Ship density)에 따라서 대상 수역을 Part1, 2, 3으로 구분 • 활동데이터 기반 방식의 불확실성을 개선하기 위해, AIS 데이터의 적용 주기를 보정하고, ① AIS 설치 유무, ②선박의 세부정보 유무 등 기준에 따른 샘플의 선택방법 및 과정 개선
	12	과제명: Shipping emission inventories in China's Bohai Bay, Yangtze River Delta, and Pearl River Delta in 2018 연구자(연도): Zheng Wan 외(2020) 연구 목적: 보하이만, 양쯔강 삼각주 (Yangtze River Delta), 주강 삼각주 (Pearl River Delta) 해역 통항 선박의 배출량을 산정하여, 운항형태별 배출 특성과 배출 분포 등을 도출하고, 이를 바탕으로 선박 배출 저감을 위한 방안 마련	• 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형 구성 및 적용 • 역내 항만별/월별 산정 결과 비교·분석	• 선박별 운항형태(cruising, reduced-speed, maneuvering, hotelling) 별 에너지 사용량을 계산하고, 계산된 에너지 사용량에 배출계수를 적용하여 해당 지역 항만별 입출항 선박의 2018년 배출량 산정 ※ 대상 지역 범위: 보하이만, 양쯔강 삼각주 (Yangtze River Delta), 주강 삼각주 (Pearl River Delta) 해역; 역내 항만 입출항 선박 중 161,080척 대상 • 선박 종류, 운항형태별 배출량 산정 결과 비교 • 운항형태는 선박의 속도로 결정; 운항 시간, 속도 등 AIS로부터 확보 • 에너지 사용량은 엔진 출력, 부하율, 운항 시간으로 계산
	13	과제명: Study on Characteristics of Emissions of Air Pollutants in Ships in the Yangtze	• 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형 구성 및 적용(AIS dynamics method; 2007 UK waters ship air	• AIS 데이터 기반의 상향식 배출량 산정방법(AIS dynamics method)을 적용하여, 양쯔강 삼각주 해역 (Yangtze River Delta) 통항

구 분		선행 연구 검토		
		연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
		River Delta and Countermeasures 연구자(연도): Wang, Qin and Zhang(2020) 연구 목적: 양쯔강 삼각주 해역(Yangtze River Delta) 통항 선박의 배출량의 시공간적 분포를 도출하기 위하여 활동데이터 기반(Activity-based method) 산정방식을 적용, 운항형태별 배출 특성과 배출 분포 등을 도출하여, 선박 배출 저감을 위한 방안 마련	pollutant emissions inventory) • 선박/운항형태별 시공간별 산정 결과 비교·분석	개별 선박의 주엔진, 보조엔진, 보일러의 대기오염물질 (SO2 , NOx , PM10 , HC, CO) 2017년 배출량을 산정, 운항형태별 배출 특성과 배출 분포 등 도출 ※ 대상 지역 범위: 28.00°~33°N, 119.00°~124.00°E 해역 • 선박의 운항형태를 선박의 속도를 기준으로, 순항(Cruise), 저속 운항(Low speed), 접안(maneuvering), 묘박(Anchor), 정박(Berth)으로 구분하고, 상태별 출력, 부하율, 운항 시간 등의 데이터 적용, 산정 • 주엔진의 부하율은 선박의 최대 속도와 실제 속도로 산정; 보조엔진의 경우, 주엔진과 보조엔진의 비율로 보조엔진의 데이터를 추정 • 저속항해 시 선박의 배출량이 가장 크게 나타났으며, 육상전원 공급시설을 활용하는 경우 저감효과가 가장 클 것으로 예측
국내	1	과제명: 국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(I) 연구자(연도): 국립환경과학원(2014a) 연구 목적: 국내 연근해 선박 내연기관의 형식, 용도, 규모별 등의 대기오염물질 및 온실가스 현황을 파악하고, 해당 자료를 통해 선박	• 국내외 배출량 산정방법 관련 현황 조사 • 국내 연근해 선박 배출량 산정 방법론 및 활동데이터 수집체계 개선방안 제시	• 대기정책지원시스템(CAPSS)에서 적용되고 있는 배출원 분류체계, 산정 방법론 및 활동 자료, 배출계수 등을 확인하여 선박 부문에 대한 배출량 산정방법 보완 방안 도출 · 배출량 산정방법(Tier1): 연료 종류별 판매량과 그 연료를 소비하는 선박들의 효율 등 평균적인 기술 상태를 고려한 배출계수와의 관계를 토대로 배출량 산정(연료 종

구 분		선행 연구 검토		
		연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
		에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출량 산출 시스템 구축		류별 판매량에 오염물질별 배출계수를 곱하여 배출량 산정) ・Tier2: 연료 종류별 소비량 자료에 기초; 연료 및 선박 엔진제원(저속, 중속, 고속 엔진) 분류 가능한 경우 적용 ・Tier3: 선박의 이동정보와 제원정보를 기반으로 배출량 산정 적용; 선박의 운항형태(운항, 정박, 접안)에 따른 배출의 합으로 산정하며, 개별 운항형태별 엔진 부하계수, 엔진 출력 등의 자료 및 정보 필요
	2	과제명: 국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(Ⅱ) 연구자(연도): 국립환경과학원(2015a) 연구 목적: 국내 연근해 선박 배출원의 분류체계를 제안하고, 활동데이터 조사방법 등 보완	• 국내외 배출량 산정방법 관련 현황 조사 • 국내 연근해 선박 배출량 산정 방법론 및 활동데이터 수집체계 개선방안 제시	• 배출량 산정을 위한 활동데이터 조사방법(선박 제원의 추정방안)등 보완 • 선박에 의한 대기오염물질 영향범위 설정 ・연근해 운항 선박의 대기오염물질 관리를 위해 배출량 산정 결과에 대한 지역별 배분을 위한 공간 할당 방법론 설정 ・연안여객선의 경우 운항노선별로 배출량 할당 적용 가능; 연안화물선은 운항 시 일반 운항노선을 기준으로 배출량 할당 적용 가능
	3	과제명: 국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(Ⅲ) 연구자(연도): 국립환경과학원(2016a) 연구 목적: 대기정책지원시스템 (CAPSS), 온실가스 정책 지원시	• 국내외 배출량 산정방법 관련 현황 조사 • 국내 연근해 선박 배출량 산정 방법론 및 활동데이터 수집체계 개선방안 제시	• 항만의 배출량 산정을 위해 항만의 배출원 분류체계를 육상 배출원(화물 취급장비, 철도기관차, 화물자동차)과 해상 배출원(외항선, 예인선)으로 나누어 설정 • 항만 내 배출원별 대기오염물질 및 온실가스 배출량을 산정하기 위하여 배출량 산정 방법론을 설정(상향식 방

구 분		선행 연구 검토		
		연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
		스템 (GHG-CAPSS)에 적용할 수 있는 활동자료/통계 자료 수집 체계를 구축하고, 항만의 물동량 예측을 통한 장래 배출량을 추정		법론)하고, 항만 배출원 활동자료 조사방법에 따른 배출량 산정방법 제시 • 항만 내 선박의 배출량 산정방법: 입출항 호출수, 엔진 출력, 연료소비계수 및 엔진부하율, 운항시간, 배출계수의 곱으로 산정
	4	과제명: 선박에 의한 대기오염물질 배출량 산정체계 개선 방안 연구자(연도): 안용성·육근형·김지윤 (2017) 연구 목적: 기존의 국내 선박 대기오염물질 배출량 산정체계(환경부·해양수산부)의 오류 및 한계, 이를 개선하기 위한 방안을 도출하고, 실제 적용 가능성 검토	• 환경부, 해양수산부가 각각 제시한 선박 대기오염물질 배출량 산정체계 및 국제기구·해외 주요 국가의 가이드라인과 관련 법·제도, 통계 등에 대한 국내외 문헌조사 수행 • 기존 산정체계 상세 및 관련 법·제도 등의 검토·분석 • 유관 부처 및 관련 민간업체의 담당자, 전문가들에 대한 인터뷰 및 자문회의 수행	• 선박의 배출량 산정을 위한 해외 주요 산정체계와 환경부·해양수산부의 기존 산정체계 검토 • 산정 단계(①산정 대상 및 범위, ②산정방법, ③배출계수) 별 분석에 따른 기존 산정체계의 한계 및 개선 대안을 도출하고, 국내 적용 가능성을 검토 • 국내 선박 대기오염물질 배출량 산정체계 개선방안, 법·제도 정비방안 제시 • 해양수산부 차원의 선박 대기오염물질 배출량 산정체계 마련을 위한 대안적 개선사항들의 적용 가능성 검토, 그 결과에 대한 심층 분석을 통하여 즉시 적용 가능한 대안 도출
	5	과제명: 국가 대기오염물질 배출량 통계 (CAPSS) 검증 및 개선 연구자(연도): 국립환경과학원(2019) 연구 목적: 정확하고 신뢰도 높은 대기환경 대책의 수립, 이행, 평가를 위해, '국가 대기오염물질 배출량 통계'의 신뢰도 및 불확도 개선	• 국가 대기오염물질 배출량 통계 자료의 정확도 및 신뢰도 개선을 위한 배출원별 배출량 산정방법(배출계수, 활동도 등) 개선을 위한 추진사항 및 방법론 제시	• 국내 항만 내 운영 하역장비(국가 관리체계에 미포함), 배출원 분류체계로 포함, 현황 확인 필요 지적 · 기존 '선박' 중분류 체계에서, '해운'업종으로 개편하여 하역장비 포함이 가능하도록 개선안 제시 · 국내 31개소의 무역항 중 현장조사 대상항만 선정, 조사체계를 수립 후 해당 항만에서 운영되고 있는 하역장비의 일반 현황 및 운영 특성 조사 수행

구 분		선행 연구 검토		
		연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
				・ 현장조사 결과를 통해 운영 특성을 확인, 장비별 활동 자료를 적용하여 항만별 대기오염물질 배출량 수준 추정 • 조사 대상 항만 내 부두별 배출량을 산정하고, 이를 기준으로 동일 부두에서의 연간 처리 물동량을 확인하여 부두 특성에 따른 물동량 대비 오염물질별 배출원단위 (g-pollutant/ton-cargo) 산정
	6	과제명: 항만지역 대기질 개선을 위한 데이터의 연계·활용 방안 연구 연구자(연도): 안용성 외(2019) 연구 목적: 항만지역 대기질 개선을 위한 공공데이터의 제공·연계·이용 및 활성화에 장애 요인을 도출하고, 항만지역 대기오염 현안 특성과 정책·기술 환경의 변화를 반영하여 「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법」 등 관련 제도의 이행을 위한 고수요·고가치 공공데이터 발굴 및 연계·활용을 위한 구체적 방안 제시	• 국내외 선행 연구보고서 분석으로 공공데이터 및 빅데이터 관련 이론적 배경 검토 • 항만·선박 활동으로 인한 대기오염 및 영향 관련 또는 타 분야 공공데이터 연계·활용과 관련한 국내 법령 및 계획, 국내외 주요 정책 운영 사례, 이와 관련한 연구자료 등에 대한 국내외 문헌조사 수행 • 부처·기관별 항만· 선박 대기환경정보 관리 관련 주요 실무자, 연구자 등을 대상으로 핵심그룹 인터뷰 수행 • 문헌조사 및 심층 면담 등을 통해 도출한 '연계-활용의 수요, 장애 요인' 사항을 수정-보완, 구체화하기 위한 전문가 세미나 수행	• 항만·선박 대기환경 관련 공공데이터의 활용 수요 및 적용방안을 검토 • 항만 및 인근 지역의 대기질 개선을 위한 정책 및 기술의 개발을 위한 기초 근거 자료를 확보하기 위하여 배출 및 오염, 배출물질의 이동 및 확산, 영향의 범위 및 정도 파악하기 위한 사업들을 단계별로 분류·검토하고 단계별, 사업별로 필요한 공공데이터의 수요를 조사·분석 • 특별법의 견실한 이행을 위해 이를 연계·활용할 수 있는 구체적 방안 제시
	7	과제명: PORT-MIS와 AIS 데이터를 활용한 항만 내 대기오염물질 배출량 추정	• 기존의 PORT-MIS 데이터 기반 Bottom-up 방식의 정확도를 검증하기 위하여, AIS 데이터 기반 방법론 동시 적용	• 2018년 10월 임의의 A 항만 출입 6개 선박에 대해 case study 수행 • PORT-MIS와 AIS 데이터 기반 Bottom-up 방식 대기

구 분		선행 연구 검토		
		연구 목적	연구방법	주요 연구 내용
		연구자(연도): 장영태·조성현·조아현(2020) 연구 목적: 선박의 대기오염물질 배출량 추정을 위한 기존의 PORT-MIS 데이터 기반 Bottom-up 방식 및 이를 보완한 AIS 데이터 기반 방법론의 정확도 비교·검증	• PORT-MIS와 AIS 데이터 기반 Bottom-up 방식 대기오염물질 배출량 추정 모형을 각각 구성하고, 개별 모형으로 산출한 배출량 추정 결과를 비교, 분석 ※ 배출량 추정을 위해, 유럽 환경청의 tier 3 모형과 cubic law 가정을 결합한 방법론 사용	오염물질 배출량 추정 모형에 따라서 각각 분석 대상인 6개 선박의 항만 내 운항형태별 배출량 추정 • 선박의 운항형태별 배출량 추정값, 2개 모형에 따른 배출량 추정값 등의 비교·분석으로, shifting, maneuvering, cruising 운항형태에서 유의미한 차이 확인

자료: 저자 작성

2. 본 연구의 차별성

앞서 살펴본 바와 같이, 해외에서는 선박의 배출량 산정 결과의 신뢰도와 활용성을 제고하기 위한 방안으로 2000년대 초반부터 AIS 데이터를 활용, 데이터의 시공간 격자를 조밀하게 적용하는 상향식 산정방법론에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있으나, 아직 우리나라에서는 이에 대한 본격 연구 작업이 미비한 상황이다.

국내의 관련 선행 연구는 기존의 패러다임 내에서 선박 대기오염물질 배출량 산정체계의 오류 및 한계, 이를 개선하기 위한 방안을 도출한 연구가 대부분이었으나, 최근 장영태·조성현·조아현(2020)는 A 항만 출입 6개 선박에 대한 Case study로, PORT-MIS와 AIS 데이터 기반 Bottom-up 방식 배출량 추정모형의 검증을 수행하여 새로운 방향성을 제시한 바 있으며, 안용성 외(2019)는 항만 배출량 산정 과정에 배출원(선박 포함)의 유무선 네트워크 기반의 자동 데이터 수집기술 및 AI 기반의 지능형 분석-예측 기술을 적용하기 위한 공공데이터의 수요를 구체화하여, 실시간 활동데이터

반영의 기술적 기반 구축방안을 제시하는 등, 기존 패러다임의 전환을 위한 연구가 시작되고 있는 것으로 보인다.

본 연구는 기존의 산정 패러다임에서 벗어나, 선박 배출량 산정체계의 패러다임을 스마트 커넥티드 기반의 상향식 방법론으로 새롭게 제시하여 배출량 산정 결과의 정확도를 획기적으로 개선하는 한편, 추후 관련 스마트 지능형 분석-예측 플랫폼의 기술적·정책적 기반을 제공하고자 기획되었다. 이를 위해 상향식 선박 대기오염물질 배출량 산정체계에 활용하기 위한 가용 기간계 데이터의 인벤토리를 작성하고,[8] 이를 바탕으로 국내 기간계 데이터 연계·활용을 통한 '활동데이터 기반 선박 배출산정 모형'을 구성하는 한편, 이를 도입·활용하기 위한 정책방안을 제시하였다.

특히, 산정 대상인 개별 선박의 제원(선박 및 엔진의 기본정보, 제원정보 등) 및 빅데이터 기반의 활동데이터를 바탕으로 보고-수집-산정 주기(시간 격자) 및 위치(공간 격자)를 조밀화하는 상향식 방법론을 적용하여, 전국·지역별·개별 항만별 특정 시공간 범위 대상 선박의 배출량을 산정할 수 있도록 선박의 기본·제원정보 및 활동데이터를 수집하고, 이 과정에서 기간계 데이터의 가용성 및 유효성, 빅데이터화 가능성 등을 심층적으로 검토, 적용하였다. 또한, 본 연구에서는 모형 적용을 위해 선박의 활동데이터를 구득하기 위한 재료 데이터를 AIS로 국한하지 않고, PORT-MIS, VTS, e-Navigation 서비스의 DSP 등, 국내 관련 기관계 데이터의 가용성 검토를 거쳐 최적의 데이터 조합을 도출·적용하였다.

8) 선박의 정적정보 및 동적정보(빅데이터 기반)를 포함하는 개별 기간계 데이터의 주요 정보(생산기관.부처, 수집-생산 주기 등), 재료 및 생산 데이터 구조 및 형식, 가용성/유효성 검토 결과 등으로 구성

〈표 1-8〉 본 연구의 차별성

선행 연구	본 연구	
	연구방법	주요 연구 내용
• 기존의 패러다임 내에서 선박 대기오염물질 배출량 산정체계의 오류 및 한계, 이를 개선하기 위한 방안을 도출한 연구가 대부분 • (해외) AIS 데이터를 활용, 데이터의 시공간 격자를 조밀하게 적용하는 상향식 산정방법론에 대한 연구 활발 • (국내) ①유사 주제에 대한 선행 연구 사례의 경우, 최소한의 샘플에 대한 추정모형의 적용, ② 유무선 네트워크 기반의 실시간 산정을 위한 데이터의 수요를 구체화하거나, 빅데이터화 가능한 데이터의 선별 작업 등, 본격 도입·적용 수행한 연구사례는 아직 없음	• 국내외 문헌조사 및 비교·분석 • 핵심그룹 인터뷰(FGI) · 선행 연구자 · 활동데이터 후보군 (PORT-MIS, AIS, VTS, e-Navigation 등)의 관리·운용기관 • 전문가 세미나 수행 · 문헌조사 및 심층 면담 등을 통해 도출한 '수요 데이터의 유효성' 검토 결과 및 '국내 기간계 데이터 연계·활용을 통한 활동데이터 기반 상향식 산정모형 도입·활용 방안'의 초안 내용을 수정-보완, 구체화 • 산정모형 적용에 따른 ①단계별 오류 발생 가능성, ②결과수치 비교 분석	• 국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론 조사 및 분석 • 활동데이터 기반 (Activity-based method)의 상향식 배출산정 모형 구성 및 적용사례 조사·분석 • 기존 방법론의 한계 도출, 분석 • 가용 데이터 인벤토리 작성 · 선박·항만의 배출량 산정체계 고도화(스마트 커넥티드 기반의 상향식 방법론 적용)를 위한 국내 기간계 데이터의 가용성/유효성 검토 • 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형을 적용하여, · 기존 방식(환경부, PORT-MIS 적용방식)과 새로운 패러다임의 산정 단계별 비교·분석 · 부산항 입출항 선박을 대상으로 배출량 산정에 시범 적용 후, 기존 산정방식 적용 결과와 수치 비교 분석 • 국내 기간계 데이터의 연계·활용을 통한 선박의 배출량 산정 방법론 도입 방안 제시

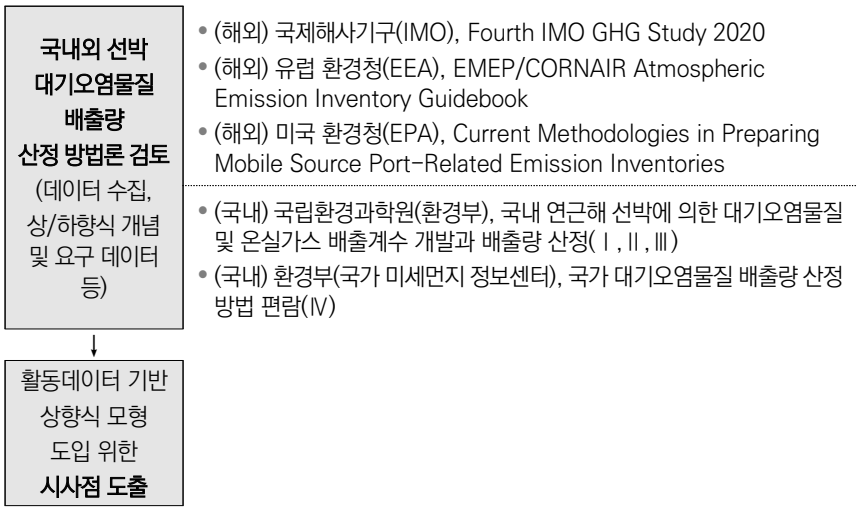
자료: 저자 작성

02
국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론

본 연구는 현행 하향식 산정방식 위주의 산정 패러다임에서 활동데이터(Activity-based method) 기반의 본격 상향식 배출 산정 패러다임으로 전환함으로써, 선박의 활동을 보다 조밀한 시공간 격자 단위로 정확하게 반영하여 추후 실시간 산정, 활용을 가능케 하는 한편 산정 결과의 정확도 및 활용도를 획기적으로 개선할 수 있는 기술적 기반을 마련하는 데에 중요한 목적이 있다. 제2장에서는 선박 대기오염물질 배출량 산정을 위한 국내외 지침 및 가이드라인의 조사·검토를 통해 현행 주요 방법론의 개념 및 원리 등을 살펴보고, 활동데이터 기반 상향식 모형 구성 및 적용을 위한 시사점을 도출하였다.

특히, 해외 방법론의 상·하향식 산정방법의 특성, 이를 적용하기 위한 분석 대상 및 범위의 설정, 연료 및 에너지 소비량 추정을 위한 데이터 수집 방법, 활동 반영을 위한 선박의 운항형태, 엔진부하 등의 구분, 개별 조건에 의한 배출계수의 적용방법 등을 중점적으로 조사하였다. 또한, 국내 방법론 역시 이와 관련하여 정확도를 개선하기 위한 자체적 수정사항 등을 검토하였다.

〈그림 2-1〉 국내외 선박 대기오염물질 배출량 산정 방법론 검토



자료: 저자 작성

제1절 해외 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론

1. 국제해사기구(IMO), Fourth IMO GHG Study 2020

1) 개요

국제해사기구(IMO)는 선박으로 인한 온실가스 및 대기오염물질의 배출량을 산정하기 위한 가이드라인으로, IMO는 이를 바탕으로 'EEOI(에너지 효율 운항지표), EEDI(선박 에너지효율 설계지수), SEEMP(선박 에너지효율 관리계획서) 등 기술규제의 도입을 지속으로 논의한 데 이어, 2011년에 발표한 「MARPOL Annex VI」에서 이를 강제화하였다. 2014년 발표된 제

3차 보고서에서는 개별 선박의 활동데이터 추정의 정확도를 향상시키는 한편 배출량 산정 과정의 불확실성을 최소화하고자 하였다. 2020년 발표한 제4차 보고서 'Fourth IMO GHG Study 2020'은 국제 국내 운항 선박의 구분 기준을 새롭게 도입하는 등, 보다 정교한 배출량 산정방법론을 제시하였다.

2) 주요 내용

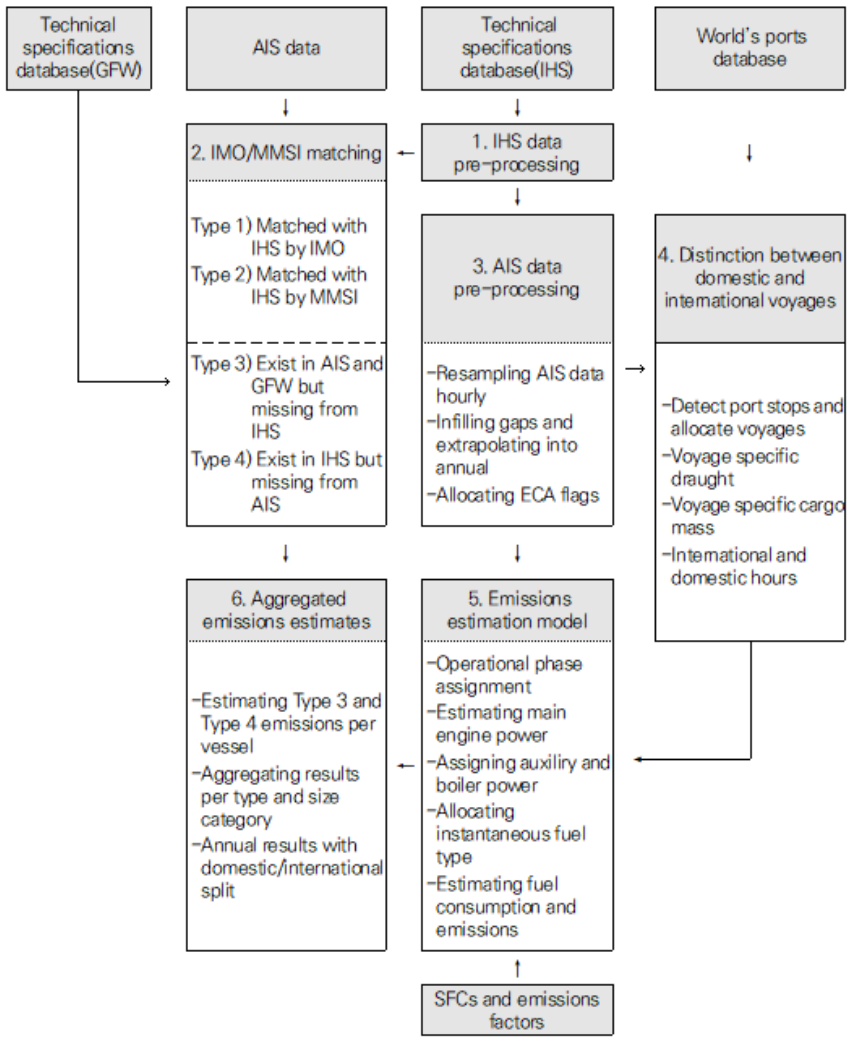
'Fourth IMO GHG Study 2020'은 국제 해운의 온실가스, 대기오염물질 배출량 및 장래 예측치 산정을 위한 가이드라인으로, UNFCCC[9]에서 규정하는 온실가스, 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O)와 주요 대기오염물질인 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 미세먼지(PM_{10}, $PM_{2.5}$), 일산화탄소(CO), 휘발성유기화합물(NMVOC), 블랙카본(BC)의 산정방법을 상향식 및 하향식으로 구분하여 제시하였다.

(1) 상향식(Bottom-up) 방법론

선박의 배출량 산정 시 상향식(Bottom-up) 방법론의 적용을 위한 자료 수집 및 산정·분석 절차는 다음과 같이 총 6단계로 제시하고 있다.

9) United Nations Framework Convention on Climate Change(기후변화협약)

〈그림 2-2〉 상향식(Bottom-up) 방법론의 수행 과정



자료: IMO(2021), p. 32

가. 선박의 기술적 제원정보 가공

우선 데이터베이스에서 누락되거나 오류가 발견되는 선박의 기술적 제원정보에 대한 보완 작업을 수행한다. 즉, 선박의 규모에 따른 분류, 엔진(주엔진, 보조엔진 및 보일러)에 따른 연료 종류 등의 정보를 확인하고, 이상치를 탐색하여 보완한다.

나. AIS 데이터의 매칭

AIS 데이터 세팅에서 성공적으로 식별된 선박은 고유번호 즉, IMO 번호나 MMSI[10] 번호를 이용하여 IHS[11] 데이터베이스의 정보와 매칭한다. IMO 번호와 IHS 정보가 일치하는 선박은 '유형1(Type1)', MMSI 번호와 IHS 정보가 일치하는 선박은 '유형2(Type2)'로 각각 분류하고, 나머지 선박은 MMSI 번호로 GFW[12] 데이터베이스와 비교하여 이 중 총톤수 100톤을 초과하는 선박은 '유형3(Type3)'로 표시한다. 마지막으로, IHS 데이터베이스에서 매칭이 안 되지만 해당 연도 동안 'In service' 상태로 나타나면서 총톤수 100~300톤 사이인 선박은 '유형4(Type4)'로 구분한다.

다. AIS 데이터의 준비 및 정리

이 단계에서는 AIS 데이터의 정리, 필터링 및 병합을 위한 프로세스를 다루며, 분석 대상 연도에 대한 연간 시간별 관측치를 재정리한다. 여기서 추가 모형에 필요한 다양한 메트릭의 시계열 간격을 채우는 과정도 이루어진다. 또한, ECA(배출규제해역) 경계와 해안 및 가장 가까운 항만으로부터의 거리가 AIS 데이터 세트의 각 추정시간에 할당된다.

10) Maritime Mobile Service Identity
11) Information Handling Service
12) Global Fishing Watch

라. 국제 및 국내 운항 구분

국제·국내 운항을 구분하는 과정으로, 기존에는 선박의 유형과 사이즈에 따라 국제·국내 운항을 구분하였으나 제4차 보고서는 항만 위치와 각 선박의 운항경로를 매칭하여 이를 바탕으로 국제 및 국내 운항을 판단하도록 하였다. 이들의 산정방법은 동일하지만, 결과 도출 과정에서 온실가스 및 대기오염물질 배출량을 국제 및 국내 운항으로 구분하여 제시하도록 하고 있다.

마. 대기오염물질 배출량 산정모형 구성 및 적용

이 단계에서는 연료의 소비, 이에 따른 대기오염물질 배출이 이루어지는 주엔진, 보조엔진 및 보일러의 개별 대기오염물질 배출량 산정모형을 구성·적용한다. 산정모형은 개념적으로 이전 보고서인 'Third IMO GHG Study 2014'에 적용된 것과 유사하며, 주엔진(ME), 보조엔진(AE) 및 보일러(BO)에 대한 시간당 대기오염물질 배출량(EM) 산정방법론을 에너지 기반, 연료 소비량 기반의 두 가지 방식으로 구분하여 제시하고 있다. 에너지 기반 산정방식은 엔진 출력($\dot{W}_i$)과 에너지 배출계수(EF_e)의 곱으로, 연료 소비량 기반 산정은 연료 소비량(FC)과 연료 배출계수(EF_f)의 곱으로 각각 표현된다.

(가) 엔진 출력의 추정

선박의 저항력은 유체역학적 저항력[13](R_h)과 공기역학적 저항력[14](R_a)으로 구분할 수 있다. 유체역학적 저항력은 선박 운항 시 물로 인한 저항력이고, 공기역학적 저항력은 공기로 인한 저항력으로 볼 수 있다. 주엔진 운항에 따른 엔진 출력 추정모형은 다음과 같다.

13) Hydrodynamic resistance
14) Aerodynamic resistance

$$\dot{W}_i = \frac{\delta_w \times \dot{W}_{ref} \times (\frac{t_i}{t_{ref}})^m \times (\frac{v_i}{v_{ref}})^n}{\eta_w \times \eta_f}$$

$\dot{W}_{ref}$: IHS 데이터베이스에서 제공한 참고지수
t_i: AIS 데이터에서 제공한 순간흘수
v_i: AIS 데이터에서 제공한 순간 속도
t_{ref}: IHS 데이터베이스에서 제공한 참고 흘수지수
$v_{ref} v_{ref}$: IHS 데이터베이스에서 제공한 참고 속도지수
m: 흘수비율 고정값(0.66)
n: 속도비율 고정값(3)
n_w: 날씨요인이 선박의 추진 효율에 대한 영향지수
n_f: 선체오염이 선박의 추진 효율에 대한 영향지수
δ_w: IHS 데이터베이스에서 제공한 특정 선박 유형 및 크기에 대한 조정계수 (14,500TEU 이상인 대형 컨테이너: 0.75; 크루즈: 0.70; 기타: 1.00)

자료: IMO(2021), p. 64

보조엔진 및 보일러의 엔진출력은 선박 운항형태별로 선박의 유형 및 사이즈에 따라 고정 수치를 부여하고 있다. 선박의 운항형태는 'At berth', 'At anchor', 'Maneuvering', 'In slow transit', 'At sea'로 구분되며, AIS 데이터에서 확인할 수 있는 위치정보와 항계 및 해안선 기준의 선박 항해 속도에 따라 선박의 운항형태를 결정하도록 하고 있다.

〈표 2-1〉 선박의 운항형태 구분

속도 (노트)	주엔진 부하비율	항계와의 거리(nm)		해안선과의 거리(nm)		
≤ 1	1 – 5	≤ 1	1 – 5	≥ 5		
1≤	–	At berth	At berth*	Anchored	Anchored	Anchored
1 – 3 (incl. 3)	–	Anchored	Anchored*	Anchored	Anchored	Anchored
3 – 5 (incl. 5)	≤ 0.65	Manoeuvring	Manoeuvring*	Manoeuvring	Manoeuvring	Slow transit
	〉0.65	Manoeuvring	Manoeuvring*	Manoeuvring	Manoeuvring	Normal cruising

속도 (노트)	주엔진 부하비율	항계와의 거리(nm)		해안선과의 거리(nm)		
〉5	≤ 0.65	Manoeuvring	Slow transit*	Slow transit	Slow transit	Slow transit
	〉0.65	Manoeuvring	Normal cruising*	Normal cruising	Normal cruising	Normal cruising

주: * chemical tankers, liquified gas tankers, oil tankers and other liquids tankers 만 해당
자료: IMO(2021), p. 66

(나) 배출규제해역(ECA) 제도의 시행에 따른 연료 전환 보정

배출규제해역(ECA) 제도의 시행으로, 제4차 보고서에서는 선박의 주엔진, 보조엔진 및 보일러 연료의 전환을 고려한 보정사항 역시 추가되었다. 2015년 이전 선박 사용 연료는 HFO가 LSHFO[15](황 함량 1%)로 대체되었으며, 2015년부터는 HFO가 MDO(황 함량 0.1%)로 대체되었다.

〈표 2-2〉 ECA 시행으로 인한 연료 전환 반영

황 함량 규정	표준 연료 유형	ECA 해역 해당 연료 유형
1.00% (10,000ppm)	HFO	LSHFO 1%
	MDO	MDO
	LNG	LNG
	Methanol	Methanol
0.10% (1,000ppm)	HFO	MDO
	MDO	MDO
	LNG	LNG
	Methanol	Methanol

자료: IMO(2021), p. 70

(다) 연료 소비량 산정

주엔진, 보조엔진, 보일러의 시간당 총 연료 소비량(FC_i) 산정방법은 다음과 같다. 우선 엔진별 시간당 연료 소비지수(SFC_i)는 주엔진, 보조엔진,

15) Low Sulfur Heavy Fuel Oil

보일러 작동 시 가장 낮은 SFC일 경우에 나타나는 수치(SFC_{basE}) 즉, 엔진 및 보일러의 작동 시 가장 효율적인 포인트의 수치를 활용하여 추정한다.

$$FC_i = SFC_i \times \dot{W}_i$$

$\dot{W}_i$: 각 부분에 대한 시간당 엔진출력
SFC_i: 각 부분에 대한 시간당 연료 소비지수

자료: IMO(2021), p. 70

이때, SFC_{basE}는 엔진·시스템의 종류 및 제조 연도, 연료의 종류 등에 따라서 다른 값을 가지며, 자세한 내용은 아래의 표에서 확인할 수 있다.

〈표 2-3〉 엔진, 연료 및 제조 연도별 SFC_{basE}

단위: g/kWh

엔진 종류	연료 종류	엔진 제조 연도		
		1983년 이전	1984~2000년	2001년 이후
SSD (Slow-speed diesel)	HFO	205	185	175
	MDO	190*	175*	165*
	MeOH**	-	-	350*
MSD (Medium-speed diesel)	HFO	215	195	185
	MDO	200*	185*	175*
	MeOH**	-	-	370*
HSD (High-speed diesel)	HFO	225	205	195
	MDO	210*	190*	185
LNG-Otto(dual-fuel, medium-speed)*	LNG	-	173*	156*
LNG-Otto(dual-fuel, slow-speed)*	LNG	-	-	148 LNG +0.8 MDO(pilot)*
LNG-Diesel(dual-fuel)*	LNG	-	-	135 LNG +6.0 MDO(pilot)*
LBSI*	LNG	-	156*	156*
GT (Gas Turbines)**	HFO	305	305	305
	MDO	300	300	300
	LNG	-	-	203*

엔진 종류	연료 종류	엔진 제조 연도		
		1983년 이전	1984~2000년	2001년 이후
ST (Steam Turbines) (and boilers)**	HFO	340*	340*	340*
	MDO	320*	320*	320*
	LNG	285*	285*	285*
Auxiliary engines	HFO	225	205*	195*
	MDO	210*	190*	185*
	LNG	–	173*	156*

주: * Refer to a change from the Third IMO GHG Study 2014.
** The conversion of SFCbase between fuels was done using the following assumed energy densities: For HFO is 40,200 kJ/kg; MDO uses 42,700 kJ/kg; LNG uses 48,000 kJ/kg and Methanol is assigned 19,900 kJ/kg(International Maritime Organization, 2018).
자료: IMO(2021), pp. 70~71

주엔진의 시간당 연료 소비지수($SFC_{ME,i}$)는 다음과 같은 과정을 통해 추정할 수 있다.

$$SFC_{ME,\,i} = SFC_{basE} \times (0.455 \times Load_i^2 - 0.710 \times Load_i + 1.280)$$

$Load_i$: 시간당 주엔진부하율(0~1, $\dot{W}_i$ / 엔진 최고 출력)
※ 엔진부하 지수 CF_L는 다음과 같이 지정하기도 함

$$CF_L = (0.455 \bullet Load_i^2 - 0.710 \bullet Load_i + 1.280)$$

자료: IMO(2021), p. 71

가스터빈 엔진(Gas turbine) 및 스팀터빈 엔진(Steam turbine)의 $SFC_{ME,i}$ 값은 엔진부하에 상관되지 않는 것으로 간주되기 때문에, 이러한 엔진 유형의 $SFC_{ME,i}$는 항상 SFC_{basE}로 적용한다. 또한, 보조엔진 및 보일러 역시 같은 이유로 SFC_{basE}를 적용한다.

$$FC_{AE/BO,\,i} = SFC_{basE} \times \dot{W}_{AE/BO,\,i}$$

$FC_{AE/BO,i}$: 보조엔진 및 보일러의 시간당 연료 소비량
$\dot{W}_{AE/BO,i}$: 보조엔진 및 보일러의 엔진출력

자료: IMO(2021), p. 71

이 과정에서, 엔진부하율이 7% 이하일 경우 연료 소비와 주엔진에서 발생하는 모든 배출량은 0으로 가정한다. 이는 이렇게 낮은 수준의 엔진부하는 일반적으로 선박이 정박 상태일 때 발생하기 때문이며, 이러한 경우 연료소비와 배출량은 보조엔진과 보일러에서만 발생하는 것으로 간주한다.

(라) 배출량 산정

제4차 보고서는 선박의 주엔진, 보조엔진 및 보일러의 시간당 배출량 산정방식을 에너지 기반 및 연료 소비량 기반 방식으로 구분하여 제시하고 있다. 에너지 기반 방식의 경우, 엔진 및 보일러의 엔진출력(Ẇ) 및 에너지 기반의 대기오염물질 배출계수(EF_E)를 활용하여 NOx, CH_4, CO, N_2O, $PM_{2.5}$, PM_{10}, NMVOC 등 일곱 가지 대기오염물질 배출량을 산정할 수 있다.

$$EM_i = EF_E \times \dot{W}_i$$

자료: IMO(2021), p. 71

연료 소비량 기반 방식은 연료 종류 및 엔진 유형에 따라서 구분되는 연료 소비량(FC_i) 및 연료별 대기오염물질 배출계수(EF_f: g pollutant/g fuel)를 활용하여 배출량을 산정하는 방식이다. 특히 엔진이 디젤인 선박의 CO_2, SOx 및 BC 배출량을 산정할 수 있으며, LNG engines, Steam turbines, Gas turbines의 경우 에너지 기반 방식으로 BC 배출계수를 적용하여 산정할 수 있다.

$$EM_i = FC_i \times EF_f$$

자료: IMO(2021), p. 71

한편, 엔진부하가 20% 미만인 경우에는 낮은 연소 효율로 인해 배출계수가 다른 비율로 증가한다. 이 현상을 반영하기 위해 저부하 계수(LLF)[16]를

16) Low Load Factors

적용하여 배출계수(EF_f)를 조정하도록 했다. 하지만 엔진부하가 MCR 7% 미만인 주엔진에 대한 연료소비 및 배출량은 보고하지 않도록 하고 있다.

〈표 2-4〉 엔진부하에 따른 저부하 계수(LLF)

엔진부하	PM	NOx	SOx*	CO_2*	CO	CH_4	N_2O	NMVOC	BC*
〈=2%	7.29	4.63	1.00	1.00	9.7	21.18	4.63	21.18	1.00
10%	1.38	1.22	1.00	1.00	1.97	2.18	1.22	2.18	1.00
20%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

주: * LLF 적용하지 않은 물질
자료: IMO(2021), p. 74

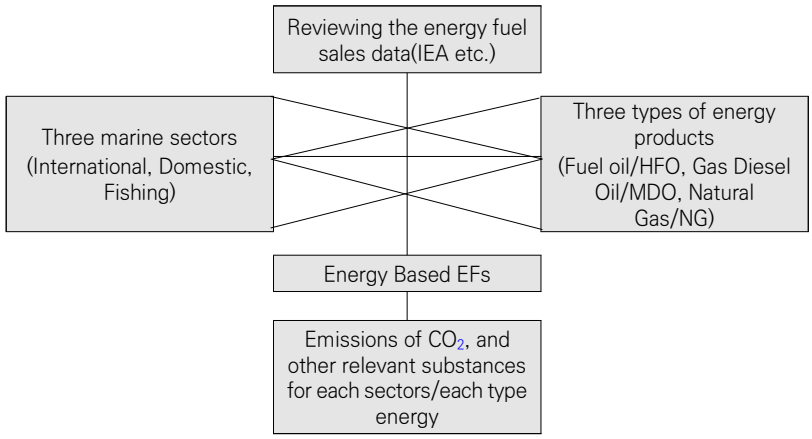
바. 총배출량 추정

앞서 AIS 데이터의 매칭 작업에서 유형1과 유형2로 구분된 선박의 온실가스 및 대기오염물질 배출량을 우선 산정하며, 그 결과를 바탕으로 유형3과 유형4 선박에 대한 배출량을 추정하도록 하고 있다. 보고서는 배출량은 선박의 유형 및 크기를 기준으로 구분하여 산정하고, 두 가지 접근방식(선박의 유형 및 크기 기준, 운항경로 기준)으로 국제·국내 운항선박을 구분하여 각각의 분석 결과를 제시하였다.

(2) 하향식(Top-down) 방법론

하향식(Top-down) 방법론은 전체 연료 소비량 통계 및 대기오염물질별 배출계수를 적용하여 전체 선박의 온실가스 및 대기오염물질의 배출량을 산정하는 방식이다. 'Fourth IMO GHG Study 2020'은 2012년부터 2017년까지 HFO, MDO, LNG 세 가지 연료를 사용한 국제·국내 선박 및 어선의 대기오염물질 배출량을 산정·분석하였다. 적용된 방법론 및 가정은 국제에너지기구(IEA)의 기준을 준용하고 있다.

〈그림 2-3〉 하향식(Top-down) 방법론의 수행 과정



자료: IMO(2021), p. 80

가. 연료 및 에너지 소비량 데이터 수집

'Fourth IMO GHG Study 2020'은 하향식 배출량 산정방식 적용 시, 기존의 제2차 및 제3차 보고서와 같이 국제에너지기구(IEA)[17]가 제공하는 2012년~2017년 사이의 'World Energy Statistics'의 자료를 사용하였다. 해당 통계 자료는 선박이 주로 사용하는 연료(HFO, MDO, LNG, Motor Gasoline, Lubricants, 기타 연료)에 대한 정보를 제공하고 있으며, 이 중 Motor Gasoline, Lubricants, 기타 연료 소비량의 합이 전체 연료 소비량의 약 0.1 %에 불과해 해당 보고서는 HFO, MDO, LNG의 소비량 자료를 활용하였다.

나. 배출계수

제4차 보고서는 앞서 상향식(Bottom-up) 방법론을 적용하여 연료의 종류별로 산출한 온실가스 및 대기오염물질의 배출량 자료를 바탕으로 선박

17) International Energy Agency

연료 유형(HFO, MDO, LNG)별 대기오염물질별 배출계수를 역으로 추정하고, 이를 IEA 통계에서 제공하는 전체 연료 소비량 데이터와 곱하는 방식으로 연료별 전체 배출량을 산정하였다. 이렇게 추정한 배출계수는 이미 선박 구성, 엔진 수명 분포 등을 고려하여 도출되었기 때문에 제2차와 제3차 보고서에서 사용한 고정 배출계수보다 더 현실적인 결과를 산출할 수 있는 것으로 평가된다.[18)]

〈표 2-5〉 하향식(Top-down) 방법론의 배출계수

단위: kg pollutant/ tonne fuel

대기오염 물질	연료 유형	제4차 IMO 온실가스 연구 2020						
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CO_2	HFO	3,114	3,114	3,114	3,114	3,114	3,114	3,114
	MDO	3,206	3206	3,206	3,206	3,206	3,206	3,206
	LNG	2,750	2,750	2,749	2,749	2,750	2,753	2,755
CH_4	HFO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	MDO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	LNG	5.31	6.00	7.35	8.48	10.20	11.22	11.96
N_2O	HFO	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18
	MDO	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
	LNG	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.10
NOx	HFO	78.61	77.18	76.19	76.98	76.71	76.67	75.90
	MDO	53.12	52.51	52.14	57.68	57.45	57.62	56.71
	LNG	5.60	5.90	5.82	5.99	7.46	10.95	13.44
CO	HFO	2.84	2.83	2.84	2.86	2.86	2.87	2.88
	MDO	2.48	2.47	2.47	2.58	2.58	2.60	2.59
	LNG	1.88	2.07	2.38	2.64	3.10	3.57	3.97
NMVOC	HFO	3.14	3.13	3.13	3.17	3.18	3.19	3.20
	MDO	2.16	2.15	2.15	2.39	2.39	2.42	2.40
	LNG	0.81	0.88	0.99	1.09	1.26	1.44	1.59

18) IMO(2021), p. 82.

대기오염 물질	연료 유형	제4차 IMO 온실가스 연구 2020						
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
SOx	HFO	46.63	44.80	45.31	47.90	50.44	50.83	50.83
	MDO	2.74	2.54	2.35	1.56	1.56	1.56	1.37
	LNG	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
PM	HFO	7.11	6.96	7.01	7.26	7.48	7.53	7.55
	MDO	0.97	0.96	0.94	0.92	0.92	0.92	0.90
	LNG	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
$PM_{2.5}$	HFO	6.54	6.41	6.45	6.68	6.88	6.93	6.94
	MDO	0.90	0.88	0.87	0.84	0.84	0.85	0.83
	LNG	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
BC	HFO	0.26	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26
	MDO	0.43	0.43	0.43	0.37	0.37	0.37	0.38
	LNG	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019

자료: IMO(2021), p. 83

2. 유럽 환경청(EEA), EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook

1) 개요

유럽환경청(EEA)[19]은 유럽의 대기오염물질 배출을 관리하기 위해 1996년 처음으로 대기오염물질 배출량 산정을 위한 가이드라인을 마련하였다. 2009년에는 기존 가이드라인을 보완·개선한 'EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook 2009'를 발표하고, 이를 통해 산업 분야별 대기오염물질 배출원에 대한 배출량 추정 방식을 제시하였다. 이후 2013년, 2016년 산정방법론을 개선하여 제시한 바 있으며, 2019년 발표한

19) European Environment Agency

'EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019'이 가장 최신의 버전이다.

2) 주요 내용

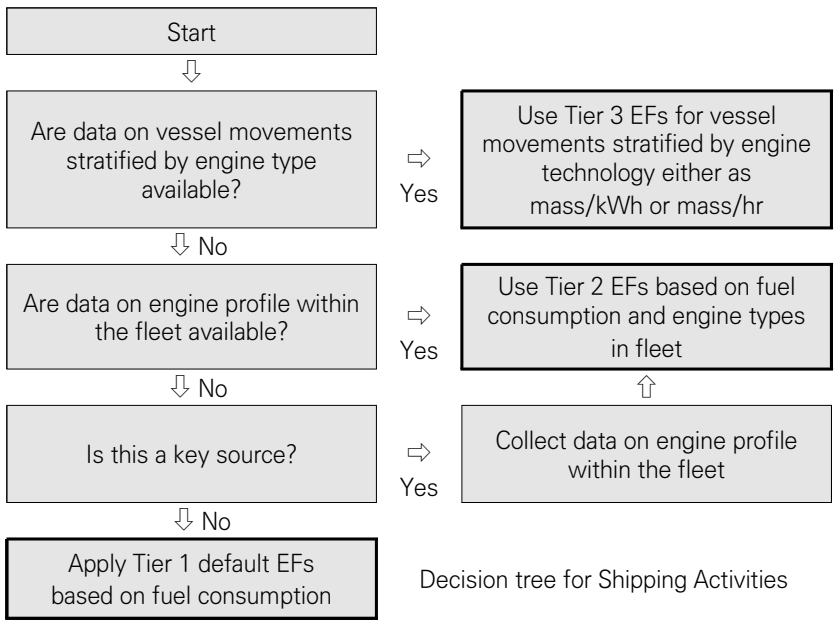
(1) 분석 대상 및 범위

'EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019'은 개별 산업 분야별 대기오염물질 배출량 산정방법론을 제시하고 있다. 선박 부문은 기본적으로 선박, 엔진 유형별로 대상을 구분하여 배출량을 산정하며, SOx, NOx, PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, NMVOC, BC, NH_3의 배출량을 산정하기 위한 방법론과 배출계수 및 기준 등을 포함하고 있다.

(2) 산정방법론

EEA의 2019년 가이드북은 수집 가능한 선박 활동데이터의 종류, 수준에 따라서 대기오염물질 배출량 산정방법론을 Tier 1, Tier 2, Tier 3 수준으로 구분하여 제시하고 있으며, 가용한 데이터 환경 및 조건에 따라서 적절한 방법론을 최종 선택할 수 있다.

〈그림 2-4〉 EEA 적용 방법론 선택 과정



자료: EEA(2020), p. 12

가. Tier 1

Tier 1 방법론은 연료 종류의 구분에 따른 연료별 소비량 통계가 준비되는 경우 적용할 수 있다. 준비된 연료별 소비량과 해당 연료 종류에 따른 배출계수를 활용하여 배출량을 산정한다.

EEA의 2019년 가이드북은 Tier 1 및 Tier 2 방식을 설명함에 있어서, 기본적으로 특정 국가의 특정 연료의 소비량 통계를 활용하여 해당 연료를 사용한 선박의 국가 전체 배출량을 산정하는 등 하향식 방법론으로 설명하고 있다. 하지만 이는 개념적인 원리로, 요구 데이터의 확보 가능 유무에 따라서 개별 선박 또는 특정 구간의 연료 소비량을 활용한 배출량 산정, 나아가 이를 총 합산하는 상향식 산정 역시 가능하다.

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

E_i: i 연간 대기오염물질 배출량(kg)
FC_m: 해당 국가의 선박 연료별 소비량(tonnes)
$EF_{i,m}$: 연료별 i 대기오염물질 배출계수(kg/tonnes)
m: 연료 종류(BFO, MDO, MGO, Gasoline)
i: 대기오염물질 종류

자료: EEA(2020), p. 13

〈표 2-6〉 Tier 1 대기오염물질 배출계수(EF)

단위: kg/tonne fuel

연료 유형	NOx	CO	NMVOC	SOx	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$
BFO	79.3	7.4	2.7	20	6.2	6.2	5.6
MDO/MGO	78.5	7.4	2.8	20	1.5	1.5	1.4
Gasoline	9.4	573.9	181.5	20	9.5	9.5	9.5

자료: EEA(2020), pp. 14~17

나. Tier 2

Tier 2 방법론은 연료의 종류에 더하여 엔진 유형의 추가 구분에 따른 연료별 소비량 통계가 준비되는 경우 적용할 수 있다. 준비된 연료별 소비량과 해당 연료 종류에 따른 배출계수를 활용하여 배출량을 산정한다.

$$E_i = \sum_m (\sum_j FC_{m,j} \times EF_{i,m,j})$$

E_i: i 연간 대기오염물질 배출량(kg)
$FC_{m,j}$: 선박 엔진 유형별 및 연료별 소비량(tonnes)
$EF_{i,m,j}$: 엔진 유형별, 연료별 i 대기오염물질 배출계수
m: 연료 유형(BFO, MDO, MGO, Gasoline)
j: 엔진 유형(HSD, MSD, SSDI, GT, ST)
i: 대기오염물질 종류

자료: EEA(2020), p. 17

Tier 1의 연료 구분에 이어, 엔진의 유형은 HSD, MSD, SSD, GT, ST로 구분한다. 이에 따라서 NOx, NMVOC, 및 PM(TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$)의 배출계수를 제시하고, 기타 대기오염물질의 배출계수는 Tier 1 방법론의 배출계수를 참고하도록 하고 있다. 또한, Gasoline 연료의 사용은 항만 내에서만 활동하는 Small boats에서 이루어지는 것으로 가정하였다. Gasoline 연료의 사용으로 배출되는 NH_3 배출량 산정은 Tier 1 방법론을 적용한다.

〈표 2-7〉 Tier 2 배출계수 및 연료 소비계수

단위: kg/tonne, g fuel/kWh

엔진 유형	연료 유형	NOx 2000	NOx 2005	NOx 2010	TSP – PM_{10}	$PM_{2.5}$	Specific fuel consumption
GT	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
HSD	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
MSD	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
SSD	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
ST	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: EEA(2020), p. 18

다. Tier 3

Tier 1 및 Tier 2 방법론은 연료 소비량 기반의 방식으로, 산정 과정에서 배출량 추정치를 산정하기 위해 선박의 평균적 특성을 가정한다. Tier 3 방법론은 개별 선박의 세부 활동데이터(연료 사용, 선박 운항형태별 가동시간 등)와 기술적 제원정보(엔진 유형, 엔진 크기, 최대출력 등)가 준비되는 경우 적용할 수 있다.

이들 정보에 의한 선박의 식별, 엔진 등의 구분, 이어서 선박 활동의 충

실한 반영 등으로, 국제·국내 운항 선박, 지역·선사별 배출량 등 다양한 카테고리의 구분에 따른 상세 배출량 추정이 가능하다.

(가) 연료 소비량 기반 산정

우선 선박 운항형태별 연료 소비량에 대한 정보 확보가 가능한 경우, 다음과 같은 방식으로 배출량을 산정할 수 있다.

$$E_{Trip,i,j,m} = \sum_{P}(FC_{j,m,p} \times EF_{i,j,m,p})$$

E_{Trip}: 선박의 모든 운항형태에서의 대기오염물질 배출량(tonnes)
FC: 선박 연료 소비량(tonnes)
EF: 대기오염물질 배출계수(kg/tonnes)
m: 연료 종류(BFO, MDO, MGO, Gasoline)
j: 엔진 유형(HSD, MSD, SSDI, GT, ST)
p: 선박 운항형태(Cruise, Hotelling, Manoeuvring)
i: 대기오염물질 종류(NOx, NMVOC, PM)

자료: EEA(2020), p. 22

EEA의 2019년 가이드북은 NOx, NMVOC 및 PM(TSP, $PM_{2.5}$, PM_{10})에 관한 배출계수를 아래의 표와 같이 제시하고, 기타 대기오염물질의 경우는 Tier 1 방법론에서 제시된 연료별 배출계수를 활용하도록 하고 있다.

〈표 2-8〉 Tier 3 배출계수(연료 기반)

단위: kg/tonne

엔진 구분	운항형태	엔진 유형	연료 유형	NOx 2000	NOx 2005	NOx 2010	NMVOC	PM
주엔진	Cruise	GT	BFO	20.0	19.3	18.6	0.3	0.3
			MDO, MGO	19.7	19.0	18.3	0.3	0.0
		HSD	BFO	59.6	57.7	55.6	0.9	3.8
			MDO, MGO	59.1	57.1	55.1	1.0	1.5
		MSD	BFO	65.7	63.4	61.3	2.3	3.8

엔진 구분	운항형태	엔진 유형	연료 유형	NOx 2000	NOx 2005	NOx 2010	NMVOC	PM
			MDO, MGO	65.0	63.1	60.6	2.4	1.5
		SSD	BFO	92.8	89.7	86.5	3.0	8.7
			MDO, MGO	91.9	88.6	86.5	3.2	1.6
		ST	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	GT	BFO	9.2	8.9	8.6	1.5	4.5
			MDO, MGO	9.1	8.8	8.5	1.5	1.6
		HSD	BFO	43.6	42.3	40.6	2.5	10.3
			MDO, MGO	43.0	41.7	40.1	2.6	4.0
		MSD	BFO	47.9	46.2	44.6	6.3	10.3
			MDO, MGO	47.5	45.7	44.3	6.6	4.0
		SSD	BFO	67.4	65.1	62.9	8.2	11.2
			MDO, MGO	66.7	64.2	62.1	8.6	4.4
		ST	BFO	5.1	4.8	4.7	0.9	7.1
			MDO, MGO	5.0	5.0	4.7	0.9	2.8
보조 엔진	Cruise, Manoeuvring, Hotelling	HSD	BFO	51.1	49.4	47.6	1.7	3.5
			MDO, MGO	50.2	48.6	46.8	1.8	1.4
		MSD	BFO	64.8	62.5	60.4	1.7	3.5
			MDO, MGO	64.1	62.0	59.7	1.8	1.4

자료: EEA(2020), pp. 24~25

(나) 에너지 기반 산정

선박의 운항형태별 연료 소비량에 대한 정보를 확인하기 어려운 경우에는, 엔진 출력과 선박의 운항형태별 가동시간정보를 활용한 에너지 기반 산정방식으로 배출량을 산정할 수 있다.

$$E_{Trip,i,j,m} = \sum_{P}[T_P \sum_{e}(P_e \times LF_e \times EF_{e,i,j,m,p})]$$

E_{trip}: 선박의 모든 운항형태에서의 대기오염물질 배출량(tonnes)
EF: 대기오염물질 배출계수(g/kWh)
LF: 엔진 부하계수(%)
P: 엔진출력(kW)
T: 시간(hours)
e: 엔진 구분(주엔진, 보조엔진)
m: 연료 유형(BFO, MDO, MGO, Gasoline)
j: 엔진 유형(HSD, MSD, SSD, GT, ST)
p: 선박 운항형태(Cruise, Hotelling, Manoeuvring)
i: 대기오염물질 유형(NOx, NMVOC, PM)

자료: EEA(2020), p. 23

순항(Cruise) 상태에서 소요시간정보를 확인하기 어려운 경우, 해당 가이드북은 다음과 같이 이를 추정하도록 하고 있다.

$$T_{Cruising}(hours) = \frac{Distance\ Cruised(km)}{Average\ Cruising\ Speed(km/hr)}$$

자료: EEA(2020), p. 23

에너지 기반 산정방식을 적용하기 위한 NOx, NMVOC 및 PM(TSP, $PM_{2.5}$, PM_{10})의 배출계수와 연료 소비계수는 아래의 표와 같이 제시하고 있으며, 그 외 대기오염물질의 배출계수는 Tier 1 방법론에서 제시된 연료별 배출계수를 활용한다. 또한, Tier 2 방법론에서와 같이 Gasoline 연료의 사용은 항만 내에서만 활동하는 Small boats에서 이루어지는 것으로 가정

하였다. 이때, Gasoline 연료의 사용으로 배출되는 NH_3 배출량 산정은 Tier 1 방법론을 적용하도록 했다.

〈표 2-9〉 Tier 3 배출계수(에너지 기반)

단위: g/kWh, g fuel/kWh

엔진 구분	선박 활동 단계	엔진 유형	연료 유형	NOx 2000	NOx 2005	NOx 2010	NMVOC	PM	Specific fuel consumption
주엔진	Cruise	GT	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
		HSD	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
		MSD	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
		SSD	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
		ST	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	GT	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
		HSD	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
		MSD	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
		SSD	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
		ST	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
보조 엔진	Cruise, Manoeuvring, Hotelling	HSD	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
		MSD	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

자료: EEA(2020), p. 25

선박의 운항형태에 따른 주엔진과 보조엔진의 엔진 부하계수(LF)는 아래와 같다.

〈표 2-10〉 Tier 3 엔진 부하계수

활동 단계	주엔진 LF(%)	주엔진 작동 시간 비율(%)	보조엔진 LF(%)
Cruise	80	100	30
Manoeuvring	20	100	50
Hotelling (Tankers 제외)	20	5	40
Hotelling (Tankers)	20	100	60

자료: EEA(2020), p. 30

3. 미국 환경청(EPA), Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories

1) 개요

미국 환경청(EPA)은 항만의 활동으로 발생하는 대기오염물질 배출량 산정을 위한 가이드라인으로 2009년 'Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories'를 발표하고, 이를 통해 선박 및 하역장비, 차량, 철도 등 항만 내 주요 배출원으로부터 발생하는 배출량을 산정하기 위한 방법론을 제시하였다.

2) 주요 내용

(1) 분석 대상 및 범위

미국 연방정부와 캘리포니아주 정부는 단기적·장기적으로 인체 건강에 영향을 미치는 대기오염물질에 대한 기준을 정의하고,[20] EPA는 이를 토대로 총 일곱 가지 대기오염물질(SOx, NOx, PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, HC, BC) 및 세 가지 온실가스(CO_2, CH_4, N_2O)의 배출량 산정방법론을 제시하였다.

20) EPA(2009), p. 1-7.

(2) 방법론

EPA의 보고서는 주요 배출원 중 선박을 국제항행선박(OGVs)과 항만 내 운용 선박(Harbor craft)으로 구분하고 있으며, 국제항행선박(OGVs)의 배출량 산정방법으로 다음과 같이 개별 선박의 엔진 출력과 활동데이터를 활용하는 에너지 기반 산정방식을 제시하고 있다.

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

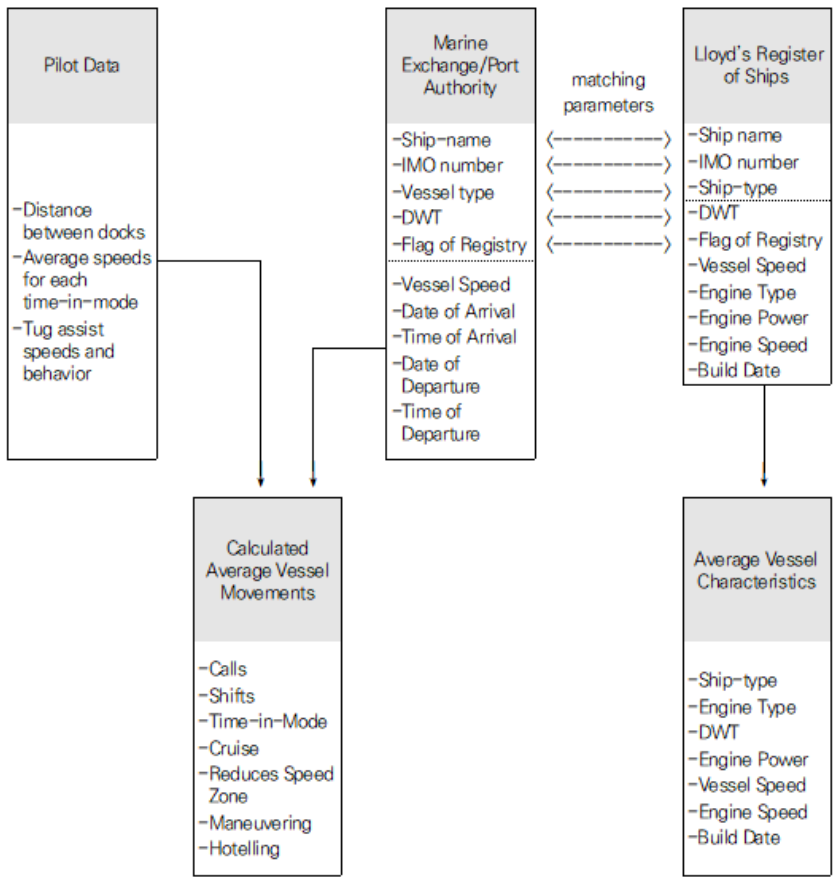
E: 대기오염물질 배출량(g)
P: 엔진 최대연속출력(kW)
LF: 엔진 부하계수(선박 전체출력의 비중)
A: 활동시간(hours)
EF: 배출계수(g/kWh)

자료: EPA(2009), p. 2-1

가. 데이터의 수집

EPA는 국내 항만의 입출항 선박의 배출량 산정을 위해 필요한 데이터를 Marine Exchange/Port Authority(MEPA), U.S. Army Corps of Engineers(USACE), Lloyd's Register of Ships(Lloyd's Data)의 데이터베이스에서 수집하며, 선박 이동에 관한 정보는 Coast Guard Vessel Traffic System(VTS)과 AIS 데이터를 활용하였다.

〈그림 2-5〉 요구 자료 수집체계



자료: EPA(2009), p. 2-2

(가) 선박의 제원정보

선박은 종류에 따라 속도와 엔진 제원·사양이 상이하며, EPA는 운송 화물 유형 등에 따라서 다음과 같이 선박 분류 기준을 제시하였다.

〈표 2-11〉 선박 유형의 분류

선박 유형	정 의
Auto Carrier	컨테이너형 자동차를 운반하는 자주식 건화물선
Barge Carrier	바지를 견인하는 자주식 선박
Bulk Carrier	루즈 화물을 운반하는 자주식 건화물선
Container Ship	컨테이너형 화물을 운반하는 자주식 건화물선
Cruise Ship	자동 추진 유람선
General Cargo	다양한 건조 화물을 운반하는 자주식 화물선
Miscellaneous	타 선박 유형에 맞지 않거나 식별되지 않은 선박
Oceangoing Tugs, Tows	화물이나 바지선을 견인/밀어내는 예인선(자주식 포함)
Reefer	냉장/냉동 보관이 필요한 물품을 운반하는 자주식 건조 화물선
Roll-on, Roll-off (RORO)	자체 이동능력이 있는 화물을 처리하는 자주식 선박(여객선 포함)
Tanker	화학유조선, 석유제품유조선, 액체식품유조선 등을 포함한 자주식 액체 화물선

자료: EPA(2009), p. 2-6

〈표 2-12〉 선박 엔진의 분류

엔진 분류	엔진 사양	용도	엔진 전력 등급
1	Gross Engine Power ≥ 37 kW Displacement 〈 5 liters per cylinder	Small harbor craft and recreational propulsion	〈 1,000 kW
2	Displacement ≥ 5 and 〈 30 liters per cylinder	OGV auxiliary engines, harbor craft, and smaller OGV propulsion	1,000 – 3,000 kW
3	Displacement ≥ 30 liters per cylinder	OGV propulsion	〉3,000 kW

자료: EPA(2009), p. 2-6

〈표 2-13〉 선박 속도의 구분

속도 분류	엔진 RPM(revolutions per minute)	엔진 행정 유형
저속(Slow)	〈 130 RPM	2
중속(Medium)	130 – 1,400 RPM	4
고속(High)	〉1,400 RPM	4

자료: EPA(2009), p. 2-6

보조엔진 출력값은 캘리포니아주 대기자원위원회(ARB)의 조사 결과(2005년 1월, 총 327척의 선박 대상)를 적용하였다. 이 경우, 각 항만의 선박 유형별 보조엔진 출력정보를 확보하는 것이 가장 정확하나, 해당 정보의 수집이 어려운 경우에는 아래 계수를 사용하도록 하고 있다.

〈표 2-14〉 선박의 보조엔진 출력계수(ARB 조사)

선박 유형	평균 엔진출력 (kW)	보조엔진 평균 지수				보조엔진 출력비율
		개수	개당 출력 (kW)	총출력 (kW)	엔진속도 구분	
Auto Carrier	10,700	2.9	983	2,850	Medium	0.266
Bulk Carrier	8,000	2.9	612	1,776	Medium	0.222
Container Ship	30,900	3.6	1,889	6,800	Medium	0.220
Cruise Ship	39,900	4.7	2,340	11,000	Medium	0.278
General Cargo	9,300	2.9	612	1,776	Medium	0.191
RORO	11,000	2.9	983	2,850	Medium	0.259
Reefer	9,600	4.0	975	3,900	Medium	0.406
Tanker	9,400	2.7	735	1,985	Medium	0.211

자료: EPA(2009), p. 2-7

(나) 선박 운항형태의 구분

개별 선박의 운항형태는 아래의 표와 같이 정의하고, 이에 따라서 구분하도록 하고 있다.

〈표 2-15〉 선박 운항형태의 구분

구 분	정 의
Call	MEPA 관리 영역에서의 입출항 횟수
Shift	MEPA 괸리 영역에서의 선박 이동 (대부분 선박은 MEPA 괸리 영역에서 1~3번 정도 이동하며, 이동정보가 모두 MEPA에서 기록되지 않은 점 유의)
Cruise (hr/call)	일반적으로 선박 속도가 최대 속도의 94%, MCR의 83%로 나타나는 운항 단계 (각 MEPA 관리 영역의 항만 경계에서 방파제 또는 감속 구역까지)
Reduced Speed Zone(RSZ) (hr/call)	선박 운항 속도가 Cruise와 Maneuvering 사이에 나타나는 운항 단계 (선박이 항구로 이어지는 수로 내 거리를 횡단하는 데 사용하는 최대 안전 속도는 대부분의 지역에서 9~12노트 정도로 설정)
Maneuvering (hr/call)	MEPA 관리 영역의 방파제와 PWD(Pier/Wharf/Dock) 사이에서 운항 단계 (선박 속도는 보통 5~8노트 정도며, 엔진은 대부분 작동하는 상태)
Hotelling (hr/call)	선박이 보조엔진만 작동하거나 콜드 아이어닝(Cold ironing) 중일 때 PWD 또는 앵커리지에서의 단계 (보조엔진은 선박 운항의 대부분 시간에 작동하고 있으나 주엔진 미작동 시 보조엔진의 부하가 가장 높으며, 콜드 아이어닝 단계에서는 보조엔진의 동력 대신에 해안 동력으로 배에 전기를 공급)

자료: EPA(2009), p. 2-9

나. 엔진의 부하계수(LF)

선박은 해류와 같은 방향으로 운항 시 선박의 실제 속도는 선박 속도에서 해류 속도를 제외해야 하며, 해류와 반대 방향으로 운항 시 선박 속도에 해류 속도를 더해야 한다. 이때, 주엔진의 부하계수는 선박의 총 엔진출력의 백분율을 의미하며, 항차(호출)별로 엔진 부하계수를 산출한다. EPA의 보고서는 엔진 부하계수의 최저치를 2%로 가정하고 있다.

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

LF: 엔진 부하계수(선박 전체출력의 비중)
AS: 실제 속도(knots)
MS: 최대 속도(knots)

자료: EPA(2009), p. 2-11

보조엔진의 부하계수는 선박의 유형 및 운항형태에 따라 다르게 적용해야한다. EPA는 보조엔진의 부하계수를 아래의 표와 같이 제시하고 있다.

〈표 2-16〉 선박 보조엔진의 부하계수

선박 유형	Cruise	RSZ	Maneuver	Hotel
Auto Carrier	0.15	0.30	0.45	0.26
Bulk Carrier	0.17	0.27	0.45	0.10
Container Ship	0.13	0.25	0.48	0.19
Cruise Ship	0.80	0.80	0.80	0.64
General Cargo	0.17	0.27	0.45	0.22
Miscellaneous	0.17	0.27	0.45	0.22
OG Tug	0.17	0.27	0.45	0.22
RORO	0.15	0.30	0.45	0.26
Reefer	0.20	0.34	0.67	0.32
Tanker	0.24	0.28	0.33	0.26

자료: EPA(2009), p. 2-12

다. 대기오염물질별 배출계수

EPA는 Entec UK의 2002년 연구[21] 결과를 준용하여 엔진의 유형을 세 가지 디젤엔진(SSD[22], MSD[23], HSD[24]) 및 스팀터빈(ST), 가스 터빈(GT) 엔진 등으로, 연료의 종류는 RO, MDO, MGO 등 세 가지로 구분하고, 주엔진의 유형, 보조엔진 및 연료의 종류에 따른 배출계수를 아래의 표와 같이 제시하고 있다.

21) Whall, C. *et al.*(2002)
22) Slow-speed diesel
23) Medium-speed diesel
24) High-speed diesel

〈표 2-17〉 선박 주엔진의 배출계수

단위: g/kWh

엔진 유형	연료 유형	황 함량	대기오염물질별 배출계수(g/kWh)							
			NOx	PM_{10}	$PM_{2.5}$	HC	CO	SOx	CO_2	BC
SSD	RO	2.70%	18.10	1.42	1.31	0.60	1.40	10.29	620.62	195
	MDO	1.00%	17.00	0.45	0.42	0.60	1.40	3.62	588.79	185
	MGO	0.50%	17.00	0.31	0.28	0.60	1.40	1.81	588.79	185
	MGO	0.10%	17.00	0.19	0.17	0.60	1.40	0.36	588.79	185
MSD	RO	2.70%	14.00	1.43	1.32	0.50	1.10	11.24	677.91	213
	MDO	1.00%	13.20	0.47	0.43	0.50	1.10	3.97	646.08	203
	MGO	0.50%	13.20	0.31	0.29	0.50	1.10	1.98	646.08	203
	MGO	0.10%	13.20	0.19	0.17	0.50	1.10	0.40	646.08	203
GT	RO	2.70%	6.10	1.47	1.35	0.10	0.20	16.10	970.71	305
	MDO	1.00%	5.70	0.58	0.53	0.10	0.20	5.67	922.97	290
	MGO	0.50%	5.70	0.35	0.32	0.10	0.20	2.83	922.97	290
	MGO	0.10%	5.70	0.17	0.15	0.10	0.20	0.57	922.97	290
ST	RO	2.70%	2.10	1.47	1.35	0.10	0.20	16.10	970.71	305
	MDO	1.00%	2.00	0.58	0.53	0.10	0.20	5.67	922.97	290
	MGO	0.50%	2.00	0.35	0.32	0.10	0.20	2.83	922.97	290
	MGO	0.10%	2.00	0.17	0.15	0.10	0.20	0.57	922.97	290

자료: EPA(2009), p. 2-14

〈표 2-18〉 선박 보조엔진의 배출계수

단위: g/kWh

연료 유형	황 함량	대기오염물질별 배출계수(g/kWh)							
		NOx	PM_{10}	$PM_{2.5}$	HC	CO	SOx	CO_2	BC
RO	2.70%	14.7	1.44	1.32	0.40	1.10	11.98	722.54	227
MDO	1.00%	13.9	0.49	0.45	0.40	1.10	4.24	690.71	217
MGO	0.50%	13.9	0.32	0.29	0.40	1.10	2.12	690.71	217
MGO	0.10%	13.9	0.18	0.17	0.40	1.10	0.42	690.71	217

자료: EPA(2009), p. 2-19

RO(Residual oil) 연료의 사용으로 발생하는 NOx에 대한 배출계수는 IMO의 규제 등에 따른 국제사회의 규정 강화에 따라 아래와 같이 조정계수를 적용하도록 하고 있다.

〈표 2-19〉 NOx 조정계수

분석 연도	글로벌		ECA	
	주엔진	보조엔진	주엔진	보조엔진
2005	0.9024	0.9060	0.9024	0.9060
2010	0.8750	0.8767	0.8750	0.8767
2015	0.8020	0.8059	0.8020	0.8059
2020	0.7565	0.7478	0.5958	0.5842
2025	0.7319	0.7173	0.4278	0.4108
2030	0.7149	0.6955	0.3184	0.2989

자료: EPA(2009), p. 2-16

메탄(CH_4)과 아산화질소(N_2O)와 같은 온실가스의 배출계수는 엔진 및 연료의 종류별로 다음과 같이 제시하고 있다.

〈표 2-20〉 온실가스 물질별 배출계수

단위: g/kWh

엔진 유형	RO		MDO/MGO	
	CH_4	N_2O	CH_4	N_2O
SSD	0.006	0.031	0.006	0.031
MSD	0.004	0.031	0.004	0.031
ST	0.002	0.080	0.002	0.080
GT	0.002	0.080	0.002	0.080
보조엔진	0.004	0.031	0.004	0.031

자료: EPA(2009), p. 2-16

EPA의 또 다른 보고서 'Analysis of Commercial Marine Vessels Emissions and Fuel Consumption Data'에 따르면, 선박의 엔진부하율 20% 이하에서는 부하율이 감소할수록 배출계수가 증가하는 것으로 나타나

고 있으며, EPA는 이를 반영하기 위해 저부하율에 대한 조정계수(Low Load Multiplicative Adjustment Factors)를 개발하여 적용하고 있다. 이에 따르면, MSD, SSD, GT 및 ST 네 가지 엔진에 모두 반영할 필요가 있으며, Diesel Electric(디젤전기)나 Gas Turbine(가스 터빈) 등 전기 엔진에는 적용하지 않는다. 온실가스 물질인 CH_4와 N_2O는 각각 HC와 NOx의 조정계수를 활용하도록 하고 있으며, 보조엔진은 부하 감소에 영향을 받지 않는 것으로 보고 있다.

〈표 2-21〉 주엔진의 Low Load Multiplicative Adjustment Factors

Load	NOx/(N_2O)	HC/(CH_4)	CO	PM	SO_2	CO_2
1%	11.47	59.28	19.32	19.17	5.99	5.82
2%	4.63	21.18	9.68	7.29	3.36	3.28
3%	2.92	11.68	6.46	4.33	2.49	2.44
4%	2.21	7.71	4.86	3.09	2.05	2.01
5%	1.83	5.61	3.89	2.44	1.79	1.76
6%	1.60	4.35	3.25	2.04	1.61	1.59
7%	1.45	3.52	2.79	1.79	1.49	1.47
8%	1.35	2.95	2.45	1.61	1.39	1.38
9%	1.27	2.52	2.18	1.48	1.32	1.31
10%	1.22	2.20	1.96	1.38	1.26	1.25
11%	1.17	1.96	1.79	1.30	1.21	1.21
12%	1.14	1.76	1.64	1.24	1.18	1.17
13%	1.11	1.60	1.52	1.19	1.14	1.14
14%	1.08	1.47	1.41	1.15	1.11	1.11
15%	1.06	1.36	1.32	1.11	1.09	1.08
16%	1.05	1.26	1.24	1.08	1.07	1.06
17%	1.03	1.18	1.17	1.06	1.05	1.04
18%	1.02	1.11	1.11	1.04	1.03	1.03
19%	1.01	1.05	1.05	1.02	1.01	1.01
20%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

자료: EPA(2009), p. 2-18

라. 보일러의 대기오염물질 배출량 산정

보일러는 순항(Cruise) 또는 저속운항(Reduced speed zone)의 상태에서는 사용하지 않기 때문에, 보일러의 가동으로 인한 대기오염물질 배출은 선박의 접안(Maneuvering) 및 정박(Hotelling) 상태에서 발생한다.

〈표 2-22〉 선박 유형별 보일러의 에너지 부하

단위: kW

선박 유형	Cruise	RSZ	Maneuvering	Hotelling
Auto Carrier	0	0	371	371
Bulk Carrier	0	0	109	109
Container Ship	0	0	506	506
Cruise Ship	0	0	1,000	1,000
General Cargo	0	0	106	106
Miscellaneous	0	0	371	371
OG Tug	0	0	0	0
RORO	0	0	109	109
Reefer	0	0	464	464
Tanker	0	0	371	3,000
Tanker – ED	0	0	346	346

자료: EPA(2009), p. 2-19

이를 적용한 보일러의 배출량 산정을 위한 수식은 다음과 같다.

$$E(B) = BEnergy \times STEF \times T$$

E(B): 보일러의 대기오염물질 배출량(g)
B Energy: 보일러 에너지(kW)
ST EF: ST엔진의 배출계수(g/kWh)
T: 선박 활동 시간(hour)

자료: EPA(2009), p. 2-19

〈표 2-23〉 보일러의 배출계수

단위: g/kWh

엔진 유형	연료 유형	황 함량	대기오염물질별 배출계수(g/kWh)							
			NOx	PM_{10}	$PM_{2.5}$	HC	CO	SOx	CO_2	BC
ST	RO	2.70%	2.10	1.47	1.35	0.10	0.20	16.10	970.71	305
	MDO	1.00%	2.00	0.58	0.53	0.10	0.20	5.67	922.97	290
	MGO	0.50%	2.00	0.35	0.32	0.10	0.20	2.83	922.97	290
	MGO	0.10%	2.00	0.17	0.15	0.10	0.20	0.57	922.97	290

자료: EPA(2009), p. 2-14

제2절 국내 선박 대기오염물질 배출량 산정방법론

1. 국립환경과학원(환경부), 국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(I, II, III)

1) 개요

국립환경과학원(NIER)은 국가 대기정책지원 시스템(CAPSS)[25] 및 온실가스 정책지원 시스템(GHG-CAPSS)에 적용될 배출목록 산정방법 개선의 일환으로, 2014~2016년까지 3개년에 걸쳐 「국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정」 연구를 진행하였다.

〈표 2-24〉 연차별 목표

연차	연구 목표
국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정 I ~ II	• 2016년부터 시행 예정인 선박 엔진 규제를 위한 선박 내연기관 제원별 보급 현황과 선박 활동 자료가 전무한 상황으로, 적기 제도 시행을 위한 배경 연구 • 국내 등록 선박에 장착된 내연기관(주엔진, 보조엔진, 발전기 등으로 개조 포함)의 현황과 선박 유형 또는 업종별 내연기관 운전 특성 및 운항 현황(일반 선박 및 어선)을 반영한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 산정 • 국내 연근해에서 운항중인 선박 내연기관(양산 및 개조 포함)에 적용된 형식별, 용도별, 규모별 등의 대기오염물질 및 온실가스 현황을 파악하고, 중장기적인 선박 배출 허용기준 설정으로, 효율적인 대기환경정책 수립에 필요한 기반 자료 확보 • 대기오염정책지원시스템(CAPSS) 및 온실가스정책지원시스템(GHG-CAPSS)에 적용된 배출목록 산정방법을 검토하고, 일관성과 지속성을 유지할 수 있는 활동 자료 또는 통계 자료 수집체계 및 배출목록체계 구축 방안 도출 • 연구 결과를 활용, '선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출량 산출 시스템' 구축

25) 대기오염물질 배출목록(Air Pollutants Emission Inventory)에 근거한 대기질 관리 종합시스템으로, 체계적인 기초 자료 수집·관리를 통하여 대기환경정책 수행에 필요한 배출량 통계정보를 산정·제공

연차	연구 목표
국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정 III	• 국내 항만 단위 배출오염물질 특성 파악과 관리를 위한 배경 연구 • 항만 인접 도시의 비도로 배출원과 관련된 주요 내연소기관 배출원 평가 및 물동량 증가에 따른 장래 대기오염 배출량 예측 • 국내 주요 항만 내 항만시설 및 하역지원장비 등 배출원 파악 및 배출특성 확인 • 항만 단위 경계 설정 기준, 배출원 주체 관리방안 및 저감대책 등을 위한 배경 연구 • 항만별(또는 지역별) 시간 해상도에 따른 배출특성 분석을 통한 영향권 파악 기초 자료 • 항만 지원장비 현황조사를 통한 대기오염물질 및 온실가스 배출량 산정 가이드라인 도출 및 대기오염정책지원시스템(CAPSS) 적용방안 제시

자료: 국립환경과학원(2014b, 2015b, 2016b) pp.2~3. 참조하여 저자 요약 정리

2) 주요 내용

(1) 국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(I, II)

1~2차년도 연구를 수행한 2014~2015년 당시, 국내 선박의 대기오염물질 및 온실가스 배출량 산정은 대부분 연료 수급량 통계(에너지경제연구원, 한국석유공사)와 선박의 입·출항 자료(부산광역시)를 활용하는 방식으로 수행되었다. 입·출항 자료를 이용하는 경우, 선박의 운항형태를 정박과 접안으로만 구분하는 등, 항만으로 접근하는 선박의 다양한 운항형태(감속운항, 양·하역, 선석 간 이동, 묘박 등)에 의한 배출 특성을 반영하지 못하는 등의 한계가 있었다.[26]

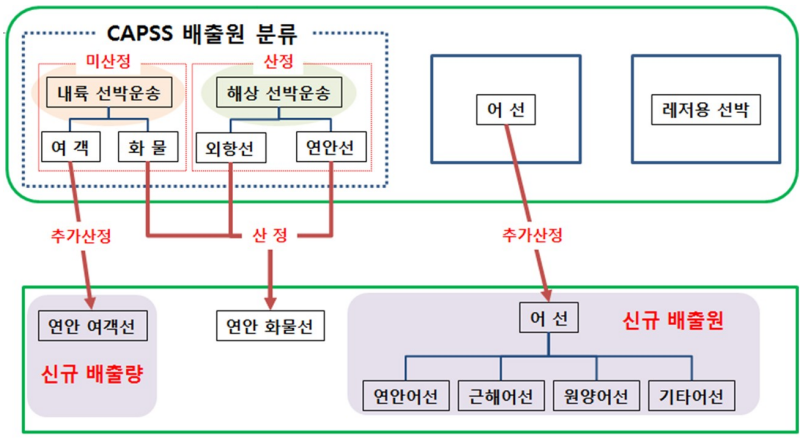
가. 선박 배출원 분류체계

기존 CAPSS의 선박 배출원 분류체계는 아래의 그림과 같이 국내·외국선박을 구분하지 못하거나, 선박의 종류 측면에서도 어선, 내수면 유도선, 레저용 선박 등을 포함하지 못하고, 선박의 다양한 엔진 사양과 운항형태

26) 국립환경과학원(2015a), p. 3.

별 배출특성을 반영하지 못하는 등, 산정 결과 즉 배출량 추정의 신뢰도가 매우 미흡한 상황이었다. 이에, 해당 연구는 일관성과 지속성을 유지할 수 있는 국내 연근해 선박의 활동 자료에 기반한 배출원 분류체계를 제안하였다.

〈그림 2-6〉 NIER I~II 이전 국내 선박 배출원 분류체계 및 연구 범위



자료: 국립환경과학원(2014a), p. 207

나. 국내 연근해 선박의 활동도 조사 방법 설정, 보완

1~2차년도 보고서의 선박 분류체계 제안에 따라 활동 자료 조사방법에 있어 크게 개선된 부분은 연안여객선과 국내 어선 부문으로, 연안여객선의 경우 면세유 제공정보(한국해운조합)를 활동 자료로 활용해 수급량이 아닌 실제 소비량에 기반한 산정을 도모하였다. 국내 어선은 석유류 수급통계 및 수협중앙회의 면세유 공급 자료를 활용하는 방안과 실제 어선이 활동하는 조업패턴을 설문조사한 결과를 바탕으로 활동 자료를 분석하고, 이를 적용할 수 있는 수준으로 제시하였다.[27]

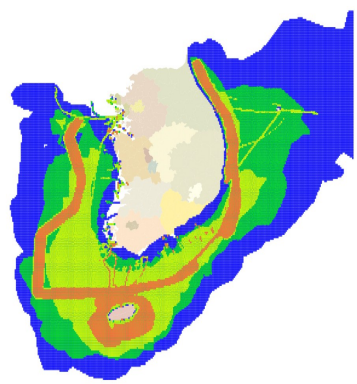
또한, 선박에 의한 대기오염물질 영향범위 등을 고려하여 공간 할당 방법론을 제시하였다. 연안여객선은 대부분 고정노선(간헐적 보조항로 운항)

27) 위의 책, p. 206.

으로 운항하고 있으며, 개별 노선을 운항하는 여객선에 대한 정보 및 운항 거리와 소요시간 등의 정보를 확인할 수 있어 대상 여객선의 배출량을 실제 운항한 노선에 배분하는 방식을 적용하였다.

연안화물선의 경우 접안 및 정박 시 배출량과 운항 시 배출량으로 구분하고, 접안 및 정박 시 배출량은 대상 항만의 접안 및 정박지[28]를 고려, 해당 선박의 항만별 입·출항 빈도에 따라 배출량을 항만을 중심으로 공간적으로 배분하였다. 운항 시 배출량은 한국해운조합에서 발간된 '안전항해 안내서'의 국내 연안화물선의 안전운항노선 내 균등하게 할당하는 방식을 적용하였다. 어선의 경우에는 운영 특성을 고려하여 조업 위치로 이동하기 위한 '이동 시 배출량'과 '조업 시 배출량'으로 구분하였다. 어선의 이동 시 배출량은 실제 조업지까지의 이동거리 및 이동시간 등의 정보 수집이 현실적으로 어려워, 국내 어항별 어선 등록 현황을 고려하여 국가어항을 기준으로 전국 110개의 해당 어항에 배출량을 배분하였다. 조업 시 배출량은 월별로 확인할 수 있는 국내 어장형성도를 기준으로 2개 해상 권역(동해권, 서해권)으로 구분하고, 연간 배출량을 월별로 균등하게 할당하였다.

〈그림 2-7〉 선박 총괄 공간 할당(PM_{10} 예시)



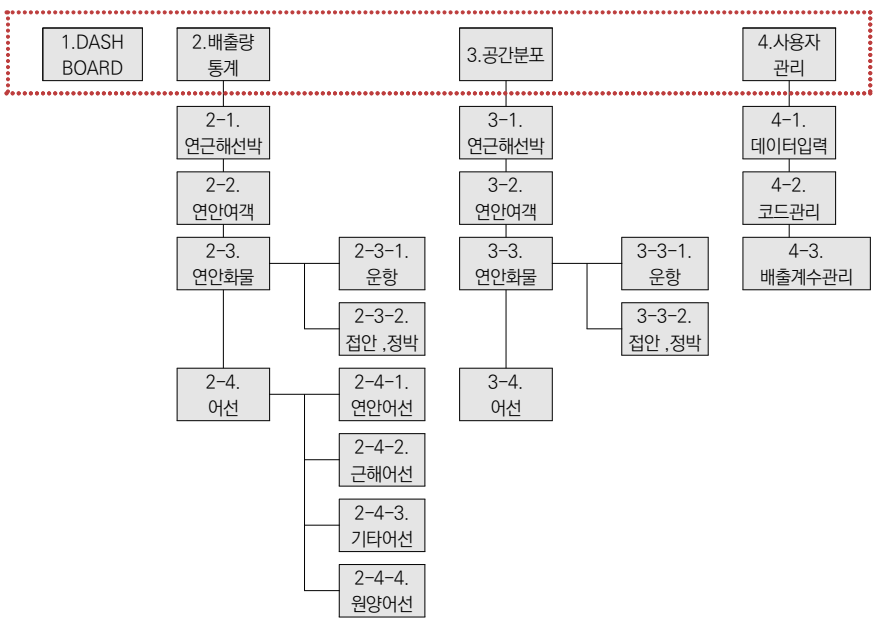
자료: 국립환경과학원(2015c), p. 197

28) 국립해양조사원(2020a, 2020b, 2020c) 자료 내 정박지 위치정보 활용

다. 선박 부문 대기오염물질 및 온실가스 배출량 산정 시스템 구축

대기오염물질 및 온실가스 배출량 산정 시스템은 산정방법론 및 활동 자료의 수준을 확인하고, 오염물질별 배출량에 대해 노선별, 어항별, 항만별로 산정 및 분석할 수 있게 구성하였다.[29]

〈그림 2-8〉 선박 배출량 산출시스템 메뉴 구조



자료: 국립환경과학원(2015c), p. 189

이 과정에서, OpenGIS tool인 GeoServer v2.4.8을 이용하여 행정구역도, 지방 및 국가어항, 국가항만, 항만청, 여객선로 등을 반영하였다. 대기오염 모형 등 대기정책의 기초 자료 제공을 위해 GIS 격자체계를 4km×4km로 구성하고, 격자별 배출량 공간 할당 방법론을 적용하여 격자 단위 배출량을 산정, 표출하였다.[30]

29) 국립환경과학원(2015c), p. 210.
30) 국립환경과학원(2015c), pp. 189~190.

라. 선박 배출원 배출체계별「배출원 목록표(관리표)」작성

국가 대기오염물질 배출량 통계 자료의 정확도 및 신뢰도 향상을 위한 방안으로 배출정보 자체의 신뢰성에 대해 직접적인 분석체계를 제시하였다. 대기오염물질 배출정보의 불확도 평가를 위해서는 다음의 표와 같은 대기오염물질 배출원 분류 코드(SCC)[31] 관리표라는 공통적인 평가 양식이 필요하다.

〈표 2-25〉 배출 자료 평가 공통양식

구분	내용
1. 배출원 분류 코드	기존 배출 자료체계의 점, 면, 이동오염원에 대해 배출원 분류체계 이름과 분류 코드를 정리한다.
2. 배출량 현황	해당 배출원의 배출량 산출 결과와 배출 기여율을 정리한다.
3. 산출방법론	배출계수와 연계하여 배출량 산출방법의 지침을 정리한다.
4. 배출계수와 산출 과정	1) 배출계수의 내용과 단위를 명확하게 한다. 2) 외국/ 국내 개발 여부와 산출 연도 3) 시설별 구분 여부 4) Control/ Uncontrol 여부
5. Reference	배출계수와 산출 방법론에 관련된 참고문헌을 정리한다.
6. 활동도 자료	배출계수를 활용하기 위한 활동의 형태와 내용 그리고 관련된 통계 자료와 발행처 등을 정리한다.
7. 시간 Profile	배출 자료의 시간적 해상도를 높이기 위한 할당 방법과 할당 계수(월별, 요일별, 시간별)를 정리한다.
8. 공간 Profile	배출 자료의 공간적 시간적 해상도를 높이기 위한 할당 방법과 할당계수(광역, 지자체, 격자별)를 정리한다.
9. (물질별 Profile)	배출 자료의 화학종별 세분된 목록과 배출비율에 대한 정보를 정리한다.
10. 배출계수 등급	기존 배출계수의 신뢰도 평가 등급(AP-42 Quality Code)을 정리한다.
11. 불확도 평가 결과	배출 자료 불확도 평가 결과의 세부상황과 통계치를 정리한다.
12. 개선 필요사항	현 배출 자료의 미비점과 추후 배출계수나 산출방법 개선을 위하여 필요한 사항을 정리한다.
13. 작성 및 수정 일자	정리된 양식이 계속적으로 수정 보완될 수 있도록 작성일자를 기록한다.

자료: 장영기(2018), p. 88

31) Source Classification Codes

해당 보고서는 비도로 이동오염원(대분류)의 선박(중분류) 하위에 소분류 배출원으로 연안여객선, 연안화물선, 어선, 내수면 유·도선을 구성하였고, 추가된 4개 소분류 배출원에 대한 불확도 평가를 위해 배출원 목록표(관리표)를 작성하였다.

〈그림 2-9〉 선박 부문 배출 자료 불확도(DARS) 평가 공통양식(예)

선박 부문-연안여객

구분	내용
1. 배출원 분류 코드	• SCC코드 : 08030100 • 선박(CAPSS 분류체계의 비도로이동오염원 중분류에 속함) • 선오염원
2. 배출량 현황	2011 연안여객 부문 대기오염물질 배출량(배출기여율) 단위 : ton/yr CO-873 NOx-9,286 SOx-4,483 PM10-332 0.12(%) 0.83(%) 1.03(%) 0.25(%)
3. 산출방법론	$\sum E_{i,j} = \sum (FC_{j,k} * EF_{i,k})$ $E_{i,j}$: 선종 j의 오염물질 i에 대한 배출량[tonne] $FC_{j,k}$: 유종 k, 선종 j의 연료소비량[tonne] $EF_{i,k}$: 유종 k, 오염물질 i의 배출계수[kg/tonne] j : 선박 종류(초쾌속선, 쾌속선, 카페리, 일반선, 고속선, 차도선) k : 연료 종류(경유, B-A유, B-B유, B-C유)
4. 배출계수와 산출과정	1) 배출계수 내용과 단위 • 국내 연안여객선에 관한 배기가스 특성 및 배출계수 연구는 없으며, 외국 EMEP/EEA 오염물질별 배출계수를 활용 • 연안여객의 대기오염물질 배출계수는 여객선에 사용된 연료량 당 오염물질량으로 표시(kg/tonne) 2) 외국/국내 개별 여부와 산출년도 • 외국 - EMEP/EEA(2013), International navigation, national navigation, national fishing • 국내 - 국립환경과학원(2014), 국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정 - 김필수 외(2014), 어선 분류체계별 온실가스 배출량 추정방법에 관한 연구 - 최상진 외(2010), 선박부문 온실가스 배출량 산정에 관한 연구 - 국토해양부(2010), 기후변화대비 선박배출 온실가스 통계구축 및 저감기술개발 - 부산광역시(2010), 항만물류시설, 선박, 컨테이너 수송차량 등에 대한 온실가스 감축방안 연구 3) 세부 항목 구분 : **선종**(초쾌속선, 쾌속선, 카페리, 일반선, 고속선, 차도선) 구분, **유종**(경유, B-A유, B-B유, B-C유) 구분 4) Control/Uncontrol 여부 : Uncontrol
5. Reference	• EMEP/EEA, Emission inventory guidebook, 2013 • 국립환경과학원, 대기오염물질 산정방법 편람(III), 2013 • 국립환경과학원, 국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정, 2014
6. 활동도자료	• 2011년 **연안해운통계연보**(한국해운조합, 1년단위 조사주기)를 활동도 자료로 활용 • 연료사용량, 연안여객 **연해운 지급자료** 활용 • 운항 노선, **지방항만청별 운항 노선 자료** 활용
7. 시간 Profile	• 구분 없음
8. 공간 Profile	• 연안여객선은 고정 항로와 모조항로도 운항하며, 지역별 운항항로가 있으므로 **운항 노선**에 배출량을 배분 • 연안여객 부문은 선오염원으로 배분
9. 물질별 Profile	
10. 불확도 평가결과	
11. 작성 및 수정 일자	

선박 부문-연안화물

구분	내용
1. 배출원 분류 코드	• SCC코드 : 08030200 • 선박(CAPSS 분류체계의 비도로이동오염원 중분류에 속함) • 선오염원
2. 배출량 현황	2011 연안화물 부문 대기오염물질 배출량(배출기여율) 단위 : ton/yr CO-4,211 NOx-44,069 SOx-34,939 PM10-3,528 0.59(%) 4.29(%) 8.05(%) 2.69(%)
3. 산출방법론	$\sum E_{i,j} = \sum ((P_j * SFOC_{a,b} * LF * R_{m,j} * H_j) * EF_{i,k})$ $E_{i,j}$: 선종 j의 오염물질 i에 대한 배출량[tonne] P_j : 선종j의 엔진 출력[kW] $SFOC_{a,b}$: 엔진연령 a, 엔진출력 b에 대한 연료소비계수[g/kWh] LF : 엔진 부하율[%] $R_{m,j}$: 운항모드 m에 따른 선종 j의 연료 수비율[%] H_j : 선종 j의 연간운항시간[hr/yr] $EF_{i,k}$: 유종 k, 오염물질 i의 배출계수[kg/tonne] j : 선박 종류(시멘트수송선, 모래운반선, 일반철재물수송선,. etc) k : 연료 종류(경유, B-C유) m : 운항모드(운항 80 %, 접안/정박 20 %)
4. 배출계수와 산출과정	1) 배출계수 내용과 단위 • 국내 연안화물선에 관한 배기가스 특성 및 배출계수 연구는 없으며, 외국 EMEP/EEA 오염물질별 배출계수를 활용 • 연안화물의 대기오염물질 배출계수는 화물선에 사용된 연료량 당 오염물질량으로 표시(kg/tonne) 2) 외국/국내 개별 여부와 산출년도 • 외국 - EMEP/EEA(2013), International navigation, national navigation, national fishing • 국내 - 국립환경과학원(2014), 국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정 - 김필수 외(2014), 어선 분류체계별 온실가스 배출량 추정방법에 관한 연구 - 최상진 외(2010), 선박부문 온실가스 배출량 산정에 관한 연구 - 국토해양부(2010), 기후변화대비 선박배출 온실가스 통계구축 및 저감기술개발 3) 세부 항목 구분 : **선종**(시멘트수송선, 모래운반선, 일반철재물수송선, Ro-Ro선, 컨테이너선, 일반화물선, 차도선, 가스선, 석유/케미칼캐리어선, 석유제품수송선, 케미칼운반선, 자동차운반선, 기타선) 구분, **운항모드**(운항, 접안/정박) 구분 4) Control/Uncontrol 여부 : Uncontrol
5. Reference	• EMEP/EEA, Emission inventory guidebook, 2013 • 국립환경과학원, 대기오염물질 산정방법 편람(III), 2013 • 국립환경과학원, 국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정, 2014
6. 활동도자료	• 2011년 **내항화물운송사업등록실적**(한국해운조합, 1년단위 조사주기)를 활동도 자료로 활용 • 연료사용량, **운항모드별(운항, 접안, 정박) 연료사용량** 추정 • 선박 엔진 제원, **선박검사 등록 자료**(선박안전기술공단) 활용 • 운항 시간, **항만운영정보시스템(Port-MIS) 자료** 분석 및 활용
7. 시간 Profile	• 구분 없음
8. 공간 Profile	• 연안화물선은 운항 시 **항해도 기준**으로 공간할당을 하며, 접안 및 정박 시 **주요 항만별 접안 및 정박지(28개항, 180개 정박지) 정보**를 활용하여 배출량을 할당 • 연안화물 부문은 선오염원으로 배분
9. 물질별 Profile	
10. 불확도 평가결과	
11. 작성 및 수정 일자	

자료: 국립환경과학원(2015c), pp. 213~214

(2) 국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(Ⅲ)

2016년 수행한 3차년도 연구에서는 선박 외에 항만의 단위 배출원을 파악하고, 세부 배출원에 대해 선행 연구 및 문헌조사에 근거하여 배출량 산정방법을 제시하였다.[32]

가. 항만 배출원 조사를 통한 배출 자료 개선

해당 보고서는 항만 내 장비를 크게 육상장비, 해상장비로 구분하였다. 우선 해상장비는 외항선(OGVs), 선박의 견인 또는 이·접안 활동을 지원하는 예인선(Tug boat)으로, 육상장비는 화물취급장비(Cargo handling equipment), 기관차(Rail locomotive)와 화물차(Heavy duty vehicle)로 구분하였다.[33]

배출량 산정 시 상향식 방법론을 적용하기 위해 필요한 활동 자료로, 해상배출원의 경우 선박의 종류, 운항형태(감속구간, 정박, 접안)별 운항시간, 엔진출력, 엔진부하율, 연료소비계수(SFOC), 선박 운항형태별 속력, 그리고 육상배출원의 경우는 장비의 종류, 사용 유종, 가동 및 운전시간, 엔진출력, 엔진부하율, 운항거리 등을 제시하였다.[34] 또한, 항만 배출원의 대기오염 및 온실가스 배출량 산정을 위해 항만 배출원별 활동 자료 조사를 수행하였으며, 주요 내용은 다음의 표와 같다.

〈표 2-26〉 항만 배출량 산정을 위한 배출원별 활동 자료 조사 내용

항만 배출원	활동 자료 조사 내용
외항선(OGV)	• 선종/용도에 따른 재분류를 통해 인천항의 입출항 호출수를 부두별로 분석 • 선종별 엔진 출력 자료는 엔진 제원의 부재로, 유럽환경청에서 제시하는 선박의 총톤수 정보를 이용하여 엔진 출력 추정
예인선(HC)	• 인천항 부두별로 외항선 호출에 따른 예인 작업 등을 지원하는 선박 조사

32) 국립환경과학원(2016a), p. 92.
33) 국립환경과학원(2015c), pp. 213~214.
34) 국립환경과학원(2016a), p. 28

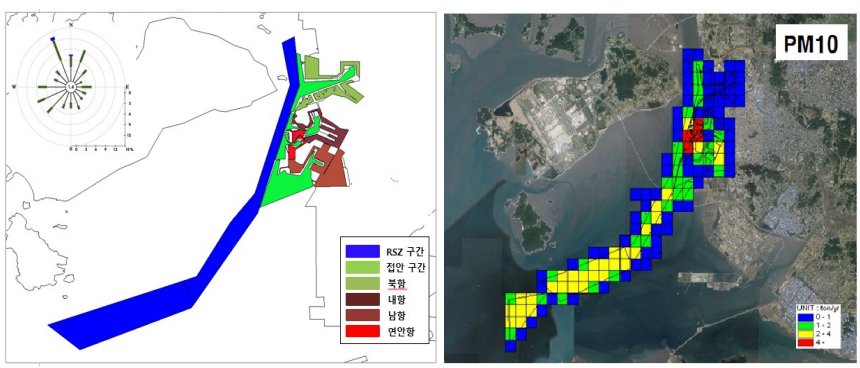
항만 배출원	활동 자료 조사 내용
화물취급장비 (CHE)	• 기중기, 하역장비, 컨테이너 취급장비, 육상수송장비, 특수장비, 해상장비, 양곡장비, 기타장비로 분류; 경유 엔진을 사용하는 장비 대상으로 조사 • 장비 사용 대수, 주엔진출력, 엔진부하율, 장비별 평균 가동시간, 연료소비계수(SFOC)를 활용하여 오염물질 배출량 산정
철도기관차(RL)	• 기관차의 가동 대수, 주엔진출력, 엔진부하율, 장비별 평균 가동시간, 연료소비계수(SFOC)를 활용하여 오염물질 배출량 산정
화물자동차(HDV)	• 인천항 게이트 출입 차량과 항만 내부에서 운행하는 차량에 대해 상향식 방법 적용 • 화물자동차의 총 주행거리와 유종별 오염물질 배출계수를 활용하여 오염물질 배출량 산정

자료: 국립환경과학원(2016a), pp. 33~58 참조하여 저자 작성

나. 항만 배출원의 공간 할당

국내 항만에서 배출되는 대기오염물질과 온실가스 배출량의 지역별 배분을 위한 공간 할당 기준을 설정하였다. 이를 위해 시범적으로 인천항 내로 진입하는 고정 운항노선과 항계를 GIS 1km×1km 격자체계로 영향범위를 설정하여 배출량 산정 결과를 공간 할당하였으며, 타 항만의 경우에도 항계 및 항내로 진입하는 운항노선에 대해 배출량 할당을 제안하였다.[35]

〈그림 2-10〉 인천항 배출원별 공간 분포



자료: 국립환경과학원(2016a), pp. 88~91

35) 위의 책, p. 87.

2. 환경부(국가 미세먼지 정보센터), 국가 대기오염물질 배출량 산정 방법 편람(IV)

1) 개요

국립환경과학원(NIER)은 1999년부터 국가 대기오염물질 배출목록의 작성 및 운영을 담당하고 있다. 2019년 12월 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」을 근거로 해당 업무가 국가미세먼지정보센터로 이관되었으며, 이에 따라서 2017년 이후의 국가대기오염물질 배출량 통계는 국가미세먼지정보센터가 전담하여 산정·공표하고 있다.

「국가 대기오염물질 산정방법 편람」은 국가 대기오염물질 배출량 통계 작성을 위한 배출량 산정 지침으로, 배출원별 산정방법을 표준화하기 위해 2007년 최초 발간한 이래로 배출량 산정방법의 변경이 있을 경우 배출량 연보에 이를 공개하고 있으며, 가장 최근에는 2020년 「국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(IV)」를 발표하였다.

배출량 편람(Ⅳ)에서 제시한 'CAPSS 배출원 분류체계'는 유럽 환경청(EEA)의 'CORINAIR 배출원 분류체계(SNAP 97)'를 기초로 하고 있으며, 2007년 이후 국내 현실을 반영하여 지속적으로 배출원 분류체계를 변경하고 있다. 최근의 분류체계에 따르면, 항공·해상선박·건설장비 등은 총 13개 대분류 항목 중 비도로 이동오염원(08) 배출원에 포함된다.

〈표 2-27〉 대기오염물질 배출량 대분류체계

SCC	배출원 대분류 (2007년 이전)		SCC	배출원 대분류 (2007년 이후)
01	에너지산업 연소	⇨	01	에너지산업 연소
02	비산업 연소		02	비산업 연소
03	제조업 연소		03	제조업 연소
04	생산공정		04	생산공정
05	에너지수송 및 저장		05	에너지수송 및 저장
06	유기용제 사용		06	유기용제 사용
07	도로이동오염원		07	도로이동오염원
08	비도로 이동오염원		08	비도로 이동오염원
09	폐기물처리		09	폐기물처리
10	자연오염원		10	농업
11	농업		11	기타면오염원
12			12	비산먼지
13			13	생물성 연소(2011년)

자료: 국가미세먼지정보센터(2020), p. 7

2) 주요 내용

배출량 편람(Ⅳ)의 주요 개선사항은 여객선과 화물선의 분류체계의 변경으로 요약할 수 있다. 앞서 기술한 바와 같이 배출원의 분류체계는 배출정보의 불확도 평가에서도 가장 기본이 되는 사안으로, 배출량 통계의 신뢰도 개선에 있어 매우 중요한 의미를 가진다고 볼 수 있다.

(1) 여객선 분류체계 및 공간 할당 방법 개선

배출량 편람(Ⅲ)은 여객선의 현황을 파악함에 있어서 해상선박운송의 외항선과 내륙선박운송의 여객선으로 분류하고 있으나, 외항 여객선의 배출량을 별도로 산정하지 않았다. 이를 개선하고자, 2014년 국가 대기오염물질 배출량 통계부터는 '국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가

스 배출계수 개발과 배출량 산정(I, II)' 연구를 통해 제안된 결과를 반영하여 여객선 배출량을 포함한 통계를 공표하고 있다.

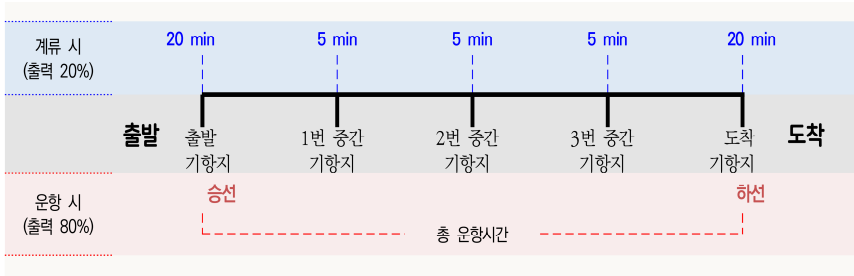
〈표 2-28〉 선박 여객선 분류체계

배출량 편람(Ⅲ)			배출량 편람(Ⅳ)		
Code	중/소분류	세분류	Code	중/소분류	세분류
08030100	선박/		0803000	선박/	
08030201	/해상선박운송	외항선	08030100	/여객	
08030101	/내륙선박운송	여객	08030101	/여객	연안선
-	-	-	08030102	/여객	외항선

자료: 국립환경과학원(2013), p. 176; 국가미세먼지정보센터(2020), p. 177

배출량 편람(Ⅳ)는 여객선의 운항경로에 따라 배출량을 할당하도록 하여, 기항지의 경우 여객항에 할당되어 행정구역별 배출량으로, 기항지 간 운항에 따른 배출은 바다 배출량으로 구분하였다.[36]

〈그림 2-11〉 여객선 운항시간에 따른 배출량 공간 할당



주: 운항 중 배출량: 바다 항로 격자에 할당
출발기항지, 중간기항지, 도착기항지 배출량: 여객항에 할당
출력설정 가정: 계류 시 20%, 운항 시 80%
계류시간 가정: 출발기항지(20분) / 중간기항지(5분) / 도착기항지(20분) 적용
자료: 국가미세먼지정보센터(2020), p. 179

36) 국가미세먼지정보센터(2020), p. 179.

(2) 화물선 분류체계 및 배출량 산정방법 개선

배출량 편람(Ⅲ)은 해상선박운송을 외항선 및 연안선으로 구분하고, 이 중 톤급별로 입출항 자료가 관리되는 외항선과 연안선만을 대상으로 배출량을 산정하였다.[37] 배출량 편람(Ⅳ)는 화물선을 국적에 따라 외항선과 연안선으로 분류하고, 연안선은 화물선의 선박 종류에 따라 14개 선종으로 구분하였다. 또한, 배출량 산정 시 연안화물선의 운항형태를 운항, 접안, 정박으로 구분하였으나, 외항화물선의 경우 선박의 제원정보 수집의 어려움으로 기존의 편람에서 제시된 접안, 정박 구분 방식을 적용하여 산정하도록 했다.

〈표 2-29〉 선박 화물선 분류체계

배출량 편람(Ⅲ)			배출량 편람(Ⅳ)		
Code	중/소분류	세분류	Code	중/소분류	세분류
08030100	선박/		08030000	선박/	
08030201	/해상선박운송	외항선	08030200	/화물	
08030101	/내륙선박운송	여객	08030201	/화물	연안선
08030102	/내륙선박운송	화물	08030202	/화물	외항선
08030202	/해상선박운송	연안선	-	-	-

주: 연안선 종류는 시멘트수송선, 모래운반선, 일반철강제품수송선, Ro-Ro선, 컨테이너선, 일반화물선, 차도선, 가스선, 석유케미칼수송선, 석유제품수송선, 예인선, 폐기물운반선, 자동차운반선, 기타 화물선으로 분류

자료: 국립환경과학원(2013), p. 176; 국가미세먼지정보센터(2020), p. 180

37) 국립환경과학원(2013), p. 176.

〈표 2-30〉 선박 화물선 배출량 산정방법 비교

화물선	배출량 편람(Ⅲ)	배출량 편람(Ⅳ)
배출량 산정 유무	○	○
외항·연안선 구분	외항선, 연안선	외항선(아국적), 연안선
운항형태 구분 (항해, 접안, 정박)	접안, 정박	외항선 – 접안, 정박 연안선 – 운항, 접안, 정박
배출량 산정방법	톤급별 입출항 척수 자료 톤급별 연료소비계수를 이용한 연료소비량 산정	선박 1척당 모드별 연료소비량 산정 선종별 총평균 운항시간 산정

자료: 국립환경과학원(2013), pp. 176~181; 국가미세먼지정보센터(2020), pp. 180~184

(3) 어선 및 레저 선박

배출량 편람(Ⅳ)는 어선 및 레저 선박을 배출원으로 포함하였다. 어선의 경우 종류의 명확한 구분이 어려워 세분류 항목을 제시하지 않았으며, 레저 선박에 대해서는 모터보트(20톤 미만), 고무보트(30마력 이상), 동력요트(20톤 미만), 수상오토바이와 같은 세분류 기준으로 구분하도록 했다.[38]

〈표 2-31〉 어선 및 레저 선박 배출량 산정 개요

구 분	어선	레저 선박
배출량 산정방법	• 조업 및 이동이 대부분 해상에서 활동하는 것으로 가정	• 추정 연료사용량을 기반으로 엔진 형태 및 연료에 따른 배출계수 고려
주요 활동자료	• 연료사용량: 어선별 면세유 지급정보(수협중앙회)	• 레저 선박 등록대수(해양경찰청) • 추정 연료사용량*
배출계수	• 비도로 이동오염원-선박-여객과 동일한 배출계수 적용	• EEA 배출계수**
시공간 할당	• 월별 배출이 일정한 것으로 가정하여 12개월 균등 할당 • 내륙 5%, 해상 95%(월별 어장형성도 고려) 할당	• 국내 마리나(Marina)항 위치정보('17년 배출량 기준)를 활용하여 배출량 12개월 균등 할당

주: * 추정 연료사용량: 국립환경과학원(2015a), p. 44
** EEA 배출계수: EEA(2013), pp. 16~17
자료: 국가미세먼지정보센터(2020), pp. 185~188

38) 국가미세먼지정보센터, 앞의 책, pp. 185~187.

제3절 시사점

1. 현행 해외 선박의 배출량 산정 패러다임

앞서 살펴본 바와 같이, 국제해사기구(IMO), 유럽 환경청(EEA), 미국 환경청(EPA)은 선박의 배출량 산정방법론을 각기 제시하고 있으며, 현재 이들의 방법론 및 기준은 선박의 배출량 산정에 가장 많이 준용되고 있다.

우선 IMO의 'Fourth IMO GHG Study 2020'은 SOx, NOx, PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, NMVOC, BC의 총 일곱 가지 대기오염물질과 CO_2, CH_4, N_2O의 세 가지 온실가스 물질의 배출량 산정 방법론을 제시하고 있으며, EEA의 'EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019'은 선박을 포함하는 배출원별 SOx, NOx, PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, NMVOC, BC, NH_3 등 주요 대기오염물질의 배출량 산정방법을 제시하고 있다. 한편, EPA는 2009년, 항만 내 이동 오염원으로부터 발생하는 SOx, NOx, PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, HC, BC의 일곱 가지의 대기오염물질과 CO_2, CH_4, N_2O의 세 가지 온실가스의 산정방법론을 제시한 바 있으나, 이후 개선방안은 별도로 발표하고 있지 않다.

선박의 배출량 산정을 위해서는, 준비된 식에 대입하기 위한 정적정보(Static data) 및 동적정보(Dynamic data)가 필요하다. 상향식 방법론과 함께 하향식 역시 제시하고 있는 IMO의 'Fourth IMO GHG Study 2020'에서는 선박의 배출량 산정 및 분석을 위해 AIS 데이터를 기본으로, 이를 보완하기 위해 IHS, MMSI 데이터베이스를 활용하였다. AIS 데이터를 통해 개별 선박에 대한 위치정보를 수집하고, 선박별 기술 사양과 관련한 데이터를 이에 매칭하여 분석을 수행하도록 하였다. 그러나 실제 이를 활용하는 과정에서 AIS 데이터가 누락되거나 이상치를 포함하는 경우가 자주 발생하며, 선박 및 엔진의

정보를 파악하기 위한 기관별 수집 데이터의 형식이 상이하거나 누락하는 경우 등으로 인한 데이터의 오류, 매칭 불가 등 문제점이 발생할 수 있다.

IMO의 방법론에서는 기본적으로 주로 선박의 실시간 위치정보를 이용한 반면, EEA는 주로 선박의 운항 단계별 연료 소비량(동적정보 및 정적정보로 구분한 결과 값 적용)과 조건에 상응하는 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하며, 확보 가능한 데이터 유형에 따라 단계별로 보다 정교하게 계산할 수 있는 세 가지(Tier1, Tier2, Tier3) 단계의 산정방식을 제시하였다. 또한, 이를 위해 정적정보 위주의 LMIS(Lloyd's Maritime Information Service) 데이터베이스를 활용하였다. LMIS는 선박의 종류 및 주요 정보, 선박 이동 목적지 등의 정적정보와 함께 출항 및 입항시간 등의 동적정보를 제공하고 있으며, 항만 호출에 관한 정보는 각국의 항만당국 및 관련 통계 담당 부서의 자료로 수집하여 사용하도록 하였다.

EPA 역시 선박의 활동 및 제원정보를 활용하여 배출량을 산정하였다. MEPA, USACE, Lloyd's Register of Ships 등의 기관으로부터 선박의 제원과 같은 정적정보를 수집하였으며, 선박의 이동정보를 파악하기 위해 VTS 자료를 주로 활용하였다. 이 과정에서 수집 불가능한 데이터에 대해서는 모집단의 평균이나 비율을 사용하는 것을 제시하였다.

이들 방법론은 크게 에너지 기반('에너지 소비량×단계·조건별 배출계수'의 개념)의 방식과 연료 기반('연료 소비량×단계·조건별 배출계수'의 개념)의 방식으로 구분되며, 선박의 세부 배출원은 대부분 주엔진, 보조엔진 및 보일러로 구분하고 있다. 엔진 및 연료의 유형 등에 따라서 적용하는 배출계수가 달라지며, 선박의 운항 단계에 따라서 엔진의 사용 및 이에 따른 출력도 다르게 적용된다. 또한, 개별 방법론에서 제시하는 배출계수와 운항 단계의 구분 기준 등은 해당 지역 및 환경적 특성을 반영한 경험적 결과이기 때문에, 유사한 조건에서도 각기 상이하다.

이러한 방법으로, IMO의 보고서는 NOx, PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, NMVOC, CH_4, N_2O 등의 배출량 산정 시 에너지 기반 방식을 적용하는 반면, SOx, BC, CO_2의 경우에는 연료 기반 방식을 적용한다. EEA의 가이드라인은 수집정보의 유효 정도에 따른 3개의 단계별 방식(Tier1, Tier2, Tier3)에서 모두 연료 기반 산정방식을 적용하고 있으며, Tier3 단계에서 선박의 운항단계별 연료 소비량 정보를 확보하지 못하거나 구분할 수 없는 경우, 적용가능한 에너지 기반의 방식 역시 제시하고 있다. 두 가지 방식 모두 실제 배출량 산정 시 현재의 조건에서 (선박의 활동 등이 정확하게 파악되었다는 가정에서) 정확도를 좌우하는 가장 중요한 정보는 해당 선박 엔진의 출력값으로, 이를 추정하거나 규정해야 한다. IMO는 이를 위해 선박의 운행에서 실제 발생할 수 있는 저항 등을 고려하여 엔진의 출력을 지속적으로 추정하고 있는 반면, EEA 및 EPA는 기존의 선박정보에서 제공하는 엔진의 출력정보를 그대로 활용·적용한다. 또한, 엔진의 부하계수를 적용함에 있어서, IMO와 EPA의 보고서는 속도 등의 변화에 따른 엔진 부하의 변화로 인한 부하계수의 변화를 산정 과정에 반영하고 있다.

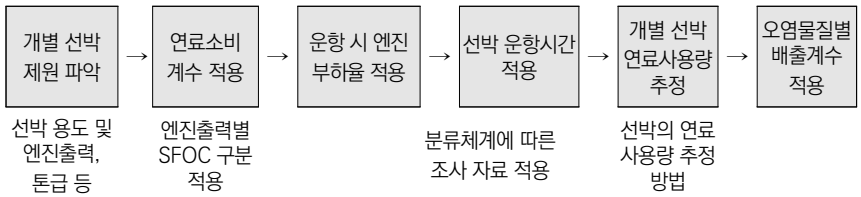
2. 현행 국내 선박의 배출량 산정 패러다임

환경부 국가 미세먼지 정보센터는 '국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅳ)'로 국가 대기오염물질 배출량 산정의 기준 및 방법론을 제시하고, 매년 이를 적용한 국가 배출량을 발표하고 있다. 국가 대기오염물질 배출량은 '대기정책지원시스템(CAPSS)'을 기반으로, 총 9개 대기오염물질(NOx, SOx, CO, TSP, PM_{10}, $PM_{2.5}$, VOC, NH_3, BC)을 대상으로 한다.

현재 '국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(IV)'에서 비도로 이동오염원의 배출량 산정을 위해 수집되는 활동 자료(동적정보)를 정리하면 아래

의 표와 같다. 선박의 배출량 산정을 위한 주요 동적정보를 추정하거나 규정하기 위해서는, 표에서 제시된 바와 같이 개별 선박 및 엔진의 제원(선박 번호, 엔진 출력, 톤급 등)과 같은 정적정보가 요구된다. 이를 바탕으로 개별 선박을 구별·매칭하는 한편, 선박의 운항 단계별 항해 시간, 항해 시 엔진부하율 등의 동적정보, 이에 따른 연료 소비계수(SFOC) 등을 토대로 선박의 연료 소비량을 추정하여 선박의 대기오염물질 배출량을 산정하도록 하고 있다.

〈그림 2-12〉 선박 배출량 산정을 위한 주요 활동 자료



자료: 저자 작성

〈표 2-32〉 비도로 이동오염원 수집 활동 자료 형식 및 해상도

구 분		정보 제공기관	자료형식	해상도	
				시간	공간
철도	1) 철도 구간정보	한국철도공사	철도 구간정보 자료	연간	구간
	2) 철도 연료소비량		철도연료 소비량 자료	월	구간
선박	1) 선박 입출항 현황	통계청	톤급별 선박입출항 현황	월	항만
	2) 항만별 화물처리 실적		외·내항 품목별 화물 입출항 현황	월	항만
	3) 수상운송업 연료경제	에너지경제연구원	에너지 총조사 보고서(종류/톤급)	-	-
	4) 여객선 현황	한국해운조합	여객선 연료 사용량 자료 내 여객선	연간	-
	5) 여객선 연료 사용량		여객선 연료 사용량 자료	연간	-
	6) 연안화물선 일반 현황	해양수산부	PORT-MIS 정보 내 출현 화물선	일시	항만
		한국해양교통안전공단	연안화물선 일반 현황 자료	-	-
		한국선급			
	7) 연안화물선 입출항 현황	해양수산부	PORT-MIS 정보	일시	항만
	8) 어선 연료사용량	수협중앙회	어선 연료사용량 자료	연간	조합
	9) 레저용 선박 등록대수	해양경찰청	레저용 선박 등록대수 자료	연간	전국

구 분		정보 제공기관	자료형식	해상도	
				시간	공간
항공	1) 기종별 공항 운항	인천국제공항공사	기종별 공항 운항 자료	월	공항
		한국공항공사		월	공항
농업기계	1) 농기계 등록대수	농림축산식품부	농업기계 보유 현황	연간	시군
		통계청	농기계 보유농가 및 보유 대수	연간	시군구
	2) 농기계 작업시간	국립농업과학원	농업기계 이용실태	연간	전국
건설장비	1) 건설기계 등록 현황	국토교통부	건설기계 현황 통계	연간	시도
	2) 연식/출력별 등록비율		건설기계 등록 현황 및 폐차 현황 자료	연간	전국
	3) 건설기계 작업시간	대한건설기계협회	건설기계 작업시간 자료	연간	전국
		국토연구원	건설기계 수급조절 정책 개선방안	연간	전국

자료: 국가미세먼지정보센터(2020), pp. 171~219 참조하여 저자 작성

편람에서 비도로 이동오염원으로 분류되는 선박은 여객, 화물, 어선, 레저 부문으로 구분되며, 선박의 연료 소비량을 기반으로 대기오염물질 배출량을 산정하도록 하고 있다. 이 가운데, 여객선의 경우 한국해운조합의 월별, 연별 면세유 공급정보(판매량)를 바탕으로 연료 기반('연료 소비량×유종별 배출계수'의 개념)의 방식을 적용하고 있다.

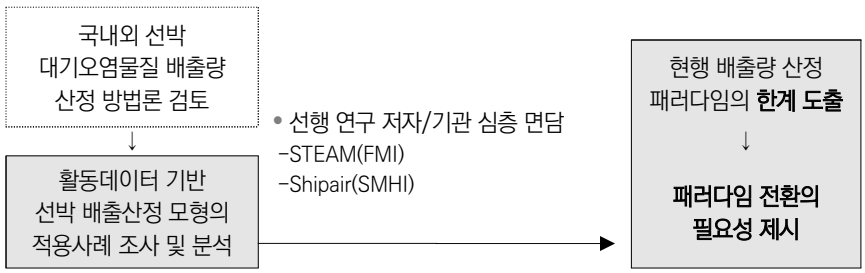
화물선은 국내 무역항에 입출항하는 화물선의 정박-접안-운항 단계별로 연료 소비량을 추정하여, 역시 연료 기반 방식을 적용하여 배출량을 산정한다. 단계별 운항 조건을 반영하는 과정에서 연료 소비량을 추정하기 위해 정박·운항 시 엔진의 출력, 접안 시 운항 거리 등을 경험에 의한 평균값 개념의 계수를 도입·적용하고 있다.

03
선박 배출량 산정 패러다임 전환의 필요성

제3장에서는 산정 결과의 정확도 개선을 위해 최근 시도된 바 있는 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형의 주요 사례에 대한 조사 결과를 바탕으로 주요 성과 및 한계 등을 분석하였다. 이 과정에서, 현재 관련 연구에서 가장 활발하게 인용되고 있는 STEAM 및 Shipair 모형의 개발자들과의 개별 세미나 시리즈[39]를 수행하여 선행 사례의 개발 및 적용 시 한계, 보완사항 등을 심층적으로 조사하였다.

또한, 기존 산정 패러다임의 한계를 도출하고, 이를 극복하기 위한 방안으로 활동데이터 기반의 상향식 배출산정 모형 도입의 필요성 등을 정리하였다.

〈그림 3-1〉 활동데이터 기반 상향식 모형 구성·적용사례 분석



자료: 저자 작성

39) Jukka-Pekka Jalkanen(FMI), David Segersson(SMHI)과 개별적인 온라인-세미나 시리즈 개최

제1절 활동데이터 기반 배출산정 모형 구성 및 적용사례 분석

1. STEAM

1) 개요

핀란드 기상 연구소(FMI)[40]는 선박의 활동에 따른 배출량의 시공간 분포를 보다 정확하게 설명할 수 있는 평가 시스템의 필요에 따라, 해상 교통량을 고려하여 조밀한 시간 간격으로 배출량을 산정하는 STEAM 모형을 2007년 개발하였다. STEAM은 정적정보인 선박의 기술제원 관련 정보와 동적정보인 AIS 데이터 등을 이용한 상향식 산정을 바탕으로 시공간별 배출 특성을 분석할 수 있으며, 초기 모형의 공간 해상도는 수백 미터 또는 그 이하의 국지적 해상도를 가졌으나 최신 버전에서는 지역 규모부터 전국 규모까지 분석 목적에 따라 스케일 조정이 가능하다. 시간 해상도는 AIS 정보가 1초 간격으로 선박의 위치를 업데이트하지만 스케일에 따라서 분 또는 시간 단위로 평균하여 적용한다.

대부분의 선행 연구에서는 선박의 실제 속도, 위치의 변화, 배출 저감기술의 적용 등으로 발생하는 영향 등을 무시하였으나, STEAM은 저감기술의 적용에 따른 배출량 감소계수를 도입하고, 선박의 이동에 영향을 미쳐 연료 소비량을 증감시키는 파도의 효과를 포함하여 추가적인 부하 등을 예측하도록 했다.

40) Finnish Meteorological Institute

〈표 3-1〉 STEAM 버전별 개선 항목

STEAM 버전	개선 항목
STEAM	• STEAM 기본 알고리즘 개발
STEAM2	• PM, CO 산정 대상물질 추가 • Hollenbach(1998) 방법론 도입하여, 물에서의 추가저항 추정 • 선박 종류와 운항형태를 고려한 보조엔진 출력 추정모형 개선
STEAM3	• 전국 규모 배출량 평가 • 운항경로 생성 알고리즘(Route generation algorithm) 적용

자료: Jalkanen *et al.*(2009), pp. 9210~9211; Jalkanen *et al.*(2012), pp. 2642~2643; Johansson, Jalkanen and Kukkonen(2017), p. 405 참조하여 저자 작성

2) 주요 내용 및 적용사례

(1) 배출량 산정 방법

가. 모형의 알고리즘

STEAM의 데이터 처리 수행 단계는 ① 선박 식별 및 데이터 매칭, ② 선박의 활동 평가, ③ 연료 소비량 및 배출량 산정의 3단계로 구분된다. 먼저 여러 데이터베이스에서 수집한 선박 활동 자료를 종합하여 시간순으로 정리한다. 이어서, 수집한 데이터의 주요 시공간 간격을 확인하는데, STEAM3는 이 과정에서 운항경로 생성 알고리즘을 도입·활용한다.

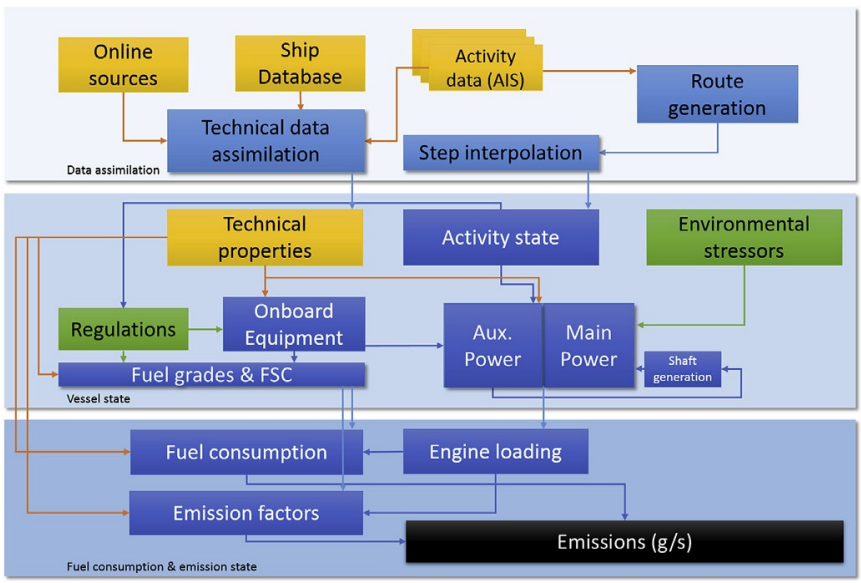
이때, 운항경로 생성 알고리즘은 연속적인 두 지점의 AIS 위치 보고(Position report)가 상당한 거리 차이를 보이거나 두 위치 사이에 육지가 있을 때 가장 단거리의 운항경로를 결정하여 비현실적인 경로 설정을 피하도록 한다.[41]

선박의 기술제원 정보 식별 및 매칭, 최단 운항경로가 생성되면, 선박 활동을 분 단위로 구분·평가하는 두번째 단계를 수행할 수 있다. 이 단계에서

41) Cherkassky, Goldberg, and Radzik(1996), pp. 11~13.

는 엔진의 출력값 추정과 함께, 사용된 연료의 종류, 연료유 내 황 함량 등의 중간 데이터 값을 결정한다. 이어서, 마지막 단계에서는 중간 데이터 값들을 활용하여 엔진 부하율 및 연료 소비량, 배출량을 산정하게 된다.

〈그림 3-2〉 STEAM 모형의 데이터처리 수행 단계의 구성



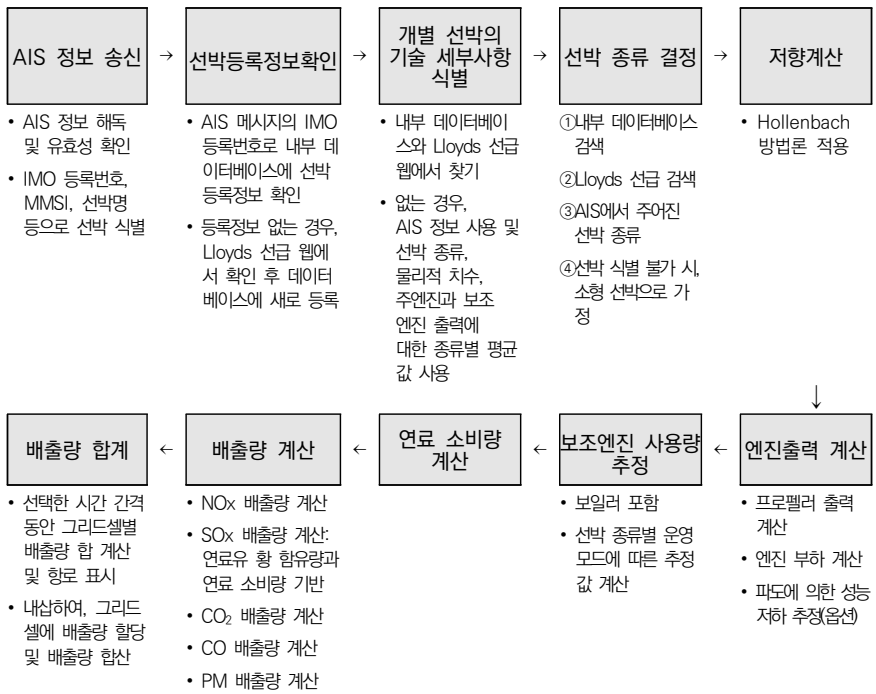
자료: Johansson, Jalkanen and Kukkonen(2017), p. 405

이를 개별 단계별로 살펴보면 다음과 같다. 우선 선박에서 실시간 AIS 데이터를 송신하게 되면 이를 수집하여 IMO 등록번호, 해상이동업무 식별번호(MMSI), 선박 이름을 사용하여 해당 선박을 식별할 수 있다. 시스템의 내부 데이터베이스에 해당 선박이 등록되어있는지 확인하고, 내부 정보로 파악이 어려운 경우 IHS Fairplay와 로이드 선급 사이트와 같은 외부의 선박정보 데이터베이스에서 이를 확인하여 내부 데이터베이스에 새로운 선박 및 정보를 추가한다. 식별된 정보에 따라 선박의 종류 및 사이즈, 주엔진과 보조엔진의 출력정보와 같은 선박의 기술적 제원 사항을 찾아 이를 매칭한다. 선박 종류 및 출력 등을 결정함에 있어서, 데이터 누락 등으로 매칭 불가한

경우 해당 선박을 소형선박으로 가정하고 예인선의 주엔진 출력의 평균값인 2,380kW를 일괄 적용한다.

파도 등 외력에 의한 외부 부하의 추정은 Hollenbach(1998)의 방법론을 도입하여 적용한다. 외부 요인에 의한 부하 추정 후, 엔진의 출력을 추정할 때는 프로펠러 출력, 엔진 부하를 추정하고, 보조엔진의 경우에는 보일러와 선박 종류별 운항형태에 따른 추정값을 계산한다. 마지막으로, 이들 추정 데이터를 활용하여 단위격자당 연료 소비량과 배출량 값을 계산하고 선택한 시간 간격과 그리드 셀에 대해서 배출량의 합을 도출하게 된다.

〈그림 3-3〉 STEAM2 산정 단계별 주요 내용



자료: Jalkanen *et al.*(2009), pp. 9211~9212.; Jalkanen *et al.*(2012), pp. 2642~2644. 참조하여 저자 작성

나. 요구 데이터

STEAM의 배출량 산정을 위해서는 정적정보와 동적정보가 요구된다. 초기 모형에서는 정적정보를 로이드 선급 자료를 중심으로 사용하였으나, 이후 모형에서는 IHS Markit의 선박 제원정보를 활용하고 있다. 부족한 정보는 선박 엔진 제조사, 개별 선급협회, 지역 당국, 선박 소유주 등으로부터 보완하여 내부의 데이터베이스를 구축한다. 이를 통해, 내부 데이터베이스는 총 30,000척 이상의 선박 기술제원 정보(선박 식별정보, 사이즈 및 물리적 특성, 주엔진 및 보조엔진 제원 및 특성)를 포함하고 있다.

동적정보는 주변국의 AIS 데이터를 통합 관리하는 헬싱키 위원회(HELCOM)[42]의 AIS 정보센터의 데이터베이스에서 선박의 속도, 위치, 식별정보 등을 포함하는 활동 자료를 추출한다. 이를 통해, 선박의 위치정보는 1초 간격으로 갱신되고, 연속적이지 않은 경우 선형적으로 내삽하여 추정한다. 이때, 두 위치 보고 포인트 간 시간 차이가 72시간보다 길어지는 경우에는 내삽하지 않는다. 이와 같은 방식으로, 선박의 위치 및 배출량은 연속성 확인 후 매초마다 계산된다. 또한, 연속성을 확인하기 위해 대원 거리와 선박의 평균 속도를 계산하여 선박이 실제 두 위치 보고 사이의 거리를 이동할 수 있는지 확인한다.[43]

〈표 3-2〉 모형 요구 데이터 종류

정적정보				
IHS Fairplay (엔진 제조사, 지역 당국, 선주)				
내부 데이터베이스				
식별	선박 제원, 특성	주엔진 특성	보조엔진 특성	기타
해상이동업무식별번호(MMSI)	길이	주엔진 연료 유황 함량	보조엔진 연료 유황 함유량	해수밀도
국제해사기구번호(IMO number)	너비	주엔진 적용 저감기술	보조엔진 적용 저감기술	프로펠러 각속도
선박명	흘수	주엔진 연료소비량	보조엔진 연료소비량	프로펠러 rpm

정적정보				
IHS Fairplay (엔진 제조사, 지역 당국, 선주)				
내부 데이터베이스				
식별	선박 제원, 특성	주엔진 특성	보조엔진 특성	기타
선박 유형	건조 연도	주엔진 설계	보조엔진 개수	–
총톤수	설계 속도	주엔진 모델명	보조엔진 최대출력	–
중량 톤수	캐빈 수	주엔진 스트로크 유형	보조엔진 연료 종류	–
–	선체 유형	주엔진 rpm	–	–
–	접수 표면적	주엔진 개수	–	–
–	수선간장	주엔진 최대출력	–	–
–	–	주엔진 연료 종류	–	–
–	–	측정된 배출계수	–	–
+				
동적정보				
AIS 시스템				
순간 속력		위치		선박 유형

자료: Jalkanen *et al.*(2009); Jalkanen *et al.*(2012)의 내용 참조하여 저자 작성

다. 배출량 산정

(가) 엔진출력 추정

주엔진과 보조엔진 출력 수준의 추정치는 수집된 선박의 속도 및 제원정보 등으로부터 실제 순간 속도와 설계 속도의 함수에 의해 계산된다. 엔진의 순간 출력 P는 속도 V의 함수로, 일반적으로 ITTC(1999)가 제시한 아래의 식에 따른다.[44]

42) Helsinki Commission
43) Jalkanen *et al.*(2009), pp. 9210~9211.; Jalkanen *et al.*(2012), p. 2642.
44) ITTC(1999), p. 5.

$$P_{transient} = (CF + CR + CA + CAA)(\frac{1}{2} V^3 S)\frac{1}{\epsilon_0}$$

P: 순간 출력
CF: 마찰 저항
CR: 잔류 저항
CA: 부가물 저항
CAA: 공기 저항
V: 선박 속도
S: 선박의 습한 표면
ϵ_0: 추진 계수

자료: Jalkanen *et al.*(2009), p. 9213.

순간 출력을 계산하기 위해 사용되는 변수인 마찰 저항(CF), 잔류 저항(CR), 부가물 저항(CA), 공기 저항(CAA), 추진 계수(ϵ_0) 등은 내부 데이터베이스에서는 찾을 수 없는 선박별 매개변수로 구성되는 함수이다. STEAM은 이 변수들을 선박별 상수로 가정하여 단순화하고 있다. 특히, ϵ_p는 설치된 주엔진 출력의 80%로 생각되는 최대연속출력(MCR)에서의 주엔진 부하로서, 0.8로 가정한다. 이를 반영하여 단순화된 엔진의 순간출력 산정식은 아래와 같다.

$$P_{transient} = \frac{k V_{transient}^3}{0.514^3}, k = 0.514^3 \times \frac{\epsilon_{p \times P_{installed}}}{(V_{design} + V_{safety})^3}$$

P: 순간 출력(kW)
$P_{installed}$: 설치된 전체 주엔진의 출력(kW)
ϵ_p: 주엔진의 MCR에서의 주엔진 부하
V_{design}: 설계 속도(m/s)
V_{safety}: 안전 여유속도(m/s)

자료: Jalkanen *et al.*(2009), p. 9213

보조엔진의 출력은 다음과 같이 선박의 종류와 운항형태를 고려하여 추정한다.

〈표 3-3〉 선박 종류와 운항형태별 보조엔진 출력

구분	운항형태	보조엔진 출력	비고
여객선 (Cruise, RoRo/passenger, Yacht)	모든 운항형태	750 kW	객실마다 3 kW 추가 소비
냉동화물선 컨테이너선	순항(cruising)	750 kW	20피트 TEU 컨테이너는 온도 유지를 위해 4 kW 소비
	정박(hotelling)	1000 kW	
	접안(maneuvering)	1250 kW	
그 외 다른 선박	순항(cruising)	750 kW	-
	정박(hoteling)	1000 kW	
	접안(maneuvering)	1250 kW	

자료: Jalkanen *et al.*(2012), p. 2646

(나) 연료 소비량

연료 소비량(SFOC)은 엔진의 종류에 따라 상이하다. IMO 보고서에 따르면 2 스트로크 엔진은 160~200g/kWh의 연료를 소모하고 4 스트로크 엔진은 180~250g/kWh 연료를 소모하여 2 스토로크 엔진의 연료 소비량이 4 스트로크 엔진 연료 소비량보다 작다.[45] 또한, 연료 소비는 엔진 부하의 영향을 받으므로 엔진 부하에 의한 포물선의 함수로 나타낼 수 있다. 아래의 식을 통해 연료유 소비를 최소화하기 위해서는 약 70~80%의 엔진 부하가 필요함을 확인할 수 있으며, 이는 연료 소비 및 엔진 성능 측면에서 최적의 상태라고 할 수 있다. 연료 소비량은 아래와 같이 산정할 수 있다.

45) IMO(2009), p. 138.

$$SFOC = SFOC_{Relative} SFOC_{base}$$
$$SFOC_{Relative} = 0.455EL^2 - 0.71EL + 1.28$$
$$EL = \frac{P_{Total}}{P_E n_E}$$

$SFOC_{base}$: SFOC 기본값(상수)
EL: 엔진 부하
P_{Total}: 전체 엔진의 순간 출력
P_E: 설치된 엔진 하나의 MCR
n_E: 설치된 엔진의 수

자료: Jalkanen *et al.*(2012), pp. 2645~2646.

(다) 배출계수(EF)

배출량 산정에 필수적인 배출계수 값 역시 대기오염물질에 따라 다르다. NOx의 경우, 고유의 배출 특성에 따라서 배출량은 온도와 연소 주기에 따라 다르게 나타난다. NOx의 배출계수는 연료 소비량과 독립적으로 도출되며, 엔진 속도와 IMO curve를 이용하여 도출하며, 이를 위해 크랭크축 분단 회전축(rpm) 자료를 아래의 기준에 따라 사용한다.

〈표 3-4〉 NOx 배출계수

배출계수(g/kWh)	크랭크축 분당 회전수(rpm) 조건
17	130 rpm 이하 엔진
$45.0 \times n^{-0.2}$	130 〈 n 〈 2000 엔진, n=엔진 rpm
9.8	2000 rpm 이상 엔진

자료: Jalkanen *et al.*(2009), p. 9212

SOx 및 CO_2의 배출계수는 엔진의 연료 소비량으로부터 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$n(S) = \frac{m(S)}{M(S)} = \frac{SFOC \times SC}{M(S)}$$
$$= \frac{200 g/kWh \times 0.015}{32.0655 g/mol} = 0.09356 mol/kWh$$

$$n(S) = n(SO_2)$$

$$m(SO_2) = M(SO_2) \times n(SO_2)$$
$$= 64.06436 g/mol \times 0.09356 mol/kWh$$
$$= 5.994 g/kWh$$

SFOC: 연료 소비량(g/kWh)
SC: 연료유 황 함량(mass-%)
M(S): 황의 몰 질량(g/mol)
$M(SO_2)$: 이산화황의 몰 질량(g/mol)
n(S): 황의 몰 수(mol)
$n(SO_2)$: 이산화황의 몰 수(mol)
m(S): 황의 질량(g)
$m(SO_2)$: 이산화황의 질량(g)

자료: Jalkanen *et al.*(2009), p. 9217 참조하여 저자 작성

$$n(C) = \frac{m(C)}{M(C)} = \frac{SFOC \times CC}{M(C)}$$
$$= \frac{200 g/kWh \times 0.85}{12.01 g/mol} = 14.15487 mol/kWh$$

$$n(C) = n(CO_2)$$

$$m(CO_2) = M(CO_2) \times n(CO_2)$$
$$= 44.00886 g/mol \times 14.15487 mol/kWh$$
$$= 622.94 g/kWh$$

SFOC: 연료 소비량(g/kWh)
CC: 연료의 탄소 함유량(mass-%)
M(C): 탄소의 몰 질량(g/mol)
$M(CO_2)$: 이산화탄소의 몰 질량(g/mol)
n(C): 탄소의 몰 수(mol)
$n(CO_2)$: 이산화탄소의 몰 수(mol)
m(C): 탄소의 질량(g)
$m(CO_2)$: 이산화탄소의 질량(g)

자료: Jalkanen *et al.*(2009), p. 9217. 참조하여 저자 작성

PM의 배출량은 PM을 구성하는 물질의 배출합으로 볼 수 있으며, 이는 연료 소비량과 순간 출력의 변화를 반영하여 아래와 같이 추정할 수 있다.

$$EF_{PM} = SFOC_{Relative}(EF_{SO_4} + EF_{H_2O} + EF_{OC}OC_{EL} + EF_{EC} + EF_{Ash})$$

$$OC_{EL} = \begin{cases} 3.333, & EL < 0.15 \\ \dfrac{a}{1 + be^{-cEL}}, & EL \geq 0.15 \end{cases}$$

$$EF_{SO_4} = 0.312S$$

$$EF_{H_2O} = 0.244S$$

EF_{EC}: 0.08 gkWh^{-1}
EF_{OC}: 0.2 gkWh^{-1}
EF_{Ash}: 0.06 gkWh^{-1}
a: 1.024
b: -47.660
c: 32.547
S: 연료유 황 함유량(%)

자료: Jalkanen *et al.*(2012), pp. 2648~2649.

CO의 배출량은 엔진부하의 정도에 따라서 크게 달라진다. STEAM 모형은 기본적으로 Sarvi *et al.*(2008)의 CO의 배출계수를 준용하였다. 단순화를 위해 아래 산식의 α는 모든 선박에 대해 동일한 것으로 가정하고, 그 값은 회귀분석에 의해 582로 추정되었다. 한편, STEAM 모형은 엔진이 멈추며 발생하는 '자연 감속(Natural deceleration)'과 엔진을 사용하여 감속하는 '능동 제동(Active braking)'을 구분하지 못하기 때문에, 자연 감속의 경우 CO의 배출량이 과대 모의될 수 있다는 한계가 있다.

$$EF_{CO} = CO_{base}ABC$$

$$ABC = \max\left\{\alpha\frac{|\triangle v|}{\triangle t}, 1\right\}$$

ABC: Acceleration Based Component
△v: 선박 속도 변화율(ms^{-1})
△t: 두 연속적인 위치 보고의 시간 간격(s)
α: 무차원 경험 계수

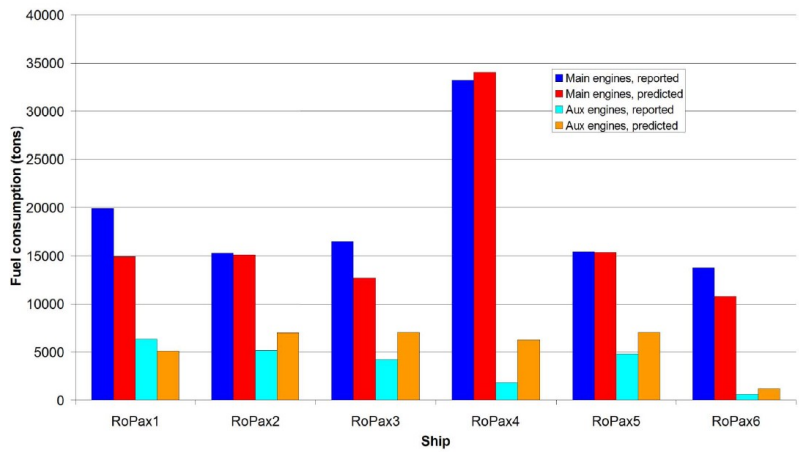
자료: Jalkanen *et al.*(2012), p. 2650

(2) 적용 사례

가. A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea area(2009)

Jalkanen *et al.*(2009)은 2007년 1~12월, 발트해(Baltic Sea) 및 해역 입구(57.74N, 10.6325E)에서 선박의 NOx, SOx, CO_2 배출량 산정 및 분석을 위해 STEAM 모형을 적용하였다. 사용된 AIS 자료는 2007년 1년간 발트해에서 활성화된 AIS 송신기를 탑재한 9,497척 선박의 정보로, 이들의 위치 보고 정보는 총 2억 1,000만 개 이상의 개별 메시지로 구성되었다.

〈그림 3-4〉 6개 여객선의 연간 연료 소비량 비교



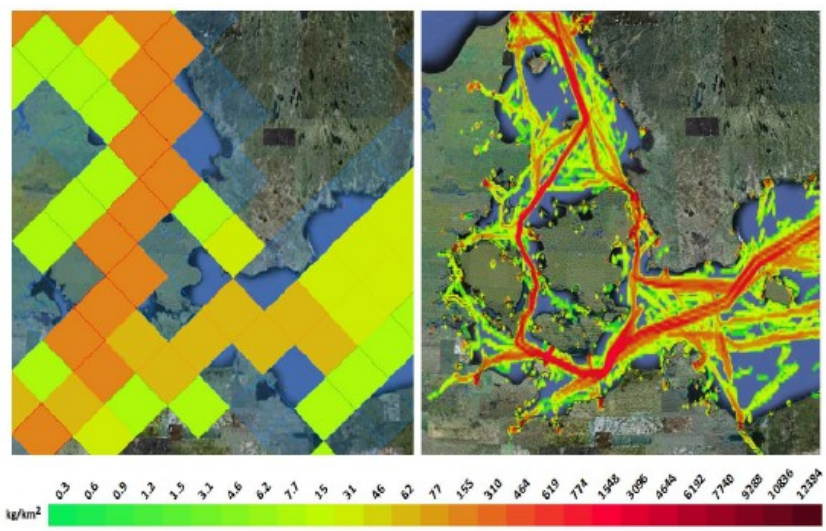
자료: Jalkanen *et al.*(2009), p. 9216

해당 연구에 따르면, 여객선(RoPax) 6척의 선주로부터 구득한 실제 연료 소비량과 STEAM 모형이 예측한 연료 소비량을 비교한 결과, 총 6척 중 3척의 주엔진 연료 소비량 추정값과 실제 연료소비량이 유사하게 나타났다. 보조엔진의 경우에는 대부분의 여객선에서 과대 추정된 것으로 나타났으나, 이는 당시 적용한 STEAM 모형에서 운항형태와 관계없이 여객선 보조엔진에 일률적으로 같은 엔진 출력값(kW)을 적용하였기 때문으로 보인다.[46]

나. Extension of an assessment of ship traffic exhaust emissions for particulate matter and carbon monoxide(2012)

Jalkanen *et al.*(2012)는 발트해에서 해상 교통의 밀집도가 높은 덴마크해협(Danish Straits) 2009년 통항선박의 CO, PM 배출량을 STEAM2로 산정하고, 이를 EMEP[47]의 인벤토리와 비교하였다. 해당 연구에 따르면, STEAM2를 적용한 배출량 산정 결과는 전반적으로 EMEP보다 높게 나타났다. 특히, 말뫼(Malmö) 및 코펜하겐 주변의 외레순해협(Oresund)과 보른홀름섬(Bornholm)의 북쪽에서는 그 차이가 높게 크게 나타났다.

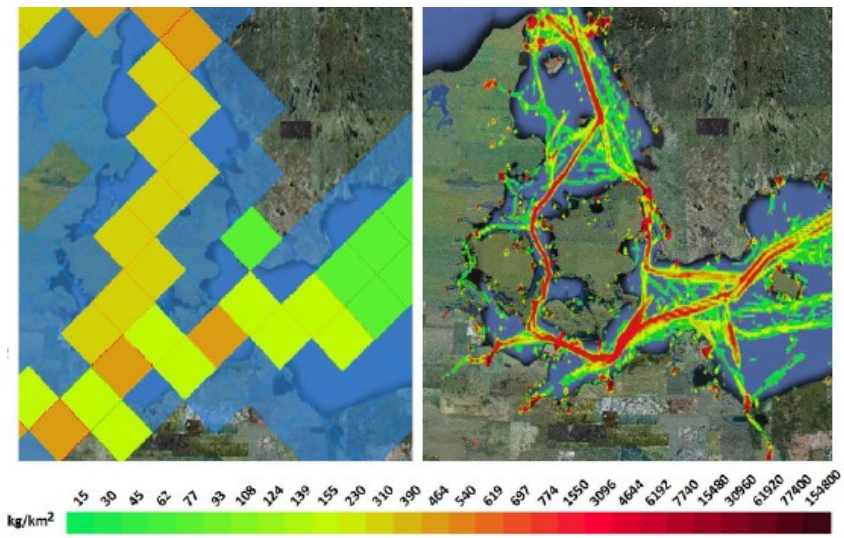
〈그림 3-5〉 EMEP(좌)와 STEAM2(우)의 산정 결과 비교: PM



자료: Jalkanen *et al.*(2012), p. 2654

46) Jalkanen et al.(2009), p. 9217.
47) European Monitoring and Evaluation Program

〈그림 3-6〉 EMEP(좌)와 STEAM2(우)의 산정 결과 비교: CO



자료: Jalkanen *et al.*(2012), p. 2654

PM의 고배출 지점의 분포는 선박 항로가 가장 혼잡한 해역 근방인 예테보리(스웨덴), 코펜하겐(덴마크), 킬(독일), 뤼베크(독일), 로스토크(독일), 자스니츠(독일), 시비노우이시치에/슈체친(폴란드)에 집중되어 나타났다.

2. Shipair

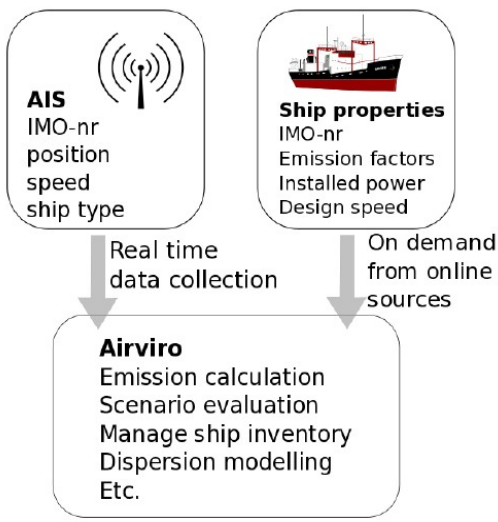
1) 개요[48]

스웨덴 기상·수문 연구소(SMHI)[49]는 선박의 배출에 의한 대기질 영향 평가체계를 개선하기 위한 목적으로, AIS 데이터와 기존의 선박 제원정보를 활용하는 상향식(Bottom-up) 선박 배출량 산정모형(Shipair)을 개발하였다.

48) Segersson(2013), pp. 1~2.; Segersson and Holmin-Fridell(2014), p. 8. 참조하여 저자 작성
49) Swedish Meteorological and Hydrological Institute

Shipair는 배출 및 이동·확산 시뮬레이션 기반의 대기질 관리시스템인 'Airviro'[50]의 배출 산정 및 분석 모듈로, 배출량 산정 과정에서 요구되는 선박의 이동정보, 즉 AIS 데이터는 외부의 데이터베이스 또는 AIS 네트워크 수신기를 통해 수집하며, 선박의 기술적 제원정보는 당국 또는 선급의 데이터베이스를 활용한다.

〈그림 3-7〉 Shipair 개요



자료: Segersson(2013), p. 2

기본적으로 CO_2, CO, CH_4, NOx, N_2O, SOx, F-gases, PM 등의 대기오염물질의 배출량 산정 및 모사 작업 등을 수행하며, 이를 위해 선박의 동적정보 입력 자료로 AIS 데이터를 사용하기 때문에 AIS 송수신기(AIS-transponder)가 장착된 선박이 Shipair 모듈의 산정·분석 대상이 된다.

50) SMHI에서 개발하고 현재 Apertum에서 운영하는 소프트웨어로 선박 배출량 산정과 관련된 다양한 모듈(데이터 수집, 가공, 검증, 계산, 모형 등)을 제공하고 있음

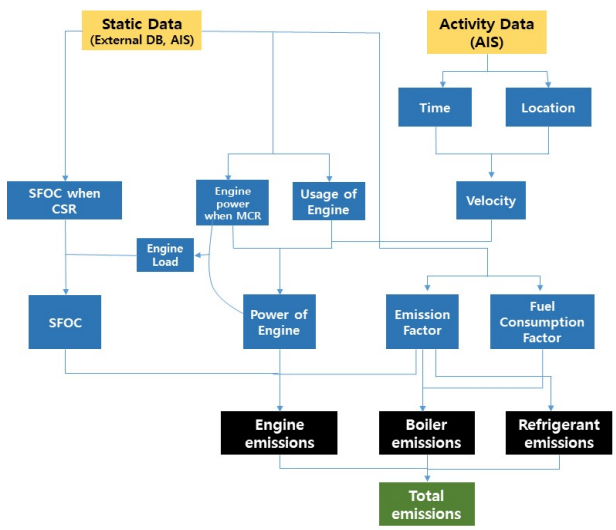
2) 주요 내용 및 적용사례

(1) 배출량 산정 방법

가. 모형의 알고리즘[51]

Shipair 모듈의 주요 작업과정을 요약하면 크게 4단계로 구분할 수 있다. ① 새로운 선박이 등장하면 AIS 송수신을 통해 수집된 선박정보가 내부 데이터베이스 'EDB(Emission Database)'에 추가된다. ② 추가된 선박정보는 매시간 데이터 처리 과정(오류 데이터의 제거, 누락 데이터의 보간, 유형 분류, 운항형태 결정 등)을 거쳐 저장된다. ③ 배출량 산정에 요구되는 추가적인 데이터를 Airviro DB 및 외부 DB에서 수집·저장한다.[52] ④ 배출량 산정, 이어서 이동·확산 모듈에 의한 모사 등 요청 작업을 수행한다.

〈그림 3-8〉 Shipair 모듈의 데이터 처리 작업 과정



자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014) 참조하여 저자 작성

51) Segersson and Holmin-Fridell(2014), pp. 9~49. 참조하여 저자 작성
52) Airviro DB에는 배출량 산정에 필요한 정보들이 미리 수집·계산되어 있어 배출량 산정 시 해당 정보를 활용하며, 외부 DB로는 IHS Fairplay 등을 활용

나. 요구 데이터[53]

요구 데이터는 크게 동적정보(AIS 데이터 등)와 정적정보(외부 DB 및 AIS)로 분류할 수 있으며, 자세한 내용 및 구성은 다음과 같다.

〈표 3-5〉 요구 데이터의 구성

정적정보			
내외부 연계 DB 및 AIS DB			
식별	선박 제원, 특성	엔진제원, 특성	배출계수
해상이동업무식별번호 (MMSI)	건조 연도	부하 한도 (load limit)	CH_4
IMO 번호	연료 종류	엔진 개수	CO_2
선박명	총톤수	연속최대출력	N_2O
목적지	추진기관 유형	연료소비계수	NOx
출발지	설계 속력	엔진사용량	PM
선박 유형	-	-	HFC
-	-	-	SOx
+			
동적정보			
AIS 시스템			
시간	위치	속력	

주: 동적정보는 AIS 신호를 수집하며, 정적정보는 AIS와 외부 DB, 선행 연구 결과 등을 활용
자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014) 참조하여 저자 작성

선박의 식별(Identification)은 기본적으로 AIS 데이터에 포함되어 있는 '해상이동업무 식별번호(MMSI)'를 활용하며, 필요한 경우 IMO 번호를 추가적으로 활용한다. 선박의 유형 및 종류는 우선적으로 AIS 데이터의 분류코드에 따라 분류하며, 신뢰성 높은 외부 DB를 사용 가능한 경우 해당 DB와 관련된 분류방법을 사용한다.

53) Segersson and Holmin-Fridell(2014), pp. 9~33. 참조하여 저자 작성

Airviro 시스템은 초 단위로 전송되는 AIS 신호를 5분 단위로 기록하며, 이렇게 기록된 선박의 위치를 직선으로 연결하여 이동경로를 확인하게 된다. 시스템의 오류로 AIS 신호가 누락되는 구간에 대해서는, 인접 데이터를 보간·추정하여 사용한다. 또한, 시간대별로 기록된 선박의 연속위치정보를 활용하여 선박의 속력을 계산하여 활용한다.

Shipair 모듈에서는 선박의 운항형태를 다섯 가지로 구분하고, AIS 신호에 포함되어 있는 개별 선박의 위치정보와 구간별 속력을 확인하여 시스템의 기준에 부합하는 경우 해당 운항형태를 기록한다. 이때, GPS 장치의 불확실성을 고려하여 5분 동안 10m 미만으로 움직인 경우는 움직이지 않은 것으로 간주한다. 운항형태는 선박 배출량 산정 시 중간 데이터 산정 및 결정을 위해 중요한 판단 근거이므로, Airviro 시스템은 이를 주기적으로 자동 갱신하고 있다.

다. 배출량 산정[54)]

Shipair는 선박의 대기오염물질 배출원을 엔진(주엔진, 보조엔진) 및 보일러, 냉각시설(냉장고, 냉장 컨테이너, 에어컨 등)로 구분하고, 배출원별로 다른 산정방법을 적용하고 있다.

(가) 주엔진 및 보조엔진

주엔진 및 보조엔진에 의한 배출은 선박의 배출 중 가장 큰 비중을 차지하며, 본 모형은 배출 오염물질의 종류에 따라서 산정방법을 달리 적용하고 있다. CO_2, CH_4, N_2O, SOx, PM는 연료 소비량 정보를 활용하여 아래와 같은 방법으로 산정한다.

54) Segersson and Holmin-Fridell(2014), pp. 9~33. 참조하여 저자 작성

$$E_s = P \times SFOC \times EF_s$$

E_s: 대기오염물질 배출량(g/h)
P: 엔진출력(kW)
SFOC: 단위 출력당 연료소비계수(g/kWh)
EF_s: 배출계수

자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014), pp. 8~9, 35~38.

CO, NO_x는 아래와 같은 방법으로 산정한다.

$$E_s = P \times EF_s$$

E_s: 대기오염물질 배출량(g/h)
P: 엔진출력(kW)
EF_s: 배출계수

자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014), pp. 8~9, 35~38.

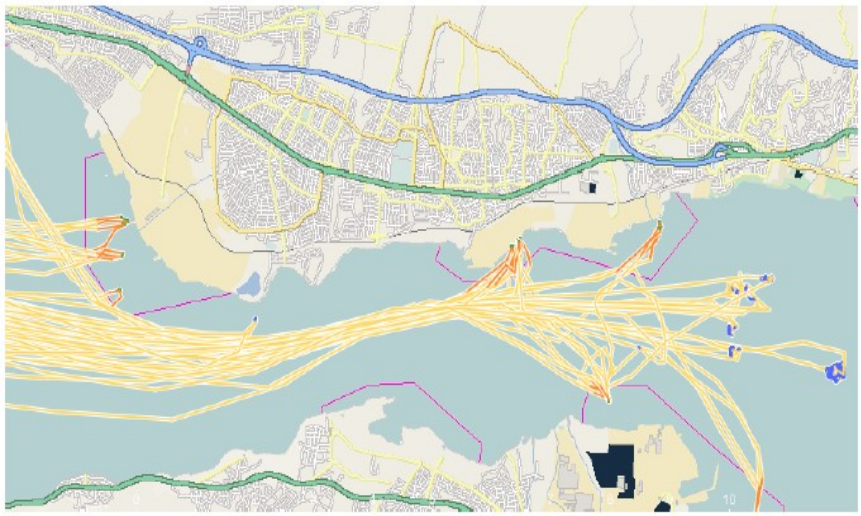
이 과정에서 엔진 출력값은 선박의 운항형태에 따라서 달리 적용하게 되는데, 본 모형은 선박의 운항형태를 다음과 같이 총 다섯 가지로 구분·정의하고 있다.

〈표 3-6〉 선박의 운항형태 분류 기준

운항형태	기준
순항(cruise)	선박이 바다에서 움직이고 있음
접·이안(manoeuvring)	선박이 움직이고 있으며, 접·이안 구역에 위치
고정(anchored)	선박이 움직이지 않고 있으며, 바다에 위치
육상전력공급(OPS)	선박이 움직이지 않고 OPS 구역에 위치
부두 정박(at berth)	선박이 움직이지 않고, 접·이안 구역 중 OPS 구역이 아닌 곳에 위치

주: 선박이 5분 내 10m 미만으로 움직이는 경우, 움직이지 않는 것으로 간주함
자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014), p. 13 참조하여 저자 작성

〈그림 3-9〉 선박 이동경로 및 운항형태 기록 예시



주: 노란색-순항, 오렌지색-접·이안, 파란색-고정, 초록색-부두 정박. 보라색은 접·이안 구역을 나타냄
자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014), p. 13

본 모형은 주엔진의 출력값을 선박의 운항형태에 따라서 네 가지 방식으로 산정한다. 우선 순항 시 주엔진의 출력은 비례상수 k를 적용한 속력의 세제곱으로,[55] 접안 및 이안의 경우는 최대연속출력(P_{MCR})과 개별 선박의 운항형태별 엔진 가동 정도를 나타내는 '엔진 사용계수(usage)' 값을 활용한다. 고정 및 부두 정박 시 주엔진의 출력은 접·이안 시와 동일하게 최대연속출력 및 엔진 사용계수 값을 활용하며, 엔진을 사용하지 않는 경우(육상전원 공급장치 이용 등) 주엔진의 출력은 0으로 간주한다.

55) Jalkanen *et al.*(2009), p. 9214.

$$P^{ME}\begin{cases} k \times V^3 & (cruise) \\ P_{MCR}^{ME} \times usage_{man}^{ME}\,(man) \\ P_{MCR}^{ME} \times usage_{hotel}^{ME}\,(anchored, at\,berth) \\ 0 & (OPS) \end{cases}$$

$$(k = P_{MCR}^{ME} / V_{MCR}^3)$$

P^{ME}: 주엔진 출력(kW)
k: 실험적 계수
V: 현재 속력(knots)
V_{MCR}: 최대연속출력 시 속력(knots)
$P^{ME}{}_{MCR}$: 주엔진의 최대연속출력(kW)
$usage^{ME}$: 운항형태별 주엔진 사용계수

자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014), pp. 19~21.

'엔진 사용계수'는 운항형태에 따라서 엔진이 실제로 가동하는 정도를 반영하기 위한 계수로, 엔진의 순간 출력을 최대출력으로 나누어 구할 수 있다. 접·이안 시의 엔진 사용계수 값은 Whall *et al.*(2002)의 연구 결과를 준용하여 20%로, 고정 및 부두 정박 시에는 일반적으로 주엔진을 작동하지 않으므로 0%로 적용하였다.[56]

보조엔진의 출력값은 아래와 같은 방식으로 산정하는데, 순항 시 출력을 최대연속출력과 엔진 사용계수의 곱으로 산정한다는 것을 제외하면 주엔진의 출력값 산정방식과 동일하다.

56) 예외: Diesel electric vessel은 보조엔진이 없어 고정 및 부두 정박 시에도 주엔진 가동

$$P^{AE}\begin{cases} P^{AE}_{MCR} \times usage^{AE}_{cruise} \ (cruise) \\ P^{AE}_{MCR} \times usage^{AE}_{man} \ \ (man) \\ P^{AE}_{MCR} \times usage^{AE}_{hotel} \ \ (anchored, at\,berth) \\ 0 \qquad\qquad\qquad\quad (OPS) \end{cases}$$

P^{AE}: 보조엔진 출력(kW)
P^{AE}_{MCR}: 보조엔진 최대연속출력(kW)
$usage^{AE}$: 운항형태별 보조엔진 사용계수

자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014), p. 21.

순항 및 부두 내 활동 시 보조엔진의 엔진 사용계수 값은 Dalsøren *et al.*(2009)가 제시한 바에 따르고(아래의 표 참조), 접·이안 시에는 Whall *et al.*(2002)의 연구 결과를 참조하여 50%로 적용하고 있다.

〈표 3-7〉 보조엔진 엔진 사용계수(순항, 부두 내)

구분	선박 유형	보조엔진 부하(순항)	보조엔진 부하(부두 내)
화물선 및 여객페리선	벌크선	15%	20%
	컨테이너선	15%	20%
	탱커	15%	40%
	일반화물선	15%	20%
	기타 서비스선	10%	20%
	액체화물선	15%	40%
	여객선	20%	20%
	냉동화물선	15%	20%
	RoRo Cargo	15%	20%
그 외	기타	10%	20%
	해양작업지원 (Offshore supply)	10%	20%
	예인선	10%	10%
	어선	10%	20%

자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014), pp. 14~15.

'연료소비계수(SFOC)'는 특정 엔진 부하율에서 단위 출력당 연료소비량을 의미하며, 아래와 같이 산정한다. 이때, CSR에서 연료소비계수 값은 Buhaug Ø *et al.*(2009)의 연구 결과를 준용하고, 엔진부하율 영향인자는 Jalkanen *et al.*(2012)에서 제시한 방식에 따라서 계산하도록 했다.

$$SFOC = SFOC_r \times SFOC_b$$
$$(SFOC_r = 0.563 \times EL^2 - 0.857 \times EL + 1.33)$$

SFOC: 연료소비계수
$SFOC_b$: CSR(Continuous Service Rating)시 연료소비계수
$SFOC_r$: 엔진부하율 영향 인자
EL: 엔진부하율

자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014), pp. 22~23.

이때, 엔진부하율은 아래와 같은 과정을 통해 산정한다.

〈표 3-8〉 엔진부하율 가정

구 분	내 용
가정 1	모든 엔진은 동일하다(All engines are equal).
가정 2	현재 작동 중인 엔진의 출력은 모두 똑같이 균일하게 배분되어 있다 (The power is balanced equally among the engines in operation).
가정 3	엔진부하율이 특정 임계치를 넘어서면, 다른 엔진이 작동된다 (If engine load supersedes a threshold value, another engine is put into operation).

자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014), p. 21

$$EL = \frac{P}{P_{MCR}^{i} \times n_{op}}$$

EL: 엔진부하율
P: 현재 엔진 출력(kW)
P^{i}_{MCR}: 단위 엔진의 설계 출력(kW)
n_{op}: 현재 작동 중인 엔진 수

자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014), pp. 21~22.

배출계수는 단위 연료소비량 또는 단위 출력당 오염물질 배출량의 개념으로, 오염물질의 종류, 운항형태, 사용연료, 엔진 종류 등에 따라 다르게 적용해야 한다. 일반적으로 특정 조건 및 이에 따른 구분기준을 세부화할수록 보다 정확한 산정 결과를 기대할 수 있다. 본 모형은 CO_2, CO, CH_4, NO_x, N_2O, SO_x, F-gases, PM의 배출량을 산정하기 위한 배출계수를 주요 선행 연구 및 국내외 지침에서 도입·활용하고 있다.

〈표 3-9〉 배출계수 참고 자료

구 분	참고 자료
CO_2	• IPCC(2006)
CO	• Jalkanen *et al.*(2012)
CH_4	• IPCC(2006)/CORINAIR
NO_x	• Cooper and Gustafsson(2004), IMO 홈페이지
N_2O	• IPCC(2006)/CORINAIR
SO_x	• Buhaug *et al.*(2009)
F-gases	• Schwartz and Rhiemeier(2007), IPCC(2006)
PM	• Jalkanen *et al.*(2012)

자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014), pp. 23~28.

(나) 보일러

보일러에 의한 오염물질 배출량은 엔진 배출량에 비해 미미한 수준이지만, 항만 내에서는 유의미한 것으로 알려져 있다. 본 모형은 Port of Los Angeles(2010) 및 EPA(1999)를 참조하여, 연료소비량과 배출계수를 활용하여 선박의 보일러의 가동에 따른 오염물질 배출량을 산정한다. 순항 중에는 보일러를 사용하지 않는 것으로 간주하며, 보일러 배출량 산정에 필요한 데이터(연료소비량, 배출계수)는 외부 인벤토리 등을 활용한다.

$$E_s = fuel\_cons^B \times EF_s \ (cruise, OPS\ 제외)$$

E_s: 대기오염물질 배출량(g/h)
$fuel\_cons^B$: 보일러 연료소비량(g/h)
EF_s: 배출계수

주: SOx의 경우 OPS 포함
자료: Segersson and Holmin-Fridell(2014), pp. 35~38.

(다) 냉각시설

선박 내 냉각시설에 사용되는 대표적인 냉매기체는 수소불화탄소(HFCs)와 염화불화탄소(HCFCs)가 있으며, 이들 냉매기체는 선박 냉각시설 사용 과정에서 일부 누출되어 외부로 배출된다. Shipair에서는 선박 내 냉각시설에서 사용되는 냉매기체를 모두 HFCs로 가정하였다. 또한, 냉각시설에 의한 배출량은 매시간 동일한 것으로 간주하며, 단위 시간당 배출량에 해당하는 배출계수는 기존 선행 연구[57]에서 계산한 값을 활용한다.

〈표 3-10〉 선박 유형별 냉각시설 배출계수

선박 구분	매질 종류 (A/C)	배출계수 (A/C)	GWP 배출계수 (A/C)	매질 종류 (냉각 시스템)	배출계수 (냉각시스템)	GWP 배출계수 (냉각시스템)
화물선	HFC-134a	0.0068	8.8.	R-404a	0.00046	1.5
여객선	HFC-134a	0.011	14.3	R-404a	0.00046	1.5
유람선	HFC-134a	0.14	182	R-404a	0.0091	29.7
냉동선	n/a	-	-	R407c	0.017	25.9
어선	-	-	-	R-404a, R-507, R-407c	0.041	122
내륙항해 화물선	R407c, R-410a	0.000031	0.050	-	-	-
내륙항해 객실 순양함	HFC-134a, R-404a	0.0023	5.2	HFC-134a, R-404a	0.000057	0.13

57) Schwartz and Rhiemeier(2007); IPCC(2006)

선박 구분	매질 종류 (A/C)	배출계수 (A/C)	GWP 배출계수 (A/C)	매질 종류 (냉각 시스템)	배출계수 (냉각시스템)	GWP 배출계수 (냉각시스템)
내륙항해 유람선	n/a	0.0011	-	-	-	-
기타 (구조선 등)	HFC-134a	0.0068	8.8	R-404a	0.00046	1.5

자료: Schwartz and Rhiemeier(2007), p. 26.

(2) 적용 사례

가. A dynamic model for shipping emissions. Adaptation of Airviro and application in the Baltic Sea(2013)[58]

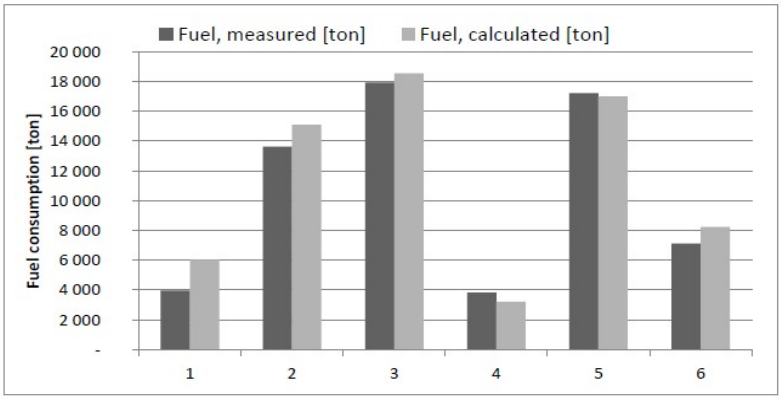
Segersson(2013)은 스웨덴 해역의 선박 배출로 인한 대기오염 영향을 파악하기 위해 Shipair 모형을 바탕으로 발트해 내 선박의 실시간 배출량을 산정해보았다. 본 적용사례에서는 스웨덴 기상·수문 연구소(SMHI)의 대기질 관리시스템 'Airviro'의 데이터베이스(EDB-module)에서 AIS와 선박의 제원정보(Ship properties)를 연계하여 데이터를 수집하고, 선박의 특성, 배출계수 데이터 등은 SEI(Ship Emission Information)[59]를 연계하여 수집·활용하였다.

Shipair 모형을 적용하여 2009년 운항한 총 6척의 선박[60]의 연료소비량을 추정한 결과, 실제 연료사용량 자료와 매우 근접한 결과를 나타내어 높은 정확도를 보였다. 또한, 2011년 운항한 국제항행선박을 대상으로 Shipair 모형을 적용하여 배출량을 추정한 결과와 AIS 데이터 기반의 상향식 배출량 산정모형인 STEAM2를 적용하여 도출한 선박 배출량 추정값을 비교한

58) Segersson(2013), pp. 17~23. 참조하여 저자 작성
59) SMA(Swedish Maritime Administration)에서 운영하는 웹서비스로, AIS 데이터에서는 얻을 수 없는 엔진 특성, 배출계수 등의 정보를 제공함
60) Stena Line의 여객페리(Passenger ferries) 또는 화물페리(Freight ferries)로 2009년 공백 없이 운항하였다(in traffic during the whole year).

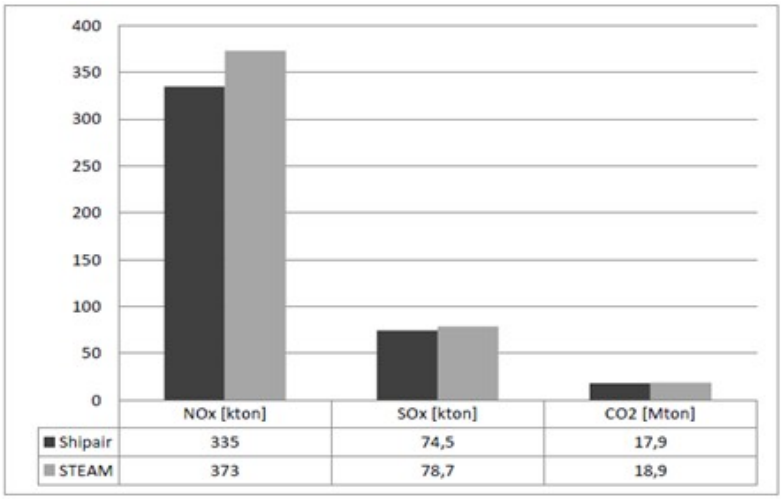
결과 두 추정값 간의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 하지만 EMEP 추정 결과와 비교했을 때는 다소 큰 차이를 보였다.

〈그림 3-10〉 Shipair 모형 적용 연료소비량 추정치와 실제 측정치 비교



자료: Segersson(2013), p. 21

〈그림 3-11〉 Shipair 모형 및 STEAM2 적용 배출량 추정치 비교



	NOx [kton]	SOx [kton]	CO2 [Mton]
Shipair	335	74,5	17,9
STEAM	373	78,7	18,9

자료: Segersson(2013), p. 21

3. 시사점

현재 국내외 제도의 수요적 특성에 따라서 국내외 선박의 배출량 추정은 대부분 1년 통계 생산을 위한 하향식 위주의 방법론으로 수행되고 있으나, 최근 들어 선박의 실제 운항 및 활동 상황 및 조건 등을 반영하여 배출량 산정 결과의 정확도를 개선하기 위한 모형의 개발·보완 작업이 지속적으로 시도되고 있다. 이는 기본적으로 선박의 유종 및 엔진의 종류를 구분하고, 이어서 운항형태 등 선박의 활동을 반영하기 위한 세부 구분체계를 적용하는 EEA 방법론의 Tier3 수준의 개념을 차용하는 것으로 이해할 수 있다.

또한, 행정정보 성격인 선박의 정적정보 중 엔진정보와 같이 준비되지 못하거나, 내부 데이터베이스에서 누락된 정보를 구득하거나, 보완하기 위한 방법·체계를 마련하고, 배출량 산정의 시공간 격자 단위를 데이터가 허용하는 선에서 가능한 한 조밀하게 구성함으로써 선박의 활동을 보다 정확하게 반영하고자 하고 있다. 앞서 살펴본 STEAM 및 Shipair 모형의 경우, 선박의 활동을 반영하기 위한 데이터의 소스를 AIS로 선정하고, 이를 활용한 배출량 산정을 위해 필요한 요구 데이터의 종류 및 형태, 이들 데이터의 처리 및 적용을 위한 알고리즘 등을 제시하고 있다. 이들 모형을 적용하여 도출한 배출량 정보는 시공간 격자 단위당 연료소비량 또는 배출량 등의 정보로, 이를 합산하여 정확한 배출 형태 및 규모를 보다 정확하게 추정할 수 있음은 물론 특정 시공간대의 운항, 배출의 분포 및 특성을 분석할 수도 있다.

STEAM은 국제항행선박의 배출량 산정의 정확도를 개선하기 위해 선박의 활동 자료로 AIS 데이터를 도입·활용한 최초의 상향식 배출산정 모형으로, AIS에 의한 선박의 위치 보고를 바탕으로 개별 선박의 이동을 보다 세밀하게 반영하여 배출량 인벤토리의 신뢰도를 획기적으로 개선하였다. 또한, 연료유 내 황 함량 제한, 운항속도의 감소, 황산화물 배출 저감을 위한 스

크러버 설치 등 국내외 규제의 도입·이행 등의 제도적·기술적 조건 변화를 시스템 입력사항에 반영하여 개별 시나리오별로 모의결과를 도출함으로써, 향후 다양한 배출 저감 조치 및 정책의 영향평가 등으로 활용의 폭을 확대할 수 있을 것으로 보인다.

Shipair 역시 AIS 데이터 기반의 상향식 대기오염물질 배출량 산정모형으로, 선박의 배출원 종류(엔진, 보일러, 냉각시설)에 따라서 각기 다른 산정방법을 적용하며 특히 엔진의 경우 선박의 운항형태, 엔진 유형, 대기오염물질 종류, 엔진 부하 등을 반영하여 배출량을 추정하고 있다. 또한, 수신된 AIS 신호를 가공하여 5분마다 기록하여 사용하고 있어 기존의 하향식 산정 또는 단순 연료사용량 기반 산정방법 등에 비해, 실제 선박의 운항을 반영한 배출량 참값에 가까운 배출량 산정이 가능하다.

Shipair는 선박에서 전송되는 AIS 데이터와 외부 DB, 기존 선행 연구, 보고서 등을 통해 수집된 데이터를 내부 연계시스템(Airviro)에서 통합한 뒤 이들 정보를 활용하여 배출량 산정, 이동·확산 모델링 등 사용자가 원하는 작업 결과를 제공한다.

활동데이터 기반의 상향식 모형에 의해 산정된 시공간 격자별 배출 자료는 오염물질의 지역 및 장거리 이동 또는 이로 인한 보건·환경영향 평가 모형의 입력 자료로 활용할 수 있다.[61] 또한, 배출량을 예측하고자 하는 특정 시점/기간 및 지점/지역의 대상 선박/선박군의 기술제원 자료와 실시간 AIS 자료를 수집·활용할 수 있다면, 어떤 지역, 대상에 대해서도 적용 가능하다. 하지만 위성 기반의 AIS 데이터 수신방식을 사용하지 않으면 광범위한 해역의 데이터를 수집하는 데에 현실적인 어려움 역시 존재한다.

61) 제시된 활용처는 조밀한 시공간 격자별/특정 배출원별/오염물질별 정확한 배출 자료 또는 분포 자료 등이 요구되는 대표적인 수요사례로, 현재의 배출 자료는 신뢰도 및 해상도의 미비로 활용에 제한이 있음

제2절 선박 배출량 산정 패러다임 전환의 필요성

1. 현행 배출량 산정 패러다임의 한계

1) 실제 운항 조건의 정확한 반영 어려움

현재 선박의 배출량 산정방식은 크게 상향식(Bottom-up) 및 하향식(Top-down) 두 가지 접근방식으로 제시되고 있다. IMO에서 제시한 바와 같이, 하향식(Top-down) 산정방식은 거시 규모 또는 일정 규모 이상의 대상 선박군의 배출을 추정하기 위한 방법으로 이해할 수 있다. 이는 보통 1년 주기 또는 특정 기간에 대한 국가별, 지역별, 선박의 종류별 배출량 정보를 필요로 하는 국제기구 및 국가, 대규모 선사 등에서 보다 효율적인 방법으로 배출량의 참값을 추정하기 위한 방식이기 때문이다.

물론 시공간 격자를 조밀하게 적용하더라도 이를 정확하게 구분하는 개별 선박에 대한 동적정보, 또는 이를 추정하기 위한 요구 데이터를 확보하기 어려운 경우 부정확한 데이터를 적용하거나 측정값이 아닌 조밀한 시공간 격자에 해당하는 데이터를 가정하여 추정하기보다는, 차선책으로 해당 선박군 전체의 합산 데이터를 사용하여 해당 기간, 해당 지역 경계 내의 전체 배출량을 하향식 산정방식으로 추정하는 것이 보다 효율적이거나 심지어 정확할 수도 있다. 즉, 시공간 격자별 정확한 데이터를 확보하지 못하는 경우, 이를 추정하기 위한 '평균 개념에 의한 가정'을 거듭하여 개별 선박에 적용하고 이를 다시 합산하는 상향식에서 오류 발생의 가능성이 오히려 더 높아질 수 있다. 이는 현재 제도상 선박의 정확한 동적정보 생산·수집·공유 체계가 마련되지 못한 상황에서, 현행 산정 패러다임이 주로 거시적 지역 개념의 1년 또는 분기별 배출량 정보를 요구하는 현재의 국내외 제도상의 요건에 부합하는 이유이기도 하다.

하지만 보다 정확한 참값을 추정하기 위해서는 현실 세계에서 발생할 수 있는 수많은 영향 조건들이 반영되어야 하며, 산정모형을 보다 단순하게 구성하는 경우 이러한 조건들을 경험에 의한 수학적 평균 개념의 단순 계수를 도입하거나, 이를 위한 가정에 가정을 거듭할 수밖에 없다. 이는 일정 기간 및 지역·국가에서 선박의 배출 양상을 '대략' 추정하기 위한 효율적 방안일 수도 있으나, 이러한 산정 결과를 사회경제적 문제 해결을 위한 근거 자료, 즉 정확한 '배출량 정보'로 적용하기에는 무리가 있다.

2) 배출량 데이터의 활용에 제한

앞서 밝힌 바와 같이, 현재의 국내 선박 또는 항만 내 입출항 선박의 배출량 산정방식은 선박의 실제 운항 조건 등을 반영하기보다는 연·월별, 지역·국가 전체의 배출통계를 최대한 단순화하여 효율적으로 생산하는 데 방점을 두고 있다. 이는 수집 데이터의 제한적인 유효성에 기인하는 것으로 보이며, 유사한 이유로 현재의 국가 대기오염물질 배출량 통계는 매년 3년 전의 배출량 통계를 지연해서 발표하고 있다.

이를 시간적 측면에서 보면, 선박의 시간별·일별 동적정보를 합산하여 월별, 연별 통계를 생산하기보다는 연·월별 통계를 생산하고, 일별 시간별 통계의 수요가 있을 때는 이를 간접 지표 또는 경험적 근거에 기반하여 추정하는 방식으로 접근하고 있다. 공간적 측면에서도 수집된 데이터의 유효성 정도에 따라서 국가 단위 또는 지방 단위의 배출통계를 생산하고, 역시 경험적 근거 또는 지자체별 등록정보 등에 따라서 하위 지자체별로 이를 추정·배분하고 있다.

배출량 통계의 목적은 정확한 배출 현황을 파악함으로써 해운 및 항만의 각종 활동과 배출, 배출된 대기오염물질의 이동·확산에 의한 국민 보건적 위해성 등의 인과관계를 규명함으로써, 문제를 정확하게 파악하고 보다 효

과적인 해결방안을 개발·도입하기 위한 정확한 근거 자료를 생산하는 데에 있다고 할 수 있다. 최근 대기오염에 대한 국민적 관심이 커지면서 이에 대응하기 위한 정책·기술적 수요 역시 급하게 확대되고 있으나, 이러한 수요에 대응하기 위해서는 시공간적으로 조밀한 격자 단위에 대한 정확한 통계의 생산이 요구된다. 최근의 수요는 특정 지역 전체 또는 선박의 특정 종류 전체의 일반적인 배출 양상보다는, 특정 기간, 시간대 또는 실시간의 특정 지점 또는 시설 근방 특정 배출원의 배출에 대한 정확한 정보를 요구하고 있으나, 현행 산정 패러다임에서는 시공간적으로 조밀한 격자 단위의 통계를 정확하게 생산하는 데에 한계가 있다.

2. 패러다임 전환의 필요성

1) 선박 배출량 통계 신뢰도의 획기적 개선

선박의 배출량을 산정하는 이유는 크게 ① 대기질 개선을 위한 대기질 악화(또는 온실가스의 경우, 지구 온난화) 요인의 현상 및 인과관계의 분석, ② 이에 따른 문제 분석 및 해결방안 마련을 위한 근거 자료를 확보하기 위함으로 이해할 수 있다. 이러한 맥락에서 배출량 데이터는 가능한 수준에서 '정확해야' 한다. 현재 관련 국내 제도상 주요 목표인 배출의 저감[62]을 실현하기 위해서도, 배출량 데이터의 신뢰도는 배출원 현황 분석을 통한 문제의 파악, 이를 해결하기 위한 최적의 기술적·정책적 방안을 개발 또는 선택함에 있어 매우 중요한 근거이며, 필수적인 전제라고 할 수 있다.

62) 「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법」 등 관련 제도의 내용을 살펴보면, 대기질 개선 또는 이를 통한 국민 보건적 위해성 감소라는 본연의 목표보다는 이를 위한 중간적 전략목표인 배출 저감을 주요 목표로 설정하고 있으며, 이에 따라서 배출된 대기오염물질의 이동·확산 및 보건적 위해성 평가 등은 제도상 이행 내용에서 제외됨. 이는 제도 이행 초기의 배출 관리 및 저감 기반 구축이 어느 정도 이루어지고 난 후, 추후 제도 개선을 통해 수정되어야 할 것으로 보임

개별 선박의 실제 활동정보를 기반으로 대기오염물질 배출량을 산정하는 상향식 산정방식은 연료 소비량을 활용한 하향식 산정방식 또는 활동 양상을 단순 추정하여 상향식을 부분적으로 적용하는 방식보다 정확한 배출량 산정 결과를 도출할 수 있다. 이는 개별 선박의 실제 운항 상황 및 조건 등을 최대한 반영할 수 있기 때문이다.

이는 다음의 사례에서 명확하게 이해할 수 있다. 현재 배출량 편람(Ⅳ)에 따르면, 전체 면세유 판매량 확인이 가능한 여객선의 경우 하향식 산정방식을 적용하고 있으나, 이에 상응하는 명확한 통계가 없는 화물선의 경우 개별 선박의 연료 사용량을 추정하고, 이를 합산하는 상향식 산정방식을 일부 도입하고 있다. 배출량 편람(Ⅳ)에 따른 국가 배출량 산정 시 선박(화물선)의 배출량 추정(연료 소비량×배출계수)을 위해 사용되는 연료 소비량 추정식을 정리하면 아래와 같다. 이에 따르면, 주어진 산정식의 적용을 위한 변수 중 연료 소비계수(SFOC), 이를 규정하기 위한 엔진 출력, 연료경제 값 등은 정적정보로, 평균 정박 일수. 도선 거리, 운항 시간 등은 동적정보로 구분할 수 있다.

〈표 3-11〉 선박(화물) 연료사용량 추정방법

구 분	산정 방법
정박	$$F_{w,j} = SFOC \times 0.79 \times 0.2$$ $F_{w,j}$: 정박 시, w 톤급 화물 선박 j의 연료 사용량(ton) SFOC: 최대출력의 연료소비계수(ton/day) 0.79: 평균 정박 일수(day/회) 0.2: 최대출력 대비 정박 시 출력을 20%로 가정
접안	$$F_{w,j} = Z_{w,j} \times 1/M_w$$ $F_{w,j}$: 접안 시, w 톤급 화물 선박 j의 연료 사용량(kL) $Z_{w,j}$: w 톤급 화물 선박 j의 도선거리(km) M_w: w 톤급 연료경제 값(km/kL)

구 분	산정 방법
운항	$F_j = P_j \times SFOC \times 0.8 \times H_j \times 1/10^6$ F_j: 운항 시, 화물 선박 j의 연료 사용량(ton) P_j: 화물 선박 j의 엔진 출력(kW) SFOC: 엔진 출력별 연료소비계수(g/kWh) 0.8: 운항형태 엔진부하율(LF)은 정격출력의 80%로 가정 H_j: 화물 선박 j의 운항시간(hrs)

자료: 국가미세먼지정보센터(2020), pp. 181~183.

현행 산정방식에서는, 개별 선박의 정확한 활동 자료 확보의 어려움으로 ① (정박의 경우) 정박 시 엔진의 출력값을 최대출력의 20%로 일률적으로 가정하여 적용하거나,[63] 특정 기간, 특정 항만 입항 선박(2001년 1월, 12월에 울산항 입항 선박 560척)을 표본으로 조사한 결과를 반영하여 평균 정박 일수를 0.79일로 역시 일률적으로 규정하고 있으며, ② (접안의 경우) 접안을 위한 선박의 실제 이동거리가 아닌, 도선 거리를 선박의 이동 거리로 적용하고, ③ (운항의 경우) 선박의 운항 시 엔진의 출력을 정격 출력의 80%로 가정하여 일률적으로 적용하거나, PORT-MIS의 입출항 시간을 반영하여 선박의 운항시간을 규정하고 있다.

문제는 개별 선박의 연료 사용량을 추정하기 위해 개별 선박의 활동을 추정하지만, 개별 선박의 실제 활동을 반영하기보다는 특정 조건에서 수행한 사례를 바탕으로 전체 선박에 수학적 평균 개념의 일률적인 계수를 적용하는 데에 있다. 상향식 산정방식을 일부 적용했지만, 이러한 일률적 평균값에 기반한 계수들이 실제 개별 선박들의 활동들과 다를 경우 하향식 산정에 의한 결과보다 오류의 발생 확률이 오히려 더 클 수 있다.

따라서 개별 선박의 실제 운항을 반영하는 상향식 산정방식을 적용하기

63) 연료 소비량 추정에 적용하는 연료소비계수는 유럽환경청(EEA,1999)에서 제공하는 산정식을 적용하며, 이때 톤급별 연료소비계수는 최대출력을 기준으로 산정되기 때문에 정박 시 연료 사용량을 최대출력 시의 20%로 가정하고 있음

위해서는 정확한 선박의 활동정보가 필요하다. 연속적인 위치정보의 수집으로 실제 운항 거리를 파악함은 물론, 특정 지역 범위의 배출량 산정 시 경계 범위 내외의 배출을 구별할 수 있다. 여기에 위치별 시간정보를 추가하면 개별 선박의 특정 시점 및 지점에서의 속도를 추정할 수 있으며, 이를 통해 엔진의 부하율 등 배출량 산정에 요구되는 데이터를 보다 정확하게 규정할 수 있다.

2) 배출량 데이터의 연계·활용 확대

(1) 배출 산정 결과의 연계·활용도 제고

국내 선박 및 항만의 대기오염물질 배출 저감 전략의 기본적으로 대기질 개선을 통한 국민 보건적 위해성 감소를 목적으로 하고 있다. 이를 위해서는 정확한 배출량 자료를 바탕으로, 배출된 대기오염물질의 이동·확산, 이로 인한 특정 지역, 특정 수용체의 보건적 위해 영향 및 정도 등을 파악해야 한다. 이러한 과정에서도 정확한 시공간적 배출 분포정보는 필수적이나, 현재 공식적인 배출 통계를 활용하는 경우 거시적인 전체 통계량을 일정한 기준에 따라서 시공간 격자로 분배하여 배출 분포를 추정해야 한다.

이러한 이유 외에도, 최근의 배출 통계정보는 배출-이동·확산-영향을 파악하거나 이를 통한 국민 생활의 개선, 정책의 개발 및 적용 등을 위한 직접적인 수요 또는 관련 분야에 연계·활용 수요가 증가하고 있으며, 이들 수요는 특정 시간대, 지점·지역의 특정 배출원에 대한 배출정보를 요구하는 경우가 많아지고 있다. 배출 산정의 시공간적 단위격자를 보다 조밀하게 구분할수록 시공간 측면의 해상도를 개선할 수 있으며, 이를 통해 해당 데이터의 연계·활용을 확대할 수 있다.

이는 꼭 배출량 산정 결과에 국한하는 이야기는 아니다. 예를 들어, 배출

량을 산정하기 위해 필수적으로 요구되는 개별 선박의 정확한 활동 자료의 추정은 배출량 산정이라는 본연의 용도 외에도, 최근 추진 중이거나 향후 도입 예정인 저감 사업의 삭감량 도출, 잠재량의 예측 과정에서 결과 값을 결정하는 데 있어서도 결과의 신뢰도를 크게 향상시킬 수 있다. 해양수산부는 5대 대형 항만 인근에 '저속운항해역'을 지정하고, 선박의 운항 속도를 일정 수준 이하로 제한하여 연료 소비량을 저감하고 이를 통해 선박의 배출을 저감하는 프로그램을 도입·운영하고 있다. 프로그램의 도입에 의한 저감 효과를 모니터링 하거나, 추후 참여율 확대에 따른 효과에 대한 검증 과정에서도 개별 선박의 실시간 또는 조밀한 시공간 격자의 운항 데이터를 활용한다면 매우 높은 신뢰도의 분석 결과를 기대할 수 있다.

(2) 실시간 모니터링 및 분석·예측을 위한 기반 마련

국가 배출량 통계에서 수집하는 활동 자료의 통계생산 시간적 범위는 통상 1년이다. 하지만 상향식 산정방식 적용 시 요구되는 개별 선박별 활동 자료를 도출·규정하는 과정에서 빅데이터 개념의 재료 데이터(개별 선박의 시간별 실제 위치 등)를 적용하는 경우, 활동 자료의 시·공간적 해상도를 매우 조밀하게 도출할 수 있다. 이러한 방식으로 배출량을 산정하는 경우, 개별 선박의 운항 및 제반 배출과 관련한 영향 요인을 최대한 반영할 수 있으며, 이에 따라서 선박의 실제 활동에 부합하는 배출량, 즉 배출량 참값에 가까운 배출량 값을 추정할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 이는 IoT, AI 등의 신기술을 바탕으로 실시간 선박 배출 모니터링 및 분석, 이를 바탕으로 특정 조건 변화에 따른 변화 결과의 예측을 가능하게 하는 실시간 지능형 플랫폼, 나아가 스마트 플랫폼의 개발 및 운용을 위한 필수적인 기술적 기반으로 볼 수 있다.

실시간 배출량 산정을 위한 전산 자료 측면에서, 요구 데이터는 개별 선박의 정적정보와 동적정보로 구분할 수 있다. 개별 선박(엔진)의 제원(설계출력, SFOC 등), 배출계수 등은 정적정보로 한번 결정되면 구조 변경, 대·폐선 등의 사유가 없는 한 지속성을 갖게되며, 이는 대부분 행정 관리 대상으로 분류된다. 반면, 동적정보는 가동 시간, 위치 및 부하율 등과 같이 선박의 실제 활동으로 결정되며, 이를 시공간 측면에서 조밀한 격자로 쪼갤수록 이들 데이터를 빅데이터로 활용할 수 있는 가능성이 커진다.

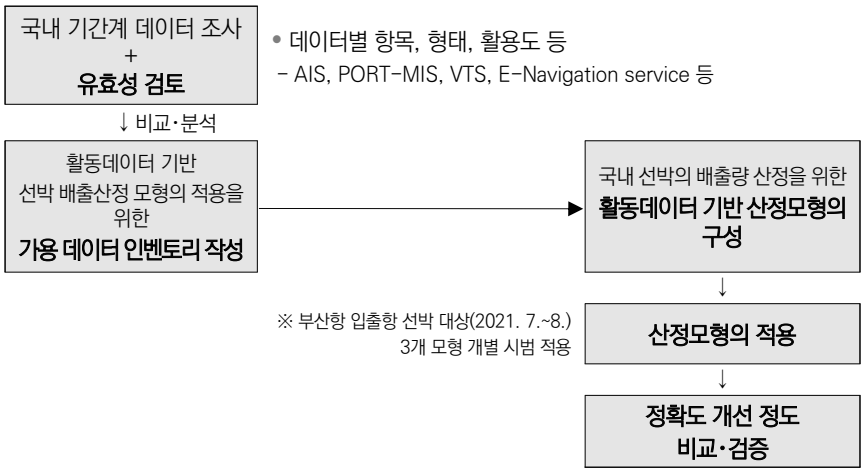
04

국내 선박의 배출량 산정을 위한 활동데이터 기반 산정 모형

상향식 산정방식을 적용하여 선박의 활동을 충실히 반영하는 모형을 구성하기 위해서는, 우선적으로 선박의 정적정보(Static data)와 동적정보(Dynamic data)의 수집 가능 여부에 대한 검토가 필요하다.

제4장에서는 국내 선박의 배출량 산정을 위한 활동데이터 기반의 상향식 모형을 구성하고, 제안된 모형의 정확도를 검증하였다. 이를 위해, 선박의 활동 자료를 제공하는 국내 주요 기간계 데이터의 연계·활용 가능성을 검토하고, 이를 바탕으로 배출산정 모형 적용 시 이들 데이터의 활용 가능성 및 한계 등을 인벤토리 형식(재료 데이터의 항목, 유효성)으로 정리하였다. 또한, 해상교통관제 시스템(VTS), 선박자동식별 시스템(AIS), 항만운영정보 시스템(PORT-MIS), 한국형 e-Navigation 서비스의 DSP(Data Service Platform) 등 국내 해운·항만 관련 주요 기간계 데이터베이스 중 최적 데이터 조합을 적용하여 활동데이터 기반의 상향식 모형을 구성하고, 산정 과정 및 단계에 따른 기존 방식과의 오류 발생 가능성과 부산항 입출항 선박에 실제 적용한 수치 결과의 비교·분석을 수행하여, 새로운 산정 패러다임의 정확도를 검증하였다.

〈그림 4-1〉 활동데이터 기반 배출산정 모형의 구성·적용



자료: 저자 작성

제1절 활동데이터 기반 배출산정 모형 적용을 위한 가용 데이터 인벤토리

1. 국내 기간계 데이터의 유효성 검토

1) 선박 정보통신방식

선박의 활동데이터는 아래와 같은 방식으로 정보의 활용을 위한 시스템 및 해당 데이터베이스에 수집된다. 다음에서는 통항 선박의 교통 관제, 안전 및 운항 효율성 개선 등 다양한 용도로 현재 구축·운용되고 있는 선박 정보통신 방식을 LTE-M, V-Pass, 중단파(MF/HF), 초단파(VHF)를 중심으로 살펴보았다.[64]

〈표 4-1〉 선박 활동데이터 연계체계

선박 활동데이터		정보통신 방식		정보 활용 DB/시스템
선박 고유번호		AIS		AIS
위치	→	V-Pass	→	어선 통합관리시스템
속력		MF/HF		PORT-MIS
침로		VHF		VTS
시간		LTE-M		e-Navigation 서비스

자료: 저자 작성

(1) 중단파 무선통신(MF/HF)

중단파 무선통신은 선박에서도 활용되고 있으며 무선통신에서 활용하는 주파수(2MHz)로, 수백 km 원거리의 해상까지 통신이 가능하다. 중파(MF)는 파장 100~1,000m 범위에 있는 주파수 300~3,000kHz 사이의 전자기파를 말한다. 중파는 단파보다 신호가 안정적이며, 이에 많은 국가에서 선박통신, 무선 항행업무용 등으로 활용되고 있다. 단파(HF)는 3~30MHz 대역대 주파수의 전자기파로, 주로 전리층과 지상의 반복적 전파 반사에 의한 상공파(skywave)의 방식으로 원거리 통신이 가능한 특성을 가지기 때문에 국제 라디오방송 등의 용도로 사용되고 있다.

디지털 중단파(D-MF/HF)의 경우 100km 이상 떨어진 해상에서는 음성통신은 가능하나 데이터 통신이 어려워 어선의 위치정보 등을 기반으로 하는 조업 어선 관리의 용도에 한계가 있었으나, 최근 해양수산부는 이를 개선하여 육상에서 100km 이상 떨어진 해역에서도 어선의 실시간 위치 확인과 긴급 조난통신을 할 수 있는 무선설비를 개발 완료한 바 있다.[65] 이어서 2020년에는 동해, 서해, 남해에 인접한 아래 표의 3개 지역에 송·수신 기지국과 운영센터 등 원거리 해상 디지털 통신망 인프라 구축을 완료하였다

64) AIS(선박 식별장치)의 경우 엄밀하게 구분하면 선박 정보통신방식에 속하지만, 동시에 수집정보 DB 및 활용 시스템의 성격으로 운용 중이다.
65) 해양수산부 보도자료(2019. 5. 29.), (검색일: 2021. 5. 13)

〈표 4-2〉 디지털 중단파(D-MF/HF) 기지국 위치

디지털 중단파 기지국 위치		개 소	설치 장소
동해안	송신소	1	경북 울진군 근남면 진복리 165-4
서해안	송신소	1	인천시 강화군 양도면 능내리 834외 2번지
남해안	송신소	1	전남 고흥군 금산면 오천리 산98-51외 2번지

자료: 해양수산부(2019), p. 1

(2) 초단파 무선통신(VHF)

초단파 무선통신(VHF)[66]는 150MHz 대역의 주파수를 이용하여 관제센터와 선박, 선박과 선박 간 음성으로 교신하는 용도로 사용하고 있으며, 20마일 정도의 범위에서 교신이 가능하다. 이러한 초단파 무선통신의 특성을 활용하여 특히, 소형 어선 등에 조난, 긴급사항 발생 시 송신 버튼을 누르면 선명, 위치 등의 정보가 디지털 신호로 송신되는 디지털 선택 호출장치(VHF-DSC)를 의무적으로 설치하도록 하고 있다.

VHF의 경우, 차세대 선박 통신기술 대안 즉, '해상 VHF 대역 데이터 교환 시스템(VDES: VHF Data Exchange System)'[67]기술의 발전에 따라서 중장기적으로 활용 방향이 확대될 것으로 보인다.

(3) 선박패스(V-pass)

선박패스(V-pass)는 어선의 입·출항 신고를 자동으로 처리할 수 있는 위치 발신장치로, 897MHz 대역의 주파수를 사용한다. 어선의 식별번호와 위치, 속력, 침로, 기각 등의 정보를 장치를 통해 발신하며,[68] 특히, 해양사고 발생 시 어선의 위치와 함께 긴급 구조신호(SOS)를 발신한다.

66) Very High Frequency System
67) VHF 대역을 활용하여 해상 안전·보안 및 항해 관련 정보를 고속으로 송수신 할 수 있는 해상 디지털통신 시스템
68) 「선박패스(V-Pass) 장치 등의 설치기준 및 운영 등에 관한 고시」

수협중앙회 어선 조업관리 시스템은 선박패스(V-Pass) 장치를 통해 해당 정보를 수집, 통합 모니터링하고 있으며, 수집된 운항정보는 해상에서의 재난이나 안전사고 예방, 해상 테러 등의 대응, 해상교통 안전관리 등 제한된 목적으로만 활용하도록 하고 있다. 최근 LTE-M을 기반으로 하는 '한국형 e-Navigation 사업'의 수행으로, 선박패스의 통신방식 역시 점진적으로 LTE-M 방식으로 전환될 것으로 예상된다.[69]

〈표 4-3〉 어선의 위치발신장치의 적용 현황(2017년)

구분	V-Pass	VHF-DSC	AIS
계(척)	57,621	20,031	6,952

자료: 해양경찰청 보도자료(2019. 9. 23.), (검색일: 2021. 5. 13)

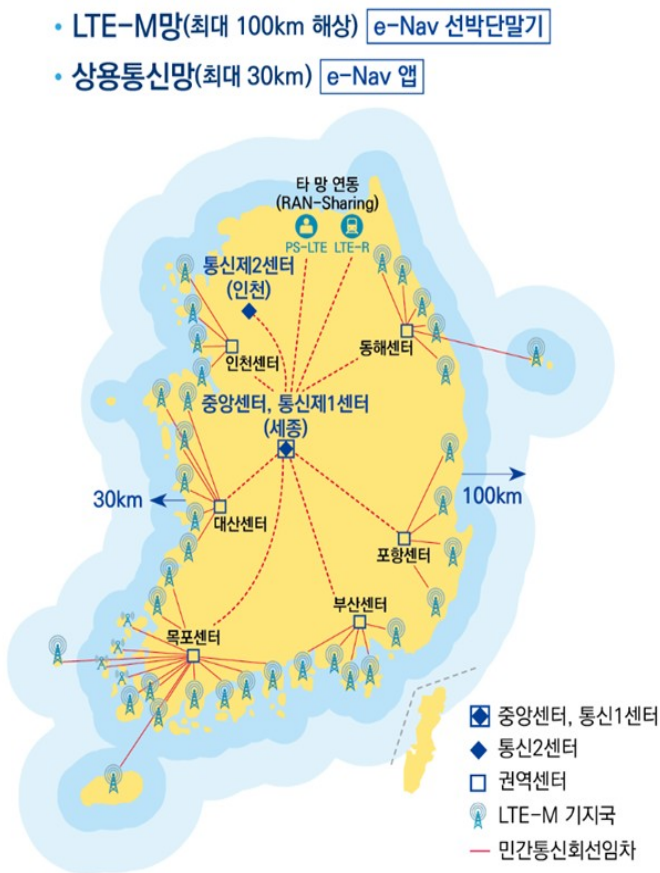
(4) 초고속 해상 무선통신망(LTE-M)

국내 연안으로부터 최대 100km 해역을 항해하는 선박들에 지능형 해상교통정보 서비스(e-Navigation)를 제공하기 위한 기반 무선 통신망으로, 세계 최초로 제4세대 이동 통신기술인 LTE 통신기술을 해상에 도입하였다.

2014년 세월호 참사 이후 국가 재난에 대비하기 위한 목적으로 국가 통합 공공망을 구축하기 시작하였으며, 행정안전부의 재난 안전망(PS-LTE), 국토교통부의 철도 통합망(LTE-R), 해양수산부의 초고속 해상 무선통신망(LTE-M)은 700MHz의 동일 주파수를 이용해 육상, 철도, 해상의 재난안전관리 통신망을 구축하였다.

69) 정보통신신문(검색일: 2021. 5. 13)

〈그림 4-2〉 LTE-M망 서비스 영역도



자료: 해양수산부(2019), 참고2

2) 해상 정보통신 기반 선박 데이터 수집·활용 시스템

(1) 해운항만 물류정보 시스템(PORT-MIS)

가. 개요

해운항만 물류정보 시스템(PORT-MIS)은 선박의 입·출항, 항만 이용 및 물류, 해운·선원·선박 등과 관련된 정보를 수집·관리하고, 이와 관련한 민원사무를 처리하기 위해 구축된 통합정보 체계이다.[70]

〈그림 4-3〉 PORT-MIS 구축·운영 목적



자료: 해운항만물류정보시스템, 「PORT-MIS」 (검색일: 2021. 10. 13)

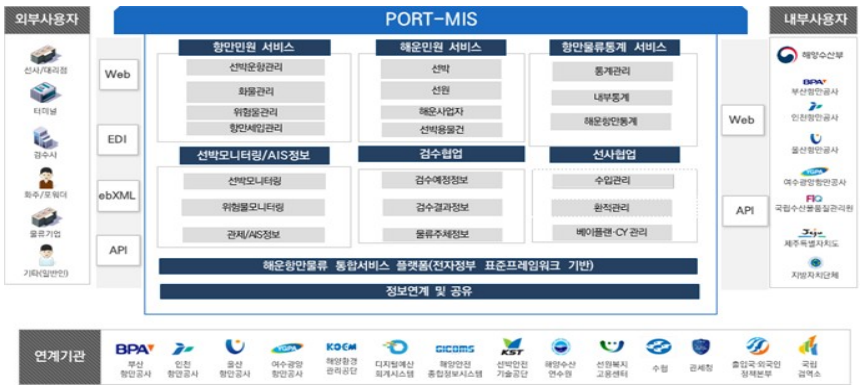
나. 시스템 관련 사항[71]

PORT-MIS는 「항만법」 제89조(항만물류통합정보체계의 구축·운영) 및 동법 시행령 제88조(항만물류통합정보체계의 구축운영 및 이용)을 근거로 시스템을 구축 및 운영하고 있으며, 1996년 최초로 서비스를 개시하고 1998년에는 전국단일망으로 통합했다. 2018년에는 기존의 부산, 인천, 여수 3개 지방 해양수산청과 부산, 인천, 울산, 여수광양 4개 항만공사 7개 기관에 나누어져서 운영되고 있던 시스템을 통합한 '통합 항만운영 정보시

70) 「항만물류통합정보체계 구축·운영 및 이용절차에 관한 규정」 제2조
71) 한국경제(검색일: 2021. 5. 13.)

스템(PORT-MIS)'을 구축하여 현재까지 항만운영의 중요 행정 지원시스템으로 활용하고 있다.

〈그림 4-4〉 통합 PORT-MIS 서비스 구축 개념도



자료: 해양수산부(2020), p. 3

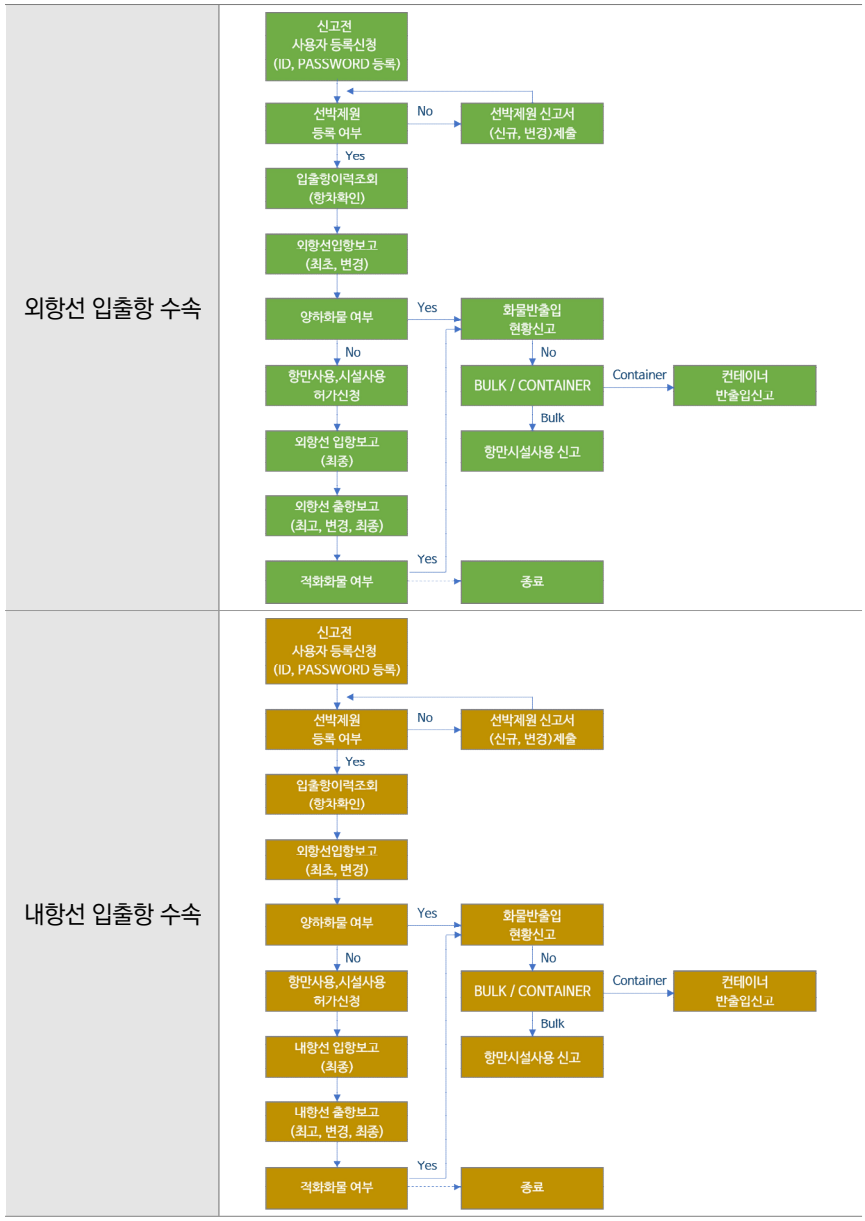
PORT-MIS는 해운항만 물류와 관련된 해양수산부, 출입국 관리사무소, 관세청, 검역소 등의 업무 영역에서 선박의 입출항 관련 정보를 일괄적으로 처리하도록 하고 있다. 향후 지속적인 고도화 작업을 진행하여 시스템 통합을 통하여 취급하는 행정 서비스 및 이를 위한 정보 항목은 확대될 것으로 보인다.

〈표 4-4〉 PORT-MIS 제공 기관별 행정업무

기관명	서비스 항목
해양수산부	내항선입출항신고서, 외항선입출항신고서, 항만시설사용신청허가선원/승객명부, 화물반출입신고, 내항컨테이너반출입신고서, 내항화물반출입신고서, 항만시설사용신고서, 선박보안정보통보서, 위험물일람표, 위험물반입신고서, 화물료대납경비청구서 등
관세청	외항선입출항신고서, 선원/승객명부
출입국 관리사무소	외항선입출항신고서, 선원/승객명부, 선원자격심사결과, 외국선원입국예정신고
검역소	외항선입출항신고서, 선원/승객명부, 무전검역신청서, 보건상태신고서, 위생검사신고서

자료: 해운항만물류정보시스템(검색일: 2021. 10. 13)

〈그림 4-5〉 선박 입출항에 따른 PORT-MIS 행정정보 서비스 절차



자료: 해운항만물류정보시스템(검색일: 2021. 10. 13)

PORT-MIS는 무역항 항계 내 수상구역 등에 출입하는 선박을 대상으로 하고 있으며, 세부적인 사항은 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 제4조 제1항에 의거하여 다음과 같이 의무보고 대상과 보고 제외 대상을 지정하고 있다.

〈표 4-5〉 PORT-MIS 의무보고 대상 및 보고제외 대상

구 분	해당 선박
의무 대상	무역항의 수상구역 등에 출입하려는 선박
보고제외 대상	총톤수 5톤 미만의 선박
	해양사고구조에 사용되는 선박
	「수상레저안전법」 제2조제3호에 따른 수상레저기구 중 국내항 간을 운항하는 모터보트 및 동력요트
	그 밖에 공공목적이나 항만 운영의 효율성을 위하여 해양수산부령으로 정하는 선박

자료: 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 제4조제1항

(2) 선박 자동식별 시스템(AIS)

가. 개요

선박 자동식별 시스템(AIS)은 161.975MHz 및 162.0.25MHz의 주파수를 사용하여 선박과 선박, 선박과 육상의 기지국 간에 선명, 위치, 속력, 선종, 출항 또는 입항 예정항 등의 선박정보 및 항해정보를 제공한다.[72] 이를 통해 선박을 자동으로 식별하고 정보를 수집할 수 있으며, 자동식별장치는 해당 선박에 대한 정보의 수집을 위한 GPS 안테나, 수신기, VHF 안테나, 항해정보 표시장치 등으로 구성된다.[73]

72) 국립전파연구원(2016), p. 4. AIS는 엄밀히 말하면 선박정보통신에 해당되나, 최근 AIS 기반의 선박 DB업체를 통해서 활용하는 사례가 많기에 수집 및 활용시스템으로 구분
73) 위의 책, p. 5.

〈그림 4-6〉 AIS 구성도



자료: 국립전파연구원(2016), p. 5

〈표 4-6〉 AIS 설치 시 설비 충족요건

연 번	충족 요건
1	적절한 장비를 갖춘 육상기지국, 타 선박 및 항공기에 선박의 제원, 종류, 위치, 침로(선박진행방향) 및 다른 안전관련 정보를 포함한 정보를 자동으로 제공할 수 있을 것
2	유사설비를 갖춘 선박으로부터 제1호의 규정에 의한 정보를 자동으로 수신할 수 있을 것
3	선박을 감시 및 추적할 수 있을 것
4	육상기지국과 정보를 교환할 수 있을 것
5	다른 선박의 접근을 경계하기 위하여 미리 접근 경계권을 설정할 수 있으며 접근 경계권 내에 선박이 진입한 경우 가시가청경보를 이용하여 사용자에게 경고할 수 있을 것
6	「해상업무용 무선설비의 기술기준」(국립전파연구원 고시) 제22조에 따른 자동식별장치의 성능요건에 적합한 것일 것. 다만, 설치 대상 선박 중 국제항해에 종사하는 선박은 종별(class) A 자동식별장치를 설치하여야 하며, 국제항해에 종사하지 아니하는 선박은 종별(class) A 또는 B 자동식별장치를 설치할 것

자료: 「선박설비기준」 108조의5(자동식별장치) 내용 정리하여 저자 작성

나. 시스템 관련 사항

AIS의 전체적인 정보 교환체계를 살펴보면, 개별 선박에서 국제 표준화된 정보를 GPS 정보와 함께 VHF(초단파대 무선통신)를 통하여 육상지역에 있는 기지국과 정보를 송신 및 교환하며, 기지국에서는 이를 운영국(관제센터)에 전달하여 선박 운항정보를 지속적으로 파악하도록 한다. 선박에서 발신된 AIS 데이터는 기지국에서 중계하여 운영국으로 수집되며, 이곳

에서 다시 VTS 선박 관리 시스템으로 연계되어 시각화된다. 최종적으로는 해양수산부의 종합상황실까지 연계된다.

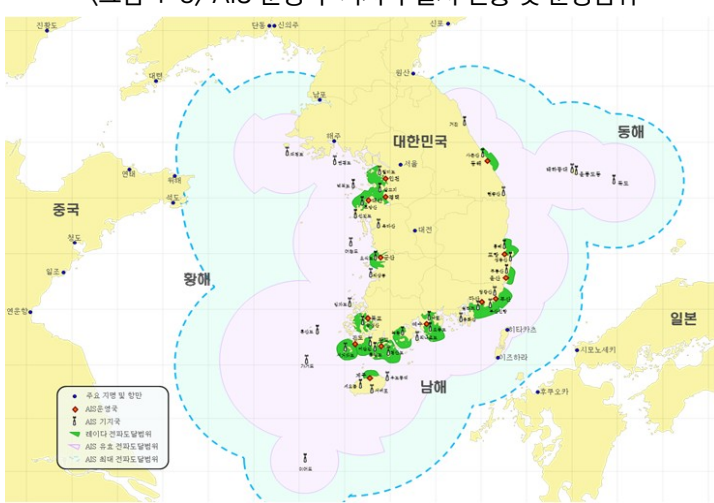
〈그림 4-7〉 AIS 통신의 연계구조



자료: 해양수산부(2020), p. 1

한편, AIS를 운영하기 위하여 운영국을 전국 13개(해양경찰청 운영 1개, 해양수산부 운영 12개)와 기지국 44개(해양경찰청 운영 3개, 해양수산부 운영 41개)를 설치하였다(2021년 기준).

〈그림 4-8〉 AIS 운영국·기지국 설치 현황 및 운영범위



자료: 해양수산부(2021), p. 1

다. 서비스 적용 대상

「선박안전법」 제26조(선박시설의 기준) 및 해양수산부 고시 「선박설비기준」 제108조의5(자동식별장치)에 따르면, 여객선 및 총톤수 300톤 이상의 선박(외항선), 총톤수 500톤 이상의 선박(내항선) 등은 설비 기준에 맞추어 자동식별장치(AIS)를 설치해야 한다.

〈표 4-7〉 자동식별장치(AIS) 설치 대상 선박

대상 선박	구 분
여객선	• 「해운법」에 따른 여객선
	• 총톤수 150톤 이상 여객선(단, 「유선 및 도선 사업법」에 따른 도선은 제외)
그 외 선박	• 국제항해에 종사하는 총톤수 300톤 이상의 선박
	• 국제항해에 종사하지 아니하는 총톤수 500톤 이상의 선박
	• 연해구역 이상을 항해하는 총톤수 50톤 이상의 선박(단, 부선은 제외)

자료: 「선박설비기준」 108조의5(자동식별장치)

(3) 해상 교통관제 시스템(VTS)

가. 개요

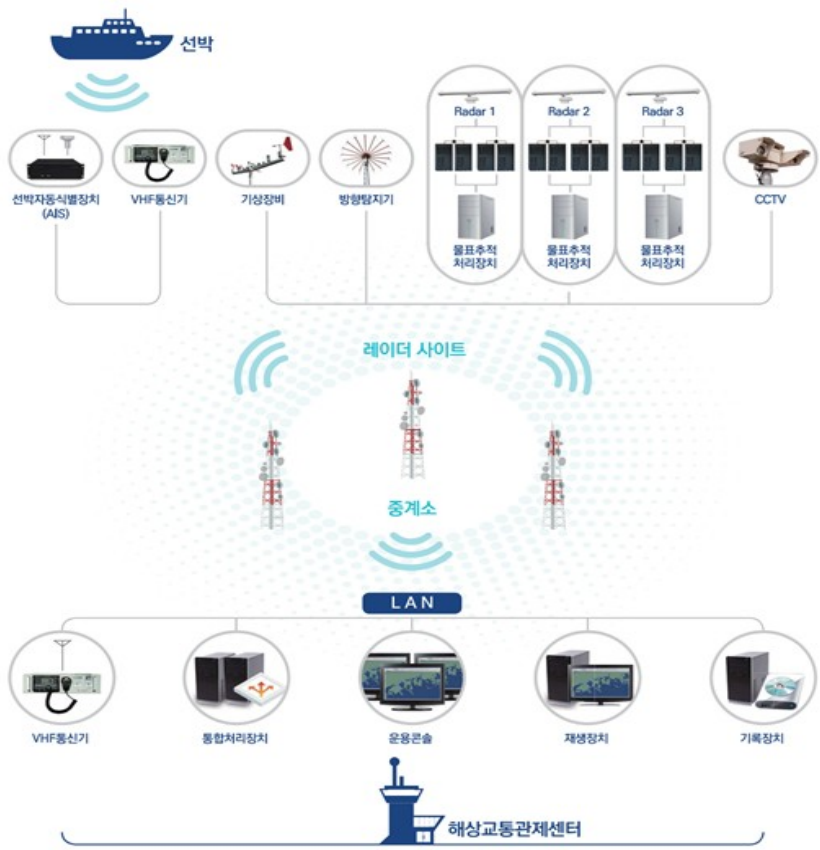
해상 교통관제 시스템(VTS)[74]은 레이더, 초단파 무선통신(VHF), 선박 자동 식별장치 및 시스템(AIS) 등을 종합적으로 활용하여, 항만 또는 연안 선박의 교통안전과 운항 효율성을 확보하고 해양환경을 보호하기 위하여 관제구역 내 통항 선박의 동정을 관찰하고 이에 필요한 정보를 제공하는 정보 교환체계이다.

VTS의 기본적인 업무 역할은 기본적으로 관찰 확인, 정보 제공 조언·권고 및 지시로 구분되며, ① 항만 입·출항 선박 및 연안해역 운항 선박에 대한 해상교통상황 파악 및 정보 제공, ② 항로 이탈, 위험구역 접근, 충돌 위험 등으

74) Vessel Traffic Service System

로부터 해양사고 예방을 위한 선박 교통관제, ③ 선박 운항 현황, 도선, 예인선 운항계획 등 해상 교통정보와 항만시설, 정박지 등 항만 운영정보 제공, ④ 조류, 조석, 해상 기상 등 선박 안전운항을 위한 항행 안전정보 제공 및 ⑤ 해양사고 및 비상 상황 발생 시 신속한 초동 조치 및 전파 등을 수행한다.[75]

〈그림 4-9〉 VTS의 계통도



자료: 해양경찰청(2021), p. 5

75) 해양경찰청 홈페이지, 「해상교통관제센터」(검색일: 2021. 5. 15)

나. 시스템 관련 사항

1993년 포항항에 해상 교통관제 시스템(VTS)을 최초 도입한 이래로, 1996년 여수·울산, 1998년 마산·인천·평택·대산·부산, 1999년 동해·군산·목포·제주, 2004년 완도, 2005년 부산 신항, 2006년 진도 연안, 2011년 경인, 2012년 여수 연안, 2014년 통영 연안 등, 국내 항만 및 연안 수역에 총 20개소의 VTS 센터를 설치·운영하고 있다.[76]

〈그림 4-10〉 전국 VTS 센터 위치도



자료: 해양경찰청(2021), p. 8

76) 해양경찰청 홈페이지, 「해상교통관제센터」(검색일: 2021. 5. 15)

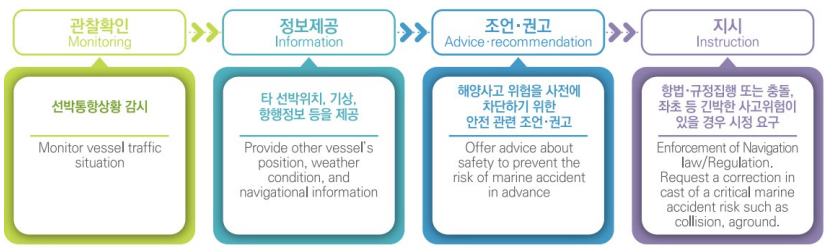
관제 대상 선박은 관제구역 통과 및 입출항 시 해상 교통관제(VTS) 센터에 보고절차에 맞추어서 보고한 후, 해상 교통관제사는 효율적인 관제업무 수행을 위하여 관할 확인부터 지시까지 단계별 절차에 따라서 준수해야 하지만, 사고 위험 등 긴급한 사유가 있을 시 일부 절차 생략하기도 한다.[77]

〈그림 4-11〉 VTS 입출항 시 보고절차



자료: 해양경찰청·사단법인한국도선사협회·한국선주협회(2021), p. 63

〈그림 4-12〉 VTS의 해상교통관제 업무 프로세스



자료: 해양경찰청·사단법인한국도선사협회·한국선주협회(2021), p. 62

77) 「선박교통관제 운영규칙」 제12조

다. 서비스 적용 대상

「선박교통관제의 시행 등에 관한 규칙」에 의거한 VTS 관제 의무 대상 선박은 아래와 같다.

〈표 4-8〉 VTS 관제 의무 대상 선박

구분	해당 선박
관제 의무 대상	• 국제항해에 종사하는 선박
	• 총톤수 300톤 이상의 선박(단, 내항어선은 제외)
	• 「해사안전법」 제2조제6호에 따른 위험화물운반선
	• 부선이나 구조물을 끌거나 밀어서 이동시키는 선박자동식별장치(AIS)를 설치한 예인선
	• 선박길이 45m 이상의 어선
	• 총톤수 300톤 미만의 선박 자동식별장치(AIS)를 설치한 다음 어느 하나에 해당하는 선박
	– 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 제2조제4호에 따른 예선 – 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 제2조제5호라목에 따른 급수선·급유선·도선선·통선 – 공사 또는 작업에 종사하는 선박 – 해양조사선·순찰선·표지선·측량선·어업지도선·시험조사선 등 행정목적으로 운영하는 관공선

자료: 「선박교통관제의 시행 등에 관한 규칙」 제2조

(4) 한국형 e-Navigation 서비스의 DSP

가. 개요[78]

'한국형 e-Navigation 서비스'는 초고속 통신망인 LTE-M[79]을 활용하여 최대 100km까지 별도의 통신비용이나 정보 사용료 없이 통신 서비스를 제공하는 빅데이터 기반의 해양안전 종합운영 시스템으로, 이를 통해 선박의 운항정보 및 해양안전 관련 정보 등을 실시간 수집하여 모니터링, 분석

78) 정중식(2015), pp. 24~25. 참조하여 저자 작성
79) 초고속 해상무선통신망 LTE – Maritime을 의미함

등의 작업을 수행하게 된다. 이를 위해 종합 운영센터와 지역 운영센터를 구축하고, DSP를 통해 해양안전 종합정보의 수집, 유관 기관 간 정보 연계, 종합상황 관리(모니터링), 데이터 백업 및 서비스 제공 플랫폼의 기능을 수행한다.[80]

〈그림 4-13〉 한국형 e-Navigation 서비스의 기능체계



자료: 해양수산부(검색일: 2021. 10. 12)

80) 정중식(2015), pp. 24~25. 참조하여 저자 작성

〈그림 4-14〉 한국형 e-Navigation 서비스의 수신거리 및 주요 제공서비스



자료: 해양수산부(검색일: 2021. 10. 12)

나. 시스템 관련 사항

한국형 e-Navigation 서비스는 「지능형 해상교통정보서비스의 제공 및 이용 활성화에 관한 법률」에 의거하여 시스템을 구축, 운영하고 있다. 이를 위해 2016년부터 '한국형 e-Navigation 구축사업(2016~2020년)'을 통해 '해상 내비게이션(e-Navigation)'을 개발하고, 전국 연안에 총 662개의 초고속 해상 무선통신망 기지국과 2개(세종, 인천)의 망 운영센터 등의 기반시설을 구축 완료했다. 2020년부터는 시범 운영을 통해 서비스 품질의 최적화, 법제화 등을 완료하고, 2021년부터 본격적인 서비스를 제공하고 있다. 본격 서비스의 운용으로, 해양수산부는 이를 활용하기 위해 LTE-M 송수신이 가능한 e-Navigation 단말기의 보급사업을 추진 중에 있으며, 2022년까지 15,500척의 단말기를 설치할 예정이다.[81]

81) 해양수산부 보도자료(2021. 3. 31.): 보급사업은 단말기 개당 단가 360만 원 이내를 기준으로 해양수산부에서 180만 원 해당 선박인 180만 원 이내로 해서 50% 이상 지원해주는 구조이며, 연안여객선, 내항 화물운송업의 유조선/예인선, 3톤 이상 동력어선(낚시어선 포함/선령 20년 이상 제외)을 대상으로 함 (검색일: 2021. 10. 12)

〈그림 4-15〉 e-Navigation 통신체계[82)]

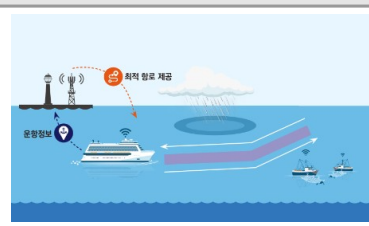
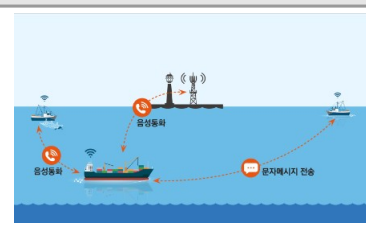


자료: 해양수산부(검색일: 2021. 10. 12)

2개소의 통신센터(세종, 인천)를 중심으로 총 6개의 권역센터(인천, 대산, 목포, 부산, 포항, 동해)를 구축하였으며, 최대 30km의 해역까지는 상용 통신망을 활용하고 최대 100km 해역 내에서는 LTE-M 통신망을 활용하여 정보서비스를 제공한다. 2021년부터 시스템을 통해 제공하는 정보 사항은 ① 충돌·좌초 자동 예측 경보, ② 화재·전복 위험성 원격 모니터링, ③ 최적 항로 안내, ④ 전자해도, ⑤ 선박 입·출항 정보, ⑥ 해양 안전 및 기상정보 등으로 요약할 수 있다.

82) 해양수산부(검색일: 2021. 10. 12)

〈표 4-9〉 e-Navigation의 주요 기능 및 상황별 운영 절차

전자해도 자동 업데이트	위험상황 경고
	
• 항해용 전자해도 제공 표시 • 전자해도 자동 업데이트(항행 통보 등)	• 항해 위험요인을 분석하여 제공 • 선박과의 위험 상황 시 충돌위험 알림 • 운항경로 주변 저수심 등 위험구역 안내
실시간 기상 교통 및 긴급경보	**긴급 조난 신호**
	
• 해상교통정보를 e-Navigation 표시 장치로 제공 • 실시간 기상특보, 해양관측·예보 제공 • 사고속보, 항행경보 등 지능형 교통정보 제공	• 긴급 상황 시 신속한 조난신고 발신 가능 • e-Navigation 표시장치의 SOS 버튼 이용 • LTE-M 송수신기의 SOS 버튼 이용
해상 내비게이션	**선박 무선통신**
	
• 기상, 조류, 교통상황 등을 분석하여 최적 항로 안내 • 최적항로 추천 및 상황별 최신 정보 제공 • 항해계획 및 조업 포인트 편집·저장	• 선박과 선박 간 음성통화·문자메시지 전송 • 선박과 지원기관 간 음성통신 문자메시지

선종별 특화서비스	이동통신 서비스
	
• 연안여객선: 운항상황 모니터링 및 안전운항 지원 • 어선: 자동 출항·입항 신고 기능 • 선사: 선박운항관리 지원(VMS)	• 전화 인터넷 이용범위 확대 • 이메일·e-Fax 등 실시간 이용 • CCTV 등 다양한 디지털 장비 연계 가능

자료: 해양수산부(검색일: 2021. 10. 12)

다. 서비스 적용 대상

e-Navigation은 초고속 해상 무선통신망(LTE-M)을 활용하기 때문에 이를 위한 별도의 기지국 및 단말기가 필요하며, 단말기의 설치와 관련한 세부 사항은 「지능형 해상교통정보서비스의 제공 및 이용 활성화에 관한 법률」 제18조 및 동법 시행규칙 제4조의 규정에 따른다.

〈표 4-10〉 지능형 해상교통정보서비스 적용 대상 및 적용제외 대상

구 분	해당 선박
단말기 설치 의무 대상	• 「선박법」 제8조에 따라 등록된 선박 중 기선 및 범선
	• 「어선법」 제2조제1호에 따른 어선
	• 「수상레저안전법」 제2조제4호에 따른 동력수상레저기구 중 같은 법 제30조에 따라 등록된 모터보트 및 세일링 요트
적용제외 대상	• 추진기관이나 돛대가 없는 선박
	• 내수면에서만 항해하거나 조업하는 선박
	• 등록된 기선 및 범선, 어선 중 총톤수 3톤 미만인 선박
	• 모터보트 및 세일링 요트 중 평수구역(平水區域)을 항해구역으로 하는 선박
	• 「선박안전법」 제11조제1항에 따른 임시항해검사 또는 「어선법」 제21조제1항제5호에 따른 임시항행검사에 합격하여 임시로 사용하는 선박
	• 그 밖에 선박의 구조나 운항특성상 단말기를 설치할 필요가 없거나 설치하기 곤란한 선박으로서 해양수산부 장관이 정하여 고시하는 선박

자료: 「지능형 해상교통정보서비스의 제공 및 이용 활성화에 관한 법률」 제18조(지능형 해상교통정보서비스 단말기의 설치); 「지능형 해상교통정보서비스의 제공 및 이용 활성화에 관한 법률 시행규칙」 제4조(단말기의 설치 면제 선박)

3) 유효성 검토

(1) 해운항만 물류정보 시스템(PORT-MIS)

해운항만 물류정보 시스템(PORT-MIS)이 제공하는 데이터 중 선박의 배출량 산정에 요구되는 데이터는 대략 아래와 같이 정리할 수 있다.

〈표 4-11〉 PORT-MIS 내 관제입력 List 출력 제공 자료

정보 항목	내용 및 형식	비 고
호출부호	선박의 호출번호	
관제횟수	대상기간 관제횟수	입항 연도-회차-관제횟수
입항신고항차	대상기간 신고횟수	입항 연도-신고횟수
일시	신고 일시(입출항 시간, 항계 진출입 시간)	연-월-일 시간:분
교신시설	통신 대상 교신시설 및 시설물 고유번호	
부선 여부	부선 여부 확인	Y or N
특이사항	특이사항	
구분	관제 구분	접안, 출항, 양묘, 이안 등 신고내역 조회
외/내항	외항선 / 내항선 / 항내선 구분	
선명	선박명	
국적	선박 국적	
총톤수	선박 총톤수	t 단위로 표기
선박 종류	선박 종류	
입항 장소	입항 장소(부두명 등)	
전 출항지	전 출항지	
목적지	목적지	

자료: 해운항만물류정보시스템, 「관제입력 List 출력」(검색일: 2021. 10. 12) 참조하여 저자 작성

PORT-MIS 데이터는 무역항을 진출입하는 5톤 이상의 선박을 대상으로 하며 항계 진출입 시간과 정박구역 및 정박시간 등을 확인할 수 있기 때문에 항계를 경계 범위로 하는 '항만 내 선박의 배출량 산정' 시에는 유용하다. 하지만 항계 진출입 시간 및 정박 시작 및 종료 시간 등 신고되는 시점 외

에는 시간 개념의 정보가 제공되지 않으며, 시점에 따른 위치 및 변화를 정확하게 파악할 수 없다. 따라서 추후 실시간 산정을 위해서는 특정 시점 외의 시간 및 이 대의 위치 등을 주어진 정보를 바탕으로 대략 추정해야 한다. 또한, 항만 내에서 활동하는 특수 용도의 선박 등은 신고 대상에 포함되지 않아 시스템상에서 이들의 활동 자료를 확인할 수 없다.

(2) 선박 자동식별 시스템(AIS)

선박 자동식별 시스템(AIS)은 「선박위치발신장치의 설치기준 및 운영 등에 관한 규정」 별표1에 따라서, 선박의 고유번호, 위치, 속력 및 침로, 해당 시각 등의 정보를 아래와 같은 형식으로 제공한다.

〈표 4-12〉 AIS 정보 수집사항

선박운항정보 항목	표 시 방 법
선박의 고유번호	IMO번호, 선박번호 또는 무선설비의 고유번호
선박의 위치	경도와 위도는 영문자 또는 기호 1자리와 도(度)와 분(分)을 6자리 숫자로 표시, 이때 분은 소수점 한자리까지 3자리수로 표시
선박의 속력	소수점 한자리까지 4자리 숫자로 표시
선박의 침로	3자리 정수로 표시
시 각	세계표준시로 년(4)/월(2)/일(2)/시(2)/분(2)을 12자리 숫자로 표시

자료: 「선박위치발신장치의 설치기준 및 운영 등에 관한 규정」 별표1

법에 따른 설치대상 선박 중 국제항해 선박은 'Class-A AIS'를 설치해야 하며, 국제항해에 종사하지 않는 선박은 'Class-A AIS' 또는 'Class-B AIS'를 설치해야 한다. Class-A 타입과 B 타입의 차이는 경도 및 위도, 속력, 선수 방향, 시간 등을 포함하는 동적정보의 전송 주기가 다르다는 데에 있다.

〈표 4-13〉 자동식별장치(AIS)별 특징

구분	Class-A AIS	Class-B AIS	
대상 선박	국제항해 종사 선박	국제항해에 종사하지 아니하는 선박	
통신프로토콜	SOTDMA	CSTDMA	
동적정보 전송 주기	항해 중: 2~10초 정박 중: 10초~3분	30초~3분	5초~3분

자료: 해양수산부(2016), p. 4

「해상업무용 무선설비의 기술기준」 제22조(자동식별장치)에 따르면, ① 정적정보(국제해사기구 번호, 호출부호와 선명, 선박의 길이와 폭, 선박의 종류, 선박 측위시스템의 설치 위치)의 갱신은 6분마다 또는 데이터가 수정되거나 요구가 있을 때 이루어져야 하며, ② 동적정보(선박위치 표시 및 운항형태, 협정 세계시(UTC), 대지 침로, 대지 속력, 선수 방향, 항해 상태, 선회율)는 선박의 속력과 침로 변경 유무에 따라 다음의 간격으로 갱신된다.

〈표 4-14〉 자동식별장치(AIS)별 동적정보 전송 주기

선박의 동적 상태		전송 주기
Class-A AIS 동적정보 전송 주기	3knot 미만의 상태에서 계류 중인 경우	3분
	3knot 이상의 상태에서 닻을 내리거나 계류 중인 경우	10초
	14knot 미만의 속력으로 항해 중인 경우	10초
	14knot 미만의 속력으로 항해 중에 침로를 변경하는 경우	$3\frac{1}{3}$초
	14knot 이상 23knot 이하의 속력으로 항해 중인 경우	6초
	14knot 이상 23knot 이하의 속력으로 항해 중에 침로를 변경하는 경우	2초
	23knot 이상의 속력으로 항해 중인 경우	2초
	23knot 이상의 속력으로 항해 중에 침로를 변경하는 경우	2초
Class-B SOTDMA AIS 동적정보 전송 주기	2knot 미만의 속력으로 항해 중인 경우	3분
	2-14knot 속력으로 항해 중인 경우	30초
	14-23knot 속력으로 항해 중인 경우	15초
	23knot 이상의 속력으로 항해 중인 경우	5초
Class-B CSTDMA	2knot 미만의 속력으로 항해 중인 경우	3분

선박의 동적 상태		전송 주기
AIS 동적정보 전송 주기	2knot 이상의 속력으로 항해 중인 경우	30초

자료: 해양수산부(2016), p. 5

선박 자동식별 시스템(AIS)은 선박의 배출량 산정에 필요한 시간별 위치 및 운항정보 등을 제공하고 있어, 선박의 운항형태 및 조건 등을 충실히 반영하기에 적합하다. 하지만 AIS는 본디 선박의 위치를 파악하기 위해 도입된 시스템으로, 선박의 식별을 위한 선박의 고유번호 등을 제외하고는, 주로 선박의 위치, 시간, 속력 등 운항형태에 대한 데이터를 수집·제공하고 있다. 따라서 선박의 제원 및 입출항 관련 정보, 즉 이와 관련한 행정정보 등은 PORT-MIS 등과의 연계를 통해 보완해야 한다. 이와 더불어, AIS 역시 제공하는 정적정보의 영역에서 엔진의 정보와 정격 출력, 운항 중 사용 유종의 변경 여부 및 해당 시간 등의 정보를 확보할 수 없으나, 이는 국내외 제도상의 문제로 추후 등록·면허 또는 입출항 신고 등의 제도 개선을 통해 보완해야 할 것으로 보인다.

엔진 제원 및 관련 정보는 국내외 선박 검사기관(선급, 국가 검사기관 등)의 DB에서 확인할 수 있으나, 이를 모두 통합하여 확보하기는 현실적으로 어렵다. 하지만 국가별 행정정보 및 선급별 선박·엔진정보 및 AIS 정보 등을 통합하여 상용 데이터로 제공하는 DB를 통해, 모든 선박까지는 아니더라도 많은 국내외 선박의 정적정보 및 동적정보의 통합 데이터를 확인할 수 있다. 다음은 AIS 데이터 기반의 선박 운항에 대한 상용 DB인 'IHS Markit'의 AIS Live에서 확인한 선박의 운항과 관련한 정보 항목을 정리한 결과이다.

〈표 4-15〉 AIS 기반의 선박 DB 제공사항

정보 항목	내용	비 고
Name	선박명	
Ship type	선박 종류	
IMO	IMO 번호	
MMSI	해상이동업무 식별 번호	9개의 숫자로 구성
Callsign	호출부호	
Length	선박 길이	m 단위로 표기
Breadth	선박 폭	m 단위로 표기
Draught	선박 흘수	m 단위로 표기
Deadweight	재화중량톤수	ton 단위로 표기
Gross	선박 총톤수	ton 단위로 표기
Age of ship	선령 / 건조 연도	
Operator	선박운항업자	
Last seen	최근 통신 일자 및 시간	
Last port	전 출항지 및 출항일시	항명-DD-MM-YYYY
Position	위치	경도, 위도
Destination	목적지	
ETA	입항 예상 시간	
Heading	선수 방향	° 단위로 표기
Speed	선박 속력	knots 단위로 표기
Status	운항형태	투묘, 양묘, 접안 등
Movements	거동 여부	Y / N
Extra info	추가 정보	
ME. kW	주엔진 출력(kW)	
ME. RPM	엔진 회전수(RPM)	
Fuel Type	유종(연료 종류)	
Aux. E kW	보조엔진 출력(kW)	
Generators kW	발전기 출력(kW)	
Propulsion Type	추진 유형	
Propulsion Units	추진 장치	

자료: IHS Markit AISLive 참조하여 저자 작성

(3) 해상 교통관제 시스템(VTS)

해상 교통관제 시스템(VTS)은 앞서 살펴본 AIS 데이터를 연계·활용하는 한편 이에 더하여 VHF 및 기지국의 레이더 등을 통해서 관제 범위 내 선박의 활동을 매우 정확하게 파악하고 있으나, 본디 실시간 교통관제를 목적으로 폐쇄망에서 운영되는 시스템이므로 수집된 데이터를 외부로 출력하거나 연계·활용하는 것을 고려하고 있지 않다. 따라서 해당 시스템에서 선박의 활동을 파악하기 위해 수집되는 레이더, AIS, VHF, CCTV, 기상 데이터 등은 장비 제조사의 제공 포맷으로 수집되고 의무 보관기관 이후에는 폐기되고 있다.[83] 수집되는 데이터의 입출력 형식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

〈표 4-16〉 VTS 수집 데이터의 종류

종류	형식	비고
레이더	입력: 레이더 물표추적 데이터(아날로그, 디지털방식) 출력: 통합처리장치, 재생장치 등 제조사 S/W를 이용한 영상 표출	전국 20개 VTS 84기 레이더 운용
AIS	입력: 항행선박의 AIS 정보 출력: 통합서버 등 처리 후 레이더 데이터와 연계 표출	
VHF	입력: VHF 무선통신 음성 신호 출력: VHF 리모트기를 통한 음성 표출	
CCTV	입력: 항만관제용 CCTV 카메라 영상 출력: 항만관제용 CCTV 카메라 표출	
기상	입력: 풍향, 풍속, 시정 등 기상정보 출력: 제조사 S/W를 이용한 데이터 표출	자체 기상정보 참고용

주: 표에서의 입력은 수집되는 데이터의 유형이며, 출력은 VTS 내 운영시스템에서 제공되는 방식을 의미함
자료: 저자 작성

관제 대상 선박으로부터 지역별 해상교통 관제센터(VTSC)에서 취합된 데이터는 'IALA VTS 지침서' 및 매뉴얼에 따라서 저장, 관리체계를 구축하고 있으나, 구축된 센터별 장비 여건 및 수집 특성 등으로 센터 간 또는 외부 연계에 어려움이 있다. 이에 IVEF(Inter VTS Exchange Format)으로

83) 해양수산과학기술진흥원(2021), p. 3.

저장 및 관리, 활용하는 방안에 대한 논의가 있어왔으나, 현재는 주요 정보통신 기반시설로 지정되어 운용 자료 역시 국가정보원의 보안성 검토 대상이기 때문에 외부로의 데이터 제공 및 연계는 사실상 어려운 상황이다.[84]

(4) 한국형 e-Navigation 서비스의 DSP

한국형 e-Navigation 서비스는 LTE-M 통신망을 통하여 수집되는 1차 데이터를 PORT-MIS, AIS, V-Pass와 등록정보 등 외부 시스템의 데이터와 연계·통합하여 2차 가공하고, 이를 서비스 이용자의 수요에 맞추어 제공하게 된다.[85]

〈표 4-17〉 e-Navigation 제공정보

정보 항목	내용 및 형식	비 고
LTE-M 최근 위치정보	LTE-M 최근 위치정보 제공	
모바일 최근 위치정보	모바일 최근 위치정보 제공	
선박 제원정보	선박 제원정보 제공	
AIS 항적	AIS 항적정보 제공	
파일럿카드	선주 / 선박정보 제공	
취약성 분석	선박 취약성 정보 제공	
항행경보(충돌)	지역별 충돌정보 제공	
항행경보(좌초)	해당 지역 좌초정보 제공	
V-PASS 항적	V-PASS 항적정보 제공	

자료: 해양수산부(검색일: 2021. 10. 12) 참조하여 저자 작성

서비스 플랫폼인 DSP의 수집·재가공된 데이터는 이미 기존의 관련 기간계 데이터와 연계·통합하여 생산한 결과물로, 선박의 정보 및 운항형태 등을 지연이 최소화된 실시간 개념으로 매우 정확하게 제공될 수 있을 것으로 보인다. 하지만 '한국형 e-Navigation 구축사업'은 2020년부터 시범사업에 돌입하여 2021년 1월에서야 법적인 요건(시행규칙 등의 제정)을 확립한

84) 위의 책, p. 3.
85) 2021년 8월 현재

상태이기 때문에, 아직은 시스템의 방향성을 규정하기 어려우며, 추후 운영 과정에서 많은 변수가 발생할 수 있다.

하지만 가까운 미래에 해당 사업이 성공적으로 추진되는 경우 AIS 데이터보다 시공간적으로 조밀하면서도 지연·누락이 최소화된 빅데이터 개념으로 최적의 실시간 데이터를 안정적으로 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 이와 관련하여, e-Navigation 서비스는 향후 수집·생산된 데이터의 활용을 위해 Open-API 형태의 데이터 연동 서비스를 준비 중이다.

2. 활동데이터 기반 배출산정 모형 적용을 위한 가용 데이터 인벤토리 작성

개별 선박의 활동 및 조건 등을 충실하게 반영하는 활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형을 구성하기 위해서는, 등록·면허 또는 신고 등 행정절차에 의해 당국이 관리하는 행정정보 성격의 정적정보와 선박의 운항 및 이와 관련한 활동 등을 파악하기 위한 동적정보가 필요하다. 이들 요구 데이터는 다음의 표와 같이 정리할 수 있다.

〈표 4-18〉 요구 데이터 항목: 정적정보

선박 구분	선박 제원	엔진 제원	보조엔진, 발전기 제원
선박명	총톤수	연료유종	연료유종
IMO 번호	적화 중량톤수	연료유 황 함량(BC)	배출 저감기술
MMSI 번호	건조 연도	배출 저감기술	모델명(주엔진)
호출 번호		모델명(주엔진)	연식(주엔진)
국적		연식(주엔진)	개수(주엔진)
외/내항선 구분		개수(주엔진)	최대출력(주엔진)
선박 종류		최대출력(주엔진)	

자료: 저자 작성

〈표 4-19〉 요구 데이터 항목: 동적정보

연료 소비량	운항 활동
연료소비량	위치
연료소비량(주엔진)	시간
연료소비량(보조엔진)	속력
	침로

자료: 저자 작성

1) 해운항만 물류정보 시스템(PORT-MIS)

해운항만 물류정보 시스템(PORT-MIS)이 제공하는 입출항 관련 데이터 중 선박의 배출량 산정을 위한 직·간접적 요구 데이터의 항목을 선별하여 정리하면 아래와 같다. 앞서 검토한 결과를 바탕으로, 이들 중 활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형에 적용 가능 여부, 그리고 이들 데이터의 성격에 따라서 정적정보와 동적정보로 구분하였다.

〈표 4-20〉 PORT-MIS 제공정보 구분

정보 항목	내용 및 형식	유형	활용도	구 분
호출부호	선박의 호출번호	DB	○	정적
관제횟수	대상기간 관제횟수	DB	△	동적
입항신고항차	대상기간 신고횟수	DB	△	동적
일시	신고 일시	DB	△	동적
교신시설	통신 대상 교신시설 고유번호	DB	△	동적
부선 여부	부선 여부 확인	DB	○	정적
특이사항	특이사항	DB	-	-
구분	관제 구분	DB	○	동적
외/내항	외항선 / 내항선 / 항내선 구분	DB	○	정적
선명	선박명	DB	○	정적
국적	선박 국적	DB	○	정적
총톤수	선박 총톤수	DB	○	정적

정보 항목	내용 및 형식	유형	활용도	구 분
선박 종류	선박 분류	DB	○	정적
선사/대리점	대상 선박 선사/대리점	DB	-	-
입출항 시간	입출항 시간	DB	○	동적
입항 장소	입항 장소(부두명 등)	DB	○	동적
전 출항지	전 출항지	DB	△	동적
목적지	목적지	DB	△	동적
진출입 시간	관제구역 진출입 시간	DB	○	동적
진출입 통과위치	관제구역 진출입 통과위치	DB	○	동적

주: ○는 직접 활용 가능한 우선 활동 자료, △는 최우선 활동 자료 적용 불가 시에 추정 자료 활용 가능
자료: 저자 작성

〈표 4-21〉 활동데이터 기반 배출산정 모형 적용 시 유효성: PORT-MIS

활용 가능성	한계
• '항만 내 선박의 배출량 산정' 시 유용 ※ 실시간 산정 모형에 적용 시, 누락 시간·위치 추정 필요하며, 정확한 추정 어려움	• 특정 신고 시점 외 시간·위치정보 제공 ×
	• 항만 내 특수 용도 선박 등 신고 대상에 포함×
• 실시간 활동 자료 기반 산정 시, 보완 DB로 활용도 높음 ※ 선박의 Identification 및 등록·면허 등의 제원정보 제공	• 엔진 제원 및 관련 정보 제공 ×

자료: 저자 작성

2) 선박 자동식별 시스템(AIS)

선박 자동식별 시스템(AIS)이 제공하는 선박의 운항 관련 데이터 중 선박의 배출량 산정을 위한 직·간접적 요구 데이터의 항목을 선별하여 정리하면 아래와 같다. 앞서 검토한 결과를 바탕으로, 이들 중 활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형에 적용 가능 여부, 그리고 이들 데이터의 성격에 따라서 정적정보와 동적정보로 구분하였다.

〈표 4-22〉 AIS 제공정보 구분

정보 항목	유형	활용도	구 분
선박명	DB	○	정적
IMO 번호	DB	○	정적
MMSI 번호	DB	○	정적
호출부호	DB	○	정적
통신 일자 및 시간	DB	○	동적
위치	DB	○	동적
선수 방향	DB	△	동적
선박 속력	DB	○	동적

주: ○는 직접 활용 가능한 우선 활동 자료, △는 최우선 활동 자료 적용 불가 시에 추정 자료 활용 가능
자료: 저자 작성

〈표 4-23〉 활동데이터 기반 배출산정 모형 적용 시 유효성: AIS

활용 가능성	한계
• 선박의 활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형 적용 시 유용 ※ 선박의 시간별 위치, 속력 등 활동 자료 제공 ※ 송수신 주기가 충분히 짧아 조밀한 시공간 격자 단위의 배출량 산정 용이	• 추후, 실시간 지능형 배출제어 등을 위한 '실시간' 산정 모형에 적용 시, 송수신 주기 간 누락 시간·위치 추정 필요
	• 미설치 선박의 활동 자료 수집·제공 ×
	• 선박 제원 및 관련 정보 제공 × ※ 선박의 Identification 및 매칭을 통해, PORT-MIS의 선박 제원, 입출항 관련 행정정보 연계 필요
	• 엔진 제원 및 관련 정보 제공 × ※ 선박의 Identification 및 매칭을 통해, 선박검사기관(선급 등)의 엔진 제원정보 연계 필요

자료: 저자 작성

AIS는 대상 선박의 위치 파악을 위한 시스템으로, 개별 선박의 활동 자료(위치, 시간, 속력 등)를 짧은 시간 주기로 수집·제공하고 있다. 이를 활용하기 위해서는 선박의 고유번호 등을 통한 개체 식별 및 매칭 작업을 통해,

선박의 등록·면허 등의 제원정보, 입출항 정보 등의 행정정보를 제공하는 PORT-MIS와 연계가 필수적이다. 국내외 보고·신고 제도상 개별 선박의 엔진 제원 및 관련 정보는 행정정보에서 확보할 수 없으므로, 대상 선박의 검사기관(선급, 국가 검사기관 등) 또는 이를 수집하여 통합 데이터의 형태로 판매하는 DB와 연계가 필요하다.

본 연구에서는 후자에 해당하는 'IHS Markit' DB를 활용하였으며, 이는 AIS 데이터를 국내외 선박 제원 및 입출항 관련 행정정보 및 각급 검사기관의 검사정보(엔진 제원 및 관련 정보) 등의 DB와 통합·연계하여 다음과 같은 정보 항목을 제시하고 있다. 이러한 상용 DB는 해당 내용 외에도 검색 조건에 따라 선주 관련, 안전관리 및 인증, 선박 제조 관련, 선박 규격, 선박 화물 및 수용량, 선박 이동 동향 파악 등의 데이터를 제공하고 있다.[86]

〈표 4-24〉 AIS 기반 선박 운항 DB 제공정보: IHS Markit

정보 항목	유형	활용도	구 분
선박명	DB	○	정적
IMO 번호	DB	○	정적
MMSI 번호	DB	○	정적
호출부호	DB	○	정적
건조 연도(선령)	DB	○	정적
항내 순항 평균속도	DB	△	동적
선박 종류	DB	○	정적
총톤수	DB	○	정적
재화중량톤수	DB	△	정적
선박 길이	DB	△	정적
선박 폭	DB	△	정적
선박 흘수	DB	△	정적
주엔진 출력(kW)	DB	○	정적

86) 'IHS Markit'의 AISLive를 통하여 확인한 제공정보 항목임

정보 항목	유형	활용도	구 분
엔진 회전수(RPM)	DB	○	동적
유종(연료유 종류)	DB	○	정적
보조엔진 출력(kW)	DB	○	정적
발전기 출력(kW)	DB	○	정적
연료 용량	DB	-	정적
주엔진 연료소비량	DB	○	동적
전체 연료소비량	DB	○	동적
가스 용량	DB	-	-
거동 여부	DB	△	동적
프로펠러 유형	DB	-	-
추진 유형	DB	○	정적
추진 장치	DB	○	정적
선박 유형	DB	○	정적
통신 일자 및 시간	DB	○	동적
전 출항지 및 출항일시	DB	△	동적
위치	DB	○	동적
목적지	DB	△	동적
입항 예상 시간	DB	△	동적
선수 방향	DB	△	동적
선박 속력	DB	○	동적
운항형태	DB	○	동적

주: ○는 직접 활용 가능한 우선 활동 자료, △는 최우선 활동 자료 적용 불가 시에 추정 자료 활용 가능
자료: 저자 작성

한편, 어선의 위치 파악을 위한 선박패스(V-pass)는 어선을 위한 위치 발신장치 및 수집된 데이터의 DB 시스템, 즉 간이 AIS의 개념 정도로 이해할 수 있다. 해당 DB는 수협중앙회 어선 조업관리 시스템에서 통합 관리되고 있으며, 현재 「선박패스(V-Pass) 장치 등의 설치기준 및 운영 등에 관한 고시」 별표1에서 정한 규칙에 따라서, 수집·제공하는 정보는 다음과 같다.

〈표 4-25〉 V-Pass 수집데이터

어선운항정보 항목	표시방법
어선의 고유번호	어선번호 또는 선박패스(V-Pass) 장치의 고유번호
어선의 위치	경도와 위도는 영문자(E, N) 또는 기호 1자리와 도(度)-분(分)을 6자리 숫자로 표시, 이때 분은 소수점 한자리까지 3자리수로 표시
어선의 속력	소수점 한자리까지 4자리 숫자로 표시
어선의 침로	3자리 정수로 표시
시각	세계표준시로 년(4)/월(2)/일(2)/시(2)/분(2)/초(2)을 14자리 숫자로 표시

자료: 「선박패스(V-Pass) 장치 등의 설치기준 및 운영 등에 관한 고시」 별표1

3) 해상 교통관제 시스템(VTS)

해상 교통관제 시스템(VTS)은 관제 범위 내의 대상 선박의 실시간 관제를 위한 시스템으로, 레이더, 초단파 무선통신(VHF), AIS 등의 활동정보 및 PORT-MIS 등의 정적정보 및 관련 행정정보를 수집·연계하여 종합적으로 활용하고 있다. 따라서 선박의 활동과 관련한 현행 관련 데이터를 통합적으로 수집·활용하고 있다고 볼 수 있으며, 이를 활용할 수 있다면 개별 선박의 활동을 정확하게 파악할 수 있는 매우 정확한 데이터 도구가 될 수 있다. 하지만 현재 VTS는 보안 등의 이유로 해상 교통관제 외의 용도로 폐쇄망 외로 연계·활용을 제한하고 있으며, 따라서 이를 출력하거나 데이터의 형태로 외부로 연계하는 기술적 방안을 고려하지 않고 있다.

4) 한국형 e-Navigation 서비스의 DSP

e-Navigation 서비스는 VTS보다 한발 더 나아가 LTE-M 통신망을 통하여 수집되는 1차 데이터를 PORT-MIS, AIS, V-Pass와 관련 행정정보 등 외부 시스템의 데이터와 연계·통합하여 2차 가공하고, 이를 서비스 이용

수요에 따라 요구되는 최적의 데이터의 형태로 제공하게 된다. 이를 위해 Open-API 형태로 정보 제공을 위한 서비스 체계를 구축하고 있으며, e-Navigation 서비스에서 제공하는 선박의 운항 관련 데이터의 항목을 선별하여 정리하면 아래와 같다. 앞서 검토한 결과를 바탕으로, 이들 중 활동데이터 기반 상향식 배출산정 모형에 적용 가능 여부, 그리고 이들 데이터의 성격에 따라서 정적정보와 동적정보로 구분하였다.

〈표 4-26〉 e-Navigation OPEN-API 형태 제공정보 구분

정보 항목	유형	활용도	구 분
LTE-M 최근 위치정보 조회	DB	○	동적
모바일 최근 위치정보 조회	DB	○	동적
선박 제원정보 조회	DB	○	정적
AIS 선박 항적 조회	함수	○	동적
항만 가이드라인 요청	비동기	-	
선박거동 예측서비스 요청	비동기	△	동적
외부망 해양안전정보 요청	비동기	-	
항로 요청	비동기	△	동적
항로 확정	비동기	△	동적
항로 종료	비동기	△	동적
밀집도 서비스 요청	비동기	-	
긴급신고 정보	DB	-	
파일럿카드 조회	DB	-	
취약성 분석 조회	DB	-	
항행경보 조회(충돌)	DB	-	
항행경보 조회(좌초)	DB	-	
V-Pass 항적 조회	함수	○	동적
센서정보 조회	DB	△	동적
화재선박 조회	DB	-	
복원성선박 조회	DB	-	

주: ○는 직접 활용 가능한 우선 활동 자료, △는 최우선 활동 자료 적용 불가 시에 추정 자료 활용 가능
자료: 해양수산부(검색일: 2021. 10. 12) 참조 저자 작성

〈표 4-27〉 활동데이터 기반 배출산정 모형 적용 시 유효성: e-Navigation 서비스

활용 가능성	한계
• 실시간 지능형 배출제어 등을 위한 '실시간' 산정 모형에 적용 시 최적의 DB ※ 선박의 시간별 위치, 속력 등 실시간 활동 자료 제공 ※ LTE-M 통신망 사용하여, 지연 최소화; 실시간 배출량 산정 가능	• 현재 시범사업 운영 중으로, 추후 사업의 지연, 변경 없이 대상 선박 및 지역 등의 누락 없는 DB 구축 필요
	• 엔진 제원 및 관련 정보 제공 × ※ 선박의 Identification 및 매칭을 통해, 선박검사기관(선급 등)의 엔진 제원정보 연계 필요

자료: 저자 작성

제2절 활동데이터 기반 배출산정 모형

환경부는 '국가 대기오염물질 배출량 통계' 작성을 위해 '국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅳ)'에서 제시하는 선박 배출량 산정방식을 사용하고 있으며, 이 과정에서 기본적으로 유럽환경청(EEA)의 배출계수를 활용하고 있다. 다음에서는 선박의 운항 조건 및 이에 따른 실제 활동 전반을 정확하게 반영하기 위한 활동데이터 기반의 상향식 배출량 산정모형을 구성하고, 이를 ① 배출량 편람(Ⅳ)에서 제시하는 기존의 산정방식, ② PORT-MIS의 제한적인 활동데이터 활용 산정방식의 단계별 적용 과정, 그리고 최종 산정 결과를 비교함으로써 우리 모형의 신뢰도를 검증하고자 하였다.

1. 활동데이터 기반 배출산정 모형의 구성

1) 모형의 알고리즘

본 모형의 데이터처리 수행 단계는, ① 선박의 식별, ② 정적정보 및 동적정보의 수집, ③ 데이터 선별 및 결정(선박의 유형/종류, 연료유 등 분류 포함), ④ 선박 내 배출원(주엔진, 보조엔진, 보일러)별 요구 데이터 정리, ⑤ 에너지량 추정 및 배출계수 선정, ⑥ 배출량 계산 및 합산, 총 6단계로 구분된다.

우선 PORT-MIS 및 AIS의 데이터베이스를 활용하여 배출량 산정 대상 선박의 이동 및 관제 현황을 식별해야 한다.[87] 이 과정에서, 해당 데이터베

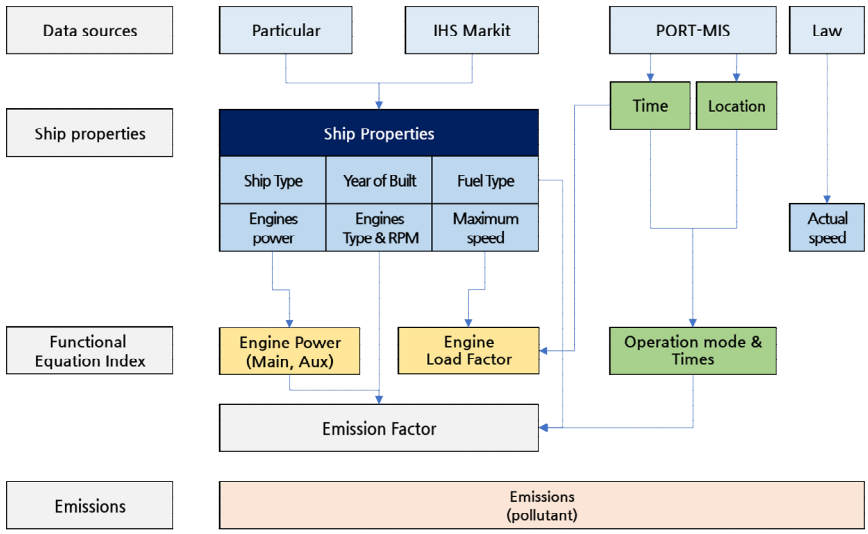
87) 대상 선박 설정 시 AIS 데이터베이스에서 식별 가능한 선박을 일차적으로 선별하나, 본 연구에서는 PORT-MIS 데이터를 활용한 일부 상향식 모형 및 기존 환경부 방식의 배출량 산정 결과를 비교하기 위한 목적으로 AIS와 PORT-MIS의 데이터에서 공통적으로 식별되는 선박을 일차적으로 선별하였다.

이스에서 식별된 선박 중 IHS Markit에서 IMO 번호를 식별할 수 있는 선박을 대상 선박으로 설정하였다. 이어서, IMO 번호를 기준으로 식별이 완료된 선박에 대해서 IHS Markit의 데이터베이스를 통해 배출량 산정을 위한 요구 데이터인 정적정보(건조시기, GT, 주엔진 출력, 보조엔진 출력, 연료 종류 등)와 동적정보(교신시간, 운항속도, 운항상태, 위도, 경도 등)를 수집·선별한다. 다음 단계는 수집된 정적정보와 동적정보를 요구 데이터의 형태로 정리하는 과정으로, 데이터베이스상의 원데이터를 배출 산정에 요구되는 형태로 정리하고, 이들을 사용하여 최종값을 도출하기 위한 중간 데이터를 추정·결정한다. 예를 들어, IHS Markit의 데이터베이스를 통해 수집한 선박별 동적정보는 가공되지 않은 AIS 데이터이므로 교신 지점별 시간 차이를 도출하여 각 교신 지점 간 이동에 소요된 운항시간을 도출하는 한편, 교신 지점에서의 대지속력 정보와 위치정보를 통해 운항형태(순항, 접안, 정박)를 구분한다.

또한, 이렇게 정리된 동적·정적정보를 바탕으로 프로펠러 법칙을 적용하여 개별 선박의 배출원(주엔진, 보조엔진, 보일러)별 부하율, 즉 주엔진의 부하율을 결정하고 보조엔진의 부하율 평균값 및 보일러 출력 등을 추정해야 한다. 마지막으로, 앞선 과정을 통해 준비된 운항시간, 엔진출력, 부하율 등의 정보를 적용하여 개별 선박의 교신지점 간(단위)구간별[88] 운항에 소요되는 에너지량을 추정하고, 선박별 조건에 부합하는 배출계수를 도입·적용하여 배출량을 산정한다. 이를 요구 조건에 따라서 선박의 종류별 배출량 또는 운항형태, 배출원, 오염물질 등의 세부 구분 기준에 따라서 합산한다.

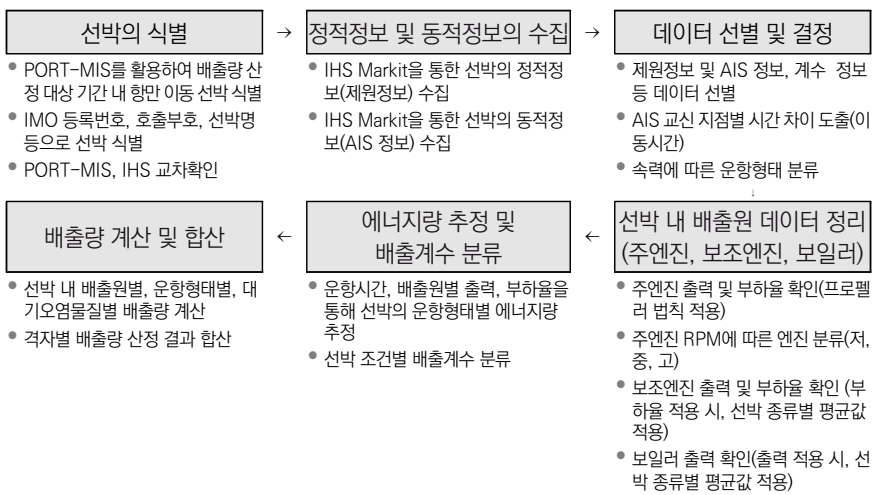
88) AIS 데이터를 사용하는 경우, 교신 지점 사이의 구간으로 적용한다.

〈그림 4-16〉 AIS를 활용한 배출량 산정모형의 주요 인자 및 흐름도



자료: 저자 작성

〈그림 4-17〉 산정 단계별 주요 내용



자료: 저자 작성

2) 요구 데이터

앞서 살펴본 바와 같이, 선박의 활동을 반영하여 이에 따른 배출을 추정하기 위해서는 정적정보와 함께 동적정보가 요구된다. 우선 정적정보는 선박의 식별, 그리고, 해당 선박의 요구 데이터 간 매칭 등을 위한 선박 및 엔진 등의 기본정보 및 기술적 제원 등으로 정의할 수 있다. 개별 선박의 정적정보는 선박의 정기검사를 수행하는 한국해양교통공단과 한국선급(KR)의 데이터베이스에서 확인할 수 있으나, 현행법상 개인정보 보호, 데이터 활용 용도의 제한 등의 현실적 어려움으로 본 연구에서는 IHS Markit의 데이터베이스를 활용하였다.[89]

본 연구는 개념적으로는 유럽환경청(EEA)의 Tier3 수준의 방법론 중 에너지량 추정을 통한 배출량 산정방식을 활용한다. 선박의 시간에 따른 연속 지점 또는 단위격자 간 연료소비량을 추정하여 단위격자 구간 내 배출량 산정 과정에 적용하게 된다. 이 과정에서 요구되는 개별 선박의 동적정보는 기본적으로 선박의 활동데이터(교신시간, 위치정보, 속력 등)를 포함하는 AIS 교신정보를 활용하였다.

수집된 정적정보와 동적정보를 분류·정리하는 과정에서 개별 선박별 데이터를 식별·매칭하기 위해 개별 데이터베이스 자료 수집 단계에서 IMO 번호나 선박명, MMSI 등의 정보를 포함해야 한다.

89) 일반적으로 정적정보에 포함되는 내용들은 건조시기, 총톤수(GT), 주엔진 출력, 보조엔진 출력, RPM, 연료 종류 등으로 선박의 세부 명세를 포함하고 있는 파티큘러를 통해 확인할 수 있으나, 상기 이유로 배출량 산정 대상 선박의 파티큘러 정보를 직접 취득할 수 없기 때문에 본 연구에서는 IHS Markit의 선박 제원정보를 활용하였음

〈표 4-28〉 요구 데이터의 분류

정적정보				
IHS Fairplay (엔진 제조사, 지역 당국, 선주)				
내부 데이터베이스				
식별	선박 제원, 특성	주엔진 특성	보조엔진 특성	기타
해상이동업무식별번호(MMSI)	건조 연도	주엔진 연료유 황 함량	보조엔진 연료유 황 함량	해수밀도
IMO 번호	길이	주엔진 적용 저감기술	보조엔진 적용 저감기술	프로펠러 각속도
선박명	너비	주엔진 연료소비량(SFOC)	보조엔진 연료소비량 (SFOC)	프로펠러 rpm
선박 유형	흘수	주엔진 모델	보조엔진 개수	–
–	총톤수	주엔진 스트로크유형	설치된 보조엔진 출력	–
–	중량톤수	주엔진 rpm	연료 종류	–
–	설계 속도	주엔진 개수	–	–
–	캐빈 수	설치된 주엔진 출력	–	–
–	선체 유형	연료 종류	–	–
–	접수표면적	측정된 배출계수	–	–
–	수선간장	–	–	–
+				
동적정보				
AIS 시스템				
순간 속력		위치	선박 유형	

자료: 저자 작성

3) 배출량 산정

시간에 따른 선박의 연속적 위치 보고 지점 또는 단위격자 간 연료소비량을 추정하기 위해서는, 우선 위치 차이 즉 운항거리와 이에 소요된 운항시간정보, 또는 구간/지점별 속력정보가 필요하다. 이를 통해, 해당 선박의 운항형태를 판단하고, 이에 따라서 엔진의 출력값, 다시 이를 활용하여 해당

구간의 연료소비량을 추정할 수 있다. 이 과정에서 운항형태의 명확한 기준에 따른 구분이 매우 중요하며, 본 연구는 IMO의 제4차 보고서의 기준을 도입·적용하였다.[90]

운항형태는 선박의 순간 속력으로 구분하며, 해당 정보는 AIS를 통해 교신된 대지속력 정보를 통해 확인할 수 있다. 운항시간은 배출량 산정을 위한 지역적 경계 범위 내에서 AIS를 통해 연속으로 교신된 두 지점 사이의 시간 차이를 통해 두 지점 간 이동에 소요된 시간을 구할 수 있다.

본 연구에서 구성한 모형은, 현재 선박의 활동을 가장 정확하게 보고하고 있는 AIS 데이터의 위치 보고 지점 및 송수신 주기를 기본으로 시공간 단위격자를 분할하고, 이들 단위격자 간 에너지량을 추정·합산하여 구간별 에너지량을 추정하는 방식으로 요약할 수 있다. 엔진 최대출력이 동일한 선박일지라도 실제 활동의 양상에 따라서 개별 격자 구간에서의 순간 속력데이터를 반영하여 추정한 엔진 부하율과 운항시간이 상이할 수 있기 때문에, 개별 선박의 활동을 보다 정확하게 반영한 배출량 산정 결과를 도출할 수 있다.

$$E_{Trip,i,j,m} = \sum_{p}[T_{p,s}\sum_{c}(P_c \times LF_{c,s} \times EF_{c,i,j,m,p})]$$

E_{Trip}: 선박의 오염물질 배출량(tonnes)
T: 운항시간(hr)
P: 엔진 출력(kW)
LF: 엔진 부하율(%)
EF: 배출계수(g/kWh)
c: 선박 내 배출원(주엔진, 보조엔진, 보일러)
i: 오염물질(NOx, NMVOC, PM 등 8대 대기오염물질)
m: 연료 종류(Bunker Fuel Oil, Marine Diesel Oil, Marine Gas Oil)
j: 엔진 종류(가스터빈, 저속, 중속, 고속 디젤엔진, 스팀터빈 등)
p: 운항형태(순항, 접안, 정박)
s: 격자별 구분

자료: 저자 작성

90) 〈표 2-1〉 참조

산정 구역 내의 모든 운항형태(모든 운항경로)에서 선박의 대기오염물질 배출량은 각 운항형태(순항, 접안, 정박) 배출량을 합산한 결과와 같으며, 운항형태별 배출량은 해당 운항형태에서 가동되는 선박 내 배출원(주엔진, 보조엔진, 보일러)에서 아래와 같이 다르게 나타난다.

$$E_{Trip} = E_{Crusing} + E_{Manouvering} + E_{Hotelling}$$

E_{Trip}: 선박의 오염물질 배출량(tonnes)
$E_{Crusing}$: 순항 시 오염물질 배출량(tonnes)
$E_{Manouvering}$: 접안 시 오염물질 배출량(tonnes)
$E_{Hotelling}$: 정박 시 오염물질 배출량(tonnes)

$$E_{Crusing} = E_{C,Me} + E_{C,Ae}$$

$E_{C,Me}$: 순항 시 주엔진(Main engine)의 오염물질 배출량(tonnes)
$E_{C,Ae}$: 순항 시 발생되는 보조엔진(Auxiliary engine)의 오염물질 배출량 (tonnes)

$$E_{Manouvering} = E_{M,Me} + E_{M,Ae} + E_{M,Boiler}$$

$E_{M,Me}$: 접안 시 주엔진(Main engine)의 오염물질 배출량(tonnes)
$E_{M,Ae}$: 접안 시 보조엔진(Auxiliary engine)의 오염물질 배출량(tonnes)
$E_{M,Boiler}$: 접안 시 보일러(Boiler)의 오염물질 배출량(tonnes)

$$E_{Hotelling} = E_{H,Ae} + E_{H,Boiler}$$

$E_{H,Ae}$: 정박 시 보조엔진(Auxiliary engine)의 오염물질 배출량(tonnes)
$E_{H,Boiler}$: 정박 시 보일러(Boiler)의 오염물질 배출량(tonnes)

자료: 저자 작성

선박 내 배출원은 주엔진, 보조엔진, 보일러로 구분할 수 있으며, 각 배출원은 운항형태에 따라 가동의 양상이 다르기 때문에 배출량 역시 상이하게 나타난다. 일반적인 운항패턴을 반영하여 주엔진의 경우 순항과 접안 시 가동되며 정박상태에서는 가동되지 않고, 보조엔진의 경우 모든 운항형태에서 가동되는 것으로, 보일러는 순항 모드에서는 가동되지 않고 접안이나 정박 시에 가동되는 것으로 가정하였다.

$$E_{p,Me,i,j,m} = \sum_{p}[T_p \sum_{Me}(P_{Me} \times LF_{Me} \times EF_{Me,i,j,m,p})]$$

$E_{p,Me,i,j,m}$: 주엔진의 오염물질 배출량(tonnes)
T: 운항시간(hr)
P: 엔진 출력(kW)
LF: 엔진 부하율(%)
EF: 배출계수(g/kWh)
Me: 주엔진(Main engine)
i: 오염물질(NOx, NMVOC, PM 등 8대 대기오염물질)
j: 엔진 종류(가스터빈, 저속, 중속, 고속 디젤엔진, 스팀터빈 등)
m: 연료 종류(Bunker Fuel Oil, Marine Diesel Oil, Marine Gas Oil)
p: 운항형태(순항, 접안)

$$E_{p,Ae,i,j,m} = \sum_{p}[T_p \sum_{Ae}(P_{Ae} \times LF_{Ae} \times EF_{Ae,i,j,m,p})]$$

$E_{p,Ae,i,j,m}$: 보조엔진의 오염물질 배출량(tonnes)
T: 운항시간(hr)
P: 엔진 출력(kW)
LF: 엔진 부하율(%)
EF: 배출계수(g/kWh)
Ae: 보조엔진(Auxiliary engine)
i: 오염물질(NOx, NMVOC, PM 등 8대 대기오염물질)
j: 엔진 종류(중속, 고속 디젤엔진)
m: 연료 종류(Bunker Fuel Oil, Marine Diesel Oil, Marine Gas Oil)
p: 운항형태(순항, 접안, 정박)

$$E_{p,Boiler,i,m} = \sum_{p}[T_p \sum_{Boiler}(P_{Boiler} \times LF_{Ae} \times EF_{Boiler,i,m,p})]$$

$E_{p,Boiler,i,j,m}$: 보일러의 오염물질 배출량(tonnes)
T: 운항시간(hr)
P: 엔진 출력(kW)
LF: 엔진 부하율(%)
EF: 배출계수(g/kWh)
Boiler: 보일러
i: 오염물질(NOx, NMVOC, PM 등 8대 대기오염물질)
m: 연료 종류(Bunker Fuel Oil, Marine Diesel Oil, Marine Gas Oil)
p: 운항형태(접안, 정박)

자료: 저자 작성

(1) 엔진 출력

엔진출력 정보는 개별 선박의 파티큘러를 통해 확인할 수 있으나 배출량 산정 대상에 해당하는 모든 선박의 파티큘러 정보를 직접 취득하는 것은 불가능하므로, 다음의 두 가지 방법을 통해 확인할 수 있다. 우선 IHS Markit 등 상용 데이터베이스에서 개별 선박의 주엔진 및 보조엔진의 엔진 출력 정보를 확인할 수 있다. 다른 하나는 유럽환경청(EEA)에서 제시하는 방법으로, 배출량 산정 대상 선박의 총톤수(GT) 정보를 활용하여 주엔진의 엔진 출력값을 추정하고 보조엔진은 선박의 종류별로 제시된 주엔진의 엔진출력 대비 보조엔진의 엔진출력 비율을 적용할 수 있다.

〈표 4-29〉 총톤수(GT)를 활용한 엔진출력 추정식

Ship categories	2010 world fleet	1997 world fleet	Mediterranean Sea fleet(2006)
Liquid bulk ships	14.755×GT0.6082	29.821×GT0.5552	14.602×GT0.6278
Dry bulk carriers	35.912×GT0.5276	89.571×GT0.4446	47.115×GT0.504
Container	2.9165×GT0.8719	1.3284×GT0.9303	1.0839×GT0.9617
General Cargo	5.56482×GT0.7425	10.539×GT0.6760	1.2763×GT0.9154
Ro Ro Cargo	164.578×GT0.4350	35.93×GT0.5885	45.7×GT0.5237
Passenger	9.55078×GT0.7570	1.39129×GT0.9222	42.966×GT0.6035
Fishing	9.75891×GT0.7527	10.259×GT0.6919	24.222×GT0.5916
Other	59.049×GT0.5485	44.324×GT0.5300	18.18×GT0.4028
Tugs	54.2171×GT0.6420	27.303×GT0.7014	

자료: EEA(2020), p. 29

〈표 4-30〉 선박 종류별 주엔진 엔진출력 대비 보조엔진의 엔진출력 비율

Ship categories	2010 world fleet	Mediterranean Sea fleet (2006)
Liquid bulk ships	0.30	0.35
Dry bulk carriers	0.30	0.39
Container	0.25	0.27
General Cargo	0.23	0.35

Ro Ro Cargo	0.24	0.39
Passenger	0.16	0.27
Fishing	0.39	0.47
Other	0.35	0.18
Tugs	0.10	

자료: EEA(2020), p. 29

보일러의 출력은 EPA에서 제시하는 선박 보일러의 평균 출력을 대상 선박에 선박 종류별로 적용하였다.

〈표 4-31〉 선박 종류별 보일러 평균 출력값

Ship Type	Subtype	Transit (kW)	Maneuvering (kW)	Hotelling (kW)	Anchorage (kW)
Bulk Carrier	Small	0	50	50	50
	Handysize	0	50	50	50
	Handymax	0	100	100	100
	Panamax	0	200	200	200
	Capesize	0	200	200	200
	Capesize Largest	0	200	200	200
Chemical Tanker	Smallest	0	125	125	125
	Small	0	250	250	250
	Handysize	0	250	250	250
	Handymax	0	250	250	250
Container Ship	1,000 TEU	0	120	120	120
	2,000 TEU	0	290	290	290
	3,000 TEU	0	350	350	350
	5,000 TEU	0	450	450	450
	8,000 TEU	0	450	450	450
	12,000 TEU	0	520	520	520
	14,500 TEU	0	630	630	630
	Largest	0	700	700	700
Cruise	2,000 Ton	0	250	250	250
	10,000 Ton	0	250	250	250
	60,000 Ton	0	1.000	1,000	1,000

Ship Type	Subtype	Transit (kW)	Maneuvering (kW)	Hotelling (kW)	Anchorage (kW)
	100,000 Ton	0	500	500	500
	Largest	0	500	500	500
Ferry/passenger (C3)	2,000 Ton	0	0	0	0
	Largest	0	0	0	0
Ferry/Roll-on/Passenger (C3)	2,000 Ton	0	0	0	0
	Largest	0	0	0	0
Fishing (C3)	All C3 Fishing	0	0	0	0
General Cargo	5,000 DWT	0	0	0	0
	10,000 DWT	0	75	75	75
	Largest	0	100	100	100
Liquified Gas Tanker	50,000 DWT	100	200	1,000	200
	100,000 DWT	150	300	1,500	300
	200,000 DWT	300	600	3,000	600
	Largest	300	600	3,000	600
Miscellaneous (C3)	All C3 Misc.	0	0	0	0
Offshore Support/ Drillship	All Offshore Support/ Drillship	0	0	0	0
Oil Tanker	Smallest	0	100	500	100
	Small	0	150	750	150
	Handysize	0	250	1,250	250
	Handymax	150	300	1,500	300
	Panamax	150	300	1,500	300
	Aframax	200	400	2,000	400
	Suezmax	250	500	2,500	500
	VLCC	300	600	3,000	600
Other Service	All Other Service	0	0	0	0
Other Tanker	All Other Tanker	100	200	1,000	200
Reefer	All Reefer	0	270	270	270
RORO	5,000 Ton	0	200	200	200
	Largest	0	300	300	300
Vehicle Carrier	4,000 Vehicles	0	268	268	268

Ship Type	Subtype	Transit (kW)	Maneuvering (kW)	Hotelling (kW)	Anchorage (kW)
	Largest	0	268	268	268
Yacht	C2/C3 Yacht	0	0	0	0

자료: EPA(2020), pp. 168~169.

(2) 엔진 부하율

개별 선박의 단위격자 또는 구간별 엔진부하율은 '프로펠러 법칙(Propeller law)'을 활용하여 추정할 수 있다. 프로펠러 법칙은 엔진의 실제 속력과 최대 속력 비율의 세제곱 값으로 개별 선박의 추진 부하를 추정한다.

개별 선박의 최대속력은 선박의 파티큘러를 통해 확인할 수 있으나 배출량 산정 대상에 해당하는 모든 선박의 파티큘러 정보를 직접 취득하는 데에는 현실적 어려움이 있어, 본 연구에서는 IHS Markit의 데이터베이스에서 이를 확인하였다. 선박의 실제 속력은 AIS 데이터베이스에서 교신된 대지속력 정보를 통해 확인하였다.

$$LF_{s,p,c} = (AS_{s,p,c}/MS)^3$$

LF: 엔진부하율, Load Factor(%)
AS: 선박의 실제속력, Actual Speed(knots)
MS: 선박 제원상 최대속력, Maximum Speed(knots)
c: 선박 내 배출원(주엔진, 보조엔진)
p: 운항형태(순항, 접안, 정박)
s: 격자별 분류

자료: EPA(2009), pp. 2-11 ~ 2-12.

(3) 배출계수

배출계수는 운항형태별(순항, 정박, 접안), 연료 종류별(BFO, MDO/ MGO), 선박 내 배출원(주엔진, 보조엔진) 및 엔진의 유형별(가스터빈, 저속·중속·고속 디젤엔진, 스팀터빈 등), 오염물질별로 개별 선박이 부합하는 조건에

따라서 EEA의 Tier3 배출계수를 적용한다. 연료의 종류 및 엔진의 유형(가스터빈, 디젤엔진 등) 정보는 IHS Markit 데이터베이스에서 확인이 가능하나, 보다 자세한 사항은 엔진의 종류를 확인하여 그 종류를 구분해야 한다. 특히 디젤엔진의 저속·중속·고속 구분은 엔진의 분당 최대회전수(RPM)를 기준으로 가능하다. 이는 기본적으로 선박의 파티큘러를 통해 확인할 수 있으나, 배출량 산정 대상에 해당하는 모든 선박의 파티큘러 정보를 직접 취득하는 것이 현재 상황에서는 현실적으로 어렵다. 본 연구에서는 IHS Markit의 데이터베이스에서 선박별 엔진의 분당 최대회전수(RPM)를 확인하고, 이를 바탕으로 아래의 기준에 따라서 구분하였다.

〈표 4-32〉 디젤엔진의 RPM에 따른 분류

구분	분당 최대회전수(RPM)
Slow speed, 저속	130 RPM 미만
Medium speed, 중속	130 RPM 이상 ~ 2,000 RPM 미만
High speed, 고속	2,000 RPM 이상

자료: IMO(2021), p. 23

〈표 4-33〉 유럽환경청(EEA) Tier3 배출계수

Engine	Phase	Engine type	Fuel type	NOx EF 2000 (g/kWh)	NOx EF 2005 (g/kWh)	NOx EF 2010 (g/kWh)	NMVOC EF (g/kWh)	TSP PM10 PM2.5 EF (g/kWh)	SFC (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

Engine	Phase	Engine type	Fuel type	NOx EF 2000 (g/kWh)	NOx EF 2005 (g/kWh)	NOx EF 2010 (g/kWh)	NMVOC EF (g/kWh)	TSP PM10 PM2.5 EF (g/kWh)	SFC (g fuel/kWh)
	Manoeuvring Hetelling	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 Hetelling	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

주: BFO-Bunker Fuel Oil, MDO-Marine Diesel Oil, MGO-Marine Gas Oil
자료: EEA(2020), p. 25

EEA는 2005년 유럽위원회의 연구 결과를 반영하여 NOx의 배출계수 값은 엔진의 생산 연도에 따라서 다르게 제시하고 있는데, 위의 표에서 2010년을 기준으로 생산 연도가 최근에 가까울수록 노후 엔진보다 NOx 배출계수가 낮은 값으로 제시되어 있는 것을 확인할 수 있다.[91] 이에 따르면 엔진의 생산 연도에 따라 배출계수를 다르게 적용해야 하나, 실제로 엔진의 생산 연도 정보를 확인할 수 없는 경우 선박의 건조 연도(진수일자)로 대체하여 적용할 수 있다.

91) EEA(2020), p. 25.

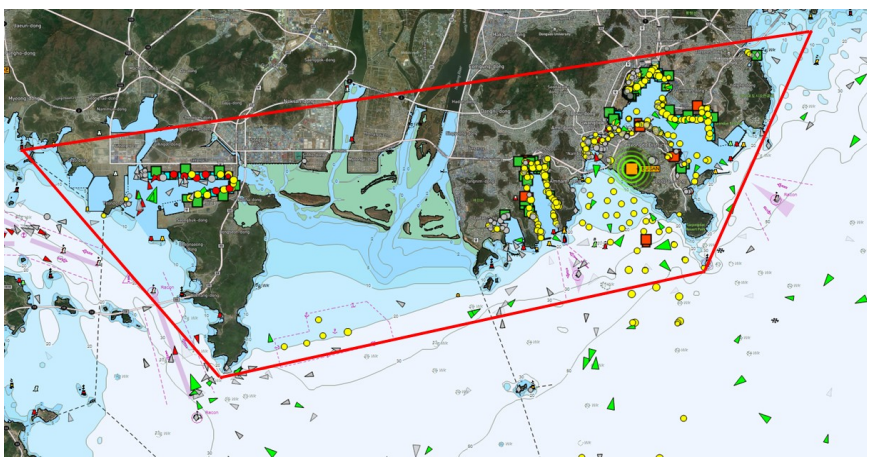
2. 활동데이터 기반 배출산정 모형의 적용

다음에서는 활동데이터 기반의 상향식 산정모형과 함께 기존의 방식(① 배출량 편람(Ⅳ)에서 제시하는 기존의 산정방식, ② PORT-MIS의 제한적인 활동데이터 기반 상향식 모형)을 각각 적용하여 배출량을 산정하였다.

1) 배출량 산정 대상 및 범위

본 연구의 제안모형 및 기존 방식 등 총 3개 모형을 적용하여 배출량을 산정하고, 이를 비교하기 위해 산정 대상 및 범위를 동일하게 설정하였다. 먼저 배출량 산정의 공간적 경계 범위는 부산항의 항계를 기준으로 항계 내 해상구역으로 설정하였다.

〈그림 4-18〉 배출량 산정 범위(부산항 항계)



자료: IHS Markit의 AISLive 자료 활용(검색일:2021. 7. 14) 활용하여 저자 작성

또한 3개 모형에 적용 가능한 산정 대상을 설정하기 위해 PORT-MIS의 관제교신 현황 자료를 활용하여 2021년 7월 12일부터 2021년 8월 12일

(총 30일간)까지 부산항에 입출항하거나 항만 내에서 이동하는 선박의 정보를 확인하고, 이 중 AIS 교신정보를 확인할 수 있는 총 1,245척의 선박을 대상으로 선정하였다.

2) 모형별 배출량 산정 결과

(1) 기존 환경부 방식(배출량 편람Ⅳ) 적용 결과

환경부의 '국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅳ)'는 비도로 이동오염원의 하위항목 중 하나인 선박을 여객, 화물, 어선, 레저 부분으로 구분하고 있다. 이 중 여객 부문과 어선 부문은 연료사용량(면세유 공급량)을 기준으로 배출량을 산정하고 있으나, 해당 기간 중 부산항 입출항 선박에 대한 개별 공급량 자료를 확보할 수 없기 때문에 대상 선박의 연료사용량을 추정하여 배출량을 산정하는 화물 부문의 배출량 산정방법을 적용하였다.

배출량 편람(Ⅳ)는 정박, 접안, 운항(순항)의 세 가지 운항형태별 배출량을 각각 산정할 수 있도록 하고 있으나, 화물선의 경우 운항(순항) 시 배출량 산정이 불가하여 정박과 접안의 두 가지 운항형태에 대해서만 배출량을 산정하고 있다.[92]

〈표 4-34〉 기존 환경부 방식 적용 결과

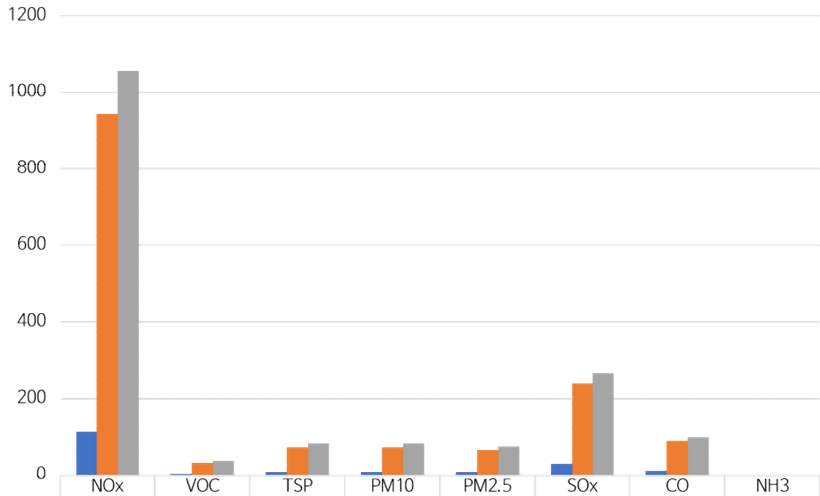
단위: ton

구분	NOx	VOC	TSP	PM10	PM2.5	SOx	CO	NH3
배출량(접안)	111.20	3.79	8.69	8.69	7.85	28.05	10.38	0.010
배출량(정박)	944.34	32.15	73.83	73.83	66.69	238.17	88.12	0.083
배출량 합계	1,055.5	35.9	82.5	82.5	74.5	266.2	98.5	0.093

자료: 저자 작성

92) PORT-MIS의 입출항 시간만으로는 실제 운항시간 및 연료사용량을 추정하는 데에 어려움이 있어, 배출량 추정에서 제외하고 있음

〈그림 4-19〉 기존 환경부 방식 적용 결과



	NOx	VOC	TSP	PM10	PM2.5	SOx	CO	NH3
접안	111.2	3.79	8.69	8.69	7.85	28.05	10.38	0.01
정박	944.34	32.15	73.83	73.83	66.69	238.17	88.12	0.083
합계	1,055.50	35.9	82.5	82.5	74.5	266.2	98.5	0.093

자료: 저자 작성

환경부 배출량 산정방식은 선박의 배출량 규모를 결정하는 주요인 중 하나인 선박의 운항시간 정보가 반영되지 않기 때문에, 선박의 입출항 수와 항만 내 도선거리가 선박의 활동을 반영하는 주요 활동 자료로 작용하게 된다. 선박의 입출항 수는 PORT-MIS 데이터베이스를 활용하여 산정 대상 기간의 선박 입출항 수를 적용하였으며, 도선거리는 부산항 북항, 감천항, 남항, 신항의 평균 거리인 6km를 도선거리로 설정하였다.

또한, 기본 제원 및 운항 양상이 다른 모든 선박에 국가편람에서 제시하는 Tier1 수준의 배출계수를 일률적으로 적용하고 있어 선박의 크기 및 엔진정보, 이로 인한 부하, 선박의 활동을 충분히 반영하지 못하고 있으며, 이는 산정 결과의 신뢰도를 개선하는 데에 분명한 한계로 작용하고 있다.

(2) PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형 적용 결과

PORT-MIS의 데이터를 활용하여 선박의 활동데이터를 제한적으로 도입하는 상향식 모형은 개별 항만에 입출항하는 선박의 관제교신 현황 자료를 활용하는 방법으로, 선박의 관제교신 위치정보를 활용하여 운항시간 및 연료사용량 등을 추정하고 배출량을 산정한다.

유럽환경청(EEA)이 제시한 Tier3 수준의 두 가지 산정방식 중 에너지량 기반 산정방식은 엔진제원, 운항시간, 운항형태, 운항부하 등을 활용하여 Bottom-up 방식으로 개별 선박의 배출량을 산정할 수 있다. PORT-MIS의 데이터를 활용한 모형은 관제교신된 두 지점 사이의 관제시간의 차이로 운항시간과 운항형태를 구분하게 된다. 이 과정에서, 항계 내 이동과 정박의 경우 비교적 쉽게 구분이 가능하나, 항계 내 이동을 순항과 접안으로 구분하기 위해서는 별도의 기준이 필요하다. IMO의 제4차 보고서의 운항형태 구분 기준, 'Operational phase assignment decision matrix'를 참조하여 항계 내 이동을 순항과 접안으로 구분하였다.

그 결과, 부산항의 전체 항계 내 항로의 길이(nm) 중 약 22.9%는 순항, 나머지 77.1%는 접안으로 분류되었다.

〈표 4-35〉 PORT-MIS 활동데이터 기반 순항, 접안 거리 구분

단위: nm

구분	항로길이	접안		순항 (1nm 초과)	접안 비율 (%)	순항 비율 (%)
		1nm 이내	1nm 초과			
부산항로	3.4	1	1.2	1.2	64.7	35.3
남외항로	2.4	1	0.7	0.7	70.8	29.2
감천항로	1.2	1	0.1	0.1	91.7	8.3
신항항로	1.6	1	0.3	0.3	81.3	18.8
평균	2.2	1	0.6	0.6	77.1	22.9

자료: 저자 작성

전체 대상 선박의 총 운항시간은 약 90,312시간으로 각각 순항 1,683시간, 접안 2,265시간, 정박 86,364시간으로, 정박이 항만 내 체류 시간 중 가장 많은 부분을 차지하는 것으로 확인되었다.[93] 엔진 부하율은 앞서 설명한 바와 같이 프로펠러 법칙에 따라서 선박의 최대속력과 실제 속력값으로 추정할 수 있으나, PORT-MIS 데이터베이스에서는 선박의 실제 속력을 확인할 수 없어 항로 내 항행 최고속도를 실제 속력으로 가정하고 엔진부하율을 추정하였다.

〈표 4-36〉 PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형 적용 결과

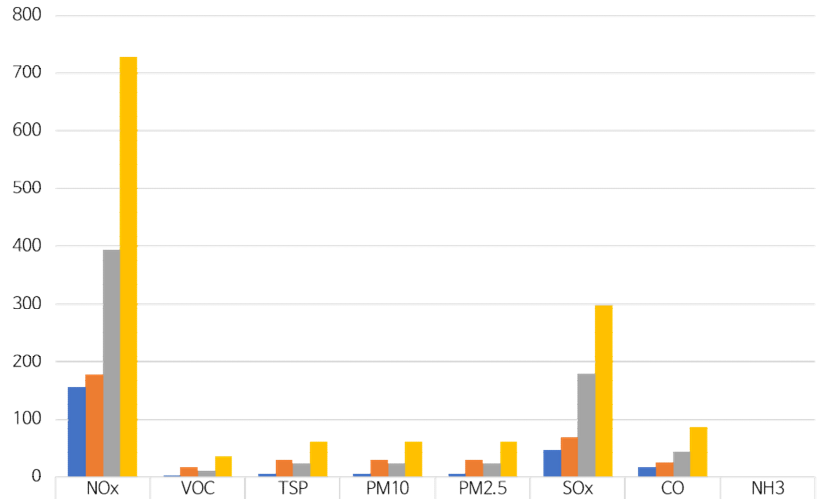
단위: ton

구분	NOx	VOC	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SOx	CO	NH_3
배출량(순항)	155.562	4.776	7.714	7.714	7.714	48.325	17.880	0.003
배출량(접안)	178.495	18.563	29.979	29.979	29.973	68.979	25.003	0.012
배출량(정박)	394.919	12.390	24.292	24.292	24.048	180.648	44.747	0.170
배출량 합계	728.976	35.729	61.985	61.985	61.736	297.953	87.631	0.185

자료: 저자 작성

93) 본 연구에서는 선석에 정박된 경우와 묘지, 박지에 정박된 시간을 합산하여 '정박'으로 분류하였으나, 추후 산정 용도 및 기준에 따라서 관제된 교신시설에 따라서 묘·재박 구분 역시 가능함

〈그림 4-20〉 PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형 적용 결과



	NOx (ton)	VOC (ton)	TSP (ton)	PM10 (ton)	PM2.5 (ton)	SOx (ton)	CO (ton)	NH3 (ton)
순항	155.562	4.776	7.714	7.714	7.714	48.325	17.88	0.003
접안	178.495	18.563	29.979	29.979	29.973	68.979	25.003	0.012
정박	394.919	12.39	24.292	24.292	24.048	180.648	44.747	0.17
합계	728.976	35.729	61.985	61.985	61.736	297.953	87.631	0.185

자료: 저자 작성

(3) AIS 활동데이터 기반 상향식 모형 적용 결과

본 연구에서 제안한 AIS 데이터 기반 본격 상향식 배출량 산정모형은, 기본적으로 AIS를 통해 교신된 동적정보(선박 위치, 교신시간, 속력 등)를 활용하여 운항시간 및 에너지량 등을 추정, 배출량을 산정하는 방식이다.[94] AIS 데이터의 개별 선박의 활동 자료를 바탕으로 엔진제원, 운항시간, 운항형태, 엔진 부하율 등의 정보를 추정·결정하고, Bottom-up 방식으로 대상 선박 전체의 배출량을 산정하는 EEA의 Tier3 수준의 에너지량 기반 배출량 산정방식의 모형을 구성하였다.

94) 에너지량 기반 산정방식은 EEA의 Tier3 수준에서, 대상 시공간 단위구간별 연료사용량 데이터를 확보·생산할 수 없는 경우 선박의 활동데이터를 활용하여 연료사용량을 추정해서 배출량을 구하는 방식

PORT-MIS 데이터 기반 산정모형 적용 시에는 개별 선박의 활동을 파악할 수 있는 데이터가 매우 제한적이기 때문에, 순간 속력 등의 주요 활동 데이터의 확인·추정이 불가하거나 어려워 가정에 의한 추정 결과를 반영할 수밖에 없다. 반면, 본 모형에서는 AIS 데이터베이스를 통해 시간별 연속 위치정보, 그리고 엔진부하율 산정에 필요한 실제속력 정보를 확인·적용할 수 있다.

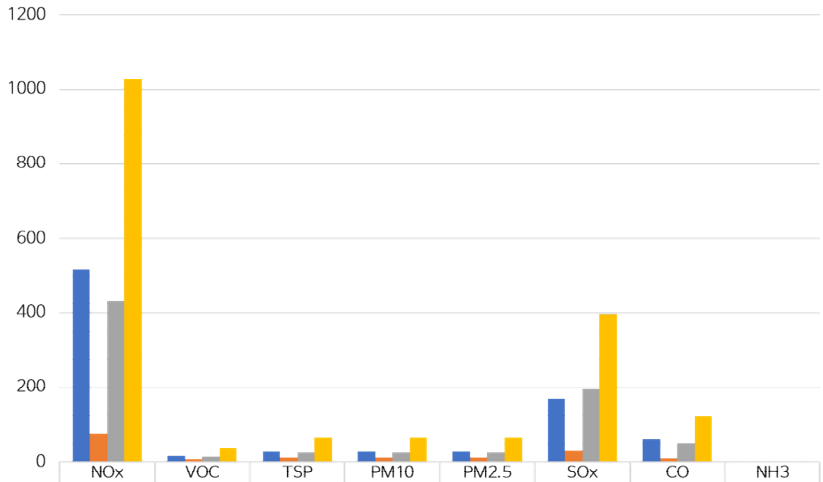
한편, 본 연구에서 교신·수집된 개별 AIS 데이터는 개별 보고 지점에서의 순간 운항형태 정보를 포함하고 있으나, 범례에 따른 운항형태와 실제 위도, 경도 좌표 및 교신시간으로 추정한 운항형태가 상이한 경우가 다수 확인되었다. 또한, AIS 시스템 및 범례에서는 순항 및 접안의 구분이 명확하게 제시되지 않았다. 이에, 본 연구에서는 운항형태의 추정을 위해 IMO의 제4차 보고서에서 속력 및 거리를 기준으로 구분한 운항형태 분류방식을 적용하였다.

〈표 4-37〉 AIS 활동데이터 기반 상향식 모형 적용 결과

구분	NOx	VOC	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SOx	CO	NH_3
배출량(순항)	519.048	16.782	27.307	27.307	27.307	170.323	63.019	0.020
배출량(접안)	75.906	7.883	12.756	12.756	12.751	30.166	10.781	0.006
배출량(정박)	433.673	13.506	26.493	26.493	26.233	195.780	48.940	0.186
배출량 합계	1,028.627	38.170	66.555	66.555	66.292	396.269	122.740	0.212

자료: 저자 작성

〈그림 4-21〉 AIS 배출량 산정 모형 적용 결과



	NOx (ton)	VOC (ton)	TSP (ton)	PM10 (ton)	PM2.5 (ton)	SOx (ton)	CO (ton)	NH3 (ton)
순항	519.048	16.782	27.307	27.307	27.307	170.323	63.019	0.02
접안	75.906	7.883	12.756	12.756	12.751	30.166	10.781	0.006
정박	433.673	13.506	26.493	26.493	26.233	195.78	48.94	0.186
합계	1,028.63	38.17	66.555	66.555	66.292	396.269	122.74	0.212

자료: 저자 작성

3. 비교·분석 및 정확도 개선 검증

1) 산정 단계별 주요 인자의 비교·분석

(1) 배출량 산정 대상의 구분

「선박법」은 선박의 등록 등을 위한 '선박 용도 코드'에서 선박을 용도에 따라서 총 54종으로 구분하고 있다. 본 연구에서 사용한 PORT-MIS, AIS 모형은 54종으로 분류되어 있는 선박 용도 코드에 따른 배출량 산정이 가능하나, 환경부 배출산정 모형에서는 이와 다른 분류체계를 적용하고 있어 추가적인 매칭 작업이 필요하다. 또한 환경부의 선박 분류체계에서는 예선, 부선, 도선, 관공선 등의 선박 카테고리가 존재하지 않기 때문에, 산정 대

상에서 누락될 수 있으며, 이는 산정체계의 완결성 측면에서 중요한 문제점으로 나타나고 있다.

〈표 4-38〉 비도로 이동오염원-선박 배출원 분류

대분류	중분류	소분류	세분류	배출원 특성
비도로 이동오염원	선박			
비도로 이동오염원	선박	여객		
비도로 이동오염원	선박	여객	연안선	이동오염원
비도로 이동오염원	선박	여객	외항선	미산정
비도로 이동오염원	선박	화물		
비도로 이동오염원	선박	화물	연안선	이동오염원
비도로 이동오염원	선박	화물	외항선	이동오염원
비도로 이동오염원	선박	어선		이동오염원
비도로 이동오염원	선박	레저		
비도로 이동오염원	선박	레저	모터보트	이동오염원
비도로 이동오염원	선박	레저	고무보트	이동오염원
비도로 이동오염원	선박	레저	동력보트	이동오염원
비도로 이동오염원	선박	레저	수상오토바이	이동오염원

자료: 국가미세먼지정보센터(2020), p. 177

〈표 4-39〉 배출량 산정 대상 및 범위 비교

구 분	내 용
기존 환경부 방식 (편람Ⅳ)	• 배출량 산정 범위: 국가 전체/1년 통계 생산 후 지역/월별 할당 • 대상: 여객선, 화물선, 어선, 레저 - 여객선: 연안여객선(외항 제외) - 화물선: 국내 무역항 입출항 화물선 - 어선: 면세유 사용 선박 - 레저: 등록 레저 선박
PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 배출량 산정 범위: 항계 내 특정 시공간 범위/전체 제한적 적용 가능 • 대상: PORT-MIS 관제선박
AIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 배출량 산정 범위: AIS 송수신 범위 내 특정 시공간 범위/전체 적용 가능 • 대상: AIS 교신 선박

자료: 저자 작성

(2) 활동 자료의 수집·적용

배출량 산정모형을 구성함에 있어서, ① 특정 시공간범위, 즉 시공간적 경계 내외의 배출량을 정확하게 구분할 수 있는지, ② 경계 범위 내 선박의 실제 활동을 정확하게 반영할 수 있는지, 이러한 두 가지 측면은 해당 모형의 정확도 및 활용도를 결정하는 주요인으로 반드시 고려해야 한다. 이는 모두 선박의 실제 활동을 정확하게 반영하거나 이를 위해 단위격자를 얼마나 조밀하게 구분할 수 있는지에 대한 문제라고 할 수 있다.

가. 활동 특성의 반영

기존 환경부 방식(배출량 편람Ⅳ)은 화물선의 배출량 산정 시 국내 무역항에 입항하는 화물 선박을 산정 대상으로 설정하고 있다. 편람Ⅳ는 선박의 배출량 산정을 위한 지역경계 및 범위를 별도로 설명하고 있지는 않으나, 접안 시 연료사용량을 추정하는 과정에서 도선거리를 활용하고 있으므로 항로별 도선거리까지를 기준으로 경계를 구분하는 것으로 보인다. 하지만 담당 부서인 국가미세먼지정보센터에 문의한 결과, 운항 시 배출량은 개별 선박의 운항시간을 확인할 수 없어 산정에서 제외하고 있는 것으로 확인되었다. 또한, 항계 내 선박의 활동을 반영하기 위해 PORT-MIS의 입출항 정보(시간 및 부두 구분)를 활용하고 있으나, 입출항 정보만으로는 항계 내 개별 선박의 이동을 파악하거나 반영하는 데에 한계가 있다. 이러한 이유로, 편람은 입출항 정보와 함께 제한적인 특정 조건에서 도출한 패턴, 활동에서 도출한 고정계수(평균 정박 일수, 정박 부하율 등), 선박의 도선거리, 연료경제 값 등을 일률적으로 적용하고 있으나, 이로 인한 결과의 오류 발생 가능성이 매우 크다. 기존 환경부의 방식으로는 항계 또는 특정 구간, 공간범위에 대한 배출량 산정·분할이 현실적으로 불가한 것이다.

기본적으로 선박의 이동 및 활동 등을 정확하게 반영하기 위해서는 개별 선박의 정확한 활동 자료, 즉 연속적인 시간·위치정보가 필요하다. PORT-MIS

데이터를 이용하는 경우, 시스템의 '관제입력 LIST 출력' 메뉴의 7개 정보 항목(입항, 출항, 이안, 접안, 양묘, 투묘, 이선)의 데이터를 활용하여 항계 내 개별 선박의 이동을 제한적이지만 어느 정도 추정할 수 있다. 따라서 산정 범위의 경계를 항계로 규정하는 경우에는 추가적인 정보를 활용하여 운항 형태별 구간의 구분이 가능하다.

AIS 데이터를 활용하는 경우, AIS 송수신이 가능한 범위 내에서는 특정 공간 범위에 구애되지 않고 송수신 주기 간격으로 개별 선박의 활동데이터를 적용할 수 있다. 따라서 AIS 시스템으로 교신·수집된 활동 자료, 즉 선박의 실제 이동정보(위치 및 시간, 속력 등)를 적용하여, 개별 선박의 실제 활동을 고해상도로 매우 정확하게 반영할 수 있다.

〈표 4-40〉 활동 특성 반영 비교

구 분	내 용
기존 환경부 방식 (편람Ⅳ)	• 1년/전국 거시 통계생산에 최적화된 방식으로, 자료의 수집 및 배출량 산정 상대적으로 용이 • 특정 시공간 범위의 정확한 구분, 배출량 할당 어려움 • 개별 선박의 실제 활동 반영 어려움
PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 선박 입출항 내역 포함, 항계 내 이동정보(7개 교신항목) 반영 배출량 산정 가능 • 일정 시공간 범위의 구분, 배출량 할당 제한적으로 가능 • 개별 선박의 실제 활동 반영 제한적으로 가능
AIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• AIS 교신·수집된 활동 자료 활용하여 선박의 실제 이동정보(위치 및 시간, 속력 등) 정확하게 반영 배출량 산정 가능 • 정책·연구 수요에 따른 다양한 수요, 특정 시공간 범위의 정확한 구분, 배출량 산정 가능 • 개별 선박의 실제 활동 고해상도 반영 가능

자료: 저자 작성

나. 활동 자료의 해상도

선박의 배출량을 산정하기 위해서는 다양한 매개변수(인자)가 요구되며, 이들 변수에 적용하기 위한 실제 데이터가 수집되어야 한다. 기존 환경부

방식(배출량 편람Ⅳ)은 일부 상향식 산정방식을 도입한 화물선의 산정 과정에서, 연료사용량 추정 시 평균 정박 일수(0.79day/회),[95] 엔진부하율 수치[96] 등 개별 선박의 실제 데이터보다는 특정 조건 및 환경, 제한적인 샘플의 패턴에서 도출한 고정계수를 일률적으로 적용하고 있다. 이는 배출량 산정 결과의 정확도를 저해하는 주요인으로 지적되고 있다.

PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형의 경우, 정박 일수를 산정하기 위해서 관제된 선박의 시간정보를 활용하여 정박시간을 추정할 수 있다. 하지만 관제 지점과 다음 관제 지점 사이의 시간 차이를 활용하여 운항시간을 도출하는 경우, 선박이 부두, 선석, 박지 등에 입항하기 전까지의 이동정보나 부두, 선석, 박지 등에서 출항한 이후에는 관제 지점 간의 시간 차이를 파악할 수 없다. 따라서 선박이 출항하여 관제 지점에서 항계 밖으로 이동하는 시간과 항계구역에서 정박지까지 이동하여 정박하는 이동시간을 추정하고, 이를 모든 산정 대상 선박에 동일하게 적용할 수밖에 없다는 한계가 분명히 존재한다.

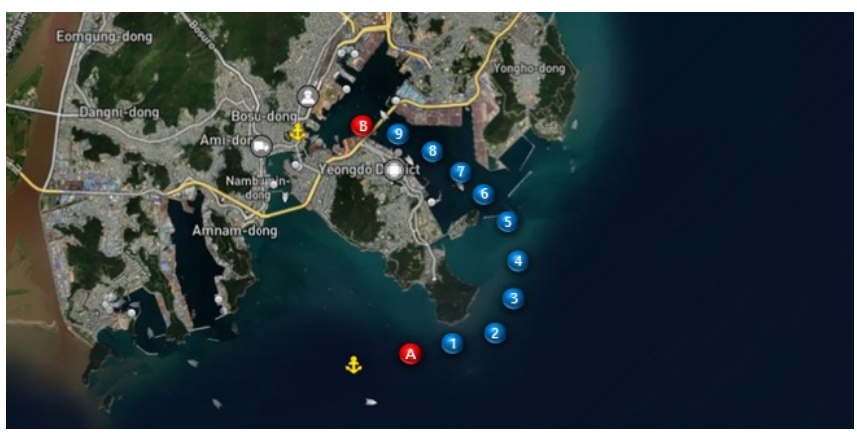
이를 개선하기 위해 본 연구에서 적용한 PORT-MIS 데이터 기반 모형은 모든 선박이 항로를 벗어나지 않고 활동한다는 가정하에 항로의 길이와 항로 내 항행 제한속도 등의 정보를 활용하여 항계 내 개별 선박의 이동시간을 추정하였다. 하지만 이 역시 상대적으로 정교한 추정값을 도출하였을 뿐 여전히 동일한 추정 결과를 일률적으로 적용하는 방식이므로, 실제 이동시간을 여실히 반영한다고 보기는 어렵다. 실제로, 해당 모형을 통해 추정한 전체 대상 선박의 총 운항시간은 약 90,312시간(순항 1,683시간, 접안 2,265시간, 정박 86,364시간)으로 정박이 항만 내 체류 시간 중 가장 많은 부분을 차지하는 것으로 확인되었으나, AIS 활동데이터 기반 모형으

95) 과거 특정 시점(2001년), 특정 지역(울산항 입항 선박 560대)의 정박 일수 조사 결과 반영
96) 연료 사용량 추정 시, 정박 모드에서는 엔진부하율을 일괄적으로 최대출력 대비 20%로 가정하거나 순항 모드에서는 정격출력의 80%로 가정

로 AIS 교신 지점과 다음 교신 지점 사이의 시간 차이를 활용하여 운항시간을 추정한 결과, 총 운항시간은 총 242,274시간(순항 57,498시간, 접안 15,167시간, 정박 169,609시간)이었다.

반면에 AIS 데이터를 활용하는 경우, 선박의 시간별 연속 위치, 속력정보 등을 활용하여 위와 같이 정확한 운항시간을 추정함은 물론, 선박의 활동을 매우 정확하게 파악·반영할 수 있다. 아래 그림에서 붉은색으로 표시된 A와 B 지점은 PORT-MIS의 관제교신 지점을 나타내고 있으며, PORT-MIS 데이터 기반 모형은 두 지점 사이의 관제시간을 기준으로 항구 내 운항형태 및 운항시간을 산정할 수 있다. A와 B 두 지점 사이에서 푸른색으로 표시된 1~9까지의 지점은 AIS 교신이 이루어진 위치 보고 지점을 나타내고 있으며, 이들 각 지점에서 교신된 활동데이터(위치, 시간, 속력 등)를 활용하여 지점 간(구간)의 이동시간 등을 매우 조밀한 간격으로 추정하여 고해상도의 산정 결과를 도출할 수 있다. 구간별 에너지량 추정을 위한 필수 요구 자료인 운항형태별 엔진부하율 역시, 교신 구간별로 최대속력 대비 실제 속력을 확인하여 매우 정확한 값을 추정할 수 있다.

〈그림 4-22〉 AIS, PORT-MIS 관제교신 지점 구분(예시)



자료: 저자 작성

〈표 4-41〉 활동 자료의 해상도 비교

구 분	내 용
기존 환경부 방식 (편람Ⅳ)	• 현 방식은 선박군별 패턴, 활동 등을 일률적으로 추정-적용하여, 실제 활동 반영을 위한 방식으로 부적합 - 평균 정박 일수: 2001년 울산항 선박 560대 표본조사 결과(0.79) - 운항형태별 엔진부하율: 정박(20%), 순항(80%) 가정
PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 관제 지점 간 활동의 양상 반영이 어려우나, 제한적인 정보를 활용하여 장주기 구간에 대한 활동의 대략 반영에 유리 - 관제내역을 활용하여 개별 선박의 정박 및 제한적인 활동 지점별 시간, 위치(부두) 파악 가능 - 운항형태별 엔진부하율: 항내 최고속력을 실제속력으로 가정하고 선박 제원상의 최고속력으로 엔진부하율 추정 가능
AIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 개별 선박의 AIS 교신 지점 간 활동 정확하게 반영 가능 ※ 교신 주기 간격을 조밀하게 설정할수록, 활동 반영의 정확도 높아짐 - 교신내역을 활용하여 개별 선박의 모든 활동의 위치, 시간 파악 활용 가능 - 운항형태별 엔진부하율: 선박의 교신위치 간 실제속력 도출이 가능하므로 실제속력과 선박 제원상의 최고속력을 활용하여 운항형태별 엔진부하율 추정 가능

자료: 저자 작성

(3) 배출계수의 적용

기존 환경부 방식(배출량 편람Ⅳ)은 화물선 등 전체 연료공급량 자료의 수집이 어려운 대상을 제외하고, 기본적으로 EEA의 Tier1 수준의 배출계수를 적용하여 배출량을 산정하고 있다. EEA의 EMEP 가이드북 2019는 활용 가능한 데이터의 종류에 따라서 선박의 배출량 산정방법을 크게 세 가지(Tier1, 2, 3) 수준으로 구분하고 있으며, 수준별 데이터 조건에 부합하는 배출계수를 제시하고 있다. 물론 선박의 특성 및 운항형태, 조건 등을 세밀하게 구분하고 이에 부합하는 데이터를 수집·활용할 수 있는 경우, 보다 정교한 모형을 구축할 수 있다. Tier1 수준의 산정에서는 연료 종류(BFO, MDO/MGO)에 따른 배출계수, Tier2에서는 연료 종류(BFO, MDO/MGO) 및 엔진 유형(가스터빈, 저속, 중속, 고속 디젤엔진, 스팀터빈 등)의 조합으로 차별적인 배출계수를 제시하고 있다.

Tier3 수준으로 배출량을 산정하는 경우에는, Tier2 방식의 연료 종류 및 엔진 유형의 구분에 더하여 선박 내 배출원 유형(주엔진, 보조엔진) 및 운항형태(순항, 정박, 접안)를 구분하고, 이들 세부 조건의 조합에 부합하는 배출계수를 적용한다. PORT-MIS 데이터 기반 모형 및 AIS 활동데이터 기반 상향식 모형은 기본적으로 EEA-Tier3 개념의 산정방식, 그리고 이에 부합하는 배출계수를 적용하고 있다.

동일한 조건의 선박의 동일한 활동에 대한 배출량 산정을 가정해보면 이러한 산정 수준의 차이가 확연하다. 예를 들어, 중유(BFO)를 연료로 사용하는 중속 디젤엔진이 설치된 선박 A가 순항 시 동일한 양의 연료를 사용하더라도 Tier1 또는 Tier3 수준의 방식, 이에 따른 배출계수를 적용하게 되어 결과적으로 유의미한 차이를 보인다. NOx의 배출량을 산정하기 위해 Tier1 배출계수를 적용하는 경우, Tier3 배출계수를 적용한 산정 결과에 대비하여 각각 29.4%(NOx), 17.4%(VOC), 63.2%(TSP) 과대 산정한 결과를 도출하게 되는 것이다. 이러한 과대 산정의 규모는 가스터빈 또는 증기터빈 엔진의 경우 더 커지는 것을 아래의 표에서 확인할 수 있다.

〈표 4-42〉 엔진 유형 및 연료 종류에 따른 배출계수 비교

구분	엔진 종류		운항형태	연료 종류	NOx (kg/ton)	VOC (kg/ton)	TSP (kg/ton)
EEA Tier1	-		-	중유 (BFO)	79.3	2.7	6.2
EEA Tier3	주엔진	가스터빈	순항		18.6	0.3	0.3
		고속디젤			55.6	0.9	3.8
		중속디젤			61.3	2.3	3.8
		저속디젤			86.5	3.0	8.7
		증기터빈			6.4	0.3	2.6

자료: EEA(2020), p. 14, pp. 24~25. 참조하여 저자 작성

〈표 4-43〉 배출계수 비교

구 분	내용
기존 환경부 방식 (편람Ⅳ)	• 개념적으로 EEA-Tier1 수준의 배출계수 적용
PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 개념적으로 EEA-Tier3 수준의 배출계수 일부 적용
AIS 활동데이터 기반 상향식 모형	• 개념적으로 EEA-Tier3 수준의 배출계수 적용 • 추후 EEA-Tier3 수준보다 세밀한 조건 반영으로 상향하더라도 적용 가능

자료: 저자 작성

(4) 종합

앞서 살펴본 바와 같이, 기존 환경부 방식(배출량 편람Ⅳ)은 1년/전국 거시통계 생산에 최적화된 방식으로, 개념적으로는 EEA의 Tier1 수준의 산정방식을 채택하고 있다. 면세유 공급량 자료의 수집이 어려운 화물선에 대해서 일부 상향식 개념을 도입하고는 있으나, 특정 조건 및 환경, 제한적인 샘플의 패턴에서 도출한 고정계수를 일률적으로 적용하여 개별 선박의 활동을 추정하고 있어, 상향식 도입의 효과를 기대하기 어렵다.

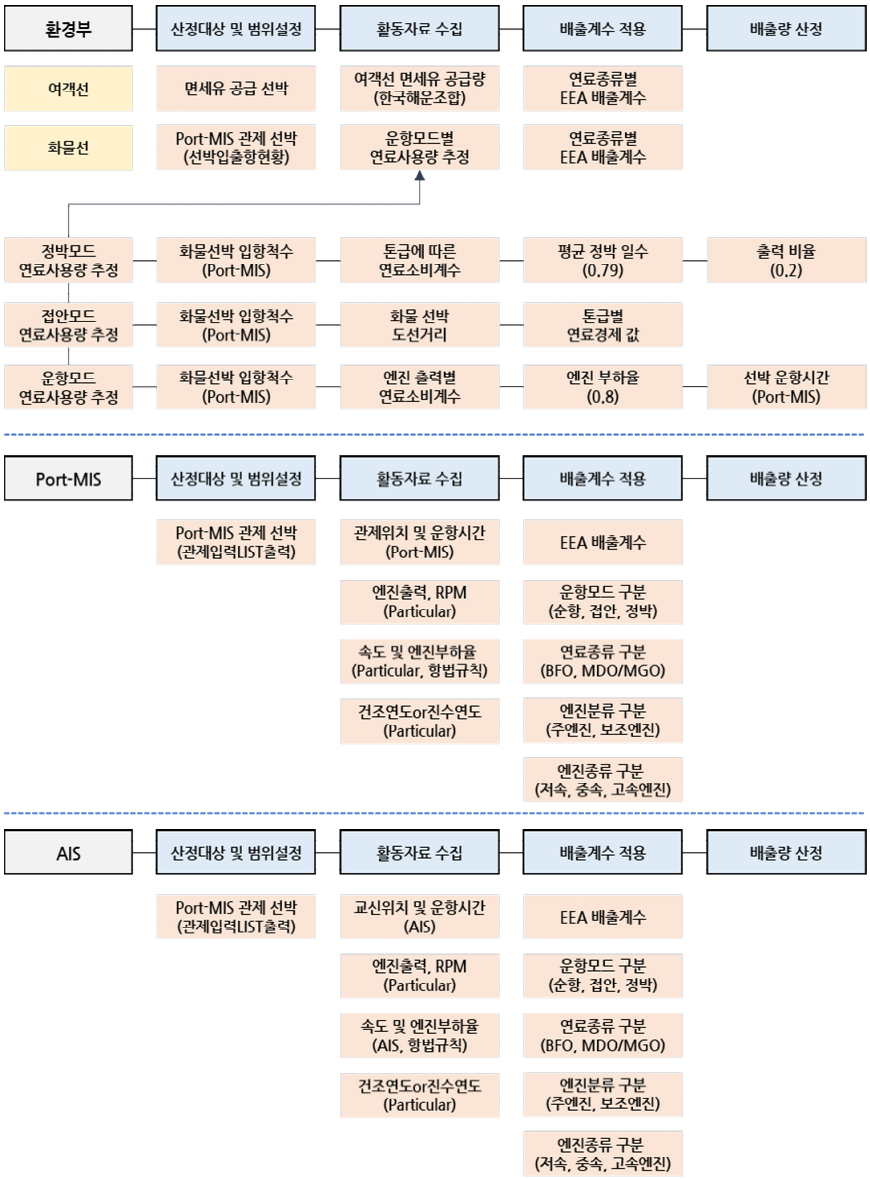
PORT-MIS 활동데이터 기반의 제한적인 상향식 모형은 개념적으로 EEA의 Tier3 수준의 산정방식을 채택하고 있으나, 개별 선박의 활동을 반영하기 위한 활동 자료가 시스템의 관제입력 LIST 7개 항목으로 제공하는 정보를 바탕으로 제한적인 추정만 가능하다. 즉, 항계 내의 입출항, 정박 등을 구분할 수는 있으나, 그 외의 활동 또는 7개 항목에 해당하는 교신지점 사이의 활동에 대한 설명이 불가하다는 한계가 있다.

AIS 활동데이터 기반 상향식 모형의 경우, AIS 송수신이 가능한 범위 내에서는 시공간적 범위나 구간 경계의 설정에 제한이 없으며, 송수신 주기 간격에 따라서 시간 단위격자를 구분할 수 있다. 또한, 시간별 연속 위치 보고 정보(시간, 위치, 속력 등)를 활용하여, 개별 선박에 대해서 조밀한 시

공간 단위격자 구간의 실제 활동을 정밀하게 파악·반영이 가능하며, 준비되는 자료의 해상도가 높을수록(단위격자가 조밀할수록) 고해상도의 시공간 지점/구간별 산정 결과를 도출할 수 있다. 추후 실시간 전송·수신 무선 통신 방식을 적용하는 경우, 같은 개념의 실시간 상향식 배출량 산정, 나아가 분석·예측 모형으로 활용이 가능하다.

한편, 연료의 종류만을 구분하는 EEA-Tier1 방식에 비해서 EEA-Tier3 개념의 상향식 모형은 선박의 기본 제원 및 실제 운항 상황을 연료 종류(BFO, MDO/MGO) 및 엔진 유형(가스터빈, 저속, 중속, 고속 디젤엔진, 스팀터빈 등), 선박 내 배출원 유형(주엔진, 보조엔진) 및 운항형태(순항, 정박, 접안)의 항목으로 다양하게 구분하여, 이들 세부 조건의 조합으로 개별 선박의 실제 활동을 보다 정교하게 반영할 수 있다. 이는 해당 모형으로 배출량을 산정하는 경우 기존 방식에 의한 산정 결과보다 실제 배출량(참값)에 가까운 결과를 도출할 수 있다는 의미이기도 하다.

〈그림 4-23〉 배출량 산정 모형 비교·분석



자료: 저자 작성

2) 배출량 산정 결과의 비교·분석

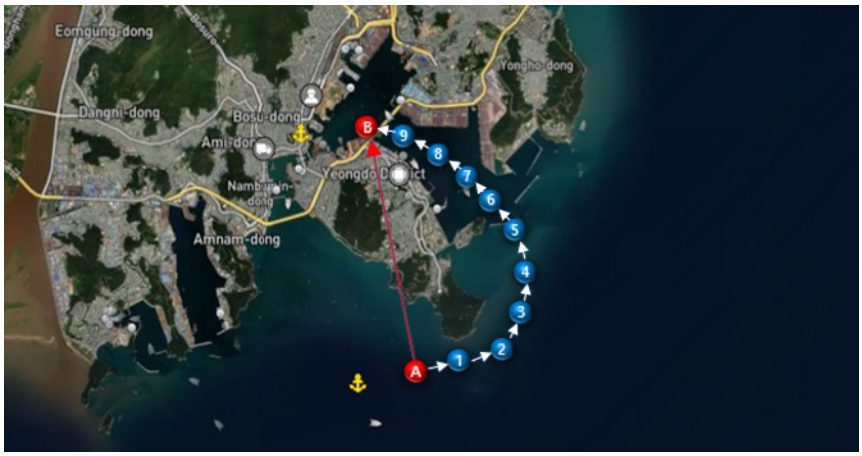
다음에서는 AIS 활동데이터 기반 상향식 산정모형과 기존의 방식(① 배출량 편람(Ⅳ)에서 제시하는 기존의 산정방식, ② PORT-MIS의 제한적인 활동데이터 기반 상향식 모형)을 각각 적용하여 도출한 부산항 입출항 선박의 운항형태(순항, 접안, 정박)별 배출량 산정 결과를 확인하고, 이들의 비교를 통해 산정 결과의 차이가 발생한 원인을 분석하였다.

(1) 운항형태: 순항

배출량 편람(Ⅳ)는 정박, 접안, 운항(순항)의 세 가지 운항형태별 배출량을 각각 산정할 수 있도록 하고 있으나, 본 연구에서 적용한 화물선의 배출량 산정방식의 경우 순항 구간의 배출량 산정이 불가하여 정박과 접안의 두 가지 운항형태에 대해서만 배출량을 산정하였다.

PORT-MIS 활동데이터 기반 제한적인 상향식 산정모형과 AIS 활동데이터 기반 상향식 산정모형을 각각 적용한 결과, 대상물질인 8개 대기오염물질의 PORT-MIS 데이터 기반 모형에 의한 배출량 산정 결과는 AIS 데이터 기반 모형에 비해 모두 70% 정도 과소 산정된 것으로 나타났다. 이는 기본적으로 관제 지점 간 이동을 직선으로 가정하기 때문에, 관제 지점 간 간격이 보다 조밀한 AIS 데이터가 선박의 실제 활동을 보다 정확하게 반영했기 때문으로 보인다. 선박이 아래의 그림과 같이 운항하는 경우, AIS 데이터는 상대적으로 조밀한 시공간 격자로 선박의 활동 및 경로(A-1-2-3-4-5-6-7-8-9-B)를 반영하지만, PORT-MIS 데이터 기반 모형은 관제교신된 두 지점 사이의 관제시간의 차이로 운항시간과 운항형태를 구분하기 때문에, A-B의 직선 구간이 실제속력보다 낮은 속력으로 인식되는 것이다. 같은 이유로, 선박의 실제 운항형태는 A-1-2-3-4-5-6 구간에서는 '순항', 7-8-9-B 구간에서는 '접안'이었음에도 불구하고 PORT-MIS 데이터 기반 모형은 A-B 구간에서 선박의 운항형태를 '접안'으로 분류할 수 있는 것이다.

〈그림 4-24〉 AIS, PORT-MIS 관제교신 지점 적용 구분(예시)



자료: 저자 작성

또한, AIS 데이터 기반 모형에서는 교신수집된 대지속력을 기준으로 3knots 미만은 '정박', 3knots 이상~5knots 미만은 '접안', 5knots 이상은 '순항'으로 운항형태를 분류하였으나, PORT-MIS 데이터 기반 모형에서는 AIS 모형과는 달리 선박의 동적정보(위치, 속력)를 알 수 없으므로 교신시설(관제 지점)의 변화에 따라 '항내 이동', '정박'을 구분하고 항내 이동은 'IMO GHG STUDY 2020'의 'Operational phase assignment decision matrix'를 참조하여 항로 기준 1해리 이내의 거리를 '접안'으로 분류하고 그 외 구간의 절반은 '접안', 나머지 절반은 '순항'으로 구분하였다. 따라서 AIS 모형에서는 선박의 대지속력 기준이 5knots 이상일 경우 IMO의 기준에 따라 '순항' 형태로 분류되지만 이는 항로 내 항행 최고속력보다 낮은 속도이기 때문에, 실제 '순항' 이동이었음에도 PORT-MIS 모형에서는 '접안' 형태로 분류되었을 가능성도 있다.

〈표 4-44〉 배출량 산정 모형별 배출량 산정 결과(순항)

단위: ton

구분	NOx	VOC	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SOx	CO	NH_3
PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형	155.562	4.776	7.714	7.714	7.714	48.325	17.880	0.003
AIS 활동데이터 기반 상향식 모형	519.048	16.782	27.307	27.307	27.307	170.323	63.019	0.020

자료: 저자 작성

(2) 운항형태: 접안

3개 모형을 적용하여 '접안' 형태의 활동 시 배출량을 각각 산정한 결과, 대상물질인 8개 대기오염물질의 PORT-MIS 데이터 기반 모형에 의한 배출량 산정 결과는 AIS 데이터 기반 모형에 비해 모두 230~240% 정도 과대 산정된 것으로 나타났다. 이는 역시 상기 분석한 바와 같이, 항계 내 '순항' 형태의 실제 활동이 PORT-MIS 모형에서는 '접안' 형태로 분류되어 산정된 결과인 것으로 추정된다.

〈표 4-45〉 배출량 산정 모형별 배출량 산정 결과(접안)

단위: ton

구분	NOx	VOC	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SOx	CO	NH_3
기존 환경부 방식 (편람Ⅳ)	111.203	3.786	8.694	8.694	7.853	28.046	10.377	0.010
PORT-MIS 활동데이터 기반 상향식 모형	178.495	18.563	29.979	29.979	29.973	68.979	25.003	0.012
AIS 활동 데이터 기반 상향식 모형	75.906	7.883	12.756	12.756	12.751	30.166	10.781	0.006

자료: 저자 작성

(3) 운항형태: 정박

'정박' 시 배출량의 경우는 환경부의 기존 방식(배출량 편람Ⅳ)에 의한 산정 결과가 압도적으로 크게 나타났다. 이는, 환경부의 방식을 적용하는 경우, 정박 중 연료사용량을 추정하는 과정에서 모든 선박에 동일한 활동자료(평균 정박 일수와 엔진 부하율)를 적용하고 있기 때문으로 판단된다. 그 결과, AIS 데이터 기반 모형에 의한 산정 결과가 참값에 매우 가깝다고 가정했을 때, 기존 방식에 의한 '정박' 시 배출량은 56.0~124.9% 정도 과대 산정된 것으로 이해할 수 있다.[97]

또한, 각각의 관제데이터를 적용하는 데 있어 PORT-MIS 데이터 기반 모형과 AIS 데이터 기반 모형은 산정 대상이 되는 시간적 범위를 기준으로 운항시간을 도출해야 한다. 이 경우, AIS 모형에서는 특정 기간의 시작 시점부터 정박 중이었던 선박도 산정 대상으로 포함할 수 있지만, PORT-MIS 모형에서는 산정 기간의 처음부터 정박 중이었던 선박이 정박형태를 유지해 해당 기간 중 이동이 관제되지 않으면 배출량 산정 대상에서 제외될 수 있다.

〈표 4-46〉 배출량 산정 모형별 배출량 산정 결과(정박)

단위: ton

구분	NOx	VOC	TSP	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SOx	CO	NH_3
기존 환경부 방식 (편람Ⅳ)	944.342	32.153	73.833	73.833	66.687	238.170	88.123	0.083
PORT-MIS 활동데이터기반 상향식 모형	394.919	12.390	24.292	24.292	24.048	180.648	44.747	0.170
AIS 활동데이터 기반 상향식 모형	433.673	13.506	26.493	26.493	26.233	195.780	48.940	0.186

자료: 저자 작성

97) NH_3의 경우, 180.6% 정도 과소 산정

05
활동데이터 기반 선박 배출량 산정방법론 도입·활용 방안

제1절 국내 기간계 데이터 연계·활용을 통한 활동데이터 기반 배출량 산정방법론 도입·활용 방안

1. 국가 대기오염물질·온실가스 산정 패러다임의 전환

앞서 살펴본 바와 같이, 현재 국가 배출량 통계를 위한 선박의 배출량 산정방식은 여객선과 같이 면세유 공급 자료를 통해 1년 또는 월별 판매량으로 전체 연료 소비량을 추정할 수 있는 경우에 대해서 기본적으로 하향식(Top-down) 방법론을 적용하고 있다. 그 외, 화물선 등과 같이 연·월별 해당 자료를 확보하기 어려운 경우에 대해서는 상향식(Bottom-up) 접근방식을 일부 도입하여 제한된 정보를 통해 개별 선박의 활동을 대략 추정하여 배출량을 산정하고 이를 다시 합산하여 전체 배출량을 도출하는 방식을 사용하고 있다.

이론적으로, 상향식 접근방식은 개별 선박의 활동정보를 기반으로 이를 합산하여 전체의 배출량을 도출하기 때문에, 전체 연료 소비량을 활용한

하향식 접근방식보다 실제 참값에 가까운 산정 결과를 기대할 수 있다. 또한, 현재 화물선 등에 적용하는 방식은 개별 선박의 정확한 활동 자료를 수집·적용하는 본격 상향식 산정이라기보다는, 제도상의 이유로 누락된 대상이나 시공간별 데이터를 추정하기 위해 또다시 '특정 조건에 기반한 경험이나 평균 개념에 의한 가정'을 거듭하여 적용하고 이를 다시 합산하기 때문에 오류 발생의 가능성이 오히려 더 높아질 수 있다.

이러한 이유로 선박·항만의 현행 배출량 산정 결과의 신뢰도는 매우 낮게 평가되고 있으며, 해양수산부와 환경부(국가 미세먼지 정보센터)는 지속적인 개선 작업을 수행하고 있다. 또한, 배출원별 활동을 파악하기 위해 과거의 연·월별 활동 자료를 수집하여 수행하기 때문에 매년 3년씩 지연된 과거의 배출통계를 발표하고 있으며, 수집된 자료의 완결성 여부에 따라서 1년 전체 배출량을 경험적인 가정에 따라서 월 또는 분기별로 분할하고 있다. 지역별 배출량 역시 실제 활동을 공간적 측면에서 정확하게 반영하기보다는 등록·면허정보를 반영하거나 역시 일정한 가정에 따라서 하위 지역 단위로 배분하고 있다.

배출량 산정의 목적은 해운 및 항만 활동에 따른 배출을 정확하게 파악하고, 이를 바탕으로 배출된 물질의 이동·확산 및 이에 따른 지역사회의 보건적 위해성, 인과 관계 등을 명확하게 규명함으로써, 배출로 인한 문제를 정확하게 파악하고 이를 해결하기 위한 최적의 기술적·정책적 방안을 개발·도입하거나, 우선순위 등을 결정하기 위한 근거 자료를 마련하는 데에 있다고 할 수 있다.

따라서 선박의 활동 및 영향 요인 등을 가능한 한 정확하게 반영하기 위한 노력이 필요하다. 이는 데이터의 수집 주기·범위, 즉 시공간적 단위격자를 조밀하게 구분함으로써 선박의 정확한 활동 자료를 적용하는 한편, 이를 바탕으로 개별 선박의 배출량을 합산하는 상향식 모형을 적용함으로써 보

다 정확한 산정 결과를 생산할 수 있다. 최근 온실가스의 배출권 거래제도의 대상을 해운 업계까지 확대하는 유럽의 제도적 변화를 감안하면 가까운 미래에 우리 역시 온실가스 또는 대기오염물질에 대해서 유사한 제도를 도입하는 경우 산정 패러다임 전환의 필요성은 더욱 명확하다고 할 수 있다.

〈표 5-1〉 활동데이터 기반 배출량 산정방법론 도입방안: 산정 패러다임의 전환

현행 배출량 산정 패러다임의 한계		도입·활용을 통한 개선방안
구분	내 용	
실제 운항 조건의 정확한 반영 어려움	• 거시적 국가·지역 개념의 1년 또는 분기별 배출량 산정을 위한 하향식 산정으로, 실제 운항 조건의 정확한 반영 어려움 • 부분적으로 상향식 방법론 도입·적용하고 있으나, 요구 데이터의 누락·제한으로 가정에 의한 추정을 연속 적용하여 오히려 오류 발생 가능성 증가	• 요구 데이터의 수집 주기·범위, 즉 시공간적 단위격자를 조밀하게 구분함으로써 보다 정확한 산정 결과 생산 → 선박의 활동 반영하기 위한 기존의 선박 운항 관련 DB 중 최적의 조합, 이를 위한 본격 상향식 산정모형 개발·적용

자료: 저자 작성

2. 선박 등록 및 운항정보 활용체계 개선

1) 배출량 산정 대상 및 경계 범위

현재 국가 배출량 통계 산정의 기준이 되는 '국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅳ)'는 배출원으로서의 선박을 4개의 그룹(소분류 기준) 즉, 여객선, 화물선, 어선, 레저 선박으로 구분하고 있는 데 반해, 해양수산부의 '해운항만 물류정보 시스템(PORT-MIS)'은 선박의 용도 기준으로 총 54종으로 구분하고 있다.[98] 편람에서 제시하는 4종의 분류체계에서는 PORT-MIS의 용도 분류 총 54종 중 예선, 기타선 등 25종에 해당하는 선박이 배출량 산정 대상에서 제외되며, PORT-MIS의 데이터를 바탕으로 개별

98) 해양수산부는 배출 산정을 위한 선박 분류의 기준으로, PORT-MIS의 데이터 중 선박 용도 자료를 적용할 것을 제안한 바 있음

선박의 활동을 추정하는 경우 배출량 산정의 완전성 측면에서 오류가 발생할 수 있다.[99]

하지만 더 큰 문제는 분류체계 적용 시 같은 기준이 적용되지 않고 있다는 데에 있다. PORT-MIS의 분류 코드는 시스템 구성상 작성(신고)자의 자의적 신고 자료를 기본으로 하고 있으며, 해당 코드의 선박 용도 기준은 여객선과 화물선, 새롭게 추가된 기타선 등 해당 산정체계의 분류 기준에도 정확하게 부합하지 못하고 있다.[100]

〈표 5-2〉 편람(Ⅳ), PORT-MIS의 선박 용도 분류 비교

용도 코드	PORT-MIS 코드명	편람(Ⅳ) 선박 분류(환경부)	
		포함 여부	비 고
11~14	여객선, 화객선	포함	-
21~59	화물선	포함	화물선 중 선박 입출항 데이터에서 출항-차항지가 명확히 계측되는 선박 대상
61~79	예선, 부선	미포함	부선은 무동력 항만 내 작업 위주 선박은 포함되지 않음
81~83	관공선, 경찰선, 군함	미포함	-
89	레저	포함	-
91~92	연근해 어선, 원양 어선	일부 포함	원양 어선 미포함
93~99	급유급수선, 용달선, 준설선, 유람선, 도선, 기타선	일부 포함	화물선에는 포함되지 않으나 선박 입출항 데이터에서 출항-차항지가 명확한 선박은 포함됨

자료: 안용성 외(2017), p. 40의 내용 저자 재편집

배출량을 산정함에 있어, 배출원(선박) 분류 기준 및 대상 선박의 정의는 명확해야 하며, 구분된 대상 선박의 범위 간에 중복·누락되는 부분이 없도록 분류된 범위 간의 구분 역시 명확해야 한다.[101] 이에, 안용성 외(2017)

99) 현재 '국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅳ)'는 상향식을 일부 적용한 화물선 등의 배출량 산정 시, PORT-MIS의 데이터를 바탕으로 선박의 활동을 추정하고 있음
100) 안용성 외(2017), p. 41.
101) 안용성 외(2017), p. 41.

는 기존 법·제도를 근거로 하는 해양수산부(해양경찰청 포함)의 해당 선박 범위의 '등록 및 면허'체계의 선박별 정의 및 구분 기준 등을 배출원(선박) 분류의 기준으로 제안한 바 있다.[102]

이와 더불어, 선박의 배출량 산정을 위한 지역 범위를 명확하게 규정할 필요가 있다. 현재 선박 배출량 산정의 최신 기준을 제시하는 편람(Ⅳ)에 따르면, 선박의 배출량 산정을 위한 공간적 경계를 '항구'와 '바다'로 구분하여 특정 항구 내의 배출량은 해당 항구가 속한 지역의 배출로 배분하고, 그 외 공간 범위에서의 배출은 '바다'로 배분하고 있다. 또한, 선박의 국가 배출량 산정에 있어서 국가 및 구역(지자체의 관할 범위)의 경계 범위를 명확하게 제시하지 못하고 있다. 정확도를 차치하더라도 항구의 배출 산정 범위를 제시하고 그 외의 범위를 바다 배출량으로 규정하였으나, '바다'의 지역 범위는 어디까지인지 명확하게 제시하지 않고 있다. 이는 배출량 통계 자료의 신뢰도에 있어 매우 중요한 사항이며, 정확한 활동 자료를 반영한다고 해도 국가 배출량 산정의 해상 경계 범위, 그리고 가능하다면 지자체별 범위를 명확하게 지정·제시해야 한다.

〈표 5-3〉 활동데이터 기반 배출량 산정방법론 도입방안: 배출량 산정 대상 및 경계 범위

현행 배출량 산정 패러다임의 한계		도입·활용을 통한 개선방안
구분	내 용	
실제 배출 산정 기준 불명확	• 현행 배출원 분류 기준 불명확; 기준으로 제시되고 있는 PORT-MIS 용도 코드 등과 부합하지 못하여, 중복·누락 발생	• 기존 법·제도를 근거로 하는 선박의 '등록 및 면허'체계를 선박(배출원)의 분류 기준으로 적용
	• 배출량 산정범위(전국) 및 지자체 간 관할 구역 구분 기준 불명확	• 국가 배출량 산정의 해상 경계 범위, 지자체별 관할 범위, 구분의 근거 등을 명확하게 지정·제시

자료: 저자 작성

102) 위의 책, p. 94.

2) 선박의 등록·면허 신고정보 항목

현재 선박의 등록·면허체계에서는, 「해운법」, 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」, 「어선법」 등 관련 법률에 따라서 선박의 제원 및 기본정보, 용도와 관련한 일반정보 등을 제출하도록 하고 있다. 하지만 활동 자료를 기반으로 연료 소비량 등을 추정하기 위해서는 주엔진 및 보조엔진, 발전기 등의 개수 및 제원정보가 필수적이다.

유럽환경청(EEA)의 Tier3 대기오염물질 배출량 산정방법에 따르면, 배출량을 산정하기 위해서 기본적으로 요구되는 자료는 해당 선박의 운항 시간(hr), 엔진 출력(kW), 엔진부하율(%), 배출계수(g/kWh) 정도로 요약할 수 있다. 또한, 이때 최적 배출계수(EF)의 선정·적용을 위해 필수적인 정적 정보로 선박의 식별 등을 위한 고유번호, 선명과 함께, 엔진의 분류(주엔진, 보조엔진), 배출물질의 종류(NOx, NMVOC, PM 등), 연료의 종류(BFO, MDO, MGO 등), 엔진의 종류(가스터빈, 저속, 중속, 고속 디젤엔진, 스팀터빈 등), 운항형태(정박, 접안, 순항) 자료 등이 있다.

하지만 현행 제도상에서는 상기 자료 중 엔진과 관련한 사항은 확인할 수 없다. 이에 편람(Ⅳ)는 상향식을 일부 적용한 화물선의 배출량 산정 시, 이를 추정·적용하기 위해 개별 선박의 엔진 제원정보 대신 톤급별 선박군을 구별하여 연료경제 값을 일괄 적용하거나 엔진정보가 누락된 선박들에 대해서 동급 선박의 평균 개념의 엔진 출력값을 적용하고 있다.

선박의 활동데이터 기반의 상향식 산정모형을 본격 적용하고, 현행 산정방식의 신뢰도 제고를 위해서 선박의 등록·면허 신고 시 요구 자료의 항목으로 해당 선박의 주엔진, 보조엔진 등의 기본정보 및 제원, 특성 등을 추가할 필요가 있다.

〈표 5-4〉 활동데이터 기반 배출량 산정방법론 도입방안: 선박의 등록·면허 신고정보 항목

현행 배출량 산정 패러다임의 한계		도입·활용을 통한 개선방안
구분	내 용	
필수 정적 정보 보고·수집체계 미비	• 선박의 등록·면허정보 DB에서 엔진의 개수 및 제원 등의 필수 정적정보 확인·수집 불가	• 선박의 등록·면허정보 신청, 입출항 신고 시, 해당 선박의 주엔진 및 보조엔진, 발전기 등의 제원, 특성 등을 필수 제출정보 항목으로 추가

자료: 저자 작성

3) 운항정보 보고·수집

앞서 살펴본 바와 같이, 개별 선박의 실제 활동정보를 기반으로 대기오염물질 배출량을 산정하는 상향식 산정방식은 현행 국가 배출량 산정의 기본체계, 즉 전체 배출량 추정을 위한 하향식 또는 활동 양상을 단순 추정하여 상향식을 부분적으로 적용하는 방식보다 실제 운항 상황 및 조건 등을 최대한 반영할 수 있다. 따라서 이를 통해 실제 배출 참값에 가까운 정확한 배출량 산정이 가능하다.

정적정보 외에, 개별 선박의 활동 양상을 정확하게 반영하기 위해 필수적인 동적정보는 이동 거리, 구간별 속도 등을 추정하기 위한 선박의 연속된 시간별 위치, 엔진부하율(%)을 추정하기 위해 위치·시간 기반의 속도 자료 등이다. 개별 선박의 활동 양상을 제공하거나, 제한적이지만 제공 데이터를 활용하여 이를 추정할 수 있는 선박 운항정보를 제공하는 DB·시스템으로는 선박 자동식별 시스템(AIS), 해운항만 물류정보 시스템(PORT-MIS) 및 한국형 e-Navigation 서비스의 DSP 정도가 있다. 유효성 검토 결과에 따르면, 현시점에서 AIS의 가용성이 가장 높으며, 추후 AIS는 PORT-MIS 및 VTS와 더욱 긴밀한 실시간 정보 공유·연계, 상호 보정 등을 통해 보다 정확한 데이터 수집체계를 구축할 수 있을 것으로 보인다.

또한, 한국형 e-Navigation 서비스가 성공적으로 도입·운용되는 경우,

이를 통해 일정 주기별 활동데이터는 물론 실시간 활동데이터까지 지연 없이 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

하지만 현행법상 자동식별장치를 의무적으로 설치해야 하는 선박, 즉 이를 통해 해당 선박의 활동데이터를 수집할 수 있는 선박은 여객선 및 유선, 총톤수 300톤 이상의 외항선, 내항 선박의 경우 500톤 이상 선박, 10톤 이상의 어선 등으로, 전체 배출 산정 대상 중 누락되는 부분이 적지 않다. 따라서 AIS 장치의 의무 설치 선박을 확대하는 한편, 과도기적 방안으로 AIS 장치 의무 설치 대상 선박 외의 선박에 현재 총톤수 2~10톤의 어선에 설치를 의무화하는 선박패스(V-Pass) 장치의 설치·작동을 유도하는 등, 선박의 실시간 위치 식별 및 해당 활동데이터의 수집을 위한 정책적 노력이 필요하다.

〈표 5-5〉 활동데이터 기반 배출량 산정방법론 도입방안: 운항정보 보고·수집

현행 배출량 산정 패러다임의 한계		도입·활용을 통한 개선방안
구분	내 용	
선박 활동 데이터 수집에 제한	• AIS 및 위치식별장치 미설치, 부정 운용 등으로, 전체 배출 산정 대상 중 누락되는 부분 발생	• AIS 및 위치식별장치 설치 의무 대상 확대
	• 「선박안전법」 제9조, 제15조에 따라서 선박 활동데이터의 활용 용도 제한	• 선박의 배출량 산정, 분석·예측의 용도로 활용 가능하도록 관련 법 개정

자료: 저자 작성

3. 선박 운항정보의 빅데이터화

추후 유무선 네트워크 및 지연 없는 실시간 통신기술, 그리고 데이터 계측-전송체계의 구축, 운용으로 센싱-디바이스 간 실시간 연결을 통해 선박별 배출량 계측정보를 통합 모니터링 시스템으로 전송·수집하거나, 수집 주기 간 연료 소비량을 전송·수집하여 이를 추정할 수 있다.

하지만 현재의 데이터 및 기술 인프라의 수준에서 선박의 활동을 최대한 반영하여 이에 따른 배출량을 구하기 위한 활동 자료 기반 상향식 산정모형을 구성할 수 있다. 이러한 방식으로 배출량을 구하기 위해서는 수집 주기 간격에 따른 연료 소비량 데이터가 필요하며, 해당 선박의 유종, 엔진 타입 및 운항형태 등의 조건에 따라서 최적의 배출계수를 선택·적용해야 한다. 또한, 연속적인 위치·시간 간격 사이의 연료 소비량을 추정하기 위해, 구간별 시간·위치 및 속도, 엔진의 종류·출력 및 개수 또는 해당 구간의 출력을 추정하기 위한 최대출력 제원 및 부하율 데이터가 필요하다. 또한 기본적으로 선박과 데이터를 매칭하거나, 이를 위해 개별 선박을 식별하기 위한 선박명, 고유번호 등의 데이터가 필요하다.

상기 제시한 요구 데이터는 전산 자료 측면에서, 정적정보와 동적정보로 구분할 수 있다. 정적정보는 주로 등록·면허 및 신고 등의 행정 절차에 의해 수집·관리되며, 이들 데이터는 한번 결정되면 구조변경, 대·폐선 등의 사유가 없는 한 변경의 여지가 크지 않다. 반면 동적정보는 선박의 활동을 직간접적으로 반영하는 데이터로, 수집 주기(시간)별 위치 및 운항 거리, 해당 주기 간격 간 속력 또는 출력 등이 있다.

이들 동적정보는 수집 주기 간격을 조밀하게 구분할수록 빅데이터의 성격으로 활용할 수 있으며, 이를 '실시간' 개념으로 활용하기 위해서는 전송·수집이 연속적이어야 하며, 송수신 간 지연이 최소화되어야 한다. 추후 기술의 발전으로 이러한 조건에 부합되는 경우, 이른바 '스마트 커넥티드' 개념의 실시간 정보 수집에 의한 산정-분석·예측을 실현할 수 있다.

한편, 상기 동적정보의 수집 주기 간격을 조밀하게 구분하는 경우 이를 활용하여 추정하는 중간 데이터(배출량을 구하기 위한 요구 데이터) 및 최종 결과 값인 배출량 값 역시 빅데이터의 성격으로 활용할 수 있다. 예를 들어, 특정 시점·지점 및 구간의 연료 소비량을 구하기 위해 조밀한 시간

간격으로 선박의 위치 또는 속력 등을 수집하는 경우 이를 빅데이터의 개념으로 적용할 수 있으며, 이들을 활용하여 추정하는 엔진의 출력값, 중간 결과 데이터인 연료 소비량 값 역시 이들의 연속적인 변화를 반영하는 빅데이터의 성격으로 활용할 수 있다. 또한, 이들을 적용하여 최종적으로 산정한 배출량 값 역시 빅데이터의 성격을 갖게 된다.

이는 요구 데이터, 특히 동적정보의 수집 주기를 기술적·제도적 환경이 허용하는 선에서 가능한 한 조밀하게 구분하는 경우, 개별 선박의 배출량 산정 시 수집 주기의 조밀한 정도에 따라서 배출량 산정 결과의 시·공간 해상도를 그만큼 향상시킬 수 있는 이유이기도 하다. 따라서 최근 우리 사회의 전방위에서 추진 중인 '스마트화'의 기술 기반을 구축한다는 의미는 물론, 특정 시점 및 지점 또는 구간 등에 대한 데이터 및 통계, 이를 활용한 분석·예측 데이터 등의 수요가 급증하고 있는 최근의 추세에 대응하기 위한 기술적 방안으로 이러한 정보의 빅데이터화, 그리고 이를 위한 최적의 보고·수집 및 관리체계의 필요성이 커지고 있다.

〈표 5-6〉 활동데이터 기반 배출량 산정방법론 도입방안: 선박 운항정보의 빅데이터화

현행 배출량 산정 패러다임의 한계		도입·활용을 통한 개선방안
구분	내 용	
배출량 데이터의 활용도 제한	• 현재, 선박의 배출량 통계는 통계 생산 주기 1년의 전국 배출량 산정 구조로, 시공간적 해상도 매우 낮음 • 3년 지연 산정·발표로, 통계 활용의 시의성 매우 떨어짐 • 최근 특정 시점 및 지점 또는 구간 등에 대한 데이터 및 통계, 이를 활용한 분석·예측 데이터 등의 수요 급증	• 선박의 동적정보의 수집 주기를 가능한 한 조밀하게 구분하여, 해당 데이터의 빅데이터화, 이를 활용하기 위한 생산-관리체계 구축 • 중장기적으로, 센싱-디바이스 간 실시간 통신기술 개발·적용하여, '스마트 커넥티드(초연결)' 기반 시스템 구축

자료: 저자 작성

제2절 법·제도 정비방안

1. 관련 법령의 완결성 개선

1) 선박 및 항만의 모니터링 관련 규정 보강

해운 및 항만 분야 대기환경 관리를 위한 관련 법령, 즉 「대기환경보전법」 및 「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법」, 「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법」 등의 궁극적인 목적은 대기질 개선을 통한 국민의 보건적 위해성 경감이라고 할 수 있다.[103] 하지만 제정 초기임을 감안하더라도 이들 법령의 주요 내용 및 구성은 법령의 본질적 목적보다는 이를 위한 전략적 목표에 치중하고 있는 것을 확인할 수 있다. 특히, 「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법」은 법령의 본질적 목적보다는 '배출 제한 또는 관리 법령'의 성격을 보인다.

최적의 기술적·정책적 조치의 개발 및 적용을 위한 기초 근거자료로서의 중요성을 감안하면 선박 및 항만 활동으로 인한 배출, 그리고 이로 인한 영향 등을 명확하게 파악하기 위한 '배출 및 오염 모니터링' 활동은 해당 법령의 이행을 위한 가장 중요한 전제인 동시에, 다음 단계인 실제 정책 및 사업 활동의 효과를 결정하는 첫 단계라고 할 수 있다. 따라서 선박 및 항만 활동으로 인한 배출 산정 및 대기 중 이동·확산, 이로 인한 지역사회의 수용체별 위해도 평가 등을 포함하는 모니터링 활동을 법령에서 규정하고, 이를 위한 부처·기관별 업무 역할 및 관할경계 등을 명확하게 제시할 필요가 있다.

103) 예컨대, 「대기환경보전법」 제1조(목적)는 '대기오염으로 인한 국민건강이나 환경에 관한 위해(危害)를 예방하고 대기환경을 적정하고 지속가능하게 관리·보전하여 모든 국민이 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 수 있게 하는 것'을, 「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법」 제1조(목적)는 '항만지역등의 대기질을 개선하기 위하여 종합적인 시책을 추진하고, 항만배출원(港灣排出原)을 체계적으로 관리함으로써 항만지역등 및 인근 지역 주민의 건강을 보호하고 쾌적한 생활환경을 조성함'을 법의 목적으로 규정하고 있음

우선 대기오염물질 배출에 따른 지역사회의 수용체별 위해도 평가를 포함한 모니터링 활동에 관한 조항 신설이 필요하다. 「대기환경보전법」의 목적은 '대기오염으로 인한 국민건강이나 환경에 관한 위해를 예방'과 대기환경의 적정하고 지속 가능한 관리·보전을 통해 '국민이 건강하고 쾌적한 환경에서 생활'할 수 있게 하는 것이다.[104] 따라서 이를 위해 '대기환경개선종합계획'에 대기오염물질 배출에 대한 지역사회의 보건적 위해도 조사 및 평가를 포함할 필요가 있다. 또한 이와 관련한 내용의 별도 조항을 신설하고 이행사항은 시행규칙에 위임할 수 있다.

「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법」은 환경부 장관에게 '대기관리권역의 대기오염으로 인한 위해(危害)를 줄이기 위하여, 위해의 정도와 발생원인 등의 필요한 조사'를 하도록 규정하고 있다.[105] 이러한 위해 조사조항을 일반법인 「대기환경보전법」에도 규정하는 것이 필요하다. 「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법」은 대기관리권역을 수도권, 중부권, 남부권 및 동남권으로 구분하고, 권역별 지역의 범위를 특정하고 있기 때문이다.[106]

「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법」 역시 종합계획에 항만의 배출 및 오염으로 인한 항만 및 주변지역의 위해도 조사 및 평가 항목을 추가하고, 이를 실행하기 위한 근거로 배출 및 오염 모니터링 및 위해도 평가 조항을 별도로 신설하는 방안 역시 검토가 필요하다. 또한, 이를 이행함에 있어 부처 및 기관 등의 업무범위와 역할을 명확히 규정해야 한다. 하지만 「대기환경보전법」 상 국가 차원의 대기오염물질 배출에 따른 위해도 평가와 보건적 영향 등에 관한 기초조사의 최종적인 권한과 의무는 환경부 장관에게 있다.

104) 「대기환경보전법」 제1조
105) 「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법」 제7조
106) 「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법 시행령」 제2조

〈표 5-7〉 선박 및 항만의 모니터링 관련 규정 보강

법 률	현 행	개선 조항
「대기환경보전법」	• 제11조(대기환경개선 종합계획의 수립 등)	• 제11조(대기환경개선 종합계획의 수립 등) ② 8. 대기질오염의 위해도 평가 및 주민건강 모니터링에 관한 사항 (신설)
	• 제17조(대기오염물질의 배출원 및 배출량 조사)	• 제17조의2(위해도 평가 등 기초조사) (신설) ① 환경부 장관은 대기오염물질의 배출에 따른 위해도를 평가하고 국민 건강 영향에 관한 기초조사를 실시한다. ② 시 · 도지사 및 지방 환경관서의 장은 환경부령으로 정하는 바에 따라 관할 구역의 대기오염물질의 배출에 따른 위해도의 평가와 국민 건강 영향에 관한 기초조사를 실시하며, 그 결과를 환경부 장관에게 보고한다. ③ 제1항 및 제2항의 시행을 위해 필요한 사항은 환경부령으로 정한다.
「항만등 대기질 개선에 관한 특별법」	• 제7조(종합계획의 수립 등)	• 제7조(종합계획의 수립 등) ② 8. 대기오염물질의 배출에 따른 항만지역 등 및 인근 주민의 위해도 평가 및 주민건강 모니터링에 관한 사항 (신설)
	• 제9조(실태조사 등)	• 제9조의2(위해도 평가 등 기초조사) (신설) ① 시·도지사는 관할 항만지역등 및 인근 주민에 대해 대기오염물질의 배출에 따른 위해도를 평가하고 주민 건강 영향에 관한 기초조사를 실시한다. ② 시·도지사는 제1항에 따른 조사의 결과를 해양수산부 장관 및 환경부 장관에게 보고한다. ③제1항 및 제2항의 시행을 위해 필요한 사항은 해양수산부령으로 정한다.

자료: 저자 작성

2) 제도 이행을 위한 역할 근거 규정 명시

현재 대기오염물질 배출량 산정의 제도적 근거는 기본적으로 「대기환경보전법」에 있다. 환경부 장관은 동법 제17조에 따라 전국의 대기오염물질 배출원 및 배출량을 조사해야 하며, 시·도지사 및 지방 환경관서의 장은 관할구역의 배출시설 등 대기오염물질의 배출원 및 배출량을 조사해야 한다. 이때

환경부 장관 또는 시·도지사는 대기오염물질의 배출원 및 배출량 조사를 위해 관계 기관의 장에게 필요한 자료의 제출이나 지원을 요청할 수 있다. 또한, 대기오염물질의 배출원 및 배출량의 조사방법, 조사절차, 배출량의 산정방법, 검증체계 구축 등에 필요한 사항은 환경부령에서 정하고 있다.

「대기환경보전법」은 배출량의 조사와 산정 대상을 대기오염물질의 '배출시설'과 '배출시설 외'로 구분하고 있다. 굴뚝 자동측정기기가 설치된 배출시설에 대한 배출량 조사와 산정은 그 측정기기에 따르고, 미설치 시설은 동법에 따른 자가측정 방법에 따른다. 그리고 배출시설 외의 오염원에 대해서는 단위당 대기오염물질 배출량을 산출하는 배출계수에 따른 방법에 의하는데, 이와 관련한 산정 업무는 국립환경과학원[107]에서 담당하고 있다. 이러한 배출시설 기준에 의하면 선박은 '배출시설 외' 오염원으로서 배출계수를 통한 산정 대상이 된다.

「해양환경관리법」은 오존층 파괴물질, 휘발성 유기화합물, 「대기환경보전법」에서 규정하는 대기오염물질 및 온실가스 중 이산화탄소 등을 대기오염물질로 규정하고 있으며, 특히 질소산화물과 황산화물의 배출 제한을 위한 별도의 규정을 마련하고 있다. 해양수산부는 「해양환경관리법」 및 「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법」 등을 통해 이들 선박과 항만의 오염물질 배출 제한 및 관리 등에 대한 제도적 근거를 마련하였으나, ① 이행 또는 관리·감독 주체, 그리고 부처·기관 간 업무·관할경계 등을 명확하게 제시하지 못하고 있으며, ② 배출원 조사, 배출량 산정·분석을 위한 통일된 방법론 및 기준 등을 제공하지 못하고 있다.

항만 및 선박 활동의 1차적 관리·감독은 해양수산부 소관 업무이지만, 대기오염 측정 및 배출량 산정·발표, 위해도 검증 등은 기본적으로 환경부의 고유 업무이다.[108] 앞서 기술한 바와 같이 선박은 대기오염물질 배출량

107) 해당 업무는 2020년 4월 1일부로 국립환경과학원에서 국가미세먼지정보센터로 이관되었음

산정에 있어서 자동차 등 다른 이동 오염원의 경우와 기술 및 운영방식 등에서 본질적으로 다르다. 따라서 선박 및 항만의 고유한 활동·운영 특성을 고려한 배출원 조사 및 배출량 산정 방식의 개발·적용이 요구된다. 하지만 현재 모든 대기오염물질의 배출원 조사 및 배출량 산정은 「대기환경보전법」 제17조에 따라 환경부 장관의 역할이기 때문에, 선박에 관한 배출원 조사 및 배출량 산정의 업무 역할 및 권한 역시 기본적으로 환경부 장관에 있다. 따라서 선박에 관한 사항만을 특별히 해양수산부 장관에게 부여하는 것은 법체계상 타당하지 않다. 그렇지만 선박 및 항만의 기본정보 및 활동·운영정보를 수집·생산, 관리하는 주체는 해양수산부이므로, 선박 및 항만에 대한 대기오염물질 배출원 조사 및 배출량 산정을 위한 구체적인 기준과 산정 방법 개발 등은 해양수산부에 위임하고, 환경부에서 대기오염물질 배출량 산정 시 이를 준용하도록 하는 방안을 고려할 수 있다. 또한, 법제상 역할에 따라서 배출된 오염물질의 이동·확산, 위해도 조사·평가 등은 환경부가 수행하는 방안을 검토할 수 있다.

〈표 5-8〉 대기오염물질 배출량 산정체계 개선

법 령	개선 사항
「대기환경보전법 시행규칙」 제16조(배출시설별 배출원과 배출량 조사)제2항	• 4. 선박에서 기인하는 오염원의 경우 「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법」에서 정한 방법 (신설)
「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법」	• 제7조(종합계획의 수립 등) 제2항: 종합계획 포함사항에 선박의 대기오염물질 배출량의 현황과 그 전망 추가 • 제9조(실태조사 등): 해양수산부 장관은 선박의 특성을 고려한 대기오염물질 배출원의 분류 기준 및 배출량 산정에 관한 기준을 마련한다는 조항을 신설하고, 세부 사항은 해양수산부령에 위임
「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법 시행규칙」	• 선박 배출원의 분류 및 배출량 산정방법 등에 관한 지침 마련에 관한 근거 조항 신설 • 지침 마련 (별표)

자료: 저자 작성

108) 안용성(2020), p. 255.

2. 탄소중립 모니터링체계의 일원화

한편, 최근 국제사회의 탄소중립[109]에 대한 적극적 참여 요구로 우리 해운 및 항만 분야 역시 온실가스의 배출을 획기적으로 저감하거나 궁극적으로는 '배출제로'의 달성을 실현해야 하는 상황이다.

온실가스와 대기오염물질은 배출 관리 또는 제한의 본질적 목적이 상이하지만,[110] 모니터링 단계 및 산정·평가 등에 요구되는 활동, 조사 대상이 되는 배출원이 대부분 동일하기 때문에 배출원의 조사, 배출량 산정, 이동·확산 및 위해도 평가 등의 모니터링 과정 및 이를 위한 데이터 수집·분석체계를 일원화할 필요가 있다.

「저탄소 녹색성장 기본법」은 각 중앙행정기관과 지자체 및 법이 정한 공공기관에 온실가스 감축 목표를 정하고, 일정 기준 이상의 온실가스를 배출한 업체가 온실가스 배출량 및 에너지 소비량을 측정한 명세서를 작성하여 정부에 보고하면, 이를 기초로 부문별 관리기관이 실태조사를 할 수 있도록 하고 있다.[111] 이 법을 기초로 환경부는 지침을 통해 배출활동별 온실가스 배출량 등의 세부 산정방법 및 기준을 마련하였는데, 이동 연소의 하나로 '선박'을 포함하고 있다. 이 지침에 따라 보고 대상이 되는 선박은 아래 표와 같이 수상항해, 국내항해, 어선 및 기타로 구분되며, 국제수상운송(국제 벙커링)에서 발생하는 온실가스 배출량은 산정·보고에서 제외된다. 또한 이 지침은 보고 대상 온실가스를 CO_2, CH_4 및 N_2O로, 배출량

109) '탄소중립'이란 "대기 중에 배출 · 방출 또는 누출되는 온실가스의 양에서 온실가스 흡수의 양을 상쇄한 순 배출량이 영(零)이 되는 상태"로 정의; 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」 제2조(정의) 3호.

110) 온실가스 저감은 기후변화 대응 및 예방의 일환으로 지구온난화 방지가 본질적 목적이라 할 수 있으며, 대기오염물질은 인체에 유해한 오염물질의 대기 중 농도 저감을 통해 위해 가능성을 저감하고자 하는 데에 있음

111) 「저탄소 녹색성장 기본법」 제42조 및 제44조 참조. 이 법에 따라 '국가 온실가스 배출량·흡수량, 배출·흡수 계수, 온실가스 관련 각종 정보 및 통계를 개발·검증·관리'를 위해 환경부 온실가스 종합정보센터를 구축·운영 중임. 환경부(검색일: 2021. 10. 15)

산정방법을 Tier 1~3로 구분하고, 매개변수별 관리기준을 정하는 동시에 휘발유·등유 등 연료별로 CO_2 배출계수를 제시하고 있다.[112]

〈표 5-9〉 온실가스 배출 보고 대상 선박

배출원	적용 범위
수상항해	• 수상 선박을 추진하기 위해 사용된 연료로부터의 모든 배출 • 호버크라프트(Hovercraft)와 수중익선(Hydrofoil)이 포함되며, 어선은 제외. 국제/국내 항해의 구분은 출발항만과 도착항만을 기준으로 구분
국내항해	• 동일 국가 내에서 출항 및 입항하는 모든 선박으로부터의 배출(어업과 군용은 제외)을 의미
어선	• 내륙, 연안, 심해 어업에서의 연료 연소로부터의 배출 • 어업은 그 나라 안에서 연료보급이 이루어진 모든 국적의 선박을 포함
기타	• 다른데서 지정되지 않은 모든 연료연소로부터의 수상 이동 배출

자료: 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」

이 법에 따라 해양수산부는 해양·수산·해운·항만 분야의 온실가스 감축 목표 설정·관리 및 필요한 조치 사항을 관장한다. 그런데, 이 법은 정부가 저탄소 교통체계를 구축하도록 하고, 이를 위해 동 시행령은 국토교통부 장관이 교통 부문의 온실가스 감축, 에너지 절약 및 에너지 이용효율 목표를 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 수립·시행하도록 하고 있다. 이에 따라 국토교통부 장관이 책임을 지고 수립·시행하는 대상 교통기관에 자동차, 기차, 항공기와 함께 선박이 포함되는데,[113] 비록 해양수산부 장관과 협의는 거치도록 하고 있지만 선박 관련 업무의 주무부처가 해양수산부임을 고려할 때 개정이 필요하다.

「저탄소 녹색성장 기본법」은 국가가 이산화탄소 감축목표를 설정하고 배출량 산정기준을 제시하면 개별 업체가 조사해서 정부에 보고하는 체계를

112) 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」(2021. 3. 11, 환경부고시 제2021-47호), pp. 159~163. 참조.
113) 「저탄소 녹색성장 기본법 시행령」 제41조제1호.

가진 반면, 「대기환경보전법」은 대기오염물질 배출원 및 배출량 조사와 산정기준 마련 등을 모두 국가가 주도적으로 하게 한다는 점에서 차이가 있다. 그러나 이산화탄소를 포함한 대기 중 배출 오염물질을 산정기준에 따라서 조사한다는 점은 두 법이 동일하다. 이 점을 고려하여 특히 선박과 관련한 부문에서 조사의 효율성을 높이기 위해 다음과 같은 개선이 필요하다.

〈표 5-10〉 탄소중립 모니터링체계의 일원화

법 령	개선 사항
「저탄소 녹색성장 기본법 시행령」	• 제41조(교통 부문의 온실가스 감축 목표) 자동, 기차, 항공기 등과 함께 국토교통부 장관의 관장사항으로 되는 '선박' 및 항만 주요 장비 등을 분리하여 해양수산부 장관의 책임으로 하는 조항 신설
「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」	• 온실가스 배출 보고 선박, 배출량 산정방법 및 배출계수를 「국가대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅳ)」의 기준에 부합하도록 수정

자료: 저자 작성

3. 선박 제원 및 운항정보 등록체계 개선

1) 선박의 엔진(추진기관) 제원 및 기본정보 보고항목 추가

현재 국내 선박의 대기오염물질 배출량 산정을 위한 산정방법은 기본적으로 연간 연료 공급량 자료를 활용하는 유럽환경청(EEA) Tier 1 수준의 하향식 방법론으로 구성되며, 화물선과 같이 연료 공급량 자료 확보가 어려운 선박에 대해서만 활동 자료를 추정하여 제한적인 상향식 모형을 사용하고 있다.

앞서 살펴본 바와 같이, 선박 배출량 통계의 정확도를 향상시키기 위해서는 개별 선박의 이동, 운항과 관련한 조건 등을 반영하는 활동데이터 기반의 상향식 모형으로 전환이 필요하다. 이를 위해서는 선박의 배출량 산

정에 요구되는 활동데이터를 정확하게 추정하기 위한 엔진 제원 및 특성 등에 관한 자료가 필수적이다.

한편, 현행 방식에서는 화물선의 배출량 산정 시, 개별 선박의 엔진정보를 확보할 수 없어 톤급별 선박군을 구별하여 연료경제 값을 일괄 적용하거나 엔진정보가 누락된 선박들에 대해서 동급 선박의 평균 개념의 엔진 출력값을 적용하는 등, 가정 및 추정에 의한 계수 등을 반복해서 적용하고 있다. 따라서 개별 선박의 특성 및 활동을 반영하는 상향식 모형의 이점을 살리지 못하는 동시에, 오히려 신뢰도의 저해요인으로 작용하고 있다.

기본적으로 국내 모든 선박[114]의 소유자는 선박의 명칭, 용도, 선적항, 총톤수, 길이·너비·깊이, 선박 번호, IMO 번호 등의 정보들을 선적항을 관할하는 지방해양수산청에 신고하여 선박을 등록하여야 한다.[115] 그리고 선박의 등록신청을 받은 지방해양수산청장은 등록신청서의 기본정보와 더불어 기관의 종류와 수, 추진기의 종류와 수, 조선지, 조선자 및 진수일 등 보다 상세한 사항을 선박원부에 등록하여야 한다.[116] 어선과 레저용 선박 등의 등록정보에 대해서는 각각 「어선법」 및 「수상레저안전법」에서 규정하고 있다. 하지만 아래 표에서 보는 바와 같이 신고 또는 등록되는 선박의 제원은 개별 법령에 따라 차이를 보인다.

특히, 선박의 엔진제원 및 특성에 대한 정보는 선박 등록신청 시 필수 요구항목이 아니며, 지자체 관할의 등록원부에 기재된다. 선박의 배출량 산정, 운항 효율화를 위한 실시간 관제 등을 위한 필수 자료로 엔진 관련 제원 정보의 수요가 커지고 있지만, 이처럼 서로 다른 등록체계는 필요한 정보를 수집하는 데 장애로 작용하고 있다.

114) 「선박법」 제26조. 군함, 경찰용 선박, 총톤수 5톤 미만의 범선, 총톤수 20톤 미만의 부선, 어선, 준설선, 수상레저기구로 등록된 레저 선박 등은 제외
115) 「선박법 시행규칙」 제10조(선박의 등록 신청)
116) 「선박법 시행규칙」 제11조(등록사항)

〈표 5-11〉 법령에 따른 선박의 등록/신고 제원 차이

법 령	선박 제원에 관한 내용
「선박법 시행규칙」 제10조 (등록신청)	• 선박의 용도, 총톤수, 주요 치수(길이, 너비, 깊이)
「선박법 시행규칙」 제11조 (등록사항) - 등록원부 기재	• 선질, 범선의 범장, 주요 치수(길이, 너비, 깊이), 총톤수, 갑판실 등 용적, 기관의 종류와 수, 추진기의 종류와 수
「어선법 시행규칙」 제21조 (등록신청 등)	• 종류(동력/무동력), 추진기관(○○기관 ○○마력 ○대), 주요 치수(길이, 너비, 깊이), 총톤수
「수상레저안전법 시행규칙」 제21조(등록신청서 등)	• 기관의 종류, 최대출력, 기관의 수, 추진기관의 모델명, 정원, 총톤수, 주요 치수(길이, 너비, 깊이)
「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률 시행규칙」 제3조 (선박 출입신고서 등)	• 선박의 용도, 총톤수

자료: 저자 작성

선박의 대기오염물질 배출량 산정을 위해서, 선박의 추진기관 등에 관한 제원을 선박 등록 시 신고하도록 해야 한다. 「어선법」 등과의 일관성을 유지하는 동시에 원활한 활용을 위해, 「선박법」 제8조에 따라 선박 소유자가 등록 신청 시 추진기관에 관한 사항을 등록신청서에 기재하도록 할 필요가 있다. 또한 현재 법령에서는 선박의 사용 연료에 관한 정보가 의무 보고사항이 아니지만, 배출량 산정 및 관련 데이터의 활용도를 극대화하기 위해 이를 포함하는 것이 타당하다.

〈표 5-12〉 선박 제원정보 항목 등록-보고제도 개선

법 령	개선 사항
「선박법 시행규칙」 제11조, 「어선법 시행규칙」 제21조 「수상레저안전법 시행규칙」 제21조 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률 시행규칙」 제3조	• 엔진의 종류(동력/무동력), 추진기관(○○기관 ○○마력 ○대), 추진기관의 모델명, 최대출력, 주요 치수(길이, 너비, 깊이), 총톤수 등을 선박등록 관련 모든 법령에 등록 필수요소로 기재하도록 수정 • 선박의 사용 연료유에 관한 사항 추가

자료: 저자 작성

2) 선박자동식별 시스템(AIS) 정보의 수집·활용 확대

선박의 소유자는 「선박안전법」 제30조에 따라, 선박의 안전운항 확보, 해양사고 발생 시 신속한 대응을 위해 선박위치 발신장치(AIS)를 설치·작동해야 한다. 동법 시행규칙에 따르면 총톤수 2톤 이상의 「해운법」에 따른 여객선과 「유선 및 도선 사업법」에 따른 유선, 총톤수 300톤 이상의 외항선, 총톤수 500톤 이상의 연안선, 총톤수 50톤 이상의 예선·유조선·위험물 산적운송선이 AIS 장착 대상 선박에 해당한다.[117]

또한 「어선법」에 의하면 어업, 어획물 운반업 또는 수산물 가공업에 종사하는 선박과 수산업에 관한 시험·조사·지도·단속 또는 교습에 종사하는 선박은 모두 어선위치 발신장치를 장착해야 한다.[118] 이를 위해 해양경찰청은 「선박패스(V-Pass) 장치 등의 설치기준 및 운영 등에 관한 고시」에 따라 '선박패스(V-Pass) 시스템'을 구축·운영하고 있으며, 해당 고시에 의하면 총톤수 2톤 이상의 모든 어선은 선박패스를 장착해야 한다.

〈표 5-13〉 AIS 의무 장착 대상 선박

법 령	대상 선박
「선박안전법 시행규칙」 제73조(선박위치발신장치 설치 대상 선박)	• 총톤수 2톤 이상의 여객선 및 유선 • 비여객선으로 국제항해 취항하는 총톤수 300톤 이상 선박 • 비여객선으로 국제항해 취항 않는 총톤수 500톤 이상 선박 • 총톤수 50톤 이상의 예선·유조선·위험물산적운송선
「어선법」 제5조의2(어선위치발신장치)	• 어업, 어획물운반업 또는 수산물 가공업 종사 선박 • 수산업 관련 시험·조사·지도·단속 또는 교습 종사 선박 • 총톤수 2톤 미만의 어선으로 상갑판이 없이 현단으로만 이루어져 있거나, 상갑판 상붕 구조물이 없는 어선(「어선법 시행규칙」 제42조의2)

117) 「선박안전법 시행규칙」 제73조(선박위치발신장치 설치 대상선박)
118) 「어선법」 제5조의2(어선위치발신장치)

법 령	대상 선박
「선박패스(V-Pass) 장치 등의 설치기준 및 운영 등에 관한 고시」	• 위 어선에 관한 내용과 동일 • 단, 「원양산업발전법」에 따른 원양어업에 종사하는 어선은 제외

자료: 저자 작성

해양수산부는 「선박위치발신장치의 설치기준 및 운영 등에 관한 규정」에 따라 AIS에서 발신하는 선박 운항정보(선박의 고유번호, 위치, 속력, 침로, 시각 등)를 수신·종합하는 '선박 모니터링 시스템'을 운영하고 있다.[119] 하지만 동 규정 제9조제2항은 수집한 정보의 활용을 제한하고 있으며, 특정한 목적으로 이용하고자 할 경우 선박 소유자의 동의를 받도록 하고 있다. 이와 마찬가지로 「어선법 시행규칙」 제42조의2제3항에서도 어선발신장치로부터 수집한 어선 위치정보의 활용을 제한하고 있다. 이를 정리하면 〈표 5-14〉와 같다.

〈표 5-14〉 AIS 정보 사용 제한 현황

법 령	활용가능 용도
「선박위치발신장치의 설치기준 및 운영 등에 관한 규정」 제9조제3항	• 해상에서의 재난 및 안전사고의 예방과 수습 • 해상테러 및 해적·무장강도 사고에 대한 신속한 대응 • 국가위기관리, 해상에서의 수난구호 • 해상교통안전관리, 선박의 출·입항 관리 • 선박에 안전정보 및 뉴스의 제공 • 통합방위를 위한 해안경계 또는 항만보안 • 관세 징수·부과
「어선법 시행규칙」 제42조의2제3항	• 어선의 안전조업, 법 어업·영업의 단속 • 수산자원의 조사, 해양사고에 대한 신속한 대응·조사 • 어선의 출항·입항 신고의 관리, 군의 해안경계작전 지원

자료: 저자 작성

119) 「선박위치발신장치의 설치기준 및 운영 등에 관한 규정」 제3장(선박모니터링시스템); 종합상황실, 선박의 운항 상황을 전자해도화면에 표시하는 시스템

따라서 현행 제도에서는 기본적으로는, 수집된 개별 선박의 운항정보를 선박의 배출량 산정, 대기질 파악 및 영향평가 등을 위한 목적으로 이용할 수 없다.

AIS를 통해 수집된 선박 운항정보를 대기오염물질 배출량 산정에 활용하기 위해서는, 우선 「선박위치발신장치의 설치기준 및 운영 등에 관한 규정」 제9조제3항과 「어선법 시행규칙」을 개정하여 수집된 AIS 정보 이용 목적에 대기오염물질 배출량의 조사 및 산정을 추가할 필요가 있다.[120] 이를 위해서는 선박의 대기오염물질의 배출량 조사·산정을 전문기관에 위탁할 수 있도록 하고, 선정된 전문기관을 「선박위치발신장치의 설치기준 및 운영 등에 관한 규정」 제9조제2항의 운항정보 수령기관에 포함해야 한다.

〈표 5-15〉 선박 오염물질 배출량 조사를 위한 AIS 정보의 수집·활용 확대

법 령	개선 사항
「선박위치발신장치의 설치기준 및 운영 등에 관한 규정」 제9조 (선박모니터링시스템의 운영 등)	• 제2항의 운항정보 수령기관에 배출량 조사·산정 전문기관 추가 • 제3항의 선박모니터링시스템으로 수집된 선박운항정보의 이용 목적에 대기오염물질 배출량의 조사 및 산정 항목 추가
「어선법 시행규칙」 제42조의2 제3항	• AIS로 수집된 어선위치정보 사용목적에 대기오염물질 배출량의 조사 및 산정 항목 추가

자료: 저자 작성

120) 추후 정책의 효율성을 고려하여, 온실가스 배출량 산정 역시 활용 가능한 용도로 포함할 수 있다.

06
결론

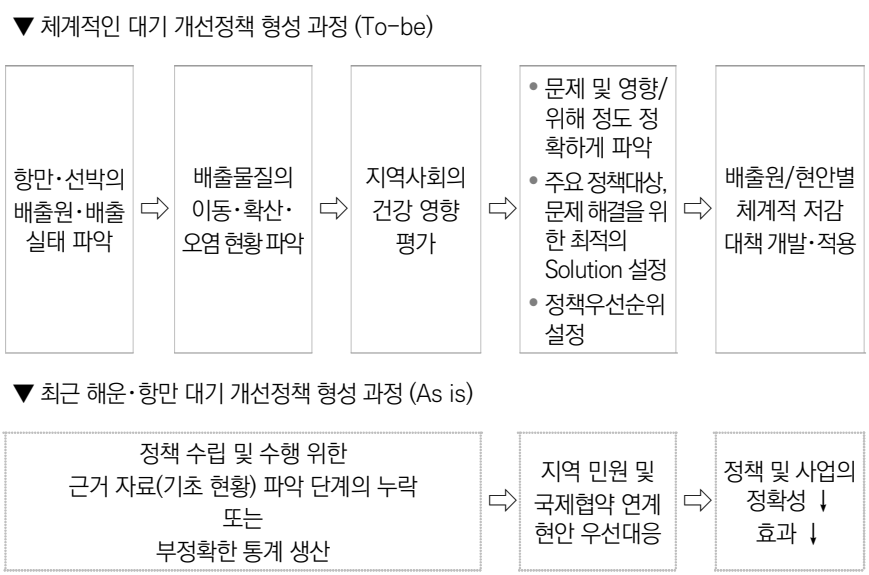
제1절 결론

최근 선박 및 항만 활동으로 발생하는 대기오염, 이로 인한 보건적 위해성에 대한 국민적 우려에 이어, 지구 온난화에 대한 국제사회의 관심에 따른 탄소중립의 적극적 이행의 요구 또한 매우 커지고 있다. 이에 우리 정부는 이를 위한 제도적 기반을 마련하는 한편, 해운·항만 분야에 엄격한 배출 저감 조치를 도입하고 이들에 대한 관리·감독을 강화하고 있다. 하지만 이러한 국가적 노력에도 불구하고 그 효과는 크게 체감하기 어려운 수준이며, 기상 여건 등 외부적 환경 변화에 따라서 오히려 더 심각한 수준으로 나타나고 있다.

저자의 지난 연구들에서도 여러 차례 지적한 바 있듯이, 이는 효과적인 정책의 개발·결정을 위한 기초 근거 자료의 미비에 많은 부분 기인하고 있는 것으로 보인다. 현재 국가 대기오염물질 통계의 산정방식은 항만 및 선박 활동과 관련한 유효 정보의 파악 및 구득의 어려움 등의 이유로 산정 결과의 신뢰도가 매우 미흡한 것으로 평가되고 있으며, 선박 및 항만의 배출, 이동·확산에 따른 대기오염, 이로 인한 환경 및 보건적 영향 등에 대한 근거

자료의 부재는 대기질 개선을 위한 제반 정책의 개발은 물론 이행의 과정에서 피할 수 없는 오류 및 비효율을 야기하고 있기 때문이다.[121]

〈그림 6-1〉 해운·항만 대기정책의 기초 현황 파악 단계의 미비에 따른 문제점



자료: 안용성 외(2019), p. 7 저자 재작성

아울러 기초 자료를 생산·확보함에 있어서 해당 배출원의 배출 양상 및 이동·확산에 의한 대기오염농도의 분포, 이에 따른 보건적 위해 정도, 환경적 영향 등, 단계별 산출 결과 및 분석 결과 자료의 정확성이 다음 단계는 물론 최종 결과물의 신뢰도 확보를 위한 관건인 동시에 기본적인 전제 조건이라 할 수 있다.[122]

이에 본 연구는 산정 결과의 정확도 개선, 나아가 최근 국가 차원에서 전방위적으로 추진 중인 해운·항만 활동의 스마트화(실시간 데이터의 자동수집

121) 안용성 외(2019), p. 6.
122) 위의 책, p. 8.

및 지능형 분석-예측-대응 등)와 연계 가능성 등을 고려하여, 국내 기간계 데이터베이스 중 활용 가능한 선박 활동데이터의 유효성을 검토하고, 최적의 데이터 세트를 적용하여 정확한 배출량 산정을 위한 최적 방안을 도출하고자 하였다.

이를 위해, 선박 대기오염물질 배출량 산정을 위한 국내외의 주요 방법론을 살펴보고, 본 연구의 목적에 부합하는 활동데이터 기반의 상향식 모형의 적용 사례에 대한 심층 분석을 수행하였다. 이를 바탕으로 현행 배출량 산정 패러다임의 한계를 도출하는 한편, 이를 극복하기 위한 방안으로 패러다임 전환의 필요성을 제시하였다.

이어서 선박의 정확한 활동 자료의 수집·적용을 위해, 현재 국내 데이터 인프라의 항만운영정보 시스템(PORT-MIS), 선박자동식별 시스템(AIS), 해상교통관제 시스템(VTS), 한국형 e-Navigation 서비스의 DSP 등 국내 해운·항만 관련 주요 기간계 데이터베이스의 활용 가능성을 검토하고, 이를 정리하여 활동데이터 기반 배출산정 모형 적용을 위한 데이터 인벤토리를 작성하였다.

또한, 도출된 데이터 인벤토리를 바탕으로 현재 활용 가능한 정적정보 및 동적정보 데이터 세트를 적용하는 상향식 산정모형을 구성하고, 이를 기존 방식(환경부, PORT-MIS 적용 방식)과 산정 단계별 오류 발생 가능성을 비교·분석하여 새로운 패러다임 적용으로 인한 정확도 개선 정도를 검증하였다. 이와 함께, 활동데이터 기반 선박 배출량 산정방법론 도입·활용을 위한 정책방안 및 제도 개선방안을 제시하였다.

제2절 정책 제언

1. 선박 대기오염물질·온실가스 통합 모니터링-분석·예측 플랫폼 구축·운용

1) 대기오염물질·온실가스 산정 패러다임의 전환

앞서 살펴본 바와 같이, 개별 선박의 운항 및 상태 등을 나타내는 활동 자료를 확보할 수 있다면 이를 바탕으로 산정한 개별 선박의 배출량 값은 실제 선박의 운항실태를 명확하게 반영할 수 있다. 따라서 이를 합산하여 도출한 전체 배출량 값 역시 전체 연료 소비 자료를 활용한 하향식 접근방식보다 실제 참값에 가까운 산정 결과를 기대할 수 있다.

현재 선박의 배출량 산정방식은, 여객선과 같이 면세유 공급 자료를 통해 1년 또는 월별 판매량으로 전체 연료 소비량을 추정할 수 있는 경우에 대해서 기본적으로 하향식(Top-down) 방법론을 적용하고 있다. 또한, 현재 산정 패러다임에서 일부 도입하고 있는 상향식 산정의 경우, 특정 용도의 선박들이 배출원 분류 시 대상에 포함되지 않아 애초부터 누락되거나 수집체계의 미비 또는 데이터의 활용 용도 제한 등의 이유로 누락된 시공간별 활동 자료를 추정하고, 이를 또다시 '특정 조건에 기반한 경험이나 평균 개념에 의한 가정'을 거듭하여 적용하고 있다. 이러한 과정에서 실제 선박 현황이나 운항형태와 괴리가 발생하고 있으며, 이로 인한 오류 발생의 가능성을 최소화하기 위한 해결 방안이 요구되고 있는 시점이다.

한편, 유럽 집행위원회(EC)는 최근 'Fit for 55'를 채택한 바 있으며, 이를 통해 배출량 보고·검증제도(EU MRV)의 데이터를 근거로 국제 해운업계를 EU-ETS에 포함하는 방안을 추진하고 있다. 또한 유럽연합의 움직임

이 당장 실현되는지 여부와 상관없이, 국제해사기구(IMO)를 중심으로 국제해운에 대한 시장 기반 조치(MBMs) 성격의 탈탄소화 작업이 매우 빠른 수준으로 논의, 진행되고 있다. 이러한 시장 기반 조치들을 적용하기 위해서는 신뢰도 높은 배출량 산정이 전제되어야 하며, 이에 따라서 선박의 운항에 따른 온실가스 및 대기오염물질의 정확한 배출량 통계, 그리고 각종 기술적·정책적 조치 적용에 따른 삭감량 등을 정확하게 반영·파악할 수 있는 산정방식의 고도화가 필수적으로 요구될 것이다.

따라서 주어진 환경에서 선박의 활동을 정확하게 반영할 수 있는 방식으로의 고도화가 필요하며, 이는 선박의 활동을 나타내는 데이터의 수집 주기 및 범위, 시공간적 측면의 단위격자를 조밀하게 구분하고 단위격자 간 누락 또는 오류 발생을 최소화하는 방향으로 추진해야 한다. 이를 통해 개별 선박의 활동을 정확하게 반영한 배출량을 산정하는 것은 물론, 특정 시간·공간 범위 내에서 조건의 변화에 따른 배출량의 변화 또는 특정 조치의 적용 시 삭감량 등을 보다 정교하게 예측할 수도 있다. 이어서, 개별 선박의 활동 자료에 기반한 배출량을 합산하여 실제 배출 참값에 가까운 선박군 전체 배출량을 추정할 수 있다.

〈표 6-1〉 단·중기 주요 추진과제(~2024년)

추진 사항	추진 주체
• 선박 활동데이터 기반 실시간 배출량 산정모형 개발 • 항만 활동데이터 기반 실시간 배출량 산정모형 개발	해양수산부 해양환경정책과, 해사산업기술과 등 ※ 국립환경과학원, 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터와 긴밀 협의 필요
• 선박 배출물질의 실시간 이동·확산, 영향 분석모형 개발 • 항만 배출물질의 실시간 이동·확산, 영향 분석모형 개발	
• 배출량 산정 위한 '국가 배출량 산정 경계 범위' 설정	해양수산부, 환경부 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터
• 지역별 공간 할당 위한 해상 관할경계 검토 및 협의 ※ 배출량의 지역경계 및 할당 기준, 배출로 인한 영향 산정·평가의 관리관할 기준 마련 필요	국무조정실, 행정안전부, 유관 지자체

자료: 저자 작성

2) 선박의 등록·면허 시 제출 정보 항목 확대

선박의 배출량 산정을 위해서는 기본적으로 선박의 식별 등을 위한 선박명, 고유번호, 그리고 선박 및 추진체계의 주요 제원 및 현황, 용도 등의 정적정보와, 구간별 연료 소비량 또는 이를 추정하기 위한 시간별 위치 및 속도 등 선박 활동의 여러 가지 측면을 나타내는 동적정보가 요구된다.

정적정보의 경우 「해운법」, 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」, 「어선법」 등 관련 법률에 따라서 선박의 등록 및 면허, 입출항 신고를 위한 의무 보고사항으로, 선박의 명칭, 용도, 총톤수, 주요 치수, 선박 번호, IMO 번호 등을 포함하는 선박정보가 수집된다. 이 과정에서 여객선의 경우 해상여객운송사업 면허, 화물선의 경우 해상화물운송사업 등록 신청 시 추진기관의 개수 및 주요 제원 등을 포함하는 '선박검사 증서'를 해양수산부(지방 해양수산청)에 제출해야 하며, 어선의 경우에는 등록 시 「어선법」에 따라서 같은 내용을 관할 지자체에 제출해야 한다. 하지만 총톤수 100톤 미만의 화물선, 그리고 주로 항만구역 내에서 운항하는 기타선 등은 제출 대상에서 제외된다.[123]

하지만 수집된 개별 선박의 추진기관 관련 정보는 행정정보상 공개되고 있지 않으며, 국가 배출량 통계 산정 시에도 톤급별 선박군을 구별하여 연료 경제 값을 일괄 적용하거나 동급 선박의 평균 개념의 엔진 출력값을 적용하는 방법 등으로 이를 추정하고 있다. 선박의 배출량 산정 시, 활동데이터 기반의 상향식 산정모형을 본격 적용하기 위해서, 그리고 이를 일부 도입·적용하고 있는 현행 산정방식의 오류 발생 가능성을 최소화하기 위해서도 「선박법」, 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」에 따른 선박의 등록·신고 시 보고 항목에 해당 선박의 기관 종류, 최대출력(마력), 기관의 수 등을 포함하는 엔진(및 보조엔진)의 제원 및 제반 정보 항목을 추가하는 방안이

123) 안용성 외(2017), p. 105.

필요하다.[124] 이와 더불어, 선박의 배출량 산정을 특수 용도로 지정하고 일정한 비식별화 조치 등을 통해 선박 검사정보의 공유·활용이 가능하게 해야 한다.

3) '스마트 커넥티드' 개념 구현을 위한 기술 및 정책 개발

최근 해운 및 항만의 탄소중립 및 대기오염물질 배출 저감에 대한 요구는 국제사회는 물론 국내에서도 매우 커지고 있으며, 이를 위한 선박의 배출 및 이동·확산, 그로 인한 영향과 관련한 통계의 수요 역시 증대되는 시점이다. 이들을 활용하는 고수요·고가치 작업, 이와 관련한 새로운 개념의 산업·제품 등의 수요 역시 다양해지고 있으며, 이들의 재료 데이터 또는 주요 근거 자료가 되는 배출 및 이동·확산 등 모니터링 데이터의 신뢰도는 이들을 활용하는 결과물의 품질을 좌우하게 된다.

앞서 살펴본 바와 같이, 선박의 활동을 파악할 수 있는 세부 운항정보의 수집체계 개선을 통해 선박의 동적정보 수집 간격의 시공간 격자를 조밀하게 함으로써 정확한 활동 양상을 반영하여 산정 결과의 정확도를 크게 개선할 수 있다. 또한, 개별 선박의 다양한 기술적 조치의 적용 또는 정책적 조치의 이행 양상을 반영하여 이로 인한 삭감량 역시 매우 정확하게 산정·예측할 수 있다.

현재 항만 및 선박의 배출량 산정을 위한 재료 데이터, 즉 배출원의 정적정보와 동적정보의 대부분은 1년 주기의 배출량 통계 생산을 위한 요구 조건에 맞추어 보고된 1년 전체 통계에 의한 데이터의 형태로 수집되고 있다.

124) 위의 책, p. 105.

〈표 6-2〉 국내 선박 배출원 분류체계별 주요 데이터 수집 현황

배출원	정보 항목	수집·관리기관	자료 출처	자료 형태	조사 주기	구분
여객선	등록 현황	한국해운조합	연안여객선 업체 현황	보고서	1년/ 변경 시	정적
	운항노선	한국해운조합	연안해운통계연보	보고서	1년/ 변경 시	동적
	입출항 현황	한국해운조합	연안해운통계연보	보고서	1년	정적/동적
	면세유 지급정보	한국해운조합	자체 관리 자료	내부문서	1년	동적
화물선*	등록 현황	한국해운조합	내항화물운송사업 등록업체	보고서	1년/ 변경 시	정적
	입출항 통계	해양수산부	입항선박톤급별통계	보고서	1년	정적/동적
	입출항 현황	해양수산부	항만운영정보시스템	전산자료	수시	정적/동적
	운항시간	해양수산부	항만운영정보시스템	전산자료	수시	동적
	선박 제원	한국해운조합	내항화물운송사업 등록업체	보고서	1년/ 변경 시	정적
		한국해양교통안전공단	선박검사등록 DB	전산자료	변경 시	정적
		한국선급	선박검사등록 DB	전산자료	변경 시	정적
어선*	등록 현황	해양수산부	등록선박통계연보	보고서	1년	정적
	어선 제원	한국해양교통안전공단	선박검사등록 DB	전산자료	변경 시	정적
		한국선급	선박검사등록 DB	전산자료	변경 시	정적
	이동·조업 시간	-	연간 이동, 조업시간	설문	-	동적
레저 선박	레저 선박 제원	해양경찰청	레저 선박 등록 현황	보고서	변경 시	정적

주: * 상향식 방법론 일부 도입·적용
자료: 국립환경과학원(2014a), p. 208의 내용 저자 재작성

등록·신고 시 한번 결정되면 구조변경, 대·폐선 등의 특별한 사유가 없는 한 변경의 여지가 크지 않은 정적정보의 경우 전산 자료의 형태로 통합 DB화를 추진하고, 측정 또는 관제·조사 등에 의해 구득할 수 있는 동적정

보의 수집 주기 간격을 조밀하게 분할하여 이들 데이터를 빅데이터화 할 수 있다. 또한, 이들을 바탕으로 배출량을 구하기 위해 도출한 요구 데이터 및 최종 결과 값인 배출량 값 역시 빅데이터의 성격을 갖게 된다. 또한, 추후 유무선 네트워크 및 지연 없는 실시간 통신기술, 그리고 계측-전송체계의 구축, 운용으로 센싱 디바이스-IoT 기반의 실시간 연결을 통해 선박별 배출량 계측정보를 통합 모니터링 시스템으로 전송·수집하거나, 수집 주기 간 연료 소비량을 전송·수집하는 방법으로 이른바, '실시간 배출량 산정'을 현실화해야 한다.

이를 바탕으로, '스마트 커넥티드' 기반의 해운·항만 배출·영향 모니터링 체계를 구축할 수 있다. 제도의 개선, 최적 기술 개발 등을 통해 가능한 부분부터 IoT 기반의 자동 수집으로 실시간 데이터 수집체계를 구축하고, 분석 및 예측을 위한 지능형 제어기술, 디지털 트윈 기술 등을 순차적으로 적용하여 '스마트 해상교통 관제' 또는 '스마트 항만 운영' 플랫폼의 프로토콜을 만드는 작업이라고 할 수 있다. 따라서 해당 분석·예측 플랫폼을 구축하여 이를 순차적으로 고도화하는 동시에 선박의 운항 및 항만 물류의 수준을 디지털 기반의 자동화, 즉 'Port 3.0'의 수준까지 도달할 수 있도록 병렬적으로 추진한다면, 추후 이를 위한 또 다른 지능형 알고리즘을 추가 레이어의 형태로 해당 플랫폼에 추가할 수 있으며, 이는 곧 스마트 항만 운영을 위한 지능형 통합 플랫폼으로 작동하게 된다.[125]

〈표 6-3〉 단·중기 주요 추진과제(~2024년)

추진 사항	추진 주체
• 선박 활동데이터 기반 실시간 배출량 산정모형 개발 • 항만 활동데이터 기반 실시간 배출량 산정모형 개발	해양수산부 해양환경정책과, 해사산업기술과 등 ※ 국립환경과학원, 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터와 긴밀 협의 필요
• 선박 배출물질의 실시간 이동·확산, 영향 분석모형 개발 • 항만 배출물질의 실시간 이동·확산, 영향 분석모형 개발	

125) 안용성 외(2019), p. 124.

• 해운·항만 행정정보 빅데이터화 사업 추진	해양수산부 해사산업기술과, 항만운영과, 해양수산과학기술정책과 등
• '스마트 해상교통 관제' 위한 무선 통신 네트워크 및 센싱디바이스 최적화 기술 개발, 도입	해양수산부 해사산업기술과, 해양수산과학기술정책과, 해양경찰청 등
• '스마트 항만 운영' 위한 유무선 통신 네트워크 및 센싱 디바이스 최적화 기술 개발, 도입	해양수산부 해양환경정책과, 해양수산과학기술정책과, 항만운영과 등
• 배출량 산정 위한 '국가 배출량 산정 경계 범위' 설정	해양수산부, 환경부 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터
• 지역별 공간 할당 위한 해상 관할경계 검토 및 협의 ※ 배출량의 지역경계 및 할당 기준, 배출로 인한 영향 산정·평가의 관리관할 기준 마련 필요	국무조정실, 행정안전부, 유관 지자체

자료: 저자 작성

4) 대기오염물질·온실가스 통합 모니터링 및 분석·예측체계 구축

최근 대기오염에 대한 국민적 우려는 물론 국제사회의 배출 제로(Emission Zero) 또는 탈탄소화 달성을 위한 공감대의 형성으로, 오염물질의 대기 중 배출을 저감하기 위한 국가 차원의 전방위적 노력이 펼쳐지고 있다. 이에 따라서 전통적인 주요 배출원은 물론 최근 대규모 배출원으로 인식되고 있는 항만 및 선박에 엄격한 배출관리를 위한 특별법령이 제정·시행되고 있으며, 이를 위한 각종 기술적·정책적 조치들이 도입·적용되고 있다. 법령을 살펴보면, 이들의 제정 목적은 '대기질 개선을 통한 국민 삶의 질 향상'으로 요약할 수 있으며, 이는 궁극적으로 '국민 보건 측면의 위해성 저감'을 지향하고 있다고 볼 수 있다.

하지만 현행 관련 법령은 주요 이행 내용에 실태조사 및 배출량 산정 등과 같은 내용을 포함하고는 있지만, 이와 같은 본연의 목적보다 주로 '배출 저감'에 방점을 두고 있는 것으로 나타나고 있다. 앞선 연구에서도 여러 차례 지적한 바 있듯이, 배출 및 이로 인한 영향 등의 양상 및 인과관계 등을 밝히는 것은 각종 정책의 근거를 제공하는 가장 중요한 과정이라고 할 수 있다.

이는 선박 및 항만의 활동으로 발생하는 배출·오염 및 영향의 양상과 이러한 메커니즘의 인과관계, 즉 어떤 배출원에서 어떤 오염물질이 어떠한 패턴으로 배출되며, 배출된 물질이 어떠한 이동·확산의 과정을 거쳐 인근 지역사회의 수용체에 어떠한 영향을 미치는지 파악·규명하는 작업으로 요약할 수 있다. 이러한 모니터링 및 분석의 과정을 통해 현 상황의 문제점을 올바르게 파악할 수 있으며, 이를 바탕으로 개선 및 조정, 개입이 필요한 특정 지역·대상 또는 배출원의 특정 오염물질 등을 규명할 수 있다. 이어지는 분석 결과에 따라서 도출된 문제 및 정책 대상 등의 필요한 정책 투입의 우선순위, 최적의 기술적·정책적 조치를 선택·결정할 수도 있다. 문제 및 인과관계를 가능한 한 정확하게 파악함으로써, 이를 해결하기 위한 최적의 해결방안을 효율적으로 투입할 수 있는 것이다.

따라서 현행 법령의 개정을 통해서 배출량 산정 및 이동·확산, 영향 등을 파악하는 과정을 의무화하는 한편, 주요 이행 주체가 일관된 방법과 통일된 기준으로 이를 이행할 수 있도록 주요 방법론 및 기준 등을 지침의 형태로 제공할 필요가 있다. 이를 통해 특정 지역 및 특정 조건·수요에 부합하는 정확한 예측 자료 역시 도출할 수 있으며, 이는 최근 급증하고 있는 데이터의 활용 수요에도 정확하게 부합한다.

이와 더불어, 대기오염물질과 온실가스의 모니터링 및 분석·예측 과정을 일원화하는 방안을 검토할 필요가 있다. 앞서 밝힌 바와 같이 대기오염물질 저감의 본질적인 목적은 국민 보건·환경적 위해성 경감에 있는 데 반해, 온실가스 저감의 가장 큰 목적은 궁극적으로 지구 온난화의 방지에 있다고 할 수 있다. 정책 동기의 차이는 결과적으로 상이한 정책활동을 수반하게 되며, 대상 물질의 차이 역시 상이한 처리 및 대응이 필요하다.[126)]

126) 대기오염물질과 온실가스 배출 저감을 위한 세부 기술 및 대상이 상이할 수 있으나, 에너지 효율을 개선하거나 청정 에너지 추진 개념으로 전환하는 등의 기술적·정책적 조치는 공통적으로 적용되며, 대상 물질 중에서도 블랙카본(BC) 등 양 분야에 공통으로 포함되는 경우가 적지 않음

하지만 이들 물질의 대기 중 배출 및 이동·확산을 파악하는 과정은 적용하는 세부 모형이나 계수 등의 차이가 있을 뿐 큰 그림에서는 요구되는 활동 및 방식이 대동소이하며, '배출-이동·확산-영향' 단계별 과정 그리고 이를 바탕으로 수행하는 분석·예측의 진행 과정에서 요구되는 조사 대상(배출원) 및 재료 데이터의 종류 역시 유사하다. 모니터링 및 분석·예측 과정의 통합이 필요한 이유이다. 이는 선박 및 항만의 주요 배출원 등을 대상으로, 앞서 제시한 요구 데이터를 수집 또는 연계·활용하는 '해운·항만 대기오염물질·온실가스 통합 모니터링 및 분석·예측체계(안)'으로 구현할 수 있다.

〈표 6-4〉 단·중기 주요 추진과제(~2024년)

추진 사항	추진 주체
• 해운·항만 대기오염물질·온실가스 통합 모니터링 및 분석·예측체계 개발	해양수산부 해양환경정책과, 해사산업기술과, 해양수산과학기술정책과 등 ※ 국립환경과학원, 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터와 긴밀 협의 필요
• 해양 대기환경 관리부서 신설 ※ 환경 연구·관리 수요의 급증, 탄소중립 및 대기오염 등 전문화된 서비스 제공을 위해, 수환경 및 대기환경 분리 필요	해양수산부
• 해운·항만 대기오염물질·온실가스 모니터링 및 관리지침(안) 개발	해양수산부 해양환경정책과, 해사산업기술과 등
• 대기오염물질·온실가스 통합 모니터링 및 관리 시스템 개발 ※ 현재 운용 중인 대기배출원관리시스템(SEMS), 국가온실가스종합관리시스템(NGMS)의 통합 및 정보 연계 운용 검토 • 대기오염물질·온실가스 통합 모니터링 및 DB 구축, 운용	환경부 국립환경과학원, 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터

자료: 저자 작성

2. 선박의 운항·배출의 지능형 관리기술 표준화 추진

안용성 외(2019)는 현재 해운·항만물류 분야에서 'ID 4.0' 개념의 'Port 4.0' 즉, '스마트 항만' 구축을 추진하고 있으나, 국내 항만은 아직 'Port 3.0'의 수준에도 미치지 못하고 있으며, 이른바 스마트 항만을 구축하기 위해서는 우선 자동화를 위한 기술 개발 및 적용, 이를 통한 효율적 데이터베이스 구축을 성공적으로 추진해야 함을 지적한 바 있다.[127]

본 연구에서 제시한 바는 실시간 배출량 산정, 나아가 특정 조건의 변화 등에 따른 분석·예측 등을 위한 알고리즘 모형으로 볼 수 있으며, 산업 또는 정책의 수요에 따라서 물류 및 운영 효율화, 교통 및 안전 최적화 등의 알고리즘을 추가적인 레이어의 형태로 포함할 수 있다. 이는 해당 알고리즘의 주요 대상이 되는 단위가 배출원, 즉 해운 및 항만 운영의 주된 구성요소로 유사하거나 정확히 일치하기 때문이다.

최근 국제사회는 온실가스 및 대기오염물질의 배출을 제로화하는 한편, 초연결 즉, 스마트 커넥티드 및 지능형 제어 개념을 적용하는 최적화 기술의 개발·적용을 위한 초박빙의 경쟁에 돌입하고 있다. 이러한 상황에서 새롭게 열리는 환경시장을 주도하기 위해서는 조사 및 측정 등에 의한 모니터링, 이를 바탕으로 하는 분석·예측 결과 등의 정확도를 획기적으로 개선하는 한편, 신뢰도 높은 재료 데이터 처리의 최적화를 통해 각 분야로부터의 고수요·고가치 데이터를 제공함에 있어 높은 품질의 수준을 보장할 수 있어야 한다. 이는 지연 없는 실시간 육·해상 무선 통신 및 IoT의 연계, 빅데이터 기반의 처리기술 적용 등으로 현황 및 문제를 올바르게 파악하기 위한 '전(前) 스마트화' 과정, 그리고 이를 바탕으로 현안 및 가까운 미래에 발생할 것으로 예측되는 문제 등의 우선순위를 선별하는 한편 최적 방안을

127) 위의 책, p. 123.

적용하여 해결하기 위한 스마트화 작업, 즉 클라우드 컴퓨팅 및 데이터 마이닝·머신러닝 기술 기반 AI의 적용 과정으로 구현할 수 있다.

이는 가까운 미래에 선박 및 항만의 배출관리는 물론, 구성요소가 유사한 물류·교통 및 운영의 최적화 과정에 통합적으로 연계·활용하기 위한 기술적 기반을 마련하는 작업으로 이해할 수 있다. 즉, 배출원(해운·항만 물류·교통의 주요 구성요소)의 활동 및 배출·영향의 실시간 모니터링 및 관리 최적화 기술을 선제적으로 개발·도입함으로써, 미래 친환경 스마트 해운·항만 구축 및 운영의 핵심기술을 확보할 수 있다. 최근 새로운 시장으로 성장하고 있는 국내외 해운·항만의 디지털 전환 시장을 선점하고, 이를 선도하기 위한 전략적 접근이 요구되는 시점이다.

선도적인 기술 개발 및 적용으로, 상기 제반 과정의 적용 과정 및 최적화 기술, 이를 구현하기 위한 시스템, 나아가 독립 시스템의 연계를 통한 연합 플랫폼(Federation system)의 기준 및 표준안을 개발하여, 국내 주요 항만 등에 시범 적용 및 확대를 거쳐 향후 아시아 역내 항만기구 혹은 IMO(국제해사기구), ISO(국제표준화기구) 차원의 관련 기술 표준안으로 제정되도록 추진해야 한다.

〈표 6-5〉 단·중기 주요 추진과제(~2024년)

추진 사항	추진 주체
• 지능형 선박 배출 모니터링 및 분석·예측 플랫폼 개발 • 지능형 항만 배출 모니터링 및 분석·예측 플랫폼 개발 → 해운·항만 탄소중립·대기오염 모니터링 및 분석·예측 위한 통합 DB-지능형 플랫폼 구축, 운용 → 통합 모니터링 플랫폼의 정보 연계·활용으로, '스마트 해상교통 관제' 또는 '스마트 항만 운영'의 최적화 플랫폼 구축, 운용	해양수산부 해양환경정책과, 해사산업기술과, 항만운영과, 해양수산과학기술정책과 등 ※ 국립환경과학원, 국가온실가스종합정보센터, 국가미세먼지정보센터와 긴밀 협의 필요
• 선박·항만 활동데이터 기반 실시간 배출량 산정, 이동·확산, 영향 분석 기술 표준화 사업 • 범용 기준 및 표준화, 시범 적용 후, 국제 표준화 추진	
• 동북아/+아세안(ASEAN) 항만·해운 탄소중립 및 대기오염 저감 위한 지역 협력기구 출범 추진 ※ 국제현안 지역이해 공동대응, 기술지식·경험 공유 등 →「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법」 반영, 개정 추진	해양수산부, 항만공사 등

자료: 안용성(2020) p.268 외 저자 작성

참고문헌

국내 문헌

국가미세먼지정보센터(2020), 「국가대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅳ)」. p.7, pp. 171~219.

국립전파연구원(2016), 「해상·항공 및 지상망의 안전한 무선통신 환경 마련을 위한 기술기준 연구」. pp. 4~5,

국립해양조사원(2020a), 「남해안 항로지」.

_____(2020b), 「동해안 항로지」.

_____(2020c), 「서해안 항로지」.

국립환경과학원(2013), 「국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅲ)」. pp. 176~181.

국립환경과학원(2014a), 「국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(I)」. pp. 206~208.

_____(2014b), 「국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(I) 제안요청서」. pp. 2~3.

_____(2015a), 「국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(II)」. p. 44.

_____(2015b), 「국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(II) 제안요청서」. pp. 2~3.

_____(2015c), 「선박부문 오염물질 배출량 산정 시스템 운영 매뉴얼」. pp. 189~190, p. 197, p. 210, pp. 213~214.

_____(2016a),「국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(Ⅲ)」. p. 28, pp. 33~58, pp. 87~92.

_____(2016b),「국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(Ⅲ) 제안요청서」. pp. 2~3.

_____(2019),「국가대기오염물질 배출량 통계(CAPSS) 검증 및 개선」.

안용성·육근형·김지윤(2017),「선박에 의한 대기오염물질 배출량 산정체계 개선 방안」, 한국해양수산개발원. pp. 40~41.

안용성 외(2019),「항만지역 대기질 개선을 위한 데이터 연계·활용방안 연구」, 한국해양수산개발원, p. 6, p. 8, pp. 123~124.

안용성 외(2020),「항만 대기환경 관리 표준 및 평가모형 연구」, 한국해양수산개발원. p. 268.

장영기(2018),「국가 대기오염물질 배출량 평가 방법 개발 및 로드맵 개선 연구」, 국립환경과학원. p. 88.

장영태·조성현·조아현(2020),「PORT-MIS와 AIS 데이터를 활용한 항만 내 대기오염물질 배출량 추정」, 인하대학교 정석물류통상연구원.

정중식(2015),「한국형 e-Navigation 목표와 정부계획」, 한국정보통신기술협회보. pp. 24~25.

해양경찰청(2021),「2021 전국 선박교통관제 안내지」. p. 5, 8.

해양경찰청·사단법인한국도선사협회·한국선주협회(2021),「VTS와 함께 만들어 나가는 희망의 바다 선박운항자 교육」. pp. 62~63,

해양수산과학기술진흥원(2021),「오션 인 사이드」. p. 3.

해양수산부(2016),「선박자동식별시스템 수신율 향상을 위한 개선방안 마련 연구」. pp. 4~5.

_____(2019),「디지털 중단파 기지국 구축 감리」

_____(2020),「선박자동식별시스템 운영현황」, p. 1, p. 3.

_____(2021),「선박자동식별시스템 운영현황」, p. 1.

국외 문헌

Bauhaug Ø, *et al.*(2009), "Second IMO GHG study 2009, International Maritime Org anization (IMO)", London, UK 2009.

Coello, J. *et al.*(2015), "An AIS-based approach to calculate atmospheric emissions from the UK fishing fleet", *Atmospheric Environment*, 114, pp. 1-7.

Cheng Li *et al.*(2016), "An AIS-based high-resolution ship emission inventory and its uncertainty in Pearl River Delta region, China", *Science of The Total Envir onment*, 573, pp. 1~10.

Cherkassky, B. V., A. V. Goldberg & T. Radzik(1996), "Shortest paths algorithms: theory and experimental evaluation", *Math. Program.*, 73(2), pp. 11-13.

Dals ø ren S. B. *et al.* (2009), "Update on emissions and environmental impacts from the international fleet of ships: the contribution from major ship types and ports. Atmospheric Chemistry and Physics", 9(6), pp. 2171-2194.

Defra(2010) "UK Ship Emissions Inventory(2010)", Entec UK Limited.

Dongsheng Chen *et al.*(2016), "Estimating ship emissions based on AIS data for port of Tianjin, China", *Atmospheric Environment*, 145, pp. 10-18.

EEA(1999), "EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook"

____(2013), "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013", pp. 16-17.

____(2019), "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019"

____(2020), "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019-Update Oct. 2020.", p. 12-17, p. 22-25, 29-30.

EPA(1999), "AP42 Ch1 External Combustion Sources", 5th ed. Vol 1, section 1.3.

____(2000). "Analysis of commercial marine vessels emissions and fuel consumptio n data.", Technical Report.

____(2009), "Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emis sion Inventories", p. 1-7, 2-14, 2-16, 2-9, pp. 2-1-2-2, 2-6-2-7, 2-11-2-12, 2-18-2-19.

____(2020), "Port Emissions Inventory Guidance: Methodologies for Estimating Port

-Related and Goods Movement Mobile Source Emissions", pp. 168-169.

Hollenbach, K. U.(1998), "Estimating resistance and propulsion for single-screw an d twin-screw ships-ship technology research 45 (1998)". *Schiffstechnik,* 45 (2), p.72.

IMO(2009), "The second IMO Greenhouse Gas study", p. 138.

____(2021), "Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020", p. 32, 64, 66, pp. 70-71, p. 74, p. 80, pp. 82~83.

IPCC(2006), "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories".

ITTC(1999), "ITTC Performance prediction method", 7.5-02-03-01.4, pp. 1-31.

Jalkanen, J.-P., L. Johansson & J. Kukkonen(2016), "A comprehensive inventory of ship traffic exhaust emissions in the European sea areas in 2011", *Atmosphe ric Chemistry and Physics*, 16(1), pp.71-84.

Jalkanen, J-P. *et al.*(2009), "A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea area", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(23), pp. 9209-9223.

Jalkanen, J-P. *et al.*(2012), "Extension of an assessment model of ship traffic exhaust emissions for particulate matter and carbon monoxide", *Atmospheric Che mistry and Physics*, 12(5), pp. 2641-2659.

Johansson, L., J. P. Jalkanen & J. Kukkonen(2017), "Global assessment of shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution", *Atmospheric Environment*, 167, pp. 403-415.

Liu, Ta-Kang, Yung-Sheng Chen & Yen-Tin Chen(2019), "Utilization of Vessel Auto matic Identification System (AIS) to Estimate the Emission of Air Pollutant from Merchant Vessels in the Port of Kaohsiung", *Aerosol and Air Quality Research*, 19(10), pp. 2341-2351.

Peng, X. *et al.*(2020), "A sampling method for calculating regional ship emission inventories", Transportation Research Part D: Transport and Environment, 89, p.102617.

PBL(2010), "Methodologies for estimating shipping emissions in the Netherlands. A documentation of currently used emission factors and related activity data.".

Port of Los Angeles(2010), "Inventory of air emissions 2009", *Technical Report*, 5, ADP, pp. 520-525.

Sarvi, A., Fogelholm, C.-J. & Zevenhoven, R.(2008), "Emissions from large-scale medium-speed diesel engines: 1. Influence of engine operation mode and turbocharger", *Fuel Processing Technology*, 89(5), pp. 510-519.

Schwartz, W. & J. M. Rhiemeier(2007), "The Analysis of the emissions of fluorinated greenhouse gases from refrigeration and air conditioning equipment used in the transport sector other than road transport and options for reducing these emissions: Maritime", *Rail and Aircraft Sector – Final report*, European Commission (DG Environment), p. 26.

Segersson, D.(2013), "A dynamic model for shipping emissions. Adaptation of Airviro and application in the Baltic Sea", *SMHI Report*, Meteorology, pp. 1-2, p. 21.

Segersson, D. & S. Homin-Fridell(2014), "Technical Assistance for control of ship-sourced emissions: Handbook-Ship Emission Model", *National Programme for Turkey 2010 under the Instrument for Pre-Accession Assistance,* pp. 8~49.

Song Su(2014), "Ship emissions inventory, social cost and eco-efficiency in Shanghai Yangshan port", *Atmospheric Environment*, 82, pp. 288-297.

Wan Zheng *et al.*(2020), "Shipping emission inventories in China's Bohai Bay, Yangtze River Delta, and Pearl River Delta in 2018", *Marine Pollution Bulletin*, 151, p. 110882.

Wang, Zheng, Cuihong Qin & Wei Zhang(2020), "Study on Characteristics of Emissions of Air Pollutants in Ships in the Yangtze River Delta and Countermeasures", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 450, pp. 12-32.

Weng, J. *et al.*(2019), "Ship emission estimation with high spatial-temporal resolution in the Yangtze River estuary using AIS data", *Journal of Cleaner Production*, 248, p. 119297.

Whall, C. *et al.*(2002), "Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community", Report for the European Commission, Entec UK Limited, Northwich, Great Britain. p. 13.

Winther, M. *et al.*(2014), "Emission inventories for ships in the arctic based on satellite sampled AIS data", *Atmospheric Environment,* 91, pp. 1-14.

인터넷 자료

정보통신신문(2021. 4. 5.), 「LTE-M '랜 셰어링' 통해 공공망 전파 간섭 해소」, http://www.koit.co.kr/news/articleView.html?idxno=81611(검색일: 2021. 5. 13.)

한국경제(2018. 3. 24.), 「"항만 민원 한번에 처리"…통합항만운영정보시스템 개통」, https://www.hankyung.com/politics/article/201803244471Y(검색일: 2021. 5. 13.)

해양경찰청 보도자료(2019. 9. 23.), 「휴대전화로 어선위치발신장치 정보 확인하세요!」(검색일: 2021. 5. 13.)

해양경찰청 홈페이지, 「해상교통관제센터」, http://www.kcg.go.kr/kcg/vts/main.do?mi=2910(검색일: 2021. 5. 15.)

해양수산부, 「지능형 해상교통정보서비스」, https://e-navigation.mof.go.kr/mainHome.do(검색일: 2021. 10. 12.)

해양수산부 보도자료(2019. 5. 29.), 「초고속 해상무선통신망(LTE-M) 구축 본격 착수」(검색일: 2021. 5. 13.)

해양수산부 보도자료(2021. 3. 31.), 「바다내비게이션 단말기 2차 보급, 지금이 신청 적기!」(검색일: 2021. 10. 12.)

해운항만물류정보시스템(PORT-MIS), 「PORT-MIS」, https://new.portmis.go.kr/(검색일: 2021. 10. 13.)

해운항만물류정보시스템(PORT-MIS), 「PORT-MIS 이용안내」, https://new.portmis.go.kr/portmis/websquare/websquare.jsp?w2xPath=/portmis/w2/main/index.xml&page=/portmis/w2/template/xml/UI-PM-MT-006-10.xml&menuId=0030&menuCd=M4740&menuNm=%C0%CC%BF%EB%BE%C8%B3%BB (검색일: 2021. 10. 13.)

해운항만물류정보시스템(PORT-MIS), 「관제입력 List」, https://new.portmis.go.kr/portmis/websquare/websquare.jsp?w2xPath=/portmis/w2/main/intro.xml(검색일: 2021. 10. 12.)

환경부, 「온실가스종합정보센터」, http://www.gir.go.kr/home/main.do(검색일: 2021. 10. 15.)

AIRVIRO, 「AIRVIRO」, https://www.airviro.com/airviro/(검색일: 2021. 5. 2.)

IHS, 「Maritime Portal Sea-Web(IHS)」, https://ihsmarkit.com/products/sea-web-maritime-reference.html(검색일: 2021. 7. 14.)

법령 자료

「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」(2021. 9. 24, 법률 제18469호).

「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법」(2021. 4. 1. 법률 제14983호).

「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법 시행령」(2021 .8. 6, 대통령령 제31931호).

「대기환경보전법」(2021. 4. 13, 법률 제18028호). 및 시행규칙

「선박교통관제 운영규칙」(2021. 12. 28, 해양경찰청훈령 제 258호).

「선박교통관제에 관한 규정」(2021. 3. 3, 해야경찰청 고시)

「선박교통관제의 시행 등에 관한 규칙」(2016. 6. 2, 총리령 제1282호).

「선박법」(2018. 12. 31, 법률 제16160호). 및 시행규칙

「선박설비기준」(2021. 6. 3, 해양수산부고시 제2021-114호).

「선박안전법」(2020. 2. 18, 법률 제17028호). 및 시행규칙

「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」(2020. 2. 18, 법률 제17007호). 및 시행규칙

「선박위치발신장치의 설치기준 및 운영 등에 관한 규정」(2021. 1. 7, 해양수산부고시 제2021-2호).

「선박패스(V-Pass) 장치 등의 설치기준 및 운영 등에 관한 고시」(2015. 1. 16, 국민안전처 고시 제2015-1호).

「수상레저안전법」(2021. 1. 5, 법률 제17876호). 및 시행규칙

「어선법」(2019. 8. 27, 법률 제16568호). 및 시행규칙

「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침」(2021. 3. 11, 환경부고시 제2021-47호).

「유선 및 도선사업법」(2020. 3. 24, 법률 제17091호).

「저탄소 녹색성장 기본법」(2019. 11. 26, 법률 제16646호).

「지능형 해상교통정보서비스의 제공 및 이용 활성화에 관한 법률」(2020. 1. 29, 법률 제16901호). 및 시행규칙

「항만지역등 대기질 개선에 관한 특별법」(2019. 4. 2, 법률 제16308호). 및 시행규칙

「항만물류통합정보체계 구축·운영 및 이용절차에 관한 규정」(2008. 5. 22, 국토해양부고시 제2008-180호).

「해상업무용 무선설비의 기술기준」(2016. 12. 29, 국립전파연구원고시 제2016-33호).

「해양경찰청 소관 주요 정보통신기반시설 지정 고시」(2021. 2. 18, 해양경찰청고시 제2021-1호).

「해양환경관리법」(2021. 4. 13, 법률 제18066호).

「해양환경 보전 및 활용에 관한 법률」(2019. 8. 20, 법률 제16519호).

「해운법」(2021. 4. 13, 법률 제18067호).

기본연구보고서 발간목록

2021년

01	시민참여형 해안돌봄 정책 도입방안 연구	정지호
02	해양 플라스틱 쓰레기가 선박 운항에 미치는 영향분석 연구	김보람
03	여성어업인 노동정책 방향 연구	홍혜수
04	순환경제 시스템을 활용한 어업폐기물의 자원화 방안 연구	고동훈
05	1conomy 시대, HMR 시장 확대에 따른 수산부문 대응전략 수립 연구	마창모
06	AIS 데이터 기반 해상교통 안전 평가모델 개발 연구	황선일
07	항만 에너지 관리시스템 도입을 위한 로드맵 구축 연구 - 부산항 신항 전기에너지 소비를 중심으로 -	김근섭
08	해양분야 리빙랩 활성화 방안 연구	좌미라
09	빅데이터의 연계·활용을 통한 선박의 배출량 산정체계 고도화 방안 연구	안용성
10	해양공간계획 집행체계 고도화 방안 연구	최희정
11	수산식품산업 푸드테크 환경분석 및 적용전략 연구	이상건
12	AIS데이터기반 해상물동량 추정 연구	황수진
13	항만부문 정책의사결정 지원 빅데이터 플랫폼 구축 방안 연구	이기열
14	항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 모형 연구	서정용
15	해양수산 분야 국제산업연관표 구축기반 연구	정수빈
16	해양수산 과학기술 정책평가모형 연구 - 해양수산 R&D를 중심으로 -	전형모
17	글로벌 경제위기와 해운산업 대응체계 연구	박성화
18	항만산업 경기진단체계 구축 연구 - 경기동행지수 개발을 중심으로 -	김성아
19	전국 무역항 부두 분류 체계 개선방안 연구	이수영
20	IMO 규제기반 해사산업의 글로벌 지속발전방안 연구 - 新해사산업의 육성 및 지원을 위한 법제화 연구(5차년도) -	박한선
21	수소에너지 거점 구축을 위한 항만의 대응방안 연구	신수용

2020년

01	해양수산업의 지역 간 연관구조 분석	장정인
02	해양수산 분야 기술 대외의존도 분석연구 - 스마트항만을 중심으로 -	전형모
03	지역 해양수산 오픈 플랫폼 구축방안 연구	최지연
04	갯벌 거버넌스 개선방안에 관한 연구	육근형
05	해양환경정책의 능동적 추진을 위한 재원체계 개선 방안 연구	박수진
06	항만 대기환경 관리 표준 및 평가모형 연구	안용성
07	해양수산분야 사회문제해결형 R&D 기반 구축 연구	좌미라
08	해양 유입 하천쓰레기 관리체계 개선방안	이윤정
09	수산식품 품질·안전관리 제도 개선방안 연구	이헌동
10	국제법 변화에 대응한 어선원 안전 및 권리 제고방안 연구	한덕훈
11	스마트 양식 클러스터 추진 방안 수립 연구	이상철
12	해양포유류 보호에 관한 수산업 대응 방안 연구	정명화
13	수산물 수급통계 개선 방안 연구	김수현
14	IMO 온실가스 규제 대응 정책방향 연구	박한선
15	퇴직전문가 활용을 통한 해운업 경쟁력 강화방안 연구	안영균
16	글로벌 선사들의 물류통합화 전략에 대한 국적선사의 대응방안	전형진
17	내항여객운송항로 정책 발전방안 연구	김태일
18	블록체인 기술기반 식품콜드체인 체계 구축 연구	조지성
19	항만자동화 도입 관련 노무 갈등 해소 방안 연구	김찬호
20	스마트항만과 스마트도시 연계 발전 방안 연구	이언경
21	항만의 회복탄력성 측정 모형 구축에 관한 연구	김성기
22	IMO 규제기반 해사산업의 글로벌 지속발전방안 연구 - 新해사산업의경제적파급효과분석연구(4차년도) -	박한선
23	국내 항만연계 산업의 가치사슬 및 공급사슬 연계성 강화방안 - 자동차 산업을 중심으로	신수용

수시연구보고서 발간목록

2021년

01	해양환경산업 육성 방안 연구	한기원
02	선원의 인권 및 근로여건 향상을 위한 선원근로감독관 제도 개선 방안 연구	허성례
03	포스트 코로나 시대를 대비하는 지역 해양축제 활성화 연구	최일선
04	회복탄력성 개념을 적용한 항만 위기관리 시스템 구축 연구	김성기
05	중대재해처벌법 시행에 따른 항만에서의 대응방안 연구	최상균
06	크루즈산업 COVID-19 방역체계 구축방안 연구	황진회
07	한국형 선주사의 최적 운영방안 연구	고병욱
08	어촌형 생활서비스 전달체계 개선 연구	이호림
09	원양산업의 ESG 도입 기초 연구	윤미경
10	수상레저활동 관리체계 개선방안 연구	홍장원
11	연안지역 자연성 회복을 위한 정책 방향_간척지·담수호 중심으로	정지호
12	스마트항만 구축에 따른 탄소저감 효과 연구 - 동력전환을 중심으로 -	김가현

2020년

01	포스트 코로나 19 해양수산 분야 정책방안	박광서
02	생분해성 어구 사용 활성화 방안 연구	심성현
03	해양법 전문인력 양성 방안 연구	박영길
04	무인도서 해양주권 강화와 이용 활성화를 위한 제도 개선방안	정지호
05	지역 해양수산 재정분권 대응방향	황재희
06	데이터 3법 개정에 따른 항만·물류 데이터 활용도 제고 방안	이기열
07	양식 활어 유통 효율화 방안 연구	마창모
08	해양레저관광사업 추진을 위한 제도정비 방안	홍장원
09	해양바이오기업의 규제 정비 방안 연구	최석문
10	비상체제 시 선원의 안전을 위한 선박-항만-항공 이동경로 구축방안	이혜진

일반연구보고서 발간목록

2021년

01	해양수산 정책영향평가를 위한 기초 연구	김주현
02	해양교육의 사회·경제적 가치 평가 연구	이슬기
03	해양수산업 경기진단체계 기초연구 - 해운업을 중심으로	권장한
04	선박 기술진보를 고려한 탄소 배출량 추정 연구	최건우
05	서포트벡터머신(SVM) 기법을 활용한 해운시황 예측 연구	김병주
06	크루즈 여객 수요 전망 모형 구축 연구	안승현
07	디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅲ)	서정용
08	수출용 전복의 유통경로 분석 연구	이정필
09	인공지능기반 해상운임 예측 연구(3차년도)	황수진
10	인공신경망모형을 이용한 양식수산물 단수 전망에 관한 연구 - 김 양식을 중심으로 -	천성훈
11	해양수산분야 미래 리스크 발굴 및 파급효과 분석 연구	박광서

2020년

01	지역 해양관광 경쟁력 지수 체계화 연구	최일선
02	AIS 기반 글로벌 선박 배기가스 배출량 분석 연구	강무홍
03	김 중기 수급전망모형「Gim-MFoS」구축 연구	허수진
04	중앙 북극 공해 비규제어업방지협정 이행방안 연구	김민수
05	동해 평화관광구역 조성 방안 연구	윤인주
06	디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅱ) - 일반 수출입 컨테이너 정보교환방식 중심 -	이언경
07	스트레스 테스트를 통한 우리나라 해운·조선 기업의 안정성 분석	박성화
08	인공지능기반 해상운임예측 연구	황수진
09	국제물류주선업 실태분석 및 경쟁력 제고 방향 연구	최나영환
10	디지털화에 따른 개별 직업의 대체 가능성 추정 연구	박희대
11	시계열 분석을 통한 해운시장 분석 및 예측 연구	고병욱
12	해양수산분야 글로벌 경제효과 분석모형(KMI-GEM) 시범 구축 연구	임병호
13	해운항만물류 인력양성사업 관리운영 제도 개선 방안 연구	이자연

기본연구 2021-09

빅데이터의 연계·활용을 통한 선박의 배출량 산정체계 고도화 방안 연구

인 쇄 2021년 12월 29일

발 행 2021년 12월 31일

발 행 인 김 종 덕

발 행 처 한국해양수산개발원

주 소 49111 부산시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

연 락 처 051-797-4800 (FAX 051-797-4810)

등 록 1984년 8월 6일 제313-1984-1호

조판·인쇄 ㈜디자인월드 (051-916-1533)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337

정가 15,000원