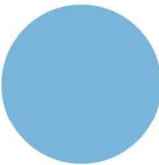
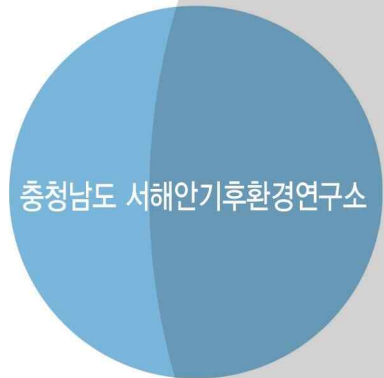


소형 어선에 의한 충남지역 대기오염물질 배출 및 영향분석 기초 연구

기후변화대응연구센터



충청남도 서해안기후환경연구소



2020. 10

소형 어선에 의한 충남지역
대기오염물질 배출 및 영향분석
기초 연구

2020. 10



Contents

목차	i
표목차	ii
그림목차	iii
 1장 연구개요	 2
1. 연구배경 및 목적	2
2. 연구방법	5
 2장 선박에 의한 대기오염물질 배출 이슈	 8
1. 선박 관련 관리 현황	8
2. 선박 관련 대기오염물질 배출량 산정방법	9
3. 선박 관련 배출량 변화 추이	13
 3장 소형 어선에 의한 대기오염물질 배출 특성	 18
1. 충청남도 시·군별 소형 어선 보유 및 운행 현황	18
2. 측정대상 어선 선정 및 사양 분석	20
3. 측정방법 설정 및 장비 설치	24
4. 선박 배출량 측정	27
 4장 소형 선박의 대기오염 관리	 33
1. 선박 관련 대기오염 개선정책 동향	33
2. 정책 제언	36
 부 록	 39
 참고문헌	 49

표목차

[표 1] 중부권 기본계획에 따른 중점관리 과제	4
[표 2] 중부권 기본계획에 포함되어 있는 항만·선박관련 개선 대책	6
[표 3] 대기오염물질 배출원 분류	9
[표 4] 선박별 대기오염물질 배출량 산정방법	10
[표 5] 국내 어선 등록대수(2019년 기준)	11
[표 6] 선박관련 오염물질별 배출계수	12
[표 7] 선박관련 대기오염물질 배출량(2017 CAPSS 기준)	12
[표 8] 충청남도의 어선등록현황(2018년 기준)	19
[표 9] 대상 어선의 사양	22
[표 10] 본 연구에서 사용된 측정장비 사양	23
[표 11] 선박 배기가스 측정결과	28
[표 12] 선박관련 배출허용기준	29
[표 13] 항만대기질 관리구역의 범위	34

그림목차

[그림 1] 전국 및 서울의 PM _{2.5} 농도수준과 나뉘임일수 변화 추이	2
[그림 2] 전국 대기오염물질 배출량 변화추이 및 부문별 배출현황	3
[그림 3] 중부권 대기환경관리 계획 및 추진 체계	4
[그림 4] 본 연구의 추진 체계	6
[그림 5] 선박관련 전국 대기오염물질 배출량 변화 추이	13
[그림 6] 선박관련 분류별 전국 대기오염물질 기여도	14
[그림 7] 선박관련 충청남도의 대기오염물질 배출량 변화 추이	15
[그림 8] 충청남도의 등록 어선의 지역 및 정격용량 비율	19
[그림 9] 대기오염물질 직접 측정에 선정된 어선의 모습	21
[그림 10] 측정대상 선박에 대한 배출구 조사 모습	22
[그림 11] 배출구의 오염물질 측정을 위한 측정 계략도	23
[그림 12] IMO의 선박 배기가스 측정 방법	24
[그림 13] 선박에 설치된 엔진의 상세사양	25
[그림 14] 본 측정에서 설정한 실험 방법	26
[그림 15] 측정에 활용된 플레지 모습	26
[그림 16] 선박 배기가스 측정 결과	28
[그림 17] 나노입자의 거동 및 물리화학적 변화 특징	30
[그림 18] 항만 미세먼지 관리 계획(해양수산부)	35

제 1 장

연구개요

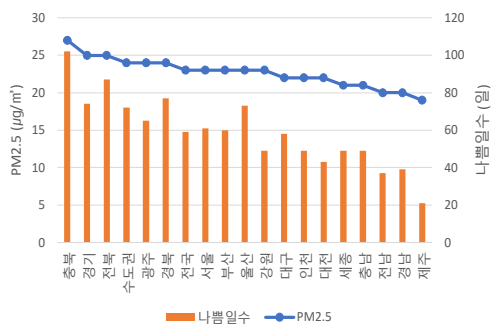
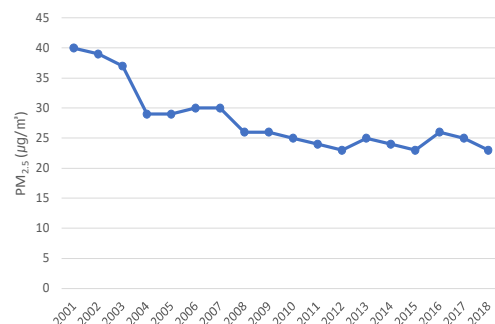
1. 연구배경 및 목적
2. 연구방법

연구개요

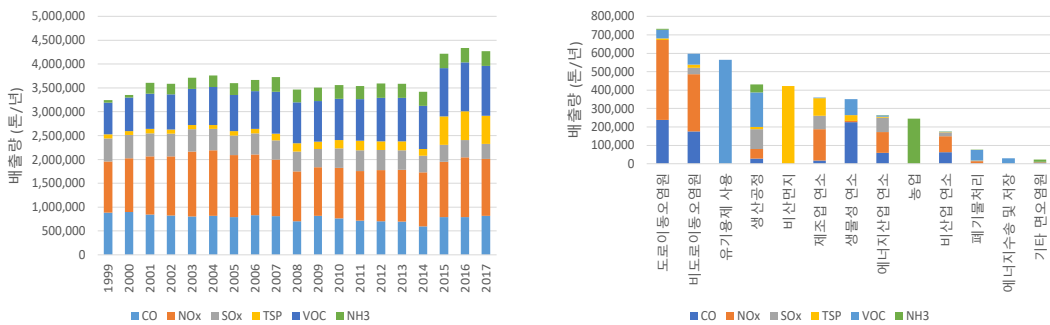


1. 연구배경 및 목적

2016년 이후 전국적으로 초미세먼지(PM_{2.5})의 연평균 농도와 나쁨 일수 등 환경지표들은 소폭이나마 개선되고 있다. 하지만 2018년 대기환경기준을 연평균 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 미국이나 일본 수준의 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 강화되면서 전국 측정소의 기준 달성율은 5%를 못 넘기고 있다. 2018년 기준 전국의 PM_{2.5} 농도는 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고, 지역별로는 충북이 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 수치를 보였다. 전북과 경기도가 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 수도권과 광주, 경북이 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 그 뒤를 이었으며, 충남은 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 전국 2위의 대기오염물질 배출지역 치고는 낮은 농도 수준을 보였다. 서울시의 경우 2001년부터 PM_{2.5}의 농도를 모니터링해 오고 있는데 2001년 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2018년 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 43% 감소하였고, 전국의 경우 측정을 시작한 2015년 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2018년 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 12% 감소한 것으로 나타났다.

(a) PM_{2.5} 농도 및 나쁨일수(2018)(b) 서울의 PM_{2.5} 농도 변화추이[그림 1] 전국 및 서울의 PM_{2.5} 농도수준과 나쁨일수 변화 추이

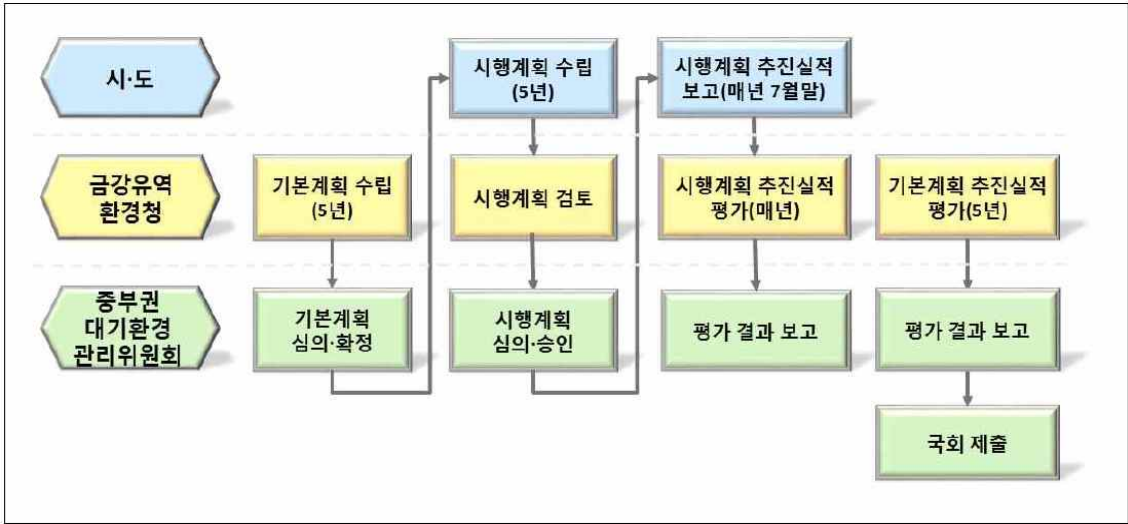
전국의 대기오염물질 배출량이 조사되기 시작한 1999년부터 최근인 2017년까지 전국 대기오염물질 배출량은 꾸준히 증가하고 있으며, NOx와 VOCs의 배출량 증가가 뚜렷하게 나타나고 있다. 특히 도로 및 비도로오염원의 배출 기여도가 높게 나타났으며, NOx와 CO의 비율이 높아 이에 대한 관리방안 마련이 필요할 것으로 판단된다.



(a) 전국 대기오염물질 배출 추이 (b) 부문별 오염물질 배출(2017년)

[그림 2] 전국 대기오염물질 배출량 변화추이 및 부문별 배출현황

한편 2012년부터 연간 풍속 2 m/s 미만의 대기 정체일수가 증가하고 있으며, 여러 연구에서 기후변화의 영향으로 동북아 대기 정체가 증가할 것으로 전망하고 있다. 대기 정체현상은 배출원으로부터 발생된 오염물질이 자연적으로 희석·확산시킬 수 있는 자정작용의 약화로 이어지며, 이는 국지적인 고농도 미세먼지 발생 및 농축을 야기할 수 있다. 정부에서는 국내외 다양한 여건변화에 따른 대기환경 악화를 관리하기 위해 2019년 11월 “미세먼지 관리 종합계획(2020~2024년)”을 발표하였다. 여기서 크게 <국내배출 감축>, <국민건강 보호>, <국제협력 강화>, <과학적 접근과 국민소통>의 4개 분야를 설정하였고, 계획을 뒷받침 할 수 있는 “미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(이하 미특별법)”과 “대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법(이하 대기권역법)”을 제정하였다. 대기권역법에서는 그 동안 수도권을 대상으로 시행되었던 권역관리 제도를 전국으로 확대·관리하는 것으로 공표하였고, 여기서 충청남도는 대전, 세종, 충북, 전북과 함께 중부권으로 분류되었다. 중부권은 환경부로부터 위임받은 금강유역환경청이 2020년부터 2024년까지의 중부권 대기환경관리 기본계획을 수립하였고, 5개 시도는 이에 따른 이행계획을 수립하여 추진하도록 하였다.



[그림 3] 중부권 대기환경관리 계획 및 추진 체계

기본계획에서는 2016년도 CAPSS 기준 2024년까지의 전망배출량(BAU)을 산정하였고, 전망량 대비 부문별 개선대책을 수립하여 오염물질을 감축하도록 제시하고 있다. 충청남도는 2024년까지 PM_{2.5} 15%, PM₁₀ 14%, NO_x 44%, SO_x 55%, VOCs 13% 감축을 할당받았고, 할당 오염물질의 삭감을 위해 5개 부문에서의 세부 이행계획을 수립 중에 있다.

[표 1] 중부권 기본계획에 따른 중점관리 과제

대분류	세부내역
1. 배출시설	① 발전소·사업장 대기오염물질 총량관리 시행 ② 석탄화력발전소 배출 저감 ③ 사업장 관리체계 개선
2. 도로이동오염원	① 저공해차 전환 및 보급 확대 ② 중대형 승합·화물차 배출 저감 ③ 교통수요 관리 강화
3. 비도로이동오염원	① 건설·농기계 관리 강화 ② 항만·선박 및 공항 관리 강화
4. 생활오염원	① 도심 미세먼지 발생원 저감 ② 농업·농촌 미세먼지 관리 강화
5. 정책기반강화 및 국민소통·참여 확대	

여기서 특이한 점은 그 동안의 대기환경 개선대책이 대형배출시설과 도로 오염원을 중심으로 추진되었다면, 본 계획에서는 그 동안 관리가 미흡했던 건

설·농업기계·선박·항만 및 공항 등에 대한 관리 대책이 추가되었다는 것이다. 철도, 선박, 항만의 경우 배출량은 상당할 것으로 예측되었지만 활동자료 및 운행특성 파악이 어려워 배출량 산정에서 많은 어려움을 겪고 있다. 하지만 이번 계획에 포함되어 배출의 사각지대를 해소하겠다는 정부의 강력한 의지에 따라 현황파악 및 개선대책이 마련되고 있다. 충청남도의 경우 공항이 위치하고 있지 않고, KTX 등 고속철도노선이 구축되어 있지 않다. 접근선과 이동편리성이 좋은 비행기, 고속철도 등의 이용 기회는 적지만 반대로 대기오염물질의 배출량은 적은 상황이다. 하지만 선박에 의한 배출은 꾸준히 영향을 받고 있다. 인천, 부산과 같은 대형 항구는 존재하지 않지만 인천과 평택항으로 운행하는 화물선이 충남을 경유하여 운행 중에 있고, 정식 부두는 아니지만 보령, 태안, 당진, 서산 등의 대형배출시설에 원료공급선이 지속적으로 운항을 하고 있다. 다행히도 정부에서 100톤 이상의 중대형 선박에 대해서 해양수산부를 중심으로 배출량 저감 및 친환경 선박 확대 등의 노력을 기울여오고 있다. 하지만 100톤 이하의 선박에 대해서는 현재까지 아무런 제재나 조치가 이루어지고 있지 않다. 2018년 기준 충남에는 100톤 이하 선박이 5,732 척이나 운행 중에 있으나 이들에 대한 대기오염에 대한 기여도 평가는 전혀 이루어지고 있지 않다. 대책 수립을 위해서는 정확한 현황분석이 선행되어야 하지만 아직까지 이 부분에 대한 연구조사는 미미한 수준이다. 이에 본 연구에서는 충청남도의 소형 어선을 대상으로 운행 및 관리 현황을 조사하였고, 10톤 이하의 선박에 대한 사례연구를 통해 소형 선박에서 배출되는 오염물질의 특성을 검토하였다. 추후 본 자료는 그 동안 관심 밖에 있던 소규모 배출원에 대한 근거자료 및 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.



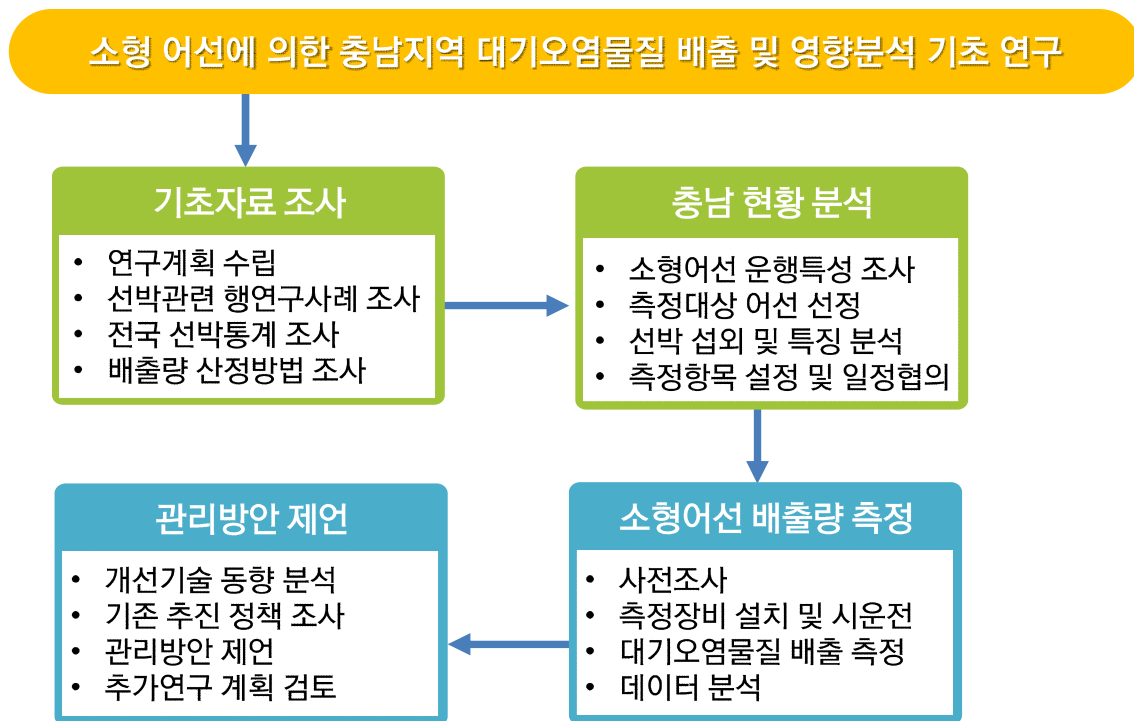
2. 연구방법

중부권 기본계획에 의해 선박에 대한 배출관리 대책이 수립되어 추진되고 있으나 정박시설이나 연료관리 강화 부문의 정책이 대부분을 차지하고 있다. 환경부와 해양수산부가 공동으로 100 톤 이상의 대형선박에 대해서는 배출량 산정 및 배출원 관리가 이루어지고 있으며, 국가차원의 영향조사 및 개선대책 마련(기술개발)이 수행되었으나 소형 어선들에 대해서는 아직 관리 사각지대에 놓였다. 이에 본 연구에서는 이들 소형 어선에 대한 운행특성과 현황조사, 사

례연구를 통해 대기오염물질 배출 특성을 조사하였다. 또한 기존에 선박관련 방지기술 수준과 적용사례를 분석하여 관리방안을 제시하고, 향후 추가 연구에 대해 제언하고자 한다. 세부적인 연구추진 체계는 다음과 같다.

[표 2] 중부권 기본계획에 포함되어 있는 항만·선박관련 개선 대책

대책명	세부내용
선박 배출가스 기준 강화	<ul style="list-style-type: none"> - 선박 연료의 황함유량 기준 강화 - 권역 내 배출규제해역 지정
친환경 선박 확대	<ul style="list-style-type: none"> - '30년까지 노후관광선 단계적 친환경선박 대체 - 민간선 친환경선박 전환 유도
항만장비 배출기준 신설	<ul style="list-style-type: none"> - 하역장비 배출가스 관리체계 마련 - 하역장비 LNG 교체 및 DPF 부착
친환경 항만인프라 구축	<ul style="list-style-type: none"> - 육상전원공급장치 구축 - 수전설비 설치지원 및 인센티브 제공



[그림 4] 본 연구의 추진 체계

제2장

선박에 의한 대기오염물질 배출 이슈

1. 선박관련 관리 현황
2. 선박관련 대기오염물질 배출량 산정방법
3. 선박관련 배출량 변화 추이

선박에 의한 대기오염물질 배출 이슈



1. 선박관련 관리 현황

전 세계적으로 기후변화에 의한 환경오염, 식량부족, 산림파괴 등이 발생하면서 에너지, 산업, 교통, 폐기물과 같이 인간 활동에 의한 영향을 최소화하려는 노력이 활발히 진행되고 있다. 최근에는 그 동안 관리가 소홀했던 해양에서의 대기오염 문제를 개선하기 위해 노력이 시행되고 있으며, 특히 선박부문 관리가 국제적인 관심 속에 추진되고 있다. 선박 배출에 의한 오염원 관리는 1982년 자메이카에서 진행된 유엔해양법협약(UNCLOS)에서 처음 채택되었으며, 국제해사기구(IMO)에서 관련 규제의 틀을 마련하면서 대기오염물질 배출규제를 시작하였다. 2014년 해양환경보호위원회(MEPC)에서 배출제한지역 지정과 선박에서 기인한 NOx 배출량의 80%를 저감을 위한 로드맵을 수립하였고, 범위를 SOx, CO₂, PM까지 점차 확대 중에 있다. 국내에서도 2016년부터 선박 엔진규제, 저유황함유 연료 사용, 배출제한구역 지정, AMP 설치를 통한 정박간 오염물질 배출 감소 등을 추진 중에 있다. 이와 더불어 국내에서 운행 중인 선박의 내연기관의 현황과 선박 유형, 업종별 운전 특성, 활동도 자료를 조사하여 이를 기반으로 하는 배출계수 개발 및 배출량 산정을 위한 노력을 기울이고 있다.



2. 어선관련 대기오염물질 배출량 산정방법

환경부에서는 대기환경정책 수립의 근간 마련을 위해 매년 배출량 자료를 산정하여 공표하고 있는데, 과거 선박관련 배출량은 활동자료와 연료사용량 수집의 어려움과 상대적으로 적은 배출기여도 등으로 배출량 산정에서 제외하였다. 대부분의 선박들은 연료로 저급유로 분류되는 벙커C유와 marine diesel oil(MDO)을 사용하고 있는데 이들은 연소단계에서 벤조피렌과 같은 발암물질이 포함된 SOx와 NOx, PM_{2.5}를 배출하며, 이로 인해 항만 인근지역의 대기질 악화와 국민 건강피해를 야기시키고 있다. CAPSS의 근간이 되는 국가배출원 분류체계는 에너지산업연소부터 생물성연소까지 13개항목으로 그 중 선박은 비도로이동오염원으로 건설장비, 농업기계, 철도, 항공과 함께 분류된다.

[표 3] 대기오염물질 배출원 분류

대분류		중분류
1	에너지산업연소	지역난방시설, 공공발전시설, 민간발전시설 등
2	비산업연소	주거시설, 상업및공공기관시설, 농업·축산·수산시설
3	제조업연소	공정로, 연소시설, 기타
4	생산공정	식음료가공, 목재·펄프가공업, 제철제강업 등
5	에너지수송 및 저장	휘발유공급,
6	유기용제 사용	도장시설, 세정시설, 세탁시설, 기타 유기용제 사용
7	도로이동오염원	RV, 버스, 승용, 승합, 이륜, 택시, 특수, 화물
8	비도로이동오염원	건설장비, 농기계, 선박 , 철도, 항공
9	폐기물처리	폐기물소각, 기타 폐기물처리
10	농업	분뇨관리, 비료사용농경지
11	기타면오염원	동물, 산불 및 화재
12	비산먼지	건설공사, 나대지, 도로재비산, 농업활동, 축산 등
13	생물성연소	노천소각, 고기및생성구이, 아궁이, 숯가마 등

환경부에서는 배출량 산정을 위해 선박을 여객, 레저, 어선, 화물로 구분하고 있으며, 이들은 “선박법”에 따라 총 99개의 용도로 분류되나 항만운영시스템의 용도별 분류인 “기타선”은 대부분 활동자료 수집의 어려움과 국가안보 등의 이유로 산정대상에서는 제외된다.

[표 4] 선박별 대기오염물질 배출량 산정방법

구분		배출량산정여부	대기오염물질 배출량 산정방법
여객선	연안	산정	연료 사용량 기반 산정
	외항	미산정	자료수집 어려움으로 미산정
화물선	연안	산정	선박 제원, 운항시간을 기반으로 산정
	외항	산정	입출항 자료를 기반으로 산정
어선		산정	연료사용량 기반 산정
레저용 선박		산정	선박제원, 운항시간을 기반으로 산정
기타선		미산정	자료수집 어려움으로 미산정

배출량 산정 초기인 1999년 비도로이동오염원 중 선박부문은 해상 선박운송만을 산정하였다. 2014년에 들어서야 해상선박의 배출원 분류를 재정비하여 세분화 하였으며, 이 과정에서 현재의 레저, 어선, 여객, 화물의 4개 소분류로 구분하였고, 유종 또한 기존의 벙커C유 단일 품목에서 휘발유, 경유, B-A유, B-C유로 분류하여 산정하기 시작하였다. 2019년 기준 국내 등록되어 운행중인 선박은 총 75,233척이며, 그 중 어선이 87.5%(65,835척)으로 많은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 어선의 등록지역별로는 전남이 41.6%(27,413척)으로 가장 많이 보유하고 있으며, 경남이 21.0%(13,850척)로 그 뒤를 이었고, 충남은 5,525척으로 8.4%의 보유율로 3위를 나타냈다. 정격용량별로는 1~2톤 규모의 선박이 31.7%로 가장 많았고, 1톤 미만인 20.7% 등 10톤 이하의 소형어선들의 비율이 94.1%로 대부분을 차지하는 것으로 확인되었다.

주요 국가 및 국제기구에서는 선박에 의한 대기오염물질 배출량을 산정하고 관리대책 마련을 위해 각 기관별로 배출량 산정체계를 구축하고 있다. IMO에서는 연료판매량 통계를 활용하는 하향식 산정방법(Tier 1)과 활동자료를 활용하는 상향식(Tier 3)의 2가지 방법을 활용하고 있고, 유럽연합 환경청(European Environment Agency, EEA) 또한 이와 유사한 방법을 채택하여

배출량을 산정하고 있다. 하지만 우리나라의 경우 Tier 1의 방법을 채택하고 있다. 국내 어선에 대한 대기오염물질 배출량은 한국해운조합과 수산업협동조합에서 공급받고 있는 선박 연료유의 공급자료를 수집하여 선박 연료유의 공급량이 실제 사용량과 같다는 조건하에 배출계수를 곱하여 산정하고 있다. 국내 여건상 아직 다양한 활동도 자료(연료, 엔진, 구간, 용도)를 수집, 활용이 어려움에 따라 궁여지책으로 제안된 방안이나 향후 보다 과학적이고 정교한 배출량 산정을 위해서는 활동도 자료를 고려한 배출량 산정이 필요할 것으로 판단된다. 현재 사용되고 있는 배출계수 또한 국내에서 현실에 맞게 제안된 값이 아닌 EEA와 U.S. EPA의 정보를 채용하여 사용하고 있어 추후 이에 대한 맞춤형 배출계수 또한 개발되어야 할 것이다.

[표 5] 국내 어선 등록대수(2019년 기준)

시도	1톤미만	1~2톤	2~5톤	5~10톤	10~50톤	50~200톤	200톤이상
세종시	8	8	-	-	-	-	-
부산시	3,509	743	1,412	636	125	64	233
대구시	6	6	-	-	-	-	-
인천시	1,415	81	238	517	505	38	35
울산시	813	117	387	168	80	48	13
경기도	1,842	926	284	402	222	4	4
강원도	2,813	468	741	1,025	354	186	38
충청북도	431	423	7	1	-	-	-
충청남도	5,525	873	1,255	1,952	1,200	215	29
전라북도	2,919	345	1,014	945	503	86	24
전라남도	27,413	6,561	10,315	5,880	3,664	823	155
경상북도	3,333	573	638	1,047	609	337	124
경상남도	13,850	2,411	4,446	5,210	1,032	483	263
제주도	1,958	112	136	749	609	303	35
합계	65,835	13,647	20,873	18,532	8,903	2,587	953

[표 6] 선박관련 오염물질별 배출계수

	CO	NOx	SOx	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	VOC	NH ₃
외항선	7.4	87	20S	6.7	6.7	6.164	2.4	0.11
연안선	7.4	87	20S	6.7	6.7	6.164	2.4	0.11

2017년 기준 전국의 대기오염물질 배출량 중 선박에서 8.2%인 349,813톤을 배출하였고, 오염물질별로는 NOx 배출의 13.7%, CO 배출의 12.5%, SOx 배출의 11.0%를 차지하는 것으로 나타나 세 오염물질에 대한 기여도가 높은 것으로 나타났다. 충청남도는 전국에 등록된 선박 중 3번째로 많은 5,525척을 소유하고 있으며, 전국에서 선박 기인한 대기오염물질 배출의 4.1%를 차지하고 있다. 소분류별로는 화물이 62.1%로 가장 많은 배출을 보였고, 그 뒤를 레저 33.2%, 어선 4.6%, 여객 0.2% 순이었다. 현재 어선의 경우 유류사용량에 배출계수만을 곱하여 산정하고 있지만, 어선에 사용되고 있는 유류의 질이 매우 안 좋고, 엔진상태 또한 일정하지 않다는 점을 감안할 때 추후 보완된 배출계수와 활동도 자료가 제공된다면 배출량과 기여도는 더욱 커질 것으로 예상된다.

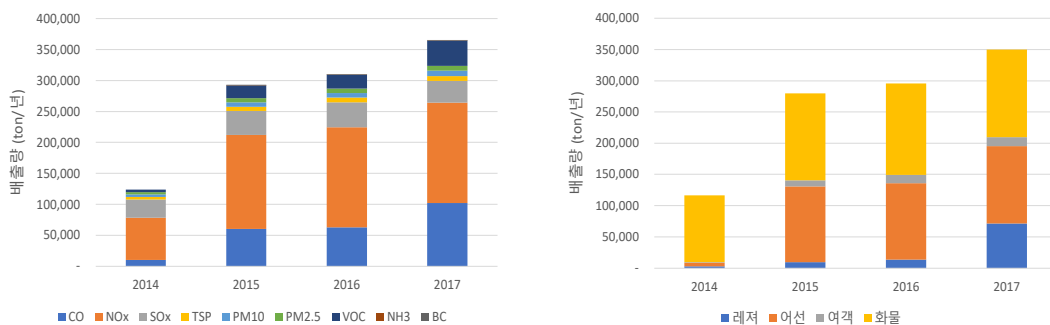
[표 7] 선박관련 대기오염물질 배출량(2017 CAPSS 기준)

	CO	NOx	SOx	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	VOC	NH ₃
전국	817,420	1,189,800	315,530	592,582	218,476	91,731	1,047,585	308,298
선박(전국)	102,179	162,514	34,610	8,290	8,290	7,731	41,064	15
선박(충남)	4,003	6,039	1,988	398	398	370	1,822	1
레저	3,123	21	0	82	82	82	1,513	0
어선	335	202	2	9	9	9	107	0
여객	2	18	0	0	0	0	1	0
화물	543	5,797	1,985	307	307	279	201	1

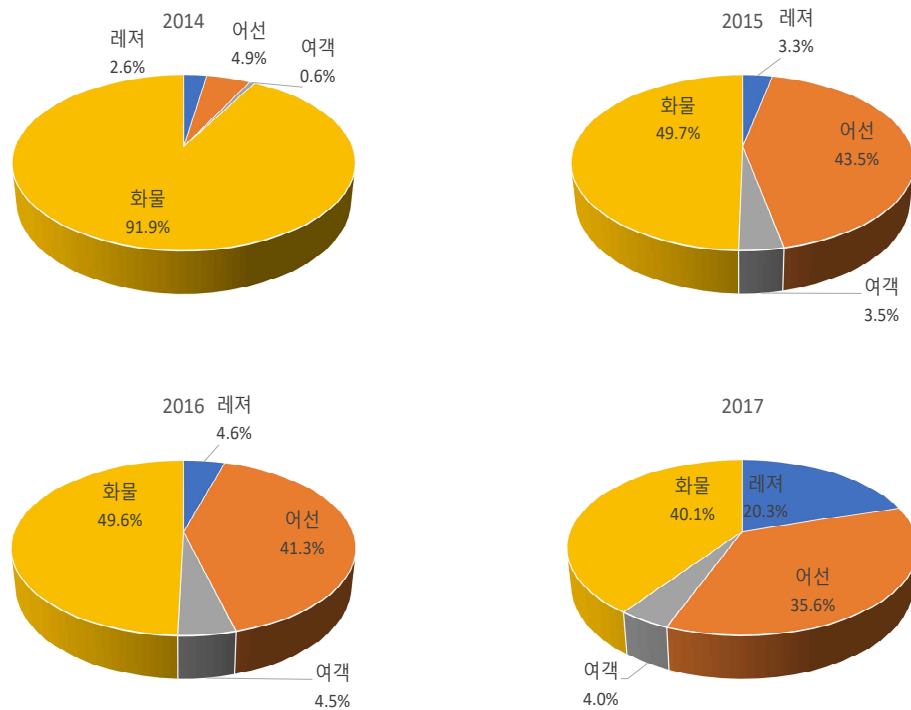


3. 선박관련 배출량 변화 추이

선박관련 대기오염물질의 배출량을 산정하기 시작한 것은 2017년(CAPSS, 2014)부터로 얼마되지 않았다. 2014년도 배출량을 기준으로 오염물질 배출량 산정을 시작하였고, 초기 산정되지 부분들이 2015년 추가되면서 2014년대비 배출량이 2.4배나 증가하였다. 특히 어선부분이 많은 부분 추가되었는데, 2014년대비 2015년도 배출량이 21.1배나 높게 나타났다. 2014년도는 116,327톤이었던 배출량이 2015년 279,809톤, 2016년 295,780톤, 2017년 349,813톤으로 매년 증가하고 있는 추세이다. 특히 레저부문에서의 증가가 눈에 띄게 나타나고 있는데 2015년 9,303톤이었던 배출량이 2017년 70,148톤으로 7.6배나 증가하였다. 분류별로는 화물이 전체 배출량에서 차지하는 비율은 점차 감소하고 있지만 전체 배출량에 대한 부분은 가장 높게 나타났다. 화물의 경우 세계적인 경제흐름과 국내외 시장경제의 상황에 따라 변화하기 때문에 연간 변화 폭이 유동적일수 있으나 어선의 경우 국내에서 발생하는 생산활동의 일환임을 감안했을 때 지속적으로 배출량이 증가하고 있다는 것은 어업 종사자의 수가 증가하거나 관련 선박이 증가하고 있다는 것을 의미하며, 향후 어선에 대한 관리 필요성이 부각되는 부분이다.



[그림 5] 선박관련 전국 대기오염물질 배출량 변화 추이

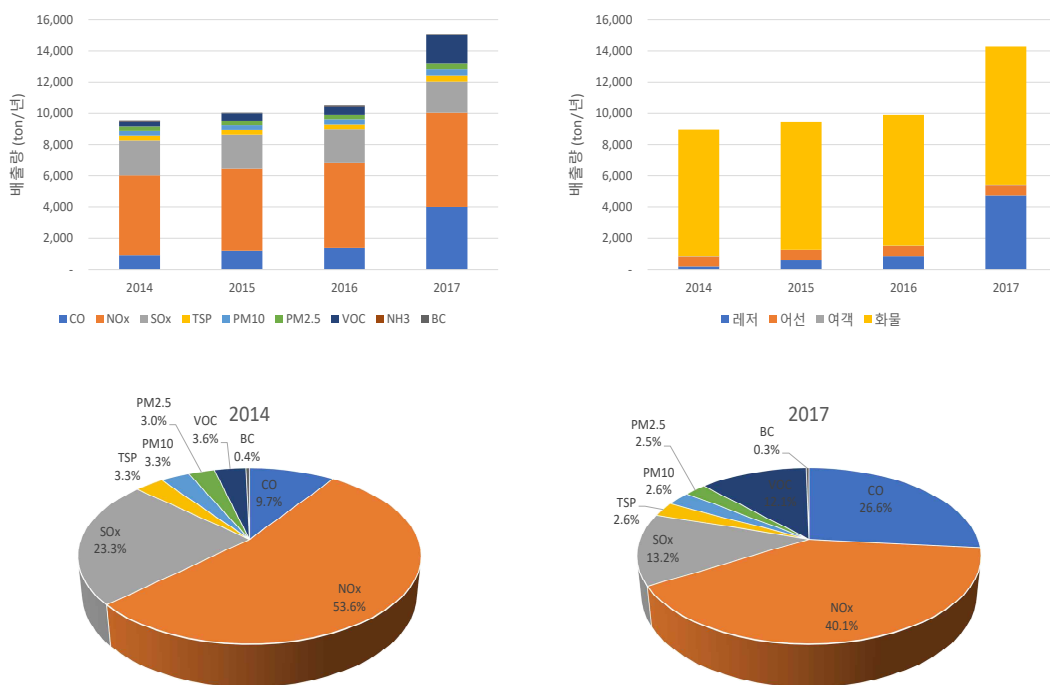


[그림 6] 선박관련 분류별 전국 대기오염물질 기여도

선박 배출량 산정 초기 화물의 비율이 91.9%까지 높았지만 어선의 배출량이 추가되기 시작하면서 어선의 비율이 2015년과 2016년은 유사한 수준의 배출량 비율을 보였다. 2017년 레저부분의 배출량이 급격히 증가하면서 화물과 어선의 비율이 소폭 감소하였다. 여객의 경우 2015~2017년까지 3.5~4.5%를 유지하였다. 레저의 경우 광역시도를 대상으로 일괄 산정되며, 연료 또한 휘발유 단일배출로 각 지역에 대한 활동량이나 정보를 기반으로 하는 것이 아닌 전국 일괄적용으로 판단되며, 매년 15개 시도의 배출량을 동일량으로 산정하고 있다.

충청남도의 선박관련 배출량 또한 전국과 마찬가지로 증가추세로 나타났다. 전국의 경우 배출량이 처음 산정된 2014년과 어선이 추가된 2015년 사이 배출량의 변화폭이 큰 반면, 충청남도는 2016년과 2017년 사이의 배출량 변화가 크게 나타났다. IMO 등 국제기구와 국내 정부가 선박유를 저황유로 규제하면서 SOx의 배출량은 감소 추세에 있지만 다른 물질들은 꾸준히 증가추세에 있다. 특히 VOCs와 CO는 2016년 대비 각각 3.2배와 2.9배나 증가하였다. 부

문별로는 레저부문이 도드라지게 배출량이 증가하였는데, 이 부분은 앞서 언급한 것처럼 전국을 일괄적용하기 때문에 어떤 부문에서 배출량이 증가했는지에 대한 분석이 불가능하다. 전체적인 비율은 화물의 기여도가 감소하긴 했지만 2017년 기준 62.1%로 높게 나타나고 있다. 이는 당진, 서산, 보령 등에 위치하고 있는 제철소와 발전소, 석유화학단지에 유입/유출되는 원료와 생산품의 이동에 활용되고 있는 화물선이 절대적으로 기여하고 있는 것으로 판단된다. 2014년 대비 배출량은 1.6배 증가했지만 배출되는 오염물질들의 비율은 유사하게 나타나고 있어, 레저, 어선, 여객, 화물의 배출비율이 일정하게 유지되고 있다는 것을 확인할 수 있다. 특히 이번 연구에서 중점적으로 확인하고 있는 어선의 경우 2014년부터 2017년까지 꾸준히 증가하고 있다는 점에서 다시 한번 관리의 필요성이 대두된다.



[그림 7] 선박관련 충청남도의 대기오염물질 배출량 변화 추이

제3장

소형 어선에 의한 대기오염물질 배출 특성

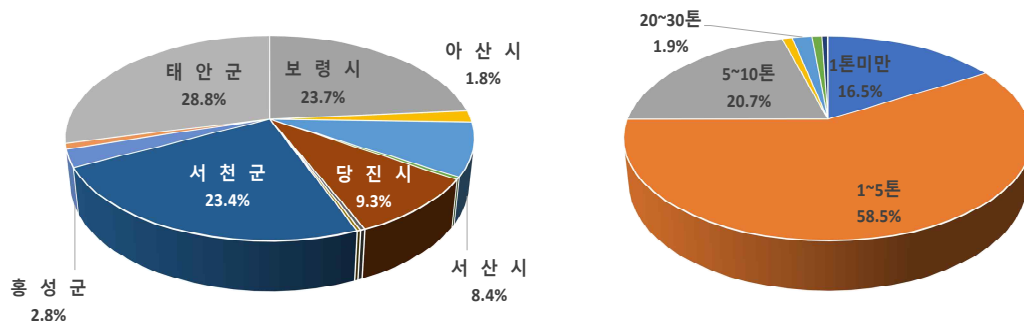
1. 충청남도 시·군별 소형 어선 보유 및 운행 현황
2. 측정대상 어선 선정 및 사양 분석
3. 측정방법 설정 및 장비 설치
4. 선박 배출량 측정

소형 어선에 의한 대기오염물질 배출 특성



1. 충청남도 시·군별 소형 어선 보유 및 운행 현황

충청남도는 한반도의 서쪽 중앙 끝 부분에 위치하고 있어 대륙과 해양의 영향을 모두 받고 있으며, 15개 시군 중 7개 시군(아산, 당진, 서산, 태안, 홍성, 보령, 서천)이 바다와 인접해 있다. 2018년 기준 충청남도에는 총 5,735척이 등록되어 운항 중에 있으며, 그 중 태안이 1,650척으로 가장 많고, 보령과 서천이 각각 1,358척과 1,343척으로 그 뒤를 잇는다. 태안은 신진항에, 보령은 대천항, 서천은 장항항을 중심으로 어업이 이루어지고 있으며, 그 외 서산의 대산항, 당진의 평택당진항, 홍성의 남당항 등에서도 활발한 어업이 이루어지고 있다. 어선의 용량별로는 1~5톤 사이의 규격선이 58.5%로 가장 많았고, 5~10톤이 20.7%, 1톤 미만이 16.5%로 전체 선박 중 95.7%가 10톤 이하의 소형 어선인 것으로 확인되었다. 선박에서 배출되는 대기오염물질은 해양관리법을 근거로 국내선은 해양경찰청에서 외선은 해양수산부에서 각각 점검하고 있다. 선박에 대한 점검은 외관검사, 일반서류 검사, 대기관련 서류검사, 대기오염물질에 대한 구체적인 점검순으로 이루어진다. 점검은 SOx, NOx, VOCs, 오존층 파괴물질(Ozone depleting substances, ODS), 소각기, BC 등을 대상으로 하며, 대상은 400톤 이상의 선박과 합계출력 130 kW 이상의 내연기관을 대상으로 하고 있다. 그러나 다양한 배출저감장치에 대한 현장점검이 어려워 많은 부분 서류로 대체되는 경우가 많고 특히 일정 규모 이상의 선박에 대해서는 검사 대상에서 제외되는 한계가 있다.



[그림 8] 충청남도의 등록 어선의 지역 및 정격용량 비율

[표 8] 충청남도의 어선등록현황(2018년 기준)

	총계	1톤 미만	1~5 톤	5~10 톤	10~20 톤	20~30 톤	30~50 톤	50~100 톤	100 톤 이상
충남	5,735	945	3,355	1,186	55	107	54	30	3
천안									
공주									
보령	1,358	107	661	499	14	42	25	8	2
아산	102	97	5						
서산	484	126	342	10	1	2	1	2	
논산	23	23							
계룡									
당진	533	138	367	28					
금산	18	18							
부여	14	7	6	1					
서천	1,343	158	891	222	30	31	8	3	
청양									
홍성	160	11	123	23	2	1			
예산	50	49	1						
태안	1,650	211	959	403	8	31	20	17	1



2. 측정대상 어선 선정 및 사양 분석

선행연구 분석결과 선박에 대한 대기오염물질 배출량은 활동도 자료와 더불어 운행 및 접안시 연료소비량을 합산하여 산정하고 있다.

$$E = \sum (A_r + A_i) \times \frac{22.4}{M} \times EF$$

여기서 E : 선박배출량 (kg/년)

A_r : 운행시 연료소비량 (kg/년)

$22.4/M$: 단위환산 계수

A_i : 접안시 연료소비량 (kg/년)

EF : 배출계수 (kg/ℓ)

어선의 경우 더 간단하게 한국해운조합과 수산업협동조합에서 제공하는 연료 소비량에 배출계수만을 곱하여 산정하고 있다.

$$E = \sum A \times \frac{22.4}{M} \times EF$$

여기서 E : 선박배출량 (kg/년)

A : 연간 연료소비량 (kg/년)

$22.4/M$: 단위환산 계수

EF : 배출계수 (kg/ℓ)

이처럼 배출계수를 활용한 산정방법은 연료소비량과 배출계수만을 가지고 지역에서 배출되는 오염물질의 양을 정량화할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 선박마다 다른 엔진출력과 노후화, 운전조건, 유류 상태 등을 고려했을 때 정확한 값을 유추하기 힘들다는 단점이 있다. 현재 사용하고 있는 배출계수 또한 국내 현실을 반영한 계수가 아닌 유럽과 미국에서 개발한 계수를 그대로 차용

하여 사용하고 있는 수준이라 현실과 많은 괴리가 있을 수 있다. 이에 본 연구에서는 장기적으로 선박들에 대한 개별 배출관리가 필요하다는 관점에서 대상 선박을 선정, 배출되는 대기오염물질을 직접 측정하였다.

대산 선박 선정에 있어서 통계자료를 분석한 결과 국내에 등록된 선박 중 약 88%가 어선이고, 충청남도를 대상으로 했을 때 어선의 95% 이상이 10톤 이하임을 감안하여 10톤 이하의 어선을 대상으로 선정하였다. 또한 시군별 어선 등록대수를 조사한 결과 보령에 가장 많은 23.7%가 등록되어 있는 것을 확인하여 대상 항구를 보령의 최대항인 대천항으로 선정하였다. 여태까지 조사된 결과를 바탕으로 대상 선박을 선정한 조건은 다음과 같다.

※ 대기오염물질 배출특성 조사 대상 어선 선정 조건

- 1) 10톤 이하의 어선일 것
- 2) 보령의 대천항 소속일 것
- 3) 배기가스 토출부가 선박 하부가 아닌 상부로 되어있을 것
- 4) 선박에 설치된 발전기가 측정장비의 전력소비량을 감당할 것
- 5) 선박 내부 공간이 측정장비를 설치 및 운영에 충분할 것

이상의 조건을 가지고 대천항을 대상으로 운영 중인 어촌계를 대상으로 선박을 수소문하였고, 그 결과 어선 1척을 섭외하였다.



[그림 9] 대기오염물질 직접 측정에 선정된 어선의 모습

[표 9] 대상 어선의 사양

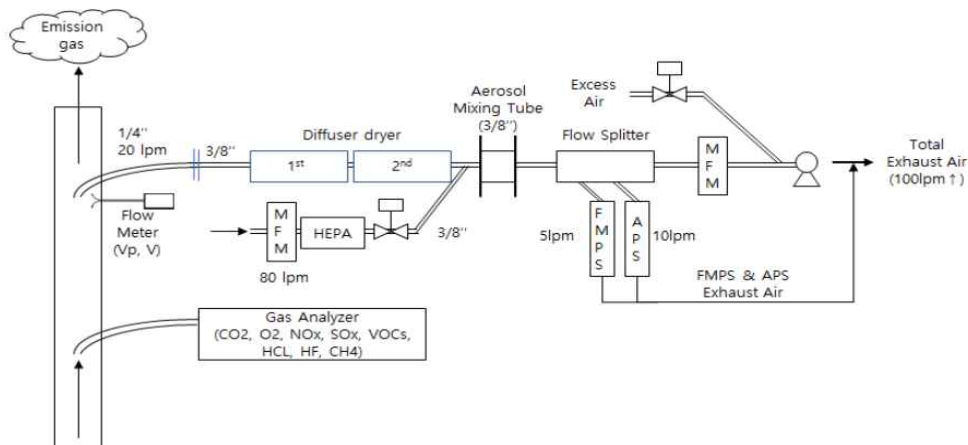
등록번호	1804004-*****	주요 치수	길이	12.87 m
등록용도	어선(정치망어업)		너비	3.42 m
종류	동력선		깊이	0.89 m
총톤수	7.93톤	진수연월일		18.04.20
조선자	경동레저산업	전격용량		497 마력
추진기관	디젤기관	재질		FRP

대기오염물질 특히 입자상 오염물질의 측정시 가장 중요한 것은 등속흡인이다. 토출구의 유출속도와 장비의 흡입유량이 다를시 측정값에 중대한 오류를 범할 수 있다. 이에 측정에 앞서 대상선박으로 선정된 어선에 대한 사전 조사를 수행하였다. 토출구를 대상으로 측정노즐의 설치에 방법과 유속, 배출가스 온도에 대한 정보를 우선적으로 수집하였고, 수집된 정보를 대상으로 측정방안을 도출하였다.



[그림 10] 측정대상 선박에 대한 배출구 조사 모습

대기오염물질 배출특성 분석을 위해 실시간 측정장비를 대상으로 측정항목을 선정하였다. 우선 배출가스의 입경분포 및 개수농도 특성을 분석하기 위해 FMPS(fast mobility particle sizer, model 3091, TSI)와 APS(aerodynamic particle sizer, model 3321, TSI)를, PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 중량농도 분석을 위해 DustTrak(model 8530, TSI)를 선정하였다. 가스상 오염물질 중 NO_x , CO, CO_2 , O_2 측정을 위해 PEA(portable emission analyzer, PG-250, HORIBA)를 선정하였다. 이와 더불어 토출구의 속도압 측정을 위해 portable flue gas analyzer(model MK2, Greenline)을, 측정경로의 유속체크를 위해 MFM(mass flow meter, model 4100, TSI)를 활용하였고, 토출구로부터 배출된 가스의 결로에 의한 수분 문제를 해결하기 위해 입자 및 가스상 물질 측정시스템에 각각 diffusion dryer를 설치하였다.



[그림 11] 배출구의 오염물질 측정을 위한 측정 계략도

[표 10] 본 연구에서 사용된 측정장비 사양

장비명	측정항목	측정범위	유량	비고
FMPS	입자 개수농도 및 입경분포	5.6~560 nm	10 lpm	32채널
APS		0.5~20 μm	5 lpm	32채널
DustTrak	입자 무게농도	$PM_{1, 2.5, 10}$	3 lpm	3채널
PEA	NO_x , CO, CO_2 , O_2	NO_2 : 0~2,500 ppm CO : 0~4,500 ppm	0.4 lpm	5채널
MFM	유속, 압력, 온도	0~300 lpm		



3. 측정방법 선정 및 장비 설치

측정·분석에는 절차화된 규정이나 규범이 필요하고, 대기쪽 측정을 위해 대기오염공정시험이나 실내공기질공정시험기준 등이 존재한다. 선박의 경우 대부분 활동도자료나 연료사용량에 배출계수를 곱하여 산정하는 간접법을 활용하다 보니 국내에는 아직 규정된 측정방법이 전무하다. 하지만 IMO의 경우 NOx에 대한 배출가스 측정기준을 정해 고시하고 있는데, 국내에서 수행되고 있는 연구과제의 경우 이 기준서를 인용하여 활용하고 있다. 이 기준서에는 엔진출력에 따라 4단계로 구분하여 그때의 속력에 따른 배출량을 산정하도록 되어 있다.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION



E

MARINE ENVIRONMENT PROTECTION
COMMITTEE
57th session
Agenda item 4

MEPC 57/WP.7/Add.2
3 April 2008
Original: ENGLISH

PREVENTION OF AIR POLLUTION FROM SHIPS

Report of the Working Group on Annex VI and the NOx Technical Code

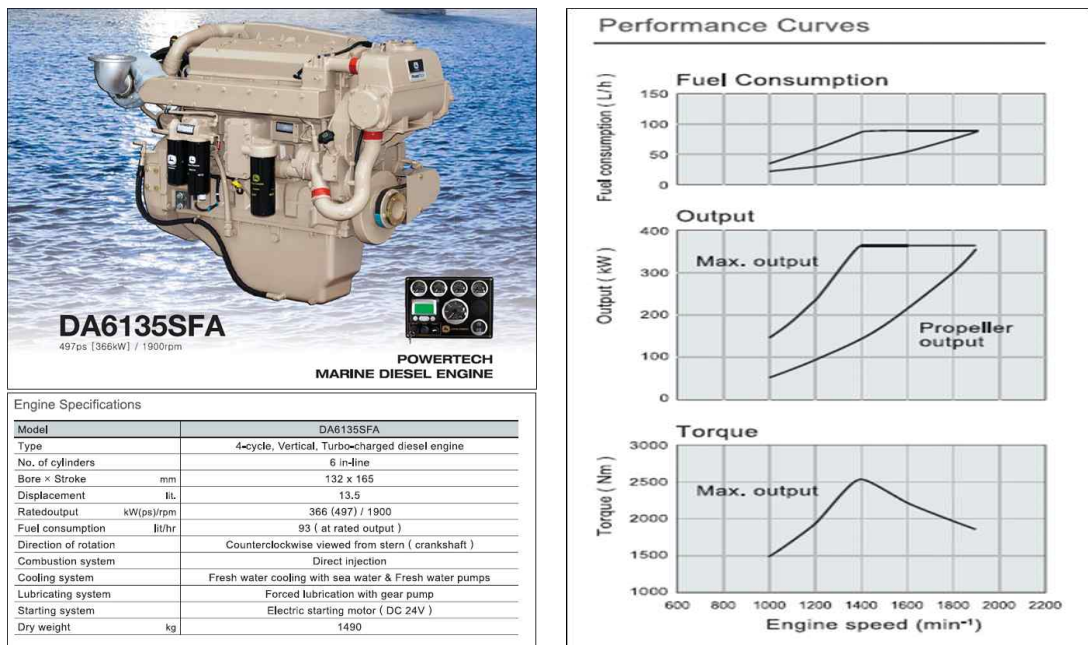
Attached is annex 2 to the report of the working group (MEPC 57/WP.7).

Table 2 – Test cycle for “Propeller-law-operated main and propeller-law-operated auxiliary engine” application

Test cycle type E3	Speed	100%	91%	80%	63%
	Power	100%	75%	50%	25%
	Weighting factor	0.2	0.5	0.15	0.15

[그림 12] IMO의 선박 배기가스 측정 방법

엔진부하에 따른 실험조건을 설계하기 위해 우선적으로 어선에 설치된 엔진을 조사하였다. 엔진은 존디어(John Deere, U.S.)사의 제품으로 DA6135SFA이다. 366 kW에 최대 1,900 rpm으로 운행이 가능하고, 연비 93 ℓ/hr, 무게는 1.49톤이다. 최대토크는 1,400 rpm에서 나타나며, 이때 연료 소모량도 최대가 된다.



[그림 13] 선박에 설치된 엔진의 상세사양

IMO의 경우 최대 부하를 정점으로 4단계로 구분하여 측정하도록 권고하고 있지만 본 연구의 경우 좀 더 세밀한 결과분석을 위해 총 7단계로 구분하여 단계를 설정하였다. 최고속도 대비 35% 수준인 650 rpm을 시작으로 각 단계별로 15분정도 정속 운행을 하였고, 15분 중 초반 변속구간인 5분을 제외한 후반 10분 자료를 기반으로 분석하였다. 실험은 2회 반복하여 실시하였는데 첫 세트는 저속부터 고속으로 단계를 승격시키면서 진행하였고, 이후 휴식시간을 가진 뒤 두 번째 세트에서는 고속부터 저속으로 감속해가면서 측정하였다. 첫 번째 세트 후 휴식시간에는 측정값 신뢰성 향상을 위해 1차 측정기간 동안 오염된 diffusion dryer 교체와 유량을 교정했다.

RPM (engine road)							1900 (100%)	Break time	1900 (100%)						
						1700 (90%)				1700 (90%)					
					1500 (80%)						1500 (80%)				
				1400 (75%)								1400 (75%)			
			1200 (63%)										1200 (63%)		
		950 (50%)												950 (50%)	
	650 (35%)														650 (35%)
Speed (kt)	5	7	9	12	12	15	17		17	15	13	12	10	7	4
Fuel consumption	2.5	4	8	9.5	11.5	16	22.5		20	16	12	9.5	7.5	3.5	3

[그림 14] 본 측정에서 설정한 실험 방법

토출구로부터 배출되는 배기가스의 측정을 위해 선박 배출구에 플렌지를 설치하였다. 플렌지의 재질은 토출가스의 온도를 감안하여 스테인리스 스틸로 제작하였고, 내·외경은 설치된 굴뚝과 동일 크기로 하여 배가스 배출에 방해가 없도록 하였다. 내경 100 mm로 설계된 플렌지에는 3개의 측정공을 타공하여 입자상 오염물질과 가스상 오염물질, 동압 측정에 활용하였다. 플렌지와 측정 장비와의 연결은 메인 연결관은 1/4" 와 3/8" 관(sus)을 사용하였고, 이음새 부분은 확대·축소 패럴(sus)을 활용하여 연결하였다.



[그림 15] 측정에 활용된 플렌지 모습



4. 선박 배출량 측정

유속은 추후 배출량 산정을 위한 유량 산정에 매우 중요한 지표이다. 하지만 일반적으로 유속 측정에 사용되는 열선풍속계 등은 고온 다습한 토출구 환경에 노출시 제기능을 발휘하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 속도압을 측정하여 유속으로 보정하는 방법을 사용하였다. 속도압과 유속과의 관계는 다음과 같다.

$$V = \sqrt{\frac{VP \times 2g}{r}} \quad / \quad V = 4.043 \times \sqrt{VP} \quad (\text{가스의 밀도가 없을 때})$$

여기서 VP : 속도압 (mmH₂O)

g : 중력가속도 (m/s²)

r : 가스의 밀도 (1.2 kg/m³)

V : 속도 (m/s)

속도압 측정을 위해 portable flue gas analyzer(model MK2, Greenline)을 사용하였는데 매 1분마다의 변화를 체크하여 분평균값을 활용하였다. 하지만 장비의 고장으로 대상 기간 전체에 대한 자료를 확보하지 못한 채 측정을 마무리하였다. 측정기간 동안 단계변화에 따른 속도압 변화를 관찰하였는데, 본 연구에서는 2구간에 해당하는 약 30분간의 자료만을 확보할 수 있어 구간의 평균값을 전체 측정기간의 평균 유속이라고 가정하고 값을 산정하였다. 30분간 측정된 평균 속도압은 30.5 mmH₂O 였다. 여기서 속도를 구하면,

$$V(m/s) = 4.043 \times \sqrt{30.5} = 22.3 (m/s)$$

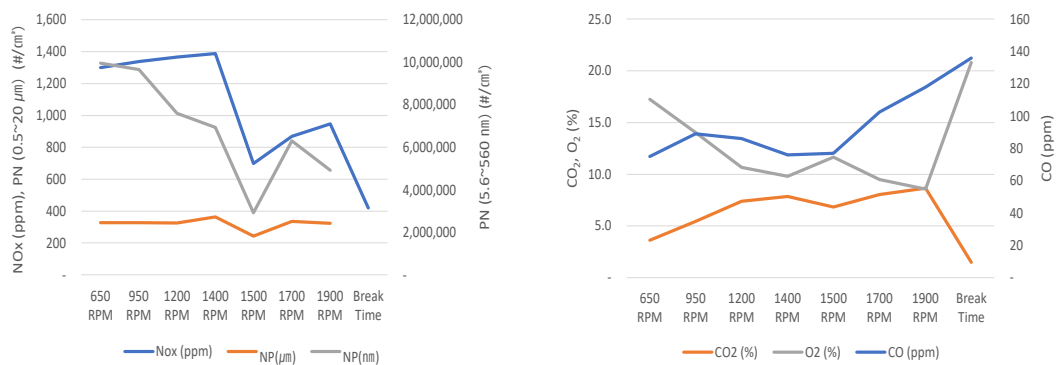
내경이 0.1 m 였으므로 유량은 10.5 m³/min 이다.

$$(0.05 \times 0.05 \times 3.14) m^2 \times 22.3 m/sec \times 60 sec/min = 10.5 m^3/min$$

2회 측정한 결과를 표 11에 나타냈다. 본 선박에 장착된 엔진의 성능곡선에서 엔진의 토크가 1,400 rpm에서 최대를 보이고 감소하는 경향을 보였고, 마찬가지로 연료소모량과 정격출력 역시 1,400 rpm에서 최대를 보이고 유지하다가 최대출력인 1,900 rpm에서 감소하는 추세를 보였다. NOx와 입자 개수 농도는 1,400 rpm까지 증가하다가 1,400 rpm에서 순간 감소 후 재증가하는 유사한 패턴을 보였다.

[표 11] 선박 배기가스 측정결과

	NOx (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	PM _{2.5} (mg/m ³)	PN(APS) (#/cm ³)	PN(FMPS) (#/cm ³)
650rpm	1,299	75	3.6	17.3	1.0	326	9,956,129
950rpm	1,337	89	5.5	14.1	0.9	327	9,662,879
1200rpm	1,365	86	7.4	10.7	1.4	325	7,594,052
1400rpm	1,388	76	7.9	9.8	1.0	365	6,928,781
1500rpm	698	77	6.9	11.7	1.2	243	2,923,636
1700rpm	869	103	8.1	9.5	0.7	336	6,300,606
1900rpm	948	118	8.7	8.6	0.7	322	4,925,076
Break time	420	136	1.5	20.8	0.4	279	2,983,202



[그림 16] 선박 배기가스 측정 결과

대기환경보전법상 별표 35에 <선박의 배출허용기준>이 명시되어 있다. 하지만 정격용량이 130 kW 초과하는 선박만을 대상으로 하고 있고, 오염물질 또한 NOx만을 대상으로 하고 있어 주요 배출물질인 SOx와 PM, BC에 대한 규제 방안은 전무한 상태이다.

[표 12] 선박관련 배출허용기준

기관출력	정격기관 속도	질소산화물 배출기준(g/kWh)		
		기준 1	기준 2	기준 3
130kW 초과	n이 130rpm 미만일 때	17 이하	14.4 이하	3.4 이하
	n이 130rpm 이상 2,000rpm 미만일 때	$45.0 \times n^{(-0.2)}$ 이하	$44.0 \times n^{(-0.23)}$ 이하	$9.0 \times n^{(-0.2)}$ 이하
	n이 2,000rpm 이상일 때	9.8 이하	7.7 이하	2.0 이하

※ 비고: 기준 1은 2010년 12월 31일 이전에 건조된 선박에, 기준 2는 2011년 1월 1일 이후에 건조된 선박에, 기준 3은 2016년 1월 1일 이후에 건조된 선박에 설치되는 디젤기관에 각각 적용하되, 기준별 적용대상 및 적용시기 등은 해양수산부령으로 정하는 바에 따른다.

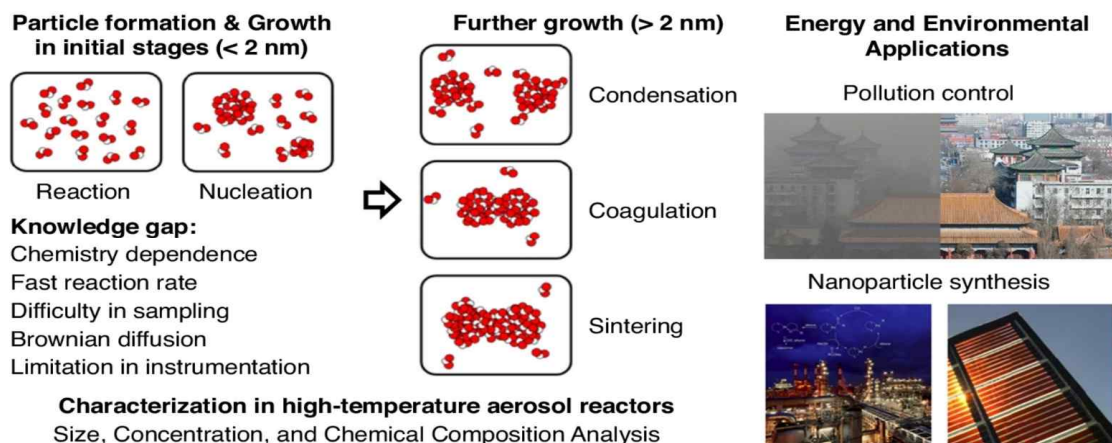
비교 분석이 가능한 별다른 기준이 없는 상태에서 사업장에 대해 규제하고 있는 대기오염물질의 배출허용기준(대기환경보전법 시행규칙 별표 8)과 비교·분석하였다. CO의 경우 소각시설에 대해 50~200(12) ppm 이하로 규정하고 있으며, SRF 제조시설에 대해서는 최대 300(15) ppm 이하로 관리하고 있다. 본 측정에서는 비운행(break time)에 136 ppm(20.8)으로 가장 높은 농도를 보였고, 최저 부하인 650 rpm과 최대정격출력인 1,400 rpm에서 각각 75(17.3) ppm과 76(9.8) ppm으로 가장 낮은 농도를 보였다. 이는 최대효율을 보이는 시기에 최적의 연소가 이루어지면서 CO의 농도가 낮아지는 반면, 엔진 효율이 낮은 비운행시와 최대정격출력시 가장 높은 농도를 보이는 것으로 판단된다.

NOx의 경우 NO₂로 관리되고 있으며, 다양한 시설에서 20(15) ppm 이하부터 270(13) ppm 이하까지 넓은 범위를 가지고 있다. 일반적으로 대기 중에 배출되는 NOx는 1차 오염물질인 NO로 배출된 뒤 급격하게 산화되어 대부분 NO₂로 존재하게 된다. 본 연구에서는 측정데이터가 NOx로 제공되어 직접적인 비교는 힘들지만 비운행시가 420 ppm으로 가장 저농도를 보였고, 정격출력이

최대가 되는 1,400 rpm에서 1,388 ppm으로 최대 농도를 보였다. 하지만 이후 급격한 감소를 보여 NOx의 배출량 역시 엔진부하에 가장 많은 영향을 받고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

일반적으로 대기 중 입자들은 나노입자(100 nm 이하) 범위는 cm^3 당 청청지역은 4,000~6,000 개 정도를 일반적인 대기환경에서는 10,000~20,000 개 정도 수준을 보인다. 배기가스 측정결과 나노범위의 입자들은 2,983,202~9,956,129 $\#/\text{cm}^3$ 의 범위로 나타나 일반 대기환경보다 300~1,000배 정도 많은 개수농도를 보였다. 가장 많은 배출은 가장 낮은 650 rpm에서 보였는데 이는 자동차와 마찬가지로 엔진이 가열되기전 저온가속시 배기가스 및 검댕이 다수 배출되는데 선박 역시 동일한 디젤기관을 사용하다 보니 유사한 결과가 나타난 것으로 판단된다. 이후 다른 오염물질과 함께 최대정격출력 구역인 1,400 rpm을 계기로 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

상대적으로 큰 조대입자(0.5~20 μm)는 나노입자의 배출특성과는 약간 상이한 결과를 나타냈다. 나노입자의 경우 650 rpm에서 최대농도를 보인 후 1,500 rpm까지 감소 추세를 보인 반면 마이크론 크기의 입자들은 650 rpm부터 1,400 rpm까지 유사한 농도수준을 보이다가 최대정격출력을 보이는 1,400 rpm을 지나자 감소 후 재재증가하였다. 이는 DustTrak의 PM_{2.5} 데이터와 유사한 결과이다. 나노입자는 조대입자들에 비해 생성 후 운동 확산이나 응집, 응축과 같은 변화를 거쳐 커지는데 이렇게 커진 입자들의 영향이 반영될 결과로 추측된다.



[그림 17] 나노입자의 거동 및 물리화학적 변화 특징

제4장

소형 선박의 대기오염 관리

1. 선박 관련 대기오염 개선정책 동향
2. 정책 제언

소형 선박의 대기오염 관리



1. 선박 관련 대기오염 개선정책 동향

2016년부터 고농도 미세먼지 발생 사례 증가로 국민적 관심과 불안감이 증가하고 있으며, 이에 따라 정부에서는 “미세먼지 관리 종합계획” 등 다양한 미세먼지 저감 대책을 마련하고 있다. 선박 또한 그 동안 배출의 사각지대에서 벗어나 친환경 이동수단으로의 발전을 꾀하고 있다. 2019년 3월 국회는 미세먼지 관련 일명 : “미세먼지 8법”을 본회의에 의결하였으며, 여기에는 환경부에서 주관하는 “대기환경관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법”을 포함하여 해양수산부에서 관리하는 “항만지역 등 대기질 개선에 관한 특별법(이하 항만대기질법)” 등이 포함되어 있다. 과거 “해양환경관리법”과 “대기환경보전법”에 의거 관리되던 항만과 선박관련 대기오염관련 규제에 새로이 “항만대기질법”이 추가되었으며, 이에 따라 더욱 강화된 개선대책 추진이 진행되고 있다. 특히 이번 정책들은 5대 대형항만(부산항, 인천항, 울산항, 여수·광양항, 평택·당진항)과 인근 해역을 중심으로 추진되며, 이전에 없던 고농도 미세먼지 대응과 미세먼지 측정망 신규 설치 등이 포함되어 있다.

- 선박 배출가스 기준 강화 및 저속운항 프로그램 도입
 - 선박 연료유의 황 함유량 기준 대폭 강화(3.5%→0.5%)
 - 5대 대형항만 인근에 배출규제해역을 지정(강화된 연료유 기준 적용)
 - 5대 대형항만 인근에 저속운항해역 지정

○ 친환경 선박확대

- LNG 추진선 등 친환경 선박 도입 촉진
- 민간부문 특성에 맞는 맞춤형 지원(저유황유 사용, 친환경 선박 전환)
- LNG 추진선, 전기·수소 충전선 및 저감장치 관련 기술개발 지원
- 중소형 선박의 미세먼지 저감장치 개발 및 상용화 사업 지원

○ 하역장비 배출기준 신설 및 친환경 전화 지원

- 항만 하역장비에 대한 배출가스허용 기준 신설
- LNG 야드트랙터 보급사업 추진

○ 친환경 항만인프라 구축

- 12개 주요 거점항을 중심으로 육상전원공급설비(AMP) 구축사업 추진
- 분진성 화물 취급 항만을 중심으로 미세먼지 차단 수림대 조성

○ 항만 미세먼지 감시체계 구축

- 대기질 측정소 58개소 설치 및 실시간 미세먼지 현황 측정

○ 항만구역 고농도 미세먼지 대응 강화

- 비상저감조치 발령시 항만·어항 공사현장 중 정부시행 공사 일시 중지
- 비상저감조치 발령시 5등급 노후화물차 항만 출입 제한
- 항만 근로자 대상 마스크 비치, 휴게실 공기청정기 운영

[표 13] 항만대기질 관리구역의 범위

구분	항만구역	그 외의 해역
서부권	인천항, 경인항, 서울항, 평택·당진항, 대산항, 태안항	인천 강화도 인근 ~ 충남 태안군 가의도 인근
남부권	여수항, 광양항, 하동항, 삼천포항, 통영항, 장승포항, 옥포항, 고현항, 마산항, 진해항, 부산항, 울산항, 포항항	전남 여수 돌산도 인근 ~ 경북 포항시 인근



[그림 18] 항만 미세먼지 관리 계획(해양수산부)

“미세먼지 관리 종합계획”과 “항만대기질법”이 신설되면서 그 동안 소외되었던 선박관련 대기오염물질 관리가 수면위로 올라온 것은 사실이다. 현재 추진되고 있는 법안을 검토해 보면 1. 친환경선박 도입, 2. 연료규제, 3. 항만 배출원 저감으로 요약할 수 있다. 하지만 현재 국내 등록되어 있는 선박의 약 87%를 차지하는 어선, 특히 그 중 대부분을 차지하는 10톤 이하 선박에 대한 관리방안은 전혀 고려되지 않고 있는 실정이다. 현재 배출량 산정 및 관리가 배출계수를 위주로 추진되고 있다는 점과 일부 적용되는 NOx 및 SOx의 배출원 규제도 400톤 이상이거나 합계출력 130 kW 이상의 내연기관을 대상으로 하고 있어 대부분의 소형 어선에 대한 관리대책은 전무한 상태이다.



2. 정책 제언

미세먼지 및 대기환경 개선을 위해 범부처의 연구 및 합동 관리방안이 제시되고 있다. “미세먼지 관리 종합계획”을 시발점으로 2016년 출범한 미세먼지 범부처 프로젝트 사업단(4년간 492억원)은 미세먼지 예보모델의 예측 정확도 향상과 제철소 미세먼지 배출 저감 등을 목적으로 연구를 추진하였고, 2019년에는 과학기술정보통신부 단독으로 동북아 미세먼지 사업단을 꾸려 대기환경 개선을 위한 정책적 기술적 지원을 마련하고 있다. 하지만 연구가 진행되고 과학이 발달되면서 과거 알지 못했던 2차 생성 입자나 광화학 스모그 등이 문제시 되는 것처럼 선박 또한 과거 관심의 사각지대에서 현실문제로 대두되면서 많은 문제점과 미흡한 대책이 가시적으로 나타나고 있다.

본 연구에서는 비이동오염원으로 분류되는 선박 중 대부분의 비율을 차지하고 있으면서도 관심의 밖에 머무르고 있던 10톤 이하의 소형 어선의 대기오염 배출이라는 면을 부각시켰고, 이와 더불어 일부 현장 측정을 통해 선박 운행에 따른 대기오염물질 배출 특성을 조사하였다. 위 결과를 바탕으로 앞으로 추진되거나 개선되어야 할 정책방향에 대해 다음과 같이 제언하고자 한다.

○ 국내 선박배출관련 인벤토리 구축

모든 문제의 해결은 원인 파악으로부터 시작된다. 대기환경 개선대책 수립을 위해서는 배출원에 대한 정보를 파악하고 원인분석을 통한 기술적/정책적 대책 마련이 요구된다. 현재 국내에서 산정되고 있는 선박관련 배출자료는 대부분 활동도 자료에 배출계수를 활용한 간접 산정방식을 사용하고 있다. 이는 직접 측정법 대비 정확성과 신뢰도가 떨어지는 궁여지책의 방법일 뿐이다. 그 동안 관심의 사각지대에서 관리되지 못했던 선박관련 오염물질 배출이 현안문제로 대두된만큼 그 동안 진보된 측정분석기술을 활용하여 실측 기반의 인벤토리가 구축되어야 할 것이다.

○ 선박관련 배출계수의 개발

현재 사용되고 있는 선박관련 특히 어선관련 배출계수는 국내 현실을 반영하지 못한 외국의 배출계수를 그대로 차용하여 사용하고 있어 현실성이 많이 부족할 수 있다. 과거 국립환경과학원의 부설 연구실에서 관리되던 대기오염관련 정보가 국가미세먼지정보센터로 이전된 만큼 향후 이와 관련된 연구업무가 활발히 진행될 것으로 기대된다. 하지만 과거 수십년간 사용되어 오던 배출계수를 일순간에 현실에 맞게 보완, 대체한다는 것이 불가능한만큼 해양수산부와 같은 유관기관과의 협력연구를 통해 배출계수 현실화를 추진하는 것이 필요할 것이다.

○ TMS부착 및 IoT를 활용한 실시간 배출량 관리

선박관련 배출량 산정은 정박 및 운행에 따른 활동도 자료에 배출계수를 곱하거나 이마저 부족한 경우 연료사용량에 배출계수를 반영하여 산정하는 방법을 활용하고 있다. 비록 단일 케이스이긴 하지만 본 연구결과 어선의 운행특성에 따라 오염물질별 배출량이 상이하게 나타난다는 것을 확인할 수 있었다. 일정 규모 이상의 점오염원에 대해서는 TMS를 부착, 대기오염물질 배출정보를 자동으로 관리부서에 송신, 관리하도록 시스템이 구성되어 있다. 소형 어선의 경우 정확한 배출량 산정보다는 최근 많이 활용되고 있는 IoT 기반 관측센서 기술을 활용하여 선박의 운행 및 배출자료를 DB화하여 관리한다면 향후 배출량 산정시 좀 더 현실적인 값을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

○ 소형 선박용 대기오염물질 배출저감 장치 개발

현재 국가차원의 선박 배출원에 대한 관리는 중대형 선박을 중심으로 이루어지고 있으며, 등록 선박의 대부분을 차지하는 10톤 이하의 소형 어선에 대해서는 배출원 관리정책이 전무한 상태이다. 최근 발효된 미세먼지특별법과 대기관리권역법에 의거 노후 건설기계, 농기계, 화물차에 대한 저감장치 장착 및 친환경 엔진으로의 전환정책이 추진되고 있다. 소형 어선 역시 대부분 디젤엔진을 사용하는 만큼 자동차나 기존 육상 이동오염원을 대상으로 개발된 DPF

등의 장치를 혼용하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 기존 기술을 차용, 소형 어선에 관련 저감장치 부착을 의무화하는 법(조례)을 개정하고, 이를 자연적으로 유도할 수 있는 인센티브나 규제를 같이 운영한다면 효과적인 개선 대책으로 자리잡을 수 있을 것이다.

○ 소형 선박 배출저감장치 부착 의무화 조례 지정

아무리 잘 만든 기술과 자료라도 법이나 정책적인 지원 없이는 정착하기 쉽지 않다. 현재 대기나 수질분야에서 일정규모 이상(1~3종사업장)오염물질을 배출하는 사업장은 환경설비를 운전/관리할 수 있는 환경기사 혹은 산업기사를 배치하여야 한다. 마찬가지로 환경측정분석 대행업으로 하는 사업장은 관련 기술사 1인과 기사 2인을 채용해야 하는 등 그 활용이 명확히 법으로 명시되어 있다. 하지만 2000년대 후반 환경분야에 지구온난화, 온실가스 인벤토리 붐이 불면서 에너지관리기사(2008년)와 온실가스관리기사(2012년)가 신설되었지만 법적인 강제력이 없자 자격 응시 및 취득자가 급격히 감소하고 있다. 소형 선박의 경우 그 하나 하나의 배출은 미미할 수 있지만 전국에 등록되어 있는 선박 중 가장 많은 어선, 특히 충청남도에 등록되어 있는 어선 중 95% 이상을 차지하는 10톤 이하의 소형 어선의 경우 연간 배출량은 관리가 요구되고 있다. 이러한 어선에 대한 확고한 저감대책을 추진하기 위해서는 법적 뒷받침이 필요하며, 이를 위해서는 관계 기관과 관련 담당자들의 노력이 수반되어야 할 것이다.



부록

- A. 선박관련 개선 정책 (미세먼지 관리 종합계획)
- B. 황산화물 배출규제 해역 (항만대기질법)
- C. 현장측정 사진

《 A. 선박관련 개선 정책 (미세먼지 관리 종합계획)

1-3. 비도로 수송부문(Off-road)

- ◆ 타 부문에 비해 투자·지원이 부족하여 관리가 미흡했던 선박·항만·건설기계 등에 대해 적극적인 감축조치 추진

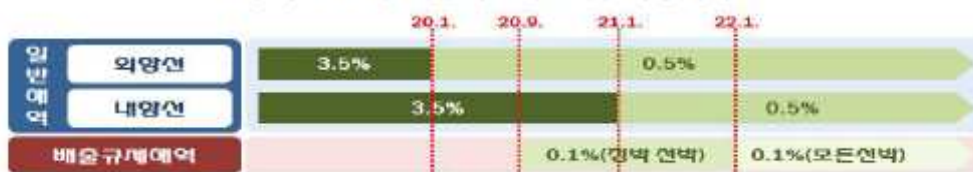
1 선박 배출 미세먼지 저감

- ◆ 선박 항행시 배출되는 황산화물 감축을 위해, 연료 기준 강화·저속운항 유도 등 다각적 저감 조치

□ 선박배출가스 기준 강화 및 저속운항프로그램 도입

- 선박 연료유의 황 함유량 기준을 대폭 강화(3.5%→0.5%)하여 '20년부터 외항선박에, '21년부터 내항 선박으로 단계적 의무 적용
 - * 해양환경관리법 시행령 개정('19.7월) 완료
 - 5대 대형항만* 인근에 배출규제해역**을 지정('19.12월)하여, 강화된 연료유(황함유량 0.1%) 기준*** 적용
 - * 부산, 인천, 울산, 여수·광양, 평택·당진 (미세먼지 기준 66%, 입출항 기준 69%)
 - ** 일반해역보다 강화된 연료유 황함유량 기준이 적용되는 해역
 - *** 정박 중 선박 우선 시행('20.9) 후 모든 선박으로 확대('22.1~)
 - 5대 대형항만 인근에 저속운항해역*을 지정('19.11월) 하여, 항비 감면 등 인센티브를 통한 선박의 저속운항(12노트 이하)을 유도
 - * 20% 감속 시 시간당 미세먼지 배출 49% 저감
- ※ 선사 자율 참여를 통한 시범운영('19.9월~) 중으로 '19.12월부터 본격 시행

【 강화된 선박 배출가스기준 및 시행시기 】



□ 친환경 선박 확대

- 친환경선박 기술 개발 촉진 및 민간수요 창출을 위해 공공에서 선제적으로 LNG 추진선 등 친환경선박 도입(~'25, 해수부 40척)
 - * 「환경친화적 선박의 기술개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제정('18.12)
 - 친환경선박 전환이 어려운 관공선에는 미세먼지 저감장치 설치('22~)
- 민간부문 외항선, 내항선, 예선 등 선종별로 특성에 맞는 맞춤형 지원 (보조·펀드·이자지원)을 통해 민간의 친환경선박 전환 유도*(~'25, 100척)
 - * 민간에서는 ①저유황유 사용, ②친환경선박 전환(저감장치 부착 포함) 등을 통해 선박 배출가스규제 강화에 대응할 계획이나, 비용부담을 이유로 친환경선박 전환에 소극적

【 선종별 지원 현황 】

- ◇ (외항선) LNG 추진선 등 친환경 고효율선박 대체건조 시 선가의 10% 보조('19년 6척) 및 배기가스정화장치, 수전설비 등 친환경설비 개량자금 대출이자(2%) 지원('19년 113척)
- ◇ (내항선) 화물선, 여객선 등 선종 및 운항 형태에 따라 펀드, 이차보전 등 맞춤형 금융지원
- ◇ (예선) 미세먼지 배출이 많은 예선에 대한 LNG추진선 대체 30% 보조(~'25년 14척)

- 「친환경선박법」 제정('18.12) 계기 LNG 추진선 관련 기술 조기개발·보급, 전기·수소추진선 및 저감장치 등 관련 기술개발 추진
 - (LNG 추진선) 최적설계, 기자재 등과 관련된 기술* 보급·확산
 - * 중소선박용 LNG추진선 엔진 및 연료탱크 기술개발 등(~'19)
 - (수소·전기추진선) 수소 저장·공급 등 기존 수소엔진 요소 기술 선박 적용* 및 안전기준** 개발 등 관련 기술개발도 추진
 - * 수소연료 기반 선박 R&D 플랫폼 구축 사업('19~'23, 산업부)
 - ** 수소선박 안전기준 개발 R&D('20~'24)
 - (저감장치) 중소형 선박(경유 사용)용 미세먼지 저감장치 개발 및 상용화(~'21), 선박배출 대기오염물질 통합저감기술* 개발(~'23)
 - * 미세먼지(PM_{2.5}), 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x)을 동시에 저감

2 항만 미세먼지 감축

◆ 항만 정박시 선박 발전기 가동으로 인한 황산화물과 하역장비 기인 오염물질 저감을 위한 친환경 항만인프라 구축

□ 하역장비 배출기준 신설 및 친환경 전환 지원

- 관리 사각지대에 놓여있던 항만 하역장비*에 대한 배출가스허용
기준 신설('19.12)**에 따라 기준 준수 여부 점검***('20~)

* 건설기계로 등록되어 있지 않은 야드트랙터 등 항만전용장비(약 1,200대 규모)

** 「항만대기질법」 하위법령 제정('19.11) *** 고농도 미세먼지 빈발시기에 집중 단속

【 주요 하역장비 현황 ('19.5) 】

구분	계	항만전용			육상공용(건설기계 류)						
		소계	야드 트랙터	갠트리 크레인	소계	지게차	굴삭기	불도저	현들러	크레인	로더류
대수	2,604	1,241	1,012	229	1,363	672	169	76	102	167	177

* 야드 트랙터(Yard Tractor) : 야드에 적재된 컨테이너를 끌어서 운반하는 장비

** 갠트리 크레인(Gantry Crane) : 부두의 안벽 위에 설치되어 선박으로부터
컨테이너를 하역하거나, 부두에 있는 컨테이너를 선박에 실어주는 장비

- LNG 야드트랙터 보급사업을 지속 추진*(연 100대)하고, 전기 야드
트랙터 보급 및 저감장치 부착 시범사업 병행

* 야드트랙터 LNG 전환 시 25% 보조, 저감장치 부착 시 45~90% 보조

※ '23년까지 전체 야드트랙터의 70% 이상 친환경연료 전환 및 저감장치 부착 목표

- 건설기계로 분류되는 지게차, 굴삭기, 로더류 등에 대한 노후엔진
교체사업 추진('20, 317대)

* 노후 건설기계의 구형엔진(Tier-1 이하)을 신형엔진(Tier-3 이상)으로 교체

- 주요 하역장비의 LNG 등 친환경 연료 사용 의무화* 추진('19~)

* 신규부두 운영사 선정 평가기준에 주요 하역장비 친환경연료 사용 의무화 반영

□ 친환경 항만인프라 구축

○ 12개 주요 거점항^{*}을 중심으로 육상전원공급설비(AMP)^{**} 구축사업 추진, 전국 무역항을 대상으로도 단계적 설치 추진

※ ('20년) 12개 항만, 16개 선석(부산항 4, 인천항 2, 광양항·평택·당진항·대산항·군산항·목포항·어수항·마산항·울산항·포항항·동해·묵호항 각 1)

※ 선내 발전기 가동(중유 사용)을 대신하여 육상에서 전원을 공급, 미세먼지 감축

- 선사에 대한 인센티브^{*} 제공 등을 통해 육상전원공급설비 사용을 활성화하고, 향후 전기추진선 확대 시 전기 충전설비로 활용

※ 전기로 인하, 항만사용료 감면 등 부담완화 방안 검토

○ 선도적 LNG 병커링 투자로 LNG연료 공급^{*} 능력을 확대^{**}하고 LNG 수요 증가에 대비하여 관련 기술 개발 추진(~'22)

※ (단기) 탱크로리 및 병커링 선박, (중·장기) 병커링 선박 및 병커링 터미널

※ '19년 30만톤 → '22년 70만톤 → '25년 130만톤

【LNG 병커링 유형】

Truck-To-Ship LNG 탱크로리(화물차)를 이용하여 병커링하는 방식	Portable Transfer Tank 이동식 LNG 연료탱크를 선박에 탑재하는 방식
	
Pipe To Ship 육상이나 해상에 설치된 파이프를 통하여 병커링하는 방식	Ship To Ship LNG 병커링 선박에서 LNG추진선으로 병커링하는 방식
	

- '25년까지 LNG병커링 관련 인프라 투자 지속 확대
 - * (병커링선) 3천억원 / (배후인프라) 부산 1조원, 울산 7천억원, 광양·인천·평택 3천억원
- LNG 병커링 최적화 시스템, 핵심 기자재*(10종) 국산화 및 성능평가 체계, 운영기술 등 핵심기술 개발
 - * 스프레이노즐 및 펌프, 압축장치, 모니터링 등
- 석탄, 곡물 등 주요 분진성 화물 취급 항만*(8개)을 대상으로 실태 조사 실시 및 항만별 환경개선방안 마련(~'20)
 - * 부산항, 인천항, 울산항, 평택·당진항, 목포항, 포항항, 군산항, 동해항
- 분진성 화물로 인한 비산먼지 저감을 위해 하역 및 저장시설 옥내화*, 방진벽(막) 설치 확대('20~)
 - * 옥내 시설 내 작업자에 대한 건강보호 대책 마련 병행
- 분진성 화물 취급 항만을 중심으로 화물 이동경로, 부두구역 조정 등을 검토하여 미세먼지 차단 수렴대 조성*(~'22)
 - * 평택·당진항, 마산항, 군산항, 동해항 등(~'22, 총 475억원)

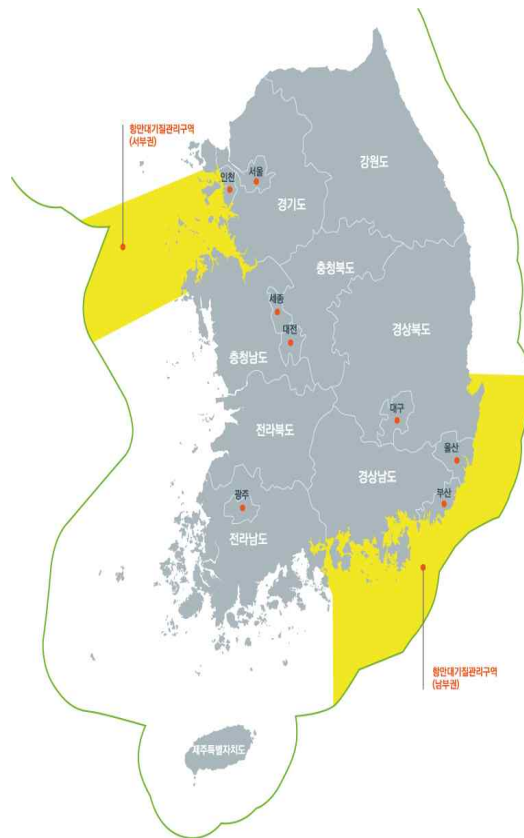
□ 항만 미세먼지 감시체계 구축

- 대기질 측정소 58개소 설치, 실시간 미세먼지 현황 측정
 - * 국가관리무역항 15개소, 도서지역 8개소, 해경선박 35척('19년 추경 120억원)
- 선박 미세먼지 배출량 산정방식 개선을 위해 민간선박에 미세먼지 측정장치를 부착, 실제 배출량 측정 추진('20~)
- 측정장비 및 점검인력 확충을 통해 강화된 선박연료유 황함유량 기준(0.5%, '20~) 준수여부 등 배출원 점검 강화*
 - * (외항선) 분기 25척 → 분기 300척 / (내항선) 특별점검 年 1회 → 2회

□ **항만구역 고농도 미세먼지 대응 강화**

- 비상저감조치 발령 시 항만·어항 공사현장 중 정부시행 공사
(‘19.5 기준 항만 109개, 어항 44개)에 대한 일시중지 조치
 - ★ 시공 연속성 확보가 필요하거나 긴급공사는 일시중지 조치에서 제외
- 비상저감조치 발령 시 하역작업 시간 조정, 방진막(백) 사용, 하역장
물청소 및 친환경 하역장비 우선사용 등 조치
- 비상저감조치 발령 시 5등급 노후화물차 항만출입 제한(‘20.1~)
- 항만근로자 대상 마스크 비치, 휴게실 공기청정기 운영, 고령
근로자 건강관리 강화 등 보호조치 시행
 - 어업인의 경우 어촌계 마을방송, 어업정보통신국 무선통신 및
문자발송 등을 통해 조치사항(작업 자제 권고 등) 안내
 - ★ 작업 시 행동요령, 어업시설물 관리요령 등을 주요내용으로 하는 고농도
미세먼지 대응 어업인 행동요령 既배포(‘19.5월)

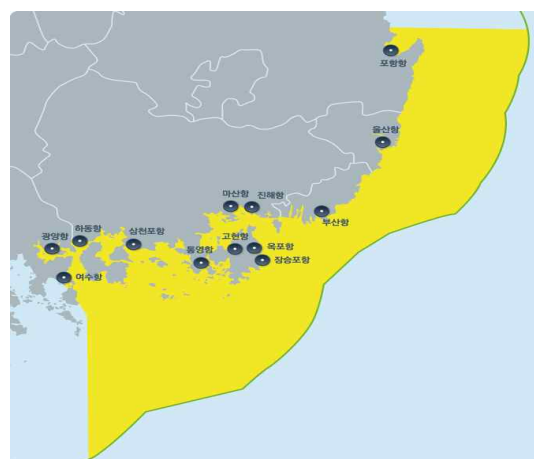
◀◀ B. 황산화물 배출규제 해역 (항만대기질법)



<5대 항만>

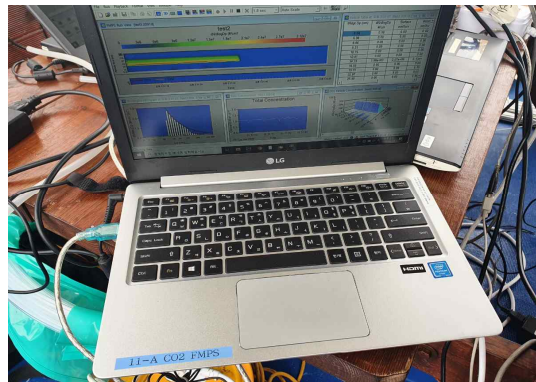


<평택 · 당진>



<여수 · 광양>

◀ C. 현장측정 사진



참고문헌

1. 국립환경과학원, 2015, 국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정(Ⅱ)
2. 국립환경과학원, 2016, 국내 항만의 오염물질 배출량 산정 자료집
3. 국립환경과학원, 2019, 2016 국가 대기오염물질 배출량
4. 국립환경과학원, 2019, 국가 대기오염물질 배출량 기초자료구축을 위한 표준업무절차서
5. 김필수, 김정화, 손지환, 김정소, 최상진, 박성규, 박건진, 2014, 어선 분류체계별 온실가스 배출량 추정방법에 관한 연구, 한국기후변화학회 5(4), 301-311
6. 문난경, 서지현, 2019, 환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영
7. 박진수, 최진수, 김현재, 오준, 성민영, 안준영, 이상보, 김정호, 2018, 실시간 에어로졸 질량분석기를 이용한 PM_{1.0}의 화학적성분의 특성에 관한 연구, 한국도시환경학회지, 18(4), 485-494
8. 부산광역시, 2010, 항만물류시설, 선박, 컨테이너 수송차량 등에 대한 온실가스 감축방안 연구
9. 부산광역시, 2019, 부산시 미세먼지 배출원별 배출량 상세 조사
10. 산업통상자원부, 2016, 1,000마력급 중소형 선박에 대한 IMO 규제대응 SOx/NOx 배출저감 및 VOCs 회수 시스템 개발
11. 설성희, 송민숙, 2018, 실제 운항정보를 이용한 선박 부문 대기오염물질 배출량 산정방법 및 장치
12. 안용성, 김경신, 정세미, 2019, 선박 대기오염물질 배출저감 기술의 평가·인증체계 구축 및 활용방안 연구
13. 안용성, 육근형, 김대경, 이혜영, 2019, 국내 항만의 대기오염물질 관리정책 및 제도 개선방안, 한국해양수산개발원
14. 이승원, 오창석, 2019, 우리나라 선박배출 대기오염 관리현황 및 감사시사점
15. 이승환, 강병용, 정봉훈, 구자영, 2020, 선박 대기오염물질 배출 현황 및 저감을 위한 국가 관리대책 연구: 해양경찰 업무를 중심으로, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 26(2),

16. 이호춘, 황진희, 박한선, 류희영, 2016, 우리나라 선박 배출 대기오염물질의 체계적 관리방안
17. 조정정, 윤경준, 이향숙, 2019, 선박에 기인한 대기오염물질 배출량 산정 연구, 광양항과 울산항을 중심으로, 한국항만경제학회지, 35(2), 93-108
18. 최정식, 이상득, 김성운, 이 경우, 천강우, 남연우, 정규식, 박상균, 최재혁, 2013, 실습선 한다바호 주기관 배기가스 배출물질 특성 고찰에 관한 연구, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 19(6), 658-665
19. 환경부, 2020, 대기환경보전법 시행규칙
20. 환경부, 국가대기오염물질 배출량 서비스(<http://airemiss.nier.go.kr>)
21. 환경부, 2019, 미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)
22. 환경부, 2019, 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법
23. 환경부, 2020, 대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법
24. 환경부, 2020, 중부권 대기환경관리 기본계획(2020~2024)
25. 해양수산개발원, 2017, 선박에 의한 대기오염물질 배출량 산정체계 개선 방안
26. 해양수산부, 2019, 해양수산통계연보 2019
27. 해양수산부, 2020, 항만지역 등 대기질 개선에 관한 특별법
28. Agrawal, H., Welch, W.A., Henningsen, S., Miller, J.W., Cocker III, D.R., 2010, Emissions from main propulsion engine on container ship at sea, Journal of Geophysical Research 115, D23205
29. Biswas, P., Wang, Y., Attoui, M., 2018, Sub-2 nm particle measurement in high-temperature aerosol reactors: a review, Current Opinion Chemical Engineering, 21, 60-66.
30. International Association of Maritime Universities (IAMU), 2016, Development of a methodology to measure and assess ship emissions

연구책임	김종범 기후변화대응연구센터 책임연구원
연구참여	이상신 기후변화대응연구센터 책임연구원
	신우석 기후변화대응연구센터 책임연구원
	윤수향 기후변화대응연구센터 연구원

정책지원과제 2020-06

소형 어선에 의한 충남지역 대기오염물질 배출 및 영향분석
기초 연구

발행일 : 2020년 10월
발행인 : 충남연구원장
발행처 : 충남연구원 서해안기후환경연구소
(32258) 충청남도 홍성군 홍북읍 홍예로 360
홈페이지 <http://www.shari.re.kr>
발간등록번호 : -
