

Vol. **135**

2024년 1월
해양환경

IMO 국제해사 정책동향

IMO 국제해사 정책동향은 해양환경, 해사법률, 해사정책, 해사안전, 전략계획 등의 콘텐츠를 기반으로 최신 동향을 소개하는 발간물로, 한국해양수산개발원 홈페이지(www.kmi.re.kr)에서도 확인하실 수 있습니다.

- 총 괄 박한선 실장
- 감 수 이연경 연구위원
- 발행인 김종덕 원장
- 발행처 물류·해사산업연구본부
해사산업연구실
- 주 소 49111 부산광역시 영도구 해양로
301번길 26(동삼동)
- T E L . 051-797-4800
- F A X . 051-797-4810



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

배기가스정화시스템은 경제적 유인에 따라 사용되지만 큰 사회적 비용 초래

배기가스정화시스템은 환경오염에 관한 논란에도 불구하고 경제적 유인에 따라 사용되어 옴

- 스웨덴은 IMO에 선박 스크러버를 사용하는 강력한 경제적 유인에 관한 연구를 소개하는 보고서를 제출 a),b)

 - 스웨덴은 국제해사기구(IMO) 오염방지대응 전문위원회(PPR, Sub-Committee on Pollution Protection and Response) 11차 회의 의제로서 선박 배기가스정화시스템(EGCS: Exhaust Gas Cleaning Systems, '스크러버'라고도 함)을 사용하는 경제적 유인과 사회적 비용에 관한 연구를 소개하는 보고서 제출
 - MEPC(해양환경보호위원회) 78차 회의에서 "조건과 지역을 포함하여, 배기가스정화시스템 배출수의 수생(aquatic) 환경으로의 방류에 관한 규칙 및 지침에 관한 평가와 조화"에 대한 산출물 완성 연도를 2025년까지 연장하기로 합의하고, PPR 10차 회의에서는 이 의제를 11차 회의에서 다시 논의하기로 합의
 - 해양환경보호위원회(MEPC)와 오염방지대응 전문위원회(PPR) 회의에서는 배기가스정화시스템을 사용하는 것이 환경규제를 준수하는 적절한 수단인가에 대한 의문이 제기됨
 - 회의 참석자 중 일부는 스크러버 사용 제한에 지지를 표명한 반면에, 다른 일부는 MARPOL(해양오염방지조약) Annex VI의 규정에 부합하게 배기가스정화시스템 기술에 선의로 투자한 산업계가 직면하게 되는 경제적 불확실성에 대한 우려를 제기함
 - 「선박 오염 촉진 - 스크러버 사용의 강력한 경제적 유인」이라는 제목의 보고서는 살머스기술대학(Chalmers University of Technology), 핀란드도량형연구소(Finnish Metrological Institute), 스웨덴환경연구소(Swedish Environmental Research Institute)의 연구진들이 수행
- 스크러버를 사용한 과반수의 선박이 2022년 말까지 손익분기점을 넘었지만, 해양 환경 오염이라는 사회적 비용을 발생시킴

 - 연구의 전체적인 목표는 전세계 스크러버 사용 선대가 스크러버 설치 이후 손익분기점에 어느 정도 도달하는지, 황함유량이 적은 연료유인 VLSFO(초저유황연료유, Very Low Sulphur Fuel Oil)나 MGO(해양경유, Marine Gas Oil) 대신 HFO(중유, Heavy Fuel Oil)를 사용할 때의 잠재적인 금전적 이득을 추정하는 것
 - 또한 스크러버 배출수 방류에 관한 규제를 하지 않음으로써 배출수가 해양환경을 악화시키는 해양 생태독성(ecotoxicity)과 관련된 사회적 피해비용을 평가
 - 실제 연료 비용과 스크러버 운용과 관련된 비용을 적용한 전세계 스크러버 사용 선박 활동에 대한 시뮬레이션을 통해 2022년 말까지 51%의 스크러버 사용 선박이 손익분기점을 넘어섰고, 경제적 잉여(surplus)의 크기는 2019년도 기준 유로화로 47억 유로임

- 발틱 해역에서 2014~2022년 동안 스크러버 배출수 방류로 인한 해양 생태독성(ecotoxicity) 피해비용(damage cost)은 2019년 기준 유로화로 6.8억 유로에 이르는데, 이를 통해 선사들의 사적 이득은 사회적 환경 피해를 대가로 발생했음을 알 수 있음

■ 스크러버 사용 선택에 대한 경제적 손익분기 분석(economic break-even assessment) 방법론

- ▶ 스크러버 사용 선박에 대한 경제적 손익분기 분석은 투자비용, 운영비용, 저유황 연료유인 MGO, VLSFO와 HFO의 가격 차이에 따른 비용 절감액을 통해 이루어짐 ^{b),c)}
 - 선박의 연간 에너지와 주요 엔진 부하, 연료 소비량, 스크러버 배출수 방류량, 스크러버 사용에 필요한 에너지 소비량, 여러 해역에서의 운항거리(km) 등을 추정하는데 선박 교통량 배출평가 모델인 STEAM(Ship Traffic Emissions Assessment Model) 사용
 - 데이터는 300GT 이상의 선박에 대해 의무적으로 제공되는 AIS(자동식별시스템, Automatic Identification System)의 2014~2022년 자료를 사용함
 - 연간 잔액(annual balance)은 각 선박에 대해 시작 조건으로서 투자비용(investment cost)에 연간 운영비용(operational costs)과 저유황 연료유인 VLSFO(초저유황연료유)나 MGO(해양경유) 대신 HFO(중유)를 사용함으로써 발생하는 비용절감액을 더함으로써 산출
 - 스크러버는 개방형, 폐쇄형, 혼합형이 있는데 제한된 데이터 가용성으로 혼합형 시스템에는 폐쇄형과 동일한 투자 비용 할당
 - 운영비용은 스크러버 사용과 관련된 연간 주요 엔진 출력을 기반으로 계산하고, 혼합형의 경우, 개방형 대 폐쇄형 모드에서 방류하는 배출수의 양으로부터 가중치를 구해서 계산
 - 2014~2022년 동안의 HFO와 VLSFO, MGO의 일일 가격은 Ship & Bunker의 자료를 사용하였으며, 글로벌 주요 20개 항만의 평균 bunker 가격을 사용
 - HFO/MGO와 HFO/VLSFO 가격 차이에 대해 중앙값, 5분위값, 95분위값을 사용하는 다양한 시나리오 분석
 - VLSFO는 2019년 말에 시장에 도입되었으며 2020년부터는 HFO의 대체 연료는 SECA(황산화물 배출규제해역, Sulphur Emission Control Area)에서는 MGO, SECA 이외의 지역에서는 VLSFO로 가정

$$\Delta cost_{fuel, yr} = cons_{HFO, yr} \left(\Delta price_{VLSFO-HFO, yr} \times \frac{D_{nonSECA, yr}}{D_{tot, yr}} \times 0.94 + \Delta price_{MGO-HFO, yr} \times \frac{D_{SECA, yr}}{D_{tot, yr}} \times 0.92 \right)$$

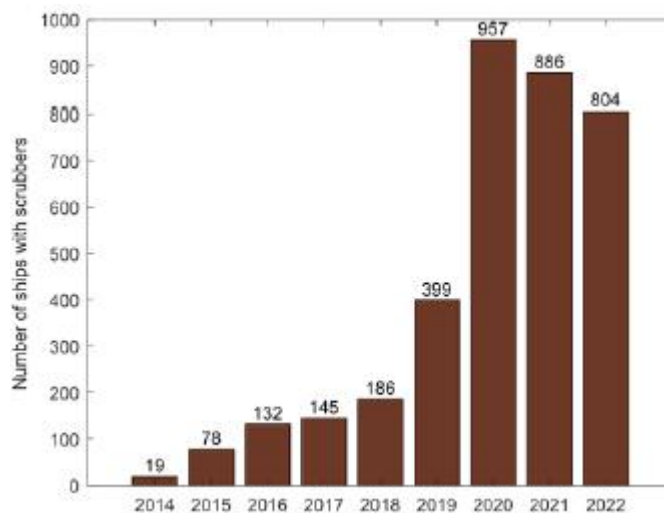
- 저유황 연료 대신 HFO를 사용함으로써 발생하는 연간 비용 절감액($\Delta cost_{fuel, yr}$, €/year)은 개별 연도의 연료 소비량($cons_{HFO, yr}$, tonnes fuel/yr)과 연료가격차($\Delta price$, €/tonnes fuel)로부터 계산

- $D_{SECA, yr}$ 는 SECA 해역을 항해한 거리, $D_{non, SECA, yr}$ 는 SECA 이외의 해역을 항해한 거리, $D_{tot, yr}$ 는 1년간 항해한 거리를 의미
- 위 식에서 스크러버를 사용하면서 발생하는 연비손실(fuel penalty)과 저유황 연료유의 높은 에너지 함량(energy content)을 반영하기 위해 0.94(VLSFO)와 0.92(MGO)를 각각 곱해줌
- 초기 연간 잔액(annual balance)은 이렇게 구한 투자비용, 운영비용, 연료비용 절감액을 더해서 산출하고, 다음 연도 잔액은 이전 연도 잔액에 운영비용과 연료비용 절감액을 더하여 산출함

▶ 스크러버 사용을 금지하지 않음으로써 발생하는 해양환경 피해비용(damage cost)^{b)}

- Hermansson 외(2023)에서는 스크러버 배출수 규제를 하지 않음으로써 발생하는 사회적 비용을 평가하기 위한 연구의 범위를 발틱(Baltic Sea) 해역으로 한정하고 있으며, 발틱해(Baltic Sea), 보스니아만(Gulf of Bothnia), 핀란드만(Gulf of Finland), 리가만(Gulf of Riga), 카테갓 해협(Kattegat) 및 스카게라크(Skagerrak) 해협을 포함

〈그림 1〉 발틱해 지역에서 스크러버 장치 사용한 선박 수 (2014-2022년)



자료 : Hermansson, Anna Lunde, et al. "Ship pollution promotion-the strong economic incentives of scrubbers." (2023).

- 발틱 해역에서 선박의 HFO 소비량과 스크러버 배출수량을 추정하기 위해 연간 총 HFO 소비량과 전체 항해한 거리에서 발틱 해역에서 항해한 거리 비율로부터 계산되는 발틱해 항해 비율 수치를 사용
- 피해비용 계산은 스크러버 배출수에 포함된 금속과 PAHs(다환 방향족탄화수소, polycyclic aromatic hydrocarbon)로 인하여 해양생태계의 기능과 안정성 등에 악영향을 미치는 해양 생태독성(ecotoxicity)으로 제한
- 스웨덴 가구의 지불의사금액(WTP, willingness to pay)으로부터 추정된 해양 생태독성의 피해비용은 1.07 €/2019/kg 1,4-DCB eq*으로서 스크러버 배출수에 포함된 오염원들을 다이클로로벤젠 1kg으로 환산했을 때 이 오염원을 제거하기 위해 2019년 유로화 단위로 1.07유로만큼 지불할 의사가 있음을 의미

*1,4-DCB eq은 금속과 PAHs들이 해양 생태계에 미치는 생태독성을 벤젠이 해양 생태계에 미치는 영향으로 환산한 값이며, '1,4-DCB'는 벤젠에서

수소 원자 2개가 염소원자 2개로 바뀌어 염소원자 2개가 서로 180도 방향에 있는 화합물인 1,4-dichlorobenzene(다이클로로벤젠).

- 개방 및 폐쇄형 스크러버 배출수의 누적 독성잠재량(cumulative toxicity potential, kg 1,4-DCB eq/m³)은 9개의 금속과 10개의 PAHs의 농도로부터 계산함
- 발트해 지역의 스크러버 배출수로 인한 해양 생태독성의 연간 피해비용은 해당 지역에서 방류되는 전체 스크러버 방류수 부피(m³)에 해양 생태독성의 피해비용(1.07 €₂₀₁₉/kg 1,4-DCB eq)과 개방 및 폐쇄형 스크러버 배출수의 누적 독성잠재량(kg 1,4-DCB eq/m³)을 곱하여 산출함

■ 개방형 스크러버 사용을 금지하고 친환경 선박 연료로 전환해야 함

- ▶ 개방형 스크러버는 대기오염을 해양오염으로 대체하는 것에 불과하므로 사용을 금지하고 친환경 연료로 전환해야 함^{d)}
 - IMO는 2020년 1월부터 선박 연료유의 황 함유량 규제를 강화함으로써 선박은 저유황유를 사용하거나 탈황장치인 스크러버를 사용해야 함
 - 개방형 스크러버는 배기가스에서 황산화물을 제거하면서 발생하는 오염물질이 포함된 배출수를 바다에 방류하여 해양 환경 오염 유발
 - 개별 선박의 관점에서는 개방형 스크러버의 사용을 금지하는 국가 연안에서만 저유황유를 사용하고, 이외의 지역에서는 고유황유와 스크러버를 함께 사용하는 것이 경제적이므로 스크러버 사용이 지속되고 있음
 - 개방형 스크러버는 대기오염을 해양오염으로 변경하는 것에 불과하므로 사용을 금지하고, 친환경 연료로 전환해야 함

정재호 전문연구원

물류·해사산업연구본부 해사산업연구실
(chungjh@kmi.re.kr / 051-797-4391)

참고 자료

- a) IMO, PPR 11/INF.20, EVALUATION AND HARMONIZATION OF RULES AND GUIDANCE ON THE DISCHARGE OF DISCHARGE WATER FROM EGCS INTO THE AQUATIC ENVIRONMENT, INCLUDING CONDITIONS AND AREAS Ship pollution promotion – the strong economic incentives of scrubbers
b) Hermansson, Anna Lunde, et al., Ship pollution promotion–the strong economic incentives of scrubbers, Research Square, 2023
c) Jalkanen, J.P., et al., Modelling of discharges from Baltic Sea shipping. Ocean Sci., 2021.
d) <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx/> (검색일: 2024.1.11.)