

기술보고

SOx Scrubber 기술동향

김진호, 한찬욱(한진중공업)



1. 서론

1.1 IMO SOx 규제

국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)는 2020년 1월부터 국제항해 대상 선박에 사용되는 연료유의 황 함유량 상한선 비율(Sulphur cap)을 현행 3.5% 에서 0.5% 이하로 줄이는 친환경 규제를 결정하였다.

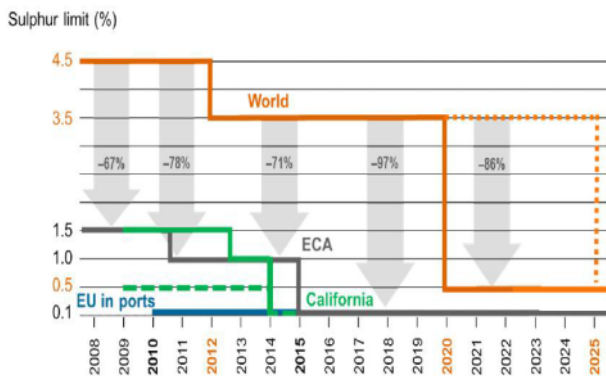


그림 1 IMO 황 산화물 배출 규제 이행 시기

이에 국제 규제를 충족하기 위해 황 함유량이 낮은 저유황유(LSFO) 또는 액화천연가스(LNG)를 사용하거나, MARPOL 73/78 규정을 만족할 수 있는 동등 이상의 효과를 가지는 SOx 저감장치(Scrubber)를 갖추어야 한다.

표 1 황 함유량 규제 기준

적용지역	적용 년도 및 황 함유량 규제 기준		
황산화물 통제지역 (SECA)	~2010.07	2010.07~	2015.01~
	1.5m/m이하	1.0m/m이하	0.1m/m이하
전 해역 (Global limit)	~2012.01	2012.01~	2020.01~
	4.5m/m이하	3.5m/m이하	0.5m/m이하

1.2 SOx 규제 범위

국제해사기구(IMO)에서 발효한 SOx 배출규제해역(SECA, Sulphur Emission Control Area)인 북해, 발틱해, 북미 및 미국 카리브해 등 현재 4개 해역을 운항하는 선박은 각국 항만 규정에 따라 선박 연료유의 황 함유량 0.1% m/m 제한을 준수해야 한다.

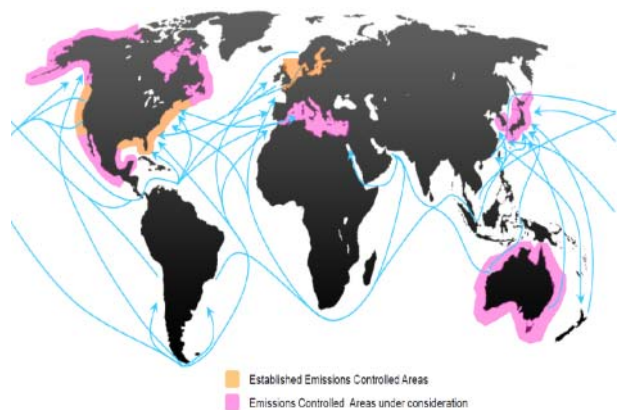


그림 2 Emission Control Area

1.3 SOx 규제 대응 방안

선박 운항 시 친환경 규제를 준수하기 위해서 선주사는 보유 선박의 선종, 선령 및 항해구역 등 특성을 고려하여 다음과 같은 3가지 방안 중 최적의 SOx 배출량 저감 방안을 선택하여야 할 것이다.

1.3.1 저유황유(LSFO) 사용

저유황유를 선박용 연료로 사용하는 방법은 추가적으로 설비 변경 없이 SOx 규제를 만족시키기 위한 가장 간단한 방법이지만 현재로서는 저유황유 가격이 고유황유에 비해 고가(약 60% 이상)인 단점이 있으며, 정유회사 별로 정제방법에 따라 황 함유량이 상이하여 사용상의 주의가 요구된다.

1.3.2 SOx scrubber(배출가스 저감장치) 사용

배출가스 저감장치는 기존의 저유황유(LSFO) 대비 상대적으로 저렴한 고유황유를 선박용 주연료로 사용 가능한 장치로서, 대표적으로 스크러버(Scrubber) 기술이 적용되고 있으며 일반적으로 개방형(Open loop)과 폐쇄형(Closed loop)을 혼합한 복합형 스크러버(Hybrid scrubber)로 나뉜다.

1.3.3 액화천연가스(LNG) 연료 추진방법 사용

LNG는 선박 운항에 주로 사용 중인 벙커-C유에 비해서 황산화물(SOx), 입자형 물질(PM) 등의 배출량을 약 90~100% 줄일 수 있는 친환경적인 연료이며, 벙커-C유에 비해 발열량이 20% 이상 높아 연료소모량이 적어 선박 운영비를 절감할 수 있는 장점이 있다. 그러나 현존선의 경우 LNG 추진 선박으로 개조하기 위한 비용이 과다하게 발생할 수 있다.

표 2 SOx 저감 방법별 장/단점 비교

구분	장점	단점
저유황유	설비교체 없음 추가비용 없음 열처리 불필요	높은 연료비 CO ₂ 저감 없음
SOx scrubber	기존연료 사용 (연료비 저렴) 미세먼지 감소	추가 투자비 발생 선박운영비 증가 SOx 용해수 발생 슬러지 배출 어려움
LNG 연료 추진	SOx 감소 미세먼지, CO ₂ 감소 선박운영비 절감	개조비용 증가 개조가 어려움 LNG벙커링 부족 화물 적재공간 감소

2. 본 론

2.1 SOx scrubber system 유형

저유황유(LSFO)대비 상대적으로 저렴한 고유황유(벙커-C유)를 선박 주연료로 사용하면서 강화된 Global SOx 배출규제를 만족할 수 있는 SOx scrubber system은 wash water 공급 및 세정수 배출 방식에 따라 open loop system, closed loop system 그리고 open과 closed를 결합한 hybrid scrubber system으로 분류된다.

배출가스 저감장치 관련 주요 규정은 다음과 같다.

- * The International Maritime Organization (IMO)
- * European Union (EU)
- * US EPA Vessel General Permit
- * Classification Society Regulations

2.1.1 Open loop system

Open loop system은 천연 알칼리성을 갖는 해수(sea water) 100%를 scrubber 내부로 통과하는 배기가스에 직접 분사하여 화학작용을 통해 배기가스 중의 황산화물을 저감시키고 세정 후 스크러버를 통해 나오는 해수는 PH농도를 조절 한 후 선외로 배출하는 방법이다.

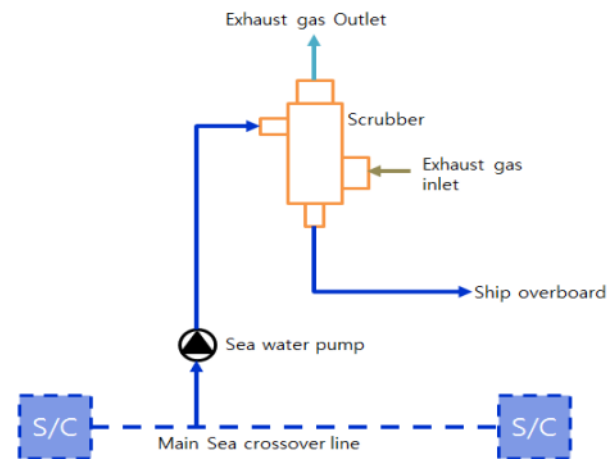


그림 3 Scrubber- Open loop system

Open loop system의 특징은 다음과 같다.

- * Sea water(해수)를 wash water로 직접 사용, 설치비가 상대적으로 저렴함.
- * 해수의 천연 알칼리성으로 배출가스의 황 성분을 세정함.
- * NaOH(caustic soda) 및 water treatment 장비 불필요함.
- * Sea water 공급을 위한 큰 용량의 sea water pump 필요
- * 배출수 관련 규제에 취약함.(일부 항은 LSFO 사용 필요)

2.1.2 Closed loop system

Closed loop system은 선박 내 fresh water(청수)를 scrubber로 분사하여 황산화물을 저감시키는 타입으로 분사 후 배출되는 wash water는 NaOH(Caustic soda) chemical을 추가하여 세정 후 재순환하여 사용한다. 이때 순환 시 fresh water에 발생하는 열은 sea water cooler를 통해 식혀서 순환 되는 폐쇄회로를 만들어 사용하는 방법이다.

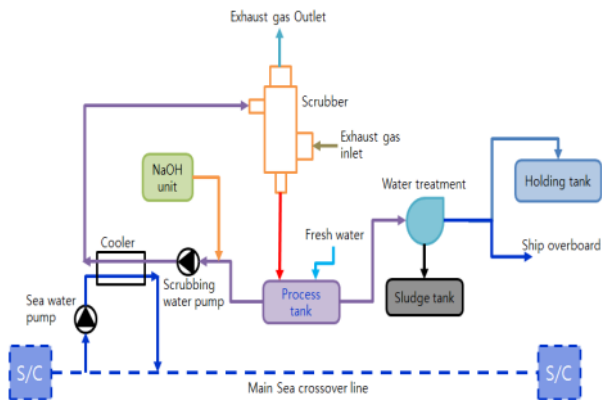


그림 4 Scrubber- Closed loop system

Closed loop system의 특징은 다음과 같다.

- * 선박 내 fresh water를 wash water로 사용함.
- * Fresh water에 별도의 NaOH 주입이 필요함.
- * Open loop 대비 추가 장비 및 sludge tank 등이 필요하여 설치가 복잡하며, 설치비가 비쌘.
- * Wash water treatment 적용으로 배출수 관련 환경규제를 만족함.

2.1.3 Hybrid scrubber system

Hybrid scrubber system은 open loop system과 closed loop system을 합성한 방식으로 선박 운항 시 유리한 운전모드로 변경이 가능하게 설계한 scrubber system이다. 예를 들어 대양에서 항해할 경우에는 open loop system으로 사용하다가 환경규제가 강화된 ECA 지역 또는 연안 항해나 세정수 배출물의 규제가 강화된 지역을 항해할 경우에는 closed loop system으로 전환하여 사용 가능한 장점이 있다.

Hybrid system의 특징은 다음과 같다.

- * 선박 운항 시 상황에 따라 운전 모드를 변경할 수 있어 operating cost가 적음.
- * Closed loop system 보다 복잡한 구조를 갖고 있음.

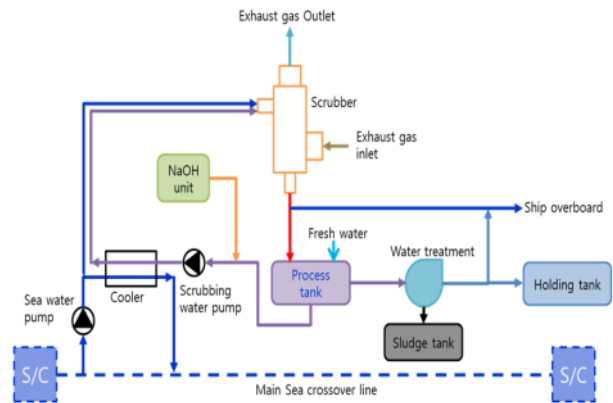


그림 5 Scrubber- Hybrid scrubber system

2.2 SOx scrubber system 기본 구성

현재 메이커별 특성에 따라 scrubber system을 구성하는 장비들이 상이하나 일반적으로 적용되는 장비에 대해 기본 구성 및 각 장비별 주요기능을 살펴보면 다음과 같다.

1) Scrubber

구성품	주요 기능
Scrubber	흡입된 배기가스에 wash water (sea water or fresh water)를 분사하여 배기가스 내 SOx를 제거 하는 장치.

2) Pump

구성품	주요 기능
Sea water pump	Scrubber에 sea water를 wash water로 공급 하거나, wash water로 사용된 fresh water의 냉각용 cooler에 sea water를 공급하는 feed pump.
Scrubbing water pump	Scrubber에 wash water용으로 fresh water를 공급하는 feed pump.

3) Tank

구성품	주요 기능
Process tank	Scrubber 분사용 fresh water 저장 및 scrubber에 분사된 후 배출되는 wash water를 저장하는 tank.
Sludge tank	Wash water 내 불순물을 제거하는 water treatment unit을 통해 걸러진 불순물들을 저장하는 tank
Holding tank	더 이상 재활용할 수 없는 wash water나 선외 배출이 불가능한 배출수를 저장하는 tank

4) Monitoring system

구성품	주요 기능
Exh. gas monitoring system	Scrubber를 통해 최종 배출되는 가스 내 SO2, CO2 가스를 분석하고, 모니터링 및 기록하는 장치
Water monitoring system	Scrubber로 공급되는 wash water의 분사 전 상태와 scrubber 분사 후 배출되는 wash water 상태를 분석하고 모니터링 및 기록하는 장치

5) Auxiliary equipment

구성품	주요 기능
NaOH unit	Scrubber에 분사된 후 배출되는 wash water를 재사용할 수 있도록 중성화시키기 위하여 추가되는 장치로 일반적으로 50% NaOH (Caustic soda)를 process tank 또는 process tank 후단의 water배관으로 주입한다
Water treatment unit	Scrubber에 분사된 후 배출되는 wash water의 정화를 위해 설치되는 장비로 sludge와 water로 분리, 농축, 탈수시켜주는 장치

2.3 SOx scrubber 유형별 주요 구성요소

SOx scrubber system 유형별 주요 구성요소를 살펴보면 다음과 같다.

표 3 SOx System별 주요 구성요소

	Open -loop	Closed -loop	Hybrid
Scrubber	O	O	O
Sea water pump	O	O	O
Scrubbing water pump	X	O	O
Exh. gas monitoring	O	O	O
water monitoring	O	O	O
NaOH supply system	X	O	O
water treatment unit / Sludge handling system	Option	O	O

2.4 SOx scrubber 설치 현황

Clarkson 자료에 따르면 현존선의 SOx scrubber 설치 선박

중 open-loop type 33.6%, closed-loop type 20.3%, hybrid type 46%가 설치 된 것으로 파악 되었으며, 선박 운항 조건 중 입·출항 시 정박시간 및 세정수 배출 규제해역 항해 비율에 따라 scrubber system type이 결정되어 설치 된 것으로 확인 되고 있다.

유럽의 경우 세정수 배출 규제해역 강화에 대비하여 closed loop type 또는 hybrid type 설치 실적이 많은 것으로 조사 되었다.

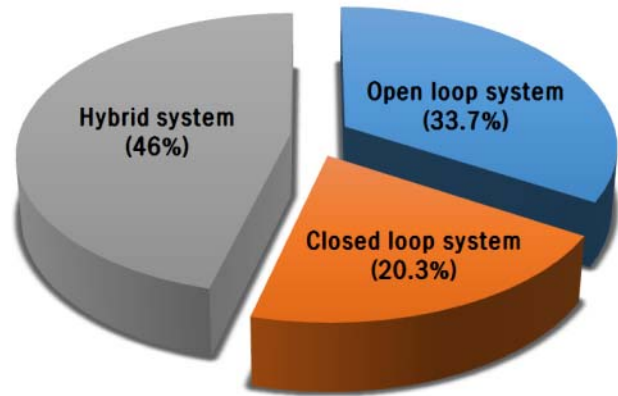


그림 6 현존선 SOx scrubber type 설치 현황

또한, 현존선에 설치된 SOx scrubber 제조국가별로 분석한 자료를 보면 노르웨이(Wartsila, Clean Marine, YARA)가 39%, 스웨덴(Alfa Laval) 21%, 미국(CR Ocean Engineering) 9%, 스위스(DuPont) 8%, 그 외 기타국가(핀란드, 이탈리아, 독일, 중국 등) 22% 정도를 차지하고 있는 것으로 조사 되었다.

특히 유럽의 SOx scrubber 주요 메이커인 Alfa Laval, Wartsila, Clean Marine 등의 유럽 scrubber 장비들이 주로 설치된 것으로 파악되며, 설치 확인된 약 225척 중 95척 이상은 신조가 아닌 현존선 retrofit으로 scrubber를 설치한 것으로 조사 되었다.

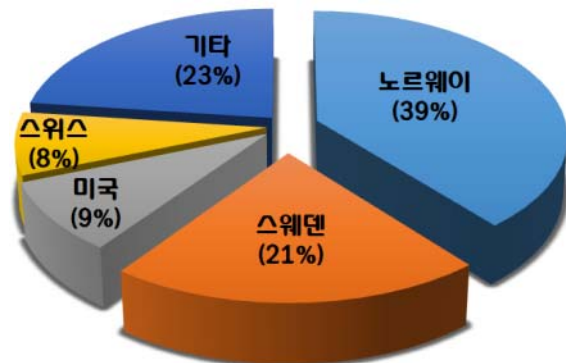


그림 7 SOx scrubber 제조국별 설치 현황

3. 결론

현재 선박 연료유 국제 공급가격 변동 및 선박의 선종, 선령, 항해구역 등을 기준으로 경제성 분석을 한 결과 현존선에 대해 Global SOx 규제 만족을 위한 대응 방안으로 스크러버를 탑재하는 방안이 저유황유(LSHFO, 0.5% S)를 사용하거나 또는 액화천연가스(LNG)를 주 연료로 사용하는 방안에 비해 투자회수기간이 1~3년으로 짧아 가장 경제적임을 알 수 있다.

그러나 선박용 연료유 가격의 상승이나 LNG 연료 가격이 하락하는 경우를 가정할 때 저유황유 가격이 현재보다 40% 이상 상승하는 경우나 LNG 연료공급설비가 선가의 10%로 하락하는 경우에는 LNG를 선박용 주 연료로 사용하는 방안이 가장 경제적일 수도 있으나, 현존선의 연료 공급방식 개조로 인한 투자회수기간 및 유럽위주로 구축되어 있는 LNG 벙커링 설비로부터 LNG를 공급하는데 어려움이 있으므로 선주는 초기 투자비용(CAPEX) 및 선박 운영비용(OPEX)등을 고려하여 비용 대비 가장 효율적인 대비책을 검토하여야 할 것이다.

이상과 같이 신조선 또는 현존선에 경제적인 관점을 고려하여 배출가스 저감 장치 설치를 결정할 경우, 장치에 따라 배출가스 세정에 이용된 wash water의 화학물질 중성화 처리 비용 증가 및 스크러버 운전 중 발생하는 슬러지와 배관 부식 등의 해당 설비의 운영 시 발생할 수 있는 문제점에 대한 충분한 기술적 검토가 요구된다.

참고 문헌

국제해사기구(IMO) "선박에 의한 해상오염방지를 위한 국제조약" MARPOL 73/78 VI(2005)
 국토해양부 "해양환경관리법-오염방지 규칙"(2017)
 (사)한국해양환경공학회 "선박의 대기오염방지 최근 규제 동향" 학회 학술 논문집(2007)
 Clarkson Machinery Database Extraction[2017.12]
 (사)대한조선학회 [Webzine 2017]
 (사)한국선급 '기술정보지'(2017)



김진호

- 1965년생
- 1990년 부경대학교 기계공학과 졸업
- 현 재 : (주)한진중공업 기술연구소 수석연구원
- 관심분야 : 조선해양 신기술
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : jhkim1@hanjinsc.com



한찬욱

- 1976년생
- 2003년 동의대학교 기계공학과 졸업
- 현 재 : (주)한진중공업 기술연구소 선임연구원
- 관심분야 : 조선해양 신기술
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : cwihan@hanjinsc.com