한국해양환경공학회지
Journal of the Korean Society
for Marine Environmental Engineering
Vol. 11, No. 4. pp. 221-226, November 2008

해양에서 황산화물 오염 규제에 대한 소고

이건호[1] · 송무석[2,†]
[1]삼성중공업(주) 여객선설계팀
[2]홍익대학교 조선해양공학과

Some Issues on the International Regulations Associated with the Air Pollution Caused by the SOx Emission at Sea

G.H. Lee[1] and Museok Song[2,†]

[1]*Cruise & Ferry Design, Samsung Heavy Industries co., Ltd, Geoje Shipyard,Geoje-si, Gyeong-Nam, 656-710, Korea*
[2]*Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Hongik University, Jochiwon, Chung-Nam 339-701, Korea*

요 약

선박의 추진 및 전기 발생장치의 연료에 포함되어 있는 황산화물이 연소 중에 대기로 방출되는데 이러한 황산화물들은 공기오염의 주된 원인이 되고 있다. 행상에서 선박에 의해 발생하는 황산화물은 육상운송 수단에 의한 것 보다 훨씬 심각하여, 국제 해사 기구 및 유럽연합에서는 해상에서 선박에 의해 발생되는 황산화물 배출에 대한 규제를 강화하고 있다. 해양에서 황산화물 배출 규제를 근본 적으로 만족하기 위해서는 저유황의 연료유사용하는 것이고, 다른 한 가지는 선박에 황산화물 처리장치를 설치하여 배출되는 황산화물을 처리하는 것이다. 저유황유의 사용은 선주들에게 운항비 증가를 가져다 주며, 처리 장치의 설치는 선가 상승의 원인이 될 수 있어, 선박이 어떤 해역을 운항하는 가에 따라 적용 방법에 대한 세심한 주의가 요한다. 본 소고는 이런 국제 규제의 변화와 대응에 대한 검토와 제언을 담고 있다.

Abstract – Air pollution associated with the SOx emission from the shipboard propulsion and generation engines is becoming one of the major environmental concerns these days. Lead by the international organizations including IMO and European Union, a significantly strengthened air pollution related regulations have been introduced and they are becoming in practice as scheduled. Such rules are basically giving the guidelines for permissible SOx emission which can be only met by using high quality fuel oils with less sulfur content or operating scrubbing systems aiming at reducing SOx at the engine exhaust. Since both countermeasures can lead to the cost increase in ship building and operation, Korean shipbuilding industries, leading the world's market, need to be well aware of the ever changing regulations and be prepared with proper solutions. Here, we briefly summarize such latest rules and regulations on the air pollution at sea, and review some technical issues on the scrubbing systems available with some suggestions.

Keywords: SOx(황산화물), SECA(황산화물 배출 통제구역), Low sulfur fuel(저유황유), SOx Scrubbing system(SOx 세정 장치), Air pollution (대기오염)

1. 서 론

화석연료가 연소될 때 발생하는 황산화물(SOx)은 대표적인 대기오염 물질 중의 한가지로써 산성비의 직접적인 원인이 된다. 산성비는 식물의 성장을 저해할 뿐 아니라 토양의 산성화와 각종 시설물의 부식을 유발하고 사람의 건강에도 부정적 영향을 미치는 문제를 야기하고 있다. 대규모 해상운송 수단인 선박은 추진과 다양한 기계장치의 구동을 위하여 각종 엔진이나 보일러를 사용하는데, 이들의 주 연료는 화석연료인 일반적인 Fuel Oil이고, 연소 되면서 다양한 황산화물을 배출한다.

†Corresponding author: msong@hongik.ac.kr

해상에서 선박에 의해 대기로 방출되는 황산화물의 양(27,000 ppm, 2.7%(m/m))은 각종 육상운송수단(10 ppm)에 의한 것보다 훨씬 많은 것으로 알려지고 있다(Jorn P. Winkler 2008), 근래에 들어 IMO를 중심으로 한 국제기구와 EU를 필두로 한 선진국들은 이러한 문제에 주목하고 황산화물(SOx)과 질소산화물(NOx)의 배출에 대한 규제를 강화하고 있다(IMO MARPOL ANNEX VI, 2008). 황산화물 등의 강화된 배출 허용 기준을 만족하자면 고가의 정제된 연료를 사용하거나 배기가스를 후처리 하는 장치를 사용하는 것이 필요한데, 두 경우 공히 선박의 운항비나 선가의 상승을 의미하고, 세계 조선산업을 이끌고 있는 우리나라의 경우 이러한 변화에 대해 충분한 이해와 대비가 요구된다. 선박에서 배출되는 Nox의 배출 규제에 대한 대응 방향과 NOx의 유해성과 배출 현황 및 저감기술 등에 대한 논의는 기 수행되었으며(강국진 등, 2003; 김은찬 등, 2004; 남정길 등, 2007; 장미숙 등, 2004) 본 논문에서는 최근에 개정되고 있는 황산화물(SOx)에 의한 대기오염에 관련된 규제들을 검토하고, 이에 대한 대응으로 생각되고 있는 고정제 연료유의 사용과 황산화물 정화장치의 도입에 관련된 문제점에 대하여 논하였다.

2. 주요용어

본 장에서는 황산화물과 관련된 문서에서 자주 사용되는 용어에 대한 정확한 의미를 정리하였다.

• 황산화물(SOx; Sulfur Oxides): 자연에 존재하는 석탄과 같은 화석연료는 모두 0.1~5%(m/m)의 유황을 함유하며, 이들 연료가 연소될 때 발생하는 황산화물(SOx)에는 이산화황(SO_2), 삼산화황(SO_3), 아황산(H_2SO_3), 황산(H_2SO_4), 그리고 황산염인 황산동($CuSO_4$), 황산마그네슘($MgSO_4$) 등으로 다양하다. 엔진의 배기가스에는 주로 이산화황, 삼산화황 형태가 많으며, 특히 이산화황이 대부분을 차지하여 배기가스 중 황산화물의 양을 말할 때 이산화황의 양을 중심으로 한다.

• IAPP, International Air Pollution Prevention Certificate(국제 대기 오염 방지 증서, 2005. 7. 22 채택): 오존 파괴물질(할론, 프레온 가스), 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 소각기 등에 대한 규정(rule) 기준을 만족하는 가를 확인하고 관할 당국(authority)이 발급 함(IMO MARPOL ANNEX VI, 2008).

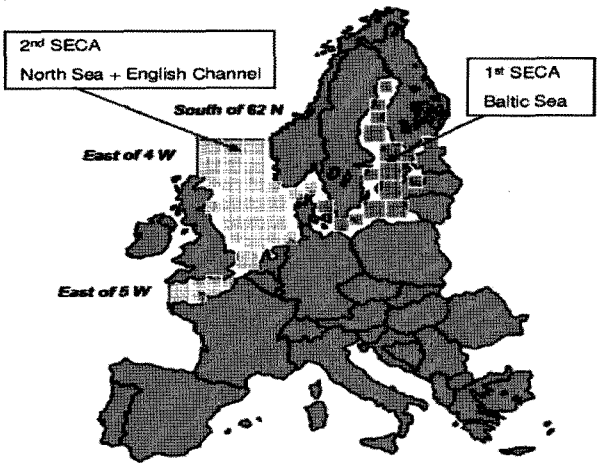


Fig. 1. SECA area.

• SECA, SOx Emission Control Area: 황산화물 배출에 대한 IMO의 MARPOL73/78 규정을 따르도록 강제된 지역으로, IMO는 2005년 7월 북해지역을 황산화물의 배출제한 구역으로 추가하였고 이 지역은 Fig. 1과 같다.

• %(m/m): mass to mass. 1.5%(m/m)은 15000 PPM과 같다.

• Marine Fuel: ISO 8271로 정의된 연료를 포함하여 선박에 적재하여 연료로 사용하는 석유 파생제품(Table 1참조).

• Ship at berth: 항만에 닻을 내렸거나(anchored) 혹은 계류된(moored) 선박.

• Marine Diesel oil: ISO 8271에 DMB, DMC 등급으로 정의된 연료.

• Marine Gas oil: ISO 8271에 DMB, DMC 등급으로 정의된 연료.

3. 황산화물 배출 규정(Rule Requirement)

3.1 MARPOL73/78

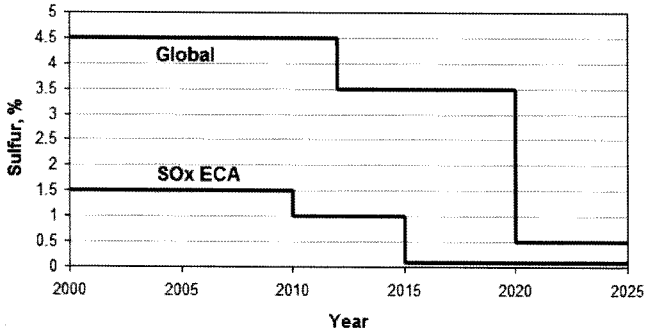
해양오염방지협약(MARPOL 73/78)은 선박의 운항이나 사고로 인해 발생하는 해양환경의 오염방지를 위한 중요한 국제협약으로, 73년과 78년에 각각 채택된 두 개의 협약이 조합된 것으로, 6개의 부속서로 이루어 진다. 이 중 부속서 6은 대기오염방지에 관련된 내용으로, Annex VI/Reg.14를 통해 해상 대

Table 1. Parameters of marine fuel oils (ISO 8217).

			Marine Distillate Fuels			
Parameter	Unit	Limit	DMX	DMA	DMB	DMC
Density at 15 °C	kg/m^3	Max	-	890.0	900.0	920.0
Viscosity at 40 °C	mm^2/s	Max	5.5	6.0	11.0	14.0
Viscosity at 40 °C	mm^2/s	Min	1.4	1.5	-	-
Water	% V/V	Max	-	-	0.3	0.3
Sulfur[1]	% (m/m)	Max	1.0	1.5	2.0	2.0
Aluminium + Silicon[2]	mg/kg	Max	-	-	-	25
Flash point[3]	°C	Min	43	60	60	60
Pour point, Summer	°C	Max	-	0	6	6
Pour point, Winter	°C	Max	-	-6	0	0
Cloud point	°C	Max	-16	-	-	-
Calculated Cetane Index		Min	45	40	35	-

Table 2. MARPOL73/78 ANNEX VI/REG.14

Date	Sulfur Limit in Fuel (% m/m)		비 고
	SOx ECA	Global	
2000	1.5	4.5	
2010.03	1.0		L.S HFO 사용 가능
2012		3.5	L.S HFO 사용 가능
2015	0.1		
2020		0.5	불가능할 경우 2025 년까지 유보



기오염에 대한 규제 강화를 지속적으로 추진하고 있는 바, 선박에서 보일러를 포함하여 내연기관의 연소 중에서 배출되는 황산화물질(SOx)에 대한 기준을 다음의 Table 2와 같은 일정으로 강화하여 추진하고 있다. SECA 지역은 2010년, Global 지역에서는 2015년 이후 저유황유(Low sulfur)를 사용하지 않고는 IMO, MARPOL에서 요구하는 기준을 만족할 수 없다.

이에 대한 대안(Alternative)으로 MARPOL73/78 ANNEX VI/Reg.4에서는 Marine 엔진 연료유의 저유황유(low sulfur) 사용(Reg.14) 대신에 세정장치를(Scrubbing system) 설치하여 황산화물이 포함된 배기가스를 세정하여 배출하는 것을 허용할 수 있다고 규정하고 있다. EU 및 미주에서는 SOx 배출에 대한 기준을 통상적인 국제기준보다 훨씬 엄하게 설정하고 있다. 특히 북유럽의 많은 해역은 IMO에서 SECA(SOx Emission Control Area) 지역으로 지정 받아 SOx 배출량에 대한 매우 강화된 기준을 적용하여 해상 대기오염에 대응하고 있다. 참고로 SECA 지역으로 지정 받기 위해서는, IMO의 승인이 필요하며 지정된 후에는 MARPOL73/78 ANNEX VI에서 지정한 SOx 배출량 기준을 만족해야 한다.

3.2 Local Regulation

3.2.1. EU Regulation

대부분의 EU 국가들에 인접한 해역은 위에 언급된 SECA 지역으로 지정되어 있지만, EU Council에서는 SOx 배출에 대한 별도의 기준을 만들어서 단계적인 적용을 추진하고 있다. 이는 IMO의 요구사항보다 강화된 조건이며, Table 3에 간단히 보였다(Directive 1999/32/EC; Directive 2005/33/EC).

3.2.2 CARB(California Air Resources Board)

미국의 최대의 크루즈 선 항구가 있는 캘리포니아 주에서는 주정부가 자국의 해양 오염 방지를 위해 별도의 규정을 만들어 입출항 하는 모든 선박에 적용할 것을 요구하고 있는데, 아래의 Table 4에 이를 정리 하였다(ABS environ_brochure, 2008).

Table 3. Directive 2005/33/EC

적용시기	EU Reg.	적용 해역	선종	내용
2008. 1. 1	1999/32/EC 2005/33/EC	EU Ports	모든 선박	Marine Gas Oil 을 사용하는 경우 0.1% (m/m) 이하일 것
2010. 1. 1	2005/33/EC	EU Ports	모든 선박	모든 해상 연료유 황 함량 0.1 % (m/m) 이하

Table 4. Directive in California, US, [1]Marine Gas Oil, [2]Marine Diesel Oil

적용시기	SOx 규제치	선종내용	내용
2007. 1. 1	M.G.O[1] or 1.0% (m/m) M.D.O[2]	모든 선박	Aux. diesel engine Diesel-Electric engine
2010. 1. 1	0.1% (m/m) in M.G.O	모든 선박	Aux. diesel engine Diesel-Electric engine

4. 황산화물 세정장치

해상에서 황산화물(SOx)의 배출에 대한 일반적인 기준은 연료유로 저유황유(low sulfur oil)를 사용하면 만족 될 수 있다. 그러나 Table 1에 나타나있는 SECA 지역에서의 2015년 이후 0.1%(m/m) 이하의 조건이나 2020년 이후 일반적인 국제 기준으로 이용 될 0.5%(m/m) 이하의 조건을 만족하기 위하여서는 기존의 저유황유인 blending유에서 탈피하여 Distilled fuel oil(MGO)을 연료유로 사용해야 한다. 하지만, 일부 선급과 정유사에서 보고하듯이(Douglas Raitt, 2006; Gijsbert de Jong, 2008) 현재 육상의 정제 시설이 가까운 미래에 모든 해상 선박의 Distilled fuel 수요를 충족시키지 못하는 상황이고, 이런 여건에서 강화된 기준의 강제는 Distilled fuel oil의 가격 상승 및 공급 불안이 예상된다. 이러한 배경에서, Table 2에서 보는 바와 같이 IMO에서는 2020년 이후 적용되는 Global에 대한 황산화물 배출 기준에 대해 2018년 재확인할 것을 단서 조항으로 두었고, 앞에서 언급 하였듯이 MARPOL73/78 ANNEX VI/REG.4에서 별도의 탈황 기술을 이용한 세정 설비(Scrubbing system)를 설치하여 선박을 운항 하는 것을 인정하고 있다. 그리고 IMO에서는 Res. MEPC 130(53), Res. MEPC 170(57) 'Guidelines for on-board Exhaust Gas-SOx cleaning system'를 채택하고 황산화물 세정장치를 위한 설계, 시험, 검사 및 성능확인서 등에 대한 기준서를 따르도록 권고하고 있다.선사(ship Operator)들이 근본적으로 저유황유를 연료유로 사용한다면 SOx 배기가스 문제에 대해 자유로울 수 있지만, 아래의 Fig. 2에서 보인 바와 같이, 세계 제1의 대표 항구인 Holland, Rotterdam의 Bunker price를 나타내었는데, 저유황유의(Low sulfur oil) 가격이 고유황유의(high sulfur oil) 가격에 대비하여 2배 정도 높은 현실이다(Fig. 2). 이런 이유에서 초기 투자비와 공간의 손실을 부담하면서 MARPOL73/78에서 허용하고 있는 대안으로 세정장치의 도입이 적극적으로 고려된다.

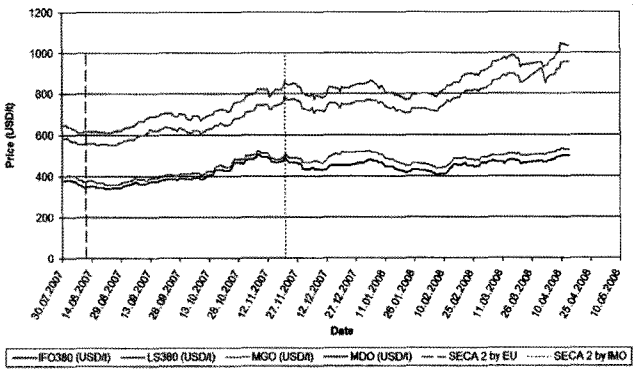


Fig. 2. Bunker Price.

이들 장치에는 그 방식과 사용하는 중화제에 따라 다양한 종류가 소개되고 있지만, 아직 개선할 점이 많이 남아 있으며 아래에 그 내용을 요약 하였다.

4.1 세정 원리

배기가스에 Alkalinity(염기성) 함유 매질(해수 혹은 청수)을 분사하여 배기가스 중의 SOx(황산화물)와 Alkalinity(염기성)과 중화반응을 통해 SOx를 중화한다.

$$\text{ACID(산성)} + \text{ALKALI(염기성)} = \text{NEUTRAL(중성)} \quad (1)$$

4.2 해수이용 세정장치

해수에 함유된 Bicarbonate(중탄산염), Carbonate(탄산염), Hydroxide(수산화물), Borate(붕산염), Silicates(규산염), Ammonium 등의 염기성이 배기가스에 분사되어 SOx(황산화물)을 중화시킨다.

$$SO_2 + HCO_3^- + H_2O = CO_2 + SO_3^{2-} + H_2O \quad (2)$$

그러나 해상에 따라 해수에 함유된 염기성 물질의 차이가 많아 일정한 수준의 황산화물 감소를 기대하기 어렵다. Fig. 3에 해수의 염기성 정도에 따른 SO_2의 전형적인 감소특성을 보였다(Torbjörn Henriksson, 2006).

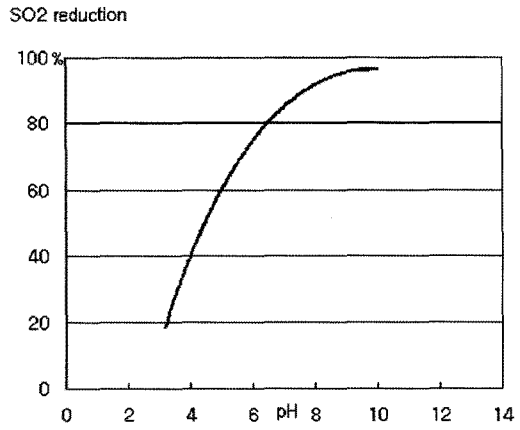


Fig. 3. SOx reduction versus water PH.

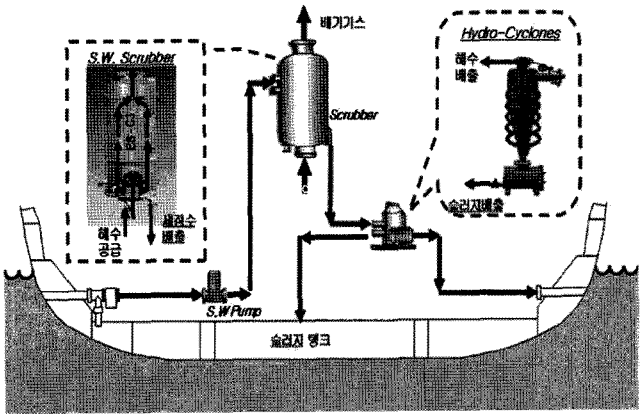


Fig. 4. Diagram for S.W SOx scrubber.

Fig. 4에는 전형적인 해수이용 황산화물 세정장치의 개략을 보였다(Torbjörn Henriksson 2008).

해수이용 황산화물 세정장치의 작동 원리는 해수펌프를 이용하여 세정수(해수)를 세정장치에 공급하고 세정수가 세정장치 상부의 노즐로부터 배기가스에 분사하여 황산화물을 중화하는 방법이다. 엔진 Casing내에 설치되는 세정장치의 배치 및 설치 관련한 상세 검토가 이루어져야 하는 것으로 알려져 있다.

4.3 청수 이용 세정 장치

청수(Fresh Water)에 NaOH(산화나트륨)을 첨가하여 분사함으로 NaOH의 염기성이 황산화물을 중화시킨다. 본 장치는 별도의 청수와 위험물질인 NaOH를 다루어야 하는 문제점이 있고, 현재는 육상에서 많이 이용하고 있다. Fig. 5에는 청수를 이용하는 장치의 개념을 보였다(Torbjörn Henriksson 2008).

$$NaOH + SO_2 = NaHSO_3$$
$$NaOH + SO_3 = NaHSO_4 \quad (3)$$

해수를 이용하는 장치와는 청수에 알칼리 성분인 NaOH를 혼합하는 부분이 추가되는 차이가 있다.

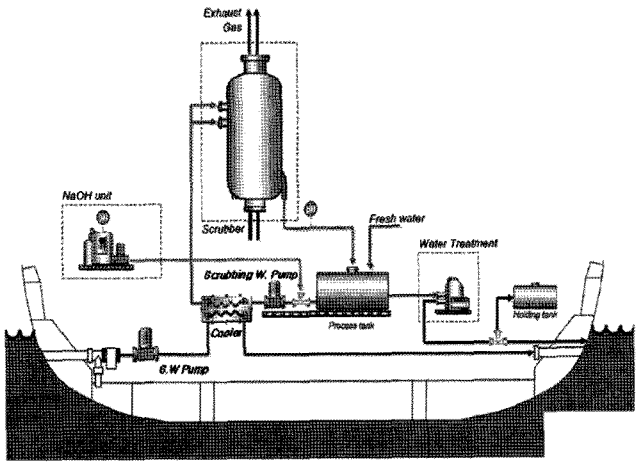


Fig. 5. Diagram for F.W SOx scrubber.

4.4 플라즈마 이용 장치

플라즈마를 이용하여 세정하는 방법은 육상의 공장 연소시설에 주로 이용하는 방법으로 여기서 플라즈마는 촉매역활을 한다. 암모니아와 프로필렌이 첨가된 저온 플라즈마 반응기에서 질소산화물(NOx) 및 황산화물(SOx) 함유 배기가스를 통과 하게 하여 배기가스 중의 질소산화물 및 황산 화물을 산화 및 중화시켜 NOx와 SOx를 동시에 제거하는 방법으로 상당히 효율적이다. 그러나 이러한 플라즈마를 이용하는 방법은 현재 선박용으로는 상용화 된 실적이 없다.

$$NO \rightarrow NO_2 \rightarrow HNO_3 \rightarrow HNO_4NO_3$$
$$SO_2 \rightarrow SO_3 \rightarrow H_2SO_4 \rightarrow (HN_4)_2SO_4 \quad (4)$$

5. 결 론

해상 선박의 연료로 사용되는 저질품의 Fuel oil은 완전 연소가 일어나지 않는 박용기관의 특성과 연계되어 많은 양의 황산화물(SOx)을 배출하는 원인이 된다. 최근 들어 해상에서의 대기오염의 심각성을 인식한 IMO를 포함한 국제기구 등에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 각종 규제를 강화하고 있다. 세계의 조선산업을 선도하고 있는 한국의 입장에서는 본 논문에서 검토 된 바와 같이 국제적으로 혹은 지역별로 상향 조정되고 있는 황산화물의 배출 기준에 대해 충분한 이해가 바탕이 된 적절한 대응이 요구된다 하겠다.

전절에서 검토된 내용을 간단히 요약하여 대표적인 경우에 대해 정리하면 아래와 같다.

• SECA지역 만을 운항하는 선박

이 지역만을 운항하는 Ro-Ro 여객선 및 Feeder 선박들의 경우 SECA 지역에 적용되는 황산화물 배출 규정인 '2015년 이후 0.1%(m/m) 이하' 조건을 만족시키기 위하여 세정장치의 설치가 필수적이라 할 수 있다. 또한 연료유를 황산화물이 거의 포함되지 않은 천연가스(LNG)를 이용하는 것도 이러한 황산화물 배출 규제를 해결하는 한가지 방법이 될 수 있다. 관련하여 최근 유럽을 중심으로 이러한 Gas Fuelled ship의 건조되기 시작했고, IMO에서도 관련하여 Rule을 제정하고 있는 중에 있기 때문에 이에 대한 검토도 필요하다고 생각된다.

• SECA지역을 통과하여 운항하는 선박

이 지역을 일시적으로 통과하는 대형 콘테이너선 및 크루즈 선박들에 대해서는 일시적인 배기가스 배출 규제를 만족시키기 위해 필요에 따라 설치된 황산화물세정 장치를 구동하거나 저유황유를 fuel oil로 사용하는 것이 고려될 수 있다. 이를 위해서는 저유황유 사용을 위한 연료유 전환 장치가 추가로 설치되어야 한다.

• SECA지역 및 황산화물 배출 제한 지역을 통과하지 않는 선박들에 대해서는 2020년 까지 약간의 시간적 여유는 있다. 그러나 2020년 이후, Global 기준치인 0.5% (m/m) 이하 배출 기준을 만족하기 위해서는 모든 선박에 황산화물 정제 장치를 설비하는 것은 필수적일 것이다.

• 향후 모든 선박에 황산화물 세정장치(SOx Scrubbing system)의 설비는 필수적이라 할 수 있고 이러한 세정장치는 황산화물 배출 monitoring system과 함께 선박의 중요한 시스템 중의 한 가지가 될 것 이다. 문제는 현재 IMO의 형식승인을 받은 장비가 극히 제한적이라는 것인데, 선박건조에 따른 부가가치의 극대화를 위하여 관련된 장비에 대한 지속적인 관심과 개발이 요구된다.

이상에서 검토한 바와 같이 해양환경에 대한 관심은 지속적으로 증대되어 가고 있고, 특히 선박에 의한 대기오염은 중요한 이슈로 부각되고 있다. 선박을 건조하거나 연료를 공급하거나 관련된 세정장비를 생산하는 다양한 이해 당사국들은 이러한 환경변화에 적극적으로 대처하여 기득권을 확보하고 이익을 극대화 하려는 노력을 경주하고 있다. 세계 조선 산업을 선도하고 있는 한국의 경우 상황의 변화에 대한 충분한 이해와 대비가 요구되는 상황이며, 아울러 적극적인 연구개발로 새로운 규정을 만들어감으로써 오히려 새로운 수요를 창출해 가는 자세가 필요하다.

후 기

본 연구는 2006학년도 홍익대학교 학술진흥연구비의 부분지원으로 이루어졌음.

참고문헌

[1] 강국진, 김상현, 김은찬, 2003, "국내 선박 엔진의 NOx 배출현황 및 저감기술 개발에 관한 고찰", 한국해양환경공학회 추계학술대회논문집, 97-105.

[2] 김은찬, 강국진, 2004, "선박 기인 해양오염 방지 기술", 해양환경공학회, 추계학술대회논문집, 120-124.

[3] 남정길, 이돈출, 2007, "선박의 대기오염 방지를 위한 IMO의 최근 규제 및 연구동향", 한국해양환경공학회 추계학술대회논문집, 199-201.

[4] 장미숙, 김상현, 김국진, 김은찬, 2004, "선박에서 배출되는 Nox의 배출량 규제에 대한 대응 방안 고찰", 한국해양환경공학회 추계학술대회논문집, 23-28.

[5] ABS, 2008, "Current Environmental issue", ABS environ_ brochure.

[6] Directive 1999/32/EC, "Relating to a reduction in the sulfur content of certain liquid fuel and amending Directive 93/12/EEC".

[7] Directive 2005/33/EC of the European Parliament and of the Council of 6 July 2005.

[8] Douglas Raitt, 2006, "FABOS Fuel Oil Bunker Analysis and Advisory Services", LR report.

[9] Gijsbert de Jong, 2008, "Environmental impact of shipping Regulatory context and BV Services", BV Benelux Committee.

[10] IMO MARPOL ANNEX VI, 2008, "Prevention of Air Pollution from Ships".
[11] Jorn, P. Winkler 2008, "One ship pollutes as much as 50 million cars", DK Group Report.
[12] Torbjörn Henriksson, 2006, "SOx scrubber technology and SECA", Wartsila Group Report.
[13] Torbjörn Henriksson 2008, "SOx scrubbing of marine exhaust gases", The 30th Annual Motorship Propulsion & Emissions Conference 2008.

2008년 10월 14일 원고접수
2008년 11월 10일 수정본 채택