

# 강화된 Global SOx 규제 대응을 위한 선주지침서



# 강화된 Global SOx 규제 대응을 위한 선주 지침서

## INTRODUCTION

IMO는 MEPC 70차 회의 (2016.10.24.~28.)에서 2020년부터 선박에서 사용되는 연료유 속의 황함유량을 0.5% 이하로 규제하기로 결정하였다. 이에 따라 현재 관련 기술동향을 고려해 볼 때 선주사는 강화된 Global SOx 규제를 만족시키기 위해서 저유황유나 LNG를 선박용 주연료로 사용하든지 또는 SOx 저감장치 (scrubber)를 추가로 장착하는 방법 등의 조치를 강구할 수 있다. 하지만 이런 조치로 인해 선주사의 선박운영비용 증가는 피할 수 없을 것으로 보인다. 따라서 선주사는 상기 3가지 방안의 장단점을 조사하여 시장에서 경쟁력 우위를 확보하기 위한 가장 효율적인 방안을 결정하는 것이 필요하다.

## MAJOR CONSIDERATIONS

강화된 Global SOx 규제를 준수하기 위해서 선주사는 보유선박의 선종, 선령 및 항해구역을 고려하여 해당선박에 가장 최적의 SOx 배출량 저감방법을 선택하는 것이 필요하다. 본 장에서는 선주사가 보유선박의 특성을 고려한 최적의 SOx 배출량 저감방법을 선택할 수 있도록 도움을 주기 위해 각 대응방안별 장단점을 기술하였다.

### ■ Global SOx 규제 대응 기술

#### 저유황유의 사용

선박용 주 연료로서 저유황유를 사용하는 방법은 추가적인 설비가 요구되지 않아 Global SOx 규제를 만족시키기 위한 가장 간단한 방법으로 간주되지만 현재로서는 저유황유 가격이 고유황유에 비해 가격이 40~80%이상 비싼 단점이 있다. 또한 정류사별로 제조 방법에 따라 유황함량이 상이하여 사용상의 주의가 요구된다.

저유황유 중 0.5% 황성분을 함유하고 있는 MGO (Marine Gas Oil)을 사용할 경우에는 낮은 점도로 인한 연료유 펌프의 고착 현상이 발생할 우려가 있어 안전한 사용을 위해서는 엔진 입구 측의 유입되는 기름의 점도를 최소 2 cst 이상으로 유지될 수 있도록 해야 된다. 이를 위해서 연료공급 라인상에 MGO Cooler/chiller가 추가로 설치될 필요가 있다. 반면, 선박용 주연료를 0.5% 황성분을 함유하고 있는 저유황중질유 (LSHFO, Low Sulphur Heavy Fuel Oil)를 사용하는 방법이 있다. 이는 최근 정제기술 발전으로 일부 선진국 위주로 생산되고 있으며 연료유 속의 황 함유량을 낮추는 방법에 따라 두 가지로 나누어진다. 하나는 연료유속의 황 성분을 제거하는 방법이며, 다른 하나는 황성분이 없는 양질의 기름과 혼합하여 연료유속의 황함유량을 낮추는 방법이다.

첫째 방법인 연료유속의 황 성분을 제거하는 방법은 정제과정에 의해 황성분을 제거할 수 있으나 그 과정에서 연료유 속에 촉매분말 (Catalyst fines 또는 Cat fines)이 과도하게 함유되어 실린더 라이너, 피스톤 링, 분사펌프 플런저, 연료밸브 노즐의 과도한 마모현상을 초래할 수 있다.

이러한 이유로 연료유 속의 촉매분말을 제거하기 위해서는 원심분리기를 이용한 청정과정이 추가로 요구된다. 이 뿐만 아니라 엔진 입구 측에 최대 10 micron 정도인 연료유 필터를 추가로 설치하여 엔진 입구 측에서의 연료유 내 촉매분말 함유량이 최대 15mg/kg을 넘지 않도록 조치해야한다.

둘째 방법인 황 함유량이 매우 적은 양질의 기름과 혼합하여 연료유 속의 황함유량을 낮추는 방법은 첫째 방법과 같은 부작용이 없을 뿐만 아니라, 낮은 점도로 기인한 연료유 펌프의 고착 현상이 발생할 위험이 없는 장점이 있다. 하지만, 연료의 온도가 너무 낮을 경우에는 연료유 속의 wax 성분이 고체화되는 현상에 의해서 연료유 필터가 폐색될 우려가 있다. 따라서 연료의 온도가 항상 20~25°C 이상으로 유지되도록 주의를 기울여야 한다.

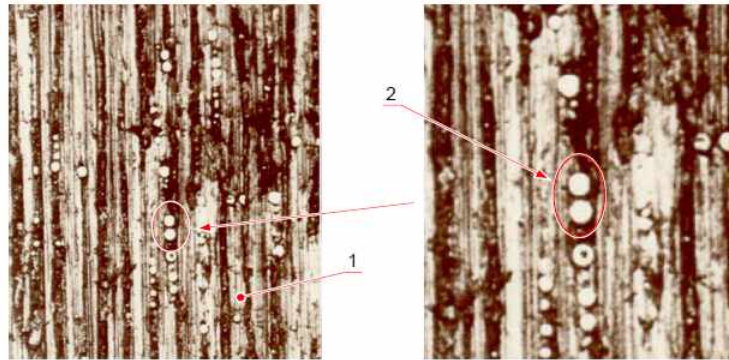


Figure 1. 촉매분말에 의해 손상된 실린더 라이너 상부 표면 모형의 현미경 사진  
(Source : Wartsila technical bulletin RT-140)



Figure 2. Wax 성분의 고체화 현상에 의한 연료필터 폐색 사례  
(Source : CIMAC guideline, cold flow properties, 2015-01 1<sup>st</sup> edition)

## 저유황유의 사용설비

배기가스 세정 설비는 기존의 저유황유 대비 상대적으로 저렴한 고유황유를 선박용 주연료로 사용하면서 강화된 Global SOx 규제를 만족할 수 있다. 배기가스 세정장치는 스크러버 기술이 대표적으로 적용되고 있으며 일반적으로 개방형과 폐쇄형으로 나뉜다.

개방형 스크러버는 (Open Loop System) 자연적으로 알칼리성을 갖는 해수를 이용하여 화학작용을 통해 배기가스 중의 황산화물과 입자상물질을 저감시킨다. 또한 스크러버를 빠져 나온 해수는 해양오염 방지를 위해 PH레벨의 조절과정을 거쳐서 다시 선외로 배출시킨다.

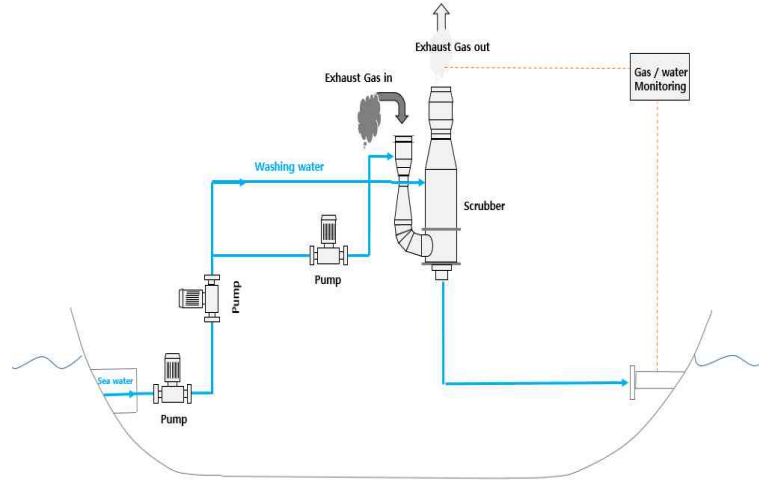
폐쇄형 스크러버 (Closed Loop System)는 청수를 이용하여 화학작용을 통해 배기가스 중의 황산화물과 입자성 물질을 저감시키고, 이 때 청수에 수산화나트륨 용액을 첨가하여 황산화물에 의한 청수의 중성화를 유도한다. 이 과정에서 해수를 이용하여 배기가스 세정에 사용된 청수를 냉각시킨다. 냉각된 청수는 대부분 배기가스 세정을 위해 순환하지만, 일부는 원심분리 및 PH레벨의 조정과정을 거쳐서 선외로 배출시킨다.

또한 개방형과 폐쇄형의 장점들을 선택적으로 사용할 수 있는 하이브리드 방식의 스크러버도 있다. 이는 대양에서 항해할 경우에는 개방형으로 사용하다가 연안 항해나 세정수 배출물의 규제가 강화된 지역을 항해할 경우에는 폐쇄형으로 전환하는 방식으로 배기가스 세정을 위한 스크러버 운영에 유연성을 부여하지만, 장비가격이 고가인 단점이 있다. 하이브리드 방식의 스크러버는 전세계적으로 7~8개 업체에서 제작되어 공급되고 있다.

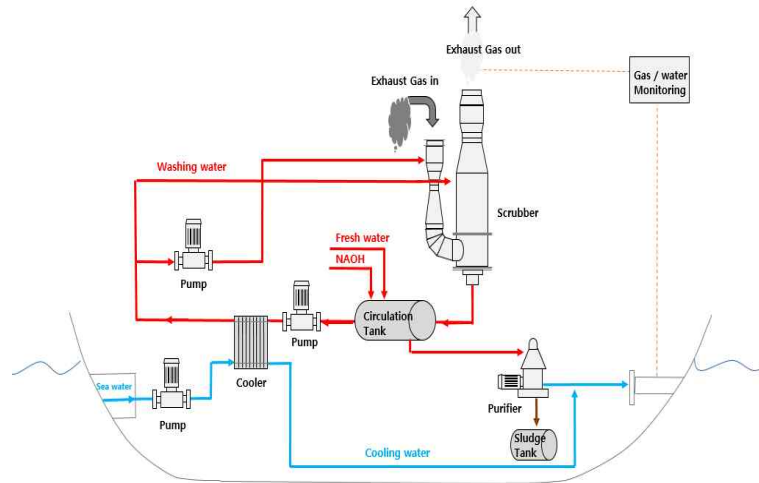
선주사가 스크러버를 선택하는 과정에서 선박 운항패턴이 중요한 인자로 고려되어진다. 만약 선박이 항구에 정박하는 시간이 짧거나 배기배출물 규제지역 (ECA, Emission Control Area)에서 항해하는 비율이 적은 경우에는 개방형이 경제적인 반면 긴 정박시간을 갖거나 배기배출물 규제지역을 항해비율이 높은 경우에는 폐쇄형이나 하이브리드형이 적합할 것으로 보인다.

이처럼 스크러버를 이용하여 선박으로부터 배출되는 배기가스를 세정하는 방법은 저유황유를 선박용 주연료로 사용하는 방법에 비해서 엔진 출력에 따라 척당 100~1,000만불에 달하는 설비 투자비용과 50~700kW에 달하는 추가전력이 요구된다. 또한 배기관 상에 설치된 스크러버에 의해서 배압(back pressure)의 증가로 인해 엔진 성능이 저하될 수 있고 이로 인해 연료소모량이 증가할 우려가 있다. 따라서 배압을 낮추기 위해서 배기가스 배출이 용이하도록 배기관을 적절히 배열하거나, 설비 후단에 강제 통풍팬을 설치하여야 한다.

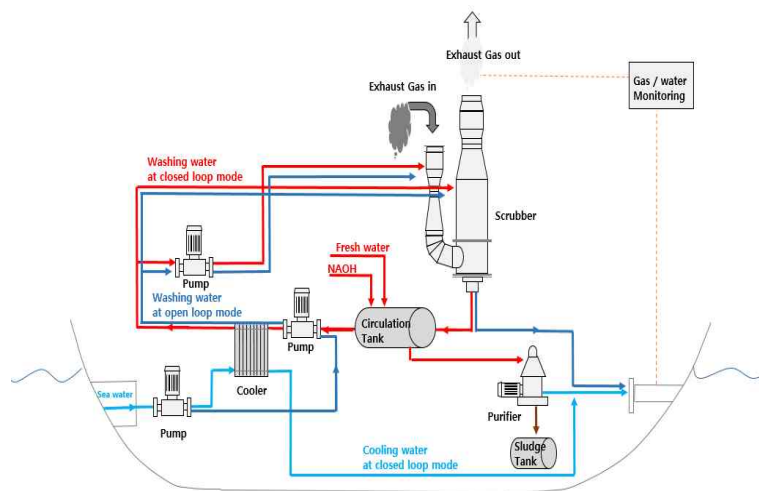
스크러버의 오작동 또는 고장에도 엔진 성능 저하 및 환경규제 미준수 등의 문제가 발생하지 않도록 배기가스 및 처리수는 지속적으로 모니터링 되도록 해야 하며, 배기관 상에 바이패스 댐퍼가 설치되도록 배기관을 설계하고, 연료공급라인에 저유황유가 공급될 수 있도록 시스템이 구성되어야 한다. 해양환경오염을 방지하고 지속적으로 스크러버 성능을 유지하기 위해서는 배기가스 세정에 이용된 해수 또는 청수를 중성화 처리를 해야 하므로 지속적인 수산화나트륨 공급에 따른 운영비용이 상승한다. 또한 스크러버 운영 시에 발생하는 다량의 슬러지에 대한 처리 문제와 배관 라인의 부식에 대한 우려가 있어 운영상의 신중한 주의가 요구된다.



<개방형>



<폐쇄형>



<복합형>

Figure 3. 스크러버 형식별 개략도

## LNG 연료 사용

LNG는 전통적인 선박 연료인 벙커C에 비해서 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 입자형 물질(PM)등의 배출량이 각각 85~90%, 100%, 거의 100%의 저감이 가능한 친환경적인 연료이다. LNG는 벙커C에 비해 발열량이 20%이상 높아 연료소모량이 적어 선박 운영비를 절감할 수 있는 장점이 있다. 하지만 LNG를 엔진에 안전하게 공급하기 위해서는 LNG 연료 저장탱크, 연료공급설비(FGSS), 이중관설비등을 추가로 설치해야한다.

이는 선가의 최대 20~30%에 해당되는 설비투자비용이 추가적으로 발생할 뿐만 아니라 LNG 저장탱크를 화물창 내 설치 할 경우 화물량 손실(Cargo Loss)를 야기하고, LNG 추진 시스템을 운영하기 위한 추가전력이 요구된다. 또한 LNG를 선박용 주연료로 사용하기 위해서는 무엇보다도 LNG를 안전하고 손쉽게 벙커링이 가능하여야 하지만 현재까지 LNG 벙커링 설비는 유럽 위주로 지역적으로 구축이 되어 있어 값싼 LNG를 손쉽게 공급하는데 어려움이 있다.

하지만 최근 상하이(중국), 부산(한국), 싱가포르 등에서 LNG 벙커링 설비 구축이 검토되고 있으며 최근 건조된 5,000 및 6,500m<sup>3</sup> 규모의 LNG 벙커링 선박들이 쩌브귀헤(Zeebrugge)항과 로테르담항에서 각각 운용되고 있어 향후 LNG 공급 설비는 전세계적으로 확대될 것으로 예상된다.

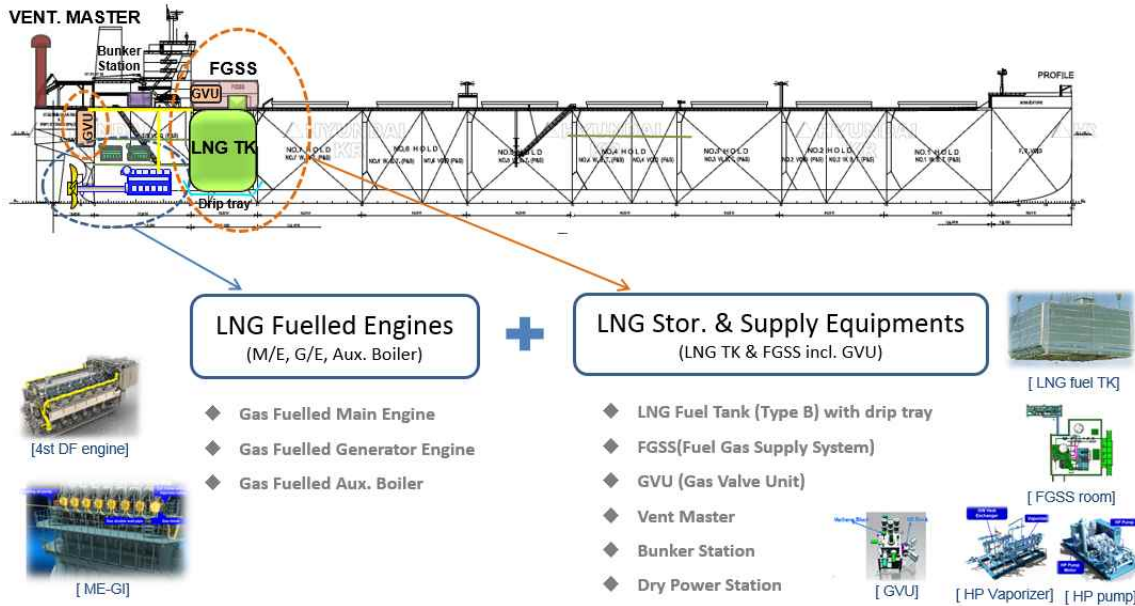


Figure 4. LNG Fuel Ready 325K VLOC 개념도

## ■ SOx 대응 방안별 경제성 분석

선주사가 SOx 대응방안에 대한 가장 최적의 선택을 하기 위해서는 3가지 대응방안에 대한 경제성 분석이 필요하다. 이에 대한 결과는 유가 변동, 선종, 선령 및 항해구역에 따라 달라 지므로 각 선박별로 경제성 분석을 하는 것이 바람직하다.

본 장에서는 선주사가 가장 경제적인 선택을 할 수 있도록 도움을 주기 위해서 연료유와 설비가격의 변동율을 가정하면서 각 방안들에 대한 경제성 분석을 시행하였고, 대상선박은 대형컨테이너선으로 선정 하였다.

### 현재 연료가격 기준

**Table 1**은 경제성 분석을 위해 적용된 선박용 연료공급가격을 비교한 것이다. **Figure 5**는 Global SOx 규제 만족을 위한 대응방안별로 경제성 분석한 결과이다. 이 그림에서 보이는 바와 같이 현 시점에서는 스크러버를 탑재하는 방안이 저유황유(LSHFO, 0.5% S)를 사용하는 방안에 비해 투자회수기간이 2년 이내로 매우 경제적이다. LNG 연료와 저유황유를 비교해 보면, LNG를 사용하는 방안이 저유황유를 선박용 주 연료로 사용하는 방안보다도 투자회수기간이 6년 이내로 경제적이다. 하지만 LNG를 사용하는 방안은 스크러버에 비해 투자회수기간이 19년으로 경제적이지 못하다. 결론적으로 현재 연료유 가격에서는 스크러버를 탑재하는 방안이 가장 경제적임을 알 수 있다.

Table 1. 현재 연료유 가격 비교 (Unit : USD/ton)

Item	Fuel Price
LNG	USD 5/mmbtu (USD 238/ton)
HFO (3.5% S)	280
LSHFO (0.5% S)	400
MGO (0.1% S)	460

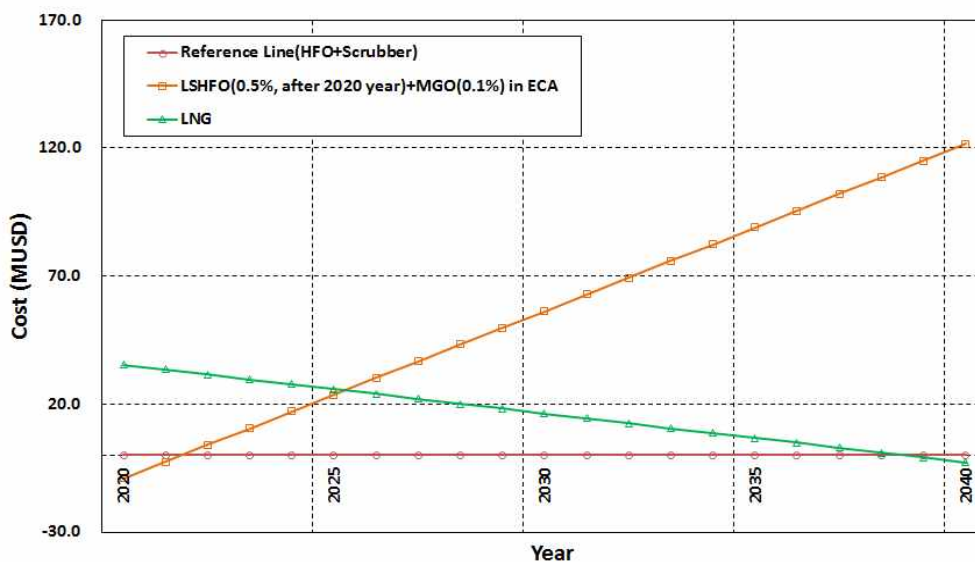


Figure 5. 강화된 Global SOx 규제 만족을 위한 대응 방안별 경제성 분석 결과 1 (현재 연료 가격 기준)

### 저유황 연료가격이 변동하는 경우

Global Sox 규제가 강화됨에 따라 저유황유 생산을 위한 정유업체의 설비 확대가 예상된다. 이에 따라 현재 저유황유의 공급 가격은 고유황유에 비해 약 40% 이상 높지만, 외부 요인 특히 정제 설비 확대 및 감소에 따라 변동될 것으로 예상된다. **Table 2**는 가정된 저유황유의 변동 범위를 나타낸다. Case I은 정제 설비 확대에 따른 저유황유들의 20% 가격이 하락한 경우를 의미하며 Case II는 현재 가격 그리고 Case III는 20% 정도 가격이 상승한 경우를 의미한다. **Figure 6**에서 보이는 바와 같이 저유황유 공급가격의 변동량에 따라 스크러버를 탑재하는 방안이 저유황유를 사용하는 방안에 비해 투자회수기간이 최소 1년에서 5년 이내임을 알 수 있다. 결론적으로 저유황유와 고유황유의 공급가격이 동일하게 되는 조건이 아니라면, 저유황유 연료가격이 하락하더라도 스크러버를 적용하는 방안이 가장 경제적인 것을 알 수 있다.

Table 2. 저유황유 연료 변동 비율 (Unit : USD/ton)

Item	Case I	Case II	Case III
	-20%	0%	+20%
LNG	USD 5/mmbtu (USD 238/ton)		
HFO (3.5% S)	280		
LSHFO (0.5% S)	320	400	480
MGO (0.1% S)	370	460	550

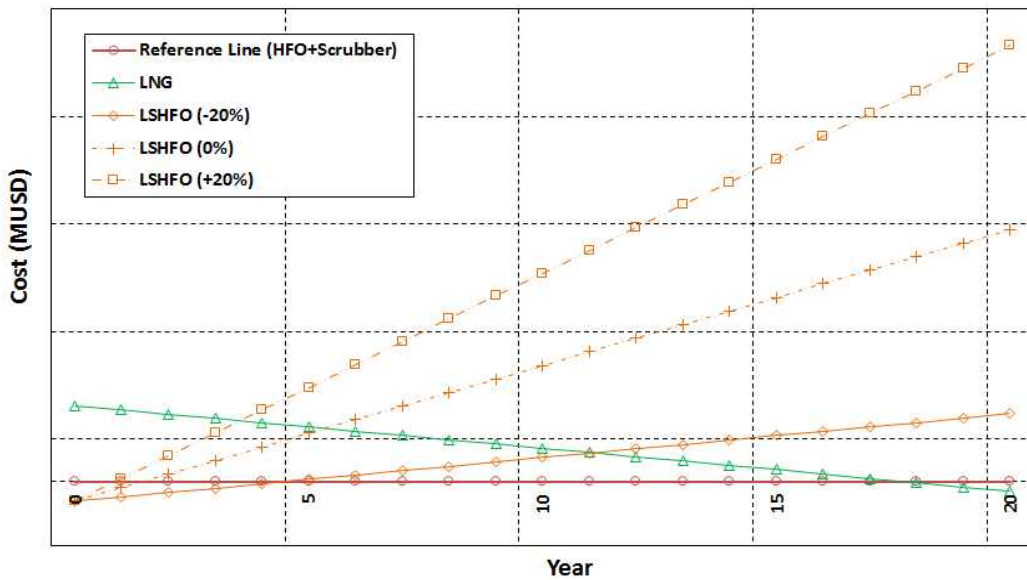


Figure 6. 강화된 Global SOx 규제 만족을 위한 대응 방안별 경제성 분석 결과 2 (저유황유 연료 가격 변동 조건)



### LNG를 제외한 전체 연료유 가격이 상승하는 경우

**Table 3**는 LNG를 제외한 전체 연료유 가격이 상승하는 조건에서의 각 연료별 공급가격을 나타낸다. 여기서 현재의 HFO가격(USD 280/ton)을 기준으로 LSHFO, MGO와의 연료가격 차이는 각각 약 40%, 75%를 유지한 채 연료 가격은 20%씩 단계적으로 상승하는 경우로 가정하였다. 다만, LNG 가격은 유가와 연동되지 않는 동일 가격 조건으로 계산되었다. **Figure 7**에서 보이는 바와 같이 연료유 가격이 상승하더라도 스크러버를 사용하는 방안이 저유황유를 선박용 주연료로 사용하는 것보다 투자회수기간이 2년 이내로 경제적이다. 하지만 연료유 가격이 현재보다 40% 이상 상승하는 경우에는 LNG를 선박용 주연료로 사용하는 방안이 스크러버를 설치하는 방안보다 투자회수기간이 5년 이내로 경제적임을 알 수 있다.

Table 3. 연료유 가격 변동 비율 (Unit : USD/ton)

Item	Case I	Case II	Case III	Case IV
Increase ratio of fuel oil price (%)	0%	20%	40%	60%
LNG	USD 5/mmbtu (USD 238/ton)			
HFO (3.5% S)	280	340	390	450
LSHFO (0.5% S)	400	480	550	630
MGO (0.1% S)	500	600	690	790

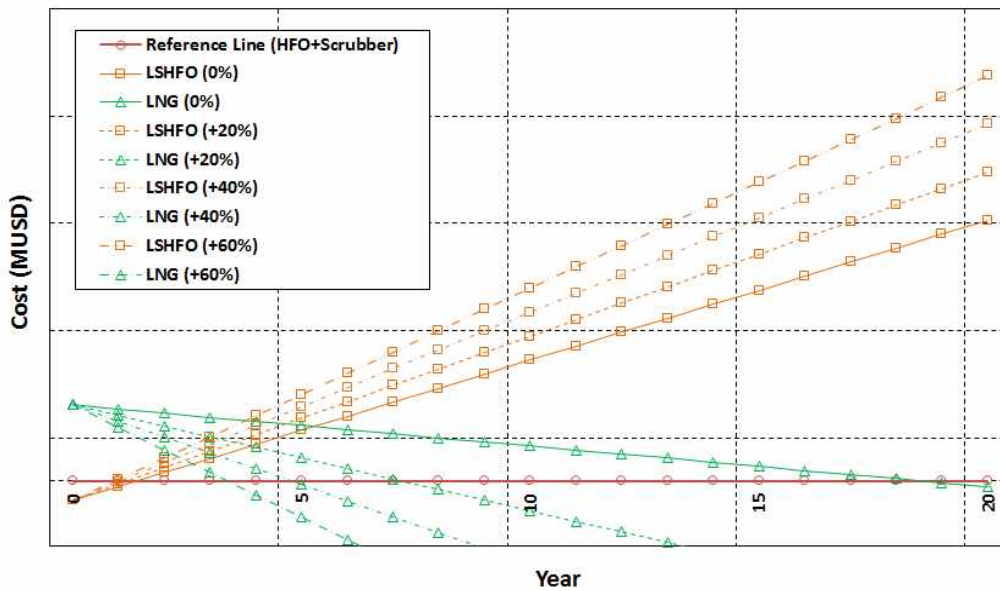


Figure 7. 강화된 Global SOx 규제 만족을 위한 대응 방안별 경제성 분석 결과 3 (연료유 가격이 상승하는 조건)

### LNG 연료공급 설비 가격이 변동하는 경우

현재와 같은 저유가 시점에서는 선가의 최대 20~30%에 달하는 LNG 연료공급 설비가격은 선주사에게 경제적으로 큰 부담으로 작용한다. 하지만 LNG 연료공급 설비에 대한 연구 및 개발은 지속적 이루어지고 있어 해당 설비들의 가격은 향후 지속적으로 하락할 것으로 예상된다. **Table 4**은 가정된 LNG 공급설비의 가격 변동 범위를 나타낸다. Case I은 LNG 연료공급 설비 가격이 선가의 30% 정도를 의미하고 Case II와 Case III는 각각 20%, 10%를 차지한다는 가정 조건이다. **Figure 8**에서 보이는 바와 같이 LNG 공급설비의 가격 변동량에 따라 투자회수기간이 최소 3년에서 19년 이내임을 알 수 있다. 즉 현재와 같은 저유가 흐름이 유지되더라도, LNG 공급설비가 선가의 10% 이내로 하락한다면 LNG를 선박용 주연료로 사용하는 방안이 가장 경제적일 수 있다.

Table 4. LNG 공급설비 가격 변동 비율 (Unit : USD/ton)

Item	Case I	Case II	Case III
Percentage of LNG equipment price compared to vessel price	30%	20%	10%
LNG	USD 5/mmbtu (USD 238/ton)		
HFO (3.5% S)		280	
LSHFO (0.5% S)		400	
MGO (0.1% S)		460	

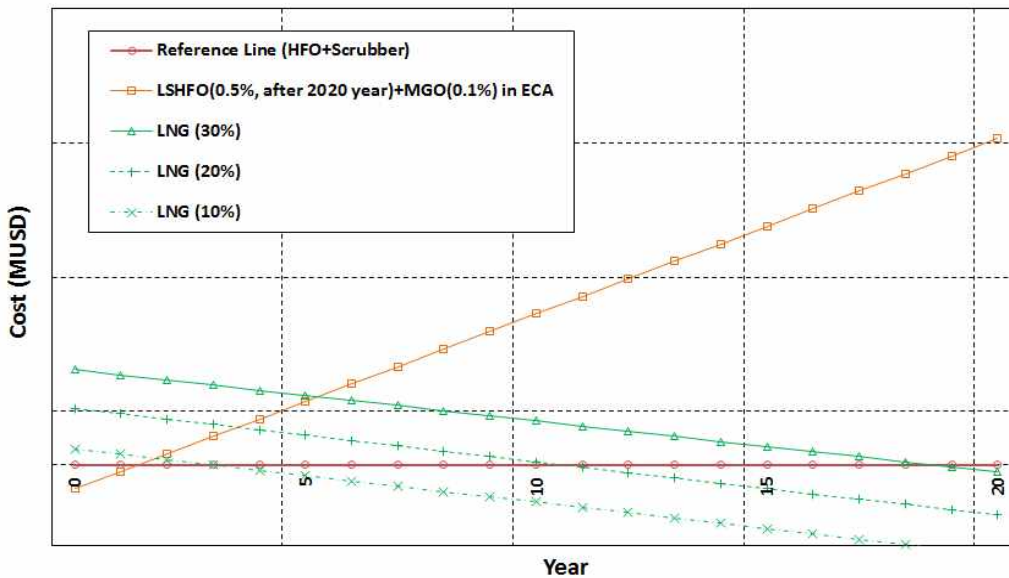


Figure 8. 강화된 Global SOx 규제 만족을 위한 대응 방안별 경제성 분석 결과 4 (연료공급 설비 가격 변동 조건)

## SUMMARY

현재 해운산업은 다가오는 2020년에 시행되는 강화된 Global SOx 규제를 준수해야 할 뿐만 아니라 보다 전 세계적 경기 침체로 경제적으로 선박을 운영해야 하는 상황에 당면해 있다. 이에 따라 선주사는 강화된 Global SOx 규제에 적절하게 대응할 수 있는 기술들의 장단점을 파악하고, 운영중인 선박들의 특징 (유가 변동, 선종, 선령 및 항해구역)을 적절하게 분석하여 경제성 있는 최적의 SOx 배출량 저감방법을 결정할 필요가 있다.

본 기술문서는 강화된 SOx 규제에 대응할 수 있는 기술들의 특징을 분석하고, 각 대응방안별로 경제성 분석을 시행하였다. 또한 선주사가 가장 경제적인 선택을 할 수 있도록 도움을 주기 위해서 연료유와 설비가격의 변동율을 가정하면서 각 방안들에 대한 경제성 분석을 시행하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 현재의 연료유 공급가격을 기준으로 경제성 분석을 한 결과 강화된 Global SOx 규제를 만족시키기 위한 대응 방안으로는 스크러버를 설치하는 방법이 가장 경제적임을 알 수 있다. 하지만 스크러버를 설치하여 운영하는 경우에는 배기가스 세정에 이용된 처리수의 중성화를 위해서 선박운영비용이 상승하고, 스크러버 운전 중 발생하는 슬러지 처리 문제와 배관 라인의 부식에 대한 우려가 있다. 따라서 선주사는 해당 선박에 스크러버를 설치하여 운영할 경우에는 주의가 요구된다.
- (2) 연료유 가격의 상승 또는 LNG 연료공급설비 하락하는 경우를 가정하여 경제성 분석을 한 결과 연료유 가격이 현재보다 40% 이상 상승하는 경우나 LNG 연료공급설비가 선가의 10%로 하락하는 경우에는 LNG를 선박용 주연료로 사용하는 방안이 가장 경제적임을 확인하였다. 하지만 현재까지는 LNG 벙커링 설비가 유럽위주로 구축되어 있어 LNG를 수급하는데 어려움이 있다.
- (3) 상기와 같이 스크러버를 설치하는 방안과 LNG를 선박용 주연료로 사용하는 방안은 경우에 따라서는 가장 경제적인 선택이 될 수 있으나 현재까지 해당 설비를 장착하여 운항한 선박들의 실적이 제한적이어서 해당 설비의 운영 시 예측하지 못한 어려움이 발생할 수 있다. 따라서 선주사는 이러한 상황을 고려하여 강화된 Global SOx 규제에 대응하기 위한 의사결정 하는 것이 바람직하다.

## Disclaimer

Although all possible efforts have been made to ensure correctness and completeness of the contents contained in this information service, the Korean Register of Shipping is not responsible for any errors or omissions made herein, nor held liable for any actions taken by any party as a result of information retrieved from this information service.