



국제 정세에 따른 선박 규정과 산업 (2)

글 : (주)엑스카본 류기수 상무이사 / handyvlcc@naver.com

1. 서론



<그림 1 에너지효율 개선장치인 풍력추진 시스템 장착 선박 [1]>

해양수산부는 2023년 1월 1일부터 현재 운항 중인 국제항해선박(현존선)에 이산화탄소(CO₂) 등 온실가스 배출 규제를 적용한다고 23일 밝혔다. 이는 지난 10~17일 영상회의로 진행된 국제해사기구(IMO) 해양환경보호위원회(MEPC)에서 해양오염방지협약(MARPOL)을 개정함에 따른 것이다. 기존에는 2013년 1월 1일 이후 건조된 선박(신조선)에만 온실가스 배출 규제인 선박에너지효율설계지수(EEDI)를 적용해 왔다. IMO는 이번 협약 개정을 통해 현존선까지 이 규제를 확대 적용하기로 했다.

이에 따라 현존선은 선박 제원을 기반으로 계산되는 선박에너지효율지수(EEXI)를 충족함과 동시에 매년 운항실적에 따라 계산되는 선박탄소집약도지수(CII) 감축률도 만족해야 한다.

EEDI와 EEXI는 선박이 화물 1t을 1해리(약 1.9km) 운송할 때 배출되는 CO₂양을 기관출력, 재화중량톤수 등 선박의 제원을 활용해 계산한 후 지수화한 값이다. 다만 EEDI는 선박 설계과정에서 계산하기 때문에 신조선에 적용되고, EEXI는 선박 운항 과정에서 계산해 현존선에 적용한다.

CII는 선박 운항 과정에서 화물 1t을 1해리 운송할 때 배출되는 CO₂양을 연료 사용량, 운항 거리 등 선박의 운항정보를 활용하여 사후적으로 계산해 지수화한 값이며, 현존선에 적용한다. IMO는 2050년 국제해운 온실가스 총배출량을 2008년보다 50% 감축한다는 목표로 2018년 4월 이 지수들을 개발했다.

이에 따라 현존선은 기관 출력을 제한하거나 에너지효율 개선 장치를 설치하는 등으로 선박 효율을 높여 2023년 1월 1일 이후에 있을 첫 선박 검사일까지 EEXI를 충족해야 했다. CII는 2019년에 계산된 기준 수치와 비교해 2023~2026년까지는 매년 2%씩 줄여야 한다.

<표 1 IMO 현존선 에너지효율 연도별 규제 개요>

분류	적용대상	2023.1.1. 이전	2023	2024	2025	2026.1.1. 이전
EEXI (기술적 조치)	총톤수 400톤 이상 중 [R.21A Table 3] 해당 국제항해선박	협약 발효 이후 연차/중간/ 정기검사 중 가장 먼저 도래 하는 검사까지 EEXI 적용, 만족 시 IEEC 증서 발급		-	-	협약규정 재검토
CII (운항적 조치)	총톤수 5,000톤 이상 국제항해선박	SEEMP 개정	CII 등급산정 ①	CII 등급산정 ②	CII 등급산정 ③	EEXI 감축율, 낮은등급 선박 강행 조치 도입 필요성 등 검토
		↓	↓	↓	↓	
		적합확인서 (CoC) 발급	(단연도 E등급 및 3년 연속 D등급 선박) 시정조치 계획을 포함한 SEEMP 개정 및 주관청 승인			

[표 1] 목표치를 충족하지 못한 선박은 선박 에너지효율 개선계획을 수립해 정부로부터 승인받은 후에야 운항할 수 있다. 해수부는 국내 외항선사가 현존선 온실가스 규제에 잘 대응할 수 있도록 지난 3월 EEXI를 계산해 선사에게 제공했다. 이달 말에는 온오프라인 설명회를 통해 MARPOL 개정 내용도 전파할 계획이다.

해수부는 "IMO가 추진하는 선박 온실가스 감축 규제는 2020년부터 적용된 선박 연료유 황 함유량 규제보다도 해운과 조선업계에 더 큰 영향을 미칠 것"이라고 내다봤다. 이어 "해운·조선업계, 선박검사기관 등과 긴밀히 협력해 감축 목표 달성에 철저히 대응하고, 해양환경규제 강화가 친환경 선박 시장을 선도하는 기회가 되도록 관련 기술 개발도 적극적으로 추진하겠다"고 말했다.

작년 말 IMO 결의로 2050년 온실가스 배출 감축 목표가 50%에서 100%로 상향됐듯이 지구 온난화에 따른 이상 기후 대처의 범지구적 규정을 살펴보고, 이에 부합되도록 필요한 선박 영업 설계 내역 등을 고찰한다.

2. 본문

<표 2 국제연합 헌장 [2]>

차례	내용
제1장	목적과 원칙
제2장	회원국의 지위
제3장	기관
제4장	총회
제5장	안전보장이사회
제6장	분쟁의 평화적 해결
제7장	평화에 대한 위협, 평화의 파괴 및 침략행위에 관한 조치
제8장	지역적 약정
제9장	경제적 및 사회적 국제협력
제10장	경제사회이사회
제11장	비자치지역에 관한 선언
제12장	국제신탁통치제도
제13장	신탁통치이사회
제14장	국제사법재판소
제15장	사무국
제16장	잡칙
제17장	과도적 안전보장조치
제18장	개정
제19장	비준 및 서명

서문과 19장 111조로 구성되어 1945년 6월 26일 조인된 [표 2] 국제연합은, 헌장 및 국제사법재판소 규정 제57조에 의거하여 제후

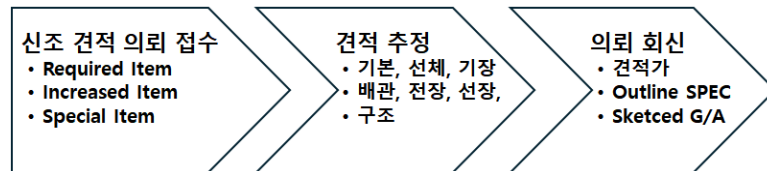
관계를 설정한 [표 3]의 15개 전문기구 등으로 구성되어 있다.

<표 3 국제연합 전문기구 [3]>

차레	전문기구
1	국제연합식량농업기구 (FAO)
2	국제민간항공기구 (ICAO)
3	국제농업개발기금 (IFAD)
4	국제노동기구 (ILO)
5	국제해사기구 (IMO)
6	국제통화기구 (IMF)
7	국제전기통신연합 (ITU)
8	국제연합교육과학문화기구 (UNESCO)
9	세계보건기구 (WHO)
10	국제연합산업개발기구 (UNIDO)
11	만국우편연합 (UPU)
12	세계은행그룹 (World Bank Group)
13	세계지식재산기구 (WIPO)
14	세계기상기구 (WMO)
15	세계관광기구 (UNWTO)

[표 3]의 국제연합 전문기구 중 IMO는 국제교역 종사하는 해운업에 영향을 미치는 모든 형태의 기술적인 문제에 관하여 각국 정부가 수행하는 규정이나 지침에 있어서, 정부 간 상호협력 촉진을 위한 장치를 제공하고 있다. 해상안전, 효율적인 항해, 선박으로부터의 오염방지 및 통제와 관련하는 최고 수준의 실질적인 기준을 제정하고 있다. 담당하는 대표적인 협약은 아래와 같으며, 이외에도 수많은 협약과 의정서, 개정 규정, 이행협정 등이 있다.

- ☑ 해상에서의 인명 안전을 위한 국제협약(International Convention for the Safety of Life at Sea; SOLAS)
- ☑ 선박으로부터의 오염방지를 위한 국제협약 (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships; MARPOL)
- ☑ 국제만재물수선협약(International Convention on Load Lines; LL)
- ☑ 선원의 훈련, 자격증명 및 당직 근무의 기준에 관한 국제협약(International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, STCW)
- ☑ 폐기물 및 기타 물질의 투기에 의한 해양 오염 방지에 관한 협약(Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter; LC)
- ☑ 국제해상충돌예방규칙(Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea; COLREG)



<그림 2 선박 견적 흐름>

한편 선주(Owner)로부터 신조 견적 의뢰 용도의 발주서 접수하면, 1주일 정도 일정으로 [그림 2]와 같이 아래 내용으로 초기 영업 설계 진행된다.

- ☑ 선주 요구 사항 파악
- ☑ 적합한 표준선 선정
- ☑ 표준 건조사양서(Standard SPEC)로부터 선주 요구 사항에 대한 국제 법규와 규정, 건조비, 현장 공수 및 환율 등의 선가에 대한 영향 분석
- ☑ 선주 요구 사항에 대해 무상 동의(Agreed), 유상 동의(Subject to Cost Adjustment)와 협의 후 결정(To Be Discussed)으로 분기하여 견적가 산출
- ☑ 상기 내용 포함되도록 축약된 건조사양서, 개략 일반배치도와 제조자목록 (Maker List) 작성
- ☑ 선주 특성, 설계 및 건조되어 인도되는 동안 총 5회 내외의 분할 수금되는 대규모 외국통화에 대한 국제 정세에 따른 시황과 조선소 (Builder) 건조 실적(Track record) 등을 고려(Contingency)하여 최종 견적가의 배분율(Standard, Top heavy or Heavy tail) 결정

2.1 견적 흐름

대양을 운항하는 선박의 초기복원성 계산서는 항내(Harbour)와 항해(Seaging) 조건에 대하여 구성된다.

<표 4 복원성 계산서 (Trim & Stability Booklet)>

검토 조건	내용
해상 운항	☑Light Ship Condition ☑Segregated Ballast Tank Condition ☑1 (One) Tank Loading Condition ☑2 (Two) Tank Loading Condition ☑Full Tank Loading Condition ☑항해와 항만 계류에 따른 해상 조건 구성됨 ☑Light Ship Condition은 선각 설계 시 제외하고 판정함 ☑SBT Condition은 실제 운항 조건이 아님으로, 선각 강도 결정 시 여유치(Building margin) 제외하고 판정함
평형수 교체	☑2017년 발효되었으며, 운항 조건과 함께 선각 강도 결정에 반영함
승선원 실수 상황 (Human Error)	☑실제 운항 조건이 아님으로, 선각 강도 결정 시 여유치 제외하고 판정함

일반적인 초대형원유운반선(Very Large Crude Oil Carrier)은 선각(Hull)에 발생하는 전단력(Shear Force) 및 굽힘모멘트(Bending Moment) 추정치와, 대양 운항을 위한 100% 이상 추진기 잠수 필요하며 전장(Overall Length) 대비 1.5% 이내 선수미 흘수 차(Draft Gap) 그리고 조타실에서 수면까지 최대 500m 혹은 전장의 2배 가운데 최소치의 가시거리 확보 등 주요 내역이 [표 4] 조건에 대해 정리된다.[4]

한편 T/S는 선주에 대한 참고 용도로 제공되는 자료(Reference Document)로서, 최종 대양 항해와 항만의 화물 양하역 과정 등 결정에 대한 권한과 책임은 선장(Captain)에게 있다.



<그림 3 CSR 초기 VLCC 실적선 (출처 : 인터넷)>

[그림 3] 일반적인 VLCC의 경제적인 선각 구현을 위한 길이 방향 배치는 선미부-기관실부-화물창부-선수부이며, 통상 중통상갑판(Upper most strength deck) 기관실 전부에 거주구(Accommodation)가 배치되어 있다.

<표 5 Scrubber 특성 [5]>

종류	내용
개방형 시스템 (Open mode system)	☑Scrubber를 통한 세정수는 바다로 배출 ☑배출수 수질은 모니터링 ☑오염물질인 세정수를 바로 해양에 버려 해양환경에 부정적인 영향을 주는 관계로, 개방형 스크러버 가동을 금지하거나 벌금을 부과하는 나라들이 꾸준히 증가함
폐쇄형 시스템 (Closed mode system)	☑세정수창 내의 세정수를 순환하여 사용 ☑세정수창의 수질 정화 과정에서는 침전물(Sludge)이 발생하며, Sludge는 Sludge Tank에 저장됨

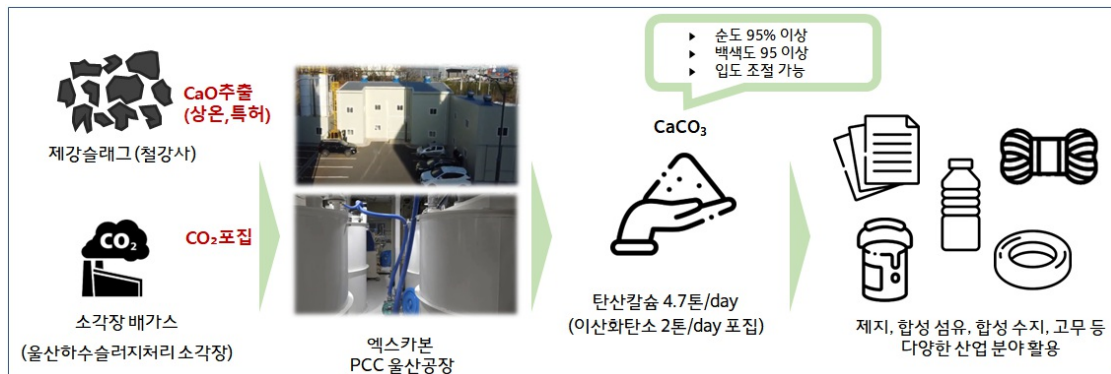
그리고 주기관(Main Engine) 배기를 위한 연돌(Funnel Casing)이 기관실 후부에 위치하며 연소 후 대기로 방출했지만, 2020년 1월부터 IMO의 MARPOL SOx 규제 강화에 따라 모든 선박 배기가스는 황 함량이 0.5% 미만이어야 한다. 이에 LNG, 저유황유 사용과 함께 기존선의 개조를 통해 탈황장치인 배출가스 정화시스템(Scrubber)도 많은 선주가 설치하였으며, 특성은 [표 5]와 같다.

2.2 Sludge 처리 공정

특히 폐쇄형 시스템은 세정수창 내의 세정수를 순환하여 사용하며, 냉각기를 통해 세정수 펌프(Pump)에 의해 Scrubber로 공급된다. Scrubber를 통하여 나오는 세정수는 세정수창으로 다시 집수되어 재사용되며, 황산화물 제거 능력을 유지하기 위하여 세정수의 산성도(pH)를 모니터링(Monitoring)해서 Alkali (NaOH) Dosing를 자동으로 제어/ 공급한다. 재사용 과정에서, 세정수 정화 장치를 통해

인자		멤브레인법	아민흡착법
CO ₂ 농도(%)	배기	10 ≤	5 ≤
	포집	70 ~ 95	95 ≤
SO _x , NO _x 전처리		대기 배출 기준	아민흡수제의 변성 제거 설비 필요
O ₂ 허용 기준 (%)		≤ 20%	≤ 5%
이차오염물 및 폐기물		매우 적음	큼
동일 용량 장치 크기		소	대
동일 용량 장치 투자비		적음	큼
동일 용량 장치 운영비		중	적음
운영 난이도		쉬움	어려움
정상 상태 도달 시간		짧음	김
소모품		-	아민
유지 보수 및 기타		쉬움	<ul style="list-style-type: none"> • 어려움 • '화학물질관리법' 준수 • 주민 민원 해결
실증 연구 지원		<ul style="list-style-type: none"> • 미국 NCCC • 일본 NEDO • 한국 KCRC 	

멤브레인법과 아민흡착법의 주요 특성 비교는 [표 6]으로 정리되며, 아민흡착법은 독일계 화학회사인 BASF 공정 자료에 기술되었음을 부기한다.

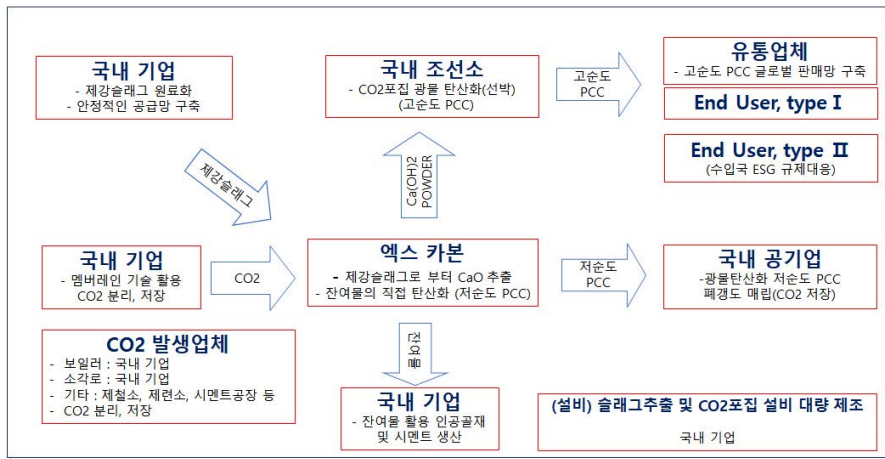


<그림 6 CO₂ 자원화 실증 공정, C-PCC>

한편 선주 선택에 따라 포집된 탄소를 육상 및 해상에 저장(Cabom Storage)하거나, 이를 활용해 [그림 6]의 자원화하는 기술 (Cabom Utilization 광물탄산자원화. 화학적. 생물학적 전환 등)로 진행되고 있다.

이처럼 IMO에 등재된 모든 대양 운항 선박 등에 적용되어야 하는 최적의 OCCS 설비 및 기술 채택이 업계 초미의 관심사이며, 결국 OCCS에 대한 선박 안전성과 경제성이 가장 중요한 요소가 될 것이며 그 중 국내 C-PCC 기술 개발 현황은 아래와 같다.

- ☑ 배기가스 CO₂ 이용한 탄산수소나트륨 생산
- ☑ 산업부산물을 활용한 탄산칼슘-이산화티타늄 복합체 백색안료 기술개발 및 사업화
- ☑ 인조대리석 ATH(수산화알루미늄) 대체용 PCC 개발
- ☑ 페콘크리트 및 C급 플라이애시 활용 PCC 양산화 기술 개발



<그림 7 국내 CCUS 효율성 실증 흐름도>

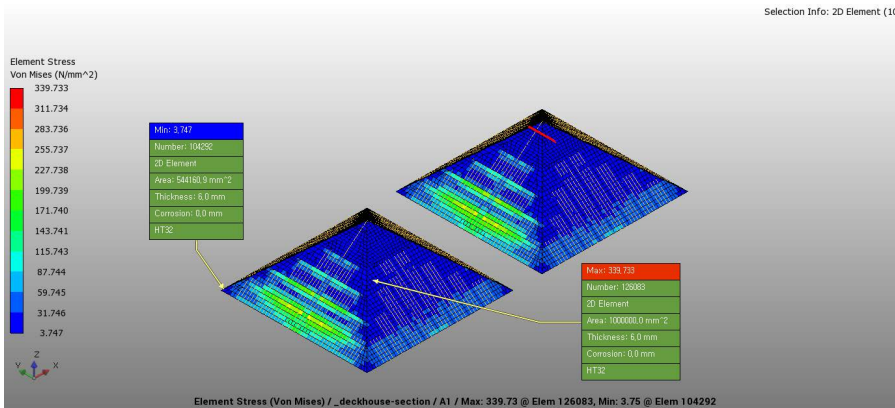
[그림 7]은 국내업체의 전체 CCUS 공정이다. CCUS에서 선박에 설치되는 OCCS는 운행하는 선박의 복원성과 구조 안정성이 최우선적으로 고려되어야 하며, OCCS 설비 단가와 운용에 수반되는 에너지 비용 및 가동에 따른 추가 CO2 발생량 등을 종합적으로 비교하여 결정되어야 한다. 최종적으로 대형 저장소에 영구적으로 조치되거나 이를 자원으로 활용하는 기술로 나누어질 선박에서 생성된 CO2의 최종 선택지는, 선주 입장에서 가장 편리하고 저렴한 비용으로 결정될 것이다.

2.4 견적 영향

[그림 2]로부터 일반적인 견적 과정을 알 수 있지만, SOx 규제 부합되는 공정의 [그림 4]에서 [그림 7]로부터 CO2와 최종 산출물인 CaCo3가 신규 발생됨을 알 수 있다. 이는 연료유창 적재된 재화 중량이 주기에서 연소 후 연돌 부근 일정한 위치에 액상 혹은 고형화된 상태로 상 변화(Phase Change)되어 위치 이동되었으며, 이는 운항 중 적하 상태의 중대한 변화이다. 따라서 기존 출항(Departure Condition) 및 입항(Arrival Condition)과 상이한, 또 다른 적하 조건 발생을 의미한다.

특히 일반적으로 유해한 배기가스를 고려하여 선미단에 위치한 연돌은 선박 중간점(Midpoint)으로부터 원거리이기에, 상 변화된 CO2와 CaCo3의 적은 분량으로도 무시할 수 없는 전단력과 굽힘모멘트 유발된다.

이는 종통 부재(Longitudinal member) 측면에서 홑겹 구조(Single Structure)인 기관실에 발생하는 구조 하중의 선급 허용 응력치 만족 여부와 상갑판 상부 OCCS 격자 구조 지지부(Grillage structure support)에 기인한 소음과 진동이 발생하지 않도록 확인해야 한다.



<그림 8 선형 구조해석 예제>

구체적으로 일(1)차원 강구조와 양단 구속 조건 감안된 간이해석(Simplified Analysis) 수행 후, 허용치를 상회한 고응력(High stress) 발생 부재에 대한 추가적인 상세 견적은 [그림 8]과 같은 구조해석(Fine element analysis) 등으로 수행된다. 초기 항복강도(Yielding strength) 해석 결과 예상되는 보강 물량 등 추가 비용 및 현장 공수와, 좌굴강도(Buckling strength)/최종강도(Ultimate strength)/피로 수명(Fatigue life)까지 선급 규정과 선주 요구 사항 충족 비용이 초기 견적 단계에서 누락되지 않아야 한다.

3. 결론

CCUS 기술에서 CCS는 화력발전소, 제철소, 시멘트, 정유 공장 및 선박 등과 같은, 대규모 산업 공정 시설에서 생산된 배기가스에서 CO2추출을 말하며[9], 분리된 CO2를 압축하여 파이프라인, 트럭, 선박 또는 다른 방법을 통해 적합한 장소까지 이송하여 활용하는 방안을 CCU라 한다. 처리 과정 중 포집한 CO2를 CaCo3 등으로 제품화 혹은 필요한 곳에 활용하거나, CO2가 대기 중으로 빠져나가는 것을 막기 위해 1km 이상의 깊은 지하 암반층에 저장하게 된다.

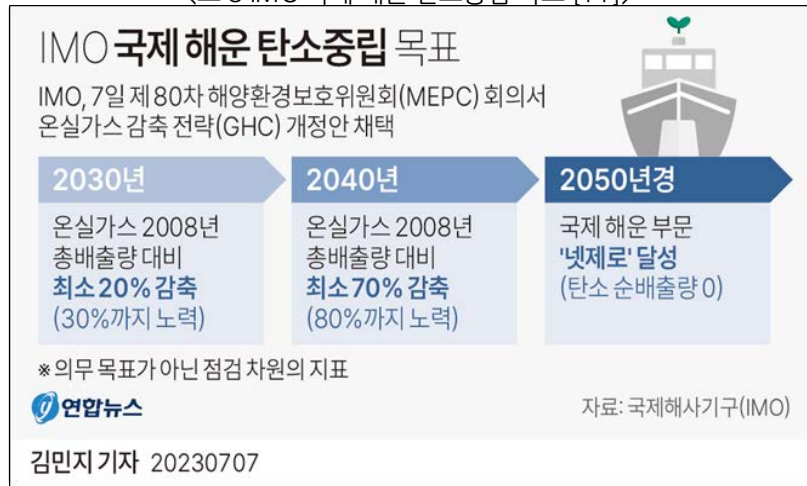
<표 7 이산화탄소저장활용법 [10]>

차례	내용
제1장	총칙
제2장	포집 등에 관한 기본계획의 수립 등

제3장	CO ₂ 포집 · 수송 시설 등의 설치
제4장	CO ₂ 저장 후보지의 탐사 · 선정 · 폐쇄 등
제5장	저장 사업의 허가 등
제6장	CO ₂ 포집 · 저장 · 활용 집적화단지의 지정 및 운영
제7장	CO ₂ 포집 등 산업의 육성
제8장	보칙
제9장	벌칙

선박에서 포집되어 상 변화된 CO₂ 재화 중량에 대해, 최종적으로선 전선 전단력 및 굽힘모멘트 규정 만족과 포집된 적재 중량 기인한 무게 중심 상승에 따른 복원성 부합 여부를 선급으로부터 확인(Approved)받아야 한다. 이는 육상과 다른 해상의 새로운 내용이며, 9장 54조로 구성된 [표 7] CO₂ 활용에 대한 국내 법규는 내년부터 시행된다.

<표 8 IMO 국제 해운 탄소중립 목표 [11]>



최근 제80차 MEPC에서의 2050년까지 국제 해운에서 발생하는 온실가스 감축에 대한 합의인 [표 8] 부합되도록 IMO 중기 조치의 2025년 10월 탄소세 최종안 채택 예정되었고, 발효 시기도 '2027년'으로 구체화하였다.



<그림 9 엔진 개조 계약 체결한 그리스 선박 [12]>

이와 같은 이상 기후 근원인 탄소 배출 규제에 대한 IMO의 기술적 및 경제적 내역과 [그림 9]와 같은 시장 동향을 전하며, 글을 마친다. “탄소중립을 위한 해상 환경규제가 강화되는 가운데, 기존 선박을 '친환경'에 맞게 개조하는 기술이 주목받고 있다. 선사들이 친환경 선박을 새로 도입할 경우 발생하는 비용 부담 탓에 기존 선박을 개조해 탄소 배출량을 줄이는 방안을 선택하면서다. 이에 조선사들은 수요를 선점하고자 관련 시장에 뛰어들고 있다. ~ 글로벌 시장조사 업체 인피니티 리서치는 2023년 17억 달러(약 2조2771억원) 규모인 선박 개조 시장이 2028년 39억 달러(약 5조 2240억원)로 커질 것으로 내다봤다.”

참고문헌

- [1] 오예진, [국제 온실가스 규제, 2023년부터 현재 운항 중 선박에 확대적용], <https://www.yna.co.kr/>
- [2] [유엔 현장], <https://www.mofa.go.kr/>
- [3] [유엔], <https://namu.wiki/>

- [4] INTERNATIONAL ASSOCIATION OF CLASSIFICATION SOCIETIES, [Requirements concerning STRENGTH OF SHIPS], <https://iacs.org.uk/>
- [5] ECO 전도사, [선박의 배기가스정화장치(EGCS, SOx Scrubber)란?], <https://m.blog.naver.com/>
- [6] 장하성, [탄소포집 자원화기업], <http://excarbon.co.kr/>
- [7] 이충섭, [CCUS 기술 소개 및 적용사례], <https://airrane.com/>
- [8] 프로텍 컨설팅, [Amine absorber 이해 R1], <https://m.blog.naver.com/>
- [9] 이훈, [2050년 탄소중립 실현 위한 핵심기술 'CCUS'], <http://www.keaj.kr/>
- [10] 법제처, [이산화탄소 포집 · 수송 · 저장 및 활용에 관한 법률 (약칭: 이산화탄소저장활용법)], <https://moleg.go.kr/>
- [11] 이승연, ['2050 해운 탄소중립' 합의 IMO...2027년 기술·경제조치 가시화], <https://www.yna.co.kr/>
- [12] 정인혁, ["저탄소 위해 튜닝" ...선박 개조 시장 뛰어드는 조선업계], <https://www.msn.com/>