

특별기고

파리기후변화협약

류기수, 정사교, 이상호(에이블이엔씨)

1. 서론

파리기후변화협약(Paris Climate Change Accord)은 2020년 만료 예정인 교토의정서를 대체, 2021년 1월부터 적용될 기후변화에 대한 대응을 담은 국제협약으로 '55개국 이상', '글로벌 배출량의 총합 비중이 55% 이상에 해당하는 국가 비준' 이란 두 가지 조건이 만족되면서 2016년 11월 발효되었다[1]. 파리협약은 선진국에만 온실가스 감축 의무를 부여했던 교토의정서와 달리 195개 당사국 모두에게 구속력 있는 보편적 첫 기후 관련 대책에 대한 합의라는 점에서 그 역사적 의미가 있다.

파리협약의 목표는 산업화 이전 대비 지구 평균 기온 상승을 '2°C보다 상당히 낮은 수준으로 유지하는 것'이며, '1.5°C 이하로 제한하기 위한 노력을 추구' 하기로 했다. 또 국가별 온실가스 감축량은 각국이 제출한 자발적 감축 목표(Intended Nationally Determined Contribution)를 그대로 인정하되 2020년부터 5년마다 상향된 목표를 제출하도록 했다. 이와 함께 정기적인 이행 상황 및 달성 경과보고를 의무화하고, 이를 점검하기 위한 국제사회의 종합적 이행 점검 시스템을 도입해 2023년에 최초로 실시한다는 원칙에 합의했다.

표 1 주요 국가 온실 가스 감축 목표

국가	감축 목표
중국	2005년 1인당 GDP 대비 60 ~ 65%
미국	2005년 배출량 대비 26 ~ 28%
EU	1990년 배출량 대비 40%
인도	2005년 1인당 GDP 대비 33 ~ 35%
러시아	1990년 배출량 대비 25 ~ 30%
일본	2013년 배출량 대비 26%
캐나다	2005년 배출량 대비 30%
멕시코	2030년 배출 전망치 대비 25 ~ 40%
한국	2030년 배출 전망치 대비 37%

한편 이탈리아는 최근 내린 폭우로 53년 만에 최악의 홍수 사태에 직면했으며, 9세기에 세워진 비잔틴 양식의 대표 건축물인 산마르코 대성당도 심각하게 훼손되었다. [그림 1].



그림 1 이탈리아 산마르코 대성당 [2]

2. 본론

이처럼 인류 공존을 위협하고 있는 현실을 극복하고자, 기술자들은 교역의 대부분을 담당하고 있는 해양 운송체의 실질적인 한계들을 하나씩 극복하며 나아가고 있다.

참고로 동일 배수량의 해양 운송체 비교 내역은 아래 [표 2]와 같다.

표 2 대표적인 해양 운송체 비교표

용도	상선	해양구조물	레저용
대표 선종	VLCC	FPSO	Cruiser
선장	320미터	◀	◀
척당 선가	1억불	30억불	10억불
전체 공기	15개월	30개월	수 십 개월
건조 국가	한중일, 필리핀	한중일, 싱가포르	유럽, 미국, 일본

2.1 설계 조건

그리고 점차 해양 운송체의 배수량이 증가함에 따라 증대하는 해난 사고를 방지하고자, 유엔 산하의 국제해사기구(International Marine Organization)는 대표적으로 국제선급연합회(International Association of Classification Society)의 Unified Rule S7 'Minimum Longitudinal Strength Standards' 조항과 S11 'Longitudinal Strength Standard'

에서 선박 크기에 부합해야 할 최소 중앙부 양단 단면 계수 (Z_{min} , The Minimum Midship Section Modulus at Deck and Keels for Ships $90\text{ m} \leq L \leq 500\text{m}$)와 최소 굽힘 모우먼트 (M_s , Still Water Bending Moment)를 규정하고 있으며, 이를 기반으로 선박 구조설계가 시작된다.

$$Z_{min} = cL^2B(C_b + 0.7)k \text{ (cm}^3\text{)} [3]$$

- c = 상수
- L = 길이 (m)
- B = 폭 (m)
- C_b = 방형 계수
- k = 재료계수

$$Z = |M_s + M_w| / \sigma \times 10^3 \text{ (cm}^3\text{)} [3]$$

- Z = 단면 계수
- M_s = 정수 굽힘 모우먼트 (Still Water B.M.)
- M_w = 파랑 굽힘 모우먼트 (Wave B.M.)
- σ = 175/k

표 3 해양 운송체 설계 기준 (톤-미터)

용도	상선 (VLCC)	해양구조물 (FPSO)	레저용 (Cruiser)
최소굽힘모우먼트	-520,000	◀	◀
	+610,000	◀	◀
설계굽힘모우먼트	-550,000	-1,000,000	최소한도
	+650,000	+1,000,000	
피로수명	북대서양 25년	설치해역 100년	Worldwide 20년
정기검사	5년	없음	5년
유의사항	부식 여유치	Re-Docking	실내 의장, 복원성

참고로 200만 배럴(Barrel) 용량의 해양 운송체 구조 설계에 반영되는 정수 굽힘 모우먼트와 최적 설계시 감안해야 할 사항은 [표 3]과 같다.

2.2 설계 환경

한편 최근에는 기상 이변이 빈번하게 발생하고 있는데, 이에 대한 대책으로 세계적으로 배출되는 FRP 등 유해 물질에 의한 환경 변화를 최소화 하고자 선박 규정도 시대 상황에 맞춰 바뀌고 있다. 그 가운데 최종 선가와 재화 중량 증감에 지대한 영향을 주어 개념 설계 관점에서부터 고려해야 하는 주

요 변천사는 아래와 같다.

- 1) Segregated Ballast Tank 개념
 - 선박에 의한 해양오염을 방지하기 위함
 - MARPOL 1978 Protocol에 의거 만재배수량 20,000톤 이상의 신조 유조선에 요구되었으며, 화물창에 평형수를 채우지 않아도 운항 흡수를 충분히 확보할 수 있는 크기의 분리된 평형수창을 구비해야함
- 2) Double Hull Tank 개념
 - 1989년 미국 엑슨사의 알래스카 연안 좌초 사고에 따른 해양 오염으로 1990년 미국 OPA90에 이어 1992년 IMO 규약으로 강제화 됨
 - 화물창 이중 선각과 평형수창의 최소 폭 규정
 - 물량 및 현장 공수 대폭 증가됨
- 3) Common Structural Rules
 - 선박의 안전을 보장하기 위해 각국 선급협회에서 자체적으로 제정했던 규칙에 대하여, 2003년 LR, ABS, DNV 선급의 유조선에 대한 규칙을 통합하고, KR, NK, CCS, BV, GL, RINA, RS 선급의 살물선에 대한 규칙을 통합하여 2006년 4월 1일부로 발효됨
 - 2015년 7월 1일부로 이원화되었던 유조선과 살물선에 대한 규정 통합됨
 - CSR의 가장 큰 특징은 부식 여유치(Corrosion Addition)의 증대, 최종 강도 규정과 구조 해석 확대에 있음
 - 규정 강제화로 선각 중량이 대략 5 ~ 10%, 구조해석 물량이 4배 이상 증가하여 선가 상승
- 4) Performance Standard for Protective Coatings
 - 2013년 1월 1일 이후 신조 계약한 재화중량 5,000톤 이상의 유조선 화물창과 평형수창 보호도장에 관한 협약
 - 보강재(Secondary member) 형상에 따른 붓도장 필수 조항 등에 따른 현장 공수 급증이 관건이며, 형강재 적용으로 공수는 감소되지만 강재 중량 증가
 - 선수부 평형수창 등 협소구간을 고려하여 현장 공수 급증을 방지하고자 일반 배치부터 변경됨
- 5) Ballast Water Treatment System
 - 핀란드가 2016년 9월 8일 52번째로 '선박평형수관

리협약 비준서를 채택함으로써 발효 요건이 충족되어 2017년도 9월 8일부터 적용됨.

- 일부 국가가 BWTS를 탑재할 조선소 도크 부족, 금융 자금 수급 어려움 등을 이유로 도입유예를 요구함에 따라, 기존 선박에 대해서만 2년 유예가 최초로 결정됨

6) NOx 규제

- 디젤엔진은 연소가 아닌 폭발 과정으로 높은 온도에서 대기 중의 질소와 산소가 결합됨
- 이 작은 입자는 극단적인 경우 조기 사망의 원인으로 민감한 폐조직에 깊이 침투하여 손상시킬 수 있으며, 이러한 입자의 흡입은 폐기종 또는 기관지염 등의 호흡기 질환을 악화 또는 기존의 심장병을 심화시킬 수 있음
- 이를 해결하는 방안 가운데 선택적 촉매 환원법(Selective Catalytic Reduction)은 연소 과정 중 발생하는 질소산화물을 절감하기 위한 시스템이며, 환원제 및 촉매에 의해 질소산화물을 인체에 무해한 질소(N₂)와 수증기(H₂O)로 변환하는 방법임
- 2016년부터 최종 단계인 Tier III 적용됨

7) IMO 2020

- 황산화물(SOx) 규제는 신규 및 운항되고 있는 선박 모두에 적용됨
- 주요한 대기오염물질로서 산성비의 원인이 되거나 기체 자체로도 사람 몸속의 점막에 작용해 호흡기 질환을 일으킴
- 한편 2020년 1월 1일부터 발효 예정이지만, 러시아는 자국 해운사에 부담이 된다는 이유로 2020년 1월 규제 적용 시점을 4년 미루겠다는 방침을 내놨고, IMO가 이를 허용할 경우 대응 자금이 부족한 다른 신흥국의 규제 적용 시점도 미뤄질 수 있음

2.3 환경 규제에 따른 변화

점차 대형화되어 온 선박의 배수량은 자중과 재화 중량의 합이며, 국제적으로 인명과 재산 손실을 방지하기 위한 최소 견현을 확보하도록 강제화 되어 있다. 따라서 자중의 최소화와 재화 중량의 최대화를 이루고자 화물창을 선체 중앙부에 위치시켰으며, 이로 인해 선체의 설계 종강도(Hull Girder Bending Strength)는 경하 상태 호깅(Hogging) 하중 조건에

서 발생되도록 규정상으로도 새깅(Sagging) 상태보다 가중되어 있음을 아래 CSR 산식으로부터 알 수 있다.

$$M_{sw-h-min} = 1.17M_{sw-s-min} [4]$$

$M_{sw-h-min}$; The minimum still water bending moment in hogging condition

$M_{sw-s-min}$; The minimum still water bending moment in sagging condition

한편 [2.2 항의 설계 환경]이 변화되어 오면서 그 결과는 주로 선수미부에 영향을 미쳐, 경하 상태의 호깅과 만재 상태의 새깅 굽힘 모멘트 이격은 계속 확대되어 왔다. 이는 선박 전체에 작용되는 하중 분포 곡선(Hull girder strength curve)의 설계 굽힘 모우먼트(Actual bending moment)에 영향을 주어, 중립축으로부터 최원단인 선저와 상갑판의 종통 부재 판재 및 보강재에 대한 요구 물량이 증가되고, 그에 따라 부재단 지지부의 피로 수명 향상을 위한 공수 및 물량에 반영되었다.

따라서 견적 단계의 초기 개념설계와 선주와의 계약 기술 협의 시, 후행 공정에 반영될 국부 보강 등을 미리 정확히 추정하여 선주, 선급 승인 용도의 기본도(Key Plan Drawing)에 반영해야 한다. 즉 합리적인 선가 견적이 뒷받침되어야 후행 공정에서 발생될 현장공수 및 물량 증가를 최소화시킬 수 있으며, 초기 견적 비용을 유지하면서 조선소의 능력을 차별화시켜 해외 선주에게 내세울 수 있는 것이 우리의 강점이다.

1) 국내 항해 선박

- 한편 소형 선박의 경우, 전장 등 기본 치수(Principal Dimension) 결정 시 복합적인 하중 영향까지 고려할 필요 없음
- 그리고 국내 소형 선박 주기 연료는 디젤(Diesel)유가 주를 이루며, 이에 NOx 규정에 맞춰진 SCR 시스템이 적용되고 연통(Funnel)을 통해 배기되고 있음
- 최근 인도된 친환경 알루미늄 보트는 해수면 하부로 배기함으로, 완벽하게 질소산화물을 대기 중으로 배출하지 않도록 건조되었음[그림 2]. 즉 임펠러(Impeller)로 흡입된 해수가 주기 배기관으로 연결되어 주기를 거친 냉각수와 고온의 실린더에서 배기되어 SCR 과정을 거쳐 질소와 수분으로 분리된 후 배기구로 함께 배출됨으로써 Tier III 충족함. 현재 국내 선박은 총톤수 5톤 미만이 대다수를 이루고 있으며,

- [그림 2] 보트의 경우 연돌(Funnel)이 선미단(Transom)에 설치되어 분리된 질소와 수분을 해수면으로 배출하고 있고, 이는 해수면 상부에 위치하도록 되어 있는 배기관이지만 통상적인 선박 거동 시 허용되는 선수미 흡수차(0.015L_{sc})를 고려하면, 해수면 하부에 위치하여도 주기 거동엔 아무런 지장이 없도록 설계되어 있음
- 하지만 해수면에서의 배기는 소음 진동 증폭을 유발하기에 항내에서는 주의해야 함



그림 2 보목항 선적의 5.31톤 불레호 배기구 현황

2) 국제 항해 선박



그림 3 발틱 운임 지수 [5]

- IACS 규정으로 설계, 건조, 감리, 운영됨
- 일반 상선의 주기 연료는 경제성을 고려하여 현재까지 벙커 C유가 대부분이었으며, SOx 규정을 회피하는 세 가지 방법 가운데 어느 하나도 선주들로부터 특출한 선호 현상을 보이고 있지 않음
- 하지만, 세계적인 항로를 유지해야 하는 선사들은 주기 연료의 공급선과 전체적인 유지 비용 등을 고려하

기 시작함

- 한편 IMO의 환경 규제 영향이 예상보다 크지 않을 것이라는 예측도 있음. 즉 IMO는 비용 부담과 인프라 부족 등을 이유로 BWTS 규제를 연기했었고, 여기에 IMO 규제는 반드시 준수해야 할 의무는 없음
- 또한 'IMO 2020'의 적용을 눈앞에 두고서, 기존선의 폐선율이 2010년 이후 최저 수준임을 감안 시, 신조 시장에 미치는 영향이 미미할 것이란 전망도 있음

[그림 3]

3. 결론

서론에 언급한 파리기후변화협약에 대해 11월 5일 미국 정부는 공식 탈퇴를 위한 절차에 돌입했다. 미국이 중국, 인도 등에 비해 너무 가혹한 규제를 받는다면 2017년 6월 협약 탈퇴를 선언한 데 따른 것이다.

하지만 트럼프 대통령의 탈퇴 선언에도 불구하고 파리협약 규정상 공식 탈퇴 절차를 밟기 위해 2년 5개월을 기다렸던 미국은 이날 시작된 탈퇴 절차가 마무리되더라도 1년 뒤에야 탈퇴 효력이 발휘되며, 이는 미국 46대 대선 다음 날이다. 이에 민주당은 대선 승리 시 파리협약 탈퇴를 되돌려 놓겠다고 공언한 상태이다.

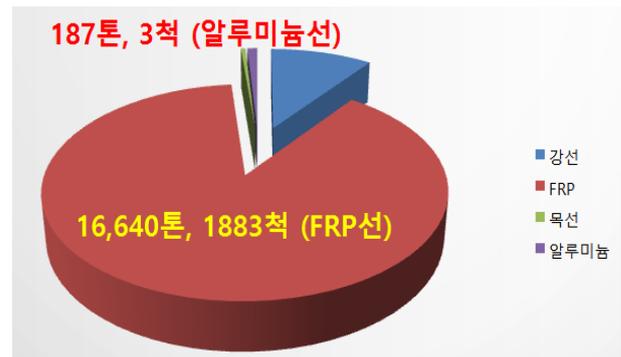


그림 4 2016년도 톤수 [6]

이렇듯 파리기후변화협약의 효과를 의심하는 주장대로 현재의 상태를 이전으로 되돌릴 수 있을 지에 대한 보장은 어느 누구도 할 수 없을 지라도, 후손들에게 넘겨 줄 환경에 대한 개선 노력을 기울여야 하는 것이 현 세대인 우리 의무이며, 참고로 2016년 제주도에 등록된 선박 현황을 [그림 4]에 나타내며 글을 맺는다.

참고 문헌

- [1] NAVER 지식백과 [파리기후변화협약, 시사상식사전], <https://terms.naver.com/>
- [2] 뉴시스 ['수마' 가 할퀸 베네치아 산마르코 대성당...기둥 · 바닥 훼손 심각, 동아일보], <http://www.donga.com/>
- [3] IACS Req.2010 ['Requirements concerning STRENGTH OF SHIPS' , IACS], <http://www.iacs.org.uk/>
- [4] CSR 2015 ['Ch 4 Loads/2.2 Vertical still water bending moment, IACS], <http://www.iacs.org.uk/>
- [5] 류지민 ['BDI 5년래 최고치 경신에 웃는 해운주-벌크선 시황 호조에 팬오션, 대한해운 호호, 매일경제TV], <http://mbnmoney.mbn.co.kr/>
- [6] 제주특별자치도 ['2017년 통계연보' , 제주지역통계], <http://www.jeju.go.kr/>



류 기 수

- 1968년생
- 1992년 서울대학교 조선공학과 졸업
- 현 재 : (주) 에이블이엔씨 상무이사
- 관심분야 : 선박/해양구조물/크레인 기본설계, 특허컨설팅, 해수담수화 개념설계, 소형보트 EPC
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : ksryu@ableenc.co.kr



정 사 교

- 1978년생
- 2006년 강원대학교 토목공학과 졸업
- 현 재 : (주) 에이블이엔씨 대표이사
- 관심분야 : 해양구조물/육상플랜트 엔지니어링, 플랜트컨설팅, 해수담수화 사업화, 소형보트 EPC
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : skjeong@ableenc.co.kr



이 상 호

- 1993년생
- 2018년 한국해양대학교 조선해양공학부 졸업
- 현 재 : (주) 에이블이엔씨 사원
- 관심분야 : 해양구조물/육상플랜트 엔지니어링, 해수담수화 개념설계, 소형보트 EPC
- 연 락 처 : ***-****-****
- E - mail : shlee@ableenc.co.kr