

1. 서론

1.1 전 지구적 아젠다, 기후변화

지난 2015.12월 프랑스 파리에서 개최된 제21차 유엔 기후 변화협약(UNFCCC) 당사국 총회(COP21)에서는 의미 있는 성과가 도출되었다. 196개 협약 당사국은 지구 온도를 산업혁명 이전(1750년 기점)보다 최대 1.5°C 이상 높아지지 않게(또 다른 의미로 2°C 이내보다 상당히 낮은 수준으로 유지하기 위해) 노력하기로 한 것이다.

산업혁명 이후 지구 온도는 약 0.85°C 상승하였는데, 이러한 온도 상승의 Cap은 전 지구적 아젠다인 기후변화 대응을 위한 국가별, 산업별 적정 온실가스 배출량을 추산할 수 있는(그리고 할당 할 수 있는) 근거가 되는 중요한 요소에 해당되어 많은 관심이 집중되었다.

장기간에 걸쳐 지속되면서 기후의 평균상태나 그 변동 속에서 통계적으로 의미 있는 변동(주로 인위적인 원인에 의해)을 일컫는 기후변화에 대응하기 위해 지난 1988년 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 설립에 이어 1992년 브라질 리우에서는 유엔기후변화협약이 체결되었다. 이후 1995년부터 매년 협약 당사국 총회를 개최함으로써 기후현황과 변화, 온실가스 감축수준과 방식 등을 논의하였다. 1997년 교토에서 개최된 제3차 당사국회의에서는 선진38개국 온실가스 배출량 감축을 위한 교토의정서가 채택되었으며 이는 2005.2.16일 발효되어 2020.12.31일까지 효력을 지닌다.

포스트 교토체계의 새로운 프레임으로서 협약 당사국의 비준을 거쳐 2021.1월부터 발효될 예정으로 협약 당사국 55개국 이상의 비준과 비준국가의 배출량의 전체 배출량의 55%를 넘어야 한다.(2016.4월 각국 서명 개방)

1.2 선박의 에너지효율 산정

선박이나 항공기와 같이 국가별 의무를 특정하기 어려운 분야는 교토의정서에 따라 해당 국제기구에서 별도의 감축률과 시기를 결정하도록 일임함으로써 국제항행에 종사하는 400GT이상의 선박은 국제해사기구(IMO)에서 다루게 되었다.

교토의정서가 발효된 2005년부터 IMO는 해양환경보호위원회(MEPC)를 통해 현존선에서 배출되는 온실가스 배출량을 계측하기 위한 잠정기준 개발을 시작으로, 신조선과 시장기반조치 등의 논의가 공식 의제로 채택되었다.

신조선의 기술적 논의가 본격화되기 시작한 MEPC58차(2008.10월) 직전 덴마크는 (환경) 비용과 (사회) 편익에 대한 분석을 통해 신조선박 이산화탄소 배출량 계산식을 아래와 같이 제출, 이후 에너지설계효율지수(EEDI)로 확정되었다.

$$Attained\ design\ CO_2\ index = \frac{Environmental\ cost}{Benefit\ for\ society} = \frac{C_F \cdot SFC \cdot P}{Capacity \cdot V_{ref}} [g / ton \cdot nm]$$

$$\frac{\sum_{j=1}^M f_j \sum_{i=1}^{NME} C_{F,MEi} \cdot SFC_{MEi} \cdot P_{MEi} + \sum_{k=1}^L f_k \sum_{i=1}^{NAE} C_{F,AEi} \cdot SFC_{AEi} \cdot P_{AEi}}{Capacity \cdot V_{ref}}$$

이후 상기 수식은 수차례 논의와 수정을 거쳐 해양오염방지협약(MAPPOL AnnexVI) 개정을 통해 MEPC62차(2011.7월)에서 최종 채택, 2013년 건조선박부터 단계적인 시행을 거치게 되었다. 특히 최종 EEDI 수식에는 각종 보정계수(fi, fj, fc, fw, fiivse 등)도입과 함께 에너지 저감장치 등을 포함한 혁신적 기술 적용에 대한 급부가 반영 되었다.

$$\frac{\left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{NME} P_{MEi} \cdot C_{MEi} \cdot SFC_{MEi} \right) + (P_{AE} \cdot C_{AE} \cdot SFC_{AE}) - \left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{NME} P_{MEi} \cdot C_{MEi} \cdot SFC_{MEi} \right) \cdot C_{cor} \cdot SFC_{cor} - \left(\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{NAE} P_{AEi} \cdot C_{AEi} \cdot SFC_{AEi} \right) \cdot C_{cor} \cdot SFC_{cor}}{f_i \cdot f_j \cdot Capacity \cdot V_{ref}}$$

다음 단계는 특정기간(1999.1월~2009.1월) 인도된 선종 별로 아래 추정식을 이용하여 회귀분석을 수행한 후 기준값(Reference Line Value)을 도출하는 것이다. 이 역시 덴마크가 제안한 기본 개념을 사용하였는데 이 값에 시기별 감축률을 적용하면 신조선 만족해야하는 EEDI 값을 구하게 된다.

$$Estimated\ Index\ Value = 3.1144 \cdot \frac{190 \cdot \sum_{i=1}^{NME} P_{MEi} + 215 \cdot P_{AE}}{Capacity \cdot V_{ref}}$$

협약 개정당시 총 7개 선종에 더해, LNG 운반선, 로로선 및 여객선 등 5개 선종의 추가 작업을 통해 MEPC66차(2014.4월)에서는 이들을 포함한 총 12개 선종에 대한 감축률과 적용시기 등이 확정되었다.

2. 본 론

2.1 끝나지 않은 논의

지난 2013.1월 협약 시행으로 국제해사산업계를 포함한 각국 정책과, 기술 개발 등이 활발해지고 있다. 협약 규칙에 따라 IMO 사무국은 EEDI Phase'1' 시작 시점(2015.1월)과 Phase'2' 중간(2022.7월) 시점에 협약 이행 적정성 조사를 위한 통신작업반(EEDI Review Process CG)을 구성하였다.

MEPC67차(2014.10월) 직후 구성된 작업반은 협약에서 정하고 있는 적용 단계(Phase), 기준선(Reference Line) 및 감축률(Reduction factor) 등의 실태를 파악, 다음 해당 단계 적용 시 필요한 협약 개정 여부를 파악하게 된다.

IMO 사무국은 이를 위해 2013년을 전후한 시기에 인도된 선종별 EEDI 현황을 각 기국 및 해당 선급 등으로부터 취합, 데이터베이스화하여 작업반을 포함한 회원국 등에 제공함으로써 개별 검토 사안들의 연관관계 및 에너지효율향상 기술을 식별, 분류하기 위한 작업을 진행하였다.

표 1 선종별 EEDI 감축 현황

선종	적용단계	척수	감축률(%)
Bulk Carrier	Non-mandatory	91	14.49
	Phase '0'	212	19.37
Tanker	Non-mandatory	145	17.85
	Phase '0'	66	26.68
Containership	Non-mandatory	77	28.40
	Phase '0'	30	38.16
Gas Carrier	Non-mandatory	7	15.13
	Phase '0'	28	27.55
General Cargo	Non-mandatory	11	9.83
	Phase '0'	9	43.61

출처 : MEPC69/5/5(2016.1), Interim Report of CG on EEDI review required under MARPOL AnnexVI, 협회 재인용

적용 대상 6개 선종 682척(2015.10.28일 현재)에 대한 조사 및 DB 구축을 통해 대부분의 조사대상 선종이 특별한 에너지 저감 혁신기술의 적용 없이도 이미 2020.1월부터 적용되는 Phase'2'를 만족하고 있음을 알 수 있다.

위 결과는 협약이 이행되는 Phase'0' 단계부터 EEDI를 만족하기 위한 노력들이 더욱 집중되었음을 보여준다. 특히 현재 EEDI 수식의 분자 항목중 네 번째, 다섯 번째 항목인 에너지 저감기술의 특별한 적용 없이 만족했음을 주목해야 한다.

상기 결과에 따라 현재 협약에서 정하고 있는 Phase'2'에서의 감축률 상향(2020.1월 이후 건조선박, 현재 대부분 선종은 20% 감축률)에 대한 주장 등이 제기될 수 있다.

하지만 이는 기술적으로 이미 예견된 사안으로 그 근거 중 하나가 기준선을 정할 때 사용된 추정식에서 주기관과 보조기관의 SFC값을 각각 최근 190과 215로 결정하였기 때문이다.

또한 작업반 중간보고서에서는 대부분의 선종에서 (새로운 혁신기술의 적용보다는) 주기관 출력과 선속 감속으로 EEDI를 만족시키는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있으며 이는 실제 해상 운송에서의 Transport work(톤마일 개념으로 EEDI 수식의 분모항에 해당)의 감소로 이어져 결국 실질적인 에너지 효율 향상이 아닌 문자 그대로의 'Paragraph Ship' 건조가 증가하고 있음을 지적하고 있다.

이와 관련하여 작업반은 EEDI 향상방안에 대한 선종(Type)-선형(Size)별 적용가능 기술과 개발 시점 등을 제시한 MEPC60차(2010.3월)일본 제안 문서(MEPC60/4/36)를 기반으로 검토를 진행하였는데 결국 EEDI 감축률을 결정하는 논의 초기부터 Review Process 전반에 걸친 논의를 일본이 주도하고 있음을 알 수 있다.

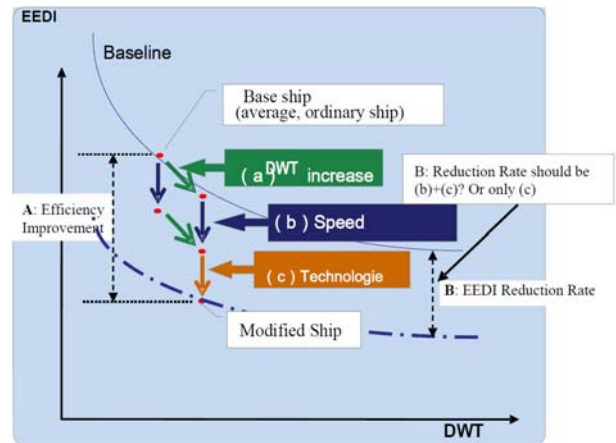


그림 1 EEDI 향상 적용 방법

현재 IMO 사무국은 EEDI로 인한 실질적인 해상운송의 Transport work 실태를 파악하기 위해 기존 EEDI DB 수집자료 외에 선속과 주기관 출력은 물론 선박 주요치수 등을 포함시키기 위한 논의 등을 진행 중에 있다.

이상의 논의 등은 오는 4월 개최되는 MEPC69차에서 주요 의제로 채택, 논의될 예정으로 향후 에너지효율향상을 위한 다양한 신기술의 채택 및 이를 위한 검증 절차 개발 등이 계속 될 전망이다.

2.2 무엇에 집중할 것인가

향후 EEDI를 중심으로 한 선박의 에너지효율 이슈는 선박 성능 향상을 위한 다양한 기술개발 및 제품수요로 이어질 전망이다. 특히 실 해역 상태에서의 선박성능 향상과 이에 대한 검증 그리고 선박안전과 연계되는 이슈들이 논의의 중심이 될 것으로 예상된다.

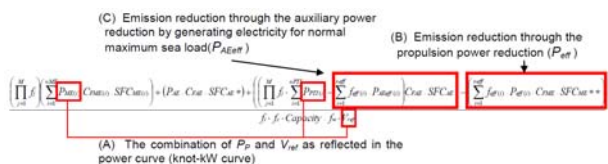
최근 일본의 한 조선소는 국립해상기술안전연구소(NMRI)와 함께 38K 화학제품운반선을 대상으로 EEDI 날씨보정계수(f_w)에 대한 인증을 선급으로부터 획득하였다. 이미 지난 해 19K와 35K에 이어 세 번째에 해당된다.

앞서 잠시 언급한 다양한 보정계수 중 f_w 는 EEDI 요소 중 조선업계에 가장 민감한 선속 이슈에 해당되며, 선박 설계 시 계획 선속(Calm Sea Condition)이 실 해역 운항상태에서 구현되는 실제 선속(Representative Sea Condition, BF6)과의 비율을 표시함으로써 각 조선소가 인도한 선박 성능에 대한 바로미터가 될 수 있다.

$$f_w = V_w / V_{ref}$$

일본이 제안한 f_w 의 강제화는 설계 단계에서의 EEDI 값을 운항상태까지 확장하는 문제 제기 등으로 인해 현재 잠정계산 지침 개발 이후 선택적 계산항목으로 EEDI Technical File에 기재하게 되어있다. 하지만 향후 실 해역 운항상태에 대한 실선 성능을 기반으로 한 운항적 조치(EEOI, SEEMP 등)의 강제화가 이루어 질 경우 에너지효율기술의 검증 절차 개발과 함께 상당한 영향력을 미칠 것으로 예상된다.

또 다른 주요 이슈는 혁신적인 에너지저장기술(또는 장치)의 객관적 계산 방법 및 검증 절차에 관한 것이다. EEDI 수식의 분자 항목 중 네 번째와 다섯 번째에 해당되는 즉 (-)의 부호를 갖는 요소들로 새로운 기술 채택에 의한 에너지효율 향상에 대한 보상을 언급한 항목이다. IMO는 에너지저장기술을 세 가지 범주(Category A, B, C)로 분류하여 다음과 같이 도식화하였다.(MEPC.1/Circ.815, 2013.6)



선박이 소모하는 추진 및 전력 생산에 필요한 에너지를 저

감시켜 주는 각종 기술의 효과에 대한 검증으로 국내 산업계에서도 기 개발 중인 각종 에너지저장장치(ESD)인 CRP, Air Lubrication System, WHRS 등이 이에 해당된다.

표 2 에너지효율향상기술의 분류

Innovative Energy Efficiency Technologies				
Reduction of Main Engine Power			Reduction of Auxiliary Power	
Category A	Category B-1	Category B-2	Category C-1	Category C-2
Cannot be separated from overall performance of the vessel	Can be treated separately from the overall performance of the vessel		Effective at all time	Depending on ambient environment
	$f_{eff} = 1$	$f_{eff} < 1$	$f_{eff} = 1$	$f_{eff} < 1$
- low friction coating - bare optimization - rudder resistance - propeller design	- hull air lubrication system (air cavity via air injection to reduce ship resistance) (can be switched off)	- wind assistance (sails, Flettner-Rotors, kites)	- waste heat recovery system (exhaust gas heat recovery and conversion to electric power)	- photovoltaic cells

마지막으로 선박 안전 관련 이슈로 EEDI로 인한 저속 운항이 확대되면서 황천상태에서의 최소추진출력문제가 공식 논의되기 시작하였다. IACS는 회기분석평가와 파랑 중 부가저항 등의 계산을 통한 단순평가 방법을 적용한 잠정지침서를 개발, Phase'0'단계 적용을 거쳐 MEPC67차('14.10월)에서는 Phase'1'단계 까지 확대적용하기로 결정되었다.

그러나 그리스의 추진 출력과 EEDI 상관 관계 등의 영향분석에 따라 회기분석평가를 강화하는 지침서 개정이 MEPC68차(2015.5월)에 승인되었다. 현재 논의는 유럽(SHOPERA)과 일본(JASNAOE)의 R&D 프로젝트를 통해 지속되고 있으며 해당 결과는 Phase'2' 적용을 위한 지침서 개정 예정이다.

표 3 개정된 최소추진출력기준의 선종별 영향 분석

Minimum Power Line Value = a × (DWT) + b							
	Bulker(a, b)	Tanker(a, b)	(%)	50K	100K	150K	250K
Res.MEPC255(67)	(0.0687, 2924.4)	(0.0689, 3253.0)	Tanker	37.7	23.0	15.8	8.7
Res.MEPC263(68)	145K > (0.0763, 3374.3)	(0.0652, 5960.2)	Bulker	13.0	12.4		
	145K < (0.0490, 7329.0)					11.0	-2.6

* The revised guidelines take effects 6months after the adoption at MEPC68

위에 언급한 추가 주요 이슈들의 공통점은 선속임을 알 수 있다. 즉 에너지효율향상과 선박성능지표의 최종 단계에서는 항상 선속이 등장하는데, IMO 검증지침서에서도 선속은 유일하게 2단계(Design, Sea trial) 검증을 요구하고 있다.

특히 상선 건조 경험을 앞세워 EEDI 논의 초기 우리나라가 기준선속 검증 방법으로 제안한 ISO15016:2002에 대한 논의 끝에 STAIMO를 바탕으로 한 ITTC-ISO 공동 개발이 결정되었다. 이후 ISO15016:2015 개정(2015.4월)이 이루어져 지난 2015.9월 이후 적용되고 있으며 우리 협회는 선박해양플랜트 연구소(KRISO) 위탁연구를 통해 기준선속 해석프로그램을 개발 완료하였다.

3. 결론

선박의 온실가스규제가 에너지효율 문제로 전이되면서 기술적조치(EEDI)와 운항적 조치(EEOI, SEEMP)로 크게 대별되고 이에 추가적으로 경제적인 시장기반조치(MBM)논의가 진행되었으나 현재까지 강제화 된 사안은 기술적 조치에 해당되는 EEDI와 운항적 조치인 SEEMP(이 역시 비치만 강제화)에 머물러 있다.

최근 국제해사산업계는 에코십에 더해 빅데이터를 활용한 효율적 운항관리 및 iShipping에 주목하고 있음을 알 수 있다. 이는 기존 EEDI라는 신조선 기술개발 영역이 유럽의 MRV 도입과 현존선의 에너지효율 규제라는 IMO 정책에 투영되어 실선 운항효율을 최적화하기 위한 수단으로 IT 기술과 접목되고 있음을 보여주고 있다. IACS 등의 선급 단체 등은 이에 더해 각종 센서 및 통신기기의 신뢰성과 보안(Security) 이슈에 집중하고 있다. 사실 이러한 흐름은 협약 반영 이전에 산업계 니즈에 의해 유인된 측면도 강하지만 최근 보호도장성능기준(PSPC), 선속해석(EEDI) 등 산업계의 사적 계약에 의한 기술적 관행 등이 점점 국제규정-표준화 되면서 투명성과 지적재산권 상호 간의 갈등이 빚어지는 원인이 되기도 하고 있다.

표 4 2015 Tripartite Meeting 의제

No.	Agenda
1	New Design, technologies & Innovations
2	iShipping & Efficiency
3	Monitoring Ship Performance
4	Machinery & Installations

※ 상기 주제를 중심으로 총 24개의 주제발표 진행

실질적인 EEDI 감축률 이행으로 인한 에너지효율 이슈와 연계된 IMO 환경 정책 및 규제와 맞물린 친환경선박 개발 수

요가 새로운 산업계의 패러다임으로 자리 잡고 있다. 또한 친환경선박에 대한 다양한 정의와 의견 등이 제시되고 있으나 결국 선박생애주기 동안 소모 되는 자원 및 배출되는 잉여물을 최적화함으로써 경제적 효용을 극대화하는 선박이 이에 해당된다고 볼 수 있을 것이다. 이를 어떻게 차별화 할 것인지 그리고 보다 세밀하고 정교한 정책 수립을 어떻게 이끌어 낼 것인지에 대한 진지한 고민이 (대응이 아닌 주도의 입장에서) 요구되는 시기이다.

참고 문헌

국제해사기구(IMO), 결의서 Resolution,MEPC,263(68), Amendments to min. propulsion power(2015)
 국제해사기구(IMO), 해양오염방지협약(MARPOL) 부속서 개정안 (2014)
 국제해사기구(IMO), 결의서 Resolution,MEPC,245(66), EEDI Calculation Guidelines(2014)
 국제해사기구(IMO), 회람문서 Cir.815, 2013 Guidance on innovative technologies(2013)
 국제해사기구(IMO), 회람문서 Cir.796, Interim Guideline for fw(2012)



김 성 현

- 1972년생
- 1997년 인하대학교 선박해양공학과 학사
- 현 재 : 한국조선해양플랜트협회
기술지원팀 차장(조선기술사 & MBA)
- 관심분야 : 국제협약표준, 기술기획 및 지식재산권
- 연 락 처 : 02-2112-8066
- E - mail : shkim@koshipa.or.kr

**대한조선학회논문집(한국연구재단 등재학술지)에
회원 여러분들의 많은 논문 투고를 부탁드립니다.**