

IMO의 선박기인 CO₂ 배출 규제 동향 및 고찰

정 노 택[†]
울산대학교 조선해양공학부

Recent International Development on the Technical and Operational Measures of IMO's CO₂ Emission Control From Ships

Rho-Taek Jung[†]

School of Naval Architecture and Ocean Engineering, University of Ulsan

요 약

국제해사기구의 해양환경보호위원회에서 CO₂ 배출량 감축의 지구적 노력에 동참하기 위해 최근 선박에서 대기로 방출하는 CO₂의 양을 지수화 하고자 하는 논의가 활발히 진행 중이다. 그 대표적인 지수로서 신조선 설계·건조시에 적용하는 에너지 효율지수(EEDI : Energy Efficiency Design Index for new ships)와 현재 또는 건조 후 항행시에 운항선에 적용되는 에너지 효율지표(EEOI : Energy Efficiency Operational Indicator), 그리고 운항선의 에너지 효율관리 계획(SEEMP : Ship Energy Efficiency Management Plan) 등이다. 본 지수는 선박을 설계·건조시부터 각 선박당 CO₂의 배출값을 산정하고 운항시에도 CO₂배출을 개량하고 이를 감축하는 방안을 모색하도록 유도하는 조치가 될 것이다. 향후 3년내에 발효될 수 있는 임박한 CO₂선박 배출 규제를 조사 분석하고 향후 발전방향을 모색해 보고자 한다.

Abstract – Since 2003, policies and practices related to the reduction of CO₂ gas emission from ships has been discussing by the International Maritime Organization. The representative emission index and indicator are the EEDI (Energy Efficiency Design Index) for the new ships and EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) during the voyage. For the CO₂ emission monitoring system, the SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) is also on the table. This global preparations to reduce the CO₂ emission is not except for the surface transportation. This research report elucidates the recent stream on the IMO CO₂ emission from ship and detail explanation on the EEDI and EEOI.

Keywords: 이산화탄소 배출(CO₂ emission), 신조선 에너지 효율지수(EEDI), 운항선 에너지 효율지표(EEOI), 에너지 효율관리 계획(SEEMP)

1. 서 론

선박에 있어서의 온실가스¹⁾(GHG : Greenhouse Gas) 배출규제는 2003년도 국제해사기구(IMO : International Maritime Organization)의 23회 총회를 통하여 「선박에서 발생하는 GHG 저감에 관한 IMO 정책 및 실행」(IMO[2003])이 채택되면서 논의가 본격적으로 시작되었다. IMO 산하의 해양환경보호위원회(MEPC : Marine Environmental Protection Committee)에서는 국제 해운에 종사하는 선

박으로부터 온실가스 배출 제어를 위한 전문가 작업반(WG : Working Group)을 구성하여 국제조약에 의한 온실가스 배출규제의 구속력을 갖추고자 논의를 현재 진행 중이다.

운송량의 증가는 GHG 배출 증가로 이어진다는 것은 두말 할 나위도 없다. 선박의 운항시 2010을 100으로 보고 40년 후에 CO₂ 배출량의 장래예측을 살펴보면, 현재 국제 해상 물동량을 년 3.0%의 지속적인 증가세로 가정 할 경우, 40년 후인 2050년에는 100×1.03⁴⁰=326으로 물동량이 2010년에 비하여 3.26배가 증가 한다는 계산이 나온다. 동시에 운송효율을 개선하지 않는다면 CO₂의 배출량도 3.26배로 증가하게 된다는 의미이다. 2013년부터 적용되는 포스트 교토의정서에 「CO₂ 총배출량을 기준년도를 바탕으로

[†]Corresponding author: rtjung@ulsan.ac.kr

¹⁾여기서 의미하는 온실가스는 교토의정서에서 정한 6종의 온실가스(CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆)중 CO₂에 중점을 둠.

2050년에 반으로 감축」하는 가칭 포스트 교토의정서가 선박운항의 경우에 적용된다고 가정하면, 톤마일²⁾(ton·nmile)당 50%/3.26=15.3%로 약 85% CO₂ 배출감소라고 하는 매우 부담되는 수치가 나온다. 향후 국제해상운송량의 증가에 따라 선박에서 기인되는 CO₂의 배출량의 규제는 외항선에 있어서 아주 주요한 도전과 동시에 기회임에 틀림없다.

현재 IMO에서는 선박의 CO₂ 배출성능(=연비성능)을 표시하는 지표로 2종류를 개발중이다(MEPC/Circ.681[2009], MEPC/Circ.684[2009]). 첫 번째는 신조선을 설계·건조 하는 경우에 적용하는 신조선 에너지 효율지수(EEDI : Energy Efficiency Design Index for new ships), 두 번째는 항행을 하고 있는 운항선의 에너지 효율지표(EEOI : Energy Efficiency Operational Indicator)이다. 이 두지수는 다음 장에 자세히 설명한다. 이 지수의 근본적 개념은 비용대비 환경경비로 식 (1)에 나타내었다. 비용이라 함은 ton·nmile 당 운송활동을 의미하고 환경경비는 CO₂ 배출량을 의미한다.

$$EEDI와 EEOI개념 = \frac{\text{환경경비}(CO_2 \text{ 배출량}g)/\text{사회이익}(\text{운송량 } ton \text{ nmile})}{\text{비용}} \quad (1)$$

여기서 분모의 사회이익은 화물량(ton)과 운송거리(nmile)을 의미한다. 지수는 아니지만 운항중의 CO₂ 배출 모니터링에 대한 운항선의 에너지 효율관리 계획(SEEMP: Ship Energy Efficiency Management Plan)도 EEOI의 구체적 실행 계획으로서 논의중에 있다(MEPC/Circ.683[2009]) SEEMP에 대해서는 이후 자세히 설명한다.

또한 IMO는 MEPC를 중심으로 선박에서부터 해양오염을 방지하는 국제조약(MARPOL: International Convention for the Prevention of Marine Pollution from Ships)의 부속서 VI(대기오염방지)에 새롭게 「선박에서 부터의 CO₂배출규제」를 신설하려고 구체적으로 활동하고 있다. 본 규칙의 기본방침으로서는(MEPC/Circ.681[2009]),

- (1) 총톤수 400톤 이상의 신조선에 대해서 신조선 에너지 효율 지표(EEDI)의 계산을 의무화 함
- (2) 총톤수 400톤 이상의 전체의 선박에 SEEMP의 유지를 의무화 함
- (3) 어느정도 규모가 되는 대형 조선소의 신조선에 대해서 신조선에너지효율지표(EEDI)의 저감기준을 설정함

등이다. 본 기본방침하에 국제사회는 MEPC를 중심으로 움직이고 있으며, 2011년도 7월에 개최되는 MEPC 62차에 선박 기인 CO₂ 배출지표의 논의를 보다 구체화 및 각국의 의견을 조율 할 예정이다. 아래 2장부터 현재까지 논의된 사항과 논의되고 있는 사항을 구체적으로 기술하였다.

2. 신조선 에너지 효율지표(EEDI)

선박의 연비지수라고 불리어 지는 신조선 에너지 효율지표(EEDI)는 식 (1)에서 나타낸 B/C(비용 대비 편익)의 개념을 도입하여 식 (2)

²⁾화물량 1톤을 1 nautical mile(nmile) 운반할 때를 의미 함.

에 나타내었다. 본 지표의 수치가 높을수록 CO₂를 많이 배출하는 것이다. 각 요소에 대한 자세한 단위는 식 (3) 이후에 구체화 하였다.

$$EEDI = \frac{CO_2\text{환산계수} \times \text{연료소비율} \times \text{기관출력} \times CO_2\text{저감기술인자}}{\text{화물량} \times \text{선속}} \quad (2)$$

(g CO₂/ton·nmile)

선박의 설계자료로부터 운송능력(톤마일)당 CO₂ 배출량(g)을 지표로 표시하는 것으로 선박의 CO₂ 배출에 관한 카타로그 성능을 평가하는 것을 목적으로 하고 있다. 식 (2)에 추가해서 분자항에 CO₂ 감소기술 적용시에 따른 CO₂ 인자항을 고려해야 한다고 제시하고 있다. 즉, 감소기술을 통과전과 통과 후의 CO₂비($R = Q_{OUT}/Q_{IN}$)의 고려가 필요하다는 것이다(MEPC 61). 식 (3)에 R의 항으로 표현되어 있다.

EEDI를 저감하는 방법으로서 식 (2)를 설명하자면 다섯가지 항 중 분자의 세항은 저감을 분모의 두 항은 증가를 고려해 볼 수 있다.

- (1) CO₂ 환산계수를 저감
- (2) 계획연료소비율을 저감
- (3) 계획기관출력을 저감
- (4) 계획화물량을 증가
- (5) 계획선속을 증가⁴⁾

식 (2)에 나타난 인자들을 보다 구체적으로 표현하면 식 (3)과 같이 분자항에서는 계수들의 곱과 주기관(ME: Main Engine)에 대한 항과 보조기관(AE: Auxiliary Engine)의 항으로 나눈 합으로 나타내고 있으며, 분모인 Capacity는 화물선일 경우는 재화중량(DWT)으로, 가스운반선일 경우는 탱크의 용적으로, 컨테이너선일 경우는 TEU 또는 DWT(DWT의 65%)로, RO-RO 여객선일때는 총톤수(GT)로 나타낸다.

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{NME} C_{FMEi} SFC_{MEi} P_{MEi} \right) (R_{MEi}) + \left(\prod_{k=1}^L f_k \right) \left(\sum_{i=1}^{NAE} C_{FAEi} SFC_{AEi} P_{AEi} \right) (R_{AEi})}{Capacity \times V_{ref} \times f_w} \quad (3)$$

V_{ref} 는 계획 최대 항속 속력(nmile/hour)이며 최대 연속 출력(MCR: Maximum Continuous Rating)의 75%일때의 속력을 말한다. f_w 는 실해역에서의 속력저감계수를 나타내는 계수로서 실해역에서의 성능이 좋은 선박 설계의 가치를 부여하는 값으로 분모를 구성한다. 이 f_w 의 값을 얻기 위해서 파랑중의 선박성능 시뮬레이션을 통해서 언거나 실해역에 있어서 속도저하 경험치를 바탕으로 표준 f_w 를 사용해도 좋으나 아직 f_w 의 지침이 확정되지 않은 상태이다. 마련될 때까지 그 값으로 1.0으로 둔다. f_i 및 f_k 는 선종 특유의 수정계수로 이 또한 현재 논의중이며, 빙해지역을 운항하는 선박일 경우에만 계산된 값³⁾를 쓰며 그 이외는 1.0으로 둔다. C는

³⁾카타로그 성능이란 자동차로 예를 들면 카타로그 연비 30 km/liter와 같은 개념임.

⁴⁾EEDI의 개념상 선속이 분모에 위치한다. 선속은 분자의 기관출력과 밀접한 관계가 있으며, 선속을 줄이는 것이 EEDI에 긍정적인 측면이 있음(2.1의 하단부분에 설명).

⁵⁾HELCOM Recommendation 25/7.

Table 1. Carbon content of the fuel

Type of Fuel	CO ₂ 환산계수 (t-CO ₂ /t-fuel)	비교치 (DO 기준)	발열량 (MJ/kg)
Diesel Oil/Gas Oil	3.206	100.0 (1.0)	42.7
Light Fuel Oil	3.151	98.3 (-1.7)	41.3
Heavy Fuel Oil	3.114	97.1 (-2.2)	40.6
LPG(Propane)	3.000	93.6 (-6.4)	37.5
Liquid Natural Gas(LNG)	2.750	85.8 (-14.2)	32.1

연료의 CO₂ 환산계수(gCO₂/gFuel)를 나타내고(Table 1 참조), SFC는 기관의 연료소비량(g/kWh)을 나타내는 것으로 EIAPP(Engine International Air Pollution Prevention Certificate)증서에 나타나 있는 수치를 활용⁶⁾하며, P는 기관의 출력(kW)을 나타내어 주기와 보기의 합이 분자를 구성한다. 주기출력은 최대연속출력(MCR Maximum Continuous Rating)은 위에서 언급했듯이 75%로 둔다. 보조기관의 경우는 주기출력 P_{ME} 가 10,000 kW이상의 경우에는 $(0.025 \times \Sigma MCR)$ 으로 10,000 kW 이하일때는 $0.05 \times \Sigma MCR$ 로 계산한다. R은 CO₂ 감소기술 적용에 따른 CO₂의 비로서 적용되지 않은 경우에는 1.0의 값을 둔다. 따라서 최종적으로 신조선의 톤·마일당의 CO₂ gram 수가 CO₂ 배출지수로 표현되어 신조선 에너지 효율(설계)지수(EEDI: New Ship Energy Efficiency Design Index)가 도출된다.

또한 주축발전기(Shaft Generator)가 있는 경우의 동력산정 방법이라든지, 전기모터 추진일 경우에 EEDI 산정법등은 현재 논의가 진행 중이다. 그리고 선급협회연합(IACS: International Association of Classification Societies)의 공통구조규칙(CSR: Common Structure Rule) 적용으로 EEDI에 추가적으로 보정계수의 필요성등 종래의 CO₂ 지수가 박용엔진 중심에서 논의되었다면 선박 선형설계 및 구조설계의 입장을 포함해서 종합적인 논의가 활발히 진행 중임을 짐작할 수 있다.

2.1 EEDI 인자간 상호관계

식 (2)을 구성하는 5개의 인자중 주요인자에 대해서 검토하고자 한다. 첫 번째, 연료 1g을 연소시킬 때 발생하는 CO₂의 배출량(g)으로 표시하는 CO₂ 환산계수는 대략적으로 연료유의 3배정도이다. 아래 Table 1에 각종 연료유에 대한 CO₂ 환산계수를 나타내었다. DO(Diesel Oil)를 사용할 경우와 주로 선박에 이용되는 HFO(Heavy Fuel Oil)를 사용할 경우에는 CO₂ 발생 환산계수가 2.9 포인트 적게 되어 이 자체만 본다면 HFO사용이 유리해 보인다. 그러나 단위중량당 발열량이 DO가 42.7 MJ/kg과 HFO 40.6 MJ/kg을 비교하면 HFO는 DO에 비해 95%정도 이므로 동일 열효율 및 기관 출력을 가정하면 CO₂ 발생량은 이하의 관계식으로부터 얻을 수 있다.

$$\text{CO}_2 \text{ 발생량} = \text{CO}_2 \text{ 환산계수} \times \text{연료소비량} \quad (4)$$

다시 연료소비량은 기관출력/(열효율×연료발열량)으로 구할 수 있으며 연료발열량에 따른 연료소비량을 비교하기 위해서 열효율

⁶⁾연료소비량의 대표적인 값은 주기관 190 g/kWh, 보조기관은 215 g/kWh 임.

과 기관 출력을 동일시 했을 때, $(3.114/40.6)/(3.206/42.7)$ 또는 97.1%/95.0%로 약 1.022가 되어 HFO를 사용하면 2.2포인트 불리한 값을 가지게 되는 것이다(Table 1 참조, Table 상에 마이너스로 표현). 한편 최근 주목받고 있는 연료는 LNG연료이다. 발열량의 환산에 주의해야 할 필요가 있었으나 환산계수를 보면 LNG로 변경하는 것으로 약 15%의 CO₂ 배출저감을 기대 할 수 있다. 이것은 LNG가 CO₂ 배출이 적은 연료로서 주목을 받고 있는 이유이다. 또한 LNG를 주연료로 사용하도록 계획되었다 하더라도 DO도 함께 사용할 수 있도록 설계된 경우 EEDI는 DO를 기준으로 산출하고 운항지표인 EEOI에 실제 운항시의 연료인 LNG를 기본으로 하는 산출이 별도로 필요할 것이다. 실제 북미에서는 내항선 또는 근거리 선박에 LNG연료선이 운항을 하고 있으며, 외항선의 경우 화물선에 적용을 위해 실용화 연구가 진행 중이다.

두 번째, 계획연료소비율의 저감관계이다. 현재 선박의 디젤엔진의 열효율은 약 50%로 타 기관보다 아주 높은 효율을 가지고 있다. 현 상태에서 보다 높은 효율을 기대하는 것은 어려운 상태이나, 외국에서는 육상플랜트용으로 고온가스터빈의 복합사이클이나 석탄가스화 연료전지복합발전·고온가스터빈·연료전지등의 조합(A-IGFC: Advanced Integrated Coal Gasification Fuel Cell Combined Cycle)등은 약 65%~70%의 효율을 목표로 연구가 진행 중이다⁷⁾. 그러나 선박이라는 제한된 공간에서 거대한 공간이 필요로 하는 본 기술이 스케일·다운되지 않으면 선박의 동력장치에 적용하기에는 아직 이르다고 할 수 있다. EEDI와 관련하여 현실적으로 저감요소기술로 검토되어 지는 것은 주기관본체의 연료소비율의 저감과 주기관 배가스폐열회수기술이 될 것이다. 따라서 디레이팅(derating) 적용, 전자제어엔진적용과 과급기의 성능향상이 요구되며, 주기관의 배가스를 유압동력원으로 이용하여 유압모터를 돌려 크랭크 축동력을 보조하는 시스템 또는 고온배가스와 저온 배가스를 분리하여 폐열회수량을 증가시키는 기술들을 연구개발 중이다.

세 번째, 계획기관출력을 저감하는 경우를 알아보면, 계획연료 소비율의 저감이 박용기관에 중점을 둔 내용이라면 계획기관출력은 설계선속하에서 기관의 소요동력을 낮추기 위한 방법으로서 다음과 같은 연구가 진행되고 있다. 일반적으로 최적 선형, 추진기 및 타의 개발, 선체의 마찰저항을 감소시키기 위한 도료, 선저 공기층의 분사 및 활용, 추진 부가물에 의한 에너지 회수, 태양광 및 풍력등 자연에너지이용등 넓은 분야에서 검토되고 있다. 또한 원자력선이나 식물에서 추출한 연료유 대처도 연구가 진행되고 있다. 본 항이 EEDI에 수치상으로 어떻게 반영이 될지는 현재 논의 중이다.

네 번째, 계획화물량을 증가시키고, 계획선속에 대해서 알아보고자 한다. 일반적으로 선박의 저항은 선속의 2승에 비례하고, 소요동력은 저항×선속이므로 결국 소요동력은 선속의 3승에 비례하게 된다. 한편 선속의 저하는 EEDI를 증대 시키지만 선속 저하에

⁷⁾RIST(Research Organization for Information Science and Technology, Japan) 석탄가스화·연료전지복합발전의 연구개발현황(2), 2006.

의해서 분자량의 기관출력이 3승비로 저하되기 때문에 지표전체로 보면 대폭 저감방향으로 이동한다. 예를 들면 실운항선속이 14.5노트에서 13노트로 10%정도 저감에 따라 위 동력과 선속의 관계에 의해 CO₂를 30%저감 시킬 수 있다는 결론이 나온다. 그러나 운항속도의 저하는 운송량의 저하를 의미하여 CO₂가 30%저감 되었다 하더라도 운송량 확보를 위해서 타 선박으로 운송량을 추가 보완해야 함으로 저감이 실현되었다고 말할 수 없다. 그럼으로 동일 운송량의 확보를 위해서 선박의 계획화물량을 증가시키면 된다. 화물량을 증가시킨다는 것은 선박이 대형화되고, 그 결과 소요동력이 증가하는 것도 고려해야 한다. 예를들어 운항선 50,000 DWT 14.5노트의 선박과 비교해서 신조선을 58,000 DWT 12.5노트로 설계한다면 운송량도 확보하면서 CO₂의 저감이 실현될 것으로 예상 할 수 있다. 단 실적선보다 저속 대형화 경향으로 운항상의 유연성은 부족하게 된다. 따라서 현실적으로 선속을 줄이는 방침이 더 효과적임을 알 수 있다.

3. EEDI 인증방법

신조선의 CO₂ 배출규제가 강제화가 되면 모든 신조선은 선박 고유의 EEDI 값을 가지게 된다. 이를 위해 IMO에서는 EEDI의 인증에 관한 지침을 작성하여 선박이 설계 및 수조시험 단계에서 EEDI를 계산하고 이를 바탕으로 예비조사를 실시한 뒤 건조 후 MCR 75%의 기관출력하에 해상시운전을 실시 하여 다시 EEDI값을 계산하고 초기 설계 단계에서 도출한 값을 보완하는 안을 논의중이다. 해상운전시 만재상태에서 실시하지 않을 경우에는 측정결과를 바탕으로 만재상태, MCR 75%시의 속력등을 고려하여 기술적 해석을 통하여 EEDI를 수정한다. 또한 수조시험의 신뢰성을 확보하기위한 수조시험장의 인증제도 개발도 논의의 대상이다. Fig. 1 에는 신조선에 해당하는 EEDI와 기준선에 해당하는 EEOI의 절차를 구분해 둔 것이며 EEDI의 경우 단계마다의 설명을 첨가 하였다. 즉, 설계시에 해당사항(기관출력, 연비, 속력 및 에너지 설비 등)으로부터 EEDI를 계산 해 보니 20.0 g/ton · nmile이 산정되었다고 가정하자. 그 후 선급과 같은 인증기관에서 초기 추정값을

확인하고 그 값이 해상시운전시 나타난 값과 비교를 하여 보정을 한다⁸⁾. 이 값이 그 배의 고유 EEDI 값이 되고 선박은 운항모드 즉 EEOI로 넘어가게 되고 SEEMP에 따라 모니터링을 받게 된다.

4. EEDI의 기준선

신조선의 CO₂ 배출저감의 법적조치를 책정하기 위해 EEDI 기준선 마련이 필요하다. 그리고 EEDI는 선박의 종류 및 용적(DWT 또는 GT)에 의존함으로 EEDI의 최대치로 규제할 경우에는 기준값이 필요하므로 선박의 크기를 바탕으로 한 지수함수로 서 정한다(MEPC 58/4/8[2008], Corbett, J.J.외[2006]).

$$EEDI \text{ Baseline} = a \times Capacity^c \tag{5}$$

계수 a, c는 EEDI 기준선 작성지침에 따라 선종별로 과거 데이터를 회귀분석(regression analysis)하여 결정된다. 아래 Fig. 2에 선박의 Capacity에 의한 CO₂ 배출량을 도표화 한 것이다. 기준선은 기관의 75% MCR에 대응하는 선속의 데이터를 과거선박의 자료로부터 유추 한 것이다. 한편, 기준선을 결정하는 함수에 선속의 항을 포함시키는 것은 선박 속력저감에 따라 에너지 효율이 향상이 도모되어 규제치를 만족하는 경우가 발생할 경우가 있으므로

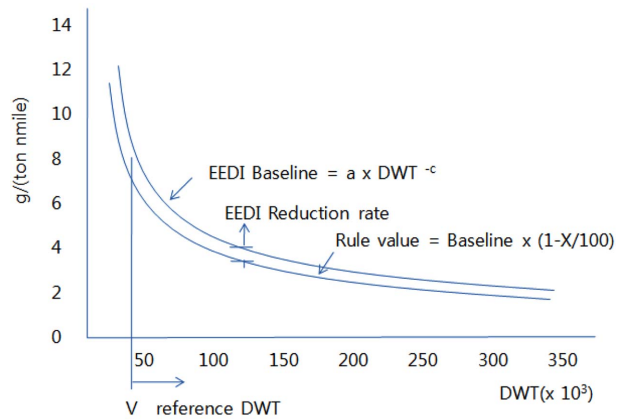


Fig. 2. Baseline and Regulation value of the EEDI for the new ships.

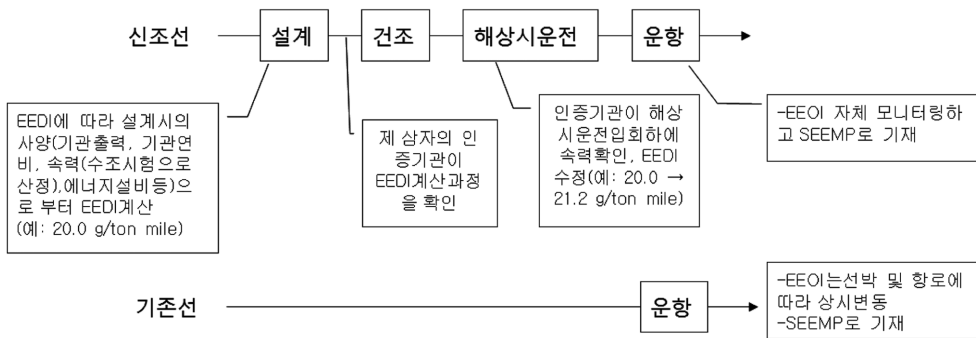


Fig. 1. Certification process for EEDI and EEOI.

⁸⁾이 사례의 경우 설계단계에서 20 g/(ton nmile)로 추산하였으나 해상시운전시 21.2 g/(ton nmile)이 나온 경우에는 시운전시의 값이 본 선박의 EEDI값이 된다 (본 수치는 가상 수치임).

Table 2. Regulation of EEDI reduction rate [MEPC 61(2010 9)]

선종	DWT	EEDI 저감율 (%)			
		Phase 0	Phase 1	Phase 2	Phase 3
		2013/1/1 ~ 2014/12/31	2015/1/1 ~ 2019/12/31	2020/1/1 ~ 2024/12/31	2025/1/1 ~
화물선	20,000(Z) ~	0	10	20	30
	10,000(Y) ~ 20,000(Z)	N.A	0 ~ 10	0 ~ 20	0 ~ 30
가스탱크	10,000(Z) ~	0	10	20	30
	2,000(Y) ~ 10,000(Z)	N.A	0 ~ 10	0 ~ 20	0 ~ 30
탱크	20,000(Z) ~	0	10	20	30
	4,000(Y) ~ 20,000(Z)	N.A	0 ~ 10	0 ~ 20	0 ~ 30
컨테이너선	15,000(Z) ~	0	10	20	30
	10,000(Y) ~ 15,000(Z)	N.A	0 ~ 10	0 ~ 20	0 ~ 30
일반화물선	15,000(Z) ~	0	10	15	30
	3,000(Y) ~ 15,000(Z)	N.A	0 ~ 10	0 ~ 15	0 ~ 30
냉동운반선	5,000(Z) ~	0	10	15	30
	3,000(Y) ~ 5,000(Z)	N.A	0 ~ 10	0 ~ 15	0 ~ 30

로 속력의 항은 기준선을 위한 함수로 적절치가 않다. 따라서 선박의 크기를 바탕으로 선박에 할당되어 요구 EEDI값은 식 (6)에 나타내었다. 즉 이 값을 넘지 않도록 규정화 한 것이다.

$$\text{요구 EEDI} = \text{Baseline} \times (1 - X/100) \quad (6)$$

선종에 따라 결정되는 용적이상(V 톤, Fig. 2참조)의 신조선 EEDI는 식 (6)을 넘지 않을 것을 MEPC WG는 제안하고 있다. 여기서 대문자 X는 저감율로서 적용시작년도에 결정되는 값이며, 선박 건조계약이 이루어지는 시점에 맞추어 저감율을 차등 적용하는 것이다(Table 2 참조). 즉 Fig. 2의 ‘Rule value’의 선이 시점에 따라 차등 적용 된다. 이것은 최초 적용시기에 저감율 X값 및 선박의 용도에 따른 저감율의 적용치등은 2010년 9월에 개최된 MEPC61에서 구체화 되었으며, 그 내용을 4.1장에 기술하였다.

4.1 EEDI 저감율

제 1회 선박 에너지 효율에 관한 중간 회의(EE-WG1) (2010년 6월)에서는 EEDI 의무화 논쟁에서 가장 핵심이 되는 EEDI 저감율, 적용시기, 규제치 적용을 받는 선박의 크기등에 관해서 구체적인 심의가 진행되었다. 그 결과가 MEPC 61(2010년 9월)에 주요한 안전중에 하나였다.

그 내용을 살펴보면, 선박의 연비성능 향상을 뛰어넘어 CO₂ 배출량 감소라는 관점에서 기술적·경제적으로 가능한 범위에서 Table 2와 같은 규제가 합의되어 MEPC 62(2011년 7월)에 본 EEDI 규제조약의 채택여부가 결정된다.⁹⁾ Table 상에 Y와 Z는 선박의 크기를 나타낸 것으로 Y톤 미만일 때는 EEDI 계산만 해당하며, Y~Z 톤일 경우는 Phase 0일 때는 EEDI 계산만이 해당되나, Phase 1 이후에는 규제치 이하이어야 한다. 그리고 현재 상태가 평균치(0%)를 기준으로 10%, 20%, 그리고 30% 단계적으로 저감율을 강화해 나간다는 것을 의미한다.

⁹⁾2011년 7월 MEPC 62에서 조약 채택이 늦어질 경우는 이에 따라 Phase의 기간이 변경 됨.

5. 운항선의 에너지 효율운항지표(EEOI)

선박이 건조 후 운항을 거쳐 해체로 이어지는 선박의 일생(life cycle)을 볼 때 운항시에 CO₂의 배출량이 가장 많다¹⁰⁾. 운항중 에너지를 가장 많이 소모하는 것이 추진에 필요한 요소이다. 추진적 개념으로 들어가면 설계의 요소가 내재되어 있는 EEDI를 논해야 하지만 본 운항지표에서는 아래와 같은 운항적 수법의 평가지표로 나타낸다. 기본적 개념은 배출한 CO₂의 양을 운송량(ton·mile)로 나누어 지표화 한 것이다.

$$EEOI = \frac{\text{CO}_2\text{환산계수} \times \text{연료소비량} \times \text{CO}_2\text{저감기술인자}}{\text{실화물량} \times \text{실항해거리}} \quad (7)$$

(g CO₂/ton.nmile)

이고, 수식으로 표현하면,

$$EEOI = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj} \times R_i)}{\sum_i (M_{cargo} \times D_i)} \quad (8)$$

이 된다. 첨자 *i*는 운항회수를 나타내고, FC_{*ij*}는 운항에 따른 연료 *j*의 사용량, C_{*Fj*}는 EEDI와 같이 연료 *j*의 CO₂ 환산계수이며, R_{*i*}는 가동 회수당 CO₂ 저감기술인자이며, M_{*cargo*}는 운송한 화물량이다. D는 그 화물을 운반한 거리가 된다. 연료소비량 및 선박의 종류에 따른 화물량의 기준은 EEDI와 동일하다. 컨테이너와 다른 화물이 혼재한 경우의 선박은 재화컨테이너는 10톤, 공(void)컨테이너는 2톤으로 환산하여 재물중량 톤으로 나타낸다. 자동차 운반선은 대수로 나타내고 철도차량운반선은 차량의 길이의 합계로 표시한다.

EEOI는 운항선의 에너지 효율 관리 계획과도 밀접한 연관이 있다. 선박으로 부터의 GHG 배출의 저감은 선박의 운항상태에 의해서도 상당히 달성 할 수 있다고 판단된다.

¹⁰⁾실제의 연비에 해당하는 지수로 자동차의 경우와 마찬가지로 운전자에 따라 틀려지게 됨.

6. 선박 에너지 효율 관리 계획(SEEMP)

선박 에너지 효율 관리 계획(SEEMP : Ship Energy Management Plan)이란 현존선 해당선박의 CO₂ 배출량등을 지속적으로 모니터링하고 CO₂ 배출저감을 위해 가장 효율적인 운항방법¹¹⁾을 선별하도록 아래의 요소들을 지속적으로 관리하는 것을 의미한다.

- (1) 계획
- (2) 실시
- (3) 모니터링
- (4) 평가 및 개선

※위 (1)~(4) 항목을 무한루프(loop)화 해서 선박의 역할을 다할 때 까지 CO₂ 배출량의 모니터링함

EEOI의 구체적 행동 계획으로서 선박 에너지 효율 관리 계획(SEEMP)의 필요성을 인식하고 GHG 저감계획을 작성, 모니터 및 결과보고체계, 자기 평가 및 개선에 따라 계획을 수정 보완하는 것을 논의 중이며, 보다 강력한 법적 구속력을 위하여 MARPOL 조약 부속서 VI에 선박 에너지 효율 관리 계획에 관한 내용을 추가하는 안과 SEEMP의 선박내 비치 의무화안이 제출되어 심의 중에 있으며 2011년 7월의 MEPC 62에서 그 채택 여부가 주목된다.

7. 시장기반조치(MBI)

2장부터 6장까지 서술한 것이 기술적 분야에 비해서 CO₂ 저감 조치의 원활한 이행을 위해 경제적인 인센티브에 대해서도 검토가 이루어지고 있다. MEPC 59(2009년 7월)까지 다음 세가지가 거론되었다. 덴마크에서는 연료유세금(International GHG Contribution Fund), 일본에서는 선박효율개선에 연료유세금 일부 환원(Leveraged Incentive Scheme)을, 노르웨이와 프랑스에서는 해운에 특화된 배출권거래제도 METS(Maritime Emission Trading Scheme)가 제안되었다. 아직 결론이 도출되지는 않았지만 연료유세금제도에 대해서는 개발도상국을 포함하여 많은 국가가 지지하였으며, 일본의 연료유세금제도와 환원제도를 합친 방법 및 배출권거래제도를 모두 포함하여 시장기반조치(MBI : Market-Based Instrument)의 검토를 위해 전문가 그룹 설치에 합의(MEPC 60회의시)하여 논의가 진행중이다.

다른 운송수단에 비하여 해운운송은 비교적 효율이 높은 운송 수단이다. 따라서 해운에 과도한 경제적 부담이 돌아가면 역 모달 쉬프트(Modal Shift, 운송형태의 전환)가 발생되어 선박기인 온난화 대책을 마련코자 하는 방향의 반대방향으로 가는 것이므로 이를 포함하여 시장기반조치가 움직이기 시작하고 있다.

8. 향후전망 및 고찰

선박으로부터 대기로 방출되는 물질중 국제 규제를 받고 있는

¹¹⁾예를들어 저감, 해류, 기상등을 고려한 최적 항로 선정, 적절한 관리등을 말한다.

이산화질소(NO_x)와 이산화황(SO_x)과 같이 이산화탄소(CO₂)도 IMO의 규제하에 두기 위해 MEPC를 중심으로 활발히 거론되고 있다. 국제사회는 현재 CO₂ 배출량보다 2050년도에는 3배이상 될 것이라고 예측하고, 선박기인 CO₂의 법적규제화를 위해서 MARPOL ANNEX VI에 포함을 거론하고 있다. CO₂ 규제와 이에 관련된 산업은 CO₂ 배출저감이라는 명제하에 놓여 있다. CO₂ 규제를 통하여 선박의 동력장치계통 뿐만아니고 선박 설계 전체에 새로운 패러다임을 가져 오고 있다.

선박기인 GHG배출저감기술에는 대체연료의 이용이나, 운항시에 최적화등 산적한 과제들이 많이 있다. LNG연료, 바이오디젤연료, LNG Dual Fuel Supply Vessel, 연료전지선박등 차세대 청정선박개념을 도입하여 유람선규모에서 상선규모로 확장해서 적용시키는 기술이 필요하다. 현실적 저감기술로 거론되는 것은 본론에서도 거론했다시피 주기관본체의 연료소비율의 저감과 주기관 배가스페열회수기술이 될 것이다. 따라서 디레이팅(derating)을 적용시키거나 전자제어엔진적용, 과급기의 성능향상, 주기관의 배가스를 유압동력원으로 이용하여 유압모터를 돌리는 크랭크 축동력 보조 시스템 그리고 고온배가스와 저온 배가스를 분리하여 폐열 회수량을 증가시키는 기술들이 연구개발 되고 있다. 설계선속하에서 기관의 소오동력을 낮추기 위한 방법으로서 최적 선형연구, 추진기 및 타의 개발, 선체의 마찰저항을 감소시키기 위한 도료, 선저 공기층의 분사 및 활용, 추진 부가물에 의한 에너지 회수, 태양광 및 풍력등 자연에너지이용등 넓은 분야에서 검토되고 있다.

운항효율적인 측면에서는 선박 규모의 대형화에 의해 단위운송 화물량당 에너지효율을 향상시키는 것이 가능할 것이다. 같은 거리에 연료소비는 속도의 2승에 비례하므로 운항속도를 늦추면 CO₂ 배출량 감소에 효과적이다. 따라서 선박의 대형화와 경제속력운항에 의해서 GHG 저감을 달성하는 것이 합리적인 것이다. 예를들어 New Panamax(2014년 완공, 13,000TEU Class 운항) 컨테이너선과 같은 대형화선박이 대상이 될 것이다.

최근 MEPC를 통하여 EEDI 저감율, 선박의 배출 규제치, EEOI 및 SEEMP의 선박비치 요구등 각종 가이드라인을 빠르게 정비해가고 있다. 뿐만아니고 CO₂ 저감조치를 원활히 수행하기 위한 인센티브제도등도 동시에 거론하고 있다. 2011년 7월에 개최되는 MEPC 62에는 CO₂ 배출제어를 위한 기술적 조약안이나 발표시점등을 구체적으로 논의할 것으로 예상된다¹²⁾. MARPOL내에 CO₂ 배출규제를 위한 저감(Table 2 참조)에는 2015년부터 Phase 1이 시작하는 것으로 되어 있다. IMO는 선박기인 CO₂ 저감을 보다 확고히 추진하고 있다는 것을 국제사회에 보이고자 하는 듯하다. 본 내용은 2003년도에 총회에 처음 거론된 내용이지만 실제 2년에 걸쳐(2009년 MEPC 59차 ~ 2010년 MEPC 61차) 빠르게 진행되었다. CO₂의 저감대책은 늦으면 늦을수록 더 높은 장벽으로 다가올 것이다. 우리나라의 경우도 육상의 저감대책보다 늦은 것은 사실이지만 친환경 선박 개발에 계속 부응해 왔으며, 특히 대형선

¹²⁾조약개정을 위해서는 오는 MEPC 62차에 채택이 된다고 가정하더라도 유효가 발표되기까지는 최소 18개월 이상이 걸릴 것으로 전망하고 있음.

박건조 및 엔진개발에는 우리나라의 기술력이 탁월함으로 하드웨어적인 부분에서는 경쟁력이 있다고 사료된다. 그러나 CO₂의 논점을 EEDI와 SEEMP(EEOI를 포함)로 재구성해서 선박의 일생에서 발생하는 탄소발자취(Carbon Foot Print)의 개념으로 접근하여 향후 3년이내에 발효될 수도 있는 본 중요한 사안에 대해서 IT기술과의 융합 및 소프트웨어적인 기반을 보완해 나간다면 보다 CO₂ 저감에 적극적인 대응방안이 될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 울산대학교 조선해양공학부 세계일류화사업(SOTOP: Ship and Ocean TOP Rank in the World)지원비로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] IMO A.963 (23); IMO Policies and Practices Related to the Reduction of Greenhouse Gas Emission from ships, Dec. 2003.
 [2] MEPC/Circ.681; Interim Guidelines on the method of calculation of the energy efficiency design index for new ships(EEDI), 17 Aug 2009.

- [3] MEPC/Circ.684; Interim Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency operational indicator (EEOI), 17 Aug 2009.
 [4] MEPC/Circ.683; Guidance for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP), 17 Aug 2009.
 [5] MEPC58/4; Report of the outcome of the first Intersessional Meeting of the Working Group on GHG Emissions from Ships, 4 July 2008.
 [6] MEPC58/WP8; Report of the Working Group on Greenhouse Gas Emissions from Ships, 9 Oct. 2008.
 [7] Corbett, J.J., Wang, C. and, Firestone, J. 2006, Estimation, Validation, and Forecasts of Regional Commercial Vessel Inventories, Tasks 1 and 2 : Baseline Inventory and Ports Comparison, Final Report.
 [8] 제 59차 해양환경보호위원회(MEPC) 회의결과 보고, 2009.7.13~7.17, 2009.7 국토해양부(해사기술과).
 [9] 제 60차 해양환경보호위원회(MEPC) 회의결과 보고, 2010.3.22~3.26, 2010.4 국토해양부(해사기술과).
 [10] 제 61차 해양환경보호위원회(MEPC) 회의결과 보고, 2010.9.27~10.1, 2010.10 국토해양부(해사기술과).

2011년 1월 14일 원고접수

2011년 1월 27일(1차), 2월 9일(2차) 심사수정일자

2011년 2월 9일 게재확정일자