

EEOI 결과에 따른 탄소세 기반 격려금과 벌과금 부과 방안 제시

박고용¹ · 조권희[†]

(Received March 8, 2017 ; Revised May 2, 2017 ; Accepted May 23, 2017)

A suggestion on the incentive and penalty based on carbon tax scheme through EEOI results

Go-Ryong Park¹ · Kwon-Hae Cho[†]

요약: 최근 전 세계 기온상승, 해양에서 오염물질 배출 규제 강화 등을 고려할 때 운항선도 연료 절감을 의무적으로 이행해야 한다. 항내에서 오염물질 배출에 대한 IMO 국제기준 및 EU 각국의 제한기준이 강화되고 있다. 따라서 선사와 조선업계에서는 CO₂, SO_x, 및 NO_x 배출을 저감하는 방안에 대하여 모색하고 있다. 지속적인 무역 증가와는 반비례하여 해상운송에 사용되는 연료량은 줄어드는 경향이 있다. 하지만 국제해운 회의소는 2050년까지 해운으로부터 배출되는 이산화탄소를 50% 감축한다는 목표를 설정하였다. 또한 2015년 신기후변화협약이라 불리는 파리 기후협약과 관련하여 IMO는 운항 선박으로부터 온실가스 배출 감축 목표를 설정하기로 제안하였다. 국제 해운수송에서 배출되는 온실가스 배출 감축 목표를 설정하기 위해 연료 데이터수집시스템이 도입될 예정이다. 운항선 연료절감 강제화 추세에 따라 선박으로부터 효과적인 연료 사용 감축을 유도하기 위해, 이 논문에서는 연간 운항 결과를 EEOI로 검증한 후 탄소배출권 거래제 및 탄소세에 기반 한 격려금과 벌과금 부여 제도의 운영과 이에 적용할 기초 식을 제안하였다.

주제어: 온실가스 배출, 연비 보고제도, 운항선 에너지 효율지수, 탄소세, 탄소배출권 거래제

Abstract: Nowadays, considering global warming and enhanced prohibition to discharge pollutants at sea, all of existing operation-ships must lead to the reduction of fuel consumption. International standards of International Maritime Organization and EU rules governing harbor pollutants are being strengthened. Therefore, ship-owners and operators are seeking ways to reduce CO₂, SO_x, and NO_x emissions. Although world trade continues to expand, total fuel usage for sea transport tends to diminish. However, ICS(International Chamber of Shipping) has set a goal of reducing CO₂ emissions from shipping by 50% until 2050. In addition, with respect to the Paris Climate Change Accord in 2015, IMO proposes to set up a reduction target of GHG emission from existing operation-ships. For setting up a reduction target of GHG from international maritime transport, "A data collection system for fuel consumption" will be introduced in the near future. In order to effectively reduce the use of fuel in a ship in accordance with the trend of compulsory fuel saving from operation ships, this paper suggested adoption of an Incentive-Penalty scheme based on Emission-Trading-Scheme, Carbon Tax, and basic calculation formula after verifying the EEOI level for a year.

Keywords: GHG emission, A data collection system for fuel consumption, Emission-trading-scheme, Carbon tax, EEOI

1. 서론

1958년 미국 하와이 마우나로아 기후 관측소에서 측정한 공기 중 이산화탄소 농도는 310 ppm 이었다. 60년이 채 지나지 않은 2016년 7월에 측정한 이산화탄소 농도는 산업화 이후 최고치인 404 ppm을 기록하며 기후 재앙의 심리적 마지노선인 400 ppm을 넘어섰다[1]. 공기 중 이산화탄소 농도의 빠른 증가는 지구 온난화를 가속화 할 것이란 우려를 낳고 있다. 매년 지구 연평균온도를 발표하는 세계기상기구에 의하면, 2016년 상반기 지구 평균기온은

산업화 이전보다 1.3℃가 높아져 사상 최고치를 경신하였다. 이는 2015년 12월 개최된 유엔 기후변화협약 당사국 총회(COP21)에서 합의한 '산업화 이전 온도보다 상승폭을 1.5℃로 제한하기 위한 노력을 추구한다'는 약속이 무색한 수치이다.

지구 온난화의 가속화를 막기 위해, 각국 정부는 온실가스 배출량 최고 정점을 찍고 탄소중립¹⁾에 이를 수 있도록 각국 실정에 맞는 온실가스 감축 목표를 제출하였다. 반면 전 세계 해운에서 사용하는 연료량은 육상과 비교하여 증

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1539-655X>): Department of Offshore Plant Management, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: khcho@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4252

¹ Department of Marine System Engineering Graduate School, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: goryongpark@gmail.com, Tel: 051-410-4819

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

가폭이 오히려 감소하는 경향이 있다. 2007년 이후 해운업계의 지속적인 무역 증가와는 반비례하여 해상운송에 사용되는 연료량은 2012년에는 약 10% 이상 줄었다[2]. 하지만)여기에 그치지 않고, 국제해운 회의소(ICS-International Chamber of Shipping)는 2050년까지 해운으로부터 배출되는 이산화탄소를 50% 감축한다는 목표를 설정하였다.

신조선에 도입된 기술적 조치인 신조선 에너지효율 설계지수(EEDI-Energy Efficiency Design Index)와 운영적 조치인 선박에너지효율관리계획서(SEEMP-Ship Energy Efficiency Management Plan)는 2013년 1월부터 강제 적용되었다. 운항선박으로부터 발생하는 온실가스 감축 정책으로는 시장기반조치(market based measure)가 활발하게 논의되고 수년 내에 도입 될 것으로 전망되고 있다[3]. 또한 각국들은 선박 에너지효율 개선을 위해 에너지효율운항지수(EEOI-Energy Efficiency Operation Ship)와 유사한 방법을 통한 단계별 규제를 IMO에서 논의하고 있다[4]. 이에 따른 결과로서 IMO는 운항선 온실가스(GHG) 배출 감축을 위해 2019년부터 총톤수 5,000톤 이상 운항선박의 연간 연료 소비 현황을 수집할 예정이다[5].

실습선 대상 탄소 저감에 대한 시험 및 운항선 선수부 개조 전·후 탄소 저감의 비교 검토, 신조선 및 운항선 연료 절감 방법에 대한 확충지와 연구 보고서는 대부분 기술 개발에 집중하여 논의되고 있다[6]-[9]. 따라서 이 논문에서는 선박 인도 후에도 운항선박으로부터 지속적인 온실가스 감축을 유도하기 위하여, 연간 운항결과를 EEOI로 검증 하는 절차를 강제 도입할 것을 제안한다. 또한 육상에서 온실가스 감축 방안으로 활용하고 있는 시장기반적 조치방법인 탄소세와 탄소배출권 거래제를 해상에서도 조속한 시일 내에 강제 도입할 것을 제안한다. 그리고 EEOI 강제화 제도에 기반한 운항선 온실가스 감축 목표 달성 결과에 따라 합당한 격려금 및 벌과금을 부과하는 방안과 여기에 적용될 이론적 식을 제시하고자 한다.

2. 이산화탄소 저감을 위한 육·해상 강제규정 도입 현황

2.1 온실가스 감축을 위한 기후협약 동향

가속화 되는 지구온난화 방지를 위하여 1994년에 온실가스 감축을 위한 기후변화협약(UNFCCC-United Nation Framework Convention on Climate Change)이 발효되었다. 선진국 중심의 온실가스 의무 감축체제를 위해 1997년에 채택된 교토의정서는 미국 및 중국이 자국의 이해득실과 후진국들과 기술적 차이로 인하여 이견이 조율되지 않은 상태가 지속되어 무산위기에 처하기도 하였다.

지구 온난화의 심각성에 모든 나라가 공감하면서 2015년

12월 제21차 기후변화협약 당사국총회(COP21)는 신기후체제 합의문인 파리협정(Paris Agreement)을 채택하였다. 이 협정에서 합의된 내용을 살펴보면 지구 평균온도 상승을 산업화 이전 대비 2°C 보다 낮은 1.5°C 이하로 제한하고, 국가별 기여방안(INDC-Intended Nationally Determined Contributions)은 스스로 정하는 방식을 채택하여 매 5년마다 상향된 목표를 제출하기로 하였다. 그리고 당사국 간의 자발적인 탄소시장 협력을 인정하는 국제 탄소시장 설립에 합의하며, 5년 마다 파리협정 이행점검을 위해 감축목표 달성 경과에 대한 보고를 의무화하였다. 아울러 개도국이 감축 의무에 동참할 수 있도록 기술개발 및 이전에 관한 국가 간의 협력을 강화하고, 기후변화의 역효과로 인하여 발생하는 문제는 별도 조항으로 규정하였다.

Table 1은 1992년부터의 기후변화협약에 따른 국내외 동향을 보여주고 있다.

Table 1: UNFCCC process of Global and Korea [10]

year	Global	Korea
1992	UNFCCC open at Rio	
1993		Ratification of Climate change agreement
1994	UNFCCC enters into force	
1997	Kyoto Protocol Adopted (industrialized countries, to reduce GHG emission to 5.2% against 1990 levels)	
2002		Ratification of Kyoto Protocol
2005	Kyoto Protocol enters into force	
2009	COP15, limiting the maximum global temp. no more than 2°C above pre-industrial levels	
2010		By 2020 INDC : BAU - 30%
2011	Extent Tokyo protocol to 2020	
2015	COP21-Paris Agreement -Post 2020	2030 INDC : BAU - 37%
2020	Implementation of Post 2020	Implementation of Post 2020

1) 탄소중립은 이산화탄소를 배출한 만큼 이를 흡수하는 대책을 세워 실질적인 배출량을 0으로 만든다는 개념을 의미한다.

이 회의에서 선진국과 개도국 포함 196개 협약당사국 모두가 2020년 이후 온실가스 신기후 변화체제에 합의하였다. 그리고 2030년까지 국가 온실가스 감축 목표를 제출하기로 하였으나 현재까지 강제성은 부족한 편이다.

2.2 국가별 온실가스 감축 목표

2015년 12월 말까지 196개 당사국 중 185개국이 국가별 기여방안(INDC)을 제출하였다. 선진국들의 기여방안은 기준년도(주로 1990년 배출량기준) 대비 절대량 방식으로 제출되었고, 개도국들은 국가별 상황 및 감축여력을 고려하여 주로 배출전망치(BAU: Business-as-usual) 또는 원단위(GDP 1단위당 온실가스 배출량)방식, 최고배출년도 설정 등으로 온실가스 감축 목표를 제출하였다. Table 2는 각 국가 상황을 고려한 기준년도 대비 감축목표에 대하여 각 국가별 기여방안 제출 현황을 보여주고 있다.

우리나라의 경우, 2030년 온실가스 감축목표를 BAU 대비 37%로 결정하여 2015년 6월 30일 제출하였다. 주요 감축 내용은 경제성장률, 유가, 인구, 산업구조 등 주요 경제변수를 고려한 배출 전망치를 바탕으로 정부에서 제시한 25.7%를 채택하였다. 그리고 국제사회에서 우리나라의 지위와 선도적 역할을 고려하여, 국제탄소시장을 활용한 온실가스 감축 11.3%를 추가하여 총 37%로 결정하였다[10]. 해외 배출권에 대한 11.3%의 감축량은 국제탄소시장 거래를 통한 해외감축을 새로운 감축수단으로 활용하였다는 점에서 의미가 크다. 더불어 세계적으로 탄소 배출권이 온실가스 감축 수단으로 활용되어야 함을 시사한다.

탄소시장은 온실가스 감축목표를 달성하기 위해 UN 기후변화협약 중심의 시장 이외의 당사국간의 자발적인 거래도 인정하였다. 이와 같이 다양한 형태의 국제 탄소시장은 온실가스 감축목표를 달성하기 위해 많이 이용될 것으로 보인다. 이미 전 세계 탄소배출권 거래시장은 약 120조원 규모이며, 2020년에는 약 250조원 이상으로 성장할 전망이다[10].

유럽연합(EU)의 탄소배출권거래제(ETS-Emissions trading system)에서 거래된 탄소 가격은 2008년엔 톤당 약 30유로에서 시작하여 점차 6유로까지 떨어지면서 거래가 거의 이루어지지 않았다. 하지만 2015년 12월 파리 신기후체제 협약 이후, 2017년부터 프랑스는 탄소 최저가격(carbon price floor)을 톤당 30유로로 정하기로 하였고, 영국은 이미 국내 탄소 최저가격을 톤당 약 25유로로 책정했다[11].

우리나라 탄소배출권 거래 금액은 설립 초기엔 톤당 약 1만 원 선으로 거래가 거의 실종된 상태였다[12]. 하지만 2017년 2월에는 거래량과 규모가 늘어나면서, 탄소배출권 거래 금액이 톤당 2만6500원까지 치솟아 시장 활성화에 대한 기대감이 커지고 있다. 이것은 정부의 정책으로 지난해 탄소배출권 거래 이행연도를 시행함으로 기업들이 배출권 거래의 필요성을 느꼈기 때문이다[13]. 해운업에도 탄소배출권 거래 할당량이 주어지면 1년간 연료 사용량 범위가 설정되어야 할 것이다.

Table 2: Status of INDC suggestion from each country [10]

	Country	By 2030: Reduction Goal of GHG (USA, By 2025)
Developed country	Swiss	By 2030: 50% from 1990 GHG
	EU(28)	By 2030: 40% from 1990 GHG
	USA	By 2025: 26~28% from 2005 GHG
	Russia	By 2030: 25~30% from 1990 GHG
	Canada	By 2030: 30% from 2005 GHG
	New Zealand	By 2030: 30% from 2005 GHG
	Japan	By 2030: 26% from 2013 GHG
	Australia	By 2030: 26~28% from 2005 GHG
Developing country	Mexico	By 2030: 25%(mandatory) 40%(conditional) from 2030 BAU
	China	By 2030: 60~65% from 2005 GDP unit
	Korea	By 2030: 37% from 2030 BAU
	Singapore	By 2030: 36% from 2005 GDP unit
	Indonesia	By 2030: 29%(mandatory) 41%(conditional) from 2030 BAU
	Republic of South Africa	By 2020~2025: Carbon peak
	Brazil	By 2030: 43% from 2005 GHG
	India	By 2030: 33~35% from 2005 GDP unit

Table 3: Korean BAU to 2030 unit : million tonnes [10]

year	2020	2025	2030
BAU(CO ₂ -e)	782.5	809.7	850.6

Table 3은 2030년까지 우리나라의 이산화탄소 배출전망치를 보여준다. 2030년 8억 5,060만 톤의 온실가스를 배출한다면, 국내 및 국제탄소시장에서 사들여야 하는 온실가스 총량은 11.3%에 해당되는 9,600만 톤으로 금액으로는 약 1조원에서 3조원 대에 이른다. 전 세계적으로 탄소 가격이 점차 오르고 있는 점을 고려하면 금액은 더욱 더 오를 것으로 전망된다.

2.3 해양에서 이산화탄소 저감을 위한 대책

1997년 교토의정서에서 온실가스(Greenhouse Gas) 감축을 결정한 유엔 기후변화협약(UNFCCC)은 선박을 감축 적용 대상에서 제외하였다. 하지만 IMO는 선박 운항으로부터 발생하는 이산화탄소를 줄이기 위한 강제 규제를 육상보다 먼저 채택하였다. 2011년 개최된 MEPC 62차에서 EEDI와 SEEMP를 선박에 강제 적용하도록 MARPOL 협약 부속서 VI을 개정하였다. 그 결과 2013년 1월 1일부터 해상에서 육상보다 먼저 이산화탄소 감축을 위한 법이 강제 발효되었다. 이 협약은 육상과 연계하여 해양 배출 금지 오염물질인 SOx, NOx 및 CO₂에 대한 배출 규제도 강화하고 있다.

Table 4: Shipping CO₂ emission 2012 unit : million tonnes [14]

Year	Global CO ₂	Total shipping	% of global	International shipping	% of global
2007	31,409	1,100	3.5	885	2.8
2008	32,204	1,135	3.5	921	2.9
2009	32,047	978	3.1	855	2.7
2010	33,612	915	2.7	771	2.3
2011	34,723	1,022	2.9	850	2.4
2012	35,640	938	2.6	796	2.2
Ave	33,273	1,015	3.1	846	2.6

Table 5: Shipping CO_{2e} emission 2012 unit : million tonnes [14]

Year	Global CO _{2e}	Total shipping	% of global	International shipping	% of global
2007	34,881	1,121	3.2	903	2.6
2008	35,677	1,157	3.2	940	2.6
2009	35,519	998	2.8	873	2.5
2010	37,085	935	2.5	790	2.1
2011	38,196	1,045	2.7	871	2.3
2012	39,113	961	2.5	816	2.1
Ave	36,745	1,036	2.8	866	2.4

해상에서 발생하는 온실가스와 밀접한 관계가 있는 해상 수송 선박용 연료 사용량은 2012년 기준 약 2~3억 톤으로 추정된다. Table 4는 선박운송으로부터 이산화탄소의 발생 추이를, Table 5는 이산화탄소를 포함한 온실가스 발생 추이를 보여준다.

이러한 모든 규제를 동시에 만족시키기 위해 해운산업은 친환경 연료로 추진 동력을 전환하고 있다. 또한 전형적인 디젤엔진으로부터 이산화탄소 발생이 적은 대체 동력을 선박 운항에 적용하고 있다. 해운산업은 이러한 강력한 규제를 피하기 위해 적용 가능한 대안으로 LNG를 연료로 사용할 것으로 보인다. LNG는 선박 연료로 사용될 경우 연료 자체에 함유된 황산화물(SOx)이 거의 없고, 이산화탄소 20% 및 질소산화물(NOx)도 80% 이상 감축이 가능한 친환경 에너지이다. 강력한 환경규제로 인해 2030년경에는 선박량의 60% 이상이 현존 선박의 개조 및 신조선에 LNG를 연료로 사용할 것으로 예상된다. 이와 같은 추세를 반영하듯이 이중연료 사용 엔진이 개발되어 사용 중에 있고, 순수 LNG연료 추진 선박이 등장하여 항해 중에 있다. 또한 LNG 보급을 위한 병커링 터미널 구축 및 병커링 보급선 도입 등의 인프라 구축, 그리고 법제도 정비 및 국제 표준화 선점을 위한 경쟁이 치열하다.

Table 6은 2050년까지 ECA에서의 SOx 규제 정도에 따른 선박용 LNG 연료 수요 전망치를 보여준다.

Table 6: Fuel mix scenario used for emissions projection (mass %) [14]

High LNG /extra ECAs case	LNG share	Distillates and LSHFO	HFO
2012	0%	15%	85%
2020	10%	30%	60%
2030	15%	35%	50%
2050	25%	35%	40%

Low LNG /constant ECAs case	LNG share	Distillates and LSHFO	HFO
2012	0%	15%	85%
2020	2%	25%	73%
2030	4%	25%	71%
2050	8%	25%	67%

* Sulfur content 1% in 2012 and 0.5% from 2020

또한 IMO MEPC 69차(2016년)에서는 운항선박으로부터 온실가스 배출 감축목표 설정 혹은 목표설정을 위한 검토 스케줄이 책정되도록 제안되었다[15]. 운항 선사들의 자발적인 이산화탄소 감축 방법으로는 많은 효과를 볼 수 없다는 것이 확실해졌다. 또한 어떤 강제성을 적용하지 않는다면 이산화탄소 감축을 위한 적극적인 기술 개발이나 추가적으로 비용을 지불할 선사나 조선소는 없을 것이다.

2018년부터 발효되는 IMO의 ‘선박 연료 사용량 데이터 수집 의무화’ 규제에 필요한 연간 연료 소비량, 연간 항해 거리, 연간 운항시간 보고 제도는 추가적 이산화탄소 감축을 위한 효과적인 강제화 제도가 될 것이다.

3. EEOI 결과에 의한 탄소세 제도를 활용한 격려금 및 벌과금 부과방법 제안

3.1 지속적인 이산화탄소 감축을 위한 EEOI 강제화 제도 제안

IMO는 연료소비율이 개선된다 하더라도 2050년까지는 해운 물동량의 지속적인 성장으로 온실가스 총 발생량은 증가될 것으로 전망한다. 이미 언급되었듯이 MEPC 69차부터 국제항해에 종사하는 선박 연료소모량 수집 시스템 강제화에 대하여 논의가 되었고, 2018년에 발효가 되면 2019년부터 데이터 수집이 의무화 될 예정이다. 이러한 데이터 수집 시스템은 연료유 분담금과 탄소배출권 거래 등을 통하여 해상 온실가스 저감대책을 위한 시장기반조치(MBM-Market Based Measures) 강제 도입의 시발점이 될 것이다.

국제 항해에 종사하는 선박으로부터 배출되는 온실가스 감축 규제를 선박 연료 소모량 데이터 수집 시스템과 연계하여 진행하면 Table 7과 같이 EEDI, SEEMP, EEOI와 MBM에 대하여 운항 선박에 강제도입 정도를 예측할 수 있다.

Table 7: Expectation to force regulation of EEDI, SEEMP, EEOI and MBM

Application area	Expected application	
	New ship (2013.01.01)	Existing ship
EEDI	application	application (major retrofit)
SEEMP	application (possession)	application (execution)
EEOI	not available	application
MBM	not available	application

2013년 1월 1일 이후부터 신조선 단계에서 EEDI를 통과하면 운항선박은 이산화탄소 감축을 위한 어떠한 추가적인 제제도 더 이상 받지 않는다. 그래서 EEDI가 너무 쉽게 통과되는 문제점과 SEEMP의 강제성 부족 문제의 개선을 통해 운항선 연료 절감을 지속적으로 유도하기 위한 시도가 진행 중에 있다.

2050년에는 국제해운은 이산화탄소 배출량의 50% 감축목표를 달성하기 위해 2012년 대비 1년에 약 4억 톤 (Table 4 참조)의 이산화탄소를 감축하여야 한다. EEOI를 강제화하면 EEDI에 의한 이산화탄소 감축량 효과보다, 운항적 조치 효과에 의한 이산화탄소 감축량이 더 클 것으로 예상된다.

IMO에서 시도하는 운항선박의 이산화탄소 감축을 위한 강제 규제에 부합하기 위해 운항선사 및 관련자들의 적극적인 참여를 유도해야만 한다. 이에 대한 방법으로 매년 EEOI를 측정하여 전년 대비 이산화탄소 배출량이 감축되었을 때 감축량에 합당한 격려금을 부여하고, 이산화탄소 배출량이 증가하였을 때는 증가량만큼 벌금을 부과하는 제도 도입을 제안한다.

이 제도를 도입하기 위해서는 다음 사항에 대한 논의가 선행되어야 한다.

첫째, 이산화탄소 감축을 위해서는 다양한 관련 기술들이 개도국에 무료로 제공되어야 한다. 그리고 새로 개발된 감축방법은 SEEMP에 등록하여 저감 방법으로 적용한다[16][17].

둘째, 전년 대비 이산화탄소 배출량 감축 혹은 증가 시 적용되는 격려금이나 벌과금 단위는 IMO에서 논의되어야 한다. 이 때 측정된 이산화탄소의 감축량 측정 방법은 공신력 있고 객관적인 방법이 요구된다.

셋째, EEOI 측정 결과에 따라 각 선종마다 감축률에 대한 차별화가 있어야 한다. 화물을 적재하지 않은 항차가 많은 벌크선의 경우 다른 선종에 비해 EEOI 가 높게 나온다. 그리고 매년 EEOI 가 불규칙하게 측정되어 화물을 싣지 않은 항차에 대하여 면제제도가 고려되어야 한다.

3.2 시장기반적조치 제도를 기반으로 탄소

거래가격에 합당한 격려금과 부과금 부과방법 제안

탄소세는 선박에서 구매하는 연료량에 일정 세금을 부여하는 것으로, MEPC는 2009년에 탄소세를 발의하였고 동시에 국제온실가스펀드설립을 제안하였다. 기본 개념은 사용자가 연료 구입 시 탄소세가 포함된 연료가격을 지불하면, 연료 공급자는 탄소세를 온실가스 펀드관리기구(GHG fund administrator)로 이전하고, 펀드관리 기구는 발생한 수익을 온실가스 감축 관련 목적을 위해 사용하는 구조이다. 이러한 탄소세 관련 노력은 MEPC 62차부터 IMO에서 시장기반 조치에 따른 운항선 온실가스 감축 논의를 하는 등 활발하게 전개되고 있다. 목표치대비 성과에 따른 차입 인센티브 (leveraged incentive scheme - LIS), 선박효율성시스템(vessel efficiency system - VES), 효율 인센티브제도(efficiency incentive scheme - EIS)등이 IMO에 건의되고 있다. 이와 같이 시장기반조치를 활용한 온실가스 감축 방법들이 강제 규제에 대비하여 활발하게 논의되고 있다.

다음 식들은 IMO에서 운항선박들의 항차별 그리고 1년간 사용 연료와 항해 거리를 근거로 EEOI를 측정하는 방법들이다.

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{cargo} \times D} \tag{1}$$

$$Average\ EEOI = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj})}{\sum_i (m_{cargo(i)} \times D_i)} \tag{2}$$

단위는 gCO₂/t-nm이다.

- FC_j : the mass of consumed fuel
- m_{cargo} : cargo carried(tonnes)
- D : distance in nautical mile
- CF_j : conversion factor for fuel
- i : voyage number
- j : fuel type

그리고 Table 8은 선박에 사용되는 각종 연료유의 종류에 따라 연소되었을 때 단위 연료당 발생하는 CO₂의 환산계수를 정의하고 있다.

운항선박의 탄소 감축을 위한 강제 제도가 IMO에서 도입된다고 가정하면 이산화탄소 감축 목표율과 감축률도 결정될 것이다. 국제 해운의 이산화탄소 감축량 목표치와 IMO에서 시행할 강제 제도를 기반으로 각 사업자별로 선박별 전년 대비 감축 목표율(R, 단위 %)이 설정된다. 설정된 탄소 감축 목표율을 기준으로 이산화탄소 감축률 (1-R/100)이 결정되면 매년 측정되는 EEOI 식 (2)를 기준으로 일정기간 연간 목표치를 Figure 1처럼 표시할 수 있다.

Table 8: CO₂ conversion factor according to fuel specific [18]

Type of fuel	Reference	Carbon content	C_{Fi} (t-CO ₂ /t-Fuel)
Diesel/Gas oil	ISO 8217 Grades DMX through DMC	0.875	3.206000
Light fuel oil(LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	0.86	3.151040
Heavy fuel oil(HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	0.85	3.114400
Liquified Petroleum Gas (LPG)	Propane Butane	0.819	3.000000
		0.827	3.030000
Liquified Natural Gas(LNG)		0.75	2.750000

운항선박의 탄소 감축을 위한 강제 제도가 IMO에서 도입된다고 가정하면 이산화탄소 감축 목표율과 감축률도 결정될 것이다. 국제 해운의 이산화탄소 감축량 목표치와 IMO에서 시행할 강제 제도를 기반으로 각 사업자별로 선박별 전년 대비 감축 목표율(R, 단위 %)이 설정된다. 설정된 탄소 감축 목표율을 기준으로 이산화탄소 감축률 $(1-R/100)$ 이 결정되면 매년 측정되는 EEOI 식 (2)를 기준으로 일정기간 연간 목표치를 Figure 1처럼 표시할 수 있다.

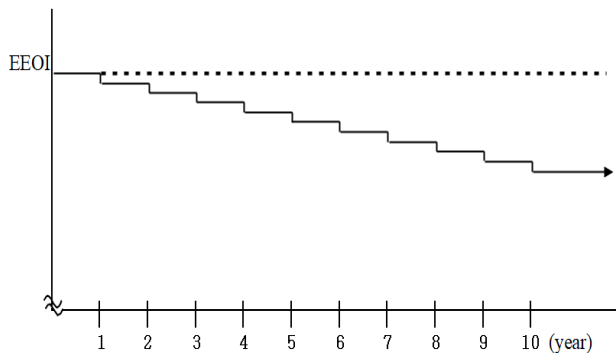


Figure 1: Application of EEOI reduction rate to operation ships

감축률 $(1-R/100)$ 을 적용하여 매년 혹은 일정 기간 동안 EEOI 감축에 사용될 식은

$$(\text{전년도 측정된 EEOI}) \times (1-R/100) \tag{3}$$

으로 일정 비율로 결정될 수 있다. 여기에 제시된 목표율과 감축률은 선박 운전자들과 IMO 전문가들의 합의에 의해 결정되어야 할 것이다.

예를 들어 IMO에서 선박별, 선종별 감축률이 결정되면 식 (2)에 의해 EEOI가 첫 해 운항 결과로 계산이 되고, 이 값이 기준이 된다. 그리고 2년차부터 감축률을 적용하여 이전 해 EEOI와 비교하여 개선된 결과가 도출된 선박은 식

(4)에 의해

$$-\text{saved fuel per year(tonne)} \times C_{Fi} \times \text{carbon price at market} \tag{4}$$

의 격려금을 지급한다.

그리고 악화된 결과가 도출된 선박은 식 (5)에 의해

$$-\text{increased fuel per year(tonne)} \times C_{Fi} \times \text{carbon price at market} \tag{5}$$

만큼의 벌과금을 부과한다.

전년 대비 연간 운항선 EEOI 결과 격려금과 벌과금을 결정하는 기초 이론적인 식으로 위의 두 식 (4)과 식 (5)를 제시한다.

개선된 결과가 나오더라도 사용 연료량이 증가하였을 때와, 악화된 결과가 나오더라도 사용 연료량이 감소하였을 때에는 격려금과 벌과금은 면제될 수 있다. 전년대비 배출량 감축 또는 증가에 따른 격려금 및 벌과금은 탄소거래소에서 거래되는 톤당 거래금액에 상응하는 금액으로 제안한다. 현재 탄소 거래소에서 거래되는 이산화탄소 금액은 거래소마다 많은 편차가 있으나, 신기후체제 이후 탄소 거래 활성화를 위해 유럽에서는 이산화탄소 가격을 톤당 30유로로 정할 예정이다[11]. 목표치 대비 연간 운항 후 이산화탄소 배출량의 감축 또는 증가는 각국 정부에서 관리하고, 격려금 및 벌과금의 전체 연말결산은 탄소세 기준으로 온실가스 펀드관리기구에서 관리할 것을 제안한다.

또한 IMO에서는 운항선사의 선대 확장이나 연간 연료 사용량에 대하여 관여하지 않았다. 즉 운항선사가 선복량을 확대하더라도 추가 제제를 적용하지 않았다. 하지만 UN 기후변화협회의회에서 강력하게 각국의 연간 최대 탄소배출권 목표치를 설정하도록 하는 것과 같은 제도를 IMO에서도 도입해야만 한다.

각 해운선사마다 선복량 확장 시 늘어나는 이산화탄소 배출량에 해당하는 만큼의 탄소배출권을 국제탄소 시장으로부터 구입하도록 하는 제도를 국제해운에서도 도입할 것을 제안한다.

4. 결론

지난 2007년 기후변화정부간협의체(IPCC)가 산업화 이전의 온도보다 섭씨 2°C 보다 높지 않으려면 공기 중에 이산화탄소 농도가 400 ppm을 넘지 않아야 한다고 제안하였다. 하지만 2016년 7월의 대기 중 이산화탄소 농도는 지구 온난화 방지를 위한 심리적 마지노선인 400 ppm을 넘어 404 ppm으로 관측되었다. 국제 해운에 종사하는 선박으로부터 배출되는 온실가스 배출 감축 목표를 설정하기 위해, MEPC 69차 및 70차에서 연속하여 연비 보고 제도 도입 추진을 위한 협의를 진행하였다. 또한 ICS는 오는 2050년까지 해상에서 배출되는 이산화탄소 배출량을 50% 감축하기로 목표치를 설정하였다. 이미 IMO는 운항선박에서 발생하는 이산화탄소 배출량을 줄이기 위한 강제 제도 적용을

검토하고 있다. 이 논문에서는 해상운송에서 효율적이고 자발적인 이산화탄소 감축을 유도하기 위하여 다음과 같은 제안을 하였다.

- (1) 운항선택기인 온실가스 감축을 지속적으로 유도하기 위해 해상에서도 탄소세와 탄소배출권 거래제를 빠른 시일 내에 도입할 것을 제안하였다.
- (2) 시장기반조치에 근거하여 매년 운항선택의 EEOI 증·감소 결과에 따라 격려금과 벌과금 부여제도를 제안하고 이 제도에 적용될 이론적인 식을 제안하였다.
- (3) 이산화탄소 절대 발생량 규제에 부응하기 위해 해운선사에서 선복량 확대 시 증가되는 이산화탄소 배출량만큼 국제 탄소거래소를 통한 탄소배출권 구매를 제안하였다.

References

- [1] J. T. Park, KISTII, "CO₂ concentration in the atmosphere 400ppm, warning on earth temperature," <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=3409045&cid=58413&categoryId=58413>, Accessed June 3, 2013.
- [2] IMO, Third IMO Greenhouse Gas Study 2014, Executive Summary and Final Report, International Maritime Organization, London, p. 47, 2014.
- [3] S. D. Lee, A Study on the Proposal of the Modified EEOI Formula and Reduction in CO₂ Emission from Ship, Ph.D. Dissertation, Department of Control and Mechanical Engineering, The graduate School Pukyong National University, Korea, pp. 19-26, 2013 (in Korean).
- [4] IMO, Marine Environment Protection Committee, 65th Session, 65/4/19, pp. 131-135, 2013.
- [5] IMO, Marine Environment Protection Committee, 70th Session, 70/3/2, pp. 18-25, 2016.
- [6] S. H. Jung, D. G. Go, and S. D. Lee, "Countermeasures for reduction for CO₂ emission from training ship," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 9 pp. 981-986, 2014 (in Korean).
- [7] DNV, DNV Fuel Saving Guideline for Container Ships, Bulk Carriers, Tankers.
- [8] Wartsila, Boosting Energy Efficiency, Energy Efficiency Catalogues / Ship Power R&D, 2009.
- [9] G. R. Park and K. H. Cho, "A study on the change of EEOI before and after modifying bulbous at the large container ship adopting low speed operation," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 41, no.1 pp. 15-20, 2017 (in Korean).
- [10] C. K. Lee, GREEN ISSUE 2015-32, GangWon Province's Response According to The Result of 21st Paris Climate Change Conference, p. 3, p. 4, 18, 2015 (in Korean).
- [11] Newspaper of Jong-Ang Daily, France Decide Min. 30 EURO per Tonne of Carbon Dioxide, May 18, 2016 (in Korean).
- [12] Marissa Santikarn, 10 persons, International Carbon Action Partnership(ICAP) Status Report, p.7. 2016.
- [13] Financial news, <http://mfnews.com/news/20170214193-7409897#cb>, Accessed February 14, 2017.
- [14] IMO, Third IMO Greenhouse Gas Study 2014, Executive Summary and Final Report, International Maritime Organization, London, pp. 57-58, p. 136, 2014.
- [15] DNV, IMO UPDATE No. 7-2016, APRIL, 69TH SESSION, 18 TO 22 APRIL. p.2. 2016.
- [16] IMO, Marine Environment Protection Committee, 63rd Session, 63/5/4, pp. 101-102, 2012.
- [17] IMO, Marine Environment Protection Committee, 65th Session, 65/4/1, pp. 76-78, 2013.
- [18] IMO, 2012 Guidelines on The Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index(EEDI) for New Ships, p. 3, 2012.