



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

경제학석사 학위논문

선박기인 온실가스 저감기술의 경제적
효과에 대한 연구

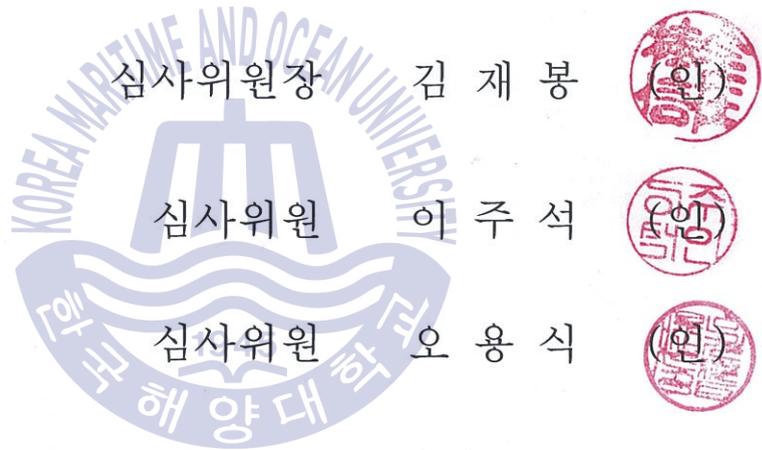
A Study on the Economic Impact of the Technologies
for GHG Reduction from Ships



한국해양대학교 대학원

무역학과
장 상 운

본 논문을 장상운의 경제학석사 학위논문으로
인준함.



2018년 12월

한국해양대학교 대학원

목 차

표 목차	iv
그림 목차	v
Abstract	vi
제 1 장 서론	1
1.1 연구의 배경과 목적	1
1.2 연구의 방법과 구성	2
1.3 선행연구 분석	3
제 2 장 선박기인 온실가스에 관한 국제적 논의	5
2.1 국제기구 및 주요국가의 온실가스에 대한 태도	5
2.1.1 UN	5
2.1.2 ICAO	6
2.1.3 IMO	6
2.1.4 NGO	7
2.1.5 주요국가	9
2.1.6 우리나라	11
2.2 IMO 온실가스 감축 로드맵	12
2.3 국제해운 온실가스 감축조치	15
2.3.1 기술적 조치	15
2.3.1.1 에너지효율설계지수	15

2.3.1.2 대체연료	16
2.3.2 운항적 조치	17
2.3.2.1 선박에너지효율관리계획서	17
2.3.2.2 에너지효율운항지수	18
2.3.2.3 MRV	19
2.3.2.4 선속규제	20
2.3.2.5 항로최적화	21
2.3.2.6 시장기반조치	22
제 3 장 온실가스 저감기술의 경제적 효과 평가	26
3.1 평가의 개요	26
3.2 평가의 과정	27
3.2.1 선체 및 프로펠러 소재	27
3.2.2 구상선수(Bulbous Bow) 최적화	27
3.2.3 선수미 흘수차를 이용한 저항감소 방법(Trim 최적화)	28
3.2.4 가변속도제어 모터	28
3.2.5 감속운항	29
3.3 한계저감비용 분석	30
3.3.1 한계저감비용 분석	31
3.3.2 한계저감비용 평가	32
3.3.3 시장기반조치 도입효과	34

제 4 장 결론	38
4.1 요약 및 결론	38
4.2 시사점	39
4.3 향후과제	40
참고문헌	41
감사의 글	44



표 목차

[표 1] 국제해사기구 온실가스 감축 3대 조치사항	7
[표 2] ESI 참여효과	8
[표 3] IMO 온실가스 감축전략 개발을 위한 로드맵	13
[표 4] EEDI 요구사항	15
[표 5] 최적항로 운항조치	22
[표 6] 감속운항 경제성 평가	34
[표 7] 온실가스 저감기술 경제성 및 한계저감비용 분석	36
[표 8] 온실가스 저감기술 시장기반조치 도입효과	40

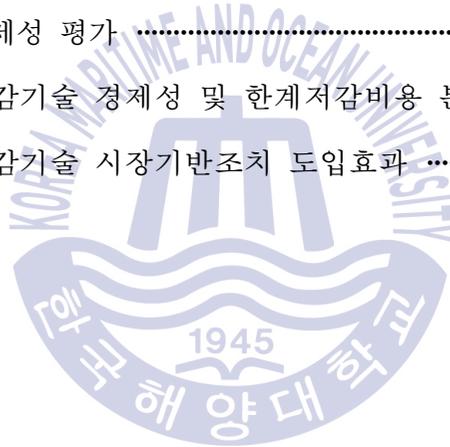


그림 목차

[그림 1] Clean Shipping Index	7
[그림 2] 친환경 선박 Top 50	8
[그림 3] Panama Eco-Ship Discount 검증사례	10
[그림 4] BAU Projection 2012-2050	12
[그림 5] EEDI 산출공식	16
[그림 6] MRV 개요	19
[그림 7] EEDI 강화와 감속운항 도입효과	21
[그림 8] 탄소세 도입에 따른 수요와 공급 영향	23
[그림 9] 배출권 거래제 개요	24
[그림 10] 한계저감비용과 경제성 평가	32
[그림 11] 한계저감비용과 배출저감	33
[그림 12] 국제 탄소가격 현황	34
[그림 13] 시장기반조치 도입효과	36
[그림 14] 시장기반조치 도입효과와 배출저감	37

A Study on the Economic Impact of the Technologies for GHG Reduction from ships

Jang, Sang Woon

Department of International Trade
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

The International Maritime Organization is preparing for measures to reduce greenhouse gases from ships by designating them as the agenda of MEPC(Marine Environment Protection Committee). In order for the response to climate change, this Committee established working groups to prepare IMO strategy and reduction target on GHG reductions. The initial strategy on reduction of GHG emission from ships was reported to the committee and it was adopted as Res.MEPC.304(72).

The initial strategy adopted at MEPC 72 aims not only to reduce carbon intensity by at least 40 percent by 2030, 70 percent by 2050 but reduce total annual GHG emissions by at least 50 percent by 2050. This strategy lists candidate measures that can achieve the goal of greenhouse gas reduction through strengthening technical measures and operational measures, and it is expected that these measures will have a significant impact on international shipping if adopted. Therefore, it is necessary to continuously monitor greenhouse gas emission regulations and to prepare for effective implementation in order to actively respond to them.

The use of technology for energy efficiency improvement of ships can cause an increase in the cost of ship construction, and the management of energy efficiency to implement the operation measures is expected to burden administrative costs for monitoring, verifying and reporting greenhouse gas emissions from ships. However,

market-based measures will have more significant impact on profit or loss depending on the management and reduction capability of GHG by its pricing carbon emissions.

In this study, discussion on GHG reduction from international shipping was reviewed so as to analyze the impact of candidate measures under consideration and the economic impacts of technologies for reducing GHG emissions. Furthermore, the benefits and costs was estimated based on marginal abatement cost of GHG reduction technologies, effective countermeasures for the response to GHG regulations and directions for the Korean shipping industry to prepare and move forward was proposed.



제 1 장 서론

1.1 연구의 배경과 목적

지구라는 행성이 인간에게 살기 적합한 이유가 온실효과라고 해도 과언이 아닐 만큼 지구의 대기온도의 유지는 생명체가 살아가기 위한 필수적인 요소라고 할 수 있다. 하지만 산업혁명을 거치면서 화석연료의 사용에 따른 대기중 이산화탄소 농도 증가로 외부불경제가 발생하게 되었으며, 이로 인해 온난화가 새로운 문제로 등장하게 되었다.

외부불경제는 생산자나 소비자의 경제활동이 시장거래에 의하지 않고 직접적으로 또한 부수적으로 제3자의 경제활동이나 생활에 영향을 미치는 것을 의미하는데, 그 영향이 이익이면 외부순경제, 손해면 외부불경제로 평가한다. 국제해운의 외부불경제는 온실가스 배출에 의한 지구온난화, 해수면 상승 및 이상 기후 등을 예로 들 수 있으며, 이러한 외부 불경제는 시장에서 자원의 최적배분이 실현되기 어렵다.

국제사회의 온실가스 배출규제를 논한다면, 1992년 6월 채택된 유엔기후변화협약(UNFCCC¹⁾)으로부터 시작한다고 할 수 있다. 제3차 당사국 총회가 개최된 교토에서는 각국의 감축 목표량을 국가별 감축역량 및 역사적 배출기여도를 고려하여 -8~+10%로 감축의무를 차별화하고, 국제해운의 온실가스 감축사항을 국제해사기구(IMO²⁾)에 위임하였으며, 국제해운으로부터 배출되는 온실가스를 감축하기 위하여 2011년에 기술적 조치, 운항적 조치 그리고 시장기반 조치의 도입이 결정되었다.

2018년 현재, 국제해사기구에서는 해양환경보호위원회(MEPC)를 개최하여 『선박으로부터의 온실가스 감축³⁾』을 논의 주제로 지정하여 감축방안을 논의하고 있다. 그 결과 국제해운의 온실가스 감축전략과 감축목표 설정을 위한 작업반이 구성되었으며, 2018년 4월 해양환경보호위원회 72차에 개최된 작업반 회의에서는 온실가스 감축초기 전략이 채택되었다.⁴⁾

1) United Nations Framework Convention on Climate Change, 1994년 03월 21일 발효

2) International Maritime Organization

국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)는 국제무역에 종사하는 선박에 영향을 미치는 모든 종류의 기술적 문제와 관련되는 정부 규제 및 실행 분야에서 각국 정부가 서로 협력하는 것을 목적으로 설립되었다. 이 기구는 해상의 안전과 항해의 능률을 위하여 해운에 영향을 미치는 각종 기술적 사항과 관련된 정부간 협력을 촉진하고, 선박에 의한 해상오염을 방지하고, 국제해운과 관련된 법적 문제를 해결하는 임무를 수행함.(유엔 개황, 2008., 외교부)

3) Reduction of GHG Emission from Ships (MEPC Agenda 7)

국제해사기구가 2018년에 채택한 온실가스 감축초기전략은 탄소집약도를 2008년대비 2030년까지 40%, 2050년까지 70% 개선할 것을 목표로 하고 있으며, 2050년 총배출량을 50% 감축하는 것을 목표로 하고 있다. 감축전략에는 온실가스 감축목표 달성을 위한 후보조치 사항들이 제안되고 있으며, 선박에너지효율개선을 강화하는 기술적 조치와 운항효율의 모니터링, 감속운항, 최적항로등이 제안되고 있는 운항적 조치의 도입과 같이 국제해운은 온실가스 배출저감을 위한 노력을 추구하여 왔다.

하지만 IMO의 온실가스 감축목표는 기술적 조치와 운항적 조치의 도입만으로는 저감 효과가 충분하지 못하기 때문에, 온실가스에 경제적 가치를 부여하는 시장기반조치의 도입이 필요하다는 공감대가 형성되고 있다. 하지만 시장기반조치는 해운산업의 환경비용의 증가와 감축목표달성의 효과성에서 대립되고 있으며, 온실가스 배출량 관리 및 감축 역량 차이로 인한 비용과 수익에 큰 영향을 줄 것으로 예상된다. 온실가스 배출규제의 선진국인 우리나라는 배출권거래제를 통하여 시장기반조치를 도입하고 있으며, 이러한 조치의 도입효과에 대한 많은 연구자료가 제시되고 있다. 하지만 국제해운의 시장기반조치 도입에 대한 경제적 효과의 분석이 상대적으로 부족하다.

그리하여 본 연구에서는 온실가스 저감기술 적용에 의한 배출저감 결과에 대하여 시장기반조치(Market-Based Measures)의 도입효과와 경제적 영향을 확인하고, 더불어 온실가스 저감기술의 도입효과를 평가하였다.

1.2 연구의 방법과 구성

본 연구는 온실가스 배출저감 기술을 실제 선박에 적용하고, 정기적으로 보고되는 정오보고 및 출항보고서와 같은 운항정보를 활용하고 항해거리, 연료소모량, 기상상태, 화물적재상태, 선속, 엔진부하상태 정보등을 분류하여 배출저감 기술의 효과성을 분석하였다. 그리고 효과성이 확인된 저감기술은 연료비용 절감에 의한 기술투자비용의 회수기간과 한계저감비용을 산출하여 경제성 평가를 하고, 온실가스 배출저감 실적에 대한 경제적 가치를 부여하여 그에 따른 투자비용 회수기간과 한계저감비용을 재평가하는 과정을 통하여 시장기반조치 도입의 경제적 효과를 정량적으로 산출하였다.

본 연구는 제1장 서론에서 연구 배경과 목적 및 연구방법과 선행연구의 사례를 소개

4) Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emission from Ships (Resolution MEPC.304(72))

하였으며, 제2장에서 선박기인 온실가스에 관한 국제적 논의를 통하여 국제기구 및 주요국가의 온실가스 감축노력과 국제해사기구의 활동사항을 기술하였다.

제3장에서는 온실가스 배출저감 기술들의 적용사례를 통해 각 기술의 저감효과와 한계저감비용을 산출하고, 시장기반조치 도입을 통한 온실가스 배출저감 효과를 분석하여 온실가스 저감기술의 경제적 효과 평가를 정리하였다.

마지막으로, 제4장 결론에서는 해운산업이 온실가스 배출규제에 효과적인 대응을 위한 준비사항을 제시하고 시장기반조치 도입을 고려한 합리적인 의사결정의 필요성을 강조하였다.

1.3 선행연구 분석

본 연구를 수행하기에 앞서 현재까지 연구된 IMO 시장기반조치의 도입 효과와 온실가스 배출저감 기술에 대한 연구 사례를 확인하고, 추가적으로 연구가 필요한 부분을 식별하였다.

김우호(2012)는 ‘IMO 온실가스 시장기반조치(MBM) 대응방안 연구’를 통하여 시장기반조치 제안사항을 경제성, 환경성, 안정성 측면의 평가결과를 종합하여 우선 순위를 분석하고, 전문가 설문조사와 AHP 방법론을 적용하였다. 반면 임종관(2013)은 ‘선박의 온실가스배출 감축을 위한 IMO 시장기반조치(MBM)에 관한 연구’에서 전문가 면담을 통하여 참여도, 법의 지배, 투명성, 반응성, 전원합의 지향성, 형평성, 포용성, 효과성과 효율성, 대안의 책임감의 8개 평가항목을 설정하고 방사선 모형으로 분석하였다. 두 연구 결과는 공통적으로 GHG-Fund가 가장 많은 지지를 받을 것으로 예상하였지만 시장기반조치의 도입에 따른 해운업계의 경제적 영향에 대해서는 평가되지 않았다.

오공균(2013)은 ‘선박배출 온실가스 감축을 위한 기술·운항·시장 조치에 관한 법제 연구’에서 시장기반조치의 평가를 통한 국제해운의 온실가스 감축 필요성을 제시하였으며, 시장기반조치의 강제화를 위한 법제화와 이해관계 조정의 필요성과, 새로운 방법의 시장기반조치의 개발의 필요성을 제안하였다.

김우주(2017)는 ‘IMO 탄소배출권거래제도 도입이 국내 해상운송기업에 미치는 경제적 영향’을 통하여 국내 주요 해운선사의 온실가스 배출량을 제시하였으며, 온실가스배출량의 가치를 톤당 Low(\$10), Medium(\$25), High(\$40) 3단계 설정하고, 이에

대한 국제해운의 재무적인 영향을 평가하여 온실가스 감축을 위한 시장기반조치의 도입은 해운업계에 큰 영향을 줄 수 있음을 제시하였다. 하지만 배출량 저감을 위한 대안이 제시되지 않았으며, 저감기술에 대한 경제적 영향이 제시되지 않았다.

김순갑 외(2012)는 ‘선박의 연료소모량 절감을 위한 항해 속력에 관한 연구’에서 국제 원유가의 폭등에 의한 선박연료 비용절감과 온실가스 배출량 저감을 위하여 선박 최적선속을 제시하는 운항적 대안을 제시하였다. 하지만 특정한 규모의 선박만을 기준으로 산출하였으므로 보편적인 적용은 어렵다는 점에서 한계성이 있다고 할 수 있다.

임성빈(2012)는 ‘항공부문 배출권거래제도 국제동향 분석 및 국내 대응방안 연구’를 통하여, 항공부문의 온실가스 배출감축을 위한 노력을 운항적 측면과 기술적 측면으로 구분하고 효과의 정성적 평가만 제시하였으며, 온실가스 배출저감과 연료효율성 개선으로 항공사의 원가경쟁력 확보가 필요함을 제안하였다.

김완배(2011)는 ‘배출권 거래제도에 따른 탄소배출 저감기술 적용 및 경제적 평가’에서 온실가스 배출저감 기술인 CCS⁵⁾ 기술의 발전 산업의 적용 방안을 제시하였으며, 이산화탄소 배출량에 대한 경제적 가치(탄소세 \$20)를 고려한 회수비용 절감액을 산출하여 CCS 기술의 경제성을 평가하였다.

현재까지 선제적으로 온실가스 배출규제를 도입한 산업계는 온실가스 배출규제에 대한 영향도와 경제적 효과를 분석하고 있다. 하지만 수송부분인 항공과 선박은 온실가스 배출저감을 위한 기술조치와 운항조치의 도입의 필요성과 절감방안이 제시되었을 뿐이며, 선박 온실가스 배출저감 기술의 한계저감비용의 분석을 통한 경제적 효과의 평가 사례는 없기 때문에 본 연구에서 선박기인 온실가스 저감기술의 경제적 효과를 분석하고자 한다.

5) CO₂ 포집 및 저장 기술 (Carbon Capture and Storage or Sequestration)

제 2 장 선박기인 온실가스에 관한 국제적 논의

2.1 국제기구 및 주요국가의 온실가스에 대한 태도

2.1.1 국제연합(UN)

국제사회는 지구온난화로 인한 기상 이변, 강수량 변화, 해수면 상승에 의한 식량과 수자원의 공급 불안정이 인류건강에 위협이 되고 있음을 인지하고, 1992년 6월에 유엔 기후변화협약(UNFCCC)을 채택함으로써 인간이 기후체계에 위협한 영향을 미치지 않을 수준에서 대기 중 온실가스를 안정화 하는 것을 목표로 하였다.

유엔기후변화협약은 매년 당사국 총회를 개최하고 있다. 1997년 제3차 당사국총회(COP3)는 교토의정서(Kyoto Protocol⁶⁾)를 채택함으로써, 부속서 B에 명시된 38개국의 온실가스 배출량을 1990년대비 5.2% 감축키로 하고 선진국의 온실가스 감축의무와 법적구속력을 구체화하였다. 더불어 6대 온실가스⁷⁾와 통제범위 설정 및 교토매커니즘(공동이행제도⁸⁾, 청정개발체제⁹⁾, 배출권거래제¹⁰⁾) 도입을 채택하였다.

2015년 프랑스 파리에서 개최된 제21차 당사국총회(COP21)에서는 파리협정을 채택하였으며, 선진국의 선도적 역할을 강조하고 모든 국가가 기후변화 대응에 참여를 요청하였다. 파리협정은 산업화 이전 대비 지구 평균기온 상승을 2°C 보다 낮은 수준으로 유지, 조속한 온실가스 배출정점 도달을 목표, 매 5년마다 상향된 목표 제출을 주요 내용으로 하고 있다.

현재 유엔기후변화협약은 당사국 총회를 통하여 기후변화에 대한 적응과 파리협정의 이행방안에 대하여 지속적인 논의를 하고 있다.

6) Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations 1988.

* 교토의정서 발효조건: 55개국 이상 비준, 비준 당사국 중 Annex I 국가의 온실가스 배출량이 전세계 배출량 55% 조건임

* 2004년 러시아의 비준으로 2005년 2월 16일부 발효됨. 한국은 감축의무 없음

7) IPCC, Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Inventories

8) JI (Joint Implementation)

: 선진국가들의 타국가 투자를 통한 감축량을 일정부분 감축 실적으로 인정(교토의정서 제6조)

9) CDM (Clean Development Mechanism)

: 선진국과 개도국의 공동 추진하는 온실가스 감축사업제도(교토의정서 제12조)

10) ETS (Emission Trade Scheme)

: 배출권의 시장거래를 통한 자원의 효율적 분배(교토의정서 제6조)

2.1.2 국제민간항공기구 (ICAO)¹¹⁾

국제항공은 Global 온실가스 배출량의 4.9%를 차지하고 있으며, 교토의정서(Kyoto Protocol) Article 2.2에서는 국제항공의 온실가스의 배출감축은 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO)를 통하여 감축목표를 수립하고 달성하도록 규정¹²⁾하고 있다.(국제항공은 Global 배출량의 4.9% 차지)

국제민간항공기구는 1983년 항공환경보호위원회(CAEP, the Committee on Aviation Environment Protection)를 설치하여 환경보호의 제1차적인 책임을 지도록 노력하고 있으며, 온실가스 감축이행 프로그램 개발과 기후변화그룹을 통하여 운송효율을 매년 2% 개선하여 2005년 기준 2020년까지 총 26% 연료효율 개선 및 2050년까지 60% 연료효율 개선을 합의하였다.

국제민간항공기구는 국제항공 교통량이 2014년~2034년까지 평균 4.1% 증가할 것으로 예상하였으며, 국적 항공사들은 2010년부터 항공분야의 자발적인 온실가스 감축협약을 체결하여 기후변화와 국내외 온실가스 배출규제에 대응하고 있다. 이 협약에서는 연료효율이 좋은 신세대 항공기의 확보, 엔진 세척을 통한 에너지 효율개선, 기내 탑재물 경량화 및 육상전원 활용방안 등의 연료효율 개선 및 에너지효율 개선을 위한 기술을 도입하고 있다.

2.1.3 국제해사기구(IMO)

교토의정서는 온실가스 감축을 위한 기후변화협약의 실제이행 지침을 포함하였으며 1990년 대비 온실가스 5.2% 감축목표 설정과 교토메커니즘 도입이 명시되어 있고, 국제항공 부분은 국제민간항공기구(ICAO¹³⁾)에, 국제해운 부분은 국제해사기구(IMO)에 온실가스 감축 권한이 위임되어 [표 1]과 같은 조치들을 준비하고 있다.

11) 국제민간항공기구는 국제민간항공에 대한 UN 전문기구로서 범세계적 민간항공부문의 안전한 발전을 도모하고 항공수요의 충족을 위해 불합리한 경쟁으로 인한 경제적 낭비를 방지하며, 회원국 간의 차별을 폐지하는 것 등을 국제민간항공협약 제 44조를 통하여 그 목적을 명시하고 있다.

12) Kyoto Protocol Article 2.2

The Parties included in Annex I shall pursue limitation or reduction of emissions of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol from aviation and marine bunker fuels, working through the International Civil Aviation Organization and the International Maritime Organization, respectively.

13) International Civil Aviation Organization

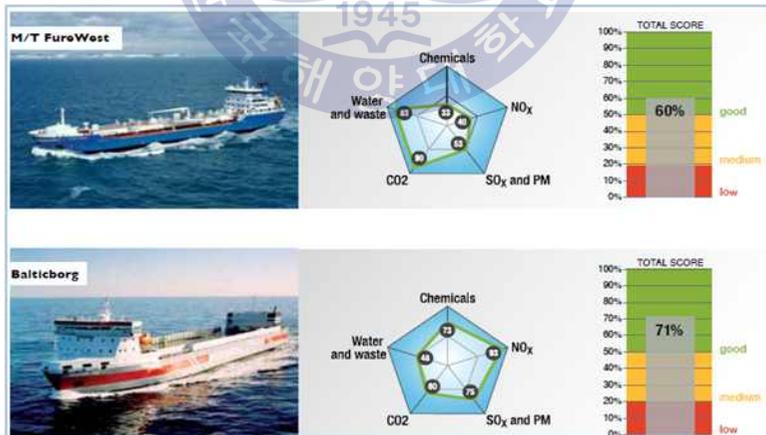
[표 1] 국제해사기구 온실가스 감축 3대 조치사항

기술적 조치 (Technical Measures)	신조선박의 에너지효율 설계지수부여 현존선의 경쟁력 약화 유도 선박 해체 및 개조 유도
운항적 조치 (Operational Measures)	현존선의 에너지 효율 운항지수부여 지속적인 운항효율 관리 유도
시장기반 조치 (Market Based Measures)	탄소배출권거래제 및 탄소세 도입 추가적인 온실가스 감축유도

국제해사기구는 제62차 해양환경보호위원회(2011.07)에서 [표 1]과 같이 세 가지 조치사항을 강제화하는 해양오염방지협약(MARPOL) 부속서 VI장 개정안을 채택하였으며 2013.01.01 부터 발효되었다.

2.1.4 비정부기구(NGO)

비정부기구에서도 자발적인 온실가스 배출저감을 위한 친환경 선박의 평가제도가 있으며, 친환경선박의 평가 항목으로 활용한 인증제도인 [그림 1]의 CSI¹⁴⁾와, 친환경 선박의 항비를 감면해주는 ESI¹⁵⁾ 프로그램이 시행되고 있다.



※ 출처 : Clean Shipping Index 홈페이지

[그림 1] Clean Shipping Index

14) Clean Shipping Index (<http://cleanshippingindex.com/certification/>)

15) Environmental Ship Index (<http://esi.wpci.nl/Public/Home>) 친환경선박지수

[그림 1]에서 알 수 있듯이, CSI 인증제도는 자발적으로 보고된 온실가스 배출량 정보를 기반으로 선박의 친환경성을 평가하고, 화주와 용선주가 열람할 수 있도록 운영하고 있다. 더불어 해운선사의 입장에서는 선박의 친환경성을 대외적으로 홍보할 수 있는 기회도 부여된다.

ESI 프로그램은 네덜란드에 소재한 WPCI(World Ports Climate Initiative)가 운영하는 친환경선박인증 프로그램이며, 선사가 자발적으로 온실가스 배출저감 실적을 보고하여 친환경성을 평가받고 있다. 참여중인 8,000여척의 선박은 50여개의 항만에서 항비감면 혜택을 받고 있으며, [그림 2]과 같이 가장 높은 친환경 점수를 획득한 상위 50개 선박이 공개되고 있다. ESI는 [표 2]와 같이 항비감면 혜택을 제공하여 친환경선박 확대를 위한 투자비용의 간접적인 보상과 비용절감 효과를 제공하고 있다.

Ship name	IMO number	Ship owner	Valid from	Valid until	ESI score	
Island Crusader	9602514	Island Offshore Management AS	1/10/2018	31/3/2019	100.0	🔍
Skandi Vega	9435715	DOF Management AS	1/7/2018	31/12/2018	100.0	🔍
Island Clipper	9722871	Island Offshore Management AS	1/7/2018	31/12/2018	100.0	🔍
NAO Protector	9665126	Remay Shipping AS	1/10/2018	31/3/2019	100.0	🔍
Bourbon Arctic	9732838	Bourbon Offshore Norway	1/10/2018	31/3/2019	100.0	🔍
Fure Vinga	9739800	Furetank Danmark A/S	1/10/2018	31/3/2019	99.8	🔍
Skandi Flora	9372896	DOF Management AS	1/7/2018	31/12/2018	99.2	🔍
NAO Thunder	9665102	Remay Shipping AS	1/10/2018	31/3/2019	98.7	🔍
Far Samson	9400497	Solstad Offshore ASA	1/7/2018	31/12/2018	97.4	🔍
Island Chieftain	9419761	Island Offshore Management AS	1/10/2018	31/3/2019	97.0	🔍

◀◀ Page 1 of 5 ▶▶

※ 출처 : ESI 홈페이지 (Ships)

[그림 2] 친환경 선박 Top 50

[표 2] ESI 참여효과

선박	함부르크 ¹⁶⁾	로테르담 ¹⁷⁾	부산항 ¹⁸⁾
10,000TEU	1000~1500유로	2700유로	190만원
13,000TEU		3400유로	240만원
8,600TEU		2200유로	150만원

2.1.5 주요국가

유럽연합의 배출권거래제도는 제도 도입에 따른 산업의 영향을 최소화 하는 단계적 도입을 목표로 하는 배출권거래제도가 시작된 2005년부터 2007년까지를 1단계(Phase I), 2008년부터 2012년까지를 2단계(Phase II), 2013년 이후의 단계를 3단계(Phase III)로 나누어 시행하고 있다. 2012년부터는 항공부문도 배출권거래제도의 참여를 하여 통제 범위가 확대되고 있으며 제도운영 및 경험축적을 진행하고 있다. 유럽연합 배출권거래제도는 강제적인 배출권 할당을 전제로 하는 총량제한방식을 운영원칙으로 한다. 총량제한방식은 온실가스 배출량의 한도를 정하고(Cap) 허용된 배출량보다 감축량이 많은 경우 잔여분의 배출권을 거래할 수 있도록 하였다.

미국의 동부 9개주에서는 25MWh 이상의 발전설비를 대상으로 온실가스 감축활동(RGGI¹⁹)을 추진하고 있으며 2009년부터 2014년까지 배출수준을 동결하고 2015~2018년 기간 동안은 매년 2.5% 감축을 요구하고 있다. RGGI는 온실가스 배출저감을 위해 미국에서 형성된 최초의 시장기반의 제도이며 발전 부문은 배출권의 90%를 경매(Auction)로 할당하고 에너지효율개선, 재생에너지 등의 에너지 기술투자를 위해 수익금이 활용되고 있다. 미국 캘리포니아와 캐나다의 4개주가 함께 참여하는 WCI는 애리조나, 뉴멕시코, 오레곤과 워싱턴 주에서 온실가스 배출량을 줄이고 관련 산업의 이익을 달성하기 위한 목적으로 2020년까지 2005년 배출량보다 15% 감축을 목표로 하고 있다.

일본은 교통의정서의 Annex B에서 의무감축국으로 지정되어 있으며, 2012년까지 1990년대비 6% 배출량 감축의무가 부여된 회원국이다. 하지만 2011년 제17차 당사국 총회에 일본은 교토의정서 불참을 선언하여 온실가스 감축이행의 의무가 면제되었다. 일본은 2008년 10월부터 자발적 배출권거래제도(J-VETS²⁰)를 시행중이며, 이 제도를

-
- 16) $35 \leq \text{ESI Score} < 50$, 5% Discount on Harbour Dues, Max. EUR 1,000
 - $50 \leq \text{ESI Score}$ 10% Discount on Garbour Dues, Max. EUR 1,500
 - 17) $31 \leq \text{ESI Score}$ 10% Discount on GRT part of Harbour Due
 - 18) $31 \leq \text{ESI Score}$ 15% Discount on Port Dues

19) 네이버 지식백과 <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1982570&cid=47340&categoryId=47340>
(2018.11.21.검색)

Regional Greenhouse Gas Initiative: 2003년 시작된 미국의 자발적인 온실가스 감축 이니셔티브로서, 뉴욕과 뉴저지 등 미국 북동부 지역 10개 주를 중심으로 전 지구적인 기후변화에 대응하는 노력의 일환이다. 발전소에서 발생하는 온실가스에 대한 Cap&Trade(총량규제 방식의 배출권 거래) 제도를 마련하고 있다. 2018년까지 1990년 수준의 10퍼센트 이하로 온실가스 배출을 저감하는 내용의 행동 계획(Action Plan)을 발표하기도 했으며, 2008년 9월 온라인 온실가스(이산화탄소) 경매를 통한 첫 거래를 시작으로 연 네 차례의 온라인 경매를 진행하고 있다.

통하여 연료소모량, 전기 및 열사용, 쓰레기소각 및 재활용, 산업공정에서 발생하는 이산화탄소의 감축노력을 이행하여 왔다.

호주는 교토의정서에서 2012년까지 1990년대비 8% 배출량 증가가 허용되었으며. 국가적 차원의 온실가스 감축을 위하여 2012년 7월 1일부터 탄소세를 시행하였다. 호주의 탄소세는 주요 탄소배출 대기업에게 이산화탄소 1톤 배출 단위에 일정액의 세금을 내도록 하는 방식이었으며 500대 탄소 배출 대기업에 톤당 23호주달러를 시작으로 3년간 매년 2.5%씩 가격을 인상하고 4년부터 시장가격을 적용하기로 하였다. 호주는 탄소세를 통하여 2020년까지 탄소 배출량을 연간 1억 6,000만톤 감축을 목표로 하였으며, 탄소세를 통해 확보된 예산을 복지정책 확대와 세금우대 혜택으로 사회에 환원하였으나, 2008년 세계 금융위기 이후 시작된 경기침체가 기업들이 탄소세 부담을 소비자에게 전가되는 원인이 되어 탄소세를 폐지하고 2014년부터 배출권거래제를 시행하였다. 또한, 호주는 국제해운의 온실가스 배출저감에 대한 노력으로 Rightship 제도를 통해 현존선의 에너지효율지수(Existing Vessel Design Index, EVDI)를 평가하고 있으며, 이해관계자들이 모든 선박의 에너지효율을 열람할 수 있도록 운영하고 있다. 캐나다의 Prince Rupert 항구는 이 지수를 활용하여 선박의 항비를 감면해주고 있다.

파나마는 선박의 운항에너지효율지표를 [그림 3]과 같이 산출하고 3차 인증기관의 인증서를 제출할 경우, 기국 세금을 감면해주는 제도를 시행하고 있다.

Ship Information		Voyage Period		CO ₂ Emission			Distance	Cargo Weight	Work Performed	IMO EEOI
Voy No.	Dep Port	From	To	TTL FO	TTL DO	CO ₂ (gram)	TTL Mile	B/L (Ton)	Transport Work (Ton-Mile)	CO ₂ gram / Ton-Mile
0017X	SGSIN	2015-01-14	2015-02-20	844.1	1.6	2,693,994,640	11,021.6	57,923	638,404,137	4.1
0017X	CNLKU	2015-02-20	2015-03-06	243.5	0.7	760,600,600	2,865.1	-	-	-
0018X	USSEA	2015-03-06	2015-04-03	410.0	79.0	1,530,178,000	5,671.9	71,400	404,973,660	3.8
0019X	KRINC	2015-04-03	2015-05-04	457.8	49.4	1,584,148,720	6,027.6	-	-	-
0019X	USSEA	2015-05-04	2015-05-28	326.2	80.7	1,274,641,480	5,006.6	71,398	357,461,227	3.6
0019X	KRPTK	2015-05-28	2015-06-25	405.9	38.9	1,388,848,360	5,450.7	49,128	267,781,990	5.2
0020X	KRUSN	2015-06-25	2015-07-03	39.2	12.6	162,480,080	476.3	-	-	-
0020X	CLPPT	2015-07-03	2015-08-14	753.0	1.6	2,350,272,800	9,375.8	62,045	581,721,511	4.0
0020X	PACTB	2015-08-14	2015-08-22	172.0	0.5	537,279,800	2,101.2	62,045	130,368,954	4.1
0021X	USNYC	2015-08-22	2015-09-09	140.3	50.6	599,173,920	2,052.5	-	-	-
0021X	USMSV	2015-09-09	2015-09-20	108.8	53.5	510,367,720	1,982.3	45,000	89,203,500	5.7
0022X	NLRMT	2015-09-20	2015-10-10	339.0	50.4	1,217,364,000	4,959.3	-	-	-
0022X	NLAMT	2015-10-10	2015-10-19	-	29.6	94,897,600	157.8	64,384	10,159,795	9.3
0023X	USSRT	2015-10-19	2015-11-12	329.2	100.4	1,347,142,880	4,672.7	-	-	-
0023X	USNPG	2015-11-12	2015-11-17	-	29.3	93,935,800	177.9	77,682	13,819,628	6.8
0024X	INDY	2015-11-17	2016-01-08	1,112.0	26.8	3,549,133,600	14,279.0	-	-	-
0024X	ZARCB	2016-01-08	2016-02-02	385.1	2.7	1,208,011,640	4,927.8	71,966	354,634,055	3.4
0024X	ESLPA	2016-02-02	2016-02-23	453.0	6.5	1,431,662,200	5,687.3	71,966	423,685,432	3.4
				TTL Emission		23,652,997,800		TTL Transport Work	3,543,113,967	IMO EEOI 6.7

* Above Vesse has IMO EEOI Value of the average for more than one year.
 * IMO Guidelines EEOI Methodology : CO₂ gram / tonnes-miles (CO₂ emission / Transport Work)
 * EEOI of above vessel was calculated according to IMO EEOI Guidelines (MEPC.1-Circ.684)
 ※ MEPC.1-Circ.684 - Guidelines For Voluntary Use Of The Ship Energy Efficiency Operational Indicator

[그림 3] Panama Eco-Ship Discount 검증사례

20) Japan's Voluntary Emissions Trading Scheme (JVETS)

파나마는 IMO의 EEOI 가이드라인에 의거하여 선박의 항해거리, 연료소모량, 화물 선적량의 정보를 활용하여 화물을 1톤 운송단위당 배출량을 자발적으로 보고한 선박을 친환경선박으로 평가하여 Eco-Ship Discount를 시행하고 있다. 국내 대다수 대형선사는 보유중인 파나마 국적선의 운항데이터를 수집하여 운항효율을 관리하고, 파나마기국에 보고서를 제출하여 기국으로부터 세금을 감면받고 있다.

2.1.6 우리나라

우리나라는 기후변화당사국 총회에서 온실가스 배출량의 감축목표를 2020년까지 BAU대비 30% 감축으로 선언하고, 감축목표 이행을 위하여 2011년부터 온실가스에너지 목표관리제를 시작으로 2015년부터는 배출권 거래제를 시행하고 있다.

시행 초기에 배출권거래제 시행시기와 배출권 할당량을 놓고 산업계와의 마찰이 많았으며, 할당량이 과소 할당된 것으로 평가하여 배출권 거래시장에는 배출권을 구입하고자하는 기업이 대다수를 이루었다. 우리나라는 현재까지 배출권 가격안정화를 위하여 상쇄배출권 및 외부사업(Offset Credit)제도²¹⁾를 도입하여 배출권의 공급량을 안정적으로 확보하고자 노력하고 있다.

파리협정에서 한국은 자발적 온실가스 감축목표를 2030년 BAU 대비 37% 감축을 목표로 하는 더 높은 감축수준의 목표를 제시하였으며, 2030년 BAU 8.5억 톤을 2000년 수준인 5.4억 톤까지 감축목표를 달성하기 위하여 온실가스·에너지 목표관리제²²⁾와 배출권거래제 대상기업을 확대하여 시행하였다.

파리협정에서 요구하는 목표 수립 및 달성을 위해서는 지속적인 배출권 거래제도의 개정이 예상되며, 외부사업 방법론과 같은 배출권 공급을 위한 대체방안이 추가적으로 등장할 것으로 예상된다.

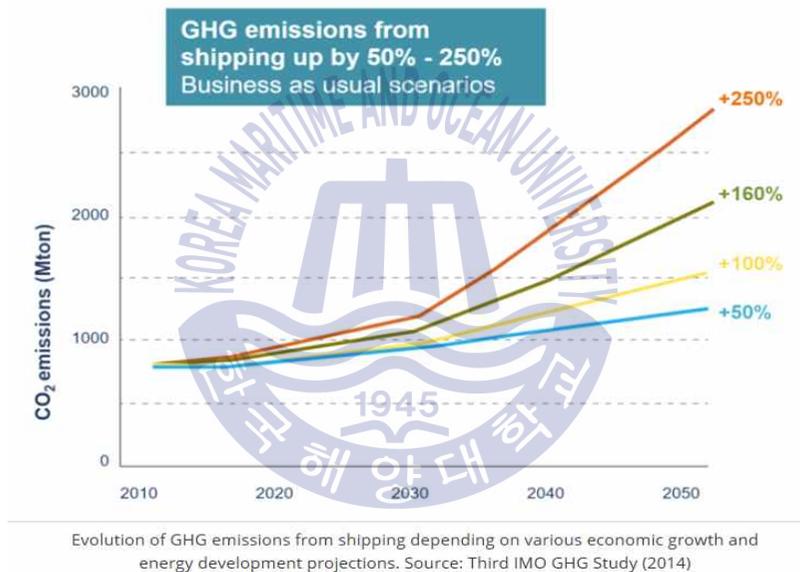
21) 온실가스 배출권 거래제에서 거래되는 배출권은 할당배출권(KAU), 상쇄배출권(KCU), 외부사업 인증실적(KOC)으로 구분된다.

22) 해운부분의 감축목표는 2030년까지 BAU 대비 15.1% (19.1만톤, 국가 BAU 0.02%)감축을 목표로 설정하였음. 목표관리제 지정기준은 2014.1.1.부터 업체는 50 K.TON CO₂-eq (200TJ), 사업장은 15 K.TON CO₂-eq (80TJ). 해운사 교육 및 사업장 사전 검증 및 방문교육 실시 (씨월드고속훼리, 한일고속, 광양선박, 제이에이치페리, 제주, 상지해운, 금진해운, 남해고속, 대저해운, 제양항공해운, 성신선박 등 11개 해운선사 참여중)

2.2 IMO 온실가스 감축 로드맵

국제해사기구는 2014년 제3차 GHG Study를 통하여 국제해운의 온실가스 배출량이 Global 배출량의 2.2% 비중을 차지하고 있음을 발표하였으며, 온실가스 배출규제를 도입하기 위하여 논의를 진행 중이다.

해양환경보호위원회 67차에서는 선박으로부터의 온실가스 배출량이 2050년까지 최대 250% 증가할 수 있음을 전망하였으며, [그림 4]의 제3차 IMO GHG Study 보고서를 근거로 온실가스 감축 노력의 당위성을 제시하였다.



※ 출처 : 3rd IMO GHG Study

[그림 4] BAU Projection 2012-2050

해양환경보호위원회 70차는 온실가스 감축전략 개발 로드맵[표 3]을 논의한 작업반²³⁾ 결과보고서를 승인하였으며, 제72차 해양환경보호위원회는 『감축 초기전략』을 채택하여 국제해운의 온실가스 배출량의 정점을 조기 확인과 배출량 감소의 시급성을 인식하였다.

23) MEPC 70차 회기중 온실가스 작업반 위임사항

선박으로부터의 온실가스 배출감축사안의 진행방향 고려 및 위원회에 자문 보고서 제공

[표 3] IMO 온실가스 감축전략 개발을 위한 로드맵(MEPC 70차)

회의일정	논의 내용
2018년 봄 (MEPC 72)	- 초기전략(Initial IMO Strategy)* 채택 (이행시기가 포함된 단·중·장기의 추가조치 예상목록 포함) * 초기전략은 2019-2021(3년간) 수집된 데이터에 근거하여 개정되며, 3단계 접근방식에 따라 3단계에 적용될 추가조치에 대하여 미리 정하여 포함시키지 않음
2019년 1월	- 1단계 시작 : 데이터 수집(Data Collection)
2019년 봄 (MEPC 74)	- 논의 계속 - 제4차 IMO GHG Study 착수(2012~2018년도 자료 활용)
2020년 여름	2019년도 데이터 IMO 제출
2020년 가을 (MEPC 76)	- 2단계 시작 : 데이터 분석 (Data Analysis) * 2020년 가을 이전까지 - 제4차 IMO GHG Study 보고서 발간(매5년 주기) * 감축전략 개정 논의에 활용 - 논의 계속
2021년 봄 (MEPC 77)	- 수집된 데이터 기반 IMO 초기전략 개정작업 시작 - 2019년도 데이터 요약 보고 (근거 : MARPOL 부속서 6 22A. 10)
2021년 여름	2020년도 데이터 IMO 제출
2022년 봄 (MEPC 78)	- 3단계 : 결정 단계 (Decision Step) - 논의 계속 - 2020년도 데이터 요약 보고
2022년 여름	- 2021년도 데이터 IMO 제출
2023년 봄 (MEPC 80)	- 개정된 “IMO GHG 감축전략” 채택 (이행시기가 포함된 단/중/장기의 추가조치 포함) - 2021년도 데이터 요약 보고

※ 출처 : IMO 해양환경보호위원회 70차 작업반 회의결과 보고서 (WP.7)

감축전략에서는 2008년대비 2030년과 2050년의 탄소집약도(Carbon Intensity)를 각각 최소 40%, 70% 감소하고, 더불어 2008년 대비 2050년까지 온실가스 총배출량을 최소 50% 감소할 것을 의욕수준으로 결정하였다. 이러한 중장기 목표 달성을 위하여 정리한 후보조치사항은 단기, 중기, 장기조치와 기술적, 운항적, 시장기반조치 및 기술협력사항으로 구분할 수 있다.

각 조치사항은 직접적인 감축효과가 있거나 간접적으로 온실가스 배출감축을 지원하는 방법을 제시하고 있다.

단기조치는 선박에너지효율설계지수(EEDI)와 선박에너지효율관리계획서(SEEMP)의 개선사항 발굴과, 신조선과 현존선의 기술적·운항적 조치개발, 현존선의 운항효율개선 프로그램 구축, 선속감소와 최적선속, 항만개발사항, 대체연료개발 및 기술협력으로 구성되어있다.

중기조치는 저탄소 및 무탄소연료 개발, 현존선 및 신조선의 운항지수 개발, 시장 기반조치(MBM), 기술협력과 이행사항에 대한 경험의 활용방안으로 구성되었다.

마지막으로 장기조치는 무탄소 연료개발과 공급, 화석연료 사용의 중단과 온실가스 감축 혁신기술 도입을 독려하고 있다²⁴⁾.

국제해사기구(ICS)는 현재 174개 회원국과 3개 준회원국, 81개 비정부간기관과 64개 정부간기관이 참여하고 있다. 174개 회원국들에게 동일하게 온실가스 감축의무를 부여할 경우 각 국가의 역사적 배출기여로 인하여 선진국과 후진국의 차별이 발생하게 되고, UNFCCC에서 채택한 차별적 의무(CBDR)를 부여할 경우 IMO 협약의 평등한 적용(NMFT)원칙에 위배되므로, 두 가지 원칙을 고려한 감축조치 사항을 합의하기 위하여 작업반 회의가 장기간 개최될 것으로 예상되고 있다. 73차에서는 단기조치사항의 개발 완료 시점을 2023년으로 합의하였으며, 2019. 5월에 개최되는 74차 회의에서 단기조치사항의 구체적인 제안을 제출하도록 회원국에게 요청되었다.

IMO 온실가스 감축초기전략은 해양환경보호위원회 80차 (2023. 4월)에서 수정전략을 채택하고, 5년 후 재검토를 하도록 명시하고 있다. 이는 유엔기후변화협약의 제19차 당사국 총회에서 결정한 국가별 자발적 감축목표의 5년 후 재검토와 유사한 내용으로, 당사국총회에서 상향된 감축목표 제시를 요구한 점을 감안할 때²⁵⁾, 국제해사기구도 기후변화 대응을 위한 감축목표 상향조정 요구를 위한 당위성이 확보 될 수 있을 것으로 예상된다.

24) Resolution MEPC.304(72), Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emission from ships. 4 List of Candidate Short-,Mid- and Long-Term Further Measures with Possible Timelines and Their Impacts on States. 4.7~9항

25) 현재 제21차 당사국 총회를 거쳐서 합의되고, 195개국이 서명한 파리협정은 산업화 이전 대비 지구 평균기온 상승을 2°C 보다 낮은 수준 유지 및 1.5°C 이하로 제한하였으며, 현재 까지 제출된 국가별 감축목표(INDC)는 2100년까지 2°C 이하의 목표를 달성하기엔 부족하다는 평가를 받고 있다.

2.3. 국제해운 온실가스 감축조치

2.3.1 기술적 조치

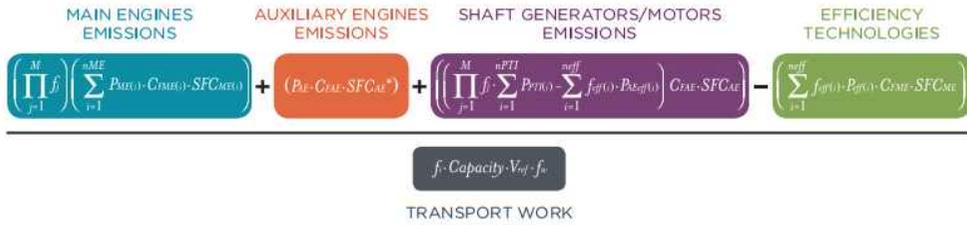
2.3.1.1 에너지효율설계지수(EEDI)

2013. 1. 1. 이후 건조되는 선박은 [표 4]와 [그림 5]같이 선박에너지효율설계지수(Energy Efficiency Design Index, EEDI) 규제를 적용받고 있으며, 이 규제는 에너지효율이 낮은 현존선의 퇴장과 에너지효율이 좋은 신조선의 등장을 통하여, 전체적인 온실가스 배출량을 줄이고자 하는 것이 목적이다. 더불어 선박의 에너지효율기준을 강제로 만족하게 함으로써 에너지 효율개선을 위한 친환경 기술의 도입을 촉진하고 에너지효율성이 낮은 현존선의 시장경쟁력을 약화시켜서 선박의 세대교체를 이루도록 하는 것이 목적이기도 하다. 하지만 시장에서 모든 선박이 에너지효율설계지수가 좋은 선박으로 세대교체를 위해서는 최소 20여년의 시간이 소요되는 한계가 존재한다.

[표 4] EEDI 요구사항

선종	크기	Phase 0 (13.1.1.~ 14.12.31)	Phase 1 (15.1.1.~ 19.12.31)	Phase 2 (20.1.1.~ 24.12.31)	Phase 3 (25.1.1.~)
산적 화물선	> 20K DWT	0%	10%	20%	30%
가스 운반선	> 10K DWT	0%	10%	20%	30%
탱커	> 20K DWT	0%	10%	20%	30%
컨테이너 운반선	> 15K DWT	0%	10%	20%	30%
일반 화물선	> 15K DWT	0%	10%	15%	30%
냉동 운반선	> 5K DWT	0%	10%	15%	30%
검용선	> 20K DWT	0%	10%	20%	30%

※ 출처 : MARPOL 협약 부속서 6장



※ 출처 : ICCT Policy Update 15 (2011)

[그림 5] EEDI 산출공식²⁶⁾

‘18.10월 개최된 제4차 온실가스감축 회기간 작업반에서는 온실가스 감축을 위한 조치사항에 대한 구체적인 제안문서가 다수 제출되었으며, 선박에너지효율설계지수 강화의 필요성이 제시되었다.²⁷⁾

그 예로, Greenpeace(그린피스)와 WWF(세계자연보호기금) 등이 제4차 회기간 작업반 회의에서 EEDI 강화의 필요성을 제시하였으며, IMO가 채택한 온실가스 감축목표인 2050년까지 배출량 50% 감축을 달성하기 위해서 에너지효율개선을 2040년까지 70% 개선하도록 목표를 설정해야 한다고 주장하였다. 이 제안문서는 EEDI를 현재 합의된 수준보다 공격적인 목표를 재설정하여 2050년 감축목표 달성가능성이 17%에서 44%로 개선할 수 있다고 분석하였다.²⁸⁾

EEDI 규제에 의한 해운산업의 경제적 영향은 선박건조 비용의 증가와 저출력 엔진에 의한 선속감소 영향으로 평가할 수 있으며, 간접적으로는 감속운항의 효과를 기대할 수 있다는 것이 IMO의 온실가스 감축효과에 대한 평가이다.

2.3.1.2 대체연료(Alternative Fuel)

화학기술의 진보는 대형선박도 재생 가능한 에너지원을 이용하여 운항할 수 있을 수 있다는 긍정적인 전망을 제시하고 있다. 현재 배터리 추진방식은 단거리 항해에

26) An Anatomy of the Energy Efficiency Design Index (EEDI) Equation for Ships, 2011.10.3
 27) 2018.10.15~10.19 IMO 본부에서 개최된 ‘Fourth Meeting of the Intersessional Working Group on Reduction of GHG Emission from Ships’ 의 논의사항
 28) 그린피스와 세계자연보호기금은 선박에너지효율개선과 감속운항을 통하여 온실가스 감축목표 달성의 필요성을 제안하였으며, 선박에너지효율개선의 공격적인 목표를 2040년까지 EEDI 기준선 대비 40%~100% 개선을 제안하였다. (ISWG-GHG 4-3 Relating short-term measures to IMO’s minimum 2020 emission reduction target)

중사하는 선박에만 적용이 가능한 수준이지만 자동차 산업의 배터리 기술 발전을 감안하면 하이브리드 기술을 적용한 선박의 등장 가능성이 가능할 수 있다고 평가하고 있다.

수소는 에너지원으로 사용하기 위해 물에서 수소를 생산하는 열화학적 연구가 진행 중이다. 수소는 기존의 화석연료보다 에너지 밀도가 낮고, 액체상태 수소는 대기압에서 LNG 액화 온도보다 훨씬 낮은 -252°C 이하로 냉각 되어야 하므로 관리의 어려움이 존재하므로 신중한 위험 관리가 필요하다.

암모니아는 탈수 및 압축상태로 사용해야 하거나 일부 연료 전지와 호환되지 않고, 항해거리가 제한되는 기술적 한계가 있으며, 암모니아에 노출될 경우 가성 화상, 폐 손상 및 사망을 일으킬 수 있기 때문에 암모니아를 해양 연료로 사용하는 것은 위험 요소를 많이 가지게 된다.

러시아는 북극에서 핵연료로 운항하는 쇠빙선을 성공적으로 운용하고 있다. 핵연료 추진 선박은 화석연료를 사용할 필요가 없기 때문에 온실가스 배출량 감축을 위해 상선에 적용할 수 있는 이상적인 기술로 평가받고 있다. 그러나 현재 안전 및 보안에 대한 우려로 인해 핵연료의 광범위한 받아들여지지 않을 것으로 전망하고 있다.

2.3.2 운항적 조치

2.3.2.1 선박에너지효율관리계획서(SEEMP²⁹⁾)

IMO는 2013. 1. 1. 이후 건조되거나 정기적 검사를 시행하는 모든 선박은 선박에너지 효율관리 계획서를 비치토록 규정하고 있으며, SEEMP는 계획, 이행, 모니터링, 자가 평가 및 개선의 4단계로 구성되어 있다. 본 지침은 온실가스 감축을 위한 이행조치 및 계획의 효과성을 평가하여 지속적인 개선안을 발굴하도록 권고하고 있다.

본 지침 5항³⁰⁾에서는 선박의 에너지효율개선, 선박운용 최적화, 폐열회수장치, 선대 관리 개선, 화물관리 개선, 에너지관리, 연료관리 등의 조치사항들을 권고하고 있고, Part II 에서는 Data Collection System(DCS) 이행을 위한 데이터 측정 및 보고사항에 관하여 명시하고 있다.

29) 2016 Guidelines for the Development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), Resolution MEPC.282(70)

30) Guidance on Best Practice for Fuel-Efficient operation of ships

2018. 10월 개최된 제73차 해양환경보호위원회와 제4차 회기간 작업반회의에서 다수 회원국이 온실가스 감축을 위한 단기조치 사항으로 EEDI 강화와 SEEMP에서 권고하는 4단계 원칙의 강제화를 제안하였다.³¹⁾

이는 온실가스 배출감축의 이행계획을 수립하고 모니터링 및 결과를 고려한 새로운 계획수립을 반복하는 권고사항을 강제사항으로 이행하도록 하여 지속적인 에너지효율 개선을 통하여 온실가스 감축목표 달성이 가능하다고 평가하였다.

2.3.2.2 에너지효율운항지수(EEOI)

에너지효율운항지수(Energy Efficiency Operational Indicator, EEOI)의 도입은 친환경 선박의 패러다임의 변화를 의미했고 설계적 측면뿐만 아니라 운항적 측면의 관리도 필요함을 제시하였다. IMO는 EEOI 도입을 위하여 해상운송의 역할인 세계경제 유지 및 빈곤해소의 긍정적 기여와 온실가스 배출원에 대한 규제도입의 필요성을 논의하기 위하여 위원회와 작업반회의가 수차례 개최되었다.

EEOI는 온실가스 배출량을 활동량으로 나누어서 산출하는데, 화물이 선적된 중량에 따라서 동일한 사양의 선박 간에도 차이가 발생하였고, 온실가스 배출저감 활동에 의한 효과성이 식별되기 어려운 문제점을 나타내었다. 더불어 EEOI 정보공개는 선사 영업정보를 외부에 공개해야 하는 부담과 데이터 집계 비용이 발생하게 된다.

현재 국내에서 EEOI를 관리하는 선사는 대형선사 위주로 구성되어 있으며, 체계적인 선박 에너지효율 관리를 통한 연료비용 절감이 주요 목적이며, 부수적으로 기업의 사회적 책임(Corporate Social Report)과 지속가능경영보고서(Sustainability Report) 제출과 같은 화주 대응정책을 목적으로 하고 있었다. 화주들은 제품 생산과정에 발생하는 탄소량을 공개하는 탄소발자국(Carbon Footprint³²⁾)을 관리하기 시작하였고, 제품

31) Review of candidate measures to reduce GHG emissions from international shipping (ISWG-GHG 4/2/9, ICS, BIMCO, INTERTANKO 제출)

Short-term measures to reduce GHG emissions from international shipping (ISWG-GHG 4/2/10, Liberia, ICS, BIMCO, INTERTANKO, INTERCARGO, IPTA 제출)

Proposal for a programme of follow-up actions of the Initial GHG Strategy (ISWG-GHG 4/2/13, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Ireland, Netherlands, Spain, Sweden and United Kingdom 제출)

Possible approaches to improvement of SEEMP (ISWG-GHG 4/2/14, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Ireland, Netherlands, Spain and United Kingdom 제출)

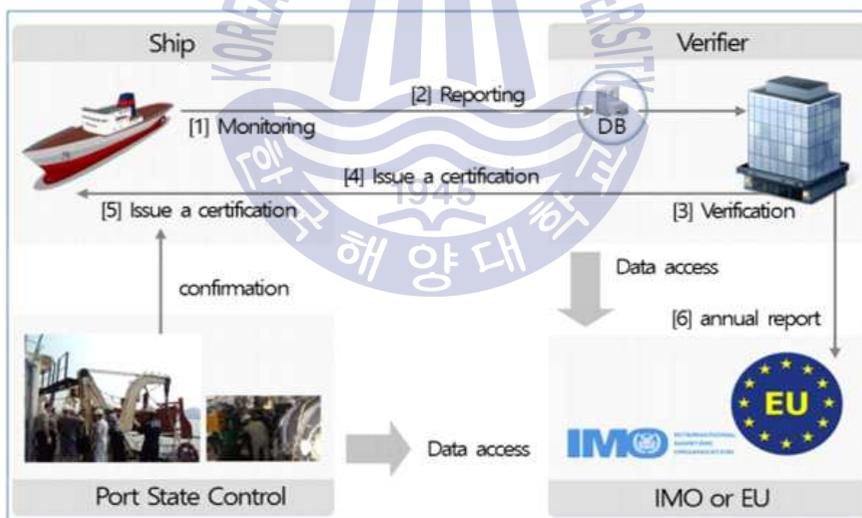
How speed reduction can ease international shipping's path to zero GHG emissions (ISWG-GHG 3/2/15, WWF, Pacific Environment and Clean Shipping Coalition(CSC) 제출)

운송과정에서 배출되는 탄소를 줄이기 위해 선사의 탄소배출감축 노력을 평가하여 화물수송량 배정에 반영하고 있다.

2.3.2.3 MRV³³⁾

IMO는 선박연료사용량 수집시스템(DCS) 도입을 준비하면서, 선박은 현존하는 가장 친환경적인 운송수단이며, 연료가격 상승과 상업적 이해관계에 의한 선주들의 연료 절감 노력과 행정비용 발생에 의한 경제적 부담을 고려해야 한다는 논리에 의해서 회원국의 합의가 도출되지 못하고 있었다.

하지만 EU연합은 자체적으로 총톤수 5,000톤 이상의 EU항만을 기항하는 선박은 의무적으로 운항효율을 확인할 수 있는 정보를 제공하도록 하는 EU MRV(Monitoring, Reporting and Verification)규제³⁴⁾를 개발하였으며, IMO도 MRV를 개발하도록 독려하는 계기가 되었다. IMO MRV와 EU MRV는 [그림 6]과 같은 개념으로 운영이 된다.



※ 출처 : 국제해운 에너지 효율 포탈 시스템 개념 설계

[그림 6] MRV 개요³⁵⁾

32) A carbon footprint is historically defined as “the total set of greenhouse gas emissions caused by an [individual, event, organization, product] expressed as carbon dioxide equivalent

33) Monitoring, Reporting and Verification, Data Collection System(DCS)

34) Monitoring, Reporting and Verification of Carbon Dioxide Emissions from Maritime Transport (EU MRV)

MRV는 EEOI와 동일한 개념이며, 선박의 운항거리, 연료유별 연료소모량, 선적화물의 중량정보를 토대로 1ton의 화물을 1해리 운송할 때 배출하는 탄소량을 정량적으로 산출할 수 있게 된다.

IMO MRV와 EU MRV의 가장 큰 차이점은 두 가지로 요약 할 수 있는데, 보고된 데이터의 보안문제와 화물중량정보의 적용기준의 차이이다. EU MRV는 화주들의 열람이 가능하도록 정보를 공개하고 IMO MRV는 비공개를 원칙으로 한다. 그리고 EU MRV는 실제 선적된 화물의 중량³⁶⁾을 보고하도록 하여 실질적인 Carbon Footprint가 산출이 가능하도록 하고 있기 때문에 데이터수집에 행정비용 부담이 우려되고 있지만, IMO는 화물중량을 재화중량톤수(Deadweight)로 적용하여 행정부담을 최소화 하였다.

그 결과 EU와 IMO는 동일하지 못한 MRV가 개발되었으며 EU가 IMO의 MRV를 도입하고 자체적으로 개발한 MRV를 포기하지 않는 한 국제해운 선박은 두가지 규제를 모두 준비해야 하는 어려움에 처하게 되었다. 지난 제70차 해양환경보호위원회에서는 MARPOL 협약의 개정안의 채택을 통하여 IMO MRV의 시행을 결정하였고, 2018.03.01. 발효된다.

2.3.2.4 선속규제 (Speed Optimization)

감속운항은 연료비용 상승부담을 해소하기 위해 연료절감을 목적으로 도입되었던 조치였으며, 감속운항은 현재까지 해운산업의 효과성 경험이 가장 많이 축적된 에너지 절감 기술이라고 평가할 수 있다.

제4차 온실가스 회기간 작업반 회의에서는 감속운항에 대한 효과성을 제시하고 그에 따른 IMO 온실가스 감축초기전략의 달성 가능성을 평가한 문서가 Greenpeace (그린피스)와 WWF(세계자연보호기금)에 의해 제출되었다³⁷⁾. [그림 7]

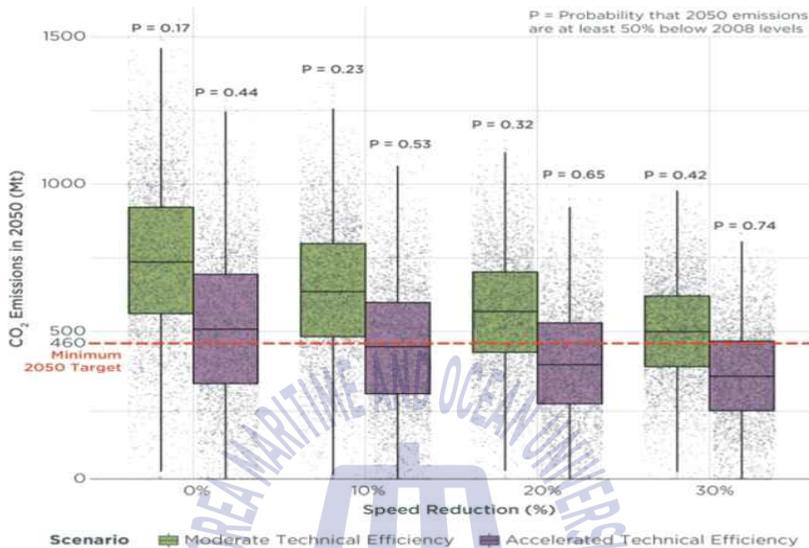
더불어 SEEMP 가이드라인에서는 최적선속의 정의를 항차 수행을 위한 최소한의 연료소모가 발생하는 선속으로 명시하고 있으며, 무조건적인 감속운항이 아닌 엔진의

35) 강남선 등, 2016. MRV 규제 대응을 위한 국제해운 에너지 효율 포탈 시스템 개념 설계, *해양환경안전학회지*. 22(1) pp.108-117.

36) EU는 화물의 중량 계측이 어려운 컨테이너선, 여객선, 화객선의 적용을 위해 화물과 승객을 중량으로 환산하는 Factor를 개발하였다.

37) Relating short-term measures to IMO's minimum 2050 emissions reduction target (ISWG-GHG 4/3)

사양과 프로펠러의 성능³⁸⁾을 고려해야 함을 의미하고 있다. 감속운항과 최적선속의 공통된 목적은 한정된 자원을 보다 효율적으로 사용하기 위하여 에너지효율성이 더 좋아지는 운항을 지향하는 것이라고 할 수 있다.



※ 출처 : 제4차 회기간 작업반 제출문서 (ISWG-GHG 4/3)

[그림 7] EEDI 강화와 감속운항 도입효과

금번 제4차 온실가스 회기간 작업반에서는 선속감소와 최적선속은 강제적 사항이 아닌 자발적 시행으로 도입해야 한다는 의견으로 합의되었다.

2.3.2.5 항로최적화

제4차 온실가스 회기간 작업반에서 파나마는 항로최적화를 제안하였다.³⁹⁾ 이 제안은 동일한 출발지와 목적지가 정해지면 가장 짧은 항로가 결정될 수 있으며, 최대 Ton-mile의 달성을 최소 연료소모량으로 가능하다는 점을 강조하였다.

항로최적화는 제2차 IMO GHG Study 2009에서 제시된 사례가 있으며, 이 연구에서는 최적항로의 온실가스 감축기여율을 10%로 제시하고 있다. 파나마의 항로최적화 제안은 동일한 화물량을 가장 단거리로 운송하는 자원의 효율적 배분을 추구하였다. [표 5]

38) Engine manufacturer's power/consumption curve and the ships propeller curve.

39) The optimization of routes as a short-term measure (ISWG-GHG 4/3/2, Panama 제출)

아래의 표는 우루과이의 Montevideo에서 한국의 부산항까지의 항로를 예로 제시한 자료이며, 파나마는 이를 근거로 항로최적화의 효과성을 제시였다. (5% 감소)

[표 5] 최적항로 운항조치

번호	항로	거리(해리)	항해시간
1	Strait of Magellan	10,965	45일 17시간
2	Cape Horn	11,071	46일 3시간
3	Buena Esperanza Cape	11,519	48일 1시간

※ 출처 : 제4차 회기간 작업반 제출문서 (ISWG-GHG 4/3)

항로최적화는 감속운항과 최적선속과 함께 해운산업이 자발적으로 도입해야 하는 조치사항으로 합의가 되었는데, 선박의 운항형태인 선속과 항로는 선주, 화주, 용선주 등의 상업적 합의에 의하여 결정이 되는 사항이므로 해운산업의 상업적 이해관계를 침해하여 국제해운의 역할을 저해할 수 있음이 우려되었기 때문이다.

상업적인 측면에서 살펴보았을 때, 해운선사가 선박을 운항함에 있어서 고속운항이 저속운항보다 더 많은 수익을 가져오는 경우도 있으며, 선박의 안전운항을 위하여 해적출몰 지역에서의 항로변경과 기상에 의한 선속 및 항로의 영향도 행해지기 때문에 선속과 항로설정에 대한 강제조치의 설정은 합리적이지 않다는 결론에 합의된 것으로 평가된다. 더불어 최적항로가 강제적으로 시행되면 특정항로에 선박 정체현상이 발생하고 해양사고 및 오염발생의 위험도 증가하는 문제도 발생한다.

3.3.2.6 시장기반조치

국제해사기구에서는 시장기반조치를 2009년부터 2011년까지 위원회와 작업반을 거쳐서 논의되었으며, 기술적 조치(EEDI), 운항적 조치(SEEMP)와 함께 도입하고자 하였으나 추가적인 검토의 필요성으로 Further Measures⁴⁰⁾ 의제로 지속적인 논의가 진행되어 왔으며 그 결과로 MRV가 등장하게 되었다.

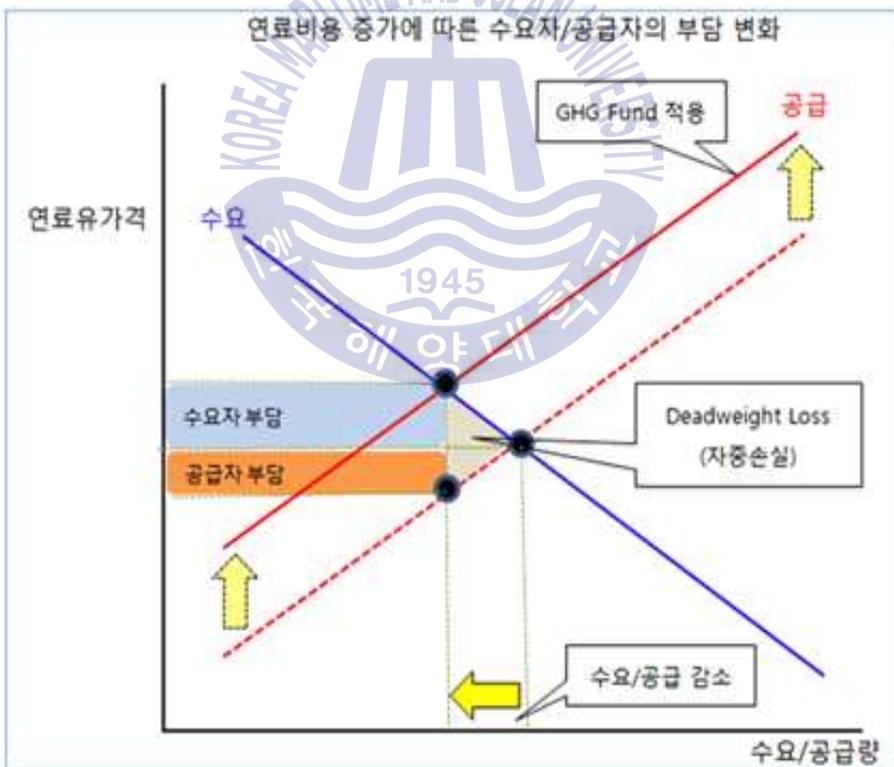
현재까지 제안된 시장기반조치중 가장 많은 지지를 받은 제안은 국제온실가스펀드 (GHG Fund)이며 제 60차 해양환경보호위원회에서 덴마크와 사이프러스, 나이지리아에 의해 제안된 문서를 통하여 소개되었다.⁴¹⁾ 이는 연료유를 공급할 때 부담금을 부과하여

40) Further Technical and Operational Measures for Enhancing the energy efficiency of international shipping

Global Climate Fund 조성에 기여하고 이를 기술개발에 투자하는 것이 주요 내용이었다. 연료유 혹은 탄소배출량에 대한 세금을 부가하는 방식의 탄소세는 경제학적으로 탄소세 비용부담을 화주에게 어느 정도의 전가할 수 있다는 것이 장점으로 평가되고, 현재까지 선주단체로부터 가장 많은 지지를 받고 있는 시장기반조치이다.

GHG Fund의 시행에 의한 연료유 비용의 증가는 연료소모량을 절감하고자 하는 동기부여가 될 수 있기에 온실가스 배출량 감축에 기여할 수 있다. 그리고 본 제안은 도입 용이성과 행정적 부담부분에서 가장 유리한 방안으로 평가 받기도 했다

[그림 8]에서 나타내는 붉은 점선이 초기의 운송공급곡선이라고 할 때, 탄소세의 부과는 운송단가를 상승시켜서 붉은 실선과 같이 공급곡선을 상승시키는 결과를 가져올 수 있다. 공급곡선이 상승하게 되면서 운임이 결정되었던 가격이 상승하게 되며, 가격의 변화에 따라서 수요와 공급이 감소하게 됨을 확인할 수 있다.



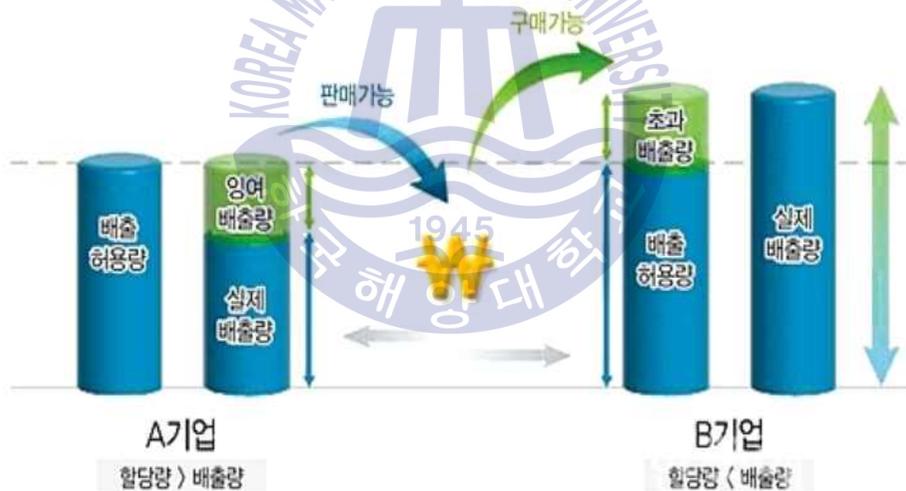
[그림 8] 탄소세 도입에 따른 수요와 공급 영향

41) MEPC 60/4/8 - An International Fund for Greenhouse Gas emissions from ships

탄소세 도입의 효과성은 해상 운송시장의 수요와 공급의 관계를 통하여 평가될 수 있으며, 수요자잉여와 공급자잉여의 감소가 수요자와 공급자의 부담으로 환산되어 수요와 공급의 가격탄력성에 의해서 수요자와 공급자의 부담비율도 변화된다.

결론적으로 GHG Fund는 수요자와 공급자의 부담으로 나타나며, 이는 탄소세 도입을 통한 비용부담을 화주에게 모두 전가할 수는 없음을 설명하고 있다. 더불어 공급곡선 상승은 자중(사중)손실⁴²⁾을 초래하여 경제적인 손실도 발생할 뿐만 아니라 해상운송의 경쟁력 약화로 역방향의 Modal shift⁴³⁾가 발생될 수도 있다.

유럽국가를 중심으로 지지를 받은 시장기반조치인 배출권 거래제는 한계저감비용과 시장에서의 배출권의 가격을 비교하는 비교우위이론을 적용하며, 감축비용이 배출권의 가격보다 더 높은 경우 배출권을 구매하여 감축의무를 달성하고, 감축비용이 더 낮은 경우에는 자체적으로 감축활동을 수행하여 잉여배출권을 예비로 보유할 수 있을 뿐만 아니라 시장에서 배출권을 매도할 수 있다. [그림 9]⁴⁴⁾



※ 출처 : 한국에너지신문

[그림 9] 배출권 거래제 개요

42) 재화나 서비스의 균형이 최적화 되지 못하여 시장왜곡현상에 따른 경제적 효용의 손실

43) Modal Shift(전환교통)은 트럭(도로)으로 운송하던 화물을 대량운송수단인 철도 또는 선박으로 전환하여 운송하는 것을 의미함

44) 한국에너지신문, 2018. 제2차 온실가스 배출권거래제 발표...반응은. (2018. 1. 3. 게재) <http://www.koenergy.co.kr/news/articleView.html?idxno=94364>, [2018. 12. 5. 검색]

탄소배출권 거래제도는 온실가스 배출량의 감축을 위하여 배출량에 대한 엄격한 규제나 세금부여 방식이 아닌 배출권 거래시장의 작동원리에 의하여 배출량 감축을 유도한다는 점에서, 온실가스 배출량을 효과적으로 감축할 수 있는 방법으로 평가되고 있다.

배출권 거래제도의 대응을 위한 경쟁력은 경제성장과 해상운송 시장의 수요와 공급 모두를 고려한 거시적 관점의 시각을 갖추고 정확하고 합리적인 배출량을 전망하는 것이다. 해운선사가 배출권의 구매와 판매 의사결정을 할 때 해운산업 전체 배출량을 전망하고 수요와 공급의 균형을 파악할 수 있다면 크게 유리한 위치를 선점하게 된다고 볼 수 있다.

국제해운 분야에 ETS제도가 시장기반조치로 도입이 될 경우, 배출권의 거래를 위한 기후변화 전문가 양성 및 시황분석, 배출량의 정확성 높은 전망을 위해 경제 전문가 양성도 필요하다고 할 수 있다.



제 3 장 온실가스 저감기술의 경제적 효과 평가

3.1 평가의 개요

해운선사의 사회적 책임과 고유가에 대한 대응을 통하여 국내외 해운선사들은 이해관계자와 투자자들의 신뢰성 확보를 목적으로 선박의 연료절감과 온실가스 배출량을 저감할 수 있는 기술에 대한 필요성이 대두되고 있다.

우리나라에서 온실가스 배출저감 기술의 효과성 연구와 실제적인 적용을 가장 많이 시행한 선사는 한진해운이다. 한진해운은 온실가스 배출저감 및 원가절감을 위한 이해관계자 요구 만족을 위하여 2011년 전담부서를 구성하여 녹색경영을 추진하였으며, 고유가로 인한 운항비용 부담경감과 온실가스 배출량을 저감하기 위한 기술도입을 검토하였다. 한진해운은 온실가스 배출량을 3차 인증기관을 통하여 배출량을 평가하고, 인증서를 발급받는 것은 기업의 사회적 책임과 지속적인 성장을 위한 노력으로 평가받았다. 미국과 유럽의 화주는 해운선사의 사회적 책임을 위한 CDP⁴⁵⁾ 참여활동을 온실가스 배출저감을 위한 노력으로 평가하여 친환경 해운선사 평가척도로 활용하고 있다.

본 장에서는 한진해운이 가장 많이 적용한 온실가스 저감기술인 감속운항, 선체 및 프로펠러의 소재, 구상선수부 최적화, 선수미 홀수(Trim) 최적화, 가변모터제어 기술 등 6가지 기술의 효과성과 그에 따른 경제적 효과를 분석하였다.

효과성 분석은 선박에서 정기적으로 보고하는 정오보고 및 출항보고서와 같은 운항정보를 기반으로 하였으며, 항해거리, 연료소모량, 기상상태, 화물적재상태, 선속, 엔진부하상태 등 다수 기기의 운전상태 및 에너지 사용현황의 데이터가 활용되었으며, 데이터의 검증이 필요한 경우에는 본선에 직접 방문하여 기록부의 정보를 수집하였다. 데이터 수집범위는 절감기술 적용 전후의 1년~2년간의 데이터를 수집하고, 입거시에 적용한 구상선수부 최적화의 경우에는 선박의 입거 전후의 운항정보를 활용하여 적용효과성을 분석하였다.

45) 네이버 지식백과 <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=2079130&cid=42107&categoryId=42107> (2018. 11. 26. 검색)

탄소공개 프로젝트(CDP; Carbon Disclosure Project): 세계 시가총액 상위 500대 기업인 “FT500 글로벌 인덱스” 기업을 대상으로 기업의 이산화탄소 감축에 대한 대응을 평가하는 협의회 성격의 기구. 영국에 본사를 두고 있으며 2000년 35개 유럽권 기관투자자들의 후원으로 출발했다. 2003년부터 세계 주요기업의 기후변화 관련된 기업의 위험 및 사업기회, 탄소배출저감을 위한 방법과 연도별 감축 계획 등을 조사해 그 결과를 발표해 오고 있다. 한국의 경우는 시가총액 50대 기업을 대상으로 실시되고 있다.

수집된 데이터는 선박엔진의 동일한 부하(Load)상태, 항해중 기상상태 및 홀수상태를 동일한 기준으로 분류하고, 이때의 연료소모량, 선속, 분당회전수(RPM)등의 종속변수로 설정하여 효과성을 확인할 수 있었다. 동일한 설계로 건조된 동형선을 다수 확보하고 있었기 때문에 기술의 효과성에 대한 신뢰성을 더 높일 수 있었을 뿐만 아니라 다수의 저감기술에 대한 평가가 가능하였다. 선박의 데이터로 분석된 효과성에 대한 실질적인 평가는 승선한 항해사 및 기관사와의 인터뷰를 통하여 그 체감수준을 점검하였으며 기술적용의 실제 이행수준과 용이성을 확인하고 개선사항을 지속적으로 발굴하였다.

3.2 평가의 과정

3.2.1 선체 및 프로펠러 소제

선체와 프로펠러는 항상 해수면 밑에 있기 때문에 해양생물의 부착이 가장 쉽게 발생하며, 프로펠러의 추진효율이 감소하고 선체의 저항도 증가한다. 이로 인해 동일한 선속을 유지하기 위해서 더 많은 추진에너지를 필요로 하며, 추가적인 연료소모가 발생하게 된다.

프로펠러와 선체의 소제는 표면의 거칠기를 개선하기 위해 소제하는 것을 의미하며, 선체와 프로펠러의 오손의 정도는 정박기간이 길고 선속이 낮을수록 높고 소제 전 후 효과성도이 높게 나타난다. 프로펠러와 선체의 소제는 전문 수중작업 전문회사를 통하여 진행되었으며, 소제면적은 프로펠러의 직경과 선박의 홀수와 길이에 의해서 결정되었다.

한진해운은 프로펠러 소제와 선체소제의 효과성 분석을 위하여 대상선박을 지정하고 프로펠러와 선체소제의 시행 전 후의 연료소모량의 변화와 온실가스 배출량의 변화를 평가하여 컨테이너선 기준 약 1.0%의 저감효과가 있음을 확인하였다. 이는 투자비용 대비 연료절감 효과가 가장 높고 적용이 용이한 연료절감기술로 평가되어 최우선 추진 과제로 지정되었으며 년 1회 시행되었다.

3.2.2 구상선수(Bulbous Bow) 최적화

해운운송의 신속한 운송이 최우선이었던 패러다임은 고속운항을 통한 빠른 운송과

더불어 많은 연료소모량과 많은 온실가스 배출을 외부불경제로 발생시키던 시대였다. 하지만 해운산업이 고유가로 인해 연료소모 절감을 위한 감속운항패러다임으로 전환이 되어 갈 때, 선체 설계측면의 개조 필요성도 대두되었다.

고속운항을 위한 선박이 저속운항을 시작하면서 저속형 선체구조의 필요성에 의하여 기존 고속운항에 최적화되어 설계된 구상선수를, 저속으로 최적화를 위한 개조방안이 연구되었으며, 그 결과 약 6~7%의 연료소모량의 절감효과를 실현하였다. 하지만 구상선수 개조는 모형선의 수조시험을 통하여 효과성을 확인하고 선박 적용을 위한 도면 검토 및 조선소 공정 준비와 같은 추가적인 준비가 많이 필요하였기에 상대적으로 적용이 용이하지는 못한 기술이다.

구상선수부 개조와 같이 투자비용이 큰 저감기술은, 개조 이후 추가적인 비용이 발생하지 않기 때문에 선령을 고려하여 투자비용 회수가 가능한 기간 동안 선박을 운항한다면 투자비용이 회수될 수 있는 기술로 평가될 수 있다.

3.2.3 선수미 흘수차를 이용한 저항감소 방법(Trim 최적화)

선수미 흘수차를 이용한 저항감소 방법은 대상선박의 모형선을 이용하여 선수 흘수, 선미흘수, 선속의 3가지 요소를 변화시켜 동일한 추진력에 대한 선속의 변화를 모두 확인하여 각각의 흘수에서 최적의 흘수차를 찾는 방법이다. 이는 항해중인 선박의 선수미 흘수를 조정하는 방법으로써, 0.5%~2.0%의 연료절감 효과가 확인되었으며, 다수 해운선사들이 활용하고 있다.

하지만 선수흘수가 선미흘수보다 깊은 경우 보침성이 약화되어 입출항의 제약과 안전성의 우려로 실제적인 적용에는 어려움이 많았으며, 대양에서 기상상태가 양호한 항로에서만 시행되었기 때문에 기대효과성을 보수적으로 0.5% 수준으로 평가하였다.

3.2.4 가변속도제어 모터

선박이 감속운항을 하게 되면서 기존에 고속운항에 최적화되어 필요이상의 에너지를 사용하는 기기들이 감속운항에 필요한 에너지를 사용하도록 최적화하는 기술들이 연구되었으며, 그중 하나가 가변속도제어 모터(Variable Speed Motor, VSM⁴⁶⁾)이다. 이 기술

46) 엔진 부하 및 해수온도에 따른 펌프 회전수를 자동으로 조정하여 에너지를 절감하는 장비

은 선박의 엔진을 냉각하는 해수펌프와 송풍장치에서 불필요하게 발생하는 전력소모를 줄이고, 발전기의 연료소모량을 절감하고자 적용되는 기술이다. 가변속도제어 모터는 13,000TEU 대형 컨테이너선 기준으로 적당 약 \$13만의 투자비용이 요구되었으며, 연간 약 240톤의 연료를 절감할 수 있는 것으로 검증 되었다.

3.2.5 감속운항

감속운항은 선속을 감소하여 연료를 절감하여 연료비용을 절감하는 방법으로 2008년 이후 해운산업에서 보편화된 비용절감 방법이었다.⁴⁷⁾ [표 6]는 연간 약 18,000톤의 연료를 소모하는 컨테이너 6,500개를 운송하는 대형 컨테이너선을 예로 산출하였으며, 배출 저감 및 효과성을 나타내었다.

[표 6] 감속운항 경제성 평가

구분	감속운항 (0%)	감속운항 (5%)	감속운항 (10%)	감속운항 (15%)	감속운항 (20%)
컨테이너선 연료소모량(톤)	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
연료절감 효과성(%)	-	9.8%	19.0%	27.8%	36.0%
연료 절감량(톤)	-	1,755	3,420	4,995	6,480
(C) 온실가스 감축량(톤)	-	5,465	10,650	15,554	20,179
비용증감 (A-B)	-	-1,009,125	-1,966,500	-2,872,125	-3,726,000
(A) 기술투자 (천원)	-	0	0	0	0
(B) 비용절감 (천원)	-	1,009,125	1,966,500	2,872,125	3,726,000

※ 연료가격 : USD 500, 환율 : 1150원/USD 기준

47) 한국해양수산개발원, 2016. 우리나라 선박의 친환경기술 적용 확대방안, p.82.

슬로스티밍 (Slow Steaming)은 가장 기본적인 방법으로 선박의 속도를 감소시켜 저속 운항하므로 연료소모량을 줄이는 기술이다. 'IMO GHG STUDY 2014' 연구결과에 따르면, 5,000~7,999 TEU급 컨테이너선박의 속력이 2007년 대비 2012년 약 20%가량 감소한 반면 연료소모량은 약 50%가량 저감되었음을 알 수 있다.

선박의 연료소모량은 선속의 제곱에 비례하기 때문에 운항선속 20% 감속할 때, 36% 온실가스 배출저감 효과 $[(1-0.2)^2 = 0.64]$ 가 있음을 확인 할 수 있으며, 아래와 같이 온실가스 감축비용산출도 가능하다.

$$18,000 \times 0.36 = 6,480 \text{톤, 온실가스 배출량 } 6,480 \times 3.114^{48)} = 20,179 \text{ CO}_2 \text{ ton}$$
$$\text{발생비용} / \text{온실가스 배출감소량} = -3,726,000,000 / 20,179 = -185,650$$

감속운항은 현재 IMO에서도 온실가스 감축전략의 단기조치로 감속운항과 최적선속이 제안되고 있으며, 가장 경험이 많고 검증이 완료된 온실가스 감축기술로 평가되고 있지만 감속운항은 선박의 운항형태에 따라서 그 효과성이 크게 달라질 수 있다.

선대를 구성하여 운항하는 정기선의 경우에는 투입선박의 척수와 선속을 고려하여 Ton-mile 공급량 유지를 위한 선박의 추가 투입이 필요하다. 이는 척당 연료비용이 운항비의 35% 이상을 차지하는 경우에만 선대전체의 감속운항을 통한 비용절감이 가능하며, 화물 운송지연에 의한 상품가치 손상의 우려도 있다.⁴⁹⁾

3.3 한계저감비용 분석

한계비용이 재화나 서비스를 생산할 때 총비용의 증가분을 의미한다면, 온실가스 배출량 한계저감비용은 온실가스 배출량이 감소할 때 발생하는 총비용의 증가분을 의미한다. 한계저감비용(Marginal Abatement Cost, MAC)은 해운선사가 온실가스 배출 저감을 위한 기술적용에 의한 총비용의 증감여부를 확인할 수 있으며, 배출저감 기술 도입에 대한 의사결정에 유용하게 활용될 수 있다.

한계저감비용이 (-)의 값을 가지는 기술은 온실가스 저감과 비용절감을 모두 달성할 수 있기 때문에, 기술 적용의 경제적 유인을 확보할 수 있고 온실가스 배출저감에 효과적이라도 평가할 수 있다. 통한 비용절감의 경제적 유인과 더불어 선박의 온실가스 배출량을 더 많이 줄일 수 있는 효과도 가질 수 있다. 반면에 한계저감비용이 (+)의 값을 가지는 기술은 온실가스 배출량을 저감할수록 총비용이 증가하게 되므로, 경제적 유인의 확보가 어렵기 때문에 저감기술 도입의 당위성을 확보하기가 어렵고 온실가스 배출량 감소에도 기여할 수가 없다.

48) 2014 GUIDELINES ON THE METHOD OF CALCULATION OF THE ATTAINED ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI) FOR NEW SHIPS. Res.MEPC.245(66) (2014. 4. 4. 채택)

49) Analysis of the impact on States and the implications of speed reduction (ISWG-GHG 3/2/10)

3.3.1 한계저감비용 분석

앞에서 언급한 6가지 배출저감 기술을 6,500TEU 컨테이너선에 1년간 적용하고 연료 절감효과를 고려한 투자비용 회수기간을 산출하였다. 그 결과 『구상선수부 개조』와 『가변속도 제어』기술은 회수기간이 길고, 감속운항과 프로펠러 및 선체소재 기술은 투자비용 회수기간이 짧은 것으로 검증되었다.[표 7]

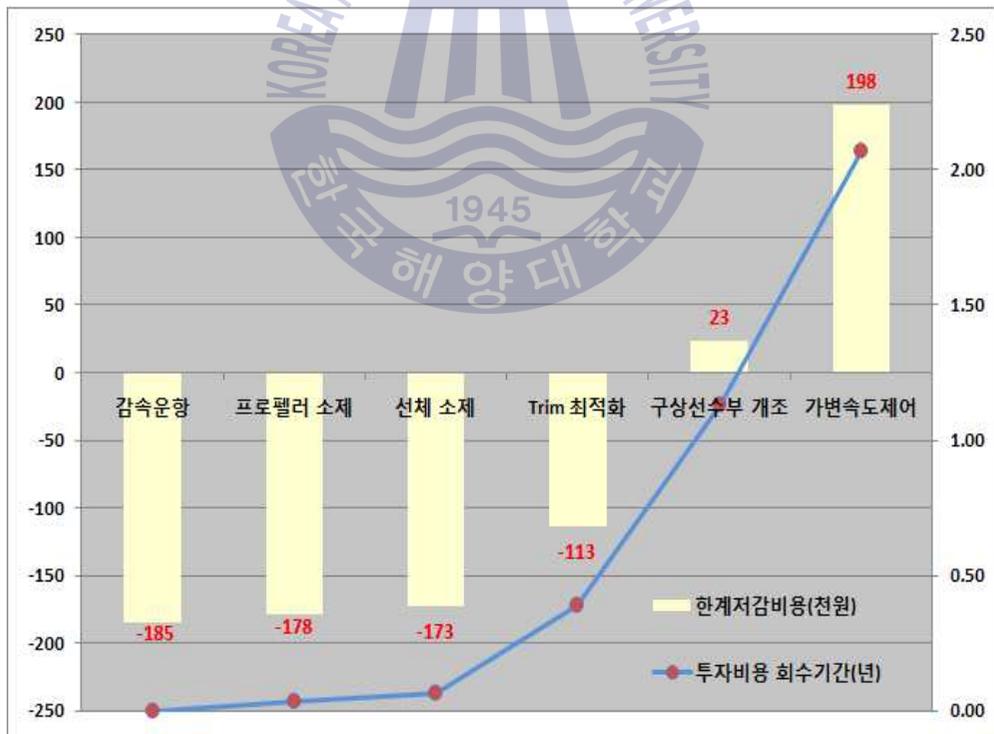
[표 7] 온실가스 저감기술 경제성 및 한계저감비용 분석

구분	감속운항 (20%)	프로펠러 소재	선체 소재	Trim 최적화	구상 선수부 개조	가변 속도제어 모터
컨테이너선 연료소모량(톤)	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
연료절감 효과성(%)	36.0	1.0	3.0	0.5	6.0	0.7
연료 절감량(톤)	6,480	180	540	90	1,080	126
(C) 온실가스 감축량(톤)	20,179	561	1,682	280	3,363	392
(A-B) 비용증감 (천원)	-3,726,000	-100,000	-290,500	-31,750	79,000	77,550
(A) 기술투자 (천원)	0	3,500	20,000	20,000	700,000	150,000
(B) 비용절감 (천원)	3,726,000	103,500	310,500	51,750	621,000	72,450
온실가스감축 한계저감비용 (천원/톤) *(A-B)/C	-185	-178	-173	-113	23	198
투자비용 회수기간(년)	0.00	0.03	0.06	0.39	1.13	2.07
※ 연료가격 : USD 500, 환율 : 1150원/USD 기준						

[표 7]에서 온실가스 저감기술을 1년간 적용하고 투자비용을 반영한 한계저감비용과 투자비용 회수기간을 산출한 결과, 『감속운항-프로펠러 소재-선체 소재-Trim 최적화-구상선수부 개조-가변속도제어 모터』순서로 높은 경제성과 낮은 한계저감비용으로 평가될 수 있으며 구상선수부 개조와 가변속도제어 모터 기술은 경제성이 없는 것으로 평가될 수 있다.

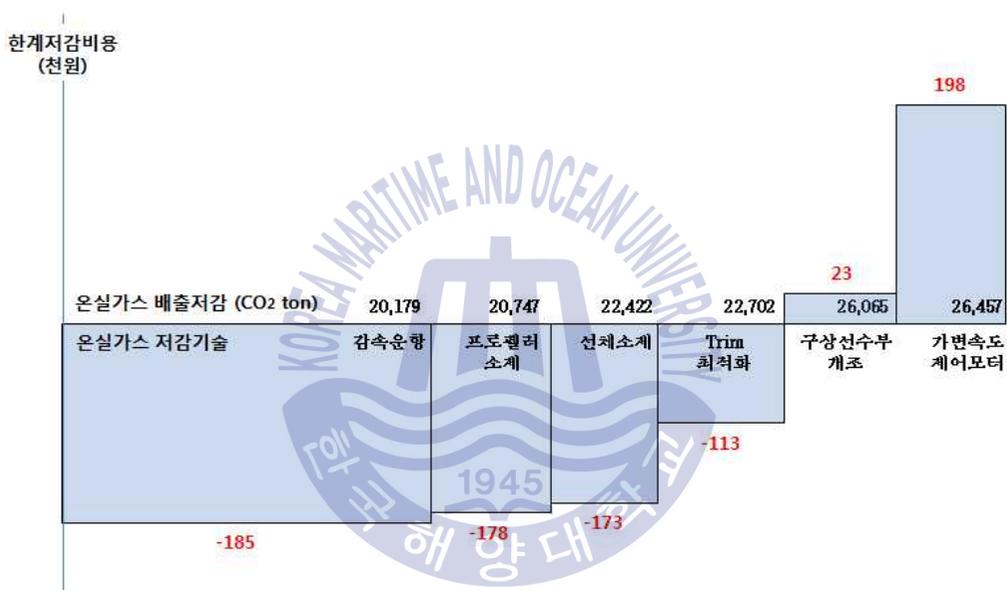
3.3.2 한계저감비용 평가

해운선사는 온실가스 감축계획을 수립할 때 감축량과 감축비용의 두가지 측면에서 고려하여 계획을 수립해야 한다. [그림 10]와 같이 한계저감비용의 분석은 온실가스 감축기술 투자의 의사결정시에 고려사항이 될 수 있으며, 온실가스 감축목표 달성을 위해서 추가적으로 투입될 비용과 투자규모에 대한 감축여력을 산출할 수 있다.



[그림 10] 한계저감비용과 경제성 평가

[그림 10]는 [표 7]의 결과를 그래프로 표현하였으며, 저감기술의 온실가스 배출량 한계저감비용(MAC)과 경제성(투자비용 회수기간)을 비교하였다. 배출저감 기술을 한계저감비용이 낮은 순서에서 높은 순서로 적용하였을 때, 한계저감비용과 감축잠재량의 관계를 [그림 11]과 같이 확인 할 수 있으며, 1년간 온실가스 배출을 22,702톤 이상 저감하고자 하는 경우에는, 한계저감비용이 '0' 보다 큰 기술인 구상선수부 개조 기술과 가변속도제어 모터적용 기술까지 도입해야 함을 의미한다. 이는 온실가스 1톤을 저감하기 위해서 추가적인 비용이 발생한다고 해석할 수 있다.

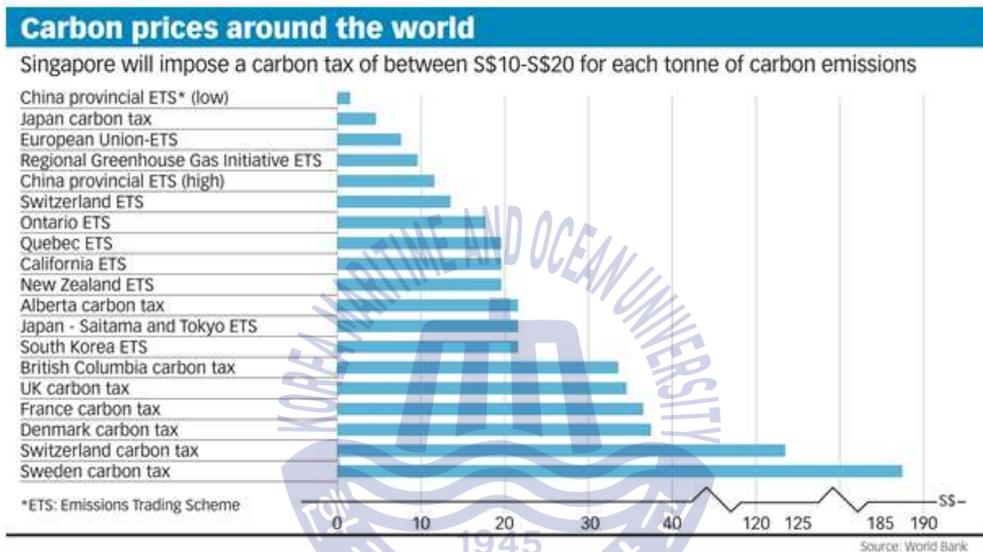


[그림 11] 한계저감비용과 배출저감

앞에서 분석한 결과에 의하면 투자비용 회수기간이 짧으면 한계저감비용이 낮고, 투자비용 회수기간이 1년 이하인 경우에는 '0' 이하의 한계저감비용을 나타내고 있다. 즉, 이는 저감기술 적용기간이 투자비용 회수기간보다 클 경우 한계저감비용이 '0' 보다 낮게 산출될 수 있음을 의미한다. 하지만, 온실가스 배출저감량에 대한 경제적 가치가 부여되면 온실가스 저감기술의 경제성 평가와 감축목표의 달성방법이 다르게 결론이 난다. 즉, 시장기반조치가 도입되어 온실가스 1톤을 추가로 배출하거나 저감할 경우 해운기업의 경제적 영향을 확인할 수 있고, 자체적인 감축과 탄소배출권 구매 및 탄소세 비용간의 비교우위를 적용할 수 있기 때문이다.

3.3.3 시장기반조치 도입효과

효과적인 온실가스 감축목표 달성을 위해서는 선박으로부터 온실가스 배출저감에 대한 경제적 유인을 제공하는 것이 효과적인 방법이라는 것이 시장기반조치의 도입을 지지하는 배경이다. [그림 12]는 국제 탄소가격 현황을 나타내고 있으며, 탄소세 제도 혹은 배출권 거래제 시행 국가에서의 온실가스의 경제적 가치를 확인 할 수 있다.



※ 출처 : Kotra 해외시장뉴스⁵⁰⁾

[그림 12] 국제 탄소가격 현황

싱가폴은 2019년 탄소세 시행을 예고하였으며, 싱가포르 정부는 온실가스 1톤당 SGD 5(싱가폴 달러)의 탄소세 부여를 시작으로 2023년부터는 SGD 10~20의 탄소세를 적용할 계획이다. 하지만 Sustainable Development Singapore의 Constant Van Aerschot은 SGD 10~20의 탄소세로 의미있는 결과를 만들기는 충분하지 않고, 실질적인 효과를 위해서 50~100 SGD 수준의 탄소세 가격이 설정되어야 한다고 주장하였다.⁵¹⁾

50) 대한무역투자진흥공사 해외시장뉴스 <http://news.kotra.or.kr>
 글로벌물산업정보센터, 2017. [싱가포르]2019년부터 탄소세 도입해 온실가스 규제 강화, (2017. 7. 28. 게재) <https://blog.naver.com/gwatercenter/221061538130> [2018. 12. 22 검색]

51) 대한무역투자진흥공사 해외시장뉴스 <http://news.kotra.or.kr>
 글로벌물산업정보센터, 2017. [싱가포르]2019년부터 탄소세 도입해 온실가스 규제 강화, (2017. 7. 28. 게재) <https://blog.naver.com/gwatercenter/221061538130> [2018. 12. 22 검색]

현재까지 IMO는 온실가스 배출저감을 위한 시장기반조치의 도입은 2023년에 논의할 예정이며, 아직까지 온실가스 배출량에 대한 경제적 가치를 부여하고 있지 않으므로 국제적으로 시행중인 탄소세 가격을 반영하여 저감기술을 평가하였다.[표 8]

[표 8] 온실가스 저감기술 시장기반조치 도입효과

구분	감속운항 (20%)	프로펠러 소재	선체 소재	Trim 최적화	구상 선수부 개조	가변속도 제어모터
컨테이너선 연료소모량(톤)	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
연료절감 효과성(%)	36.0	1.0	3.0	0.5	6.0	0.7
연료 절감량(톤)	6,480	180	540	90	1,080	126
(C) 온실가스 감축량(톤)	20,179	561	1,682	280	3,363	392
비용증감(천원) (A-B)	-3,726,000	-100,000	-290,500	-31,750	79,000	77,550
(A) 기술투자	0	3,500	20,000	20,000	700,000	150,000
(B) 비용절감	3,726,000	103,500	310,500	51,750	621,000	72,450
(D) 탄소세 절감(10천원)	201,787	5,605	16,816	2,803	33,631	3,924
(D) 탄소세 절감(40천원)	807,149	22,421	67,262	11,210	134,525	15,695
(D) 탄소세 절감(80천원)	1,614,298	44,842	134,525	22,421	269,050	31,389
시장기반조치	-3,726,000	-100,000	-290,500	-31,750	79,000	77,550
비용증감(천원) (A-B-D)	-3,927,787	-105,605	-307,316	-34,553	45,369	73,626
온실가스감축 한계저감비용 (천원/톤)	-4,533,149	-122,421	-357,762	-42,960	-55,525	61,855
*(A-B-D)/C	-5,340,298	-144,842	-425,025	-54,171	-190,050	46,161
투자비용	-185	-178	-173	-113	23	198
회수기간(년)	-195	-188	-183	-123	13	188
	-225	-218	-213	-153	-17	158
	-265	-258	-253	-193	-57	118
	0.000	0.034	0.064	0.386	1.127	2.070
	0.000	0.032	0.061	0.367	1.069	1.964
	0.000	0.028	0.053	0.318	0.927	1.702
	0.000	0.024	0.045	0.270	0.786	1.445

※ 연료가격 : USD 500, 환율 : 1150원/USD 기준

[표 8]은 싱가포르 탄소세 정책을 참고하여 2023년 적용 예정인 탄소세 SGD 10~20의 값(원화 10천원)과 온실가스 배출저감의 실질적인 효과를 기대할 수 있다고 주장되는 SGD 50~100(원화 40천원, 80천원)의 탄소세 가격을 기준으로, 온실가스 배출저감 1톤의 경제적 가치를 Low(10천), Medium(40천), High(80천) 3단계로 구분하여 저감기술의 한계 저감비용과 경제성을 평가하였다.

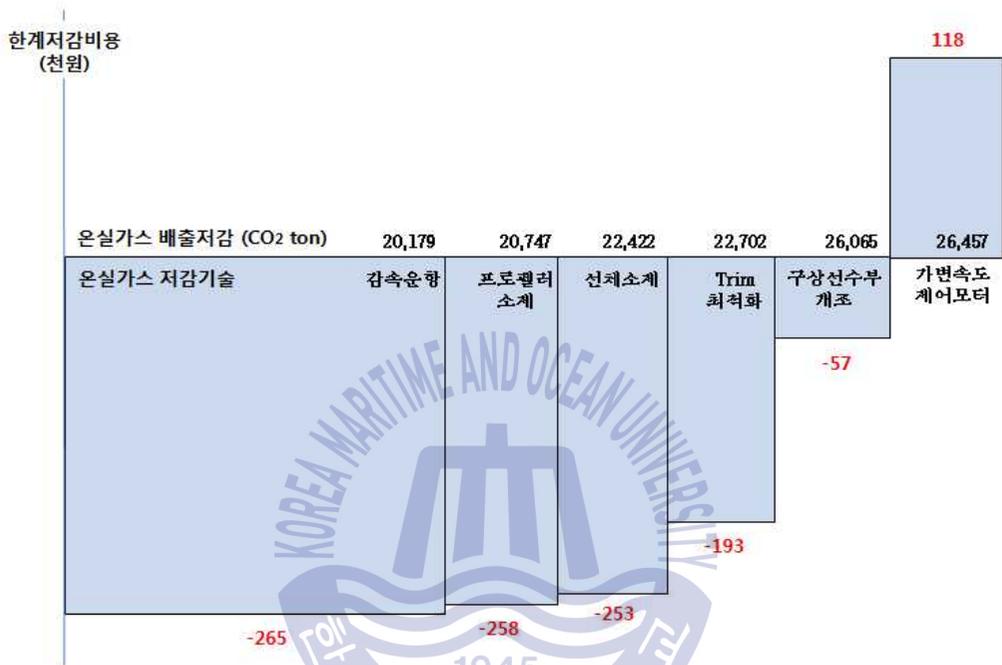
앞에서 제시된 [그림 10]은 1년간의 온실가스 저감기술의 효과성과 비용절감만 반영하여 한계저감비용이 분석되었으며, 구상선수부 개조와 가변속도제어 모터 기술투자는 매력도가 낮은 것으로 평가되었다. 하지만 [그림 13]는 탄소세 도입효과를 반영하여 온실가스 배출량의 경제적 가치가 반영되었으며, 온실가스 배출저감 실적이 추가적인 비용절감으로 반영되기 때문에 더 낮은 한계저감비용을 가지게 된다.



[그림 13] 시장기반조치 도입효과

[그림 14]는 시장기반조치의 도입 효과를 반영하여 온실가스 배출저감을 위한 한계 저감비용과 감축여력을 나타내고 있으며, 온실가스 배출량을 26,065톤 저감하면서 추가적인 비용절감을 달성하게 되는 결과를 나타낸다.

시장기반조치의 도입은 온실가스 배출저감을 22,702톤에서 26,065톤으로 3,363톤의 추가적인 저감이 가능하도록 경제적 유인이 발생하는 효과를 기대할 수 있다.



[그림 14] 시장기반조치 도입효과와 배출저감

한계저감비용 분석은 온실가스 감축기술의 경제성과 감축여력에 대한 새로운 평가가 가능하게 함으로써, 경제성이 없던 구상선수부 개조 기술의 적용도 합리화 할 수 있다. 더불어 국제해사기구가 온실가스 감축목표 달성을 위하여 시장기반조치의 도입을 결정하고 배출저감 기술의 적용을 독려하기 위하여 그 수준을 설정하게 됨에 따라서, 온실가스 배출량 관리가 우수한 선박과 해운선사는 상대적으로 경쟁력이 더욱더 강화되고 배출저감효과를 극대화 할 수 있는 결과를 가져올 수 있는 조치사항으로 평가할 수 있다.

제 4 장 결론

4.1 요약 및 결론

1992년 6월 채택된 유엔기후변화협약(UNFCCC⁵²)의 제3차 당사국 총회에서 채택된 교토의정서는 국가별 감축역량 및 역사적 배출기여도를 고려하여 국가별 감축 목표를 결정하였으며, 국제해운의 온실가스 감축사항을 국제해사기구(IMO⁵³)에 위임하였다. 국제해사기구는 해양환경보호위원회(MEPC)를 통하여 국제해운의 온실가스 감축목표를 2008년대비 2030년까지 40%, 2050년까지 70% 탄소집약도 개선과, 2050년까지 총배출량 50%를 감축하는 것으로 결정하였다. 감축목표 달성을 위하여 기술적 조치와 운항적 조치의 도입이 추진되고 있으며, 온실가스 배출량에 경제적 가치를 부여하는 시장기반 조치의 도입도 논의되고 있다. 시장기반조치는 탄소세와 배출권거래제 방식이 지지를 받고 있지만, 환경비용 부담과 온실가스 배출저감 효과성이 대립하고 있다. 시장기반 조치는 온실가스 배출량 관리 및 감축역량의 차이는 해운선사의 경쟁력으로 평가될 수 있는 환경을 조성할 것으로 예상되므로 온실가스 배출저감에 대한 준비가 필요하다.

본 연구에서는 6가지 온실가스 배출저감 기술의 효과성 검증사례에서 한계저감비용 분석을 통하여 저감기술의 배출저감 효과와 비용절감 효과를 확인하였으며, 시장기반 조치에 의한 온실가스의 경제적 가치부여가 추가적인 비용절감이 가능하도록 하고, 한계저감비용이 높은 저감기술이 도입될 수 있도록 유인하는 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

더불어, 해운산업은 온실가스 배출규제의 능동적인 대응을 위하여, 선사의 감축목표 설정과 그 목표를 달성하기 위한 계획이 수립되어야 하며, 자체감축과 기술도입의 한계저감비용을 비교하여 효과적인 방법으로 온실가스 감축목표를 달성할 수 있도록 준비가 필요하다.

52) United Nations Framework Convention on Climate Change, 1994년 03월 21일 발효

53) International Maritime Organization

국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)는 국제무역에 종사하는 선박에 영향을 미치는 모든 종류의 기술적 문제와 관련되는 정부 규제 및 실행 분야에서 각국 정부가 서로 협력하는 것을 목적으로 설립되었다. 이 기구는 해상의 안전과 항해의 능률을 위하여 해운에 영향을 미치는 각종 기술적 사항과 관련된 정부간 협력을 촉진하고, 선박에 의한 해양오염을 방지하고, 국제해운과 관련된 법적 문제를 해결하는 임무를 수행함.(유엔 개황, 2008., 외교부)

4.2 시사점

파리협정은 매 5년마다 감축목표의 재검토를 요구하고 있기 때문에, 국제해사기구의 온실가스 감축목표를 지속적으로 재검토하는 당위성을 부여할 것으로 예상되며, 현재 도입된 조치사항들을 강화하고 보다 추가적인 조치사항의 도입이 필요할 것이다.

국제해사기구는 국제해운의 온실가스 감축목표 달성을 위하여 기술적조치와 운항적 조치의 도입을 가속화 할 것으로 예상되며, 온실가스 감축을 위한 경제적 유인으로 시장기반조치의 도입도 2023년부터 논의할 예정이다. 시장기반조치는 기술적, 운항적 조치에 의한 배출저감 효과의 한계성을 극복할 수 있는 방법이 될 수 있다.

해운선사는 온실가스 배출저감 기술의 효과성과 적용기간을 고려한 한계저감비용 분석을 시행하여, 배출권 구매 혹은 탄소세 비용과의 비교우위를 통한 의사결정이 이루어 져야 한다. 더불어 시장기반조치의 도입을 비용발생의 부정적 시각에서 벗어나 배출저감 노력을 경제적 가치로 보상해주는 제도로 받아들이고 선박 기인의 온실가스 배출의 환경영향을 고려하여 기업이 지속가능한 성장을 하도록 외부불경제를 내재화 하는 사회적 책임을 다해야 한다.

그리고 온실가스 규제 대응을 위한 새로운 강점과 기회요인을 찾는데 노력해야 한다. 세계 상위기업들이 참여하고 있는 탄소공개 프로젝트는 기업의 온실가스 관리 능력에 대한 경제적 가치를 평가하여 기업의 지속가능한 성장의 평가요소로 활용되고 있으며, 탄소발자국 관리를 요구받고 있는 이해관계자는 온실가스 배출량 관리능력이 우수한 녹색해운(Green Carrier)을 선호하기도 한다.

해운선사는 온실가스 배출규제의 선제적 대응을 위한 기술투자를 비용으로 인식하지 않고 지속적인 성장을 위한 미래의 투자로 인식하여야 한다. 온실가스 감축을 위한 기술투자 활동은 녹색해운으로서의 대외홍보 소재로 활용이 가능하며, 친환경선박 인증제도는 대외 이미지 제고에 긍정적으로 활용될 수 있다. 앞에서 소개했던 CSI와 ESI제도는 친환경선박의 평가 결과를 이해관계자에게 친환경선박을 홍보해주는 역할을 하고 있으며 직간접적인 경제적 편익을 제공하고 있다.

마지막으로, 선사의 온실가스 규제 대응역량 강화를 위하여 전문가 양성이 필요하다. IMO는 온실가스 감축목표 달성을 위한 기술적, 운항적 조치를 지속적으로 강화할 예정이며 탄소세와 배출권의 시장가격은 감축목표 이행을 위한 수준으로 평가될 것이기 때문에 이에 대한 분석과 평가가 요구된다. 해운산업의 경쟁력은 수익창출과 더불어

온실가스 배출규제에 대한 체계적인 대응과탄소세와 배출권 거래제와 같은 시장기반 조치의 도입을 기회요인으로 활용할 수 있는 역량이라고 평가할 수 있겠다. 전 세계 해상운송의 수요와 공급을 전망하고 국제해운의 온실가스 배출량을 예측하는 경우, 배출권과 탄소세 수준을 평가할 수 있기 때문에 온실가스 배출규제 강화는 경영전략 결정시에 기회요인(Opportunity)으로 평가될 수 있다.

4.3 향후 과제

본 연구는 온실가스 배출저감 기술의 효과성을 확인하고 배출량 저감효과의 경제적 영향을 확인하였으며, 배출저감을 통한 비용절감 효과와 친환경활동은 녹색해운으로서 경쟁력을 갖추는 방법이 될 수도 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 제시된 6가지 저감 기술은 타 선종에서는 동일한 효과성을 기대할 수 없으며, 선박의 크기와 운항형태에 따라서 상이한 결과가 나타날 수 있기 때문에, 다양한 선종에서의 검증이 필요하다.

온실가스 배출저감 기술의 한계저감비용 분석은 온실가스 감축목표 달성을 위한 투자비용 규모를 산출하고, 경제적인 온실가스 감축여력이 확인 가능하였다. 하지만 본 연구에서는 저감기술 적용을 위한 투자비용의 발생분만 고려되었으며, 저감기술의 효과성을 유지 및 관리하기 위한 부수적인 비용발생은 고려되지 않았다. 그리고 배출저감에 의한 경제적 효과는 시장기반조치의 도입수준이 높거나 연료가격이 높은 경우 부각될 수 있는 한계점이 있다. 이를 극복하기 위해서는 한계저감비용이 더 낮고, 저감효과가 더 좋은 기술개발의 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구는 한계저감비용 산출과 평가를 하고 있으며, 향후에는 한계저감비용을 활용하여 선박의 자체적인 온실가스 감축방법과 탄소세 납부방법 및 온실가스 배출권 구매방법간의 의사결정을 위한 탄소세와 배출권의 가격 전망에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

국내문헌

- 강남선 등, 2016. MRV 규제 대응을 위한 국제해운 에너지 효율 포탈 시스템 개념 설계. *해양환경안전학회지*, 22(1), pp.108-117.
- 김연복, 2013. *탄소배출량과 자본비용과의 관계*. 박사학위논문. 인천:인하대학교..
- 김윤주, 2017. IMO 탄소배출권거래제도 도입이 국내 해상운송기업에 미치는 경제적 영향. 석사학위논문. 서울:중앙대학교.
- 김완배, 2011. *배출권 거래제도에 따른 탄소배출저 감기술 적용 및 경제적 평가*. 석사학위논문. 서울:서울과학기술대학교.
- 노범석, 2010. *선박기인 온실가스 저감을 위한 에너지효율 운항지표에 관한 연구*. 석사학위논문. 부산:한국해양대학교.
- 박만평, 2011. *기후변화협약과 국내법의 대응에 관한 연구*. 석사학위논문. 전주:전북대학교.
- 박소민, 2016. *선박온실가스 배출감축을 위한 시장기반조치 대응방안 평가 연구*. 석사학위논문. 서울:중앙대학교.
- 박준희, 2014. *친환경 항만정책이 해운선사에 미치는 경제적 영향에 관한 연구*. 석사학위논문. 서울:중앙대학교.
- 박한선, 2014. *선박온실가스 배출규제를 위한 국가책임과 이행방안에 관한 연구*. 박사학위논문. 부산:한국해양대학교.
- 부원찬, 2015. *선박 온실가스 배출규제에 대한 국내 대응방안 연구*. 석사학위논문. 인천:인하대학교.
- 송영훈, 2014. *탄소세를 고려한 정기선사의 속도, 주유, 항로 결정문제에 관한 연구*. 석사학위논문. 인천:인하대학교.
- 오공균, 2013. *선박배출온실가스 감축을 위한 기술·운항·시장 조치에 관한 법제 연구*. 박사학위논문. 부산:한국해양대학교.
- 원재아, 2015. *일본의 자발적 탄소배출권거래제의 참여동기 분석*. 석사학위논문. 서울:서울대

학교.

위자훈, 2015. 중국 탄소배출 거래 도에 대한 연구. 석사학위논문. 서울:중앙대학교.

이보라, 2014. 선박온실가스 배출규제를 위한 배출권거래제도 적용 연구. 석사학위논문. 부산:한국해양대학교.

임성빈, 2012. 항공부문 배출권거래제도 국제동향 분석 및 국내 대응방안 연구. 석사학위논문. 서울:광운대학교.

임종관, 2014. 선박의 온실가스배출 감축을 위한 IMO 시장기반조치(MBM)에 관한 연구. 박사학위논문. 서울:서강대학교.

조해리, 2012. 유럽연합 탄소배출권거래제도의 국제법적 쟁점의 검토-항공부문의 편입을 중심으로-. 석사학위논문. 서울:고려대학교.

조향숙, 2011. 탄소세가 우리나라 가계에 미치는 영향과 소득재분배효과 분석. 석사학위논문. 서울:성균관대학교.

최재성, 2010. 선박기인 온실가스 저감을 위한 에너지효율 연구. 석사학위논문. 부산:한국해양대학교.

한국해양수산개발원, 2016. 우리나라 선박의 친환경기술 적용 확대방안, 부산:한국해양수산개발원, p.82.

국외문헌

IMO, 2018. ISWG-GHG 3-2-10, Analysis of the impact on States and the implications of speed reduction.

IMO, 2018. ISWG-GHG 3-2-15 - How speed reduction can ease international shipping's path to zero GHG emission.

IMO, 2018. ISWG-GHG 4-2-9 - Review of candidate measures to reduce GHG emissions from international shipping

IMO, 2018. ISWG-GHG 4-2-10 - Short-term measures to reduce GHG emissions from international shipping

IMO, 2018. ISWG-GHG 4-2-13 - Proposal for a programme of follow-up actions of the Initial GHG Strategy

IMO, 2018. ISWG-GHG 4-2-14 - Possible approaches to improvement of SEEMP

IMO, 2018. ISWG-GHG 4-3 - Relating short-term measures to IMO's minimum 2050 emissions reduction target

IMO, 2018. ISWG-GHG 4-3-2 - The optimization of routes as a short-term measure

IMO, 2018. RESOLUTIONs_MEPC Resolutions_72nd Session_Res.MEPC.304(72)

IMO, 2016. MEPC 70/WP.7 - Report of the Working Group on Reduction of GHG emissions from ships

웹사이트

국제해사기구 <http://www.imo.org>

경남도민일보 <http://www.idomin.com>

글로벌물산업정보센터 <https://blog.naver.com/gwatercenter>

네이버 지식백과 <https://terms.naver.com/>

대한무역투자진흥공사 해외시장뉴스 <http://news.kotra.or.kr>

한국일보 <http://www.hankookilbo.com>

한국에너지 <http://www.koenergy.co.kr/>

Clean Shipping Index <http://cleanshippingindex.com/certification>

Environmental Ship Index <http://esi.wpci.nl/Public/Home>

Kotra 해외시장뉴스

<http://news.kotra.or.kr/user/globalBbs/kotranews/5/globalBbsDataView.do?setIdx=244&dataIdx=160083>

감사의 글

감사의 글을 쓰고 있는 지금에서야, 몇 번의 수정과 점검을 했던 시간이 많은 것을 배우고 느끼게 되었던 시간이었다는 것을 느끼게 되었습니다. 부족한 저를 열정적으로 이끌어 주신 오용식 교수님과 김재봉 교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

더불어, 두 교수님께 함께 배우며 동고동락했던 세미나룸 가족에게도 감사의 말씀을 전하며, 특히 포기하지 않도록 격려를 해주신 박일란, 김승찬, 최은희 학우님께 감사드립니다.

이 논문을 통하여 온실가스에 대해서 보다 더 많은 것을 공부하게 되면서 아직 많이 부족한 제 자신을 살피게 되고, 더 많이 노력해야겠다는 다짐을 해봅니다. 2011년 한진해운에 입사하여 경영기획과 해사기술팀을 거쳐가는 동안 한진해운의 녹색경영을 위해 함께했던 동료들과 환경업무를 지속적으로 할 수 있도록 든든한 버팀목이 되어준 선주협회에 감사드리며, 같은 곳을 바라보며 같은 꿈을 꾸었던 모든 동료들의 마음을 간직하겠습니다.

처음으로 IMO를 가보고, 의제문서를 읽어보던 어리숙한 예전의 제 모습부터 지금의 제가 있기까지 함께 해주신 IMO 온실가스 자문단들의 많은 가르침에 감사드립니다. 앞으로 우리나라 해운산업이 온실가스 규제에 선도적으로 대응할 수 있도록, 기후변화 위기를 기회로 전환할 수 있는 지혜를 발휘하여 우리나라 해운산업이 더욱더 성장할 수 있도록 노력하겠습니다.

이 논문을 시작함에 결정적 동기를 부여해주신 조은하숙의 천정민, 신혁선, 원월석, 김상호 네분께 감사드리며, 함께한 짧은 시간동안 많은 도움을 주신점 감사드립니다. 그리고 석사모를 써보는 기쁨을 함께 하고 싶다는 말씀을 전하고 싶으며, 앞으로도 국제해운의 환경규제에 함께 토론하고 서로가 함께 성장해 나갈 수 있는 동료가 되었으면 하는 바램입니다.

마지막으로, 2년간의 대학원 생활로 주말에 시간을 함께하지 못하고 뒷바라지하느라 고생한 아내와 딸 하빈이에게 미안함과 감사함을 전하며, 보다 든든한 아빠와 남편으로 발전하도록 노력하겠습니다. 더불어, 누구보다 기뻐하실 부모님과 장모님께도 이번 기회를 통해 감사의 말씀을 올립니다.

〈국문 초록〉

국제해사기구는 『선박으로부터의 온실가스 감축』을 해양환경보호위원회(MEPC)의 의제로 지정하여 감축방안을 논의하고 있다. 기후변화 대응을 위하여 국제해운의 온실가스 감축전략과 감축목표 설정을 위한 작업반이 구성되었으며, 2018년 4월 해양환경보호위원회 72차는 작업반 회의를 거쳐서 보고된 온실가스 감축 초기전략인 Resolution MEPC.304(72)을 채택하였다.

국제해사기구가 MEPC 72차에 채택한 온실가스 감축전략은 운송활동량에 대비하여 탄소집약도를 2008년대비 2030년까지 40%, 2050년까지 70% 개선을 목표로 하고, 2050년까지 총배출량을 50% 감축하는 것을 목표로 하는 감축의욕수준을 제시하였다. 감축전략에는 기술적 조치 강화와 운항적 조치의 강화를 통하여 온실가스 감축목표의 달성이 가능한 후보조치 사항들이 나열되고 있으며 이러한 조치사항들이 도입될 경우 국제해운에 큰 영향이 있을 것으로 예상된다. 그러므로 이에 대한 적극적인 대응을 위하여 온실가스 배출규제의 지속적인 확인과 효과적인 이행을 위한 준비가 필요하다.

기술적 조치의 이행을 위한 선박의 에너지 효율개선 기술적용은 선박 건조비용의 증가로 이어지고, 운항조치 이행을 위한 에너지효율 관리는 선박으로부터의 온실가스 배출량을 모니터링, 검증 및 보고를 위한 행정비용의 부담이 예상되고 있다. 하지만 시장기반조치는 배출되는 탄소에 대한 가격을 부여함으로써, 온실가스 배출량에 대한 관리 및 감축역량에 따라서 비용과 수익의 손익에 큰 영향을 줄 수 있다.

본 연구에서는 국제해운의 온실가스 배출량 감축을 위한 국제해사기구의 논의경과를 확인하고 도입을 고려중인 조치사항에 대한 영향과 온실가스 배출저감 기술의 경제적 효과를 분석하였다. 더불어 온실가스 배출저감 기술의 한계저감비용 산출을 통하여 온실가스 배출저감에 대한 편익과 감축여력을 산출하였으며, 온실가스 배출규제의 효과적인 대응방안을 제시하고 우리나라 해운산업이 준비하고 나아가야 할 방향을 제시하였다.