공학석사 학위논문

선박기인 온실가스 저감을 위한 에너지효율 운항지표에 관한 연구

A Study on the Energy Efficiency Operational Indicator for Greenhouse Gas Reduction from Ship

지도교수 최 재 성

２０１０年　０２月

한 국 해 양 대 학 교 대 학 원

기 관 시 스 템 공 학 과

노 범 석

本 論文을 盧範碩의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

委員長　趙　權　回　(印)

委　員　金　正　烈　(印)

委　員　崔　在　星　(印)

2009 年 12 月

韓 國 海 洋 大 學 校　大 學 院

목 차

List of Tables ····· v

List of Figures ····· vi

Abstract ····· viii

제 1 장 서 론 ····· 1

1.1 연구 배경 ····· 1

1.2 연구 목적 및 내용 ····· 4

제 2 장 Greenhouse Gas(GHG) 개요 ····· 6

2.1 GHG의 정의 및 범위 ····· 6

2.2 GHG의 종류 및 성질 ····· 7

2.3 GHG가 환경에 미치는 영향 ····· 10

2.4 GHG의 배출량 산정에 관한 선행연구현황 ····· 13

제 3 장 IMO의 GHG 정책 동향 ····· 19

3.1 IMO의 선박 CO_2 배출규제 현황 ····· 19

3.2 MEPC에서 논의 중인 선박 CO_2 배출량에 대한 기술적 방법론 · 20

3.2.1 Energy Efficiency Design Index for Ships(EEDI) ····· 20

3.2.2 Energy Efficiency Operational Indicator(EEOI) ····· 24

3.2.3 CO_2 Baseline 방법론 ····· 25

제 4 장 Energy Efficiency Operational Indicator(EEOI)의 고찰 ····· 29

4.1 EEOI 개요 ····· 29

4.2 EEOI의 적용분석과 문제점 ····· 33
4.2.1 EEOI의 실선 적용 시 문제점 ····· 34
4.2.2 EEOI에 대한 개념 정리 ····· 41
제 5 장 새로운 EEOI 제안 및 향후 과제 ····· 44
5.1 새로운 개념의 EEOI ····· 44
5.1.1 부하개념을 이용한 인디케이터 설정 ····· 44
5.1.2 실선 적용 예시 ····· 49
5.2 New EEOI를 통한 향후 과제 ····· 51
5.2.1 관리 및 활용 ····· 51
5.2.2 발전 방향 ····· 55
5.2.3 EEDI와의 연계성 ····· 58

제 6 장 결 론 ····· 60

참 고 문 헌 ····· 62

- Table List-

Table 2.1 Characters of greenhouse gases of six kinds(2004)

Table 2.2 Effect summary of global warming

Table 2.3 Fuel consumption, CO_2 emissions from ships & rate of estimated increase by precedent study

Table 2.4 Water-born navigation formula

Table 2.5 CO_2 emission factor

Table 2.6 Basic emission factor of CH_4 and N_2O at water-born navigation

Table 3.1 Basic factor for calculation of CO_2 baseline

Table 4.1 C_{carbon} value about used fuel-oil at ship

Table 4.2 Report example for EEOI preparation

Table 4.3 Calculated EEOI value based on Table 4.2

Table 5.1 Calculation sheet example of kW & fuel consumption-volume

Table 5.2 EEOI maintenance procedure by marine officer at ships

Table 5.3 EEOI maintenance procedure by class or shipping company

- Figure List -

Fig.2.1 Greenhouse effect according to greenhouse gas

Fig.2.2 Emitted greenhouse gas from industrial activity

Fig.2.3 Comparison ice-picture of summer north pole(1973 & 2003)

Fig.2.4 Yearly CO_2 emissions by ship's type & emissions ratio by ship's machinery parts

Fig.2.5 Decision trees of water-born navigation emissions

Fig.3.1 Meaning of EEDI parameter

Fig.3.2 Illustration of baseline principle

Fig.3.3 Example of sector baseline(Internatinal shipping)

Fig.3.4 Scenarios for CO_2 emissions from international shipping from 2007 to 2050 in the absence of climate policies

Fig.3.5 UN-IPCC scenarios of economic growth

Fig.3.6 Calculated baseline based on regression analysis

Fig.4.1 CO_2 emissions indicating diagram of sample ships on CO_2 baseline

Fig.4.2 General voyage drawing of merchant ships

Fig.4.3 CO_2 emission baseline(MEPC59/4/8:Denmark)

Fig.4.4 Baseline for CO_2 emissions reduction (MEPC58/4 ANNEX6)

Fig.5.1 Load diagram

Fig.5.2 Engine performance monitoring diagram example

Fig.5.3 Engine performance monitoring picture at operational ships

Fig.5.4 WECS working diagram of WARTSILA RT-flex engine

Fig.5.5 ECS working diagram of MAN B&W ME engine

Fig.5.6 Angle encoder

Fig.5.7 Estimation curve of effective engine power(MAN B&W)

Fig.5.8 Estimation curve of effective engine power(SULZER)

Fig.5.9 Ship Greenhouse gGs Trading & Consulting Center diag. example

Fig.5.10 Trading method example based on center

Fig.5.11 Greenhouse gas emission information system homepage

Fig.5.12 EEOI calculation program example at ships

Fig.5.13 VMS diagram

Fig.5.14 Connection of LRIT & VMS

Fig.5.15 Connection scheme of VMS & SGTCC

A Study on the Energy Efficiency Operational Indicator for Greenhouse Gas Reduction from ship

Beom-Seok Rho

Department of Marine System Engineering
Graduate School of Korea Maritime University
(Superviser : Prof. Jae-Sung Choi)

Abstract

Recently controlling of greenhouse gases emission from onboard ship as well as on land have become more important issue. The 1997 MARPOL Conference convened by the IMO adopted resolution 8 on "CO_2 emissions from ships". As a follow-up to the above resolution, the IMO study of Greenhouse Gas Emissions from Ships was completed and presented to the forty-fifth session of the MEPC 45. MEPC 55 agreed to update the "IMO study of Greenhouse Gas Emissions from Ships" from 2000 to provide a better foundation for future decisions and to assist in the follow-up to resolution A.963(23). MEPC 56 adopted the Terms of Reference for the updating of the study, which has been given the title "Second IMO GHG Study 2009".

A number of policies to reduce GHG emissions from ships are conceivable. Those are as follows :

1. A mandatory limit on the Energy Efficiency Design Index(EEDI) for new

ships

2. Mandatory or voluntary reporting of the EEDI for new ships
3. Mandatory or voluntary reporting of the Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)
4. Mandatory or voluntary use of a Ship Efficiency Management Plan(SEMP)
5. Mandatory limit on the EEOI value, combined with a penalty for non-compliance
6. A Maritime Emissions Trading Scheme(METS)
7. A so-called International Compensation Fund(ICF), to be financed by a levy on marine bunkers

As such, the current situation of the study is that the efforts to reduce carbon dioxide have been mainly focused on EEDI for new building ships, while those for old vessels bring less attention with their studies and investigations being stood at initial stages. Thus this study has been investigated the Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) for operating ships.

Oprational Ships were applied by EEOI of the new concept that indicates the energy efficiency through studying the currently suggested EEOI. And Those results analyzed effectively to indicates energy efficiency of operational ships. Also it has been investigated that their practical use.

In conclusion, it has been identified that EEOI of the new concept that is obtained through gauging ship's engine load can better indicate the efficiency of energy than the existing EEOI that uses the quantity of cargo. And also it has been suggested that establishment and organization of Ships Greenhouse Gas Trading & Consulting Center(SGTCC) as independent agency in order to perform management and policy of reducing about greenhouse gases in marine industry.

In the future. the more study will be needed to research about the relationship between EEDI and EEOI, Spreadprogram GHG, NOx, SOx and etc. from ships in port.

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

근래에 들어 대기환경에 관한 문제는 더 이상 선진국만의 관심 대상이 아닌 전 인류의 문제로 다가오고 있으며 그 중 대기환경의 심각성이 과학적으로 증명되면서 각 나라의 정책당국은 환경규제의 정도를 강화하고 있는 추세이다. 그러므로 대기환경 관한 오염은 특정 나라만 국한된 문제가 아닌 전 인류, 전 세계가 공동으로 대처해야 해결할 수 있는 문제로 인식되고 있다. 현재는 1992년 리우에서 개최된 유엔환경개발회의(UN Conference on Environment and Development)를 계기로 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change:UNFCCC)이 채택되면서 환경에 관한 인식의 전환이 국제적으로 이루어지게 되었다. 그에 따라 대기뿐만 아니라 해양, 유독화학물질, 폐기물 등 다양한 분야에서 환경과 관련된 국제협약이 이행되고 있다.

기후변화협약이란 지구온난화에 따른 기후변화현상 발생을 막기 위하여 1992년 6월 브라질 리우환경회의에서 채택된 협약이다. 우리나라를 포함한 150여 개국의 서명으로 채택되었으며 50개국 이상이 가입하여 발효조건이 충족됨에 따라 1994년 3월 21일 공식발효 되었고 우리나라는 1993년 12월 기후변화협약의 중요성을 감안하여 47번째로 가입하였다.

기후변화협약은 전문과 26개 조항으로 구성되어 있으며 기본원칙, 의무사항, 재정지원사항, 기술이전, 조직사항 등으로 나누어진다. 협약가입국의 의무사항은 개도국과 선진국을 불문하고 모든 협약 가입국에게 공통적으로 적용되는 일반의무사항과 선진국만을 대상으로 하는 특별의무사항으로 구분된다. 일반 의무사항으로 먼저 각국은 이산화탄소를 비롯한 온실가스 배출량과 흡수량을 조사·보고하여야 한다는 조항이 있다. 이와 관련하여 현재 협약당사국 총회에서는 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmntal Panel on Climate Change:이하 IPCC)에서 제안한 방법을 토대로 모든 배출원과 흡수원에 대해 6가지 온실가스물질의 배출통계를 작성·보고하도록 정하고 있다. 다음으로 기후 변화의 방지와 적응능력의 향상을 위한 국가전략을 수립·시행하여야 한다는 조항이 있다. 이는 기후가 변할 경우를 대비하여 각 부문에 대한 적응방안을 수립하는 것으로 온실가스 배출을 저감시키며 흡수원을 확대하는 정책을 수립하는 것을 의미한다. 보다 구체적으로 온실가스 흡수원인 산림과 해양의 지속가능한 관리 및 기후변화 문제를 각 부문의 정책에 반영하기 위한 영향평가제를 제도화하는 것이다..

기후변화협약을 기초로 하여 진행되어온 국제적 온실가스 감축 노력은 1997년 12월 교토의정서(Kyoto Protocol)를 채택함으로서, 부속서 II(B)[1] 국가들로 하여금 구체적인 감축목표를 설정하게 하는 성과를 거두게 되었다. 이로써 부속서 II(B) 국가들은 제1차 공약기간(2008년~2012년)동안 1990년 배출량을 기준으로 평균 5.2%를 감축하여야 할 의무를 부담하게 되었다. 이와 같은 감축의무설정은 국제 배출권 거래 제도를 비롯한 교토메커니즘의 도입을 전제로 하여 이루어질 수 있었으며 러시아의 교토의정서 비준으로 인해 발효되었다.

교토의정서에 의해 선진국들은 자국의 온실가스 감축목표가 설정됨에 따라 온실가스 감축에 따른 비용과 파급효과를 최소화하기 위한 일환으로써 교토메커니즘을 도입하였다. 교토메커니즘에는 국제배출권거래제도, 공동이행제도, 청정개발체제 및 공동삭감제(bubble)등 4개의 제도가 포함되어 있다. 국제배출권거래제도(International Emission Trading:IET)는 교토의정서 제17조에 규정된 것으로 온실가스 감축의무가 있는 국가에 배출쿼터를 부여한 후, 동 국가 간 배출쿼터의 거래를 허용하는 제도이다. 즉, IET는 설정된 감축 할당량을 부속서 I(A)[2] 국가 간에 거래할 수 있도록 한 조치로서 할당량을 초과 배출한 국가는 타국의 잉여분을 배출권으로 구매하여 자국의 할당목표를 달성할 수 있다. 공동이행제도(Joint Implementation:JI)는 의정서 제6조에 규정된 것으로 온실가스 배출감축을 위한 선진국간의 공동 사업으로서, 본격적인 국제배출권 거래제의 전단계로서 인식되고 있다. 즉, 선진국인 A국이 선진국인 B국의 온실가스 배출저감 노력을 지원한 후 저감된 B국의 배출량 일부를 A국의 배출 저감량으로 인정해 주는 제도이다. 청정개발체제(Clean Development Mechanism:CDM)는 의정서 제12조에 규정된 것으로 선진국으로 하여금 감축비용이 낮은 개도국에 투자하여 신용(Certified Emission Reduction)을 창출하여 이를 획득할 수 있도록 한 제도이다.

이와 같이 세계 각국과 국제전문기구들의 환경보호를 위한 적극적인 협약제정 및 다양한 활동에 발맞추기 위해 국제해사기구(IMO)는 1990년과 1991년의 MEPC 30차, 31차 회의에서 선박으로부터의 대기오염방지를 위한 IMO총회 결의 초안 작성 및 승인을 거쳐, 91년 11월 IMO 제 17차 총회에서 이에 대한 결의문을 총회 결의 A.719(17)로 채택하였다. 또한 1997년 9월 26일에는 지금까지 논의의 대상에서 제외되었던「선박으로부터 대기오염방지를 위한 협약」을 제 40차 MEPC에서 승인하였고 제3차 MARPOL 당사국

1) 부속서 II(B):부속서 I(A) 국가 중 OECD 가입국으로 개도국에 온실가스 감축을 위한 기술 및 재정 지원
2) 부속서 I(A):교토의정서에 의해 동구권을 포함한 40개국으로 온실 가스 배출량을 2000년까지 1990년 수준으로 안정화 시키도록 노력(비구속적)이 결정된 국가

회의에서 채택하였다.[3)4)]

대기오염방지협약은 조기발효를 위하여 별도의 협약으로 제정하지 않고 기존의 해양오염방지협약인 MARPOL 73/78의 새로운 부속서인 Annex VI(제6부속서-선박대기오염물질 배출규제협약)의 형태로 제정되었고 처음 논의되었던 1997년 이후 약 8년의 시간이 지난 2005년 5월 19일부로 발효되게 되었다.

Annex VI와 관련된 대기오염물질들은 오존제거물질, NOx, SOx, 휘발성유기화합물(VOCs)들이고 온실가스등에 대한 구체적인 규제는 논의되지 않았다. 이에 교토의정서에서는 선박에서의 온실가스 배출에 관련된 내용은 IMO에서 주관하여 실행할 것을 결정하였다.

IMO에서도 대기오염방지협약의 논의를 시작한 1997년에 선박으로부터 배출되는 이산화탄소에 대한 결의안을 채택하였다. 이 결의안은 선박에서 배출되는 이산화탄소 감축을 어떻게 이행할 것인가를 검토하기 위해 MEPC가 주도적인 역할을 맡을 것을 논의하였고 그에 따라 2000년 MEPC 45차 회의에서 GHG(Greenhouse Gas:이하 GHG) Study 그룹이 결성되었다

그 후 2004년 IMO 회의에서 GHG 감축에 대한 정책과 실행에 관한 결의서 A.963(23)을 채택하였다. 또한 MEPC가 선박에 대한 GHG 인덱스 그리고 이 인덱스의 적용을 위한 가이드라인을 개발할 것을 결정하였으며 2005년 MEPC 53차 회의 시 Circ./471을 통해 자발적 선박 CO_2 배출 지수 시험을 위한 잠정 지침서를 결의하였다

그 후 매년 MEPC 회의에서는 선박에서 배출되는 GHG와 관련된 항목들이 검토 및 논의되고 있는 상황으로 최근에 GHG에 관한 IMO동향을 살펴보면 MEPC 55에서는 "The 2000 IMO GHG Study" 가 전체적으로 갱신되어야 한다는 것에 동의하고 MEPC 56에서는 이 작업을 위한 위탁기간에 동의하였다. 갱신에 관한 절차보고서는 MEPC57(MEPC 57/4/18과 Add.1)과 MEPC58(MEPC58/4/2)까지 준비되었다. 갱신에 관한 최종상황보고는 MEPC 59/4/4 문서에서 볼 수 있다.

상임위원회에서는 갱신된 "2000 IMO GHG Study"를 "Second IMO GHG Study 2009"로 이름붙이기로 하였다.

보고서 “Second IMO GHG Study 2009”의 요약은 부속문서 MEPC 59/4/7에서 볼 수 있고 Phase 1과 Phase 2를 모두 포함하는 최종보고서는 MEPC59/INF.10에서 볼 수 있

3) 舶用大氣汚染抑制檢討委員會, 國際海事機構(IMO)における排氣ガス 規制の最近の動向, 日本舶用機關學會誌 第 32券, 第 6号 1997-6, pp.390-397
4) 平田賢,「船舶大氣汚染防止の動向と對應」,日本舶用機關學會誌 第32券 6号 1997-6, pp.385-389

다. (Phase 1 report : MEPC 58/INF.6)

이와 같이 선박에서의 GHG 배출에 대한 연구는 초기 단계로서 현재 논의 중인 지수들을 적용하기 전에 먼저 이 지수들이 얼마만큼 운항하는 선박의 특성을 반영하고 있는지 충분한 검토가 선행되어야 한다.

1.2 연구 목적 및 내용

선박 기관에서 배출되고 있는 대기오염물질 중에서 오존제거물질, NOx, SOx, 휘발성 유기화합물(VOCs)등에 대한 다양한 연구는 그동안 꾸준히 진행되어 왔다.

이런 노력의 바탕으로 IMO에서는 1997년 MARPOL의 부속서 제VI장을 제정하여 선박에 의해 발생하는 대기오염을 규제하기로 합의했으며 2005년부터 동 부속서가 발효되고 있다. 부속서에는 오존 파괴물질 배출 금지 제12규칙, NOx에 대한 규제 제13규칙, SOx에 대한 규제 제14규칙, 휘발성 유기화합물에 대한 규제 제15규칙, 소각 시 대기오염 방지에 대한 규정 제16규칙, 선박연료의 품질 규제 제18규칙 등과 그 외 제반사항을 규정한 제3, 5, 6규칙 등이 명시되어 있다.

1997년 부속서가 제정될 당시에 선박에서 배출되는 양이 적다는 이유로 CO_2가 논의 대상에서 제외되었으나 그 이후 온실가스에 대한 중요성이 부각되면서 현재에는 가장 이슈가 되고 있는 항목이다. 선박에서의 CO_2 배출에 대한 논의는 IMO를 중심으로 ①에너지효율설계지수(Energy Efficiency Design Index:EEDI), ②에너지효율운항지표(Energy Efficiency Operational Indicator:EEOI), ③선박의 CO_2 배출저감을 위한 운항방법(Ship Energy Management Plan:SEMP), ④시장제도 도입, ⑤기후변화 관련 국제규정의 적용대상 선박 지정 등의 다양한 협의가 진행 중에 있다.

그러나 위의 항목 중에서 EEDI에 대한 연구와 이를 위한 CO_2 배출 베이스라인 조사를 제외한 그 외 항목에 대한 연구는 초기 단계로 활발하지 못한 편이다. EEDI와 더불어 운항선에 적용해야하는 EEOI도 충분한 검토와 연구가 필요함에도 불구하고 아직까지는 그러한 활동이 활발하게 이루어지지 않고 있다는 것이다. 이것은 IMO내에서 뿐만 아니라 선박내연기관을 연구하는 기관에서도 마찬가지로 관심이 적은 편이다. 일부 정부기관과 학계를 중심으로 EEDI에 대한 분석과 CO_2 베이스라인 조사활동이 이루어지고는 있지만 EEOI에 대해선 산정지표만 명시하고 있을 뿐 여기에 대한 검증 작업은 거의 이루어지지 않고 있다.

많은 사람들의 지속적인 연구와 검증에 의해 오존제거물질, NOx, SOx, 휘발성유기화

합물(VOCs)등에 관한 현재의 규정과 대책이 공감을 받을 수 있었듯이 IMO를 중심으로 진행되고 있는 CO_2에 대한 논의도 다양한 연구와 검증이 필요하다고 생각한다.

따라서, 이 논문에서는 현재 논의되고 있는 선박의 CO_2 배출에 관한 구체적인 동향을 조사, 연구하고 그 중 EEOI를 실선에 적용하여 검증한 뒤 문제점을 분석하고 그에 대해 새로운 개념의 EEOI를 제시하고자 한다. 그리고 이를 실선에 적용하여 그 결과가 얼마만큼 운항선의 에너지효율을 효과적으로 표시하는지 분석하고 이를 활용할 수 있는 방안에 대해서도 연구하였다.

제 2 장 Greenhouse Gas(GHG) 개요

2.1 GHG의 정의 및 범위

사전적인 의미로서는 지구의 대기 속에 존재하며, 땅에서 복사되는 에너지를 일부 흡수함으로써 온실효과를 일으키는 기체를 온실가스라 한다.

인류가 지구환경 속에서 쾌적하게 살아갈 수 있는 이유는 대기 중의 온실가스가 온실의 유리처럼 작용하여 지구표면의 온도를 일정하게 유지하기 때문이다. 태양에서 지구로 오는 에너지는 자외선과 가시광선 영역으로, 이중 약 30%는 대기, 구름, 지표면에서 반사되어 열에너지로 변환되지 못하고 우주로 다시 방출되며, 약 21%는 대기에 직접 흡수되어 대기를 가열한다. 나머지 48%가 지표면에서 흡수되어 지표면을 가열하거나 지표면에서 적외선 형태의 열로 변화되어 대기 중으로 방출된다. 또한 대기는 이 열을 흡수하고 흡수열과 기온에 따라 적외선을 지표면으로 방출한다.[5)]

Fig 2.1에서 보듯이 지표면에서 반사된 적외선은 이산화탄소 등의 온실가스에 의해 흡수되며, 적외선을 흡수한 이산화탄소내의 탄소분자는 들뜬상태가 되었다가 다시 안정 상태를 유지하기 위해 에너지를 방출하는데, 이 방출된 에너지로 인해 지구가 따듯해진다. 이와 같이 수세기 동안 태양에너지와 대기권의 온실가스가 균형을 이루면서 지구 평균온도인 15℃를 유지해 오다[6)] 근래에 들어 대기권의 온실가스량이 증가하면서 온실효과가 발생하게 된 것이다.

온실가스는 온실효과를 초래하여 지구의 생태계를 파괴하는 지구 온난화의 주요 원인이기도 하지만 역설적으로 지구의 생명체를 지켜주는 역할을 하기도 하는데 그 이유는 대기 중의 온실가스로 인해 적당한 온도가 유지되어 다른 행성들과는 다르게 지구에서 생명체가 존재할 수 있게 해주기 때문이다.

그러나 지난 100년 동안 살림벌채 등으로 지구의 자정능력이 악화되고 산업발전에 따른 화석연료의 사용량이 증가되면서 인위적으로 발생되는 이산화탄소의 양이 증가함에 따라 대기 중 온실가스의 농도가 증가됨으로써 온실효과를 증가시키는 결과를 초래하여 지구의 평균기온이 올라가는 지구온난화(Global Warming)현상이 나타나게 되었다.[7)]

---

5),6),7) 친환경이산화탄소유효처리기술, 한국과학기술정보연구원, 2008, pp.3

결국 온실가스 자체의 문제라기보다는 온실가스의 증가가 문제임을 알 수 있다.

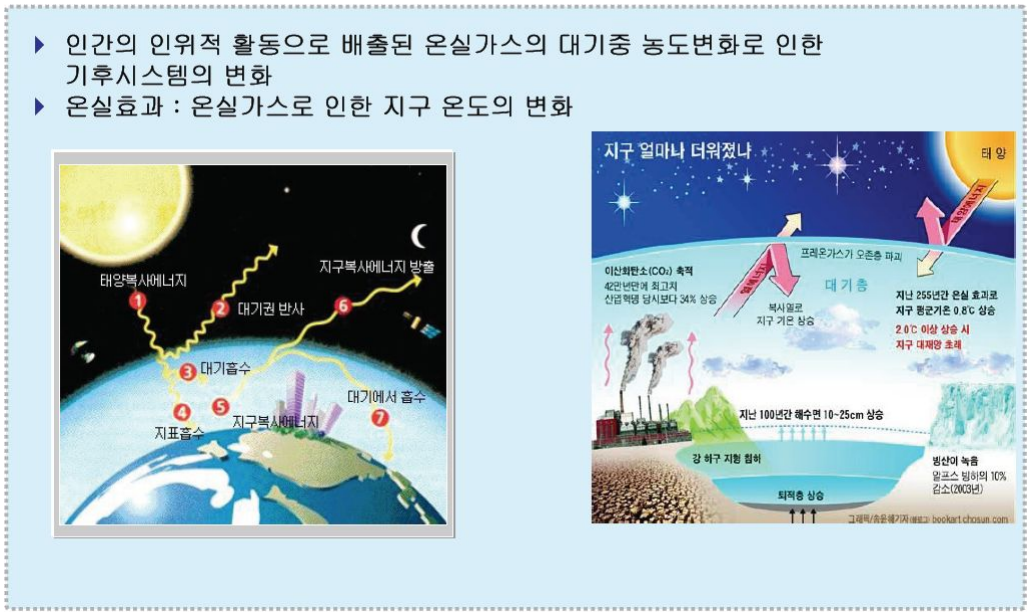


Fig 2.1 Greenhouse effect according to greenhouse gas[8)]

2.2 GHG의 종류 및 성질

온실효과를 일으키는 온실가스로는 이산화탄소(Carbon dioxide, CO_2), 메탄(methane CH_4), 아산화질소(Nitrous oxide, N_2O), 수소불화탄소(Hydrofluorocarbons, HFCs), 과불화탄소(Perfluorocarbons, PFCs), 육불화항(Sulfur hexa-fluoride, SF6), 오존(Ozone, O_3), 수증기(Steam, H_2O)등이 있다. 이 중 수증기는 대기 중에 대단히 많은 양이 존재하며, 흡수할 수 있는 열량 역시 이산화탄소를 비롯한 다른 온실가스에 비해서도 대단히 크다. 하지만 수증기는 구름을 이루어서 태양빛을 반사할 수도 있기 때문에 실제로 어떻게 수증기가 온실효과에 영향을 미치는지 정확히 알기 어렵다. 또한 대기 중의 수증기량을 인위적으로 제어할 방법은 현재로선 없으며 오존은 태양의 자외선을 차단해 주는 중요한 역할을 하지만 온실효과에 대한 영향은 다른 기체에 비하여 상대적으로 매우 적은 편이다. 다만 오존이 성층권이 아닌 대류권에 있을 경우 생물체의 호흡기 및 눈병 질환을 유발할 수 있다.

그래서 수증기와 오존을 뺀 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, HFCs, PFCs, SF6을 6대

8) 송윤혜 기자 블로그, http://blog.naver.com/bookshop

온실가스라 하며, Table 2.1에서 이들 6대 온실가스들의 특징에 대해 정리하였다. 이들의 지구온난화에 기여하는 정도를 지구온난지수(Global Warming Potential:GWP)에 따라 이산화탄소가 1일 때 메탄은 21, 아산화질소는 310, 프레온가스는 1,300~23,900이다. 온난화지수로만 보면 이산화탄소가 제일 낮지만 제어 가능한 가스로서 전체 온실가스 배출량 중 약 76% 이상, 기여도로는 55% 정도를 차지하고 있기 때문에 6대 온실가스 중 가장 감소해야 하는 가스로 분류되고 있다.

Table 2.1 Characters of greenhouse gases of six kinds(2004)

자료 : 이산화탄소저감 및 처리기술개발 사업단(WWW.cdrs.re.kr)

온실가스		CO_2	CH_4	N_2O	HFCs, PFCs, SF6
배출원		에너지사용/산업공정	폐기물/농업/축산	산업공정/비료사용	냉매/세척용
대기 중 농도(ppm)		379	1.774	0.319	0.002
총배출량(%)	한국	88.6	4.0	3.0	4.4
	세계	76.7	14.3	7.9	1.1
증가율/년(%)		0.5	0.9	0.25	240
대기체류시간(년)		50~200	20	120	65~130
온실효과 기여도(%)		55	15	6	24
지구온난화지수(GWP)		1	21	310	1,300~23,900

중요한 6대 온실가스의 각각의 성격을 간단히 살펴보면 이산화탄소(CO_2)는 인간이 산업화를 진행하면서 사용하게 된 화석연료에 의해 그 양은 크게 늘었다. 1750년 산업혁명이 시작되면서 31%가 늘어나서 2003년에는 376ppm의 양이 대기 중에 존재했고 현재에도 그 양은 계속적으로 증가하고 있다. 이는 남극 빙하 속의 이산화탄소양을 통해 측정한 과거 65만년 동안의 어느 시대에서보다 높다.

메탄(CH_4)은 현재 연간 2억 5천만 톤이 대기 중으로 배출된다. 메탄은 화석연료를 태울 때에도 발생하지만 비료나 논, 쓰레기더미에서도 발생하고, 심지어는 초식동물이

풀을 소화시킬 때의 호흡에서도 발생하는 것으로 알려져 있다. 그렇기 때문에 인구가 늘어나고 식량 생산을 늘려 나가는 과정에서 대기 중에 메탄이 늘어났다고 보는 것이 일반적인 견해이다. 툰드라 지방의 땅이 온난화로 인해 따듯해지면 메탄을 방출할 것이라는 이론과, 해저에 있는 메탄하이드레이트에 의해 메탄이 다량 방출될 수 있다는 이론이 있지만 아직 명확하게 입증되지 않았다.

아산화질소(N_2O)는 일산화이질소 또는 산화이질소라고도 부르는데 가벼운 향기와 단맛을 지닌다. 물, 알코올 등에 상당히 잘 녹고 물에 녹으면 질산이 되는 성질을 가지고 있으며 상온에서 안정적인 물질로 화학적 성질은 산과 비슷하다. 아산화질소를 기체 상태로 흡입하면 얼굴 근육에 경련이 일어나 마치 웃는 것처럼 보여 일명 웃음가스(Laughing Gas)라고도 한다. 또 마취성이 있어 간단한 외과수술시 전신마취에 사용하는 경우도 있다. 온실가스중 하나로 주목받고 있는 아산화질소의 대기 중 농도는 1950년대부터 급증하고 있는 것으로 연구결과 밝혀졌는데 일본의 해양연구 개발기구 지구환경 프론티어 연구센터 등에 의한 분석결과에 의하면, 인구의 증가에 따라 경작지가 확대되었으며 수확량을 늘리기 위해 화학적으로 합성된 질소 비료의 과잉적인 살포가 농도 증가의 한 원인으로 알려졌다.

육불화황(SF6)은 일반 상태에서는 무색, 무취, 무해하지만 화기와 접촉하는 순간 유해가스로 변질해 지구 온난화를 유발한다. 지구온난화지수가 제일 높은 기체로, 대표적인 온실가스인 이산화탄소보다 29,000배나 높아 가장 심각한 환경오염물질로 지목받고 있다. 2003년 말 국내기준으로 1741만8000 CO_2Ton을 배출하였는데 전체 온실가스 배출량은 3%이지만 증가율은 14.7%로써 심각성을 더해준다. 극 미량가스인 SF6은 프레온가스의 대체물질로 개발되어 반도체 생산 공정, 가스차단기, 소화기 등에 쓰이고 그 사용량이 전 세계적으로 증가하고 있는 인공적인 온실가스이다.

HFCs, PFCs는 프레온가스의 종류로서 1985년 CFCs계열의 프레온가스가 지구 오존층의 주요 파괴물질로 판명되고 UN환경계획위원회를 중심으로 1985년 11월 프레온가스등의 소비를 제한하는 이른바 '몬트리올 의정서'가 제정되게 되면서 듀퐁, 영국 IC사 등 세계적인 화학업체들에 의해 CFCs계열의 프레온가스 대체물질로 개발되면서 탄생하게 된 상품이다. PFC(Perfluoro Carbon) 계열과 HFC(Hydrofluoro Carbon) 계열 둘로 분류되는데 PFP는 C와 F만으로 이루어진 매우 강력한 화합물로 CFC보다 더욱 안정적인 물질로써 성층권보다 높은 곳에서 분해 된다. HFC는 CFC분자에 H가 첨가된 구조를 가지고 있어 안정한 화합물인 CFC보다 비교적 불안정하게 제조하여 HFC가 성층권에 도달하기 전에 대류권에서 분해시킨다는 개념으로 개발된 것이다. 그러나 이러한 대체물질

또한 오존층을 파괴하고 지구 온난화를 촉진하는 온실가스로 지적되어 감축을 유도하고 있는 실정이다.

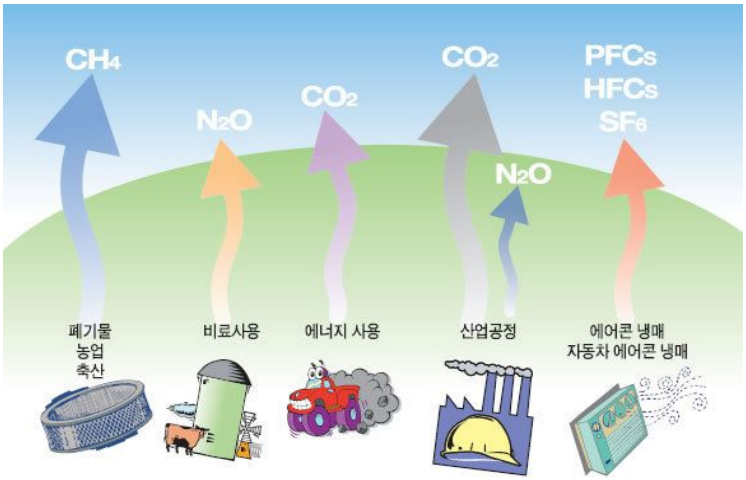


Fig 2.2 Emitted greenhouse gas from industrial activity

2.3 GHG가 환경에 미치는 영향

(가) 해수면 상승

기온이 상승하게 되면 북극이나 남극에 있는 빙하가 녹게 된다. 그러나 최근에는 그 속도가 예전에 비해 빠른게 진행되고 있으며 Fig 2.3에서 보듯이 30년만에 북극 빙하가 약 40% 가까이 줄어들었다. 만약 3℃ 정도의 기온이 상승할 경우, 북극에 있는 빙하는 대부분이 물에 뜬 빙산이므로 그것들이 녹더라도 해수면에는 영향이 없다. 하지만 남극에 있는 빙하는 대륙 빙하이기 때문에 그것들이 녹으면 약 7m 정도의 해수면이 상승할 것으로 예측된다. 그럴 경우, 각 대륙의 해안가를 따라 실제 물속에 잠기는 면적은 약 3%에 불과하지만 전 세계의 대도시들이 대부분이 해안가에 발달하고, 따라서 인류의 약 1/3이 해안 지역에 거주하는 것을 감안하면 그 재앙은 엄청난 것으로 문제의 심각성을 더하여 주고 있다. 다시 말해서, 지난 20세기 동안에 해수면은 평균 10~20cm 높아졌고, 앞으로도 해수면 상승이 지속적으로 나타날 것이 예상된다. 만약 해수면이 크게 상승할 경우에 방글라데시와 같이 인구가 해변에 밀집한 국가에서는 바닷물 범람에 의한 피해가 우려된다. 또한 몰디브와 같은 작은 섬나라는 사라지게 될 것이다. 따라서 해수면 상승으로 인해서, 수십억 인구가 사용하는 물은 오염이 되고,

대규모 인구의 이주가 유발될 것이다.

자료 미항공우주국(NASA)

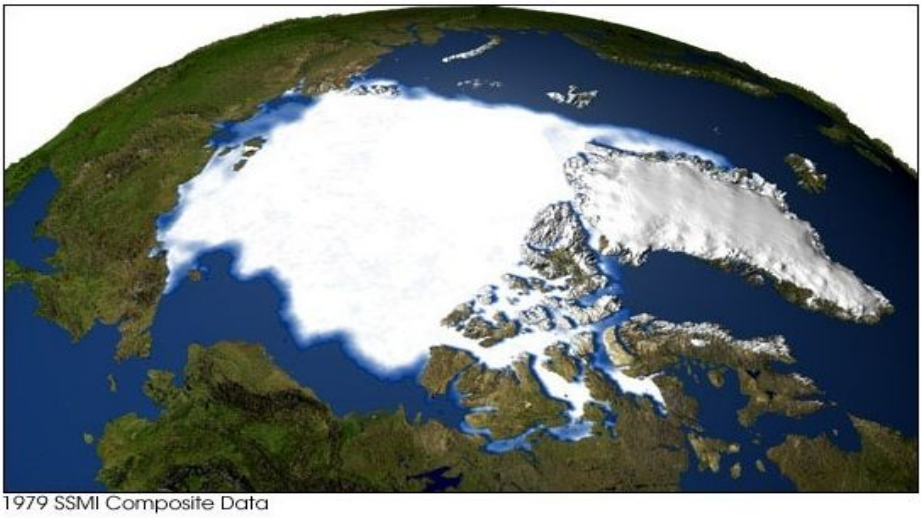


Fig 2.3 Comparison ice-picture of summer north pole(1973 & 2003)

(나) 기후 변화

기후 변화는 지구의 세계적 규모의 기후 또는 지역적 기후의 시간에 따른 변화를 말한다. 기후변화는 지구 내부의 작용이나 외부의 힘(예를 들면, 태양 복사의 변화)에 의한 것일 수도 있고, 인간의 활동에 의한 것일 수도 있다. 근래의 연구에 따르면, 온실 기체로 인한 복사 강제가 기후변화의 주요 원인으로 되고 있다. 온실효과로 인하여 지구표면의 온도는 상승하고 이러한 기온 상승은 북반구 고위도로 갈수로 더 크게 나

타나고 있다. 또한 해양보다는 육지에서 더 빠른 온도 상승이 나타난다.

(다) 지구 온난화

지구 온난화는 지표 부근의 대기와 바다의 평균 온도가 장기적으로 상승하는 현상이다. 지난 산업혁명 이후 지속적으로 온실가스가 대기로 배출됨에 따라 지구 대기 중 온실기체 농도가 증가하여 지구 표면의 온도가 과도하게 증가되어 이와 같은 지구온난화현상을 초래하게 되었다. 지구 표면의 온도상승은 해수면 상승을 초래하고, 이는 다시 강수량의 양과 패턴을 변화시켜, 가뭄, 홍수 등의 기상이변을 일으킨다. 빙하의 후퇴와 기후의 변화는 생태계를 변화시키는 등 인류를 포함한 지구상 생물의 생존에 위협이 된다. 최근 수십 년에 걸쳐 지구온난화가 진행되고 있으며 앞으로도 꾸준히 높아질 것으로 예측된다. 앞으로 얼마만큼의 온난화가 진행되며 지역에 따라 어떠한 차이가 있을 것인가에 대해선 아직 확실하지 않다. 또한 온난화가 무서운 것은 그 자체가 지구 온난화를 가속시킨다는 데 있다. 온도가 올라가면 대기가 품을 수 있는 수증기의 양이 증가하는데 앞에서 설명했듯이. 수증기는 현재 온실기체로 지탄을 받고 있는 이산화탄소보다 훨씬 강한 온실기체 중에 하나이다. 또 지구 온난화는 대기 중 이산화탄소의 양을 증가시킬 수 있는데 이산화탄소의 많은 양은 바닷물에 의해 흡수되고 있다. 지구 온도가 올라가면 식물들의 광합성작용이 활발해져서 식물이 이산화탄소를 흡수하는 양이 많아지는 대신 기체의 용해도는 떨어져 그만큼 바닷물이 흡수할 수 있는 이산화탄소의 양이 줄어들게 된다. 이와 같이 '지구의 온도 상승 -> 대기 중의 수증기 증가 -> 온실효과의 증가 -> 지구의 온도 상승'이라는 악순환을 하게 되는데 이것이 우리가 온실효과 조절을 하기가 어려운 이유 중에 하나이다.

(라) 질병 확산

인간에게 질병을 일으키는 바이러스, 세균의 대부분은 고온의 환경에서 왕성하게 활동을 한다. 대부분의 질병들은 일정한 온도에서 활동을 멈추는 북한계선을 가지고 있는데 어느 선을 넘어가면 세균이 살 온도보다 낮아서 활동을 못하게 되는 특징을 가지고 있다. 그런데 지구가 온난화 되면 이 북한계선이 위로 올라오게 되면서 전 세계적으로 질병이 확산될 우려가 크다.

(마) 식량난 발생

인류가 심고 있는 작물은 다 그 지역 기후에 알맞게 적응된 작물들이다. 지구가 온난화되면 이 작물들도 그 변화된 환경에 적응하지 못할 가능성이 크다. 급속히 온난화가 진행된다면 각 환경에 맞는 작물을 개발하기 전까지는 상당한 식량난이 발생할 우

려가 크다. 특히 사람들이 많이 밀집해 있는 곳(동/남부 아시아, 아프리카 등)은 지구가 온난화되면 식량 생산성이 현저히 떨어질 수밖에 없기 때문에 커다란 피해를 입게 될 것이다.

Table 2.2는 이대로 지구온난화가 진행될 시 10년, 40년, 70년 이후 지구환경에 미치는 영향을 정리한 것이다.

Table 2.2 Effect summary of global warming

자료 IPCC 보고서

구분	2020년대(1℃상승)	2050년대(2~3℃상승)	2080년대(3℃ 이상 상승)
수자원	·4억~7억 명 물 부족	·10억~20억 명 물 부족	·11억~32억 명 물 부족 ·세계인구 1/5이상 홍수 영향
생태계	·양서류 멸종 ·산호 백화현상 ·생물 종 다양성 변화	·생물 20~30% 멸종 위기	·지구생물 대부분 멸종 ·이산화탄소 배출로 생물권 분포 변화
식량	·농작물 수확량 일시적 증가 ·1,000~3,000만 명 기근 위협		
해안	·홍수, 폭우 증가	·300만 명 홍수 위험	·해안가 30%이상 유실 ·1,500만 명 이상 홍수 위협
건강	·알레르기 및 전염성 질병 확산	·영양부족, 과다출혈, 심장 관련 질병 증가 ·더위, 홍수, 가뭄으로 인한 사망 증가	

2.4 GHG 배출량 산정에 관한 선행연구현황

IPCC에서는 국가 온실가스 배출 인벤토리를 설정하여 해상운송에 따른 온실가스를 연안운송과 국제운송의 두 가지 경우로 구분하고 있으며, IMO와 IEA 등 국제기구들도 선박에서 배출되는 온실가스를 국제운송과 연안운송 및 어업활동으로 나누어 데이터를 수집하고 있다. IPCC에서는 해상운송의 CO_2 배출량이 2005년 531백만 톤에서 2007년 582백만 톤으로 증가할 것으로 보았으며,[9] Table 2.3과 같이 여러 선행연구에서도 배출량은 지속적으로 증가할 것으로 전망되었다. 한편 연료소비량 대비 CO_2 배출량은 1.4-4.1% 정도로 선박기관의 배출량은 그리 높지 않게 나타났다.[10]

9) IMO(b), Prevention of Air Pollution from Ships: Updated 2000 Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships, Phase 1 Report, MEPC 58/INF.6 (IMO, 2008), pp.5, 7.
10) 박명섭/홍란주/한능호, 선박기인 대기오염 규제를 위한 국제협약에 관한 연구, 한국해사법학회, 춘계학술대회, pp.3

Table 2.3 Fuel consumption, CO_2 emissions from ships & rate of estimated increase by precedent study[11)]

(단위: 백만 톤, %)

연구자	기준년도	CO_2배출량	연료 소비량	전 세계 연료소비량 대비 배출량(%)	예상 증가율
IMO Update Study(2008)	2007	843	277	3.1	-
IMO/Group of Experts(2007)	2007	1,120	369	4.1	2020년까지 +30%
IMO GHG Study(2000)	1996	419.3	138	1.6	-
IEA(2005)	2005	543	214	2.0	-
TRT Transportie Territorio	2006	1,003	NA	3.7	-
Endressen *et al.*(2007)	2002	634	200	2.3	2050년까지 +100-200%
Eide *et al.*(2007a)	2004	704	220	2.6	2050년까지 +100-200%
Eide *et al.*(2007b)	2006	800	350	2.9	2050년까지 +100-200%
Corbett *et al.*(2003)	2001	912	289	3.1	-

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

(단위: 백만 톤, %)

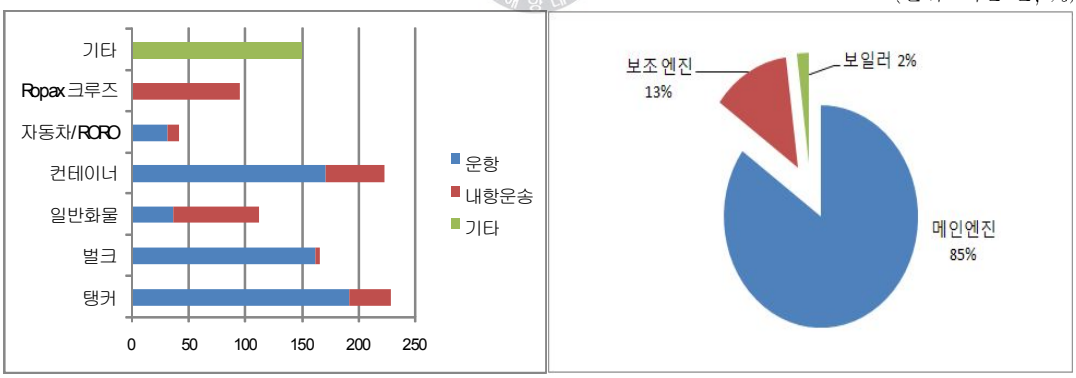


Fig 2.4 Yearly CO_2 emissions by ship's type & emissions ratio by ship's machinery parts[12)]

11) UNCTAD(a), Maritime Transport and the Climate Change Challenge, Multi-year Expert Meeting on Transport and Trade Facilitation, Item 3 of the Provisional Agenda (Geneva: UNCTAD, 2009), pp. 4, Table 1.

12) IMO(b), Prevention of Air Pollution from Ships: Updated 2000 Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships, Phase 1 Report, MEPC 58/INF.6 (IMO, 2008), pp.49-50, Figure 14 and 15.

그리고 **Fig 2.4**는 해상운송을 통해 배출되는 CO_2 배출량 중 선박 종류별로 배출하는 CO_2 총량과 선박 한척에서 각 기기별로 발생하는 CO_2 배출량을 정리하였다.

현재 온실가스에 대한 연구는 앞에서 언급한 IPCC가 중심이 되어 기후변화 대응에 대한 다양한 정보 및 가이드라인을 제공하고 있는데 4차 영향평가보고서에 실린 지구 온실가스 배출량 자료(2004년 기준)에 의하면 전체적인 온실가스의 배출량은 연간 490억 톤(CO_2 상당량으로 환산)이며, 이 가운데 약 77%인 370억 톤이 CO_2로 배출되고 있으며, 배출되는 CO_2 가운데 약 57%인 280억 톤이 화석연료의 연소에 의해서 배출되는 CO_2이다.

또한 다른 온실가스로는 메탄 및 아산화질소(N_2O)가 각각 연간 CO_2 상당량으로 70억 톤 및 40억 톤 정도가 배출되고 있다.

지구가 보유하고 있는 CO_2의 자연 순환 능력이 연간 120억 톤 이하로 예측되고 있어서 자연 친화적인 순환의 관점에서 2004년 기준 전체 CO_2 배출량의 약 2/3 가 감축되어야함을 알 수 있다.

온실가스의 배출원을 부분별로 살펴보면 에너지 및 산업과 같은 동력 및 산업재의 생산과 연관된 배출원이 전체의 45.3%, 농업 및 산림과 연계된 분산 배출원이 30.9%, 수송 및 가정/상업시설과 연관된 소규모 고정 또는 이동 배출원이 21.0%를 차지하고 있다.

이에 IPCC에서는 많은 연구와 논의를 통해 각 배출원에 대한 배출량 산정 기준 가이드라인을 제시하였으며 여러 나라 및 기업에서는 이 기준에 따라 온실가스 배출량을 산정하고 있다.

그 중 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006년 IPCC 가이드라인의 수상운수 부문을 보면 CO_2, CH_4, N_2O의 배출량 산정을 위해 두 가지 방법론적인 Tier가 있으며 **Fig 2.5** 는 2가지 Tier 중의 선택에 도움을 준다.

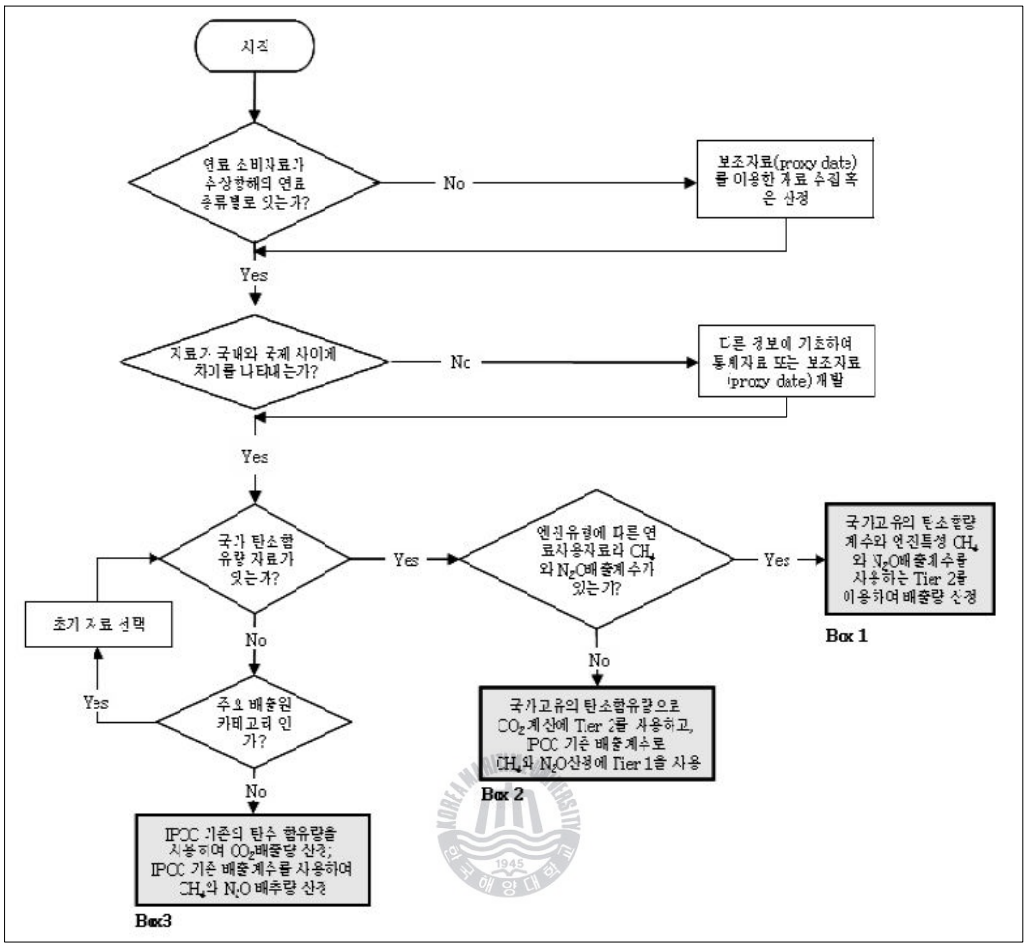


Fig 2.5 Decision trees of water-born navigation emissions[13)]

(가) Tier 1

Tier 1 방법은 가장 간단하며 기본 값 또는 국가 특성 정보 어느 쪽에도 적용될 수 있는데 연소된 연료량과 CO_2, CH_4, N_2O에 대한 배출계수에 근거해 계산한다. Table 2.4는 계산식이고, Table 2.5과 Table 2.6에 배출계수가 제공된다.

Table 2.4 Water-born navigation formula

수상운송 공식
배출량 = ∑ (연료소비량ab · 배출량계수ab)

13) 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC가이드라인 2권, 환경관리공단, 2008, pp.3.59

여기서 a는 연료종류인 디젤, 가솔린, LPG, 벙커 등을 나타내고 b는 수상운수 종류, 즉 배 또는 보트, 그리고 가능한 엔진 종류를 나타내는데 Tier 2에서만 선박 종류별로 연료구분을 해서 사용하므로 Tier 1에서는 b를 무시할 수 있다.

Table 2.5 CO_2 emission factor

(단위: kg/TJ)

연료		기본 값	하한	상한
가솔린		69300	67500	73000
기타 등유		71900	70800	73600
가스/디젤유		74100	72600	74800
잔사연료유		77400	75500	78800
액화석유가스(LPG)		63100	61600	65600
기타 CH	정제가스(Refinery Gas)	57600	48200	69000
	Paraffin Waxes	73300	72200	74400
	백유 & SBP	73300	72200	74400
	기타석유제품	73300	72200	74400
천연가스		56100	54300	58300

Table 2.6 Basic emission factor of CH_4 and N_2O at water-born navigation

	CH_4(kg/TJ)	N_2O(kg/TJ)
원양 어선	7(± 50%)	2(+140%, -40%)

(나) Tier 2

Tier 2 방법 또한 연료 종류에 따른 연료소비량을 기본적으로 사용한다. 하지만 선박 종류, 연료 종류, 그리고 엔진 종류의 분류에 따라 고도의 특수성을 가진 국가 특정 배출계수가 요구되는데 쉽게 이야기하면 국내 시험에 의해 선박 종류, 연료 종류, 엔진 종류별로 특정 배출계수를 구해 적용을 해야 함을 의미한다.

한편 Tier 2를 적용할 때에 인벤토리 작성자는 EMEP/Corinair 배출 인벤토리 지침서에 엔진과 배의 종류에 근거한 선박배출량과 선박이동자료를 산정하기 위한 자세한 방법론이 제공된다는 것을 기록해야 한다.

그러나 IPCC 가이드라인에서의 수상운수 배출량 방식은 선박의 운항형태 및 주기관 운전특성을 충분히 반영하기에는 부족한 부분이 있다. 이런 부분이 반영되지 않은 상태에서 단순히 연소에 의한 CO_2 배출량 산정은 차 후 선박에서 배출하는 CO_2에 대한 규제 및 도쿄메커니즘의 의한 탄소시장 도입 시 많은 이견이 발생할 수 있으므로 연구 초기단계에서 각 선박으로부터의 운항형태 및 선박기관 운전특성을 고려한 실제적인 배출량 산정식이 필요하다.

그래서 현재는 해운업과 조선업의 정책을 주관하고 있는 IMO가 중심이 되어 선박에서 배출되고 있는 CO_2에 대한 연구 활동이 진행 중에 있으며 이와 더불어 외국에서는 선박에서 배출되는 CO_2에 대한 실태 조사가 점차 증가하고 있는 추세이다. 특히 유럽을 중심으로 일본에서도 많은 관심을 가지고 실태파악에 노력하고 있고 그 결과들을 이용하여 IMO측에 가이드라인 관한 의제를 제출하고 있다. 우리나라에서도 많은 기관에서 이러한 세계적인 추세에 발맞추어 다양한 연구가 진행 중에 있으며 한발 더 나아가 선박의 운항형태 및 선박기관의 운전특성을 반영하여 CO_2 배출량을 산정할 수 있는 시스템 제정에 대한 논의가 필요한 시점이다.

제 3 장 IMO의 GHG 정책 동향

3.1 IMO의 선박 CO_2 배출규제 현황

그 동안 IMO에서는 선박으로부터의 온실가스 배출을 감소시키기 위하여 이용될 수 있는 많은 기술적/운항적 측면의 대책들이 확인되었지만, 이러한 방법들의 이행을 뒷받침해줄 수 있는 정책들이 마련되지 않는 한 이들 대책들은 이행되지 못할 것이다. 선박으로부터 배출되는 온실가스를 감소시키기 위한 많은 정책들이 고려되고 있는데, 최근 IMO에서 논의 중인 관련된 논제들을 세부적으로 살펴보면 다음과 같다.

아래와 같이 MEPC 57차 회의에서 발전된 7가지의 논제들에 대한 분석은 선박으로부터의 GHG 배출에 대해 일관성 있고 종합적인 기준에 기본을 둔다. 이 기준에 근거하여 현재 IMO 안에서 논의되고 있는 (가)부터 (바)까지의 옵션들에 관하여 다음과 같이 정리할 수 있다.

(가) 신조선의 Energy Efficiency Design Index(EEDI)에 대한 강제적인 제한치

신조선의 EEDI에 대한 강제적인 제한치는 신조선의 설계효율을 향상시키는데 필요한 인센티브를 부여하는 비용-효율적 해결책이 됨을 나타낸다. EEDI의 주요한 제한은 선박의 설계에 대해서만 초점을 맞추고, 운항적인 측면은 고려하지 않았다. 이것은 환경적 효과에 국한된다. 또한, 이 영향은 신조선에 대해서만 적용된다.

(나) 신조선을 위한 EEDI와 운항선을 위한 Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)의 강제적/자발적 보고

EEDI 또는 EEOI의 강제적/자발적인 보고는 그 자체가 환경적인 효과를 가지지는 않는다. 오히려, 환경적인 효과나 비용-효과는 이러한 정보를 이용하도록 하는 인센티브 제도에 달렸다. 많은 가능한 인센티브제도들에 대한 평가는 이 보고서의 논지외의 것이다.

(다) Ship Efficiency Management Plan(SEMP)의 강제적/자발적 사용

SEMP는 배기 배출물을 저감시키는 비용-효과적인 대책들을 인식시키기 위하여 실현 가능한 접근방법임을 나타낸다. 그러나 이 방법이 배기배출 저감에 필요하지 않게 되면서부터 이 방법의 효과는 비용-효과적인 대책으로서의 유용성에 좌우 되게 될 것이다. (예를 들면, 연료비의 절약이 자본금이나 운용비를 초과하는 경우의 대책 등)마찬가지로, 이 방법은 정상적인 상업적 상황을 뛰어넘어 혁신과

R&D(Research & Development)를 장려하지는 않을 것이다.

(라) EEOI 불이행에 따른 규제를 포함한 EEOI 값의 강제적 제한치

EEOI의 강제적인 제한은 운송에 종사하는 모든 선박으로부터 배출되는 배기를 저감 시키는데 강력한 동기를 제공하는 비용-효과적인 해결책이 됨을 나타낸다. 이것은 기술적이고 운항적인 대책 모두를 장려할 것이다. 하지만 이 방법은 운항 효율에 관한 기준선의 갱신과 설정 그리고 목표의 설정에 어려움이 있기 때문에 기술적으로 매우 도전받고 있다.

(마) Maritime Emissions Trading Scheme(METS)

METS와 선박으로부터의 GHG 배출에 관련된 국제보상기금(ICF)은 높은 환경적인 효과를 가진 비용-효과적인 정책 기구이다. 이 기구들 내에서 가장 많은 양의 배기배출이 이루어지며, 기존의 해운분야 내 모든 대책을 허용하고 다른 분야에서의 배기배출까지도 상쇄할 수 있다. 이러한 기구들은 운항기술과 선박설계기술 모두 기술적인 변화에 대해 강력한 인센티브를 제공한다.

(바) 선박연료 조세로 운영되는 International Compensation Fund(ICF)

METS의 환경적 효과는 그 설계의 종합적인 부분으로 만족될 것이다. 반면에, ICF의 환경적 효과의 부분은 다른 분야에서의 배기배출권을 구입하는데 드는 비용의 비율에 관한 결정에 달려있다. 비용-효과적인 관점에서 기술적인 변화와 이행 가능성에 인센티브를 부여하는 것은 두 정책기구 모두가 매우 유사할 것이다.

3.2 MEPC에서 논의 중인 선박 CO_2 배출량에 대한 기술적 방법론

3.2.1 Energy Efficiency Design Index for New Ships (EEDI)

(가) 목 적 : 비교를 위한 공정한 토대

- 효율적인 엔진과 선박의 발전을 위한 동기부여
- 선박 종류과 크기에 대한 최소한의 효율 설정

(나) CO_2 배출량

- 연료소모량의 역할
- 순수 탄소함유량의 역할

(다) EEDI의 개념

- 설계단계에서 선박 자체적으로 측정
- 환경적인 비용/사회적인 이익으로서의 표현-[CO_2 발생량(g)/ton·km]

(라) 명칭변경(MEPC 58 (Brazil))

- CO_2 Design Index 에서 Energy Efficiency Design Index로 변경

(마) 계산/시운전시 더욱 고안되고 개선된 검증을 목적으로 한 신조선에 대한 EEDI 지수의 계산 방법에 대한 임시기준(MEPC 58)

(바) EEDI 공식(2nd GHG-WG('09.03) 변경된 EEDI 수식:GHG-WG 2/WP.1)

$$\frac{\left[\prod_{j=1}^{M} f_j\right]\left[\sum_{i=1}^{nME} C_{FME(i)} SFC_{ME(i)} P_{ME(i)}\right] + P_{AE} C_{FAE} SFC^{*}_{AE} + \left(\left[\prod_{j=1}^{M} f_j \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{nWHR} f_{eff(i)} P_{AEeff(i)}\right] C_{FAE} SFC_{AE}\right) - \left[\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} P_{eff(i)} C_{FME(i)} SFC_{ME(i)}\right]}{f_i Capacity V_{ref} f_W}$$

- ME: Main Engine, AE: Auxiliary Engines
- C_F : 연료유에 포함된 탄소성분을 표시하기 위한 연료종류별 변환 계수
- SFC: 엔진에서 사용하는 유량을 kWh의 출력대비 연료소모량으로 나타낸 표현
- P: kW으로 측정된 엔진마력
  - P_{MEi}: 본선에 설치된 주기관 MCR의 75% 수준을 고려하다가 이번에 0.75(MCR_{MEi} - P_{PTOi})로 변경하였는데, P_{PTOi}는 Shaft Generator의 출력을 가리키는 것으로 S/G를 설치한다면 사양에 따라 차이가 있겠으나 주기관의 출력이 무시할 수 없을 정도로 증가하기 때문이다.[14)]
  - $\Pi f_j \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}$: 기존 수식의 경우 디젤-전기 추진시스템에서 대빙 구조를 위한 추진 모터가 고려되지 않았으므로 이에 대한 보안 Factor(Π)를 추가하였다.
  - $\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} P_{AEeff(i)}$: 기존 수식에는 폐열회수시스템을 고려한 ($\sum_{i=1}^{nWHR} P_{WHRi}$)가 있었으나 이번 개정 수식에는 보다 광범위한 개념의 전기 에너지 효율시스템을 의미하는 ($P_{AEeff(i)}$)로 변경하였으며 가동률($\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)}$)을 추가하였다.
  - P_{eff}: 새로 개발되는 경제적인 기술에 의한 주기관의 출력감소분
  - P_{AE}: 모든 선종에 대하여 주기관 출력 10,000 kW를 기준으로 NMSL(Normal Maximum Sea Load)을 생산하기 위한 보조기관의 출력을 산정한 바 있으나, 여객선의 경우 Hotel Load의 증가로 인하여 기존 수식(안)으로 계산 시 오차가 너무 크기 때문에 ELB(Electric Load Balance)에 따른 실제 NMSL을 사용
- Capacity

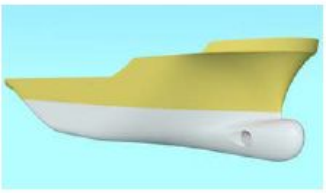
14) MEPC 58 주요 회의결과 알림, KR-Technical Information, 2009, p7

(사) EEDI -Meaning of the parameter

$$\left(\prod_{j=1}^{M} f_j\right)\left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} C_{FME(i)} SFC_{ME(i)}\right) + \left(P_{AE} C_{FME} SFC_{ME}^{*}\right) + \left(\left(\prod_{j=1}^{M} f_j \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} P_{AEeff(i)}\right) C_{FAE} SFC_{AE}\right) - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} P_{eff(i)} C_{FME} SFC_{ME}\right)$$

f_i Capacity V_{ref} f_w

Fuel Consumption of Main Engine

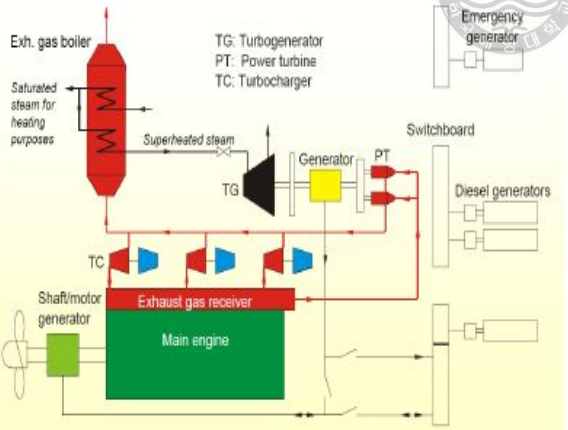


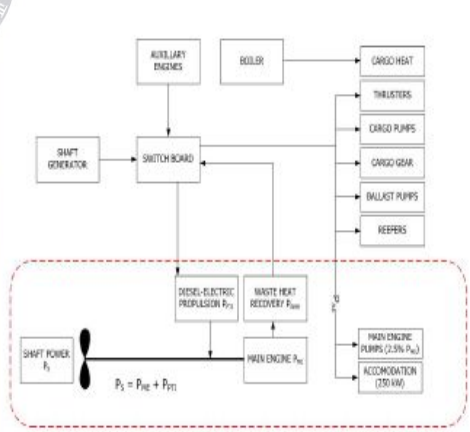
Reference Speed

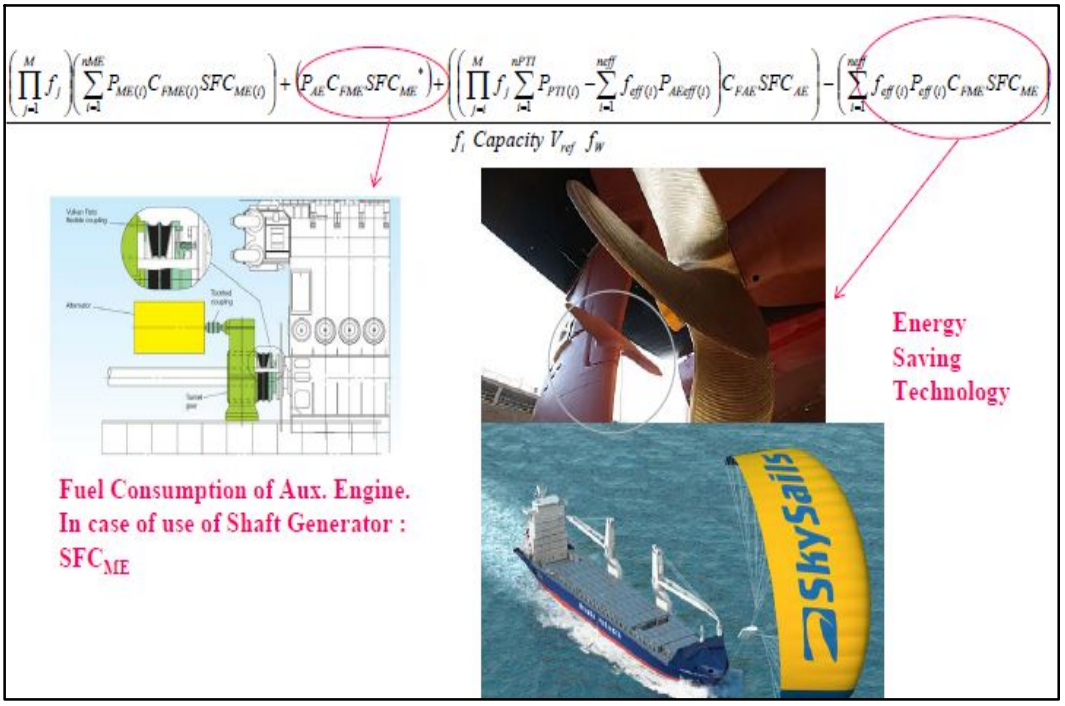
$$\left(\prod_{j=1}^{M} f_j\right)\left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} C_{FME(i)} SFC_{ME(i)}\right) + \left(P_{AE} C_{FME} SFC_{ME}^{*}\right) + \left(\left(\prod_{j=1}^{M} f_j \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} P_{AEeff(i)}\right) C_{FAE} SFC_{AE}\right) - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} P_{eff(i)} C_{FME} SFC_{ME}\right)$$

f_i Capacity V_{ref} f_w

A generic and simplified marine power plant







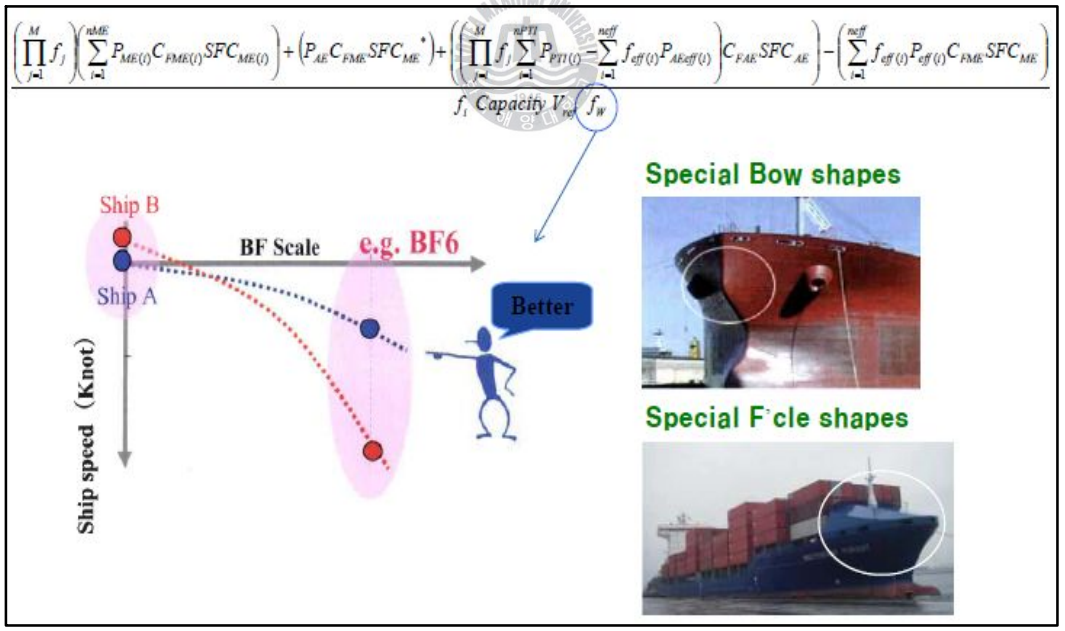


Fig 3.1 Meaning of EEDI parameter

3.2.2 Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)

(가) MEPC/Circ.471 (29 July 2005)문서

- 항해 중 자발적으로 CO_2 배출량 측정을 위한 공식의 임시기준

(나) Energy Efficiency 개념

- 운항 중 선박성능의 측정
- CO_2 배출량/운송활동

(다) 명칭변경(MEPC 58 (Brazil))

- CO_2 Operational Index 에서 Energy Efficiency Operational Index로 변경
- Index 에서 Indicator 로 변경(ISWG 2)

(라) Outputs of ISWG1

- EEDI와 EEOI는 서로 개념이 다르고 직접적으로 연결되는 것은 없다. 그러므로 두 가지를 강제적으로 조화시킬 필요는 없다.
- EEOI는 강제적이진 않으나 현재 상황에서는 권장되고 있다. 그러나 이것이 미래에는 강제성을 띠지 않을 것이라는 것을 의미하지 않는다.
- 권고되는 EEOI의 실현은 ISM 코드의 각 국가적 이행을 통해 개정된 가이드라인을 실시함으로서 참여하는 회원국에 의해 실행되어 질 수 있다.

(마) EEDI와 EEOI의 관계

- 에너지 효율을 제안하기 위한 방법론적인 부분 이외에 EEDI와 EEOI 사이에는 직접적으로 밀접한 관계는 없다. 다만 서로 다른 목적으로 사용되기 위해 발전되고 지향 되어야 한다.

(바) EEOI could be mandatory? "paragraph ships

- 특정 상황에 최적화되어 설계된 미래 선박을 의미하는데)"라고 불리는 것을 피하기 위해 EEOI를 강제해야 하는가?

(사) EEOI 공식

$$Index = \frac{\left(\sum_i FC \times C_{carbon}\right)_{Fuel\ Type\ 1} + \left(\sum_i FC \times C_{carbon}\right)_{Fuel\ Type\ 2} + \left(\sum_i FC \times C_{carbon}\right)_{Fuel\ Type\ 3} + \ldots}{\sum_i m_{cargo,i} \times D_i}$$

3.2.3 CO_2 Baseline 방법론

(가) baseline 이란?

- 측정을 하지 않고도 발생되어지는 배출을 가설적으로 나타내는 것

(나) 접근법

- 기존 참조자료를 사용하여 기본 베이스라인을 단순화시킴
- 컴퓨터 모델 또는 계산 절차를 포함한 발전된 방법(IMO)
  - 미래에 배출 시나리오에 대해 계산되는데 이것은 매우 불확실한 면이 있다.

(다) 접근법 (Kyoto Protocol)

- 베이스라인이 되는 년도 선택
  - 미래의 배출량은 현재의 배출량으로서 비교되어질 수 있는데 이것을 기본으로 목표를 설정할 수 있다

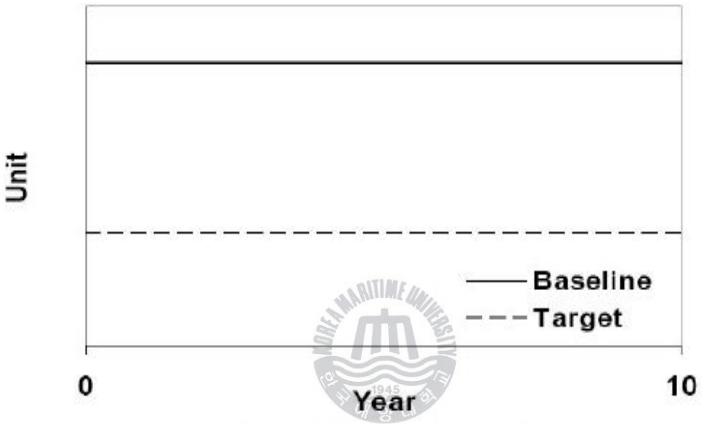


Fig 3.2 Illustration of baseline principle

(라) 접근법 (2000 IMO GHG Study)

- 베이스라인을 표현하는 서로 다른 방법
  - 연료소모의 데이터 이용
  - 계획된 해운활동에 의한 여러 가지 성장을 통해 추정할 수 있는 예측치

(마) 접근법 (2000 IMO GHG Study)

- 선택된 베이스라인 샘플

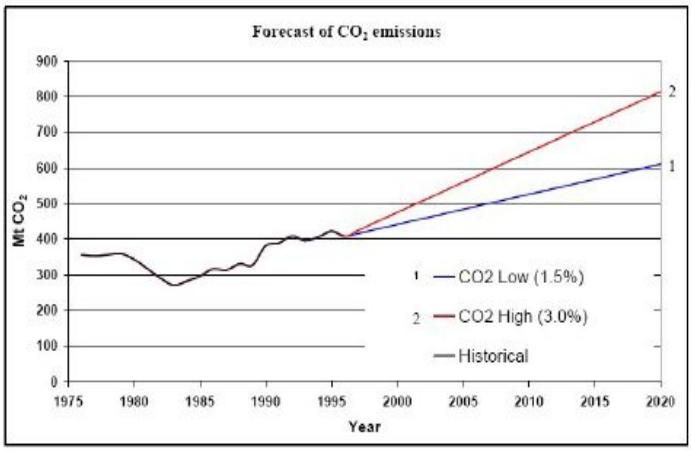


Fig 3.3 Example of sector baseling(Internatinal Shipping)

(바) 접근법 (Revised 2000 IMO GHG Study)

- 연료통계에 바탕을 둔 CO_2 추정(Top-down 예측방식)
- 활동에 근거한 추정(Bottom-up 예측방식)
- 미래에 국제적인 해운업으로부터의 CO_2 배출량
  - IPCC의 배출시나리오에 관한 특별보고서(SRES)에 의해 발전된 스토리라인 및 세계적인 경제발전의 구조에 기본을 둔 시나리오

(사) 접근법 (Revised 2000 IMO GHG Study)

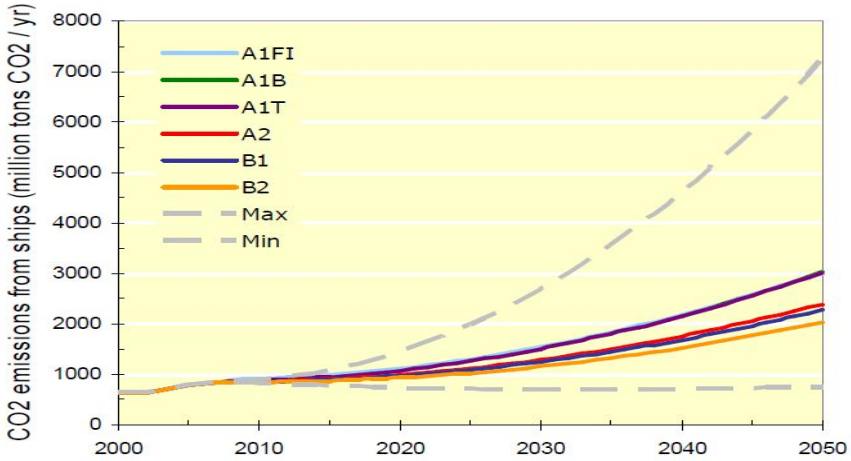


Fig 3.4 Scenarios for CO_2 emissions from international shipping from 2007 to 2050 in the absence of climate policies

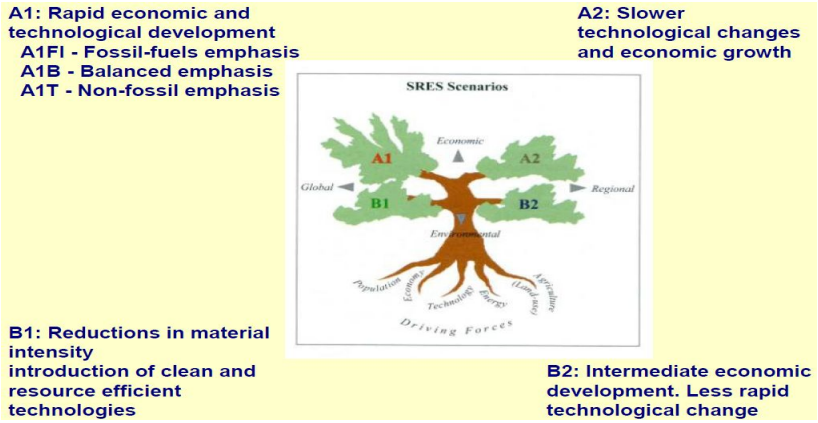


Fig 3.5 UN-IPCC scenarios of economic growth

(아) 접근법 (MEPC 58/4/8, Denmark)

- 베이스라인의 정의
  - 선박 종류과 무게를 함수로 하는 평균 지수
  - 베이스라인 지수 계산을 간소화하여 사용하며 간소화란 부하, 명확한 연료소모량 다른 수정요인 등의 지수에 대한 모든 측면을 반영하지는 않는다는 의미
- 자료근거1 (Lloyds Register Fairplay-LRFP 로이드선급)
  - 1995.01.01~2004.12.31까지의 신조선
  - 가능한 100척이상이면 좋지만 최소한 엄선된 30척의 선박
  - 측정을 위한 기준점 판단을 위해 선택된 선박의 주요 파라메타 값(예를 들면 속도, 엔진데이터, 무게 등)등이 반드시 주어져야 한다.
- 자료근거2 (Ship Type:ISWG2 보고서에서 언급한 선박종류의 정의)
  - 드라이 카고 선박(SOLAS IX, Reg. 1); 벌크선
  - 탱커 (MARPOL Annex Ⅱ, Reg. 1); 유조선, 케미컬선, 오일/케미컬선
  - 가스선 (SOLAS Ⅱ-1, Reg. 3).; LNG, LPG
  - 컨테이너선, 일반화물선, 로로 카고선
  - 여객선 (SOLAS Ⅰ Reg. 2)
  - 로로 여객선(SOLAS Ⅱ-1, Part A, Reg. 2.23).
- 자료근거3 (LRFP 데이터베이스의 데이터 필드)
  - 속도 : 주기관 MCR에서 선박 서비스 속도, 로드 드래프트에서 속도 측정
  - 톤수 : 선박의 하절기 최대

• 출력 : kW로 측정된 주기관 및 보조기관 출력

Table 3.1 Basic factor for calculation of CO_2 baseline

	Capacity (DWT or GT)	Vref	P_{ME}	PTO	P_{AE}	Electric load table
LRFP	O	O	O	?	O (Partially)	X
Classification Ship Particulars	O	O	O	?	O	X

- 회귀분석에 바탕을 두고 계산하는 형식

$$3.114 \times 0.75 \times \frac{190\sum_{i=1}^{nME} P_{MEi} + 210\sum_{i=1}^{nAE} P_{AEi}}{Capacity \times V_{ref}} \qquad Baseline\ value = a \times Capacity^{-c}$$

Ship type	a	Capacity	c	Number of samples	Excluded	R^2
Dry Bulk	2503.2	DWT	0.5601	995	28	0.92
Tankers	2401.1	DWT	0.5400	1,209	58	0.97
Gas carriers	1649.7	Tank volume	0.4855	178	10	0.96
Container ships	105.77	DWT	0.1761	188	9	0.42
General cargo ships	280.85	DWT	0.3051	238	8	0.62
Ro-ro cargo ships	20792	GT	0.7223	205	33	0.87
Passenger ships	1517.0	GT	0.4092	192	73	0.79

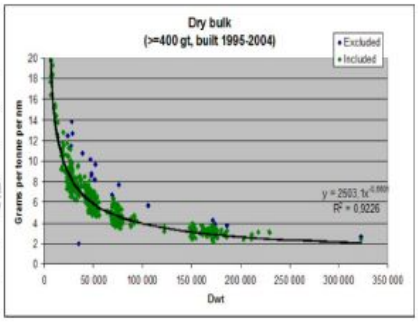


Fig 3.6 Calculated baseline based on regression analysis

- 보조 엔진 출력을 고려

• 디젤-전기 추진력 : 선박 전체에 장착된 출력의 비가 주기관 추진력으로 모두 할당되는 것으로 정의하지 않고 보조기관 출력도 같이 할당되는 것이다.

• 냉동 컨테이너 : 보정계수는 달성된 디자인 CO_2 인덱스가 산출 될 때 사용됨으로서 개발될 수 있다.

• 베이스라인 계산 : 베이스라인은 MNSL(Normal Maximum Sea Load)를 사용하여 재계산될 수 있다.

(자) EEDI 식은 디젤-전기 추진장치, 터빈 추진장치, 하이브리드 추진장치에는 적용하기 어렵다.

제 4 장 Energy Efficiency Operational Indicator(EEOI)의 고찰

최근에 들어 온실가스가 지구 온난화의 직접적인 요인으로 지목되면서 선박에서 배출되는 대기오염 물질 중 CO_2 배출에 대한 관심이 높아지고 그에 따른 연구 및 조사활동도 활발해지고 있다. 그러나 이러한 활동이 대부분 IMO와 유럽 일부 나라 및 일본을 중심으로 진행되고 있다, 연구 및 조사내용도 CO_2 배출에 관련된 정책 중에서 EEDI가 대부분을 차지하고 있다. 하지만 신조선만큼이나 현재 운항되고 있는 선박의 CO_2 배출량 연구와 그것을 나타내는 지표로서의 EEOI도 중요하다. 그러나 현재의 EEOI 연구는 초기단계이기 때문에 적정성에 대한 검증 및 분석이 필요한. 왜냐하면 EEOI는 CO_2 배출률을 통해 운항하는 선박의 에너지 효율을 나타낼 수 있는 중요한 지표가 되기 때문이다.

4.1 EEOI 개요

(가) 소개 및 목적

1997년부터 IMO에서 진행된 온실가스 감축에 대한 결의서 A.963(23)에서는 MEPC가 선박에 대한 그린하우스가스 인덱스 그리고 이 인덱스의 적용을 위한 가이드라인을 개발할 것을 요구하였다. 이결의서에서는 선박을 위한 IMO 이산화탄소 배출물의 적용을 위한 가이드라인이 담겨져 있으며 다음과 같은 내용으로 구성되어 있다.

- ▸ IMO에서 EEOI의 목적
- ▸ 선박의 이산화탄소와 관련 성능의 측정
- ▸ 전체 기후 변화에서 해운산업의 영향을 제한하여 낮은 배출물의 해운산업을 촉진하기 위한 EEOI의 사용방법

가이드라인은 해운산업을 통해서 배출되는 온실가스의 제한 또는 감축을 달성하기 위한 메커니즘을 설정하는 과정에 도움을 주는 목적으로 개발되었고 이 가이드라인은 선박을 운항하는데 있어 에너지 효율에 대한 인디케이터 개념을 도입하였다. 가이드라인은 운송되는 화물 당 배출되는 이산화탄소로 표시되는 형식으로 나타내며, 이를 통해 선박이 운용되는 효율성을 모니터링 한다. 이러한 의미는 지침을 위한 목적과 성능에 기초를 둔 모니터링 작업에 대한 서류작성을 의도하고 있다. IMO에서 사실상 추천되고 있는 이 가이드라인은 EEOI의 적용 가능성을 표시하고 있다. 선주사에게는 자사

환경관리 시스템에서 이러한 가이드라인을 이행할 것이 권장되며 성능을 모니터링 하는 방침으로 채택할 것을 고려해야 한다.

(나) 정의

가장 단순한 형태로 CO_2 운송효율을 단위 운송 당 CO_2 의 질량비로 나타내어 표시하였다.

$$Index = \frac{\left(\sum_i FC \times C_{carbon}\right)_{Fuel\ Type\ 1} + \left(\sum_i FC \times C_{carbon}\right)_{Fuel\ Type\ 2} + \left(\sum_i FC \times C_{carbon}\right)_{Fuel\ Type\ 3} + \ldots}{\sum_i m_{cargo,i} \times D_i}$$

분자의 연료소모량(FC)은 주기, 보기, 보일러, 소각기를 포함하는 항해 또는 정박 시 소모된 모든 연료로 정의되며, 분모의 항해거리(D)는 항차 또는 일정기간 동안 실제 항해한 해상마일(로그 북 데이터)을 의미하다.

선박운용의 효율성을 나타내는 중요한 요소인 화물을 나타내는 M은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 선박의 분류
  - 벌크 : 탱커와 벌크 운반선
  - 일반 화물 : 컨테이너 선박, 냉동선, 일반 화물선, 자동차 운반선, 특별한 선박
  - 여객선 : 여객선, 로로(RoRo) 승객 선박
- 화물의 분류
  - 벌크 화물 : 액체 및 고체 화물
  - 일반 화물 : TEU(빈 컨테이너 포함), 분리된 개별화물 및 중화물, 냉동 및 냉장 식품, 목재 및 원목, 로로 선의 차량화물
  - 승객
- 화물의 단위

일반적으로 화물은 중량으로 정의할 수 있다. 벌크와 일반 화물선에 의하여 운송된 화물의 중량은 M^3으로 정의하여야 한다. 컨테이너와 일반화물이 복합되어 운송하는 선박은 화물이 실린 컨테이너의 단위 박스는10t, 그리고 공 컨테이너는 2t으로 적용해야 한다. 그리고 선박의 종류에 따라 다음 단위를 적용할 수 있다.

- 벌크운반선과 탱커선 : M^3
- 여객선 : 여객의 수
- 카페리선 : 차량의 수 또는 점유된 공간
- 컨테이너선 : TEU(공 또는 만재)의 수

• 철도 및 로로 선박 : 철도차량의 수와 짐을 실은 차량의 수

(다) 인디케이터의 설정 및 기록, 검증 절차

EEOI는 선박의 일정 기간 동안 에너지 효율을 표시하여 전반적인 교역 형태를 나타내는데 이런 EEOI를 설정하기 위해서는 다음과 같은 단계가 필요하다.

(1) 데이터 수집을 위한 출처 정의

(2) 데이터 수집

(3) 적당한 형식으로 데이터 전환

(4) EEOI 계산

이렇게 설정되어 계산된 EEOI 기록방법은 통일되어야 하며 정보자료는 요구되는 정보의 추출을 편리하게 하기 위하여 쉽게 수집할 수 있고 분석할 수 있어야 한다.

(라) 모니터링 및 가이드라인의 활용

규칙적인 공통기반을 바탕으로 모니터링과 계측에 대한 서류화된 절차서가 개발되고 유지되어야 하는데 다음은 모니터링을 위한 절차서를 설정할 때 고려해야 할 요소들이다.

- 성능 효과를 위한 활동의 확인
- 데이터 출처, 측정, 그리고 모니터링 형식사양 확인
- 모니터링 수행 방법 및 횟수 확인
- 검증절차를 위한 품질절차 관리

올바른 효과와 개선이 필요한 범위를 확인하고 이 시스템의 성공과 신뢰성 확보를 위해서라도 자체 평가에 대한 검토가 필요하다.

설정된 숫자의 출처는 정확히 기록하는 것이 중요하다. 왜냐하면 이를 바탕으로 계산이 이루어지고 데이터에서 어렵거나 애매한 부분의 결정에 기본이 되기 때문이다. 또한 차후 개선이 필요한 범위를 제공하고 분석 작업에 도움이 되기도 한다.

승조원의 관리상의 부담을 덜어주기 위해 육상 직원에 의한 EEOI 모니터링이 실시되기를 추천하는데 로그북, 오일레코드북과 같은 모니터링에 필요한 공식적인 데이터는 육상 직원의 의한 내부감사 동안 충분히 확보할 수 있다.

이처럼 가이드라인에서 설명한 EEOI는 에너지효율에 관한 선박의 온실가스 배출효율 평가를 투명하게 하여 모두가 공감할 수 있도록 하는 접근방법의 하나로 제공되는 것이다. 그러므로 선박회사는 자사의 환경관리 시스템에 적합한 방법으로 이 가이드라인을 고려해야 한다.

성능지표로서 EEOI는 현재의 성능과 시간경과에 따른 경향을 모두 고려할 수 있어야

하며 EEOI 데이터에 기초하여 내부 성능 규정과 목표가 설정될 수 있어야 한다.

(마) 적용 예

IMO에서 부록으로 제공하고 있는 EEOI 계산 방법을 살펴보면 다음과 같다.

Indicator(gram CO2/ton•mile)

$$=C_{carbon} \times \frac{\sum_i FC_i}{\sum_i m_{cargo,i} \times D_i} = C_{carbon} \times \frac{(FC_1)+(FC_2)+(FC_3)+\ldots}{(m_{cargo,1} \times D_1)+(m_{cargo,2} \times D_2)+(m_{cargo,3} \times D_3)}$$

여기서 FC_i는 사용연료(톤), C_{carbon}는 **Table 4.1**의 계수, M_{cargo}는 화물의 운송 단위(톤, TEU 및 승선인원), D_i는 운송거리(Nautical Mile)를 나타낸다.

Table 4.1 C_{carbon} value about used fuel-oil at ship

Type of fuel	Reference	C_F(t-CO_2/t-Fuel)
1. Diesel / Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMC	3.186
2. Light Fuel Oil(LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	3.151
3. Heavy Fuel Oil(HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	3.114
4. Liquid Petrol Gas(LPG)	2006 IPCC Guidelines Table 1.2 and 3.5.2	2.985
5. Natural Gas	2006 IPCC Guidelines Table 1.2 and 3.5.2	2.693

연속된 항차 혹은 기간 동안의 연료소모량/운송된 화물량, 각각의 항해를 위한 거리의 데이터, 또한 정박 중의 데이터를 포함한 자료를 **Table 4.2**에 보인 예제와 같이 작성할 수 있다.

Table 4.2 Report example for EEOI preparation

Name and type ship						
Voyage or day(i)	Fuel consumption(FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type (HFO)	Fuel type (MDO)	Fuel type ( )	...	Cargo(m) (tonnes units)	Distance(D) (NM)

1	20	5			25,000	300
2	20	5			0	300
3	50	10			25,000	750
4	10	3			15,000	150
..						

위와 같이 **Table 4.2**를 통해 항해 당 연료사용량, 톤 단위의 화물, 항해마일(해리 1,852m)로 조사가 완료되면 수식은 아래 **Table 4.3**과 같다.

Table 4.3 Calculated EEOI value based on Table 4.2

$$EEOI = \frac{100 \times 3,114,400 + 23 \times 3,206,000}{(25,000 \times 300) + (0 \times 300) + (25,000 \times 750) + (15,000 \times 150)}$$

$$= 13.5(g\ CO_2/t \cdot mile)$$

계산시 M_{cargo}=0을 갖는 공선 항해시에도 항해하는 동안 사용된 연료를 포함해야 하는데 이해를 쉽게 하기 위해 **Table 4,2**에 밸러스트상태의 항해(화물이 없는 항해)를 포함하여 제시하였다.

4.2 EEOI의 적용분석과 문제점

현재까지 EEOI에 대한 연구는 EEDI 비해서는 거의 이루어지지 않고 있다. 신조선에 적용 예정인 EEDI는 대표적인 선박 배출 대기 오염물질인 NOx 규제안과 같은 방식으로 차 후 신조선에 적용될 가능성이 크다. 다만 NOx 규제의 경우는 엔진에만 국한된 내용이었으나 EEDI의 경우는 선박 전체 효율성이 문제이기 때문에 복합적인 문제를 가지고 진행되어야 할 것이다. 그러나 운항중인 선박에 가이드라인을 적용하려고 하는 것은 앞에서 설명했듯이 효과적인 CO_2 배출효율을 보여주고 각 선사 자체적인 환경관리 시스템에 의해 관리할 수 있도록 공통된 기반을 마련하기 위한 것이다.

그렇다면 EEOI를 통해 운항선 CO_2 배출량을 산정하여, 이것을 어떠한 목적에 사용할 것이며, 현재 제시되고 있는 EEOI가 운항하는 선박의 CO_2 배출률을 모든 조건에서 충분히 나타낼 수 있는지 조사, 검토하였다.

4.2.1 EEOI의 실선 적용 시 문제점

우리가 선박에서의 CO_2 발생량을 단순히 연료소모량으로 환산하여 표시한다면 현재의 EEOI 논의 자체는 큰 의미가 없다. EEOI를 도입한 것은 육상에서 단순히 연료소모량에 의해서 CO_2를 계산하던 방법에서 벗어나 운항하고 있는 선박이란 특성-화물의 운송적인 부분이 되었든, 엔진의 효율적인 부분을 고려했든-을 반영하여 그에 대한 연료소모량으로 CO_2 발생량을 표현한 부분이다. 즉 연료소비율 개념을 도입한 것이다.

그러나 현재의 EEOI는 몇 가지 부분에서 문제점을 가지고 있다. 그 문제점을 실선에 적용한 EEOI 데이터를 이용하여 분석하였다. 데이터는 항차별로 기록하지 않고 항차동안 구간별로 나눈 후에 합산하여 CO_2 배출률을 산정하였다.

실선의 샘플 선박 데이터 표에서 나타내는 약어의 설명은 다음과 같다

BL - BA : 밸러스트 항차 출발부터 도착

LP : 적하 항구

LL - LA : 적하 항차 출발부터 도착

DP : 양하 항구

ML - MA : 적하 중간항구 사이 출발부터 도착

MP : 적하 중간항구, WP : 웨이팅 항구

EEOI(1) : IMO 권고대로 화물이 없는 구간의 연료소모량을 포함한 인디케이터

EEOI(2) : 화물이 없는 구간의 연료소모량을 제외한 인디케이터

Sample 1

선명 : M/V ADONIS

선종 : General cargo ship(Bulk carrier), DWT : 171,743.00 DWT

Voyage: 28항차	Fuel consumption(FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type (HFO)	Fuel type (MDO)	Fuel type ( )	…	Cargo(m) (tonnes units)	Distance(D) (NM)
BL - BA	481.4				0	3,446
LP	42.2				153,571	0
LL - LA	602.6				153,571	3,806
DP	53.9				153,571	0

$$EEOI(1) = \frac{1180.1 \times 3,114,400}{(0 \times 3,446) + (153,571 \times 0) + (153,571 \times 3,806) + (153,571 \times 0)}$$

$$= 6.29(g\ CO_2/t \cdot mile)$$

$$EEOI(2) = \frac{698.7 \times 3,114,400}{(0 \times 3,446) + (153,571 \times 0) + (153,571 \times 3,806) + (153,571 \times 0)}$$

$$= 3.72(g\ CO_2/t \cdot mile)$$

Voyage: 29항차	Fuel consumption(FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type (HFO)	Fuel type (MDO)	Fuel type ( )	…	Cargo(m) (tonnes units)	Distance(D) (NM)
BL - BA	560.9				0	3,804
LP	44.3				153,534	0
LL - LA	580.9				153,534	3,777
DP	58.6				153,534	0

$$EEOI(1) = \frac{1244.7 \times 3,114,400}{(0 \times 3,804) + (153,534 \times 0) + (153,534 \times 3,777) + (153,534 \times 0)}$$

$$= 6.58(g\ CO_2/t \cdot mile)$$

$$EEOI(2) = \frac{683.8 \times 3,114,400}{(0 \times 3,804) + (153,534 \times 0) + (153,534 \times 3,777) + (153,534 \times 0)}$$

$$= 3.67(g\ CO_2/t \cdot mile)$$

Sample 2

선명 : M/V BLUEBELL

선종 : General cargo ship(Bulk carrier), DWT : 148,668.80 DWT

Voyage: 109항차	Fuel consumption(FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type (HFO)	Fuel type (MDO)	Fuel type ( )	…	Cargo(m) (tonnes units)	Distance(D) (NM)
BL - BA	46.7	2.3				385
LP	6.8	5.0			124,525	0
LL - LA	49.4	2.2			124,525	362

DP	22.1	8.5			124,525	0

EEOI(1) = $\frac{(125 \times 3,114,400) + (18 \times 3,186,000)}{(0 \times 385) + (124,525 \times 0) + (124.525 \times 362) + (124.525 \times 0)}$

= 9.91($g\ CO_2/t \cdot mile$)

EEOI(2) = $\frac{(78.3 \times 3,114,400) + (15.7 \times 3,186,000)}{(0 \times 385) + (124,525 \times 0) + (124.525 \times 362) + (124.525 \times 0)}$

= 6.52($g\ CO_2/t \cdot mile$)

Voyage: 110항차	Fuel consumption(FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type (HFO)	Fuel type (MDO)	Fuel type ( )	…	Cargo(m) (tonnes units)	Distance(D) (NM)
BL - BA	618.0	30.9				4,736
LP	40.7	20.7			124,510	0
LL - LA	643.3	27.8			124,510	4,693
DP	16.9	13.3			124,510	0

EEOI(1) = $\frac{(1318.9 \times 3,114,400) + (92.7 \times 3,186,000)}{(0 \times 4,736) + (124,510 \times 0) + (124.510 \times 4,693) + (124.510 \times 0)}$

= 7.54($g\ CO_2/t \cdot mile$)

EEOI(2) = $\frac{(700.9 \times 3,114,400) + (61.8 \times 3,186,000)}{(0 \times 4,736) + (124,510 \times 0) + (124.510 \times 4,693) + (124.510 \times 0)}$

= 4.07($g\ CO_2/t \cdot mile$)

Sample 3

선명 : M/V BEGONIA

선종 : General cargo ship(Bulk carrier), DWT : 180,265.00 DWT

Voyage: 44항차	Fuel consumption(FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type (HFO)	Fuel type (MDO)	Fuel type ( )	…	Cargo(m) (tonnes units)	Distance(D) (NM)
BL - BA	548.9					3,569
LP	37.6				170,059	0

LL - LA	618.1				170,059	3,585
DP	33.4				170,059	0

$$EEOI(1) = \frac{(1238 \times 3,114,400)}{(0 \times 3,569) + (170,059 \times 0) + (170,059 \times 3,585) + (170,059 \times 0)}$$

$= 6.32(g\ CO_2/t \cdot mile)$

$$EEOI(2) = \frac{(689.1 \times 3,114,400)}{(0 \times 3,569) + (170,059 \times) + (170,059 \times 3,585) + (170,059 \times 0)}$$

$= 3.52(g\ CO_2/t \cdot mile)$

Sample 4

선명 : M/V GLOBAL DISCOVERY

선종 : General cargo ship(Bulk carrier), DWT : 28,404.00 DWT

Voyage: 95항차	Fuel consumption(FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type (HFO)	Fuel type (MDO)	Fuel type ( )	...	Cargo(m) (tonnes units)	Distance(D) (NM)
BL - BA	543.7	2.4				7,682
LP	24.0	0.1			26,000	0
ML - MA	430.7	1.9			26,000	5,904
MP	19.2				26,000	0
LL - LA	29.8				26,000	512
DP	20.0				26,000	0

$$EEOI(1) = \frac{(1067.4 \times 3,114,400) + (4.4 \times 3,186,000)}{(0 \times 7,682) + (26,000 \times 0) + (26,000 \times 5,904) + (26,000 \times 0) + (26,000 \times 512) + (26,000 \times 0)}$$

$= 20.01(g\ CO_2/t \cdot mile)$

$$EEOI(2) = \frac{(523.7 \times 3,114,400) + (2.0 \times 3,186,000)}{(0 \times 7,682) + (26,000 \times 0) + (26,000 \times 5,904) + (26,000 \times 0) + (26,000 \times 512) + (26,000 \times 0)}$$

$= 9.82(g\ CO_2/t \cdot mile)$

Voyage: 96항차	Fuel consumption(FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type	Fuel type	Fuel type	...	Cargo(m)	Distance(D)

	(HFO)	(MDO)	( )		(tonnes units)	(NM)
BL - BA	74.4					1,268
LP	8.4				27,221	0
ML - MA	212.1	0.4			27,221	3,004
MP	11.2	0.5			27,221	0
LL - LA	777.5	3.9			27,221	9,956
DP	45.5	8.1			27,221	0

EEOI(1) = $\frac{(1129.1\times3,114,400)+(12.9\times3,186,000)}{(0\times1,268)+(27,221\times0)+(27,221\times3,004)+(27,221\times0)+(27,221\times9,956)+(27,221\times0)}$

= 10.08($g\ CO_2/t\cdot mile$)

EEOI(2) = $\frac{(989.6\times3,114,400)+(4.3\times3,186,000)}{(0\times1,268)+(27,221\times0)+(27,221\times3,004)+(27,221\times0)+(27,221\times9,956)+(27,221\times0)}$

= 8.78($g\ CO_2/t\cdot mile$)

Sample 5

선명 : M/V SILVER BELL

선종 : General cargo ship(Bulk carrier), DWT : 207,671.00 DWT

Voyage: 166항차	Fuel consumption(FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type (HFO)	Fuel type (MDO)	Fuel type ( )	...	Cargo(m) (tonnes units)	Distance(D) (NM)
BL - BA	498.9					3,569
LP	51.7				197,985	0
LL - LA	531.4	0.3			197,985	3,580
DP	43.0	20.9			197,985	0

EEOI(1) = $\frac{(1125.0\times3,114,400)+(21.2\times3,186,000)}{(0\times3,569)+(197,985\times0)+(197,985\times3,580)+(197,985\times0)}$

= 5.04($g\ CO_2/t\cdot mile$)

EEOI(2) = $\frac{(626.1\times3,114,400)+(21.2\times3,186,000)}{(0\times3,569)+(197,985\times0)+(197,985\times3,580)+(197,985\times0)}$

= 2.85($g\ CO_2/t\cdot mile$)

Voyage: 167항차	Fuel consumption(FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type (HFO)	Fuel type (MDO)	Fuel type ( )	…	Cargo(m) (tonnes units)	Distance(D) (NM)
BL - BA	476.9					3,630
LP	68.2				204,804	0
LL - LA	512.3				204,804	3,542
DP	54.8				204,804	0

$$EEOI(1) = \frac{(1112.2 \times 3,114,400)}{(0 \times 3,630) + (204,804 \times 0) + (204,804 \times 3,542) + (204,804 \times 0)}$$

$$= 4.77(g\ CO_2/t \cdot mile)$$

$$EEOI(2) = \frac{(635.3 \times 3,114,400)}{(0 \times 3,630) + (204,804 \times 0) + (204,804 \times 3,542) + (204,804 \times 0)}$$

$$= 2.72(g\ CO_2/t \cdot mile)$$

실선에서 나온 결과치를 현재 많이 인용하고 있는 덴마크의 CO_2 배출 베이스라인을 그래프에 표시해 보면 다음과 같다.

Baseline 내 Sample 선박(Dry Bulk선) CO2 배출량 표시

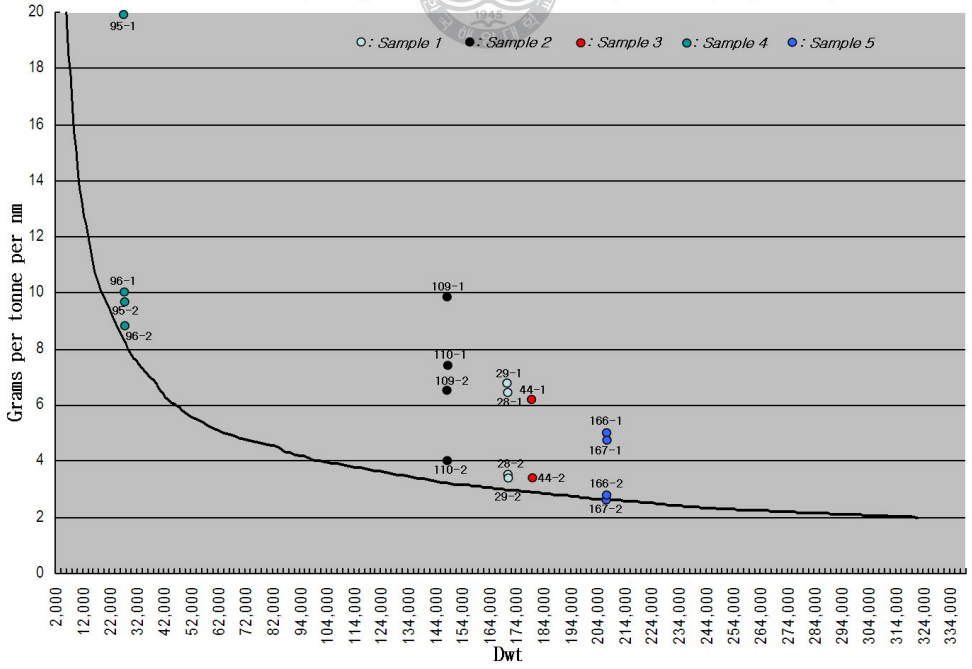


Fig 4.1 CO_2 emissions indicating diagram of sample ships on CO_2 baseline

Fig 4.1의 내용을 간단히 설명하면 샘플 선박 5척을 각각 다른 색으로 표시를 하고 각 선박마다 두 항차의 데이터를 가지고 IMO 규정대로 화물이 없는 구간의 연료소모량을 포함한 EEOI와 화물이 없는 구간의 연료소모량은 제외한 EEOI를 계산하여 한척마다 총 4번의 값을 산출하여 그 값을 표시하였다. 표시한 점 위에 숫자는 샘플 선박의 항차와 EEOI 계산식 방법을 의미하는 것으로 예를 들면 29-1에서 29는 항차를, 뒤에 1은 IMO 권고대로 화물이 없는 구간의 연료소모량을 포함한 EEOI 계산식을 나타낸다.

샘플 선박의 CO_2 배출률을 살펴보면 다음과 같은 특징을 발견하였다.

① 화물이 없는 구간의 항해에 따른 연료소모량도 포함되므로 실제 화물을 운송할 때 발생하는 CO_2 발생률보다 당연히 더 많은 CO_2 발생률을 보여주므로 결과가 충분히 왜곡되고 이것은 EEOI의 신뢰성에도 문제가 생긴다.

② 같은 선박이 거의 비슷한 화물과 거리를 운항하더라도 CO_2 발생률이 차이가 나는 부분이 발생하는데 이것은 CO_2 발생률이 화물의 영향뿐만 아니라 다른 다양한 요인에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

지금의 EEOI가 운항중인 선박의 CO_2 발생률에 대한 인디케이터가 되기 위해서는 선박에 계속적으로 화물이 있고 그것을 운송하기 위해 엔진이 일을 함으로 그에 필요한 연료가 소모되어야 한다. 그러나 아래 Fig 4.2에서 보듯이 컨테이너 선박을 제외한 대부분 상선은 한 항차의 화물 운송기간 동안 적하 항해구간과 정박구간에서는 화물이 있는 상태이고 한 항차 기간의 약 반 정도를 차지하는 양하 항해구간에서는 화물대신 밸러스트수를 채워서 운항하고 있다.

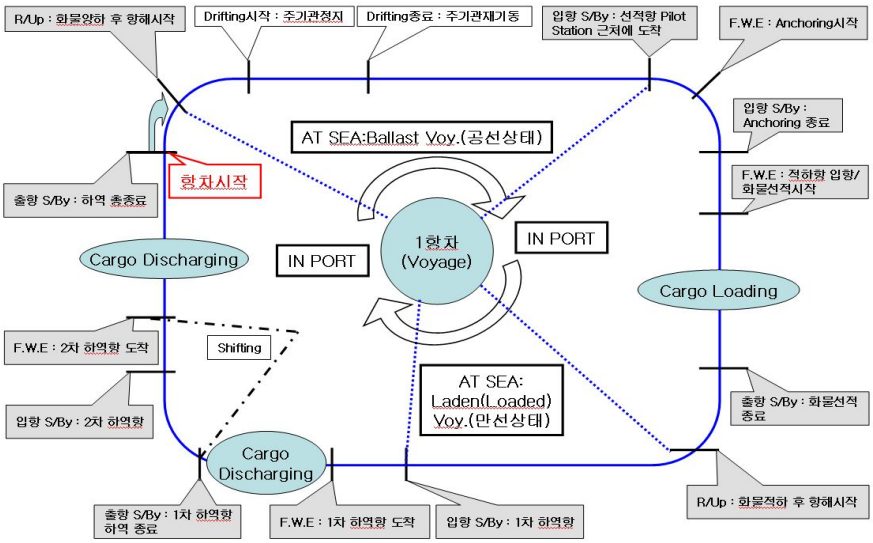


Fig 4.2 General voyage drawing of merchant ships

화물량을 분모로 하는 EEOI에서 화물 없이 운항되는 기간이 한 항차에 약 반 정도가 된다면 운항하는 선박에 표준적으로 공정하게 적용되어야하는 이 인디케이터에 대한 신뢰성은 감소될 수 밖에 없다. 또한 한 항차 중 정박기간에는 주기관이 정지되어 연료소모량이 없지만 여전히 발전기, 보일러 등은 운전함으로 계속적으로 연료가 소모된다. 그러나 운항하지 않는 관계로 D(거리)가 0으로 되어 이 또한 분모값으로서 역할을 하지 못하게 된다.

이외에도 선박 운항에 중요한 역할을 하는 밸러스트수, 청수, 연료유, 윤활유 등의 적재량에 따른 톤수 변화, 그리고 선박상태, 기상여건 등이 화물량과 상관없이 연료소모량에 영향을 미친다.

4.2.2 EEOI에 대한 개념 정리

현재까지 EEOI에 대한 설명은 4.1장에 나와 있는 IMO문서 이외에는 특별한 것이 없다. 다만 유럽, 일본을 중심으로 운항 중인 선박에 EEOI를 적용해 CO_2 배출량에 대한 베이스라인을 산정하는 연구가 진행되고 있고 우리나라도 참여를 하고 있다.

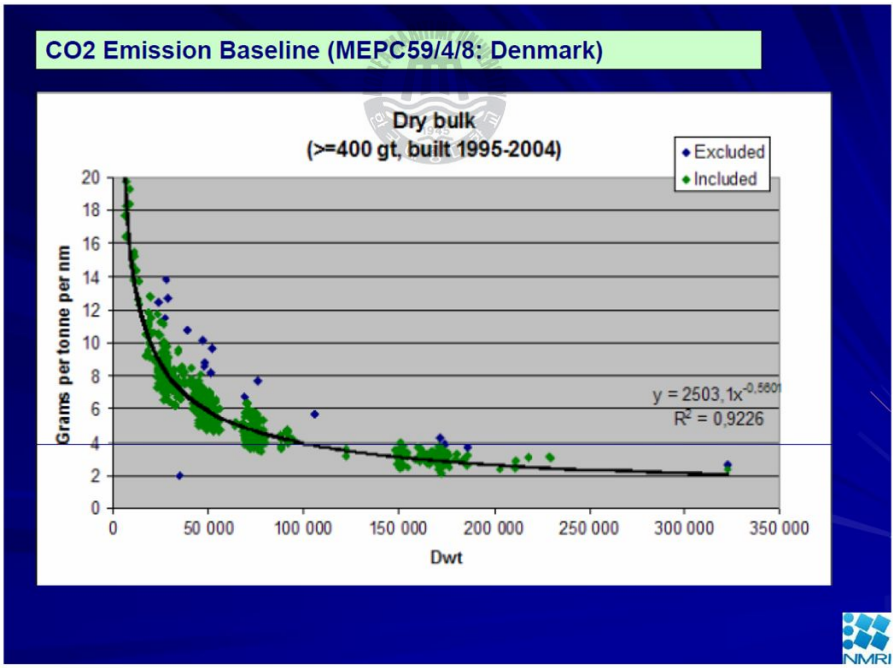


Fig 4.3 CO_2 emission baseline(MEPC59/4/8:Denmark)

Fig 4.3에서 보듯이 연구가 진행 중인 나라에서 CO_2 배출 베이스라인을 IMO에 제출하고 있는 상황이다. 다만 EEOI를 가지고 CO_2 배출 베이스라인을 구했다고는 하지만 운항 중인 선박의 CO_2 배출률에 적용하기에는 현실적으로 어렵다. 왜냐하면, 현재의 EEOI는 4.2.1의 실선적용에서 보듯이 같은 선박에서도 항차마다 또 화물이 유/무에 따른 연료소비율에 따라 다른 양상을 보여주어 뚜렷한 패턴을 찾기가 쉽지 않기 때문이다.

EEDI는 인덱스라는 의미로 신조선 설계 시 적용해야하는 지수로서 차후 NOx와 같이 강제적으로 적용될 가능성이 크다. 지금의 CO_2 배출 베이스라인 연구도 화물을 가득 싣고 전속력 상태로 운항 중인 선박들을 연구한 것으로 판단되며 이러한 연구결과는 EEOI에 영향을 미치기 보다는 EEDI와 연동되어 신조선 설계지수에 영향을 미칠 것으로 보인다.

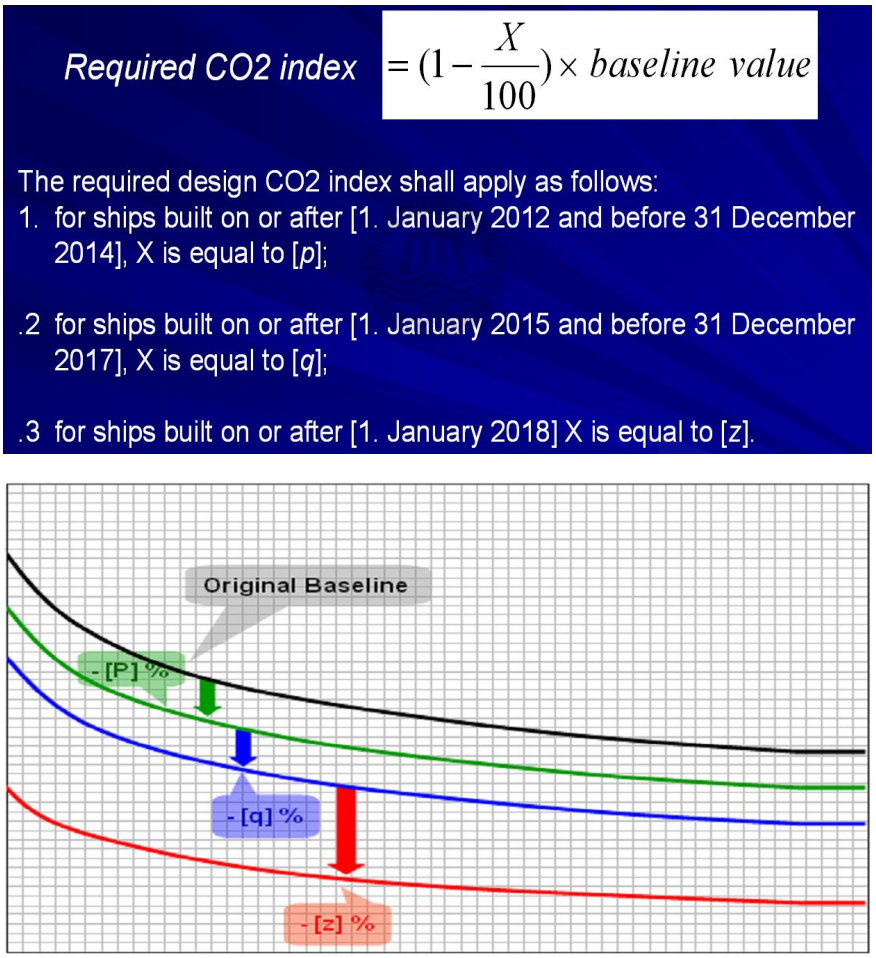


Fig 4.4 Baseline for CO_2 emissions reduction(MEPC58/4 ANNEX6)

Fig 4.4는 덴마크에서 MEPC에 제출된 CO_2 베이스라인이며 이에 대한 활용 방안을 제시하고 있다. 다른 CO_2 베이스라인과 마찬가지로 화물을 가득 실은 상태에서 전속력으로 운항 중일 때 측정된 것으로 보이며, 이를 바탕으로 신조선 설계 시 년차별로 CO_2 배출 제한지를 적용하도록 제안하고 있다.

이에 반하여 EEOI는 인디케이터라는 단어로 어떤 지시치에 대한 의미로서 그 개념을 이해하고 접근해야 할 것이다. 그렇다면 앞장에서 설명한 IMO 문서의 이산화탄소 배출 가이드라인에서 이러한 인디케이터의 목적은 무엇이며, 어떻게 측정할 것이고 이 측정한 지시치는 어떻게 사용할 것인가에 대해 살펴보면 다음과 같다

① 선박에서의 이산화탄소 배출을 인덱싱하는 목적은 육상의 고정적인 시설이 아닌 가변적인 상황과 다양한 환경 속에 노출되어 있는 선박의 에너지 효율을 나타내고 이 효율을 자사의 환경관리 시스템에서 항상 모니터링하고 기록화 하도록 하는 것이다.

② 이런 선박의 에너지 효율을 어떻게 측정할 것인가의 문제는 단순히 연료소모량이 아닌 연료소비율의 개념을 도입하여 나타내도록 했는데, 이것이 지금의 인디케이터 [mCO_2/transport work]로 표현되는 단위 운송 당 이산화탄소 질량으로 표현되는 EEOI이다. 즉 EEOI는 현재 그 선박의 운항 중 에너지 효율을 나타내기 위한 지시치라고 할 수 있다. 다만 지금의 EEOI가 운항 중인 선박의 에너지 효율을 나타내는데 있어 모두가 공감하는 내용인지에 대해선 계속적인 연구가 필요하고 이에 관한 내용은 제5장에서 기술하기로 한다.

③ EEOI라는 방법을 통해 측정되고 모니터링된 데이터를 해운산업에 어떠한 방법을 통해 합리적으로 활용할 것인가의 문제가 있다. 신조선 설계지수에 적용될 EEDI와는 달리 이 부분에 대해선 IMO 문서에서도 EEOI라는 공통된 기반 위에서 운항 중인 선박의 CO_2 배출률을 구하여 적합한 에너지 효율을 가지고 운항될 수 있도록 자체적인 환경관리 시스템에서 관리하는 방안을 언급하는 정도이지 구체적인 설명은 부족하다. 따라서 EEOI를 어떻게 활용할 것인가에 대한 문제 또한 지속적인 연구가 필요하고 이에 관한 내용은 제5장에서 기술하기로 한다.

제 5 장 새로운 EEOI 제안 및 향후 과제

제5장에서는 제4장에서 언급한 EEOI의 분석과 검증을 통해 새로운 개념의 EEOI를 제시하고 실선 적용을 통해 적정성을 분석하였고. 제시된 New EEOI의 차후 활용 방안에 대해서도 연구, 조사하였다.

5.1 새로운 개념의 EEOI

5.1.1 부하개념을 이용한 인디케이터 설정

아래는 부하개념을 이용해 작성한 새로운 EEOI 구성식이다.

$$Idicator = \left(\frac{\left(\sum_i FC \times C_{carbon}\right)_{FuelType1} \left(\sum_i FC \times C_{carbon}\right)_{FuelType2}}{\sum_i kW \times HR} \right)_{ME} + \left(\frac{\left(\sum_i FC \times C_{carbon}\right)_{FuelType1} \left(\sum_i FC \times C_{carbon}\right)_{FuelType2}}{\sum_i kW \times HR} \right)_{GE} + \left(\frac{\left(\sum_i FC \times C_{carbon}\right)_{FuelType1} \left(\sum_i FC \times C_{carbon}\right)_{FuelType2}}{\sum_i kW \times HR} \right)_{AUX}$$

kW : 한 항차 동안의 평균 kW

HR : 한 항차 동안 각 기관이 운전한 시간

FC : 한 항차 동안의 연료소모량

C_{carbon} : 각각의 연료가 연소하면서 발생하는 CO_2 발생량(ISO/IPCC기준)

분모의 화물량을 나타내는 M_{cargo} 대신에 kW를 제안하는 것은 실제로 여러 종류의 화물을 싣고 다양한 환경 속에서 운항하고 있는 선박에서의 CO_2 발생량을 구하기 위해서는 화물 당 연료소모량을 통한 산정식 보다는 기관 부하, 즉 kW당 연료소모량을 통한 CO_2 발생률 산정식이 좀 더 운항하고 있는 선박의 특성을 잘 반영할 수 있다고 생각한다.

기관 부하의 경우는 화물이 되었든 밸러스트수가 되었든, 선박의 톤수에 영향을 미치게 되면 그 만큼 부하가 많이 걸릴 것이고 또한 기상 조건과 선체, 기관 상태에 따라서도 부하 상태가 변하게 되므로 연료소모량에도 변동이 생긴다.

분자 부분은 기존의 연료 종류별로 연료소모량을 합산하던 방식에서 선박 기관별로 묶어서 합산하던 방식으로 수정하였다. 그리고 각 기관별로 그 안에서 연료의 종류을 합산하였다.

다만 문제로 지적될 수 있는 부분은 화물량이라는 요소는 정확하게 계산될 수 있는 항목으로 어느 항구에서 얼마만큼의 화물이 적하되고 양하 되는지를 쉽게 파악할 수

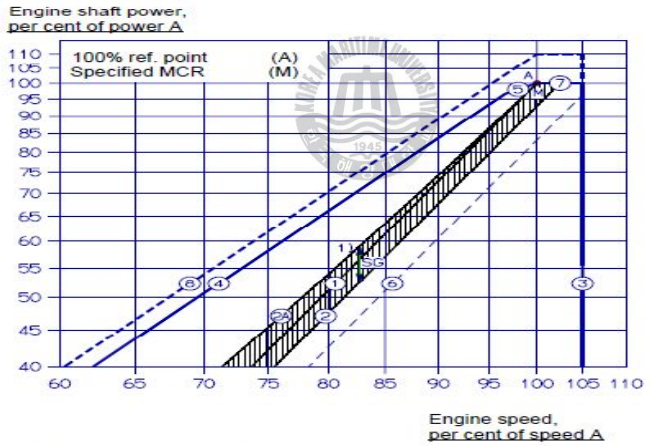
있다. 그러나 기관 부하는 여러 가지 상황에 따라 시시각각 변하므로 계속적으로 정확하게 산출하기가 어렵다.

그래도 정확하게 그 값을 알 수 있는 화물량보다는 다양한 상황을 포함할 수 있는 기관 부하 값을 가지고 CO_2 발생률을 나타내는 것이 좀 더 적합하다고 본다.

여기에서는 기관의 부하 중 가장 큰 비중을 차지하는 주기관을 중심으로 설명을 하면, 주기관 부하 값을 산출하는 방법에는 여러 가지가 있지만 운전하고 있는 주기관에서 계속적으로 정확하게 부하를 계산하기는 쉽지 않다. 그러나 다음의 방법을 이용하면 운전하고 있는 주기관의 부하를 비교적 근접해서 구할 수 있다.

(가) RPM을 이용하는 방법

기관의 부하는 운전 중의 기관 RPM을 이용하여 표현하는 것이 가장 손쉽고 합리적인 방법 중 하나이다. **Fig 5.1**은 속도와 기관부하간의 관계를 나타낸 것인데 이 그래프를 이용해서 만든 간단한 프로그램을 이용하여 RPM 및 kW와 그에 따른 연료소모량을 구할 수 있다. **Table 5.1**은 8S60ME-C 엔진에 대해 Excel표를 이용해 kW와 연료소모량을 구하는 프로그램의 예이다.



Line 1 : Propeller curve through point A.

Line 2 : Propeller curve for propulsion alone heavy running, recommended limit for fouled hull at calm weather conditions.

Line 2A : Engine service curve for propulsion (line 2) and shaft generator (SG).

Line 3 : Speed limit.

Line 4 : Torque/speed limit.

Line 5 : Mean effective pressure limit.

Line 6 : Propeller curve for propulsion alone light running (range: 2.5-5.0%), for clean hull and calm weather conditions.

Line 7 : Power limit for continuous running.

Line 8 : Overload limit.

1) Note : The propeller curve for propulsion alone is found by subtracting the actual shaft generator power (incl. generator efficiency) from the effective engine power at maintained speed.

Fig 5.1 Load diagram

Table 5.1 Calculation sheet example of kW & fuel consumption-volume

3	ENGINE SPEED	105	[rpm]
4			
5	LOAD	100	[%]
6	POWER	18,080	[kW]
7	Fuel consumption	3,219	[kg/h]
8	specific Fuel consumption	178	[g/kWh]
9			

(나) Engine Performance Monitoring System을 이용하는 방법

- Torque Meter System

기관에 입력되는 연료와 축에 전해지는 출력 에너지를 연속적으로 측정하는 기기로서 90년대 중반부터 건조된 신조선을 중심으로 기존선에서도 활발하게 설치되고 있는 시스템이다. 기본적인 구성은 샤프트 파워 센서로부터 토크 및 회전수와 연료 플로메터의 신호 및 온도 센서, 배의 속도 신호가 입력되면 종합적으로 계산하여 필요한 kW와 연료소모량을 디스플레이하고 저장할 수 있는 장치이다. Fig 5.2는 엔진 퍼포먼스 모니터링을 구성하는 시스템의 예이고 Fig 5.3은 실제 선박에 설치된 모습이다.

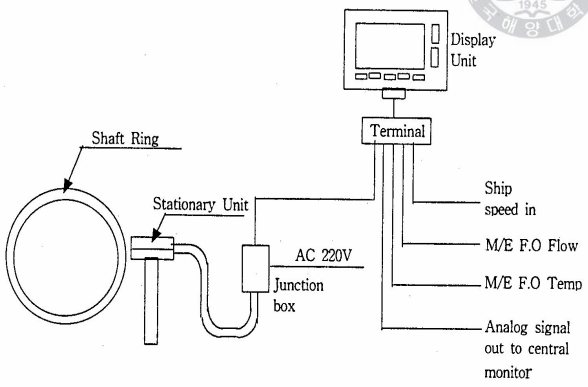


Fig 5.5 Engine performance monitoring diagram example

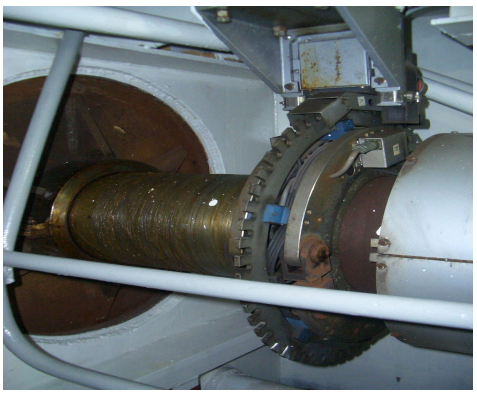


Fig 5.6 EPM picture at operational ships

- 전자 제어 엔진의 출현

종전에 기계적인 방법에 의해 컨트롤되던 엔진에서 전자 제어를 통해 엔진의 연료 및 배기밸브, 시동, 실린더 오일 주유를 컨트롤하는 시스템이 장착된 엔진이 2000

년대 들어 신조선에 설치되고 있는데 대표적인 엔진으로 WARTSILA사의 RT-flex엔진과 MAN B&W사의 ME엔진을 들 수 있다.

WARTSILA사의 RT-flex엔진은 **Fig 5.4**에서 보듯이 WESC라는 컨트롤 유닛에서 크랭크 앵글 센서와 TDC 픽업 센서를 통해 연료와 배기밸브의 작동 등을 컨트롤하며 펄스 러블리케이션 시스템을 통해 실린더 주유를 컨트롤한다. 이처럼 엔진을 컨트롤하기 위해 설치된 이러한 센서를 활용하면 토오크메터를 대신해 훨씬 정확하게 실시간으로 부하를 계산할 수 있을 것이다.

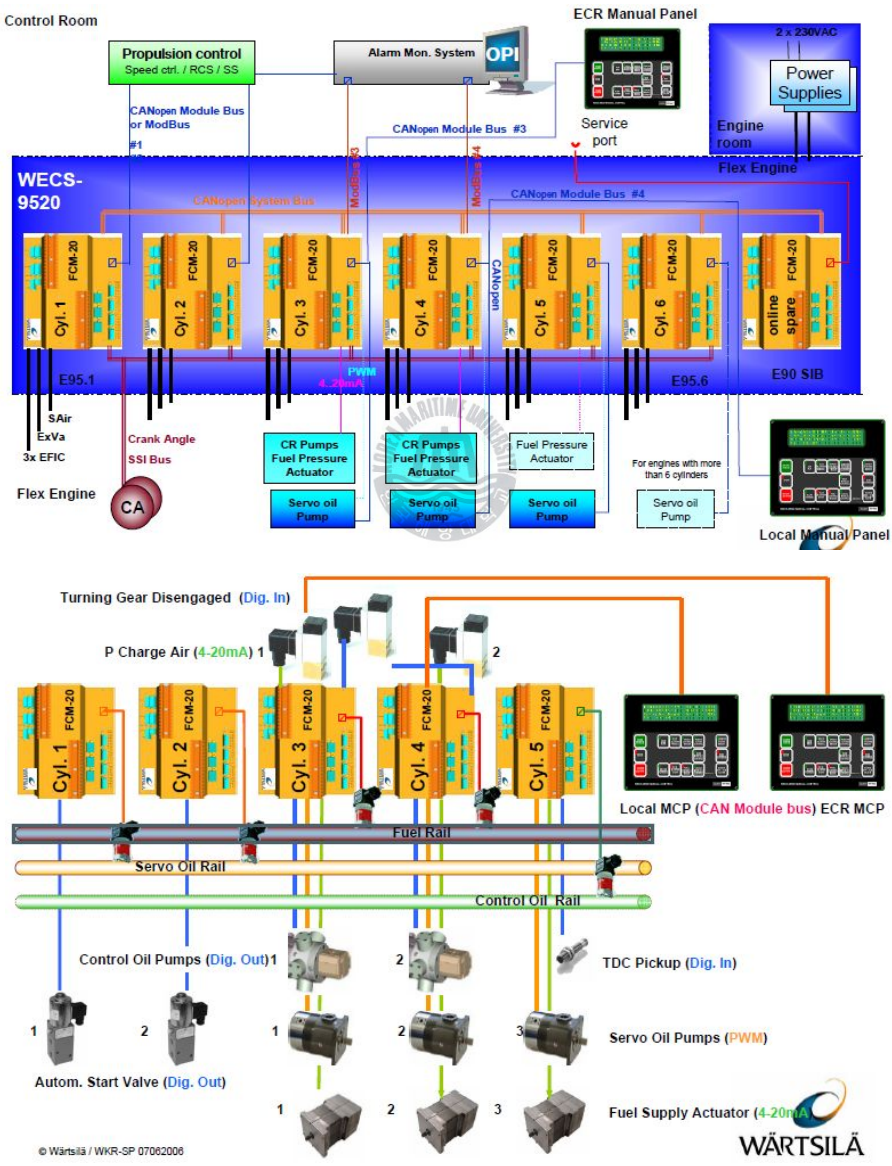


Fig 5.4 WECS working diagram of WARTSILA RT-flex engine

MAN B&W사의 ME 엔진 또한 **Fig 5.5**에서 보듯이 WARTSILA사의 RT-flex 엔진처럼 ECS (Engine Control System)에서 크랭크샤프트 포지션 센싱 시스템을 통해 컨트롤되며 알파 러블리케이터 시스템 신호를 위한 앵글 엔코더가 설치된다. 또한 옵션사항이긴 하지만 컨디션을 모니터링 할 수 있는 장치는 CoCo-EDS 장치가 설치되기도 하는데 이와 같은 장비를 활용하면 비교적 정확한 부하측정이 가능할 것이다. **Fig 5.6**은 실선에 장착된 앵글 엔코더이다.

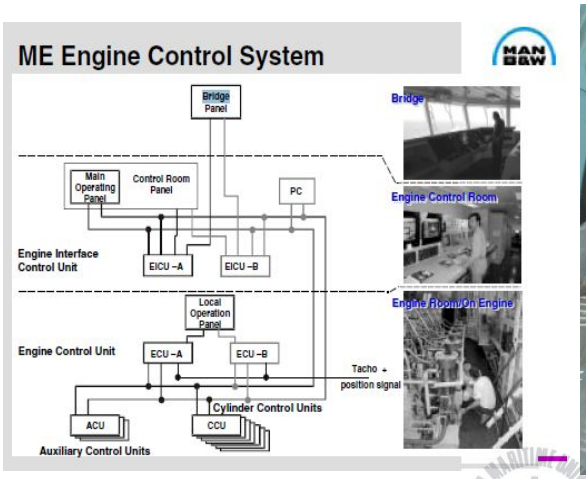


Fig 5.5 ECS working diagram of MAN B&W ME engine

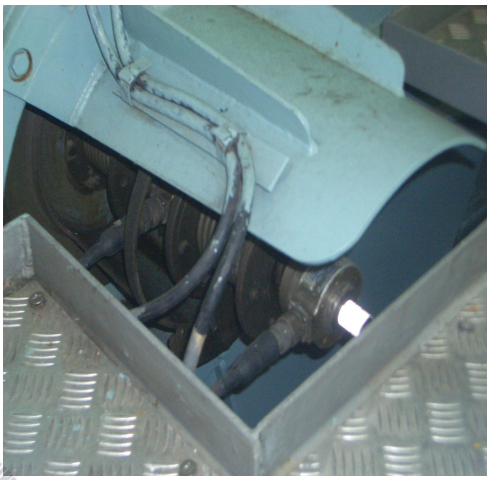


Fig 5.6 Angle encoder

(다) 주기관 제작 업체의 추정 출력 계산법을 이용하는 방법

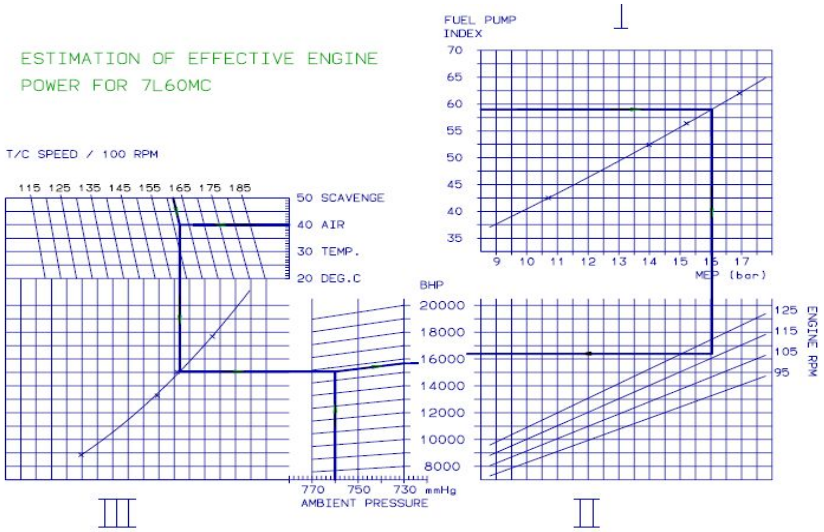


Fig 5.7 Estimation curve of effective engine power(MAN B&W)

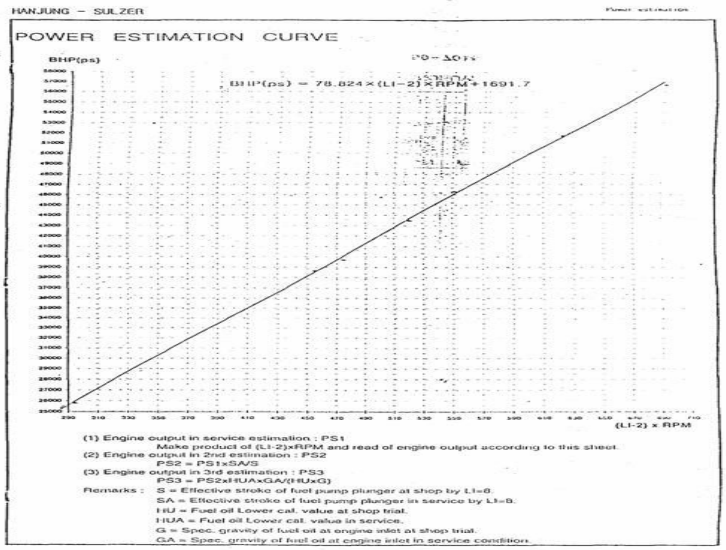


Fig 5.8 Estimation curve of effective engine power(SULZER)

Fig 5.7, **Fig 5.8**에서 보듯이 MAN B&W, SULZER등과 같은 주기관을 제작하는 업체에서는 운전 중인 엔진의 소기온도, 터보-차저의 RPM, 연료펌프 인디케이터, 부하 인디케이터, 연료소모량 등을 이용하여 간접적으로 출력을 계산하는 방법을 제시하고 있는데 이러한 방법을 이용할 수도 있다.

5.1.2 실선 적용 예시

5.1.1에서 새롭게 제시한 EEOI의 kW항목을 (가)방식을 이용하여 계산한 뒤 이를 통해 제4장에서 예제로 이용했던 샘플 선박 2척의 CO_2 발생률을 구해 보도록 하겠다.

선명 : M/V BLUEBELL

선종 : General cargo ship(Bulk carrier)

DWT : 148,668.80 DWT

M/E 기본 사양 :

B&W 5S70MC-C / 17,193BHP × 88.0RPM(MCR) / 15,700BHP × 85.0RPM(NCR)

Voyage: 109항차	연료소모량(Ton)		Loading 화물량	항해중 주기 Data			
	Fuel type (HFO)	Fuel type (MDO)		운전시간 (Hour)	Ave. RPM	부하률(%)	Ave. Load (kW)

BL - BA	46.7		124,525 Tonnes	24.5	78.73	71.69	9,195
LL - LA	49.4			27.3	78.40	70.73	9,072

$$\text{New EEOI} = \frac{96.1 \times 3,114,400}{(9,195 \times 24.5) + (9,702 \times 27.3)}$$

$$= 610.63 (g\ CO_2/kW \cdot h)$$

Voyage: 110항차	연료소모량(Ton)		Loading 화물량	항해중 주기 Data			
	Fuel type (HFO)	Fuel type (MDO)		운전시간 (Hour)	Ave. RPM	부하률(%)	Ave. Load (kW)
BL - BA	618.0		124,510 Tonnes	353.3	76.46	65.62	8,416
LL - LA	643.3			360.0	78.93	72.17	9,257

$$\text{New EEOI} = \frac{1,261.3 \times 3,114,400}{(8,416 \times 353.3) + (9,257 \times 360.0)}$$

$$= 600.72 (g\ CO_2/kW \cdot h)$$

선명 : M/V ADONIS

선종 : General cargo ship(Bulk carrier)

DWT : 171,743.00 DWT

M/E 기본 사양 :

B&W 6S70MC-C / 25,320PS × 91.0RPM(MCR) / 22,790PS × 87.9RPM(NCR)

Voyage: 28항차	연료소모량(Ton)		Loading 화물량	항해중 주기 Data			
	Fuel type (HFO)	Fuel type (MDO)		운전시간 (Hour)	Ave. RPM	부하률(%)	Ave. Load (kW)
BL - BA	446.9		153,571 Tonnes	260.5	76.62	58.85	10,967
LL - LA	565.4			285.0	77.74	62.28	11,606

$$\text{New EEOI} = \frac{1,012.3 \times 3,114,400}{(10,967 \times 260.5) + (11,606 \times 285.0)}$$

$$= 439.41 (g\ CO_2/kW \cdot h)$$

Voyage: 29항차	연료소모량(Ton)		Loading 화물량	항해중 주기 Data			
	Fuel type (HFO)	Fuel type (MDO)		운전시간 (Hour)	Ave. RPM	부하률(%)	Ave. Load (kW)
BL - BA	522.2		153,534 Tonnes	258.0	78.01	62.94	11,729
LL - LA	544.7			281.0	78.32	63.83	11,895

$$\text{New EEOI} = \frac{1,066.9 \times 3,114,400}{(11,729 \times 258.0) + (11,895 \times 281.0)}$$

$$= 521.74 (g\ CO_2/kW \cdot h)$$

앞의 샘플 선박 2척에 대해 엔진부하에 따른 연료소비율 개념을 도입하여 EEOI를 계산하였는데 두 가지의 특징적인 점이 있다.

① 선박은 두 항차가 서로 운항한 거리가 다름에도 불구하고 거의 비슷한 CO_2 배출률을 보이고 있다는 점이다. 이것으로 보아 항차 간 운항 상태가 거의 비슷함을 짐작할 수 있다.

② 선박은 두 항차의 거리가 똑같아 정기선 개념으로 볼 수 있는데 CO_2 배출률에는 차이가 많이 난다. 이것으로 항차 간 운항 상태가 상이했음을 짐작할 수 있다.

이처럼 화물량 대신 kW를 도입함으로서 다양한 부하변동에 대한 연료소비율을 CO_2 배출률로 환산하여 표현할 수 있다.

5.2 New EEOI를 통한 향후 과제

5.2.1 관리 및 활용

(가) 전체 프로세서 관리

EEOI이란 운항하고 있는 선박의 에너지효율을 나타내는 것으로 그 선박 자체의 효율문제이기 때문에, EEOI를 통해 선박간의 에너지효율을 비교하기란 여러 가지 요소에 의해 쉽지 않음을 알 수 있다

에너지효율을 좋게 하기 위해, 즉 연료소비율을 줄이기 위해서는 모두의 지속적인 노력이 필요하겠지만 강제적으로 어떤 정형화된 베이스라인을 구해야 한다든지 혹은 베이스라인을 정해 맞춰야 한다든지 하는 방법들은 지양되어야 한다. 다만 EEOI가 선박 자체 효율문제이긴 하지만 그 EEOI를 관리하기 위한 절차는 통합적으로 진행되어야 한다는 것이다.

다음 Table 5.2, 5.3은 EEOI를 관리하기 위한 제반절차를 순서도로 정리하였다.

Table 5.2 EEOI maintenance procedure by marine officer at ships

1	항차을 기준으로 Ballast, Laden, 정박등으로 구분
2	01.01 00:00시 기준으로 당해년도 EEOI 산출 시작
3	당해년도 시작이 항차중간이면 그 전 24:00의 데이터는 전년도 CO2 배출률로 포함
4	각 구분 구간마다 연료소모량, 평균 RPM, 운전시간, 평균 부하등의 데이터 입력
5	항차가 끝나는 시점에 각 구간의 데이터를 이용하여 EEOI 계산
6	항차마다 EEOI 산정값을 입급선급과 회사에 보고
7	EEOI관련 내용 ISM/ISO 내&외부 심사 수검
8	부적합 사항 발생시 시정 후 완료보고서 선급 및 회사에 제출
9	12.31. 24:00 기준으로 당해년도 EEOI 산출 마감
10	1년 기준으로 당해 발생한 평균 CO2 배출률 계산
11	1년 기준으로 계산된 CO2 배출률을 입급선급과 회사에 보고
12	EEOI에 사용된 모든 데이터와 결과는 일정기간동안 보관

Table 5.3 EEOI maintenance procedure by class or shipping company

1	해당선박에 EEOI 측정 개시/시작 알림
2	선박에서 발송된 EEOI 데이터 수신 확인
3	ISM/ISO 내부 및 외부 심사시 항차별 EEOI 제반사항 점검
4	부적합 사항 발생시 시정내용 통보
5	부적합 사항에 대한 완료보고 확인 및 점검 완료 승인
6	1년 단위로 해당 선박에서 보고된 EEOI 데이터 분석
7	분석내용을 토대로 해당선박의 에너지 효율 향상 방안 제시

IMO의 문서 내용처럼 위와 같은 순서에 의해 ISM/ISO 시스템에서 각 선박의 EEOI가 관리된다면 다양한 정책의 적용이 가능할 것이다.

(나) 활용 방안

(가)와 같은 시스템으로 EEOI가 관리된다고 할 때 다음과 같은 활용 방안을 구상하였다.

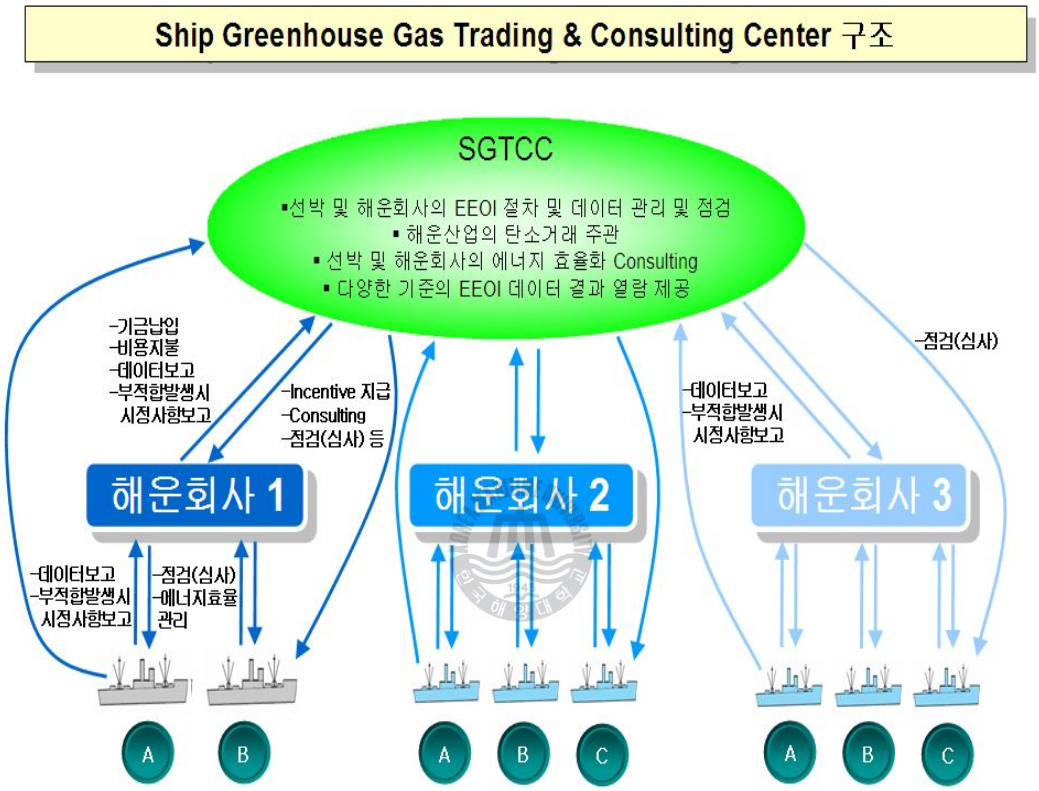


Fig 5.9 Ship Greenhouse Gas Trading & Consulting Center diagram example

Fig 5.9에서 예시했듯이 선박과 해운산업의 온실가스를 통합적으로 관리하면서 다양한 사업을 주관할 수 있는 가칭 Ship Greenhouse Gas Trading & Consulting Center (SGTCC)를 설립하는 것이다.

센터의 설립 목적은 각 선급이 중심이 되어 해운회사간의 이해관계 없이 중립적으로 온실가스를 관리하며, 에너지 효율증대에 관한 다양한 사업을 진행하는 것이다. 또한 각 선급에 축척되는 EEOI 데이터를 통해 선종별, 기국별, 해운회사별, 또 각 선박별 이산화탄소 배출률에 대한 정보 공개 및 열람의 기능도 수행함으로서 다양한 이해 관

계자들의 만족도 향상을 이끌어 낼 수 있을 것이다.

이러한 센터설립의 중요 목적 중에 하나는 해운산업에 거래 시장을 도입하는 것이다. 거래시장의 바탕이 되는 것이 선박의 온실가스 배출에 대한 정확한 데이터인데 각 선급이 중심이 되어 설립하게 될 센터에서 선박과 해운회사에서 보고될 데이터를 관리하고 또한 감독할 권한을 가지게 된다면 데이터의 중립성과 정확성은 어느 정도 보장될 수 있을 것이다. 이런 방향을 토대로 거래제도에 대한 구조 안을 아래 Fig 5.10에서와 같이 구상하였다.

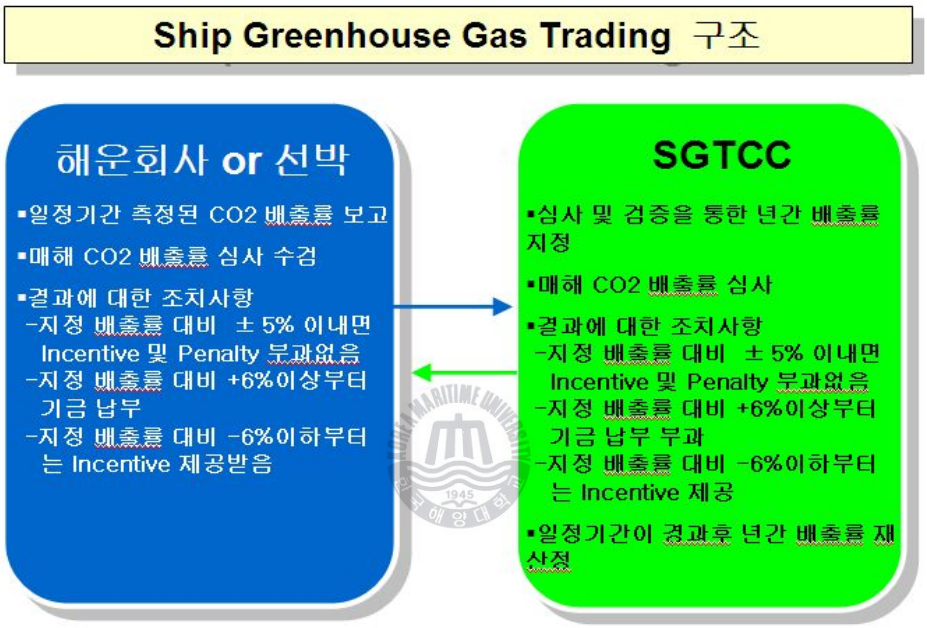


Fig 5.10 Trading method example based on center

상세한 과정이나 세세한 규정 등이 수반되어야겠지만 이러한 중립적인 센터가 이해관계자들의 동의하에 설립된다면 해운시장에서도 거래제도가 이행될 수 있는 토대가 마련될 수 있다. 그리고 센터는 이러한 활동을 통해서 해운시장의 온실가스가 감축될 수 있는 컨설팅 작업도 같이 병행해야 한다. 규모가 큰 해운회사의 경우는 자체적으로도 많은 에너지효율화 방안을 가지고 노력을 다하고 있지만 소규모의 회사는 자체적인 능력으로 이러한 문제를 충분히 해결하기에는 힘든 부분이 있다. 이러한 경우 센터에서는 진단을 통해 에너지효율의 증대 방안에 대해 컨설팅을 할 수 있으며, 이외에도 다양한 활동을 통해 해운산업의 에너지 효율증대에 기여할 수 있다.

5.2.2 발전 방향

(가) 전자 문서화와 네트워크를 이용한 통합관리

5.1.2에서 언급한 센터라는 기구에서 해운산업의 온실가스 배출을 효율적으로 관리하기 위해서는 EEOI 관리용 프로그램과 선박과 회사, 센터를 유기적으로 연결하는 네트워크 시스템이 필요하다. 그와 같은 시스템의 예로서 에너지관리공단에서 운영하고 있는 온실가스배출량정보시스템(Greenhouse Gas Emission Information System)을 살펴보면 **Fig 5.11**과 같다.

Fig 5.11 Greenhouse Gas Emission Information System homepage

위와 비슷한 개념의 시스템을 통해서 해당되는 해운회사는 회원사로 가입을 하여 보유선박 및 회사의 환경관리절차 등의 정보와 EEOI를 통한 CO_2 배출률 등 필요한 내용을 제공한다. 센터에서는 검사(심사)등의 절차 및 상세 내용, 각종 온실가스에 대한 정보, 제공된 데이터에 대한 분석과 조치 사항 등을 제공함으로서 온실가스에 적극 대응할 수 있는 합리적인 관계를 만든다.

항상 움직이고 있는 선박에서도 조만간엔 자유로이 **Fig 5.12**와 같은 웹상의 프로그램에 쉽게 접근하여 정보를 주고 받을 수 있을 것이다. 그러나 당분간은 선박에서 쓸 수 있는 프로그램이 개발되어 공통된 기반위에서 EEOI가 수행되어야 한다. **Fig 5.12**는 육상 온실가스 배출공장 등에서 온실가스정보시스템에 접속하여 작성하는 프로그램으로, 선박에서도 이와 같이 표준으로 개발된 프로그램이 필요하고 이러한 프로그램에서

작성된 데이터는 주기적으로 회사로 보고 되고 회사를 통해 센터에 관련 자료가 입력되는 방향으로 가야 할 것이다.

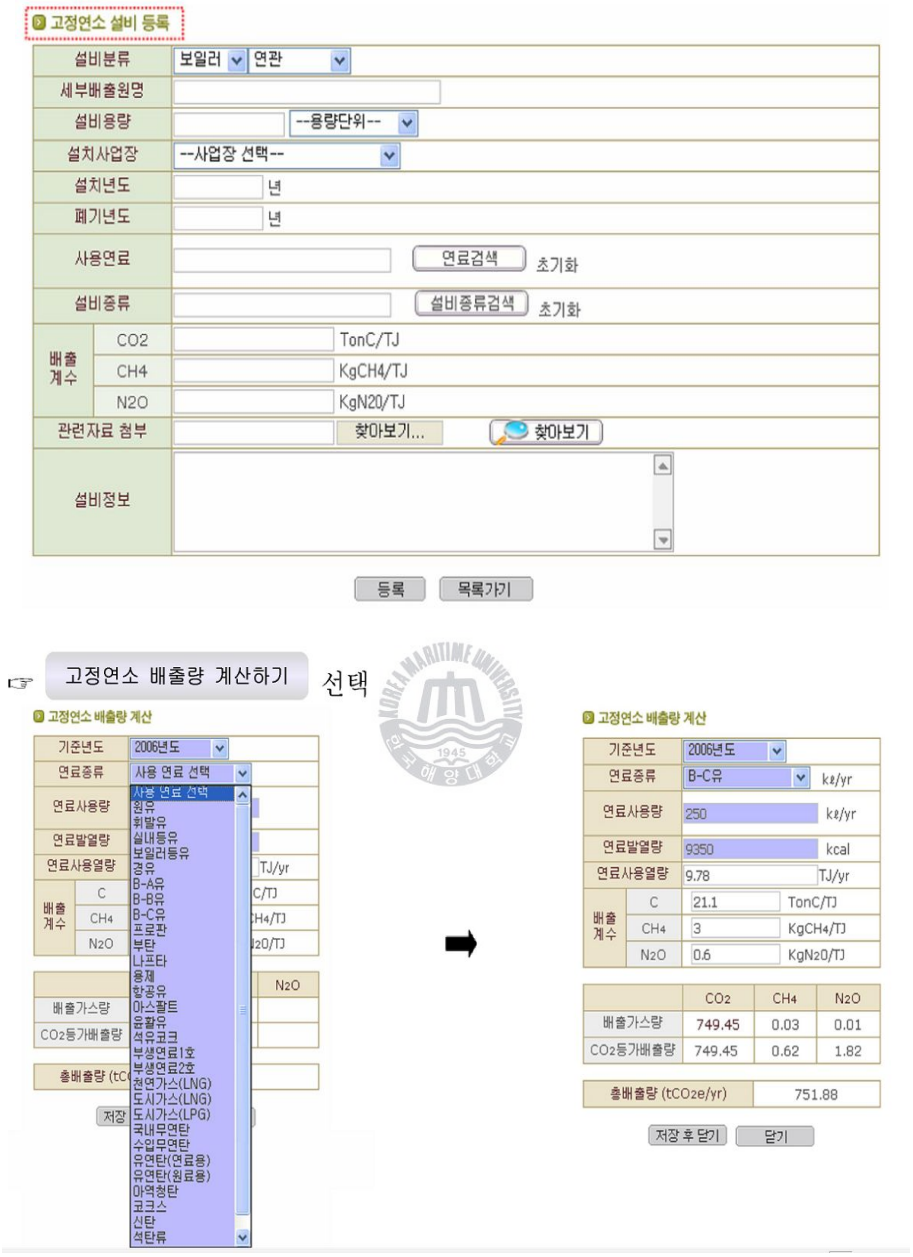


Fig 5.12 EEOI calculation program example at ships

(나) 선박위치추적관리시스템(VMS)과의 연계 방안

(가)와 같은 시스템을 통해 온실가스 배출을 관리해야하고 더불어 실시간 모니터링

시스템 구축에도 관심을 가져야 한다.

현재 항해통신 및 네트워크 장치의 발달로 인해 선박의 위치 및 데이터를 실시간으로 확인할 수 있는 장비들이 개발되어 선박에 탑재가 되고 있다. 이러한 장비들은 해양안전, 환경보호 등의 측면에서 중요시 되었고 IMO의 규정에 의해 강제적으로 설치가 되고 있다. 대표적인 시스템을 살펴보면 선박자동식별장치(Automatic Identification System:AIS), 선박장거리위치추적제도(Long Range Identification and Tracking:LRIT) 등이 있으며 이러한 장치를 통해 해상교통을 통제하는 해상교통관제시스템(Vessel Traffic Service:VTS)이 연안과 주요 항구에서 운용되고 있다. 그래서 **Fig 5.13**과 **Fig 5.14**에서와 같이 현재 육상에서는 이러한 시스템 등을 유기적으로 연결하여 관리할 수 있는 선박위치추적시스템(Vessel Monitoring System:VMS)을 구상하여 운영하려고 계획하고 있다.

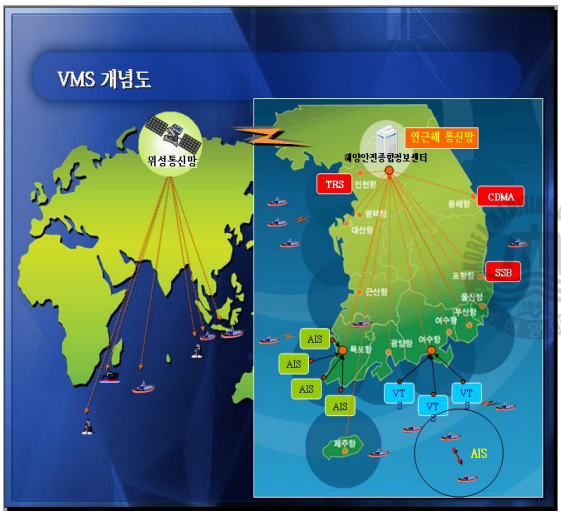


Fig 5.13 VMS diagram[15)]

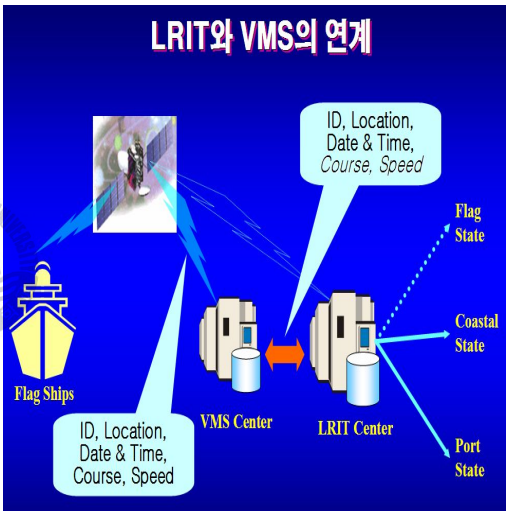


Fig 5.14 LRIT와 VMS의 연계[16)]

이러한 VMS와 연계하여 AIS 데이터에 기관의 실시간 부하 및 연료소모량이 입력이 되어 모니터링이 가능하다면 아래 **Fig 5.15**과 같이 VMS와 센터를 연결하는 시스템을 적극적으로 구상해야 한다. 이러한 시스템이 구축된다면 다양한 정보를 통해 온실가스에 대한 종합적인 관리가 좀 더 수월해 질 수 있을 것이며 또한 정확한 데이터 구축 및 열람 또한 가능하게 될 것이다.

15) (주)사이버네틱스 시스템, VMS 발전 및 선박위치정보 활용방안, AIS 세미나, 20090526, p4
16) 김병옥, LRIT 시스템의 도입과 대응방안, AIS 세미나, 20090526, p23

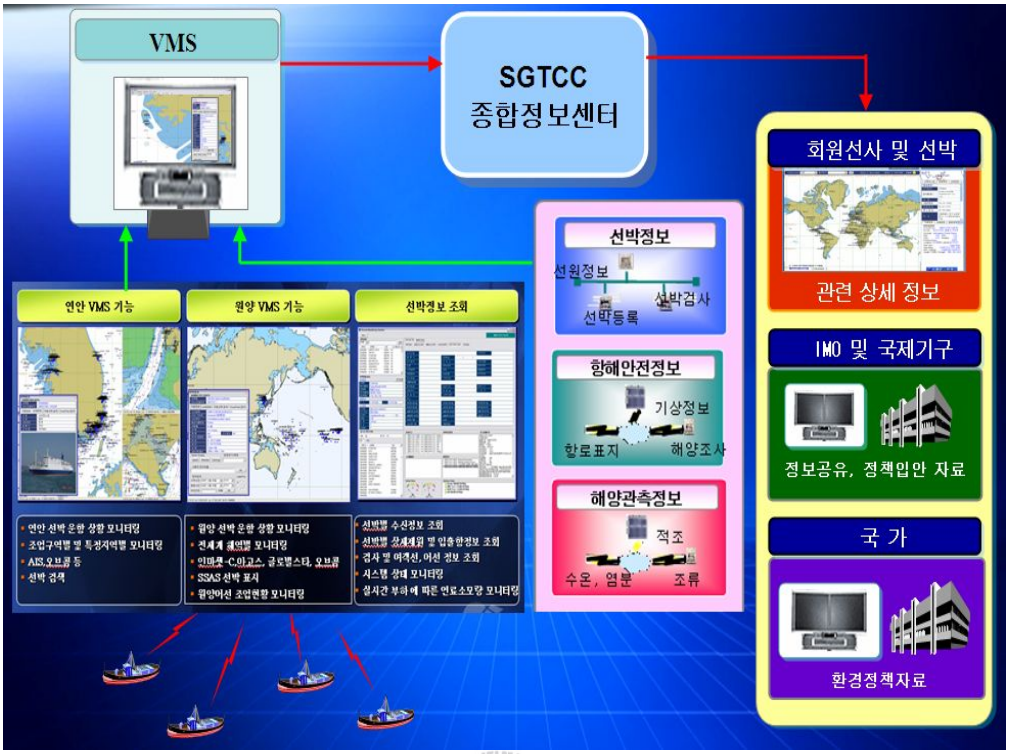


Fig 5.15 VMS와 SGTCC 연계방안

5.2.3 EEDI와의 연계성

EEDI

$$\frac{\left[\prod_{j=1}^{M} f_j\right]\left[\sum_{i=1}^{nME} C_{FME_i} SFC_{ME_i} P_{ME_i}\right] + P_{AE} C_{FAE} SFC^{*}_{AE} + \left(\left[\prod_{j=1}^{M} f_j \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{nWHR} f_{eff(i)} P_{AEeff(i)}\right] C_{FAE} SFC_{AE}\right) - \left[\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} P_{eff(i)} C_{FME_i} SFC_{ME_i}\right]}{f_i Capacity V_{ref} f_W}$$

New EEOI

$$Idicator = \left(\frac{\left(\sum_t FC \times C_{carbon}\right)_{FuelType1} \left(\sum_t FC \times C_{carbon}\right)_{FuelType2}}{\sum_t kW \times HR} \right)_{ME} + \left(\frac{\left(\sum_t FC \times C_{carbon}\right)_{FuelType1} \left(\sum_t FC \times C_{carbon}\right)_{FuelType2}}{\sum_t kW \times HR} \right)_{GE} +$$

$$\left(\frac{\left(\sum_t FC \times C_{carbon}\right)_{FuelType1} \left(\sum_t FC \times C_{carbon}\right)_{FuelType2}}{\sum_t kW \times HR} \right)_{AUX}$$

현재까지 EEDI와 EEOI의 연계성에 대해선 IMO에서 특별한 언급이 없었다. 다만 개념이 다르므로 다른 방향에서 에너지효율을 효과적으로 표시할 수 있도록 발전해야 한다는 언급 정도가 있을 뿐이다. 하지만 신조선 이후에는 당연히 현존선으로서 에너지 효

율을 평가받아야 할 것이다.

이 논문에서 제시하고 있는 New EEOI의 분모는 kW와 운전되는 시간으로서 표시하고 EEDI는 톤수, 스피드, 외부환경에 대한 무차원 지수, 기술적/법규적 요소 등이 분모에 존재한다. 두 가지 모두 얼마나 효율적으로 CO_2를 배출할 수 있게 하느냐와 배출하는가를 나타내는, 즉 조선업과 해운업의 노력을 에너지 효율로 나타내고 있다. 향후 EEDI와 EEOI의 연계방안에 대한 연구를 통해 합리적인 관리체계를 세우는 것이 필요하다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

제 6 장 결 론

언급한 바와 같이 선박 기관의 온실가스 저감을 위한 활동의 일환인 Energy Efficiency Operational Indicator(EEOI)를 분석해 보았고 그에 대해 새로운 개념의 EEOI와 활용 방안을 제안하였다. 이 과정에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(가) 현재 EEOI는 한 항차 또는 항차 간에도 화물의 유/무에 따라 CO_2 배출률이 상당히 차이가 날 수 밖에 없는 산정식이며 이는 실선 5척에 적용한 결과로도 알 수 있다.

(나) 운항하고 있는 선박의 연료소모량은 화물의 유/무, 또는 화물량의 대/소에 의한 영향 뿐만 아니라 많은 내적, 외적 환경에도 지대한 영향을 받는다. 따라서 다양한 요소를 반영하여 선박의 에너지 효율을 나타내기 위한 새로운 개념의 EEOI가 필요하다.

(다) 새로운 EEOI는 선박 기관의 부하개념을 도입하여 [CO_2 발생량/kWh] 형태로 표현하였으며 두 척의 실선에 적용하여 보았다. 결과는 거리와 화물량이 같음에도 불구하고 내/외부 환경에 따라 부하 및 연료소모량이 한 선박에서는 거의 동일하였고, 다른 한 선박에서는 많은 차이가 발생하였다. 이를 통해 EEOI를 화물량이 아닌 부하개념으로 산정해야 운항 하는 선박의 에너지 효율을 나타낼 수 있음을 확인하였다.

(라) EEOI는 각각의 선박에 대한 에너지 효율을 나타내는 도구로 인식하고 여기서 나오는 결과를 가지고 공통된 기반위에서 관리될 수 있도록 하는 방안으로서 가칭 Ship Greenhouse Gas Trading & Consulting Center(SGTCC) 설립을 제안하고 이 센터의 운용 및 활용 방안에 대한 내용을 설명하였다.

(마) 이번 연구를 통해 Energy Efficiency Design Index(EEDI)의 기준에 영향을 미친 CO_2 베이스라인을 기반으로 하여 신조선 이후 운항선의 선령에 따른 EEOI의 차등적인 적용을 위해 EEDI와 새로운 EEOI 연계를 위한 연구의 필요성을 확인하였는데 이는 해운산업의 온실가스 거래에 대비해 선령에 따른 배출기준 설정을 위해서도 필요하다.
(바) 시간이 갈수록 해운산업의 활동은 더 활발히 될 수밖에 없으며 이러한 활동은 결국 총 온실가스의 증대를 의미한다. 하지만 EEDI, New EEOI의 실현, 베이스라인 구축,

또 본 논문에서 제시하는 SGTCC의 활동을 통해 전체 해운산업의 에너지 효율을 높임으로서 온실가스의 증가를 억제하거나, 느리게 할 수 있을 것이다. 결국 이러한 활동들이 차후 새로운 에너지를 통한 친환경화적인 해운산업 성장에 기여하는 토대가 될 것이다.

본 논문은 온실가스와 관련하여 IMO에서 논의되고 있는 CO_2 배출량 관리 정책 중 운항되고 있는 선박에 적용하는 EEOI의 문제점 분석을 통해 새로운 개념의 EEOI 도입과 활용 방안을 마련하기 위한 기초 연구로서 의미가 있다. 새로운 개념의 EEOI를 실선에 적용하는 과정에서 주기관만 실시하였고 발전기와 보조기관의 고려는 제외되었기 때문에 차 후 제외되었던 부분을 통합하여 관리할 수 있는 체계에 대한 연구가 필요함을 밝힌다. 또한 EEDI와의 연계, 해운업의 온실가스를 관리할 수 있는 기구, Vessel Monitoring System(VMS)와의 연계를 통한 통합 관리 등에 대해서 좀 더 구체적인 연구가 필요하다고 생각한다.

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

참 고 문 헌

(1) 舶用大氣汚染抑制檢討委員會, 國際海事機構(IMO)における排氣ガス 規制の最近の動向, 日本舶用機關學會誌 第 32券, 第 6号 1997-6, pp.390-397

(2) 平 田 賢,「船舶大氣汚染防止の動向と對應」, 日本舶用機關學會誌 第32券 第6号 1997-6, pp.385-389

(3) 친환경 이산화탄소 유효처리 기술, 한국과학기술정보연구원, 2008

(4) 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인 제2권, 환경부 환경관리공단, 2008, pp.3.58~3.60

(5) 선박오염 관련 국제협약 대응기술 개발 연구(2), 국토해양부 한국해양연구원, 2006

(6) 기후변화협약과 우리의 대응, 삼성경제연구소, 1997

(7) 남병언, 대기오염관리를 위한 배출권거래제도의 효율성분석과 발전전략 연구, 한국과학기술원, 2006

(8) 김현진, 교토의정서 발효 이후의 기업경영, 삼성경제연구소, 2005

(9) 온실가스배출정보시스템(GEIS) 매뉴얼, 에너지관리공단

(10) MEPC 58 주요 회의결과 알림, KR Technical Information, 2009011

(11) 류경부, Greenhouse Gas Issues in IMO, KR, 20090529

(12) YOSHIDA koichi, Environmentally Friendly Ships in IMO rules and ISO standards(including mitigation against global warming-up), National Maritime Research Institute(Japan), 3rd PAAMES FORUM 20081020

(13) 박명섭/홍란주/한능호. 선박기인 대기오염 규제를 위한 국제협약에 관한 연구, 한국해사법학회 춘계학술대회, 2009

(14) MEPC 59/24 Add.1 ANNEX 14, pp.11~13

(15) MEPC 59/24 Add.1 ANNEX 20

(16) http://ko.wikipedia.org/wiki

(17) 파차우리 박사(IPCC 의장), 축산업과 육식이 기후에 미치는 영향에 대한 강의(http://www.ciwf.org.uk/resources/lecture/default.aspx), 20080908

(18) hhtp://supremmastertelevision.com/kr

(19) http://www.chunghan.com/main3-5.html