



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](#)

工學碩士 學位論文

# 선박 온실가스 배출계수에 관한 연구

**A Study on the Emission Factor of Ship Greenhouse gas**

指導教授 崔 宰 赫

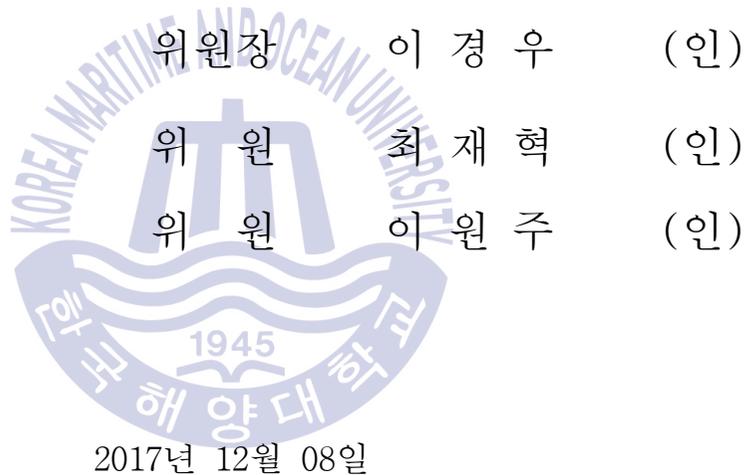
2018年 2月

韓國海洋大學校 大學院

機關시스템工學科

趙 銅 衍

본 논문을 조동연의 공학석사 학위논문으로 인준함.



한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	v
List of Figures .....	ix
Abstract .....	x
Nomenclature .....	xiv
<b>1. 서 론</b> .....	<b>1</b>
1.1 연구 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 범위 및 방법 .....	7
1.3 배출량 산정 방법론 .....	11
1.4 연안해운용 배출계수 개발 필요성 .....	14
1.5 연안해운용 연료유 사용 동향 .....	17
1.6 대표 연료유 선정 .....	18
<b>2. 연료유 분류 체계 정비</b> .....	<b>19</b>
2.1 연안 해운 분야 통용 연료유 분류 체계 .....	19
2.2 정부의 연료유 분류 체계 .....	21
2.3 국내 표준 .....	25
2.4 국제 표준 .....	27
2.5 국내 업계 현황 .....	30
2.6 연료유 분류 체계 제안 .....	39
<b>3. 배출계수 도출</b> .....	<b>48</b>
3.1 배출계수와 환산계수 .....	48
3.2 IMO의 배출계수 .....	50

3.3 IPCC 배출계수와 IMO배출계수의 상관관계 .....	53
3.4 연료유의 샘플링 .....	64
<b>4. 결과</b>	
4.1 샘플링 연료유 정상분석 결과 .....	66
4.2 연료유 분석결과 기반 IPCC 배출계수와 IMO 배출계수 .....	68
4.3 배출계수 별 온실가스 배출량 비교 .....	76
4.4 연료유의 주요 성상과 배출계수의 상관관계 .....	103
<b>5. 결론</b> .....	110
감사의 글 .....	111
참고문헌 .....	112



## List of Tables

<b>Table 1</b> 유엔 기후변화협약 국가 .....	2
<b>Table 2</b> 탄소배출계수 .....	4
<b>Table 3</b> 연료별 국가고유 배출계수 .....	5
<b>Table 4</b> 연료별 국가 고유 발열량 .....	6
<b>Table 5</b> 배출계수 정의 .....	9
<b>Table 6</b> 국내 연안 해운에서 통용되는 연료유 분류 체계 .....	20
<b>Table 7</b> 정부고시 연료유 분류 체계 - 경유 .....	22
<b>Table 8</b> 정부고시 연료유 분류 체계 - 중유 .....	23
<b>Table 9</b> 인화점 60℃미만의 연료유에 대한 안전요건 .....	24
<b>Table 10</b> KS의 중유 분류 .....	26
<b>Table 11</b> 선박용 연료유(정제유)표준(ISO 8217:2012) .....	28
<b>Table 12</b> 선박용 연료유(잔사유)표준(ISO 8217:2012) .....	29
<b>Table 13</b> 연료유 공급업체의 자체 연료유 분류 체계 .....	32
<b>Table 14</b> 연료유 공급업체의 자체 연료유 분류 체계 .....	33
<b>Table 15</b> 국내연해 운항 선사의 자체 연료유 분류 체계 .....	34
<b>Table 16</b> 제안하는 연료유 분류체계의 대분류 .....	42
<b>Table 17</b> 제안하는 연료유 분류체계의 상세분류 .....	43
<b>Table 18</b> 제안하는 연료유 분류체계의 연료유별 상세 성상 .....	44
<b>Table 19</b> IMO의 배출계수 .....	51
<b>Table 20</b> IMO와 IPCC의 참발열량 .....	52
<b>Table 21</b> Default Net Calorific Values (Ncvs) and Lower And Upper Limits of the 95% Confidence Intervals .....	54
<b>Table 22</b> Default Carbon Content .....	57
<b>Table 23</b> Default CO <sub>2</sub> Emission Factors for Combustion .....	60
<b>Table 24</b> IPCC Guideline의 자료를 이용한 IMO 형식의 배출계수 .....	63
<b>Table 25</b> 연료유 샘플링의 상세 .....	64

<b>Table 26</b>	샘플링 연료유의 주요 성상 .....	66
<b>Table 27</b>	연료유 성상 분석 항목 및 시험 표준 .....	67
<b>Table 28</b>	연료유 성상을 기반으로 한 IPCC 배출계수와 IMO 배출계수	69
<b>Table 29</b>	IPCC 배출계수(Tier 1)와 계산된 IPCC 배출계수의 비교 .....	70
<b>Table 30</b>	IMO 배출계수와 계산된 IMO 배출계수의 비교 .....	71
<b>Table 31</b>	기존 배출계수와 도출 배출계수의 비교 - 최대값 .....	72
<b>Table 32</b>	기존 배출계수와 도출 배출계수의 비교 - 최소값 .....	72
<b>Table 33</b>	기존 배출계수와 도출 배출계수의 비교 - 평균값 .....	73
<b>Table 34</b>	IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 온실가스 배출량 비교 - 최대값 .....	77
<b>Table 35</b>	IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 온실가스 배출량 비교 - 최소값 .....	77
<b>Table 36</b>	IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 온실가스 배출량 비교 - 평균값 .....	78
<b>Table 37</b>	IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 온실가스 배출량 비교 - 최대값 .....	78
<b>Table 38</b>	IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 온실가스 배출량 비교 - 최소값 .....	79
<b>Table 39</b>	IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 온실가스 배출량 비교 - 평균값 .....	79
<b>Table 40</b>	도출된 IPCC형 배출계수에 따른 온실가스 배출량 상호비교 ..	80
<b>Table 41</b>	도출된 IMO형 배출계수에 따른 온실가스 배출량 상호비교 ....	80
<b>Table 42</b>	IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MDO (최대값) .....	84
<b>Table 43</b>	IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MDO (최대값) .....	85
<b>Table 44</b>	IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MDO (최대값) .....	86

<b>Table 45</b>	IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MDO (최소값) .....	87
<b>Table 46</b>	IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MDO (최소값) .....	88
<b>Table 47</b>	IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MDO (평균값) .....	89
<b>Table 48</b>	IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MDO (평균값) .....	90
<b>Table 49</b>	IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MF-180 (최대값) .....	91
<b>Table 50</b>	IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MF-180 (최대값) .....	92
<b>Table 51</b>	IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MF-180 (최소값) .....	93
<b>Table 52</b>	IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MF-180 (최소값) .....	94
<b>Table 53</b>	IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MF-180 (평균값) .....	95
<b>Table 54</b>	IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MF-180 (평균값) .....	96
<b>Table 55</b>	IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MF-380 (최대값) .....	97
<b>Table 56</b>	IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MF-380 (최대값) .....	98
<b>Table 57</b>	IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MF-380 (최소값) .....	99
<b>Table 58</b>	IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MF-380 (최소값) .....	100

<b>Table 59</b> IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MF-380 (평균값) .....	101
<b>Table 60</b> IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년) 온실가스 배출량 비교 - MF-380 (평균값) .....	102



## List of Figures

<b>Fig. 1</b> 온실가스 배출량 통계 작성 방법론 .....	8
<b>Fig. 2</b> ISO 8217에 따른 연료유 분류와 IMO 배출계수와의 관계(MDO) .....	15
<b>Fig. 3</b> ISO 8217에 따른 연료유 분류와 IMO 배출계수와의 관계(HFO) ...	16
<b>Fig. 4</b> 2015년 국내 연안해운의 유종별 사용량 .....	18
<b>Fig. 5</b> IPCC 배출계수와 IMO 배출계수의 상관성 분석 .....	73
<b>Fig. 6</b> 분석 유종 별, IPCC 배출계수 계산 결과 .....	74
<b>Fig. 7</b> 분석 유종 별, IMO 배출계수 계산 결과 .....	75
<b>Fig. 8</b> 연료 분석 성상과 IMO 배출계수와의 결정계수 비교 .....	104
<b>Fig. 9</b> 유동점과 IMO 배출계수의 상관성 분석 .....	105
<b>Fig. 10</b> 물과 침전물 함량과 IMO 배출계수의 상관성 분석 .....	106
<b>Fig. 11</b> 동점도와 IMO 배출계수의 상관성 분석 .....	107
<b>Fig. 12</b> 황 함유량과 IMO 배출계수의 상관성 분석 .....	108

# 선박 온실가스 배출계수에 관한 연구

조 동 연

한국해양대학교  
기관시스템공학과

## 초록

국가 온실가스 인벤토리의 신뢰성을 향상하기 위해서는 온실가스 배출계수의 정확도 확보가 중요하며, 정확한 온실가스 배출계수를 개발하기 위해서는 연료 특성을 반영한 국가 고유 배출계수의 개발이 요구된다. 국가별로 사용하는 연료의 조성이 다르고 선박유의 분류 또한 제각각으로 되어 있는 현 상황을 고려하여, 본 연구에서는 연료의 성분 및 특성을 반영한 온실가스 배출계수를 개발함으로써 획일적으로 적용되고 있는 배출계수에 대한 오차를 최소화 할 수 있도록 시도하였다.

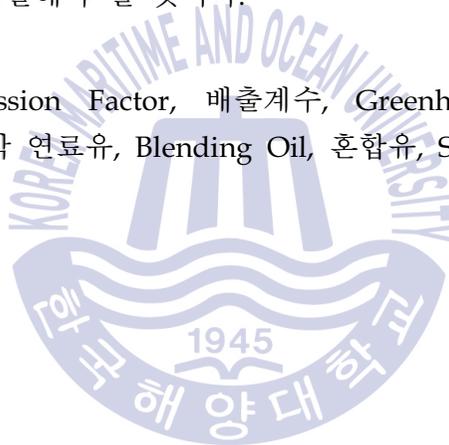
이를 통해 국내 해운업계에 적용 가능한 보다 더 정확하고 상세하게 분류된 배출계수를 도출할 수 있었으며, 그 결과로써 실제 사용되는 연료유의 성분분석을 통해 도출된 배출계수와 기존 배출계수로 계산된 온실가스 배출량을 비교한 결과 최대 3.59%의 오차가 발생한다는 것을 확인하였다.

또한, 선박용 연료유 분류체계를 재정비하여 실제 산업계에서 사용되고 있는 다양한 종류의 중유가 혼합된 혼합유(Blending Oil)에 대해 특성별 분류

를 시도하였으며, 그 방법으로써 국제적인 표준으로 통용되고, IMO의 연료유 분류 기준으로도 사용되고 있는 ISO 8217의 분류체계를 고려한 연료유 분류체계의 도입을 위해 기존의 혼합유 분류체계와 ISO 8217의 분류체계를 적용한 새로운 연료유 분류체계를 제안하였다.

본 연구를 통해 연안 해운분야의 온실가스 배출량을 정확하게 산정하기 위해서는 연안해운용 국가 고유 배출계수와 연료유 분류체계가 반드시 개발되어야 한다는 것을 확인하였다. 향후, 더 정확한 데이터 확보를 위해 국내에서 실제 사용되고 있는 연료유의 샘플링 및 성분 분석을 지속적으로 실시하고 그 결과를 축적하여, 국내 연안해운 분야의 공인된 국가 고유 배출계수와 연료유 분류체계를 개발해야 할 것이다.

KEY WORDS: Emission Factor, 배출계수, Greenhouse Gas, 온실가스, Marine Fuel Oil, 선박 연료유, Blending Oil, 혼합유, Ship, 선박



# **A Study on the Emission Factor of Ship Greenhouse Gas**

Cho, Dong Yeon

Department of Marine System Engineering  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## **Abstract**

To improve the reliability of the nation's greenhouse gas inventory, it is important to obtain accurate greenhouse gas emission factors, which in turn may require development of unique emission factors based on the type and characteristics of each fuel. Given the different mixture of chemicals and classifications of vessels between different nations, this study aims to suggest a solution to minimize the gaps between different emission factors used by each country, by inducing emission coefficients that reflect the components and properties of each fuel.

The result of this study suggests more accurate and specific emission factors that can be applied to the shipping industry of South Korea, as well as an error of 3.59% max. which is the result of comparison between an emission factor obtained by a state analysis for fuel oils actually used in the real world and greenhouse gas emissions calculated by existing

emission coefficients.

In this study, an attempt was made to classify blending oils mixed with a wide range of heavy oils that are currently used by related industries, by reorganizing the existing fuel oil classification system for vessels. The study suggests a new fuel oil classification system that reflects conventional classification in addition to ISO 8217 that IMO has adopted as a fuel oil classification standard, as a way to help the nation to develop an effective fuel oil classification system that can be recognized as a world standard.

The findings of this study reconfirmed that accurate assessment of greenhouse gas emissions in the shipping industry needs necessarily the development of emission coefficients and fuel oil classification system unique to the nation. In the future, more studies involving sampling and state analysis of existing fuel oils used in South Korea will hopefully be conducted to contribute to the shipping industry's effort to develop official greenhouse emission factors as well as a fuel oil classification system.

KEY WORDS: Emission Factor, 배출계수, Greenhouse Gases, 온실가스, Marine Fuel Oil, 선박 연료유, Blending Oil, 혼합유

# Nomenclature

## Alphabet

E	:	배출량	tonnes
EF	:	IPCC 배출계수	kg/TJ
FC	:	연료 소모량	[m]
CF	:	IMO 변환계수	t-CO <sub>2</sub> /t-Fuel
C	:	탄소(Carbon)	
H <sub>2</sub>	:	수소(Hydrogen)	
O <sub>2</sub>	:	산소(Oxygen)	
N <sub>2</sub>	:	질소(Nitrogen)	
S	:	황(Sulphur)	



## Abbreviation

MJ	:	열량(mega joule)
TJ	:	열량(Tera Joule)
ton	:	질량(tonne)
kg	:	질량(kilogram)
m	:	길이(meter)
mm	:	길이(millimeter)
l	:	부피(liter)
kl	:	부피(kiloliter)
cSt	:	동점도(mm <sup>2</sup> /s)

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경 및 목적

전 세계적으로 대기오염물질에 의한 기후변화 현상이 심각해짐에 따라 각국은 기후변화에 대응하기 위해 국제적 의무를 이행하기 위한 의무를 다하고 있으며 우리나라 또한 기후변화의 주요 지표인 온실가스에 대한 관리 및 감축을 위해 노력하고 있다.

기후변화협약(UNFCCC, The United Nations Framework Convention on Climate Change)의 국가별 온실가스 통계와 세계자원연구소(World Resources, WRI)의 온실가스 통계자료 등을 활용하여 2014년도 기준 상위 15개 국가의 온실가스 총 배출량 현황을 보면 우리나라는 2014년 온실가스 총배출량을 UNFCCC 의무감축국과 비교하였을 때 미국, 러시아, 일본, 독일, 캐나다에 이어 6위이며, 비부속서 국가들을 포함할 경우 12위에 해당한다. 34개 경제협력기구(OECD) 회원국 중에서는 미국, 일본, 독일, 캐나다, 멕시코에 이어 6번째로 온실가스 배출량이 많은 것으로 나타났다.(온실가스종합정보센터, 국가온실가스 인벤토리 보고서, 2016) 이러한 온실가스 배출규모에 비례하여 2005년 2월 발표된 교토의정서와 같은 국제적 다자간 협상에서 온실가스감축에 대한 한국의 동참과 감축노력에 대한 압력이 증가할 것으로 예상된다. 현재의 교토의정서 체제에서는 Table 1에서와 같이 선진국들인 부속서I 국가들만 온실가스 감축의무를 갖고 있지만, 파리협정의 신 기후체제에서는 개도국을 포함한 모든 당사국이 온실가스를 감축에 동참하여야 한다. 즉 우리나라도 온실가스 감축의무를 갖게 되는 것이다. 또한 각 국가가 스스로 결정하여 제출한 자발적 감축공약(INDC, Intended Nationally Determined Contributions)에 대한 국제 이행점검(Global Stock-taking)을 받아야 한다.

Table 1 유엔 기후변화협약 국가

구분	부속서 I국가	부속서 II국가	비부속서 I국가
국가	협약체결 당시 OECD 24개국, EU와 동유럽 국가 등 40개국	부속서 I국가 중 동유럽 국가가 제외된 OECD 24개국 및 EU	우리나라 등 부속서 I에 포함되지 않은 국가
의무	온실가스 배출량을 1990년 수준으로 감축 노력, 강제성을 부여하지 않음	개발도상국에 재정지원 및 기술 이전 의무	국가보고서 제출 등의 협약상 일반적 의무

\*출처:산림청 홈페이지(<http://forest.go.kr>)

각 국가는 온실가스 감축 목표 및 수립 및 정책을 추진하기 위한 핵심적인 사항으로 신뢰성 있는 온실가스의 배출량 산정을 위한 핵심인자인 배출계수 정확성 확보가 중요하며, 국내 주요 온실가스 배출 흡수원에 대한 국가 고유 배출 흡수 계수의 개발 및 적용이 필요하다.

원칙적으로 연료의 배출계수는 각각의 연료를 직접 연소시키는 상태에서 배출되는 배출물질의 양을 직접적으로 측정하여 산정하는 것이 가장 정확한 방법 이겠지만, 모든 연료에 대해 이러한 작업을 적용하여 배출계수를 산정한다는 것은 불가능하며, 연료의 성상이 일정수준 내에서 변동될 수 있다는 점을 고려 할 때 무의미한 작업이 될 가능성이 매우 높다.

이러한 이유로, 다양한 연료를 일정한 범주로 분류하고, 분류된 범주에 해당하는 연료의 평균적인 배출계수를 산정한 이후에, 이를 범주에 해당하는 모든 연료에 대해 배출계수로 적용하는 것이 일반적인 방법이며, 기후변화에 관한 정부간 협의체 지침(IPCC Guideline, Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines)에서도 이러한 방법을 적용하고 있다.

IPCC Guideline에서 정하고 있는 배출계수는 전 세계에서 사용되는 모든 연료의 평균값을 산정한 것이기 때문에 전반적으로 정확도가 떨어질 수 밖에 없는 한계를 가지고 있다. 본 논문에서는 선박에서 배출되는 온실가스 배출량 산

정에 대한 정확한 배출계수 값을 산출하고 현실적인 Data를 제시함으로써 기존 배출계수보다 신뢰성 있는 온실가스 배출계수에 대해 연구하였다.

국가의 배출량통계 또는 특정 배출원의 배출량통계는 일반적으로 사용된 연료의 양에 배출계수를 곱하여 산정한다. 배출량통계가 작성되는 대상물질의 배출량을 계측기 등을 통해 정확하게 계측하는 것이 가장 정확한 방법이겠지만, 이는 현실적으로 불가능하므로, 일반적으로 사용된 연료의 양에 배출계수를 곱하여 배출량통계를 산정하는 것이 일반적이다.

우리나라의 경우, 국무총리실 산하 “온실가스종합정보센터”에서 국가 배출계수를 공고하고, 국가 배출량통계를 관리하고 있다. 온실가스 종합정보센터에서 공고한 국가 배출계수는 Table 2와 같다. Table 2에서 선박용 연료인 경유, 경질중유(B-A), 중유(B-B), 중질중유(B-C)의 탄소배출계수는 IPCC Guideline에서 정하는 탄소배출계수보다 낮은 값을 적용하고 있다는 것을 알 수 있다. Table 2에서 나타난 배출계수는 IPCC Guideline에서 정하는 배출계수에서 탄소량 기본 값(Default Values of Carbon Content)의 형태로 나타난 값이다.

일반적으로 사용되는 IPCC 배출계수 형식의 연료별 국가 고유 배출계수는 Table 3과 같으며, 이와 관련된 연료별 발열량은 Table 4와 같다.

본 논문에서는 국내 해운업계 적용할 수 있는 좀 더 정확하고 상세하게 분류된 배출계수를 도출하고, 선박용 연료인 경유, 경질중유(B-A), 중유(B-B), 중질중유(B-C)를 좀 더 상세하게 분류하여 각 유종별로 배출계수를 도출하는 것을 최종목적으로 수행하였으며, 이를 위해 국내에서 유통 및 사용되고 있는 선박용 연료유의 분류체계 정비 작업을 수행하였다. 특히 현장에서 주로 사용되고 있는 혼합유(Blending Fuel Oil) 분류체계를 정비하는 작업을 수행하고 선박의 대기오염물질 배출량 산정을 위해 국내 실정에 적합한 배출물의 배출계수를 개발하는데 중점을 두었다.

**Table 2** 탄소배출계수

연료		1996 IPCC 기본값	국가고유 배출계수		연료		1996 IPCC 기본값	국가고유 배출계수		
		'90-'06	'07-'11	'12-'13			'90-'06	'07-'11	'12-'13	
석유	석유	20.0	-	-	석탄	정제 가스	15.7	-		
	오리털천	22.0	-	-		기타 석유	20.0	-		
	LPG	17.2	-	-		국내 무연탄	26.8	2*9.7	30.5	
	휘발유	18.9	19.7	20.0		수입무연탄 (연료탄)	26.8	-	28.6	
	항공유	19.5	19.6	19.8		수입무연탄 (원료탄)	26.8	-	29.2	
	보일러 등유	19.6	19.5	19.6		유연탄 (연료탄)	25.8	-	26.2	
	실내 등유	19.6	19.5	19.6		유연탄 (원료탄)	25.8	25.9	26.2	
	Shale Oil	20.0	-	-		아역청탄	26.2	29.3	26.2	
	경유	20.2	20.0	20.2		갈탄	27.6	-	-	
	경질중유 (B-A)	20.5	20.2	20.4		Oil Shale	29.1	-	-	
	중유 (B-B)	20.8	20.6	20.5		토탄	28.9	-	-	
	중질중유 (B-C)	21.1	20.8	20.6		BKE & Paten Fuel	25.8	-	-	
	부생연료 1호	-	-	19.7		Coke Oven / Gas Coke	13.0	-	-	
	부생연료 2호	-	-	21.0		Blast Furnace Gas	66.0	-	-	
	프로판	17.2	17.6	17.6		가스	천연가스 (LNG)	15.3	15.4	15.3
	부탄	17.2	18.1	18.1		도시가스 (LNG)	15.3	15.4	15.3	
	에탄올	16.8	-	-		도시가스 (LPG)	17.2	17.6	17.6	
	납사	20.0	18.6	19.2		바이오	고체바이오매스	29.9	-	-
	아스팔트	22.0	21.5	21.6		매스	액체바이오매스	20.0		
윤활유	20.0	19.7	19.9		기체바이오매스	30.6				
석유 코크	27.5	27.2	27.2							

\* 출처 : 2016국가 온실가스 인벤토리 보고서, 2016. 온실가스종합정보센터, p 95

**Table 3** 연료별 국가고유 배출계수

구분	연료	탄소 배출계수 (tC/TJ)	이산화탄소 배출계수 (kgCO <sub>2</sub> /TJ)
석유 (16)	휘발유	20.0	73,300
	등유2호(실내등유)	19.6	71,900
	등유1호(보일러등유)		
	경유	20.2	74,100
	B-A유	20.4	74,800
	B-B유	20.5	75,200
	B-C유	20.6	75,500
	나프타	19.2	70,400
	용제	19.3	70,800
	항공유(JET-A1)	19.8	72,600
	아스팔트	21.6	79,200
	윤활유	19.9	73,000
	부생연료 1호	19.7	72,200
	부생연료 2호	21.0	77,000
	프로판	17.6	64,500
	부탄	18.1	66,400
가스 (2)	천연가스(LNG)	15.3	56,100
	도시가스(LNG)		
	도시가스(LPG)	17.6	64,500
석탄 (6)	국내무연탄	30.5	112,000
	수입무연탄(연료용)	28.6	105,000
	수입무연탄(원료용)	29.2	107,000
	유연탄(연료용)	26.0	95,300
	유연탄(원료용)	26.2	96,100
	아역청탄	26.2	96,100

\* 출처: 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침 별표 22, 환경부고시 제 2016-255호, 2016.12.30

**Table 4** 연료별 국가 고유 발열량

연료명	단 위		총발열량	순발열량
	에너지법 시행규칙 상	TJ로 환산 시		
원유	MJ/kg	TJ/Gg	44.9	42.2
휘발유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	32.6	30.3
등유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	36.8	34.3
경유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	37.7	35.3
B-A유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	38.9	36.4
B-B유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	40.5	38.0
B-C유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	41.6	39.2
프로판	MJ/kg	TJ/Gg	50.4	46.3
부탄	MJ/kg	TJ/Gg	49.6	45.6
나프타	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	32.3	30.0
용제	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	33.3	31.0
항공유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	36.5	34.1
아스팔트	MJ/kg	TJ/Gg	41.5	39.2
윤활유	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	39.8	37.0
석유코크스(고체)	MJ/kg	TJ/Gg	33.5	31.6
부생연료1호1)	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	36.9	34.3
부생연료2호2)	MJ/L	TJ/1000m <sup>3</sup>	40.0	37.9
천연가스(LNG)	MJ/kg	TJ/Gg	54.6	49.3
도시가스(LNG)	MJ/Nm <sup>3</sup>	TJ/1,000,000Nm <sup>3</sup>	43.6	39.4
도시가스(LPG)	MJ/Nm <sup>3</sup>	TJ/1,000,000Nm <sup>3</sup>	62.8	57.7
국내무연탄	MJ/kg	TJ/Gg	18.9	18.6
연료용 수입무연탄	MJ/kg	TJ/Gg	21.0	20.6
원료용 수입무연탄	MJ/kg	TJ/Gg	24.7	24.4
유연탄(연료용)	MJ/kg	TJ/Gg	25.8	24.7
유연탄(원료용)	MJ/kg	TJ/Gg	29.3	28.2
아역청탄	MJ/kg	TJ/Gg	22.7	21.4
코크스(석탄)	MJ/kg	TJ/Gg	29.1	28.9
전력(발전기준)	MJ/kWh	TJ/GWh	8.8	8.8
전력(소비기준)	MJ/kWh	TJ/GWh	9.6	9.6

\* 출처: 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침 별표 22, 환경부고시 제 2016-255호, 2016.12.30

## 1.2 연구의 범위 및 방법

배출계수는 기본적으로 온실가스 배출량 통계(Inventory) 작성을 위해 사용된다. 즉, 온실가스 배출량 통계는 실제 사용된 연료유의 양에 배출계수를 곱하여 산정하는 방법을 가장 일반적으로 사용한다.

원칙적으로 선박에서 배출되는 온실가스 배출량 통계를 산정하는 방법은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이, 4가지 방법이 있다.

- (1) “연료유 수급 영수증(Bunker Fuel Delivery Note, BDN)”을 이용하여 연료유사용량을 산정하고 이에 배출계수를 곱하여 산정하는 방법,
- (2) “연료유 탱크의 액면계”를 측정하여 연료유 사용량을 산정하고 이에 배출계수를 곱하여 산정하는 방법,
- (3) “연료유용 유량계”를 설치하고 유량계에서 측정된 연료유 사용량에 배출계수를 곱하여 산정하는 방법,
- (4) “연소가스 배출관”에 온실가스 계측장치를 설치하여 실제 배출되는 온실가스의 양을 직접 측정하는 방법이 있다.

Fig. 1에서도 알 수 있듯이, 4가지 방법은 중 온실가스 계측장치를 이용하여 배출되는 온실가스의 양을 직접적으로 계측하는 방법이 가장 정확하겠지만, 이는 매우 큰 비용이 수반되기 때문에 현실적으로 불가능한 방법이라 할 수 있다. 또한, 탱크의 액면계를 이용하는 방법이나 유량계를 이용하는 방법 또한 상당한 비용이 필요하므로, 실제 선박에 적용하는 것은 상당히 어려울 것으로 판단된다. 연료유 탱크에 보관되어 있는 연료유의 양을 모니터링 하여 연료유 사용량을 산정하는 방법 또한 환경적인 문제로 인해 현실적인 방법은 아닌 것으로 판단된다.

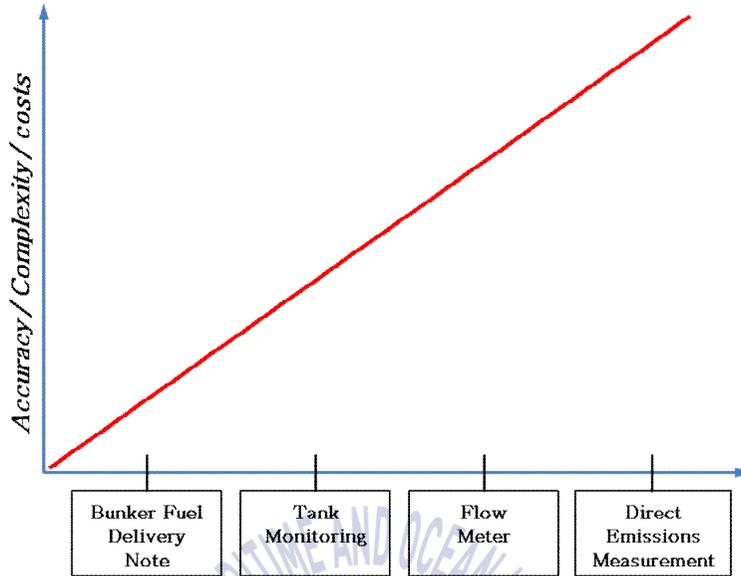


Fig. 1 온실가스 배출량 통계 작성 방법론

\*출처: MEPC 65/INF.3

따라서, BDN을 이용하여 연료유 사용량을 산정하고, 산정된 연료유 사용량에 배출계수를 곱하여 온실가스 배출량을 산정하는 방법이 가장 저렴하고 적합한 일반적인 방법으로 판단하고 적용하였다.

이러한 상황에서 온실가스 배출량 통계의 정확도를 높이기 위해서는 BDN을 이용하여 산정되는 연료유 사용량 산정방법의 정확도 향상과 배출계수의 정확도 향상이 필요하다.

배출계수의 정확도를 높이기 위해서는 다양한 접근방법이 가능하지만, 연료유 분류체계를 명확하게 정리하고 분류체계별로 상세한 배출계수를 정하는 방법이 가장 합리적인 방법인 것으로 판단된다.

배출계수는 일반적으로 Tier 1, Tier 2 및 Tier 3로 구분하는데, Tier 1은 IPCC에서 정한 배출계수, Tier 2는 각 국가의 고유 배출계수 그리고 Tier 3는 특정 배출원(대형 공장 등)용 배출계수를 의미한다. Tier 1, Tier 2 및 Tier 3의 배출계수에 대한 IPCC Guideline에서의 정의는 Table 5와 같다.

Table 5 배출계수 정의

배출계수		구분	적용기간	출 처	종류
Tier1 계수	기본배출계수	- 목표관리 지침에 명시된 기본 배출계수 또는 온실가스종합정보센터에서 제시하는 기본 계수	- 적용기간은 별도로 명시되지 않음	- 온실가스·에너지목표관리 운영 등에 관한 지침 - 온실가스종합정보센터 제공	- 기본 배출계수
Tier2 계수	국가 고유 배출계수	- 온실가스종합정보센터에서 검증·공표한 국가 고유 배출계수	- 배출활동 별로 Tier2 계수 적용범위 및 적용기간 등이 명시되는 경우가 있음	- 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침 - 온실가스종합정보센터 공표	- 국가 고유 배출계수 - 국가 고유 전력 간접 배출계수 - 국가 고유 열 간접 배출계수
Tier3 계수	사업장 고유 배출계수	- 사업장에서 실험·분석을 통해 개발·보고한 배출계수로서, Tier1~2 계수에 규정되지 않은 사업장 자체적으로 개발 적용한 모든 배출계수를 포함	- 배출계수가 개발된 기간의 배출량 산정시에만 적용	- 명세서	- 사업장 고유 배출계수

\*출처: 사업장 고유 배출계수 개발 가이드라인, 온실가스종합정보센터

본 논문에서 도출하고자 하는 배출계수는 Tier 2에 해당되는 배출계수이다. Tier 2 배출계수는 국무총리실 산하의 “온실가스종합정보센터”에서 고시하는 국가 고유 배출계수가 있으나, 현실적으로 이를 국내 연안 분야에 적용하기는 어려우므로, 국내 연안 해운 적용할 수 있는 별도의 국가 고유 배출계수의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

또한, “온실가스종합정보센터”에서 정하고 있는 Tier 2 국가 고유 배출계수는 “온실가스 배출량/발열량”의 단위를 가지지만, IMO(International Maritime Organization)에서 정하는 배출계수는 “온실가스 배출량(질량)/연료유사용량(질량)”의 단위를 가지고 있으며, 일반적으로 국내 연안 해운 업계에서는 IMO형식의 배출계수를 주로 사용하고 있는 현실이다.

본 논문을 통하여 IPCC Guideline 의 배출계수와 IMO 형식의 배출계수를 산출하여 배출량을 비교하였으며, 두 가지 형식의 상관관계를 분석하였다.



### 1.3 배출량 산정 방법론

일반적으로 대기오염 관리는 대기오염물질의 현황 및 인과관계를 규명하고, 현재의 오염물질 방지 또는 처리 기술과 경제적, 사회적 여건을 고려하여 합리적인 저감 대책을 모색하는 것이다. 이를 위해 대기오염물질별로 무엇이 어디서 얼마만큼 배출되는지에 대한 규명 이 가장 먼저 선행되어야 하며, 더 나아가 개별 배출원 들에 대한 오염물질 별 배출량에 대한 정확한 조사와 합리적 방법론으로 시·공간 분포에 대한 정량적인 확인이 필요하다. 이를 위해 효율적인 대기환경정책 수립을 위한 기반자료로 국내 연근해 선박에 대한 대기오염물질 및 온실가스 배출량 자료 확보가 필요하며, 과학적인 활동도 자료 수집 체계 구축과 배출계수 선정이 필요하다. 이에 본 가이드라인에서는 국내 연근해에서 운항 중인 선박(연안 여객선, 연안화물선, 어선)에 대해 대기오염물질 및 온실가스 배출량 을 산정하기 위한 방법론 및 배출계수와 적용되는 활동도 자료에 대한 전반적인 내용을 정리하였다.(국립환경과학원, 국내 연근해 선박 오염물질 배출량 산정방법, 2015)

#### 1.3.1 하향식 배출량 산정 방법론(Top-Down Approach)

배출목록 작성 시 적용되는 배출량 산정의 가장 기본적인 원리는 ‘활동도(Activity level)’와 ‘배출계수(Emission factor)’의 곱의 관계로 표현된다. 해당 배출원의 활동도를 통계적으로 지수화한 다음, 그 활동도에 활동도 수준별 배출계수를 곱함으로써 배출량을 산정하는 것이 일반적인 방법이다. 배출량 산정 시 활동도는 배출계수의 형태와 밀접하게 연결되기 때문에 활동도의 선택과 취합은 사전에 합리성을 바탕으로 연구 및 측정되어야 하며, 하향식 배출량 산정 방법론(TDA)의 경우에는 Tier 1과 Tier 2로 구분하여 정리할 수 있다. Tier 1과 Tier 2는 배출량 산정 시 기본 활동도의 지표로 연료사용량 정보를 사용하고, 선박 종류별로 평균화된 특성을 가정하여 계산하는 방법으로 선박의 운항정보를 기초로 하여 배출량을 산정하는 방법이다. 아래의 수식은 하향식 배출량 산정 방법론 중 Tier 1에 대한 수식을 식(1)에 정리하였다. (국립환경과학원, 국내

연근해 선박 오염물질 배출량 산정방법, 2015)

$$E_i = \sum_m (FC_m \times EF_{i,m}) \quad (1)$$

여기서,

- $E_i$  : 오염물질  $i$ 의 배출량(tonnes)
- $FC_m$  : 선박분야의 연료  $m$ 의 판매량(tonnes)
- $EF_{i,m}$  : 오염물질  $i$ , 연료  $m$ 에 대한 배출계수 (kg/tonne)
- $m$  : 연료종류

(Bunker Fuel Oil, Marine Diesel Oil, Marine Gas Oil)

선박과 관련된 구체적인 자료의 획득이 가능하다면 Tier 2 방법을 적용할 수 있으며, 이를 통해 다양한 요인분석과 향후 저감대책 및 시나리오 분석이 용이할 수 있다. Tier 2는 Tier 1과 같이 연료종류 별 소비량 자료에 기초하지만 연료별 소모가 발생하는 선박들의 엔진제원(기본적으로 저속, 중속, 고속엔진)에 대한 분류가 필요하기 때문에 “기술적 분류”에 의한 방법이라고 할 수 있으며, 아래 식(2)와 같이 정리된다. (국립환경과학원, 국내 연근해 선박 오염물질 배출량 산정방법, 2015)

$$E_i = \sum_m \left( \sum_j FC_{m,j} \times EF_{i,m,j} \right) \quad (2)$$

여기서,

- $E_i$  : 오염물질  $i$ 의 배출량(tonnes)
  - $FC_m$  : 엔진형태  $j$ 인 선박에 대한 연료  $m$ 의 소비량(tonnes)
  - $EF_{i,m,j}$  : 연료  $m$ 을 사용하는 엔진형태  $j$ 인 선박의 오염물질  $i$ 에 대한 배출계수(kg/tonne)
  - $m$  : 연료종류
- (Bunker Fuel Oil, Marine Diesel Oil, Marine Gas Oil)
- $j$  : 연료형태

### 1.3.2 상향식 배출량 산정 방법론(Bottom-Up Approach)

상향식 배출량 산정 방법론(BUA)은 선박엔진에 대한 제원, 연료사용, 가동주기 뿐만 아니라 선박의 상세한 운항정보에 대한 수집이 가능할 때 이용할 수 있으며, 개별 선박의 실제 운항이 고려되기 때문에 해당 선박에 대한 배출량을 산정할 수 있다. 이 방법론에 따라 선박부문의 배출량을 산정할 때는 다른 배출부문의 에너지 소비를 고려하여 국가 전체의 에너지 소비와 균형을 맞추어야 하기 때문에 정합도 분석 등의 지속적인 에너지 소비 보정이 필요하다.

Tier 3 수준의 상향식 배출량 산정 방법론은 해당 선박의 개별 운항모드에 따른 배출의 합으로 계산되며, 운항모드는 크게 항해모드(Cruising), 접안(Maneuvering), 정박(Hotelling)으로 구분할 수 있고, 그 내용을 계산식으로 표현하면 아래 식(3), 식(4), 식(5)와 같다.(국립환경과학원, 국내 연근해 선박 오염물질 배출량 산정방법, 2015)

#### (1) 기본 산정식

$$E_{voyage} = E_{Hotelling} + E_{Maneuvering} + E_{Cruising} \quad (3)$$

#### (2) 개별 구간의 배출량 산정식

$$\begin{aligned} E_{Phase} &= Time_{Phase} (hours) / 24 \\ &\times Fuel\ Consumption_{Phase} \\ &\times EF_{pollutant} \end{aligned} \quad (4)$$

#### (3) 선박 이동시간(Cruising Time)

$$\begin{aligned} Time_{cruising} (hours) &= \\ &\sum \frac{Distance\ Cruised(km)}{Average\ Cruising\ Speed(km/hr)} \end{aligned} \quad (5)$$

## 1.4 연안해운용 배출계수 개발 필요성

국내 연안해운의 온실가스 배출량을 정확하게 산정하기 위해서는 연안해운용 국가 고유 배출계수의 개발이 반드시 필요하다. “온실가스종합정보센터”에서 정하고 있는 배출계수는 “온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침”에 따라 산정되어 있다. “온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침”의 별표 16 “배출활동별 온실가스 배출량 등의 세부산정방법 및 기준”의 “7. 이동연소(선박)”에서는 IPCC Guideline에서 정하는 배출계수를 선박분야에 그대로 적용하고 있다고 규정하고 있다. IPCC Guideline에서 정하는 배출계수는 전 세계에서 사용되는 모든 연료유의 평균을 대상으로 배출계수를 산정한 것이고, 연료유를 Gas/Diesel Oil과 Residual Fuel Oil로만 분류하고 있어, 국내 연안 해운 분야에 적용하기에는 그 정확도가 그리 높지 못하다는 단점이 있으므로, 연안해운용 국가 고유 배출계수의 개발이 필요하다.

IPCC Guideline에서 정하는 배출계수 대신에 IMO에서 정하고 있는 EEDI(Energy Efficiency Design Index)용 배출계수를 국내 연안 해운 분야에 적용할 수 있으나, 이 또한 정확도가 상당히 떨어진다는 단점을 가진다. Fig. 2와 Fig. 3에서 알 수 있듯이, 국제적으로 통용되는 연료유 분류체계인 ISO 8217에서는 선박용 경유(Marine Distillate Fuels)를 4종류, 선박용 잔사유 (Marine Residual Fuels)를 11종류로 분류하고 있지만, IMO 배출계수는 연료유를 “Diesel/Gas Oil”, “Light Fuel Oil (LFO)” 및 “Heavy Fuel Oil (HFO)”로 분류하고 있어, 하나의 배출계수가 너무나도 많은 종류의 연료유에 적용되게 되어 있으며, 이로 인해 IMO 배출계수를 적용하여 작성된 온실가스 배출통계는 정확도가 상당히 떨어질 것으로 판단되므로, 연안해운용 국가 고유 배출계수의 개발이 필요하다.

CF: 3.206

Parameter	Unit	Limit	DMX	DMA	DMZ	DMB
Viscosity at 40°C	mm <sup>2</sup> /s	Max	5.5	6	6	11
Viscosity at 40°C	mm <sup>2</sup> /s	Min	1.4	2	3	2
Micro Carbon Residue at 10% Residue	% m/m	Max	0.3	0.3	0.3	–
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	Max	–	890	890	900
Micro Carbon Residue	% m/m	Max	–	–	–	0.3
Sulphur	% m/m	Max	1	1.5	1.5	2
Water	% V/V	Max	–	–	–	0.3
Total sediment by hot filtration	% m/m	Max	–	–	–	0.1
Ash	% m/m	Max	0.01	0.01	0.01	0.01
Flash point	0°C	Min	43	60	60	60
Pour point, Summer	0°C	Max	0	0	0	6
Pour point, Winter	0°C	Max	-6	-6	-6	0
Cloud point	0°C	Max	-16	–	–	–
Calculated Cetane Index		Min	45	40	40	35
Acid Number	mgKOH/g	Max	0.5	0.5	0.5	0.5
Oxidation stability	g/m <sup>3</sup>	Max	25	25	25	25
Lubricity, corrected wear scar diameter (wsd 1.4 at 60°C)	um	Max	520	520	520	520
Hydrogen sulphide	mg/kg	Max	2	2	2	2
Appearance			Clear & Bright			

**Fig. 2** ISO 8217에 따른 연료유 분류와 IMO 배출계수와의 관계(MDO)

Parameter	Unit	Limit	CF: 3.151			C <sub>F</sub> : 3.114							
			RMA	RMB	RMD	RME	RMG				RMK		
			10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700
Viscosity at 50°C	mm <sup>2</sup> /s	Max	10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	Max	920	960	975	991	991				1010		
Micro Carbon Residue	% m/m	Max	2.5	10	14	15	18				20		
Aluminium + Silicon	mg/kg	Max	25	40		50	60						
Sodium	mg/kg	Max	50	100		50	100						
Ash	% m/m	Max	0.04	0.07		0.1			0.15				
Vanadium	mg/kg	Max	50	150		350			450				
CCAI	-	Max	850	860		870							
Water	% V/V	Max	0.3	0.5									
Pour point (upper), Summer	°C	Max	6		30								
Pour point (upper), Winter	°C	Max	0		30								
Flash point	°C	Min	60										
Sulphur	% m/m	Max	Statutory requirements										
Total Sediment, aged	% m/m	Max	0.1										
Acid Number	mgKOH/g	Max	2.5										
Used lubricating oils (ULO): Calcium and Zinc; or Calcium and Phosphorus	mg/kg	-	The fuel shall be free from ULO, and shall be considered to contain ULO when either one of the following conditions is met:										
Hydrogen sulphide	mg/kg	Max	2										

Fig. 3 ISO 8217에 따른 연료유 분류와 IMO 배출계수와의 관계(HFO)



## 1.5 연안해운용 연료유 사용 동향

육상분야에서는 연료유를 휘발유, 경유, 중유 (B-A, B-B, B-C) 등으로 간단하게 분류하고 있지만, 국내 연안 해운분야에는 경유와 중유를 혼합한 혼합유 (Blending Oil)를 주로 사용하고 있으며, 이러한 혼합유(예: MDO, MF-30, MF-380 등)의 특성은 육상에서 분류하고 있는 연료유 분류체계와 해당 분류체계에 기반 하여 개발된 배출계수에서 충분히 반영할 수 없기 때문에 국내 연안 해운분야의 온실가스 배출량 통계 작성에서 매우 큰 오차를 발생시킬 것으로 판단된다. 따라서 국내 연안 해운분야에서 사용되는 연료유의 특성을 충분히 고려할 수 있도록, 연안해운용 국가 고유 배출계수 개발에 앞서서, 혼합유를 고려한 연료유 분류체계로 연료유 분류체계를 정비하고, 정비된 연료유 분류체계를 기반으로 하여 연안해운용 국가 고유 배출계수를 개발하는 것이 가장 효율적인 방법일 것으로 판단된다.

국내 연안해운용 국가 고유 배출계수는 온실가스 배출량 산정이 국제 해운 분야의 온실가스 배출량 산정과 괴리가 발생하지 않도록 하는 방안에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 선박은 기본적으로 국가 간에 여객 및 화물을 운송을 목적으로 하는 수송 기계이므로, 특정 국가의 법령만으로 선박을 관리 및 통제하기가 불가능하기 때문에, UN산하의 국제해사기구(IMO)에서 국가 간 항해인 국제항해를 하는 모든 선박에 적용되는 안전 및 환경보호 요건 등을 정하고 있으며, 모든 국제 항해 선박이 IMO의 요건을 적용받고 있다. 또한, 특정 국가의 국내 연해만을 운항하는 선박은 해당 국가의 법령을 적용받게 되는데, 거의 모든 국가들이 IMO의 요건을 국내 법령으로 도입하고 국내 연해만을 운항하는 선박에 적용하기 곤란한 몇몇 사항만을 제외하고 IMO 요건 거의 대부분을 국내 연해 선박에 적용하고 있기 때문에 IMO 형식의 배출계수 개발이 국내 연안 해운분야 온실가스 배출량통계의 정확도 향상을 위해 바람직한 방법이라 할 수 있다.

## 1.6 대표 연료유 선정

선박안전관리공단(KST)이 2016년에 실시한 2015년 연안 해운 온실가스·에너지소비량 일제조사의 결과표를 Fig. 4에 나타냈다. 일제조사 결과, MDO(B-A 포함), MF-180, MF-380이 가장 많이 사용된 것으로 파악되었다.

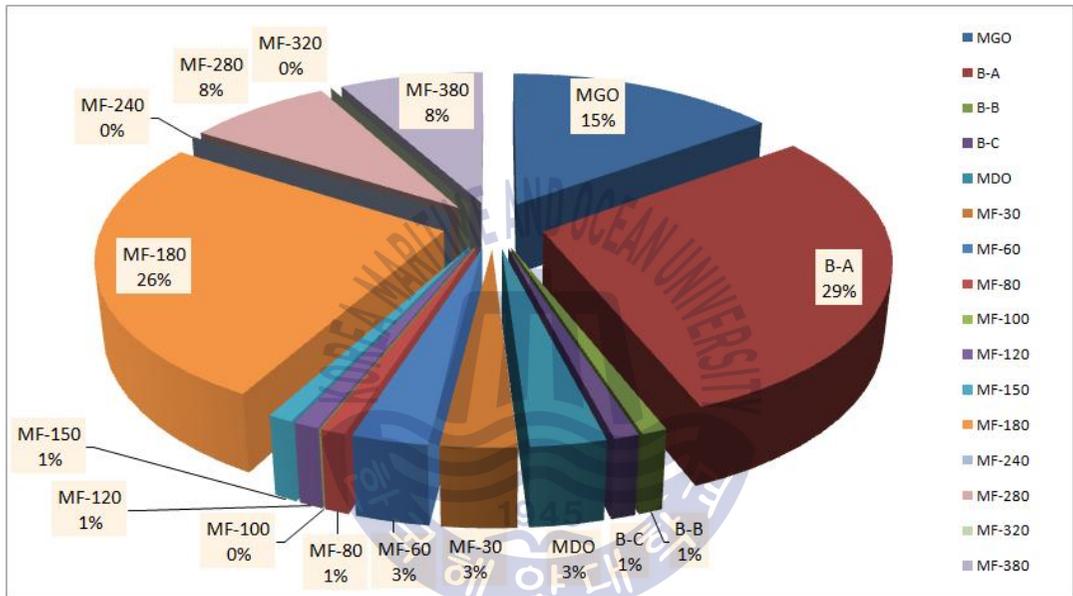


Fig. 4 2015년 국내 연안해운의 유종별 사용량

\*출처: 2015년 연안 해운 온실가스·에너지소비량 일제조사, KST

본 논문에서 배출계수 도출은 기본적으로 매우 많은 종류의 연료유에 대한 샘플링 및 정상분석이 필요하다고 판단되어 국내 해운업계에서 가장 많이 사용되는 MGO를 제외한 MDO 3개 유종에 대해 각각 3개씩의 연료유를 샘플링 하여 정상분석을 실시하였다. 배출계수는 기본적으로 연료유의 탄소함유량과 연계되어 있으며, 연료유의 탄소함유량을 정확하게 파악하기 위해서는 연료유를 직접 분석하였다.

## 제 2 장 연료유 분류 체계 정비

### 2.1 연안 해운 분야 통용 연료유 분류 체계

본 논문의 최종 목표는 국내에서 사용되고 있는 선박용 연료유 분류체계를 정비하고, 정비된 분류체계에 따라 배출계수를 도출하는 것이다.

현재 국내 연안 해운 분야에서 주로 통용되는 선박용 연료유 분류체계는 Table 6과 같다. Table 6은 국토해양부 고시인 “국토해양부 유가보조금 지급 지침”에 포함되어 있던 내용으로 해양수산부가 국토해양부로부터 독립한 이후에 동일한 내용을 다시 고시한 “내항화물운송사업자 유류세보조금 지급 지침”에서는 삭제된 내용이지만, 국내 선박용 연료유 공급시장에서 일반적으로 사용되고 있는 상황이다.

Table 6에 나타낸 연료유 분류체계는 유류세 보조금의 지급대상인 경유의 양에 대한 표준을 제시한 것으로서, 아래와 같은 문제점을 가지고 있다.

연료유의 종류에서 MF 다음에 표시되어 있는 숫자는 40℃ 또는 50℃에서의 동점도(kinematic viscosity, 단위: cSt)를 의미하는 것으로 추정되지만, 경유와 중질유를 혼합하여 혼합연료유를 제조하는 과정에서, 경유와 중질유를 동일한 비율로 혼합한다고 하더라도 중질유의 종류에 따라 혼합유의 점도가 모두 달라지는데, 이를 전혀 고려하지 못하고 있다는 문제점이 있다.

**Table 6** 국내 연안 해운에서 통용되는 연료유 분류 체계

연료유의 종류	경유 함유율	중질유함유율
MGO	100	0
MDO	78.58	21.42
MF-30	39.03	60.97
MF-60	26.68	73.32
MF-80	21.80	78.20
MF-100	17.27	82.73
MF-120	14.85	85.15
MF-150	11.60	88.40
MF-180	9.40	90.60
MF-240	6.37	93.63
MF-280	4.60	95.40
MF-320	3.80	96.20
MF-380	1.17	98.83
B-A	0	100
B-B(LRFO)	0	100
B-C	0	100

\*출처: 국토해양부 유가보조금 지급 지침(국토해양부 대중교통과-612, 2009.06.26.)

“내항화물운송사업자 유류세보조금 지급 지침”에서는 B-A, B-B(LRFO) 및 B-C를 모두 100% 중질유로 구분하고 있으나 실제 유통되는 연료유에서 B-A와 B-B(LRFO)는 경유가 각각 70%와 30% 정도 혼합되어 있으며, 이러한 실제 상황을 고려할 때 Table 6의 분류체계는 상당한 오류를 가지고 있는 것으로 판단된다.

이러한 문제점들을 고려할 때, Table 6에 제시되어 있는 연료유 분류체계를 활용하여 작성된 온실가스 배출통계는 정확도가 상당히 떨어질 것으로 판단되며, 정비된 분류체계에 따라 배출계수를 도출할 필요성이 있다.

## 2.2 정부의 연료유 분류 체계

국내에서 유통되는 연료유에 대해 정부가 고시하고 있는 분류체계는 “석유 및 석유대체연료 사업법” 제24조 및 “석유 및 석유대체연료 사업법 시행규칙” 제33조 및 제33조의2에 따라 고시된 “석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시”가 있다.

정부의 석유제품 “석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시”에서 선박용 연료유에 대해서는 별표의 3항과 4항에서 다루고 있으며, 그 내용은 Table 7 및 Table 8과 같다.

선박에서 연료유로 사용되는 MGO는 Table 7에 표시되어 있는 선박용 경유이며, 해당 연료유의 다양한 성상을 명확하게 규정하고 있음을 알 수 있다.

또한, Table 8은 “석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시”에서 정하고 있는 중유에 대한 분류체계로서, 중유를 A 중유, B 중유 및 C 중유로 분류하고 있다. 이는 국제적으로 해운업계에서 통용되는 ISO 8217: 2012의 중유 분류와 비교해 볼 때 너무 느슨한 분류인 것으로 판단된다. 특히, C 중유의 경우, 동점도의 범위가 51~540 cSt 이어서 그 범위가 너무 넓어 동일한 C 중유라고 하더라도 너무 다양한 종류의 연료유가 존재할 수 있으므로, 좀 더 상세하게 분류할 필요가 있는 것으로 판단된다.

**Table 7** 정부고시 연료유 분류 체계 - 경유

3. 경유

경유는 디젤엔진 또는 이와 유사한 내연기관의 연료로서 다음의 품질기준에 적합하여야 한다. 단, 자동차용 및 선박용 이외 용도로 사용하는 경유는 자동차용 등급을 적용한다.

항목	등급	자동차용	선박용
유동점 (°C)		0.0 이하 (겨울용 : -17.5 이하)	0.0 이하 (겨울용 : -12.5 이하)
인화점 (°C)		40 이상	
동점도 (40°C, mm <sup>2</sup> /s)		1.9이상~5.5 이하	1.5 이상~6.0 이하
증류성상 (90%유출온도, °C)		360이하	-
10% 잔유중 잔류탄소분 (무게%)		0.15 이하	0.20 이하
물과 침전물 (부피%)		0.02이하	
황분 (mg/kg)		10 이하	0.05 이하(무게%)
회분 (무게%)		0.02 이하	0.01 이하
세탄값 (세탄지수)		52 이상	40 이상
동판부식 (100°C, 3h)		1 이하	
필터막힘 점 (°C)		-18 이하	-
운활성@60°C (HFRR 마모흔경, μm)		400 이하	-
밀도@15°C (kg/m <sup>3</sup> )		815 이상~835 이하	-
다고리방향족 함량 (무게%)		5 이하	-
방향족화합물 함량 (무게%)		30 이하	-
바이오디젤 함량 (부피%)		2 이상 5 이하	-
색(육안식별)		-	빨간색

\*출처: 석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시  
(산업통상자원부 고시 제2015-140호, 2015.07.24.)

**Table 8** 정부고시 연료유 분류 체계 - 중유

4. 중유  
중유는 내연기관용, 보일러용 및 각종 노(furnace)용 등의 연료로서 다음의 품질기준에 적합하여야 한다.

항목 \ 등급	A 중유	B 중유	C 중유
인화점 (°C)	60 이상	65 이상	70 이상
동점도 (50°C, mm <sup>2</sup> /s)	20 이하	50 이하	540 이하
유동점 (°C)	5.0 이하	10.0 이하	-
잔류탄소분 (무게%)	8 이하	12 이하	-
물과 침전물 (부피%)	0.5 이하	0.5 이하	1.0 이하
회분 (무게%)	0.05 이하	0.10 이하	-
황분 (무게%)	2.0 이하	3.0 이하	4.0 이하

\*출처: 석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시 (산업통상자원부 고시 제2015-140호, 2015.07.24.)

특히, Table 7에서 정하고 있는 인화점 40°C 이상은 SOLAS협약 Reg. II-2/4.2.1과 관련 지침인 MSC.1/Circ.1321의 요건 및 선박기관규칙 147조의 규정에 적합하지 않아 향후 정비가 필요할 것으로 판단되며, SOLAS 협약과 선박기관규칙의 요건을 정리하면 Table 9와 같다.

Table 9에서 알 수 있듯이, 인화점이 60°C 이하인 연료유를 선박에서 사용하기 위해서는 매우 많은 안전조치가 필요하며, 실제로 이를 만족시킬 수 있도록 안전설비를 갖춘 선박은 거의 없다고 할 수 있다 비록, 실제로 선박에 공급되는 MGO의 인화점이 60°C 이상일 확률이 매우 높다고 하더라도, 관련 법령에서 인화점을 40°C 이상으로 관리하는 것은 문제의 소지가 있으므로, 이에 대한 정비가 필요할 것으로 판단된다.

**Table 9** 인화점 60℃ 미만의 연료유에 대한 안전요건

연료유의 인화점	SOLAS Reg.II-2/4.2.1 & MSC.1/Circ.1321	선박기관규칙 147조
43~60℃	- 비상발전기용 연료로 사용가능	- 총톤수 100톤 미만의 선박에는 관련 요건 미적용
	- 이중저 연료유 탱크를 제외하고 모든 연료유 탱크는 A류 기관 구역 외부에 설치	- 동일 - 다만, 1종선 이외의 선박 및 어선에 설치되는 용량 1킬로리터 이하의 연료유 탱크는 적용 제외
	- 연료유 펌프의 흡입측에 온도측정장치 설치	- 동일
	- 연료유 여과기 입구와 출구측에 스톱밸브 및/또는 콕을 설치	- 동일
	- 연료유 관은 용접구조이거나 원추형 또는 구면형 유니언으로 접합	- 동일
	- 연료유 관련 보기 및 관장치가 설치된 장소의 온도가 연료유 인화점으로부터 10℃ 낮은 온도 까지 상승하지 아니할 것.	- 동일
43℃ 이하	- 사용 금지	- 총톤수 100톤 미만의 선박에는 관련 요건 미적용 - 연료유탱크는 기관구역 외부에 설치. 다만, 1종선 이외의 선박과 어선에 설치되는 용량 1킬로리터 이하의 연료유 탱크 및 비상발전기의 원동기에 사용하는 연료유 탱크는 적용 제외 - 인화점이 43~60℃인 연료유에 적용되는 요건 동일하게 적용

## 2.3 국내 표준

한국산업표준(KS)에서 선박용 연료유 관련 표준은 KS M 2614: 2015 “중유”와 KS M ISO 8217: 2013 “석유제품-연료(F등급)-선박유의 규격”이 있다.

KS M 2614: 2015에서 규정하고 있는 중유 분류체계의 상세 내용은 Table 10과 같으며, 산업통상자원부의 고시인 “석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시”에서 규정하고 있는 중유의 분류를 조금 더 상세하게 분류한 것이라고 할 수 있다.

Table 10에서 알 수 있듯이, KS M 2614: 2015의 중유 분류체계는 산업통상자원부의 고시인 “석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시”의 중유 분류와 동일하게 A중유, B중유 및 C중유로 분류하고 있다. 중유의 물리적 성상으로 규정하고 있는 반응, 인화점(°C), 동점도(50°C, mm<sup>2</sup>/s), 유동점(°C), 잔류탄소(%(m/m)), 수분 및 침전물(%(V/V)) 및 회분(%(m/m))에 대해서는 A중유, B중유 및 C중유 각각에 대해서 동일한 표준을 정하고 있고, 황분(%(m/m))에 대해서만, 1호, 2호 및 3호에 대해 다른 성분을 규정하고 있다.

따라서 KS M 2614: 2015의 중유 분류는 기본적으로 산업통상자원부의 고시인 “석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시”에서 규정하고 있는 중유의 분류와 동일하며, 황성분에 대해서만 저유황유 및 고유황유를 구분할 수 있도록, 각 중유 분류별로 1호, 2호 및 3호로 구분하고 있음을 알 수 있다.

국제 표준 분야에서 별도로 설명하겠지만, 국제 표준인 ISO 8217에서는 중유의 황성분에 대해 정부의 요건(Statutory requirements)에 따르도록 규정한 것과는 대비되는 것으로, IMO의 황산화물 규제를 국내법에 도입할 경우에는 반드시 정비되어야 하는 사항으로 판단된다.

Table 10 KS의 중유 분류

종류		성상							
		반응	인화점 ℃	동점도 (50℃) mm <sup>2</sup> /s	유동점 ℃	잔류탄소 % (m/m)	수분 및 침전물 % (V/V)	회분 % (m/m)	황분 % (m/m)
A중유	1호	중성	60 이상	20 이하	5 이하	8 이하	0.5 이하	0.05 이하	0.5 이하
	2호	중성	60 이상	20 이하	5 이하	8 이하	0.5 이하	0.05 이하	1.0 이하
	3호	중성	60 이상	20 이하	5 이하	8 이하	0.5 이하	0.05 이하	2.0 이하
B중유	1호	중성	65 이상	50 이하	10 이하	12 이하	0.5 이하	0.10 이하	0.5 이하
	2호	중성	65 이상	50 이하	10 이하	12 이하	0.5 이하	0.10 이하	1.0 이하
	3호	중성	65 이상	50 이하	10 이하	12 이하	0.5 이하	0.10 이하	3.0 이하
C중유	1호	중성	70 이상	540 이하	-	-	1.0 이하	-	0.5 이하
	2호	중성	70 이상	540 이하	-	-	1.0 이하	-	1.0 이하
	3호	중성	70 이상	540 이하	-	-	1.0 이하	-	4.0 이하

\*출처: KS M 2614: 2015, “중유”

## 2.4 국제 표준

국제적으로 통용되는 선박용 연료유 관련 표준은 ISO 8217: 2012가 유일하다고 할 수 있다. ISO 8217: 2012 이외에도 다양한 연료유 표준이 존재할 수 있지만, IMO에서도 ISO 8217: 2012을 연료유 표준으로 도입하고 있으며, 거의 대부분의 해운회사 및 원양항해 화물선에 연료유를 공급하는 연료유 공급업자들이 ISO 8217: 2012을 연료유 표준으로 사용하고 있으므로, 여기에서도 ISO 8217: 2012에 대해서만 검토하였다.

ISO 8217: 2012에서는 선박용 연료유를 선박용 정제유(Marine Distillate Fuels)와 선박용 잔사유 (Marine Residual Fuels)로 구분하여 연료유의 분류를 구분하고 있으며, 자세한 내용은 Table 11 및 Table 12와 같다.

Table 11 및 Table 12에서 알 수 있듯이, ISO 8217: 2012에서는 선박용 정제유와 선박용 잔사유를 동점도 기준으로 크게 구분하고 있으며, 각각의 분류에 대해 각종 물성치를 자세하게 규정하고 있다.

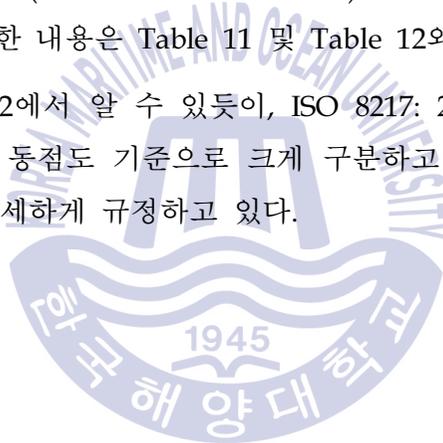


Table 11 선박용 연료유(정제유) 표준(ISO 8217: 2012)

Characteristics	Unit	Limit	Category ISO-F-				
			DMX	DMA	DMZ	DMB	
Kinematic viscosity at 40°C	mm <sup>2</sup> /s	max.	5.500	6.000	6.000	11.00	
		min.	1.400	2.000	3.000	2.000	
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	max.	-	890.0	890.0	900.0	
Cetane index	-	min.	45	40	40	35	
Sulfur	mass %	max.	1.00	1.50	1.50	2.00	
Flash point	°C	min.	43.0	60.0	60.0	60.0	
Hydrogen sulfide	mg/kg	max.	2.00	2.00	2.00	2.00	
Acid number	mg KOH/g	max.	0.5	0.5	0.5	0.5	
Total sediment by hot filtration	mass %	max.	-	-	-	0.10	
Oxidation stability	g/m <sup>3</sup>	max.	25	25	25	25	
Carbon residue: micro method on the 10 % volume distillation residue	mass %	max.	0.30	0.30	0.30	-	
Carbon residue: micro method	mass %	-	-	-	-	0.30	
Cloud point	°C	max.	-16	-	-	-	
Pour point (upper)	winter quality	°C	max.	-	-6	-6	0
	summer quality	°C	max.	-	0	0	6
Appearance	-	-	Clear and Bright				

**Table 12** 선박용 연료유(잔사유) 표준(ISO 8217: 2012)

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F-											
			RMA	RMB	RMD	RME	RMG				RMK			
			10	30	80	180	180	380	500	700	380	500	700	
Kinematic viscosity at 50°C	mm <sup>2</sup> /s	max.	10.00	30.00	80.00	180.0	180.0	380.0	500.0	700.0	380.0	500.0	700.0	
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	max.	920.0	960.0	975.0	991.0	991.0				1010.0			
CCAI	-	max.	850	860	860	860	870				870			
Sulfur	mass %	max.	Statutory requirements											
Flash point	°C	min.	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0				60.0			
Hydrogen sulfide	mg/kg	max.	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00				2.00			
Acid number	mg KOH/g	max.	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5				2.5			
Total sediment aged	mass %	max.	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10				0.10			
Carbon residue: micro method	mass %	max.	2.50	10.00	14.00	15.00	18.00				20.00			
Pour point (upper)	winter quality	°C	max.	0	0	30	30	30				30		
	summer quality	°C	max.	6	6	30	30	30				30		
Water	volume %	max.	0.30	0.50	0.50	0.50	0.50				0.50			
Ash	mass %	max.	0.040	0.070	0.070	0.070	0.100				0.150			
Vanadium	mg/kg	max.	50	150	150	150	350				450			
Sodium	mg/kg	max.	50	100	100	50	100				100			
Aluminium plus silicon	mg/kg	max.	25	40	40	50	60				60			
Used lubricating oils (ULO): -calcium and zinc; or -calcium and phosphorus	mg/kg	-	The fuel shall be free from ULO. A fuel shall be considered to contain ULO when either one of the following conditions is met: - calcium > 30 and zinc > 15; or - calcium > 30 and phosphorus > 15											

## 2.5 국내 업계 현황

국내 선박용 연료유 분류체계의 정비를 위해서는 국내 업계 현황에 대한 조사가 필요하다. ISO 8217: 2012 등 국제적으로 통용되는 연료유 분류체계를 직접적으로 국내에 도입할 경우에 국내의 관련업계에서 통용되는 분류체계와 ISO 8217: 2012의 분류체계 사이의 격차가 심할 경우, 새로이 도입되는 연료유 분류체계의 국내 정립이 어려워질 수 있기 때문에, 새로이 도입되는 분류체계는 국내 관련 업계에서 통용되는 분류체계를 충분히 고려하여야하기 때문이다.

국내 관련업계에서 통용되는 분류체계는 연료유 성상 분석을 위한 연료유 샘플링 작업과 함께 진행되었으며, 선사/선박에 대해서는 7건, 연료유 공급업자에 대해서는 5건이 진행되었다. 선사/선박 및 연료유 공급업자 중에서 자체적인 분류체계를 갖추고 있는 곳은 선사 1곳과 연료유 공급업자 2곳이 있었다.

별도의 연료유 분류체계를 갖추고 있지 않은 선사/선박은 일반적으로 통용되는 MDO, B-A, B-B, B-C 정도로 구분하여 사용하거나 “국토해양부 유가보조금 지급 지침”에서 정하고 있는 혼합유(Blending Oil)의 분류체계를 그대로 사용하고 있었으며, 별도의 연료유 분류체계를 갖추고 있지 않은 연료유 공급업자 또한 “국토해양부 유가보조금 지급 지침”에서 정하고 있는 혼합유(Blending Oil)의 분류체계를 그대로 사용하고 있었다.

“국토해양부 유가보조금 지급 지침”)이 연료유별 특성을 고려하고 있지 못하다는 점을 고려해 볼 때, 선박 운영 시에 많은 문제점이 발생할 수 있을 것으로 예상된다.

예를 들어, MF-180을 사용한다고 가정할 경우, “국토해양부 유가보조금 지급 지침”에서 정하고 MGO와 중유의 혼합비율대로 혼합한다고 하더라도, 중유의 점도가 일정하지 않기 때문에, 경우에 따라서는 매우 질이 나쁜 연료유가 공급될 수 있다.

이러한 경우, 연료유 공급 배관계통에 연료유 내에 존재하는 슬러지(Sludge) 성분 등으로 인해 발생하는 고점도의 물질이 배관 벽에 점착되는 문제가 발생

할 수 있으며, 이는 선박의 안전한 운항에 악영향을 미치게 된다. 또한, 질이 나쁜 연료유가 디젤엔진에 공급될 경우, 디젤엔진 연소실 내부에서 과도한 연소생성물의 발생, 마모의 증가 등이 발생할 수 있어, 디젤엔진의 수명 및 성능을 저하시키거나, 심한 경우, 디젤엔진의 고장을 유발할 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 상황을 고려해 볼 때, 중유의 분류체계를 명확하게 규정하고, 이를 통해, 연료유 사용자인 선사 및 선박이 공급되는 연료유의 성상을 대략적으로 예측하고, 선박 내에서 그에 맞는 조치를 취할 수 있도록, 명확한 연료유 분류체계가 도입되어야 할 것으로 판단된다.

Table 13 및 Table 14는 국내 연료유 공급업체의 자체 연료유 분류체계이며, Table 15는 국내 연안 해운 선사의 자체 연료유 분류체계이다.



**Table 13** 연료유 공급업체의 자체 연료유 분류 체계

구분	밀도@ 15℃ (kg/l)	동점도@ 50℃ (cSt)	인화점 (℃)	유동 점 (℃)	황분 (wt%)	잔류 탄소 (wt%)	회분 (wt%)	수분/ 협잡물 (Vol%)
MDO	0.910 이하	5.7 이하	60 이상	6 이하	2.0 이하	10 이하	0.1 이하	0.3 이하
MF-30	0.975 이하	30 이하	60 이상	6 이하	3.5 이하	10 이하	0.1 이하	0.5 이하
MF-40	0.975 이하	40 이하	60 이상	6 이하	3.5 이하	10 이하	0.1 이하	0.5 이하
MF-60	0.985 이하	60 이하	60 이상	30 이하	4 이하	14 이하	0.1 이하	0.5 이하
MF-80	0.975 이하	80 이하	60 이상	30 이하	4 이하	14 이하	0.1 이하	0.8 이하
MF-100	0.975 이하	100 이하	66 이상	30 이하	4 이하	14 이하	0.1 이하	1.0 이하
MF-120	0.991 이하	120 이하	66 이상	30 이하	4 이하	15 이하	0.15 이하	1.0 이하
MF-150	0.991 이하	150 이하	66 이상	30 이하	4 이하	15 이하	0.15 이하	1.0 이하
MF-180	0.991 이하	180 이하	66 이상	30 이하	4 이하	15 이하	0.15 이하	1.0 이하
MF-240	0.991 이하	240 이하	66 이상	30 이하	4 이하	18 이하	0.15 이하	1.0 이하
MF-280	0.991 이하	280 이하	66 이상	30 이하	4 이하	18 이하	0.15 이하	1.0 이하
MF-320	0.991 이하	320 이하	66 이상	30 이하	4 이하	18 이하	0.15 이하	1.0 이하
MF-380	0.991 이하	380 이하	66 이상	30 이하	4 이하	18 이하	0.15 이하	1.0 이하
MF-420	0.991 이하	420 이하	66 이상	30 이하	4 이하	22 이하	0.15 이하	1.0 이하
MF-460	0.991 이하	460 이하	66 이상	30 이하	4 이하	22 이하	0.15 이하	1.0 이하

**Table 14** 연료유 공급업체의 자체 연료유 분류 체계

Product	A.P.I. Gravity@ 60°F	Density @50 °C (kg/l)	Viscosity	Flash point °C	혼합비율 B/C:B/A	혼합비율 B/C:MGO
MGO	35.8	0.8459	3.59	72	-	-
MDO	32.4	0.8713	4.9	70	-	9:91
B-A	25.8	0.8975	13.84	75	-	30:70
LRFO	21.9	0.9345	42.16	80	60:40	70:30
MF-30	22.9	0.9309	28.2	76	55:45	62:38
MF-60	20.8	0.9419	56.4	82	70:30	74:26
MF-80	20	0.9462	75.2	85	75:25	79:21
MF-100	19.3	0.9493	94	87	80:20	83:17
MF-120	18	0.9518	112.8	90	82:18	86:14
MF-150	17.8	0.9547	141	94	86:14	89:11
MF-180	17.6	0.957	169.2	97	89:11	91:9
MF-240	17.2	0.9606	225.6	103	94:6	93:7
MF-280	16.9	0.9624	263.2	107	96:4	95:5
MF-380	15.7	0.9653	355.3	112	-	-

**Table 15** 국내연해 운항 선사의 자체 연료유 분류 체계

구분	Blend ratio (H/B-C)	Density 15(°C)	Viscosity @40°C	Viscosity @50°C	Flash point (°C)	Water (%)	Sulfur (%)
HSD	100:00	-	-	5.8 이하	50 이상	0.01 이하	0.05 이하
MDO	70:30	0.9 이하	-	10 이하	50 이상	0.1이하	2.0 이하
B-A	63:37	0.93이하	-	20 이하	60 이상	0.3 이하	2.0 이하
MF-180	10:90	0.991 이하	-	180 이하	60 이상	1.0 이하	3.5 이하
MF-280	5:95	0.991 이하	-	280 이하	60 이상	1.0 이하	-
MF-380	2:98	0.991 이하	-	380 이하	60 이상	0.5 이하	3.5 이하
B-C	단일제	0.999 이하	-	530 이하	66 이상	1.0 이하	3.5 이하

Table 13에서 특이한 점은 “국토해양부 유가보조금 지급 지침”과는 다르게 MF-420과 MF-460을 추가의 연료유 분류체계로 도입하여 관리하고 있다는 점이다. 이는 국내의 중질유 유통구조와 관련된 것으로 판단된다. 중질유는 기본적으로 원유를 정제하는 과정에서 증류가 완료된 이후에 원유에서 증류되지 않은 잔류물질 중에서 아스팔트 등을 분리한 잔사유(Residual Oil)를 사용하게 되는데, 국내 정유 업계에서는 고도화 정제설비를 도입하여 정제 중에 발생하는 잔류물질로부터 육상용 경유 등 석유 제품을 다시 추출하기 때문에 잔사유인 중질유를 거의 생산하지 않는다. 하지만, 국내에서도 선박, 산업용 보일러 등 중질유를 필요로 하는 설비들이 존재하기 때문에, 국내 정유 업계에서는 해외에서 중질유를 수입하여 국내에 공급하는 경우가 많은 것으로 알려져 있다. 이렇게 수입되는 중질유의 경우, 그 정도가 380 cSt 이상 경우가 많아, Table 13에서와 같이, MF-420과 MF-460을 추가의 분류체계로 도입하여 사용하는 것으로 판단된다.

Table 14는 “국토해양부 유가보조금 지급 지침”와 거의 유사하지만, “국토해

양부 유가보조금 지급 지침"에서는 중질유로 분류하고 있는 B-A와 LRFO(B-B)를 혼합유로 분류하고, 그 혼합비율을 별도로 규정하고 있다는 점이 특이하다. 이는 일반적으로 관련 업계에서 사용되는 B-A 및 B-B의 정의를 그대로 수용한 것으로 판단되며, 좀 더 현실적인 연료유 분류체계인 것으로 판단된다. 또한, Table 14에서 특이한 점은 다른 연료유 분류체계와 다르게 밀도를 정의하고 있다는 점이다. 일반적으로 연료유 분류체계에서는 밀도를 15°C에서의 밀도 값으로 정의하고 있으나, Table 14에서는 이를 60°F(15.5556°C)에서의 API Gravity로 정하고 있다는 것이다. API Gravity는 일반적으로 0~70사이의 값을 가지도록 비중(Specific Gravity)을 표현하는 방법으로서, 일정한 산식을 통해, 60°F에서 물의 비중이 10이 되도록 하는 방법이다. API Gravity를 사용하면, 각 물질간의 비중차이를 쉽게 확인할 수 있다는 장점이 있으며, Table 14에서도 이를 위해 API Gravity를 도입하여 사용하는 것으로 판단된다.

Table 15는 국내 연안 해운에 종사하는 선사에서 자체적으로 사용하고 있는 연료유 분류체계이다. Table 15에서 특이한 점은 HSD(High Sulphur Diesel)과 B-C이다. HSD는 그 성상을 검토해 볼 때, 선박용 경유인 MGO와 유사하며, 이를 HSD로 표기하는 것은 육상용 경유의 황 함유량 규제치가 10 ppm인데 비해, 0.05%의 황 함유량을 가지기 때문인 것으로 판단된다. 또한, Table 15에서는 B-C에 대해 그 점도를 530 cSt 까지 관리하고 있으며, 이는 Table 13에서 MF-420과 MF-460을 추가로 관리하는 것과 동일하게 중질유의 유통에 관련된 원인인 것으로 판단된다.

또한, 선사/선박 및 연료유 공급자가 관리하고 있는 연료유 분류체계를 별도로 관리하고 있지는 않는 업체와의 면담 및 조사 등을 수집한 정보를 종합하면 아래와 같다.

Bunker-C: Bunker-C는 원유의 상압증류 공정에서 얻게 되는 잔사유로서, 일반적으로 탄소 수 13이상의 탄화수소화합물을 의미한다. 일반 산업계에서는 Bunker-C를 중질유와 동일한 의미로 사용하는 경우가 많았으며, 대부분 경유와 혼합하지 않은 중질유를 의미하는 것으로 사용되고 있었다.

Dark Diesel Oil (D.D.O): 경유 99.9%에 미량의 Bunker-C를 혼합하여 제조하는 선박용 연료유를 지칭하는 용어로 사용되고 있었다. 성상과 품질은 선박용 경유(MGO)와 유사하지만, 검은 색을 띠는 점이 특징이었으며, 선박용 연료유임을 육안으로 식별할 수 있도록 하기 위해 미량의 Bunker-C를 혼합하여 사용하는 것으로 판단된다.

Marine Diesel Oil (M.D.O): 일반적으로 동점도가 100°F(37.8 °C)에서 6 cSt 이하로 그 품질을 규정하고 있었으며, 국제적으로 통용되는 MDO에 해당되는 선박용 연료이다. 다만, 국내의 MDO는 경유(MGO)와 중질유(Bunker-C)의 혼합유가 사용되므로, 동점도가 100°F(37.8 °C)에서 6 cSt를 넘어서는 경우가 빈번하게 발생할 것으로 판단되며, 이는 국제적으로 통용되는 MDO의 성상에 부합하지 못하는 것으로 판단된다.

Marine Fuel Oil (M.F.O): 일반적인 의미로는 선박용 연료유 전체를 의미할 수 있지만, 주로 Intermediate Bunker Fuel (IBF, IF)의 의미로 사용되고 있었으며, 국토해양부 고시인 “국토해양부 유가보조금 지급 지침(국토해양부 대중교통과-612, 2009.06.26.)”에서 규정하고 있는 혼합유(MF)의 의미로도 사용되고 있었다. 통상적으로 MFO 등급의 후미에 사용되는 숫자는 50°C에서의 최대 허용 동점도(cSt)를 의미하는 것으로 조사되었다.

연료유 분류체계 정비를 위한 선사/선박 및 연료유 공급업체 대상 연료유 분류체계 조사 결과를 종합하여 시사점과 문제점을 정리하면 아래와 같다.

석유 및 석유 대체 연료 사업법의 내용에 근거해 볼 때, 국내 연안 해운 분야에서는 명확한 품질 분류체계가 없는 것으로 파악되었다.

석유 및 석유 대체 연료 사업법에 명시된 선박용 경유는, ISO 분류체계에 의하면 Marine Gas Oil(MGO)에 해당된다.

석유 및 석유 대체 연료 사업법에 명시된 중유의 품질 지표는 A중유, B중유, C중유로 분류되어 있으며, 이는 통상의 Bunker-A, Bunker-B, Bunker-C의 품질 기준과 유사하다.

KS M 2614-2011 또한, A, B, C 중유로 표기하고 있으며, 각 중유별 1,2,3호로 총 9개의 품질 기준이 수립되어 있다.

석유 및 석유 대체 연료 사업법에 명시된 중유 품질 지표와 KS M 2614-2011 기준에 의한 품질지표는 인화점, 동점도, 유동점, 잔류탄소분, 물과 침전물, 회분, 황분으로 공통적인 지표를 제안하고 있으나, 상호간의 차이점은 KS 규격이 황성분의 표준을 보다 상세히 나누고 있는 점이다.

MDO는 현장에서는 Marine Diesel Oil로 표기하나, ISO 표기에서는 Marine Distillate Oil로 표기하고 있으며, Marine Diesel Oil은 경유와 중질유의 혼합유, Marine Distillate Oil는 원유의 정제과정에서 생산되는 저질 연료유로서, 근본적으로 다른 연료유이다.

연료유 공급자 품질 표준이 각 사별로 적용 표준이 상이하여, 통일된 연료유 분류체계가 존재하지 않아, 연료유 공급자뿐만 아니라, 사용자(선사/선박) 또한 많은 혼선을 빚고 있었다.

국토해양부 고시인 “국토해양부 유가보조금 지급 지침(국토해양부 대중교통과-612, 2009.06.26.)”에서 규정하고 있는 경유와 중질유의 표준 혼합비율과 연료유 공급업체에서 관리하고 있는 경유와 중질유의 혼합비율(Blending Ratio)이 큰 차이를 나타내었으며, 이를 통해, 국내 선박 연료유 품질 기준 체계가 매우 부실함을 확인할 수 있었다.

일부분의 연료유 공급업체 및 선사에서 관리하고 있는 연료유 분류 지침이나, 공급자 품질지표에는 경유와 중질유 함유율만 표기하고 있어, 경유와 중질유 품질이 동일할 수 없는 현실적인 환경에서, 블렌딩 된 연료유 또한, 품질 편차가 매우 심할 것으로 예상된다.

공급자와 수요자 모두 BDN, 선사 명, 선명 등의 정보 공개에 매우 부정적이며, 본 연구에 정보 비공개를 원칙으로 협조 하였으며, 이는 공급자와 수요자 모두 연료유 사용량 및 사용 연료유의 종류가 공개되는 것을 매우 꺼려하고 있다는 점을 파악할 수 있었다. 다만, 공급자와 수요자가 연료유 관련 정보의 공개를 꺼려하는 원인은 파악하기가 어려웠다.

국내 Major 선사에서 자체 관리하고 있는 품질지표에 의하면, 연료유를 High Sulfur Diesel(HSD), MDO, B-A, MF-180, MF-280, MF-380, B-C로 분류하여 관리하고 있었다.

HSD는 선박용 경유와 공급자 품질 기준의 MDO, MGO 성상이 혼재되어 있었다.

MDO, B-A, MF-180, MF-280, MF-380, B-C는 각 항목별 표준 값 이상 혹은 이하로만 관리하고 있어, 연료유 수급 시 품질 편차가 증가되는 원인으로 작용.

주 기관에는 저질유 위주로 공급하고 발전기관에는 고급유 위주로 사용하는 정책을 가지고 있으며, 이는 기관의 운전속도와 연관이 있는 지수인 연료유 밀도와 Flash point 및 Viscosity와 연계하여 고려한 기준으로 판단된다.



## 2.6 연료유 분류체계 제안

국내 법령에서 규정하고 있는 선박용 연료유 분류체계 및 국내 연안 해운 산업계에서 통용되고 있는 연료유 분류체계를 검토해 본 결과, 체계화 되고, 표준화된 연료유 분류체계가 존재하지 않으며, 이에 따라 많은 업무상의 혼선이 발생하고 있다는 것을 확인하였으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 정부 주도의 표준 연료유 분류체계의 도입 및 이의 정착을 위한 노력이 있어야 한다는 것을 확인하였다.

다양한 연료유 분류체계를 검토해본 결과, 국제적으로도 통용되고 있으며, IMO에서도 연료유 분류 체계로 채용되어 사용되고 있는 ISO 8217: 2012를 근간으로 표준화된 연료유 분류체계를 도입하는 것이 국내 현황을 고려할 때 가장 바람직할 것으로 판단된다.

또한, 새로이 도입되는 연료유 분류체계가 국내 산업계에 빠른 시간 안에 수용될 수 있도록, “내항화물운송사업자 유류세보조금 지급 지침(해양수산부 고시 제2016-84, 2016.06.30., 주관부서: 연안 해운과)”의 별지 제2호 서식인 “석유제품 판매(공급) 및 인수 확인서”를 개정하여, 새로이 도입되는 연료유 분류체계가 해당 서식에 반영되도록 하여야 할 것으로 판단되며, 이러한 행정적 조치를 통해, 연료유 공급자 및 연료유 수급자 모두가 새로이 도입되는 연료유 분류체계를 일괄적으로 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 제안하는 연료유 분류체계는 기본적으로 ISO 8217: 2012를 기반으로 하였으며, 국내에서 폭 넓게 사용되고 있는 혼합유(Blending Oil)의 분류체계를 반영하였다.

이를 기반으로, 연료유를 MGO, MDO, B-A, B-B, B-C로 분류하였으며, 그 개략적인 범위는 아래와 같다.

- MGO: “석유제품의 품질 기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시(산업통상자원부 고시 제2016-20호, 2016.02.05.)”에서 규정하고 있는 선박용 경유와 동등한 연료유로서, 산업계에서 사용되는 표준을 반영하여 관련 성상을 결정하

였다.

- MDO: ISO 8217: 2012에서 정하고 있는 Marine Distillate Oil(DMX~DMB)을 1개의 연료유 분류로 분류하였다.

- B-A: 기존에 산업계에서 일반적으로 사용되던 혼합유(Blending Oil)를 고려한 연료유 분류체계로서, 50℃에서의 동점도가 30 cSt 이하이고, 15℃에서의 밀도가 960 kg/m<sup>3</sup> 이하인 연료유이다. “국토해양부 유가보조금 지급 지침(국토해양부 대중교통과-612, 2009.06.26.)”의 분류체계 상으로 MF-30에 해당하는 연료유이다.

- B-B: 기존에 산업계에서 일반적으로 사용되던 혼합유(Blending Oil)를 고려한 연료유 분류체계로서, 동점도 50℃에서의 동점도가 700 cSt 이하이고, 15℃에서의 밀도가 991 kg/m<sup>3</sup> 이하인 연료유이다. “국토해양부 유가보조금 지급 지침(국토해양부 대중교통과-612, 2009.06.26.)”의 분류체계 상으로 MF-30이외의 연료유에 해당하는 연료유이다.

- B-C: 경유를 전혀 혼합하지 않은 순수 잔사유로서, ISO 8217: 2012의 RMD~RMK에 해당하는 연료유이다.

또한, 대기환경보전법 및 IMO MARPOL Annex VI를 황산화물 관련 규칙의 내용을 반영하여 황 성분을 주요 관리 지표로 선정하였다.

제안하는 연료유 분류체계의 표기방법은 MGO, MDO, B-A는 해당 연료유에 대해 단일의 호칭으로 표기하고, B-B 및 B-C에 대해서는 ISO 8217: 2012의 표기법과 동일하게, 50℃에서의 동점도 등급에 따라, 30, 60, 80, 100, 120, 150, 180, 240, 280, 320, 380, 420, 450, 500, 700을 호칭 뒤에 기재하는 방식을 선택하였다.

Table 16은 제안하는 연료유 분류체계의 대분류와 각 분류에서 관리하여야 하는 연료유의 주요 성상을 나타낸 것이며, Table 17은 제안하는 연료유 분류 체계에 따른 상세 분류를 표시한 것이다.

Table 17에서 B-B와 B-C에 있어서, 진한 글씨와 밑줄로 표시한 30, 80, 180,

380, 700은 ISO 8217: 2012의 점도별 분류체계를 표시한 것이다. Table 17에 표시된 점도별 등급분류인 30, 60, 80, 100, 120, 150, 180, 240, 280, 320, 380, 420, 450, 500, 700은 산업계에서 일반적으로 통용되는 “국토해양부 유가보조금 지급 지침”의 점도별 등급을 그대로 적용한 것이지만, 이를 그대로 적용할 경우, 점도 등급이 매우 복잡해지는 문제점이 발생할 수 있으며, 이를 회피하기 위해서는 ISO 8217: 2012의 점도별 등급을 적용하는 것이 바람직하며, 이를 위해 ISO 8217: 2012의 점도별 분류 등급인 30, 80, 180, 380, 700을 진한 글씨 및 밑줄로 표시한 것이다.

새로이 도입되는 연료유 분류체계에서 점도별 등급을 ISO 8217: 2012의 점도별 분류 등급을 적용할 것인지 아니면, 산업계에서 일반적으로 통용되는 “국토해양부 유가보조금 지급 지침”의 점도별 분류등급을 적용할 것인지에 대해서는, 국제 표준과의 부합성, 관련 업계의 동향 및 해양수산부 내부적 및 외부적 행정적 필요사항 등을 모두 고려하여야 하기 때문에, 관련 정책을 결정하는 해양수산부의 검토가 필요할 것으로 판단된다.

Table 18은 Table 16과 Table 17에 나타난 제안하는 연료유 분류체계에서 각 유종별로 관리가 필요한 성상 및 각 성상별 범위를 표시한 것이다. 각 성상별 범위는 ISO 8217: 2012, “석유제품의 품질 기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시”, KS M 2614: 2015 “중유”의 내용 및 실제 선사/선박 및 연료유 공급업체에서 사용하고 있는 자체 연료유 분류 체계 등을 모두 고려하여 결정하여야 한다.

하지만, ISO 8217: 2012에서처럼 동점도에 따른 큰 분류별로 각 성상을 자세하게 설정하는 것이 바람직하겠지만, 이렇게 할 경우, 혼합유에 따른 간단한 분류를 주로 사용하여온 국내 산업계의 현실을 고려할 때, 적용상에 많은 혼선을 발생시킬 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 동점도에 따른 큰 분류를 고려하고, ISO 8217: 2012에서 나타나는 각종 성상의 최대값 또는 최소값으로 그 범위를 설정하였다.

**Table 16** 제안하는 연료유 분류체계의 대분류

연료유 호칭	연료유명칭	연료유 구성	관리 Parameter
MGO	Marine Gas Oil	정제유	유동점(°C), 인화점(°C), 동점도(@40°C,cSt) 잔류탄소분(Wt.%), 물(Vol.%), 황분(mg/kg) 회분(Wt.%), 세탄가, 밀도@15°C (kg/m <sup>3</sup> )
MDO	Marine Distillate Oil	정제유	유동점(°C), 인화점(°C), 동점도(@40°C,cSt) 잔류탄소분(Wt.%), 물(Vol.%), 황분(mg/kg) 회분(Wt.%), 세탄가, 밀도@15°C (kg/m <sup>3</sup> )
B-A	Bunker A	정제유+ 잔사유	유동점(°C), 인화점(°C), 동점도(@50°C,cSt) 잔류탄소분(Wt.%), 물(Vol.%), 황분(mg/kg) 회분(Wt.%), 세탄가, 밀도@15°C (kg/m <sup>3</sup> ) 바나듐(mg/kg), 소듐(mg/kg), Alu+Sil(mg/kg)
B-B	Bunker B	정제유+ 잔사유	유동점(°C), 인화점(°C), 동점도(@50°C,cSt) 잔류탄소분(Wt.%), 물(Vol.%), 황분(mg/kg) 회분(Wt.%), 세탄가, 밀도@15°C (kg/m <sup>3</sup> ) 바나듐(mg/kg), 소듐(mg/kg), Alu+Sil(mg/kg)
B-C	Bunker C	잔사유	유동점(°C), 인화점(°C), 동점도(@50°C,cSt) 잔류탄소분(Wt.%), 물(Vol.%), 황분(mg/kg) 회분(Wt.%), 세탄가, 밀도@15°C (kg/m <sup>3</sup> ) 바나듐(mg/kg), 소듐(mg/kg), Alu+Sil(mg/kg)

**Table 17** 제안하는 연료유 분류체계의 상세분류

정제유	혼합유(저밀도)	혼합유(고밀도)	잔사유
MGO	B-A	<b><u>B-B 30</u></b>	<b><u>B-C 30</u></b>
MDO		B-B 60	B-C 60
		<b><u>B-B 80</u></b>	<b><u>B-C 80</u></b>
		B-B 100	B-C 100
		B-B 120	B-C 120
		B-B 150	B-C 150
		<b><u>B-B 180</u></b>	<b><u>B-C 180</u></b>
		B-B 240	B-C 240
		B-B 280	B-C 280
		B-B 320	B-C 320
		<b><u>B-B 380</u></b>	<b><u>B-C 380</u></b>
		B-B 420	B-C 420
		B-B 450	B-C 450
		B-B 500	B-C 500
		<b><u>B-B 700</u></b>	<b><u>B-C 700</u></b>

**Table 18** 제안하는 연료유 분류체계의 연료유별 상세 성상

연료유 호칭	연료유 명칭	연료유 구성	관리 Parameter 및 범위		
			Parameter	범위	비고
MGO	Marine Gas Oil	정제유	유동점(°C)	-6~0	주요 지표
			인화점(°C)	최소 60	
			동점도 (@40°C,cSt)	1.4~6.0	주요 지표
			잔류탄소분 (Wt.%)	-	
			물(Vol.%)	-	
			황분(Wt.%)	MARPOL 규정 적용	주요 지표
			회분(Wt.%)	최대 0.01	
			세탄가	최소 40	주요 지표
			밀도@15°C (kg/m <sup>3</sup> )	최대 890	
MDO	Marine Distillate Oil	정제유	유동점(°C)	-6~6	주요 지표
			인화점(°C)	최소 60	
			동점도 (@40°C,cSt)	3.0~11.0	주요 지표
			잔류탄소분 (Wt.%)	최대 0.3	
			물(Vol.%)	최대 0.3	
			황분(Wt.%)	MARPOL 규정 적용	주요 지표
			회분(Wt.%)	최대 0.01	
			밀도@15°C (kg/m <sup>3</sup> )	최대 900	

연료유 호칭	연료유 명칭	연료유 구성	관리 Parameter 및 범위		
			Parameter	범위	비고
B-A	Bunker A	정제유 +잔사 유	유동점(°C)	최대 6 (Winter는 최대 0)	주요 지표
			인화점(°C)	최소 60	주요 지표
			동점도 (@50°C,cSt)	최대 30	주요 지표
			잔류탄소분 (Wt.%)	최대 10	
			물(Vol.%)	최대 0.5	
			황분(mg/kg)	MARPOL 규정 적용	주요 지표
			회분(Wt.%)	최대 0.07	
			밀도@15°C (kg/m <sup>3</sup> )	최대 960	주요 지표
			바나듐(mg/kg)	최대 150	
			소듐(mg/kg)	최대 100	
Alu+Sil(mg/kg)	최대 40	주요 지표			

연료유 호칭	연료유 명칭	연료유 구성	관리 Parameter 및 범위		
			Parameter	범위	비고
B-B	Bunker B	정제유 +잔사 유	유동점(°C)	최대 30	주요 지표
			인화점(°C)	최소 60	주요 지표
			동점도 (@50°C,cSt)	최대 700	주요 지표
			잔류탄소분 (Wt.%)	최대 18	
			물(Vol.%)	최대 0.5	
			황분(mg/kg)	MARPOL 규정 적용	주요 지표
			회분(Wt.%)	최대 0.1	
			밀도@15°C (kg/m <sup>3</sup> )	최대 991	주요 지표
			바나듐(mg/kg)	최대 350	
			소듐(mg/kg)	최대 100	
			Alu+Sil(mg/kg)	최대 60	주요 지표

연료유 호칭	연료유 명칭	연료유 구성	관리 Parameter 및 범위		
			Parameter	범위	비고
B-C	Bunker C	잔사유	유동점(°C)	최대 30	주요 지표
			인화점(°C)	최소 60	주요 지표
			동점도 (@50°C,cSt)	최대 700	주요 지표
			잔류탄소분 (Wt.%)	최대 20	
			물(Vol.%)	최대 0.5	
			황분(mg/kg)	MARPOL 규정 적용	주요 지표
			회분(Wt.%)	최대 0.15	
			밀도@15°C (kg/m <sup>3</sup> )	최대 1010	주요 지표
			바나듐(mg/kg)	최대 450	
			소듐(mg/kg)	최대 100	
			Alu+Sil(mg/kg)	최대 60	주요 지표

## 제 3 장 배출계수 도출

### 3.1 배출계수와 환산계수

배출계수는 주로 온실가스 중 특히 CO<sub>2</sub>의 배출계수를 의미한다. 즉, 특정한 물질(대부분 연료물질)이 연소하는 과정에서 배출되는 CO<sub>2</sub>의 양을 나타내는 배출계수가 일반적인 배출계수의 의미로 사용되고 있다.

IPCC Guideline에 따르면, 배출계수는 Tier 1, Tier 2 및 Tier 3로 구분하고 있으며, Tier 1은 IPCC에서 정한 배출계수, Tier 2는 각 국가의 고유 배출계수 그리고 Tier 3는 특정 배출원(대형 공장 등)용 배출계수를 의미한다.

IPCC의 배출계수는 “kg/TJ”과 같이 “온실가스 배출량/열량”의 단위를 가지면, IMO의 배출계수인 환산계수는 “t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel”과 같이 “온실가스 배출량/연료유 사용량”의 단위를 가진다.

IPCC의 배출계수는 전 세계에서 사용되는 다양한 연료물질에 대해 배출계수를 정하고 있으며, 동일한 연료물질도 매우 다양한 성상을 가지고 있으므로, 이를 평균하여 적용하기 위해서 사용량 대신에 발열량을 기준으로 배출계수를 정할 수밖에 없으며, 이러한 이유로 해서 IPCC 배출계수는 “온실가스 배출량/열량”의 단위로 개발된 것으로 판단된다.

하지만, IMO에서는 실제 선박에서의 사용상 편의성을 확보하여야 하기 때문에, 온실가스 배출량을 산정하는 단계에서 “온실가스 배출량/연료유 사용량”의 단위를 가지는 배출계수를 사용하도록 정하고 있다. IPCC 배출계수는 온실가스 연료유의 발열량을 정확하게 알아야만 계산할 수 있지만, 실제 선박에서 사용되는 연료유의 발열량을 확인하기 위해서는 별도의 비용을 지불하여야 하기 때문에, IMO에서의 선박에서의 비용절감 및 편의성 확보를 위해 “온실가스 배출량/연료유 사용량”의 단위를 가지는 배출계수를 사용하고 있다.

IPCC의 배출계수와 IMO의 배출계수는 표현방식이 상이할 뿐 본질적으로 동일한 물리적 의미를 감지고 있다. 즉, IMO의 배출계수는 IPCC 배출계수를 사

용상의 편의를 위해 단위변환을 통해 변형시켜 놓은 것이므로, 본질적으로 두 계수는 동일한 의미를 가진다고 할 수 있다. 다만, IMO 배출계수는 IPCC의 배출계수와 다른 발열량을 사용하였기 때문에 약간의 차이를 가진다.



### 3.2 IMO의 배출계수

IMO의 배출계수는 아래의 식(6)과 가정조건으로 계산한다.

*IMO Conversion Factor*

$$= \left[ \frac{C_n}{C_n H_{2n}} \times (1 - I) \right] \times \frac{44}{12} \quad (6)$$

여기서,

- 가정조건 1: 탄화수소는 완전연소를 하고, 탄화수소의 탄소는 100% CO<sub>2</sub>로 변환된다.
- 가정조건 2: 불순물(*I*)은 연소되지 않는다.

상기의 산식으로 계산된 IMO의 배출계수는 Table 19와 같다.



**Table 19** IMO의 배출계수

Fuel Type	Reference	Lower calorific value (kJ/kg)	Carbon content	C <sub>F</sub> (t-CO <sub>2</sub> /t-Fuel)
Diesel/Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMB	42,700	0.8744	3.206
Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	41,200	0.8594	3.151
Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	40,200	0.8493	3.114
Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane	46,300	0.8182	3.000
	Butane	45,700	0.8264	3.030
Liquefied Natural Gas (LNG)		48,000	0.7500	2.750
Methanol		19,900	0.3750	1.375
Ethanol		26,800	0.5217	1.913

\*출처: MEPC 70/WP.8, Annex 2

Table 19에서 각 연료유의 참발열량을 표기하고 있으며, 이는 IPCC 배출계수와 다르다는 것을 명확하게 하기 위해 기재된 것으로 판단된다. IMO 배출계수에서 각 연료유별 참발열량과 IPCC Guideline에서 정하고 있는 참발열량을 비교하면 Table 20과 같다.

**Table 20** IMO와 IPCC의 참발열량

IMO		IPCC Guideline 2006 (Table 1.2, Ch.1, Vol.2)	
연료유의 종류	참발열량 (kJ/kg)	연료유의 종류	참발열량 (kJ/kg)
Diesel/Gas Oil	42,700	Gas/Diesel Oil	43,000
Light Fuel Oil (LFO)	41,200	-	-
Heavy Fuel Oil (HFO)	40,200	Residual Fuel Oil	40,400
Liquefied Petroleum Gas (LPG) - Propane	46,300	Liquefied Petroleum Gases	47,300
Liquefied Petroleum Gas (LPG) - Butane	45,700		
Liquefied Natural Gas (LNG)	48,000	Natural Gas	48,000

Table 20에서 알 수 있듯이 IMO에서 정하고 있는 각 연료유의 발열량과 IPCC Guideline에서 정하고 있는 발열량이 차이를 나타내고 있는데, 이는 발열량을 산정하는 단계에서 발열량 평균값을 산정하는 모집단의 차이에서 비롯되는 것으로 판단된다.

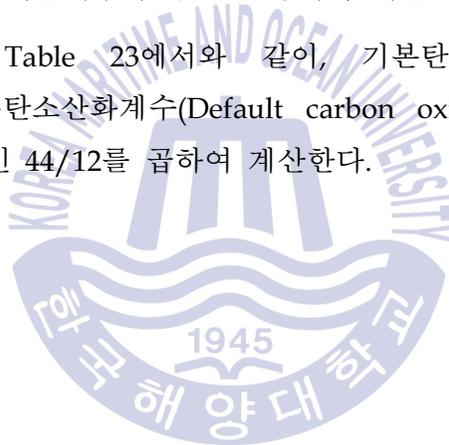
IMO에서 정하고 있는 참발열량은 선박에서 사용되는 연료유의 발열량 평균값을 산정한 것이고, IPCC Guideline에서는 전 세계적으로 사용되는 모든 연료유의 발열량 평균값을 산정한 것이기 때문이다. 다만, Gas계열 연료유인 LPG와 LNG는 세계적으로 발열량이 거의 동일한데, Table 20에서와 같이 LNG는 IMO와 IPCC Guideline에서의 발열량이 동일하지만, LPG는 발열량이 차이를 나타내는데, IMO에서는 LPG중에서 Propane과 Butane에 대해서만 발열량을 규정한 것이고, IPCC Guideline에서는 Pentane, Octane 등의 다양한 LPG를 모두 포함하여 발열량 평균값을 산정한 것으로 판단된다.

### 3.3 IPCC 배출계수와 IMO배출계수의 상관관계

IPCC 배출계수와 IMO 배출계수는 본질적으로 동일한 의미를 가지는 계수들이며, IPCC 배출계수는 “온실가스 배출량/열량”의 단위를 사용하고, IMO 배출계수는 “온실가스 배출량/연료유 사용량”의 단위를 사용하고 있다. 이는 다른 단위를 사용함으로써 다르게 표현될 뿐 본질적으로 동일한 의미를 가지는 계수이다.

Table 21과 Table 22는 IPCC Guideline에서 규정하고 있는 각 연료의 참발열량과 기본탄소계수를 나타낸 것인데, 기본적으로 Table 21, Table 22 및 Table 23을 이용하여 IMO의 배출계수와 동일한 형태의 배출계수를 계산할 수 있다.

IPCC 배출계수는 Table 23에서와 같이, 기본탄소계수(Default carbon content, kg/GJ), 기본탄소산화계수(Default carbon oxidation factor), 탄소와 CO<sub>2</sub>의 분자량의 비율인 44/12를 곱하여 계산한다.



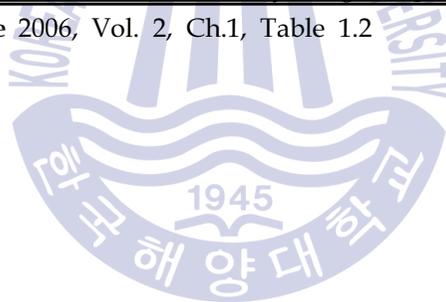
**Table 21** Default Net Calorific Values (Ncvs) and Lower And Upper Limits of the 95% Confidence Intervals

Fuel type English description		Net calorific value (TJ/Gg)	Lower	Upper
Crude Oil		42.3	40.1	44.8
Orimulsion		27.5	27.5	28.3
Natural Gas Liquids		44.2	40.9	46.9
Gasoline	Motor Gasoline	44.3	42.5	44.8
	Aviation Gasoline	44.3	42.5	44.8
	Jet Gasoline	44.3	42.5	44.8
Jet Kerosene		44.1	42.0	45.0
Other Kerosene		43.8	42.4	45.2
Shale Oil		38.1	32.1	45.2
Gas/Diesel Oil		43.0	41.4	43.3
Residual Fuel Oil		40.4	39.8	41.7
Liquefied Petroleum Gases		47.3	44.8	52.2
Ethane		46.4	44.9	48.8
Naphtha		44.5	41.8	46.5
Bitumen		40.2	33.5	41.2
Lubricants		40.2	33.5	42.3
Petroleum Coke		32.5	29.7	41.9
Refinery Feedstocks		43.0	36.3	46.4
Other Oil	Refinery Gas <sup>2</sup>	49.5	47.5	50.6
	Paraffin Waxes	40.2	33.7	48.2
	White Spirit and SBP	40.2	33.7	48.2
	Other Petroleum Products	40.2	33.7	48.2
Anthracite		26.7	21.6	32.2
Coking Coal		28.2	24.0	31.0
Other Bituminous Coal		25.8	19.9	30.5
Sub-Bituminous Coal		18.9	11.5	26.0
Lignite		11.9	5.50	21.6
Oil Shale and Tar Sands		8.9	7.1	11.1
Brown Coal Briquettes		20.7	15.1	32.0
Patent Fuel		20.7	15.1	32.0
Coke	Coke Oven Coke and Lignite Coke	28.2	25.1	30.2
	Gas Coke	28.2	25.1	30.2
Coal Tar <sup>3</sup>		28.0	14.1	55.0

Fuel type English description		Net calorific value (TJ/Gg)	Lower	Upper
Derived Gases	Gas Works Gas <sup>4</sup>	38.7	19.6	77.0
	Coke Oven Gas <sup>5</sup>	38.7	19.6	77.0
	Blast Furnace Gas <sup>6</sup>	2.47	1.20	5.00
	Oxygen Steel Furnace Gas <sup>7</sup>	7.06	3.80	15.0
Natural Gas		48.0	46.5	50.4
Municipal Wastes (non-biomass fraction)		10	7	18
Industrial Wastes		NA	NA	NA
Waste Oil <sup>8</sup>		40.2	20.3	80.0
Peat		9.76	7.80	12.5
Solid Biofuels	Wood/Wood Waste <sup>9</sup>	15.6	7.90	31.0
	Sulphite lyes (black liquor) <sup>10</sup>	11.8	5.90	23.0
	Other Primary Solid Biomass <sup>11</sup>	11.6	5.90	23.0
	Charcoal <sup>12</sup>	29.5	14.9	58.0
Liquid Biofuels	Biogasoline <sup>13</sup>	27.0	13.6	54.0
	Biodiesels <sup>14</sup>	27.0	13.6	54.0
	Other Liquid Biofuels <sup>15</sup>	27.4	13.8	54.0
Gas Biomass	Landfill Gas <sup>16</sup>	50.4	25.4	100
	Sludge Gas <sup>17</sup>	50.4	25.4	100
	Other Biogas <sup>18</sup>	50.4	25.4	100
Other non-fossil fuels	Municipal Wastes (biomass fraction)	11.6	6.80	18.0

Fuel type English description	Net calorific value (TJ/Gg)	Lower	Upper
Notes:			
1 The lower and upper limits of the 95 percent confidence intervals, assuming lognormal distributions, fitted to a dataset, based on national inventory reports, IEA data and available national data. A more detailed description is given in section 1.5.			
2 Japanese data; uncertainty range: expert judgement			
3 EFDB; uncertainty range: expert judgement			
4 Coke Oven Gas; uncertainty range: expert judgement			
5-7 Japan and UK small number data; uncertainty range: expert judgement			
8 For waste oils the values of "Lubricants" are taken			
9 EFDB; uncertainty range: expert judgement			
10 Japanese data ; uncertainty range: expert judgement			
11 Solid Biomass; uncertainty range: expert judgement			
12 EFDB; uncertainty range: expert judgement			
13-14 Ethanol theoretical number; uncertainty range: expert judgement;			
15 Liquid Biomass; uncertainty range: expert judgement			
16-18 Methane theoretical number uncertainty range: expert judgement;			

\*참조 : IPCC Guideline 2006, Vol. 2, Ch.1, Table 1.2



**Table 22** Default Carbon Content

Fuel type English description	Default carbon content <sup>1</sup> (kg/GJ)	Lower	Upper
Crude Oil	20.0	19.4	20.6
Orimulsion	21.0	18.9	23.3
Natural Gas Liquids	17.5	15.9	19.2
Motor Gasoline	18.9	18.4	19.9
Aviation Gasoline	19.1	18.4	19.9
Jet Gasoline	19.1	18.4	19.9
Jet Kerosene	19.5	19	20.3
Other Kerosene	19.6	19.3	20.1
Shale Oil	20.0	18.5	21.6
Gas/Diesel Oil	20.2	19.8	20.4
Residual Fuel Oil	21.1	20.6	21.5
Liquefied Petroleum Gases	17.2	16.8	17.9
Ethane	16.8	15.4	18.7
Naphtha	20.0	18.9	20.8
Bitumen	22.0	19.9	24.5
Lubricants	20.0	19.6	20.5
Petroleum Coke	26.6	22.6	31.3
Refinery Feedstocks	20.0	18.8	20.9
Refinery Gas <sup>2</sup>	15.7	13.3	19.0
Paraffin Waxes	20.0	19.7	20.3
White Spirit & SBP	20.0	19.7	20.3
Other Petroleum Products	20.0	19.7	20.3
Anthracite	26.8	25.8	27.5
Coking Coal	25.8	23.8	27.6
Other Bituminous Coal	25.8	24.4	27.2
Sub-Bituminous Coal	26.2	25.3	27.3
Lignite	27.6	24.8	31.3
Oil Shale and Tar Sands	29.1	24.6	34
Brown Coal Briquettes	26.6	23.8	29.6
Patent Fuel	26.6	23.8	29.6
Coke Oven Coke and Lignite Coke	29.2	26.1	32.4
Gas Coke	29.2	26.1	32.4

Fuel type English description	Default carbon content <sup>1</sup> (kg/GJ)	Lower	Upper
Coal Tar <sup>3</sup>	22.0	18.6	26.0
Gas Works Gas <sup>4</sup>	12.1	10.3	15.0
Coke Oven Gas <sup>5</sup>	12.1	10.3	15.0
Blast Furnace Gas <sup>6</sup>	70.8	59.7	84.0
Oxygen Steel Furnace Gas <sup>7</sup>	49.6	39.5	55.0
Natural Gas	15.3	14.8	15.9
Municipal Wastes (non-biomass fraction) <sup>8</sup>	25.0	20.0	33.0
Industrial Wastes	39.0	30.0	50.0
Waste Oils <sup>9</sup>	20.0	19.7	20.3
Peat	28.9	28.4	29.5
Wood/Wood Waste <sup>10</sup>	30.5	25.9	36.0
Sulphite lyes (black liquor) <sup>11</sup>	26.0	22.0	30.0
Other Primary Solid Biomass <sup>12</sup>	27.3	23.1	32.0
Charcoal <sup>13</sup>	30.5	25.9	36.0
Biogasoline <sup>14</sup>	19.3	16.3	23.0
Biodiesels <sup>15</sup>	19.3	16.3	23.0
Other Liquid Biofuels <sup>16</sup>	21.7	18.3	26.0
Landfill Gas <sup>17</sup>	14.9	12.6	18.0
Sludge Gas <sup>18</sup>	14.9	12.6	18.0
Other Biogas <sup>19</sup>	14.9	12.6	18.0
Municipal Wastes (biomass fraction) <sup>20</sup>	27.3	23.1	32.0

Notes:

- 1 The lower and upper limits of the 95 percent confidence intervals, assuming lognormal distributions, fitted to a dataset, based on national inventory reports, IEA data and available national data. A more detailed description is given in section 1.5
- 2 Japanese data; uncertainty range: expert judgement;
- 3 EFDB; uncertainty range: expert judgement
- 4 Coke Oven Gas; uncertainty range: expert judgement
- 5 Japan & UK small number data; uncertainty range: expert judgement
- 6 7. Japan & UK small number data; uncertainty range: expert judgement
- 8 Solid Biomass; uncertainty range: expert judgement
- 9 Lubricants ; uncertainty range: expert judgement
- 10 EFDB; uncertainty range: expert judgement
- 11 Japanese data; uncertainty range: expert judgement

Fuel type English description	Default carbon content <sup>1</sup> (kg/GJ)	Lower	Upper
12 Solid Biomass; uncertainty range: expert judgement			
13 EFDB; uncertainty range: expert judgement			
14 Ethanol theoretical number; uncertainty range: expert judgement			
15 Ethanol theoretical number; uncertainty range: expert judgement			
16 Liquid Biomass; uncertainty range: expert judgement			
17-19 Methane theoretical number; uncertainty range: expert judgement			
20 Solid Biomass; uncertainty range: expert judgement			

\*참조 : IPCC Guideline 2006, Vol. 2, Ch.1, Table 1.3



**Table 23** Default CO<sub>2</sub> Emission Factors for Combustion<sup>1</sup>

Fuel type English description	Default carbon content (kg/GJ)	Default carbon oxidation factor	Effective CO <sub>2</sub> emission factor (kg/TJ) <sup>2</sup>		
	A	B	Default value <sup>3</sup>	95% confidence interval	
			C=A*B*44 / 12*1000	Lower	Upper
Crude Oil	20.0	1	73 300	71 100	75 500
Orimulsion	21.0	1	77 000	69 300	85 400
Natural Gas Liquids	17.5	1	64 200	58 300	70 400
Gasoline	Motor Gasoline	18.9	1	69 300	67 500
	Aviation Gasoline	19.1	1	70 000	67 500
	Jet Gasoline	19.1	1	70 000	67 500
Jet Kerosene	19.5	1	71 500	69 700	74 400
Other Kerosene	19.6	1	71 900	70 800	73 700
Shale Oil	20.0	1	73 300	67 800	79 200
Gas/Diesel Oil	20.2	1	74 100	72 600	74 800
Residual Fuel Oil	21.1	1	77 400	75 500	78 800
Liquefied Petroleum Gases	17.2	1	63 100	61 600	65 600
Ethane	16.8	1	61 600	56 500	68 600
Naphtha	20.0	1	73 300	69 300	76 300
Bitumen	22.0	1	80 700	73 000	89 900
Lubricants	20.0	1	73 300	71 900	75 200
Petroleum Coke	26.6	1	97 500	82 900	115 000
Refinery Feedstocks	20.0	1	73 300	68 900	76 600
Other Oil	Refinery Gas	15.7	1	57 600	48 200
	Paraffin Waxes	20.0	1	73 300	72 200
	White Spirit & SBP	20.0	1	73 300	72 200
Other Petroleum Products	20.0	1	73 300	72 200	74 400
Anthracite	26.8	1	98 300	94 600	101 000
Coking Coal	25.8	1	94 600	87 300	101 000
Other Bituminous Coal	25.8	1	94 600	89 500	99 700
Sub-Bituminous Coal	26.2	1	96 100	92 800	100 000
Lignite	27.6	1	101 000	90 900	115 000
Oil Shale and Tar Sands	29.1	1	107 000	90 200	125 000

Fuel type English description		Default carbon content (kg/GJ)	Default carbon oxidation factor	Effective CO <sub>2</sub> emission factor (kg/TJ) <sup>2</sup>		
				A	B	Default value <sup>3</sup>
		C=A*B*44 / 12*1000	Lower			Upper
Brown Coal Briquettes		26.6	1	97 500	87 300	109 000
Patent Fuel		26.6	1	97 500	87 300	109 000
Coke	Coke oven coke and lignite Coke	29.2	1	107 000	95 700	119 000
	Gas Coke	29.2	1	107 000	95 700	119 000
Coal Tar		22.0	1	80 700	68 200	95 300
Derived Gases	Gas Works Gas	12.1	1	44 400	37 300	54 100
	Coke Oven Gas	12.1	1	44 400	37 300	54 100
	Blast Furnace Gas <sup>4</sup>	70.8	1	260 000	219 000	308 000
	Oxygen Steel Furnace Gas <sup>5</sup>	49.6	1	182 000	145 000	202 000
Natural Gas		15.3	1	56 100	54 300	58 300
Municipal Wastes (non-biomass fraction)		25.0	1	91 700	73 300	121 000
Industrial Wastes		39.0	1	143 000	110 000	183 000
Waste Oil		20.0	1	73 300	72 200	74 400
Peat		28.9	1	106 000	100 000	108 000
Solid Biofuels	Wood/Wood Waste	30.5	1	112 000	95 000	132 000
	Sulphite lyes (black liquor)	26.0	1	95 300	80 700	110 000
	Other Primary Solid Biomass	27.3	1	100 000	84 700	117 000
	Charcoal	30.5	1	112 000	95 000	132 000
Liquid Biofuels	Biogasoline	19.3	1	70 800	59 800	84 300
	Biodiesels	19.3	1	70 800	59 800	84 300
	Other Liquid Biofuels	21.7	1	79 600	67 100	95 300
Gas biomass	Landfill Gas	14.9	1	54 600	46 200	66 000
	Sludge Gas	14.9	1	54 600	46 200	66 000
	Other Biogas	14.9	1	54 600	46 200	66 000
Other non-fossil fuels	Municipal Wastes (biomass fraction)	27.3	1	100 000	84 700	117 000

Fuel type English description	Default carbon content (kg/GJ)	Default carbon oxidation factor	Effective CO <sub>2</sub> emission factor (kg/TJ) <sup>2</sup>		
	A	B	Default value <sup>3</sup>	95% confidence interval	
			$C=A*B*44 / 12*1000$	Lower	Upper

Notes:

- 1 The lower and upper limits of the 95 percent confidence intervals, assuming lognormal distributions, fitted to a dataset, based on national inventory reports, IEA data and available national data. A more detailed description is given in section 1.5
- 2 TJ = 1000GJ
- 3 The emission factor values for BFG includes carbon dioxide originally contained in this gas as well as that formed due to combustion of this gas.
- 4 The emission factor values for OSF includes carbon dioxide originally contained in this gas as well as that formed due to combustion of this gas
- 5 Includes the biomass-derived CO<sub>2</sub> emitted from the black liquor combustion unit and the biomass-derived CO<sub>2</sub> emitted from the kraft mill lime kiln.

\*참조 : IPCC Guideline 2006, Vol. 2, Ch.1, Table 1.4

기본적으로 IMO 배출계수는 그 단위가 “t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel”로서, 분자와 분모 모두가 무게의 단위이며, 이는 IMO 배출계수가 무차원계수임을 의미하는 것이다. 참발열량의 단위가 “열량/질량”이고, 기본탄소계수는 “질량/열량”의 단위를 가지므로, 이들을 서로 곱하면 IMO 배출계수와 동일한 형태의 배출계수를 계산할 수 있으며, 그 결과는 Table 24와 같다.

**Table 24** IPCC Guideline의 자료를 이용한 IMO 형식의 배출계수

연료유의 종류	IPCC Guideline의 참발열량 (TJ/Gg)	IPCC Guideline의 배출계수 (kg/TJ)	IMO형식의 배출계수 (A)	IMO 배출계수 (B)	편차  1-A/B
Diesel/Gas Oil	43.0	74,100	3.186	3.206	0.61%
Light Fuel Oil (LFO)	-	-	-	3.151	-
Heavy Fuel Oil (HFO)	40.4	'	3.127	3.114	0.42%
Liquefied Petroleum Gas (LPG) - Propane	47.3	63,100	2.985	3.000	0.50%
Liquefied Petroleum Gas (LPG) - Butane				3.030	1.49%
Liquefied Natural Gas (LNG)	48.0	56,100	2.693	2.750	2.07%

Table 24에서 IMO 형식의 배출계수는 IPCC Guideline의 참발열량과 IPCC Guideline의 배출계수를 서로 곱하고 단위 환산을 위해  $10^{-6}$ 을 곱하여 계산한 것이다.

### 3.4 연료유의 샘플링

본 논문에서는 총 12종(MDO 6종, MF-180 3종, MF-380 3종)에 대해 연료유 샘플링을 수행하였다. 본 논문에서 샘플링 한 연료유의 종류와 샘플링 장소 등은 Table 25와 같다.

**Table 25** 연료유 샘플링의 상세

연료유의 종류	샘플링장소	샘플링 시기	비고
MDO	한우리호	2016.09.29	부산
	씨스타크루즈	2016.10.11	목포
	새누리호	2016.10.12	목포
	새유달호	2016.10.12	목포
	새누리호	2016.10.27	목포
	새유달호	2016.10.27	목포
MF-180	한우리호	2016.9.29	부산
	씨월드호	2016.10.11	목포
	해안석유	2016.11.11	연료유공급업체(부산)
MF-380	은희마린	2016.11.10	연료유공급업체(부산)
	해안석유	2016.11.11	연료유공급업체(부산)
	해안석유	2016.11.11	연료유공급업체(부산)

연료유의 샘플링은 선박에서 사용되고 있는 연료유와 연료유 공급업자가 선박에 공급하기 위해 보관중인 연료유를 대상으로 수행하였다.

선박에서 사용되는 연료유는 수분이 혼합되는 것을 최소화할 수 있도록 F.O Service Line에 설치되어 있는 적절한 곳 채취하였다. 가장 간단하고 손쉬운 방

법은 F.O Tank에 설치되어 있는 Drain Valve를 이용하는 방법이지만, F.O Tank 하부에 수분이 Settle-Down 되어 있을 확률이 매우 높아 이 방법을 배제하였다.

따라서 F.O Service Line 상에 Sampling Cock(압력계 등을 추가로 설치하기 위해 여분의 Cock이 설치되어 있는 경우)이 설치되어 있는 경우에는 이를 이용하였고, 이러한 Cock이 없는 경우에는 압력계 등 계측기를 임시로 철거하고 해당 계측기용 Cock을 이용하였다. 만약 계측기용 Cock을 이용하기가 곤란한 경우에는 Strainer 하부의 Drain Cock을 개방하여 연료유 채취 통에 연료유를 채취하였다.

연료유 공급업자로부터 채취한 연료유는 연료유 공급업자가 연료유를 보관하고 있는 Storage Tank의 하부에 있는 밸브를 개방하여 연료유를 연료유 채취 통으로 채취하였다.

다만, 연료유 샘플링과정에서 샘플링 된 연료유에 수분이 혼입되는 것을 최대한 방지하기 위해 노력하였으나, 샘플링 된 MDO중 1개가 9.842%의 수분을 함유하고 있다는 것을 정상 분석결과 알 수 있었다. 이는 선박에서 연료유 관리 업무에서 수분관리가 충분히 이뤄지지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 향후 연료유 샘플링 작업을 수행하는 경우에는 샘플링 방법뿐만 아니라, 선박에서 연료유 내의 수분 관리 방안(Strainer 정기개방 및 청소 등)에 대한 점검이 필요하다는 점을 알 수 있었다.

## 제 4 장 결과

### 4.1 샘플링 연료유 정상분석 결과

IMO 배출계수 도출을 위하여, Carbon content의 질량 함량 분석이 필수인 관계로, 이를 포함한, 잔류탄소분, 참발열량, 총발열량, 황분, C, H, N, O, 수분, 물과 침전물, 인화점, 회분, 밀도, 동점도, 유동점, 고온시물레이션 증류시험을 병행하여 수행하였다.

연료유의 분석은 한국석유관리원에 의뢰하여 실시하였으며, ISO 8217(2012)에 근거한 분석법을 적용하였다. 그 분석결과의 주요 성상을 정리하면 Table 26과 같다.

**Table 26** 샘플링 연료유의 주요 성상

연료유의 종류	밀도 (kg/m <sup>3</sup> @15°C)	탄소성분 (m/m%)	동점도 (cSt@5 0°C)	황성분 (m/m%)	참 발열량 (j/g)	참발열량 평균 (j/g)
한우리_MDO	913.6	87.08	6.492	0.99	41,100	42,078.0
씨월드_MDO	881.4	84.42	4.948	0.73	42,040	
새누리_MDO	853.6	85.55	3.002	0.03	42,830	
새유달_MDO	872.7	86.02	3.154	0.16	42,250	
새누리_MDO	865.4	85.73	3.634	0.16	42,170	
한우리_180	973.2	86.21	110.8	2.81	40,010	40,286.7
씨월드_180	981.6	84.22	204.2	2.90	40,140	
해안_180	965.6	85.62	93.92	1.59	40,710	
은희_380	990.8	84.02	322.1	3.14	40,100	
해안_380_1	984.0	85.98	247.6	1.70	40,390	40,350.0
해안_380_2	985.5	85.49	275.6	1.66	40,560	

총12종의 샘플을 분석의뢰 하였으나, 분석 결과 확인과정에서 MDO 1종의 수분함량이 타 샘플은 0.1% 미만임에도, 0.9%를 초과하였고, IMO 배출계수 또한 해당 샘플에서 2.9수준으로 상대적으로 매우 낮아, 측정결과의 신뢰도 저하의 원인으로 분류되어 이를 제외한 총 11종의 데이터를 정리하여 분석 및 정리 하였다.

샘플링된 연료유의 성분분석 항목과 관련 성분 분석 표준은 Table 27과 같다.

**Table 27** 연료유 정상 분석 항목 및 시험 표준

분석항목	단위	시험방법(시험 표준)
잔류탄소분(마이크로법)	m/m %	KS M ISO 10370:2015
참발열량	J/g	KS M 2057:2006
총발열량	J/g	KS M 2057:2006
황분(에너지분산X선 형광분석법)	m/m %	KS M ISO 8754:2003
원소분석(H)	m/m %	ASTM D5291-10(2015)
수분	m/m %	KS M 0010:2011
물과 침전물	v/v %	KS M ISO 9030:2008
인화점(펜스키마텐스식밀폐컵)-B법	℃	KS M ISO 2719:2003
회분	m/m %	KS M ISO 6245:2008
밀도(15℃)	kg/m <sup>3</sup>	KS M ISO 12185:2003
동점도(50℃)	mm <sup>2</sup> /s	KS M ISO 3104:2008
원소분석 - C	m/m %	ASTM D5291-10(2015)
원소분석 - N	m/m %	
원소분석 - O	m/m %	
유동점(Air/P)	℃	ASTM D6749-02(2012)
고온 시물레이션 증류시험 (SIMDIS)	초류점(IBP)	℃
	5% 유출온도	℃
	10% 유출온도	℃
	20% 유출온도	℃
	30% 유출온도	℃
	40% 유출온도	℃
	50% 유출온도	℃
	60% 유출온도	℃
	70% 유출온도	℃
	80% 유출온도	℃
	90% 유출온도	℃
	95% 유출온도	℃
	종말점(FBP)-장비 측정 가능범위538℃이하	℃

## 4.2 연료유 분석 결과 기반 IPCC 배출계수와 IMO배출계수

샘플링 한 12종의 연료유를 분석한 결과, MDO 샘플 1종에서 과도한 수분이 검출되어 해당 샘플의 본선에서 연료유의 수분 관리가 미흡한 것으로 판단된다.

이에, 수분이 과도하게 포함된 시료의 분석 결과를 제외한 나머지 11종의 연료 샘플을 가지고 IPCC 배출계수와 IMO 배출계수를 아래 식(7)과 같이 계산하였다.

IPCC 배출계수 계산식은 아래와 같다.

$$IPCC \text{ Emission Factor} = A \times B \times \frac{44}{12} \times 1000 \quad (7)$$

여기서,

- A: 기본 값(Default carbon content), kg/GJ
- B: 탄소산화계수 기본 값(Default carbon oxidation factor)

IMO 배출계수의 계산식은 아래 식(8)과 같다.

$$IMO \text{ Conversion Factor} = \left[ \frac{C_n}{C_n H_{2n}} \times (1 - I) \right] \times \frac{44}{12} \quad (8)$$

여기서,

- I: 불순물, 연소되지 않는다고 가정
- 탄화수소의 탄소는 100% CO<sub>2</sub>로 변환
- 탄화수소는 완전 연소 한다.

샘플링된 연료유의 성상 분석결과를 이용하여 IPCC 배출계수와 IMO 배출계수를 계산하면, Table 28과 같다.

**Table 28** 연료유 성상을 기반으로 한 IPCC 배출계수와 IMO 배출계수

연료유의 종류	도출된 IPCC 배출계수				도출된 IMO 배출계수			
	개별	최대	최소	평균	개별	최대	최소	평균
한우리_MDO	77,686.9	77,686.9	73,239.2	74,750.1	3.193	3.193	3.095	3.145
씨월드_MDO	73,629.9				3.095			
새누리_MDO	73,239.2				3.137			
새유달_MDO	74,652.5				3.154			
새누리_MDO	74,541.9				3.143			
한우리_180	79,006.1	79,006.1	76,932.4	77,684.9	3.161	3.161	3.088	3.130
씨월드_180	76,932.4				3.088			
해안_180	77,116.2				3.139			
은희_380	76,826.3	78,054.0	76,826.3	77,388.1	3.081	3.153	3.081	3.123
해안_380_1	78,054.0				3.153			
해안_380_2	77,283.9				3.135			

또한, IPCC Guideline의 배출계수와 계산된 배출계수를 비교하면 Table 29와 같으며, IMO 배출계수와 계산된 IMO 배출계수를 비교하면 Table 30과 같다.

Table 29 및 Table 30을 통해 알 수 있듯이, IPCC형 배출계수와 IMO형 배출계수는 IPCC Guideline에서 정한 배출계수와 IMO 배출계수가 샘플링된 연료유의 성상을 기반으로 계산한 배출계수 간에 상당한 차이를 가지고 있으며, 그 편차가 최대 4.62%에 이른다는 것을 알 수 있었다.

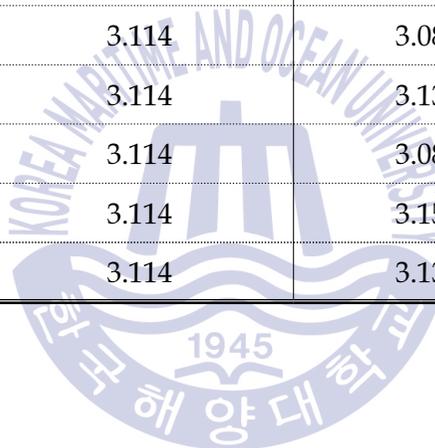
또한, Table 28에 나타난 연료유 성상 분석에 기반 한 배출계수의 연료유 종류별 최대값, 최소값 및 평균값과 기존 배출계수간의 비교는 각각 Table 31, Table 32 및 Table 33과 같으며, 고급유종인 MDO가 상대적으로 편차가 크다는 것을 알 수 있다.

**Table 29** IPCC 배출계수(Tier 1)와 계산된 IPCC 배출계수의 비교

연료유의 종류	IPCC 배출계수(A)	도출된 IPCC 배출계수(B)	편차  1-A/B
한우리_MDO	74,100	77,686.9	4.62%
씨월드_MDO	74,100	73,629.9	0.64%
새누리_MDO	74,100	73,239.2	1.18%
새유달_MDO	74,100	74,652.5	0.74%
새누리_MDO	74,100	74,541.9	0.59%
한우리_180	77,400	79,006.1	2.03%
씨월드_180	77,400	76,932.4	0.61%
해안_180	77,400	77,116.2	0.37%
은희_380	77,400	76,826.3	0.75%
해안_380_1	77,400	78,054.0	0.84%
해안_380_2	77,400	77,283.9	0.15%

**Table 30** IMO 배출계수와 계산된 IMO 배출계수의 비교

연료유의 종류	IMO 배출계수(A)	도출된 IMO 배출계수(B)	편차  1-A/B
한우리_MDO	3.206	3.193	0.41%
씨월드_MDO	3.206	3.095	3.59%
새누리_MDO	3.206	3.137	2.20%
새유달_MDO	3.206	3.154	1.65%
새누리_MDO	3.206	3.143	2.00%
한우리_180	3.114	3.161	1.49%
씨월드_180	3.114	3.088	0.84%
해안_180	3.114	3.139	0.80%
은희_380	3.114	3.081	1.07%
해안_380_1	3.114	3.153	1.24%
해안_380_2	3.114	3.135	0.67%



**Table 31** 기존 배출계수와 도출 배출계수의 비교 - 최대값

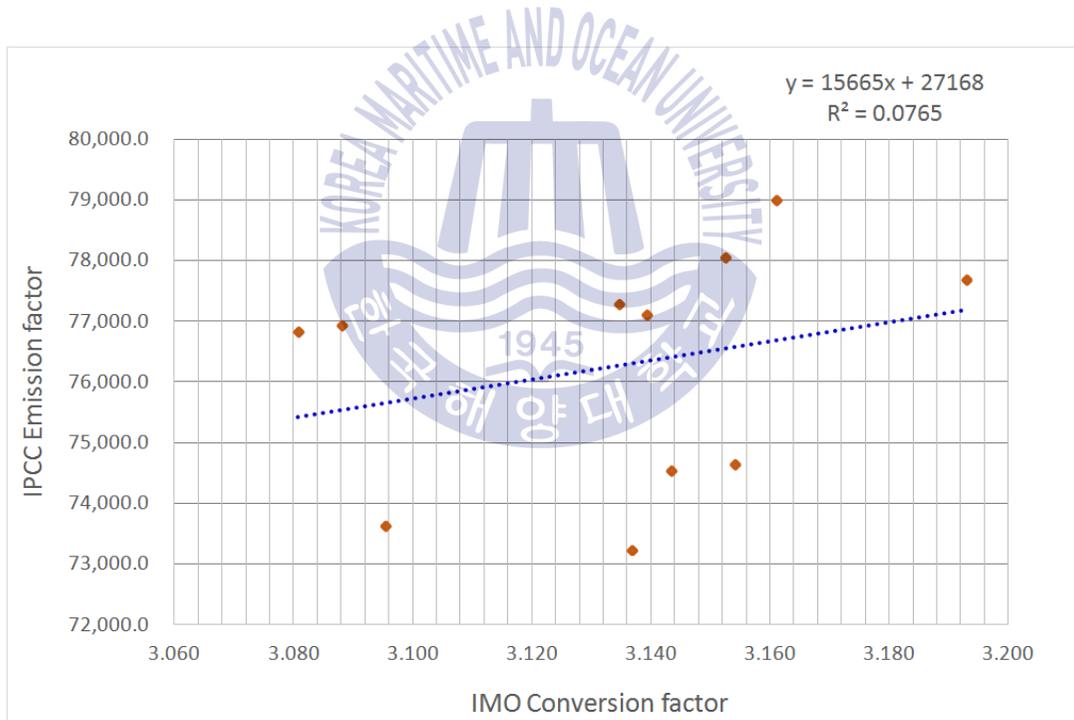
연료유의 종류	IPCC 배출계수 (A)	도출된 IPCC 배출계수 (B)	편차  1-A/B	IMO 배출계수 (A)	도출된 IMO 배출계수 (B)	편차  1-A/B
MDO	74,100	77,686.9	4.62%	3.206	3.193	0.41%
MF-180	77,400	79,006.1	2.03%	3.114	3.161	1.49%
MF-380	77,400	78,054.0	0.84%	3.114	3.153	1.24%

**Table 32** 기존 배출계수와 도출 배출계수의 비교 - 최소값

연료유의 종류	IPCC 배출계수 (A)	도출된 IPCC 배출계수 (B)	편차  1-A/B	IMO 배출계수 (A)	도출된 IMO 배출계수 (B)	편차  1-A/B
MDO	74,100	73,239.2	1.18%	3.206	3.095	3.59%
MF-180	77,400	76,932.4	0.61%	3.114	3.088	0.84%
MF-380	77,400	76,826.3	0.75%	3.114	3.081	1.07%

**Table 33** 기존 배출계수와 도출 배출계수의 비교 - 평균값

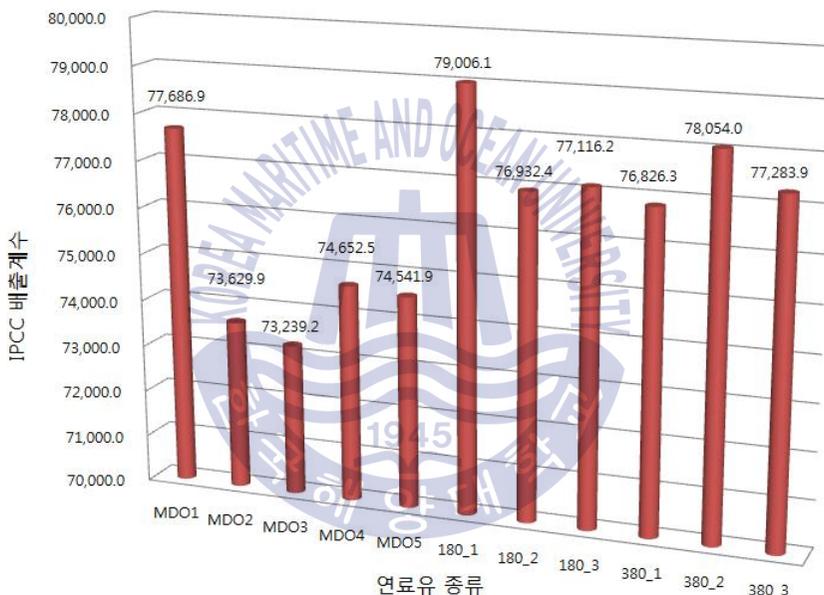
연료유의 종류	IPCC 배출계수 (A)	도출된 IPCC 배출계수 (B)	편차  1-A/B	IMO 배출계수 (A)	도출된 IMO 배출계수 (B)	편차  1-A/B
MDO	74,100	74,750.08	0.87%	3.206	3.145	1.94%
MF-180	77,400	77,684.9	0.37%	3.114	3.130	0.51%
MF-380	77,400	77,388.07	0.02%	3.114	3.123	0.29%



**Fig. 5** IPCC 배출계수와 IMO 배출계수의 상관성 분석

상기 Fig. 5는 IPCC 배출계수와 IMO 배출계수간의 상관성을 분석한 결과 이며, Fig. 5에서와 같이, 선형성을 기준으로 하여 결정계수인  $R^2$  값이 0.0765를 보이고 있어, 통계적으로 상관성을 높다고 볼 수는 없을 것으로 판단된다.

다음의 Fig. 6은 IPCC의 배출계수 계산 결과를 각 연료유별로 정리하여 비교한 그래프이다. 유종전체, MDO, 180, 380 각 종류별로 놓고 분석하더라도, 유종과 IPCC Emission factor는 상호 연관성이 없는 것으로 판단된다.



**Fig. 6** 분석 유종 별, IPCC 배출계수 계산 결과

다음의 Fig. 7은 IMO 배출계수 계산 결과를 각 유종별로 정리하여 비교한 그래프이다. 유종전체, MDO, 180, 380 각 종류별로 놓고 분석하더라도, 유종과 IMO 배출계수는 상호 연관성이 거의 없는 것으로 판단된다.

상기의 분석에서와 같이, IPCC 배출계수와 IMO 배출계수는 그 단독 혹은 상호간의 상관성이 취약한 것으로 파악되었다. 다만, 이는 분석을 위한 샘플의 부족으로 향후 Data base화하여 누적된 다수의 Data를 재분석한다면, 유의미한 결과를 도출할 가능성이 있을 것으로 판단된다.

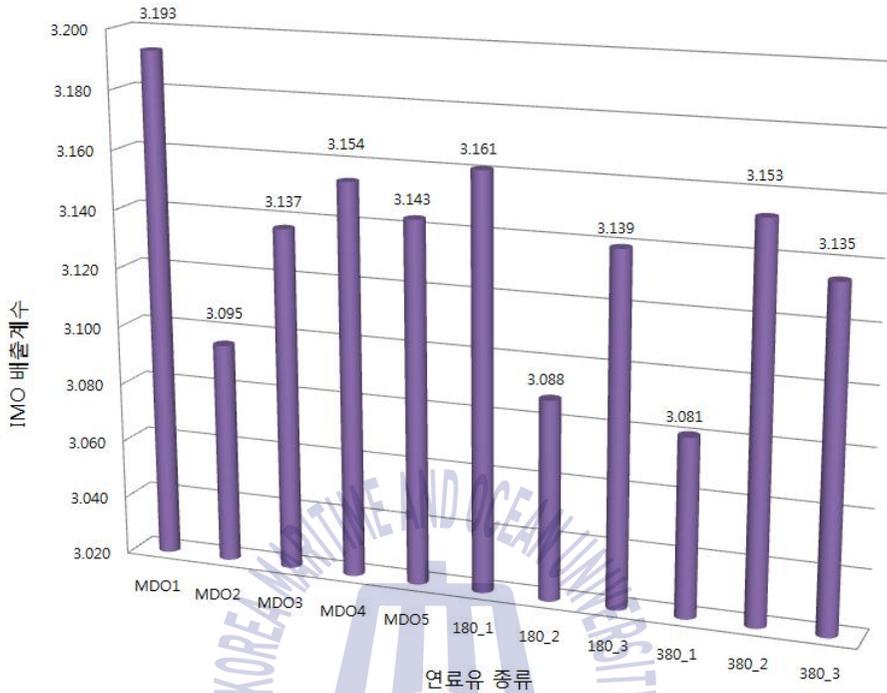


Fig. 7 분석 유종 별, IMO 배출계수 계산 결과

### 4.3 배출계수 별 온실가스 배출량 비교

상기에서 살펴본 바와 같이, IPCC Guideline의 배출계수(Tier 1), 국가고유 배출계수(Tier 1과 동일), IMO의 배출계수, 샘플링된 연료유의 정상분석을 기반으로 하는 IPCC 형식의 배출계수와 IMO 형식의 배출계수는 상당한 차이를 가지고 있다.

이를 좀 더 명확하게 비교해 보기 위해, 선박안전기술공단이 2016년에 실시한 “2015년 연안 해운 온실가스·에너지소비량 일제조사”의 결과를 이용하여 MDO, MF-180, MF-380에 대해 온실가스 배출량을 비교하여 보았다.

Table 34 ~ Table 39는 MDO, MF-180, MF-380 각각에 대해 IPCC Guideline의 배출계수와 도출된 IPCC형 배출계수(최대값, 최소값, 평균값), IMO 배출계수와 도출된 IMO형 배출계수(최대값, 최소값, 평균값)를 적용한 배출량의 차이를 나타낸 것이며, Table 40 ~ Table 41은 그 결과를 요약하여 표시한 것이다.

Table 34 ~ Table 41에서 도출된 IPCC형 배출계수와 IMO형 배출계수를 최대값, 최소값 및 평균값으로 구분하여 비교해 한 것은, 본 논문에서 도출된 배출계수와 기존 배출계수인 IPCC Guideline의 배출계수와 IMO 배출계수간의 차이를 확인해 보기 위해서이다.

본 연구에서 배출계수를 도출하기 위해 샘플링하여 성상을 분석한 연료유가 MDO는 6종, MF-180과 MF-380은 각각 3종에 불과하기 때문에, 평균값만으로 비교해 보는 것보다는 최대값과 최소값도 비교해 보는 것이 온실가스 배출량의 정확도를 평가하는 측면에서 유용한 정보일 것으로 판단되었기 때문이다.

**Table 34** IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 온실가스 배출량 비교 - 최대값

유종	사용량 (kl)	배출량 (Tier1, ton), (A)	배출량 (도출배출계수, ton), (B)	편차  1-A/B
MDO	43,203.93	118,388.19	118,634.59	0.21%
MF-180	77,056.32	221,675.86	224,091.43	1.08%
MF-380	33,460.92	99,399.42	100,214.49	0.81%

**Table 35** IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 온실가스 배출량 비교 - 최소값

유종	사용량 (kl)	배출량 (Tier1, ton), (A)	배출량 (도출배출계수, ton), (B)	편차  1-A/B
MDO	43,203.93	118,388.19	116,550.29	1.58%
MF-180	77,056.32	221,675.86	218,918.63	1.26%
MF-380	33,460.92	99,399.42	97,930.01	1.50%

**Table 36** IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 온실가스 배출량 비교 - 평균값

유종	사용량 (kl)	배출량 (Tier1, ton), (A)	배출량 (도출배출계수, ton), (B)	편차  1-A/B
MDO	43,203.93	118,388.19	116,866.07	1.30%
MF-180	77,056.32	221,675.86	221,867.85	0.09%
MF-380	33,460.92	99,399.42	99,261.10	0.14%

**Table 37** IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 온실가스 배출량 비교 - 최대값

유종	사용량 (kl)	배출량(IMO) (ton), (A)	배출량 (도출배출계수) (ton), (B)	편차  1-A/B
MDO	43,203.93	119,120.15	118,637.13	0.41%
MF-180	77,056.32	220,757.10	224,089.02	1.49%
MF-380	33,460.92	98,987.45	100,227.18	1.24%

**Table 38** IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 온실가스 배출량 비교 - 최소값

유종	사용량 (kl)	배출량(IMO) (ton), (A)	배출량 (도출배출계수) (ton), (B)	편차  1-A/B
MDO	43,203.93	119,120.15	114,995.90	3.59%
MF-180	77,056.32	220,757.10	218,913.91	0.84%
MF-380	33,460.92	98,987.45	97,938.45	1.07%

**Table 39** IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 온실가스 배출량 비교 - 평균값

유종	사용량 (kl)	배출량(IMO) (ton), (A)	배출량 (도출배출계수) (ton), (B)	편차  1-A/B
MDO	43,203.93	119,120.15	116,853.67	1.94%
MF-180	77,056.32	220,757.10	221,891.37	0.51%
MF-380	33,460.92	98,987.45	99,273.54	0.29%

**Table 40** 도출된 IPCC형 배출계수에 따른 온실가스 배출량 상호비교

유종	사용량(kl)	배출량 (IPCC형 도출배출계수, ton)			편차  1-Max/ Min
		최대	평균	최소	
MDO	43,203.93	118,634.59	116,866.07	116,550.29	1.79%
MF-180	77,056.32	224,091.43	221,867.85	218,918.63	2.36%
MF-380	33,460.92	100,214.49	99,261.10	97,930.01	2.33%

**Table 41** 도출된 IMO형 배출계수에 따른 온실가스 배출량 상호비교

유종	사용량(kl)	배출량 (IMO형 도출배출계수, ton)			편차  1-Max/ Min
		최대	평균	최소	
MDO	43,203.93	118,637.13	116,853.67	114,995.90	3.17%
MF-180	77,056.32	224,089.02	221,891.37	218,913.91	2.36%
MF-380	33,460.92	100,227.18	99,273.54	97,938.45	2.34%

Table 34 ~ Table 41에서 알 수 있듯이, 현재 선박분야 국가 고유 배출계수로 사용되고 있는 IPCC Guideline의 배출계수로 계산한 배출량과 도출된 IPCC형 배출계수와 샘플링 연료유의 평균 발열량으로 계산된 배출량은 그 오차는 0.09% ~ 1.58%이며, IMO 배출계수로 계산한 배출량과 도출된 IMO형 배출계수로 계산한 배출량의 차이는 0.29% ~ 3.59%이었다.

또한, Table 40 및 Table 41은 동일한 유종에 대해 도출된 배출계수의 최대값, 평균값 및 최소값을 적용하였을 경우의 온실가스 배출량을 나타낸 것이며, 동일한 유종이라 하더라도 1.79% ~ 3.17%의 편차를 나타낸다는 것을 알 수 있었다. 이러한 편차는 향후 충분한 수의 연료유에 대한 샘플링 및 성장분석이 이뤄진다고 하더라도 일정부분 존재할 것이다. 하지만, 충분한 수의 연료유에

대한 샘플링 및 성상분석이 이뤄지고, 관련 Data가 축적이 된다면, 최대값, 평균값 및 최소값에 대한 편차는 일정부분 존재하더라도 그 결과는 통계적인 측면에서 정규분포를 나타낼 것이고, 정규분포를 나타내는 Data에서 추출된 평균값은 높은 신뢰도를 가지게 될 것이다.

온실가스 배출량 통계 작성의 측면에서 1% 이상의 오차는 매우 큰 오차인 것으로 판단된다. 선박에서 배출되는 온실가스를 감축하기 위한 다양한 기술들이 존재하지만, 실제로 선박에서 감축효과를 낼 수 있는 기술이 그리 많지 않고, 선박에 적용되는 기술이라고 하더라도, 온실가스 배출량을 1% 이상 감축할 수 있다고 검증되어 있는 기술이 매우 미미한 상황을 고려해 본다면, 온실가스 배출량 통계 측면에서 1% 이상의 오차는 무시할 수 있는 수준의 오차가 아닌 것으로 판단된다.

온실가스 배출량 계산결과의 편차는 MDO가 가장 크고, MF-180과 MF-380은 그 오차가 상대적으로 작게 나타났으며, 이는 Table 31 ~ Table 33에 나타난 배출계수별 오차와 동일한 경향을 가지는 것이다.

다만, 본 논문에서는 매우 제한적인 숫자의 연료유 샘플링(MDO: 6종, MF-180: 3종, MF380: 3종)을 수행하였고, 샘플링된 연료유의 성상 분석 결과를 이용하여 도출된 배출계수이므로, 향후 관련된 Data가 축적된다면, Table 34 ~ Table 41에 나타난 오차가 축소 또는 확대될 수 있을 것이다. 하지만, Data의 축적은 선박용 국가 고유 배출계수의 개발 과정에서 축적될 수밖에 없고, 이는 선박용 국가 고유 배출계수의 개발이 전제되어야 하므로, 선박용 국가 고유 배출계수의 개발의 필요성 여부를 판단하기 위해서는 Table 34 ~ Table 41의 결과를 근거로 판단하여야 할 것이며, Table 34 ~ Table 41의 결과를 근거로 판단해 볼 때, 현재 사용되고 있는 IPCC Guideline의 배출계수 또는 IMO 배출계수를 적용함으로써 발생하는 오차를 없애고, 국내 연안 해운 분야의 온실가스 배출량을 좀 더 정확하게 산정하기 위해서는 반드시 별도의 국가 고유 배출계수의 개발이 필요하다고 판단된다.

다만, Table 42 ~ Table 60에 나타난 각 배출계수별 온실가스 배출량을 산정

하는 단계에서 연료유 비중과 발열량을 가정하여야 한다는 문제점이 있었으며, 이로 인해 오차도 상당할 것으로 판단된다.

MDO, MF-180, MF-380에 대해 비중을 각각 0.86, 0.92, 0.95를 적용하였으며, 발열량은 IPCC Guidelines의 배출계수에 따른 배출량 계산에서는 IPCC Guideline에서 제시되어 있는 발열량을 적용하였으며, Gas/Diesel Oil(43.0 TJ/Gg)을 MDO에 적용하였고, Residual Fuel Oil(40.4TJ/Gg)을 MF-180과 MF-380에 적용하였다. 또한, 도출된 IPCC형 배출계수를 이용한 온실가스 배출량 계산에서, 도출된 배출계수의 최대값과 최소값은 해당 샘플링 연료유의 참 발열량을 적용하였으며, 도출된 배출계수의 평균값에 대해서는 Table 26에 나타난 샘플링 연료유의 성분분석으로 확인된 참 발열량 평균값(MDO: 42,078.0J/g, MF-180: 40,268.7J/g, MF-380: 40,350.0J/g)을 적용하였다.

연료유의 사용량은 일반적으로 체적(kl)으로 통계가 작성되는데, IPCC형식의 배출계수는 “온실가스 배출량/발열량”의 단위를 가지고, 발열량은 “발열량/단위질량”의 단위를 가지기 때문에 연료유 사용량으로부터 온실가스 배출량을 계산하기 위해서는 체적 단위의 연료유 사용량을 비중을 이용하여 질량 단위의 사용량으로 변환하고, 이를 다시 참발열량을 이용하여 총 발열량으로 변환하여야 한다.

일반적으로 이러한 변환의 단계가 증가할수록 신뢰도가 낮아지는 것으로 알려져 있으며, 이는 변환계수의 신뢰도가 낮을수록 최종 결과물의 신뢰도가 더 낮아지는 결과를 낳게 된다.

이러한 상황으로 고려해 볼 때, 국내 연안해운의 온실가스 배출량을 정확하게 산정하기 위해서는 연료유 사용량을 발열량 단위로 통계를 작성하여야 하지만, 각 연료유의 발열량을 확인하기 위해서는 모든 연료유에 대해 발열량을 분석하여야 하지만, 이는 매우 많은 비용을 수반하여야 하므로, 현실적으로 불가능하다.

따라서 국내 연안해운의 온실가스 배출량을 정확하게 산정하기 위해서는 연료유 사용량을 질량 단위 또는 체적 및 밀도(또는 비중)로 통계를 작성하고, 발

열량을 별도로 분석하지 않아도 되는 IMO형식의 배출계수를 이용하여 산정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

특정한 종류의 연료유를 반복적 및 연속적으로 사용하고, 사용되는 연료유의 품질이 정부 등의 통제기관에 의해 관리되고 있는 육상용 연료유의 경우, 발열량을 비교적 정확하게 산정할 수 있기 때문에 IPCC Guideline의 Tier 1 배출계수 또는 IPCC Guideline에 따라 개발된 발열량 기준의 국가 고유 배출계수의 적용이 용이하다.

하지만, 매우 다양한 연료유가 사용되고, MGO를 제외한 거의 모든 연료유의 품질(특히, 발열량)이 통제기관에 의한 관리가 이뤄지지 않고 있는 선박용 연료유의 경우, 발열량을 추정하기가 거의 불가능하기 때문에 IPCC Guideline의 Tier 1 배출계수 또는 IPCC Guideline에 따라 개발된 발열량 기준의 국가 고유 배출계수를 적용하기 위해서는 매우 많은 비용이 필요하게 된다.

따라서 국내 연안해운의 온실가스 배출량 산정에는 IPCC Guideline의 Tier 1 배출계수 또는 IPCC Guideline에 따라 개발된 발열량 기준의 국가 고유 배출계수 대신에 실제 선박용 연료유의 성분분석을 통해 IMO형식의 Tier 2 배출계수를 개발하고 적용하는 것이 적절한 방법인 것으로 판단된다.

마지막으로, Table 42 ~ Table 60에서 비교란에 기존 배출계수(IPCC Guideline 배출계수 또는 IMO 배출계수)를 적용한 경우의 온실가스 배출량과 연료유 샘플링을 통해 도출된 배출계수를 적용한 경우의 온실가스 배출량을 비교하여, “기존 배출계수 적용 시 이익”과 “기존 배출계수 적용 시 손해”로 표기하였으며, “기존 배출계수 적용 시 이익”은 기존 배출계수로 산정한 온실가스 배출량이 도출 배출계수로 산정한 온실가스 배출량에 비해 적게 산정된 것을 의미하며, “기존 배출계수 적용 시 손해”는 기존 배출계수로 산정한 온실가스 배출량이 도출 배출계수로 산정한 온실가스 배출량에 비해 과도하게 것을 의미한다.

**Table 42** IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MDO (최대값)

	업체명	사용량 (ton)	Tier 1 발열량 (TJ/Gg)	Tier 1 배출계수 (kg/TJ)	Tier 1 배출량 (ton), (A)	샘플링 연료유 발열량 (TJ/Gg)	도출된 Tier 2 배출계수	Tier 2 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	보성해상개발(주)	4,044.58	43.00	74,100	12,887.25	41.10	77,686.90	12,914.07	0.21%	기존 배출 계수 적용 시 이익
2	대양해운(주)	3,868.28	43.00	74,100	12,325.50	41.10	77,686.90	12,351.15	0.21%	
3	(주)삼한강	3,333.36	43.00	74,100	10,621.08	41.10	77,686.90	10,643.19	0.21%	
4	대상해운(주)	2,816.35	43.00	74,100	8,973.75	41.10	77,686.90	8,992.43	0.21%	
5	(주)삼봉	2,769.20	43.00	74,100	8,823.50	41.10	77,686.90	8,841.87	0.21%	
6	삼양해운(주)	2,656.54	43.00	74,100	8,464.53	41.10	77,686.90	8,482.15	0.21%	
7	(주)울산선박	2,330.60	43.00	74,100	7,425.99	41.10	77,686.90	7,441.45	0.21%	
8	(주)강남선박	2,328.54	43.00	74,100	7,419.41	41.10	77,686.90	7,434.86	0.21%	
9	수양해운(주)	2,153.44	43.00	74,100	6,861.51	41.10	77,686.90	6,875.79	0.21%	
10	쌍용해운(주)	2,041.64	43.00	74,100	6,505.28	41.10	77,686.90	6,518.82	0.21%	
11	보람해운(주)	1,922.96	43.00	74,100	6,127.13	41.10	77,686.90	6,139.88	0.21%	
12	진명해운(주)	1,874.37	43.00	74,100	5,972.31	41.10	77,686.90	5,984.74	0.21%	
13	광양선박(주)	1,781.06	43.00	74,100	5,674.99	41.10	77,686.90	5,686.80	0.21%	
14	(주)한진	1,627.98	43.00	74,100	5,187.23	41.10	77,686.90	5,198.03	0.21%	
15	성진소재(주)	1,606.48	43.00	74,100	5,118.73	41.10	77,686.90	5,129.38	0.21%	
	합계	37,155.38	43.00	74,100	118,388.19	41.10	77,686.90	118,634.59	0.21%	

**Table 43** IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MDO (최대값)

	업체명	사용량 (ton)	Tier 1 발열량 (TJ/Gg)	Tier 1 배출계수 (kg/TJ)	Tier 1 배출량 (ton), (A)	샘플링 연료유 발열량 (TJ/Gg)	도출된 Tier 2 배출계수	Tier 2 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	보성해상개발(주)	4,044.58	43.00	74,100	12,887.25	41.10	77,686.90	12,914.07	0.21%	기존 배출 계수 적용 시 이익
2	대양해운(주)	3,868.28	43.00	74,100	12,325.50	41.10	77,686.90	12,351.15	0.21%	
3	(주)삼한강	3,333.36	43.00	74,100	10,621.08	41.10	77,686.90	10,643.19	0.21%	
4	대상해운(주)	2,816.35	43.00	74,100	8,973.75	41.10	77,686.90	8,992.43	0.21%	
5	(주)삼봉	2,769.20	43.00	74,100	8,823.50	41.10	77,686.90	8,841.87	0.21%	
6	삼양해운(주)	2,656.54	43.00	74,100	8,464.53	41.10	77,686.90	8,482.15	0.21%	
7	(주)울산선박	2,330.60	43.00	74,100	7,425.99	41.10	77,686.90	7,441.45	0.21%	
8	(주)강남선박	2,328.54	43.00	74,100	7,419.41	41.10	77,686.90	7,434.86	0.21%	
9	수양해운(주)	2,153.44	43.00	74,100	6,861.51	41.10	77,686.90	6,875.79	0.21%	
10	쌍용해운(주)	2,041.64	43.00	74,100	6,505.28	41.10	77,686.90	6,518.82	0.21%	
11	보람해운(주)	1,922.96	43.00	74,100	6,127.13	41.10	77,686.90	6,139.88	0.21%	
12	진명해운(주)	1,874.37	43.00	74,100	5,972.31	41.10	77,686.90	5,984.74	0.21%	
13	광양선박(주)	1,781.06	43.00	74,100	5,674.99	41.10	77,686.90	5,686.80	0.21%	
14	(주)한진	1,627.98	43.00	74,100	5,187.23	41.10	77,686.90	5,198.03	0.21%	
15	성진소재(주)	1,606.48	43.00	74,100	5,118.73	41.10	77,686.90	5,129.38	0.21%	
	합계	37,155.38	43.00	74,100	118,388.19	41.10	77,686.90	118,634.59	0.21%	

**Table 44** IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MDO (최대값)

	업체명	사용량 (ton)	IMO 배출계수 (ton/ton)	IMO 배출계수 배출량 (ton), (A)	도출된 IMO 배출계수	도출 배출계수 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	보성해상개발(주)	4,044.58	3.206	12,966.92	3.193	12,914.34	0.41%	기존 배출 계수 적용 시 손해
2	대양해운(주)	3,868.28	3.206	12,401.71	3.193	12,351.42	0.41%	
3	(주)삼한강	3,333.36	3.206	10,686.75	3.193	10,643.42	0.41%	
4	대상해운(주)	2,816.35	3.206	9,029.23	3.193	8,992.62	0.41%	
5	(주)삼봉	2,769.20	3.206	8,878.06	3.193	8,842.06	0.41%	
6	삼양해운(주)	2,656.54	3.206	8,516.87	3.193	8,482.33	0.41%	
7	(주)울산선박	2,330.60	3.206	7,471.90	3.193	7,441.61	0.41%	
8	(주)강남선박	2,328.54	3.206	7,465.29	3.193	7,435.02	0.41%	
9	수양해운(주)	2,153.44	3.206	6,903.93	3.193	6,875.93	0.41%	
10	쌍용해운(주)	2,041.64	3.206	6,545.50	3.193	6,518.96	0.41%	
11	보람해운(주)	1,922.96	3.206	6,165.01	3.193	6,140.01	0.41%	
12	진명해운(주)	1,874.37	3.206	6,009.23	3.193	5,984.86	0.41%	
13	광양선박(주)	1,781.06	3.206	5,710.08	3.193	5,686.92	0.41%	
14	(주)한진	1,627.98	3.206	5,219.30	3.193	5,198.14	0.41%	
15	성진소재(주)	1,606.48	3.206	5,150.37	3.193	5,129.49	0.41%	
	합계	37,155.38	3.206	119,120.15	3.193	118,637.13	0.41%	

**Table 45** IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MDO (최소값)

	업체명	사용량 (ton)	Tier 1 발열량 (TJ/Gg)	Tier 1 배출계수 (kg/TJ)	Tier 1 배출량 (ton), (A)	샘플링 연료유 발열량 (TJ/Gg)	도출된 Tier 2 배출계수	Tier 2 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	보성해상개발주	4,044.58	43.00	74,100	12,887.25	42.83	73,239.20	12,687.18	1.58%	기존 배출 계수 적용 시 손해
2	대양해운주	3,868.28	43.00	74,100	12,325.50	42.83	73,239.20	12,134.16	1.58%	
3	(주)삼한강	3,333.36	43.00	74,100	10,621.08	42.83	73,239.20	10,456.20	1.58%	
4	대상해운주	2,816.35	43.00	74,100	8,973.75	42.83	73,239.20	8,834.44	1.58%	
5	(주)삼봉	2,769.20	43.00	74,100	8,823.50	42.83	73,239.20	8,686.52	1.58%	
6	삼양해운주	2,656.54	43.00	74,100	8,464.53	42.83	73,239.20	8,333.13	1.58%	
7	(주)울산선박	2,330.60	43.00	74,100	7,425.99	42.83	73,239.20	7,310.71	1.58%	
8	(주)강남선박	2,328.54	43.00	74,100	7,419.41	42.83	73,239.20	7,304.23	1.58%	
9	수양해운주	2,153.44	43.00	74,100	6,861.51	42.83	73,239.20	6,754.99	1.58%	
10	쌍용해운주	2,041.64	43.00	74,100	6,505.28	42.83	73,239.20	6,404.29	1.58%	
11	보람해운주	1,922.96	43.00	74,100	6,127.13	42.83	73,239.20	6,032.01	1.58%	
12	진명해운주	1,874.37	43.00	74,100	5,972.31	42.83	73,239.20	5,879.59	1.58%	
13	광양선박주	1,781.06	43.00	74,100	5,674.99	42.83	73,239.20	5,586.89	1.58%	
14	(주)한진	1,627.98	43.00	74,100	5,187.23	42.83	73,239.20	5,106.70	1.58%	
15	성진소재주	1,606.48	43.00	74,100	5,118.73	42.83	73,239.20	5,039.26	1.58%	
	합계	37,155.38	43.00	74,100	118,388.19	42.83	73,239.20	116,550.29	1.58%	

**Table 46** IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MDO (최소값)

	업체명	사용량 (ton)	IMO 배출계수 (ton/ton)	IMO 배출계수 배출량 (ton), (A)	도출된 IMO 배출계수	도출 배출계수 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	보성해상개발(주)	4,044.58	3.206	12,966.92	3.095	12,517.98	3.59%	기존 배출계 수 적용시 손해
2	대양해운(주)	3,868.28	3.206	12,401.71	3.095	11,972.33	3.59%	
3	(주)삼한강	3,333.36	3.206	10,686.75	3.095	10,316.75	3.59%	
4	대상해운(주)	2,816.35	3.206	9,029.23	3.095	8,716.62	3.59%	
5	(주)삼봉	2,769.20	3.206	8,878.06	3.095	8,570.67	3.59%	
6	삼양해운(주)	2,656.54	3.206	8,516.87	3.095	8,221.99	3.59%	
7	(주)울산선박	2,330.60	3.206	7,471.90	3.095	7,213.21	3.59%	
8	(주)강남선박	2,328.54	3.206	7,465.29	3.095	7,206.82	3.59%	
9	수양해운(주)	2,153.44	3.206	6,903.93	3.095	6,664.90	3.59%	
10	쌍용해운(주)	2,041.64	3.206	6,545.50	3.095	6,318.88	3.59%	
11	보람해운(주)	1,922.96	3.206	6,165.01	3.095	5,951.56	3.59%	
12	진명해운(주)	1,874.37	3.206	6,009.23	3.095	5,801.18	3.59%	
13	광양선박(주)	1,781.06	3.206	5,710.08	3.095	5,512.38	3.59%	
14	(주)한진	1,627.98	3.206	5,219.30	3.095	5,038.60	3.59%	
15	성진소재(주)	1,606.48	3.206	5,150.37	3.095	4,972.06	3.59%	
	합계	37,155.38	3.206	119,120.15	3.095	114,995.90	3.59%	

**Table 47** IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MDO (평균값)

	업체명	사용량 (ton)	Tier 1 발열량 (TJ/Gg)	Tier 1 배출계수 (kg/TJ)	Tier 1 배출량 (ton), (A)	샘플링 연료유 발열량 (TJ/Gg)	도출된 Tier 2 배출계수	Tier 2 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	보성해상개발(주)	4,044.58	43.00	74,100	12,887.25	42.08	74,750.08	12,721.55	1.30%	기존 배출 계수 적용 시 손해
2	대양해운(주)	3,868.28	43.00	74,100	12,325.50	42.08	74,750.08	12,167.03	1.30%	
3	(주)삼한강	3,333.36	43.00	74,100	10,621.08	42.08	74,750.08	10,484.53	1.30%	
4	대상해운(주)	2,816.35	43.00	74,100	8,973.75	42.08	74,750.08	8,858.37	1.30%	
5	(주)삼봉	2,769.20	43.00	74,100	8,823.50	42.08	74,750.08	8,710.06	1.30%	
6	삼양해운(주)	2,656.54	43.00	74,100	8,464.53	42.08	74,750.08	8,355.71	1.30%	
7	(주)울산선박	2,330.60	43.00	74,100	7,425.99	42.08	74,750.08	7,330.52	1.30%	
8	(주)강남선박	2,328.54	43.00	74,100	7,419.41	42.08	74,750.08	7,324.02	1.30%	
9	수양해운(주)	2,153.44	43.00	74,100	6,861.51	42.08	74,750.08	6,773.29	1.30%	
10	쌍용해운(주)	2,041.64	43.00	74,100	6,505.28	42.08	74,750.08	6,421.64	1.30%	
11	보람해운(주)	1,922.96	43.00	74,100	6,127.13	42.08	74,750.08	6,048.35	1.30%	
12	진명해운(주)	1,874.37	43.00	74,100	5,972.31	42.08	74,750.08	5,895.52	1.30%	
13	광양선박(주)	1,781.06	43.00	74,100	5,674.99	42.08	74,750.08	5,602.03	1.30%	
14	(주)한진	1,627.98	43.00	74,100	5,187.23	42.08	74,750.08	5,120.54	1.30%	
15	성진소재(주)	1,606.48	43.00	74,100	5,118.73	42.08	74,750.08	5,052.92	1.30%	
	합계	37,155.38	43.00	74,100	118,388.19	42.08	74,750.08	116,866.07	1.30%	

**Table 48** IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MDO (평균값)

	업체명	사용량 (ton)	IMO 배출계수 (ton/ton)	IMO 배출계수 배출량 (ton), (A)	도출된 IMO 배출계수	도출 배출계수 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	보성해상개발주)	4,044.58	3.206	12,966.92	3.145	12,720.20	1.94%	기존 배출계 수 적용시 손해
2	대양해운(주)	3,868.28	3.206	12,401.71	3.145	12,165.74	1.94%	
3	(주)삼한강	3,333.36	3.206	10,686.75	3.145	10,483.42	1.94%	
4	대상해운(주)	2,816.35	3.206	9,029.23	3.145	8,857.43	1.94%	
5	(주)삼봉	2,769.20	3.206	8,878.06	3.145	8,709.13	1.94%	
6	삼양해운(주)	2,656.54	3.206	8,516.87	3.145	8,354.82	1.94%	
7	(주)울산선박	2,330.60	3.206	7,471.90	3.145	7,329.74	1.94%	
8	(주)강남선박	2,328.54	3.206	7,465.29	3.145	7,323.25	1.94%	
9	수양해운(주)	2,153.44	3.206	6,903.93	3.145	6,772.57	1.94%	
10	쌍용해운(주)	2,041.64	3.206	6,545.50	3.145	6,420.96	1.94%	
11	보람해운(주)	1,922.96	3.206	6,165.01	3.145	6,047.71	1.94%	
12	진명해운(주)	1,874.37	3.206	6,009.23	3.145	5,894.89	1.94%	
13	광양선박(주)	1,781.06	3.206	5,710.08	3.145	5,601.43	1.94%	
14	(주)한진	1,627.98	3.206	5,219.30	3.145	5,120.00	1.94%	
15	성진소재(주)	1,606.48	3.206	5,150.37	3.145	5,052.38	1.94%	
	합계	37,155.38	3.206	119,120.15	3.145	116,853.67	1.94%	

**Table 49** IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MF-180 (최대값)

	업체명	사용량 (ton)	Tier 1 발열량 (TJ/Gg)	Tier 1 배출계수 (kg/TJ)	Tier 1 배출량 (ton), (A)	샘플링 연료유 발열량 (TJ/Gg)	도출된 Tier 2 배출계수	Tier 2 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	동양시멘트(주)해운	12,850.05	40.40	77,400	40,181.60	40.01	79,006.10	40,619.45	1.08%	기존 배출 계수 적용 시 이익
2	씨월드고속훼리(주)	11,300.36	40.40	77,400	35,335.77	40.01	79,006.10	35,720.82	1.08%	
3	(주)한진	7,862.37	40.40	77,400	24,585.30	40.01	79,006.10	24,853.20	1.08%	
4	광양선박(주)	5,524.60	40.40	77,400	17,275.20	40.01	79,006.10	17,463.45	1.08%	
5	(주)동방 창원지사	4,922.00	40.40	77,400	15,390.90	40.01	79,006.10	15,558.61	1.08%	
6	쌍용해운(주)	4,617.31	40.40	77,400	14,438.16	40.01	79,006.10	14,595.49	1.08%	
7	(주)한일고속	3,900.80	40.40	77,400	12,197.65	40.01	79,006.10	12,330.56	1.08%	
8	삼선로직스(주)	3,882.40	40.40	77,400	12,140.11	40.01	79,006.10	12,272.40	1.08%	
9	성우해운(주)	3,509.80	40.40	77,400	10,975.00	40.01	79,006.10	11,094.60	1.08%	
10	영우해운(주)	2,617.40	40.40	77,400	8,184.51	40.01	79,006.10	8,273.69	1.08%	
11	이마린(주)	2,471.12	40.40	77,400	7,727.09	40.01	79,006.10	7,811.29	1.08%	
12	두라해운(주)	2,346.00	40.40	77,400	7,335.85	40.01	79,006.10	7,415.79	1.08%	
13	오션렉스코리아(주)	2,106.80	40.40	77,400	6,587.88	40.01	79,006.10	6,659.67	1.08%	
14	일신해운(주)	1,490.40	40.40	77,400	4,660.42	40.01	79,006.10	4,711.21	1.08%	
15	일신상선(주)	1,490.40	40.40	77,400	4,660.42	40.01	79,006.10	4,711.21	1.08%	
	합계	70,891.81	40.40	77,400	221,675.86	40.01	79,006.10	224,091.43	1.08%	

**Table 50** IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MF-180 (최대값)

	업체명	사용량 (ton)	IMO 배출계수 (ton/ton)	IMO 배출계수 배출량 (ton), (A)	도출된 IMO 배출계수	도출 배출계수 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	동양시멘트(주)해운	12,850.05	3.114	40,015.06	3.161	40,619.01	1.49%	기존 배출계 수 적용시 이익
2	씨월드고속훼리(주)	11,300.36	3.114	35,189.32	3.161	35,720.44	1.49%	
3	(주)한진	7,862.37	3.114	24,483.40	3.161	24,852.94	1.49%	
4	광양선박(주)	5,524.60	3.114	17,203.60	3.161	17,463.26	1.49%	
5	(주)동방 창원지사	4,922.00	3.114	15,327.11	3.161	15,558.44	1.49%	
6	쌍용해운(주)	4,617.31	3.114	14,378.32	3.161	14,595.33	1.49%	
7	(주)한일고속	3,900.80	3.114	12,147.09	3.161	12,330.43	1.49%	
8	삼선로직스(주)	3,882.40	3.114	12,089.79	3.161	12,272.27	1.49%	
9	성우해운(주)	3,509.80	3.114	10,929.52	3.161	11,094.48	1.49%	
10	영우해운(주)	2,617.40	3.114	8,150.58	3.161	8,273.60	1.49%	
11	이마린(주)	2,471.12	3.114	7,695.07	3.161	7,811.21	1.49%	
12	두라해운(주)	2,346.00	3.114	7,305.44	3.161	7,415.71	1.49%	
13	오션렉스코리아(주)	2,106.80	3.114	6,560.58	3.161	6,659.59	1.49%	
14	일신해운(주)	1,490.40	3.114	4,641.11	3.161	4,711.15	1.49%	
15	일신상선(주)	1,490.40	3.114	4,641.11	3.161	4,711.15	1.49%	
	합계	70,891.81	3.114	220,757.10	3.161	224,089.02	1.49%	

**Table 51** IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MF-180 (최소값)

	업체명	사용량 (ton)	Tier 1 발열량 (TJ/Gg)	Tier 1 배출계수 (kg/TJ)	Tier 1 배출량 (ton), (A)	샘플링 연료유 발열량 (TJ/Gg)	도출된 Tier 2 배출계수	Tier 2 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	동양시멘트(주)해운	12,850.05	40.40	77,400	40,181.60	40.14	76,932.40	39,681.82	1.26%	기존 배출 계수 적용 시 손해
2	씨월드고속해리(주)	11,300.36	40.40	77,400	35,335.77	40.14	76,932.40	34,896.26	1.26%	
3	(주)한진	7,862.37	40.40	77,400	24,585.30	40.14	76,932.40	24,279.51	1.26%	
4	광양선박(주)	5,524.60	40.40	77,400	17,275.20	40.14	76,932.40	17,060.33	1.26%	
5	(주)동방 창원지사	4,922.00	40.40	77,400	15,390.90	40.14	76,932.40	15,199.46	1.26%	
6	쌍용해운(주)	4,617.31	40.40	77,400	14,438.16	40.14	76,932.40	14,258.57	1.26%	
7	(주)한일고속	3,900.80	40.40	77,400	12,197.65	40.14	76,932.40	12,045.93	1.26%	
8	삼선로직스(주)	3,882.40	40.40	77,400	12,140.11	40.14	76,932.40	11,989.11	1.26%	
9	성우해운(주)	3,509.80	40.40	77,400	10,975.00	40.14	76,932.40	10,838.50	1.26%	
10	영우해운(주)	2,617.40	40.40	77,400	8,184.51	40.14	76,932.40	8,082.71	1.26%	
11	이마린(주)	2,471.12	40.40	77,400	7,727.09	40.14	76,932.40	7,630.98	1.26%	
12	두라해운(주)	2,346.00	40.40	77,400	7,335.85	40.14	76,932.40	7,244.60	1.26%	
13	오션렉스코리아(주)	2,106.80	40.40	77,400	6,587.88	40.14	76,932.40	6,505.94	1.26%	
14	일신해운(주)	1,490.40	40.40	77,400	4,660.42	40.14	76,932.40	4,602.45	1.26%	
15	일신상선(주)	1,490.40	40.40	77,400	4,660.42	40.14	76,932.40	4,602.45	1.26%	
	합계	70,891.81	40.40	77,400	221,675.86	40.14	76,932.40	218,918.63	1.26%	

**Table 52** IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MF-180 (최소값)

	업체명	사용량 (ton)	IMO 배출계수 (ton/ton)	IMO 배출계수 배출량 (ton), (A)	도출된 IMO 배출계수	도출 배출계수 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	동양시멘트(주)해운	12,850.05	3.114	40,015.06	3.088	39,680.96	0.84%	기존 배출계 수 적용시 손해
2	씨월드고속훼리(주)	11,300.36	3.114	35,189.32	3.088	34,895.51	0.84%	
3	(주)한진	7,862.37	3.114	24,483.40	3.088	24,278.98	0.84%	
4	광양선박(주)	5,524.60	3.114	17,203.60	3.088	17,059.96	0.84%	
5	(주)동방 창원지사	4,922.00	3.114	15,327.11	3.088	15,199.14	0.84%	
6	쌍용해운(주)	4,617.31	3.114	14,378.32	3.088	14,258.27	0.84%	
7	(주)한일고속	3,900.80	3.114	12,147.09	3.088	12,045.67	0.84%	
8	삼선로직스(주)	3,882.40	3.114	12,089.79	3.088	11,988.85	0.84%	
9	성우해운(주)	3,509.80	3.114	10,929.52	3.088	10,838.26	0.84%	
10	영우해운(주)	2,617.40	3.114	8,150.58	3.088	8,082.53	0.84%	
11	이마린(주)	2,471.12	3.114	7,695.07	3.088	7,630.82	0.84%	
12	두라해운(주)	2,346.00	3.114	7,305.44	3.088	7,244.45	0.84%	
13	오션렉스코리아(주)	2,106.80	3.114	6,560.58	3.088	6,505.80	0.84%	
14	일신해운(주)	1,490.40	3.114	4,641.11	3.088	4,602.36	0.84%	
15	일신상선(주)	1,490.40	3.114	4,641.11	3.088	4,602.36	0.84%	
	합계	70,891.81	3.114	220,757.10	3.088	218,913.91	0.84%	

**Table 53** IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MF-180 (평균값)

	업체명	사용량 (ton)	Tier 1 발열량 (TJ/Gg)	Tier 1 배출계수 (kg/TJ)	Tier 1 배출량 (ton), (A)	샘플링 연료유 발열량 (TJ/Gg)	도출된 Tier 2 배출계수	Tier 2 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	동양시멘트(주)해운	12,850.05	40.40	77,400	40,181.60	40.29	77,684.90	40,216.40	0.09%	기존 배출 계수 적용 시 이익
2	씨월드고속훼리(주)	11,300.36	40.40	77,400	35,335.77	40.29	77,684.90	35,366.38	0.09%	
3	(주)한진	7,862.37	40.40	77,400	24,585.30	40.29	77,684.90	24,606.59	0.09%	
4	광양선박(주)	5,524.60	40.40	77,400	17,275.20	40.29	77,684.90	17,290.17	0.09%	
5	(주)동방 창원지사	4,922.00	40.40	77,400	15,390.90	40.29	77,684.90	15,404.23	0.09%	
6	쌍용해운(주)	4,617.31	40.40	77,400	14,438.16	40.29	77,684.90	14,450.66	0.09%	
7	(주)한일고속	3,900.80	40.40	77,400	12,197.65	40.29	77,684.90	12,208.21	0.09%	
8	삼선로직스(주)	3,882.40	40.40	77,400	12,140.11	40.29	77,684.90	12,150.62	0.09%	
9	성우해운(주)	3,509.80	40.40	77,400	10,975.00	40.29	77,684.90	10,984.51	0.09%	
10	영우해운(주)	2,617.40	40.40	77,400	8,184.51	40.29	77,684.90	8,191.59	0.09%	
11	이마린(주)	2,471.12	40.40	77,400	7,727.09	40.29	77,684.90	7,733.79	0.09%	
12	두라해운(주)	2,346.00	40.40	77,400	7,335.85	40.29	77,684.90	7,342.20	0.09%	
13	오션렉스코리아(주)	2,106.80	40.40	77,400	6,587.88	40.29	77,684.90	6,593.59	0.09%	
14	일신해운(주)	1,490.40	40.40	77,400	4,660.42	40.29	77,684.90	4,664.46	0.09%	
15	일신상선(주)	1,490.40	40.40	77,400	4,660.42	40.29	77,684.90	4,664.46	0.09%	
	합계	70,891.81	40.40	77,400	221,675.86	40.29	77,684.90	221,867.85	0.09%	

**Table 54** IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MF-180 (평균값)

	업체명	사용량 (ton)	IMO 배출계수 (ton/ton)	IMO 배출계수 배출량 (ton), (A)	도출된 IMO 배출계수	도출 배출계수 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	동양시멘트(주)해운	12,850.05	3.114	40,015.06	3.130	40,220.66	0.51%	기존 배출 계수 적용 시 이익
2	씨월드고속훼리(주)	11,300.36	3.114	35,189.32	3.130	35,370.13	0.51%	
3	(주)한진	7,862.37	3.114	24,483.40	3.130	24,609.20	0.51%	
4	광양선박(주)	5,524.60	3.114	17,203.60	3.130	17,292.00	0.51%	
5	(주)동방 창원지사	4,922.00	3.114	15,327.11	3.130	15,405.86	0.51%	
6	쌍용해운(주)	4,617.31	3.114	14,378.32	3.130	14,452.19	0.51%	
7	(주)한일고속	3,900.80	3.114	12,147.09	3.130	12,209.50	0.51%	
8	삼선로직스(주)	3,882.40	3.114	12,089.79	3.130	12,151.91	0.51%	
9	성우해운(주)	3,509.80	3.114	10,929.52	3.130	10,985.67	0.51%	
10	영우해운(주)	2,617.40	3.114	8,150.58	3.130	8,192.46	0.51%	
11	이마린(주)	2,471.12	3.114	7,695.07	3.130	7,734.61	0.51%	
12	두라해운(주)	2,346.00	3.114	7,305.44	3.130	7,342.98	0.51%	
13	오션렉스코리아(주)	2,106.80	3.114	6,560.58	3.130	6,594.28	0.51%	
14	일신해운(주)	1,490.40	3.114	4,641.11	3.130	4,664.95	0.51%	
15	일신상선(주)	1,490.40	3.114	4,641.11	3.130	4,664.95	0.51%	
	합계	70,891.81	3.114	220,757.10	3.130	221,891.37	0.51%	

**Table 55** IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MF-380 (최대값)

	업체명	사용량 (ton)	Tier 1 발열량 (TJ/Gg)	Tier 1 배출계수 (kg/TJ)	Tier 1 배출량 (ton), (A)	샘플링 연료유 발열량 (TJ/Gg)	도출된 Tier 2 배출계수	Tier 2 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	CS칼텍스(주) (상지해운)	5,267.14	40.40	77,400	16,470.14	40.39	78,054.00	16,605.20	0.81%	기존 배출 계수 적용 시 이익
2	(주)제주케이라인	3,990.00	40.40	77,400	12,476.57	40.39	78,054.00	12,578.88	0.81%	
3	(주)인트란스	3,952.00	40.40	77,400	12,357.75	40.39	78,054.00	12,459.08	0.81%	
4	삼부해운(주)	3,505.50	40.40	77,400	10,961.56	40.39	78,054.00	11,051.44	0.81%	
5	한선해운(주)	3,185.20	40.40	77,400	9,959.99	40.39	78,054.00	10,041.66	0.81%	
6	일신로지스틱스 (주)	2,764.50	40.40	77,400	8,644.48	40.39	78,054.00	8,715.37	0.81%	
7	(주)한진	2,552.24	40.40	77,400	7,980.76	40.39	78,054.00	8,046.20	0.81%	
8	동림탱커(주)	2,262.85	40.40	77,400	7,075.85	40.39	78,054.00	7,133.87	0.81%	
9	(주)씨엔엠	1,026.00	40.40	77,400	3,208.26	40.39	78,054.00	3,234.57	0.81%	
10	(주)보원마린	912.00	40.40	77,400	2,851.79	40.39	78,054.00	2,875.17	0.81%	
11	동광유업(주)	776.15	40.40	77,400	2,426.99	40.39	78,054.00	2,446.89	0.81%	
12	썬에이스해운(주)	763.80	40.40	77,400	2,388.37	40.39	78,054.00	2,407.96	0.81%	
13	(주)원진해운	456.00	40.40	77,400	1,425.89	40.39	78,054.00	1,437.59	0.81%	
14	(주)영진선박급유	209.00	40.40	77,400	653.53	40.39	78,054.00	658.89	0.81%	
15	우민해운(주)	165.49	40.40	77,400	517.48	40.39	78,054.00	521.72	0.81%	
	합계	31,787.88	40.40	77,400	99,399.42	40.39	78,054.00	100,214.49	0.81%	

**Table 56** IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MF-380 (최대값)

	업체명	사용량 (ton)	IMO 배출계수 (ton/ton)	IMO 배출계수 배출량 (ton), (A)	도출된 IMO 배출계수	도출 배출계수 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	GS칼텍스주 (상지해운)	5,267.14	3.114	16,401.88	3.153	16,607.30	1.24%	기존 배출 계수 적용 시 이익
2	(주)제주케이라인	3,990.00	3.114	12,424.86	3.153	12,580.47	1.24%	
3	(주)인트란스	3,952.00	3.114	12,306.53	3.153	12,460.66	1.24%	
4	삼부해운주	3,505.50	3.114	10,916.13	3.153	11,052.84	1.24%	
5	한선해운주	3,185.20	3.114	9,918.71	3.153	10,042.94	1.24%	
6	일신로지스틱스주	2,764.50	3.114	8,608.65	3.153	8,716.47	1.24%	
7	(주)한진	2,552.24	3.114	7,947.68	3.153	8,047.22	1.24%	
8	동림탱커주	2,262.85	3.114	7,046.52	3.153	7,134.77	1.24%	
9	(주)씨엔엠	1,026.00	3.114	3,194.96	3.153	3,234.98	1.24%	
10	(주)보원마린	912.00	3.114	2,839.97	3.153	2,875.54	1.24%	
11	동광유업주	776.15	3.114	2,416.93	3.153	2,447.20	1.24%	
12	션에이스해운주	763.80	3.114	2,378.47	3.153	2,408.26	1.24%	
13	(주)원진해운	456.00	3.114	1,419.98	3.153	1,437.77	1.24%	
14	(주)영진선박금융	209.00	3.114	650.83	3.153	658.98	1.24%	
15	우민해운주	165.49	3.114	515.34	3.153	521.79	1.24%	
	합계	31,787.88	3.114	98,987.45	3.153	100,227.18	1.24%	

**Table 57** IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MF-380 (최소값)

	업체명	사용량 (ton)	Tier 1 발열량 (TJ/Gg)	Tier 1 배출계수 (kg/TJ)	Tier 1 배출량 (ton), (A)	샘플링 연료유 발열량 (TJ/Gg)	도출된 Tier 2 배출계수	Tier 2 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	GS칼텍스(주) (상지해운)	5,267.14	40.40	77,400	16,470.14	40.10	76,826.30	16,226.67	1.50%	기존 배출 계수 적용 시 손해
2	(주)제주케아라인	3,990.00	40.40	77,400	12,476.57	40.10	76,826.30	12,292.13	1.50%	
3	(주)인트란스	3,952.00	40.40	77,400	12,357.75	40.10	76,826.30	12,175.06	1.50%	
4	삼부해운(주)	3,505.50	40.40	77,400	10,961.56	40.10	76,826.30	10,799.52	1.50%	
5	한선해운(주)	3,185.20	40.40	77,400	9,959.99	40.10	76,826.30	9,812.76	1.50%	
6	일신로지스틱스(주)	2,764.50	40.40	77,400	8,644.48	40.10	76,826.30	8,516.69	1.50%	
7	(주)한진	2,552.24	40.40	77,400	7,980.76	40.10	76,826.30	7,862.78	1.50%	
8	동림탱커(주)	2,262.85	40.40	77,400	7,075.85	40.10	76,826.30	6,971.25	1.50%	
9	(주)씨엔엠	1,026.00	40.40	77,400	3,208.26	40.10	76,826.30	3,160.83	1.50%	
10	(주)보원마린	912.00	40.40	77,400	2,851.79	40.10	76,826.30	2,809.63	1.50%	
11	동광유업(주)	776.15	40.40	77,400	2,426.99	40.10	76,826.30	2,391.11	1.50%	
12	썬에이스해운(주)	763.80	40.40	77,400	2,388.37	40.10	76,826.30	2,353.07	1.50%	
13	(주)원진해운	456.00	40.40	77,400	1,425.89	40.10	76,826.30	1,404.81	1.50%	
14	(주)영진선박금융	209.00	40.40	77,400	653.53	40.10	76,826.30	643.87	1.50%	
15	우민해운(주)	165.49	40.40	77,400	517.48	40.10	76,826.30	509.83	1.50%	
	합계	31,787.88	40.40	77,400	99,399.42	40.10	76,826.30	97,930.01	1.50%	

**Table 58** IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MF-380 (최소값)

	업체명	사용량 (ton)	IMO 배출계수 (ton/ton)	IMO 배출계수 배출량 (ton), (A)	도출된 IMO 배출계수	도출 배출계수 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	GS칼텍스주 (상지해운)	5,267.14	3.114	16,401.88	3.08	16,228.06	1.07%	기존 배출계 수 적용시 손해
2	(주)제주케이라인	3,990.00	3.114	12,424.86	3.08	12,293.19	1.07%	
3	(주)인트란스	3,952.00	3.114	12,306.53	3.08	12,176.11	1.07%	
4	삼부해운주	3,505.50	3.114	10,916.13	3.08	10,800.45	1.07%	
5	한선해운주	3,185.20	3.114	9,918.71	3.08	9,813.60	1.07%	
6	일신로지스틱스주	2,764.50	3.114	8,608.65	3.08	8,517.42	1.07%	
7	(주)한진	2,552.24	3.114	7,947.68	3.08	7,863.46	1.07%	
8	동림탱커주	2,262.85	3.114	7,046.52	3.08	6,971.85	1.07%	
9	(주)씨엔엠	1,026.00	3.114	3,194.96	3.08	3,161.11	1.07%	
10	(주)보원마린	912.00	3.114	2,839.97	3.08	2,809.87	1.07%	
11	동광유업주	776.15	3.114	2,416.93	3.08	2,391.32	1.07%	
12	썬에이스해운주	763.80	3.114	2,378.47	3.08	2,353.27	1.07%	
13	(주)원진해운	456.00	3.114	1,419.98	3.08	1,404.94	1.07%	
14	(주)영진선박금융	209.00	3.114	650.83	3.08	643.93	1.07%	
15	우민해운주	165.49	3.114	515.34	3.08	509.87	1.07%	
	합계	31,787.88	3.114	98,987.45	3.08	97,938.45	1.07%	

**Table 59** IPCC 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MF-380 (평균값)

	업체명	사용량 (ton)	Tier 1 발열량 (TJ/Gg)	Tier 1 배출계수 (kg/TJ)	Tier 1 배출량 (ton), (A)	샘플링 연료유 발열량 (TJ/Gg)	도출된 Tier 2 배출계수	Tier 2 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	GS칼텍스(주) (상지해운)	5,267.14	40.40	77,400	16,470.14	40.35	77,388.07	16,447.22	0.14%	기존 배출 계수 적용 시 손해
2	(주)제주케이라인	3,990.00	40.40	77,400	12,476.57	40.35	77,388.07	12,459.21	0.14%	
3	(주)인트란스	3,952.00	40.40	77,400	12,357.75	40.35	77,388.07	12,340.55	0.14%	
4	삼부해운(주)	3,505.50	40.40	77,400	10,961.56	40.35	77,388.07	10,946.30	0.14%	
5	한선해운(주)	3,185.20	40.40	77,400	9,959.99	40.35	77,388.07	9,946.13	0.14%	
6	일신로지스틱스(주)	2,764.50	40.40	77,400	8,644.48	40.35	77,388.07	8,632.45	0.14%	
7	(주)한진	2,552.24	40.40	77,400	7,980.76	40.35	77,388.07	7,969.65	0.14%	
8	동림탱커(주)	2,262.85	40.40	77,400	7,075.85	40.35	77,388.07	7,066.00	0.14%	
9	(주)씨엔엠	1,026.00	40.40	77,400	3,208.26	40.35	77,388.07	3,203.80	0.14%	
10	(주)보원마린	912.00	40.40	77,400	2,851.79	40.35	77,388.07	2,847.82	0.14%	
11	동광유업(주)	776.15	40.40	77,400	2,426.99	40.35	77,388.07	2,423.61	0.14%	
12	썬에이스해운(주)	763.80	40.40	77,400	2,388.37	40.35	77,388.07	2,385.05	0.14%	
13	(주)원진해운	456.00	40.40	77,400	1,425.89	40.35	77,388.07	1,423.91	0.14%	
14	(주)영진선박금융	209.00	40.40	77,400	653.53	40.35	77,388.07	652.63	0.14%	
15	우민해운(주)	165.49	40.40	77,400	517.48	40.35	77,388.07	516.76	0.14%	
	합계	31,787.88	40.40	77,400	99,399.42	40.35	77,388.07	99,261.10	0.14%	

**Table 60** IMO 배출계수와 도출된 배출계수에 따른 상위 15개사(2015년)  
온실가스 배출량 비교 - MF-380 (평균값)

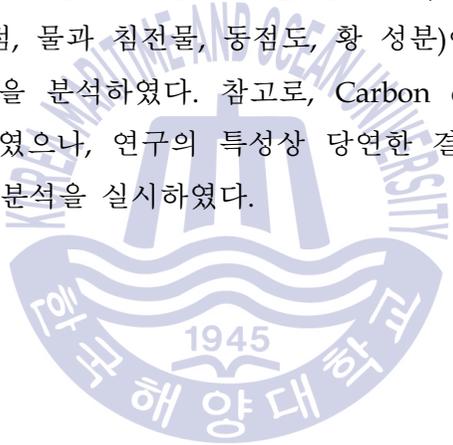
	업체명	사용량 (ton)	IMO 배출계수 (ton/ton)	IMO 배출계수 배출량 (ton), (A)	도출된 IMO 배출계수	도출 배출계수 배출량 (ton), (B)	편차  1-A/B	비고
1	GS칼텍스(주) (상지해운)	5,267.14	3.114	16,401.88	3.12	16,449.28	0.29%	기존 배출계 수 적용시 이익
2	(주)제주케이라인	3,990.00	3.114	12,424.86	3.12	12,460.77	0.29%	
3	(주)인트란스	3,952.00	3.114	12,306.53	3.12	12,342.10	0.29%	
4	삼부해운(주)	3,505.50	3.114	10,916.13	3.12	10,947.68	0.29%	
5	한선해운(주)	3,185.20	3.114	9,918.71	3.12	9,947.38	0.29%	
6	일신로지스틱스(주)	2,764.50	3.114	8,608.65	3.12	8,633.53	0.29%	
7	(주)한진	2,552.24	3.114	7,947.68	3.12	7,970.65	0.29%	
8	동림탱커(주)	2,262.85	3.114	7,046.52	3.12	7,066.89	0.29%	
9	(주)씨엔엠	1,026.00	3.114	3,194.96	3.12	3,204.20	0.29%	
10	(주)보원마린	912.00	3.114	2,839.97	3.12	2,848.18	0.29%	
11	동광유업(주)	776.15	3.114	2,416.93	3.12	2,423.92	0.29%	
12	션에이스해운(주)	763.80	3.114	2,378.47	3.12	2,385.35	0.29%	
13	(주)원진해운	456.00	3.114	1,419.98	3.12	1,424.09	0.29%	
14	(주)영진선박금융	209.00	3.114	650.83	3.12	652.71	0.29%	
15	우민해운(주)	165.49	3.114	515.34	3.12	516.83	0.29%	
	합계	31,787.88	3.114	98,987.45	3.12	99,273.54	0.29%	

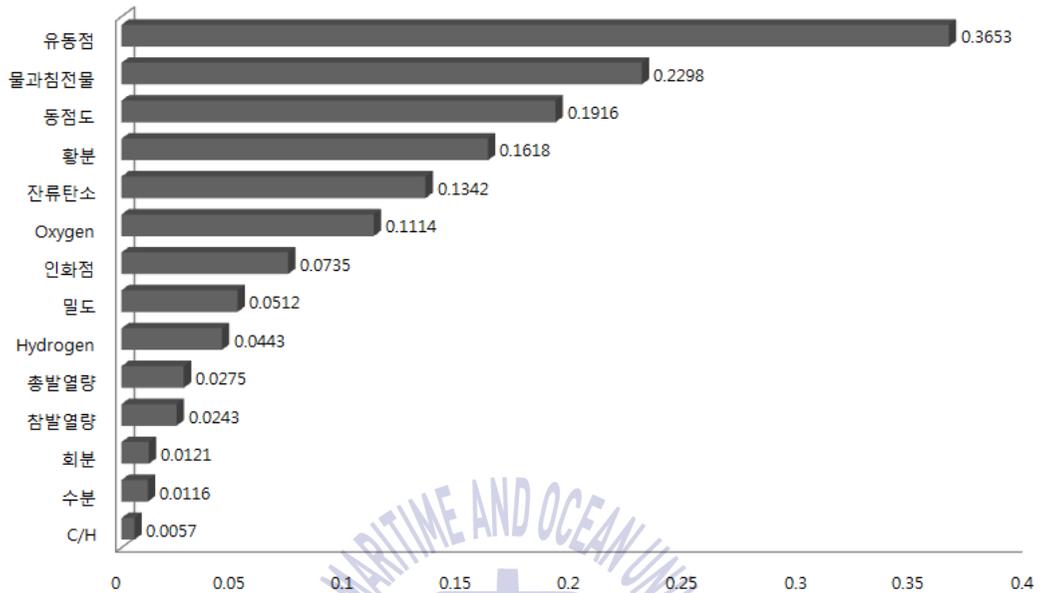
#### 4.4 연료유의 주요 성상과 배출계수의 상관관계

연구 초기, 연료유 주요 성상 중 IMO 배출계수에 영향을 미칠 수 있는 주요 성상으로는 밀도, 발열량, 동점도 정도로 예상하고 연료 분석을 수행 하였다.

분석결과는 분석 된 주요 계수와 IMO 배출계수 간 결정계수( $R^2$ )를 선형조건으로 비교하여 도출하였다. “결정계수( $R^2$ )”란 선형의 추세선이 어느 정도 관측치 또는 계측치를 대표하여 그 적합성(Goodness of fit)을 보여주고 있는가를 측정하는 계수이다.

Fig. 8은 분석 성상별로 결정계수를 비교한 결과이며, 이 결과를 바탕으로 결정계수 상위 4개(유동점, 물과 침전물, 동점도, 황 성분)에 대해서 IMO 배출계수와 성상과의 연관성을 분석하였다. 참고로, Carbon content는 결정계수( $R^2$ )값이 1로 최대치를 보였으나, 연구의 특성상 당연한 결과이므로 이를 배제한 나머지 성상에 대해서 분석을 실시하였다.

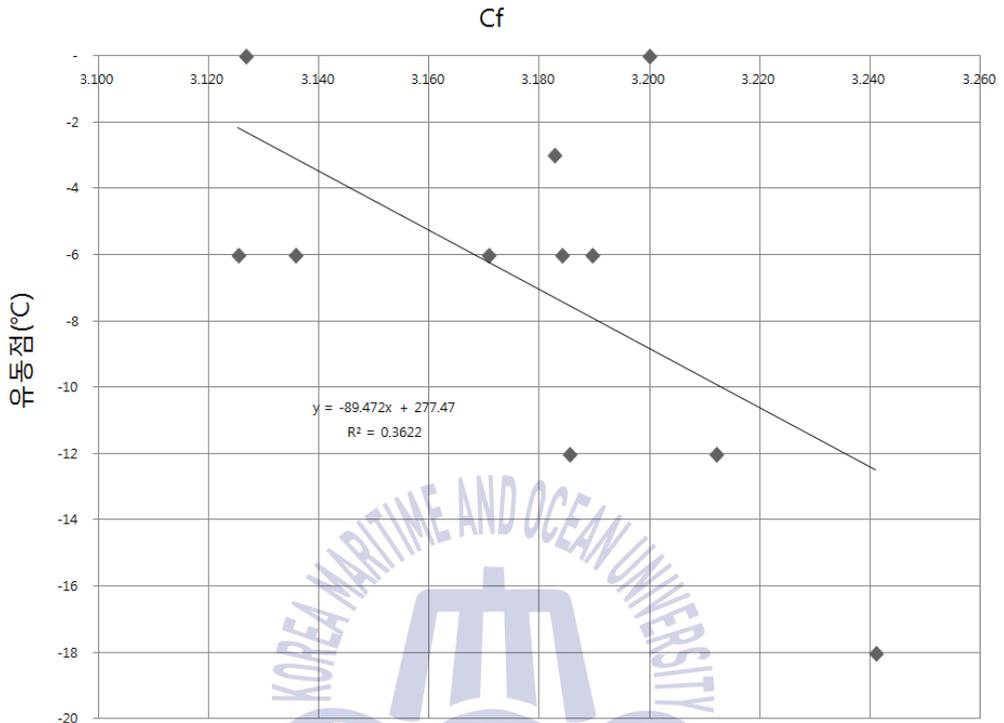




**Fig. 8** 연료 분석 성상과 IMO 배출계수와 결정계수 비교

Fig. 8에서와 같이 결정계수가 가장 높은 성상으로는 유동점, 물과 침전물, 동점도, 황 성분 순으로 들 수 있다.

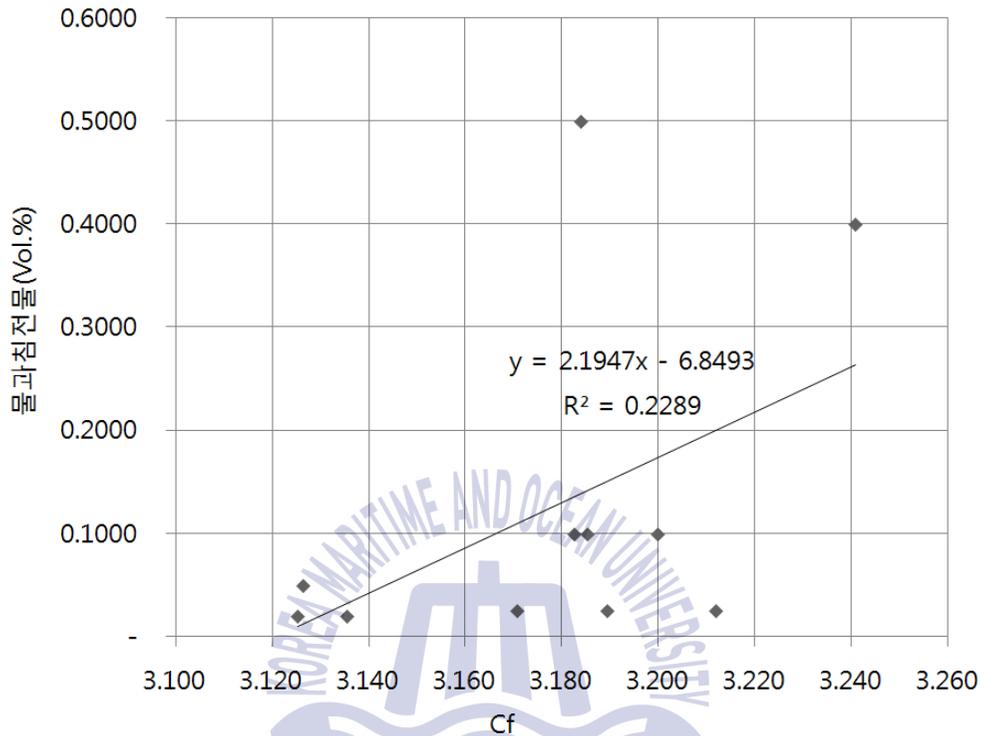
다음 Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11 및 Fig. 12는 앞서 언급한, 유동점, 물과 침전물, 동점도, 황분 각각을 IMO 배출계수와 비교하여 분산 형 그래프를 생성시키고, 이에 대한 추세선 및 결정계수를 이용하여 이의 적합성을 상세하게 나타내었다.



**Fig. 9** 유동점과 IMO 배출계수의 상관성 분석

Fig. 9에서는 유동점(Pour point)과 IMO 배출계수를 상호 비교하였다. 유동점은 기름을 냉각해서 유동하는 최저 온도를 의미하며, 이보다 2.5°C 낮은 온도를 응고점이라 한다. 유동점은 통상 동절기 송유 시 많이 문제가 되는 성상으로, 저온 유동성향상을 위해서는 주로 용점이 높은 파라핀 첨가를 높이지만, 아스팔트 성분이 5%이상인 경우에도 유동점은 높아진다.

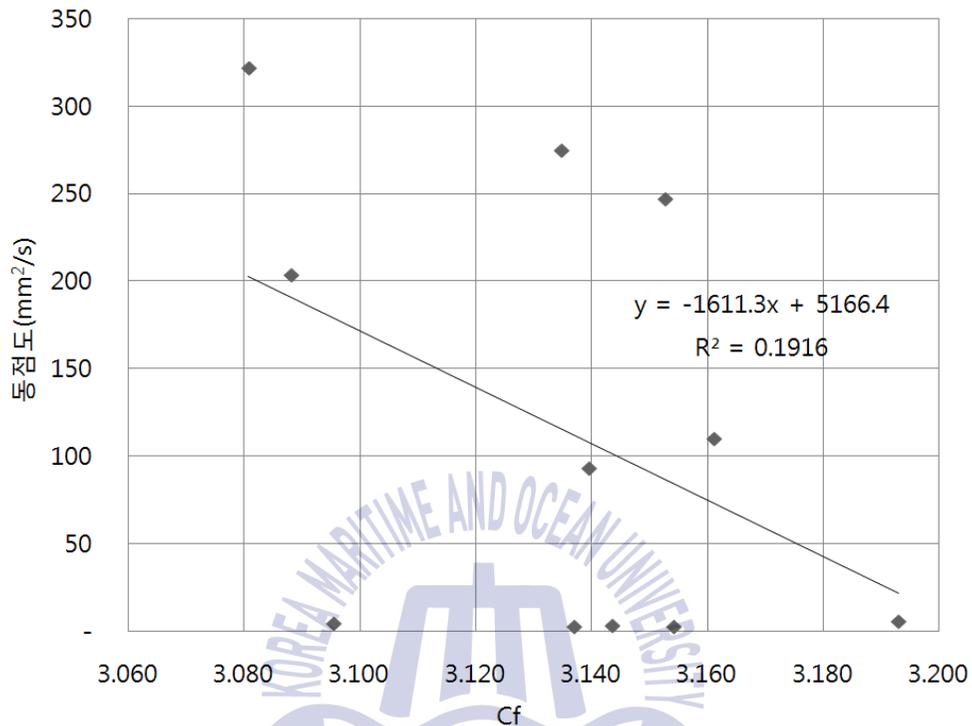
Fig. 9는 유동점이 높을수록 Cf가 낮고, 유동점이 낮을수록 Cf가 높은 경향성이 관찰되었다.



**Fig. 10** 물과 침전물 함량과 IMO 배출계수의 상관성 분석

Fig. 10은 연료유 내, 물과 침전물의 체적%와 Cf간 결정계수를 비교한 것이다.

물과 침전물의 경향성을 분석하자면 Cf가 낮은 경우, 물과 침전물 또한 적게 함유되어 있으며, Cf 기준 3.13~3.16사이의 증가된 영역으로 이동하게 되면, 물과 침전물의 함유율이 0.1% 이내로 증가하는 경향을 보였다.



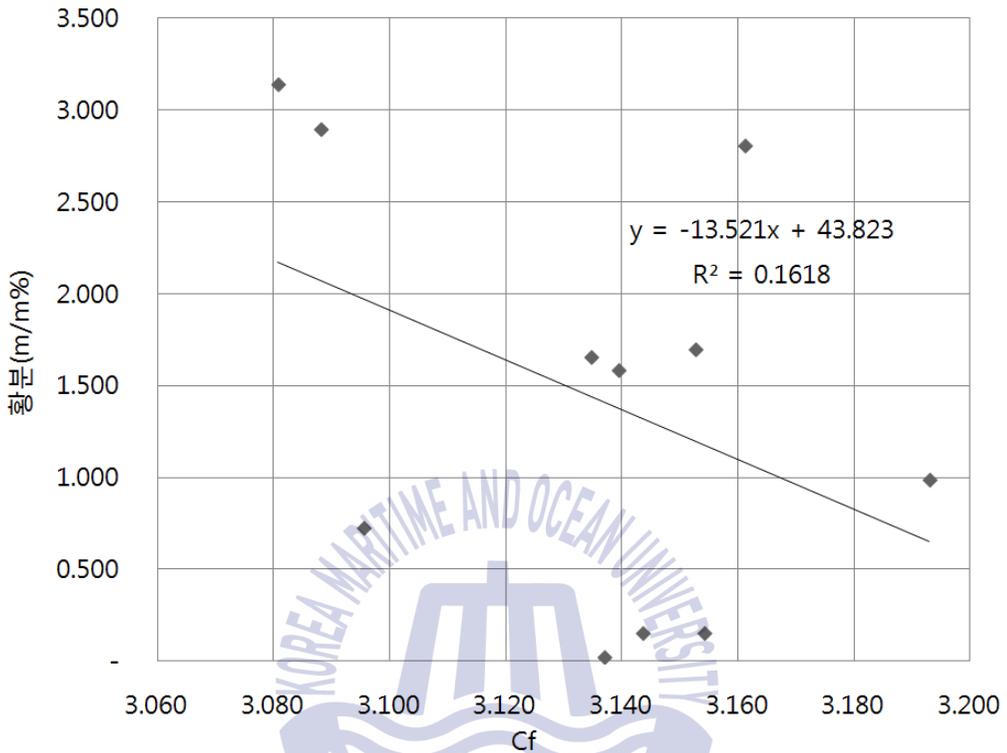
**Fig. 11** 동점도와 IMO 배출계수의 상관성 분석

Fig. 11은 동점도와 Cf간의 결정 계수를 비교하였으며, 추세선의 형상으로 비추어, 반비례 형상을 띄고 있다.

액체연료를 기관 내 에너지원으로 활용하기 위해서는 연료유의 증발, 무화, 분산, 분포 등의 특징을 갖추어야 하며, 이 특징을 형성하기 위해 가장 중요한 인자가 점도이다. 즉 점도가 낮을수록 분사특성이 개선되어 연소성을 향상 시킬 수 있는 것이 일반적이다.

또한, 점도는 유체역학상으로 점성저항을 나타내는 것이므로, 펌프로 송유 할 때, 고려해야 할 중요한 요소가 된다.

Fig. 11에서의 경향성은 동점도가 높을 때, IMO 배출계수가 낮았고, 반대로, 동점도가 낮을 때 전반적으로 IMO 배출계수가 높아지는 방향성을 확인할 수 있다.



**Fig. 12** 황 함유량과 IMO 배출계수의 상관성 분석

Fig. 12는 연료 내 황 함유량과 Cf간의 결정 계수를 비교한 것이며, 추세선의 형상으로 비추어, 반비례 형상을 띄고 있다.

연료유 중 황 화합물은, 휘발유의 경우 옥탄가나 가연효과, 기관 내 퇴적물 조성, 저장 안정성 등에 나쁜 영향을 준다. 경유에 대해서는 세탄가 및 기관의 마멸에 영향을 끼치고 있다. 중유에서는 저장안정성 및 연소성, 가스터빈이나 보일러의 저온부식, 디젤기관 실린더내의 오염과 마멸에 관계되어 있는 것으로 알려져 있다.

Fig. 12에서의 경향성을 보자면, 황 함유량이 낮을 때 IMO 배출계수가 낮았고, 반대로, 황 함유량이 높을 때 전반적으로 IMO 배출계수가 높아지는 현상을 확인 할 수 있다.

Fig.9 ~ Fig. 12까지 IMO 배출계수와 결정계수 기준의 주요 인자들을 상호 비교하였으며, 유동점, 동점도, 황 함량은 반비례 관계에 있고, 물과 침전물은 비례 관계에 있을 수 있었다.

다만, 결정계수의 범위가 탄소함량(Carbon Content)을 제외한 상위 4순위까지 0.1618~0.3653까지에 위치해 있으며, 객관적으로 이러한 지표는 추세선의 객관성과 신뢰성을 확보하기에는 미흡한 것으로 판단된다. 따라서 샘플링의 수를 늘려, 새로운 추세선과 결정계수를 도출하여 재 비교하는 작업이 필수적일 것으로 판단된다.



## 제 5 장 결 론

본 논문에서는 “연료유 분류체계 정비”, “배출계수 개발”에 관한 연구를 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 실제 연안해운 분야에서 사용되고 있는 연료유를 샘플링 하여 성상을 분석하고, 분석된 성상을 기반으로 도출된 배출계수와 기존 배출계수(IPCC 배출계수 및 IMO 배출계수)를 이용하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 국내 상위 15개 해운사의 연료유 사용량을 분석하여 전체 연료유 사용량의 45~55%를 차지하고 있는 MDO, MF-180, MF-380 각각에 대하여 온실가스 배출량을 산정하고 현재 적용중인 배출계수에 대한 실제 오차를 확인하였다.

(2) IPCC Guideline에 따른 국가 고유 배출계수 개발의 필요성 여부 및 국가 고유 배출계수 개발을 수행할 경우, 필요한 사항인 선박용 연료유 분류체계에 대한 검토를 추가적으로 수행하였다. 선박용 연료유 분류체계는 정부(산업통상자원부)에서 정하는 분류가 존재하지만, 실제 산업계에서는 전혀 사용되지 않고 있으며, 대형 해운선사 또는 대형 연료유 공급업체에서는 각자 자체적으로 개발된 연료유 분류체계를 사용하고 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 혼합유를 주로 사용하고 있는 국내 산업계의 현황을 고려하고, 국제적인 표준으로 통용되고 있으며, IMO의 연료유 분류체계로도 사용되고 있는 ISO 8217의 분류체계를 고려한 연료유 분류체계를 고려한 새로운 연료유 분류체계를 제안하였다.

(3) 실제 사용되는 연료유의 성상분석을 통해 도출된 배출계수와 기존 배출계수(IPCC 배출계수, IMO 배출계수)로 계산된 온실가스 배출량을 비교한 결과 최대 3.59%의 오차를 발생한다는 것을 확인하였으며, 연안 해운 분야 온실가스 배출량을 정확하게 산정하기 위해서는, 연안해운용 국가 고유 배출계수(Tier 2)의 개발의 필요성을 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

여러 가지 부족한 부분이 많아 학문에 대한 전문적인 지식 획득을 목표로 대학원에 진학하여 관련 업무에 부끄럽지 않은 사람이 되기 위해 최선을 다해 노력해왔던 처음 모습이 생각납니다. 어느새 2년의 시간이 흘러 여기까지 오게 되었지만 지난 시간들을 돌이켜 생각해 보면 너무 아쉽게 느껴집니다.

대학원 생활 동안 저에게 관심과 도움을 주신 많은 분들께 본 논문을 통해 우선 짧게나마 감사의 마음을 전하는 것에 대해 죄송하게 생각합니다.

먼저 너무나도 많이 부족한 저를 지도해 주시고 이 논문의 기획 및 완성을 위해 체계적인 기틀 마련과 지도를 해주신 최재혁 지도교수님께 깊은 감사를 드립니다. 학문의 길과 방향에 대해 말씀해 주신 한마디 한마디가 제게는 가장 큰 가르침이었습니다. 그리고 미숙한 논문을 완성도 있는 논문으로 이끌어 주신 이원주 교수님께도 감사의 마음을 전합니다.

논문 작성을 위한 기초 자료 및 전문 데이터를 아낌없이 지원해주시고 데이터에 대한 해석 방법 및 방향에 대해 많은 조언을 해주신 이경우 박사님과 장세현 박사님께 감사의 인사 올립니다.

대학원 진학을 위해 아낌없는 지원을 해주시고 학업 진행을 위해 신경써주신 박성진 팀장님께 감사의 마음을 전해드립니다.

여기까지 올수 있도록 힘을 실어준 사랑하는 아내 김민재와 언제나 밝고 건강하게 잘 자라고 있는 아들 성준이에게도 사랑하는 마음을 담아 기쁨을 나누고 싶습니다. 늘 저를 응원해주시고 많은 격려를 해주신 아버지, 어머니, 장모님께도 진심으로 감사의 말씀을 전합니다.

석사학위를 마치며 어려울 줄 알았던 학위 도전에 대한 목표달성에 한걸음 다가설 수 있도록 많은 도움을 주신 여러 분들께 감사의 마음을 전합니다.

## 참고 문헌

- [1] 김승진, 2013, 국가 온실가스 인벤토리 품질 향상을 위한 무연탄 분류 방법 및 배출계수 개발, 한국기후변화학회
- [2] 국립환경과학원, 2012, 대기오염물질 배출계수 관리위원회 배출계수 자료집(I)
- [3] 국립환경과학원, 2013, 국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(III)
- [4] 국립환경과학원, 2015, 국내 연근해 선박 오염물질 배출량 산정 방법, pp1-4
- [5] 국토해양부 고시, 국토해양부 대중교통과-612, 2009.06.26. 국토해양부 유가보조금 지급 지침
- [6] 박한선, 2014, 선박온실가스 배출규제를 위한 국가책임과 이행방안에 관한 연구, 박사학위논문, 한국해양대학교
- [7] 산업통상자원부고시 제2015-140호, 2015.07.24., 석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시
- [8] 신은섭, 2016, 국가 온실가스 배출계수의 대표성 결정요인과 최소요건에 관한 연구, 석사학위논문, 서울대학교
- [9] 이은혜, 2017, 연안선박의 연료소비 및 온실가스 배출특성 분석에 관한 연구, 석사학위논문, 한국해양대학교
- [10] 임완규, 2015, C 중유의 황 함유량에 따른 CO<sub>2</sub> 배출 특성, 한국대기환경학회지
- [11] 온실가스종합정보센터, 2016, 국가온실가스 인벤토리 보고서, p95
- [12] 장영기, 2003, LNG 연소시설의 온실가스 배출계수 산출 및 배출량 산정, 한국대기환경학회

- [13] 정재현, 2017, 우드칩 유동충보일러의 Non-CO<sub>2</sub> 배출계수 개발, 석사학위 논문, 세종대학교
- [14] 환경부고시, 제2016-255호, 2016.12.30., 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침 별표 16, 별표 22
- [15] 해양수산부 고시 제2016-84, 2016.06.30., 내항화물운송사업자 유류세보조금 지급 지침
- [16] 한국산업표준(KS), 2015, KS M 2614: 2015, 중유
- [17] 한국산업표준(KS), 2013, KS M ISO 8217: 2013, 석유제품-연료(F등급)-선박유의 규격
- [18] MSC.1/Circ.1321, Reg. II-2/4.2.1, IMO
- [19] IMO, MEPC 70/WP.8, Annex 2, Amendments to the Annex of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as Modified by the Protocol of 1978 Relating Thereto
- [20] Kristin Rypdal, Wilfried Winiwarter, 2001, Uncertainties in greenhouse gas emission inventories – evaluation, comparability and implications
- [21] Suvi Monni, Sanna Syri, Ilkka Savolainen, 2004, Uncertainties in the Finnish greenhouse gas emission inventory
- [22] IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 1 General Guidance and Reporting
- [23] United Nations, 1998, Kyoto Protocol to the United Nations, Framework Convention on Climate Change