

일반선박의 Tier3 수준의 온실가스 배출량 산정에 관한 연구

A Study on the Calculation of GHG Emissions from General Ships by Tier3 Method

봉춘근[†] · 박성진 · 김용구 · 이임학 · 이희관* · 황의현**

Choon-Keun Bong[†] · Seong-Jin Park · Yong-Gu Kim · Im-Hack Lee · Hee-Kwan Lee* · Ui-Hyun Hwang**

(주)그린솔루스 · *인천대학교 도시환경공학부 · **경북도립대학교 토목과

Greensolus Co. Ltd. · *School of Urban and Environmental Engineering, University of Incheon

**Department of Civil Engineering, Gyeongbuk Provincial College

(2010년 11월 16일 접수, 2011년 10월 26일 채택)

Abstract : In this study, the emissions of GHG from general ships were calculated by Tier1 method based on the fuel consumption, and by Tier3 method based on the activities data such as power and SFOC of each engine, sailing characteristics (e.g. time and load factor, etc.) considering the ship type. In 2009, the emissions of GHG by Tier1 and Tier3 method were appeared 28.27 mega-ton CO_{2eq} and 30.81 mega-ton CO_{2eq}. The emissions by Tier3 were slightly more than those by Tier1. We found that the values of the sailing characteristics for surveyed data are overestimated slightly. In the near future, more detailed researches for sailing characteristics considering ship types would be needed for sailing, anchoring, and berthing condition, etc.

Key Words : GHG (Greenhouse gas), Climate Change, General Ship, IMO, IPCC

요약 : 본 연구에서는 일반선박으로부터 배출되는 온실가스 배출량을 연료소비를 근거로 한 배출(Tier1)과 선종을 고려한 출력, SFOC, 운항특성(시간과 부하율 등) 등을 근거로 한 활동도에 의한 배출(Tier3)로 구분하여 산정하고 비교분석하였다. 2009년도 기준으로 배출량을 산정한 결과, Tier1 방법에 의한 배출량은 총 28,273천톤 CO_{2eq}, Tier3 방법에 의한 산정량은 총 30,810천톤 CO_{2eq}으로 나타났다. Tier3에 의한 온실가스 배출량이 Tier1에 의한 산출결과보다 약 9% 정도 많게 나타났다. 이는 설문조사에 의한 선박의 부하율, 운항시간 등의 활동도 조사결과가 약간 과대평가되었기 때문으로 판단되었다. 향후 Tier3 방법을 적용하여 온실가스의 발생량을 정확하게 산정하기 위해서는 선박의 종류 및 특성에 따라 SFOC, 운항특성별 시간과 부하율, 운항속도 등에 대한 상세한 활동도 자료의 확보가 필요할 것으로 판단되었다. 운항특성 등을 고려한 보다 상세하고 다양한 활동도 자료가 확보될 경우, 적절한 저감대책 수립이 가능할 것으로 생각된다.

주제어 : 온실가스, 기후변화, 일반선박, IMO, IPCC가이드라인

1. 서론

최근 전세계적인 이상기온현상 등으로 인해 온실가스 감축에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 온실가스 배출량 파악 및 관리를 위한 노력들이 범지구적으로 행해지고 있다. 우리나라에서도 지구온난화에 대한 연구가 다양한 분야에서 진행되고 있으나,¹⁻⁵⁾ 선박의 운송비용이 점차 증가하는 것에 비하여^{6,7)} 선박 온실가스의 배출특성 파악 및 배출량의 인벤토리를 구축하는 연구는 미흡한 수준이라고 판단되었다.

해운부문에서 배출되는 온실가스는 산업 전체에서 배출되는 양에 비하면 상대적으로 적은 부분을 차지하는 것으로 알려지고 있었으나, 점차 타 분야에서 배출되는 온실가스와 마찬가지로 지구온난화의 요인으로 지목되고 있다. 이것은 최근 유엔의 통계에 의해서도 나타났는데, 세계 해운업에서 배출되는 이산화탄소의 양은 약 11억2천만톤으로써 현재까지 알려진 선박 온실가스 배출량의 약 3배의 수치에 해당한다. 이것은 전체 온실가스 배출량의 약 4.5%에 해당되는 양으로 선박에서 배출되는 이산화탄소가 지구온난화의 주요 원인들중 하나라는 사실을 말해준다.^{8,9)}

2. 국내외 관련 이슈 및 연구동향

국제해사기구(IMO : International Maritime Organization)는 1998년부터 선박의 이산화탄소 배출통제 문제를 다루기 시작하였고, 2004년에는 선박 온실가스 배출통제와 관련된 IMO 기본정책을 담은 총회결의서를 채택하는 등 해운분야의 온실가스에 대한 관심과 환경오염 규제를 점차 확대해 나가는 추세이다.¹⁰⁻¹²⁾ 또한, 해운분야의 온실가스 규제를 위해 IPCC^{13,14)}와 IMO를 중심으로 온실가스 배출량 산정이 수행되고 있다. 그러나 IPCC에서 지적한 바에 의하면, IMO에서 추진하고 있는 온실가스 산출 방법의 확정 및 규제 도입은 매우 지연되고 있어 미국과 유럽 등은 자체적으로 온실가스 산출방법을 적용하고 있는 실정이며,⁸⁾ 이처럼 각 국가별로 고유방법론의 검토가 이루어지고 있다.

우리나라에서도 선박 관련 연구들이 진행되고 있는데, 미국 LA 항구의 선박배출량 산정방법을 인천항에 적용하여 인천항에서 배출되는 선박 배출량을 AIS (Automatic Identification System)와 연동하는 연구¹⁶⁾와 부산항을 운항하는 선박의 온실가스 배출량을 부산지방해양항만청에서 운영하는 PORT-MIS 데이터와의 연동에 관한 연구 등이 수행된 바 있다.¹⁷⁾

[†] Corresponding author E-mail: greenbeemail@naver.com Tel: 070-8290-5056 Fax: 0505-829-5060

또한, 연료소유량을 기본으로 한 Tier1 방법으로 선박에 의한 온실가스 배출량을 국내배출과 국외배출로 구분하여 산정한 연구결과도 있다.²⁴⁾

선박 LCA 연구의 일환으로써 선박 배기가스 분석을 수행하기 위하여 벌크선과 유조선 2척을 모델로 삼아 과거 수년간의 운항 실적데이터의 분석으로 화물선 운송 시 화물 1톤을 1마일 수송하는데 배출되는 배기가스량을 분석한 연구결과도 있다.²⁵⁾ 그러나, 우리나라는 이러한 선박분야의 배출량 산정 연구 등에도 불구하고 아직 미약한 수준단계로써 국가 실정에 적절한 활동자료 조사, 관련 자료 DB구축 및 보다 체계적인 방법론 등이 요구되고 있는 실정이다.

국내 일반선박의 전체 온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 IPCC에서 제시하는 산정방법중 Tier1 방법은 모든 국가에서 적용가능한 가장 간단한 방법이다. 그러나, 일반선박은 국가간의 이동이 많으며, 각 선종별 운항 특성도 다양하기 때문에 각 선종별 배출량을 산정하기 위해 Tier3 방법과 같은 보다 세분화된 활동도를 요구하는 방법론의 적용이 필요하다.¹⁵⁾

이처럼 다양한 목적으로 운항되는 일반선박의 주요 인자별 특성을 고려한 배출량을 산정하기 위해서는 Tier1 방법과 같은 획일적인 방법론으로는 세부적인 배출특성 파악이 쉽지 않다.⁶⁾ 선종별, 엔진기관별, 운항모드별, 연료종류별 등을 고려한 출력 및 연료소모율(SFOC : Specific Fuel Oil Consumption, g-fuel/kwh) 등 구체적인 활동자료의 확보가 가능하면, 온실가스 배출량의 특성을 보다 다양한 요인별로 비교 분석이 가능한 Tier3 방법의 사용이 더욱 효과적일 것이다. 향후 이러한 배출량 산정결과를 이용하여 세부적이고 구체적인 온실가스 저감정책 제안 및 시나리오 분석 등의 결과를 적절하게 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 국내의 선박등록 검사기관에 등록된 일반선박을 대상으로 관련 DB자료중 필요한 정보를 활용하고, 활동자료를 조사하여 Tier3 수준의 온실가스 배출량을 산정하고 Tier1 산정방법에 의한 배출량과 비교분석해 보고자 하였다.

3. 연구방법

3.1. 선박 분류

본 연구에서는 국내의 선박등록 검사기관(한국선급과 선박안전기술공단)에 등록된 일반선박을 대상으로 온실가스 배출량 산정을 수행하였다. 국토해양부 통계에 의하면, 일반선박의 등록대수는 약 8,000여 척으로 조사되었으며, 그 종류는 여객선, 유조선, 화물선, 예선(예인선), 부선, 기타선 등으로 구분되고 있다. 단, 본 연구에서는 예선, 엔진이 없는 부선과 기타선 중 소형발전기로 운항되는 소형선박의 경우는 산정대상에서 제외하였다.

일반선박은 어선과 달리 선종별로 운항목적이 다양하기 때문에 운항시간, 부하율 등 활동도가 상이할 것으로 판단되었다. 따라서 활동자료 조사 및 추후 선종별 온실가스 배출량을 검토하기 위해 대표적인 선종별로의 분류가 필요하였다. 국토해양부의 선박분류 이외에 좀 더 상세히 구분하기 위해 선박등록 검사기관의 선박DB를 고려하여 여객선, 화물선, 유조선, 컨테이너선, 목적선, 가스선 등 13종으로 구분하였으며, 이를 Table 1에 나타내었다.

또한, 항공기나 선박과 같이 국가간 이동이 빈번한 분야에 대해서는 국가 온실가스 배출량 산정시 중복을 피하기 위해 국내운항에서의 배출과 국제운항에서의 배출(International Bunkering Emission)을 구분할 것을 권고하고 있다. 이런 권

Table 1. Classification of general ships

Items	1st Category	2nd Category
Passenger	Passenger ship	General passenger ship, General passenger ship (high speed), Carferry passenger ship
Cargo	Cargo ship	-
Bulk	Bulk carrier, Ore carrier	Grain carrier, Sand carrier, Extraction of sand carrier, Mineral carrier, Cement carrier, Steel carrier, Waste carrier, Marine debris carrier, Ore carrier
Oil	Oil tanker, Oil tanker 'esp', Oil tanker (double hull), Oil tanker (double hull) 'esp'	Oil carrier, Oil tanker, Oil product carrier, The others Oil Tanker, Tank vessel
Chemical	Chemical tanker 'esp', Chemical tanker (double hull) 'esp'	Chemical ship
Oil/Chemical	Oil/chemical tanker 'esp', Oil/chemical tanker (double hull) 'esp'	-
Container	Container ship	Full-container ship, Semi-container ship
Work	Drilling unit, Work vessel, Work platform	Anchor work vessel
Liquefied gas	Liquefied gas carrier	LPG carrier, LNG carrier
Special purpose	Special purpose ship	School ship, Investigate ship, Port field trip ship
Dredger	Dredger	Dredger
Refrigerated cargo	Refrigerated cargo carrier	Refrigerated cargo carrier
Roro	RORO ship	-

고에 따라 등록된 일반선박의 내항과 외항을 구분할 필요가 있으나, 현재 선박등록 검사기관에서는 내항과 외항의 구분된 자료가 없고 이를 구분할 방법 또한 명확히 규정되어 있지 않은 실정이다. 따라서 내외항을 구분하기 위해 선박등록검사기관과 이 등록선박을 기준으로 한국선주협회¹⁸⁾ 자료에 의한 가입여부 등을 활용하는 방법으로 내외항 구분을 진행하였다. 선박등록 검사기관 중 선박안전기술공단에 등록된 선박의 대부분은 연안선임을 고려하여 내항으로 구분하였다. 그리고, 한국선급에 등록된 선박은 내외항이 함께 등록되어 있기 때문에 주로 외항선박만을 관리하는 한국선주협회에 등록된 선박을 조사하여 외항선박으로 구분하였고, 한국선주협회에 등록되지 않은 선박은 내항으로 구분하였다. 이렇게 구분된 결과를 Table 2에 나타내었으며, 내항 1,304척, 외항 1,223척으로 확인되었다. 본 연구에서는 위와 같이 구분하는 방법을 채택하였으나, 향후 세부적인 내외항에 대한 구분 기준이 재정립될 필요가 있을 것으로 사료된다.

이렇게 구분된 일반선박의 내외항별, 선종별, 톤급별 등의 현황을 Fig. 1에 나타내었다. 내항의 경우에는 유조선, 여객선, 산적화물선 등이 주로 포함되었으며, 대부분이 500 ton 이하의 중소형으로 나타났다. 반면에 외항의 경우에는 화물

선, 석유케미칼선 및 컨테이너선이 주로 포함되었으며, 내항과는 달리 1,000 ton 이상의 중대형급이 주를 이루는 것으로 나타났다.

3.2. 연료소비량에 의한 배출량 산정

온실가스 배출량 산정방법의 가장 기본적인 Tier1 방법은 연료소비량과 배출계수를 고려하여 산정된다. 연료소비량 자료는 2009년도 석유류수급통계연보¹⁹⁾를 이용하여 산업별(내국적연안/내륙항로수송, 내국적 외항수송, 외국적 수상수송업, 수상운수보조서비스, 국제빙커링)과 제품별(휘발유, 등유, 경유, 경질중유, 중유, 병커C유, 용제, LPG 등) 수급량 등으로 확인할 수 있다(Table 3).

이중 내항과 외항에 따른 연료소비량을 구분하기 위해 각 항목별 상세한 설명이 있는 PEDSIS(한국석유공사 국내석유정보시스템) 분류코드를 이용하였으며,²⁰⁾ 연료수급통계를 이용한 온실가스 배출량 산정은 식 (1)과 같은 방법으로 산정하였다.

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

Table 2. Data for domestic and international port of general ships [Unit : ships]

Items	Domestic Port	International Port
Passenger	246	21
Cargo	88	246
Bulk	116	307
Oil	617	85
Chemical	51	11
Oil/Chemical	13	235
Container	4	158
Work	28	-
Liquefied Gas	17	54
Special Purpose	101	-
Dredger	9	-
Refrigerated Cargo	2	20
Roro	12	86
Total	1,304	1,223

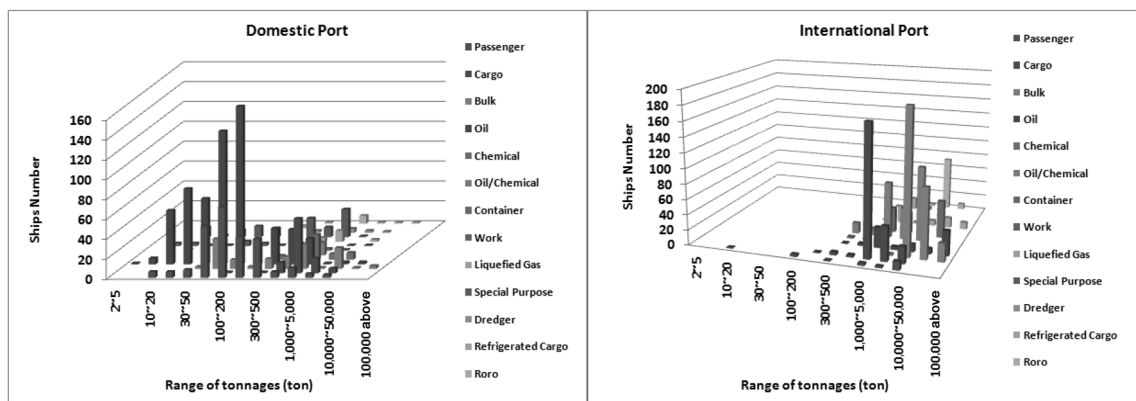


Fig. 1. Distribution characteristics of tonnages from general ships.

Table 3. Fuel consumption of general ships by annual fuel statistics[Unit : 10³bb]

Items		Diesel	B-A	B-B	B-C	Solvent	LPG	Total
Korea flag domestic port (KFDP)	Korea flag coastal	599	476	88	837		5	2,005
	Korea flag secondary water transportation	862	310	70	2,172			3,415
Korea flag International port (KFIP)	Korea flag ocean going	1,437	208	84	14,188	1		15,918
Foreign flag International bunkering (FFIP)	Foreign flag water transportation	15	2		64			82
	International bunkering	3,354	364		35,009			38,727

Table 4. Values of SFOC for main engines used in this study²¹⁾

[Unit : g-fuel/kwh]

Engine age	Above 15,000 kW	15,000-5,000 kW	Below 5,000 kW
before 1983	205	215	225
1984-2000	185	195	205
2001-2007	175	185	195

Table 5. Typical values of SFOC for main engines used in this study²¹⁾

[Unit : g-fuel/kwh]

Engine year of build	2-stroke low-speed	4-stroke medium/high speed (> 5,000 kW)	4-stroke medium/high speed (1,000-5,000 kW)	4-stroke medium/high speed (< 1,000 kW)
1970-1983	180-200	190-210	200-230	210-250
1984-2000	170-180	180-195	180-200	200-240
2001-2007	165-175	175-185	180-200	190-230

 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

3.3. 활동자료에 의한 배출량 산정

활동자료에 의해 온실가스 배출량을 산정할 수 있는 Tier3 방법론은 선박의 엔진기관 제원(출력 등), 연료소모율, 가동 주기 뿐만 아니라, 운항모드별 운항정보 등에 대한 수집이 가능할 때 사용될 수 있으며, 이 산정방법론은 실제 운항시간 등을 고려하는 것이다.

본 연구에서는 선박의 엔진출력(kw), 연료소모율 등과 같은 자료, 운항 시 운항시간, 엔진부하율과 같은 운항특성 등을 조사하여 배출량을 산정하였다.

선박의 엔진출력은 선박엔진의 용량을 나타내는 수치로 이 수치가 클수록 연료소모량에도 많은 영향을 미치며, SFOC는 엔진출력 운항시간당 소모되는 연료량을 나타내는 수치로 엔진모델별로 부하율에 따라 SFOC 값이 규정되어 있다. 엔진출력 자료는 선박등록 검사기관에 거의 100% 입력되어 있는 자료를 이용하였다. 그러나, SFOC의 경우에는 선박등록 검사기관의 DB자료에 약 40% 정도만 입력되어 있었으며, 그 외의 경우에는 직접조사에 한계가 있어 IMO의 보고서에 의한 자료를 활용하여 반영하였다.²¹⁾ IMO 자료에 의하면 진수일, 출력, 엔진타입 등에 따라 SFOC의 범위를 정하고 있으며, 이를 Table 4~6에 나타내었다.

Table 6. Values of SFOC for auxiliary engines used in this study²¹⁾

[Unit : g-fuel/kwh]

Engine age	Above 800 kW	Below 800 kW
Any	220	230

또한, 실제 운항자료인 운항시간의 경우에는 각 선종별/톤급별/내외항별 등을 고려하여 총 120척을 직접조사하여 자료를 반영하였고, 조사되지 않은 선박에 대해서는 조사된 자료를 분석하고 내외항별/선종별을 고려하여 평균값을 적용하였다. 그러나, 대부분의 선박회사들이 운항시간을 정확을 하지 않은 시간으로 정의하고 있어 정박/접안 등의 시간을 운항시간으로 정리하는 경우가 대부분이었으며, 소형 선박회사의 경우에는 이 조차도 정리하지 않고 있는 경우가 많아 조사에 어려움이 많았다.

선박에 사용되는 연료의 경우에도 주로 B-C, B-A, 경유 등의 연료를 혼합한 혼합유를 사용하고 있고, 그 명칭도 MDO (Marine Diesel Oil), MF (Marine Fuel)류 등 다양하게 사용되고 있었다. 이 때문에 현장 조사결과에 대한 순발열량, 배출계수 등의 적용이 어려운 혼합유로 조사되었기 때문에 혼합량이 가장 많은 연료로 하여 반영하였다.

이렇게 조사된 내외항별, 선종별 등을 고려한 운항시간, 사용연료, 평균 출력, 평균 SFOC 등의 분석결과를 Table 8에 나타내었으며, 이 자료를 고려하여 온실가스 배출량을 산정하였다. Tier3 방법에 의한 산정식은 다음 식 (2)와 같으며 (보조엔진의 경우에도 이와 유사하게 산정됨), 산정을 위한

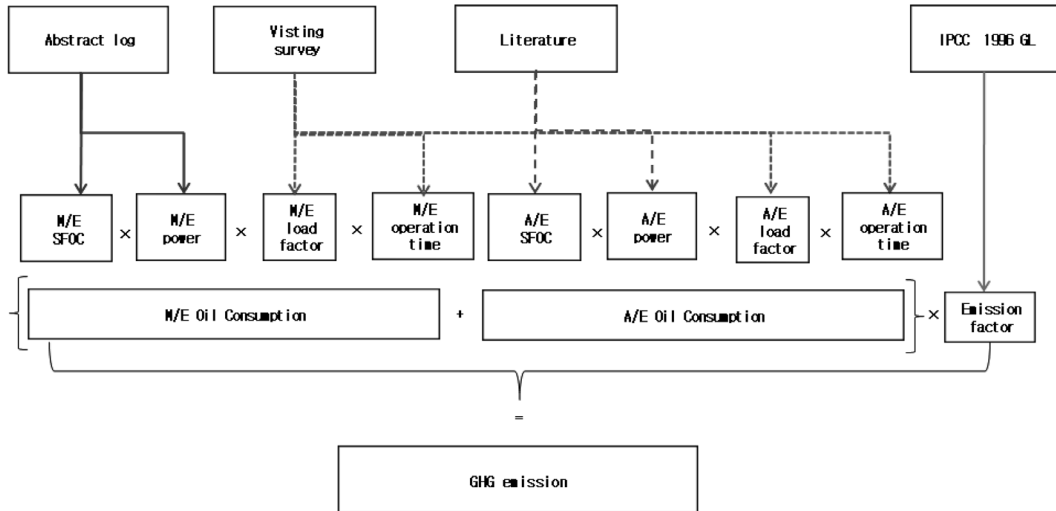


Fig. 2. Schematic configuration for calculation of GHG emissions from general ships.

전체적인 개요도는 Fig. 2에 나타내었다.

$$E_i = \sum_m (SMP_M \times ST_M \times SFOC_M \times LF_M) \times EF_{i,m} \quad (2)$$

- E_i : 오염물질 i 의 배출량(tonnes/years)
- SMP_M : 메인엔진의 출력(kw)
- ST_M : 메인엔진의 운항시간(hr)
- $SFOC_M$: 메인엔진의 연료소모율(g-fuel/kwh)
- LF_M : 메인엔진의 부하율(%)
- $EF_{i,m}$: 오염물질 i , 연료 m 에 대한 배출계수(kg/tonnes)

3.4. 배출계수 및 순발열량 등

우리나라의 경우 국가 고유배출계수는 현재 개발중이므로 IPCC에서 제시하는 배출계수를 사용하였다. IPCC 가이드라인(이하 'GL'이라 한다)은 1996년과 2006년 기준이 있으며, 현재 국가 온실가스 인벤토리 구축 시에는 2006 GL을 모든 분야에 공통적으로 적용하는데 한계가 있어 1996 GL을 기준으로 작성하고 있다. 따라서 본 연구에서는 1996 GL을 사용하여 산정하였다(Table 7). 발열량의 경우는 총발열량과 순

발열량이 있지만 이산화탄소 배출량 산정 시 순발열량을 사용하도록 IPCC에서 권고하고 있으므로 순발열량을 사용하였으며, CO₂, CH₄, N₂O 등의 각 온실가스별 배출량 산정 후 지구온난화지수(GWP : Global Warming Potential) 등을 고려하여 전체 온실가스 배출량을 산정하였다.^{22,23)}

4. 결과 및 고찰

4.1. Tier1과 Tier3에 의한 총배출량

본 연구는 두 가지 방법으로 산정한 배출량 결과를 비교 분석하였다. 연료소비량을 고려한 배출량(Tier1)은 내국적 내항과 내국적외항, 그리고 국제빙커링에 따른 배출량으로 산정이 가능하며, 활동자료에 의한 배출량(Tier3)은 선종별로 내외항별로 구분하여 산정할 수 있었다.

Tier1에 의한 온실가스 배출량은 2009년 기준으로 총 28,273천톤 CO_{2eq}로써 약 64.8%인 18,313천톤 CO_{2eq}는 국제빙커링, 약 26.5%는 내국적 외항, 나머지 약 8.7%만이 내국적 내항으로 나타났다(Table 9와 Fig. 3).

Table 7. Emission Factor and net heating value used in this study²²⁾ [unit : GJ/10³Nm³]

Items		EF ^{a)} (Kg/TJ)	GWP	Net heating value (GJ/KL)
CO ₂	Gasoline	69,300	1	31,0
	B-C	77,400		39,1
	B-B	77,400		38,1
	B-A	74,100		36,6
	Diesel	74,100		35,4
	LPG	63,100		57,8*
	Others	73,300		30,8
CH ₄		5	21	
N ₂ O		0,6	310	

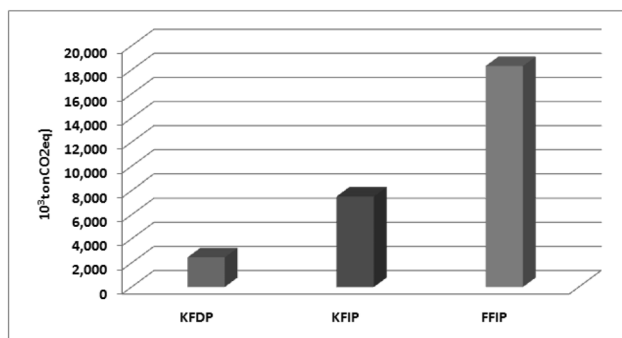
EF^{a)} : Emission Factor

Table 8. Results of survey for activity bases according to ship types

Items	M/E ^{a)} average power (kW)		A/E ^{b)} average power (kW)		M/E average SFOC (g-fuel/kWh)		A/E average SFOC (g-fuel/kWh)		Annual Sailing time (hr)		Fuel type	
	Domestic	International	Domestic	International	Domestic	International	Domestic	International	Domestic	International	Domestic	International
Passenger	2,101.1	13,135.5	179.4	846.0	196.5	178.2	229.5	224.0	3,207	2,327	Diesel	Diesel
Cargo	1,245.6	2,721.1	146.5	296.8	186.7	184.0	229.8	229.8	3,960	3,731	B-C	B-C
Bulk	4,647.1	10,123.1	641.8	636.7	188.2	183.3	229.8	228.6	4,177	5,146	B-A	B-C
Oil	1,373.2	12,808.6	177.1	861.5	194.1	180.6	229.8	224.8	2,813	5,430	Diesel	B-C
Chemical	1,688.4	2,222.2	203.7	279.0	197.2	185.0	230.0	230.0	3,920	3,660	B-C	Diesel
Oil/Chemical	1,325.2	4,995.5	203.4	631.5	186.5	179.3	228.5	226.5	1,068	5,262	B-C	B-C
Container	13,761.6	24,880.4	904.6	1,477.6	172.2	175.9	227.5	224.1	-	5,197	-	B-C
Work	873.4	-	246.2	-	202.0	-	229.6	-	-	-	-	-
Liquefied Gas	2,352.1	13,607.3	327.5	2,024.7	208.4	183.3	229.4	224.4	2,325	4,504	B-C	B-C
Special Purpose	1,315.4	-	165.1	-	96.3	-	229.8	-	780	-	B-C	-
Dredger	4,963.5	-	875.3	-	200.8	-	227.1	-	-	-	-	-
Refrigerated Cargo	2,202.4	3,166.6	556.3	677.3	175.3	178.0	229.0	226.7	-	4,000	-	B-C
Roro	2,908.8	11,420.2	311.0	1,053.8	175.0	170.2	230.0	222.2	-	5,190	-	B-C

M/E^{a)} : Main Engine, A/E^{b)} : Auxiliary Engine**Table 9.** The emissions of GHG from general ships by Tier1
[Unit : 10³ton CO_{2eq}]

Items		GHG emission		
KFDP ^{a)}	Korea flag coastal	896	2,456	
	Korea flag secondary water transportation	1,560		
IP ^{b)}	KFIP ^{c)}	7,504	18,313	
	FFIP ^{d)}	Foreign flag water transportation		38
		International bunkering		18,275

KFDP^{a)} : Korea Flag Domestic PortIP^{b)} : International PortKFIP^{c)} : Korea Flag International PortFFIP^{d)} : Foreign Flag International Port**Fig. 3.** The emission of GHG from general ships by Tier1.

4.2. Tier3에 의한 선종별 총배출량

Tier3에 의한 온실가스 배출량 결과(Table 10)는 내항과 외항(내국적외항, 외국적외항)으로 산정하여 나타내었다. 2009년도 기준의 온실가스 배출량은 총 30,810천톤 CO_{2eq}로 나타났으며, 이중 약 89.8%가 외항에 의한 배출량 27,652천톤

Table 10. The emissions of GHG from general ships by Tier3
[Unit : 10³ton CO_{2eq}]

Items	DP ^{a)}	IP ^{b)}
Passenger	762	308
Cargo	422	1,296
Bulk	737	7,011
Oil	599	2,552
Chemical	54	21
Oil/Chemical	110	2,898
Container	23	9,087
Work	90	
Liquefied gas	80	1,831
Special purpose	159	14
Dredger	89	
Refrigerated cargo	12	149
Roro	20	2,485
Total	3,158	27,652

DP^{a)} : Domestic PortIP^{b)} : International PortCO_{2eq}로 확인되었다.

선종별로 온실가스 총발생량을 비교분석한 결과, 내항의 경우에는 여객선 762천톤 CO_{2eq}, 산적화물선 737천톤 CO_{2eq}, 유조선 599천톤 CO_{2eq}, 일반화물선 422천톤 CO_{2eq}, 목적선 159천톤 CO_{2eq} 등의 순으로 나타났으며, 외항의 경우에는 컨테이너선 9,087천톤 CO_{2eq}, 산적화물선 7,011천톤 CO_{2eq}, 석유유미칼선 2,898천톤 CO_{2eq}, 유조선 2,552천톤 CO_{2eq}, 로로선 2,485천톤 CO_{2eq} 등의 순으로 나타났다.

선종별로 선박1척당 온실가스 발생량을 비교분석한 결과 (Table 11), 내항의 경우에는 준설훈선 9.89천톤 CO_{2eq}/척, 석유유미칼선 8.46천톤 CO_{2eq}/척, 산적화물선 6.35천톤 CO_{2eq}/

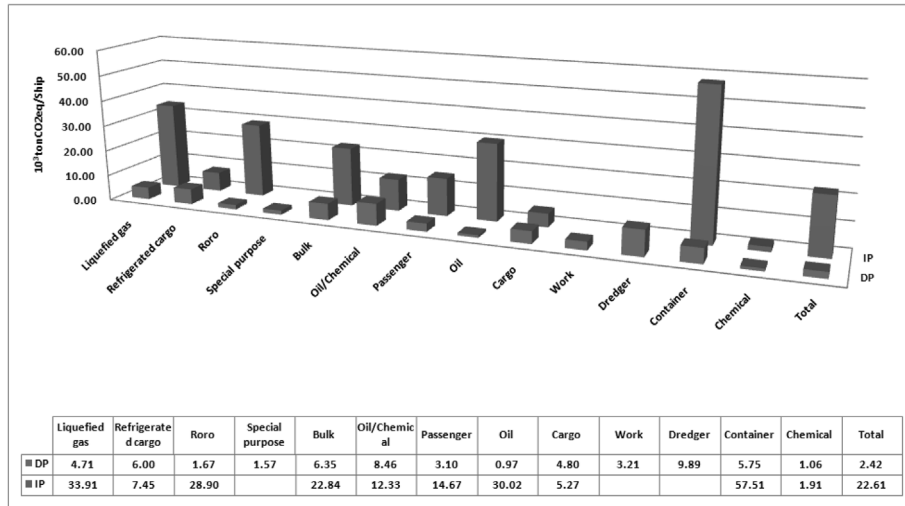


Table 11. Comparison of GHG emissions per one ship by Tier3 method

척, 냉동냉장선 6.00천톤 CO_{2eq}/척 등의 순으로 나타났으며, 외항의 경우에는 컨테이너선 57.51천톤 CO_{2eq}/척, 가스선 33.91천톤 CO_{2eq}/척, 유조선 30.02천톤 CO_{2eq}/척, 로로선 28.90천톤 CO_{2eq}/척 등의 순으로 나타났다. 전반적으로 외항선이 내항선보다 선박1척당 배출량이 평균적으로 약 10배 정도 많게 나타났다. 이는 외항선박이 내항선박에 비해 대체로 전체 평균기준으로 SFOC는 거의 유사하나, 메인엔진 출력이 약 3.2배 크고, 보조엔진 출력이 약 2.3배 크며, 운항시간이 약 1.6배 크게 나타나고 있기 때문인 것으로 판단된다.

활동자료를 고려한 Tier3 방법의 경우, 각 선종별/연료종류별/운항모드별 등의 자료를 고려하였기 때문에 Tier1에 의한 결과에 비해 보다 상세하게 배출량을 비교분석할 수 있다. 또한, 선종별, 톤급별, 연료종류별, 엔진기관별 등에 따라 배출량 비교분석이 가능하기 때문에 향후 온실가스 배출량 저감대책 수립 시 시나리오 분석의 활용이 용이할 것으로 판단된다.

4.3. Tier1과 Tier3에 의한 결과분석

Tier1과 Tier3 산정방법에 의한 비교결과를 Fig. 4에 나타냈는데, Tier3에 의한 배출량이 Tier1에 의한 배출량보다 내항의 경우 약 28.6%, 외항의 경우 약 7.1% 더 많게 산정되

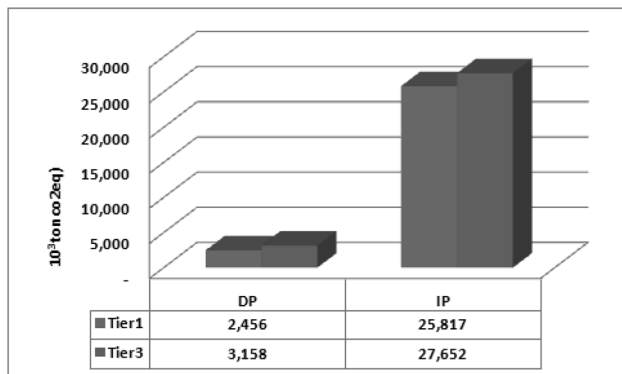


Fig. 4. Comparison of GHG emissions by Tier1 and Tier3.

었다. 이런 결과를 보이는 이유로는 주로 다음과 같은 경우를 생각해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

첫째, 각 선사별 운항시간 및 정박시간은 구분하여 정리하고 있었지만, 접안시간까지는 고려하고 있지 않아, 접안시간을 주로 운항시간으로 구분하여 정리하는 선사가 많았기 때문에 실제 운항시간보다 크게 계산된 것으로 판단된다.

둘째, 메인엔진의 경우에는 운항시 부하율이 약 70%로 조사되었는데, 접안시 부하율은 운항시 부하율보다 낮을 것으로 판단되지만 접안시간을 예측할 수 없어 모두 70%로 하여 산정하였다. 보조엔진의 경우에는 운항시 부하율이 약 70%, 정박시 부하율은 약 20%로 가정된다고 조사되었고 접안시에는 병렬로 가동하는 등 부하율의 변동이 많지만 이에 대한 정확한 운항특성을 선사에서도 잘 알 수 없는 것이 현실이었다.

따라서 본 연구에서 보조엔진은 365일 가동하는 것을 고려하여 365일(8,760시간)로 평균 50% 부하율로 산정하였다. 이처럼 부하율 및 운항시간 등은 배출량에 밀접한 영향이 있으므로, 이에 대한 세밀한 조사와 검토가 필요할 것으로 판단되었다.

마지막으로 선박연료는 주로 혼합유로 사용되고 있는데, B-C, B-A, 경유 등의 혼합비율을 달리한 유류가 대부분이었다. 따라서 조사된 유류를 배출량 산정에 적용하기 위해서는 순발열량과 배출계수 등의 적용이 가능한 유류로 통일하는 것이 필요하였다. 이 때 혼합유를 혼합비율이 가장 많은 B-C로 구분하였는데, 이 때문에 순발열량과 배출계수를 경유나 B-A의 값보다 큰 B-C를 적용함으로써 다소 많게 산정되는 것으로 판단되었다.

향후에는 선박과 항구 통제센터간의 Port-Mis 데이터를 활용하면 개별선박의 활동도 자료를 보다 손쉽게 활용할 수 있고, 또한 위성을 이용한 AIS 데이터를 활용하면 선박의 실시간 위치까지 파악할 수 있다는 장점이 있다. 아직까지는 기술적, 행정적 어려움이 있는 것이 사실이지만, 이러한 자료를 활용하면 보다 정확도 높은 산출분석이 가능하리라 판단된다.

5. 결론

본 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 석유수급통계연보 자료를 활용한 온실가스 총배출량 산정 결과(Tier1)는 2009년도 기준으로 총 28,273천톤 CO_{2eq}으로써 국제빙커링이 약 18,313천톤 CO_{2eq}, 내국적외항 7,504천톤 CO_{2eq}, 내국적내항이 2,456천톤 CO_{2eq}로 나타났다. 그리고 활동자료 조사에 의한 온실가스 총배출량의 산정결과(Tier3)는 2009년도 기준으로 총 30,810천톤 CO_{2eq}로 나타났으며, 이 중 약 27,652천톤 CO_{2eq}이 외항선박, 약 3,158천톤 CO_{2eq}이 내항선박에서 배출되는 것으로 나타났다. 내항선박의 경우에는 여객선, 산적화물선, 유조선, 일반화물선, 목적선 등에서 많이 배출되고 있으며, 외항선박의 경우에는 컨테이너선, 산적화물선, 석유케미칼선, 유조선, 로로선 등에서 많이 배출되고 있는 것으로 나타났다.

2) Tier1과 Tier3 방법에 의한 온실가스 배출량 산정결과, 내항의 경우 Tier1 방법에 의한 배출량 2,456천톤 CO_{2eq}에 비해 약 28.6% 정도 더 많게 산정되었으며, 외항의 경우에는 Tier1 방법에 의한 배출량 25,817천톤 CO_{2eq}에 비해 약 7.1% 정도 더 많게 산정되었다. 전체 발생량 기준으로는 Tier1에 비해 Tier3에 의한 배출량이 약 9%정도 많은 것으로 나타났다. 특히 온실가스 산정 관련 주요 인자들(엔진기관의 출력, SFOC, 운항특성별 시간과 부하율 등)을 보다 체계적이고 지속적으로 수정보완하여 DB화하고, 특히 선사/선주의 협조하에 운항특성별 시간과 부하율의 정확한 자료를 확보할 수 있다면 점차 정확도가 높아질 것으로 사료된다.

3) 선박은 고정된 위치에 있지도 않고 항구를 벗어나면 항로는 있으나, 자동차처럼 고정된 도로를 운항하지 않는 특성 때문에 온실가스 배출량을 정확하게 정량화하는 것이 기술적으로 쉽지 않다. 특히, 선박의 경우는 도로수송 분야와는 달리 선박의 크기, 항로, 운반화물, 운반화물량, 선박회사의 시책, 항해구역, 날씨, 운항조건, 엔진부하율 등의 많은 영향인자에 따라 온실가스 배출특성이 다르게 나타날 것으로 사료된다. 이번 연구에서 설문조사된 선박수가 전체선박의 약 5% 정도로 선종별/내외항별 등의 운항특성 등을 대표적으로 반영하였다고 보기는 어렵다고 볼 수 있기 때문에 본 연구에서 사용한 통계적 방법보다 현실에 가까운 배출량 산정방법의 보완이 필요하리라 사료된다. 또한, 이와 관련된 정부의 유관부서와 각 기관과의 협조체제를 원활히 구축하여 세부적인 추가연구가 필요할 것으로 사료된다.

사사

본 연구는 2010년도 국토해양부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 기후변화대응해양기술개발사업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 이흥주, “기후변화 대응을 통한 광주광역시 저탄소녹색성장 추진방향,” 전남대지역개발연구소(2010).
2. 김의건, 임지재, 김승도, “지방자치단체 온실가스 인벤토리 구축의 문제점 및 개선방향,” 추계학술연구회발표논문집 (1), 419-421(2009).
3. 맹성규, 황호원, “항공분야 기후변화 대응현황-최근 ICAO 고위급회의 논의를 중심으로,” 항공우주법학회지, **24**(2), 47-67(2009).
4. 고재경, 박년배, 기초자치단체 온실가스 배출량 산정에 관한 연구-경기도 시, 군 지자체를 중심으로-, 환경정책(환경행정), **16**(1), 29-61(2008).
5. 장정남, “지자체 온실가스 인벤토리 구축연구-전라북도 사례,” 대한환경공학회지, **31**(7), 565-572(2009).
6. 이돈출, 기후변화협약에 따른 한국 해운산업의 온실가스 저감을 위한 전략, 한국해양수산개발원, 해양물류연구, **2**(0), 113-136(2009).
7. 김경렬, 이강용 역, 기후변동, 사이언스북스(2008).
8. 수도권 대기환경정보, 수도권대기환경청(2008).
9. 신승식, 해운분야의 온실가스 배출권 거래제 대비 필요, 해운과 경영, 제20호(2010).
10. 한국해양수산개발원, “기후변화 대응 연구 항만분야 기후변화협약 대응방안,”(2009).
11. IMO, “Prevention of Air Pollution from Ships,”(2009).
12. 김우선, “IMO 온실가스 배출규제 동향,” 한국해양수산개발원(2010).
13. IPCC, “Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories,”(2000).
14. IPCC, “AR4 : Fourth Assessment Report,”(2007).
15. 국토해양부, “기후변화대비 선박배출 온실가스 통계구축 및 저감기술개발,”(2009).
16. 이희관 등, 선박 대기배출량 관리 시스템 개발, 인천지역환경기술개발센터(2003).
17. 정창훈 등, 선박, 항공기, 컨테이너 수송차량에 의한 부산지역 대기오염기여율 조사연구, 부산지역환경기술개발센터(2007).
18. 한국선주협회, 선사별 선박 소유현황(2009).
19. 한국석유공사, 석유류수급통계연보(2009).
20. 한국석유공사, PEDSIS 분류코드.
21. IMO, “Second IMO GHG Study,”(2009).
22. IPCC, “Guideline for National Greenhouse Gas Inventories,” (1996).
23. IPCC, “Guideline for National Greenhouse Gas Inventories,” (2006).
24. 최상진 등, 선박부문 온실가스 배출량 산정에 관한 연구, 대한교통학회지 **28**(6), 33-42(2010).
25. 임남균, 이승룡, 벌크선박과 유조선의 온실가스 배출 인벤토리 분석, 한국항해항만학회지, **34**(3), 189-194(2010).
26. 정미숙 등, 선박의 CO₂ 배출량에 대한 기본운항인자의 영향, 선박해양기술, **41**, 19-26(2006).
27. 임남균, 박성현, 박계각, 예부선 운항안전 현황 연구, 해양환경안전학회지, **12**(1), 61-66(2006).

KSEE