

■ 論 文 ■

### 선박부문 온실가스 배출량 산정에 관한 연구

A Study on the Greenhouse Gas emission from Ships in Korea

최 상 진

((주)케이에프이앤이 대표이사)

박 성 규

((주)케이에프이앤이 연구소장)

장 영 기

(수원대학교 환경에너지공학과 교수)

이 희 관

(인천대학교 토목환경공학과 교수)

황 의 현

(경북도립대학 토목과 교수)

봉 춘 근

(그린비환경기술연구소(주) 대표이사)

#### 목 차

- I. 서론
- II. 관련연구 고찰
- III. 선박부문 온실가스 배출량 산정방법
- IV. 선박에 의한 온실가스 배출량 산정결과
- 1. 선박에 의한 연료 소비량
- 2. 선박에 의한 온실가스 배출량
- V. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 온실가스, 배출량, 인벤토리, 선박, 국내배출, 국외배출  
Greenhouse Gas, Emission, Inventory, Ship, Domestic Emission, International Emission

#### 요 약

선박 부문의 경우 UNFCCC에서는 국제해사기구(IMO)를 통해 공해를 운항하는 국제선박의 배출량 산정 및 저감방안에 대하여 논의를 위임하였으며, 이에 IMO에서는 신조선 에너지효율 설계지수 및 현존선 에너지효율 운항지수와 같은 기술적·운항적 측면과 선박에너지효율관리계획서 작성 그리고, CO<sub>2</sub> 배출권거래제, 탄소세, 온실가스 펀드 등의 시장 접근적 측면에서 다양한 의견이 제시되고 있다. IMO 보고서(2009)에 의하면 선박에 의한 이산화탄소 배출량은 1,046백만 톤으로 전세계 이산화탄소 배출량에 3.3%에 해당하는 것으로 나타났으며, 이중 국제 운항선박에 의한 이산화탄소 배출량은 870백만 톤으로 2.7%에 해당하는 것으로 나타났다.

이에 본 연구에서는 연료 수급량을 기본으로 한 Tier 1 방법으로 선박에 의한 온실가스 배출량을 산정하였으며, 국내 배출 및 국제 배출을 구분하였다. 2009년 기준 어선, 국적 연안선, 국적 외항선, 외국적선을 포함한 선박에 의한 온실가스 배출량 산정결과 31,646천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년으로 나타났으며, 국적선에 의한 국내 및 국제 배출은 각각 5,398천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년, 7,630천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년 그리고 외국적선에 의한 국제 배출량은 18,618천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년으로 나타났다.

Recently, the reduction of greenhouse gases(GHG) for climate change is the most important international issue. In order to control efficiency GHG emission rate reduction, it is essential to establish GHG emission inventory preferentially. The emission of ships that are emitting its CO<sub>2</sub> in international waters is becoming chief among the issues which country is put under an obligation. In the IMO reports, shipping is estimate to emit 1,046million tonnes of CO<sub>2</sub>, which corresponds to 3.3% of global emission during 2007. International shipping is estimated to have emitted 870 million tonnes, about 2.7% of global emission of CO<sub>2</sub> in 2007.

In this study, the general information of GHG emission, based on fuel consumption statistic, Tier 1, and the emission inventory is calculated to break down in to domestic and international emission. The GHG emission from ships in Korea was total 31,646 Gg CO<sub>2</sub>-eq in 2009, which is included fishing, Korea flag coastal ship, Korea flag ocean going ship and foreign flag ships. And domestic emission and international emission was 5,398Gg CO<sub>2</sub>-eq, 7,630Gg CO<sub>2</sub>-eq and foreign flag ship was 18,618Gg CO<sub>2</sub>-eq respectively.

## I. 서론

기후변화 정부간 패널(IPCC)은 4차 보고서(AR4, Fourth Assessment Report, 2007)를 통해 21세기 기후변화의 가속화 전망을 제시하고 있으며, 현재와 같이 지속적으로 화석연료를 사용한다면 21세기 말까지 지구평균기온이 최대 6.4℃ 상승하고, 해수면은 59mm 상승할 것으로 전망하고 있다. 또한, IPCC 배출시나리오에 관한 특별보고서(IPCC Special Report on Emission Scenarios ; SRES, 2000)에 따르면 2000년에서 2030년까지 전 세계 온실가스는 25~90% 증가할 것으로 예상되고 있다. 이에, 전 세계적으로 대기 중 온실가스 농도를 안정화시키기 위한 온실가스 감축노력이 활발하게 진행되고 있다.

IMO 보고서(2009)에 의하면 선박에 의한 이산화탄소 배출량은 1,046백만 톤으로 전세계 이산화탄소 배출량에 3.3%에 해당하며, 국제운항 선박(International Shipping)에 의한 이산화탄소 배출량은 870백만 톤으로 2.7%에 해당하는 것으로 나타났다.

선박의 경우 국가간 이동을 하기 때문에 공해상에서 배출되는 온실가스를 어느 나라에 귀속할 것인지가 큰 쟁점이 되고 있다. 국가간 이동을 하는 해운부문(Ocean going ship)선박에 대해 UNFCCC에서는 국제해사기구(IMO)를 통해 국제운항 선박의 배출량 산정 및 저감방안에 대하여 논의를 위임하였다. IMO에서는 1997년 제40차 해양환경보호위원회(MEPC)에서 최초로 이산화탄소에 대한 논의를 시작하였으며, 제57차 MEPC 회의(2008)부터 구체적인 논의를 시작하여 현재까지 제59차 MEPC(2009) 회의를 거쳐 CO<sub>2</sub> 배출을 줄이기 위하여 신조선 에너지효율 설계지수(Energy Efficiency Design Index : EEDI) 및 현존선 에너지효율 운항지수(Energy Efficiency Operational Indicator : EEOD)와 같은 기술적·운항적 측면과 선박에너지효율관리계획서(Ship Energy Efficiency Management Plan : SEEMP) 작성 그리고, CO<sub>2</sub> 배출권거래제, 탄소세, 온실가스 펀드 등의 시장 접근적 측면에서 다양한 의견이 제시되었다. IMO 국제회의 논의가 점차 긴박하고 이해득실을 따져 진행되고 있어 정부에서도 국내 산·학·연과 연계하여 해운분야 기후변화 종합대책을 마련할 계획에 있다(김철홍, 2009).

정부에서는 2020년까지의 국가 온실가스 감축목표를 당초 3개 시나리오 중 가장 높은 수준인 “배출전망치

(BAU) 대비 30% 감축”으로 최종결정했다. 최종 확정된 배출 전망 대비 30% 감축안은 IPCC의 개발도상국에 권고한 감축범위의 최고 수준으로, 이것은 2005년 대비 2020년까지 4%를 감축한다는 의미이며, 해운부문도 동일한 감축목표를 할당받게 될 것으로 예상된다. 또한, 정부는 지속가능 교통물류발전법(2009.6.9)과 저탄소 녹색성장기본법(2010.1.13)을 도입하여 친환경 교통수단에 대한 개발과 투자를 확대하고, 에너지 절감형 교통 물류체계로의 전환 등 저탄소 녹색성장을 위한 다각적인 정책을 마련 중이며(대한교통학회 제63회 학술발표회 논문집 ii-199), 이에 일환으로 국내의 녹색교통 추진전략(국토해양부, 지식경제부, 2009)에서는 철도 연안해운 위주의 녹색물류체계 구축과 경쟁력 강화를 통해 녹색교통의 수송 부담률을 확대할 예정이다.

대기오염 현황과 인과관계를 규명하고 합리적인 저감대책을 모색하기 위해서는 대기오염물질이 어디서 얼마만큼 나오는지에 대해 정확히 파악하는 것이 필수적이다. 배출원 별로 시간에 따른 배출량의 공간적 분포를 정량적으로 추정할 수 있어야만 비로소 배출량 저감을 위한 구체적인 전략 수립이 가능하기 때문이다. 즉 배출목록(emission inventory)은 합리적인 자료를 바탕으로 한 대기오염관리 전략 수립의 핵심적인 기초자료이다(장영기, 2001).

따라서 온실가스와 같은 대기배출물질에 대한 감축목표를 달성하기 위해서는 우선 배출원별 온실가스 배출량을 정확히 파악하고, 이후 배출원별 특성 및 기여도를 분석하여야 한다. 온실가스 배출목록은 잠재성 평가와 정책수립 시 가장 기초적이고 핵심적인 자료로 온실가스 배출원을 규명하고, 각각의 배출원으로부터 온실가스 배출량을 산정하여 총 온실가스 배출량을 목록화한 것이다.

UNFCCC는 온실가스 배출량 선정에 사용되는 모든 자료에 대하여 통계적 유의성과 일관되고 지속가능하게 보고 또는 생성될 수 있는 자료의 채택과 생성을 권고하고 있다(UNFCCC SBSTA 4, 1996). 정확한 배출량 산정을 위해서는 배출원 현황 및 실태, 연료사용량 등의 활동자료를 수집, 분석, 생성해야 하고, 또한 공신력 있게 입수된 정보를 기반으로 논리적인 방법과 절차를 통해 온실가스 배출량을 산정하여야 만 합리성과 신뢰성 있는 배출목록자료가 될 수 있으며, 온실가스 관련 연구 및 정책수립에 활용할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 국가 공인통계인 한국석유공사의 석유류수급통계 자료 및 IPCC(2006)의 배출계수를 이용한

Tier 1방법으로 국내 선박 부문의 국내 배출(domestic emission) 및 국제 배출(international emission)에 따른 어선, 국적 연안선, 국적 외항선, 외국적선에 의한 온실가스 배출량을 산정하여, 추세 및 현황을 분석하였다.

본 연구의 대상은 화석연료 연소에 따른 내연기관을 장착한 선박에 의한 온실가스 배출량으로 해운부문과 어업부문에 나누어 산정하였으며, 배출원 구분은 해운부문의 일반선박과 어업부문의 어선을 대상으로 하였다. 시간적 범위는 1990년부터 2009년까지이며, 공간적 범위는 우리나라의 연도별 배출량으로 하였다.

## II. 관련연구 고찰

2006 IPCC 가이드라인은 유엔기후변화협약(UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change)에 보고하기 위해 온실가스 인벤토리 작성시 각국에서 사용할 국제적으로 합의된 지침으로, 1996 IPCC 가이드라인과 이와 연관된 우수실행지침을 보완하기 위하여 UNFCCC의 요청에 의하여 만들어졌으며, 국가 인벤토리 작성시 IPCC 가이드라인에 기초하여야 한다. 이 지침에 의하면 선박 부문 온실가스 배출량을 산정하기 위하여 Tier 1 및 Tier 2방법론을 제시하고 있으며, 국가간 이동을 하기 때문에 국가 온실가스 산정시 중복을 피하기 위하여 국내운항에 의한 배출과 국제 운항에 의한 배출을 구분할 것을 권고하고 있다. 또한, 온실가스 배출량 산정에 사용되는 모든 자료는 통계적으로 유의하며, 일관되고 지속 가능하게 보고 생성될 수 있는 자료의 사용과 생성을 권고하고 있다. Tier 1 방법은 가장 간단한 방법으로 연료별 연료소비량 및 배출계수(기본값 또는 국가고유정보)를 이용하여 산정한다. Tier 2 방법은 Tier 1과 마찬가지로 연료별 연료소비량을 이용하지만 엔진별, 운항모드별, 연료별로 분류된 국가 고유 배출계수를 이용한다.

선박에 의한 온실가스 배출량 산정과 관련한 국내의 연구는 에너지 연소 분야의 다른 배출원들에 비하여 상대적으로 부족한 상태이며, 지자체별 또는 수송부문 온실가스 배출량 산정시 세부항목으로 포함되어 산정되고 있다.

한국교통연구원(2009) 국가 교통수요조사 및 DB 구축사업의 일환으로 기후변화협약 관련 교통부문 정책 및 전략수립을 위한 에너지 사용량, 온실가스 배출량, 오염물질 배출량에 대한 수단별·지역별 기초통계를 구축

을 목적으로 교통부문 온실가스 및 대기오염 물질 조사 사업을 실시하였다. 교통부문의 도로, 철도, 항공, 해운 분야를 지칭하며, 해운부문의 경우 한국석유공사의 석유류 수급통계를 이용한 에너지사용량을 기초로 온실가스 배출량을 산정하는 방법인 Tier 1 방법으로 교통수단별, 지역별로 구분하여 전체 유종, 주유 유종 및 국제 병커링을 제외한 값으로 각각 구분하여 배출량을 산정하였다.

부산광역시(2007)는 선박톤급별 입출항 실적(부산항만공사) 및 톤급별 연료경제 자료(지식경제부, 에너지중조사보고서)를 이용하여 운항거리에 따른 에너지 소비량을 추정하였다. 부산시는 선박에 의한 온실가스 배출량을 시경계 내·외로 구분하였는데 시경계부터 항구까지의 거리인 60km를 선박의 시경계내 운항거리(부산광역시 대기환경개선실천계획, 2002)로 가정하고, 부산시 경계내 연료소비량을 추정하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 그리고 부산시에서 판매된 해운부문 연료량에 의한 전체 온실가스 배출량을 산정한 뒤 시경계내 온실가스 배출량을 제외한 부분을 시경계 밖 온실가스 배출량으로 구분하였다.

## III. 선박부문 온실가스 배출량 산정방법

선박에 의한 온실가스 배출량 산정 방법은 IPCC 가이드라인의 유류통계에 따른 Tier 1 방법론을 적용하였다.

$$E = \sum (FC \cdot EF) \tag{1}$$

여기서, E : 온실가스 배출량(tonnes)  
 FC : 연료 소비량(tonnes)  
 EF : 온실가스 배출계수(kg/tonnes)

배출계수는 1996 IPCC 배출계수를 적용한 배출량을 산정하여 2006가이드라인의 배출계수를 적용한 배출량과 비교 분석하였다. CO<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O의 유종별 기본 배출계수는 각각 <표 1>, <표 2>와 같다.

유종별 온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 기본 배출계수를 유종에 따라 대상국가의 순발열량 값을 적용해야 한다. 본 연구에 적용된 우리나라의 에너지 열량 환산 기준 값은 <표 3>과 같으며, Tier 1 방법에 의한 선박부문의 유종 및 온실가스 물질별 배출계수를 기관별로 비교하여 보면 <표 4>와 같다.

<표 1> 연료종류별 CO<sub>2</sub> 배출계수

Fuel type	CO <sub>2</sub> Emission Factor(kg/TJ)	
	2006 <sup>1)</sup>	1996 <sup>2)</sup>
gasoline	69,300	68,600
kerosene	71,900	71,200
diesel oil	74,100	73,300
fuel oil	77,400	76,600
LPG	63,100	63,100

주 1) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 탄소산화계수는 1이라고 가정.  
 주 2) 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 탄소산화계수는 0.99(석유)라고 가정

<표 2> CH<sub>4</sub> 및 N<sub>2</sub>O 배출계수 (단위 : kg/TJ)

구분		CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
2006 <sup>1)</sup>	Ocean-going ship*	7 (±50%)	2 (+140%, -40%)
	1996 <sup>2)</sup>	5	0.6

\* Default values derived for diesel engines using heavy fuel oil

자료 : Lloyd's Register(2006), EC(2002), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

주 1) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories  
 주 2) 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

<표 3> 에너지열량환산 기준

구분	단위	순발열량	
		kcal	MJ 환산
휘발유	ℓ	7,400	31.0
경유	ℓ	8,450	35.4
B-A	ℓ	8,750	36.6
B-B	ℓ	9,100	38.1
B-C	ℓ	9,350	39.1
부탄	kg	10,900	45.7

자료 : 에너지기본법, 2006.9.4

<표 4> 기관별 배출계수 비교 (단위 : kg/ton)

구분	본연구 <sup>1)</sup>	EU <sup>2)</sup>	IMO <sup>3)</sup>	
				gasoline
CO <sub>2</sub>	diesel oil	2,623	3,160	3,190
	fuel oil	3,026	-	3,130
	CH <sub>4</sub>	0.3	0.05*	0.3
N <sub>2</sub> O	0.08	0.08*	0.08	

1) IPCC Guideline(2006)의 연료별 CO<sub>2</sub> 배출계수를 에너지기  
 본법 "에너지열량 환산기준"(2006, 지식경제부)에 의하여 환산  
 2) EMEP EEA Emission Inventory Guidebook 2009  
 3) IMO Prevention of air pollution from ships (MEPC  
 59/INF.10)  
 4) Scientific Support Plan for a Sustainable Development  
 Policy, 2007  
 \* Lloyd's Register(1995), IPCC(1997), Cooper(1996)

<표 5> 배출계수 적용

구분	연료종류
gasoline	휘발유
diesel oil	경유, B-A
fuel oil	B-B유, B-C유
LPG	LPG(부탄)

자료 : 환경관리공단, 지자체 온실가스 가이드라인(2009.11)

본 연구에 사용된 우리나라 석유통계의 연료구분은 IPCC(2006)보다 세분화 되어 있어 <표 3>과 같이 세분화 하여 유종별 온실가스 배출량을 산정하였으며, IPCC(2006)의 배출목록 구분에 따라 본 연구의 유종별 세분류에 의한 온실가스 배출계수를 <표 5>와 같이 취합하여 유종별 온실가스 배출량을 산정하였다.

#### IV. 선박에 의한 온실가스 배출량 산정결과

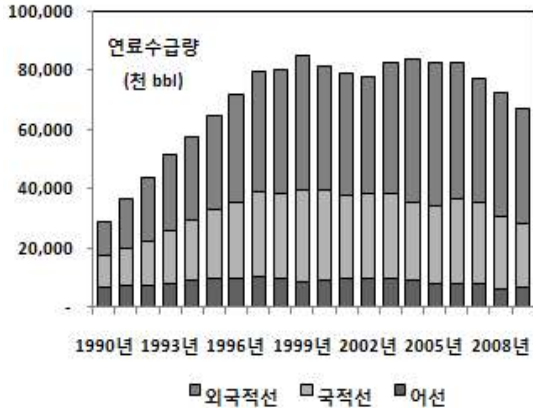
##### 1. 선박에 의한 연료 소비량

선박에 의한 온실가스 배출량은 연료소비량에 각 유종별 배출계수를 곱하여 산정한다. 따라서 선박에 의한 온실가스 배출량 산정을 위하여 한국석유공사에서 매년 발간되는 석유류 수급통계의 해운부문 및 어업부문의 석유수급량 자료를 이용하였다. 해운부문 석유류 수급량은 내국적 연안 및 내륙항로 수송업, 내국적 외항 수송업, 수상운수 보조서비스업, 외국적 수상수송업(국제 병커링으로 구분)으로 구분된다. 이 중 외국적 수상수송업은 국제 병커링으로 따로 집계되는데 국제 병커링은 외국적 선박에 수급된 석유류 수급량을 의미한다. 어업부문 석유류 수급량은 달리 분류되지 않는 어업, 원양어업, 연근

<표 6> 선박관련 산업분류표

구분	설명	
해운	내국적연안, 내륙항로 수송업	내륙수상 여객 및 화물운송업
	내국적 외항수송업	국내항로 여객 및 화물운송업
	외국적 수상수송업	외국항로 여객 및 화물운송업
	수상운수보조 서비스업	해상터미널시설운영업, 수로안내업, 선박청소업, 선박구난업
	달리 분류되지 않는 어업	양식업 및 어업관련 서비스업
어업	원양어업	해외에서의 어업(해외에서 채취한 해초류, 어패류 포함)
	연근해어업	우리나라 영해내에서의 어패류 및 해초류 채취업

자료 : 한국석유공사, 석유류수급통계



<그림 1> 선박에 의한 연료소비량

해어업으로 구분된다.

선박에 의한 연료 수급량은 1990~1999년에 급속한 증가를 보이다가 2006년 이후 감소하는 경향을 보이고 있었다. 2009년 일반선박에 의한 연료소비량은 총 60,146 천bbl로 외국적선 및 국적선에 의한 연료소비량

<표 7> 선박에 의한 유종별 연료소비량(2009년)

(단위 : 1,000 bbl)

구분	일반선박	어선	계
가솔린	- (0.0%)	706 (10.2%)	706 (1.1%)
경유	6,267 (10.4%)	5,670 (81.9%)	11,937 (17.8%)
중유	53,872 (89.6%)	542 (7.8%)	54,414 (81.1%)
기타	7 (0.0%)	1 (0.0%)	8 (0.0%)
계	60,146 (100%)	6,919 (100%)	67,065 (100%)

자료 : 한국석유공사, 석유류수급통계

은 각각 38,808 천bbl(64.6%), 21,338 천bbl(35.4%)이었으며, 같은 해 어선에 의한 연료소비량은 6,919 천bbl로 나타났다.

<표 7>과 같이 전체선박에 의한 연료별 소비량(2009년)을 보면 중유가 54,414 천bbl(B-A유 1,626천bbl, B-B유 283천 bbl, B-C유 52,505천 bbl)로 수송부분

<표 8> 선박에 의한 연료 소비량

(단위 : 1,000 bbl)

구분	어선 <sup>1)</sup>	일반선박 <sup>2)</sup>			소계	총계
		국적선		외국적선 <sup>5)</sup>		
		연안선 <sup>3)</sup>	외항선 <sup>4)</sup>			
1990년	6,896	5,330	5,497	11,042	21,868	28,764
1991년	7,396	2,322	10,282	16,489	29,093	36,488
1992년	7,639	2,553	12,231	21,370	36,154	43,792
1993년	8,003	8,674	8,929	26,126	43,730	51,732
1994년	8,977	7,912	12,255	28,526	48,693	57,670
1995년	9,597	7,875	15,400	31,906	55,181	64,778
1996년	9,740	4,379	21,515	36,313	62,207	71,947
1997년	10,329	5,670	23,203	40,274	69,147	79,476
1998년	9,457	4,888	23,865	41,814	70,567	80,024
1999년	8,393	4,779	26,549	45,318	76,646	85,039
2000년	8,994	6,124	24,190	42,195	72,509	81,503
2001년	9,948	5,473	22,274	41,407	69,154	79,102
2002년	9,872	6,377	22,129	39,517	68,023	77,895
2003년	9,551	6,630	22,135	44,097	72,862	82,413
2004년	8,908	6,323	20,167	48,509	74,999	83,907
2005년	8,082	6,081	20,191	48,438	74,710	82,792
2006년	8,050	5,918	22,579	46,157	74,654	82,704
2007년	7,940	5,820	21,510	42,048	69,378	77,318
2008년	6,183	5,885	18,401	42,198	66,484	72,667
2009년	6,919	5,420	15,918	38,808	60,146	67,065

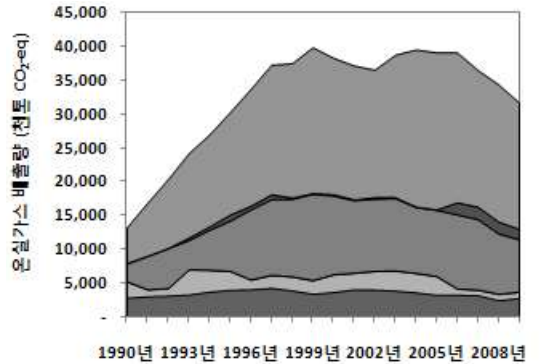
주 : 1) 어업부문 연료소비량을 어선에 의한 연료소비량으로 지칭함.  
 2) 해운부문 연료소비량을 일반선박에 의한 연료소비량으로 지칭함.  
 3) 국적선 연안선 : 내국적 연안, 내륙항로 수송업, 수상운수보조 서비스업  
 4) 국적선 외항선 : 내국적 외항수송업  
 5) 외국적선 : 외국적 외항수송업으로 국제 병커링 중 해운부문 연료 소비량  
 자료 : 한국석유공사, 석유류수급통계

(철도, 도로, 항공, 해운)의 중유 소비량 중 99% 이상이 해운부문에서 소비된 것 집계되었으며, 일반선박은 대부분 중대형 엔진으로 중유의 비율(53,872 천 bbl, 89.6%)이 어선은 소형엔진으로 경유의 비율(5,760 천 bbl, 81.9%)이 큰 것으로 나타났다.

2. 선박에 의한 온실가스 배출량

본 연구는 선박에 의한 온실가스 배출량을 산정하기 위하여 IPCC 가이드라인의 Tier 1 방법론을 준용하였다. 배출계수는 IPCC(1996 및 2006)에서 제공된 유종별 기본 배출계수를 이용하였다. 에너지기본법의 에너지 열량 환산 기준을 이용하여 연료 사용량 당 온실가스 배출량을 산정하였다. 활동자료로 유류사용량은 한국석유공사의 해운부문 및 어업부문의 석유류 수급량 자료를 이용하였다.

어선, 국적 연안선, 국적 외항선, 외국적선을 포함한 선박부문의 온실가스 총 배출량은 1990년 13,239 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년에서 1999년 39,771 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년으로



■ 외국적 수상 ■ 수상운수 ■ 내국적 외항 ■ 내국적 연안 ■ 어선

<그림 2> 선박에 의한 온실가스 배출량

매년 증가하다가 점차 감소하여, 최근 2009년 31,646 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년으로, 선박에 의한 온실가스 배출량 변화는 <그림 1>과 같이 선박의 연료소비량과 같은 추세를 보였다. 2009년의 선종별 온실가스 배출량은 어선 2,886 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년(9.1%), 국적 연안선 2,512 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년(7.9%), 국적 외항선 7,630 천톤

<표 9> 선박에 의한 온실가스 배출량(IPCC 2006 가이드라인의 배출계수 적용) (단위 : 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년)

구분	어선	일반선박				총계
		국적선		외국적선	소계	
		연안선	외항선			
1990년	2,940	2,477	2,580	5,242	10,299	13,239
1991년	3,149	1,049	4,869	7,834	13,752	16,902
1992년	3,250	1,158	5,809	10,146	17,114	20,364
1993년	3,408	4,093	4,249	12,438	20,780	24,189
1994년	3,822	3,736	5,838	13,555	23,128	26,950
1995년	4,086	3,688	7,365	15,109	26,163	30,249
1996년	4,161	1,993	10,285	17,196	29,473	33,635
1997년	4,386	2,620	11,120	19,080	32,821	37,206
1998년	4,001	2,235	11,404	19,771	33,411	37,412
1999년	3,522	2,085	12,686	21,478	36,249	39,771
2000년	3,765	2,789	11,568	20,102	34,459	38,224
2001년	4,162	2,536	10,662	19,731	32,929	37,091
2002년	4,120	2,941	10,612	18,811	32,364	36,484
2003년	3,989	3,066	10,628	21,004	34,698	38,687
2004년	3,719	2,922	9,668	23,143	35,733	39,452
2005년	3,367	2,820	9,700	23,159	35,678	39,045
2006년	3,359	2,723	10,853	22,083	35,659	39,018
2007년	3,313	2,675	10,300	20,131	33,106	36,419
2008년	2,571	2,711	8,812	20,224	31,746	34,318
2009년	2,886	2,512	7,630	18,618	28,760	31,646

주 : 1) 어업부문 연료소비량을 어선에 의한 연료소비량으로 지칭함.  
 2) 해운부문 연료소비량을 일반선박에 의한 연료소비량으로 지칭함.  
 3) 국적선 연안선 : 내국적 연안, 내륙항로 수송업, 수상운수보조 서비스업  
 4) 국적선 외항선 : 내국적 외항수송업

CO<sub>2</sub>-eq/년(24%), 외국적선 18,618 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년(59%)으로 산출되었다.

1996 IPCC 배출계수를 적용한 선박에 의한 온실가스 배출량은 2009년 기준 31,126 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년으로, 선종별 온실가스 배출량을 살펴보면 어선 2,837 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년, 국적 연안선 2,470 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년, 국적 외항선 7,505 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년, 외국적선 18,313 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년으로 산출되었다. 2006 IPCC 배출계수 값과 비교하면 약 520천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년(2006 IPCC 대비 98.4%)의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 2006 IPCC 배출계수에서는 탄소 산화계수를 100%로 가정하되 반해 1996 IPCC 배출계수는 99%로 가정하였고, non-CO<sub>2</sub> 배출계수의 차이에 의한 것으로 판단된다.

선박의 경우 국가간 이동이 빈번하기 때문에 국가별 온실가스 배출량 산정시 중복산정을 피하기 위하여 UNFCCC에서는 국내운항과 국제운항에 의한 배출량 구분을 권고하고 있는데, 구분기준은 <표 11>와 같이 국적에 상관없이 자국내 이동을 하는 선박 및 어선에 의한

<표 11> 국내배출 및 국제배출 구분

구분	정의
국내배출	- 국적에 상관없이 자국내에서 이동하는 선박에 의한 배출 - 어선(원양어선 포함)
국제배출	국적에 상관없이 국가간 이동을 하는 선박에 의한 배출

자료 : 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

배출은 국내배출(domestic emission)로 국가간 이동을 하는 선박에 의한 배출은 국제배출(international emission)로 구분한다.

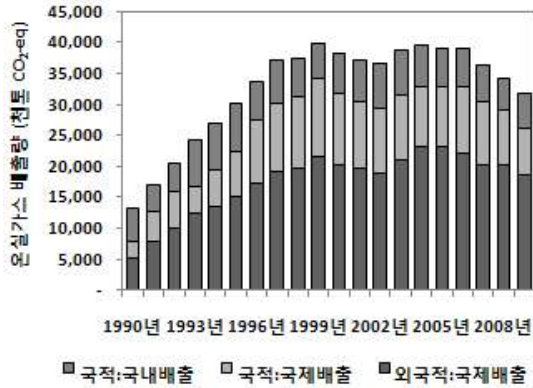
본 연구에서는 내국적 연안, 내륙항로 수송업 및 수상운수 보조 서비스업 그리고 어업부문(달리 분류되지 않은 어업, 연근해어업, 원양어업)을 국내배출에 포함하였으며, 내국적 외항수송 및 외국적 수상수송업(국제 병커링)을 국제배출로 구분하였다.

2009년 기준 국적선에 의한 배출량은 총 13,028 천톤으로, 이중 국내 배출량은 5,398 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년(41.4%) 국제 배출량은 7,630 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년

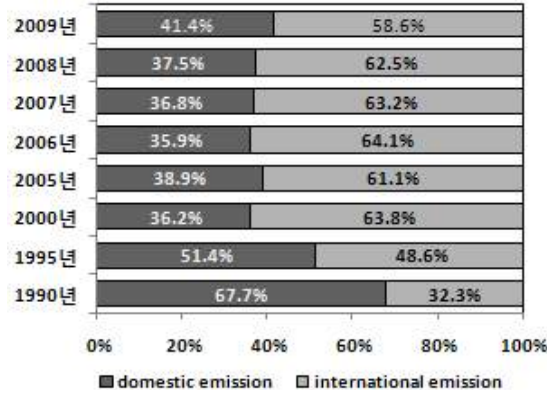
<표 10> 선박에 의한 온실가스 배출량(IPCC 1996 가이드라인의 배출계수 적용) (단위 : 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년)

구분	어선	일반선박				총계
		국적선		외국적선	소계	
		연안선	외항선			
1990년	2,890	2,437	2,537	5,156	10,129	13,020
1991년	3,096	1,032	4,789	7,705	13,526	16,622
1992년	3,195	1,139	5,714	9,980	16,833	20,028
1993년	3,351	4,026	4,179	12,234	20,439	23,790
1994년	3,757	3,675	5,742	13,332	22,748	26,506
1995년	4,017	3,627	7,245	14,861	25,733	29,750
1996년	4,091	1,959	10,116	16,913	28,989	33,080
1997년	4,312	2,577	10,938	18,766	32,281	36,593
1998년	3,934	2,198	11,217	19,446	32,862	36,795
1999년	3,462	2,050	12,478	21,125	35,654	39,116
2000년	3,701	2,743	11,378	19,772	33,893	37,594
2001년	4,091	2,494	10,488	19,408	32,389	36,480
2002년	4,050	2,893	10,438	18,502	31,833	35,883
2003년	3,922	3,015	10,454	20,659	34,128	38,050
2004년	3,656	2,874	9,509	22,763	35,146	38,803
2005년	3,310	2,773	9,541	22,779	35,093	38,403
2006년	3,302	2,678	10,676	21,721	35,075	38,377
2007년	3,257	2,630	10,132	19,801	32,563	35,820
2008년	2,528	2,666	8,668	19,892	31,226	33,754
2009년	2,837	2,470	7,505	18,313	28,288	31,126

주 : 1) 어업부문 연료소비량을 어선에 의한 연료소비량으로 지칭함.  
 2) 해운부문 연료소비량을 일반선박에 의한 연료소비량으로 지칭함.  
 3) 국적선 연안선 : 내국적 연안, 내륙항로 수송업, 수상운수보조 서비스업  
 4) 국적선 외항선 : 내국적 외항수송업



<그림 3> 국내 및 국제 온실가스 배출량



<그림 4> 국내 및 국제 온실가스 배출량 비교

(58.6%)으로 나타났다. 그리고 외국적선에 의한 국제 배출량은 18,618 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년으로 산정되었다.

또한, 국적선에 의한 연도별 국내 배출 및 국제배출을 살펴보면 1990년부터 1995년까지는 국내 배출이 국제 배출보다 높은 비율을 차지하고 있으나, 1996년부터는 국제배출의 비율이 계속 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

2009년 선박부문의 온실가스 배출량을 IPCC 및 우리나라의 감축목표 기준년도인 1990년과 2005년 대비

<표 13> 기준년도 대비 2009년 온실가스 배출량 증감

구분	1990년 대비	2005년 대비
국내배출	-0.37%	-12.75%
국제 배출	자국적선	195.74%
	외국적선	255.17%
		-19.61%

증감을 비교하면 <표 13>과 같다.

국내·국제배출량 모두 2005년 대비 감소하였지만, 1990년 대비 국내배출량은 감소, 국제배출량은 자국적선·외국적선 모두 매우 큰 증가율을 보였다.

<표 12> 국내배출 및 국제배출을 구분한 선박에 의한 온실가스 배출량

(단위 : 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년)

구분	국적선에 의한 배출			외국적선에 의한 배출 : 국제배출
	국내배출	국제배출	계	
1990년	5,418	2,580	7,998	5,242
1991년	4,198	4,869	9,067	7,834
1992년	4,408	5,809	10,217	10,146
1993년	7,502	4,249	11,751	12,438
1994년	7,558	5,838	13,396	13,555
1995년	7,774	7,365	15,139	15,109
1996년	6,154	10,285	16,439	17,196
1997년	7,006	11,120	18,126	19,080
1998년	6,237	11,404	17,641	19,771
1999년	5,607	12,686	18,293	21,478
2000년	6,554	11,568	18,122	20,102
2001년	6,697	10,662	17,359	19,731
2002년	7,061	10,612	17,673	18,811
2003년	7,055	10,628	17,683	21,004
2004년	6,642	9,668	16,310	23,143
2005년	6,187	9,700	15,887	23,159
2006년	6,082	10,853	16,935	22,083
2007년	5,988	10,300	16,288	20,131
2008년	5,282	8,812	14,094	20,224
2009년	5,398	7,630	13,028	18,618

주 : 1) 어업 및 내륙적연안, 내륙항로 수송업 및 수상수송 보조 서비스업을 국내배출로, 내국적 외항수송업 및 외국적 수상수송업(국제빙커링)을 국제배출로 분류함.



<표 14>는 UNFCCC 회원국가에 대하여 IMO에서 자국적 선박들의 국제배출량(온실가스)에 대한 조사결과이다(162개국, 197국적, 2007년 기준).

우리나라의 경우 약 20,445 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년으로, 전세계 배출량의 약 1.8%를 차지하는 것으로 보고되었으며, 본 연구에서 산정한 2007년 내국적 외항선박에 의한 온실가스 배출량은 10,300 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년으로 우리나라 자국적 외항선박이 왕복항해를 하였을 경우로 가정하면 IMO의 조사결과와 약 99.2%의 유사값을 보이는 것으로 추정할 수 있다.

**V. 결론 및 향후 연구과제**

본 연구는 1990년부터 2009년까지의 전국을 대상으로 일반선박과 어선을 포함한 모든 동력선박에 의한 국내 온실가스 배출량을 산정하고자 하였다. 온실가스 산정방법은 IPCC 가이드라인의 Tier 1 방식을 준용하였고, 배출계수 또한 IPCC에서 제공된 유종별 기본배출계수를 이용하였고, 활동자료로서 연료소비량은 국가 공인 자료인 한국석유공사의 석유류 수급통계의 연료 수급량 자료를 이용하였다.

2009년 선박부문 온실가스 배출량은 31,646 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년으로 1990년부터 계속 증가하다가 2004년을 정점으로 이후 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 어선 및 국적선이 각각 2,886 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년, 10,142 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년 그리고 외국국적이 18,618 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년으로 나타났다. 2009년 온실가스 배출량을 1990년과 2005년 대비 증감을 비교하면 국내·국

제배출량 모두 2005년 대비 감소하였지만, 1990년 대비 국내배출량은 감소, 국제배출량은 자국적선·외국적선 모두 매우 큰 증가율을 보였다.

UNFCCC 회원국가에 대하여 IMO에서 자국적 선박들의 국제배출량에 의한 온실가스 배출량을 조사한 결과(162개국, 197국적, 2007년 기준), 우리나라의 경우 약 20,445 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년으로, 전세계 배출량의 약 1.8%를 차지하는 것으로 보고되었다. 본 연구에서 산정한 2007년 자국적 외항선박에 의한 온실가스 배출량은 10,300 천톤 CO<sub>2</sub>-eq/년으로 자국적 외항선박이 왕복항해를 하였을 경우로 가정하면 약 99.2%의 유사값을 보이는 것으로 추정할 수 있다.

본 연구와 같이 연료소비량 자료에 기초하여 온실가스배출량을 추정할 경우에는 국가 배출량 또는 부문별 총량 산정에 유용하다. 반면, 전체 배출량을 지역 및 세부 배출원별로 할당할 경우에는 오차가 발생할 수 있고, 저감잠재량 평가 및 장래 배출량 시나리오 분석 그리고 이에 따른 저감대책 수립에 한계가 발생한다. 우리나라의 경우 국내 수출입물동량의 99% 이상이 선박에 의한 해상운송에 의존하고 있다. 선박의 온실가스 배출량 감축목표 도달을 위해서는 저감잠재량 파악과 다양한 정책의 장래 시나리오 분석이 선행되어야 이후 비용편익 효과에 따른 기술, 정책의 우선순위가 결정될 수 있다. 이를 위해서는 선박의 실제 기계적 체원과, 운항형태를 고려한 활동자료 등이 반영될 수 있는 상황식 접근방법(Tier 3 수준)의 인벤토리 작성이 요구되며, 이를 수행할 수 있는 지속적인 선박부문의 온실가스 배출량 산정 시스템 개발연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

<표 14> 각국의 국적 범커링에 의한 온실가스 배출량(UNFCCC, 2007년 기준)

국가	국적	Annex I	Non Annex I	Unassociated	total	%
China	China	-	41,103,612	4,103,483	45,207,095	4.0%
Japan	Japan	32,397,977	-	-	32,397,977	2.9%
Panama	Panama	-	189,978,808	-	189,978,808	17.0%
<b>Republic of Korea</b>	<b>Republic of Korea</b>	-	<b>20,444,710</b>	-	<b>20,444,710</b>	<b>1.8%</b>
United Kingdom	United Kingdom	27,888,015	-	-	27,888,015	2.5%
United States	United States	27,726,815	-	-	27,726,815	2.5%
...	...	...	...	...	...	...
Unknown	Unknown	-	-	16,127,001	16,127,001	1.4%
Total (CO <sub>2</sub> -ton)		320,171,523	759,786,069	38,185,873	1,118,143,466	100%
%		28.6%	68.0%	3.4%	(163 country, 198 Flag)	

자료 : PREVENTION OF AIR POLLUTION FROM SHIPS : Information to facilitate discussion on GHG emissions from ships Decision scenarios for CO<sub>2</sub> emissions(MEPC 59/J/8, 2009.7.14)

알림: 본 논문은 Air & Waste Management Association(103rd Annual Conference, June 22-25, 2010.)에서 발표된 내용을 수정, 보완하여 작성된 것입니다.

## 참고문헌

1. 국토해양부(1990-2009). “해양수산통계연보”.
2. 김철홍(2009), “국제해사기구(IMO)의 CO<sub>2</sub> 저감 동향과 정책 대응“, 해양국토 21, pp.147~157.
3. 최상진·박성규·홍영실·김종현·장철웅·김필수 (2010), “물류기업 온실가스 배출량 산정방법에 관한 연구“, 제63회 학술발표회, 대한교통학회, pp.ii-199~204.
4. 부산광역시(2007), “온실가스 배출량 조사용역”.
5. 부산광역시(2002), “대기환경개선실천계획”.
6. 장영기(2001), “대기오염과 온실가스 배출통계자료의 현황과 과제”.
7. 한국석유공사(1990~2008), “석유류수급통계”.
8. 한국교통연구원(2009), 2008년도 국가 교통수요 조사 및 DB 구축사업.
9. 환경관리공단(2009), 지자체 온실가스 가이드라인.
10. IPCC(2007), “AR4 : Fourth Assessment Report”.
11. IPCC(2008), “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories”.
12. IMO(2009), “Prevention of Air Pollution from Ships”.
13. Annick Gommers, Lien Verbeeck and Els Van Cleemput(2007), “MONitoring Programme on air pollution from Sea-going vessels(MOPSEA)”.
14. Cooper,D.A., and Gustafsson,t.,(2004) “Methodology for calculating emission from ship”.
15. EMEP/EEA(2009), “Emission Inventory Guidebook“.
16. Entec UK Limited.(2005), “Service Contact on Ship Emission ; Assignment, Abatement and Market-based Instruments Contact”.
17. Friedericke Ziegler, Per-Anders Hansson (2003), “Emission from fuel combustion in Swedish cod fishery”, Journal of Cleaner Production 11, pp.303~314.
18. James J. Cobertt and Horst W. Koehler.(2003), “Updated emissions from ocean shipping”, Journal of geophysical Research, Vol. 108.
19. J.H.J. Hulskotte, H.A.C. Denier van der Gon(2010), “Fuel consumption and associated emission from seagoing ships at berth derived from an on-board survey”, Atmospheric Environment 44, pp.1299~1236.
20. Morten Winther(2008), “New national emission inventory for navigation on Denmark”, Atmospheric Environment 42, pp.4632~4655.
21. Tzannatos, E.(2010), “Ship emissions their externalities for Greece”, Atmospheric Environment.

✉ 주 작성자 : 최상진

✉ 교신저자 : 박성규

✉ 논문투고일 : 2010. 9. 28

✉ 논문심사일 : 2010. 11. 14 (1차)

2010. 12. 2 (2차)

2010. 12. 6 (3차)

✉ 심사판정일 : 2010. 12. 6

✉ 반론접수기한 : 2011. 4. 30

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필