

실습선 한바다호를 이용한 선박부문 온실가스 배출량 산정에 관한 연구

이상득¹ · 고대권² · 정석호[†]

(원고접수일 : 2013년 9월 13일, 원고수정일 : 2013년 10월 11일, 심사완료일 : 2014년 2월 18일)

A study on the greenhouse gas emission from ships with training ship HANBADA

Sang Deuk Lee¹ · Dae Kwon Koh² · Suk Ho Jung[†]

요약: 환경오염에 대한 심각성이 대두되면서 선박부문의 온실가스 배출에 관한 연구가 전 세계적으로 활발하게 진행되고 있다. 이에 반하여 국내는 아직 기초 연구수준에 그치고 있다. 본 연구에는 실습선 한바다호를 이용하여 운항 중 발생하는 온실가스를 정량적으로 조사하였고, 연료소모량과 육상전기 사용량을 바탕으로 실습선이 배출하는 온실가스를 산정하였다. 2012년 1년 동안의 실제 운항데이터에서 연료소모량과 육상전기 사용량을 기본으로 Tier 1 방법을 이용하여 온실가스를 산정하였다. 이를 통하여 선박 총톤수 1톤을 운항 유지하는데 배출되는 배출 가스량과 실습생 1명을 1년 실습시키는데 발생하는 가스량을 분석하였다. 향후 선박에서 발생하는 오염물질의 인벤토리를 지속적으로 관리하여 강화되고 있는 국제 규제에 대비해야 할 것으로 사료된다.

주제어: 환경오염, 온실가스, Tier 1, 연료소모량, 육상전기

Abstract: As the seriousness of the global environment pollution is gaining our attention recently, researches on application of greenhouse gas emission of ship are being carried globally. However domestic study on greenhouse gas emission from ship was not carried out in various fields. In this study, quantitative data which was presented by greenhouse gas emission of training ship HANBADA and greenhouse gas emission was calculated by Tier 1 method based on total fuel consumption and amount of shore power. Actual voyage data for 1year in 2012 was used to analysis the greenhouse gas emission. This study showed how many weight of gases were exhausted per 1 gross tonnage and per 1trainee in the training ship. There is a need of further research to reduce pollutant and to respond to international environment regulation consistently.

Keywords: Environment pollution, Greenhouse gas, Tier 1, Fuel consumption, Shore electricity

1. 서 론

기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)는 제 4차 보고서[1]를 통해서 21세기 기후변화의 가속화 전망을 제시하고 있으며, 현재와 같이 지속적으로 화석연료를 사용한다면 21세기 말까지 지구평균기온

이 2.4~6.4℃ 상승하고, 해수면은 26~60cm 상승할 것으로 전망하고 있다[2]. 또한 IPCC 배출시나리오에 관한 특별보고서에 따르면 2000년에서 2030년까지 전 세계 온실가스는 25~90% 증가할 것으로 예상하고 있으며[3], 이에 대응하기 위해서 전 세

† Corresponding Author: Department of Mechanical System Engineering, Pukyong National University, 365, Sinsun-ro, Nam-gu, 608-739, Korea, E-mail: sukhojung@pknu.ac.kr, Tel:051-629-6198

1 Department of Ship Operation, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: sdlee@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4202

2 Department of Mechanical System Engineering, Pukyong National University, E-mail: dkkoh@pknu.ac.kr, Tel: 051-629-6195

계적으로 대기중 온실가스 농도를 감축하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

온실가스 배출현황을 파악하고 합리적인 저감대책을 모색하기 위해서는 온실가스가 어디서 얼마만큼 배출되는지를 정확히 분석하는 것이 중요하다. 배출원별로 시간에 따른 배출량의 공간적 분포를 정량적으로 추정할 수 있어야만 배출량 저감을 위한 구체적인 전략 수립이 가능하기 때문이다. 즉 배출목록(Emission inventory)은 합리적인 자료를 바탕으로 한 대기오염관리 전략 수립의 핵심적인 기초자료이다[4]. 한편, ISO(국제표준화기구)는 환경규제에 대한 체계적인 규격의 필요성을 인식하여 환경경영시스템에 대한 국제규격으로 ISO14000 시리즈를 개발하게 되었다. 여기에는 ISO/TC 207 Environmental management라는 환경경영에 대한 기술위원회가 있고 이 아래 6개의 소위원회가 있다. 이 6개의 소위원회에서는 각각 환경경영시스템(Environmental management systems), 환경감사 및 관련 조사(Environmental auditing and related environmental investigations), 환경라벨링(Environmental labelling), 환경성과 평가(Environmental performance evaluation), 전과정평가(Life cycle assessment, LCA), 온실가스 경영 및 관련 활동(Greenhouse gas management and related activities)에 대해서 담당하고 있다[5]. 이 중에서 LCA는 제품의 전과정 동안에 제품(서비스 포함)에서 야기된 환경부하를 계산하고 환경에 미치는 영향을 평가하는 도구이다. 최근 지구 환경 문제의 심각성이 대두 되면서 LCA에 대한 선박 적용 연구가 국제적으로 활발하게 진행되고 있다[6]-[10]. 이에 반하여 국내연구 수준은 아직 기초 연구수준에 그치고 있다[11]-[13].

본 연구에서는 IMO에서 제시한 에너지효율 운항지수에서는 육상전기 사용에 대한 온실가스 배출을 평가할 수 없기 때문에 국가 공인통계인 한국석유공사의 석유류수급통계 자료 및 IPCC 2006 가이드 라인의 배출계수를 이용한 Tier 1방법으로 한국해양대학교의 실습선 한바다호의 온실가스 배출량을 산정하였고 그 결과를 분석하였다. 여기서 Tier 1은 가이드 라인에서 제공하는 산정법 중 가장 기본적인 방법으로 복잡한 방법인 Tier 2또는

Tier 3는 국가적 상황에 보통 사용되기 때문에 본 논문에서는 Tier 1을 사용하였다.

Table 1: Specification of T/S HANBADA

Description	T/S HANBADA
Kind of ship	G/T 6,686 ton Training Ship
Maximum speed	19.0 knots
Service speed	17.5 knots
Persons	246
Engine model	MAN B&W 6L42MC/ME
Number of cylinders	6
Diameter of cylinder	420 mm
Stroke of piston	1360 mm
Rated output at MCR	8130 bhp/5970 kW
Rated speed at MCR	176 rpm

Table 2: The summary of ship's voyage

Items	T/S HANBADA
Period	2012.1.1~2012.12.31
Voyage dates	52.4 days
Voyage distance	13,913 miles
Trainee	127 persons

2. 대상 선박

선박부문 온실가스 배출량 산정에 사용된 대상 선박은 한국해양대학교의 실습선 한바다호로 간략한 제원을 Table 1에 나타내었다. 주기관은 MAN B&W 6L42MC/ME로 전통적인 체인구동과 전자제어가 가능하다. 한바다호를 대상으로 2012년 1년 동안의 연료소모량과 육상전기 사용량을 수집하여 사용하였으며 1년 동안의 항해일수, 항해거리 및 실습생 인원을 Table 2에 나타내었다.

3. 온실가스의 분석

본 연구에서 검토한 범위는 실습선이 운항 중 발생하는 위해물질을 정량적으로 조사하기 위하여 실습선 운항 및 실습생 교육 시 소요되는 총 에너지를 바탕으로 선박이 배출하는 온실가스 배출량을 산정하는 것으로 설정하였다.

3.1 온실가스 배출량 검토 대상 물질

코토의정서에서는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆)을 6대 온실가스로 규정하고 있다. 본 연구에서는 해운업종 배출원 세부 분류 및 내용에 따라 이동연소 배출물의 여객, 화물 수송용 선박에 해당하는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O)를 배출량 산정 대상 온실가스로 선택하였고 다른 성분은 무시할 정도로 작기 때문에 제외하였다.

3.2 분석 방법

한바다호의 항해 및 정박기간 중 사용한 총 에너지량을 파악하고 이를 바탕으로 배출되는 온실가스 배출량을 산정하는 방법을 사용하였다. 일반적으로 선박에서 사용되는 연료소비에 따른 가스 배출량은 2006 IPCC 가이드라인의 유통통계에 따른 Tier 1 방법론을 적용하였고 산정식은 식 (1)과 같다.

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

- 여기서, E : 온실가스 배출량(tones)
- FC : 연료소비량(tones)
- EF : 온실가스 배출계수(kg/TJ)

배출계수는 2006 IPCC 배출계수를 적용하였으며 CO₂, CH₄ 및 N₂O의 유종별 기본 배출계수는 Table 3과 4에 나타내었다.

이들 온실가스가 지구온난화에 기여하는 정도는 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential)를 통해 알 수 있다. 이는 대기농도의 변화를 직접 계산하지 않고 여러 가스의 배출 수준을 보통의 척도로 바꾸는데 사용하는 지표로써 특정 기간 동안(보통 100년) 이산화탄소 1kg의 배출량에 비해 특정 온실가스 1kg이 지구온난화에 미치는 정도를 나타낸다.

본 연구에서는 GWP 지수를 이용하여 배출량 산정 대상 온실가스를 이산화탄소 등가치(CO₂e, Carbon Dioxide equivalent)로 환산하여 전체 온실가스 배출량을 산정하였다.

Table 3: CO₂ emission factor of fuels

Fuel type	CO ₂ Emission Factor(kg/TJ)
Gasoline	69,300
Kerosene	71,900
Diesel oil	74,100
Fuel oil	77,400
LPG	63,100

Table 4: CH₄ & N₂O emission factor of fuel

		CH ₄	N ₂ O
2006	Ocean-going ships	7±50%	2+140% -40%

Table 5: Net calorific values of some fuels

Fuel type	Unit	Net calorific values	
		kcal	MJ
Gasoline	ℓ	7,400	31.0
Diesel oil	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
Butane	kg	10,900	45.7

또한 본 연구에 사용된 우리나라 석유통계의 연료구분을 Table 5에 나타내었고 2006 IPCC 가이드라인의 배출목록 구분에 따라 본 연구의 유종별 세분류에 의한 온실가스 배출계수를 취합하여 유종별 온실가스 배출량을 산정하였다.

4. 온실가스 배출량

선박에 의한 온실가스 배출량은 연료소비량에 각 유종별 배출계수를 곱하여 산정하였다. 2012년 1년 동안의 한바다호 연료소모량을 분석하여 Table 6에 나타내었다.

Table 6: Energy consumption of T/S HANBADA

Machinery	F.O [kℓ]	D.O [kℓ]	Electricity [kWh]
Main engine	499.8	39.5	-
Generator engine	331.2	2.1	-
Aux. boiler	290.8	5.7	-
At berth	-	-	1,946,230
Total	1,121.8	47.3	1,946,230

4.1 온실가스 배출량 산정 방법

온실가스 배출량을 산정하는 방법은 에너지관리 공단의 온실가스 배출량 산정방법에 따라 Simple Method와 Advanced Method로 구분한다. 선박에 적용하고자 한다면 Simple Method는 선박의 운항에 사용된 연료를 원료원별로 관리한다면 사용량을 기준으로 산정가능하다. 반면에 Advanced Method는 선박의 종류, 엔진타입 등 보다 세부적인 기술을 적용하여 산정하는 방법으로, 선박 및 엔진 타입별 연료 사용량 데이터가 관리되어야 한다. 또한 Advanced Method의 경우, 국가 단위로 적용해야 하므로 국가 배출계수가 존재할 경우에만 적용가능하다. 따라서 단일 선박의 적용에는 부적합하여 본 연구에서는 Simple Method를 이용하였다.

4.2 Simple Method

선박에 의한 온실가스 배출량을 산정하는 가장 간단한 방법으로 연료원별 사용량 데이터를 이용해 배출량을 산정하였다. 배출계수는 국제적으로 통용되는 배출계수를 적용하였다. 해운 여객 및 화물수송 이동연소의 배출량 계산식을 식 (2)와 Table 7에 나타내었다.

$$E = \sum (FC \cdot Q \cdot CF \cdot EF) \quad (2)$$

여기서, E : 온실가스 배출량(tones)

FC : 연료소비량(ℓ)

Q : 발열량(MJ/ℓ)

CF : 환산계수

EF : 온실가스 배출계수(kg/TJ)

Table 7: Mobile combustion on greenhouse gas emission estimation on water-borne navigation (Simple Method)

Title	Contents
selected data	Fuel consumption of ship
Calorific value	Liquid(MJ/ℓ), Gas(MJ/Nm ³)
Scale factor	1TJ=10 ⁶ MJ
Emission factor	Greenhouse gas emission factor from each fuel
CO _{2e}	Each emission of GHGs × GWP

4.3 연료별 온실가스 배출량

실습선 한바다호의 2012년 1년 동안의 연료소모량을 기준으로 사용된 연료별 온실가스 배출량을 산정하여 Table 8에 나타내었다.

Table 8: Emission of GHGs from fuels

GHG	F.O	D.O	SUM
CO ₂ (kgCO ₂ /yr)	3,334,169	128,280	3,462,449
CH ₄ (kgCH ₄ /yr)	301.5	12.1	313.6
N ₂ O (kgN ₂ O/yr)	86.2	3.5	89.7

4.4 육상전기 사용에 의한 온실가스 배출량 산정

전력사용에 의한 온실가스 배출은 전력배출계수를 이용하여 산정한다. 전력구매에 대한 배출계수는 발전설비에 사용된 연료량과 그 연료의 연소에 의해 생산된 전력량을 이용하여 산정할 수 있다. 배출량 계산식은 식 (3)과 같다.

$$E = EC \cdot EF \quad (3)$$

여기서, E : 온실가스 배출량(tones)

EC : 전력사용량(MWh)

EF : 온실가스 배출계수(kg/MWh)

배출 온실가스별 전력부문 배출계수는 Table 9에 나타내었다.

육상전기 사용에 의한 온실가스 배출량을 계산하면 Table 10과 같이 나타낼 수 있다.

Table 9: Emission factor for electricity [14]

GHGs	Emission factor
CO ₂ (tCO ₂ /MWh)	0.4281
CH ₄ (tCH ₄ /MWh)	0.0055
N ₂ O (tN ₂ O/MWh)	0.0024

Table 10: Emissions of GHGs for electricity

GHGs	Emissions
CO ₂ (tCO ₂ /yr)	833.1
CH ₄ (tCH ₄ /yr)	10.7
N ₂ O (tN ₂ O/yr)	4.7

GWP 지수를 이용하여 배출량 산정 대상 온실가스를 이산화탄소 등가치(CO_{2e}, Carbon Dioxide equivalent)로 환산하여 전체 온실가스 배출량을 산정하면 Table 11과 같이 나타낼 수 있다.

위의 결과를 바탕으로 한바다호의 총톤수 1톤당 1년간 운항 및 실습을 행하는데 발생한 온실가스는 647.7kgCO_{2e} 이며 실습생 1명을 1년 간 교육시키는데 발생한 온실가스는 34.1tCO_{2e}로 나타났다.

Table 11: Emissions according to carbon dioxide equivalent

	Fuel consumption	Electricity
Total emissions (tCO _{2e})	3,496	834.73

5. 결 론

한국해양대학교 실습선 한바다호를 이용하여 2012년 1년 동안의 연료소모량과 육상전기 사용량을 기준으로 국가 공인통계인 한국석유공사의 석유류수급통계 자료 및 IPCC(2006)의 배출계수를 이용한 Tier 1 방법으로 온실가스 배출량을 산정하였다. 그 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

① GWP 지수를 도입하여 실습선 한바다호의 2012년 1년간의 온실가스 배출량을 계산한 결과 배출오염물질 중 가장 큰 영향을 끼치는 것은 CO₂였다.

② 한바다호의 총톤수 1톤당 1년간 운항 및 실습을 행하는데 발생한 온실가스는 647.7kgCO_{2e}였다.

③ 실습생 1명을 1년간 교육시키는데 발생한 온실가스는 34.1tonCO_{2e}로 나타났다.

④ 향후 선박에서 발생하는 온실가스의 인벤토리를 지속적으로 관리하여 강화되고 있는 국제 규제에 대비해야 할 것으로 사료되며, 본 실습선 이외에도 다른 운항선에도 적용하여 폭넓은 연구를 할 필요가 있다고 사료된다. 또한, 본 연구에서는 육상전기를 사용함으로써 발전기의 사용에 비해 온실가스의 저감 정도가 어느 정도인지 판단할 수 없었으나 앞으로 이에 대한 연구도 병행하여야 할 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] Y. A. Chung, H. S. Chung, and C. S. Ryu, "The present status and development plan in the field of climate change science in Korea analyzed by the IPCC-IV reports", The Basic Science Institute of Chosun University, vol. 4, no. 1, pp. 38-43, 2011.
- [2] E. I. Lee, A Study on Sea Sevel Change Caused by Global Warming, Technical Report 11-1611234-000076-01, Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, Korea, 2009
- [3] IPCC Special Report on Emission Scenarios, <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>, Accessed September 11, 2013.
- [4] S. T. Kim, N. K. Moon, and D. W. Byun, "Korea emission inventory processing using the US EPA's SMOKE system", Asian Journal of Atmospheric Environment, vol. 2 no. 1, pp. 34-46, 2008.
- [5] S. Y. Chung and D. W. Lim, "Disclosure of LCA information in corporate environmental reports", Korean Journal of LCA, vol. 3, no. 1, pp. 81-87, 2001.
- [6] Jeroen B. Guinee, "Handbook on life cycle assessment, operational guide to the ISO standards", The International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 7, no. 5, pp. 311-313, 2002.
- [7] N. K. Im, S. J. Hwang, and K. S. Choi,

“Ship operation inventory analysis for ship's LCA study”, Korean Institute of Navigation and Port Research, vol. 31, no. 1, pp. 71-75, 2007.

- [8] N. K. Im, H. J. Jo, and K. S. Choi, “Application of life cycle assessment to ship”, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Symposium, pp. 201-206, 2008.
- [9] M. Kameyama, K. Hiraoka, A. Sakurai, T. Naruse, and H. Tauchi, “Development of LCA software for ships and LCI analysis based on actual shipbuilding and operation”, Proceedings of 6th International Conference of Ecobalance, vol. 40, pp. 1-4, 2005.
- [10] M. Kameyama, K. Hiraoka, and H. Tauchi, “Study on life cycle impact assessment for ships”, Annual Report of National Maritime Research Institute of Japan, vol. 7, no. 3, pp. 369-379, 2007.
- [11] J. W. Lee, “Classification of products by environmental for an effective LCA”, Korean Society of Environmental Engineers, vol. 25, no. 2, pp. 177-182, 2003.
- [12] N. K. Im and H. J. Jo, “The inventory analysis on exhaust gas from training ships for ship's LCA study”, Korean Institute of Navigation and Port Research, vol. 32, no. 1, pp. 29-35, 2008.
- [13] N. K. Im and S. R. Yi, “An inventory analysis on greenhouse gas emission from bulk carrier and oil tanker”, Korean Institute of Navigation and Port Research, vol. 34, no. 3, pp. 189-194, 2010.
- [14] M. H. Park, Y. B. Yoon, Y. K. Lee and Y. B. Jung, “Estimation of greenhouse gas emission factor in KOREA isles”, Proceedings of 37th The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 84-86, 2006 (in Korean).