

# PORT-MIS 및 선박제원 DB를 이용한 부산항 입출항 선박의 온실가스 배출량 산정

김종진\* · 신강원\*\*

Kim, Jongjin\*, Shin, Kangwon\*\*

## Estimating Greenhouse Gas Emissions from Marine Vessels in the Port of Busan using PORT-MIS and Vessel Specification Databases

### ABSTRACT

This study presents the linkage method combining the existing Port Management Information System (PORT-MIS) DB with the scattered vessel activity data sets including the hotelling and maneuvering characteristics and specification information of the vessels arriving and departing from the port of Busan from January 2009 to June 2010. By linking the data sets, this study made three types of vessel activity databases: L-PORT-MIS DB with low-level vessel activities, M-PORT-MIS DB with medium-level vessel activities such as hotelling time, H-PORT-MIS DB with high-level vessel activities such as hotelling time, engine power, etc. The greenhouse gas (GHG) emissions estimation results show that total GHG emissions decreases when the detailed vessel activities are employed. This decrease in the total GHG emissions by the level of vessel activities implies that the GHG emissions from the low and medium level vessel activities are overestimated due to the aggregated hotelling/maneuvering times and speeds resulting from the past vessel specifications. Therefore, the GHG emissions using the H-PORT-MIS DB are more reliable GHG emission estimates in that the vessel specifications and the observed hotelling time of each vessel are employed in the estimation process. Hence, the high-level vessel activity dataset should be constructed to implement more suitable countermeasures for reducing the GHG emissions in the port of Busan.

**Key words** : Vessel activity, Vessel specification, Greenhouse gas, Port logistics

### 초록

본 연구에서는 산재되어 있는 부산항 입출항 선박의 개별 활동도(정박·접안 특성) 및 선박제원 정보를 기존 항만운영정보시스템(PORT-MIS) DB에 연계·구축하기 위한 방법론을 제시하고, 연계·구축된 3가지 DB를 이용하여 18개월(2009.01~2010.06) 동안 부산항에 입출항한 선박의 온실가스 배출량을 산정하여 그 결과를 비교·분석하였다. 본 연구에서는 선박의 기본 활동도 변수만을 포함하고 있는 저해상도의 L-PORT-MIS DB에 각 선박의 정박시간 자료를 추가하여 중해상도의 M-PORT-MIS DB를 연계·구축하였으며, 각 선박의 온실가스 배출량에 직접적인 영향을 주는 엔진출력 등과 같은 선박제원 정보를 연계시켜 고해상도의 H-PORT-MIS DB를 구축하였다. 각 활동도 DB를 이용한 선박의 온실가스 배출량 산정결과, 선박 활동도의 해상도가 높아질수록 총 온실가스 배출량은 감소하는 것으로 분석되었다. 구체적으로 저해상도 및 중해상도의 선박 활동도 자료를 이용할 경우에는 과거에 집계화된 정박 및 접안 특성에 의존하여 온실가스 배출량이 과다 산정되는 반면, 고해상도의 선박 활동도 자료를 이용할 경우에는 각 선박의 개별 접안·정박 특성과 엔진출력이 고려되는바 H-PORT-MIS DB를 이용한 선박의 온실가스 배출량은 보다 신뢰성 높은 추정치로 판단된다. 이처럼 부산항을 입출항하는 개별 선박의 특성을 반영하여 온실가스 배출량을 산정했을 경우 그 추정치는 기존 추정치와 매우 달라질 수 있어 실효성 있는 온실가스 저감대책 수립을 위해서는 본 연구에서 제안한 DB의 연계·구축이 시급하다.

**검색어** : 선박활동도, 선박제원, 온실가스, 항만물류

\* 정회원 · 부산발전연구원 광역기반연구실 위촉연구원 (Busan Development Institute · kjj1985@bdi.re.kr)

\*\* 정회원 · 교신저자 · 경성대학교 도시공학과 조교수 (Corresponding Author · KyungSung University · kangwon@ks.ac.kr)

Received October 29, 2013/ revised December 4, 2013/ accepted May 22, 2014

## 1. 연구배경 및 목적

온실가스 감축을 위한 국제사회의 노력은 1994년 3월 UN 기후 변화 협약(UNFCCC : United Nations Framework Convention on Climate Change)의 공식 발효를 시작으로 “차별화된 공동부담” 원칙에 따라 1995년 베를린 위임사항(Berlin Mandate) 합의, 1997년 교토의정서(Kyoto Protocol) 채택과 2009년 코펜하겐 합의문(Copenhagen Accord)을 통해 지속되고 있다. 온실가스 배출량 산정 및 저감목표 제시는 UNFCCC에 가입한 각 당사국이 주체적으로 수행할 수 있으나, 국내의 경우 온실가스 배출원이 도시화 및 산업화 과정에서 급속하게 성장한 도시나 지역사회로 인식되면서 온실가스 배출원과 삭감방안을 결정하는 주체로 지자체의 역할이 한층 강조되고 있는 실정이다.

부산광역시시는 지자체 차원의 대응이 가능한 온실가스 감축잠재량을 분석하기 위해 2007년 “온실가스 배출량 조사용역”을 수행했으며, 분석결과 부산시 수송부문 온실가스 배출량(2004년 기준)은 총 에너지 부문 온실가스 배출량의 57%를 차지해 전국 평균 20%에 비해 매우 높은 것으로 나타났다(Cheong et al., 2007). 상대적으로 높은 부산시의 수송부문 온실가스 배출기여도(57%)는 항구도시의 특성상 선박 및 화물운송수단의 배출량에 기인한 것으로 분석되었으며, Shin and Cheong (2011)은 부산시 항만부문 온실가스 배출량(선박, 화물트럭, 화물열차, 항구시설)의 64%가 부산의 입출항 선박의 배출량에 기인함을 밝혔다. 선행연구에서 제시된 선박부문 온실가스 배출량은 지자체 차원의 선박부문 온실가스 저감정책 도출을 위해 총 에너지 소비량을 활동도 자료로 이용하는 하향식(Top-down) 접근방법의 적용을 지양하고 각 선박의 운항정보를 포함하고 있는 항만운영정보시스템(Port Management Information System : PORT-MIS) DB를 활동도로 이용한 상향식(Bottom-up) 접근방식을 통해 산정되었으나, 기존 PORT-MIS DB에는 현실적인 선박의 온실가스 배출량 산정을 위한 핵심 활동도자료인 각 선박의 주엔진 및 보조엔진 정보와 정박시간 및 정박위치 정보가 누락되어 있어 신뢰성 있는 부산항 입출항 선박의 온실가스 배출현황이 산정될 수 없다는 한계점을 갖고 있다.

본 연구는 기존 PORT-MIS DB만을 이용한 상향식 선박 온실가스 배출량 산정의 문제점을 보완하기 위해 기존 PORT-MIS 기반 선박활동도 자료에 각 선박의 정박시간, 접안시간, 접안속도, 선박 제원정보(주엔진, 보조엔진 출력 등)를 포함하는 3가지 형태의 선박 활동도 자료를 연계구축하여 부산항 입출항(2009.01~2010.06) 선박의 온실가스 배출량을 산정하였다. 구체적으로 본 연구의 목적은 다음과 같다.

- 부산항 입출항 선박의 개별 통행행태를 반영한 에너지 소비량 추정을 위한 정박접안 행태 DB 및 선박제원 DB 연계구축

- 선박 활동도 상세도에 따른 부산항 입출항 선박의 온실가스 배출량 특성 비교·분석

궁극적으로 본 연구는 부산항을 입출항하는 선박의 부산항내 온실가스 배출량을 보다 합리적으로 추정할 수 있는 활동도자료의 구축 방법론을 제시하고 각 활동도 자료를 이용해 산정된 온실가스 배출량 추정치의 비교분석을 통해 지자체 차원의 대응 가능한 온실가스 저감대책을 수립하기 위한 기초자료 제공을 위해 수행되었다.

## 2. 선행연구 고찰

선박의 온실가스 배출량은 국내 배출량과 국제배출량으로 구분할 수 있으며, 배출량 산정기법은 2006년 유엔 정부간 기후변화위원회(IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change)의 가이드라인에 제시되어 있다. 2006 IPCC 가이드라인에서 제시되고 있는 선박부문 온실가스 배출량 산정기법은 선박의 총 연료소비량을 활동도 자료로 이용하는 Tier 1방법(하향식)과 엔진별, 운항모드별, 연료별 배출계수를 적용하는 Tier 2방법(상향식)으로 구분할 수 있다(IPCC, 2006).

Cheong et al. (2007)은 2006 IPCC 가이드라인에 제시된 하향식 방법을 적용하여 부산항 유출입 선박의 온실가스 배출량을 산정하였으며, 산정결과 선박의 온실가스 배출량은 3,153GgCO<sub>2</sub>-eq (2005년 기준)으로 나타났다. Choi et al. (2010) 또한 전국 선박의 국내 온실가스 배출량을 2006 IPCC 가이드라인에서 제시된 하향식 방법(한국석유공사의 연료 수급통계 활용)을 적용해 산정하였으며, 2009년 선박부문 온실가스 배출량은 31,646천톤 CO<sub>2</sub>-eq로 추정되었다. 이러한 하향식 방법을 이용한 연구들은 국내 선박의 온실가스 배출량의 기초자료를 제공하나 다양한 선박 통행행태와 선박별 에너지 소비 특성을 반영하지 못했다는 아쉬움이 있다.

National Institute of Environmental Research (2007)는 항내 내 선박의 연료소비 행태를 정박(hotelling)과 접안(manuevering)으로 세분화하여 보다 현실적인 선박의 대기오염물질 배출량 추정 방법을 제시하였다. 이 연구에서는 선박의 정박행태를 각 부두별로 분석하여 적용토록 권장하고 있다. 그러나 각 부두별 선박의 정박시간 분석이 현실적으로 어려워, 현재 대기정책지원시스템에서는 2001년 울산항에 입항한 선박 560대를 표본 조사하여 추정된 ‘0.79일/회’를 평균 정박시간으로 적용하고 있으며, Yang et al. (2010)은 전술한 연구결과를 적용하여 부산항 입출항 선박의 온실가스 배출량을 추정하였다.

Shin and Cheong (2010)은 전술한 평균 정박시간이 선박의 온실가스 배출량 산정 시 무분별하게 적용되고 있는 문제점을

해결하기 위해 2008년 부산항에 입항한 선박의 선종별 재항시간을 모수적 생존분석 기법을 통해 추정하였다. 추정모형을 통해 이 연구에서 산정된 폴컨테이너선의 온실가스 배출량은 '16,856kg CO<sub>2</sub>-eq/회'로 표본 조사된 평균 정박시간을 적용한 기존연구 (Yang et al., 2010)결과인 '33,129kg CO<sub>2</sub>-eq/회'의 절반 수준인 것으로 나타나 선박의 온실가스 배출량 산정 시 선종 및 입항목적별 정박시간 적용이 필요한 것으로 나타났다.

Bong et al. (2011)은 2009년 한국선급과 선박안전기술공단에 등록된 총 3,527척의 국내 선박의 활동도(선박의 엔진기판 제원, 연료소모율, 운항모드별 운항정보)를 수집하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 수집된 자료와 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)에서 제시한 엔진출력 및 연료소모율을 이용하여 선박의 온실가스 배출량 산정한 결과 총 연료소비량을 활동도 자료로 산정(하향식)한 선박의 온실가스 배출량에 비해 이 연구를 통해 산정(상향식)한 온실가스 배출량이 7~29%가량 높은 것으로 나타났다. 그러나 이 연구결과는 선박의 정박시간과 항계 외 운항시간만을 고려한바 항계 내에서 발생하는 각 선박의 접안행태를 적절하게 반영하지 못했을 뿐 아니라 각 부두를 입출항하는 국내선박만을 대상으로 배출량 산정이 이루어져 각 부두를 입출항하는 모든 선박에 대한 항계 내 온실가스 저감대책 발굴을 위한 기초자료 제공에는 한계점이 있다.

Starcrest Consulting Group (2007a)은 LA항 입출항 선박의 온실가스 및 대기오염물질 배출량을 각 선박의 정박시간, 속도, 연료종류, 엔진출력 등을 이용하여 산정하였다. 이 연구에서는 각 선박의 정박시간과 접안시간을 조사한 후 Lloyd's Register Group (이하 로이드사)에서 입수한 각 선박의 제원정보와 결합하여 정박 및 접안시 온실가스 배출량을 상세하게 제시하여, 보다 구체적인 선박부문 온실가스 감축정책 도출을 위한 기초자료를 제공했다 (유사연구로 Starcrest Consulting Group, 2007b 참조).

Cheong et al. (2008)은 로이드사에서 입수한 선박제원정보(각 선박의 엔진출력자료 등)와 PORT-MIS 자료를 결합하여 구축한 활동도 자료를 이용해 부산항 유출입 선박의 대기오염물질 배출량을 산정하였다. 이 연구는 국외 선종연구와 마찬가지로 상세한 선박의 제원정보를 활용하여 각 선박의 에너지 소비량을 추정했으나, 대기오염물질 배출량만을 산정하였을 뿐 아니라 각 선박의 정박 시 배출량이 산정되지 않았다는 아쉬움이 있다.

전술한 선박의 온실가스 배출량 산정관련 선종연구 고찰결과 부산항 입출항 선박의 접안 및 정박특성과 선박의 제원 특성을 모두 고려한 온실가스 배출량 산정에 관한 연구는 전무하다. 국외의 경우 LA항 연구가 선박의 입출항 특성을 반영한 종합적인 분석방법을 제시하고 있으나, LA항 연구에서 사용된 활동도 자료는 부산항에서 관리되고 있는 자료와 다른 점이 많아 선박의 입출항 특성을

보다 현실적으로 반영할 수 있는 DB의 구축 방법 및 적용계수의 개발 또한 연구의 대상이라 할 수 있다.

### 3. 분석자료

#### 3.1 개요

본 장에서는 선종연구 고찰을 통해 파악된 선박의 온실가스 배출량에 직접적으로 영향을 주는 선박의 활동도 변수(정박시간, 정박장소 및 선박제원변수)들을 기존 PORT-MIS DB에 연계시켜 구축한 3가지 형태의 선박활동도 자료의 연계구축방법과 각 활동도자료의 특성을 제시하였다. Fig. 1은 본 연구에서 부산항 입출항 선박의 온실가스 배출량을 산정하기 위해 사용한 3가지 형태의 선박활동도 DB가 포함하고 있는 활동도 변수들을 나타낸다.

선박의 활동도 DB는 Fig. 1에 제시된 바와 같이 각 선박의 동태행태 및 배출특성 분석을 위한 활동도 자료의 상세도에 따라 분류하였다. 구체적으로 L-PORT-MIS DB<sup>1)</sup>(저해상도의 선박활동도 DB)는 선박의 온실가스 배출량 산정을 위한 기본 활동도 변수(선종, 입항목적, 총톤수 등)만을 포함하고 있으며, H-PORT-MIS DB(고해상도의 선박활동도 DB)는 전술한 기본 활동도 변수와 개별 선박의 관측정박시간 뿐 아니라 온실가스 배출량에 직접적인 영향을 주는 선박제원(주엔진, 보조엔진 출력) 변수들을 포함하고 있다. 끝으로 M-PORT-MIS DB (중해상도의 선박활동도 DB)는 기본 활동도 변수에 각 선박의 정박장소 및 정박시간변수만을 추가한 것으로 해당 변수는 각 선박의 정박활동도에 따른 정박시

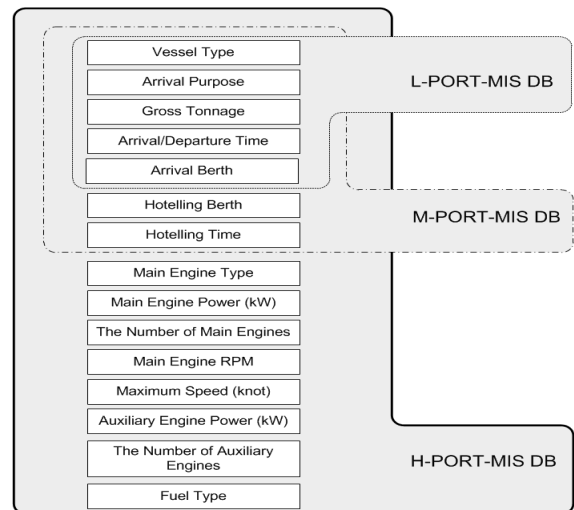


Fig. 1. Marine Ship Activity Data

1) 부산지방해양항만청 'PORT-MIS/EDI정보'의 선박 입출항 신고정보를 활용하였음(<http://portbusan.go.kr>).

온실가스 배출량에 직접적인 영향을 끼친다.

### 3.2 M-PORT-MIS DB

전술한바와 같이 L-PORT-MIS DB는 선박의 정박지 및 정박시간 정보와 엔진 출력과 같은 선박의 상세 통행특성 및 제원 정보를 제공하고 있지 않아 온실가스 배출량 산정 시 현실적인 값을 제공하지 못하는 단점을 갖는다. 따라서 본 연구에서는 2009년 1월부터 2010년 6월(총 18개월)간 부산항을 입출항한 총 34,532회의 각 선석별 점유시간 정보를 별도 수집하여 각 선박의 정박시간 및 장소 DB를 구축하였다.

각 선박의 정박시간 분석결과, 화물 양적하 및 여객상륙을 목적으로 입항한 선박은 전체 입항 선박의 67%를 차지하며, 그 외 목적으로 입항한 선박은 33%를 차지하는 것으로 나타났다(Table 1). 각 입항목적별 평균 정박시간은 양적하 목적이 “1.18일/회”, 여객상륙 목적이 “0.38일/회”, 기타 목적이 “0.46일/회”로 나타났으며, 이 값은 현재 국내에서 선박의 정박시 배출량을 산정하기 위해 사용되는 평균 정박시간 “0.79일/회”과 큰 차이가 있는 것으로

나타났다(National Institute of Environmental Research, 2007). 따라서 기존의 정박시간 추정치보다는 M-PORT- MIS DB에 구축된 각 선박의 정박시간을 사용하여 온실가스 배출량을 산정하는 것이 바람직하다.

### 3.3 H-PORT-MIS DB

선박의 온실가스 배출량은 전술한 선박의 정박시간 뿐 아니라 각 선박의 엔진출력(주엔진, 보조엔진)에 직접적인 영향을 받는다. 선박의 연료소비량은 선박의 엔진출력에 좌우되므로 선박의 상세 제원정보를 반영하여 온실가스 배출량을 산정하는 것이 바람직하다. 국외에서 선박 제원정보는 온실가스 배출 저감정책 수립을 위한 활동도 자료로 꾸준히 관리되고 있지만, 국내에서는 각 선박의 엔진출력 상세정보는 선박제원신고 시 선택가입사항으로 관리되고 있어 부산항 입출항 선박의 상세제원정보의 직접 수집은 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 부산항 입출항 선박별 제원정보를 로이드사(Sea-Web DB)로부터 별도 구매한 후 Table 2에 제시된 각

Table 1. Summary Statistics of Hotelling Time of Vessel by Arrival Purpose (day/arrival)

Arrival Purpose	The Number of Arrivals	Mean	St. Dev.	P10	P50	P90
Loading/Unloading	21,750 (63.0%)	1.18	2.72	0.12	0.58	2.21
Passenger Embarking	1,440 (4.2%)	0.38	0.93	0.01	0.08	0.70
Others	11,342 (32.8%)	0.46	0.48	0.01	0.30	1.25
All	34,532	0.91	2.21	0.04	0.50	1.72

Table 2. Ship Specification Information in Sea-Web DB

Ship Specification Variable	Example	Variable Description
IMO Ship NO	9073256	The IMO Number based on the LR No is a unique number assigned to each vessel hull. This number is issued by LR Fairplay on behalf of the IMO under IMO Resolution A.600(15)
Ship Name	SUN BIRDIE	Vessel Name in English format, as recorded by the vessels registration authority. To avoid problems with fonts and characters sets the name may use nearest equivalent English character.
Call Sign	HO2407	Call sign. An Alpha numeric identifier used for radio communications. Each flag authority has a designated call sign range, from which the national radio authority issue a call sign for each vessel in that fleet.
Ship Type	Tanker	Ship Type
Main Engine Type	Oil	Engine Type Indicator IE 01 = Diesel, 02 = Gas Turbine, 03 = Steam Turbine, 04 = Steam Reciprocating
Number Of Main Engines	1	Number of Main Engines. This applies to Prime Movers only
Main Engine Power (kW)	1029	Prime Mover Maximum Power For Diesels shown as BHP, Steam Turbine SHP and Steam Reciprocal IHP. Also known as Maximum continuous Rating (MCR)
Main Engine RPM	380	Machinery-Prime Mover Max. Power. Maximum RPM
Main Engine Speed (knot)	12.8	Maximum vessel Speed in knots when the ships engine is running at Maximum continuous rating (MCR)
Number Of Auxiliary Engines	2	Total number of auxiliary engines, where the engine is not a prime mover but is used to drive electrical Generators
Total Power Of Auxiliary Engines (kW)	140	Total power in Kilowatts of auxiliary engines, where the engine is not a prime mover but is used to drive electrical Generators

Table 3. Summary Statistics of Main Ship Specification Variables

Ship Type	Ship Specification Variable	N	Mean	St.Dev.	P25	P50	P75
Non-container	Gross Tonnage (ton)	2221	11737.61	17088.19	389.00	3376.00	18760.00
	Length (m)	1943	117.56	102.12	50.00	97.00	174.00
	Main Engine Power (kW)	1332	5821.71	5065.69	2060.00	5000.00	8459.00
	Main Engine RPM	1244	267.80	253.22	122.00	173.00	342.50
	Main Engine Speed (knot)	1179	14.98	29.69	12.60	14.00	14.70
	Auxiliary Engine Power (kW)	114	2198.97	1391.77	1458.00	1935.00	2385.00
Container	Gross Tonnage (ton)	847	42730.94	24566.23	24724.00	40560.00	54851.00
	Length (m)	684	235.86	63.36	183.50	253.50	284.00
	Main Engine Power (kW)	777	34550.98	19438.95	19659.00	36160.00	49341.00
	Main Engine RPM	770	124.16	89.48	100.00	104.00	104.00
	Main Engine Speed (knot)	752	22.49	3.24	21.15	23.50	24.70
	Auxiliary Engine Power (kW)	101	6654.24	3007.81	4206.00	7290.00	9000.00
Total	Gross Tonnage (ton)	3068	20294.11	23872.08	989.50	8467.00	36007.00
	Length (m)	2627	148.36	107.02	71.00	132.00	213.00
	Main Engine Power (kW)	2109	16406.18	18640.01	3120.00	8238.00	22930.00
	Main Engine RPM	2014	212.88	218.01	104.00	124.00	225.00
	Main Engine Speed (knot)	1931	17.90	23.57	13.60	15.00	22.50
	Auxiliary Engine Power (kW)	215	4291.91	3196.51	1705.00	3015.00	7290.00

선박의 11가지 제원정보를 M-PORT-MIS DB에 추가하였다(선박 제원정보는 각 선박의 IMO Ship No. 및 Call Sign을 이용하여 1:1 매칭).

DB 쿼리결과 분석기간(2009.01~2010.06) 동안 부산항에 입출항한 총 4,050척 중 88%에 해당하는 3,068척의 선박제원정보가 추가되었다. Table 3는 온실가스 배출량 산정에 사용되는 주요 선박제원정보의 요약통계치로 컨테이너선의 총중량, 엔진출력, 최대속도는 비컨테이너선에 비해 크게 나타남을 알 수 있다.

#### 4. 온실가스 배출량 산정방법

##### 4.1 L/M-PORT-MIS DB

저해상도 및 중해상도의 선박 활동도 자료(L-PORT-MIS, M-PORT-MIS DB)를 이용한 선박의 온실가스 배출량 산정은 IPCC 가이드라인(IPCC, 2006)에 제시된 바와 같이 선박의 정박 및 접안 시 연료소비량에 온실가스 배출계수를 곱해 산정하였다. 구체적으로 각 입출항 선박의 접안 및 정박시 연료소비량은 각각 Eqs. (1) and (2)를 사용하였다.

$$\text{접안시 연료소비량}(kL/\text{회}) = \frac{\text{접안거리}(km)}{\text{톤급별 연료경제}(km/kL)} \quad (1)$$

Eq. (1)에서 접안거리는 부산항계선을 기준으로 각 선박의 입항 계선까지의 항로거리로 산정하였으며, 톤급별 연료경제자료는 2001년 톤급별 연료경제자료(National Institute of Environmental Research, 2007; Table 125, p133)를 사용하였다.

각 선박의 접안 시 연료소비량 산정식은 L/M-PORT-MIS DB의 해상도에 영향을 받지 않으므로, 접안 시 연료소비량은 Eq. (1)을 공통으로 적용하였다.

$$\begin{aligned} &\text{정박 시 연료소비량}(ton/\text{회}) \\ &= \text{연료소비계수}(ton/\text{일}) \times \text{정박시간}(\text{일}/\text{회}) \times 0.2 \end{aligned} \quad (2)$$

Eq. (2)에서 연료소비계수는 선종 및 총중량에 따른 선박 연료소비계수(National Institute of Environmental Research, 2007; Table 126, p134)를 수용하였으며, 보정계수 0.2는 정박 중 연료소비량은 최대출력 시 연료소비량의 20% (CORINAIR, 1999)임을 가정한 값이며, 정박시간은 각 선박의 정박시간을 의미한다. 이처럼 선박의 정박 시 연료소비량은 각 선박의 정박시간의 함수로 산정되는바, L-PORT-MIS DB를 이용한 정박 시 연료소비량 산출은 선항연구(National Institute of Environmental Research, 2007)에서 제시한 “0.79일/회”를 적용하였으며, 각 선박의 정박시간을 추가한 M-PORT-MIS DB 활용시에는 Table 1에 요약정리돼

있는 각 선박의 정박시간을 Eq. (2)에 적용하였다.

끝으로 Eqs. (1) and (2)를 이용해 산정된 각 선박의 회당 연료소비량에 총 입출항수를 적용하여 총 연료소비량을 산정하였으며, 이 값을 디젤류 이용선박의 온실가스 배출계수와 지구온난화지수를 곱해 선박의 총 온실가스 배출량을 산정하였다(IPCC, 2006).

**4.2 H-PORT-MIS DB**

고해상도의 선박활동도 자료(H-PORT-MIS DB)는 선박 제원 정보를 포함하는바 선박의 연료소비특성은 선박의 엔진출력에 의해 달라진다는 개념이 적용된다. Eq. (3)은 선박제원정보 사용 시 각 선박의 온실가스 배출량 산정식을 나타낸다(Starcrest Consulting Group, 2007a).

$$\text{배출량}(g/\text{회}) = E \times EF \tag{3}$$

여기서 E는 각 선박이 사용한 에너지(kW-hrs)이고 EF는 Table 4에 제시된 엔진형태별 온실가스 배출계수(g/kW-hrs)를 나타낸다.

한편 에너지 E는 엔진형태별 에너지 소비량으로 Eq. (4)와 같이 산정된다.

$$E(kW-hrs) = MCR(kW) \times \text{부하계수} \times \text{활동시간}(hr) \tag{4}$$

**Table 4. Emission Factor by Engine (g/kW-hr)**

Engine Type	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Main Engine			
Slow speed diesel*	620	0.012	0.031
Medium speed diesel**	683	0.010	0.031
Auxiliary Engine	683	0.008	0.031
Auxiliary Boiler	970	0.002	0.080

Source: Starcrest Consulting Group (2007a, 2007b)

\* Main Engine RPM <130rpm

\*\* Main Engine RPM ≥ 130rpm

**Table 5. Engine Power Estimation Regression Model by Engine Type**

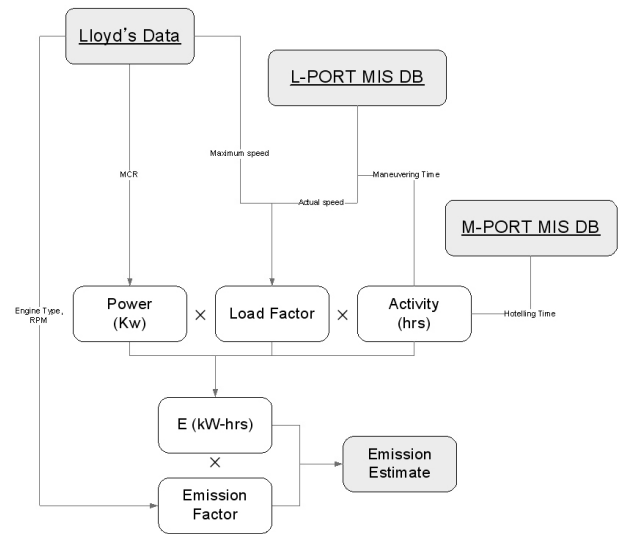
Engine Type	Variable	Coefficient	Standard Error	t-statistics	Adj.R <sup>2</sup>
Main Engine Power (kW)	Constant	1951.75	126.84	15.39***	0.9580
	Gross Tonnage (GT)	0.23	0.01	43.08***	
	GT×Ship Type <sup>†</sup>	0.53	0.01	103.78***	
Aux. Engine Power (kW)	Constant	1483.24	170.96	8.68***	0.8213
	Gross Tonnage (GT)	0.02	0.00	4.96***	
	GT×Ship Type	0.09	0.00	22.28***	

<sup>†</sup>Ship Type Dummy (Container=1, Non-container=0); \*\*\*: Significant at α=0.01.

여기서 MCR는 각 엔진의 최대출력을 의미하며 활동시간은 각 선박의 접안 및 정박시간을 나타낸다. 한편 부하계수는 주엔진은 (실제속도/최대속도)<sup>3</sup>으로, 보조엔진은 선종별 부하계수로 정의된다(Starcrest Consulting Group, 2007a, 2007b).

즉 선박제원정보가 고려된 H-PORT-MIS DB를 이용한 선박의 온실가스 배출량 산정은 Fig. 2와 같이 각 선박의 주엔진 및 보조엔진의 출력값과 L/M-PORT-MIS DB에 구축된 접안정박시간 정보 및 접안 시 운항속도정보가 동시에 고려된다.

이처럼 본 연구는 선행연구에서 제시한 산정방법론을 수용하였으나, 각 선박의 주엔진 및 보조엔진 출력값은 선박의 온실가스 배출량 산정에 핵심자료로 활용되는바 본 연구에서는 선종별 주엔진 및 보조엔진 출력 추정식을 개발하여 결측된 엔진출력값을 보정하였다. 물론 엔진출력값의 결측치는 선행연구에서 제시된 선종별 기준값으로 대체할 수 있으나, 이 값에는 미국 LA항을 입출항한 선박들의 특성이 강하게 반영되어 있는바 실제 부산항을 입출항한 선박들의 제원특성을 보다 현실적으로 반영하기 위해



**Fig. 2. GHGs Estimation Process using H-PORT-MIS DB**

결측치 처리는 본 연구를 통해 구축된 선박제원정보를 활용한 추정식을 사용하였다.

Table 5는 선종 및 선박 총중량에 따른 주엔진 및 보조엔진 출력 추정 회귀식을 나타낸다. 분석결과 주엔진 출력은 평균 16,406kW, 보조엔진 출력은 평균 4,292kW로 나타났으며, 각 엔진출력은 선종과 선박의 총중량에 따라 달라지는 것으로 나타났다(Figs. 3 and 4 참조). 구체적으로 선박의 총톤수가 증가할수록 주엔진 및 보조엔진의 출력은 증가하며, 총톤수 증가에 따른 엔진 출력의 증가(i.e. 총톤수의 한계효과)는 선종(컨테이너선과 비컨테이너선)에 따라 달라지는데, 컨테이너선의 총톤수 한계효과는 비컨테이너선의 총톤수 한계효과보다 크게 나타났다(i.e. Interaction term이 유의한 양수값을 가짐). 전술한 바와 같이 본 연구에서는 각 선박별 엔진출력 결측치를 선종 및 총중량에 따른 엔진출력 추정치를 이용해 보정하였다. 물론 엔진출력 추정식은 주엔진의 RPM 및 기타 상세자료를 이용하면 보다 현실적인 값이 추정될

수 있으나, 엔진출력자료가 결측될 경우 그 외 정보 또한 결측되는 문제점을 갖고 있어 대부분의 선박이 갖고 있는 정보인 총톤수 및 선종을 이용하여 엔진출력식을 추정하였으며, 엔진출력 추정식의 개발은 향후 장기간에 걸쳐 축적된 빅데이터를 이용하여 수정·보완되어야 할 것으로 판단된다.

끝으로 Eq. (3)을 통해 추정된 각 선박의 온실가스 배출량에 IPCC (2006)에서 제시한 배출물질별 지구온난화지수를 곱해 H-PORT-MIS DB를 이용한 선박의 총 온실가스 배출량을 산정하였다.

### 5. 온실가스 배출량 산정결과

Table 6은 전술한 3 가지 형태의 DB에 각각 구축되어 있는 선박의 활동도 자료에 4장에서 제시한 온실가스 배출량 산정방법을 적용하여 18개월(2009.01~2010.06) 동안 부산항을 입출항 시 발생하는 부산항계내 선박의 온실가스 배출량 산정결과이다. 선박

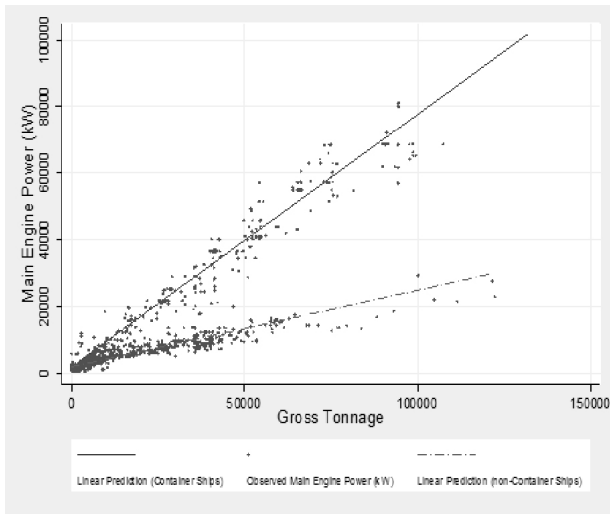


Fig. 3. Main Engine Power Estimation Model

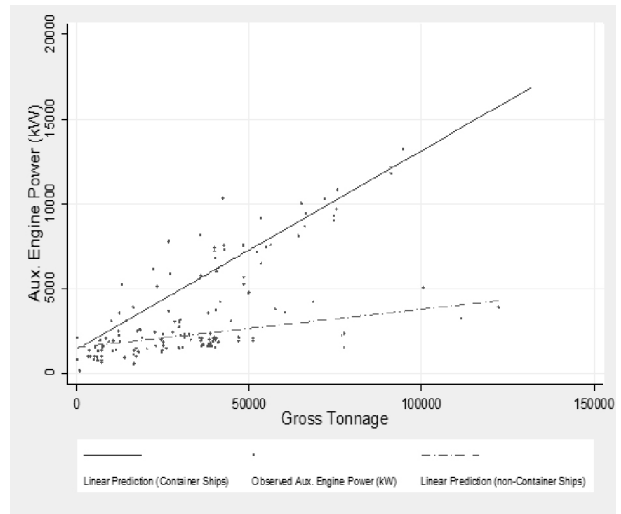


Fig. 4. Aux. Engine Power Estimation Model

Table 6. GHG Emissions by Marine Vessel Activity Database and Arrival Purpose (GgCO<sub>2</sub>-eq/18-month)

Level of Activity Dataset	Vessel Activity	Arriving Purpose			
		Loading/Unloading	Passenger Embarking	Others	Total
L-PORT-MIS (Low-level)	Maneuvering	15.83	0.59	4.77	21.19
	Hotelling	701.63	28.76	194.27	924.66
	Total	717.45	29.35	199.05	945.85
M-PORT-MIS (Medium-level)	Maneuvering	15.83	0.59	4.77	21.19
	Hotelling	861.90	14.20	30.97	907.06
	Total	877.72	14.79	35.74	928.25
H-PORT-MIS (High-level)	Maneuvering	25.00	1.72	10.15	36.87
	Hotelling	590.76	13.92	11.78	616.46
	Total	615.75	15.65	21.94	653.34

활동도 자료의 상세도에 따른 온실가스 배출량 산정결과는 아래와 같이 요약된다.

- L-PORT-MIS DB를 이용한 선박의 온실가스 배출량은 분석 기간 동안 “945.85 GgCO<sub>2</sub>-eq”으로 산정되었으나 M-PORT-MIS DB를 이용했을 경우 온실가스 배출량은 “928.25 GgCO<sub>2</sub>-eq”로 다소 낮게 산정되었다.
- 이러한 분석결과와 차이 발생은 각 선박별 관측 정박시간 정보를 사용했을 경우(M-PORT-MIS) 적용되는 정박시간이 선항연구(National Institute of Environmental Research, 2007)에서 제시한 평균정박시간 “0.79일/회”과 다르기 때문에 나타난다.
- 구체적으로 양적·목적·부산항에 입항한 선박의 평균정박시간은 “1.18일/회”로 기준값인 “0.79일/회”보다 커 양적·목적·부산항에 입항하는 온실가스 배출량(M-PORT-MIS 정박, “861.90 GgCO<sub>2</sub>-eq”)은 정박시간에 대한 보완 없이 산정된 온실가스 배출량(L-PORT-MIS 정박, “701.63 GgCO<sub>2</sub>-eq”)보다 크게 산정되었다.
- 그러나 M-PORT-MIS DB를 이용한 여객상륙과 기타목적·부산항에 입항한 선박의 정박 시 온실가스 배출량(각각 “14.20 GgCO<sub>2</sub>-eq”, “30.97 GgCO<sub>2</sub>-eq”)은 L-PORT-MIS DB를 이용한 입항목적·부산항에 입항한 선박의 정박 시 온실가스 배출량보다 작게 산정되었는데, 이러한 차이는 여객상륙 및 기타목적·부산항에 입항한 선박의 실제 정박시간(평균 0.38일/회, 0.46일/회)이 기존의 평균정박시간 “0.79일/회”보다 작기 때문인 것으로 판단된다.
- 이처럼 L-PORT-MIS DB의 평균 정박시간은 “0.79일/회”로 M-PORT-MIS DB의 평균 정박시간 “0.91일/회”보다 짧으나 M-PORT-MIS DB를 이용했을 경우 총 온실가스 배출량은 다소 감소하였다. 이는 Table 1에 제시된바와 같이 각 선박의 입항목적·부산항에 입항한 선박의 정박시간이 오른쪽 꼬리 분포의 형태(중앙값은 기존 “0.79일/회”보다 작음)를 가지는 바 양적·목적·부산항에 입항한 선박의 정박시 배출량은 증가하고 여객상륙 및 기타 목적으로 입항한 선박의 정박시 배출량은 감소해 발생한 결과로 판단된다.
- 한편 M-PORT-MIS DB를 이용한 한 선박의 온실가스 배출량은 “928.25 GgCO<sub>2</sub>-eq”으로 산정되었으며, H-PORT-MIS DB를 이용했을 경우 선박의 총 온실가스 배출량은 “653.34 GgCO<sub>2</sub>-eq”로 약 30% 감소하였다. 이러한 온실가스 배출량의 감소는 정박 시 배출량에서 두드러졌는데 이는 1999년도에 수립된 기준 추정식(CORINAIR, 1999)의 가정(정박시 연료 소비량은 총연료소비량의 20%)이 더 이상 유효하지 않음을 나타낸다.

- H-PORT-MIS DB를 이용했을 경우 총 온실가스 배출량은 감소했으나, 접안 시 온실가스 배출량은 “15.68 GgCO<sub>2</sub>-eq”가 증가하였다. 이러한 결과는 최근 선박의 복합화 및 대형화에 따른 선박의 엔진출력 변화에 기인하는 것으로 판단되며, 입항 목적에 관계없이 H-PORT-MIS DB를 사용할 경우 접안 시 배출량은 M-PORT-MIS DB의 배출량보다 크게 산정되었다.

## 6. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 산재되어 있는 부산항 입출항 선박의 개별 활동도(정박·접안 특성) 및 선박제원 자료를 기존 항만운영정보시스템(PORT-MIS) DB에 연계·구축하기 위한 방법론을 제시하고, 전술한 3가지 DB를 이용하여 18개월(2009.01~2010.06) 동안 부산항에 입출항한 선박의 온실가스 배출량을 산정하고 그 결과를 비교·분석하였다.

이를 위해 본 연구에서는 기본적인 선박의 활동도 변수만을 포함하고 있는 저해상도의 L-PORT-MIS DB에 각 선박의 정박시간 자료를 추가하여 중해상도의 M-PORT-MIS DB를 연계·구축하였다. 또한 선항연구(Starcrest Consulting Group, 2007a, 2007b)에서 제시한 방법론을 수용하여 M-PORT-MIS DB에 각 선박의 온실가스 배출량에 직접적인 영향을 주는 엔진출력 등과 같은 선박제원정보를 연계시켜 고해상도의 H-PORT-MIS DB를 구축하였으며, 각 활동도 자료를 이용한 선박의 온실가스 배출량 산정방법을 제시하였다. 구축된 3가지 형태의 DB를 이용한 선박의 온실가스 배출량 산정결과, 선박 활동도 자료의 해상도가 높아질수록(즉 상세정보가 포함될수록) 총 온실가스 배출량은 감소하는 것으로 분석되었다(945.85GgCO<sub>2</sub>-eq (저해상도) > 928.25GgCO<sub>2</sub>-eq (중해상도) > 653.34 GgCO<sub>2</sub>-eq (고해상도)). 구체적으로 저해상도 및 중해상도의 선박 활동도 자료를 이용할 경우에는 과거에 집계된 정박 및 접안 특성에 의존하는바 온실가스 배출량이 과다 산정되는 반면, 고해상도의 선박 활동도 자료를 이용할 경우에는 각 선박의 개별 접안·정박 특성과 엔진출력이 고려되는바 H-PORT-MIS DB를 이용한 선박의 온실가스 배출량은 보다 신뢰성 높은 추정치로 판단된다. 이처럼 부산항을 입출항하는 개별 선박의 특성을 반영하여 온실가스 배출량을 산정했을 경우 그 추정치는 기존 추정치와 매우 달라질 수 있어 본 연구에서 제안한 DB의 연계·구축이 시급하다고 할 수 있다. 또한 개선 DB는 정박시간 감소, 운항속도 감소, 고효율 첨단선박 도입 등과 같은 온실가스 감축 대책 수립 및 평가에 실질적으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

비록 본 연구는 선항연구(Starcrest Consulting Group, 2007a; 2007b)에서 제시한 개별 선박 활동도 기반 배출량 산정 방법론을 수용하였으나, 방법론 적용 시 그간 장애요소였던 개별선박의 활동



도 자료 구축방법을 구체적으로 명시하고 실제 선박제원 자료를 수집하여 적용계수 추정식을 제시했다는 점에서 연구의 차별성이 있다고 판단된다. 그러나 각 선박의 제원정보 수집에 한계가 있어 선종·선석별 온실가스 배출량 비교분석에 대한 심층적인 연구가 이루어지지 못한 아쉬움이 있다. 이러한 연구의 한계점은 향후 각 선종별 선박제원정보 DB의 축적을 통해 보완되어야 할 것으로 판단된다. 이를 위해서는 현재 선박제원신고 시 선택사항으로 처리되고 있는 엔진출력 상세정보를 보다 적극적으로 수집·관리하고, 궁극적으로는 해당 자료를 이용한 객관적인 온실가스 저감대책 수립 방법론 개발 연구가 수행되어야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 부산녹색환경지원센터 및 환경부 지정 기후변화특성 화대학원 지원으로 수행되었습니다.

### References

Bong, C. K., Park, S. J., Kim, Y. G., Lee, I. H., Lee, H. K. and Hwang, U. H. (2011). "A study on the calculation of GHG emissions from general ships by Tier3 method." *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 33, No. 10, pp. 701-708.  
 Cheong, C., Park, D., Lee, I., Kim, S. and Kang, J. (2008). *Inventory*

*of air emissions from marin vessels, Aircrafts, and Container trucks in Busan metropolitan city*, Busan Environmental Technology Center.  
 Cheong, J. P., Kim, H. B., Lee, S. M., Lee, S. H. and Jang, Y. H. (2007). *Greenhouse gas emissions inventory in Busan metropolitan city*, Busan Metropolitan City.  
 CORINAIR (1999). *Emission inventory guidebook*, European Environment Agency.  
 IPCC (2006). *2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories*, Prepared National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (eds). Published: IGES, Japan.  
 National Institute of Environmental Research (2007). *Guideline of estimation methods of air pollutants*, Ministry of Environment.  
 Shin, K. W. and Cheong, J. P. (2010). "Analyzing time in port and greenhouse gas emissions of vessels using duration model." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 30, No. 4D, pp. 323-330.  
 Shin, K. W. and Cheong, J. P. (2011). "Estimating transportation-related greenhouse gas emissions in the port of Busan, S. Korea." *Asian Journal of Atmospheric Environment*, Vol. 5-1, pp. 41-46.  
 Starcrest Consulting Group (2007a). "Port of los angeles inventory of air emissions." The Port of Los Angeles.  
 Starcrest Consulting Group (2007b). *Maritime air emissions inventory*, Puget Sound Maritime Air Forum.  
 Yang, J., Lee, W., Huh, Y., Kim, Y., Jang, Y., Cheong, J. and Shin, K. (2010). *A study on greenhouse gas mitigation actions in the port of busan*, Busan Development Institute.