

항만의 온실가스 배출량 산정 및 공간할당 방법에 관한 연구

최상진* · 김정화** · 손지환*** · 홍현수* · 한용희* · 김정수** · 조경두***

(주)나인에코, **국립환경과학원 교통환경연구소, ***인천발전연구원

A Study on Space Allocation Method and Calculation of GHGs Emissions in the Port

Choi, Sang Jin*, Kim, Joung Hwa**, Son, Ji Hwan***, Hong, Hyun Su*,
Han, Yong hee*, Kim, Jeong Soo** and Cho, Kyeong Doo***

*NINECO.

**National Institute of Environmental Research, Transportation Pollution Research Center

***Incheon Development Institute

ABSTRACT

In this study, we researched the emission source category and it was calculated emissions estimates from existing research or literature review related to port. In addition, we have created the basis for a policy that can reduce greenhouse gas emissions calculation based on the results of the harbor. Greenhouse gas emissions estimation results, we proposed a method for allocating the GIS space. In this study, we confirmed based on the calculated greenhouse gas emissions by sources resulting in the GIS Map Port result of the expression construct for space allocation. Based on these results, it tries to provide the basic data that can be used when you want to create a local government measures to reduce scenario in the future.

Key words: Port of Incheon, Greenhouse Gas, Space Allocation Method, Emission Inventory, Harbor Limit

1. 서 론

국내에서 대기오염 관리나 온실가스 저감을 위해 다각적인 노력이 시도되고 있으나, 이를 위해서는 세부적인 배출원 분류체계에 따라 오염물질별로 무엇이 어디서 얼마만큼 배출되는지에 대한 규명이 가장 먼저 선행되어야 하며, 더 나아가 개별 배출원에 대한 오염물질별 배출량에 대한 정확한 조사와 합리적 방법론 적용을 통해 시·공간 분포에 대해서 정량적으로 추정되어야 한다(Kim *et al.*, 2015).

항만과 관련하여 오염물질 배출 및 저감방안에 관한 연구들은 주로 선박을 대상으로 이루어져 왔는데, 이에 대한 국제적인 배출규제가 강화되고, 항만에 인접한 도시지역 대기질에 대한 관심이 증가하면서 최근 항만시설 전체에 대한 포괄적인 연구가 수행되고 있다(Song *et al.*, 2007).

항만은 선박뿐 아니라, 화물 하역 및 운송 등 다양한 활동이 이루어지며, 다소 복잡한 내부 배출원의 특성을 파악하기 위

해서는 항만 배출원에 대한 전체적인 배출목록을 작성할 필요가 있다. 또한 항만 내 주요 배출원을 파악하여 오염물질별 배출량 산정을 위한 인자를 적용하는 것이 무엇보다 중요하고, 나아가 이러한 항만을 대규모의 산업 배출시설과 같은 형태로 관리할 수 있는 체계가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 비도료이동오염원 중 항만의 주요 배출원에 대해 분류체계 조사 및 항만에서 실제 운용되고 있는 선박 이외 배출원에 대해 사용 실태, 엔진 제원 등 관련 활동자료를 조사하여 항만 내 온실가스 배출 특성을 파악하고, 온실가스 배출 관리를 위한 배출원별 배출량 산정 결과를 토대로 공간할당 방법론을 설정하고자 하였다.

2. 항만의 배출 특성

2.1 항만 배출원 개요 및 연구범위 설정

† Corresponding author: riverever@korea.kr

Received June 20, 2016 / Revised July 6, 2016(1st), July 27, 2016(2nd) / Accepted August 31, 2016

항만에서는 선박을 통해 운반된 화물의 양·적하 및 운송 등의 처리 과정이 진행된다. 이러한 화물 처리를 위해 선박 이외에 다양한 장비들을 사용한다. 본 연구에서는 항만의 배출특성 파악을 위해 외항선(Ocean going vessels), 예인선(harbor craft), 화물취급장비(Cargo handling equipments), 철도기관차(Rail locomotives), 화물자동차(Heavy duty vehicles)으로 설정하였으며, 대상 항만은 항만 내 배출원별 배출특성과 화물처리 형태를 파악하기 위해 컨테이너 화물과 벌크 화물 등 다양한 종류의 화물을 취급하는 인천항만을 선정하였다.

인천항만은 내항(Inner harbor), 남항(South harbor), 북항(North harbor), 연안항(Coastal harbor), 영흥항(Yeonghung harbor)으로 이루어져 있으며, 본 연구에서는 항만 내 활동자료 수집이 가능한 내항, 남항, 북항, 영흥항을 대상으로 설정하였다.

항만의 배출원별 온실가스 배출량 산정 결과를 토대로 격차별 공간할당 방법론을 적용하기 위한 기준연도는 활동자료 수집이 가능한 2014년을 기준으로 하였다. 본 연구에서 항만의 온실가스 배출량을 추정하기 위해 필요한 활동자료가 없을 경우, 미국의 버지니아 항만청 보고서(VPA, 2013)와 국내 인천항만을 조사한 연구(IDI, 2009)를 참조하였다.

2.2 항만의 오염물질 배출량 산정 방법

항만의 배출원별 온실가스 배출량을 산정하기 위한 방법론은 기본적으로 온실가스종합정보센터에서 제안하는 방법을 적용하였다[식 (1a), 식 (1b)]. 항만의 수상 배출원인 외항선(OGV)과 예인선(HC)은 엔진 가동을 위해 주로 Bunker Fuel(B-A유, B-C유)를 사용하며, 육상 배출원인 화물취급장비(CHE), 철도기관차(RL), 화물자동차(HDV)는 주로 경유와 휘발유 등을 사용하고, 이러한 사용 유종을 고려하여 Table 1의 유종별 배출계수와 매개변수를 적용하였다.

$$Emissions(CO_2)(GgCO_2eq.) =$$

Table 1. Emission factor and parameter

Category	Gasoline	Diesel	B-A	B-B	B-C	
Emission factor	CO ₂ [tC/TJ]	19.7	20.0	20.2	20.6	20.8
	CH ₄ [kg/TJ]	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	N ₂ O [kg/TJ]	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Gross calorific value[MJ/L]	33.5	37.9	38.9	40.4	41.4	
Net calorific value [MJ/L]	31.0	35.4	36.6	38.1	39.1	
Oxidation factor			0.99			

$$\sum [(TA_{i,j} - NA_{i,j} \times FCS_{i,j}) \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times OF_i \times 44/12] \quad (1a)$$

- TA: 총 연료 사용량(천 TOE)
- 41.868: J-TOE 단위환산계수(TJ/천 TOE)
- NA: 비연료 사용량(천 TOE)
- CF: 전환계수(순발열량/총발열량)
- FCS: 탄소 몰입률
- EF: 배출계수(t C/TJ)
- OF: 산화계수
- i: 연료유형
- j: 부문
- 44/12: 탄소기준 배출량을 이산화탄소 기준으로 전환 (kg CO₂/ kg C)
- Source: GIR, 2014.

$$Emissions(CH_4, N_2O)(GgCH_4eq.)(GgN_2Oeq.) = \sum [TA_{i,j,k} \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times 10^{-6}] \quad (1b)$$

- TA: 총연료 사용량(천 TOE)
- 41.868: J-TOE 단위환산계수(TJ/천 TOE)
- EF: 배출계수(t C/TJ)
- CF: 전환계수(순발열량/총발열량)
- i: 연료유형
- j: 설비유형
- k: 부문 수식
- Source: GIR, 2014.

2.3 연료소비량 추정 방법

항만의 배출원별 연료사용량에 대한 자료는 해당 배출원의 연료사용량 정보가 없으므로 유럽환경청(EEA, 2013)에서 제시

한 엔진 출력에 따른 연료소비량 추정식을 적용하였다[식 (2)].

본 연구에서는 외항선(OGV)과 예인선(HC)의 경우, 엔진 출력, 엔진 부하율과 운전시간 등의 자료를 확보하여 연료사용량을 추정한 기존의 선행 연구(Kim *et al.*, 2014)와 동일한 방법으로 온실가스 배출량을 산정하였다. 항만 육상 배출원 중 화물취급장비(CHE)와 철도기관차(RL)의 경우, 선박과 마찬가지로 경유 엔진을 주로 사용하는 비도로이동오염원으로써 장비별 엔진 출력과 엔진 부하율, 연간 평균 가동시간 등을 고려하여 연료사용량을 추정하였다. 화물자동차(HDV)의 경우, 도로이동오염원으로 분류하여 항만 내 주행거리를 고려한 연료사용량을 추정하였다.

$$Fuel\ consumption(tCO_2eq.) = \sum (T_{b,e} \times P_{b,e} \times LF_{b,e} \times SFOC) \quad (2)$$

T: Average duration of operation of each equipment per year(hr/yr)

P: Nominal engine power(kW)

LF: Engine load factor(%)

SFOC: Specific fuel oil consumption(L/kWh)

b: Equipment type

e: Engine type

Source: EEA, 2013.

2.3.1 외항선(OGV)

본 연구에서 항만 배출원 중 수상배출원인 외항선(OGV)의 온실가스 배출량 산정을 위한 활동자료는 기존 선행 연구(Kim *et al.*, 2014)와 동일한 방법으로 활동자료를 수집하였다.

외항선(OGV)의 경우, 항만의 수상 배출원으로써 선박 엔진의 가동에 따른 연료사용량 정보가 필요하나, 해당 선박의 연료사용량이 관리되고 있지 않기 때문에, 본 연구에서는 해당 선박의 입출항 호출 수, 엔진 출력과 엔진부하율, 운항시간 등의 자료를 확보하여 연료사용량을 추정하였으며, 이에 따라 외항선(OGV)의 온실가스 배출량을 산정하였다.

외항선(OGV)의 엔진 부하율을 추정할 수 있는 방법으로 프로펠러 법칙(Propeller law)을 활용하였다[식 (3)]. 프로펠러 법칙은 외항선의 속력이 저속일 때 실제 엔진 추진 부하와 최대 속력 비율의 세제곱에 의해 추진 부하의 변화 이론을 근거로 하여 선박 추진 부하를 추정하는데 사용된다.

$$LF = (AS/MS)^3 \quad (3)$$

Table 2. Summary

Ship category	Ship call [N]	Maximum speed [knot]	Average engine power [kW]	Load factor [%]
Carrier	230	18.7	1,179	0.3
Bulk ships	477	14.5	7,311	0.3
Liquid bulk ships	162	14.8	2,668	0.2
Cement carrier ships	-	18.7	6,591	0.3
General cargo ship	1,905	15.2	3,656	0.3
Ro-Ro/vehicle	356	16.8	11,195	0.2
Container ships	2,034	21.6	10,574	0.1
Tank ships	190	14.8	6,570	0.3
Other	42	13.0	1,228	0.5

LF: Load factor(%)

AS: Actual speed(knots)

MS: Maximum speed(knots)

Source: VPA, 2009.

외항선(OGV)의 운항시간은 해양수산부의 항만운영정보시스템(Port-MIS)을 통해 인천항의 입출항 선박의 시간 정보를 적용하였다. 선박은 운항 모드에 따라 순항 모드(Open ocean), 감속 운항(Reduction speed zone), 접안 모드(Maneuvering mode), 정박 모드(Hotelling mode)로 나눌 수 있으며(Fig. 1), 모드별 운항시간 산정(주 엔진 시동 OFF인 접안은 제외)은 선박 속력과 항로 거리의 함수로 산정하였다. 선박의 실제 운항 속도는 인천항 도선 매뉴얼에 제시된 운항모드별 제한속력을 적용하였다.

2.3.2 예인선(HC)

인천항에 등록된 예인선(HC)은 인천지방해양수산청에서 등록현황을 관리하고 있으며, 선박의 입출항 시 선박 속도 제한 구역 내에서 선박을 견인 또는 접안 활동 지원을 한다. 예인선의 운항척수는 외항선의 톤급 규모에 따라 예인선의 가동 척수를 분류할 수 있고, 이러한 예인선 가동 척수는 인천항 도선 표준 매뉴얼(Incheonpilot, 2015)에 제시된 선박 톤급 규모에 따른 예인선의 가동 척수를 적용하였다. 가동시간은 외항선의 접안 시 가동시간을 적용하였으며, 엔진부하율의 경우 국내 조사된 자료가 없으므로 미국 버지니아 항만청(VPA,

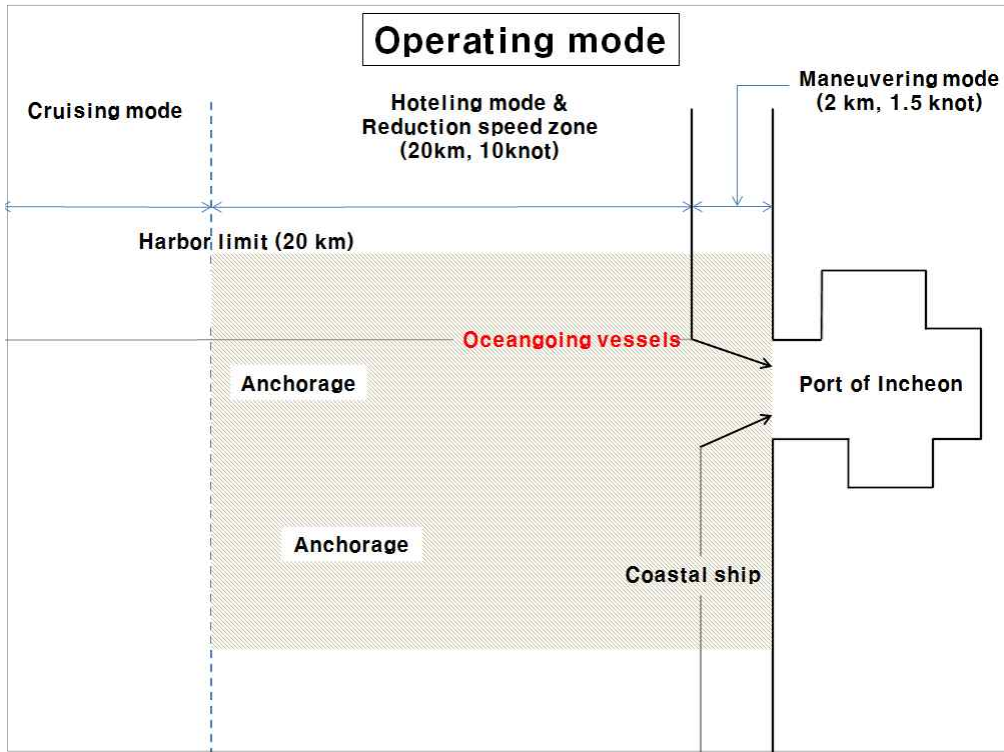


Fig. 1. Operating mode of the ship.

Table 3. Characteristics of harbor craft used in the port of Incheon

Classification (t)	Count [N]	Average operating hours [hr]	Load factor [%]
< 2,000	1	2	30
2,000~40,000	2	2	30
> 40,000	3	2	30

Source: Incheonpilot, 2015.

2013)에서 조사한 값을 적용하였다.

2.3.3 화물취급장비(CHE)

화물취급장비(CHE)의 장비 종류와 등록 현황은 하역요람(한국항만물류협회, 2015)에 조사된 자료를 적용하였으며, 해당 항만의 화물취급장비별 등록자료를 적용하였다. 온실가스 배출량 산정 대상 장비는 지게차(Forklift), 기중기(Excavator), 로우더류(Loader), 탑핸들러(Top handler), 리치스태커(Reach stacker) 등 7종으로 분류하였다.

화물하역의 장비 중 크레인류(컨테이너 크레인, 레일식 갠트리 크레인), 언로더, 스택커 리크레이머의 경우, 전기로 운전하는 장비이며, 자동차로 분류되는 트랙터, 탱크로리, 트럭 등은 항만 게이트를 출입하는 차량으로 분류되기 때문에 대상에서 제외하였다. 화물취급장비의 엔진 제원은 국내 조사자료(환

Table 4. Characteristics of cargo handling equipments used in the port of Incheon

Equipment	Count [N]	Engine power [kW]	Annual operating hours [hr/yr]	Load factor [%]
Forklift ¹⁾	36	139	1,512	0.30
Excavator ¹⁾	39	160	2,400	0.57
Wheel loader ¹⁾	17	216	1,872	0.51
Log loader ¹⁾	5	216	1,872	0.51
Pay loader ²⁾	24	344	1,694	0.51
Top handler ²⁾	5	210	2,095	0.59
Reach stacker ²⁾	30	218	3,112	0.51

¹⁾ ME, 2009; ²⁾ VPA, 2013.

경부, 2008)를 적용하였으며, 엔진 제원 정보가 없는 장비의 경우 미국 버지니아 항만청(Virginia Port Authority)에서 조사된 장비 엔진 제원을 적용하였다.

2.3.4 철도기관차(RL)

인천항의 철도기관차(RL)는 남항(South harbor)의 석탄부두에서 하역하는 석탄을 싣고 인천항을 경유하여 인천역까지 운행하고 있다.

본 연구에서는 철도기관차에 대한 온실가스 배출량을 산정하기 위해 기존 연구자료(IDI, 2009)의 방법론을 참고하였다. 철도기관차(RL)의 온실가스 배출량 산정 방법은 기관차의 사용 연료량과 배출계수를 적용하여 산정한다. 철도기관차의 연간 연료사용량 추정을 위해 기관차의 엔진출력, 엔진부하율, 연간 운전시간을 고려하였다.

인천항에서 가동 중인 철도기관차는 1대(4400호대)를 운영하고 있다. 철도기관차의 엔진출력은 2,040 kW에 해당하며, 최고속도는 105 km/h이다.

인천역 현장 조사 결과, 석탄부두에서 싣고 나오는 시간은 약 40분이며, 일주일 중 일요일을 제외한 3회/일 운행한다. 다만 비가 다소 많이 내리는 날에는 운행을 중지하는데, 그 기준을 “비 다소 많음”으로 표현되는 예보기준 20~80 mm의 중간 값인 50 mm 이상인 날로 정하였다. 2014년 “비 다소 많음” 예보기준에 해당되는 일수는 26일이며, 이를 연간 운행일수에

서 제외하였다.

2.3.5 화물자동차(HDV)

인천항의 화물자동차에 의한 온실가스 배출량은 인천항 내부 보안자료(인천항보안공사, 2008)에서 제공한 차종별 출입 차량대수를 근거로 추정하였다. 본 연구에서는 인천항 차량 출입대수를 인천항의 화물 물동량과 비례한다고 가정하여 화물 물동량 처리 비율을 적용하여 화물자동차 출입 대수를 추정하였다. 인천항을 출입하는 차량은 트레일러 화물차, 승용차, 기타 차량으로 분류하였으며, 화물차의 대부분은 컨테이너 차량이고, 기타 차량의 90% 이상은 소형 화물차이다. 배출계수 적용을 위해 화물차의 경우, 적재중량 5톤 이상(총 중량 10톤 이상)의 대형 화물차, 승용차의 경우 중대형 승용차와 소형 승합차, 기타의 경우 적재중량 1톤 이하(총 중량 3톤 이하)인 소형화물차로 가정하였다. 항만 내 차량 속도는 인천항 내의 제한속도인 20 km/h를 적용하였다.

인천항 내 화물자동차의 이동거리는 인천항 게이트부터 항만 내 화물처리 구역까지 왕복으로 이동한 거리를 적용하였다(Table 6).

인천항 게이트별 이동거리 산출은 각 게이트에서 가장 가까운 부두 2곳의 평균값을 산출하였으며, 게이트-3의 경우, 고속도로에서 인접하여 모든 부두의 차량이동에 관여된다고 가정하여 게이트-3에서 각 부두까지 거리의 평균값을 이용하였다.

Table 5. Estimation of number of heavy duty vehicles within the port entrance

Category	Cargo (10 ³ RT) ¹⁾			Count (N) ²⁾			
	Total	Cont.	Bulk	Trailer truck	Passenger car	Vans	Heavy duty vehicle
2008	141,814	27,216	114,597	2,354,166	1,303,600	256,238	256,238
2014	150,083	39,373	110,710	3,405,691	1,379,612	247,545	247,545
Rate (%)	1.06	1.45	0.97	1.45	1.06	0.97	0.97

¹⁾ ME, 2009; ²⁾ VPA, 2013.
Source: IPS, 2008.

Table 6. Traveled distance in the port of Incheon

(Unit : m)

Length	G-1	G-3	G-4	G-5	G-6	G-8	South gate	Coastal gate	Wolmi gate	Coal pier
Average	579	2,015	563	1,136	471	379	775	1,745	100	290
Total	1,157	4,030	1,126	2,271	942	758	1,549	3,490	200	580

Source : IPS, 2008.

2.4 항만 온실가스 배출량

본 연구에 적용한 항만 배출원 분류체계에 따른 온실가스 배출량은 전체 약 142.2 kton CO₂ eq./yr 정도로 산정되었다. 인천항만 내 터미널별 온실가스 배출량은 내항이 84.8 kton으로 전체의 절반인 59.6%로 가장 높은 배출비율을 차지하였다. 다음 순으로 남항이 39.5 kton, 북항이 16.3 kton으로 산정되었다. 내항의 경우, 인근 고속도로와 밀접해 있기 때문에, 화물자동차 출입에 따라 배출비율이 높은 것으로 분석되며, 외항선 입출항 호출 비율이 다른 터미널에 비해 많기 때문에 배출비율이 높게 나타난 것으로 판단된다.

항만 내 배출원별 온실가스 배출량은 화물자동차가 64.1 kton으로 전체 배출량 중 절반 정도(45.1%)를 차지하고 있는 것으로 분석되었다. 외항선(OGV)과 화물취급장비(CHE)의 온실가스 배출량은 각각 37.9 kton, 26.7 kton으로 산정되었다.

화물취급장비의 경우에는 남항의 온실가스 배출량이 21.3 kton CO₂ eq./yr로 화물취급장비 배출비중의 79.7%를 차지하였다. 남항은 컨테이너 화물과 벌크 화물 등 다양한 화물을 취급하는 터미널이기 때문에 화물취급장비 가동에 따른 온실가스 배출이 많은 것으로 판단된다.

항만 내 배출원별 운영특성을 반영하여 온실가스 배출량을 산정한 결과는 Table 7과 같으며, 이를 배출특성에 따른 공간

할당 기초자료로 활용하였다.

3. 항만 공간할당

본 연구에서는 항만의 온실가스 배출량에 대한 공간할당 결과를 표출하기 위해 OpenGIS tool과 GeoServer v2.4.8을 이용하여 GIS Data를 구축하였으며, GIS 격자체계는 항만 경계 전체를 고려하여 1 km × 1 km로 설정하였다.

3.1 항만의 온실가스 배출량 공간할당 방법론

항만의 온실가스 배출량 공간할당을 위해 수상 배출원과 육상 배출원에 대해 배출량 산정 결과를 토대로 공간할당을 실시하였다.

항만의 배출원별 온실가스 배출량을 GIS 상에 표출하기 위해 기본적인 지도정보는 Fig. 3(A)에서 보는 바와 같이 수상 배출원의 경우, 항계(Harbor limit)를 적용하였고, 육상 배출원의 경우, 각 배출원의 육상 활동 구역을 적용하였다.

항만의 수상배출원의 경우, 인천항의 항계 내에서 외항선이 정박지에서 항구로 진입하는 구간(RSZ)과 항구로 진입 시 접안 활동 구간(Maneuvering)에 대해 2가지 운항 패턴을 고려하였다. 또한 항만의 육상 배출원의 경우, 화물취급장비, 철도기

Table 7. 2014 total port-related GHGs emission by source category in the port of Incheon (Unit : kton/yr)

Terminal	Emission					Total
	OGV	HC	CHE	RL	HDV	
Inner harbor	14.2	5.3	3.1	0.0	62.1	84.8
South harbor	11.5	4.8	21.3	0.2	1.7	39.5
North harbor	11.0	2.6	2.3	0.0	0.3	16.3
Yeonghung harbor	1.1	0.5	0.0	0.0	0.0	1.6
Total	37.9	13.3	26.7	0.2	64.1	142.2



Fig. 2. Percentage of GHGs emission in the port of Incheon.

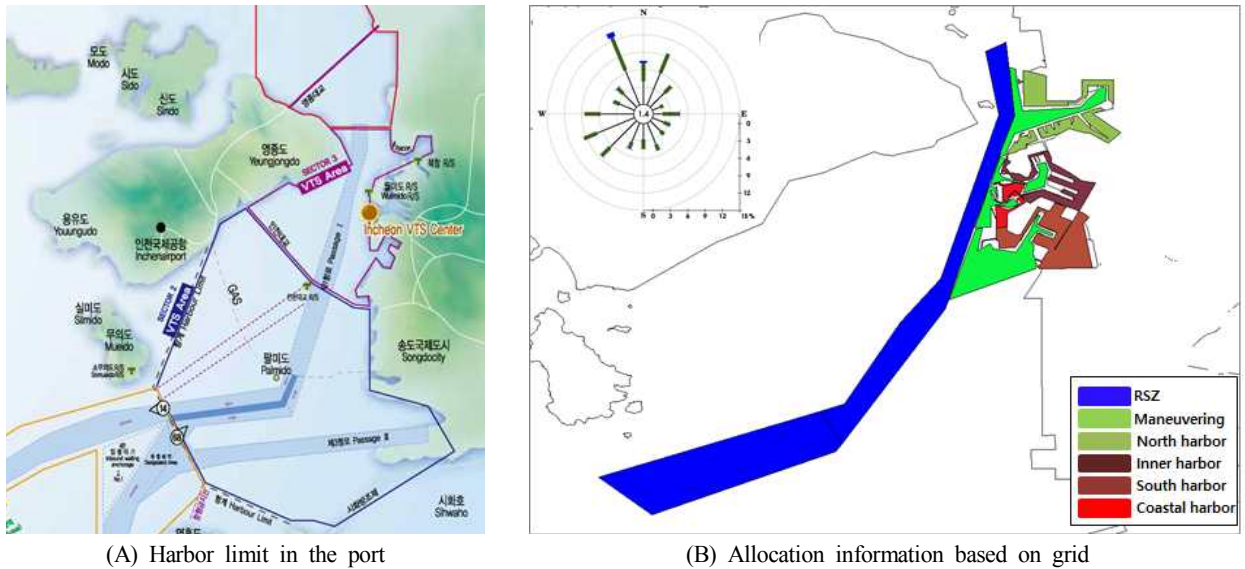


Fig. 3. Information for the space allocation in the port.

관차, 화물자동차에 대해 가동 패턴에 따라 각각의 항구 지점 별로 배출량을 균등 할당하였다[Fig. 3(B)].

격자별 배출량 산정

$$QG = \sum FT \times GF_i \times EF$$

$$GF_i = \frac{MC_i}{TC}$$

(4)

QG: 격자단위 배출량

FT: 전체 운전모드 연료소비량

GF_i: 운전모드 격자할당지수

EF: 배출계수

MC_i: 격자에 걸친 운전모드 면적

TC: 운전모드 전체면적

Source: ME, 1996.

3.2 항만의 온실가스 배출량 공간할당 결과

본 연구에서 항만의 온실가스 배출량을 공간 할당하기 위해 적용한 방법론을 토대로 GIS에 배출량 결과를 표출하였다.

기존의 선행 연구(Kim et al., 2015)는 국내 연근해 선박의 온실가스 배출량을 GIS MAP 상에 공간할당하였다. 선박 종류에 따라 선박의 운항노선, 접안 및 정박 구간, 어장 형성도를 바탕으로 배출량 할당결과로 표출하였다.

본 연구에서는 항만의 배출원별 온실가스 배출량 산정 결과를 토대로 공간할당을 하기 위해 구축한 GIS Map 상 표출

결과를 총괄적으로 Fig 4와 같이 확인하였다. 항만 경계를 중심으로 선박의 활동범위와 육상 배출원의 배출범위를 설정하여 격자별 배출량을 할당하였다.

이러한 연구결과를 바탕으로 항만의 배출원 분류체계를 구분하여 산정된 온실가스 배출량에 대한 공간할당 결과를 통해 지역별 관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이며, 향후 대기확산 모델을 활용하여 항만의 온실가스 및 대기오염물질 배출이 주변 지역에 영향을 미치는지 파악할 수 있을 것이라 기대한다.

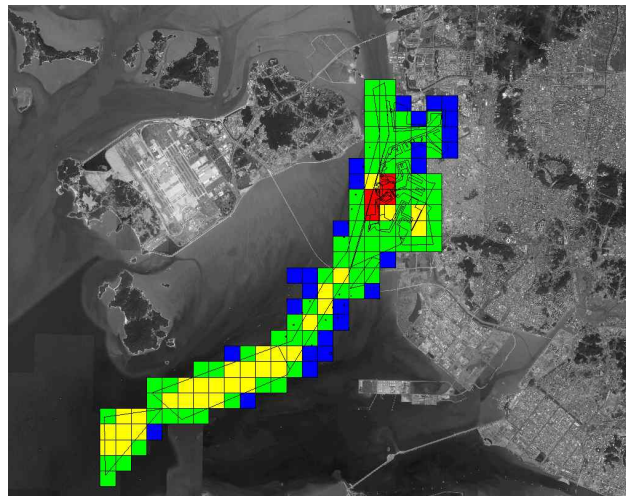


Fig. 4. Allocation result of grid-based of emission source in port.

4. 결 론

본 연구에서는 선박 외에 항만단위 배출원을 파악하였고, 세부 배출원에 대해 선행연구 및 문헌조사를 통해 신뢰성 있는 배출량 산정 방법을 제시하였다. 세부 배출원에 대해 배출량 산정에 필요한 활동자료를 파악하였다. 또한, 항만의 온실가스 감축정책 등의 기초자료로 활용하기 위해 배출 영향 범위를 파악하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 외항선(OGV)는 선종 용도에 따른 재분류를 통해 인천항의 입출항 호출수를 부두별로 분석하였으며, 선종별 엔진 출력 자료를 이용하여 선박의 엔진 출력을 추정하였다. 예인선(HC)의 경우, 인천항 부두별로 외항선 호출에 따른 예인 작업을 지원하는 선박에 대해 조사하였다. 화물취급장비(CHE)의 경우, 경유 엔진을 사용하는 장비에 대해 장비 사용 대수, 주 엔진출력, 엔진부하율, 장비별 평균 가동시간, 연료소비계수(SFOC)를 활용하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 철도기관차(RL)의 경우, 기관차의 가동 대수, 주 엔진출력, 엔진부하율, 장비별 평균 가동시간, 연료소비계수(SFOC)를 활용하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 화물자동차(HDV)는 인천항 게이트 출입 차량과 항만 내부에서 운행하는 차량에 대해 상향식 방법을 적용하였다. 화물자동차의 총 주행거리와 유종별 오염물질 배출계수를 활용하여 온실가스 배출량을 산정하였다.

2) 온실가스 배출량은 총 142.2 ktonCO₂eq./yr으로 산출되었다. 배출원별로는 화물자동차 64.1 ktonCO₂eq./yr(45.1%)로 가장 많은 배출량으로 나타났으며, 다음 외항선 37.9 ktonCO₂eq./yr(26.7%), 화물취급장비 26.7 ktonCO₂eq./yr(18.8%) 순으로 분석되었다. 터미널별로는 내항이 84.7 ktonCO₂eq./yr으로 산정되었으며, 전체 배출량 중 약 59.6%를 차지하는 것으로 분석되었다.

3) 항만에서 배출되는 온실가스 관리를 위해 배출량 산정 결과의 지역별 배분을 위한 공간할당 기준설정을 하였으며, 항만 배출원 분류체계로 설정한 외항선, 예인선, 화물취급장비, 철도기관차, 화물자동차에 대한 배출량 산정 결과를 GIS 공간에 할당하는 방법을 제안하였다. 항만의 수상배출원의 경우, 인천항의 항계 내에서 외항선(OGV)이 정박지에서 항구로 진입하는 구간(RSZ)과 항구로 진입 시 접안 활동 구간(Maneuvering)에 대해 2가지 운항 패턴을 고려하였다. 또한 항만의 육상 배출원의 경우, 화물취급장비(CHE), 철도기관차(RL), 화물자동차(HDV)에 대해 가동 패턴에 따라 각각의 항구 지점별로 배출량을 균등 할당하였다.

본 연구에서 항만의 배출원 분류체계를 구분하여 산정된 온실가스 배출량에 대한 공간할당 결과를 통해 지역별 관리

를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이며, 향후 대기확산 모델을 활용하여 항만의 온실가스 및 대기오염물질 배출이 주변 지역에 영향을 미치는지 파악할 수 있을 것이라 기대한다. 또한 항만의 온실가스 및 대기오염 통합관리를 할 수 있도록 지속적인 연구가 필요할 것이라 판단된다.

5. 사 사

본 연구는 국립환경과학원 교통환경연구소의 오토-오일 사업 “국내 연근해 선박에 의한 대기오염물질 및 온실가스 배출계수 개발과 배출량 산정 연구(III)”의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Han SH, Youn JS, Kim WJ, Seo YH, Jung YW. 2011. Estimation of air pollutant emissions from port-related sources in the port of Incheon. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 27(4):460-471.
- Kim PS, Lee JT, Son JH, Choi SJ, Park SK, Hong HS, Kim JS. 2015. A study on space allocation method of GHGs emissions from domestic coastal shipping. *Journal of Climate Change Research* 6(4):345-355.
- Song GE, Han CH. 2007. A study on the strategies for the reduction of port pollution, *Journal of Korea Port Economic Association* 23:95-113. (in Korean with English abstract).
- GIR. 2014. Guidelines of the statistics of the country's greenhouse gas, calculation, reporting, verification. *Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea* (In Korean).
- IDI. 2009. The status of the atmospheric environment and air quality management measures of the Port of Incheon. *Incheon Development Institute* (In Korean).
- Incheonpilot. 2015. Standards manual of Incheon pilot.
- KOPLA. 2015. Unloading of the port Korea Port Logistics Association (In Korean).
- ME. 1996. A study on the development of survey methods and guideline for area & mobile pollution source. *Ministry of Environment* (In Korean).
- MOF. 2014. Cargo handling statistics. *Ministry of Oceans and Fisheries* (In Korean).
- NIER. 2016. A study on the development of air pollutants and greenhouse gases emission factor and emission esti-

- mation from the domestic coastal shipping(III).
- IMO. 2014. Third IMO GHG Study 2014.
- EEA. 2013. Air pollutant emission inventory guidebook.
- U.S. EPA. 2009. Current methodologies in preparing mobile source port-related emission inventory.
- Virginia Port Authority. 2013. 2011 Comprehensive air emissions inventory update.