

# 부산 북항에서의 선박 배출물질 현황과 선속제한에 의한 배출량 감소 연구

이보경\* · 이상민\*\*†

\* 한국해양대학교 선박운항과, \*\* 군산대학교 해양산업·운송과학기술학부

## Current Status of Ship Emissions and Reduction of Emissions According to RSZ in the Busan North Port

Bo-Kyeong Lee\* · Sang-Min Lee\*\*†

\* Department of Ship Operation, National Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49115, Republic of Korea

\*\* Division of Marine Industry Transportation Science and Technology, Kunsan National University, Kunsan, 54150, Republic of Korea

**요약** : 최근 지구 환경문제에 대한 논의가 활발해지면서 국제 운송의 큰 부분을 차지하고 있는 해상운송에서도 배출물질 규제를 위한 정책이 시행되고 있다. 이 연구에서는 선속 제한에 의한 배출량의 감축 효과를 검토하기 위하여 기관 부하율을 적용하여 선박의 배출물질을 수치계산하였다. 2017년 1월 1일부터 12월 31일까지 부산 북항의 입출항 선박을 대상으로 선속제한구역 20마일권역을 설정하고 해당 구간에서의 선종별, 선속별로 배출량을 계산하고 분석하였다. 항행, 접·이안, 정박 중일 때를 모두 포함하여 가장 많은 배출물질을 발생시키는 선박은 컨테이너선 76.1%, 일반화물선 7.2%, 여객선 6.8%의 순으로 계산되었다. 항행 및 접·이안 모드일 때는 일반화물선이 여객선보다 배출물질이 적었지만 정박 모드일 때는 여객선보다 많았다. 총 배출물질은 질소산화물, 황산화물, 입자상물질, 휘발성유기화합물의 순으로 각각 49.4%, 45%, 4%, 1.6%로 구성되었다. 선속 제한이 없는 경우와 선박 속도를 12노트, 10노트, 8노트로 제한시킬 때 배출물질을 비교하면 속도 12노트 제한의 경우 질소산화물 39%, 휘발성유기화합물 40%, 입자상물질 42%, 황산화물 38%의 감소효과가 있고, 10노트 제한일 때 질소산화물 52%, 휘발성유기화합물 54%, 황산화물 56%, SOx 50%의 감소효과가 있으며, 8노트 제한일 때 질소산화물 62%, 휘발성유기화합물 64%, 입자상물질 67%, 황산화물 59%의 감소효과가 있었다. 이처럼 선박의 속도 감소에 따라 배출물질 역시 크게 감소되는 연구결과를 확인할 수 있었으며, 향후 항만 배출물질 감소를 위해 선박의 속도를 제한하는 방안을 적극적으로 고려할 필요가 있다.

**핵심용어** : 선박 배출물질, 질소산화물, 황산화물, 입자상물질, 휘발성유기화합물, 선속제한구역

**Abstract** : In view of the numerous discussions on global environmental issues, policies have been implemented to limit emissions in the field of marine transport, which accounts for a major part of international trade. In this study, a ship's emissions were calculated by applying the engine load factor to determine the total quantity of emissions based on the ship's speed reduction. For ships entering and leaving the Busan North Port from 1 January to 31 December 2017, emissions were calculated and analyzed based on the ship's type and its speed in the reduced speed zone (RSZ), which was set to 20 nautical miles. The comparison of the total amount of emissions under all situations, such as cruising, maneuvering, and hotelling modes revealed that the vessels that generated the most emissions were container ships at 76.1%, general cargo ships at 7.2%, and passenger ships at 6.8%. In the cruising and maneuvering modes, general cargo ships discharged a lesser amount of emission in comparison with passenger ships; however, in the hotelling mode, the general cargo ships discharged a larger amount of emission than passenger ships. The total emissions of nitrogen oxides (NOx), sulphur oxides (SOx), particulate matter (PM), and volatile organic compounds (VOC), were 49.4%, 45%, 4%, and 1.6%, respectively. Furthermore, the amounts of emission were compared when ships navigated at their average service speed, 12, 10, and 8 knots in the RSZ, respectively. At 12 knots, the reduction in emissions was more than that of the ships navigating at their average service speed by 39% in NOx, 40% in VOC, 42% in PM, and 38% in Sox. At 10 knots, the emission reductions were 52%, 54%, 56%, and 50% in NOx, VOC, PM, and Sox, respectively. At 8 knots, the emission reductions were 62%, 64%, 67%, and 59% in NOx, VOC, PM, and Sox, respectively. As a result, the emissions were effectively reduced when there was a reduction in the ship's speed. Therefore, it is necessary to consider limiting the speed of ships entering and leaving the port to decrease the total quantity of emissions.

**Key Words** : Ship's emission, NOx, SOx, Particulate Matters, Volatile Organic Compounds, Reduced Speed Zone

\* First Author : leona49@nate.com, 051-410-4868

† Corresponding Author : smlee@kunsan.ac.kr, 063-469-1814

※ 본 논문은 (사)해양환경안전학회의 2019년도 춘계 공동학술대회에서 발표된 '선속 제한으로 인한 선박 배출물질 감소에 대한 연구 - 부산 북항을 중심으로'를 추가·보완한 연구임.

## 1. 서론

최근 지구 환경문제에 대한 논의가 활발해지면서 국제 운송의 큰 부분을 차지하는 해상운송에서도 오염물질 배출규제 정책이 시행되고 있다.

국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)에서는 보다 강도 높은 해상 환경 보호를 위해 MARPOL 73/78 부속서 VI에서 배출규제지역(ECA, Emission Control Area)을 지정하였다(IMO, 2018). 이에 따라 미국은 북미 동·서안 200해리 해역 및 미국령의 카리브 해역을 ECA로 지정하고 MARPOL 부속서 VI의 14.4 규칙에 의거하여, 미국 ECA로 운항하는 선박들에게는 연료의 황 함유량이 0.1% m/m 이하가 되도록 강화하였다(Lee et al., 2016). 유럽연합(EU, European Union)은 2020년까지 국제 해운업계의 이산화탄소 배출량 목표를 2005년 대비 20%를 삭감하는 내용의 이산화탄소 배출량 상한을 제안하였고, 2018년 1월 1일부터 EU 항만에 입출항하는 5,000 GT 이상의 모든 선박의 이산화탄소 배출량 및 운항 데이터에 대한 모니터링, 보고, 검증의 강제화를 위한 EU MRV(Monitoring, Reporting, Verification) 법안을 2015년 7월 발효하였다(Lee et al., 2016). 중국 정부 또한 선박에서 나오는 배출물질을 제한하는 계획을 발표하고 중국 ECA 지역 내에서 운항, 접안 및 작업하는 선박에 사용되는 선박용 연료유의 황 함유량을 규제하여 선박으로부터 배출되는 황산화물을 2020년까지 65% 줄이는 것을 목표로 하고 있다. 이 규정에 따라 중국 ECA 지역 내 핵심 항만에 정박하는 모든 선박은 2017년 1월 1일부터 0.5%의 황 함유량을 만족하는 연료유를 사용해야 하고 이 규정은 매년 단계별로 규제 조건이 강화된다(Lee et al., 2016).

우리나라의 2015년 국가 대기오염물질 배출량 중 선박에 의한 배출물질이 전체 배출물질 중 NOx, SOx, PM2.5가 각각 13.1%, 10.9%, 6.6%인 것으로 나타났다(Ahn and Lee, 2019). 이는 항만운용과 선박운항이 전체 대기오염에 상당한 영향을 미치고 있음을 보여준다. 특히, 부산이나 인천과 같이 다수 선박이 기항하는 대규모 항만도시들은 선박으로 인한 대기오염 피해가 더욱 크다고 할 수 있다.

국내 항만도시의 선박 배출물질 산정과 관련하여 부산항을 대상으로 Lee and Lee(2016)와 Park et al.(2011)의 연구가 수행되었다. Lee and Lee(2016)은 2011년과 2012년 부산항에 정박 중인 선박을 대상으로 보조엔진으로부터 배출되는 배기가스 및 환경비용을 산출하였다. Park et al.(2011)은 2009년 부산항에 입·출항하는 선박을 대상으로 각 운항 모드에 따라 개별 선박배출량 산출법을 이용하여 총 배출량을 계산하였다. 선속 제한으로 인한 배출량 감소 효과에 대한 연구로는 인천항을 대상으로 한 Chang et al.(2014)의 연구 및 카오

슝항을 대상으로 한 Chang and Jhang(2016)의 연구가 있다. 두 연구 모두 12노트의 한가지 선속으로 제한했을 경우에만 감소효과를 비교하고 있다.

이 연구에서는 국내 최대 무역항인 부산북항을 대상으로 2017년 1년간의 입·출항 선박 기록을 이용하여 선종별 배출물질을 정성적으로 비교하고, 오탁도 방과제를 기준으로 20마일 범위의 선속제한구역(RSZ, Reduced Speed Zone)을 설정하여 RSZ 내에서 선박의 속도변화에 따른 배출물질의 양을 수치적으로 계산하였다. 배출물질 계산에는 2016년 개정된 유럽환경청(EEA, European Environment Agency) 가이드북의 지침을 활용하였다.

## 2. 선박 배출물질 계산

선박의 배출물질을 추정하는 방법에는 하향식(top-down)과 상향식(bottom-up)이 있다. 특정 항구에서 판매된 연료의 양을 기준으로 배출량을 계산하는 방법은 하향식이며, 선박활동도를 고려하여 개별 선박의 배출량을 산출하는 방법은 상향식이다(EEA, 2016). 본 연구에서는 식(1)과 같이 주기관(Main engine) 및 보조기관(Auxiliary engine)의 출력을 토대로 배출량을 추정하는 bottom-up 방식의 계산법을 이용하였고, 이는 특정 지역과 선박의 배출량을 추정하는데 효과적인 방법이라고 할 수 있다. 이와 같은 EEA 방식을 사용한 연구로서는 1장에 언급한 Chang et al.(2014)과 Chang and Jhang(2016)의 연구와, Tzannatos(2010)의 그리스 선박 배출량에 대해 연구, McArthur and Osland(2013)의 항만도시 대기배출에 대한 경제적 평가 연구, Berechman and Tseng(2012)의 카오슝항 배출물질의 환경비용 추정 연구 등이 있다.

배출물질 산정에 있어 선박의 입항부터 출항까지 3단계의 운항 상태, 즉, 항행 모드(cruising mode), 접·이안 모드(manoeuvring mode), 정박 모드(hotelling mode)로 구분하고, 각각의 운항 상태에서의 배출량을 비교하였다.

$$E_{Trip,i,j,m} = \sum_p \left[ T_p \sum_e (P_e \times LF_e \times EF_{e,i,j,m,p}) \right] \quad (1)$$

여기서,  $E_{Trip}$  = 총배출량(tonnes)

$EF$  = 배출계수(kg/kW)

$LF$  = 기관 부하율(%)

$P$  = 기관 출력(kW)

$T$  = 시간(hours)

$e$  = 기관 종류(주기관, 보조기관)

$i$  = 배출물질(NOx, SOx, VOC, PM)

$j$  = 기관 형태(저속디젤, 중속디젤, 고속디젤, 가스 터빈, 스팀터빈)

m = 연료 종류(bunker fuel oil, marine diesel oil, marine gas oil, gasoline)  
 p = 운항 상태(cruising mode, manoeuvring mode, hotelling mode)

cruising 모드에서의 항행시간은 식(2)를 이용하여 계산하였다.

$$T_{cruising}(hours) = \frac{Distance\ cruised}{Averaged\ cruising\ speed} \quad (2)$$

선박 종류에 따른 cruising 모드의 평균 속력과 manoeuvring 및 hotelling 모드에서의 평균 항해시간 및 정박시간은 Table 1과 같다(EEA, 2016).

Table 1. Average cruise speed and average duration of in-port by ship type in EEA, 2016

Ship's type	Ave. cruise speed (knots)	Manoeuvring time (hours)	Hotelling time (hours)
Liquid bulk ship	14.04	1.0	38
Dry bulk carrier	14.04	1.0	52
Container ship	19.44	1.0	14
General cargo ship	12.42	1.0	39
RO-RO cargo ship	14.58	1.0	15
Passenger ship	21.06	0.8	14
Fishing	13.50	0.7	60
Other	10.80	1.0	27

Source: Entec UK Limited (2002), EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (2016)

Kim and Shin(2014)은 선박의 정박시간을 화물선의 양하 및 적하의 경우에는 1.18일, 여객상륙을 위해서는 0.38일, 기타 목적으로 0.46일 정박한다고 가정하여 부산항에서의 온실가스 배출량을 추정하였다. 그러나 최근까지도, 1년 이상의 장기간에 대한 특정 항만의 배출물질 산정에 있어, 선종별 정박시간과 항만 내 접·이안 시간을 별도로 측정하여 계산한 국내연구는 거의 없다. 다만, 본 연구와 같이 EEA 지침을 활용한 동일한 수치계산 방법을 적용하면, 연구의 통일성이 확보될 수 있고, 항만별 선종별 배출물질의 비교가 가능하며, 전 세계에 적용할 수 있는 정책 제언에 기초 연구로 활용할 수 있는 장점이 있다.

기관 부하율(LF, Load Factor)은 일반적으로 cruising 모드에

서 주기관의 80%와 같은 일정 비율을 적용하여 계산하게 된다. 그러나 본 연구는 Chen et al.(2016)과 같이, 선종별 선속이 고려된 식(3)에 의한 LF를 적용하여 수치계산을 실시하였다. 식(3)에서 MS는 Table 1의 선종별 평균항행속력(Average cruising speed)을 적용하고, AS에는 각각 12노트, 10노트, 8노트를 대입하였으며, 이렇게 도출된 LF에 따라 RSZ 구간에서의 선속 감소에 따른 배출물질을 산출하였다.

$$LF = \left(\frac{AS}{MS}\right)^3 \quad (3)$$

여기서, LF = 기관 부하율 (%)  
 AS = 실제 운항 속도  
 MS = 해당 선박의 최대 속도

Table 2는 선박의 최대상용출력(MCR, Maximum Continuous Rating)에 대한, cruising, manoeuvring, hotelling 모드에서의 주기관과 보조기관 출력을 나타낸다(EEA, 2016).

Table 2. Estimated % load of MCR of main and auxiliary engine in EEA, 2016

Operating mode	% load of MCR main engine	% time all main engine operating	% load of MCR auxiliary engine
Cruising	80	100	30
Manoeuvring	20	100	50
Hotelling (except tankers)	20	5	40
Hotelling (tankers)	20	100	60

Source: Entec UK Limited (2002), EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (2016)

이 연구는 부산 북항을 대상으로 2017년 1월 1일부터 12월 31일까지의 1년간 데이터를 이용하여 연구되었다. Fig. 1은 2017년 부산 북항에서의 각 선박별 입항횟수와 총톤수를 보여주고 있다(BPA, 2013).

EEA 가이드북에서는 선박을 ‘liquid bulk ship’, ‘dry bulk carrier’, ‘container ship’, ‘general cargo ship’, ‘RO-RO cargo ship’, ‘passenger ship’, ‘fishing’, ‘other’, ‘tug’의 9종류로 구분하고 있다. 부산항만공사(BPA, Busan Port Authority)의 항만물류정보시스템에서 수집한 정보는 ‘oil tanker’, ‘product tanker’, ‘chemical tanker’, ‘dry bulk carrier’, ‘cement carrier’, ‘log carrier’, ‘full-container ship’, ‘semi-container ship’, ‘general cargo ship’,

부산 북항에서의 선박 배출물질 현황과 선속제한에 의한 배출량 감소 연구

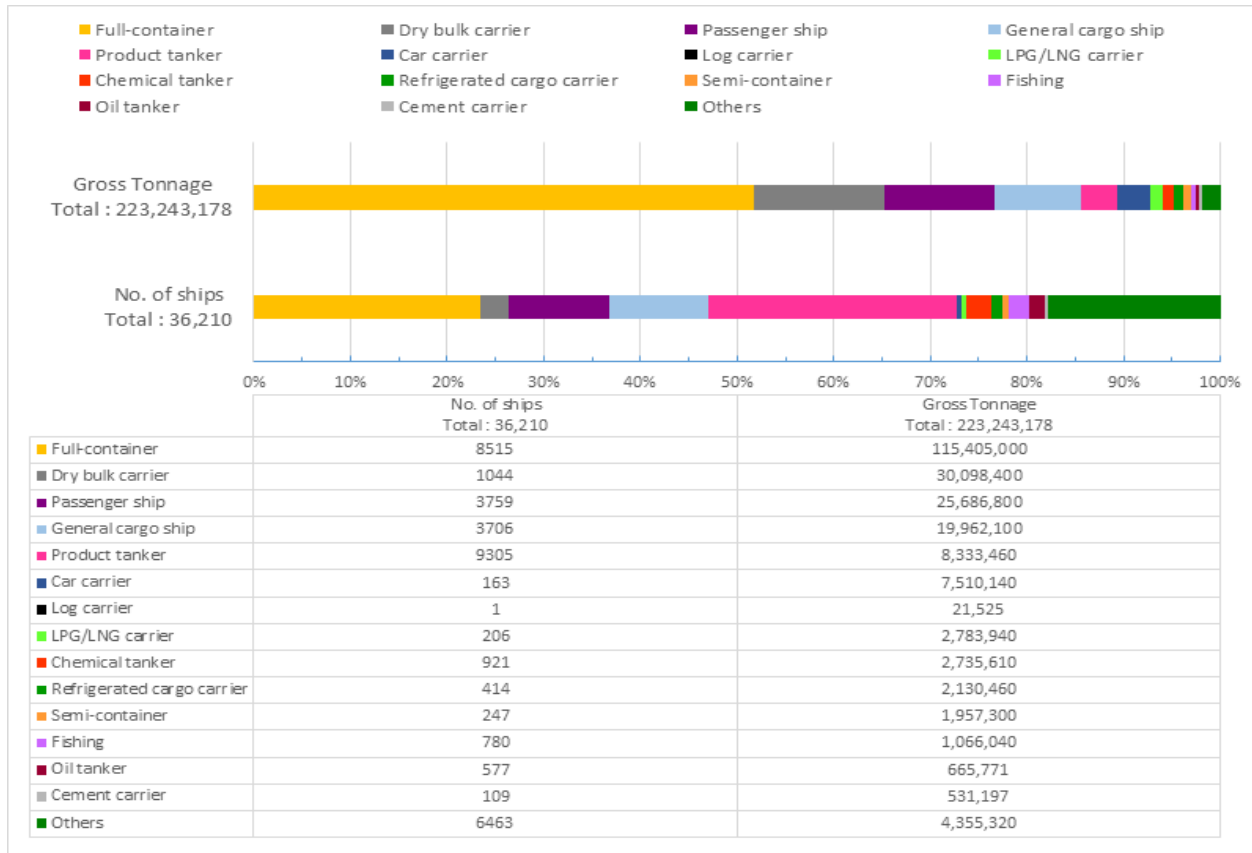


Fig. 1. Total gross-tonnage and number of ships entering Busan north port in 2017.

‘car carrier’, ‘passenger ship’, ‘fishing’, ‘LPG/LNG carrier’, ‘refrigerated cargo carrier’, ‘other’의 총 15종류로 구분한다.

Table 3은 BPA에서 수집한 15종류의 선박을 EEA 기준에 맞게 9가지 선박으로 재분류한 것을 나타낸다. BPA에서 제공되는 입항 선박에서 tug는 기타선에 포함된 것으로 판단되어 본 연구에서는 ‘other’와 ‘tug’는 제외하였고 ‘LPG/LNG carrier’, ‘refrigerated cargo carrier’도 제외하고 배출량을 계산하였다.

공간 범위는 부산 북항을 대상으로 하였다. 부산은 거주 인구 약 340만명으로 국내 도시 인구의 2위이자, 국내 최대 국제무역항이 있는 제1의 항구도시이다. 부산 북항은 중구, 동구, 남구, 영도구로 둘러싸여 약 51만명의 인구가 인근 지역에 거주하고 있으며(Statistics Korea, 1996), 자성대, 우암, 신감만, 감만, 신선대 5개의 컨테이너 부두와 국제크루즈터미널을 포함한 7개의 일반 부두로 이루어져 있다. 2020년까지 진행되는 북항재개발사업으로 주변 주거지구와 사업지구가 확장됨에 따라 인근 거주 및 유동인구가 더욱 증가할 것으로 예상된다(BPA, 2013).

Table 3. Rearrangement of ship's type

Ship's type in BPA	Ship's type in EEA	No. of ship	GT of ship
Oil tanker	Liquid bulk ship	10,803	11,734,841
Product tanker			
Chemical tanker			
Dry bulk carrier	Dry bulk carrier	1,154	30,651,122
Cement carrier			
Log carrier			
Full-container ship	Container ship	8,762	117,362,300
Semi-container ship			
General cargo ship	General cargo ship	3,706	19,962,100
Car carrier	RO-RO cargo ship	163	7,510,140
Passenger ship	Passenger ship	3,759	25,686,800
Fishing	Fishing	780	1,066,040
LPG/LNG carrier	Other	7,083	9,269,720
Refrigerated cargo carrier			
Other			

적용된 cruising 모드의 범위는 RSZ를 설정하여 운영하고 있는 Los Angeles/Long Beach 항만과 같이 20마일권역을 채택하여 수치계산 하였다. RSZ는 오륙도 방파제로부터 외해 방향의 20마일 범위로 선정하였으며, Fig. 2에 그 범위를 보여주고 있다. 오륙도 방파제부터 부두 집안까지는 manoeuvring 모드로 운행하였으며, 선종별 평균속력, 평균 집안시간, 평균 정박시간 등은 Table 1과 같이 EEA 가이드북 내용을 기준으로 하였다.

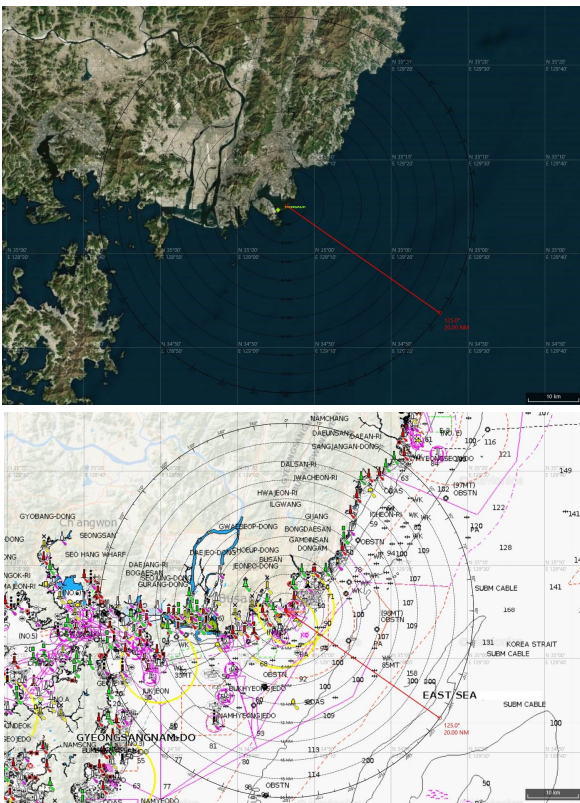


Fig. 2. 20NM from Busan north port.

(Source: Captured at Navtracker program made by NAVTOR)

식(1), (2), (3)에 따라 각 운항모드별 배출물질을 계산하고, cruising 모드와 manoeuvring 모드에서는 입항과 출항을 모두 고려하여야 하므로 결과값에 2배를 하여 최종 계산하였다.

### 3. 운항모드별 선박 배출물질 비교

Table 3에서 재정렬한 7가지 선박에 대해 cruising, manoeuvring, hotelling 상태일 때의 대기오염물질 배출량을 계산하였다. 연료에 포함된 황 함유율은 3.5%를 기준으로 하였다.

Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5는 선박 종류에 따른 cruising, manoeuvring, hotelling 모드일 때의 대기오염물질 배출량을 나타내고 있다.

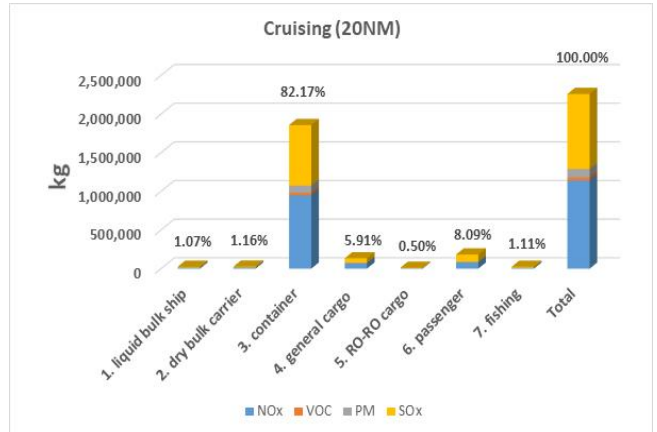


Fig. 3. Ship's emission in cruising mode.

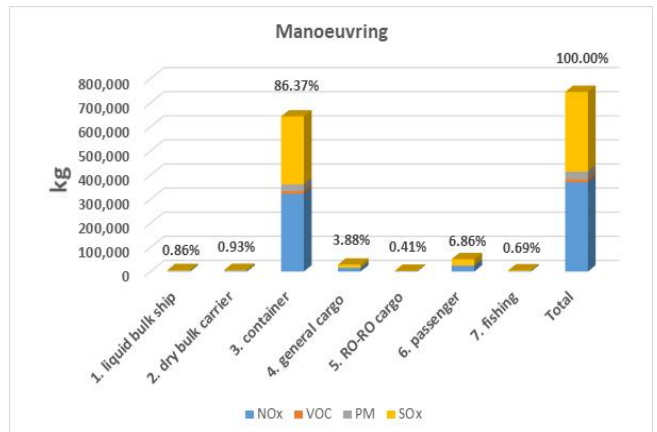


Fig. 4. Ship's emission in manoeuvring mode.

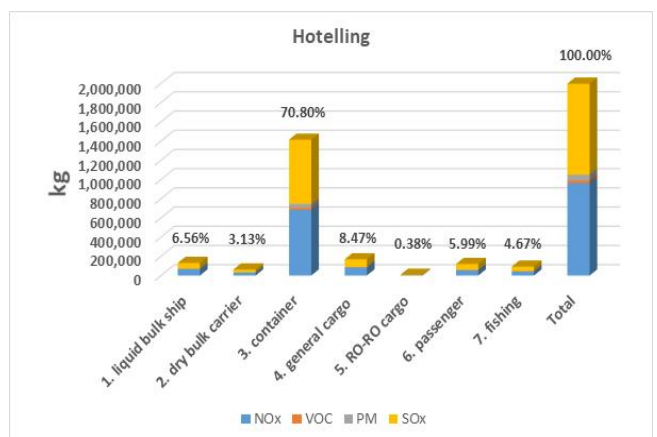


Fig. 5. Ship's emission in hotelling mode.

부산 북항에서의 선박 배출물질 현황과 선속제한에 의한 배출량 감소 연구

전체 배출물질 중 cruising 모드일 때는 컨테이너선, 여객선, 일반화물선 순으로 각각 82.2%, 8.1%, 5.9%를 차지하였고 manoeuvring 모드에서는 각각 86.4%, 6.9%, 3.9%를 차지하였다. hotelling 모드일 경우에는 컨테이너선, 일반화물선, 여객선 순으로 각각 70.8%, 8.5%, 6%를 차지하였다.

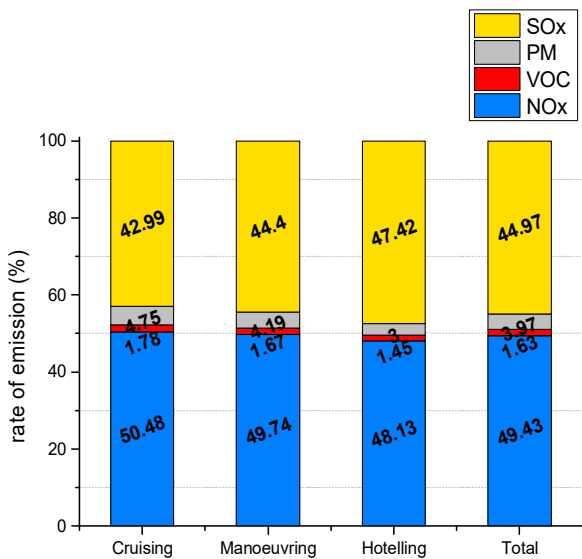
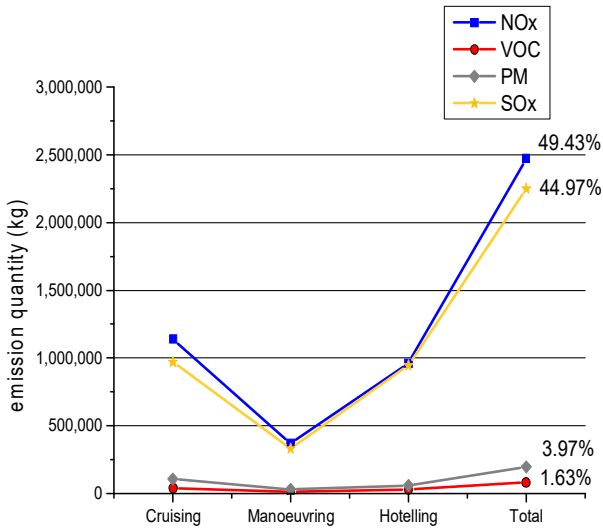


Fig. 6. Total quantity and rate of emission.

EEA 가이드북에 따라 선박의 주기관과 보조기관의 출력은 총톤수로 추정될 수 있다. 모든 운항 상태에서 컨테이너선의 배출물질이 가장 높은 것으로 계산되었는데 이는 Fig. 1과 같이 부산 북항의 입출항 선박 중 컨테이너선의 총톤수가 가장 크고 이로 인해 주기관 및 보조기관의 출력 값이 가

장 높기 때문에 배출량 총량도 가장 크게 계산된 것으로 추정된다.

모든 운항 상태에서 컨테이너선의 배출물질 비율이 가장 높았지만 cruising 모드 82.2%와 manoeuvring 모드 86.4%일 때와 비교하여 hotelling 모드일 때 70.8%로 배출량 비중이 낮아졌음을 알 수 있다. 일반화물선의 경우 cruising과 manoeuvring 모드일 때는 각각 5.9%, 3.9%로 배출물질 3위였지만 hotelling 모드일 때는 8.5%로 여객선의 6%보다 배출량이 더 많았다. Fig. 6은 cruising, manoeuvring, hotelling 모드일 때 모든 선박의 배출물질 총량을 나타낸 그래프이다.

선박의 배출물질 총합은 cruising, hotelling, manoeuvring 모드의 순으로 많았다. 전체 배출물질은 NOx, SOx, PM, VOC의 순으로 각각 49.4%, 45%, 4%, 1.6%로 계산되었다. NOx와 SOx의 배출 비중이 전체 94.4%로 현저히 높고, hotelling 모드일 때는 NOx 48.1%, SOx 47.4%로 둘의 차이가 0.7%에 불과하지만 cruising 모드에서는 NOx 50.5%, SOx 43%로 둘의 차이가 7.5%, manoeuvring 모드에서는 NOx 49.7%, SOx 44.4%로 둘의 차이가 5.3%로 hotelling 모드일 때보다 cruising과 manoeuvring 모드에서 NOx와 SOx의 배출비율 차이가 더 큰 것을 알 수 있다. PM은 cruising, manoeuvring, hotelling 모드에서 각각 4.8%, 4.2%, 3%이며 hotelling일 때 배출비율이 다소 낮아졌다. VOC는 cruising, hotelling, manoeuvring 모드에서 각각 1.8%, 1.7%, 1.5%로 배출비율의 변화가 상대적으로 적었다.

Fig. 7은 각 선종별 배출물질 비율을 나타낸 그래프이다. 부산 북항에서 가장 많은 배출물질을 발생시키는 선박은 컨테이너선 76.1%, 일반화물선 7.2%, 여객선 6.8% 순이다.

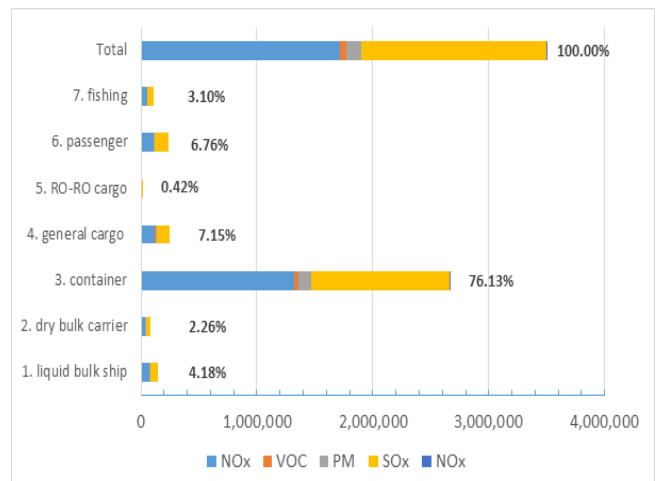


Fig. 7. Rate of total emission according to ship's type.

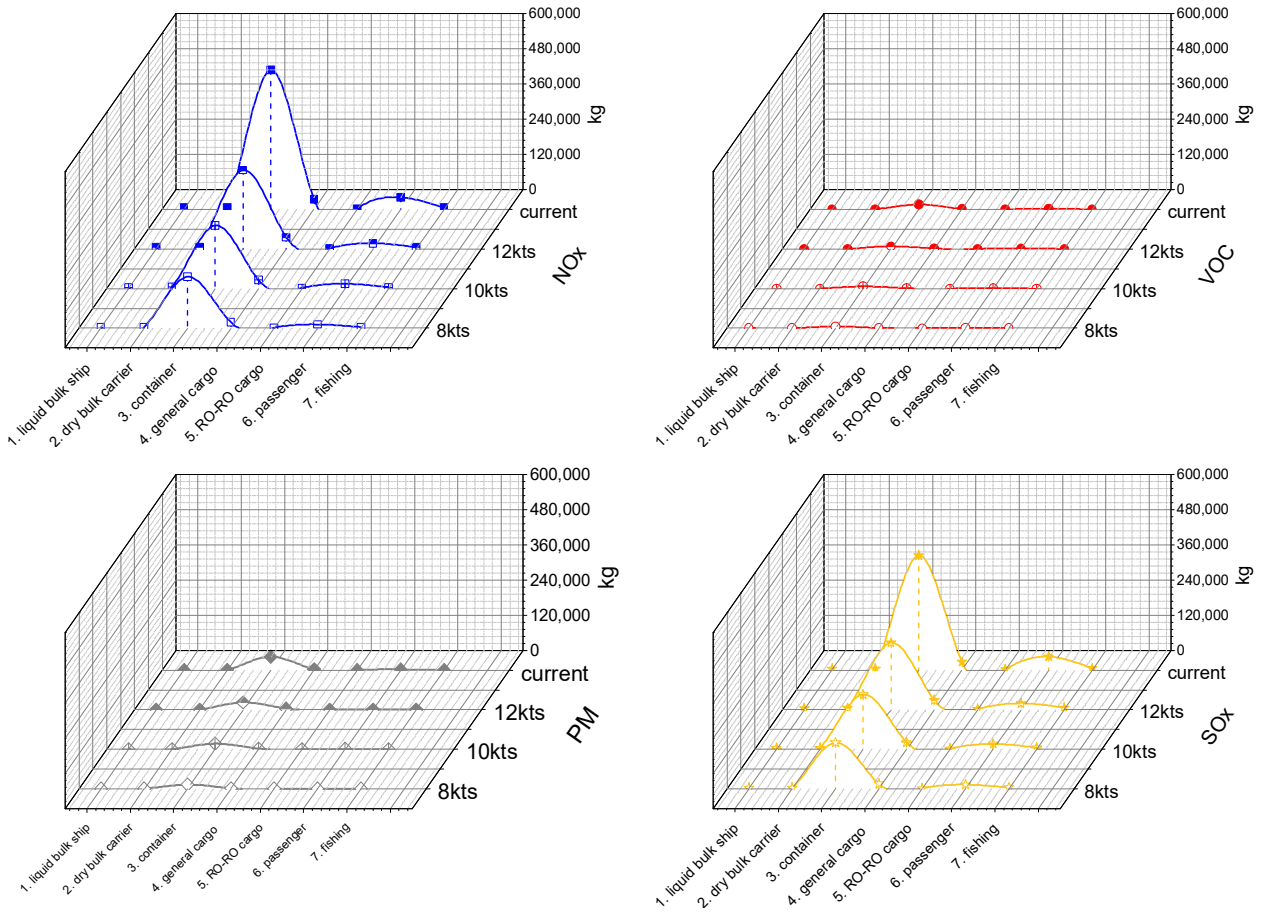


Fig. 8. Reduction of ship emission under RSZ.

#### 4. 선속제한에 의한 배출물질 감소 효과

Fig. 8은 속도제한이 없는 경우와 RSZ를 설정하여 각각 12 노트, 10노트, 8노트로 속도를 제한했을 때, cruising 모드에서의 배출물질을 NOx, VOC, PM, SOx 순으로 나타낸 것이다.

Fig. 9는 속도 제한에 따른 배출물질 감소율을 나타낸 그래프이다. NOx는 RSZ 내에서 선박의 속도를 12노트, 10노트, 8노트로 제한했을 때 각각 61%, 48.2%, 38.4%로 감소한다. 동일한 속도 제한에서 VOC는 각각 59.7%, 46.3%, 35.8%로 감소하고 PM은 58.2%, 44.1%, 32.7%로 감소한다. SOx는 각각 62.1%, 50.1%, 41.1%로 감소한다. 항만입구로부터 20마일의 속도제한구역을 설정했을 경우, 현재와 비교하여 12노트 속도제한 시 선박 배출물질은 약 40% 정도 감축되고, 10노트 제한 시 약 50%, 8노트 제한 시 약 60%의 감축효과가 있는 것으로 추정할 수 있다.

RSZ에서 선속을 감소시키면 식(2)에 의해서 선박의 운항 시간은 증가하지만 식(3)에서의 LF 값이 작아지는 효과가 더

크게 작용하기 때문에 전체 배출량은 감소하는 현상이 나타난다고 보여진다.

#### 5. 결론

2017년 부산 북항에 가장 많이 기항하는 선박은 기타선박을 제외하고는 액체화물선, 컨테이너선, 여객선, 일반화물선 순으로 10803, 8762, 3759, 3706척이었다. 총톤수를 기준으로 컨테이너선, 산적화물선, 여객선, 일반화물선 순으로 각각 117.4 MGT, 30.7 MGT, 25.7 MGT, 20.0 MGT이었다.

본 연구에서는 부산 북항을 대상으로 선박 운항모드를 ‘cruising’, ‘manoeuvring’, ‘hotelling’ 모드로 구분하여 2017년 1년간의 선박배출물질 현황에 대하여 조사·분석하였다. 오류도 방과제를 기준으로 외해쪽 20마일권역의 RSZ를 설정하여 cruising 모드를 적용하였으며, RSZ에서 선속 제한이 없을 경우와 선속을 12노트, 10노트, 8노트로 제한했을 경우, 각각의 선속에서 선종별 배출물질을 계산하였다.

부산 북항에서의 선박 배출물질 현황과 선속제한에 의한 배출량 감소 연구

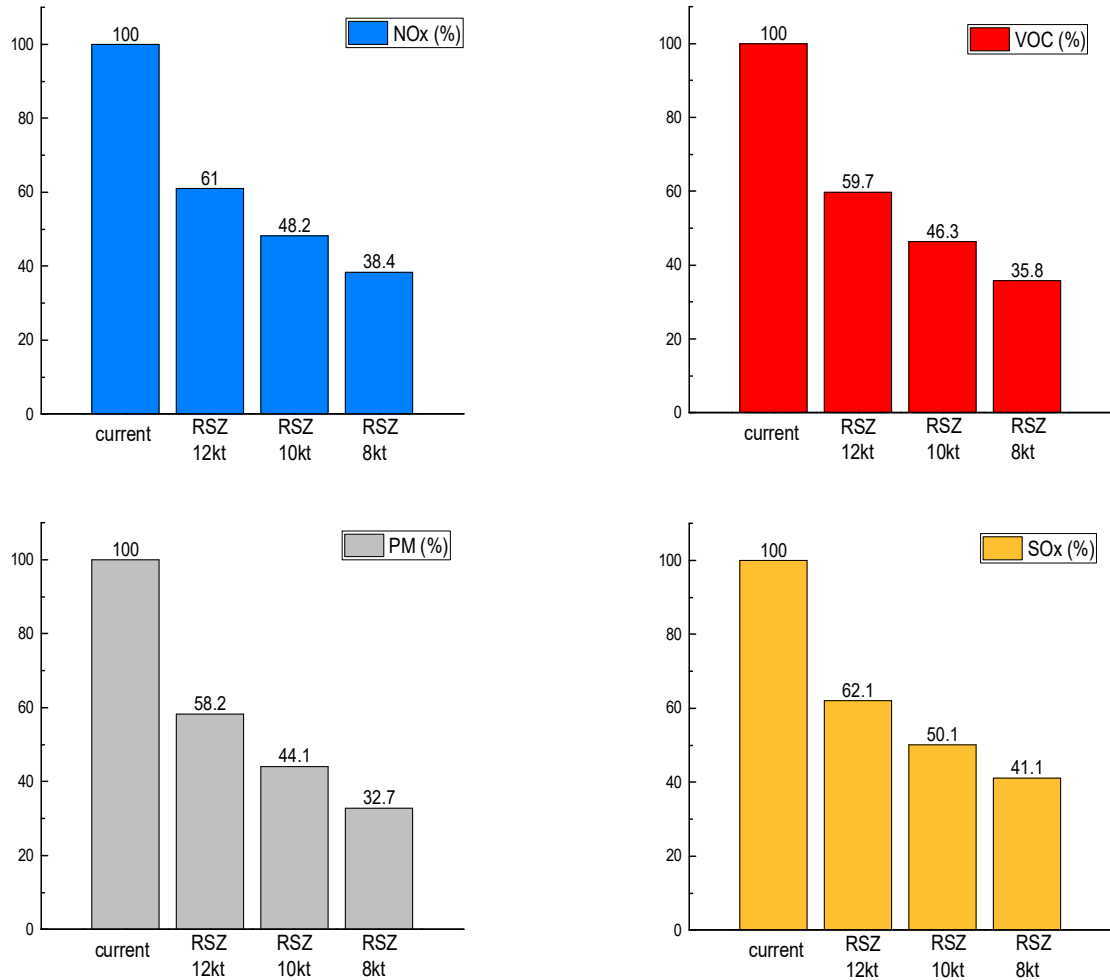


Fig. 9. Reduction rate of ship emission under RSZ.

선속 제한이 없을 경우, 선박 배출물질은 cruising 모드일 때 컨테이너선, 여객선, 일반화물선 순으로 각각 82.2%, 8.1%, 5.9%이었고, manoeuvring 모드일 때 동일한 순서로 각각 86.4%, 6.9%, 3.9%였다. Hotelling 모드일 때는 컨테이너선, 일반화물선, 여객선 순으로 각각 70.8%, 8.5%, 6%이었다. Cruising, manoeuvring 모드일 때는 일반화물선이 여객선보다 배출물질이 적었지만 hotelling 모드일 때는 여객선보다 많다. 컨테이너선은 hotelling 모드일 때 배출물질 비중이 70.8%로 cruising 82.2%와 manoeuvring 86.4%와 비교하여 배출율이 낮았다. Cruising, manoeuvring, hotelling 모든 항해 상태에서 가장 많은 배출물질을 발생시키는 선박은 컨테이너선 76.1%, 일반화물선 7.2%, 여객선 6.8%이었다.

전체 선박의 배출물질 중 각 배출물질이 차지하는 비율은 NOx, SOx, PM, VOC의 순으로 각각 49.4%, 45%, 4%, 1.6%이

었다. PM은 cruising, manoeuvring, hotelling 모드에서 각각 4.8%, 4.2%, 3%로 hotelling일 때 배출율이 다소 낮아졌다.

선박의 속도 제한이 없는 경우와 각각 12노트, 10노트, 8노트로 제한하였을 때의 배출물질 총량을 비교하면 선속 제한이 12노트일 경우 NOx 39%, VOC 40%, PM 42%, SOx 38%의 감소효과가 있었다. 선박 속도를 10노트로 제한하면 NOx 52%, VOC 54%, PM 56%, SOx 50%의 감소효과가 있었다. 선박의 속도를 8노트로 제한하면 NOx 62%, VOC 64%, PM 67%, SOx 59%의 감소효과가 있었다. 이와 같이 항행 모드(cruising mode)에서 제한속도로 인한 선박 배출물질 감소 효과가 매우 크게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다.

향후, 항만 근처에서의 선박 배출물질을 감소시키기 위해서는 선박의 속도를 규제하는 방안에 대해 적극적으로 고려할 필요가 있으며, 선박 배출물질에 의한 환경비용 및 운항



비용과의 상호 연관성 등에 관한 연구도 지속되어야 할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는, 먼저 연구된 선종별 선박 속도와 정박시간의 보편적인 평균 수치를 적용하였으나, 앞으로는 이러한 한계를 보완하기 위해, 실제 항만의 선박 활동도를 조사·적용하여 보다 정량적인 배출물질 양을 산정하는 연구를 수행할 필요가 있다.

## 후 기

본 연구는 2016년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행되었습니다. (과제번호 2011-0025046)

## References

- [1] Ahn, Y. S. and K. Y. Lee(2019), The urgency of readjusting the port air pollution control system for the implementation of the special act, Korea Maritime Institute Weekly Report Vol. 111, p. 3.
- [2] Berechman, J. and P. H. Tseng(2012), Estimating the environmental costs of port related emissions: The case of Kaohsiung, Transportation Research Part D, Vol. 17, pp. 35-38.
- [3] Busan Port Authority(2013), BPA-NET, <http://www.bpa-net.com/resources/bpa/swf/FlexMain.jsp?type=mmnetstats> (2019.04.26.).
- [4] Chang, C. C. and C. W. Jhang(2016), Reducing speed and fuel transfer of the green flag incentive program in kaohsiung port taiwan, Transportation Research Part D, Vol. 46, pp. 1-10.
- [5] Chang, Y. T., Y. H. Roh and H. S. Park(2014), Assessing noxious gases of vessel operations in a potential emission control area, Transportation Research Part D, Vol. 28, pp. 91-97.
- [6] Chen, D., Y. Zhao, P. Nelson, Y. Li, X. Wang, Y. Zhou, J. Lang and X. Guo(2016), Estimating ship emissions based on AIS data for port of Tianjin, China, Atmospheric Environment, Vol. 145, pp. 10-18.
- [7] EEA(2016), EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, European Environment Agency.
- [8] Entec UK Limited(2002), European Commission, Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community.
- [9] IMO(2018), MEPC.1/Circ.778/Rev.3, List of special areas, Emission Control Areas and Particularly Sensitive Sea Area, p. 1.
- [10] Kim, J. J. and K. W. Shin(2014), Estimating Greenhouse Gas Emissions from Marine Vessels in the Port of Busan using PORT-MIS and Vessel Specification Databases, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, p. 1254.
- [11] Lee, H. C., J. H. Hwang, H. S. Park and H. Y. Ryu(2016), A study on the systematic management of Air pollutants from ships in Korea, Korea Maritime Institute, pp. 17-54.
- [12] Lee, M. W. and H. S. Lee(2016), Estimation of ship emission and environmental costs : focusing on port busan, Journal of Korea Port Economic Association, Vol. 32, No. 4, pp. 15-28.
- [13] McArthur, D. P. and L. Osland(2013), Ships in a city harbour: An economic valuation of atmospheric emissions, Transportation Research Part D, Vol. 36, pp. 10-17.
- [14] Park, D. Y., C. W. Hwang, C. H. Jeong and Z. H. Shon(2011), Estimate of ships emission in busan port during 2009 based on activity, Journal of the Environmental Science, Vol. 20, No. 5, pp. 599-610.
- [15] Statistics Korea(1996), KOSIS, [http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1B040A3&checkFlag=N](http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1B040A3&checkFlag=N) (2019.05.08.).
- [16] Tzannatos, E.(2010), Ship emissions and their externalities for Greece, Atmospheric Environment, Vol. 44, pp. 2194-2202.

Received : 2019. 05. 27.

Revised : 2019. 07. 08. (1st)

: 2019. 08. 05. (2nd)

Accepted : 2019. 08. 28.