

인천항 육상하역 작업에 따른 온실가스 및 유해가스 발생 추정*

노영훈** · 장영태***

Assessing Greenhouse and Noxious Gas Emissions from Stevedoring Work at the Port of Incheon

Roh, Younghoon** · Chang, Young-Tae***

Abstract

This study estimates greenhouse and noxious gas emissions caused by cargo-handling equipment at the Port of Incheon in 2013 by applying the NONROAD Model (U.S. EPA). The port emitted 838.4 tons of NOx and 82,747 tons of CO₂. The estimates are 2.4 times higher for NOx and 1.3 times higher for CO₂ than those of the Port of Los Angeles. Emissions from general cargo-handling equipment are five times more than those from container cargo-handling equipment. Among the three ports comprising the Port of Incheon, the emissions at the North Port, which handles raw materials for industry are relatively higher than those at the other ports. Compared to the study conducted by Chang et al. (2013, 2014), this study finds that CO₂ and NOx emissions per cargo-handling equipment are 10 times higher than the corresponding amounts per ship.

Key words: Green House Gases, Noxious Gases, Port of Incheon

▷ 논문접수: 2015. 11. 12. ▷ 심사완료: 2015. 12. 14. ▷ 게재확정: 2015. 12. 30.

* 이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

** 인하대학교 물류전문대학원 석사, 제1저자, vans1005@hanmail.net

*** 인하대학교 물류전문대학원 교수, 교신저자, ytchang@inha.ac.kr

I. 서론

우리나라는 1990년 대비 2010년 온실가스 배출량 증가율이 128%(OECD 평균 7%)로 OECD 회원국 중에 1위를 차지할 정도로 환경오염 문제에 봉착하고 있다. 가파른 성장으로 경제활동 규모가 커짐과 동시에 환경오염도 빠른 속도로 진행되고 있기에 이에 따른 상세한 분석이 필요한 실정이다. 자원이 부족하고 절대적으로 무역 의존도가 높은 우리나라는 전체 무역량의 99%가 항만을 통해서 들어온다. 우리나라 전체 물동량의 약 11%를 차지하는 인천항은 대한민국 인구의 49%, 국내 GDP의 48.7%를 배후에 둔 수도권 최대의 경제권역 중심항으로 7개의 국가산업단지 외에 100여개의 지방산업단지를 보유하고 있다. 한·중 FTA로 인해 중국과의 교류가 활발해지고, 인천 신항 개장에 따라 물동량 증가가 예상되는 인천항에서의 대기오염 현황 파악은 매우 중요한 연구주제이다.

본 연구는 항만하역장비로부터 발생하는 유해가스 및 온실가스 배출량을 산정하여 인천항의 대기오염물질 배출 수준이 어느 정도인지를 파악하고 현재 각 항구별로 처리하는 화물에 따라 분업화된 인천항의 각 부두별로 어떠한 배출량 차이를 보이는지 알아보는데 목적이 있다.

인천항 내에서 하역작업이 이루어질 때 사용되는 항만하역장비들의 유해가스 및 온실가스 발생량을 산정하기 위해 먼저 하역업체들로부터 각 하역장비에 대한 제원을 조사한 후, 하역장비의 제원 및 사용 현황을 미국 EPA의 NONROAD Model에 적용하여 배출계수를 구하도록 한다. 또한 인천항의 세부 항구별로 배출량을 산정하여 각 항이 처리하는 화물별로 대기오염물질 발생량의 차이를 분석하도록 한다. 본 연구를 통해 현재 인천항의 하역작업으로 인한 대기오염실태를 파악하고 저감 가능한 방안을 모색함으로써 향후 인천항을 포함한 국내 항만에서 하역장비에 대한 대기오염물질

배출 규제를 마련하는데 기여하고자 한다.

II. 문헌연구

일반적으로 디젤 엔진으로부터 발생하는 대표적인 대기오염물질에는 SOx, NOx, 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOC), 미세먼지(Particulate Matter, PM) 등이 있다. 디젤 엔진의 배기가스는 폐암, 천식 등 폐 질환, 기침이나 가래 등의 기관지 질환, 알레르기, 호흡 곤란 등 많은 질병을 유발함으로써 어린 아이들이나 노인들에게는 특히 치명적이다. 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에 따르면 대기오염의 주범인 SOx와 NOx는 선박으로부터 발생하는 배출량이 지구 전체에서 배출되는 양의 각각 7%, 12%를 차지하는 것으로 나타나 배출 규제가 시급한 실정이다. 이 외에도 항만 주변 지역에 사는 주민들의 민원이 증가하고 있어 육상 부문과 같이 대기오염물질 배출 규제가 필요하다. 이와 관련하여 대기오염물질 배출량 산정과 이에 대한 저감 대책에 관한 국내·외 기존 선행연구들을 살펴본다.

1. 국내 선행연구

최근 들어 국제 교역이 활발해짐에 따라 항만에 서의 화물 처리량이 증가하고 우리나라 전체 수·출입 화물의 99% 이상이 항만을 통해 운송되고 있다. 이와 더불어 항만은 지속적으로 개발되고 확장되고 있으며, 선박의 크기는 점점 더 커져가는 추세이다. 우리는 항만에서의 화물 처리량 증가로 인해 발생하는 지구 온난화 현상과 같은 환경오염 문제에 직면해 있다.

그동안 진행되었던 국내연구들을 살펴보면, 주로 환경친화적인 항만 관리 방안이나 제도에 관한 연구들이 대부분이었다. 최동현 외(2001)는 인천항 사례연구를 통해 항만의 계획, 건설, 운영 단계에

서의 환경친화적인 항만환경계획 수립 방안을 제시하였고, 정봉민 외(2004)는 미국 항만을 대상으로 컨테이너 항만 개발에 따른 환경 문제의 외부 비용을 추정하는 경제적인 평가 방법을 제시하였다. 송계의·한철환(2007)은 항만에서 발생하는 환경오염의 문제점과 국제적 동향을 파악하고, 부산항의 사례 연구를 통해 항만 운용 측면에서 선박, 하역장비, 트레일러, 기차로 구분하여 환경오염 저감 방안을 제시하였다.

조경두 외(2009)는 선진국의 주요 항만에서 최근 시행하고 있는 기후변화 대응과 지역 환경보전을 위해 대기환경개선을 위한 현황 조사와 제도 개선을 위한 노력이 다각적으로 진행되는 등의 국제적 동향을 살펴보고, 인천항에서 발생하는 다양한 선박 및 항만활동 등에 의한 대기오염물질 배출량 산정과 다양한 선박 및 항만 활동별로 대기오염 배출량을 산정하고 배출강도가 높은 선박 및 항만활동을 대상으로 보다 실효성 있는 관리 방안을 제시하였다. 윤종상(2010), 한세현 외(2011)는 인천항 사례연구를 통해 선박, 항만 내 차량이동, 항만하역장비 등 항만시설 전반에서 배출되는 대기오염물질 발생량을 산정하고, 항만하역장비에 대해서는 전국 항만에 대하여 발생량을 추정·비교하였다.

이들은 대부분 환경친화적인 항만 운영을 위한 제도적인 보완점을 제시하거나 주로 컨테이너 항만을 대상으로 환경오염 저감 방안을 제시하였다. 이러한 환경오염 저감 방안이나 친환경적인 항만 운영 방안은 실효성이 떨어질 뿐 아니라, 매우 다양한 화물을 처리하는 인천항에서 어느 항구가 오염이 가장 심각한지 혹은 처리화물에 따라 어떠한 차이가 있는지를 보여주지 못한다. 이에 본 연구는 인천항을 각 항구별로 구분하여 온실가스 및 대기오염물질 발생량을 추정하고, 항만하역장비에 대해 친환경적인 기술을 적용할 시 얼마만큼의 저감 효과가 있는지를 파악함으로써 기존 선행연구

보다 구체적인 대응 방향을 제시하고자 한다.

2. 해외 선행연구

해외 선행연구를 살펴보면 온실가스 및 대기오염물질 배출 관련하여 국내에서보다 많은 연구가 진행되었다.

먼저 온실가스에 관한 최근 연구를 살펴보면 Baldasano et al.(1999)은 1987년부터 1994년까지 스페인 바르셀로나에서 발생한 온실가스 배출량을 추정하였는데 인간의 활동으로 인해 발생하는 인위적 오염원(Anthropogenic source)을 4가지로 분류하였다. 대표적인 온실가스인 CO₂를 운송수단, 산업용, 상업용, 쓰레기 소각 등 각 분야별로 나누어 배출량을 추정한 후 세계 주요 도시들과 비교·분석하였다. CO₂ 발생량이 전력 생산량과 비례하는 모습을 보이기 때문에 산업화된 도시에서의 CO₂ 발생량이 그렇지 못한 도시에 비해 상대적으로 높다는 결론을 얻었다. 결과적으로 원자력 발전소나 수력 발전소로부터 생산되는 전력량이 많으면 많을수록 CO₂ 발생량도 증가하였다.

Browning et al(2006)은 항만에서 발생하는 이동오염원(mobile emission sources)을 원양선(Ocean Going Vessel, OGV)과 하버크래프트, 화물하역장비(Cargo Handling Equipment, CHE)와 육상 지역 이동오염원으로 구분하여 각 부문의 배출량 분석 방법을 정리하였다. 배출계수(Emission Factor, EF)와 부하율(Load Factor, LF)의 갱신과 상대적으로 부족한 선박 보조엔진 크기에 관한 정보가 업데이트되어야 한다고 제안하였다.

Kennedy et al.(2010)은 세계 주요 10개 도시(혹은 지역)를 대상으로 산업별로 발생하는 온실가스 배출량 추정에 관한 방법론을 제시하였다. 온실가스 추정량을 각 도시별로 지역(Local) 유통 판매량, 지방(Region) 유통 판매량 운송수단 이동거리를 토대로 추정하였고, 추정량에 대한 정확도를 높이기 위해 전력 손실(Electricity line losses), 항

공 및 해양 이동오염원, 폐기물에 따른 배출 및 온실가스의 생애주기를 고려하였다.

Villalba et al.(2011)은 처리화물당, 승객당, 화물 가치당 발생하는 온실가스 배출량을 추정하기 위해 2008년 한 해 동안 스페인 바르셀로나 항만을 기준으로 조사하였다. 배출량 중 절반은 선박의 이동 등 해상 부문에서, 나머지 절반은 항구 내에서 이루어지는 차량 이동, 하역 작업 등 육상 부문에서 발생하였다. 이를 토대로 해상 부문 및 육상 부문에 대한 온실가스 절감 대책을 마련하고자 하였다.

Chang et al.(2013)은 인천항을 출입하는 선박들을 선종별로 분류하고 입출항 과정을 구간별로 나누어 각 구간별로 사용되는 엔진 종류와 선박의 연료 소비량, 설계 속도 및 운항 속도, 이동거리 등을 고려하여 인천항만에서 선박으로부터 발생하는 온실가스 배출량을 추정하였다.

Jalkanen et al.(2013)은 유럽 발트해에서 2006년과 2009년에 발생한 유해가스 발생량을 추정하고 증감 수준을 비교하기 위해 선박 자동식별장치(Auto Identification System, AIS)를 기준으로 조사하였다. 배출제한구역에서는 연료의 황 함량 이 규제 수준 이하인 저황유를 사용해야 한다. 2006년 5월 시행된 배출제한구역(Emission Control Area, ECA) 규제로 인해 2009년에는 2006년에 비해 황산화물(SOx) 발생량이 14% 감소하였다. 발트해를 지나는 선박의 이동뿐만 아니라 선박의 기국(Flag State), 종류, 중량톤수 및 계절변화에 따른 증감 정도를 비교하였다.

Chang et al.(2014)은 인천항 출입 선박들의 유해가스(SOx, NOx) 및 미세먼지(PM) 발생량을 각 선박별 제원과 연료 사용량을 토대로 추정하였고, 정박지에서 인천항에 입항 후 출항하여 정박지를 나갈 때까지를 선박이 이동하는 구간별로 구분하였다. 추정된 총 발생량 추정 후 인천항에 배출제한구역(ECA)을 설정하였을 경우 발생하는 황 산화

물(SOx)이 감소한다는 것을 확인하였고, 속도제한구역(Reduced Speed Zone, RSZ)을 설정하고 저속 운행시 30% 이상의 유해가스 및 미세먼지가 감소한다는 것을 확인하여 항만의 배출량 감소에 배출제한구역 및 속도제한구역 시행이 효과적이라는 것을 입증하였다.

선행 연구들은 주로 세계 주요도시 혹은 항만을 대상으로 각 오염원을 파악하여 온실가스 및 유해가스 발생량을 추정하고 그에 따른 저감 효과를 입증하여 저감 대책을 세우고자 하였다. 하지만 이는 도시 전체에서의 발생량을 추정하거나 항만의 경우, 선박의 이동에 따른 발생량만을 추정함으로써 항만에서 무시할 수 없는 화물의 이동에 따른 오염물질 발생을 고려하지 않았다. 이에 본 연구에서는 화물의 처리에 따라 발생하는 온실가스 및 유해가스의 발생량을 추정하여 항만에서의 주요 발생원인 선박에 치중되어 있던 기존 연구를 보완하고자 한다.

3. 기존 연구와의 차별성

기존 연구들에서는 주로 선박의 오염물질 발생에 초점을 맞추거나 친환경적인 항만 운영 정책을 제시하였다. 조경두·김정숙(2009), 윤송상(2010), 한세현·윤송상·김우중·서운호·정용원(2011)는 이러한 시각에서 벗어나 선박, 항만, 항만 내 차량이동, 항만하역장비 등 항만시설 전역에서 배출되는 대기오염물질 배출량을 산정하고, 국내 주요항들과 미국 LA항, LB항과 비교·분석하였다.

현재 인천항은 처리화물의 특성에 따라 항구별 분업화가 이루어지고 있다. 예를 들어 내항부두는 자동차, 컨테이너, 양곡, 잡화 등 다양한 화물을 처리하고 있고, 컨테이너 전용 터미널이 위치한 남항부두는 컨테이너 화물을 처리하는 컨테이너 전용항으로, 북항부두는 하역작업으로 인한 대기오염물질이 상대적으로 더 많이 배출되는 원목, 고철, 사료용 부원료 등 산업원자재 화물을 취급하

고 있다. 이처럼 대기오염물질을 가장 많이 발생시키고 인천항 주변 지역 환경오염 관련 민원의 주범인 산업원자재 화물의 처리를 내항부두에서 북항부두로 이전시킴으로써 항구별 처리화물별로 다른 특성을 갖게 되었다. 이에 따라 본 연구에서는 대기오염물질 발생량이 항구별로 어떠한 차이가 있는지에 대해 초점을 맞추었다.

기존 연구(윤중상(2010), 한세현 외(2011))에서는 대기오염물질 배출량 산정에 있어 항만하역장비 제원들의 평균값을 기준으로 추정하였고, 대기오염물질의 배출계수 산출시 EPA의 NONROAD Model을 적용하였는데 모든 하역장비를 Tier 2 규제 수준으로 일괄 적용하였으며, 엔진출력 비율(LF) 적용시 CARB OFFROAD Model의 값을 적용함으로써 두 모델 간 다른 인수가 반영되었다. 또 다른 기존 연구(조경두 외(2009))에서는 하역업체가 보유하고 있는 장비의 대기오염물질 발생량을 산정한 후 실제로 하역 작업시 하역업체가 주로 사용하는 임대 장비를 75%로 일괄 적용하였다.

이에 본 연구에서는 기존 연구와는 다르게 하역업체가 보유하고 있는 장비들의 제원(종류, 연식, 엔진출력, 엔진 출력비율)에 따라 각각 배출계수를 산출하고 배출계수 산출시 하역장비의 연식과 엔진출력 수에 따라 대기오염 규제를 단계(Tier)별로 구분하여 개별 적용한다. 장비별 엔진출력 비율 적용시에도 CARB OFFROAD Model이 아닌 EPA NONROAD Model의 값을 적용함으로써 배출량 산정에 대한 정확도를 높이하고자 한다. 또한 하역업체가 임대해서 사용하는 장비에 대해서는 항구별(내항부두, 남항부두, 북항부두)로 나누어 대표적인 업체의 임대장비 사용 현황 자료를 파악하여 임대장비 가동 시간을 기준으로 배출량을 산정하여 처리하는 화물의 특성에 따라 어떠한 차이가 있는지 확인해본다. 마지막으로 기존 연구에서는 유해가스(SOx, NOx, HC, CO)와 미세먼지(PM)의 발생량만 산정하였지만, 본 연구에서는 전 세계적

으로 문제가 되고 있는 지구 온난화의 주범인 온실가스 중 디젤 엔진의 영향을 많이 받는 이산화탄소(CO2)의 발생량을 추정해본다.

III. 배출량 산정방법론

본 연구에서는 항만하역장비에서 배출되는 수많은 대기오염물질과 유해물질 중에서 유해가스와 온실가스의 배출량을 산정한다. 대표적인 유해가스에는 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx) 등이 있고, 온실가스에는 이산화탄소(CO2), 메탄(CH4) 등이 있다. 2009년 발표된 인천발전연구원의 보고서에 따르면 유해가스 중 디젤 연료의 황 함량의 영향을 가장 많이 받는 SOx의 경우 인천항 전체에서 발생하는 배출량 중에서 항만하역장비에 의한 배출은 0.0005%로 매우 적고, 약 99.4%가 선박의 디젤 엔진으로부터 발생된다. 이는 2007년 이후로 항만하역장비와 차량의 연료가 초저황유(대기환경보전법 시행기준 30ppm)를 사용하도록 규제화되었기 때문인 것으로 보인다. CH4의 주요 원인은 쓰레기 매립, 탄광, 가축, 퇴비 시스템과 천연가스의 생산으로 항만하역장비 사용과는 연관성이 낮다. 이에 따라 본 연구에서는 인천항 대기오염물질 총 배출량과 비교하여 항만하역장비의 주된 영향을 받지 않는 SOx와 CH4는 연구 대상에서 제외하고, NOx와 CO2의 배출량을 추정하기로 한다.

EPA의 NONROAD Model과 CARB의 OFFROAD Model은 거의 동일하지만 항만하역장비의 연식에 따라 규제 수준을 단계(Tier)별로 다르게 반영한 EPA의 NONROAD Model을 참고하여 배출량을 산정하였다.

$$\text{Emissions} = \text{Pop} * \text{Power} * \text{EF} * \text{LF} * \text{Act} * \text{CF} \quad (1)$$

Pop = 하역장비 대수

Power = 하역장비의 엔진출력(hp)

EF = 엔진출력에 따른 배출계수(g/hp-hr)
 LF = 엔진 출력비율(fraction of available power)
 Act = 하역장비 가동시간(hr/yr)
 CF = 배출저감계수

인천항 항만하역장비 제원 조사 결과, 디젤을 사용하는 일부 업체의 굴삭기의 경우 매연저감장치(Diesel Particulate Filter, DPF)가 설치되어 있었으나 이는 PM의 배출량을 감소시켜주는 장치로 NOx나 CO2의 저감 효과는 없기 때문에 배출계수(CF)는 적용하지 않았다.

1. 배출계수 산정

1) NOx 배출계수 산정

$$EF_{NOx} = EF_{ss} * TAF * DF \quad (2)$$

EF_{NOx} = 보정 후의 배출계수(g/hp-hr)
 EF_{ss} = 정상상태의 배출계수(g/hp-hr)
 TAF = 과도운전 보정계수
 DF = 열화계수

배출계수를 산정하기 위해서는 정상상태의 배출계수(Steady State Emission Factor, EF_{ss})를 기준으로 과도운전 보정계수(Transient Adjustment Factor, TAF)와 열화계수(Deterioration Factor, DF)의 값을 고려하여 보정이 필요하다. 과도운전 보정계수(TAF)는 정상상태와 과도운전 상태에서의 비율로 실제로 하역 작업이 이루어질 때의 장비 가동 특성을 고려한 값이다. 열화계수(DF)는 하역장비의 이용 시간을 고려한 값으로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$DF = 1 + A * \frac{(Cumulative\ hours * LF)}{Median\ life\ at\ full\ load, hours} \quad (3)$$

A = Relative Deterioration Factor

A는 디젤 엔진의 상대적 열화계수로 하역장비의 연식에 따라 단계(Tier)별로 분류되어 있다.

2) CO2 배출계수 산정

$$EF_{BSFC} = EF_{ss} * TAF \quad (4)$$

$$EF_{HC} = EF_{ss} * TAF * DF \quad (5)$$

$$EF_{CO2} = (EF_{BSFC} * 453.6 - EF_{HC}) * 0.87 * (44/12) \quad (6)$$

CO2의 배출계수는 연료소비계수(Brake Specific Fuel Consumption, BSFC)와 HC의 배출계수를 토대로 구할 수 있다. 위 식에서 453.6은 EF_{BSFC}의 기준 단위인 lb(파운드)를 g(그램)으로 변환하기 위한 값이고, 0.87은 디젤 연료에서 탄소가 차지하는 질량비이다. 44와 12는 이산화탄소(CO2)와 탄소(C)의 질량 값이다.

2. 항만하역장비 배출량 추정

하역장비로부터 발생하는 질소산화물과 이산화탄소를 산정하기 위해 위에서 구한 배출계수를 아래 식에 적용하여 산출할 수 있다.

1) 하역장비의 NOx 배출량 추정

$$CHE\ NOx\ Emissions = Pop * Power * EF_{NOx} * LF * Act \quad (7)$$

2) 하역장비의 CO2 배출량 추정

$$CHE\ CO2\ Emissions = Pop * Power * EF_{CO2} * LF * Act \quad (8)$$

IV. 수집자료 및 분석결과

1. 항만하역장비 제원 조사 및 적용 기준

본 연구에서는 2013년도를 기준으로 하여 인천항에서 사용된 항만하역장비를 연구대상으로 하였

다. 인천항의 항만하역장비 사용 현황은 한국항만물류협회의 발간자료인 '2014년 장비현황(2013년 말일 기준 자료)'을 참고하였으며, 항만하역장비를 보유하고 있는 인천항만물류협회 소속 24개 회원을 대상으로 이메일, 전화, 팩스, 현장 인터뷰 등을 통해 자료 조사를 수행하였다. 인천항만물류협회 공문을 통해 자료를 요청하였고, 24개 회사 중 2개 회원사는 하역장비 보유 현황 자료를 공개하지 않아 22개 하역업체만을 대상으로 하역장비 현황을 파악하였다. 자료를 공개하지 않은 2개 회원사 및 항만하역장비를 보유하고 있지 않거나 위탁 운영을 맡고 있는 업체의 경우도 질소산화물과 이산화탄소 발생량 산정 시에는 해당업체의 하역 물동량을 기준으로 계산하여 반영하였다.

한국항만물류협회의 장비 현황 자료에 기재되어 있는 기중기(5종), 하역장비(10종), 컨테이너장비(7종)를 항만하역장비 현황 조사에 포함하였고, 실제로 매각 등의 이유로 현재 하역업체가 보유하고 있지 않거나 하역장비 보유 현황 자료를 공개하지 않은 두 하역업체의 자료를 제외하고 기중기 3종, 하역장비 6종, 컨테이너장비 3종을 대상으로 연구를 진행하였다. 배출량 산정 대상인 총 12종의 항만하역장비를 미국 환경청(Environmental Protection Agency, EPA)의 NONROAD Model의 항만 대기오염물질 배출량 산정 방법에 근거하여 크레인(Crane), 로우더류(Loader), 지게차(Fork Lift, F/L), 굴삭기(Excavator), 고무 타이어식 갠트리 크레인

(RTGC), 컨테이너 취급 장비(Container Handling Equipment, CtHE) 등 6종으로 분류하였다. 표 1은 본 연구에서 하역장비를 어떻게 구분하여 적용하였는지와 NONROAD Model에서 사용되는 장비를 구분할 수 있는 자료분류코드인 SCC Code (Source Classification Code)를 보여준다.

일반적으로 인천항의 항만하역장비는 디젤 연료 혹은 전기를 동력으로 사용하고 있으며, 디젤 연료를 사용하는 항만하역장비의 경우 비도로 이동오염원과 동일한 방법으로 대기오염물질 배출량을 산정할 수 있다.

비도로 이동오염원인 항만하역장비의 대기오염물질 배출량을 산정하기 위해 미국 EPA의 NONROAD Model과 캘리포니아 대기보전국(California Air Resources Board, CARB)의 OFFROAD Model을 고려하였다. 하역업체로부터 수집한 데이터는 하역장비 대수, 연식, 용량(엔진출력), 2013년 총장비가동시간, 사용 연료의 종류 및 사용량, 사용 위치, 매연저감장치 설치 여부 등으로 NONROAD Model과 OFFROAD Model에 적용시킬 수 있도록 하역장비의 제원을 파악하였다. 한국항만물류협회에 공시되어 있는 하역장비대수와는 차이가 있었지만 하역업체들로부터 회신 받은 자료를 취합하여 195대의 하역장비 중 전기를 사용하거나 디젤 엔진을 사용하지 않는 장비를 제외하고 124대의 제원을 토대로 본 연구를 진행하였다. 로더류에는 로그로다, 휠로다, 페이로다, 기타 로더류를 포함

표 1. 항만하역장비 분류 및 적용 기준

본연구	적용 범위	NONROAD Model	SCC Code
Crane	육상이동식크레인 / B.T.C / L.L.C / O.H.C	Crane	2270002045
Loader	로그로다 / 휠로다/ 페이로다	Rubber Tire Loader	2270002060
F/L	지게차	Fork Lift	2270003020
Excavator	포크레인	Excavator	2270002036
RTGC	갠트리크레인	Other Material Handling Equipment	2270003050
CtHE	탑핸들러 / 리치스택커	Other Industrial Equipment	2270003040

표 2. 인천항 항만하역장비 현황 (2013년)

인천항	Crane	Loader	F/L	Excavator	RTGC	CtHE	
대수	23	28	25	28	3	17	
연식 (연도)	최소	1975	1983	1993	1996	1980	1995
	최대	2009	2013	2011	2013	1992	2012
	평균	1995	2001	2003	2006	1986	2004
엔진출력 (HP)	최소	125	63	90	39	250	172
	최대	1020	450	300	415	1200	500
	평균	448	291	176	277	628	311
작업시간 (시간)	최소	384	72	565	29	1668	1937
	최대	2493	5532	2532	5532	3732	6234
	평균	1306	2400	1816	2378	2424	3140

하였고, 로그로다와 페이로다의 경우 같은 장비를 사용하되 장치를 교환하여 사용하는 장비이기 때문에 중복 집계되지 않도록 하였다.

인천항에서 하역장비로 사용되는 장비 중에 가장 오래된 장비는 1975년식 육상이동식크레인이었고, 가장 최신 장비는 2013년식 로우더와 굴삭기였다. 평균적으로 가장 오래 사용하고 있는 장비는 갠트리크레인(RTGC)으로 고가 장비임을 감안할 때 오랜 기간에 걸쳐 사용하는 것이 일반적이고 최근 들어 전기식 갠트리크레인(e-RTGC)으로 교체하는 경우가 많아지면서 디젤 엔진을 갖춘 갠트리크레인은 3대만이 조사 자료에 포함되었다. 실제로 현재 인천항에서 하역작업에 사용 중인 갠트리크레인은 대부분이 전기를 사용하고 있는 것으로 파악되었다.

인천항만물류협회 관계자 및 하역업체의 하역장비 담당자와의 인터뷰 결과 인천항에서 실제로 하역작업이 이루어질 때 하역업체가 보유하고 있는 장비만으로 대형선박의 화물을 신속하게 처리하기 어려운 이유 때문에 주로 하역장비를 임대해서 사용하고 있었다. 화물량이 항상 일정하게 들어올 수 없고 하역업체가 많은 하역장비를 보유하고 있을 경우 장비의 감가상각 및 유지·보수 관련하여

상당한 비용이 들어가기 때문에 대부분의 하역업체들이 꼭 필요한 하역장비만 최소한으로 보유하고 나머지는 모두 임대 장비를 통해 사용하고 있었다.

이에 본 연구에서는 실제 하역업체가 보유 중인 하역장비보다 훨씬 더 많이 사용되는 임대하역장비에서의 질소산화물 및 이산화탄소 배출량을 적용하기 위해 인천항만물류협회에서 제공하는 하역사별 하역 물동량(표 3)을 기준으로 하여 각 항구별로 대표업체 1곳을 선정하여 임대장비 사용시간을 조사하였다. 내항부두(연안항 포함), 남항부두, 북항부두를 대표하는 1개 업체로부터 2013년 한 해 동안 하역장비별로 임대해서 사용한 장비가동시간을 조사하여 각 항구의 대표업체의 보유 장비 사용 현황, 임대장비 사용 시간과 화물 처리량을 기준으로 총 장비가동시간(보유 장비 가동 시간 + 임대장비 가동 시간)과 화물 처리량의 비율을 각 장비별로 계산하였다. 계산된 값을 토대로 각 하역업체별로 하역 물동량을 기준으로 하여 하역 물동량 대비 임대장비 필요 작업시간을 역추정하였다. 역추정한 결과 값을 바탕으로 각 하역사별, 각 하역장비별로 질소산화물과 이산화탄소의 발생량을 산정하여 인천항 항만하역장비로부터 발생하는

표 3. 항구별 하역 물동량 현황(톤)

구 분	내 항	남 항	북 항
일반화물	38,793,271	11,736,391	12,638,147
컨테이너 화물	45,314,936	69,502,475	-
합 계	84,108,207 (47.3%)	81,238,866 (7.1%)	12,638,147 (45.6%)

표 4. 인천항 하역장비 NOx, CO2 배출량(톤)

	Crane	Loader	F/L	Excavator	RTGC	CtHE	총 계
NOx	180.0	208.4	217.9	171.9	8.3	51.8	838.4
CO2	15,121.0	16,786.5	21,923.7	22,107.9	533.9	6,274.4	82,747.5

총 배출량을 추정하였다. 역추정시에는 하역 물동량을 일반화물과 컨테이너 화물로 구분하였고, 일반화물을 처리하는 Crane, Loader, F/L, Excavator, 컨테이너화물을 처리하는 RTGC와 CtHE로 분류하였다.

2. 인천항 육상 작업에 따른 배출량

본 연구에서는 인천항에서 2013년 한 해 동안 하역작업에 사용된 하역장비로부터 발생하는 유해가스(NOx) 및 온실가스(CO2) 배출량을 산정하였다.

표 5는 항구별, 장비별 질소산화물 및 이산화탄소의 배출량을 보여준다. 인천항에서 배출된 NOx 및 CO2 모두 F/L에서 가장 많이 발생하였다. F/L의 경우 일반 지게차와 중량 지게차로 구분되어 있는데 컨테이너 화물뿐만 아니라 일반 화물을 처리할 때 가장 많이 사용되기 때문일 것으로 보인다. 2006년 이후 인천항만공사(Incheon Port Authority, IPA)에서는 인천항 항만하역장비 현대화를 위해 인천항 내 화물을 처리하는 하역업체에게 매년 자금 지원을 하고 있다. 이러한 지원을 바탕으로 현재까지 상당량의 항만하역장비가 전기식으로 교체되거나 개조되어 운용되고 있다. 특히 RTGC나 리

치스택커, 스프레더 등과 같은 컨테이너 장비들이 주로 전기식으로 교체되어 하역작업이 이루어지고 있기에 남항부두와 북항부두에서 유해가스 및 온실가스가 배출되지 않는 결과가 도출되었다.

질소산화물을 가장 많이 배출한 하역장비는 로우더류와 지게차였으며, 특히 내항부두에서 작업시에 상당량이 배출되는 것으로 조사되었다. 이산화탄소가 가장 많이 배출된 하역장비는 지게차와 굴삭기였으며, 특히 굴삭기의 경우 남항부두에서 가장 많은 작업이 이루어졌는데 이는 컨테이너 화물뿐만 아니라 유연탄을 처리하는 석탄부두와 인천항으로 들어오는 모래의 대부분을 처리하는 모래부두(11선석)에서 작업시에 많이 사용되어 작업량이 가장 높게 나온 것으로 사료된다.

표 6을 보면 항만하역장비의 NOx 및 CO2의 배출량 산정결과, 각각 838.4톤, 82,747.5톤으로 계산되었다. 질소산화물의 경우, 임대해서 사용한 항만하역장비 배출량을 반영하지 않은 한세현 외(2011)의 결과 값인 382.0톤과 항만하역장비의 임대 사용량을 75%로 일괄 적용한 조경두 외(2009)의 결과 값인 911.2톤과는 차이가 있는 수치이다. 표 6은 기존 연구 및 미국 LA항과 LB항의 유해가스 및 온실가스 배출량과 비교하여 나타낸 것이

표 5. 인천항 장비별 전체 배출량(톤)

2013년 인천항		Crane	Loader	F/L	Excavator	RTGC	CtHE
내항부두	NOx	148.8	154.2	133.5	50.0	8.3	27.2
	CO2	11,122.4	10,370.4	11,503.3	6,187.2	533.9	2,870.3
남항부두	NOx	-	39.1	32.3	118.9	-	24.6
	CO2	-	4,687.6	3,895.6	14,840.6	-	3,404.1
북항부두	NOx	31.2	15.1	52.1	3.0	-	-
	CO2	3,998.7	1,728.6	6,524.9	1,080.1	-	-
총계	NOx	180.0	208.4	217.9	171.9	8.3	51.8
	CO2	15,121.0	16,786.5	21,923.7	22,107.9	533.9	6,274.4

표 6. 기존 연구와의 비교 - 총 배출량(톤)

	하역장비대수	NOx	CO2
Port of LA(2012)	1,940	793	146,046
Port of LB(2012)	1,207	589	101,021
조경두 외(2009)	552	911	-
한세현 외(2011)	292	382	-
본 연구	598	838	82,748

주) 하역장비대수에서 전기식은 제외

다. 하역장비대수는 각 연구에서 결과값에 반영한 값을 기준으로 비교하였다.(보유 장비와 임대장비의 평균 비율에 근거) LA항과 LB항은 하역장비대수가 인천항에 비해 훨씬 더 많음에도 불구하고 본 연구에서 추정된 질소산화물과 이산화탄소의 발생량보다 더 적은 수치이다. 이러한 이유는 LA항과 LB항과 같이 미국이나 유럽 등 항만이 선진화되어 있는 나라에서는 초저황유를 사용할 뿐 아니라, 유화연료(디젤 70%+물 30%+첨가제) 등의 대체연료를 사용하거나 도로엔진이 장착된 하역장비 사용, 전기를 동력으로 사용하는 하역장비 도입의 증가 때문일 것으로 사료된다. 이 밖에도 황산화물(SOx)이나 미세먼지(PM) 등의 대기오염물질 배출을 감소시켜주는 디젤산화촉매장치(Diesel Oxidation Catalyst, DOC)나 매연저감장치(Diesel Particulate

Filter, DPF) 등도 하역장비의 출고 시점부터 장착되어 있는 경우도 많다. 수년 전부터 국내에서도 전기식 갠트리크레인이 상당수 도입되면서 디젤 엔진을 사용하는 RTGC가 e-RTGC로 전환되고 있는 추세이다. 표 7과 표 8에 장비 1대당 배출량, 작업량 1000톤당 배출량, 1000TEU당 배출량, 1일(8시간 기준) 작업당 배출량 등을 항목별로 산정하여 기존 연구와 비교하여 나타내었다. 모든 항목에서 인천항 하역장비의 질소산화물과 이산화탄소 배출량은 LA항, LB항보다는 높았고 조경두 외(2009)의 연구결과 값보다는 낮았다.

이는 전반적으로 국내 항만하역장비에서 발생하는 대기오염물질과 온실가스가 환경학적으로 세계적인 선진항인 미국 항구들에 비해 높은 수치라는 것을 알 수 있다.

표 7. 기존연구와의 비교 - NOx

	조경두 외(2009)	LA항(2012)	LB항(2012)	본 연구
총계(톤)	911.2	792.6	388.5	838.4
대당(톤)	1.65	0.41	0.49	1.40
1000톤당(kg)	6.60	4.53	3.94	5.74
1000TEU당(kg)	547.64	97.85	97.34	388.00
1일(8시간)당(kg)	9.1	2.3	2.9	5.6

표 8. 기존연구와의 비교 - CO2

	조경두(2009)	LA항(2012)	LB항(2012)	본 연구
총계(톤)	-	146,046.0	101,021.0	82,747.5
대당(톤)	-	75.3	83.7	138.4
1000톤당(kg)	-	835.0	677.0	566.4
1000TEU당(kg)	-	18,030.4	16,709.7	38,294.9
1일(8시간)당(kg)	-	426.3	491.7	552.2

이와 반대로 2007년 자료로 연구된 조경두 외 (2009)의 결과 값보다 작은 수치로 나타났는데 이는 수년이 지나서 수행된 본 연구에서 하역장비의 현대화 및 교체로 인한 배출량 감소와 기존연구와

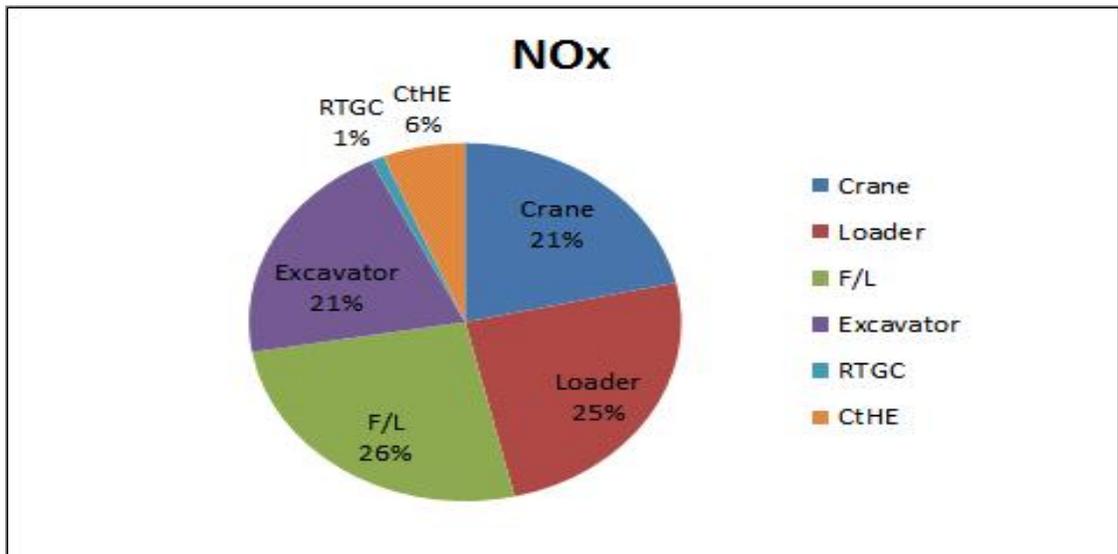


그림 1. 장비별 NOx 배출 비율

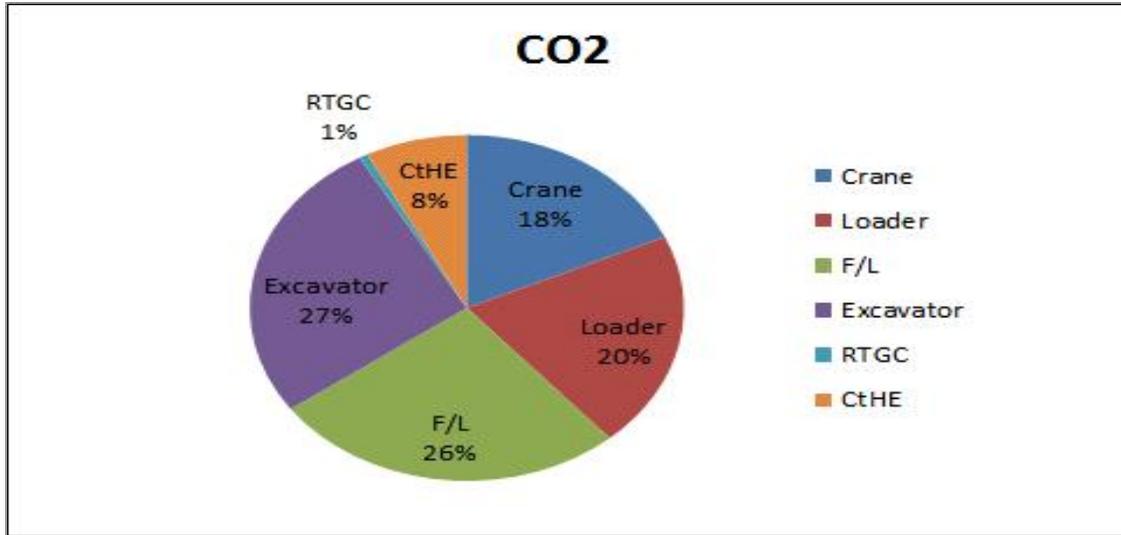


그림 2. 장비별 CO2 배출 비율

는 다르게 하역작업에서 사용되는 보유 장비와 임대장비 비율을 고정 값으로 적용하지 않고 역추정한 값을 적용함으로써 더 정확한 결과치를 얻을

수 있었을 것으로 사료된다.

그림 1과 그림 2는 각 질소산화물과 이산화탄소의 배출량 중 각 장비가 차지하는 비율을 나타내

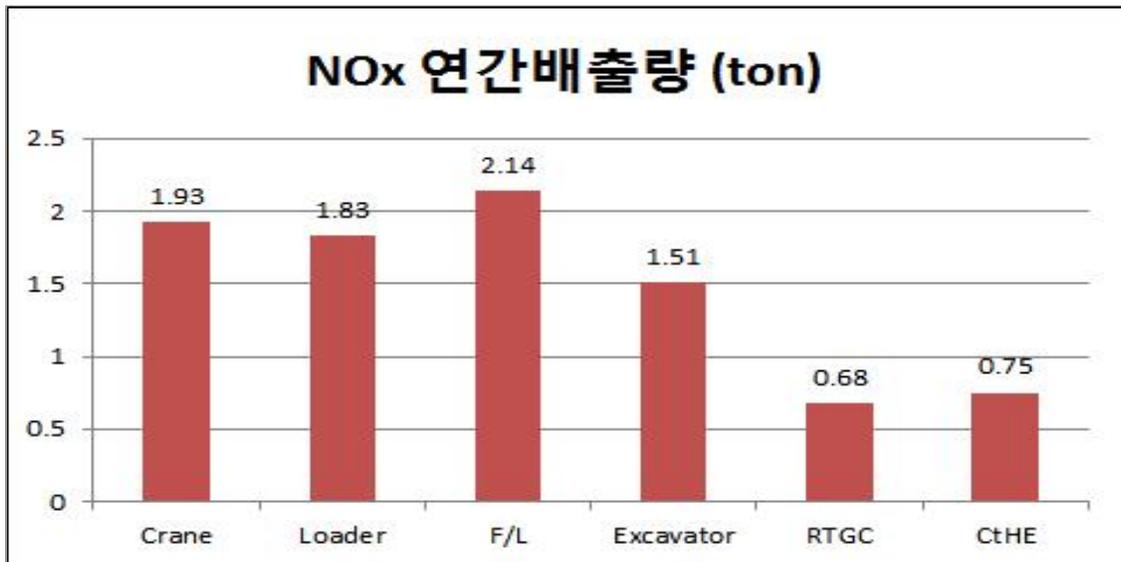


그림 3. 장비 1대당 질소산화물 연간 배출량

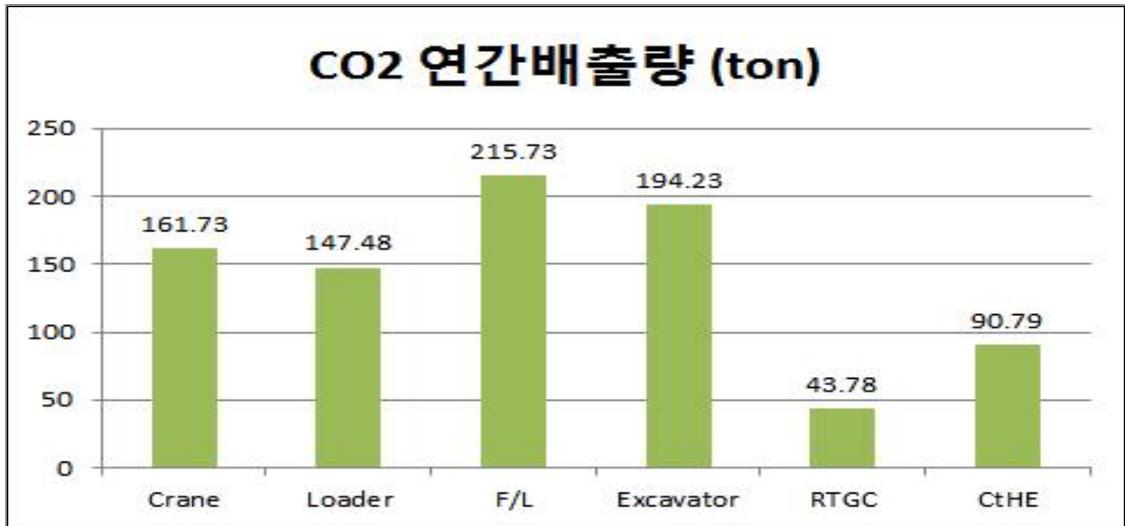


그림 4. 장비 1대당 이산화탄소 연간 배출량

었다. 두 경우 모두 컨테이너 장비(CtHE, RTGC)를 제외한 나머지 장비들이 비슷한 비율로 90% 이상을 차지하고 있다.

그림 3과 그림 4는 하역장비별로 장비 1대당 연간 배출량을 보여준다. 질소산화물과 이산화탄소 모두 F/L(지게차)에서 가장 높은 수치를 나타내었

고, 장비 중 상당수가 전기식으로 교체된 RTGC(갠트리크레인)의 경우 가장 적게 배출하는 것으로 나타났다. 전반적으로 컨테이너를 처리하는 장비들(RTGC, CtHE)보다 일반 화물을 처리하는 장비인 Crane, Loader, F/L, Excavator에서 배출되는 대기 오염물질과 온실가스 배출량이 훨씬 더 많은 것을

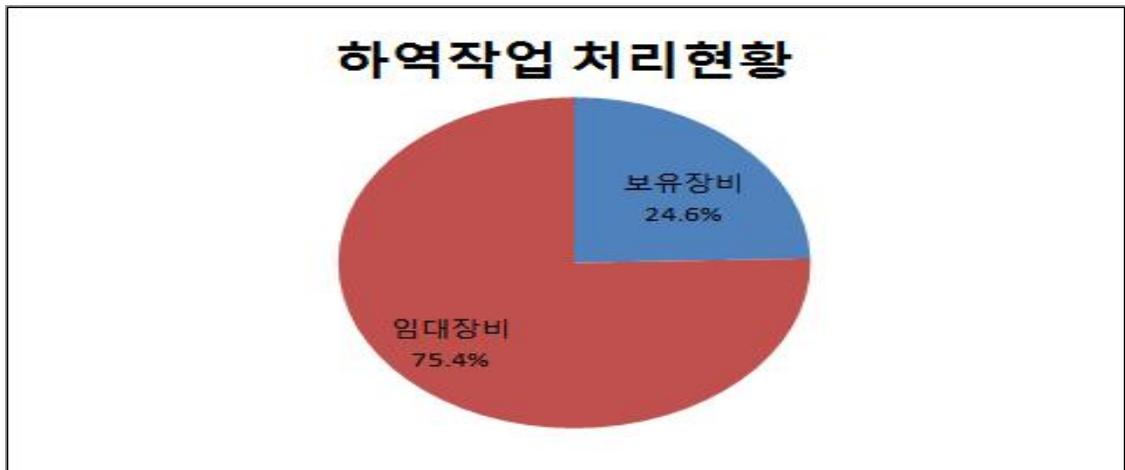


그림 5. 임대장비와 보유 장비 사용 비율

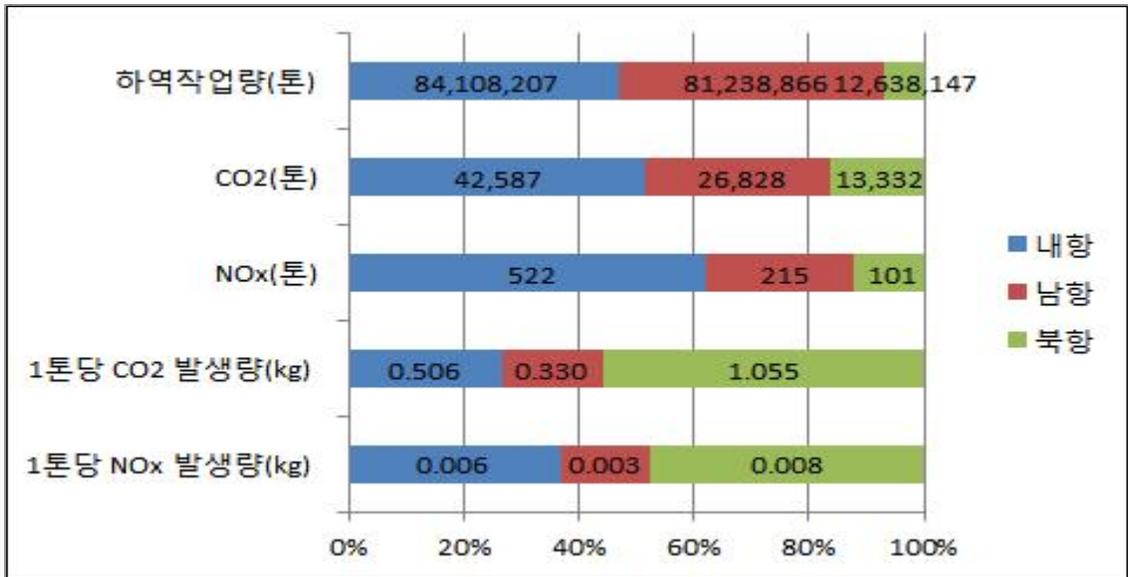


그림 6. 항구별 배출량 비교

알 수 있다.

질소산화물의 경우 보유 장비와 임대장비 사용으로 인한 배출량 비율이 각각 21.8%, 78.2%를 차지하였고, 이산화탄소의 경우에는 보유 장비 사용으로 인한 발생량 비율이 27.3%, 임대장비 사용으로 인한 발생량 비율이 72.7%로 나타났다. 이 두 값을 산술평균한 값을 그림 5에 나타내었다. 그림 5를 보면 전반적으로 인천항 내에서 화물을 처리하는 하역업체의 경우 자사 보유 장비로 화물을 하역하는 비중보다 임대장비로 화물을 하역하는 비중이 3배 이상 된다는 것을 알 수 있다. 조경두 외(2009)에서 임대 장비 비율을 75%로 일괄 적용하였는데 수치는 비슷하지만 적용 조건이 다르기에 질소산화물과 이산화탄소 발생량에 있어서는 다른 결과 값이 도출되었다.

인천항만물류협회의 자료에 따르면 2013년 한 해 동안 내항부두에서 하역 작업한 물동량은 약 8,411만 톤, 남항부두는 8,124만 톤, 북항부두는 1,264만 톤으로 내항부두와 남항부두가 북항부두

에 비해 작업량이 많았다. 그림 6은 각 항구별 하역 작업량과 CO₂, NO_x 발생량을 보여준다. 컨테이너 전용 터미널이 위치한 남항부두가 하역 작업량에 비해 CO₂, NO_x 발생량이 상대적으로 적다는 것을 알 수 있다. 이에 반해 내항부두와 북항부두는 잡화 등 일반화물과 산업원자재를 처리하기 때문에 컨테이너 화물을 처리하는 남항부두보다는 발생량이 높게 나왔음을 알 수 있다. 특히 북항부두는 하역 작업량에 비해 상당히 높은 양의 대기오염물질을 배출하는 것으로 나타났고, CO₂의 경우에는 내항부두의 2배 이상, 남항부두의 3배 이상의 배출량을 보이는 것으로 파악되었다.

V. 결론

1. 연구결과 요약

본 연구에서는 인천항 내 하역작업에 따른 하역장비의 NO_x와 CO₂의 배출량에 대해 연구하였다.

하역장비는 하역업체가 보유하고 있는 장비와 임대해서 사용한 장비의 제원과 가동 시간을 바탕으로 EPA NONROAD Model에 적용시킴으로써 배출량을 산정할 수 있었다. 인천항에서 하역장비에 의해 배출되는 질소산화물은 838.4톤, 이산화탄소는 82,747.5톤으로 미국 LA항이나 LB항에 비해 하역장비 대수는 작지만 배출량은 더 많았다. 수년 전부터 전기를 사용하는 하역장비로 지속적으로 전환하고 있지만 아직은 환경친화적 대표항인 LA, LB항과는 상당한 차이가 있는 것으로 파악되었다. 일반적으로 컨테이너 장비를 제외한 일반화물 하역장비가 발생원의 90% 이상을 차지하였고, 인천항에서는 하역업체가 보유한 장비와 임대해서 사용하는 비율이 1:3 정도인 것으로 나타났다. 하역 작업량과 비교하여 배출량을 검토하였을 때 컨테이너 화물을 처리하는 남항부두가 내항부두나 북항부두에 비해 상대적으로 CO₂와 NO_x의 배출량이 적었다. 다양한 화물을 취급하는 내항부두와 대기오염물질을 많이 발생시키는 산업원자재 화물을 처리하는 북항부두가 하역 작업량에 비해 높은 배출량을 보였다.

2. 연구의 의의 및 시사점

본 연구는 항구별로 유해가스 및 온실가스 배출량에 있어 원자재 화물을 처리하는 북항부두와 다양한 화물을 처리하는 내항부두가 컨테이너 화물을 처리하는 남항부두보다 배출량이 크다는 것을 입증하였고 이러한 대기오염물질들은 컨테이너 장비보다는 일반 하역장비(크레인, 로우더류, 지게차, 포크레인)에서 90%가 넘는 높은 배출량을 보이는 것을 확인하였다. 이는 컨테이너 하역장비들이 계속해서 전기식으로 전환되고 있어 발생량이 작은 것으로 사료된다.

기존 연구와 비교해보면 Chang et al.(2013)에서 10개월 동안 인천항으로 입출항한 13,827대의 선박으로부터 발생된 CO₂ 배출량은 735,254톤이

었다. 1년으로 환산하면 882,305톤 이다. 대당으로 환산하면 63.8톤이다. 본 연구에서 파악된 하역장비 CO₂ 발생량은 82,747.5톤으로 하역장비대수로 나누어 대당으로 환산하면 138.4톤이다. 기존 연구에서는 선박이 정박지에서 입항 후 다시 출항하여 정박지에 도착할 때까지의 이동 구간을 바탕으로 추정된 것으로 인천항 전체에 대해 발생한 양을 추정하였다. 수치상으로도 단순 비교를 하긴 어렵지만 대형선박 1대가 1년 동안 배출하는 CO₂의 양보다 하역장비 1대가 한 해 동안 배출하는 CO₂의 양이 2배 이상 많다. 마찬가지로 Chang et al.(2014)에서는 위 연구와 같은 조건으로 NO_x의 배출량이 1,551톤이었고 1년으로 환산하면 1,861.2톤으로 대당으로 환산하면 0.13톤이다. 본 연구에서 파악된 하역장비 NO_x 발생량은 838.4톤으로 하역장비대수로 나누어 대당으로 환산하면 1.4톤이 나오고 이 수치는 선박 한 대당 배출하는 NO_x의 양보다 하역장비 한 대당 배출되는 NO_x의 양이 10배 이상 많다는 것을 의미한다.

이처럼 선박에 비해 상당히 작은 항만하역장비 임에도 불구하고 항만하역장비에서 나오는 유해가스 및 온실가스가 기존 연구들이 주로 초점을 맞춰왔던 선박의 대기오염물질 배출 현황보다 더 큰 오염원이 될 수 있다는 사실을 입증하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 항만하역장비에 대한 규제가 초저황유 사용 규제 외에도 다른 여러 가지 친환경 운용 정책이 마련되어야 할 것이다.

현재 인천항만공사(IPA)에서는 인천항의 선사화 포워더를 대상으로 Volume Incentive 제도를 시행하여 화물 처리 실적이 높은 상위 선사들이나 처리 물량이 일정 수준 이상을 달성한 회사들에게 인센티브를 지급하고 있는데 2013년 기준 인천항 Volume Incentive로 지급된 금액이 약 10억 원이었다. 이에 비해 인천항 항만하역장비 현대화를 위한 자금으로 지원된 2006년부터 2013년까지 8년간 총 지급액이 약 9억 3800만원으로 2013년 한

해 기준으로 지급된 Volume Incentive에 미치지 못한다. 인천항이 지속적인 성장을 이루어 세계적인 선진항으로 발전하기 위해서는 지금처럼 화물 처리물량에 따라 선사에게 인센티브를 지급하기보다는 미국이나 유럽의 선진항들과 비교하여 선사들이 노후화된 장비와 대기오염물질을 많이 배출하는 디젤 엔진의 하역장비들을 전기식으로 교체하거나 친환경적인 운용을 할 수 있도록 환경적인 측면에서 인센티브 지원이 이루어져야 할 것이다.

이 밖에도 실제 하역 작업량을 기준으로 임대장비의 사용량을 역추정함으로써 실제로 하역업체가 약 75% 정도 임대 장비를 사용함으로써 자사 보유 장비보다 임대 장비에 의존도가 더 높다는 사실을 확인하였다.

또한 영국 등 EU국가에서 시행하고 있는 각종 친환경정책을 도입하여 항만공사는 물론, 하역사, 물류기업 및 화주기업들이 선진형 친환경항만하역체제를 갖추도록 유도할 필요가 있다. 이와 더불어 항만에서 발생하는 유해가스가 인근 주민과 환경에 미치는 영향을 지속적으로 모니터링하고 이의 절감방안을 해상부문과 육상부문으로 구분하여 모색해야 한다.

3. 연구의 한계점

본 연구에서는 다음과 같은 몇 가지 한계점을 가지고 있으며, 향후 연구가 수행될 때는 이러한 한계점을 보완하여 연구가 이루어질 수 있도록 해야 할 것이다.

첫째, 항만하역장비 제원 및 사용 현황 조사시 임대 장비뿐 아니라 자사 보유 장비에 대한 자료에 대해 전수조사를 하지 못했기 때문에 오차가 발생했을 것이다. 임대 하역장비에 대한 자료 조사시 전수조사가 불가하여 각 항구별 대표업체 1곳의 자료를 가지고 하역 작업량을 기준으로 추정함에 있어 실제 처리화물에 따라 다른 필요 장비의 특성을 고려하지 못했다. 예를 들어 한 업체가

보유하고 있지 않은 장비만을 임대하고 자사가 보유한 장비는 임대하지 않고 자사 보유 장비로만 사용했을 가능성도 있지만 이 부분을 고려할 수 없었다.

둘째, 전기식 장비를 사용하더라도 하버크레인이나 L.L.C 같은 크레인 종류의 하역장비에서는 전기를 동력으로 사용한다 하더라도 소량의 디젤 연료가 필요한데 이 부분을 고려할 수 없었다. EPA의 NONROAD Model과 CARB의 OFFROAD Model 모두 디젤 혹은 가솔린 엔진을 사용하는 장비만 두 모델에 적용시킬 수 있기 때문에 반영하지 못했다.

셋째, 하역 물동량을 기준으로 하역업체의 임대 장비 사용 시간을 역추정할 때 하역업체별로 주로 작업하고 있는 항구에 모든 하역 물동량을 적용하여 화물 처리량이 작은 부두나 내항부두(4부두 제외), 북항부두, 국제여객부두 등에서 처리되는 컨테이너 화물의 경우 물동량이 통합되어 있어서 항구별로 구분하여 적용할 수 없었다.

이 밖에도 각 하역사별로 하역장비 담당자와 인터뷰를 통해 조사된 자료의 경우 잘못된 해석이나 판단 등 연구자의 주관적 견해가 반영되었을 수 있다.

이러한 한계점을 극복하기 위해 본 연구와 연계된 연구를 진행할 시 하역장비 현황 관련 자료에 대한 전수조사가 필수적이고, 특히 임대장비에 대한 제원이나 사용시간 등 현황에 대한 데이터 수집이 가장 중요할 것이다. 이러한 점들을 보완한 연구가 이루어진다면 신뢰도가 더 높은 연구가 수행될 수 있을 것이라 사료된다.

참고문헌

- 국토해양부(2012), 『국토해양통계연보』.
 송계의·한철환(2007), “항만의 환경오염 저감방안에 관한 연구”, 『한국항만경제학회지』, 제23집 제1호, 95-113.

- 정봉민 외(2004), “컨테이너 항만 개발과 환경문제”, 한국 해양수산개발원.
- 조경두·김정숙(2009), “인천항 대기환경 현황분석 및 관리방안”, 인천발전연구원.
- 윤종상(2010), “인천항 항만시설에서의 대기오염물질 배출량 산정”, 석사학위논문.
- 인천항만공사(2014), 『인천항 주요통계』.
- 인천항만물류협회(2013), 『인천항 항만하역 사업실적 통계표』.
- 최동현(2001), “항만환경계획 제도의 정착이 필요하다”, 『해양수산』, 제205호, 1-4.
- 최석범·남정우(2011), “일본의 친환경항만정책과 시사점”, 『한국항만경제학회지』, 제27집 제3호, 331-348.
- 한국항만물류협회(2014), 『2014년 항만별 장비 현황』.
- 한세현·윤종상·김우중·서유희·정용원(2011), “인천항 항만시설에서의 대기오염물질 배출량 산정”, 『한국대기환경학회지』, 제27집 제4호, 460-471.
- 한철환(2011), “대기오염 저감을 통한 인천항의 Green Port 전략”, 『한국항만경제학회지』, 제27집 제1호, 281-304.
- California Air Resources Board(2005), *Emission estimation methodology for cargo handling equipment operation at ports and intermodal rail yard in California*.
- Chang, Y. T., Song, Y., and Roh, Y.(2013), “Assessing greenhouse gas emissions from port vessel operations at the Port of Incheon,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol.25, 1-4.
- Kennedy, C., Steinberger, J., Gasson, B., Hansen, Y., Hillman, T., Havránek, M., and Mendez, G. V.(2010), “Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities,” *Energy Policy*, Vol.38 No.9, 4828-4837.
- Jalkanen, J. P., Johansson, L., and Kukkonen, J.(2014), “A comprehensive inventory of the ship traffic exhaust emissions in the Baltic Sea from 2006 to 2009,” *Ambio*, Vol.43 No.3, 311-324.
- Baldasano, J. M., Soriano, C., and Boada, L.(1999). “Emission inventory for greenhouse gases in the City of Barcelona, 1987-1996,” *Atmospheric Environment*, Vol.33 No.23, 3765-3775.
- Browning, L., and Bailey, K.(2006), “Current methodologies and best practices for preparing port emission inventories,” *ICF Consulting report to Environmental Protection Agency*.
- Starcrest Consulting Group(2012), *Port of Los Angeles inventory of air emissions*.
- Starcrest Consulting Group(2012), *Port of Long Beach air emissions inventory*.
- U.S. Environmental Protection Agency(2002), *Median life, annual activity, and load factor values for nonroad engine emissions modeling*.
- U.S. Environmental Protection Agency(2004), *Exhaust and crankcase emission factors for nonroad engine modeling: Compression-ignition*.
- Villalba, G., and Gemechu, E. D.(2011), “Estimating GHG emissions of marine ports—the case of Barcelona,” *Energy Policy*, Vol.39 No.3, 1363-1368.

인천항 육상하역 작업에 따른 온실가스 및 유해가스 발생 추정

노영훈 · 장영태

국문요약

이 연구에서는 미국 EPA에서 개발된 NONROAD 모형을 이용하여 인천항 항만하역장비에서 배출되는 온실가스 및 유해가스 배출량을 추정한다. 인천항은 838.4톤의 NOx, 82,747톤의 CO2를 배출하였다. 이는 LA항만에서 배출되는 NOx 배출량의 2.4배, CO2 배출량의 1.3배에 해당한다. 일반하역장비의 배출량은 컨테이너하역장비 배출량의 5배로 드러났다. 인천항을 구성하는 세 항만 중 원자재를 처리하는 북항 부두가 다른 항들에 비해 배출량이 많은 것으로 연구되었다. Chang et al.(2013, 2014)의 연구와 비교해 봤을 때 항만하역장비 당 CO2와 NOx 배출량은 선박 당 배출량의 10배에 달하는 것으로 드러났다.

주제어: Green House Gases, Noxious Gases, Port of Incheon