

연근해 자망과 통발 어업의 온실가스 배출량 현장실측 연구

이석형 · 김현영* · 양용수 · 강다영
국립수산과학원 수산공학과 연구원

Comparative study of greenhouse gas emission from coastal and offshore gillnet and trap fisheries by field research

Seok-Hyung LEE, Hyunyoung KIM*, Yongsu YANG and Da-Young KANG

Researcher, Fisheries Engineering Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

Fossil fuel combustion during fishing activities is a major contributor to climate changes in the fishing industry. The Tier1 methodology calculation and on-site continuous measurements of the greenhouse gas were carried out through the use of fuel by the coastal and offshore gillnet (blue crabs and yellow croaker) and trap (small octopus and red snow crab) fishing boats in Korea. The emission comparison results showed that the field measurements are similar to or slightly higher than the Tier1 estimates for coastal gillnet and trap. In offshore gillnet and trap fisheries, Tier1 estimate of greenhouse gases was about 1,644-13,875 kg CO₂/L, which was more than the field measurement value. The CO₂ emissions factor based on the fuel usage was 2.49-3.2 kg CO₂/L for coastal fisheries and 1.46-2.24 kg CO₂/L for offshore fisheries. Furthermore, GHG emissions per unit catch and the ratio of field measurement and Tier1 emission estimate were investigated. Since the total catch of coastal fish was relatively small, the emission per unit catch in coastal fisheries was four to eight times larger. The results of this study could be used to determine the baseline data for responding to changes in fisheries environment and reducing greenhouse gas emission.

Keyword: Greenhouse gas emission, Gillnet fisheries, Trap fisheries, On-site measurement, Tier1

서론

기후변화에 관한 정부 간 패널(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)은 2007년 IPCC 4차 보고서에서 온실가스 배출에 의한 지구 평균기온의 상승과 북극 해빙의 감소 그리고 지속적인 해수면 상승과 같은 전 지구적 기후변화의 진행을 보고하였다(IPCC, 2007). 기후변화 대응을 위해 1992년 채택된 기후변화협약(UNFCCC: The

United Nations Framework Convention on Climate Change)은 가입 당사국들이 온실가스 배출량의 감축목표를 제시하고, 감축 이행 목표 달성을 위한 과학적인 배출량 산정방법을 확보하여 온실가스 배출을 감축하도록 하였다 (Kim et al., 2012). 수산업 분야와 관련한 온실가스 문제는 2010년 제16차 UNFCCC 당사국 총회와 유엔환경개발 회의에서 책임이 있는 어업에 관한 국제규범(The Code

*Corresponding author: sys9318@korea.kr, Tel: +82-51-720-2581, Fax: +82-51-720-2586

of Conduct for Responsible Fisheries)에 연계하여 중요한 관심분야로 제기되었다(Shin et al., 2016, Kim et al., 2018).

우리나라는 ‘2030 국가온실가스감축 기본로드맵’을 마련하고, 각 부문별 감축 이행 계획을 제시하였다. 국가 로드맵에서 어업 분야는 에너지저감 어구보급, 노후기관 대체사업, 태양열 집약장치 보급 사업을 시행하여 2030년까지 온실가스 2만 톤 감축을 목표로 하고 있으며, 이와 함께 2010년부터 연근해어업의 온실가스 배출량 산정 및 저감 방안 구축을 위한 온실가스 배출관련 정책 연구를 진행해오고 있다.

국내 연근해어업을 포함한 모든 해상운송에 공급되는 유류 수급통계를 사용하여 Tier1 수준으로 산정한 국내 온실가스 배출규모는 연간 약 5.3백만 ton CO₂-eq으로 알려져 있다(Cho and Lee, 2010). 선박부문 온실가스 배출과 관련한 이전 연구들은 주로 중대형 운수선박을 중심으로 Tier1 방법론과 Tier2, Tier3 방법론의 배출량을 비교하는 연구가 주로 수행되었기 때문에 수산물 어획 시 발생하는 어선의 온실가스 배출량에 대한 실측 연구는 매우 부족한 실정이다(Choi et al., 2010, Bong et al., 2011, Bong et al., 2011). 하지만 어업분야와 달리 국내에서는 다양한 부문에서 온실가스 배출량 실측을 통한 온실가스 산정연구가 활발하게 진행 중이다. 환경기초시설이나 소각시설, 발전시설, 산업공정과 같은 고정 배출시설과 디젤기관차나 건설장비와 같은 이동 배출원 등 다양한 배출원에서 현장실측 방법의 개발과 개선 그리고 Tier2, Tier3 방법 수준의 배출계수 개발을 위한 현장 실측조사를 실시하고 있다(Jung et al., 2010, Rhee et al., 2010, Na et al., 2012, Chun and Kim, 2012, Kim et al., 2012).

국내 연근해어업은 어업형태가 다양하고 운항형태와 운항거리 등 활동도자료가 복잡하기 때문에 국가승인 통계자료를 기반으로 온실가스 배출량을 총량적인 개념으로만 산정 하거나 전과정평가 방법을 사용하여 간접적으로 산정하는 실정이다(Choi et al., 2014, Park et al., 2015, Han et al., 2016). 이러한 문제를 극복하고 국내 어업분야 온실가스 배출량을 정확하게 산정 및 관리하기 위해서는 국내 선박부문 전체 배출량과 별개로 어선 어업의 온실가스 배출량 실측조사를 포함하여 국가 통계자료를 활용한 배출량 산정과 전과정평가방법을 통합

한 어선어업의 온실가스 배출량 자료를 생산하여야 한다.

본 연구는 자망어업과 통발어업의 대표적인 업종 중 하나인 연안꽃게자망어업과 근해참조기자망어업 그리고 연안낙지통발어업과 근해붉은대게통발어업을 현장 실측연구대상으로 선정하였다. 2011년 어획통계에 의하면 꽃게의 어획량은 약 26,600톤으로 이중 연안자망에 의한 어획이 전체 꽃게 생산량의 64%를 차지하는 것으로 조사되었다(Park et al., 2013). 자원회복대상 어종인 참조기는 동중국해와 서해에서 주로 어획되는 대표적인 고급 어종이다. 해당 어장에서 우리나라 자망어선은 2012년에 연간 총 참조기 어획량 36,840톤 중 약 63.6%를 차지하는 23,432톤을 어획하였다(Kim et al., 2013). 2005년 자원회복 대상 어종으로 선정된 연안 낙지는 2000년대 이후 약 5,000~7,000톤가량 생산되고 있다(An et al., 2007). 2016년 어업생산동향조사를 살펴보면 일반해면 어업을 통해 어획된 5,972톤의 낙지 중 약 52%인 3,085톤이 연안통발어업에 의해 어획된 것으로 나타났다. 붉은대게는 2015년에 41,647톤이 생산되어 일반해면 어업 생산량 대비 3.9%로 그 비중이 크지는 않으나, TAC 제도(Total Allowable Catch, 총허용어획량)에 포함된 중요 어업 대상 자원으로서 총 생산량의 98.8%가 근해통발에 의해 생산된다(Oh et al., 2017).

해양수산부 등록어선통계에 따르면 2016년을 기준으로 연안자망어선은 12,030척, 근해자망어선은 366척이 등록되어 있으며, 연안과 근해어업 등록어선 척수의 각각 29.2%와 13.9%를 차지한다. 또한 수협중앙회의 면세유 공급 자료에 의하면 연안어업에 사용되는 면세유의 34.4%가 연안자망어업어선에 의해 소비되고, 근해자망어업은 근해어업 면세유 공급량의 5.4%를 소비하는 것으로 조사되었다.

2016년 기준 등록어선통계에서는 연안과 근해통발어선은 각각 163척과 4,941척으로 연안어업 어선의 6.2%와 근해어업 어선의 12%를 차지하고 있다. 수협중앙회에서 공급되는 면세유 공급량의 4.58%를 연안통발어업이 소비하고, 근해통발어업은 6.7%를 소비하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 국내 주요 어업 중 하나인 연근해자망과 통발어업어선의 조업 중 연료 사용량을 활용하여 산출한 온실가스 이론 배출량(Tier1)과 현장실측을 통한 어선의 온실가스 실제 배출량을 정량적으로 비교·평가

하고자 하였다. 그리고 어업생산량과 연료사용량 당 온실가스 배출량 등 대상어업의 원단위 별 온실가스 배출량을 분석 및 비교하여 자망과 통발어선어업의 온실가스 감축 목표 및 저감 방안 마련을 위한 어선 실측조사 방법의 기초 자료를 도출하고자 하였다.

재료 및 방법

조사 대상

본 연구는 연근해자망어업과 통발어업에 등록된 어선 척수와 유류사용량 그리고 어업 대상 어종의 어획량 등 통계자료를 바탕으로 국내 주요 어선어업분야에서 자망어업과 통발어업의 중요도가 높다고 보고, 국내 어업 온실가스 배출량 산정을 위한 기초 연구대상으로 선정하였다. 선정된 연안꽃게자망어업, 근해참조기자망어업, 연안낙지통발어업 그리고 근해붉은대게통발어업 어선을 각 1척씩 선정하여 연구를 실시하였다.

Table 1에 대상 업종과 주 어획 대상 어종 및 어선 기본 정보를 나타내었다. 현장 실측은 연안자망(꽃게), 근해자망(참조기), 연안통발(낙지) 그리고 근해통발(붉은대게) 어업어선이 출항하여 조업 후 입항하는 일련의 과정을 1항차로 분류하고, 각 어업당 12~18일 동안 각 항차별 현장 실측을 실시하였다. 대상 어선의 온실가스 배출 현장실측값과 온실가스 배출량 이론적 산정을 비교하기 위하여 입항 전·후 사용된 연료량을 조사하였다.

온실가스 배출량 산정방법론

수상운수 선박 및 어선은 추진과 운항에 필요한 전기 생산을 위해 동력기관을 운용하며, 화석연료 연소 시 엔진으로부터 CO₂가 생성되어 배기관을 통해 선박외부로 배출된다(NIER, 2014). 주로 디젤엔진에 의해 운항

되고 이동연소 배출원에 해당하는 어선은 2006 IPCC 가이드라인에서 ‘에너지>연료연소>기타부문’으로 분류된다(Kim et al., 2014). 가이드라인은 선박부문 온실가스 배출량을 산정하기 위하여 하향식 배출량 산정방법인 Tier1 및 Tier2 방법론을 제시하고 있으며, 선박의 상세한 운항 정보에 대한 수집이 가능한 경우 Tier3 방법론을 제시한다(IPCC, 2006, NIER, 2015).

국내 온실가스 배출량 산정지침인 ‘온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침’은 어선을 포함하여 이동연소의 선박부문을 온실가스 배출시설로 분류한다. 지침의 별표에서 어선의 온실가스 배출량 산정방법론은 Tier1과 Tier2 그리고 Tier3 방법론을 제시한다.

Tier1 방법론은 가장 간단한 보고 방법으로 연료별 연료소비량 및 기본 배출계수를 이용하여 산정하고, Tier2~3 방법론은 선박의 종류, 연료 종류, 엔진 종류에 따라 분류된 국가 배출계수나 고유 배출계수를 사용한다. 하지만 해당 지침에서는 어선의 운항 중 배출가스를 직접 연속 측정하여 온실가스 배출량을 산정하는 연속 측정방법은 고려하지 않는다. 본 연구에 적용할 Tier4 방법은 일반적으로 대기원격감시체계(Tele Monitoring System : TMS) 및 굴뚝연속자동측정기를 운영하는 고정 배출원을 대상으로 적용하는 방법으로서 연속측정방법을 사용하여 배출량 등을 산정 보고할 경우에 해당 배출시설의 산정 등급을 Tier4로 규정하며, 연속측정방법을 통한 배출량 산정방법과 측정기기의 설치 및 관리 기준 등을 제시하고 있다.

본 연구에서는 Tier1 산정방법론으로 산출한 배출량과 실제 어선 운용 시 발생하는 온실가스의 배출량 차이를 정량적으로 분석하기 위해서 굴뚝연속자동측정기를 활용한 연속측정방법을 어선에 적용하여 현장실측을 실

Table 1. Information of target fishing boats

Target Fishery (Target fish)	Measurement Period	Target Fishing Boats Information			
		Tonnage (ton)	Engine (H.P)	Port	Area for fishery
coastal gillnet (blue crabs)	2016.09.21~11.04	5.47	700	Seocheon-gun, Chungnam	West sea
offshore gillnet (yellow croaker)	2016.08.10~08.27	42	1200	Jeju-si, Jeju	South sea
coastal trap (small octopus)	2016.05.31~06.19	7.93	497	Goheung-gun, Jeonnam	South sea
offshore trap (red snow crab)	2016.11.09~11.30	40	720	Uljin-gun, Gyeongbuk	East sea

시하였다(Bang et al., 2008, NIER, 2014).

Tier1 방법론을 적용한 어선 온실가스 배출량 산정방법

본 연구에서 적용한 Tier1 방법론은 어선의 온실가스 배출량 산정 시 기본 활동도(Activity level)의 지표로 연료사용량 정보를 활용하고, 활동도 수준별 배출계수(Emission factor)를 곱함으로써 배출량을 산정하였다. Tier1 방법은 가장 간단한 산정방법으로서 기본 배출계수를 적용한다. 본 연구에서는 수협의 면세유 공급 자료와 배출계수에 근거하여 다음의 수식으로 산출한다(Choi et al., 2009).

$$E_i = \sum_m (FC_m \times EF_{i,m}) \quad (1)$$

E_i : 오염물질 I의 배출량(tonne)

FC_m : 선박분야의 연료 m의 공급량(tonne)

$EF_{i,m}$: 오염물질 i, 연료 m의 배출계수(kg/tonne)

m : 연료 종류(Bunker Fuel Oil, Diesel Oil, Gas Oil)

현장실측 측정 장비 및 방법

어업어선에 설치한 온실가스의 연속 측정 장비는 어선의 조업 활동 중 배기가스 측정이 이루어지는 특성상 고온의 배출가스 측정에 적합하고, 어선 운항에 따른 진동과 해수의 침입에 대한 내구력 그리고 안정적으로 측정 데이터를 수집할 수 있어야 한다.

측정 장비는 환경오염공정시험기준 대기분야 굴뚝연속자동 측정기기의 성능 규격 및 정도관리방법을 적용하여 온실가스 배출량 산정에 적합한 비분산적외선흡수방식(NDIR)을 사용하고, 환경부의 형식승인(ASGAM-2007-5호)을 받은 장비로 선정하였다(Table 2).

측정 장비를 통해 축적된 데이터의 신뢰성 확보와 정

Table 2. Major information of auto continuous measuring equipment

Model	VARIO plus Industrial	
Manufacturer	MRU instruments, Inc.	
Conditional Method	USEPA-method CTM-030, CTM-034	
Type Approval No.	ASGAM-2007-5 by Ministry of Environment	
List of measurement	Measurable range	Type of measurement
O ₂	0 - 25% (0.01%)	Electrochemical type
CO	0 - 4,000 ppm (1 ppm)	Electrochemical type
NO	0 - 4,000 ppm (1 ppm)	Electrochemical type
NO ₂	0 - 1,000 ppm (1 ppm)	Electrochemical type
NOX	0 - 5,000 ppm (1 ppm)	Calculated
CO IR	0 - 10.00% (0.01%)	NDIR type
CO ₂	0 - 20% (0.1%)	NDIR type
C _x H _y as CH ₄	0 - 5.00% (0.01%)	NDIR type



Fig. 1. Installation of auto continuous measuring equipments.

확성, 정밀도 및 소급성 유지를 위하여 각 어업어선별 장비 설치에 앞서 정도검사 및 형식승인 전문기관에서 장비의 검·교정을 실시하였다.

실시간 연속 측정용 장비는 대상 선박엔진 배출가스의 배출구 형태를 파악한 후 설치하였다. 어선의 엔진 배기구 연통에서 배출가스 측정하기 위하여 고온의 배출가스를 견딜 수 있는 서스 배관과 테플론 재질의 튜브를 사용한 가스 프로브 라인을 제작 및 설치하였고, 배출가스 중 수분의 응축 방지와 먼지 제거 및 장비보호를 위해 Heating Line이 포함된 샘플링 프로브를 연결하여, 굴뚝 배기가스가 샘플가스 전처리장치(에코시스텍)를 거쳐 굴뚝배출가스 연속 자동측정기(Vario Plus Industrial, MRU instrument inc.)로 유입되도록 구성하였다. 온실가스 유량 측정을 위한 배기가스 유속측정은 피토판식 유속계 또는 열선 유속계를 사용하여 측정하였다. 출항 전 측정 장비 설치 및 가동과 운항에 관련한 기본 정보를 어업인과 문답을 통해 확보하였고, 조업 중 측정 장비를 연속 가동하여 온실가스 등 배출가스 측정자료 및 운항 정보를 축적하였다. 입항 후 조업 중 연속 측정된 자료와 항차별 유류 사용량, 엔진RPM, 항해경로 등 운항 정보를 즉시 확보하였다. 측정에 사용된 장비와 설치장면을 Fig. 1에 나타내었다.

현장실측 온실가스 배출량 산정 방법

어선 조업 중 발생하는 온실가스는 ‘온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침’의 별표 25, ‘연속측정 방법의 배출량 산정방법 및 측정기기의 설치관리 기준’을 준용하여 아래의 수식 (2)로 산정하였다.

$$E_{CO_2} = K \times C_{CO_2d} \times Q_{sd} \quad (2)$$

E_{CO_2} : CO₂의 배출량(g CO₂/30분)

C_{CO_2d} : 30분간 CO₂의 평균 부피 농도(% , 건식가스)

Q_{sd} : 30분간 배출가스의 적산 유량(Sm³, 건식가스)

K : 1.964×10(표준상태에서 1 kmol이 갖는 공기부피와 이산화탄소 분자량 사이의 변환계수)

결과 및 고찰

온실가스 현장측정 결과

실측기간 동안 연안 꽃게자망어선은 12항차, 연안 낙지통발어선은 14항차 조업을 실시하였다. 각 항차 당 약 10시간 전후로 조업을 하며, 평균 약 200~300L의 연료를 사용하였다. 꽃게자망어선은 ‘이동-투망-이동-양승’을 반복하였고, 낙지통발어선은 ‘이동-양승-이동-투승’ 형태의 어업을 반복 진행하였다. 어장이나 모항으로 이동 중 엔진 고속 운행 시 CO₂ 농도가 6~10%, 양승 및 작업을 위해 저속 운행 시 4% 이하로 조사되었다.

근해 참조기자망어선과 근해 붉은대게통발어선은 각 항차 당 6~7일 조업 형태로 진행되었으며, 각각 2항차, 3항차 동안 측정을 실시하였다. 근해어업은 연안어업과 비교하여 항차 당 조업기간이 길고 어장까지의 긴 이동거리로 인해 연료사용량에서 큰 차이를 나타내었다. 어업 형태는 연안어업과 유사하게 ‘이동-조업-이동’을 반복하여 수행하였다. 엔진 고속 운행 시 CO₂ 농도는 6~10%였고, 저속 가동 시 1~2%로 연안 어선에 비교하여 유사하거나 낮은 농도를 나타냈다. 연안과 근해어업은 항차별 평균 조업시간과 유류 사용량 등의 차이가 있었으며, 이산화탄소의 실측 농도 범위는 근해어업이 연안어업에 비해 낮았다. 대상 어선들의 평균 조업시간 및 연료사용량, 평균 어획량과 CO₂, NO_x 농도 정보를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Fishing and exhaust gas information

Target Fishery (Target fish)	Ave. fishing time (hr)	Ave. fuel usage (L)	Ave. catch (kg)	CO ₂ con. (%)		NO _x con. (ppm)	
				Range	Ave.	Range	Ave.
coastal gillnet (blue crabs)	10.9	308.3	198	1.1~8.2	4.1	21.1~694.2	326.3
offshore gillnet (yellow croaker)	168.5	4,750	10,050	1.0~6.5	1.53	91.2~389.5	112.1
coastal trap (small octopus)	9.2	209.9	79	2.5~8.0	6.23	206.4~783.3	566.0
offshore trap (red snow crab)	157.7	12,351	17,960	4.1~5.4	4.9	379.1~481.5	428.0

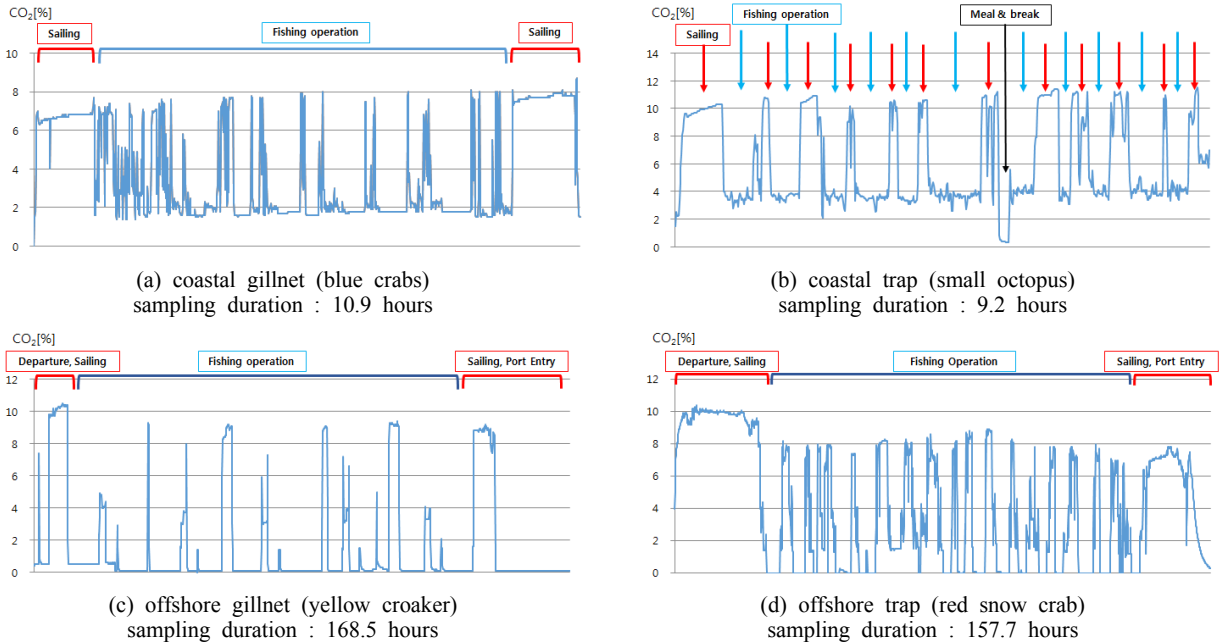


Fig. 2. CO₂ emission concentration and pattern by navigational status.

연안어선((a), (b))은 단시간 내 이동과 투·양승 작업의 반복으로 인해 엔진의 운전 형태가 짧은 간격으로 고속·저속을 번갈아 가동되며 CO₂ 농도의 변화가 잦았지만, 조업기간이 긴 근해어선((c), (d))은 CO₂ 농도 변화 간격이 상대적으로 컸고, 조업과 조업 간 주기를 끄고 정류하는 상황도 관측되었다. 연안 및 근해어업어선의 운항 및 조업 형태를 파악하여 대표 항차의 CO₂ 농도 실측값 변화량을 Fig. 2에 나타내었다.

온실가스 배출량 산정결과 비교

대상어선의 연료사용량을 활용하여 산출한 이론적

산정방법(Tier1)과 실측 배출가스의 온실가스 배출량 산정방법으로 각각 산출한 온실가스 배출량 규모는 근해어업이 연안어업의 약 10배 이상 많았다. 연안어업(꽃게자망, 낙지통발)은 이론적 산정량(Tier1)과 실측 배출량의 차이가 30.2~129.8 kg CO₂로 큰 차이가 없었다. 하지만 근해어업(참조기자망, 붉은대게통발)의 배출량 차이는 이론적 산정량(Tier1)이 현장 실측량에 비해 1,644.4~13,875.8 kg CO₂가 많은 것으로 조사되었다. 실측 온실가스 배출량 대비 이론 배출량(Tier1)의 비율 (현장실측배출값 / Tier1 산정값 비율)은 연안어업의 경우 꽃게자망은 0.96, 낙지통발은 1.24로 그 값이

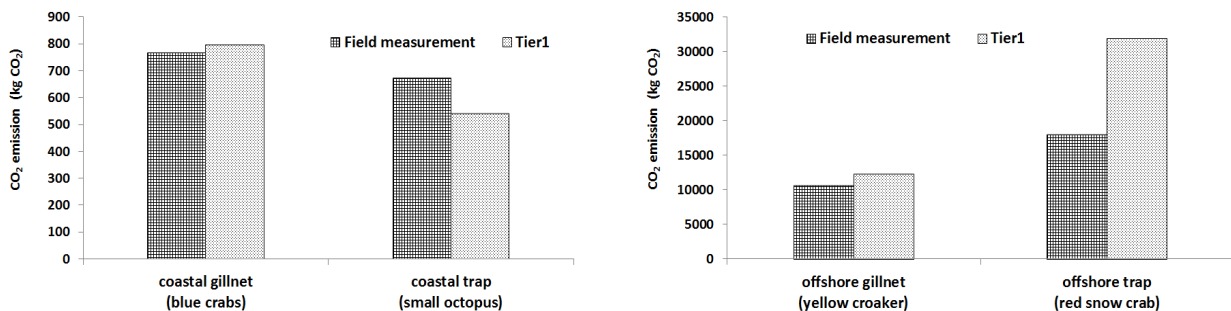


Fig. 3. Comparison of CO₂ emission with coastal and offshore fishery.

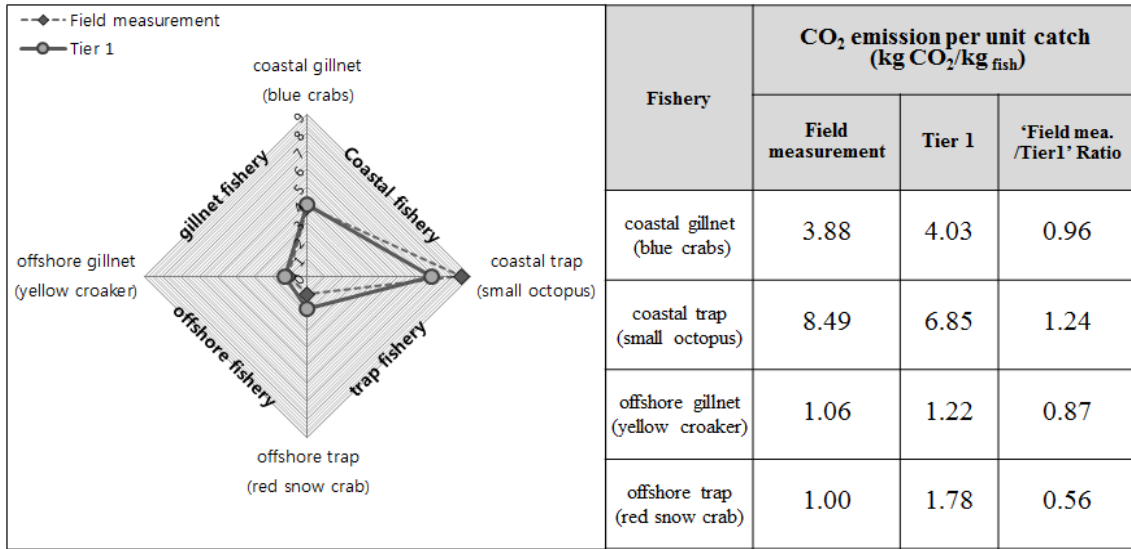


Fig. 4. Comparison of CO₂ emission per unit catch.

1과 유사한 수준이거나 높았으나, 근해어업은 참조기 자망 0.87, 붉은대게통발은 0.57로 모두 1 미만의 값을 가졌다. 평균 연료사용량을 활용하여 산출한 이론적 산정량(Tier1)과 운항 중 실측 온실가스 평균 농도로 산출한 온실가스 평균 배출량을 연안어업과 근해어업으로 구분하여 Fig. 3에 비교하였다.

연료를 원단위로 하여 현장실측을 통해 산정된 온실가스의 배출계수는 연안꽃게자망과 낙지통발어업이 각각 2.49 kg CO₂/L와 3.2 kg CO₂/L이고, 근해참조기자망이 2.24 kg CO₂/L 그리고 붉은대게통발어업이 1.46 kg CO₂/L으로 산정되었다. 그리고 단위 어획량을 원단위로 한 현장 실측 및 이론적 산정방법(Tier1)의 온실가스 배출량의 '단위 어획물 당 온실가스의 배출계수'와 '실측 배출량 대비 이론 배출량의 비율'을 Fig. 4에 나타냈다.

단위 어획량 당 온실가스 배출량은 연안어업의 경우 현장실측 배출량과 이론산정 배출량(Tier1)이 유사한 수준이거나 실측 배출량이 많았으나, 근해어업은 모두 이론적 산출량(Tier1)이 많았고, 연안어업이 근해어업 보다 약 4~8배 많았다. 이중 연안낙지통발어업의 배출량은 모든 산정방법에서 모두 타 대상 어업에 비해 배출량이 크게 많은 것으로 조사되었다.

각 어업의 단위 어획량 당 실측 온실가스 배출량 대비 이론 배출량(Tier1)의 비율(어획량 당 현장실측 배출계수 / 어획량 당 Tier1 산정계수 비율)을 보면 연안어업이

근해어업에 비해 높은 값을 나타냈다. 연안낙지통발어업을 제외한 꽃게, 참조기, 붉은대게어업의 비율은 1보다 적으므로, 실측치에 비해 이론 산정치의 배출량이 더 많은 것으로 확인되었다.

실측 대상 연안어업(꽃게자망, 낙지통발)과 근해어업(참조기자망, 붉은대게통발)의 대상 어선별 현장실측 온실가스 배출량 대비 이론배출량의 비율이 연안어업은 0.96~1.24이고, 근해어업은 0.51~0.87로 조사되었다. 연안어업어선의 현장실측 배출량과 이론 산정량의 차이는 상대적으로 적게 조사되었으나, 대상 근해어업어선은 이동거리와 항차별 조업기간이 길기 때문에 상대적 유류 사용량이 많으므로 Tier1 산정값이 현장 실측값에 비해 온실가스 배출량이 많은 것으로 나타났다.

연료소비량을 기반으로 현장실측을 통해 확인된 온실가스 실측 배출계수는 연안어업이 2.49~3.2 kg CO₂/L로 근해어업(1.46~2.24 kg CO₂/L)에 비해 높았다. 이것은 연안어업의 조업패턴이 복잡하고, 짧은 조업시간 내 지속적으로 고속 운행을 통해 배기가스 배출이 고농도로 유지되기 때문인 것으로 보인다. 단위어획물 당 온실가스 배출량은 연안어업의 경우 현장실측값과 이론산정량이 유사하거나 실측 배출량이 많은 수준이었으나, 근해어업은 모두 이론 산정량(Tier1)이 많았다. 연안어업에서 발생하는 단위 어획물 당 온실가스 발생량은 근해어업에 비해 약 4~8배 높았다. 이것은 연안어업의 어선

및 어업규모가 작고 조업시간이 짧아 총 어획물 중량이 근해 어업에 비해 매우 적기 때문이었다.

결론

정부는 국가 온실가스 감축 기본로드맵을 통해 각 부문별 온실가스 감축 계획을 수립하였다. 어업 분야도 이러한 정부의 감축 노력에 부응하기 위한 세부 계획을 수립하여 온실가스를 줄이기 위한 노력을 하고 있다. 하지만 어선어업의 온실가스 배출량 연구는 대부분 국가통계를 활용한 이론적인 배출량 산정과 관리에 머물고 있다. 따라서 국내 어업분야의 온실가스 배출 관리를 위해서는 온실가스 배출량의 정확한 산정과 감축 정책 수립을 위한 기초자료의 확보가 필요하다.

본 연구는 연근해자망 및 통발어업어선의 연구대상 선박을 선정하고 각 어선의 실제 연료 사용량에 따른 온실가스 배출량 이론적 산정(Tier1)과 어선 배기가스 현장실측 온실 가스 배출량을 비교하고, 어획량 및 연료 사용량 원단위에 따른 온실가스 배출계수를 비교 분석하였다. 본 연구의 결과는 어업의 업종에 따른 온실가스 배출관리와 감축 목표 및 저감 방안을 마련하고 현장 실측연구 방법 개발을 위한 기초자료로 활용하기 위하여 수행하였다.

본 연구의 대상어업 대부분이 1 이하의 '현장실측 온실가스배출량 대비 이론배출량 비율'을 갖는 것은 현장 실측치가 이론 배출량에 비해 적은 것을 의미한다. 하지만 연안낙지통발어업과 같이 타 연구대상 업종과 크게 상이한 결과가 도출되는 것은 현장실측치와 이론산정치의 불확도 영향으로 사료된다. 따라서 현장 실측치의 신뢰도 향상과 Tier1 이론 산정치의 정확도 향상을 위해서는 장기간 연속측정 시 발생하는 측정기기의 불확도 요인을 제거하여야 할 것으로 판단된다. 또한 본 연구를 통해 일부 업종에 대한 현장실측 자료를 확보한 것은 의미가 있으나 해당 업종을 대표하기 위해서는 각 어업의 선박 톤급 및 선형, 엔진 마력과 사용연수, 해황, 어구, 조업 방식에 따른 표본 선박을 추가 선정하여, 반복된 현장 실험을 통해 모집단을 대표할 수 있는 현장실측 결과와 배출계수를 생산하고 연료 소모량 및 현장 조업 중 실제 운용 형태(조업시, 항행시 등)에 따른 활동자료의 정확도 검증이 필요할 것으로 판단된다.

추후 본 연구조사 방법을 적용하여 기타 연근해어업

어선 실측연구에 적용함으로써 국내 어선어업의 온실가스 배출량 관리의 현장측정방법의 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 2018년 국립수산물과학원 수산시험사업 R2018041의 지원으로 수행한 연구입니다.

References

- An HC, Lee KH, Park SW, Park CD and Shin JK. 2007. Assessment of fishing power of common octopus (*Octopus minor*) trap fishery. *J Korean Soc Fish Technol* 43(3), 176-182.
- Bang CH, Jin BB, Lee JK, Yoon WW, Choi EH, Jeon WR, Goh JY and Kim SH. 2008. Study on emission characteristics of greenhouse gases by continuous measurement at the incineration plant. *Proceeding of the 46th Meeting of Korean Soc. for Atmospheric Environment* 4, 263-265.
- Bong CK, Park SJ, Kim YG, Lee IH, Lee HK and Hwang UH. 2011. A study on the calculation of GHG emissions from general ships by Tier3 method. *J. Korean Soc. of Environmental Engineers* 33(10), 701-708.
- Bong CK, Park SJ, Kim YK and Kim YK. 2011. Development of statistics system on greenhouse gas emission from ocean going vessels. *Proceeding of the 53th Meeting of Korean Soc. for Atmospheric Environment* 10, 149-150.
- Cho IH and Lee HK. 2010. Comparison of Tier1 and Tier2 for GHG emission analysis from marine vessel in terms of climate change. *Proceeding of the 50th Meeting of Korean Soc. for Atmospheric Environment* 5, 186-186.
- Choi SJ, Kim PS, Park SK, Park GJ, Kim JS, Kim JH and Son JH. 2014. A study on the methodology of greenhouse gas emission estimate based on classification of emission source from domestic fishing boat. *Proceeding of the Joint Meeting of Korean Soc. of Climate Change Research in 2014*, 1-184.
- Choi SJ, Park SG, Jang YK, Lee HK, Hwang UH and Bong CK. 2010. A study on the greenhouse gas emission from ships in Korea. *J of Korean Soc. of Transportation* 28(6), 33-42.
- Choi SJ, Park SG, Park GJ, Hong YS, Lee HK, Bong CK, Park

- SJ, Hwang UH, Jang YK and Lee HJ. 2009. A study on the methodologies for estimating greenhouse gas emissions from national fishing. Proceeding of the 49th Meeting of Korean Soc. for Atmospheric Environment 10, 229-230.
- Chun JK and Kim BS. 2012. The measurement method of CO₂ emission for construction equipment using ZigBee Sensor. J. of Kor. Soc. of Civil Engineers, 32(2D), 167-174.
- Han IW, Kim GD, Kim YS and Lee GH. 2016. Basic research on Green-House-Gas emissions from the fishing boat in the littoral fishery. Bulletin of the Institute of Fishing Technol Chonnam Nat. Univ. 9(1), 64-98.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. 2, 3.57-3.67.
- IPCC. 2007. IPCC Fourth Assessment Report : Climate Change. 30-33.
- Jung BW, Jung JH, Lee JH, Choi YN and Heo GS. 2010. Evaluation of GHG emissions inventories from environmental facilities in Daejeon City. Proceeding of the 50th Meeting of KOSAE (2010), 487-488.
- Kim, HJ, Yeo MJ, Kim YP, Jang GW, Shin WG, Lee MH and Choi HW. 2012. Comparison of the CO₂ emissions estimations among Four Tier methods for the facilities from different industrial sectors in Korea. Climate Change Research. 3(3), 195-209.
- Kim JY, Kim HJ and LEE JH. 2018. Analysis of greenhouse-gas emission from the major fisheries' fishing activities. Bulletin of the Institute of Fishing Technol Chonnam Nat. Univ. 11(1), 16-24.
- Kim PS, Kim JH, Son JH, Kim JS, Choi SJ, Park SK and Park GJ. 2014. A study on the method of estimation the greenhouse gas emissions base on the classification of fishing boat. J. of Climate Change Research. 5(4), 301-311. (DOI:10.15531/KSCCR.2014.5.4.301)
- Kim SH, Park SW, Lee KH and Lim JH. 2013. Characteristics on the fishing performance of a drift net for yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in accordance with the thickness of a net twine, J Korean Soc Fish Technol 49 (3), 218-226.
- Na KH, Song IS, Choi SL, Yoo JI, Park IB and Kim JG. 2012. The development of emission factors of greenhouse gas from middle and small-scaled RPF incineration facility by concentration measurement and fuel composition. J. of KOSAE 28(4), 423-434.
- National Institute of Environmental Research (NIER). 2014. A Study on the development of air pollutants and greenhouse gases emission factor and emission estimation from the domestic coastal shipping. NIER-SP2015-048, 26.
- National Institute of Environmental Research (NIER). 2015. A study on method of emission estimation of air pollutants from the domestic coastal shipping. NIER-GP2015-219, 1-7.
- Oh TY, Seo YI, Hwang KS, Cha HK, Jo HS, Hwang BK, Kim BY, Kim SJ and Lee YW. 2017. Change of relative fishing power index by technological development in the offshore red snow crab trap fishery. JFMSE 29(5), 1640-1647.
- Park CD, Jo SG, Kim HY and Park SW. 2013. Mesh selectivity of gill net for swimming crab *Potunus trituberculatus* in the western coastal waters of Korea, J. of Kor Soc Fish. Tech 49(2), 106-115.
- Park JA, Gardner C, Chang MI, Kim DH and Jang YS. 2015. Fuel use and greenhouse gas emissions from offshore fisheries of the Republic of Korea. PLoS ONE 10(8): e0133778. (DOI:10.1371/journal.pone.0133778).
- Rhee YH, Kim YK, Lee JY and Jung WS. 2010. A study on the measurement method for greenhouse gas (GHG) emission factors of diesel locomotives. Proceeding of Kor. Soc. for Railway 10, 1569-1572.
- Shin DW, Jang WB and Lee JH. 2016. A quantitative analysis of greenhouse gas emissions from the Korean offshore large purse seine fishery. Bulletin of the Institute of Fishing Technol Chonnam Nat. Univ. 9(1), 50-59.

2018. 07. 27 Received

2018. 10. 02 Revised

2018. 11. 13 Accepted