

다수 업종의 교차분석을 통한 꽃게 및 대게 어획 시 온실가스 배출량의 정량적 분석

이건호 · 이지훈^{1*} · 박수아² · 박민서²

경상국립대학교 해양경찰시스템학과 교수, ¹전남대학교 해양생산관리학과 교수, ²전남대학교 수산과학과 대학원생

A quantitative analysis of greenhouse gases emissions from catching swimming crab and snow crab through cross-analysis of multiple fisheries

Gunho LEE, Jihoon LEE^{1*}, Sua PARK² and Minseo PARK²

Professor, Department of Maritime Police System, Gyeongsang National University, Tongyoung 53064, Korea

¹Professor, Department of Marine Production Management, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

²Master Student, Department of Fisheries Sciences, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

The interest in greenhouse gases (GHG) emitted from all industries is emerging as a very important issue worldwide. This is affecting not only the global warming, but also the environmentally friendly competitiveness of the industry. The fisheries sector is increasingly interested in greenhouse gas emissions also due to the Paris Climate Agreement in 2015. Korean industry and government are also making a number of effort to reduce greenhouse gas emissions so far, but the effort to reduce GHG in the fishery sector is insufficient compared to other fields. Especially, the investigation on the GHG emissions from Korean fisheries did not carry out extensively. The studies on GHG emissions from Korean fishery are most likely dealt with the GHG emissions by fishery classification so far. However, the forthcoming research related to GHG emissions from fisheries is needed to evaluate the GHG emission level by species to prepare the adoption of Environmental labels and declarations (ISO 14020). The purpose of this research is to investigate which degree of GHG emitted to produce the species (swimming crab and snow crab) from various fisheries. Here, we calculated the GHG emission to produce the species from the fisheries using the life cycle assessment (LCA) method. The system boundary and input parameters for each process level are defined for LCA analysis. The fuel use coefficients of the fisheries for the species are also calculated according to the fuel type. The GHG emissions from sea activities by the fisheries will be dealt with. Furthermore, the GHG emissions for producing the unit weight species and annual production are calculated by fishery classification. The results will be helpful to establish the carbon footprint of seafood in Korea.

Keywords: Life cycle assessment (LCA) method, Greenhouse gases emission, Multiple fisheries, Fuel use coefficient

Received 7 February 2023; Revised 16 February 2023; Accepted 24 February 2023

*Corresponding author: jihoon.lee@jnu.ac.kr, Tel: +82-61-659-7123, Fax: +82-61-659-7129

Copyright © 2023 The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology

서론

최근 세계적으로 기후변화가 급격하게 진행되어 여러 기후재해가 발생하고 있으며, 이는 지구온난화에 기인한 것으로 지구온난화를 유발하는 온실가스 배출에 관한 관심이 지속해서 증가하고 있다. 2019년 전 세계적으로 43.1조 톤의 이산화탄소가 인간 활동으로 인하여 대기 중으로 배출되어 그 심각성은 점차 가중되고 있다(The World Counts, 2022). 한국 또한 2019년 0.59기가톤의 이산화탄소를 배출하여 전 세계 7위에 해당할 정도로 많은 온실가스를 배출하였다(Union of Concerned Scientists, 2022). 이런 심각한 상황을 인식하고 전 산업 분야에 걸쳐 온실가스 배출을 저감하기 위한 많은 노력들이 진행되고 있으며, 온실가스 배출 저감을 위한 노력의 일환으로 1997년 개최된 유엔 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) 당사국 총회에서 채택된 교토의정서에 따라 의무감축국으로 지정된 선진국들은 온실가스 배출 저감이라는 매우 시급한 문제에 직면하게 되어 사회적으로도 매우 중요한 문제가 되었다. 특히, 2015년 프랑스 파리에서 개최된 제21차 유엔기후변화협약 당사국 총회에서 한국의 경우 2030년까지 BAU (Business As Usual) 대비 37%를 감축하기로 하였으며, 특히 수산 부분에서는 2020년 BAU 대비 4.8%의 감축 목표를 제시하였다(Bae et al., 2019). 더 나아가, 한국의 경우 2021년 기후 적응 정상회의에서 2050년까지 탄소중립을 실현하겠다고 선언함으로써 모든 산업분야에서 온실가스 배출을 줄이는 것이 시급한 문제로 대두되고 있다.

수산분야의 온실가스 감축과 관련된 최근 연구에는 어선어업 분야의 수산물 생산에 소요되는 에너지 및 온실가스 배출을 정량적으로 분석한 연구들(Ellingsen and Aanonsen, 2006; Ziegler, 2006, 2007; Thrane, 2004a,b, 2006; Christensen et al., 2001; Hospido and Tyedmers, 2005; Tyedmers, 2001; Áqústsson et al., 1978; Ziegler and Hausson, 2003; Winther et al., 2009; Schau et al., 2009)이 있으며, 어선 및 어구 설계를 개선하여 유류소모량을 감소시키고자 한 연구들(Aanonsen, 1997; Choi et al., 2016; Curtis et al., 2006; Lee et al., 2010a; Prior and Khaled, 2009; Lee and Lee, 2010; Lee et al., 2018b; Sterling and Goldsworthy, 2007; Sterling and Klaka, 2007)이 있다. 또한 양식업으로부터 수산물을 생산하는

데 소요되는 에너지 및 온실가스 배출량을 정량적으로 분석한 연구들(Ellingsen et al., 2009; Pelletier and Tyedmers, 2007; Florence et al., 2019; Ling et al., 2013; Ramin et al., 2021)이 외국을 중심으로 수행된 바 있다.

이처럼 우리나라 수산분야의 온실가스 배출에 관한 연구는 업종별 온실가스 배출량 분석에 관한 연구 위주로 수행되어 왔으며(Bae et al., 2019; Lee et al., 2010a; 2010b; Lee and Lee, 2011; Lee, 2013; Lee et al., 2015; Kim et al., 2017; Lee et al., 2018a), 양식업에 의한 온실가스 배출에 관한 연구는 제대로 수행된 바가 없다. 뿐만 아니라 다양한 업종에 의하여 어획되는 동일 어종이 생산될 때 배출되는 온실가스량에 대한 정량적 분석에 관한 연구는 이제 시작 단계에 머물러 있다(Kang et al., 2021). 따라서, 향후 수산물에 대한 탄소성적표지제(ISO 14020, 2000) 도입을 대비하기 위하여서는 다양한 업종에서 생산되는 동일 어종에 대한 온실가스 배출량을 비교하여 정량적으로 분석하는 연구가 시급한 실정이다.

본 논문에서는 대게와 꽃게를 어획하는 다양한 업종의 온실가스 배출량을 비교 분석하기 위하여 대상 어종 생산에 따른 업종별 연료소모계수를 도출하였으며, 전과정 환경영향평가(Life Cycle Assessment: LCA) 방법을 적용하여 단위중량의 동일 어종을 생산하는데 배출되는 온실가스량 및 연간 온실가스 배출량을 정량적으로 분석하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 전과정 환경영향평가 방법을 적용하여 대게와 꽃게를 어획하는 다양한 업종에 대한 최근 3년간(2019~2021년)의 생산량과 유류사용량 데이터를 활용하여 교차분석을 통한 단위생산량당 온실가스 배출량 및 연간 온실가스 배출량을 정량적으로 분석하였다.

전과정 환경영향평가(Life Cycle Assessment: LCA)

전과정 환경영향평가(이하 LCA)는 제품 생산의 과정을 구분하여 환경영향평가를 수행할 수 있다. 평가의 과정은 제품 생산의 전 과정에 대한 분석인 요람에서 무덤까지의 분석(Cradle to Grave)과 제품 생산의 전 과정과 전 과정 중 제품 생산의 특정 과정들에 대한 해석(Cradle to Gate, Gate to Gate, Gate to Grave) 등으로 구분된다. 각 과정에 대한 정의는 목적에 따라서도 구분

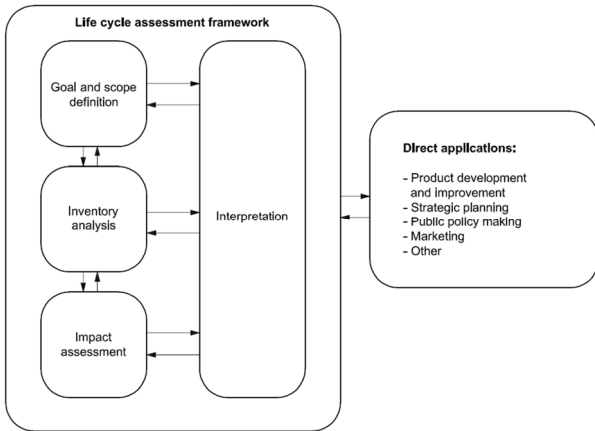


Fig. 1. Stage of an Life Cycle Assessment (ISO 14040, 2006).

할 수 있는데, 전자의 경우 원료 획득에서부터 제품 생산, 운송, 사용 및 폐기까지의 제품의 전 과정에서 환경에 미치는 영향을 평가하는 방법이며(Park, 2004), 후자의 경우 재활용 단계 혹은 폐기물 관리와 같은 단계를 생략하고 그 이전까지 단계에서 발생하는 환경영향을 평가하는 방법으로 구분할 수 있다.

LCA 방법은 목적 및 범위 정의, 목록 분석, 영향 평가 그리고 결과 해석의 4가지의 단계로 구성된다(Fig. 1).

시스템 경계(System boundary)

주요 2개 어종(꽃게, 대게)을 어획하는 다양한 어업의 LCA 분석을 위한 해석의 범위는 앞서 언급한 것과 같이 특정 과정들에 대한 해석(Gate to Gate) 방식을 적용하였으며, 다음과 같이 수산물의 어획 과정에 대하여 시스템 경계를 구성하였다(Fig. 2). 즉, 어선이 항구에서 출항하여 어장까지 이동하는 단계, 어획 활동이 이루어지는 단계, 어획 활동을 마친 후 어획물을 항구로 운송하는 단계로 나누어 각각을 온실가스 배출량을 분석하는 체계로 설정하였다.

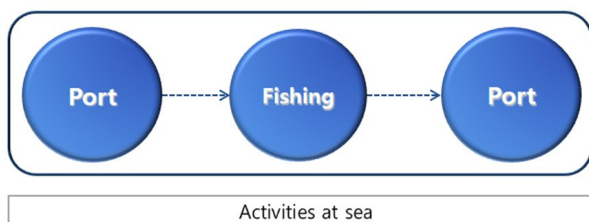


Fig. 2. System boundary of the capture fishery for LCA.

할당 방법(Allocation method)

전과정 환경영향평가를 수행하기 위한 분석 방법 설정에는 본 논문에서 어획량과 유류 사용량의 질량을 이용하였기 때문에 질량할당(Mass-based allocation) 방법을 적용하였다.

다수 어업에 의한 동일 어종(꽃게, 대게) 생산에 대한 온실가스 배출량을 교차 분석하기 위하여 동일 업종에서 해당 어종 생산에 투입되는 어획 노력량이 상이함을 고려하여 어업별 동일 어종에 대한 유류 소모계수를 질량할당 방법을 통하여 도출하였다.

질량 할당 방법에 따른 어획량과 유류 사용량의 상호 관계 및 동일 어종에 대한 업종별 교차분석을 위한 관계를 아래의 식으로 나타내었다(Schau et al., 2009).

$$y_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_k a_{ik}} \cdot y_j \quad (1)$$

$$x_{ij} = \frac{y_{ij}}{a_{ij}} = \frac{\sum_k a_{ik} \cdot y_i}{a_{ij}} = \frac{y_i}{\sum_k a_{ik}} \quad (2)$$

여기서, a_{ij} 는 어선 i 를 이용하여 어획된 어종 j 의 질량(kg), k 는 어종, y_j 는 어선 i 를 이용하여 어종 j 를 어획할 때 사용된 유류량(liter), x_{ij} 는 어선 i 를 이용하여 어종 j 를 어획할 때의 유류 소모계수(liter/kg)이다.

어획량 데이터, 유류 사용량 데이터 및 어선 세력

어획량 데이터는 해양수산부 수산정보 포털(KFIP, 2022)에서 제공되는 자료를 사용하였으며, 업종별 유류 소모량은 해당 업종에 공급되는 면세유 판매 실적과 동일하다는 가정하에서 면세유 판매실적을 유류 사용량으로 사용하였으며, 이때 각 업종에 따라 사용 유종을 각각 반영하여 분석을 수행하였다. 분석에는 최근 3년간(2019~2021년)의 자료를 이용하였다.

전과정평가(Life Cycle Assessment: LCA) 도구

업종별 온실가스 배출량을 분석하기 위하여 분석 도구는 네덜란드 PRé Consultants의 SimaPro V9.4.0.2를 이용하였으며, LCA를 수행하기 위한 기초적인 목록

(Life Cycle Inventory: LCI)은 스위스 LCI 센터의 Ecoinvent를 이용하였다. 또한 환경에 영향을 주는 정도의 크기를 분석하는 방법으로는 Impact 2002+를 이용하여 전과정평가를 수행하였다.

결과 및 고찰

업종별 생산량, 연료사용량 및 연료소모계수

최근 3년간(2019~2021년) 대게를 어획한 업종은 24개, 꽃게를 어획한 어종은 7개 업종이었고, 해당 어종들의 생산량 규모를 고려하여 연간 500 M/T 이상 어획한 5개 업종(꽃게) 및 2개(대게) 업종에 대하여 업종별 어획량 및 업종별 연간 어획량 중 해당 어종의 어획량 비중을 분석하였다.

해당 어종에 대한 생산량 분석 결과, 꽃게를 어획하는 업종의 경우 2021년 기준으로 연안자망, 연안통발, 근해자망, 연안개량안강망, 근해안강망의 순으로 높게 분석되었다. 연안자망 업종이 해당 분석기간동안 가장 많은 생산량을 보여주었으며 2019년부터 2021년까지 약 43%의 생산량 증가를 나타내었을 뿐만 아니라 해당기간동안 지속적으로 생산량이 증가하는 것으로 분석되었

다. 반면 타 업종의 경우 2019년 이후 생산량이 지속적으로 감소하는 것으로 분석되었다(Fig. 3(a)). 또한, 해당 업

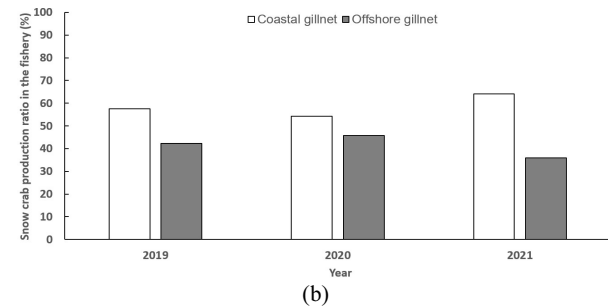
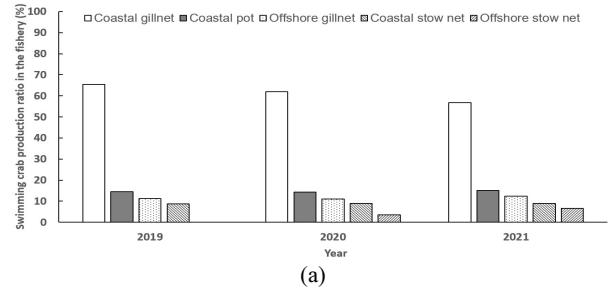


Fig. 4. Annual production ratio for swimming crab (a) and snow crab (b) in the fisheries during 2019 to 2021.

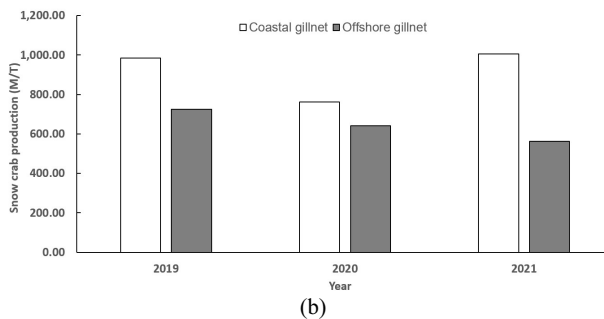
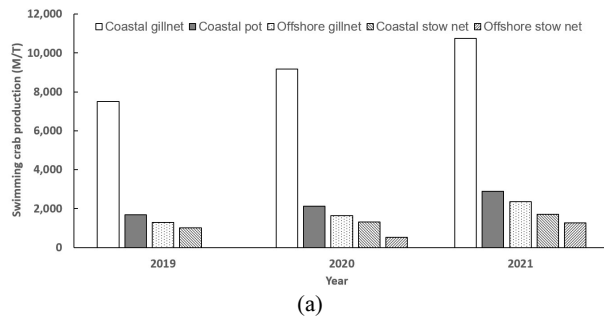


Fig. 3. Annual production for swimming crab (a) and snow crab (b) by various fisheries during 2019 to 2021.

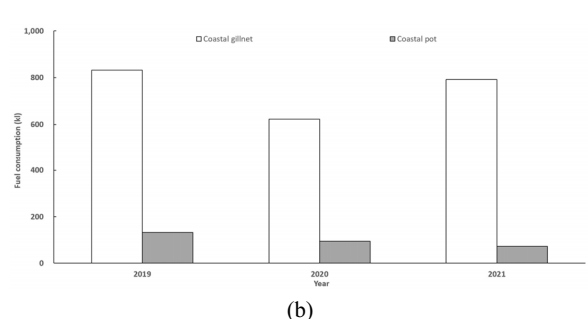
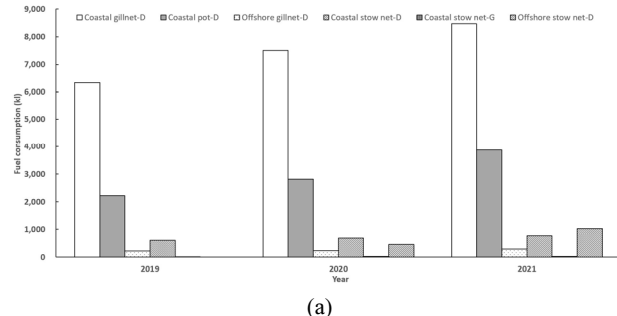


Fig. 5. Annual fuel consumption of fisheries for catching swimming crab (a) and snow crab (b) during 2019 to 2021 (D: Diesel, G: Gasoline).

Table 1. Fuel use coefficient for catching swimming crab by various fisheries during the period 2019-2021

Fishery	Fuel type	Fuel consumption coefficient (liter/kg)		
		2019	2020	2021
Coastal gillnet	D	0.85	0.82	0.79
Coastal pot	D	1.32	1.32	1.35
Offshore gillnet	D	0.18	0.15	0.13
Coastal stow net	D	0.59	0.52	0.44
	G	0.02	0.02	0.02
Offshore stow net	D	-	0.86	0.82

*D: Diesel, G: Gasoline.

Table 2. Fuel use coefficient for catching snow crab by various fisheries during the period 2019-2021

Fishery	Fuel type	Fuel consumption coefficient (liter/kg)		
		2019	2020	2021
Offshore gillnet	D	0.85	0.82	0.79
Offshore gillnet	D	0.18	0.15	0.13

*D: Diesel.

종들에서 생산되는 연간 꽃게 생산량 비중 중 연안자망 업종으로부터 56.8~65.43%가 생산되어 연안자망이 가장 많은 꽃게 생산을 하는 업종으로 분석되었다(Fig. 4(a)).

또한, 대게를 어획하는 업종의 경우 2021년 기준으로 연안자망, 근해자망의 순으로 높게 분석되었다. 해당 분석기간동안 연안자망 업종의 생산량은 985~1,005 M/T으로 가장 많은 생산량을 보였는데 2020년에는 일시적으로 생산량이 감소하였고, 2021년의 생산량은 2019년에 비하여 약 2% 정도 증가하였다(Fig. 3(b)). 또한 전체 대게 생산량 중 연안자망 업종으로부터 생산되는 비중은 연간 54.2~64.1%로 연안자망이 전체 업종 중에서 가장 많은 대게 생산을 하는 업종으로 분석되었다(Fig. 4(b)).

꽃게와 대게를 어획하는 업종들에 대한 유류 사용량을 분석한 결과, 꽃게를 어획하는 업종의 경우 2021년 기준으로 연안자망, 연안통발, 근해안강망, 연안개량안강망, 근해자망의 순으로 높게 분석되었다. 특히, 연안자망이 대상어종을 어획하기 위하여 연간 약 6,343~8,472 kl의 유류를 사용하는 것으로 분석되어 가장 많은 유류를 사용하는 업종으로 분석되었다. 근해안강망의 경우 2020년 대비 2021년 유류사용량 증가율이 123%에 달할 정도로 많은 증가율을 보여주는 것으로 분석되었다. 또한, 연안자망의 유류 사용량은 연안통발 및 근해안강망에 비하여 각각 약 2.25배 및 8.24배 많은 유류를 사용하는 것으로 분석되었다(Fig. 5(a)).

또한, 대게를 어획하는 업종의 경우 2021년 기준으로

연안자망, 연안통발의 순으로 높게 분석되었다. 해당 분석기간동안 연안자망이 약 832~792 kl, 연안통발이 약 94~133 kl를 소모한 것으로 분석되었으며, 연안자망 업종의 경우 연안통발 업종과 비교하여 최대 10.9배 정도 많은 연료를 사용하는 것으로 분석되었다(Fig. 5(b)).

동일 어종을 어획하는 여러 업종들에 대하여 앞서 제시된 할당 방법으로 업종들에 대한 교차분석을 수행하여 꽃게 및 대게에 대한 유류 소모계수를 각각 Table 1 및 Table 2에 제시하였다.

꽃게를 어획하는 업종들의 유류 소모계수는 연안통발, 근해안강망, 연안자망, 연안개량안강망, 근해자망의 순으로 높게 분석되었으며, 해당 분석기간동안 각각 1.32~1.35, 0.79~0.85, 0.82~0.86, 0.46~0.61, 0.13~0.18로 분석되었다. 연안통발의 경우 소폭 증가하는 경향으로 보였으며, 타 업종의 경우 지속적으로 감소하는 경향을 나타내는 것으로 분석되었다(Table 1). 대게를 어획하는 업종들의 유류 소모계수는 연안자망, 근해자망의 순으로 높게 분석되었으며, 해당 분석기간동안 각각 0.79~0.85, 0.13~0.18으로 분석되었다. 분석기간동안 연안자망 및 근해자망 두 업종 모두 유류소모계수가 지속적으로 감소하는 경향을 나타내는 것으로 분석되었다(Table 2).

업종별 단위 어획량당 온실가스 배출량

앞서 도출된 업종별 유류 소모계수(Table 1 및 2)를 통하여 전과정평가방법으로 최근 3년간(2019~2021년)

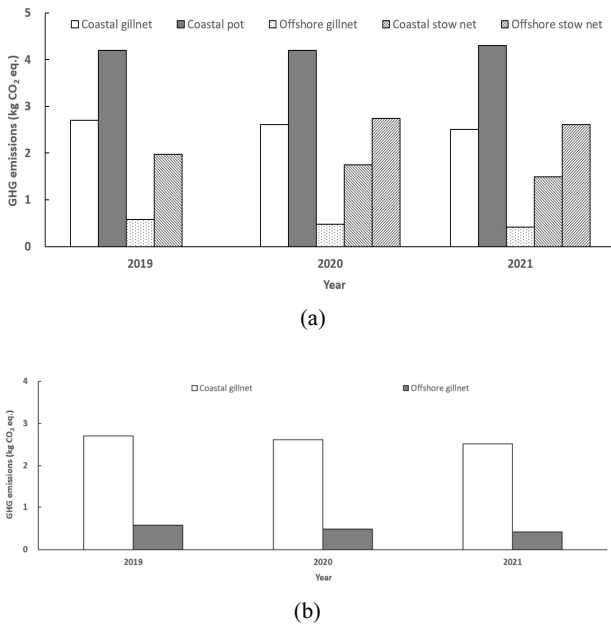


Fig. 6. GHG emissions for catching 1kg swimming crab (a) and snow crab (b) by various fisheries during 2019 to 2021.

다양한 어업에 의하여 꽃게 1 kg 및 대게 1 kg을 어획하여 항구에 하역하는 데까지 발생하는 온실가스량을 분석하였다(Fig. 6).

분석 결과, 꽃게를 어획하는 5개 업종에서 1 kg을 생산하기 위하여 배출되는 온실가스량은 2021년 기준 연안통발, 근해안강망, 연안자망, 연안개량안강망, 근해자망의 순으로 높게 나타났다. 연안통발의 경우 2019년에 비하여 2021년에 약 2% 정도 증가하였으나, 타 업종들의 경우 지속적으로 감소하는 경향을 나타내는 것으로 분석되었다. 이처럼 배출량 분석결과, 꽃게를 어획하는 연안통발로부터 배출량이 비교적 높게 분석되어 향후 꽃게 생산측면에서는 연안통발의 온실가스 배출량 감소를 위한 노력이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 대게를 어획하는 업종(2개 업종)에서 대게 1 kg을 생산하기 위하여 배출되는 온실가스량은 연안자망, 근해자망의 순으로 높게 분석되었다. 분석기간동안 해당업종 모두 지속적으로 온실가스 배출량이 감소하는 것으로 분석되었다.

업종별 연간 온실가스 배출량

대상 어종을 1 kg 어획하는데 배출되는 온실가스 배출량 결과 및 연간 대상 어종 생산량을 바탕으로 꽃게

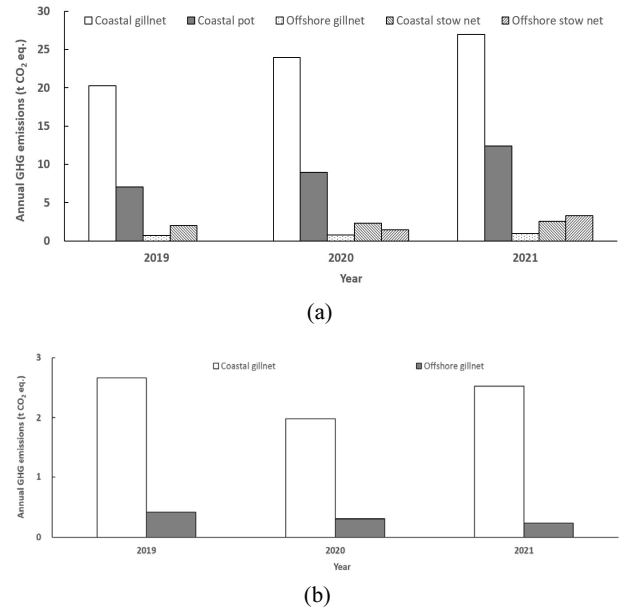


Fig. 7. Annual GHG emissions for producing swimming crab (a) and snow crab (b) by various fisheries during 2019 to 2021.

및 대게를 어획하는 업종별 연간 온실가스 배출량을 분석 및 계산하였다(Fig. 7).

분석 결과에 따르면, 꽃게를 생산하는 업종들의 연간 온실가스 배출량은 연안자망, 연안통발, 근해안강망, 연안개량안강망, 근해자망어업 순으로 높게 분석되었다.

분석기간동안 해당 업종 모두 연간온실가스 배출량이 지속적으로 증가하는 경향을 보였으며, 가장 많은 연간 온실가스를 배출하는 연안자망의 경우 2021년 배출량이 2019년 배출량 대비 33% 증가하는 경향을 보였다.

2019년 기준으로 연안자망, 연안통발, 근해안강망, 연안개량안강망 어업에서 꽃게를 어획하기 위한 연간 온실가스 배출량은 각각 약 20.3 t CO₂ eq., 7 t CO₂ eq., 2 t CO₂ eq., 0.75 t CO₂ eq.로 분석되었으며, 2021년 기준 각각 27 t CO₂ eq., 12.4 t CO₂ eq., 3.3 t CO₂ eq., 2.6 t CO₂ eq., 0.97 t CO₂ eq.으로 분석되어 배출량이 전반적으로 증가하고 있는 것으로 분석되었다(Fig. 7(a)).

또한, 대게를 생산하는 업종들의 연간 온실가스 배출량은 연안자망, 근해자망 어업의 순으로 높게 분석되었다.

분석기간동안 해당 업종 모두 지속적으로 감소하는 경향을 보였으나, 연안자망의 경우 2020년 대비 2021년 온실가스 배출량이 27% 증가한 것으로 분석되었다.

2019년 기준으로 연안자망, 근해자망 어업에서 대게를 어획하기 위한 연간 온실가스 배출량은 각각 2.66 t CO₂ eq., 0.42 t CO₂ eq.으로 분석되었으며, 2021년 기준 각각 2.52 t CO₂ eq., 0.23 t CO₂ eq.으로 분석되어 전반적으로 연간 온실가스 배출량이 감소한 것으로 분석되었다(Fig. 7(b)).

분석 결과, 꽃게를 생산하는 업종 중 근해안강망어업은 생산 규모는 가장 낮은 수준으로 제일 많은 꽃게를 생산하는 연안자망에 비하여 생산량은 12% 수준이며 꽃게를 생산하기 위한 단위어획량당 온실가스 배출량은 연안자망보다 4% 높은 수준이며, 연안통발어업은 생산 규모로는 두 번째로 크며 생산량은 연안자망의 27% 수준이며 단위어획량당 온실가스 배출량은 연안자망보다 약 71%가 더 많아 생산에 비하여 매우 높은 수준의 유류를 사용하고 있는 것으로 나타나 향후 근해안강망 및 연안통발어업으로부터 꽃게를 생산하는데 온실가스 배출량을 저감시키기 위해서는 유류 사용 저감 방안이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 대게를 생산하는 연안자망 업종은 생산 규모가 근해자망에 비하여 44% 높으나 단위어획량당 온실가스 배출량은 601% 수준으로 생산에 비하여 과다한 유류를 사용하여 높은 수준의 온실가스를 배출하고 있는 것으로 분석되었다. 대상어종을 어획하는데 높은 온실가스 배출 수준을 보인 업종들 중 주 대상어종이 타 어종인 경우가 존재하지만 온실가스 배출량 규모 측면에서 향후 관리가 필요할 것으로 판단된다.

결론

본 논문은 꽃게 및 대게를 어획하는 업종들의 온실가스 배출량을 정량적으로 파악하기 위해서 전과정 환경영향평가방법을 이용하여 최근 3년간의 생산량 및 에너지 사용실태를 조사하였으며, 동일어종을 생산하는데 요구되는 어획 노력량이 상이함을 고려하여 유류 소모계수를 도출하고 국내 수산업의 생산체계를 고려하여 시스템경계를 도출하였다. 분석 결과 꽃게 1 kg을 생산하기 위하여 배출되는 온실가스량은 연안통발, 근해안강망, 연안자망, 연안개량안강망, 근해자망 어업의 순으로 높게 나왔으며, 대게 1 kg을 생산하기 위하여 배출되는 온실가스량은 연안자망, 근해자망 어업의 순으로 높게 분석되었다. 또한, 꽃게를 생산하는데 배출되는 업종별 연간 온실가스 배출량 측면에서는 연안자망, 연안통

발, 근해안강망, 연안개량안강망, 근해자망 어업의 순으로 높게 분석되었으며, 대게의 경우 연안자망, 근해자망 어업의 순으로 높게 분석되었다. 특히, 꽃게를 어획하는 업종에서는 연안통발, 근해안강망, 대게를 생산하는 업종에서는 연안자망이 생산량에 비하여 배출하는 온실가스량이 높은 것으로 분석되어 향후 온실가스 배출량을 감축하기 위하여 많은 노력이 필요할 것으로 판단된다.

References

- Aanondsen SA. 1997. Life cycle assessments of environmental performance used as a tool in ship design (In Norwegian: Livsløpsanalyser for beregning av miljøpåvirkning brukt som verktøy ved prosjektering av skip). M.Sc. Thesis, Department of Marine Technology, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway. 1-56.
- Áqústsson A, Ragnarsson E and Laxdal H. 1978. Fuel consumption of Icelandic fishing vessels. *Ægír-tímarit um sjávarútveg* 71, 462-486.
- Bae JH, Yang YS, Kim HY, Hwang BK, Lee CW, Park SB and Lee J. 2019. A quantitative analysis of greenhouse gas emissions from the major offshore fisheries. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 55, 1-50. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2019.55.1.050>.
- Choi SJ, Hong YS, Park GJ, Lee GS, Kim PS and Cho DH. 2016. A study on the development of air pollutants and greenhouse gases emission factor and emission estimation from the domestic coastal shipping (Ⅲ). National Institute of Environmental Research R&D Report, 1-127.
- Curtis HC, Graham K and Rossiter T. 2006. Options for improving fuel efficiency in the UK fishing fleet. Sea Fish Industry Authority & European Community. 1-48.
- Ellingsen H and Aanondsen SA. 2006. Environmental impacts of wild caught cod and farmed salmon - a comparison with chicken. *Int J Life Cycle Assess* 11, 60-65. <https://doi.org/10.1065/lca2006.01.236>.
- Ellingsen H, Olaussen JO and Utne IB. 2009. Environmental analysis of the Norwegian fishery and aquaculture industry - A preliminary study focusing on farmed salmon. *Mar Policy* 33, 479-488. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.11.003>.
- Florence AB, Michael ZH, Jørgen S and Alexis L. 2019. Life cycle assessments of aquaculture systems: a critical

- review of reported findings with recommendations for policy and system development. *Rev Aquacult* 11, 1061-1079. <https://doi.org/10.1111/raq.12280>.
- Hospido A and Tyedmers P. 2005. Life cycle environmental impacts of Spanish tuna fisheries. *Fish Res* 76, 174-186. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2005.05.016>.
- ISO 14020. 2000. Environmental labels and declarations - General principles. ISO Geneva, Switzerland, 1-5.
- ISO 14040. 2006. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. ISO Geneva, Switzerland, 1-20.
- Kang KM, Lee J and Shin DW. 2021. A quantitative analysis of greenhouse gases emissions by multiple fisheries for catching the same species (hairtail and small yellow croaker). *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 57, 149-161. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2021.57.2.149>.
- KFIP. 2022. Retrieved from http://www.fips.go.kr/jsp/sf/ss/ss_law_kind_list.jsp?menuDepth=070105. Accessed August 2022.
- Kim HY, Yang YS, Hwang BK and Lee J. 2017. A quantitative analysis of greenhouse gas emissions from the major coastal fisheries using the lca method. *J Korean Soc Fish Technol* 53, 77-88. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2017.53.1.077>.
- Lee J and Lee CW. 2010. Low-Carbon trawl design with analysis of a gear drag and calculation of construction costs using numerical methods. *J Kor Soc Fish Tech* 46, 313-323. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2010.46.4.313>.
- Lee CW, Kim HS and Lee J. 2010a. Research of Low-carbon emission marine production technology. Land Transport and Maritime R&D Report, 1-573.
- Lee DW, Lee JB, Kim YH and Jung SG. 2010b. Calculation of Carbon Dioxide Emissions by South Korea's Fishery Industry. *Kor J Fish Aquat Sci* 43, 78-82. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.1.078>.
- Lee J and Lee CW. 2011. A quantitative analysis of GHG emissions from the Korean offshore large scale fisheries using an LCA method. *Kor J Fish Aquat Sci* 44, 383-389. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2011.0383>.
- Lee J. 2013. A quantitative analysis of GHG emissions from the Korean large scale purse seine fishery using LCA method. *J Kor Soc Fish Tech* 49, 282-290. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2012.49.3.282>.
- Lee J, Lee CW and Kim JE. 2015. A quantitative analysis of Greenhouse gas emissions from the danish seine fishery using life cycle assessment. *Kor J Soc Fish Aquat Sci* 48, 200-206. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2015.0200>.
- Lee J, Kim TH, Ellingsen H, Hognes ES and Hwang BK. 2018a. Energy consumption and greenhouse gas emission of Korean offshore fisheries. *J Ocean Univ China* 17, 675-682. <https://doi.org/10.1007/s11802-018-3511-0>.
- Lee J, Lee CW, Park SH, Kim JE, Park SB and Kim TH. 2018b. Development of a low-energy midwater trawl with different combinations of trawl nets and trawl doors through model experiments. *Fish Sci* 84, 323-334. <https://doi.org/10.1007/s12562-017-1158-1>.
- Ling C, James SD and Gregory AK. 2013. Role of life cycle assessment in sustainable aquaculture. *Rev Aquacult* 5, 61-71. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01080.x>.
- Park KH. 2004. Development of Triple Bottom Line integrated model for environmental, economic and social evaluation of construction project. Ph.D. Thesis, Department of environmental engineering, Inha University, Korea, 1-237.
- Pelletier N and Tyedmers P. 2007. Feeding farmed salmon: Is organic better?. *Aquaculture* 272, 399-416. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.06.024>.
- Prior D and Khaled R. 2009. Optimisation of Trawl Energy Efficiency under Fishing Effort Constraint. In *Proc. Of the 9th International Workshop "DEMaT09"*, Nara, Japan. 163-176.
- Ramin G, Suzanne EB, Kevan LM, Qiong Z and Maya AT. 2021. Life cycle assessment of aquaculture systems: Does burden shifting occur with an increase in production intensity? *Aquac Eng* 92, 102130. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102130>.
- Schau EM, Ellingsen H, Endal A and Aanonsen SA. 2009. Energy consumption in the Norwegian fisheries. *J Cleaner Prod* 17, 325-334. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.08.015>.
- Sterling D and Goldsworthy L. 2007. Energy efficient fishing: A 2006 review - Part A - Alternative fuels and efficient engines. Australian Government - Fisheries Research and Development Corporation Report, 1-52.
- Sterling D and Klaka K. 2007. Energy efficient fishing: A 2006 review - Part B - Hull characteristics and efficiency. Australian Government - Fisheries Research and Development

- Corporation Report, 1-27.
- The World Counts. 2022. Retrieved from <https://www.theworldcounts.com/challenges/global-warming/global-co2-emissions>. Accessed October 2022.
- Thrane M. 2004a. Environmental impacts from Danish fish products - Hot spots and environmental policies. Ph.D. Thesis, Department of Development and Planning, Aalborg University, Denmark, 1-535.
- Thrane M. 2004b. Energy consumption in the Danish fishery: identification of key factors. *J Ind Ecol* 8, 223-239. <https://doi.org/10.1162/1088198041269427>.
- Thrane M. 2006. LCA of Danish fish products. New methods and insights. *Int J Life Cycle Assess* 11, 66-74. <https://doi.org/10.1065/lca2006.01.232>.
- Tyedmers P. 2001. Energy consumed by North Atlantic fisheries. Fisheries Centre Research Report. In: Zeller D, Watson R, Pauly D, editors. Fisheries impacts on North Atlantic ecosystems: catch, effort and national/regional datasets, 9:3, Vancouver: Fisheries Centre, University of British Columbia, 12-34.
- Union of Concerned Scientists. 2022. Retrieved from <https://www.ucsusa.org/resources/each-countrys-share-co2-emissions>. Accessed October 2022.
- Winther U, Ziegler F, Hognes ES, Emanuelsson A, Sund V and Ellingsen H. 2009. Carbon footprint and energy use of Norwegian seafood products. SINTEF Fisheries and Aquaculture Report, 1-89.
- Ziegler F and Hausson PA. 2003. Emissions from fuel combustion in Swedish cod fishery. *J Cleaner Prod* 11, 303-314. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00050-1).
- Ziegler F. 2007. Environmental life cycle assessment of seafood products from capture fisheries. *Int J Life Cycle Assess* 12, 61. <https://doi.org/10.1065/lca2006.11.286>.