

전과정평가방법에 의한 주요 연안어업의 온실가스 배출량 정량적 분석

김현영 · 양용수 · 황보규¹ · 이지훈^{2*}

국립수산과학원 시스템공학과, ¹군산대학교 해양생산학과, ²전남대학교 해양기술학부

A quantitative analysis of greenhouse gas emissions from the major coastal fisheries using the LCA method

Hyun-young KIM, Yong-su YANG, Bo-kyu HWANG¹ and Jihoon LEE^{2*}

Division of Fisheries System Engineering, Institute of National Fisheries Research and Development, Busan 46083, Korea

¹*Department of Marine Science and Production, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea*

²*Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea*

The concern on the greenhouse gas emissions is increasing globally. Especially, the greenhouse gas emission from fisheries is an important issue due to Cancun Agreements Mexico in 1992 and the Kyoto protocol in 2005. Furthermore, the Korean government has a plan to reduce the GHG emissions as 5.2% compared to the BAU in fisheries until 2020. However, the investigation on the GHG emissions from Korean fisheries has not been executed much. Therefore, the quantitative analysis of GHG emissions from Korean fishery industry is needed as the first step to find a relevant way to reduce GHG emissions from fisheries. The purpose of this research is to investigate which degree of GHG emitted from the major coastal fisheries such as coastal gillnet fishery, coastal dual purpose fishery, coastal pots fishery and coastal small scale stow net fishery. Here, we calculated the GHG emission from the fisheries using the LCA (Life Cycle Assessment) method. The system boundary and input parameters for each process level are defined for LCA analysis. The fuel use coefficients of the fisheries 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 the unit weight of fishes are also calculated with consideration to the different consuming areas. The results will be helpful to understand the circumstances of GHG emissions from Korean fisheries.

Keywords : Life Cycle Assessment (LCA) method, Greenhouse gases emission, Coastal fisheries, Fuel use coefficient

서론

현재 세계적으로 온실가스 배출에 의한 지구 온난화

문제에 관심이 지속적으로 증가하고 있으며, 다양한 산업으로부터 발생하는 온실가스에 대한 정확한 평가와

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

배출량 감소를 위한 노력들이 진행되고 있다. 이러한 노력으로서, 1997년 일본 교토에서 개최된 유엔 기후변화협약 (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) 당사국 총회에서 채택된 교토의정서에 의하여 의무감축국으로 지정된 선진국에서는 온실가스 감축이 산업 전반에 걸쳐 중요한 문제로 대두되어 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 2015년 프랑스 파리에서 개최된 제 21차 유엔기후변화협약 (UNFCCC) 당사국 총회에서 우리나라의 경우, 2030년까지 BAU (Business As Usual) 대비 37% 감축하기로 결정하였으며, 특히 수산부분에서는 2020년 BAU 대비 5.2%의 감축목표를 제시하였다. 따라서 우리나라 수산업에서의 온실가스 배출을 줄이는 것이 시급한 문제로 대두되고 있다.

수산업에서 발생하는 온실가스를 감소시키기 위한 최근 연구로서, 어업에서 소모되는 에너지 및 탄소배출을 분석한 연구들 (Tyedmers, 2001; Ziegler and Hausson, 2003; Thrane, 2004a, 2004b; Hospido and Tyedmers, 2005; Ziegler, 2007; Pelletier and Tyedmers, 2007; Ellingsen et al., 2009; Schau et al., 2009; Winther et al., 2009; Ziegler et al., 2009)이 수행되어 왔으며, 연소기관 및 선형을 개선시켜 유류소모량을 감소시키는 연구 (Aanondsen, 1997; Sterling and Goldsworthy, 2007; Sterling and Klaka, 2007)와 수산업에서 사용되는 에너지효율을 높이기 위한 연구 (Curtis et al., 2006) 및 수치해석방법을 사용하여 어구의 유체역학적 저항이 가장 적은 형태로 어구 설계를 개선하여 유류소모량을 감소시키고자 한 연구 (Prior and Khaled, 2009; Lee and Lee, 2010)가 진행되었다.

하지만 우리나라의 경우, 수산업의 온실가스 배출의 정량적 분석에 대한 연구는 다른 선진국들에 비해 시작 단계에 있으며, 주로 근해 업종에 대한 연구들이다 (Lee et al., 2010a; 2010b). 우리나라의 국가 온실가스 배출통계는 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)가 제시한 기본적인 방법론에 주로 의존하여 추계되고 있으며, 현재 우리나라에서 적용하고 있는 IPCC Guideline의 Tier 1 배출계수 값은 연소기술을 고려하지 않고 에너지 소비에 대한 배출계수를 적용하는 기본 방법론으로, 연소기술과 실제 사용하는 에너지원의 특성을 반영하지 못하므로 실제 배출량과 상당히

다른 결과를 초래할 수 있는 실정이다.

수산업에서의 온실가스 배출 문제는 환경오염 측면뿐만이 아니라 고유가 시대에는 수산업계에 경제적인 부담을 가중시키며, 온실가스 배출로 인하여 앞으로 야기될 수 있는 수산물에 대한 무역장벽을 해소하기 위하여서는 수산업으로부터 발생하는 온실가스의 정량적 평가에 대한 연구가 시급한 실정이다.

본 논문에서는 우리나라 주요 연안어업 중 연안자망, 연안복합, 연안통발, 연안개량안강망 어업의 연료소모계수를 도출하였으며, 수산업에서의 탄소배출량 분석에 세계적으로 통용되고 있는 ISO 14044기반의 전과정평가 (Life Cycle Assessment: LCA) 방법을 이용하여 주요 연안어업으로부터 배출되는 온실가스를 정량적으로 분석하였다.

재료 및 방법

현재 국제적으로 산업 활동에서 발생하는 온실가스를 정량적으로 분석하기 위한 방법으로 전과정평가 (Life Cycle Assessment: LCA) 방법, 전과정선별 (Life Cycle Screening: LCS) 방법, 계측기를 통한 시스템 분석 방법들이 사용되고 있다 (Lee et al., 2010a). 본 연구에서는 위 방법들 중 수산업에 접목하기 위하여 세계적으로 많은 연구가 진행되고 있는 전과정평가방법을 이용하여 우리나라 주요 연안어업 중 4개 업종에 대한 온실가스 배출량을 LCA 분석 방법에 의하여 정량적으로 분석하였다.

전 과정환경영향평가 (Life Cycle Assessment: LCA)

전 과정환경영향평가는 요람에서 무덤까지의 분석 (Cradle to Grave)으로, 제품 생산의 전 과정과 전 과정 중 제품 생산의 특정 과정들에 대한 해석 (Cradle to Gate, Gate to Gate, Gate to Grave) 등으로 나눌 수 있으며, 그 정의는 목적에 따라 약간의 차이가 있다. 전자의 경우, 원료 획득에서부터 제품 생산, 운송, 사용 및 폐기까지의 제품의 전 과정에서 환경에 미치는 영향을 평가하는 방법이다 (Park, 2004). 후자의 경우, 재활용 단계 혹은 폐기물 관리와 같은 단계를 생략하고 그 이전까지 단계에서 발생하는 환경 영향을 평가하는 방법이다.

LCA 방법의 구성은 목적 및 범위 정위 (Goal and Scope definition), 목록 분석 (Inventory analysis), 영향 평가

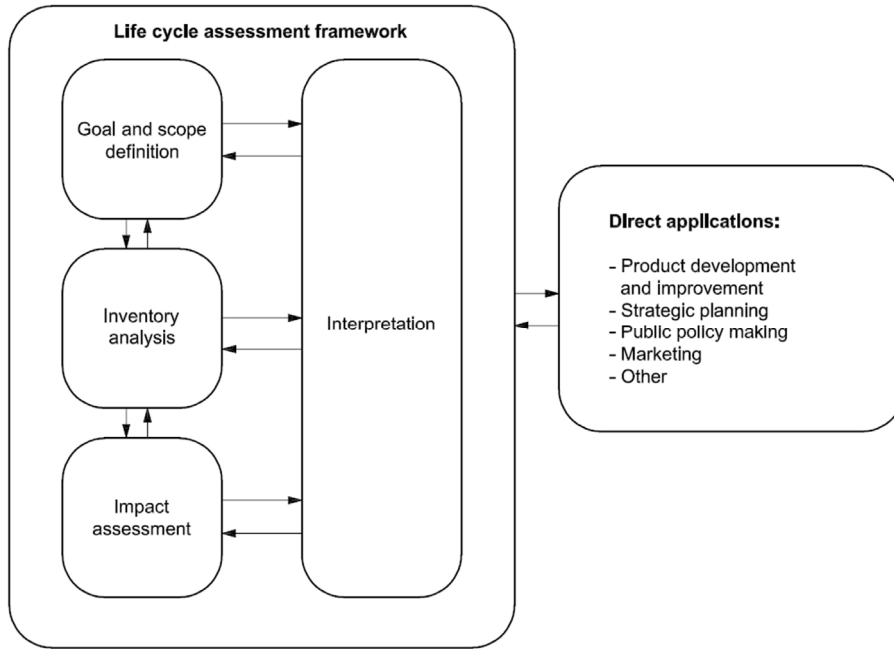


Fig. 1. Stage of an Life Cycle Assessment (ISO, 2006).

(Impact assessment) 그리고 결과 해석 (Interpretation)의 4가지의 단계로 이루어진다 (Fig. 1).

첫 번째 요소인 목적 및 범위 정의의 단계에서는 연구의 목적, 범위, 기능 단위 등을 정하여 연구의 범위 및 정도를 설정하는 것이다. LCA는 그 사용 목적에 따라 수집하는 자료, 분석 방법, 결과가 다르기 때문에 우선 LCA를 어떠한 목적으로 사용할 것인가를 명확히 해야 한다 (Kim and Kim, 1995). 두 번째 요소인 목록 분석의 요소는 상품, 포장, 공정, 물질, 원료 및 활동에 의해 발생하는 에너지 및 천연원료요구량, 대기 오염 물질 배출, 수질 오염 물질, 고형 폐기물과 기타에 대한 기술적, 자료 구축 과정이다. 세 번째 영향 평가는 목록에서 제시된 항목에 가중치를 제시하는 과정이다. 마지막 요소인 결과 해석 단계에서는 LCA결과를 정책 결정권자 또는 연구자에게 결론과 조언의 형태로 전달시키는 과정이다.

시스템 경계 (System boundary)

주요 연안어업의 LCA 분석을 위한 해석의 범위는 앞서 언급한 것과 같이 특정 과정들에 대한 해석 (Gate to Gate) 방식을 적용하였으며, 어획물의 포장, 포장지의 폐기 및 수산물의 소비 이후 발생하는 뼈 등과 같은 폐기물에 대한 해석은 본 논문에선 다루지 않았으며,

수산물의 어획 및 유통에 따라 시스템 경계를 구성하였다 (Fig. 2). 어선이 항구에서 출항하여 어장으로 이동 및 어획활동을 한 후, 어획물을 항구로 운송하여 하역된 어획물을 가공하지 않고 육상운송 수단을 이용하여 소비지까지 운송하는데 발생하는 온실가스 배출량을 분석하는 경계방법으로 설정하였다.

육상 운송은 Euro 5 기준 (European Commission, 2014)을 충족시키는 3.5~7.5톤급 클래스의 디젤 트럭을 선정하여 분석하였다. 또한 본 연구에서는 각 업종별 하역항구가 상이하어 연안자망의 경우, 하역항구를 경남 통영, 연안복합어업은 전남 여수, 연안통발 어업은 경남 통영, 연안 개량안강망은 충남 보령을 하역항구로 선정하였으며, 최종소비지는 부산과 서울로 선정하였다.

할당 방법 (Allocation method)

전과정평가 (LCA: Life Cycle Assessment)를 수행하기 위한 분석 방법 설정에는 질량 할당 (Mass-based allocation) 방법과 경제적 할당 (Economic allocation) 방법으로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 어획량과 유류 사용량의 질량을 이용하였기 때문에 질량 할당 방법을 적용하였다. 질량 할당 방법은 경제적 할당방법이 시간변동에 따른 가격 변동 요소를 고려하여야 하기

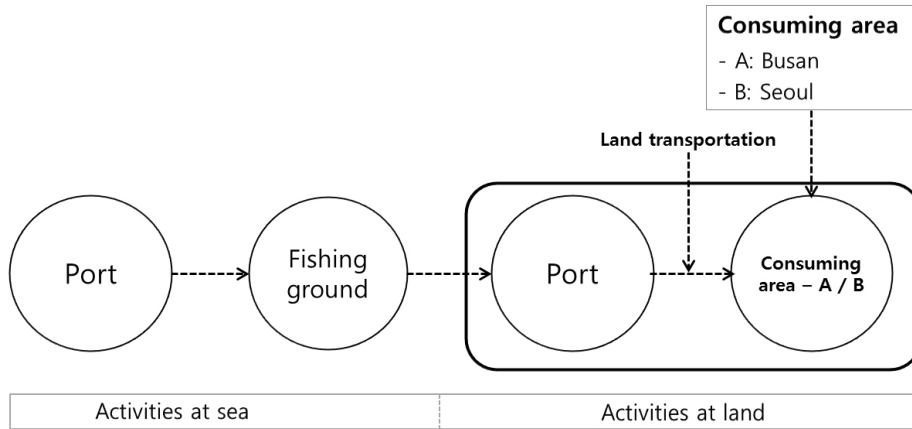


Fig. 2. System boundary of Korean fisheries for LCA analysis.

때문에 경제적 할당방법에 비하여 보다 안정적이며 쉬운 방법이기 때문이다.

질량 할당 방법에 의한 어획량과 유류 사용량의 상호 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_{ij} 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 소모 계수 (liter/kg)이다.

어획량 데이터, 유류 사용량 데이터 및 어선 세력

어획량 데이터 및 어선 세력은 해양수산부 수산정보 포털 (KFIP, 2016)에서 제공되는 자료를 사용하였으며, 유류 소모량 데이터는 면세유 판매 실적과 유류 사용량이 동일하다는 가정 하에서 면세유 판매 실적(수협 유류 관리 사업부 기준)을 유류 사용량으로 사용하였으며, 분석에는 최근 5년간 (2011~2015년)의 자료를 이용하였다.

전과정평가 (Life Cycle Assessment: LCA) 도구

업종별 온실가스 배출량을 분석하기 위하여 네덜란드 PRé Consultants의 SimaPro V8.3을 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

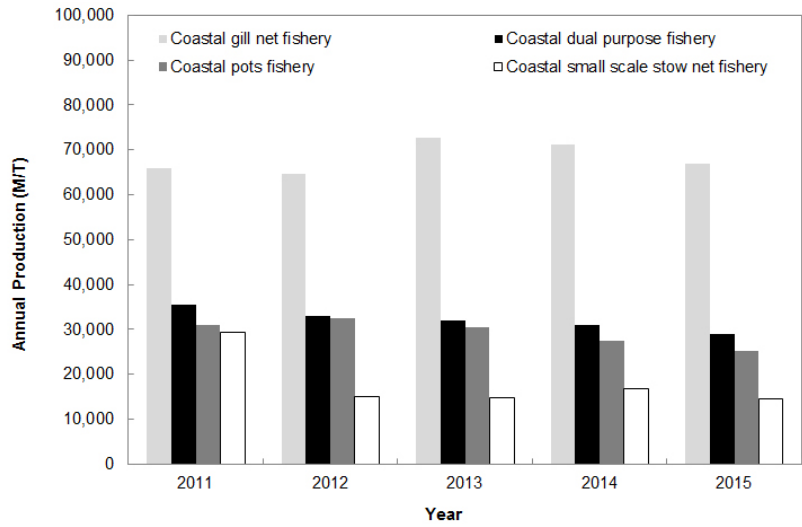
업종별 생산량, 연료사용량 및 연료소모계수

전과정평가를 수행하기 위하여, 최근 5년간의 어획량 데이터 (Fig. 3(a))와 면세유 판매실적 (Fig. 3(b))과 유종별 판매실적 (Fig. 3(c))을 기준으로 유류소모계수를 질량 할당 (Mass-based allocation)방법을 이용하여 계산한 결과는 Table 1과 같다.

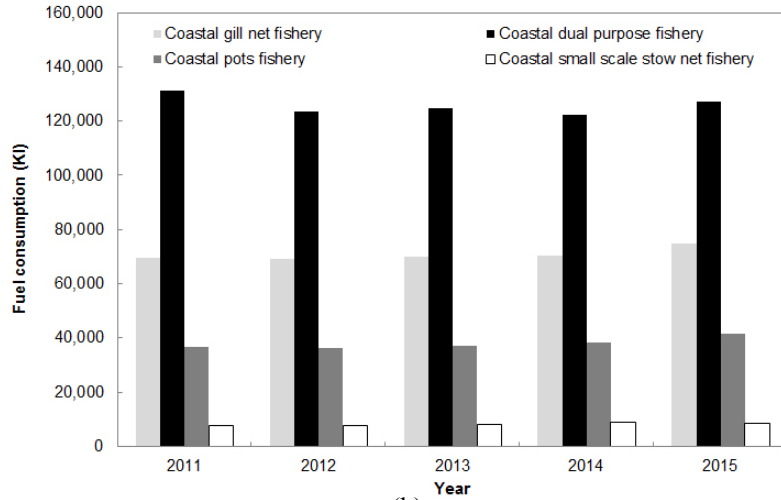
연안자망어업의 경우 2011년부터 2013년까지 지속적으로 생산량이 증가하다 2013년을 기점으로 생산량이 점차 감소하는 추세를 보였으나, 연안통발어업, 연안복합어업, 연안개량안강망어업의 경우, 2011년부터 지속적으로 생산량이 감소하는 것으로 분석되었다. 또한 본 논문에서 선택한 주요 연안어업 4개 업종은 생산량은 감소함에도 불구하고 유류사용량 측면에서는 특별한 감소추세를 보이지 않았다.

단일 업종 내에서 어종별 어획노력량은 동일하기 때문에 Table 1에 제시된 유류 소모 계수를 단일 업종의 다양한 어종에 동일하게 적용할 수 있다. 업종별 사용

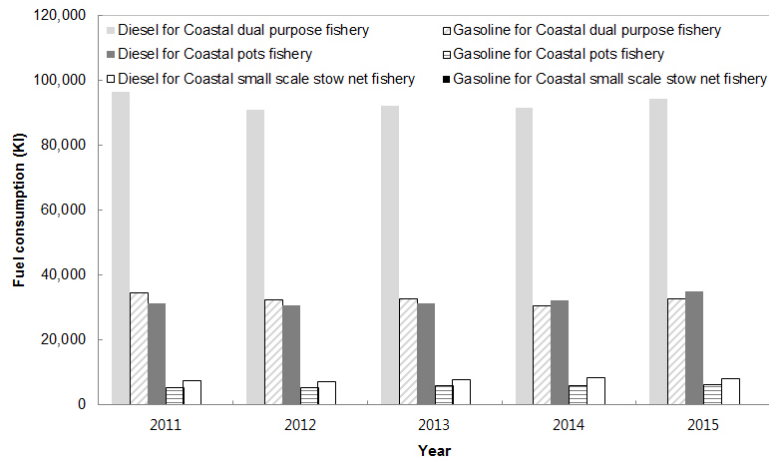
전과정평가방법에 의한 주요 연안어업의 온실가스 배출량 정량적 분석



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Annual production (a), annual fuel consumption (b), and annual fuel consumption with fuel type by coastal gillnet fishery, coastal dual purpose fishery, coastal pots fishery and coastal small scale stow net fishery during 2011 to 2015.

Table 1. Fuel use coefficient for coastal gillnet fishery, coastal dual purpose fishery, coastal pots fishery and coastal small scale stow net fishery during the period 2011-2015

Fishery	Fuel type	Fuel consumption coefficient per unit catch (liter/kg)				
		2011	2012	2013	2014	2015
Coastal gill net fishery	Diesel	1.057	1.071	0.964	0.988	1.118
Coastal dual purpose fishery	Diesel	2.722	2.766	2.873	2.945	3.255
	Gasoline	0.977	0.985	1.015	0.981	1.126
Coastal pots fishery	Diesel	1.003	0.950	1.023	1.173	1.393
	Gasoline	0.173	0.166	0.196	0.215	0.252
Coastal small scale stow net fishery	Diesel	0.256	0.481	0.523	0.509	0.556
	Gasoline	0.013	0.022	0.021	0.017	0.022

유종의 경우, 연안자망에서는 경유만을 사용하였으나, 연안복합, 연안통발, 연안개량안강망어업에서는 휘발유와 경유를 혼용하고 사용하고 있어 유류소모계수를 도출하는데 경유와 휘발유의 사용 비율을 적용하였다.

업종별 단위 어획량당 온실가스 배출량

앞서 도출된 업종별 유류 소모계수 (Table 1)를 통하여 전과정평가 방법으로 최근 5년간 (2011~2015년)의 연안자망, 연안복합, 연안통발, 연안개량안강망어업에 의하여 어획된 1kg의 어획물을 부두에 하역하기까지의 발생하는 온실가스를 분석 및 계산하였다 (Fig. 4).

분석 결과, 해당업종에서 배출되는 온실가스량은 연

안복합, 연안통발, 연안자망, 연안개량안강망 순으로 높았으며, 연안자망어업의 경우 2011년부터 2013년까지 지속적으로 생산량이 증가하다 2013년을 기점으로 생산량이 점차 감소하는 추세를 보였으나, 연안통발, 연안복합, 연안개량안강망어업의 경우, 2011년부터 지속적으로 생산량이 감소하는 추세를 나타내었다. 또한 본 연구에서 선택한 주요 연안어업 4개업종은 생산량은 감소함에도 불구하고 유류사용량 측면에서는 특별한 감소추세를 보이지 않았다. 이로 인하여 단위 어획량당 온실가스 배출량은 지속적으로 증가하는 경향을 나타내어 어획노력량이 증가함을 나타내었다. 특히 연안복합어업의 경우, 생산량 대비 유류사용량이 타 업종

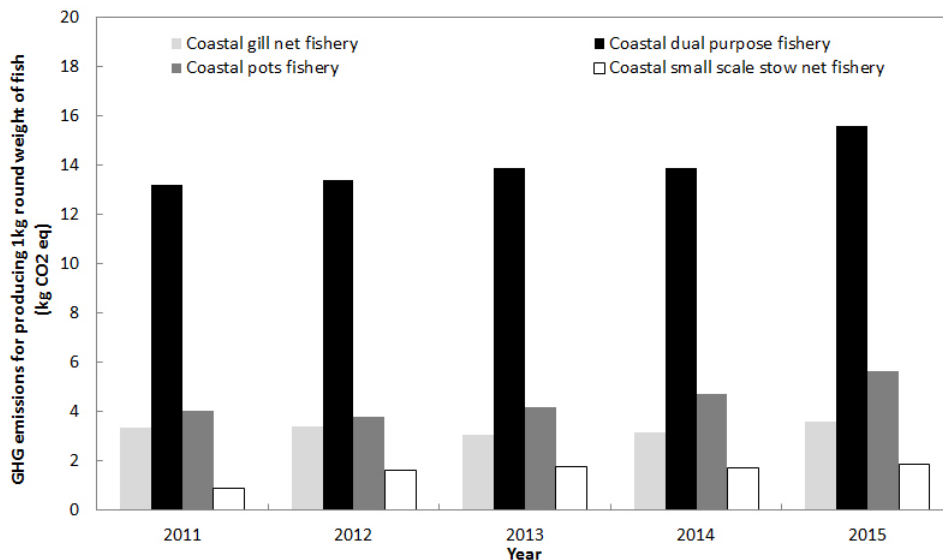


Fig. 4. GHG emissions for producing 1 kg of round weight fish at landing port from 2011 to 2015.

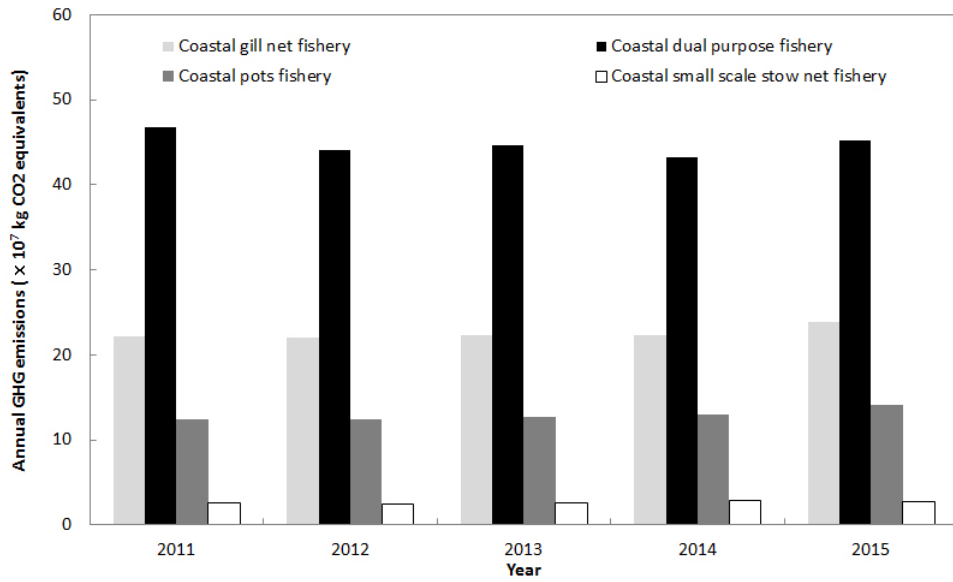


Fig. 5. Annual GHG emissions from the major coastal fisheries from 2011 to 2015.

에 비하여 상당히 높아 온실가스 배출 측면과 어업효율 측면에서 매우 부정적인 경향을 나타내었다.

업종별 연간 온실가스 배출량

1kg 어획을 통하여 배출되는 온실가스 배출량 결과 및 연간 어획물 생산량을 바탕으로 업종별 연간 온실가스 배출량을 분석 및 계산하였다 (Fig. 5). 분석 결과, 연간 온실가스 배출량은 연안복합, 연안자망, 연안통발, 연안개량안강망어업 순으로 높게 분석되었다.

분석결과에 따르면, 연안자망이 221,000톤에서 238,000톤, 연안복합어업이 432,000톤에서 467,000톤, 연안통발어업이 123,000톤에서 141,000톤, 연안개량안강망어업이 24,000톤에서 28,000톤의 온실가스를 배출하는 것으로 분석되었다. 앞선 생산량 조사결과에 따르면, 연안복합이 29,000톤에서 35,000톤, 연안자망이 64,000톤에서 72,000톤, 연안통발이 25,000톤에서 32,000톤, 연안개량안강망이 14,000톤에서 29,000톤의 생산량을 보였으나, 연안복합어업의 경우 (2015년 기준), 단위어획량당 온실가스 배출량이 연안자망, 연안통발, 연안개량안강망어업에 비하여 4.4배, 2.8배, 8.3배 각각 높게 나타나 연간 온실가스 배출량이 연안자망, 연안통발, 연안개량안강망어업에 비하여 1.9배, 3.2배, 16.6배 각각 높게 분석되었다.

연안복합어업의 경우, 앞선 근해대형선망의 온실가

스배출량 분석 연구 (Lee, 2013) 결과의 대형선망어업에서 발생하는 연간온실가스 배출량 (2011년 기준)과 비교하여 보면 1.7배 높게 나타난 것으로 분석되었다 (Fig. 6). 연안복합어업의 경우, 생산량에 대비하여 과도한 연료를 소모하여 타 업종과 비교하여도 매우 많은 온실가스를 배출하는 것으로 분석되어 향후 연안복합

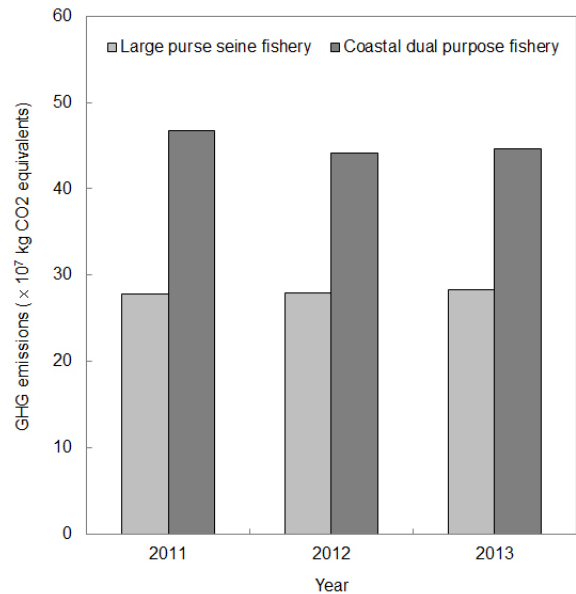


Fig. 6. Annual GHG emission comparison between large purse seine fishery and coastal dual purpose fishery from 2100 to 2013.

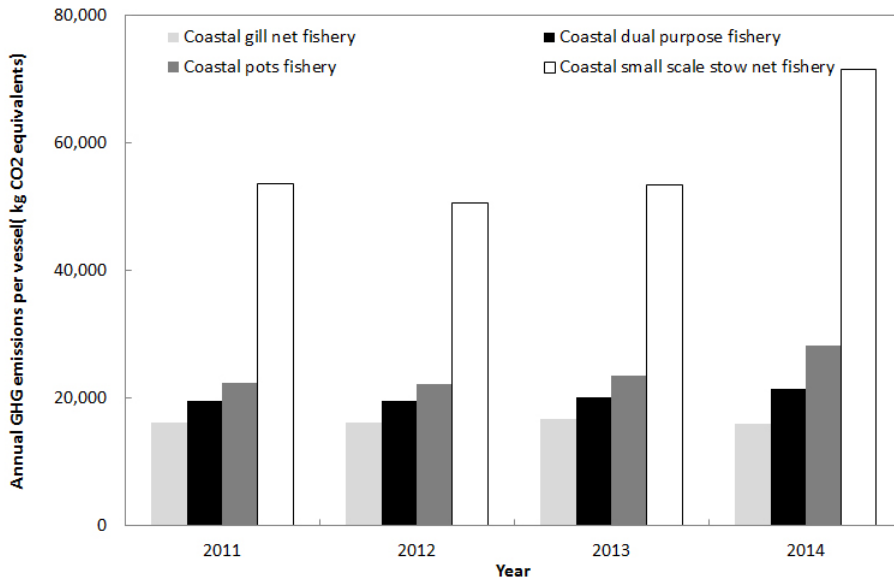


Fig. 7. Annual GHG emissions by per vessel from 2011 to 2015.

어업에서 발생하는 온실가스량을 선제적으로 감소시켜야 할 것으로 판단되지만, 업종의 특성을 보다 자세히 분석하기 위하여 주요 연안어업 4개 업종의 어선 당 배출하는 연간온실가스를 4년간 (2011~2014년)에 걸쳐 분석하였다 (Fig. 7). 연안자망의 경우, 어선 당 연간 온실가스가 약 16,000 kg CO₂ eq.가 배출되며 큰 변동을 보이지 않았다. 하지만 연안복합, 연안통발 및 연안 개량안강망업종의 경우, 어선 당 배출하는 연간온실가스가 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 앞선 3가지 업종 중 연안 개량안강망업종의 경우, 타 3개 업종에 비하여 2.5배에서 3배 정도 높게 온실가스를 배출하는 것으로 분석되었다. 따라서 연안개량안강망 어선 당 사용되는 유류소모량을 감소시킬 필요가 있을 것으로 판단되며, 연안복합어업의 경우, 어선세력을 감소시킬 필요가 있을 것으로 판단된다.

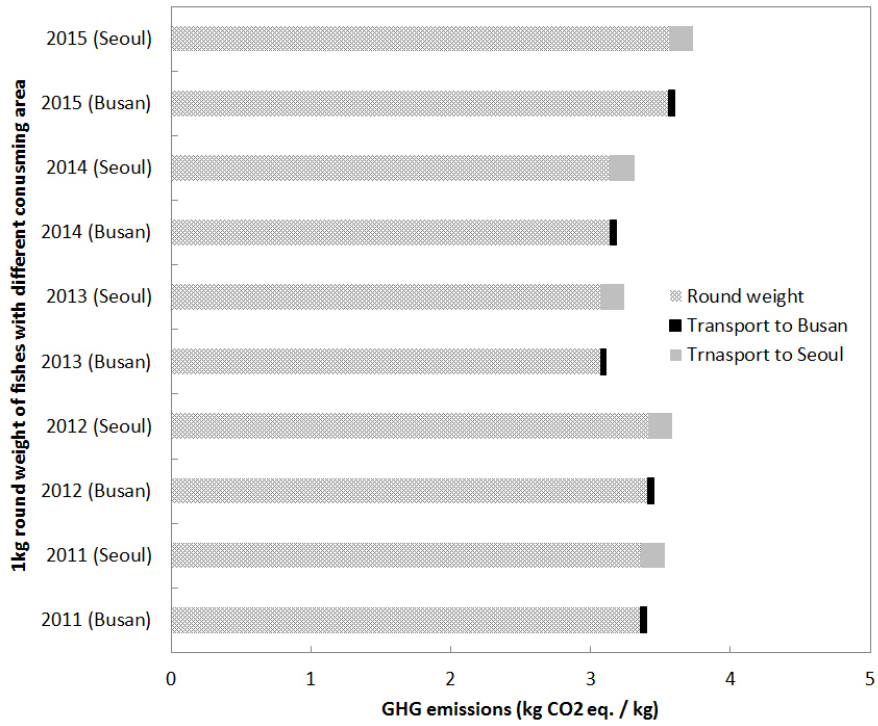
단위 중량을 최종 소비지까지 운송하는데 배출되는 온실가스량

각 업종별 (연안자망, 연안복합, 연안통발, 연안개량안강망) 어획물을 항구에 양륙한 후 가공 처리를 하지 않은 상태로 본 연구에서 선택된 소비지인 부산 (항구에서 93, 180, 93, 356 km)과 서울 (하역항구로부터 377, 347, 377, 172 km)로 육상 운송 수단에 의하여 운송하였을 때 최종 소비지까지 어획물이 도달하는데 발생하는 온실가스 배

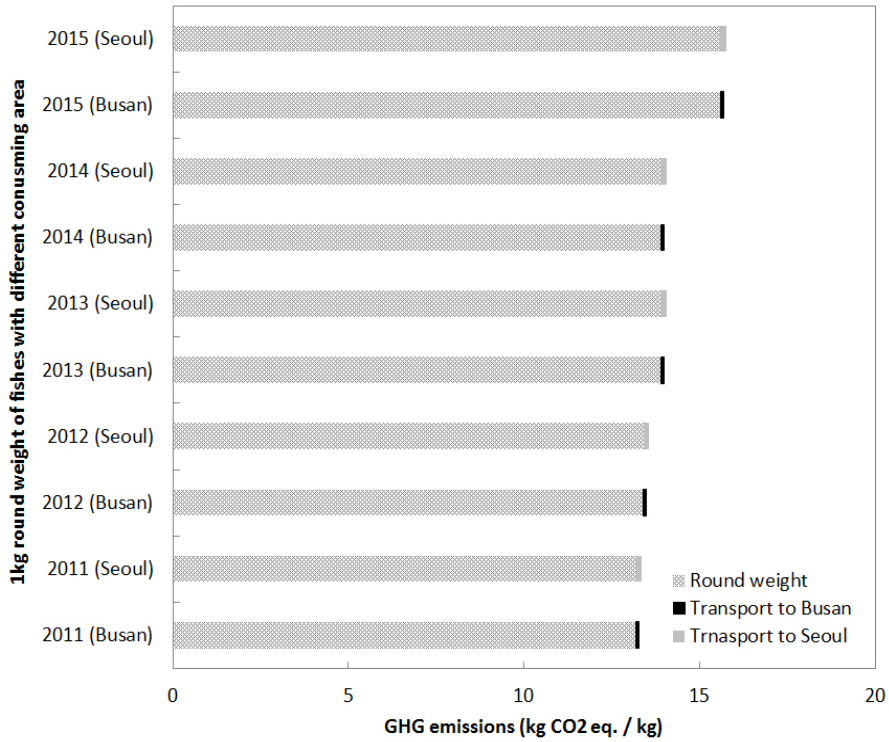
출량을 정량적으로 분석하였다 (Fig. 8). 최종 소비지인 부산과 서울로 육상 운송 수단에 의하여 운송하였을 때 소비지에 도착하는 데까지 배출되는 총 온실가스 배출량과 운송과정에서 배출되는 온실가스량을 분리하여 분석하였다. 단위 중량을 두 곳의 소비지까지 운반하는 과정에서 배출되는 온실가스량은 부산, 서울까지 각 업종별로 각각 0.0426, 0.0824, 0.0426, 0.163 kg CO₂ eq. (부산), 0.173, 0.159, 0.173, 0.0788 kg CO₂ eq. (서울)만큼 발생되었다. 동일 지역으로 운송되는 단위 중량의 어획물은 연도별 유류 소모계수에 가장 큰 영향을 받는 것으로 분석되었다. 따라서 항구에 단위 어획중량을 하역할 때까지 발생하는 온실가스 배출량은 연안복합, 연안통발, 연안자망, 연안개량안강망어업의 순으로 높게 나타났다.

따라서 수산업에서 발생하는 온실가스 배출량을 감소시키기 위해서는 육상운송과정에서의 온실가스 배출 저감보다는 해상활동 중 어획 활동 및 어장 이동에 따른 유류 소모를 감소시키는 다양한 방법 (i.e., 저탄소형 어구 사용, 어선의 고효율 추진기 개발 및 적용, 선형 개선 및 고효율의 어탐기술 확보 등)을 통하여 배출되는 온실가스량을 감소시켜야 할 것으로 판단된다. 또한 연안복합어업의 경우와 같이 생산량대비 어선세력이 과도한 업종의 경우 어선세력을 적정 수준으로 재조정하여 어업경영 내실화와 온실가스 저감에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

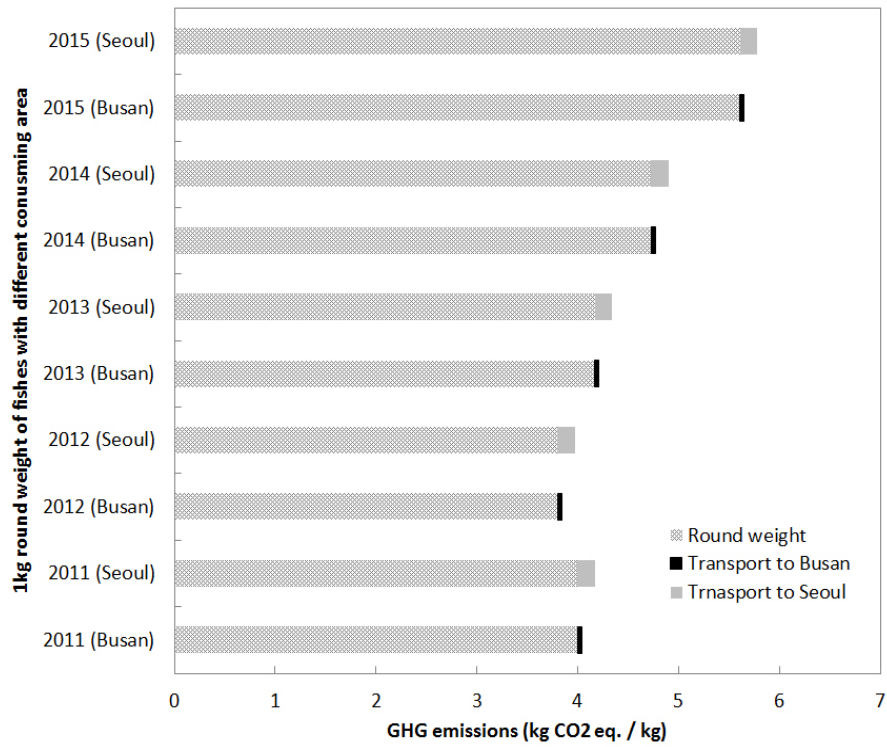
전과정평가방법에 의한 주요 연안어업의 온실가스 배출량 정량적 분석



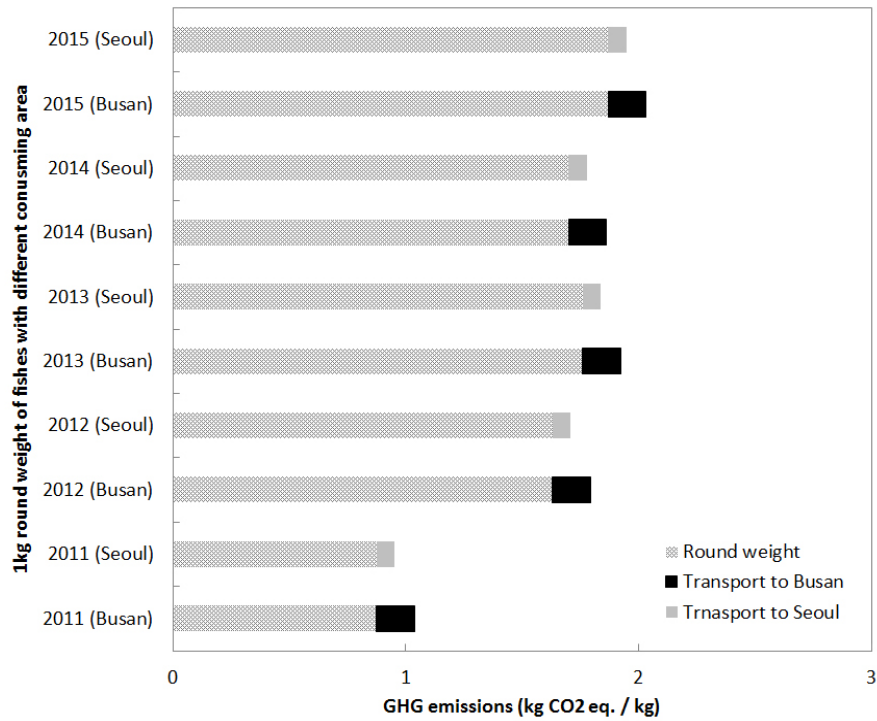
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 8. GHG emissions for 1kg round weight of fishes caught by (a) coastal gillnet fishery, (b) coastal dual purpose fishery, (c) coastal pots fishery, and (d) coastal small scale stow net fishery at the different consuming areas (Busan and Seoul) from 2011 to 2015.

결론

본 논문은 전과정평가방법에 의한 주요 연안어업의 온실가스 배출량에 대한 정량적 분석에 관한 연구로서, 최근 5년간의 생산량 및 에너지 사용실태를 조사하여 유류소모계수를 도출하고 국내 수산물 소비패턴을 고려한 시스템경계를 도출하였다. 또한 소비지역에 따른 요소를 고려하여 온실가스 배출량을 정량적으로 분석하였다. 분석 결과, 단위 어획량당 온실가스 배출량은 연안복합, 연안통발, 연안자망, 연안개량안강망어업의 순으로 높게 나왔으며, 업종별 연간온실가스 배출량 측면에서는 연안복합, 연안자망, 연안통발, 연안개량안강망어업의 순으로 높게 나타났으며, 연안복합어업의 경우, 근해대형선망어업에서 발생하는 온실가스량과 비교하여도 약 1.7배 높게 배출하는 것으로 분석되어, 온실가스 배출량을 감축하기 위하여 많은 노력이 필요할 것으로 판단된다. 또한 온실가스 배출량은 소비지역이 어획물 하역위치와 근접할수록 낮음을 확인할 수 있었다.

References

Aanonsen 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. 56.

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, 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. (DOI:10.1016/j.marpol.2008.11.003)

European Commission. 2014. <http://ec.europa.eu>. URL http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/environment/euro5/index_en.htm. Accessed October 2016.

Hospido A and Tyedmers P. 2005. Life cycle environmental impacts of Spanish tuna fisheries. Fish Res 76, 174-186. (DOI:10.1016/j.fishres.2005.05.016)

KFIP. 2016. <http://www.fips.go.kr>. URL <http://www.fips.go.kr/jsp/>

[sf/ss/ss_law_kind_list.jsp?menuDepth=070105](http://www.fips.go.kr/jsp/sf/ss/ss_law_kind_list.jsp?menuDepth=070105). Accessed October 2016.

Kim SH and Kim DM. 1995. A study on Methodology and application of the Life Cycle Assessment. J Korea Soc Waste Manag 12(1), 145-152.

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(1), 78-82. (DOI:10.5657/kfas.2010.43.1.078)

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 Korean Soc Fish Technol 46(4), 313-323. (DOI:10.3796/KSFT.2010.46.4.313)

Lee J. 2013. A quantitative analysis of GHG emissions from the Korean large scale purse seine fishery using LCA method. J Korean Soc Fish Technol 49(3), 282-290. (DOI:10.3796/KSFT.2012.49.3.282)

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. 237.

Pelletier N and Tyedmers P. 2007. Feeding farmed salmon: Is organic better?. Aquaculture 272, 399-416. (DOI: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.

Schau EM, Ellingsen H, Endal A and Aanonsen SA. 2009. Energy consumption in the Norwegian fisheries. J Cleaner Prod 17, 325-334. (DOI: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.

- 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.
- 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. 535.
- Thrane M. 2004b. Energy consumption in the Danish fishery: identification of key factors. *J Ind Ecol* 8, 223-239. (DOI:10.1162/1088198041269427)
- Ziegler F and Hausson PA. 2003. Emissions from fuel combustion in Swedish cod fishery. *J Cleaner Prod* 11, 303-314. (DOI: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. (DOI:10.1065/ lca2006.11.286)
- Ziegler F, Eichelsheim JL, Emauelsson A, Flysjö A, Ndiaye V and Thrane M. 2009. Life Cycle Assessment of southern pink shrimp products from SENEGAL: An environmental comparison between artisanal fisheries in the Casamance region and a trawl fishery based in Dakar. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1044*. 1-32.
- 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.
-
2017. 02. 06 Received
2017. 02. 08 Revised
2017. 02. 09 Accepted