

전과정 평가에 의한 한국 근해 대형어업의 온실가스 배출량 분석

이지훈 · 이춘우¹

부경대학교 저탄소해양생산기술연구소, ¹부경대학교 해양생산시스템관리학부

A Quantitative Analysis of GHG Emissions from the Korean Offshore Large Scale Fisheries Using an LCA Method

Jihoon Lee and Chun-Woo Lee^{1*}

Institute of Low-Carbon Marine Production Technology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

The negative fishery factors from an environmental perspective are greenhouse gas emissions due to high fossil fuel use, destruction of underwater ecosystems by bottom trawls, a reduction in resources by fishing, and damage to ecosystem diversity. In particular, the greenhouse gas emissions from fisheries is an important issue based on the Cancún meeting in Mexico in 1992 and the Kyoto protocol in 2005. However, no investigations on the GHG emissions from Korean fisheries have been conducted. Therefore, a quantitative analysis of GHG emissions from the Korean fishery industry is needed as a first step to identify a method to reduce GHG emissions from fisheries. The purpose of this study was to investigate the degree of GHG emitted from fisheries. Here, we calculated the GHG emissions from four main Korean fisheries(i.e., large trawls, large purse seines, Danish seines, and bottom pair trawls) using the life cycle assessment(LCA) method. The system boundary and input parameters for each process level were defined for LCA analysis. The fuel use coefficient of each fishery was also calculated. The GHG emissions from edible seafood were calculated considering different consuming areas. The results will be helpful to understand GHG emissions from Korean fisheries.

Keywords: Life Cycle Assessment(LCA) method, Greenhouse gas emission, Fishery, Fuel use coefficient

서 론

현재 세계적으로 온실가스 배출에 의한 지구 온난화 문제에 관심이 지속적으로 증가하고 있으며, 다양한 산업으로부터 발생하는 온실가스에 대한 정확한 평가와 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, 2012년 시한이 만료되는 교토의정서를 대신할 새로운 협정을 위하여 2009년 코펜하겐에서 제 15차 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국 총회가 개최되었으나, 당사국들의 이해관계가 첨예하게 대립되어 합의에 이르지 못하였으나, 2010년 멕시코 칸쿤에서 개최된 제 16차 유엔 기후변화협약 당사국 총회에서 기존 코펜하겐협약내용에 합의

하게 되었다. 본 협약에 의하면 우리나라의 경우 의무감축국에 선 제외되었으나, 자발적 제한 관리국으로 선언하게 되었다. 이러한 자발적 제한 관리국 선언에 따라 우리나라의 경우 2013년 이후부터 감축 목표 제시 및 탄소세 도입을 검토하고 있어서 우리나라 또한 산업 전반에 걸쳐 온실가스 배출을 줄이는 것이 시급한 문제로 대두되었다.

수산업에서의 탄소배출문제는 1992년 멕시코 칸쿤회의에서 책임어업의 주요 문제로 제기되었고, 교토의정서상 의무감축국인 선진국에서는 수산업분야의 온실가스 감축에 대한 많은 연구가 진행되어왔다. 특히, 현대 어업에서의 수산물 생산은 생산된 수산물의 영양 에너지에 비해 생산에 소비되는 에너지양이 높아 실제적으로는 에너지의 손실이 많다고 지적되고 있다(Tyedmers, 2004; Ellingsen and Aanonsen, 2006).

수산업에서 발생하는 온실가스를 감소시키기 위한 최근 연구로써, 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

*Corresponding author: cwlee@pknu.ac.kr

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 시작단계에 있다(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 측면뿐만 아니라 고유가 시대에는 수산 업계에 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 주요업종 중 쌍끌이대형기선저인망, 외끌이기선저인망, 대형선망어업, 대형트롤어업의 연료소모계수를 도출하였으며, 수산업에서의 탄소배출량 분석에 세계적으로 통용되고 있는 ISO 14044기반의 전과정평가(Life Cycle Assessment; LCA) 방법을 이용하여 각 업종으로부터 배출되는 온실가스를 정량적으로 분석하였다.

재료 및 방법

현재 국제적으로 산업 활동에서 발생하는 온실가스를 정량적으로 분석하기 위한 방법으로 전과정평가(Life Cycle Assessment; LCA) 방법, 전 과정선별(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 어업 중 4종류의 어업(쌍끌이대형기선저인망, 외끌이 기선저인망, 대형선망, 대형트롤)에 대한 온실가스 배출량을 LCA 분석 방법에 의하여 정량적으로 분석하였다.

전 과정환경영향평가(Life Cycle Assessment; LCA)

전 과정환경영향평가는 요람에서 무덤까지의 분석(Cradle to Grave)으로 정의되고 있는 LCA는 전 과정(Cradle to Grave)과 전 과정 중 제품 생산의 특정 과정들에 대한 해석(Gate to Gate) 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 정의(Goal and Scope definition), 목록 분석(Inventory analysis), 영향 평가(Impact assessment) 그리고 결과 해석(Interpretation)의 4가지의 단계로 이루어진다(Fig. 1).

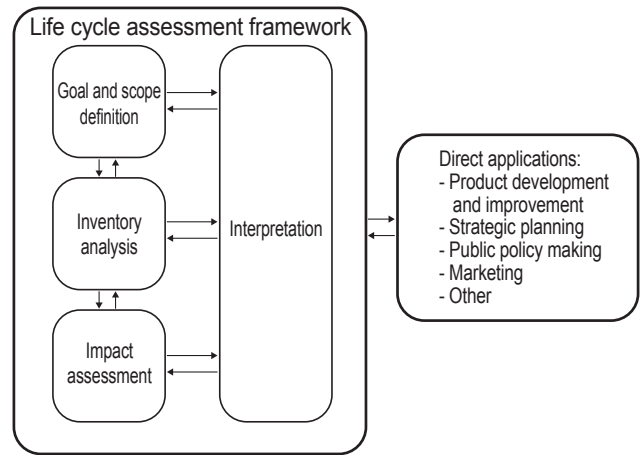


Fig. 1. Stage of an Life Cycle Assessment (ISO, 2006).

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, 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 결과해석 단계에서는 LCA결과를 정책 결정권자 또는 연구자에게 결론과 조건의 형태로 전달시키는 과정이다.

시스템 경계(System boundary)

근해대형어업의 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 않았다. 또한, 어획물의 가공 공정(Type 1 in Fig. 2)에서 발생하는 환경 영향은 고려하지 않았다. 본 논문에서는 어획을 거쳐 항구에 하역한 후, 항구 근처의 소비지와 항구로부터 장거리의 소비지까지 어획물이 도달할 때(Type 2 in Fig. 2)까지 발생하는 온실가스를 정량적으로 분석하였다. 이때, 소비지는 대표

적 항구도시인 부산과 인구가 가장 많은 서울지역으로 한정하여 분석하였다. 또한, 본 분석에는 육상 운송을 통하여 소비지에 도달하는 데 대하여 분석을 하였으며, 해상 운송 및 항공 운송을 통하여 소비지까지의 이동은 분석에 포함하지 않았다.

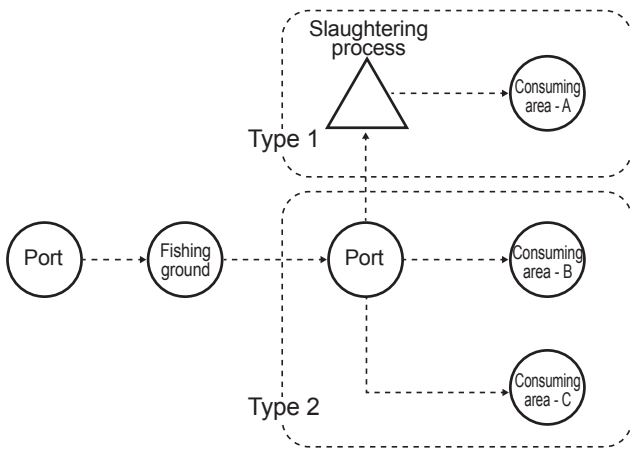


Fig. 2. System boundary of Korean Fisheries for LCA analysis.

할당 방법(Allocation method)

전 과정평가(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 때문에 경제적 할당방법에 비하여 보다 안정적이며, 쉬운 방법이기 때문이다.

질량 할당 방법에 의한 어획량과 유류 사용량의 상호관계를 아래의 식으로 나타내었다(Schau et al., 2009).

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

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

여기서, 는 어선 y_{ij} 를 이용하여 어종 i 를 어획할 때 사용된 유류량(L), x_{ij} 는 어선 i 를 이용하여 어종 j 를 어획할 때의 유류 소모 계수(L/kg)이다.

어획량 데이터 및 유류 소모량 데이터

본 논문에서 선택한 4개 업종에 의한 어획량 데이터는 농림수산식품부 수산정보 포털(<http://www.fips.go.kr>)에서 제공되는 업종별 연간 어획량 자료를 사용하였으며, 유류 소모량 데

이터는 면세유 판매 실적과 유류 소모량이 동일하다는 가정 하에서 면세유 판매실적(수협 유류관리 사업부 기준, personal communication)을 유류 소모량으로 사용하였으며, 분석에는 최근 6년간(2005년-2010년)의 자료를 이용하였다.

전과정평가(Life Cycle Assessment: LCA) 도구

업종별 온실가스 배출량을 분석하기 위한 방법으로 네덜란드 PRé Consultants의 SimaPro V7.3을 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 LCA를 수행하였다.

결과 및 고찰

전과정평가를 수행하기 위하여, 최근 6년간의 어획량 데이터 (Table 1)와 면세유 판매실적(Table 2)을 기준으로 각 업종별 유류소모계수를 질량 할당(Mass-based allocation)방법을 이용하여 계산하였다(Table 3)

Table 1. Production from each fishery from 2005 to 2010 (<http://www.fips.go.kr>)

Type of fishery	Production (MT)					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Bottom pair trawl	77,113	84,899	66,184	53,464	51,905	51,474
Danish seine	9,102	11,072	10,106	11,695	11,832	12,853
Large purse seine	173,795	146,839	194,093	234,525	241,052	160,409
Large trawl	67,543	75,375	58,797	57,469	62,178	60,933

Table 2. Fuel consumption from each fishery from 2005 to 2010(National Federation of Fisheries Cooperation, Division of fuel management, personal communication)

Type of fishery	Fuel consumption (Kiloliter)					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Bottom pair trawl	88,089	86,069	80,986	48,383	59,962	61,088
Danish seine	12,309	13,562	14,688	13,398	15,569	13,983
Large purse seine	104,011	98,366	102,303	81,497	92,115	84,673
Large trawl	48,939	48,002	44,300	26,002	48,732	47,935

각 업종별로 어획되는 어종이 다양하지만, LCA 방법에 의한 온실가스배출량 분석에 있어서, 단일 업종 내 어종별 어획노력량은 동일하기 때문(Schau et al., 2009, Winther et al., 2009)에 Table 3에 제시된 유류 소모 계수를 단일 업종의 다양한 어종에 동일하게 적용할 수 있다.

Table 3. Fuel use coefficient for each fishery from 2005 to 2010

Type of fishery	Fuel consumption factor per unit catch (liter/kg)					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Bottom pair trawl	1.142	1.014	1.224	0.905	1.155	1.187
Danish seine	1.352	1.225	1.453	1.146	1.316	1.088
Large purse seine	0.598	0.670	0.527	0.347	0.382	0.528
Large trawl	0.725	0.637	0.753	0.452	0.784	0.787

유류소모계수와 어획물 운반에 소요되는 얼음 요소를 포함하여 LCA 방법으로 최근 6년간(2006년-2010년) 대형쌍끌이기선저인망, 대형외끌이기선저인망, 대형선망, 대형트롤 업종에 의하여 1 kg의 어류를 부두에 하역하기까지 발생하는 온실가스를 계산하였다(Fig. 3). 이때 어획 후 부두까지 어획물의 운반은 모든 업종에 대하여 얼음에 의한 빙장 방법을 통하여 운송되는 것으로 분석하였으며, 일반적으로 어획물 1 kg당 사용되는 얼음의 양은 700-800 g(대형선망수협, Personal communication)이며, 계산에는 750 g을 사용하였다.

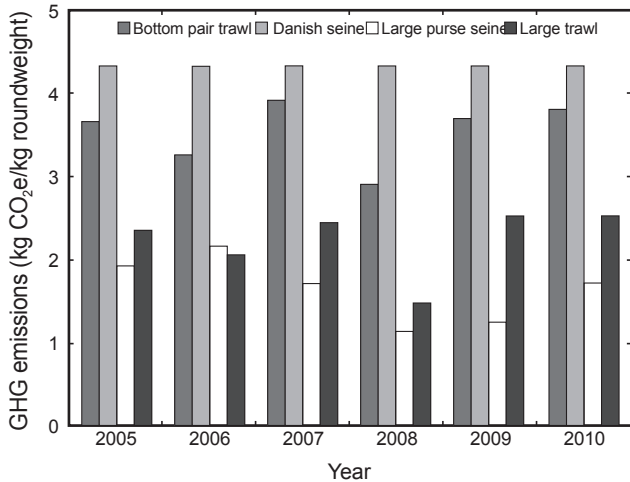


Fig. 3. GHG emissions by 1 kg of round weight fish caught by the different fisheries at landing port from 2005 to 2010.

분석결과 해당업종에서 발생하는 온실가스는 외끌이기선저인망, 쌍끌이기선저인망, 대형트롤, 대형선망 순으로 높았으며, 쌍끌이기선저인망, 대형트롤, 대형선망의 경우 최근 6년간 단위 어획량당 온실가스 배출량의 변동이 심하였으나, 외끌이기선저인망의 경우 최근 6년간 온실가스배출량이 거의 일정하게 나타났다. 이는 외끌이기선저인망의 경우 어획노력량이 타업종에 비하여 일정하게 높음을 알 수 있다.

1 kg 어획을 통하여 배출되는 온실가스 배출량 결과를 바탕으로 연간 어획물 생산량을 통한 연간 온실가스 배출량을 분석하였다(Fig. 4).

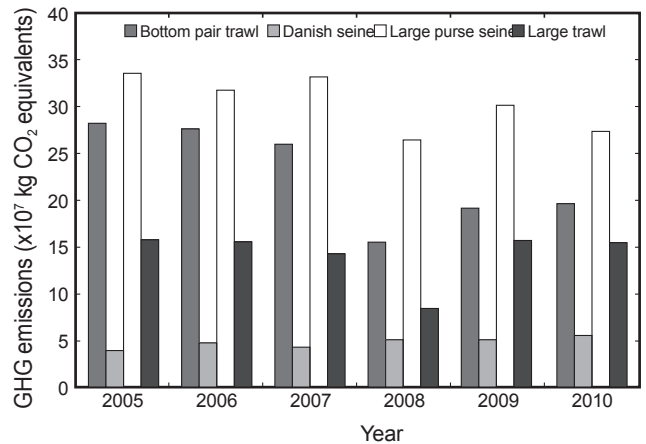


Fig. 4. Annual GHG emissions by the different fisheries at landing port from 2005 to 2010.

또한, 부두에 하역한 어획물을 두 곳의 서로 다른 소비지역까지 운송했을 경우 발생하는 어획물 1 kg당 온실가스 배출량을 2010년 어획량 및 유류소모량 데이터를 이용하여 계산하였다(Fig. 5). 이때 선택된 소비지역은 부산과 서울이며, 어획물이 하역되는 위치 또한 부산이지만 하역위치에서 10 km 거리에 떨어진 곳으로 계산하였으며, 서울의 경우 하역위치에서 410 km 떨어진 위치를 선정하였다. 이때 어획물 운반에 사용된 운송수단은 EURO 4 배기가스 기준의 3.5-7.5 톤 디젤 트럭을 선정하였으며, 이때 운송의 세부요소인 냉장장치에 의한 온실가스 배출에 대한 해석은 포함하지 않았다.

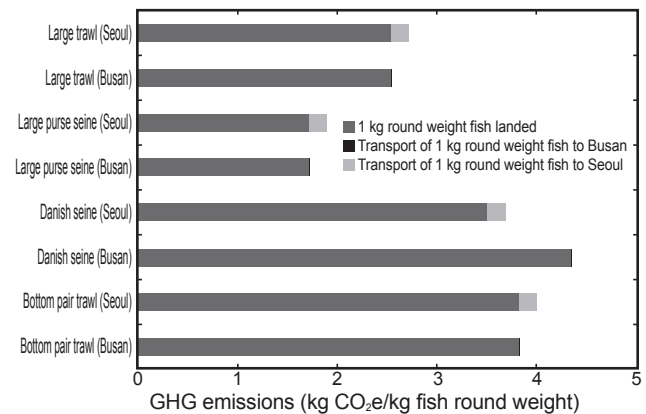


Fig. 5. GHG emissions by 1 kg of round weight fish caught by the different fisheries included the transportation to the different consuming area(The results was derived by 2010 year data).

분석 결과 1 kg의 수산물의 생산과 소비지역까지 도달하는 과정에서 발생하는 온실가스는 어획물의 생산과정에서 대부분 발생하는 것으로 나타났으며, 육상을 통한 운송과정에서 발생하는 온실가스는 전체 온실가스 배출량에서 매우 작은 부분을 차지하고 있다. 하지만, 운송수단에 냉장장치에 대한 부분을 고려한다면, 운송과정에서 배출되는 온실가스가 다소 증가할 것으로

판단되며, 운송과정에 이용되는 냉장장치에 의한 온실가스배출에 대한 연구가 향후 필요할 것으로 판단된다.

어획물의 체중과 실제적인 식용 순중량에 따른 온실가스 배출

어획물의 체중 전체가 실질적으로 소비되지는 않는다. 그러므로 실제로 식용할 수 있는 어획물 중량의 생산 및 운송에 따른 온실가스 발생량에 대한 보다 정확한 분석이 필요하다. 본문에서 여러 업종중 대형선망에 의하여 어획되는 고등어의 체중 전체가 소비되는 경우와 실제로 식용할 수 있는 순중량에 따른 온실가스 발생량에 대한 분석을 하였다(Fig. 6).

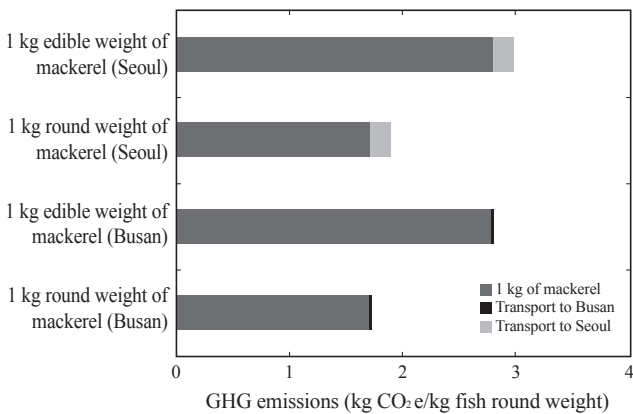


Fig. 6. GHG emissions for producing 1 kg round weight or 1 kg edible weight of mackerel by large purse seine including the land transportation.

어획물의 소비지역은 어획물이 하역되는 곳으로부터 10 km(부산으로 표기함)에 위치한 곳과 410 km 떨어진 서울로 설정을 하였으며, 운송수단은 EURO 4 배기가스 기준의 3.5-7.5 톤 디젤 트럭을 사용하여 계산하였다. 이때 어획물의 체중전체가 소비된다는 가정하에서 부산지역으로 운송되었을 때 온실가스 배출량은 어획물 1 kg당 1.71451 kg CO₂ eq(kg of CO₂ equivalents: IPCC 2007)가 배출되었으며, 실제적인 식용 순중량 1 kg에 대한 온실가스 배출량은 2.79451 kg CO₂ eq으로 계산되었다.

이때 운송과정에서 발생하는 온실가스 배출량은 동일하지만, 실제로 식용할 수 있는 양 1 kg을 생산하기 위하여서는 어획물 1.63 kg이 필요하기 때문(Winther et al., 2009) 에 어획과정에서 발생하는 온실가스배출량에 의하여 이러한 차이를 보여준다. 또한, 어획물을 서울로 운송하였을 때도 동일한 결과를 보여주었다. 이것은 운송과정에 어획물의 체중전체를 소비하는 경우와 식용 중량이 동일하게 1 kg으로 운송되었기 때문이며, 만일 식용 중량을 만드는 과정이 서울에서 이루어진다면 운송과정에서도 0.63 kg의 중량에 대한 온실가스 배출이 더 발생할 것으로 판단된다.

본 해석에서는 대형선망에서 어획된 고등어에 대한 실제적

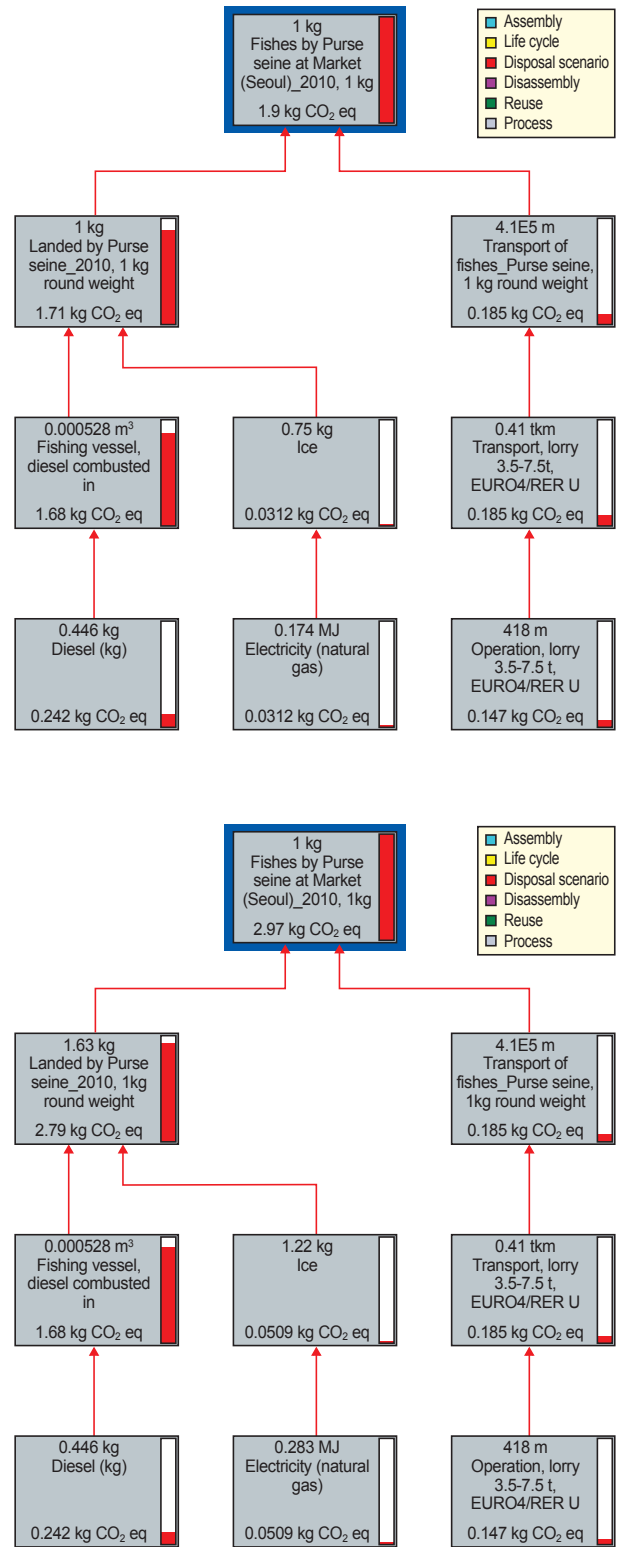


Fig. 7. The network tree of GHG emission from producing(a) 1 kg round weight fish and(b) 1 kg edible fish at the consuming area in Seoul(Red bar indicates the strength of GHG emissions in connection to the whole GHG emissions).

식용 중량을 생산하는데 발생하는 온실가스배출량을 계산 및 분석하였지만, 타 어종에 대한 정보가 현재 정립되어 있지 않아 여러 어종에 대한 분석을 위해서는 향후 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 7은 어획된 어류의 전체 중량 및 실제 소비 중량 생산 및 운송과정에서 발생하는 온실가스를 LCA 방법을 통하여 분석할 때 각 단계별 발생하는 온실가스양과 각 단계별 연결 관계 및 전체 온실가스 발생에 비교하여 각 단계에서 발생하는 온실가스를 보여주고 있다. 어선을 운항에 필요한 연료유를 생산하는 데 발생하는 온실가스 및 어획 후 하역장까지의 운송과정에 사용되는 얼음을 생산하는데 발생하는 온실가스 그리고 하역후 어획물을 소비지역까지 운송하는데 발생하는 온실가스량은 어획과정에서 연료유를 소모하여 발생하는 온실가스양에 비하여 매우 작은 부분을 차지하고 있어, 어획 과정에서 발생하는 온실가스를 줄이기 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제안하는 LCA 방법에 의한 수산물 생산, 유통, 소비에 의한 온실가스 배출 분석은 각 단계별 온실가스 발생량을 정량적으로 분석할 수 있으므로, 어느 단계에서 가장 많은 온실가스가 발생되는지에 대하여 직관적 판단이 가능하다. 또한 단위 어획량당 온실가스 배출량(Fig. 3) 분석이 가능할 뿐만 아니라, 단위 어획량당 온실가스 배출량에 업종별 연간 전체어획량을 곱하여 업종별 연간 온실가스배출량을 계산할 수 있다. 그러므로 각 업종에서 발생하는 연간 온실가스배출량을 정량적으로 계산할 수 있으므로 향후 어느 정도의 온실가스를 감축해야 할 것인가에 대한 정책적인 방향 수립에 많은 도움을 줄 수 있을 것이며, 수산물 생산단계별 온실가스 저감방안을 수립하는데 지표로서 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 수산물생산에서 발생하는 온실가스를 보다 정확하게 계산하기 위하여서는 정확하고 한국 실정에 적합한 전과정목록(Life Cycle Inventory: LCI) 데이터베이스의 체계적인 구축이 시급한 실정이다. 본 논문에서는 업종이 다르나 동일 어획어종에 대한 온실가스배출량 교차분석을 다루지 않았으나, 후속 논문을 통해 동일 어획어종에 대한 교차분석을 수행할 예정이다.

사 사

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. [NRF-2010-355-F00030]

참고문헌

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). 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. Edinburgh, U.K., 48.
- Ellingsen H. and S.A. Aanonsen, 2006. Environmental impacts of wild caught cod and farmed salmon – a comparison with chicken. *Int J Life Cycle Assess* 11, 60-65.
- Ellingsen H, Olaussen JO and Utne IB. 2009. Environmental analysis of the Norwegian fishery and aquaculture industry - A preliminary study focusing on farmed salmon. *Marine Policy* 33, 479-488.
- Hospido A and Tyedmers P. 2005. Life cycle environmental impacts of Spanish tuna fisheries. *Fisheries Research* 76, 174-186.
- Kim SH and Kim DM. 1995. A study on Methodology and application of Life Cycle Assessment. *J Korean Solid Waste Engineering Society* 12, 145-152.
- Lee CW, Kim HS and Lee JH. 2010a. Research of Low-carbon emission marine production technology. Land Transport and Maritime R&D Report. Busan, Korea, 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.
- Lee JH and Lee CW. 2010. Low-Carbon trawl design with analysis of a gear drag and calculation of construction costs using numerical methods. *The Korean Society of Fisheries Technology* 46, 313-323.
- Park KH. 2004. Development of Triple Bottom Line integrated model for environmental, economic and social evaluation of construction project. PhD 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.
- 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.
- 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. Deakin ACT, Australia, 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. Deakin ACT, Australia, 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, Halifax, Canada, 12-34.
- Tyedmers P. 2004. Fisheries and energy use. In: Cleveland CJ, editor. The encyclopedia of energy. San Diego: Academic Press/Elsevier Science, 683-693.
- Thrane M. 2004a. Environmental impacts from Danish fish products - Hot spots and environmental policies. PhD 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.
- Ziegler F and Hausson PA. 2003. Emissions from fuel combustion in Swedish cod fishery. *J Cleaner Prod* 11, 303-314.
- Ziegler F. 2007. Environmental life cycle assessment of seafood products from capture fisheries. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12, 61.
- 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*. pp. 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*. Trondheim, Norway, 89.

2011년 5월 24일 접수

2011년 6월 29일 수정

2011년 7월 28일 수리