

정치망과 죽방렴 어선의 탄소 배출량 현장 조사

한인우 · 김광복¹ · 오우석¹ · 박근창¹ · 이경훈^{2*}

국립수산과학원 고래연구센터 연구원, ¹전남대학교 수산과학과 학생, ²전남대학교 해양수산관리학과 교수

On-site measurement of carbon emissions of set net and bamboo weir fishing boats

Inwoo HAN, Kwangbok KIM¹, Wooseok OH¹, Geunchang PARK¹ and Kyoungsoon LEE^{2*}

Researcher, Cetacean Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Ulsan 44780, Korea

¹Student, Division of Fisheries Science, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

²Professor, Department of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea

This study calculated the on-site measurement (Tier 4) of greenhouse gases emitted during the production stage of major fishing periods that utilize set nets and bamboo weir fishing boats. In addition, using theoretically calculated results (Tier 1), the emission factor presented by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was comparatively analyzed. On average, carbon emissions for each operating period in the bamboo weir and set net were calculated to be 0.16 and 3.58 kg CO₂ time⁻¹, respectively; and the measurement values (Tier 4) for each tool were about 4-17 times lower than their respective theoretical values (Tier 1). Significant differences were found based on engine performance. As port entry, port departure, and operating periods of the vessels show negligible variation with short distances, the operation of the vessel engine was considered as the main variable for carbon emissions in anchovy set net fishing.

Keywords: Greenhouse Gases Emission, IPCC, Set net, Bamboo weir, Fishing boat

서론

우리나라의 해양수산분야가 국내 총생산(Gross Domestic Product, GDP) 전체에서 차지하는 비율은 약 7%로 알려져 있다. 그중 온실 가스 배출과 관련이 있는 사회경제 활동은 선박 수송 분야로 해상수송 부분의 국내 온실가스 배출량은 약 5.3백만 tCO₂eq으로 알려져 있다(Cho and Lee, 2010). 해양수산분야는 탄소 배출량 비중에 비해 상대적으로 높은 GDP 기여율을 보이고 있기 때문에 해양수산분야 경제활동에 의한 부가가치 생산이 온실가

스를 기준으로 할 때 다른 분야에 비해 높다는 것을 의미한다. 해양수산부의 등록어선 통계 발표에 따르면 연근해어업 어선은 총 어선 수의 60.7%로 전체 어선의 규모 면에서 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, 수산물 전 생산과정에서 탄소 배출량이 가장 많은 단계는 어선어업의 어획 단계로 전체 탄소 배출량의 약 90%를 차지한다.

어업 생산량은 2005년 271만톤에서 2012년 318만톤, 2015년 333만톤, 2020년에는 371만톤으로 증가하고 있으며, 어업에 종사하고 있는 어선의 수는 65,744척(2020

*Corresponding author: khlee71@jnu.ac.kr, Tel: +82-61-659-7124, Fax: +82-61-659-7129

년)이 등록되어 있다(KOSIS, 2021). 어선의 평균 선령은 6년에서 15년 사이에 전체 어선의 66%가 밀집되어 있어 노후화되어 있고 엔진 및 주요 기관의 노후화로 인한 불완전 연소로 유해대기오염물질의 배출이 증가되어 주요 연근해어업 어선에 대한 온실가스 배출량 산정은 반드시 필요하다.

기후변화협약 제4조 및 제12조에 의해 협약 당사국은 국가 온실가스 배출량을 산정함에 따라, 감축 목표를 제시하는 국가 및 지방자치단체가 늘어나고 있으며, 온실가스 배출원 및 배출량 산정에 관한 체계적인 연구가 수행되고 있다. 선행된 연구로는 일반 산업 분야(Lee and Park, 2010)와 농업 분야(Manaloor, 2006)에서 온실가스를 줄이기 위한 면세유 비중 감소와 유류 가격 인상으로 인한 저감효과 분석이 있으며, 온실가스를 감축할 경우 농업부문의 과급영향 분석 연구가 있다(Kim et al., 2007). 또한, 우리나라 수산업에서 온실가스를 가장 많이 배출하는 어선에 대한 체계적인 분류와 각 항목별 배출량을 산출하는 연구가 수행되고 있고(Lee et al., 2010; Lee and Lee, 2011), 어류와 무척추동물 생산량의 전체 유류 소모량 연구(Tyedmers et al., 2005), 참치의 상업적 어업을 대상으로 탄소량 추정 연구(Tan and Culaba, 2009), 뱀장어 양식장 및 넙치 양식장에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정한 연구(Kim et al., 2014; Yang et al., 2015a), 쌍끌이 대형 기선저인망의 연료 소모 계수를 도출하여 LCA (Life Cycle Assessment) 방법을 이용한 온실가스 정량 분석 연구(Yang et al., 2015b) 등 온실가스 배출량 산정에 관한 다양한 연구가 수행되었다.

그러나, 수산업 분야에서 온실가스 직접 배출원에 해당하는 어선의 경우에는 가장 높은 배출원에 해당하여 이론적인 배출량과 모니터링에 근거한 실측값을 구명하는 연구가 필요하다. 우리나라의 대표 상업 어종인 멸치는 2010년의 어업생산통계에 따르면 249,636 M/T이 생산되어 연근해어업 생산량 대비 약 34%로 가장 많은 어업 생산량을 차지하는 어류이다. 그러나 다른 어업에 비해 멸치를 주 어종으로 하는 어업에 대한 온실가스 배출량 산정 연구는 미비한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 멸치를 주 대상으로 하는 정치성 어구인 정치망과 죽방렴 어선을 대상으로 주요 어업기간에 생산단계과정에서 발생하는 온실가스 배출량의 현장 측정 결과값을 산정하고, IPCC (Intergovernmental Panel On Climate

Change)에서 제시한 배출 계수를 계산한 이론 계산 결과 값과 비교 및 분석하고자 한다.

재료 및 방법

표본어선 정보

멸치를 대상으로 하는 정치망과 죽방렴은 연안해역에서 조업하는 어업으로 비교적 이동량이 적어 유류 소모량에 따른 온실가스 배출량이 적은 친환경 어업이다. 남해안 멸치를 대상으로 하는 정치망 어업은 주로 7월에서 8월에 1일 2회 정도 일·출몰 전후에 출항하여 어획물을 포획하며, 멸치를 비롯한 삼치와 쥐치 등의 혼획이 발생한 경우 원통 부분에 이중그물을 설치하여 멸치와 타 어종을 분리하여 어획한다. 죽방렴 어업은 우리나라 남해 연안에 설치되어 있으며, 가장 많이 설치된 남해도와 창선도 사이의 지족해협에서 조업이 행해지는데, 주요 어기는 5월에서 8월 사이 간조시 1일 1회 약 1시간 30분가량 조업이 이루어진다. 멸치가 대량으로 어획되면 수회 조업을 하기도 한다. 조사에 사용한 표본어선 정보는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Set net and Bamboo weir fishing boats information

Fishing boats	Vessel tonnage	Engine HP	Engine company
Set net	1.23	120	Dongyang
Bamboo weir	7.31	197	Daedong Marine Tech

온실가스 측정 시스템

정치망 어업에서 발생하는 온실가스 배출량 모니터링을 하기 위해 조업 현장에 사용하고 있는 어장관리선에 온실가스 모니터링 시스템을 설치하여 측정하였다. 온실가스 측정 조사는 멸치 정치성 어업 해당 지역에 상주하며 표본어선 측정 자료를 수집하였다. 배출 온실가스, 엔진 PRM, 항해 경로 등을 고려한 DB 구축과 이론 배출량 대비 실제 측정 배출량 비교 분석, 조업내용 및 배출농도 관련 항목 분석을 실시하였다. 일별, 월별 단위로 온실가스 배출량 측정 및 유류 소모량, 운항 경로 등을 중심으로 데이터베이스를 구축하였다.

죽방렴 표본 어선에 탑재된 선박 엔진의 경우, 가스 배출구가 일반적인 선박 구조가 아니고 엔진 냉각에 사용되는 해수와 함께 배출되는 구조로 되어 있었다. 배출

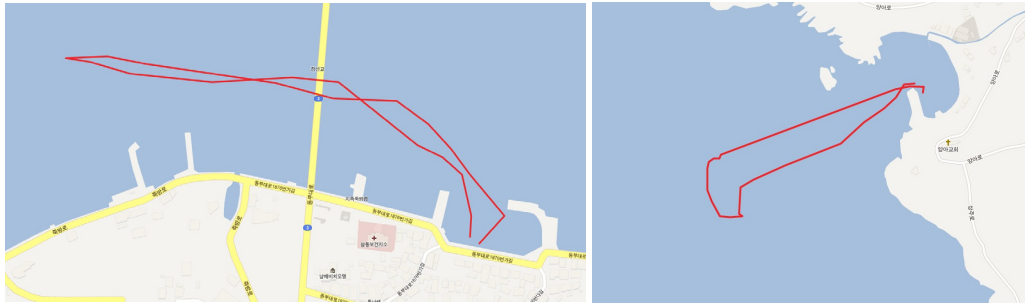


Fig. 1. Movement route of fishing boats; (Left) Bamboo Weir and (Right) Set net.

구 끝부분에 온실가스 모니터링 프로브의 설치가 어려워 선박 배기가스와 냉각수가 합쳐지는 부분의 전단부에 가공 작업을 수행하여 배기가스 현장 측정을 진행하였다. 또한 어획량이 많지 않은 날에는 멸치 가공실에 발생하는 보일러의 배출 배기가스도 측정하였다.

표본어선이 조업하는 남해는 주요 어종인 멸치를 가공하기 위하여 사용되는 연료와 배출되는 온실가스를 측정하였다. 어장관리선의 연통 끝부분에 프로브를 장착하였으며, 선실 외부에 온실가스 전처리 장치를 고정하고 선실 내부에 측정기 본체와 전원 공급장치를 설치하였다. 본 연구의 대상 선박은 많은 표본어선을 대상으로 선정하여 통계 불확도를 줄이는 방안을 고려해야 하지만 어업인의 이해 및 자료 부족으로 인하여 각 업종별 표본어선 1척만을 대상으로 분석하였다. 또한 죽방렴 표본어선은 다른 선박과 달리 차량용 엔진을 개조하여 설치되어 있었다.

정치망 어업과 죽방렴 어업은 두 지역 모두 남해로 2012년 전체 조업시기에 상주하며 표본어선의 측정 자료를 수집하였다. 온실가스 측정은 선박의 항행 특성에 의해 고정식 장치 운용에 어려움이 있어 휴대용 가스 측정기(VARIO+, MRU, USA)를 선박에 설치하였으며, 비분산 적외선 흡수법 NDIR (Non-Dispersive Infrared Absorption) 방식을 적용하여 가스상 물질을 동시 측정하고 고농도의 가스 희석 및 응축수를 제거하기 위해 전처리 시스템을 별도로 장착하였다. 엔진에서 배출되는 배기가스의 유량은 온실가스 총량 계산에 가장 중요한 데이터이다. 엔진의 RPM은 중요한 변수로 정확한 엔진의 RPM 측정을 위해 별도의 측정장치(Vibration sensor, PCB, USA)를 사용하였다. 엔진이 한 사이클 운행하면 진동 펄스가 측정되어 펄스를 일정 시간 간격으

로 측정하고 다음 식 (1)에 따라 1분간 엔진이 회전한 횟수를 산출할 수 있다.

$$N = \frac{60 \times m1}{Tc \times PPR} \quad (1)$$

N은 회전속도(RPM), m1은 펄스의 개수, Tc는 시간(측정간격, 1초), PPR은 모터가 한 바퀴 돌 때 입력되는 펄스의 개수이다. 온실가스 발생량의 산출 및 분석에 있어 선박의 이동경로 및 이동거리, 운행시간 등을 측정하기 위해 휴대용 GPS를 선박의 조타실에 설치하여 운행정보를 획득하였다(Fig. 1).

유량 측정 시스템

엔진에서 배출되는 배기가스 유량은 온실가스 총량 계산에 중요한 데이터로 기존 유량계로 연속적인 데이터 확보가 어렵기 때문에 본 연구에서는 엔진 회전수와 유량과의 상관관계를 규명하고 유량 값을 획득하여 장기 조업에 따른 데이터 확보가 가능하였다. 엔진 회전수 측정은 엔진 기통 수에 따른 고유 진동수를 이용하여 RPM을 환원하는 방정식을 적용하여 산출하였다. 센서는 접촉식 센서를 이용하였으며, 최종 유량 값은 엔진의 회전수에 얻어진 유속과 연통의 단면적을 적용하여 식 (2)와 같이 배출 유량을 산출하였다.

$$Q = A \times V \quad (2)$$

Q는 연통 안 유량(m³/s)이고, A는 연통의 단면적(m²), V는 배기가스의 유속(m/s)을 나타낸다. 이와 같이 산출된 유량은 측정 데이터와 함께 배출량 산정 시 필요한 자료로 활용되었다.

온실가스 배출량 산정법

본 연구에서 이론적 이산화탄소 산정방법으로 우리나라 이산화탄소 배출 산정 체계를 반영한 2006 IPCC 가이드라인의 산정방법을 사용하였다. 2006년 IPCC 가이드라인은 Tier 1과 Tier 2, Tier 3의 3가지 산정방법을 제시하고 있다. Tier 1은 국가 고유 배출계수가 없을 때 사용하고, Tier 2는 국가 고유 배출계수가 있을 때 사용하는 방법이다. Tier 3은 연료 종류와 연소 기술, 작동 조건, 통제 기술, 유지관리 방법, 장비 연식 등 고유 자료가 있을 때 사용하는 방법이다. 우리나라는 인벤토리 작성에 필요한 에너지 부분의 배출계수를 개발하여 검증하고 있는 단계로, 아직 확정되지 않아 IPCC에서 제공하는 기본 배출계수를 사용하고 있다. 본 연구에서는 IPCC의 기본 배출계수를 이용하는 Tier 1 방법으로 연료별 소비량에 연료별 배출계수를 곱하였으며, Tier 2에서 적용되는 국가 고유 배출 계수를 Tier 4 측정 데이터로 산출하여 Tier 1과 Tier 4 값을 비교분석 하였다. Tier 1에 의한 이산화탄소 배출계수는 연료의 탄소 함유량을 기준으로 하고 연료 탄소의 100% 산화로 나타내었다. 연료에 포함되어있는 모든 탄소가 100%를 산화하여 각각 CO₂와 CH₄로 산화되는 방식으로 총 탄소 배출량 식 (3)으로 나타내었다.

$$\sum CO_2 = \sum CO_2 + \sum CH_4 \quad (3)$$

$$\sum CO_2 = l \times 0.85 (kg/l) \times 43 TJ/Gg \times 10 \times 74100 kg/TJ + l \times 0.85 (kg/l) \times 43 TJ/Gg \times 10^{-6} \times 3.9 kg/TJ \times 21$$

l는 사용된 총 경유량, 0.85 kg/l는 경유의 비중, CO₂는 CH₄×21, 43TJ/Gg는 경유의 순 발열량, 74,100 kg/TJ는 경유의 CO₂의 배출계수, 3.9 kg/TJ는 경유의 CH₄의

배출계수이다. 10⁻⁶은 Gg를 kg으로 바꾸기 위해 사용된 것이며, CH₄ 배출계수에 곱해진 21은 CH₄의 GWP 수치로 모든 온실가스를 탄소 배출량으로 표시하기 위해 사용된 값이다.

본 연구의 조사대상 어선을 선정하여 조업과정에서 발생하는 온실가스 중 CO₂ 및 CH₄를 조업기간 중에 실측하여 평가하였으며, 측정시간은 표본 어선이 출항하기 위해 시동을 켜는 순간부터 입항하여 정박하는 시점까지 이동, 어획 및 위판의 생산단계에서의 전 과정을 측정 영역으로 설정하였다. 이산화탄소 측정 방법은 대기 공정시험방법을 기준으로 비분산적외선측정기(NDIR, Non-dispersive Infrared)로 연속측정방식을 적용하였다. 실측 계산의 이론적 근거는 대기환경보전법시행령-1일 초과배출량 및 1일 유량의 산정방법(제25조 제3항)을 근거로 실측치를 계산하였다.

$$\sum \text{Pollutant} = \text{Flow rate} \times \text{Density} \times \text{Molecular weight} \div \text{Molar volume} \quad (5)$$

$$\sum CO_2 = \sum CO_2 + (\sum CH_4 \times 21) \quad (6)$$

$$\sum CO_2 = Ov \times C \times \left(\frac{1}{10^6}\right) \times 44 \div 22.4 \quad (7)$$

$$\sum CH_4 = Ov \times C \times \left(\frac{1}{10^6}\right) \times 16 \div 22.4 \times 21 \quad (8)$$

위 계산식에서 메탄의 온실효과 기여도를 나타내기 위해 GWP 온난화지수를 참조하여 21배 한 후 CO₂로 변환하였다.

결과 및 고찰

온실가스 배출량 추적조사

배출가스, 엔진 RPM, 항해 경로를 대상으로 온실가

Table 2. CO₂ emission of Set net and Bamboo weir by On-site measurement (Teir 4)

Fishing boats	Time (min)	Distance (km)	Catch (kg)	CO ₂ emission (kg.CO ₂ /cycle)	Emission average (kg.CO ₂ /cycle)
Set net	67	1.17	18.50	0.18	0.16
	89	1.15	25.10	0.12	
	64	1.17	21.70	0.17	
Bamboo weir	56	1.21	18.90	2.99	3.58
	64	1.39	21.50	3.50	
	70	1.18	25.20	3.54	
	44	1.03	22.40	2.57	
	88	1.37	23.50	5.41	
	62	1.08	22.10	3.46	

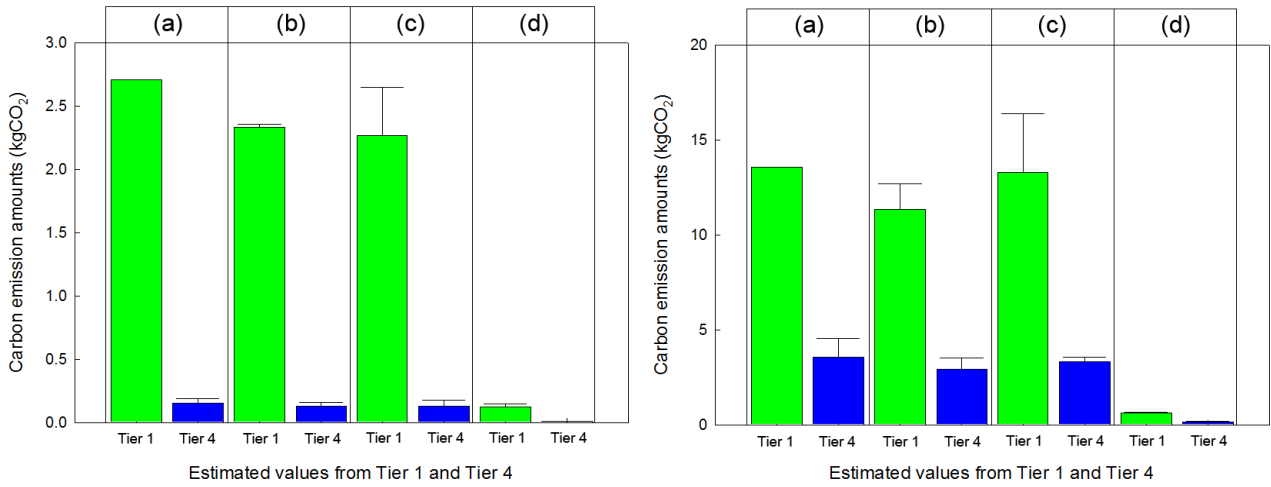


Fig. 2. Comparison of Tier 1 and Tier 4 Carbon emissions; (Left) Bamboo Weir, (Right) Set net (a: 1 per operation, b: per distance, c: per operation hour, d: per 1 kg of anchovy production).

스 배출량 추적조사는 유량의 경우 엔진 회전수와 상관 관계가 있어 엔진 RPM 값을 이용하여 간접적으로 산정할 수 있다(Fig. 2). 산출된 유량은 측정된 탄소 배출량과 함께 Tier 1 방식으로 계산되며, 1회 조업시 평균 유류소 모량은 정치망 5.0 리터, 죽방렴 1.0 리터로 적용하여 탄소 배출량을 산정하였다. 그 결과, 정치망 및 죽방렴 어업에서 평균 조업시간별 탄소 배출량은 각각 3.58 및 0.16 (kg·CO₂/cycle)로 산정되었으며(Table 2), 각 어업별 실측값(Tier 4)은 이론값(Tier 1)에 비해 각각 4배 및 17배 정도로 적게 발생하는 것으로 나타났고 기관 성능에 따라 많은 차이가 나타났다. 멸치 정치성 어업은 어선

의 입·출항 및 조업시간이 거의 일정하고 단거리를 이동하므로 선박기관의 가동 유무가 탄소 배출량의 주요 변수로 고려할 수 있다.

정치망 어업 어선의 탄소 배출량

정치망 어업에서 이론적인 수식을 이용한 정치망 어업의 이산화탄소 Tier 1 값을 실제 측정된 배출량인 Tier 4 값과 비교하였다(Table 3). 정치망 어업의 Tier 1 측정 조업시 탄소 배출량은 평균 13.56 (kg·CO₂/cycle)으로 나타났으며, 이동거리당 탄소 배출량은 평균 11.34 (kg·CO₂/km), 조업 1시간당 이산화탄소 배출량은 평균

Table 3. Comparison of actual measured emissions against theoretical emissions from Set net

Method	Time (min)	CEA per 1 cycle of fishing operation (kg.CO ₂ /cycle)	CEA per distance of fishing operation (kg.CO ₂ /km)	CEA per hour of fishing operation (kg.CO ₂ /h)	CEA per 1 kg product of japanese anchovy (kg.CO ₂ /kg)
Tier 1	56	13.56	11.20	14.53	0.72
	64	13.56	9.75	12.71	0.63
	70	13.56	11.49	11.62	0.54
	44	13.56	13.16	18.49	0.61
	88	13.56	9.90	9.24	0.58
	62	13.56	12.55	13.12	0.61
Tier 4	56	2.99	2.47	3.20	0.16
	64	3.50	2.52	3.28	0.16
	70	3.54	3.00	3.03	0.14
	44	2.57	2.50	3.50	0.11
	88	5.41	3.95	3.69	0.23
	62	3.46	3.20	3.35	0.16

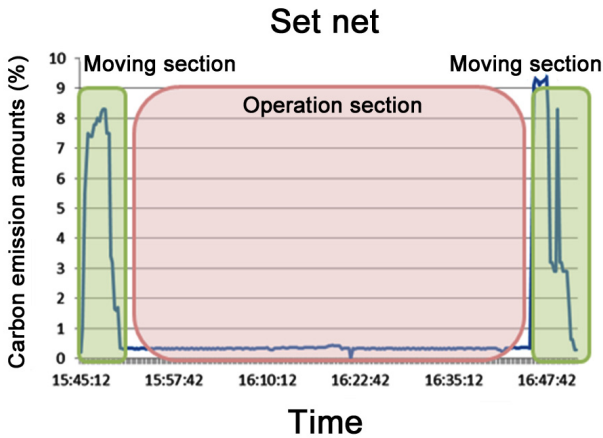


Fig. 3. Carbon emissions generated during the operation hours of the Set net.

13.29 (kg·CO₂/h), 멸치 1kg당 이산화탄소 배출량은 평균 0.62 (kg·CO₂/kg)로 나타났다. Tier 4 측정 조업시 탄소 배출량은 평균 3.58 (kg·CO₂/cycle)로 나타났으며, 이동거리당 탄소 배출량은 평균 2.94 (kg·CO₂/km), 조업 1시간당 이산화탄소 배출량은 평균 3.34 (kg·CO₂/h), 멸치 1kg당 이산화탄소 배출량은 평균 0.16 (kg·CO₂/kg)로 나타났다. 시간대별 발생하는 탄소 배출량을 Fig. 3에 나타내었다.

정치망 어업은 오전 5시부터 오후 5시 정도로 1일 2회 조업하며 전체 조업시간은 약 1시간에서 2시간 정도이다. 조업은 설치된 정치망의 중앙부에서 시작되고 중앙부의 그물을 수면 가까이 끌어올리면서 대상 어획물을 양 끝으로 몰아낸 뒤 그물을 수면 가까이 끌어 올려서 어류를 포획하기 쉽게 잡는다.

정치망 표본어선의 조업과정에서 발생하는 탄소 배출량은 대부분 조업시 비슷한 패턴의 결과가 확인되었는데, 초기 출항 준비 후에 엔진에 시동을 걸기까지 배기구

내부의 잔류 배기가스가 아주 낮은 농도로 검출되었다. 엔진 시동 후에 어장으로 이동하고 조업을 완료하고 귀항하는 시기에 가장 많은 탄소 배출량이 측정되었다. 정치망의 조업 시기에는 그림과 같이 중앙부에 대부분 일정한 배출량을 보이며 엔진을 시동만 켜놓은 상태에서 선박 현측 사이드드럼을 가동해 그물을 양망하는 과정에서 미 작업구간에 비해 약 30%의 높은 수치를 나타내었으며, 마지막 이동구간에서 약 3% 정도의 일정한 배출량을 나타내는 구간은 입항 선박이 접안하여 갑판 및 어획물 등 작업 정리를 마무리하는 과정에서 발생하는 구간이었다.

죽방렴 어업 어선의 탄소 배출량

죽방렴 어업에서 이론적인 수식을 이용한 죽방렴 어업의 이산화탄소 Tier 1 값을 실제 측정된 배출량인 Tier 4 값과 비교하였다(Table 4). 죽방렴 어업의 Tier 1 측정 조업시 탄소 배출량은 평균 2.71 (kg·CO₂/cycle)으로 나타났으며, 이동 거리당 탄소 배출량은 평균 2.33 (kg.CO₂/km), 조업 1시간당 이산화탄소 배출량은 평균 2.27 (kg.CO₂/h), 멸치 1kg당 이산화탄소 배출량은 평균 0.13 (kg.CO₂/kg)으로 나타났다. Tier 4 측정 조업시 탄소 배출량은 평균 0.16 (kg·CO₂/cycle)으로 나타났으며, 이동거리당 탄소 배출량은 평균 0.13 (kg.CO₂/km), 조업 1시간당 이산화탄소 배출량은 평균 0.13 (kg.CO₂/h), 멸치 1kg당 이산화탄소 배출량은 평균 0.01 (kg.CO₂/kg)로 나타났다. 멸치를 대상으로 하는 죽방렴 조업과정에서 시간대별 발생하는 탄소 배출량을 Fig. 4와 같이 나타내었다. 죽방렴 어업은 대부분 매일 출어하고 물때를 기준으로 조금 전후 약 2~3일간 조업을 중단하는 경우도 있다. 죽방렴의 조업시간은 대부분 간조시에 맞춰 오후 3시부터 4시까지 수행하고 평균 1시간 내외로 조업을

Table 4. Comparison of actual measured emissions against theoretical emissions from Bamboo Weir.

Method	Time	CEA per 1 cycle of fishing operation (kg.CO ₂ /1cycle)	CEA per distance of fishing operation (kg.CO ₂ /km)	CEA per hour of fishing operation (kg.CO ₂ /h)	CEA per 1 kg product of japanese anchovy (kg.CO ₂ /kg)
Tier 1	67	2.71	2.32	2.43	0.15
	89	2.71	2.36	1.83	0.11
	64	2.71	2.32	2.54	0.12
Tier 4	67	0.18	0.15	0.16	0.01
	89	0.12	0.10	0.08	0.01
	64	0.17	0.15	0.16	0.01

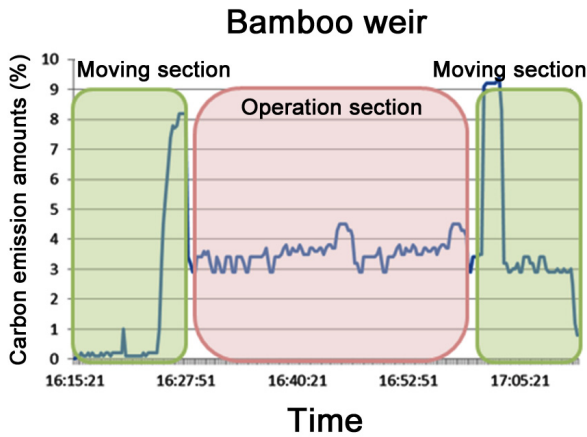


Fig. 4. Carbon emissions generated during the operation hours of the Bamboo Weir.

한다. 죽방렴 표본어선의 조업과정에서 발생하는 탄소 배출량은 이동구간에서 약 8.5%와 1.8%로 배출량 지속 구간은 어장까지 어선이 이동하고 어획물을 양망하기 위해 어장에 도착하는 단계에서 발생하는 구간이다. 조업을 마치고 귀항하는 이동구간에서 최대 발생량 9.5%와 3.0%로 발생하는 구간은 입항시에서 선속을 저감하는 과정에서 나타나는 현상이었다. 죽방렴은 조업구간에서는 엔진이 정지되어 있는 상태에서도 전체 탄소 배출량에서 약 0.4% 미만으로 미약하게 발생되었는데, 잔류 배출가스가 지속적으로 검출되었지만 전체 탄소 배출량에는 영향이 나타나지 않았다.

수산업에서 Tier 선택

수산업의 경우에는 농업이나 축산업과 같이 경작 및 사육에 대한 온실가스 배출이 미미하여 IPCC 가이드라

인에서도 별도로 구별해놓지 않고 에너지 부분에서 연료 연소의 기타로 구별 지정되어 있다. 수산업의 경우, 어로 활동 및 재배 활동으로 나누어서 볼 수 있으며, 어선어업의 온실가스 배출은 대부분 어로 활동을 위한 연료의 연소이다. 연근해 어선 대부분의 온실가스 배출이 연료 연소 활동에 의한 것이라는 가정 하에 IPCC 가이드라인의 에너지 부문 고정 연소 분야 기타 사항에 해당하는 에너지원별 CO₂ 기본 배출계수(Tier 1)를 적용하도록 한다. 이 Tier 1의 방법은 각각의 에너지원에서의 연료연소량과 배출계수를 이용하여 CO₂의 배출량을 계산한다.

이산화탄소 배출량 식과 연료원에 대한 탄소배출계수를 이용하여 각 연료원의 연소에 대한 CO₂ 배출량을 산출하기 위해서는 용량과 용적의 단위를 통일 시켜야 한다. 우리나라의 경우 원유에 대해서는 킬로그램(kg), 휘발유, 경유, 등유, 중유(B-A유, B-B유, B-C유) 등에 대해서는 리터(L)의 단위를 사용하고 있고, CO₂ 배출량을 산정하기 위해서는 IPCC에서 제공하는 순발열량(Net calorific value: NCV)을 기준으로 한 우리나라의 에너지기본법 시행령규칙 제5조 1항에서 발췌한 에너지 열량환산기준표(순발열량 적용)은 Table 5와 같이 나타낼 수 있다. CO₂ 배출량 기준 평균 배출량은 2.7(톤/KL,kg)이다. 원유와 천연액화가스가 1 kg당 탄소 배출량이 3.1톤을 배출하며, 휘발유가 1 KL당 2.1톤의 탄소를 배출하는 것으로 나타났다.

어선어업 온실가스 저감방안

현대사회의 급격한 산업화로 인해 석유 및 석탄과 같은 화석 연료의 사용량이 기하급수적으로 증가하였으

Table 5. Carbon Emissions by Oil Type and CO₂ Emission Conversion

Type	kg/GJ	Unit	MJ	GJ	kg/L, kg	t/L, kg	t/KL, kg	
Crude Oil	20	kg	42.3	0.0423	0.85	0.0031	3.1	
Natural Gas Liquids	17	kg	49.2	0.0492	0.84	0.0031	3.1	
Gasoline	18.9	L	31.0	0.0310	0.59	0.0021	2.1	
Jet Kerosene	19.5	L	34.3	0.0343	0.67	0.0025	2.5	
Ohter Kerosene	19.6	L	34.3	0.0343	0.67	0.0025	2.5	
Gas/Diesel Oil	20.2	L	35.4	0.0354	0.72	0.0026	2.6	
Lubricant	20.0	L	36.2	0.0362	0.72	0.0027	2.7	
Residual Fuel Oil	B-A	21.1	L	36.6	0.0368	0.77	0.0028	2.8
	B-B	21.1	L	38.1	0.0381	0.80	0.0029	2.9
	B-c	21.1	L	39.1	0.039	0.83	0.0030	3.0

며, 화석 연료의 연소과정에서 배출되는 각종 유해물질 등으로 인한 대기오염도 심각해지며, 스모그 현상과 산성비, 온실효과로 인한 지구온난화 문제는 이전부터 꾸준히 대두되고 있다. 통상적으로 대기오염의 주된 원인은 차량의 엔진과 화력발전소의 공장에서 배출되는 질소산화물(NOx)과 황산화물(SOx), 이산화탄소(CO₂)에 분진이 포함된 상태로 배출되는 배기가스이다. 최근 환경보존에 대한 인식이 높아짐에 따라 배기가스의 배출규제가 엄격히 시행되고 있으며 대기오염 물질을 배출기준에 적합하도록 처리 및 저감 시키기 위한 여러 장치의 개발과 연구가 진행되고 있다.

UN의 산하기관인 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)에서도 선박에서 배출되는 질소산화물과 황산화물의 배출 규제를 시행하고 있으며, 2020년 1월 1일부터 선박 연료유의 황 함유량 상한을 3.5%에서 0.5%로 강화 규제하고 있다(IMO, 2020). 2021년 5월 19일부터 해양수산부에서도 2013년 1월 1일 전에 건조된 국내 항해선박의 기관을 교체할 경우, 기관의 제작년도에 관계없이 「선박에서의 오염방지에 관한 규칙」에 질소산화물 배출기준을 Tier 2로 강화하였으며, 2022년 1월 1일부터 황산화물 배출기준을 우리나라의 모든 해역을 항해하는 선박의 황함유량을 0.5%, 황산화물 배출 규제 해역 진입 선박은 연료유의 황 함유량을 0.1%로 제한하는 기준으로 강화하였다.

질소산화물은 Thermal NOx(고온 영역에서 공기 중의 질소와 산소가 반응하여 생성)와 Prompt NOx(연료에서 발생하는 탄화수소가 공기 중의 질소와 반응하여 생성), Fuel NOx(연료에 포함된 질소성분이 연소과정에서 산화되어 생성)로 구분되나 연료의 연소중에 발생한 NO와 NO₂가 대부분이고 황산화물은 석유와 석탄과 같은 화석연료에 포함된 황의 연소과정에서 산화된 것으로 SO₂가 대부분의 비중을 가진다. 질소산화물은 대표적으로 암모니아나 우레아를 주입하여 질소와 물로 변환시켜 제거하는 SCR (Selective Catalytic Reduction) 방식이 대표적이며, 고온의 배기가스에 암모니아를 직접 주입하여 질소산화물을 제거하는 SNCR (Selective Non Catalytic Reduction) 방식이 있다. SCR 방식은 질소산화물의 제거효율이 높지만 분진 등의 발생으로 SCR 반응기의 부피가 커져 선박에서 공간활용도가 떨어지는 단점이 있다. SNCR 방식은 암모니아를 직접 주입하기

때문에 촉매반응기가 필요하지 않고 설치비용 및 운용비용이 저렴하지만 반응 온도가 높아야 하며 SCR 방식에 비해 제거효율이 떨어진다.

황산화물을 제거하는 방식은 크게 습식법과 건식법으로 나누어지고 습식방법은 물이나 알칼리 용액으로 황산화물을 세정, 건식법은 수산화칼슘이나 나트륨(Na) 계열의 흡수제를 사용하는 방법이 있다. 습식법은 제거효율이 높고 연구 과정이 오래되어 공정 신뢰가 좋지만 다량의 용액이 필요하며 2차 오염이 발생할 수 있다는 단점이 있다. 건식법의 경우 2차 오염물질의 저감되며 배기가스의 재가열이 필요 없지만 흡수제가 고가라는 단점이 존재한다.

지금까지 선박의 배기가스 처리방식은 질소산화물이나 황산화물을 개별적으로 처리하기 때문에 선박의 특성상 공간활용도 및 협소한 공간으로 인해 두 종류의 처리장치를 모두 적용시키기에는 무리가 있다. 질소산화물과 황산화물을 제거하더라도 지구온난화 주범인 이산화탄소는 제거되지 않는 문제점이 있다. 이로 인해 현재 배출규제가 엄격하게 적용되고 있는 선박에서 배기가스 처리의 기존 장치를 그대로 적용시키기에는 비용적인 측면과 선박의 공간적인 측면, 처리효율 등의 불합리한 문제점이 있으며, 배출규제의 대상인 이산화탄소의 저감 측면까지 고려하게 된다면 보다 개선된 방식의 선박용 배기가스 처리 장치가 필요한 것으로 사료된다.

결론

본 연구에서는 정치망과 죽방렴 어선을 대상으로 주요 어업 기간 생산단계 과정에서 발생하는 온실가스 배출량의 현장 측정 결과값(Tier 4)을 산정하고, IPCC 에서 제시한 배출계수를 계산한 이론계산 결과값(Tier 1)과 비교 및 분석하고자 하였다. 정치망과 죽방렴 어업에서 평균 조업시간별 탄소 배출량은 각각 3.58, 0.16 (kg·CO₂/cycle)로 산정되었으며, 각 어업별 실측값(Tier 4)은 이론값(Tier 1)에 비해 각각 4배 및 17배 정도로 적게 발생되었다. 기관 성능에 따라 많은 차이가 나타났으며, 멸치 정치성 어업은 어선의 입·출항 및 조업시간이 거의 일정하고 단거리를 이동하므로 선박기관의 가동 유무가 탄소 배출량의 주요 변수로 고려된다.

사 사

이 논문은 2022년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(AI 기반 스마트어업관리시스템 개발 사업, No.20210499)의 지원을 받아 수행되었으며, 본 논문을 사려 깊게 검토하여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사드립니다.

References

- 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.
- IMO. 2020. (International Maritime Organization). IMO 2020-cutting sulphur oxide emissions. Retrieved from <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>. Accessed 17 Mar 2022.
- IPCC. 2006. (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the national greenhouse gas inventories programme. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>. Accessed 16 Mar 2022.
- Kim CG, Kim TY and Cho GL. 2007. Analyzing the Impacts of Mandatory Greenhouse Gas Reduction on Agricultural Sector. *Korean Journal of Agricultural Economics* 48, 1-30.
- Kim JH, Lee K, Lee DG, Park SW and Yang YS. 2014. Estimation of Green-House-Gas emissions from domestic eel farm. *J Kor Soc Fish Oce Tech* 50, 58-66. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.1.058>.
- KOSIS. 2021. (Korea Statistical Information Service). 2005-2020. Annual statistic database for number of fishing boats. Retrieved from <https://www.kosis.kr/>. Accessed 16 Mar 2022.
- Lee DK and Park C. 2010. CO2 emission variation estimation method on development site level and its application. *Journal Of Korea Planners Association* 45, 1-11.
- Lee DW, Lee JB, Kim YH and Jung SG. 2010. 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 JH 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>.
- Manaloor V. 2006. CO2 Emissions from Central Canadian Agriculture: Meeting Kyoto Targets and Its Implications, 16. Retrieved from <https://ageconsearch.umn.edu/record/25778/>. Accessed 17 Mar 2022.
- Tan RR and Culaba AB. 2009. Estimating the carbon footprint of tuna fisheries. WWF Binary Item, 17870, 14. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Alvin-Culaba/publication/237712293_Estimating_the_Carbon_Footprint_of_Tuna_Fisheries/links/55ee9a9308aedecb68fca3f5/Estimating-the-Carbon-Footprint-of-Tuna-Fisheries.pdf. Accessed 15 Mar 2022.
- Tyedmers PH, Watson R and Pauly D. 2005. Fueling global fishing fleets. *AMBIO: a Journal of the Human Environment* 34, 635-638. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-34.8.635>.
- Yang Y, Lim HK, Lee K, Lee DG and Shin HH. 2015a. Estimation of Green-House-Gas emissions from domestic aquaculture farm for flounders. *J Kor Soc of Fish Oce Tech* 51, 614-623. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.4.614>.
- Yang YS, Lee DG, Hwang BK, Lee KH and Lee J. 2015b. A quantitative analysis of greenhouse gases emissions from bottom pair trawl using a LCA method. *J Kor Soc of Fish Oce Tech* 51, 111-119. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.1.111>.

2022. 07. 13 Received

2022. 08. 30 Revised

2022. 08. 30 Accepted