

탄소저감형 권현망어구 개발의 경제성 분석

박성욱 · 이경훈 · 강민주¹ · 박성래¹ · 이춘우² · 이지훈³

국립수산과학원 시스템공학과, ¹부경대학교 해양산업경영학과,
²부경대학교 해양생산시스템관리학부, ³전남대학교 해양기술학부

Economic analysis on development of low-carbon gear for anchovy boat seine

**Seong-Wook PARK, Kyounghoon LEE, Min-Joo KANG¹, Seong-Kwae PARK^{1*},
Chun-Woo LEE² and Jihoon LEE³**

*Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research Development Institute,
Busan 619-750, Korea*

¹*Faculty of Marine Business & Economics, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

²*Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

³*Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea*

The main purpose of this study is to analyse economic feasibility of low-carbon-oriented gear for anchovy boat seine. The results of benefit/cost analysis showed that use of the low-carbon fishing gear is economically feasible. Considering the fuel saving and relatively low CO₂ emission by reducing the resistance of gear, net present value by such type 1 gear improvement was estimated about -2,490 ~ -1,580 million won with the benefit-cost ratio 0.81~ 0.88. And net present value by such type 2 gear improvement was estimated about 6,540 ~ 7,780 million won with the benefit-cost ratio 1.79 ~ 1.94. Development of low-carbon trawl gear would render significant contributions to reducing CO₂ emission in fishing operations and lead to reduce fishing costs due to fuel savings.

Keywords: Benefit-cost analysis, Low-carbon anchovy boat seine, Fishing gear, Fuel saving, Fishing cost

서 론
이산화탄소 배출이 환경에 미치는 영향에 대

한 관심이 지속적으로 증가하고 있으며, 다양한
산업으로부터 발생하는 온실가스에 대한 정확

*Corresponding author: skpark@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-5958, Fax: 82-51-629-5953

한 평가와 배출량 감소를 위한 노력이 이루어지고 있다. 이를 위해 세계 각국이 참여하는 협상체제가 출범하였으며, UN이 주재하는 기후변화협약 (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)이 대표적이다. 수산업에서의 온실가스 배출문제는 1992년 멕시코 칸쿤선언과 2005년 공식 발표된 교토의정서에서 주요하게 다루고 있다. 더욱이 의무감축국에 속한 선진국에서는 탄소배출을 줄이기 위해 이미 다양한 노력을 기울이고 있으며, 우리나라 정부도 수산업을 저탄소 녹색성장 패러다임에 기반을 둔 지속가능한 사업으로 발전시키기 위해 다양한 방법을 모색하고 있다.

어업에서 에너지 소비에 영향을 주는 요소들로 어장으로의 이동거리, 거친 해황, 날씨, 낮은 온도, 조업에 필요한 어구 사용, 어획물 보존 등이 있으며, 현대 어업에서의 수산물 생산은 생산된 수산물의 영양 에너지에 비해 생산에 소비되는 에너지양이 높아 실제적으로는 에너지 손실이 많다고 지적하고 있다 (Tyedmers, 2004; Ellingsen and Aanonsen, 2006). 이를 보완하기 위해 주로 어업에서 소모되는 에너지 및 탄소배출을 분석한 연구들이 수행되었다. 또한, 수산업에서 사용되는 에너지 효율을 높이는 연구 및 수치해석방법을 사용하여 어구의 유체역학적 저항이 가장 적은 형태로 어구 설계를 개선하여 유류소모량을 감소시키고자 한 연구들이 진행되었다. 그러나 유류 소모를 감소시켜서 얻을 수 있는 경제성과 관련한 연구들이 함께 이루어지지 않아 실질적으로 이러한 연구의 경제성이 있는지를 파악해야 할 필요가 있다.

국내 수산 분야 중 근해어업은 연료 및 에너지 사용 비중이 매우 높아 어선에서 발생하는 이산화탄소가 많으며, 연안어업과 비교해 볼 때, 대형·규모화 되어있어 산업별 이산화탄소 감축이 본격화될 경우에 영향을 크게 받을 것으로 보인다. 특히, 근해 어업 중 끌어들이에 속하는 권현망 어업은 유체저항이 큰 어구를 예망하는 과정

에서 많은 에너지를 소모하게 된다. 그러므로 타어업보다 조업 중 많은 에너지를 소모하는 권현망 어업과 관련하여 수산물의 생산과정에서 발생하는 유류 소모 및 탄소배출량을 감소시킬 수 있는 개선방안 확립이 필요하다고 할 수 있다.

탄소저감형 어구의 경제성에 관한 연구는 국내·외를 막론하고 거의 이루어진 바가 없다. 하지만, 이러한 기술 개발과 공공투자에 대한 경제성 분석은 광범위하게 이루어졌다. 공공투자에 대한 경제적·정책적 분석을 위해 가장 효과적인 방법으로 비용·편익 분석을 들 수 있다 (KDI, 2004). 비용·편익 분석은 1950년 미국 'The Green Book' 을 통해 처음 소개되었으며, 이후 많은 나라에서 기술개발 등 공공투자 정책에 대한 비용·편익 분석이 이루어졌다. 우리나라의 경우 KDI (1999)에서 경제적 타당성 분석을 위한 지침서를 최초로 발간했다. Park et al. (2009)은 생분해성 대게 자망 시범사업의 경제적 타당성을 검증하였고, Park et al. (2012)는 탄소저감형 트롤 어구개발에 대한 경제적 타당성을 분석하였다. 그러나 비용·편익 분석의 연구는 일반적으로 비용과 편익의 범위 결정, 사회적 할인율 선택, 자료의 가용성 등으로 인해 그 자체로 상당한 한계를 지닌다.

이상의 관점에서 본 연구는 탄소저감형 권현망 어구의 사용으로 인해 얻게 되는 경제적 가치를 추정하는데 주된 목적을 두고 수행되었다. 현재 사용되고 있는 권현망 어구를 개량된 어구로 바꾸면서 발생하는 비용과 편익의 경제적 가치를 측정함으로써, 실질적으로 경제적 가치가 있는지를 도출하고자 하였다.

재료 및 방법

비용·편익분석법

비용·편익 분석의 중요한 목적은 한정된 자원을 효율적으로 사용하는 것이다. 그리고 이를 위해 충분한 분석과 합리적인 선택이 요구된다. 특히 국가적인 차원에서 정해진 공공목표를 달

성하기 위해 예상되는 여러 대안에 대한 각각의 비용과 편익을 측정하고, 비교·검토하여 최선의 대안을 도출하는 기술적 방법이 필요하다. 이는 공공사업의 경우가 더욱 중요하다고 할 수 있다. 소비는 모든 경제활동의 목적이고 생산의 목적이기 때문에 편익이란 어떤 사업에서 소비자의 편익을 증가시키는 효과를 의미한다. 직접적으로 소비를 유발하지 않는 간접적인 투자활동도 간접적으로 전체 미래 소비를 증가시키기 때문에 편익으로 간주하게 된다. 비용이란 기회비용을 의미한다. 그러나 이러한 기회비용의 계산이 사실상 불가능하기에 일반적으로 사업수행에 소요되는 경비를 비용으로 간주한다.

사업을 평가하고 경제성을 분석하는데 있어서 할인율과 분석기간의 선택에 따라 공공사업에 대한 평가가 달라질 수 있기에 이들의 선정은 매우 중요하다. 비용과 편익은 일시에 발생하는 것이 아니라 수년 또는 장기에 걸쳐 발생하기 때문에 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 비교할 필요가 있다. 미래의 모든 편익과 비용을 현재가치로 환산한다는 것은 현재가치로 할인한다는 것이며, 이때 적용되는 이자율을 할인율이라고 한다. 즉, 할인율(discount rate)이란 미래의 비용이나 편익을 할인하여 현재가치로 만들기 위해 사용되는 비율이다.

일반적으로 할인율의 종류에는 시장이자율, 정부공채이자율, 기업할인율, 사회적 할인율 등이 있으나 이를 선정하는데 명확한 판단을 내리기 어렵다. 외국의 경우를 살펴보면 미국은 민간투자에 대해서는 7%, 정부의 내부투자의 경우 국채이자율로 할인할 것을 제안하고 있다(OMB, 1992). 영국은 20년 이내의 경우 3.5%, 30년 이상 75년 이내 사업에 대해서는 3%를 제시하고 있다(HM Treasury, 2003). EU는 장기 채권의 실질 수익률의 약 2배인 5%를 정하고 있지만, 각 지역·국가간, 행정 기관별로 분석방법론상의 차이가 존재하기 때문에 EU 평균 성장률 2.5~3.0%를 선호하고 있다. 호주는 국채의 기

대 실질이자율인 4%를 사회적 할인율로 제안하고 있다(BTE, 1999).

이와 같이 적정 할인율에 대한 선택은 주관적인 관점의 문제이기에 이를 결정하는 것은 매우 어렵다. 완전 자본시장 할인율은 사회적 시간선호율, 민간부분의 한계투자 수익률, 소비자 이자율, 생산자 이자율, 시장이자율, 공공부분의 기회비용 등이 모두 동일하지만, 시장의 불완전성과 위험도의 상이성으로 인해 할인율의 수준은 각기 다르다. 공공사업의 경제성 분석 시 할인율은 크게 2가지 차원에서 주의를 기울여야 한다. 첫째, 분석 시 미래의 현금유입과 유출에 따른 현금흐름과 할인율 적용에 있어서 일관성을 유지할 필요가 있다는 것이고, 두 번째는 여러 상품의 무위험이자율 중에서 선택 기준과 예상 인플레이션율의 결정방법에 대한 것이다. 전자의 경우, 우리가 시장에서 관찰할 수 있는 시장이자율은 실질이자율이 아닌 명목이자율이라는 것이다. 두 번째는 예상 인플레이션이 반영될 경우 안정성이 떨어지기 때문에 장기 평가에는 적절하지 않다고 할 수 있다. 따라서 상대적으로 민감성이 낮은 무위험 이자율이 이용되며, 일반적으로 은행의 예금금리와 국공채 이자율이 이에 해당한다. 그러나 은행의 예금금리는 시장원리에 의해 결정된 금리로 보기엔 어렵기에 일반적으로 장기적인 관점에서 안정적인 국공채 이자율이 할인율로 채택된다.

본 연구의 경우, 탄소저감형 어구가 장기간에 걸쳐 그 효과가 발생하므로 단기적이고 불안정한 성격이 강한 시장은행 이자율이 아닌 안정적인 무위험 할인율로 고려될 수 있는 10년 만기 국공채 2002~2011년 평균인 5.2%를 할인율로 적용하였다. 또한, 일반적인 경제적 타당성 조사에서의 편익창출 기간을 10~30년으로 설정하는데 어구는 단기적으로 사용되기에 분석기간을 10년으로 설정하였다.

비용·편익 분석을 위한 방법에는 순현재가치법(NPV: Net Present Value), 편익비용비율

(BCR: Benefit-Cost Ratio), 내부수익율 (IRR: Internal Rate or Return)이 있다. 이 3가지 방법을 활용하여 경제적 타당성을 평가하게 된다.

NPV는 사업시행으로 인해 장래에 발생하는 연차별 편익 및 비용을 기준시점으로 현재가치화 한 후 현재가치화한 편익의 합에서 비용의 합을 뺀 개념이다. 즉, 할인율로 할인한 총 현재편익가치에서 총 현재비용가치를 감한 것이다. 여기에서 PB 는 편익, PC 는 비용을 나타내며, r 은 과거와 미래의 가격을 현재가치로 전환하는 할인율을 뜻하며, n 은 사업기간을 의미한다. 현재가치화된 편익 (PB)이 비용 (PC)보다 클 경우 ($NPV > 0$) 경제성이 있다고 판단한다.

$$NPV = \frac{(B-C)_0}{(1+r)^0} + \frac{(B-C)_1}{(1+r)^1} + \frac{(B-C)_n}{(1+r)^n} \quad (1)$$

$$= \sum_{j=0}^n \frac{(B-C)_j}{(1+r)^j}$$

그러나 화폐적 가치로 측정되거나 환산될 수 없는 편익 또는 비용은 현재가치 계산에 포함될 수 없는 한계가 있다. 또한, 사업의 규모에 대한 표준화가 되어있지 않기에 대규모 사업이 소규모 사업에 비해 큰 NPV를 발생하게 되어 유리하게 평가되는 경향이 있어 규모의 문제를 수용할 수 없다는 단점이 있다.

편익비용 비율 (BCR)은 비용의 현재가치에 대한 편익의 현재가치의 비율로서 현재가치법과 다른 방법으로 사업의 경제적 타당성을 판단할 수 있다. 편익비용비율이 1 이상이라고 한다면 ($BCR \geq 1$), 편익의 현재가치가 비용의 현재가치보다 크다는 것을 의미하므로 경제성이 있는 사업이라는 것을 의미한다.

$$BCR = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{B_n}{(1+r)^n}}{\sum_{i=0}^n \frac{C_n}{(1+r)^n}} \quad n=0,1,2,\dots,n \quad (2)$$

BCR은 사업의 경제성을 판단하는데 기준을 제시해주는 것은 하지만, 투자의 규모 혹은 편익과

비용의 흐름의 분류방법 등이 달라질 때 단순한 편익비용 비율만으로는 올바른 평가를 할 수 없는 경우가 발생하며, 어떤 항목을 비용에 추가하는 경우와 편익에 차감하는 경우에 따라서 편익 비용이 달라질 가능성이 있기 때문에 서로 배타적인 대안들 중 편익비용비가 가장 큰 값을 대안으로 선택할 경우 잘못된 선택을 초래할 수 있다. 따라서 보다 완전한 분석을 하기 위해서는 투자액을 동일하게 보고 효과를 판단하여 의사결정을 하는 것이 바람직하다.

IRR은 사업에 있어서 사업이 원만하게 진행된다고 할 때 그 사업에 기대되는 예상수익률로서 그 사업의 NPV를 '0'으로 만드는 어떤 할인율을 의미한다. 내부수익률이 사회적 할인율을 넘을 경우 ($IRR > r$), 그 사업은 타당성이 있는 것으로 평가한다. 그리고 이는 사업이 서로 독립적인 관계를 가지고 있을 경우에만 허용될 수 있는 기준이다.

$$NPV(0) = \sum_{j=0}^n \frac{(B-C)_j}{(1-IRR)^j} - (B-C)_0 \quad (3)$$

IRR은 결과가 사업규모에 영향을 받지 않는다는 장점이 있으나 사업의 규모가 다양한 경우 적절한 기준을 제시 못한다는 단점도 있다. 또한 평가과정과 결과를 이해하는데 용이하지만, 수익률이 극히 높거나 낮은 경우 계산이 어려운 단점이 있다. 사업의 경제적 타당성의 유무판단기준으로서 어느 한 기준에 의존하는 것은 문제가 있으며 NPV, IRR 방법을 모두 적절하게 고려한 후 평가해야 한다.

분석자료

탄소저감형 권현망 어구 (저항이 많이 발생하는 부분에 고강력사 (UHMWPE)를 배치하고 망사 굵기를 1/2 (type 1)과 1/3 (type 2)로 적용한 어구 설계방안)의 편익은 국내의 105~330마력급 어선의 어구와 일본의 50마력 이하 어선의 어구를 대상으로 한 시뮬레이션 및 모형어구 실험 결

과 (2노트)를 토대로 분석하였다. 연구결과에서 나타난 저항 발생 변화량을 계산한 후, 기선권현망 어선의 엔진 메이커에서 제시한 시간당 유류소모량을 이용하여 유류소모 변화량을 계산하였다. 계산에 사용된 엔진은 현재 기선권현망 엔진에 주로 사용되는 Cummins 사의 480마력급 KTA19 엔진이며, ISO 기준의 연료소모량은 47.1 l/h이다.

여기에서 한 가지 주의해야 할 사항은 시물레이션의 결과는 어구의 저항만을 고려했다는 것이다. 어구를 예망하는 예망력 (T_i)은 유류 추력 (T_a : 엔진의 마력과 관련)에서 선체저항 (R_s)을 뺀 것이므로 수식으로 나타내면, $T_i = T_a - R_s$ 이다. 이는 어구의 저항을 계산하는데 있어서 선체의 저항이 반드시 포함되는 것을 의미한다. 따라서 유류절감량 계산은 선체저항을 산정해야 한다. 그러나 선체저항의 추산은 그 과정이 매우 복잡하고, 실용적인 예망속도에서 예망력은 거의 정지 추력에 비례한다고 볼 수 있다 (Lee, 1989). 그렇기에 본 연구에서는 선체저항을 고려하지 않고 어구의 저항만을 고려하였다. 어구를 type 1로 교체할 경우, 조업활동에서의 연료소비를 27.7% 절감할 수 있고, 이를 시간당 절감량으로 환산하면 약 13.04리터의 연료를 절감할 수 있다. 마찬가지로 type 2로 교체할 경우에는 연료소비를 37.9% 절감할 수 있고, 시간당 약 17.85리터의 연료를 절감할 수 있다.

현용되고 있는 어구를 탄소저감형 어구로 대체할 경우 얻어지는 산출할 수 있는 두 가지 편익을 들 수 있다. 첫 번째는 현용 트롤어구를 유체저항을 줄인 탄소저감형 어구로 교체하면서 발생한 조업 활동 중에 일어나는 유류절감비용이다. 두 번째는 탄소배출 감소가 의무적이 되면서, 탄소배출 시장에서 생성되는 배출권의 구입비용이 감소하고, 절감한 만큼의 크레디트를 획득하여 그것을 거래하면서 생기는 이윤을 들 수 있다. 현재 국내에서는 탄소거래가 이루어지지 않고 있기에 세계 탄소배출권 시장에서 거래

되고 있는 탄소의 단위당 가격을 통해 계산할 수 있다.

편익을 계산하는데 필요한 조업 특징에 대해 경남 및 여수지역의 기선권현망 41 선단을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 그 결과, 각 선단마다 약간의 차이는 있지만, 평균 약 9.7시간 정도의 조업을 하며, 연간 항차 수는 평균 198회 (조업기간: 9개월, 평균 항차 수 (1개월): 22회)로 나타났다. 또한, 기본적인 선단구성은 5-6척으로 본선 (망선)은 한 선단에 2척씩 있으므로 이를 기준으로 계산하여야 한다. 이를 통해 기선권현망 1선단 기준 유류절감량 (type 1)은 시간당 절감량 (13.04리터) × 조업시간 (9.7시간) × 연간 항차 수 (198회) × 본선 수 (2척)로 구할 수 있다. type 2의 경우도 시간당 유류절감량만 바꾸어 같은 방법으로 구할 수 있다. 그 결과는 Table 1에 나타나있으며, 수협에서 제공하는 면세유 유류단가를 통해 편익을 추정하였다. Type 1은 1선단 기준 50.08KL로 약 35백만원, type 2는 1선단 기준 68.56KL, 약 48백만원의 비용을 절약하는 것으로 나타났다. 유류 가격은 유가파동으로 가격이 불안정했던 것을 고려하여 2007~2011년의 평균 금액을 유류절감비로 설정하였다.

우리나라에서는 수산 분야의 온실가스 배출량 산정을 위한 국가별 배출계수 기준이 마련되지 않았으므로 IPCC가 제시하고 있는 기본 배출계수인 Tier 1공식을 적용하여 CO₂배출량을 산정하였다.

$$Emission_{GHG_{fuel}} = Fuel\ Consumption_{fuel} \times EmissionFactor_{GHG_{fuel}} \quad (4)$$

이산화탄소배출량 산정공식 (Tier 1)인 식 (4)에서 $Emission_{GHG_{fuel}}$ 는 연료원에 대한 온실가스의 배출량 (kg, GHG)이고, $Fuel\ Consumption_{fuel}$ 은 연료연소량 (TJ), $EmissionFactor_{GHG_{fuel}}$ 는 연료원에 대한 배출가스의 표준배출계수로서 배출가스가 CO₂일 경우 1의 값을 가진다.

이를 기선권현망 어업을 하는 어선들을 대상

으로 조사한 결과, 주로 사용되고 있는 경유와 중유가 약 85대 15정도로 사용된다는 가정 하에 1선단 기준 절감된 유류량을 IPCC 2006 가이드 라인에서 제시한 연료원별 탄소배출계수와 우리나라의 에너지기본법 시행령규칙 제 5조 1항에서 제시하고 있는 순발열량으로 계산한 연료원별 단위 k/당 CO₂배출량을 통해 계산하였다. 그러면 type 1에서는 경유 (2.6t/k, kg×42.92k/=111.59)와 중유 (2.9t/k, kg×6.94k/=20.13)를 합해 매년 총 탄소 132.94톤을 절감하며, type 2에서는 경유 (2.6t/k, kg×58.76k/=152.77)와 중유 (2.9t/k, kg×9.50k/=27.56)를 합해 매년 총 181.99톤을 절감한다. 이를 세계 탄소배출권 시장에서의 단위당 탄소배출 가격을 산정하여 환율을 통해 원으로 환산하였다. 여기에서 환율은 외환은행에서 제공하는 환율의 연간 평균을 이용하였으며, 각 환율은 2009년에는 1,298.73원, 2010년에는 1,176.49원 마지막으로 2011년에는 1,127.50원을 적용하였다. 그 결과는 Table 2와 3

에 나타나있다. 이를 계산의 편의를 위하여 세계 탄소배출권 시장에서의 탄소배출 가격 (평균 3년 가격)에서 각 연도들 중 가장 높은 상한금액과 가장 낮은 금액을 하한선으로 설정하여 편익을 나타내고자 한다. 즉, type 1에서의 기선권현망 1선단 기준 탄소저감으로 인한 편익은 최저 77,753원에서 최고 3,033,322원이고, type 2에서의 편익은 최저 106,442원에서 최고 4,152,507원이다.

비용의 산정에 가장 먼저 고려해야 할 것은 초기투자비용이다. 기선권현망 어구의 탄소배출량 저감방안에 대한 연구 개발은 올해에 본격적으로 이루어졌으며, 연구 개발을 위한 총 사업비는 85,000,000원으로 산정하였다. 어구를 교체하게 되면, 권현망 어업에 있어서 단기적으로 고정비용 (FC)과 한계비용 (MC)의 상승을 초래하고, 이는 어업인들이 지불해야하는 비용에 포함되게 된다. 즉, 이와 같이 어구를 교체하면서 추가적으로 발생하는 어구비용 (어구의 차액)을 고려해야 한다.

Table 1. Fuel reduction cost of anchovy boat seine (type 1, 2)

	2007	2008	2009	2010	2011	Average
[type 1]						
Fuel reduction by each vessel(kl)	50.08	50.08	50.08	50.08	50.08	50.08
Fuel reduction cost by each vessel (million won)	25.39	39.48	29.89	34.81	46.47	35.21
[type 2]						
Fuel reduction by each vessel(kl)	68.56	68.56	68.56	68.56	68.56	68.56
Fuel reduction cost by each vessel (million won)	34.76	54.05	40.92	47.65	63.62	48.20

Table 2. CO₂ emission price (won) of world carbon emission right market (type 1)

	2009	2010	2011	Average
Allowance-based market				
EU ETS	3,280,410	2,971,649	2,847,907	3,033,322
NSW	517,959	469,208	-	329,056
CCX	172,653	15,640	44,967	77,753
RGGI	517,959	1,564,026	299,780	793,922
AAUs	2,244,491	2,189,636	1,049,229	1,827,785
Project-based market				
PCDM	2,244,491	2,189,636	1,648,788	2,027,639
SCDM	2,935,104	2,502,441	1,948,568	2,462,038
JI	1,208,572	2,033,234	1,798,678	1,680,161
Voluntary market	2,071,838	469,208	899,339	1,146,795

Table 3. CO₂ emission price (won) of world carbon emission right market (type 2)

	2009	2010	2011	Average
Allowance-based market				
EU ETS	4,490,762	4,068,079	3,898,681	4,152,507
NSW	709,068	642,328	-	450,465
CCX	236,356	21,411	61,558	106,442
RGGI	709,068	2,141,094	410,387	1,086,850
AAUs	3,072,626	2,997,532	1,436,356	2,502,171
Project-based market				
PCDM	3,072,626	2,997,532	2,257,131	2,775,763
SCDM	4,018,050	3,425,751	2,667,518	3,370,440
JI	1,654,491	2,783,422	2,465,325	2,300,079
Voluntary market	2,836,270	642,328	1,231,162	1,569,920

Table 4. Expected selling cost

Present gear selling price	Low carbon gear expected selling price (type 1)	Low carbon gear expected selling price(type 2)
60,000,000	220,243,489	159,090,376

실제로 재료의 원가만을 보았을 때, 현용 어구보다 개발된 어구의 가격이 type 1의 경우 약 3.6배, type 2의 경우에 약 2.6배가 증가하였다. Type 별 어구의 가격 차이는 어구 저항의 88%를 차지하는 부분의 망사 굵기를 다르게 줄였기 때문이다 (type 1 : 망사 굵기를 기존의 1/2, type 2 : 구역 2의 망사 굵기를 1/2, 구역 3은 기존의 1/3로 줄임). 즉, type 1의 어구가 type 2 보다 Dyneema가 더 많이 사용되기에 어구의 차액이 더 높은 것으로 나타났다. 이러한 차액은 두께의 변화를 통한 무게의 변동과 저항이 많이 발생하는 구역의 망사부분을 기존 원사에서 고강력사로 교체하는 데서 기인한다 (PP, Nylon은 kg당 약 6,400~6,900원으로 거래되고 있으며, Dyneema는 kg당 140,000원으로 약 20배 정도 차이가 있다). 그러나 재료의 원가로만 비용·편익 분석을 진행하기엔 현실성이 부족하므로 현용 기선권현망 어구의 시장 판매가를 통해 저탄소형 기선권현망 어구의 판매예상가를 설정하여 분석하고자 한다. 현재 기선권현망 어구 업체에서 판매되고 있는 기선권현망 어구는 6천만원에 거래되고 있으며, 이는 원가 (18,480,433원)의 약 3.2배에 해당

한다. 이 차액에는 어구 조립비, 인건비, 유통비, 기타 마진 등의 다양한 부분이 포함되게 된다. 따라서 저탄소형 기선권현망어구의 예상 판매가에서도 이와 같은 부분을 고려하여 type 1의 경우 원가 (67,836,584원)보다 3.2배 많은 220,243,489원, type 2의 경우 원가 (49,000,984)보다 3.2배 많은 159,090,376원을 판매 예상 가격으로 설정하여, 어구의 차액은 type 1의 경우 160,243,489원, type 2의 경우 99,090,276원으로 계산되었다.

또한, 어구의 교체기간은 전문가 및 기선권현망업자 등의 조사를 통해 평균 24개월로 나타났다. 그러나 현재 일본에서 Dyneema 소재로 된 어구의 내용연수가 보통 4~5년 정도 사용되고 있으므로 이를 고려하여 어구의 교체 기간을 4년으로 설정하였다. 그러므로 구입한 어구의 연도를 기준으로 편익은 그 다음 3년까지 계산하여야 한다. 이를 현재 근해에서 조업하고 있는 기선권현망 어업 약 72선단 (2012년)을 기준으로 처음 시행되는 1선단에서 생분해어구의 평균 보급률로 점차 개량어구를 사용하는 선단이 늘어나는 것을 전제로 분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

비용·편익 분석을 실시하기에 앞서 보다 현실적인 분석을 위해 다음과 같은 가설을 설정하였다. i) 탄소저감형 어구의 보급이 매년 10% (친환경어구 보급 지원 사업에 일종인 생분해성 어구 보급의 최근 3년 평균 비율)씩 증가하여 일정 기간이 경과한 후 개량된 어구의 100%보급이 이루어진다. ii) 어선척수, 유류 소모량과 유류 비용은 일정하며, 어구의 차액과 총 사업비를 제외한 여타 다른 지출 비용은 일정하다. iii) 기존어구와 개량어구의 단위기간당 어획량은 동일하다.

어선척수는 2012년 어선통계를 통해 400 (약

72선단)척을 기준으로 분석하였으며, 모형 실험 및 시뮬레이션이 권현망에서 어구를 끄는 본선을 위주로 진행되었으므로 본선 (1선단 기준 본선은 2척)을 기준으로 분석을 실시하였다. 할인율은 10년 장기국채 이자율 5.2% (2002-2011)를 적용하였고, 분석기간은 10년으로 설정하였다.

만약, 탄소저감형 어구가 아니라 현용 어구를 계속 사용한다면 지속적인 유류비 지출이 발생하게 되고, 이로 인한 탄소배출량도 심화될 것이다. 따라서 유류절감으로 인한 직접 편익뿐 아니라 탄소저감으로 인해 얻게 되는 간접편익까지 고려하여야 한다. 그러나 탄소시장의 경우 국내

Table 5. Result (type 1)

Scenario	Result				
	Total benefit		Total cost	Net benefit	
	fuel reduction	CO ₂ reduction (lowest)			
Scenario 1	NPV(won)	10,797,456,996	23,843,643	13,315,135,603	-2,493,834,965
	BCR	0.81	0.00	0.81	
	IRR(%)	8.5			
Scenario 2	Total benefit		Total cost	Net benefit	
		fuel reduction			CO ₂ reduction (maximum)
	NPV(won)	10,797,456,996	930,194,940	13,315,135,603	-1,587,483,667
	BCR	0.81	0.07	0.88	
	IRR(%)	15.0			

Table 6. Result (type 2)

Scenario	Result				
	Total benefit		Total cost	Net benefit	
	fuel reduction	CO ₂ reduction (lowest)			
Scenario 1	NPV(won)	14,780,955,047	32,641,378	8,264,565,882	6,549,030,543
	BCR	1.79	0.00	1.79	
	IRR(%)	62.0			
Scenario 2	Total benefit		Total cost	Net benefit	
		fuel reduction			CO ₂ reduction (maximum)
	NPV(won)	14,780,955,047	1,273,402,890	8,264,565,882	7,789,792,055
	BCR	1.79	0.15	1.94	
	IRR(%)	73.0			

에서는 아직 본격적으로 거래가 되지 않기에 세계탄소시장을 기준으로 이를 구하였다. 또한, 보다 정확한 경제성 평가를 위해 탄소저감비용의 경우 가장 낮은 가격과 가장 높은 가격의 범위로 설정하여 시나리오 1 (유류절감비+탄소저감의 최저 가격)과 2 (유류절감비+탄소저감의 최고 가격)로 나누어 추정하였다.

식 (1), (2) 및 (3)에 의해 위에서 언급한 편익에 대한 각각의 비용·편익 분석 결과는 Table 5 (type 1)와 Table 6 (type 2)과 같다. 분석 결과, type 1의 BCR (편익비용비율)은 0.81~0.88로 추정되었으며, type 2의 BCR은 1.79~1.94로 나타나 type 1은 경제적 타당성을 설명하기는 어려웠으나 type 2 어구의 경우에는 경제적 타당성이 있는 것으로 나타났다.

결 론

탄소저감형 어구개발은 기후변화협약에 의한 수산업에서의 온실가스 배출문제 등의 국제적인 이슈를 그 배경으로 하고 있으며, 수산업의 온실가스 배출 문제는 1992년 멕시코 칸쿤선언과 2005년 공식 발효된 교토의정서에서도 이를 주요하게 다루고 있다. 더욱이 교토의정서의 의무감축국에 포함된 선진국에서는 탄소저감이 중요한 문제로 대두되고 있고, 2013년 이후부터 우리나라도 의무감축국에 포함될 가능성이 높다는 사실이 이 사업의 직접적인 동기가 되었다. 특히, 끌어구류인 기선권현망 어업은 유체저항이 큰 어구를 예망하는 과정에서 많은 에너지를 소모하기 때문에 저항이 비교적 적은 어구 개발을 통해 수산업에서의 환경적·경제적 측면을 제고하고자 한다.

탄소저감형 어구개발 사업은 85,000,000원이라는 개발 비용을 투입함으로써 i) 유체저항 저감으로 인한 유류소모 및 유류비를 절감할 수 있으며, ii) 유류 소모를 절감함으로써 줄어든 탄소배출량 및 탄소저감비용을 통해 수산업의 환경과 경제성을 도모할 수 있는 기반을 조성하였다.

따라서 본 연구에서는 유류절감으로 인한 편익과 탄소배출로 인한 편익을 계산한 후, 이를 합산해 계산해 유류절감+탄소배출로 인한 편익을 추정하였다. 그 결과에 따르면 유류절감효과와 탄소저감효과 (하한) 모두를 고려했을 때의 최저 NPV는 약 108억원으로 나타났다. 그러나 이는 기선권현망이 총 72 선단 (본선 기준)으로 일정하다는 가정 하에 적용된 편익으로, 규모의 변화에 따른 편익을 반영하지 못하고 있다. 이러한 NPV의 단점을 보완하기 위해 다른 평가 기법도 함께 살펴보았다. 탄소저감형 어구 사용에 따른 편익 (유류절감효과+탄소저감효과 합산)과 비용을 현재가치로 환산한 비율 (편익비용 비율 : BCR)로 나타낼 경우, type 1은 0.81~0.88, type 2는 1.79~1.94로 나타났다. BCR 값의 경우, type 1은 비교적 경제적 타당성이 낮은 것으로 나타났으며, 이와 달리 type 2는 경제성이 높은 것으로 나타났다.

국내에서 사용 중인 PP, Nylon 소재의 어구는 일반적으로 내용년수가 2년이나, 일본에서 사용되고 있는 Dyneema 소재의 어구는 평균적으로 내구 년이 4~5년으로 조사되었다. 따라서 새로이 개발 될 탄소저감형 어구의 내구년수를 4년으로 설정한 후, 비용·편익 분석을 실시하였다. 그 결과 type 1의 경우에는 순 편익이 -24.9억에서 -15.8억으로 나타났으며, Type 2의 경우에는 65.4억에서 77.8억으로 나타났다. 앞선 BCR과 순 편익적인 측면에서 두 어구를 비교하면, type 2 어구가 type 1에 비해 경제성이 높게 나타났다. 현재 Dyneema의 경우에는 PP보다 시장 가격이 약 20배 이상 차이가 나므로 이를 소재로 한 어구의 가격은 기존보다 상승하게 된다. 이는 어구 구매자들의 구매유인을 어렵게 하는 요인으로 작용한다. 그러나 기존의 어구보다 강도가 높아 장기적으로 사용할 수 있다는 측면에서 경제적일 수 있다. 또한 향후 Dyneema 수요의 증가로 생산규모가 커지게 된다면, 생산단가 및 어구 가격이 낮아질 수 있기 때문에 경제성이 더욱 높아

질 것으로 보인다.

본 연구의 결과는 기선권현망 선단 수의 변화를 반영하지 않았고, 기존의 어구와 개량 어구의 단위 기간 · 노력당 어획량이 동일하다고 가정을 한 한계점을 가진다. 그러나 Type 2의 경우, 유류절감효과와 어업경영성과를 크게 높일 것으로 기대되는바, 탄소저감형 어구 개발은 수산 녹색 정책추진에 크게 기여할 것으로 보인다. 그러나 보다 정확한 편익을 추정하기 위해서는 현장 적용을 통한 장기간에 걸친 조사와 데이터의 축적이 필요하고, 이를 토대로 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 수산연구시험사업 (RP-2013-FE-027) 및 해양수산부 지속가능한 어업생산체계구축 정책과제 (수산부문 온실가스 배출량 산정 및 저감방안 구축) 정책연구사업의 지원에 의해 수행되었으며, 본 논문을 살펴 깊게 검토하여 완성도를 높여 주신 심사위원님들과 편집위원님께 감사드립니다.

REFERENCES

BTE. 1999. Facts and furphies in benefit-cost analysis: Transport. BTE Report, 57 – 78.

Cameron TA and James MD. 1987. Efficient estimation methods for closed-ended contingent valuation survey data. *Rev of Econ and Stat* 69, 269 – 276.

Cha SW. 2003. A study on the fishing operation process for laborsaving of the Korean Large otter-trawl. M.D. Thesis, Pukyong National University, Korea, 1 – 83.

Ellinsen H and Aansndsen SA. 2006. Environmental impacts of wild caught cod and farmed salmon a comparison with chicken. *Int J Life Cycle Assess* 11, 60 – 65.

HM Treasury. 2003. The Green Book: Appraisal and Ebaluation in Central Gverment, 97 – 100.

Ministry of Environment and Korea Environment Corporation. 2008. 2006 IPCC Guidelines for

National Greenhouse Gas Inventories (2th), 2.6 – 2.57.

KDI. 1999. A study on standard of preliminary feasibility study (1st), 1 – 7.

KDI. 2004. A study on standard of preliminary feasibility study/Revision? Complement (4th), 44 – 150.

Kwon OS. 1999. Environmental Economics. Ahn, J.M. ed. Pakyoungsa, Seoul, 325 – 335.

Lee BG. 1989. Modern trawl fishing method. Taehwachulpansa, Busan, 30 – 37.

Lee BG and Lee DJ. 1993. Offshore bottom · trawl fishing method - the principle and practice. Taehwachulpansa, Busan, 26 – 41.

Lee K, Lee CW, Yang YS and Lee J. 2012. Development of a low-energy used large midwater trawl using a numerical method. *J Kor Soc Fish Tech* 48, 195 – 207.

Lee MS, Park DB and Hwang DY. 2007. Cost-Benefit Analysis of the Log House Allotment Garden Businesses. *J Kor Rur Tour Assoc* 14, 65 – 83.

OMB. 1992. Guidelines and discount rate for benefit-cost analysis of federal programs. OMB Circular, No. A-94.

Park SK, Park SW and Kwon HJ. 2009. Economic analysis of biodegradable snow crab gill met model project. *J Kor Soc Fish Tech* 45, 276 – 286.

Park SW, Park SW and Kwon HJ. 2010. Estimation of economic benefits of biodegradable fishing net by using contingent valuation method. *J Kor Soc Fish Tech* 46, 265 – 275.

Park SW, Lee KH, Kang MJ, Park SK. 2012. Economic analysis of development of low-carbon trawl gear. *J Kor Soc Fish Tech* 48, 360 – 369.

Prado J and Dremière PY. 1990. Fisherman's workbook, FAO by fishing news books, 141 – 148.

Tyedmers P. 2004. Fisheries and energy use. In Cleveland CJ editor. *The encyclopedia of energy*. San Diego: Academic Press/Elsevier Science, 683 – 693.

2013년 7월 12일 접수
2013년 8월 15일 1차 수정
2013년 8월 16일 수리