수치해석기법을 이용한 에너지 저소비형 기선권현망어구 개발

양용수 · 이춘우¹ · 이경훈 · 박수봉² · 박성쾌³ · 강민주³ · 이지훈^{4*}

국립수산물연구원 시스템공학과, ¹부경대학교 해양생산시스템관리학부,
²부경대학교 수산물리학과, ³부경대학교 해양산업경영학과, ⁴전남대학교 해양기술학부

Development of a low energy used anchovy dragnet using a numerical method

Yong-su YANG, Chun-woo LEE¹, Kyounghoon LEE, Subong PARK²,
Seong-kwae PARK³, Min-joo KANG³ and Jihoon LEE^{4*}

*Division of Fisheries System Engineering, Institute of National Fisheries Research and
Development, Busan 619-705, Korea*

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

²Department of Fisheries Physics, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

³Faculty of Marine Business & Economics, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

⁴Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

Fuel consumption in fisheries is a primary concern due to environmental effects and costs to fishermen. Much research has been carried out to reduce the fuel consumption related to fishing operations. The fuel consumption of fishing gear during fishing operation is generally related to hydrodynamic resistance on the gear. This research demonstrates a new approach using numerical methods to reduce fuel consumption. The results from the simulation were verified with results that mirrored the model experiments. By designing the fishing gear using drawing software, the whole and partial resistance force on the gear can be calculated as a result of simulations. The simulation results will suggest suitable materials or gear structure for reducing the hydrodynamic forces on the gear while maintaining the performance of the gear. Furthermore, the efficiency of low energy used anchovy dragnet as economic point of view will be dealt. This research will helpful to reduce the GHG emissions from fishing operations and lead to reduce fishing costs due to fuel savings.

Keywords: Low energy used fishing gear, Numerical methods, GHG emission, Hydrodynamic resistance, fuel consumption

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

서론

세계적으로 환경에 미치는 이산화탄소 배출이 환경에 미치는 영향에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이와 관련한 교토의정서 (Kyoto Protocol)의 주요 목표는 온실가스 배출을 감소시킴으로써 기후변화를 억제하고, 천연자원을 지속적으로 관리하는 것이다. 특히 수산업에서의 탄소배출 문제는 1992년 멕시코 칸쿤 회의에서 주요한 문제로 제기되었으며, 2005년 공식 발효된 교토의정서의 의무감축국에 포함된 선진국에서는 중요한 문제로 대두되고 있다. 특히, 2010년 멕시코 칸쿤에서 개최된 제 16차 유엔기후변화협약 (UNFCCC) 당사국 총회에서 우리나라는 자발적 제한 관리국 선언에 따라 2013년 이후부터 감축 목표 제시 및 탄소세 도입을 검토하고 있어서 수산업에서의 탄소 배출을 줄이는 것이 시급한 문제이다. 또한, 수산업에서 조업 중 에너지 사용 증가는 온실가스 배출 및 유류비용 증가로 인하여 어업경영에 부담을 주며, 특히 고유가 시대는 수산 업계에 경제적 부담을 더욱 가중시킨다.

어업에서 에너지 소비에 영향을 주는 요소들로 어장으로의 이동 거리, 거친 해황, 날씨, 낮은 온도, 조업에 필요한 어구 사용, 어획물 보존 등이 있으며, 현대 어업에서의 수산물 생산은 생산된 수산물의 영양 에너지에 비해 생산에 소비되는 에너지량이 높아 실제적으로는 에너지 균형 측면에서 손실이 많다고 지적되고 있다. (Tyedmers, 2004; Ellingsen and Aanondsen, 2006).

어업활동에서 에너지 소비를 줄이기 위한 최근 연구로써, 조업과정에서 소모되는 에너지를 절감하기 위한 연구들 (Tyedmers, 2001; Ziegler and Hausson, 2003; Ziegler, 2006; Thrane, 2004; Schau et al., 2009)이 있으며, 수치해석방법을 이용하여 어구의 유체역학적 저항을 감소시킴으로써 유류 소모량을 감소시키고자 한 연구 (Prior and Khaled, 2009; Lee and Lee, 2010; Lee et al., 2012)와 선형개량을 통하여 선체 저항을 줄여 유류 소모량을 감소시키고자 한 연구

(Aanondsen, 1997) 등이 있다. 또한, 수산업에서의 온실가스 배출량을 감소시키기 위하여 수산물의 생산에서 발생하는 온실가스 배출량을 정량적으로 분석한 Lee and Lee (2011) 연구가 진행되었다.

어구의 설계를 변경함으로써 조업 중 연료소모를 절감하기 위한 연구들이 진행중에 있으나, 아직 새로운 방법을 찾기 위한 연구단계인 실정이다. 본 논문에서는 현용 기선권현망어구의 에너지 사용실태를 조사하여 대표어구를 선정하고, 선정된 어구에 수치해석방법을 적용하여 발생하는 저항분포를 분석하여, 가장 높은 저항이 발생하는 부위를 새로운 재질의 망사와 직경을 적용함으로써 어구에서 발생하는 저항을 감소시켜 에너지 저소비형 기선권현망어구 설계를 제시하였다. 또한, 제시된 어구의 제작비용 및 운용에 따른 에너지 절감률을 분석하였다.

재료 및 방법

현용 기선권현망어구의 에너지 사용실태 분석 및 대표어구 선정

청취조사, 현장방문조사 및 문헌조사를 통하여 국내 기선권현망어구의 에너지 사용실태 현황을 조사한 결과, 유류 사용량에 있어서는 2008년도를 제외하고 큰 변동은 없는 실정이다 (Fig. 1). 2008년도에 사용된 유류량은 적었으나, 유가

Fig. 1. Annual fuel consumption by anchovy dragnet fishery (National Federation of Fisheries).

Fig. 2. Annual fuel costs for anchovy dragnet fishery (National Federation of Fisheries).

상승으로 인한 유류비 지출이 유류 사용량에 비하여 매우 높게 나타났고, 2009년 이후부터 유가 상승으로 인한 유류비 지출이 가파르게 상승하고 있는 추세이며, 유류비 지출 증가로 인하여 어업 경영에 경제적 부담이 높아지고 있는 실정이다. 기선권현망 어업의 연간 유류비용은 Fig. 2에 나타내었다.

수치해석에 의한 어구 저항 분석을 위한 모델링
운동방정식

본 논문에서는 어구시스템을 유한개의 질점

으로 나누고, 이들 질점들이 탄성이 있는 줄로 연결되어 있는 물리 시스템으로 간주하고 기술하였다. 따라서 망지의 경우 그물코의 매듭(knot)은 질점으로, 발(bar)은 이들 질점을 연결하는 스프링으로 간주하고, 이 그물코와 그물코에 부착된 침자나 뜰이 가지는 항력과 양력, 침강력과 부력 등의 모든 외력은 질점에만 집중되어 작용하며, 이들 질점을 연결하는 스프링에는 외력이 전혀 작용하지 않고 단지 질점 내의 탄성력에 의한 내력만 작용하는 것으로 가정하여 기술하였다.

각 질점 운동 방정식의 기본형은 뉴턴의 제 2 법칙으로부터 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$m\ddot{\mathbf{q}} = \sum \mathbf{f} \quad (1)$$

여기서 m 은 질량, $\ddot{\mathbf{q}}$ 는 가속도 벡터, $\mathbf{f}$ 는 힘 벡터로 내력과 외력으로 구성된다. 그물의 모델링은 Fig. 3에 나타내었다.

내력과 외력

내력은 각 질점 사이에 작용하는 힘을 지칭하는 것으로, 근사된 질점인 어구의 각 부속구 및 망지의 매듭을 서로 연결하는 로프 및 그물 발에 작용하는 힘이다. 이때, 로프와 그물살은 질량이

Fig. 3. Modeling a netting.

없는 스프링으로 보고, 그물에 작용하는 힘은 변형량에 비례하는 것으로 간주한다. 각 질점에 작용하는 내력은 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{F}_{\text{int}} = -\mathbf{n} \frac{EA}{l^0} (|\mathbf{r}| - l^0) \quad (2)$$

여기서 $\mathbf{n}$ 은 스프링의 단위벡터이고, E 는 재료의 유효 영율, A 는 재료의 유효단면적, l^0 는 스프링의 원래길이, $|\mathbf{r}|$ 은 스프링의 위치벡터 크기를 나타낸다. 단위벡터 $\mathbf{n}$ 은 위치벡터 $\mathbf{r}$ 을 위치벡터의 크기 $|\mathbf{r}|$ 로 나눈 것이다.

외력은 외부로부터 각 질점에 작용되는 힘이다. 어구에 작용하는 외력은 부력, 침강력, 항력 및 양력 등이 있다. 유체력의 방향과 크기는 망지가 흐름에 대해 받는 영각에 따라 달라진다. 이러한 요소들은 3차원 공간에서 흐름의 존재여부에 따라 달라진다. 먼저 흐름이 없는 경우는 질점에서의 속도벡터와 위치벡터가 이루는 각에 따라 항력계수 및 양력계수가 결정된다. 흐름이 있는 경우는 흐름에 의한 속도벡터의 합력속도 벡터와 질점에 작용하는 위치벡터가 합해져서 계수들이 결정된다.

조류의 영향을 고려한 합력속도 벡터는 식 (3)과 같다.

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_m - \mathbf{V}_c \quad (3)$$

여기서 $\mathbf{V}_m$ 은 질점의 운동속도벡터, $\mathbf{V}_c$ 는 조류의 속도벡터이다. 그리고 모든 흐름의 합력 속도 벡터 $\mathbf{V}$ 에 대해 항력은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{F}_D = -\frac{1}{2} C_D \rho S \mathbf{V} |\mathbf{V}| \quad (4)$$

여기서 C_D 는 항력계수, ρ 는 유체의 밀도($\text{kgw} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$), S 는 질점의 면적(m^2)을 나타내며, 면적은 그 질점의 매듭의 면적과 질점과 연결된 발들의 총 투영면적 (TPA)의 합으로서, 계산식은 아래와 같다. 그물망지 부분의 대표질점 부분은 질점

들이 포함된 망지의 총 투영면적을 질점수로 나누어 각 대표질점의 면적으로 취하였다.

$$TPA = \sum_{i=1}^n (4d_i l_i) + \gamma \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (5)$$

여기서 d 와 l 은 그물실의 직경과 한발의 길이이고, n 은 코의 개수이다. 또한 매듭부분의 계산은 매듭이 있는 결절망지의 경우, Prado (1990)가 제시한 것과 같이, 가로, 세로가 직경의 3배인 정사각형으로 간주하였으며, 무결절 망지인 경우는 그물이 교차하는 면적을 그물 굵기의 제곱 값으로 취하였다. 따라서 m 개 매듭의 TPA를 계산하기 위해서 결절망지의 경우 γ 는 9가 되고, 무결절 망지인 경우 γ 는 1이 된다. 이러한 방법은 그물실의 굵기를 고려할 수 있어, 망지의 면적을 더욱 정확히 구할 수 있다.

속도벡터 $\mathbf{V}$ 와 위치벡터 $\mathbf{r}$ 사이의 각 α 는 영각으로서 항력계수 및 양력계수 결정에 필요하며, 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\mathbf{V} \cdot \mathbf{r}}{|\mathbf{V}| |\mathbf{r}|} \right] \quad (6)$$

양력은 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{F}_L = \frac{1}{2} C_L \rho S V^2 \mathbf{n}_L \quad (7)$$

여기서 C_L 은 양력 계수이다. 이것은 위의 식에서 결정된 영각에 의해 계산되며, ρ 와 S 는 저항식과 같으며 V 는 속도(m/s)이다. 상기 식에서 양력의 작용방향 $\mathbf{n}_L$ 은 속도 벡터에 직각 방향이고, 식 (8)로 계산할 수 있다.

$$\mathbf{n}_L = \frac{(\mathbf{V} \times \mathbf{r}) \times \mathbf{V}}{|(\mathbf{V} \times \mathbf{r}) \times \mathbf{V}|} \quad (8)$$

망지에 대한 항력계수와 양력계수에 관해서는 많은 실험과 해석이 반복, 누적되어 온 계수 값들이 있지만, 이들 계수에 영향을 주는 요소가 다양하여 일반적으로 통용되는 표준화된 계수가 정해져 있지 않다. 본 논문의 저항계수는 망

10톤 이하의 어선에 50마력 이하로 제한된 어선이 조업에 사용되고 있다. 본 논문에서는 모형실험과 시뮬레이션을 위하여 국내의 105~330 마력 어선 및 일본 히로시마 현의 50마력 어선의 기선권현망어구를 대표어구로 선정하였다 (Fig. 4). 어구에서 발생하는 구역별 저항을 분석하기 위하여 어구의 망지부분의 특성을 고려하여 그물코 사이즈에 따라 구역을 구분하여 분석하였다. 현용 일본 기선권현망 어구에 대한 저항 분석은 국내 기선권현망 어구의 저항이 우리나라와 어업환경이 유사한 일본의 경우와 비교하여 어느 정도인지 파악하기 위하여 비교·분석하였다.

어구에서 발생하는 저항은 조업 중 유류소모에 영향을 주는 주요 요소 중 하나이다. 이러한 점을 고려하여 어구에서 저항이 가장 많이 발생하는 구역의 설계를 개선하여 어구에서 발생하는 전체저항을 감소시킴으로서 에너지 소모를 저감하고자 하였다. 따라서 어구에서 저항이 가장 많이 발생하는 부분에 따라, 고강력사 (Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene: UHMWPE)를 기존 망사 굵기의 1/2 또는 1/3배 적용하고 기존의 날개 그물의 길이를 2/3로 줄여 현용어구와 비교하여 발생저항 차이 및 어구 성능 변화

를 분석하기 위하여, 망고, 망폭의 차이, 에너지 저소비형 어구 적용에 따른 어구 제작비와 유류 소모량의 차이 및 유류 소모 감소량을 제시하였다.

수치해석에 의한 어구 저항 분석을 위한 모델링

시뮬레이션을 수행하기 위하여 어구설계 도구를 이용하여 어구를 설계하였으며 (Fig. 5), 이렇게 설계된 수치모델은 자동 모델링 시스템을 통하여 시뮬레이션을 위한 3차원 공간에 표현된다.

시뮬레이션 조건

시뮬레이션은 기선권현망의 일반적 예망속도인 2knot를 기준으로 1.5knot를 포함하여 모형실험과 동일한 유속조건을 수치모델에 적용하여 역학적 응답을 시뮬레이션 하였다. 유속변화에 따른 현용 기선권현망의 장력 변화와 형상 변화를 비교하기 위해 상기의 조건으로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였고, 3차원 그래픽 프로그램으로 그 결과를 가시화하였다. 계산 시간 간격은 1×10^{-4} sec, 어구의 목표 수심은 25m, 해역의 수심은 25m 이다. 어구에서 발생하는 전체저항 및 구역별 저항을 분석하기 위하여 그물코의 사

Fig. 5. Drawing of a present type of anchovy dragnet using a computer tool: (a) Korean type, (b) Japanese type.

Fig. 6. Divided sections for analyzing drag forces (Section 1, 2 and 3): (a) Korean type, (b) Japanese type.

이즈를 고려하여 3개의 구역 (Section 1, 2 and 3) 으로 나누어 분석하였다 (Fig. 6).

모형어구 실험에 의한 어구 저항 분석

모형어구는 Fig. 4에서 제시한 한국형 기선권 현망어구를 기하학적 상사 법칙을 이용하여 1/300로 축소하여 제작하였다. 모형어구의 그물 재질은 Dyneema, Nylon이다. 실험용 수조는 부경대학교에 설치된 수직순환형 회류수조 (관측부 규격: 6 (L)×2.2 (W)×1.4 (H)m)를 사용하였다. 회류수조의 유속은 프로펠러식 유속계(VOT 2-200-20, KENEK, 측정범위: 0.03~2.0m/s)를 사용하여 측정하였고, 날개그물 한 쪽 끝부분에 연결된 로프에 장력계 (SUMM-2K, 용량: 20kgf)를 부착하여 모형 기선권현망 어구에 작용하는 장력을 측정하였다. 모형 기선권현망 어구의 형상 변화 및 망고는 디지털카메라(Canon ixus 80 is)와 디지털저울을 사용하여 측정하였다. 모형 기선권현망 어구를 설치한 수조의 모식도는 Fig. 7과 같다.

본 실험에서 유속은 실제 유속 1.5knot, 2knot를 상사비에 맞추어 0.3m/s, 0.4m/s로 증가시켰고, 각 유속대에서 모형의 거동이 안정된 시점부터 모형 어구에 작용하는 장력 및 형상 변화를

Fig. 7. Schematic drawing of a model gear installation.

측정하였다. 예망 속도의 상사비는 모형 어구에 사용된 dyneema와 nylon의 비중을 고려하여 식 (14)를 사용하였다. 모든 실험의 조건에서 샘플링 시간은 15sec, 주파수는 200Hz로 측정하였고, 약 3,000개의 샘플링 데이터에 대한 평균값을 장력값으로 변환하여 사용하였다. 설치 시, 한쪽 날개그물 끝부분에 연결된 로프에 장력계를 설치하여, 측정된 장력을 2배로 하여 모형 기선권현망 어구의 전체 장력을 측정하였다. 모형 기선권현망 어구의 장력값을 역학적 상사에 의하여 실물 기선권현망 어구에 작용하는 장력값으로 환산하였다. 그 상사비는 식 (15)와 같다.

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{d_2(\rho_2 - 1)}{d_1(\rho_1 - 1)}} \quad (14)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{L_2}{L_1} \right)^2 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \quad (15)$$

여기서 d_1 , ρ_1 , d_2 , ρ_2 는 실물과 모형어구의 그물 실 굵기, 비중이다. 그리고 L_2/L_1 은 축소비, 은 속 도비이다.

유류 소모량 및 어구 제작비 변동 분석방법

유류소모량은 어선의 동력에 비례하므로 앞서 구한 어구 발생저항의 증감에 따라 유류소모량은 결정되어진다. 본 연구에서는 모형 및 시물 레이선 방법을 통하여 어구의 망사 굵기 및 재질 변화에 따른 저항 발생 변화량을 계산한 후, 기선권현망 어선의 엔진 메이커에서 제시한 시간당 유류 소모량을 이용하여 유류소모 변화량을 계산하였고, 업체에서 실제 판매되는 어구의 판매가격을 조사하여 이를 어구의 제작비에 반영하여 분석하였다.

계산에 사용된 엔진의 사양은 현재 기선권현망 엔진에 주로 사용되는 Cummins 사의 480 마력급 KTA19 엔진을 선택하였으며, ISO 기준의 연료소모량은 47.1 liter/hour이다.

에너지 저소비형 기선권현망 어구 설계

어구에서 발생하는 저항은 조업 중 유류를 가장 많이 소모하게 만드는 요소이다. 본 연구에서

는 조업 중 높은 저항이 발생하는 어구 부위의 개선을 위하여, 현재 국내 현장에서 사용하고 있는 기선권현망 실물 어구의 저항을 분석한 결과를 바탕으로, 기존의 날개그물 (section 1)의 길이를 2/3로 줄이고, 저항이 많이 발생하는 부분 (Section 2, 3)에 고강력사 (Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene: UHMWPE)를 배치하고, i) section 2, 3의 망사 굵기를 1/2로 (low carbon type 1), ii) section 2의 망사 굵기를 1/2, section 3의 망사 굵기를 1/3 (low carbon type 2)으로 줄였다.

시물레이션을 수행하기 위하여 어구설계 도구를 이용하여 에너지 저소비형 어구를 설계하

Fig. 8. The anchovy dragnet gear with reducing wing net, changing the thickness and the material with UHMWPE for section 2, 3 using a computer tool.

Fig. 9. Divided sections for analyzing drag forces (Section 1, 2, 3): (a) low carbon type 1 and (b) low carbon type 2.

였으며 (Fig. 8), 이렇게 설계된 수치모델은 자동 모델링 시스템을 통하여 시뮬레이션을 위한 3차원 구조물로 표현된다. 시뮬레이션은 기선권현망어구의 일반적 예망속도인 1.5knot와 2knot의 유속조건을 수치모델에 적용하여 역학적 응답을 계산하였다.

에너지 저소비형 기선권현망의 장력 변화와 형상 변화를 비교하기 위해 상기의 조건으로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였고, 3차원 그래픽 프로그램으로 그 결과를 가시화하였다. 계산 시간 간격은 sec로 계산하였다. 어구에서 발생하는 전체저항 및 구역별 저항을 분석하기 위하여 성형률 및 결절유무를 고려하여 3개의 구역 (Section 1, 2, 3)으로 나누어 분석하였다 (Fig. 9).

결과 및 고찰

현용 기선권현망어구의 발생 저항 분석

모형실험과 시뮬레이션을 통한 어구의 저항 분석을 세 가지 다른 예망속도에서 분석하였으나, 일반적으로 기선권현망어구의 경우 예망속도가 2knot에서 이루어지고 있어, 본 예망속도 결과에 초점을 맞추어 해석을 수행하였다. 모형실험과 시뮬레이션의 결과를 비교 분석한 결과 예망속도가 증가할수록 어구의 저항값은 증가하는 경향을 보였으나 저항값은 많은 차이를 보였다. 이는 모형어구 실험을 위한 수조의 사이즈를 고려하여 모형 기선권현망 어구를 1/300으로 축소하여 제작함으로 인해 저항값의 차이가 발생한 것으로 판단된다. 시뮬레이션을 통한 수치

계산 결과를 분석해보면 구역 1, 2, 3에서 발생하는 저항은 한국형 기선권현망의 경우 총 저항의 약 12, 55, 33%를 차지하였고, 일본형 기선권현망의 경우 구역별로 각각 10, 47, 43%를 차지하

Fig. 10. The deformation shapes (side view) of the present anchovy dragnet with 2knot current ((a) Simulation of the Korean type, (b) Simulation of the Japanese type, (c) Model test of the Korean type).

Table 1. Comparison between the results of model tests and that of simulations

Velocity (knot)			1.5	2
Tension (kgf)	Model test	Total	57,666	132,175
	Simulation of the Korean type	Total	43,956	49,947
		Section 1	5,607	5,751
		Section 2	24,029	27,561
		Section 3	14,320	16,635
	Simulation of the Japanese type	Total	16,836	43,541
		Section 1	2,501	4,391
		Section 2	7,488	20,587
		Section 3	6,847	18,563

였다 (Table 1). 수치계산 결과를 분석해보면 구역 2와 3에서 발생하는 저항이 총 저항의 약 90%를 차지하였다 (Table 1). 시뮬레이션과 모형 실험을 통하여 예망속도 2knot일 때 어구의 수중 형상을 Fig. 10에 나타내었다.

시뮬레이션 결과 일본형 기선권현망어구의 경우 구역 1 부분에서 한국형 기선권현망어구에 비하여 발생하는 저항이 작은 이유는 한국형 기선권현망에 비하여 어구 자체가 소형이며, 날개 그물부분이 한국형에 비하여 짧기 때문에 이와 같은 결과가 나온 것으로 판단된다.

에너지 저소비형 기선권현망어구 발생 저항 분석

시뮬레이션을 통하여 유속 1.5knot, 2knot, 2.5knot에서 에너지 저소비형 어구의 저항 분석을 수행하였다. 에너지 저소비형 기선권현망 Type 1과 Type 2에 대한 시뮬레이션 결과를 비교 분석한 결과, 유속 2knot에서 Type 1의 망고

와 장력은 각각 11.81m, 36,124kgf, Type 2의 망고와 장력은 각각 10.82m, 31,019kgf으로 나타나 Type 1과 Type 2 모두 현용 일본 히로시마현의 기선권현망 및 현용 국내 기선권현망 어구에 비교하여 어구개량의 효과를 잘 표현하였다. 또한,

Fig. 11. The deformation shapes (side view) of the low carbon emission type 1 and 2 for anchovy dragnet with 2knot current ((a) Type 1, (b) Type 2).

Table 2. The variation of tension and height of net mouth with reducing the length of wing net, changing current speeds, the thickness and the material with UHMWPE on the section 2, 3-Low carbon type 1, 2

	Velocity (knot)	Height (m)	Width (m)	Tension (kgf)
Low carbon type 1	1.5	12.58	365.31	12,060
	2	11.81	367.56	36,124
	2.5	11.92	369.29	38,040
Low carbon type 2	1.5	11.72	365.53	10,274
	2	10.82	368.38	31,019
	2.5	11.07	370.27	33,379

Table 3. The variation of tension at the different sections with reducing the length of wing net, changing current speeds, the thickness and the material with UHMWPE on the section 2, 3-Low carbon type 1, 2

Velocity (knot)		Tension (kgf)			
		Section 1	Section 2	Section 3	Total
Low carbon type 1	1.5	2,005	6,059	3,995	12,060
	2	5,527	20,602	9,995	36,124
	2.5	5,909	21,813	10,318	38,040
Low carbon type 2	1.5	1,835	6,073	2,367	10,274
	2	5,758	18,609	6,652	31,019
	2.5	6,183	19,530	7,666	33,379

Fig. 12. The deformation shapes (top view) of the low carbon emission type 1 and 2 for anchovy dragnet with 2knot current ((a) Type 1, (b) Type 2).

Type 1과 Type 2의 경우 거의 비슷한 망고를 보여주었으나, Type 2의 경우 Type 1에 비하여 적은 저항 발생을 보여주었다 (Table 2, 3). 시물레이션을 통하여 예망속도 2knot일 때 에너지 저소비형 기선권현망 Type 1과 Type 2의 수중형상을 Fig. 11과 12에 나타내었다.

현용 및 에너지 저소비형 기선권현망어구의 저항 발생 비교

시물레이션을 통하여 기존 기선권현망어구에 발생하는 저항을 계산한 결과, 전체 장력 값은 모형실험과 시물레이션 결과에서 각각 132,175kgf, 49,947kgf이었다. 모형실험과 시물레이션에 의한 저항 값이 이처럼 상이한 것은 앞서 언급한 것과 같이 모형실험을 위한 회류수조 사이즈를 고려하여 1/30로 축소 제작한 모형어구의 과축소로 인한 결과로 판단된다. 시물레이션에 의해 분석된 어구의 구역별 저항은 망목의 크기가 작고 망지의 투영 면적이 다른 부분에 비하여 매우 큰 Section 2와 3에서 전체 저항의 약 90%에 해당하는 저항이 발생하였다. 본 논문에서는 날개그물의 길이를 2/3로 줄이고, 높은 저항이 발생하는 Section 2, 3의 저항을 감소시키고자 i) Section 2, 3의 망사 굵기를 1/2로 (Low carbon type 1), ii) Section 2의 망사 굵기를 1/2, Section 3의 망사 굵기를 1/3 (Low carbon type 2)로 줄이고 고강력사를 적용하여 시물레이션을 수행하였다.

시물레이션 결과를 보면 예망 속도 2knot에서 어구의 저항이 Low carbon type 1에서는 28%, Low carbon type 2에서는 38% 감소하였고, 망고

는 차이가 거의 없었다 (Table 4). 어구의 형상은 날개그물의 길이가 감소하였음에도 불구하고 망고와 전체적인 어구의 모양도 유지함을 보였다.

유류 소모량 및 어구 제작비 변동 분석 결과 고강력사를 Section 2와 3에 적용한 경우와 기

Fig. 13. Fuel reduction ratio with changing the thickness and material compared to present type of anchovy dragnet.

Fig. 14. Variation of construction cost with changing the thickness and the material with UHMWPE.

Table 4. Comparison between the results of the present anchovy dragnet and the low carbon emission anchovy dragnet (current speed: 2knot)

			Present anchovy dragnet	Low carbon type 1	Low carbon type 2
Tension (kgf)	Simulation	Height (m)	11.47	11.81	10.82
		Total	49,947	36,124	31,019
		Section 1	5,751	5,527	5,758
		Section 2	27,561	20,602	18,609
		Section 3	16,635	9,995	6,652

존 재료인 PE와 PES 혼합재료를 사용한 경우를 비교하여 저항 감소에 따른 유류 소모량 감소 분석 결과를 Fig. 13에 나타내었다. 고가의 고강력사를 어구에 적용함으로써 변동되는 어구 제작비용의 증가를 계산하여 Fig. 14에 나타내었다. 저탄소형 기선권현망 어구 Type 1의 경우 기존 어구에 비하여 28% 정도의 연료 소모를 절감할 수 있으며, 제작비 측면에서는 기존 어구 제작비에 비하여 3.67배 증가할 것으로 보인다. 또한, Type 2의 경우 기존 어구에 비하여 32% 정도의 연료 소모를 절감할 수 있으며, 제작비 측면에서 2.65배 증가할 것으로 판단되어, 연료 소모 절감과 제작비 증가분을 고려하였을 때 Type 2의 경우가 우수하게 나타났다.

결 론

본 논문은 에너지 저소비형 기선권현망어구 개발에 관한 연구로서, 현용어구에서 발생하는 저항을 수치해석 방법과 모형어구 실험을 통하여 어구 전체 저항 및 어구의 특성을 고려한 3개의 부분으로 나누어 계산 및 분석하였다. Section 2와 3에서 가장 큰 저항이 발생하여 고강력사를 현재 망사 굵기의 1/2배 및 1/3의 굵기로 변경하여 저항 감소량을 계산 및 분석한 결과, Low carbon type 1과 Low carbon type 2의 경우 현용 어구에서 발생하는 저항 대비 각각 28%, 38% 감소 (i.e., 2knot 예망속력 기준)하였다. 또한 고가의 고강력사를 어구에 적용하였을 때 어구 제작비는 현용 어구 제작비와 비교하여 Type 1과 Type 2에서 각각 3.67배, 2.65배의 비용이 증가하였다. 유류소모량은 현용 어구 대비 Type 1과 Type 2에서 각각 28%, 32% 감소시킴을 확인 할 수 있었다. 제작비 증가분과 유류소모량 감소량을 종합적으로 고려하였을 때 Low carbon Type 2의 경우가 에너지 저소비형 기선권현망 어구로 보다 적합함을 나타내었다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 수산연구시험사업 (RP-2013-FE-028)의 지원에 의해 수행되었습니다.

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). Department of Marine Technology, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway. 1 – 56.
- 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.
- Lee JH and Lee CW. 2010. Low-Carbon trawl design with analysis of a gear drags and calculation of construction costs using numerical methods. *J Kor Soc Fish Tech* 46, 313 – 323.
- 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.
- Lee KH, Lee CW, Yang YS, Lee J. 2012. Development of a low-energy used large midwater trawl using a numerical metho. *J Kor Soc Fish Tech* 48, 195 – 207.
- Prado J. 1990. Fisherman's Workbook. FAO, Fishing News Books, Oxford, England, 1 – 180.
- 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.
- Schau EM, Ellingsen H, Endal A and Aanondsen SA. 2009. Energy consumption in the Norwegian fisheries. *J Cleaner Prod* 17, 325 – 334.
- Thrane M. 2004. Energy consumption in the Danish fishery: identification of key factors. *J Ind Ecol* 8, 223 – 239.
- 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.
- Tyedmers P. 2004. Fisheries and energy use. In: Cleveland CJ, editor. The encyclopedia of energy. San Diego: Academic Press/Elsevier Science, 683 – 693.
- Ziegler F and Hausson PA. 2003. Emissions from fuel combustion in Swedish cod fishery. J Cleaner Prod 11, 303 – 314.
- Ziegler F. 2006. Environmental life cycle assessment of seafood products from capture fisheries. Int J Life Cycle Ass 12, 1 – 61.
-
- 2013년 7월 4일 접수
2013년 8월 8일 1차 수정
2013년 8월 9일 수리