

수치해석기법에 의한 어구 저항 분석 및 저탄소 트롤어구 설계와 비용 분석

이지훈 · 이춘우*

부경대학교 저탄소해양생산기술연구소, ¹부경대학교 해양생산시스템관리학부

Low-Carbon trawl design with analysis of a gear drags and calculation of construction costs using numerical methods

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

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

¹*Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 608-737, 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. 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. This research will help to reduce the CO₂ emissions from fishing operations and lead to reduce fishing costs due to fuel savings.

Keywords: Low-carbon fishing gear, Numerical methods, CO₂ emission, Hydrodynamic resistance, Fuel consumption

서론

세계적으로 이산화탄소 배출이 환경에 미치는 영향에 대한 관심이 증가하고 있다. 교토의정

서 (Kyoto Protocol)의 주요 목표는 온실가스 배출을 감소시킴으로써 기후변화를 억제하고, 천연자원을 지속적으로 관리 하는 것이다. 특히,

*Corresponding author: cwlee@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-5891, Fax: 82-51-629-5886

수산업에서의 탄소 배출문제는 1992년 멕시코 칸쿤회의에서 책임어업의 주요한 문제로 제기 되었으며, 2005년 공식 발효된 교토의정서의 의무감축국에 포함된 선진국에서는 중요한 문제로 대두되고 있다. 우리나라의 경우 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 어업인에게 부담을 주게 된다. 특히 고유가시대는 수산 업계에 경제적인 부담을 가중시킨다.

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 에너지의 손실이 많다고 지적되고 있다 (Tyedmers, 2004; Ellingsen and Aanonsen, 2006).

어업활동에서 에너지 소비를 줄이기 위한 최근 연구로써, 어구 사용 중 소모되는 유류소모량을 측정 한 연구들 (Tyedmers, 2001; Ziegler and Hausson, 2003; Ziegler, 2006; Thrane, 2004; Schau et al., 2009)이 수행되어 왔으며, 수치해석방법을 사용하여 어구의 유체역학적 저항이 가장 적은 형태로 어구 설계를 변경시킴으로써 유류 소모량을 감소시키고자 한 연구 (Prior and Khaled, 2009)와 선형을 변화시켜 유류소모량을 감소시키는 연구 (Aanonsen, 1997)도 진행되었다.

이와 함께 수산업에서 유류 소모량을 감소시키기 위하여 우리나라에서는 어업의 탄소배출을 분석한 Lee et al. (2010)의 연구가 있으나, 구체적으로 어구의 설계 개선을 통한 연료소모가 작은 어구의 개발에 대해서는 아직 제안되지 않고 있다.

본 논문에서는 수치해석 기법을 적용하여 어구에 대한 총 저항 및 부분별 저항 분포를 분석

하고, 재질을 고강력사로 변경했을 때 어구의 형상이 어떻게 달라지며, 또한 저항이 어느 정도 감소하는지를 제시하였다. 끝으로 감소된 저항에 의한 유류 소모량 변화 및 어구 제작비용의 변화를 다루었다.

재료 및 방법

어구 시스템 수치해석법

어구시스템 운동방정식

본 논문에서는 어구 시스템을 질량-스프링 모델로 수식화 하였다. 어구 시스템을 구성하는 요소 중 망지와 로프는 유연구조물로 보고, 뜰과 짐자는 강체로 간주하였다. 질량-스프링 모델은 어구 시스템들을 유한개의 작은 요소로 다시 분할하고, 이 분할된 요소의 중점에 질점을 배치하고, 질점과 질점 사이를 질량이 없는 스프링으로 연결된 시스템으로 기술하는 방법 (Lee et al., 2005)이다. Fig. 1은 어구시스템을 질량-스프링 모델을 이용하여 모델링한 것이다.

어구 시스템에 작용하는 외력은 질점에만 작용하고, 질점을 연결한 스프링에는 외력이 작용하지 않으며 스프링의 인장과 압축에 따른 내력만 작용한다. 어구 시스템의 각 질점에 대한 운동방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$(m + \Delta m) \ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{F}_{\text{int}} + \mathbf{F}_{\text{ext}} \quad (1)$$

여기서 m 은 질점의 질량, Δm 은 부가질량, $\ddot{\mathbf{q}}$ 는 가속도 벡터, \mathbf{F}_{int} 는 질점간의 내력, \mathbf{F}_{ext} 는 질점에 작용하는 외력이다. 부가질량은 아래 식으로 나

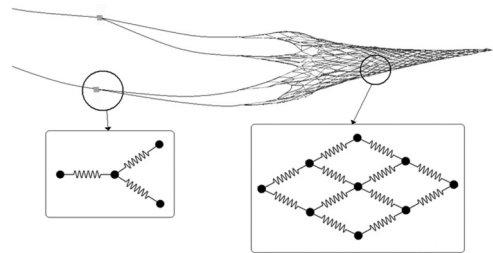


Fig. 1. Model of a fishing net using the mass-spring model.

타낼 수 있다.

$$\Delta m = \rho_w V_n K_m \quad (2)$$

여기서 ρ_w 는 해수의 밀도, V_n 은 질점의 부피, K_m 은 부가질량계수로써 구의 경우는 1.5이며 (Wakaba and Balachandar, 2007; Takaki et al., 2004; Lee et al., 2008), 그물코의 발줄과 같은 실린더형의 경우는 아래의 식으로 계산할 수 있다.

$$K_m = 1 + \sin \alpha \quad (3)$$

여기서 α 는 영각이다.

어구에 작용하는 내력과 외력

질점에 작용하는 내력은 질점을 연결하는 스프링의 인장과 압축에 의해 발생하는 힘이며, 내력은 망지와 로프에 대해서는 인장 방향으로만 작용하는 것으로 가정하였으며, 스프링의 인장되는 길이는 작용하는 힘에 선형적으로 비례하는 것으로 가정하였다. 내력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{F}_{im} = -\sum_{i=1}^n k_i \mathbf{n}_i (|\mathbf{r}_i| - l_i^0) \quad (3)$$

여기서 k_i 는 스프링의 강성, \mathbf{n}_i 는 스프링 방향의 단위 벡터, \mathbf{r}_i 스프링의 위치벡터, l_i^0 는 스프링의 초기 길이이다.

강성은 아래의 식으로 계산할 수 있다.

$$k_i = \frac{EA}{l^0} \quad (5)$$

여기서 E 는 재료의 영률 (Young Modulus), A 는 재료의 유효 단면적 (Effective area)이다. 스프링 강성 값은 각 재료가 가지는 고유의 영률값과 질점 간의 거리 및 재료의 유효단면적을 고려하여 구할 수 있다. 유효단면적은 망사나 로프의 경우에는 겉보기 단면적의 60%로 하였고, 섬유 로프나 망지의 영률은 꼬인 줄로 구성되므로 장력이 가해지면 꼬임이 느슨해지면서 늘어나는 성질이 있으므로 유효 영률을 적용해야한다 (Gere

and Goodno 2009). 본 연구에서는 섬유 재료의 유효 영률을 원재료 영률의 60%로 보았다.

질점에 작용하는 외력은 저항, 양력, 부력 및 침강력으로 구성되며 다음 식으로 나타낸다.

$$\mathbf{F}_{ext} = \mathbf{F}_D + \mathbf{F}_L + \mathbf{F}_B \quad (6)$$

저항과 양력은 다음과 같다.

$$\mathbf{F}_D = -\frac{1}{2} C_D \rho_w S U^2 \mathbf{n}_v \quad (7)$$

$$\mathbf{F}_L = \frac{1}{2} C_L \rho_w S U^2 \mathbf{n}_L \quad (8)$$

여기서 C_D 는 저항계수, S 는 질점의 투영면적, U 는 합력 속도 벡터, \mathbf{n}_v 는 합력 속도 벡터에 대한 단위 벡터, C_L 은 양력계수, \mathbf{n}_L 은 양력의 작용 방향을 나타내는 단위 벡터로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\mathbf{n}_L = \frac{(\mathbf{U} \times \mathbf{r}) \times \mathbf{U}}{|(\mathbf{U} \times \mathbf{r}) \times \mathbf{U}|} \quad (9)$$

여기서 \mathbf{r} 은 질점을 연결하는 스프링의 위치 벡터이다.

합 속도벡터 \mathbf{U} 는 질점의 속도 벡터 \mathbf{U}_m , 조류의 속도 벡터에 의해서 야기되는 물 입자의 속도 벡터 \mathbf{U}_c 의 합으로 다음과 같다.

$$\mathbf{U} = \mathbf{U}_m - \mathbf{U}_c \quad (10)$$

그 밖에 구조물을 구성하는 뜬, 침자 및 닻 등은 기존의 로프 또는 망지의 질점에 해당 속구의 물리적 양이 반영되도록 하였다. 즉 원래의 질점에 뜬이 추가될 경우에는 뜬의 부력, 질량, 투영면적 등이 추가되고, 침자가 추가될 경우에는 침자의 수중 무게, 질량, 투영면적 등이 추가된다. 각 질점에는 구조물의 저항, 양력, 부력, 침강력 등 외력이 작용하며, 질점을 연결한 스프링에는 스프링의 인장과 압축에 따른 내력이 존재한다 (Fig. 2).

저항계수와 양력계수는 그물의 발, 로프 및 뜬

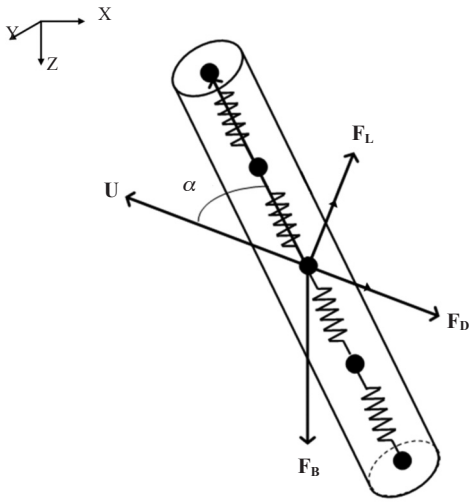


Fig. 2. Forces acting on the rope element (F_B , representing the forces of buoyancy and gravity; F_L , lift force; F_D , drag force; r , position vector between neighboring mass points; U , speed vector; α , angle of attack).

파이프 등 원통형의 구조물에 대해서는 기존에 연구된 내용을 따른다 (Lee et al., 2005; Lee, 2009). 부력과 침강력은 다음의 식으로 계산되어진다.

$$F_B = (\rho_i - \rho_w) V_N g \quad (11)$$

여기서 ρ_i 는 재료의 밀도, ρ_w 는 해수의 밀도, V_N 은 질점의 부피, g 는 중력 가속도이다. 어구 시스템에 대해 기술된 운동방정식은 4차 Runge-kutta 법을 이용하여 적분하였으며, 본 논문에서 수치 해석 기법을 이용하여 저탄소형 어구를 설계하기 위한 설계 진행 단계를 Fig. 3에 나타내었다.

저항 분석 대상 트롤 어구 및 저탄소형 어구 설계
본 연구에서 사용된 어구는 현재 현장에서 사용하고 있는 실물 어구 중 2200마력급 어선의 중층트롤어구 (Fig. 4, Table 1-4)이며, 시뮬레이션

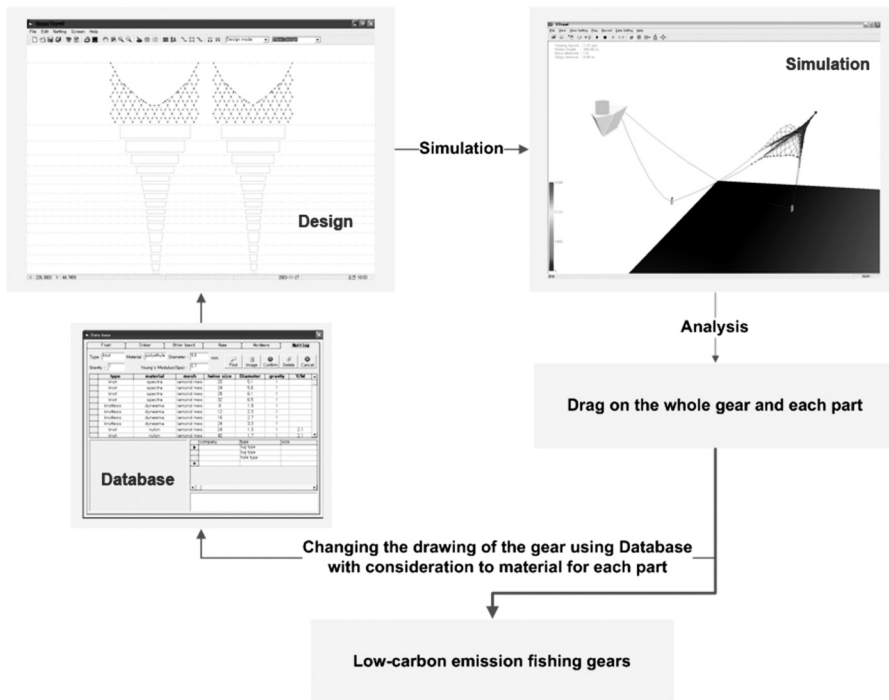
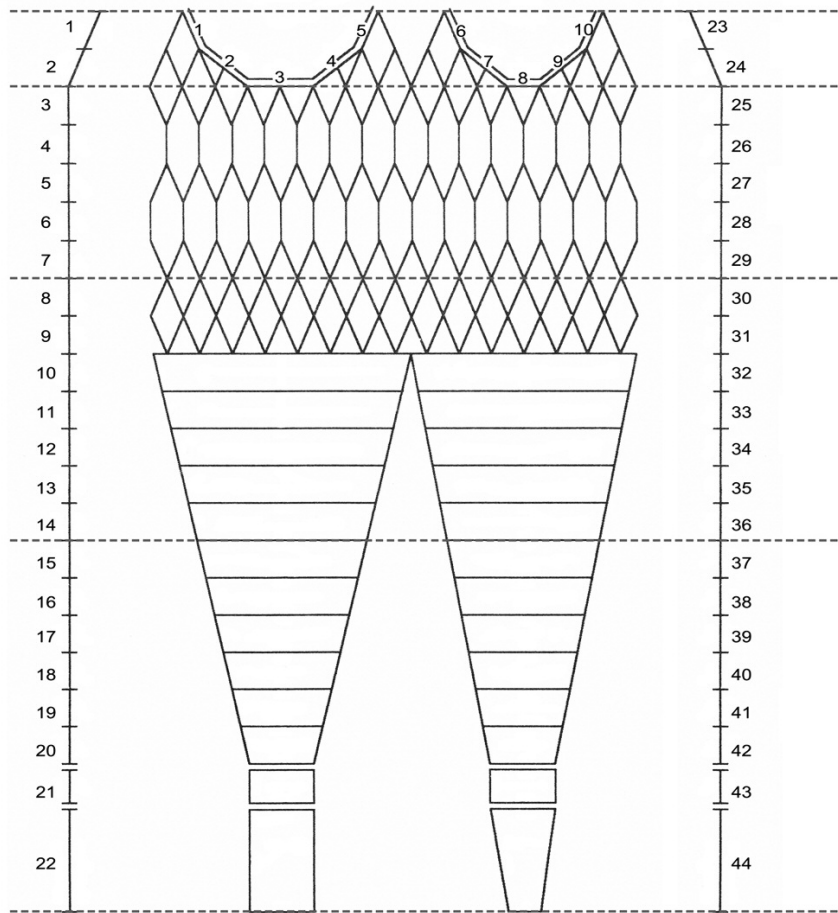
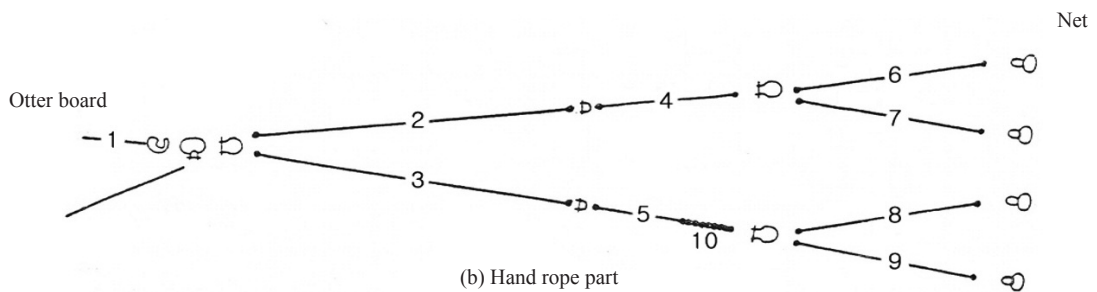


Fig. 3. Flow chart of the low-carbon emission fishing gear design using numerical methods.



(a) Netting part



(b) Hand rope part

Fig. 4. Schematic drawing of a prototype trawl gear.

은 중층트롤의 일반적 예망속도인 4knots로 계산하였다. 시뮬레이션을 수행하기 위하여 어구 설계 도구를 이용하여 어구를 설계하였으며, 어

구에서 발생하는 전체저항 및 구역별 저항을 분석하기 위하여 망지의 그물코 사이즈를 고려하여 4개의 구역 (i.e., Section 1-4)으로 나누어 분

Table 1. The specification of prototype trawl gear

No	Mesh size (mm)	Hanging ratio (%)	V.M.N*	T.M.N**	L.M.N***	Material	Dia. (mm)****	Type	Section
1	18000	97.4	0.5	2	2	Nylon	10	Knotted	I
2	18000	94.4	0.5	4.5	4.5	Nylon	10	Knotted	I
3	18000	90	0.5	8	8	Nylon	10	Knotted	II
4	9000	100	1	8	8	Nylon	10	Rope	II
5	18000	90	0.5	8	8	Nylon	10	Knotted	II
6	9000	100	1	9	9	Nylon	10	Rope	II
7	18000	90	0.5	8	8	Nylon	10	Knotted	II
8	12000	90	0.5	8	8	Nylon	10	Knotted	III
9	8000	90	0.5	8	8	Nylon	8	Knotted	III
10	6400	90	1	8	8	Nylon	8	Knotted	III
11	5000	90	1	8	8	Nylon	7	Knotted	III
12	4000	90	1.5	8	8	Nylon	7	Knotted	III
13	3200	90	1.5	8	8	Nylon	6.2	Knotted	III
14	1600	90	3	16	16	Nylon	5	Knotted	III
15	800	90	8	32	26	PE	3.82	Knotted	IV
16	400	90	15	51	41	PE	3.31	Knotted	IV
17	200	90	30	81	65	PE	3.31	Knotted	IV
18	150	90	40	86	66	PE	3.03	Knotted	IV
19	120	90	50	86	66	PE	3.03	Knotted	IV
20	120	90	50	66	52	PE	3.82	Knotted	IV
21	90	95.2	70	56	56	PE	6.04	Knotted	IV
22	90	96.8	138	56	56	PE	6.04	Knotted	IV
23	18000	97.4	0.5	2	2	Nylon	10	Knotted	I
24	18000	94.4	0.5	4.5	4.5	Nylon	10	Knotted	I
25	18000	90	0.5	7	7	Nylon	10	Knotted	II
26	9000	100	1	7	7	Nylon	10	Rope	II
27	18000	90	0.5	7	7	Nylon	10	Knotted	II
28	9000	100	1	8	8	Nylon	10	Rope	II
29	18000	90	0.5	7	7	Nylon	10	Knotted	II
30	12000	90	0.5	7	7	Nylon	10	Knotted	III
31	8000	90	0.5	7	7	Nylon	8	Knotted	III
32	6400	90	1	7	7	Nylon	8	Knotted	III
33	5000	90	1	7	7	Nylon	7	Knotted	III
34	4000	90	1.5	7	7	Nylon	7	Knotted	III
35	3200	90	1.5	7	7	Nylon	6.2	Knotted	III
36	1600	90	3	14	14	Nylon	5	Knotted	III
37	800	90	8	28	22	PE	3.82	Knotted	IV
38	400	90	15	43	33	PE	3.31	Knotted	IV
39	200	90	30	65	49	PE	3.31	Knotted	IV
40	150	90	40	66	46	PE	3.03	Knotted	IV
41	120	90	50	60	40	PE	3.03	Knotted	IV
42	120	90	50	40	26	PE	3.82	Knotted	IV
43	90	95.2	70	30	30	PE	6.04	Knotted	IV
44	90	96.8	138	30	4	PE	6.04	Knotted	IV

*V.M.N: Vertical mesh number, **T.M.N: Top edge mesh number,

L.M.N: Lower edge mesh number, *Dia: Diameter (mm)

Table 2. The specification of head rope and ground rope

No	Kind	Length (m)	D (mm)	Buoyancy (kg)	Sinking force (kg)	Quantity (EA)	Total(kg)
1	hole type & SBR	8.8	22	2.8	—	54	151.2
2	hole type & SBR	12.8	22	2.8	—	56	156.8
3	hole type & SBR	13.5	22	2.8	—	56	156.8
4	hole type & SBR	12.8	22	2.8	—	56	156.8
5	hole type & SBR	8.8	22	2.8	—	54	151.2
1	chain & SBR	8.8	22	—	—	3	5.1
2	chain & SBRNo	12.8	22	—	1.7	4	6.8
3	chain & SBR	13.5	22	—	1.7	4	6.8
4	chain & SBR	12.8	22	—	1.7	4	6.8
5	chain & SBR	8.8	22	—	1.7	3	5.1
6	NDBR	8.8	32	—	1.7	—	—
7	NDBR	12.8	32	—	—	—	—
8	NDBR	6.75	32	—	—	—	—
9	NDBR	12.8	32	—	—	—	—
10	NDBR	8.8	32	—	—	—	—

(Float: Total buoyancy 667kg, Sinkers at ground rope: Total sinking force 22.2kg, Front weight: Total sinking force 1300kg)

Table 3. The specification of otter board

No	Type	Size (m)	Area (m ²)	Weight (kg)	C _D	C _L
1	VRS-192	1.92×3.36	6.29	1500	0.8	1.6

Table 4. Specification of hand rope

No	Type	Length (m)	D (mm)	Weight (kg)
1	Wire rope	12	24	650
2	Wire rope	95	24	
3	Wire rope	95	24	
4	Wire rope	35	24	
5	Wire rope	35	24	
6	Wire rope	25	22	
7	Wire rope	25	22	
8	Wire rope	25	22	
9	Wire rope	25	22	
10	Front weight	—	—	

석하였다 (Fig. 4).

어구에서 발생하는 저항은 조업 중 유류를 소모하게 만드는 요소 중 하나이다. 조업 중 높은 저항이 발생하는 어구 부위의 개선을 위하여 어구의 전체 및 구역별 저항을 분석하여, 저항이 가장 많이 발생하는 끝부분 (Section 4)에 고강력사 (Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene: UHMWPE)를 기존 망사 굵기의 2/3배 그리고

1/3배로 적용하고, 또한 어구 전체를 고강력사로 구성하여 현용어구와 비교하여 저항차이 및 어구 성능을 파악하기 위하여 망고, 전개판 사이의 거리, 망구면적, 망고 및 망폭 차이, 어구 재질의 변화에 따른 어구 제작비와 유류 소모량의 차이를 비교하였다.

본 연구에서 시뮬레이션 방법을 통하여 어구 재질 변화에 따른 저항 발생 변화량을 계산한 후, 아래의 식을 통하여 저항 발생 변화량에 대한 유효마력의 변화를 계산하여 유류소모 변화량을 역으로 계산하였다. 마력당 연료소모량은 Vigor (1994)에 의해 제시된 자료를 이용하여 계산하였다.

$$E.H.P = \frac{(T + R_M)U}{75} \quad (12)$$

여기서 E.H.P는 유효마력, T 는 선체저항, R_M 는 어구저항, U 는 속도이다.

또한 어구의 재질과 망사 굵기의 변동에 대한

어구 제작비용의 증감은 Net Systems사의 Ultra Cross Netting (UHMWPE)의 가격을 기준으로 계산하였다.

결과 및 고찰

시뮬레이션을 통하여 기존 어구에 발생하는 저항을 계산한 결과 어구에서 발생하는 전체 저항은 7,780kgf이며, 그물코 크기가 작고, 망지의 투영 면적이 다른 부분에 비하여 매우 큰 Section 4에서 전체 저항의 70%에 해당하는 5474.5kgf의 저항이 발생하였다. 기존 어구 시뮬레이션 및 저항 분석을 통하여 가장 많은 저항이 발생하는 Section 4의 저항을 감소시키므로써 어구 전체 저항을 감소시키고자, 본래 망사 굵기의 2/3배 및 1/3배의 고강력사를 Section 4 또는 어구 전체에 적용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 망사의 굵기가 감소함에 따라 어구에서 발생하는 전체저항은 28-40% 감소하였다 (Table 5).

또한 망고, 전개판 간격 및 망구면적은 증가하였으며 (Table 6), 이때의 어구 형상을 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5를 보면 Section 4의 재질과 망사

의 굵기를 변경함에 따라 어구의 몸통부위가 비정상적으로 전개되었다. 어구가 비정상적으로 전개된 원인은 Section 4 부위의 망사의 굵기 변경에 의해 어구 각 부위의 저항발생 분포가 변하여 발생한 것으로 판단된다.

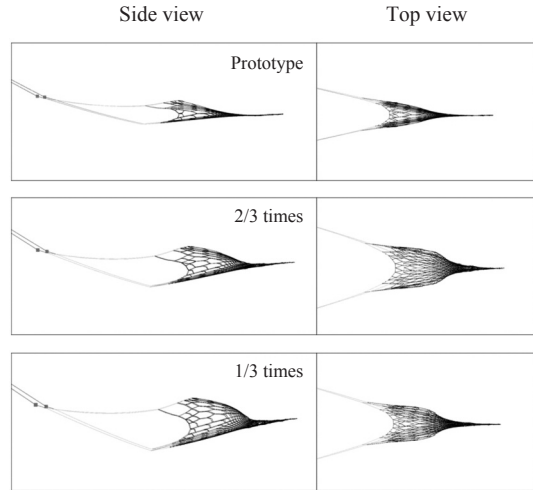


Fig. 5. Simulation results of the trawl gear with changing the thickness and the material with UHMWPE for the section 4.

Table 5. The resistance force on each section of the prototype gear (Towing speed: 4 knots)

Type	Section*	1	2	3	4
Type	Total projected area of the netting (m ²)	5.16	23.58	19.66	92.92
	Resistance force (kgf)	372.92	1992.61	436.91	5474.54
Section 4 with UHMWPE	Total projected area of the netting (m ²)**	5.16	23.58	19.66	30.92
	Resistance force (kgf)**	557.21	1992.61	1096.6	1363.41
All panel with UHMWPE	Total projected area of the netting (m ²)***	5.16	23.58	19.66	62
	Resistance force (kgf)***	628.28	1640.99	747.84	2548.28
All panel with UHMWPE	Total projected area of the netting (m ²)**	1.72	7.84	6.56	30.92
	Resistance force (kgf)**	637.19	2046.59	652.92	1303.19
All panel with UHMWPE	Total projected area of the netting (m ²)***	3.44	15.72	13.12	62
	Resistance force (kgf)***	586.05	1789.78	1286.46	2544.18

*These sections are shown diagrammatically on Fig. 4 (a).

One third of prototype thickness, *Two third of prototype thickness

Table 6. The variation of tension and other factors with changing the thickness of the section 4

Twine thickness	Height (m)	Distance between otter boards (m)	Area of net mouth (m ²)	Tension (kgf)
Prototype	28.88	104.51	666.86	7735.51
2/3 times	42.38	128.20	1832.07	5565.39
1/3 times	53.09	137.54	2531.81	5009.83

Table 7. The variation of tension and other factors with changing the thickness of the whole gear

Twine thickness	Height (m)	Distance between otter boards (m)	Area of net mouth (m ²)	Tension (kgf)
Prototype	28.88	104.51	666.86	7735.51
2/3 times	36.07	119.48	1448.30	6206.47
1/3 times	63.71	143.13	3069.71	4639.89

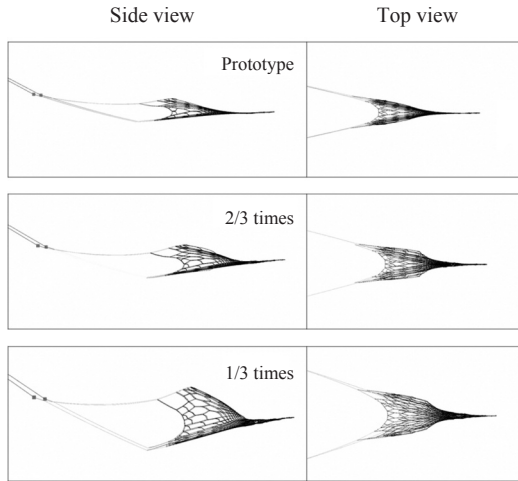


Fig. 6. Simulation results of the trawl gear with changing the thickness and the material with UHMWPE for all sections.

또한, 본래 망사 굵기의 2/3배 및 1/3배의 고강력사를 어구 전체에 적용하여 시뮬레이션한 결과, Section 4에 적용한 결과와 유사하게 전체 저항이 20-40%정도 감소하였다 (Table 7). 이때의 어구 형상을 Fig. 6에 나타내었으며, Section 4를 변경한 경우와 동일한 부위에 비정상적인 형상을 해결하기 위한 연구는 진행되고 있다.

고가의 고강력사를 어구에 적용함으로써 어구 제작비용의 증가를 계산하여 Fig. 7에 나타내었다. 현용 어구 제작비를 1로 보았을 때 고강력사를 사용하는 경우는 현용 어구 망사의 2/3 굵기로 Section 4 또는 전체 어구에 적용하였을 경우 비용은 6-11배 정도 증가하며, 1/3굵기의 고강력사를 적용하였을 경우 2-2.7배 정도 증가된다. 고강력사를 사용하는 경우 기존 재료를 사용하는 경우에 대한 저항 감소에 따른 유류 소모

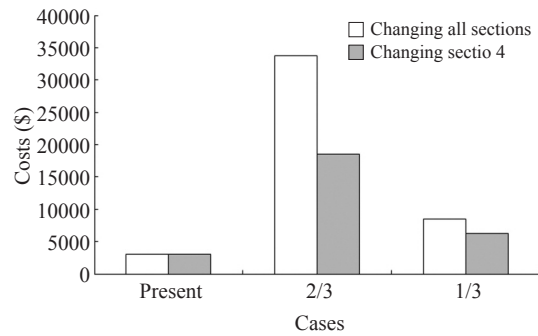


Fig. 7. Variation of construction cost with changing the thickness and the material with UHMWPE.

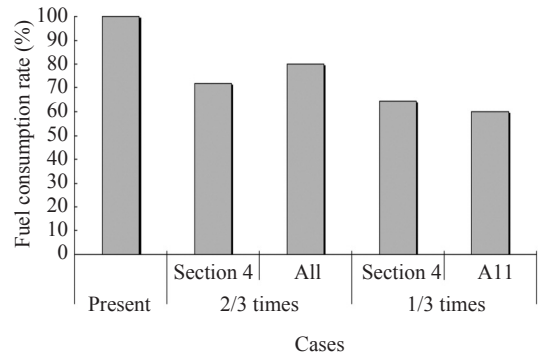


Fig. 8. Fuel reduction ratio with changing the thickness of ropes compared to present type of the gear

량의 감소를 Fig. 8에 분석하였다.

고강력사를 적용함으로써 유류 사용량을 최대 40% 감소시킬수 있어, Fig. 7에 언급한 어구 제작비 증가를 고려한다면 현재 망사 굵기의 1/3배의 고강력사를 현용 어구에 적용 가능할 것으로 판단된다. 또한 고강력사를 적용함으로써 유류 소모량을 감소시킬수 있어 향후 발생할 수 있는 고유가와 같은 외부환경에서 보다 효율적으로 어업활동을 할 수 있을 것으로 판단되며, 이

와 더불어 CO₂, NO_x, SO_x와 같은 유해가스배출 감소를 통하여 친환경적인 어업 및 자연 생태계 보존에 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 본 연구결과를 수산물의 생산과정에서의 탄소 배출량을 분석 및 감소를 위한 연구에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

하지만, 신소재사용에 따른 망구 · 망폭의 확대에 의하여 어획노력량이 현용 어구에 비해 증가하는 문제는 조업당 예망시간, 조업일수 또는 전개판의 크기를 감소시키는 방법 등으로 현재 어획노력량 수준으로 맞추어야 할 필요가 있으며, 신소재 적용으로 인한 그물코 사이즈 증대는 선택성에 영향을 준다. 이렇게 그물코 사이즈가 커질 경우 Wileman et al. (1996, 2000)은 Codend의 길이를 증가시키고, 뺨친 폭을 동일하게 만드는 방법으로 선택성을 유지하는 방법 또는 성형률을 변형시키는 방법을 제시하기도 하였으며, 선택성에 대한 실험 및 추가적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

결 론

본 논문은 수치해석기법을 이용하여 저탄소형 어구를 설계에 관한 연구이다. 현용어구에서 발생하는 저항을 수치해석 방법을 활용하여 어구 전체 저항 및 4개의 부분으로 나누어 계산 및 분석하였다. Section 4에서 가장 큰 저항이 발생하여 고강력사를 현재 망사 굵기의 2/3배 및 1/3배의 굵기로 변경하여 저항 감소량을 계산 및 분석한 결과, Section 4의 부분에 고강력사를 적용한 경우 현용 어구에서 발생하는 저항대비 28-35% 감소하였고, 어구 전체에 고강력사를 적용한 경우 20-40% 감소하였다. 또한 고가의 고강력사를 어구에 적용하였을 때 어구 제작비 증가는 2/3 굵기의 고강력사를 Section 4와 전체어구에 적용할 경우 현용어구 제작비와 비교하여 6-11배의 비용이 증가하며, 1/3 굵기의 경우는 2-2.7배의 비용이 증가하였다. 이에 따른 유류 소모량은 최대 40%를 감소시킬 수 있을 것으로 확인 할 수 있었다.

사 사

이 논문은 2009년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 [KRF-2009-351-F00017].

참고문헌

- Aanondsen, S.A., 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. pp. 56.
- Ellingsen, H. and S.A. Aanondsen, 2006. Environmental impacts of wild caught cod and farmed salmon-a comparison with chicken. *Int J Life Cycle Assess*, 11 (1), 60-65.
- Fredheim, A. and O.M. Faltinsen, 2003. Hydroelastic analysis of a fishing net in steady inflow conditions. *Hydroelastic in Marine Technology*, Oxford, UK, 1-10.
- Gere, J.M. and B.J. Goodno, 2009. *Mechanics of materials*. 7thed. Cengage Learning. Toronto, Canada. 68-71.
- Lee, C.W., C.S. Jang, M.S. Kim, H.O. Shin and I.J. Kim, 1998. Measurements of midwater trawl system and dynamic characteristics. *Bull. Kor. Soc. Fish. Tech.*, 34 (3), 294-301.
- Lee, C.W., J.H. Lee, B.J. Cha, H.Y. Kim and J.H. Lee, 2005. Physical modeling for underwater flexible systems dynamic simulation. *Ocean Engineering*, 32, 331-347.
- Lee, C.W., Y.B. Kim, G.H. Lee, M.Y. Choe, M.K. Lee and K.Y. Koo, 2008. Dynamic simulation of a fish cage system subjected to currents and waves. *Ocean Engineering*, 35, 1521-1532.
- Lee, D.W., J.B. Lee, Y.H. Kim and S.G. Jung, 2010. Calculation of carbon dioxide emissions by south Korea's fishery industry. *Kor. J. Fish Aquat. Sci.*, 43 (1), 78-82.
- Lee, J.H., 2009. Experimental investigation and

- numerical methods in analyzing the ocean current displacement phenomena of longlines. Ph.D thesis. Institute of Marine Technology NTNU, Trondheim, Norway. pp. 191.
- Prior, D. and R. Khaled, 2009. Optimisation of trawl energy efficiency under fishing effort constraint. In Proc. Of the 9th International Workshop “DEMa T09”, Nara, Japan. pp. 130 – 140.
- Schau, E.M., H. Ellingsen, A. Endal and S.A. Aanonsen, 2009. Energy consumption in the Norwegian fisheries. *J Cleaner Prod.*, 17, 325 – 334.
- Takaki, T., T. Shimizu, K. Suzuki, T. Hiraishi and K. Yamamoto, 2004. Validity and layout of “NaLA”: a net configuration and loading analysis system. *Fisheries Research*, 65, 235 – 243.
- 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.
- Vigor, J., 1994. The practical mariner’s book of knowledge: 420 sea-tested rules of thumb for almost every boating situation. International Marine division of McGraw-Hill, ISBN 97 – 0070674752, 71 – 72.
- Wakaba, L. and S. Balachandar, 2007. On the added mass force at finite Reynolds and acceleration numbers. *Journal of Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, 21, 147 – 153.
- Wileman, D.A., R.S.T., Ferro, R. Fonteyne and R.B. Millar, 1996. Manual of methods of measuring the selectivity of towed fishing gears. ICES Cooperative Research Report, No. 215, pp.126.
- Wileman, D.A., V. Tschernij, N. Madsen and R. Holst, 2000. Size selectivity and relative fishing power of Baltic cod gillnets. *Meddelande från Havsfiskelaboratoriet*, 329, 110 – 148.
- Ziegler, F. and P-A. Hausson, 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. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12, pp. 61.
-
- 2010년 9월 24일 접수
2010년 11월 3일 1차 수정
2010년 11월 10일 수리