

트롤선 유효마력과 어구의 적정 규모에 대한 연구

이춘우* · 최규석¹ · 장용석¹

부경대학교 해양생산시스템관리학부 교수, ¹부경대학교 수산물리학과 학생

A study on towing power of trawlers and a proper scale of trawl gears

Chun-Woo LEE*, Kyu-Suk CHOI¹ and Yong-Suk JANG¹

Professor, Department of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

¹Student, Department of Fisheries Physics & system, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Trawl fishing is a fishing method in which a large, motorized trawler tows a bag-shaped net to catch fish living at the bottom or middle layers. For a trawl gear, it is of utmost importance to select the gear size and towing speed suitable for the effective horsepower (EHP) of the trawler in the design stage. In general, the power required to move an object is proportional to the product of the object speed and resistance; therefore, there are various choices for the gear resistance and towing speed given the effective horsepower of the trawler. However, there have been few studies on the gear design of an appropriate scale for the towing speed given the effective horsepower of the trawler. In this study, the resistance and shape of three types of midwater trawl gears were analyzed using SimuTrawl, a computer simulation tool. In addition, the relationship between the propulsion force and speed of the ship was clarified when the size and effective horsepower of the trawler were determined. Finally, we suggested the relationship between the towing speed and the resistance of the gear when the trawler towed the net was investigated, and a specific method of selecting the gear size according to the towing speed.

Keywords: Trawl, Effective horsepower, Gear, Simulation, Resistance, Towing speed

서론

트롤어업은 자루 모양 그물을 예망하여 저층 또는 중층에 서식하는 어류를 어획하는 어법으로 선망과 함께 대형 어업 중 하나이다. 트롤 어법은 유럽에서 1800년대 말부터 이용되기 시작하여 중기 기관선이 이용되면서 동력화 되었고, 내연기관의 도입과 대형 트롤선이 건조되면서 어획물도 선내에서 가공 처리하는 공선 트롤선

으로 발전하였다.

트롤 어구는 설계 단계에서 트롤선의 유효마력(Effective horse power, EHP)에 적합한 어구 규모와 예망 속력의 선택이 무엇보다도 중요하다. 일반적으로 물체를 움직일 때 소요되는 동력은 물체의 속도와 저항의 곱에 비례하므로 트롤선의 유효마력이 주어지면 어구의 저항과 예망 속도 사이에는 다양한 선택이 존재한다. 그물을

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

예망하는 속도와 어구 저항의 곱이 마력에 비례하므로 저항이 커지면 예망 속도가 느려지고, 저항이 작으면 예망 속도를 빠르게 할 수 있다. 따라서 어구가 지나치게 커서 저항이 커지면 예망 속력이 저하되어 어획 성능이 떨어지고, 반대로 어구가 너무 작으면 예망 속력은 빨라 지나 어구의 규모에 비례하는 여과 용적이 작아져서 어획 효율이 저하된다.

지금까지 트롤에 대한 연구는 저층 트롤선의 유효마력 산정에 관한 실험적 연구(Wang, 2005), 트롤 그물의 기본 성능 고찰 및 저항특성과 모형실험의 축척비 영향에 대한 연구가 있었고(Kim, 1997; Kim and Lee, 1999; Kim et al., 2011), 어구의 저항을 수치해석 기법으로 분석한 연구(Cha et al., 2002; Cha, 2003; Kim et al., 2017; Tang et al., 2017), 중층 트롤 예망 수심을 퍼지도록 제어한 연구(Lee, 1995; Lee et al., 2000; Park and Lee, 2019), 중층 트롤 거동 시뮬레이션 연구 등(Lee and Lee, 2000; Sun et al., 2011)이 있다. 그러나 어선의 유효마력이 주어졌을 때 예망 속도를 고려한 적절한 규모의 어구 설계 방법에 관한 연구는 거의 없었다.

본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 활용하여 중층 트롤어구를 규모별로 저항과 형상을 분석하였다. 또한 어선의 크기와 유효 마력이 정해지면 어선의 추진력과 속도의 관계를 명확히 하였고, 그물을 예망할 때 어구의 저항에 따른 예망 속도의 관계를 규명하여 예망 속도에 따른 어구 규모 선택에 도움을 주고자 하였다.

재료 및 방법

트롤선 및 트롤 어구 선정

본 연구의 분석에 사용한 트롤시스템은 현재 우리나라에서 조업을 하고 있는 근해 대형트롤, 원양의 중형 및 대형 트롤 어선과 어구이다. 선정된 트롤어선 제원은 Table 1과 같다. 여기에 제시된 트롤어선의 규격은 근해 대형 트롤과 원양 트롤어선의 자료로부터 평균값을 구한 것으로 어떤 특정한 어선의 사양을 그대로 사용하지는 않았다. 또한 유효마력은 제동마력의 80%로 보았다.

각 어선별 분석에 사용한 어구는 비슷한 규모의 어선이 현재 사용하는 어구를 참고하여 본 연구에서 임의로 설계한 어구다. 3종류 어구의 전산화된 설계 도면은 Fig. 1과 같다. 또한 조업 과정 중 거동을 계산해야 하므로 전개판의 규격 결정도 중요한 사항이다. 각 어구에 적합한 전개

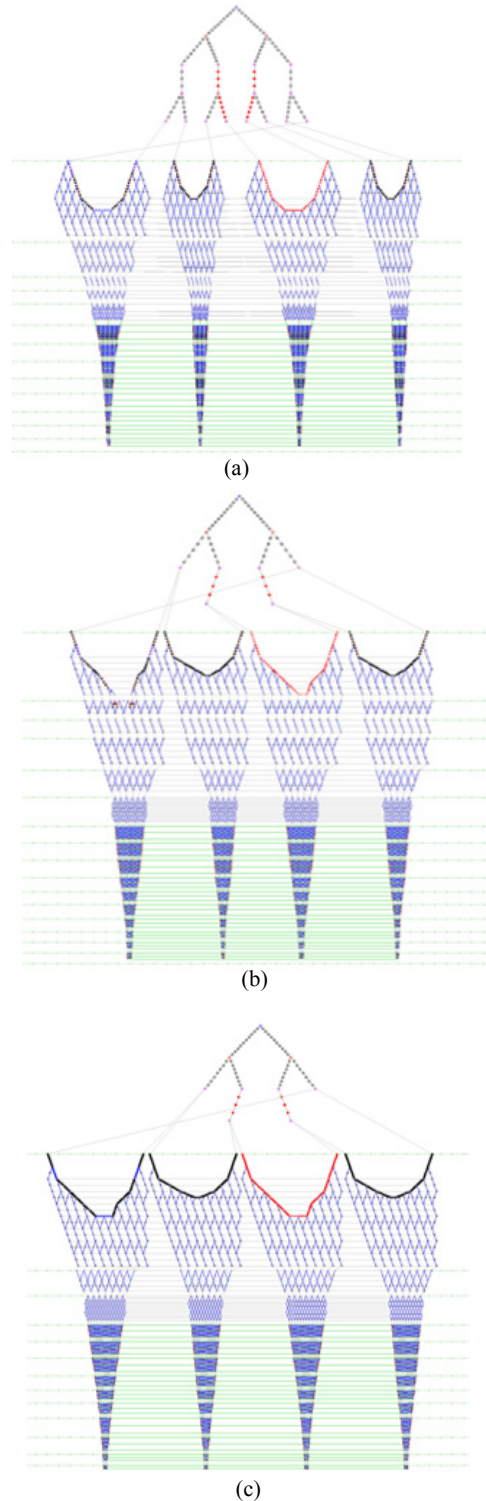


Fig. 1. 3 types of fishing gear design drawings using computerized design tools ((a) Trawl gear 1 Net length: 171.5 m, Net mouth circumference length: 335.3 m, (b) Trawl gear 2 Net length: 239.9 m, Net mouth circumference length: 521.2 m, (c) Trawl gear 3 Net length: 242.9 m, Net mouth circumference length: 564.4 m).

Table 1. Brief specifications of the trawler used in the experiment

Vessel type	Tonnage (G/T)	L.O.A. (m)	Braking horsepower (Hp)	Effective horsepower (P_v)	Netting area (m ²)	Total buoyancy (kgf)	Total sinking force (kgf)
Trawler 1	139	32	1,200	960	184	494	2,773
Trawler 2	2,000	80	3,000	2,400	311	1,028	3,225
Trawler 3	4,000	100	4,500	3,600	454	1,271	3,901

Table 2. Specifications of trawl doors applied in the experiment

Vessel type	Width (m)	Height (m)	Aspect Ratio	Area (m ²)	Weight (kg)	C_D	C_L
Trawl board 1	1.98	3.57	1.8	7	2,030	0.90	1.90
Trawl board 2	2.18	3.70	1.7	8	2,320	0.46	1.90
Trawl board 3	2.44	4.15	1.7	10	2,900	0.44	1.84

판의 선택은 전개판 제작업체(BMI Co., Ltd. Korea)의 전문가 조언을 얻어서 결정하였고, 어구별 전개판의 규격은 Table 2와 같다.

어구 거동 해석 모델

트롤 어구의 동적 거동 해석에 사용된 모델은 질량-스프링모델이다. 질량-스프링 모델은 유연구조물로 구성된 어구와 양식 가두리 등 다양한 수중 구조물의 거동 계산에 적용되어 그 유용성이 입증되고 있는 방법이다 (Cha et al., 2002; Cha et al., 2003; Lee et al., 2005; Kim et al., 2007; Lee et al., 2008; Lee et al., 2010). 이 모델에 대해서는 발표된 많은 논문들이 있으므로 본 논문에서는 모델의 설명을 생략한다. 트롤 어구에 질량-

스프링 모델을 적용한 예를 Fig. 2에 나타내었다.

어구의 각 질점의 운동 방정식은 뉴턴의 제2법칙으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(m + \Delta m)\ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{f}_{int} + \mathbf{f}_{ext} \tag{1}$$

여기서, m 은 질점의 질량, Δm 은 부가질량, $\ddot{\mathbf{q}}$ 는 질점의 가속도, \mathbf{f}_{int} 는 질점 간에 작용하는 내력, \mathbf{f}_{ext} 는 질점에 작용하는 외력이다.

내력은 각 질점 사이에 작용하는 힘으로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{f}_{int} = -k \mathbf{n}(|\mathbf{r}| - l^0) \tag{2}$$

여기서, k 는 어구재료의 탄성계수이며, \mathbf{n} 는 스프링의 단위벡터이고, l^0 는 스프링의 초기 길이, $|\mathbf{r}|$ 는 스프링의 위치벡터 크기를 나타낸다. 단위벡터 \mathbf{n} 는 위치벡터 \mathbf{r} 를 위치벡터의 크기 $|\mathbf{r}|$ 로 나누어 구할 수 있다.

외력은 외부로부터 각 질점에 작용하는 힘으로, 어구에 작용하는 항력, 양력 및 부력을 말하며 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{f}_{ext} = \mathbf{F}_D + \mathbf{F}_L + \mathbf{F}_B \tag{3}$$

어구 요소의 질점에 작용하는 항력, 양력 및 부력(또는 침강력)은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{F}_D = -\frac{1}{2} C_D \rho_{sw} A_p U^2 \mathbf{n}_v \tag{4}$$

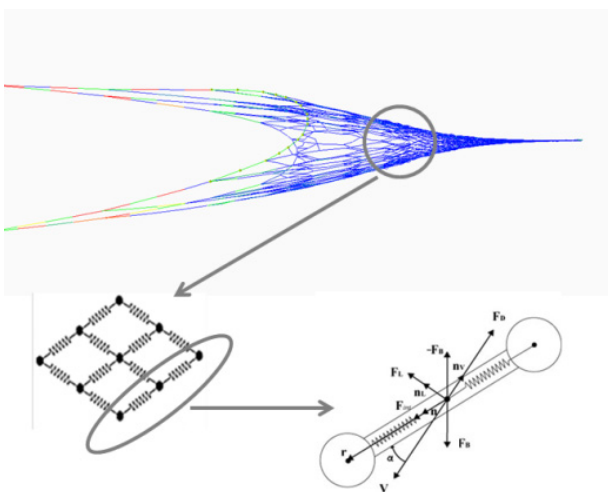


Fig. 2. Example of applying mass-spring model to trawl gear and definition of vector.

$$\mathbf{F}_L = \frac{1}{2} C_L \rho_{sw} A_p U^2 \mathbf{n}_L \quad (5)$$

$$\mathbf{F}_B = (\rho_i - \rho_{sw}) V_n \mathbf{g} \quad (6)$$

여기서, C_D 는 항력계수, C_L 은 양력계수, ρ_{sw} 는 해수의 밀도($kgw \cdot s^2/m^4$), A_p 는 어구 요소의 투영 면적(m^2), U 는 합속도 벡터 \mathbf{U} 의 크기이다. U 의 크기는 조류의 속도벡터에서 질점의 속도 벡터를 합산하여 구할 수 있다. 벡터 \mathbf{n}_v 는 항력의 작용 방향의 단위벡터로 합속도 벡터에 반대 방향으로 작용한다. \mathbf{n}_L 은 양력의 작용방향이고, ρ_i 는 재료의 밀도, ρ_{sw} 는 해수의 밀도, V_n 은 재료의 부피, \mathbf{g} 는 중력가속도이다.

여기서, 질량-스프링 모델로 트롤 어구의 형상을 표현하면 2계 연립 미분방정식을 얻을 수 있다. 여기서 얻은 미분방정식을 일반적인 2계 미분방정식으로 정리하면 아래와 같은 t 에 대한 초기치 문제의 비선형 강성 미분방정식으로 변환된다.

$$m_g \ddot{\mathbf{q}}(t) + b \dot{\mathbf{q}}(t)^2 + k \mathbf{q}(t) = \mathbf{F}(t) \quad (7)$$

여기서 m_g 는 가상질량에 포함된 어구 요소의 질량, $\mathbf{q}(t)$ 는 시간에 대한 질점의 위치, $\dot{\mathbf{q}}(t)$ 는 속도, $\ddot{\mathbf{q}}(t)$ 는 가속도, b 는 감쇠계수 그리고 k 는 재료의 탄성계수이며 $\mathbf{F}(t)$ 는 항력을 제외한 외력이다. 식 (8)와 같은 상미분 방정식은 초기치가 주어지면 다양한 방법으로 적분할 수 있다. 본 연구에서는 4차 룬지쿠타 방법(4th order Runge-Kutta method)을 이용하여 어구의 운동을 계산하였다.

예망 중 트롤선의 운동방정식

트롤선이 어구를 예망하지 않고 항주 중일 때의 운동방정식은 아래와 같다.

$$m_s \dot{V}(t) = P - 0.5C_f \rho S V^2(t) \quad (8)$$

여기서 m_s 은 트롤선의 질량, V 는 속도, P 는 트롤선의 추진력, C_f 는 트롤선의 마찰저항계수, ρ 는 해수의 밀도, S 는 트롤선의 수면하 면적이다. 마찰 저항계수

C_f 는 ITTC 1957년식을 사용하였고, 수면하 면적은 아래의 식으로 계산하였다.

$$S = 0.169C \sqrt{\nabla L} \quad (9)$$

여기서 C 는 선체의 구조로부터 결정되는 상수로 16으로 하였고, ∇ 는 배수용적(m^3), L 은 선박의 수선간 길이이다.

트롤선의 저항은 마찰 저항, 조파 저항, 와류 저항 및 공기 저항으로 구성된다. 본 연구에서는 공기저항은 무시하였고, 조파 저항과 조와 저항을 마찰 저항의 0.3배 정도로 간주하여 트롤선 전체 저항을 마찰 저항의 1.3배로 하였다. 한편 트롤선의 유효마력 P_N 과 트롤선 추진력 P 및 속도 V 와의 관계는 다음과 같다.

$$P_N = P \cdot V / 75 \quad (10)$$

이 식을 변형하여 식 (8)에 대입하고, 트롤선 전체 저항을 마찰 저항의 1.3배로 두면 다음 운동방정식을 얻는다.

$$m_s \dot{V}(t) = 75 \cdot P_N / V(t) - 1.3C_s V(t)^2 \quad (11)$$

여기서 C_s 는 어선별로 수면하 면적과 물의 밀도가 고려된 저항계수($C_s = 1/2 C_f \rho S$)이다.

트롤선의 예망 중 운동방정식은 식 (11)을 수정하여 어구 저항 R_g 를 추가하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m_s \dot{V}(t) = 75 \cdot P_N / V(t) - 1.3C_s V(t)^2 - R_g \quad (12)$$

어구 저항은 앞에서 3종류의 어구를 예망 속도별로 구한 값을 사용하였다.

트롤선이 어구를 예망하지 않고, 항주 중일 때 운동방정식(8)은 해석적 해를 구할 수 있다. 여기서 얻어진 해석해를 식 (11)의 수치해와 비교해보면 위에 제시된 운동방정식의 적정성이 검증된다. 최종적으로는 식 (12)의 수치해를 같은 방법으로 구해서 트롤선별 어구의 저항이 주어졌을 때 트롤선이 낼 수 있는 예망 속도를 구한다. 위의 미분방정식 (11, 12)도 Runge-kutta방법으로 수치해를 구하였다.

결과 및 고찰

트롤 어구의 거동 해석

시뮬레이션은 모든 어구에 대하여 트롤 어구용 소프트웨어(SimuTrawl, Ver.1.025, MPSL, Korea)를 사용하여

계산하였고, 계산 간격은 0.0001 s, 조업 수심은 300 m 어장에서 끌줄의 길이는 500 m에서 수행하였다. 본 연구에서 분석한 3개 어구의 예망 속도 4노트에서 측면 모양과 정면 모양을 Fig. 3에 나타내었다. 각 어구의 예

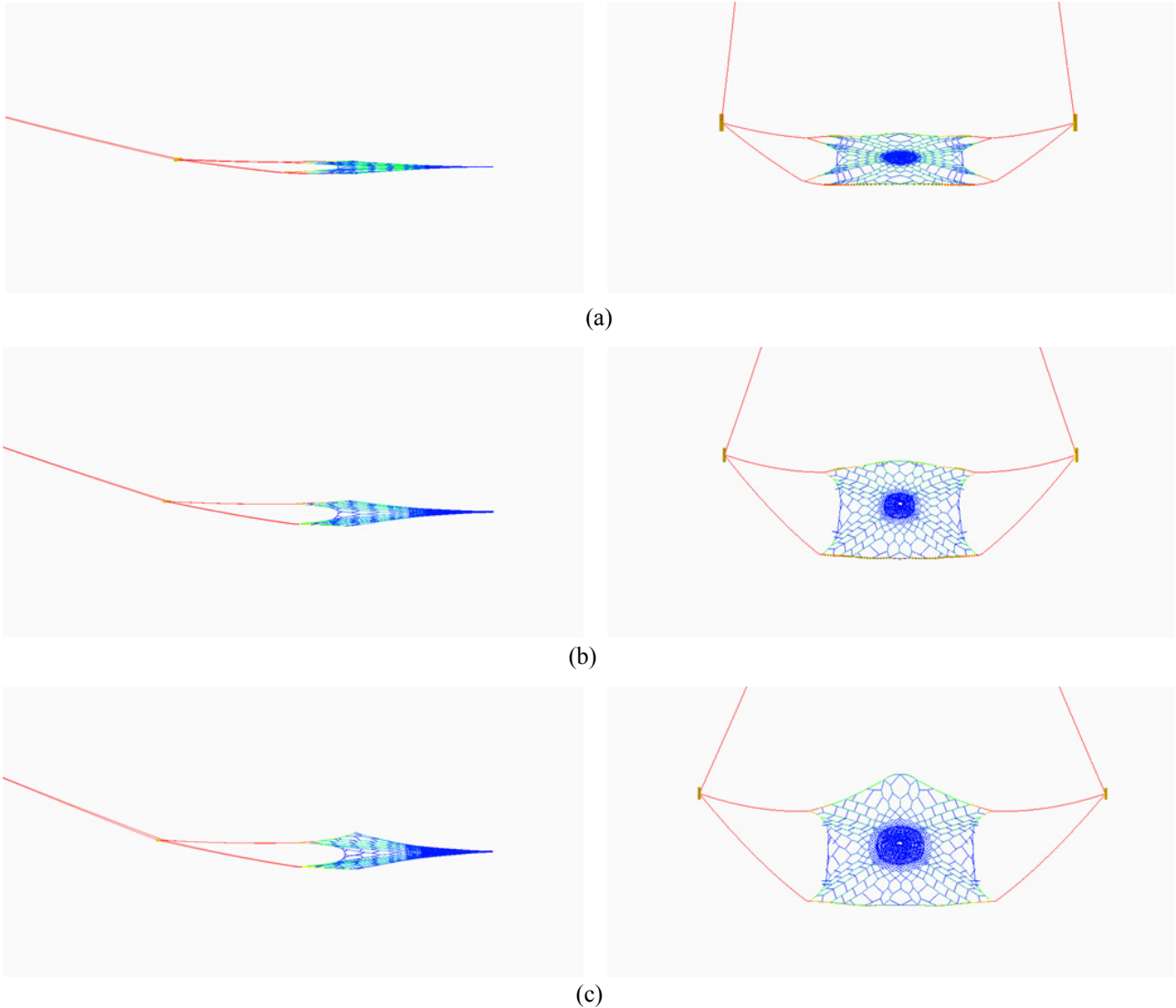


Fig. 3. Side and front shape of the trawl gear at 4 knots towing speed ((a) Trawl gear 1, (b) Trawl gear 2, (c) Trawl gear 3).

Table 3. Net height and net wide change by towing speed

Vessel type	2 kt		3 kt		4 kt		5 kt	
	Net height (m)	Net width (m)	Net height (m)	Net width (m)	Net height (m)	Net width (m)	Net height (m)	Net width (m)
Trawl 1	54.4	21.2	39.3	29.3	24.3	35.8	21.9	43.1
Trawl 2	69.2	22.9	47.6	33.9	34.7	42.5	27.4	51.9
Trawl 3	97.0	30.8	72.7	47.8	53.4	60.8	43.4	68.4

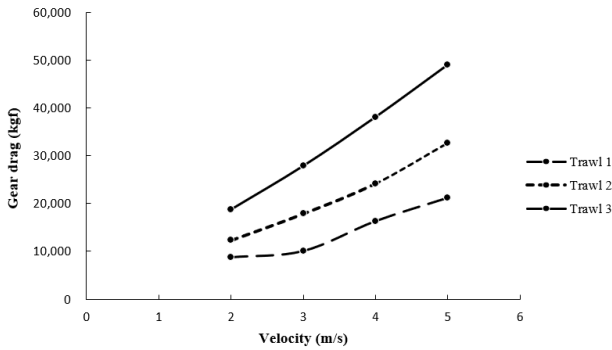


Fig. 4. Resistance of 3 types of gear according to towing speed.

망 속도별 저항을 Fig. 4에 나타내었다. 어구의 규모가 클수록 저항이 커졌고, 예망 속도가 증가할수록 저항도 증가하였다.

어구의 형상은 예망 속도에 따른 망고와 망폭의 변화로 파악할 수 있다. 3가지 어구에 대한 예망 속도에 따른 망고와 망폭의 변화를 Table 3에 나타내었다. 예망 속도가 증가할수록 망고는 감소하는 경향을 보였고, 망폭은 증가하였다.

유효 마력에 따른 트롤선 속도

트롤선의 운동방정식 (8)에서 저항계수와 물의 밀도 및 면적을 모두 곱하여 새로운 저항계수 C_s 로 두고, 조파 저항과 조와 저항을 고려하면 아래와 같다.

$$m_s \dot{V}(t) = P - 1.3C_s V^2(t) \tag{13}$$

이 미분방정식은 해석적인 해를 구할 수 있고, 해석해를 구하면 다음과 같다.

$$V(t) = \sqrt{P/1.3C_s} \cdot \left(1 - e^{-2\sqrt{1.3PC_s}t/m_s}\right) / \left(1 + e^{-2\sqrt{1.3PC_s}t/m_s}\right) \tag{14}$$

본 연구에서 제시된 3척의 어선에 대해서 유효마력에 따른 어선의 속도를 구해 보면 Fig. 5와 같다. 그러나 실제로는 저항계수가 레이놀즈수(R_e)의 영향을 받으므로 위의 해석해는 약간의 오차를 포함하지만 추진력이 주어졌을 때 최종 도달 속도를 구하는 데는 유용하다.

모든 예에서 유효마력 주어지면 어선의 속도가 0노트에서 출발하여 최종 속도까지 점차 상승하여 종속도에

도달한 후에는 더 이상 속도의 증가가 없다. 즉 최종 속도가 최대 속도이다. 최종 속도에 도달하는데까지 걸리는 시간은 트롤선 질량이 큰 영향을 주며, 질량이 클수록 즉 톤수가 증가할수록 시간이 더 걸린다. 이것은 저항을 가진 모든 물체의 운동에 공통적으로 적용되는 일반적인 원리이다. 실제 트롤선이 최대 속도를 낼 때까지는 엔진 출력을 순차적으로 높여가며 최고 속도를 얻지만 공학적인 해석에서 수치해석기법을 이용하면 최대 출력을 한꺼번에 입력하여 동특성을 파악할 수 있다.

속도가 일정해지는 정상 상태에 도달하면 식 (13)의 좌변은 0이 되므로 우변을 0으로 두면 평형 상태 방정식이 얻어진다. 즉 최종 속도는 다음과 같다.

$$P - 1.3C_s V^2(t) = 0 \tag{15}$$

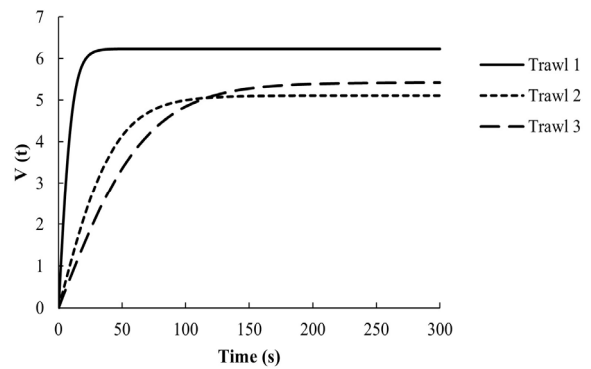


Fig. 5. Analytical solution of fishing vessel speed to the thrust of a three-ship model trawler (Trawl 1 $P=1,120$, Trawl 2 $P=4043$, Trawl 3 $P=8097$).

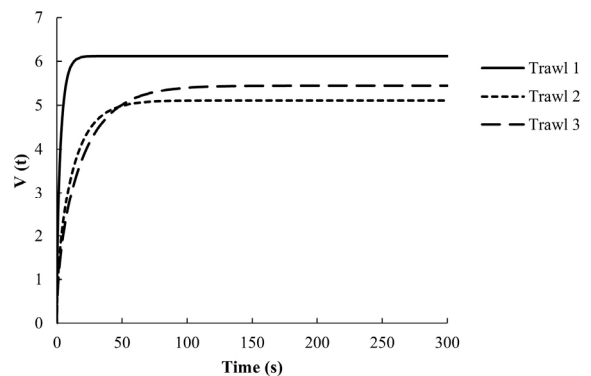


Fig. 6. Numerical solution of fishing vessel speed to the effective horsepower of a three-ship model trawler (Trawl 1 $P_N=960$, Trawl 2 $P_N=2,400$, Trawl 3 $P_N=3,600$).

여기서 최종 속도 V 는 $\sqrt{P/1.3C_s}$ 에 의해 결정된다. 해석해로 얻은 식 (14)에서 시간 t 가 포함된 항 들은 t 가 커지면 0으로 수렴하기 때문에 시간 t 가 충분히 지난 후에는 식 (14)와 (15)은 같은 값을 갖는다.

한편 식 (11)의 수치해를 구해서 3종류의 선박별로 나타내면 Fig. 6과 같다. 이 운동방정식의 수치해의 최종 속도는 식 (14) 또는 (15)에서 얻은 것과 같다. 그러나 최종 속도에 달하는 과정은 다르다. 즉 식 (11)은 추진력으로 입력된 항의 분모에 속도가 들어있어서 속도가 낮을 때는 과도하게 큰 추진력이 작용한다. 따라서 속도의 증가율이 크고 최종 속도에 도달하는 시간도 짧다. 그러나 우리가 주목하고 어구의 규모 산정에 필요한 속도는 충분히 시간이 경과 한 후의 정상 상태의 속도이므로 여기서는 정상상태 속도를 이용하여 예망 중 어구시스템을 분석하였다.

예망 중 어선 속도로부터 어구 규모 추정

어구의 저항이 추가된 운동방정식 (12)의 해를 Fig. 7에 나타내었다. 정상 상태의 속도에 도달한 후 어구 저항을

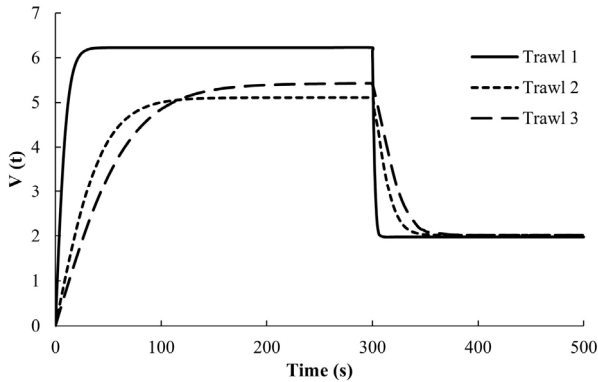


Fig. 7. Numerical solution to fishing vessel speed taking into account the gear resistance against effective horsepower. for three model trawlers. (Trawl 1 $P_N=960$ $R_g=16,000$ kg, Trawl 2 $P_N=2,400$ $R_g=25,000$ kg, Trawl 3 $P_N=3,600$, $R_g=35,000$ kg)

추가하면 속도가 감소하고 새로운 정상 상태의 속도에 도달한다. 본 수치계산에서는 300초 후에 어구의 저항이 갑자기 걸리도록 프로그래밍하여 계산하였다. 여기에 입력된 저항값은 트롤 어구 거동 해석에서도 사용한 소프트웨어(SimuTrawl, Ver.1.025, MPSL, Korea)로 그물별로 계산한 속도에 대한 저항값이다. 실제 트롤 어구를 투망할 경우는 저속에서 그물의 끝부분부터 순차적으로 투하되고 그물이 모두 나간 다음에 전개판이 투하되고 끌줄을 풀어주는 식으로 조업하므로 어구 저항이 한꺼번에 걸리는 경우는 없다. 그러나 수치계산에서는 어구 저항이 순차적으로 증가시키는 기준이 없으므로 한꺼번에 어구 저항이 모두 작용하는 것으로 가정하였다. 이처럼 저항을 한꺼번에 입력해도 최종 속도로 정착하는 값은 같다. 3개의 트롤시스템에 어구 저항을 각각 16톤, 25톤, 35톤 입력했을 때 예망 속도는 약 4노트 정도가 얻어졌다. 각 트롤시스템에 대해서 어구 저항을 다양하게 입력해서 계산해 보면 어구 저항과 예망 속도의 관계를 알 수 있다.

어선이 그물을 예망할 때 유효마력 중 어느 정도가 그물의 예망에 사용되는가는 이 미분방정식의 수치해에서 어선의 저항과 어구의 저항을 비교해보면 알 수 있다. 이것은 식 (12) 우변의 트롤선 저항을 나타내는 가운데 항과 어구 저항을 나타내는 마지막 항을 비교하면 된다. 정상 상태에 도달하였을 때 3척의 모델선의 이 비율은 Table 4와 같다. 이 비율은 해상 상태가 좋은 경우에 일반적으로 0.93 정도라고 알려져 있으나 본 연구에서는 0.89 정도가 얻어졌다(Wang, 2005, Kim and Lee 1999). 본 연구에서 일반적으로 알려진 값보다 작게 계산된 것은 조파 저항과 조와 저항을 마찰 저항의 0.3배로 보고 계산하였기 때문이다. 따라서 저속에서 이들 잉여 저항을 무시하면 각각 0.91, 0.91, 0.92가 얻어졌다. 이처럼 저속에서 어구를 예망 할 경우 대부분 동력이 어구 예망에 사용되는 이유는 저속에서 트롤선 저항이 상당히 작기 때문이다.

Table 4. Resistance ratio of trawler and fishing gear

Vessel type	Trawler drag (kgf)	Gear drag (kgf)	Ratio (%)
Trawl 1	1,977.5	16,000.0	89.0
Trawl 2	3,496.1	28,000.0	88.9
Trawl 3	4,428.6	38,000.0	89.6

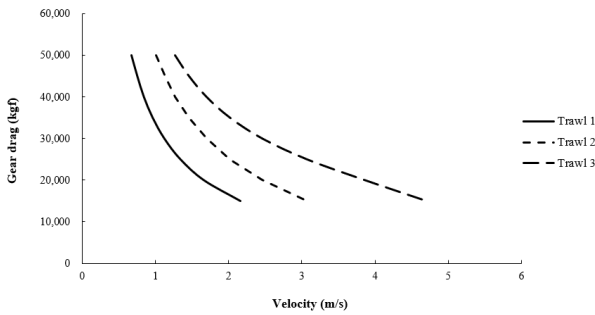


Fig. 8. Relationship between towing speed and gear resistance by effective horsepower (Trawl 1 $P_N=960$, Trawl 2 $P_N=2,400$, Trawl 3 $P_N=3,600$).

Fig. 8은 본 연구에서 분석된 3개 트롤시스템에 대한 예망 속도와 어구의 저항과의 관계를 나타낸 것이다. 이 그림에서 명확히 알 수 있는 것은 어선의 유효마력과 예망 속도가 주어지면 어구 저항이 결정된다는 것이다. 어구 저항이 결정되면 저항은 어구 규모에 비례하므로 특정한 예망 속도를 낼 수 있는 어구의 규모를 추정할 수 있다. 즉, 어선의 유효마력이 주어지고 어획 대상 어종에 대한 생물적 관점에서 예망 속도가 결정되면 거기에 맞는 어구 저항을 구할 수 있다. 예망 속도와 어구의 저항이 정해지면 이러한 조건을 충족하는 어구의 구조와 크기를 예상하여 어구를 설계하고, 설계된 어구의 저항과 형상을 계산 또는 실험을 통하여 구한 후 주어진 저항값과 비교하며 설계를 수정하는 과정을 거친다. 이때 어구 설계를 가설계 또는 예비 설계라 하고, 여기서 반복되는 설계의 수정을 재설계라 볼 수 있다.

어구 설계 과정에서 이러한 시행착오의 과정은 피할 수 없다. 또한, 많은 시간과 경비가 드는 과정이다. 지금까지는 이 과정은 전문가의 경험과 감을 바탕으로 고전적 공학 계산 방법에 의존되어왔다. 그러나 이런 과정에 컴퓨터 기반의 설계 도구를 사용한다면 시행착오의 시간과 경비를 줄일 수 있을 것이다.

결론

트롤어업은 자루 모양 그물을 예망하여 저층 또는 중층에 서식하는 어류를 어획하는 어법으로 선망과 함께 중요한 어업이다. 트롤 어구는 설계 단계에서 트롤선의 유효마력에 적합한 어구 규모와 예망 속도의 선택이 중

요하다. 일반적으로 물체를 움직일 때 드는 동력은 물체의 속도와 저항에 비례하므로 트롤선의 유효마력이 주어지면 어구의 저항과 예망 속도 사이에는 다양한 선택이 존재한다. 본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 활용하여 3종류의 중층 트롤시스템을 규모별로 저항과 형상을 분석하였다. 또한, 유효마력에 따른 트롤선이 낼 수 있는 최대 속도를 구하였고, 어구 저항이 추가되었을 때 예망 속도를 구하였다.

트롤 어구의 저항은 어구의 규모가 커질수록 증가하였고 망고와 망폭도 커졌다. 모든 어구에서 예망 속도가 증가할수록 저항은 증가하였고 망고는 작아지고 망폭은 증가하였다. 트롤선의 크기와 유효 마력이 주어졌을 때 트롤선이 낼 수 있는 최대 속도는 트롤선 별로 일정하여 10~12노트 정도로 계산되었다. 트롤선이 그물을 예망할 때에는 어구 저항의 작용으로 속도가 떨어져서, 근해 대형트롤에서 16톤의 어구 저항에서 4노트 예망 속도가 얻어졌고, 원양 중형 트롤에서 25톤의 저항에서 4노트, 원양 대형 트롤에서 35톤 저항에 4노트의 속도가 얻어졌다.

트롤선의 유효마력이 주어지고 어획 대상어의 생물학적 특징으로부터 예망 속도가 정해지면 간단한 계산 또는 Fig. 8로부터 어구 저항을 구할 수 있다. 어구 저항은 어구의 규모, 구조 및 재료에 따라 달라지므로 설계 단계에서도 다양한 선택이 존재한다. 설계 목적에 충족하는 어구 형상을 유지하면서 특정한 예망 속도에서 정해진 저항 값을 갖는 어구를 도출하는 과정은 많은 시행착오를 동반한 과정이다. 이 과정에 컴퓨터화된 도구를 사용하면 효율적으로 수행될 수 있을 것이다.

사사

이 논문은 부경대학교 자율창의기술연구비(2020년:C-D-2020-0465)에 의하여 연구되었음.

References

Cha BJ, Lee CW, Lee JH and Kim HY. 2002. Hydrodynamic simulation of midwater trawl system behavior. J Korean Soc Fish Technol 38, 164-171. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2002.38.2.164>.

Cha BJ. 2003. Numerical simulations on the dynamic characteristics of the trawl system. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Korea. 1-90

- Kim DA. 1997. Flow resistance and modeling rule of fishing nets, 5. Total resistance of bottom trawl nets subjected simultaneously to the water flow and the bottom friction. *J Korean Soc Fish Technol* 46, 313-323.
- Kim DJ, Kim DA, Kim TH, Shin HH, Jang DJ and Cha BJ. 2011. Flow resistance of bottom trawl nets and scale effect in their model experiments. *J Korean Soc Fish Technol* 47, 281-289. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2011.47.4.281>
- Kim HY, Lee CW, Shin JK, Kim HS, Cha BJ and Lee GH. 2007. Dynamic simulation of the behavior of purse seine gear and sea-trial verification. *Fish Res* 88, 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2007.08.007>.
- Kim IJ and Lee CW. 1999. Analysis of the net mouth shape for a midwater trawl gear. *J Korean Soc Fish Technol* 35, 118-128.
- Kim JE, Lee JH, Park SH, Lee CW and Park SB. 2017. Performance analysis of a low drag generated midwater trawl using the model experiments and the numerical analysis. *J Korean Soc Fish Technol* 53, 115-125. <https://doi.org/10.3796/ksft.2017.53.2.115>
- Lee CW. 1995. Depth control of a midwater trawl gear using fuzzy logic. *Fish Res* 24, 311-320. [https://doi.org/10.1016/0165-7836\(95\)00388-2](https://doi.org/10.1016/0165-7836(95)00388-2).
- Lee CW and Lee JH. 2000. Modeling of a midwater system with respect to the vertical movements. *Fish Sci* 66, 851-857. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2000.00138.x>.
- Lee CW, Lee JH and Kim IJ. 2000. Application of a fuzzy controller to depth control of a midwater trawl net. *Fish Sci* 66, 858-862. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2000.00139.x>.
- Lee CW, Lee JH, Cha BJ, Kim HY and Lee JH. 2005. Physical modeling for underwater flexible systems dynamic simulation. *Ocean Eng* 32, 331-347. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2004.08.007>.
- Lee CW, Lee JH, Choi MY and Lee GH. 2010. Design and Simulation Tools for Moored Underwater Flexible Structures. *Kor J Fish Aquat Sci* 43, 159-168. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.2.159>.
- Lee JH, Karlsen L and Lee CW. 2008. A method for improving the dynamic simulation efficiency of underwater flexible structures by implementing non-active points in modelling. *ICES J Mar Sci* 65, 1552-1558. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn126>.
- Park SB and Lee CW. 2019. Fuzzy control system for three-dimensional towing trajectory of trawl gear. *Ocean Eng* 188, 106297. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106297>.
- Sun XF, Yin Y, Jin YC, Zhang XY and Zhang XF. 2011. The modeling of single-boat, mid-water trawl systems for fishing simulation. *Fish Res* 109, 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2010.12.027>.
- Tang MF, Dong GH, Xu TJ, Zhao YP and Bi CW. 2017. Numerical simulation of the drag force on the trawl net. *Turkey J Fish Aquat Sci* 17, 1219-1230.
- Wang WK. 2005. Experimental study on the estimating effective horse power of a bottom trawl ship. *J Korean Soc Fish Technol* 41, 227-233. <https://doi.org/10.3796/ksft.2005.41.3.227>.

2021. 01. 18 Received

2021. 02. 10 Revised

2021. 02. 17 Accepted