

저층 트롤선의 예망 시 기관출력에 영향을 미치는 저항들에 관한 고찰

왕우경*

전남대학교 기관시스템공학과 교수

A study on the resistance affecting on the engine power in towing fishing gear of a bottom trawl ship

Woo-Gyeong WANG*

Professor, Department of Power System Engineering, Chonnam National University, Chonnam 59626, Korea

In the actual sea, the additional resistance due to external force such as wind, current and wave is accompanied, and the required power is added in response to these resistance. Especially when the ship is sailing at low speed, the effects of wind and current have a great impact on the safe control of the ship. Likewise, it is thought that the effects of wind and current have a great impact on the trawl ship control since the towing speed of a bottom trawl ship is a low speed of 3 to 4 knots. If the reduce of ship speed and the increase of engine power due to the influence of wind and current can be identified, the safe towing power can be calculated based on a given engine output. Thus, the appropriate size of a fishing gear can be determined. In this study, a total of 20 trawl operations were conducted for seasonal maritime research in the same research area according to the operation mode of propeller. Based on navigation data, trawl fishing data, and engine performance data acquired during the towing fishing gear, and data of ship speed, hull resistance, fishing gear resistance, wind force and current force according to an incidence angle were estimated. The overall power for these loads was calculated and compared with the measured engine power, and the effects of wind force and current force on the engine power were investigated.

Keywords: Additional resistance, External force, Towing speed, Bottom trawl, Fishing gear, Engine power

서론

저층 트롤선은 해저에 서식하는 어류를 어획하는 어선으로서, 조업지에서 어구를 투망하여 일정한 예망방향과 예망속력으로 어구를 예인하여 어군을 포획한다. 어구를 예인하는 중에는 해저와의 마찰, 장애물에 걸리

는 사고 및 유수저항의 증가 등으로 그물이 손상되기 쉽고 또한 기관 부하가 증가하여 기관 고장의 원인이 될 수도 있으므로 어구의 규모를 결정할 때 기관의 추진 성능을 잘 고려하여야 한다.

일반적으로 저층 트롤어구를 예망시에는 선박기관의

Received 16 October 2023; Revised 1 November 2023; Accepted 8 November 2023

*Corresponding author: wangwk@jnu.ac.kr, Tel: +82-61-659-7136, Fax: +82-61-659-7139

Copyright © 2023 The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology

동력으로 선체와 그물을 동시에 움직여야 하므로, 예망 시의 유효마력(EHP)은 선체를 움직이는데 필요한 동력(EHPn)에 어구를 움직이는데 필요한 동력(EHPn)이 포함된다. 그리고 실제 해상에서는 바람, 조류, 파랑 등의 외력에 의한 부가저항이 수반되고 이들 부하에 따른 소요동력이 추가되며, 이들 부가저항의 크기는 거친 해상 상태의 경우에는 정수 중 선체저항 값을 상회할 수 있다고 알려져 있다(Kim and Choi, 2014). 또한 이들 바람과 조류의 영향은 특히 선박이 저속 항해 중일 때는 선박의 안전조종에 큰 영향을 미치게 된다(Yoon, 2013). 이처럼 저층 트롤선도 예망 중에는 속력이 3~4 노트의 저속이므로 바람과 조류의 영향이 선박 조종에 큰 영향을 미친다고 생각되며, 이들에 의한 선속의 손실 및 동력 증가량을 파악할 수 있다면 주어진 기관 출력을 근거하여 안전한 예망력을 산출할 수 있으므로 적절한 어구의 규모를 결정할 수 있다. 이러한 관점에서 선체 이동에 필요한 유효마력에 관한 연구(Park and Lee, 2012), 다른 선박을 예인하는 예인력에 관한 연구(Nam et al., 2012; Jung et al., 2014), 부가저항 중의 풍력과 조류력이 선박 조종에 미치는 영향에 관한 연구(Kim, 2000; Kwon, 2003; Jung and Nam, 2016) 및 트롤선의 예망 중 유효마력 산정에 관한 연구(Wang, 2005; Lee et al., 2021)들은 다수 진행되어 왔으나, 예망중에 바람과 조류가 기관출력에 미치는 영향에 관한 연구는 찾아볼 수가 없다.

따라서, 본 연구에서는 추진기의 운전모드(constant and combined mode)에 따라 동일한 조사지역에서 계절별 해양조사를 위해 실시한 총 20회 정도의 트롤 조업과정 중에 수집한 항해자료, 트롤조업자료 및 기관자료를 기초하여, 선속, 선체저항, 어구의 저항, 바람과 조류의 입사각에 대한 풍력 및 조류력 등을 구하고, 이들 부하에 대한 전체 소요동력을 산출하여 측정된 기관출력과 비교하였으며, 특히 풍력과 조류력이 기관출력에 미치는 영향들을 중점 조사하였다.

재료 및 방법

실험에 사용된 선박 및 어구

실험에 사용된 선박은 전남대학교 실습선 새동백호이며 총톤수 2,996 G/T, 기관의 연속최대정격출력(MCR)은 3,500 kW, 가변피치프로펠러를 장착한 저층 트롤선으로 전장이 96.45 m 형폭이 15.0 m이다. 어구는 그물,

Table 1. Ship particulars

Loading condition	Design	Sea trial	Trawl
Draft, fore [m]	5.20	4.60	4.81
Draft, average [m]	5.20	4.60	5.00
Draft, after [m]	5.20	4.60	5.17
Waterline length [m]	89.55	80.94	89.17
Wetted surface [m ²]	1620	1421	1692
Bilge keel area [m ²]	76.5	76.5	76.5
Volume [m ³]	3893	3297	3694
Block coefficient	0.5872	0.5662	0.5811
Assumed form factor k	0.2	0.18	0.18

전개판 및 각종 줄로서 구성되어 있으며, 그물의 총길이는 50.2 m, 그물의 높이는 2.5 m, 그물의 폭은 26.5 m이며, 그물의 중량은 1,470 kgf이다. 전개판은 HI-WD-N type이며, 가로 2.080 m × 세로 2.820 m로 중량은 3,200 kgf이다. Table 1은 모형선 시험을 위한 설계 및 해상시 운전 사양과 트롤작업시 실선의 사양을 나타낸다.

선체의 전저항과 유효마력의 산정

모형시험의 결과를 이용하여 실선의 저항을 추정하기 위하여 ITTC 1978 방법(ITTC, 2017)을 이용하였다. 먼저 모형선 시험으로부터 구한 모형선의 전저항(R_{TM})을 이용하여 모형선의 전저항계수(C_{TM})를 구한다. 그리고 모형선의 Reynolds 수(R_n)를 이용하여 마찰저항계수(C_{FM})을 구하고, 전저항계수와 형상계수(k)를 이용하여 모형선의 잉여저항계수(C_{RM})를 구한다. 그리고 모형선과 실선의 Froude 수가 같으므로, 모형선의 잉여저항계수와 실선의 잉여저항계수(C_{RS})가 같다고 가정한다(Ha et al., 2019).

$$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{(\rho_M \cdot V_M^2 / 2) \cdot S_M} \quad (1)$$

ρ_M : 수조내의 물의 밀도(kg/m³)

V_M : 모형선의 속도(m/s)

S_M : 모형선의 침수 표면적(m²)

R_{TM} : 모형선의 전저항(N)

$$C_{FM} = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2} \quad (2)$$

$$C_{RM} = C_{TM} - (1 + k)C_{FM} = C_{RS} \quad (3)$$

그리고 실선의 전저항계수(C_{TS})는 실선의 마찰저항계수(C_{FS}), 잉여저항계수, 모형선-실선의 상관수정계수(C_A) 및 공기저항계수(C_{AA})를 이용하여 구한다.

$$C_{FS} = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2} \quad (4)$$

$$C_A = [105(\frac{K_S}{L_{WL}})^{\frac{1}{3}} - 0.64] \times 10^{-3} \quad (5)$$

단, $K_S = 150 \times 10^{-6} \text{ m} (= 150 \mu\text{m})$

L_{WL} : 실선의 수선길이(m)

$$C_{AA} = 0.001 (\frac{A_{VT}}{S}) \quad (6)$$

A_{VT} : 실선의 수면상의 가로 투영면적(m^2)

$$S = S_S + S_{BK}$$

S_S : 실선의 침수 표면적(m^2)

S_{BK} : 빌지킬의 표면적(m^2)

$$C_{TS} = \frac{S_S + S_{BK}}{S_s} [(1+k)C_{FS} + C_A] + C_R + C_{AA} \quad (7)$$

또한 실선의 전저항(R_{TS})과 유효마력(P_E)은 다음식으로 구한다.

$$R_{TS} = \frac{1}{2} \rho_S \cdot V_S^2 \cdot S \cdot C_{TS} \quad (8)$$

$$P_E = R_{TS} \times V_S \quad (9)$$

ρ_S : 해수의 밀도(kg/m^3)

V_S : 실선의 속도(m/s)

R_{TS} : 실선의 전저항(kN)

P_E : 실선의 유효마력(kW)

외력에 의한 부가저항 산정

해상에서 선박이 항해할 때 선체에 작용하는 저항은 선체의 전저항 뿐만 아니라 바람, 조류 및 파랑 등에 의한 부가저항을 고려할 수 있으며, 이러한 외력은 선수 미 방향에서는 선박의 속력에, 정횡방향에서는 선박의 침로에 영향을 미친다(Kim et al., 2013). 그러므로 본 연구에서는 외력이 기관출력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 바람과 조류에 의한 부가저항을 평가하였다.

바람에 의한 풍력은 Hughes의 식 (10)을 이용하여 구하였으며, 풍향각(θ)과 횡방향 투영면적과 종방향 투영면적의 비를 고려한 합력방향각(α)의 관계식은 식 (11)과 같고, 풍력의 종방향 성분은 식 (12)로 구할 수 있다(Yoon, 2013).

$$R_a = \frac{1}{2} \rho_a C_a V_a^2 (A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta) \quad (10)$$

$$\alpha = [1 - 0.15 (\frac{\theta}{90}) - 0.8 (1 - \frac{\theta}{90})^3] \times 90 \quad (11)$$

$$X = R_a \cos \alpha \quad (12)$$

R_a : 바람의 저항(N)

X : 풍력의 종방향 성분(N)

ρ_a : 공기의 밀도(kg/m^3)

C_a : 풍력계수

V_a : 상대풍속(m/s)

θ : 상대 풍향각(deg.)

A : 수면상의 정면 투영면적(m^2)

B : 수면상의 측면 투영면적(m^2)

선박이 저속으로 항해할 때 조류가 선박조종에 미치는 영향은 상대적으로 크다고 알려져 있다(Kim, 2000). 특히 선수 방향에서의 조류는 강한 횡방향 힘을 발생시켜 대응타를 사용하면 강한 타압을 유발하므로 조타에 소요되는 동력을 증가시킨다. 또한 선수방향에서 오는 조류는 선속을 떨어뜨리므로 선속유지를 위해서는 기관 부하를 증가시킨다. 한편, 조류의 입사각에 대한 종방향 조류력에 대한 자료가 없으므로 다음과 같이 구하였다.

조류의 입사각에 대한 종방향 조류력은 Yoon (2013)의 문헌과 Jung and Nam (2016)의 연구에 나타나 있는 횡방향 조류력의 식과 상대유향각에 대한 유압계수를 참고하여 종방향 조류력 식 (13)을 구하였다.

$$R_x = \frac{1}{2} \rho_s C_x L d V_c \quad (13)$$

R_x : 조류의 종방향 저항(N)

C_x : 조류력의 종방향 계수

L : 수선간 길이(m)

d : 흘수(m)

V_c : 조류의 속도(m/s)

예망시 항해자료 및 트롤어구 저항 측정

예망 중에 선박의 대수속력(STW; speed through water), 대지속력(SOG; speed over ground), 풍향 풍속 및 조류 방향과 세기 등의 자료들은 통합항해시스템(INS; integrated navigation system)의 모니터를 통해 수집하였으며, 트롤어구의 저항 및 와이어 길이는 트롤제어장치(iSTM; trawl control system)의 모니터를 통해 수집하였다. 관련 자료들의 수집은 투망 후 5분 정도 선속과 어구가 안정되기를 기다린 후에 30초 간격으로 10회 측정하고, 양망 전 10분부터 마찬가지로 측정하여 각 10회의 평균값을 이용하였다.

기관운전(constant & combined mode) 및 출력 측정

실험 선박의 CPP 운전방식으로는 조합방식(combined mode)과 일정회전수방식(constant mode)이 있으며, 동일한 예망조건에서도 CPP 운전방식에 따라 기관성능이 달라진다. 그러므로 각 CPP 모드에서 10회 정도의 트롤 조업을 시행하였으며, 기관회전수, 토크 및 축출력 등의 기관성능에 관한 자료들을 통합제어감시시스템(ICMS; integrated control and monitoring system)을 통하여 항해자료 수집 중에 마찬가지로 수집하였다.

결과 및 고찰

모형선 시험 자료

Fig. 1은 수조모형시험을 통해 실선에 대응하는 모형선의 속력으로 예인하여 구한 총저항을 실선의 속력으로 나타내었다. 실선과 모형선의 축적비는 13.2 : 1이며, 각 부하조건/loading condition)에서의 선박사양은 Table 1과 같다. 모형선 시험을 통해 구한 총저항(SSPA, 2016)은 실선의 속력 9 kn에서 18 kn 사이의 해당 자료들로, 모형선의 유체저항은 속력의 2승에 비례하고 있다는 것을 나타내고 있으나, 9 kn 미만에서의 모형선 시험에 의한 총저항 자료가 없으므로 저속에서는 저항이 속력에 선형적으로 비례한다고 가정하여 예측하였다.

Fig. 2는 정수 중에서 실선의 부하조건에서 구한 마찰저항계수, 잉여저항계수 및 전저항계수를 나타낸다. 실선의 잉여저항계수는 모형선의 잉여저항계수와 동일하며, 식 (3)과 같이 모형선의 전저항계수, 형상계수 및 마찰계수로 구할 수 있으며, 실선의 전저항계수는 식

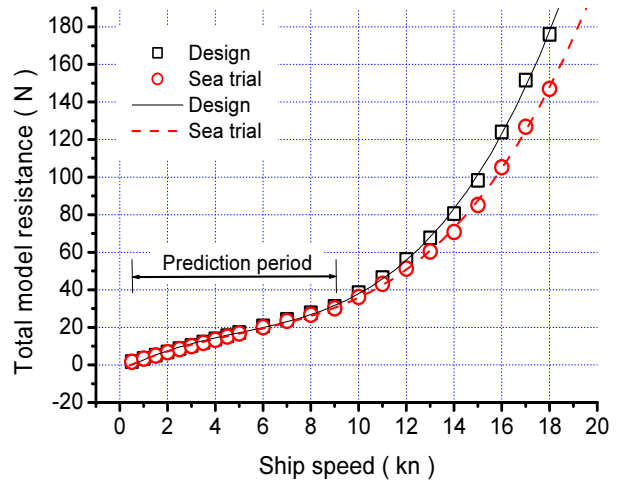


Fig. 1. Total resistance of model test results.

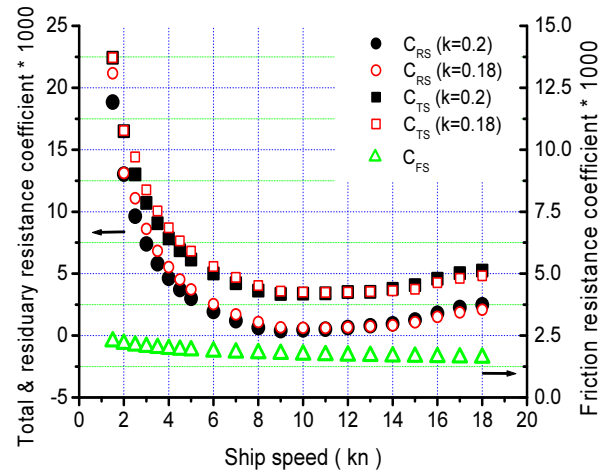


Fig. 2. Resistance coefficients of model test results.

(7)과 같이 침수표면적, 형상계수, 모형선-실선의 상관수정계수, 공기저항계수 및 잉여저항계수로 구할 수 있다. 그림에서 보면, 잉여저항계수 및 전저항계수는 선속 10 kn 부근에서 가장 낮게 나타났으며, 선속 10 kn 이하에서는 시운전사양(sea trial, k=0.18)의 잉여저항계수 및 전저항계수가 설계사양(design, k=0.2)의 저항계수들보다 동일한 선속에서 높게 나타났으며, 선속 14 kn 이상에서는 설계사양의 전저항계수 및 잉여저항계수가 약간 높게 나타났다. 또한 식(4)와 Reynolds 수에서 알 수 있듯이, 마찰저항계수는 선속에 반비례하므로 선속이 빠를수록 마찰저항계수가 작아짐을 알 수 있다. 그리고 선속에 따른 전저항계수의 변화경향은 잉여저항계수의 경향과 거의 유사하게 나타났으며, 이는 5 kn 이하의

저속에서 잉여저항계수가 마찰저항계수보다 크게 되어 전저항계수가 잉여저항계수의 영향을 많이 받기 때문이라 생각된다.

실선의 선체저항과 유효마력

Fig. 3은 정수 중에서 실선의 부하조건에서 구한 전저항 및 유효마력과 설계사양 및 시운전사양의 부하조건을 적용한 모형선 시험의 유효마력(SSPA, 2016)을 선속에 따라 나타낸 그림이다. 실선의 전저항을 보면, 선속이 13 kn 이하에서는 형상계수에 따른 전저항의 차이가 거의 없었으며, 선속이 빠른 14~18kn의 범위에서 형상계수가 클 때 전저항이 크게 되었다. 실선과 모형선 시험결과의 선속에 따른 유효마력을 보면, 형상계수가 큰 실선의 조건(k=0.2)에서 유효마력이 가장 크게 되었으며, 다음으로 설계사양(k=0.2)의 유효마력, k=0.18인 실선의 유효마력, 시운전사양(k=0.18)의 유효마력 순으로 나타났다. 이는 앞서 전저항계수에 대해 언급하였듯이, 선체의 침수표면적 및 형상계수의 영향으로 생각되며, 이후로 트롤조업시의 예상속력에서 전저항을 구할 때의 형상계수 및 부하조건은 유효마력이 가장 중간값을 나타내는 조건인 k=0.18 및 실선의 부하조건을 적용하기로 한다.

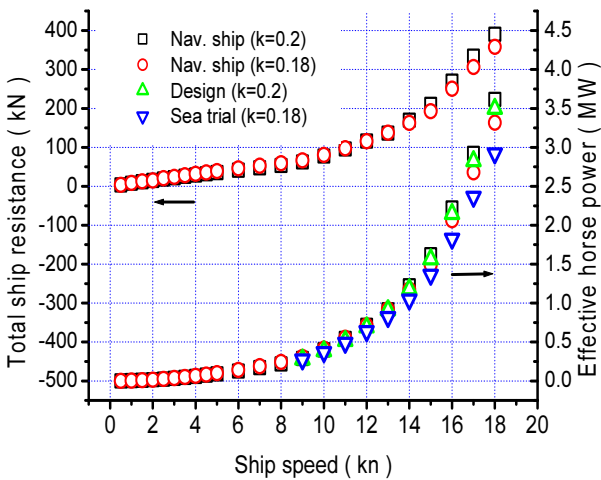


Fig. 3. Prediction of total ship resistance and effective horse power in still water.

예망속력에 따른 선체저항 및 유효마력과 어구저항

Fig. 4는 정수 중에서 예망속력에 따른 선체 전저항과

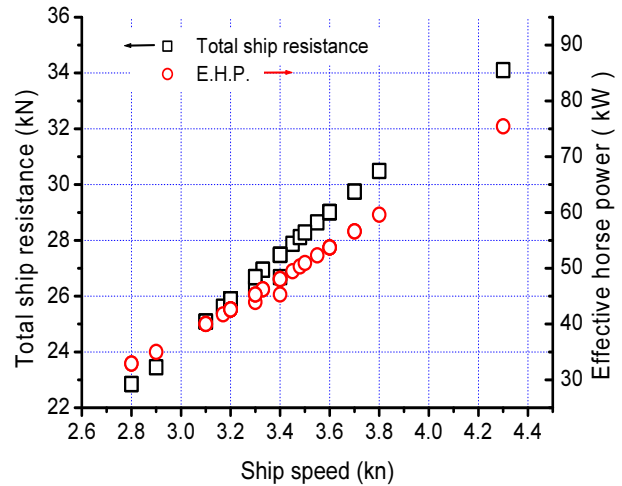


Fig. 4. Total ship resistance and effective horse power in still water according to towing speed.

유효마력을 나타내며, 실선의 부하조건에 형상계수 k=0.18을 적용한 결과이다. 예상속력 2.8~4.3 kn에서 선체의 전저항은 23~34 kN 정도이며, 선체를 일정한 속력으로 이동시키는데 필요한 유효마력은 33~75 kW 정도로서, 선체의 전저항 및 유효마력은 선속에 거의 선형적으로 증가하였다. 이는 정수 중에서 이동 중인 선박의 유체저항은 식 (8)과 같이 전저항계수 및 선속의 제곱에 비례하며, 또한 선속이 낮은 2~5 kn 범위에서는 Fig. 2에서와 같이 선속의 증가에 따라 전저항계수가 선속의 제곱에 반비례하기 때문이라 생각된다.

Fig. 5는 선속에 따른 어구의 저항 및 각 선속에서 어구를 예상하는데 소요되는 동력을 나타낸다. 예상속력에 대한 어구의 저항은 55~95 kN 정도이며, 어구의 예망에 필요한 동력은 85~170 kW 정도이다. 만일 어구의 형상과 중량이 일정하고 수중에 부유해 있다면 어구의 저항은 예상속력의 제곱에 비례하여 증가할 것으로 예측되나, 선속에 따른 어구저항의 실험결과는 불규칙하다는 것을 알 수 있었다. 이는 예상속력의 차이가 크지 않고, 예망 중에 선속 및 끌줄(warp)의 길이에 따라 전개판의 전개력 및 그물과 해저면과의 마찰력 등이 다르기 때문이라 생각된다.

Fig. 6은 트롤선과 전개판(otter board)을 연결한 끌줄의 길이에 대한 어구의 저항을 나타낸다. 끌줄의 길이가 증가할수록 어구의 저항이 약 0.24의 기울기로 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 Cho and Cho (2000)

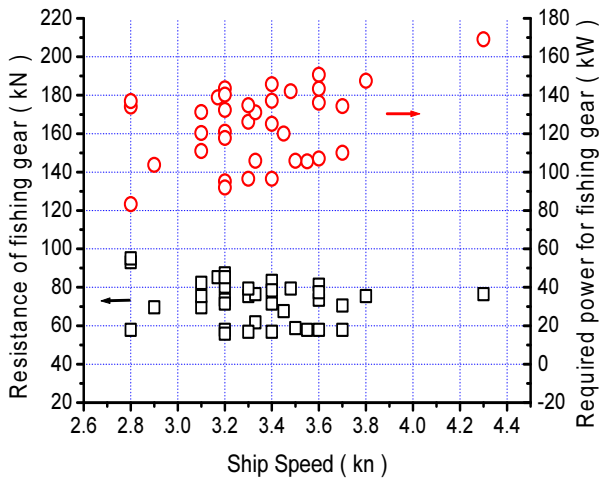


Fig. 5. Resistance of fishing gear and towing power in towing net according to towing speed.

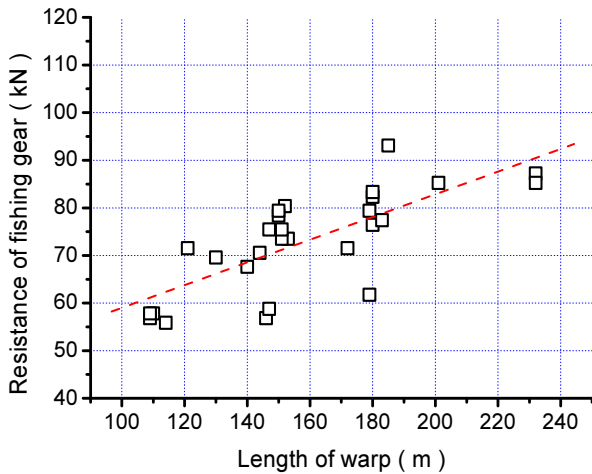


Fig. 6. Resistance of fishing gear according to length of warp.

등의 연구결과에서 알 수 있듯이, 끌줄의 길이가 길어지면 좌우 전개판의 간격이 커지며, 이에 따라 전개판과 날개그물을 연결하는 후릿줄(hand rope)이 흐름과 이루는 각도가 커지게 되므로, 즉 전개판의 현이 진행 방향과 이루는 각도인 영각(attack angle)이 커져 전개판의 저항이 커지고, 그물의 저항도 커지기 때문이라 생각된다.

트롤조업 시의 부가저항 산출

Fig. 7은 풍향과 풍속에 따라 선체에 미치는 풍력의 종방향 성분을 3-D 투영도로 나타낸 그림이다. 선박이 선수를 기준하여 풍향각 θ 로 바람을 받을 때 그 바람이

선체에 작용하는 힘은 정면투영면적에 작용하는 힘과 측면투영면적에 작용하는 힘으로 나누어지고, 정면투영면적에 작용하는 성분은 선박이 종방향으로 이동하는 속력에 영향을 미친다(Kim et al., 2014). 그림에서 선수를 풍향각 0도로 하여 보면, 선수 바람일 때 즉 좌현 90도에서 우현 90도 사이의 동일한 풍향각에서 풍속이 증가할수록 풍력의 종방향 성분이 증가함을 Y-Z 투영면을 통해 알 수 있으나, 선미 바람일 때 즉 좌우현 90도를 벗어난 범위에서는 풍속에 따른 풍력의 종방향 성분의 변화에 다소 일관성이 없었다. 이는 입사각에 따른 풍압

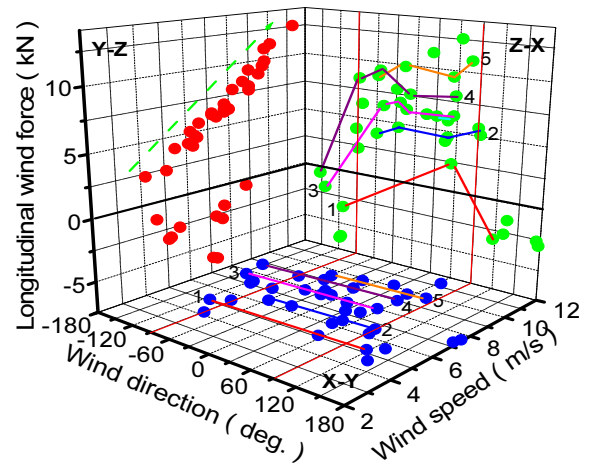


Fig. 7. Longitudinal wind force according to wind direction and speed.

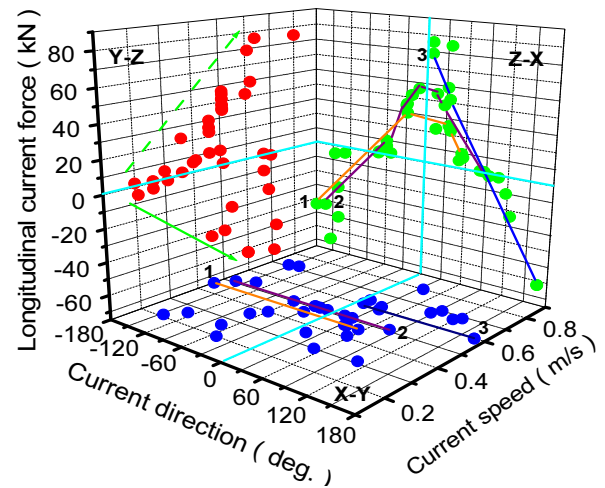


Fig. 8. Longitudinal current force according to current direction and speed.

합력계수(Ca)와 합력각(α)이 다소 크게 변화되기 때문이라 생각된다. 그리고 선수 바람으로 풍향각이 우현 63도 및 상대풍속 11.3 m/s에서 종방향 풍력이 12.56 kN일 때는 정수 중의 선체 전저항의 약 40%에 해당하였으며 그만큼 기관부하가 증가한다고 할 수 있다. 또한 선미 바람으로 풍향각이 좌현 118도 및 상대풍속이 7.3 m/s에서 종방향 풍력이 -6.36 kN일 때는 선체 전저항의 약 19%에 해당하며 그만큼 기관부하를 경감한다고 할 수 있다. 그리고 X-Y 및 Z-X 투영면에서 보면, 비슷한 풍속에서 풍향각에 대한 종방향 성분의 풍력은 좌현 20도에서 60도 사이에서 대체로 크게 나타났으나, 0도에서 우현 60도 사이의 풍향각에 대한 종방향 풍력은 크게 변화하지는 않았다.

Fig. 8은 조류의 입사각과 조류의 속력에 따라 선체에 미치는 조류력의 종방향 성분을 3-D 투영도로 나타낸 그림이다. 수면하 선체가 입사각 θ 로 조류를 받을 때 그 조류가 선체를 떠미는 힘은 Fig. 7에서 설명한 풍력을 구하는 원리와 같은 방법으로 구하였다. 그림에서 선수를 입사각 0도로 하면, 동일한 입사각에서 조류의 속력이 증가할수록 조류력의 종방향 성분의 절대값이 증가함을 Y-Z 투영면을 통해 알 수 있으며, 입사각이 우현 8도 및 속력 0.64 m/s에서 종방향 조류력이 75.81 kN으로 정수 중의 선체 전저항의 약 220%에 해당하였으며 조류력에 의한 선속 감소를 회복하기 위해서는 기관출력을 증가시켜야 한다. 또한 조류의 입사각이 좌현 154도 및 속력이 0.71 m/s에서 종방향 조류력이 -66.81 kN으로 선체 전저항의 약 280%에 해당하며 저항의 감소로 선속이 증가하므로 일정한 선속을 유지하기 위해서는 기관출력을 감소해야 한다. 그리고 X-Y 및 Z-X 투영면에서 보면, 비슷한 유속에서 조류의 입사각이 선수에 가까울 때 조류력이 크게 되고, 입사각이 선수에서 좌우현으로 멀어질 때 조류력이 작아짐을 알 수 있었다.

부가저항이 기관출력에 미치는 영향

Fig. 9는 예망시의 CPP mode에 따른 어구의 저항과 풍력 및 조류력의 종방향 성분의 합력에 대한 축마력의 변화를 나타낸다. 그림에서 보면, curve fit 상의 축출력 변화는 constant mode와 combined mode가 2차함수적으로 변화하였으며, combined mode의 기울기가 약간 크게 나타났다. 일반적으로 기관출력은 저항×선속에 비례하

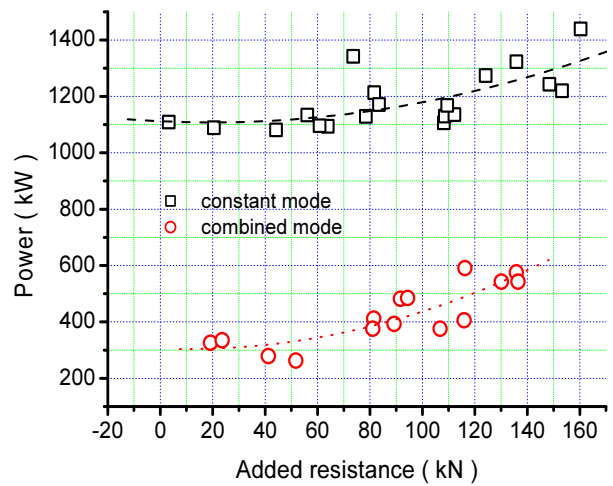


Fig. 9. Effect of added force on shaft horse power at constant mode & combined mode.

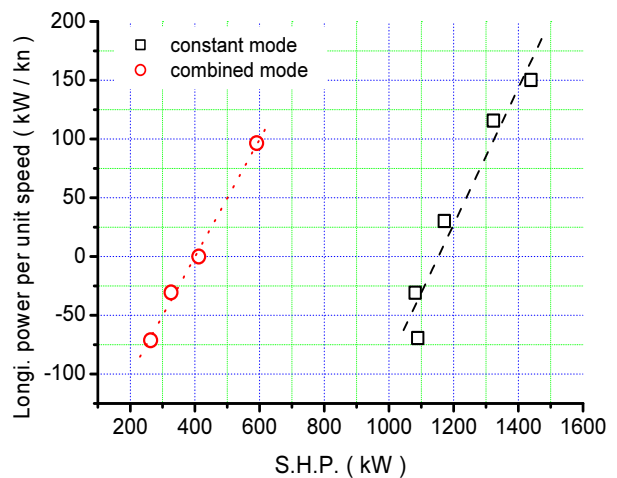


Fig. 10. Longitudinal power of external force per 1kn of current at constant and combined mode.

고, 선속은 저항의 제곱근에 비례한다(Wang, 2005). 그러므로 기관출력이 저항의 1.5승에 비례한다고 할 수 있다. 그리고 예망속력의 범위에서 CPP mode에 따른 축회전수와 프로펠러 피치의 관계는 constant mode의 축회전수는 정격회전수 대비 97~100%이고 피치(pitch)는 정격대비 29~38% 정도이며, combined mode의 축회전수는 정격대비 47~53%이고 피치는 정격대비 62~90% 정도였다. 따라서 부가저항의 증가에 따라 combined mode의 기울기가 크게 나타나는 것은 피치비가 큰 combined mode에서 토크변화가 크게 되기 때문이라 생각된다.

Fig. 10은 예망시의 대수속력 2.1~4.8 kn 사이에서 풍력 및 조류력의 종방향 성분의 합에 해당하는 소요동력을 대지속력과 대수속력의 차이로 나눈 값을 축마력에 대해 나타낸 그림이다. 그림에서 보면, 선수 또는 선미 조류를 받을 때 대수속력 및 대지속력의 차이 1 kn당 외력의 종방향 소요동력은 기관의 축마력이 크게 될수록 크게 뒀을 알 수 있었다. 그러므로 예망 중 선수측에서 조류를 받아 선속이 감소하여 필요한 예망속력으로 선속을 회복하기 위해서는 기관출력이 높은 상태에서 예망 중일 경우에 보다 많은 출력이 필요하다고 생각된다. 그리고 예망속력 범위에서 constant mode의 기율기는 0.58 및 combined mode의 기율기는 0.5 정도이므로, 축마력이 증가함에 따른 1 kn당 외력에 의한 소요동력이 combined mode에서 약간 작을 것으로 생각된다.

한편, Table 2는 20회 정도의 트롤작업 중에서 CPP mode에 따라 기관의 축마력이 증가하는 방향으로 자료를 선별 정리한 것으로, 예망시의 운전조건과 각 부하에 대한 소요동력과 바람 및 조류의 방향과 속력을 나타내었다. 그리고 constant mode의 운전조건에서 정격 축회전수는 218 rpm이 정상이나 기관출력에 따라 최대 3% 정도의 회전수 저하(speed drop) 현상은 주기관의 조속

기와 관련된 사항으로 실험을 통한 기관자료 수집에는 별다른 영향이 없는 것으로 생각되었다. 자료작성 시 선체저항, 어구저항 및 조류력의 소요마력 계산에는 대수속력을 이용하였으며, 풍력에 의한 소요마력은 대지속력을 이용하였다. 대수속력과 대지속력을 구분하여 적용한 것은 선박의 운항성능과 관련된 속력은 대수속력이며 선박을 전진시키는 추력은 대수속력에 따른 저항과 관련이 있기 때문이다(Lee et al., 2019). Table 2의 동력(power)항을 보면, 기관의 축마력이 감당하는 소요동력은 프로펠러 피치가 0인 상태에서 축계장치와 프로펠러를 공회전(idling) 시키는데 소요되는 동력 즉 축계와 프로펠러의 회전에 따른 마찰력을 극복하기 위한 동력, 정수 중에서 선체를 이동할 때 선체저항에 따라 소요되는 동력, 어구를 예망하는데 필요한 동력, 풍력과 조류력의 종방향 저항을 극복하기 위한 동력 및 기타 소요동력으로 구분하였다. 기타 소요동력은 프로펠러의 슬립 등에 의한 동력 손실, 파랑에 의한 표류력과 일정 항로 유지를 위한 대응타각에 따른 선체저항 증가로 인해 소요되는 동력 등이 포함된다고 생각된다. 그리고 이번 실험기간 중에 통상의 예망속력 범위에서 실시한 트롤 조업에 소요된 최고의 축마력은 약 1450 kW로 대상선

Table 2. Analysis data of partial power of SHP and operating conditions

CPP mode		Constant					Combined			
SHP (kW)		1081	1089	1171	1323	1439	263	326	412	591
Shaft RPM		213.1	212.2	211.1	218.9	218.3	101.7	99.4	101.5	114.0
Torque (kN)		48	49	53	58	63	25	32	39	49
Pro. pitch (%)		29	30	34	36	38	62	83	86	90
FO spec. con.(kg/h)		286.5	290.0	300.7	333.3	373.6	82.4	93.4	115.0	164.65
ave. idling (kW)		820.0					88.0			
P o w e r	Ship resist. (kW)	34.98	34.38	62.63	60.39	66.67	37.48	15.64	53.73	59.11
	Fishing gear (kW)	86.26	117.97	135.67	188.55	196.01	110.41	61.40	143.38	166.67
	External force									
	Wind (kW)	-6.28	-13.74	10.86	10.77	11.37	15.46	10.71	9.45	13.88
	Current (kW)	-15.31	-76.78	19.40	104.94	184.16	-44.22	-47.53	-2.04	44.0
	sum	-21.59	-90.52	30.26	115.71	195.53	-28.76	-36.82	7.41	57.88
Etcetera		161.35	207.17	122.40	138.30	160.79	55.87	197.78	119.48	219.34
EHP in towing (kW)		121.24	152.35	198.3	248.94	262.68	147.89	77.04	197.11	225.78
Propulsive eff. (%)		11.21	13.99	16.93	18.82	18.25	56.23	23.63	47.84	38.20
Ship speed (kn)	STW	2.9	3.0	3.9	4.4	4.8	3.0	2.1	3.6	3.8
	SOG	3.6	4.3	3.5	3.4	3.5	3.4	3.3	3.6	3.2
Wind	degree	p113	p116	s31	s16	p49	p58	p14	s93	p88
	m/s	5.1	7.1	7.2	7.8	7.8	9.5	8.0	6.2	8.7
Current	degree	s118	p140	s54	p11	p35	p140	p179	s107	s15
	m/s	0.67	0.72	0.46	0.51	0.8	0.54	0.46	0.31	0.36

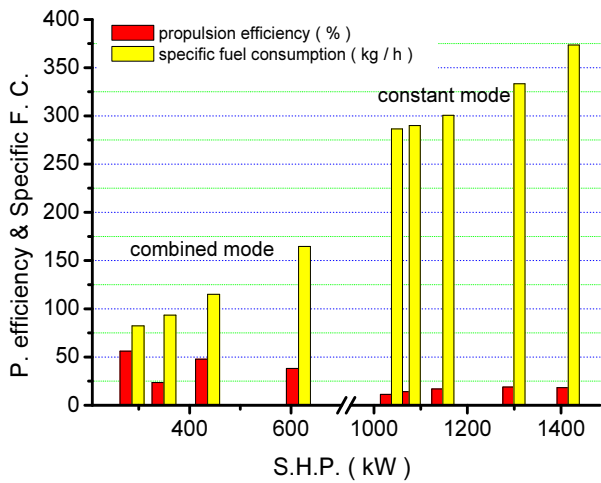


Fig. 11. Propulsion efficiency and specific fuel consumption according to SHP at constant & combined mode.

박의 연속최대정격출력의 약 42% 정도로 평가되었으며, 25% margin으로 하는 시마진 관례(Kwon, 2004)를 적용하더라도 기관출력에 비해 어구의 규모가 상대적으로 작은 것으로 생각된다.

Fig. 11은 constant mode와 combined mode에서 축마력에 대한 추진효율과 연료소비량을 나타낸다. 양 모드의 추진효율과 연료소비량을 비교해 보면 combined mode에서 추진효율이 높고 연료소비량이 적게 되었다. 그리고 연료소비량은 기관출력이 증가할수록 증가하였으며, Table 2에 나타난 바와 같이 선미측에서 조류를 받을 때 기관출력이 작아져서 연료소비량이 감소함을 알 수 있었다. 그리고 Kim (2003)에 의하면, 저층트롤의 예망방향을 결정하는 데 가장 큰 역할을 하는 것은 조류의 방향이며 여러 가지 이유로 인해 조류와 같은 방향으로 예망할 것을 언급하고 있다. 따라서 트롤조업 시에는 combined mode에서 기관을 운전하고 예망방향을 조류와 같은 방향으로 할 때 기관의 연료소비량을 줄일 수 있다고 생각된다.

결론

트롤 조업과정 중에 수집한 항해자료, 트롤조업자료 및 기관자료를 기초하여 선속, 선체저항, 어구의 저항, 바랍과 조류의 입사각에 대한 풍력 및 조류력 등을 구하고, 이들 부하에 대한 전체 소요동력을 산출하여 측정된 기관출력과 비교하였으며, 각 저항이 기관출력에 미치

는 영향들을 조사한 결과들은 다음과 같다.

1. 선체의 전저항 및 유효마력은 예망속력에 거의 선형적으로 증가하였다.
2. 어구의 끝줄의 길이가 길어질수록 어구의 저항이 증가하였다.
3. 예망속력 범위에서 풍력은 선체저항의 최고 40% 정도였으나, 조류력은 선체저항의 최고 220%까지 증가하였다.
4. 예망속력의 범위에서 기관출력은 부가저항의 약 1.5승에 비례하였으며, combined mode에서 부가저항에 따른 출력 증가율이 약간 높았다.
5. 예망시 외력에 의해 감소된 선속을 회복하는데 소요되는 동력은 기관출력이 높을수록 1kn 당 소요동력이 크게 되었다.

6. Combined mode에서 예망할 시 constant mode 보다 추진효율이 높고 연료소비량이 적게 되었다.

이상의 결과들은 예망 중 선체저항과 어구저항에 따른 예망마력 뿐만 아니라 외력에 의한 선속의 손실 및 동력 증가량을 파악하여 적절한 어구 규모의 산정과 안전 조업에 필요한 기관출력을 산출할 수 있는 기초자료를 제공할 수 있다고 생각된다.

References

Cho BK and Cho SO. 2000. A study on the bottom trawl gear by the trial of stern trawler- I . Bull Kor Soc Fish Tech 36, 274-280.

Ha JS, Suh JH and LEE SH. 2019. Resistance and propulsion of ships. YEAMOONSA, PaJu, Korea, 72.

ITTC. 2017. 1978 ITTC performance prediction method. ITTC Quality System Manual Recommended Procedures and Guidelines. 7.7-92-03-01.4, 1-15.

Jung CH and Nam TK. 2016. The lateral current force coefficient in the real ship towing test. J Kor Soc Mar Env Saf 22, 373-379. <http://doi.org/10.7837/KOSOMES.2016.22.5.373>.

Jung CH, Nam TK and Choi HJ. 2014. A study the necessary thrust of tugs through the ship's towing test. J Kor Soc Mar Env Saf 20, 405-411. <http://doi.org/10.7837/KOSOMES.2014.20.4.405>.

Kim DA. 2003. Fishing gear technology IV. Pyeonghwa printing co. Ltd., Suncheon, 125-126.

- Kim EC and Choi HJ. 2014. A study on the simplified prediction method of air resistance for towing force calculation of disabled ship. *J Kor Soc Mar Env & Energy* 17, 198-204. <http://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2014.17.3.198>.
- Kim EC, Choi HJ and Lee SG. 2014. Development of prediction program for the towing condition associated with various towing operations of a disabled ship. *J Kor Soc Mar Env & Energy* 17, 318-323. <http://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2014.17.4.318>.
- Kim KI, Jeong JS and Park GK. 2013. Assessment of external force acting on ship using big data in maritime traffic. *J Kor Ins Int Sys* 23, 379-384. <http://doi.org/10.5391/JKIIS.2013.23.5.379>.
- Kim SW. 2000. A Study under effects of Current for VLCC's Berthing Maneuvering. *J Res Ins mart Ind* 10, 5-10.
- Kwon YJ. 2003. A research on ship speed performance. *J Kor Soc Oce Eng* 17, 67-71.
- Kwon YJ. 2004. An Improved method for determining sea margin (I). *J Kor Soc Oce Eng* 18, 40-43.
- Lee CW, Choi KS and Jang YS. 2021. A study on towing of trawlers and a proper scale of trawl gear. *J Kor Soc Fish Oce Tech* 57, 1-9. <http://doi.org/10.3796/KSFOT.2021.57.1.001>.
- Lee GJ, Shin MS, Park BJ, Ki MS and Jeon KH. 2019. Validity analysis of speed, wave height, and wind speed for the operational performance of a bulk carrier. *J Kor Mar Eng* 43, 183-196. <http://doi.org/10.5916/JKOSME.2019.43.3.183>.
- Nam TK, Jung CH and Jung JS. 2012. A study on the calculation of resistance of the ship to be towed and towline tension. *J Navi Port Res* 36, 607-612. <http://doi.org/10.5394/KINPR.2012.35.8.607>.
- Park JS and Lee SM. 2012. Characteristics of performance on tugboat in still water and waves. *J Kor Soc Mar Env Saf* 18, 597-603. <http://doi.org/10.7837/KOSOMES.2012.18.6.597>.
- SSPA. 2016. Test series-003 and 006. SSPA Report No. RE 20157660-01-00A, 30-31.
- Wang WG. 2005. Experimental study on the estimating effective horse power of bottom trawl ship. *J Kor Soc Fish Tech* 41, 227-233.
- Yoon JD. 2013. Theory and practice of ship handling. sejong press. Busan, 192-201.