pISSN 2671-9940
eISSN 2671-9924
J Korean Soc Fish Ocean Technol, 57(3), 246-255, 2021
https://doi.org/10.3796/KSFOT.2021.57.3.246

KSFOT FISHERIES OCEAN TECHNOLOGY
www.fishtech.or.kr
〈Original Article〉

수치 시뮬레이션 방법을 이용한 어업실습선 백경호의 조종성 추정

김수형 · 이춘기[1]* · 이유원[2]
부경대학교 실습선 항해사, [1]한국해양대학교 항해융합학부 교수, [2]부경대학교 실습선 교수

Estimation of maneuverability of fisheries training vessel BAEK-KYUNG using numerical simulation method

Su-Hyung Kim, Chun-Ki Lee[1]* and Yoo-Won Lee[2]

Deck officer, Training ship, Pukyong National University, Busan 48547, Korea
[1]Professor, Div. of Navigation Convergence Studies, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea
[2]Professor, Training ship, Pukyong National University, Busan 48547, Korea

Most fishing vessels are less than 100 m in length (LBP), which is not mandatory for the IMO standards for ship maneuverability. Therefore, research on estimating the maneuverability of fishing vessel hull shapes are somewhat lacking compared to that of merchant ship hull shapes, and at the design stage, the numerical simulation method developed for merchant ships are applied without modification to estimate the maneuverability. Since this can cause estimation errors, the authors have derived a modified empirical formula that can improve the accuracy of estimating the maneuverability of fishing vessels in a previous study. In this study, using the modified empirical formula, the IMO maneuverability evaluation items, the turning motion test and Z-test simulations were performed on the fisheries training vessel BAEK-KYUNG and compared with the sea trial test result to verify the validity of the modified empirical formula. In conclusion, the modified empirical formula was able to estimate quantitatively and qualitatively similar to the result of the sea trial test. Such a study on estimating the maneuverability of fishing vessels will be a good indicator for fishing vessel operators and will help them analyze marine accidents.

Keywords: Maneuverability estimation, Modified empirical formula, Fisheries training vessel, IMO maneuverability items

서 론

대부분 길이가 LBP 100 m미만인 어선은 IMO 조종성 기준(IMO, 2002)의 필수 적용 대상 선박이 아니기 때문에 조종성을 추정하는 연구(Yoshimura and Ma. 2003; Obreja et al., 2010; Lee et al., 2019)보다는 특정한 실선의 조종성을 분석·평가하는 연구(Kim, 1979; Ahn et al., 2001; An et al., 2005; Kim et al., 2005; 2009)가 주로 수행되고 있다.

한편, 선박 설계단계에서는 대상선박의 조종성을 추정하는 단계를 거치는데 현재 조선소 설계 실무에서 조

*Corresponding author: prodoll1@naver.com, Tel: +82-51-410-4277, Fax: +82-51-410-4277

종성을 추정하는 대표적인 방법으로는 모형시험에 의한 방법, 과거 유사 선형이나 동형을 이용한 방법, 수치해석을 이용한 방법이 있으나, 어선의 경우에는 주로 비교적 간소한 과정을 통하여 결과를 도출할 수 있는 수치해석을 이용한 방법 중 하나인 추정근사식(경험식)을 이용하여 조종성을 추정하고 있다(Kim, 2020). 그러나, 어선은 일반적으로 이동하는 어군을 쫓거나 정해진 방향으로 정확하게 어구를 설치하기 위한 기동성과 어창의 용적 확보 및 복원성을 동시에 가지기 때문에 상선과는 다소 다른 고유한 선형 특성을 가지며, 그로 인해 상선 선형을 주요 대상으로 지정하여 개발되는 경험식을 보정 없이 적용할 경우 선형 특성 차이로 인한 추정 오차를 발생시킬 수 있다(Lee et al., 2019).

비록 어선에 의해서 발생하는 충돌, 좌초, 전복 등의 해양사고는 대형 상선에 비하여 치명적인 자연재해를 발생시키지는 않으나, 많은 인원을 필요로 하는 어업의 특성상 막대한 사상자를 발생시킬 수 있다. 따라서 연구자들은 IMO 조종성 기준(IMO, 2002)의 필수 적용 여부와 별개로 지속적인 어선 조종성 연구를 통하여 조선자들에게 자선의 운동 특성에 관한 지표를 제공하여야 하며, 조종과 관련된 해양사고 발생 시 사고 분석을 위한 프로그램을 개발할 필요가 있다.

이러한 관점에서 저자들은 조선소 실무에서 널리 쓰이고 있는 상선을 대상으로 개발된 Kijima 1990 경험식을 이용하여 트롤어선 선형의 조종성을 추정하는 연구를 수행하였으며, 추정의 정도를 향상시키기 위한 보정된 경험식을 도출한 바 있다(Kim, 2020).

이 연구에서는 보정된 경험식을 이용하여 트롤어선 선형의 어업실습선 백경호를 대상으로 IMO 조종성 평가 항목(IMO, 2002) 4가지(Turning ability, Initial turning ability, Yaw-checking and course-keeping ability, Stopping ability) 중 대표적으로 Turning motion과 Z-test 시뮬레이션을 수행하여 Turning ability와 Yaw-checking and course-keeping ability를 확인하였고, 실선시험 결과와 비교함으로써 경험식의 유효성을 검증함과 동시에 백경호의 조종성을 분석하였다.

재료 및 방법

수학 모델

이 연구에 사용된 운동방정식은 Fig. 1의 오른손 직교

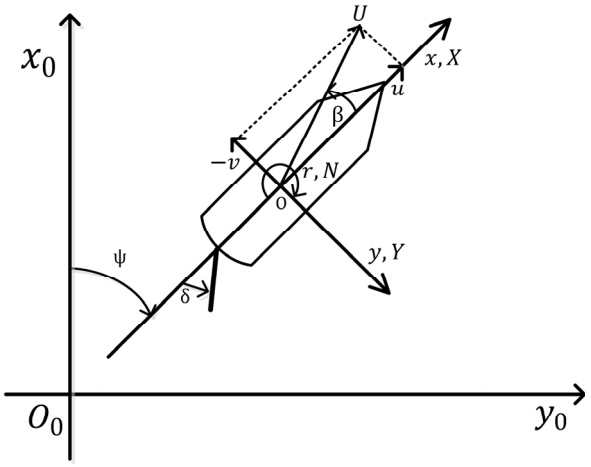

Fig. 1. Coordinate system for maneuvering motion.

좌표계로부터 도출되었다. $o_0-x_0y_0z_0$ 는 지구 고정 좌표계를 나타내며, $o-xyz$ 는 선체의 중앙(mid-ship)을 원점 o 에 고정시킨 선체 고정 좌표계를 나타낸다. 여기서, z_0 는 x_0-y_0 평면의 연직 아래쪽을 향하고, z 는 $x-y$ 평면의 연직 아래쪽을 향하고 있다. 이와 관련된 조종운동 방정식은 편각 β 와 무차원화된 각속도 r' 을 이용하여 식 (1)과 같이 나타내었다(Kijima et al., 1990).

$$\begin{aligned}
&\left(m'+m_x'\right)\left(\frac{L}{U}\right)\left(\frac{\dot{U}}{U}\cos\beta-\dot{\beta}\sin\beta\right)+\left(m'+m_y'\right)r'sin\beta = X'\\
&-\left(m'+m_y'\right)\left(\frac{L}{U}\right)\left(\frac{\dot{U}}{U}\sin\beta+\dot{\beta}\cos\beta\right)+\left(m'+m_x'\right)r'cos\beta = Y' \quad (1)\\
&\left(I_{zz}'+i_{zz}'\right)\left(\frac{L}{U}\right)^2\left(\frac{\dot{U}}{L}r'+\frac{U}{L}\dot{r'}\right) = N'
\end{aligned}$$

여기서,

m, m_x, m_y: 각각 선체질량, x, y축 방향 부가질량

I_{zz}, i_{zz}: 각각 z축 주위의 질량관성모멘트, 부가관성모멘트

U, β, r: 합속도($\sqrt{u^2+v^2}$), 편각, 각속도

L, d, 위첨자($'$): 선체길이(L_{BP}), 흘수, 무차원화

보정된 경험식

저자들은 선행 연구 과정을 통하여 어선 선형은 상선 선형과는 다소 다른 고유한 특성을 가지고 있음을 확인

하였고, 어선 선형의 조종성을 보다 정도 높게 추정하기 위하여 상선 선형을 대상으로 개발된 Kijima et al. (1990) 경험식에 어선 선형의 특성 계수를 포함시킨 보정된 경험식을 도출한 바 있다(Kim, 2020). 보정된 경험식의 개략적인 도출과정은 다음과 같다.

1. Kijima et al. (1990) 경험식 도출과정에 포함되었던 상선 13척과 보정된 경험식을 도출하기 위하여 채택한 트롤어선 선형 5척에 대하여 아래의 식 (2)의 Kijima et al. (1990) 경험식을 이용하여 조종 유체력 미계수 값을 도출하였다.

$$
\begin{aligned}
&Y_{\beta}^{'} = \frac{1}{2}\pi k + 1.4 C_b B/L \\
&Y_{r}^{'} - \left(m^{'} + m_{x}^{'}\right) = -1.5 C_b B/L \\
&Y_{\beta\beta}^{'} = 2.5 d\left(1 - C_b\right)/B + 0.5 \\
&Y_{rr}^{'} = 0.343 d C_b/B - 0.07 \\
&Y_{\beta rr}^{'} = 5.95 d\left(1 - C_b\right)/B \\
&Y_{\beta\beta r}^{'} = 1.5 d C_b/B - 0.65 \\
&N_{\beta}^{'} = k \\
&N_{r}^{'} = -0.54k + k^2 \\
&N_{\beta\beta}^{'} = -0.96 d\left(1 - C_b\right)/B + 0.066 \\
&N_{rr}^{'} = 0.5 C_b B/L - 0.09 \\
&N_{\beta rr}^{'} = -\left(0.5 d C_b/B - 0.05\right) \\
&N_{\beta\beta r}^{'} = -\left\{57.5\left(C_b B/L\right)^2 - 18.4 C_b B/L + 1.6\right\}
\end{aligned}
\tag{2}
$$

여기서,

교차 도함수는 $\frac{\partial N^{'}}{\partial r} = N_{r}^{'}$, $\frac{\partial^2 X^{'}}{\partial \beta \partial r} = X_{\beta r}^{'}$ 등과 같이 간소화하여 표기함

C_b, L, B, d: 방형비척계수, 선체길이(L_{BP}), 폭, 흘수

k: 선체 비율($= 2d/L_{BP}$)

2. 유체력 미계수 값을 도출하는 과정에서 높은 상관관계를 가지는 모든 선형 계수를 파악하였다.

3. 2의 수행과정에서 각각의 미계수 값과 상관관계를 가짐과 동시에 상선과 어선 선형이 서로 다른 경향을 나타내는 특성 계수를 이미 도출된 미계수 값과 다시 한번 상관시켜 그 추이를 그래프로 나타냈다.

4. 추세선을 이용하여 상선과 어선 선형이 나타내는 분포를 평균화시켜 발생하는 오차를 보정하였다.

상기의 결과로부터 트롤어선 선형의 조종성 추정 정도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단되는 보정된 경험식을 식 (3)과 같이 도출하였다. 단, 보정된 경험식 역시 제한된 트롤어선 선형만으로 보정되었기 때문에 아래에 제시된 조건 이외의 어선 선형에 적용할 경우 선형 특성 차이에 의한 추정 오차를 발생시킬 수 있다.

$$\left[0.574 \le C_B \le 0.616,\ 4.93 \le L/B \le 5.67,\ 2.64 \le B/d \le 2.9\right]$$

$$
\begin{aligned}
&Y_{\beta}^{'} = -1.5747 B\left(1 - C_b\right)/L + 0.4488 \\
&Y_{r}^{'} - \left(m^{'} + m_{x}^{'}\right) = 0.0432 L/B - 0.4276 \\
&Y_{\beta\beta}^{'} = 0.0417 L/B + 0.541 \\
&Y_{rr}^{'} = -0.7946 B\left(1 - C_b\right)/L + 0.0563 \\
&Y_{\beta rr}^{'} = 0.0993 L/B + 0.0975 \\
&Y_{\beta\beta r}^{'} = 2.7467 k - 0.6316 \\
&N_{\beta}^{'} = 0.238 d C_b/B + 0.0663 \\
&N_{r}^{'} = 0.0515 B\left(1 - C_b\right)/L - 0.0537 \\
&N_{\beta\beta}^{'} = -0.016 L/B + 0.0503 \\
&N_{rr}^{'} = -0.0144 L/B + 0.0525 \\
&N_{\beta rr}^{'} = -0.9156 k + 0.0439 \\
&N_{\beta\beta r}^{'} = -3.399 B\left(1 - C_b\right)/L - 0.0737
\end{aligned}
\tag{3}
$$

대상선박 선정

연구에 사용된 대상선박은 트롤어선 선형을 가진 부경대학교 어업실습선(이하, 백경호라 한다)이다. 이 선박은 보정된 경험식을 도출하기 위한 과정에 포함되어 있었으나, 당시 건조 중이었기 때문에 실선시험과의 비교 분석을 통한 유효성 검증 과정을 수행할 수 없었다 (Kim, 2020). 따라서 이 연구에서는 보정된 경험식을

Table 1. Main particulars of BAEK-KYUNG

	BAEK-KYUNG (Designed)	
Hull	Displacement, $\nabla\,(m^3)$	4,232
	$L_{BP}(m)$	85.0
	$B\,(m)$	15.4
	$d\,(m)$	5.3
	C_b	0.592
Rudder	$A_R\,(m^2)$	7.631
	Max.(deg.)	45.0
Propeller	Rotation	Right
	No. of blades	4
	$D(m)$	3.8

이용하여 백경호의 Turning test, Z-test와 같은 IMO 조종성 평가 항목(IMO, 2002)에 관한 시뮬레이션을 수행하고 실선시험 결과와 비교하여, 보정된 경험식의 유효성을 검증함과 동시에 백경호의 조종성능을 분석하였다. 설계단계에서의 백경호 주요 제원은 Table 1과 같으며, 정면도와 일반배치도는 Fig. 2와 같다.

조종 유체력 미계수

백경호의 조종성 시뮬레이션을 수행하기 위하여 식 (3)에 제시한 보정된 경험식으로부터 유체력 미계수 값

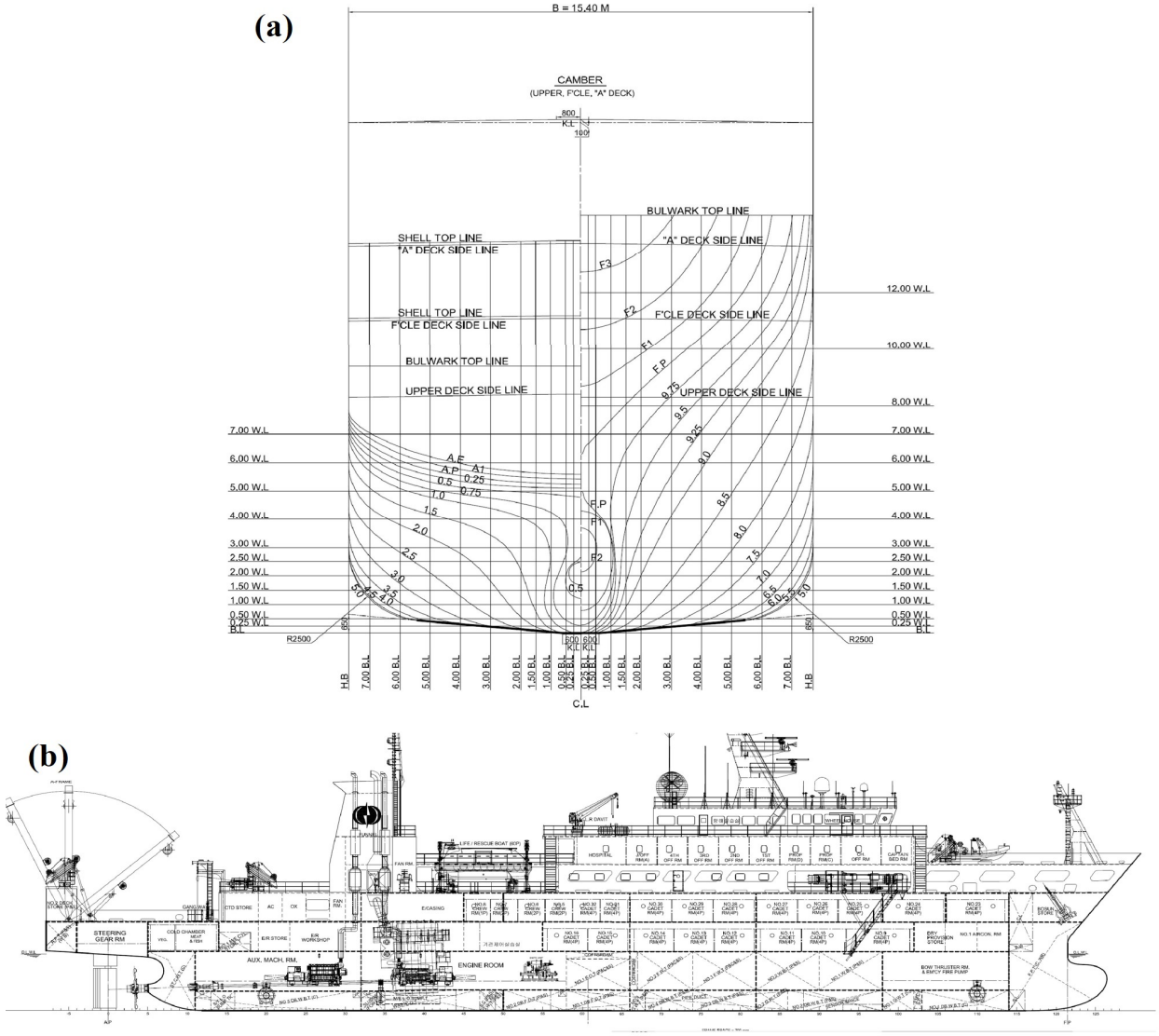

Fig. 2. Body plan (a) and General arrangement (b) of BAEK-KYUNG.

Table 2. Values of hydrodynamic derivatives of BAEK-KYUNG

	Hydrodynamic derivatives	Values
Hull	$Y_{\beta}^{'}$	0.3325
	$Y_{\beta\beta}^{'}$	0.7712
	$Y_{r}^{'}-\left(m^{'}+m_{x}^{'}\right)$	−0.1891
	$Y_{rr}^{'}$	−0.0024
	$Y_{\beta rr}^{'}$	0.6456
	$Y_{\beta\beta r}^{'}$	−0.2890
	$N_{\beta}^{'}$	0.1148
	$N_{\beta\beta}^{'}$	−0.0380
	$N_{r}^{'}$	−0.0499
	$N_{rr}^{'}$	−0.0270
	$N_{\beta rr}^{'}$	−0.0703
	$N_{\beta\beta r}^{'}$	−0.3248
	$1-t_R$	0.7421
	a_H	0.5311

을 도출하였다. 식 (3) 우변에 나타난 제원 및 특성 계수에서 확인할 수 있듯이 경험식을 통해 얻어지는 유체력 미계수 값은 선형이 가지는 고유한 특성 계수의 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 즉, 경험식은 모형시험의 결과를 회귀분석하는 과정을 거쳐 도출되었기 때문에 모형시험 과정에 포함되었던 선형과 동일하거나 유사한 선형은 비교적 정확한 추정이 가능한 반면, 그렇지 않은 선형은 추정의 정도가 낮아질 수 있다(Yoshimura and Masumoto, 2011) 그러나 이 연구의 목적은 상선 선형을 대상으로 개발된 경험식에 어선 선형이 가진 특성 계수를 추가하는 과정만으로 어선의 조종성 추정의 정도 향상 여부를 검증하는 것이기 때문에 모든 유체력 미계수 값은 식 (3)을 통해서만 도출하였고, 어떠한 수정과정도 거치지 않았다. 도출된 백경호의 조종 유체력 미계수 값은 아래의 Table 2와 같다.

조종성 평가 조건

선박의 조종성을 평가하기 위해서는 좌현과 우현 모두 아래에 명시된 조건에서 수행되어야 한다(IMO, resolution MSC.137[76]).

1. deep, unrestricted water;
2. calm environment;
3. full load (summer load line draught, even keel condition); and
4. steady approach at the test speed.

그러나, 보정된 경험식을 이용하여 수행하였던 시뮬레이션과는 달리 실선시험의 경우에는 불가항력적인 부분이 작용하기 때문에 상기한 조건과 완벽하게 일치시킬 수 없었으며, 최대한 유사한 조건에서 수행하였다. 이때, 외력 조건의 차이는 검증 결과에 다소 영향을 미칠 수 있으나, 이 연구의 기본 목적은 백경호의 조종성 분석과 보정된 경험식의 유효성 검증이기 때문에 그러한 차이는 감안하기로 한다. 백경호의 실선시험과 시뮬레이션의 조건은 아래의 Table 3과 같다.

여기서, $\frac{h}{d}$는 수심에 대한 흘수의 비를 나타낸다.

결과 및 고찰

Turning motion test

보정된 경험식의 시뮬레이션 결과와 실선시험 결과 모두 IMO 조종성 기준 (IMO, 2002)을 잘 만족하고 있었으며, 실선시험 대비 Tactical diameter 0.1 L (15 m)만큼의 오차가 발생하였음을 확인하였다(Table 4).

한편, 실선시험의 경우 외력의 영향이 고려되었기 때문에 좌현과 우현의 선회 궤적 형태가 시뮬레이션의 결

Table 3. Maneuverability evaluation conditions

	Turning motion test		10/10 Z-test	
	Sea trial test	Simulation	Sea trial test	Simulation
Wind direction (Relative) & Speed	PORT: 205°, 3.8 m/s STBD: 206°, 4.1 m/s	calm	341°, 7.0 m/s	calm
Water depth	approx. 130 m	$\frac{h}{d}\rangle 6$	approx. 130 m	$\frac{h}{d}\rangle 6$
Ship draft (m)	FWD: 5.18 AFT: 5.28	FWD: 5.3 AFT: 5.3	FWD: 5.18 AFT: 5.28	FWD: 5.3 AFT: 5.3
Test speed (kts)	PORT: 14.2 STBD: 14.52	PORT: 14.04 STBD: 14.04	14.81	14.04

Table 4. Comparison of the turning motion test results of BAEK-KYUNG

		Sea Trial test	Simulation	IMO Criteria
Advance (m)	PORT	241 (2.8 L)	224 (2.6 L)	(4.5 L)
	STBD	212 (2.5 L)	229 (2.7 L)	
	Mean	227 (2.7 L)	227 (2.7 L)	
Tac. Dia. (m)	PORT	225 (2.6 L)	250 (2.9 L)	(5.0 L)
	STBD	245 (2.9 L)	260 (3.0 L)	
	Mean	235 (2.8 L)	255 (3.0 L)	

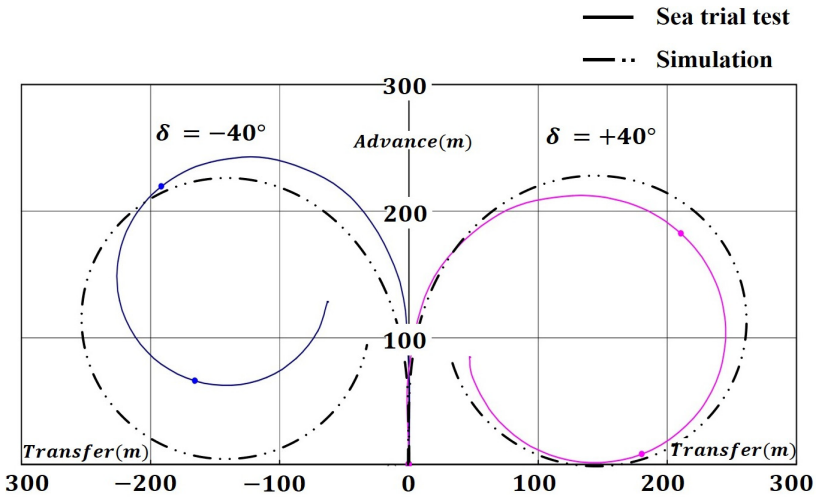

Fig. 3. Comparison of the turning motion test results of BAEK-KYUNG.

과와는 다소 다르게 나타났으며, 이를 단순히 Table 3에 기술한 바람의 영향만 고려하여 분석하면 다음과 같이 기술할 수 있다. 실선시험 당시 백경호는 상대방위 205°~206° 즉, 좌현 선미 방향에서 불어오는 바람을 받으며 선회하였다. 이때, 타각이 완전히 완성되어 본격적인 선회가 시작되기 전까지는 좌현에서 불어오는 바람의 영향은 좌회두하려는 선박 자체를 우현으로 압류시키며 회두를 방해하게 되고, 그 결과 Advance가 우현 선회보다 약간 길어지는 경향을 보인다. 그러나 곧 타각이 완전히 완성되고 우현 선수에서부터 발생하는 수저항이 선체 중심축을 기준으로 선회모멘트를 형성하기 시작하면 좌현 선미 방향에서 불어오는 바람은 선회를 도와 우현 선회에 비해 급격히 이루어지는 것이다(Fig. 3).

아래의 Table 5과 Fig. 4는 백경호의 Turning motion 중 정상선회가 이루어질 때까지의 선속 변화를 나타낸 것이다. 실선시험과 시뮬레이션 결과 모두 Initial speed에 비하여 Final speed가 줄어들었음을 알 수 있는데, 주요 원인은 Turning motion 시 타판에서 발생하는 항력과 선체 주위에서 발생하는 항력의 분력 성분에 의한 것이며, 일반적으로 보통 선박은 Initial speed의 30~40% 정도가 감소하며, VLCC는 70~80% 정도 감소하는 것으로 알려져 있다(Yoon, 2019).

Table 5에서 백경호의 감속률은 좌, 우현 평균 60% 정도로 나타났으며, 이에 비해 시뮬레이션 결과는 평균 66.9%로써 6.9% 높게 나타났음을 확인할 수 있다. 그러나 두 결과 모두 0~100초 구간에서 급격히 선속이 떨어지며 Final speed에 도달하는 것으로 보아 정성적으로는 유사한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다(Fig. 4).

한편, 백경호의 실선시험 시 평균 감속률 60%는 일반적인 어선의 감속률 범위에서 벗어나고 있으며, 오히려 VLCC의 감속률 범위에 근사함을 알 수 있다. 이는 어선 특성 중 하나인 큰 타 면적비에서 발생하는 항력 성분과 VLCC와 유사한 L/B 등의 선형 특성에서 발생하는 항력이 분력으로 작용하였음을 추측할 수 있다.

Table 5. Comparison of the speed deceleration rate during the turning motion of BAEK-KYUNG

	Turning motion test			
	Sea trial test		Modified formula	
Rudder angle (deg.)	- 40	+ 40	- 40	+ 40
Initial speed (kts)	14.2	14.52	14.04	14.04
Final speed (kts)	5.29	6.22	4.56	4.73
Speed deceleration rate (%)	62.7	57.2	67.5	66.2

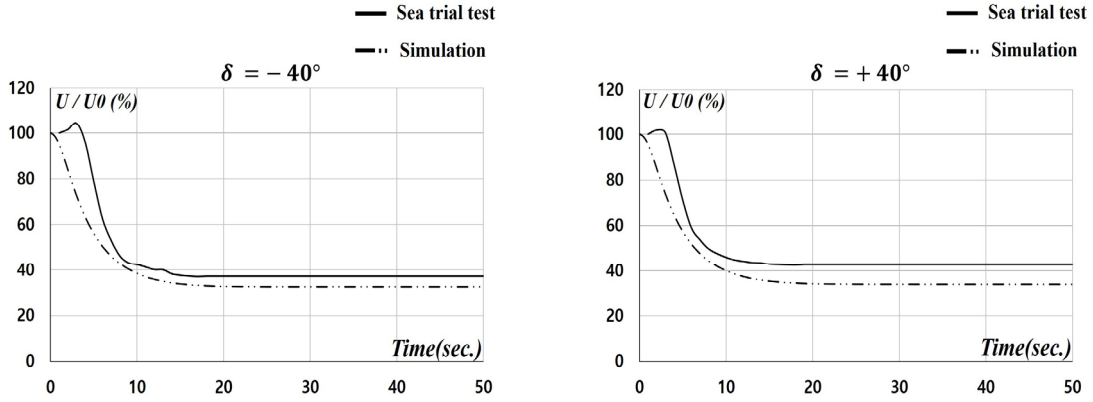

Fig. 4. Comparison of the speed deceleration rate during the turning motion of BAEK-KYUNG.

여기서, U는 구간별 speed이며, U0는 Initial speed를 나타낸다.

10/10 Z–test

백경호의 10/10 Z-test 결과는 아래의 Table 6, Fig. 5와 같다. 백경호는 속장비 L/V (LBP [m] / Speed [m/s])가 11.1 s로써, 1st over shoot angle이 IMO Criteria 10.55 ° 를 7.55 ° 만큼 초과하였음을 알 수 있다 (IMO, resolution MSC.137[76]). 그러나, 해당 선박은 IMO 기준을 필수로 적용받는 선박이 아니기 때문에 이와 관련된 자세한 연구는 향후 수행하기로 한다.

1st over shoot angle의 경우, 실선시험 결과는 18.1 ° 이나 보정된 경험식의 결과는 10.7 ° 로써 7.4 ° 만큼의 오차를 나타냈으며. 2nd over shoot angle은 실선시험이 18.4 ° 인 반면, 보정된 경험식은 8.4 ° 로써 10.0 ° 만큼의 오차를 나타내면서, 정량적인 부분에서는 다소 차이를 나타냈다.

그러나 궤적이 나타내는 경향을 확인한 결과, 두 결과 모두 10초 부근에서 기울기가 급해지면서 15초 부근에서 1st over shoot angle이 발생하기 시작하였고, 2nd over shoot angle는 이러한 현상이 85초 부근에서 발생하기 시작하면서 1st over shoot angle과 유사한 경향을 나타내고 있음을 확인하였다.

한편, over shoot angle의 경향은 백경호가 가지는 고유한 선형 특성이 잘 반영된 결과로 볼 수 있다. 즉, 선박의 침로 안정성(course keeping qualities)유지에는 여러 가지 요소가 복합적으로 기여하며 그 중에서 타 면적비가 큰 역할을 한다. 타가 크면 타효가 좋아지는 장점이

Table 6. Comparison of the 10/10 Z-test results of BAEK-KYUNG

	Sea trial test	Modified formula	IMO Criteria
Initial course (deg.)	60	60	
Initial speed (kts [m/s])	14.81 [7.65]	14.04 [7.22]	
L/V (sec.)	11.1	11.8	
1st over shoot angle (deg.)	18.1	10.7	(5+1/2(L/V))
2nd over shoot angle (deg.)	18.4	8.4	(17.5+0.75(L/V))

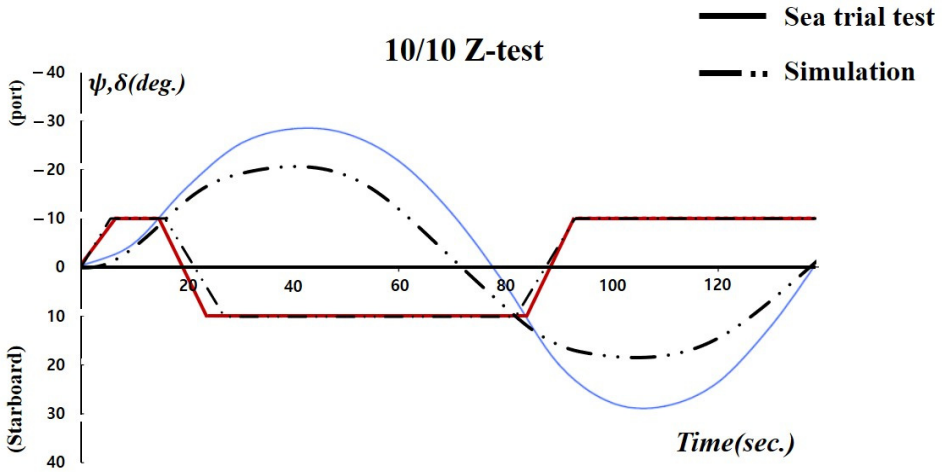

Fig. 5. Comparison of the 10/10 Z-test results of BAEK-KYUNG.

Table 7. Comparison of rudder area ratio of fishing trawlers

	L_{BP} (m)	B (m)	A_R (m^2)	Rudder area ratio
F.V 1	3.0	0.576	0.016	1/39.3
F.V 2	3.0	0.609	0.019	1/34.6
F.V 3	3.0	0.546	0.016	1/38.2
F.V 4	3.0	0.529	0.009	1/63.1
BAEK-KYUNG	3.0	0.544	0.010	1/59.0

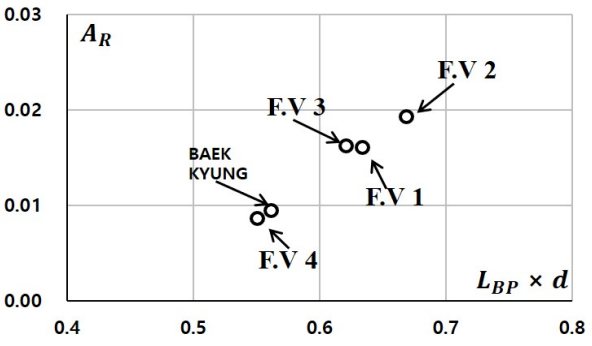

Fig. 6. Comparison of rudder area ratio of fishing trawlers.

있는 반면에 저항 발생에 따른 속도 감소 등의 단점도 존재하기 때문에 건조 목적에 따라 타 면적비를 달리하며, 어선 선형의 경우는 어군을 추적하며, 정확한 위치에 일정한 방향으로 어구를 설치하기 위한 기동성이 필요하기 때문에 일반적으로 상선에 비하여 타 면적비가 큰 편이다. 타 면적비는 타면적에 대한 선체침하부의 종단면적의 비로써 나타낼 수 있으며, 최대흘수에서 일반상선은 1/60~1/70, 어선은 1/35~1/40, 군함은 1/30~1/50 정도로 알려져 있다(Yoon, 2019).

상술한 이론을 바탕으로 백경호의 타 면적비가 over shoot angle에 미친 영향을 확인하기 위하여 보정된 경험식 도출에 사용되었던 트롤어선 선형의 타 면적비를 비교한 결과(Kim, 2020)는 아래의 Table 7, Fig. 6과 같다.

F.V 1~3은 어선의 타 타면적 범주를 충족하고 있었으나, F.V 4와 백경호는 일반상선의 타 면적비 범주에 속해 있음을 확인할 수 있다. 이는 F.V 4의 경우는 Flap rudder를 장착하고 있었으며, 백경호는 선수와 선미에 thruster를 장착하고 있었기 때문으로 나타났으며 이러한 기능이 기본타의 역할을 보조하고 있었다.

한편, 이와 같은 결과는 동일한 선종에 유사한 선형을 가지고 있을지라도 타나 프로펠러 특성에 따라서 운동 특성이 달라질 수 있음을 확인시켜주는 중요한 근거가 되며, 각 선종에 특성화된 경험식 개발의 절실함 물론, 새로운 특성 계수를 지속적으로 추가하여 체계적인 업데이트 과정의 필요성을 다시 한번 상기시켜 준다.

결 론

대부분의 어선은 설계단계에서 주로 수치 시뮬레이션 방법 중 하나인 경험식을 이용하여 조종성을 추정하고 있으며, 이는 시간과 비용을 절약시켜 단가를 낮추고 진수 일정을 앞당길 수 있는 장점이 있다. 반면, 어선 선형에 대한 조종성 추정 연구가 부족한 관계로 부득이하게 상선 선형을 대상으로 개발된 경험식을 사용하고 있는 실정이며, 이와 같은 경험식은 상선 선형의 모형시험 결과를 회귀분석하여 도출된다는 점에서 선형 특성이 다른 어선 선형에 적용하기에는 추정 오차를 발생시켰다.

이에 저자들은 상선 선형을 대상으로 개발된 Kijima et al. (1990) 경험식에 어선 선형의 특성 계수를 추가하여 보정된 경험식을 도출하였으며, 이를 이용한 시뮬레이션을 통하여 트롤어선 선형을 가진 어업실습선 백경호의 조종성을 추정하고 실선시험 결과와 비교하여 검증 및 분석하는 연구를 수행하였다.

연구 수행 결과를 요약하면, Turning motion test는 시뮬레이션 결과가 실선시험 대비 Tactical diameter 평균 0.1 L만큼의 오차를 발생시키면서 실선시험의 결과와 정량적, 정성적으로 근사하였으며, 10/10 Z-test는 실선시험과 대비 1st over shoot angle 7.4 °, 2nd over shoot angle 10.0 ° 만큼의 오차를 발생시켰으나, 정성적으로는 유사한 경향을 나타내고 있음을 확인하였다. 한편, 연구를 수행하는 과정에서 각각의 선박이 가지는 고유한 선형 계수의 특성이 경험식 도출 과정에 얼마나 큰 영향을 미치는지 알 수 있었으며, 동일한 선종에 유사한 선형 형태를 가진 어선이라도 장착하고 있는 타와 프로펠러 등의 부가물 특성에 따라서 운동 특성이 달라질 수 있음을 확인하였다.

이 연구를 통하여 상선 선형을 대상으로 개발된 경험식에 어선 선형의 특성 계수를 포함시켜 보정하는 것만으로 향상된 추정 결과를 도출할 수 있음을 확인하였으며, 동일한 선종일지라도 선체-프로펠러-타가 조금이라도 다른 특성을 가지면 운동 특성에 차이를 나타내면서 추정 오차를 발생시킬 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과로부터 어선은 어선 선형만을 대상으로 하는 경험식이 반드시 필요함을 인식하였으며, 이미 개발된 경험식이라도 체계적인 보정을 통하여 최신화시키는 과정이 필요할 것으로 판단되었다.

향후 이 연구(성능 검증)를 바탕으로 어선 선형에 대한 Bank effect와 ship to ship 등의 간섭력과 관련한 심화 연구를 수행할 예정이며, 이러한 연구는 어선 조선자에게 좋은 지표가 될 것이며 해양사고 발생시 사고 분석에 큰 역할을 담당할 것이다.

사 사

This research was supported by the ‘Development of Autonomous Ship Technology (20200615)’ funded by the Ministry of Oceans and Fisheries (MOF, Korea).

References

An YS, Kang IK, Kim HS, Kim JC, Kim MS, Jo HJ and Lee CK. 2005. A study on the manoeuvrability of T/S SAEBADA by real sea trials. J Korean Soc Fish Ocean Technol 41, 289-295. https://doi.org/10.3796/KSFT.2005.41.4.289.

Ahn YH, Park MH, Choi CM and Chung YJ. 2001. A study on the maneuverabilities of the training ship M.S. A-RA. J Korean Soc Fish Ocean Technol 37, 275-284. https://doi.org/10.3796/KSFT.2005.41.4.289.

IMO. 2002. “Standards for ship manoeuvrability” Report of the maritime safety committee on its 76th session-annex 6. IMO Resolution MSC 137 (76), 1-6.

Kijima K, Katsuno T, Nakiri Y and Furukawa Y. 1990. On the manoeuvring performance of a ship with the parameter of loading condition. The Society of Naval Architects of Japan 168, 141-148.

Kim KY. 1979. Manoeuverabilities of the M.S “SAEBADA”. J Korean Soc Fish Ocean Technol 12, 209-215.

Kim MS, Sin HO, Kang KM and Kim MS. 2005. Variation of turning circle by the rudder angle and the ship’s speed. J Korean Soc Fish Ocean Technol 41, 156-164. https://doi.org/10.3796/KSFT.2005.41.2.156.

Kim MS, Shin HI, Kim JH and Kang IK. 2009. A study on the maneuverabilities of the T.S KAYA. Fish Mar Sci Educ 21, 59-67.

Kim SH. 2020. A study on the improvement of the accuracy of fishing vessels manoeuvrability prediction. Ph D. Thesis, Korea Maritime and Ocean University, Korea, 118.

Lee CK, Kim SH, Lee SM and Yim JB. 2019. Study on the manoeuvring prediction of a fishing vessel. American Society of Naval Engineers 131, 101-109.

Obreja D, Nabergoj R, Crudu L and Pacuraru-Popoiu S. 2010. Identification of hydrodynamic coefficients for manoeuvring simulation model of a fishing vessel. Ocean Engineering 37, 678-687. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.01.009.

Yoshimura Y and Ma N. 2003. Manoeuvring prediction of fishing vessel. MARSIM 03'Conference Proceedings. RC-29-1-10.

Yoshimura Y and Masumoto Y. 2011. Hydrodynamic force with medium high speed merchant ships including fishing vessels and investigation into a manoeuvring prediction method. The Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineering 14, 63-73.

Yoon JD. 2019. Theory and Practice of Ship Manoeuvring; Sejong Publishing Co. Busan, Korea, 33-42.

2021. 08. 02 Received
2021. 08. 26 Revised
2021. 08. 27 Accepted