

트롤어선 선종의 선형 특성 계수에 관한 연구

김수형 · 이춘기^{1*} · 김민선²

부경대학교 실습선 항해사, ¹한국해양대학교 항해학부 교수, ²군산대학교 해양산업·운송과학기술학부 교수

A study on the characteristics of hull shape parameter of fishing vessel types

Su-Hyung KIM, Chun-Ki LEE^{1*} and Min-Son KIM²

1st deck officer, Training ship, Pukyong National University, Busan 48547, Korea

¹Professor, Div. of Navigation Science, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

²Professor, Div. of Marine Industrial Transportation Science and Technology, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea

Engaged in trawling in limited fishing grounds with a number of fish schools could cause collisions between fishing vessels. Therefore, providing accurate maneuver information according to the situation could be regarded as essential for improving seafarers safety and fishing efficiency as well as safety of navigation. It is difficult to obtain all maneuver information through sea trial tests only, so a method through empirical formula is necessary. Since most empirical formulas are developed for merchant ship types, especially the characteristics of hull shape parameter like $C_b B/L$ and dC_b/B etc. are clearly different between fishing vessels and merchant ships, this could occur estimation errors. Therefore, in this study, the authors have selected target fishing vessels and merchant ships and analyzed the characteristics of hull shape parameter according to the ship types. Based on this analysis, the empirical formula developed for the merchant ship type has applied to the target fishing vessels; it has verified through the turning motion simulation that the estimation error could be generated. In conclusion, it is necessary to include the characteristics of the hull shape parameter of fishing vessels in the empirical formula in order to apply the empirical formula has developed for merchant ship types to fishing vessel types.

Keywords: Maneuver information, Fishing vessel types, Empirical formulas, Estimation errors, Characteristics of hull shape parameter

서론

국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에서는 선박이 가진 고유한 조종성능 부족에 따른 사고를 방지하고자 2002년 137차 MSC (Maritime

Safety Committee)에서 조종성 기준(선회성능, 보침성능, 정지성능 등)안을 최종적으로 확정하였고, 2004년 1월 1일 이후에 건조되는 선박 중 전형적인 추진기와 조타시스템(traditional propulsion and steering systems)

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

을 가진 길이 100 m (L_{pp}) 이상의 동력선(e.g. shaft driven ships with conventional rudders)과 길이에 관계없이 모든 케미컬 탱커와 가스 캐리어에 적용하였다(IMO, 2002). 그 결과, 국내·외를 막론하고 선박의 조종성능에 관한 연구는 활발해지기 시작하였으며, 특히, 설계 단계에서의 조종성능 추정에 관한 관심이 높아졌다. 그러나 이러한 연구는 IMO 조종성 기준의 적용 대상인 길이 100 m (L_{pp}) 이상의 상선 선형 위주로 이루어지고 있으며, 일반적으로 길이가 100 m (L_{pp}) 미만의 어선 선형에 관한 연구는 다소 미흡한 실정이다(Lee et al., 2019).

한편, 트롤어선 선종은 수평방향으로 적극적인 어법을 구사하기 때문에 어군 탐지, 저질 및 형태에 따라 대각도 선회와 신속한 방향 전환이 수시로 필요하다. 그러나 선미방향으로 수중에 뻗친 수백 미터 길이의 끌줄과 그곳에 연결된 그물에서 발생하는 저항은 선박의 조종성능을 제한시키며, 특히, 어군이 밀집된 어장에서의 예망 작업은 어선들 사이에 충돌 위험을 야기하여 조업손실 뿐만 아니라, 인명과 선박의 손실을 발생시킬 수 있다. 따라서 상황에 따른 선회성능을 비롯한 조종성능에 관한 정보 제공은 항해의 안전은 물론 안전조업과 어획능률 향상에 필수 요건이라 할 수 있다(Kim, 2019).

최근 트롤어선 선종의 조종성능에 관한 연구로는 실습선 새바다호를 이용하여 Z (Zig-Zag) 시험을 수행하고 충돌과 좌초 상황에 대한 추종성과 선회성을 평가한 연구(Kim, 1979), 예망 중인 중층 트롤 어선의 조종성능을 분석하고 예망 침로를 위한 변침용 곡선도를 도출한 연구(Kim, 1993), 실습선 아라호를 대상으로 부표 방위 반법과 DGPS (Differential Global Positioning System) 를 이용하여 조종성능을 측정하고 결과를 비교한 연구(Ahn et al., 2001), 실습선 가야호를 대상으로 충돌회피 동작이나 좁은 해역에서 선속과 타각에 따른 선회권을 정량적으로 파악하고 선회 특성을 분석한 연구(Kim et al., 2005; 2009) 등이 있다(Kim, 2019).

하지만, 각 조건별 조종성능에 관한 자료를 오직 실선 시험을 통해서만 도출하기에는 다소 무리가 있기 때문에 수치 시뮬레이션이나 모형시험을 통하여 추정하는 방법이 필요할 것으로 판단되며, 그 중에서도 제원이나 선형 특성 계수 값만으로 대상선박의 조종성능을 추정할 수 있는 경험식은 모형시험에 비하여 정확성은 떨어지나 시간과 비용을 절약할 수 있기 때문에 선호할 수

있다. 반면, 상기한 바와 같이 경험식을 이용하여 조종성능을 추정하는 연구 역시 IMO 조종성 기준의 적용 대상이 아닌 어선 선형에 대해서는 다소 미흡하기 때문에 상선 선형을 대상으로 개발된 것을 보정 없이 적용해야 하는 실정이고, 이는 선형 차이에 의한 추정 오차를 발생시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 배경을 바탕으로 여러 선종의 선형 특성 계수 차이를 분석하고, 상선 선형을 대상으로 개발된 경험식으로부터 트롤어선 선형의 선회성능 시뮬레이션을 실시하여 어선 선형에 대한 유효성 유무를 확인하는 기초 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

대상선박(트롤어선, 상선)의 제원으로부터 선형 특성 계수 값을 도출하여 선종에 따른 값의 차이를 비교·분석하였고, 선형 특성 계수 값으로 구성되는 경험식(Kijima et al., 1990)을 통하여 도출한 대상어선의 조종 유체력 미계수 값을 이용하여 선회운동 시뮬레이션을 수행하였다.

기본 수학 모델

좌표계

Fig. 1은 선박의 조종운동을 표현하기 위한 오른손 직교 좌표계이며, 지구 고정 좌표계($o_0 - x_0y_0z_0$) 상에 선체 중심 o 를 좌표계 원점에 위치시켜 선체 고정 좌표계($o - xyz$)를 나타내었다. 여기서, $x_0 - y_0$ 평면은 정

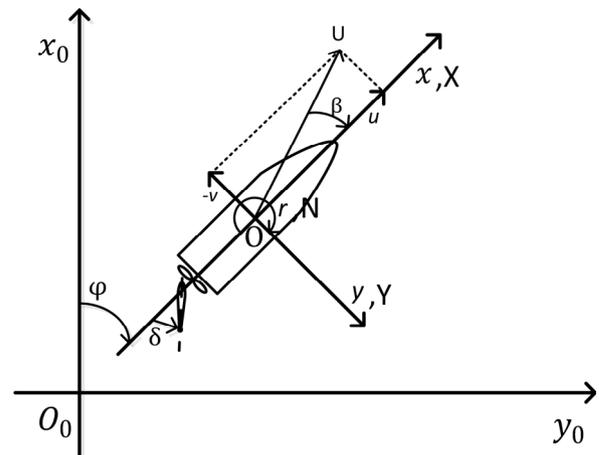


Fig. 1. Coordinate systems for manoeuvring motion.

수면을 나타내고, z_0 축은 연직 아래 방향을 가리킨다. 또한, x, y, z 축은 각각 선수, 우현 및 연직 아래 방향이 양의 방향을 나타낸다.

조종운동 방정식

조종운동 방정식은 여러 가지 방법으로 표현할 수 있으나, Kijima et al. (1990)은 편류각 β 와 각속도 r 를 이용하여 표현하였으며, 각 항의 변수들을 연산이 가능하도록 무차원화하여 나타내면 식 (1)과 같다.

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

여기서,

m, m_x, m_y : 선체질량, x축 방향 부가질량, y축 방향 부가질량

I_{zz}, i_{zz} : z축 주위에서 발생하는 관성모멘트, z축 주위에서 발생하는 부가 관성모멘트

U, β, r' : 합속도, 편류각, 각속도

$L, d, \text{위점차}'$: 선체길이(L_{pp}), 흘수, 무차원화

Kijima et al. (1990)경험식

Kijima et al. (1990)경험식은 현재 조선소 설계 실무에서 널리 쓰이고 있는 추정 근사식의 대표형으로서, 조종 유체력 미계수를 도출하는 다항식이 명확하게 공개되어 있을 뿐만 아니라, 선미 형상을 고려하지 않은 식(Kijima et al., 1990)과 고려한 식(Kijima and Nakiri, 1999; 2003)으로 나누어져 있기 때문에 선택의 폭이 넓다. 그러나 제한된 선종의 모형시험 결과로부터 도출되는 경험식의 특성상 선미 형상을 고려한 경험식은 모형시험의 대상이었던 선종과 선미의 형상이 유사한 선형에 적용할 경우에는 더욱 신뢰도 높은 추정이 가능할 수 있으나, 아닐 경우에는 자칫 더 큰 추정 오차를 발생시킬 수 있다(Kim, 2019). 따라서 본 연구에서는 전통적인 선형과 선미 형상을 가진 선박에 적합한(Kijima et al., 1990) 선미 형상을 고려하지 않은 경험식을 대상으

로 선정하였고, 그에 대한 선체에 작용하는 횡력(Lateral force)과 선수동요(Yaw moment)에 대한 조종 유체력 미계수 값을 도출하는 선형식의 일례는 아래의 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Y'_\beta &= \frac{1}{2} \pi k + 1.4 C_b B/L \\ Y'_r - (m' + m_x) &= -1.5 C_b B/L \quad (2) \end{aligned}$$

$$N'_\beta = k$$

$$N'_r = -0.54k + k^2$$

여기서,

C_b, L, B, d : 각각 방형 비척 계수, 선체길이(= L_{pp}), 폭, 흘수

k : 선체 비율(= $2d/L_{pp}$)

대상선박

본 연구의 대상어선은 수산계 대학의 실습선이며, 전형적인 선미식 트롤어선으로서 실선 선회권 시험 자료가 확보되어 있는 4척(이하 F1 ~ F4 또는 대상어선이라 한다.)과 건조 중의 선박 1척(이하 F5 또는 대상어선이라 한다.)으로 선정하였다. 단, F5의 설계상 제원, 프로펠러 단독 특성 시험 등의 시험 결과는 편차를 줄이기 위한 목적으로만 사용할 뿐, 유효성 검증은 하지 않기로 한다. 또한, 조종 유체력 미계수 값을 비교하기 위한 대상상선은 Kijima et al. (1990)경험식 개발과정에 이용된 모형시험 결과의 대상이었던 상선 13척(이하 대상상선이라 한다.)을 선정하였으며, 그 이유는 경험식 도출의 대상이었던 표준선박으로써 타 선종보다 명확한 비교가 가능할 것으로 판단되었다(Table 1).

선회운동 시뮬레이션

대상선박의 선회운동 시뮬레이션은 포트란(90, MS Fortran Power Station 4.0)과 엑셀(MS Office 2013) 프로그램을 통하여 수행하였다. 이 방법은 복잡한 수치계산을 원활하게 할 수 있도록 Kijima et al. (1990)경험식을 포트란 언어로 프로그래밍하여 조종운동 중 선체,

Table 1. Ships' dimensions

	Type of ship	L_{pp} [m]	B [m]	d_m [m]	C_b [-]
Fishing vessel	F1 (Stern trawler)	3.0	0.576	0.2112	0.607
	F2 (Stern trawler)	3.0	0.6089	0.2228	0.616
	F3 (Stern trawler)	3.0	0.5462	0.2069	0.574
	F4 (Stern trawler)	3.0	0.5294	0.1835	0.5872
	F5 (Stern trawler)	3.0	0.5435	0.1871	0.5923
Merchant ship	A (VLCC)	2.5	0.436	0.157	0.802
	B (VLCC)	2.5	0.408	0.170	0.831
	C (ULCC)	2.5	0.466	0.156	0.835
	D (ULCC)	2.5	0.555	0.183	0.821
	E (ULCC)	2.5	0.500	0.183	0.820
	F (Cargo ship)	2.5	0.408	0.171	0.773
	G (Cargo ship)	2.5	0.419	0.140	0.698
	H (Cargo ship)	2.5	0.376	0.158	0.651
	I (Container ship)	3.0	0.435	0.1629	0.5717
	J (Container ship)	2.5	0.386	0.130	0.566
	K (RO/RO)	2.5	0.367	0.102	0.557
L (Car carrier)	2.5	0.482	0.134	0.522	
M (LNG)	2.5	0.409	0.100	0.714	

프로펠러, 타에 의해서 발생하는 유체력 미계수 값을 시간(Sec.) 단위로 계산하고, 그 수치를 엑셀에 옮겨 그 래프로 도시함으로써 가시화 할 수 있다.

상기의 과정을 통하여 F1 ~ F4의 선회운동 시뮬레이션을 수행하였으며, 수행 조건은 다음과 같이 IMO 조종성 평가 조건과 동일하게 설정하였다. 흘수는 설계상 만재흘수이면서 등흘수(even keel)로 설정하였고, 수심은 심수역(deep water), 외란(disturbance)은 없는 것으로 가정하

였다. 단, 초기 선속 U_0 는 각 선박의 실선 시험 결과와의 비교를 고려하여 시험 당시와 동일하게 설정하였다.

결과 및 고찰

선형 특성 계수

유체력 미계수와 선형 특성 계수 간의 상관관계를 확인하기에 앞서, 대상선박들의 대표적인 선형 특성 계수인 C_b 에 따른 L/B 를 상관시켜 각 선박이 나타내는 경향

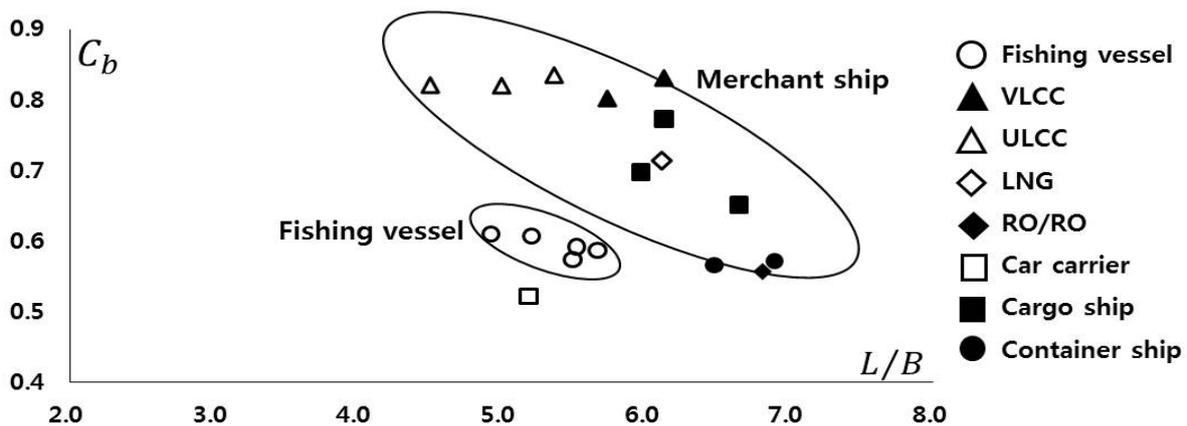


Fig. 2. Values of C_b according to L/B .

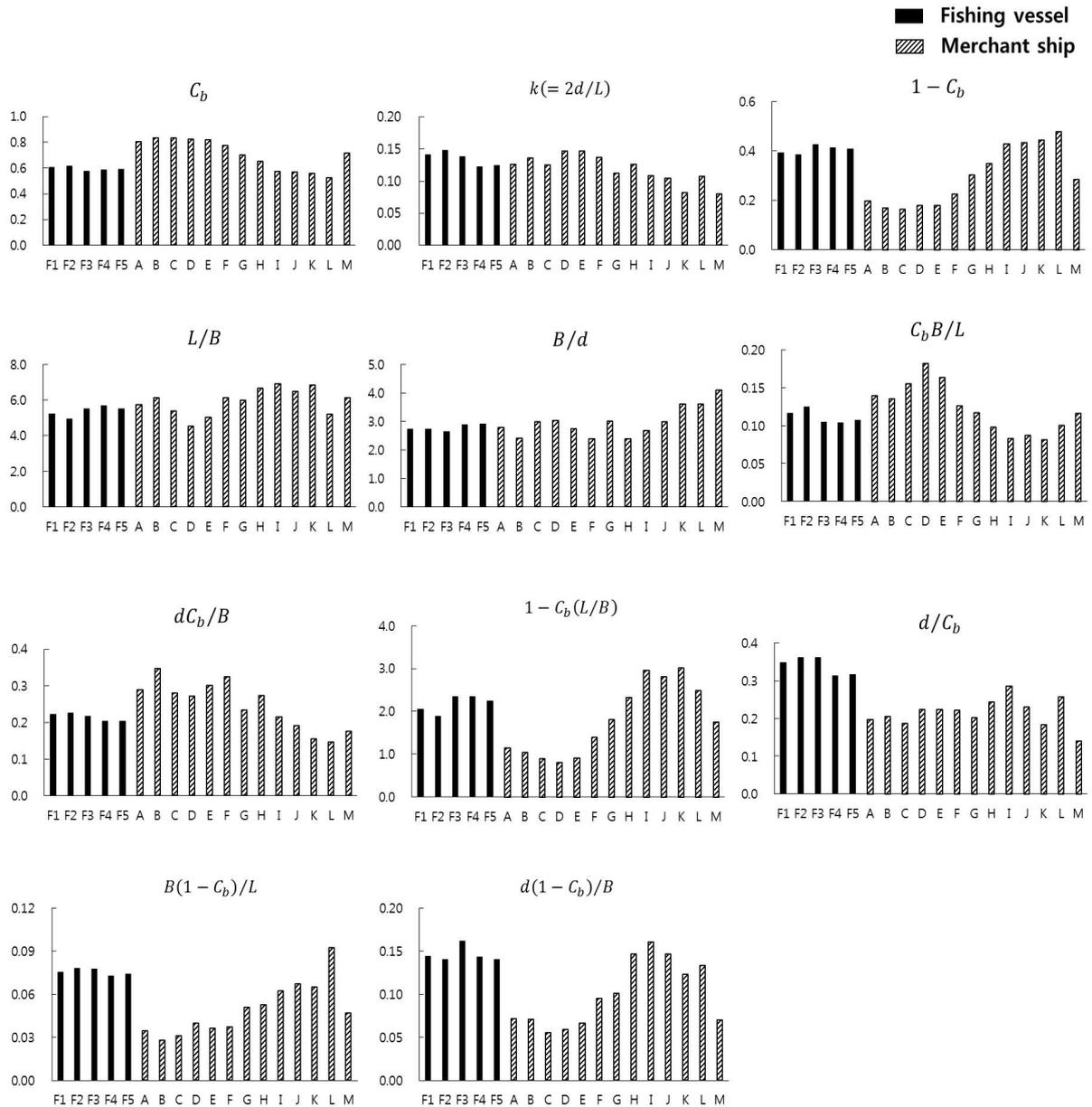


Fig. 3. Comparisons of characteristics of hull shape parameter.

을 확인하였다(Fig. 2). 일반적으로 대상선박 모두 선형 특성 계수 L/B 의 값이 커질수록 C_b 의 값이 작아지는 경향을 나타냈다. 이는 길이에 대한 폭이 넓은 경우에는 선체의 비대 정도 또한 크고, 그와 반대일 경우에는 작아진다는 것을 나타낸다. 그러나 선종에 따른 미소한 차이는 존재하였고, Car carrier와 같이 일반적인 대상상선이 나타내는 분포와는 전혀 다른 분포를 나타내는 상선 선종 또한 확인할 수 있다.

대상어선 역시 일반적인 대상상선이 나타내는 범위와 다소 다른 범위를 나타내었다. 즉, L/B 값의 범위는 5.0~6.0 사이를 나타내며 저속 비대선 ULCC나 VLCC와 유사한 반면에 C_b 값의 범위는 0.6 부근으로 고속 세장선인 Container ship이나 RO/RO와 비슷한 범위를 나타내었다. 이는 신속한 기동성과 복원성 향상이 고려한 어선 선형 고유의 특성을 나타낸 것이라 할 수 있다. 상기와 같이 대상어선과 상선은 경험식을 통한 조중

유체력 미계수 값을 도출하는 과정에서 큰 상관관계를 가지는 대표적인 선형 특성 계수 C_b 에 대한 L/B 가 나타내는 범위에서부터 다소 차이를 보이고 있음을 확인하였다. 이에 대상어선이 가지는 선형 특성 계수의 경향을 확인하기 위하여 대상선박들의 선형 특성 계수들을 아래의 Fig. 3과 같이 그래프로 도시하여 비교·분석하였다.

Fig. 3에서 대상어선과 상선의 선형 특성 계수들은 각 선종마다 특색을 보이며, 유사한 선형 특성을 가진 선종은 유사한 경향을 나타내고 있음을 확인하였다. 한편, 대상어선은 일반적인 대상상선 선종이 가지는 계수들의 경향과는 다소 다른 경향을 보였다. 먼저, 선체의

기본 비율을 나타내는 계수 $k(=2d/L)$, L/B , B/d 등은 VLCC, ULCC, Cargo ship과 유사한 경향을 띄었고, 비대도에 관한 계수 C_b , $1-C_b$ 등은 Container ship과 일부 유사한 경향을 나타내기도 했다. 그러나 제원의 비율과 비대도가 복합적인 관계를 맺고 있는 계수 $B(1-C_b)/L$, dC_b/B 등은 어느 특정한 대상상선의 선종과 유사하지 않은 대상어선 선종 고유의 특성을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

조종 유체력 미계수

경험식은 제한된 모형시험의 결과로써 도출되며, 모

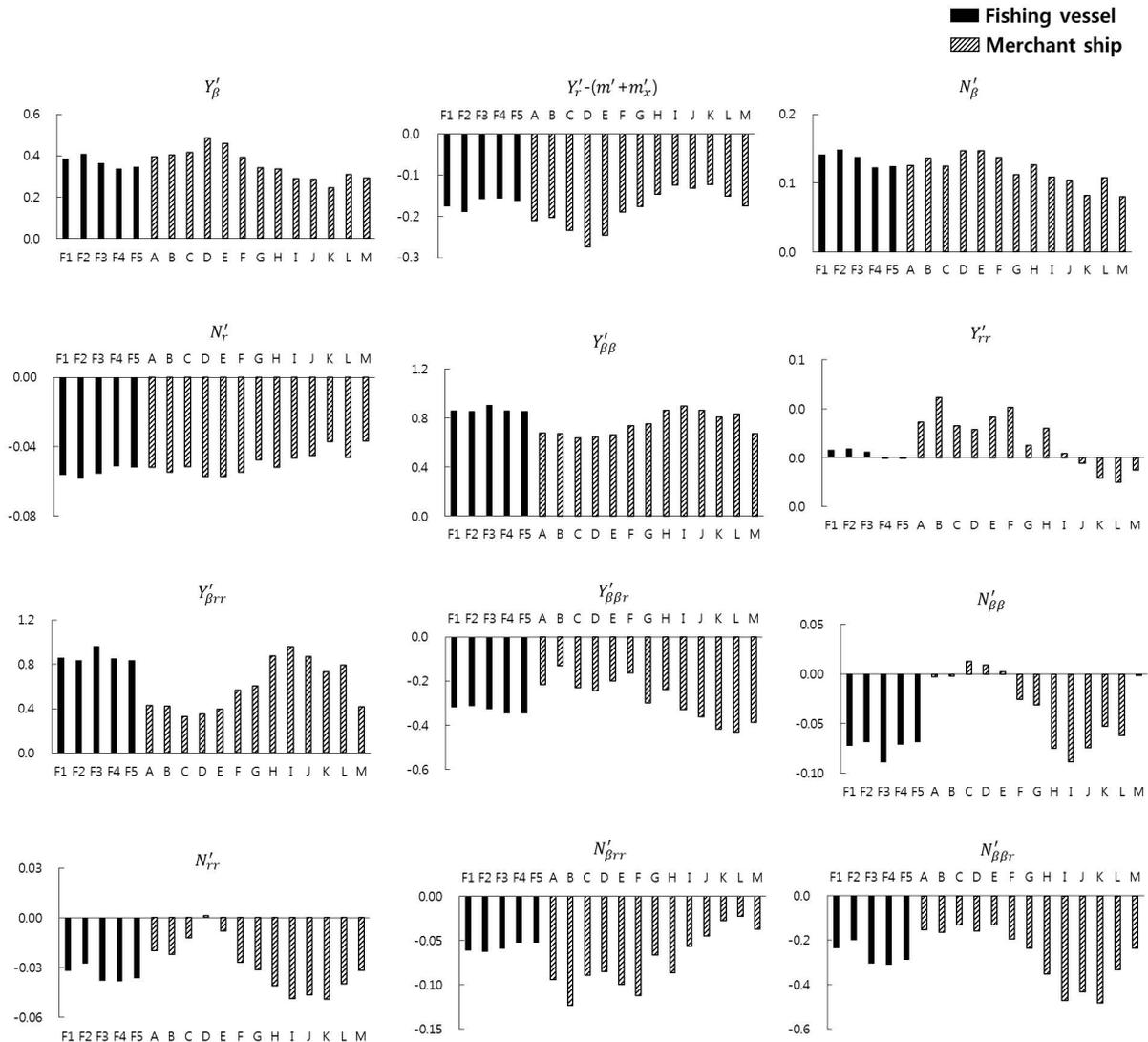


Fig. 4. Comparisons of hydrodynamic derivatives.

형시험의 회귀분석 과정에서 L/B , $C_b B/L$ 등 해당선박의 선형 특성 계수 값이 큰 상관관계를 가진다는 연구 결과(Yoshimura and Masumoto, 2015)를 고려하였을 때, 선형 특성 계수 값이 Kijima et al. (1990)경험식의 모형시험 대상이었던 대상상선 선종과 유사하지 않았던 대상어선 선종은 조종 유체력 미계수 값 추정에 있어서도 오차를 발생시킬 수 있다. 아래의 Fig. 4는 Kijima et al. (1990)경험식을 이용하여 도출한 대상선박들의 조종 유체력 미계수 값을 그래프로 도시한 것이다.

대상어선의 특정 미계수 값은 $k(=2d/L)$, L/B , B/d 등과 같이 기본적인 선체 비율이 비슷한 선종인 VLCC나 Cargo ship 등의 미계수 값과 유사하였고, 일부 다른 미계수 값은 선체의 비대도를 나타내는 C_b 가 비슷한 선종인 Container ship이나 Car carrier와 유사한 경향을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

이러한 결과는 식 (6)에 견주어 보았을 때, 해당 미계수 값을 도출하는 항을 구성하고 있는 계수 값이 유사한 선종일 경우에 유사한 미계수 값을 도출하는 것으로 판단되었다. 즉, 식 (6)의 다항식에서 C_b 가 포함되어 있으면 Container ship이나 Car carrier 등과 유사한 경향의 값을 나타내었고, $k(=2d/L)$, L/B , B/d 등이 포함되어 있으면 VLCC, ULCC, Cargo ship 등과 유사한 경향의 값을 나타내는 것이다.

결국, 대상어선의 선형은 경험식을 도출하는 모형시험 과정에 포함되지 않았기 때문에 대상어선의 선형이 가지는 특성을 나타내는 고유한 미계수 값을 도출할 수 없었을 것으로 판단되며, 특히, 회귀분석 과정에서 높은 상관관계를 가지는 계수 $C_b B/L$ 나 $k(=2d/L)$ 등은

VLCC나 Container ship과도 전혀 다른 고유한 특성을 가지기 때문에 이러한 계수들의 불포함은 미계수 값의 오차로 나타남과 동시에 조종성능 추정 오차를 발생시킬 것으로 추측할 수 있다.

선회운동 비교

Kijima et al. (1990)경험식을 이용하여 도출한 대상어선 조종 유체력 미계수 값의 유효성 검증을 위하여 대상어선 4척(F1 ~ F4)의 선회운동 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과를 실선 선회권 시험 결과와 비교하여 아래의 Table 2와 Fig. 5와 같이 나타내었다. 여기서, [L]은 선체 길이 (L_{pp})를 나타낸다. +35° turn의 경우, 평균적으로 Advance는 시뮬레이션 결과가 실선시험 결과 대비 1.22 L만큼 컸고, Transfer 역시 시뮬레이션 결과가 실선시험 결과보다 0.95 L만큼 컸으며, Tac. Dia. 마찬가지로 시뮬레이션 결과가 실선시험 결과보다 1.62 L만큼 크게 나타났다.

-35° turn의 경우, 평균적으로 Advance는 시뮬레이션 결과가 실선시험 결과보다 1.02 L만큼 크게 나타났고, Transfer 역시 시뮬레이션 결과가 실선시험 결과보다 0.86 L만큼 크게 나타났다. 또한, Tac. Dia. 마찬가지로 시뮬레이션 결과가 실선시험 결과보다 1.50 L만큼 크게 나타났음을 확인하였다.

이러한 결과로부터 상선 선형을 대상으로 개발된 Kijima et al. (1990)경험식에서 도출한 조종 유체력 미계수 값을 이용하여 대상어선 선종의 선회성능을 추정하였을 때, 전체적인 선회반경이 실선시험의 결과보다 다소 크게 나타나는 추정오차를 발생시키고 있음을 확인할 수 있다.

Table 2. Comparison of turning-trajectories of target fishing vessels

		Advance [L]	Transfer [L]	Tac. Dia. [L]
		Simulated / Measured	Simulated / Measured	Simulated / Measured
F1	+35° turn	3.84 / 2.56	2.67 / 1.76	5.20 / 3.84
	-35° turn	3.74 / 2.72	2.58 / 1.89	5.06 / 4.14
F2	+35° turn	3.70 / 2.81	2.48 / 1.93	4.64 / 3.56
	-35° turn	3.61 / 2.84	2.46 / 2.03	4.55 / 3.71
F3	+35° turn	4.26 / 2.74	3.09 / 1.70	6.03 / 4.25
	-35° turn	4.15 / 2.79	3.05 / 1.82	5.79 / 3.99
F4	+35° turn	3.41 / 2.22	2.36 / 1.41	4.59 / 2.33
	-35° turn	3.31 / 2.38	2.40 / 1.29	4.66 / 2.22
Average	+35° turn	3.80 / 2.58	2.65 / 1.70	5.12 / 3.50
	-35° turn	3.70 / 2.68	2.62 / 1.76	5.02 / 3.52

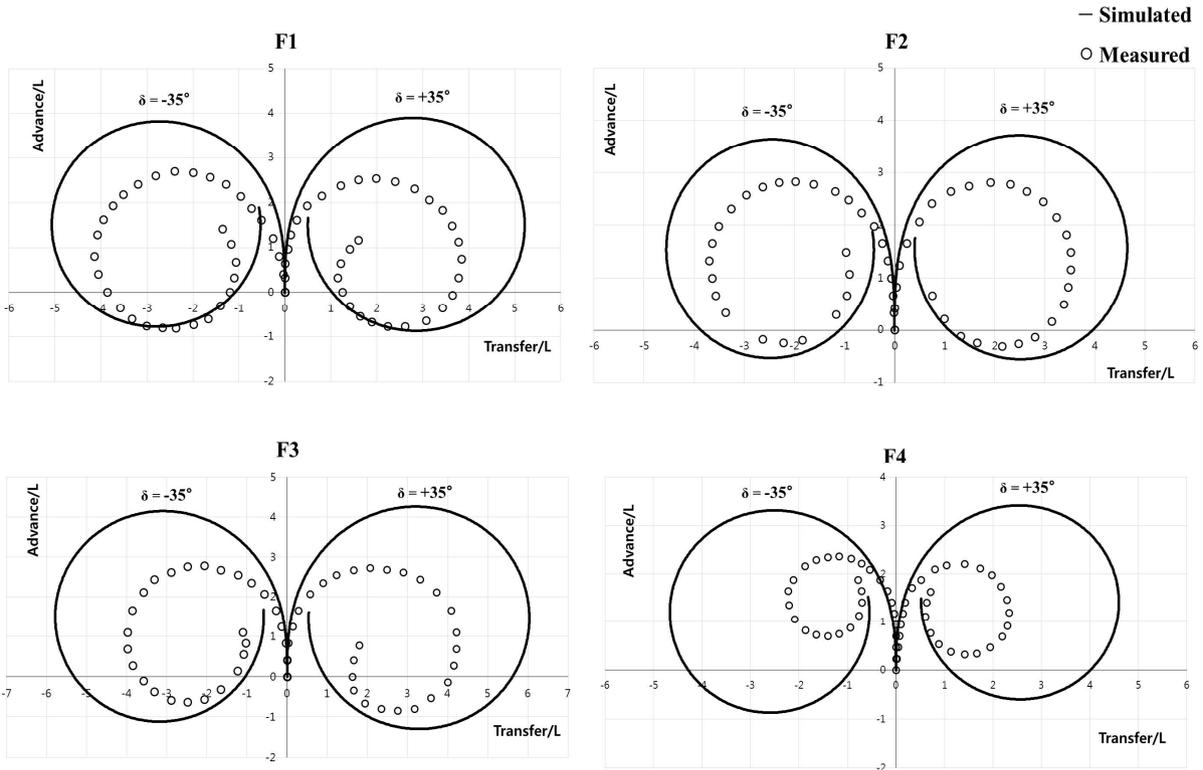


Fig. 5. Comparison of turning-trajectories of target fishing vessels.

결론

경험식은 모형시험의 결과를 회귀분석하는 과정을 통하여 도출되기 때문에 모형시험의 대상이었던 선박들의 주요 제원은 서로 상관관계를 가진다. 특히, 제원의 비율이나 비대도 등 선체의 고유한 특성을 나타내는 계수 L/B , B/d , C_b 등은 더욱 상관정도가 높다. 이러한 계수들은 선박의 조종운동에 있어서 유체역학적으로 큰 영향을 미치기 때문에 경험식 도출 과정에 포함되었던 선형과 그 특성이 유사할 경우에는 상대적으로 정도 높은 추정이 가능하며, 반대로 유사하지 않은 선형의 특성을 가질 경우에는 추정의 정도가 낮을 수 있다.

일반적으로 트롤어선 선형은 신속한 기동성을 위하여 낮은 C_b 를 가지며, L 에 대한 B 는 적당한 복원성 확보를 위한 지배적인 인자중의 하나이다(Yim, 1989). 본 연구에서 수행한 대상어선 역시 C_b 는 0.5 부근의 신속한 운송을 목적으로 하는 고속 세장선인 대상상선 Container ship, RO/RO의 선형 특성과 유사하였고, L/B 는 5.3 부

근의 많은 화물을 실어 나르는 것을 목적으로 하는 저속 비대선인 대상상선 VLCC, ULCC의 선형 특성과 유사함을 확인하였다. 즉, 대상어선인 트롤어선 선형은 특정한 상선 선형과 유사하지 않은 고유한 선형을 가지고 있음을 확인하였고, 이러한 선형 특성 계수의 차이로 인하여 발생할 수 있는 추정오차를 선회운동 시뮬레이션을 수행하여 검증하였다.

결론적으로 제한된 상선 선종의 모형시험으로부터 회귀분석한 결과인 Kijima et al. (1990)경험식을 대상어선 선종에 적용하기에는 선형 특성 계수의 차이에 의한 오차가 발생할 수 있으므로, 추정의 정도를 높이기 위해서는 대상어선 선종이 가진 선형 계수를 회귀분석 과정에 포함시켜 보정하는 과정이 필요할 것으로 판단된다. 향후 과제로는 본 연구에서 도출하였던 C_b , L/B , $C_b B/L$ 등 대상어선 고유의 선형 특성 계수를 Kijima et al. (1990)경험식의 회귀분석 과정에 포함시켜 추정의 정도를 높일 수 있는 연구를 수행하고자 한다.

References

- Ahn YH, Park MH, Choi CM and Chung YJ. 2001. A study on the maneuverabilities of the training ship M.S. A-RA. *Bulletin of the Korean Society of Fisheries Technology* 37, 275-284.
- 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.
- Kijima, K and Nakiri Y. 1999. Approximate expression for hydrodynamic derivatives of ship manoeuvring motion taking into account of the effect of stern shape. *The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineering* 98, 67-77.
- Kijima K and Nakiri Y. 2003. On the practical prediction method for ship manoeuvring characteristics. *The Society of Naval Architects and Ocean Engineering* 105, 21-31.
- Kim KY. 1979. Manoeuverabilities of the M.S “SAEBADA”. *Bulletin of the Korean. Society of Fisheries Technology* 12, 209-215.
- Kim MS. 1993. A study on the fishing method of the midwater trawl-on the meneuveravilities of the fishing boat under operation. *Bulletin of the Korean Society of Fisheries Technology* 29, 260-271.
- Kim MS, Shin HO, Kang KM. and Kim MS. 2005. Variation of turning circle by the rudder angle and the ship’s speed. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 41, 156-164.
- Kim MS, Shin HI, Kim JH. and Kang IK. 2009. A study on the maneuverabilities of the T.S KAYA. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education* 21, 59-67.
- Kim SH. 2019. 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.
- Yoshimura Y and Yasukawa H. 2015. Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions. *Journal of Marine Science and Technology* 20, 37-52. <https://doi.org/10.1007/s00773-014-0293-y>
- Yim SJ. 1989. Principles of naval architecture. Translated by principles of naval architecture. *The Society of Naval Architects and Marine Engineers*, 534-565.

2020. 02. 24 Received

2020. 03. 23 Revised

2020. 04. 22 Accepted