Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety
Research Paper
Vol. 24, No. 5, pp. 591-596, August 31, 2018, ISSN 1229-3431(Print) / ISSN 2287-3341(Online) https://doi.org/10.7837/kosomes.2018.24.5.591

수치해석 및 시험을 통한 소형 쌍동선의 종경사 및 저항 연구

김정은* · 오우준**† · 홍춘범** · 김도정**
*, ** (재)한국조선해양기자재연구원

A Study on the Trim and Resistance of Small Catamaran Using Numerical Analysis and a Model Test

Jung-eun Kim* · Woo-jun Oh**† · Chun-beom Hong** · Do-jung Kim**
*, ** Korea Marine Equipment Research Institute, Yeongam 58457, Korea

요 약 : 소형선박 설계에 있어 항주에 따른 설계 종경사 결정은 선체저항 뿐만 아니라 항주 안정성에 많은 영향을 주고 있다. 이는 초기 설계 시 선박의 무게중심 결정을 시작으로 대부분 결정된다. 본 연구는 소형 쌍동선박에 대해 수치해석을 통한 수직방향 무게중심 변화에 따른 종경사 영향을 확인하고, 이를 모형시험에서 결과를 검토하였다. 다양한 수직방향 무게중심 변화에 따른 모형시험 검토는 이뤄지지 못했지만, 향후 신조 소형선박 초기설계시 보다 나은 종경사 자세를 고려한 수직방향 무게중심 위치 제시를 목적으로 연구를 수행하였다. 수치해석 결과의 검증을 위하여 모형시험과 자세 비교를 수행하였다. 무게중심의 변화에 따른 종경사 각도 및 저항성능의 변화가 연구되었다.

핵심용어 : 쌍동형 선형, 선형설계, 수치해석, 모형시험, 종경사

Abstract : *In Designing a Small Ship, the Design of the Trim for Sailing has a great influence on the Stability of the Ship as well as Resistance. The Center of Gravity of a Ship is mostly determined during Initial Design. This Study confirms the Effect of Trim on changes in Vertical Center of Gravity by Numerical Analysis for a Small Catamaran. The Results were examined in a Model test. However, No Model tests were conducted while varying the changes in Vertical Center of Gravity. Nonetheless, Investigation was completed for the Purpose of presenting Vertical Center of Gravity results according to plans for the Trim during Initial Design of a Small Ship. In order to verify the Results of Numerical Analysis, a Comparison with Experimental results was carried out. Alternation of Trim angle and Resistance performance according to changes in the Center of Gravity were studied.*

Key Words : *Twin hull, Hull from design, Numerical simulation, Model test, Trim*

1. 서 론

최근 해상에서 해안관리, 탐사 및 레저 낚시 등 소형 쌍동선에 대한 수요가 증가하고 있다. 소형선박 설계에 있어 항주에 따른 설계 종경사 결정은 선체저항 뿐만 아니라 항주 안정성에 많은 영향을 주고 있다. 이는 곧 선박의 용도 부합성과도 연관성이 높아서 점차 관련기술에 대한 연구도 지속적으로 많아지고 있다. 본 연구는 VCG_m/Lpp_m 변화에 따른 선체 종경사 변화 영향을 고찰하였다.

* First Author : jekim@komeri.re.kr, 061-460-5286
† Corresponding Author : woojunoh@komeri.re.kr, 061-460-5283

Jang et al.(2010)은 30 feet급 쌍동선을 대상으로 항주자세 변화에 대한 구속예인장치를 개선 및 적용하여 실선에서의 유효마력을 추정하였고 Van and Kim(1987)은 종경사 구속 여부에 따른 항주자세 변화와 저항 성분과의 관계에 대해 모형시험을 통하여 연구하였다. Park et al.(2016)은 쌍동선 선수형상의 변화에 따른 저항성능의 영향을 검토하고 CFD와 모형시험 결과를 비교하여 저항과 자유표면 유동특성의 관계를 조사하였다. 수치해석 연구로는 정도 높은 수치해석 결과를 통해 모형시험 검증 연구가 확인되었다. Shi et al.(2012)은 배수량형 선형에 대해 저항, 침하, 종경사 등에 대해 상호 고찰하였으며, Oh and Yoo(2013)의 항주 자세 및 저항 추정에 대해 상호 비교연구를 수행하였다.

종경사는 부력과 부양력이 선체 중량과 평형을 이룰 때 추력 모멘트와 선체 저항 모멘트로 결정된다. 고속 활주선의 경우에는 부양력에 의해 선체중량이 지지되며, 종경사는 선체 부력, 부양력 및 중량이 중심과 평형을 이루는 과정에서 종경사의 형태로 나타난다(Oh and Yoo, 2013).

본 연구에서는 수치해석에서 VCG 변화에 따른 종경사 영향을 확인하고, 이를 모형시험에서 결과를 검토하였다. 다양한 VCG 변화에 따른 모형시험 검토는 이뤄지지 못했지만, 향후 신조 소형선박 초기설계 시 보다 나은 종경사 자세를 고려한 VCG 위치 제시를 목적으로 연구를 수행하였다.

2. 선박 모델링

시험대상인 소형 쌍동선체의 형상은 Fig. 1에 보인 바와 같으며, 주요 제원은 Table 1에 정리하였다. 시험 선박의 제원은 길이 약 1.3 m, 폭 0.5 m, 깊이 0.06 m이며 실선대비 1/10 스케일이다. 주요 제원과 성능을 검토한 후 선박 운항지를 고려하여 설계속도(Design speed)는 10 knots로 정하였다. 해석 모델의 Geometry 형상은 Fig. 2에서 나타내었다.

Table 1. Principal dimensions of ship

Items	Dimensions (Scale 1/10)	
	Ship	Model
Lpp (m)	12.940	1.2940
Lwl (m)	12.940	1.2940
Disp. (m^3)	11.220	0.011220
Disp. (ton)	11.500	0.0115
Beam (m)	5.00	0.500
Depth (m)	1.60	0.160
Cb	0.289	0.289
W.S.A. (m^2)	45.724	0.4572

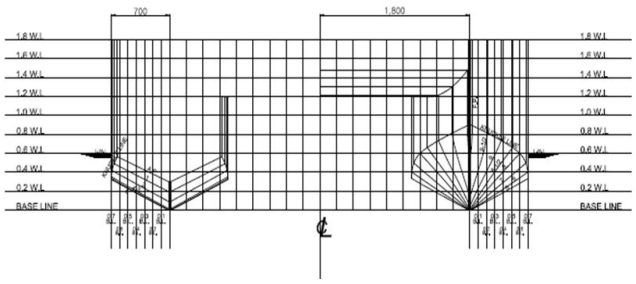
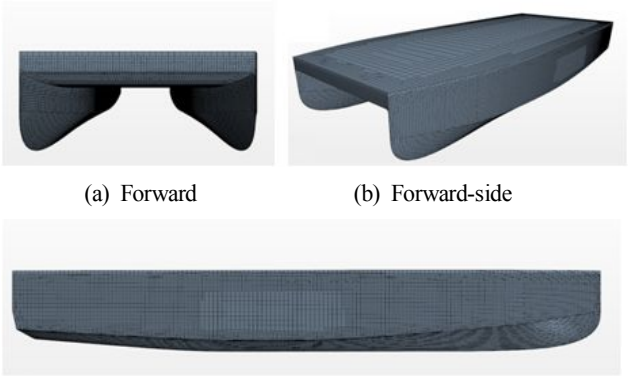


Fig. 1. Lines of hull form.



(a) Forward (b) Forward-side

(c) Starboard side

Fig. 2. Geometry of ship.

3. 수치해석

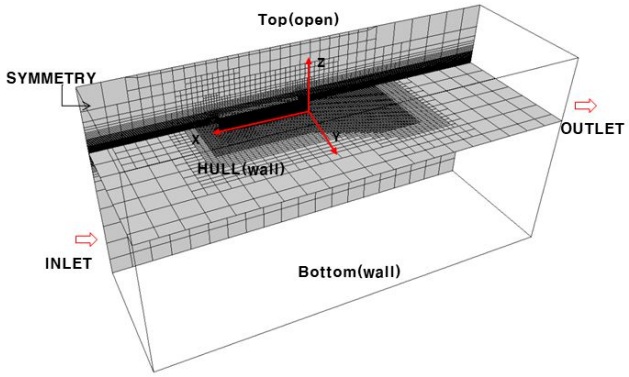
VCG의 위치에 따라 실제 쌍동선 종경사의 값이 달라질 것으로 예상되어 먼저 수치해석을 통해 VCG 위치에 따른 종경사 각도의 차이를 확인하였다.

사용된 수치시뮬레이션 프로그램은 STAR-CCM+이며, 수치해석 난류모델은 유체에서 레이놀즈 응력의 전달방정식을 풀기위한 Reynolds Stress Turbulence를 적용하였고 계산 조건은 Table 2에 나타내었다. 수치해석 결과 검증은 모형시험을 통해서 확인하였다.

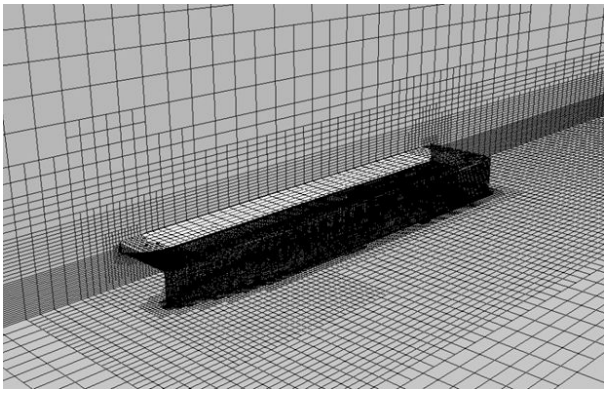
Table 2. Physical setup in STAR-CCM+

Parameter & Condition			Unit
Scale Ratio (λ)		10.0	-
Water	density	999.5	kg/m^3
	kinematic viscosity	1.2727E-06	m^2/s
Air	density	1.18415	kg/m^3
	dynamic viscosity	1.86E-05	$p_a - s$
Turbulent Model		Reynolds Stress Model	
		Reynolds-Averaged Navier-Stokes	
Free surface		VOF waves	
Wall Treatment		High y+	
Wall y+		80	

해석모델은 축적비(1/10)의 비율로 계산하였고 생성격자는 Volume mesh로 설정하였으며, Surface Re-mesh, Trimmed Cell Mesh, Prism Layer Mesh로 격자계를 구성하였다. 격자수는 약 65만개이다. Fig. 3은 수치계산을 위한 경계조건과 자유표면에서의 격자계를 나타낸 것이다.



(a) Boundary condition



(b) Grid system.

Fig. 3. Boundary condition & Grid system.

선박 제원과 선속 조건은 수조시험에서의 조건과 동일하며 적용 Lpp대비 VCG 조건은 Table 3에 나타내었으며, 각 VCG의 위치는 Fig. 4에서 표기하였다.

선박속도는 설계속도 10knots에서 수행하였고 각 VCG에 따른 종경사 각도 변화는 Fig. 5와 같다. 정지 상태에서 선수, 선미 각 흘수는 0.6m이며 종경사는 없다. VCG_m/Lpp_m위치가 높아질수록 종경사가 작아지는 특징을 보이고 있다. 선체의 저항중심점은 수면 하부에 위치가고 무게중심은 수면 상부에 위치하기 때문에 무게 중심이 올라갈수록 선수 트림 모우멘트가 증가하여 경사각이 줄어드는 것을 확인하였다.

Table 3. Conditions of VCG in model

Case	Re	Fn	VCG_m/Lpp_m (VCG (m))
1	2.046×10^6	0.457	13.5 % (0.175 m)
2			13.9 % (0.180 m)
3			14.7 % (0.190 m)
4			15.5 % (0.200 m)

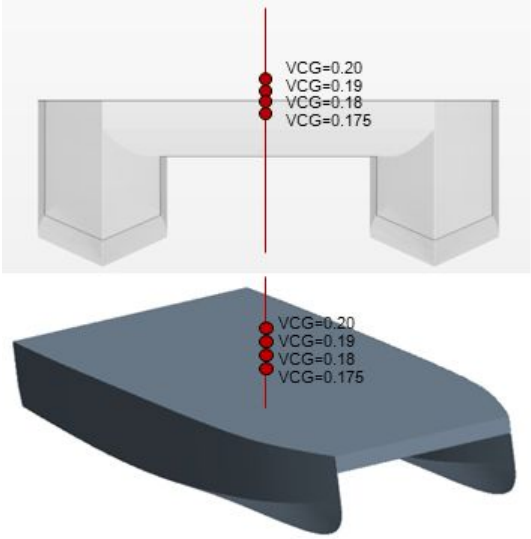


Fig. 4. Position of VCG.

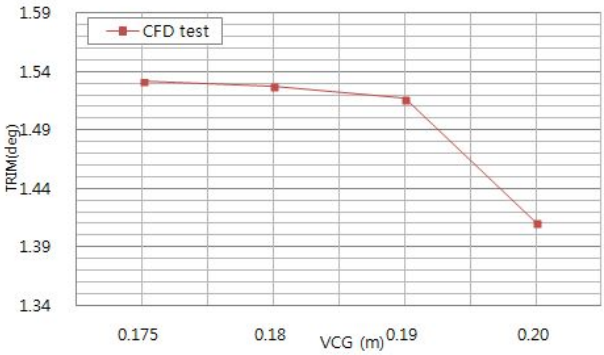


Fig. 5. Change of Trim angle with variation of VCG.

4. 모형시험 대상 및 시험조건

모형시험은 서일본 유체기술연구소의 회류수조에서 수행되었으며, 시험에 사용된 모형은 Fig. 6에 나타내었다.

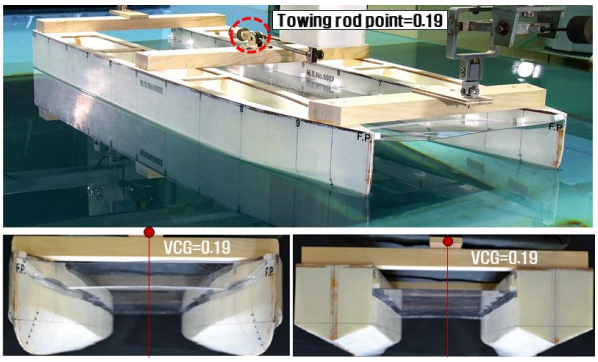


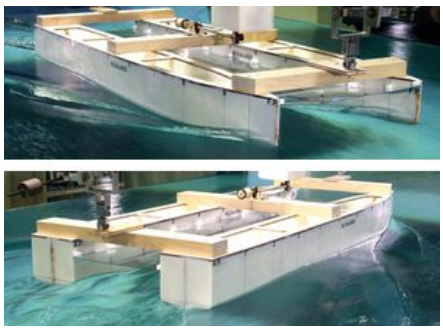
Fig. 6. Test model ship.

모형시험은 수치해석과 동일한 축척비에서 수행하였으며, Table 4는 수조시험의 선속조건을 나타낸 것이다. 선체의 종경사와 저항 등을 계측하기 위해 선수, 선미에 종경사 계측센서 및 저항동력계를 설치하였다. 모형시험에서 저항동력계의 설치는 선체의 무게중심(CG)에 설치되어야 한다. 하지만, 실제 선박의 VCG_S는 1.19 m로 VCG_m = 0.119임에 따라 저항동력계의 설치위치는 두 동체사이의 선체 연결갑판 하부여야 한다. 하지만, 해당위치는 자유수면 노출 부분으로 계측장치의 설치가 불가하여 선체 연결갑판 상부(VCG_m/Lpp_m= 14.7 %)에 설치하였다(Fig. 7).

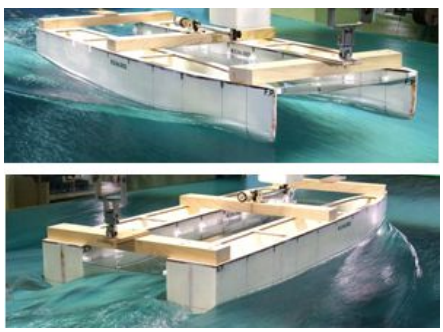
선속에 따른 선체주위의 파형과 선체의 종경사 변화는 Fig. 7과 Fig. 8에 각각 나타내었다.

Table 4. Model ship Test Speed

Vs (knots)	Fn	Model Test - Vm (m/sec)
7.0	0.320	1.139
8.0	0.365	1.301
9.0	0.411	1.464
10.0	0.457	1.627
11.0	0.503	1.789



(a) free surface flows at 7 knots



(b) free surface flows at 10 knots

Fig. 7. Wave Pattern at 7knots and 10 knots.

속도가 작은 7 knots(Fn = 0.320)에서는 선수 FP에 근접하여 Station line = 9.75 에서 선수파가 형성되었으며, 속도가 큰 10 knots(Fn = 0.457)에서는 종경사에 의해 낮은 속도에서보다 선수파 발생이 지연되고 파정이 선미 쪽으로 이동되어 형성되는 것을 확인하였다. 시험선속 조건에 따라 종경사, 파계 형성에 크게 변화된 영향을 주고 있으며, 이는 선수 및 선미의 종방향 체적 분포에 따라 변화되는 것으로 분석되었다(Park et al., 2016).

Fig. 8은 선속에 따른 선체 종경사 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 저속영역에서는 안정적인 종경사를 보이고 있지만, 고속영역인 10 knots 이상에서는 큰 선미트림 자세가 확인되었다.

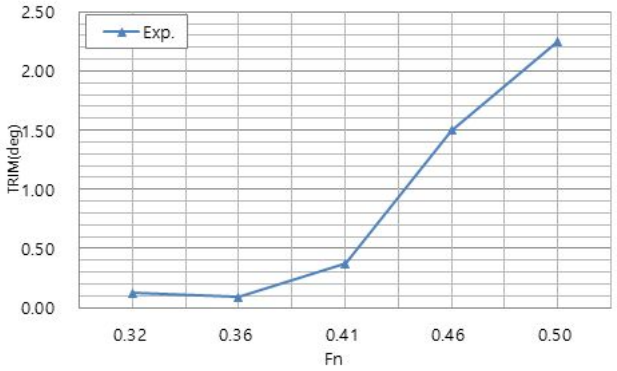


Fig. 8. Trim change by Froude number.

5. 모형시험과 수치해석 결과 비교

Table 5는 VCG_m/Lpp_m = 14.7 %에서의 선속변화에 따른 선체 종경사 결과를 수치해석과 모형시험 결과를 비교한 것이다. 도출된 결과에 대해 상호 그래프 비교는 Fig. 9에 나타내었다. 수조시험과 수치해석의 종경사 값이 유사하지만 약간의 차이가 발생하였고, 이는 수치해석 및 모형시험의 불확실성에 따라 나타나는 현상으로 설명된다.

수치해석 이처럼 모형시험 저항동력계 계측장치가 동일한 VCG_m/Lpp_m = 14.7 %에서 선체 종경사 각도가 수치해석과 모형시험 데이터 비교를 통해 유사한 것을 확인하였고 수치해석의 유용성을 검증하였다.

Fig. 10은 수치해석 결과로 도출한 파형과 모형시험에서 촬영한 선체 주위 유동 모습을 선속 별로 비교한 그림이다. 선수부에서 나타나는 수치해석의 어깨파 형상이 모형시험과 유사하게 나타났으며, 선속이 증가할수록 종경사 각도가 증가하는 것을 확인하였다.

Table 5. Comparison of Trim between Experiment and CFD

Vs (knots)	Fn	Trim (deg.)	
		Exp.	CFD
7.0	0.320	0.12	0.09
8.0	0.365	0.09	0.06
9.0	0.411	0.37	0.51
10.0	0.457	1.50	1.51
11.0	0.503	2.25	2.21

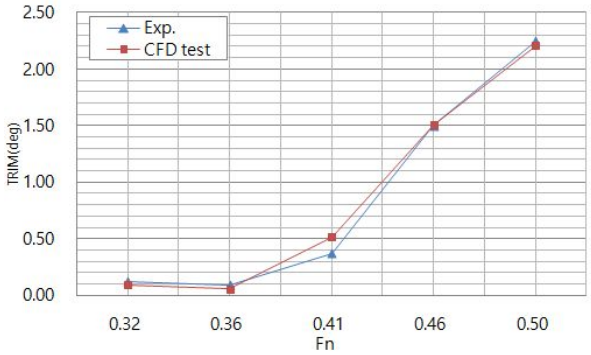
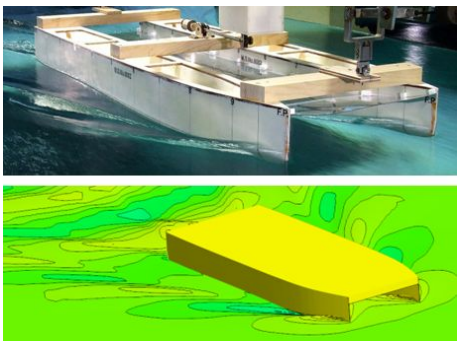
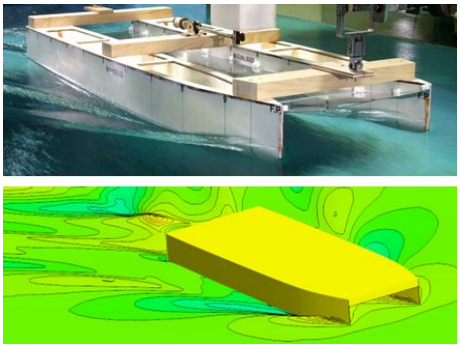


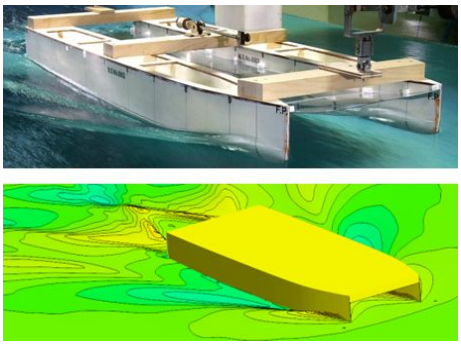
Fig. 9. Comparison of Trim between Experiment and CFD.



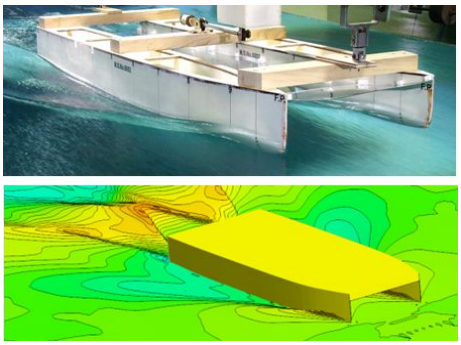
(a) 7 kts (Fn = 0.320)



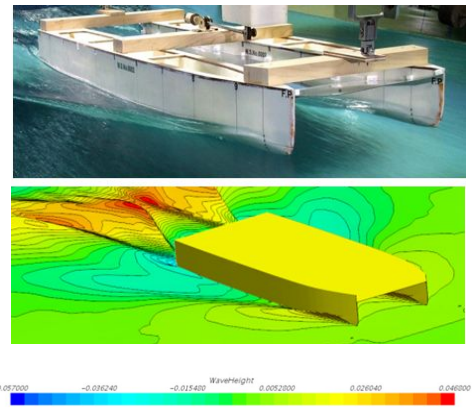
(b) 8 kts (Fn = 0.366)



(c) 9 kts (Fn = 0.411)



(d) 10 kts (Fn = 0.457)



(e) 11 kts (Fn = 0.503)

Fig. 10. Comparison of Wave Pattern from Snap Shot between Model tests and CFD according to Speed.

수치해석을 통해 얻어낸 저항(R_T)은 각각 모델 축적비에서 전저항계수(C_T)로 계산하여 상호 비교하였다. 계산된 결과 값은 Table 6에 정리하였고 Fig. 10은 두 시험 방법에 대한 속도별 전저항(C_T)을 비교하여 나타내었다.

비교결과 수치해석 및 모형시험은 오차범위도 ±0.49~3.84 % 내외로 유사한 값을 보이고 있으며, 비교 곡선을 통해 관련 유사도를 확인할 수 있었다.

Table 6. Comparison of Test Results from Exp. and CFD on model scale

Vs (knots)	Fn	C_T ($\times 10^3$)	
		Exp.	CFD
7.0	0.320	8.15	8.11
8.0	0.365	8.24	8.11
9.0	0.411	9.21	8.95
10.0	0.457	11.33	10.88
11.0	0.503	11.73	11.28

모형시험 결과와 수치해석 그래프 결과에서는 모두 유사한 경향을 가지지만 정량적 값에서는 다소 차이를 보이고 있다. 이러한 차이의 원인은 항주거동 중심인 VCG_m/Lpp_m = 14.7 %의 차이에 의해서 나타나는 것으로 사료된다(Fig. 11).

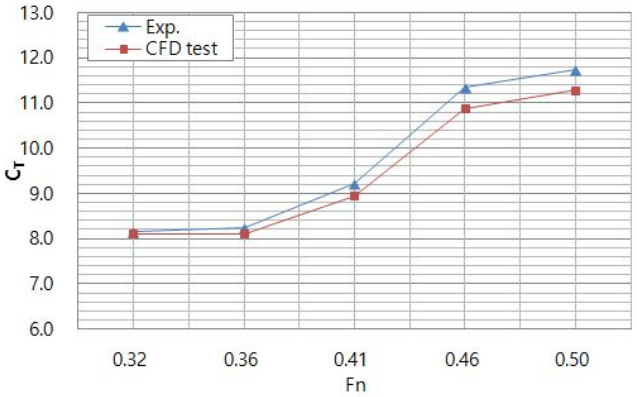


Fig. 11. Comparison of C_T between Experiment and CFD graph.

6. 결 론

소형 쌍동선에 대해 수치해석과 모형시험 연구로 모형 축적비에서 선속변화에 따른 선체 종경사(Trim)와 전저항(C_T)을 고찰하였고 세부결과는 다음과 같다.

(1) 연구모델인 소형 쌍동선은 모형시험에서 저항동력계의 설치는 선체의 무게중심(CG)에 설치되어야 하나, 모형시험 계측센서 설치 불가일 경우, 실 선박과의 무게중심 차이에 따라 다른 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

(2) 대상선박의 수치해석에서 VCG_m/Lpp_m 위치가 높아질수록 종경사가 작아졌으며, 이는 선체의 저항중심점은 수면 하부에 위치가고 무게중심은 수면 상부에 위치하기 때문에 무게 중심이 올라갈수록 선수 트림 모우멘트가 증가하여 경사각이 줄어드는 것을 확인하였다.

소형선박 초기 설계 시 항주에 따른 저항 및 종경사 결정을 위한 초기 무게중심 선정에 유용할 것으로 사료되었으며, 다양한 무게중심 변화에 따라 모형시험 결과변화 추가 연구가 요구되었다.

후 기

본 연구는 미래해양산업기술개발사업의 “Moon Pool 시스템 구조를 적용한 실내 다이버보트 개발” 과제와 소형선박 해상테스트기반구축사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] Jang, H. Y., C. H. Park, H. W. Kim, B. S. Lee and I. W. Lee (2010), A Study on the Sail Force Prediction Method for Hull Hydrodynamic Force Measurement of 30feet Catamaran Sailing Yacht, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 47, No. 4, pp. 477-483.

[2] Oh, G. H. and J. H. Yoo(2013), Numerical Prediction of Running Attitude and Resistance of Planing Craft, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 50, No. 2, pp. 95-103.

[3] Park, J. W., D. J. Kim, W. J. Oh and U. C. Jeong(2016), A Study on the Development of Low Speed Twin-Hull Form for Seabed Organic Sediment Collection, The Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 22, No. 2, pp. 246-252.

[4] Shi, A., M. Wu, B. Yang, X. Wang and Z. Wang(2012), Resistance Calculation and Motions Simulation for Free Surface Ship Based on CFD, Procedia Engineering, Vol. 31, pp. 68-74.

[5] Van, S. H. and H. C. Kim(1987), An Experimental Study on Hull Attitude and Resistance Components of a Ship, BULLETIN OF THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS OF KOREA, Vol. 24, No. 2, pp. 11-19.

Received : 2018. 04. 30.
Revised : 2018. 06. 26. (1st)
: 2018. 07. 30. (2nd)
Accepted : 2018. 08. 28.