

## 반전형 선수부 형상을 가진 쌍동선 저항성능에 관한 연구

김도정\*† · 오우준\*\* · 김정은\*\* · 나현호\*\* · 최홍식\*\*\*

\*, \*\* (재)한국조선해양기자재연구원, \*\*\* 신우산업(주)

A Study on the Resistance Performance of Catamarans  
with Modified-Reverse Bow

Do-jung Kim\*† · Woo-jun Oh\*\* · Jung-eun Kim\*\* · Hyun-ho Na\*\* · Hong-sik Choi\*\*\*

\*, \*\* Korea Marine Equipment Research Institute, Yeongam 58457, Korea

\*\*\* Shinwoo Industrial Co, Ltd., Yeongam 58457, Korea

**요약** : 본 연구에서는 쌍동선체의 선수형상에 대해 일반적으로 적용되고 있는 재래식과 선수 돌출의 반전형 선수 형상에 대한 저항성능 및 항주자세를 수치해석을 통해 분석하고, 반전형 선수형상에 대해서는 모형시험을 통하여 수치해석과 비교분석하였다. 반전형 선수형상은 재래식 선수형상보다 선수 발산과 파장의 생성위치를 선미방향으로 이동시켜 개선된 조파현상을 보였으며, 저항 및 안정된 항주자세 결정에 효과적이며 선체 저항이 약 2.95% 개선되었다. 반전형 선수형상에 대한 수치해석 및 모형시험 비교분석 자료는 향후 선형설계 활용에 유용할 것으로 판단된다.

**핵심어** : 쌍동형 선형, 선형설계, 반전형 선수, 수치해석, 모형시험

**Abstract** : In this study, we analyzed the resistance performance and running attitude of a catamaran by numerical analysis with a conventional bow, which is generally applied, and a reverse, protruding bow. The shape of the reverse bow was compared through numerical analysis and model tests. The reverse bow shape showed an improved wave pattern by shifting the generation position of the forward divergent wave to the aft in comparison with a conventional bow shape. This effect was found to be effective in determining resistance and stable running attitude. The hull resistance improved by about 2.95%. The comparative numerical analysis and model test for the reverse bow shape completed in this study should be useful for future hull design application.

**Key Words** : Twin hull, Hull form design, Modified-reverse bow, Numerical simulation, Model test

## 1. 서론

해양레저산업은 떠오르는 블루오션으로 북미·유럽권에서 보편적인 여가활동으로 자리잡은 해양레저가 최근 아시아에서 급성장함에 따라 우리나라에서도 연간 10% 이상의 성장세를 보이고 있으며, 2020년 시장규모(세계시장+국내시장)는 약 40조원(400억달러) 규모로 추정된다.

해양레저에 대한 관심 증대는 점차 다양한 수요에 대한 만족이라는 새로운 시장을 만들어 내고 있으며, 승선인원과 실내외 공간 활용 등 선박의 휴먼 인테리어 측면에서 넓은 범위의 공간적 서비스 제공분야로 확대되고 있다.

쌍동형 선박은 넓은 실내외 활용 공간을 제공하지만, 설계에 있어서는 두 선체 내부 파 간섭에 의한 저항 최소화와 선체 연결갑판에 작용하는 파랑 충격과 항주자세 등을 고려하여야 한다.

Park et al.(2016)은 쌍동선 선수형상의 변화에 따른 저항성능의 영향을 검토하고 CFD와 모형시험 결과를 비교하여 저항과 자유표면 유동특성 관계를 조사하였다. Oh and Yoo(2013)은 항주자세 및 저항 추정에 대해 상호 비교연구를 수행하였고, Choi and Park(2013)은 쌍동선형의 선형개발에 활용하고자 비대칭과 대칭 단동선형을 가진 쌍동선에 대해 저항성능을 평가하였으며 비대칭 단동선형의 쌍동선의 조파저항성능 우수성을 수치계산과 모형시험으로 확인하였다.

Jang et al.(2010)은 30 feet급 쌍동선을 대상으로 실선의 유

† Corresponding Author : djkim@komeri.re.kr, 061-460-5287

효마력을 추정하였으며, Kim et al.(2009)은 선박의 무게중심 위치 변화에 따른 항주 자세 영향에 대해 고찰하였다.

본 연구에서는 넓은 갑판공간을 제공하고 있는 쌍동선박의 선수형상으로 재래식(Conventional)과 반전형(Reverse) 선수형상에 대해 수치해석을 통한 선형성능을 검토하고, 상대적으로 저항과 항주자세가 우수한 반전형(Reverse) 선형에 대해서는 모형선 수조시험을 통하여 그 성능을 분석하였다.

## 2. 선형 설계

다동선체에서 선수는 Fig. 1과 같이 재래식(Conventional)과 반전형(Reverse), 추 또는 도끼형(Plumb & Axe) 선수형상 등이 있다. 재래식은 선수부 발생파랑의 유동을 수면상향으로 진행시키며, 반전형은 유동을 수면상부에서 아래로 흐르는 파랑관통(Wave-piercing) 형태이다. 추 또는 도끼형은 파도를 좌우로 가르며는 선수형상이다. 이러한 반전형과 추 또는 도끼형 등의 선수형상은 재래식 선수에 비해 조파성능과 파랑중 거동에 탁월함을 보이고 있다(Keuning et al., 2011).

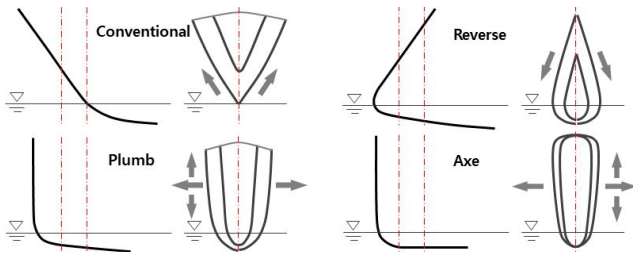


Fig. 1. Bow types on Multi-hulls.

대상 쌍동선형은 Fig. 2와 같이 재래식 선수(Conventional bow)와 수정 반전형 선수(Modified-reverse bow)의 2가지 형상으로 설계되었으며, 주요 제원은 Table 1에 정리하였다. 선수형상(F.P~7station)은 재래식 선수와 반전형과 도끼형을 결합한 수정 반전형 선수로 설계하였으며, 주요 구획배치를 고려하여 선미는 서로 같은 형상으로 하였다. 설계속도(Design speed)는 17 knots(NCR; Normal Continuous Rating)이며, 최대선속은 20 knots(MCR; Maximum Continuous Rating)이다. 해석모델 Geometry 형상은 Fig. 3에서 나타내었다.

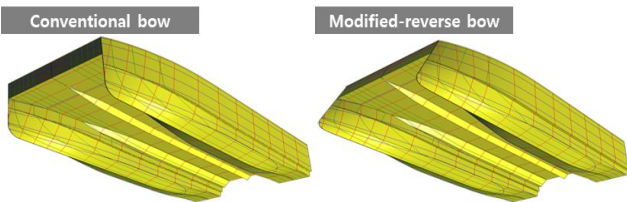


Fig. 2. Comparison of forward-side hull forms.

Table 1. Principal dimensions of ship (Scale Ratio: 1/13.111)

Items	Conventional		Modified-reverse	
	Ship	Model A	Ship	Model B
Lpp (m)	11.650	0.812	11.650	0.812
Lwl (m)	11.880	0.906	11.880	0.906
Beam (m)	6.400	0.488	6.400	0.488
draft (m)	0.690	0.052	0.690	0.052
Disp. (m <sup>3</sup> )	13.69	0.006	13.69	0.006
VCG (m)	0.425	0.032	0.425	0.032
Cb	0.551		0.551	
LCG (%)	-3.75		-2.94	

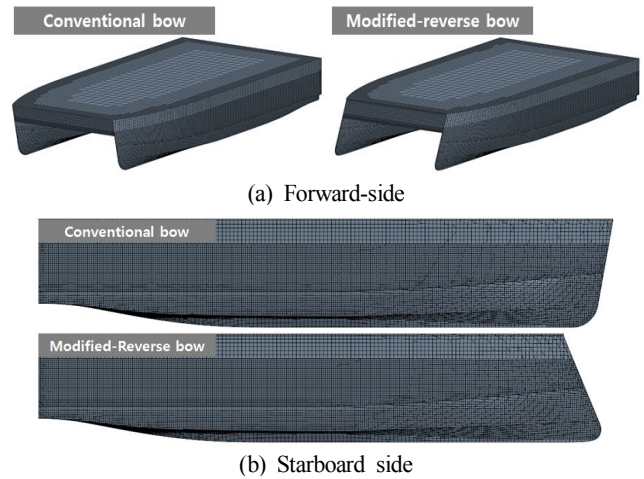


Fig. 3. Geometry of ship.

## 3. 수치해석 및 해석조건

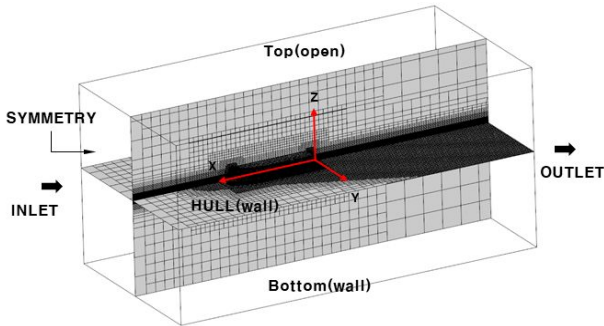
사용된 수치시뮬레이션 프로그램은 STAR-CCM+이며, 자유수면은 VOF법을 사용하였고 난류모델은 레이놀즈 응력의 전달방정식을 풀기위해 Reynolds Stress Turbulence를 적용하였으며, 계산 조건은 Table 2와 같다. 수치해석 결과는 Fig. 11과 Fig. 12에서 모형시험 결과와 비교 검토하였다.

Table 2. Physical setup in STAR-CCM+

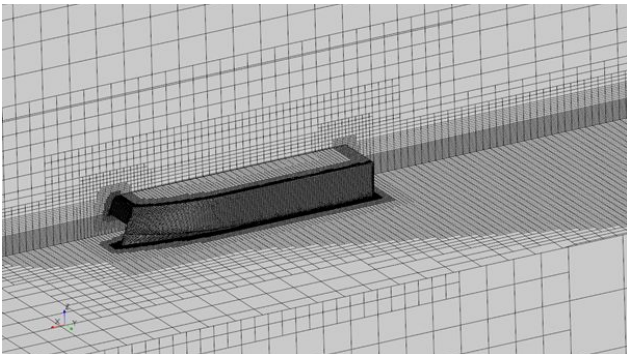
Parameter & Condition		Unit
Scale Ratio ( $\lambda$ )		13.111
Water	density	999.5
	kinematic viscosity	1.2727E-06
Air	density	1.18415
	dynamic viscosity	1.86E-05
Turbulent Model		Reynolds Stress Model
		Reynolds-Averaged Navier-Stokes
Free surface		VOF waves
Wall Treatment		High y+
Wall y+		80

반전형 선수부 형상을 가진 쌍동선 저항성능에 관한 연구

해석 영역은  $-3 \leq x/Lwl \leq 2$ ,  $-1 \leq y/Lwl \leq 1$ ,  $-1 \leq z/Lwl \leq 1$  이며 해석모델의 생성격자는 Volume mesh로 설정하였고, Surface Re-mesh, Trimmed Cell Mesh, Prism Layer Mesh로 구성하였다. 격자수는 약 250만개이며, 선속에 따른 선체 거동을 계산하기 위해 격자 모핑법(Mesh morphing) 이용의 DOF model을 사용하였다. Fig. 4는 수치계산을 위한 경계조건과 자유표면에서의 격자계이다. 본 계산법의 저항력의 점성유동 성분의 민감도는 낮음을 고려하여 y+를 결정하였다(Haase et al., 2012).



(a) Boundary condition



(b) Grid system

Fig. 4. Boundary condition & Grid system.

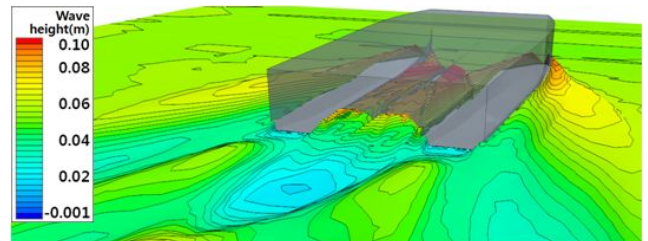
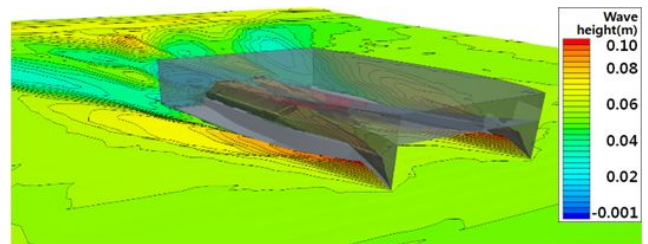
수치해석의 선박 제원과 선속 조건은 수조시험에서의 조건과 동일하게 적용하였으며, 수치해석의 선속은 Table 3에 나타냈다.

Table 3. Ship speeds for model test

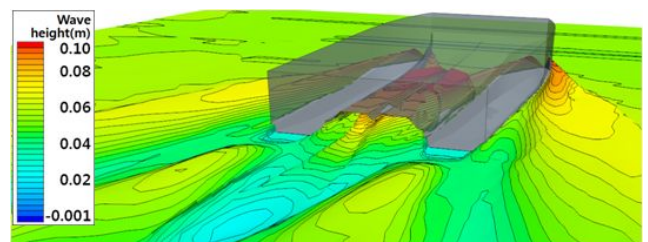
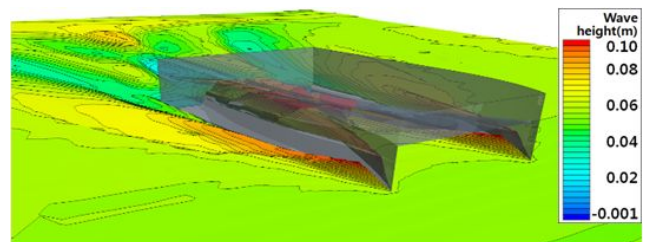
Case	Ship speed (knots)	$F_n$	Reynolds Number in model
1	13	0.619	$1.315 \times 10^6$
2	15	0.715	$1.517 \times 10^6$
3	17	0.810	$1.720 \times 10^6$
4	19	0.905	$1.922 \times 10^6$
5	20	0.953	$2.023 \times 10^6$

Fig. 5와 Fig. 6은 Conventional 및 Modified-reverse bow 선형의 파형에 대한 수치해석 결과이다. 공통적으로 선수로부터 발달된 Kelvin형으로, 발산파 생성위치는 항주속도에 따라 Conventional bow는 약 9.8 Station, Modified-reverse bow는 약 10.2 Station에서 위치하여 생성되었다. 선속 증가에 따라 발산파의 파장은 점차 중앙부 쪽으로 이동되며, 각각 동체의 내부에서 유기된 파는 선속 증가에 따라 선체중앙부 근처에서 크게 중첩되어 선체 연결 테크에 닿고 있음을 보인다.

두 선형이 동일 수선간장(L.W.L.)임을 감안하면, 항주자세 변화로 조파현상에 변화를 주고 있으며, 이는 상호 파계 비교를 통해 Modified-reverse bow 선형의 개선된 조파현상을 보이고 있음을 확인하였다(Fig. 7).

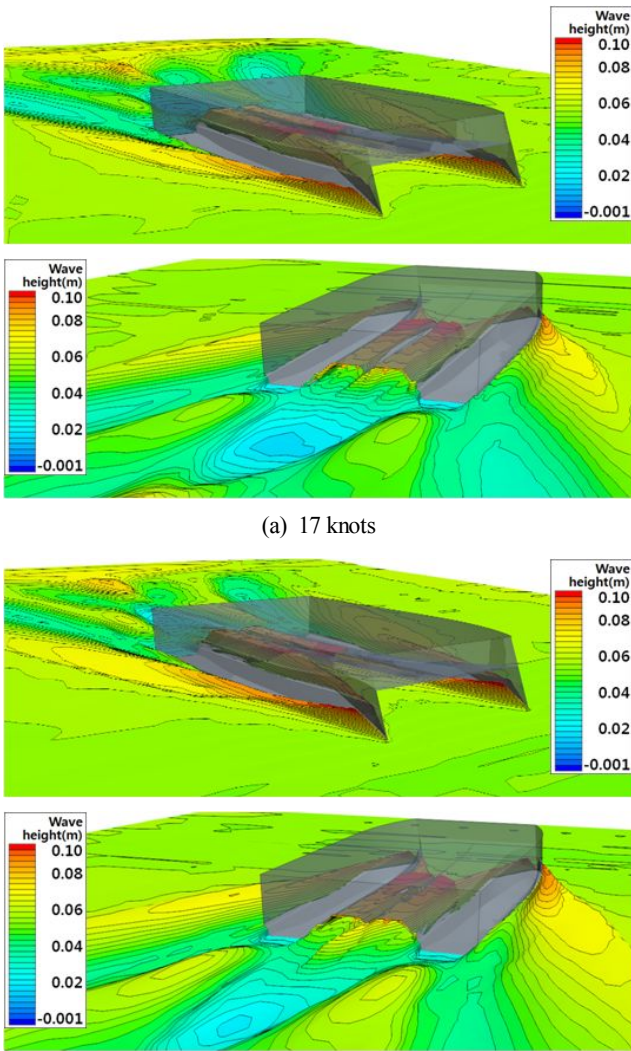


(a) 17 knots



(b) 20 knots

Fig. 5. Wave patterns for Conventional bow.



(a) 17 knots

(b) 20 knots

Fig. 6. Wave patterns for Modified-reverse bow.

Fig. 7과 Table 4는 13~20 knots에서 Conventional bow와 Modified-reverse bow 선형에 대한 파형과 전저항 계수( $C_T$ )를 비교한 것이다.

Fig. 7의 파형은 동일 선속조건에서 Modified-reverse bow 선형의 선수 발산각이  $23^\circ$ 로 Conventional bow의  $28^\circ$  보다 약  $5^\circ$ 의 개선된 파형을 보였다. 이러한 파형개선은 Table 4의 전저항 계수 비교를 통해서 선속 증가에 따라 Modified-reverse bow 선형의 전저항이 개선되는 것을 확인하였다.

수치해석의 전저항 계수( $C_T$ )는 Modified-reverse bow 선형이 Conventional bow 대비 설계선속 17 knots에서 약 3.64%, 최대 선속 20 knots에서는 약 2.46%로 전체 선속구간에서 약 2.95%의 선형 저항 개선을 확인하였다.

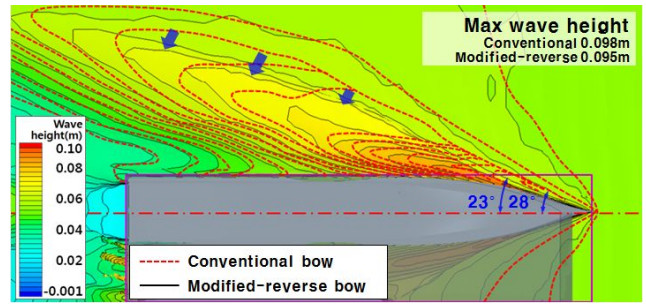
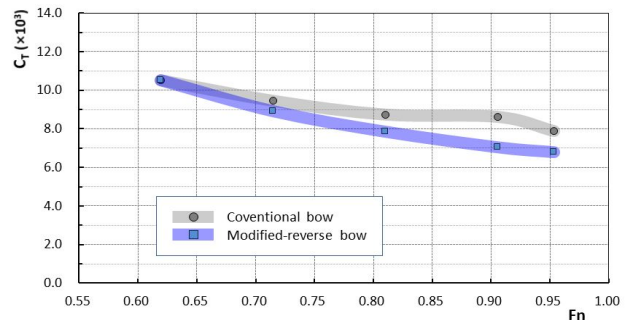


Fig. 7. Comparison of Wave-pattern at 17 knots.

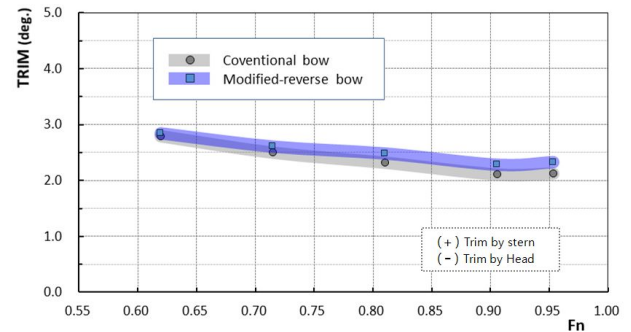
Table 4. Comparison of Total Resistance Coefficient ( $C_T$ )

Vs (knots)	Fn	$C_T (\times 10^3)$	
		Conventional	Modified-reverse
13.0	0.619	10.535	10.534
15.0	0.715	9.464	8.930
17.0	0.810	8.746	7.866
19.0	0.905	8.628	7.059
20.0	0.953	7.889	6.805

Fig. 8은 대상선형 2척의 전저항 계수( $C_T$ )와 항주자세(종경사(Trim), 침하율(Sinkage))에 대한 것으로 선속 17~20 knots 구간에서 Modified-reverse bow 선형이 파형개선에 따른 저항 개선과 안정된 항주자세를 보이는 것으로 계산되었다.



(a) Coefficient of Total resistance



(b) Trim

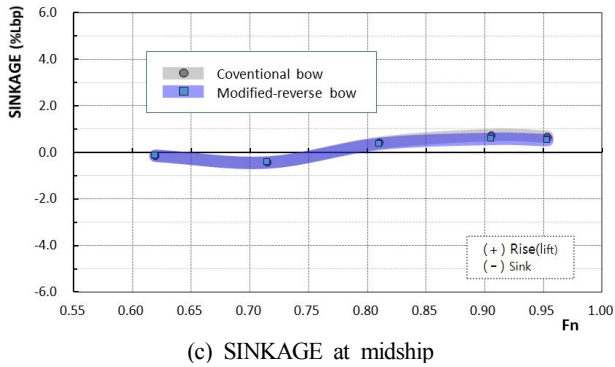


Fig. 8. Comparison of CFD Result.

#### 4. 모형시험 대상 및 시험조건

Fig. 9의 Modified-reverse bow 선형에 대한 모형시험은 서일본유체기술연구소(West Japan Fluid Engineering Laboratory)의 회류수조에서 수행하였다.

시험모형은 수치해석과 동일 축척비의 0.9 m 하드우레탄으로 제작하였으며, 모형시험의 선속은 실선기준 13~25 knots 범위(Table 5)에서 선체저항 및 Trim, Sinkage 등을 측정하였다.

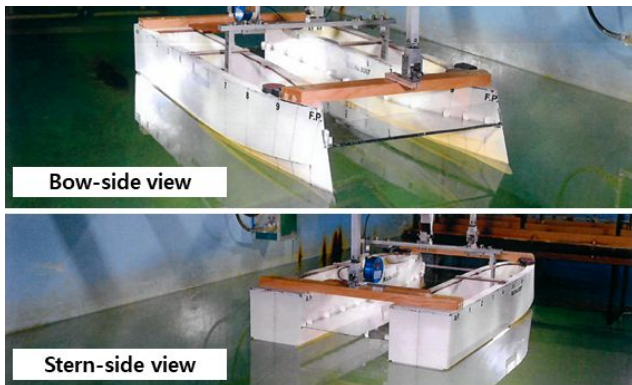


Fig. 9. Test models.

Table 5. Model ship Test Speed

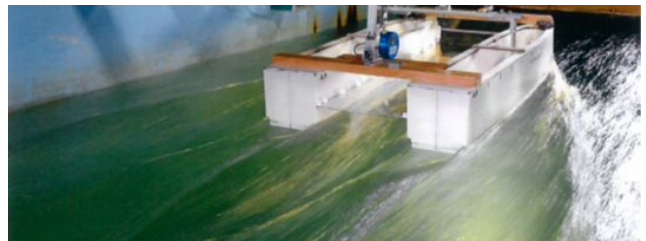
Vs(knots)	Fn	Model Test - $V_m$ (m/sec)
13	0.619	1.847
15	0.715	2.131
17	0.810	2.415
19	0.905	2.699
20	0.953	2.842
21	1.001	2.984
23	1.096	3.268
25	1.191	3.552

#### 5. 모형시험 수행 및 결과 비교

Fig. 10은 Modified-reverse bow에 대해 설계 선속 17 knots와 20 knots의 모형시험에서 선체 주위 파계형상을 선속별로 나타낸 것이다. 선속과 선수 및 선미의 종방향 체적 분포에 따라 선체주위 파계형상이 크게 변화(Park et al., 2016)되었으며, 선속 증가에 따라 각 선체내부에서 생성된 파의 중첩과 선체연결갑판(Cross-deck)에 파랑충격 등의 영향은 선체중앙부에서 선미에 이르는 것으로 관찰되었다.



(a) Bow and Stern-side view at 17 knots



(b) Bow and Stern-side view at 20 knots



Fig. 10. Model test result of Modified-reverse bow.

Table 6은 선속변화에 따른 수치해석과 모형시험의 전저항 계수 결과를 비교한 것이다. 모형시험과 수치해석의 결과는 경향이 유사하며, 각각의 전저항 계수 결과는 수치해석과 모형시험은 약 1.99~3.79%의 차이를 보이고 있다.

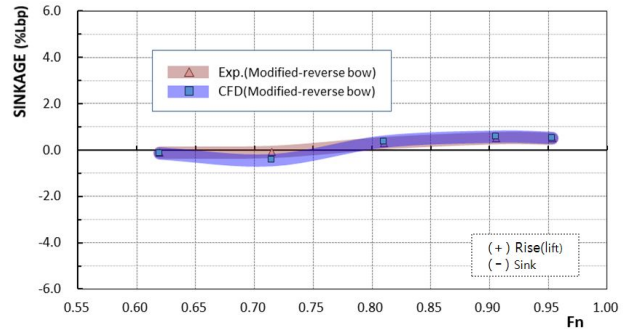
Table 6. Comparison of Total Resistance between CFD and Exp

Vs (knots)	Fn	C <sub>T</sub> (× 10 <sup>3</sup> )	
		CFD	Exp.
13.0	0.619	10.534	10.748
15.0	0.715	8.930	9.195
17.0	0.810	7.866	8.163
19.0	0.905	7.059	7.337
20.0	0.953	6.805	6.976

Modified-reverse bow 선형에 대한 정량적 성능 추정을 위하여, 모형시험을 통한 선체저항 계측과 ITTC(International Towing Tank Conference)에서 제안한 국제표준방법을 이용하여 실선의 성능을 추정하였다(K.S.N.A, 2014).

도출된 전저항 결과에 Trim, Sinkage 결과를 포함하여 상호 그래프 비교는 Fig. 11에 나타내었으며, Wave pattern 및 Trim 결과 비교를 통해 수치해석의 유용성을 확인하였다.

Fig. 12는 Modified-reverse bow 선형에 대해 수치해석 및 모형시험을 통해 도출된 선속별 유효마력 곡선이다. 최대선속 20 knots의 경우, 약 191마력이 요구되며, 수치해석과 모형시험은 약 2.40~4.87%의 결과 차이를 보이고 있다.



(c) SINKAGE at midship

Fig. 11. Comparison of Results of Exp. and CFD.

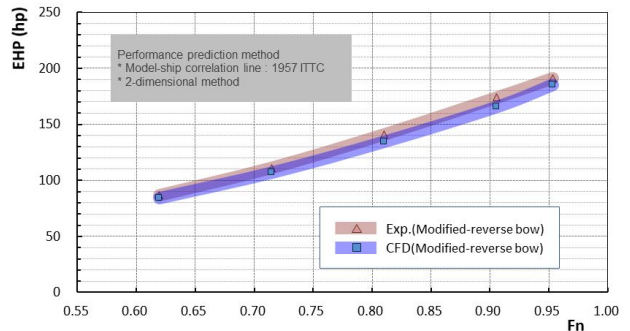


Fig. 12. Speed-power Curves of Exp. and CFD.

## 6. 결론

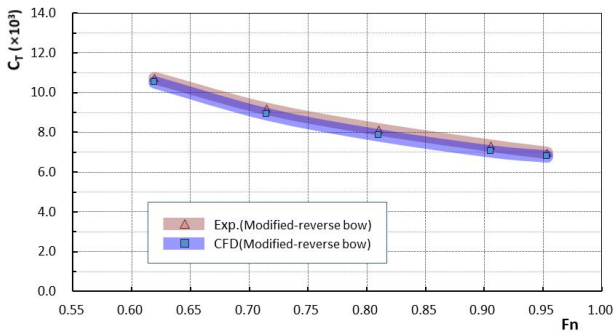
본 연구는 쌍동선 선수형상에 있어서 Modified-reverse bow 적용에 따른 선체주위 파형 및 저항성능을 수치해석과 수조 모형시험으로 그 결과를 비교하였다. 세부결과는 다음과 같다.

(1) Reverse 선수는 선수의 조파현상을 개선시키고, 안정된 선체 항주자세 결정에 효과적임을 확인하였다.

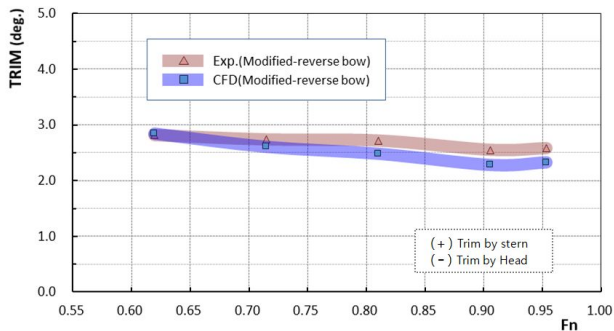
(2) 수치해석을 통한 저항성능 연구로 Modified-reverse bow 선형이 Conventional bow 대비 전체 선속구간에서 약 2.95%의 선형 저항 개선을 확인하였다.

(3) 본 연구로 수행된 선체의 저항, Trim, Sinkage 등의 정량적 수치해석 결과는 모형시험의 정량적 결과와 근접한 결과를 보였다. 유효마력에 대한 수치해석과 모형시험은 약 2.40~4.87%의 결과 차이를 보이고 있다.

향후, 본 쌍동선 연구 선형에 대해 파랑 중 항주 안정성 검토를 위해 쌍동선 동체의 연결갑판 파랑 충격에 대한 추가연구가 필요하다.



(a) Coefficient of Total resistance



(b) Trim

## 후 기

본 연구는 2017년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원(KIMST)의 지원을 받아 수행한 미래해양산업기술개발사업(과제명: 한국전통인테리어를 접목한 수출 주도의 30ft급 쌍동형 알루미늄 파워요트개발(과제번호 20170138))의 지원으로 수행되었습니다.

---

Received : 2018. 09. 21.

Revised : 2018. 10. 29.

Accepted : 2018. 12. 28.

## References

- [1] Choi, H. J. and D. W. Park(2013), Wave-resistance Performance Analysis of the Twin Hull for a Type of the Asymmetric and Symmetric Mono Hull, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 19, No. 1, pp. 78-84.
- [2] Haase, M., F. Iliopoulos, G. Davidson, S. Friezer, G. Thomas, J. Binns, N. Bose, J. Lavroff and M. R. Davis(2012), Application of RANSE-based Simulations for Resistance Prediction of Medium-Speed Catamarans at Different Scales, 18th Australasian Fluid Mechanics Conference, Launceston, Australia, pp. 3-7
- [3] 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.
- [4] Keuning, J. A., G. L. Visch, J. L. Gelling, W. V. Lentsch and G. Burema(2011), Development of a new SAR boat for the Royal Netherlands Sea Rescue Institution, American Society of Naval Engineers, pp. 797-806.
- [5] Kim, D. J., K. P. Lee and H. S. Park(2009), A Study on the Effects of Weight and Center of Gravity of a Planing Craft on Running Attitude, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 46, No. 3, pp. 335-342.
- [6] K.S.N.A(2014), The Korean Society of Naval Architects, Introduction of Naval Architecture and Ocean Engineering, Dong-Myeong Publishers, pp. 64-82.
- [7] 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.
- [8] 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.