

해저 유기퇴적물 수거를 위한 저속 쌍동형 선형개발 연구

박제웅*† · 김도정** · 오우준** · 정우철***

* 조선대학교 선박해양공학과, ** 한국조선해양기자재연구원, *** 인하공업전문대학

A Study on the Development of Low Speed Twin-Hull Form for Seabed Organic Sediment Collection

Je-woong Park*† · Do-jung Kim** · Woo-jun Oh** · Uh-cheul Jeong***

* Department of Naval Ocean Engineering, Chosun University, Gwangju 61452, Korea

** Korea Marine Equipment Research Institute, Mokpo 58457, Korea

*** Department of Ship and Ocean System, Inha Technical College 22212, Korea

요 약 : 본 연구에서는 연안의 해저면에 누적된 퇴적오염물을 효율적으로 수거할 수 있는 저속 쌍동형 정화선에 대한 선수선형의 개념설계에 대해 수행하였다. 선형설계는 선체건조가 용이하도록 단순화하였으며, 쌍동선 선형의 선수 Water line, 선수각 등의 변화에 따른 저항성능의 영향을 검토하였다. Ansys CFX를 이용한 수치시뮬레이션과 회류수조에서의 모형시험결과와의 비교/분석 등을 통하여 선수부 선형변화에 따른 저항성능과 자유표면 유동특성 사이의 관계를 고찰하였으며, 그 결과 선수재 위치와 어깨부 체적의 선수부 이동에 따른 파형개선으로 조파저항이 감소하는 등 저항성능의 향상을 확인하였다.

핵심용어 : 쌍동형 선형, 선형설계, 수치해석, 모형시험, 파 간섭, 저항성능

Abstract : In this study, conceptual design of the fore-body hull form of catamaran type dredging vessel was performed that can effectively remove the contaminated sediments in coastal seabed. The hull form was simplified for the easy hull construction and the resistance performance was investigated to find out the effect of hull form parameters between variation of waterline and angle of entrance, etc. The relation between resistance performance and characteristics of free surface flows according to variation of bow forms was investigated by model testing in the circulating water channel and using Ansys CFX. The improvement of ship resistance performance to the wave resistance decrease due to improved wave pattern has been verified according to move the stem and the volume of the shoulder to the fore part of the vessel.

Key Words : Twin hull, Hull form design, Numerical simulation, Model test, Wave interaction, Resistance performance

1. 서 론

최근 해양관광, 어업 생존권 확보 등에 대한 사회적인 관심이 증가하면서 해양 환경에 대한 중요성 또한 크게 증가하고 있다. 해양오염에 있어서 큰 문제가 되고 있는 분야는 오랫동안 해저면에 퇴적되어 온 유기 퇴적물로, 이를 효과적으로 제거하기 위한 많은 연구가 수행되어 왔으나 대부분이 준설 방법에 대한 연구로, 제한된 공간에서 이를 효율적으로 운용하기 위한 선박에 대한 연구는 많지 않은 실정이다.

Jeong(2001, 2013) 등은 썰기형 선수선형을 갖는 쌍동형 청소선의 선수부 형상과 효율에 대한 연구를 모형시험과 수치해석을 통하여 수행하여 비대칭 선수선형의 성능개선 효과를 설명하였고, Kim et al.(2006)은 선체길이 30m급, 배수량 200톤급 규모의 쌍동형 준설선의 선형개발에 대한 연구를 수행하였으며, 특히 개구형 작업공간(Moon pool)의 유체역학적인 영향에 대한 체계적인 연구를 수행하였다.

CFD를 이용한 저항추정에 있어서는 Crane 선(Shin et al., 2012)과 활주선(Yoo and Oh, 2013; Park, 2014) 등의 격자민감도에 따른 벽 근처의 점성영향을 해석하여 저항을 추정하였으며, Teresa(2014)는 쌍동선 선체 간격변화에 따른 파계, 저

† Corresponding Author : jwpark@chosun.ac.kr, 062-230-7132

항 등을 분석하였다.

본 연구에서는 연안의 해저면에 누적된 퇴적오염물을 효율적으로 수거하고, 선체건조가 용이하도록 선수부 형상을 단순화한 쌍동형 수거선의 선형개념과 유체역학적 특성에 대하여 언급하였다.

개발선의 성능은 회류수조 모형시험을 통하여 확인하였으며, 수치시물레이션을 이용한 계산결과와 모형시험 결과를 비교하여 수치시물레이션을 유용성을 함께 검토하였다. 수치시물레이션은 Ansys CFX 프로그램을 이용하였다.

2. 대상선박 개념설계

선박설계는 퇴적물 수거 시스템의 안정적 탑재 및 효율적 작업환경 배치와 얇은 수심의 경우에도 접근성이 용이하도록 저흘수 선박의 개념을 도입하였으며, Kim, Lee(2006)의 제안에 따라 선체 중앙부에 퇴적물 수거가 용이한 개구부를 갖는 쌍동형을 기본선형으로 선정하였다(Table 1).

Table 1. Comparison of hull form performance

Items \ Type	Type		
	Displacement	Barge	Twin hull
Propulsive performance	Excellent	Bad	Good
Stability performance	Bad	Excellent	Good
Turning performance	Excellent	Bad	Good
Working draft	Deep	Shallow	Mid

대상선박의 주요제원은 Fig. 1과 같이 길이 11~13 m, 배수량 10 ton 내외의 유사 쌍동형 선박의 주요제원 분석을 통하여 선정하였다.

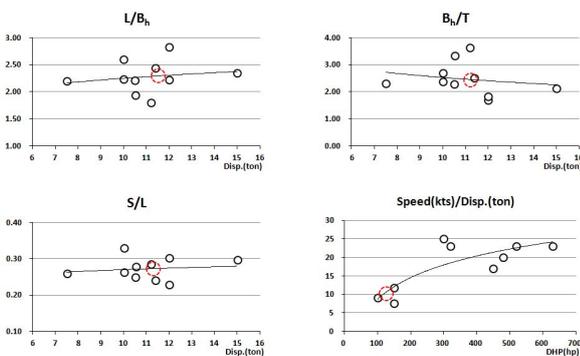


Fig. 1. Principle dimensions for similar vessels.

쌍동형 유사선박의 대부분은 L/B_h 가 약 2.3, B_h/T 는 약 2.5, S/L 은 약 0.28에서 군집하는 제원 특성을 보이고 있으며, 선속은 저마력(100~200 hp) 범위에서는 Speed/Disp.가 약 10 정도이며, 고마력(450~550 hp) 범위에서는 Speed/Disp.가 약 20 정도임을 보이고 있다. 여기에서 L은 전장, B_h 는 단동체 선체의 폭, T는 흘수, S는 단동체 중심간 거리, Disp.는 배수량이다.

통상의 준설선은 항해속도는 10 knots 내외, 작업 시에는 5 knots 이하로 운항하므로 선형은 비교적 단순한 형상을 갖고 있다. 본 대상선의 항해속도는 내만의 조류를 고려하여 6 knots, 작업속도는 4 knots로 가정하였다. 선미부는 배수량 확보를 위하여 상자형상으로 하였으며, 선수부는 8 knots 이상의 운항속도 요구 시 Froude Number(Fn)를 고려하여 반활주선 형상을 갖도록 설계하였다.

Table 2에 개발선 및 모형선의 주요제원을 나타내었으며, Fig. 2에는 대상선의 선형 형상을 나타내었다.

Table 2. Principal dimensions of ship

Items	Dimensions (Scale 1/10)	
	Ship	Model
Loa (m)	11.600	1.1600
Lbp (m)	11.083	1.1083
Beam (m)	5.00	0.500
Depth (m)	1.60	0.160
Draft. T (m)	0.576	0.0576
Cb	0.729	0.3792
W.S.A. (m ²)	43.903	0.4390
Disp. (m ³)	12.104	0.012104
Disp. (ton)	12.4	0.0124

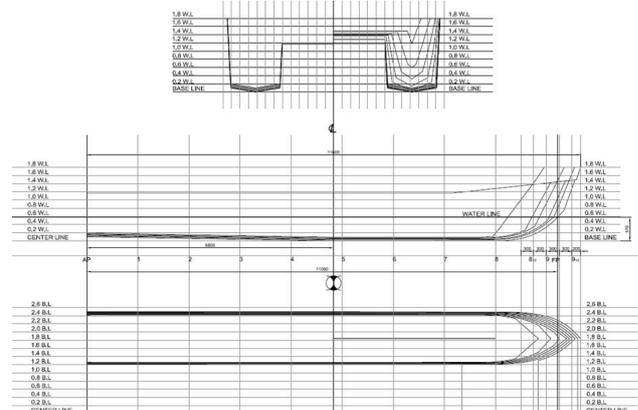


Fig. 2. Lines of hull forms.

3. 모형시험

모형시험은 서일본유체기술연구소의 회류수조에서 수행되었다. 시험모형은 L=1.0 m 크기로 하드우레탄으로 제작하였으며, 시험모형을 Fig. 3에 나타내었다.

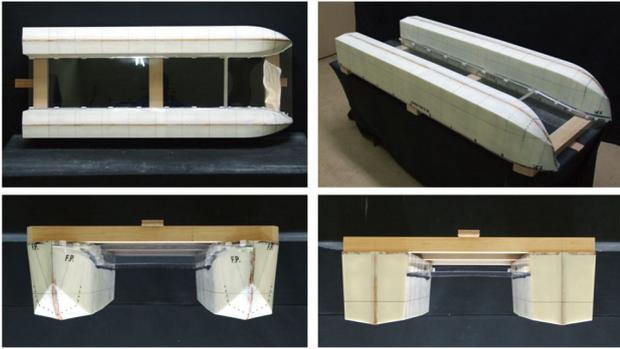


Fig. 3. Test model.

Fig. 4는 작업속도(4 knots) 및 항해속도(6 knots)에서의 선체 주위에서의 파형을 보인다. 일반적으로 상자형 선미형상을 갖는 선미단에서 나타나는 큰 선미파가 두 속도 모두에서 나타나지 않는다. 그러나 비교적 큰 선수파가 어깨부근에서 나타나고 있으며, 속도가 증가할수록 더욱 강하게 나타나고 있다. 이러한 어깨파는 쌍동선의 두 선체 사이에서 강한 파간섭을 일으켜 저항성능에 악영향을 줄 것으로 판단된다. 향후 탑재장비의 분포를 수정하여 선수부 어깨부근의 배수량을 감소시킬 필요가 있는 것으로 판단된다.



(a) free surface flows at 4 knots



(b) free surface flows at 6 knots

Fig. 4. Free surface flows at 4knots and 6 knots.

Fig. 5는 선속에 따른 침하량 변화를 나타내었다. 전 속도 영역에서 비교적 안정적인 운항자세를 보이고 있으며, 속도 변화에 따른 침하량 변화는 크지 않다. 10 knots 이상 비교적

고속영역에서는 선수부가 약간 부상하는데 이는 선수형상이 반활주선 개념을 가지고 있기 때문이다.

본 연구의 대상선박이 저속 쌍동형 정화선의 선형에 대한 것으로, 선수부 형상에 대한 개선을 통하여 선수파와 그에 따른 조파저항 성분의 개선이 필요한 것으로 판단된다.

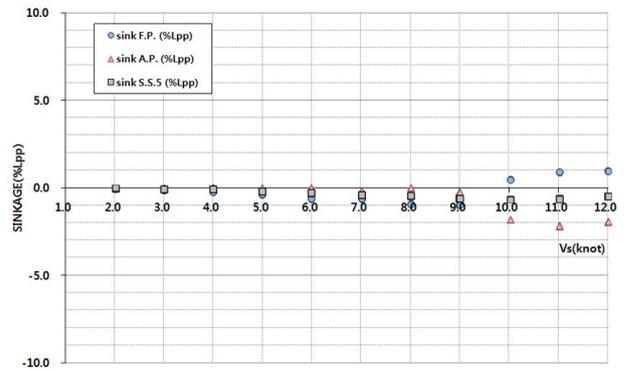


Fig. 5. Comparison of sinkage between F.P. and A.P..

4. 수치해석

개발선에 대한 수치해석은 Ansys CFX를 이용하였으며, Table 3의 자유표면에 대한 수치해법과 주요 계산 조건은 적용된 난류모델(BSL Baseline Reynolds Stress)과 자유수면 해석 기법(Homogeneous Multiphase)이 타 난류모델 및 기법보다 저항추정에 정도 높은 해를 보임에 따라 해석조건으로 적용하였다(Bank, 2010).

해석 모델은 실선과 같은 축척비(1:1)로 하였다. 계산을 위한 격자생성은 ICEM CFD를 이용하였으며, 격자계는 Hexa Mesh로 격자계를 구성하였다.

Table 3. Physical models of simulation

Turbulence model	BSL Reynolds Stress
Free Surface model	Homogeneous Multiphase : Free Surface Standard Model
Buoyancy model	Buoyancy, Density Difference Model

본 선형은 비교적 단순한 형상이나, 본 대상선의 Fn은 약 0.4 내외이므로 조파저항 성분이 중요한 설계변수이다.

Shin et al.(2012)과 Park(2014) 등은 Crane 선박과 중형 고속정에 대하여 격자민감도에 따른 벽 근처의 점성영향을 해석 위하여 벽 근처의 국부적인 Reynolds No.를 표현하는 Y+ 와

해저 유기퇴적물 수거를 위한 저속 쌍동형 선형개발 연구

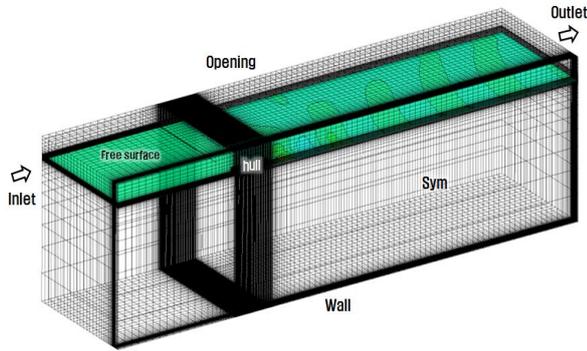
격자수를 변화시켜가며 저항을 추정하였다.

본 연구에서는 자유표면 계산 정도 향상을 위하여 자유표면 근처에 격자를 집중시켰으며, 계산조건은 Table 4와 같다.

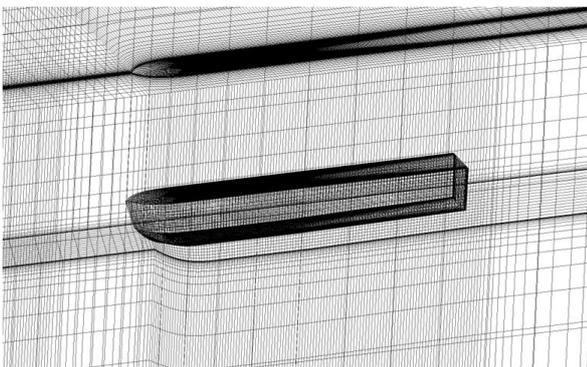
Table 4. Conditions of domain & grid

Computational domain	$-3.5 \leq x/Lwl \leq 8.5$ $0 \leq y/Lwl \leq 3.0$ $-3.0 \leq z/Lwl \leq 0.5$
Number of grids	about 1,700,000
Y+	30 ~ 40

Fig. 6은 수치계산을 위한 경계조건과 자유표면에서의 격자계를 나타낸 모습이다.



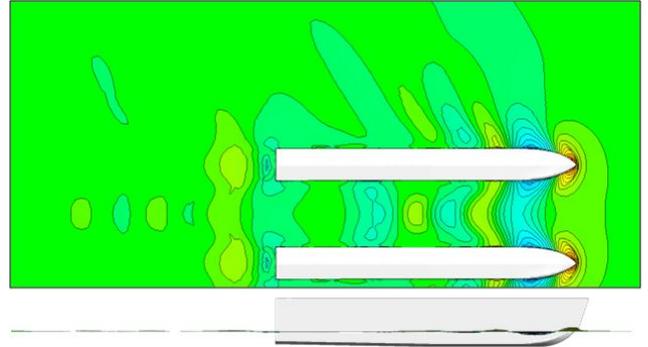
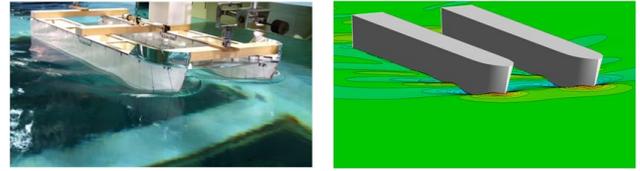
(a) Boundary condition



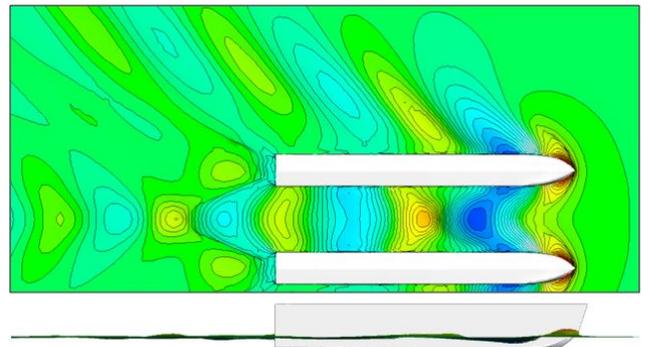
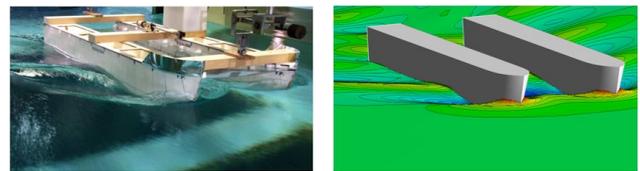
(b) Grid system

Fig. 6. Boundary condition & Grid system.

Fig. 7.에는 유속 4knots 및 6knots에서의 Ansys CFX를 이용한 점성유동장 해석결과를 모형시험과의 Wave pattern을 비교하였으며, 계산과의 차이는 두 선체 사이의 파 간섭 영향 등의 영향이 작게 계산되었기 때문으로 판단된다.



(a) $F_n = 0.197$ ($V_s = 4.0$ kts)



(b) $F_n = 0.296$ ($V_s = 6.0$ kts)

Fig. 7. Comparison of Wave patterns between model test and simulation.

Table 5에는 계산결과와 모형시험을 통한 실선의 유효마력 추정결과에 대한 비교를 나타내었다.

모형시험에서는 전저항을 ITTC-1957 곡선을 이용한 마찰저항(C_f)과 잉여저항(C_r)으로 나누고, 수치계산에서는 조파저항(C_w)과 점성압력저항(C_{vp})의 합인 압력저항(C_p)과 마찰저항(C_f)의 합으로 나누었다.

Fig. 8에는 Table 5의 전저항(C_t)에 대한 계산결과를 모형시험과 비교하여 나타내었다. 전반적으로 상호간 유사한 경향을 보이고 있으나, 계산결과가 시험결과에 비하여 작게 추

정되고 있다. 이는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 수치해석에 의한 선수과가 모형시험에 비하여 비교적 작게 나타나고, 따라서 두 선체 사이에서의 파 간섭 영향이 작게 계산되었기 때문에 판단된다. 또한, 향후 경계조건과 자유표면 근처에서의 격자배치, 속도변화에 따른 항주자세 등 수치해석에 있어서 보다 구체적인 검토가 필요한 부분이다.

Table 5. Resistance coefficients ($\times 10^5$)

Speed		Exp. (C.W.C)	CFD (CFX-1)
Vs (knots)	Fn	Ct (=Cf+Cr)	Ct (=Cf+Cp)
2.0	0.099	5.735	5.798
4.0	0.197	7.048	7.295
6.0	0.296	14.858	14.004
8.0	0.395	17.524	16.278
10.0	0.493	16.794	15.227

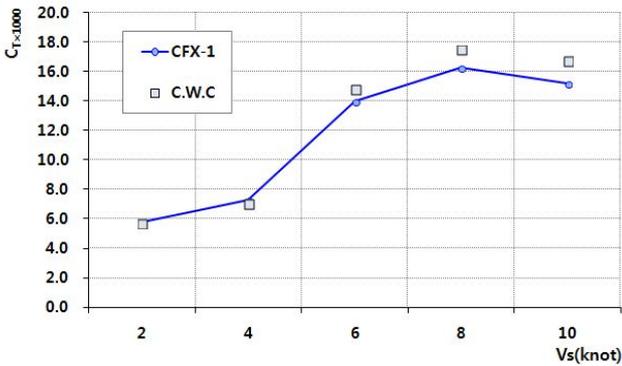


Fig. 8. Comparison of the total resistance coefficients.

5. 선형개선

Fig. 4에서 언급한 바와 같이 초기선형의 선수부에는 큰 어깨과가 발생하여 두 선체 사이의 파 간섭에 의한 저항 증가가 큰 것으로 판단된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 선형을 수정하여 동일한 수치 Simulation에 의하여 그 성능을 비교하였다. 초기선형에서는 8 knots 이상의 운항속도 요구 시의 Froude Number(Fn)를 고려하여 반환주선 형상을 갖도록 설계하였으나, 쌍동선에서 각각의 단동체가 활주선의 형태인 경우 두 선체 사이의 파 간섭이 발생하여 저항성능이 나빠질 우려가 크다. 따라서 선형수정 방향은 선수 Profile 하부의 Stem line과 어깨부 Volume을 앞으로 이동시키는 선형수정을 하였으며, 단면의 형상은 가공의 편의성을 위해 직선 형태를 유지하였다.

Fig. 9에 초기선형과 수정선형의 비교를 나타내었다.

Table 6은 선형수정에 따른 초기선형과의 주요 dimension 변화를 나타낸 것으로, Lbp 4%와 W.S.A.(Wetted Surface Area) 1.7%가 증가하였다.

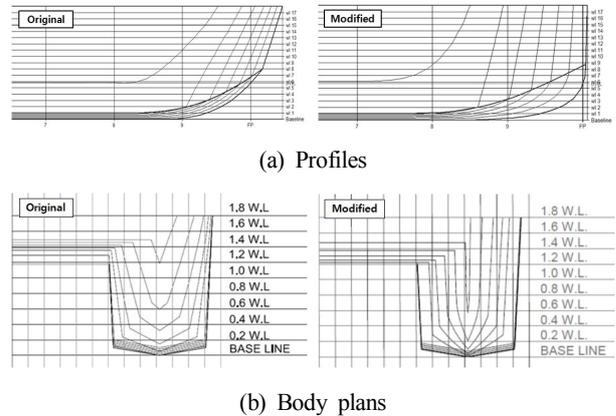


Fig. 9. Comparison of hull forms between original and modified hull.

Table 6. Comparison of dimensions between original and modified hull

Items	Dimensions		
	Original	Modified	fluctuation (%)
Loa (m)	11.600	11.600	-
Lbp (m)	11.083	11.527	+4.0
Beam (m)	5.00	5.00	-
Depth (m)	1.60	1.60	-
Draft. T (m)	0.576	0.576	-
Cb	0.729	0.729	-
W.S.A. (m ²)	43.903	44.670	+1.7
Disp. (m ³)	12.104	12.105	-
Disp. (ton)	12.4	12.4	-

초기선형 및 선수 수정선형에 대한 선속 4 knots 및 6 knots에서의 선수부 파형에 대한 수치계산 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

Fig. 11은 초기선형 및 수정선형의 선속에 따른 측면에서의 파형을 비교한 것으로, 선수선형 변화에 따른 수정선형 파형의 파고 및 파형이 개선되고 있음을 보이고 있다.

해저 유기퇴적물 수거를 위한 저속 쌍동형 선형개발 연구

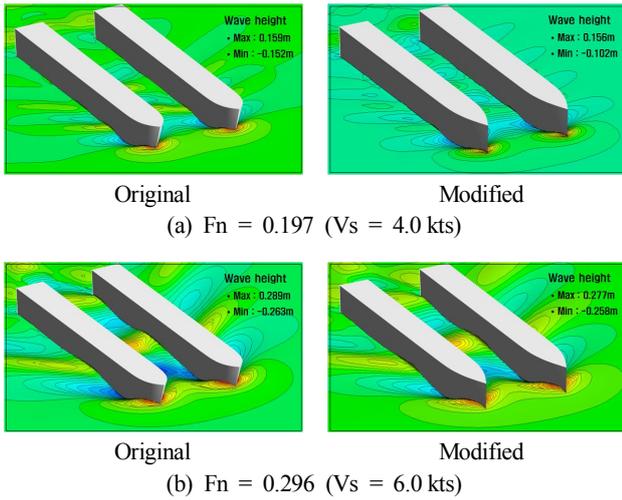


Fig. 10. Comparison of wave patterns between original and modified hull.

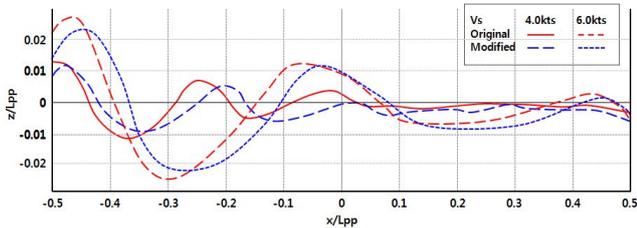


Fig. 11. Comparison of wave profiles.

Fig. 12는 두 선형의 조파저항에 대한 비교를 위하여 Prohaska 방법에 따라 추정된 형상영향계수 k 를 나타낸 것으로, 초기 선형 $k=0.2345$ 에서 수정선형 $k=0.2274$ 로 수치계산을 통하여 추정하였다.

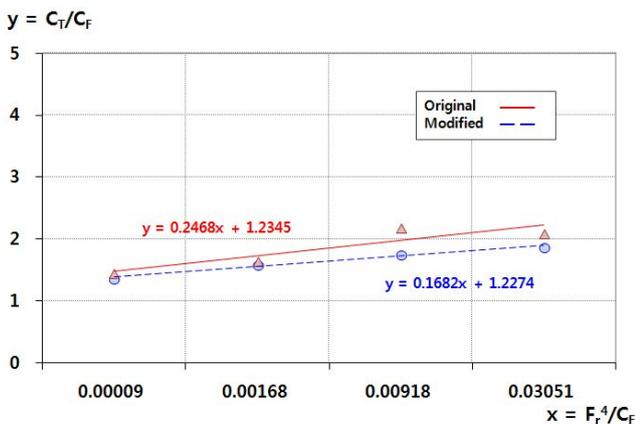


Fig. 12. Comparison of form factor k .

Table 7 및 Fig. 13은 두 선형의 조파저항에 대하여 수치계산한 결과를 나타낸 것이다.

Table 7. Wave resistance coefficients

Speed		CFD (Original)	CFD (Modified)
Vs (knots)	Fn	Cw ($\times 10^3$)	Cw ($\times 10^3$)
2.0	0.099	2.095	1.936
4.0	0.197	4.001	3.832
6.0	0.296	10.919	9.002
8.0	0.395	13.329	11.219
10.0	0.493	12.377	10.893

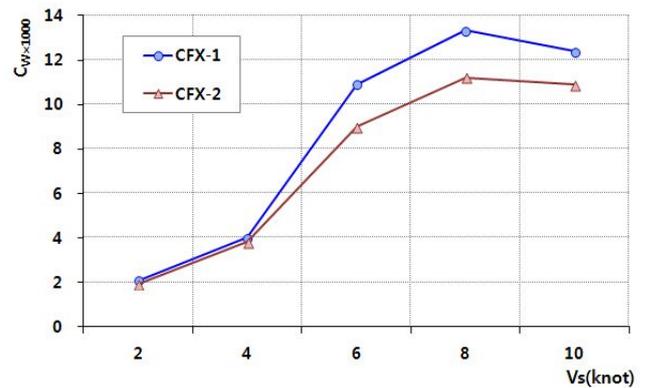


Fig. 13. Comparison of C_w curves between original (CFX-1) and modified (CFX-2).

Table 8과 Fig. 14에는 선수부 형상변화에 따른 전저항(C_t)에 대하여 회류수조와 수치계산의 결과를 비교하였으며, 초기선형에 대한 수치해석(CFX-1) 및 모형시험(C.W.C.) 결과에 대한 비교와 수정선형(CFX-2)에 대한 수치해석 결과를 비교하였다. 수치해석에 의한 비교에서 수정선형의 저항성능이 작업속도에서 약 2.9%, 운항속도에서 약 13.7% 개선되고 있음을 확인하였다.

Table 8. Comparison of wave resistance coefficients between model test (cwc) and numerical analysis (CFD)

Speed		Exp.(FEL)	CFD(Ansys CFX)	
Vs(knots)	Fn	Ct ($\times 10^3$)	Ct ($\times 10^3$)	
		C.W.C.	CFX-1	CFX-2
2.0	0.099	5.735	5.798	5.593
4.0	0.197	7.048	7.295	7.087
6.0	0.296	14.858	14.004	12.051
8.0	0.395	17.524	16.278	14.134
10.0	0.493	16.794	15.227	13.710

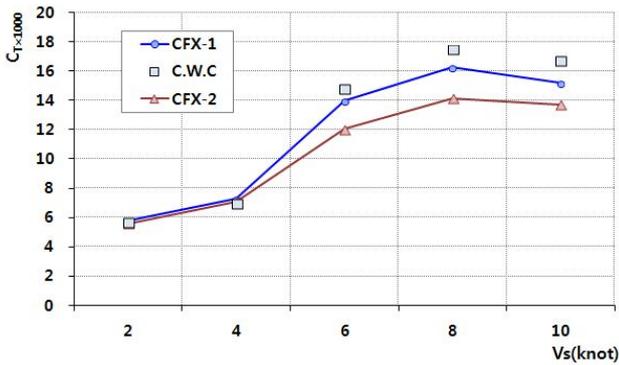


Fig. 14. Comparison of Ct curves.

6. 결론

해저 유기퇴적물 수거에 적합한 저속 쌍동형 선형의 개념 설계를 수행하였으며, 회류수조(FEL)에서의 실험 및 수치계산 등을 통하여 선형성능과 선형개선에 대한 방향성을 확인하였다.

(1) 생산성 향상을 고려한 단순화된 선형설계에 있어서 조파저항은 전반적으로 선수 어깨부의 volume 변화에 크게 작용되고 있으며, 이의 개선을 통하여 선수부 압력변화에 따른 파형의 개선과 선박성능 향상에 대한 가능성을 확인하였다.

(2) 저속 쌍동선의 초기 개념설계에 있어서 수치계산(Ansys CFX)을 이용한 점성유동해석을 통하여 저항해석을 수행하였으며, 회류수조에서의 모형시험과의 비교를 수행하였다. 대상선박의 운항속도가 중저속 구간으로 운항속도 6.0 knots 이상에서는 선체 침하에 의한 항주자세 변화에 판단되는 실험치와 계산치의 오차가 발생하고 있으나, 초기선형(CFX-1)의 상대적 비교로부터 개선선형(CFX-2)의 저항성능이 우수한 것으로 판단된다.

두 선체 사이의 midship 부근에서 발생하는 파 간섭에 대해서는 수정선형의 파형개선이 확인되고 있으나, 두 선체사이의 간격에 따른 영향 검토와 함께 자유수면에서 항주하는 쌍동형 선박의 선체의 트립, 침하량 등 항주 거동에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 2015년도 조선대학교 교내학술연구비 지원으로 수행되었다.

References

- [1] Bank, J.(2010), Free surface CFD prediction of components of Ship Resistance for KCS, 13th Numerical Towing Tank Symposium, p. 6.
- [2] Jeong, W. C., S. Y. Kwon, G. H. Choi, D. J. Kim and G. S. Hong(2013), Study of Hull Form Development and Resistance Performance of Catamaran-type High Speed Fishing Leisure Boat, Journal of Ocean Engineering and Technology, 27(6), pp. 1-6.
- [3] Jeong, W. C., C. W. Park, K. S. Hong and H. K. Yu(2001), An Experimental Study for Bow Hull Form Development of Catamaran Type Sweeping Vessel, Proceedings of the Korea Committee for Ocean Resources and Engineering Conference, pp. 53-59.
- [4] Kim, D. J.(2006), A Study on Water Jet Propelled Box Shaped Contaminated Organic Sediment Collection System and the Treatment System, Dept. of Advanced Marine Transportation System Engineering, Ph.D. Thesis, pp. 86-112.
- [5] Kim, D. J., J. W. Park, J. N. Kim and W. C. Jeong(2006), An Experimental Study on the Moonpool Characteristics of a Cleaning Ship for Ocean Environment Purification, Journal of Ocean Engineering and Technology, 20(2), pp. 1-6.
- [6] Kim, D. J., J. W. Park, W. C. Jeong and S. K. Kim(2008), Experiments and Numerical Analysis on a System for Collecting Organic Sediment from Seabed, The Korean Society of Marine Environment & Safety, 14(1), pp. 15-20.
- [7] Lee, Y. G, C. Y. Son, W. C. Jeong, D. S. Kang, K. Y. Jeong and D. J. Kim(2006), Hull Form Design of Catamaran Type Dredging Vessel Using Model Test and Numerical Simulation, Journal of Ocean Engineering and Technology, 20(2), pp. 66-71.
- [8] Park, D. W.(2014), A Study on the Performance of a Medium Patrol Boat using CFD, J. Navig. Port Res., 38(6), pp. 585-591.
- [9] Shin, H. K., M. S. Kim, W. J. Jeong and Y. H. Ha(2012), Estimation of Resistance of Smart Harbor Crane Ship, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 49(1), pp. 1-5.
- [10] Teresa, C.(2014), URANS simulations of catamaran interference in shallow water, Journal of Marine Science and Technology, 19(1), pp. 33-51.
- [11] Yoo, J. H. and K. H. Oh(2013), Numerical Prediction of Running Attitude and Resistance of Planing Craft, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 50(2), pp. 99-103.

Received : 2016. 02. 29.

Revised : 2016. 03. 25. (1st)

: 2016. 04. 08. (2nd)

Accepted : 2016. 04. 27.