한국해양공학회지 제20권 제2호, pp 66-71, 2006년 4월 (ISSN 1225-0767)

모형실험 및 수치 시뮬레이션을 이용한 쌍동형 준설선의 선형 설계에 관한 연구

이영길** · 손충렬** · 정우철*** · 강대선* · 정광열* · 김도정****
*인하대학교 대학원 선박공학과
**인하대학교 기계공학부 선박해양공학전공
***인하공업전문대학 선박해양시스템과
****조선대학교 대학원

Hull Form Design of Catamaran Type Dredging Vessel Using Model Test and Numerical Simulation

YOUNG-GILL LEE*, CHOONG-YUL SON*, UH-CHEUL JEONG**, DAE-SUN KANG***,
KWANG-LEOL JEONG*** AND DO-JUNG KIM****
*Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering , Inha University, Inchoen, Korea
**Dept. of Ship and Ocean System, Inha Technical College, Inchoen, Korea
***Dept. of Naval Architecture, Graduate School of Inha University, Inchoen, Korea
****Graduate School of chosun University, Gwangju, Korea

KEY WORDS: Catamaran type dredging vessel 쌍동형 준설선, Wave interaction 파간섭, Model test 모형실험, Numerical simulation 수치 시뮬레이션, Hull form design 선형설계

ABSTRACT: *To develope a hull form of catamaran type dredging vessel, resistance characteristics is investigated to find the interaction effect of waves between the two hulls. The fore body shape is simplified as two dimensional wedge shape for the maintenance and disassembly/assembly. Based on MAC method, numerical simulation is performed in staggered variable mesh system. The conservation form of Euler equations and continuity equation are applied as governing equations. To verify numerical methods, the wave patterns along the hull surface are compared with the results of model tests. This study is performed as varying wedge shape of the bow and the distance between the two hulls. The wave interactions between two hulls are observed to investigate the relation between the resistance performance and the flow characteristics. Suitable hull form and distance between two hulls are discussed.*

1. 서 론

육지로부터 유입되는 유기오염물은 연안을 오염시키는 주요한 원인이 된다. 이러한 퇴적물은 상당부분이 해저 상층부에 퇴적되고, 조류와 파도에 의하여 이동하며 오염지역을 확산시킨다. 이러한 확산을 방지하기 위하여 저질토의 준설이 필요하게 된다.

해양에서 일반적으로 사용되는 준설방법은 그래브준설방법과 펌프준설방법이 있다. 이러한 준설방법은 오염원인 상층부 퇴적물 이외에 상당부분의 이토까지 준설하며, 준설시 교란으로 인한 2차오염을 야기할 수 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여, 압밀되지 않은 퇴적물층만을 선별하여 준설할 수 있는 새로운 준설방법으로 수두차 준설방법이 있다.

수두차를 이용한 준설은 아직 실용화 되지 않았으며, 실용화를 위해서는 준설장비를 탑재하는 선박의 개발이 필요하다. 본 연구의 목적은 수두차 준설을 위한 준설선의 선형 개발에 있다. 준설선은 좁은 내항과 같은 제한된 수역에서의 조종성이 뛰어나야 하며, 준설장비의 탑재를 위하여 넓은 갑판면적을 가져야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위하여 본 연구에서는 준설선의 선형으로 쌍동형을 택하게 되었다. 또한 육상이동을 위하여 조립과 분해가 용이하도록 쏘나기형(Wedge-type)으로 선형을 단순화 하였다. 쏘나기형상을 갖는 쌍동선의 조파 특성은 이미 연구되었으며(정우철 등, 2001), 준설선으로의 적용 가능성을 확인하였다.

운항 시 선체의 외측으로부터 발생하는 파는 정박된 선박에 손상을 주지 않도록 작아야 하며, 내측으로는 선수파에 의한 최소의 유체력이 퇴적물 흡인관에 작용하도록 선수 선형과 선체 간격을 결정해 주어야 한다.

본 연구에서는 쌍동형 준설선의 최적선형 개발을 위하여 세 가지 선수형상을 갖는 쏘나기형 쌍동선의 유동특성을 모형시험과 수치해석 방법으로 조사·분석하였다. 모형실험은 인하대학교의 선형시험수조와 인하공업전문대학의 회류수조에서 수행되었으며, 수치시뮬레이션은 MAC법을 기반으로 교차가변격자계(Staggered variable mesh system)에서 수행되었다.

교신저자 이영길: 인천시 남구 용현동 253
032-860-7340 younglee@inha.ac.kr

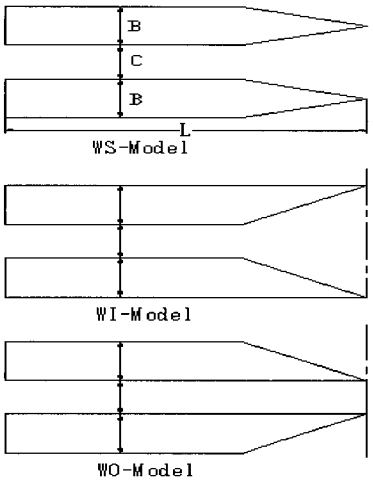


Fig. 1 Schematic view of test models

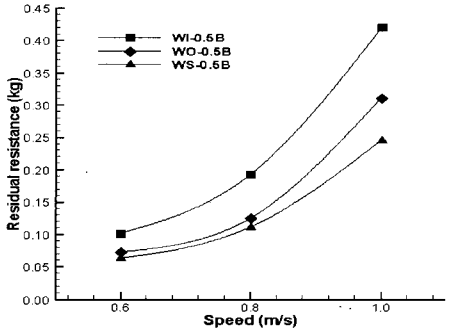
2. 모형실험

모형실험은 선체간의 간격과 속도, 선수 형상에 변화를 주면서 수행되었다. 모형선의 주요제원은 Table 1과 같다. 선수선형으로는 Fig. 1에서와 같이 형상을 바꿔가며, 3가지 선형으로 변화를 주었다. 이 경우 세가지 선형의 배수량은 같고, 선체사이의 간격(*C*)은 단동체 폭의 0.5, 1.0, 1.5배로 변화시키며, 0.6m/s, 0.8m/s, 1.0m/s의 속력에서 저항과 파형을 계측하였다. *Fn*(Frouce No.)은 0.1749, 0.2332, 0.2916에 해당됨으로서 작업 시에는 저속이며, 이동 시에는 선박이 작은 관계로 *Fn*수로 보면 고속역에 속한다.

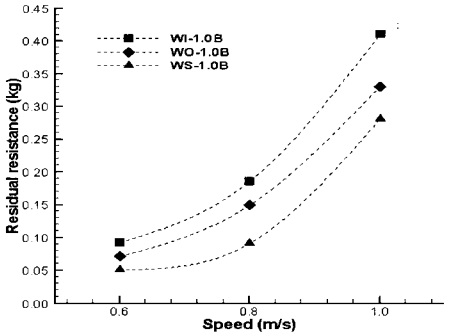
모형실험을 통해 얻은 잉여저항의 결과를 선체간의 간격에 따라 정리하면 Fig. 2와 같다. 본 연구에 사용된 쏘나기형 선형은 임의의 3차원 곡면으로 이루어진 일반적인 선형이 아니라 평판으로 이루어져 있어, 일반 선박모양의 3차원곡면형상을 취하는 선박에 사용하는 ITTC의 마찰저항공식 및 곡선이 아닌 Hughes line의 마찰저항곡선을 사용하였다. 다만 실선 저항추정법의 Froude법, Hughes법과는 달리 마찰저항곡선만을 Hughes line으로 쓰고 실선추정에는 2차원법을 사용하였다. 선체간의 거리에 상관없이 *WI* 선형은 전속도 영역에서 가장 큰 잉여저항을 보인다. 특히 C=0.5*B*에서는 다른 선형과 큰 차이를 보인다. 반면 *WS*선형은 전속도 영역에서 가장 작은 잉여저항을 갖는다. 또한 Fig. 3에서 보면 1m/s의 속력으로 예인되는 *WS*의 경우 C=0.5*B*에서 가장 작은 잉여저항값을 갖는다. 여기서 기호 *WI*, *WS* 등은 Fig. 1을 참고하기 바란다.

Table 1 Principle dimension

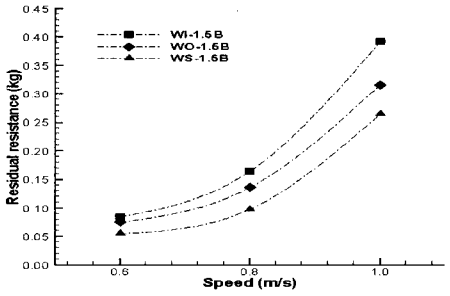
LWL (*L*)	1.20 m
Beam (*B*)	0.10 m
Depth (*D*)	0.15 m
Draft (*d*)	0.08 m
Displacement (△)	21.6 Kg (쌍동선)



(a) C=0.5*B*



(b) C=1.0*B*



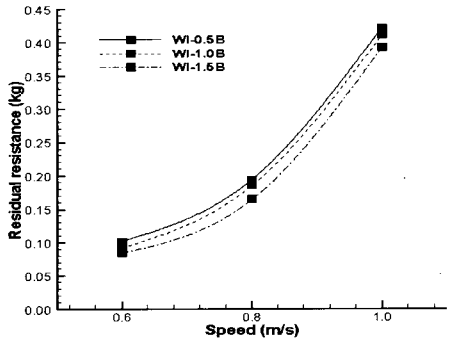
(c) C=1.5*B*

Fig. 2 Comparison of residual resistance: same distance between the demy hulls

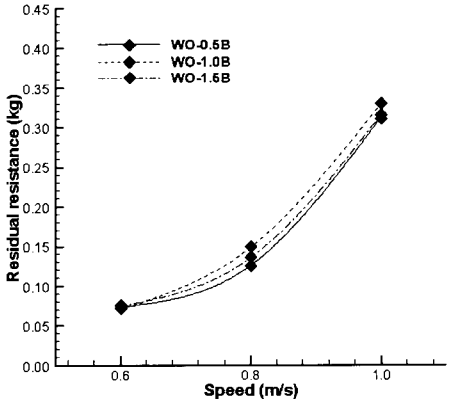
3. 수치시뮬레이션

수치계산은 MAC(Marker And Cell)법을 기초로 한 직사각형격자계에서 수행되었다(김규석 등, 2004). 격자계로는 기하학적으로 복잡한 3차원 임의형상주위의 격자구성에 있어서 적용성이 우수한 직사각형 교차가변격자계를 사용하였다. 계산영역은 한쪽 단동체의 선수만을 포함하는 유동장으로 구성하였으며, 중앙면에 대칭조건을 적용하여 유동장의 대칭성을 고려하였다.

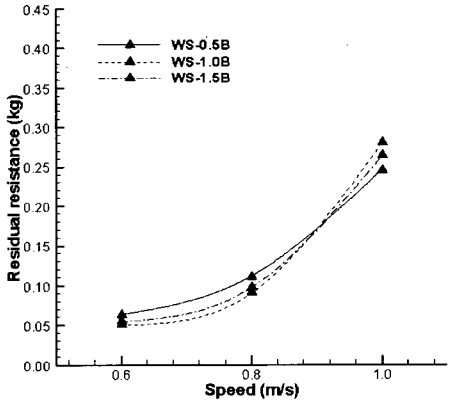
지배방정식은 유동장을 비압축성, 비점성유동이라고 가정하여, 아래와 같이 보존형의 3차원 Euler 방정식과 연속방정식을 사용하였다.



(a) Bow type: *WI*



(b) Bow type: *WO*



(c) Bow type: *WS*

Fig. 3 Comparison of residual resistance the same bow shape

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial(u^2)}{\partial x}+\frac{\partial(uv)}{\partial y}+\frac{\partial(uw)}{\partial z}&=\frac{-\partial\Phi}{\partial x}\\ \frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial(uv)}{\partial x}+\frac{\partial(v^2)}{\partial y}+\frac{\partial(vw)}{\partial z}&=\frac{-\partial\Phi}{\partial y}\\ \frac{\partial w}{\partial t}+\frac{\partial(uw)}{\partial x}+\frac{\partial(vw)}{\partial y}+\frac{\partial(w^2)}{\partial z}&=\frac{-\partial\Phi}{\partial z}+g\end{aligned}\right\} \quad (1)$$

여기서, (x, y, z) : 직교좌표

(u, v, w) : x, y, z 각 속도성분

ρ : 밀도

g : 중력가속도(-9.8m/s^2)

ϕ : p/ρ

p : 압력

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \quad (2)$$

x, y, z 방향은 각각 유입속도 방향, 선체의 폭 방향 및 수직 방향이다. 지배방정식의 차분화에 있어서는, 대류항을 제외한 나머지 항들은 시간에 대하여 전진차분법, 공간에 대하여 2차 중심차분법으로 차분되었으며, 대류항의 차분기법으로는 2차 중심차분과 도너셀(Donor cell)법을 조합한 혼합기법이 적용되었다. 본 연구에서의 계산조건은 Table 2와 같다.

모든 격자들은 유체격자, 물체경계격자, 물체내부격자로 분류되며, 각각에 대하여 적정한 계산기법들이 적용되었다.

물체경계에서는 자유슬립(Free-slip) 조건을 적용하였다. 물체경계격자에서의 압력 반복계산식은 Free-slip 조건과 연속의 조건을 동시에 만족시키면서, 주위 압력들의 유무에 관계없이 압력 계산이 가능하도록 속도압력동시반복법을 사용하였다.

Table 2 Computational conditions

Number of Cell	X	60
	Y	140
	Z	35
Computational domain	X	1.22 m
	Y	0.35 m
	Z	0.28 m
Cell Size	X min	0.005 m
	Y min	0.002 m
	Z	0.008 m
Velocity		0.6, 0.8, 1.0 (m/s)
DTND		0.005
Acceleration time steps		1600
Total steps		4000

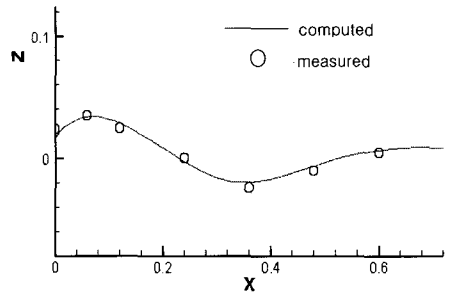
자유표면조건으로는 점성응력과 표면장력의 효과를 무시하였으며, 자유표면의 동역학적 조건과 운동학적 조건으로는 다음의 식 (3), (4)와 같이 고려하였다.

$$\Phi = \Phi_0 \quad (z=\zeta \text{ 에서}) \quad (3)$$

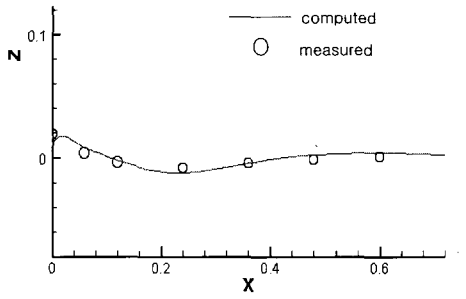
$$\frac{D\zeta}{Dt} = \frac{\partial\zeta}{\partial t} + u\frac{\partial\zeta}{\partial x} + v\frac{\partial\zeta}{\partial y} + w \quad (4)$$

여기서, $\Phi_0=\frac{P_0}{\rho}$, P_0 는 대기압이다.

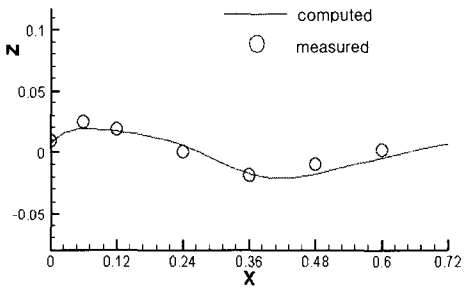
식 (3)에 의해 표현된 운동학적 조건은 자유표면에 놓여진 마아커(Marker)들을 사용하여 만족되어진다. Marker들은 라그



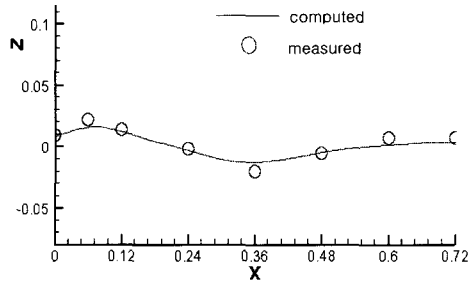
(a) Inside (*WI*-0.5*B*-1.0m/s)



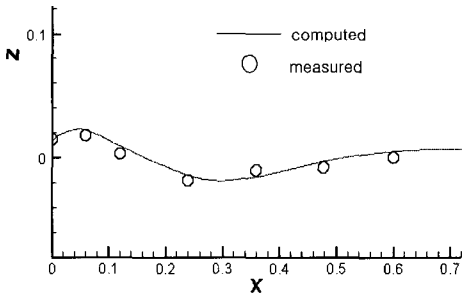
(b) Outside (*WI*-0.5*B*-1.0m/s)



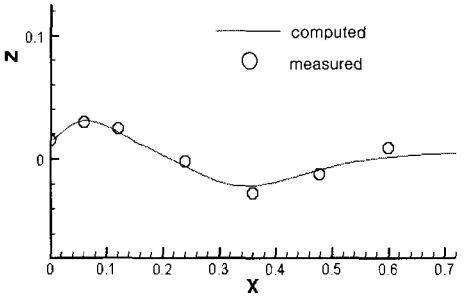
(c) Inside (*WS*-1.0*B*-1.0m/s)



(d) Outside (*WS*-1.0*B*-1.0m/s)



(e) Inside (*WO*-1.0*B*-1.0m/s)



(f) Outside (*WO*-1.0*B*-1.0m/s)

Fig. 4 Comparison of the wave patterns along the hull surface

랑지 메너(Lagrangian manner)로 움직여지며, 이들의 각 시간단계에서의 새로운 위치로 새로운 자유표면의 위치를 결정한다.

수치 시뮬레이션의 정도를 검증하기 위하여 선측파형을 비교하였다. Fig. 4에서와 같이 선측파형 비교결과 수치 시뮬레이션결과가 실험결과와 잘 일치하는 것을 확인하였다. 또한 계산된 압력저항은 선수만을 계산한 것이므로 실험을 통해 얻은 잉여저항과 직접 비교할 수 없어서 Table 3과 같이 정성적으로 잉여저항과 선수부 압력저항의 속도에 따른 차이를 비교하였다.

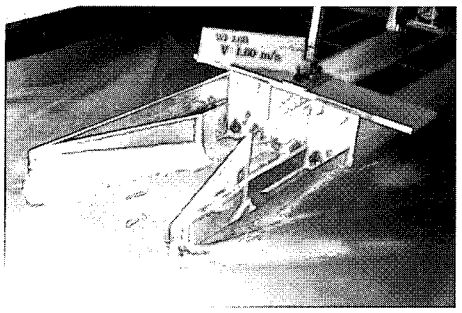
4. 결과 및 고찰

선체간의 간격을 바꿔가며 동일 선형의 저항을 비교할 경우 실험에서는 Fig. 3과 같이 특정한 경향이 나타나지 않는다. 이러한 경향은 저속의 경우(Fn<0.35)에는 일정한 경향이 나타나지 않는다고 기존의 연구에서도 언급된 바 있다(Insel and Mollen, 1991; 김호은 등, 1999).

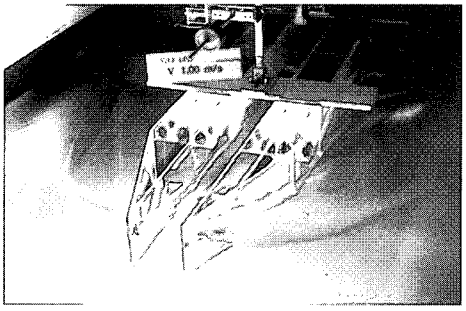
그러나 동일한 선체간의 간격에서 선형에 따라 저항을 비교할

Table 3 Comparison of residual and pressure resistances (*WO* type) (unit: kg)

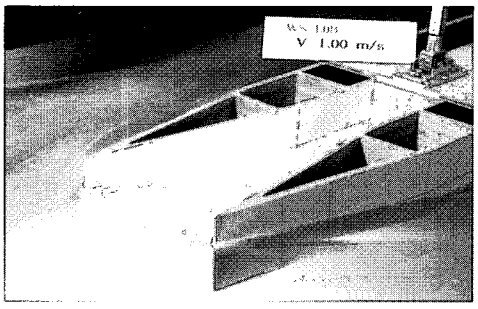
		Residual resistance	Difference (C=B-A), (c=b-a)		Pressure resistance
0.5*B*	0.6m/s	0.0731[A]	0.052[C]	0.048[c]	1.334[a]
	0.8m/s	0.125[B]	0.186	0.168	1.382[b]
	1.0m/s	0.312			1.55
1.0*B*	0.6m/s	0.072	0.078	0.062	1.328
	0.8m/s	0.150	0.164	0.174	1.39
	1.0m/s	0.331			1.564
1.5*B*	0.6m/s	0.0755	0.062	0.058	1.336
	0.8m/s	0.137	0.180	0.176	1.394
	1.0m/s	0.317			1.57



(a) *WI* type(*C*=1.0*B*, 1.0m/s)



(b) *WO* type(*C*=1.0*B*, 1.0m/s)



(c) *WS* type(*C*=1.0*B*, 1.0m/s)

Fig. 5 Comparison of bow waves

경우 *WI*선형이 모든 속도와 선폭에서 가장 큰 저항 값을 나타낸다. Fig. 5는 회류수조에서의 선형에 따른 모형실험결과로, 선수파형을 *C*=1.0*B*, 1.0m/s에서 보여준다. 그림에서도 알 수 있지만, 전 실험 결과를 검토해 보면 선체간 거리에 상관없이 모든 속도 영역에서 *WI*의 선수파는 다른 선형에 비하여 배의 앞쪽에서 발달하기 시작하며 내측에서 파고가 높게 나타난다 (Fig. 6). 수치계산을 통해 얻은 등파고선도에서도 *WI*형상을 갖는 선박의 파고가 다른 선형에 비하여 높고 넓은 영역에서 나타남을 Fig. 7에서 볼 수 있다. 이러한 높은 파고는 *WI*선형 선수부주위의 압력이 다른 선형에 비하여 높게 나타나는 원인으로 작용하며, 계산을 통한 결과(Fig. 8)로부터도 볼 수 있다. 이러한 회류수조에서의 모형선 선체 주위 파형에 대해서는 기존의 연구들에 의한 결과로 볼 때 적정한 것으로 판단된다 (Kawashima et al, 1993; Maruo and Ikehata, 1986).

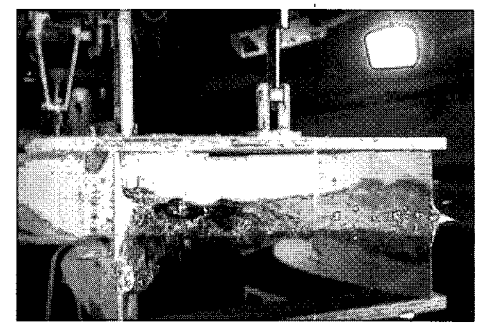
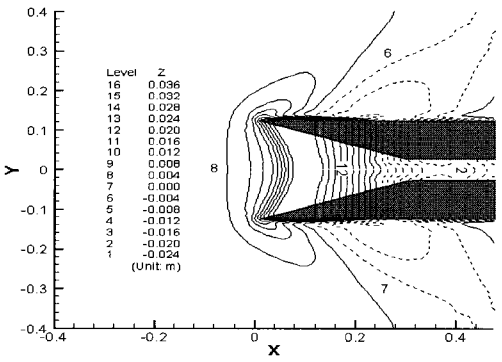
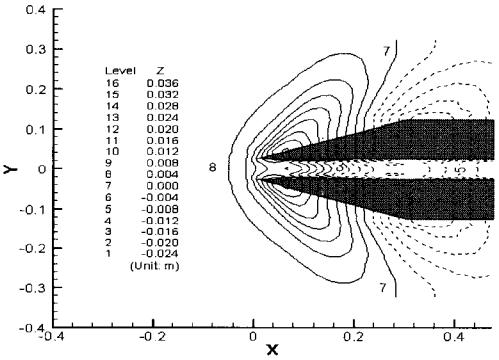


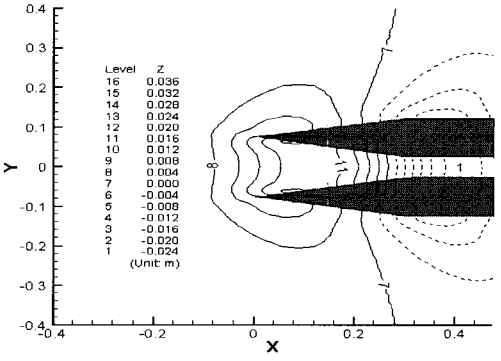
Fig. 6 Photograph of running ship model *WI* (*C*=0.5*B*, 1.0m/s)



(a) *Wi* type(*C*=0.5*B*, 1.0m/s)



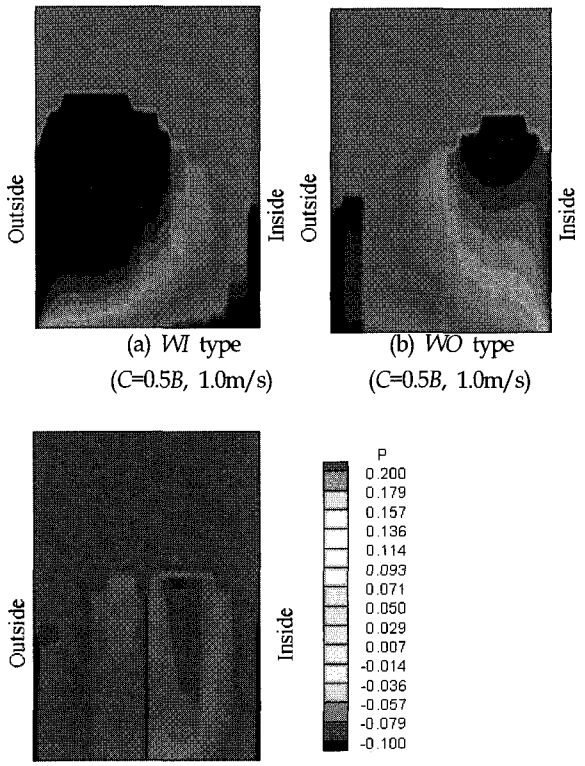
(b) *WO* type(*C*=0.5*B*, 1.0m/s)



(c) *WS* type(*C*=0.5*B*, 1.0m/s)

Fig. 7 Wave height contours

*WO*와 *WI*의 경우 평평한 선측의 파고가 낮을 것으로 예상하였으나, Fig. 7과 같이 큰 입사각에 의하여 선수 부에서부터 큰 파도가 발달하여 전체적으로 *WS*선형에 비하여 높은 파고가 나타남을 확인할 수 있다.



(a) *WI* type (*C*=0.5*B*, 1.0m/s)

(b) *WO* type (*C*=0.5*B*, 1.0m/s)

(c) *WS* type (*C*=0.5*B*, 1.0m/s)

Fig. 8 Pressure contours on the hulls

Fig. 8은 선체를 정면에서 바라본 그림으로 *WI*선형에서 선수부에 큰 압력이 작용하는 것을 볼 수 있다. 이것은 *WI*선형의 경우 *C*=0.5*B*에서 다른 선형에 비하여 두 선체간의 파간섭으로 인하여 큰 조파저항을 갖는다는 것을 볼 수 있으며, 이와 같은 결과는 실험결과인 Fig. 2에서도 잉여저항의 차이로 나타나고 있음을 볼 수 있다. *WS*선형의 경우는 파고가 가장 낮으며, 선수에 걸리는 압력도 가장 작게 나타나고 있다.

5. 결 론

모형실험과 수치 시뮬레이션의 선측파형을 비교한 결과 정성적으로나 정량적으로 잘 일치하였다. 본 연구에 사용된 수치기법은 쌍동선의 파간섭 현상을 실험결과에 비추어 볼 때 비교적 잘 시뮬레이션되고 있음을 확인하였다.

*WS*선형은 선체사이의 거리와 무관하게 가장 적은 저항 값을 보였으며, *WI*선형은 가장 큰 저항을 나타냈다. 저속에서 쌍동선의 선체간 거리는 저항 특성에 영향이 그리 크지 않으며, 단동체의 선형이 보다 더 중요함을 본 연구결과로부터 알 수 있다. 또한 작은 입사각을 가지고 있는 *WS*선형이 당연히 실험에서나 계산에서 가장 우수한 저항성능을 가지고 있음을 확인하였다.

후 기

본 연구는 해양수산부 과제 "수두차를 이용한 퇴적물 준설장비 개발"의 일부분으로 수행되었습니다. 논문원고의 정리와 수정에 수고를 아끼지 않은 지현우 군에게 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

김규석, 이영길, 정광열, 강대선, (2004). "Transom stern을 가지는 선박의 선미선형 설계에 관한 기초적 연구2", 대한조선학회 추계학술대회논문집, 제27권 pp 740-747.

김호은, 서성호, 이영길, 이승희 (1999). "황해형 연안 도서운항용 고속 쌍동선의 선형설계에 관한 연구(1)", 99초고속선 Workshop, pp 48-61.

정우철, 박찬원, 홍기섭 (2001). "쌍동형 부유쓰레기 청소선의 선수선형 개량을 위한 실험적 연구", 한국해양공학회 춘계학술대회 논문집, pp 53-59.

Insel, M. and Molland, A.F. (1991). "An investigation into the resistance components", The Royal Institution of Naval Architects, pp 1-20.

Kawashima, T. and Kajitani H. (1993). "On steady wave and free surface inclination in the CWC", J. the Kansai Society of Naval architects, Vol 219, pp 25-36.

Maruo, H. and Ikehata, H. (1986). "Some Discussions on the free surface flow around the bow", Proc. of 16th ONR, pp 65-77.

2006년 3월 10일 원고 접수
2006년 4월 20일 최종 수정본 채택