

저항최소화 소형 어선선형의 선수파 특성에 관한 연구

유진원*, 이영길†**

인하대학교 대학원 선박공학과*, 인하대학교 기계공학부 선박해양공학전공**

A Study on the Bow Wave Characteristics for the Resistance-Minimized Hull Form of Small Fishing Boat

Jin-Won Yu* and Young-Gill Lee†**

Dept. of Naval Architecture, Graduate School of Inha University*
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University**

Abstract

This paper presents the analysis of resistance performance and bow waves for the resistance-minimized hull form of small fishing boat by using numerical simulations and model tests. The resistance-minimized hull form is developed from an original hull form which is selected from existing small fisher boats in our country. In order to estimate the resistance performance for the original and the developed hull form, several numerical simulations and model tests are carried out. Marker and Cell(MAC) method and Marker-Density method are adopted to simulate the free-surface bow waves around advancing hull surface. The results of numerical simulations are compared with the model tests in towing tank. The results show that the resistance performance of the resistance-minimized hull form is improved than that of the original hull form. The results of this study will be a good guide to the hull form development of small fishing boats in future.

※ Keywords: Fishing boat(어선), resistance-minimized(저항최소화), Performance estimation(성능추정), Bow wave(선수파), Model test(모형실험), Numerical simulation(수치계산)

1. 서론

국내 어업은 연안 오염, 어업 자원 감소, 유류비 상승에 따른 채산성 악화, 수산물 시장 개방

등의 환경적, 사회적 여건들의 변화에 따라 많은 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 국내 연안의 소형 어선에 있어서도 그 성능과 특성에 변화가 요구되고 있으며, 이를 고려한 선형의 개발에 대한 필요성도 점차 커지고 있다.

접수일: 2006년 12월 29일, 승인일: 2008년 2월 26일

† 교신저자, youngleee@inha.ac.kr, 032-860-7340

어선의 선형개발이나 저항추정 등에 대한 대표적인 국내에서의 연구 예로서는, Korean Fishing

Vessel Society(1994)에서 표준어선선형을 개발하여 당시 수산청을 통해 고시한 후 설계도면을 현재에 이르기까지 어민들에게 보급하고 있으며, 최근에 Lee et al.(2006)은 국내어선과 일본어선의 선형 차이를 고려하여 국내어선의 특성에 맞는 유효마력 추정프로그램 FISH-K를 개발한 바 있다.

본 연구의 목적은 저항성능 면에서 우수한 어선의 선형설계에 있어, 한국형 연안어선의 저항최소화 선형요소를 결정하고 선형설계를 수행하여 얻어진 저항최소화 어선 선형의 선수파의 특성을 파악하는데 있다.

본 연구에서는 선형의 개발을 위하여 기존에 연구(Kim et al. 2005, Lee et al. 2006, Yu et al. 2006)되어진 어선 및 실적선 중의 한척을 기준선으로 선정하고, 저항최소화 선형요소를 산출하여 설계된 저항최소화 선형을 수치해석과 모형실험을 통하여 비교하였다.

기준선의 선형 개선을 통한 선형설계 후, 수치계산을 이용하여 선형개선에 의한 조파저항성능의 개선정도를 파악하고 저항시험으로 선형개선 효과를 파악하였다. 그리고 그 결과를 검토하여 좀 더 개선된 선형설계에 활용하고자 한다.

2. 기준선 및 저항최소화선의 선형요소

실험대상 선형은 G/T 4.99톤 서해안 연안 유자망 표준어선(Korean Fishing Vessel Society 1994)과 Kang(2006)이 연구한 저항최소화 선형을 사용하였다.

G/T 4.99톤 어선은 국내 연안 어선으로 가장 많이 건조되고 있는 어선에 속한다. 이에 G/T 4.99톤 어선을 기준선으로 선정하여 연구를 진행하였다.

저항최소화 선형은 기준선의 유효마력 추정을 통한 저항최소화 선형요소를 산출하고, 그에 따라 어선 선형설계법(Lee 1984, Kang 2006)을 통하여 설계된 선형이다(Kang et al. 2007).

국내 연안어선의 마력 추정프로그램인 FISH-K(Lee et al. 2006)를 이용하여, 저항성능 면에서 우수한 어선의 선형요소를 결정하고자 하였기 때문에, 아래와 같이 FISH-K에서 마력 계산에 사용

되어진 선형요소들에 대한 저항최소화가 수행되었다.

저속영역($F_{n\Delta}=0.6 \sim 1.2$)에서 4가지 선형요소

$$L_{WL}/\Delta^{1/3}, Bc/T, C_p, LCB$$

고속영역($F_{n\Delta}=1.3 \sim 2.1$)에서 4가지 선형요소

$$L_{WL}/\Delta^{1/3}, Bc/\Delta^{1/3}, C_B, LCB$$

여기서, $F_{n\Delta}$ 은 정지 시의 배수용적 Δ 의 세제곱근을 이용한 Froude수, L_{WL} 은 수선면 길이, Bc 는 최대 차인(Chine) 폭, T 는 흘수, C_p 는 주형계수, C_B 는 방형비척계수, LCB [(=선체중앙에서 부심까지의 거리/수선면 길이 x 100)]는 부심을 나타낸다.

국내 연안 어선들의 실적선 주요요목 범위를 변수 선정 조건으로 하고, 선형요소들을 변수로 지정하였다. 기준선의 선형요소들의 수치를 변화시켜 가면서, 저항이 감소되는 $L_{WL}/\Delta^{1/3}$, Bc/T , C_p , LCB 의 값을 도출하고, 변수 선정 조건 등을 고려하여 L_{WL} , B (폭), Bc , D (높이), T , WSA (침수표면적), L_{WL}/B , L_{WL}/D , B/D 를 비례식 및 추정식을 통하여 산출한다. 그리고 산출된 값이 국내연안어선 실적선의 주요요목 범위를 벗어나면 이를 제외시키며, FISH-K를 이용하여 반복적으로 선형요소에 의한 유효마력 계산을 수행하고 계산 값 중에 최소 유효마력과 그에 따른 선형요소와 주요요목 수치들을 도출한다(Kang et al. 2007).

Table 1에서는 기준선과 저항최소화 선형의 주요제원을 나타내고 있으며, Fig. 1에서는 기준선과 저항최소화 선형을 비교하여 보여주고 있다.

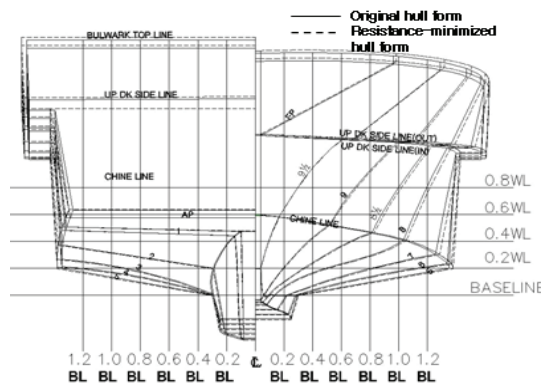


Fig. 1 Comparison of body plans of the original and the resistance-minimized hull forms

Table 1 Principal parameters of the original and the resistance-minimized hull forms

	Original	Resistance -minimized
G/T	4.99ton	4.97ton
L _{WL}	11.12m	11.42m
B	2.86m	2.82m
B _c	2.74m	2.72m
draft	0.68m	0.67m
▽	12.87 m ³	12.51 m ³
WSA	39.08 m ²	41.09 m ²
LCB	-3.13%	-3.18%
C _B	0.571	0.565
C _P	0.663	0.659
L _{WL} /▽ ^{1/3}	4.745	4.920
B _c /T	4.029	4.096
B _c /▽ ^{1/3}	1.169	1.172
Design speed	15 Knots	

Table 2 Computational conditions about Inhawave

Condition		
Number of Cell	X	190
	Y	50
	Z	40
Computational domain	X	3.5
	Y	0.9
	Z	0.5
Cell Size	X	0.0125
	Y	0.0121
	Z	0.0120
Fn _▽		1.6
DT		4.5*10 ⁻⁴
Total time steps		5000

3. 수치계산 및 모형실험

3.1 수치계산

기준선과 새로이 설계된 저항최소선형의 저항특성을 파악하여, 선형요소들과 이들을 바탕으로 설계된 선형이 기준선에 비하여 저항이 감소하였는지 검증하기 위해 수치계산을 수행하였다.

수치계산은 MAC(Marker And Cell)법을 기초로 한 유한 차분법(Finite Difference Method)에 의해 계산되는 Inhawave(Kwon and Lee 2004)와 밀도함수법을 기초로 하여 계산되는 IUBW(Lee 2006)를 이용하여 직사각형격자계에서 선체주위의 유동계산이 수행되었다.

3.1.1 MAC 법

지배방정식은 유동장을 비압축성, 비점성유동이라고 가정하여, 보존형의 3차원 Euler equations와 연속방정식을 사용하였다. 자유수면 조건으로는 점성응력과 표면장력의 효과를 무시하였으며, 자유수면의 운동학적, 동역학적 조건은 식(1), (2)과 같이 각각 사용하였다.

$$\frac{D\zeta}{Dt} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} + w \tag{1}$$

$$p = p_0 \tag{2}$$

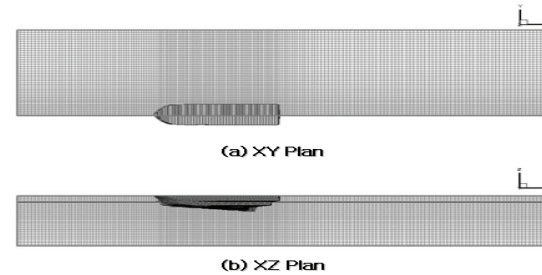


Fig. 2 Computational domain about Inhawave

위 식의 p_0 는 대기압을 나타내는 상수이고, ζ 은 파고를 나타낸다.

식(1)에 의해 표현된 운동학적 조건은 자유수면 상에 놓여진 Marker를 이용하여 만족되어진다. Marker들은 Lagrangian manner로 움직이며, 매시간 단계에서 새로운 위치가 자유수면의 위치를 정의한다.

계산조건은 Table 2와 같으며, Fig. 2에서 계산영역을 보여주고 있다. 선체주위의 격자크기를 작게 하여 계산의 정도를 높였다.

3.1.2 밀도함수법

지배방정식으로는 2층류의 비압축 Navier-Stokes 방정식과 연속 방정식을 사용하였다. 매시간 간격마다 유체 격자내의 밀도 값을 식(3)에서와 같이 밀도함수로 정의하여 자유수면의 위치를 결정하였다. 밀도함수값은 자유수면의 위치와 형상을 정의할 경우에만 사용하고 지배방정식의

계산에서는 액체와 기체의 실제 밀도값을 사용하여 계산하였다.

$$\frac{\partial M_p}{\partial t} + u \frac{\partial M_p}{\partial x} + v \frac{\partial M_p}{\partial y} + w \frac{\partial M_p}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$p = p_{air} \quad (4)$$

역학적 경계조건으로는 식(4)와 같이 자유수면상의 액체와 기체의 압력은 같다고 하고, 표면장력은 무시하였다. 물체표면에서는 No-slip 조건을 적용하였으며, Zero-divergence를 만족하였다. 물체 표면을 정의하기 위하여 porosity의 개념과 압력점에서 선체표면까지의 거리를 이용하였다. 역학적 경계조건을 만족시키기 위하여 irregular leg lengths and star기법이 압력 Poisson 방정식 계산 과정에 사용되었으며, SOR(Successive Over Relaxation)기법을 이용하여 반복계산 하였다.

계산조건은 Table 3과 같으며, 밀도함수를 이용한 시뮬레이션의 계산 영역은 Fig. 3과 같다.

Table 3 Computational conditions about IUBW

Condition		
Number of Cell	X	80
	Y	50
	Z	60
Computational domain	X	0.4
	Y	0.28
	Z	0.44
Cell Size	X	0.004
	Y	0.0048
	Z	0.0064
DT		1.0×10^{-4}
Total time steps		8000

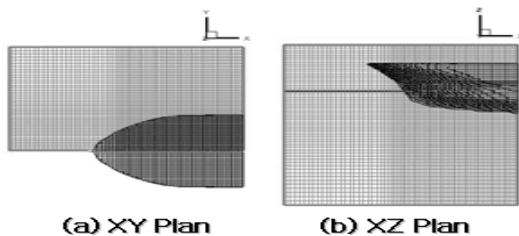


Fig. 3 Computational domain about IUBW

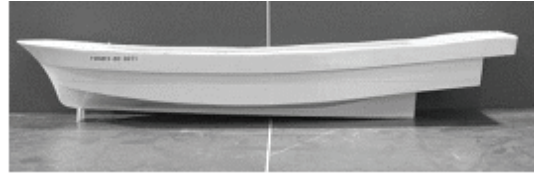


Fig. 4 Original hull form model

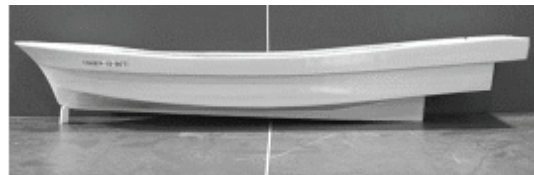


Fig. 5 Resistance-minimized hull form model

Table 4 Principal parameters of the original and the resistance-minimized hull form

	Original	Resistance-minimized
Model	IT05-05-Fish01	IT06-01-Fish03
L_{WL}	0.927m	0.952m
B	0.238m	0.235m
B_c	0.228m	0.227m
T	0.056m	0.055m
∇	0.0074 m^3	0.0072 m^3
Scale	1/12	

3.2 실험장치 및 실험 모형선

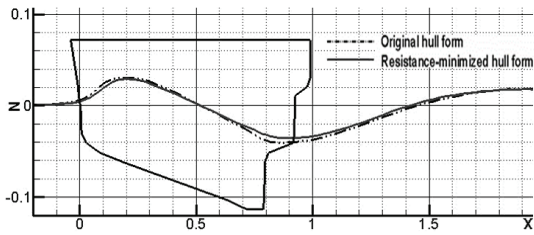
인하대학교 선형시험수조에서 모형실험을 수행하였다. 인하대학교 선형시험수조의 주요 제원은 길이가 79m, 폭이 5m, 수심은 2.7m이며, 예인전차의 최고속도는 4.5m/s이다.

Fig. 4, 5는 축척비 1/12로 제작된 기준선과 저항최소화 선형의 모형선을 보여주고 있으며, Table 4에서 기준선과 저항최소화 선형의 모형선의 주요요목을 나타내고 있다.

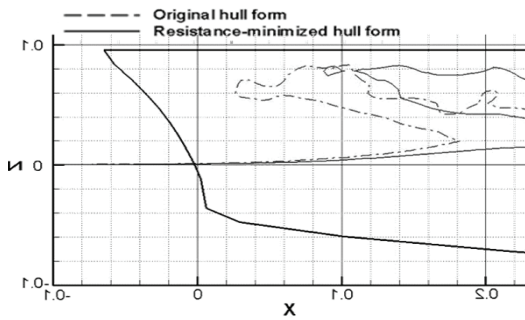
4. 결과 및 고찰

4.1 수치계산

Fig. 6에서는 Inhawave와 IUBW를 통하여 계산된 기준선과 저항최소화 선형의 선측파형 결과를 $Y=0.55$ 인 지점에서 나타내었다. 이는 계산상의 한

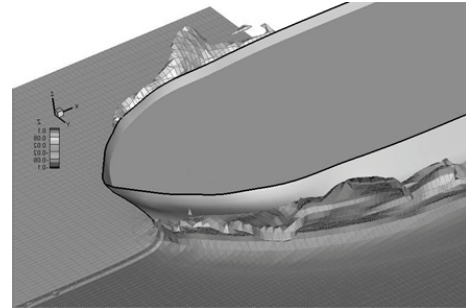


(a) Inhawave

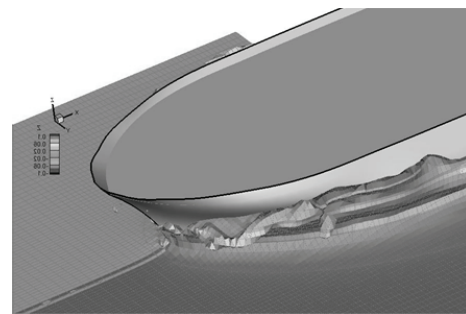


(b) IUBW

Fig. 6 Wave height profile (Y=0.55)

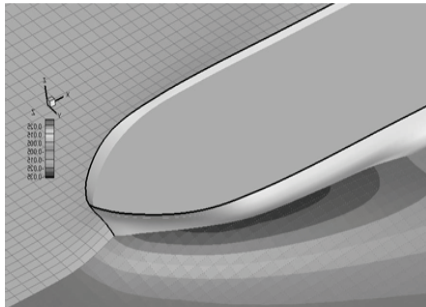


(a) Original hull form

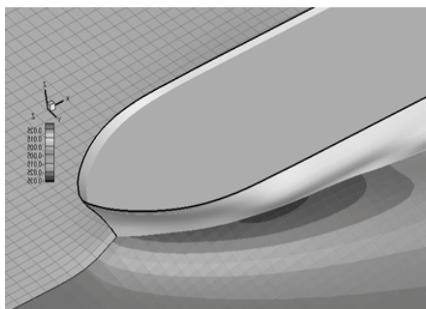


(b) Resistance-minimized hull form

Fig. 8 wave breaking of IUBW ($F_{n\Delta}=1.6$)



(a) Original hull form



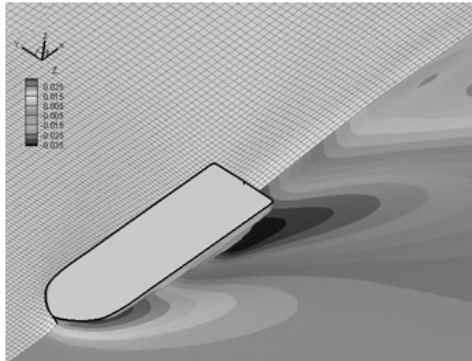
(b) Resistance-minimized hull form

Fig. 7 Bow wave of Inhawave ($F_{n\Delta}=1.6$)

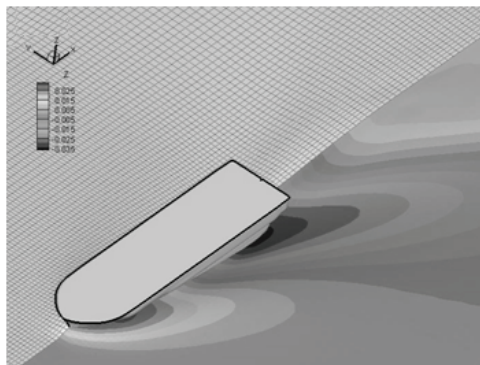
시간단계에서의 결과로서, Inhawave는 5000step, IUBW는 8000step에서의 결과이다. Y는 선체중심으로부터 떨어진 거리(Y)를 선폭(B)으로 나누어 무차원화 하였다. Fig. 7과 8에서는 기준선과 저항최소화 선형의 선수파를 보여주고 있다. 기준선의 파고가 저항최소화 선형에 비하여 높게 나타나고 있으며, 선수부분에서의 쇄파(Wave breaking) 현상이 더 심하게 일어나고 있다. Fig. 9에서는 Inhawave를 통하여 계산된 기준선과 저항최소화 선형의 3차원 조감도를 보여주고 있다. 기준선의 선미 후류 방향의 높은 파고가 분포하며, 이로 인하여, 선수파에 의한 영향에 비해서는 크지 않겠지만, 저항최소화 선형에 비해 추력 에너지의 손실이 많을 것이다.

이러한 파형은 모형 시험에서 나타난 파고와 비교적 경향이 일치하며, 기준선이 저항최소화 선형에 비해 잉여저항이 높게 나오는 원인이 되겠다.

Fig. 10에서는 Inhawave를 통한 계산의 수렴도를 확인하기 위하여 $F_{n\Delta}=1.6$ 에서의 압력계수곡선



(a) Original hull form



(b) Resistance-minimized hull form
Fig. 9 Perspective view ($F_{n\Delta}=1.6$)

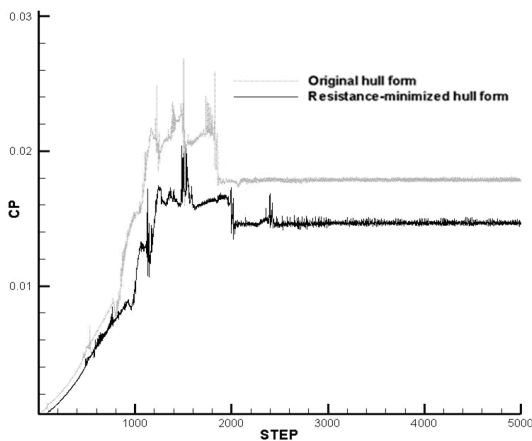


Fig. 10 Cp history of the original and the resistance-minimized hull forms

을 보여주고 있다. 수치계산의 가속구간을 0~1500step으로 하였으며, 2000 이후에 정상상태로 되어 압력계수곡선이 안정적으로 일정하게 유지되는 것을 확인 할 수 있다. 수렴구간에서 기준선과 저항최소화 선형의 압력계수 평균값은 각각 2.51×10^{-2} , 2.14×10^{-2} 로서 저항최소화 선형의 압력계수 평균값이 기준선에 비하여 약 14.70% 정도 적게 나타났다. 이는 실험에서 잉여저항이 약 14.45% 적게 나타나는 것과 비슷한 결과를 나타내고 있어, 계산과 실험결과의 정당성을 다시 한번 확인하여 주고 있다.

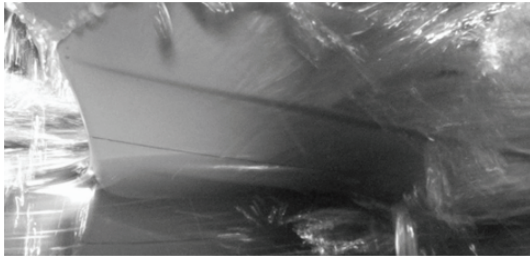
4.2 모형실험

저항실험을 통하여 기준선과 저항최소화 선형의 저항성능을 평가하였다. 기준선과 저항최소화 선형에 대한 Fig. 8에서의 선수파 계산결과와 Fig. 11의 모형실험 사진에서 보는 바와 같이 저항최소화 선형의 선수부에서 생기는 파가 기준선에 비해 크지 않음을 알 수 있다.

Fig. 12에 기준선과 저항최소화 선형의 트림(Trim)과 부상량(Sinkage)을 보여주고 있다. 설계속도에서의 항주자세에 맞춰 계산을 수행하였고, 실험결과와 비교하였다.

Fig. 13에서 기준선과 저항최소화 선형의 잉여저항계수 및 유효마력 곡선을 보여주고 있는데, 설계속도($F_{n\Delta}=1.6$)에서 기준선과 저항최소화 선형의 잉여저항이 각각 1.44×10^{-2} , 1.23×10^{-2} 로 나타나 저항최소화 선형이 기준선에 비해, 잉여저항이 약 14.45% 줄었음을 알 수 있다. 기준선과 저항최소화 선형의 모형실험을 통하여 얻어진 유효마력을 비교하면, 설계속력에서 유효마력이 약 13.4%정도 감소되어 나타났다(Kang et al. 2007).

이는 계산결과와 모형실험사진에서 보여 지는 것과 같이 조파저항 성분을 포함한 잉여저항이 감소한 결과라 판단되어 지며, 저항최소화 선형이 기준선에 비하여 저항 면에서 우수한 선형임을 확인할 수 있었다.



(a) Original hull form



(b) Resistance-minimized hull form

Fig. 11 Bow wave phenomenon ($F_{n\Delta}=1.6$)

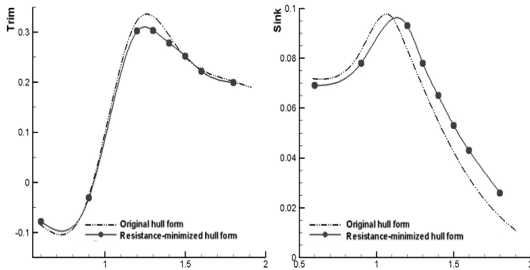


Fig. 12 Comparison of Trim, Sinkage Curves between the original and the resistance-minimized hull forms

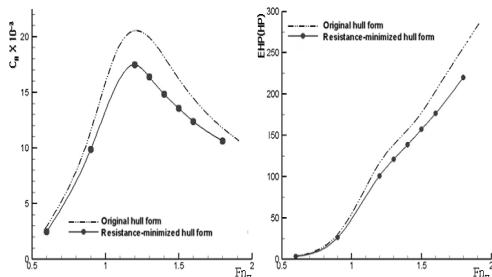


Fig. 13 Comparison of C_R , EHP Curves between the original and the resistance-minimized hull forms

5. 결론

수치계산과 모형실험은 대상선형의 저항성능을 파악하는데 그 목적이 있다. 이는 기준선을 토대로 선형을 개선한 후, 수치계산을 이용하여 조파 저항성능의 개선정도를 파악하고 저항시험으로 선형개선 효과를 파악한다. 그리고 그 결과를 검토하여 좀 더 개선된 선형설계에 활용한다.

G/T4.99톤 서해안 연안유자망 어선을 기준선으로 하여 저항을 감소시킨 선형요소를 산출하고, 그 선형요소들로 저항최소화 선형을 설계하였다. 기준선과 저항최소화 선형에 대한 모형실험과 수치해석을 수행하여 비교하였다.

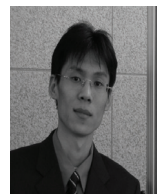
1. 수치계산을 통한 기준선의 선수와 선미의 파고가 저항최소화 선형의 파고에 비하여 높고, 넓은 영역에서 나타났다. 또한 모형실험과 수치 계산의 파형을 비교한 결과 정성적으로나 정량적으로 일치하였으며, 이러한 파형이 기준선이 저항최소화 선형에 비하여 잉여저항이 높게 나오는 원인이 되겠다.
2. 모형선을 제작, 모형실험을 수행한 결과, 15Knots($F_{n\Delta}=1.6$)에서 기준선에 비하여 저항최소화 선형의 잉여저항이 약 14.45%, 전저항이 약 10.77% 낮게 나오며, 유효마력이 약 13.4% 감소함을 확인하였다.
3. 수치계산과 모형실험을 통하여 저항최소화 선형이 기준선에 비하여 우수한 저항성능을 가지고 있다.
4. 국내 연안어선의 모형실험 및 수치계산에 따른 선형설계 방법이 G/T 4.99톤 이외의 다른 톤급의 연안 어선들에 대해서도 저항최소화 선형 설계를 수행하여, 국내 연안 어선의 초기 설계 단계에 있어서 효율적인 선형설계에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- Kang D.S., 2006, "A Study on the Estimation of Effective Horsepower and a Design Method of Hull Form with Minimal Resistance for Korean Small Fishing Vessels," A doctoral dissertation, Graduate School of Inha University.
- Kang D.S., Yu J.W. and Lee Y.G., 2007, "A Study on the Hull Form Design with Minimum Resistance for Domestic Coastal Fishing Boats," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 44, No. 4, pp. 349-359.
- Kim K.S., Yu J.W., Lee Y.G and Kang D.S., 2005, "A Study on the Resistance Performance Estimation of the Domestic Fishing Vessel," Proceedings of the Annual Autumn Meeting of SNAK 2005, pp. 1141-1148.
- Korean Fishing Vessel Society, 1994, G/T 4.9ton Class Coastal Fishing Vessel.
- Kwon S.Y. and Lee Y.G., 2004, "A Study on the Resistance Characteristics of High-Speed Ship in Shallow Water Condition," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 41, No. 2, pp. 1-11.
- Lee Y.G., 1984, "A Study on the EHP Estimation and Design Procedure of Small Fishing Boat's Hull Form," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 21, No. 3, pp. 1-10.
- Lee Y.G., Yu J.W., Kim K.S. and Kang D.S., 2006, "A Study on the Effective Horsepower Estimation for Domestic Coastal Fishing Vessels," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 3, pp. 313-321.
- Lee Y.G., 2006, "Development of a Numerical Computation Method Simulating the Wave Breaking Phenomenon around a Ship", Report No. R01-2005-000-10878-0, Ministry of Science and Technology, South Korea.
- Yu J.W., Lee Y.G. and Kang D.S., 2006, "A Study on the Hull Form Design of Domestic Coastal Fishing Boat using Model Tests and Numerical Simulations," Proceedings of the Annual Autumn Meeting of SNAK 2006, pp. 228-235.



< 유진원 >



< 이영길 >