

선미 웨지가 차인선형의 조파저항에 미치는 영향

이대훈¹ · 유재문^{1*} · 강대선²
¹충남대학교, ²선박검사기술협회 기술연구소

Effect of Stern Wedge on the Wave Making Resistance of Chine Hull Form

Dae-Hoon Lee¹, Jae-Moon Lew^{1*} and Dae Sun Kang²

¹Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Chungnam National University,
220 Guong-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon 305-764, Korea

²Korean Society of Ship Inspection & Technology, Dongchun-Dong, Yeonsu-Gu, Incheon 406-130, Korea

요 약

수치계산을 통해 소형 고속선의 선형설계를 수행하였다. 선형변환 프로그램인 HCAD를 사용하고 차인형 선형을 기준선으로 하여 둥근바닥 선형을 설계하였다. WAVIS를 사용하여 두 가지 선형에 대한 선체주위의 유동장과 조파저항 계산 결과를 보였다. 차인형 선형의 저항특성이 둥근 바닥선형에 비해 다소 크게 나타났으나 소형 조선소의 건조비를 감안하여 차인형 선형의 선수부 개량과 선미 웨지의 설계를 통해 조파저항의 감소를 시도하였다. 수치계산 결과 선미 웨지의 적용에 의해 차인형 선형의 조파저항성능이 고속영역에서 개선되었음을 확인하였다.

Abstract – Hull forms of a high speed small boat have been developed through numerical studies. A round bilge type hull form has been derived from a chine hull form with HCAD, a hull form variation software. Wave resistance and the flow fields around the ships have been computed using well-known software, WAVIS. This software employs Rankine source method with non-linear free surface condition as well as dry transom boundary conditions. The round bilge hull form showed better resistance performance than to the chine hull form for the whole speed range. However, considering the building and labor costs of the small shipyard, the chine hull form has been selected and its wave resistance characteristics has been improved by modifying the bow regions and applying the stern wedge. It is found that the effect of stern wedge is quite satisfactory to improve the resistance characteristics of high speed chine hull form.

Keywords: small fishing boat(소형 어선), Stern wedge(선미웨지), Chine hull form (차인선형), Round bilge hull form(둥근바닥 선형)

1. 서 언

본 논문에서는 서해안의 소형 조선소에서 건조하기 쉬운 활주형 고속선의 선형 설계 과정을 검토하였다. 선수는 가급적 고속으로 운항할 수 있고 건조비가 저렴한 선형을 요구하고 있으며, 또한 서해안의 조수간만의 차이로 인해 간조시 배가 펴에 얽힐 수 있도록 선형을 설계하여야 하는 문제가 있다.

이러한 선형을 개발하기 위해 차인형 선형(chine hull)을 기준으로 하고, MOERI(구 KRISO)에서 개발한 선형설계 전용 프로

그램인 HCAD를 이용하여 둥근바닥 선형(round bilge hull)을 설계하였다. 두 가지 선형에 대한 저항 특성을 MOERI에서 개발한 조파저항 계산 프로그램인 WAVIS를 이용하여 선체 주위의 유동장과 조파저항을 계산하였다. 수치계산 결과 차인형 선형의 저항 특성이 둥근 바닥 선형에 비해 다소 크게 나타났으나 소형 조선소의 건조비를 감안하여 차인형 선형에 대한 저항감소를 시도하였다. 차인형 선형은 최근 어선의 고속화에 따라 고속운항시 과도한 선수파가 발생하기 쉽고, 심한 트림이 발생할 가능성이 있으므로, 이러한 문제를 해결하기 위해 선미에 Flap이나 선미웨지를 설치하고 있다. 본 논문에서는 차인형 선형에 적합한 선미웨지를 설계하고 WAVIS를 이용하여 저항 성능이 개선되었음을 확인하였다.

*Corresponding author: jmlw@cnu.ac.kr

2. HCAD를 이용한 선형 개발

선형 개발시 사용한 HCAD 프로그램은 선형 설계자가 그래픽 유저 인터페이스(GUI)를 기반으로 하여 선형을 정의한 후 선형 변환과 순정법을 적용하여 선형을 간편하고 효율적으로 설계할 수 있는 특징이 있다. 단면적 곡선 변환과 늑골선(frame line) 변환기법 등 대부분의 선형 변환기법(이춘주 등[2003])을 체계적으로 적용하였고, 간단한 CAD 기능을 이용하여 국부적인 선형개념을 변경할 수 있으며, 선형설계 중 간단한 유체정역학적 계산이 가능하도록 하고 있다.

2.1 둥근 바닥 선형개발

먼저 서해안에서 운항되고 있는 차인형 선형을 기준선으로 선정하여 둥근바닥 선형을 설계하였다.

Fig. 1에 차인선형의 정면도를 도시하였으며, Table 1에 주요요목과 선형계수를 나타내었다. 선미 트랜섬 근처의 단면에 Deadrise가 거의 없는 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 둥근 바닥 선형의 저항성능이 차인선형에 비해 정량적으로 얼마나 우수한가를 확인하기 위해 본 논문에서는 HCAD를 이용하여 선형을 설계하고, WAVIS를 이용하여 저항성능을 확인하였다.

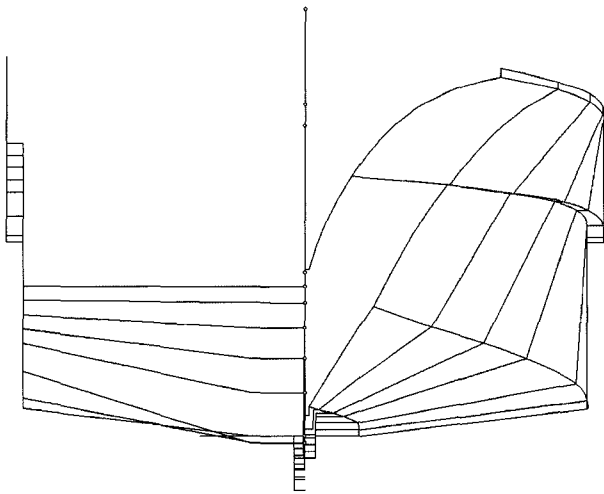


Fig. 1. Body plan of chine hull.

Table 1. Principal particulars of chine hull

항목	대상선
기준배수량 (ton)	112.34
전 길이 (M)	25.45
수선간 길이 (M)	21.5
선 폭 (M)	5.20
깊이 (M)	1.78
흘수 (M)	1.53
C_B	0.64
L/B	4.14
B/T	3.40
설계 속력	13.0 knot

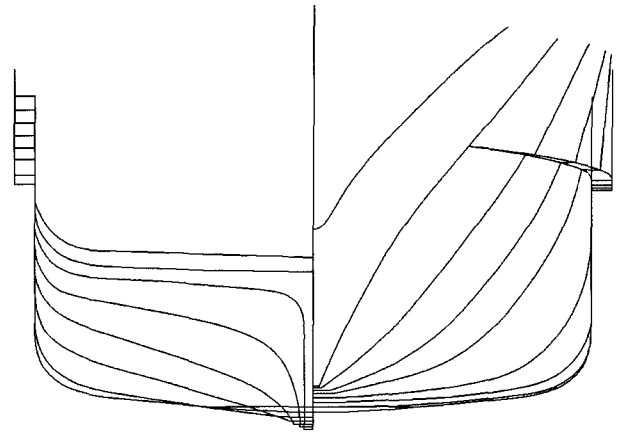


Fig. 2. Body plan of round bilge hull.

본 논문에서는 둥근 바닥 선형을 설계하기 위하여 차인선형의 주요요목 변환을 통하여 기준선과의 주요요목을 일치시켰다. Fig. 2는 둥근 바닥 선형의 정면도를 보여주고 있으며, Table 2는 새로 설계된 둥근바닥 선형의 주요요목과 선형계수를 보여주고 있다.

3. WAVIS를 이용한 조파저항 계산

기준선과 설계선의 저항특성 확인을 위해 MOERI에서 개발한 WAVIS[2001] 프로그램을 이용하여 조파저항 계산을 수행하였다. 이 방법에서는 선체 및 자유표면에 Rankine source를 분포하는 패널법(panel method)을 사용하고 있다. 자유수면 조건식은 비선형으로 처리하고 있고 트랜섬 선미(transom stern)에 가정한 트랜섬 모델링을 채택하고 있다. 기본적인 수치해석방법으로 이중모형해를 구하는데 있어서는 Hess and Smith[1968]의 방법을 따르고 있고 패널법의 자유수면의 처리는 Dawson[1977]의 방법을 확장한 Xia[1986], Kim[1989]의 방법을 따르고 있다. 그리고 높은 Froude 수에 대해 방사조건을 만족시켜주기 위해 Raven[1988]에 의해 시도되었던 것과 같이 자유수면 패널의 만족점을 상류방향으로 미소하게 이동시켜 해를 구하였다. 자세한 수치계산법은 WAVIS 매뉴얼[2001]을 참고하기 바란다.

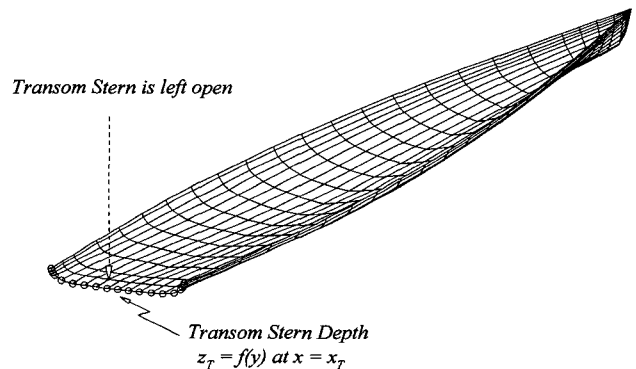


Fig. 3. Treatment of transom stern.

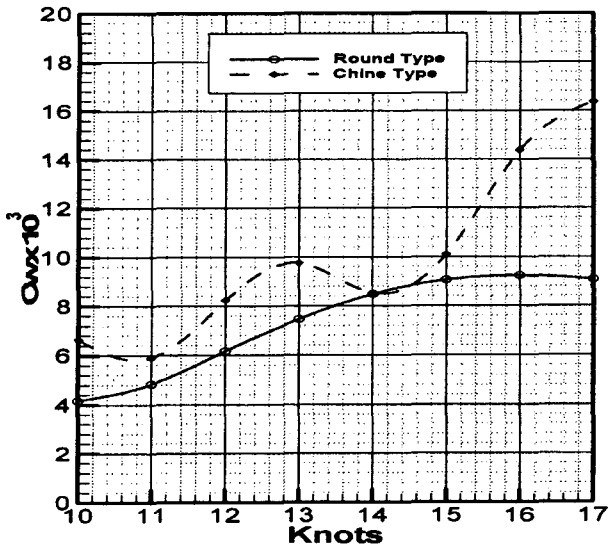


Fig. 4. Wave resistance coefficients of ships.

본 논문에서의 수치계산에는 반복계산을 통한 비선형 자유수면 조건식을 사용하였고, 트랜섬 선미(transom stern)를 가지는 선형의 선미 파계를 표현하기 위해 Fig. 3과 같이 드라이 트랜섬(dry transom)을 가정한 트랜섬 모델링을 채택하였다.

본 연구에서는 수치계산을 위해 선체표면에 1768개, 자유표면에 810개의 패널을 분포시켰다.

Fig. 4는 선속별 조파저항 계수값(Cw)들을 비교한 그림이다. 둥근바닥 선형의 저항이 차인형 선형에 비해 작게 나타나고 있으며, 특히 차인선형의 계산결과는 둥근바닥 선형에 비해 hump와 hollow가 두드러지게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 선박을 소형 조선소에서 건조하게 될 경우에 건조비를 고려하면 차인형 선형의 저항을 감소시킬 방법을 찾는 것이 필요한 일이라 생각되어, 다음 장에는 선미웨지의 설계결과를 기술하였다.

4. Stern Wedge의 설계

차인선형의 고속 항주시 저항 성능개선 방안으로 Stern wedge를 차인선형에 취부하기로 하였다. 활주형 선이나 반 활주형 선은 정역학적 부력과 동역학적 양력에 의하여 선체의 무게를 지탱하

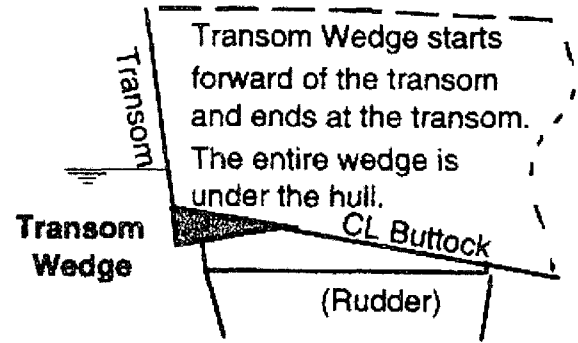


Fig. 5. Stern wedge of transom stern.

고 균형을 이룬다. 선속이 증가하면 양력에 의해 선체가 떠 오르게 되고 물속에 잠기는 부분이 선미쪽으로 이동하게 되어 부심의 위치가 뒤로 이동하므로 부력과 양력점의 중심이 뒤쪽으로 이동한다. 따라서 부력 및 양력 중심의 위치가 무게 중심을 지나게 되면 선수가 잠기게 되고, 선수가 잠기면 다시 양력과 부심의 위치가 앞으로 이동하면서 선미 트림이 발생되게 된다. 이렇게 선수가 위·아래로 계속하여 움직이면서 진행되는 현상을 Porpoising 현상이라 한다.

Fig. 5에 보인 바와 같이 선미의 바닥끝에 wedge를 설치하면 porpoising 현상을 방지할 수 있고, wedge가 물의 흐름으로 인하여 윗 방향으로 양력을 발생시켜 과도한 트림의 발생을 방지하므로 선체저항을 감소시킬 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 선미웨지를 설계하고 WAVIS 프로그램을 이용하여 조파저항 계산을 수행하였으며, 이를 통해 선미웨지의 효과를 검토하였다.

선미웨지의 설계는 체계적으로 정리되거나 제시된 설계방법은 없으며, 유사선의 설계선 웨지 형상을 참고하는 경우가 많다. 이때 고려하는 중요한 웨지의 설계항목은 웨지 각도와 길이가 된다.

본 연구에서는 차인선형의 웨지설계를 위해 Gaber Karafiath et al.[1999]의 방법을 참고하였다. 참고문헌에는 여러가지 선박에 대해서 몇 가지 웨지를 부착하여 저항감소를 측정한 결과를 보이고 있다.

Table 2는 여러가지 선박에 부착된 웨지가 저항성능 감소에 미치는 영향을 보이고 있다. 웨지의 길이와 각도 변화가 저항성능 감소에 미치는 영향을 계측함으로써 웨지설계에 참고가 되도록

Table 2. Performance of tested stern wedges patrol craft

Designation	Wedge chord (ft)	Wedge CL angle(deg)	Incipient PE effectiveness (kts)	Maximum PE Reduction (%@Speed)	Incipient PD Effectiveness (kts)	Maximum PD Reduction (%@kts)	Top Speed Increased (knots)	
Q	PGG 511	2.0	9	14	8.5@40	13	10.2@40	1.05
R	PGG 511	3.0	13	16	11.3@38	14	14.1@38	1.35
S	PCG	2.0	7	<18	6.6@18	<18	5.5@20	0.9
T	PCG	2.0	12	<18	8.9@18	<18	7.7@20	1.0
U	WPB(1)	1.6	7.6	15	8.7@20	<14	9.3@20	1.1
V	WPB(2)	1.4	5.4	<14	8.2@22	<14	10.0@24	1.0
W	PG 84	2.4	9	14	6.0@40	13		1.0

Table 3. Characteristics of wedges tested on models patrol craft

Ship Class	Designation	Ship Type	Ship LBP (ft)	CL Buttock Angle (deg)	Model Scale Ratio	Wedge Chord (ft)	Wedge CL Angle (deg)	Wedge Treatment*	Primary Design Goal	
Q	Fst Attack Craft	PGG 511	Patrol Gunboat	179	4	9.53	2.0	9	V,P,F	High Speed
R	FSt Attack Craft	PGG 511	Patrol Gunboat	179	4	9.53	3.0	13	V,P,F	High Speed
S	Corvette	PCG	Patrol Gunboat	230	6	13.14	2.0	7	2D,N,S	High Speed
T	Corvette	PCG	Patrol Gunboat	230	6	13.14	2.0	12	2D,N,S	High Speed
U	Cape(USCG)	WPB 95'	Coast Guard	90	5	6.77	1.6	7.6	2D,N,S	High Speed
V	Point(USCG)	WPB 83'	Coast Guard	78	5	5.86	1.4	5.4	2D,N,S	High Speed
W	Ashville	PG 84	Patrol Gunboat	154	3	8.25	2.4	9	2D,N,S	High Speed

*Treatments: Wedge Shape: Vee(V), U or Rounded(U), Flat or 2 dimensional(2D)
 Wedge Taper: Linear(L), Parabolic(P), Constant Angle with No Taper(N)
 Wedge Edge/Comer: Faired(F), Hard(H), Sharp Knuckle(S), Wrapped Around Bilge Radius(W)

Table 4. Characteristics of designed wedges

Type	Wedge 1	Wedge 2
Wedge CL angle(deg)	9°	13°
Wedge chord(m)	0.24	0.36
Wedge treatments	V,P,F	V,P,F

하였다.

Table 3는 모형시험에 사용된 선박의 주요복과 선미웨지 자료를 나타낸다. Table 2와 Table 3의 결과로부터 PGG 511 Patrol ship에 각도 9°와 13° 웨지를 부착했을 때 저항 감소효과가 좋은 것을 알 수 있었다. 이를 이용해 설계된 차인선형에 부착될 wedge를 설계하였다. Table 2와 Table 3의 결과에 따라 차인선형 Lpp의 1.117%와 1.676%의 WEDGE Chord 길이를 정하고 9°와 13°의 Wedge 각도를 정하였고 Table 4에 설계된 웨지의 특성을 보였다.

여기서 V.P.F.는 wedge의 형상을 뜻하는 것으로, V는 sharp vee, P는 웨지의 테이퍼가 parabolic이며 F는 wedge edge/corner가 faired임을 나타내고 있다.

Fig. 6은 설계된 wedge의 단면형상을 보여주고 있으며, Fig. 7과 Fig. 8은 각각 웨지 각도 9°와 13°의 Stern wedge를 붙인 선미 Profile 형상을 나타낸다.

이렇게 두 가지 웨지를 설계하고 이들이 부착된 경우에 대한 조

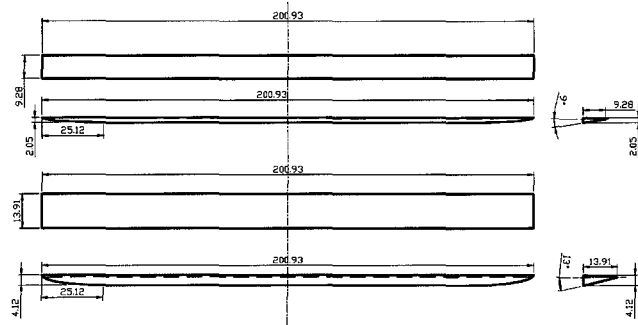


Fig. 6. Configurations of designed transom wedge.

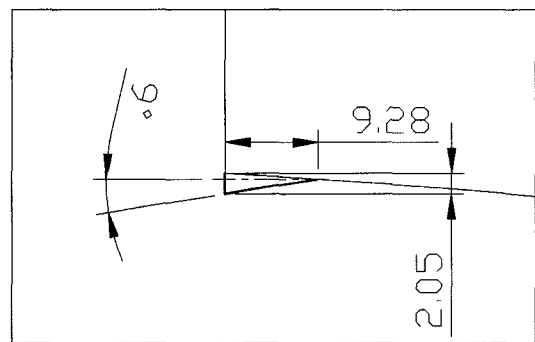


Fig. 7. Configuration of small wedge (9°, 1.117%Lpp).

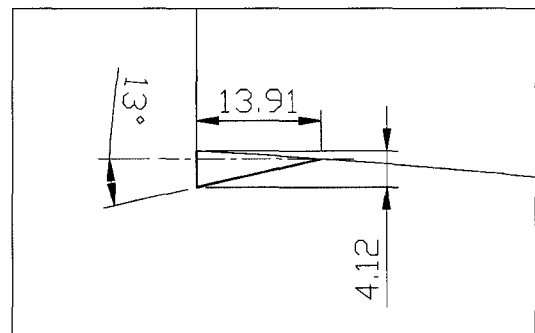


Fig. 8. Configuration of large wedge (13°, 1.676%Lpp).

파저항 계산을 수행하였다. Fig. 9는 차인형 선형에 9°와 13° 웨지를 부착했을 때의 계산된 조파저항계수를 보여주고 있다. 이 결과로부터 웨지의 효과는 저속에서 나쁘게 나타나고 있으나 고속으로 갈수록 조파저항이 감소하는 것을 알 수 있으며, 13° 웨지의 효과가 더욱 좋게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이렇게 저항이 감소된 이유를 확인하기 위해 Fig. 11에는 계산된 선박의 자세변화(트림과 침하량)를 도시하였다. 계산결과 웨지의 부착으로 인해 설계속도 이상에서 침하량이 줄어들고 선미트림 현상이 현저히 줄어들고 있음을 알 수 있다. 이로부터 선미웨지는 침하량을 감소시키고 트림을 억제해 줌으로써 저항을 감소시켜 주는 것이라 판단하였다.

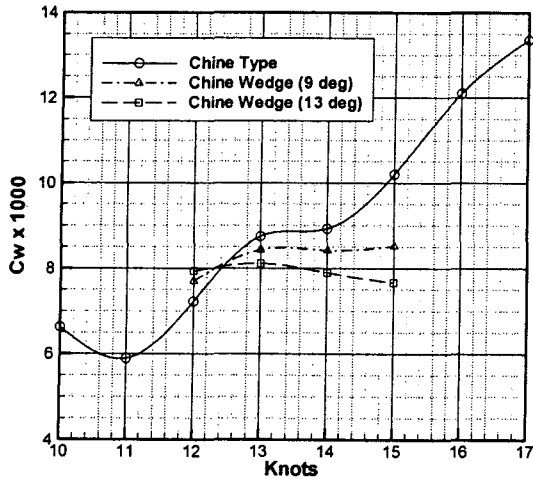


Fig. 9. Effect of transom wedges.

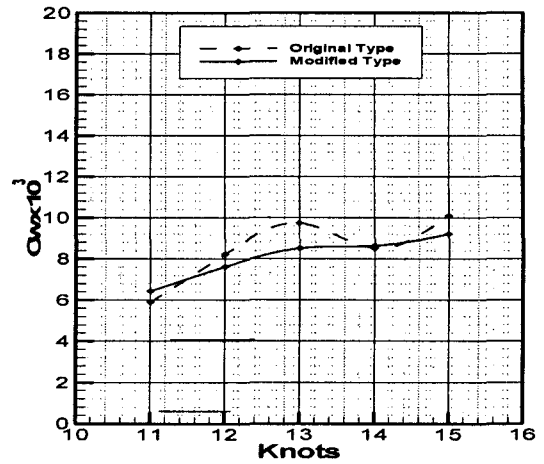


Fig. 12. Comparisons of wave resistance coefficients (w/o wedge).

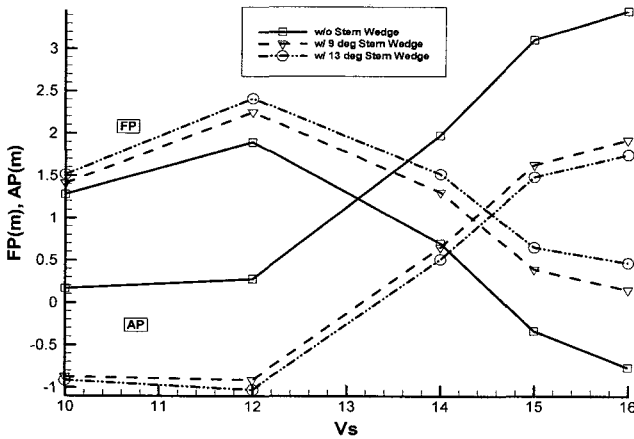


Fig. 10. Effect of stern wedge on the sinkage of ship.

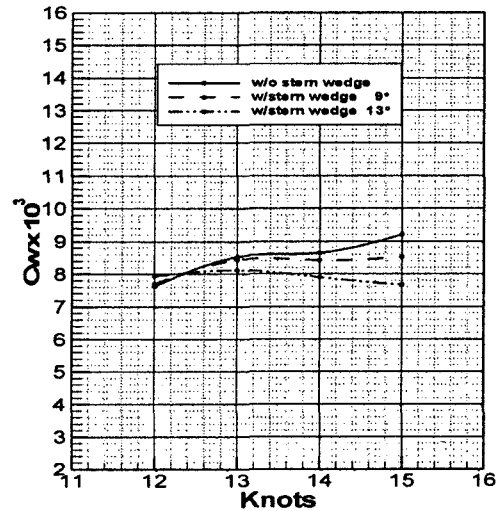


Fig. 13. Comparisons of wave resistance coefficients (w/wedge).

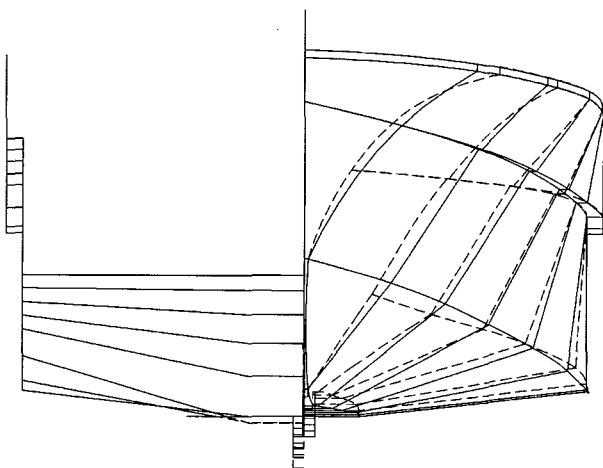


Fig. 11. Comparison of Hull form (Parent hull: ---, Modified hull: —).

5. 개량선형 설계

수치계산 및 모형시험 수행 결과 등근 바다 선형의 저항성능이 차인선형에 비해 양호하였으나, 차인 선형의 건조비가 등근 바다

선형에 비해 저렴하기 때문에 차인 선형의 저항성능을 개선시키기 위한 개량선형을 설계하였다. 선형 개량은 선수파를 줄여주기 위해 선수부 형상을 수정하고, 개량 선형에 선미 wedge를 부착하는 것으로 결정 하였다. 성능 검증은 WAVIS를 이용한 포텐셜 계산만을 수행하였다.

새로운 차인 선형을 설계할 때 기준선과 주요 요목을 일치시키고 선수부 차인라인을 다소 높여줌으로써 선수파를 줄이고자 하였다.

Fig. 11에 기준 차인선형과 선수부를 개량한 선형의 정면도를 도시하였다. 그림에서 실선은 개선된 선형의 정면도를 나타낸다.

Fig. 11에는 두 선형의 선형 특성을 비교하여 도시하였다. 자유 표면 및 선체 표면의 패널 수는 기준선의 계산 결과와 동일하게 택하였다. Fig. 13에는 개선된 선형과 원래의 차인 선형에 대한 조파 저항 계산 값을 비교하였다. 기존의 차인 선형보다 설계속도인 13 kts에서 조파 저항 계수(Cw)값이 많이 줄어들었음을 알 수 있다.

개량 선형에도 Stem wedge를 부착하여 보다 더 개선된 저항 성능을 얻고자 하였다. 기준선의 wedge 설계와 동일하게(각도: 9°,

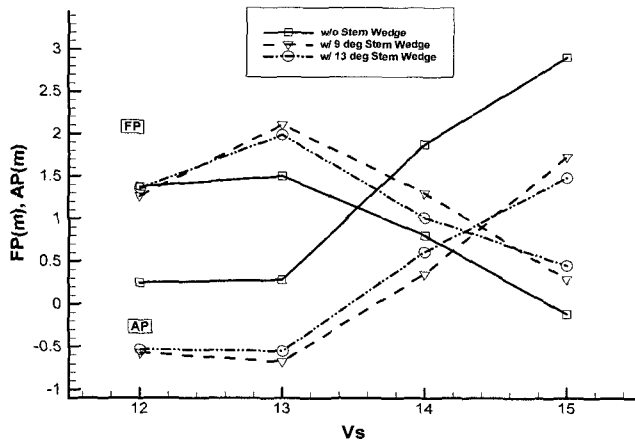


Fig. 14. Effect of stern wedges on sinkage of ships.

코드 길이: 1.117%Lpp)와 (각도: 13°, 코드 길이 1.676% Lpp)를 택하였고, 단면 형상 역시 동일하게 결정하였다.

Fig. 13은 개선된 선형에 Stern wedge를 부착하였을 때의 조파저항 계수 값을 나타내었다. 속도가 증가 할수록 wedge의 효과가 크게 나타나며, 특히 wedge 설계시 참고 자료에서 알 수 있었던 13°때가 계산결과도 9°보다 좋은 것으로 나타났다.

Fig. 14는 sinkage를 비교한 것인데 wedge가 없을 때 보다 고속으로 갈수록 흘수가 선수부는 올라가고 선미부는 내려가 과도한 트림이 억제되는 효과를 알 수 있었다.

6. 결 언

차인선형과 등근바닥 선형의 저항특성을 WAVIS를 이용한 수치계산 및 모형시험 결과를 통해 확인하였다. 드라이 트랜십 선미 조건과 비선형 자유수면 조건을 적용한 WAVIS 계산결과는 선형 우열비교 목적으로 사용할 수 있음을 확인하였다.

저항성능 감소를 목적으로 선미 Wedge를 설계하였으며, WAVIS를 이용한 수치계산 결과 선미웨지 효과는 대단히 만족스러운 것으로 나타났다. 이상의 연구로부터 선형설계 전용 프로그램인

HCAD와 조파저항 계산 프로그램인 WAVIS를 소형고속선 선형설계에 적용하는 방법이 효율적임을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2003년도 지역전략산업 석박사 연구인력 양성사업 연구비 지원으로 이루어졌음을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] 이춘주, 유재문, 윤현세, 2003, "선변환 방법에 대한 소고", 대한조선학회논문집 제40권 1호, 63-68
- [2] Dawson, C. W., 1977, "A Practical Computer Method for Solving Ship-Wave Problems", Second International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Berkeley.
- [3] Hess, J. L. and Smith, A. M. O., 1966, "Calculation of potential flow about arbitrary bodies", Prog. in Aeronautical Sciences 8, (Pergamon, NewYork).
- [4] Gabor Karafiath, Dominic Cusanelli and Cheng W.L., 1999, "Stern Wedges and Stern Flaps for Improved Powering-U.S. Navy Experience", SNAME Transactions, Vol. 107.
- [5] Hydrodynamic Performance Research Team, 2001, "WAve and VIScous flow analysis system for hull form development", User's Guide, KRISO, Taejeon, Korea.
- [6] Kim, K. J., 1989, "Ship Flow Calculations and Resistance Minimization", Ph.D. Thesis, Chalmers University, Gothenburg, Sweden.
- [7] Raven, H. C., 1988, "Variations on a Theme by Dawson", 17th Symposium on Naval Hydro-dynamics, Hague, Netherlands.
- [8] Xia, F., 1986, "Numerical Calculations of Ship Flows with Special Emphasis on the Free Surface Potential Flow", Ph.D. Thesis, Chalmers University, Gothenburg, Sweden.

2006년 2월 17일 원고접수

2006년 5월 3일 수정본 채택