

선형변화에 따른 낚시보트의 횡요저감효과 및 복원성 평가

정재훈* · 이성종* · 문병영**†

Evaluation of Stability and Roll Damping Effect according to Change the Hull Form of Fishing Boat

Jae-Hun Jeong*, Sung-Jong Lee*, Byung-Young Moon**†

Key Words : Fishing boat(낚시보트), Inclination test(경사시험), Free rolling test(자유횡요시험), Stability(복원성)

ABSTRACT

The aim of present study is to evaluate the stability of GM(Metacentric Height) calculation and investigate the damping effect of free rolling test. Moreover, GZ(Righting arm in stability) curve shows that it can provide reasonable design conditions for Fish boat. The roll damping characteristics of the improved model for an 7.9 ton class fishing boat are investigated through the free roll test in towing tank. The safety and boarding sensitivity are evaluated by GM calculation and roll motion period. Therefore, the results in this paper describe that the effect for improved hull is more improved than the original hull.

1. 서론

국내 해양레저산업이 매년 크게 확대되면서 레저선박에 대한 안전성의 확보가 더욱 필요하게 되었다. 특히 낚시보트의 경우 외부 노출환경에서 활동함으로 인명과 직결되고 그에 따른 선박의 균형과 안전성 확보는 필수적이다. 하지만 국내 연구에 있어 20 m미만, 25톤이하 소형 낚시선의 실질적인 모형시험 등을 통한 안전성 조사는 미흡한 실정이다. 특히 여러 해상사고요인중 하나인 소형선박의 운동성 변화에 주안점을 두고 낚시보트에 대한 개선된 선형개발이란 관점에서 모형시험을 연구한 사례는 매우 드물다.

국내 연구를 살펴보면, Chae, et al.(2003)의 경우, 선박 횡동요 제어에 관한 실험을 수행하였으며, Jeong, et al.(2004)는 고속선을 대상으로 하여 선형개발과 함께 저항성능에 주안점을 두고 연구된 바가 있다. 그리고 Kim, et al.(2005)은 횡요방지 장치에 대한 실험과 시뮬레이션을 통해 횡요저감효과를 검증하였고, Lee, et al.(2012)는 단순한 형상인 바지선에 대한 파랑 중 횡요감쇠운동에 관하여 실험과 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 통해 안정성 해

석을 한 연구사례를 찾아볼 수가 있었다. 하지만 상기와 같이 다양한 횡요실험과 시뮬레이션을 통한 설계 검증방법이 있음에도 불구하고 국내 소형어선 또는 낚시보트의 경우에 주로 경험적으로 설계되어 통상적으로 사용해 온 것이 현실이다. 그러므로 소형선에 대한 좀더 개선된 형태의 선형을 개발하여 모형시험 등에 의한 정량적인 검증이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 기존선형과 개선된 선형을 나누어 적용하여, GM(Metacentric height) 계산을 위한 경사시험, 횡요저감효과를 위한 자유횡요시험 그리고 복원성 평가를 위한 복원정(GZ)곡선 해석을 통해 낚시보트의 안전성과 승선감에 대해 논의하였다. 또한 자유횡요시험시 비접촉식 6자유도 운동계측기(Rodym DMM)와 무선 경사계에 의한 계측을 함께 수행함으로써 선형변화에 따른 횡요저감효과에 관하여 분석하였다.

2. 모형시험의 개요

2.1. 모형선 및 시험조건

시험에 사용된 낚시보트는 국내에서 많이 사용되는 총톤수 7.9톤 소형 낚시보트로서 경사시험과 자유횡요시험의 두 가지 모형시험에 대해 실시하였다. Table 1에 주요제원을 정리하였고 Fig. 1에 개선선형의 횡단면도를 나타내었다. 모델

* 부산대학교 대학원

** 군산대학교 조선공학과

† 교신저자, E-mail : moonby@kunsan.ac.kr

Table 1 Particulars of Fishing boat (Scale : 1/7.86)

Item	Model	Ship
Length (L_{OA})	2 m	15.72 m
Length (L_{BP})	1.48 m	11.65 m
Breadth (B)	0.38 m	3.04 m
Depth (D)	0.105 m	0.83 m
Design Draft (d)	0.076 m	0.60 m

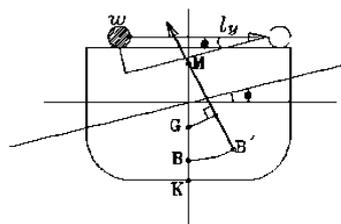


Fig. 3 Inclination test

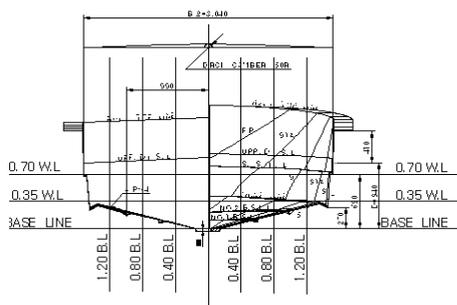


Fig. 1 Body plan of improved ship

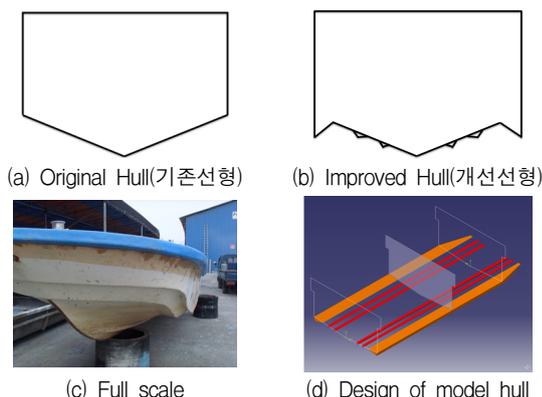


Fig. 2 Fishing boat according to hull type

축적은 1/7.86이며 선형특성 비교의 용이성을 위해 Bare hull을 기존선형, 부가물이 부착된 형태의 선형을 개선선형으로 정의하였다.

Fig. 2의 (a)는 일반 낚시보트의 횡단면도, (b)는 개선된 선형의 횡단면도를 나타내고 있다. (c)는 실제 개선된 낚시보트의 선체 하단을 나타내며, (d)는 모형선 제작을 위한 부가된 부분에 대한 개선선형의 설계도면을 나타낸다.

3. 모형시험방법

3.1. 경사시험에 의한 GM(Metacentric Height) 계산

경사시험은 Fig. 3과 같이 두 모델에 추를 놓아 흘수를 맞추고 새로운 중량 w 인 추를 올려 경사시키는 방법으로 한다. 본 시험에서는 흘수를 맞추기 위해 중량물(Weight)를 추

가하고 흘수는 설계흘수로 맞춘다. 중량물 분포가 달라지면 GM이 변할 수 있으므로 각 시험시 가능한 한 같은 상태로 중량물을 분포시킨다. 실험 모델의 특성상 모형낚시보트가 수평이 되지 않을 수 있으므로 실험 수행전 수평계나 모형선의 눈금을 이용하여 흘수선과 수평이 되게 한다. 낚시보트 모델의 자체의 무게는 16.27 kg 이고, Design Draft에 맞춘 상태의 배수량은 중량물 무게 30 kg을 추가하여 전체 46.27 kg 이다. 그리고 식(3)을 이용하여 기존선형과 개선선형에 대한 GM을 산출하였다.

갑판상의 화물 w 를 횡으로 l_y 만큼 움직여 배가 ϕ 만큼 경사했다면 이때 복원정(GZ)과 경사각(ϕ)과의 복원력(Righting moment) 관계식은 다음 식(1)과 같이 나타낸다.

$$W \cdot \overline{GZ} = W \cdot \overline{GM} \sin \phi \quad (1)$$

한편, 경사우력(Heeling moment) M 은 식(2)와 같다.

$$M = w \cdot l_y \cos \phi \quad (2)$$

여기서, 복원력 식(1)과 경사우력 식(2)가 같으므로 GM에 관해 정리하면 식(3)을 얻을 수 있다.

$$\overline{GM} = \frac{w \cdot l_y}{W \cdot \tan \phi} \quad (3)$$

여기서, w 는 경사시험시 사용한 추의 무게(5kg), l_y 은 중심에서 횡방향으로의 중량물(Weight) 중심이동 거리(0.107m), W 는 총무게(모델자중+계획흘수에 대한 무게+추의 무게, 46.27 kg)를 나타내며, ϕ 는 선형에 대한 횡방향 경사각을 의미한다.

3.2. 자유횡요시험(Free rolling test)

3.2.1. 자유횡요시험

각 실험 조건에 맞게 6자유도 운동계측기(Rodym DMM)과 무선경사계(Wireless Instrument)를 알맞게 위치한 후 초기경사각 10°정도 경사를 주어서 실시한다(Fig. 4 참조).

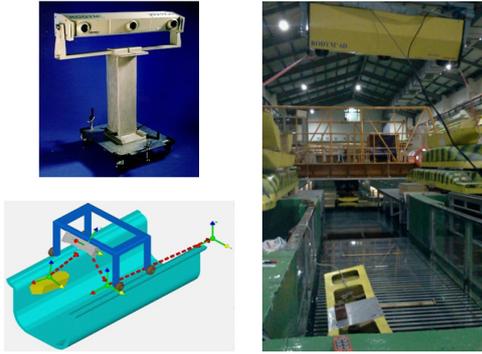


Fig. 4 Model test set up
(Rodym DMM & Wireless Instrument)

3.2.2. 횡요감쇠계수 산정방법

개선선형에 대한 횡요저감효과를 알아보기 위하여 감쇠계수 산정 방법을 적용하였다. 자유횡요운동에 대한 횡요방정식은 다음 식(4)와 같으며, 여기서 x_4 와 \dot{x}_4 는 각각 $\phi(t)$, $\dot{\phi}(t)$ 를 나타낸다.

$$(I_{44} + J_{44})\ddot{x}_4 + A\dot{x}_4 + B|x_4|\dot{x}_4 + W \cdot GM \cdot x_4 = 0 \quad (4)$$

낚시보트의 자유횡요시험을 통하여 얻어진 데이터를 이용하여 아래와 같은 Fig. 5 형태의 Roll angle 곡선을 얻는다.

본 연구에서는 초기조건($t=0$ 때 $\phi=10^\circ$, $\dot{\phi}=0$)을 적용하였으며, Rodym DMM 계측은 $\Delta t=0.01\text{sec}$, 무선 경사계는 $\Delta t=0.1\text{sec}$ 간격으로 각각 데이터를 획득하였다. 이 실험결과를 이용하여 감쇠계수를 구하기 위한 해석을 수행하였다.

$$\phi'_n = \frac{\phi_n + \phi_{n+1}}{2}, \quad \Delta\phi_n = \phi_n - \phi_{n+1} \quad (5)$$

그리고 식(5)에 의해 감멸곡선 (Curve of Extinction) 을 그릴 수가 있으며 이를 식(6)과 같이 Curve Fitting하면 피팅식 내 계수 a, b를 얻는다.

$$\Delta\phi_n = a\phi'_n + b|\phi'_n|\phi'_n \quad (6)$$

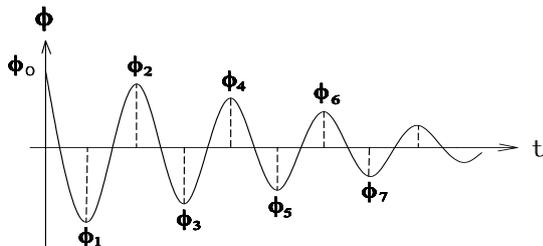


Fig. 5 Curve of Roll angle

한편, 최소자승법(Least square method)를 이용하여 구하여진 상수 a, b와 감쇠계수 A, B는 다음 식(7)과 (8)의 관계를 이용하여 최종 산정할 수 있다.

$$A = \frac{4a}{T}(I_{44} + J_{44}), \quad B = \frac{3b}{4}(I_{44} + J_{44}) \quad (7)$$

$$I_{44} = m \cdot (0.4 \cdot B)^2, \quad \omega_n = \sqrt{\frac{W \cdot GM}{I_{44} + J_{44}}} = \frac{2\pi}{T_n} \quad (8)$$

4. 모형시험결과

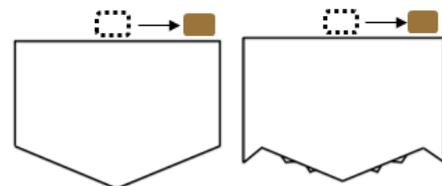
4.1. GM(Metacentric Height) 계산 결과

기존 선형의 경우는 계측된 경사각이 8.454° 로서 식(1)을 적용하여 계산하면 GM은 0.0702m로 추정되었으며, 개선된 선형의 경우의 GM은 경사각이 8.277° 로 0.0717m로 계산되었다. 그 오차는 약 2.1%로서 개선선형이 기존선형보다 GM이 증가하는 것으로 나타났다(Table 2 참조).

4.2. 자유횡요시험 결과

4.2.1. Rodym DMM 운동계측기에 의한 실험결과

자유횡요시험은 전체 약 14초(0.01초 간격)간 1400개의 데이터 중 유효한 범위 10초내 약 1000개의 데이터를 통해 해석되었다. Fig. 7은 시간에 따른 횡요운동 변화를 나타낸 것으로서 해석결과 평균주기는 기존선형이 0.837sec (Original hull)로 나타났으며 개선선형의 경우 0.866sec (Improved hull)로 나타나 약 3.5% 주기가 증가함을 알 수가 있다. Fig. 8은 횡요운동에 대한 진폭변화를 Curve Fitting하여 나타낸 것으로 기존선형보다 개선선형에서 진폭변화가 상당히 저감되는 경향을 쉽게 확인할 수가 있다.



(1) 기존 낚시보트 (2) 개선된 낚시보트

Fig. 6 Original & Improved hull for Inclination test

Table 2 GM value and Difference for Inclination test

Item	GM (m)	Difference (%)
Original hull	0.0702	2.1
Improved hull	0.0717	

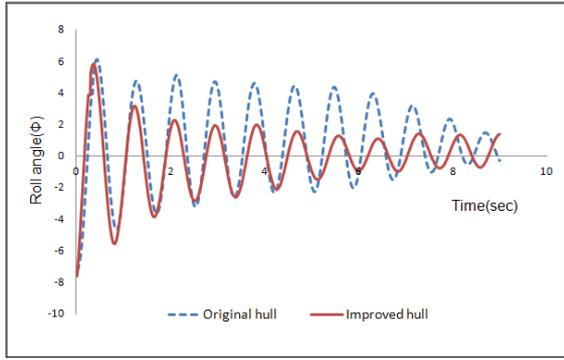


Fig. 7 Free rolling motion of Fishing boat by Rodym DMM

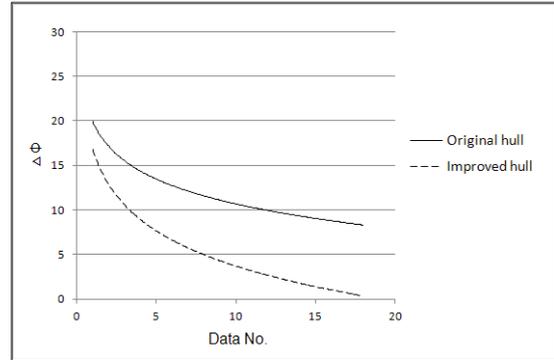


Fig. 10 Change of roll amplitude according to hull by Wireless instrument

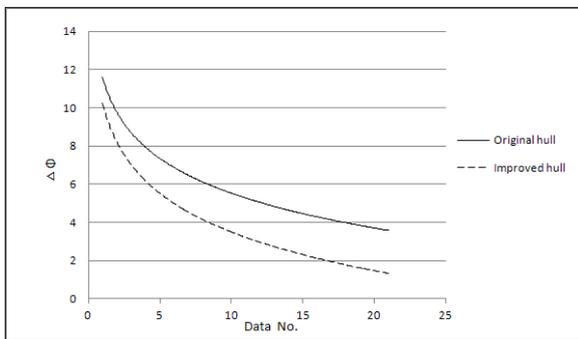


Fig. 8 Change of roll amplitude according to hull by Rodym DMM

본 자유횡요시험에서 개선선형은 기존선형보다 약 2~3% 내로서 횡요주기가 증가하는 것으로 나타났으며, 진폭변화도 상당히 감소함으로서 개선선형의 선형변화로 인해 횡요저감효과가 다소 개선됨을 확인할 수 있다. 따라서 본 시험에서 개선선형은 기존선형보다 진폭변화를 통해 횡요저감효과이 크게 나타남을 알 수 있고, 평균주기의 증가로 인하여 실선의 경우, 낚시 승객의 승선감이 다소 개선되는 효과가 있음을 시험을 통해 확인하였다. 또한, 두 계측기에 의한 계측방법 모두 유사한 경향을 나타냄으로서 횡요시험에 대한 신뢰성이 검증된 것으로 분석된다.

4.2.2. 무선 경사계에 의한 실험결과

무선 경사계에 의한 계측은 총 70초(0.1초 간격) 700개의 데이터 해석으로 이루어졌다.

Fig. 9는 시간에 따른 횡요운동 변화를 나타낸 것으로서 해석결과 평균주기는 기존선형이 2.122 sec로 나타났으며 개선선형의 경우 2.172 sec로 나타나 약 2.3% 주기가 증가함을 알 수가 있다. Fig. 10은 횡요운동에 대한 진폭변화를 Curve Fitting하여 나타낸 것으로 기존선형보다 개선선형에서 진폭변화가 상당히 저감되는 경향을 쉽게 확인할 수 있다.

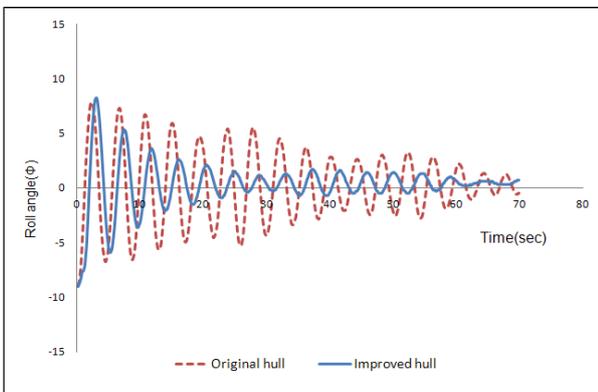


Fig. 9 Free rolling motion of Fishing boat by Wireless instrument

4.2.3. 횡요감쇠계수 산정결과

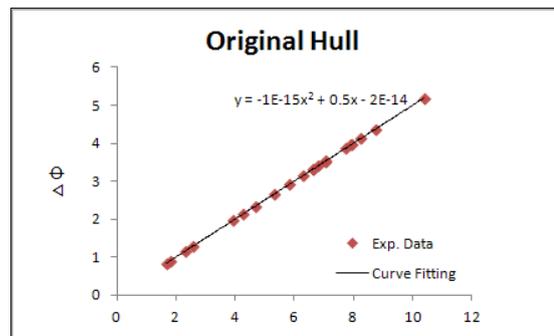


Fig.11 Curve of extinction for original hull

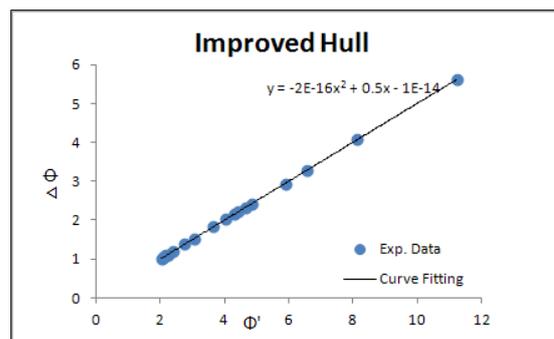


Fig.12 Curve of extinction for improved hull

Table 3 Results of damping coefficient

Damp coefficient	Rodym DMM		무선 경사계	
	Original hull	Improved hull	Original hull	Improved hull
a	0.5	0.5	0.5	0.5
b	-1E-16	-2E-16	2E-16	-1E-16

계측된 데이터를 이용하여 감멸곡선을 그린 후 각 계측기에 의한 감쇠계수를 정리하면 Table 3과 같다. Least square method를 이용하여 구하여진 Damping 계수 a, b로서 횡요저감효과를 비교할 수 있으며 계측결과, 모두 선형성을 가지며 선형항의 Damping 계수가 0.5로서 동일하게 산정되었으며 비선형계수 b 값은 선형에 따른 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다.

5. 복원정(GZ) 곡선에 의한 복원성 평가

낚시보트 실선을 대상으로 복원정(GZ) 곡선에 의한 복원성을 조사하였다. 복원정 계산법은 다음과 같은 방법에 의해 계산되어질 수 있다. 우선, 복원력 교차곡선표(Cross KN Table)에서 배수량에 대한 KN값을 구한다. 그리고 다음 식(9)의 계산식에 따라 횡경사각에 따른 복원정(GZ)을 구한다.

$$GZ = KN - KG \cdot \sin\phi \quad (9)$$

Table 4에서와 같이 복원정 계산법에 의해 복원정을 구할 수 있으며, Fig. 12에서와 같이 실선의 복원정(GZ)에 곡선에 의한 GM은 1.934 m로 산정되었고 한계경사각은 12.1°로 나타났다.

Table 4 GZ value according to Inclination angle

횡경사각도	5	10	20	30
복원정(m)	0.160	0.268	0.359	0.324
-	40	50	60	70
	0.215	0.073	-0.083	-0.241

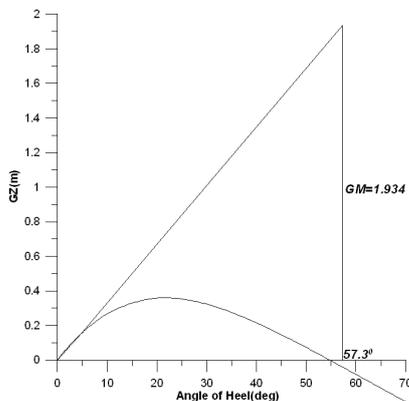


Fig. 12 GZ Curve of Fishing boat

6. 결 론

복원 안정 구조를 겸비한 낚시보트(7.9 Ton)의 개발을 위해 본 논문에서는 다양한 모형시험을 통하여 선형에 따른 안전성 검토와 승선감에 관하여 조사하였다. 우선, 모형선의 경사시험을 통한 GM계산 결과 기존선형보다 개선된 형태의 개선선형의 메타센터 높이(GM)가 2% 정도 높게 나타나며, 이것은 중심의 하방향 이동을 의미함으로 복원성이 향상된 것으로 나타났다. 그리고 자유횡요시험을 통하여 시간에 따른 진폭변화를 선형변화에 따라 비교한 결과 상당한 저감효과가 나타남을 볼 수 있으며, 주기도 약 2~3%의 증가함을 나타냄으로서 낚시승객의 승선감을 고려하였을 때 다소 개선되었음을 알 수 있다.

본 논문에서는 모형시험 결과를 통하여 개선된 개선선형이 상당한 횡요저감효과가 발생함으로서 평균주기가 더욱 길어지고 승선감이 개선됨을 확인할 수 있었다. 그리고 복원정(GZ) 곡선의 복원성 평가를 통해 안전성에 대한 알맞은 GM 값과 한계경사각을 산정하였고 이것을 국내 소형선박의 최적설계에 반영할 수 있을 것으로 사료된다. 차후 파랑과 바람 등을 고려한 실해역에 좀더 가까운 환경 조건을 적용함으로써 더욱 개선된 선형설계안이 개발될 것으로 기대된다.

참고문헌

- (1) Chae, G. H., Kim, Y. B., 2003, "An Experimental Study on the Rolling Motion Control of a Ship Based on LMI Approach," The Korea Society of Ocean Engineers, 17(2), pp. 60~66.
- (2) Jeong, U. C., Jeong, S. H., Chun, H. W., 2004, "A Study on the Hull Form Development and Resistance Performance of a High-Speed Coastal Patrol Boat," 18(3), pp. 44~49.
- (3) Kim, Y. B., Lee, K. S., Kim, J. H., Chae, G. H., 2005, "A Study on Development of an Anti-Rolling System for the Ship Stability Improvement," 11(1), pp. 23~28.
- (4) Lee, S. G., You, J. M., Lee, H. H., Rhee, S. H., Rhee, K. P., 2012, "Experimental Study on Free Roll Decay Motions of a Damaged Ship for CFD Validation Database," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 45(1), pp. 52~59.
- (5) Lee, S. K., 2000. Research on the improvement of safety to prevent marine accidents of fishing vessels, MOMAF Report, Korea, pp. 23~32.
- (6) Lee, S. H., Lee, Y. W., 2002. The Theoretical Study on the GM Inference of the Small Fishing Vessels, 26(2), pp. 189~192.