

파랑중 자유 횡동요 시험에 의한 소형어선의 횡동요 감쇠모멘트에 관한 연구

전호환*, 천승현**, 김시영***

Roll Damping Moment of a Small Fishing Vessel by Free Rolling Test in Waves

by

H. H. Chun*, S. H. Chun** and S.Y. Kim***

요 약

3톤급 소형어선의 나선, 빌지킬 및 중앙날개(central wing)가 부착된 상태의 3가지 모델에 대해 파랑중(선수파)에서 속도 변화, 초기각의 변화 및 OG(무게중심과 횡동요 중심간의 거리)의 변화에 따른 횡동요 감쇠시험에 의해 감쇠 특성을 비교하였다. 파주기 변화에 대한 영향도 포함시켰다. 또한 에너지법에 의해 선형 및 비선형 속도항에 의존하는 횡동요 감쇠모멘트를 계산하여 시험값과 비교하였으며 3가지 모델에 대한 에너지 발산 형태도 비교하였다. 파랑이 있을 때 감쇠력은 전진속도가 없는 경우는 증가하였으나 전진속도가 있는 경우는 부가물이 부착된 경우에는 양력증가에 의한 감쇠력 증가 기여도가 아주 크기 때문에 파랑에 의한 감쇠력 증가는 미소하였다.

Abstract

The roll damping characteristics of the three models of a 3 ton class fishing vessel, that is the bare hull, hull with bilge keels, and hull with bilge keels and a central wing are investigated by the free roll tests in head waves in a towing tank with the variations of the forward speed, initial angle and OG. The wave length

접수일자 : 1998년 5월 28일, 재접수일자 : 2000년 2월 14일

*정회원, 부산대학교 조선해양공학과 (기계기술연구소)

**학생회원, 부산대학교 조선해양공학과 대학원

***정회원, 부경대학교 제어기계공학과

variations are also included. The experimental results are compared with the numerical results of mathematical modellings by the energy method for these three models and the energy dissipation patterns are also compared. The roll damping moment of the models is increased due to waves for zero speed cases, but as the speed increases, the effect of the waves on the roll damping of the models with the additional devices is negligible due to the much increased damping caused by the lift increase.

1. 서론

소형어선의 해난사고 대부분은 과도한 횡운동에 의한 전복사고가 대부분이며 횡운동을 억제하기 위해서 선형의 개량, 빌지 킬(bilge keel) 및 stabilizing 핀 부착, stabilizing 탱크(tank)의 설치 등 여러 가지 방법이 강구되어져 왔다[1].

소형어선의 횡동요특성에 관한 연구는 Tanaka et al.[2,3,4], Bass & Haddara[5], Haddara & Bass[6] 등이 있다. Tanaka et al.[2]은 수조에서 4가지 선형에 대한 강제 동요 시험으로 OG(무게중심과 횡동요 중심 사이의 거리), 속도 및 선형이 횡동요 감쇠력에 미치는 영향을 연구하였다.

본 논문의 저자들은 소형어선의 전복 방지 안정 장치 시스템 개발에 관한 연구를 수행해오고 있으며 필요시 선저 중앙부에 선실에서 밀어 넣을 수 있는(retractable) 중앙 날개-플랩 시스템을 개발하여 3톤급 모형선에 적용하여 수조시험으로 검증하여 개발 결과를 발표 하였다[7]. 또한 빌지킬 및 중앙날개가 부착된 경우에 평수중에서 속력변화, 초기 경사각의 변화 및 OG(무게 중심과 횡동요 중심간의 거리)의 변화에 따른 자유 횡동요 감쇠시험을 수행하여 이러한 부가물들이 횡동요 감쇠에 미치는 특성에 관한 연구 결과도 발표 하였다[8]. 부가물의 부착은 횡동요 감쇠력을 키워 주고 속력이 있을 경우는 중앙날개의 양력증가로 인해 감쇠력은 더욱 증가함을 보였다.

본 논문은 저자들의 이러한 1차연구 결과[8]에 이어 같은 모형선에 대해, 나선(bare hull), 빌지 킬 및 중앙날개가 부착된 3가지 모델에 대해 예인

수조에서 선수파에서 자유 횡동요 감쇠시험을 수행하여 속도의 변화, 초기각의 변화 및 OG의 변화 등이 3가지 모델의 파랑중 횡동요 감쇠 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 Haddara & Bass[6]가 제시한 이론적 추정 방법 중 1차 및 2차 속도항의 결합, 1차 및 3차 속도항의 결합에 의한 횡동요 감쇠를 추정하고 시험결과와 비교하였고, 에너지법을 이용해서 3가지 모델에 대한 에너지 발산형태도 비교하였다. 이들에 대한 수식전개는 1차 연구결과[8]를 참조하기 바란다.

2. 실험 및 고찰

시험에 사용된 선박은 국내에서 많이 사용되는 총톤수 3톤급 소형 어선으로서 큰 스케그(skeg)가 있으며 hard chine을 가지고 있는 전형적인 어선이다. Table 1에 주요제원을 보였고 Fig.1에 빌지킬 및 중앙날개가 부착된 정면도를 보였다. 중앙날개의 코드(chord)는 중앙부가 1m, 끝(tip)에서는 0.8m이고 스펠(span)은 0.75m이다. 횡동요 운동을 제어하기 위해서 0.2m의 코드

Table 1 Particulars of the fishing vessel

Disp.(m ³)	7.56
LWL(m)	7.9
Beam(m)	2.35
Draft(m)	0.73
LCB(m)	-0.44624

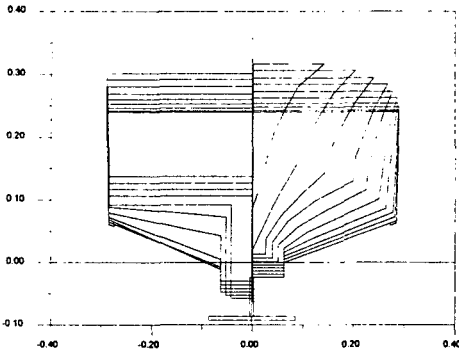


Fig.1 Body plan for fishing vessel with a B.K. and central wing(model scale, unit in meter)

를 가지는 플랩(Flap)을 부착하였으며 날개의 단면은 NACA0015로 하였다. 날개는 선박의 스케그와 평행하게 부착하였으며 이는 플랩각을 0°로 하였을 때 날개에 의한 양력을 0으로 하기 위함이다. 길이방향으로는 LCG(길이방향으로 중앙부에서 -0.1m)와 양력중심이 일치하도록 부착하였으며 높이는 조절할 수 있으나 본 시험에서는 0.38m로 고정하였다. 빌지킬은 선미에서 5스테이션(station)까지 높이가 0.06m, 폭이 0.07m로 균일하게 hard chine에 일직선으로 부착되었고 그 이후로 점점 줄어들어 8스테이션에서 선체와 일치되는 형상이다.

1/4축척의 나무로 모형선을 제작하여(Fig.2 참조) 파랑중에서 정지중 및 5개의 속도에 대해 2개의 OG 및 5개의 경사각에 대해 횡동요 자유 감쇠시험을 수행하였다. 5개의 파주파수를 사용하였으며 시험조건은 Table 2에 주었다. 모형시험에 사용된 파주파수는 파주기 $T = 2.6, 2.3, 2.0, 1.7$ 및 1.4 sec.에 해당된다. 6분력 운동계측기를 사용하여 모형선의 부착점(O)을 이동시켰으며 OG는 계측기의 부착점과 중력중심간의 거리이다(G로부터 상방향을 +로 하였음). 연직운동(heave)과 횡동요만 자유로이 하고 그 외의 운동은 구속하였다.

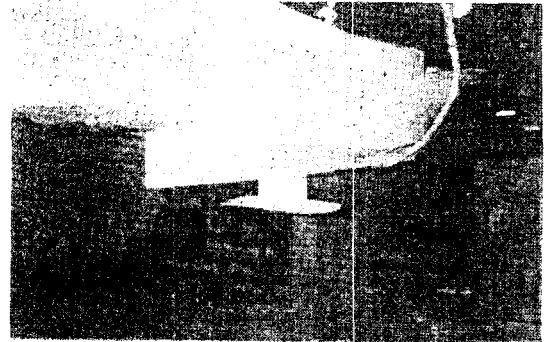


Fig.2 Fishing vessel with a central wing

Table 2 Test conditions for fishing vessel in waves

	OG/d	Initial angle (deg.)	ω (wave freq. rad/s)	F_n	Test No.
Stationary in waves	0.142	12	2.42, 2.73, 3.14, 3.7, 4.5	0	10
	1.058				
	0.142	4, 8, 12, 16, 20	3.14	0	10
	1.058				
Speed in waves	0.142	12	3.14	0, 0.1, 0.18, 0.2, 0.3, 0.4	12
	1.058				

2.1 전진속도가 없을 경우

Fig.3 - 5는 나선, 빌지킬, 빌지킬 및 중앙날개가 부착되었을 경우 $OG/d=1.058$ (여기서 d는 모형선의 홀수), 3.14 rad/sec 파주파수에서의 시험값과 1차연구[8]에서 언급한 방법에 의한 추정값을 비교하고 있다. 1차연구 결과인 평수중에서와 같이 감쇠가 큰 빌지킬 및 날개가 부착된 경우를 제외하고는 1차와 2차 혹은 1차와 3차 속도항의 결합으로 표시한 횡동요 감쇠모멘트에 의한 추정값이 시험값과 잘 일치하고 있다. 감쇠가 큰 경우에는 속력보다는 경사각의 함수로 감쇠력을 추정하는 것이 시험값과 보다 더 잘 일치함을 보고한 바 있다[6].

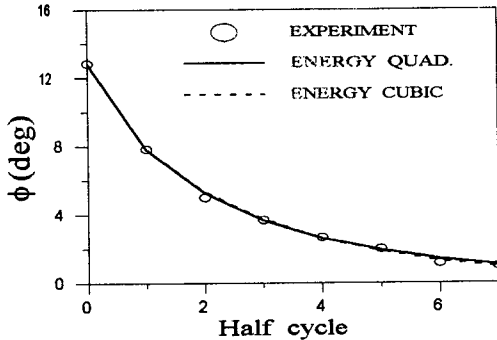


Fig.3 Comparison between experiment and energy approach(bare hull,Fn =0.0,OG/d=1.058, ω=3.14 rad/s)

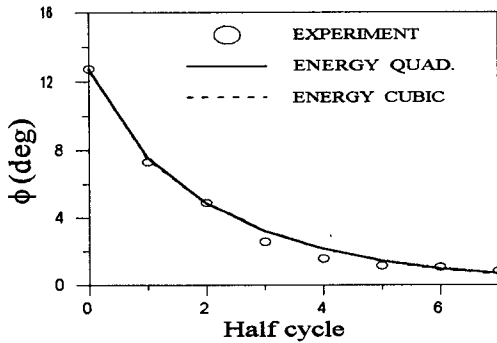


Fig.4 Comparison between experiment and energy approach (hull with B.K., Fn=0.0,OG/d=1.058, ω=3.14rad/s)

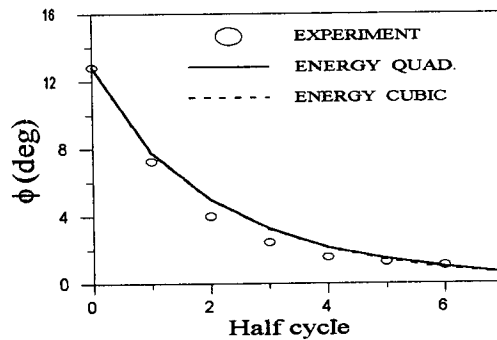


Fig.5 Comparison between experiment and energy approach (hull with B. K. and wing, Fn = 0.0, OG/d = 1.058, ω = 3.14 rad/s)

Fig.6은 나선일 때 $OG/d=0.142$ 와 1.058 인 경우에 대해서 무차원 선형감쇠계수(ζ)를 파주파수의 함수로 보여주고 있다. 여기서 $\zeta = B / (2 \times \omega \phi)$ 이고 $\omega \phi$ 는 횡동요 고유진동수이다. x 축의 무차원 주파수가 0인 것은 파랑이 없는 평수중을 의미한다. 그림에서 보는 바와 같이 OG 가 클때 큰 감쇠량을 주고있으며 이에대한 분석은 1차 연구[8] 혹은 Tanaka et al.[2]에서 언급된 바와 같이 OG 가 증가할수록 와(vortex)를 발생 하는 빌지킬과 스케그 선단의 운동속도가 횡동요의 중심이 높은 만큼 크게 되는 것 및 선체표면에 작용하는 압력의 모멘트 길이(lever)가 크게 됨에 기인되는 조와성분의 증대가 주요인이다. 파의 기여는 파가 없을 경우($\omega=0.0$)와 비교해서 시험한 주파수 범위내에서 주파수가 증가할수록 감쇠량이 증가함을 보이고 있다. 이는 파주파수가 증가할수록 파의 길이가 짧아짐으로 횡동요 감쇠에 미치는 영향은 커져서 결국 감쇠량이 크게 된다고 생각된다.

Fig.7은 파주파수 3.14rad/s , 정지중 나선일 때 두가지 OG 에 대해 감쇠계수의 변화를 초기 횡동요 경사각의 함수로 보여주고 있다. 정수중에서의 결과와 같이 파랑 중에서도 횡동요 감쇠계수는 경사각에 거의 선형적으로 비례함을 볼 수 있으며 이는 다른 연구결과[2,5,6]에서도 밝혀진 사실과 같다.

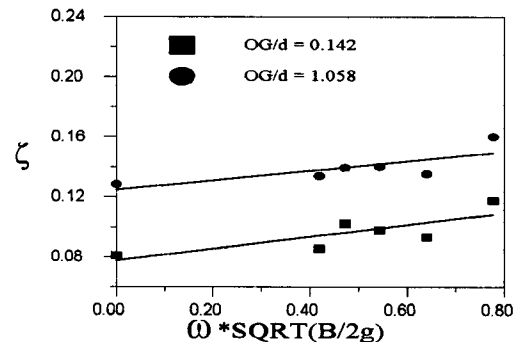


Fig.6 ζ vs wave frequency (bare hull, ϕ₀ = 8 deg, Fn = 0.0)

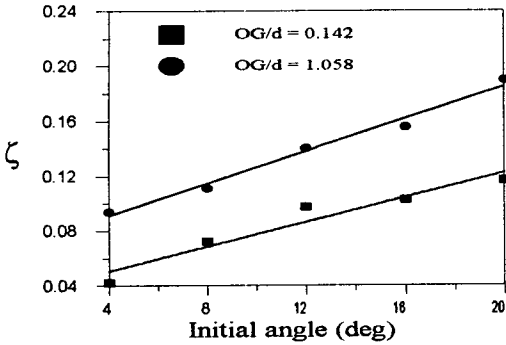


Fig. 7 ζ vs roll angle in waves
(bare hull, $F_n = 0.0$, $\omega = 3.14$ rad/s)

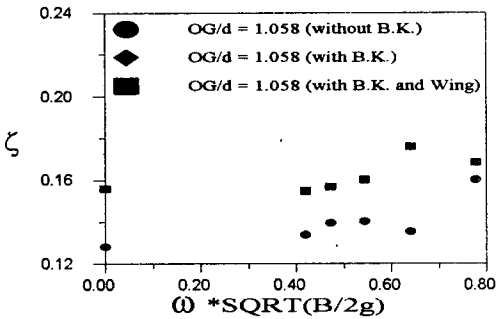


Fig. 8 Comparison of ζ for 3 models in waves ($\phi_0 = 8$ deg, $F_n = 0.0$)

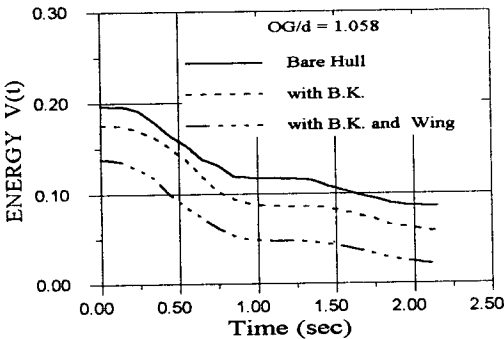


Fig. 9 Energy variation vs time
($\phi_0 = 8$ deg, $F_n = 0.0$, $\omega = 3.14$ rad/s)

Fig. 8은 나선, 빌지킬, 빌지킬과 중앙날개가 부착된 경우의 ζ 값을 파주파수의 함수로 보여

주고 있으며 나선, 빌지킬, 빌지킬과 중앙날개가 부착된 경우의 순으로 감쇠계수가 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 3모델에 대한 에너지 변화량을 보면(Fig.9) 쉽게 이해할 수 있다. 부가물의 부착은 많은 에너지를 방출하고 있음을 알 수 있다. Fig.10은 3모델에 대한 감쇠계수를 초기 경사각의 함수로 보여주고 있다.

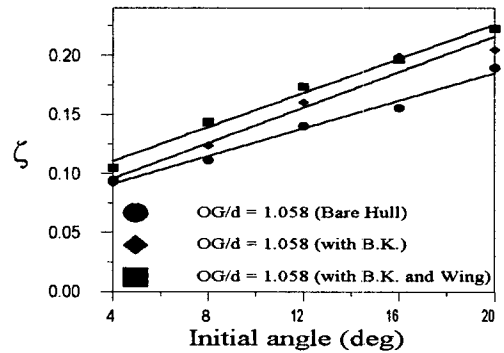


Fig.10 ζ vs roll angle for 3 models in waves($F_n = 0.0$, $\omega = 3.14$ rad/s)

2.2 전진속도가 있을 경우

나선, 빌지킬, 중앙날개가 부착된 3가지 모델에 대해 5개의 전진속도 ($F_n = 0.1, 0.18, 0.2, 0.3, 0.4$)에 대한 자유감쇠시험을 수행하였다.

Fig. 11 - 13은 나선, 빌지킬, 빌지킬 및 중앙날개가 부착되었을 경우 $F_n = 0.2$, $OG/d = 1.058$ 에 대한 시험값과 2개의 감쇠모멘트 모델을 이용한 추정값의 비교를 보이고 있으며 속력이 없는 경우와 비슷한 결과를 주고 있다.

Fig.14는 나선의 경우 파주파수 $\omega = 3.14$ rad/s일 때 $OG/d=0.142$ 와 1.058 에 대해서 ζ 를 속력의 함수로 보여주고 있으며, $OG/d=1.058$ 인 경우는 속력이 증가하면 감쇠계수가 증가하나 0.042 인 경우는 그 증가량이 아주 적음을 알 수 있다. 일반적으로 속력이 증가함에 따라 양력의 발생으로 감쇠가 급격히 증가하나 선형에 따라 혹은 횡동요 중심위치에 따라 그렇지 않은 경우가 Tanaka et al.[6]의 시험에서도 나타나고 있다.

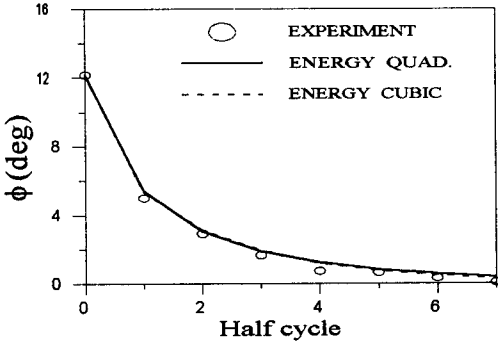


Fig.11 Comparison between experiment and energy approach (bare hull, $\phi_o = 8$ deg, $Fn = 0.2$, $OG/d = 1.058$, $\omega = 3.14$ rad/s)

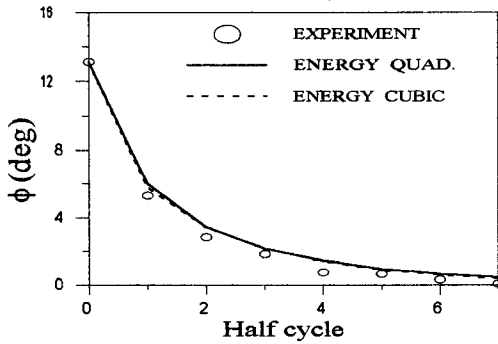


Fig.12 Comparison between experiment and energy approach (hull with B. K., $Fn = 0.2$, $OG/d = 1.058$, $\omega = 3.14$ rad/s)

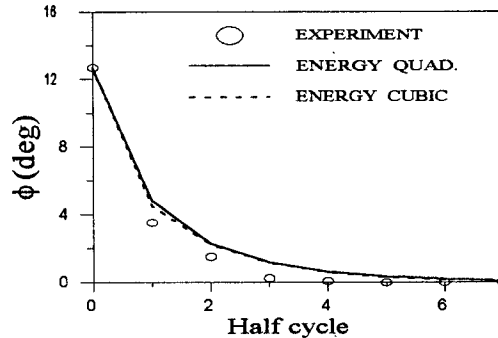


Fig.13 Comparison between experiment and energy approach (hull with B. K. and wing, $Fn = 0.2$, $OG/d = 1.058$, $\omega = 3.14$ rad/s)

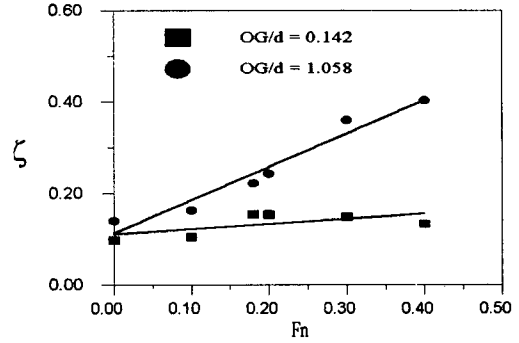


Fig.14 ζ vs speed (bare hull, $\phi_o = 8$ deg, $\omega = 3.14$ rad/s)

Fig.15는 3가지모델에 대해서 $OG/d=1.058$, 파주파수 $\omega = 3.14$ rad/s 일 때 ζ 를 속력의 함수로 보여주고 있다. 빌지킬만을 부착한 경우에는 나선일 때와 많은 차이를 보이지 않지만, 빌지킬과 중앙날개를 동시에 부착한 경우에는 날개로 인한 양력발생으로 인해 ζ 값의 증가량이 훨씬 커졌다. 이것으로 보아 파랑중 전진속도가 있을 때에는 조와성분을 증가시키는 빌지킬보다 양력발생을 일으키는 중앙날개가 횡동요 감쇠에 더욱 큰 영향을 미침을 알 수 있으며, 이러한 경향은 Fig. 16에서 보이는 3가지 모델의 에너지 발산량의 형태에서도 확인할 수 있다.

Fig.17은 속력이 있을 때 ζ 에 대한 파랑의 영향을 보다더 자세히 이해하기 위해 1차 연구결과 [8]에서 보인 정수중에서 전진속도가 있을 경우와 비교한 결과이다. 나선일 때는 파랑의 영향으로 인한 감쇠력 증가가 양력증가로 인한 감쇠력의 증가에 비해 작지 않기 때문에 파랑이 있을 경우에 감쇠계수가 더 크음을 알 수 있다. 하지만, 빌지킬을 부착했을 경우에는 파랑의 유무에 관계없이 거의 같은 감쇠계수 값을 볼 수 있고, 빌지킬 및 중앙날개를 부착했을 때에도 많은 변화가 없음을 알 수 있다. 부가물이 부착되어도 감쇠계수가 크게 변하지 않음은 전진속도가 있을 때에는 파랑이 감쇠력에 그다지 큰 영향을 미치지 않음을 의미한다.

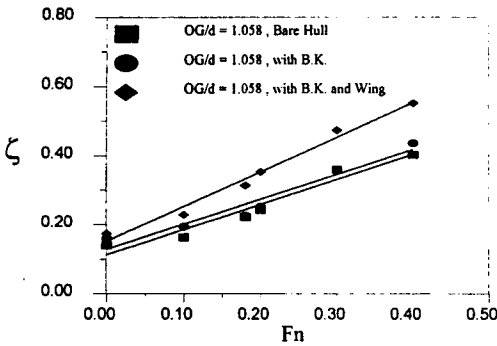


Fig.15 Comparison of ζ for 3 models with forward speed ($\phi_o = 8$ deg, $\omega = 3.14$ rad/s)

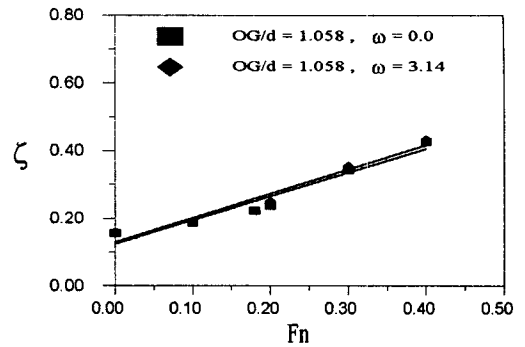


Fig.17-b (hull with B. K., $\phi_o = 8$ deg)

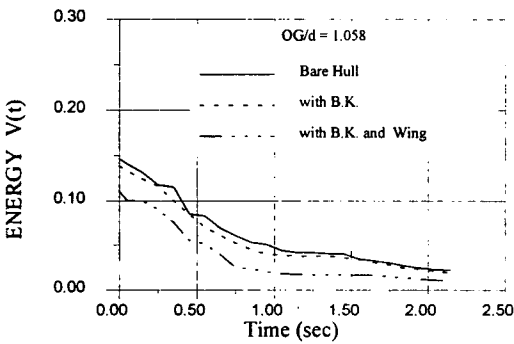


Fig.16 Energy variation vs time ($\phi_o = 8$ deg, $F_n = 0.2$, $\omega = 3.14$ rad/s)

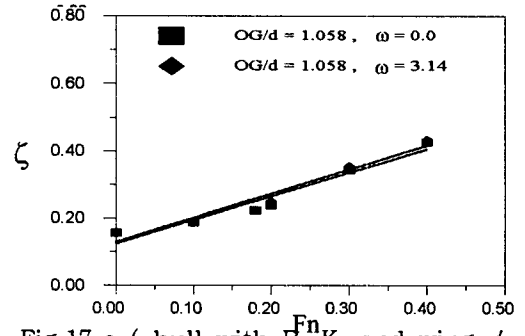


Fig.17-c (hull with B. K. and wing, $\phi_o = 8$ deg)

Fig.17 Comparison of ζ vs speed for 3 models w/ and w/o waves

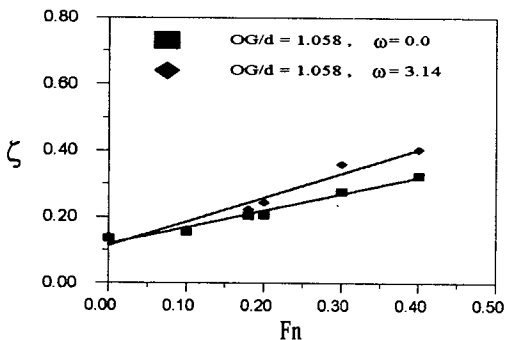


Fig.17-a (bare hull, $\phi_o = 8$ deg)

3. 결론

1. 1차 및 2차 속도항의 결합 혹은 1차 및 3차 속도항의 결합으로 모델링한 감쇠계수로 추정된 횡동요운동은 파랑이 있을 경우에도 정수중인 1차 연구결과(8)와 마찬가지로 시험결과와 잘 일치하였다.

2. 또한 OG의 변화에 대해서도 1차 연구결과와 마찬가지로 OG가 증가할수록 횡동요 감쇠력은 증가하였다. 따라서 모형에 부착되는 운동 계측기를 사용할 경우 부착점을 모형의 무게중심에 하던지 아니면 계측된 운동값들을 OG의 변화에 따라 보정해 주어야 된다고 본다.

3. 소형어선의 횡동요 감쇠력은 전진속도와 함께 증가하고 그 증분의 주요성분은 양력에 의한 것이다. 따라서 빌지킬이 부착되었을 경우보다 중앙날개가 부착되었을 경우가 감쇠 증가량이 크다. 전진 속력이 없을 경우는 파랑에 의한 감쇠력이 증가하며 주파수가 작을수록 기여도는 크다. 그러나 전진 속력이 있을 경우는 양력증가에 의한 기여도가 아주 크기 때문에 파랑에 의한 감쇠력의 증가는 나선일 경우는 다소 있으나 부가물이 부착된 경우는 아주 미소하였다.

참 고 문 헌

- [1] Lloyd, J. M., "Seakeeping : Ship Behaviour in Rough Weather" , Ellis Horwood Limited, 1978, pp.343-397
- [2] Tanaka, N., Ikeda, Y. and Okada, H., " Study on Roll Characteristics of Small Fishing Vessel, Part I Measurement of Roll Damping" , J. Kansai Soc. N.A., No 187, 1983, pp.15-23
- [3] Tanaka, N., Ikeda, Y. and Okada, H., " Study on Roll Characteristics of Small Fishing Vessel, Part II An Approximate Method of Solution for Nonlinear Lateral Equations" , J. Kansai Soc. N.A., No 189, 1984, pp.43-51
- [4] Tanaka, N., Ikeda, Y. and Okada, H., " Study on Roll Characteristics of Small Fishing Vessel, Part III Effects of Over-Hung Deck" , J. Kansai Soc. N.A., No 194, 1985, pp.43-52
- [5] Bass, D. W. and Haddara, M. R., "Roll Damping for Small Fishing Vessel" , Proc.of 22nd American Towing Tank Conference, St John's, Canada, 1989, pp.443-449
- [6] Haddara, M. R. and Bass, D. W., " On the Form of Roll Damping Moment for Small Fishing Vessels " , Ocean Engng. Vol. 17 , No 6, 1990, pp. 525-539
- [7] Chun, S. H., Chun, H. H., Kim, C. H. & Kim, S. Y. "Development of a Stability System to prevent the Capsize of a Small Fishing Vessel", J of Ocean Engineering and Technology, Vol.13 No.1 1999 pp. 130-137 (in korean)
- [8] Chun, H. H., Chun, S. H., & Kim, S. Y., "Roll Damping Moment of a Small Fishing Vessel by Free Rolling Test in Calm Water - ", J. of Society of Naval Architects of Korea Vol.37. No. 1, 2000 pp. 1-9 (in korean)