

소형어선의 전복방지화 안정장치 시스템 개발에 관한 연구

천승현* · 전호환** · 김창훈*** · 김시영***
(98년 12월 7일 접수)

Development of a Stability System to Prevent a Capsize of a Small Fishing Vessel

S.H. Chun* · H.H. Chun** · C.H. Kim*** · S.Y. Kim***

Key Words : Fishing Vessel(어선), Wing-Flap(날개-플랩), Stability(안정성), Roll damping
(횡동요 감쇄), Roll moment(횡동요 모멘트)

Abstract

The wing-flap stabilizing system attached under the hull bottom of a small fishing vessel to prevent the capsizing by controlling the roll motions has been developed. This paper describes the background of the system design together with the experimental results. The effectiveness of the system is proven by the towing tank tests with a 1/4 scale model, showing that the roll motions of the model are much reduced by the active flap control in multidirectional irregular waves with forward speeds.

1. 서론

우리나라 어선의 대부분은 총톤수 20톤미만이며 이러한 소형어선의 전복에 의한 해난사고가 많이 발생되고 있다. 선박의 전복은 과대한 횡운동(roll)에 의해 발생하며 횡운동을 억제하기 위해서 선형의 개량, 밀지 길, 자이로 스크프(Gyroscopic stabilizers) 및 jet flap, stabilizing fins 의 설치등 여러 가지 방법이 강구되어져 왔다^{1,2)}.

요트의 횡동요 제어를 위한 날개와 킨(keel)의 부착효과는 Slooff³⁾와 Spens⁴⁾등이 언급하였으며 선저날개와 플랩을 부착하여 횡동요를 제어하는 것이 저항 및 운동성능에 많은 향상을 가져온다는 Farrant et al.⁵⁾의 연구 결과가 발표되었다.

본 논문은 소형어선의 선저에 날개-플랩을 부착하여 횡동요를 제어하여 거친 해상상태에서도 안전하게 운항할 수 있는 시스템 개발에 관한 연구결과이다. 선저날개와 플랩을 설계하고 3톤어선

* 부산대학교 조선·해양공학과 대학원

** 종신회원, 부산대학교 조선·해양공학과 (기계기술연구소)

*** 정회원, 부경대학교 제어기계공학과

의 1/4 축소로 제작한 모형선에 부착하여 횡동요 감쇄실험, 정지 및 전진속도가 있을 때 규칙과중에서의 운동실험 및 다방향 불규칙파에서 전진속도가 있을 때의 운동실험을 수행하였다. 플랩의 제어는 모형선에 부착된 포텐시옴터(potentiometer)로부터 읽어들이는 횡동요 운동을 순간순간 억제할 수 있는 제어알고리즘과 P.C.로 하였다.

선저날개와 플랩이 부착되었을 경우 나선에 비교하여 정지중일때 선박의 횡동요 감쇄모멘트를 크게 하였고, 전진속도가 있을 때는 날개-플랩 시스템의 부착이 횡동요 감쇄를 더욱 크게 하는 효과가 있었다. 또한 다방향파에서 전진속도가 있을 시 플랩의 제어는 선박의 횡동요운동을 크게 감소시켜줌을 알았다.

2. 설계선의 저항성능 및 복원성

2.1 저항성능

실험에 사용된 선박은 국내에서 많이 사용되는 총톤수 3톤급 소형어선으로서 큰 스케그(skeg)가 있으며 hard chine을 가지고 있는 전형적인 어선형이다. Table 1에 주요계원을 보여주고 있으며 Fig. 1과 2는 정면도와 일반배치도를 보여주고 있다. 빌지 킬은 선미에서 5 스테이션(station)까지 높이가

0.06m, 폭이 0.07m로 균일하게 hard chine에 일직선으로 부착되었고 그 이후로 점점 줄어들어 8 스테이션에서 선체와 일치되는 형상이다.

Table 1 Particulars of the Fishing Vessel

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

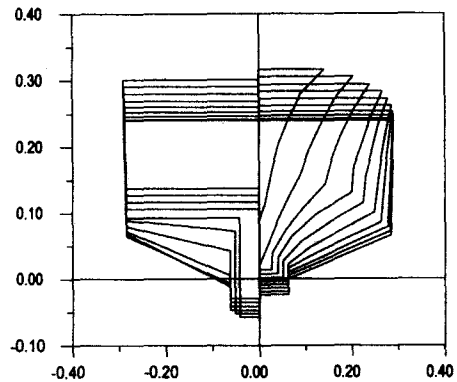


Fig. 1 Body plan for fishing vessel (model scale, unit in meter)

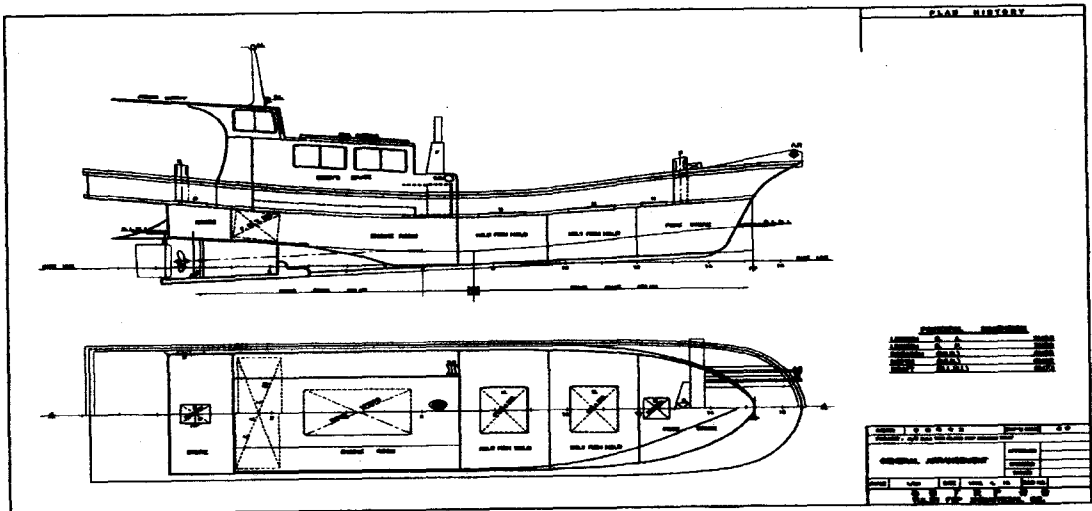


Fig. 2 General arrangement of the fishing vessel

설계선의 1/4속도로 제작한 모형선으로 부산대학교 수조 (길이 86m, 폭 5m, 물깊이 3m, 예인최대 속도 7m/s)에서 저항시험을 수행하였다.

Fig. 3은 모형시험결과를 실선으로 확장한 유효마력곡선을 보여주고 있다. 설계선의 흘수 T=0.73m에서는 10knots의 속도로 항주하다가 정지했을 경우 뒤에서 따라오는 파에 의해 갑판위로 물이 올라왔기 때문에 그 이상의 속도에서는 실험을 수행할 수 없었다.

어선의 실적선 통계자료에 의한 마력추정 프로그램⁶⁾을 이용하여 유효마력을 추정하여 Fig.3에 동시에 보였으며, 흘수 0.73m에서 실험수행이 완료된 9.3knots의 속도까지는 추정한 값과 실험값이 거의 비슷함을 보이고 있다.

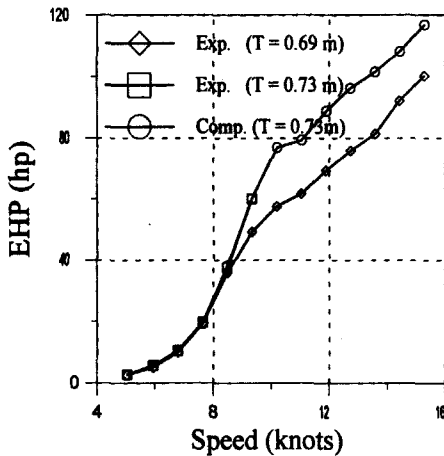


Fig. 3 EHP Curve of the fishing vessel vs Speed

설계선은 만재흘수(T = 0.73m)에서 최대속도가 10knots이기 때문에 추진효율을 0.60으로 생각하면 약 130마력의 엔진이 요구된다.

2.2 복원성

77/93 어선 안전협약⁷⁾에 주어진 어선의 복원성 기준값과 본 어선의 경우 무게중심이 0.73m 와 0.83m에 위치했을 때의 값을 비교하여 Table 2에 제시하였다.

무게중심이 킬(keel)로부터 연직상방 0.73m에 위

치한 경우는 77/93 어선 안정성기준을 모두 만족시키고 있다. 본 어선의 경우 만재하중 흘수가 0.73m이기 때문에 무게중심이 0.83m 정도에 있을 것으로 추정된다. 이 경우에는 Table 2에서 보여주는 바와 같이 GM외에는 만족시켜주는 것이 없다. 따라서 본 선박의 경우 안정성에 문제가 있는 것으로 생각된다. 정적 안정성 기준을 만족시키지 못하는 선박이 많은 하중을 싣고 파랑중 항해시 심한 횡동요운동에 의한 전복이 일어날 가능성이 있다. 따라서 이의 방지를 위한 장치가 필요하다고 본다. 본 연구에서는 이러한 횡방향 전복을 방지하기 위해서 선박의 선저중앙에 날개-플랩장치를 부착하여 횡동요운동을 억제하고자 한다.

Table 2 77/93 safety agreement vs fishing vessel's stability

	77/93 Safety Agreement	fishing vessel (G=0.73)	fishing vessel (G=0.83)
Area up to roll angle 30° below GZ curve(m rad)	> 0.055	0.0686	0.0551
Area up to roll angle 40° below GZ curve(m rad)	> 0.090	0.1078	0.084
Area between angle 30° ~ 40° (m rad)	> 0.030	0.0392	0.029
GZ at roll angle 30° (m)	> 0.2	0.244	0.194
Roll angle at GZ _{max} (deg)	if possible, > 30°	30°	30°
GM (m)	> 0.35	0.487	0.387

3. Wing-flap 설계

날개-플랩은 선박이 횡동요가 있을 때 반대로 복원시키려는 횡동요모멘트를 발생시켜 선박의 횡동요를 거의 제거하는 것이다. 날개-플랩이 종동요 운동에 영향을 주지 않기 위해서는 날개-플랩에 작용하는 압력중심이 선박의 무게중심과 일직선상에 있으면 된다. 종동요모멘트를 발생시키지 않고

횡동요모멘트만 발생시키기 위해서는 우현과 좌현 플랩의 작동이 역으로 되면 된다. 즉 우현플랩이 내려가면 좌현플랩은 올라가서 양력이 2배로 발생하여 횡동요모멘트가 발생하여 좌현으로 선박은 기울어지게 된다.

날개-플랩을 설계하기 위해서는 먼저 본 선박의 파에 의한 횡동요외력(exciting force)을 알아야 된다. 3-D 산란(diffraction)이론에 의한 선박의 운동 응답 계산프로그램을 Chun et al.⁸⁾에 의해 개발하였으며, 이 프로그램을 이용하여 본 선박의 운동 응답과 파랑강제력을 계산하였다. Fig. 4는 횡파 (beam seas)에서 단위파고당 횡동요 외력모멘트 (roll exciting moment)를 파길이변화의 함수로 나타내었다. 그림에서 WL은 파길이이고 SL은 선박의 수선간 길이이다.

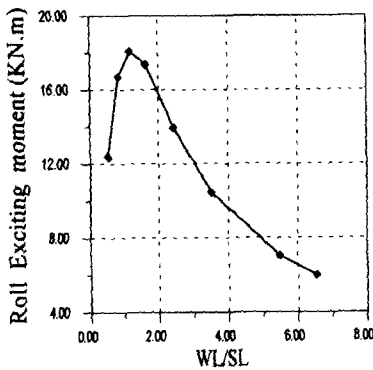
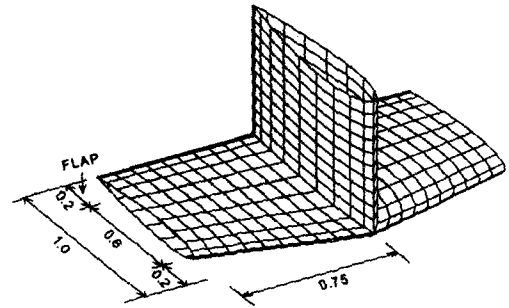


Fig. 4 Roll Exciting moment for the unit wave height (beam seas)

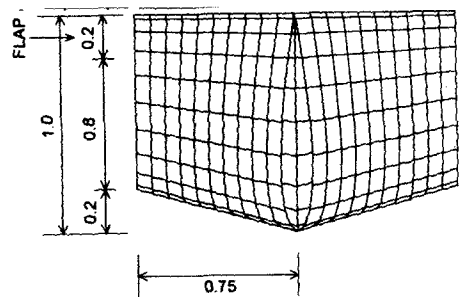
횡동요 외력모멘트는 파길이가 선박길이의 1.26배 일 때가 약 18KN·m로 최대가 됨을 알 수 있다. 즉 횡동요 외력모멘트는 약 18KN·m를 최대값으로 조우주기로 진동하기 때문에 이러한 최대값이 일어나기 전에 플랩의 작동으로 반대로 작용하는 모멘트를 발생시키면 횡동요운동을 억제할 수 있다고 본다.

Fig. 5는 설계된 날개-플랩의 재원을 보여주고 있다. 날개는 구조적인 강도를 고려하여 비교적 두꺼운 NACA0015로 하였으며, 또한 중앙부의 스트러트(strut)도 제어장치의 설치관계를 15%두께를 가지는 NACA0015로 하였다. 한쪽 날개의 코드(chord)는 중앙부가 1m, 끝(tip)에서는 0.8m이고 스

팬(span)은 0.75m이다. 플랩은 0.2m의 코드를 가진다. 날개는 선박의 스케그(skeg)와 평행하게 부착하였으며 이는 플랩각을 0°로 하였을 때 날개에 의한 양력을 0으로 하기 위함이다. 스트러트의 높이는 변하게 할 수 있으며, 최적설계높이는 약 38cm이다. Fig. 6에서 선저날개가 부착된 모형을 보여주고 있다.



(a) Perspective view



(b) Top view

Fig. 5 Dimension of the wing flap design (unit in meters)

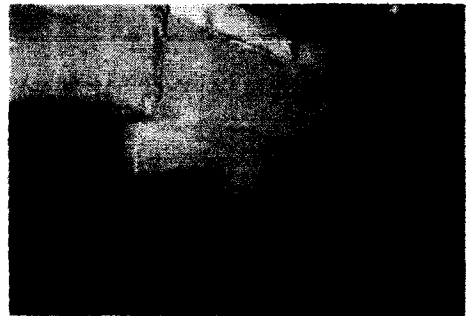


Fig. 6 Fishing vessel with a central wing

입사각 0° (즉 body angle 0°)일 경우 3가지 속도에 대해서 플랩각 변화에 따른 양력을 와류격자법(VLM)에 의해 계산하고¹⁰⁾ 모멘트를 계산하여 Fig. 7에 주었다.

본 선박의 설계속도는 8knots로서 이때 플랩각이 30° 일 경우 약 $7.4\text{KN} \cdot \text{m}$ 의 횡모멘트를 가짐을 알 수 있다. Fig. 4에 보여주는 최대파 강제력 횡동요모멘트인 $18\text{KN} \cdot \text{m}$ 의 약 41%에 해당되며 이 정도의 모멘트이면 파강제력에 의한 횡동요모멘트의 작용을 초기에 억제하여 횡동요운동을 제어할 수 있다고 생각된다. 또한 8~10knots의 속력으로 항주시 4° 정도의 선미트림이 발생하기 때문에 날개에 유입되는 유동의 입사각은 0° 이상으로 생각되기 때문에 실제 횡동요모멘트는 이 보다 훨씬 크다고 생각된다. 물론 날개의 크기를 크게 하면 보다 더 강력한 힘을 발생시킬 수 있으나 구조적 및 실용적인 측면에서 고려되어야 된다고 본다.

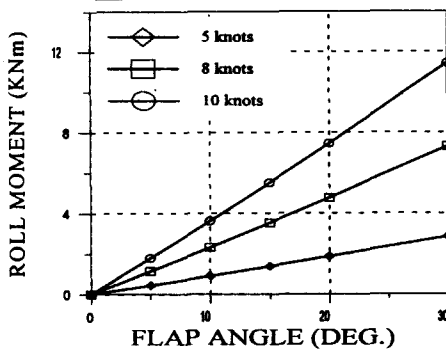


Fig. 7 Roll moment of the wing with flap angle changes

4. 제어기 시스템 설계

전동모터를 이용한 제어기 설계 및 제어 알고리즘은 플랩과 컨트롤러(controller)의 하드웨어(H/W)와 이것을 제어하는 제어 알고리즘(S/W)으로 구성하였다. 마이크로 프로세서를 이용한 전동서보 제어기는 선박 평형 유지 시스템의 구성과 데이터 및 제어신호 처리는 제어 모터에 붙어있는 위치제어 피드백(feedback) 및 포텐시오미터로 횡

동요각도를 직접 받아들여 입력 처리토록 하였다.

4.1 S/W 및 H/W 구성

횡동요 각도와 피드백신호를 이용하여 제어하도록 하였다. 그리고 조종장치는 기울기각도와 피드백신호를 이용하여 제어하도록 프로그래밍하고 이를 롬 라이트화하여 원칩 마이크로칩에 심었으며 제어 및 전동모터를 구동할 수 있는 구동회로도 구성하였다. 선박 평형유지 블록 다이어그램은 Fig.8에 보여주고 있고 균형유지 제어회로도, 모터구동회로도 등은 참고문헌¹¹⁾에 주었다.

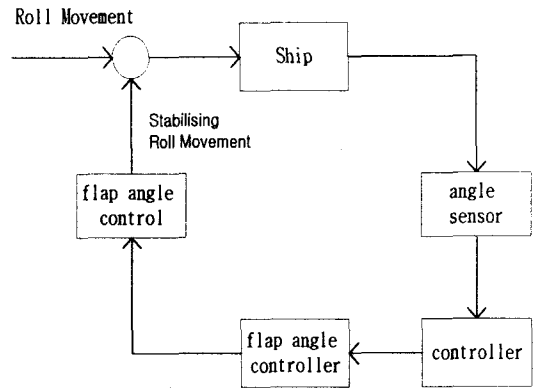


Fig. 8 Block diagram for the ship equilibrator

5. 운동실험결과

5.1 정수중과 파랑중에서의 자유 감쇄실험

정수중과 파랑중에서 정지 및 전진속도가 있을 때 나선, 발지 킬 및 발지 킬과 선저날개가 부착된 3가지 모델에 대하여 횡동요 감쇄 모멘트특성을 파악하기 위해 자유 횡동요 감쇄실험을 수행하였다. 이에 대한 자세한 실험결과는 참고문헌⁹⁾에 발표되었다.

Fig. 9는 정수중에서 전진속도가 없을 때 3가지 모델에 대한 중력중심에서의 횡동요 감쇄계수 $B_{44}^G (= B_{44}^G / (2 \times w_\phi \times I_\phi))$ 를 보여주고 있으며 발지 킬, 발지 킬과 선저날개가 부착된 순으로 감쇄값이 증가하고 있음을 알 수 있다. w_ϕ 는 횡동요 고유원주

파수이다. 고유진동수와 I_o (관성모멘트)는 경사시험과 횡동요 감쇄기록으로부터 얻어진 GM값을 사용하여 각각의 횡동요중심에 대해 계산된다.

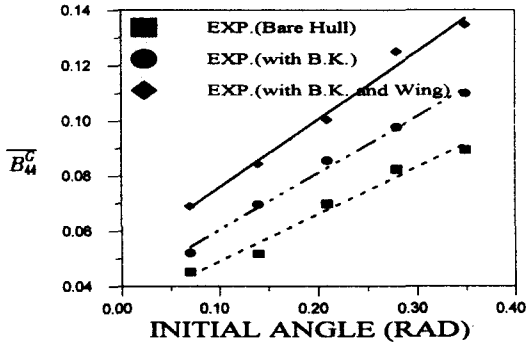


Fig. 9 Comparison of $\overline{B_u}$ for 3 models

Fig. 10은 초기각 $\phi_o = 0.0698$ rad, 파원주파수 (w)가 3.14 rad/sec 일 때 속도에 따른 횡동요 감쇄계수 (ζ)를 보여주고 있다. $\zeta = B / (2 \times w_\phi \times I_o)$ 이고 그림에 보여주는 OG는 중력중심과 횡동요중심과의 거리이며 d는 모형선의 흘수이다. 앞의 결과와 마찬가지로 선저날개가 부착된 경우가 가장 큰 감쇄력을 보여주고 있으며 이는 속도가 증가함에 따라 날개의 양력발생으로 인해 그 증가량이 더 커짐을 알 수 있다.

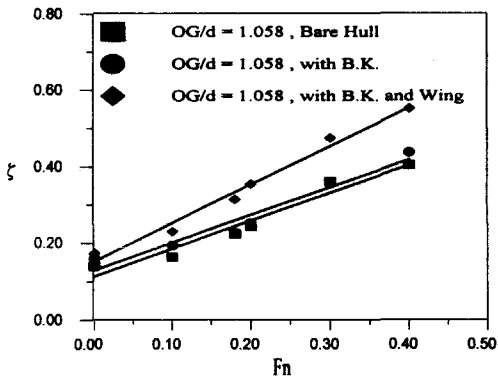


Fig. 10 Comparison of ζ for 3 models with forward speed in waves
($w = 3.14$ rad/sec, $\phi_o = 0.0698$ rad)

5.2 규칙파중에서의 운동실험결과

정지 및 전진속도가 있을 경우 나선 및 선저날개가 부착된 모델에 대해 규칙파중에서의 운동을 계측하였다. 전진속도가 없을 경우는 선수파, 사파 및 횡파에 대해 운동값을 계측하였다. 대표적인 결과로 8knots의 속도에서 상하운동(heave) 및 종동요(pitch)의 운동 RAO값을 Fig. 11와 12에 보여주고 있으며 3-D 산란 이론에 의한 계산결과⁸⁾와 비교하였다.

나선인 경우 계산결과와 실험결과가 비교적 잘 일치하고 있으며 선저날개가 부착되었을 경우 예상한대로 상하운동에는 큰 영향이 없으며 종동요 운동은 크게 감소함을 알 수 있다.

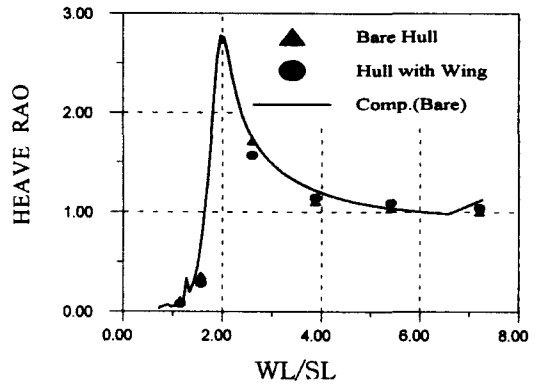


Fig. 11 Heave RAO vs the ratio of the wave length to the ship length at 8.0 knots for head seas

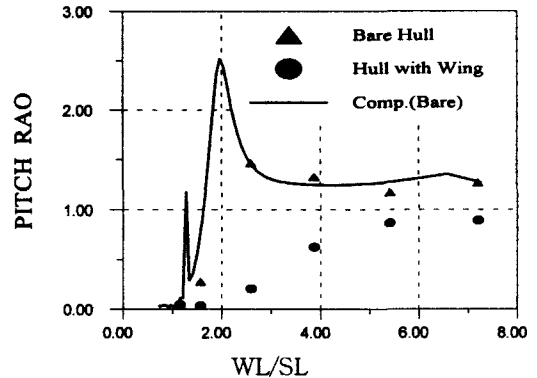
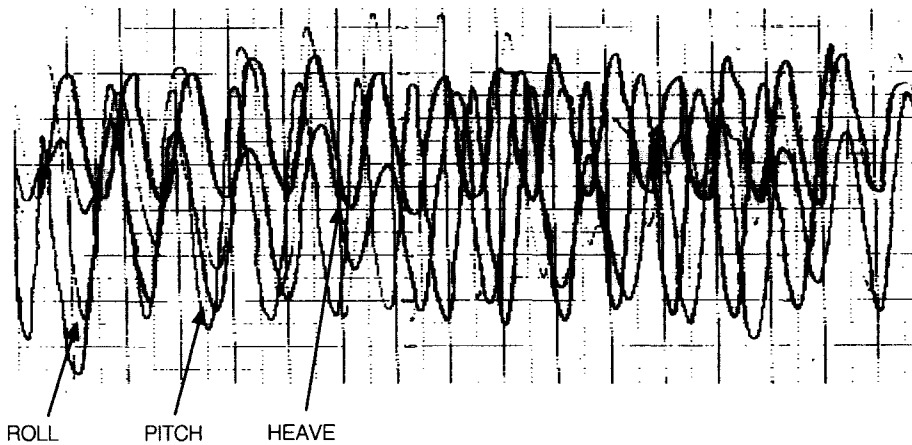


Fig. 12 Pitch RAO vs the ratio of the wave length to the ship length at 8.0 knots for head seas

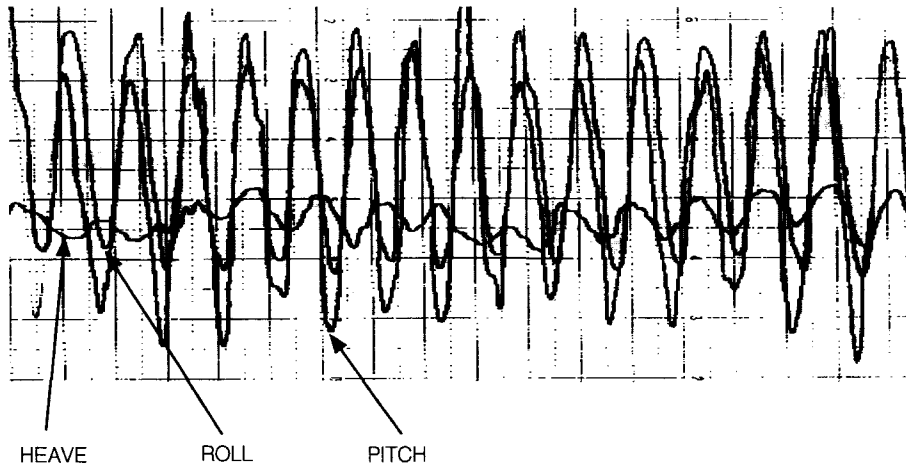
5.3 다방향 불규칙파(short crested waves)중에서의 운동실험결과

10개의 unit로 구성된 snake type의 조파기를 사용하여 다방향파를 생성하여 전진속도가 있을시 상하운동, 종동요 및 횡동요를 계측하였다. 제어시스템을 설치하기 위해 모형선의 축척비를 1/4로 하였기 때문에 상대적으로 큰 파에서 운동실험을 할 수 없었다. 따라서 횡동요운동을 크게 할 수 있는

파생성이 어렵고 부산대학교 예인수조에서 생성할 수 있는 최대 파고인 30cm 범위에서 실험을 수행하였다. 이 범위내에서 전진속도가 있는 선박의 횡동요운동을 최대로 하기 위해서 정수중에서 최대 횡동요 운동응답을 주는 2.0sec로 유의 파주기를 입력하고 유의파고는 27cm로 하여 다방향 불규칙파를 생성하였다. 조파기의 첫 번째 unit에서 10번째 unit의 위상차를 1.0에서 1.9초까지 변화해 본 결과 1.9초에서 모형선의 횡동요운동이 최대로 발



(a) the flap angle 0° fixed



(b) flap under control

Fig. 13 Motion responses with and without flap control at 8 knots

생함을 알았다. 10개의 unit의 진폭을 각각 변화시켜 보았으나 일정진폭으로 파를 생성하는 것이 최대의 횡동요운동을 발생함을 알았다. 대표적인 결과로 Fig. 13에 8knots의 속도에서 플랩의 작동유무에 따른 운동응답결과를 보여주고 있다. 플랩이 작동할 때 중동요운동은 약간 감소하였고 횡동요운동은 크게 감소하였음을 보여주고 있다.

6. 결론

소형어선의 전복 방지화 안정장치인 선저 날개-플랩 시스템을 개발하여 모형실험으로 그 효용성을 검증하였다. 날개-플랩 시스템은 횡요시 선실로부터 하강하여 사용될수 있도록 설계하였으며 이는 접안시 및 그물작업 등의 편의성을 고려한 것이다.

선저 날개가 부착되었을 경우 전진속도가 없을 경우에도 횡동요 감쇄 모멘트값이 크게 증가하였으며, 속도가 증가함에 따라 그 증가량은 커졌다. 또한 플랩의 작동은 횡동요 운동을 크게 억제시켜 주었다.

참고문헌

- 1) Lloyd, J. M., "Seakeeping : Ship Behaviour in Rough Weather", Ellis Horwood Limited, pp.343-397, 1977
- 2) Bhattacharyya, R., " Dynamics of Marine Vehicles", A Wiley - Interscience Publication, pp.278-307, 1978
- 3) Slooff J.W., " On wings and keels", Int. Shipbuild. Progr., vol.31, No 357, pp.94-104, 1984
- 4) Spens P.G., "Sailboat Test Technique", Stevens Institute of Tech. Davidson Laboratory Tech. Mem. 124. 1960
- 5) Farrant, T., Priestley, S. J., and Millward, A., "The Effect of Trailing Edge Flaps on the Performance of a Yacht with a Winged Keel" , Int. Shipbuild. Progr., vol. 43, No 434, pp. 159-166, 1996
- 6) Korean Fishing Vessel Society, '77/93 어선안전협약에 의한 복원성능 판정프로그램 연구개발(1)', 1994. 12.
- 7) 수산청, "A Study for the Development of Standard Fishing Vessel(1)", 1994. 3.
- 8) Chun H.H. et al , ' A Wide Ranging Study on the Motions of SWATH ships with and without Forward Speed', Proc. of the ASME 9th Int. Conference on OMAE , Houston , Feb. 1990
- 9) Chun S.H., Chun H.H. and Kim S.Y., "A Study on the Roll Damping Moment for a Small Fishing Vessel(1) ", Proc. of SNAK., pp. 210-215, 1998
- 10) 정광효, 장종희 전호환, " 와류격자법에 의한 지면효과와의 성능연구", 한국해양공학회지 제 12권 제 2호, pp. 87-96, 1998. 5
- 11) 천승현, "소형어선의 전복방지화 안정장치 시스템 개발에 관한 연구", 부산대학교 대학원 석사학위 논문, pp. 79, 1999. 2