

파랑의 조우각과 선속 변화에 따른 어선의 횡동요 특성

강일권* · 김형석 · 김민석 · 이유원 · 김정창¹ · 조효제² · 이춘기³

부경대학교 해양생산시스템관리학부, 부경대학교 해양학과¹,
한국해양대학교 해양시스템공학부², 한국해양대학교 선박조종성특화센터³

Characteristics on the rolling response of a small fishing boat according to the waves and the ship' s speed

**Il-Kwon KANG*, Hyung-Seok KIM, Min-Seok KIM, Yoo-Won LEE, Jung-Chang KIM¹,
Hyo-Jae JO² and Chun-Ki LEE³**

Division of Marine Production System management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²Division of Ocean System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

³Researcher, Underwater Vehicle Research Center, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

Marine casualties of vessel are serious problems on social and national aspects, because it results in sacrifice of lives, a great lose of properties and marine pollution. According to recent statistics of marine casualties of vessel, fishing boats are more likely to be ended in the casualty, and especially, small fishing boats cause much more accidents than any other big vessels. Most of marine casualties were caused by the human factors such as poor watch keeping, inadequate manoeuvring and negligent action for engine, etc. This study is intended to provide navigator of small fishing boat with a specific information of necessary to assist both the manoeuvring and the avoidance of capsizing. The manoeuvring characteristics of ship can be adequately judged by the results of typical ship trials manoeuvres. For this purpose, the author measured the roll responses of a small fishing boat in waves using the real sea experimental measuring system, and analyzed the experimental data by the statistical and spectral analyzing methods to get the characteristics of the roll motion responses of the small boat through the wave directions and the ship' s speed.

Key words : Marine casualty, Capsizing, Manoeuvring characteristics, Roll response, Wave direction, Ship' s speed.

*Corresponding author: ikkang@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-620-6111, Fax: 82-51-628-8145

서 론

선박의 해양사고는 귀중한 생명과 재산의 손실뿐만 아니라 때로는 심각한 해양오염의 문제를 야기하기 때문에 국가적으로나 사회적으로 매우 중요한 문제이다. 따라서 해양사고를 줄이기 위한 노력은 전세계적으로 혹은 국가적으로 활발하게 이루어지고 있으며, 이와 관련이 있는 여러 기관에서도 많은 노력을 경주하고 있으나 실제로 우리나라의 해양사고는 크게 줄어들지 않고 있는 것이 현실이다(KMST Annual Report, 2005). 최근 10년간(95 - 04)의 해양수산부의 통계를 보면 우리나라 연안에서는 매년 700 - 1,000 여건의 각종 해양사고가 발생하여 200여명의 귀중한 생명의 희생과 막대한 재산 손실 그리고 해양환경의 파괴를 가져오고 있다.

전체 등록 선박 중 동력 어선의 등록 척수는 연평균 82,802척으로 전체 등록 선박의 87.2%를 차지하고 있으며, 또한 연평균 해양사고발생율은 69.9%를 나타내고 있어 어선이 차지하는 해양사고 비율이 매우 높다. 특히 어선중에서도 5톤 미만의 소형 어선의 사고발생율이 전체의 23.2%를 차지하고 있어 이에 대한 대책이 절실한 실정이다. 해양사고의 원인은 여러 가지가 있지만, 무엇보다도 선원의 자질과 미숙한 운항에 관련된 측면과 선박의 구조·설비 결함에 관련된 측면으로 나눌 수 있다. 선박의 운항 기술의 미숙으로 발생하는 해양사고는 항로, 선박 및 사람의 자질 부족이 결합되어 초래되고, 선박의 구조·설비 결함에 관련된 해양사고는 조종사의 능력보다는 주로 선박설계와 장비의 품질에 관계되는 면이 크다. 소형어선은 대형선에 비해 상대적으로 파도와 바람의 영향을 크게 받기 때문에 항해 중 혹은 조업 중의 안전에 보다 많은 주의가 필요하지만, 이들 어선은 대부분 열악한 운항 환경을 가지고 있다.

선박의 내항성에 대해서는 이제까지 많은 연구가 이루어져 왔으며, 특히 최근 선박의 대형화 경향과 함께 연구의 방향도 선체저항, 추진성능,

선체응력 등이 강조되고 있다. 그러나 대부분의 연구는 대형선 위주로 되어 있고, 어선의 내항성에 관한 연구로서는 Yamanouchi(1961), Kawashima(1964, 1968), Isinokubi(1973), Kang and Yoon(1995) 등이 있으나, 이들 역시 어선로서는 비교적 크다고 볼 수 있는 100톤 이상의 선박을 이용하여 동요 특성을 파악하고 있다. 따라서 소형어선을 대상으로 동요와 전복 메커니즘을 실증 연구한 예는 별로 없는 데, 이것은 소형선으로 해상에서 시험하기 어려운 현실적인 이유 때문이기도 하다.

본 연구에서는 소형어선의 횡동요 특성을 파악하여 전복의 메커니즘을 통계적으로 분석하고자 한다. 실선실험에 있어서, 항해중의 횡동요의 선체응답의 스펙트럼은 파고, 파와의 만남주기, 만남각도, 해역 그리고 선박의 상태에 따라 약간씩 다르게 나타나기 때문에 이들의 요소전부를 파라메트로 하여 운동의 특성을 고찰한다는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 여기서는 파고, 파와의 만남각도 그리고 선속을 파라메트로 하여 항해중의 횡동요 운동 특성을 고찰하였다.

재료 및 방법

이론

실선실험에 의한 선체운동, 즉 해양파를 입력으로 하고 선체운동을 출력으로 하는 불규칙운동의 해석에는 스펙트럼, 상관함수 등에 의한 통계해석법이 매우 유효하므로(Yamanouchi, 1961), 여기서도 이 방법을 사용한다.

불규칙파는 확률과정이며, 정상성가설과 ergode가설을 만족하는 것으로 보면, 선체응답 스펙트럼은 다음의 식(1)과 같이 불규칙파의 스펙트럼으로부터 구할 수 있다.

$$S_{\zeta}(\omega_e) = S_{\zeta}(\omega) \cdot \frac{d\omega}{d\omega_e} = S_{\zeta}(\omega) \cdot \frac{g}{g - 2\omega V \cos \chi} \quad (1)$$

여기서, $S_{\zeta}(\omega)$: ISSC 스펙트럼, ω : 파도의 원주
파수(circular frequency),

ω_e : 파도의 만남주파수(encountering
frequency),

χ : 파도와 선체의 만남각, V : 선속,
 g : 중력가속도이다.

한편, 에너지 스펙트럼의 정의로부터 다음의
식이 성립한다.

$$\rho g S_{\zeta}(\omega_e) \delta\omega_e = \frac{1}{2} \rho g S \zeta_{\alpha}^2 \quad (2)$$

여기서, ζ_{α} 는 특정한 만남주파수 ω_e 를 갖는 2차
원 규칙파의 진폭을 의미한다.

식(2)로부터 만남주파수 ω_e 를 가지는 규칙파
의 진폭과 스펙트럼은 다음의 관계를 가진다.

$$S_{\zeta}(\omega_e) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\zeta_{\alpha}^2}{\delta\omega} \quad (3)$$

그리고 응답진폭비(RAO: response amplitude
operator)는 횡동요의 경우 다음과 같이 나타낼
수 있다.

$$RAO = |H(\omega_e)|^2 = \left(\frac{\phi_a}{\zeta_{\alpha}}\right)^2 \quad (4)$$

여기서, $H(\omega_e)$ 는 횡요응답의 만남 주파수에 대
한 전달함수를 나타낸다.

또한 식(3), (4)로부터 다음 식이 성립한다.

$$S_{\zeta}(\omega_e) \cdot |H(\omega_e)|^2 = \frac{1}{2} \frac{\phi_a^2}{\delta\omega_e} \quad (5)$$

횡동요 응답(rolling response)에 관한 에너지
스펙트럼을 $S_{\phi}(\omega_e)$ 라 하면, $S_{\phi}(\omega_e)$ 는 파의 에너지
스펙트럼과 비슷하게 다음과 같이 정의된다.

$$\rho g S_{\phi}(\omega_e) \delta\omega_e = \frac{1}{2} \rho g \phi_a^2 \quad (6)$$

여기서, ϕ_a 는 특정한 만남주파수 ω_e 를 갖는 2차
원 규칙파 중에서의 횡동요 진폭을 의미한다. 식
(6)으로부터 다음의 식이 성립하고,

$$S_{\phi}(\omega_e) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\phi_a^2}{\delta\omega_e} \quad (7)$$

식(5), (7)로 부터 만남파 스펙트럼과 응답 스펙트럼
사이에서 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$S_{\phi}(\omega_e) = S_{\zeta}(\omega_e) \cdot |H(\omega_e)|^2 \quad (8)$$

식(8)을 횡동요에 대해서 나타내면 다음과 같다.

$$S_{\phi}(\omega_e) = S_{\zeta}(\omega_e) \cdot \left(\frac{\phi_a}{\zeta_{\alpha}}\right)^2 \quad (9)$$

따라서 특정 해역의 해상 상태가 주어지면 표
준 스펙트럼을 계산하는 식을 이용하여 파의 에
너지 스펙트럼을 구할 수 있다. 본 연구에서의
파랑에 관한 자료는 실선시험에서 목적으로 관
측한 유의파고와 평균파 주기를 이용한 ISSC 스펙트럼을
이용하였다.

실선 실험 및 분석방법

실선실험은 소형어선인 두성호(GT 6.74ton,
연안유자망 어선)를 사용하여 2006년 8월 5일과
12일 양일간 국도 북쪽 5마일 해상(Lat. 34°
27.8' N, Long. 128° 26.7' E)에서 항해하면서 수
행하였으며, 5일의 풍속은 7m/sec, 파고 1.5m, 풍
향은 SW였고, 12일의 풍속은 12m/sec, 파고
2.5m였으며, 풍향은 SE였고, swell은 모두 없었
다. 실험 당일의 해상상태는 전일과 거의 비슷하
여 완전히 발달된 해상상태로 간주 할 수 있었기
때문에 실험 시작시와 완료시의 해상의 미세한
변화는 무시하였다.

파랑에 대한 선박의 상대침로는 파와의 만남
각 180°(180°를 head sea로 하였다)로부터 45°
간격으로 225°, 270°, 315°, 000°로 하고, 각 파향
에 대한 항해중의 횡동요의 진폭을 계측하였다.
횡동요의 계측에는 TCM1 electronic compass
sensor module(Kang, 1995)을 사용하였으며, 수
평안정대 위에 이 계측장치를 부착시키고, 시험
선의 G점에 수직한 base line 상방 1.0m 갑판상에
설치하여 수행하였으며, 먼저 항파에 대한 계측

Table 1. Description of the trial boat(DuSeong) and sea condition

Item	Specification
Dimension Lpp	12.5m
B	2.8m
D	0.95m
Gross tonnage	6.74ton
Displacement	13.5ton
Draft F	0.65m
A	0.75m
Metacentric height GM	0.43m
Engine Power	320HP
Service speed	15.0k't
Wind velocity/direction	7m/s/SW, 12m/s/SE
Wave height	1.5m, 2.5m

을 10분간 행하고, 45° 씩 파와의 만남각을 바꾸어 가며 각각 10분간씩 계속하였다.

실선시험에서 얻어진 자료는 sampling 간격을 0.25sec로 취하고, A/D converter를 이용하여 PC에 실시간 저장하였다. Table 1은 시험선의 제원과 해상 시험조건이다.

결과 및 고찰

시험선에서 측정한 항목은 횡동요의 진폭이며, 선체의 동요 주기, 진폭, 감쇠 상황 등은 파랑의 진행 방향과 선박의 침로가 선수미선에 대하여 대칭일 때 서로 비슷한 경향을 나타내고 있으므로, 파와의 만남각은 5방향(head sea, bow sea, beam sea, quartering sea, following sea)으로 한정하였으며, 실선시험에 의해서 얻어진 raw스펙트

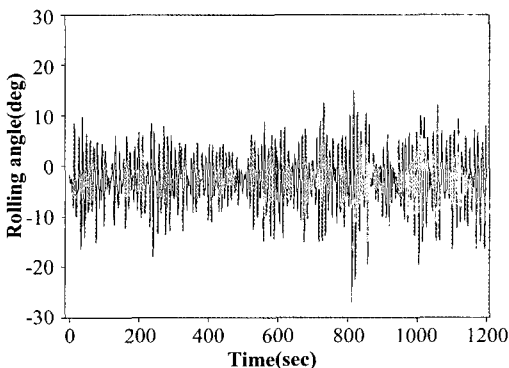


Fig. 1. Typical record of rolling motion on drifting.

럼은 Bartlett의 삼각윈도우를 사용하여 평활화하여 표현하였다. Fig. 1은 정선중에 10분간 계속한 횡동요 각도로서, 유의파고 2.5m일 때의 기록이다.

파랑의 조우각 및 선속에 따른 횡동요의 응답특성

시험선박의 선속의 변화에 따른 횡동요의 응답 특성을 파악하기 위해 항해 속력을 미속(3 k't), 반속(8 k't), 전속(11 k't), 최대속력(15k't)으로 구분하여 파향에 따른 선체의 횡동요 응답을 측정하고, Fig. 2에 스펙트럼의 변화를, Fig. 3에 유의치를 나타내었다. 이때의 유의파고는 1.5m이다.

파와의 만남각에 따른 횡동요 응답스펙트럼의 유의치는 전체적으로 횡파에서 매우 크고, 다음으로 추사파, 선수사파의 순이며, 선수파와 추파에서는 매우 작았다.

선속의 변화에 따른 횡동요 응답스펙트럼의 변화를 살펴보면, 선수파에서는 거의 변화가 없었다. 선수사파에서는 각각의 선속에 따른 형상의 변화는 크지 않으나, 전속에서 오히려 응답이 약간 작아지는 현상을 나타내었다. 횡파에서는 속력이 증가할수록 응답스펙트럼이 커지나 최대속력(15k't)에서는 오히려 작아지는 경향을 나타내었다. 이것은 선속이 일정한 값을 초과할 때 양력이 발생하여 횡동요운동의 감쇄력으로 작용한 데 그 원인이 있는 것으로 볼 수 있다. 추사파와 추파에서는 모두 속력이 증가할수록 응답이 거의 완만하게 커지는 현상을 나타내었다.

선속의 변화에 따른 횡동요 응답스펙트럼의 주기의 변화를 살펴보면 선수파, 선수사파, 횡파에서는 주기의 변화가 거의 보이지 않았지만, 추사파와 추파에서는 선속이 증가함에 따라 주기도 약간씩 커지는 경향을 나타내었다. 시험선의 고유 횡동요 주기는 약 4.5초였지만 파와의 만남각에 따른 주기의 변화는 크지 않았다. 이것은 종동요 주기는 파와의 만남각에 따라 크게 변하나, 횡동요 주기는 크게 영향을 받지 않는다는 연구와 일치되는 것이다(Kang et al., 1996).

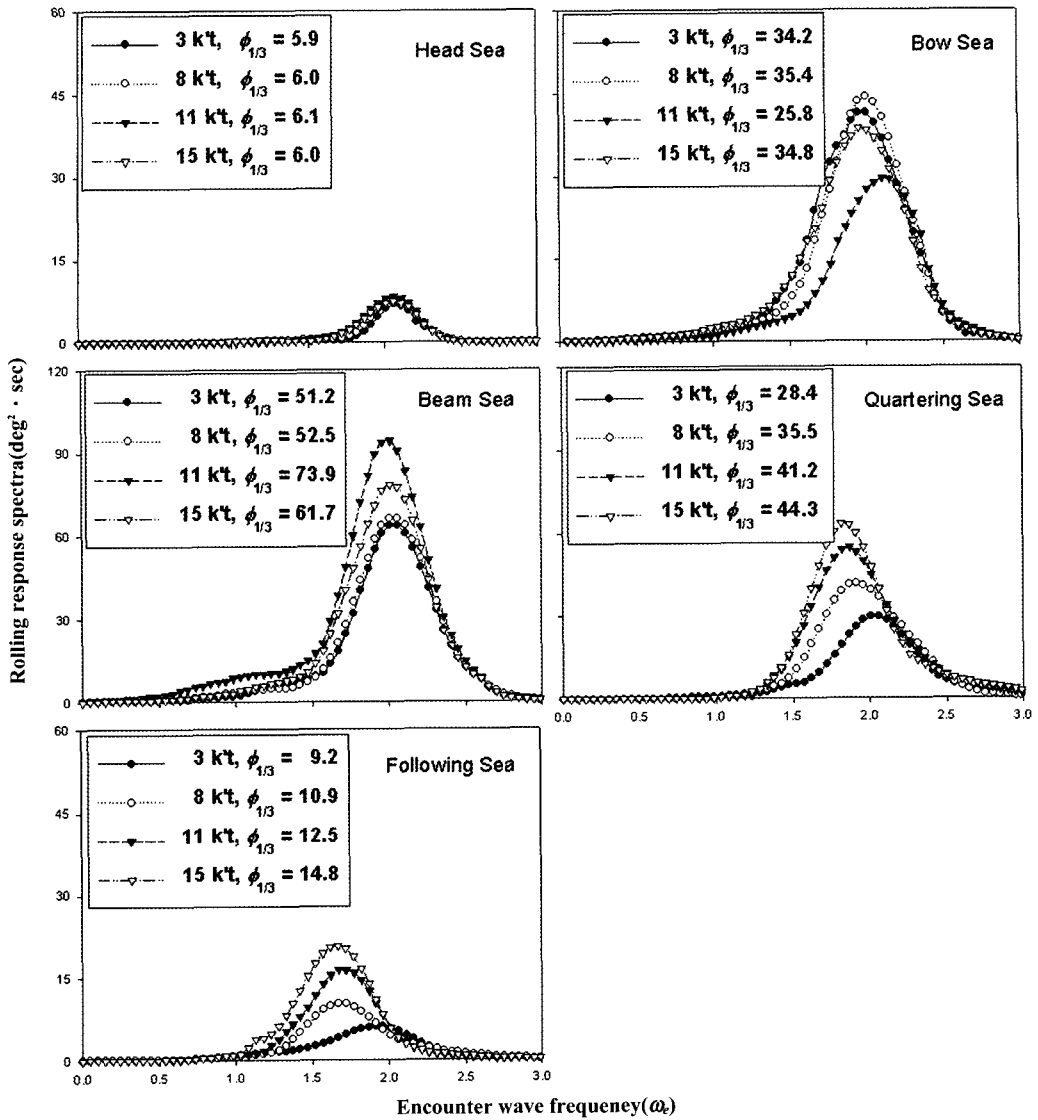


Fig. 2. The spectra of roll motions of the boat according to the wave directions and ship's speed.

선박 운항시 횡경사의 관점에서 조선자가 유의해야 할 파향은 주로 횡파, 추사파 그리고 추파인데, Fig. 3에서 보면, 횡파에서는 일정 속력을 초과하면 횡동요가 오히려 작아지는 현상을 보인다는 점과 추사파와 추파에서는 속력이 증가할수록 동요가 계속해서 커진다는 점이다. 횡파에 관한 이런 현상은 어느 정도 연구되어 있으나(Woo, 1987), 추사파와 추파에 대한 횡동요 응

답은 파속과 선속의 상대적인 관계 그리고 파의 위상속도까지 포함되어 매우 다양하게 나타나기 때문에 이 그림에서 나타난 현상은 그 당시에 조우한 상황으로 한정하여 설명할 수 밖에 없다. 이 그림에서 추사파와 추파에서 선속이 증가함에 따라 횡동요 응답이 계속해서 커지고 횡동요 주기가 길어진다는 것은 선속과 파속이 점차 비슷해지고 있다는 것으로 볼 수 있고, 이런 현상

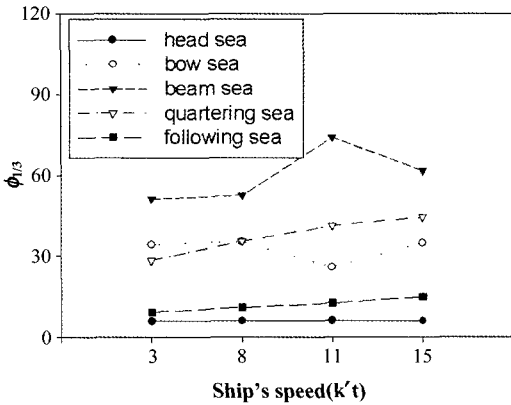


Fig. 3. The significant values of each power spectra of roll motions to the wave direction and ship's speed.

$\phi_{1/3}$: Average of one third highest rolling amplitudes

은 선속이 파속과 같아질 때까지 계속될 것이다. 만약 파속과 선속이 비슷한 순간이 되고 파고가 매우 높고, 파장이 선체 길이와 비슷한 경우가 된다면 poop down과 같은 현상이 생기고 파고가 선미를 덮치는 상황이 발생할 수 있으며, broaching과 beamend의 현상으로 선박이 위험에 처할 수 있다. 실제로 이런 현상에 의해 전복 또는 침몰하는 해양사고가 많이 일어나고 있다 (KMST Annual Report, 2005).

전체적으로 선속 변화에 대한 동요응답의 변화폭은 그다지 크지는 않지만, 상대적으로 추사파, 추파 쪽은 큰 것을 알 수 있으며, 조선할 때 유의할 점의 하나이다.

파고의 변화에 따른 횡동요의 응답특성

Fig. 4는 시험선의 횡동요 응답의 변화를 파고의 변화에 따라 나타낸 것으로써, 유의파고는 목시관측에 의한 것으로써 각각 1.5m와 2.5m이며, 선속은 통상적인 항해속력(11k't)으로 하였다.

파고 1.5m일 때와 비교해 2.5m에 대한 횡동요 응답은 선수파에서는 양자간에 거의 변화가 없었으며, 선수사파에서는 동요응답이 약 1.5배, 횡파에서는 약 2.5배, 추사파에서는 약 2.2배, 추파에서는 약 2.1배 크게 나타났다. 표류중의 횡

동요 응답의 변화는 2.1배로써 횡파, 추사파 등의 경우보다 적었다. 파고의 변화에 따른 횡동요 응답의 변화는 이와같이 매우 크게 나타났으나, 각각의 파향에 대한 스펙트럼의 형상과 주기는 큰 변화를 보이지 않았다.

이상과 같이 선수파와 선수사파에서는 파고에 따른 횡동요 응답의 차이는 크지 않으나, 횡파, 추사파, 추파에서는 동요 응답이 매우 커지므로 운항시 유의해야할 사항이다.

이 그림상으로 보면, 횡파에서는 파고가 높아짐에 따라 응답이 매우 커짐으로 이때 선체고유동요주기와 파의 조우주기가 같아지면 복원성의 급격한 변동에 의해 불안정한 동조동요를 일으킬 수 있을 것으로 보이며, 실제 이런 경우 갑판상에 lashing 되지 않은 이동물이 있다든지, 해수가 침입하여 위험에 이르는 경우가 많은 것으로 알려져 있다.

추사파에서도 횡파보다는 덜하나 파고에 의한 횡동요 응답이 매우 커짐으로 높은 파에 의해 선박이 추월당하게 되면, 한개 혹은 그 이상의 steep wave에 의해 갑판상에 해수가 침입하게 될 가능성이 있고, 이에 따라 위험상황을 맞이할 수 있을 것으로 예상된다. 또 추파에서도 파고에 따른 응답이 매우 커지는 것으로 보아 파속이 선속에 접근하게 될 때, 선박이 파정을 타고 있을 때나 선박이 down slope에 위치하게 되면 선박은 가속되어 surfing 현상이 생기고, 이에 따라 broaching되어 결과적으로 전복에 이르게 될 가능성이 있다. 정도의 차이는 있지만, 횡파, 추사파 그리고 추파 모두 응답이 매우 커지므로 파와의 만남주기와 선체의 동요주기, 파속과 선속 등을 고려하여 조선해야 안전을 보장할 수 있을 것으로 본다.

시험선의 불규칙 횡동요 응답의 통계적 특성

선체운동의 극대치의 확률분포는 Rayleigh분포에 근사하게 얻어진다는 것이 알려져 있고 (M.S Longuet - Higgins, 1956), 이런 경우 선체운

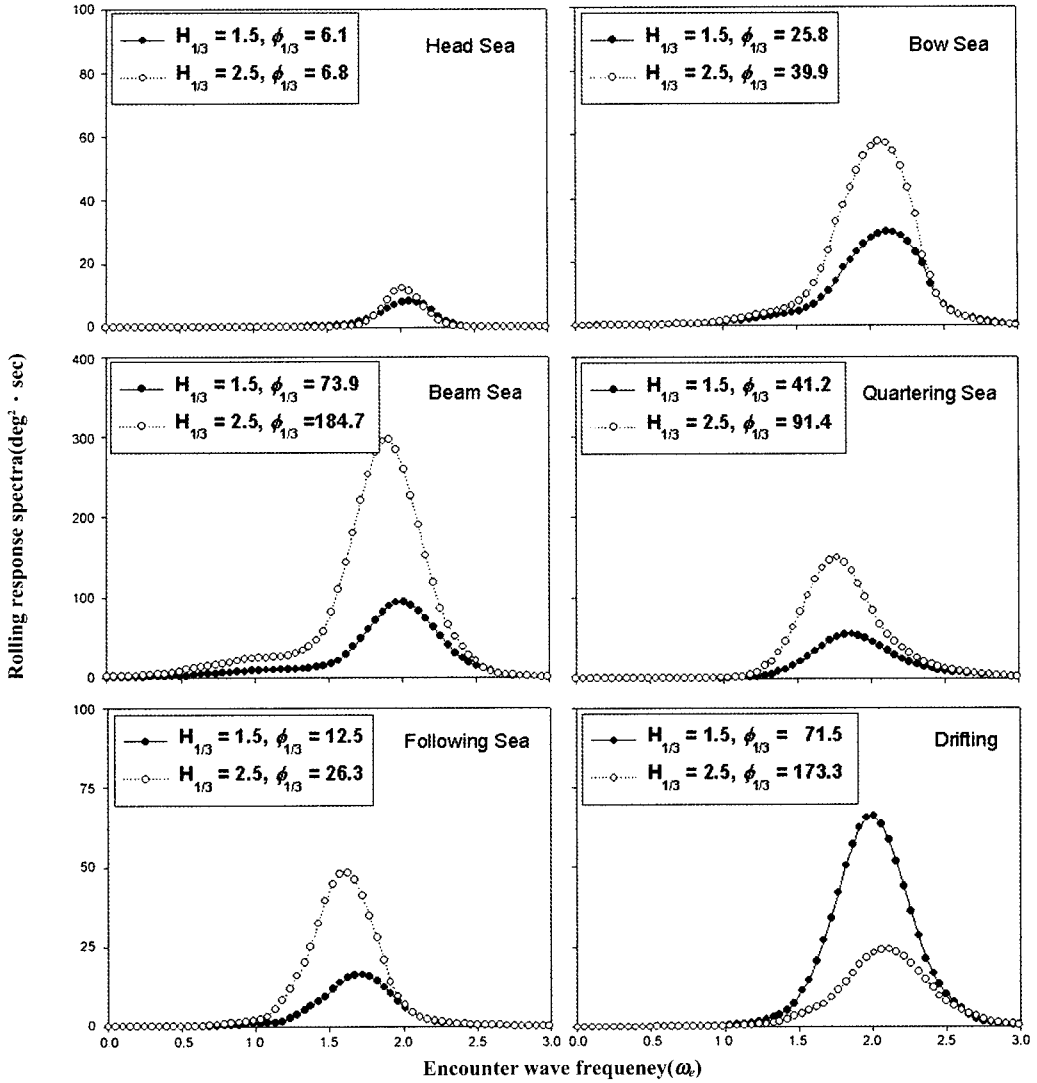


Fig. 4. The spectra of roll motions of the boat according to the wave heights, and a spectrum on drifting.

동의 제 특성치는 스펙트럼의 Parameter의 분산을 구한 식(10)으로 추정될 수 있다(Hukuda, 1969). 여기서는 식(10)에 실선시험으로 구한 동요진폭의 변동의 분산을 대입하여 선체운동의 제특성치를 계산하여 Table 2에 나타내었다. 시험선의 고유동요주기는 계측에 의해 약 3.5초였으며, Table 2에 나타난 바와 같이 rolling의 주기는 이것과 크게 다르지 않았다. Table 2에서 ϕ_{max} 는 시험에 의해 계측된 각 파향에 대한 최대 동

요각도이다.

$$\begin{aligned}
 \text{RMS}(\text{root mean square}) &= \sqrt{\sigma^2} \\
 (\phi)_a &= 1.25 \sqrt{\sigma^2} \\
 (\phi)_{1/3} &= 2.00 \sqrt{\sigma^2} \\
 (\phi)_{1/10} &= 2.54 \sqrt{\sigma^2} \\
 (\phi)_{1/100} &= 3.33 \sqrt{\sigma^2} \\
 (\phi)_{1/1000} &= 3.72 \sqrt{\sigma^2}
 \end{aligned} \tag{10}$$

선체동요의 시간적 변동량의 확률분포는 정

Table 2. The statistical values and the probability of deck wetness of rolling motions calculated by the power spectra

R.Co.	σ^2	ϕ_a	$\phi_{1/3}$	$\phi_{1/10}$	$\phi_{1/100}$	$\phi_{1/1000}$	T	ϕ_{max}	$p(\chi > \chi_1)$	N_c
180°	6.1	3.1	4.9	6.3	8.2	9.2	3.1	8.7	0	0
225°	25.8	6.4	10.2	12.9	16.9	18.9	3.2	17.2	1.5×10^{-4}	0.1
270°	73.9	10.8	17.2	21.8	28.6	32.0	3.3	29.5	4.6×10^{-2}	16.7
315°	41.2	8.0	12.8	16.3	21.3	23.8	3.5	21.0	4.1×10^{-3}	1.4
000°	12.5	4.4	7.0	8.9	11.7	13.0	3.6	12.3	1.4×10^{-8}	0.0

규분포를 따른다는 것이 잘 알려져 있으므로 (Yamanouchi, 1956), 이때는 다음의 식(11)이 성립하고, 이 식으로부터 동요의 극대치가 일정값을 초과할 확률을 구할 수 있다.

$$p(\chi > \chi_1) = \exp(-\chi^2/2\sigma^2) \quad (11)$$

여기서, χ 를 횡요각도로 하고, χ_1 을 상감판에 해수가 침입하기 시작하는 각도로서 다음에 서술하는 가정에 따라 여기서는 근사적으로 21.3°로 하고, p 를 추정한다.

본선의 선폭의 반(0.5B=1.4m)과 실험시의 건현($f=0.55m$)으로부터 배가 횡경사한 경우, 경사현의 상감판 현측이 수면과 같아지고, 상감판에 해수가 침입하기 시작하는 각도는 정수중에 있어서는 $\tan \chi_1 \approx 2/B$ 이며, $\chi_1 \approx 21.3^\circ$ 가 된다. 그러나 불규칙 해양파에서는 이 가정이 해수침입을 설명하는데 충분하지 않다. 즉, 실제 해수의 침입을 추정하기 위해서는 현측의 내면에 대한 상대운동의 응답을 예측할 필요가 있다. 그러나 여기서는 근사치로서 (11)식에 의해 추정된 확률로부터 본 실험의 계측시간내에서 p 의 발생회수(N_c)를 (12)식에 의해 계산하도록 한다.

$$N_c = (N \cdot \Delta t/T)^2 \cdot p \quad (12)$$

여기서, N 은 data의 수, Δt 는 data의 sampling time, T 는 power spectrum에 의해 구한 횡요의 평균주기이다. 한편 기록으로부터 발생회수를 계산하여 Table 2에 다른 특성치와 함께 나타내었다.

결 론

소형어선의 횡동요특성을 실선시험을 통한 power spectrum, 통계적 해석수법 그리고 계산에

의해 구한 결과는 다음과 같다. 횡동요는 파향에 따라 응답이 크게 달라지며, 특히 횡파, 추사파에서 응답이 급격하게 커지는 현상을 나타내었다. 그러나 동요 주기는 파향에 따라서 크게 변화하지 않았다. 선속에 따른 응답의 변화는 파향에 따라 약간씩 다른 경향을 나타내었는데, 선수파와 선수사파에서는 유의성이 없었고, 추사파, 추파에서는 선속이 증가함에 따라 응답이 완만하게 커지는 현상을 보였으나, 횡파에서는 선속이 일정치를 초과하고 나서 오히려 응답이 작아지는 현상을 보였다. 그리고 추파와 추사파에서 선속에 따라 응답이 증가하는 현상은 선속과 파속의 관계에 따라 다양하게 변할 수 있을 것으로 보인다. 시험선의 통계적인 특성치는 Table 2와 같으나, 횡파를 받고 항해시 파도가 갑판상으로 침입할 수 있는 동요각은 약 21.3°였고, 시험시 실제로 16회 정도 해수가 침입했으므로, 횡파를 받고 항해시 유의할 사항이다. 추사파는 횡파에 비해 해수침입의 회수는 매우 적었으나, 파속과 선속의 관계에 따라 응답이 급격히 커지므로 횡파를 받고 항해할 때와 마찬가지로 안전운항에 유의하여야 할 것으로 판단되었다.

사 사

이 논문은 2005년도 부경대학교발전기금재단의 지원에 의하여 연구되었음(PR-2005-016).

참고문헌

KMST Annual Report. 2005. Korean Maritime Safety Tribunal, 681 - 692.
Kawashima, R., 1964. On the response function for the rolling motion of a fishing boat on the ocean waves.

- Ann. Inst. State. Maty. Supple. III. 33 – 44.
- Yamanouchi, Y., 1961. On the analysis of the ship oscillations among waves(part – 1). The Society of Naval Architects of Japan, 99, 47 – 64.
- Kang, I.K. and J.D. Yoon, 1995. Experimental analysis on the motion response of the small fishing boat toward wave direction. Journal of Korean Navigation and Port Research, 19(1), 1 – 8.
- Kang, I.K., J.D. Yoon and H.J. Jo., 1996. A study on the response of fishing vessels in seas according to various tonnage. Journal of Korean Navigation and Port Research, 20(3), 31 – 42.
- Kawashma, R., 1968. On the seakeeping characteristics of fishing boat(part – 1). Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 18, 345 – 356.
- Nishinokubi, H., 1973. On the sea keeping qualities of a fishing boat by field measurement – 1. Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ., 35, 91 – 102.
- Hukuda, J., 1969. The 2nd Symposium on the sea keeping quality. The Society of Naval Architects of Japan, 99 – 119.
- Woo, B.K., J.D. KU and N.S. Park, 1987. Dynamics of hull and marine structure. Yeonkyeong publisher. 87 – 95.
- Cartwright, D.E. and Longuet – Higgins, H.S. 1956. The statistical distribution of maxima of a random funtion. Proc. Roy. Soc. A., 237, 212 – 232.
-
- 2006년 8월 30일 접수
2006년 10월 10일 수리