

## 파랑중 어선의 동력학 해석

이 희 상 · 김 기 윤\*

부산지방해양안전심판원 · \*부경대학교

(1999년 9월 1일 접수)

## Analysis on the Dynamic Responses of Fishing Vessels in a Seaway

Hee-Sang Lee and Ki-Yun Kim\*

Pusan District Marine Accidents Inquiry Agency, \*Pukyong National University

(Received September 1, 1999)

### Abstract

Ships in a seaway will encounter dangerous situations, such as slamming, stranding, and capsizing. The number of capsizing is small, but the loss due to them is very large from the viewpoint of human life, property, and the environmental pollution. The number of capsizing of fishing vessels is about 62% of total number of capsizing, and the half of them is originated from the operational mistake in a seaway. So the dynamics and the capsizing phenomena are to be studied, and the guide for the safe operation of a fishing vessel in a seaway are to be specified.

The hydrodynamic forces consist of radiation forces(which are due to the motion of a ship), Froude-Krylov forces(which is due to the incoming waves), and diffraction forces(which is due to the wave and ship interaction). These forces are calculated by well-known strip method. Using the calculated forces, the motion of a ship in a regular sea is obtained. In the real seaway, the waves are very irregular, therefore the statistical analysis is very helpful. In this paper, using the results of the motion in a regular seaway and the wave spectrum, the motion in a irregular seaway are obtained and analyzed.

### 서 론

파랑중을 항해하는 선박은 여러 가지 위험성을 가지고 있는데, 선박의 전복과 좌초, 슬래밍에 의한 손상 등이 그것이다. 이러한 일이 발생되면 인명은 물론이고 해양오염 등 아주 많은 문제를 일으키므로 예방에 많은 노력을 기울이고 있으나 사고는 계속 보고되고 있다. 해양사고중 전복현상에

의한 사고는 그 횟수는 적지만 사고에 의한 인적 물적 피해는 다른 사고에 비해 상당히 크다. 어선 사고중 전복사고는 전체의 2.8%에 불과하나, 인명 피해는 전체의 20%에 달하고 있으며, 선박의 전복 사고중 어선이 차지하는 비율은 62%에 달하고 있어 어선의 전복사고는 심각한 문제이다. 여기서 주목하여야 할 것은 전복의 원인중 해상상태에 따른 운항과실이 전체의 50%에 달하고 있다는 점이

다<sup>11)</sup>. 대형 선박에서는 운항자의 교육이 잘 되어있고, 안전운항지침이 잘 지켜지고 있어 사고율이 적은 반면, 소형어선의 경우에는 체계적인 교육/훈련을 받지 못한 운항자가 운항을 하고 있어 사고율이 대형선박의 경우보다 클 수밖에 없다. 소형 어선은 생계를 유지하기 위해 운항을 하고 있기 때문에 교육을 받을 시간적 여유가 없으며, 사고 위험성을 간과하고 있다. 따라서 파랑중 어선의 전복에 대한 체계적인 분석과 대책이 요구되고 있다. 파랑중 선박의 전복은 여러 가지의 현상이 복합적으로 작용하여 발생하나<sup>12,13)</sup>, 그 근간이 되는 것은 복원력의 감소효과와 파랑에 의한 동적 특성의 변화이다. 본 연구에서는 동력학적 특성을 분석하여 파랑중을 항해하는 어선의 운동의 크기를 예측할 수 있게 하고, 나아가서 어선의 전복현상을 이해하는 자료로 활용하는 것을 목적으로 한다.

선박이 파랑중을 항해할 때의 거동을 해석하기 위해서는 먼저 선체에 작용하는 힘을 해석하여야 한다. 파랑중 선박의 운동에 영향을 미치는 힘은 크게 나누어 세 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 관성력으로, 선박이 움직일 때 작용하는 힘인데, 선박의 질량과 가속도에 비례하는 관성력과 선박이 진행하면서 선회할 때 발생하는 원심력등으로 구성이 되며 통틀어서 관성력이라고 부른다. 두 번째는 방사력(Radiation Force)으로, 선박의 운동을 하면 선박주위의 유체가 움직이게 되고, 이로 인하여 압력이 변화하고 힘이 발생하는데, 이러한 힘을 방사력(Radiation Force)이라고 한다. 이 힘중 선박의 가속도에 비례하는 부분은 부가질량(Added Mass), 또 속도에 비례하는 부분은 파랑 감쇠(Wave Damping)라고 지칭되고 있다. 세 번째는 파도에 의한 외력이다. 파도에 의해서 선체에 작용하는 힘은 Froude-Krylov 힘과 회절력(Diffraction Force)으로 구분하는데, Froude-Krylov 힘은 파도가 존재하면 수면하의 유체 압력이 변하고, 이 압력 변동에 의해서 발생하는 힘을 Froude-Krylov 힘이라고 한다. 회절력은 선박이 해상에 떠있기 때문에 파도가 선박이 없을 때와는 다른 움직임을 할 수밖에 없고, 이 때 변하는 압력을 적분한 힘을 회절력이라고 한다. 본 연구에서는 이들 유체력을 계산하기 위해 Strip방법을 사

용하였다<sup>10)</sup>.

해상상태에서의 운동을 해석하기 위해서는 파랑자료를 알아야 하는데, 해상에 존재하는 파도는 매우 불규칙하고 복잡하여 결정론적인 이론식이 개발되어 있지 못하고, 통계학적인 해석으로 기술되고 있다. 즉 오랜 시간동안 파고를 계측하여 결과를 파 스펙트럼의 형태로 정리하는 방법이 사용되어 오고 있다. 이론 해석을 위하여서는 파 스펙트럼을 성분파들의 선형합으로 가정하고, 각각 이론해석이 가능한 성분파들로 분리하는 방법을 사용한다. 이 성분파들은 규칙파라고 불리우고 삼각함수와 포텐셜이론으로 해석이 가능하다. 본 연구에서는 각각의 성분파에 대한 선박의 운동을 계산하고, 이 결과와 파 스펙트럼을 곱하여 운동 스펙트럼을 구한 다음, 통계적인 방법에 의해서 운동을 해석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 파랑중 운동계산법

파랑중 운동을 다루기 위해서는 다음 그림과 같은 두 개의 좌표계가 필요하다. 하나는 관성좌표계로서 공간상에 고정된 좌표계이며, 다른 하나는 선체에 고정된 좌표계로서 관성좌표계에 대하여 상대운동을 하는 좌표계이다. 선체 고정좌표계는 선박의 기하학적인 위치를 표현할 때나, 외력등을 표시할 때 주로 사용되며, 소문자  $x, y, z$ 를 이용하여 표현한다. 공간에 고정된 좌표계인 관성좌표계

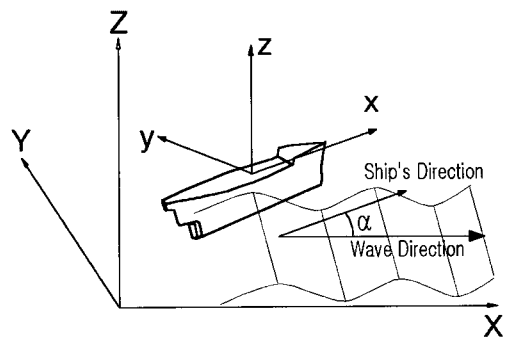


Fig. 1. Coordinate Systems and Wave Incident Angle.

는 선박의 움직임인 거리, 중력, 부력등을 표시할 때 사용되며, 대문자 X, Y, Z를 이용하여 표현한다.

파도의 진행방향과 선박의 진행방향과의 상대 각을  $\alpha$ 로 표시하고, 파도는 기본적으로 관성좌표계에서 표현한다. 두 좌표계 사이의 관계적인 변환 행렬은 관성좌표계나 선체고정좌표계에서 기술된 양의 다른 좌표계에서의 표현식을 알고자 할 때 사용되며, 참고문헌 [9]에 정리된 것을 이용한다.

파랑중 어선의 운동에 영향을 미치는 힘은 크게 나누어 세가지로 분류할 수 있다. 하나는 선박이 움직일 때 작용하는 힘으로 선박의 질량과 가속도에 비례하는 관성력과 선박이 진행하면서 선회할 때 발생하는 원심력등으로 구성이 되며 통틀어서 관성력이라고 부른다. 두 번째는 선박의 움직임 때문에 선박주위의 유체가 움직이고, 이로 인하여 발생하는 힘으로 부가질량, 파랑 감쇠라는 용어를 사용하여 표현되는 힘이다. 세 번째는 외력으로 파도가 존재하기 때문에 선박이 받는 힘으로 Froude-Krylov 힘과 회절력으로 구분된다. Froude-Krylov 힘은, 파도가 존재하면 수면하의 유체 압력이 변하고, 선체표면에서 이 압력을 적분하면 변동되는 힘을 얻을 수가 있는데, 이 힘을 Froude-Krylov 힘이라고 한다. 회절력은 선박이 해상에 떠있기 때문에 파도가 선박이 없을 때와는 다른 움직임을 할 수 밖에 없고, 이 때 변하는 압력을 적분한 힘을 회절력이라고 한다.

선박의 운동을 기술하는 운동방정식의 구조는 다음과 같다.

$$F^m = F^S + F^R + F^I + F^D \quad (1)$$

$$\begin{cases} F^m = & \text{Inertia Force} \\ F^S = & \text{Static Force} \\ F^R = & \text{Radiation Force} \\ F^I = & \text{Force due to Incident Wave} \\ F^D = & \text{Diffraction Force} \end{cases}$$

운동하는 물체의 운동에는 6가지가 있는데, 3개는 선형운동이며, 나머지 3개는 회전운동이다. 운동을 기술하기 위해 간혹 숫자로서 운동과 힘의 방향을 나타낼 때가 있는데 이때 사용되는 숫자 규약[11]과 문자로서 속도와 힘의 방향을 표현할

	숫자 규약	속도 문자표현	힘 문자표현
surge	1	u	X
sway	2	v	Y
heave	3	w	Z
roll	4	p	K
pitch	5	q	M
yaw	6	r	N

때의 규약[7]은 다음과 같다.

운동방정식은 선체고정좌표계의 원점에 대해서 기술한다. 관성력항만을 보면 다음과 같이 6개의 힘으로 표현된다.

$$A = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & mz_G & -my_G \\ 0 & m & 0 & -mz_G & 0 & mx_G \\ 0 & 0 & m & my_G & -mx_G & 0 \\ 0 & -mz_G & my_G & I_x & -mx_G y_G & -mx_G z_G \\ mz_G & 0 & -mx_G & -mx_G y_G & I_y & -my_G z_G \\ -my_G & mx_G & 0 & -mz_G x_G & -mz_G y_G & I_z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\alpha}_1 \\ \ddot{\alpha}_2 \\ \ddot{\alpha}_3 \\ \ddot{\alpha}_4 \\ \ddot{\alpha}_5 \\ \ddot{\alpha}_6 \end{Bmatrix}$$

$$+ U \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -my_G & -mz_G \\ 0 & 0 & 0 & 0 & mx_G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & mx_G \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\alpha}_1 \\ \dot{\alpha}_2 \\ \dot{\alpha}_3 \\ \dot{\alpha}_4 \\ \dot{\alpha}_5 \\ \dot{\alpha}_6 \end{Bmatrix}$$

$$F^m = [M] \{\ddot{\alpha}\} + [D] \{\dot{\alpha}\}$$

여기서  $\alpha_j$ 는 운동변위로 j의 값에 따라 surge, sway, heave, roll, pitch, yaw 운동을 의미한다. 또 m은 선박의 질량이고,  $x_G, y_G, z_G$ 는 무게중심의 좌표값이다.

정역학적 힘(Static Force)는 부력과 중력에 의해서 발생하는 힘으로 유도과정은 참고문헌 [11]에 정리되어있고 그 결과는 다음과 같다.

$$F^S = -\rho g \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{33} & c_{34} & c_{35} & 0 \\ 0 & 0 & c_{34} & c_{44} + \nabla(z_B - z_G) & c_{45} & 0 \\ 0 & 0 & c_{35} & c_{45} & c_{55} + \nabla(z_B - z_G) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \end{Bmatrix} = -[C] \{\alpha\}$$

여기서  $\nabla$ 는 선박의 배수체적이며,  $\rho$ 는 해수밀도,  $g$ 는 중력가속도이다.

선체의 움직임에 따라 선체주위의 유체가 움직이므로서 발생하는 방사력(Radiation Force)는 유체역학적 해석을 통하여 얻어지는데, 이것은 참고 문헌 [10]에 그 과정이 수록되어 있는 것을 사용한다. 그 결과식을 기술하면 다음과 같다.

$$F_j^R = -\sum_{k=1}^6 A_{jk} \ddot{\alpha}_k - \sum_{k=1}^6 B_{jk} \dot{\alpha}_k \quad (4)$$

여기서 첨자  $j$ 는  $j$  방향의 힘을 의미하고,  $A_{jk}, B_{jk}$ 는 각각 부가질량과 파랑감쇠이다. 파도에 의한 힘은 입사파의 압력에 의한 Froude-Krylov 힘과 회절력(Diffraction Force)으로 결과식만을 기술하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F_j^I &= \int n_j p^I dS \\ F_j^D &= \int n_j p^D ds \\ &= -\rho i \omega_k \int n_j \Phi_D dS + \rho U \int n_j \frac{\partial}{\partial x} \Phi_D dS \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $p^I, p^D$ 는 각각 입사파에 의한 압력과 회절에 의한 압력이고,  $n_j$ 는  $j$  방향의 단위 법선벡터이고,  $\Phi_D$ 는 회절 포텐셜이며,  $\omega_k$ 는 파도와의 만남주파수이다.

식(1)의 운동 방정식으로 운동을 계산하는 방법은 다음과 같다. 먼저 방정식에서 사용되는 계수들을 구한다. 그 다음 방정식에서 우변에는 파도에 의한 힘만을 남겨놓고 전부 좌변으로 옮긴다. 이렇게 하면 좌변은 풀어야 하는 운동변위가 포함되는 항만을 가지게 된다. 주파수 영역에서 해를 구할 것이므로 해의 거동이  $e^{i\omega t}$  거동을 따른다고 가정하고 속도항과 가속도항에 각각  $i\omega_k, -\omega_k^2$ 을 곱한다. 이렇게 하여 얻어진 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^6 [-\omega_k^2(M+A)_{jk} + i\omega_k(D+B)_{jk} + C_{jk}] \alpha_k \\ = F_j^I + F_j^D \text{ for } j=1,2,\dots,6 \end{aligned} \quad (6)$$

위의 대수 방정식의 해는 복소수로서 표현된다. 해의 절댓값이 운동의 크기이고, 위상차는 선박의 중점에 파정이 위치할 때와 운동이 제일 크게 일어날 때와의 위상차이다.

## 2. 시험 선박

본 연구에서 대상으로 선정된 시험선의 선형은 수산청에서 수행한 “표준어선형 연구개발”<sup>[5]</sup>을 통하여 개발된 어선중 8톤급 소형어선과, 해양수산부에서 수행한 “생인력화 근해안강망어선 개발”<sup>[6]</sup>을 통하여 개발된 89톤급 어선을 택하였다. 두 어선은 크기 외에 단면형상에서 다른 점을 보여주고 있는데, 8톤급은 소형어선의 특징을 그대로 반영하고 있다. 즉, FRP 소형어선의 특징인 차인(chine) 단면의 형상을 가지고 있다. 89톤급어선은 연안어선중 대형 어선으로 차인단면이 없으며, 대형선박의 특징인 중앙단면에서의 큰 방형계수(Block Coefficient)를 가지고 있다. 시험선으로 택한 8톤급 어선의 Body Plan과 Side Profile은 다음의 그림과 같다.

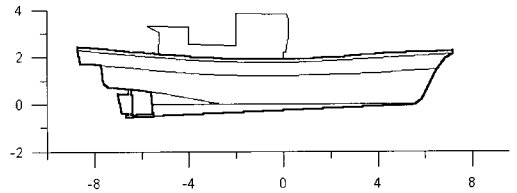


Fig. 2. Side Profile of 8 Ton Class Fishing Vessel.

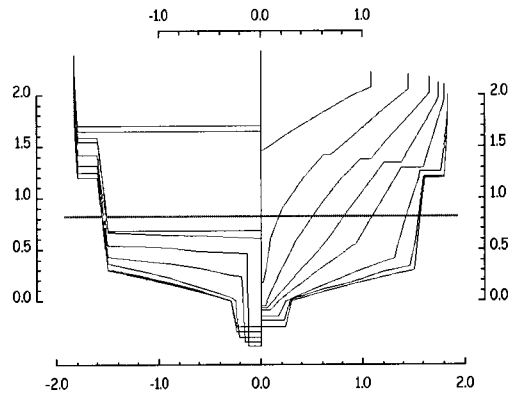


Fig. 3. Body Plan of 8 Ton Class Fishing Vessel.

또한 89톤급 어선의 Body Plan과 Side Profile은 다음의 그림과 같다.

파랑중 운동성능은 하중조건에 의해서 많이 달라지는데, 본 연구에서는 계획만재흘수선

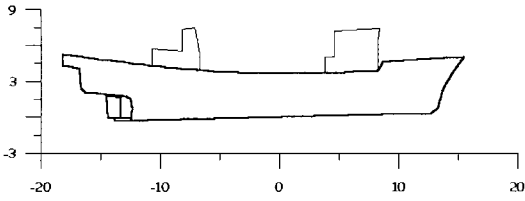


Fig. 4. Side Profile of 89 Ton Class Fishing Vessel.

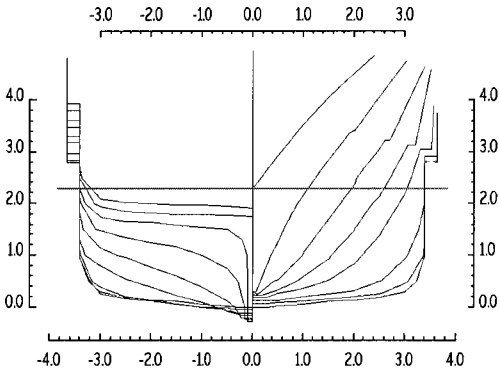


Fig. 5. Body Plan of 89 Ton Class Fishing Vessel.

Table 1. Principal Dimensions of 8 Ton Class Fishing Vessel

전장(LOA)	15.9 m
수선간장(LBP)	13.0 m
너비(Breadth)	3.2 m
깊이(Depth)	1.2 m
흘수(Draft)	0.84 m
트림(Trim)	0.5 m
배수량 (Displacement)	18 Ton
LCG	-0.586 m
VCG	1.02 m
속력(Speed)	12.1 Knot

Table 2. Principal Dimensions of 89 Ton Class Fishing Vessel

전장(LOA)	33.7 m
수선간장(LBP)	27.4 m
너비(Breadth)	6.8 m
깊이(Depth)	2.8 m
흘수(Draft)	2.3 m
트림(Trim)	0.62 m
배수량 (Displacement)	286 Ton
LCG	-1.1 m
VCG	2.34 m
속력(Speed)	10 Knot

(Designed Load Water Line)에서의 운동성능을 다루기로 하였다. 계획만재흘수는 선박의 안정성, 조종성, 저항성능, 구조 강도등을 다루는 기준 흘수로 조선분야에서는 중요한 파라미터중 하나이다. 어선이 입항과 출항을 할 때 주로 만재상태이며, 어장까지 긴 시간을 운항하는 상태도 주로 만재상태이다. 따라서 본 연구에서는 운항중과 조업중의 흘수와 비슷한 계획만재흘수에서의 운동성능을 다루기로 하였다. 계획만재흘수선에서의 어선의 주요목은 다음의 표와 같다.

8톤급 어선은 연안 유자망 어선으로 선원수 3명이며, 조업계획은 2박3일로 설계되었고 FRP 어선이다. 89톤급 어선은 근해 안강망 어선으로 선원수 6명, 항해일수 30일로 설계된 어선이다.

## 결과 및 고찰

### 1. 규칙파에서의 운동 특성

운동응답은 파도의 입사각에 따라 다르다. 다음의 그림은 정지해 있는 8톤급 어선에 파도가 입사하고 있을 때의 힘과 운동응답을 계산한 결과중 heave, roll, pitch의 결과이다. 여기에서 사용되어진 파도는 선형중력과 이론에 의한 파도를 사용하였다.<sup>11)</sup> 또한 heave의 선형운동은 파 진폭으로 무차원화 하였고, roll, pitch의 각운동은 파도의 최대 기울기로 무차원화 하였다.

다음은 89톤급 어선의 규칙파중에서의 운동응

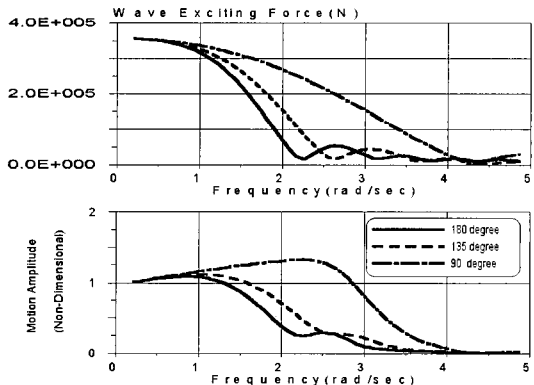


Fig. 6. Heave Force & Response of 8 Ton Class Fishing Vessel.

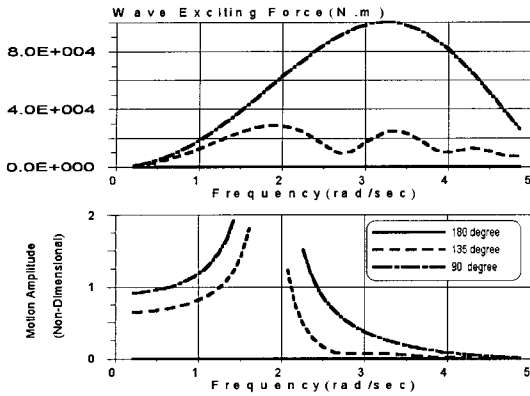


Fig. 7. Roll Moment & Response of 8 Ton Class Fishing Vessel.

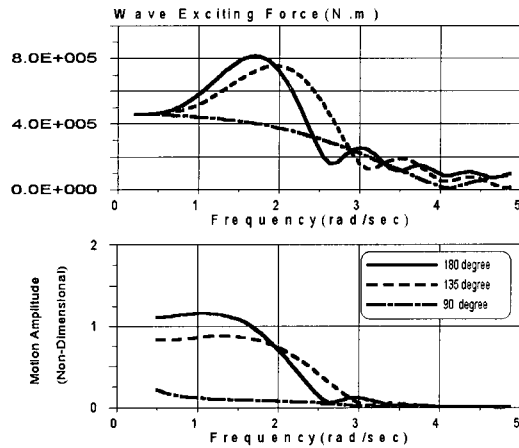


Fig. 8. Pitch Moment & Response of 8 Ton Class Fishing Vessel.

답에 대한 계산결과이다.

다음의 그림은 파향이 180도일 때 속도를 바꾸어 가면서 heave와 pitch 응답을 계산한 그림이다. 속도에 가장 많은 영향을 받는 운동은 heave와 pitch 이므로 이 계산 결과만을 도시하였다.

계산결과를 종합하여 보면 예상되었던 바와 같이 pitch는 파향이 180도 즉 앞에서 파도가 입사하고 있을 때 가장 크게 나타났다. 또한 roll은 파향이 90도인 경우 가장 크게 일어나고 있다. roll 운동은 파향이 180도가 아닌 경우 상당히 크게 일어나는데, 이때의 힘을 보면 힘의 크기가 별로 변화하지 않는 데도 운동변위는 아주 커지는 것

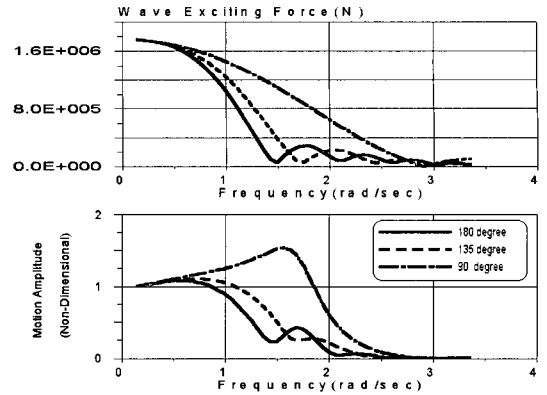


Fig. 9. Heave Force & Response of 89 Ton Class Fishing Vessel.

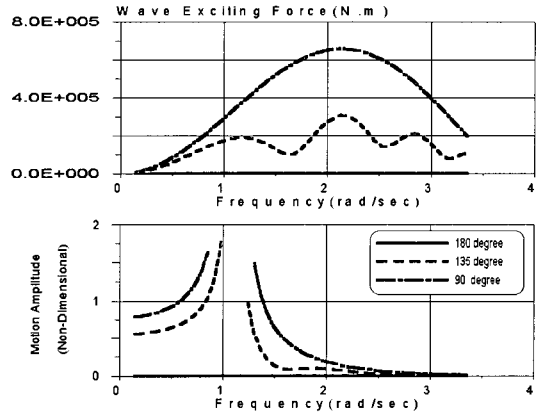


Fig. 10. Roll Moment & Response of 89 Ton Class Fishing Vessel.

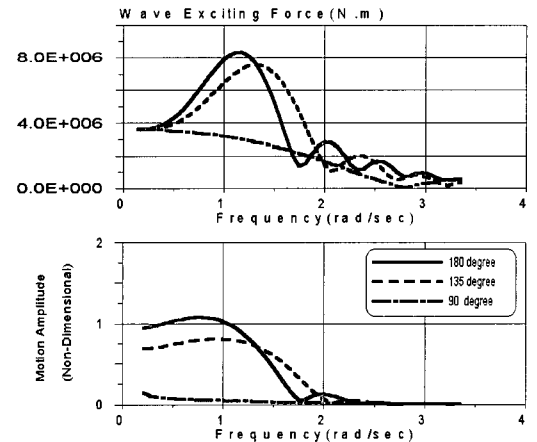


Fig. 11. Pitch Moment & Response of 89 Ton Class Fishing Vessel.

을 볼 수가 있다. 이것은 roll이 공진 상태에 들어가서 나타나는 현상이다. 실제로는 점성감쇠 등에 의한 비선형효과가 작용하여 이 값보다 운동의 크기가 작아지긴 하나 상당히 큰 roll이 발생한다. 전반적으로 89톤급 어선의 운동은 낮은 주파수에 국한되고, 8톤급 어선의 운동은 상대적으로 높은 주파수까지 지속되고 있다. 또한 속도가 높아지면 운동응답이 커지는 것을 알 수가 있었다.

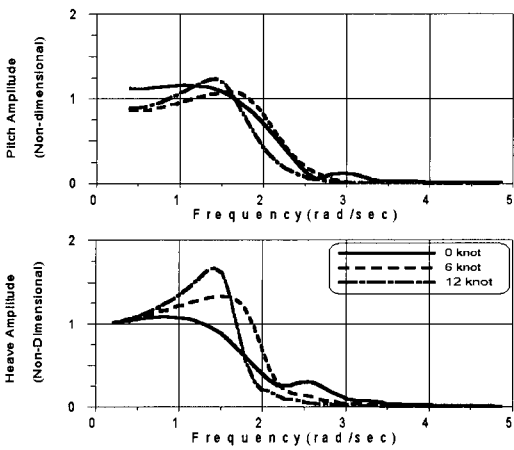


Fig. 12. Heave & Pitch Response of 8 Ton Class Fishing Vessel with Varying Speed.

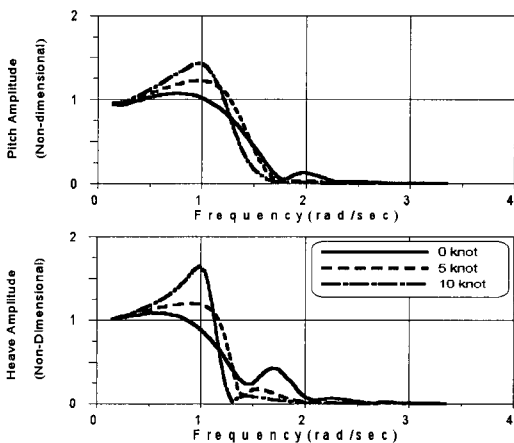


Fig. 13. Heave & Pitch Response of 89 Ton Class Fishing Vessel with Varying Speed.

## 2. 불규칙파에서의 운동특성

해상에 존재하는 파도는 대부분 불규칙하게 분포되어 있어, 통계적인 방법을 이용하게 되는데, 일반적으로 파도는 파 스펙트럼을 이용하여 해석한다<sup>[8][10]</sup>. 본 연구에서 사용된 파 스펙트럼은 ITTC 표준 스펙트럼으로 장파정 스펙트럼을 사용하였다. 불규칙파중에서의 운동응답도 파도와 마찬가지로 스펙트럼처리를 하여 얻게되며, 다음의 식으로 운동 스펙트럼을 계산한다.

$$S_X(\omega) = S_W(\omega) \cdot X_{RAO}^2(\omega) \quad (7)$$

여기서  $S_X$  : Motion Spectrum이고  $S_W$  : Wave Spectrum이다.

여기서  $X$ 는 운동의 방향이고  $X_{RAO}$ 는 규칙파중에서의 운동응답함수이다. 불규칙파중에서의 운동의 크기는 RMS(Root Mean Square)값으로 표현하는데, 이것은 위와 같이 구해진 운동 스펙트럼을 적분하고 제곱근을 취하여 얻는다.

$$X_{RMS} = \sqrt{\int_0^{\infty} S_X(\omega) d\omega} \quad (8)$$

다음은 8톤급 어선에 대해서 유의파고 1m에서의 운동 스펙트럼을 계산한 결과이다. 본 연구에서의 가속도는 상하방향 가속도를 나타낸다.

앞에서 설명된 방법으로 유의 파고와 파향을 바

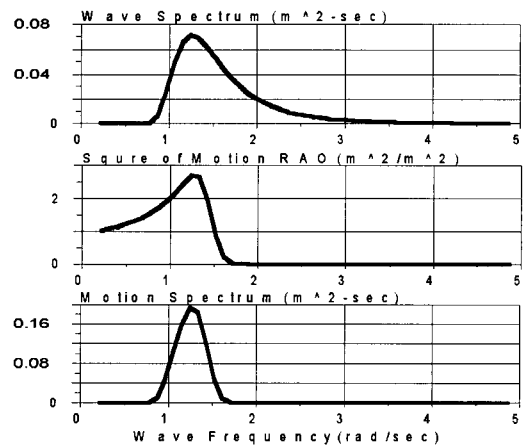


Fig. 14. Heave Motion Spectrum of 8 Ton Class Fishing Vessel, Speed 12 knots, Wave 180 degree.

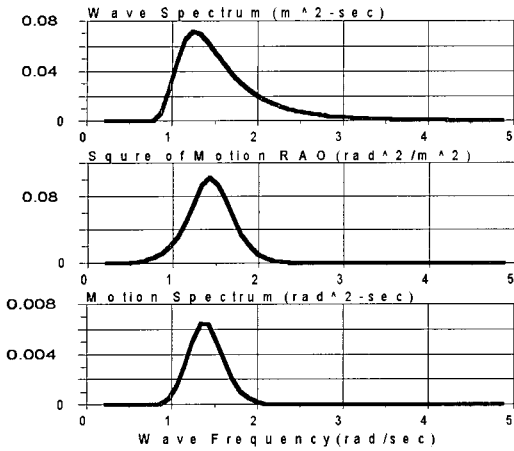


Fig. 15. Pitch Motion Spectrum of 8 Ton Class Fishing Vessel, Speed 12 knots, Wave 180 degree.

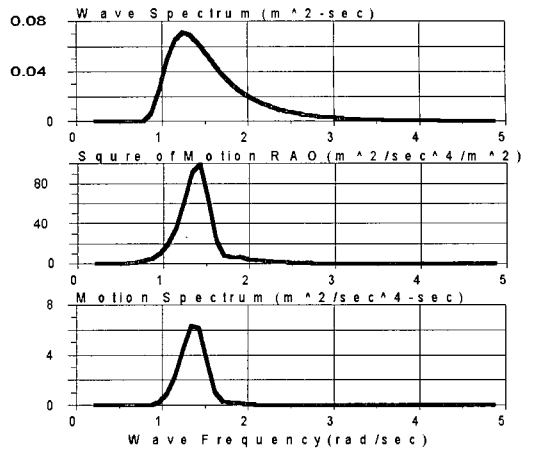


Fig. 17. Acceleration Spectrum of 8 Ton Class Fishing Vessel, Speed 12 knots, Wave 180 degree.

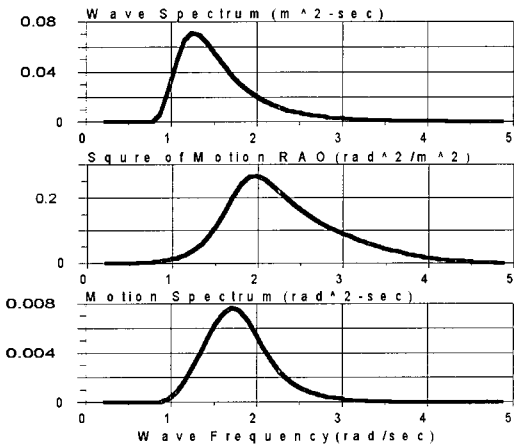


Fig. 16. Roll Motion Spectrum of 8 Ton Class Fishing Vessel, Speed 12 knots, Wave 90 degree.

꾸어가면서 RMS값을 계산한 결과를 도시하면 다음과 같다.

89톤급 어선에 대해서 응답 스펙트럼을 계산한 결과를 다음의 그림에 수록하였다. 여기에서도 마찬가지로 유의 파고는 1m 이었다.

파향과 유의 파고를 바꾸어 가면서 RMS값을 계산하였고, 그 결과를 다음의 그림에 수록하였다.

이렇게 얻어진 RMS값을 가지고 유의 값 (significant value)을 얻으려면 RMS값에 4를 곱하면 된다. 이 유의값은 불규칙한 운동중에서 가장 눈

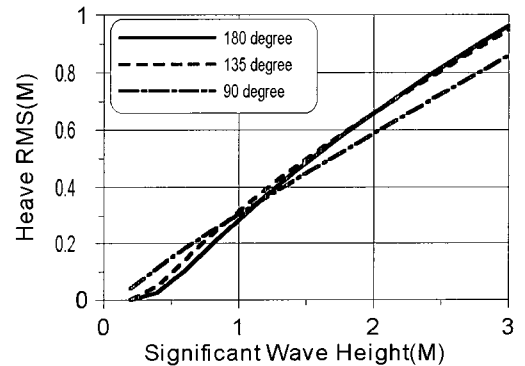


Fig. 18. Heave RMS Value of 8 Ton Class Fishing Vessel.

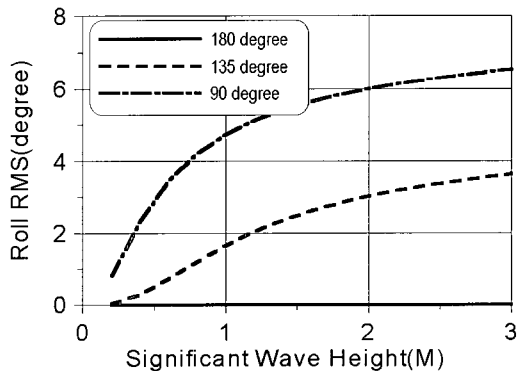


Fig. 19. Roll RMS Value of 8 Ton Class Fishing Vessel.



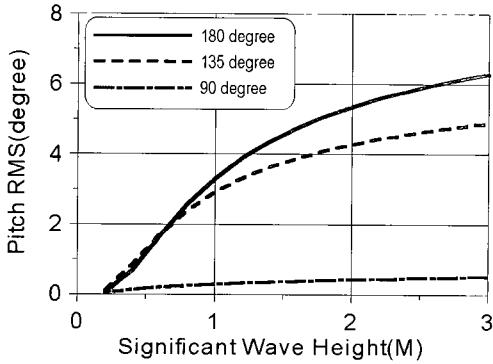


Fig. 20. Pitch RMS Value of 8 Ton Class Fishing Vessel.

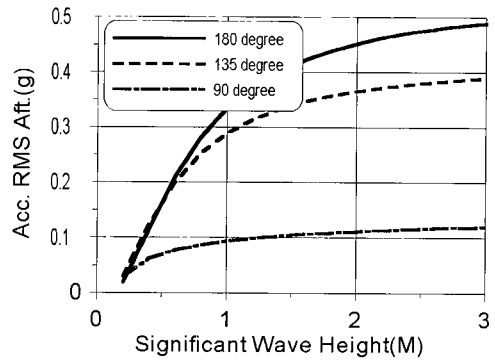


Fig. 23. Acceleration RMS of 8 Ton Class Fishing Vessel at Stern.

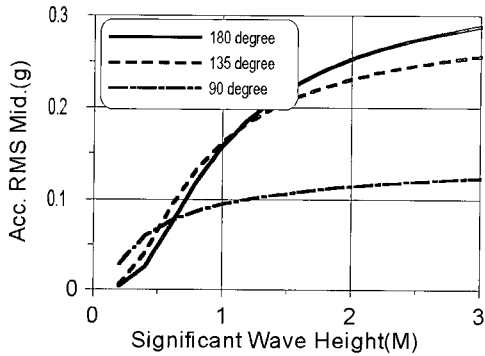


Fig. 21. Acceleration RMS of 8 Ton Class Fishing Vessel at Midship.

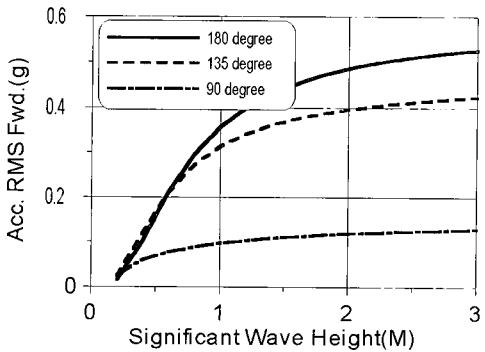


Fig. 22. Acceleration RMS of 8 Ton Class Fishing Vessel at Bow.

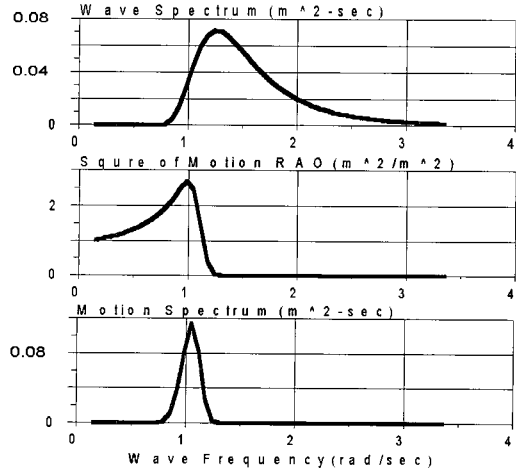


Fig. 24. Heave Motion Spectrum of 89 Ton Class Fishing Vessel, Speed 10 knots, Wave 180 degree.

에 띄게 나타나는 운동의 크기로 불규칙운동을 대표하는 값이며, 통계적으로는 상위 1/3의 평균값이다. 진폭은 운동의 크기의 1/2이므로, 운동의 크기는  $4 \times \text{RMS}$  값 이고, 진폭은  $\pm 2 \times \text{RMS}$  값이다. 예

를 들어 그림 33에서 유의파고 2m에 해당하는 가속도 RMS값은 0.25g 인데, 유의값으로 환산하면  $\pm 0.5g$ 의 가속을 받고, 1.0g의 가속도변화를 겪는다고 해석한다. 여기서 g는 중력가속도이다.

계산된 결과를 보면 선형운동인 heave는 유의파고가 커짐에 따라 거의 선형적으로 커지는 결과를 보였고, 각운동인 roll, pitch와 가속도는 어느 이상 커지면 증가율이 감소되어 유의파고의 제곱근의 형상과 비슷한 결과를 보이고 있다. pitch, 가속도는 파향 180도에서 가장 크게 나타났으며, roll은 파향 90도에서 가장 크게 나타났고, heave는 파향과는 관계가 적은 것으로 나타났다.

어선의 크기에 대한 응답에 대해서 살펴보면,

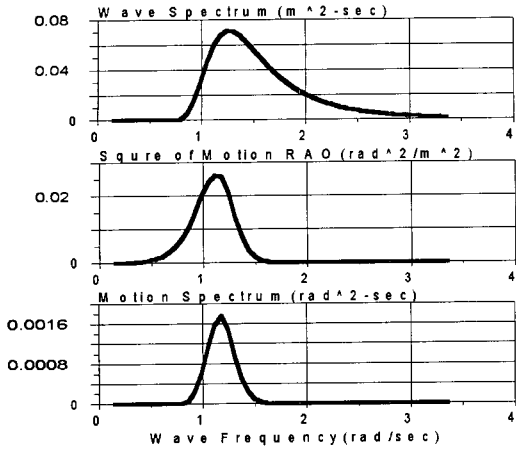


Fig. 25. Pitch Motion Spectrum of 89 Ton Class Fishing Vessel, Speed 10 knots, Wave 180 degree.

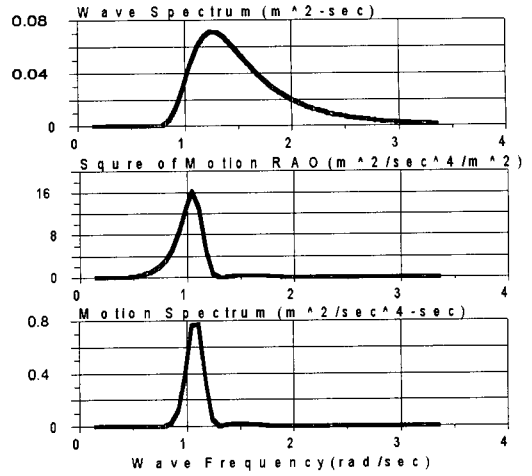


Fig. 27. Acceleration Spectrum of 89 Ton Class Fishing Vessel, Speed 10 knots, Wave 180 degree.

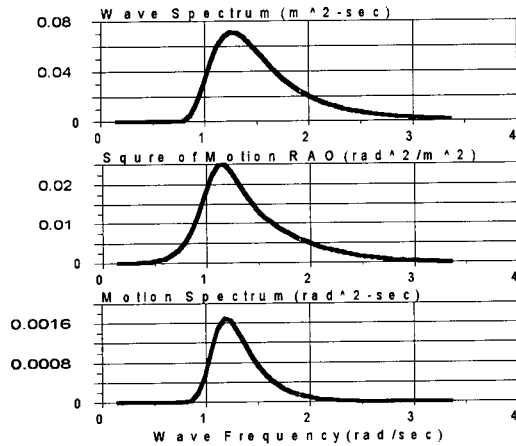


Fig. 26. Roll Motion Spectrum of 89 Ton Class Fishing Vessel, Speed 10 knots, Wave 90 degree.

heave는 어선의 크기와는 무관한 운동응답을 보이고 있고, roll, pitch, 가속도는 크기가 작은 어선의 경우 같은 파도에서 그 크기가 상대적으로 많이 커지는 것을 알 수가 있다. 8톤급 어선에서는 유의파고 1m 이전에서 급격히 roll, pitch, 가속도가 커지는 것을 알 수가 있고, 89톤급 어선에서는 변화율이 훨씬 둔감한 것을 알 수가 있다.

가속도는 선수에서의 가속도가 가장 크게 나타났다. 선체중앙 가속도의 약 2배의 가속도를 받는

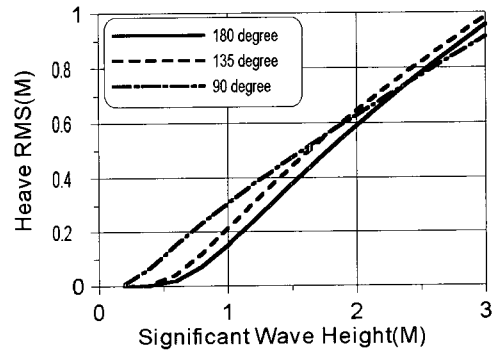


Fig. 28. Heave RMS Value of 89 Ton Class Fishing Vessel.

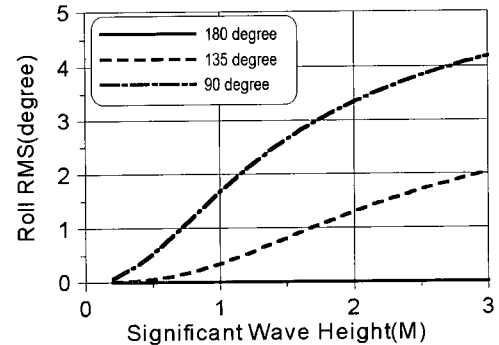


Fig. 29. Roll RMS Value of 89 Ton Class Fishing Vessel.

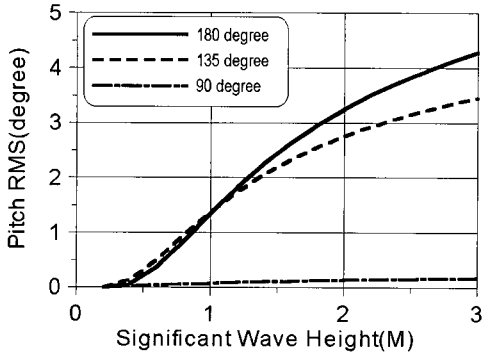


Fig. 30. Pitch RMS Value of 89 Ton Class Fishing Vessel.

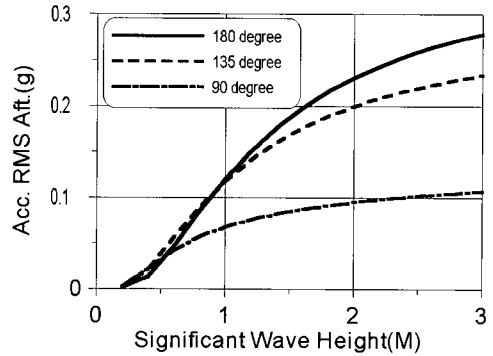


Fig. 33. Acceleration RMS of 89 Ton Class Fishing Vessel at Stern

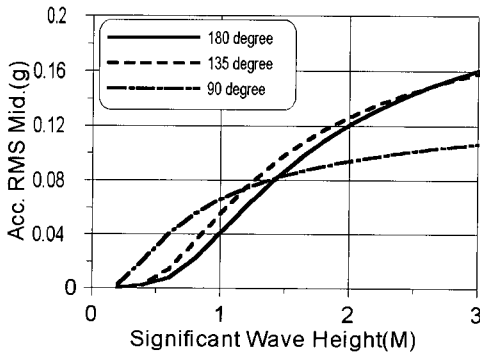


Fig. 31. Acceleration RMS of 89 Ton Class Fishing Vessel at Midship.

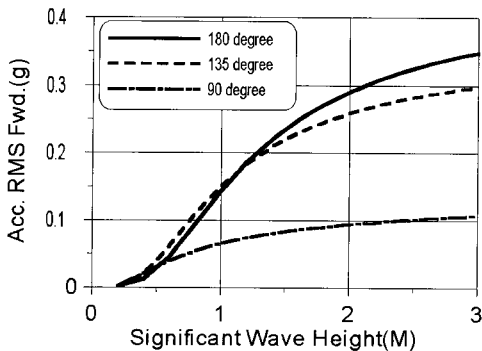


Fig. 32. Acceleration RMS of 89 Ton Class Fishing Vessel at Bow.

다는 것을 알 수 있다. 파향 180도에서 유의값으로  $\pm 0.5g$ 의 선수가속도를 받는 유의 파고는 8톤급 어선의 경우 약 0.7m, 89톤급 어선의 경우 약

1.5m 정도이다. 이 경우 파도를 약 1,000번정도 만나면(시간으로 환산하여 약 2시간정도) 확률적으로 가속도의 최대값이  $\pm 1g$ 를 넘어가게 된다.

파향 90도에서의 roll은, 8톤급 어선의 경우 유의파고 1m에서 RMS값으로 약 5도가 되어, 유의값으로  $\pm 10$ 도의 roll운동이 발생한다. 89톤급 어선의  $\pm 3.5$ 도에 비해 상당히 큰 값을 알 수가 있다. 이것은 소형어선의 roll 공진주파수가 높아 상대적으로 작은 파고의 파도에 의해서 공진에 걸릴 확률이 높기 때문에 발생한 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구에서는 파랑중 어선의 동력학적 특성에 대한 분석이 이루어 졌다. 대상 선형으로 택한 어선은 8톤급 소형어선과 89톤급 중형 어선이었고, 각각의 선형에 대한 규칙파중에서의 운동응답이 해석되었으며, 불규칙파에서의 운동응답이 해석되었다. 실제 해상상태와 마찬가지로 불규칙파에서의 운동응답은 확률적으로 해석되었는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 선형운동인 heave는 유의 파고가 커짐에 따라 거의 선형적으로 커지고, 각도운동인 roll, pitch와 가속도는 유의파고의 제곱근에 비례하는 결과를 보인다. pitch, 가속도는 파향 180도에서 가장 크게 나타났으며, roll은 파향 90도에서 가장 크게 나타나고, heave는 파향과는 관계가 적다.

2. heave는 어선의 크기와는 무관한 운동응답을 보이고 있고, roll, pitch, 가속도는 크기가 작은 어선의 경우 같은 파도에서 그 크기가 상대적으로 많이 커진다. 8톤급 어선에서는 유의파고 1m 이전에서 급격히 roll, pitch, 가속도가 커지고, 89톤급 어선에서는 변화율이 훨씬 둔감하다.
3. 가속도는 선수에서의 가속도가 가장 크게 나타났다. 그 값은 선체중앙 가속도의 약 2배이다. 파향 180도에서 유의값으로  $\pm 0.5g$ 의 선수가속도를 받는 유의 파고는 8톤급 어선의 경우 약 0.7m, 89톤급 어선의 경우 약 1.5m 정도이다. 이 경우 파도를 약 1,000번정도 만나면(시간으로 환산하여 약 2시간정도) 확률적으로 가속도의 최대값이  $\pm 1g$ 를 넘어간다.
4. 파향 90도에서의 roll은, 8톤급 어선의 경우 유의파고 1m에서 RMS값으로 약 5도가 되어, 유의값으로  $\pm 10$ 도의 roll 운동이 발생한다. 이것은 소형어선의 roll 공진주파수가 높아 상대적으로 작은 파고의 파도에 의해서 공진에 걸릴 확률이 높기 때문에 발생한 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 파랑중 어선의 안전대책을 체계적으로 수립하는 데에 이용될 수 있다. 또한 앞으로 동력학적인 안정성해석에 이 결과가 이용되어, 파랑중 어선의 브로우칭현상 및 전복현상에 대한 해석이 이루어져야 하겠다.

## 참고문헌

- [1] 중앙해양안전심판원(1994~1998) : 해양사고심판 사례집.
- [2] 金潤洙(1994) : 追波中を航行する船の轉覆現象に關する研究, 大阪大學 博士學位論文.
- [3] 박건일(1995) : 파랑중 선박의 동적 안정성 해석, 서울대학교 석사학위논문.
- [4] 임상전 역(1971) : 기본조선학, 대한교과서주식회사.
- [5] 수산청(1995) : 표준어선형 연구개발(III).
- [6] 해양수산부(1997) : 생인력화 근해안강망어선 개발.
- [7] Abkowitz, M. A.(1972) : *Stability and Motion Control of Ocean Vehicles*, MIT Press.
- [8] Bishop, R. E. D. and Price, W.G.(1979) *Hydroelasticity of Ships*, Cambridge Univ. Press.
- [9] Goldstein, H.(1980) : *Classical Mechanics*, Addison-Wesley.
- [10] Lewis, E. V.(1989) : *Principles of Naval Architecture*, 2nd Rev. SNAME.
- [11] Newman, J. N.(1977) : *Marine Hydrodynamics*, MIT Press.
- [12] Newman, J. N.(1978) : *The Theory of Ship Motions, Advances in Applied Mechanics*, Vol.18, Academic Press.