

## 선미트롤어선의 운항 형태에 따른 거동 특성

박치완 · 김종화<sup>1</sup> · 김형석<sup>1</sup> · 강일권<sup>1\*</sup>

부경대학교 글로벌수산대학원 어업생산학과, 부경대학교 해양생산시스템관리학부

### Characteristics on the response of the stern trawler according to the state of its operation

Chi-Wan PARK, Jong-Wha KIM<sup>1</sup>, Hyong-Seok KIM<sup>1</sup> and Il-Kwon KANG<sup>1\*</sup>

*Department of Fishery Production Graduate School of Global Fisheries Pukyong National University, Busan 48513, Korea*

<sup>1</sup>*Div. of Marine Production System management, Pukyong National University, Busan 48513, Korea*

The aim of this research was to the experimental data using statistical and spectral analyzing method to get the motion reponses of a stern trawler in operation states such as drifting, sailing and trawling according to the wave height. In drifting, the significant and the maximum valuer of roll in beam sea increased according to the wave height, but those of pitch decreased. The response and the period of peak of roll in beam sea were increased, but those of pitch decreased. In navigation, the significant and maximum values of roll increased remarkably according to the wave height, but those of pitch changed a little. The response of roll was highest in quartering sea, beam sea and then following sea, but those of pitch was highest in bow sea, head sea and then beam sea in the order of all wave heights. The period of peak of roll due to the wave height and the wave direction changed from 3.8 to 9.9 seconds, and those of pitch changed from 3.3 to 10.4 seconds. In trawling, the significant and maximum values of roll increased a little according to the wave height, but those of pitch increased significantly. The response of roll was highest in beam sea, bow sea and then quartering sea, but those of pitch was highest in head sea, following sea, and then beam sea in the order. The period of peak of roll due to the wave height and the direction changed from 6.6 to 10.9 seconds, and those of pitch changed from 6.7 to 11.2 seconds.

Keywords : Roll, Pitch, Significant and maximum value, Response, Period of peak

#### 서론

선박은 항행 중, 파도, 바람 및 조류 등의 외력을 받으며, 이에 따라 여러 가지 동요 운동을 하게 된다. 이들 외력에 대한 선체의 운동 성능, 즉 내항성능은 일반 대형 상

선에 비하여 상대적으로 파랑의 영향을 많이 받는 어선에 대한 연구가 부족한 실정이다. 우리나라 중앙해양안전심판원의 2008~2015년 해양사고 사례집을 보면 우리나라 전체 해양사고의 71.2%가 어선에서 발생하고 있으며, 특

\*Corresponding author: [ikkang@pknu.ac.kr](mailto:ikkang@pknu.ac.kr), Tel: +82-51-629-5895, Fax: +82-51-629-5885

히 트롤어선과 저인망 어선과 같은 예망어선에서 전체 어선사고의 11.3%가 발생하고 있다. 또한 이 두 업종에서 발생하는 전복사고와 침몰사고의 비율은 24.5%를 차지하여 다른 업종에 비해 해양사고의 발생빈도가 매우 높았다 (Park et al., 2016). 예망 어선에서 발생하는 전복과 침몰 사고의 직접적인 원인은 예망 시 횡경사에 의한 복원성 상실, 양망 시 갑판에 올라온 어류의 적재 상태 불량에 따른 복원성 상실, 추파를 받으면서 예망할 경우에는 갑판에 침투한 해수가 기관실로 유입되어 기관고장에 의한 복원성 상실과 조종성능 악화 등을 들 수 있다 (Kang, 2016; Park et al., 2014). 그리고 인적 요인으로 어선이 해양의 파랑, 바람, 조류 등의 환경 아래서 조업 혹은 항행하는데 필요한 자선의 내항성능 파악에 소홀한 것을 들 수 있다. 트롤어선은 항해와 예망과 같은 운항 조건에 따라 외력에 대해 서로 다르게 응답하는 한편, 외력인 파고와 선속의 변화에 따라서 역시 선체 응답의 정도가 달라질 것이다. 따라서 선박의 운항 조건과 외력의 조건에 따라 선체 응답 특성을 정확히 파악해 두는 것은 자선의 안전한 운항을 담보하는 중요한 요소의 하나가 될 것이다.

이 연구에서는 선미식 트롤선을 대상으로 실선시험에서 각각 다른 운항 상태와 파랑, 파도의 만남각 그리고 선속에 따른 횡동요와 종동요를 측정하여 운항 상태의 차이에 따른 선체 응답의 양상을 분석하여 선미식 트롤어선의 운항 형태에 따른 거동 특성을 비교하고자 한다.

### 재료 및 방법

#### 선형 입출력 관계

바람, 파도 등의 외력에 의한 선체 움직임은 불규칙 운동이며, 이와 같은 불규칙 운동에 대하여 입·출력 시스템을 Fig. 1과 같이 적용하였다.

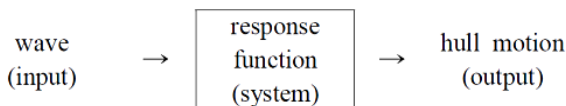


Fig. 1. Diagram of input-output system.

#### 선체 응답스펙트럼 계산

이 연구에서 선수파일 때의 만남각 ( $\chi$ )은  $180^\circ$ , 선수사파는  $135^\circ$ 와  $225^\circ$ , 횡파는  $90^\circ$ 와  $270^\circ$ , 선미사파는  $45^\circ$ 와  $315^\circ$ , 선미파는  $0^\circ$ 로 한다. 이때, 만남 주파수 ( $\omega_e$ )와 원주파수 ( $\omega$ ) 사이에는 다음의 식이 성립한다.

$$\omega_e = \omega \left( 1 - \frac{V\omega}{g} \cos\chi \right) \quad (1)$$

여기서  $V$ 는 선속,  $g$ 는 중력가속도이다.

또한  $\omega$ 를 갖는 에너지 스펙트럼 ( $S_\zeta(\omega)$ )과 만남파 스펙트럼 ( $S_\zeta(\omega_e)$ ) 사이에는 다음의 관계가 성립된다.

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

한편, 선미파와 횡파에서는  $\cos\chi > 0$ 이므로  $\omega_e$ 가 음의 값이 되어 이때는  $\omega_e$ 와  $S_\zeta(\omega_e)$ 를 다음과 같이 계산한다.

$$\omega_e = \omega \left| 1 - \frac{\omega V}{g} \cos\chi \right| \quad (3)$$

$$S_\zeta(\omega_e) = \frac{S_\zeta(\omega)}{|1 - (2\omega V/g) \cos\chi|} \quad (4)$$

이 연구에서는 실선시험에서 관측한 유의파고와 평균파 주기를 이용하여 다음과 같이 표시되는 ISSC 스펙트럼을 이용하였다.

$$S_\zeta(\omega) = 0.11 H_w^2 \omega_1^{-1} \left( \frac{\omega}{\omega_1} \right)^{-5} \exp \left[ -0.44 \left( \frac{\omega}{\omega_1} \right)^{-4} \right] \quad (5)$$

여기서  $\omega_1$ 는 평균 주파수,  $H_w$ 는 유의파고이다.

파에 대한 자료는 관측한 풍속 자료로 식 (6)의 Pierson-Moskowitz식과 WMO (세계기상기구) code 1100을 이용하여 유의파고와 평균파주기를 계산하였다.

**Table 1. Specification of training vessel KAYA**

Principal dimension	
Length(L.O.A)	81.7 m
Length(Lpp)	72.5 m
Breadth(MLD)	13.2 m
Gross tonnage	1,737 tons
Displacement	2,374 tons
Draft fore	4.6 m
aft	5.4 m
GM	0.89 m
KG	5.41 m
Cb	0.535
CM	0.860
Main engine	2,976 HP
Cruising speed	13.7 knots

$$T_{01} = 3.86 \sqrt{H_{1/3}} \quad (6)$$

여기서  $T_{01}$ 는 평균파 주기이다.

**시험 및 자료의 취득**

실선시험은 부경대학교 실습선 가야호 (Table 1)를 이용하여 2015년 6월 27일부터 동년 9월 17일까지 승선실습 중에 우리나라 남해안 해역에서 시행하였으며, 표류, 항해 그리고 조업 (예망)의 3가지 운항 상태에서 선박의 동요를 관측하였다. 실선시험은 파고가 너무 높으면 안전상 조업을 할 수 없고, 반면에 파도가 없는 경우는 계측 동요에 유의한 차이가 없으므로 파고의 범위는 항해 시에는 1.5 m, 2.0 m, 2.5 m로, 표류와 조업 시에는 1.5 m,

2.0 m로 한정하였다. 또한 선박이 표류 중일 경우에는 수평면적이 가장 큰 현의 정횡으로 바람을 받게 되므로 횡파에 대해서만 계측하였다.

선박 동요의 계측은 선박의 중심 (G) 위치에서 측정하는 것이 보통이지만, 이 시험은 선교 당직자들이 피부로 느끼는 선박 동요의 차이를 파악하고자 하는 것이 목적이므로, 선교의 중중심선에 설치하였으며, 동요의 계측에는 경사 센서 (Power Test dynamometer, USA, EZ-COMPASS-3A)를 사용하였다.

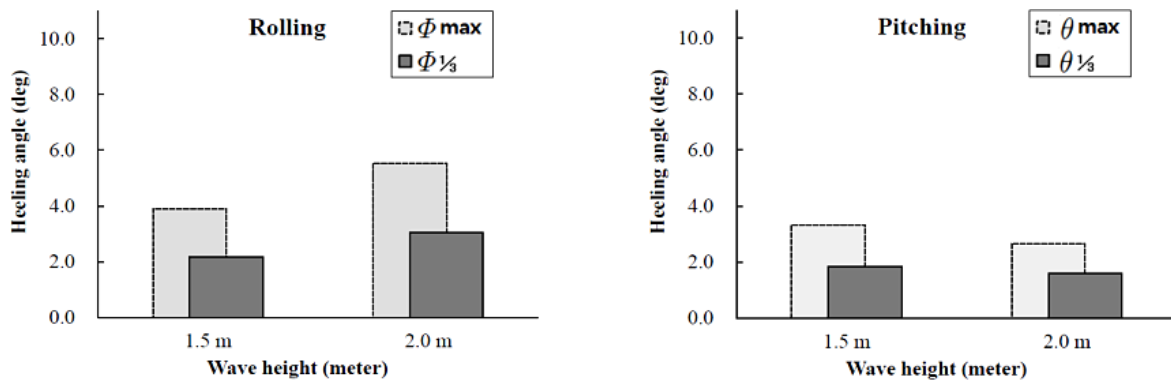
선박 동요의 계측은 표류, 항해 및 조업의 3가지 운항 상태에 따라 파고와 파향에 대한 횡동요와 종동요의 진폭을 10분간씩 수행하되, 선체의 동요 주기, 진폭, 감쇠 상황은 파랑의 진행 방향이 선수미선에 대하여 대칭일 때 서로 비슷한 경향을 나타내고 있으므로 한쪽 방향의 만남각에 대해서만 계측하였다. 데이터 sampling 간격은 0.2 sec로 하여 PC에 실시간으로 저장하였으며, 이들 동요의 데이터에 대하여 시계열 해석을 행하였다.

시험 중, 선속은 항해 시 9.5 kt, 예망 시 3.5 kt로 맞추었으며, 시험 전에 시험선을 표류시켜 바람과 파랑 정보를 조사하여 해면이 안정된 상태의 자료만 선택하여 실험 당시의 풍속 및 유의파고와 평균파 주기를 파악하였다.

**결과 및 고찰**

**표류 중일 때의 동요 특성**

표류 중, 선박의 횡동요와 종동요 특성을 Fig. 2와 같이 나타내었으며, 유의치 ( $\phi_{1/3}$ ,  $\theta_{1/3}$ )와 최대치 ( $\phi_{max}$ ,



**Fig. 2. Maximum and significant values of rolling and pitching on beam sea in drifting.**

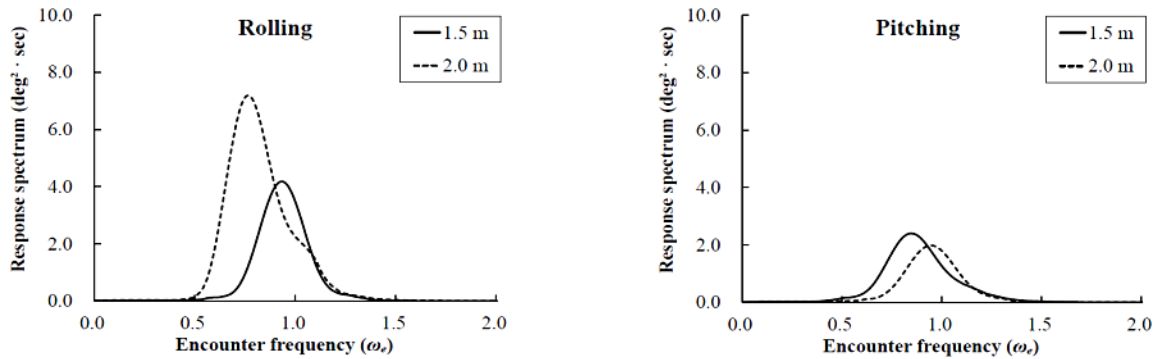


Fig. 3. Response spectra of rolling and pitching motion on beam sea in drifting.

$\theta_{max}$ )로 나타내었다. 파고가 높아짐에 따라 횡동요각의 최대치는 3.9°에서 5.5°로, 유의치는 2.2°에서 3.1°로 모두 증가하였으나, 종동요각의 최대치는 3.3°에서 2.7°로, 유의치는 1.9°에서 1.6°로 모두 감소하였다.

또한 선박의 응답 스펙트럼을 Fig. 3과 같이 나타내었으며, 횡측은 만남 주파수 ( $\omega_e$ ), 종측은 각 주파수에 대한 동요각의 2승 값이다. 파고가 높아짐에 따라 횡동요의 응답 크기와 peak 주기는 4.2, 6.7 sec에서 7.2, 8.2 sec로 증가하였으나, 종동요의 응답 크기와 peak 주기는 2.4, 7.5 sec에서 2.0, 6.7 sec로 감소하였다.

#### 항해 중일 때의 동요 특성

항해 중, 선박의 횡동요와 종동요의 특성을 Fig. 4와 같이 나타내었다. 횡동요의 크기를 파도의 높이 (1.5 m, 2.0 m, 2.5 m)에 따라 살펴보면, 선미사파 (최대치 7.63°, 8.64° 및 10.01°. 유의치 6.31°, 6.83° 및 7.52°), 정횡파 (최대치 6.65°, 7.27° 및 8.01°. 유의치 4.32°, 4.92° 및 5.77°), 선미파 (최대치 5.13°, 6.17° 및 6.85°. 유의치 2.90°, 3.50° 및 4.23°), 선수사파 (최대치 2.41°, 3.53° 및 4.31°. 유의치 1.41°, 2.32° 및 2.68°), 선수파 (최대치 1.97°, 2.42° 및 3.70°. 유의치 1.13°, 1.86° 및 2.43°) 순으로 나타났다. 종동요의 경우는 선수사파 (최대치 5.01°, 5.80° 및 6.83°. 유의치 2.77°, 4.01° 및 4.81°), 선수파 (최대치 4.64°, 5.05° 및 6.48°. 유의치 2.59°, 3.61° 및 4.55°),

정횡파 (최대치 3.24°, 4.40° 및 5.96°. 유의치 2.17°, 3.11° 및 4.02°), 선미사파 (최대치 2.32°, 3.47° 및 4.00°. 유의치 1.50°, 2.26° 및 3.08°), 선미파 (최대치 1.83°, 2.04° 및 2.47°. 유의치 1.05°, 1.27° 및 1.36°) 순으로 나타났다.

또한 항해 중 선박의 응답스펙트럼을 Fig. 5와 같이 나타내었으며, 파도의 높이에 따른 횡동요의 응답크기는 선미사파 (19.2, 29.9 및 38.0), 정횡파 (13.2, 25.1 및 28.4), 선미파 (10.3, 17.8 및 15.1), 선수사파 (4.7, 6.6 및 8.1), 선수파 (3.1, 4.3 및 4.8) 순이었다. peak 주기의 경우, 선미사파 (4.0, 4.0 및 3.8 sec), 선미파 (4.3, 4.3 및 4.0 sec), 정횡파 (8.3, 8.3 및 7.8 sec), 선수사파 (9.6, 9.6 및 7.8 sec), 선수파 (9.9, 9.9 및 9.5 sec) 순으로 나타났다. 종동요의 응답크기는 선수사파 (5.9, 12.6 및 16.5), 선수파 (5.4, 9.4 및 13.7), 정횡파 (4.4, 7.2 및 12.1), 선미사파 (3.2, 4.8 및 5.8), 선미파 (1.4, 3.1 및 3.7) 순이었다. peak 주기의 경우, 선미사파 (3.3, 3.4 및 3.4 sec), 선미파 (3.4, 3.5 및 3.6 sec), 정횡파 (7.1, 6.4 및 7.5 sec), 선수사파 (8.5, 8.0 및 8.9 sec), 선수파 (10.4, 8.4 및 10.4 sec) 순으로 나타났다.

이러한 결과는 선미식 트롤선의 해양파 중 동요특성에 관한 연구 (Kang, 1997), 선미식 트롤선의 항해 중 파고와 선속에 따른 선체 동요특성 (Kang, 2000), 파의 조우각과 선속 변화에 따른 어선의 횡동요 특성 (Kang, 2007)에서 구명한 횡동요의 최대치는 정횡파에서, 종동요의 최대치는 선수파에서 일어난다는 것과는 약간의 차이를 보

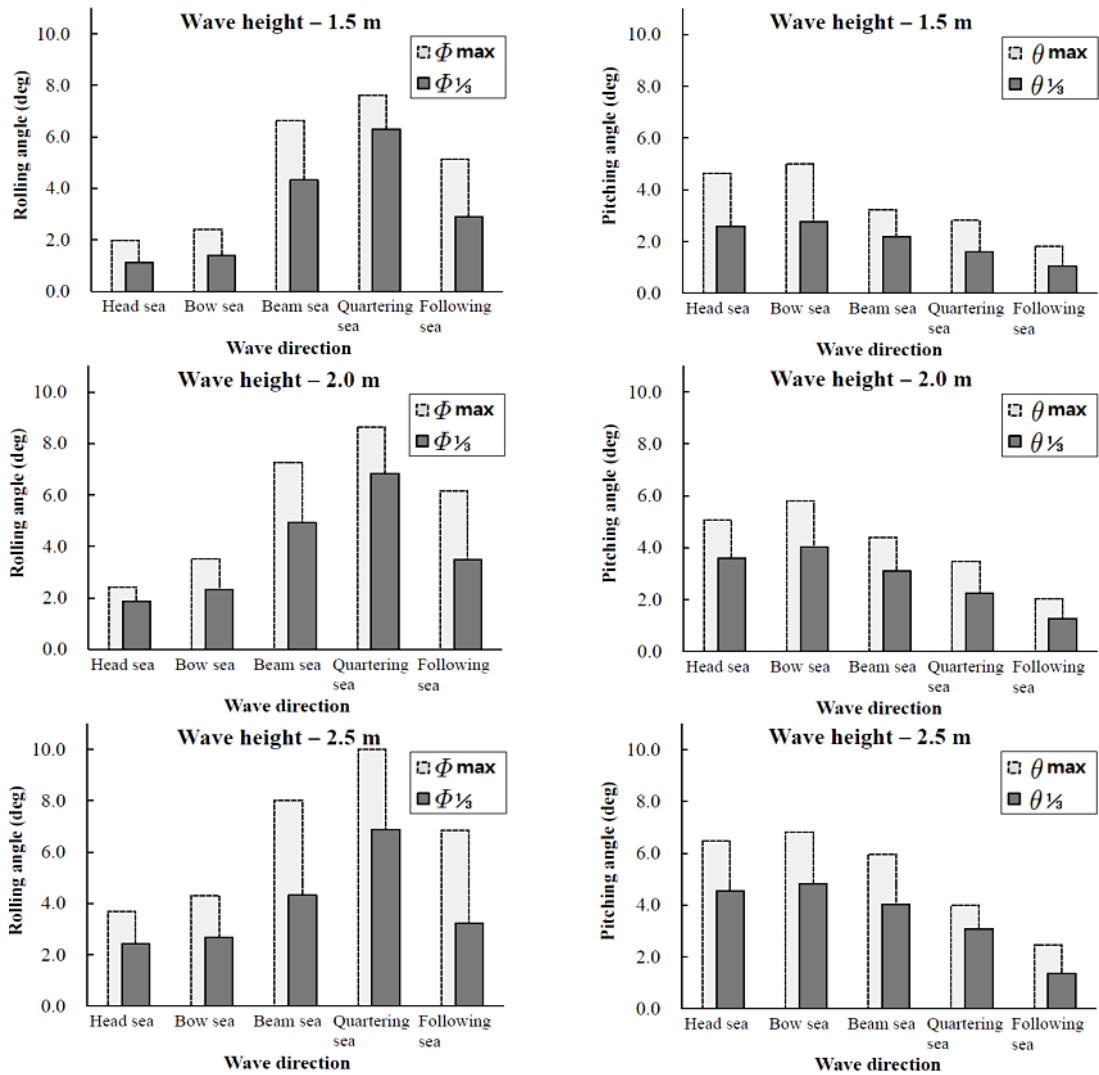


Fig. 4. The maximum and significant values of the rolling and the pitching on sailing condition in each wave height.

이며, 이러한 동요특성의 차이는 조선자의 조선방법, 시험 당시 주변의 환경적인 영향이 있을 것으로 사료되며, 추가적인 연구가 더 이루어져야 할 것으로 사료된다.

#### 예망 중일 때의 동요 특성

예망 중, 선박의 횡동요와 종동요의 특성을 Fig. 6과 같이 나타내었다. 횡동요의 크기를 파도의 높이 (1.5 m, 2.0 m)에 따라 살펴보면, 정횡파 (최대치 5.12°, 5.91°. 유의치 4.09°, 4.34°), 선수사파 (최대치 3.84°, 4.62°. 유의치 2.06°, 2.51°), 선미사파 (최대치 3.05°, 3.86°. 유의치 1.90°, 2.22°), 선수파 (최대치 2.64°, 3.04°. 유의치

1.49°, 1.95°), 선미파(최대치 2.48°, 2.93°. 유의치 1.25°, 1.84°) 순으로 나타났다. 종동요의 경우는 선수파 (최대치 3.89°, 4.78°. 유의치 2.62°, 3.34°), 선미파 (최대치 3.30°, 4.54°. 유의치 1.84°, 3.14°), 선수사파 (최대치 2.50°, 3.81°. 유의치 1.50°, 3.03°), 선미사파 (최대치 2.20°, 3.60°. 유의치 1.24°, 2.71°), 정횡파 (최대치 1.80°, 2.58°. 유의치 1.10°, 2.01°) 순으로 나타났다.

또한 선박의 응답스펙트럼을 Fig. 7과 같이 나타내었으며, 파도의 높이에 따른 횡동요의 응답크기가 파도 높이 1.5 m에서는 정횡파 (4.8), 선수사파 (3.2), 선미사파

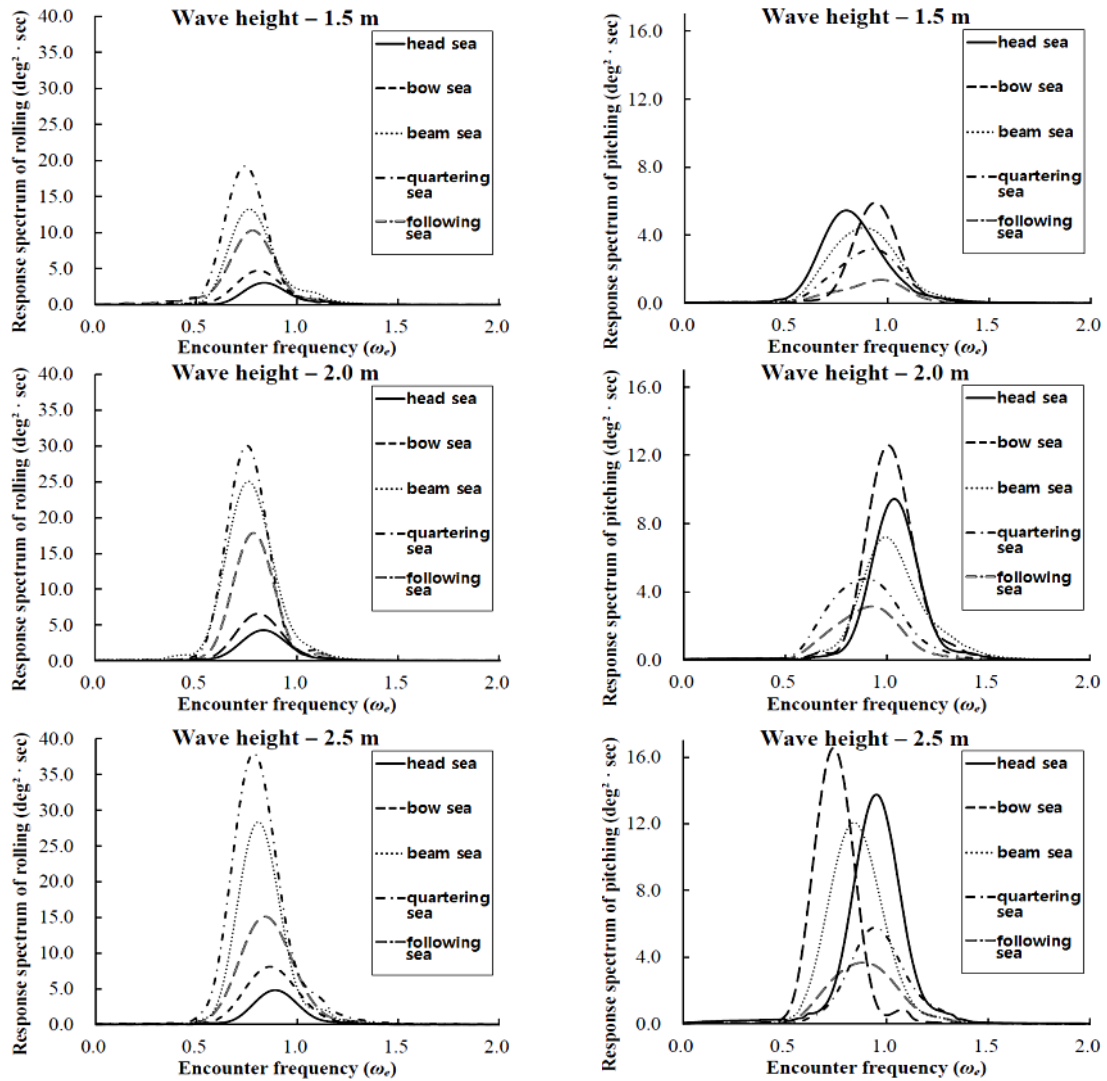


Fig. 5. Response spectra of rolling and pitching motion on sailing condition in each wave height.

(2.3), 선수파 (1.8), 선미파 (0.8) 순으로 나타났으며, 2.0 m에서는 정횡파 (6.5), 선수사파 (2.9), 선미사파 (2.5), 선미파 (2.3), 선수파 (1.3) 순으로 나타났다. peak 주기의 경우, 1.5 m에서는 정횡파 (6.6 sec), 선수파 (7.2 sec), 선미파 (8.7 sec), 선수사파 (8.7 sec), 선미사파 (10.2 sec) 순으로 나타났으며, 2.0 m에서는 선수사파 (7.1 sec), 정횡파 (8.5 sec), 선수파 (8.5 sec), 선미사파 (9.4 sec), 선미파 (10.9 sec) 순으로 나타났다. 종동요의 응답크기를 파도의 높이 (1.5 m, 2.0 m)에 따라 살펴보면, 선수파 (4.6, 5.9), 선미파 (3.3, 4.2), 선수사파 (1.7, 3.5), 선미사

파 (1.4, 3.4), 정횡파 (1.0, 1.9) 순으로 나타났다. peak 주기의 경우, 파도 높이 1.5 m에서는 선수사파 (6.7 sec), 정횡파 (6.7 sec), 선수파 (7.2 sec), 선미파 (9.6 sec), 선미사파 (11.2 sec) 순으로 나타났으며, 2.0 m에서는 정횡파 (7.3 sec), 선수사파 (8.3 sec), 선미사파 (8.5 sec), 선미파 (9.1 sec), 선수파 (9.3 sec) 순으로 나타났다.

예망 중의 횡동요와 종동요의 응답 스펙트럼의 최대치와 최소치 모두 항해 중에 비하여 매우 적은 값을 보이는 것은 예망 중, 선미 방향으로 작용하는 어구의 장력에 의한 저항이 크게 작용하기 때문이라고 사료되며,



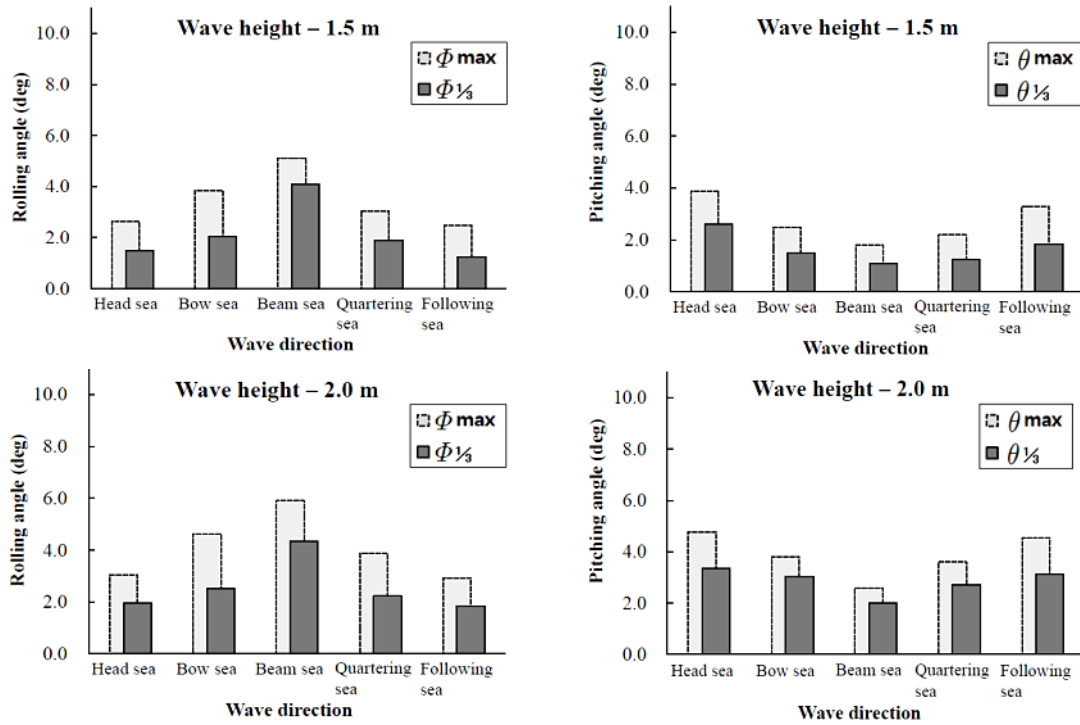


Fig. 6. The maximum and significant values of the rolling and the pitching on trawling condition in wave height 1.5 m and 2.0 m.

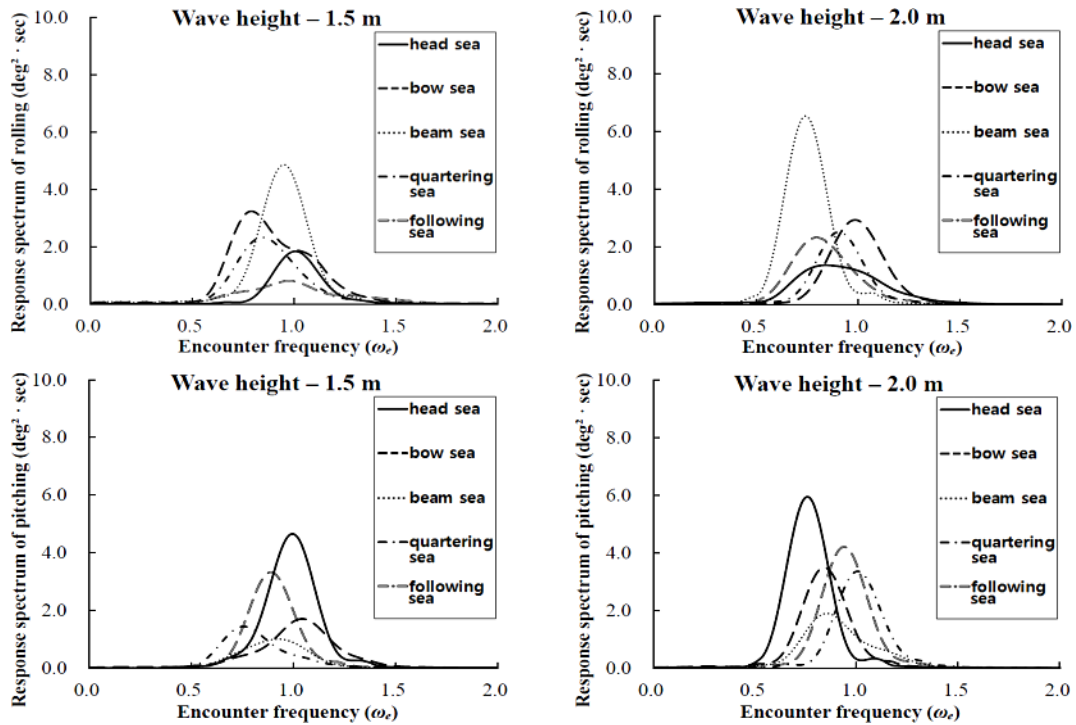


Fig. 7. Response spectra of rolling and pitching motion on trawling condition in wave height 1.5 m and 2.0 m.

어구의 장력 저항이 미치는 정도에 관해서는 추가적인 연구가 더 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 결론

선미식 트롤선을 대상으로 표류, 항해 및 예망 중일 때의 선박과 파고와 파향에 따른 선체 응답특성을 실선 시험으로 측정 및 다음과 같이 분석하였다.

표류 중에는 파고가 높아짐에 따라 횡동요각의 최대치와 유의치가 모두 증가하였으나, 종동요각의 최대치와 유의치는 모두 감소하였다. 또한 파고가 높아짐에 따라 횡동요 응답 스펙트럼의 크기와 peak 주기는 증가하였으나, 종동요의 응답 스펙트럼의 크기와 peak 주기는 감소하였다.

항해 중에는 파고가 높아짐에 따라 횡동요각의 최대치와 유의치는 모두 크게 증가하였으나, 종동요각의 최대치와 유의치는 모두 미세하게 증가하였다. 횡동요의 응답은 파고의 크기와 상관없이 선미사파에서 최대를 나타내었고, 다음으로 정횡파, 선미파, 선수사파, 선수파 순이었다. 종동요의 응답은 파고의 크기와 상관없이 선수사파에서 최대를 나타내었고, 다음으로 선수파, 정횡파, 선미사파, 선미파의 순으로 나타났다. 횡동요의 peak 주기는 파고와 파향에 따라서 3.8~9.9 sec로 변하였으며, 종동요의 peak 주기는 3.3~10.4 sec로 변하였다.

예망 중에서는 파고가 높아짐에 따라 횡동요각의 최대치와 유의치는 모두 소폭 증가하였으나, 종동요각의 최대치와 유의치는 모두 크게 증가하였다. 횡동요의 응답은 파고의 크기와 상관없이 정횡파에서 최대를 나타내었고, 다음으로 선수사파, 선미사파, 선수파, 선미파의 순이었다. 종동요의 응답은 파고의 크기와 상관없이 선수사파에서 최대를 나타내었고, 다음으로 선미파, 선수사파, 선미사파, 정횡파의 순이었다. 횡동요의 peak 주기는 파고와 파향에 대하여 6.6~10.9 sec로 변하였으며, 종동요의 peak 주기는 6.7~11.2 sec로 변하였다.

이상과 같이 살펴본 결과 시험선은 항해 중과 예망 중의 동요 응답, peak 주기와 대역폭에 약간의 차이가 있으므로 조선자는 이 사실을 고려하여 선박을 운용해야 할

것이다. 그리고 선미트롤어선의 동요 특성에 대한 일반적인 경향을 추출하기 위해서는 추가적인 연구가 더 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## References

- Kang IK. 1997. A study on the characteristics of motion response of stern trawlers in seas. Ph.D. Thesis, Korea Maritime University, Korea, 113.
- Kang IK and Park BS. 2000. The characteristics of motion response of stern trawlers according to the wave height and the ship's speed in the sea. *J Fish Mar Sci Edu* 12(22), 77-90.
- Kang IK and Park BS. 2002. A study on the characteristics of motion response of stern trawlers in following seas. *J Korean Soc Fish Technol* 38(3), 226-233. (DOI:10.3796/ksft.2002.38.3.226)
- Kang IK, Kim HS, Kim MS, Lee YW, Kim JC, Jo HJ and Lee CK. 2007. Characteristics on the rolling response of a small fishing boat according to the waves and the ship's speed. *J Korean Soc Fish Technol* 43(1), 62-70. (DOI:10.3796/ksft.2007.43.1.062)
- Kang IK. 2016. Marine casualties of fishing vessel according to the type of fishing job in Korea, Marine Accidents caused by Human factors. International Maritime Safety Conference.
- Park BS, Kang IK, Ham SJ and Park CW, 2014. The main factor and counterplan for marine casualties of fishing vessel according to the type of fishing job in Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 50(3), 252-261. (DOI:10.3796/ksft.2014.50.3.252)
- Park BS, Kang IK, Ham SJ, Park CW, Kim SH and Cho HK. 2016. The main factor and counterplan for marine casualties of fishing vessel according to the type of fishing gear in Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 52(3), 232-240. (DOI:10.3796/ksft.2016.52.3.232)
- Rawson Tupper. 2001. Basic ship theory vol 2. Longman Group Limited, London, England, 486-495.
- Son KH. 1998. Dynamics of the ocean wave, Busan, Korea, 111-197.
- Yun JD. 1996. Theory and practice of ship maneuvering, Busan, Korea, 176-212.
- Motora Seizo. 1987. Dynamics of the hulls and marine structures, Tokyo, Japan, 185-237.

2016. 10. 24 Received  
2016. 11. 28 Revised  
2016. 11. 28 Accepted