creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:21031-000002301488

이학석사 학위논문

선미트롤어선의 운항 형태에 따른 거동 특성

2016년 6월

부경대학교 글로벌수산대학원

어 업 생 산 학 과

박 치 완

이학석사 학위논문

선미트롤어선의 운항 형태에 따른 거동 특성

지도교수 강 일 권

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함

2016년 6월

부경대학교 글로벌수산대학원

어 업 생 산 학 과

박 치 완

이 논문을 박치완의 이학석사
학위논문으로 인준함

2016년 6월

주 심 공 학 박 사 김 종 화 (인)

위 원 수산학박사 김 형 석 (인)

위 원 공 학 박 사 강 일 권 (인)

목 차

Abstract ····· ii

제1장 서론 ····· 1

제2장 재료 및 방법 ····· 3

1. 이론 ····· 3
1.1 선형 입출력 관계 ····· 3
1.2 선박과 파도의 만남주파수 ····· 4
1.3 만남주파수에 대한 파에너지 스펙트럼 ····· 6
1.4 선미파 중에서의 스펙트럼 계산 ····· 7
1.5 선체 응답 스펙트럼 ····· 8
1.6 파랑 정보 ····· 9
2. 실험 및 분석 방법 ····· 10
2.1 실선실험 개요 ····· 10
2.2 계측 장치 ····· 11
2.3 데이터 처리 방법 ····· 13

제3장 결과 및 고찰 ····· 14
1. 표류중일 때의 동요특성 ····· 14
2. 항해중일 때의 동요특성 ····· 16
2.1 유의파고 1.5m일 때 ····· 16
2.2 유의파고 2.0m일 때 ····· 20
2.3 유의파고 2.5m일 때 ····· 24
3. 예망중일 때의 동요특성 ····· 28
3.1 유의파고 1.5m일 때 ····· 28
3.2 유의파고 2.0m일 때 ····· 32

제4장 결론 ····· 36

감사의 글 ····· 38

참고문헌 ····· 39

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

Chi-Wan PARK

Department of Fishery Production
Graduate School of Global Fisheries
Pukyong National University

Abstract

Fishing vessels occupied about 70% or more of the total casualties according to the marine accident statistics in the last 10 years in Korea.

Dragging fishing vessels such as the stern trawler and the drag boat occupied about 25% of the casualties of capsizing and sinking in the statistics.

The main factors of the casualties by those fishing vessels are based on the wave and wind mostly, but if look into the factors more strictly, the causes arrive at the human factor that the fish men concentrate the catching job entirely in the fishing ground without grasping the sea keeping quality of own ship certainly.

But it is very important to investigate the hull response of a fishing vessel in rough seas for ensuring the safe navigation, fishing operation and preserving the excellent sea keeping qualities.

For this purpose, author measured rolling and pitching responses of the vessel in waves using real sea experimental measuring system.

In real sea experiments, the stern trawler, Kaya(1,737GT), training vessel of Pukyong national university was used.

The experiments were carried out in the adjacent waters off Korea during the cadets on board training times.

The author analyzed the experimental data using statistical and spectral analyzing method to get the characteristics of the motion responses of her

according to the state of its operation.

The results were summarized as follows ;

(1) In drifting situation, the significant and the maximum values of rolling were increased according to the wave height, but those of pitching were decreased. In addition, the response and the period of peak of rolling motion due to the wave height were increased, but those of pitching were decreased.

(2) In navigation situation, the significant and maximum values of rolling were increased according to the wave height, but those of pitching were little changed. In addition, the response of rolling motion had the highest in the quartering sea, and then beam sea, following sea, bow sea and head sea in the order, the response of pitching motion was the highest in the bow and the head sea, and then beam sea, following sea, quartering and beam sea in the order in all wave height.

The period of peak of rolling motions due to the wave height and wave direction were a little changed as the seconds of 3.8~9.9, and those of pitching motions were also little changed as the seconds of 3.3~10.4.

(3) In trawling situation, the significant and maximum values of rolling were a little increased according to the wave height, but those of pitching were much increased. In addition, the response of rolling motion was highest in beam sea, and then bow sea, quartering sea, head sea and following sea in the order, the response of pitching motion was highest in head sea, and then following sea, beam sea, quartering sea and bow sea in the order in both waves height.

The period of peak of rolling motions due to the wave height and wave direction were a little changed as the seconds of 6.6~10.9, and those of pitching motions were also a little changed as the seconds of 6.7~11.2.

(4) Comparing the flutter characteristics at navigation situation with at trawling situation, it occur maximum values of rolling and the response of rolling from quartering sea at navigation situation, but those of maximum values of pitching and the response of pitching from beam sea at trawling situation. Bandwidth of the response of rolling to peak was narrow at navigation situation, but it was broader at trawling situation.

Meanwhile it occur maximum values of pitching and the response of pitching from bow sea at navigation situation, but those of maximum values of pitching and the response of pitching from head sea at trawling situation. Both generally bandwidth of the response of pitching to peak was broader.

The results of the study, there were some differences between the response and the period of peak and the bandwidth from navigation situation and trawling situation. Therefore, operator have to handle vessel by considering these facts, and it will be necessary that a study to be made more to extract the general trend of the characteristics on the response of the stern trawler.

제1장 서 론

선박은 항행 중 파도, 바람 및 조류 등의 외력을 받으며, 이에 따라 여러 가지 동요 운동을 하게 된다. 기상이 악화되는 경우에는 동요가 심해져 파랑 충격, 해수 침입 혹은 과도한 동요에 의해 선체, 화물 등의 손상을 입게 되는 경우도 발생한다.

이들 외력에 대한 선체의 운동 성능, 즉 내항성의 연구는 이제까지 주로 일반 대형 상선을 중심으로 이루어져 왔으며, 상대적으로 파랑의 영향을 많이 받는 소형 어선에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

어선은 일반 상선과 다른 운항 조건, 즉 각종 어구, 어업기기를 선상에 배치하여 황천 중에도 무리하게 조업을 하는 일이 많으며, 조업 중 급변하는 천후에 신속히 안전 대책을 강구해야 하는 경우도 있기 때문에 어선에는 상선의 통상적인 항행 성능에 부가하여 조업 수행에 따라 일어나는 복잡한 운동성능과 황천에 대한 충분한 감항능력도 함께 보유해야 할 것이다.

어선의 해양사고의 대부분은 대양에 있어서 바람과 파도가 중요한 원인으로 되고 있지만, 현실적으로 볼 때 조선자가 어로 작업에 더 큰 비중을 두고 어선의 안전성 혹은 감항성을 무시한 무리한 항행과 조선이 그 원인이 되는 경우가 많다.

우리나라 중앙해양안전심판원에서 발행된 2008~2015년 해양사고 사례집을 보면 우리나라 전체 해양사고의 71.2%가 어선에서 발생하고 있으며, 전체 어선 사고의 11.3%가 트롤어선과 기선저인망 어선과 같은 예망 어선에서 발생하고 있다. 또한 이 두 업종의 어선이 전복사고와 침몰사고를 일으킨 비율이 24.5%를 차지하여 다른 업종에 비해 해양사고의 발생빈도가 매우 높았다.

예망 어선에서 발생하는 전복과 침몰사고의 직접적인 원인은 예망시 횡경사에 의한 복원성 상실, 양망시 갑판에 올라온 어류의 적재 상태 불량에 따른 복원성 상실, 추파를 받으며 예망시 갑판에 침투한 해수가 기관실로 유입되어 기관고장에 의한 복원성 상실과 조종성능 악화 등

을 들 수 있다. 그리고 간접적인 원인은 여러 가지가 있으나, 조선자의 인적인 요인으로 어선이 해양의 파랑, 바람, 조류 등의 환경 아래서 조업 혹은 항행하는데 필요한 성능, 즉 자선의 내항성능 파악에 소홀한 것을 들 수 있다. 따라서 항해 또는 조업 중의 안전을 위하여 자선의 내항성에 대해서 현실적인 자료를 바탕으로 보다 정확하게 평가해 두어야 할 필요가 있다.

예망 어선은 항해와 예망과 같은 운항 조건에 따라 외력에 대해 서로 다르게 응답하는 한편, 외력인 파고와 선속의 변화에 따라서 역시 선체 응답의 정도가 달라질 것이다.

따라서 선체 응답특성을 선박의 운항 조건과 외력의 조건에 따라 정확히 파악해 두는 것은 자선의 안전한 운항을 담보하는 중요한 요소의 하나가 될 것이다.

그러므로 본 연구에서는 선미식 트롤선을 대상으로 하여 각각 다른 운항 상태와 파랑, 그리고 파도의 만남각에 따른 횡동요와 종동요각을 측정하여 운항 상태의 차이에 따른 선체 응답의 양상을 통계적인 수법으로 분석하였다. 또한, 실선실험에서 선박의 운항 상태는 표류, 항해 그리고 예망 중으로 분류하고, 파고와 파도와의 만남각, 그리고 선속을 또 다른 변수로 하여 선미트롤어선의 파랑에 대한 선체 응답의 차이를 상호 비교함으로써 선미식 트롤어선의 운항 형태에 따른 거동 특성을 밝히고자 한다.

제2장 재료 및 방법

1. 이론

1.1 선형 입출력 관계

항주 중 파랑이나 바람과 같은 외력에 의해서 발생하는 선체 움직임은 불규칙 운동이다. 이와 같은 불규칙 현상에 대하여 입·출력 시스템을 적용하면 입력으로서는 파랑이 되고, 시스템을 통한 출력으로는 선체 운동이 된다. 입력과 출력의 사이에는 Fig. 1과 같이 주파수응답함수가 작용된다.

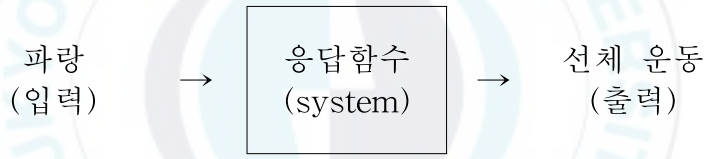

Fig. 1. Diagram of input-output system.

이러한 입·출력 시스템이 성립하기 위해서는 시스템은 선형적이어야 하며, 시불변(time invariant)해야 한다는 점이다. 따라서 여기서는 입력되는 양에 따라 출력되는 양이 비례하고, 어떤 시간( )에 입력을 가하여 그에 따른 출력이 경과 시간$(t+\tau)$으로 나왔다면, 시간$(t+\sigma)$에 가해진 입력에 대한 출력은 경과 시간$(t+\sigma+\tau)$에 나온다고 하는 가정이 성립한다.

1.2 선박과 파도의 만남주파수

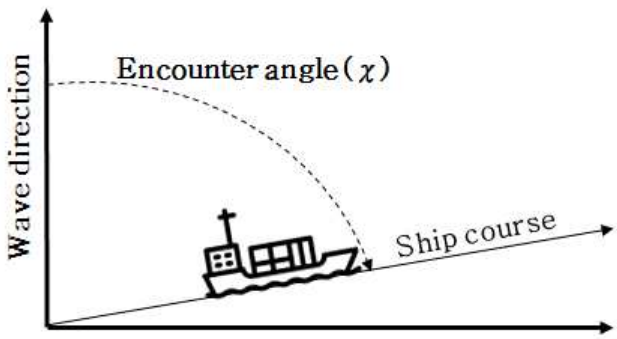

Fig. 2. Description of encounter angle

파의 진행방향과 선박의 항행 방향과 이루는 각을 만남각(Encounter angle,)이라 하며, Fig. 2와 같이 나타낸다. 여기서 χ는 크기에 따라 다음과 같은 관계가 있다.

선 미 파(following sea)	$\chi = 0^\circ$
우현횡파(starboard beam sea)	$\chi = 90^\circ$
좌현횡파(port beam sea)	$\chi = 270^\circ$
선 수 파(head sea)	$\chi = 180^\circ$
선미사파(following & quartering sea)	$\chi = 0^\circ \sim \pm 45^\circ$
선수사파(head & bow sea)	$\chi = 135^\circ \sim 225^\circ$

Fig. 2에서 선속 의 파도의 진행방향에 대한 성분은 $V\cos\chi$이며, 파의 상대속도는 $c - V\cos\chi$ 로 나타낼 수 있다. 이에 선박과 파의 만남주기(encounter period, T)는 식(1)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_e = \frac{\lambda}{c - V\cos\chi} \tag{1}$$

단, : 파도의 속도

λ : 파장

또한, 위의 식(1)에 대한 만남주파수(encounter frequency,)는 식(2)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega_e = \frac{2\pi}{e} = \frac{2\pi}{\lambda}(c - V\cos\chi) \tag{2}$$

심수해역(deep water)에서의 2차원 규칙파의 특성으로부터

$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega^2}{g}$, $c = \frac{\lambda}{T} = \omega \cdot (\frac{\lambda}{2\pi}) = \frac{\omega}{k}$ 의 관계가 성립되므로

$$\omega_e = \omega - k\,V\cos\chi = \omega - \frac{\omega^2}{g}\,V\cos\chi$$
$$= \omega(1-\eta) \tag{3}$$

단, $\eta = \omega\,V\cos\chi/g$

ω : 파도의 원주파수(circular frequency)

g : 중력가속도

k : 파수

따라서 만남 주파수와 파도의 원주파수 사이에는 다음의 식(4)가 성립한다.

$$\omega_e = \omega\,(1 - \frac{V\omega}{g}\cos\chi) \tag{4}$$

1.3 만남주파수에 대한 파에너지 스펙트럼

위의 식(4)에 의 미분을 취하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d\omega}{d\omega} = 1 - \frac{2\omega}{g} \cos\chi$$

$d\omega_e$ 에 대해서 정리하고 $\delta\omega_e$ 라 표기하면 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta\omega_e = (1 - \frac{2\omega V}{g}\cos\chi)\delta\omega \tag{5}$$

또한, 파도의 원주파수 ω를 갖는 에너지 스펙트럼의 미소면적 $S_\zeta(\omega)\delta\omega$과 ω에 대응하는 만남주파수 ω_e를 갖는 에너지 스펙트럼의 미소면적 $S_\zeta(\omega_e)\delta\omega_e$의 크기가 다음과 같이 동일하다면,

$$S_\zeta(\omega)\delta\omega = S_\zeta(\omega_e)\delta\omega_e \tag{6}$$

식(6)으로부터 만남주파수에 대한 파에너지 스펙트럼 즉, 만남파 스펙트럼(encountered wave spectrum, $S_\zeta(\omega_e)$)사이에는 다음의 식(7)이 성립한다.

$$\omega_e) = S_\zeta(\omega) \cdot (\frac{\delta\omega}{\delta\omega_e}) \tag{7}$$

식(7)에 식(5)을 대입하면, $S_\zeta(\omega_e)$와 $S_\zeta(\omega)$ 사이에는 다음의 관계가 성립된다.

$$S_\zeta(\omega_e) = S_\zeta(\omega) / (1 - \frac{2\omega V}{g}\cos\chi) \tag{8}$$

1.4 선미파 중에서의 스펙트럼 계산

선수파, 즉 파도의 입사각이 90°< χ < 270°에서는 원주파수와 입사각이 1대 1의 대응관계이므로, 선박의 응답 스펙트럼 계산에 별 다른 문제가 없다.

그러나 선미파와 선미사파, 즉 파도의 입사각이 0°< χ < 90°, 270°< χ < 360°에서는 cos > 0 이므로 만남주파수 ω 가 음이 되며, 이것은 선박이 파를 추월하는 것이다. ω_e가 음이 될 수는 없으므로, ω_e와 $S_\zeta(\omega_e)$를 다음과 같이 계산하여야 하며, 주파수 범위에 따라 영역을 나누어야 하며, Fig. 3과 같다.

$$\omega_e = \omega \left| 1 - \frac{\omega}{g} \cos\chi \right| \tag{9}$$

$$S_\zeta(\omega_e) = \frac{S_\zeta(\omega)}{|1-(2\omega V/g)\cos\chi|} \tag{10}$$

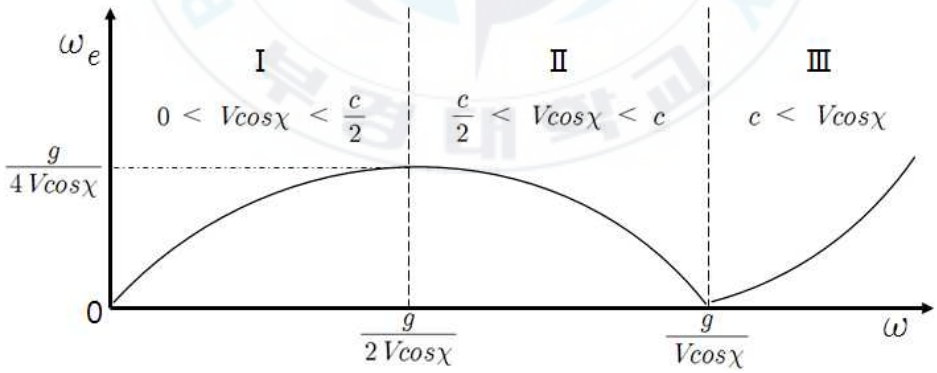

Fig. 3. Variation of encounter frequency(ω_e) to circular frequency(ω) for a ship in the following sea.

따라서 선미파, 선미사파에서는 각 영역별 스펙트럼을 순차 계산하여 이들을 합성하는 방법을 이용하여 만남파 스펙트럼을 구하여야 한다.

1.5 선체 응답 스펙트럼

불규칙파는 확률 과정으로써 약간의 시간 차이를 두고 각각의 기록으로부터 구한 통계학적 특성치가 서로 같다고 간주하는 정상설가설(stationary hypothesis)과 계의 모든 상태들에 대한 평균을 계산하여, 계의 시간통계를 유추할 수 있으며, 이것은 그 계의 전체를 대표하는 값으로 간주될 수 있다는 Ergode 가설을 만족한다고 하면, 선체 운동을 해석할 수 있는 선체응답스펙트럼을 구할 수 있다.

여기서, 횡동요 응답(roll response)에 관한 에너지 스펙트럼을 $S_{\phi}(\omega_e)$라 하면 만남파 스펙트럼과 횡동요의 응답 스펙트럼 사이에는 다음의 식이 성립한다.

$$\omega_e) = S_{\zeta}(\omega_e) \cdot | H(\omega_e) |^2 \qquad (11)$$

$H(\omega_e)$는 횡동요 응답의 만남 주파수에 대한 전달함수를 나타낸다. 식(11)을 횡동요 진폭(ϕ_a)과 파진폭(ζ_a)을 이용하여 고쳐 쓰면 다음과 같다.

$$S_{\phi}(\omega_e) = S_{\zeta}(\omega_e) \cdot \left(\frac{\phi_a}{\zeta_a}\right)^2 \qquad (12)$$

따라서, 특정 해역에서의 해상 상태가 주어지면 그 해상 상태를 나타내는 표준 스펙트럼과 strip방법으로부터 계산한 전달함수를 적용함으로써 특정 해역에서의 횡동요 응답의 에너지 스펙트럼을 구할 수 있고, 이로부터 여러 가지 운동의 통계치를 추정할 수 있다. 이것은 또한 종동요 응답(pitch response)에도 그대로 적용된다.

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

$$S_{\zeta}(\omega) = 0.11\ H_{\omega}^{2}\ \omega_1^{-1}\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^{-5}\exp\left[-0.44\left(\frac{\omega}{\omega_1}\right)^{-4}\right] \qquad (13)$$

단, ω_1 : 평균 주파수$\left(=\frac{2\pi}{T_{01}}\right)$

T_{01} : 평균파 주기

H_{ω} : 유의파고(significant wave height)

1.6 파랑 정보

특정 해역의 해상 상태가 주어지면 표준 스펙트럼을 이용하여 파의 에너지 스펙트럼을 구할 수 있다. 그러나 실험 해역에서 불규칙한 파랑 정보를 큰 선박에서 정확하게 관측하는 것은 매우 어려운 일이다 따라서 여기서 파랑정보는 선박에서 관측한 풍속 자료로 식(14)의 Pierson-Moskowitz식과 WMO(세계기상기구) code 1100를 이용하여 유의 파고와 평균파 주기를 계산하도록 하였다.

1 3.86 $H_{1/3}$ (14)

Table 1. Wave values according to the wind speed

Beaufort No. (wind scale)	U(m/sec)	$H_{1/3}$(m)	T_{01}(sec)
1	0.95	0.1	1.22
2	2.50	0.2	1.73
3	4.45	0.6	2.99
4	6.75	1.0	3.86
5	9.40	2.0	5.46
6	12.35	3.0	6.69
7	15.55	4.0	7.72

U : wind speed

$H_{1/3}$: Significant wave height

T_{01} : The average wave period

2. 실험 및 분석 방법

2.1 실선실험 개요

실선실험은 부경대학교 실습선 Kaya(GT 1,737)를 이용하여 2015년 6월 27일부터 동년 9월 17일까지 학생 승선실습 중에 행하였으며, 표류, 항해 그리고 조업의 운항 상태에서 총 32회에 걸쳐서 선박의 동요를 관측하였다. Fig. 4, Table 2와 Table 3은 각각 실선실험 해역과 실습선의 제원, 그리고 실험 내역을 나타낸 것이다.

선체동요의 관측 실험은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 제주도 동쪽 해상, 부산항 남쪽 해상 등 부산에서 제주에 이르는 우리나라 남해안 해역에서 시행하였으며, 학생들의 승선실습 기간을 이용하였다. 실험선의 실험일 당시의 선박상태는 Table 2와 같이 모두 비슷하였으며, 또한, 실험시의 실험선의 정역학적 상세는 Table 3과 같다. 배수량과 트림은 승선실습 중에 큰 차이가 없으므로 배수량과 트림의 미소한 변화는 동요에 큰 변화를 미치지 않는 것으로 보아 무시하였다.

실선실험은 유사한 파랑 조건에서 실습선의 항해와 예망상태의 선체동요를 비교하는 것이 이 연구의 주목적이나, 파고가 너무 높으면 조업을 할 수 없고, 또한 파도가 없는 경우는 계측 동요에 유의한 차이가 없으므로 파고의 범위는 자연히 1.5~2.5m로 한정될 수밖에 없었다.

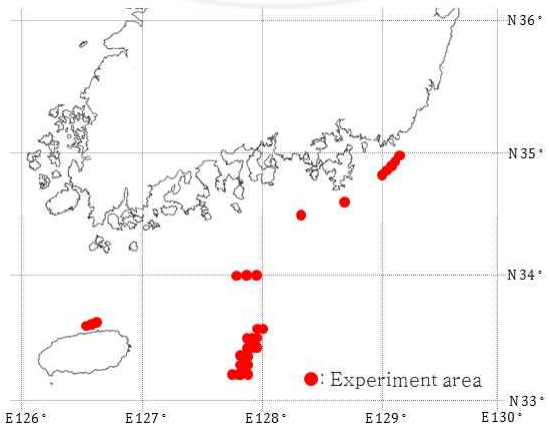

Fig. 4. Location of experimental area.

Table 2. Specification of T/V KAYA

PRINCIPAL DIMENSION	
LENGTH(L.O.A)	81.7 m
LENGTH(Lpp)	72.5 m
BREAADTH(MLD)	13.2 m
GROSS TONNAGE	1,737 ton
DISPLACEMENT	2,374 ton
DRAFT Fore	4.6 m
After	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 kt'

Table. 3. Hydrostatic particulars of experiment vessel

TRIM : fore 4.6 M / U.S.K 5.0 M / aft 5.4 M
TRIM BY STERN : 0.80 M

DISP. TON	MTC TON/cm	LCB M	LCF M	KB M	TKM M
2751.9	38.4	-2.0	-4.4	2.8	6.4

2.2 계측 장치

실험 시, 선박의 동요를 계측하기 위하여 경사센서(Power Test dynamometers, USA, EZ-COMPASS-3A)를 이용하였고, 주요사양은 Table 4와 같다.

선박의 동요를 계측할 때 일반적으로 선박의 무게중심, G점에서 측정하지만, 본 실험은 선교 당직자들이 피부로 느끼는 선박 동요의 차이를 파악하는데 그 목적이 있으므로 Fig. 5와 같이 선교의 중앙, 종중심선에 설치하고 계측하였다.

Table 4. Description of Data Logger used in the observation

Tilt & Compass sensor	
Azimuth Range	0° ~ 360°
Azimuth Resolution	12bit (0.08°)
Pitch Range	+90° ~ -90°
Roll Range	+90° ~ -90°
Dynamic Range	10 reading/sec
Comm. speed	1,200 ~ 38,400baud
Accerometer	
Range	±1.5g
Sensibility	1,333mV/g
Bandwith	3,000Hz
Non-Linearity	±0.1 typical(±0.5Mx)%
Interfaces	RS232

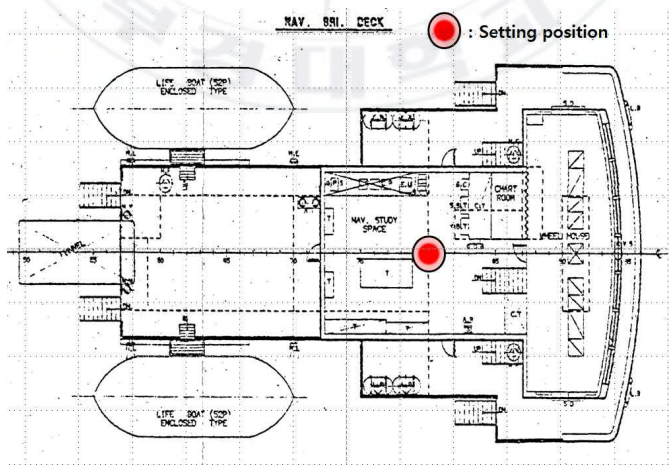

Fig. 5. Location of data logger.

2.3 데이터 처리 방법

실선실험에서 파랑에 대한 선박의 상대침로는 파와의 만남각 180°를 선수파로 하였고, 45°간격으로 135°와 225°를 선수사파, 090°와 270°를 횡파, 045°와 315°를 선미사파, 000°를 선미파로 하였으며, 각 운항 상태에 따라 파고와 파향에 대한 횡동요와 종동요의 진폭을 10분간씩 계측하였다.

선체의 동요 주기, 진폭, 감쇠 상황 등은 파랑의 진행 방향과 선박의 침로가 선수미선에 대하여 대칭일 때 서로 비슷한 경향을 나타내고 있으므로, 파도의 만남 각도는 180°, 225°, 270°, 315°, 000°의 대칭 방향의 한쪽에 대해서만 계측하고, 해석하도록 하였다.

실선실험에서 얻어진 자료는 sampling 간격을 0.2sec로 취하고, PC에 실시간 저장하였으며, 이들 동요의 시계열을 읽어 취한 각 1,500개의 데이터에 대하여 시계열 해석을 행하였다. 또한, 선속의 차이가 동요 응답에 미치는 영향을 줄이기 위해 항해 시에는 선속을 9.5kt, 예망시에는 3.5kt로 통일하였다. 또한 실험 전에 시험선을 표류시키고 풍속, 유의파고와 평균파주기를 파악하였으며, 실험 종료 후에도 역시 바람과 파랑 정보를 조사하여 서로 비교하여 해황의 변화 여부를 확인하여 해면의 안정성을 고려하였다. 실험은 항해 시 먼저 각 파향에 따라 계측을 행하고, 곧 바로 예망중의 동요를 계측하였다.

Fig. 6은 실선실험으로 얻어진 횡동요와 종동요의 기록 예시로써, 항해와 예망중의 선미사파에 대한 것이다.

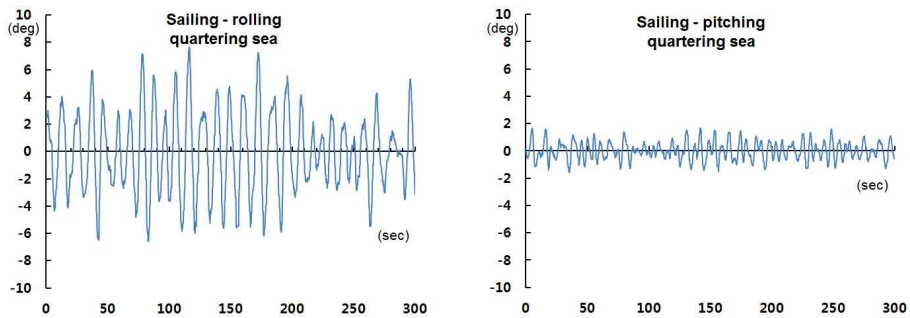

Fig. 6. Time histories of the rolling and pitching angles on the experiment.

제3장 결과 및 고찰

1. 표류중일 때의 동요특성

Fig. 7은 실험선이 표류 중일 경우, 유의파고 1.5m와 2.0m일 때의 횡동요각과 종동요각의 유의치와 최대치를 나타낸 것이다. 선박이 표류중일 경우에는 최종적으로 수풍면적이 가장 큰 한쪽 현의 정횡으로 바람을 받게 된다. 따라서 여기서는 횡파에 대해서만 기술한다.

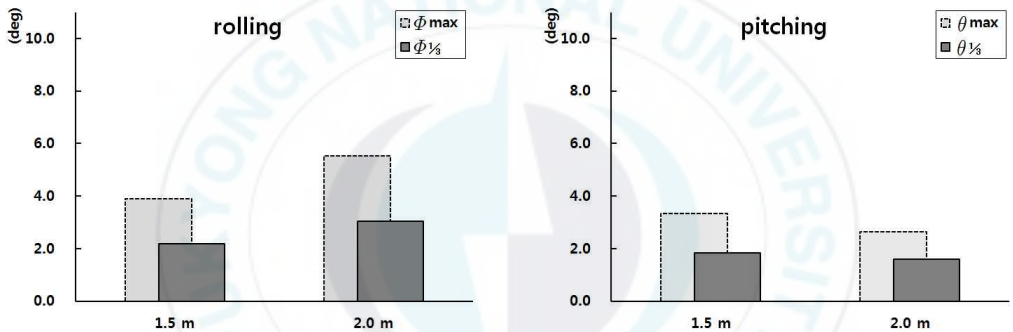

Fig. 7. Comparative value of rolling and pitching's maximum and 1/3 significant value on beam sea at drifting.

이 그림에 나타난 바와 같이 유의파고 1.5m일 때의 횡동요의 유의치($_{/3}$)와 최대치($\phi_{\max}$)는 각각 2.2°, 3.9°이었고, 유의파고 2.0m일 때의 유의치와 최대치는 각각 3.1°, 5.5°이었다. 유의파고 2.0m의 유의치는 유의파고 1.5m보다 40.0%, 최대치는 42.1% 증가하였다.

종동요의 경우, 유의파고 1.5m일 때의 유의치($\theta_{1/3}$)와 최대치($\theta_{\max}$)는 각각 1.9°, 3.3°이었고, 유의파고 2.0m일 때의 유의치와 최대치는 각각 1.6°, 2.7°이었다. 유의파고 2.0m의 유의치는 유의파고 1.5m 보다 13.4%, 최대치는 20.5% 감소하였다.

따라서 실험선이 표류중에는 파고가 높아짐에 따라 횡동요는 증가하나, 종동요는 오히려 감소함을 알 수 있다.

Fig. 8은 유의파고 1.5m와 2.0m에서 표류중 실험선의 횡동요와 종동요의 응답스펙트럼을 나타낸 것으로써, 횡축은 주파수, 종축은 각 주파수에 대응한 동요각의 2승 값이다.

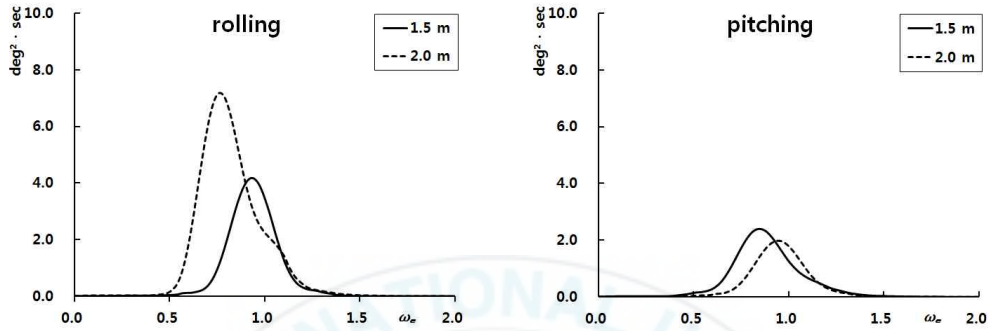

Fig. 8. Response spectra of rolling and pitching motion on beam sea at drifting.

이 그림에서 나타난 바와 같이 표류중인 상태에서 유의파고 1.5m에서 횡동요 응답의 크기, 대역폭과 peak의 주기는 각각 4.2, 0.9, 6.7초였으며, 유의파고 2.0m에서는 각각 7.2, 1.0, 8.2초였다.

유의파고 2.0m에서 응답의 크기는 유의파고 1.5m 보다 71.8%, 대역폭의 범위는 10.0% 증가 하였으나, peak 주기는 22.4% 증가하였다.

종동요의 경우에는 유의파고 1.5m에서 응답의 크기, 대역폭과 peak 주기는 각각 2.4, 0.9, 7.5초였으며, 유의파고 2.0m에서는 각각 2.0, 0.9, 6.7초였다.

유의파고 2.0m에서 응답의 크기는 유의파고 1.5m 보다 17.4% 감소, 대역폭의 범위는 2.7% 감소, Peak 주기는 10.7% 감소하였다.

따라서 파고가 높아짐에 따라 표류중 횡동요의 응답의 크기는 대폭 증가하며, 대역폭은 변화가 거의 없고, 주기가 증가하는 반면, 종동요의 경우는 응답의 크기는 감소하며, 대역폭은 변화가 없고, 주기는 감소함을 알 수 있다.

2. 항해중일 때의 동요특성

실험선이 항해 중일 때, 파고와 파도의 만남각에 따른 횡동요각과 종동요각의 변화를 고찰하였다.

2.1 유의파고 1.5m일 때

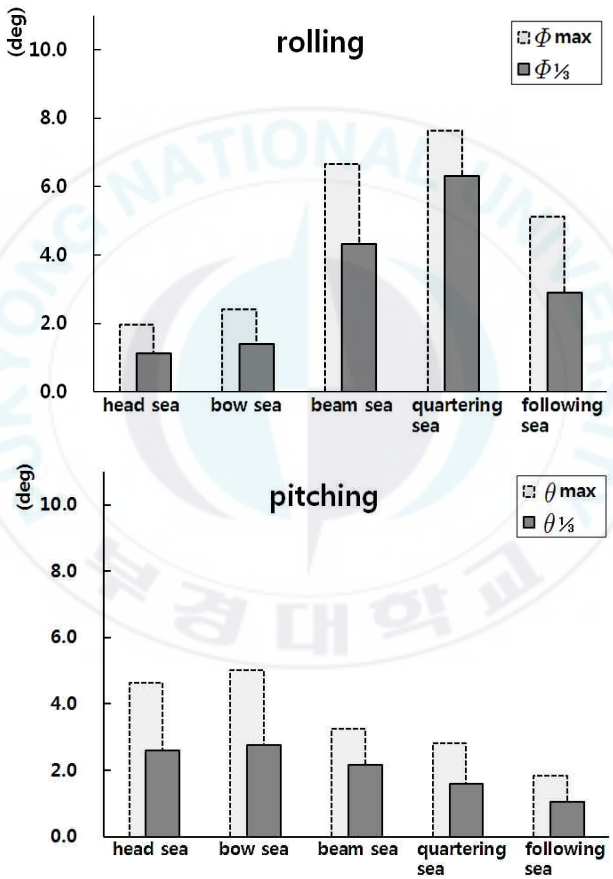

Fig. 9. The maximum and significant values of the rolling and the pitching on sailing condition in 1.5m wave height.

Fig. 9는 유의파고 1.5m일 때 항해중 파의 만남각에 따른 실험선의 횡동요와 종동요의 유의치와 최대치를 나타낸 것이다.

이 그림에 나타난 바와 같이 유의파고 1.5m일 때 횡동요각의 유의치는 선미사파에서 가장 컸으며, 다음으로 정횡파, 선미파, 선수사파, 선수파의 순이었다. 선미사파의 유의치는 6.3°, 선수파의 유의치는 1.1°로 횡동요 유의치의 최대치와 최소치는 약 6.9배의 차이가 있었다.

횡동요각의 최대치도 유의치와 비슷한 경향을 나타내었다. 선미사파의 최대치는 7.6°, 선수파의 최소치는 2.0°로 횡동요의 최대치와 최소치는 약 3.8배의 차이가 있었다.

선미사파에서 횡동요각의 최대치와 유의치는 약 1.2배의 차이가 있었다.

유의파고 1.5m일 때 종동요각의 유의치는 선수사파에서 가장 컸으며, 다음으로 선수파, 정횡파, 선미사파, 선미파의 순이었다. 선수사파의 유의치는 2.8°, 선미파의 유의치는 1.1°로 종동요 유의치의 최대치와 최소치는 약 2.5배의 차이가 있었다.

종동요각의 최대치도 유의치와 비슷한 경향을 나타내었다. 선수사파의 최대치는 5.0°, 선미파의 최소치는 1.8°로 종동요의 최대치와 최소치는 약 3.3배의 차이가 있었다.

선수사파의 횡동요각 최대치와 유의치는 약 1.8배의 차이가 있었다.

Fig. 10은 유의파고 1.5m일 때 항해중 파의 만남각에 따른 실험선의 횡동요와 종동요의 응답스펙트럼을 나타낸 것이다.

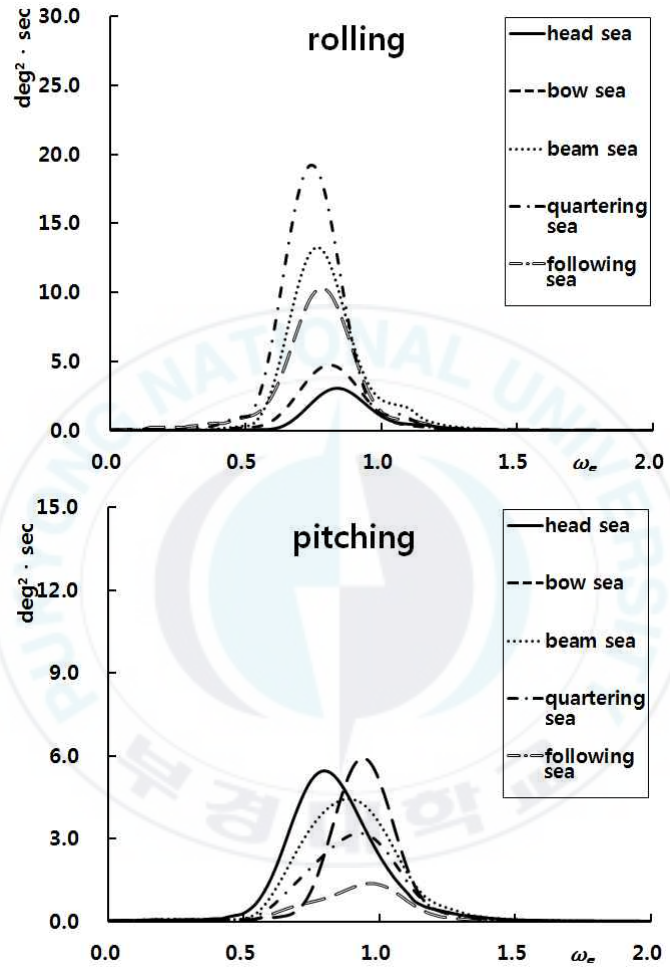

Fig. 10. Response spectra of rolling and pitching motion on sailing condition in 1.5m wave height.

이 그림에서 나타난 바와 같이 유의파고 1.5m일 때 횡동요의 응답의 크기는 선미사파에서 가장 크며, 다음으로 정횡파, 선미파, 선수사파, 선수파의 순으로 나타났다. 선미사파에서 응답의 크기는 19.2, 선수파에서는 3.1로 약 6.3배의 차이가 있었다.

Peak가 발생한 만남 주파수는 선미사파, 정횡파, 선미파, 선수사파, 선수파의 순이었으며, Peak의 주기는 선미파, 선미사파, 정횡파, 선수사파, 선수파 순으로 나타났다. Peak의 최소치는 4.0sec, 최대치는 9.9sec로 약 2.5배의 차이가 있었다.

대역폭은 선미파에서 가장 넓고, 다음으로 선미사파, 정횡파, 선수사파, 선수파의 순이었다.

종동요의 응답의 크기는 선수사파에서 가장 크며, 다음으로 선수파, 정횡파, 선미사파, 선미파의 순으로 나타났다. 선수사파의 응답의 크기는 5.9, 선미파의 응답의 크기는 1.4로 약 4.3배의 차이가 있었다.

Peak가 발생한 만남 주파수는 선수파, 정횡파, 선미사파, 선수사파, 선미파의 순이었으며, Peak의 주기는 선미사파, 선미파, 정횡파, 선수사파, 선수파의 순으로 나타났다. Peak의 최소치는 3.3sec, 최대치는 10.4sec로 약 3.2배의 차이가 있었다.

대역폭은 정횡파에서 가장 넓고, 다음으로 선수파, 선수사파, 선미사파, 선미파의 순이었다.

2.2 유의파고 2.0m일 때

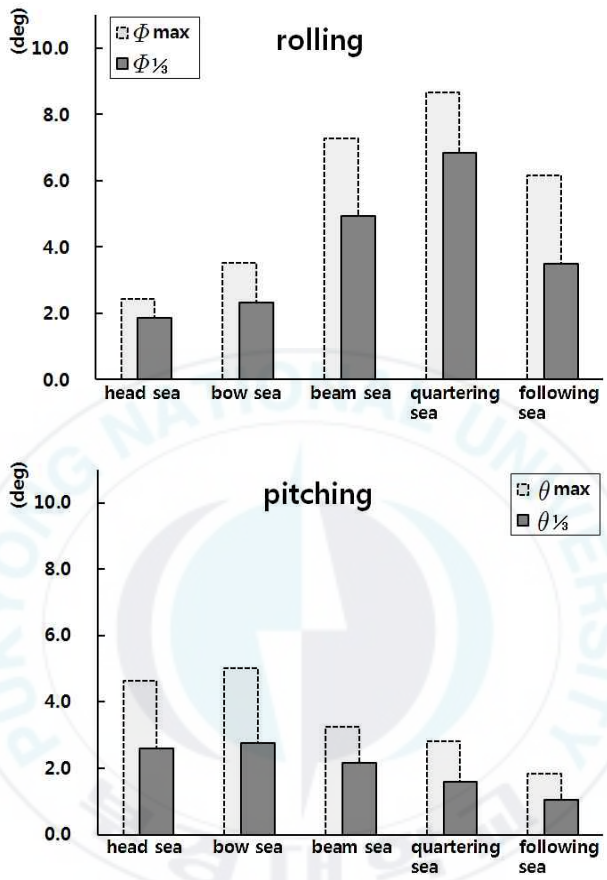

Fig. 11. The maximum and significant values of the rolling and the pitching on sailing condition in 2.0m wave height.

Fig. 11은 유의파고 2.0m일 때 항해중 파의 만남각에 따른 실험선의 횡동요와 종동요의 유의치와 최대치를 나타낸 것이다.

이 그림에 나타난 바와 같이 유의파고 2.0m일 때 횡동요각의 유의치는 선미사파에서 가장 컸으며, 다음으로 정횡파, 선미파, 선수사파, 선수파의 순이었다. 선미사파의 유의치는 6.8°, 선수파의 유의치는 1.9°로 횡동요 유의치의 최대치와 최소치는 약 3.6배의 차이가 있었다.

횡동요각의 최대치도 유의치와 비슷한 경향을 나타내었다. 선미사파의 최대치는 8.6°, 선수파의 최소치는 2.4°로 횡동요의 최대치와 최소치는 약 3.6배의 차이가 있었다.

선미사파에서 횡동요각의 최대치와 유의치는 약 1.3배의 차이가 있었으며, 1.5m일 때 보다 각각 7.9%, 13.2% 증가하였다.

유의파고 2.0m일 때 종동요각의 유의치는 선수사파에서 가장 컸으며, 다음으로 선수파, 정횡파, 선미사파, 선미파의 순이었다. 선수사파의 유의치는 4.0°, 선미파의 유의치는 1.3°로 종동요 유의치의 최대치와 최소치는 약 3.1배의 차이가 있었다.

종동요각의 최대치도 유의치와 비슷한 경향을 나타내었다. 선수사파의 최대치는 5.8°, 선미파의 최소치는 2.0°로 종동요의 최대치와 최소치는 약 2.9배의 차이가 있었다.

선수사파의 횡동요각 최대치와 유의치는 약 1.5배의 차이가 있었으며, 1.5m일 때 보다 각각 42.9%, 16.0% 증가하였다.

Fig. 12는 유의파고 2.0m일 때 항해중 파의 만남각에 따른 실험선의 횡동요와 종동요의 응답스펙트럼을 나타낸 것이다.

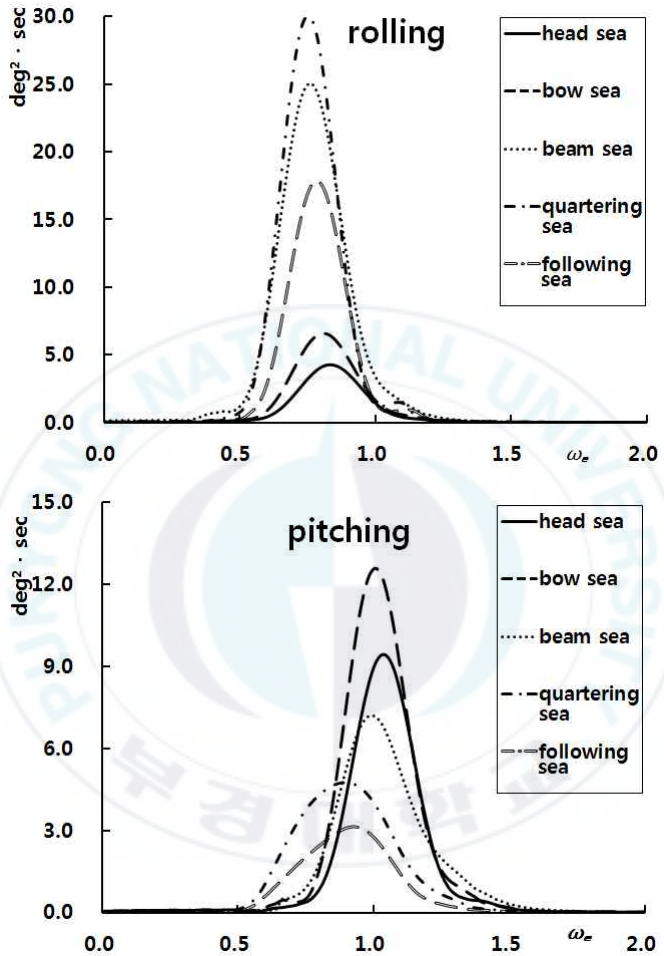

Fig. 12. Response spectra of rolling and pitching motion on sailing condition in 2.0m wave height.

이 그림에서 나타난 바와 같이 유의파고 2.0m일 때 횡동요의 응답의 크기는 선미사파에서 가장 크며, 다음으로 정횡파, 선미파, 선수사파, 선수파의 순으로 나타났다. 선미사파에서 응답의 크기는 29.9, 선수파에서는 4.3으로 약 7.0배의 차이가 있었다. 또한, 유의파고가 1.5m일 때의 최

대치 보다 55.7% 증가하였다.

Peak가 발생한 만남 주파수는 선미사파, 정횡파, 선미파, 선수사파, 선수파의 순이었으며, peak의 주기는 선미파, 선미사파, 정횡파, 선수사파, 선수파 순으로 나타났다. peak의 최소치는 4.0sec, 최대치는 9.9sec로 약 2.5배의 차이가 있었다.

대역폭은 정횡파에서 가장 넓고, 다음으로 선미사파, 선미파, 선수사파, 선수파의 순이었다.

종동요의 응답의 크기는 선수사파에서 가장 크며, 다음으로 선수파, 정횡파, 선미사파, 선미파의 순으로 나타났다. 선수사파의 응답의 크기는 12.6, 선미파의 응답의 크기는 3.1로 약 4.0배의 차이가 있었다. 또한, 유의파고가 1.5m일 때의 최대치 보다 113.6% 증가하였다.

Peak가 발생한 만남 주파수는 선미사파, 선미파, 정횡파, 선수사파, 선수파의 순이었으며, peak의 주기는 선미파, 선미사파, 정횡파, 선수사파, 선수파의 순으로 나타났다. peak의 최소치는 3.4sec, 최대치는 8.4sec로 약 2.5배의 차이가 있었다.

대역폭은 정횡파에서 가장 넓고, 다음으로 선수사파, 선수파, 선미사파, 선미파의 순이었다.

2.3 유의파고 2.5m일 때

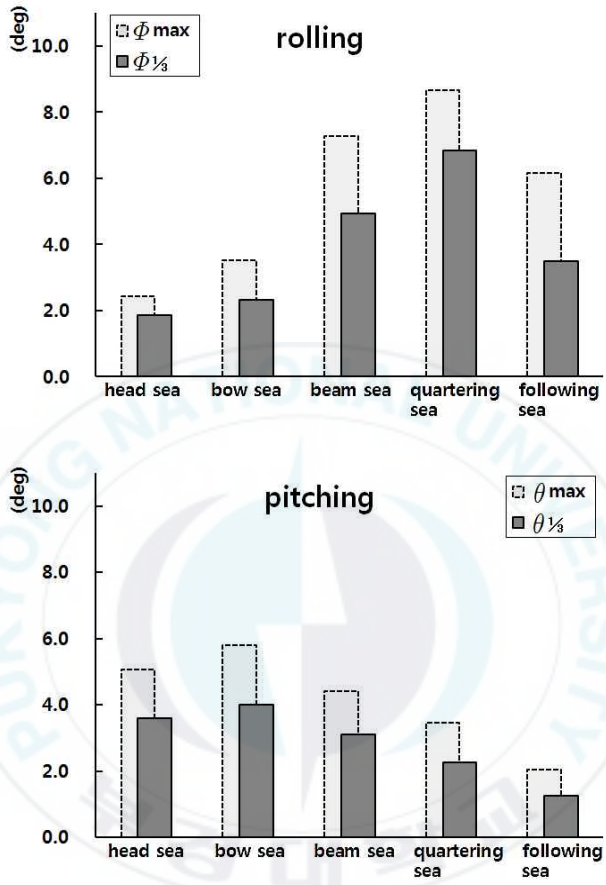

Fig. 13. The maximum and significant values of the rolling and the pitching on sailing condition in 2.5m wave height.

Fig. 13은 유의파고 2.5m일 때 항해중 파의 만남각에 따른 실험선의 횡동요와 종동요의 유의치와 최대치를 나타낸 것이다.

이 그림에 나타난 바와 같이 유의파고 2.5m일 때 횡동요각의 유의치는 선미사파에서 가장 컸으며, 다음으로 정횡파, 선미파, 선수사파, 선수파의 순이었다. 선미사파의 유의치는 7.5°, 선수파의 유의치는 2.4°로 횡동요 유의치의 최대치와 최소치는 약 3.1배의 차이가 있었다.

횡동요각의 최대치도 유의치와 비슷한 경향을 나타내었다. 선미사파의 최대치는 10.0°, 선수파의 최소치는 3.7°로 횡동요의 최대치와 최소치는 약 2.7배의 차이가 있었다.

선미사파에서 횡동요각의 최대치와 유의치는 약 1.3배의 차이가 있었으며, 2.0m일 때 보다 각각 16.3%, 10.3% 증가하였다.

유의파고 2.5m일 때 종동요각의 유의치는 선수사파에서 가장 컸으며, 다음으로 선수파, 정횡파, 선미사파, 선미파의 순이었다. 선수사파의 유의치는 4.8°, 선미파의 유의치는 1.4°로 종동요 유의치의 최대치와 최소치는 약 3.4배의 차이가 있었다.

종동요각의 최대치도 유의치와 비슷한 경향을 나타내었다. 선수사파의 최대치는 6.8°, 선미파의 최소치는 2.5°로 종동요의 최대치와 최소치는 약 2.7배의 차이가 있었다.

선수사파의 횡동요각 최대치와 유의치는 약 1.4배의 차이가 있었으며, 2.0m일 때 보다 각각 17.2%, 20.0% 증가하였다.

Fig. 14는 유의파고 2.5m일 때 항해중 파의 만남각에 따른 실험선의 횡동요와 종동요의 응답스펙트럼을 나타낸 것이다.

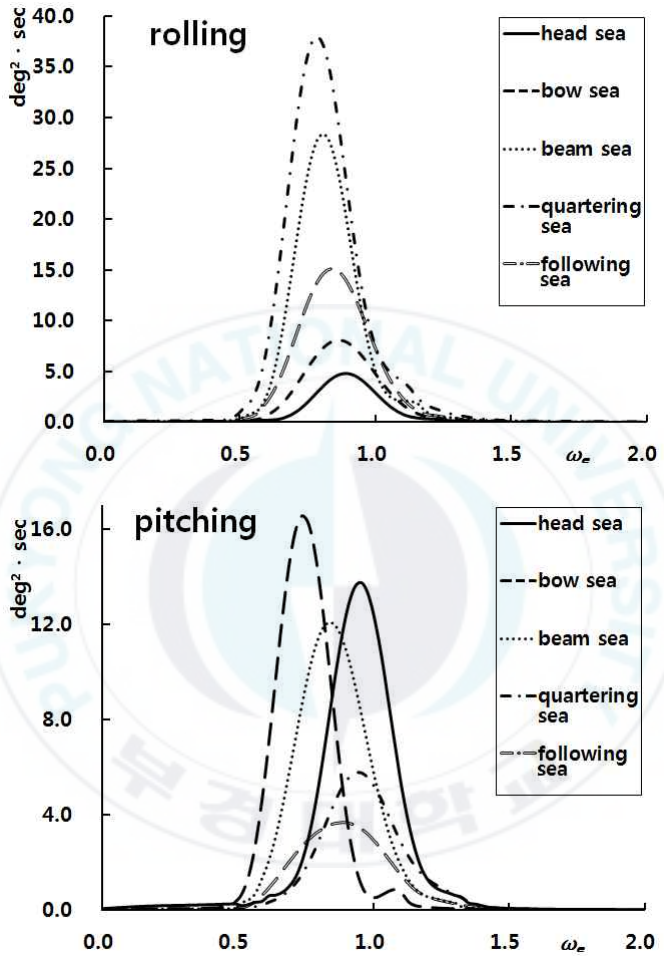

Fig. 14. Response spectra of rolling and pitching motion on sailing condition in 2.5m wave height.

이 그림에서 나타난 바와 같이 유의파고 2.5m일 때 횡동요의 응답의 크기는 선미사파에서 가장 크며, 다음으로 정횡파, 선미파, 선수사파, 선수파의 순으로 나타났다. 선미사파의 응답의 크기는 38.0, 선수파에서는 4.8로 약 7.9배의 차이가 있었다. 또한, 유의파고가 2.0m일 때의 최대치

보다 27.1% 증가하였다.

Peak가 발생한 만남 주파수는 선미사파, 정횡파, 선미파, 선수사파, 선수파의 순이었으며, peak의 주기는 선미파, 선미사파, 정횡파, 선수사파, 선수파 순으로 나타났다. peak의 최소치는 3.8sec, 최대치는 9.5sec로 약 2.5배의 차이가 있었다.

대역폭은 선미사파에서 가장 넓고, 다음으로 정횡파, 선미파, 선수사파, 선수파의 순이었다.

종동요의 응답의 크기는 선수사파에서 가장 크며, 다음으로 선수파, 정횡파, 선미사파, 선미파의 순으로 나타났다. 선수사파의 응답의 크기는 16.6, 선미파의 응답의 크기는 3.7로 약 4.5배의 차이가 있었다. 또한, 유의파고가 2.0m일 때의 최대치 보다 31.0% 증가하였다.

Peak가 발생한 만남 주파수는 선수사파, 정횡파, 선미파, 선미사파, 선수파의 순이었으며, peak의 주기는 선미사파, 선미파, 정횡파, 선수파, 선수사파의 순으로 나타났다. peak의 최소치는 3.4sec, 최대치는 10.4sec로 약 3.1배의 차이가 있었다.

대역폭은 선수파에서 가장 넓고, 다음으로 정횡파, 선미사파, 선미파, 선수사파의 순이었다.

3. 예망중일 때의 동요 특성

실험선이 예망 중일 때, 파고와 파도의 만남각에 따른 횡동요각과 종동요각의 변화를 고찰하였다. 파고 2.5m에서는 조업을 하지 않아 자료를 취할 수 없어 유의파고 1.5m와 2.0m로 한정한다. 이때의 선속은 3.5kt로 통일하였다.

3.1 유의파고 1.5m일 때

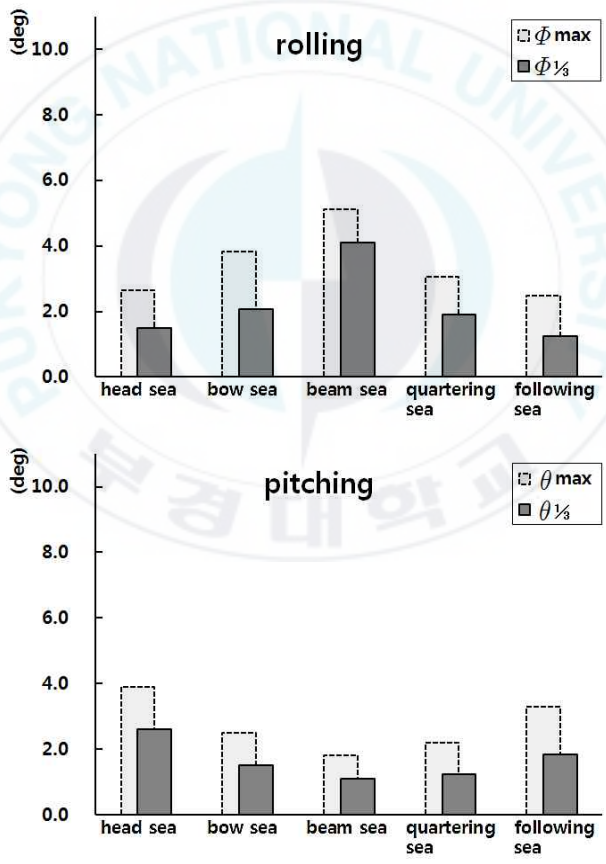

Fig. 15. The maximum and significant values of the rolling and the pitching on trawling condition in 1.5m wave height.

Fig. 15는 유의파고 1.5m일 때 예망중 파의 만남각에 따른 시험선의 횡동요와 종동요의 유의치와 최대치를 나타낸 것이다.

이 그림에 나타난 바와 같이 유의파고 1.5m일 때 횡동요각의 유의치는 정횡파에서 가장 컸으며, 다음으로 선수사파, 선미사파, 선수파, 선미파의 순이었다. 정횡파의 유의치는 4.1°, 선미파의 유의치는 1.3°로 횡동요 유의치의 최대치와 최소치는 약 3.2배의 차이가 있었다.

횡동요각의 최대치도 유의치와 비슷한 경향을 나타내었다. 정횡파의 최대치는 5.1°, 선미파의 최소치는 2.5°로 횡동요의 최대치와 최소치는 약 2.0배의 차이가 있었다.

정횡파에서 횡동요각의 최대치와 유의치는 약 1.2배의 차이가 있었다.

유의파고 1.5m일 때 종동요각의 유의치는 선수파에서 가장 컸으며, 다음으로 선미파, 선수사파, 선미사파, 정횡파의 순이었다. 선수파의 유의치는 2.6°, 정횡파의 유의치는 1.1°로 종동요 유의치의 최대치와 최소치는 약 2.4배의 차이가 있었다.

종동요각의 최대치도 유의치와 비슷하 경향을 나타내었다. 선수파의 최대치는 3.9°, 정횡파의 최소치는 1.8°로 종동요의 최대치와 최소치는 약 2.2배의 차이가 있었다.

유의파고 1.5m에서 항해와 예망중일 때를 비교하면, 항해중 횡동요각은 선미사파에서 최대치를 나타내었으나, 예망중에는 정횡파에서 나타났고, 최소치는 항해중에는 선수파에서 나타났으나, 예망중에는 선미파에서 나타났다.

한편, 항해중 종동요각은 선수사파에서 최대치를 나타내었으나, 예망중에는 선수파에서 나타났고, 최소치는 항해중에는 선미파에서 나타났으나, 예망중에는 정횡파에서 나타났다.

Fig. 16은 유의파고 1.5m일 때 예망중 파의 만남각에 따른 실험선의 횡동요와 종동요의 응답스펙트럼을 나타낸 것이다.

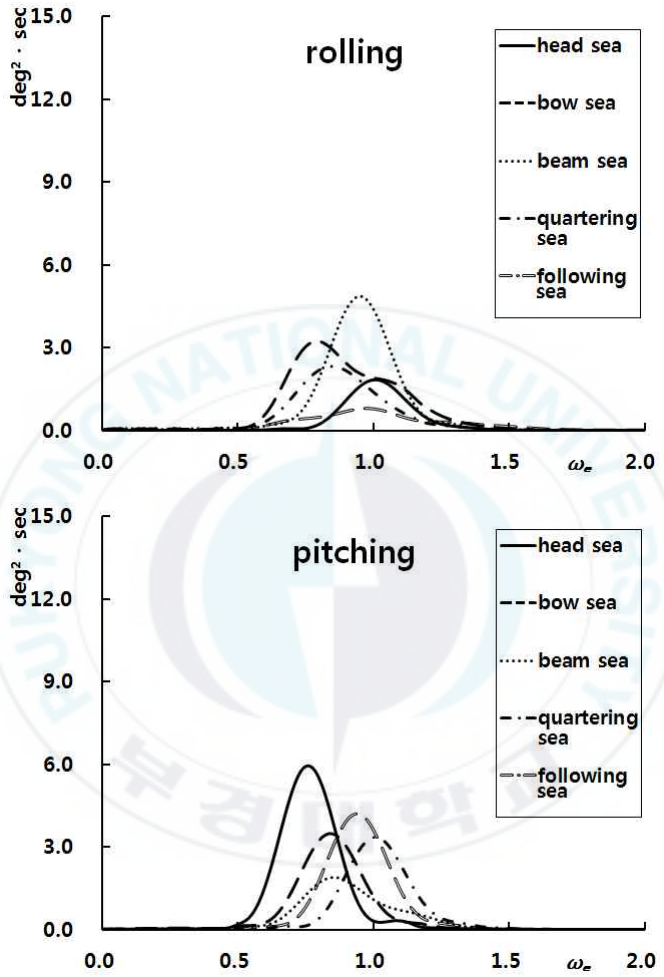

Fig. 16. Response spectra of rolling and pitching motion on trawling condition in 1.5m wave height.

이 그림에서 나타난 바와 같이 유의파고 1.5m일 때 횡동요의 응답의 크기는 정횡파에서 가장 크며, 다음으로 선수사파, 선미사파, 선수파, 선미파의 순으로 나타났다. 정횡파에서 응답의 크기는 4.9, 선미파에서는 0.8로 약 6.1배의 차이가 있었다. 횡동요 응답의 peak 주기는 응답이 가

장 큰 정횡파에서는 10.2sec, 가장 적은 선수파에서는 6.6sec.에 나타났다.

대역폭은 선미파에서 가장 넓고, 다음으로 선수사파, 선미사파, 정횡파, 선수파의 순이었다.

종동요의 응답의 크기는 선수파에서 가장 크며, 다음으로 선미파, 정횡파, 선미사파, 선수사파의 순으로 나타났다. 선수파의 응답의 크기는 4.6, 선수사파의 응답의 크기는 1.0으로 약 4.6배의 차이가 있었다.

종동요 응답의 peak 주기는 응답이 가장 큰 선수파에서는 11.2sec, 가장 적은 정횡파에서는 6.7sec.에 나타났다.

대역폭은 정횡파에서 가장 넓고, 다음으로 선수파, 선미파, 선미사파, 선수사파의 순이었다.

유의파고 1.5m에서 항해와 예망중일 때의 응답을 비교하면, 항해중 횡동요 응답은 선미사파에서 최대치를 나타내었으나, 예망중에는 정횡파에서 나타났고, 최소치는 항해중에는 선수파에서 나타났으나, 예망중에는 선미파에서 나타났다.

한편, 항해중 종동요각은 선수사파에서 최대치를 나타내었으나, 예망중에는 선수파에서 나타났고, 최소치는 항해중에는 선미파에서 나타났으나, 예망중에는 선수사파에서 나타났다.

이러한 결과는 선미식 트롤선의 해양파중 동요특성에 관한 연구(강, 1997), 선미식 트롤선의 해양항행중 파고와 선속에 따른 선체 동요특성(강, 2000), 파의 조우각과 선속 변화에 따른 어선의 횡동요 특성(강, 2007)에서 설명된 항해중과 예망중 모두 횡동요의 최대치는 정횡파에서, 종동요의 최대치는 선수파에서 일어난다는 것과는 약간의 차이를 보이나, 본 연구에서 횡동요와 종동요의 응답의 최대치와 최소치가 항해중과 예망중에 약간의 차이를 보이는 것은 예망중 선미 방향으로 작용하는 어구의 장력에 의한 저항이 횡동요에서는 작게 작용하고, 종동요에서는 크게 작용하기 때문이라고 사료된다. 그러나 확실한 원인에 대해서는 추가적인 연구가 더 이루어져야 할 것으로 판단한다.

3.2 유의파고 2.0m일 때

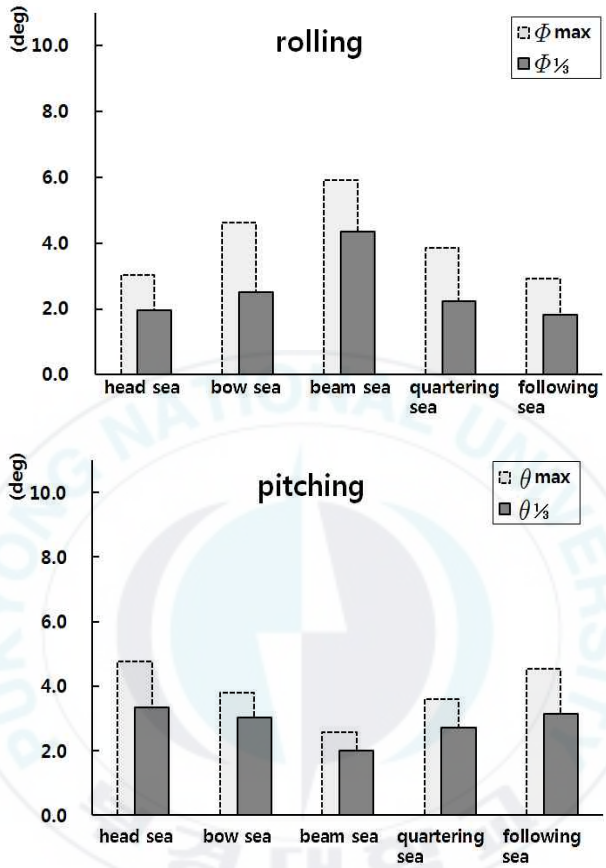

Fig. 17. The maximum and significant values of the rolling and the pitching on trawling condition in 1.5m wave height.

Fig. 17은 유의파고 2.0m일 때 예망중 파의 만남각에 따른 실험선의 횡동요와 종동요의 유의치와 최대치를 나타낸 것이다.

그림에 나타난 바와 같이 유의파고 2.0m일 때 횡동요각의 유의치는 정횡파에서 가장 컸으며, 다음으로 선수사파, 선미사파, 선수파, 선미파의 순이었다. 정횡파의 유의치는 4.3°, 선미파의 유의치는 1.8°로 횡동요 유의치의 최대치와 최소치는 약 2.4배의 차이가 있었다.

횡동요각의 최대치도 유의치와 비슷한 경향을 나타내었다. 정횡파의 최대치는 5.9°, 선미파의 최소치는 2.9°로 횡동요의 최대치와 최소치는 약 2.0배의 차이가 있었다.

정횡파에서 횡동요각의 최대치와 유의치는 약 1.4배의 차이가 있었으며, 1.5m일 때 보다 각각 4.9%, 15.7% 증가하였다.

유의파고 2.0m일 때 종동요각의 유의치는 선수파에서 가장 컸으며, 다음으로 선미파, 선수사파, 선미사파, 정횡파의 순이었다. 선수파의 유의치는 3.3°, 정횡파의 유의치는 2.0°로 종동요 유의치의 최대치와 최소치는 약 1.7배의 차이가 있었으며, 1.5m일 때 보다 26.9%, 23.1% 증가하였다.

종동요각의 최대치도 유의치와 비슷한 경향을 나타내었다. 선수파의 최대치는 4.8°, 정횡파의 최소치는 2.6°로 종동요의 최대치와 최소치는 약 1.8배의 차이가 있었다.

선수사파의 횡동요각 최대치와 유의치는 약 1.5배의 차이가 있었으며, 1.5m일 때 보다 각각 26.93%, 23.1% 증가하였다.

유의파고 2.0m에서 항해와 예망중일 때, 파의 만남각에 따른 실험선의 동요의 유의치와 최대치를 비교하면, 항해중 횡동요각은 선미사파에서 최대치를 나타내었으나, 예망중에는 정횡파에서 나타났고, 최소치는 항해중에는 선수파에서 나타났으나, 예망중에는 선미파에서 나타났다.

한편, 항해중 종동요각은 선수사파에서 최대치를 나타내었으나, 예망중에는 선수파에서 나타났고, 최소치는 항해중에는 선미파에서 나타났으나, 예망중에는 정횡파에서 나타났다.

Fig. 18은 유의파고 2.0m일 때 예망중 파의 만남각에 따른 실험선의 횡동요와 종동요의 응답스펙트럼을 나타낸 것이다.

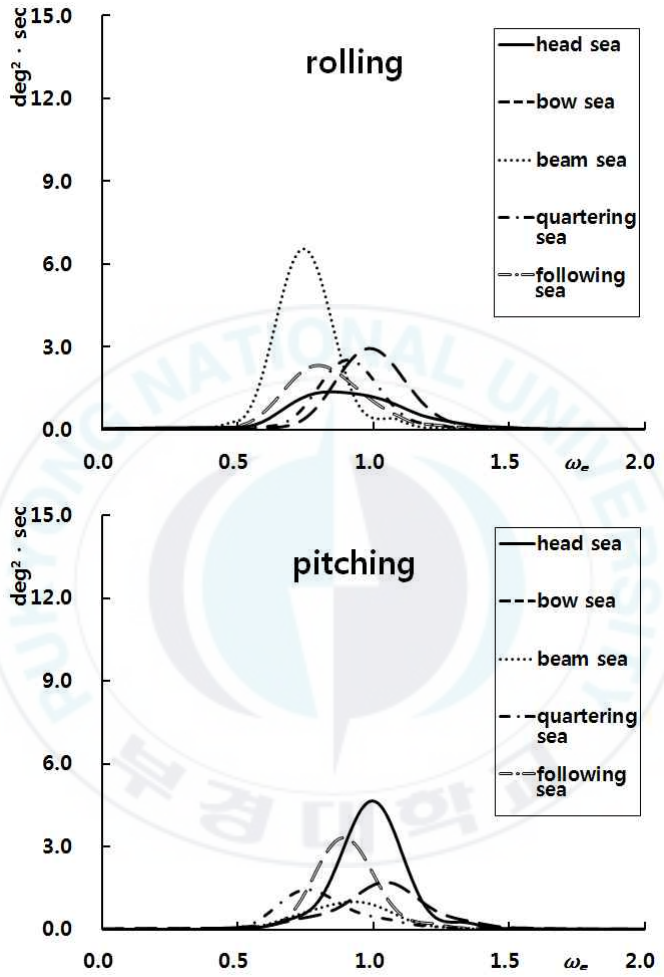

Fig. 18. Response spectra of rolling and pitching motion on trawling condition in 2.5m wave height.

이 그림에서 나타난 바와 같이 유의파고 2.0m일 때 횡동요의 응답의 크기는 정횡파에서 가장 크며, 다음으로 선수사파, 선미사파, 선미파, 선수파의 순으로 나타났다. 정횡파에서 응답의 크기는 6.5, 선수파에서는 1.4로 약 4.8배의 차이가 있었다. 횡동요 응답의 peak 주기는 응답이 가

장 큰 정횡파에서는 10.9sec, 가장 적은 선수파에서는 7.1sec.에 나타났다. 대역폭은 선수파에서 가장 넓고, 다음으로 정횡파, 선수사파, 선미파, 선미사파의 순이었다.

종동요의 응답의 크기는 선수파에서 가장 크며, 다음으로 선미파, 선수사파, 선미사파, 정횡파의 순으로 나타났다. 선수파에서 응답의 크기는 5.9, 정횡파에서는 1.9로 약 3.1배의 차이가 있었다. 종동요 응답의 peak 주기는 응답이 가장 큰 선수파에서는 9.9sec, 가장 적은 정횡파에서는 7.3sec.에 나타났다. 대역폭은 정횡파에서 가장 넓고, 다음으로 선미사파, 선미파, 선수사파, 선수파의 순이었다.

유의파고 2.0m에서 항해와 예망중일 때의 응답을 비교하면, 항해중 횡동요 응답은 선미사파에서 최대치를 나타내었으나, 예망중에는 정횡파에서 나타났고, 최소치는 항해중과 예망중 모두 선수파에서 나타났다.

한편, 항해중 종동요각은 선수사파에서 최대치를 나타내었으나, 예망중에는 선수파에서 나타났고, 최소치는 항해중에는 선미파에서 나타났으나, 예망중에는 정횡파에서 나타났다. 이러한 결과는 유의파고 1.5m에서의 실험선의 동요 응답의 현상과 약간의 상이를 나타내었다.

따라서 실험선이 항해중과 예망중에 파고와 파의 만남각에 따른 응답에서 약간의 차이를 보이는 것은 예망 시 작용하는 어구의 장력에 의한 저항이 그 원인으로 추정되나 보다 정확한 이유에 대해서는 추가적인 연구가 더 필요할 것으로 판단한다.

제4장 결 론

본 연구는 선미식 트롤선을 대상으로 각각 다른 운항 상태와 파랑, 그리고 파의 만남각에 따른 횡동요와 종동요를 실선 실험으로 측정하여 운항 상태의 차이에 따른 선체 응답의 응답특성을 통계적인 수법으로 분석하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 표류중 실험선은 파고가 높아짐에 따라 횡동요각의 최대치와 유의치가 모두 증가하였으나, 종동요각의 최대치와 유의치는 모두 감소하였다. 또한 실험선의 파에 대한 응답은 파고가 높아짐에 따라 횡동요 응답의 크기와 peak 주기는 증가하였으나, 종동요의 응답의 크기와 peak 주기는 감소하였다.

2) 항해중 실험선은 파고가 높아짐에 따라 횡동요각의 최대치와 유의치는 모두 증가하였고, 그 크기는 모두 선미사파, 정횡파, 선미파, 선수사파, 선수파 순이었다. 또한 종동요각의 최대치와 유의치도 모두 증가하였고, 그 크기는 모두 선수사파, 선수파, 정횡파, 선미사파, 선미파 순이었다.

횡동요의 응답은 선미사파에서 최대를 나타내었고, 다음으로 정횡파, 선미파, 선수사파, 선수파 순이었으며, peak주기는 파고의 증가에 따라 감소하였다. 종동요의 응답은 선수사파에서 최대를 나타내었고, 다음으로 선수파, 정횡파, 선미사파, 선미파의 순이었으며, peak주기는 파고의 증가에 따라 증가하였다.

따라서, 황천 시 항해중에서는 전복 방지를 위해 선미사파와 정횡파를 받지 않도록 하여야 하며, 또한 선수사파와 선수파를 받는 경우에도 종동요 운동으로 인한 선체 및 화물의 손상에 대한 대비를 해야 할 것으로 사료된다.

3) 예망중 실험선은 파고가 높아짐에 따라 횡동요각의 최대치와 유의치는 모두 증가하였고, 그 크기는 모두 정횡파, 선수사, 선미사파, 선수

파, 선미파 순이었다. 또한 종동요각의 최대치와 유의치도 모두 증가하였고, 그 크기는 모두 선수파, 선미파, 선수사파, 선미사파, 정횡파의 순이었다.

횡동요의 응답은 정횡파에서 최대를 나타내었고, 다음으로 선수사파, 선미사파, 선수파, 선미파 순이었으며, peak주기는 파고의 증가에 따라 증가하였다. 종동요의 응답은 선수파에서 최대를 나타내었고, 다음으로 선미파, 선수사파, 선미사파, 정횡파의 순이었으며, peak주기는 파고의 증가에 따라 증가하였다.

4) 항해중 일 때와 예망중 일 때의 동요특성을 비교하면, 횡동요각과 횡동요응답의 최대치는 항해중 일 때는 모두 선미사파에서 일어났으나, 예망중에는 모두 정횡파에서 일어났다. 횡동요 응답의 peak가 나타나는 대역폭은 항해중일 때는 파향에 관계없이 좁았으나, 예망중일 때는 넓었다.

한편, 종동요각과 종동요 응답의 최대치는 항해중 일 때는 모두 선수사파에서 일어났으나, 예망중에는 모두 선수파에서 일어났다. 종동요 응답의 peak가 나타나는 대역폭은 항해중과 예망중 모두 대체로 넓었다.

이상과 같이 본 연구의 결과, 실험선은 항해중과 예망중의 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 판단한다.

감사의 글

학부생부터 항상 부족한 제자를 가르쳐주시고 일깨워 주신 강일권 교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 또한 아낌없는 조언과 격려, 미흡한 논문을 살펴봐주신 김종화 교수님과 김형석 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 그리고 많은 충고와 응원을 주신 홍철훈 교수님, 권병국 교수님, 장창익 교수님, 이대재 교수님, 신현옥 교수님, 임석원 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 해양대학교에 계시지만, 큰 도움을 주신 조효제 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

학업을 하는데 큰 도움을 주신 이종근 교수님, 정태영 교수님과 실습선 가야호 가족들에게도 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 항상 뒤에서 든든한 지원이 되어준 선박운용학 실험실 가족들과 수어지교 가족들에게도 감사의 마음을 전합니다. 그리고 학사업무에 큰 도움을 주신 허겸 선생님, 허민아 선생님과 열린 사고와 의욕을 주신 권기준 선배님, 박용예 선배님, 류경진 선배님, 박수봉 선생님, 함상준 선생님, 대학원 선후배님들과 늦은 시간까지 도와주시고 자료를 아낌없이 주신 한국해양대학교 해양시스템실험실 가족들에게도 감사드립니다.

많은 분들의 관심과 조언, 가르침으로 부족한 논문을 쓸 수 있었으며, 강일권 교수님의 가르침과 같이 항상 겸손과 노력하는 자세를 잃지 않도록 하겠습니다. 마지막으로 사랑하는 가족들에게 감사의 말을 드립니다.

참고 문헌

강일권, 1997. 선미식 트롤선의 해양파중 동요특성에 관한 연구. 한국해양대학교 대학원 해사수송과학과 공학박사 학위논문, p.24～39.

강일권, 박병수, 2000. 선미식 트롤선의 해양항행중 파고와 선속에 따른 선체 동요특성. 수산해양교육연구, 12(22). p.77～90.

강일권, 박병수, 2002. 선미식 트롤선의 추파중 선체동요특성에 관한 연구. 한국어업기술학회, 38(3), p.226～233.

강일권, 김형석, 김민석, 이유원, 김정창, 조효제, 이춘기, 2007. 파랑의 조우각과 선속 변화에 따른 어선의 횡동요 특성. 한국어업기술학회, 43(1), p.62～70.

박병수, 강일권, 함상준, 박치완, 2014. 어선의 업종에 따른 해양사고의 특징과 대책. 한국어업기술학회, 50(3), p.252～261.

손경호, 1998. 해양파역학. 효성출판사, p.111～197.

윤점동, 1996. 선박 조종의 이론과 실무(조선편). 세종출판사, p.176～212.

이춘기, 강일권, 김정창, 2004. 소형트롤 어선의 예망중 동요특성. 한국어업기술학회, 40(1), p.65～72.

조효제, 강일권, 김종철, 1998. 실선시험기법을 이용한 다방향파중에서의 선박의 응답추정법. 한국해양공학회지, 12(1), p.135～142.

元良誠三, 1987. 船體と 海洋構造物 の 運動學. 淵鏡文化社, p.185～237.

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.

Rawson Tupper, 2001. Basic Ship Theory vol2. Longman Group Limited, p.486～495.