

소형 트롤 어선의 예망중 동요특성

이춘기[†] · 강일권* · 김정창*

한국해양대학교, *부경대학교

On the Motion Characteristics of Small Trawler under Operation

Chun-Ki LEE[†], Il-Kwon KANG* and Jeong-Chang KIM*

Korea Maritime University, *Pukyong National University

Abstract

This paper deals with an experimental study on the dynamical characteristics of ship motion during trawling job on the real sea. The experiments were carried out on the small stern trawler, and roll and pitch motion of the ship according to the wave directions were simultaneously recorded by P/C in the same sea conditions.

From these data, the statistical properties and power spectra were obtained, and then the analysis of ship motion in trawl job was made.

As a result, it was found that the pitch motions in trawl job were displayed low amplitudes on the whole, but the rolling motions were displayed high amplitudes relatively, and very high value on the beam and quartering sea especially. Also, the trial ship has a high extinction coefficient in the roll motion, compared with the rule of stability, but when wave height takes 2.5m over, it can induce the safety of ship to scare occasionally. Therefore, a usefull countermeasure for the safety of ship has to be made adequately.

Key Words : trawl job(트롤 조업), stern trawler(선미식 트롤어선), pitch motion(종동요), roll motion(횡동요), extinction coefficient(감멸계수)

서 론

트롤어법은 조업 방법에 따라 저층과 중층으로 나누어지고, 또한 조업해역의 원근에 따라 원양트롤어업과 연근해트롤어업으로 나누어진다. 원양에서 조업하는 대형 트롤어선은 5,000톤이 넘는 것이 있으며, 연근해의 소형 트롤어선은 100톤 이하의 것도 많이 있다. 대형 트롤어선은 매우 큰 어구를 사용하며, 그에 따라 기관의 출력도 크며, 주로 원해로 이동하여 조업하나, 조업중 기상의 변화가 선박 안전에 크게 영향을 미치는 경우는 많지 않다. 그러나 소형어선의 경우는 대형선보다 상대적으로 파도

와 바람의 영향을 크게 받기 때문에 조업중의 안전에 대한 충분한 대책을 고려해야 한다. 선체운동은 해상 조건, 선박의 상태 등에 따라 크게 좌우되며, 불규칙한 파랑 중에서 선체운동을 직접 해석하는 데는 많은 어려움이 따른다. 따라서 선체운동을 strip이론에 의해 각 규칙파중의 주파수응답함수를 도출하고, 이를 불규칙 파랑 중에서의 입출력 관계를 이용하여 운동의 응답을 해석하는 것이 일반적인 방법이다^{1),2)}.

해양파를 입력으로 하는 불규칙파중의 선체의 동요응답은 여러 가지 방법으로 해석할 수 있으며, 그 중에서 스펙트럼에 의한 동요응답의 해석법은 그

[†] Corresponding author : leeck1520@hanmail.net

유효성이 이미 많은 연구에 의해 입증되고 있다^{3), 4)}. 항해중의 실선실험에 있어서, 횡동요와 종동요의 선체응답의 스펙트럼은 파고, 파와의 만남주기 및 만남각도 그리고 선박의 상태에 따라 약간씩 다르게 나타나고, 또한 조업중의 선체응답에 있어서는 이들 요소에 부가하여 어구에 의한 여러 가지 역학적인 영향을 받아 응답의 정도가 약간씩 다르게 나타나는 문제점이 있기 때문에, 이들의 요소 전부를 매개변수로 하여 운동의 특성을 고찰한다는 것은 매우 어려운 일이다.

어선의 실선실험을 통한 이러한 연구는 실제로 여러 가지 제약조건이 많기 때문에 상선의 통상적인 선체운동에 비해 매우 부진한 실정이다. 따라서, 여기서는 파고와 파의 만남각도를 매개변수로 하여 소형 트롤어선의 조업중의 종동요 및 횡동요의 운동에 한정하도록 한다.

본 연구에서는 이러한 목적으로 소형 트롤 어선이 조업중일 때 종동요 및 횡동요의 선체 동요를 계속하여, 그 자료를 기초로 예상중의 선체운동을 통계적인 방법을 통하여 고찰하도록 한다.

이 론

실선실험에 의한 선체운동, 즉 해양파 특성을 입력자료로 하고 선체운동응답을 출력으로 하는 이들 불규칙운동의 해석에는 스펙트럼, 상관함수 등에 의한 통계해석법이 매우 유효한 연구 수단인 것은 이미 잘 알려져 있으며^{5), 6)}, 여기서도 이들 방법으로 해석한다.

불규칙파는 확률과정이며, 정상성 가설과 ergode 가설을 만족하는 것으로 보면, 선체응답 스펙트럼은 다음의 식(1)과 같이 불규칙파의 스펙트럼으로부터 구할 수 있다.

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

한편, 에너지 스펙트럼의 정의로부터 다음의 식이 성립한다.

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

여기서, ζ_a 는 특정한 만남주파수 ω_e 를 갖는 2차원 규칙파의 진폭을 의미한다.

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

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

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

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

또한 식(3), (4)로부터 다음식이 성립한다.

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

횡동요응답에 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 운동주파수 ω_e 를 갖는 2차원 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)로부터 만남파 스펙트럼과 응답 스펙트럼 사이에는 다음의 식을 얻을 수 있다.

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

식(8)은 종동요의 경우에도 그대로 적용된다. 이 식의 관계를 횡동요에 대해서 나타내면 다음과 같다.

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

따라서 특정 해석의 해상 상태가 주어지면, 표준 스펙트럼을 계산하는 식을 이용하여 파의 에너지 스펙트럼을 구할 수 있고, 실선실험에 의한 스펙트럼으로부터 역으로 응답진폭비도 구할 수 있다.

본 연구에서의 파랑에 관한 자료는 실선실험에서 목적한 유의파고와 ISSC 스펙트럼을 이용한다⁷⁾.

실선 실험

실선실험은 연안 소형 트롤어선인 제1대림호(GT, 155)를 사용하여 2003년 6월 7일 한산도 남쪽 15마일 남쪽 해상(위도 34° 25', 경도 128° 30')에서 예망중에 수행되었다.

실험 당일의 해상상태는 전일과 거의 비슷하여 완전히 발달된 해상상태로 간주 할 수 있었기 때문에 실험 시작시와 완료시의 해상의 변화는 별로 없었다. 파고는 2.5m로서 소형 트롤어선에 상당한 동요를 유발하는 해상상태를 선택하여 계측하므로써, 동요치의 분석에 도움이 되도록하였다. 실선실험에서 파랑에 대한 선박의 상대침몰은 파의 만남각 180° (180도를 향파로 하였다)로부터 45° 간격으로 225°, 270°, 315°, 0°로 하고, 각 파향에 대한 예망중의 종동요와 횡동요의 진폭을 계측하였다. 종동요와 횡동요의 계측에는 TCM1 electronic compass sensor module⁸⁾을 사용하였으며, 특수 제작한 수평안정대 위에 이 계측장치를 부착시키고, 공시선의 G점과 수직한 기선 상방 3.0m에 설치하여 수행하였으며, 먼저 향파에 대한 계측을 10분간 행하고, 이어 45° 간격으로 각각의 파향에 대하여 같은 방법으로 동요 계측을 실시하였다. 실험에서 선박의 동요주기, 진폭 및 감쇠 특성 등은 파랑의 진행방향이 선수미선에 대하여 대칭일 때 서로 비슷한 경향을 나타내고 있으므로⁹⁾, 파의 만남각에 대한 계측은 片舷의 5 방향으로 한정하였다.

Table 1. Experimental condition of sea trial vessel and sea

Principle dimension	
Lpp	29.5 m
Breadth	6.4 m
Gross tonnage	155.4 ton
Displacement	212.0 ton
Draft	
Fore	1.7 m
After	2.9 m
Metacentric height	
GM	0.47 m
Cb	0.65
Main engine	850 HP
Trawling speed	3.5 kts
Wind speed(true)	11.0 m/s
Wind direction(true)	NE
Wave height	2.5 m

실선시험에서 얻어진 자료는 샘플링 간격을 0.5초로 취하고, AMP와 A/D convert를 이용하여 PC에 실시간 저장하였다. 선체동요에 대한 값은 선박의 적하상태에 따라 달라지며, 적하상태는 경하, 만재출항, 어장발 만재입항 등이 있으나, 여기서는 경하상태와 유사한 상태로 하였으며, 실험시의 공시선의 주요요목과 해상상태는 Table 1과 같다.

결과 및 고찰

실험에 의해 얻어진 데이터를 가지고 Fourier 변환을 수행하기 위해 FFT 부프로그램을 이용하였으며, 본 연구에서 데이터 해석을 위한 데이터 수는 2^N개로 조정하기 위해 1024(N=10)개로 제한하였다. 에너지 스펙트럼의 계산에 있어서 시간 간격 0.5초, 표본개수 1200, 스펙트럼 최대 lag수를 120으로 하여 FFT해석하였다.

본 실선실험에 의해서 얻어진 raw스펙트럼은 Bartlett의 삼각윈도우를 사용하여 평활화 되었다.

1. 스펙트럼과 자기상관

Fig. 1은 예망중 파와의 만남각이 횡파일 때 관측된 공시선의 종동요와 횡동요의 신호로서, 각각 10분간 계측된 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 종동요의 진폭은 횡동요에 비해 매우 낮다.

Fig. 2~3은 예망중 파와의 만남각이 각각 선수사파와 횡파일 때의 종동요와 횡동요의 자기상관함수이다. 선수미선에 대해 대칭된 방향에 대해서는 모두 매우 큰 상관도를 나타내는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 예망중 종동요와 횡동요에 대해 각각 선수미선에 대해 대칭되는 방향의 것을 나타내었다. 그림 중 왼쪽의 것은 종동요의 사추파이고, 오른쪽은 횡동요의 횡파이다. 이 그림에 나타난 것처럼 선수미선에 대칭인 방향의 동요는 진폭과 peak의 값이 거의 같음을 알 수 있다.

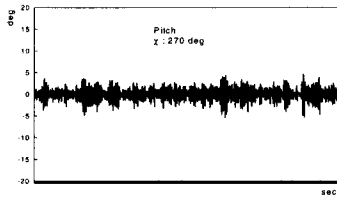
2. Power spectrum에 의한 예망중의 동요 특성

2.1 종동요의 특성

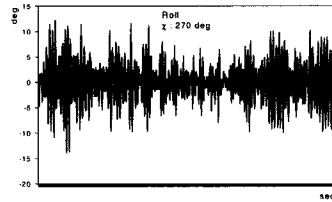
Fig. 5는 유의파고 2.5m일 때, 실선실험에 의한 예망중의 종동요의 응답스펙트럼을 각각 파의 만남각에 따라 나타낸 것이다. 향파에서 종동요의 응답스펙트럼의 유의치는 2.13으로 나타났으며, peak치는 7.0초이다. 선수사파에서 종동요의 응답스펙트

럼의 유의치는 1.89로서, 향파보다 약간 작고, peak가 나타나는 주기는 분명하지 않으나 5.9초이다. 횡파에서 종동요의 응답스펙트럼의 유의치는 1.02로서 매우 낮게 나타났으며, peak 주기는 선수사파에서와 같이 분명하지 않으나 3.9초 정도이다. 추사파에서 종동요의 응답스펙트럼의 유의치는 0.78로서 가장 낮게 나타났고, peak 주기는 5.8초와 9.0초의 두 곳에 보인다. 추사파에서 응답의 peak가 나타나는 주기는 선속과 파속의 관계에 따라 달라지는데, 여기서는 peak가 2개 나타나게 되는 것은 예상중의 선속이 파속보다 느리기 때문으

로 보인다. 추파에서 종동요의 응답스펙트럼의 유의치는 0.80으로 나타났고, peak 주기는 9.0초이다. 추파의 경우에도 분명하지는 않지만 주파수의 peak가 2개가 나타났는데, 이것은 추월하는 파에 의한 것과 선체 자체의 동요에 기인된 것으로 생각된다. 이상과 같이 종동요의 운동을 살펴 본 결과 종동요는 예상중 향파, 선수사파에서 크고, 추파, 사추파에서는 작으며, peak의 주기는 파향에 따라 큰 차이를 보였다. 이와같은 결과는 항해중의 동요와 비교함으로써, 또한 선속과 파속의 관계 그리고 warp장력의 영향을 함께 분석하여야 보다 정확한 경향을 알 수 있을 것이다.

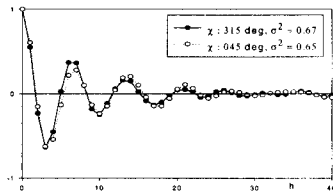


(a) pitch motion

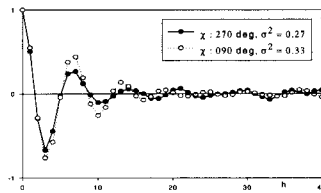


(b) roll motion

Fig. 1. Typical record of pitch and roll motion under operation.

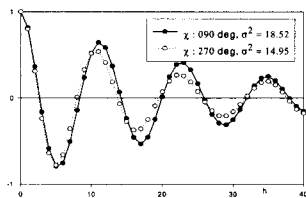


(a) Beam Sea

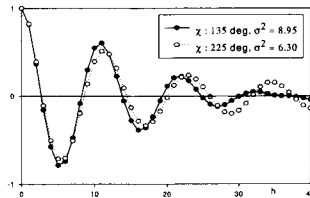


(b) Quartering Sea

Fig. 2. Auto-correlograms of pitch under operation.



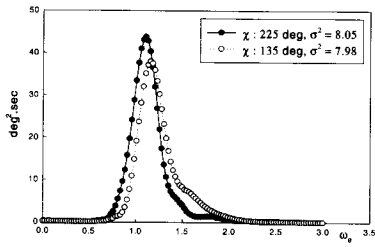
(a) Beam Sea



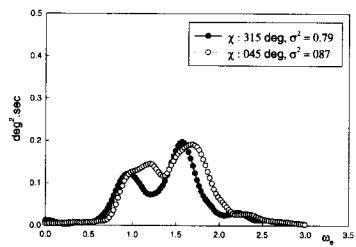
(b) Head Sea

Fig. 3. Auto-correlograms of roll under operation.

소형 트롤 어선의 세망중 동요특성

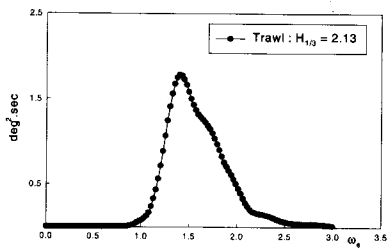


(a) Roll response in head sea

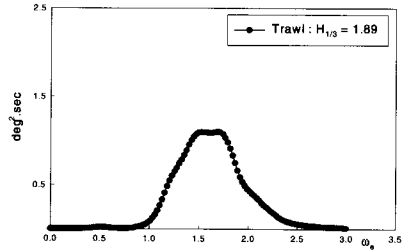


(b) Pitch response in quartering sea

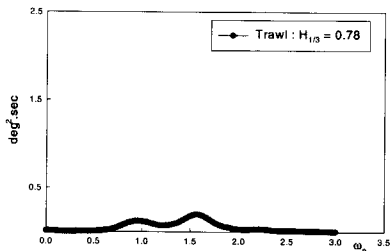
Fig. 4 Power spectra of pitch and roll under operation.



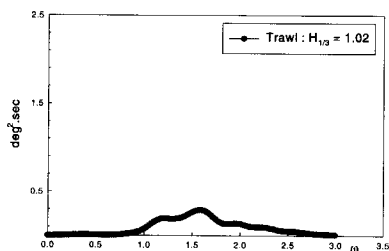
(a) Head Sea



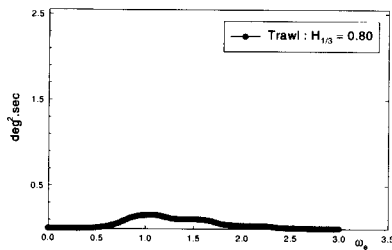
(b) Bow Sea



(c) Beam Sea



(d) Quartering Sea



(e) Following Sea

Fig. 5. Power spectra of pitch under operation.

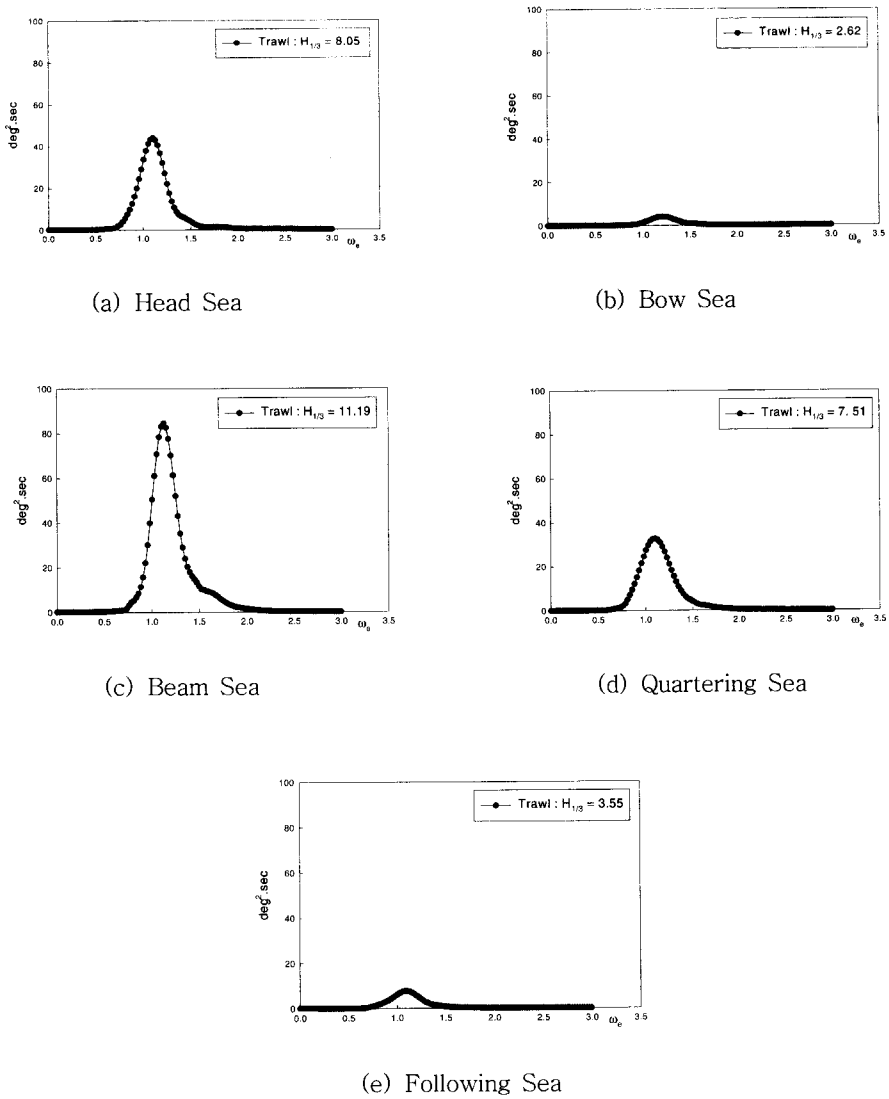


Fig. 6. Power spectra of roll under operation.

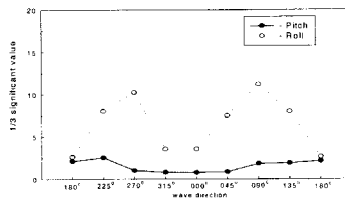


Fig. 7. Significant values of power spectra under operation.

2.2 횡동요의 특성

Fig. 6은 예망중의 횡동요의 응답스펙트럼을 각각 파의 만남각에 따라 나타낸 것이다.

먼저, 항파에서 횡동요의 응답스펙트럼의 유의치는 2.65로써, 횡동요에서는 가장 낮으며, peak가 나타나는 주기는 7.8초 였다. 선수사파의 경우에는 횡동요의 응답스펙트럼의 유의치는 8.05로써, 매우 높고, peak가 나타나는 주기는 5.5초 였다. 횡파에서는 횡동요의 응답의 유의치가 11.19로써, 가장 높게 나타났고, peak 주기는 5.7초 였다. 추사파에서는 횡동요의 응답스펙트럼의 유의치는 7.51이고, peak 주기는 5.8초 였다. 추파에서 횡동요의 응답스펙트럼의 유의치는 항파에 이어 매우 낮았고, peak 주기는 5.9초 였다.

이상 살펴 본 바와 같이, 횡동요응답은 종동요에 비해 매우 크고, 횡파, 선수사파, 추사파의 순으로 크다. 특히 횡파에서 그 경향은 심하였다. 그리고 파향에 따른 peak 주기는 거의 변하지 않고 일정하다. 따라서 종동요의 경우는 횡동요에 비해 응답의 진폭이 적어 종동요에 의한 선박의 위험은 크지 않지만, 횡파, 선수사파, 추사파를 받고 조업을 할 때는 횡동요에 의한 과도한 경사가 일어날 가능성이 높으므로 유의 파고에 따른 자선의 안전에 많은 주의가 필요하다.

Fig. 7은 예망중 종동요와 횡동요의 8방향에 대한 유의치를 나타낸 것이다. 이 그림에 나타난 것과 같이 종동요의 경우에는 전체적으로 유의치가 낮으나, 횡동요에 있어서는 선수와 선미에서 파를 받는 경우 이외에는 유의치가 매우 높다.

2.3 횡동요 점성감쇄력

횡동요에 있어서 점성감쇄력을 알아보기 위해 渡邊-井上の 실험식^{10), 11)}을 이용하여 공시선의 N 계수를 구하여 본 결과, 공시선의 점성감쇄력의 값은 0.031로써, 이것은 복원성규칙에 사용되는 $N_{20} = 0.02$ 에 비해 상당히 높은 값이다.

따라서 본 선박은 다른 상선과 같은 대형선에 비교하여 횡동요 감쇄력이 크게 작용하고 있는 것을 알 수 있다.

결 론

실해상 실험을 통하여 만남파에 대한 소형 트롤 어선의 예망중 종동요와 횡동요의 응답특성을 통

계적 방법과 이론적인 방법을 이용하여 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 예망중 종동요의 응답은 항파, 선수사파에서 가장 크고, 사추파, 추파에서 가장 작았으며, peak가 나타나는 주기는 파향에 따라 매우 달랐다.
2. 예망중 횡동요의 응답은 횡파, 사추파 그리고 선수사파에서 높으며, 특히 횡파에서 매우 높았으며, peak 주기는 파향에 관계없이 대체로 일정하다. 그리고 횡동요 응답은 전체적으로 종동요에 비해 매우 높았다.
3. 공시선의 감멸계수는 복원력의 기준이 되는 0.02보다 높아 동요를 감쇄시키는데 효과적인 것으로 나타났다.
4. 100~200G/T의 소형 트롤어선은 유의파고 약 2.5m에서 안전에 위협을 줄 수 있는 큰 횡동요를 일으킬 수 있다.
5. 예망중에 있어서 횡동요에서 파향에 따른 peak 주기가 거의 같은 값을 나타내고, 감쇄도 큰 것은 예망색의 장력, 즉 어구의 저항에 의해 영향을 직접적으로 받기 때문인 것으로 생각된다.

※ 이 논문은 2003년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

- 1) KORVIN-KROUKOVSKY, B. V.(1969) : Theory of Seakeeping, SNAME, New York.
- 2) 田才福造, 高木又男(1969) : 規則波中の應答理論および計算法 '耐航性に關するシンポジウム,(第1回),日本造船學會.
- 3) Kawashima, R.(1964) : On the response function for the rolling motion of a fishing boat on ocean waves. Ann.Inst. State. Maty. Supple. III, 33-44.
- 4) Kawashima, R.(1963) : On the measurement of ocean waves. A telemetering system for the measurement of ocean waves by means of the use of a bamboo stick wave pole. Bul. Fac. Fish. Hokkaido Uni., 14(1), 7-21.
- 5) 高島末夫 外(1989) : 練習船天鷹丸の波浪中動搖について, The Journal of Shimonoseki university of Fisheries, 37(1), 1-20.

- 6) 山内保文(1956) : 船の動搖の時系列論的解析について, 日本造船協會論文集, 99, 47~64.
 - 7) 元良誠三(1982) : 船舶と海洋構造物の運動學, 成山堂書店.
 - 8) 姜日權 · 尹点東(1995) : 實船試驗에 의한 小型漁船의 動搖特性, 韓國航海學會誌, 19(1), 1-8.
 - 9) 姜日權 · 尹点東 · 趙孝濟(1996) : 漁船의 크기 변화에 따른 實船 應答特性에 관한 考察, 韓國航海學會誌, 20(3), 31-42.
 - 10) 渡邊惠弘 · 井上正祐(1957) : 船の橫搖抵抗所謂 N 의 計算方法について. 日本西部造船會會報, 14, 39-48.
 - 11) 渡邊惠弘 · 井上正祐 · 村橋達也(1964) : N 係數計算法の肥大船の修正. 日本西部造船會會報, 27, 69-81.
-

2003년 12월 3일 접수

2003년 12월 13일 수리