

본 학회지를 발간하는 데 도움을 주신 한국과학기술단체총연합회에 감사드립니다.

實船 試驗에 의한 小型漁船의 動搖特性

강 일 권* · 윤 점 동**

Experimental analysis on the motion response of the small fishing boat toward wave direction

Il-Kweon Kang · Jeom-Dong Yoon***

〈 목 차 〉

Abstract

1. 序論
2. Spectrum 해석법
3. 實船計測의 方法

4. 結果 및 考察

5. 結論
參考文獻

Abstract

The motion of a small boat in seas is affected in relatively higher degrees than the case of a larger ship by the specific characteristics of sea waves, i.e., the wave length and height.

Ship's motion caused by sea waves is a matter of special importance to small fishing boats, because they carry out fishing job in rough seas frequently.

This is an experimental study on the rolling and pitching motions of full scale ship.

In the experiment, the ship's motions were measured for head, bow, beam, quarter and following seas.

The experiment were carried out on board the training ship Pusan 404(160 GT) in the adjacent waters off NAM HYENG JAE DO on Dec. 13th 1994.

The sea condition during the measurements was that wave height 2.5m, no swell and the wind velocity of 12 m/sec.

Some statistic considerations were given to the observed data by the time series analysis methods and discussed in this paper.

* 정회원, 부산수산대학교

** 정회원, 한국해양대학교

1. 序 論

선박의 내항성에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔으며, 특히 최근 선박의 대형화 경향과 함께 연구의 방향도 선체저항¹⁾, 추진성능²⁾, 선체응력³⁾ 등이 강조되고 있다.

이에 비해 소형선에 있어서 매우 중요한 복원성이나 안전성에 관한 연구는 상대적으로 저조한 실정이다.

선체의 크기와 해양파의 파장, 파고 등의 상대적인 관계로부터 보아 해양파 중에 있어 소형선의 선체동요는 대형선의 경우에 비해서 파랑의 영향을 받는 것이 현저하다. 따라서 파랑의 영향은 소형선의 복원성에 있어서 중요한 의미를 가지고 있다. 더구나 소형어선에 있어서는 통상의 항해 뿐만 아니라 황천 중에 있어서도 조업을 하는 일이 많기 때문에 황천에 대한 충분한 감항성능도 함께 가지고 있지 않으면 안된다. 이상의 관점에서 볼 때 소형어선에 있어서 파랑과 선체운동과의 관계를 규명하는 것은 매우 중요한 문제라고 생각된다.

해양파에 의해서 일어나는 선체운동, 즉 해양파를 입력으로 하고 선체운동을 출력으로 하는 이들 불규칙운동의 해석에는 Spectrum, correlogram 등에 의한 통계해석이 매우 유효한 연구 수단인 것은 이미 잘 알려져 있다⁴⁻⁹⁾.

일반적으로 내항성의 실선실험을 행하는 경우 해양파의 계측은 불가결한 것이지만 조선자의 입장으로 보면 해면상태를 목시관측한 결과로부터 자선의 운동을 판단하는 것도 매우 중요하다고 본다. 따라서 필자는 풍랑계급과 파랑의 진행 방향에 대한 선박의 상대침로를 parameter로 하여 선체의 파랑중의 운동 즉, 횡요(rolling)와 종요(pitching)를 실선시험에 의해 계측하고 통계 해석하였다.

2. Spectrum 해석법

2.1 Spectrum 密度函數

시간축에서 불규칙하게 변하는 통계적인 양(stochastic quantity) $x_i(t)$ 가 시간의 함수로써 표시되고, 시간 t 에서 $t + \Delta t$ 까지의 변화가 $\Delta t \rightarrow 0$ 일 때 유한하다면 $x_i(t)$ 는 다음과 같이 무한개의 조화성분의 합으로 표시될 수 있다.

$$x_i(t) = X_0 + \sum_{n=1}^{\infty} X_n \cos(\omega_n t + \varepsilon_n) \quad (1)$$

단,

X_n : n차 조화성분의 진폭

ε_n : 랜덤위상각

ω_n : $n \cdot \omega_1 = n$ 차 조화성분의 원진동수

ω_1 : $2\pi/T$ (T : 계측시간)

X_0 : x_i 의 평균값

어떤 시간 ($-T < t < T$) 사이에 ergodic process $x_i(t)$ 가 있다고 가정하면, Fourier급수는 Fourier변환으로 대치되고 다음과 같이 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X_i(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x_i(t) e^{-i\omega t} dt \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2\pi} \int_{-T}^T x_i(t) e^{-i\omega t} dt \quad (2) \\ x_i(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} X_i(\omega) e^{i\omega t} d\omega \end{aligned}$$

그리고 random process $x_i(t)$ 의 spectrum 밀도함수는 다음의 (3)식으로 부터 구할 수 있다.

$$S_{xx}(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{2\pi}{T} |X_i(\omega)|^2 \quad (3)$$

또한, 확률밀도함수 $P_x(y)$ 는 (4)식으로 표현될 수 있다.

$$P[a \leq x \leq b] = \int_a^b P_x(y) dy \quad (4)$$

이때 $\int_{-\infty}^{\infty} P_x(y) dy = 1$ 이다.

2.2 데이타 처리

실험에 의해 얻어진 데이타를 가지고 Fourier

변환을 수행하기 위해 FFT 부프로그램을 이용하였으며, 본 연구에서 데이터 해석을 위한 데이터 수는 2^N 개로 조정하기 위해 1024($N=10$)로 제한하였다. 또한 시간영역 데이터를 FFT해석하기 전에 spectrum환산시 손실을 방지하기 위해 1/10 cosine tapering 방법¹⁰⁾을 사용하였으며, FFT해석을 한 후 spectrum평활화를 위해 hanning의 window를 사용하였다.

3. 實船計測의 方法

실선 실험은 부산수산대학교 실습선 부산404호 (160 GT)를 이용하여 1994년 11월 13일 남형제도 남방 10 mile (위도 34° 40.0'N, 경도 127° 58.0'E)해상에서 항해중 행하였으며, 이때의 풍속은 12 m/s, 파고 2.5m, 풍향은 파향과 거의 같은 NE방향이었으며, swell은 없었고, 실험 전일의 기상-해상은 당일과 거의 비슷하였다. 실험상태를 Table 1.에 나타내었다.

선체운동 계측의 Parameter로서 파랑에 대한 선박의 상대침로는 0도 부터 45도 간격으로 315도 까지의 8침로에 대해 각각 10분간 항주하면서 계측하였다.

Table 1. Condition of M/V Pusan 404 through the measurements

Principle dimension	
Lpp	30.3 m
B	6.6 m
D	2.8 m
Gross tonnage	160.4 ton
Displacement	218.0 ton
Draft	
F	1.6 m
A	2.8 m
Metacentric height	
GM	0.45 m
Main engine	750HP
ship's speed	11.2 k't

Rolling 및 Pitching계측에는 미국 Precision

Navigation INC.의 TCM1 ELECTRONIC COMPASS SENSOR MODULE을 사용하였으며, 필자가 제작한 수평안정대 위에 이 계측장치를 부착시키고, 선체중양부의 B.L에서 상방 1.5m의 위치에 설치하였으며, 계측된 Data는 PC에 곧 바로 저장하였다.

TCM1 Module의 개요는 Table 2에 나타낸 바와 같다.

Table 2. Description of TCM1 ELECTRONIC COMPASS SENSOR MODULE

Heading Accuracy	$\pm 0.5^\circ$ RMS	Tilt Accuracy	$\pm 0.2^\circ$
Repeatability	$\pm 0.1^\circ$	Repeatability	$\pm 0.2^\circ$
Resolution	0.1°	Resolution	0.1°
Tilt Range	$\pm 25^\circ$	Tilt Range	$\pm 30^\circ$
Magnetic Field Accuracy	$\pm 0.2 \mu T$	Interfaces	RS232C
Repeatability	$\pm 0.1 \mu T$	NMEA	0183
Resolution	$0.1 \mu T$		
Range	$\pm 80 \mu T$		

일반적으로 해양파의 안정성은 20~30분 정도이기 때문에 실험의 개시와 종료시에는 해면 조건에 약간의 차이가 있는 것으로 생각된다. 그러나 이 실험은 안정된 해황에서 행하였고, 파랑상태를 목시관측하여 선체동요특성을 추정하는 본 연구의 목적으로 보아 미소한 해상의 변화는 동요 기록 해석에 있어서 무시하였다.

4. 結果 및 考察

계측된 rolling과 pitching 각도의 연속기록으로부터 파랑에 대한 각 침로에 대해 자료 취득 시간 간격 0.5초 마다 그의 진폭을 읽어 취한 각 1,200개의 data에 대해서 시계열해석을 행하였다.

Fig.1은 rolling과 pitching의 기록 예이다.

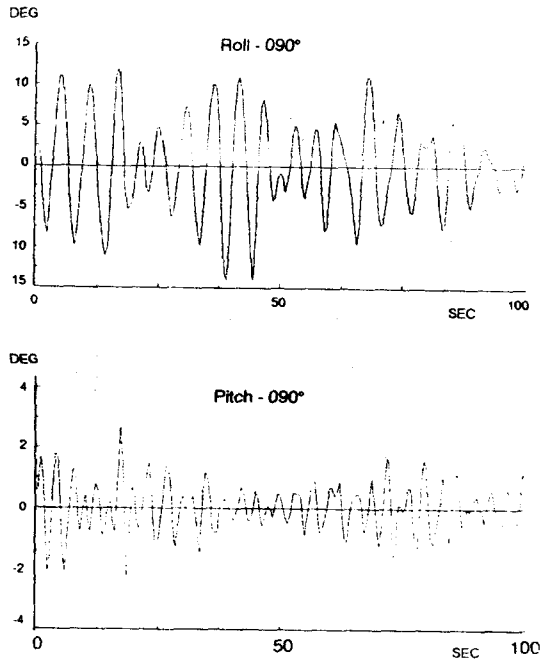


Fig.1 Typical record of rolling and pitching motion

통계 해석에 앞서 data의 확률분포를 조사하여 그 결과를 Fig.2와 Fig.3에 확률밀도함수로 나타내었다. 이 그림에 있어서 종축은 percent로 나타낸 누적빈도이며, 횡축은 동요각도이다.

川島⁸⁾에 의하면 이들 진폭의 통계적 특성은 정규분포를 하는 것으로 알려져 있으며, 본 그림에 의하면 본 실험의 경우에도 각각 정규분포를 하는 것을 알 수 있다. 또한 시계열해석에 의해 correlogram 및 power spectrum을 Fig.4-A, B, C, D와 Fig.5-A, B, C, D에 나타내었다.

Power spectrum 밀도함수는 과정에 걸쳐진 통계적 평균의 성질인 상관함수의 Fourier 변환이다. 따라서 Fig.4-A~D에 있어서 횡축은 주기, 종축은 각주기에 대응한 동요각의 2승값이다.

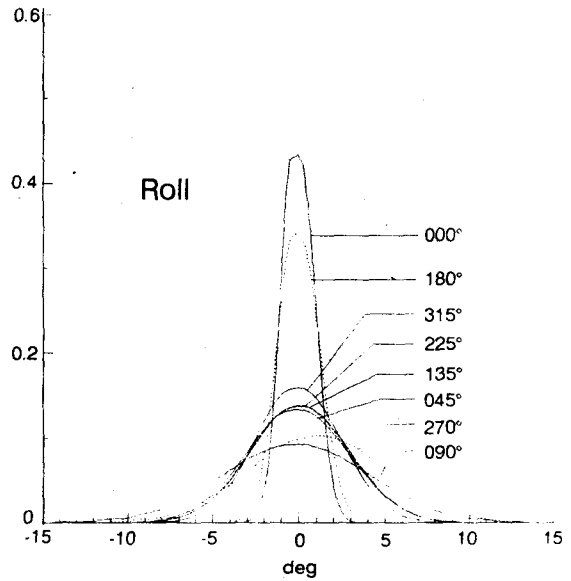


Fig.2 Statistical distribution of rolling amplitude on various courses toward the wave direction.

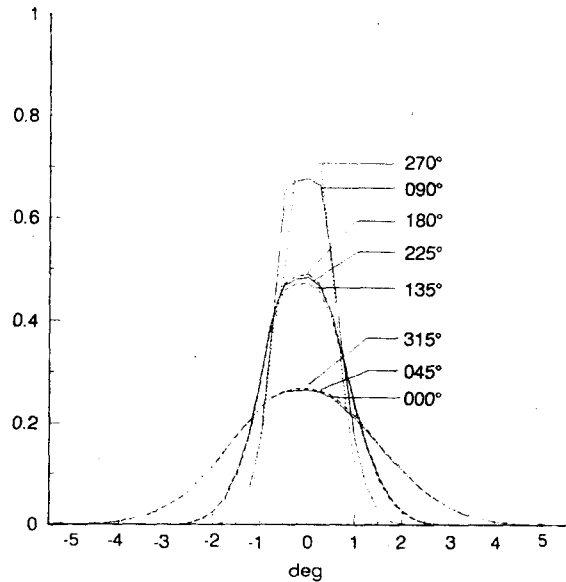


Fig.3 Statistical distribution of pitching amplitude on various courses toward the wave direction.

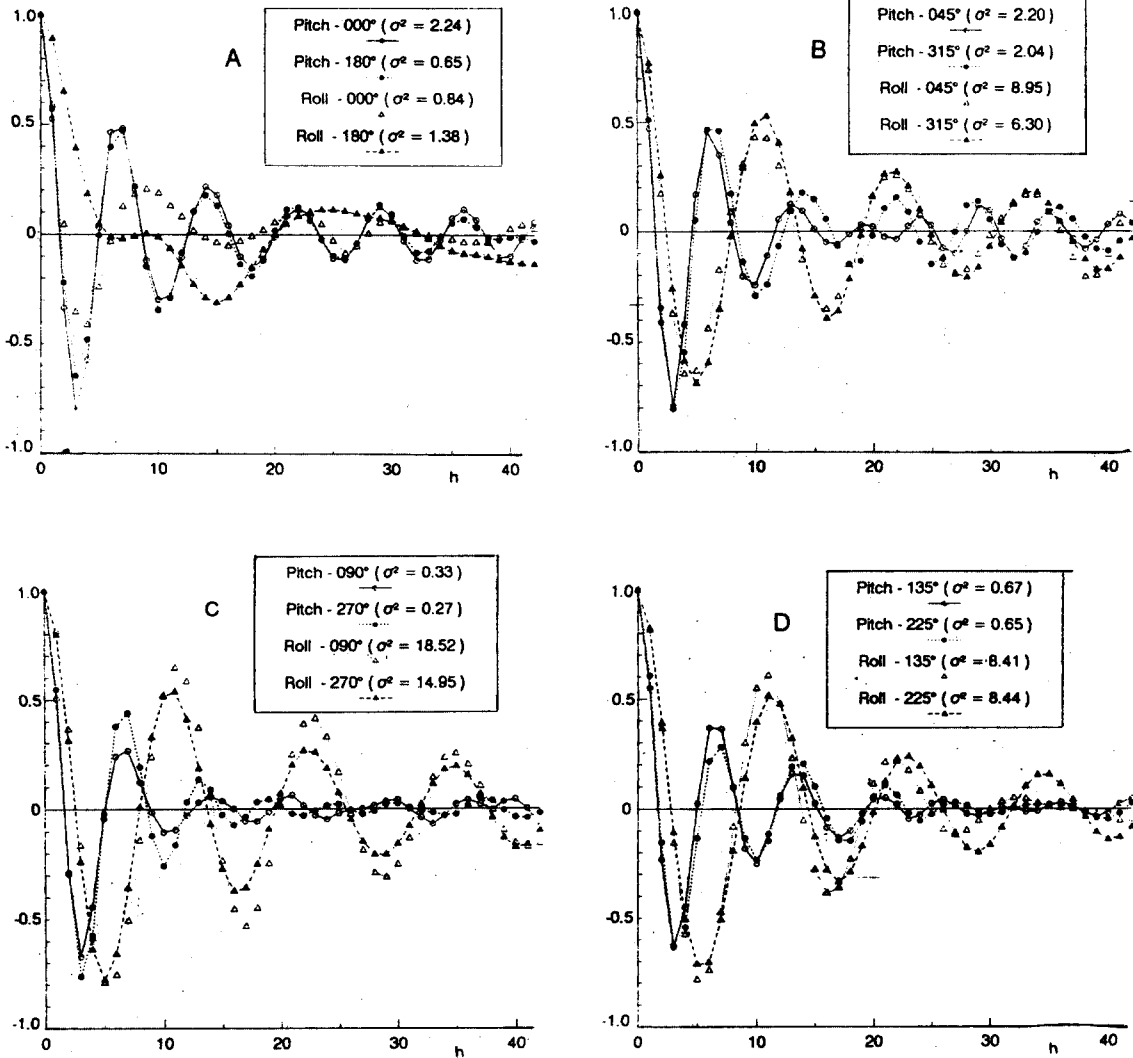


Fig.4 (A-D) Auto-correlograms of rolling and pitching movements

Power Spectrum의 계산에 이용된 정수는 시간 간격 0.5sec, data수 1200, Spectrum 분할 수 120으로 하였으며, Hanning의 Window를 사용하였다.

실습선 부산 404호의 해양파 중에 있어서 동요 특성은 Fig.5-A~D에 나타낸 바와 같이 상대침로 0도~180도에 대해서 대칭적인 방향, 즉 45도와

315도, 90도와 270도, 135도와 225도의 동요는 주기, 진폭 및 감쇠상황 등에서 대개 비슷한 경향을 나타내고 있다.

동요가 가장 큰 침로는 rolling의 경우, 현측에서 파도를 받는 270도와 90도, 그 다음으로 선수 방향에서 파도를 받는 45도와 선미 후방에서 파도를 받는 135도, 225였다.

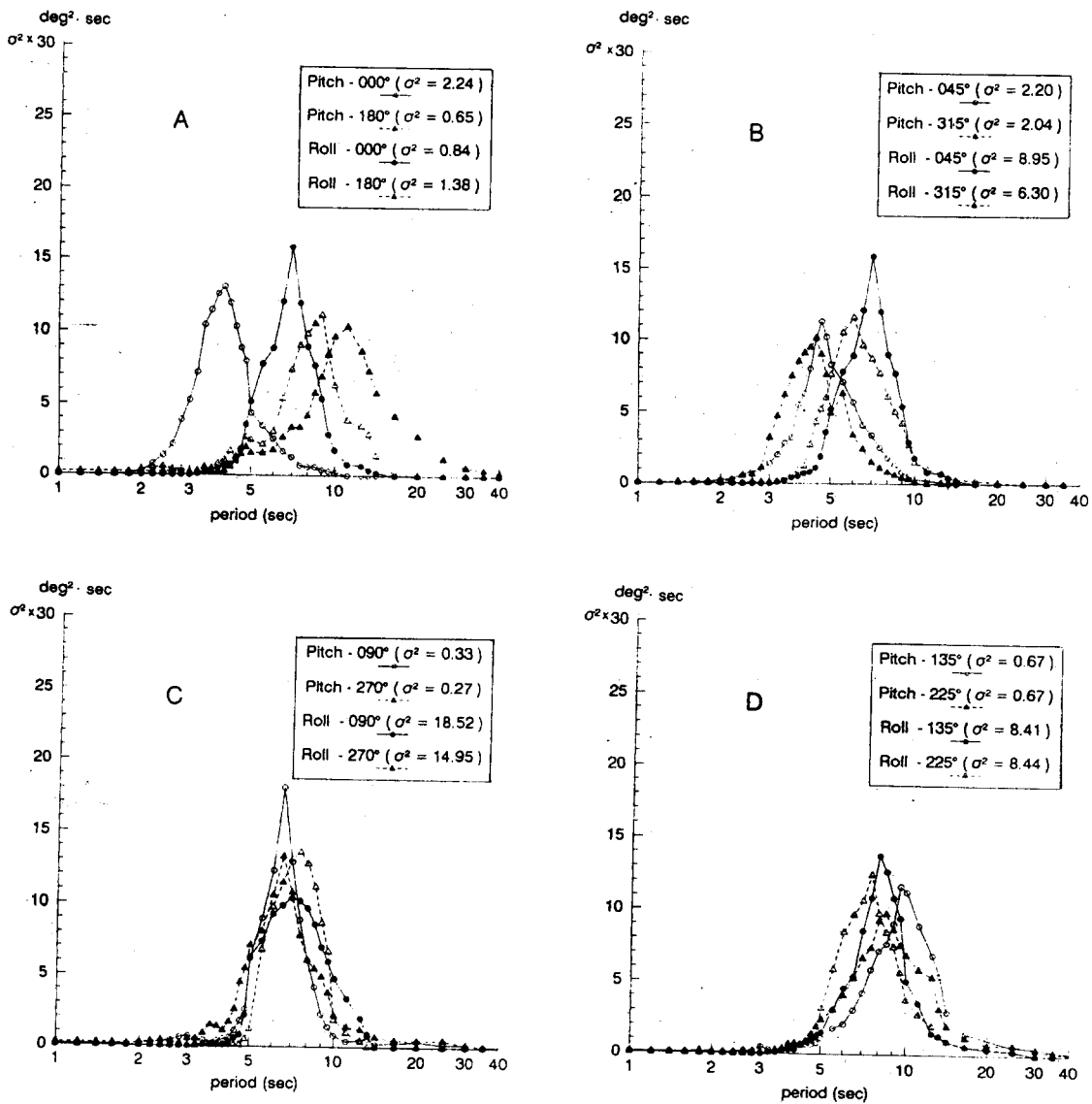


Fig.5 (A-D) Power spectra of rolling and pitching movements

pitching에 있어서는 상대침로 0도, 45도, 135도에서 동요가 제일 심하게 나타났고, 그 다음으로 선미 후방에서 파도를 받는 135도, 225도, 그리고 선미에서 파도를 받는 180도였다.

선체운동의 극대치의 확률분포는 Rayleigh분포에 근사하게 얻어진다는 것이 M.S Longuet-

Higgins¹¹⁾에 의해 알려져 있고, 福田¹²⁾에 의하면 선체운동의 이론 계산, Strip법에 의해 그 단기의 Parameter분산을 구한 (5)식에 나타난 것과 같이 선체운동의 제특성치가 추정될 수 있다.

이론계산에 의한 분산과 실제 계측에 의한 분산(σ²)은 대체로 일치하기 때문에 여기서는 (5)식

에 Fig.4에서 나타난 correlogram의 계산에 의해 구한 동요진폭의 변동의 분산을 대입하여 선체운동의 제특성치를 추정하여 Table 3에 나타내었다.

공시선의 고유동요주기는 계측에 의해 약 7.8초였으며, Table 3에 나타난 바와 같이 rolling의 주기는 이것과 크게 다르지 않았으나, pitching의 주기는 매우 다르게 나타났다.

$$\begin{aligned}
 \text{평균치} &= 1.25 \sigma \\
 1/3 \text{ 최대평균치} &= 2.00 \sigma \\
 1/10 \text{ 최대평균치} &= 2.55 \sigma \\
 1/100 \text{ 최대기대치} &= 3.22 \sigma \\
 1/1000 \text{ 최대기대치} &= 3.87 \sigma
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Table 3. The calculated angle, period and number of heavy movement from each power spectra of rolling and pitching movement

<Rolling>								
R.CO	σ^2	$\bar{\theta}_a$	$\bar{\theta}_s$	$\bar{\theta}_{max}$	θ_e	θ'_e	T	θ_{max}
000°	0.84	1.15	1.84	2.34	2.96	3.56	7.0	3.9
045°	8.95	3.74	5.98	7.63	9.63	11.58	6.1	14.0
090°	18.52	5.38	8.61	10.97	13.86	16.65	7.1	14.0
135°	8.41	3.63	5.82	7.41	9.36	11.25	8.0	9.5
180°	1.38	1.47	2.35	3.00	3.78	4.55	9.1	4.1
225°	8.44	3.63	5.81	7.41	9.36	11.25	7.4	9.1
270°	14.95	4.83	7.73	9.86	12.45	14.96	7.5	15.0
315°	6.30	3.14	5.02	6.40	8.08	9.72	6.0	10.0

<Pitching>								
R.CO	σ^2	$\bar{\theta}_a$	$\bar{\theta}_s$	$\bar{\theta}_{max}$	θ_e	θ'_e	T	θ_{max}
000°	2.24	1.87	2.99	3.82	4.82	5.79	3.9	6.3
045°	2.20	1.85	2.97	3.78	4.77	5.74	4.6	4.9
090°	0.33	0.72	1.15	1.47	1.85	2.23	6.5	2.8
135°	0.70	1.05	1.67	2.13	2.69	3.23	9.5	3.2
180°	0.65	1.00	1.61	2.06	2.60	3.12	11.1	2.5
225°	0.68	1.03	1.64	2.10	2.66	3.19	8.5	3.0
270°	0.27	0.65	1.04	1.32	1.67	2.00	6.5	2.3
315°	2.04	1.79	2.86	3.65	4.60	5.53	4.4	4.6

Note : R.co : ship's relative course toward the wave direction

σ^2 : variance of the ship's movement amplitude

$\bar{\theta}_a$: arithmetic average of amplitude

$\bar{\theta}_s$: significant value of amplitude

$\bar{\theta}_{max}$: average of higher amplitude of 10% throughout overall data

θ_e : expected amplitude at 1% probability

θ'_e : expected amplitude at 0.1% probability

T : dominant period of ship's movement

θ_{max} : observed maximum amplitude

5. 結 論

부산수산대학교 실습선 부산 404호를 이용하여 항해중 파랑에 대한 각 침로를 Parameter로 동요 계측을 행하고 통계 해석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 횡요주기와 종요주기의 진폭의 분포는 정규 분포를 나타내었다.

2. 파랑의 진행 방향과 선박의 침로가 선수미선에 대하여 대칭인 상대침로의 동요의 주기, 진폭, 감쇠 상황 등은 서로 비슷한 경향을 나타내었다.

3. 동요가 가장 심한 상대침로는 횡요의 경우에는 90도, 270도 였고, 종요에서는 0도, 45도, 315도 였다.

4. 선체운동의 평균치, 최대기대치 등을 추정한 결과는 Table 3에 나타낸 것과 같다.

5. 횡요주기는 대체로 상대침로의 변화에 관계 없이 선체 고유주기와 비슷하였고, 종요주기는 파랑의 조우각에 따라 변화가 큰 것으로 나타났다.

參 考 文 獻

- 1) 姫野洋司 外 : 粘性流體における造波抵抗, 造

- 船協會論文集, 130, 21~30(1971)
- 2) 池畑光尚 外 : 模型船後流亂れとプロペラへの影響, 造船協會論文集, 130, 60~82(1971)
 - 3) 安藤文隆 外 : 巨大船の實船強度試験, 造船協會論文集, 125, 347~358(1969)
 - 4) 山内保文 : 船の動搖の時系列論的解析について, 造船協會論文集, 99, 47~64(1956)
 - 5) 山内保文 : 船の波浪中動搖應答の解析法について(その1), 造船協會論文集, 109, 169~183(1961)
 - 6) 川島利兵衛 : 海洋波中の漁船の横搖れ應答函數の統計的推定について, 日航誌, 31, 99~106(1964)
 - 7) 川島利兵衛 : スペクトラムから見た波の中の船體運動について, 日航誌, 38, 121~127(1967)
 - 8) 川島利兵衛 外 : 漁船の耐航性について(その1), 北大水報, 18, 345~356(1968)
 - 9) 山内保文 : 耐航性に関するシンポジウムテキスト, 日本造船學會, 53~97(1969)
 - 10) 홍도천 외 : “불규칙파중 운동시험법 개발에 관한 연구”, 한국기계연구소 보고서, UCE 280-887. D, 1986.
 - 11) CARTWRIGHT, D.E. and LONGUET-HIGGINS, H.S. : The statistical distribution of maxima of a random funtion, *Proc. Roy. Soc. A*, 237, 212~232(1956)
 - 12) 福田淳一 : 耐航性に関するシンポジウムテキスト, 日本造船學會, 99~119(1969)