

大韓造船學會誌
 第24卷 第2號 1987年 6月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 24, No. 2, June 1987

컨테이너선의 불규칙파 중 운동응답에 대한 실험적 고찰

홍사영* · 이상무* · 홍도천*

Experimental Analysis on the Motion Response of a Container Ship in Irregular Head Waves

S.Y. Hong · S.M. Lee · D.C. Hong

Abstract

This paper presents the results of seakeeping tests on a container ship model in irregular head waves.

A time domain signal generating procedure is devised so that the wave maker behaves in accordance with the specified wave spectrum. The surface elevation of generated waves is measured and analysed to render the recorded wave spectrum for comparison with the specified one. Correction is made to the time domain signal until the differences between the two spectra become negligible.

The motion responses and vertical acceleration of the self-propelled ship model are measured and analysed by both the spectral and the double amplitude methods. The two methods give nearly same statistical values.

Finally the recorded spectra are compared with those calculated from the frequency domain motion analysis to show the credibility of the experimental results.

1. 서 언

선박을 비롯한 다양한 해양개발장비의 설계 및 운용에 있어서 중요한 요구 사항중의 하나는 실제 해상상태에서의 각종 장비의 성능평가이다.

특히 일반선박의 파랑중 저항증가 및 특수목적선의 악천후에서의 내항성능 추정을 위해서는 작업해역 또는 운항항로에 상응하는 불규칙파를 수조에서 재현하여 운동시험을 수행하는 것이 요구된다.

본 논문에서는 불규칙파중 내항성능을 추정하기 위한 실험적 기법을 보이고 컨테이너선(S175, ITTC 비교 모형선)의 운동실험 결과를 비교고찰한다.

해상조건은 3가지 파도 spectrum을 택하였으며 원하는 spectrum을 얻기 위해 불규칙파생성은 반복수정하는 방법을 취하였다.

운동시험은 Froude수, $F_n=0.0, 0.2, 0.275$ 의 3가지에 대해 수행되었으며 파의 진행방향은 선수파에 국한하였다. 파고, 상하동요, 종동요 및 국부가속도가 계측되었으며 계측결과를 계산결과와 비교되었다.

본 논문은 대한조선학회 '87춘계연구발표회에서 발표된 논문임

접수일자: 1987년 5월 26일, 재접수일자: 1987년 6월 29일

* 정회원: 한국기계연구소

2. 모형시험

불규칙파중 운동시험은 먼저 불규칙파생성이 선행되어야 한다. 보통 파도 spectrum으로 표시되는 해상상태는 수조에서 재현가능해야 하므로 시험전에 조파기의 특성에 따른 재현가능한 주파수범위를 점검하여야 하며 이에 따라 실험목적에 맞는 상사비가 결정된다.

또한 불규칙파생성 시스템은 보다 정확한 파도 spectrum을 생성하기 위하여 원하는 파도 spectrum에 대응하는 불규칙파형을 얻을 때까지 수정, 반복할 수 있도록 구성하는 것이 바람직하다.

상사비에 따라 모형선이 제작되면 경사시험, 관성능률시험 및 계측기기 조정과 같은 준비과정을 거쳐 운동시험을 실시하게 된다. 이때 자료취득 시간간격, 자료기록 시간, 계측장비, 모형선의 추진방법, 구속 여부를 결정한다.

취득 데이터의 해석은 실험수행중 즉시 해석하여 실험상태를 확인할 수 있도록 시스템을 구성하는 것이 바람직하다.

2.1. 불규칙파 생성

Flap형 조파기에 의해 생성되는 파도의 파고는 조파판이 움직인 거리와 조파판의 작동진동수에 의해 달라진다. 따라서 불규칙파형을 만들기 위하여 제반 계산을 수행하는 것은 궁극적으로 조파기를 구동하는 행정(stroke)을 시간에 따라 변화하는 신호형태로 입력시키기 위한 것이다.

원하는 파도 spectrum이 결정되면 그로부터 다음과 같이 조파판의 동력 spectrum을 산출한다.

$$E(f) = S(f) \left(\frac{G(f) \cdot K(f) \cdot C(f)}{2a(f)} \right)^2 \quad (1)$$

식 (1)에서 $S(f)$ 는 파도 spectrum을 나타내며 $2a(f)$ 는 조파판의 움직인 거리와 발생하는 파도의 진폭과의 관계를 나타내는 함수이다. $K(f)$ 는 수심변화에 따른 파고수정계수이고 $G(f)$ 는 조파판의 이득(gain)을 나타내며 $C(f)$ 는 비선형 효과 및 오차를 보상하는 수정계수로 다음과 같이 표시된다[1].

$$2a(f) = \frac{8 \sinh \frac{2\pi D_2}{\lambda_2}}{2\pi D_2 \frac{\lambda_2}{\lambda_2}} \cdot \frac{\left(1 - \cosh \frac{2\pi D_2}{\lambda_2} + \frac{2\pi D_2}{\lambda_2} \cdot \sinh \frac{2\pi D_2}{\lambda_2} \right)}{\left(\frac{4\pi D_2}{\lambda_2} + \cosh \frac{2\pi D_2}{\lambda_2} \right)} \quad (2)$$

$$K(f) =$$

$$= \sqrt{\frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{\tanh \frac{2\pi D_1}{\lambda_1} \left\{ \frac{4\pi D_1}{\lambda_1} \operatorname{cosech} \frac{4\pi D_1}{\lambda_1} + 1 \right\}}{\tanh \frac{2\pi D_2}{\lambda_2} \left\{ \frac{4\pi D_2}{\lambda_2} \operatorname{cosech} \frac{4\pi D_2}{\lambda_2} + 1 \right\}}} \quad (3)$$

$$C'(f) = C(f) \cdot \sqrt{\frac{(1+K_R^2) \cdot S(f)}{M(f)}}$$

$$K_R = \sqrt{\frac{E_R}{E_I}} \quad (4)$$

- W_i : 수조의 폭
- D_i : 수조의 깊이 $\begin{cases} i=1: \text{조파위치} \\ i=2: \text{계측위치} \end{cases}$
- λ_i : 파장
- K_R : 반사계수
- $M(f)$: 계측된 파도스펙트럼
- $S(f)$: 원하는 파도스펙트럼
- E_I : 입사파의 에너지
- E_R : 반사파의 에너지

동력 spectrum이 산출되면 주파수에 따라 조파장치를 움직이는 행정변위신호를 다음과 같이 구한다.

$$S_i(f) = \sqrt{2E(f) \cdot \Delta f} \quad (5)$$

다음에 식 (5)로 부터 Fourier 역변환을 통하여 불규칙 신호를 결정하게 된다.

$$e(t) = \int_0^\infty S_i(f) \sin(2\pi ft + p(f)) df \quad (6)$$

이때 $p(f)$ 는 난수로 부터 결정되는 위상차이다. 이때 불규칙 신호를 만드는 방법은 식 (6)과 같이 성분파를 합성하는 방법과 식 (6)을 변형하여 백색잡음을 만들고 이 잡음을 주어진 조파판의 운동 spectrum이 되도록 필터링하는 백색잡음법이 있다[1]. 이렇게 만들어진 불규칙 신호는 D/A(digital to analog)변환을 통하여 마그네틱 테이프에 기록되며 이 신호로 조파판을 구동한다.

이렇게 생성된 파도는 계측, 해석을 통해 원하는 파도 spectrum과 비교되고 수정되어 상기한 과정을 반복하게 된다. 이때 $2a(f)$, $K(f)$, $G(f)$ 등은 시스템이 결정되면 변하지 않는 계수이고 수정작업을 통하여 $C(f)$ 만을 변화시킨다. 불규칙파 생성 과정의 유통도를 Fig. 1에 보였다.

불규칙파 생성을 위해 고려해야 할 사항중의 하나는 반사파의 영향이다. 보다 정밀한 실험을 위해서는 반사파의 영향을 최소화하여야 한다. 본 실험에서 계측된 반사율은 10%내이다.

2.2. 모형선 및 시험조건

본 실험에서 모형선은 ITTC내항성분과의 비교 모형선인 고속 콘테이너선 S-175로 택하였다. 상사비는

Table 1 Principal characteristics of ship and propeller

Designation	Ship	Model
Length between perpendiculars $L(m)$	175.00	4.0
Breadth moulded $B(m)$	25.40	0.5806
Draft (mean) $d(m)$	9.50	0.2171
Displacement $\Delta(m^3)$	24,119	0.28825
Wetted surface area $S(m^2)$	5,500	2.8735
Block coefficient C_B	0.5717	0.5717
Waterplane area coefficient C_w	0.7108	0.7108
Longitudinal C.G. from midship (AFT) $LCG(m)$	2.48	0.057
Vertical C.G. $KG(m)$	9.52	0.2190
Transverse metacentric height $\overline{GM}_T(m)$	1.0	0.216
Longitudinal metacentric height $\overline{GM}_L(m)$	202.0	4.86
Pitch radius of gyration $K_{yy}(m)$	42.0	0.96
Roll natural period $T_s(sec)$	18.0	2.72
Appendage		rudder

Propeller	Actual	Model
Diameter (m)	6.5	0.1486
Pitch (m)	5.86	0.1339
Pitch ratio	1.055	1.055
Expanded area ratio	0.73	0.73
Blade thickness (m)	0.2015	0.0046
Rake angle (deg)	9.65	9.65
Number of blades	5	5
Direction of turning	Right	Right

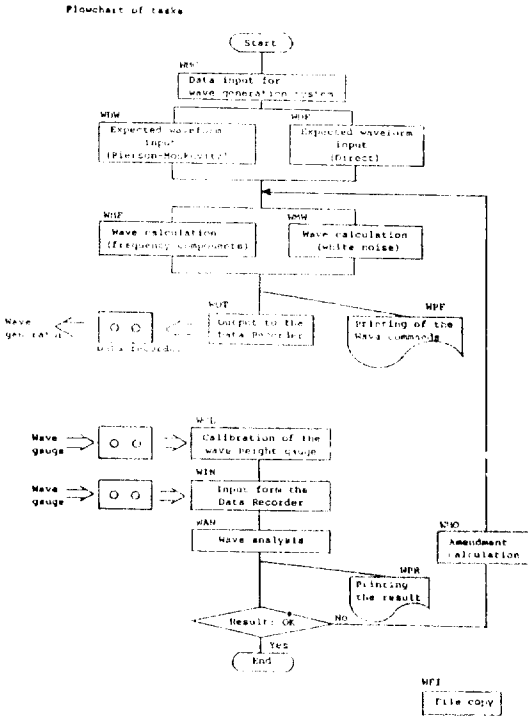
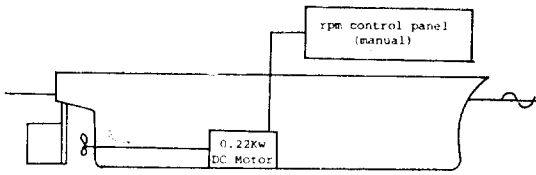
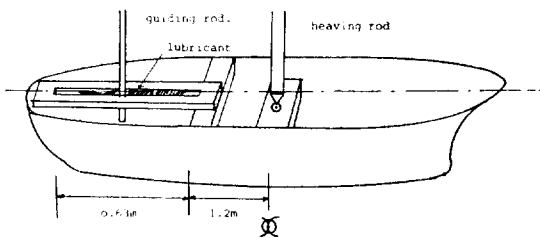


Fig. 1 Wave making process



(a) Schematic diagram for self-propulsion



(b) Guiding system for course keeping.

Fig. 2 Test arrangement

1 : 43.75이며 주요제원은 Table 1에 표시하였다.

모형선의 흡수는 만제흡수 상태이고 경사시험 결과 수직무게중심위치는 +0.9%, 관성능률시험 결과 종동요관성반경은 -0.4%의 오차로 실선상태를 모형화하였다. 모형선의 추진은 실제 상황과 보다 일치시키기

위해 자항방법을 택하였고 선수동요를 방지하기 위해 선미부에 선수동요 가이드를 장치하였다. 실험상태를 Fig. 2에 나타내었다. 선속은 선선에 대해 0, 16, 22kt ($F_n=0, 0, 0.2, 0.275$)의 세 조건을 택하였고, 파의 진행방향은 선수파로 국한하였으며 불규칙 해상상태는 아래의 세 경우를 택하였다.

파도 spectrum은 식 (7)에 나타낸 ITTC에서 권장하는 2-파라미터 spectrum을 사용하였으며 [2]

$$S_{\xi}(\omega) = \frac{124H^2 L^{1/3}}{T_0^4} \cdot \frac{1}{\omega^5} \cdot \exp\left(-\frac{497}{T_0^4} \cdot \frac{1}{\omega^4}\right) \quad (7)$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}, \quad m_n = \int_0^\infty \omega^n \cdot S_{\xi}(\omega) d\omega \quad (n=0, 2)$$

이때 유의파고 $H_{1/3}$ 및 평균주기(mean zero up-crossing period) T_0 는 다음의 경우를 택하였다.

Table 2 Data acquisition condition

Wave Spectrum	F_n	Sampling rate (H_s) (in model)	No. of data	No. of record	record length (sec) (in model)	Δt (in prototype) (sec)
SP2	0.0	20	1024	7	51.2×7	0.33072
$H_{1/3}=2.5m$	0.2	20	1024	1	51.2	"
$T_0=8sec$	0.275	20	512	1	25.6	"
SP3	0.0	20	1024	9	51.2×9	"
$H_{1/3}=4.0m$	0.2	20	1024	1	51.2	"
$T_0=10sec$	0.275	20	512	1	25.6	"
SP4	0.0	20	1024	7	51.2×7	"
$H_{1/3}=5.5m$	0.2	20	1024	1	51.2	"
$T_0=12sec$	0.275	20	512	1	25.6	"

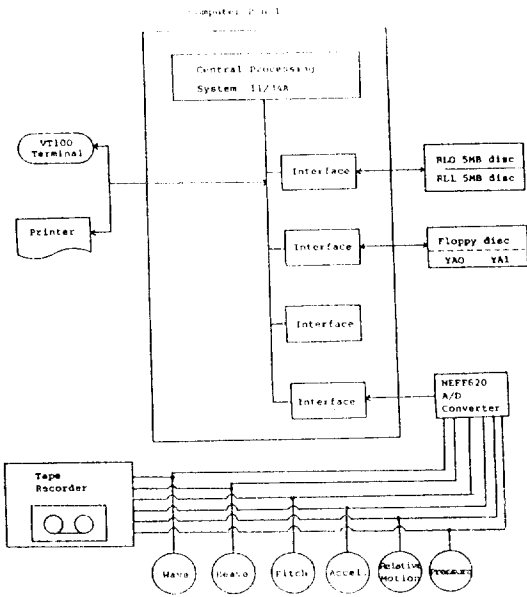


Fig. 3 Data acquisition using PDP 11/34

SP2 : $H_{1/3}=2.5m$, $T_0=8sec$

SP3 : $H_{1/3}=4.0m$, $T_0=10sec$

SP4 : $H_{1/3}=5.5m$, $T_0=12sec$

2.3. 계측항목 및 데이터 취득

불규칙파중 운동계측은 A/D변환기 NEFF 620과 미니컴퓨터 PDP 11/34를 이용하여 전산시스템화 하였다. 계측시스템은 선수 2m 전방에서 불규칙파형을, 무게 중심에서 중동요 및 상하동요를, station 17.6에서 수직가속도를 계측하며 계측된 아날로그 신호는 NEFF 620을 통하여 PDP 11/34로 입력되고 디지털 데이터로 filing된다. 동시에 아날로그 데이터는 테이프레코더

TEAC 60에도 기록된다. 테이프레코더에 기록된 데이터는 이후 전산처리 및 자료해석에 이용된다.

이에 대한 계통도는 Fig. 3에 나타내었다. 가장 짧은 파성분이 계측위치에 도달할 수 있도록 불규칙파가 모형선에 도착한 후 충분한 시간이 경과한 후 데이터의 취득을 시작하였다(model time scale로 약 4분후). 취득시간간격은 0.33072초(model time scale 20Hz)로 하였다.

불규칙파중 실험에서 데이터의 기록시간은 실선에서 30분에 해당하는 시간을 요구하고 있다. 본 연구에서 실험조건에 따른 데이터 기록시간은 Table 2에 수록하였다.

3. 불규칙파중 운동해석

3.1. 일반

시간이나 공간에서 불규칙하게 변화하는 양 x 를 stochastic variable이라 한다. 그리고 이 stochastic variable은 불규칙파중 운동해석에서 경험하게 되는 흥미있는 관심 대상이며, 어떤 조건을 만족시키는 확률 밀도함수 등으로 표현될 수 있다. stochastic variable x 로 표시되는 현상(process)은 그 현상의 모든 통계적 특성이 알려져 있다면 정확히 정의될 수 있지만 일반적으로 자연현상은 그러하지 못하다.

만일 어떤 현상을 나타내는 ensemble의 확률밀도함수가 시간의 변화에(시간축의 이동)에 관계없이 같다면 이 현상을 stationary process라 정의한다.

실제 해상 파도는 weakly stationary process이므로 기록시간이 아주 긴 실제 해상 파도의 경우 각 ensemble의 통계치들은 시간에 무관하지 않으나 현실적 이용목

적으로 해상 수면상승과 그로 인해 발생하는 선체운동을 stationary process로 취급할 수 있다.

stationary process이면서 시간평균값이 ensemble의 평균값과 같을 때 이를 ergodic process라 한다.

실제적인 문제로 해상상태 기록을 위해 부표를 하나만 사용하고, 선체운동을 측정하기 위해 모형선을 하나만 사용하는 것은 내항성 문제에서 취급하게 되는 불규칙 현상을 ergodic process라고 가정하는 것이며, 현실적으로 이 방법을 사용하고 있다. 본 연구에서도 불규칙 데이터를 해석하는데 있어 각 데이터는 ergodic process라 가정하였다.

데이터 해석은 FFT(Fast Fourier Transform) routine을 이용하여 spectrum밀도를 구하는 spectrum 해석법과 double amplitude(zero up-crossing)방법을 이용하여 시간영역에서 데이터를 해석하는 통계적 방법의 2가지를 취하였다.

본 절에서는 spectrum해석법과 double amplitude방법에 대해 간략히 서술하고 자료처리 프로그램에 대해 설명하기로 한다.

3.2. Spectrum 해석법

3.2.1. Spectrum 밀도함수

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

$$x_i(t) = X_0 + \sum_{n=1}^{\infty} X_n \cos(\omega_n t + \epsilon_n) \tag{8}$$

이때

- X_n : n 차 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 가정하자. 그러면 Fourier급수는 Fourier변환으로 대체되고 다음과 같이 식 (9)로 나타낼 수 있다.

$$X_i(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x_i(t) e^{-i\omega t} dt = \int_{-T}^T x_i(t) e^{-i\omega t} dt$$

$$x_i(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X_i(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

그리고 random process $x_i(t)$ 의 spectrum밀도함수는 다음으로 부터 구할 수 있다.

$$S_{xx}(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{2\pi}{T} |X_i(\omega)|^2 \tag{10}$$

3.2.2. 불규칙 데이터의 통계치

해상 파도의 수면은 시간에 대해서 연속인 함수이고 이를 x 라 할 때 $a < x < b$ 일 확률은 확률밀도함수 $P_x(y)$ 로 표시될 수 있다.

$$P[a \leq x \leq b] = \int_a^b P_x(y) dy \tag{11}$$

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

실측자료 및 경험으로부터 파도의 수면상승은 정규 분포라고 알려져 있으며, 장파장 해양파에서 파고는 Rayleigh 분포를 따른다고 알려져 있다. 따라서 우리가 실제 불규칙 해상에서의 내항성 문제에 관심을 갖는 통계치들을 다음의 표로부터 얻을 수 있다[4].

	Amplitude	Height
Average of x	$1.25 \sqrt{m_0}$	$2.5 \sqrt{m_0}$
Average of 1/3 highest of x	$2.00 \sqrt{m_0}$	$4.0 \sqrt{m_0}$
Average of 1/10 highest of x	$2.55 \sqrt{m_0}$	$5.09 \sqrt{m_0}$
Average of 1/100 highest of x	$3.34 \sqrt{m_0}$	$6.67 \sqrt{m_0}$
Average of zero up-crossing period	$T_{02} = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$	
Crest-to-crest period	$T_c = 2\pi \sqrt{\frac{m_2}{m_4}}$	
Characteristic period	$T_1 = 2\pi m_0/m_1$	

$$m_n = \int_0^{\infty} \omega^n S_{xx}(\omega) d\omega$$

3.2.3. FFT해석을 위한 데이터 처리

(1) 데이터 수 결정

Fourier 변환을 하는데 있어 원칙적으로는 데이터 수의 제한이 있을 수 없으나 디지털 데이터를 가지고 Fourier 변환을 수행하기 위해서는 FFT 부프로그램을 이용하는 것이 효과적이다.

이러한 FFT 부프로그램을 이용하기 위해서는 데이터 수를 2^N 개로 조정하여 입력하는 것이 좋다. 본 연구에서 데이터 해석을 위한 데이터 수는 512 ($N=9$) 혹은 1024 ($N=10$)로 제한하였다.

(2) 시계열 데이터의 Tapering

시간영역 데이터를 FFT해석하기 전에 spectrum 확산 시 손실(leakage)을 방지하기 위해 raw data를 tapering 해야 한다. 본 연구에서는 1/10 cosine tapering 방법을 취하였다[1].

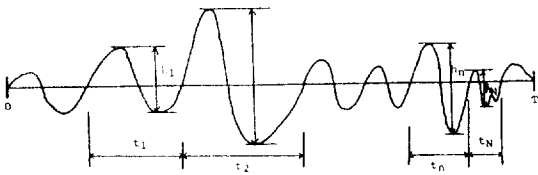


Fig. 4 Time series data

(3) FFT 해석후의 spectrum 평활화

FFT 해석을 한 후 구하게 되는 spectrum은 매끄럽지 못하므로 보다 매끄러운 spectrum을 얻기 위해서는 spectrum 평활화를 수행하게 된다.

본 연구에서 택한 spectrum 평활화는 주변의 주파수 성분과 가중평균을 구하여 평활화를 수행하는 주파수 평균법을 취하였으며 이때 사용한 필터는 아래에 보인 포물선형 필터이다.

$$H(k) = \left\{ 1 - \left(\frac{k}{L} \right)^2 \right\} / \bar{H}, \quad -L \leq k \leq L \quad (12)$$

여기서 $\bar{H} = \sum_{k=-L}^L \left\{ 1 - \left(\frac{k}{L} \right)^2 \right\}$ 으로 주어진다.

3.3. 통계해석법

Fig. 4와 같은 시계열 데이터가 있을 때 이 데이터를 해석함에 있어 spectrum 해석법을 이용하지 않고 각 시간에서의 데이터 값을 추적하여 데이터의 통계치를 산출하는 방법이 여러가지가 있을 수 있으나 여기서는 double amplitude법을 취급하기로 하였다.

이 방법은 각 시간 step에서의 데이터 값의 부호를 절감하여 그 부호가 음에서 양으로 바뀌는 순간부터 다시 음에서 양으로 바뀌는 순간까지를 한 주기로 하여 그 사이의 데이터 값중 양의 최대치와 음의 최대치를 구하여 그 절대값의 합을 높이로 취하고 그 데이터 수에 취득시간 간격을 곱하여 그 높이를 갖는 신호의 주기를 기억시킨다.

전체 기록시간동안 같은 방법을 반복하여 N개의 신호를 찾은 후 이 값들을 큰 값부터 차례로 순위를 정하여 다음과 같이 배열한다.

$$\begin{aligned} \text{height} : h_1, h_2, h_3, \dots, h_N \\ \text{period} : t_1, t_2, t_3, \dots, t_N \end{aligned} \quad (13)$$

이때 t_i 는 h_i 에 대응하는 주기이다.

식 (13)과 같이 정리되면 그 순위에 따른 평균값을 취하여 다음과 같은 통계치를 구할 수 있다.

$$H_{\text{mean}} = \sum_{i=1}^N h_i / N, \quad T_{\text{mean}} = \sum_{i=1}^N t_i / N$$

$$H_{1/3} = \sum_{i=1}^{N_3} h_i / N_3, \quad T_{1/3} = \sum_{i=1}^{N_3} t_i / N_3$$

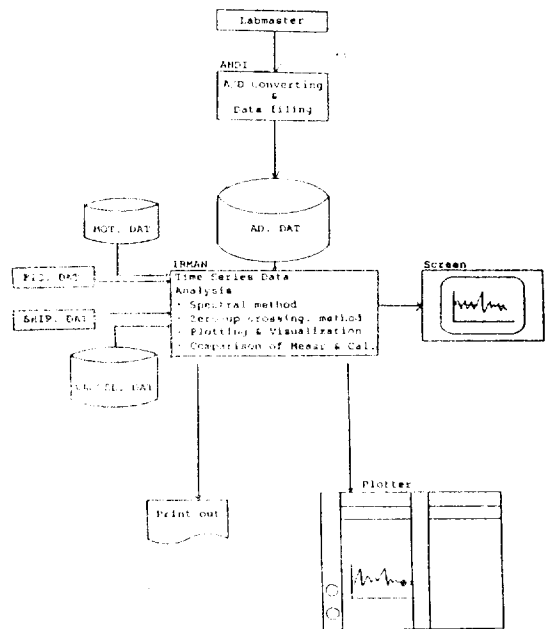


Fig. 5 Program structure for data processing using P/C

$$H_{1/10} = \sum_{i=1}^{N_{10}} h_i / N_{10}, \quad T_{1/10} = \sum_{i=1}^{N_{10}} t_i / N_{10}$$

$$N_3 = N/3, \quad N_{10} = N/10 \quad (14)$$

3.4. 결과해석 프로그램

본 실험에서의 자료해석은 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 수행하였다. 해석방법은 진술한 바와 같이 spectrum 해석법과 통계적 방법 두 가지를 택하였으며 해석결과 는 계산치와 비교할 수 있도록 하였다.

데이터해석 유통도는 Fig. 5에 나타내었다. 해석된 결과는 실선에 대한 스케일로 나타내었다.

4. 결과 및 토론

Fig. 6~Fig. 8에는 원하는 파도 spectrum SP2-SP4 를 만들기 위해 수정 반복한 결과를 도시하였다. 생성된 파도 spectrum에서 첫 번째 시도된 spectrum은 항상 원하는 값보다 크게 나타나고 있다. 이는 조파관의 불규칙신호 계산에서 식 (1)의 비선형 효과 및 오차를 수정하는 수정계수 $C(f)$ 의 초기값을 임의로 2.0으로 가정하여 적용하였으며, 처음계산결과가 과대 추정되고 있는 것으로 보아 처음에 가정된 초기값은 과대하게 큰 것으로 생각된다. 2~3회 반복수정에 의하여 원하는 파에 상당히 근접한 결과를 얻을 수 있었다.

Table 3 Statistical values of waves (STM: statistical method, SPM: spectral method)

Record No.	S P 2		S P 3				S P 4					
											S P 2	
	$H_{1/3}(m)$	$T_0(sec)$	$H_{1/3}(m)$	$T_0(sec)$	$H_{1/3}(m)$	$T_0(sec)$	$H_{1/3}(m)$	$T_0(sec)$				
	STM	SPM	STM	SPM	STM	SPM	STM	SPM	STM	SPM	STM	SPM
1	2.48	2.54	9.43	9.25	3.66	3.93	10.82	11.20	5.71	6.06	13.25	13.58
2	2.41	2.57	9.10	8.93	3.99	4.24	10.21	10.83	5.90	6.31	12.35	12.83
3	2.63	2.68	9.08	8.90	3.93	4.16	9.08	10.59	6.04	6.35	14.89	12.97
4	2.72	2.75	9.39	9.05	4.12	4.37	10.83	10.81	6.47	5.88	14.09	12.77
5	2.66	2.84	8.88	9.09	4.24	4.51	10.26	10.85	5.96	6.35	13.01	12.85
6	2.71	2.88	9.14	9.22	4.23	4.26	10.56	10.71	5.92	6.02	12.00	12.36
7	2.58	2.58	7.35	8.91	4.34	4.53	9.69	10.74	6.02	6.05	13.13	12.51
8	—	—	—	—	4.41	4.42	10.94	10.61	—	—	—	—
9	—	—	—	—	4.20	4.36	10.91	10.54	—	—	—	—
Average	2.60	2.69	8.91	9.05	4.12	4.31	10.37	10.67	6.00	6.15	13.25	12.84

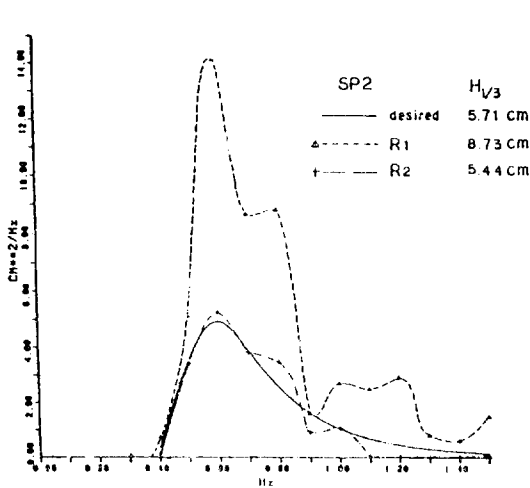


Fig. 6 Wave spectra, SP2

Table 3에 파도 spectrum SP2, SP3과 SP4에 대해 spectrum법과 통계적 방법을 적용한 해석결과를 나타내었다. 두 방법의 차이는 유의파고에서 최고 5% 상대오차, 평균주기에서 최고 3% 상대오차 이내로 두 방법이 서로 좋은 일치율을 보이고 있다.

Fig. 9에는 파도 spectrum SP4, $F_n=0.2$ 에 대한 불규칙 신호를 보였다. Fig. 10에서 Fig. 21까지 계측된 결과들을 spectrum으로 도시하였다. 그리고 계측된 결과들은 strip이론으로 계산한 결과와 비교하였다[5]. 계산에 사용한 파도 spectrum은 원하는 spectrum으로 하였다.

Fig. 10~Fig. 13에는 $F_n=0.0$ 일 때 파도 spectrum

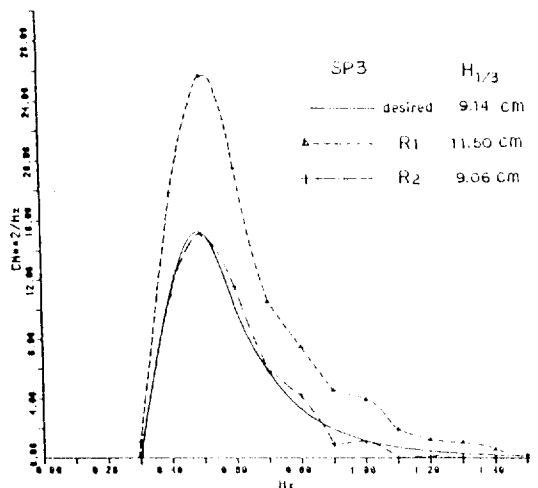


Fig. 7 Wave spectra, SP3

SP2와 상하동요, 종동요 및 St. 17.6에서의 수직가속도 spectrum을 나타내었다. 이때 수평축은 조우진동수를 나타내며 수직축은 spectrum밀도를 나타내고 있다. 계측된 파도 spectrum이 $0.6 < \omega_c < 0.95$ rad/sec에서 원하는 값보다 크게 나타나고 있으며 그 영향으로 수직동요 및 수직가속도 spectrum이 같은 구간에서 크게 나타나고 있다. 따라서 불규칙해상에서의 정밀한 운동성능 추정을 위해서는 정확한 파도 spectrum생성이 요구된다.

Fig. 14~Fig. 17에는 $F_n=0.275$ 일때 파도 spectrum SP3과 대응하는 불규칙운동 spectrum을 보였다. 계측된 파도 spectrum이 원하는 spectrum과 매우 좋은 일

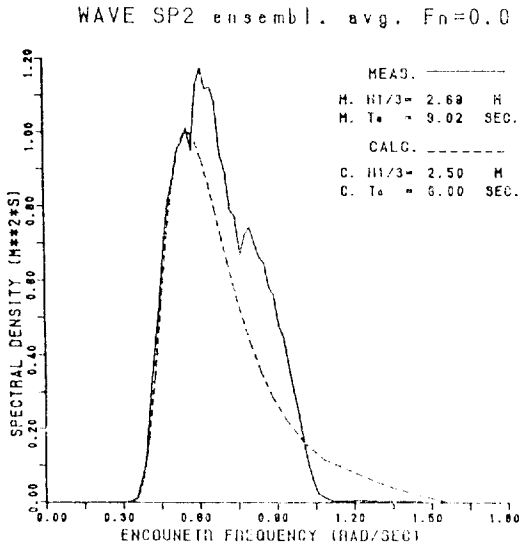


Fig. 8 Wave spectra, SP4

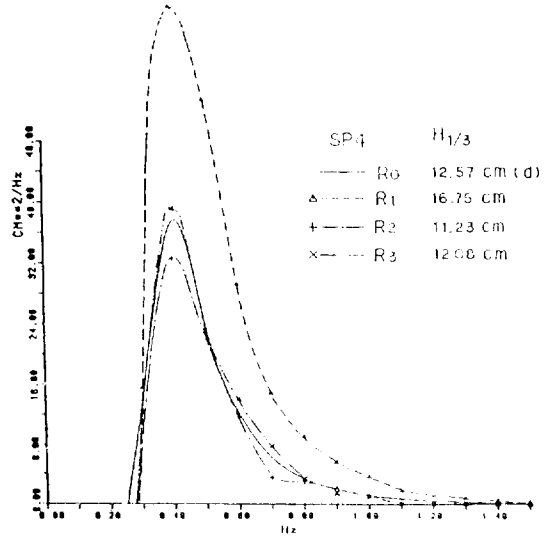


Fig. 10 Wave spectra, SP2- $F_n=0.0$

SP4 $H1/3=5.5M$ $T_0=12SEC$ $F_n=0.2$

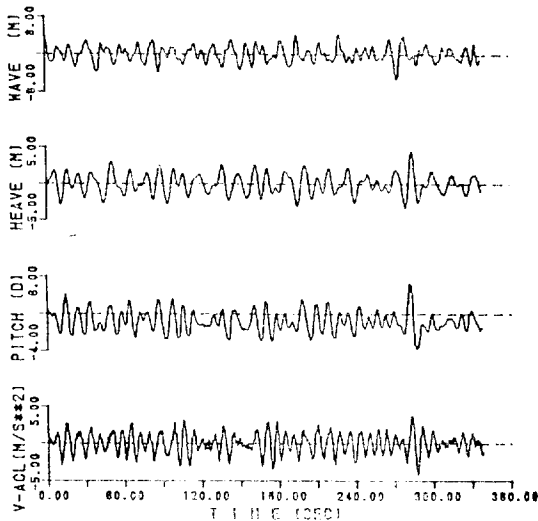


Fig. 9 Time traces, SP4- $F_n=0.20$

HEAVE SP2 ensemble avg. $F_n=0.0$

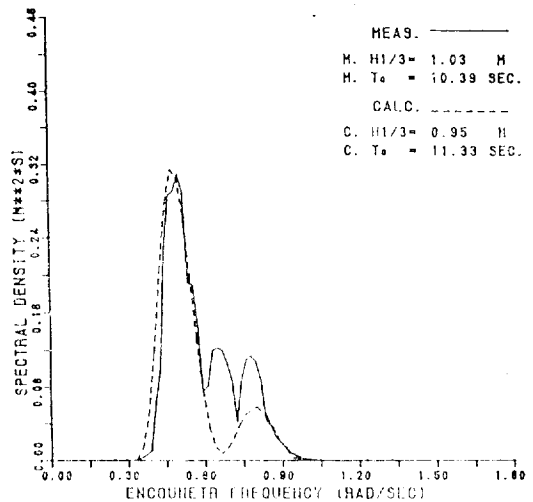


Fig. 11 Heave spectra, SP2- $F_n=0.0$

치를 보이며 상하동요 및 종동요 spectrum은 계산치와 좋은 일치율을 보이고 있다. 수직가속도 spectrum도 $\omega_e < 0.4$ rad/sec의 저주파수 성분을 무시하면 대체로 좋은 일치율을 보이고 있다. $\omega_e < 0.4$ rad/sec에서 측정된 가속도 성분은 측정상의 문제로 생각된다.

Fig. 17~Fig. 21에는 $F_n=0.2$ 일 때 파도 spectrum

SP4와 대응하는 상하동요, 종동요 및 수직가속도 spectrum을 나타내었다. 측정된 파도 spectrum은 $\omega_e < 0.6$ rad/sec에서 원하는 값보다 큰 경향을 보이고 있으며 유의파고는 약 16% 크게 나타났다. 그 영향으로 상하동요 및 종동요가 같은 경향을 보이고 있다. 종동요의 경우에 $0.6 < \omega_e < 0.9$ rad/sec구간에서 측정치가 작게

PITCH SP2 ensembl. avg. $F_n=0.0$

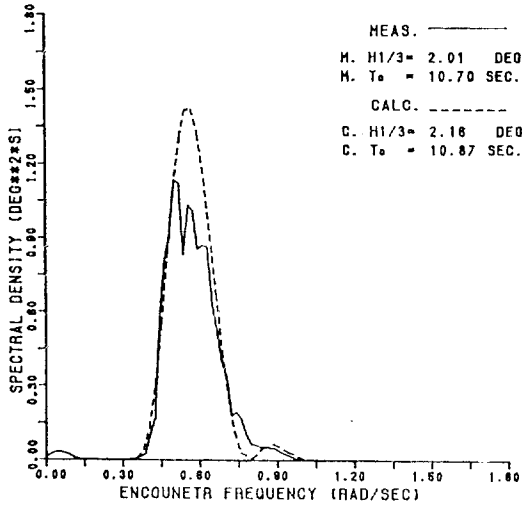


Fig. 12 Pitch spectra, SP2- $F_n=0.0$

WAVE SP3 $F_n=0.275$

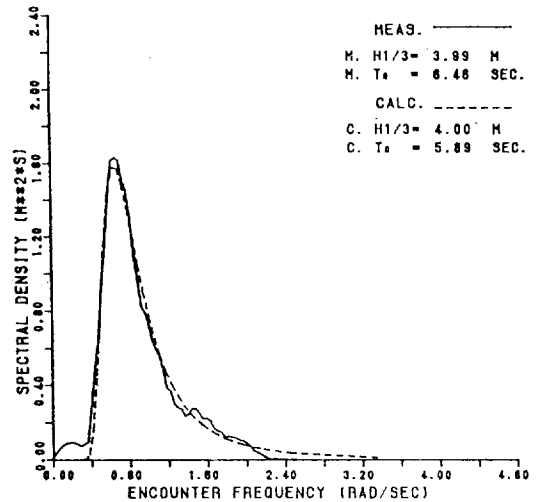


Fig. 14 Wave spectra, SP3- $F_n=0.275$

ACCEL. SP2 $F_n=0.0$ AT ST17.6 ee

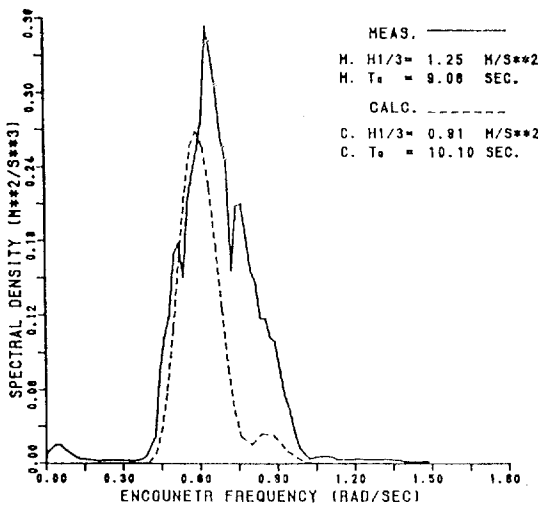


Fig. 13 Vertical acceleration spectra, SP2- $F_n=0.0$

HEAVE SP3 $F_n=0.275$

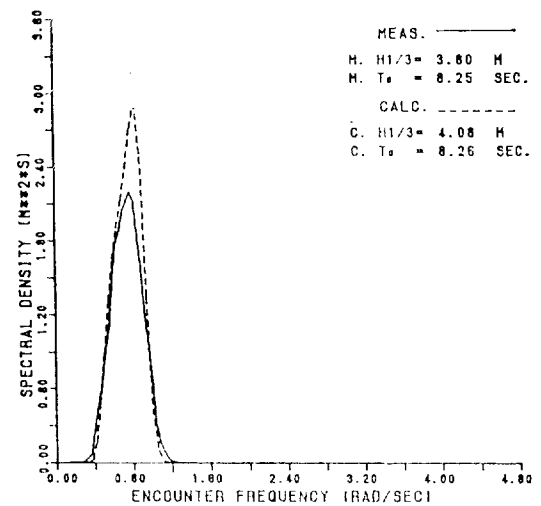


Fig. 15 Heave spectra, SP3- $F_n=0.275$

나타나고 있다. Fig. 21에 보인 수직가속도 spectrum의 예측치는 $0.5 < \omega_e < 0.9$ rad/sec에서 계산치보다 작게 나타나고 있다. 이는 풍동요가 가속도에 영향을 미친 것으로 보인다.

계산결과 및 실험결과를 종합하여 볼 때, 상하동요

의 spectrum은 계산결과와 실험결과가 일치하는 정도가 크다. Fig. 18과 Fig. 19에서는 생성된 파도 spectrum이 원하는 파도 spectrum보다 크기 때문에 상하동요 운동응답 spectrum이 크게 얻어진 것으로 판단된다.

PITCH SP3 $F_n=0.275$

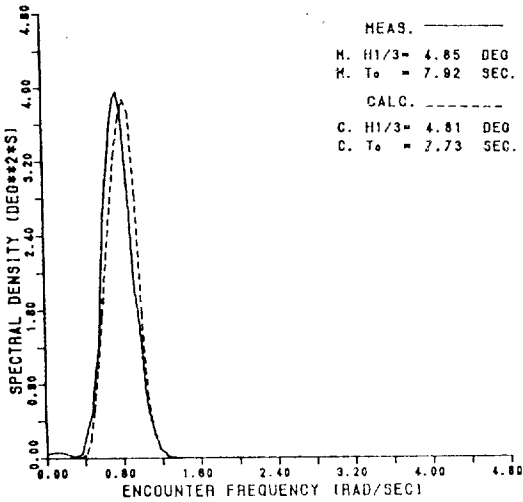


Fig. 16 Pitch spectra, SP3- $F_n=0.275$

WAVE SP4 $F_n=0.2$

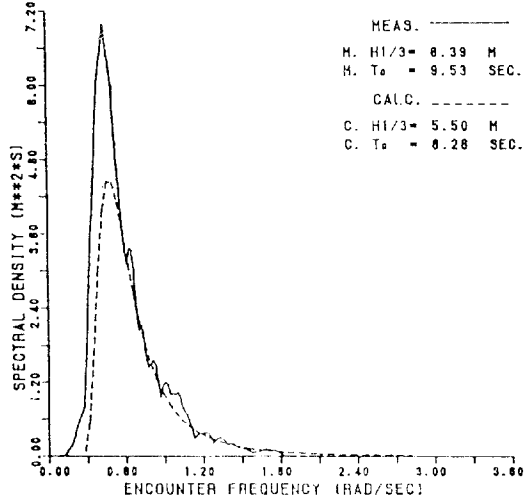


Fig. 18 Wave spectra, SP4- $F_n=0.2$

ACCEL. SP3 $F_n=0.275$ AT ST17.6

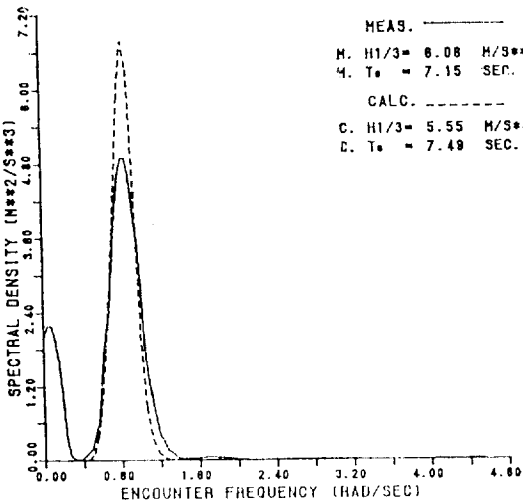


Fig. 17 Vertical acceleration spectra, SP3- $F_n=0.275$

HEAVE SP4 $F_n=0.2$

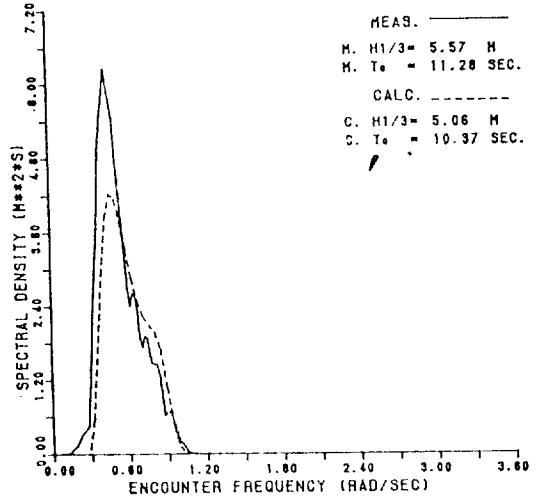


Fig. 19 Heave spectra, SP4- $F_n=0.2$

중동요 운동응답은 계산결과가 실험결과보다 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이론적으로 계산된 spectrum이 실제현상보다 크게 계산되고 있는 것으로 짐작되나, 전진속도가 있는 경우에 실험의 측정시간이 짧은 것으로 사료되며 보다 많은 시간 동안 측정하여 결

론에 도달하여야 할 것으로 판단된다.

선수가속도는 운동응답에 비하여 계산값과 실험값의 차이가 크게 나타났다. 이러한 극부가속도 문제는 앞으로 보다 깊이 연구되어야 할 문제로 생각된다.

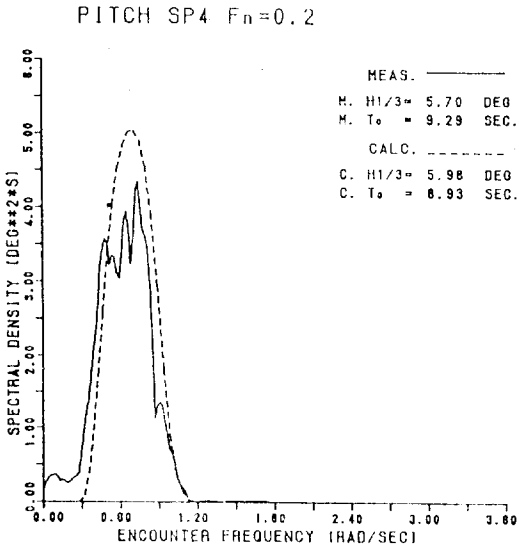


Fig. 20 Pitch spectra, SP4-Fn=0.2

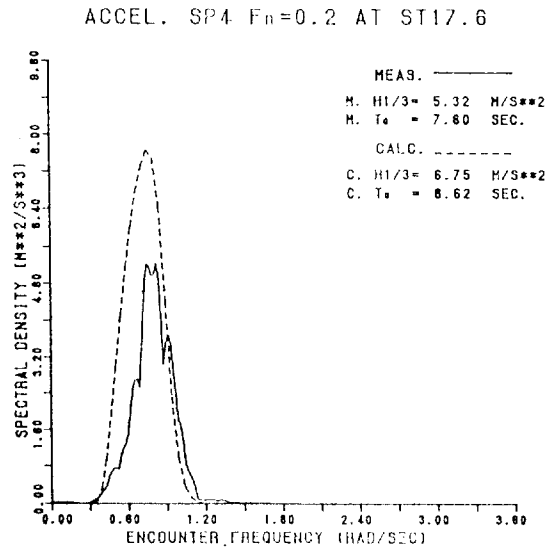


Fig. 21 Vertical acceleration spectra, SP4-Fn=0.2

5. 결 언

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수조에서 모형시험을 위한 불규칙파의 생성은 수정반복 과정을 통하여 원하는 해상파도에 충분히 접근시킬 수 있다.
2. 콘테이너선에 대한 불규칙파중 운동 시험 결과 계산치와 비교하여 대체로 만족할 만한 결과를 얻었으나 극부가속도의 경우는 다른 운동에 비하여 일치하는 정도가 떨어진 것으로 나타났다.
3. 불규칙파중 정밀한 내항성능 추정을 위해서는 보다 정확한 파도 spectrum생성이 필수적이다.
4. 불규칙파 해석에 spectrum법과 통계적 방법을 적용한 결과 유의값과 평균주기에서 두 방법이 대체로 일치하였다.

6. 후 기

본 논문은 한국기계연구소에서 과학기술처의 1986년

일반출연연구사업의 일환으로 수행된 “불규칙파중 운동시험법 개발[1]”과제의 결과임을 밝혀 둔다.

참 고 문 헌

- [1] 홍도철외, “불규칙파중 운동시험법 개발에 관한 연구”, 한국기계연구소 보고서, UCE280-887. D, 1986.
- [2] Report of Seakeeping Committee, “Proceedings of 17th ITTC”, Vol. 1, 1984.
- [3] Bendat, Julius S. and Piersol, Allan G., “Random Data”, John Wiley & Sons, Inc., 1971.
- [4] Battacharyya, R., “Dynamics of Marine Vehicles”, John Wiley & Sons, Inc., 1978.
- [5] 양승일 외, “내항성에 관한 선형시험기법개발”, 한국기계연구소 보고서, UCN106-180. D, 1982.