

論 文

大韓造船學會誌
第18卷 第1號 1981年 3月
Journal of the Society of
Naval Architects of Korea
Vol. 18, No. 1, March 1981

Longitudinal Cut 파형해석의 응용을 위한 특성연구

강 신 형* · 이 영 길*

Study on the Wave-Pattern Analysis by Longitudinal Cut Method

S.H.Kang,* · Y.G.Lee*

Abstract

The wave-pattern analysis has been one of important research tools in the towing tank, and applied for hull form design. The longitudinal-cut method of Newman and Sharma is adopted in KRIS deep towing tank.

Instrumentations and data acquisition systems are developed for that. Local effects and truncation effects are estimated by using calculated wave patterns of simple source distributions.

Wigley model of 2m is used to check the accuracy of the whole system. Cut positions and truncation points are changed to investigate characteristics of the wave-pattern analysis. Coefficients of wave-pattern resistance are low-estimated in comparison with those of Maruo and Ikehata. The general quality of the system is very good, but some more efforts to increase the accuracy are required.

Two full-form models (one basic form, the other with bulbous bow) are tested to show high application-possibilities of the wave-pattern analysis for the hull form design.

Nomenclature

$A(\theta)$	wave spectrum
B	beam of ship
C_w	wave-resistance coefficients
F_r	Froude number ($= U/\sqrt{gL}$)
g	acceleration of gravity
$G(x,y,z;\xi,\eta,\zeta)$	Havelock function
k_o	wave number ($= g/U^2$)
L	ship length
$m(s)$	source distributions
P, Q	wave amplitude functions
R	wave resistance
S	wetted-surface area
T	draft
W	width of the channel

(x,y,z)	coordinate system
(X,Y,Z)	non-dimensionalized coordinate system by ship length
X_M	truncation points
ζ	wave height
ρ	fluid density
$\phi(x,y,z)$	disturbed velocity potential

1. 서 론

파형해석(wave survey 또는 wave-pattern analysis)이란 배가 정수중을 항해할때 배 후방의 파형을 직접 측정하여 조파저항성분의 추정, 파도의 전파현상규명, 선형개발 등에 관계되는 기초연구, 또는 응용연구에 중요한 정보를 제공하여 주는 시험법이다.

미국, 유럽, 일본등 조선선진국에서는 이미 과거 10여년간 이에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으며 많은 발전이 있었다. 제15차 국제수조회의(ITTC)의 지

接受日字: 1980年 12月 9日, 再接受日字: 1981年 1月 28日, 本論文에 對한 書面討論은 1981年 9月 15日字까지 接受함.

* 正會員, 韓國機械研究所大德船舶分所

항분과 보고서[1]에 의하면 세계의 23개 수조에서 파형해석을 수행하고 있으며 이의 정도향상을 위한 연구와 체계적인 자료교환을 추천하고 있다. 아울러 제 16차 ITTC를 대비함에 있어 주어진 모형선형에 대하여 체계적으로 시험자료 확보를 위한 국제공동연구가 진행되고 있다. 파형해석은 선박유체역학 연구를 위한 중요한 시험기법이다.

그러나 국내에서는 지금까지 파형해석 시험법이 시도되지 못하였으나 저자 등[2]에 의하여 이의 시험법이 한국선박연구소에 시도되었고 파형해석의 정도향상 및 이를 이용한 선형설계법이 계속 연구되고 있다. 본 논문에서는 이를 통하여 개발된 파형해석기법을 이용하여 그동안 시험된 예를 통한 실제의 물리적 현상 및 기술적인 문제점등을 다루려고 한다. 파형해석의 전반적인 소개 및 종합은 Eggers[3], Wehausen[4], Eggers et al. [5]에 잘 정리되어 있다. 또한 상술한 보고서[2]에서도 여러가지 기본 이론을 요약 소개하고 Newman[6]-Sharma[7]의 방법과 Eggers[8]-Landweber[9]의 방법을 위한 전산프로그램이 작성되었고 전자의 방법(이후 N-S 방법이라 표기함)을 이용하여 시험을 수행하였다. 이에관한 이론을 다음장에서 설명하고 3장에서는 자체제작된 시험기기에 대하여 기술하고자 한다. 4장에서는 정도확인을 위하여 제작된 Wigley model(2m)과 당 연구소에서 보유하고 있는 모형선 M122, M123에 대한 시험결과를 토대로 여러가지 현상과 문제점들을 고찰하였다.

2. Newman-Sharma의 방법

N-S 방법은 longitudinal-cut method에 속하며 세계적으로 가장 널리 쓰이는 방법의 하나이다. 이의 설명을 위하여 그림 1의 좌표계를 이용하고 선형조파저항 이론의 기본가정을 그대로 도입하자[10].

배에 의하여 교란되는 유동을 얻기 위하여 선체의 표면 또는 내부에 source $m(s)$ 를 분포시키면 교란되는 속도포텐셜 ϕ 와 파고 ζ 는 다음과 같이 된다.

$$\phi(x, y, z) = \frac{1}{4\pi} \iint_S m(s) G(x, y, z; \xi, \eta, \zeta) ds \quad (1)$$

$$\zeta(x, y) = -\frac{U}{g} [\phi_x]_{z=0} = -\frac{U}{4\pi g} \iint_S m(s) G_z ds \quad (2)$$

여기서 $G(x, y, z; \xi, \eta, \zeta)$ 는 Havelock potential이며 조파저항 R 은 다음과 같다.

$$R = \frac{\rho k_o^2}{\pi} \int_0^{\frac{1}{2}\pi} [P^2(\theta) + Q^2(\theta)] \sec^3 \theta d\theta \quad (3)$$

여기서 amplitude function $P(\theta), Q(\theta)$ 는 다음과 같이

된다.

$$P(\theta) + iQ(\theta) = \iint_S m(s) \exp[k_o(\zeta \sec^2 \theta + i\xi \sec \theta + i\eta \sec \theta \sin \theta)] ds \quad (4)$$

이때 longitudinal cut에 의해 측정된 파고로부터 $P(\theta), Q(\theta)$ 를 구해야 한다. 즉 이론적으로 보아서 식(2)의 파고와 식(4)의 P, Q 를 연결시켜야 한다.

여기서 Newman은 식(2)의 Fourier transform을 취하여 유도한 후 $k_o y$ 가 충분히 크다는 가정으로부터 다음식을 구하였다.

$$P(\theta) + iQ(\theta) = -U \sin \theta \cos \theta e^{i k_o y \sec^2 \theta \sin \theta} \int_{-\infty}^{\infty} \zeta(x, y) e^{i k_o x \sec \theta} dx \quad (5)$$

또 식(3)으로부터

$$R = \frac{\rho g k_o}{\pi} \int_0^{\pi/2} \sin^2 \theta \sec \theta \left| \int_{-\infty}^{\infty} \zeta(x, y) e^{i k_o x \sec \theta} dx \right|^2 d\theta \quad (6)$$

가 된다. 식(5)에서 사용된 가정으로 인해 파고계가 선체에서 충분히 떨어져야 한다. 그러나 수조 시험의 경우에는 제한된 폭의 수조벽이 있기 때문에 y 에 제한이 있을 뿐만 아니라, 수조벽에서 반사되는 파도를 식(5)는 고려치 않고 있기 때문에 $x \rightarrow \infty$ 까지 파고가 측정될 수 없다. 따라서 그림 1에서와 같이 반사파가 파고계에 도달하기 전에서 (x_M) 파고 측정을 그쳐야 한다.

Newman-Sharma방법의 실제활용은 지난 10여년간 일본을 중심으로 많이 연구되었고 주로 cut의 위치 y 에 의한 local wave effect와 truncation point x_M 후의 교정을 연구하였다.

Local effect는 Newman의 유도에서 Fourier transform중 $k_o y \rightarrow \infty$ 에서 무시된 항의 크기를 추정하여야 하는데, Ikehata and Nozawa[11, 12]에서는 깊이 방향으로 일정한 source를 배의 중심에 분포시키고 이것이 amplitude function에 주는 대략적인 오차를 $k_o y/2$ 와 θ 에 따라 추정하였다. Adachi [13]도 역시 Fourier transformation을 이용하여 local effects가 wave spectrum에 주는 영향을 계산하였고 Yokoo and Tanaka[14]에 의하면,

$Y = y/L \geq 0.25$ 이면 고속정을 제외하고는 local effect는 무시할 수 있다고 한다.

Truncation correction을 위해서 식(5)에서 적분구간을 x_M 에서 나누었다.

$$P(\theta) + iQ(\theta) = -U \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot e^{i k_o y \sec^2 \theta \sin \theta} \times \left[\int_{-\infty}^{x_M} \zeta e^{i k_o \sec \theta x} dx + \int_{x_M}^{\infty} \zeta e^{i k_o \sec \theta x} dx \right] \quad (7)$$

우변의 첫째 항은 측정된 파고로부터 Filon의 방법을 이용하여 $k_o \sec \theta \gg 1$ 경우에 효율적인 적분이 되도록 하

었다. 한편 측정된 파형으로부터 최대한의 x_M 을 추정 하는데 $x=x_M$ 에서 파고가 극대(ζ_M)가 되도록 하였다. 그리고 x_M 이후의 파형을 다음과 같이 가정하면[6]

$$\zeta \cong \frac{\zeta_0}{\sqrt{|x|}} \cos(k_0 x - \epsilon) \quad (8)$$

$\zeta_0 = \sqrt{x_M \zeta_M}$, $\epsilon = k_0 x_M$ 가 될을 쉽게 알 수 있다. 식(8)의 파형을 식(7)의 오른쪽 둘째항에대입하고 Fresnel 적분변환을 이용하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P(\theta) + iQ(\theta) = & -U \cos\theta \sin\theta \exp(i k_0 y \tan\theta \sec\theta) \\ & \times \left[\int_{-\infty}^{x_M} \zeta(x, y) e^{i k_0 x \sec\theta} dx + \right. \\ & + \frac{\sqrt{\pi} \zeta_0 e^{-i\epsilon}}{2\sqrt{2k_0}(\sec\theta + 1)} (C_1 + iC_2) + \\ & \left. + \frac{\sqrt{\pi} \zeta_0 e^{i\epsilon}}{2\sqrt{2k_0}(\sec\theta - 1)} (C_3 + iC_4) \right] \end{aligned} \quad (9)$$

여기서

$$\begin{aligned} C_1 &= 1 - 2C\left(\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot k_0 x_M (\sec\theta + 1)\right) \\ C_2 &= 1 - 2S\left(\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot k_0 x_M (\sec\theta + 1)\right) \\ C_3 &= 1 - 2C\left(\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot k_0 x_M (\sec\theta - 1)\right) \\ C_4 &= 1 - 2S\left(\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot k_0 x_M (\sec\theta - 1)\right) \end{aligned} \quad (10)$$

이고 C, S 는 Fresnel Integral이다.

조파지향은 wave amplitude function P, Q 에서 직접식(3)을 이용하여 계산하였다.

한편 Tanaka, Adachi and Omata [15]는 X_M 이 상당히 제한되어 있는 경우, 즉 Y/X_M 이 비교적 클때에 사용할 수 있는 second-order asymptotic wave form을 발표하였다(여기서 X_M 과 Y 는 L 에 의하여 무차원화된 x_M 과 y 이다). 그의 결과를 인용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \zeta(x, y) = & k_0 L \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{k_0 L |x|}} \left(1 + \frac{\delta^2}{4}\right) \times \\ & \times \cos\left[k_0 L x \left(1 - \frac{\delta^2}{2}\right) + \frac{\pi}{4} + \alpha(\delta)\right] \end{aligned} \quad (11)$$

여기서

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{Y}{X_M} \\ \alpha(\delta) &= \tan^{-1} \frac{Q(\delta)}{P(\delta)} \end{aligned} \quad (12)$$

만약

$$H_w(\delta) = k_0 L \sqrt{\frac{2}{\pi}} [P^2(\delta) + Q^2(\delta)]^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{\delta^2}{4}\right) \quad (13)$$

$$\epsilon = k_0 L x \frac{\delta^2}{2} - \frac{\pi}{4} - \alpha(\delta) \quad (14)$$

라고 하면 위식(11)은

$$\zeta(x, y) = \frac{H_w}{\sqrt{k_0 L |x|}} \cos(k_0 L x - \epsilon) \quad (15)$$

로 나타낼 수 있겠다. 결국 local effect를 줄이기 위하여 Y 를 크게 하면 Y/X_M 의 값이 커지고 이에따라 위의 second-order truncation correction이 필요하게 될 것이다.

Yokoo and Tanaka[14]는 $\delta < 0.1$ 이 바람직하다고 말하고 있다. 그러나 수조폭이 좁거나 모형선의 크기가 커지면 $\delta < 0.1$ 이 되기 힘들고 이때는 위의 보정이 필요하게 될 것이다.

여기서 수조폭이 W , 모형선의 길이가 L 이라면, $Y > 0.25$ 로부터[14]

$$\frac{1}{4} L < y \quad (16)$$

이고, 수조에서 Kelvin angle에 의해서 얻을 수 있는 최대 x_M 은

$$\frac{W - y}{\tan 19^\circ 28'}$$

이다. 이때 $\delta < 0.1$ 의 제한을 쓴다면 식(16)과 함께

$$\frac{1}{4} L < y < \frac{1}{4.5} W \quad (17)$$

의 관계를 얻는다. 만약 모형선이 4m이고 수조폭이 16m라면 적당한 파고계의 위치는 대략 $1m < y < 3.5m$ 일 것이다. 즉, 안전하게 2~3m일 것이다.

이상의 Newman-Sharma method의 수치치리를 위해서 전산프로그램이 작성되었다. 여기서 이론적인 파형에 위 프로그램을 이용하여 수치적으로 시험하여 개발된 프로그램을 점검하고 local effects, truncation effects 등을 구해 보고자 한다. 수조에서 parabolic infinite strut이 지나갈 때의 이론적인 파형을 Tzou and Landweber[16]에서 유도된 식을 이용하여 계산하였는데 지수적으로 감소하는 순수 local wave는 제외되었다. 이는 계산의 복잡함을 피하기 위함이다. 수치해석에 있어 사용한 좌표계 및 배에 의한 파도의 수조벽에 대한 반사를 그려보면 그림 1과 같고, 계산된 전반적인 파형을 컴퓨터로 그려서 그림 2에 나타내었다. 수조벽에서의 반사파를 명확히 볼 수 있다.

먼저 수조폭 W 와 배의 길이 L 의 비(W/L)가 8인 경우에 Parabolic strut-type ship이 만드는 파형을 계산하였다. 즉, 배의 수선면은 다음과 같다.

$$y = \frac{2B}{L^2} \left(\frac{L^2}{4} - x^2\right) \quad (18)$$

여기서 $B/L = 0.1$, $W/L = 8.0$, $F_r = 0.30$ 인 경우에 계산된 파형으로부터, 작성된 전산프로그램을 이용하여 파형분석을 하였다. 계산된 파형에는 지수적으로 감소하는 local term은 고려하지 않았다. 여기서 cut의 위

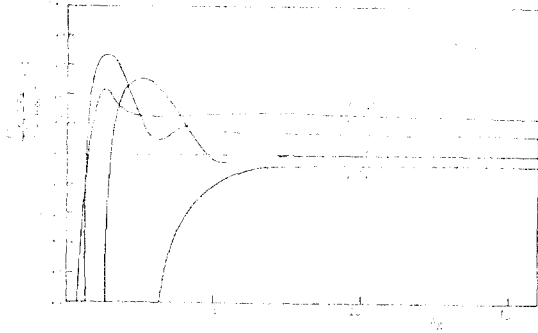


Fig. 4. Errors in wave resistance coefficients

에 의하여 $\pm 5\%$ 정도의 오차를 예상할 수 있다.

한편 $Y=0.3-1.0$ 의 범위에서 배략 X_M 이 6~7 정도, 또는 $\delta < \frac{1}{10}$ 이면 truncation error를 염려하지 않아도 좋을 것이다. 물론 위의 경우는 수조폭 W/L 과 Fr 수에 의하여 달라질 가능성도 있겠으나, 본 연구에서는 너디 경우

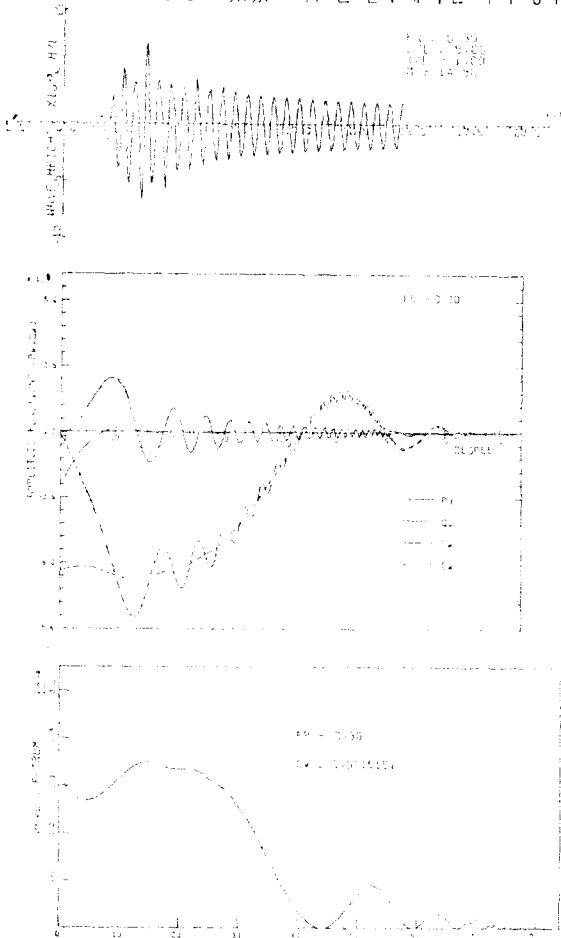


Fig. 5. Wave-pattern analysis($Y=1.00, X_M=14.80$)

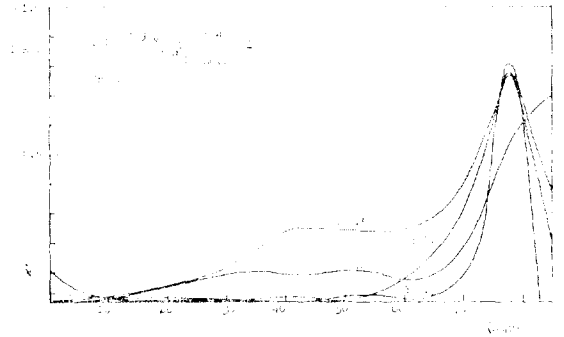


Fig. 6. Relative errors in wave-spectrums with cut and truncation points

에 대하여 충분한 계산은 하지 못하였다. 파형분석이 많이 쓰이는 영역은 $Fr=0.2\sim 0.4$ 임을 고려할 때 0.3은 대표적인 경우라고 생각된다. 또한 W/L 이 감소하게 되면 wall reflection에 의하여 Y 의 값이 제한받게 되겠으나 대형수조의 경우에는 문제되지 않는다.

위에서 전반적인 저항계수에 유발되는 오차범위를 생각하였는데 실제로 파형분석과정에서 일어나는 wave amplitude function $P(\theta), Q(\theta)$ 와 wave spectrum $A(\theta) (= \sqrt{P^2+Q^2}\sec^2\theta)$ 의 대표적인 경우를 Fig. 5에 나타내었다. P_0, Q_0 는 truncation correction을 하기 전, 즉 X_M 까지의 파형해석에 의한 P, Q 이며, P_w, Q_w 는 X_M 이후의 가정된 파형을 포함한 P, Q 이다. 시험에서 구해진 wave spectrum은 Michell's theory로부터 계산되는 wave spectrum과 비교할 수 있다. 그림 6에 나타낸 $|E|$ 는 Y 가 클수록 좋은 결과를 주고 있으나 θ 가 65° 이상(diverging wave region)에서 많은 오차를 보인다 그러나 spectrum의 상대적인 크기가 작아 수치계산상의 오차가 크게 작용하기 때문이라고 생각된다.

3. 시험기기제작 및 모형선

용량의 파고계가 채택되어 제작되었다. Probe 부분은 좋은재료를 국내에서 구할 수 없어서 처음에는 직경 0.2 mm에나쁜 wire를 사용하였는데 성능은 비교적 좋았으나 손상되기 쉽고 오물의 영향에 무척 민감하였다.

그대서 직경 0.5mm 테프론 은선을 사용하였다. 파고 검출부는 수조벽에 설치된 구조물에 부착되어 파고계의 위치를 이동할 수 있게 하였다.

파고계에는 버니어스케일이 취부되어 static calibration을 수행할 수 있게 하였다. Calibration은 시험을 수행하기 직전에 wire를 잘 닦은 후 수행하며 대표적인 예를 그림 7에 나타내었다. 파고계로부터 검출되는 전

압은 HP 9825 system에 의하여 1초에 15회 정도로 sampling하여 x 값과 이에 대응하는 파고를 산출하게 된다. 측정된 데이터는 cartridge magnetic tape에 기록된 후에 HP 9872 digital plotter에 의하여 파형이 그려진다. Tape에 기록된 data는 직접 PDP 11/70에서 자동 처리되고 파형, wave amplitude function, spectrum 및 조파저항계수를 그리게 된다. 본 연구에서 수행된 데이터 처리시스템은 그림 9와 같다.

실제로 파형해석은 실험경도와 데이터 처리방식에 따라서 무척 민감하다. 파고계의 static calibration의 결과는 항상 양호하여 최대오차는 0.5mm정도이다. 그러나 dynamic calibration은 수행하지 못하였다. Dynamic calibrator가 완성되면 연구될 것이나 본 시험에 사용된 wire의 직경이 0.5mm인 경우 high frequency에서 1~2%정도의 오차가 예상된다.

시험의 정도를 비교하기 위하여 선형이 다음과 같은 길이 2m의 Wigley model이 제작되었다.

$$y = \frac{B}{2} \left[1 - \left(\frac{x}{L/2} \right)^2 \right] \left[1 - \left(\frac{z}{T} \right)^2 \right]$$

여기서 $B/L=0.1$, $T/L=0.0625$ 이다. 또한 KRIS수조에서 보유하고 있는 모형선중 파형분석에 사용된 선형의 제원은 표 1과 같다. M122, 123은 2,300톤급 어선으로 같은 선형인데 M122는 구상선수가 부착되었다.

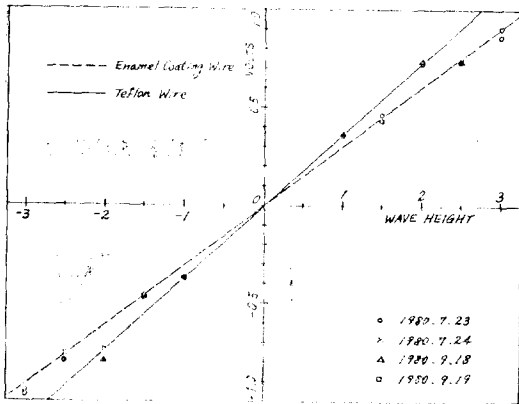


Fig. 7. Static calibration of wave-height gage

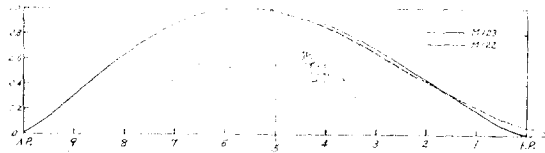


Fig. 8. Comparison of sectional area curves for M123 and M122

Fig. 8. Comparison of sectional area curves for M123 and M122

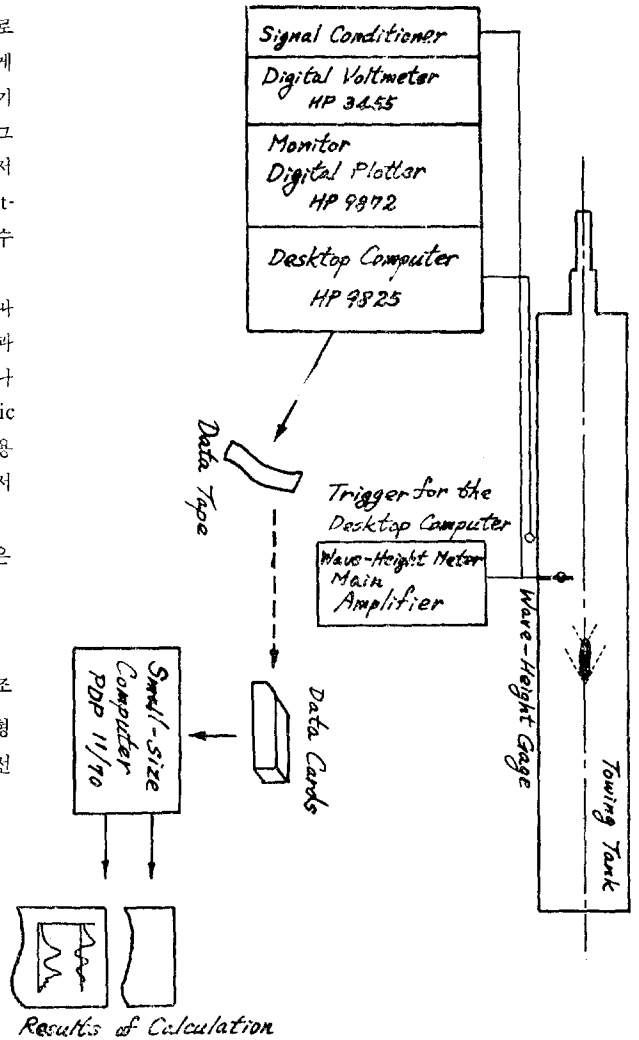


Fig. 9. Block diagram of data record and processing system

Table 1. Principal characteristics of models

Model	Wigley	M123	M122
Length over all (m)	2.0	2.8575	2.8575
Length, waterline (m)	2.0	2.719	2.7165
Draft (m)	0.125	0.213	0.210
Breadth (m)	0.2	0.548	0.548
Wetted surface area (m ²)	0.5952	1.8040	1.8458
Naked displ., vol. (m ³)	0.0222	0.1688	0.1691
Block coeff. C_b	0.444	0.533	0.540
Pris. coeff. C_p	0.667	0.590	0.599
Waterline area coeff. C_w	0.667	0.769	0.767
Mids. coeff. C_M	0.667	0.902	0.901

이들의 prismatic curve는 그림 8에 나타나 있다.

4. 모형선의 파형해석

우선 위의 Wigley모형을 사용하여 시험장도를 다른 수조에서의 경우와 비교하면서 파고계의 위치에 따른 결과의 변화를 확인하고자 하였다. 이를 위하여 $Y=1.0$ 에 대하여 $Fr=0.2\sim 0.4$ 에서 시험을 수행하였고, Y 를 0.75, 0.5로 변화시켜 $Fr=0.26\sim 0.35$ 에서 수행하였다.

파형해석에 의한 조파저항계수를 그림 10에 나타나어 Michell이론에 의한 계수, 저항시험에 의한 조파저항계수, Maruo and Ikehata[17]의 파형해석 결과와 비교되었는데 당수조에서의 결과는 그들의 결과보다 20~40%정도 적게 추산되고 있다. 물론 저항곡선의 정상적인 경향은 좋으나 20~40%의 차이는 어디에서 유발되었는지 확실치 않다. 본 연구에서는 Wigley model을 고정된 상태로 예인하였기 때문인 것으로 생각된다. 참고문헌 [17]에서는 free trim상태로 예인한 듯 보이며 이 경우 고정된 상태보다 많이 추정됨이 보통이다. Bellow[18]에 의하면 약 20~40%정도 차이가 있음으로 보아서 이에 의한 듯하다. 즉 model이 free trim이 되면 일반적으로 보아 칠현상이 있으며 이에 의해 저항이 증가 된다.

만약 파고계의 dynamic calibration 값에 오차가 있다면 저항계수에는 두배의 오차가 생기게 되겠으나 파고계의 dynamic의 영향이 그렇게 크리라 예상은 되지 않는다.

$Y=0.75$ 에서가 $Y=1.0, 0.5$ 에서 보다 다소 많은 저항계수를 보여준다. 한편 Maruo와 Ikehata[17]에서

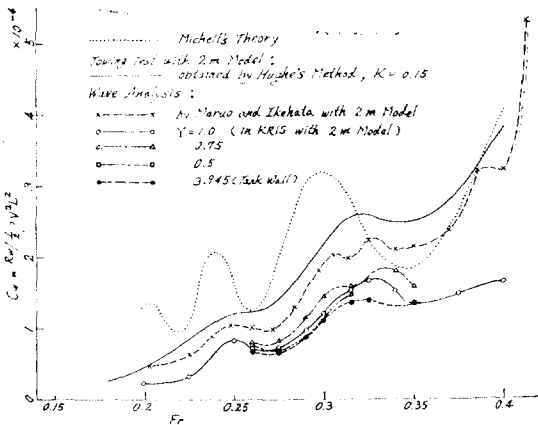


Fig. 10. C_w curves of Wigley's model

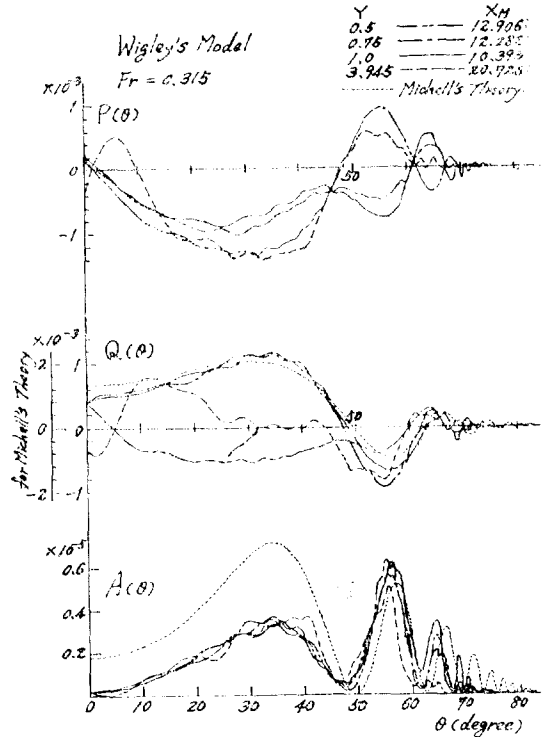


Fig. 11. Variation of $P(\theta)$, $Q(\theta)$ and $A(\theta)$ functions with Y for $Fr=0.315$

와 같이 수조벽에서의 파고를 측정하여 파형해석을 수행하였는데 그 결과도 그림 10에 나타내었다.

이는 수조벽에서 파도가 완전반사를 한다고 가정한다면 수조벽에서의 파고는 도형선과 이의 이미지 모형선에 의한 파형의 합이 될 것이다. 이의 결과도 좋은 경향을 보여주고있다.

한편 Y 와 F_r 의 변화에 의한 대표적인 amplitude function $P(\theta)$, $Q(\theta)$ 와 wave spectrum $A(\theta)$ 를 그림 11에 나타내었고, 또한 Michell 이론에 의한 결과도 비교되었다. Wigley model의 경우 $X_M=6-21$ 정도이었던 truncation의 영향은 그림 12에서와 같이 거의 없었다. 그러나 cut의 위치에 따른 spectrum의 변화가 다소 있으며 특히 amplitude function은 이에 무척 민감함을 알 수 있다. 특히 Wigley model은 선수와 선미가 대칭이므로 $P(\theta)\equiv 0$ 이고 $Q(\theta)$ 와 $A(\theta)$ 는 y 에 무관하지만 파형해석의 결과는 $P(\theta)\neq 0$ 임을 보여준다. Michell's theory는 특히 이에 의한 저항계수 곡선의 hump에서 시험치와 많은 차이가 있음이 보통인데 그림 11의 spectrum으로 볼때 transverse wave에 가까운 영역 ($0 < \theta < 40$)에서 Michell's theory는 실제보다 많은 값을 보이고 있다. 한편 수조벽에서의 파형해석으

로부터 합리적인 저항값을 얻을 수 있으나 모형선에서 너무 멀어지게 되면 파형자체가 뒤틀리기 쉽고 파형의 실제높이가 작기 때문에 실현정도상 불안정한 요소가 많다고 생각된다. 더구나 amplitude function은 $\theta=0$ 근

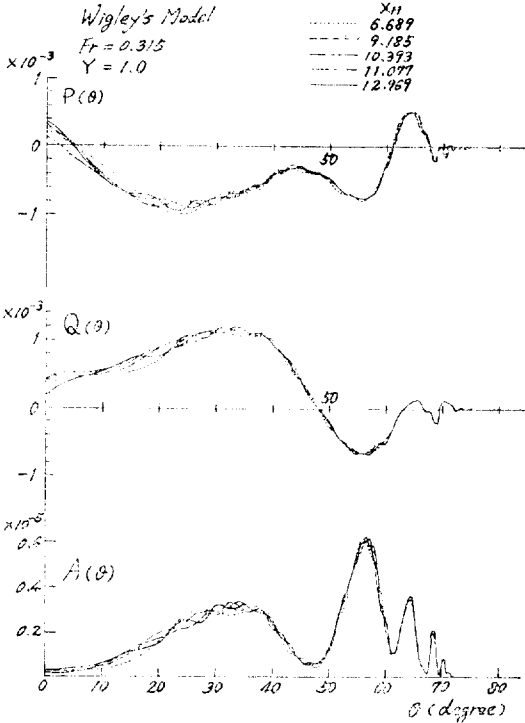


Fig. 12. Variation of $P(\theta)$, $Q(\theta)$ and $A(\theta)$ functions with X_M

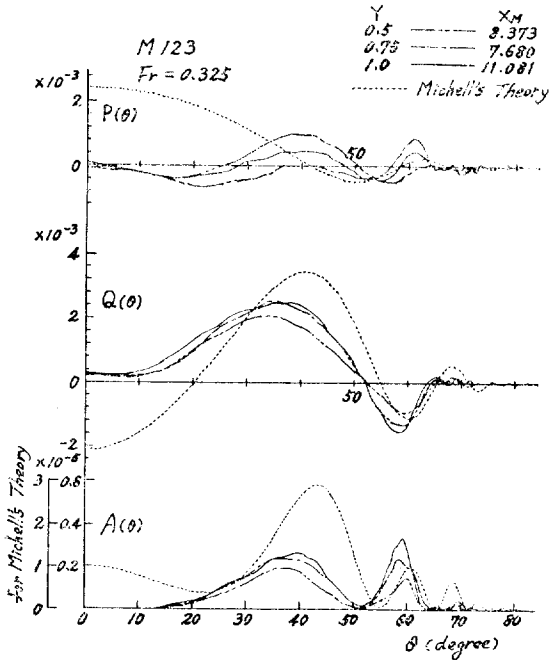


Fig. 14 Variation of $P(\theta)$, $Q(\theta)$ and $A(\theta)$ Function with Y for $Fr = 0.325$

Fig. 14. Variation of $P(\theta)$, $Q(\theta)$ and $A(\theta)$ functions with Y for $Fr=0.325$

처에서 이상스런 형태로 나타나고 있다.

앞의 2절에서의 이론적인 파형을 이용한 경우 cut의 위치에 따른 P, Q 및 spectrum의 영향이 거의 없음을 고려할 때 이는 단순한 local wave effect등으로 규명될 수 없는 근본적인 선형이론의 비합리성에 의한 것 같이 생각된다. 파형해석은 단순한 조파저항의 추정외에 이를 이용한 선형설계에 중요한 기구가 된다. 따라서 선형설계 내지 선형개발을 위하여 amplitude function P, Q 가 이용될 경우 이것이 cut의 위치에 민감하다는 사실에 유의하여야겠다. 특히 척도가 다른 동형의 모형선의 경우 무차원수 $ko\gamma$ 가 같도록 힘이 좋을 것이다.

다음으로 수학적선형이 아닌 실제선형에 대하여 파형 해석을 수행하였다. Model 123을 Y 를 1.0, 0.75, 0.50으로 변화시키면서 파형해석에 의한 저항계수 곡선을 그림 13에, amplitude function 및 spectrum을 그림 14에 나타내었다. 그림 13에서는 저항시험에 의한 조파저항과 비교되었는데 대체적으로 파형해석에 의한 조파저항이 이것에 미치지 못하고 있다. Wigley model의 경우와 같이 cut의 위치에 따라서 결과가 조금씩 차이가 생기고 있으며, 특히 고속에서 많은 변화를 볼 수 있다.

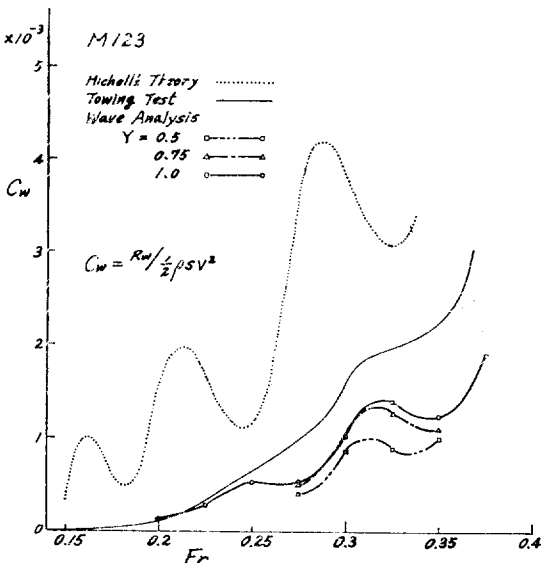


Fig. 13. Comparison of C_w curves of M123 model

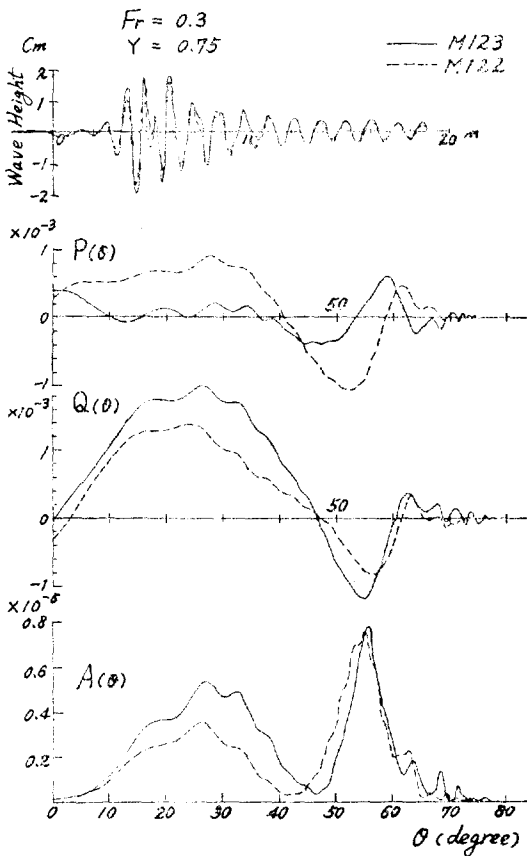


Fig. 15. Comparison of wave analysis results between M123 and M122 at $Fr=0.3$

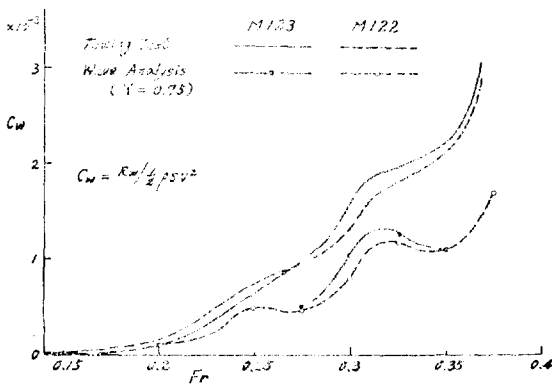


Fig. 16. Comparison of C_w curves between M123 and M122

한편 cut의 위치를 $Y=0.75$ 에 고정시키고 Model 123과 Model 122의 파형해석 결과를 그림 15에서 비교하였다. 그림 16에서 보는 바와 같이 구상선수에 의한 저항시험에 따른 조파저항의 차이와 파형해석에 의한 조

파저항의 차이는 정성적으로 일치하는 좋은 경향을 보여주고 있다. 즉, cut의 위치가 파형해석의 결과에 영향을 주고 있지만 모형선의 기본 크기가 같고 이에 cut의 위치가 같을 때 파형해석은 선형의 변화에 의한 영향을 잘 나타낼 수 있는 높은 가능성을 갖고 있다.

5. 결론

이상의 연구를 통하여 직접 또는 간접적으로 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다.

(1) Newman-Sharma의 파형해석법은 선형이론의 범위내에서 적용될 수 있으며 대형수조에서는 특히 그 응용성이 높다.

(2) 그러나 실제 파형분석의 결과에 의하여 amplitude function이나 spectrum이 cut의 위치에 따라 변하는 것은 단순히 선형 이론상의 local wave effect나 truncation의 영향으로 설명될 수 없다.

(3) 파형해석은 파고의 정밀측정, 파고계의 위치등 실험시스템의 높은 정밀도를 요구하므로 실험기기 제작에 주의하여야 한다.

(4) 파형해석이 선형개발 내지 선형설계에 응용될 경우 모형선의 크기나 cut의 위치를 가능한 한 고정시킨 상태로 해석하여 응용함이 좋겠다.

이상의 일반적인 결론에 부연하여 파형해석 자체의 이론적, 실험적 개량연구를 위한 노력이 계속되어야 하겠고 이를 이용한 선형개발에의 적극적인 응용을 위한 노력도 계속되어야 하겠다.

후 기

본 연구는 한국선박연구소에서 1979년도 정부출연연구로 수행된 것이며 연구수행을 위하여 연구소의 수조 운용실 동료들의 적극적인 협조, 특히 박찬일 과장이 하 전자계측과 과원들에게 감사를 표한다.

또한, M122, M123은 코리아 다코마에서 개발되어 당 연구소에서 선형시험된 모형으로 관계자들의 많은 협조에 사의를 표한다.

참 고 문 헌

[1] Resistance Committee (1978), "Report of Resistance Committee", 15th ITTC, pp.17~54, Hague/Netherlands
 [2] 강신형, 이영길(1980), 파형해석법 및 기기개발

- 에 관한 연구”, 한국선박연구소 연구보고서 “UCE 54-67. 80
- [3] Eggers, K.W.H. (1976), “Wave Analysis, State of the Art 1975,” 1976 International Seminar on Wave Resistance, Feb., Japan, Vol. 3, pp. 93~106.
- [4] Wehausen, J.V.(1973), “The Wave Resistance of Ships,” *Advances in Appl. Mech.*, Vol. 13, pp.93~245.
- [5] Eggers, K.W.H., Sharma, S.D and Ward, L.W. (1967), “Assessment of Some Experimental Methods for Determining the Wavemaking Characteristics of Ship Form,” *Trans. SNAME*, Vol. 75, pp.112~144 (Disc. pp.144~157)
- [6] Newman, J.N. (1963), “The Determination of Wave Resistance from Wave Measurements Along a Parallel Cut,” Presented at Int. Seminar on Theoretical Wave Resistance at Michigan, Ann. Arbor.
- [7] Sharma, S.D. (1963), “Untersuchungen über die gegenseitige Beeinflussung des Zähigkeits und des Wellenwiderstandes,” Hamburg.
- [8] Eggers, K.W.H. (1962), “Über die Ermittlung des Wellenwiderstandes eines Schiffmodells durch Analyse seines Wellensystems,” *Schiffstechnik*, Bd. 9, Helft 46, pp.79-84.
- [9] Landweber, L. (1963), “An Evaluation of the Method of Direct Determination of Wavemaking Resistance from Surface-Profile Measurements,” *Proceedings of the International Seminar on Theoretical Wave Resistance*, Ann Arbor, Michigan, August.
- [10] Michell, J.H.(1898), “The Wave-Resistance of a Ship,” *Phil. Mg.*, Vol. 45, pp. 106~123.
- [11] Ikehata, M. and Nozawa, K. (1967), “Determination of Wave-Making Resistance of a Ship by the Method of Wave Analysis,” *Journal of Society of Naval Architects of Japan*, Vol. 121, pp.62~71.
- [12] Ikehata, M. and Nozawa, K. (1968), “Determination of Wave-Making Resistance of a Ship by the Method of Wave Analysis(2nd Report),” *Journal of Society of Naval Architects of Japan*, Vol. 124, pp.37~49.
- [13] Adachi, H. (1973), “On Some Experimental Results of a Ship with Extremely Long-Parallel Middle-Body,” *Report of Ship Research Institute*, Vol. 10, No. 4, pp.159~173.
- [14] Yokoo, K. and Tanaka H. (1976), “Application of Wave Analysis to Tank Experiment,” 1976 International Seminar on Wave Resistance, Japan, Vol. 3, pp.107~124.
- [15] Tanaka, H., Adachi, H. and Omata, S. (1970), “Study on Wave Analysis by Use of Inuid Geosims,” *J.S.N.A.*, Japan, Vol. 128, Dec.
- [16] Tzou, K.T.S. and Landweber, L. (1968), “Study of Eggers’ Method for the Determination of Wavemaking Resistance”, *J. Ship Res.*, Vol.12, pp.213~230.
- [17] Maruo, H. and Ikehata, M. (1969), “Determination of Wave-Making Resistance of a Ship by the Method of Wave Analysis (3rd Report)”, *Journal of Society of Naval Architects of Japan*, Vol. 125, pp.1~8.
- [18] Bellow, G. (1977), “Wave Pattern Measurements using a Half-Ship Model,” *J. Ship Res.*, Vol. 21, No. 3.