

# 自由로울링實驗에 의한 로울링減衰力 推定法

洪 錫 原\*

On the Experimental Techniques of Free Rolling Test

Seok Won Hong\*

## 1. 序 言

현재 波浪中 船體의 운동성능을 추정하기 위한 많은 이론적인 계산방법이 개발되어 사용되고 있으며 계산값이 실험값과 대부분 잘 일치하고 있다. 그러나 로울링의 경우에는 共振點 근처에서 계산값이 실험값보다 크게 추정되고 있는데 이는 로울링 減衰力이 비 선형적인 성질을 갖고 있어 선형 포텐셜 이론으로는 그 값을 정확히 추정할 수 없기 때문이다.

로울링 감쇠력은 理想流體의 포텐셜 흐름에 의한 造波減衰力과 물의 점성에 기인하여 생기는 마찰감쇠력 및 造渦減衰力으로 구성되며 이중 造波減衰力은 선형 포텐셜이론으로 계산할 수 있으나 다른 감쇠력은 경험식 및 실험치로부터 구하여야 한다. 또한 현재 사용되고 있는 경험식들도 대표적인 船型에 대한 실험결과로 얻어진 것이기 때문에 船舶의 종류, 積荷 상태, 前進 속도 및 빌지키일의 형상에 따라 오차가 커진다. 따라서 로울링을 정확히 추정하기 위해서는 모형시험으로부터 얻은 실험값을 사용해야 한다.

로울링 감쇠력을 추정하는 실험방법은 두가지가 있으며, 첫째는 自由로울링 실험이고 둘째는 강제로울링 실험이다. 自由로울링 실험은 공진

점 근처에서의 감쇠력 추정을 목적으로 하고 있으며 강제로울링 실험은 로울링角 및 원진동수 (Circular Frequency)를 변화시켰을 때의 감쇠력의 변화를 추정하는 것을 목적으로 하고 있다. 따라서 自由로울링 실험은 강제로울링 실험보다 적용범위가 좁으나 로울링의 계산치의 오차가 큰 곳이 공진점 근처이고 실험방법, 실험장치 및 해석방법이 비교적 간단하기 때문에 많이 이용된다.

## 2. 自由로울링 實驗法

자유로울링 실험은 모형선의 航走方式에 따라 예항법 및 자항법으로 나누어지는데 여기서는 예항법을 소개하겠다.

이 방법은 모형선의 무게중심에 Gimbal을 취부하여 Rolling 및 Pitching을 자유롭게 하여 주고 그림 1과 같은 장치를 이용하여 모형선을 예항하게 되는데 이때 Heaving은 자유롭게 하여 주고 나머지 Surging, Swaying, Yawing은 구속시킨다. 피칭 및 히이빙을 자유롭게 하여 주는 것은 항주에 따라 생기는 트림변화 및 침하를 고려하기 위한 것이다. 다음 모형선을 원하는 속도로 예항하면서 모형선에 초기 경사 모우멘트를 주고 정상상태가 되기 시작할 때부터 로울링의 변위를 짐발에 취부된 Potentiometer로

\* 大德船舶分所 性能評價室, Member of Powering Performance Group

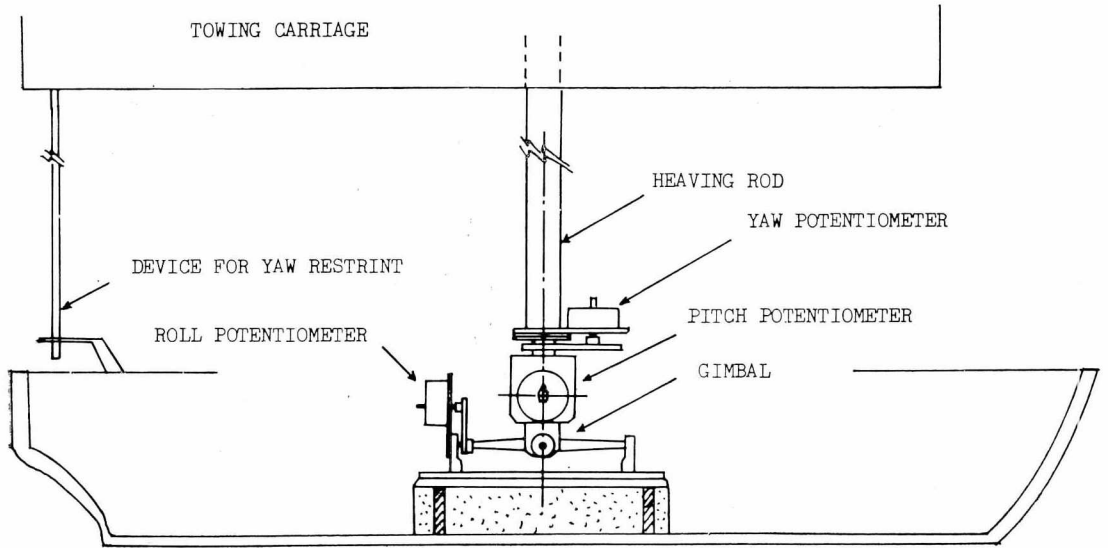


그림 1. Schematic Figure of The Free Rolling Experiment

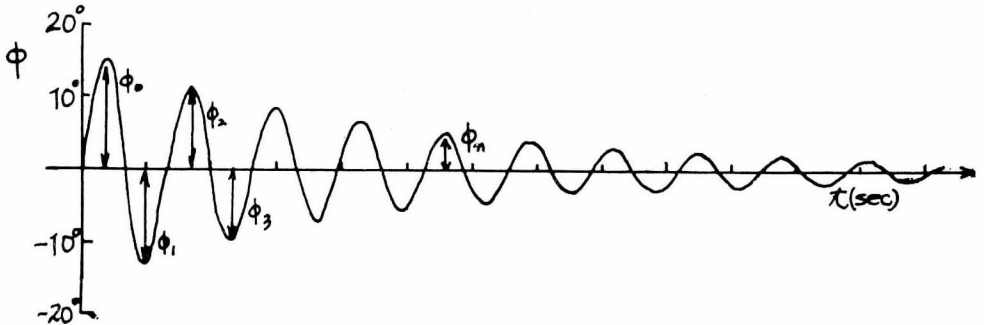


그림 2. Record of A Free Rolling Experiment

측정하여 그림 2와 같은 결과를 얻는다.

이 방법으로는 원하는 선속을 유지할 수가 있다. 한편 선속이 없는 경우는 수조 측벽에 의한 반사파가 모형선에 도달하기 전에 측정이 이루어져야 한다.

$C_\phi$  ; 로울링 복원력

$\phi$  ; 로울링 변위

$B_\phi(\phi)$ 를  $\phi$ 로 전개하여 3차항까지 취하면 다음이 된다.

$$B_\phi(\phi) = B_1\phi + B_2|\phi|\phi + B_3\phi^3 \quad (2)$$

이를 식(1)에 대입하면 다음과 같다.

$$\ddot{\phi} + 2\alpha\dot{\phi} + \beta\phi|\dot{\phi}| + \gamma\phi^3 + \omega_0^2\phi = 0 \quad (3)$$

여기서  $\alpha$  ;  $\frac{B_1}{2I_\phi}$

$\beta$  ;  $\frac{B_2}{I_\phi}$

$\gamma$  ;  $\frac{B_3}{I_\phi}$

### 3. 結果 解析方法

船體의 自由로울링에 대한 운동방정식을 단순화하면 다음과 같다.

$$I_\phi\ddot{\phi} + B_\phi(\phi) + C_\phi\phi = 0 \quad (1)$$

여기서  $I_\phi$  ; 로울링 관성 모우멘트

$B_\phi(\phi)$  ; 로울링 감쇠력

$$\omega_0^2; \frac{C_\phi}{I_\phi}$$

式(3)은 비선형 방정식으로 그 解를 해석적으로 구하기 어려우므로 비 선형 감쇠력을 선형화하여 등가감쇠력으로 표시하자.

$$B_e(\dot{\phi}) = B_e \dot{\phi} \tag{4}$$

여기서  $B_e$ 는 한 週期 동안 감쇠력에 의한 일의 양으로부터 구하여지며 다음과 같다.

$$B_e = 2I_\phi \left( \alpha + \frac{4}{3\pi} \omega_\phi \cdot \phi_m \beta + \frac{3}{8} \omega_\phi^2 \phi_m^2 \gamma \right) \tag{5}$$

여기서  $\omega_\phi$ ; 로울링 원진동수

$\phi_m$ ; 로울링 Amplitude

式(4)를 式(1)에 대입하여 정리하면,

$$\ddot{\phi} + 2\alpha_e \dot{\phi} + \omega_0^2 \phi = 0 \tag{6}$$

또

$$2\alpha_e = \frac{B_e}{I_\phi} \tag{7}$$

로  $\alpha_e$ 를 유효선형 감쇠계수라 한다.

式(6)의 解를 구하면 다음과 같다.

$$\phi = \phi_0 e^{-\alpha_e t} \sin(\omega_\phi t + \epsilon) \tag{8}$$

$$\text{여기서 } \omega_\phi = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha_e^2} \doteq \omega_0 \tag{9}$$

가 되며  $\omega_0$ 를 공진주파수라 한다.

### 3.1 유효선형 감쇠계수 $\alpha_e$

로울링 진폭의 변화를 크기 순으로  $\phi_0, \phi_1, \phi_2, \dots$ 라 하면 다음 式이 얻어진다.

$$|\phi_{n+1}| = |\phi_n| e^{-\pi \alpha_e / \omega_\phi} \tag{10}$$

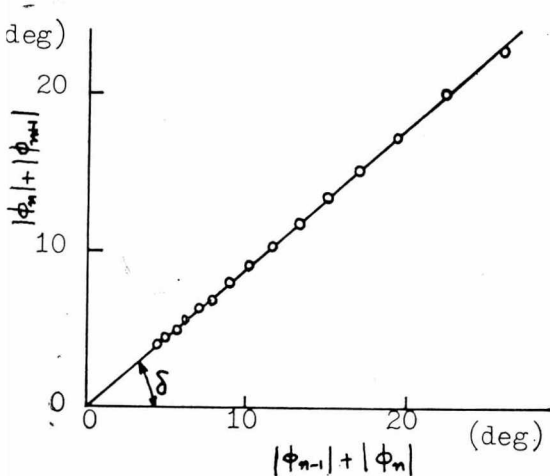


그림 3. Linear Damping of Rolling Amplitudes of the Free Rolling Experiment

따라서 그림 3과 같이  $|\phi_{n-1}| + |\phi_n|$ 을 횡축에,

$|\phi_n| + |\phi_{n+1}|$ 를 종축에 圖示하면 직선이 얻어지며 이 직선의 기울기를  $\tan \delta$ 라 하면,

$$\tan \delta = \frac{|\phi_n| + |\phi_{n+1}|}{|\phi_{n-1}| + |\phi_n|} = e^{-\pi \alpha_e / \omega_\phi} \tag{11}$$

이 되고 이것으로부터  $\alpha_e$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\frac{\pi \alpha_e}{\omega_\phi} = \ln \{ \tan \delta \} \tag{12}$$

### 3.2 비선형 감쇠계수 $\alpha, \beta$

式(3)에서  $\gamma=0$ 로 하면,

$$\ddot{\phi} + 2\alpha \dot{\phi} + \beta \dot{\phi}^2 + \beta \dot{\phi} |\dot{\phi}| + \omega_0^2 \phi = 0 \tag{13}$$

이 되며 실험기록으로부터  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 구하기 위해 소멸각  $\Delta \phi$ 와 평균진폭  $\phi_m$  사이의 관계를  $\alpha$ 와  $\beta$ 로 표시하면 다음과 같다.

$$\Delta \phi = |\phi_n| - |\phi_{n-1}| \tag{13}$$

$$\phi_m = (|\phi_n| + |\phi_{n+1}|) / 2 \tag{14}$$

$$\begin{aligned} \Delta \phi &\doteq \phi_m \cdot \frac{\pi}{\omega_\phi} \cdot \alpha_e \\ &= \phi_m \frac{\pi}{\omega_\phi} \left( \alpha + \frac{4}{3\pi} \omega_\phi \phi_m \beta \right) \end{aligned} \tag{15}$$

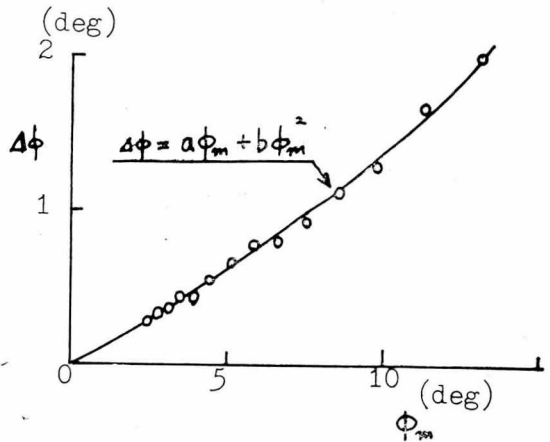


그림 4. Extinction Curve of the Rolling Amplitudes

실험기록으로부터 그림 4와 같이 소멸곡선을 그리고  $\Delta \phi$ 를  $\phi_m$ 의 이차식으로 근사시켜 다음과 같이 표시하자.

$$\Delta \phi = a \phi_m + b \phi_m^2 \tag{16}$$

$a, b$ 는 최소자승법으로 구하게 된다. 다음 式(15)와 式(16)으로부터  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\alpha = \frac{a}{\pi} \omega_{\phi} \quad (17)$$

$$\beta = \frac{3}{4} b \quad (18)$$

### 3.3 무차원 감쇠계수

실험결과를 서로 다른 船型 또는 운항조건에 대하여 비교하기 위하여 무차원화하여야 한다. 선형 감쇠계수  $\alpha_e$  는 다음과 같이 무차원화 한다.

$$k_e = \frac{2\alpha_e}{\omega_{\phi}} \quad (19)$$

또한 비선형 감쇠계수  $\alpha$  와  $\beta$  는 다음과 같이 무차원화 한다.

$$k_{\alpha} = \frac{2\alpha}{\omega_{\phi}} \quad (20)$$

$$k_{\beta} = \frac{8}{3\pi} \beta \phi_m \quad (21)$$

따라서 비선형의 경우는 감쇠계수가 로울링 진폭의 함수가 되므로 비교를 목적으로  $\phi_m = 10^{\circ}$

에 대하여 결과를 정리하는 것이 일반화 되고 있다.

## 4. 結 言

船型이 주어진 경우 로울링減衰力을 정확히 추정하려면 모형시험을 해야 한다. 선형, 선속의 변화에 따른 감쇠력의 변화 및 벌지키일의 효과 등을 정확히 비교할 수가 있으므로 선형설계 단계에서 모형시험을 하면 설계선박의 로울링 특성을 추정할 수 있을 것이다.

## 參 考 文 獻

- 1) 高石敬史・猿田俊彦・吉野良枝, “船體に働く橫搖減衰力について(第1報)”, 日本船舶技術研究所報告 第16卷 第5號