

# 造波板 出力의 離散的 具現方法

全仁植\* · 朴佑善\* · 安熙道\*

## 1. 緒 論

水槽안 主 實驗區間에서의 流況이 주로 波浪에 의해서 영향을 받는 경우에는 실험결과의 正確度는 바로 사용된 조파기의 性能에 의해서 좌우된다. 컴퓨터를 이용한 조파기 제어시스템을 구축하기 위해서는 特定 조파판 운동에 대한 조파판에서의 水面變化 양상을 精確히 豫測할 필요가 있다. 本 研究에서는 複素數 해석을 통하여 造波板 전달함수를 再構成하였으며 時間領域에서 전달함수를 個別的으로 具現할 수 있는 數值 필터를 제시한다. 해석의 便宜上 여기에서는 피스톤式의 造波板만을 대상으로 한다.

## 2. 造波板의 複素數 傳達函數

本 해석에 사용되는 座標界와 조파판의 傳達作用을 圖式으로 나타내면 Fig.1과 같다. 조파판 出力  $\eta(t)$  은 조파판 前面에서의 水面運動을 의미한다. Laplace 演算子  $s$ 를 이용하여, 조파판 전달함수  $H(s)$ 를 定義하면

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \quad (1)$$

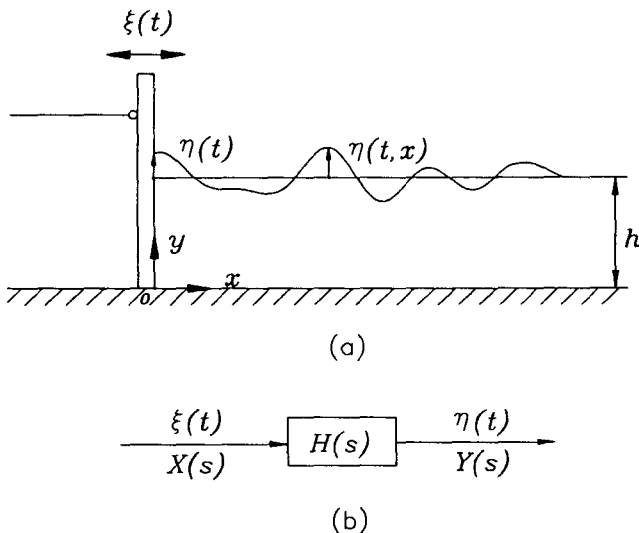


Fig. 1 Definition of the wave generating system; (a) coordinate system, (b) transfer operation of wave board.

와 같다. 여기서,  $X(s)$  and  $Y(s)$  는 각각  $\xi(t)$  and  $\eta(t)$  의 Laplace 變換을 의미한다.

全行程  $2S_0$ 와 角周波數  $\omega$  를 갖는 조파판의 복소수 變位를

$$\xi(t) = S_0 \exp(-i\omega t) \quad (2)$$

와 같이 정의할 때 조파판, 自由水面, 바다에서의 경계조건에 대하여 Laplace 방정식을 풀면, 造波板 출력은 다음과 같다.

$$\eta(t) = (E - iP)S_0 \exp(-i\omega t) \quad (3)$$

여기서,

$$E = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{4 \sin^2(k_m h)}{2k_m h + \sin(2k_m h)}, \quad P = \frac{4 \sinh^2(k_p h)}{2k_p h + \sinh(2k_p h)} \quad (4)$$

式 (2)의 양변에 Laplace 變換을 적용하면 최종적으로 조파판 전달함수를

$$H(s) = M \exp(i\delta) \quad (5)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 여기서,  $M = \sqrt{P^2 + E^2}$ ,  $\delta = \tan^{-1}(P/E)$  이다.

### 3. 造波필터의 設計

式 (5)의 傳達函數  $H(s)$  는 高周波數 通過 필터 (High pass filter)와 類似한 작용을 하며 다음의 有理函數 형태를 갖는 近似式으로 표현할 수 있다.

$$\bar{H}(s) = \frac{\bar{Y}(s)}{\bar{X}(s)} = \frac{bs}{s+a} \quad (6)$$

여기서, 常數  $a$  와  $b$ 는 水深에 따라 변하는 상수이다. 상수  $a$  와  $b$ 는 임의의 한계 주파수내에서 식 (5)과 식 (6)을 비교하여 결정할 수 있다.

式 (6)은 Laplace變換의 高유성질을 이용하여 다음과 같이 離散的 形態로 具現할 수 있다.

$$\bar{\eta}_n = \frac{1}{1 + \frac{a}{2} \Delta t} \left[ b \xi_n - \frac{a}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (\bar{\eta}_i + \bar{\eta}_{i-1}) - \frac{a}{2} \Delta t \bar{\eta}_{n-1} \right], \quad n=1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

여기서  $\Delta t$ 는 데이터 讀取間隔, 즉 離散 데이터간의 시간간격 (秒 單位)을 의미한다.

式 (7)는 일종의 循環的 (Recursive) 필터 작용을 나타내고 있으며 任意의 入力,  $\xi(t)$ 에 쉽게 適用할 수 있다. 常數  $a$ 가 陽의 값을 갖는 限, 上記 필터 작용은 入力 데이터  $\xi_n$ 의 성격에 관계 없이 항상 안정된 出力을 준다.

### 4. 필터의 試驗適用 및 討論

필터의 性能을 확인하기 위하여 規則波 또는 不規則波 入力조건을 가지고 필터를 數值的으로 試驗하였다. 규칙파는 서로 다른 週期와 波高의 組合, 즉 (0.7 秒, 0.05 m)와 (2.0 秒, 0.15 m)를 別途로 시도하였다. 불규칙파에 대해서는 入力조건으로서 波浪 스펙트럼을 사용하였으며 스펙트럼의 變數, 즉 有意波 주기와 파고는 上記 규칙파 組合과 同一하게 取하였다. 여기에서는 스펙트럼으로 Mitsuyasu-Bretschneider 스펙트럼을 사용하였다. 水深은 共히 0.5m로 하였으며, 데이터 讀取間隔  $\Delta t$  는 0.05 秒 로 하였다.

상기 입력에 대하여 필터의 適用結果를 이론적 出力 및 離散廻積 (Discrete convolution)의 결과와 비교하였다. Fig. 2와 3은 각각 주기 0.7초의 규칙파 입력과 2.0초의 不規則波 입력에 대한 출력시그널의 비교를 보여준다. 그림에서 필터의 결과가 理論的 값들과 매우 잘 一致함을 관찰할 수 있다.

이산적 입력데이터에 적용하기 위하여 離散廻積의 또 다른 방법인 傳達函數의 逆 Fourier 變換, 즉, 소위 一定 衝動量 (Impulse invariance)을 고려해 볼 수 있다. 그러나, 이것은 전달함수가 단지 선택된 限界 周波數內에서 周波數帶가 限定되어 있는 경우에만 사용이 가능하다 (Oppenheim, Willsky and Young, 1983). 그렇지 않으면 소위, 주파수 錯覺 문제 (Aliasing)가 발생하며, 사용필터의 길이에 따라 出力이 일관성없이 나타나는 경향을 보이게 된다. 현재 造波板 전달함수의 周波數帶가 결코 限定되어 있지 않음을 상기할 때, 一定衝動量을 이용하는 離散廻積은 여기에서 적당치 않음을 알 수 있다.

式 (7)에서 제시한 필터의 具現方法은 사실상 二重線形 變換 (Bilinear transformation)방법과 동일하며, 이 방법은 입력데이터의 周波數帶 또는 데이터 讀取率에 관계없이 언제나 周波數 錯覺 誤差를 피할 수 있는 것으로 알려져 있다 (Kanasewich, 1981). 그리고, 이 방법에서 固有的으로 內在하는 주파수 歪曲 (Frequency warping)도 造波水槽에서 일반적으로 채택하는 波浪의 한계 주파수 範圍內에서는 크게 문제가 되지 않음을 確認하였다.

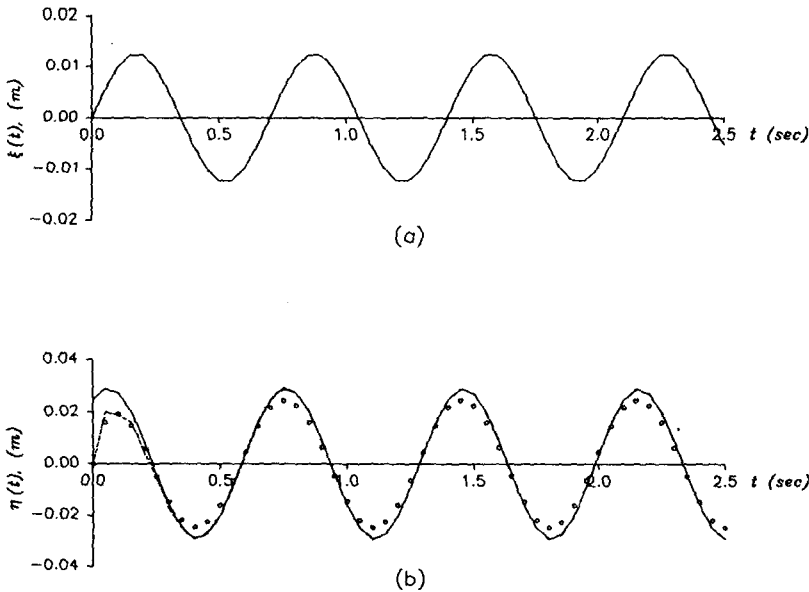


Fig. 2 Results of the filter application for regular wave condition ( $H = 0.05$  m,  $T = 0.7$  sec); (a) board input signal, (b) water surface fluctuation at the board face(— : exact solution; --- : discrete convolution; ○ ○ ○ : filter).

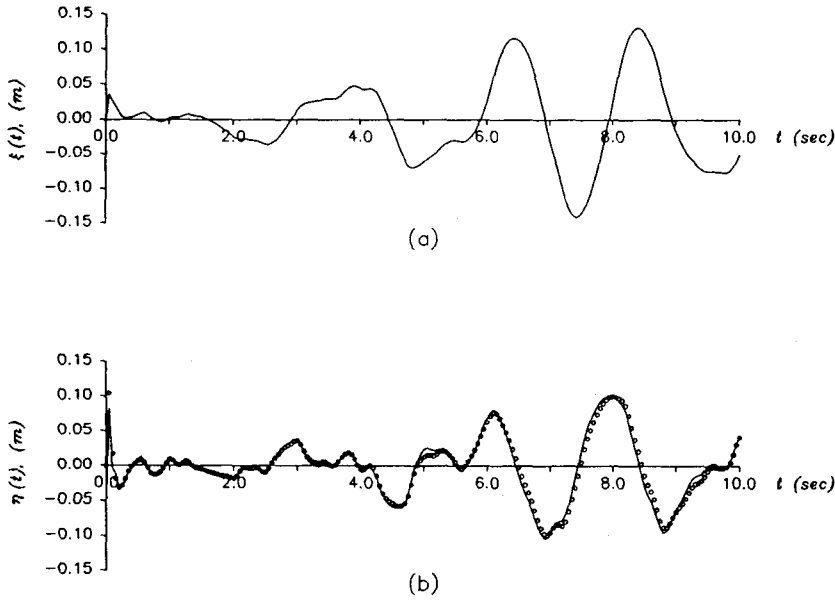


Fig. 3 Results of the filter application for irregular wave condition ( $H_s = 0.15$  m,  $T_s = 2.0$  sec): (a) board input signal, (b) water surface fluctuation at the board face(— : discrete convolution;  $\circ \circ \circ$  : filter).

## 5. 結論

時間領域에서 造波板의 전달작용을 離散的으로 模擬할 수 있는 數值필터를 설계하였다. 필터의 效能性を 把握하기 위하여 規則 또는 不規則 조파판 入力데이터를 가지고 例題 解析을 수행한 결과, 필터의 出力이 理論的 正確值 또는 離散廻積의 결과와 매우 잘 一致함을 確認하였다. 이용된 필터 具現方法은 事實상 二重線形變換 方法이며, 이 方法에는 周波數 錯覺 誤差가 排除되기 때문에 周波數帶가 限定되어 있지 않은 造波板 傳達函數에 대해서도 충분히 正確性を 갖고 適用될 수 있음을 立證하였다.

## 參考文獻

- Kanasewich, E.R. (1981). *Time Sequence Analysis in Geophysics*. The University of Alberta Press.
- Oppenheim, A.V., Willsky, A.S. and Young, I.T. (1983). *Signals and System*. Prentice-Hall.