

## 不規則波에 대한 壓力式 波高計의 適用性에 관한 研究

Surface Elevation Recovery Methods  
from Pressure Gage for Irregular Waves

權正坤\* · 姜周復\*\*

Kwon, Jung Gon · Kang, Ju Bok

## Abstract

A procedure for recovering surface displacement from a time series of pressure measured by a pressure gage in a shallow water (that is, FFTM, LCM, IWM) is investigated with respect to a proper cut-off-frequency of a frequency response function for the accurate recovery of wave height and period. The authors examined the applicability of above mentioned three transformation procedures through field observations and laboratory experiments and the following results are obtained.

i) The cut-off-frequency of the frequency response function used in FFTM is deeply depend on both the frequency response of the pressure sensor and the water depth at the sensor. In this study, a relatively accurate surface displacement can be recovered when the frequency response function is cut off at the frequency corresponding to  $kh=3.0$  where  $k$  is a wave number at the depth of  $h$ . The frequency response function in the region higher than the cut-off-frequency is set constant to be the value at the cut-off-frequency.

ii) The transformed surface displacements by LCM are affected by the small waves of short periods included in the measured pressure. It is found that pressure variation whose local frequency is higher than  $kh=1.5$  has to be neglected to recover surface displacement sufficiently.

iii) In IWM, the linear pressure response function is usually utilized by multiplying a coefficient  $N$  which is a function of the frequency (or  $kh$ ) and takes a value around unity. However, in this study, a constant value of  $N(=1.0)$  gives a relatively accurate recovery of surface displacements.

## 요 지

壓力式 波高計에서 測定되어진 壓力波形으로부터 水位變動을 推定하는 方法에 대해서 1) Fast Fourier Transform Method(FFT), 2) Local Curvature Method(LCM), 3) Individual Wave Method(IWM)의 3가지 方法을 比較하여, 淺海域에 있어서의 波浪測定에 대한 壓力式 波高計의 適用性에 대해 檢討했다. 그 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 測定되어진 壓力波形으로부터 水位變動을 推定할 때에 使用되어지는 理論線形應答函數( $H_p = \frac{c \cdot \cos kh}{\cosh kh} / \cosh kh(h+z)$ )의 適用可能範圍(cut-off-frequency)는  $kh \leq 3.0$ 이다. 그리고  $kh > 3.0$ 의 領域에 있어

\* 정회원 ·釜山大學校 工科大學 環境工學科 專任講師

\*\* 정회원 ·釜山大學校 工科大學 土木工學科 教授

의 理論線形應答函數는 一定值를 부여함으로써 매우 정도높은 水位變動을 얻을 수 있다.

2) LCM에 의한 水位變動의 變換에 있어서는 測定된 壓力波形속에 포함되어 있는 短週期波들에 의해 크게 影響을 받는다. 그러므로,  $kh > 1.5$ 인 領域의 壓力變動을 무시할 必要가 있다.

3) FFTM 및 IWM에 의해 推定되어진 統計量의 再現性은 양호하고, 특히, 平均週期の 再現性으로부터 非線形性이 강한 領域에 있어서는 IWM이 有效한 수단이라고 사려되어진다.

## 1. 概 說

一般的으로 海面의 變化를 동반한 物理量의 變化를 조사하는 方法으로서, 間接적으로 海面의 昇降量을 구하는 間接計測法과 海面의 昇降量을 直接的으로 구하는 直接計測法으로 大別할 수 있다. 直接計測法으로는 支柱固定方式이 되는 容量式, 空中發射形 超音波式波高計 및 camera로서 stereo寫眞을 撮影하는 方法 등이 있다. 또한 近年에 들어서는 航空機에 搭載한 Laser 및 radar에 의한 計測方法, 人工衛星에 搭載한 micro wave의 sensor를 이용하여 海面에 관한 情報를 取得하는 方法 등이 있다. 間接計測法으로서는, 水壓變化를 이용한 strainage형의 壓力式波高計 및 加速度變化를 이용한 브이식波高計(Valdmanis),<sup>(1)</sup> 그외에, 浮力式波高計 및 氣壓變化를 利用(Forristall)<sup>(2)</sup>한 것도 있다.

이와 같이, 波高計에는 여러가지 종류가 있고, 使用目的, 條件에 따라 選擇할 수 있다. 예를 들면, 容量式波高計는 絶緣線을 鉛直으로 붙인 構造로서, 그 沒水部分을 condenser로서 利用하고, 沒水長에 比例한 condenser의 容量變化를 電氣回路로서 檢出하는 直接計測法이기 때문에, 精度는 충분하지만, 長期間의 定常觀測用으로서는 보수가 번잡하기 때문에, 주로 調査研究目的의 短期觀測으로서 利用되어진다.

이에 반해, 壓力式波高計는 波에 의한 水面의 上昇, 下降 變化에 따라, 變化하는 水中의 壓力變化를 感知하고, 그 變動振幅을 表面波의 水位振幅으로 變換하기 때문에, 計測上 容易하지만, 容量式에 비해서, 精度가 떨어지는데 이것은, 壓力式波高計가 上述한 바와 같이 間接計測法이고, 壓力變動으로부터 水位變動으로 變換하기 때문에 그 解析手法이 충분히 研究되어져 있지 않기 때문이다.

通常, 壓力變動으로부터 水位變動으로의 變換에는

壓力方程式에 근거를 둔 壓力應答函數가 利用되어진다. 그러나, 이 應答函數는 規則波에 의한 實驗에 있어서는, 多少의 誤差가 發生한다고 本間<sup>(3)</sup>에 의해 報告되어져 있다. 그럼에도 불구하고, 不規則波의 壓力變動을 水位變動으로 變換하는 경우에도, 이와 같은 應答函數를 利用하는 것이 되지만 그 手法은 아직 신뢰성 문제(Bishop)<sup>(4)</sup>가 남겨져 있다. 또한, 壓力式 波高計는 一般的으로 쇄파가 일어나지 않는 線形波를 觀測하기 위하여 利用되어진다. 그리고, 쇄파가 발생하는 高波浪場에 있어서는 data는 얻어 지지만, 壓力傳達特性때문에, 短週期波의 觀測은 힘들다. 이상과 같은 점에 착안하여, 본 研究에 있어서는 Individual Wave Method에 의한 變換手法을 새로이 提案함과 동시에 2次元 水理實驗 및 現地海岸의 淺海에 있어서는 現地觀測을 통하여, 壓力式波高計에서 얻어진 不規則壓力波形을 水位變動으로 變換하는 몇가지 手法을 比較檢討하여, 그 타당성을 상세히 檢討한다.

## 2. 基礎方程式

### 2.1 線形應答函數

水中壓力變動으로부터, 水面變動을 推定하기 위해서는 壓力方程式으로부터 얻어지는 壓力應答函數를 구할 必要가 있다. 單純化를 위해  $x-z$ 의 2次元 平面을 가정하면,  $x$ 方向으로 전파(水深  $h$ )하는 波浪에 의해서 발생하는 壓力變動  $\Delta P$ 는 非定常 Bernoulli式(Lamb)<sup>(5)</sup>으로부터 다음과 같이 表現되어진다.

$$\Delta P = -\rho g z - \rho \frac{\partial \Phi}{\partial t} - \frac{1}{2} \rho \left[ \left( \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)^2 \right] + c(t) \quad (1)$$

여기서,  $\rho$ : 密度,  $g$ : 重力加速度,  $c(t)$ : 積分常數,  $\Phi$ : 速度 potential이다. 내습波를 微小振幅波로 가정

하고 그 水位變動을  $\eta$ 라 두면 任意 水深에 있어서의 壓力  $P$ 는

$$P = \rho g \eta \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} - \rho g z \quad (2)$$

이 된다. 式 (2)로부터, 壓力應答函數  $K_p$ 는 다음과 같이 決定되어진다.

$$K_p = \frac{(p/\rho g) + z}{\eta} = \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \quad (3)$$

이때, 水中壓力變動  $\Delta P (= P + \rho g z)$ 와 수면變動  $\eta$ 는 다음과 같은 關係를 가진다.

$$\eta = \frac{1}{K_p} \frac{\Delta P}{\rho g} \quad (4)$$

## 2.2 不規則波에 대한 水位變動推定法

不規則波의 推定에 있어서도, 式 (3)의 壓力應答函數  $K_p$ 를 使用하게 된다. 그러나, 한 점에서 觀測되어진 不規則波는 一般的으로 다음과 같이 無限個의 正弦波의 重첩으로서 表現되어진다.

$$\eta = \eta(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(2\pi f_n t + \epsilon_n) \quad (5)$$

여기서,  $a_n$ ,  $f_n$ ,  $\epsilon_n$ 은 각 成分波의 振幅, 周波數, 位相角이다. 그러므로, 規則波와 같이 하나의 應答函數의 값을 適用하여 表面波形을 推定할 수는 없다. 더우기, 表面波形이 波浪의 非線形의 影響을 받고 있는 경우에는 式 (4)의 線形應答函數는 適用할 수 없게 된다. 式 (4)는  $h$ ,  $z$ ,  $k$ 의 函數이기 때문에, 얻어진 壓力波形의 時系列로부터 어떻게 波數  $k$ 를 구해, 式 (4)를 이용하여, 水位變動을 推定하는가 하는 것은 중요한 問題가 된다. 本 研究에서 考察한 몇가지 變換方法에 대해서, 그 概要와 問題點에 대해서 설명한다.

### 1) Fast Fourier Transform Method(FFT)

壓力波形을 水位變動의 時系列로 變換하기 위한 一般的인 方法은 FFT이다. 不規則波가 線形重疊이라고 가정하면 壓力波形  $P(t)$ 도 Fourier 變換에 의해 周波數 領域의 成分波의 重첩으로서 다음에서 表現하는 周波數領域의 成分波로서 表現할 수 있다.

$$P(t) = \rho g \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\omega_n t - \epsilon_n) \quad (6)$$

여기서,  $\omega_n$  : 角周波數,  $A_n$  : 振幅,  $\epsilon_n$  : 位相角이다. 式 (3)으로부터 壓力應答函數( $K_p$ )의 값은 角周波數의 函數이다. 그리고,

$$K_p(\omega_n) = \frac{\cosh k_n(h+z)}{\cosh k_n h} \quad (7)$$

과 같이 表現되어지기 때문에 全周波數에 대한 應答函數의 값은 式 (7)로부터 구할 수 있다. 그리고 表面波形도 周波數 領域의 成分波의 疊으로서 表現할 수 있기 때문에 다음과 같이 推定할 수 있다.

$$\eta(t) = \sum_{n=1}^{\infty} H_p(\omega_n) A_n \cos(\omega_n t - \epsilon_n) \quad (8)$$

여기서, 주파수응답함수( $H_p$ )는 다음과 같이 表現되어진다.

$$H_p(\omega_n) = \frac{1}{K_p(\omega_n)} = \frac{\cosh k_n h}{\cosh k_n(h+z)}$$

### 2) Local curvature method(LCM)

LCM은 Wang 등<sup>(6)</sup>에 의해 提案되어진 것으로 壓力波形에 있어서의 局部的인 曲率을 計算하고 이를 근거로 時時刻刻의 파수  $k$ 를 구하는 것으로부터 시작한다. 즉, 이 理論은 表面波形의 局部的인 형상이 어느 부분에 있어서도 正현 波形으로 表現되어진다고 假定한다. 즉,

$$\eta(t) = A_1 \sin(\omega_1 t + \epsilon_1) \quad (9)$$

여기서, 添字 1은 local condition을 나타내고 있다. 式 (9)의 2차 도函數는

$$\ddot{\eta}(t) = -A_1 \omega_1^2 \sin(\omega_1 t + \epsilon_1) \quad (10)$$

로 表現되어지기 때문에 式 (9),(10)에 의해  $\omega_1$ 은 다음과 같이 表現되어진다.

$$\omega_1^2 = - \frac{\ddot{\eta}(t)}{\eta(t)} \quad (11)$$

이 式으로부터 波形的 轉점에 있어서의 波數가 구해진다. 壓力波形的 時系列에 있어서도 동일한 關係를 適用할 수 있고, 이것을 差分의 형태로 表現하면 다음과 같이 된다.

$$\omega_1^2 = - \frac{P(t+\Delta t) - 2P(t) + P(t-\Delta t)}{P(t) \times (\Delta t)^2} \quad (12)$$

이와 같이 壓力波形으로부터 局部的 角周波數  $\omega_1$ 이 얻어지면, 壓力의 時系列의 전부에 대해서 壓力應答函數( $K_p$ )의 값을 算出할 수 있다. 그러므로 水位變動의 時系列  $\eta(t)$ 는 다음식에 의해 再現되어진다.

$$\eta(t) = \frac{P(t)}{\rho g(K_p)_1} \quad (13)$$

여기서,  $(K_p)_1$ 은  $P(t)$ ,  $P(t - \Delta t)$ ,  $P(t + \Delta t)$ 의 函數이다. 그러나 이와 같은 LCM은 壓力波形的 곡 및 절, 혹은 高周波數 波數成分에 의한 壓力波形的 微小한 산란에 의해 波形的 曲率은 급격히 크게 되어, 推定한 波形이 부자연스럽게 되는 문제점을 지니고 있다.

### 3) Individual Wave Method(IWM)

이 手法도 LCM과 동일하게, 壓力波形的 時系列로부터 直接, 壓力應答函數의 값을 구하는 手法이지만, LCM과는 다르게 波別解析되어진 壓力波形一波一波에 應答函數값을 使用하여, 壓力波形을 水面波形으로 變換한다. 이 解析手法의 特徵은 波別解析되어진 個個波가 獨立的으로 微小振幅波로서 傳播한다고 假定한 것이다. 그러므로, 波別解析되어진 個個波가 어떠한 物理的 意味를 가지고 어떠한 運動法則에 支配되어지는가에 대해서 明確히 할 필요가 있지만, 아직 不明確한 點이 많다. 그러나, 不規則波의 쇄파를 포함하는 淺水變形을 예측할 때에는 IWM이 有效하다는 것이 指摘<sup>7)</sup>되어져 있기 때문에, 먼저 논술한 2가지 方法과는 다르게 波浪의 非線形性이 강한 淺海域에 있어서는, 壓力應答函數에 대해서 非線形波理論으로부터 구해진 應答函數를 使用하면 매우 有效한 解析手法이 될 可能性이 있다. 단, 現在에 있어서는 不規則波의 壓力變動으로부터 水位變動을 推定할 때 IWM을 適用한 研究는 거의 行해져 있지 않다.

### 2.3 線形應答函數를 使用할 경우 발생하는 問題點

一般的으로, 式 (4)에 의한 壓力應答函數를 單一週期的 規則波에 適用해도, 直接計測에 의한 波形과 完全히 일치하지 않는다. 이 理由로서는,

- (a) 微小振幅波理論을 使用하고 있다는 點
- (b) 波高計 주변에 水粒子運動의 turbulence 가 발생한다는 點

(c) 測定裝置의 感度, 特性의 影響 등이 생각되어진다.

더욱이, 現地波浪과 같은 不規則波의 推定에 대해서도 다음과 같은 問題點이 첨가되어진다.

(d) 應答函數의 cut-off-frequency 의 問題가 明確히 밝혀져 있지 않다는 點.

(e) 波浪의 非線形性의 影響

(d)의 問題는 應答函數( $\cosh kh / \cosh k(h+z)$ )가 雙曲線函數를 포함하고 있기 때문에 周波數가 커짐에 따라 指數函數의 形式으로 그 값이 증대하기 때문에 어느 程度의 周波數까지가 線形應答函數로서 適用할 수 있을 것인가 또한 그 周波數 以上の 應答函數는 어떻게 決定해야 할 것인가라는 것이다. (e)의 非線形性의 影響은 淺海域이 됨으로서 더욱 強하게 되기 때문에 線形應答函數를 이용할 경우 어느 程度의 領域(水深)까지가 適用가능하냐라는 問題인 것이다.

## 3. 線形應答函數의 適用範圍에 관한 2次元水理實驗

### 3.1 實驗方法 및 解析方法

本 實驗은 폭 70cm의 2次元造波水槽를 使用했다. 實驗裝置의 斷面은 그림 1에 나타난 바와 같이, 먼저 線形應答函數의 適用限界를 조사하기 위해 水平한 水路床에 壓力式波高計를 設置하고, 그 鉛直線上의 水面에 容量式波高計를 設置했다. 測定은 水深 및 周波數가 다른 規則波 및 不規則波를 발생시켜, 各 4台的 波高計로서 同時에 行했다. 測定한 波의 諸元은 표 1에 나타내었다. 解析手法은 각각 다른 水深에서 얻어진 2台的 波高計로부터 測定되어진 analogue data를 digital data로 變換한다. 이때, 壓力式波高計에 의해 얻어진 data는 변형량이기 때문에

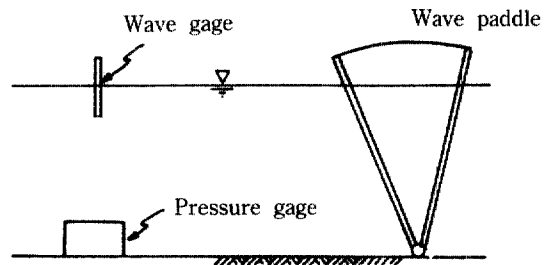


그림 1. Outline of experimental apparatus.

표 1. Experimental data

regular waves			
depth(cm)	frequency(Hz)		
69.0	1.0, 1.1, 1.2, 1.3		
59.0	0.8, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4		
49.5	1.0, 1.1, 1.2		
irregular waves			
depth(cm)	$H_{1/3}$ (cm)	$T_{1/3}$ (sec)	Ursell number
99.5	13.56	1.760	0.843
66.0	12.33	1.767	3.274

3.2 理論線形函數의 適用範圍

不規則波에 의한 實驗 data로부터 얻어진 應答函數 먼저 測定해둔 변형광과 壓力의 관계를 이용하여 壓力의 data로 한다. 規則波의 data에 대해서는 各波高計로부터 얻어진 波形的 時系列을 zero-crossing down법에 의해 個個波로 나누어, 그 波高의 平均을 취한다. 그리고, 同位相에 있어서의 容量式 및 壓力式波高計의 data의 平均波高比(H/P)를 理論應答函數의 값과 比較했다. 不規則波의 경우는 data를 Fourier變換하여, 同位相의 波高計에 대해서 周波數領域에 있어서 그들의 비  $H(f)/P(f)$ 를 구하고, 理論應答函數와 比較했다.

數를 周波數 f에 대해 나타낸 것이 그림 2의 (a), (b)이고, 이 가운데 (a)는 水深 99.5 cm, (b)는 水深 66.0 cm에 있어서의 結果를 나타낸것으로, 縱軸은 水位變動의 power spectrum  $\eta(f)$ 와 壓力變動의 power spectrum  $P(f)$ 의 비를 나타낸 것이다. 이들의 應答函數는 壓力式 및 容量式波高計에 의해 얻어진 波形的 時系列을 Fourier 變換해서 同位相의 周波數별의 振幅을 구해, 그 비를 計算한 것이다.

또한 그림中에는 式 (4)로부터 구한 應答函數의 理論値를 一点鎖線으로 표시하고 있다. 이들 그림으로부터 應答函數의 理論値는 1.0 Hz 以下の 低周波數領域에서는 理論値와 잘 一致하고 있다. 또한,  $f > 1.0$  Hz의 領域에 있어서의 實驗結果는 큰 分산을 나타내지만 線形應答函數와 같이 無限大로는 되지 않는다. 그러한 반면, 應答函數의 適用可能領域을 周波數로서 制限해버리면, 水深의 影響이 포함되지 않아 一般性이 없기 때문에 本 研究에서는 波數 k와 水深 h의 곱, kh라는 parameter 를 使用하여, cut-

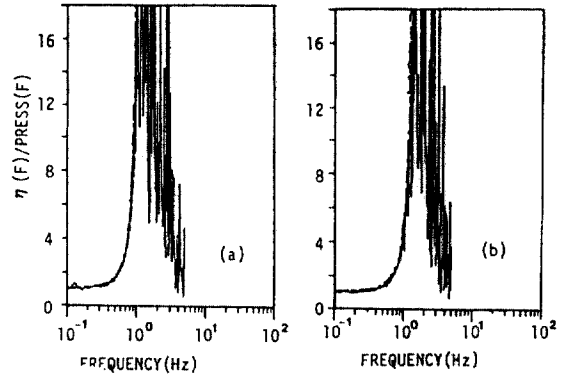


그림 2. Frequency response function of irregular waves.

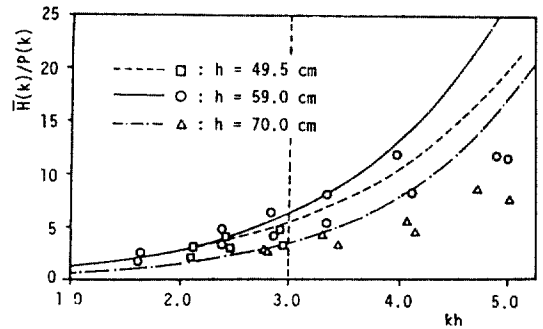


그림 3. Response function of regular waves.

off-frequency 를 決定했다. 그림 3은 規則波實驗에서 얻어진  $H(k)/P(k)$ 의 理論値와 實驗値를 나타낸 것이고, 橫軸은 kh로서 整理되어져 있다. 이 그림으로부터 kh가 어느 水深에 있어서도 3.0 以下の 領域에 있어서는 理論値와 實驗値는 거의 一致하고 있다. 또한 kh가 3.0 以上이 되면, 不規則波와 마찬가지로 實驗値는 急激히 增大하는 경우는 없다. 이 結果로부터, 理論應答函數의 값의 適用限界는, kh를 parameter로서 kh가 3.0 以下の 領域이라는 것이 結論지어진다.

3.3 時系列의 再現性에 근거를 둔 不規則波의 推定法에 대해서

不規則波의 水位變動을 推定하기 위해, FFTM, LCM, IWM이라고 하는 3가지 手法을 열거했다. 각각의 手法의 應答函數의 適用限界를 時系列의 再現性에 근거를 두고 考察한 結果, 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) FFTM의 cut-off-frequency는 測定點의 水深의 影響도 고려한  $kh=3.0$ 에 대한 周波數로서, 그보다 高周波數側에서는 一定值를 취한 應答函數를 使用하면 比較的 再現性이 높다.

2) LCM 및 IWM의 應答函數는 FFTM과는 달리, 時間領域에서 決定되어지기 때문에, 時系列에 포함된 微小한 短週期的 變動에 의해, 크게 影響을 받고 특히 前者의 경우 그 影響이 현저하다. LCM의 경우는  $kh=1.5$ 에 對應한 周波數로서 cut-off할 必要가 있다. IWM에서는 壓力波形 spectrum의 peak 周波數( $f_p$ )의 4倍程度 以上の 變動을 무시할 경우에 높은 再現性이 얻어진다.

이상의 結果를 고려해서, 그림 4, 5에 있어서는 各 手法에 의한 水位變動의 時系列(그림 4는 Ursell 數( $U_r = \sqrt{m_0} L_p^2 / d^3$ )가 6.0, 그림 5는 Ursell 數가 19.0의 時系列)을 나타낸 것이다. 그리고, 그림中, 實線으로는 容量式波高計에 의해 測定되어진 水位變動, 點線으로는 各의 手法에 의해 再現되어진 時系列을 나타내고 있다.

그림 6의 (a), (b)에 있어서는 Ursell 數가 6.0(그림 (a)), 19.0(그림 (b))에서의 各의 手法에 의한 power spectrum을 나타낸 것이고, 實線은 容量式波高計에 의해 얻어진 power spectrum, 一點鎖線은 壓力式

波高計에 의해 얻어진 power spectrum, 點線은 各의 手法에 의해 水位變動으로 再現되어진 power spectrum을 나타내고 있다. 그림에서 나타난 바와 같이 어느 手法에 의해서도 거의 水位變動 및 power spectrum은 동등히 再現되어지고, 各의 手法의 優劣은 지을 수 없다. 그러므로, 不規則波의 統計量이 各 手法으로서 어느 정도 再現되어지는가에 대해서 檢討할 必要가 있기 때문에, 現地實測結果를 포함해서 以下 檢討하기로 한다.

#### 4. 淺海域波浪의 計測에 대한 壓力式波高計의 適用性

淺海域波浪의 計測에 대한 壓力式波高計의 適用性을 檢定하기 위해 행한 現地實測(權)<sup>(8)</sup>과 앞서 논술한 水理實驗에 근거를 두고 各의 手法에 의한 壓力式波高計의 適用性에 대해서 考察한다. 먼저, 現地不規則波浪의 時系列의 再現性에 대한 各의 手法의 優劣은 水理實驗結果와 同一한 傾向을 나타내고 있기 때문에, 주로 不規則波의 統計量의 再現性에 대해서 考察했다. 그림 7 (a), (b)는 統計量의 代表值로서 平均波高  $\bar{H}$ (그림 (a)), 平均週期  $\bar{T}$ (그림 (b))의 再現性을 나타낸 것이고, 縱軸은 壓力波形으

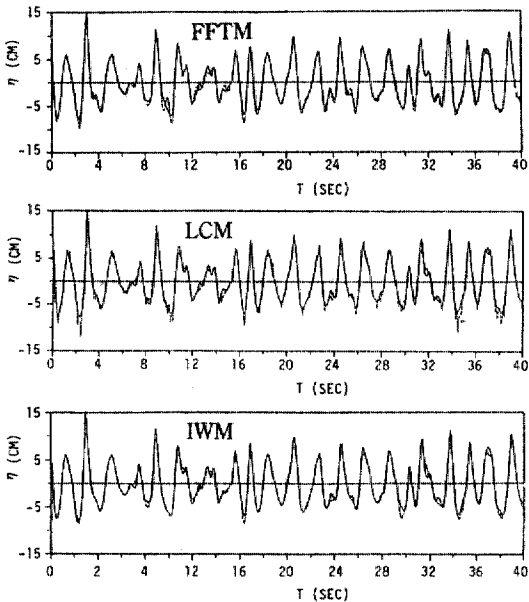


그림 4. Recovered time series of surface displacement.(ursell number is 6.0)

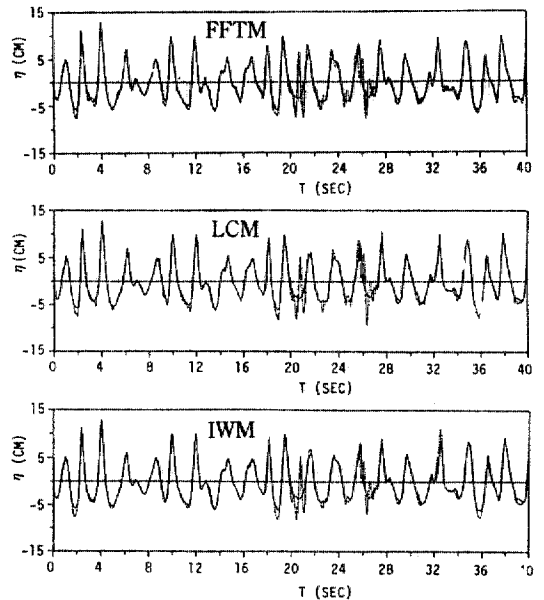


그림 5. Recovered time series of surface displacement.(ursell number is 19.0)

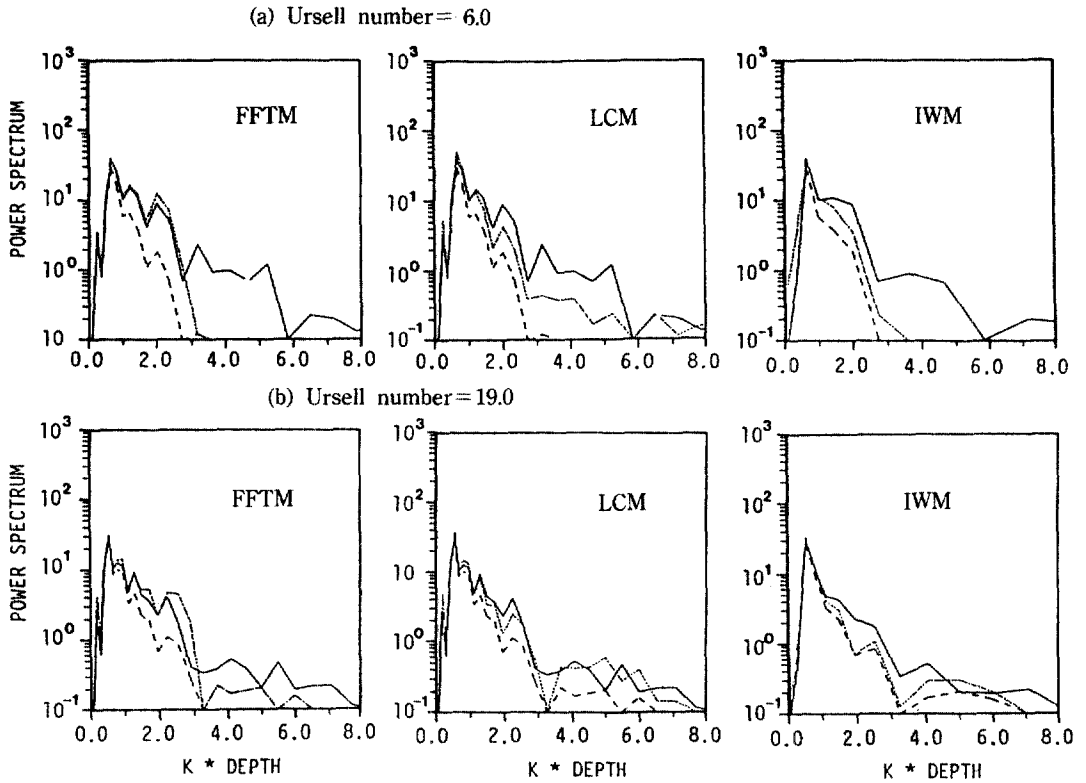


그림 6. Power spectrum

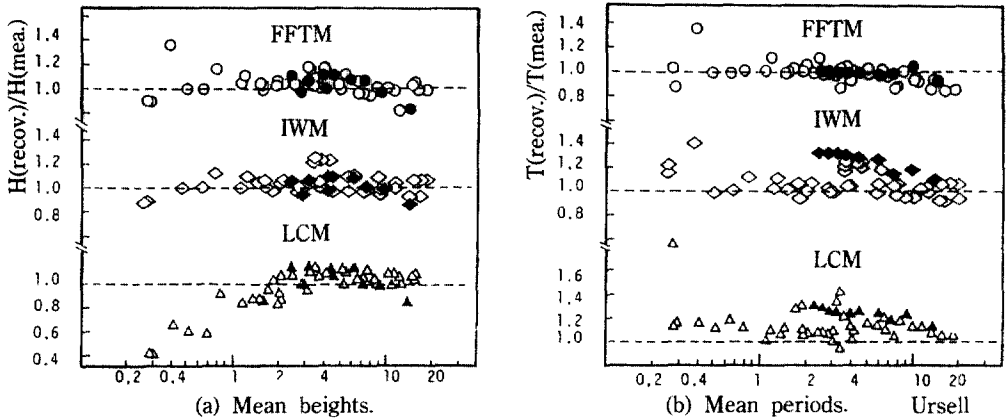


그림 7. Comparison between recovered and measured wave heights and periods.

로부터 推定되어진 水位變動으로부터 구해진 統計量을 容量式波高計의 水位變動으로부터 推定된 統計量으로 無次元化한 값, 橫軸은 Ursell 數를 나타내고 있다. 각각의 그림중의 ○표시, ◇표시 및 △표시는 FFTM, IWM 및 LCM에 의한 추정結果를

나타내고, ●표시, ◆표시, ▲표시는 現地觀測結果이다. 먼저, 平均波高의 再現性에 대해서는 Ursell 數가 20이하의 領域에 있어서는, IWM이 FFTM보다도 오히려 높은 再現性을 나타내고 있는 것에 대해 LCM은 Ursell 數가 20 以下の 領域에 있어서 再

現성이 불량하다. 이 원인은  $kh=1.5$ 에 對應하는 周波數에 의해 高周波數成分의 變動을 cut-off 하고 있기 때문이다. 또한, 平均週期의 再現性は 당연히, FFTM이 가장 再現성이 높고, IWM, LCM도 平均的으로 보면 觀測週期보다 약간 긴 週期를 推定하게 되는 경향이 나타나기 때문에, 今後, 이들의 方法을 이용하여 壓力波形式로부터 水位變動을 推定하는 경우, 특히, 週期의 再現性에 대한 檢討가 必要(權等)<sup>(9,10)</sup>하다.

## 5. 結 論

本 研究는 壓力式波高計에 의해 測定되어진 壓力波形式로부터 水位變動을 推定하는 方法에 關해서 1) FFTM, 2) LCM, 3) IWM의 3가지 方法을 比較하고, 淺海域에 있어서의 波浪測定에 대한 壓力式波高計의 適用性에 대해서 檢討를 行했다. 그 結果, 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 測定되어진 壓力波形式로부터 水位變動을 推定할 때 使用하는 理論線形應答函數( $H_p = \cosh kh / \cosh k(h+z)$ )는 水深이 얕아짐에 따라서,  $\cosh kh$ 에 近似할 수 있기 때문에, 理論線形應答函數의 適用可能範圍는,  $kh \leq 3.0$ 이라는 것을 明確히 알 수 있었고,  $kh > 3.0$ 의 領域에 있어서의 理論線形應答函數는 一定值를 줌으로써 매우 양호한 再現性이 얻어짐을 명백히 알 수 있었다.

2) LCM 및 IWM의 應答函數는 FFTM과는 달리, 時間領域에서 決定되어지기 때문에, 時系列에 포함 된 미소한 短週期의 變動에 의해, 크게 影響을 받고 특히 前者의 경우 그 影響이 현저하다. LCM의 경우는  $kh=1.5$ 에 對應한 周波數로서 cut-off할 必要가 있다. IWM에서는 壓力波形式 spectrum의 peak 周波數( $f_p$ )의 4倍程度 以上の 變動을 무시할 경우에 높은 再現性이 얻어진다.

3) FFTM 및 IWM에 의해, 推定되어진 統計量은 再現性의 精度는 양호하고, 특히, 平均週期의 再現에 보여진 바와 같이, 非線形性이 강한 領域에 있어서는 IWM이 有效한 수단이라고 結論지어진다.

## 參 考 文 獻

1. Valdmanis, J. and Savile, H.A. *Hardware for 1982 Monitoring of Floating Tire Breakwater at La Salle Park Marina*. National Water Research Institute, Burlington, Ont. 1984.
2. Forristall, G.Z. Subsurface Pressures Due to Oscillatory Waves. *Trans. Am. Geophys. Union*, **28**(6), 1982, pp. 875-881.
3. 本間 仁·小林修憲, 水壓變動波形と水面波形式의 相關性, 第12回 海岸工學講演會論文集, 1965. pp. 76-83.
4. Craig T. Bishop and Mark A. Donelan, Measuring Waves with Pressure. *Transducers, Coastal Engineering* 11, 1987. pp. 309-328.
5. Lamb, H. *Hydrodynamics*. Dover Publications, New York, NY, 1932. pp. 738.
6. Wang, H., D. Y. Lee and A. Garoia, Time Series Surface Wave Recovery from Pressure gage, *Coastal Engineering*, Vol. 10, 1986. pp. 379-393.
7. Mase, H. and Y. Iwagaki, Wave Height Distribution and Wave Grouping in Surf Zone, *Proc. 18th Coastal Eng. Conf.* 1982, pp. 58-76.
8. 權 正坤·出口一郎, 波高, 週期および波向의 結合確率分布について, 第35回 海岸工學講演會論文集, 1988. pp. 148-152.
9. 權 正坤·出口一郎, 淺海域で測定された波浪の波高, 週期, 波向의 結合確率分布, 第36回 海岸工學講演會論文集, 1989. pp. 149-153.
10. 權 正坤, 多方向不規則波浪의 特性解析および沿岸流速算定に關する 基礎的 研究, 1990 大阪大學 工學部 博士論文.

(接受: 1992. 6. 17)