

## 韓國 南海岸의 颱風에 의한 海溢

張善德 · 李寅鐵 · 朴哲析

釜山水產大學校

(1991年 11월 6일 접수)

### The typhoon surge in the southern coast of Korea

Sun-Duck CHANG, In-Cheol LEE and Cheol-Duk PARK

National Fisheries University of Pusan

(Received November 6, 1991)

The anomalous sea level deviation or storm surge caused by the typhoon Thelma in 1987 are studied by analysing tidal observation data at 7 stations in the south coast of Korean peninsula. The surges are calculated by subtracting the predicted tidal height from the observed tidal record. The tidal deviation at these stations along the coast are discussed in association with meteorological data. The sea level anomalies are studied by means of the empirical orthogonal function (EOF) analysis and the fast fourier transform (FFT) method. The results of analysis suggest that the peak value of surges are higher at the tidal stations in semi-enclosed bay and in long narrow channel than at the ones facing with the open sea. From the result of EOF analysis, the temporal and spatial fluctuations of storm surge can be described by the first EOF mode, which explains 63% of the total variances during the passage of typhoon Thelma. The deviation of storm surge in the studied areas indicates bi-modal peak during the passage of typhoon Thelma. From the results of FFT spectrum analysis, the peak of energy of autospectrum for surge, atmospheric pressure, and wind stress appeared at low frequency fluctuations band of 0.008-0.076 *cp/h* over the 4 stations. Auto-correlation function of surge showed periodicity, while that of atmospheric pressure and wind stress indicates no periodicity. The result of FFT analysis shows that the typhoon surges are related chiefly with the change of atmospheric pressure in an open bay (Cheju Harbor), but with the wind stress in a semi-enclosed bay (Yeosu Harbor).

### 序 言

沿岸海域에서 長週期 海水面 變動은 潮汐 이외에 바람, 大氣壓, tsunami, 海流, 해수밀도, 灣內副振動 등 여러 因子들의 영향을 받는다. 韓國 南海岸은 이러한 여러 因子들 中에서 每年 빈번한 氣象攪亂 즉, 颱風이나 溫帶性 低氣壓 등에 의한 颱風海溢로 인하여 港灣이나 沿岸地帶가 많은 피해를 받는다. 氣象攪亂에 관한 海溢의 研究로서 坂田(1940)는 高潮기

로부터 異常潮位는 氣壓과 바람의 작용에 의해 일어남을 밝혔으며, Proudman(1955)과 Wolf(1978)는 河口에서 海溢의 peak가 潮汐의 高潮보다는 低潮에서 자주 나타난다고 하였다. Heaps(1967)는 潮汐과 海溢은 비선형과정에 의해 전파되므로 潮汐이 강한 地域에서 두 현상은 相互作用을 한다고 하였고, 崔(1985)는 1978년 東支那 海上을 지나간 두 개의 颱風을 수치모델로 재현하여, 海面 및 海溢高를 검증하기 위해서는 中國沿岸의 관측치를 확보하여 통계적 오차평가를 수행하는 일이 필요하다고 하였다.

Chang and Lee(1986)는 仁川灣에서의 颱風海溢을 수치모델로 재현한 結果 灣의 開口方向 및 風向이 異常潮位와 관련이 있음을 밝혔다. 李等(1990)은 南海岸의 颱風海溢을 수치모델로 재현하여, 外洋과 접한 檢潮所에서는 颱風海溢이 氣壓降下에 의한 水面의 昇降作用이 크게 작용한다고 밝혔다.

黃(1971)은 같은 높이의 異常高潮가 발생하였다 해도 피해는 夏期에 더 클 가능성이 높다고 하였다. 秋(1987)는 最高海溢이 東海岸에서는 30-68cm, 南海岸 43-90cm, 西海岸에서는 86-109cm로 나타났으며 南海와 東海는 颱風通過時마다 海溢이 발생되었고, 南海岸은 주로 여름과 가을의 颱風철에 海溢이 발생한다고 하였다. 吳·金(1988)은 1981년에서 1986년 사이의 南海岸의 暴風海溢을 검토하여, 推定潮位와 暴風海溢의 작은 peak가 반대의 위상을 갖는 이유를 지역의 潮汐現象 特徵과 海底摩擦로 설명하였다.

급격한 氣象變動으로 인한 颱風海溢은 沿岸施設物의 破壞와 沿岸被害의 증가 및 대형화를 초래하며, 港灣의 建設, 沿岸構造物 設計 및 海岸埋立등에 있어서 設計海面 算定에 중요한 因子이다. 그러므로 颱風에 의한 水位變化를 사전에 豫測하여 沿岸의 構造物 配置計劃 등에 반영할 필요가 있다. 이런 水位變化를 豫測하기 위하여 먼저 颱風에 起因하는 海溢現象의 特性을 밝힐 필요가 있다.

本 研究에서는 颱風이 우리 나라 근해를 通過할 때 발생하는 海溢의 特性을 파악하기 위하여, 韓國 南海岸을 내습한 颱風 Thelma 通過期間에 南海岸 일대에 발생된 海溢을 檢潮所의 海面 및 氣象資料로 부터 살펴보고, 颱風海溢의 時空間의 變動樣相을 비롯하여, 颱風海溢과 氣壓 및 바람응력과의 相關性을 검토하여 南海岸 颱風海溢의 變動特性을 규명하고자 한다.

### 資料 및 方法

本 研究에서는 最近에 南海岸에 큰 피해를 입힌 대표적인 颱風 중에서 1987년 Thelma 를 選定하였다. 颱風의 이동경로는 Fig. 1과 같다. 1987년에 한반도 전역을 강타한 颱風 Thelma는 1987년 7월 14일 대만 북동쪽을 지나 동지나해를 거쳐 한반도를 지나간 큰 颱風이었다. 研究에 이용된 海面資料는 Fig. 2에 나타난 南海岸 7個港(부산, 가덕도, 충무, 여수, 거문도, 제주도, 서귀포) 檢潮所의 潮汐觀測資料로서 매

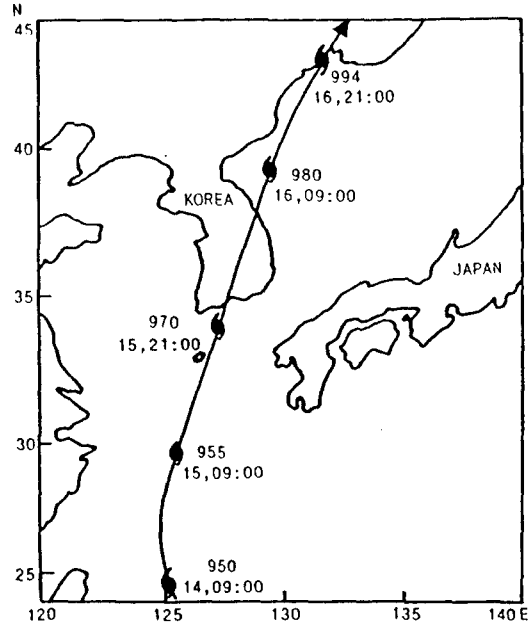


Fig. 1. Track of typhoon Thelma on July 14-16 in 1987. Shown are atmospheric pressures in millibar at the center of the typhoon at the time of passage.

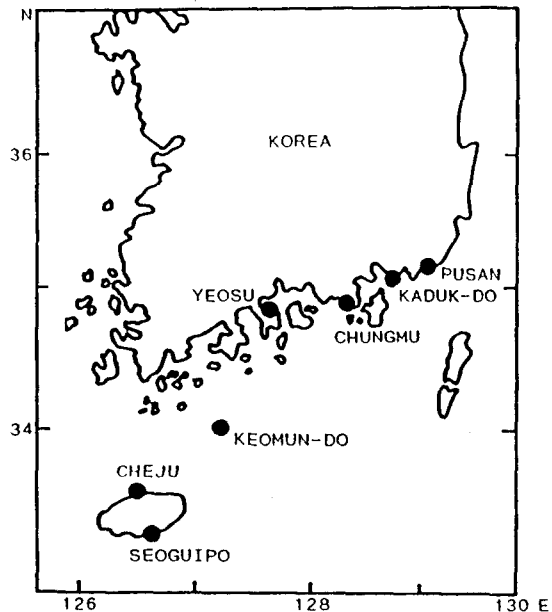


Fig. 2. Location of tidal stations in the south coast of Korea.

Table 1. Wind and tidal data for the storm surge caused by the typhoon Thelma

| Items                           | Pusan             | Kaduk-do | Chungmu       | Yeosu       | Keomun-do | Cheju   | Seoguiipo |
|---------------------------------|-------------------|----------|---------------|-------------|-----------|---------|-----------|
| Lat. (N)                        | 35°06'            | 35°01'   | 34°09'        | 34°45'      | 34°02'    | 33°31'  | 33°14'    |
| Long. (E)                       | 129°02'           | 128°49'  | 128°26'       | 127°46'     | 127°19'   | 126°32' | 126°33'   |
| Prevailing wind direction       | NE                | NE       | ENE           | E           | E         | NNE     | WSW       |
| Wind direction of maximum Surge | SW                | -        | SSE           | SE          | -         | NE      | -         |
| Average wind speed (m/sec)      | 4.4               | 4.4      | 2.6           | 4.0         | 4.0       | 4.2     | 3.5       |
| Maximum wind speed (m/sec)      | 35                | 35       | 34.7          | 36.5        | 36.5      | 36.1    | 26.7      |
| Amplitude of tidal range (cm)   | 65                | 95       | 141           | 181         | 170       | 142     | 152       |
| Geometry of coast line          | A narrow waterway |          | Semi-enclosed |             | open      | open    | open      |
| Tide gage                       |                   |          |               | Feuse, 1/10 |           |         |           |

시간 별로 재편집한 것을 이용하였다(Fig. 2, Table 1). 颱風 海溢의 해석은 海溢의 EOF分析 및 FFT法에 의한 潮汐偏差와 氣壓관측치 및 바람응력의 스펙트럼, 自己相關, 相互相關을 구하여 颱風通過時의 기상요소와 海溢과의 상관관계를 나타내었다. 또한, 南海岸 颱風海溢의 時空間的 變動樣相은 颱風 通過時의 60時間의 時間領域(time-domain)의 氣象과 潮位 시계열 및 海溢의 E. O. F(Empirical Orthogonal Function)해석을 병행하여 나타내었다. 南海岸 颱風海溢의 變動特性을 파악하고자 F. F. T(Fast Fourier Transform)법을 사용하여, 潮汐偏差와 氣壓관측치 및 各 港에서의 바람응력의 auto-spectrum, auto-correlation 및 cross-correlation 등을 구함으로써 颱風通過時의 氣象要素와 颱風海溢과의 상관관계를 검토하였다.

### 1. 南海岸의 颱風海溢 變動 推定

颱風 Thelma 通過 期間中 南海岸에서의 颱風海溢 推算은, 서귀포에서 부산에 이르는 7개항 檢潮所에서 관측된 매시간별 실측조위에서 推算潮位를 제거한 조석편차(tidal deviation)를 사용하였으며, 추산조위 산출에는 소구간별 3차 Hermite 보간법을 이용하였다. 또한, 南海岸 颱風海溢의 時空間的 變動樣相은, 각 颱風通過時의 60시간영역에서의 氣象과 潮位의 시계열 해석 및 颱風海溢의 E. O. F해석을 병행하여 나타내었다.

颱風海溢의 時空間的인 분포를 파악하기 위해 사용된 EOF 해석의 수학적인 과정은 다음과 같다.  $M$ 개의 관측점에서 각각  $N$ 개의 시계열 자료가 있을 때 시계열  $f(M, N)$ 은  $M \times N$  행렬로 나타낼 수 있다.

$$F = [f_{MN}] \quad (1)$$

$f$ 를 어느 고정된 시간에서  $M$ 성분을 가진 벡터라 하자. 모든  $f$ 와 가장 근사(highest resemblance)한  $M$ 성분 단위 벡터  $e_M$ 은 식(2)와 같다.

$$e_M = \frac{1}{N} (\sum e^T f_i)^2 / e^T e \quad (2)$$

$e$ 는  $f$ 를 최대로 하는 단위벡터이며, 여기서  $e^T$ 는  $e$ 의 전치행렬이다. 식(2)를 최대로 하면서  $e^T$ 와  $e$ 가 직교하는 것은 다음의 고유치문제가 된다.

$$R e = \lambda e \quad (3)$$

여기서  $R$ 은 시계열의 covariance 행렬이고,  $\lambda$ 는 고유치(eigen value)로서 실수이다.  $\lambda$ 는 고유벡터  $e_i$ 를 설명하는 전체變動에 대한 백분율과 비례하고,  $e$ 는 變動의 공간적인 분포를 나타낸다.  $j$ 번째 관측점에서 실제 관측치  $f_j(t)$ 는

$$f_j(t) = \sum_{i=1}^{NA} e_{ij} C_i(t) \quad (4)$$

$e_{ij}$ 는  $j$ 번째 지점에서  $i$ 번째 고유함수이며,  $C_i(t)$ 는  $i$ 번째 고유함수에 수반되는 시간계수이다.  $j$ 번째

관측점에서  $i$ 번째 고유함수가 나타내는 RMS 진폭은 식(5)와 같다.

$$A_{ji} = |e_{ji}| \sqrt{\lambda_i} \quad (5)$$

## 2. 颱風海溢 變動의 Power spectrum 解析

南海岸 颱風海溢의 變動特性을 파악하고자 F. F. T 法을 사용하여, 潮汐偏差와 氣壓관측치 및 各 港에서 의 바람응력의 auto-spectrum, auto-correlation 및 cross-correlation 등을 구함으로써 颱風通過時의 氣壓要素와 颱風海溢과의 상관관계를 나타내었다. F. F. T 法은 종래의 Blackman-Tukey 法 보다 넓은 주파수 범위에 걸쳐서 비교적 양호한 spectrum을 얻을 수 있다(日野, 1977).

### 2. 1 颱風經路別 바람응력 計算

南海岸 4個港(부산, 충무, 여수, 제주)의 지방측후소에서 관측된 颱風通過 期間의 時間別 風向, 風速 觀測值를 이용하여 바람응력을 계산하였다. 바람응력의 계산 식은 식(6)과 같다.

$$\vec{\tau}_s = \rho_a r_s^2 \vec{W} \vec{W}^* \quad (6)$$

여기서,  $\tau_s$ : 海面에서의 바람응력

$\rho_a$ : 공기의 밀도(=0.00123 g/cm<sup>3</sup>)

$r_s^2$ : 바람응력계수

$W$ : 觀測風速(m/sec)

$W^*$ : 換算風速(m/sec)

또한, 바람응력 계산을 하는데 있어서 환산풍속  $W^*$ 는, 4個港의 입사파향 및 해안선 형태에 따라 결정된 各 港의 最大颱風海溢을 일으키는 풍향(Table 1)과 매시간별 觀測風向과의 관계로 정의된 風速으로서 식(7)과 같다.

$$W^* = W \cos(\theta' - \theta) \quad (7)$$

여기서,  $\theta'$ : 最大 颱風海溢을 일으키는 風向

$\theta$ : 觀測風向

한편, 바람응력 계수  $r_s^2$ 은 식(8)을 적용하였다.

$$\begin{aligned} r_s^2 &= 0.0026 & (W < 11 \text{ m/sec}) \\ r_s^2 &= (0.49 + 0.065 \cdot W) \cdot 0.0026 & (W \geq 11 \text{ m/sec}) \end{aligned} \quad (8)$$

### 2. 2 auto-spectrum과 auto-correlation

不規則 變數  $x(t)$ 의 Fourier 變換은 식(9)과 같이 정의된다(日野, 1977).

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (9)$$

또한, 그 逆變換은 식(10)과 같이 나타낸다.

$$X(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i\omega t} dt \quad (10)$$

여기서,  $\omega = 2\pi f$  이다. 식(10)에서 Fourier 계수를 구하여 FFT법으로 auto-spectrum을 구하면 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[ \frac{1}{T} |X(\omega)|^2 \right] \quad (11)$$

한편, 自己相關函數  $C(\tau)$ 는 식(12)로 표현 할 수 있다.

$$C(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)x(t+\tau) dt \quad (12)$$

式(10)을 式(12)에 대입하고,  $x(t)$ 가  $(-T/2, T/2)$  이외의 영역에서 0 인것을 고려하면 式(12)의 우변은  $(-\infty, \infty)$ 로 치환된다. 또한, 式(10)의 공액 관계인  $X^*$ 를 쓰면  $C(\tau)$ 는 式(13)과 같다.

$$C(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{2\pi X(\omega)X^*(\omega)}{T} \right] e^{i\omega\tau} d\omega \quad (13)$$

그리고, 自己相關함수를 ensemble 평균,  $C(\tau) = E[x(t)x(t+\tau)]$ 로 정의하면 power spectrum은 式(14)와 같이 된다.

$$S(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left\langle \frac{2\pi X(\omega)X^*(\omega)}{T} \right\rangle \quad (14)$$

여기서,  $\langle \quad \rangle$ 는 ensemble 평균을 표시한다.

### 2. 3 cross-spectrum과 cross-correlation

두개의 불규칙한 變動量  $x(t)$ ,  $y(t)$  cross-spectrum은 式(14)로 부터 다음의 式(15)로 나타낸다.

$$P_{xy}(f) = \frac{1}{T} E[X^*(f)Y(f)]$$

$$= \frac{1}{N^2} E[(A_x(k) + iB_x(k)) (A_y(k) - iB_y(k))] \quad (15)$$

여기서,  $A_x(k)$ ,  $B_x(k)$ 와  $A_y(k)$ ,  $B_y(k)$ 는  $x(t)$  및  $y(t)$ 의 FFT의 실수부와 허수부를 ensemble 평균 또는 spectrum window에 의해서 평활화 한 것이다.

한편, cross-correlation function은 cross-spectrum의 Fourier 變換으로 부터 구하며, 式(16)과 같다.

$$C_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} P_{xy}(f) e^{i2\pi f \tau} df \quad (16)$$

이 경우,  $P_{xy}(-f) = P_{xx}^*(f)$ 이다. 즉  $P_r(-f) + iP_i(-f) = P_r(f) - iP_i(f)$ 의 관계에서,  $P_r$ 은 우함수이며,  $P_i$ 는 기함수이다.

### 結果 및 考察

#### 1. 南海岸 颱風海溢의 時空間的 變動

颱風 Thelma 通過時의 潮位曲線을 Fig. 3(D)에 나타내었다. 各 港灣別 最高海溢은 1987년 7월 15일 17:00-7월 16일 01:00까지 9시간에 걸쳐 나타났는데, 最高海溢 값은 여수에서 91.7cm를 보였고, 다음으로 충무 75.7cm, 제주 68.5cm, 가덕도 66.5cm, 거문도, 서귀포가 각각 65cm, 51.1cm를 기록하였으나, 부산의 海溢變動은  $\pm 15cm$ 정도로 진동하였을 뿐 颱風海溢의 뚜렷한 樣相은 보이지 않았다. 이는 부산항 檢潮所가 灣內의 협수로에 위치함에 따라 颱風通過時 해수가 비교적 잘 소통되어 積적량이 적어서 질량수송에 의한 수면상승 효과가 상대적으로 작은 것이 주요원인으로 여겨진다. 潮位曲線의 變動과 颱風通過時 每時間別 氣象狀態를 비교해 보면(Fig. 3(A-C)) 여수, 충무, 가덕도와 같이 반폐쇄된 灣內에 위치한 檢潮所에서는 推算潮位가 低潮일때 最高海溢을 보이면서 전형적인 颱風海溢 곡선의 양상을 보였으나, 제주도 및 거문도, 서귀포와 같이 外洋에 인접한 檢潮所에서는 장주기 진동을 보였다. 이것은 李 등(1990)과 같이 氣壓降下에 의한 수면상승으로 보인다. 또한, 颱風 Thelma 通過時 氣象觀測值를 보면(Fig. 3(A-C), Table 2) 最高海溢 발생시의 風速

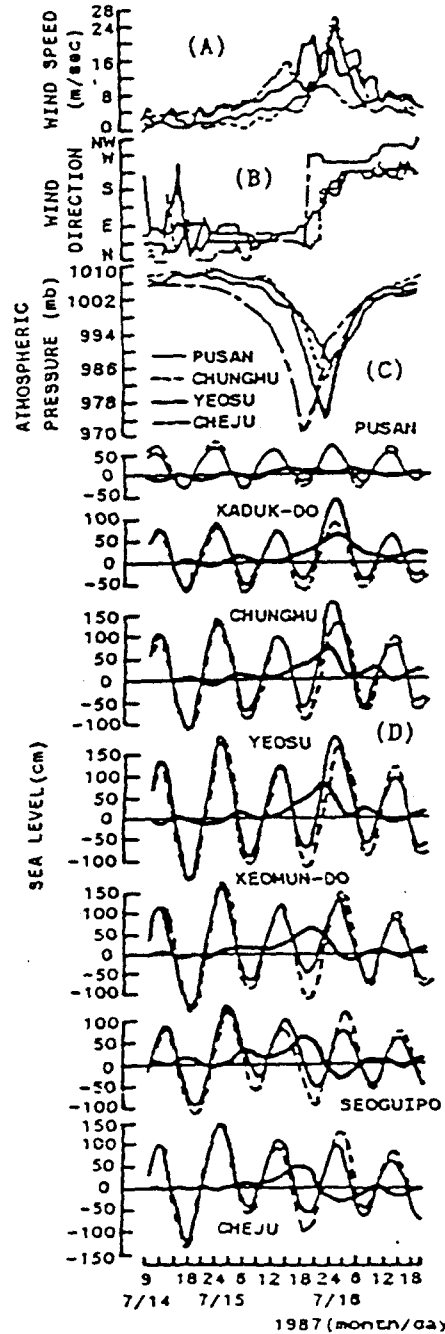


Fig. 3. Observed wind speed, wind direction, atmospheric pressure, and tidal deviations(—)in contrast with the observed(—)and predicted(-----)tidal levels along the south coast of Korea during the passage of typhoon Thelma in 1987.

**Table 2. Maximum surge and atmospheric conditions at each stations along the south coast of Korea during the passage of typhoon Thelma in 1987**

| Tidal Station | Maximum Surge |             |            |                    |            | Maximum Wind |      |               |            |
|---------------|---------------|-------------|------------|--------------------|------------|--------------|------|---------------|------------|
|               | Time          | Tidal phase | Surge (cm) | Wind Speed (m/sec) | Pres. (mb) | Time         | Dir. | Speed (m/sec) | Pres. (mb) |
| Pusan         | 7/16, 01:00   | LW          | 13.1       | SW 11.7            | 993.2      | 7/16, 02:00  | SSW  | 24.3          | 988.2      |
| Kadukdo       | 7/16, 01:00   | HW          | 66.5       | -                  | -          | -            | --   | --            | -          |
| Chungmu       | 7/15, 23:00   | LW          | 75.7       | S 16.7             | 984.1      | 7/16, 02:00  | SSW  | 26.7          | 988.6      |
| Yeosu         | 7/15, 21:00   | LW          | 91.7       | SE 22.0            | 980.7      | 7/15, 21:00  | SE   | 22.0          | 980.7      |
| Keomundo      | 7/15, 19:00   | LW          | 65.0       | -                  | -          | -            | --   | --            | -          |
| Cheju         | 7/15, 18:00   | HW          | 68.5       | NE 11.7            | 970.2      | 7/15, 16:00  | NE   | 15.7          | 981.1      |
| Seoguipo      | 7/15, 17:00   | HW          | 51.1       | -                  | -          | -            | --   | --            | -          |

은 NE 11.7-SE 22.0m/sec를 기록하였으며, 海面氣壓 관측치는 970.2-993.2mb의 범위로서 제주에서 970.2mb로 最低氣壓值를 나타내었고, 7個港中 最高海溢값을 보인 여수에서는 最低氣壓值 972.8mb를 기록한 2시간 이후에 海溢의 最高值를 보였다(Fig. 3(A-C)). 한편, 最大風速은 7월 16일 02:00에 충무에서 SSW 26.7m/sec로 기록되었다.

2. 颱風海溢變動의 EOF 解析

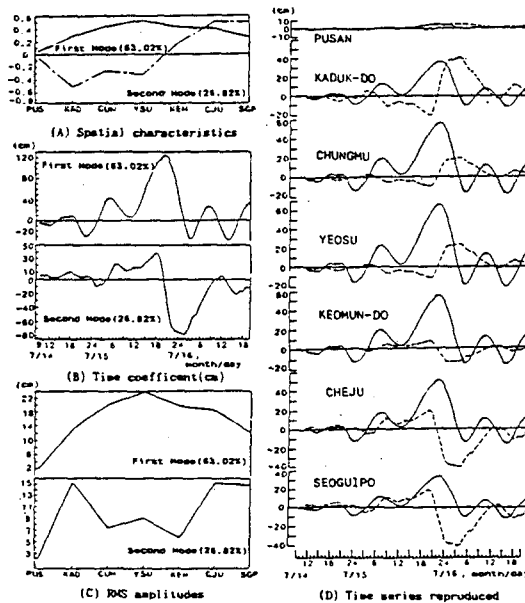
颱風 Thelma 기간의 各 모드별 颱風海溢의 고유치( $\lambda$ ), 全體變動에 대한 백분율(%) 및 누적 백분율(%)은 Table 3과 같다.

Fig. 4(A)는 颱風 Thelma 期間中의 전체 7 모드 중에서 제 1, 제 2 모드에 대한 颱風海溢의 시공

**Table 3. Eigenvalues, percentage and cumulative percentage of variance explained by each EOF mode of the storm surge at 7 tidal stations in the south coast of Korea during typhoon Thelma**

| Mode | Eigenvalue ( $\lambda$ ) | Percentage (%) | Cumulative percentage (%) |
|------|--------------------------|----------------|---------------------------|
| 1    | 2028.10                  | 63.02          | 63.02                     |
| 2    | 863.05                   | 26.82          | 89.84                     |
| 3    | 121.54                   | 3.78           | 93.62                     |
| 4    | 87.69                    | 2.72           | 96.34                     |
| 5    | 75.88                    | 2.36           | 98.70                     |
| 6    | 23.32                    | 0.72           | 99.42                     |
| 7    | 18.64                    | 0.58           | 100.00                    |

간적 變動을 나타낸다. 고유함수 값이 전체變動의 63%인 제 1 모드에서는 여수가 0.5로 가장 크고, 부산에서는 0.05의 크기로 海面상승이 다른 港에 비해 잘 일어나지 않은 것으로 보였는데, 이는 颱風 Thelma 기간중 부산의 颱風海溢 變動潮位曲線과 잘



**Fig. 4.** The result of E. O. F analysis along the south coast of Korea during the passage of the typhoon Thelma. Solid lines in the time series (D) denote the first mode, while dotted lines the second mode.

일치한다. 그리고, 颱風通過時 서귀포를 시작으로 海面이 상승하면서, 여수에서 peak를 나타내고, 충무, 가덕도, 부산으로 가면서 海面상승이 작은 경향을 보인다. 全體變動 백분율의 26%로 나타난 제 2 모드는 여수를 중심으로 부산, 가덕도, 충무에서 海面이 하강하고 거문도, 제주, 서귀포에서는 海面이 상승하는 樣相을 보인다. 특히, 가덕도의 경우 다른港 들과 비교해서 海面變動의 空間的 變動이 작은 것을 알 수 있다.

Fig. 4(B)는 고유함수 값에 수반되는 시간계수의 時間的 變動을 나타낸 것으로서 전체 颱風海溢 變動의 63%를 차지한 제 1 모드의 경우 7월 15일 13:00 - 7월 16일 03:00까지의 15시간 동안 南海岸 7개 港에 걸쳐 颱風海溢이 발생하였음을 알 수 있다. 그리고, 26%를 차지하는 제 2 모드의 시간계수 變動은 海溢 발생 14시간 동안, 6시간에 걸쳐 海面이 상승 하강하는 양상으로서 7個港 모두 다 最高海溢 발생전에 작은 peak를 가진 단주기 진동이 중첩된 형태를 보인다.

Fig. 4(C)는 7個港의 颱風海溢의 RMS 진폭을 나타내며, 제 1 모드는 여수가 24cm로서 가장 큰 진폭을 나타내고, 다음에 충무, 거문도, 제주, 가덕도, 서귀포 順으로 나타났다. 부산의 경우 2cm정도로 아주 작은 진폭을 보였는데, 각 지역별 RMS 진폭과 最高海溢 값을 비교한 결과 잘 일치하였다. 제 2 모드에서는 가덕도와 제주도에서 진폭 15cm로 크게 나타난 반면, 충무, 여수, 거문도에서는 진폭 범위가 5-9cm로 나타났는데 이들 지역은 颱風通過時 推算潮位가 低潮時일때 最高海溢을 보인 지역이었다.

全體變動의 제 1 모드와 제 2 모드의 고유함수와 시간계수의 곱으로서 나타낸 颱風海溢의 시계열을 재현한 것이 Fig. 4(D)이다. 전체 颱風海溢 變動의 63%를 차지하는 제 1 모드에서 海溢의 時空間的 變動 樣相을 보면 부산을 제외한 6개 지역이 海溢의 peak가 두개인 쌍봉형 變動을 나타내었고, 颱風海溢은 여수에서 약 70cm로 가장 크게 나타났다. 부산은 海面變動이 ±10cm정도로서 전형적인 storm surge 變動 樣相을 나타내지 못했다. 제 2 모드에서는 여수를 중심으로 時間別 海面變動이 제 1 모드와 반대의 위상으로 나타났다. 가덕도의 RMS 진폭은 제 2 모드에서 16cm로서 제 1 모드와 거의 같은 진폭으로 대칭 형태를 보였으며, 時間別 變動樣相은 부산과 가덕도를 제외한 5개 지역에서 제 1 모드의 1/2의 크기로 變動하였다.

### 3. 南海岸의 颱風海溢 變動特性

#### 3. 1 颱風海溢, 氣壓 및 바람응력의 auto-spectrum

Thelma 颱風期間의 颱風海溢, 氣壓, 바람응력의 auto-spectrum을 Fig. 5에 나타내었다. Thelma의 颱風海溢 spectrum은 4個港의 에너지가 0.1cph(약 14시간) 領域에 밀집 되어있고, 쌍봉의 에너지 peak를 나타내었다. 일반적인 주파수 變動特性은 여수와 제주에서 잘 나타났으며, 제주에서는 에너지 크기와 진폭이 0.078cph(약 10시간)이후 크게 나타났다. 또

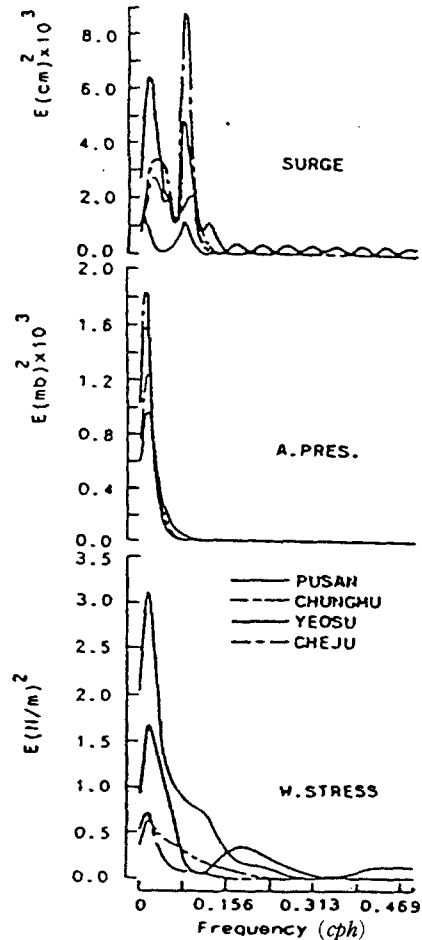


Fig. 5. Auto-spectrum for storm surge, atmospheric pressure, and wind stress at Pusan, Chungmu, Yeosu and Cheju during the passage of typhoon Thelma.

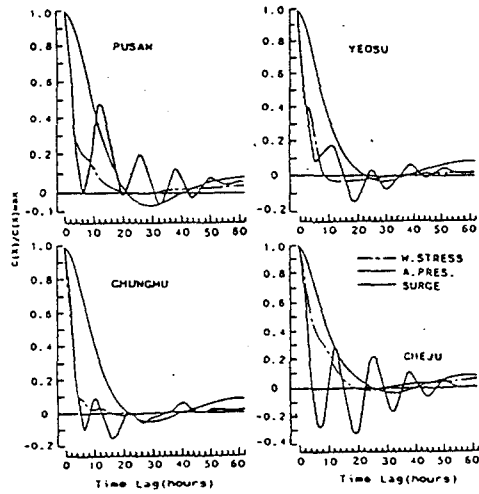


Fig. 6. Auto-correlation for storm surge, atmospheric pressure, and wind stress at Pusan, Chungmu, Yeosu and Cheju during the passage of typhoon Thelma.

한, 91.7cm로 最高海溢이 발생한 여수에서는 주파수 0.104cph(약 14시간) 이후로 지속적인 에너지 변화를 나타냈다. 氣壓의 spectrum은 에너지 분포가 주파수영역 0.078-0.104cph(약 10-14시간)로서 저주파수대에 에너지가 밀집되어 있었다. 바람응력의 auto-spectrum은 4個港 모두 주파수 0.008cph(약 2시간)인 저주파수대에서 에너지 peak를 보였으며, 부산과 여수에서 주파수에 따른 에너지 밀도의 變動 폭이 크게 나타나 바람응력의 불규칙한 變動을 잘 보여준다.

颱風 通過時의 颱風海溢, 氣壓 및 바람응력의 自己相關을 Fig. 6에 나타내었다. 颱風海溢의 自己相關에 있어서는 충무와 여수에서 불규칙한 變動을 보였으며, 부산과 제주에서는 自己相關의 진폭이 크게 변화하였다. 4個港의 颱風海溢의 自己相關 변화는 time lag 6시간 이후 부터 12시간의 주기를 갖고 변화하였다. 氣壓의 自己相關은 4個港 모두 週期性은 없었으며 time lag 20-40시간에 걸쳐 陰(-)의 相關을 나타내었다. 바람응력의 自己相關은 time lag 30시간까지 變動하였다.

### 3.2 颱風海溢과 氣壓과의 相關性

颱風 Thelma 通過時의 氣壓과 颱風海溢의 相互相關性은 여수와 제주에서 탁월하였다(Fig. 7(A)). 지역적으로 보면 부산의 경우 time lag 0시간에 最高值를 보인 후 相互相關性이 없었으며, 충무는 time

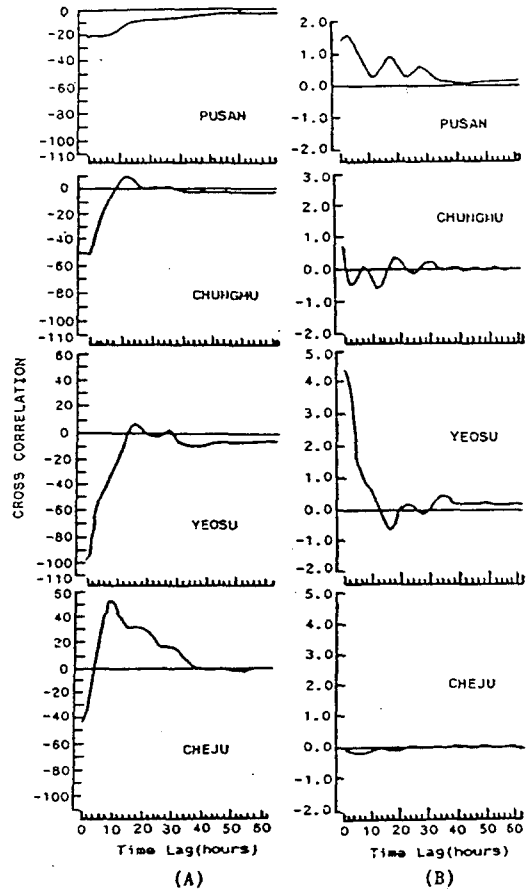


Fig. 7. Cross-correlation between atmospheric pressure and storm surge (A) and between wind stress and storm surge (B) at Pusan, Chungmu, Yeosu and Cheju during the passage of typhoon Thelma.

lag 0-10시간까지 陰의 상관을 보이고, 陽의 상관은 time lag 10-16시간 범위에 있다. 여수에서는 time lag 0시간에 4個港 中 높은 相互相關值를 보인후 급격히 減少하는 變動을 보였으나 time lag 16-40시간 사이에서 陽, 陰의 相互相關 변화가 잘 나타났다. 제주에서는 time lag 0-9시간까지 陽, 陰의 相互相關值가 비슷한 크기를 보였으며, time lag 40시간까지 12시간의 간격으로 진동하는 樣相을 나타냈는데, 이것은 氣壓變動에 相應하는 水面振動이 뚜렷이 반영된 것으로 해석된다.

### 3.3 颱風海溢과 바람응력과의 相關性

바람응력의 계산결과는 부산이 3.14N/m<sup>2</sup>으로 4個港 中에서 最高값을 보였으며, 다음으로 여수가 2.



**Table 4. Calculated results of maximum wind stress at four stations in the south coast of Korea during the passage of typhoon Thelma in July 1987**

| Items                          | Pusan       | Chungmu     | Yeosu       | Cheju       |
|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Time<br>(day, hour)            | 16, 02 : 00 | 16, 02 : 00 | 15, 21 : 00 | 15, 16 : 00 |
| Wind dir.                      | SSW         | SSW         | SE          | NE          |
| Wind speed<br>( <i>m/sec</i> ) | 24.3        | 26.7        | 22.0        | 15.7        |
| Wind stress<br>$\tau(N/m^2)$   | 3.14        | 1.96        | 2.97        | 1.19        |

97N/m<sup>2</sup>, 충무와 제주는 각각 1.96, 1.19N/m<sup>2</sup>으로 계산되었다(Table 4). 이것은 시간이 경과함에 따라 태풍의 기압이 970mb에서 993mb로 상승함으로써 풍속이 약해짐에도 불구하고 부산의 바람응력 값이 제주보다 크게 나타난 것은 부산이 태풍진로의 右半圓에 위치하고, 제주는 左半圓에 위치하는 것이 原因 中の 하나로 볼 수 있다. Fig. 7(B)에서 颱風 Thelma 通過時의 颱風海溢과 바람응력의 相互相關性은 time lag 0시간의 相關值가 여수, 부산, 충무 順으로 나타났고, 제주에서는 두성분의 相互相關性이 잘 나타나지 않았다. 또한, 부산, 충무, 여수의 相互相關은 주기적인 변화를 보였다. 地域的으로 보면 부산에서는 time lag 4시간 부터 12시간의 주기를 갖고 변화하다가 time lag 42시간 이후에는 두 성분의 相互相關性이 나타나지 않았으며, 충무에서는 time lag 0-38시간 까지 陽, 陰의 相互相關이 주기적인 變動을 보이면서 time lag 38시간 이후에는 상관성이 없었다. 또한, 4個港 中 time lag 0시간에 相互相關의 최고치를 보인 여수에서는 time lag 0-14시간까지 陽의 상관을 보이다가 time lag 20시간에 陰의 상관을 보인 후 相互相關變動이 time lag 42시간부터 일정한 경향을 나타내었다. 이것은, 여수港의 해안지형이 반 폐쇄성 灣이므로 시간이 경과함에 따라 海水가 계속 쌓이게 되어 나타난 현상으로 보인다. 한편, 제주에서는 두 變動의 相互相關性이 잘 나타나지 않았다.

要 約

颱風海溢의 變動樣相과 特性을 파악하기 위하여, 韓國 南海岸의 7個 檢潮所의 潮汐觀測資料와 氣象資料를 사용하여 颱風 Thelma 通過期間 中 各 港에서

의 推算潮位와 海溢을 추정하여, 시간영역별 氣象 및 海面變動에 관한 EOF분석을 하고 颱風海溢, 氣壓, 바람응력의 spectrum분석을 실시하였다.

半閉鎖性 灣(여수)인 경우 바람응력이 氣壓보다 海溢發生에 큰 영향을 미치며, 開放된 港灣(제주)은 氣壓이 海溢에 큰 역할을 하는 것으로 나타났다. 海溢의 값은 13.1~91.7cm 範圍로서 여수에서 最高値를 보였다.

颱風 Thelma 通過時 EOF 제 1 모드는 전체 海溢變動의 63%를 차지하였고, 제 1 모드에 수반된 海溢의 時間變動은 18 時間 동안 쌍봉의 peak를 가진 變動을 보였다. 제 1 모드에 대한 南海岸 7個 地點에서 海溢의 空間的 變動은 여수를 중심으로 동시에 海面이 上昇하였다.

南海岸 4個港(부산, 충무, 여수, 제주)의 海溢, 氣壓 및 바람응력 spectrum의 peak에너지는 0.008-0.076cph(약 3-10시간)의 저주파수대에 밀집되어 있고, 海溢의 경우 여수와 제주에서 에너지 밀도가 크게 나타났다. 氣壓의 에너지 變動은 탁월하지 않았으며, 바람응력은 부산, 여수, 제주에서 에너지 밀도가 잘 나타났다. 또한, 세 變動成分의 自己相關은 海溢의 경우 週期的 變動을 나타내었고, 氣壓과 바람응력은 모두 불규칙적인 相關을 보였다.

參考文獻

Chang, S.D. (1970): Computation of wind drift currents in the Southern Waters of Korea. Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 3(3), 199-206.  
 Chang, S. and J.S. Lee. (1986): Studies on the storm surge in Incheon Bay. Proc. 3, 5th APRD, IAHR, (III), 315-324.  
 Choi, S. W. and Y.Q. Kang. (1987): Empirical orthogonal function analysis of coastal water temperatures in the Tsushima Current region. Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 20(2), 89-94.  
 David, T. Pugh. (1987): Tides, Surges and Mean Sea-level, John Wiley & Sons. 184-230.  
 Dooson, A.T. and H.D. Warburg. (1941): Admiralty Manual of Tides. Hydroger. Dept. Admiralty, London, 270 pp reprinted in 1980.  
 Heap, N.S. (1967): Storm surges. Oceanogr. Mar.

- Biol. Ann. Rev. 5, 11-47.
- Japan Meteorol. Agency(1973): Report on the abnormally high storm surge in Tosa Bay. The Oceanogr. Mag. Vol25, No. 1. 37-58.
- Proudman, J. (1955a): The propagation of tide and surge in an estuary. Proc. R. Soc. London. A233, 407.
- Wallace, J.M. and R.E. Dickinson. (1972): Empirical orthogonal representation of time series in the frequency domain. J. App. Meteor., 11, 887-892.
- 張善德·李宗燮·徐琮文(1988): 經驗的 固有函數法에 의한 韓國東海 海況變動解釋, 韓海誌, 21(6), 289-296.
- 崔秉昊(1985): 東支那海의 1978년 夏季 颱風海溢의 算定, 韓海誌20-1, 1-11.
- 秋教昇(1987): 韓國 沿岸에서 發生한 暴風, 地震, 海溢現象에 대하여, 交通部水路局, 1-153.
- 최석원(1987): 한국연안과 쓰시마 해류역 연안 표면 수운의 경험적 직교함수분석, 부산수산대학 대학원 이학석사 학위 청구논문, 6-39.
- 日野幹雄(1977): 스펙트럼解析, 朝倉書店, 東京 p. 300.
- 海運港灣廳(1986): 港灣編覽, 312-315.
- 海洋研究所(1985-1988): 海難, 災害豫報 시스템研究 (I-IV) BSPG, 海上狀態 豫報 및 海溢豫報, 197-227.
- 黃進豐(1971): 韓國沿岸에 있어서 氣象攪亂에 의한 海面變化, 韓海誌, 6(2), 92-98.
- 氣象研究所(1988): 韓國 近海 海洋氣象 特性과 豫報 技術開發에 關한 研究(II), 科學技術處, 181-228.
- 李宗燮(1982): 仁川外港에 있어서 바람에 의한 水位 偏差, 釜山水產大 大學院 碩士學位 請求論文.
- 李宗燮·朱貴洪·張善德(1990): 釜山沿岸 暴風海溢의 變動樣相과 數值豫測, 韓國海岸·海洋工學會誌, 2(2), 104-111.
- 宮崎正衛(1980): 高潮·潮汐に 關する 研究, J. Oceanogr. Soc. Japan, 36, 163-166.
- 吳林象·金成一(1988): 韓國 南海를 通過하는 颱風에 의한 暴風海溢 研究, J. of Korea Met. Society, 24(3), 72-84.
- 坂田膜茂(1940): 大阪灣の異常潮位に就いて. 海と空, 21(2), 9-14.