

颱風 Brenda에 의한 韓國 南海岸의 海溢

李寅鐵 · 金鍾圭 · 張善德
釜山水產大學校 海洋工學科

The Typhoon Surges in the Southern Coast of Korea by Typhoon Brenda

In-Cheol LEE, Jong-Kyu KIM, Sun-duck CHANG
*Department of Ocean Engineering, National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608-737, Korea*

The storm surges caused by the typhoon Brenda in 1985 were studied by analysing tidal observation data at 7 stations along the south coast of the Korean peninsula. The tidal deviation at these stations along the coast are discussed in association with meteorological data. The sea level anomalies were studied by means of the Empirical Orthogonal Function (EOF) analysis and the Fast Fourier Transform(FFT) method.

From the result of EOF analysis, the temporal and spatial variations of storm surge were described by the first mode of EOF, which is 73% of the total variances during the passage of typhoon Brenda.

From the results of FFT spectral analysis, the peak energy of the autospectrum for surge, atmospheric pressure, and wind stress appeared in the low frequency fluctuations band. The result of FFT analysis showed that the typhoon surge was related chiefly to the atmospheric pressure change in an open bay such as Cheju and Keomundo harbor, while it was influenced mainly by the wind stress in the semi-enclosed waters of Yeosu, Chungmu and Kadukdo.

緒 論

沿岸海域에서 長週期 海水面 變動은 潮汐 이외에 바람, 大氣壓, tsunami, 海流, 海水密度, 灣內副振動 등 여러 因子들의 影響을 받는다. 韓國 南海岸은 이러한 여러 因子들 중에서 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 沿岸地域이 많은 被害를 받는다.

海溢의 研究로서 坂田(1940)는 高潮記錄으로부터 異常潮位는 氣壓과 바람의 作用에 의해 일어남을 밝혔으며, Proudman(1955)과 Wolf(1978)는 河口에서 海溢의 peak가 潮汐의 高潮時보다는 低潮時에서 자주 나타난다고 하였다. Heaps(1967)는

潮汐과 海溢은 非線形過程에 의해 電波되므로 潮汐이 강한 海域에서 두 현상은 相互作用을 한다고 하였고, 崔(1985)는 1978년 東中國海上을 지나간 두개의 颱風을 수치모델로 再現하여, 海面 및 海溢 高를 檢證하기 위해서는 中國 沿岸의 觀測值를 확보하여 統計的 오차평가를 수행하는 일이 필요하다고 하였다. Chang and Lee(1986)는 仁川灣에서 的 颱風海溢을 수치모델로 再現한 結果 灣의 開口 方向과 風向이 異常潮位와 關聯이 있음을 밝혔다. 李 等(1990)은 南海岸의 颱風海溢을 수치모델로 再現하여, 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 作用한 다고 밝혔다. 黃(1971)은 같은 높이의 異常高潮가

발생하였다 해도 被害는 夏期에 더 클 가능성이 높다고 하였으며, 秋(1987)의 보고에 의하면 韓國의 最高海溢범위가 東海岸에서는 30~68 cm, 南海岸 43~90 cm, 西海岸에서는 86~109 cm 라고 하였다. 吳·金(1988)은 1981년에서 1986년 사이의 南海岸의 暴風海溢을 檢討하여, 推定潮位와 暴風海溢의 작은 peak가 反對의 位相을 갖는 이유를 地域의 潮汐現象 特徵과 海底摩擦로 說明하였다.

급격한 氣象變動으로 인한 颱風海溢은 沿岸施設物의 破壞와 人命 및 財産의 被害를 招來하며, 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 요소이다. 그러므로 颱風에 의한 水位變化를 事前에 豫測하여 海岸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 기인하는 海溢現象의 特性을 밝힐 필요가 있다.

本 研究에서는 颱風이 우리 나라 近海를 通過할 때 發生하는 海溢의 特性을 파악하기 위하여, 韓國 南海岸을 내습한 颱風 Brenda 통과기간에 南海岸 一帶에서 發生된 海溢을 檢潮所의 海面 및 氣象資料로 부터 살펴보고, 颱風海溢의 時空間的 變動樣相을 비롯하여, 颱風海溢과 氣壓 및 바람속력과 的 相關性을 검토하여 南海岸 颱風海溢의 變動特性을 糾明하고, 海底地形과 颱風海溢과의 관계도 함께 검토하였다.

資料 및 方法

1. 資 料

本 研究에서는 南海岸에 큰 피해를 입힌 대표적인 颱風중에서 1985년 Brenda를 선정하였다. 颱風의 移動經路는 Fig. 1과 같다. 颱風 Brenda는 1985년 9월 30일 필리핀 루손섬의 東方海上에서 發生하여 臺灣 北東쪽을 지나 韓國 南海岸을 거쳐 日本 쓰가루 해협을 通過하였다. 研究에 利用된 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 每時間別로 재편집한 것을 이용하였다. 氣象資料는 4個港(부산, 충무, 여수, 제주)의 地方測候所의 氣象觀測資料를 사용하였다(Table 1). 各 港에서의 卓越風向은 서귀포를 제외한 6個港에서는 주로 NE~NNE이며, 서귀포는 WSW이다. 또한, 平均風速은 충무와 서귀포에서 각각 2.6 m/sec, 3.5 m/sec로 7個港 중 낮은 값을 보이며, 그외 地域인 釜山을 비롯한 4개항은 4~4.4 m/sec 범위였다.

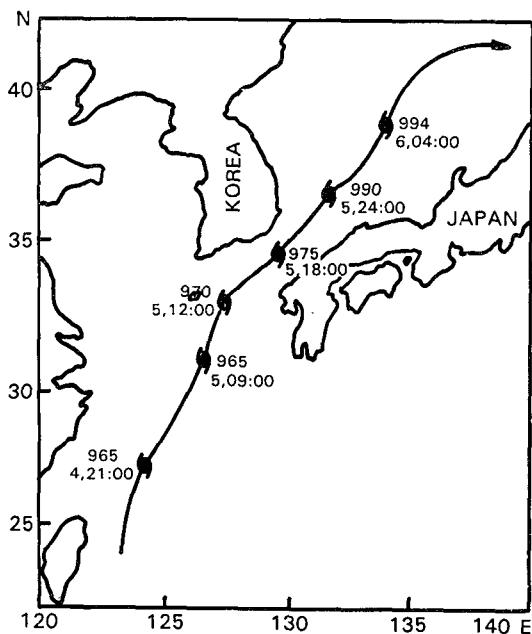


Fig. 1. Track of typhoon Brenda on October 4~6 in 1985. Shown are atmospheric pressures in millibars at the center of the typhoon at the time of passage.

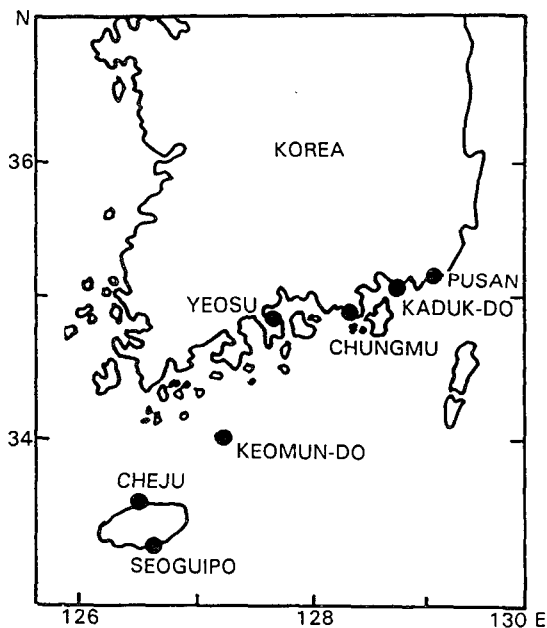


Fig. 2. Location of tidal stations along the south coast of Korea.

그리고 最高風速은 여수와 거문도에서 36.5 m/sec로서 다른 港에 비해 높은 값을 보인다. 海岸線의

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

Items	Pusan	Kadukdo	Chungmu	Yeosu	Keomundo	Cheju	Seoguipo
N Lat.	35°06'	35°01'	34°09'	34°45'	34°02'	33°31'	33°14'
E Long.	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/s)	4.4	4.4	2.6	4.0	4.0	4.2	3.5
Maximum wind speed(m/s)	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	Semi-enclosed	Semi-enclosed	open	open	open
Tide gage	Feuse, 1/10						

形態를 보면 釜山港의 경우 검조소가 협수로에 位置하고 있으며, 거문도, 제주, 서귀포는 灣의 海岸地形이 開放型이며, 나머지 港灣들은 반폐쇄형 형태를 보인다.

2. 解析方法

颱風 海溢의 解析은 海溢의 EOF(Empirical Orthogonal Function)分析 및 FFT(Fast Fourier Transform)法에 의한 潮汐偏差와 氣壓觀測值 및 바람응력의 스펙트럼, 自己相關, 相互相關을 구하여 颱風 통과시의 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시의 60時間의 時間領域(time domain)의 氣象과 潮位 시계열 및 海溢의 EOF 解析을 並行하여 나타내었다. 南海岸 颱風海溢의 變動特性을 파악하고자 FFT 法을 사용하여, 颱風經路別 潮汐偏差와 氣壓觀測值 및 各 港에서의 바람응력의 spectrum, auto-correlation 및 cross-correlation 등을 구함으로써 颱風通過시의 氣象要素와 颱風海溢과의 相關관계를 검토하였다.

1) 南海岸의 颱風海溢 變動 推定

颱風 Brenda 통과 기간중 南海岸에서의 颱風海溢 推算은, 서귀포에서 釜山에 이르는 7개항 檢潮

所에서 觀測된 매시간별 實測潮位에서 推算潮位를 제거한 潮汐偏差(tidal deviation)를 사용하였으며, 推算潮位 算出에는 소구간별 3차 Hermite 보간법을 이용하였다. 또한, 南海岸 颱風海溢의 時空間的 變動양상은, 각 颱風通過시의 60時間領域에서의 氣象과 潮位の 시계열 解析 및 颱風海溢의 EOF 解析을 並行하여 나타내었다.

颱風海溢의 時空間的인 分布를 파악하기 위해 사용된 EOF 解析의 數學的인 過程은 다음과 같다. M개의 관측점에서 각각 N개의 시계열 자료가 있을 때 시계열 f(M, N)는 M×N 行列로 나타낼 수 있다.

$$F = [f_{MN}] \tag{1}$$

f를 어느 고정된 시간에서 M성분을 가진 벡터라 하자. 모든 f와 가장 근사(highest resemblance)한 M성분 단위 벡터 e_M은 식(2)와 같다.

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

여기서, e는 f를 최대로 하는 단위벡터이며, e^T는 e의 전치행렬이다. 식(2)를 최대로 하면서 e^T와 e가 직교하는 것은 다음의 고유치문제가 된다.

$$R e = \lambda e \tag{3}$$

여기서, R은 시계열의 covariance 행렬이고, λ는 고유치(eigen value)로서 실수이다. λ는 고유벡터 e_i를 설명하는 전체變動에 대한 백분율과 비례하고, e는變動의 공간적인 분포를 나타낸다. j번째 관측점에서 실제 관측치 f_j(t)는 식(4)와 같다.

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

e_{ij}는 j번째 지점에서 i번째 고유함수이며, C_i(t)는 i번째 고유함수에 수반되는 시간계수이다. j번째 관측점에서 i번째 고유함수가 나타내는 RMS 진폭은 식(5)와 같다.

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

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 FFT法을 사용하여, 颱風經路別 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 相關관계를 나타내었다. FFT法은 종래의 Blackman-Tukey法보다 넓은 주파수 범위에 걸쳐서 비교적 양호한 spectrum을 얻을 수 있다.

2.1) 颱風經路別 바람응력 計算

南海岸 4個港(부산, 충무, 여수, 제주)의 地方測候所에서 觀測된 颱風通過 期間의 時間別 風向, 風速 觀測值를 이용하여 바람응력을 계산하였다. 바람응력은 잘 알려진 식(6)과 같다.

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

여기서, τ_s는 海面에서의 바람응력을 나타내고, ρ_a는 空氣의 密度(=0.00123 g/cm³), r_s²는 바람응력계수, W는 觀測風速(m/s), W*는 換算風速(m/s)을 각각 나타낸다.

또한, 바람응력을 계산하는데 있어서 換算風速 W*는, 4個港의 入射波向 및 海岸線形態에 따라 결정된 各港의 最大颱風海溢을 일으키는 風向(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, θ'는 最大 颱風海溢을 일으키는 風向이고, θ는 觀測風向이다. 한편, 바람응력 계수 r_s²은 식(8)을 적용하였다.

$$r_s^2 = 0.0026 \quad (W < 11 \text{ m/sec})$$

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

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, ω=2πf이다. 식(10)에서 Fourier 계수를 구하여 FFT법으로 auto-spectrum을 구하면 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

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

한편, 自己相關函數 C(τ)는 식(12)로 표현할 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(9)를 式(12)에 代入하고, x(t)가 (-T/2, T/2) 이외의 領域에서 0인 것을 고려하면 式(12)의 右邊은 (-∞, ∞)로 置換된다. 또한, 式(10)의 공역관계인 X*를 쓰면 C(τ)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, τ=0으로 놓으면 C(0)=x²가 되고, 自己相關函數를 ensemble 平均 C(τ)=E[x(t)x(t+τ)]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, < >는 ensemble 平均을 표시한다.

2.3) cross-spectrum과 cross-correlation

두개의 不規則한 變動量 x(t), y(t) cross-spectrum은 式(14)로부터 다음 式(15)로 나타낸다.

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

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

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 平均 또는 spectrum window에 의해서 평활화한 것이다.

한편, cross-correlation function은 cross-spectrum

의 Fourier 變換으로부터 구하며, 式(16)과 같다.

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

이 경우, $P_{xy}(-f) = P_{yx}^*(f)$ 이다. 즉 $Pr(-f) + iPi(-f) = Pr(f) - iPi(f)$ 의 관계에서, Pr 은 우함수이며, Pi 는 기함수이다.

結果 및 考察

1. 南海岸의 颱風海溢의 時空間的 變動

Fig. 3은 1985년 颱風 Brenda 通過期間의 時間別 氣象狀態와 潮位變動을 나타낸 그림이다. 7개 港灣의 최고 海溢은 1985년 10월 5일 10:00~15:00까지 6시간에 걸쳐 발생 했는데, 그 範圍는 34.8~67.5 cm 範圍로서 濟州도에서 67.5 cm로 가장 크게 나타났으며, 다음으로 서귀포에서 59.3 cm, 거문도 57.5 cm, 여수 51.4 cm 순으로 나타났고, 부산, 충무, 가덕도는 각각 48.9 cm, 47.9 cm, 34.8 cm로 나타났다. 颱風海溢의 變動樣相은 전 港灣이 짧은 시간에 걸쳐 海面이 上昇하였다가 감소하는 형태를 보였으며, 부산의 경우는 海面上昇 이후 급격한 변화가 없이 완만한 양상이었고, 여수를 중심으로 거문도, 제주, 서귀포에서는 최고해일 발생후 -10 cm에서 -20 cm 범위로 음의 海溢이 발생하였다. 각 항에서의 海溢의 peak는 가덕도, 충무, 여수, 거문도의 경우 推算潮位가 高潮일 때 나타났으며, 나머지 3개항은 低潮時에 최고 海溢을 보였다(Fig. 3(d)). 또한, 颱風 Brenda 통과시에 南海岸의 風向, 風速 및 海面氣壓 觀測值를 보면(Table 2, Fig. 3(a~c)), 여수와 제주에서 큰 변화를 나타내었는데, 風速은 NE 10~ENE 21.5 m/sec로서 제주에서 최고 해일 발생시의 最高風速은 21.5 m/sec를 기록하였고, 氣壓은 990.6 mb로 최저기압치를 보였다. 한편, 최고 海溢은 최고풍속 발생전 1~3시간내에서 발생하였는데, 이는 기압강하 및 바람용력의 상호작용의 영향이라 사료되며, 最大風速의 範圍는 NE 7.7~21.7 m/sec로서 여수와 제주에서 각각 21.7 m/sec, 20.2 m/sec를 기록하였는데, 제주에서의 최대풍속 발생시의 기압은 990.6 mb로서 颱風 Brenda 通過期間中 最高 海溢을 보인時刻과 一致하였다.

2. 颱風海溢變動의 EOF 解析

颱風 Brenda(1985) 通過期間 중의 南海岸의 7개港 潮位偏差의 각 EOF 모드의 고유치(λ), 각 모 드별 變動의 전체 變動에 대한 百分率(%) 및 累

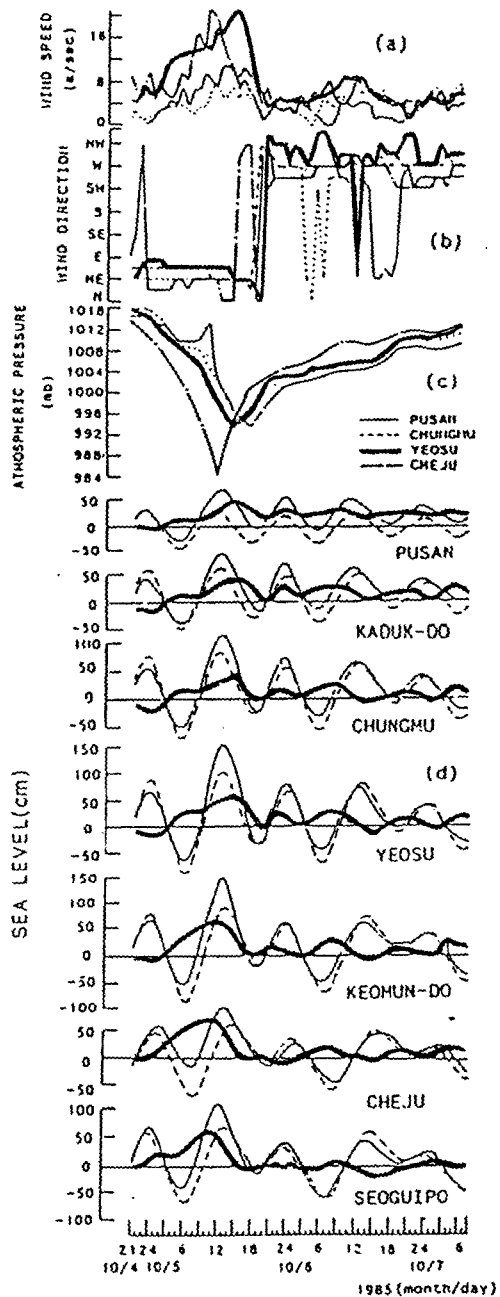


Fig. 3. Observed wind speed(a), wind direction(b), atmospheric pressure(c), and tidal deviations (—) in contrast with the observed(—) and predicted(---) tidal levels(d) along the south coast of Korea during the passage of typhoon Brenda in 1985.

積 百分率(%)은 Table 3과 같다.

Table 2. Maximum surge and atmospheric conditions at each of the stations along the south coast of Korea during the passage of typhoon Brenda on October 5, 1985

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	15:00	LW	48.9	NE	10.0	999.1	14:00	NE	11.3	1,002.5
Kadukdo	14:00	HW	34.8	—	—	—	—	—	—	—
Chungmu	15:00	HW	47.9	NE	7.3	998.4	12:00	NE	7.7	1,005.4
Yeosu	13:00	HW	51.5	ENE	17.3	1,009.1	16:00	NE	21.7	997.2
Keomundo	12:00	HW	57.5	—	—	—	—	—	—	—
Cheju	11:00	LW	67.5	NE	21.5	990.6	11:00	NE	21.5	990.6
Seoguipo	10:00	LW	59.3	—	—	—	—	—	—	—

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 Brenda

Mode	Eigenvalue (λ)	Percentage (%)	Cumulative percentage(%)
1	2,382.72	73.90	73.90
2	601.30	18.64	92.54
3	154.26	4.78	97.32
4	41.14	1.28	98.60
5	23.14	0.72	99.32
6	15.79	0.49	99.81
7	6.32	0.19	100.00

7 모드 중에서 海溢變動의 전체 변동에 대한 백분율이 높은 제 1, 제 2 모드를 Fig. 4(a)에 나타내었다. 固有函數의 값이 모두 陽數(+)로 나타나는 제 1 모드(7개 지점에서 동시에 海面이 昇降하는變動)는 전체 변동의 73.9%였고, 그 범위는 0.3~0.5로 가덕도와 서귀포를 제외하고는 海面의 同時昇降이 類似한 樣相을 보였다. 18.64%를 보인 제 2 모드는, 남해안에서 거문도, 제주도, 서귀포에서는 海面이 下降하며, 부산, 가덕도, 충무, 여수는 海面이 上昇하는 양상으로 나타났다. 두번째 이하의 EOF 모드는 전체변동의 7.5% 이하로 나타나므로 고려하지 않았다. 또한, 이에 수반되는 시간계수(Fig. 4(b))는 73.9%를 차지한 제 1 모드의 경우를 살펴보면, 颱風 Brenda 통과기간의 주기가 10월 5일 03:00~18:00 범위에서 남해안 7개항의 태풍해일 변동이 나타남을 알 수 있고, 제 2 모드는 海溢의 最高値를 보인 時間領域에서 6시간에 걸쳐 海

面이 上昇, 下降하는 형태였다. 그리고 지역적으로 평균한 첫 EOF 모드의 RMS 振幅은 南海岸 서편에 위치한 여수, 거문도, 제주도에서 海溢의 RMS 振幅이 20~21 cm로서 크게 나타났고, 제 2 EOF 모드의 경우는 여수가 가장 낮은 振幅을 보였으며, RMS 振幅의 형태는 여수를 중심으로 대칭형을 이루었다(Fig. 4(c)).

Fig. 4(d)는 제 1, 제 2 모드의 固有函數와 時間係數의 곱으로 나타낸 颱風 Brenda 통과 기간의 颱風海溢 시계열을 再現해 본 것이다. 颱風海溢變動樣相을 보면, 제 1 모드는 典型的인 颱風海溢의 時空間變動을 잘 나타내며, 제 2 모드는 여수를 중심으로 부산과 서귀포 兩便이 反對의 位相을 가진 海面變動을 보임을 알 수 있다. 또한, 제 1 모드에서 海溢變動 範圍는 -10~60 cm였고, 제 2 모드는 제주도, 서귀포와 부산, 가덕도에서 反對樣相을 보이면서 ± 20 cm의 颱風海溢變動을 보인다.

한편, 전체 颱風海溢 변동의 18.64%를 차지하는 제 2 모드의 颱風海溢을 재현한 결과 여수에서의 振幅이 미약하게 나타났는데, 이것은 여수에서의 颱風海溢變動이 제 1 모드로 설명되는 것으로 볼 수 있다. 그리고, 제 2 모드에서 부산, 가덕도, 충무, 여수의 4개 지역과 거문도, 제주, 서귀포와의 颱風海溢變動의 位相이 反對樣相으로 나타났으며, 最高海溢을 보인 시간에서 6시간에 걸쳐 海面의 上昇, 下降이 同時에 나타나는 形態를 보였다.

3. 南海岸의 颱風海溢 變動特性

1) 颱風海溢, 氣壓, 바람속력의 auto-spectrum

颱風 Brenda 通過時의 auto-spectrum은 Fig. 5에 나타나 있다. 海溢의 spectrum은 제주를 제외한 3개항은 주파수 0.026 cph(약 38시간)에서 에너지

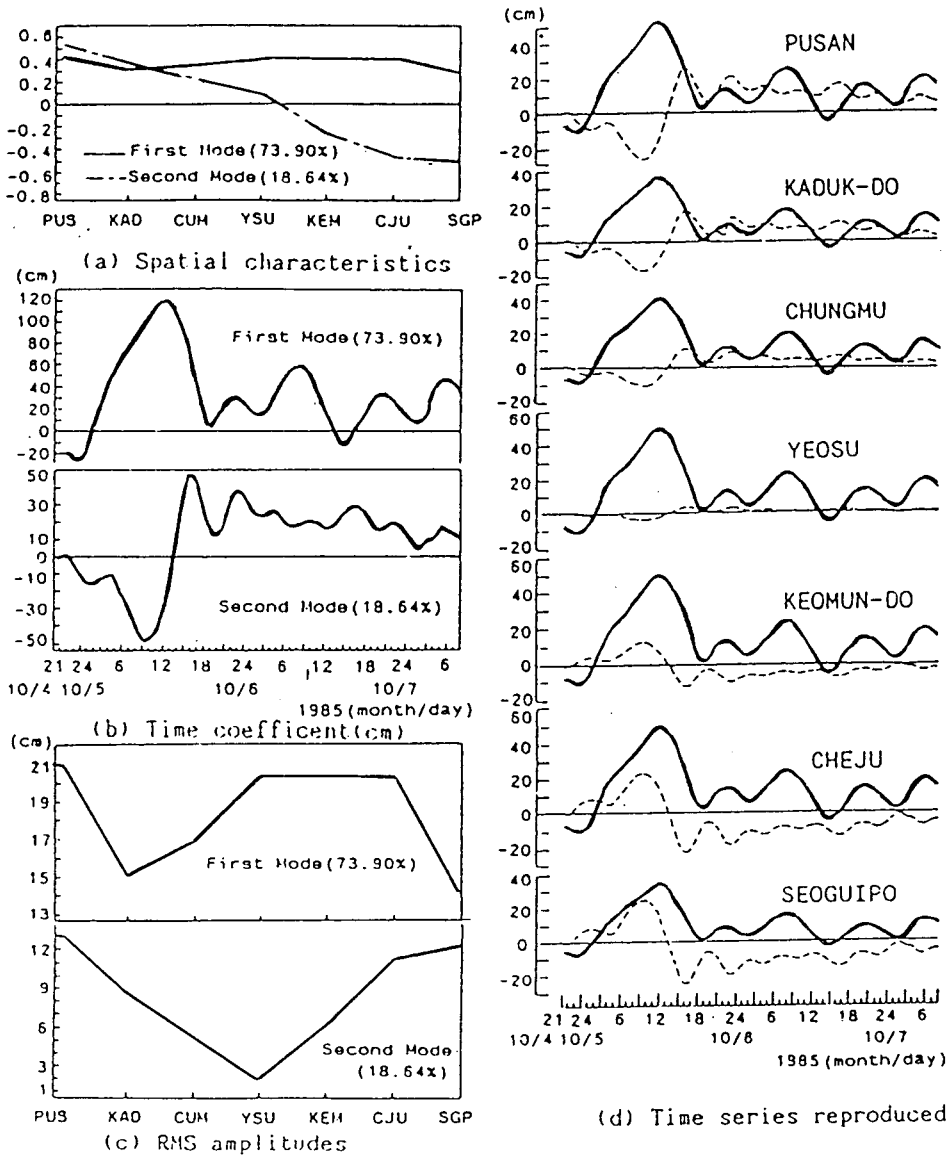


Fig. 4. The result of EOF analysis along the south coast of Korea during the passage of the typhoon Brenda. Solid lines in the time series(d) denote the first mode, while dotted lines the second mode.

peak를 나타냈으나, 67.5 cm로 最高 海溢이 發生한 제주에서는 에너지 peak가 주파수 0.026 cph(약 38 시간)와 0.054 cph(약 8시간)에서 2개의 peak치를 보였는데, 이는 스펙트럼 filtering 過程에서 潮汐成分이 완전히 除去되지 못한 결과로 여겨진다. 氣壓과 바람응력의 spectrum 에너지는 4개항 모두 0.026 cph(약 38시간)에서 peak를 보였다. 특히, 바람응력의 스펙트럼 에너지는 제주에서 뚜렷하게

나타났다.

1985년 Brenda 颱風 通過時의 颱風海溢, 바람응력, 氣壓의 auto-correlation을 Fig. 6에 나타내었다. 颱風海溢의 自己相關은 제주를 제외한 3개항에서 time lag 10시간 부터 不規則的인 變動을 보였으며, 충무와 여수는 颱風海溢의 自己相關 變化가 유사한 반면 제주에서는 일정한 주기성을 나타내었다. 또한, 氣壓의 自己 相關은 4개항 모두 規則的인

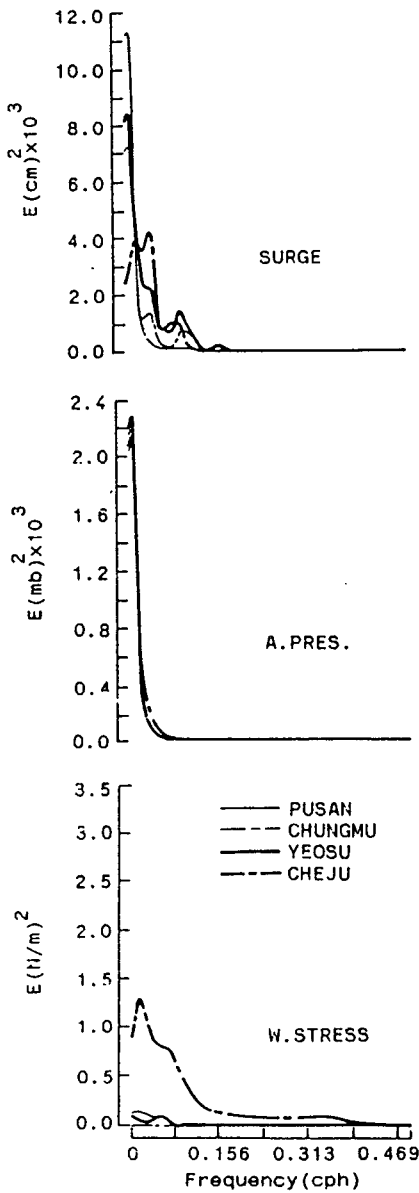


Fig. 5. Auto-spectrum for storm surge, atmospheric pressure, and wind stress at Pusan, Chungmu, Yeosu and Cheju during the passage of typhoon Brenda.

變動으로써 주기성은 없었으나, 부산의 경우 颱風海溢과 氣壓의 自己相關 변화가 일지되는 형태로 보임으로써 두 變動特性이 유사함을 알 수 있다. 그리고 바람응력의 自己相關은 충무와 여수에서 颱風海溢과 같은 變動樣相을 보였으며, 특히, 제주

에서는 time lag 8 시간 이후부터 颱風海溢과 바람응력의 位相이 反對 樣相으로 나타났다.

2) 颱風海溢과 氣壓과의 相關性

颱風 Brenda 통과기간 중 두 變動 成分에 대한 cross-correlation을 Fig. 7(A)에 나타내었다. 1985년 颱風 Brenda의 氣壓과 颱風海溢의 相互相關函數를 보면 두 成分의 相互 相關 變化는 부산, 여수, 충무, 제주 순으로 탁월하였으나, 충무와 여수는 유사한 變動을 나타내었다. 부산은 time lag 0 시간에서 相互相關을 크게 보인후 time lag가 증가함에 따라 相互相關이 감소하였다가 time lag 46시간부터 다시 증가하는 경향을 보였으며, 제주에서는 두 成分의 變動特性이 time lag 0에서 높은 相關을 보인후 time lag 10 시간까지 급히 감소하다가 time lag 10~14 시간에 正(+)의 相關을 보인후 다시 負(-)의 相關을 나타내었다.

3) 颱風海溢과 바람응력과의 相關性

颱風 Brenda 通過시의 바람응력의 計算 結果는 제주가 $2.79 N/m^2$ 으로 4 個港 중에서 최고값을 보였으며, 다음으로 부산이 $0.41 N/m^2$, 여수와 충무는 각각 $0.24, 0.078 N/m^2$ 으로 計算되어 颱風 Thelma (張 等, 1991)와는 큰 差異를 나타내었다(Table 4). 颱風海溢과 바람응력과의 相互相關은 제주에서 뚜렷한 變動을 보이면서, 부산, 여수 順으로 相關性이 卓越하였으나, 충무는 相互相關性을 보이지 않았다(Fig. 7(B)). 특히, 제주에서 time lag 0 시간에 4 個港中 높은 相關值를 보인후 time lag 8 시간 이후부터 주기성을 갖고 變動을 하였다.

Table 4. Calculated results of maximum wind stress at four stations in the south coast of Korea during the passage of typhoon Brenda in October, 1985.

Items	Pusan	Chungmu	Yeosu	Cheju
Time (day, hour)	5, 14:00	6, 11:00	6, 14:00	5, 11:00
Wind dir.	NE	W	WNW	NE
Wind speed (m/sec)	11.3	5.3	9.3	21.5
Wind stress $\tau_s(N/m^2)$	0.41	0.078	0.24	2.79

考 察

颱風 Brenda 通過시의 南海岸 4개 항의 海溢特性

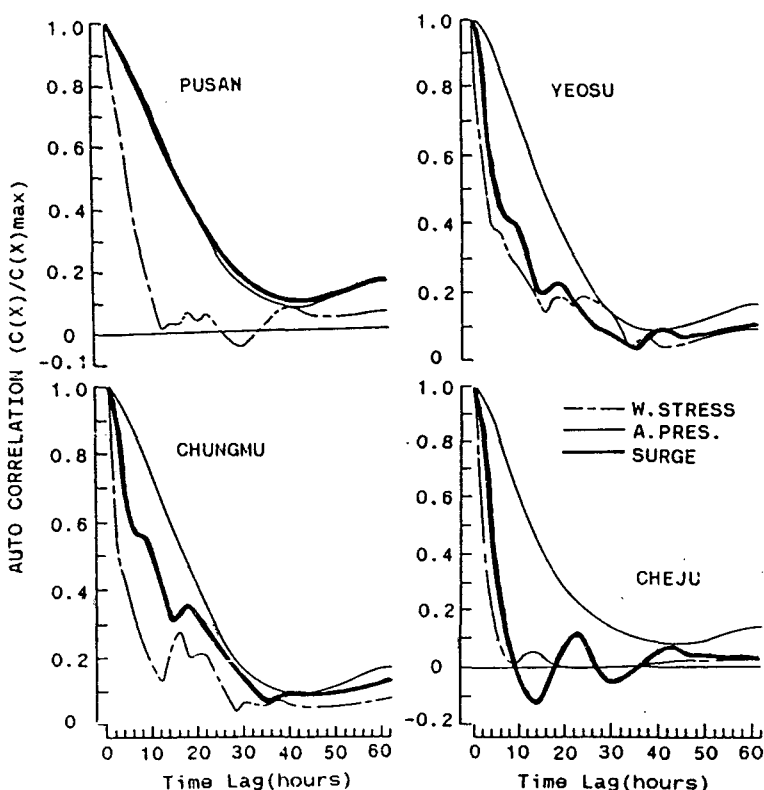


Fig. 6. Auto-correlation for storm surge, atmospheric pressure, and wind stress at Pusan, Chungmu, Yeosu and Cheju during the passage of typhoon Brenda.

을 태풍해일과 바람 및 기압의 상관관계를 考察하였다(Table 4). 颱風 Brenda는 NE 方向으로 進行함에 따라, 제주와 같이 最高海溢 發生風向과 一致한 海域에서 最高海溢이 發生하였다. 이는 바람응력의 計算結果 $2.79 N/m^2$ 를 나타낸 것과도 일치한다. 또한, 여수와 충무와 같이 半閉鎖性 항에서 바람응력값이 작게 나타난 것은 颱風의 進行方向에 대해 가항반원에 위치함에 따라 風速의 減쇄로 인하여 wind pile-up에 의한 水面上昇 效果가 적었다고 볼 수 있다. 颱風進行 風向이 1987년 颱風 Thelma와 같이 韓半島를 가로질러 北上하는 颱風進路에 대해서는 颱風 Brenda와는 달리 南海岸 海域이 颱風進路의 右半圓에 位置함에 따라 半閉鎖性 地形은 바람응력의 증가에 따른 wind pile-up 현상이 卓越하였으며, 개방형 港灣은 氣壓降下에 의한 wave set-up 效果로 인하여 颱風海溢이 發生하였다(張 等, 1991). 한편, 釜山은 검조소가 灣內 협수로에 위치함에 따라 颱風通過시 海水가 비교적 잘 소통되어 集積量이 적어서 質量輸送에 의한 水面上昇 效果가 상대적으로 작게 나타났다.

要約 및 結論

颱風海溢의 變動樣相과 特性을 把握하기 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 Brenda 通過期間中 各港에서의 推算潮位와 海溢을 推定하여, 時間領域別 氣象 및 海面變動에 관한 EOF 分析을 하고 颱風海溢, 氣壓, 바람응력의 spectrum 分析을 實施하였다.

半閉鎖性 灣은 바람응력이 氣壓보다 海溢發生에 큰 영향을 미치며, 開放된 港灣은 氣壓과 바람응력이 함께 海溢에 큰 역할을 하는 것으로 나타났다. 海溢의 크기는 $34.8 \sim 67.5 cm$ 範圍로서 제주에서 最高値를 보였다.

颱風 Brenda 通過時 EOF 제 1모드는 全體 海溢變動의 73% 를 차지하였고, 제 1모드에 수반된 海溢의 時間變動은 14 時間의 海面上昇을 보이면서 전형적인 海溢變動 樣相을 보였다. 제 1모드에 대한 南海岸 7個 地點에서의 海溢의 空間的 變動은 7 個港 모두 동시 海面上昇을 나타내었다.

南海岸 4 個港(부산, 충무, 여수, 제주)의 海溢,

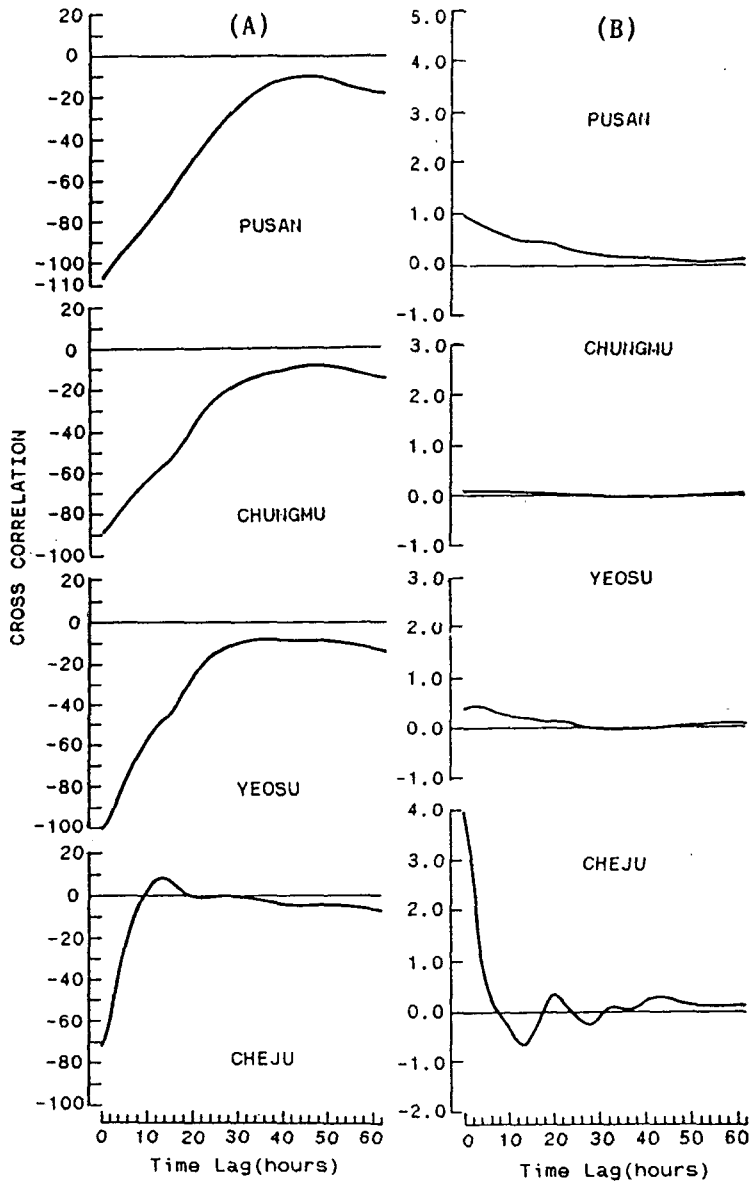


Fig. 7. Cross-correlation between atmospheric pressure and storm surge(A), wind stress and storm surge(B) at Pusan, Chungmu, Yeosu and Cheju during the passage of typhoon Brenda.

氣壓 및 바람응력 spectrum의 peak 에너지는 0.026 *cph*(약 38시간)의 저주파수대에 밀집되어 있고, 氣壓의 에너지 變動은 탁월하지 않았으며, 바람응력은 제주에서 에너지 밀도가 잘 나타났다. 또한, 세 變動成分의 自己相關은 불규칙적인 相關을 보였다.

Chang, S. D. 1970. Computation of wind drift currents in the Southern Waters of Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 3(3), 199~206.

Chang, S. D. and J. S. Lee. 1986. Studies on the storm surge in Incheon Bay. Proc. 5th APRD, IAHR, (III), 315~324.

Chang, S. D., J. S. Lee and I. C. Lee. 1993. Numerical experiment of storm surge in the coastal

參 考 文 獻

- waters of Pusan. 25th IAHR, C-2-2, 48~55.
- Choi, S. W. and Y. Q. Kang. 1987. Empirical orthogonal function analysis of coastal water temperatures in the Tsushima Current region. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 20(2), 89~94.
- David, T. Pugh. 1987. *Tides, Surges and Mean Sea-level*. John Wiley & Sons, New York, 184~230.
- 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. *Oceanogr. Mag.*, 25(1), 37~58.
- Proudman, J. 1955. The propagation of tide and surge in an estuary. *Proc. Roy. Soc., London*, A233, p. 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.
- Wolf, J. 1978. Interaction of tide and surge in a semi-infinite uniform channel with application of surge propagation down the east coast Britain. *App. Math. Model*, 2, 245~253.
- 宮崎正衛. 1980. 高潮·潮汐に関する研究. *日本海洋學會誌*, 36, 163~166.
- 日野幹雄. 1977. *スペクトル解析*. 朝倉書店, 東京, p. 300.
- 坂田勝茂. 1940. 大阪灣の異常潮位に就いて. *海と空*, 21(2), 9~14.
- 氣象研究所. 1988. 韓國近海海洋氣象特性과 豫報技術開發에 관한 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.
- 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. *韓國氣象學會誌*, 24(3), 72~84.
- 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.
- 崔碩源. 1987. 韓國沿岸과 쓰시마 海流域 沿岸 表面水溫의 經驗的 直交函數 分析. 釜山水產大學 大學院 理學碩士 學位請求論文, 6~39.
- 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.
- 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)*, 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.

1994년 6월 18일 접수

1994년 9월 10일 수리