

釜山沿岸 暴風海溢의 變動樣相과 數值豫測 Numerical Modeling of Storm Surge around the Coast of Pusan

李宗燮* · 朱貴洪* · 張善德*
Jong Sup Lee, Gwi Hong Joo* and Sun Duck Chang*

要 旨 : 釜山沿岸에서 颱風으로 인한 水位變化特性을 파악하고 水位豫測을 위하여 태풍 Thelma 통과 기간 중 韓國南海岸에 위치한 6개 검조소의 潮位觀測資料와 氣象資料를 분석하였다. 數值모델에 있어서는 海面氣壓의 空間分布로 인한 水位變化를 고려하였다. 暴風海溢(storm surge)의 계산결과 釜山沿岸의 最大水位偏差의 出現時刻와 水位偏差曲線은 加德島의 潮位實測值로부터 구한 水位偏差曲線과의 상당히 유사한 결과를 나타냈다. 그러나 釜山檢潮所 위치에서 潮位實測值로부터 구한 水位偏差曲線은 검조소가 水路에 위치한 관계로 일반적인 海溢 곡선을 나타내지 못한다. 本計算結果에 의하면 洛東江 河口域에서는 지형적인 영향으로 最大 2.5 m 이상의 水位偏差가 나타났으며, 그 밖의 海岸에서는 약 60 cm 전후의 水位偏差가 나타났다.

Abstract □ The water level variation due to the Typhoon around the coast of Pusan in the southern sea of Korea is investigated from the observed tidal record. Water level variations at six stations along the coast are discussed in association with the meteorological data. The characteristics of storm surge at Pusan during Typhoon Thelma in 1987 is analysed using the observed data, and it is performed the numerical simulation of storm surge which includes a inverse barometric effect due to the horizontal distribution of sea surface pressure. From the calculation results, the peak value of storm surge in the coast of Pusan was occurred around the 01:00 July 16th, which is well coincident with the observed water level variation at the Kadukdo. However, the calculated value at the Pusan TBM is inconsistent with the observed one, which is regarded due to a reason that the Tidal Bench Mark (TBM) locates in the channel. In the computation results, the maximum surge occurs at the coast of Nakdong estuary, which is considered primarily due to a topographic effect, and water level variation exceeded 2.5 meter in these areas while only about 60 cm in another coasts.

1. 緒 論

釜山은 韓半島 南東端에 위치한 韓國 제 1의 海洋 都市로서 커다란 海岸, 港灣施設을 갖추고 있으며, 특히 韓國에서는 처음으로 人工島 건설에 의한 海上新市街地를 계획하고 있다. 한편 釜山은 海岸에 인구밀도가 집중되어 있으며 主要施設 등이 海岸에 밀접해 있는 실정이므로, 颱風 통과시 마다 暴風海溢(storm surge)로 인한 막대한 재산피해를 입고 있음에도 불구하고 釜山の storm surge 현상에 대하여 충분히 연구되어 있지 못한 실정에 있다.

異常海面變化를 일으키는 要人으로서는 颱風, 발달한 溫帶性 低氣壓, 前線通過 등에 同伴되는 강풍과

급격한 氣壓의 變動 등을 들 수 있다. 氣壓의 變動은 海面을 昇강시키는 작용을 하며, 強風은 海面에 摩擦 應力에 의한 吹送流를 야기시키며 이로 인한 質量輸送으로 인하여 海岸의 水位를 上昇(pile up)시키는 작용을 한다. 이와 같은 暴風海溢(storm surge)은 海岸의 지형에 따라 크게 변화한다. 따라서 海岸의 지형을 變化시키거나 構造物 등을 설치할 경우에는 이로 인한 水位變化를 事前에 豫測하여 構造物의 配置計劃 등에 반영할 필요가 있다.

일반적으로 storm surge는 吹送距離가 길고, 海岸의 형태로 V자 형태고 收斂되고, 水深이 얕을수록 異常海面現狀이 현저하게 된다. 韓國沿岸에 있어서 氣象 潮의 크기는 東海岸에서는 30-60 cm, 南海岸에서는

*釜山水產大學校 水產海洋大學 海洋工學科 (Department of Ocean Eng., National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-023, Korea)

90 cm, 西海岸에서는 86-109 cm 정도로서 인천에서 가장 크게 일어난다고 보고되어 지고 있다(秋, 1987). 한편, 日本 沿岸에서 발생한 storm surge의 최대편차를 보면 東京灣 2.1 m, 有明海 2.5 m, 大阪灣 2.9 m, 伊勢灣 3.4 m 등으로 매우 크며, 이에 따른 인명 및 재산피해도 매우 크다. 따라서 港灣의 건설, 海岸構造物의 설계 및 海岸埋立 등에 있어서 storm surge는 고려하지 않으면 안될 주요한 設計外力이 된다. Storm surge의 豫測에 있어서는 장기간의 潮位偏差를 이용한 統計的 解析方法에 의하여 最大潮位偏差를 예측하는 방법과 數值豫測 모델에 의하여 조위편차를 계산하는 방법 등을 들 수 있다. 前者에 있어서는 장기간의 潮位實測資料가 필요하며, 後者에 있어서는 風向, 風速, 氣壓 등 기상 자료의 축적과 颱風의 進路 등에 관한 예측이 필요하다. 그러나, 潮位의 實測資料는 檢潮所의 위치에 국한되므로 豫測하고자 하는 임의 지역에 대해서는 檢潮所의 實測資料를 적용하기가 곤란하다. 따라서 임의 海域에서 storm surge의 예측에 있어서는 數值豫測 모델이 많이 사용되어지고 있다. Storm surge의 數值豫測 모델은 크게 海面氣壓 및 海上風 推定 모델과 storm surge 豫測 모델로 나눌 수 있다. 海面氣壓의 예측에 있어서는 基本 力學의 方程式에 입각한 豫測 모델(Glahn & Lowry, 1972)과 파라메타 海面氣壓 모델(Fujita, 1962; Holland, 1980)로 나눌 수 있으며 海上風 推定 모델로서는 沿岸 觀測資料에 의한 海上風 推定 모델(Hsu, 1984; Liu *et al.*, 1984)과 數值 모델에 의한 海上風 推定 방법(Wilson, 1965)을 들 수 있다. 그리고, storm surge 豫測에 있어서는 鉛直積分된 長波方程式(Long wave equation)을 이용한 數值豫測 모델(Hansen, 1965; Reid *et al.*, 1977)이 많이 쓰여지고 있다.

本 研究에서는 釜山の storm surge 特性을 파악하기 위하여 1987년 7월의 颱風 Thelma호 通過 기간 중에 있어서 濟州에서 釜山에 이르는 6개 檢조소의 每時間別 조위 편차곡선을 비교하였으며, storm surge를 豫測하기 위하여 파라메타 海面氣壓 모델에 의하여 氣壓을 추정하고 風向, 風速은 釜山氣象臺의 바람 실측자료를 海上風으로 換算하여 사용하였다. 한편, storm surge의 數值計算에 있어서 外海 境界條件은 海面氣壓의 時空間 變化에 따른 境界水位의 變化를 고려하였다.

2. 釜山の storm surge 特性

釜山港의 異常海面變化量에 대해서는 釜山港과 釜山南港 사이의 陝水路에 위치한 釜山港 檢潮所의 潮位實測資料로부터의 推定值가 보고되어지고 있다(秋, 1987). 이에 의하면 釜山港의 最高氣象潮는 1974년 7월 颱風 Gilda에 의한 +43 cm, 最低氣象潮는 1967년 1월 大陸性 高氣壓의 확장으로 인한 -46 cm로 나타나 있다. 따라서 釜山에서 50 cm 이상의 氣象潮는 한번도 발생되지 않은 것이 된다. 그러나 1959년 9월에 발생한 颱風 Sarah는 우리나라에 영향을 미친 颱風 中 초A급 颱風으로서 1959년 9월 16일-9월 17일 사이에 우리나라 南海岸 釜山을 통과하여, 낙동강과 섬진강이 범람하였으며 罹災民 37萬名, 死亡 및 失蹤 849名, 負傷者 2,533名, 財産被害 1,627億여원에 달하였다. 이 때, 釜山에서는 最大風速 34.7 m/sec(ENE), 最低氣壓 951.5 mb에 달하여 1904년 氣象觀測 개시 이래 最低氣壓 値를 기록했다.

한편, 最近 釜山에 막대한 被害를 입힌 颱風으로서는 1987년 7월에 발생한 颱風 Thelma를 들 수 있다. 颱風 Thelma는 1987년 7월 16일 01시에 釜山으로부터 北西쪽 100 km 떨어진 지점을 通過하여, 死亡 123名, 失蹤 212名, 罹災民 247,092名 등과 2,195億여원의 財産被害를 발생시킴으로써 지금까지의 태풍피해 중 재산피해로서는 최고를 기록하였다. 이 중에서 釜山の 被害狀況을 보면 死亡 39名, 失蹤 59名, 罹災民 8,212名, 負傷 53名, 財産被害 236億여원에 달하였다. 이 때 釜山에서는 最大風速 24.3 m/sec(SSW), 最低氣壓 985.8 mb를 기록하여 颱風 Sarah 보다는 그 威力이 작았다. Table 1은 颱風 Thelma 통과 기간 중 釜山の 颱風 被害狀況을 要約하여 나타낸 것이다. 여기서 보는 바와 같이 釜山の 피해상황에 있어서 海岸과 접하는 길이가 긴 影島區, 江西區, 沙下區, 南區 등의 순으로 피해 정도가 심한 것을 보면 釜山の 태풍피해는 주로 海洋 災害에 속한다고 볼 수 있다.

本 研究에서는 釜山을 포함한 韓國 南海岸의 storm surge 變動特性을 파악하기 위하여 氣象 및 潮位觀測 資料를 分析하였다. Fig.1은 颱風 Thelma의 中心位置의 移動經路를 나타낸다. Thelma는 7월 9일 釜山 附近海上에서 발생하여 7월 15일 06시 中心氣壓 955 mb로 濟州道 남쪽 500 km 海上에 이르면서 우리나라에 影響을 미치기 시작하였다.

Fig.2-4는 颱風通過 기간 중 韓國南海岸에 위치한

Table 1. Damage state of Pusan during Typhoon Thelma. (Pusan city, 1987).

Classification	Unit	Namgu	Donggu	Dongrae-gu	jingu	Pusan Bukgu	Sahagu	Seogu	Youngdo-gu	Juon-gu	Haeun-daegu	Gang-seogu	Sum
Flood sufferers	person	659		52	52	285	1443	332	297	1	766	4,325	8,212
Personal damage	Death	2		5		1	19	2	7	1		2	39
	Missing	18	3	4		1	5	4	23				59
	Injury	2		6	3		2		27		8	5	53
Building	Complete	7		4	4	1	7	47			3	47	120
	Partial	30	1	2	6	3	8	19	13		12	77	171
	Slight	12		6		142	31	182	383	50	131	174	1,111
	Inundation					37	418		750			648	1,853
Vessel	Power vessel	68/ 541.12		5/ 645.33		3/ 12.63	87/ 1146.99	39/ 2257.25	99/ 3594.27	20/ 1541.12	51/ 123.23	17/ 29.17	388/ 9891.81
	None power vessel	56/ 46.52				43/ 50.32	110/ 1020.32	82/ 100.90	43/ 48.71		68/ 78.51	239/ 359.66	741/ 1075.14
Public facilities	River										2/165		2/165
	Harbour	5	1				3	1	3				13
	Fishing	1					1	2	2		4	3	13
	Irrigation											2	2
The rest	Marine products facilities	4					10	7	6		5	68	100
	Industrial facilities	6		4		18	33	2	97		14		174
Amount of total damage	1000 won	2,403,004	63,440	577,800	27,316	860,016	3,648,780	3,733,705	5,268,897	1,293,070	844,650	4,914,429	23,635,108

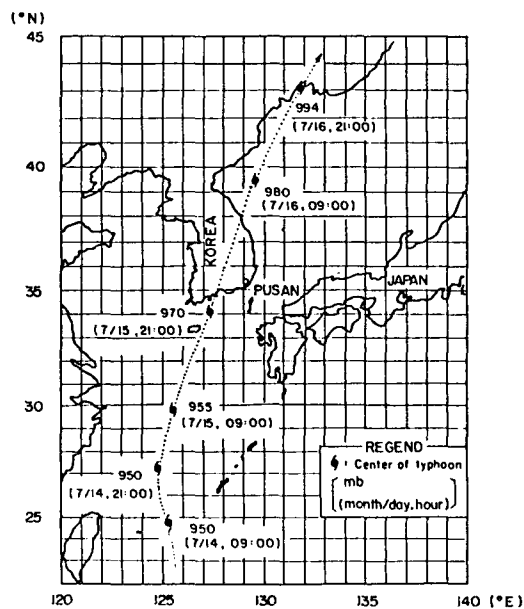


Fig. 1. Trajectory of typhoon Thelma in 1987.

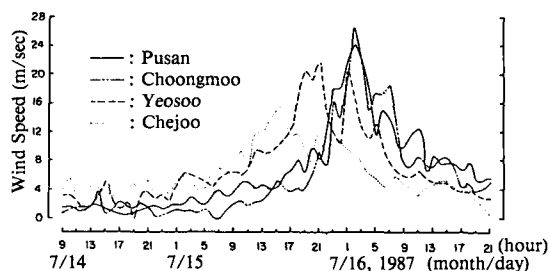


Fig. 2. Observed wind speed in the south coast of Korea during Typhoon Thelma.

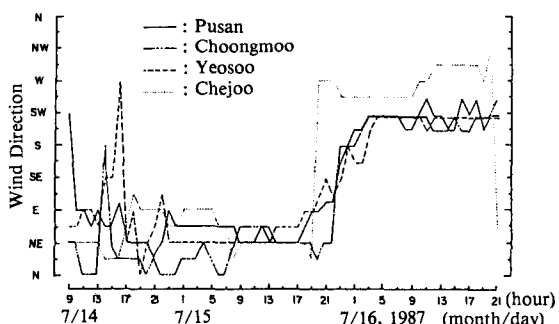


Fig. 3. Observed wind direction in the south coast of Korea during Typhoon Thelma.

濟州, 麗水, 忠武 및 釜山에서 觀測한 風速, 風向 및 海面氣壓의 觀測値를 나타낸다. 風速은 7월 16일 02시 忠武에서 26.7 m/sec(SSW), 釜山에서 24.3 m/(SSW)

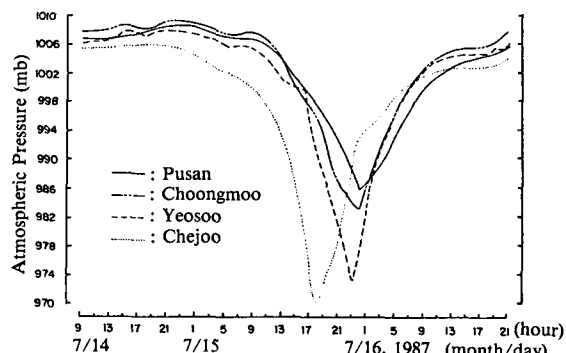


Fig. 4. Observed sea surface pressure in the south coast of Korea during Typhoon Thelma.

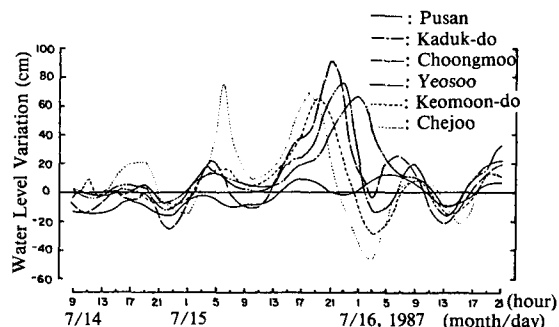


Fig. 5. Water level variation in the south coast of Korea during Typhoon Thelma.

로서 最大值를 기록하였다. 한편 태풍통과 기간 중 異常海面變化를 推定하기 위하여 濟州에서 釜山에 이르는 6개 檢조소의 每時別 潮位實測値로부터 推算潮位를 뺀 潮位偏差의 時間變化를 나타낸 것이 Fig.5이다. Fig.5로부터 最大潮位偏差는 麗水에서 91.7 cm로 가장 크게 나타났으며, 다음으로 忠武 75.7 cm, 濟州 68.5 cm, 加德島 66.5 cm, 巨文島 65 cm로 나타났으며 釜山에 있어서는 潮位偏差가 ± 15 cm 정도로 振動하는 樣相을 나타냈다. 이들 潮位偏差曲線의 變動樣相을 보면 麗水, 忠武, 加德島와 같이 反閉鎖된 灣內에 위치하는 檢潮所에서는 전형적인 storm surge 曲線의 양상을 나타낸다고 볼 수 있다. 그러나 濟州 및 巨文島와 같이 外樣과 접한 檢潮所에서는 長周期를 갖고 振動하는 變動樣相을 나타내고 있다. 따라서 이는 바람에 의한 潮位偏差라기 보다는 氣壓降下에 의한 水面의 昇降作用으로 인한 潮位偏差로 여겨진다. 한편 釜山에 있어서는 일반적인 storm surge 變動特性을 잘 나타내지 못하고 있는데, 이는 檢潮所의 位置가 水路에 위치하고 있으므로 storm surge에 의한 수괴의 pile-up 현상이

발생하지 못하기 때문인 것으로 여겨진다. 그러나 釜山南港 入口의 防波堤 및 인근 護岸이 沈水되고, 인접한 松島海岸의 颱風被害 흔적 및 洛東江 河口에 위치한 을속도의 沈水狀況을 보면 적어도 1-3m 정도에 달했을 것으로 추정된다.

3. Storm surge의 數值豫測모델

3.1 基礎方程式의 構成

Storm surge의 基礎方程式은 鉛直方向으로 積分된 3차원 Navier-Stokes 方程式으로서 (1)-(3)式과 같이 나타내어진다.

연속방정식:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} [u(h+\zeta)] + \frac{\partial}{\partial y} [v(h+\zeta)] = 0 \quad (1)$$

x 방향의 운동방정식:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = fu - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_o}{\partial x} \\ + A_L \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho(h+\zeta)} (\tau_{bx} - \tau_{sx}) \end{aligned} \quad (2)$$

y 방향의 운동방정식:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -fv - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_o}{\partial y} \\ + A_L \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho(h+\zeta)} (\tau_{by} - \tau_{sy}) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, u, v : x, y 방향의 연직방향평균유속(m/sec)

ζ : 평균수면으로부터의 해면변위(m)

f : Coriolis parameter($=2\omega \sin \phi$)

h : 평균해면하 수심(m)

A_L : 수평방향의 난류확산계수(m^2/sec)

P_o : 해면기압($g/m \cdot sec^2$)

τ_{sx}, τ_{sy} : 해면에서 바람응력의 x, y 방향성분 ($g/m \cdot sec^2$)

τ_{bx}, τ_{by} : 저면에서 해저마찰응력의 x, y 방향성분($g/m \cdot sec^2$)

g : 중력가속도(m/sec^2)

ρ : 해수의 밀도($=1.025 g/cm^3$)

윗식으로부터 海面에서의 바람응력 τ 와 海面氣壓의 空間的 분포에 의한 鉛直方向의 平均流速 u, v 와 水面變化 τ 를 구할 수 있다. 海底摩擦應力 τ_b 에 대하여

는 Chezy type의 底面摩擦應力과 바람應力 τ 의 函數로서 (4)式과 같이 나타내었으며, 여기서 K 는 0.25, \rightarrow 는 벡터표시, U 는 流速, ρ 는 海水의 密度, C 는 Chezy의 抵抗係數이다.

$$\vec{\tau}_b = \rho g \frac{\vec{U}\vec{U}}{C^2} - K \vec{\tau}_s \quad (4)$$

한편 海面에서의 바람應力은 일반적으로 式 (5)와 같이 나타내어지는데, 바람 應力係數 r_s^2 의 표현에 있어서는 風速이 11 m/sec 이상인 경우에는 r_s^2 을 風速 W 의 函數로서 (6)式과 같이 나타냈다.

$$\vec{\tau}_s = \rho_a r_s^2 \vec{W}\vec{W} \quad (5)$$

$$r_s^2 = 0.0026 (W < 11 \text{ m/sec}) \quad (6)$$

$$(0.49 + 0.065 \cdot W) \cdot 0.0026 (W \geq 11 \text{ m/sec})$$

그리고 水平混合係數 A_L 의 평가는 格子間隔(Δl)의 函數로서 式 (7)과 같이 評價하였다.

$$A_L = 0.01 (\Delta l)^{4/3} \quad (7)$$

3.2 數值計算方法

本 研究에 있어서는 對象領域을 약 南北방향 30 km, 東西방향 40 km 정도로 설정하였으며, 颱風領域內에서의 氣壓分布에 대하여는 式 (8)과 같은 Myers 式을 適用하고, 風速은 計算對象領域이 狹域인 관계로 陸上風速을 海上風速으로 환산하는 Hsu(1984)의 관계 式 (9)를 이용하여 釜山氣象臺의 陸上觀測值를 海上風速으로 환산하여 사용하였다.

$$P_o = P_c + \Delta P \exp\left(-\frac{r_o}{r}\right) \quad (8)$$

여기서, P_c : 태풍중심기압

ΔP : 태풍중심의 기압심도

r_o : 태풍중심으로부터 최대풍속이 나타나는 곳까지의 거리

r : 태풍중심으로부터 임의 지점까지의 거리

$$W_s = 3.93 W_L^{1/2} (W_L < 10 \text{ m/sec})$$

$$W_s = 1.24 W_L (W_L \geq 10 \text{ m/sec}) \quad (9)$$

여기서 W_s 는 해상풍속, W_L 는 육상풍속이다. 本 研究에서 式 (8)의 各種 계수값으로는 氣象觀測資料를 이용하여 결정하였으며, 計算値와 實測値가 잘 일치하도록 r_o 는 약 50-60 km를 사용하였다.

Table 2. Calculation condition of storm surge in Pusan.

Term	Contents
Areas	30 km in North to South, 40 km in East to West
Grid size	$\Delta S = 500 \text{ m}$ ($\Delta t = 30 \text{ sec}$)
Coriolis parameter	$f = 2\omega \sin \Phi = 8.34 \times 10^{-5} \text{ (1/sec)}$
Lateral eddy viscosity coeff.	$A_h = 0.01 \times 500^{4/3} \text{ (m}^2\text{/sec)}$
Density of sea water	$\rho = 1.025 \text{ (g/cm}^3\text{)}$
Density of air	$\rho_a = 0.00123 \text{ (g/cm}^3\text{)}$
Chezy coefficient	$C = 1/0.026 \text{ (h} + \zeta\text{)}^{1/6}$
Wind stress coefficient	$r_s^2 = 0.0026 \text{ (W} < 11 \text{ m/sec)}$ $r_s^2 = (0.49 + 0.065 \text{ W}) \cdot 0.0026 \text{ (W} \geq 11 \text{ m/sec)}$
Barometric anomaly at the center	$\Delta P = (1005.0 - P_c) \text{ mb}$
Typhoon constant	$r_o = 50\text{--}70 \text{ km}$
Model Typhoon	Thelma, July 1987 (00:00 15th July-15:00 16th July)

한편 storm surge 계산에 있어서 氣壓效果를 고려하기 위하여 運動方程式의 右邊 제 3항은 다음과 같이 置換하였다.

$$P_o = -\rho g \zeta_o \text{ (mb)} \quad (10)$$

外海쪽의 境界에서는 境界水位를 境界地點의 氣壓과 颱風影響圈 밖의 氣壓差 $\Delta P (= P_o - P)$ 에 의하여 (11) 式과 같이 나타내었으며, 流速은 連續條件을 만족시키도록 하였다.

$$\zeta = -\frac{\Delta P}{\rho g} \quad (11)$$

또한 本 研究에서는 潮汐에 의한 潮流와 storm surge와의 相互干涉效果에 대하여는 고려하지 않았다. 數值計算에 있어서는 X 및 Y 방향으로 陰解法과 陽解法을 교대로 사용하는 A.D.I法을 사용하였다. Fig.6은 計算對象領域의 座標系와 等深線의 分포를 나타내며, 時間別 storm surge 曲線을 나타내기 위하여 釜山沿岸의 15개 지점에서 計算時間 30분 間隔으로 水位를 기록시켰다. Table 2는 storm surge 計算條件 및 計算內容을 要約하여 表로서 나타낸 것이다.

4. 計算結果 및 考察

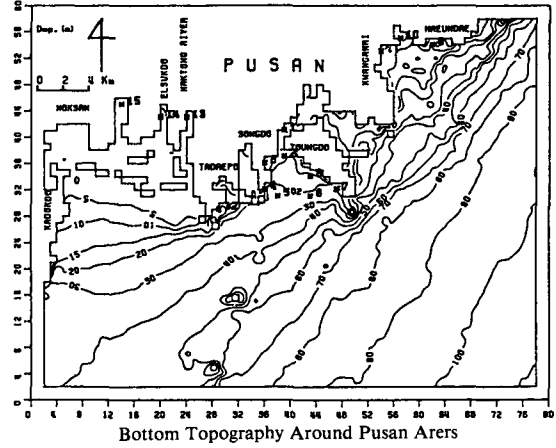


Fig. 6. Bottom topography and major station around the Pusan coast.

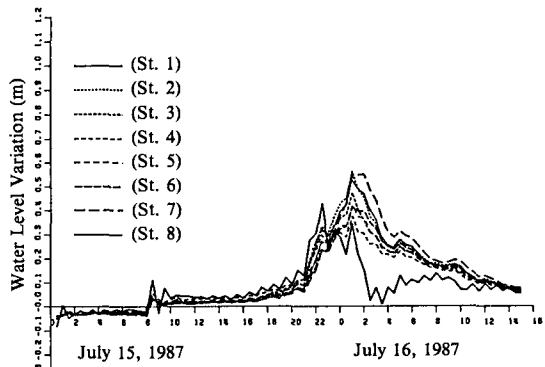


Fig. 7. Calculated results of storm surge around the Pusan Nam-Hang during Typhoon Thelma.

Fig.6에 나타난 計算領域에서 7월 15일 00시-7월 16일 15시까지 총 40시간에 대하여 計算을 수행하였다. Fig.7과 Fig.8은 Fig.6에 나타난 St.1(부산검조소)-St.15(녹산리)의 15개 地點에서의 storm surge의 計算結果를 30분 間隔으로 나타낸 것이다. Fig.7은 釜山南港 周邊海域의 storm surge 計算結果를 나타낸 것이다. 여기서, St.1(부산검조소)의 曲線과 Fig.5의 釜山檢潮所의 潮位偏差曲線을 비교하면 storm surge의 크기나 變動樣相이 서로 잘 一致하지 않는데, 이는 앞에서 지적한 바와 같이 檢潮所의 위치가 水路에 위치하고 있어 質量輸送에 의한 水位上昇으로 인하여 水路에서 흐름이 크게 발생하기 때문인 것으로 생각된다. 그 밖의 지점에 대하여 보면 St.2(남항입구)에서 7월 16일 01

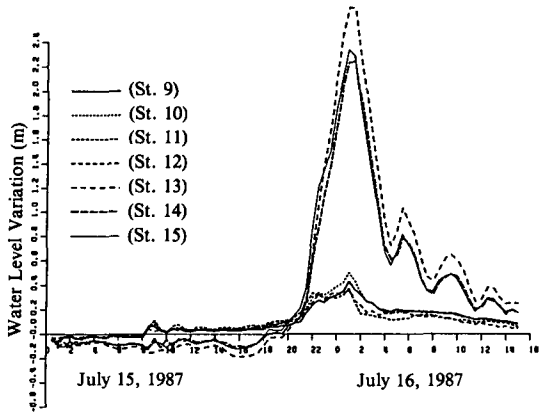


Fig. 8. Calculated results of storm surge near the Pusan coast during Typhoon Thelma.

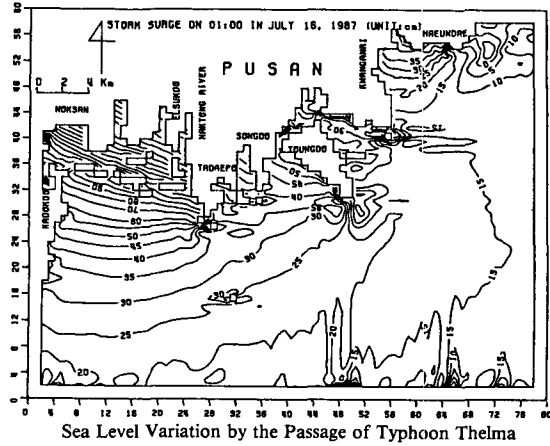


Fig. 10. Computed value of storm surge in 01:00 16th July 1987.

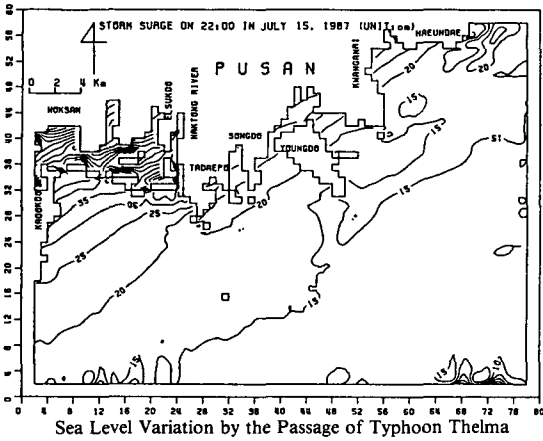


Fig. 9. Computed value of storm surge in 22:00 15th July, 1987.

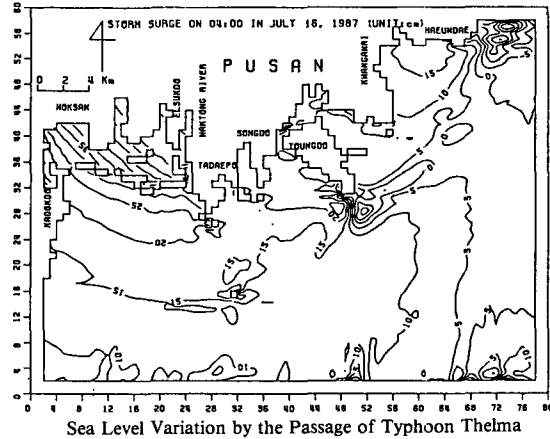
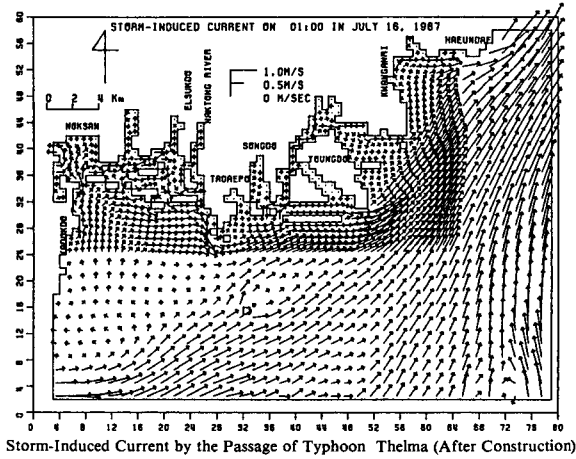


Fig. 11. Computed value of storm surge in 04:00 16th July, 1987.

시에 56.5 cm, St.7(영도)에서는 7월 16일 02시에 55 cm로 나타났다. Fig.8은 St.9(해운대)로부터 水營川 河口, 廣安里 海岸, 多大浦 및 洛東江河口 海域에서의 storm surge 曲線을 나타낸다. 洛東江河口를 제외한 곳에서는 대개 40-50 cm 정도로 나타났으나 洛東江河口 중 특히, St.13(낙동강하구둑 전면)에서는 2.7 m 까지 洛東江河口域과 鳴旨, 葦山의 江西區에서 沈水 등에 의한 피해가 컸던 것으로 미루어 실제 2 m 이상의 水位上昇이 있었을 것으로 생각된다. 한편 Fig.5에 나타낸 바와 같이 釜山과 인접한 加德島에서의 潮位偏差 曲線을 보면 7월 16일 0시에 66.5 cm로서 最大值를 나타내고 그 후 급격히 下降하는 樣相을 나타내는데, 이것은 Fig.7과 Fig.8에 나타낸 釜山沿岸의 潮位偏差의 計算結果와 잘 一致한다고 볼 수 있다. Fig.9-Fig.11은

Thelma호 通過前後인 1987년 7월 15일 22시-7월 16일 04시 사이의 storm surge의 計算結果를 등수위로 나타낸 것이다. 이들 결과로부터 風向變化에 따른 storm surge의 變動과 外海쪽 境界에서 氣壓變化에 따른 水位의 上昇 및 下降效果 등이 잘 나타나 있음을 볼 수 있다. 또한 storm surge의 進行狀態로 보아 地球自轉에 의한 Coriolis 效果로 인하여 진행방향이 오른쪽으로 偏向되고 있음을 볼 수 있다. 한편, St.13-St.15에서 가장 커다란 水位偏差가 나타난 것은 이 지역은 水深이 5 m 이내로 얕은 海域이 넓게 발달되어 있으며, Coriolis 效果에 의하여 吹送流의 흐름이 오른쪽으로 偏向되기 때문인 것으로 생각된다. Fig.12는 Fig.10에 나타낸 釜山沿岸에서 最大水位偏差가 나타난 16일 01



Storm-Induced Current by the Passage of Typhoon Thelma (After Construction)
Fig. 12. Storm-induced current pattern around the coast of Pusan in 01:00 16th July, 1987.

시에 있어서 暴風으로 인한 흐름장(storm-induced current)의 計算結果를 나타낸다. 이 때 風向 SSW, 風速 21.7 m/sec, 海面氣壓은 987 mb 이었다.

計算結果 동쪽 外海境界 부근에서는 流速이 1 m/sec 以上으로 크게 나타났는데, 이는 氣壓의 空間分布로 인한 境界水位의 變化에 의한 것으로 생각된다. 釜山沿岸에서 颱風 Thelma로 인한 storm surge의 計算結果 最大水位偏差가 일어난 時刻은 颱風中心이 最近接하여 통과한 16일 01:00경으로 실제 記錄結果와 잘 일치하였는데, 이는 storm surge 計算에 있어서 海面氣壓變化에 따른 境界條件 및 水面變化를 고려하였기 때문이다. 그러나 數值計算에 있어서 이러한 效果를 고려하지 않으면 흐름의 慣性效果로 인하여 颱風中心 통과 후에도 계속해서 水位가 上昇 下降하는 振動現象을 나타냈다.

5. 結 論

颱風 Thelma로 인한 釜山沿岸의 storm surge 變動樣相과 數值豫測모델에 의한 計算結果를 제시하였다. 潮位實測資料에 의한 釜山檢潮所의 storm surge는

檢潮所의 위치가 水路에 놓여 있는 관계로 一般的인 storm surge의 變化曲線을 잘 나타내지 못한다.

本 研究의 結果, 釜山의 沿岸에서는 대개 50 cm 前後의 水位偏差가 있었으나 洛東江河口域과 鳴旨, 葦山 등의 海岸에서는 최대 2.5 m 이상의 커다란 水位上昇이 나타났다. 실제, 이들 計算結果를 檢證할 만한 實測資料는 없으나 加德島 檢潮所의 潮位實測資料, 颱風被害 흔적이나 被害狀況을 볼 때 타당성이 있는 값으로 생각된다. 한편 storm surge의 計算結果는 外海 境界쪽에서의 海面氣壓變化에 따른 水位變化를 고려함으로써 실제 현상을 잘 나타낼 수 있었다.

參考文獻

Fujita, 1962. Numerical estimation of sea waves in a Typhoon area, *Meteor. and Geophys.*, 26(4), 199-217.
 Glahn, H.R. and D.A. Lowry, 1972. An operational synoptic advection model, *J. Appl. Meteor.*, (11), 578-585.
 Hansen W., 1956. Theorie zur Errechnung des Wasserstandes der Stromungen in Randmeeren nebst Anwendungen, *Tellus*, (8), 287-300.
 Holland, G.J., 1980. An analytical model of the wind and pressure profiles in Hurricanes, *Mon. Weath. Rev.*, (108), 1212-1218.
 Hsu, S.A., 1984. Improved formulas for estimating off-shore winds, Proc. 195h Conf. Coastal Eng., 2220-2229.
 Liu, C.P., D.J., Schwab and J.R. Bennett, 1984. Comparison of a two-dimensional wave prediction model with synoptic measurements in Lake Michigan, *J. Phys. Oceanogr.*, (14), 1514-1518.
 Reid, R., et al., 1977. Development of surge II Program with application of the Sabine-Calcasieu area for Hurricane Carls and design Hurricanes, Tech. Paper No. 77(3): U.S. Army Corps of Engineers.
 Wilson, B.W., 1965. Numerical prediction of ocean waves in the North Atlantic for December, 1959, *Deutsche Hydrographische Zeitschrift* (18).
 秋教昇, 1987. 韓國沿岸에서 發生한 暴風, 地震海溢現象에 對하여, 交通部 水路局, 153p.