

1983年 東海쓰나미의 算定

A Numerical Simulation of 1983 East Sea Tsunami

崔秉奘* · 李昊俊**

Choi, Byung Ho* · Lee, Ho Jun

Abstract

Tsunamis along the east coast of Korea accompanying the 1983 East Sea central region earthquake is hindcasted with numerical models for tsunami propagation and inundation. Both linear and non-linear models were used to compute propagation and elevation of tsunami waves on the coastal area of Korea. For the mesh refinement, grid system was divided into two sub-regions in Korean coastal area with final 10m grid resolution at interior area where serious inundation was observed. Calculated tsunami height distribution showed a general agreement with coastal observation. With interior detailed mesh system at mid-east coast region, the inundation at the port of Imwon were qualitatively well reproduced by inundation and runup model.

要 旨

地震津波(쓰나미)의 傳播와 氾濫에 관한 數值模型을 使用하여 1983年 東海 中部地震에 의해 發生된 쓰나미를 算定하였다. 線形 및 非線形模型을 使用하여 쓰나미 傳波 및 沿岸域에서의 쓰나미의 波高를 計算하였다. 格子의 細分化를 위해 韓國 東海岸의 細部域에 대한 2회의 細分化를 實施하였는데 內域에서 다시 10m 間隔의 格子體系에서 氾濫模型을 適用하였다. 算定된 沿岸域에서의 쓰나미 波高分布는 沿岸觀測値와 比較하여 定性的으로 一致하였다. 東海岸 中央部の 보다 詳細한 格子體系를 使用한 臨院港에서의 氾濫이 數值模型을 使用하여 잘 再現되었다.

1. 緒 論

쓰나미(Tsunami, Seismic Sea Wave)는 海底 地震 혹은 火山爆發과 같은 地球物理學的 現象에 의해 發生되는데 莫大한 沿岸 災害를 誘發시키기도 하는 큰 海洋波이다. 쓰나미는 淺海에 다다르기 전까지는 波高가 1m 정도의 波長이 긴 形狀으로 그 에너지는 상당히 큰데 淺海에 波及되면서 波高가 增大되어

沿岸에 큰 災害를 誘發시키기도 한다. 1960년 Chile의 Valparaiso 近處에서 發生한 地震에 의한 쓰나미는 17,800km에 달하는 太平洋을 橫斷하여 日本의 東海岸에 큰 被害를 주었는 바 200名の 死傷者와 12,000隻의 大小船舶이 破壞된 記錄을 남겼다. 우리나라의 경우 港灣設計 및 建設에 있어 쓰나미의 來襲에 따른 被害輕減을 위한 努力은 별로 傾注되어오지 않은 바 1983年 5月 26日 12時 日本 秋田縣(아키타) 및 青森縣(아오모리) 西側海域에서 發生한 東海中部地震에 의한 海溢로 인해 우리나라

* 正會員 · 成均館大學校 土木工學科 教授

** 正會員 · 成均館大學校 土木工學科 大學生

東海岸의 臨院, 汀羅港 附近에 發生한 큰 被害는 우리에게 큰 警覺心을 주었다. 東海岸의 海溢 被害는 秋⁽¹⁾에 의해 報告되었고, 日本 國立防災科學센터의 研究資料 第 90號⁽²⁾로서 同센터 平塚支所의 都司等에 의해 一次의으로 徹底하게 整理, 報告되었고 後에 이와 並行하여 日本 土木學會 역시 방대한 東海中部地震津害調査報告書⁽³⁾를 發刊하였는데 이는 1983年 東海中部地震에 의한 災害의 綜合的 調査研究報告書였다.

世界的으로 쓰나미의 研究는 地震學 및 쓰나미의 動水力學的 基礎研究를 遂行하는 海洋物理 流體力學分野에서 꾸준한 進歩를 이루어 왔으며 防災側面에서는 쓰나미工學(Tsunami Engineering)이라는 主題로서 活潑한 研究가 이루어지고 있는바 T.S. Murty⁽⁴⁾는 쓰나미에 關한 客觀的인 知識을 定理하여 報告하였다. 쓰나미는 地震發生과 震央에 의해 豫報網을 이루고 있는 沿岸에서 떨어진 檢潮所 및 觀測位置에서 調査에 의해 沿岸에의 到達時間 및 그 크기를 豫報할 수 있다. 이러한 推定能力의 改善을 위해 1979年 南加州에서 Tsunami Workshop⁽⁵⁾이 開催되었으며, 同年 10월 Honolulu 會合에서는 特別委員會를 構成하여 追後研究方向을 提示하는 Tsunami Research Opportunities⁽⁶⁾라는 지침서를 美國 科學財團과 NOAA에서 發刊한 바 있다.

過去의 1983年 東海中部地震에 의한 쓰나미의 算定이 Shuto 等⁽⁷⁾, Satake와 Shimazaki^(8,9), 그리고 Tsuji⁽¹⁰⁾ 等에 의하여 상세히 遂行되었는데 모두 日本沿岸에 着점을 두고 있다. Shuto 等⁽⁷⁾은 格子의 細分化를 통하여 日本의 全 沿岸에 대한 쓰나미 波高分布 및 最大被害地域 秋田縣 峰浜村 附近의 쓰나미에 의한 氾濫과정을 提示하였다. Satake와 Shimazaki^(8,9)는 東海中部地震 쓰나미의 檢潮記錄과 쓰나미 模型에 의해 算定된 波高에 대한 스펙트럼 分析結果를 서로 比較, 提示하였다. Tsuji⁽¹⁰⁾는 쓰나미의 初期波形을 半橢圓體로 假定하여 算定된 쓰나미 波高分布를 日本沿岸에 대해 詳細히 提示하였고, 韓國 및 北韓, 러시아 沿岸에 대해서도 概略的인 波高分布圖를 提示하였다. 韓國東海岸에 대한 쓰나미의 算定으로 韓國電力公社⁽¹¹⁾는 고리, 월성부지에서 의 가장 최대 쓰나미에 대한 數值實驗을 發電所 安全性 調査의 觀點에서 遂行하였다.

2. 東海의 쓰나미

日本國立防災科學技術센터의 都司⁽²⁾는 우리나라 東海岸에 來襲한 1741年(英祖 17年 7月 17日), 1940年(8月 2日) 地震海溢에 대한 言及을 朝鮮王朝實錄 및 日本 天文臺 理科年表(地學部分, 1983)을 根據로 하였는 바 1741年의 海溢은 日本北海道 南部 西側 海域에서 發生한 地震에 의한 것으로 當時 江原道 平海(現 慶尙北道 蔚珍郡 平海邑) 等 9郡(蔚珍, 三陟, 江陵, 襄陽, 杆城, 高城, 通川, 翁谷)에 큰 被害를 주었으며 쓰나미波高는 3~4 m로 推定하였다. 또한 1940년에 東海岸의 墨湖, 羅津, 汀羅, 蔚珍 등에 被害를 준 海溢은 北海道 西側海域의 地震에 의한 것임을 報告하였다. 또한 1964年 6月 16日 13時에 發生한 新瀉地震에 의한 쓰나미는 釜山港 檢潮所에서도 觀測되었다⁽¹⁵⁾. 安 및 全⁽¹²⁾은 우리나라의 1392~1983年 期間의 海溢記錄을 調査하였으나 都司가 報告한 地震海溢 以外의 追加的인 記錄은 發見할 수 없었다. 그러나, 李朝烈聖實錄(李朝 肅宗王)史料에 의하면, 1693年 7月 25日 蔚山에서 地震으로 인한 海溢이 發生한 記錄이 있으며, 1681年 6月 26日 江原道 襄陽에서 蔚珍, 平海에 이르는 沿岸에 큰 地震이 發生하여 海溢이 發生하였고, 그 餘震이 6月 27日까지 계속되었다는 詳細한 記錄을 秋⁽¹³⁾는 最近에 報告하였다.

1983年 5月 26日에 發生한 東海中部地震(M=7.7)에 의한 쓰나미는 근래 東海에 發生한 쓰나미 中 그 規模가 가장 컸다. 發生한 쓰나미는 東海 全領域에 擴散되어 日本 西海岸을 비롯하여 韓國과 北韓의 東海岸 및 러시아의 沿岸에 影響을 주었다⁽¹⁴⁾. 傳播된 쓰나미가 沿岸에 到達하면서 增幅되어 秋田縣 北側 峰浜村에서의 波高는 14.93 m(東京水準原點 基準)로 근래 發生한 쓰나미 記錄으로는 最高值를 記錄하였다. 發生된 쓰나미는 東海를 橫斷하여 韓國東海岸에도 2時間 内外에 到達하여 큰 海溢을 일으켰는데 6개의 檢潮所에서 觀測된 資料에 의하면 最大 全振幅은 墨湖의 境遇 390 cm에서 記錄範圍를 벗어났고, 東草 156 cm, 鬱陵島 125 cm, 浦項 62 cm순으로 記錄되었다.

韓國 東海岸의 最大 被害地域은 臨院港으로 쓰나미의 最大 全振幅은 4 m 以上으로 나타났다⁽¹²⁾. 當時

주민들의 증언에 의하면 臨院港 附近的 鬱陵島行 快速船 터미날이 浸水되었고, 水深 5 m 정도의 港內 海水가 港 밖으로 流出되었을 때에는 港의 바닥이 드러났다고 전한다. 또, 港 附近的 直徑 7 m, 높이 8 m인 13萬리터 容積의 輕油탱크가 圓形 콘크리트 基礎로부터 離脫하여 약 10 m 정도 移動하였다고 한다. 北韓 東海岸의 觀測記錄은 상세하지는 않지만 1990年 新포의 原子力發電所 建設을 위한 調査時 新창에서 1.5~1.7 m 정도의 run-up이 報告된 바 있다⁽¹⁴⁾. 러시아의 沿岸인 Primorsky Territory에서는 4.5 m의 run-up이 Valentine灣에서 報告되었다⁽¹⁵⁾.

被害狀況은 日本에서 102名이 死亡하였고, 1,475 隻의 船舶被害, 2,769棟의 建物被害가 發生했다. 韓國에서는 1名이 死亡하고 2名이 失蹤되었으며 74隻의 船舶被害 및 60 餘棟의 建物被害를 입었고 臨院에서 235드럼의 油類가 損失되었다⁽¹⁶⁾.

3. 東海의 쓰나미 數值模型

쓰나미의 數值模型에 使用되는 支配方程式은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \theta} \left[\frac{\partial M}{\partial \lambda} + \frac{\partial}{\partial \theta} (N \cos \theta) \right] = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \theta} \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} = fN \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \theta} = -fN \quad (3)$$

여기서 θ 는 經度, λ 는 緯度, η 는 水位, M , N 은 θ , λ 方向의 線流量, g 는 重力加速度, h 는 靜止水面에서의 水深, f 는 轉向力 係數($f = 2\omega \sin \theta$)이다. 이를 $\Delta \theta$ 와 $\Delta \lambda$ 가 서로 다른 格子上에서 Staggered Leap Frog法에 의해 差分하여 그 解가 求해진다⁽¹⁷⁾. 模型 內의 水深 50 m 以上の 淺海領域에 대해서는 (1), (2), (3)式을 使用할 수 있으나 50 m 以下の 領域에 대해서는 식 (2), (3)식 대신에 (4) 및 (5)의 非線形項 및 摩擦項이 고려된 方程式을 使用하였다.

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{R \cos \theta \partial \lambda} \frac{M^2}{D} + \frac{\partial}{R \partial \theta} \frac{MN}{D}$$

$$+ gD \frac{\partial \eta}{R \cos \theta \partial \lambda} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{R \cos \theta \partial \lambda} \frac{MN}{D} + \frac{\partial}{R \partial \theta} \frac{N^2}{D} + gD \frac{\partial \eta}{\partial \theta} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (5)$$

이때 D 는 總水深이고 n 은 Manning의 粗度係數이다. 外海開放境界에서는 放射條件을 適用하여 境界內側의 流體運動이 外側으로 波及되게 하였다. Kajiura⁽¹⁸⁾는 쓰나미 計算時 分散效果 考慮의 與否를 設定하는 基準值을 提案하였다. 즉, $Pa = (6h/R)^{1/3}(a/h)$ 에서 Pa 값이 4 以下인 境遇는 分散效果를 無視할 수 없다. 여기서 h 는 水深, R 은 쓰나미 傳播距離, a 는 傳播되는 方向으로의 쓰나미 波源域의 길이이다. 分散效果를 考慮하기 위해서는 分散項을 包含하고 있는 Boussinesq 式을 使用함이 適切하지만 相當한 計算時間과 記憶容量을 要求한다. Imamura⁽¹⁹⁾는 Boussinesq式의 物理的 分散項은 Imamura 數에 따라 適切한 格子間隔을 設定하여 數值分散으로 代置하면 無視될 수 있음을 提案하였다. 즉, $Im = \Delta x [1 - (C_0 \Delta t / \Delta x)^2]^{1/2} / 2h$ 가 1.4가 되도록 Δx 를 設定하면 線形長波理論式은 分散項을 包含하는 方程式의 解와 같은 結果를 가지게 된다. 여기서 C_0 는 線形長波의 波速, Δt 는 timestep, Δx 는 格子間隔이고, h 는 水深이다. 이러한 條件을 東海中部地震 쓰나미의 算定에 適用할 境遇 Pa 값은 3.4로서 分散效果의 考慮가 必要하였고, 分散效果를 無視할 수 있는 格子間隔을 設定하기 위해 Im 을 1.4로 취하였을 境遇 $\Delta x = 6.53$ km로 計算되었다.

東海의 쓰나미 舉動에 대한 數值模型에 使用된 格子體系는 緯度 33°16'N~49°36'N, 經度 127°15'E~141°55'E의 領域에서 緯度 1/15°, 經度 1/12°의 解像度를 갖는 총 43,855(179×245)개의 格子 및 格子의 細分化를 위한 細部域으로 基本模型의 格子體系에 대하여 1/3, 1/9 解像度の 細部格子로 이루어진다. 基本模型에서의 格子 間隔은 약 8 km로서 Imamura 數의 條件을 嚴格하게 充足시키지는 못 하지만 全體的인 쓰나미 波及의 算定에는 큰 誤差를 誘發시키지 않을 것으로 생각된다. 쓰나미의 最終的인 沿岸에서의 波高分布를 算定하기 위해서 그림

1과 같은 격자의 細分화를 遂行하였는데 한 波長內的 格子數가 20개 以上이면 波形이 實際에 가까운 것으로 發表되었다⁷⁾. 模型의 細分化는 沿岸域에서의 쓰나미 增幅을 再現하기 위해, 沿岸地域의 格子를 細分化하고, 模型계산을 遂行하는 中에 動的連結이 이루어지는 外部格子(Coarse mesh)와 内部格子(Fine mesh) 사이의 水位와 流量을 서로 交換하는 方法으로 沿岸에서의 增幅效果를 考慮하는 同時에 數值分散이 遂行될 수 있다. 本 研究에서는 外部領域에 대한 内部領域의 格子의 크기를 1:3으로 하여 韓國 東海岸의 境遇 2회의 細分化를 遂行한 후 臨院에서의 水位를 一定 時間間隔으로 貯藏하여 格子 크기 10m인 氾濫計算을 위한 數值模型의 外海境界條件으로 使用하였다. 格子의 細分化를 遂行한 東海 全域 및 東海岸의 경우 非線形項 및 摩擦項을 무시한 線形淺水方程式을 使用하였다. 氾濫計算을 위한 模型에서는 格子間隔은 10m의 直交座標系上에서 非線形項 및 摩擦項을 包含한 非線形淺水方程式을 使用하였는데 總 格子數는 36,350(230×245)

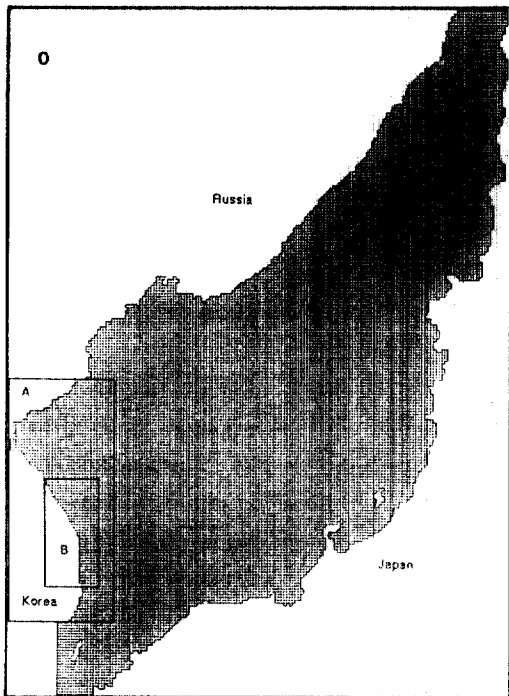


그림 1. 동해 쓰나미 모형의 격자 체계 및 격자의 세분화 영역

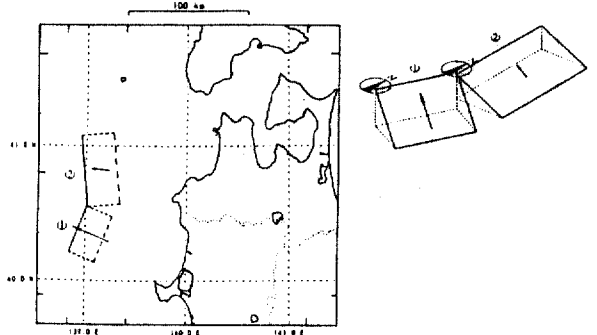


그림 2. 동해중부지진 쓰나미의 파원역 및 단층의 형태

개를 使用하였다. CFL 安定條件에 따라 算定된 計算時間間隔은 그림 1의 O 領域에서 24秒, A 領域에서 8秒, B 領域에서 4秒를 使用하였다. 또 氾濫計算時에는 0.2秒의 計算時間間隔을 使用하였다.

쓰나미의 初期水面形을 計算하기 위해 相田⁽²⁰⁾의 model 10에 의한 斷層과라메터를 使用하였는데 相田은 Shimazaki & Mori⁽²¹⁾의 發津構造를 參照하여 2개의 斷層面에 대한 12種類의 模型을 設定하고, 쓰나미의 初期波形에 대한 數值實驗을 遂行하였다. 그 結果를 波源으로부터 먼 10個所의 檢潮所記錄에 대해 檢潮所의 特性에 따라 補正한 후 妥當한 몇개의 模型을 選擇하여 地震 發生地域의 形態와 位置에 가장 一致되는 模型인 model 10의 斷層과라메터를 提示했다. 波源域 및 斷層의 形態가 그림 2에 제시되었다.

4. 模型의 結果 및 討議

斷層模型을 使用한 海水面의 變位를 初期條件으로 하여 時間에 따른 傳播形態 및 計算遂行 中 格子의 細分化를 利用한 實際 水深環境下에서의 쓰나미의 算定을 遂行하여 沿岸에서의 쓰나미의 最大 波高 및 格子 크기의 變化에 따른 水位分布를 計算하였다. 韓國 東海岸의 最大 被害地域인 臨院港에 대한 氾濫計算을 위해 臨院港 附近의 水位의 時系列 資料를 貯藏하고 이를 氾濫計算을 위한 模型의 開放境界條件으로 使用하여 쓰나미에 의한 氾濫域을 計算하였다.

相田의 model 10에 의한 斷層因子를 使用하여

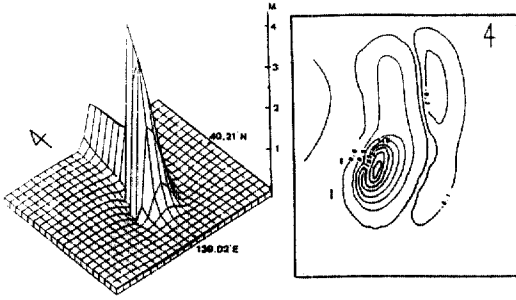


그림 3. 동해중부지진 쓰나미의 초기 수면 변위

Mansinha와 Smylie⁽²²⁾의 斷層理論에 따라 계산된 쓰나미의 初期水面變位는 그림 3과 같다. 初期水面變位の 形態는 상당히 날카로운 形態를 나타내고 있는데 最大 水面上昇値는 南側斷層에서 4.32 m, 最大 水面下降値는 北側斷層에서 0.3 m로 計算되었다. 斷層模型에 의한 水面變位를 初期條件으로 經·緯度 1/12°, 1/15° 格子 위에서 計算된 쓰나미 傳播圖를 그림 4에 提示하였다. 쓰나미는 발생 후 약 40 분 頃에 大和堆에 到達하여 變形되기 시작하였고 韓國東海岸까지 到達하는데 걸리는 時間은 약 2時間이 소요되었는데, 釜山에서의 實測된 到達時間은 2時間 53分으로 數值模型에서 計算된 3時間 10分보다는 實際 빨리 到達하였다. 大和堆는 쓰나미의 進行經路를 變化시켜 傳播形態에 큰 影響을 주는 것이 그림 4의 傳播圖에 잘 提示된다.

格子의 細分化를 통해 算定된 沿岸에서의 最高·最低 水位分布를 그림 5~7에 提示하였다. 먼저 經·緯度 1/12°, 1/15°의 格子 위에서 (그림 1의 O 영역) 계산된 結果는 觀測值보다 상당히 낮은 값으로 表示되고 있지만 全體의인 波高分布形態에 있어서는 一致함을 보이고 있는데, 東海岸에서는 墨湖 附近에서 最高値를 나타내고 있다. 結果에서 計算値와 觀測値와의 차이는 格子의 크기가 增幅效果를 나타 내기에는 너무 크기 때문인 것으로 思料된다. 格子體系의 韓國東海岸에 대한 細部域으로 經·緯度 1/36°, 1/45° 格子上(그림 1의 A 領域)에서의 結果는 그림 6과 같다. 全體의인 形態는 O 領域에서와 같지만 그 크기는 상당히 增幅되어 나타났고 墨湖와 臨院 附近에서 最大波高가 나타났다. 마지막으로 格子間隔 약 900 m 上(그림 1의 B 領域)에서 算定된 結果는 그림 7과 같고, 역시 그 形態는 類似하지만

크기에 있어서 臨院 附近에 약 3.5 m의 最高水位를 나타냈다.

그림 8~10에는 세 領域에서 算定된 最大水位에 대한 等值線圖로, 이로써 쓰나미의 에너지의 分布狀況을 나타낸다. 東海 全體地域에 대한 경우(O 領域) 靑森縣 西側海域에 많은 等值線이 集中되어 있고, 東海岸의 墨湖 부근에 0.3 m의 等值線이 나타났다. 일반적인 경우, 쓰나미는 指向性이 있어서 斷層域을 橢圓으로 假定할 境遇 短軸 延長線上으로 에너지가 集中되어 큰 波高를 나타낸다⁽¹¹⁾. 東海中部地震 쓰나미의 境遇 그림 8의 A 地點과 D 地點에 큰 波高가 나타나지 않는 이유는 傳播되는 에너지가 海底地形에 따른 렌즈效果⁽⁷⁾에 의해 東海 中心部の Y 地點 즉, 大和堆에 集中되어 波의 進行을 抑制하기 때문으로 說明되어진다. 大和堆에 集中된 에너지는 兩分되어 水中峽谷을 따라 日本 南部의 B지점 또는 韓國 東海岸인 C 地點으로 傳播되고, D 地點에는 그 影響이 도달하지 못하게 된다. 大和堆로부터 分離되어 東海岸으로 向하는 쓰나미의 B 領域에서의 最大水位에 대한 等值線圖가 그림 10에 提示되었다. 細部模型은 run-up 效果가 考慮되지 않은 垂直 沿岸의 假定이 包含된 것이므로 run-up 比에 의한 修正을 할 境遇 中部 領域의 境遇 1.5 정도의 run-up 比率를 갖는다. 쓰나미 波의 에너지는 東海岸 中部領域을 향해 集中되면서 臨院에 가장 큰 被害를 입혔다. 따라서 最終적으로 細部領域의 模型에서 구한 臨院 附近의 쓰나미의 時間別 水位資料를 貯藏하여 이를 入力資料로 臨院港에서의 쓰나미에 의한 run-up 및 氾濫을 計算하였다. B 領域의 氾濫에 사용된 模型의 格子間隔은 10 m로서 臨院港 附近의 南北方向 2.4 Km, 東西方向 2.3 Km의 범위이고 900 m 格子 위에서 南北으로 세 格子, 東西로 두 格子의 水位資料를 각각에 內插하였다. 臨院港 附近의 沈水過程을 그림 11에 模型의 開放境界에 波가 到達했을 때부터 1分 間隔으로 提示하였는데 沈水域의 形態는 秋⁽¹⁶⁾에 의해서 調査된 氾濫形態인 그림 12와 類似한 結果를 가졌다.

5. 結 論

1983年 5月 26日 日本 秋田縣 및 靑森縣 西側에서 發生한 東海中部地震에 의한 쓰나미를 算定하였다.

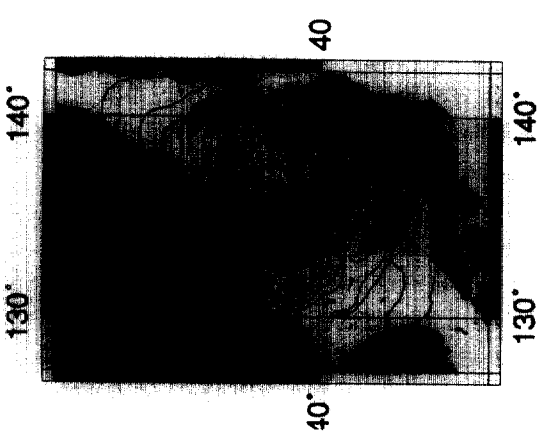
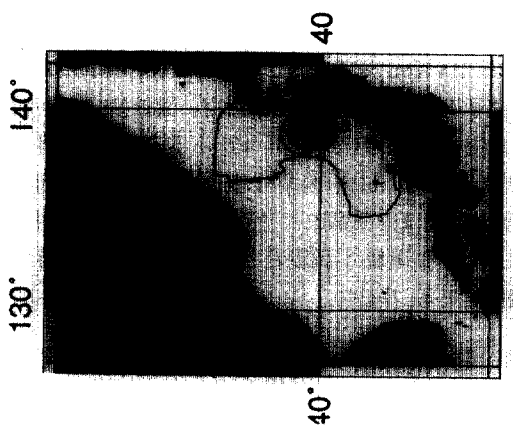
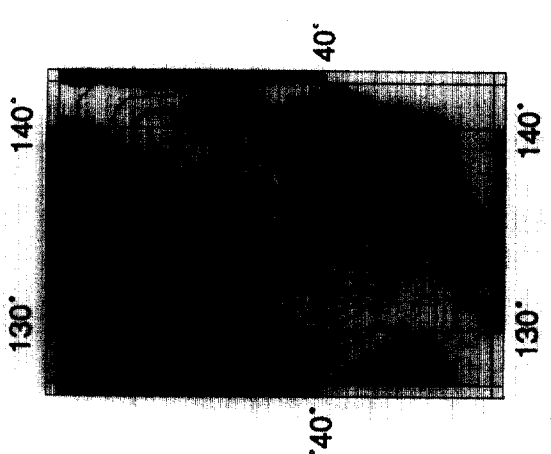
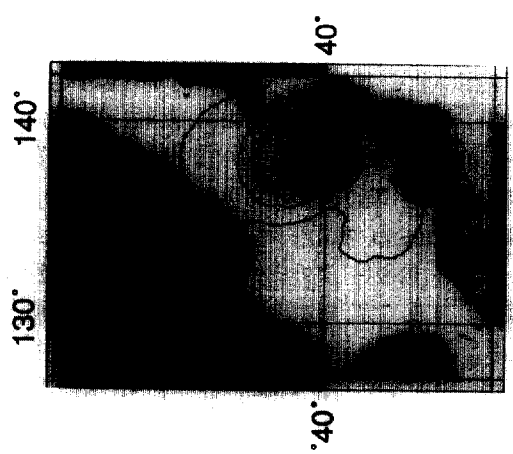
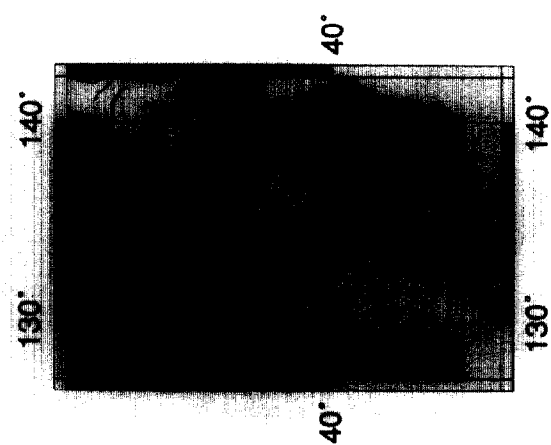
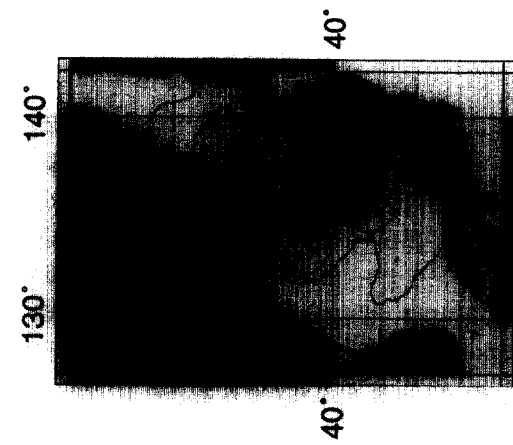


그림 4. 동해중부지진 쓰나미의 진파도

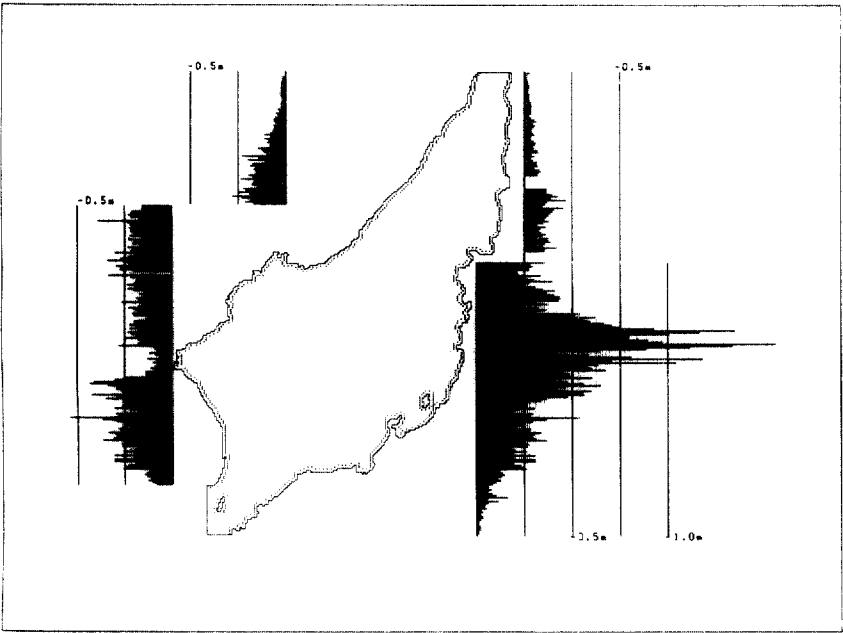
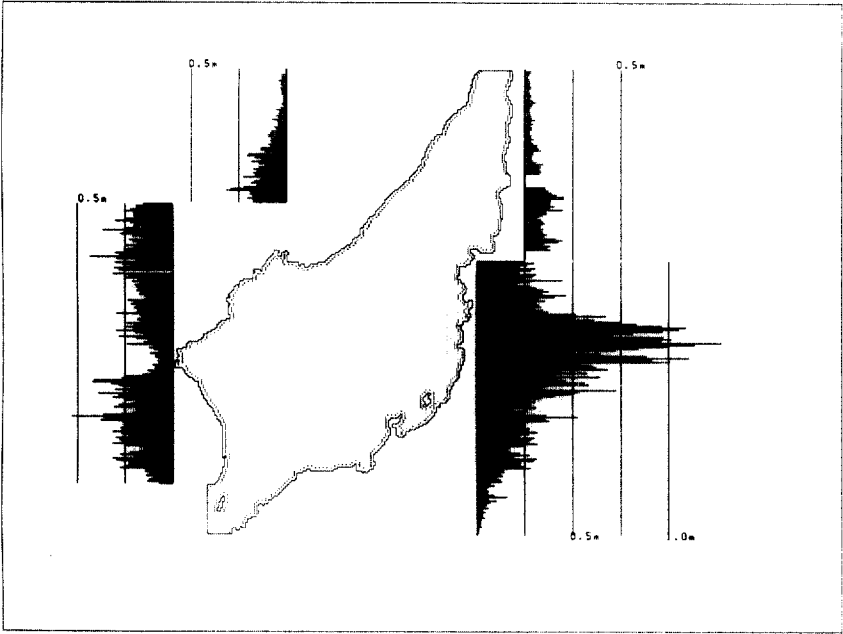


그림 5. 연안에서의 최고, 최저 수위분포(0 영역)

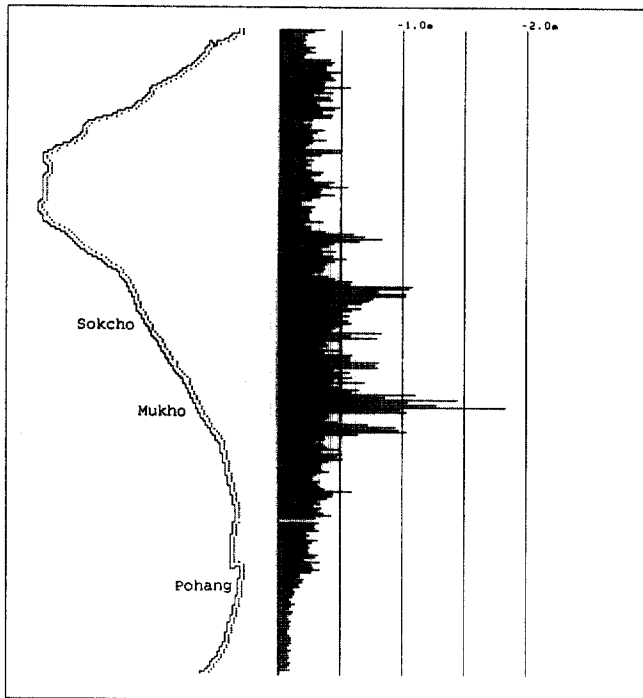
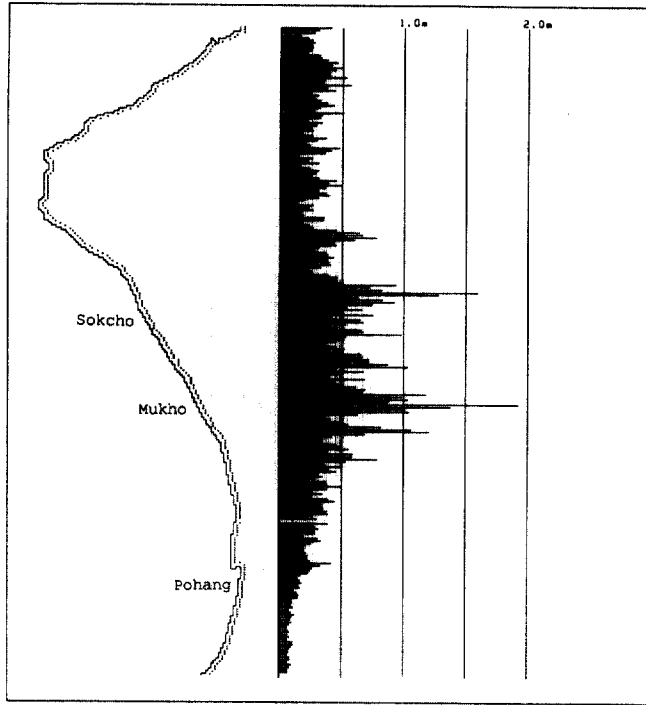


그림 6. 연안에서의 최고, 최저 수위분포(A 영역)

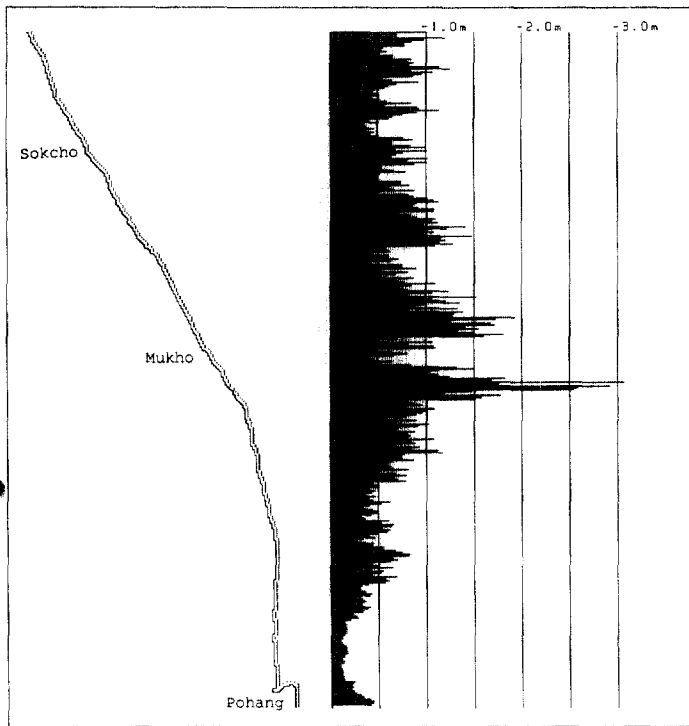
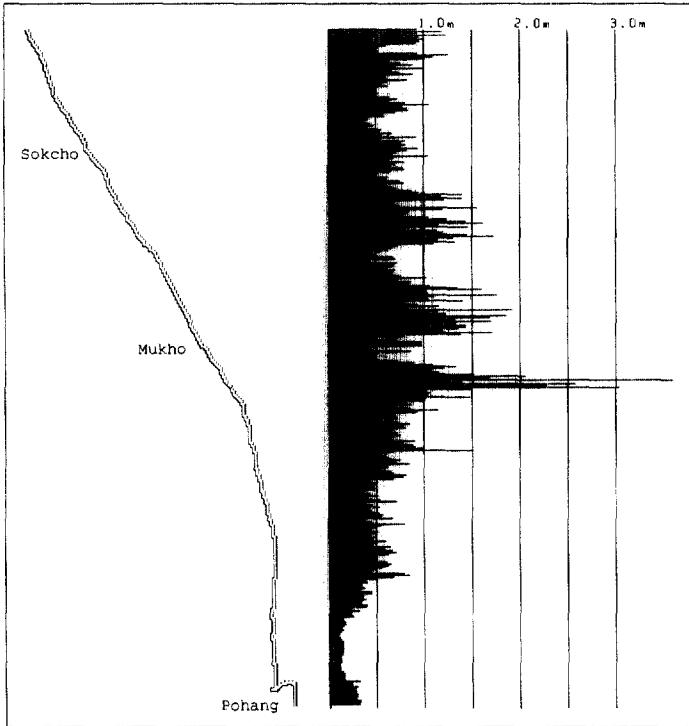


그림 7. 연안에서의 최고, 최저 수위분포(B 영역)

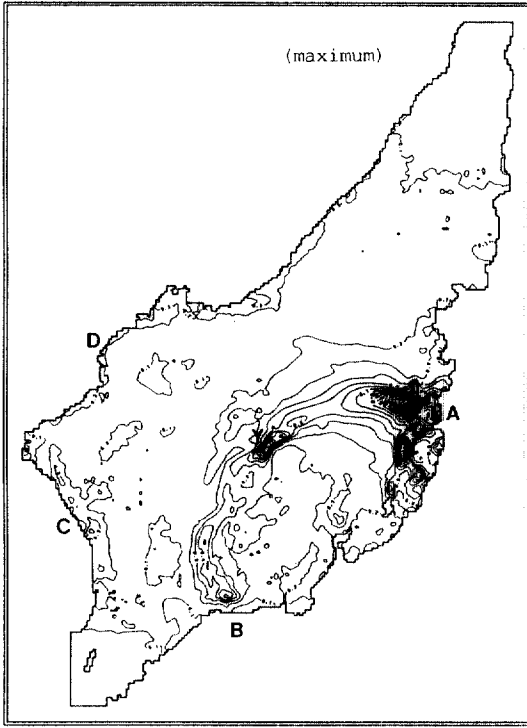


그림 8. 최고 수위의 등값선圖(O 영역)

一次的으로 東海全域의 細格子體系를 취하는 方法보다 格子크기의 調節에 의해 細分格子의 連結에 의한 物理的 分散效果를 數值分散效果로 代置시키는 方法을 취하였다. 算定된 數值模型의 結果인 쓰나미의 높이分布는 우리나라 東海中部沿岸에서의 觀測된 結果와 定性的인 一致를 보였으며 最終的인 run-up 및 氾濫模型 역시 臨院港의 氾濫상황을 잘 再現시켰다. 쓰나미의 波及 또한 우리나라 東海岸으로의 大和堆에 의해 進行經路가 크게 變化되는 양상과 海底地形에 의해 韓國 東海岸의 中部地域에 에너지가 集中되어 臨院에서 最大波高가 나타나는 렌즈 效果가 本 研究에 採擇된 細格子 體系의 數值模型에서 滿足스럽게 再現되었다. 이 에너지 集中效果는 最高水位에 相應하는 最低水位를 역시 誘發시키므로 이 海域에 位置한 原子力 發電所의 取水運用的 觀點에서 詳細한 考察이 必要하다.

謝 辭

本 研究는 部分的으로 成均學院院 및 CRAY UNI-

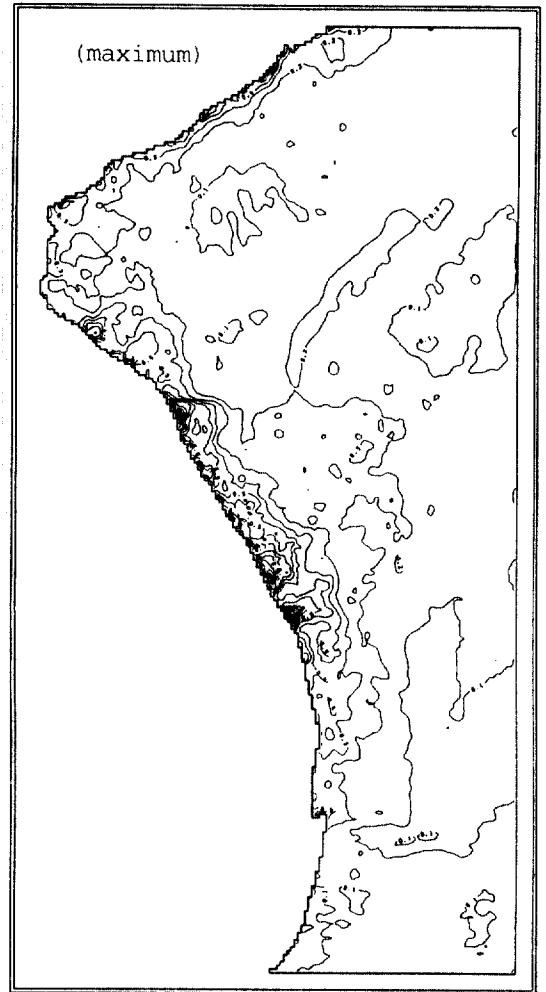


그림 9. 최고 수위의 등값선圖(A 영역)

VERSITY R&D GRANT PROGRAM에 의해 지원 받았다.

또한 本 研究는 成均館大學校 土木工學科와 日本 東北大 災害制御센터가 國際災害輕減 10年 프로그램에 寄與하는 國際 쓰나미學會의 TIME(Tsunami Inundation Modeling Exchange)프로그램의 一環으로 遂行되고 있는데 東海全域의 細格子體系의 實時間 쓰나미 豫警報를 Supercom을 이용해 遂行하는 研究가 현재 계속되고 있다.

參 考 文 獻

1. 秋教昇, "日本近海에서 發生한 地震海溢이 우리나라

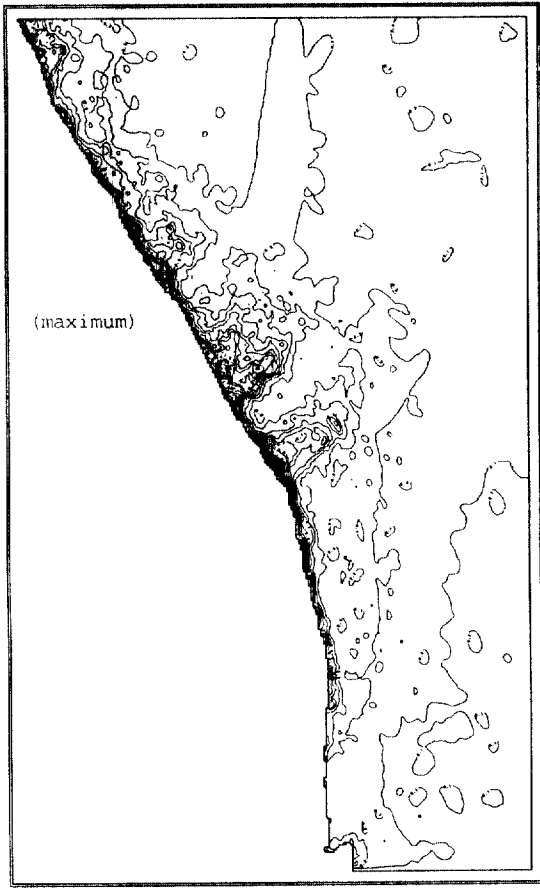


그림 10. 최고 수위의 등값선圖(B 영역)

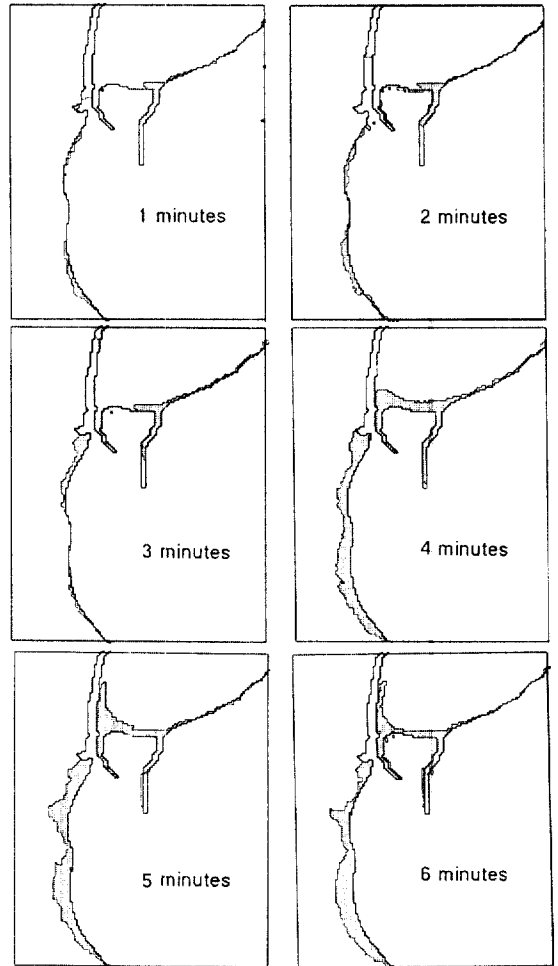


그림 11. 쓰나미에 의한 입원항의 침수과정

- 라 近海에 미친 影響”, IUGG 韓國委員會 學術發表論文抄錄, 1984, pp. 3-7.
2. Tsuji, Y., W.S. Baek, K.S. Chu and H.S. An, “Report of 1983 Nihonkai-Chubu earthquake tsunami along the coast of the Republic of Korea”, Review of Res. for Disaster Prevention, Nat.Res.Center for Disaster Prevention, No. 90, 1984, p.96.
 3. 日本土木學會, “1983年 日本海中部地震震害調査報告書”, 1986.
 4. Murty T.S., “Seismic sea waves-tsunamis”, Bulletin of Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, 1977. p.337.
 5. “Tsunamis”, *Proceedings of the National Science Foundation Workshop*, Tetra Tech Inc. Pasadena, CA, 1979.
 6. “Tsunami Research Opportunities”, An Assessment and Comprehensive Guide NSF/NOAA Washington, D.C., 1981.

7. Shuto, N., Suzuki, T., Hasegawa, K. and Inagaki, K., “A study of numerical technique on the tsunami propagation and run-up”, *Science of Tsunami Hazard*, Vol. 4, 1986, pp. 111-124.
8. Satake, K. and Shimazaki, K., “Free oscillation of the Japan Sea excited by Earthquakes-I. Observation and wave-theoretical approach”, *Geophysical Journal*, Vol. 93, 1988, pp. 451-456.
9. Satake, K. and Shimazaki, K., “Free oscillation of the Japan Sea excited by Earthquakes-II. Modal approach and synthetic tsunamis”, *Geophysical Journal*, Vol. 93, 1988, pp. 457-463.
10. Tsuji, Y., “Comparison of observed and numerically calculated heights of the 1983 Japan Sea tsunami”, *Science of Tsunami Hazards*, Vol. 4, No.

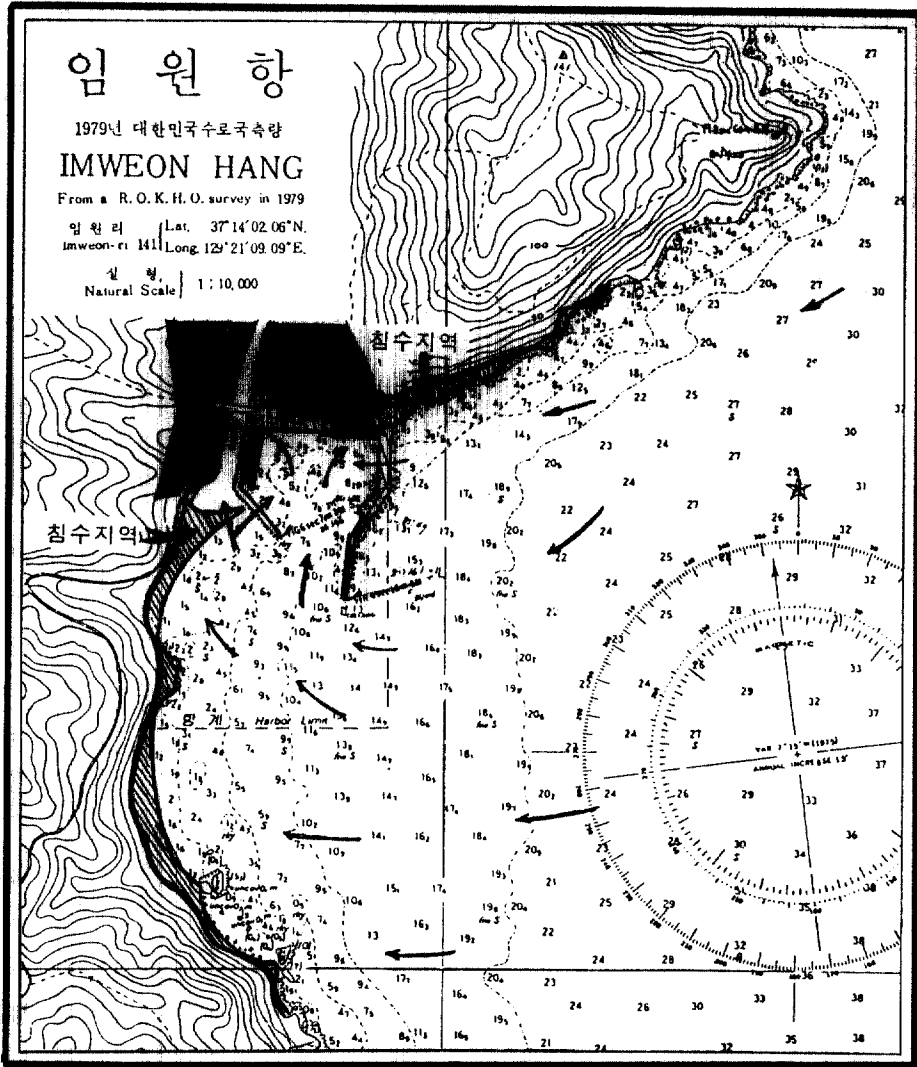


그림 12. 쓰나미에 의한 임원항의 실제 침수역

- 2, 1986, pp. 91-111.
11. 韓國電力公社 技術研究院, “發電所構造物에 미치는 地震海溢의 影響研究”, 1991.
12. An, H.S. and Chun, S.Y., “An analysis of records of high tides along the Korean coast from 1392 to 1903”, Proceedings of International Tsunami Symposium, 1989.
13. 秋教昇, “韓國에서 發生한 地震海溢(Tsunami)現象”, 韓國海岸·海洋工學會 1992年度 定期學術講演會 發表論文抄錄集, 1992, pp. 92.
14. 秋教昇, “韓國沿岸에서 發生한 暴風, 地震海溢에 對하여”, 交通部 水路局, 1987, pp. 53-88.
15. 高尙남, “러시아의 쓰나미 觀測體系”, 韓國海岸海洋工學會 招請講演, 1992.
16. Pelinovsky, E.N., “May 26, 1983 tsunami in the sea of Japan”, IUGG Tsunami Symposium, 1985.
17. Shuto, N., “Numerical simulation of tsunami-Its present and near future”, *Natural Hazard*, Vol. 4, 1991, pp. 171-191.
18. Kajiwara, K., “The leading wave of a tsunami”, *Bull. Earthquake. Res. Inst.*, Vol. 41, 1963, pp. 535-571.
19. Imamura, F., “Possibility of tsunami numerical forecasting”, Doctoral dissertation, Tohoku Univ.,

Japan, 1989.

20. 相田 勇, "1983 日本海中部地震津波の波源数値モデル", 月刊海洋科学, Vol. 16, No. 9, 1984, pp. 496-502.
21. Shimajaki, K. and Mori, J., "Focal mechanism of May 26, 1983 Japan Sea Earthquake", *Progr. Ab-*

str. Seism. Soc. Japan, Vol. 2, No. 15, 1983.

22. Mansinha, L. and Smylie, D.E., "The displacement fields of inclined faults", *Bull. of Seismo. Sec. of America*, Vol. 61, No. 5, 1971, pp. 1433-1440.

(接受 : 1993. 3. 29)