

# 이동경계를 이용한 지진해일의 최대범람구역 추산 Estimation of Maximum Inundation Zone due to Tsunamis with Moving Boundary

조용식\* · 서승원\*\*

Cho, Yong-Sik\* and Suh, Seung-Won\*\*

**요 旨** : 지진해일 또는 조석과 같은 장파의 거동을 모의할 때 해안선의 위치는 파랑의 움직임에 따라 연속적으로 이동된다. 따라서, 수치모형에 이를 효과적으로 반영하기 위해서는 해안선을 파랑에 따라 이동시켜야 한다. 본 연구에서는 경사지형을 계단지형으로 단순화한 이동경계조건을 이용하여 해일이나 조석에 의한 최대범람구역을 결정한다. 이동경계조건을 이용하여 특정지역의 최대범람구역을 결정한 후 기존의 관측자료와 비교하였으며, 결정된 최대범람구역은 기존의 자료와 잘 일치한다.

**핵심용어** : 이동경계조건, 최대범람구역, 건조/침윤격자, 천수방정식, 지진해일

**Abstract** □ Along the shoreline a special treatment is required to simulate movement of periodic waves such as tsunami and tide because of continuous movement of shoreline as waves rise and recede. A moving boundary treatment is first proposed to track the movement of shoreline in this study. The treatment is then employed to obtain a maximum inundation area to be used for mitigation of coastal flooding. The obtained maximum inundation zone for a specific location is compared to that of available observed data. A reasonable agreement is observed.

**Keywords** : moving boundary condition, maximum inundation zone, dry/wet grid, shallow-water equations, tsunami

## 1. 서 론

역설적으로 많은 인명피해와 엄청난 재산피해를 초래한 자연재해는 과학자들에게 더욱 값지고 귀중한 정보와 자료를 제공한다. 1993년 7월 12일 동해에서 발생한 Hokkaido 남서부 지진해일에 관한 상세한 현장 관측자료와 연구자료를 바탕으로 일본에서는 지진해일에 대비한 대규모 연안방재작업을 하고 있으며, 미국에서도 해양대기국(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)을 중심으로 태평양 연안의 Alaska, California, Hawaii, Oregon 및 Washington주의 연안을

따라 발생 가능한 지진해일에 대비하여 기 발생했던 지진해일과 가상적인 지진해일을 수치모형으로 모의한 후 해안선을 따라 최대 범람구역을 설정하여 범람재해도를 작성함으로써 방재계획의 기준으로 사용하고 있다 (Gonzalez, 1999).

우리나라의 해안가 근처에 위치한 저지대에서도 지진해일 또는 이상고조와 같은 장파에 의한 범람으로 인명 및 재산피해가 발생해왔다. 특히, 최근 서해안에서는 조석과 폭풍해일(storm surge)에 의한 범람으로 인명피해는 없었을지라도 엄청난 재산피해가 발생하고 있다. 이와 같은 조석과 폭풍해일에 의한 범람은 역사적으로 우

\*한양대학교 공과대학 토목공학과 조교수(Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea)

\*\*군산대학교 해양과학대학 해양시스템공학과 교수(Professor, Department of Ocean System Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-702, Korea; E-mail: suh@kunsan.ac.kr)

리나라의 해안 전역에 걸쳐 발생하는데 주로 서해안의 저지대가 이러한 범람에 취약하다(최 등, 2000).

일반적으로 지진해일이 수심이 상대적으로 얇은 해안선 근처에 접근하면 파랑에너지 보존에 따른 천수효과(shoaling effect)에 의해 엄청난 높이의 처오름(run-up)과 처내림(run-down)을 발생시킨다. 지진해일의 처오름은 범람(flooding)을 유발시켜 엄청난 인명과 재산피해를 초래할 수 있으며, 처내림은 해수면의 수위를 강하시켜 원자력발전소와 임해 화력발전소의 취수구에서 냉각수 취수의 중단과 공기흡입에 따른 압력 surging 현상에 따른 엄청난 재앙을 초래할 수 있으므로 지진해일에 관한 연구는 매우 중요하다. 본 연구는 이동경계 조건을 이용한 지진해일의 처오름과 최대범람구역 결정에 국한하며, 처내림은 본 연구의 범위에서 제외시킨다.

일정한 주기를 갖는 지진해일 또는 조석에 해안선에 근처에 도달하면 파랑은 해안선을 따라 연속적으로 처오름과 처내림을 반복한다. 따라서, 수면과 육지가 만나는 지점으로 정의되는 해안선, 즉 육지와 물과의 경계가 시간적으로 변화하게 된다. 유한차분법 또는 유한요소법을 이용한 수치모형에서 해안선 처리에 관한 많은 연구가 있으나 크게 두 방법으로 구분할 수 있다(Lynch와 Gray, 1978). 첫 번째 방법은 해안선을 따라 인위적인 수직벽을 설치하여 해안선을 통한 유체의 흐름을 강제로 차단하는 방법이다. 이 방법은 해안선이 이동하지 않을 뿐만 아니라 해안선에 가상의 수직벽이 존재하기 때문에 해안선에서의 처오름높이와 최대범람구역을 직접 결정할 수 없어 실용적이지 못하다. 두 번째 방법은 해안선을 적용하는 수치기법에 알맞게 여러 개의 작은 계단으로 나누어 유체의 흐름에 따라 이동시키거나 혹은 자연 경사하에서 전파되는 파랑에 따라 최소수심(10 cm) 내에 잠기는 절점을 찾아내는 방법 등이 있다. 이러한 방법은 수치모형에 해안선의 이동기법을 포함시키는 과정이 다소 복잡하지만 비교적 정확한 수치해를 제공할 뿐만 아니라 실제 상황과도 부합된다. 더욱이, 해안에서의 최대 처오름높이와 최대범람구역을 직접 결정할 수 있어 매우 실용적이다.

국내에서 이동경계를 고려한 해안에서의 수치모형화에 대한 연구는 많지 않으며, 최병호 등(1989)은 금강하구의 조석과 토사이동에 관한 유한수치모형을 실시하는 과정에서 이동경계를 고려하였으며, 조용식과 윤태훈(1996)은 유한차분법을 적용하여 이동경계를 고려하였고, 정태성과 김창식(1992), 서승원과 박원경(1996)은 유

한요소법을 이용한 해역에서의 조석전파 실험에서 이동경계 처리가 고려되었다.

본 연구에서는 지진해일 또는 조석과 같은 장파에 의한 해안지역에서의 국지적인 범람을 수치모형으로 모의한 후 이를 이용하여 최대범람도(maximum inundation map)를 작성한 예를 제시하고자 한다. 개발된 방법을 이용하여 1960년 칠레 지진해일에 의한 하와이에서의 최대범람도를 작성한다. 작성된 최대범람도는 지진해일 또는 조석에 의한 범람이 예상될 때 관계당국에서 이용하여 범람으로 인한 피해를 최소화할 수 있을 것이다.

## 2. 지배방정식과 이동경계조건

지진해일 또는 조석과 같은 장주기를 갖는 파랑이 해안선 근처로 접근해 오면 분산항의 상대적인 중요성은 급격히 작아지는 반면에 비선형 이송효과와 바닥마찰저항의 영향은 매우 커진다. 따라서, 해안선 근처에서의 장파의 거동은 비선형 천수방정식(nonlinear shallow-water equations)에 의해 지배된다. 아울러, 본 연구에서는 국부적인 범람에 의한 범람도 작성을 연구하기 위해 상대적으로 작은 영역에 국한하므로 Coriolis 효과는 고려하지 않는다(Cho와 Liu, 1999).

본 연구에서는 다음과 같은 바닥마찰저항을 고려한 비선형 천수방정식을 지배방정식으로 사용한다(Ramming과 Kowalik, 1980).

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{PQ}{H} \right) + gH^2 \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gn^2}{H^{7/3}} P(P^2 + Q^2)^{1/2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{Q^2}{H} \right) + gH^2 \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gn^2}{H^{7/3}} Q(P^2 + Q^2)^{1/2} = 0 \quad (3)$$

방정식 (1)-(3)에서  $\zeta$ 는 자유수면변위(free surface displacement),  $P$ 와  $Q$ 는 각각  $x$ 축과  $y$ 축 방향의 체적흐름율(volume flux), 즉  $P = u(h + \zeta)$ 와  $Q = v(h + \zeta)$ 이며,  $h$ 는 초기 정지수면(still water level)상의 수심,  $H$ 는 전체수심, 즉  $H = h + \zeta$ 이다. 식 (2)와 (3)에서 바닥마찰저항은 Manning 공식을 이용하여 표현하였으며,  $n$ 은 조도계수로 주로 실험에 의해 결정되며, Reynolds수와 바닥표면 상태 등에 의해 큰 영향을 받는다. 바닥마찰저항을 Chezy 공식을 이용할 경우에는 식 (2)와 (3)의 마

지막 항을 수정하면 된다.

본 연구에서 식 (1)-(3)의 선형항은 leap-frog기법을 이용하여 차분화하며, 운동량방정식의 비선형항은 풍상차분기법(upwind scheme)을 이용하여 선형화한다. 아울러, 유한차분기법에서 공간과 시간에 대하여 모두 교호격자(staggered grid system)를 사용한다. 따라서, 연속방정식과 운동량방정식을 해석하면 한 쌍의  $\zeta$ ,  $P$  및  $Q$ 를 계산하게 된다. 아울러, 초기수심은  $\zeta$ 와 동일한 격자에서 정의되며,  $P$ 와  $Q$  격자에서의 초기수심은 이웃한  $\zeta$  격자의 초기수심으로부터 구한다. 식 (1)-(3)의 유한차분식과 교호격자에 관한 설명은 조와 윤(1996) 및 Cho와 Liu(1999) 등에서 찾을 수 있으므로 여기서는 생략한다.

유한차분법을 이용하여 수치계산을 수행하기 위해서는 전체영역을 일정한 수의 격자로 이산화(discretization)해야 하며, 초기에는 모든 영역에서 자유수면변위와 체적흐름율이 0이 된다. 또한 초기의 해안선은 전체수심, 즉 수심과 자유수면변위의 합이 0이 되는 곳을 연결한 선으로 정의된다. 본 연구의 수치모형에서는 혼란을 방지하기 위해 격자가 육지에 속할 때는 수심은 0보다 작은 값을 갖도록 하며, 초기수심은 정지수면(SWL, still water level)상의 수심으로 주어진다.

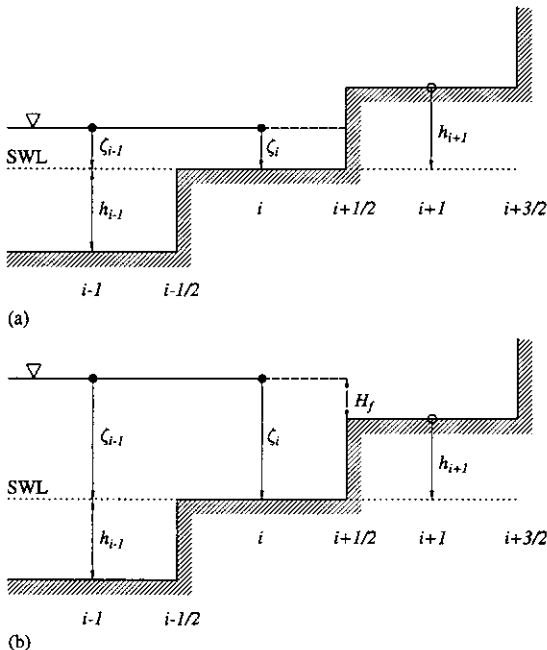


Fig. 1. A schematic sketch of the moving boundary treatment.

Fig. 1은 이동경계조건을 설명하기 위한 단순화된 계단지형을 보여주고 있다. 초기에 정지수면(SWL)보다 높은 격자, 즉 건조격자(dry grid, 격자  $i+1$ )는 전체수심  $H$ 가 0보다 작은 값을 가지며, 정지수면보다 아래에 존재하는 격자, 즉 침윤격자(wet grid, 격자  $i-1, i$ )는 전체수심  $H$ 가 0보다 큰 값을 갖는다. 따라서, 건조격자와 침윤격자의 경계는 초기의 해안선을 형성하게 된다. 계단 높이는 실질적으로 유한차분법에 의한 격자의 크기에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 큰 격자를 사용할 경우 계단의 크기가 커질 수 있으며, 너무 작은 격자를 사용할 경우에는 계단의 크기가 지나치게 작아질 수 있으므로 주의해야 한다.

본 연구의 수치모형에서는 먼저 연속방정식을 해석하여 전 영역에서의 자유수면변위를 계산한다. 이 때 초기의 건조격자, 즉 전체수심이 0보다 작은 격자의 자유수면변위는 계속 0을 유지하게 되는데, 이는 주변격자의 체적흐름율이 0이기 때문이다. 다음으로, 연속방정식에서 새로이 계산한 자유수면변위를 이용하여 해안선의 격자를 수정한다. 즉, Fig. 1을 이용하여 해안선에서의 전체수심이 육지방향의 다음 격자로 해안선의 이동이 가능한가를 검사하며, 이 때 운동량방정식을 이용하여 체적흐름을  $P$ 와  $Q$ 를 계산한다.

이동경계조건에서 발생 가능한 두 경우, 즉 해안선이 육지방향으로 이동하지 않는 경우와 이동하는 경우에 대하여 간단히 설명한다. Fig. 1에서와 같이 실제 경사지형은 계단지형으로 단순화되었으며, 격자  $i-1, i$  및  $i+1$ 에서는 자유수면변위를, 격자  $i-1/2, i+1/2$  및  $i+3/2$ 에서는 체적흐름을 각각 계산한다. Fig. 1(a) 경우에서 격자  $i$ 는 침윤격자이므로 초기에 전체수심  $H$ 는 0보다 큰 값을 갖는 반면에, 격자  $i+1$ 는 건조격자이므로 전체수심  $H_{i+1}$ 은 0보다 작은 값을 갖는다. 또한, 해안선은 격자  $i$ 와  $i+1$  사이에 존재하며, 격자  $i+1/2$ 에서의 체적흐름  $P_{i+1/2}$ 은 0이므로 해안선은 육지방향으로 이동하지 않는다. Fig. 2(b) 경우는 입사파의 영향으로 수면이 상승한 것으로, 격자  $i+1/2$ 에서의 체적흐름  $P_{i+1/2}$ 은 0보다 큰 값을 갖게 된다. 따라서, 격자  $i$ 와  $i+1$  사이에 존재하던 초기의 해안선은 육지방향으로 이동한다.

이동경계를 이용하여 수치계산을 수행하는 동안 모든 격자에 대하여 위의 과정을 반복하게 되면 많은 컴퓨터 사용시간을 필요로 하게 되므로 매우 비경제적이다. 따라서, 범람 우려가 전혀 없는 산악지형 등과 같은 높은 지역에 대해서는 적절한 한계고도를 미리 설정하여

이동경계조건의 적용에서 제외시키는 것이 경제적이며 또한 효율적이다. 본 연구에서는 비록  $x$ 방향에 대해서만 기술하였으나  $y$ 방향에 대해서도 동일한 방법을 적용할 수 있다.

아울러, 바닥마찰저항을 고려할 경우에는 식 (2)와 (3)에 나타난 것과 같이 분모항에 전체수심을 포함하고 있어, 특히 해안선 근처의 격자에서 전체수심이 매우 적은 값을 갖는 경우에 바닥마찰저항이 매우 커지게 되어 비현실적인 해를 얻을 수 있으므로, 전체수심에 관

한 최소 한계값을 미리 지정해 두는 것이 바람직하다.

본 연구에서 사용된 이동경계는 기존의 이동경계기법과는 달리 섬과 같은 독립된 해저지형이 있는 경우에도 매우 양호한 결과를 제공한다. 또한, 기존의 조석모형에서 사용되었던 이동경계(최병호 등, 1989; 정태성과 김창식, 1992; 서승원과 박원경, 1996)와는 달리 최대범람구역을 설정할 수 있다. 본 연구에서 사용된 수치모형에 관한 보다 상세한 설명은 Liu 등(1995)을 참조할 수 있다.

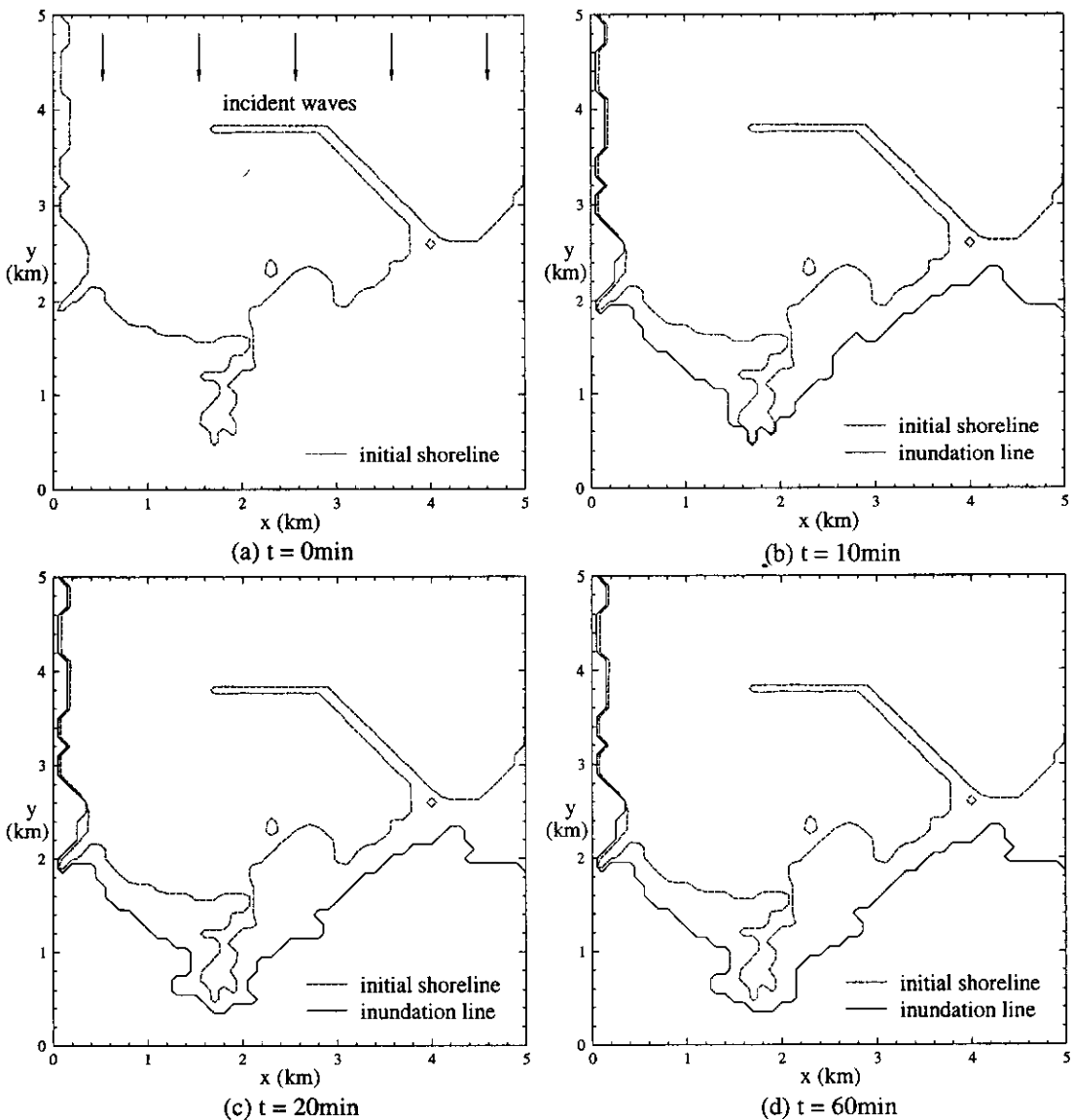


Fig. 2. (a)-(d). Generation of maximum inundation map at Hilo Bay, Hawaii.

### 3. 최대범람구역 결정

본 장에서는 이동경계를 고려한 수치모형을 이용하여 조석이나 지진해일과 같은 장파에 의한 최대범람구역을 결정하는 방법을 간략히 기술한다. 조석이나 지진해일은 비록 일정한 주기를 갖더라도 지형의 특성과 파랑의 입사방향 등에 의해 시간에 따라 계속 변화하기 때문에 범람구역을 작성할 때는 이를 고려해야 한다. 따라서, 최대범람구역은 한 번이라도 물에 잠긴 흔적이 있는 부분은 모두 포함하여 작성해야 한다.

유한차분법에 근거한 수치모형으로 조석 또는 지진해일에 의한 최대범람구역을 결정하기 위해서는 다음과 같은 간단한 algorithm을 이용하면 매우 편리하다. 먼저, 모든 격자에 (-1)의 값을 부과한다. 다음에 연속방정식에 의해서 계산되는 자유수면변위와 정지수면에서의 수심을 이용하여 격자가 단 한 번이라도 물에 잠기게 되면 격자는 (+1)의 값을 갖도록 한다. 따라서, 수치계산이 끝나면 모든 격자는 (-1) 또는 (+1)의 값을 갖게 된다. 저장된 격자값에 대하여 plotting software를 이용하여 (+1)과 (-1)의 경계를 구분하는 선을 그릴 수 있으며, 이 선이 곧 최대범람구역을 나타내는 선이 된다. 또한, 최대범람구역을 연결하는 선에서의 높이가 그 지점에서의 최대 초오름높이가 된다. 이와 같은 방법을 이용하면 물에 한 번이라도 잠겼던 부분은 모두 범람구역에 포함되므로 적극적으로 최대범람구역을 결정할 수 있다.

Fig. 2는 지배방정식 (1)-(3)을 유한차분법으로 해석한 수치모형을 하와이섬의 Hilo Bay에 적용하여 시간의 변화에 따른 최대범람도를 작성하여 도시한 것이다. Fig. 2(a)에 나타난 것과 같이 파랑은 외해, 즉 ( $0 \leq x \leq 5$  km,  $y = 5$  km)에서 입사하며, 입사파는 자유수면변위가  $\zeta = 3.0 \sin(0.002\pi t)$ 인 파랑이다. 따라서, 입사파는 진폭 3.0 m, 주기 1,000 sec로 Mader와 Curtis(1991)가 이동경계 조건을 검증하기 위해 사용한 파랑이다. 수치모형에서 외해경계에는 방사경계조건이 적용되었으며, 해안선을 따라서는 이동경계조건이 설정되었다(Liu 등, 1995; Cho와 Liu, 1999).

Fig. 2에 나타난 것과 같이 최대범람도는 시간의 경과에 따라 육지 방향으로 이동하고 있음을 알 수 있으며 모의시간이 60 min이 지난 후에는 더 이상 변하지 않았다. 따라서, 모의시간 60 min 동안 입사파에 의한 Hilo Bay에서의 최대범람도이다. 참고로, 최대 초오름높

이 또는 파랑이 닿는 최대 높이는 최대범람구역으로부터 구할 수 있다. 즉, 최대 초오름높이는 Fig. 2(d)에 적절한 간격으로 등고선을 그린 후 최대범람도가 통과하는 인접한 두 개의 등고선을 선정하여 내삽(interpolation)하여 구할 수 있다.

### 4. 적용사례 - 1960년 칠레 지진해일

본 장에서는 이동경계를 고려한 수치모형을 1960년 칠레에서 100 km 떨어진 해저에서 발생한 지진에 의한 야기된 지진해일에 적용한다. 1960년 칠레지진에 의해 발생한 지진해일은 칠레는 물론 하와이제도와 일본에서도 엄청난 인명 및 재산피해를 초래하였으며, 특히 하와이섬에 위치한 Hilo Bay에서는 61명의 인명피해와 약 2,400만 달러(1960년 기준)의 재산피해가 발생하였다(Lander와 Lockridge, 1989).

Fig. 3은 칠레연안에서 발생한 지진해일이 태평양을 가로질러 하와이섬의 Hilo Bay에 도달한 후 연속하여 초오르내리는 과정을 속도벡터를 이용하여 나타낸 것이다. Lander와 Lockridge(1989)에 따르면 지진해일의 초기파는 발생 후 15시간 후에 하와이섬에 도착하였으며, 약 1시간 30분 가량 지속적으로 초오르내림을 반복한 것으로 보고되었다. 또한, 지진해일은 Fig. 3의 상단과 오른쪽 방향에서 입사하였다.

Fig. 3(a)와 (b)에 나타난 것과 같이 초기에는 비교적 파고와 속도가 작은 파랑이 입사하여 방파제를 월류하는 파랑이 없이 회절하여 항만내로 입사하는 것을 알 수 있다. 그러나 시간이 지남에 따라 지진해일의 유속이 커지면서 방파제를 직접 월류하여 항내로 진입하고 있음을 알 수 있다(Fig. 3(c)와 (d)). 특히, 방파제의 선단부근에서는 단면이 좁아지는 관계로 유속이 매우 커짐을 알 수 있다.

그림에서 알 수 있는 것과 같이 초기에는 해안선을 범람하는 파랑이 없으나 시간이 지남에 따라 일부 지진해일이 해안선을 넘어 육지로 이동하는 것을 알 수 있다. Houston(1978) 및 Mader와 Curtis(1991)에 따르면 지진해일의 주기는 대략 30분이었으며, 이는 Fig. 3에서도 대략 일치함을 알 수 있다. 속도벡터로부터 시간의 변화에 따라 범람위치와 형태가 계속 변화하고 있음을 알 수 있으며, 앞에서 언급한 것과 같이 최대범람구역은 이와 같이 한 번이라도 물에 잠겼던 부분은 모두 포함하여야 한다.

마지막으로, Fig. 4는 발생한 최대범람구역을 이동경계조건을 포함한 수치모형으로 계산하여 도시한 것이다. Lander와 Lockridge(1989)에 따르면 지진해일에 의한 최대범람구역은 대체로 지반고 6 m의 등고선과 일치하는 것으로 관측되었다고 한다. 관측 결과와 본 연구의 결과의 차이는 관측 결과에 포함된 오류, 격자의 크기가 복잡한 현장여건을 나타내기에는 다소 큰 것 및 수치기법에 의한 오차 등에 기인한 것으로 판단된다. 그럼

에도 불구하고, Fig. 4에서 수치모형에 의해 계산된 최대범람구역은 전체적으로 지반고 6 m의 등고선과 매우 잘 일치하고 있다. 따라서, 본 연구에서 사용된 이동경계조건은 실제문제에서도 매우 만족할 만한 결과를 제공하고 있다.

본 연구에서는 최대범람구역을 구하는 것이 주된 관심이었기에 칠레 지진해일의 태평양 전파과정과 전파모형 및 범람모형의 연계운용 등에 관한 서술은 생략하

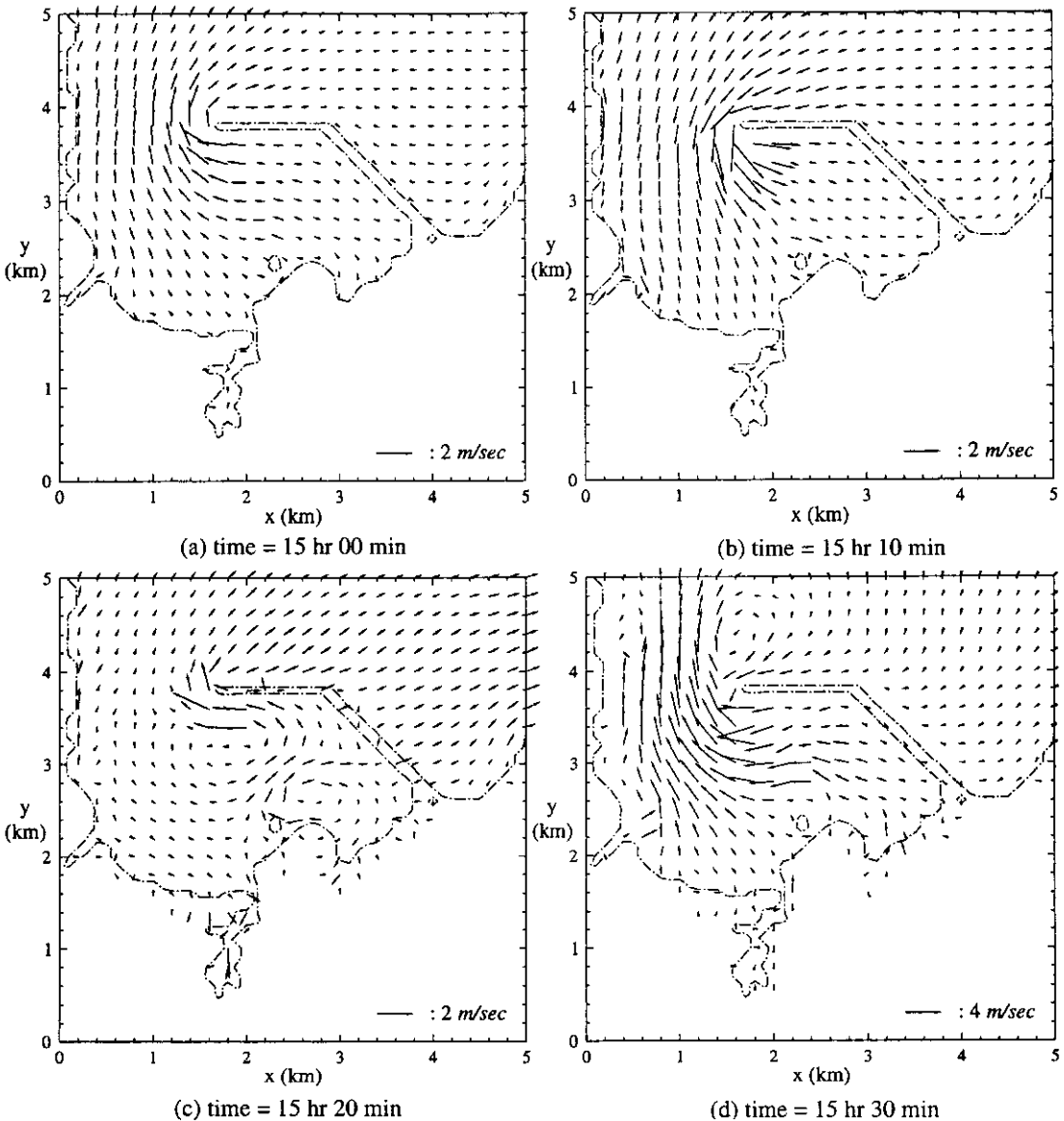


Fig. 3. (a)-(d). Snapshots of velocity vector distribution.

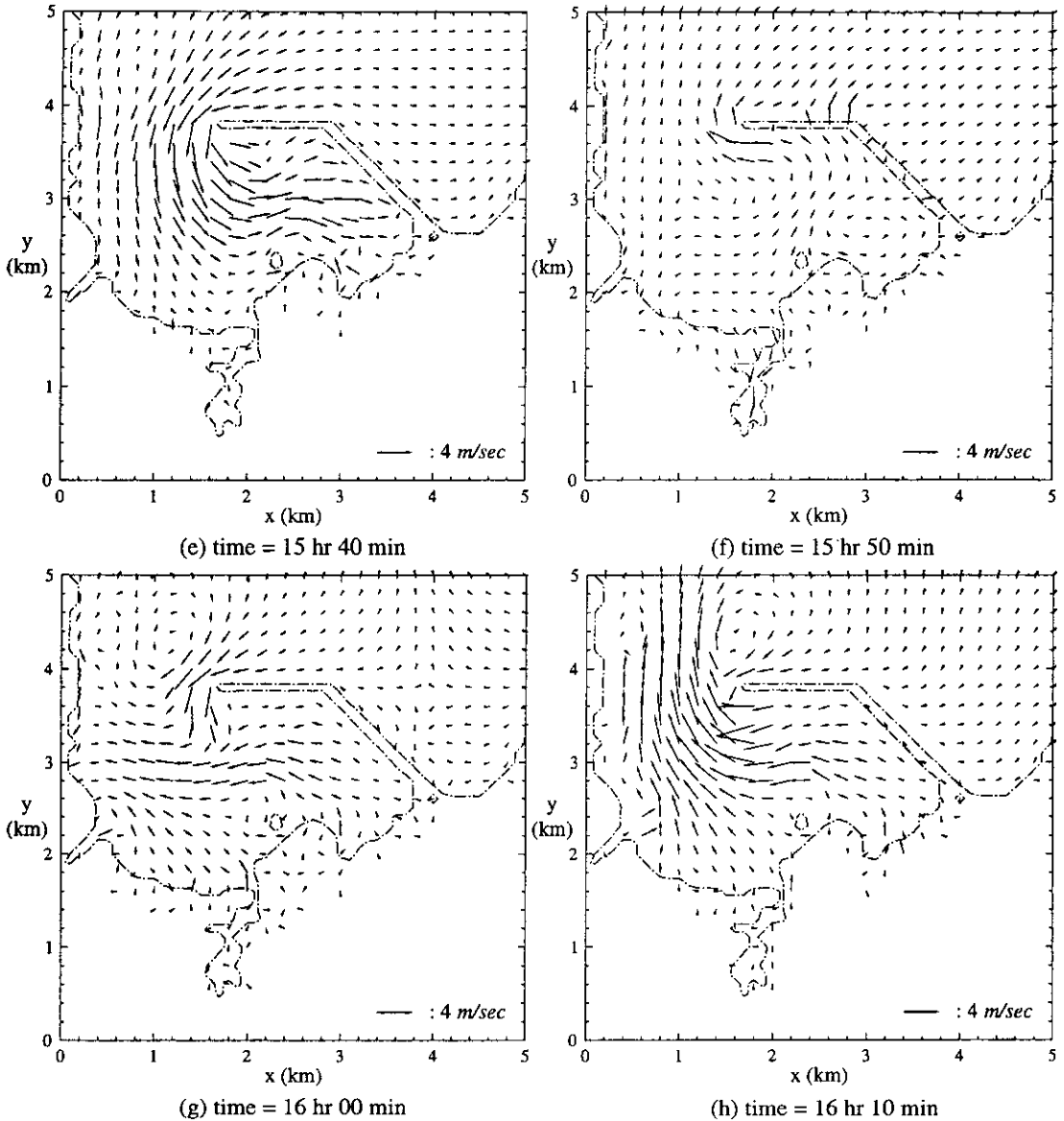


Fig. 3. (e)-(h). Snapshots of velocity vector distribution.

였으나, 이들에 관한 보다 상세한 설명은 Liu 등(1993; 1995)을 참조할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 실제지형을 계단지형으로 단순화하여 해안선에서의 입사파의 처오르내림을 연속적으로 추적하기 위한 이동경계조건을 이용하여 조석 또는 지진해일과 같은 주기파에 의한 해안지역의 최대범람구역을 결

정하였다. 이동경계조건을 이용한 수치모형에 의한 수치해는 관측결과와 비교하여 매우 만족할만한 결과를 제공하고 있다.

아울러, 이동경계조건을 사용하면 해안선을 따라 최대 처오름높이를 결정할 수 있으므로 지진해일과 조석 등에 의한 범람피해를 줄이기 위한 방재작업계획 등에 효과적으로 이용될 수 있을 것이다.

우리나라 근해에는 해저지진이 매우 빈번하게 발생하고 있을 뿐만 아니라 최근 서해안에는 조석에 의한 범

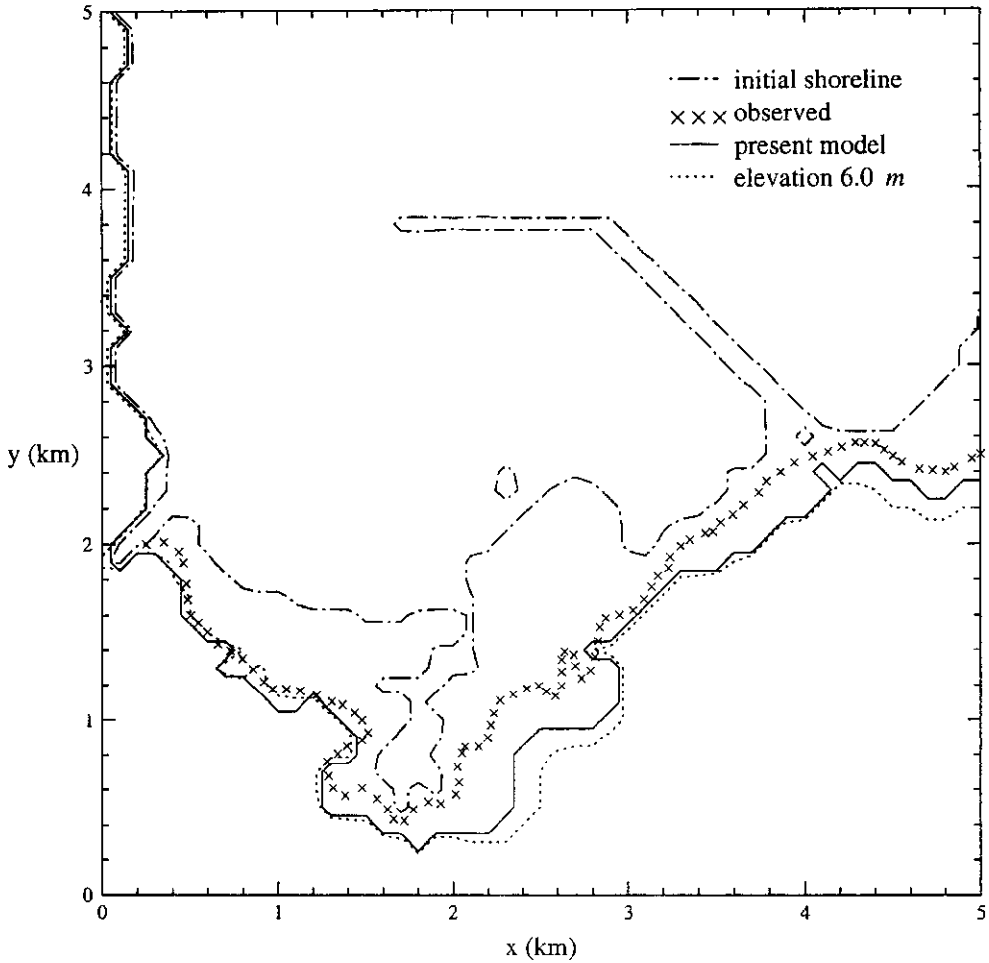


Fig. 4. Comparison of maximum inundation zones at Hilo Bay, Hawaii.

람으로 많은 재산피해가 발생하고 있다. 지진해일과 조석과 같은 장파에 의한 범람으로부터 인명과 재산피해를 최소화하기 위해서는 이미 발생하였거나 발생 가능성이 높은 지진해일 또는 조석을 수치해석하여 본 연구에서의 같은 최대범람도를 작성하여 범람으로 인한 피해가 예상될 때 관계기관에서 이용하여 주민들을 대피시키는 것이 가장 경제적이며 바람직하다.

더욱이, 우리나라 연안에는 많은 인구밀집지역과 섬들이 산재해 있을 뿐만 아니라 모든 원자력발전소와 항만시설들이 위치하고 있어 지진해일과 조석에 의한 범람피해에 항상 노출되어 있으므로 이에 대비한 방재작업은 반드시 수행되어야 한다. 또한, 본 연구에서는 지진해일의 처내림에 관해서는 언급하지 않았으나 이는 원자력발전소나 임해 화력발전소의 취수구의 높이를 결정

하는 매우 중요한 물리적 변수이므로 추후 상세히 연구되어야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 해양수산부 2000년 해양한국발전프로그램 연구개발사업(사업명: 서해연안의 방재시스템구축에 관한 기초연구)으로부터 재정적 지원을 받았기에 이에 사의를 표합니다.

### 참고문헌

서승원, 박원경, 1996. "조간대 모의를 위한 2차원 유한요소해석", 한국해양해양공학회지, 8(1): 103-113.



- 정태성, 김창식, 1992. "이동경계를 고려한 유한요소 천수 유동모형", 한국해양해양공학회지, 4(3): 146-155.
- 조용식, 윤태훈, 1996. "경사지형에서의 이동경계조건", 대한토목학회논문집, 16(2-1): 73-81.
- 최병호, 강경구, 이석우, 1989. "금강하구의 조석 및 토사이동", 한국해양해양공학회지, 1(1): 31-43.
- 최병호, 윤성범, 조용식, 2000. "해안재해 경감대책", 방재연구, 2(2): 4-18, 특집기사.
- Cho, Y.-S. and Liu, P.L.-F., 1999. "Crest length effects in near-shore tsunami run-up around islands", *Journal of Geophysical Research*, 104, pp. 7907-7913.
- Gonzalez, F.I., 1999. "Tsunami", *Scientific American*, May, pp. 56-65.
- Houston, J.R., 1978. "Interaction of tsunamis with the Hawaiian islands calculated by a finite-element numerical model", *Journal of Physical Oceanography*, 8, pp. 93-102.
- Lander, J.F. and Lockridge, P.A., 1989. United States tsunamis, Department of Commerce, USA.
- Liu, P.L.-F., Cho, Y.-S., Briggs, M.J., Kanoglu, U. and Synolakis, C.E., 1995. "Run-up of solitary wave on a circular island", *Journal of Fluid Mechanics*, 302, pp. 259-285.
- Liu, P.L.-F., Cho, Y.-S., Yoon, S.B. and Seo, S.N., 1995. "Numerical simulations of the 1960 Chilean tsunami propagation and inundation at Hilo, Hawaii", in *Tsunami: Progress in Prediction, Disaster Prevention and Warning*, pp. 99-115.
- Liu, P.L.-F., Yoon, S.B., Seo, S.N. and Cho, Y.-S., 1993. "Numerical simulations of tsunami inundation at Hilo, Hawaii", *Proceedings of IUGG/IOC International Symposium*, pp. 257-269, Yakayama, Japan.
- Lynch, D.R. and Gray, W.G., 1978. "Finite element simulation of shallow water problems with moving boundaries", *Proceedings of the 2nd International Conference on Finite Elements in Water Resources*, edited by C.A. Brebbia, W.G. Gray and G.F. Pinder, pp. 2.23-2.42.
- Mader, C.L. and Curtis, G.D., 1991. *Numerical modeling of tsunami inundation of Hilo Harbor*, JIMAR Contribution No. 91-251, University of Hawaii, USA.
- Ramming, H.G. and Kowalik, Z., 1980. *Numerical modelling of marine hydrodynamics*, Elsevier Scientific Publishing Co.