

쓰나미의 外洋傳播 Trans-Oceanic Propagation of Tsunami

김양근*, 최병호**

1. 서론

지난 1995년 7월 30일 칠리 북측해안(23.4°S, 70.2°W)에서 발생한 진도 8.2(Mw = 8.2 ± 0.16)의 지진에 의한 쓰나미는 태평양을 가로질러 일본해안까지 전파되어 다시 한번 일본에서 遠地 쓰나미의 내습에 따른 해안재해의 경각심을 일으켰다. 본 연구에서는 역사적으로 큰 피해를 유발시킨 1883년의 크라카토아 화산 폭발에 의한 쓰나미, 1960년 칠리 발파라이소 해역의 쓰나미, 1964년 알라스카 Prince William Sound에서의 쓰나미의 외양전파(trans-oceanic propagation)를 쓰나미 수치 시뮬레이션 모형에 의해 산정하고, 그 결과를 과학가시화 기법에 의해 정연한 컴퓨터 그래픽 비디오 애니메이션으로서 작성하였다. 과거에 세계적으로 보고된 쓰나미의 외양전파 모형의 격자체계는 10분 간격이 가장 세격자 체계의 산정모형이었으나, 본 연구에서는 전 지구 수심 database인 DBDB5의 전 자료를 채택하여 5분 간격 해상도(5 minute resolution)을 갖는 격자체계에 의한 산정을 수행하였다. 가시화된 결과는 쓰나미의 외양전파 과정을 생생하게 재현시킬 수 있었다.

2. 外洋傳播 쓰나미 모형

본 연구에서 사용된 수치모형의 지배방정식은 다음과 같다.

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

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \phi} \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} = fN$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \phi} = -fM$$

여기서 ϕ 는 緯度, λ 는 經度, η 는 水位, M, N은 經·緯度 방향의 線流量, g 는 重力加速度, h 는 正지수면에서의 水深, f 는 偏向力 係數(= $2\omega \sin \phi$)이다. 이를 $\Delta \phi$ 와 $\Delta \lambda$ 의 격자상에서 Leap Frog 法에 의해 差分하여 그 解를 구한다(Shato,1991). 외양전파 산정을 위한 세 쓰나미의 경우의 수치모형 구성 및 계산조건은 Table 1.에 제시되어 있다.

* 성균관대학교-해양연구소 학연과정

** 성균관대학교 공과대학 토목공학과

<Table 1.> Numerical condition for tsunami propagation

	Krakatau Tsunami	Chile Tsunami	Alaska Tsunami
Computation Area	지구 남반구 전체	120°E~295°E, 60°S~65°N	105°E~295°E, 0°N~65°N
Grid resolution	$\Delta\phi = \Delta\lambda = 5 \text{ min}$	$\Delta\phi = \Delta\lambda = 5 \text{ min}$	$\Delta\phi = \Delta\lambda = 5 \text{ min}$
Total Grid Number	4201 x 1080 = 4,537,080	2100 x 1500 = 3,150,000	2280 x 780 = 1,778,400
Time Step	5 sec	5 sec	6 sec

3. 초기 파형

3.1 크라카토아 쓰나미의 초기파형

화산폭발당시에 쓰나미가 어떠한 원인으로 발생되어졌는가는 정확하게 알수가 없으나 지질학적, 지구물리화학적 조사와 인근 Sumatra와 Java섬의 목격자들의 증언을 토대로 추정해 볼수 있다. 이 쓰나미는 3가지 정도의 발생기구가 가정되어지고 있다(Yokoyama, 1981, 1987; Simkin-Fiske, 1983; Nomanbhoy 와 Satake, 1993). 첫번째는 섬자체가 분출되어 떨어지는 바위들의 충격에 의한 것이고, 둘째는 수면아래의 물이 수증기폭발로 인한 수면의 급상승에 의한것, 세번째로는 Caldera에 의해 주변의 수괴가 급유입되면서 발생하는 것이 있다. 본 연구에서는 지질, 지구물리화적으로 가장 신뢰성이 있다고 생각되는 Caldera형태(Kawamata등, 1992)의 초기조건을 가정하여 실험하였다.

3.2 칠리 쓰나미의 초기파형

본 쓰나미의 초기파형은 Mansinha & Smylie가 제시한 단층이론에 따라 지진 발생시 헤저면의 연직 변위량을 산정하고 이를 그대로 초기수면파로 사용한다. 여기서 단층 parameter는 Table 2.와 같은데 Kanamori와 Ciper 外(1974)가 제시한 진원모델을 채택하였다.

<Table 2.> Fault parameter for the Chile Earthquake in 1960

fault length	fault width	dip direction	dip angle	slip angle	dislocation
60.0 km	30.0 km	355.0°	25.0°	80.0°	3.05 m

3.3 알라스카 쓰나미의 초기파형

이 地震으로 인한 쓰나미의 初期 波形은 海底 地殼 變位와 동일한 것으로 가정하여 Plafker의 海底 地殼 變位 contour를 digitizing한 후 interpolation하여 사용하였다.

4. 산정결과

Tabel 1.에 제시된 바와 같은 방대한 수의 격자체계에서의 모형산정이 이루어 졌으며 산정결과인 쓰나미의 외양전파는 매 시간간격의 격자점 수위자료를 저장시켜 이를 영상화시켰으며 이 일련의 영상들을 비디오 녹화를 하여 동화화 시켰다. 산정된 외양전파 시뮬레이션의 일부결과가 본 초록집의 표지와 뒷면에 제시되어 있다.

5. 결 론

외양전파의 쓰나미 경우는 슈퍼컴에 의해 단시간에 산정될 수 있으며 Near-realtime rendering 을 시킬 수 있는 과학 기술 가시화 체계를 이용하면 쓰나미의 예경보를 더 현실감있게 수행할 수 있는 단계에 이른 것으로 판단된다. 물론 쓰나미를 발생시킨 해저지진의 신뢰성있는 진원모형과 해안에서의 월파고 추정에 있어서는 아직도 현존의 계산능력이 부족한 상황이다. 또한 외양 쓰나미의 산정은 슈퍼컴의 능력을 현실문제로서 BMT(Bench Mark Test)할 수 있는 하나의 좋은 과제로서 제시되는데 vectorizing, multi-tasking, parallel computation등의 문제들을 두루 검토할 수 있다.

참고문헌

- 今村 文彦, 後藤 智明, 首藤 伸夫. 遠地震波に對する傳播計算の檢討- 1964年 アラスカ震波の外洋傳播計算
- Chili Tsunami Joint Survey Group, 1961. Report on the Chilean Tsunami of May 24, 1960, as observed along the coast of Japan. Maruzen co., Ltd, Tokyo.
- Choi. B.H., Lee. H.J., Imamura, F. and Shuto, N., 1993, Computer animation of marine process-tsunami events, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 5, No.1, pp.19-24
- Kanamari, H. and Ciper, J. J. 1974 Focal process of the great Chilean earthquake, May 22, 1960. Phy. Earth Planet, Vol. 9, pp128-136.
- Kawamata, S., Imamura, F and Shuto, N. 1993. Numerical Simulation of the 1883 Krakatau Tsunami, Proceedings of 20th IAHR, Tokyo, Japan.
- Nakamura, S. 1984. A numerical tracking of the 1883 Krakatan Tsunami. Science of Tsunami Hazard, Vol. 2, No. 1, pp. 41-54
- National Academy of Sciences, 1972. The Great Alaska Earthquake of 1964.
- Nomanbhoy, N. and Satake, K., 1993. Numerical computations of tsunami from the 1883 Krakatau eruption, Tsunami '93 Proceeding of the IUGG/IOC International Tsunami Symposium.
- Plafker, G. 1969. Tectonics of the March 27, 1964, Alaska Earthquake. U.S. Geological Survey Professional Paper 543-I, Washington : Government Printing office, 74p
- Shuto N. 1991. Numerical simulation of tsunamis - its present and near future. Natural Hazard 4 : 171-191
- Simskin, T. and Fiske, R.S. 1983. Krakatan1883, eruption and its effects. Smithsonian Institution Press, 464p.
- Yokoyama, I. 1981. A geophysical interpretation of the 1883 Krakatan eruption. J. Volcanology and Geothermal Research, Vol. 9, pp.339-378
- Yokoyama, I. 1987. A scenario of the 1883 Krakatau tsunami. J. Volcanology and Geothermal Research, Vol. 34, pp123-132