

# 일본 지진공백역에서의 지진해일이 우리나라의 남동연안에 미치는 영향분석

김도삼\* · 김지민\*\* · 이광호\*\*\* · 손병규\*\*\*\*

\*한국해양대학교 건설환경공학부

\*\*한국해양대학교 대학원 토목환경공학과

\*\*\*일본 나고야대학 공학연구과 사회기반공학전공 수공학강좌

\*\*\*\*국립수산물연구원

## Analysis of the Effects on the Southeastern Coast of Korea by a Tsunami Originating from Hypothetical Earthquake in Japan

DO-SAM KIM\*, JI-MIN KIM\*\*, KWANG-HO LEE\*\*\* AND BYOUNG-KYU SON\*\*\*\*

\*Division of Construction and Environmental Engineering, Korea Maritime University, Busan, Korea

\*\*Department of Civil and Environmental Engineering, Graduate school, Korea Maritime University, Busan, Korea

\*\*\*Department of Civil Engineering, Nagoya University, Nagoya, Japan

\*\*\*\*National Fisheries Research and Development Institute, Busan, Korea

KEY WORDS: Hypothetical earthquake 지진공백역, Tsunami 지진해일

**ABSTRACT:** The hypothetical earthquake located on the fault zone along the western coast of Japan, where sufficient time has elapsed since the last earthquake or an earthquake has not occurred yet, is known to possess significant potential energy. The possibility of earthquake activities occurring here in the future is high. It is expected that the resulting tsunamis will cause great damage to the East Sea coast of Korea and affect parts of the southern coast as well. In this study, tsunami that may be caused by a virtual earthquake that is expected in the hypothetical earthquake, along the western coast of Japan, will be estimated using numerical simulation. From this, the effect of the tsunami originating from the hypothetical earthquake on the southeastern coast of Korea will be evaluated by examining the water level rise due to the maximum water level rise and changing time, for each point along the southeastern coast. It will be possible to use the virtual results obtained like this as important basic materials in future disaster prevention plans and designs, for determining the direction of coastal development, for arranging seashore and harbor structures and to carry out wave resistant design for the southeastern coast of Korea.

### 1. 서 론

우리나라는 일본의 근해에 존재하는 지진대에서 다소 떨어져 있기 때문에 지진이 발생할 경우에도 지진해일에 의한 피해는 크지 않을 것으로 여겨져 왔다. 그러나, 일본의 서측근해에서 발생한 1983년의 동해중부지진이나 1993년의 북해도남서외해지진과 같이 일본의 서부연안지역에 발생한 강진에 의해 발생한 강력한 지진해일이 우리나라의 동해연안에 큰 영향을 입혔다.

일본의 서측근해에서 발생한 1983년의 동해중부지진이나 1993년의 북해도남서외해지진에 의한 지진해일이 우리나라의 동해연안에 미친 영향에 관해 동해연안에서의 수위변동, 전파시간 등과 같은 지진해일의 특성을 검토하여 관측치와 비교한 연구는 다소 수행되었다(윤성범 등, 2002; 최병호와 이호준, 1993; 최병호 등, 1994; 2006; 양금석, 2007). 그러나, Fig. 1에 나타내는 지진공백역에서 지진해일의 발생 및 그의 영향에 대한 연구는

충분히 수행되어 있지 않은 실정이다. 지진공백역은 지진의 발생기간이 충분히 경과되었거나 아직 지진이 발생하지 않은 일본 서측연안의 단층대에 위치하며, 상당한 잠재에너지를 가지고 있으므로, 향후 지진활동이 발생할 가능성이 매우 높은 지역이다. 지진공백역에서 지진해일의 발생시에 우리나라의 동해연안과 남부연안의 일부에도 피해가 예상되고 있다.

본 연구에서는 Ishikawa(1994)가 제안한 지진공백역을 적용하여 일본 서부연안의 지진공백역에 주어지는 가상의 지진에 의한 지진해일을 수치시뮬레이션으로부터 예측한다. 이로부터 얻어진 결과와 우리나라의 동해연안에 영향을 미친 기존의 지진해일에 대한 관측치와 비교하고, 더불어 남동부연안의 각 지점에 있어서 최대수위상승고와 시간에 따른 수위변화 등을 검토하여 지진공백역에서 발생한 지진해일이 우리나라의 남동연안에 미치는 영향을 평가한다.

이상에서 얻어진 가상의 결과는 우리나라의 남동연안에서 향후 연안방재의 계획 및 설계, 연안개발의 방향, 해안·항만구조물의 배치 및 내파설계 등에 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

교신저자 김도삼: 부산광역시 영도구 동삼2동 051-410-4463 kimds@hhu.ac.kr

## 2. 수치해석이론

### 2.1 기초방정식

지진해일의 기초방정식은 각각 Navier-Stokes 운동방정식과 연속방정식으로 주어지며, 지진해일과 같은 장파의 운동은 이의 두 식을 연직방향으로 적분한 천수방정식으로 표현된다. 지진해일의 거동은 초기조건으로서 해면의 변위분포를 주고 두 방정식을 시간의 경과에 따라 해석함으로써 지진해일의 거동특성을 수치적으로 표현할 수 있다. 여기서 압력은 정수압분포로 되고 수평유속은 연직방향으로 균등한 분포로 된다. 본 연구에서는 지진해일의 수치모형실험을 위하여 다음의 연속방정식 (1)과 비선형장파방정식 (2), (3)을 적용한다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (3)$$

여기서,  $x, y$ 는 수평방향으로 취한 좌표계,  $g$ 는 중력가속도,  $\eta$ 는 수면변위,  $n$ 은 Manning의 조도계수,  $M, N$ 은  $x, y$ 방향의 유량,  $D$ 는 수심  $h$ 와 지진해일에 의한 수면변위  $\eta$ 를 합한 전수심이다.

본 연구에서 적용하는 지진해일의 수치해석모델은 연속방정식 및 운동방정식의 공간차분에 엇갈림격자를, 시간차분에 Leap-frog법을 이용하여 기본방정식을 유한차분화한다.

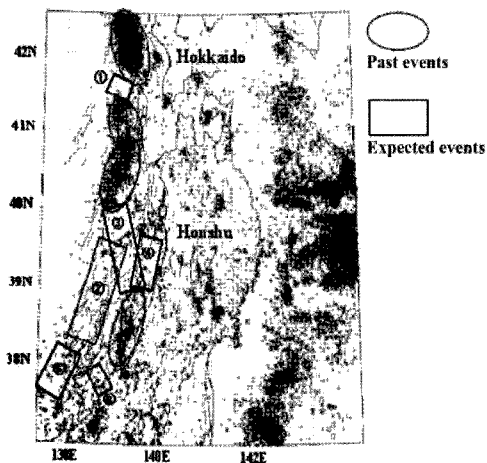


Fig. 1 Location of hypothetical earthquake

### 2.2 지진해일의 거동특성 및 단층파라미터

지진해일은 해저지진이나 해저지반의 Sliding, 해저화산활동 등으로 말미암아 지층의 수직이동(단층활동)으로 생기는 대단히 긴 주기를 갖는 해양파이다. 발생된 지진해일은 연안에 가까워짐에 따라 천수, 굴절, 반사, 회절, 공진(부진동) 등에 의해 변형되며, 만이나 항구에서 상당한 수위상승 또는 진동을 유발시켜 해안의 저지대를 침수시키고 해안 및 항만구조물에 심각한 피해를 준다.

지진해일의 수치계산에서는 초기조건으로 지진단층모델을 사용하여 해저지각변동의 연직성분을 해면상에 주는 방법을 사용하고 있으며, 여러 단층파라미터의 정의에 대한 자세한 사항은 양금석(2007)을 참고하길 바란다. 단층근방의 해저면(지표면)에서 연직변위분포는 탄성론을 기초로 한 Mansinha and Smylie(1971)의 방법에 의해 계산한다.

단층의 연직변위를 해면의 수위로 사용하여 지진해일의 수치계산에서 초기조건으로 사용하는 경우에 실제의 지진단층운동은 수 초에서부터 100초 정도의 지속시간을 갖지만, Aida(1969)에 의해 변동전체가 순간적으로 완료되는 것과 거의 차이가 없다는 것이 알려져 있다.

## 3. 수치해석

### 3.1 단일격자모델

전술한 기초방정식과 단층파라미터를 기초로 일본의 서측연안을 지나는 단층대에서 지진이 발생하지 충분한 시간이 경과되었거나 아직 지진이 발생하지 않아 상당한 잠재적인 에너지를 가지고 있는 지진공백역에 대해서 발생가능한 여러 종류의 지진에 의한 지진해일을 수치적으로 모의한다. 이 지진공백역은 향후 지진이 발생할 가능성이 높고, 이로 인한 지진해일 역시 상당할 것으로 판단되므로 가상의 지진에 대한 지진해일을 예측하여 우리나라의 연안에 어떠한 영향을 미칠 것인지 전파속도와 수위변동의 측면에서 검토한다.

대상영역은 지진이 발생하여 그로 인한 지진해일이 충분히 재현될 수 있도록 하기 위해 Fig. 2에 나타내는 바와 같이 좌하측의 격자점(경도 124°, 위도 30°)과 우상측의 격자점(경도 143°, 위도 47°)을 취하였고, Fig. 3의 수심은 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)에서 제공하는 1' 데이터(약 1.8km 간격)를 사용하여 결정하였다. 수심은 지진해일의 전파에서 가장 큰 변수로 동해상에는 최고 3.5~4km의 수심분포가 나타나며, 해저에 퇴적물질이 퇴적되어 형성된 얇은 구릉인 대화퇴에서 수심이 약 200~500m 정도로 상대적으로 아주 얇은 부분도 존재하고 있다. 따라서, 이와 같은 천퇴로 인한 파의 천수, 회절 및 굴절변형으로 지진해일의 전파양상이 상당히 변하게 된다. 계산시간은 지진해일의 영향을 충분히 고려할 수 있도록 지진의 발생시간부터 6시간 동안에 수치모의하였다. 지진해일의 계산에 있어서 수치모형의 상세한 계산조건을 Table 1에 나타낸다. 육지경계조건을 완전반사로 결정한 것은 연안에 도달한 지진해일 파고의 두 배가 해안사면을 쳐오르는 지진해일의 처오름고와 대략 동등하다는 쓰지와

코니시(1985)의 경험적 논리를 근거로 하였다.

지진공백역에서 가정된 여러 가지의 단층모델이 제안되어 있지만, 본 연구에서는 Table 2에 제시하는 Ishikawa(1994)의 6개의 공백역에 대해서 검토한다.

Fig. 4는 Table 2에 제시된 단층파라미터를 사용하여 도출된 수치해석의 결과 중에 지진해일의 전파속도에 대한 결과를 나타내고 있다. 6개의 공백역 모두 전파되는 양상은 상이하지만 전파속도는 대동소이하기 때문에 여기서는 대표적인 2개의 공백역에 대해서만 제시한다. 발생된 지진의 단층에 따라 대화퇴 부근에서 지진해일이 굴절 및 회절되는 현상을 확인할 수 있으며, 전파되는 양상이 다소 상이하지만 2개의 공백역 모두 지진이 발생하고 약 100분 정도 후에 처음으로 강원도 부근의

동해안에 내습하는 것을 알 수 있다. 포항은 약 130~140분, 울산은 약 150분 정도이며, 그 전파속도는 과거에 발생하여 우리나라에 영향을 미친 지진에 대한 해석결과와 비슷하게 나타나는 것을 알 수 있다(양금석, 2007).

Fig. 5는 각 공백역의 지진에 의한 지진해일에 있어서 영역 내의 최고수위분포를 나타낸 것이다. 그림을 살펴보면 에너지의 대부분이 러시아 방향으로 전파하는 것을 확인할 수 있고, 대화퇴의 부근에서 발생하는 회절현상으로 일본의 남쪽으로 전파되는 성분이 있음을 알 수 있다. 단층파라미터의 차이에 따라 각 공백역에서 상당한 수위분포의 차이를 나타내며, 공백역 1, 공백역 4, 공백역 6은 상대적으로 동해안에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 공백역 3은 일본의 연안에는 상당

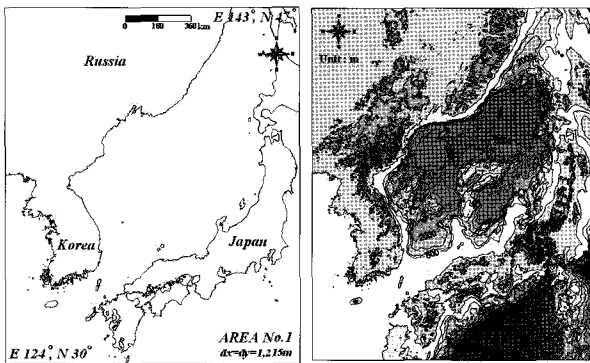
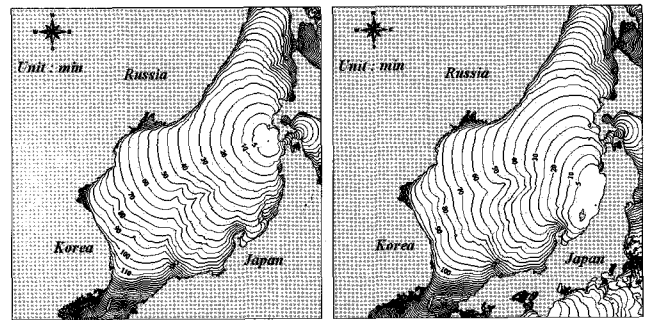


Fig. 2 Computation area Fig. 3 Distribution of depth



(a) Hypothetical earthquake 1 (b) Hypothetical earthquake 2  
Fig. 4 Propagation of tsunami

Table 1 Computation condition

$\Delta x$ (m)	$\Delta t$ (sec)	Number of mesh		Computation time (hr)	Boundary condition of land	Boundary condition of outside sea
		I mesh	J mesh			
1,215	4	1,333	1,629	6	Perfection reflection	Free transmission

Table 2 Fault parameters of hypothetical earthquake(Ishikawa, 1994)

Hypothetical earthquake	Latitude(°N)	Longitude(°E)	$H'$ (km)	$\Theta$ (deg)	$\delta$ (deg)	$\lambda$ (deg)	$L$ (km)	$W$ (km)	$u'$ (m)
1	41.7	139.2	3	110	45	100	45	25	2.3
2	38.3	138.5	1	23	35	90	140	50	5.0
3	39.4	139.2	1	105	45	90	100	50	3.1
4	39.3	139.9	1	105	45	90	100	50	3.1
5	37.9	137.9	1	15	20	90	70	40	3.2
6	37.8	138.8	1	190	55	90	60	20	1.9

Table 3 Maximum and minimum water levels due to hypothetical earthquake

Hypothetical earthquake	Position	Maximum and minimum water level (m)													
		Sokcho		Mukho		Imwon		Pohang		Ulsan		Busan		Masan	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1		-0.14	0.14	-0.12	0.11	-0.18	0.19	-0.05	0.06	-0.02	0.02	-0.01	0.02	-0.01	0.01
2		-0.95	0.75	-0.66	0.70	-1.00	1.59	-0.67	0.75	-0.38	0.48	-0.27	0.26	-0.12	0.14
3		-0.16	0.17	-0.14	0.18	-0.36	0.44	-0.42	0.40	-0.20	0.13	-0.12	0.10	-0.07	0.08
4		-0.06	0.06	-0.04	0.03	-0.07	0.05	-0.12	0.11	-0.05	0.05	-0.02	0.02	-0.02	0.01
5		-0.17	0.18	-0.15	0.16	-0.37	0.40	-0.26	0.26	-0.14	0.16	-0.07	0.07	-0.06	0.05
6		-0.03	0.04	-0.02	0.02	-0.05	0.04	-0.06	0.06	-0.03	0.04	-0.01	0.01	-0.02	0.02

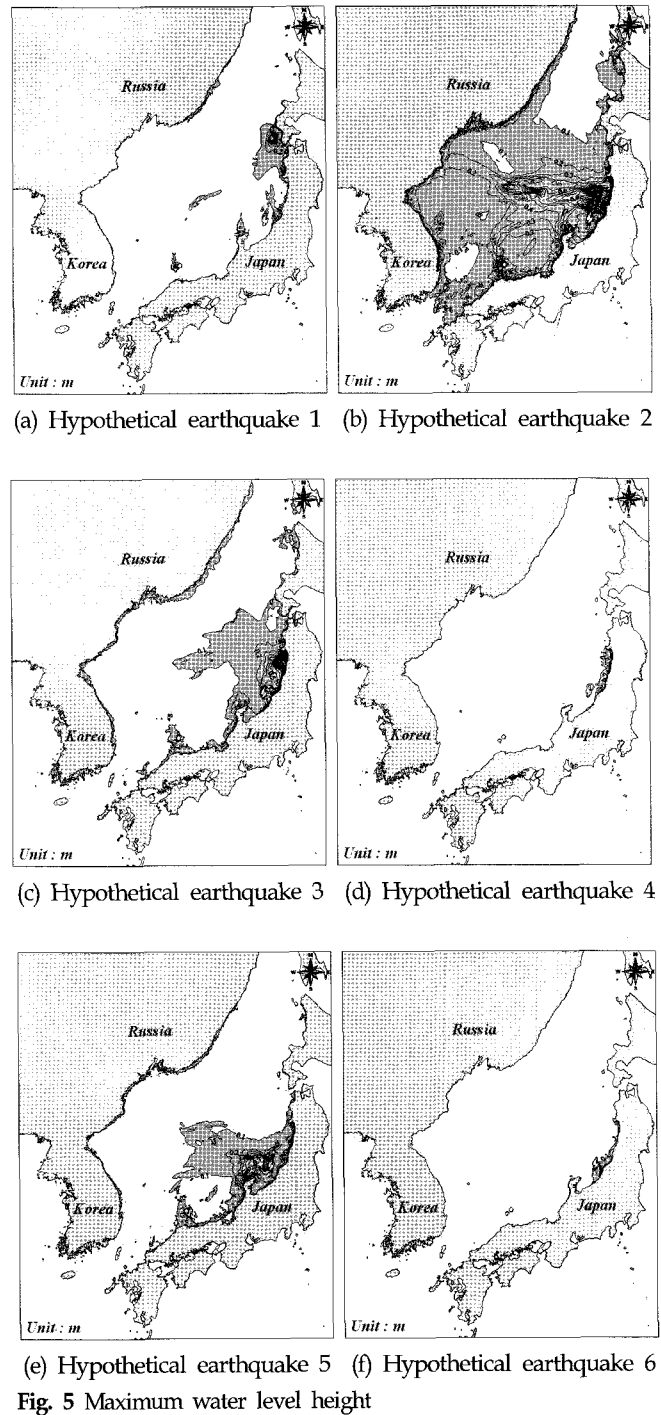
해일고를 발생시키지만 우리나라에는 그 영향이 비교적 적다고 볼 수 있고, 공백역 5의 경우 역시 상대적으로 우리나라의 연안에 미치는 영향이 적다는 것을 알 수 있다. 공백역 2의 경우가 가장 높은 수위분포를 나타내며, 동해안에도 상당한 해일고를 발생시킨다. 이 때의 최저 및 최고수위를 Table 3에 제시한다.

3.2 복합격자모델

단일격자모델은 계산이 용이하며 그 계산시간도 빠른 장점을 가지고 있는 반면에 천해역에서 수심이 얕아지면서 발생하는 천수효과를 충분히 재현할 수 없기 때문에 수위상승량에 상당한 차이가 발생하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 연구에서는 천해역에서 수심의 변화에 따라 큰 격자와 작은 격자를 동적연결하여 천수효과를 충분히 재현하고자 한다. 그리고, 연안에 도달한 지진해일고의 두 배가 해안사면을 저오르는 지진해일의 저오름고와 대략 동등하다는 경험적 논리에 근거한 완전반사의 육지경계조건의 대신에 본 연구에서는 지진해일이 육지에 도달함에 따라 육지경계를 이동시켜 저오름을 해석하는 이동경계조건을 적용한다. 전술한 지진공백역의 지진해일에 대한 결과를 나타낸 Table 3을 살펴보면 공백역 2가 6개의 공백역 가운데 우리나라의 연안에 가장 큰 수위상승량을 나타내기 때문에 6개의 공백역 가운데 공백역 2의 경우에 대해서만 복합격자모델을 적용하여 수치해석을 수행한다. 대상지역은 기존의 지진해일 가운데 동해안에 상당한 피해를 발생시킨 1983년의 동해중부지진과 1993년의 북해도남서외해지진에 의해 피해가 발생한 속초, 묵호, 삼척, 임원, 포항, 울산과 남해안의 부산 및 마산을 포함한 8개 지역에 대해서 지진해일의 전파속도 및 수위변동량 등을 예측하여 우리나라의 연안에 어떠한 영향을 미칠 것인지 검토한다.

대상영역은 Fig. 6에 제시하며, Fig. 7에 제 6영역의 수심을 나타낸다. 계산시간은 지진해일의 영향을 충분히 고려할 수 있도록 지진이 발생하는 시작시간부터 지역에 따라 6~12시간 동안에 Table 4의 조건들을 적용하여 수치모의하고, Table 2의 지진공백역에서 가정된 단층파라미터중에 가장 높은 수위상승량이 나타나는 공백역 2의 값을 사용한다.

Fig. 8은 Table 2에서 제시된 단층파라미터 가운데 공백역 2를 사용하여 도출된 수치해석의 결과에 있어서 제 1영역에 대한 지진해일의 전파속도와 최고수위분포에 대한 결과를 나타내고 있다. 지진해일의 전파과정을 살펴보면 대화퇴의 부근에



(a) Hypothetical earthquake 1 (b) Hypothetical earthquake 2  
(c) Hypothetical earthquake 3 (d) Hypothetical earthquake 4  
(e) Hypothetical earthquake 5 (f) Hypothetical earthquake 6  
Fig. 5 Maximum water level height

Table 4 Computation condition

Number of area	Mesh size (m)	Number of mesh								Boundary condition of land	Boundary condition of outside sea
		Sokcho	Mukho	Samcheok	Imwon	Pohang	Ulsan	Busan	Masan		
AREA NO.1	1,215	1333×1629								Perfection reflection	Free transmission
AREA NO.2	405	687×582									
AREA NO.3	135	405×480	363×444	369×450	435×753	174×210	306×198	300×291			
AREA NO.4	45	387×711	930×744	936×750	450×450	819×819	546×393	294×387	444×444		
AREA NO.5	15	258×348	594×894	600×900	150×216	744×744	894×774	564×562	378×786		
AREA NO.6	5	494×534	192×399	198×405	144×213	1284×1401	879×909	645×552	684×894		

서 지진해일이 굴절 및 회절되는 현상을 확인할 수 있으며, 지진이 발생하고 약 100분 정도 후에 지진해일의 제 1파가 강원도 부근의 동해안에 내습하며, 포항은 약 130~140분, 울산은 150분 정도로 그 전파속도는 과거에 발생하여 우리나라에 영향을 미친 지진에 대한 해석결과와 비슷하게 나타나는 것을 알 수 있다(양금석, 2007).

지진해일의 계산결과에서 제 1영역내의 최고수위분포는 지진해일이 갖는 에너지의 전파과정을 설명하는데 사용된다. 그림을 살펴보면 에너지의 대부분은 러시아 방향으로 전파하는 것을 확인할 수 있고, 대화퇴의 부근에서 일본의 남쪽으로 굴절되는 성분이 있음을 알 수 있다. 동해안은 수심이 상당히 깊기 때문에 영역내에서 수위는 공해상에서는 0.1~1.0m 정도의 분포를 확인할 수 있고, 진원지 부근의 초기수위는 약 4m 정도의 값이 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 제 6영역에서 최대수위분포를 나타낸 결과이다. Fig. 9(a)는 속초지역에서 최고수위분포를 나타낸다. 지진해일의 내습에 따라서 항외에서 약 0.8m, 항내에서 최고 약 1.1m의 수위상승량을 보인다. Fig. 9(b)는 묵호지역에서 최고수위의 공간분포를 나타낸 결과이다. 항입구와 항내에서 급변하는 수위분포가 나타나며, 최고 약 2.9m의 수위가 상승하는 것을 알 수 있다. Fig. 9(c)는 임원지역에서 최고수위분포를 나타낸 것으로, 임원항내에 지진해일이 내습함에 따라 수위가 상승하여 항내의 최고수위가 약 3.2m 정도까지 나타나며, 1983년의 동해중부지진시의 지진해일과 달리(국립방재연구소, 1998) 배후지로의 처오름은 발생하지 않는다. Fig. 9(d)에 삼척지역에서 수위분포를 나타낸 것이다. 항내에서 최고 약 1.1m의 수위상승량이 발생함을 알 수 있다. 포항지역에서의 최고수위분포를 Fig. 9(e)에 나타내고 있다. 지진해일의 내습에 따른 최고수위는 약

0.8m 정도인 것을 알 수 있다. Fig. 9(f)에 울산지역에서 최고 수위분포를 나타낸 것으로, 지진해일의 내습에 따른 최고수위는 약 1.1m 정도이며, 이는 1983년의 동해중부지진과 1993년의

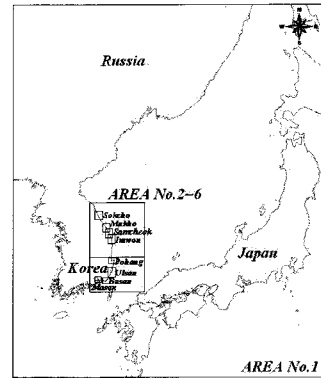


Fig. 6 Computation area

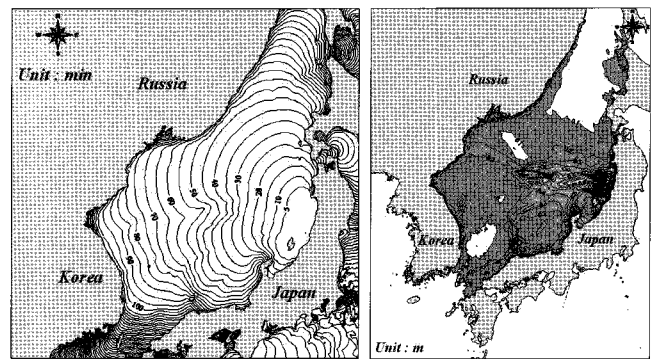


Fig. 8 Maximum water level height and propagation of tsunami

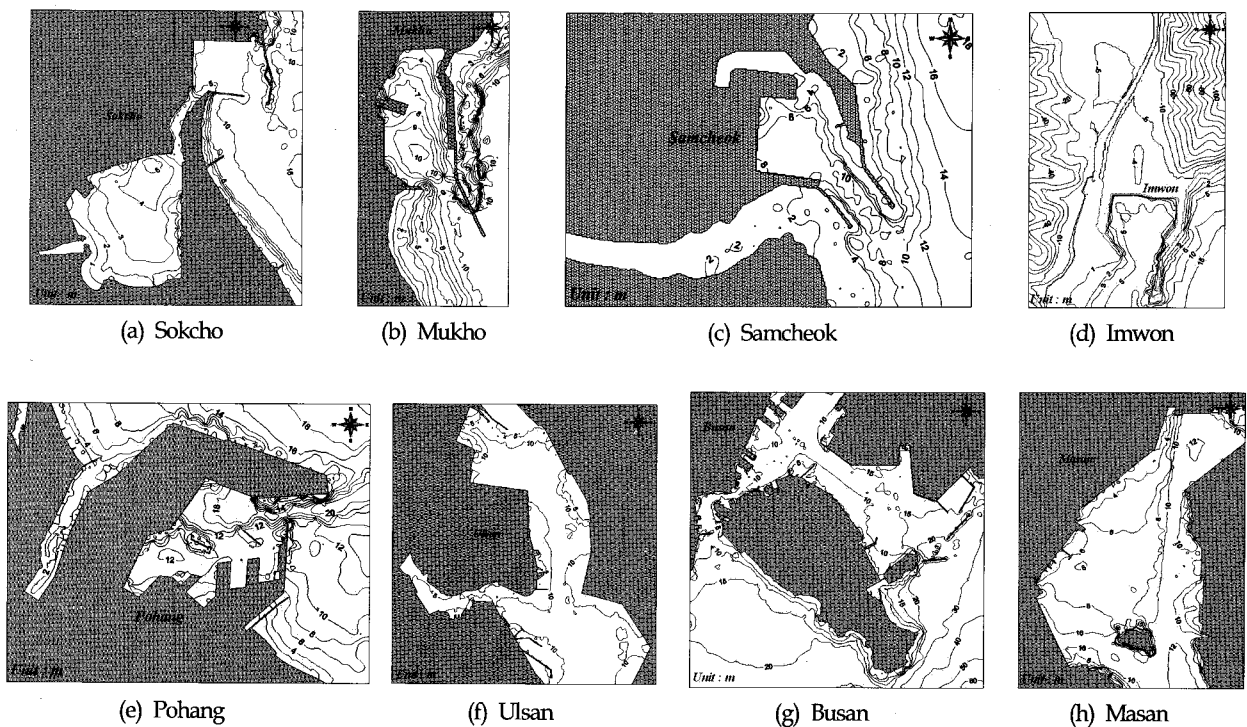


Fig. 7 Distribution of depth at each region

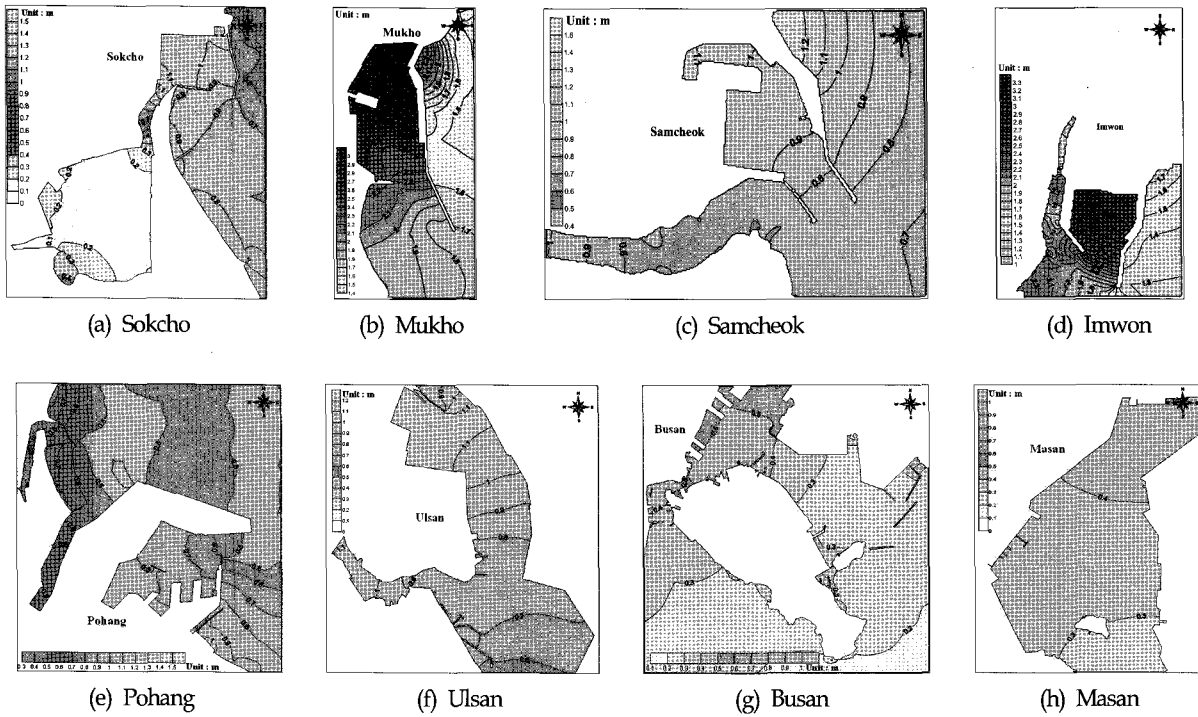


Fig. 9 Maximum water level height at each region

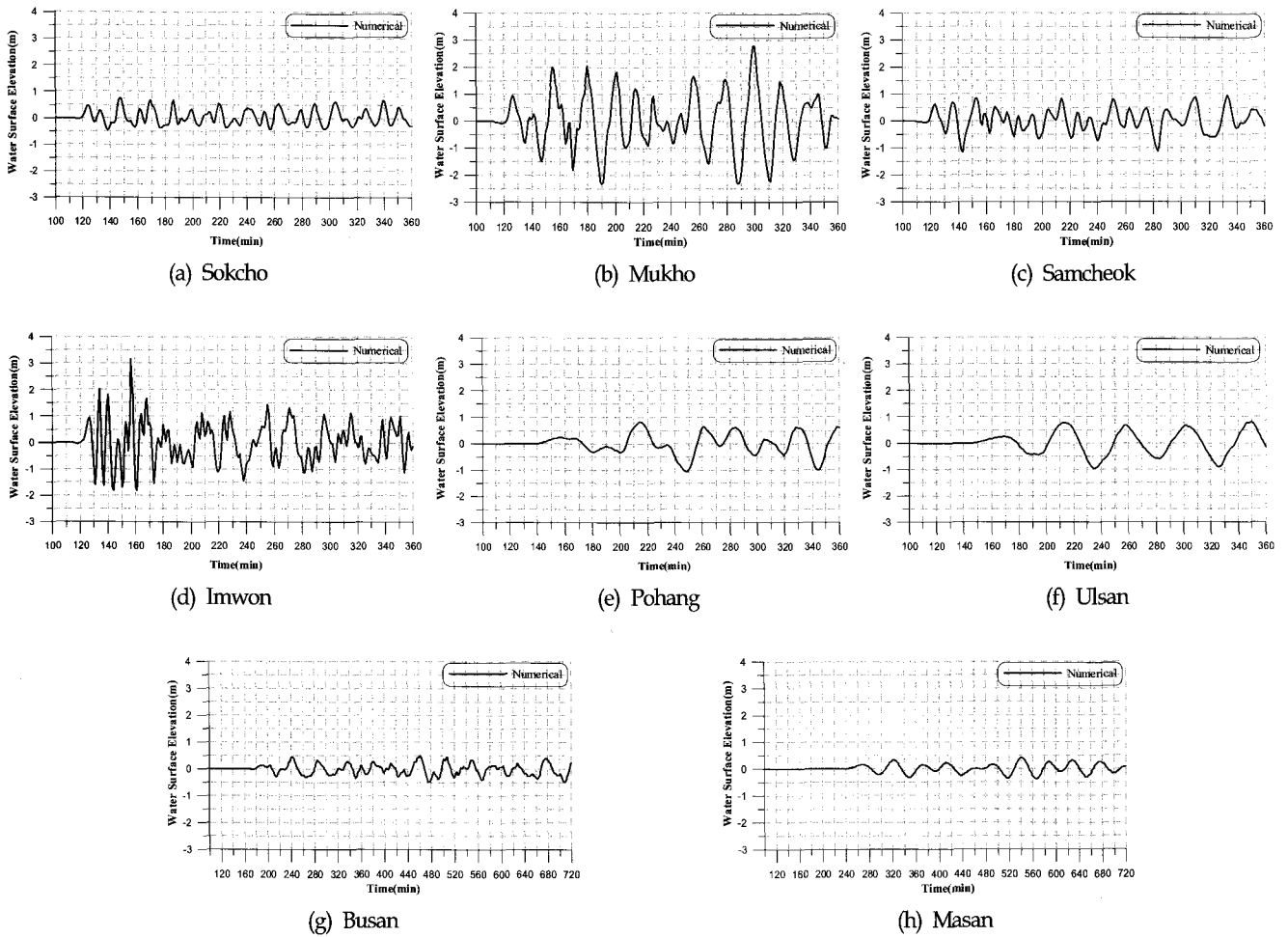


Fig. 10 Time history of water level at each region

북해도남서외해지진에 의해 발생한 지진해일의 내습시보다 약 0.8m 이상의 수위상승량이 나타나는 것을 알 수 있다. Fig. 9(g)는 부산항에서 최고수위분포를 나타낸 것으로, 지진해일의 내습에 따른 최고수위는 약 0.5m 정도로 나타난다. Fig. 9(h)는 마산항에서 지진해일의 내습에 따른 최고수위분포로, 그 값은 약 0.4m 정도인 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 수치해석으로부터 얻어진 시간에 따른 수위변화를 나타낸 결과이다. Fig. 10(a)는 속초지역에서의 계산치의 결과를 나타내고 있으며, 지진발생 약 120분 후에 제 1파가 도달한다. 시간에 따른 수위변화를 살펴보면 약 150분경에 약 0.8m의 수위상승량을 보이며, 이 후에도 그에 상응하는 수위상승량이 발생함을 알 수 있다. Fig. 10(b)는 묵호지역에서의 계산결과를 나타내며, 속초와 마찬가지로 약 120분에 제 1파가 도달하며, 약 2m 정도의 수위상승이 나타나고, 약 300분에 약 3m의 최고수위상승량이 발생함을 알 수 있다. Fig. 10(c)는 삼척지역에서 시간에 따른 수위분포를 나타내며, 지진발생 후 약 115분이 지나서 제 1파가 도달하는 것을 알 수 있고, 최고수위 상승량은 약 0.9m 정도이다. Fig. 10(d)는 임원지역에 대한 계산결과를 나타낸 결과로, 속초, 묵호지역과 비슷한 약 120분에 제 1파가 도달하며, 약 160분에 3.2m의 최고수위가 나타난 이후에 약 1.5m 정도의 수위가 상승함을 알 수 있다. Fig. 10(e)는 포항에서 시간에 따른 수위분포를 나타내며, 약 140분 정도에 제 1파가 도달하고, 약 210분에 약 0.8m의 최고수위가 나타나며, 시간이 지나면서 약 0.6m의 수위가 상승한다. Fig. 10(f)는 울산지역에 대한 수위의 시간변화를 나타낸 결과이다. 약 140분에 제 1파가 도달하는 것은 포항지역과 동일하다. 약 210분에 발생하는 최고수위 약 0.8m는 울산지역에서 나타난 기존의 지진해일에 의한 결과(윤성범 등, 2002)에 비해 가장 높은 수위상승량이며, 이후에도 이와 동등한 정도의 수위가 상승함을 알 수 있다. Fig. 10(g)는 부산항에서 시간에 따른 수위분포를 나타내며, 지진해일의 내습상황을 보다 자세히 수치모의하기 위해서 지진해일의 발생 후 12시간 동안에 수위분포를 제시한다. 약 170분에 제 1파가 도달하고, 약 0.5m 정도의 수위변화가 발생하며, 이후에도 이와 동등한 높이의 지진해일이 내습함을 알 수 있다. Fig. 10(h)는 마산항에서 지진해일의 발생에 따라 시간에 따른 수위변화를 나타내는 그림으로, 부산항과 마찬가지로 12시간 동안 수치모의하였으며, 약 250분에 제 1파가 도달함을 알 수 있다. 최고수위는 약 320분과 540분에 약 0.4m 정도로 주어지고, 그 주기가 약 50분 정도로 나타남을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 천해역에서 수심이 얕아지면서 발생하게 되는 천수효과를 충분히 재현하기 위한 격자접속기법과 연안역에서의 처오름을 고려하기 위한 이동경계조건을 도입하여 상당한 잠재적인 에너지를 가지고 있고, 향후 지진활동이 발생할 가능성이 높은 일본 서측연안의 단층대에 존재하는 지진공백역을 대상으로 여러 종류의 지진에 의한 가상지진해일을 수치시뮬레이션

하였다. 이를 통해서 남동해연안에서의 수위변동, 전파시간 등과 같은 지진해일의 특성을 검토하고, 지진해일에 의한 동해연안의 각 지점에서 최대수위상승고과 시간에 따른 수위변화 등을 검토하여 그 특성들을 평가하였다. 이러한 결과들은 동해연안에서 해안 및 항만구조물의 내파설계, 연안방재의 계획 및 정책과 향후의 연안개발계획 등에 기본자료로 활용될 수 있을 것이다.

이와 같은 과정에서 얻어진 중요한 사항을 본 논문의 결론으로 하여 아래에 기술한다.

(1) 지진공백역에서 발생한 지진해일의 전파속도는 지진이 발생하고 약 100분 정도 후에 처음으로 강원도 부근의 동해안에 도달하며, 포항은 약 130~140분, 울산은 약 150분 정도로 그 전파속도는 이전에 발생한 지진에 대한 해석결과와 동일하게 나타난다.

(2) 지진공백역에서 지진해일은 에너지의 대부분이 러시아 방향으로 전파되며, 대화퇴 부근에서 발생하는 회절현상으로 일본의 남쪽으로 상당한 에너지가 전파되는 것을 알 수 있었다. 단층파라미터의 차이에 따라 각 모델에서 상당한 수위분포의 차이를 나타내며, 공백역 1, 공백역 4, 공백역 6은 상대적으로 동해안에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 공백역 3과 공백역 5는 일본의 연안에는 상당한 해일고를 발생시키지만 우리나라에는 그 영향이 비교적 적고, 공백역 2의 경우가 가장 높은 수위분포(약 4m)를 나타낸다.

(3) 지진해일의 내습에 따른 최고수위분포를 살펴보면 속초지역에서는 항외에서 약 0.8m, 항내에서 최고 약 1.1m 정도이다. 묵호지역에서는 항입구와 항내에서 급변하는 수위분포가 나타나며, 최고 약 2.9m, 임원지역에서는 항내에서 약 3.2m, 삼척지역에서 항내에서 약 1.1m 정도이다. 포항지역에서 약 0.8m, 울산지역에서는 약 1.1m 정도이다. 부산지역에서는 약 0.5m 정도, 마산지역에서 약 0.4m 정도의 최고수위분포가 나타난다. 이는 1983년의 동해중부지진과 1993년의 북해도남서외해지진에 의한 지진해일의 사후조사에서 나타난 최고수위(국립방재연구소, 1998)와 비슷하거나 약간 높은 분포를 나타낸다.

(4) 시간에 따른 수위변화는 속초지역에서 지진발생 약 120분 후에 제 1파가 도달한다. 시간에 따른 수위변화를 살펴보면 약 150분경에 약 0.8m의 수위상승량을 보이며, 이 후에도 그에 상응하는 수위상승량이 발생함을 알 수 있다. 묵호지역에서는 속초와 마찬가지로 약 120분에 제 1파가 도달하며, 약 2m 정도의 수위상승이 나타나고, 약 300분에 약 3m의 최고수위상승이 발생함을 알 수 있다. 삼척지역에서는 지진해일 발생 후 약 110분이 지나서 제 1파가 도달하는 것을 알 수 있으며, 최고수위상승량은 약 0.9m 정도이다. 임원지역에서는 속초, 묵호지역과 비슷한 약 120분에 제 1파가 도달하며, 약 160분에 3.2m의 최고수위가 나타난 이후에 약 1.5m 정도의 수위가 상승한다. 포항에서는 약 140분정도에 제 1파가 도달하고, 약 210분에 약 0.8m의 최고수위가 나타나며, 시간이 지나면서 약 0.6m의 수위가 상승한다. 울산지역에서 약 140분에 제 1파가 도달하는 것은 포항지역과 동일하다. 약 210분에 발생하는 최고수위 약 0.8m는 울산지역에서 나타난 기존의 지진해일에 의한 결과(윤성범 등, 2002)에 비해 상당히 높은 수위상승량이며, 이후에도 이와 동등한 정도의

수위가 상승함을 알 수 있다. 부산항에서는 약 170분에 제 1파가 도달하고, 약 0.5m 정도의 수위변화가 발생하며, 이후에도 이와 동등한 높이의 지진해일이 내습한다. 마산항에서는 약 250분에 제 1파가 도달함을 알 수 있다. 최고수위는 약 320분과 540분에 도달하는 약 0.4m 정도로 주어지고, 그 주기가 약 50분 정도로 나타난다.

## 후 기

본 논문의 수치계산에 많은 조언과 귀중한 자료를 제공해 준 일본항만공학기술연구소의 토미타 타카시 박사와 혼다 카즈히코 연구관에게 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 국립방재연구소 (1998). 동해안에서의 지진해일 위험도 평가, 국립방재연구소 연구보고서, NIDP-98-06.
- 양금석 (2007). 일본근해에 기원한 지진해일이 동해연안의 수위 변동에 미치는 영향의 평가, 한국해양대학교 석사학위논문.
- 윤성범, 임채호, 조용식, 최철순 (2002). "지진해일 전파 분산보정 유한차분모형의 정밀도 평가", 한국해양해양공학회지, Vol 14, No 2, pp 116-127.
- 쓰지 요시노부, 코니시 타쓰오 (1985). 일본해에 발생한 지진해일과 수치계산결과, 국립방재과학기술센터연구보고, No 35, pp 277-297.
- 최병호, 에픽 페리놉스키, 홍성진 (2006). "병렬 FEM 모형을 이용한 1983년 동해 중부 지진해일 시뮬레이션", 한국해양해양공학회지, Vol 18, No 1, pp 21-34.
- 최병호, 우승범, Pelinovsky, E. (1994). "1993년 동해 쓰나미의 산정, 한국해양해양공학회지", Vol 6, No 4, pp 404-412.
- 최병호, 이호준 (1993). 1983년 동해 쓰나미의 산정", 대한토목학회논문집, Vol. 13, No. 3, pp. 207-219.
- Aida, I. (1969). "Numerical Experiments for Tsunami Caused by Moving Deformations of the Sea Bottom", Bull. Earthquake Res. Inst., Vol 47, pp 673-700.
- Ishikawa, Y. (1994). "Remaining Earthquake Vacant Region", Monthly Ocean, Vol 7, pp 102-104.
- Mansinha, L. and Smylie, D.E. (1971). "The Displacement Fields of Inclined Faults", Bull. Seismol. Soc. Amer., Vol 61, No 5, pp 1433-1440.

2007년 11월 27일 원고 접수

2007년 12월 24일 최종 수정본 채택