항만권역에서 지진해일 재해 DB구축 Database for Tsunami Hazard at Harbor Zones

이하우* · 신재완** · 김계영*** · 조용식****

Lee, Ha Woo · Shin, Jaewan · Kim, Kye Yeong · Cho, Yong-Sik

Abstract

Recently, many catastrophic tsunamis have been occurred around the Pacific Ocean Area. They have deprived of a huge number of lives of human beings and property. A tsunami hazard-free information system is essential to mitigate casualties and property damage. In this study, a tsunami evacuation system has been developed through web-based geographic information system. The selected target area are major harbors vulnerable to unexpected tsunami attacks. The optimal evacuation routes, designated and temporary shelters and other keen information are included in the system for each major harbor along the coastline of the East Sea.

Key words : Tsunami, Hazard map, Emergency action plan, Geographic information system

요 지

최근, 여러 차례 지진해일이 태평양지역 주변에서 발생하고 있다. 지진해일은 엄청난 수의 생명과 재산을 앗아갔다. 인명과 재산피해를 줄이기 위해서 지진해일 재해정보시스템의 구축은 필수적이다. 본 연구에서는 Web 기반 Geographic Information System을 활용하여 지진해일 대피시스템을 개발하였다. 적용대상지역으로는 예상치 못한 지진해일로 인해 큰 피해가 예상되는 주요항만으로 선정하였다. 동해안 주요항만에 적용시킴으로써 최적의 대피경로, 지정대피소 그리고 임시대피소 등의 정보를 시스템에 포함시켰다.

핵심용어 : 지진해일, 재해피해예측도, 비상대처계획, 지리정보시스템

1. 서 론

2011년 3월 11일 일본 동북지방 태평양에서 발생한 규모 9.0의 해저지진으로 일본에 사망자 약 15,858명(익사 90% 이상), 실종 약 3,021명, 부상 약 6,080명 및 재산피해액 약 224조 원의 엄청난 인명 및 재산피해를 발생시켰다[일본 경시청(2012.07.11)]. 또한, 2004년 12월 26일 발생한 인도네시아 수마트라 지진해일은 약 30만 명의 인명피해와 미화 100억 달러 이상의 재산피해를 초래하였다. 특히, 2005년 3월 20일 일본 후쿠오카 북서쪽 해상에서 진도 7.0 규모의 강진이 발생하여 우리나라 남해안 전역에 지진해일 주의보가 발령되는 등 최근 지진해일에 대한 국민적 관심 및 우려가 확대되고 있다.

우리나라의 동해안은 해저지진이 자주 발행하는 일본과 지리적으로 인접해 있어 지진해일로 부터 안전한 지대가 아니다. 이에 따라 소방방재청과 국토해양부에서는 지진해일로 부터 해안지역 주민들을 보호하고 국가 주요 기간시설물의 피해를 방지하기 위해 국가적 차원의 체계적인 방재시스템을 구축해왔다. 방재시스템의 구성은 지진해일 재해피해예측도 제작 및 비상대처계획(EAP, Emergency Action Plan) 수립 등이 있다. 특히, 국토해양부는 동해안 항만권역의 재해피해 예측도와 비상대처계획을 제작하고 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System)을 통해 지진해일로 인한 범람구역 예측결과와 재해정보에 대한 데이터베이스를 구축하고 있다. 본 연구에서는 Web 기반 GIS를 개발하여 데이터베이스 구축체계를 갖추고, 이를 국토해양부의 항만권역 방

*정회원. 한양대학교 일반대학원 건설환경공학과 석사과정(E-mail: how1986@hanyang.ac.kr)
Member. Graduate Student, Department of Civil Engineering, Hanyang University

**한양대학교 일반대학원 건설환경공학과 석사과정
Graduate Student, Department of Civil Engineering, Hanyang University

***㈜B&T Solution 대표이사
Representative Director, B&T Solution Co., Ltd.

****교신저자. 정회원. 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수(Tel: +82-2-2220-0393, Fax: +82-2-2220-1945, E-mail: ysc59@hanyang.ac.kr)
Corresponding Author. Member. Professor, Department of Civil Engineering, Hanyang University

Fig. 1. Web GIS of nowCOAST in USA

재시스템에 적용하여 지진해일에 효과적으로 대응할 수 있도록 데이터베이스를 구축하였다.

해외의 선진기술을 국내실정에 적합하게 도입하기 위하여 재해정보를 체계적으로 구축한 국가인 미국과 일본의 대표적인 재해정보관리 프로그램을 분석하였으며, 국내 사례 또한 분석하여 통일성을 갖도록 노력하였다.

먼저, 미국의 nowCOAST는 미국해양대기국(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)의 각 산하기관 및 연구기관에서 관측된 해양 및 기상 자료를 일반인들과 해양관련 연구자들이 이용할 수 있도록 구축한 Web 기반 GIS

이다(Fig. 1). 또한, nowCOAST에서 제공하는 자료는 크게 해양기상정보, 하천정보, 기상관측레이더, 수질정보, 위성관측 자료로 분류할 수 있다.

다음으로, 일본의 도쿄도(東京都) 방재센터는 지진, 풍수해 등 각종 재난으로부터 도민의 생명 및 재산을 보호하고, 도시의 기능을 유지하기 위해 도쿄에 설립된 방재기관이다. 무선 및 화상통신기능을 갖춘 종합방재센터로 온라인을 통해 다양한 방재정보를 서비스 하고 있다. 특히, 도쿄도 방재정보 시스템은 GIS를 이용해서 방재와 관련된 다양한 위치정보를 제공한다.

마지막으로, 일본의 국토교통성은 전국항만해양파랑정보망(NOWPHAS, Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS)을 구축하여 일본 전역에서 실시간 파랑정보를 Web으로 제공하고 있다(Fig. 2). 1970년부터 구축된 전국항만해양파랑정보망은 일본근해의 해양공사, 항만설계 및 파랑의 모니터링을 통한 기후조건변화연구 등 여러 분야에 이용되고 있다.

국내에도 재해정보관리 구축프로그램인 기상청의 종합정보시스템(COMIS, Combined Meteorological Information System)과 국토해양부의 연안관리정보시스템(CMIS, Coastal Management Information System)이 있다(Fig. 3). 기상청의

Fig. 2. NOWPHAS of MLIT(Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism) in Japan

(a) Combined Meteorological Information System (Korea Meteorological Administration)

(b) Coastal Management Information System (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs)

Fig. 3. Disaster Information System and Block Diagram in Korea

COMIS은 국내외 모든 기상정보를 수집, 분석, 저장 및 재분배하는 시스템이다. 국토해양부의 CMIS는 내습이 예상되는 태풍의 각종 조건 값을 입력하면 해당 조건의 태풍 내습 시 예상되는 최대 침수심을 GIS 화면상에 가시화하여 나타낼 수 있도록 구축되었으며, 태풍 내습 시 대피로 및 대피시설 선정 등의 재난대응계획 수립에 활용이 가능하도록 한 시스템이다.

Lee (2006)는 GIS를 이용하여 지진해일로 인한 연안의 침수 흔적 및 예상 지역을 분석하였다. GIS를 이용하여 대상 지역의 수치표고모형과 지적현황을 구축하고, 3 m와 5 m 수위에 지진해일 내습 시 침수 및 범람될 수 있는 지역을 나타내었다. 이는 지진해일 피해가 발생할 수 있는 지역의 범람영역을 수치모형실험을 이용해서 범람영역을 산정하지는 않았다. 그러므로 수치모형실험을 이용해서 범람영역을 산정하고, 범람영역의 침수심을 나타내는 본 연구가 피해예상지역을 더욱 정확하게 나타낼 수 있다고 사료된다.

Web 기반 GIS를 활용하여 지진해일 대응체계시스템을 구축하기 위하여 재해피해예측도와 EAP를 작성하였다. 재해피해예측도의 침수심 및 범람영역은 정확성을 향상시키기 위하여 오랜 연구결과로 개발된 수치모형을 사용하여 나타내었다. Leap-frog scheme의 수치분산 효과를 사용한 수치모형 (Imamura 등, 1988)이 개발되었으나, 대각선 방향으로 분산효과를 고려할 수 없는 단점이 존재하였다. 따라서 Cho (1995)는 이러한 단점을 보완하여 모든 방향에서 분산효과를 고려할 수 있도록 수치모형을 개발하였다. 이후, Cho 등 (2007)은 분산보정계수를 활용하여 더욱 향상된 정확도를 갖도록 수치모형을 보완하였으며, 향상된 모형을 본 연구에서 이용하였다. EAP작성은 자연재해대책법 시행령 제 31조 (비상대처계획에 포함되어야 할 사항)를 기반으로 작성하였다. 비상대처계획에 포함되어야 할 사항으로는 주민·유관기관 대한 비상연락체계, 비상시 응급행동요령, 경보체계, 비상대피 계획 및 이재민 수용계획 등이 있다.

지진해일 대응체계시스템 구축을 통하여 대상지역의 거주민들에게는 지진해일 위험에 대한 불안감을 해소시키고, 방재대책을 수립하는 관련 분야 전문가들에게 도움이 될 것이라 사료된다.

2. 지배방정식 및 검증

2.1 지배방정식

지진해일은 장파와 단파가 합성되어 있어 먼 거리를 전파할 경우 분산효과가 중요한 역할을 한다(Kajiura 등, 1990). 우리나라 동해안에 영향을 주는 지진해일은 일본 서해의 해저지진으로 인하여 발생하며, 이처럼 파장에 비하여 먼 거리를 전파하는 원해 지진해일을 해석하기 위해서는 분산을 고려한 선형 Boussinesq 방정식을 지배방정식으로 사용하는 것이 바람직하다.

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

$$\frac{\partial P}{\partial t} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} = -g \frac{h^3}{3} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} = -g \frac{h^3}{3} \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right] \quad (3)$$

여기서 ζ 는 정수면으로부터의 수면변위(m), P , Q 는 각각 x 축과 y 축 방향의 단위 폭 당 유량(m^2/s), h 는 중력가속도(m/s^2), h 는 정수면으로부터 바닥까지의 수심(m)이다. 정확도와 안정성을 동시에 높이기 위해 식 (1)-(3)을 수정차분기법(corrected finite difference scheme)을 이용하여 식 (4)-(6)과 같이 차분하였다(Sohn 등, 2009).

$$\frac{\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n-1/2}}{\Delta t} + \frac{P_{i+1/2,j}^n - P_{i-1/2,j}^n}{\Delta x} + \frac{Q_{i,j+1/2}^n - Q_{i,j-1/2}^n}{\Delta y} = 0 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \frac{P_{i+1/2,j}^{n+1} - P_{i+1/2,j}^n}{\Delta t} + gh_{i+1/2,j} \frac{\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta x} + g \frac{h_{i+1/2,j}^3}{3\Delta x} \\ & \left[\frac{(\zeta_{i+2,j}^{n+1/2} - 3\zeta_{i+1,j}^{n+1/2} + 3\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i-1,j}^{n+1/2})}{\Delta x^2} \right] + \\ & \frac{(\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} - 2\zeta_{i,j}^{n+1/2} + \zeta_{i,j-1}^{n+1/2}) - (\zeta_{i,j+1}^{n-1/2} - 2\zeta_{i,j}^{n-1/2} + \zeta_{i,j-1}^{n-1/2})}{\Delta y^2} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{Q_{i,j+1/2}^{n+1} - Q_{i,j+1/2}^n}{\Delta t} + gh_{i,j+1/2} \frac{\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta y} + g \frac{h_{i,j+1/2}^3}{3\Delta y} \\ & \left[\frac{(\zeta_{i,j+2}^{n+1/2} - 3\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} + 3\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i,j-1}^{n+1/2})}{\Delta y^2} \right] + \\ & \frac{(\zeta_{i,j+1}^{n+1/2} - 2\zeta_{i,j}^{n+1/2} + \zeta_{i,j-1}^{n+1/2}) - (\zeta_{i,j+1}^{n-1/2} - 2\zeta_{i,j}^{n-1/2} + \zeta_{i,j-1}^{n-1/2})}{\Delta x^2} = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

식 (4)-(6)의 차분식에 사용된 엇갈림 격자계에서 ζ_n 는 (i, j) 에 의해 정의되며, 체적 흐름을 P 와 Q 는 각각 $(i+1/2, j)$ 와 $(i, j+1/2)$ 에서 정의되었다. 아울러 시간격자에 대해서도 엇갈림 격자계를 사용하였으며, 각 항구에 지진해일의 첫 파의 도달 시간을 시간과 수위의 관계를 통하여 계산하였다.

2.2 수치모형의 검증

본 연구에 사용된 수치모형을 검증하기 위해 1983년 동해 중부 지진해일에 적용하여, 수치모형실험 결과와 속초항 조위 관측소의 검조기록과 비교하였다. 역사 지진해일에 대한 범람 영역 관측 자료가 존재하지 않아 범람영역에 대한 검증은 불가능하여, 조위관측소의 수위변화를 이용하여 검증을 하였다. 사용된 수치모형은 한국 소프트웨어 진흥원에 HYCEL-DISP (등록번호: S-2008-005147)로 등록되어 있으며, Fig. 4는 지진해일이 도달한 후 시간에 대한 수위변화를 비교한 그래프이다(Sohn 등, 2009). 위상과 파고 모두 약간의 차이를 보이고 있으나, 전체적으로 수치모형실험 결과가 관측된 값과 잘 맞음을 알 수 있다.

Fig. 4. Comparison of time histories of water level at Sokcho port (Akita Tsunami in 1983)

3. 재해정보관리 프로그램 개발

3.1 연구 대상지역

본 연구에서는 지진해일 발생 시 동해 인근에 인명 및 재산피해가 클 것으로 예상되는 주요항구(무역항 6곳, 연안항 4 곳)를 선정하여 연구하였다(참조 Table 1과 Fig. 5). 동해안은 1983년 동해 중부지진해일과 1993년 북해도 남서 외해 지진해일에 의해 큰 피해를 입었다. 특히, 강원도 삼척시 원덕읍에 위치한 임원항은 일본 서쪽 동해에서 발생한 해저지진에 의해서 직접적인 영향을 받았던 지역 중 하나로 인명피

Table 1. Target site on study(Trade Port: 6, Coastal Port: 4)

구분	대상 항만권역
무역항	속초, 옥계, 묵호, 동해, 삼척, 호산
연안항	주문진, 도동, 저동, 후포

Fig. 5. Target site on study

해와 막대한 재산피해를 입었다. 현재 연구대상으로 지정한 지역은 언제든지 지진해일에 의하여 피해가 발생할 수 있는 취약지역이다. 따라서 동해안의 주요항만 시설에 대한 재해정보 DB구축은 지진해일로 인한 인명피해와 재산피해를 최소화하기 위해서 반드시 수행되어야 한다.

3.2 지진해일 발생원 및 해일 도달시간

지진해일 발생원은 11개의 가상 지진해일(Fig. 6)과 3개의 역사 지진해일(Fig. 7)을 포함한 총 14개의 지진해일 발생원을 통해 수치모형실험을 수행하였다. 3개의 역사 지진해일은 근래 우리나라에 영향을 준 1964년 Niigata 지진해일, 1983년 동해 중부 지진해일, 1993년 북해도 남서 외해 지진해일을 대상으로 하였다. 가상 지진해일은 우리나라 동해안에 지진해일 피해를 줄 가능성이 높은 11개의 지진해일 발생원으로 구성하였다. 지진해일 범람수치모의를 위해 발생원의 초기 수면변위를 추정하였으며, 단층매개변수(참조 Table 2와 3)를 바탕으로 초기의 수면변위가 해저의 연직성분과 같다는 가정을 기초로 한 Mansinha 등 (1971)의 모형을 사용하여 초기 수면변위를 재현하였다. 또한 한반도에너지개발기구(KEDO, 1999)가 제시한 단층매개변수를 적용하였다. Table 2와 3에서

Fig. 6. Virtual Tsunamis

Fig. 7. Historical Tsunamis

Table 2. The fault parameters for 11 virtual Tsunamis

발생원	위치		θ (°)	H (km)	δ (°)	λ (°)	L (km)	W (km)	D (m)	M (규모)
	위도(°N)	경도(°E)								
발생원1	37.5	137.5	0.0	1	40	90	125.89	62.945	6.31	8.0
발생원2	38.3	137.7	14.5							
발생원3	39.0	138.0	27.5							
발생원4	39.7	138.4	17.0							
발생원5	40.2	138.7	10.0							
발생원6	40.9	138.9	1.0							
발생원7	41.7	139.0	1.0							
발생원8	42.1	139.1	4.0							
발생원9	42.9	139.1	2.0							
발생원10	43.5	139.2	2.0							
발생원11	44.4	139.2	3.0							

Table 3. The fault parameters for 3 historical Tsunamis

발생연도	위치		θ (°)	H (km)	δ (°)	λ (°)	L (km)	W (km)	D (m)	M (규모)
	위도(°N)	경도(°E)								
1964	38.74	139.42	189	1	56	90	80	30	3.30	7.5
1983	40.21	138.84	22	2	40	90	40	30	7.60	7.8
1983	40.54	139.02	355	3	25	80	60	30	3.05	
1993	42.10	139.30	163	5	60	105	24.5	25	12.00	7.8
1993	42.34	139.25	175	5	60	105	30	25	2.50	
1993	43.13	139.40	188	10	35	80	90	25	5.71	

Table 4. Time of arrival for virtual Tsunamis (Unit: min)

발생원	속초항	주문진항	옥계항	묵호항	동해항	삼척항	호산항	후포항	울릉항 (도동항, 저동항)
발생원1	98.15	101.15	100.15	99.15	95.55	99.30	99.95	99.50	69.05
발생원2	99.55	102.60	101.65	101.40	97.90	100.80	102.15	101.75	72.05
발생원3	100.95	103.95	103.00	102.80	99.30	102.15	103.70	103.25	74.05
발생원4	102.90	106.10	106.65	106.80	103.20	106.10	108.80	108.35	80.85
발생원5	102.80	106.00	106.55	106.60	103.00	106.00	111.65	112.90	85.85
발생원6	102.75	105.95	106.50	106.70	103.15	106.00	111.80	116.35	88.10
발생원7	104.35	107.55	108.10	108.25	104.65	107.60	113.30	117.90	90.35
발생원8	105.55	108.80	109.35	109.65	106.05	108.85	114.70	119.30	92.35
발생원9	108.65	112.25	112.85	112.50	108.90	112.35	117.55	122.20	96.25
발생원10	111.35	115.50	116.15	116.40	112.80	115.65	121.50	126.10	101.10
발생원11	116.45	121.35	122.05	122.40	118.85	121.55	127.45	132.15	108.60

Table 5. Time of arrival for historical Tsunamis (Unit: min)

발생연도	속초항	주문진항	옥계항	묵호항	동해항	삼척항	호산항	후포항	울릉항 (도동항, 저동항)
1964년	120.50	123.50	122.45	122.10	118.35	121.55	123.15	122.65	100.30
1983년	103.70	106.95	107.45	107.70	104.05	106.95	112.75	114.05	87.35
1993년	104.10	107.30	107.85	107.95	104.30	107.35	113.00	117.65	89.90

H 는 단층면의 상연깊이, θ 는 진북과 이르는 단층의 주향을 표시하며, δ 는 dip angle, λ 는 slip angle, L 은 단층의 길이, W 는 단층의 경사폭, D 는 단층의 변위를 나타낸다.

지진해일 수치모의로 항 입구에 대한 수면변위를 측정하여 발생원별 항구에 대한 지진해일 도달시간을 산출하였다. 지진

해일의 범람규모 및 도달시간은 각 발생원과 항의 지리적 위치 및 조건에 따라 상이하게 나타난다. Web기반 GIS에 사용한 최대범람구역은 총 14개의 가상 지진해일(11개)과 역사 지진해일(3개)에 대해 최대범람구역을 합집합해서 산정하였다 (Park 등, 2012).

Fig. 8. System and block diagram

3.3 시스템 구성

본 연구에서 재해정보 관리프로그램의 구성은 프로세스 분석 및 설계, 데이터베이스 설계 그리고 아키텍처 설계로 나누어진다(Fig. 8). 프로세스의 분석 및 설계는 초기화 및 관심 항만권역 이동, 항만권역 자료 가시화, 그리고 재해 예측 및 EAP 시뮬레이션으로 구성하였다. 초기화 및 관심권역 이동 프로세스는 사용자가 프로그램을 기동할 경우 발생하는 프로세스의 설계로 Base Map과 Base Layer DB를 호출하고 초기화 하는 것을 주요 내용으로 한다. 항만권역 자료 가시화 프로세스는 실질적인 사용자 동작에 대한 프로그램의 피드백 부분이다. 주요 사용자 동작으로는 GIS 화면 검색과 Layer On과 Off로 일반적으로 포털사이트가 제공하는 수준의 내용만을 포함하여 사용자 편의성을 높였다. 재해예측 및 EAP 시뮬레이션 프로세스는 핵심 프로세스로 실질적인 예측 결과와 EAP 실행을 표현하였다.

데이터베이스 설계의 프로그램 개발 측면에서 고려한 주요 이슈는 수용 항만권역의 범위이다. 수용 항만권역의 범위는 Base Map 범위의 기초가 된다. Base Map 구성 요소는 국내 기관을 통하여 수집 가능한 주제로 각 항만권역 단위로 데이터 수집 및 편집 작업을 필요로 한다.

아키텍처 설계는 Web 기반 GIS 시스템의 일반적인 형태를 따른다. DB 서버를 내부 방화벽에서 운영하고, Web 서버에 GIS엔진을 설치하는 방식이다. 사용자가 인터넷을 통하여 프로그램에 접근하는 일반적인 인터넷 지도 서비스의 사용방식과 동일하다. 항만권역별 주제도 작성의 비용과 단점을 고려하여 Mashup을 활용한 서비스를 구상하였다. Mashup은 Web에 제공하고 있는 정보 및 서비스를 융합하여 새로운 소프트웨어 및 데이터베이스 등을 제작하는 것을 의미하며, 이를 통하여 사용자에게 정기적인 데이터 업데이트를 제공한다. 본 연구에서는 Mashup을 적용하기 위하여 관련문헌을 참고하였다(Yee, 2008; Hagemann, 2010).

3.4 데이터베이스 구축

데이터베이스의 설계와 구축은 Lee (2002)가 제안한 과정

및 절차를 참고하여 구축하였다. Web 기반 GIS 재해정보관리프로그램용 DB 구축을 위한 전체 작업 프로세스는 다음과 같다(Fig. 9). Base Map DB는 Google Map과 같이 Open API(Application Programmer Interface) 환경에서 제공이 가능한 데이터로 설계 하였으며, Google Map에서 기본적으로 제공하는 데이터 이외에 항만 재해관리에 필요한 Base Map Layer만 선정하여 구축하였다. 이 외에 Base Map용 공간 DB, 재해피해예측도 공간DB, 항만EAP 공간DB 등의 기준 좌표계와 데이터 형식도 Google Map에서 사용이 가능한 형태로 변경하여 구축하였다.

재해정보관리 프로그램에 탑재한 지리정보 데이터는 Base

Fig. 9. DB construct process

Map Layer로 Google Map에서 제공되는 기본적인 지리정보 데이터와 함께 사용한 무역항 및 연안항의 위치정보 Layer와 주요 항만별 해상경계 Layer 구축 부문, 주요 항만별 재해피해예측도에 사용될 침수심 Layer DB 구축 부문, 대피소와 대피경로 등의 항만EAP Layer 구축 부문 이렇게 크게 3가지로 구분하여 구축하였다. 본 연구에서는 재해피해예측도와 항만EAP의 공간DB를 구축하는데 ArcGIS 9.2를 사용하였으며, 속성DB 구축에 있어서는 Microsoft Excel 2010, Adobe Photoshop CS2 등의 소프트웨어를 활용하였다.

4. 재해정보관리 프로그램 적용

4.1 DB구축 과정

4.1.1 공간DB 구축

공간DB 위하여 제작된 재해피해예측도, 수치지도 CAD파일과 침수심 Surfer파일을 이용하였다(Fig. 10). 공간DB 구축은 주로 ArcGIS를 사용하였으며, Google Map API를 통하여 제공하기 위해 지역타원체를 TM투영법으로 투영한 지도좌표에서 지구중심원점을 사용하는 타원체 상의 경도와 위도 좌표로 변환하였다. Layer는 주요항만 위치, 침수심, 지정대피소, 비상방송시설, 대피경로, 대피로 표시판 및 대피안내판 등을 지정하여 사용하였고, Point, Polygon 그리고 Polyline 등의 형식으로 나타내었다(Table 6). 또한 선형 또는 면형의 논리적 일관성이 있는지 검사하여 구축하였다.

4.1.2 속성DB 구축

제작된 재해피해예측도, 항만별 EAP 등 원시자료로부터 데이터를 추출하여 속성DB를 구축하였다(Fig. 11). 속성DB는 속성DB와 관련된 항목을 추출하였고 지역별, 항목별로 DB Schema에 맞춰 데이터를 정리하여 구축되었다. 각 항목의 특성에 맞도록 설계된 Layer 명세서의 필드 크기, 속성 및 순서 등을 고려하여 편집 및 입력하였다. 또한 Layer별 속성코드 입력 오류 여부와 입력 내용에 오류가 있는지 원시자료와 대조하는 검수를 거쳐 구축하였다.

대피소, 대피로, 단계별 침수심 등 레이어별 공간DB 구축

Fig. 10. Space DB construct process

재해정보도와 항만EAP에서 추출한 레이어별 속성DB 입력

Fig. 11. Property DB construct process

Table 6. Definition of layer symbol

No.	Layer명		Type	Symbol	색상(R.G.B)
1	주요항만 위치	항만	Image		255.0.0
2	침수심	4.0m 이상	Polygon		255.0.0
		3.0m~4.0m미만	Polygon		225.30.146
		2.0m~3.0m미만	Polygon		162.57.253
		1.0m~2.0m미만	Polygon		7.88.251
		0.5m~1.0m미만	Polygon		74.164.253
		0.01m~0.5m미만	Polygon		139.239.255
3	지정대피소		Point		254.0.0
4	비상방송시설		Point		255.9.9
5	대피경로		Polyline		252.155.9
6	대피로 표시판		Point		0.175.80
7	대피안내판		Point		26.41.175
					255.255.255

4.1.3 공간DB와 속성DB의 연계

재해정보관리 프로그램에 탑재된 지리정보 데이터의 공간 DB 속성 연결키와 속성DB 공간 연결키로 식별항목을 1:1, 1:N으로 연계하였다. Fig. 12에는 ArcGIS를 이용하여 위치정보와 속성정보를 상호 연계하여 Topology를 구성하는 방법을 나타내었다.

4.2 시스템 인터페이스

옥계항에 대한 Web 기반 GIS의 인터페이스를 나타내었다 (Fig. 13). 크게 총 10개의 인터페이스로 구성된 시스템은 관심지역선택, 시뮬레이션 실행, 시뮬레이션 초기화, 지진해일 발생원 및 도달시간 정보, 지도의 크기와 위치 이동, 지도의 배경 선택(일반지도 및 위성지도)을 조정하도록 하였다. 또한 항구, 대피로 표지판, 대피소, 대피안내판, 비상방송시설과 대

Fig. 12. Connection of space DB and property DB

피로의 Layer를 조정하여 보고 싶은 Layer만 켜서 이용할 수 있도록 하였다. 마지막으로 침수범례를 이용하여 해당 지역에 대한 지진해일 범람 후의 침수심과 어느 위치까지 침수가 되는지를 알 수 있도록 하였다. 오버뷰 맵을 통하여 현재의 항만시설이 어느 지역에 위치해 있는지 한눈에 보기 쉽도록 하였다. 또한 지진의 규모, 대피시 주의사항 그리고 비상시 연락처 등을 한눈에 보기 쉽도록 구성된 재해정보도 넣어서 구축하였다.

4.3 지진해일 재해정보관리 시스템

현재 10개 항구에 대한 지진해일 재해정보관리시스템은 Web에 구축되어있다(<http://112.171.36.179:8088/psmul>). 큰 지도에서 항구를 선택하면 선택한 항만이 확대되며, Layer를 체크하여 상세한 정보를 얻을 수 있다(Fig. 14). 범람영역의 침수심은 서로 다른 색상으로 나타내어 구분이 용이하도록 구축하였으며, 주요대피시설물인 대피로 표지판, 대피소, 대피안내판 및 비상방송시설 등은 모양뿐만 아니라 색상을 달리 하여 구별이 쉽도록 하였다. 대피소 Layer를 통하여 대피소 사진과 대피소의 주요정보를 알 수 있다. 대피소의 주요정보에는 지정한 대피소의 건물명, 항구에서의 최단거리, 대피시간(성인남성 기준), 건물의 높이, 수용 가능인원 및 부대시설(세면, 취사, 숙박)의 정보를 포함시켰다. 대피소의 사진은 최근에 현장조사를 통하여 촬영한 사진을 사용하여 현장과 Web에서의 건물모습이 시각적으로 일치하도록 하였으며, 대피경로는 실제 성인남성이 도보로 다니기 용이하면서 최단시간에 도달 할 수 있는 최적의 경로를 선택하였다. 범람영역 및 침수심은 Cho 등 (2007)이 개발한 수치모형을 사용하여 나타내었다.

Fig. 13. Main interface of system (Okgye Port)

(a) Initial Screen

(b) Inundation Area and Evacuation Facilities

(c) Evacuation Shelter Picture and Information

(d) Hazard Map Picture

(e) Tsunamis Source

Fig. 14. Tsunami disaster information management program (Okgye Port)

5. 결 론

본 연구에서 동해안 주요 항만권역에 지진재난대응체계를 위해 제작한 지진해일피해예측도와 EAP의 결과를 Web 기반의 GIS를 이용하여 구축하였다. 지진해일에 대한 범람 영역 및 침수심에 대한 값의 정확도를 수치모형실험을 통하여 향상시켰고, 이러한 수리학적 특성을 실제 지역에 적용하여 지진해일 발생 시에 인명 및 재산 피해를 감소시킬 수 있도록 하였다.

소방방재청에서 관리하는 국가재난관리정보시스템(NDMS, National Disaster Management System)에 본 연구에서 구

축한 재해정보관리 프로그램 및 DB를 고도화하여 연계한다면 정부기관의 방재업무 담당자들, 방재대책 연구자들 및 지역주민들이 대피정보를 손쉽게 공유할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 사용자의 대피정보에 대한 접근성을 높이고 사용자가 지진해일 경보음을 들었을 때 해당지역에서 신속히 대처하기 위하여 스마트폰을 활용하는 방안에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다. 마지막으로 주요항구뿐만 아니라 지진해일에 위협을 받을 수 있는 동해안 및 남해안 지역의 거주민과 관광객 등을 위하여 거주지나 여름철 유동인구가 많은 해변 또는 지진해일에 위협을 받을 수 있는 모든 해안지역에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지원 첨단항만건설기술개발사업(과제명 : 항만권역 태풍 및 지진해일 재해대응체계 구축)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- Cho, Y.-S. (1995) *Numerical simulations of tsunami propagation and run-up*, Ph.D. dissertation, Cornell University, New York, USA.
- Cho, Y.-S., Sohn, D.-H. and Lee, S.O. (2007) Practical modified scheme of linear shallow-water equations for distant propagation of tsunamis. *Ocean Engineering*, Vol. 34, No. 8, pp. 1,769-1,777.
- Hagemann, S. (2010) *A Framework for the Consistent Usage of Tag-based Mashups-Dissertations in Database and Information System*. Ios Pr Inc, Amsterdam.
- Imamura, F., Shuto, N. and Goto, C. (1988) Numerical simulations of the transoceanic propagation of tsunamis. *Proceedings of The 6th Congress of Asian and Pacific Regional Division, IAHR*, Kyoto, Japan, pp. 265-272.
- Kajiura, K. and Shuto, N. (1990) "Tsunami." *The SEA*, Edited by B. Le Mehaute, and D.M. Hanes, Vol. 9, Part B, John Wiley & Sons, Inc., pp. 395-420.
- KEDO (1999) *Estimation of Tsunami Height for KEDO LWR project*, Korea Power Engineering Company, Inc.
- Lee, C.S. (2002) *Database Design and construct*. Hanbit Media, Inc., Korea.
- Lee, H.S. (2006) Analysis of the tsunami inundation trace and it's expectation area in coast using GIS, *Journal of The Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography*, Vol. 24, No. 2, pp. 175-182.
- Mansinha, L. and Smylie, D.E. (1971) The displacement fields of inclined faults. *Bull of the Seismological of America*. Vol. 61, No. 5, pp. 1,433-1,440.
- Park, K.-W. and Cho, Y.-S. (2012) Hazard map with probable maximum tsunamis, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 2, pp. 263-270.
- Sohn, D.-H., Ha, T.-M. and Cho, Y.-S. (2009) Distant tsunami simulation with corrected dispersion effects. *Coastal Engineering Journal*, Vol. 51, No. 2, pp. 123-141.
- Yee, R. (2008) *Pro Web 2.0 Mashups*. Springer-Verlag New York, New York, USA.

◎ 논문접수일 : 2012년 10월 11일
 ◎ 심사의뢰일 : 2012년 10월 11일
 ◎ 심사완료일 : 2012년 11월 29일