

유구열도 주변 잠재 지진해일 전파특성

Propagation Characteristics of Potential Tsunamis near Ryukyu Islands

배재석* · 최준우** · 윤성범***

Bae, Jae Seok · Choi, Jun woo · Yoon, Sung Bum

Abstract

Potential tsunamis which may occur near Ryukyu Islands were simulated. Propagation characteristics of the potential tsunamis over the southwestern sea and the influence of tsunamis on the southwestern coast of Korean Peninsula were analyzed. The shallow water area in the east sea of China and the deep water Okinawa Trough play an important role in wave transformation and propagation of the potential tsunamis. The propagation characteristics of the potential tsunamis generated near Ryukyu Islands can be described as in followings : In the first stage after generation, the tsunamis propagate with high speed both northeastward and southwestward along the Okinawa Trough. As a result the waves are elongated and the tsunami height is significantly reduced. The elongated crest of tsunamis spans the whole distance of the Okinawa Trough and lines up toward the edge of the continental shelf of East China Sea. Then, the tsunamis are propagating towards the southeast coast of China. Thus, the influence of tsunamis on the Korean coasts becomes weak.

key words : potential tsunamis, propagation characteristics, ryukyu islands, the southwestern sea of korean peninsula

1. 서 론

대만에서 일본 규슈 남서지방에 이르는 유구열도 주변은 필리핀 해판이 유라시아판과 충돌하여 섭입(subduction)하고 있는 지역으로 지진활동이 활발하며 지난 30년간의 유구열도 주변 지진발생 횟수는 약 10000회에 이르고 있다. 과거 지진해일의 피해가 없었던 한반도 남서해안은 지진해일에 대한 관심이 적은 편이다. 하지만 유구열도 주변의 잦은 지진발생 횟수를 감안한다면 한반도 남서해안에 영향을 줄 수 있는 유구열도 주변의 지진해일 발생에 대한 가능성을 전혀 무시할 수는 없다. 본 연구에서는 남서외해 유구열도 주변에서 발생 가능한 지진해일을 잠재 지진해일로 가정하고 정확성이 검증된 Yoon et al.(2007)이 제안한 능동적 분산보정 지진해일 전파 유한차분모형을 통해 남서외해를 전파하는 잠재 지진해일 전파 수치모의를 수행하고자 한다. 이를 통하여 한반도 남서외해 유구열도 주변 오키나와 트러프에서 발생한 가상 잠재 지진해일이 남서외해를 전파해 가는 전파특성을 분석하고 한반도 남서해안에 대한 잠재 지진해일의 영향을 파악하고자 한다.

2. 지배방정식

대양을 전파하는 지진해일의 수치모의를 위한 지배방정식은 2차원 선형 Boussinesq형 파동방정식(Linear

* 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail: bjae194@hanyang.ac.kr

** 한양대학교 토목공학과 · 박사과정 · E-mail: wavechoi@hanyang.ac.kr

*** 정회원, 한양대학교 토목환경공학과 · 교수 · 교신저자 · E-mail: sbyoon@hanyang.ac.kr

Boussinesq Type Wave Equation, LBTWE)이 있다(Yoon et al., 2007). 이 식에 포함되어 있는 분산보정계수는 수심, 격자간격 및 시간간격의 함수로 정의할 수 있으며 분산보정계수를 이용하여 수치적인 오차는 제거하고 물리적인 분산은 고려할 수 있다(Yoon et al. 2007).

한편, 대양을 전파해 오는 지진해일은 물리적인 분산효과가 매우 중요하게 작용하지만, 수심이 작은 해안 근처에서는 분산효과보다 상대적으로 비선형 효과와 바닥마찰이 지배적으로 작용한다. 그러므로 수심이 얇고 복잡한 해안구조물이 존재하는 영역에서는 비선형 및 바닥마찰을 고려할 수 있는 식으로 2차원 비선형 천수 방정식(Nonlinear Shallow Water Equation, NSW)을 사용한다(Lim et al, 2007b).

대양을 전파해 오던 지진해일은 수심이 얇아지면서 천수화에 의해서 파장이 짧아진다. 이로 인해 대격자만의 사용은 파장과 계산격자간격의 비로 표시되는 격자 분해능 저하를 유발하며 따라서 수치분산오차가 증대되어 수치모의의 정확성이 저하된다. 이를 해결하기 위해 Lim et al.(2007a)에 의해 제안된 동시격자접속기법을 적용하였다.

3. 수치모의

남서외해 지진해일 전파 수치모형은 그림 1에 제시한 바와 같이 동서방향으로는 120°E~132°E 사이, 남북방향으로 23°N~38°N 사이의 우리나라와 일본 그리고 중국을 포함하는 해역을 대상으로 하였다. 동서방향의 격자경도간격($\Delta\psi$)을 1분으로 정하고 격자위도간격($\Delta\phi = \cos\phi\Delta\psi$)은 격자망이 극부적으로 정사각형이 되도록 보정하여 사용하였다. 지진해일은 외해로부터 해안으로 전파해 오면서 수심의 감소로 인해 파장이 짧아지므로 전체영역에 대해 격자간격 1분의 대격자만을 사용하면 수심이 작은 해안 근처에서는 격자 분해능이 저하되어 수치오차를 발생하게 된다. 그러므로 근해역에 대해서는 격자접속기법을 이용하여 격자 분해능을 유지하였다. 표 1은 수치모의에 적용된 격자정보 및 계산조건을 나타낸 것이다.

표 1. 격자정보 및 계산조건

지역	영역	격자수	격자크기		Δt (sec)	비고
			$\Delta\psi$ (sec)	Δx (m)		
영광	A	721×1050	60	1460~1710	3	LBTWE
	B	1171×1096	20	490~520	1	
	C	628×1006	6.67	170	0.33	
	D	160×232	2.22	56.67	0.11	
	E	322×496	0.74	18.89	0.037	NSWE

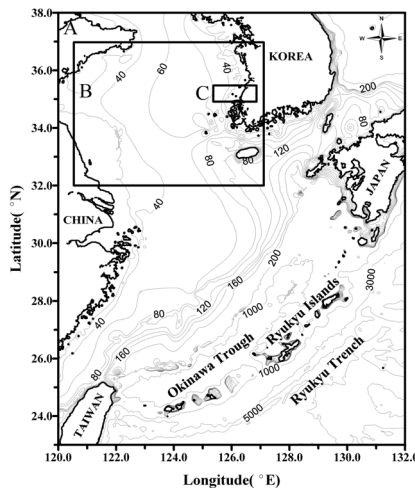


그림 1. 광역 A 계산영역 및 수심분포 (단위 : m)

표 2. 오키나와 트러프 가상 활성단층(F01~F05)에 대한 단층파라미터

Fault No.	Location		H (km)	θ (°)	δ (°)	λ (°)	L (km)	W (km)	D (m)
	Lat. (°N)	Long. (°E)							
F01	30.1667	128.6000	5	20	60	90	50	25	3.0
F02	27.7333	127.5000	5	32	60	90	50	25	3.0
F03	26.7667	126.2583	5	30	60	90	50	25	3.0
F04	25.7000	125.2667	5	40	60	90	50	25	3.0
F05	25.1667	123.6667	5	80	60	90	50	25	3.0

오키나와 트러프 내의 가상 활성단층(F01~F05)을 초기조건으로 설정하였다. 활성단층의 단층 파라미터 정보는 최원학 등(2007)이 제안한 오키나와 활성단층의 파라미터 정보를 참고하였으며 표 2는 수치모의에 적용된 단층파라미터를 나타낸다.

오키나와 트러프 내 가상 활성단층(F01~F05)에 의해 생성된 지진해일파가 한반도 남서해안을 향해 전파

하는 과정과 특성을 파악하기 위해 전술된 5개의 단층 중 발생위치에 따른 영향이 가장 뚜렷하다고 판단되는 단층 F01, F03, F05에 의해 발생하는 지진해일의 전파양상을 그림 2에 제시하였다. 오키나와 트러프에서 발생하여 전파하는 잠재 지진해일파는 전파 경향에 따라 크게 2가지 파로 나누어 설명할 수 있다. 첫째는 열도를 따라 발달된 트러프를 따라서 북동과 남서방향으로 전파해가는 파이고, 둘째는 등수심선과 직각방향으로 대륙붕에 진입하여 중국으로 향하는 파이다.

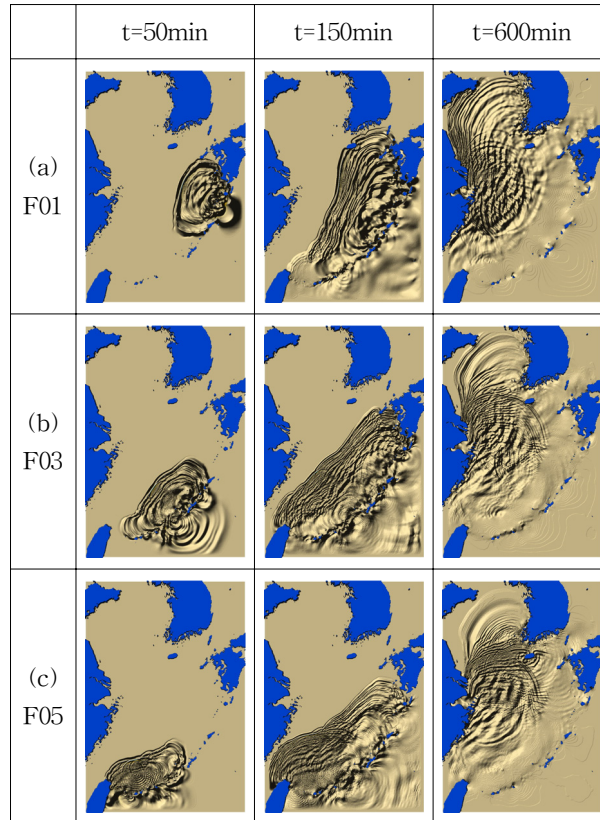


그림 2. 파원 F01, F03 그리고 F05에 의해 계산된 지진해일 전파양상

그림 2(a)에 제시한 파원 F01의 경우 주된 지진해일파는 북서진하여 한반도 남단 도달하며 굴절과 회절에 의해 전파방향이 북으로 바뀌면서 지진해일파는 서해로 진행한다. 서해 중앙에 발달된 깊은 수심 지형을 따라 북쪽으로 전파되는 지진해일파는 굴절 및 회절되어 지진해일 발생 약 400분 후에 남서해안에 도달한다. 오키나와 트러프를 따라 남서쪽으로 전파되는 해일파는 대륙붕 위로 올라가 전파하다가 중국쪽으로 굴절되어 중국해안에 도달한 다음 반사된다. 이 반사파는 지진해일 발생 약 750분 후에 남서해안에 도달하나 그 크기는 매우 작다. 그림 2(b)에 보인 파원 F03의 경우 주된 지진해일파는 등수심선과 직각을 이루며 서해 대륙붕을 넘어 중국으로 향하고, 초기파원의 장축방향으로는 유구열도와 평행하게 발달된 오키나와 트러프를 따라 빠른 속도로 북동 및 남서의 양방향으로 전파해간다. 이 과정에서 지진해일파가 연속해서 만나는 열도의 섬들에 의해 반사파가 생성되며 반사파는 대부분 다시 중국을 향해 전파해 간다. 또한 섬들 주변 수심분포의 영향으로 복잡한 굴절이 발생한다. 굴절로 인해 오키나와 트러프와 류큐 트랜치를 넘나드는 파가 발생하며 류큐 트랜치에서 오키나와 트러프로 굴절되는 파의 일부는 계속적으로 중국을 향한다. 오키나와 트러프를 따라 북동진한 지진해일파의 일부만이 대한해협을 통과하고 대부분의 해일파는 한반도 남단에서 수심분포의 영향으로 굴절과 회절에 의해 북서쪽으로 진행방향을 바꾸어 서해로 진입하고 다시 북진하는 과정에서 굴절 및 회절되어 지진해일 발생 약 480분 후에 파가 남서해안에 도달한다. 중국을 향해 전파해가는 주된 파는 중국해안에 도달하여 반사되고 이 반사파는 다소 차이는 있지만 지진해일 발생 약 800분 후에 남서

해안에 도달하나 그 크기는 매우 작다. 그림 2(c)에 제시한 파원 F05의 지진해일파는 파원이 계산영역의 남서쪽 끝 부근에 위치하고 있어 주된 파가 대륙붕을 넘어 중국 동해안을 따라 북진하는 형태를 보이며 이파는 얇은 수심지형을 전파하기 때문에 파장이 짧아지고 지진발생 약 800분 후에 한반도 남서해안 지역에 도달한다. 또한, 파원 F05로부터 발생한 지진해일파의 일부는 오키나와 트러프를 따라 빠른 전파속도로 북동진하며 파원 F01과 같은 경로를 따라 남서해안에 약 530분 후에 도달한다.

4. 결 론

한반도 남서외해 유구열도 주변 오키나와 트러프에 위치한 가상 활성단층에 의해 발생하는 잠재 지진해일에 대해 능동적 분산보정 지진해일 전파 유한차분모형을 이용하여 수치실험을 수행하였다. 유구열도를 따라 발생하는 잠재 지진해일파는 전파 경향에 따라 크게 2가지로 나누어 설명할 수 있다. 첫째는 열도를 따라 발달된 수심이 깊은 트러프를 따라서 북동과 남서방향으로 전파해가는 파이고, 둘째는 등수심선과 직각방향으로 대륙붕에 진입하여 중국으로 향하는 파이다. 파원이 F01과 같이 유구열도의 북쪽 끝에 위치한 단층의 경우에 오키나와 트러프의 깊은 수심을 따라 북동진한 주된 파가 직접 한반도 남단에 진입한 후 서해 중앙에 남북으로 발달된 깊은 수심지형을 따라 북상하여 한반도 남서해안으로 굴절 및 회절되어 도착한다. 파원이 오키나와 트러프의 남서쪽으로 내려가 위치하면 파원의 위치와 무관하게 유구열도와 평행한 오키나와 트러프를 따라 북동진한 파가 먼저 남서해안에 도달하고, 대륙붕을 넘어 중국쪽으로 향한 주된 지진해일파는 중국해안에서 대부분 소멸되며 약간의 반사파가 발생하나 남서해안에는 거의 영향을 미치지 않는다. 파원이 F05와 같이 유구열도의 남서쪽 끝으로 더욱 내려가면 오키나와 트러프를 따라 북동진하는 파가 서해 중앙수로 따라 먼저 남서해안으로 도달하고, 대륙붕을 올라선 주된 파는 중국해안을 따라 북상하며 얇은 수심의 영향으로 상대적으로 전파속도가 느려지고 파장이 짧아지며 트러프를 따라 북동진한 파에 비해 도달시간이 지체되며 남서해안에 도달한다. 유구열도 주변에서 발생하는 지진해일파는 해저지형의 영향으로 굴절과 회절을 동반하며 우리나라 남서해안 지역에 도달 하지만 그 영향이 매우 작은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술사업(지진해일 재해저감기술 개발, 과제번호 : NEMA-06-NH-06) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최원학, 박동희, 강금석, 김종학 (2007). 원전부지 지진해일 안전성 평가를 위한 근해 및 원양의 단층변수 특성. 한국지진공학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 39-46
2. Lim, C. H., Bae, J. S., Jeon, Y. J., Yoon, S. B. (2007a). Grid nesting for dispersion-corrected finite difference model for tsunami simulation. Proceedings of 32nd Congress of the International Association of Hydraulic Engineering and Research, Venice, Italy
3. Lim, C. H., Bae, J. S., Lee, J. I., Yoon, S. B. (2007b). Propagation characteristics of historical tsunamis that attacked the east coast of Korea. Natural Hazards (submitted).
4. Yoon, S. B., Lim, C. H., Choi, J. (2007). Dispersion-corrected finite difference model for simulation of transoceanic tsunamis. Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Science, CGU 18(1), pp. 31-53.