

울진원전부지에 대한 1983년 동해중부 지진해일 영향 평가

Evaluation of the Impact of 1983 East Sea Tsunami at the Site of Ulchin Nuclear Power Plant

이해균, 이대수, 최원학

한국전력 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

과거 울진원자력발전소 부지의 지진해일에 대한 안전성 평가는 최대 지진규모 7¼를 기준으로 수행되었다. 그러나, 최근 지진공백역이론(seismic gap theory)을 근거로 몇몇 지질학자, 지진학자들은 기존에 예상했던 것 이상의 큰 규모 지진발생 가능성을 경고하고 있으며, 이에 따라 울진부지에 대한 안전성 재평가의 필요성이 제기되고 있다. 본 연구에서는 유한차분법 기반 해석모델의 적용성을 검토하기 위하여 과거 최대 치오름이 관측되었던 임원항의 1983년 동해중부 지진해일의 치오름을 재현하여, 당시 보고된 최대 치오름 높이와 대체로 일치함을 보였다. 또한, 동일 지진해일에 대하여 울진원전 부지의 수위 상승과 저하를 계산하여, 울진원전의 1983년 지진해일에 대한 안전성을 입증하였다.

Abstract

In the past, we carried out the safety assessment study at the site of Ulchin NPP against tsunamis on the basis of maximum earthquake magnitude 7¼ and available tsunamigenic earthquake fault parameters. But, recently, based on the seismic gap theory some geologists and seismologists warned that the earthquakes with larger magnitude than was expected might occur in the East Sea region. And, the need of re-evaluation of safety is suggested. In this study, to investigate the applicability of a finite difference model, we simulated the 1983 East Sea Tsunami at the Imwon Harbor where the maximum run-up height of tsunami was observed. The general agreement was obtained in the viewpoint of maximum wave run-up height. Finally, we evaluated the rise and drop of sea water level at the site of Ulchin NPP and concluded that the site of Ulchin NPP is safe against tsunami of the same magnitude of 1983 East Sea Tsunami.

1. 연구 배경

우리나라의 원자력 및 화력발전소 부지는 필요한 냉각수의 확보를 위하여 해안지역에 위치하

고 있으며, 이로 인하여 지진해일, 폭풍해일 등의 해안 발생 재해에 노출되어 있다. 또한, 최근 국내에서 고조되고 있는 자연재해에 대한 사회적 관심과 더불어 국가 주요 시설물의 하나인 원자력발전소의 해안 재해에 대한 안전성 평가는 발전소의 운영 인·허가 및 안정적인 운전에 매우 중요한 문제라고 할 수 있다.

국내 원자력발전소 부지에 대한 지진해일 연구로는 (주)한국전력기술 (1986)에서 수행한 울진 1, 2호기 원전부지를 대상으로 가상최대지진해일에 대한 부지고(敷地高) 안전성 검토와 1991년 고리, 월성 원전 부지의 지진해일 안전성에 대한 한국전력공사 (1991)의 연구가 있다. 울진 부지에 대한 지진해일의 안전성 입증은 발전소 부지앞 수심 200 m 해상까지 선형 천수방정식으로 수위를 계산한 후 Shuto의 처오름 공식(Shuto, 1972)을 이용하여 최고 해수위를 결정하고, 그와 같은 만큼의 최저해수위를 가정하는 방식으로 수행되었다 (한국전력기술주식회사, 1986). 기존의 연구결과를 종합하면 다음 표 1과 같다. 표 1에 의하면, 울진 1, 2호기의 경우, 가상최대 지진해일에 대하여 발전소의 안전운전에 필수적인 필수냉각수(ESW) 계통은 약 2 m의 여유수심을 확보하고 있으나, 냉각수 순환수(CWP) 계통의 경우 가상최대지진해일 발생시 여유 수심이 부족하여 발전소 운전정지를 초래하게 된다.

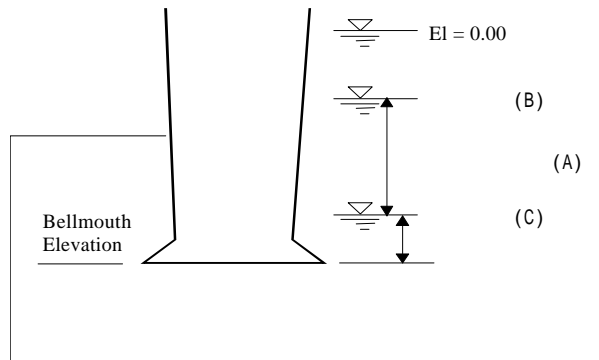


그림 1. 원자력발전소 취수구 개략도

표 1. 지진해일을 고려한 각 부지별 최저 수위와 여유고 (단위 m)

UNIT	분류	가상최대 지진해일에 의한 수위저하량 (A)	저극조위 (B)	최저수위에 대한 취수 여유고		
				최저수위 (C=A+B)	ESW Pump Bell Mouth EL (D)	여유고 (E=C-D)
					CW Pump Bell Mouth EL (D)	
월성 1,2호기		-0.800	-0.290	-1.090	-5.00	3.910
					-3.55	2.460
고리 1,2호기		-0.480	-0.497	-0.997	-2.82(1호기) /-3.67(2호기)	1.843(1호기) /2.697(2호기)
					-3.96	2.983
고리 3,4호기		-0.310	-0.497	-0.807	-3.48	2.673
					-6.33	5.523
울진 1,2호기		-3.000	-0.300	-3.300	-5.29	1.992
					-1.65	-1.650

그러나, 과거 울진원전부지에 대한 지진해일 평가(한국전력기술주식회사, 1986)는 당시의 기술수준 (사용모델의 한계, 반영한 지진의 규모와 단층 모델의 부정확성)의 제약으로 발전소 부

지까지 수치모델을 적용하지 않고, 해안지형을 이상화하여 간략식을 적용하였으므로, 합리적인 처오름 높이 및 수위 저하량을 산정하였다고 보기 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 동해에서 발생한 지진해일 중에서 우리나라에 가장 큰 피해를 입혔으며, 기존의 몇몇 위험 지진공백역 단층과 비교하여 가장 높은 수위상승 및 저하를 일으키는 것으로 추정(이해균 외 2인, 2000)되는 1983년 동해중부 지진해일을 수치모의하여 울진부지의 지진해일에 대한 안정성을 평가하고자 한다.

2. 입력지진 단층 및 초기 수면변위 계산

지진해일은 해저에서 발생한 지진에 의한 지반 변동에 의하여 만들어진 파랑이 육지로 전파해 나가는 현상으로서, 가장 먼저 대상지진에 의한 해저지반의 변위를 계산해야 한다. 일반적으로 단층면의 면적이 수심에 비하여 매우 크고 단층운동의 지속시간이 짧기 때문에 해저지반 변위를 그대로 해수면 초기 변위로 사용한다. 1983년 동해중부 지진해일 유발 지진의 단층 파라메타로서 가장 널리 알려진 Aida Model-10 (相田, 1984)의 제원은 다음 표 2에 보인 바와 같다. 표 2의 단층파라메터를 입력변수로서, Mansinha and Smylie (1971)가 제안한 방법에 의하여 지반변위를 산정하였다 (그림 2).

표 2. 相田(Aida)의 동해 중부 지진해일 단층 모형 : Model-10 (相田, 1984)

단층 파라메터	길이	폭	깊이	주향	경사	변위량		지진모멘트 dyn-cm
	L(km)	W(km)	d(km)	θ	$\delta (^{\circ})$	D_s (m)	D_d (m)	
북측 단층 (40.546° N, 139.024° E)	60	30	3	N5° W	25	-0.54	-3.00	2.2×10^{21}
남측 단층 (40.213° N, 138.833° E)	40	30	2	N22° E	40	0.00	-7.60	3.6×10^{21}
비 고	Ds : 변위의 주향방향 성분, Dd : 변위의 경사방향 성분							합계 5.8×10^{21}

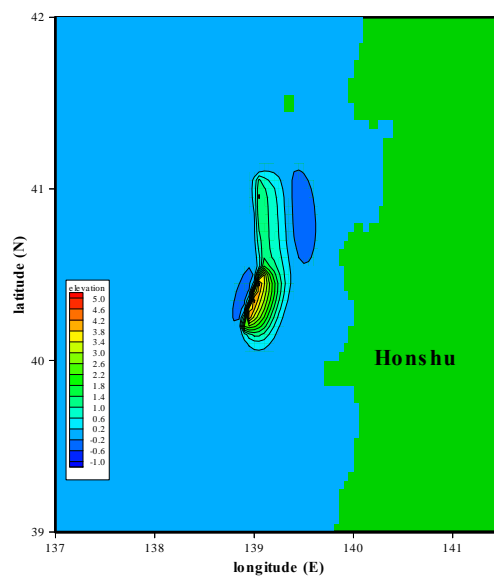


그림 2. 1983년 동해중부 지진해일의 초기파형

3. 1983년 동해중부 지진해일의 처오름 및 전파 계산

우리나라 동해안에 피해를 입힐 가능성이 있는 지진해일의 발생지는 모두 일본 연안이므로, 지진해일의 수치모델의 적용에는 동해 전체가 계산 영역이 된다 (그림 3). 전체 영역을 모두 작은 격자로 구분하여 계산하는 것은 시간과 비용면에서 매우 비경제적이므로, 관심대상영역을 중심으로 모두 5개 영역으로 구분하여 모델을 적용하였다 (표 3).

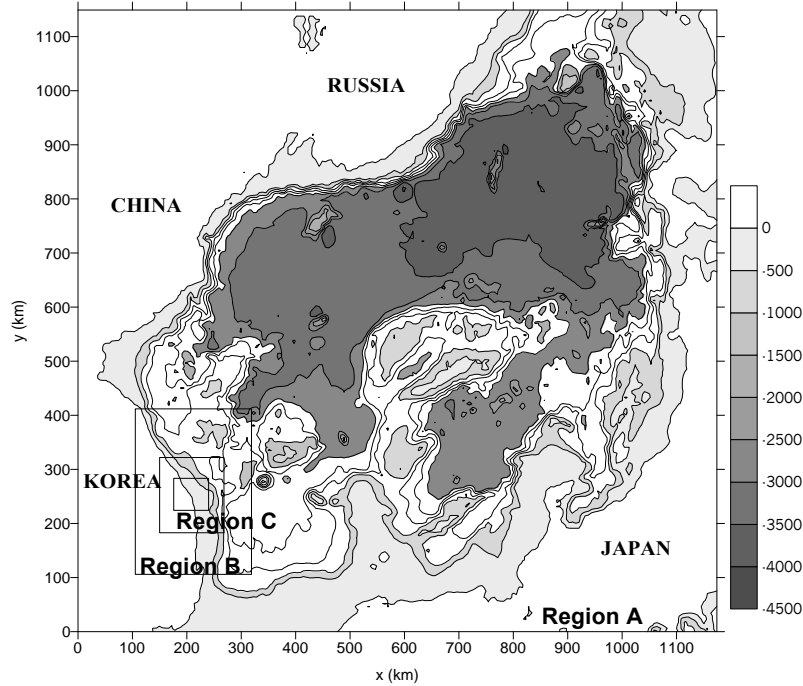


그림 3. 해석영역의 지형 및 계산영역 구분

표 3. 각 해석영역의 격자 제원 및 지배방정식

구 분	격자 수	공간격자간격 dx (m)	시간간격 dt (sec)	지배방정식
Region A	1068 × 1046	1100.000	3.000	선형천수방정식
Region B	578 × 827	366.667	1.000	선형천수방정식
Region C	506 × 557	122.222	0.333	선형천수방정식
Region D	347 × 323	40.741	0.333	비선형천수방정식
Region E	296 × 323	13.580	0.333	비선형천수방정식

그림 4는 지진 발생후 50분 후의 파랑 전파 형상이다. 본 연구에 사용된 모델의 검증을 위하여 역사적으로 우리나라에 가장 큰 처오름 높이로 기록되었던 울진원전 북쪽 약 20 km 지점에 위치한 임원항의 지진해일에 대한 처오름 높이를 재현하였다. 지진해일 발생후 3시간 동안을 모의하였으며, 저면마찰계수(Manning's n)는 0.025 로 계산하였다. 해수면의 상승에 따른 육지에의 범람을 자세하게 모의하기 위하여 방파제를 포함한 상세역 계산에는 이동경계조건(wet-dry scheme)을 적용하였다. 이에 따른 수위 변화와 최대 범람역은 다음 그림 5, 6과 같이

모의되었다. 현재로서는 임원항의 자세한 수위이력기록은 구할 수 없지만, 당시 보고된 최고 처오름 높이가 약 4 m 었던 점을 감안하면 계산된 최고수위 4.2 m 는 매우 타당한 결과로 보여진다.

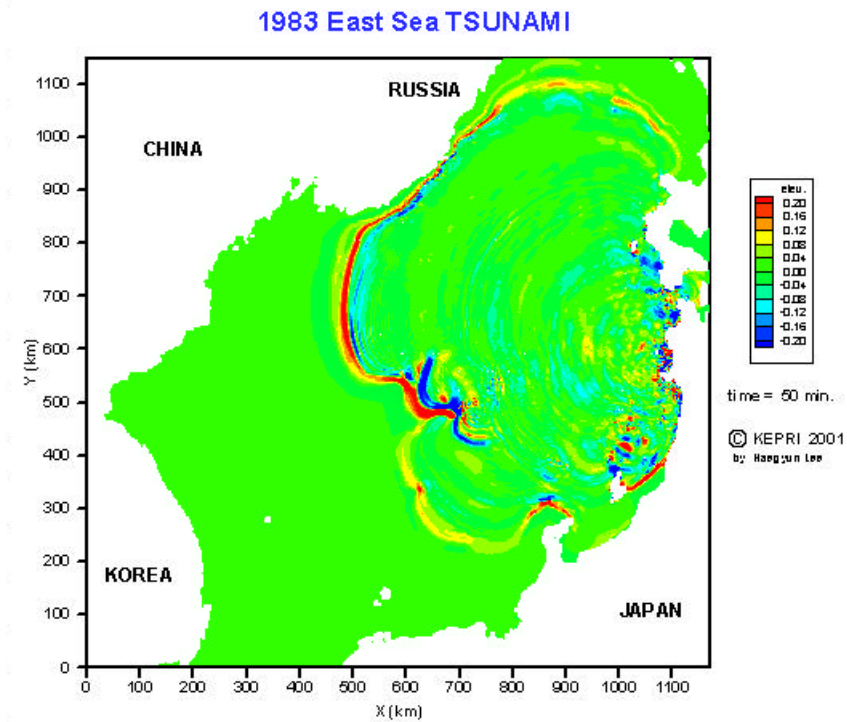


그림 4. 1983년 동해중부 지진해일의 전파

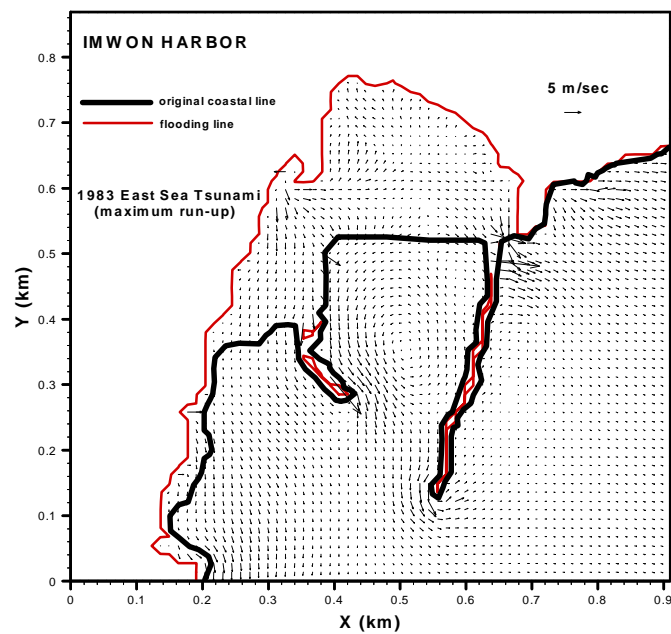


그림 5. 임원항에서의 최대 처오름 (1983년 동해중부 지진해일)

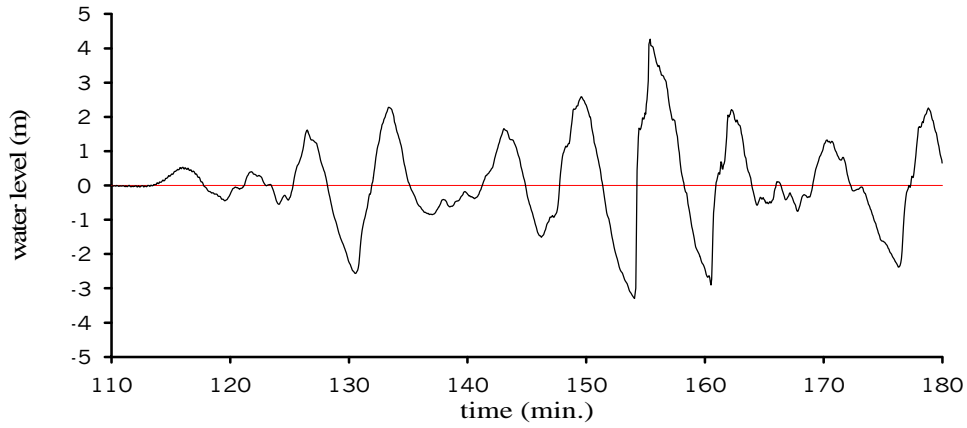


그림 6. 임원항 방파제 내부 중심부의 시간에 따른 수면 변화 (1983년 동해중부 지진해일)

본 연구에서 개발한 모델을 울진원전부지(그림 7)에 적용하였다. 역시 임원항에서의 모의와 같이 전영역에 0.025의 저면마찰계수를 적용하여, 그림 8에 보인 바와 같은 수위이력을 얻을 수 있었다. 그림 8에 보인 바와 같이 최고 수위 상승은 약 1.7 m, 수위저하는 약 -1.4 m 로 추정 된다.

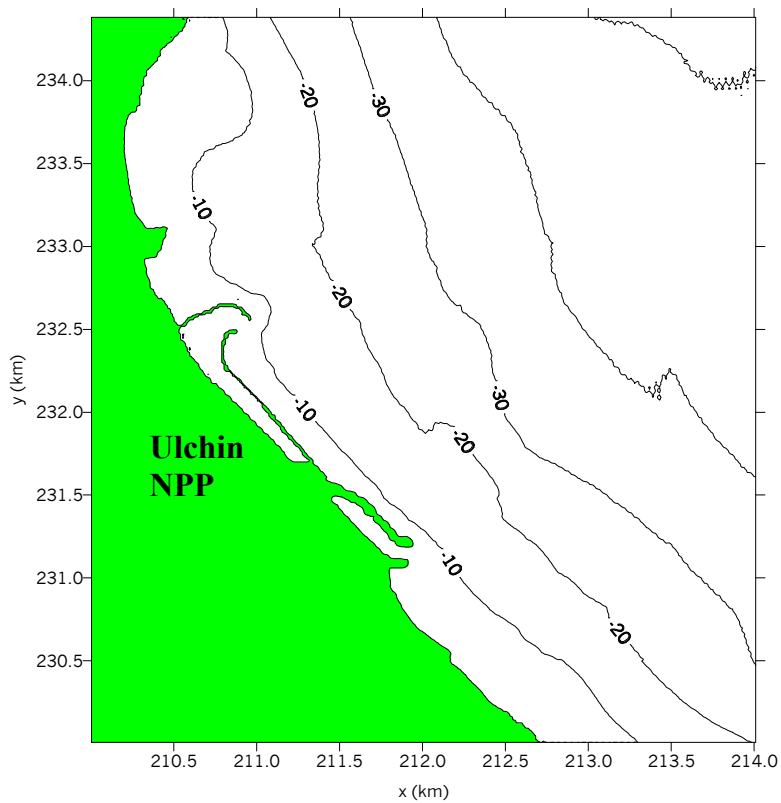


그림 7. 울진부지의 주변의 수심도 (Region-E)

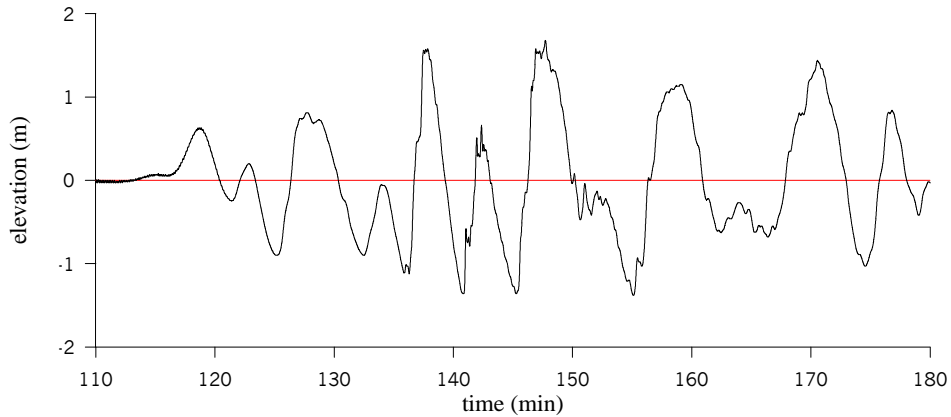


그림 8. 울진원전 방파제 내부의 시간에 따른 수면 변화 (1983년 동해중부 지진해일)

4. 결론 및 향후 연구방향

유한차분법 모델을 이용하여 1983년 동해중부 지진해일에 대한 울진원전 부지의 안전성을 평가하였다. 일반적으로 원자력발전소 부지는 수위의 상승보다도 수위 저하에 따른 냉각수 취수 기능의 상실이 우려되는 것으로 알려져 있다. 계산된 수위 저하량 -1.4 m 에 저극조위 -0.3 m 를 더하면 수위 저하는 약 1.7 m에 이를 것으로 추정된다. 따라서, 울진 1, 2 호기의 경우 순환수 취수계통(CW Pump)은 운전에 지장을 받을 수 있으나, 필수냉각수 취수 계통 (ESW pump)은 여전히 약 3.6 m 의 여유 수심을 확보하고 있음을 알 수 있다 (표 4). 또한 기존의 연구 (이해균 외 2인, 2000)에서 보인 바와 같이, 1983년 동해중부 지진해일의 영향이 울진원전 부지에 다른 어떤 위험 단층보다도 크다는 점을 감안할 때, 다른 지진공백역 단층(원자력안전기술원, 1997)에 대해서도 필수냉각수 계통에 대해서는 충분한 여유수심을 확보할 것으로 추정된다.

표 4. 계산 결과 및 여유수심

분 류 UNIT	가상최대 지진해일에 의한 수위저하량 (A)	저극조위 (B)	최저수위에 대한 취수 여유고		
			최저수위 (C=A+B)	ESW Pump Bell Mouth EL (D)	여유고 (E=C-D)
울진 1,2호기	-1.4	-0.3	-1.7	-5.29	3.6
				-1.65	-0.05

향후 필요한 연구로는 무엇보다도 지진해일 파의 분산효과를 재현할 수 있도록 모델을 개선하는 일이다. 본 연구에서 사용된 모델의 경우 파랑의 분산효과를 반영하지 못하기 때문에 실제 지진해일에 의한 수위 상승 및 저하량을 다소 과대 평가할 수 있다. 그 이외에 지속적인 지진해일 유발 위험 단층에 대한 연구, 지진해일 파의 전파 및 육지에의 범람 모델에서 중요한 변수인 바닥 저면마찰계수 산정에 대한 조사·연구가 필요하다.

5. 참고문헌

1. 원자력안전기술원 (1997). 울진부지에 영향을 미치는 가능 최대 쓰나미 유발 잠재지진 평가.
2. 이해균, 이대수, 최원학 (2000). 울진원자력발전소 부지의 지진해일 위험도 평가, 대한토목학회학술발표회논문집(III), pp. 791-794.
3. 한국전력공사 (1991). 발전소 구조물에 미치는 지진해일의 영향연구.
4. 한국전력기술주식회사 (1986). 원자력 9,10호기 설계최대홍수위 조사검토-지진해일에 대한영향 검토.
5. 相田勇 (1984). "1983年日本海中部地震津波のモデル, 地震研究所集報, 第59卷.
6. Mansinha, L. and Smylie, D. E. (1971). The displacement fields of inclined faults. *Bulletin of Seismological Society of America*, Vol. 61, No. 5, pp. 1433-1440.
7. Shuto, N. (1972). Standing waves in front of a sloping dike, *Coastal Eng. in Japan*, Vol. 15, pp. 13-23.