

동해안에서 지진해일의 처오름

○ 조용식*, 이호준**, 진소범***

1. 서론

동해는 해저지진이 자주 발생하는 지역으로 1983년 Akita 지진과 1993년 Hokkaido 지진으로 대규모 지진해일이 생성되어 일본은 물론 우리나라와 러시아에서도 많은 인명피해와 재산피해가 발생하였다. 특히, 우리나라의 동해안에는 울진, 월성, 고리 및 신포 원자력발전소가 가동중에 있거나 건설중에 있어 지진해일의 급습에 따른 범람 위험성을 연구할 필요가 있다.

동해에서의 지진해일의 거동에 관한 수치실험은 과거 20년 전부터 수행되어 왔다. 기존의 연구는 주로 동해안에 위치하고 있는 원자력발전소 설계에 있어서의 안전도를 평가하거나, 동해안에서의 과거 지진해일의 정량적인 분포를 구하기 위한 노력 등이었다. 또한, 동해를 횡단해 오는 지진해일 거동의 이해를 돕기 위한 노력으로 컴퓨터 애니메이션 기법을 이용한 동영상화가 이루어진 바 있다. 더욱이, 최근에는 유한차분 격자간격이 비교적 작은 수치모형을 이용하여 동해안에서의 지진해일의 위험성이 평가되었을 뿐만 아니라 동해안에서의 지진해일의 거동이 비교적 자세히 파악된 바 있다.

일반적으로 지진해일이 수심이 상대적으로 얇은 해안선 근처에 접근하면 천수효과에 의해 엄청난 높이의 처오름(run-up)과 처내림(run-down)을 발생시킨다. 지진해일의 처오름은 범람을 유발시켜 엄청난 인명과 재산피해를 초래할 수 있으며, 처내림은 해수면의 수위를 강하시켜 원자력발전소와 임해 화력발전소의 취수구에서 냉각수 취수를 중단시켜 이로 인한 엄청난 재앙을 초래할 수 있으므로 지진해일에 관한 연구는 매우 중요하다.

본 연구에서는 기존의 지진해일 수치모형중에서 범람모형(inundation model)을 이용하여 동해안의 주요 지점에서 1983년 Akita 지진해일에 의한 최대 처오름높이(maximum run-up height)를 계산하여 현장관측자료와 비교한다. 아울러, 주요 지역에서 최대범람구역(maximum inundation zone)을 계산한다. 최대범람구역을 결정하기 위해서는 수치모형에 해안선의 움직임을 추적하기 위한 이동경계조건을 설정해야 한다. 이동경계조건을 사용하면 해안선을 따라 최대 처오름높이와 최대범람구역을 결정할 수 있으므로 지진해일과 조석 등에 의한 범람피해를 줄이기 위한 방재작업 계획 등에 효과적으로 이용될 수 있을 것이다. 아울러, 실제 지진해일의 피해가 예상될 때 관계당국에서 이용하여 범람으로 인한 피해를 최소화할 수 있을 것이다.

* 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 국립방재연구소 연구관

*** 한국원자력안전기술원 선임연구원

2. 지진해일 조사

국립방재연구소(1999, 연구보고서)는 1999년에 동해안을 대상으로 과거의 지진해일조사를 재 실시하였다. 대상 지진해일은 1983년과 1993년의 사상으로 하였지만 주로 1983년의 기록을 조사 하는데 초점을 두었다. 조사결과에 따르면 지진해일이 가장 높았던 곳은 임원으로 약 7.15m에 달 하였다. 동해의 전 연안이 모두 절벽형태의 해저 지형을 보이는 반면 임원을 중심으로 하는 일부 지역에서는 천해역이 발달해 있다. 이 지역에는 임원천이 흐르고 있는데 그 하구가 임원항을 끼고 발달해 있다. 지진해일은 임원천을 따라 역상하였고 그 최고치가 7.15m에 달하였다. 그 외에도 여러 지역에서 신뢰성 높은 관측결과를 얻을 수 있었다. 조사를 통해 얻은 최대 지진해일고를 그림 1에 제시하였다.

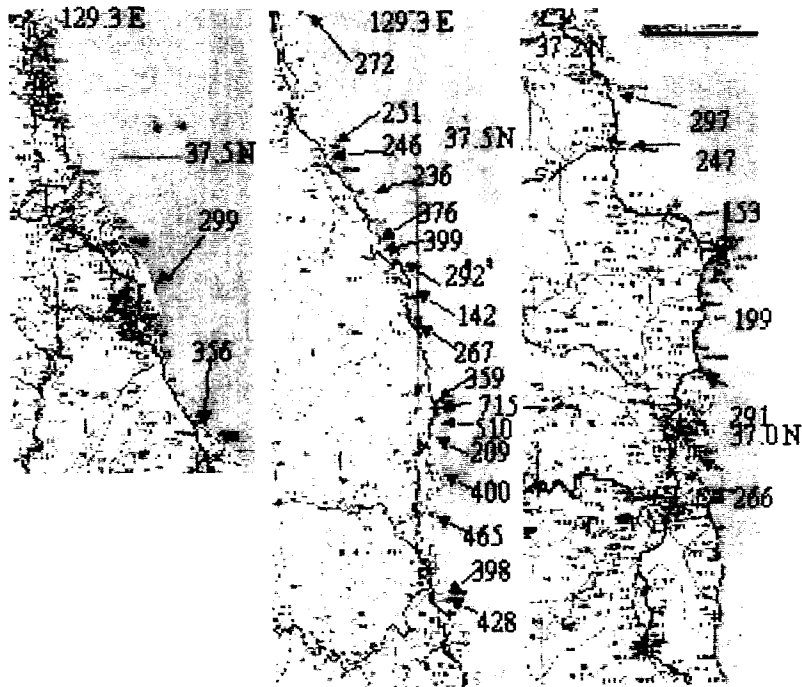


그림 1. 1983년 동해중부지진해일의 관측치

3. 지진해일 수치계산

지진해일 재해경감을 위해 과거의 지진해일 기록을 수치계산을 통해 재현하였다. 물론 이 이전에도 여러기관에서 다양한 목적으로 지진해일의 수치계산이 이루어진 바 있다. 예를 들어 우선 해안에 위치한 원자력발전소의 안전도 평가를 위해 지진해일의 영향이 평가된 바 있다 (KEPCO, 1991). IDNDR사업이 시작된 이후 지진해일은 심각한 자연재해의 일종으로 급부상되었고, 이를 계기로 한국에서도 지진해일연구에 많은 관심이 집중되기 시작하였다. 과거에 동해에서 발생한 지진해일사상이 역사적인 관점과 공학적인 관점에서 재접근되었다. 역사적인 관점에서는 조선왕조실록, 승정원일기 등의 고문서가 주로 사용되었고, 수치적 방법 역시 현재에 이르기까지 꾸준히 발전하여 유용한 결과들을 제시하고 있다. 1983년과 1993년의 지진해일사상이 1km의 격자 상에서 계산된 결과가 최 등(1993)에 의해 계산된 바 있다.

본 연구에서 41.1m의 격자를 이용하여 지진해일을 재 계산하였다. 또, 임원항 부근에서의

지진해일의 범람계산을 위해 4.5m의 격자를 사용한 수치모형을 수립하고 범람역을 판정하였다. 연안역에서의 상세한 지형조건을 부여하고 비선형 계산을 실시하기 위하여 1:3의 격자세분화를 실시하였고 동적 연결을 시도하였다. 그림 2의 1.1km 격자간격의 기본영역을 중심으로 계산영역은 3개의 부영역을 포함하고 있는데 각각의 격자간격은 370m, 123.3m, 41.1m 를 사용하였다. 수치모형의 지배방정식으로는 계산 영역에 따라 선형장파이론과 비선형 천수이론을 사용하였다. 연안에서의 경계조건으로 완전 반사조건이 이용되었고 외해경계에서는 자유투과조건이 이용되었다. 그림 3은 이 수치모형을 이용하여 산정된 1983년 지진해일의 연안최고수위를 나타낸다. 우선 동해안을 따라 123.3m격자상에서 지진발생 후 3시간동안 기록된 지진해일 최고수위를 추출하였다. 이 영역은 그림 2의 사각형 내부 영역으로 주 관심대상인 동해안 중앙부 전체를 포함하고 있다. 계산 결과는 관측치와 서로 비교되었다.

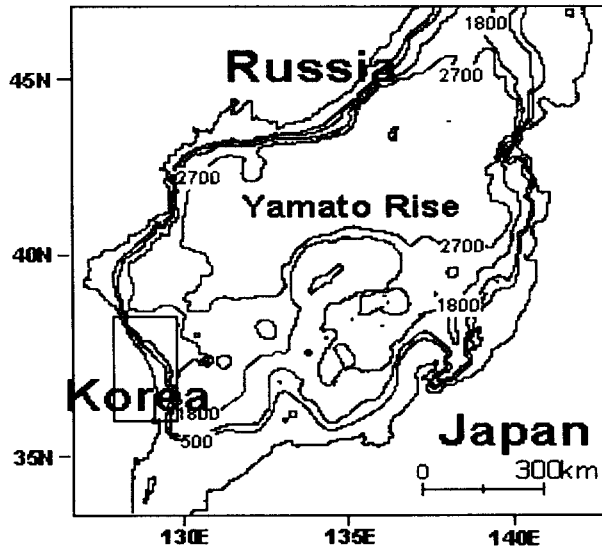


그림 2. 계산영역

계산 결과는 관측치와 비교하여 차이를 나타내고 있는데 특히 임원을 중심으로 큰 차이를 나타내고 있다. 계산치는 1983년 지진해일의 경우 모두 과소평가되었다. 이는 천수이론이 사용되었음에도 불구하고 격자간격이 커서 천해역이 발달한 이 지역의 해저지형을 적절히 묘사할 수 없었기 때문으로 사료된다. 따라서, 41.1m의 보다 세분화된 격자상에서 계산된 결과를 관측치와 비교하였다. 위에 언급된 두 지진해일 사상을 다시 계산하여 그림 4의 최고수위 분포를 얻었다. 이로부터 그림 3에 제시한 결과와 비교하여 지진해일의 예경보에 직접 사용할 수 있을 만큼의 정확도의 다소 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

두번째로 임원항에서의 지진해일범람을 산정하였다. 항구의 형상과 방파제 폭 등을 표현하기 위해 보다 작은 크기의 격자를 사용하여 바깥영역의 큰 격자와 동적으로 연결하였다. 최근에 발행된 도시계획도로부터 표고자료를 읽어 임원항 부근 계산 영역의 육상표고를 내삽하였다. 직립안벽을 가정한 완전반사조건 대신 파선단에서 이동경계조건을 이용하여 육지로의 침수를 고려하였다. 수치모형을 이용하여 위에서 언급한 두개의 지진해일 사상을 산정하였다. 그림 5는 1983년 지진해일의 산정결과를 나타낸다. 등심선은 범람역에서의 최고수위를 나타낸다. 지진해일은 임원천을 역류하여 정지해면 상 6m에 이르고 있다. 항 내부 역시 범람되어 최고 수위는 항의 북동측 끝에서 5m이상으로 나타나고 있고, 남서측 끝에서는 3.9m를 보이고 있다. 이 역시 관측된 결과와

상이하지 않고 단지, 최고수위가 발생한 시각의 어긋남이 오차로 평가된다. 범람역을 보면 현지조사를 통해 얻은 결과와 비교하여 넓게 분포하고 있음을 알 수 있다. 이는 해저 마찰의 영향이 옹게 평가되지 않았기 때문으로 사료되는데 실제 계산에 있어서 항구주변의 건축물과 구조물의 영향이 배제되었음이 가장 큰 원인이라 할 수 있다. 이렇게 산정된 결과로부터 당시의 해황 역시 추측할 수가 있는데, 항내의 남서측에 동심원이 형성되어 있음을 알 수 있다. 이는 지진해일이 와를 발생시켰음을 의미한다. 지진해일 발생당시의 해황을 설명해주는 사진을 보면 이를 쉽게 알 수 있는데 그림 6의 사진이 이를 증명한다. 즉, 사진에서 중앙부의 어선들이 반시계 방향의 거대한 와에 휘말리고 있는 모습을 볼 수 있다. 이러한 모든 결과로부터 수치모형 결과는 지진해일 범람도 등의 실제의 방재정책에 응용할 수 있는 결과를 제시하고 있음을 확인할 수 있다. 앞으로 수정되어야 할 문제점을 들자면 역시 앞에서 지적된 범람역에서의 해저마찰의 영향과 항구주변의 구조물의 영향을 들 수 있겠다. 지진해일파가 항구에 도달하는 양상을 알아보기 위해 항구 중앙부의 한점을 택하여 해면변동의 경시변화를 그림 7에 나타내었다. 초기에 작은 미동과 함께 제 5파에서 전진폭이 약 7m에 달하고 있음을 알 수 있다. 현지조사에서 당시 항내를 오르내린 해일의 거동을 조사하기 위해 노력하였지만 모두 수 차례 해면이 진동했다는 증언 외에 자세한 결과는 얻을 수 없었다. 따라서, 그들의 증언과 계산된 결과를 통해 추측한다면 제 5파 이전에 최대 파고의 지진해일이 도달했음을 알 수 있고, 이는 지진 발생 후 2시간 10분부터 2시간 35분 내에 일어났음을 역시 짐작할 수 있다. 해면 변동의 시각에 대한 오차를 평가하기 위해 검조 기록을 이용할 수 있는데 이는 앞으로의 과제로 남기기로 한다.

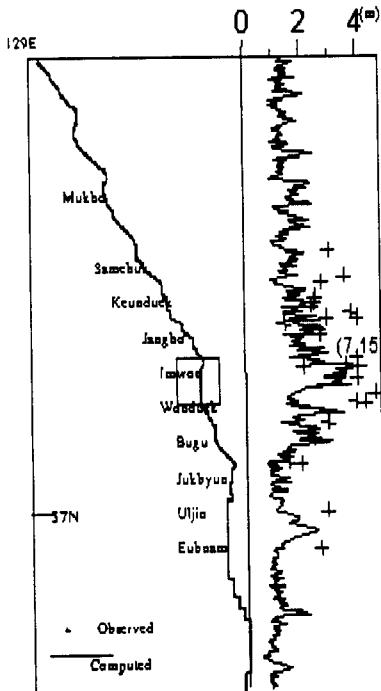


그림 3. 지진해일 산정결과와 관측치의 비교 (dx=123.3m)

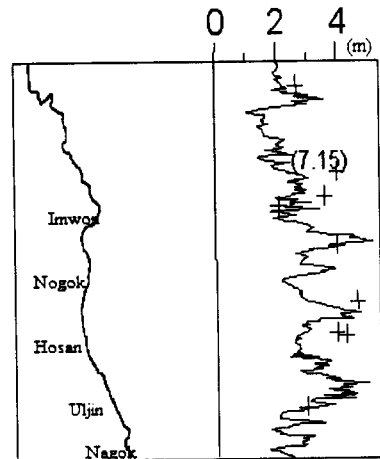


그림 4. 지진해일 산정결과와 관측치의 비교 (dx=41.1m)

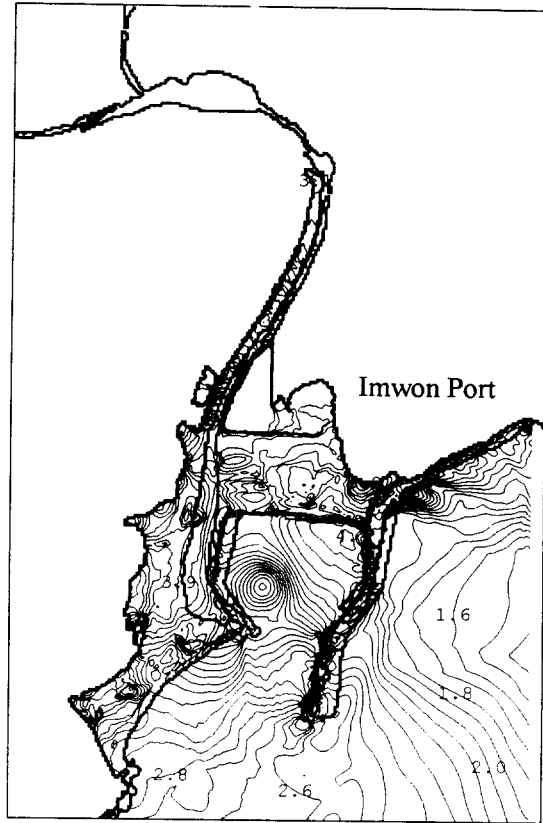


그림 5. 1983년 동해중부지진해일의 임원항에서 범람최고수위 산정결과



그림 6. 1983년 5월 26일 지진해일 내습당시의 임원항내의 모습

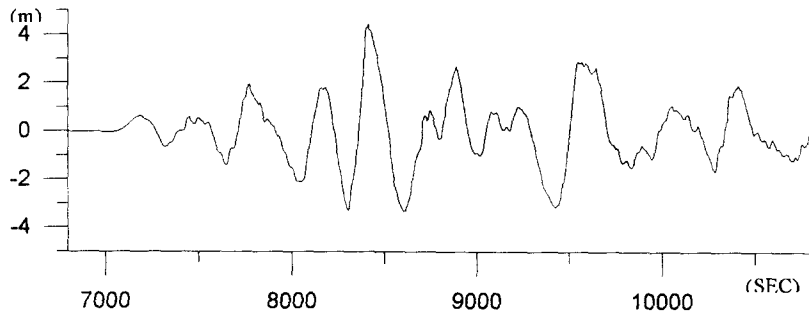


그림 7. 1983년 동해중부지진해일 내습시 임원항 수면의 경시변화 산정결과

4. 결론

지진해일에 대한 연구와 재해저감을 위해 수치모형을 이용하여 동해안에서의 지진해일의 위험도를 평가하였다. 동해에서 일어난 과거의 지진해일이 세력자상에서 산정되었고 그 결과는 관측치와 비교하여 일치하였다.

동해안에서의 지진해일 전과과정을 규명한 뒤 정량적으로 정확한 지진해일의 산정을 실시하였다. 지진해일 범람도를 작성하기 위한 초기 단계의 작업으로 먼저 임원항에서의 지진해일의 범람을 산정하였고, 나아가 동해안에서의 지진해일 예경보체계 수립을 위한 연구를 수행중에 있다.

감사의 글

본 연구는 한국원자력안전기술원의 연구비 지원으로 수행하였기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 국립방재연구소(1998), "동해안에서의 쓰나미위험도 평가"
- 국립방재연구소(1999), "동해안에서의 지진해일 재해저감을 위한 연구(I)"
- 쓰나미조사단(1994), "일본 북해도 남서부 지진에 의한 한국동해안 지진조사", 한국해안해양공학회지, 제 6권 제 1호, pp.117-125
- 최병호, 이호준 (1993), "1983년 동해 쓰나미의 산정", 대한토목학회논문집 제 13권 제 13호, pp.207-219.
- 최병호, 우승범, Pelinovsky E.(1994), "1993년 동해 쓰나미 산정", 한국해안해양공학회지 제 6권 제 4호, pp.207-219
- 한국전력공사기술연구원(1991), "발전소 구조물에 미치는 지진해일의 영향연구"
- 都司嘉宣, 小西達男, "日本海に發生した地震津波と數値計算結果", 國立防災科學技術センター研究報告, No.35, pp.277-297
- 石川有三(1994), "殘された空白域", 月刊海洋號外7號, pp.102-107.
- 羽鳥德太郎(1984), "日本の歴史地震津波", 海洋科學, Vol.16 No.9, pp538-545