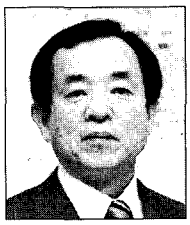
우리나라 지진·지진해일 감시시스템



우 덕 모 | 기상청 지진담당관

1. 개요

2004년 12월 26일 인도네시아 수마트라섬 서쪽 해역에서 대규모 해저지진이 발생하여 인도양 주변의 남아시아 전역에 23만 여명의 막대한 인명피해가 발생하였다. 피해규모가 큰 이유를 살펴보면 첫째, 이 지진은 규모 9.0으로 1900년도 이후 세계지진 중 네 번째로 큰 대규모 지진이었고 둘째, 지진발생 후 경보발령의 지연으로 주민을 신속히 대피 시키지 못한 것이 인명피해가 커진 이유라고 생각된다.

이번 지진을 계기로 '우리나라는 지진·지진해일로부터 안전지대인가?' 에 대한 의문이 제기되고 있으며, 안전대책에 대해 많은 사람들의 관심이 집중되고 있는 실정이다. 이번 인도네시아 지진해일 피해를 거울삼아 우리나라의 지진·지진해일 재해 안전대책을 점검하고 미비점을 보완하여 언제 닥쳐올지 모르는 대재앙에 대비하여 조금이라도 피해를 줄일 수 있도록 정부와 국민이 함께 노력해야 한다.

지진발생을 예측하는 것은 현재의 과학기술로 불가능하다는 것이 세계적인 통설이다. 그렇지만 이를 예측하기 위하여 일본, 미국, 중국 등 여러 국가에서 많은 예산을 투자하여 지진 발생 전의 전조현상을 관측하고 연구하는 등 지진예지를 위하여 노력하고 있다. 지진을 예측하는 것은 어려우나 대규모 지진이 해저에서 발생하여 지진해일이 우리나라 해안에 언제쯤 도달할지의 도착시각과 해일의 높이는 예측할 수 있다.

따라서 지진은 발생과 동시에 건물이 붕괴되어 사실상 대피가 거의 불가능하지만 지진해일은 지진발생 후 해일이 진앙지로부터 해안선까지 전파되어 오는 시간동안 대피할 수 있는 시간이 있기 때문에 신속한 해일경보발령과 대피명령 등 철저한 대응체계가 확립되면 재산피해는 피할 수 없다 하더라도 인명피해는 최소화 할 수 있다. 이는 평상시 시설물의 내진설계나 주민들의 대피훈련, 지진이나 지진해일의 위험도, 대피요령 등의 철저한 교육훈련을 통해서만 이루어질 수 있다.

지진이나 지진해일 피해를 줄이기 위해 정부에서는 많은 노력을 기울이고 있다. 무엇보다도 중요한 것은 지진발생시 신속한 초기대응이라고 할 수 있다. 기상청에서는 이를 위해 24시간 지진·지진해일을 상시 감시하고 있으며, 국가지진정보시스템(NEIS 2002년 도입)으로 지진발생 현황을 자동 분석하고 있고, 분석결과 국외지진인 경우는 자동분석 결과와

국외정보를 입수하여 지진해일 동반여부를 종합적으로 판단하여 지진해일 특보를 생산한다. 이를 중앙재난안전대책본부와 언론 보도기관 및 해당지역의 시, 도, 군까지 기상청에서 직접 지진해일특보를 전파하고 그 지방자치단체장은 지형 등을 고려하여 주민대피명령을 발령하게 된다. 재해를 줄이기 위해 소방방재청 등 재해관련 유관기관들이 각 부처별로 유기적인 업무협조체계를 구축하고 있으며, 국가위기관리센터(NSC)에서도 재해유형에 따른 각 부처별 「지진·지진해일 발생시 표준행동 매뉴얼」을 작성·배포하는 등 재난관리에 획기적인 개선을 위해 노력하고 있다.

2. 우리나라의 지진·지진해일 감시시스템

2.1 우리나라의 지진관측망

우리나라는 1905년부터 지진관측을 시작하였으나 1944년부터 1962년까지 6. 25 동란 등으로 관측이 중단되었고 관측자료 또한 보존되어 있지 않으며, 1963년 미국 지질조사소의 세계표준지진관측망(WWSSN : World-Wide Standardized Seismograph Network)의 일환으로 서울에 유일한 지진관측소가 신설되었다. 그 후 1978년 우리나라 재정으로 처음 지진계를 도입하여 서울, 광주, 서산 등 3소의 관측소를 갖게 되었고, 이때부터 우리나라의 근대 지진관측이 시작되었다. 그 후 1980년 9월 지진계 3대(미국 텔레다인지오텍사 TG-80)가 도입되어 부산, 강릉, 추풍령에 관측소가 추가 신설되어 6소의 지진관측소를 갖게 되었으며, 1990년 지진관측소가 12소로 확장되면서 이때부터 처음으로 전용회선을 이용한 온라인(On-line) 지진관측이 시작 되었다. 그 후 1997년부터 아날로그 지진관측이 디지털지진관측으로 전환되었으며 1999년 지진관측의 디지털화가 완성 되었다. 2002년 국가지진정보시스템이 구축·완료 되어 2005년 현재 전국에 34소의 지진관측소와 75소의 가속도지진관측소를 운영중이다. 기상청 이외의 지질자원연구원, 원자력안전기술원, 한국전력연구원 등 지진관측망을 운영하고 있는 기관 간에 관측자료를 상호 공유하기 위한 전국 53소의 통합관측망을 운영하고 있다. 지진해일 감시를 위해 울릉도에 지진해일관측소를 운영하고 있으며 이는 동해안의 해일 선도관측소 역할을 하고 있다.

2.2 지진·지진해일 감시체계

기상청에서는 지진 및 지진해일 실시간 감시를 위해 지진전문가 2인이 3교대로 24시간 상시 감시체제를 유지하고 있으며, 지진이 발생하면 국가지진정보시스템(NEIS)이 이를 자동분석하고 경보음을 송출한다. 국외지진인 경우 자동분석 결과와 태평양 지진해일경보센터(PTWC), 알래스카 지진해일경보센터(ATWC), 일본기상청(JMA), 미지질조사소(USGS) 등에서 입전되는 국외정보를 입수하여 해일 동반여부를 판단하고 우리나라에 피해 가능성을 분석하여 지진해일경보를 발령하게 된다.

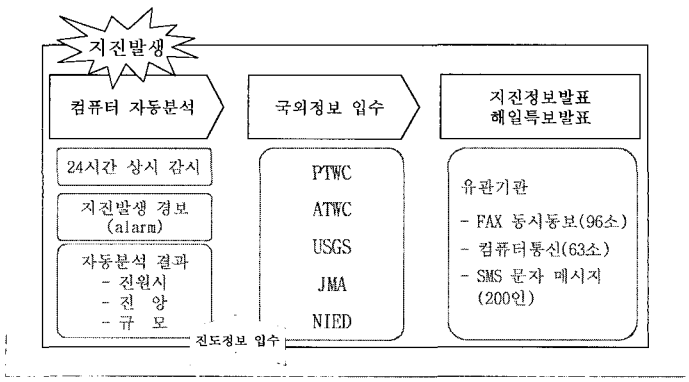


그림 1. 지진발생 시 업무처리도

2.3 지진해일경보체계 강화방안

기상청에서는 지난해 12월 26일 발생한 인도네시아 지진해일 피해사례를 계기로 학계 및 관련기관의 전문가로 구성된 지진전문가협의회를 금년 1월 10일 개최하고 이들 전문가의 의견을 수렴하여 우리나라의 "지진해일경보체계강화방안"을 마련하고 과학기술장관회의에 상정하여 확정하였다. 이 강화계획의 주요 내용은 현 34소의 지진관측소를 43소로 가속도지진관측소를 75소에서 105소로 확충하고, 동해 최동단(독도)에 지진해일감시관측소를 신설하여 울릉도 지진관측소 및 지진해일감시관측소의 기능을 대폭강화하며, 동해 중부와 남부에 해저지진계를 설치하는 등 관측망 확충계획을 마련하였다.

지진해일 감시는 지진해일의 특성상 재해의 범위가 자국령에 한정되지 않아 주변 국가와의 긴밀한 협조가 필요하다. 우리나라는 국외지진정보의 신속한 입수를 위하여 일본과 지진관측자료의 실시간 교환 등 정보교류를 활성화하며 미국의 북태평양지진해일경보센터(PTWC), 일본의 북서태평양지진해일정보센터(NWPTIC) 등과 국제공조체계를 강화하고 지진전문인력을 보강하는 등 지진업무 전반에 대한 강화계획을 마련하여 단계적으로 추진하고 있다.

3. 우리나라의 지진해일

3.1 지진해일이란?

지진해일이란 해저에서 대규모 지진으로 인해 발생되는 해일을 말하며 일명 "쯔나미(Tsunami; 津波)"라고도 한다. 쯔나미는 일본 용어로서 세계적으로 널리 사용되고 있는 용어이다. 지진해일은 일반적으로 해저에서 대규모 지진이 발생하여 해저 지각이 크게 융기 또는 함몰하여 이와 함께 해수면이 요동쳐서 파장이 긴 물결로 전파되는 현상을 말한다.

지진 뿐 아니라 해저화산 폭발이나 화산섬의 분화, 해역에서의 토사붕괴와 핵폭발, 운석의 충돌에 의해 발생하는 해일도 지진해일에 포함되지만 일반적으로 해일을 일으키는 요인이 기상(氣象)인 경우에는 이에 포함되지 않는다.

사실 해역에서 발생하는 모든 지진이 지진해일을 일으키는 것은 아니다. 해수면이 변화하려면 수직단층운동에 동반된 대규모 지진으로 진원깊이가 얕아야 한다. 일반적으로 수직단층운동에 의한 규모 6.3 이상, 진원깊이 80km 이하의 해저지진이 지진해일을 일으킨다고 한다.

그림 2는 해저에서의 수직단층운동에 의한 지진으로 지진해일이 발생하는 것을 도식화한 것이다.

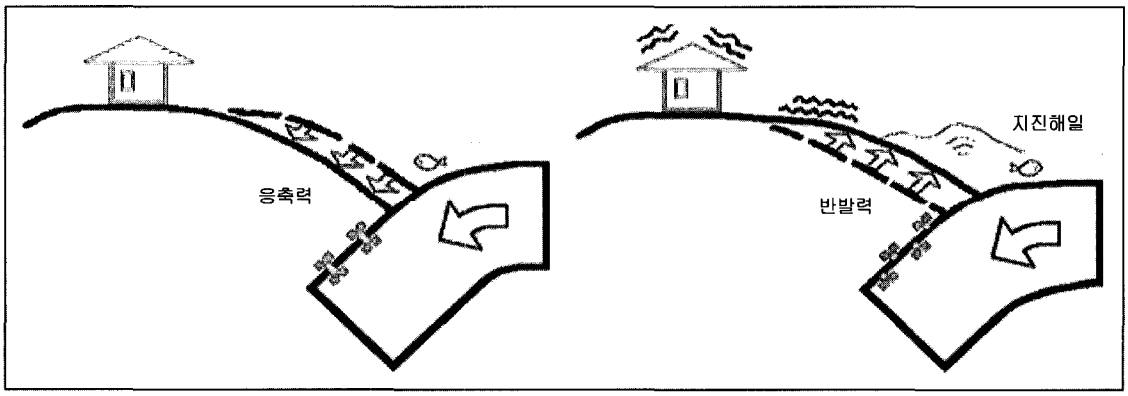


그림 2. 지진해일 발생 원리도

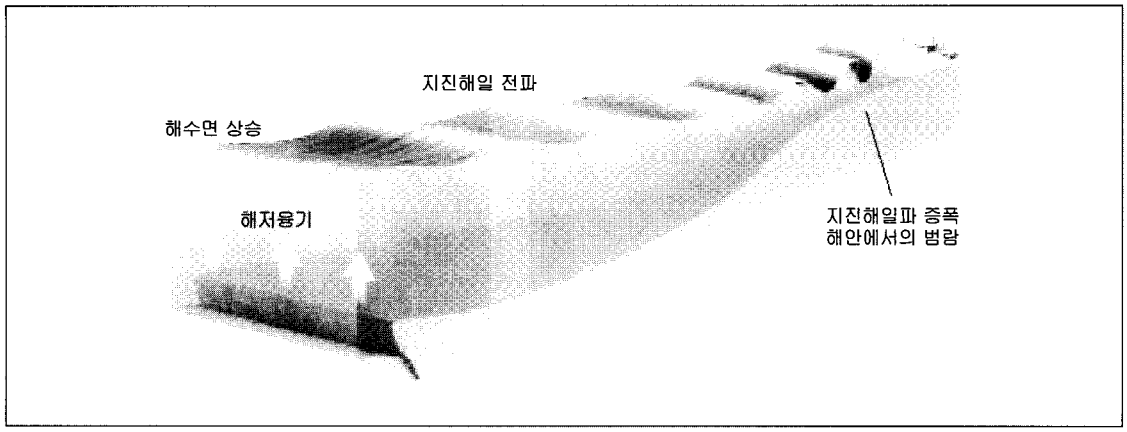


그림 3. 지진해일의 3차원 모식도

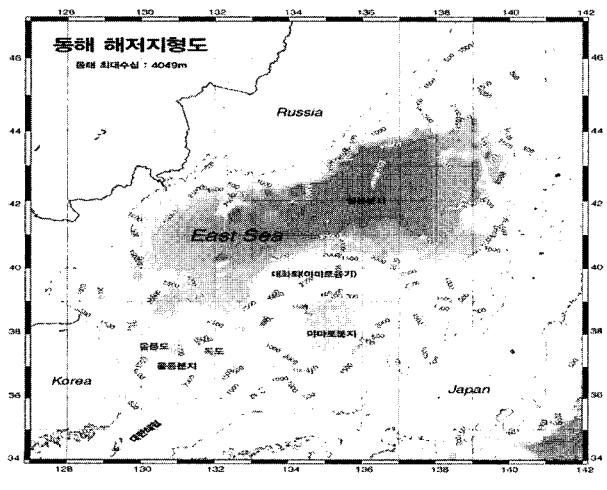
지진해일은 깊은 바다에서는 그리 높지 않지만 해안가로 전파되어 오면 수심이 얕아져 에너지가 증폭되므로 파도가 매우 높아지게 되어 피해가 커지는 것이 특징이다. 따라서 우리나라 3면의 바다 중 동해안이 지진해일 피해 위험도가 가장 높은 이유 중의 하나가 이 증폭도문제이다.

그림 3은 지진해일의 증폭도를 나타내는 3차원 모식도이다.

그림에서 보는 바와 같이 단층운동에 의해 해저가 융기(또는 침강)하면 바로 위 해수면이 상승(또는 하강)하게 된다. 이 지점에서 사방으로 파도가 전파되어 해안까지 이르게 된다.

3.2 동해의 지진해일 전파속도

지진해일의 전파 속도는 V= (g : 중력가속도, h : 수심)로서 수심에 따라 속도가 달라진다. 즉 수심이 깊을수록 전파속도는 빨라지며 수심이 얕을수록 느리



동해안 최대수심 : 4,049m
수심분포 : 1,000m~3,000m

평균수심	전파속도
1,000m	356km/hr
2,000m	504km/hr
3,000m	617km/hr

그림 4. 동해의 해저지형도

게 된다. 지진해일은 깊은 바다에서는 지나는 배가 거의 느낄 수 없을 정도로 낮지만 수심이 낮은 해안가에 가까워지면 주기가 짧아지고 파고가 높아져서 해안에 큰 피해를 입히게 된다. 따라서 폭풍해일의 경우 조업 중인 선박은 항구로 신속히 입항 대피하여야 하나, 지진해일의 경우는 정박 중인 선박도 먼 바다로 출항해서 대피해야 더욱 안전하다.

우리나라 동해의 해일전파속도는 동해 평균수심을 2,000m라고 보면 대략 시속 500Km정도가 된다.

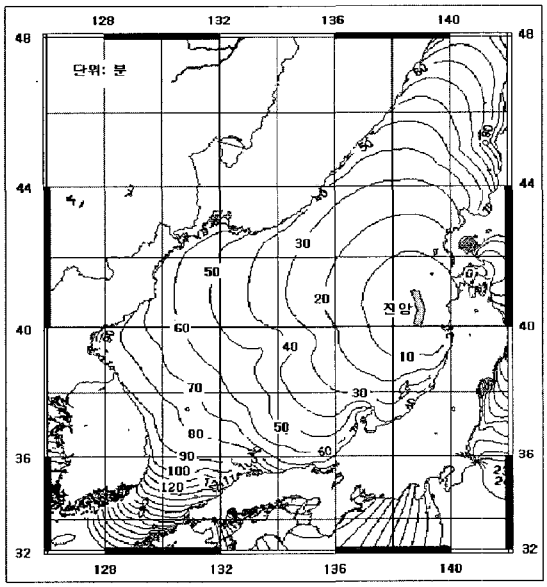


그림 5. 1983년 일본 아키다(秋田) 지진해일 전파도
(숫자: 지진해일 도달시각, 단위: 분)

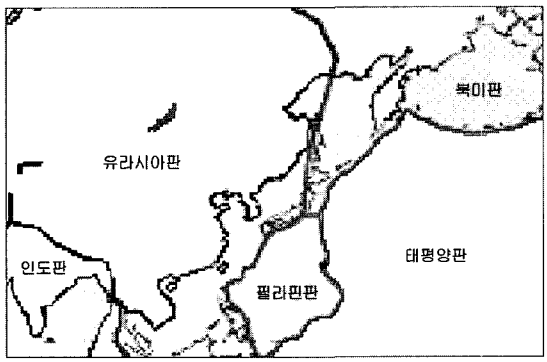


그림 6. 우리나라 주변의 판구조

1983년과 1993년에 우리나라 동해안에 해일피해를 입혔던 지진의 발생지점은 울릉도로부터 약 750km, 동해안으로부터 약 900km 떨어진 곳이므로 해일이 전파해 오는데 걸리는 소요시간은 이론적으로 계산해 보면 대략 울릉도까지 약 1시간 30분, 동해안까지 약 1시간 48분으로 계산된다. 따라서 일본서안의 유라시아판과 북미판의 경계지점에서 대규모지진이 발생하면 대략 1시간 30분 정도의 대피시간이 있다.

그림 5는 1983년 일본 아키다(秋田)현 서쪽 해역에서 발생한 지진해일 전파도이다

3.3 동해안의 지진해일 위험도

판구조론에 따르면 우리나라는 유라시아판과 태평양판의 경계부의 가장자리에 위치하고 있어 경계부에 위치한 일본이나 필리핀보다 상대적으로 지진의 안전지대라고 할 수 있다. 그러나 계기관측이 시작된 1978년 이후에만도 피해발생 가능한 규모 5.0이상의 지진이 5차례나 있었고 2004년도에도 계기관측 이래 남한에서 가장 큰 규모 5.2의 지진이 울진앞바다에서 발생되었고, 과거 역사지진을 볼 때 우리나라가 지진의 안전지대라고는 할 수 없다.

지진해일도 최근(1978년 이후) 2차례나 일본 서해안 해저지진으로 동해안 일대에 큰 피해를 입은 적이 있다. 우리나라는 3면이 바다로서 모두 지진해일의 안전지대는 아니다. 그러나 특히 동해가 지진해일 위험도가 가장 높은 이유는 대략 2가지로 볼 수 있다.

첫째 이유는, 서해나 남해는 뚜렷한 지진대가 없는 반면 동해는 동해 먼 바다 즉 일본 홋가이도 서쪽 해안을 따라 일본열도 중부 서해안까지 북미판과 유라시아판의 경계부인 해저지진대가 존재하고 있어 해저지진발생 가능성이 매우 높다.

둘째 이유는, 동해가 서해나 남해보다 해안선에서 수심이 급격히 깊어지기 때문에 해저지진 발생 시 지진해일파가 해안가로 몰려오면 에너지가 몰려 해일이

그림 7. 지진해일로 침수된 임원항(1983. 5. 26. 일본 아키다 지진)

증폭되기 때문 피해가 커지기 때문이다. 지진해일은 깊은 바다에서는 그리 높지 않지만 해안가로 전파되어 오면 수심이 얕아져 파도가 매우 높아지게 되고 피해가 커지는 것이 특징이다. 따라서 서해나 남해보다 동해가 지진해일 피해 위험도가 가장 높다.

3.4 우리나라의 지진해일의 피해 사례

지진으로 인한 피해는 지진으로 인해 건물 등이 붕괴되어 발생하는 직접적인 피해와 지진해일에 의한 피해로 나누어 볼 수 있다. 이번 인도네시아 지진의 피해는 지진 피해보다 지진해일 피해가 더 크다. 지진해일 피해 범위는 지진으로 인한 직접적인 피해 범위에 비해 매우 넓은 것이 특징이다. 이번 인도네시아 지진해일 피해 역시 인도양 주변의 매우 넓은 지역에서 많은 피해가 있었다.

최근 우리나라의 지진해일 피해는 1983년과 1993년 두 차례로 모두 동해 먼 바다(일본 서쪽 해역)에서 발생한 해저지진에 의한 것으로서 지진해일은 우리나라 울릉도와 동해안에 상당한 피해를 입혔다. 그 중 첫 번째는 1983년 5월 일본 혼슈 아키다현 서쪽 근해에서 발생한 규모 7.7의 지진으로 우리나라 동해안 전역에 걸쳐 지진해일이 발생하여 사망 1명, 실종 2명, 부상 2명의 인명피해와 함께 약 3억 7,000여만원의 재산피해를 입혔다(그림 7). 두 번째는 1993년 7월 일본 홋카이도 오쿠시리섬 북서쪽 해역에서 발생한 규모 7.8의 지진으로, 이 지진해일 역시 3억 9,000여만원의 재산피해를 입혔으나 인명피해는 없었다. 이는 기상청에서 지진해일경보를 신속히 발표하였고, 1983년 지진해일의 경험을 토대로 주민들의 철저한 대비와 신속한 대피에 기인한 것이었다.

3.5 지진해일 발생시 대처 방법

만약 해안에 있을 경우 심한 진동을 느끼거나 지진해일경보가 발령되면 즉시 높은 지대나 해안으로부터 먼 곳으로 대피해야 한다. 대피 시는 민방위요원의 지시에 따라 안전한 곳으로 대피하고 특히 해수욕이나 낚시, 해안조업은 위험하며, 대피할 때에는 휴대폰, 휴대용 라디오, 담요, 약간의 음식, 음료수를 준비하도록 한다. 지진해일은 파의 주기가 매우 길기 때문에 제 1파가 지나갔다고 해도 계속해서 제 2파, 제 3파가 밀려오므로 성급히 저지대로 내려가는 일은 없도록 해야 한다. 휴대폰이나 라디오 등으로 현재의 상황을 파악하며 지진해일 특보가 해제되고 안전하다고 확인되기 전까지는 절대 낮은 지역으로 가서는 안 된다.

조업 중인 선박은 폭풍해일의 경우는 항구로 신속히 입항 대피하여야 하나, 지진해일의 경우는 정박 중인 선박도 먼 바다로 출항해서 대피해야 더욱 안전하다.