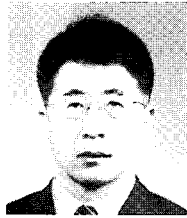


우리나라의 지진해일 원인 분석과 지진방재대책



강 익 범 | 한국지질자원연구원 책임연구원

21세기 최대 자연재해로 수십만명의 사상자를 기록한 이번 서남아 수마트라 지진과 지진해일은 평소 재해에 대한 경각심이 얼마만큼 중요한 가를 실감할 수 있게 해준 지진이었다. 우리나라에서도 서남아에서 발생한 지진해일 피해사례와 피해국가 정부의 수습체계 등을 조사하여, 향후 우리나라에 지진 및 지진해일 발생시 수습대책 및 내진대책 등의 지진방재 정책을 수립하는데 필요한 기본자료를 수집할 뿐만 아니라, 전문가를 파견하여 피해현장의 실제상황을 경험함으로써 대규모의 지진 재해발생시 대응 능력을 향상시켜 나가야 하겠다.

이번 수마트라 대규모 지진으로 인한 지진해일로 피해를 입은 인도에서 2001년에 발생한 지진으로 인한 피해 경험을 상기해 보면 지진방재 대책의 중요성을 다시 한번 확인할 수 있다. 2001년 1월 26일 인도 서부 구자라트주 지역에서 발생한 지진으로 2만명 이상의 인명이 희생되었고 약 20만명의 부상자와 60만명의 이재민등 엄청난 피해를 야기시켰다. 인도 서부 구자라트주는 과거에도 대규모 피해지진을 경험한 지역임에도 불구하고 지진에 대한 대비가 소홀하여 지진에 대한 건물의 내진이 취약하고 85%의 주택이 오랜 전통주택으로 구성되어 있는 등 많은 문제점을 내

포하고 있었으며 주정부에서 지진학자들이 제시한 지진방재연구결과를 정책에 반영하지 못하여 엄청난 재앙을 초래하였다. 2001년 1월 인도 구자라트 지진에 의한 피해 경험과 2004년 12월 수마트라 대규모 지진에 의한 인도를 포함한 서남아 국가에서의 지진해일피해 경험은 평소 자연재해에 대한 경각심을 갖고 이에 대비하는 것이 얼마나 중요한 것인가를 우리에게 일깨워 준 하나의 커다란 교훈이라 할수 있겠다.

1. 서남아시아 지진해일등 쓰나미의 피해

2004년 12월 26일 인도네시아 수마트라 섬 인근에서 발생한 지진과 이로 인한 지진해일은 21세기에 들어 가장 큰 대재앙이며 지난 1970년 방글라데시의 홍수, 1976년 중국 당산 지진과 함께 세계 최악의 자연재해 중 하나로 꼽힌다. 십만명 이상이 순식간에 희생됐으며, 그 참혹함에 세계가 경악하고 있다. 일본어 기원인 "tsunami(쓰나미)"라고 불리는 해일은 태풍, 폭풍, 지진에 의해 해수면 수위가 급작스럽게 상승하는 현상으로 이번 2004년 12월 26일 해저에서 발생한 서남아시아 수마트라지진으로 인한 해일로

말미암아 인도네시아, 스리랑카, 인도, 태국 국민등을 포함하여 멀리 아프리카 탄자니아등에 까지 피해를 입혀 십만명 이상이 희생되는 엄청난 재앙을 야기시켰다. 2004년 12월 26일에 발생한 수마트라 지진해일과 같이 해변가의 가공할만한 공포는 대지진의 결과에서 온다. 해저에서 발생한 큰단층의 갑작스런 변위운동은 마치 거대한 노가 밀어내는 것처럼 바닷물을 움직이게 하여 해수면 표면에 파고를 일으키게 한다. 이러한 파고는 대양을 가로질러 해안선에 이르게 되고 해변가에서는 파고가 증폭되어 인류에게 엄청난 피해를 주게 된다.

고문헌이나 역사기록을 통하여 tsunami에 의한 피해를 찾아볼수 있다. tsunami에 대한 최초의 기록은 기원전 479년 지중해 북 에게해 근처에서 발생한 해일이다. 문헌에 따르면 수 세기에 걸쳐 tsunami들이 지중해의 해안 평야와 지중해에 위치한 크고 작은 섬들을 황폐하게 만들었다는 기록이 있다. 1896년 6월 15일 이웃나라 일본 동부 Sanriku 해안가를 강타한 지진해일이 역사상 최대 피해를 안겨준 tsunami 중의 하나라고 할수 있다. 일본 동해안 앞바다 섭입대(subduction zone)에서 해저 단층운동으로 발생한 지진해일은 25m~35m에 이르는 파고로 육지에 도달하여 서쪽으로는 일본 동부해안가 마을을 초토화시켜 약 10,000가구 이상이 흔적없이 사라졌으며 약 26,000명이 희생되었다. 동쪽으로 전파된 지진해일은 태평양을 가로질러 멀리 하와이에 이르러서는 파고가 3m로 기록되었다. 지진해일은 계속적으로 미국 서해안까지 전파되었으며 New Zealand와 호주까지 전달되었다. 이러한 해저지진은 일본 동부 Sanriku 해안에서 1933년 3월 2일에 다시 발생되었다. 약 25m높이의 마루를 가진 tsunami가 다시한번 휩쓸고 지나간 후 약 3,000명의 인명이 희생되었다.

최근 200년 동안에도 약 300개의 tsunami들이 인류에게 치명적인 피해를 입혔다. 이는 세계에서 평균적으로 피해 지진해일이 매년 약 1번이상은 일어나

고 있음을 보여준다. 대규모 해저 단층운동을 일으킬 만한 지형에 위치하고 있는 일본열도해안, 알라스카해안, 남미해안 지방은 특히 많은 지진해일 피해를 경험하였다. 그러나 역사기록을 살펴보면 tsunami는 태평양, 인도양, 지중해, 대서양, 카리브해등 세계 도처의 해안가를 강타하여 피해를 주었으며 중앙아시아에 있는 카스피해, 흑해 등과 같은 큰 내해에서도 일어났었다.

2. 한반도 지진해일

우리나라에서도 1983년과 1993년 일본근처에서 발생한 지진으로 인하여 동해안 일대에 피해가 있었으며 조선왕조실록에도 동해안에 지진해일 발생에 의한 피해가 있었다고 기록되어 있다. 해저지진은 주로 지각을 구성하는 판과 판이 만나는 경계부근에서 발생하며 해일을 야기시킨다. 그러나 판과 판경계 부근이라고 해서 반드시 해일이 유발되는 것은 아니다. 이번 인도네시아 수마트라 서부해안에서 발생한 지진처럼 유라시아판과 호주 인도판이 만나는 경계부근에서 판과 판이 서로 부딪히면서 위로 미끄러져 올라가거나 내려가는 수직 운동을 하면서 커다란 파고를 야기시켜 해일피해가 발생한다. 이들에 비해 판들이 수평으로 미끄러지거나 서로 멀어지는 판경계에서는 해일이 발생하지 않는다. 이번 서남아시아 수마트라 지진이 발생하기 수일전 호주와 남극대륙의 해저에서 수마트라 지진(규모 9.0)에 버금가는 규모 8.0이상의 대규모 지진이 발생하였지만 수평운동으로 인하여 지진해일로 인한 피해를 일으키지 않았다. 대규모 지진해일이 발생할수 있는 대표지역으로 태평양판과 유라시아판이 만나는 일본을 들수 있으며 일본서해안에서 발생한 지진으로 우리나라 동해안에 피해를 가져올수 있다. 기상청 자료에 의한 한반도에서의 지진해일 피해 사례를 보면

2.1 1983년 일본 아키다 지진해일

일본 혼슈 아키다현 서쪽 근해(북위 40.4°, 동경 139.1°)에서 규모 7.7의 강력한 지진이 발생하여 1시간 30분후에 지진해일이 우리나라 동해안을 덮쳐 약 20분동안 동해안의 여러 지역에 많은 피해를 주었음. 보도자료내용을 종합해 보면 동해안의 바다수면이 최고 3m 폭으로 높아졌다 낮아지는 해면 승강현상이 일어나 밤 9시경까지 계속되면서, 간만의 차가 최고 6m나 되는 조수현상까지 겹쳐 피해가 증폭되었다고 하고 폭음과 함께 수심 5m의 항구 바닥이 드러날 정도로 한꺼번에 바닷물이 빠져 나갔다가 10분후 소리와 함께 다시 밀려 왔다함.

피해 상황을 살펴보면

- 재산피해 : 총 약 3억 7,000여만원
- 원덕, 삼척, 울릉도, 울진지역등
- 인명피해 : 5명(사망 1명, 실종 2명, 부상 2명) 및 이재민 405명
- 건물피해 : 44동(전파 1동, 소파 22동, 침수 21동)
- 선박피해 : 81척(전파 47척, 반파 34척) 및 시설물 62동

2.2 1993년 일본 오키시리 지진해일

일본 홋카이도 오키시리섬 북서해역(북위 42.8°, 동경 139.2°)에서 규모 7.8의 강력한 지진이 발생하여 이로 인한 해일이 1시간 30분후에 우리나라 동해안을 약 1시간 반동안 덮쳐 많은 피해를 주었음. 보도 자료내용을 종합해 보면 울릉도와 속초시 대포항, 장사항의 어선침몰을 비롯하여 동해, 삼척, 임원항이 이르는 강원도 경상북도 동해안 일원에 최대 2~3m의 지진해일이 발생하였으나 1983년 아키다 지진해일과 달리, 기상청은 22시50분 지진해일특보를 발표하고 신속하게 지진해일 대비업무를 수행하여 인명피해는 없었으며 상당한 재산피해도 줄일 수 있었다고 함.

피해 상황을 살펴보면

- 재산피해 : 총 약 3억 9,000여만원

- 인명피해 : 없음
- 어망/어구 : 3,000여 통
- 선박피해 : 35척(소형) 및 시설물

해저에서 발생한 대규모 단층운동으로 인한 지진해일의 전파속도는 지진파 전달속도보다 현저한 차이를 보이기 때문에 먼저 지진이 발생한 위치와 시간을 신속하고 정확하게 파악하여 최단 기간 내에 지진해일 전파 가능지역에 해일 도착예정시간을 정확히 예보할 수 있는 지진해일 신속경보체제를 갖추어 나간다면 지진해일에 의한 피해를 최소화 시킬 수 있을 것이다. 비록 tsunami의 전파 속도가 빠르기는 하지만 대양 한가운데서 발생할 경우 멀리 떨어진 해안지방에 경보를 발표하기까지는 충분한 시간이 있다. 그 예로 남미 Chile해안에서 Hawaii까지 tsunami가 이동하는 데는 약 10시간이 그리고 환태평양 Aleutian열도에서 북부 California로 이동하는 데는 약 4시간이 소요된다. 우리나라의 경우 일본 서해안에서 발생한 지진해일이 한반도 동해안에 도달하기 까지는 약 1시간 30분이 소요된다.

3. 한반도 지진방재 대책

이번 서남아시아 수마트라 지진과 같이 대규모의 지진이 발생할 경우 후속적으로 해일·화재·전염병 등을 유발하며 인류에게 엄청난 인명 및 재산 피해를 입히고 있다. 과거 피해지진기록을 조사해 보면 대규모의 지진으로 인한 피해는 세계도처에서 발생하고 있는데 이는 지진에 관한 한 안전한 지역이 지구상에는 존재하지 않는다고 볼 수 있다. 또한 여러 가지 자연재해 중에서도 지진은 인류역사상 단기간 내에 최대 인명피해를 야기 시킨 자연재해로 기록되고 있는데 1976년 7월 이웃나라 중국 당산에서 발생한 한번의 지진으로 약 25만 명의 사망자를 기록하였다. 안

정된 대륙 판 내부에 위치하고 있어서 지진 안전지대로 여겨졌던 한반도도 같은 유라시아 판에 위치한 중국 당산에서 발생한 엄청난 피해지진으로 인하여 지진으로부터 결코 안전하지만은 않다는 사실을 인지하게 되었으며 최근 한국지질자원연구원에서 한반도 지진관측자료를 분석하여 발표한 바에 의하면 한반도에도 유감지진 발생빈도가 증가하는 추세를 보이고 있다.

태평양 심해저에서 발생한 지진해일로부터 피해를 줄이기 위해서 태평양 지역에서 지진이 발생하면 환태평양에 위치한 국가인 미국, 일본, 대만, 필리핀, 피지, 칠레, 뉴질랜드, 사모아등에 퍼져 있는 지진관측소로부터 실시간으로 하와이 호놀룰루 tsunami경보 중앙관측소로 연락되며 지진 발생 근처지역 관측소에 있는 tide gauge에서 얻어진 해수면의 파고의 변화에 대한 정보를 함께 보내오게 된다. 이 정보를 토대로 tsunami경보가 신속하게 발표된다. 이러한 지진해일에 대한 경보 시스템을 갖추려면 실시간 지진관측 시스템 구축 및 국제간 자료교환 시스템을 통하여 최대한 정확하고 신속하게 지진발생 위치와 시각을 파악하여야 한다. 해저에서 발생한 대규모 지진에 대해서는 예상되는 지진해일 초기 파형을 산정하여 10분 이내에 지진해일이 주변 해안가에 도달할 시각과 해일의 파고를 예측하여야 하며 이를 관련국가에 통보하여 연안지역의 침수 피해 및 인명보호 대책 등 연안 방재계획을 신속히 수립하게 하여야 한다. 가령 강력한 지진이 일본 북서부 해역에서 발생할 경우 동해안 지역에 이로 인한 지진해일이 1시간에서 1시간 30분 후에 동해안에 도달할 것이므로 신속하고 적절하게 경보를 발표한다면 약 30분에서 1시간정도의 대비할 수 있는 시간을 가질 수 있다.

지진방재연구를 비롯하여 한국에서 핵심적인 지진 연구를 담당하고 있는 한국 지질자원연구원의 지진관련 연구는 1980년대 초부터 주로 원자력발전소의 지진안전성 분석에 관한 연구로 시작되었다. 1982년

IBRD차관에 의해 S-500지진계와 Tledyne사이에서 제작한 아날로그 기록계인 Portercoder 6대로 이동식 지진관측망을 구성하여 양산단층 일원에서 최초로 약 2달간 시험가동을 시작하였다(한국동력자원연구소, 1983, 국토이용지질조사연구). 그후 80년대에는 매년 약 2-3개월 주로 양산단층 일원과 전남지역 및 충청지역에서 이동식 지진관측망을 운영하면서 지역별 지진 발생 특성을 파악하였다. 1991년에는 일본과 함께 서태평양과 동남아시아에 걸쳐 광대역 지진관측망을 구축하는 POSEIDON(Pacific Orient SEismic Digital Observation Network) project의 일환으로 포항에 광대역 지진계STS-1을 설치하였다. 이와 함께 일본 나고야대, 교토대 및 규슈대와 공동으로 15개 임시 지진 관측소를 1991년과 92년에 약 2-3개월간 운영하여 디지털 지진관측을 실시하였으며 1994년 월성원전 부근 양산단층 북부 4개 지역에 3성분 디지털 지진관측소를 설치하여 Trigg방법에 의해 지진관측을 시작한 이래, 1995년 거제도를 포함한 양산단층 남부에 5개 지진관측소를 추가하였다. 지진관측소는 계속 증설되어 2005년 6월 현재는 백령도, 홍성, 용인, 포천, 간성, 강화도, 보길도, 효동리 등 전국에 26개 지역 지진관측소와 철원의 infrasound관측소와 시추공 4개소 및 원주의 KSRS 배열식 지진관측소 등 총 31개 관측소를 운영하고 있다. 2000년 3월에 경주시 효동리에 시추공속도 가속도 센서, GPS, 지자장 관측시스템을 갖춘 효동리 종합 지진 관측소를 완공함으로써 지진발생 전후의 관계된 지진물리학적 변화를 관측하여, 향후 지진예지 기초 자료를 제공할 예정이다, 시추공 지진자료는 지표 지진자료의 기준자료로 사용됨으로써 더욱 정밀한 지진 모니터링이 가능하게 되었다. 한편 1995년 말부터 총 26대(단주기 19대, 장주기 6대 광대역 1대)로 구성된 한반도 최대 배열식 관측망인 원주 KSRS(Korea Seismic Research station)지진자료를 실시간으로 대전 한국지질자원연구원 지진연구센터로 전송하여 분석하고

있으며 CTBTO(유엔 포괄적핵실험 금지조약기구)의 한국 자료센터(Korea National Data Center)의 역할을 담당하고 있다. 1998년부터는 미국 SAIC사의 실시간 지진자료 분석 시스템을 도입하여 원주 KSRS 자료뿐만 아니라 한국지질자원연구원에서 실시간으로 수집하는 자료와 한국전력에서 원자력 발전소 주변의 지진안전성 확보를 위해 설치한 지진계 자료들도 함께 자동분석을 수행하여 한반도의 방재연구에 일조하고 있다.

미국, 일본, 대만 등 지진피해를 여러 차례 경험한 국가들은 최단기간내의 사회기능복구를 위한 신속대응 시스템 구축을 통해 대규모 지진발생에 대비한 예방 및 대응단계를 강화하고 지진 발생 후 이에 대해

신속하게 대처하고자 노력하고 있다. 한반도에서도 100명이 희생된 신라 경주에서의 역사지진기록이 있으며 1978년 충청남도 홍성에서 지진피해를 경험하였다. 일본 서해안에서 발생한 지진으로 야기된 해일로 인하여 동해안에서는 상당한 인적, 물적 피해를 보았다. 비좁은 국토로 인한 인구의 도시집중화가 가속화되고 있는 한반도에서도 지진 및 지진해일로 재해로 인한 인명 및 재산 손실을 최소화하기 위한 지진방재정책의 중요성 인식이 시급히 요구된다. 앞으로 이를 위해서는 미국, 일본 등 많은 지진피해를 경험한 국가들의 지진방재관련 자료 및 정보를 습득하고 이를 이용 한반도 실정에 적합한 신속대응 시스템을 구축하는 것이 절실히 필요하다고 하겠다.

참고문헌

우리나라의 지진해일 경향과 예보시스템(기상청 지진담당관실), 2003, 한국방재학회지 제3권 4호, p4-8
 충남지진대비 종합대책 수립연구, 2002, 한국지질자원연구원