

01 일본과 우리나라의 지진

초대형 지진은 특정 시기에 집중적으로 발생

JAPAN



TSUNAMI





▶▶ 1995년 1월 일본 고베 대지진으로 한신고속도로 일부가 무너져 버린 모습

지난 3월 11일 일본 동북부 센다이 앞바다 130km 떨어진 곳 지하 32km 지점에서 규모 9.0의 초대형 지진이 발생했다. 이 지진은 인류가 지진계를 활용한 지진관측이 이루어진 이래로 발생한 지진 가운데 4번째로 큰 지진이다. 또한 일본에서 발생한 지진 가운데서는 가장 큰 지진이다. 이번 지진으로 사망 및 실종자수가 이미 2만 명을 넘어섰으며, 천문학적인 재산피해가 발생했다. 특히 이번 지진해일 여파로 후쿠시마에 위치한 원자력발전소의 방사능이 누출되면서 심각한 환경 오염 문제에 직면해 있다.

가로 300km 세로 150km 단층면이 40m 이동

이번 지진이 발생한 센다이 앞바다 지역은 태평양판과 북미판이 충돌하는 지역이다. 이번 지진은 가로 300km 세로 150km의 단층면이 최대 40m 엇갈려 이동하면서 발생했다. 진원지 근처인 센다이 지역에서는 최고 1000cm/s²의 강력한 지반 움직임이 감지되었다. 후쿠시마 원전부지에서도 원전 내진설계 기준인 400cm/s²을 웃도는 강한 진동이 발생하였다. 이 강력한 단층운동은 충돌대를 따라 바닷물을 일시에 수십미터씩 순간적으로 밀어올리면서 거대한 지진해일을 일으켰다. 이 지진해일은 최대 15m가 넘는 파고를 보이며, 시속 700km의 속도로 10여분 만에 일본 동부 해안에 밀어닥쳤다. 이번 지진에 의한 피해는 대부분 지진해일에 의한 피해였음을 감안해 볼 때, 그 위력을 짐작할 만하다. 이 지진해일은 서쪽으로는 타이완과 인도네시아에 다다랐고, 동쪽으로는 북미, 남쪽으로는 하와이, 남미, 뉴질랜드 지역에 차례로 피해를 입혔다.

이 지진해일의 위력과 피해는 지난 2004년 12월 26일 인도양 수마트라섬 인근에서 발생한 규모 9.1의 지진에 비견될 만하다. 당시 발생한 강력한 지진해일로 인도네시아와 동남아시아 국가 뿐만 아니라 인도, 스리랑카, 호주와 인도양 연안 아프리카 국가들에 막대한 피해를 안긴 바 있다. 당시 사망자 및 실종자수가 22만여 명에 이르렀다.

이번 일본 지진에서 발생된 강력한 에너지는 인근지역에 심각한 응력 불균형을 초래하였다. 이로 인해 많은 여진이 지속적으로 발생하고 있다. 지진발생 1주일 동안에만 규모 5 이상의 여진만 300여 회가 발생했으며, 규모 7 이상의 지진도 3차례 발생했다. 4월 7일에 또 다시 규모 7.1의 강진이 센다이 앞바다에서 발생하면서 여진에 대한 공포도 여전히 지속되고 있다. 이 여진은 앞으로 수주일에서 수개월간 지속될 전망이다.

이번 일본 지진 발생의 여파로 일본 내 활화산들의 활동을 촉진시킬 것으로 예상된다. 특히 지난달 분출이 있었던 신모에다케 화산의 분출이 재개되었으며, 후지산의 지진발생빈도가 증가하



글 **홍태경** 연세대학교
지구시스템과학과 교수
tkhong@yonsei.ac.kr
글쓴이는 서울대학교 지질
과학과 졸업 후 동대학원에서 석사학위를, 호주국립대
학교에서 지진학 박사학위를 받았다. 현재 기상청 정책
책임자위원 등을 겸임하고 있다.

면서 수도권 화산분출의 우려가 커져가고 있다. 지진에 의한 화산활동 재개는 비단 이번 뿐만이 아니다. 지난 2004년 12월 규모 9.1의 인도양 수마트라섬 인근 지진 때도 인도네시아에 분포한 많은 활화산들의 활동이 재개된 바 있다.

■ 日, 고베지진 이후 내진설계 기준안 대폭 강화

일본은 지금까지 많은 크고 작은 지진들로 많은 피해를 보아왔다. 1923년 규모 7.9의 간토대지진으로 14만여 명이 사망했으며, 1995년에 발생한 규모 7.2의 고베지진으로 6천400여 명이 사망한 바 있다. 특히 고베지진 때의 인명피해와 재산손실은 전후 일본이 겪은 최대의 재해로 기록돼 있다. 이를 계기로 일본은 현재와 같은 세계적인 지진방재의 제도와 장비의 보완이 이루어졌다. 일본 전역에 조밀하게 지진계가 설치되었고, 내진설계 기준안이 대폭 강화되었다. 또한 2007년 이후로 지진 및 지진해일 정보시스템을 도입하여 수행하고 있다. 이러한 그동안의 노력으로 인해 이번 역사적인 초대형 지진의 발생에 인한 피해를 최소화하는데 크게 공헌한 것으로 평가되고 있다.

지진은 지구 표면을 구성하는 지각판의 상대적 이동에 따라 응력이 누적되면서 매질이 견딜 수 없는 정도에 이르게 되면 매질이 쪼개지는 현상을 일컫는다. 판구조운동이 수십만~수백만 년을 주기로 천천히 변화하므로 매질에 쌓이는 응력의 양도 매년 거의 일정하다. 지진을 유발하는 응력의 축적량이 일정하므로 지진의 발생빈도에서도 주기성을 띠게 된다. 실제로 1900년 이후로 시작된 인류의 지진관측 분석 결과를 보면 규모 7 이하의 전 세계 지진 발생빈도가 매년 거의 일정한 수준을 유지하는 것을 확인하게 된다.

하지만, 규모 8.5 이상의 초대형 지진의 발생현황을 보면 흥미로운 점이 관측된다. 규모 8.5 이상의 지진은 지금까지 1906년 에콰도르 지진을 시작으로 이번 일본 지진까지 총 16회 발생하였다. 1920~30년대에 3회 발생하였고, 1950~60년대에 7회 발생하였다. 이렇게 많이 발생하던 초대형 지진은 2004년 12월 26일 규모 9.1의 인도양 수마트라섬 인근 지진이 발생하기까지 약 30년간 발생하지 않았다. 2004년 이후로 다시 재개된 이 초대형 지진은 동일본지진까지 총 5회 발생하였다. 이와 같이 초대형 지진은 특정 시기에 집중적으로 나타나는 현상을 보이고 있다. 초대형 지진의 발생 원인은 정확히 알려져 있지 않다. 다만, 초대형 지진이 일단 발생하면 전 지구적 응력 불균형이 생기고, 이로 인해 응력분포가 평형상태에 도달하기까지 연쇄적으로 초대형 지진이 발생하는 것으로 이해되고 있다.

■ 도카이 지진 공포 더욱 커져

두려운 것은 이런 초대형 지진뿐만이 아니다. 규모가 초대형 지진에 이르지 못하더라도 내륙에서 발생하는 지진은 해양에서 발생하는 지진에 비해 피해가 클 수밖에 없다. 특히 대도시 근처에서 발생하는 지진은 큰 피해를 일으킨다. 2010년 1월 아이티에서 발생한 규모 7.0 지진은 수도 포르토프랭스에 인접한 곳에서 발생하였다. 당시 이 지진으로 말미암아 22만 명의 사망자가 발생했고, 경제적 손실 또한 막대했다.

이 지진들의 공통점은 인구가 많은 도시 인근에서 발생한 얇은 지진이란 특징이 있다. 사망 14만여 명의 사망자를 발생시킨 1923년 규모 7.9의 일본 간토 지진, 25만 명의 사망자가 발생한 1976년 규모 7.5의 중국 당산지진 등은 모두 여기에 포함되는 지진들이다. 특히 중국 당산지진의 경우, 비공식 집계에 의한 사망자수가 무려 65만 명에 이른다. 2008년 규모 7.9의 중국 쓰촨성 지진의 경우, 그나마 지진이 인구가 밀집하지 않은 산간지역에서 발생하여 사망자수가 8만7천여 명에 그쳤다.

이뿐 아니다. 내륙에 규모 6 대의 지진도 위험하기는 마찬가지다. 지난 2월 뉴질랜드 크라이스트



▶▶ 지진으로 인해 길러지고 휘어버린 땅

치치에서 발생한 규모 6.3의 지진은 수많은 사상자와 내진설계가 적용된 많은 건물들을 붕괴시켰다. 이렇듯 인구밀집지역 인근에서 발생하는 지진은 치명적인 손실을 가져올 수 있다.

일본의 지진에 대한 공포는 여기서 끝이 아니다. 일본 남부 해양 지역에서는 필리핀판이 1년에 5cm 정도의 속도로 유라시아판과 충돌하고 있다. 충돌대를 따라 난카이 해구가 발달해 있다. 이 난카이 해구 지역은 다시 도카이, 도난카이, 난카이 지역으로 세분화할 수 있다. 그런데, 이들 지역에서는 100~200년 주기로 규모 8 내외의 대형지진이 발생하고 있다. 특히 도쿄와 인접한 도카이 지역에서의 강진은 인구가 밀집해 있으므로 수도권에 막대한 피해를 보일 것으로 예상된다. 바로 이 도카이 지역에 지진 발생이 임박해 있는 것이다. 마지막 도카이 지진은 1854년에 발생한 규모 8.4의 지진이다. 이 지진이 발생한지도 어느덧 150년이 훌쩍 넘어서서, 또 다른 대형 지진이 언제든 발생할 수 있다는 우려감이 커져가고 있다. 더구나 이번 동일본 대지진으로 인해 도쿄지역을 포함하여 도카이 지역에도 강력한 진동이 전달되어 응력의 불균형이 심해진 상황이다. 이로 인해 도카이 지진 발생 시기가 앞당겨지지 않을지 우려가 커지고 있다.

서해안, 속리산, 울산 앞바다에 지진 가능성 높아

이번 동일본 지진은 우리나라의 지진재해 가능성에 대해 다시 한 번 되돌아보게 하는 계기가 되고 있다. 한반도에서의 지진관측은 지난 1978년 이후로 시작되었다. 이 관측을 바탕으로 살펴보면, 지난 30여년 동안, 한반도에서는 규모 5 이상의 지진은 모두 5회 발생했다. 이는 일본과 같은 판의 경계부에서 보이는 지진 발생 빈도와 크기에 비해 매우 낮은 지진발생빈도라 할 수 있다. 이는 판의 경계부에서는 응력이 빠른 속도로 축적이 되어 큰 지진이 빈발하는데 반해, 한반도와 같은 판내부 환경에서는 응력 축적이 느리게 이루어져 지진 발생빈도가 낮다. 하지만, 지진이 빈발하지 않음이 큰 지진이 발생할 가능성이 적음을 의미하는 것은 아니다.

판내부의 환경에서는 응력이 천천히 쌓이므로 지진의 발생주기가 길다. 그러므로 한반도 지진 발생 특성 분석을 위해서는 오랜 기간의 관측과 분석이 필요하다. 다행스럽게도 우리나라는 유구한 역사와 함께 조선왕조실록 등 많은 역사문헌들이 전해지고 있다. 이 역사문헌 내에는 지진에 의한 피해사례들이 다수 기록돼 있다. 이 피해 사례들로부터 지진규모를 산정해 낼 수 있으며, 이들 역사 지진 가운데는 규모 6이 넘는 강진들이 다수 발견된다. 이 지진들의 최대 규모는 무려 6.7에 이른다. 지난 2월 뉴질랜드 크라이스트치치에서 발생한 지진이 규모 6.3이었음을 고려해 볼 때, 그 위력이 매우 클 수 있음을 짐작할 수 있다. 여기서 주목할 점은 과거에 큰 지진을 발생시켰던 한반도 주위 지구조 환경이 여전히 그대로 유지되고 있다는 점이다. 이는 과거에 이렇게 큰 지진을 발생시켰던 응력이 지금도 지속적으로 한반도 내부에 쌓이고 있으며, 미래에 이와 같은 강진을 다시 발생시

킬 수 있음을 의미한다.

한반도에서 강진이 발생한다면 어느 지역에서 발생할까? 역사 기록물을 분석해 보면 한반도 전역에서 지진이 발생했음을 알 수 있다. 이 가운데서도 특별히 백령도, 평안도일대의 서해안지역, 속리산 일대, 울진 앞바다 지역 등에 지진 발생 빈도가 높음을 확인할 수 있다. 지진의 특성 가운데 하나는 작은 지진이 많이 발생하는 곳에 큰 지진의 발생빈도도 증가한다는 것이다. 실제로 1978년 이후 발생한 규모 5 이상의 지진 5개가 모두 이곳에서 발생했다. 앞으로 큰 지진이 발생하게 된다면 가능성이 높은 지역이 바로 이 지역들이다. 하지만, 판내 환경에서의 응력 분포가 지역별로 크게 차이가 나지 않음을 감안해 볼 때 또 다른 지역에서의 강진 가능성 역시 배제할 수 없다.

우리나라에도 규모 6 이상 강진 가능

지진뿐만 아니다. 우리나라 역시 지진해일로부터 안전하다고 할 수 없다. 동해는 지진해일을 발생시키는 많은 조건을 만족시키고 있다. 수심이 깊을 뿐만 아니라 내륙과 인접한 곳에서 얕은 깊이의 지진이 많이 발생하고 있다. 일본 북서해안을 따라 규모 7을 넘는 지진들이 많이 발생하고 있다. 가장 최근에는 1983년에 발생한 규모 7.7의 지진과 1993년의 규모 7.8의 지진으로 우리나라 동해안에서 3명이 목숨을 잃거나 실종되었으며, 선박과 어구 파손 등 많은 재산 피해를 보았다.

비슷한 피해사례는 역사기록물에도 다수 발견되고 있다. 특히 우리나라의 경우 울진 앞바다 등지에서 지진이 빈발하고 있다. 1978년 이후 한반도 남부에서 발생한 지진 가운데 가장 큰 지진이었던 2004년 5월 29일의 규모 5.2의 지진이 바로 이곳에서 발생한 바 있다. 이곳에서 강진이 발생하게 될 경우 수분 내에 지진해일이 동해안 지역에 밀어닥쳐 피해를 줄 가능성이 있다.

우리나라에 규모 6 이상의 강진이 발생할 가능성은 역사기록으로 확인되었다. 하지만, 우리나라 지진재해에 관련한 연구는 매우 초보적인 단계에 머물러 있다. 최근 들어 지진을 유발할 수 있는 활성단층지도 제작이 부분적으로 이루어지고 있으나 아직 가야 할 길이 멀다. 가장 시급히 해결해야 할 부분은 기록 속의 역사지진과 연관된 단층을 확인하고, 당시 지진의 흔적을 단층면 상에서 확인하는 과정이다. 이를 통해 당시 지진의 크기를 보다 정확하게 파악할 수 있으며, 지속적 모니터링을 통해 향후 발생할 수 있는 지진에 대해 대비할 수 있다. 마찬가지로 시뮬레이션을 통한 동해안 지역에 미칠 수 있는 지진해일 크기를 산정하는 것과 동시에, 동해안 퇴적층 내에 남아 있는 지진해일 기록을 분석해야 할 것이다. 이를 통해 과거 동해안에 밀려들었던 지진해일의 크기를 보다 정확하게 가늠해 볼 수 있을 것이다. 또한 지진재해도 작성과 한반도 지진 특성에 대한 다양한 기초연구가 필요하다.

지진재해는 대비하는 만큼 줄어

이번 동일본 대지진을 통해 지진재해는 대비하는 만큼 경감될 수 있음을 다시 한 번 확인하는 계기가 되었다. 1995년 고베지진을 계기로 보완된 다양한 지진관측 시스템 확충과 강화된 내진설계는 이번 대참사 속에서도 일본의 피해를 최소화하는데 공헌했다. 이에 대비된 아이티의 대참사는 우리에게 많은 것을 시사한다. 2010년 1월에 발생한 아이티 지진은 규모 7.0으로 동일본 대지진에 비하면 1천분의 1쯤의 작은 지진이었다. 하지만, 이 지진으로 20만 명이 넘는 사람들이 목숨을 잃거나 실종되었다. 아이티 지역에서는 2010년 지진이 발생하기 전까지 200년 동안 큰 지진이 발생하지 않았다. 이로 인해 지진 발생 가능성에 대한 우려가 크지 않았고, 지진에 대한 방비가 소홀했다. 하지만, 단 한 번의 지진은 되돌릴 수 없는 피해를 일으킨다. 우리가 지진에 대한 대비를 해야 하는 이유가 여기에 있다. **ST**