

# 수마트라 쓰나미의 과학적 조명



연합포도

쓰나미가 휩쓴 인도네시아 수마트라섬 멜라보 전경

**인**도네시아 수마트라 섬 인근 해저에서 지난해 12월 26일 발생한 진도 9.0 지진은 거대한 '쓰나미(津波·Tsunami)'를 함께 일으켰다. 이에 따라 약 15만 명이 죽거나 실종됐다. 이는 21세기 들어 일어난 최악의 재앙으로 꼽히고 있다.

쓰나미로 인도네시아 수마트라섬을 비롯한 해안, 태국, 몰디브, 인도 등 벵골만 일대의 해안은 아수라장으로 변했다. 높이 10~20m의 파도를 동반한 쓰나미가 덮친 해안은 사람이며 건물들이 순식간에 쓸려 바다로 떠내려갔으며, 남아 있는 것도 처참하게 부서졌다.

이날 일어난 지진의 강도는 제2차 세계대전 때 일본 히로시마에 투하됐던 원자폭탄 266만여 개에 달하는 파괴력을 가진 것으로 추산되고 있다. 문제는 이런 강력한 지진이 해저에서 일어날 때 상당수는 쓰나미를 동반한다는 것이다.

## 지구 둘레 5~8회 회전할 만큼 지진파 강력

수마트라 해저 지진의 지진파는 지구를 5~8회나 회전할 정도로 강력했다. 역대 지진파가 8회나 지구를 회전한 예는 없다는 것이 일본 홋카이도대학 연구진의 설명이다. 이 지진으로 한반도 면적보다 두 배나 넓은 수마트라 섬이 36m 정도 이동했다는 언론보도도 있었다.

세계적 지진 관측소인 독일 쉴타흐 관측소에 따르면 유럽 대륙은 강진 발생 후 1cm 정도 솟아오르고 2cm 가량 북쪽으로 이동했다가 원위치로 돌아왔다고 dpa통신과 AFP통신이 보도했다. 포츠담지질학연구소도 유럽대륙이 쉴타흐 관측소가 측정한 것보다 더 큰 1.5cm 정도 융기했다고 보고했다. 지진관측소들은 수마트라 지진 이후 이른바 '지구의 호흡'에도 변화가 있다고 밝혔다. 지구는 주기적으로 커졌다 작아졌다 하는데, 여기에 변화가 생겼다는 것이다.

글\_정진익  
과총 미디어사업단장  
gnik@kofst.or.kr



수마트라 해저 지진은 지각판이 충돌하면서 발생했다. 즉, 서로 힘의 균형을 이루며 밀고 있던 유라시아판과 인도·호주판이 그날 어느 한 쪽이 밀리면서 지진이 발생한 것이다. 인도·호주판이 유라시아판 밑으로 깔려 들어가면서 엄청난 세기의 지진이 일어났다.

이번 재앙은 지진이 아니라 지진이 몰고 온 쓰나미에 있었다. 쓰나미는 지각판끼리 충돌할 때 인근 단층이 어긋나면서 발생했다. 이번에 어긋난 단층의 길이는 무려 1천km에 이른다. 단층은 지층이 일정하게 배열되어 있던 것이 어느 지점에서 뚝 끊어져 어긋나 있는 상태를 말한다. 이 단층이 이번 지진이 일어날 때 어느 한쪽이 폭꺼지거나 솟아올랐다. 수마트라 해저에서 솟아 오른 단층 중 어느 한쪽의 높이가 13m 가까이 된다는 것이 지질학자들의 분석이다. 그것도 1천km나 되는 긴 단층이 그렇게 어긋난 것이다.

### 인도·호주 지각이 유라시아판에 깔려

단층은 한꺼번에 어긋나지 않는다. 마치 종이를 찢을 때 처음 찢어지는 곳이 시작점이라면 종잇결을 따라 시간차를 두고 쭉 찢어지는 식이다. 일본 교통성 산하 국제지진공학 센터에 따르면 수마트라 해저 단층 어긋남은 두 차례에 걸쳐 일어났다. 처음에는 10초 정도이며, 두 번째는 약 200초에 걸쳐 일어났다.

단층이 솟구치거나 함몰되면 그 순간 바닷물도 해저에서 수면까지 통째로 일렁인다. 마치 가로 1천km, 세로 수십km의 직사각형 바다의 물이 통째로 일렁여 파도로 변하는 셈이다. 이것이 그 무시무시한 쓰나미의 시작이다.

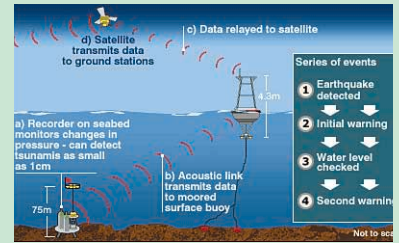
태풍이나 바람에 의해 생기는 파도와 쓰나미는 그 위력이 다르다. 바람에 의해 생기는 파도는 수면에서만 일렁인다. 그 때문에 위력도 세지 않다.

쓰나미는 물마루가 수십~수백km에 달한다. 바닷물이 통째로 일렁이기 때문이다. 이 때문에 처음 쓰나미가 일어나는 곳에서는 파고가 수십cm~수m에 불과하다. 그러나 이 파도가 퍼져나가는 속도는 제트여객기를 방불케 할 정도로 빠르다. 시속 700km 이상이다. 그러나 해안에 다가갈수록 속도는 시속 수십km로 줄어든다. 그러나 역으로 파도의 높이는 10~20m로 높아지며 그 위력도 일반 파도와는 상대가 안 될 정도로 강력하다. 엄청난 양의 바닷물이 밀려오면서 갖는 에너지가 해안에서 솟구치는 파도에 고스란히 전해지기 때문이다. 지질학자들은 이를 에너지보존법칙으로 해석한다.

### 물마루 수백km, 해안 파고는 10~20m

야구 방망이로만 공을 때리면 멀리 날아가지 못하지만 거기에 체중을 실어 때리면 체중과 방망이 무게가 합쳐져 공이 멀리 간다. 쓰나미도 거대한 양의 바닷물 전체에 실려 있던 에너지가 해안을 덮치는 파도에 그대로 실리게 되는 것이다. 야구에 비유하면 방망이는 파도요, 체중은 엄청난 양의 바닷물인 셈이다.

쓰나미는 해안을 덮치기 전에 해안 근처의 바닷물이 일시적으로 빠지는 현상이 발생하는 것이 특징이다. 마치 썰물 현상과 같다. 이는 거대한 바닷물 전체가 출렁이면서 물마루가 올라갈 때 해안 근처의 물이 바다쪽으로 짧은 순간 빠져 나가는 것이다. 이것을



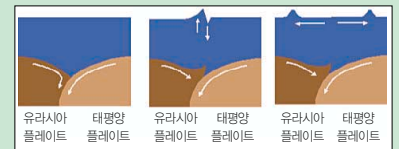
쓰나미(지진해일)경보



지각판(12개)



지진해일의 특성



지진해일 일어나는과정



지진해일로 밀려온 나무판이 타이어를 관통한 모습

지각판이란

지구의 표면은 두께 100km 정도의 지각판으로 덮여 있다. 그 아래쪽에는 맨틀로서 액체성 유동 물질이다. 이 위에 지각판이 떠 있는 셈이다. 지각판은 12개로 이뤄진 것으로 알려져 있다. 맨틀은 대류에 의해 뜨거워진 부분은 위로, 차가워진 부분은 아래쪽으로 이동한다. 지각판 역시 이 운동을 따라 움직이게 된다. 지각판은 매년 5~10cm 정도씩 이동한다.

예를 들면 태평양판은 중앙 해령을 중심으로 동서로 나뉘 움직이는데 대륙판인 유라시아판과 충돌한다. 태평양판이 유라시아판 밑으로 깔리면서 들어가기 때문에 유라시아판은 스프링을 누를 때처럼 응력을 받는다. 지각판이 응력을 견디지 못하고 터지면 단층이 어긋나는 현상과 함께 지진이 발생한다. 이 지진이 해저에서 일어나면 쓰나미를 동반한다.

수마트라 인근 해저 지진이 일어난 곳은 지각판이 충돌하는 지점으로 역사적으로 수많은 지진과 피해가 속출했던 곳이다.

모르고 해안에 있던 사람들은 조개를 캐거나 물을 쫓아 더 깊이 바다쪽으로 들어가게 된다. 쓰나미의 화를 키우는 요인 중의 하나이다. 쓰나미는 해안의 물이 빠진지 얼마 되지 않아 수평선이 높이 솟구치면서 밀려와 해안쪽을 덮친다.

쓰나미는 파도타기 선수들이 좋아하는 형태의 파도가 아니다. 밀물처럼 부드러운 각도로 밀려와 해안을 덮칠 때에야 그 본색을 드러낸다. 이 때문에 처음에 그 정체를 파악하지 못하는 경우가 많다. 이번 쓰나미가 일어난 바다 한가운데 누군가 있었다면 아마도 쓰나미가 일어났는지조차 모를 수 있다. 그저 바다가 출렁이는 정도로만 인식할 수 있기 때문이다.

쓰나미의 특성을 알았는지 이번 피해지역에 살고 있던 원시부족들은 거의 피해를 보지 않았다고 한다. 노를 저을 때 들리는 소리나 수평선만 봐도 쓰나미가 몰려올 것을 안다는 게 인류학자들의 이야기이다. 원시부족들은 쓰나미가 덮치기 전에 모두 고지대로 피신해 인명피해를 보지 않았다고 외신은 전하고 있다.

인도양 쓰나미가 우리 나라에까지 퍼져 오지 않은 것은 수마트라 섬과 말레이시아 등이 가로 막고 있기 때문이다. 태평양에서 쓰나미가 일어나도 일본이 보호막 역할을 해 우리 나라는 안전하다. 그러나 일본 서해안에서 발생하면 우리 나라는 큰 타격을 받을 수 있다. 우리 나라에 피해를 준 쓰나미는 현대 장비로 관측한 이후 1983년과 1993년 두 번 있었다. 그러나 위력이 약해 큰 재앙으로 이어지지는 않았다.

해저 화산 폭발, 화산섬 붕괴도 쓰나미 원인

쓰나미가 일어나는 원인은 이처럼 해저 지진으로 인해 거대한 단층이 어긋날 때 외에도 해저 화산이 폭발할 때도 일어난다. 또는 섬 등에 있는 화산이 폭발해 섬 전체가 바다로 함몰될 때도 역시 일어난다. 엄청난 바닷물을 통째로 출렁이게 할 정도의 지각 변동 등이 있으며 언제 어디서고 쓰나미는 일어날 수 있다.

화산 폭발로 인한 위력은 영국 지질학자인 빌 맥과이어의 연구에서도 잘 나타난다. 빌 맥과이어는 앞으로 언제가 될지 모르지만 라 팔마의 카나리 섬에 있는 컴브리 비에자 화산의 서쪽 측면이 붕괴하게 되고, 이는 대서양에 90m 높이의 해일을 일으킬 것이라고 지난해 한 학회에서 발표했다.

화산폭발로 촉발되는 해일은 1시간 안에 스페인 소유의 카나리 군도에, 2시간이면 북부 아프리카의 해안에 도달할 것이다. 7~10시간 사이에 파도가 제트기의 속도로 밀려들어 카리브해를 뒤덮을 것이며, 남미와 북미의 동부 해안을 강타할 것으로 맥과이어는 예측했다. 이 화산은 25~200년마다 한번씩 폭발하고 있는데, 마지막 화산분출은 1971년이었으며, 그 전에는 1949년과 1712년에 분출이 있었다.

쓰나미는 이번처럼 인도양에서만 일어나는 것이 아니다. 앞서 말한 지각변동 요인이 생기면 어디서고 일어난다. 칠레나 알래스카 등에서도 많은 쓰나미가 발생했다. 1964년 알래스카에서 일어난 쓰나미도 엄청난 위력을 과시했다. 쓰나미에 밀려온 나무토막이 자동차 타이어를 관통할 정도였다.

태평양 연안에는 자주 쓰나미가 발생하기 때문에 주변 국가들은 공동으로 쓰나미 경

보체제를 갖추고 있다. 칠레에서 쓰나미가 발생하면 일본 동해안까지 밀려오는 데 20시간 가까이 걸린다. 이 때문에 조기 경보가 이뤄지면 대피할 시간이 충분하다. 그러나 대피하지 못할 정도로 급박하게 일어나는 경우도 있다. 바로 해안에서 쓰나미가 발생하면 몇 분 만에 해안을 덮치기 때문이다.

일본 홋카이도에서 쓰나미가 발생하면 우리 나라 동해안에 60~90분 만에 도달한다. 이 때문에 우리 나라와 일본은 상호 쓰나미 경보체제를 갖추고 있다. 그러나 수마트라 쓰나미의 피해를 본 인도양 주변 국가들은 쓰나미 경보체제를 갖추고 있지 않았다. 이 때문에 미국을 비롯한 선진국들이 쓰나미 발생을 알았으나 이를 경보에 제대로 활용할 수 없었다는 것이다. 경보만 제대로 갖추고, 국민들에게 자연재해에 대한 인식을 높였다 라면 이번처럼 대규모 인명 피해는 발생하지 않았을 것이라는 게 전문가들의 견해다.

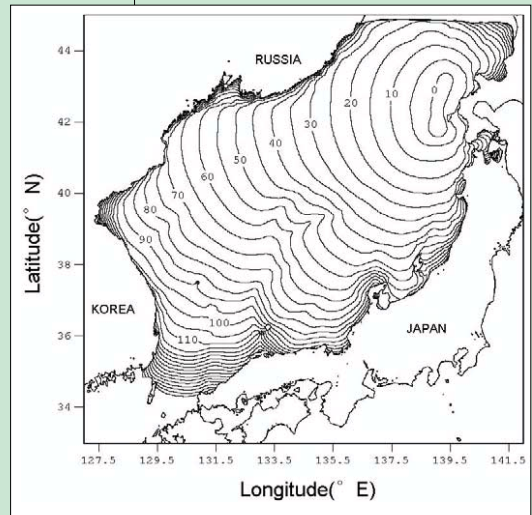
### 태평양 쓰나미, 조기경보시스템 갖춰

태평양 지역에서는 1960년대 쓰나미의 피해를 본 이후 이미 조기경보시스템이 가동되고 있으며 그 성과도 입증됐다. 미국 서부 해안과 알래스카의 쓰나미 경보센터의 폴 워트모어는 한 언론 인터뷰에서 “그 동안 조기경보시스템은 많은 생명을 구할 수 있었다”고 말했다. 매우 간단하게 작동하는 태평양 조기경보시스템의 구축을 위해서 수 천만 달러의 돈이 들어갔다. 대양 바닥에는 압력감지 센서가, 수면에는 물의 무게를 측정하는 장비가 설치됐다. 만일 쓰나미가 발생하여 압력이 증가하면 센서는 수면에 떠 있는 부표에 신호를 보낸다. 이 부표는 다시 신호를 인공위성으로 보내게 되고 초기경보센터의 경보 시스템을 작동한다.

일본의 경우 해안의 파도를 육안 또는 카메라로 감시하기도 한다. 수평선의 높이가 갑자기 올라가는 등 쓰나미의 특성이 나타나면 즉시 주민들에게 대피 방송이 자동으로 이뤄지도록 하고 있다.

문제는 경보를 모든 국민에게 일시에, 그것도 초단시간에 전파할 수 있어야 한다는 것이다. 일일이 전화를 걸 수도 없기 때문이다. TV나 라디오 등 대중 전파 매체를 이용할 수 있어야 한다.

수마트라 해안 쓰나미도 이 부분에서 실패한 것이 엄청난 재앙으로 이어졌다. 쓰나미가 발생한 날 하와이에 위치한 태평양 쓰나미 경보센터는 이 지진을 감지했다. 하지만 전화 연결에도 불구하고 피해 지역에는 긴급 경보망이 없었다. 비엔나에 위치한 강력한 컴퓨터도 이 지진의 움직임에 포착했다. 포괄적인 핵실험 금지조약(CTBT) 기구의 컴퓨터는 전세계 어느 곳에서 일어나는 핵폭발도 감지할 수 있도록 운용되고 있다. 이 컴퓨터가 감지한 흔들림 등은 자동으로 인도네시아와 태국 등의 국가에 전달됐다. 하지만 비상 상황을 알릴 기반 시설은 없었다. 그러는 사이 18만여 명이 순식간에 쓰나미에 의해 희생된 것이다. ㉮



지진해일한국영향도



글쓴이는 성균관대를 졸업, 연합통신 기자를 지냈고 과학기술처 공보관을 역임했다.