

지진을 예측할 수는 없을까?

주 승 환

한국자원연구소 책임연구원

인 자력발전소를 건설하려면, 건설 현장에서 가장 먼저 할 일은 발전소가 들어설 땅에 대한 지질 조사일 것이다.

다른 말로 바꾸면, 그곳이 신의 노여움을 받게 될 곳인지를 면밀하게 살피는 일일 것이다.

조물주의 노여움은 큰 규모의 지진으로 지각 변동을 일으켜, 인간의 힘으로서는 감당할 수 없는 재앙으로 발전된다.

학자들은 자연으로부터 입었던 인류의 가장 큰 장애를 큰 규모의 지진이라고 믿고 있다.

20세기에 들어와서 지금까지 지진으로 사망한 인원을 평균으로 치면, 해마다 2만명에 이른다고 한다.

우리가 잘 알고 있듯이, 원자력발전소는 원자의 핵분열 방식을 써서 우리에게 필요한 전기를 공급하는 곳이다.

거기에는 인간이 할 수 있는 모든 안전 장치들이 빈틈없이 갖추어져 있다.

핵분열에서 튀어나오는 방사선의 공포를 무릅쓰고 우리는 에너지 생산의 주역으로서 원자력발전소를 건설하고 있다.

한반도는 이웃한 일본과는 달리 지진에 대한 공포를 그들보다는 덜 느끼면서 생활할 수 있어 정말 다행이다.

하지만 언제 닥칠지도 모르기에 큰 규모의 지진에 대비하는 자세는 원자력발전소만이 그 표적이 되는 것은 아닐 것이다.

큰 규모의 아파트 단지에 살고 있는 주민들은 한 번쯤은 지진의 중심지(진앙지)에서 몇 백km 떨어진 곳에서 지진이 났을지라도, 그들이 살고 있는 덩치 큰 고층 아파트가 쓸어들 듯 휘청거리면서 요동치는 것을 극도의 공포 분위기 속에서 경험한 적이 있을 것이다.

비록 순간적이라도 전율적이고 충격적인 경험이기엔 기억은 오래 간다.

그들은 그들의 아파트가 지진을 이겨낼 수 있다는 믿음을 가진다.

지진에 맞설 강도를 구조물의 설계에 포함시킨 것이 '내진 설계'이다.

그런 설계의 기준은 언제 일어날지 모르는 지진의 세기인 '진도'를 예상하여 법으로 정한다.

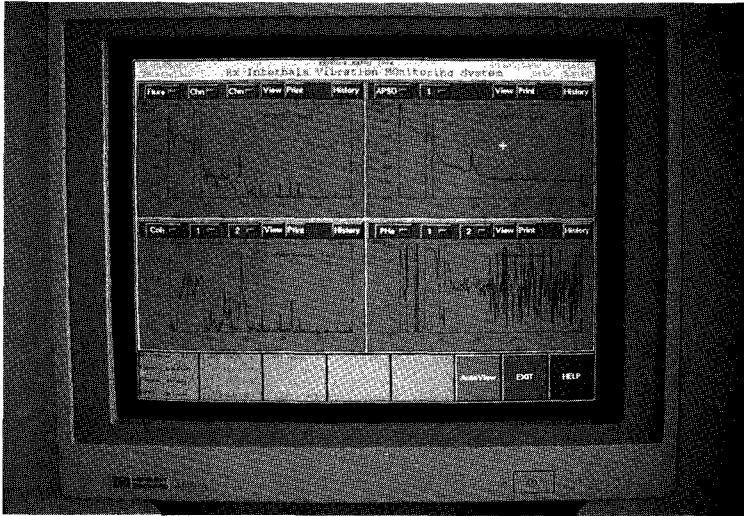
따라서 구조물의 용도에 따라 그 기준들이 크게 달라지며, 그 기준은 구조물의 건설 비용에도 많은 영향을 미친다.

한반도의 지질도에는 경상남북도에서 펼쳐있는 「경상계」라는 지층이 있다.

수많은 퇴적된 지층들이 서로 겹치어 이룬 때를 뜻하는 한 지질 시대의 구분으로 쓰인다.

그 지층의 동쪽(영덕에서 양산까지 연결)에 나 있는 길이는 170km나 되는 양산 단층이 최근 뉴스의 초점이 되고 있다(동아일보, 97. 11. 29).

양산 단층이 '활성이다 아니다'의 공방으로 생긴 엉뚱한 오해들은, 마치 양산 단층 주변이 당장 내릴 것만 같은 필요없는 근심을 국민들에게 심어 놓을 수도 있는 것이다.



경수로 원자로의 내부 구조물 진동 감시 장치(RIVMOS)의 모니터 화면

을 연구한 40년의 기간이란 아주 짧다.

지진의 재앙을 보다 많이 입었던 나라들은 옛 소련·중국·미국·일본 등이며, 일본 말고는 모두 대륙처럼 덩치가 큰 나라들이다.

그들은 지진의 피해를 경험하였으므로 남달리 지진의 예측 연구에 많은 노력을 하고 있다.

옛 소련은 50년대 중앙 아시아 지역에서 지진 활동을 조사할 「소비에트 계획」을 세워 지구물리와 지구화학 방법들을 동원하여 지진 연구를 체계화시켰다.

중국은 66년 심타이 지진 이후 곧바로 국가 주도로 지진 연구를 시작하였다.

중국에서 지진 예측에 성공하였던 것은 75년 진도 7.3인 하이칭 지진을 포함하여 2~3회의 사례들로 알려지고 있다.

하지만 진도 7.8인 탕산 지진을 포함하여 예측하지 못한 사례들도 많이 있었다.

미국은 64년 알래스카 지진 이후, 77년부터 정부의 주도로 연구 계획을 세워 탄성파와 지각 변형에 초점을 맞추어 연구를 시작하였다.

지진을 예측하는 연구 전략으로는 대개 세 가지를 들 수 있다.

지진이 일어날 때를 기준으로 단기 예측, 중기 예측, 그리고 장기 예측으로 나뉜다.

이런 구별은 대체로 지진이 일어날

우리들이 잘 알고 있듯이, 양산 단층대 주변에는 '세계 문화 유산'으로 지정된 경주 불국사가 이미 1200년 전에 자리를 잡았고, 77년에 월성 원자력발전소가 착공되었으며, 지금도 월성 3·4호기를 건설하고 있다.

양산 단층대 주변의 중요한 시설물들의 관리자는 문화재관리국과 한국전력공사인데, 양산 단층대의 뉴스는 문화재 당국보다는 오히려 한국전력공사에 더 큰 충격을 준다.

도대체 원자력 발전 기술과 지질학이 서로 어떤 상호 작용을 하기에 그러는가 싶어 필자는 지진의 속성에 관심을 두게 되었다.

지진을 예측할 수는 없을까?

언제 일어날지 모르는 지진을 미리

알 수 있는 길은 없을까?

인류는 집단 생활을 시작하면서부터 큰 규모의 자연 재해를 신의 노여움으로 여기고 무속 신앙으로 이를 이겨내려고 시도하였다.

수세기 이전부터 중국과 일본에서는 점성가나 점쟁이들이 지진을 예측할 신비스러운 방법을 찾으려고 꽤나 애를 썼다.

그들은 큰 지진이 일어나기 바로 전에 돌출하는 자연의 이상 현상들(지하수의 색, 맛, 수위, 신비스러운 무지개, 안개, 햇빛, 그리고 동물들의 이상한 거동 등)을 보고서 큰 지각 변동을 예상하였던 것이다.

과학으로 지진을 예측하려는 시도는 50년대 후반부터 시작되었다.

인류사를 40만년 전으로 잡는다면, 인류가 과학에 바탕을 두고 지진

때를 기준으로 삼는다.

단기와 중기는 일 년 이내의 주 단위와 월 단위일 경우에 해당되고, 장기 예측은 수십 년 이후의 지진을 예측할 프로그램이다.

지진의 예측 기술도 전략에 따라 달라진다.

장기 예측은 주로 관련 정보의 분석을 바탕으로 한다.

예컨대 다양한 지질학적 정보들, 지구 물리의 탄성과 정보들, 그리고 측지학의 기법으로 수집한 지형의 변형된 정보들로 이루어진다.

단기와 중기 예측 기술은 측정 기구들이 기록한 자료(땅의 용기와 지하수에 녹은 라돈량의 증가)에 바탕을 둔다.

이는 현장에서 측정된 자료가 보여주는 진행 추이를 면밀하게 분석하여 이루어진다.

지각 운동은 아주 느리게 진행되는 속성을 가지기 때문에 측정 기구들이 기록하는 자료들 속에는 여러 가지 천연적인 잡음 요소들이 끼어들게 마련이다.

그런 잡음들은 강우, 기압 변화, 인공 전자기파의 방출, 지하수의 과다 취수 등으로 영향을 주게 되며 이들은 자료의 해석에 큰 장애물이 되기도 한다.

지진의 발생 원인

신의 노여움으로 비춰지는 지진은

자연의 어떤 현상 때문에 일어나는 것일까?

지금까지 지질학자들은 대체로 지진의 발생을 「지각 반발설(elastic rebound theory)」로 설명한다.

이 이론은 1910년 H. F. Reid가 제안한 것으로, "큰 규모의 지각들은 넓은 지역이 한 덩어리를 이루면서, 여러 개의 암석권들로 나뉘어지게 되며, 개별 암석권은 스스로가 자연스럽게 아주 느리게 형태가 조금씩 변화하고, 개별 암석권의 경계를 이루는 균열대에서 과잉 응력이 쌓이면서 서로가 단층으로 갈라 서며, 경계를 이룬 균열대가 새로운 평형을 유지하려고 반발할 때, 이동 경계부에 엄청난 높은 열이 생기고 암석이 파쇄되면서 상상할 수 없는 지진파가 발생된다"는 것이다.

지각 반발설 이후 약 50년이 지난 60년대 판 구조론의 등장으로 지각 반발설에 바탕을 둔 지진 발생의 논리가 보다 현실적이면서 구체적으로 설명될 수 있게 되었다.

판 구조론에 따르면, 지표층(약 100km 두께)들은 매년 수 센티미터의 속도로 서로 엇갈려 이동하는 몇 개의 거대한 판들로 이루어진다.

그들 판들의 깊숙한 심부에서 온도의 분포는 균형을 잃고 대류 현상이 자연적으로 일어나면서 특정한 판의 약한 지대에서 지각의 용기 현상이 일어난다.

한편 판 구조의 변형과 붕괴형 침

식은 세 가지의 판 경계들에 따라 일어나는데, 즉 판들이 서로 갈라지는 발산 또는 확장 경계부를 따라서, 개별 판들은 서로 수평적으로 이동 또는 주향 이동에 따라서, 그리고 한 개의 판이 부딪치고 또는 다른 판 밑으로 들어가는 수렴 또는 서브덕션 경계를 따라서 일어난다.

눈으로 보기에는 멀쩡한 지표층이 따지고 보면 조금씩 어떤 방향성을 띠며 이동하면서 판 구조의 경계부에 결집된 응력이 쌓여 거기에 가혹한 신의 징벌이 나타나게 되는 것이다.

지진 예측 기술

지진의 예측 기술들은 판구조의 경계부에서 일어나고 있는 지형의 변형, 지형 변형의 원인으로 거대한 판들 속에서 응력의 이동, 그리고 응력의 집중 등과 밀접한 관계가 있다.

앞으로 일어날 사건을 예측하는 기술은 과거에 있었던 단서가 그 징조(precursor)이다.

지진의 기록과 증거물(단층)들, 현재 단층 작용이 진행되고 있는 활성 단층 마디에 관한 정밀한 지질 조사 등은 필수적이다.

지진을 예측하는 기술에서 우선하는 것은 지질 조사임에 틀림이 없을 것이다.

하지만 지질 조사는 포괄적인 조사의 성격이 짙다.

지각 물질을 대상으로 조사하는 일

은 모두가 지질 조사라고 할 수 있다.

지진 예측에서 좀 더 구체적인 조사의 대상은 단층대의 주변, 그리고 활성 단층이 표적이 될 것이다.

보통 단층은 눈으로 보아도 그 윤곽이 뚜렷하게 나타난다.

그러나 활성 단층은 그와는 달리 전문가들 사이에서도 논란이 많다.

양산 단층이 '활성이다' '활성이 아니다'의 논란은 어제 오늘의 일이 아니다.

원자력발전소가 건설되던 70년대 부터 학자들 사이에 논란이 이어지고 있다.

활성 단층은 원자력발전소의 부지를 선정하는 기준에서 정의하고 있다 (과기처 고시, 1991).

단층이 일어났던 때의 지질 시대를 기준으로 잡고 있다.

그것은 지진으로 막대한 피해를 경험하는 미국의 기준을 바탕으로 하여 표준화된 것이다.

우리가 그런 표준에 따라 활성의 여부를 판정하려면, 비록 포괄적인 지질 조사라고 할지라도 충분한 지질 정보들, 그리고 덧붙여 계측기를 써서 측정된 모든 자료들을 바탕으로 삼아야 된다.

단순히 몇 점들의 시료에서 연령을 측정하여 법이 정한 기준으로서는 미흡할 것이다.

지진을 예측하는 기술들은 크게 다섯 그룹으로 나뉜다.

필자의 편의대로 순번을 정하자면,

제1그룹에는 앞서의 말처럼 지진의 증거인 단층과 활성 단층대의 정밀한 지질 조사가 포함되고, 제2그룹에는 지진의 발생 원인에 바탕을 둔, 지진 활동의 시기와 장소 등에서 반복적으로 일어난 주기성을 면밀히 살피는 일, 제3그룹에는 측지학의 수단을 써서 지각 변형을 측량한 자료의 분석이고, 제4그룹에는 수문학과 지구화학의 지시 원소 측정 자료의 감시, 그리고 마지막의 제5그룹에는 지구의 전기(지전기)와 지구의 자기력(지자기)의 성질을 체계적으로 측정하는 일 등을 들 수 있을 것이다.

양산 단층 논란

자세히는 모르겠지만, 국내 언론에 보도된 양산 단층에 관한 기사는 지질 시료를 측정된 두 개의 연령들만이 돋보인다.

활성 단층의 판단 기준은 지질 사건들이 일어난 지질 시대에 초점을 두고, 위의 지진 예측 기술의 다섯 그룹들 중 적어도 세 그룹의 예측 기술들로서 확인된 자료를 통하여 그 가능성을 판단할 수 있다.

지질 시료의 연령은 때로는 제2그룹과 관련이 있을 법하지만, 대체로는 지극히 일부의 참고 자료일 때가 많다.

암석의 연령 측정 기술은 분명히 합리적 논리에 그 바탕을 두고 있다.

연령 측정 절차도 시행 착오를 여

러 번 거쳐서 표준화된다.

그러므로 오랜 지질 시대를 거쳐오면서 여러 번 일어났던 지질 사건들에 의하여 변질되고 또는 뒤섞여진 사건들의 지질 시대가 연령 측정으로 확인되고 있는 것이다.

다른 한편 암석 연령으로 확인해야 할 시기는 분명히 과거에 있었던 일이므로 지금 진행되고 있는 사건은 아니다.

그러므로 누구나 쉽게 이해할 수 있는 접근 방법들로써 과거의 시기를 대표할 시료를 선택하여 측정된 자료는 지질 사건의 '참 연령'인지 아니면 '겉보기 연령'인지를 가름할 기준이 된다.

교과서적인 얘기지만, 과학은 복잡한 자연의 현상을 합리적인 수단으로 쉽게 풀어가는 학문이다.

인근 주민이나 또는 사업자인 한국 전력공사 어느 한쪽도 지진의 진앙지가 원자력발전소가 되길 원치 않는다.

그러므로 누구나 쉽게 이해할 수 있고, 보편 타당한 과학의 논리로서 문제의 해답을 찾아내야 한다.

양산 단층대의 발생 시기가 백악기 이후라고 하는 학자도 있지만, 아직 그의 발생 시기에 대한 정설이 없다.

지금 확보된 26~28만년이란 연령은 양산 단층이 생긴 이후인 나중에 양산 단층대에 기록된 또 다른 지질 사건의 기록일 수도 있을 것이다.

예컨대 경기 지역에 분포하는 「경기 육괴」라고 불리는 한반도에서

가장 오래된 암석의 참 연령은 28억 년이지만, 그 암석을 이루는 흑운모의 연령들은 결보기 연령으로서 2억 년에도 미치지 않는다.

이들 시기의 대표성과 관련된 지질 사건에 대한 연구는 또 다른 문제일 것이다.

결론부터 요약하면, 위와 같은 교과서적인 사고만으로도 양산 단층을 '활성이다' 또는 '비활성이다' 라는 판단은 성급하다고 본다.

맺는말

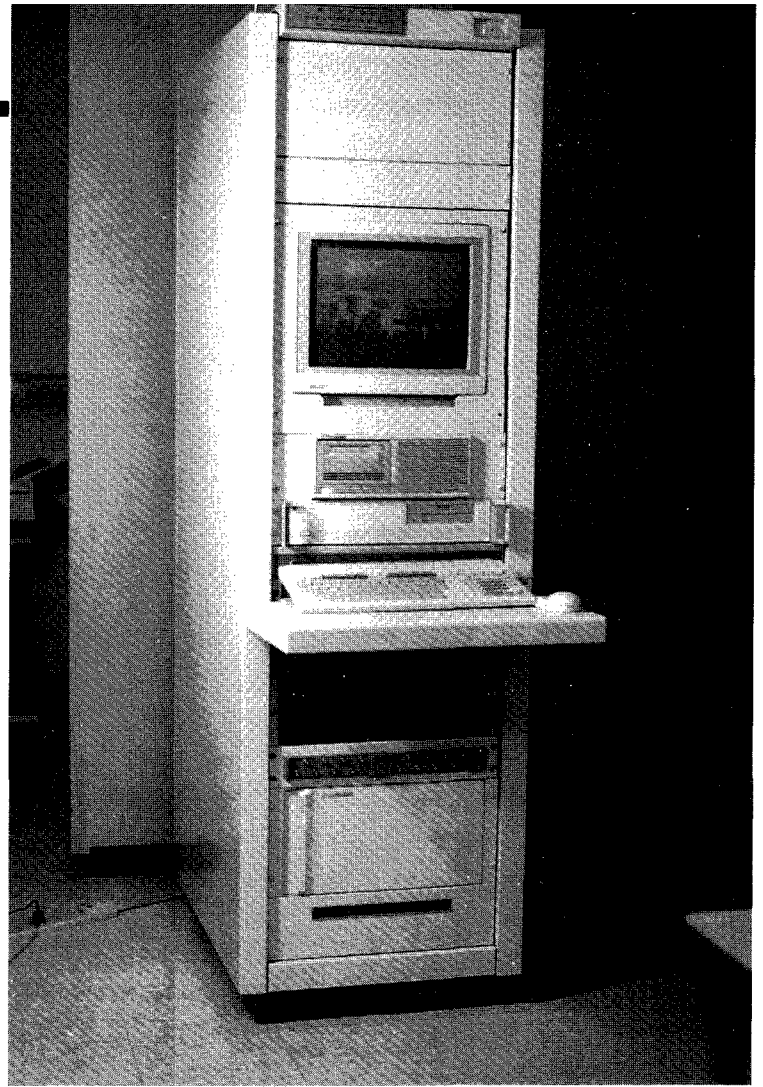
필자는 아직 마무리가 안된 양산 단층대의 지질 조사에서 나타날 이슈에 흥미를 느낀다.

다섯 그룹들로 나뉜 지진 예측 기술들의 바탕 위에 양산 단층의 주된 이슈들을 올려 놓고 밑그림을 그려보고 싶다.

'월성 원전 계획대로 추진' (동아일보, 97. 7. 5. 기사 제목)에 대한 반론을 펴기 위한 목적만은 아니다.

만일의 경우라는 꼬리표를 달고 있긴하지만 거기가 '활성대' 라는 결론일 때, 경주에 자리잡은 우리의 귀중한 '세계 문화 유산' 을 후손들이 안전한 다른 곳으로 옮길 우를 범할 것인가에 더 많은 관심을 가지고 있다.

비록 이번 조사에서 양산 단층대가 활성으로 판정난다 할지라도, 월성 원자력발전소의 시설이 삼풍백화점처럼 갑자기 무너져 내리는 사고를



경주로 내부 구조물의 진동을 감시하는 장치인 RIVMOS 몸체.

당장은 염려할 필요가 없다.

지질의 속성은 지질 시대(수백만년)적인 사고를 바탕으로 접근해야 한다.

경주 불국사가 1200년 동안 탈없이 보존된 것도 지질 작용의 속성을 잘 설명해 준다.

여전히 꾸준한 우리의 노력으로 기대를 걸만한 또다른 접근 방식을 찾아내야 한다.

지진 예측 기술의 개발은 결코 헛된 투자가 아니다.

'활성 단층=대규모 지진' 이란 등식은 반드시 성립되는 것은 아니다. 그러므로 지진 예측 기술의 확보는 원자력 산업 쪽만의 문제일 순 없다.

새로운 아파트 단지를 무차별로 건설하는 정부는 거주민들에게 지진에 대한 공포를 덜어주는 데 최소 한도의 서비스를 제공할 책임이 있다.

그것은 바로 정부의 주도로 지진의 예측 기술 개발에 투자하는 일일 것이다. ☻