

지진 잦아지는 한반도 원전 안전 이상없나

글 _ 권영일 과학저널리스트 zeus@scinews.co.kr

지난 5월 29일 울진 원자력발전소가 위치한 경북 울진군 동쪽 80km 해상에서 관측사상 남한 최대인 리히터 규모 5.2의 지진이 발생했다. 이어 30일 오전 4시 45분쯤에도 울진 남동쪽 70km 해역에서 리히터 규모 2.0의 여진이 발생했으며, 오후 9시 45분쯤 울진 북서쪽 10km 육지에서 규모 2.2의 지진이 발생했다. 이에 따라 한반도가 더 이상 지진의 안전지대가 아니라는 일부 학계의 주장이 다시 주목을 받고 있다.

아닌게 아니라 우리 나라의 연평균 지진 발생횟수가 1980년대 15.7회에서 1990년대 25.5회로 늘어났다. 또한 29일 오후 발생한 강진은 기상청에서 계기지진을 관측한 이후 역대 최대규모인 1978년 충북 속리산 지진과 같은 규모로 남한 최대의 지진이다. 한국지진연구소의 김소구 소장은 “만약 이번 지진이 서울에서 일어났다면 지반이 약한 강남의 노후한 아파트들은 벽에 금이 가는 등 피해가 엄청났을 것”이라고 주장했다.

특히 이번 지진은 진앙이 원자력발전소와 가까워 더욱 충격을 주고 있다. 다행히 이번 지진이 해상에서 발생해 큰 피해는 없었지만, 리히터 규모 5.2의 지진이 지하 5km에서 일어나면 1945년 일본 히로시마에 투하된 원자탄과 맞먹는 가공할 에너지를 방출한다. 원전 사고는 지금까지 우리가 겪어온 대형 사고와는 견줄 수 없는 끔찍한 일일 것이다. 이에 따라 환경단체들은 “원자력발전소가 가동중인 지역 인근에 지진 등 자연재해가 발생하면 발전소 파괴와 이에 따른 방사능 유출 등 큰 피해가 걱정된다”며 비상사태 때 안전성을 확보할 방안에 대해 우려를 나타냈다.

국내 원전, 강도 6.5 지진 견디도록 설계

국내 원전은 고리, 월성, 영광, 울진 등 4개 원자력발전소에서 18기가 운영되고 있으며 2기가 건설중이다. 과학기술부는 국내

원자력발전소는 부지선정 단계부터 지진 가능성이 낮은 곳을 택해 건설한데다 원전 바로 아래에서 이번 지진의 30배가 넘는 강도 6.5의 지진이 발행하더라도 견디도록 내진설계가 되어 있어 크게 걱정할 필요는 없다고 밝혔다. 또 가동중에는 원전이 자동 지진감시시스템을 통해 순간적인 진동이나 움직임을 감시해 자동으로 가동이 정지돼 방사능 유출사고의 우려를 최소화한다고 설명했다.

한국수력원자력(주) 관계자도 국내에서 가동중이거나 건설 중인 원전의 설계지진인 안전정지 지진값은 최대 지반가속도값으로 주열가속도의 20%인 0.2g이며, 각원전의 설계지진값은 이보다 큰 값의 추천치를 정해 실제보다 많은 안전 여유도를 갖고 있다고 밝혔다. 확률적으로 설계지진값에 해당하는 지진이 발생할 확률은 1만년에 1회 정도이므로 발전소 수명을 40년으로 할 경우 수명 기간 중에 지진이 일어날 확률은 거의 없다는 것이다. 실제로 현재 가동중인 국내 원전은 원자력법과 미국원자력규제위원회가 규정한 기준에 따라 부지 선정과 설계, 건설이 이뤄졌다.

미국원자력안전위원회는 원자로 반경 8km 이내에 길이 300m 이상이나 반경 32km 이내에 1.6km 이상의 단층이 존재하고, 이 단층이 과거 3만5천년 이내 1회 또는 과거 50만년 이내 2회 이상 지각변동의 흔적이 있는 ‘활성가능 단층’으로 밝혀질 경우 예상되는 최대 지진을 평가, 원전 설계 등에 반영하도록 하고 있다. 또한 원자력발전소는 제진(制震)구조로 설계돼 일반 건축물을 면진(免震)구조와는 개념이 다르다는 것이다. 여기에서 최근 지질학자들은 해당 단층이 해안단구를 변이시킨 증거의 유무를 활성가능 단층으로 판단하는 중요한 기준으로 삼고 있다. 다시 말해 길이나 나이가 미국원자력안전위원회의 기준을 충족시킨



원자력 발전소

다 하더라도 해안단구를 절단한 흔적이 없으면 활성이 아니라는 것이다.

지진이 잦은 일본 도쿄나 미국 서부 대도시의 고층 건물은 바람에 휘는 갈대와 같이 지진에 대해 유연하게 대응하도록 설계되었으나 원전은 안전과 직결되는 각종 기기와 배관 등이 구조자체의 강성으로, 이에 대항하도록 지진력보다 큰 강도를 갖는 구조라고 관계자는 밝혔다.

실제로 1995년 1월 발생한 일본 고베(神戸)지진은 규모 7.2로 지반 가속도가 0.65g으로 도시 전체가 파괴됐고, 고속도로 등 사회간접시설이 부서졌다. 하지만 인근 11개 원전에는 피해가 없었다. 이에 앞서 1989년 10월 미국 샌프란시스코 지진규모도 7.1로 지반 가속도가 0.64g이었지만, 인근 디아블로 캐년원전과 험볼트베이원전은 피해가 없어 원자력발전소의 내진성을 입증했다.

내진설계기준 0.2g ... 일본, 대만보다 낮아

김재관 서울대 교수는 지난 2002년 조선시대 일어난 지진들을 연구한 결과, 한반도에도 일본 고베 지진과 맞먹는 대지진이 있었음이 입증됐다고, 원전의 내진 기준을 강화하고, 이미 건설된 원전도 시설을 보강할 것을 권고했다.

국내 내진(耐震) 설계는 1988년에 도입됐다. 건축법상 일반 빌딩은 6층 이상, 1만㎡ 이상의 경우 0.11~0.2g, 원전은 0.2g을 기준으로 건축되고 있다. 0.2g은 과거 국내 지진 중 가장 강했던 1936년 쌍계사 지진(리히터규모 5)에 견딜 수 있는 수준이다. 하

지만 한반도 주변 일본과 대만은 내진설계 기준이 각각 0.4g과 0.2~0.4g 등으로 우리 나라보다 월등히 높다. 특히 원자력발전소의 경우 미국은 최고 0.5g으로 설계돼 있으며 프랑스는 0.2g이나 최대한 원전을 지상과 분리시키는 '지진격리시스템'을 채택하고 있다는 것이다.

김재관 교수는 "고베의 지진기록을 입력해 인공 지진을 일으켰더니 문헌에 나오는 규모의 가상적인 피해가 발생, 조선시대에도 고베와 비슷한 대지진이 있었다는 것이 입증됐다"면서 "기존의 원전도 주요 부분에 지진격리장치를 설치하거나 원전 구조물에 특수 보강재를 덧씌우는 등의 안전설비를 마련해야 한다"고 강조했다. 성균관대 건축학과 이동근 교수도 "국가 경제력이 약했던 과거의 원전은 건설비 절감 등을 이유로 상대적으로 안전성이 소홀히된 측면이 있다"고 지적했다.

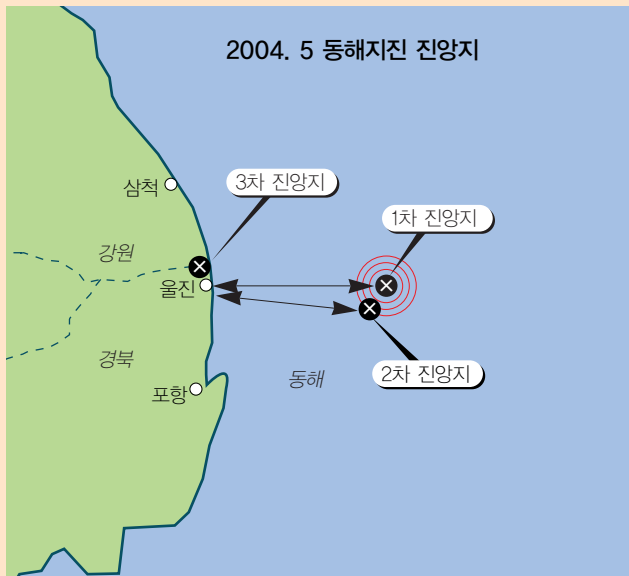
이에 대해 한국수력원자력(주)측은 "원전의 내진 기준은 0.2g이지만 0.3g 정도 지진에도 견딜 수 있어 현재의 기준은 문제가 없다"고 반박했다. 과학기술부 원자력안전과 관계자는 "내진설계는 원자로 중심 반경 320km 이내의 과거 지진자료 및 지질특성 등을 조사해 설계 지진값을 결정했기 때문에 안전하다"고 말했다.

유비무환의 태세 갖춰야

비교적 안전지대라고 알려진 한반도에 최근 지진이 자주 발생하는 이유는 무엇인가. 독일 포츠담 지구물리연구소 선임연구원인 최승찬 박사는 지난 5월 6일 기상청 초청 세미나에서 "한반도는 주변의 4가지 지각판이 몰리는 힘의 중심에 위치해 있어 한반도에 몰리는 힘 가운데 한쪽의 힘이 강해지거나 약해질 경우 한반도는 더 이상 지진의 안전지대로 볼 수 없다"고 주장했다.

기상청의 이진희 박사도 "일본처럼 판과 판의 경계지역은 지진이 자주 발생하나 일반적으로 한반도처럼 판의 내부는 안정적"이라고 평가하면서도 유라시아판의 내부에 속한 중국에 지진이 자주 발생하는 것을 볼 때 우리 나라도 판 내부라고 해서 반드시 안전하지는 않다고 경고했다.

이런 가운데 최근 들어 지진과 관련한 원전의 안전문제가 자주 논란이 되고 있다. 2002년 월성원자력발전소 격납건물 지반의



2004. 5 동해지진 진앙지

부동침하 사실이 밝혀지면서, 일대에 활성단층이 있지 않느냐는 논란이 한동안 계속된 적이 있다. 핵폐기장 부지 선정을 둘러싸고 홍역을 치렀던 위도도 활성단층 여부가 논란을 빚었다.

커다란 사고들을 돌이켜 보면, 발생 전에 거둬지는 경고가 있었음을 알 수 있다. 그 경고들을 무시하다가 큰 재앙을 겪은 경험을 우리는 갖고 있다. 빈도가 잦아지는 지진, 학자들의 거둬지는 경고는 그러한 예고편인지도 모른다. 비록 기우라 할지라도 만사 불여튼튼이다.

한국지질자원연구원 관계자는 “강한 지진이 발생하면 원자력 발전소 외에도 중화학공업단지에서 화학물질 유출 우려가 크고 도시가스 파이프가 절단돼 폭발 화재가 일어날 위험이 크다”며 “지난 4월 개통된 고속철도(KTX)역시 지진에 대한 대비책이 전무하다”고 밝혔다.

원점에서 지진과 원전을 포함한 산업시설의 안전문제를 점검할 때가 왔다는 것이 전문가들의 지배적인 견해다. 지진이란 천재지변을 피할 길은 없다. 하지만 피해를 최소화하려는 인간의 노력이 필요하다는 것이다. 이번에 피해가 없었다고 해서 방심한다면 언젠가는 지진피해 예방을 위한 소중한 시간을 그냥 흘려보낸 데 대해 가슴을 치게 될지도 모르는 일이다. ㉔

한반도 지진의 역사

“유시에 세 차례 크게 지진이 있었다. 그 소리가 마치 성난 우레 소리처럼 커서 인마(人馬)가 모두 피하고, 담장과 성첩이 무너지고 떨어져 도성 안 사람들이 모두 놀라 당황하여 어쩔 줄을 모르고 밤새도록 노숙하며 제 집으로 들어가지 못하니, 노인들은 모두 옛날에는 없던 일이라 하였다. 팔도가 다 마찬가지였다.”

조선왕조실록에서 조선 중종 13년(1519년) 5월15일의 지진 재해를 전하는 기록이다. 사료에 기록된 한반도의 지진은 몇 번이나 되며, 거기에 일정한 패턴이 있었는지 알아본다.

조선조까지 기록된 지진은 1천965회

서울대 지질학과 이기화 교수는 ‘역사지진 평가 및 목록작성’에서 한반도에서 일어났던 지진 중 지금까지 확인된 수는 모두 1천965회였다고 밝혔다. 삼국사기, 고려사, 조선왕조실록, 승정원일기, 증보문헌비고 등의 사료를 뒤져 찾아낸 결과다.

연구결과에 따르면 삼국시대(2~936년)에는 모두 113회의 지진 기록이 있고, 대부분 삼국의 수도에서 발생한 것들 뿐이다. 사람이 주관적으로 느끼는 지진의 강도를 나타내는 MMI 지수(지진계가 없었기 때문에 지진으로 부서진 건물, 사망자수, 충격 등을 등급화한 지수로 12가 최고)가 8 이상인 지진만도 16회였다. 779년 경주에서 일어났던 지진으로는 100여 명이 사망했다.

고려시대(936~1393년)에는 모두 188회, MMI 8 이상 지진은 6회가 발생했다. 조선시대(1393~1905년)는 기록상 가장 지진활동이 활발했던 시기였다. 총 1천664회의 지진이 일어났으며 MMI 8 이상 지진만도 40회였다.

이 교수는 “16~17세기에 지진활동이 가장 활발해 한반도에서 분출한 지진 에너지의 태반이 이 시기에 방출됐다”고 말한다. 1643년 7월 24일 울산에서 일어난 지진은 MMI 10으로 한반도에서 발생한 가장 큰 규모였다.

이에 따라 지질학계는 우리 나라의 대형 지진 발생주기를

400~1000년으로 추정한다. 이에 따를 경우 20~21세기가 지진 다발 주기권에 들어간다.

한반도, 1905년부터 150년간 지진 활성화

경희대 지리학과 윤순옥 교수와 황상일 경북대 교수 등은 2002년 한반도 지진은 조선시대 이래 100~150년 주기로 활성화와 잠복을 되풀이하고 있다고 주장했다. 이에 따르면 현재 한반도는 지진의 활성화기에 들어서 있다. 윤 교수 등은 조선왕조실록의 500년간 지진 관련 기록을 분석해 이런 결론을 얻어냈다.

연구팀은 먼저 조선왕조실록에 실린 모든 지진 기록을 지진의 범위와 규모별로 유형화하고 이를 다시 지역과 시기별로 나눴다. 예컨대 지진이 감지된 범위가 7개 고을이라면 A급, 4~6개 고을이라면 B급, 3개 고을 이하는 C급으로 나누고, 지진 규모가 인명, 재산피해를 낼 정도는 a급, 문과 창문이 심하게 흔들릴 정도는 b급, 그외엔 c급으로 구분했다.

조선시대 지진은 A급 41건, B급 51건, C급 349건으로 나타났다. 조선시대를 통틀어 넓은 지역에 큰 피해를 낸 Aa급은 3건인 데 비해 가벼운 Cc급은 337건으로 76%를 차지했다. 한반도 지진은 대체로 좁은 지역에 작은 규모로 일어나고 있다는 것이다.

또한 조선왕조실록의 시대(1392~1863)를 5년 단위로 쪼개 시기별로 지진기록을 정리하자 새로운 사실이 드러났다. 지진 데이터를 컴퓨터 프로그램에 넣어 돌렸더니, 지진은 오랫동안 활발하다가 급격히 줄어 잠복하는 패턴이 되풀이되는 게 뚜렷하게 나타난 것이다.

윤 교수는 “분석결과 1392년부터 1535년까지 140년 동안 203차례의 지진이 있었지만, 이후 130년간은 단 44차례만 관측되는 등 크게 150년 주기로 한반도에 지진 활성화기가 찾아왔다”며 “현재는 1905년부터 시작되는 활성화기에 해당되므로 국가적인 지진대비가 필요하다”고 지적했다.

최근 극동 아시아 지역 지진 크게 증가

한반도와 인근해역에서 연평균 23차례의 지진이 발생하고 있으며, 발생빈도가 급속히 높아지는 것으로 나타났다. 기상청에 따르면 본격적인 계기지진관측이 이뤄진 1978년부터 2003년까지 한반도 및 인근 해역에서 발생한 지진은 모두 599차례, 연평균 23차례로 집계됐다.

그러나 1999년부터 지난해말까지는 196회가 발생, 연평균 40차례로 발생빈도가 급격히 높아졌다. 올들어서도 6월 11일 현재 이미 24차례의 지진이 발생했다.

우리 나라에 지진계가 처음 설치된 것은 1905년이였다.

이때부터 1999년 6월말까지 1천83회의 지진이 관측되었고, 기상청이 공식 지진 집계를 시작한 1978년부터 지금까지 관측된 것은 596회다. 이 결과만 본다면 한반도 지진 발생은 수적으로 폭발적인 증가세를 보이고 있는 것이다.

이에 대해 한국지질자원연구원측은 “일차적으로 지진계 설치가 늘어나 관측된 지진 수가 늘었다”고 풀이한다. 1980년까지 전국적으로 설치된 지진계는 5곳에 불과했지만 2004년 현재 기상청 전국에 설치한 지진관측망 33소와 가속도 관측망 75소에 이른다. 하지만 단순히 지진계 수 증가만으로 풀이할 수 없다는 지적도 나온다.

기상청 한 관계자는 “그동안 세계적인 대지진은 대부분 판 경계 지역에서 일어났지만 지난 1976년 판 내부 지역인 중국 탕산에서 강도 7.9의 최대규모 지진(1999년 터키 지진의 강도는 7.8)이 발생했다. 이런 사실을 감안하면 판 내부 지역으로 분류되는 우리나라에서도 이런 강도의 지진이 일어나지 말라는 법은 없다”고 말한다.

지금까지 지진 발생 이유에 대한 가장 유력한 설명은 판구조론이다. 우리가 살고 있는 대륙은 두께 100km로 애초에는 하나로 연결돼 있었으나 이 판이 서서히 움직이기 시작했다.

이때 운동에너지가 생기게 되고 이 에너지가 커지면 탄성에너지로 변화한다. 탄성에너지는 암석이 파괴될 수 있는 파괴강도보다 더 커지는 순간 파동에너지와 열 에너지로 바뀌면서 암석을 쪼개고 솟아올라 오게 된다.

그렇다면 100km 정도 두께의 판이 왜 움직이게 되는 걸까? 이는 지구 내부의 대류 현상 때문으로 풀이된다. 지구를 둘러싼 100km 판의 온도는 낮고 내부는 온도가 높아 온도 차이로 지구 내부의 고체가 서서히 움직이는 대류 현상이 발생한다. 이때 발생하는 에너지가 판으로 전달돼 판을 움직이게 하는 것이다.

판구조론에 따른다면 한반도 지진은 한반도가 포함된 유라시아판이 호주·인도판과 태평양판 사이에 끼여 단층 균형이 깨지면서 발생하는 것으로 설명된다. 최근 일본과 중국의 지진 발생이 크게 늘어나 극동지역 전체가 지진다발시기에 들어섰다는 분석도 있다.