



홍태경
연세대학교
지구시스템과학과(지진학) 교수

한반도 지진 어떻게 봐야 할까?

봄기운이 완연한 4월의 첫날 새벽의 규모 5.1 서해 지진과 이튿날 뒤이어 발생한 규모 8.2 칠레지진으로 국내 외적으로 지진에 대한 우려가 많은 요즘이다. 백령도에서 남서쪽 방향으로 110km 떨어진 지역에서 발생한 이번 서해 지진은 230km 떨어진 서울 및 경기 북부 지역까지 강한 지진동을 발생시켰다. 지진 발생 직후, 지진 발생 여부에 대한 많은 문의 전화가 기상청, 소방방재청, 방송국 등에 쇄도하여, 당시 국민들이 느꼈을 불안감을 짐작할 만하다. 또한 이 강한 지진동은 지진피해가 남의 일만이 아닐 수 있음을 새삼스레 느끼기는 계기가 되고 있다. 이번 서해지진은 한



반도 지진관측이 시작된 1978년 이후로 역대 4번째로 큰 지진일 뿐 아니라, 작년 서해 지역의 집중적인 지진발생과 두 차례의 규모 4.9 지진 발생에 뒤이은 지진이었다는 점에서 특별한 주목이 더해지고 있다. 더구나 2011년 동일본 대지진 이후 가파른 상승세를 보이는 지진 발생률은 한반도의 지진 안전지대 여부에 대한 근본적인 물음을 던지고 있다.

최근 한반도 지진 발생 빈도 상승의 원인으로 동일본 대지진 효과가 지목되고 있다. 동일본 대지진 후 한반도는 동일본 지

진 진앙 방향으로 2~5cm 이동하였으며, 지각판의 갑작스러운 이동은 지각판내의 힘의 균형을 무너뜨리고 지역별로 일정치 않은 막대한 힘의 축적을 가져왔다. 이렇게 누적된 힘들이 최근의 지진 발생을 촉발하는 원동력으로 작용하는 것으로 이해되고 있다. 이 지진들은 지각판내의 쌓인 힘들이 균형을 찾기까지 지속될 것으로 예상된다. 이와 같이 동일본 대지진 후 급격히 한반도의 지진 발생 빈도는 2013년도에 다다라 규모 2.0 이상의 지진이 총 93회에 이르렀다. 이는 한반도 연평균 지진 발생횟수인 40여회를 두 배 가량 넘어

서는 횡수이다.

그동안 국민들 사이에서는 한반도는 지진으로부터 안전한 곳이라는 생각이 지배적이었다. 이 생각은 1978년 이후로 관측되고 있는 한반도 지진 발생 기록에 그 근거를 두고 있다. 이러한 결론을 내리기에 앞서, 우선 지진의 성질을 살펴볼 필요가 있다. 지진은 지각판내에 쌓인 힘이 그 땅이 견딜수 있는 임계치를 넘어서면서 발생하는 현상으로, 지각판내에 힘이 쌓이는 속도와 그 땅이 견디는 힘의 한계에 따라 지진 발생 시기의 빈도가 결정된다. 일반적으로 지각판에 쌓이는 힘은 지각판들이 서로 충돌하는 경계부에서 비롯된다. 지구상 지각판의 이동속도와 방향은 수천~수만 년 동안 거의 일정하므로, 특정 지역에 쌓이는 힘의 양도 매년 거의 일정하다고 할 수 있다. 그러므로 일정한 기간이 경과하게 되면, 땅이 견딜 수 있는 임계치를 넘어서는 힘이 쌓이게 되고, 이것으로 인해 규칙적으로 지진이 발생한다. 이

와 같이 지진은 주기성과 반복성을 띤다. 그러므로 과거 지진 기록을 살펴보면 특정 지역에서 지진의 특성과 지진 규모, 발생 시기를 가늠할 수 있다. 하지만 판내부에 위치하여 힘이 천천히 누적되어 지진 발생 주기가 긴 지역의 경우, 오랜 기간의 지진 기록을 바탕으로 한 평가가 필요하다. 이런 경우, 짧은 지진 관측 기록을 바탕으로 한 지진 위험성 평가는 저평가된 성급한 결론을 이끌어 낼 수 있다. 짧은 기록을 바탕으로 긴 지진발생 주기를 가지는 큰 지진에 대한 예측 한계는 여러 예에서 확인된다. 2011년 발생한 동일본 대지진은 서기 869년에 발생한 조간 지진 이후 약 1,100여년 만에 발생한 지진으로 평가되고 있으며, 2008년 5월 12일 8만 7천여 명의 인명을 앗아간 규모 7.9의 중국 쓰촨성 지진은 3,000여년 만에 다시 발생한 지진으로 알려지고 있다. 이렇듯 큰 지진은 긴 시간적 간격을 가지고 발생하며, 짧은 지진 기록으로는 발생 가능한 최대 지진 추정에 어려움이 있다.



한반도의 지진 잠재성 재평가는 여러 다양한 관측에 기반을 두고 있다. 한국전쟁이 진행 중이던 지난 1952년에 평양 인근 강서 지역에서는 규모 6.2의 지진이 발생한 바 있다. 이 지진은 러시아, 일본 등 여러 나라의 지진계 등에 강한 지진 파형으로 선명하게 기록되어 전해지고 있다. 이 지진은 한반도 지진 가운데 지진계 기록으로 남은 가장 큰 지진으로 알려지고 있다. 시대를 거슬러 올라가면, 다양한 역사서에 지진 재해 기록이 남아 있다. 삼국사기에는 서기 779년 해공왕 15년에 경주에서 발생한 지진으로 100여명이 사망한 기록이 남아있고, 조선왕조실록에도 1518년 7월 2일 지진을 포함하여 규모 7 내외에 육박하는 지진 피해 기록들이 여럿 있다. 이들 가운데는 수도권에서 발생한 지진들이 포함되어 있다. 이러한 여러 기록들은 정확한 한반도 지진 위험도 평가를 위해서는 긴 지진 기록을 바탕으로 해야 함을 지시한다.

이런 측면에서 조선왕조실록에 남은 역사지진 기록은 한반도 지진 잠재성을 평가하는데 매우 유용하게 활용된다. 최근 연구에 의하면, 조선왕조실록에 규모 4~5이상의 지진이 거의 빠지지 않고 기록되었음을 확인할 수 있다. 조선왕조 500년 기간을 감안하면, 실록에 남은 지진 기록은 적어도 수백년 주기의 큰 지진 규모 산정에 활용이 가능하다.

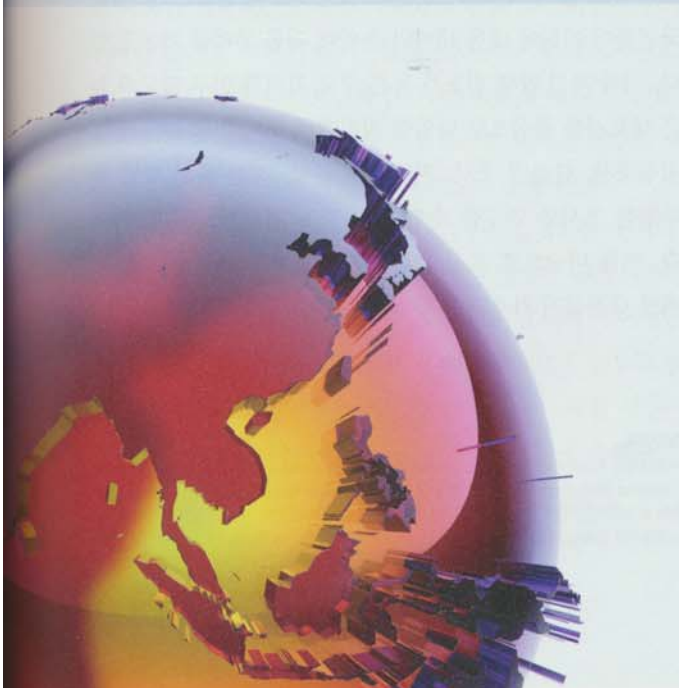
지진의 대표적 특징인 지진의 주기성은 전 세계 여러 예에서 확인할 수 있다. 대표적인 예로 미국 서부 캘리포니아의 파크필드 지역에서 발생하는 지진이다. 미국 서부 해안을 따라 남북으로 가로지르는 샌안드레아스 단층이 지나는 파크필드 지역에서는 규모 5.5~5.6 지진들이 1857년부터 2004년까지 약 22년 주기로 지진이 규칙적으로 발생하고 있다. 가까이 있는 일본열도에서도 주기적인 지진 발생이 관측된다. 필리핀판이 인도열도에 충돌하는 난카이 해구 지역에서는 200~250년 주기의 규모 7~8의 지진들이 발생하고 있다. 이 난카이 해구 지역의 일부 구간은 지진 발생 주기를 넘어 서거나 근접해 있는 것으로 확인되고 있으며, 여러 구간이 일시에 단층운동을 하게 될 경우, 규모 9.0 지진까지 발생 가능한 것으로 평가되고 있다. 하지만 지진 주기는 다양한 요소에 의해 영향을 받을 수 있어서, 수년 혹은 수십 년의 시간 오차를 동반할 가능성을 배제하기 어렵다. 그럼에도 불구하고 지진의 주기성은 지진 위험도 산정과 지진 예측에 유용하게 응용되고 있다.

한반도에 지진을 발생시키는 힘의 원동력은 한반도가 위치하

는 유라시아판과 이웃하고 있는 태평양판, 필리핀판, 인도판 등과의 충돌로부터 야기된 압축력이다. 이 힘은 한반도로 끊임없이 전달되고, 조금씩 누적된다. 누적된 힘이 해당지역의 지반이 견딜 수 있는 한계치에 다다르면, 해당 지역에서 가장 약한 부분에서 땅이 어긋나며 지진이 발생한다. 이 때 지반 운동으로 누적된 힘이 해소된다. 최근 한반도에서 급증하는 지진은, 동일본 대지진에 의해 한반도 지각판 전체적으로 막대한 힘이 일시에 쌓여, 지반이 견딜 수 있는 한계치를 넘어서며, 연쇄적으로 지진을 발생시키는 것으로 이해할 수 있다. 이러한 급증한 지진활동은 일정 기간 지속되다가 점차 예전의 지진 발생률을 보일 것으로 예상된다.

일반적으로 특정지역에서 지각판내 쌓인 힘이 해소되기에 용이하면서 약한 지역으로는 과거에 지진이 발생한 바 있는 단층대나 조산운동대를 꼽을 수 있다. 이러한 지역은 지각판내로 전달되는 압축력 등에 매우 취약하며, 반복적으로 지진을 발생시킨다. 이런 점에서 단층대의 분포 파악은 미래 지진 발생 가능 지역을 파악하는 중요한 일이라 할 수 있다. 과거 발생한 지진의 공간적 분포 정보는 향후 발생 가능한 지진의 발생 위험도를 알려주는 좋은 지시자 역할을 한다. 과거에 지진 밀도가 높은 곳에서 지진이 발생할 확률이 높다. 또한 작은 지진이라도 많이 발생한 곳은 큰 지진이 발생할 확률도 높다.

지진계에 기록된 지진 분포를 통해 파악된 결과에 의하면, 우리나라는 서해 및 연안지역, 동해 연안, 제주도 근해, 속리산 주변 내륙, 백령도 연안 지역에서 상대적으로 높은 지진 밀도를 보인다. 지진 발생 빈도가 높은 지역들은 과거 한반도 형성과 연관된 다양한 지구조 운동과 연관된 지역들이 많다. 이 가운데, 동해 연안 지역은 역단층 지진이 관측되는 지역으로, 원자력 발전소 위치와 맞물려 여러 가지로 관심을 받는 지역이다. 이 지역은 과거 일본 열도가 한반도에서 분리되면서 발달한 정단층 구조의 열곡대가 위치했던 곳으로, 현재는 일본열도 동쪽 충돌대에서 전달되는 압축력에 의해 역단층 지진이 발생하는 곳이다. 지난 2004년 울진 앞바다에서는 규모 5.2의 지진이 발생한 바 있고, 향후 보다 큰 지진이 발생할 가능성을 배제할 수 없다. 또한 이 역단층 지진들은 수심이 깊은 동해 연안지역에 지진해일을 유발할 가능성도 있다. 지진의 위치를 고려할 때 가까운 해안까지 지진해



일이 도착하기까지 10여분 밖에 걸리지 않을 것으로 보인다. 또한 일본 열도 서해안 지역 얇은 깊이에서 발생하는 지진들에 의해서도 지진해일 발생 가능성이 있으며, 이 지진해일들은 동해를 가로질러 우리나라의 연안지역에 영향을 미칠 수 있다. 조선왕조실록에 남아 있는 다양한 지진해일 피해 기록들은 이를 뒷받침하고 있다.

역사서에 남은 지진 피해 기록을 바탕으로 분석한 조선시대 지진 분포 밀도는 흥미로운 특징을 보인다.

역사지진 분포는 대부분의 한반도 지역에서 계기지진과 유사한 분포를 보이고 있다. 하지만 역사지진 기록은 수도권 지역에서 계기지진과는 다른 높은 지진 발생률을 보인다. 역사지진상에서 보이는 수도권 지역의 높은 지진 밀도는 이 지역의 지질학적 특성과 관련이 있다. 수도권이 위치한 곳은 지질학적으로는 경기육괴라고 하는 단단한 기반암 지역이다. 이 단단한 기반암 지역은 땅이 부서지는 단층운동이 발생하기 위해서 다른 지역에 비해 보다 많은 힘의 축적이 필요하다. 그러므로 다른 지역보다 오랜 기간의 힘이 축적이 수반되어야 한다. 이에 따라, 이 단단한 기반암 지역에서는 지진의 발생 주기가 다른 지역에 비해 길다. 짧은 계기지진에 나타나는 수도권 지역의 낮은 지진 발생 밀도는 긴 지진 재래 주기를 가진 지진들이 충분히 기록되지 않은 까닭으로 풀이할 수 있다. 여기서 주목할 점은 긴 재래 주기를 가지는 큰 규모의 지진 발생시기가 점차 다가오고 있다는 점이다. 수십년 간 지진이 발생하지 않더라도, 긴 재래 주기를 가지는 단 한차례의 지진으로도 막대한 인명피해와 재산 피해를 입는다는 점에서 주의가 요구된다. 25만 명의 인명손실과 재산 손실을 입은 2010년 규모 7.0의 아이티지진은 250년 만에 이 지역에서 발생한 지진에서 보듯이 단 한차례의 지진 발생으로 기록적인 피해를 입었다.



지진에 의한 피해는 지진의 규모와 함께 진앙 거리, 진원 깊이에 크게 영향을 받는다.

특히 진원의 깊이가 얇을수록 그 피해는 크게 증가한다. 주목할 점은 한반도에서 발생하는 지진은 5~15 km로써 얇은 깊이에서 발생한다는 점이다. 지난 4월 1일의 규모 5.1의 지진이 수도권 지역까지 강력한 진동을 발생시킨 이유도 지진규모가 클 뿐 아니라, 지진의 깊이가 10km로 얇기 때문으로 풀이된다. 사람들에게 큰 피해를 입힌 1976년 중국 탕산 지진, 2009년 이탈리아 라퀼라 지진, 2010년 아이티지진, 2011년 뉴질랜드 크라이스트처치 지진 등이 규모 6~7의 지진으로서 도시 근교에 발생한 얇은 깊이의 지진들이라는 공통점이 있다. 우리나라는 국토가 좁고 많은 인구가 도시에 집중된 형태를 보인다. 특히 수도권 지역은 인구 밀도가 가장 높고, 높은 고층 빌딩이 밀집해 있다. 과거에 우리나라에서 발생했던 규모 7의 지진이 다시 발생할 수 있다. 얇은 진원 깊이를 가지는 우리나라 지진의 특성을 고려할 때, 단 한차례의 지진으로도 막대한 피해를 입을 수 있다.

이제 한반도 발생할 수 있는 지진에 대한 다양한 준비가 필요할 때다.

작년 서해 지역의 집중적인 지진 발생 시에 서해 지역 활성 단층 존재 여부 등과 관련한 다양한 질문에 관계 당국에서는 필

요한 정보를 구축하고 있지 못하는 것을 확인하는 등 많은 국민들이 지진에 대한 대비와 준비에 대한 우려를 가지고 있다. 이제 지진 발생 빈도가 높은 주요 지역과 인구 밀도가 높은 대도시를 중심으로 다양한 지진재해 대비가 필요한 때다. 지질조사, 단층대 조사, 지각구조 분석, 지진 특성 파악 등 다양한 조사와 연구를 수행하고, 기초 정보를 구축할 때이다. 이를 바탕으로 지진 위험도를 정량적으로 평가하고, 지역별 내진설계 기준과 투자 우선 순위 설정이 필요하다.

필자약력

서울대학교 지질학과 학사·석사, Australian National University 지진학 박사, University of California, Santa Cruz 박사 후 연구원, Columbia University 박사 후 연구원 / 전 원자력안전전문위원회 분과전문위원 / 현 연세대학교 지구시스템과학과(지진학) 전공 교수, 기상청 정책자문위원, 소방방재청 정책자문위원

신용경제

FINANCIAL MARKETING & BUSINESS

5

2014

Vol.367 May

COVER STORY

한국은 지진의 안전지대인가?

초대석

윤성규 환경부 장관