

# 한반도에서의 합리적 지진대비 방향 한반도 고유환경에 적합한 지진 대책기술 개발해야

인류는 땅이라는 소중한 토대 위에서 영위하고 발전하여 오늘날의 문명 사회를 이루게 되었다. 실제로 오늘날의 인간은 잠깐 동안의 항공 또는 수상 교통편 이용 시간을 제외하고는 대부분 이 땅을 지지하고 있다. 물론, 지상 건물 내부나 지하에 있는 시간이 길 수도 있으며, 이런 위치들은 모두 땅의 연속선 상에 있다.

이처럼 우리와 항상 접해 있는 땅은 여러 자연 현상들의 주체이자 매개체가 되는데, 그 대표적인 현상이 바로 지진이다. 물론, 땅이 흔들리는 현상이 지진이라는 측면에서는 지구에서 자연적으로 발생하는 지진(자연지진) 외에도 인간에 의해 발생하는 지진(인공지진)도 있을 수 있다. 뿐만 아니라 인간의 개발활동이 영향을 미쳐 원래 자연상태에서는 일어나지 않을 수 있는 지진이 발생하는 경우(유발지진)도 존재하며, 여러 영향 인자들의 복합적인 결과로 지진이 발생할 수도 있다. 여기에서는 주로 자연현상으로 발생하여 인간에게 큰 피해를 끼쳐왔던 지진만을 대상으로 고려해 보고자 한다.



글\_선창국

한국지질자원연구원  
지진연구센터 책임연구원  
pungsun@kigam.re.kr

글쓴이는 서울대학교에서 지반지진공학 관련분야로 박사학위를 받았다. 2009년과 2011년에 한국지리정보학회 논문상을 수상했고 2012년에는 한국지진공학회 학술상을 수상했다.

## 지진 피해 최소화 위한 기술 개발 필요

지구의 지각에서 발생하는 지진은 오랫동안 땅의 형상을 변화시키는 주요 원인들 중의 하나였고 앞으로도 그럴 것이다. 특히, 지진은 자연 속에서 극히 미약한 존재인 인간에게 때로는 엄청난 재앙을 줄 수 있기 때문에 우리에게

달갑지 않은 현상이다. 가깝게는 지난 4월 1일 우리나라와 지구 정 반대에 위치한 칠레 이키케 인근 해역에서 발생한 규모 8.2 지진부터 지난 2011년 3월 11일 바로 옆 일본의 동북 해역에서 발생한 규모 9.0 지진, 그리고 2008년 5월 12일 중국 내륙 쓰촨성에서 발생한 규모 8.0 지진에 이르기까지 금세기만 해도 아시아, 아메리카, 유럽, 오세아니아 등에서 수 많은 중대규모 지진 발생과 그에 따른 엄청난 인적 물적 피해들을 우리는 지켜봐 왔다.

특히, 2011년 일본 동북 대지진(규모 9.0)과 같이 추가적으로 파생된 원전사고로 인해 수십 년이 소요될 수도 있는 복구나 재건이 아직도 진행 중임을 고려해 볼 때, 지진이라는 자연현상에 대한 철저한 준비가 얼마나 중요한지를 큰 규모 지진을 겪어보지 않은 우리

입장에서도 알 수 있다. 지진과 같은 자연현상으로 인한 재해는 그 원인을 과학적으로 잘 이해하고 파악하여 대비 기술을 개발하고 적용한다면 피해 정도를 획기적으로 저감시킬 수 있다. 이러한 기술 개발 및 적용과 함께 지진을 포함한 자연재해에 대한 체계적 매뉴얼 수립과 대비 훈련이 병행된다면 기대 이상으로 피해를 최소화할 수도 있다.

### 한반도 발생 지진의 규모

지진은 흔히 시공간적 불확실성이 상존하는 현상으로 여겨지고 있다. 그러나 확률적으로 이 불확실성이 지구의 모든 지역에 동일한 조건이 아니고 지역마다 지질 조건도 다르므로, 지진대비 방법이나 수준은 지역에 따라 분명히 차별화하여 고려돼야 한다. 최근 대규모 지진이 발생하고 막대한 피해를 입은 국가나 지역들이 주로 지구표면 지각 조각판들이 서로 만나는 지리적 위치인 반면, 우리나라는 이런 경계에서 떨어진 판내부에 위치하는데, 판경계에 비해 상대적으로 지진 발생빈도가 낮고 발생가능 규모도 대개 작게 나타난다. 이런 이유로 흔히들 한반도를 중진 또는 중약진 지역으로 구분할 수 있다.

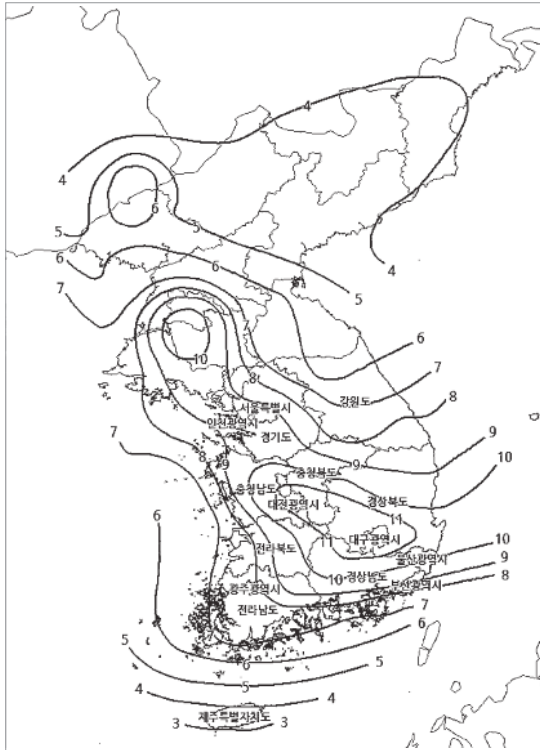
그러나 판내부에서 발생하는 지진은 지리적 관점에서 공간적으로 산포되거나 불규칙한 경향을 보인다. 우리나라에 거주하는 국민은 한반도 내륙에서 발생한 지진에 따른 지진동을 경험하고 그에 따른 일차적 및 이차적 피해를 받을 수 있다. 또한, 동해안이나 동남해안에서 해양 지진으로 인한 지진해일 피해를 겪을 수도 있다.

지난 세기 후반부터 본격적인 지진관측을 시작한 이후 현재까지 기록된 최대 지진들은 규모 5를 다소 상회하는 정도이며, 그 중 한 지진이 2004년 울진 앞바다(규모 5.2)에서 발생하였고 다른 지진들은 내륙에서 발생한 1978년 속리산 지진(규모 5.2)과 1980년 평북 지진(규모 5.3)이다. 최근 몇 년 전부터는 서해에서 다발성 지진들이 관측되고 있으며, 지난 4월 1일에는 태안 앞바다에서 규모 5.1의 지진이 일어난 바 있다.



▶ 1. 고베 지진 시 가스폭발 화재(1995년 일본)





▶▶ 2. 재현주기 500년 한반도 지진위험지도

### 지진 발생 환경 고려된 지진재해도 제작

이러한 한반도 및 주변 발생 지진으로 인해 현재까지 인명 피해가 발생하지는 않았지만, 일부 구조물 손상을 포함한 다소의 피해들이 있었고 실제 진동을 경험한 국민들의 심리적 불안은 매우 컸던 것으로 보고되었다. 우리나라도 과거에는 사망을 포함한 심각한 인명과 재산 피해를 겪은 지진들이 다수 존재했으며, 이러한 기록들은 역사문헌에서 확인되고 있다. 이러한 다양한 역사 및 계기 지진기록들을 토대로 우리나라 지진발생 환경이 고려된 여러 발생빈도(재현주기)별 한반도 지진재해도(seismic hazard map: 일부 국내 법률에서는 지진위험지도로 표현)가 제작되어 다양한 실용 분야에서 이용되고 있다.

현재 우리나라에서 이용되고 있는 지진재해도는 1997년 당시 건설교통부에서 발행한 것(지진재해도)과 이 재해도를 다양한 재분석 및 추가 자료를 기반으로 수정하여 소방방재청에서 2013년 12월에 공표한 것(지진위험지도)이 있다. 따라서 작년까지는 1997년 제작된 지도를 사용해 왔으며, 올 해부터는 순차적으로 2013년 지도를 반영하거나 변경하고 있는 과정이다. 두 종류의 지도는 모두 한반도 지표면 전체를 암반노두 상태로 가정하고 그 조건에 대해 7종류의 평균 재현주기(50년, 100년, 200년, 500년, 1,000년, 2,400년, 4,800년)에 따른 최대지반가

속도(PGA) 분포의 형식으로 구성돼 있다. 특별한 극한 조건에 대한 고려가 아닌 경우는 대개 최대 재현주기인 4,800년 지도를 제외하고 6가지 재현주기 지도만이 활용된다. 해외 강진 국가들에서는 PGA 분포 지진재해도 외에도 공학적 활용도를 고려한 몇 가지의 구조물 주기별 스펙트럴 가속도(spectral acceleration) 분포의 지진재해도들도 정기적으로 제시 및 갱신되고 있으며, 우리나라도 현재 이러한 추가적 의미의 지진재해도에 대한 제작이 진행되고 있다.

### 내진성능 등 지진 대책 기술 개발과 적용

지하암반 단층운동으로 발생한 지진은 지반이라고 불리는 땅을 통해 사방 공간으로 전파되고 지표면 부근 주거나 경제산업 시설 지역에 도달하게 된다. 이 시설들이 전파된 지진동에 충분히 견딜 수 있는 내진(耐震)성능을 확보하지 못했을 경우 그 시설물은 물론이고 그 내부, 그리고 인근의 사람들에게 직접적인 피해를 줄 수 있다. 뿐만 아니라 화재, 유발피해, 질병 등의 이차적인 피해는 더 심각하고 장기간의 영향을 줄 수도 있다.

내진성능은 내진설계를 통해 새롭게 지어지는 시설물에 대해서 확보할 수도 있고, 과거에 내진성능고려 없이 사용되고 있는 기존 시설물에 대해서 평가를 하고 내진보강을 통해 확보할 수도 있다. 물론, 이러한 세부 방안들은 지역별 지진발생 조건이 다른 것처럼 시설물의 종류, 형태 등에 따라 적합하게 실시돼야 하며, 관련 기술의 개발이나 합리적 시도들이 현재에도 각 분야 전문가들에 의해 진행되고 있다.

내진 개념 외에도 지진과 같은 외부 진동에 대해 격리하거나 제어하는 개념의 면진(免震)과

제진(制震) 기술들도 활발하게 개발 및 적용되고 있다. 특히, 초장대 교량이나 초고층 건물과 같은 초대형 구조물에 대한 제진이나 면진 수요는 급격히 증가하고 있으며, 일반적인 구조물 외에도 시설물 내에 위치한 정보통신 설비들에 대해서도 내진 기술과 함께 제진과 면진 기술이 폭넓게 개발·적용되고 있다. 이러한 기술들은 현재까지 대부분 기존 국외 기술들의 도입 또는 일부 개선으로 이루어져 왔으나, 얼마 전부터는 일부 중견·중소 기업들이 우리나라 현황을 고려하여 새로운 개념들을 도출하고 이로부터 신기술들을 개발하고 있는 상황이다.

### 한반도 고유 환경 고려한 최적의 기술 개발 필요

지진 발생에 따라 시설물에 영향을 주는 지표면 지진동의 크기와 형태는 지진원이나 전파경로에 의한 영향과 함께 지표면 부근 토사 부지의 특성에 따라 결정된다.

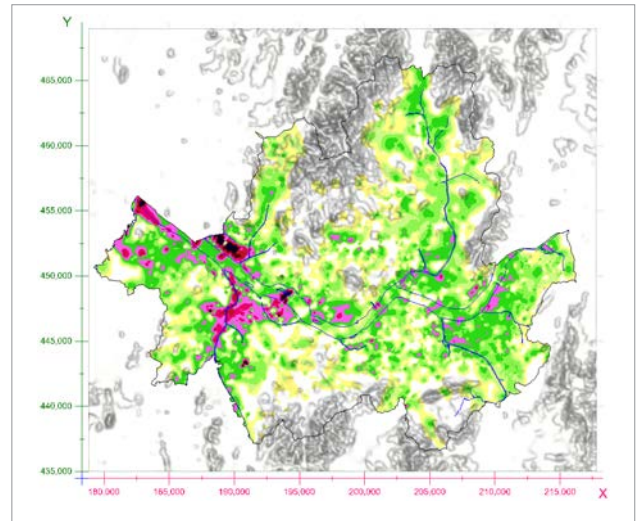
특히, 지진원으로부터 유사한 거리일지라도 부지 특성에 따라서 일부 위치에서 지진동은 크게 증폭되어 시설물에 큰 진동 하중으로 작용할 수 있다. 지진원에 관한 지극히 일반적 정량화는 앞서 언급한 지진재해도로 정리될 수 있으나, 이 역시 한반도 전역의 활성단층 정밀조사, 정밀 지진관측 시스템 확보 등을 통해 지속적으로 개선되어야 한다. 또한, 지진전파 효과와 관련하여 한반도와 주변 해역의 지각 및 상부 맨틀의 구조적 특성을 보다 명확하고 정밀하게 규명해야 한다.

지진 증폭을 일으키는 부지 특성은 기하학적 조건으로서의 지표면 지형 형상이나 기반암까지의 심도인 토사 두께 분포로 우선 파악될 수 있으며, 토사 지층들의 여러 동적 특성에 관계된다. 따라서 이런 조건들의 공학적 정량화 및 공간에서의 신뢰성 높은 합리적 정보 구현을 통한 실용적 제시가 필요하다.

해외 강진지역 국가들은 중장기적인 지반특성 자료 확보와 검증, 그리고 단계별 체계적인 적용을 통해 사용 목적에 따른 다양한 수준의 지진 증폭관련 부지응답 정보를 제시하고 지속적으로 보완해 오고 있다. 반면, 우리나라는 현재까지 일부 전문가들에 의해 제한적 자료에 기반한 시범적 부지 지진응답 정보 도출되고 있으므로, 이에 대한 종합적인 체계화를 통해 복합적 수준의 실용 목적의 정보 제시가 필요한 실정이다. 지진 발생 및 지반진동 결정에 이르기까지 비교적 최근에 지진을 고려하기 시작한 우리나라는 현재까지 기존 국외 개념이나 기술의 도입 및 일부 개선적용 중심이었다. 따라서 한반도 환경을 고려한 과학적 접근과 그를 통한 최적의 기술개발 적용이 요구되는 시점이라고 할 수 있다.

### 지진 대응 '비상대처계획'의 합리적 적용성 확보

지진이 일어난 상황을 대한민국에 거주하는 우리가 경험하게 된다면 어떨까? 지진동으로 인한 진동 수준에 따라 생각하고 행동하는 방법이 달라질 수는 있지만, 구조물에 큰 피해가 일어날 정도의 지진이 우리가 건물 내부 어딘가에 있을 때 발생하면 대부분 당황하고 그저 뛰



▶▶ 3. 서울 내진설계 부지분류 지도

쳐나가기 위해 노력할 것이다. 이러한 탈출 시도는 현재 내가 어느 건물의 어느 위치에 있느냐에 따라 올바른 행동일 수도 있고 오히려 더 위험한 상황을 만들 수도 있다.

지진 시 행동요령은 여러 상황이나 조건에 따라 구분하여 차별적으로 제시될 수 있으며, 자신의 평소 동선에서의 상황별 재현이나 반복적인 훈련을 통해서만이 최소한의 행동적 준비가 확보될 수 있다. 그러나 아직까지도 이런 준비는 우리 스스로, 그리고 제도적으로도 부족한 상황이다. 물론, 우리나라도 주요 시설물을 관리하는 기업이나 기관들에서 지진을 포함한 재난에 대한 위기대응 매뉴얼로서의 비상대처계획(EAP)을 수립하고 있다. 그렇다 할지라도 EAP에 대한 형식적 확보보다는 이를 현실 상황에 맞게 보완하기 위한 노력과 실제 상황에 대한 연습이 정기적으로 진행돼야 한다.

EAP는 시간에 따른 절차와 그 대처 항목이 얼마나 체계적이고 합리적이냐가 절대적이라고 할 수 있다. 우리나라는 역사기록 외의 큰 지진 피해를 통한 경험적 지식 기반의 EAP 수립이 어려우므로, 발생 가능한 가상 지진들에 대한 시뮬레이션을 토대로 EAP가 작성되어 왔다. 특히, 지진과 같은 재난 발생에 따른 공간 영향 영역이 다양한 관점과 수준에서 잘 평가되어 있어야 하며, 최신 자료나 정보를 토대로 영역 평가와 그에 따른 대응 기법들도 지속적으로 보완되어야 한다.

이런 측면에서 유사한 조건이나 시설의 EAP 답습 도입을 개선하여 개별 상황에 대한 최신 자료 기반의 다양한 지진 조건 평가를 통해 EAP의 합리적 적용성이 확보돼야 한다. 특히, 지진해일의 경우 지진동에 따른 피해와는 달리 상대적으로 시간 확보가 가능하므로, 기존 평가 정보들의 보완 및 최신 정보통신 기술들의 추가도입을 통해서 획기적으로 신뢰성을 증진시킬 수 있을 것으로 판단된다.

### 지진 관련 기술, 단계별 개발과 신뢰성 확보 검증 병행

국가 주요 시설물인 원자력 발전소, 화력 발전소, 댐, 공항, 항만, 도로, 철도, 가스, 상하수도 등의 경우 지진으로 붕괴되거나 부분적으로 파손되면 신속한 지진피해 복구의 심각한 저해 요인이 될 수 있고, 연속적인 추가 지진 피해를 발생시킬 수 있다. 이런 시설들에 대한 내진성능 확보는 이미 언급한 것처럼 확보돼야 하며, 국내에서도 2008년 지진재해대책법 제정 이후 주요 시설물들에 대한 내진성능 확보 및 지진관측이 의무적으로 요구되고 있고 지진해일을 포함한 지진 대비의 제도적 근거가 마련되어 있다.

주요 시설물에서의 지진관측은 지진 자료를 확보하고 축적할 수 있을 뿐만 아니라 실시간 자료에 따라 지진피해 방지를 위한 회피나 대응과 같은 의사결정도 가능하도록 연계할 수 있으므로, 시범적으로 개발 구축한 국내 일부 경보대응 시스템의 확대도 기대해 볼 수 있다. 그러나 이러한 요구 사항들이 단기적으로 확보될 수 없는 현실의 경제적 상황이 전제됨을 감안해 볼 때, 지극히 합리적인 우선순위와 절차를 고려한 지진 대비가 이루어져야 마땅하다.

국외의 대표적 지진 대비를 위한 관리체계를 살펴보면, 미국의 경우 연방재난관리청(FEMA)이 지진을 포함한 자연재해의 경감, 대비, 대응, 복구 등에 관한 비상관리 프로그램을 수립하고 관리하면서 연방정부 차원의 실질적인 책임 활동을 수행한다. 특히, 지진피해 평가 시스템과 같은 실용적 개발 보급과 이의 지속적 개선 및 발전을 위한 중장기 연구개발도 타기관이나 전문가 그룹들과 꾸준히 협업하여 진행하고 있다.



우리나라도 지난 세기 후반부터 금세기 초반 정도까지는 지진에 대해서 태동기 성격의 여러 연구개발이 활성화되었던 시기도 있었으나, 그 이후 최근 몇 년 전까지 지진관련 기술의 본격적인 응용이나 개선에 관한 시도는 매우 부족한 실정이다. 최근 몇 년 전부터 법과 제도의 출현과 안전한국이라는 사회적 요구에 따라 일부 기관을 중심으로 현실 상황에 직접 적용하기 위한 모듈 기술 또는 시스템 개발들이 이루어지고 있다.

그런데, 현재까지 진행되어온 이러한 적용 기술의 경우 응용 단계의 핵심 및 요소 기술에 대한 개발과 검증이 생략되거나 부족한 채로 추진되고 있으며, 최

소한의 신뢰성이 확보되지 못한 경우도 발생하고 있다. 따라서 국민이 대상이 되는 지진관련 특성 규명부터 피해 평가와 대비에 이르기까지 일련의 기술들에 대해 지역 환경에서의 단계별 요소기술 개발과 신뢰성 확보 목적의 검증이 지금이라도 병행돼야 할 것으로 판단된다.

#### 인명 우선의 차별적 지진대비 기술 개발 및 활용

최근 일본을 비롯한 일부 해외 국가들에서는 기존 지진통보와는 구분되는 지진조기경보(earthquake early warning) 서비스를 실시하고 있고, 일부에서는 지극히 제한적 환경과 조건이기는 하지만 지진예지(earthquake prediction)도 시도되고 있다. 뿐만 아니라 국외 강진 발생국들뿐만 아니라 국내에서도 여러 주요 시설물들이나 지역들에 대해 구축·운영되어 오던 지진계측 기반의 신속대응 시스템들을 아직은 초기 단계이지만 지진조기경보 기술의 융합을 시도하고 있다.

특히, 우리나라도 최근 지진조기경보 시스템의 주요 기술들을 개발하고 있으며, 머지 않은 시기에 서비스를 계획하고 있다. 전 세계적으로도 몇몇 국가들만이 지진조기경보 시스템을 운영하고 있고 아직 잠재적 문제점이 온전하게 해결되지 않은 부분들도 있으므로, 우리나라의 첨단 정보통신 인프라와 기술을 선별적으로 융합·활용한다면 차별적 세계선도 기술로도 발전 가능할 것이다.

과학기술의 존재와 발전은 인본주의가 그 토대임을 되새겨 볼 때, 인명을 중시하고자 하는 지진 대비 기술은 사회 안전과 복지의 중요성이 재차 강조되는 요즘 우리나라 환경에서 더욱 잘 정비하고 내실을 다져야 할 분야라고 할 수 있다. 지진 대비 기술의 내실은 과학기술의 가치와 관련된 신뢰성 및 효율성 측면에서 실제 적용 대상인 한반도에 적합한 지역고유의 차별적이고 선도적인 기술의 개발, 그리고 실제 활용에 있다. **ST**



▶▶ 4. 성첩 붕괴 진동대 실험