

한국은 지진으로부터 안전한가

金 昭 九

〈漢陽大 地震研究所長, 教授〉

1. 서 론

우리가 보통 말하기로는 한반도에는 지진이 거의 없다고 말하지만 실제로 그렇지 않다. 우리 나라의 2000년 역사 기록의 고대 문헌을 찾아 볼 것 같으면, 한반도에서 우리 조상들이 때때로 지진 때문에 가옥과 인명피해를 입었다는 기록을 어렵지 않게 발견할 수 있다. 다만 오늘날 이웃 일본이나 중국대륙에 비해서 빈도가 적고 그 지진의 규모도 비교적 작다는 것으로 알려져 왔으나 지진예보가 아직까지 불가능한 현 지진 연구 배경으로서는 누구도 한반도가 지진 재해로부터 해방된 지역이라고 결코 단언할 수 없다.

1978년 9월 16일 속리산 부근에서 일어난 5.2(Magnitude ; 지진의 크기 단위)의 지진에 이어서 10월 7일 홍성에서 5.0 규모와 진도 7~8(Intensity ; 지진의 진동과 재해 정도를 가리키는 단위)의 지진이 일어나서 홍성 지역의 많은 공공건물과 가옥에 막대한 재산 피해를 주었다. 이들 지진은 1936년 7월 4일 지리산의 쌍계사 부근에서 일어난 지리산 지진(규모 5.3) 이후 42년만에 한반도에서 가장 큰 재해를 일으킨 지진으로서 정부와 국민에게 큰 경종이 되었으며, 정부는 역사상 처음으로 지진 대책 수립에 대해 국가적 차원의 관심을 기울이게

되었다.

그리고 최근에 와서 무엇보다도 지진에 관해서 가장 결정적 영향을 고려해야 되는 곳은 원자력발전소 건설의 내진 설계에 있다. 국제 원자력 기구(IAEA)는 전세계적으로 전력에너지의 최대 공급원으로 이용하고 있는 핵발전소 건설을 위해서는 지진조사와 내진 설계를 반드시 수행하여야 건설 허가를 주기로 되어 있다. 한국은 현재 원전 9기를 운전하고 있기 때문에 지진위험분석과 내진 연구가 더욱 필요하다고 본다. 그 밖에 눈부시게 발전하고 있는 초고층 건물, 대형 고속도로, 고속전철, 천연 LNG 비축시설, 지하시설 및 공항, 항만 시설 등에도 구조물의 안전과 재산피해를 막기 위해서 정확한 내진 설계를 수행하는 것이 필수적이다.

2. 역사지진과 계기지진

지진에 관한 자료는 크게 분류해서 둘로 나눌 수 있으며, 하나는 역사적 문헌에서 찾아볼 수 있는 역사지진(Historical Earthquake)이고, 또 하나는 계측기(Seismometer)와 기록계(Seismograph)에 의해서 탐지되어 기록되는 계기지진(Instrumental Earthquake)이 있다. 역사지진의 경우 그것이 지진이라는 개념을 가지고 기록된 것은 아니라 할지라도 한반도 전

역에서 다양한 규모로 지진으로 판단할 기록이라는 점에서 그 중요성을 가진다 할 것이다. 기록의 정확성이나 신뢰성에 있어서의 문제로 인식하기 보다는 기록을 정리하고 누적된 기록에 의해 지진다발지역을 판단할 수 있으며 이는 건축물이나 토목공사에 있어서는 내진설계 자료를 제공하는데 중요한 역할을 하게 된다. 계기지진은 좀 더 정확한 지진의 진앙지를 밝히고 정확한 측정을 통하여 과학적인 자료를 제공한다는 점에서 또한 중요한 것이다.

1) 역사지진

역사지진은 우리 나라의 고대문헌과 중앙행정 고대문헌에서 일본인 와다 쓰시나로(和田雄治)와 무샤 긴끼찌(武者金吉)가 각각 1912년과 1949년에 처음으로 발췌하는 작업을 했다. 옛날에는 통신의 주된 매개체가 진앙지역에 살고 있던 일반 대중의 소문이나, 또는 지방 행정관리의 기록에 의존하였기 때문에 당시의 인구 밀도의 분포 상태와 정치조직에 따라 정확한 진앙을 결정하는데 어려운 점이 많이 있다. 그때의 진앙 분포가 인구 집중지나 수도와 일치하는 점을 보아서 인구가 희박한 지역의 진앙은 많이 누락되었다는 것을 배제할 수 없다. 옛날에는 건축물 구조가 거의 없었기 때문에 건물같은 가옥의 피해상황보다 지표면의 피해현황이 많이 보고되어 있다. 땅이 갈라지거나 물이 용솨음치고 물이 고이는 현상, 즉 지진늪(Earthquake Swamp)과 지진이 일어날 때 지진동과 함께 울려 나오는 굉음(Earthquake Sound) 그리고 지진동과 함께 나타나는 지진광(Earthquake Light) 등이 많이 기술된 것이 역사지진의 특성이다.

간략하게 서술해 보면 서기 372년에는 서울 부근에서 땅이 갈라지고 길이가 5尺(1尺 \approx 30cm), 길이가 약 3丈(1丈 \approx 10尺)이었고, 서기 472년에는 경주에서 땅이 갈라져서 그 너비가 20丈이 되는 지진늪(Earthquake Swamp)이 생겼다. 고려시대인 1308년 3월 4일에 개성의 수녕궁이 무너지고 임금님이 앉으셨던 곳

이 터져 길이가 수 척이나 되었다. 1408년 5월 19일 서울의 한강변에서 땅에 금이 가서 벌어졌는데 깊이가 24尺이고 그 너비가 5尺이나 되었다. 1515년 7월 4일에는 경기도 과천, 황해도 白川 부근에서 땅이 찢어지고 물이 솟구쳐 나왔다. 1594년 7월 20일 충청도 홍성부근에서 西에서 東으로 우뢰같은 소나기가 나면서 땅위의 모든 만물이 움직이지 않은 것이 없었다. 집들이 번쩍 위로 솟으며 움직였고, 동문의 城濶이 무너졌다. 1743년 7월 24일 울산에서 땅이 갑자기 갈라지고 물이 용솨음을 쳤다. 1703년 7월 10일 강원도 금성에서도 밭이 갑자기 찢어져서 물이 고였다 등의 기록이 전해진다.

2) 계기지진

20세기에 들어서야 계기지진의 자료를 가질 수 있게 된 우리나라는 지진의 안전지대라는 인식속에서 지내왔다. 그러나 1978년 홍성지진을 계기로 연구시설의 도입 등 지진에 대한 연구가 구체화되었으나 아직도 시설이나 인력면에 부족한 점이 많다. 그러한 가운데도 그동안의 자료를 정리해 보면 대표적인 계기지진으로

<표-1> 韓半島의 최근 計測地震 資料

시 기	지 역	위 도	경 도	규 모	진 도
1978.10.7	홍성	36.6	126.7	5.0	5-6
1978.9.16	속리산	46.6	127.9	5.2	4
1980.1.8	대관	40.2	125.0	5.3	
1980.4.15	포항동쪽 해역	35.9	130.1	4.8	
1982.2.14	사리원	38.3	125.7	4.5	
1982.3.1	울진동쪽 4.5km해역	37.2	129.8	4.7	
1989.6.23	괴산	36.7	127.8	3.5	
1993.3.11	정주	35.6	126.9	3.9	
1994.2.12	계룡산	36.4	127.3	3.5	
1994.4.23	울산남동쪽 160km해역			5.1	3

재해 지진은 1936년 7월 3일 지리산 부근에서 발생한 쌍계산 지진(M=5.3), 1938년 7월 22일 거창 지진(M=5.2) 그리고 1942년 이후인 최근에 와서 1978년 9월 15일 속리산 지진(M=5.2) 그리고 가장 지진 피해가 심각했던 1978년 10월 7일의 홍성 지진(M=5.0)을 들 수 있다. 특히 홍성 지진은 충적토(Alluvium)가 널리 두껍게 깔려 있는 홍성일대에서 일어났기 때문에 변위(displacement)에 의한 지진동 영향으로 피해가 증폭되었다. 한반도의 지진 주기는 20-60년 현상을 나타내고 있으며 조선개국에서 현재까지(1392-1995) 그 범주의 통계기간에서 한반도의 지진 재해는 16세기에 제일 심했고 최근 20세기에 와서 다시 활동이 심상치 않게 재기하고 있다.

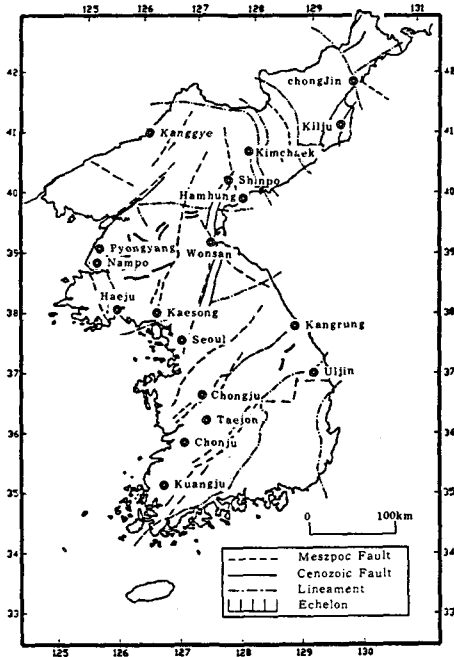
3. 지진의 분포와 특성

한반도의 지진 분포는 역사, 계기지진을 모두 망라한 지진 활동도 <그림 1>에서 보는 것과 같이 지진활동이 제일 활발한 지역은 전남

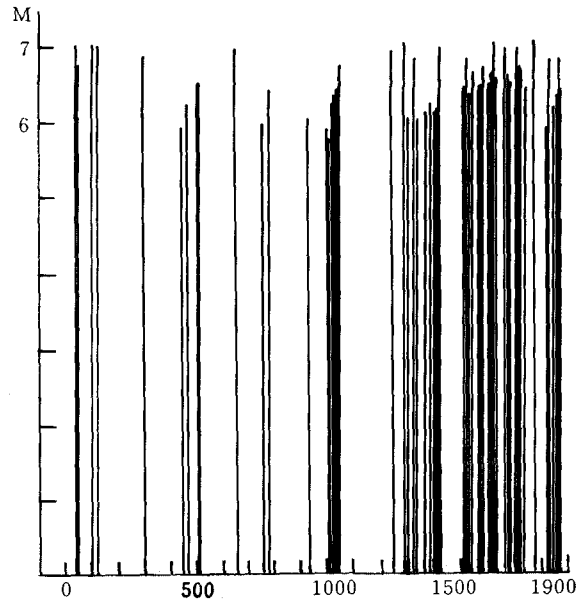
-경북지진대, 충청-강원지진대, 서울-원산-함흥 추가령-함흥지진대, 개성-황해-황남지진대, 사리원-평양-안주 평양지진대 등으로 나눌 수 있다. 지진활동의 시대적 분포는 <그림 2>에서 보는 바와 같이 13세기에서 17세기까지가 가장 활발하였고 18세기로부터 19세기 말까지 약 200년 동안 지진 활동이 조용하였음을 볼 수 있다.

이렇게 지진활동이 조용한 정지 상태로 들어간 것을 지진 정지기(seismic gap)라고 부르며, 이러한 지진 정지기 다음에 큰 지진이나 지진활동이 일어날 가능성이 크다는 것을 암시해 주고 있다. 왜냐하면 이러한 지진정지기 동안 지진에너지는 계속해서 외부로 방출되지 않고 축적되었기 때문에 언젠가 이 쌓인 축적에너지는 지진을 통해서 밖으로 방출되기 때문이다. 다시 말해서 어느 지역에 지진이 있었다가 오랫동안 지진이 발생하지 않은 것은 매우 위험하다는 징조를 보여주고 있다. 특히 서울, 강화를 중심한 서울-경기지역은 오랫동안 지진 활동이 전혀 없는 것으로 보아 지진 정지기

<그림 1> 한반도의 단층분포도



<그림 2> 한반도의 연대별 지진빈도수



(Seismic gap)의 징후가 뚜렷한 곳이므로 매우 위험한 지진학적 조건을 가지고 있다고 말할 수 있다. 1995년 1월 17일 일어난 일본 고베 지진(M=7.2, 5,500명 사망), 1995년 6월 28일 러시아 북사할린 지진(M=7.5, 3,000명 사망) 등이 이러한 지진활동이 없었던 지진 정지기에서 발생한 지진의 대표적 예로 막대한 피해를 발생시킨 것이다.

한반도의 지진은 동북부 함경북도와 북부 동해를 제외하고는 모두 지원 깊이가 얇은(H<15Km) 천발 지진(Sallow-focus Earthquake)의 판내부지진(Intraplath Earthquake)들이다. 지원의 깊이가 깊으면 지진의 충격이 지

표면에 이르기까지 완화되는 완충작용이 있느냐 깊이가 얇은 경우는 이를 기대할 수가 없는 것이다. 이들 지진은 판경계지진(Interplate Earthquake)과 비교해서 지진의 크기는 대체로 작으나 주로 대륙의 단층을 따라서 일어나는 천발지진이기 때문에 중국대륙에서 보는 바와 같이 피해를 유발시키는 지진들이다. 그리고 그동안 발생한 각각의 큰 규모의 지진 메카니즘을 합성한 결과 합성 진원 메카니즘은 동서방향으로 압력축이 놓여있는 진원 메카니즘을 가지고 있는 점을 보아서 한반도 지진의 주된 영향은 태평양판의 동쪽 방향 움직임의 큰 영향을 받고 있다고 볼 수 있다.

〈표-2〉 수정 메르칼리 진도 등급

평균속도 (cm/sec)	진도	설 명	평균최대가속도 (lg=980cm/sec ²)	
1~2	I	특별히 좋은 상태에서 극소수의 사람을 제외하고는 전혀 느낄 수 없다.	0.015g~0.02g	
	II	소수의 사람들 특히 건물의 위층에 있는 소수의 사람들에 의해 서만 느껴진다. 섬세하게 매달린 물체가 흔들린다.		
2~6	III	정지하고 있는 차가 약간 흔들린다. 트럭이 지나가는 것과 같은 진동이 있으며 지속시간이 산출된다.		
	IV	그릇, 창문, 문 등의 소리가 요란하고 벽이 갈라지는 소리를 낸다. 대형트럭이 벽을 받는 느낌을 준다. 정지된 자동차가 움직인다.		
5~8 8~12	V	거의 모든 사람들이 느낀다. 약간의 그릇과 창문 등이 깨지고 어떤 곳에서는 벽토에 금이 간다. 불안정한 물체는 뒤집어지고 나무, 전신주 등 높은 물체의 교란이 심하다.		0.06g~0.07g 0.10g~0.15g
	VI	모든 사람이 느끼며 무거운 가구가 움직인다.		
20~30	VII	모든 사람들이 밖으로 뛰어 나온다. 훌륭한 설계와 구조로 된 건축물에는 피해가 무시될 수 있고, 보통 건축물에는 약간 피해가 있으며, 약한 건축물은 아주 크게 피해를 입는다.		0.25g~0.30g
	VIII	창벽, 굴뚝, 공장, 재고품, 기둥, 기념비, 벽돌이 무너진다, 무거운 기구가 뒤집어 진다, 모래와 진흙이 소량으로 분출된다. 운전자가 방해받는다.		
45~55	IX	건물은 기초에서 벗어나고 땅에는 금이 명백하게 간다. 지하파이프도 부러진다.		0.50g~0.55g
60이상	X	땅에 심하게 금이 간다. 철도가 휘어지고 산사태가 강둑이나 경사면에서 생기며 모래와 진흙이 이동된다. 물이 튀어나오며, 독을 넘어 쏟아진다.		0.60g이상
	XI	남아 있는 석조 구조물은 거의 없다. 다리가 부서지고 땅에 넓은 균열이 간다. 지하파이프가 완전히 파괴된다. 연약한 땅이 폭꺼지고 지층이 어긋난다.		
	XII	전면적 피해, 지표면에 파동이 보인다. 시야와 수평선이 뒤틀린다. 물체가 하늘로 솟는다.		

4. 지진동과 피해

진도는 어떤 장소에서 지진동의 세기, 즉 인체의 감각과 주위 물체나 구조물에 미치는 지진동의 세기를 정수(Integer)로 나타낸 것이다. 따라서 이 진도의 변화는 지진의 세기, 지반 조건 및 구조물 설계의 함수이다. 진도의 종류에는 일본 기상청의 JMA(0~Ⅶ), 미국 등 서방 국가에서 많이 사용하는 MMS(Modified Mercalli Scale, I~Ⅲ) 등이 있다.

지진위험도를 작성하기 위해서는 규모가 5.0 이상의 천발지진을 모두 망라하여 최대치 이론(Extreme Value Theory)이 최대 가능 방법(Maximum Likelihood Method) 등을 이용해 각 지진구(seismic province)에서 최대 잠재 지진(maximum potential earthquake)과 재래 주기(return period) 등을 산출한다. 특히 이때 중요한 것은 구조물의 생명(Life-time)을 고려하여 어느 기간동안 10%의 초과확률(exceeding probability)에 해당되는 최대 지반 가속도 값을 g 로 계산한다.

이와 같은 최대 지반 가속도 값을 나타내는 지도는 각각 활단층을 중심으로 진원(seismic source)에서 시작하여 Contour Map을 그릴 수 있다. 현재까지 한반도에서 활단층(active fault)이라고 확증하는 활단층은 하나도 발견된 일이 없다. 왜냐하면 활단층을 확증할 수 있는 유일한 방법은 지진활동과 활단층을 찾아내는 것인데, 아직까지 한반도에서 지진활동과 직접적 관계를 보여주는 단층은 발견된 일이 없었다. 앞으로 더욱 정밀한 지진 관측망을 운영하여 한반도에서 일어나는 모든 지진(미소지진 포함)을 탐지, 분석하고 진원 메타니즘을 정확히 분석할 때, 이것이 가능하게 될 것이다.

5. 건축물에 대한 내진규정

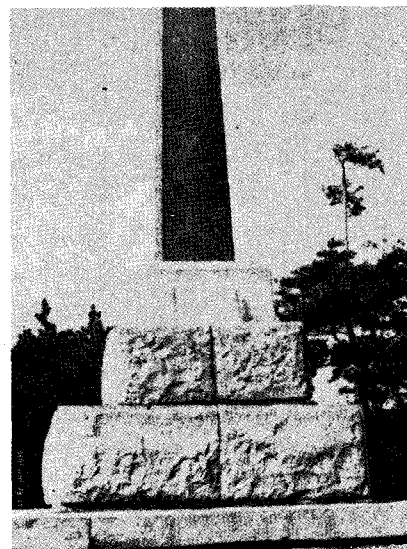
현재 1978년 10월 7일 홍성지진 이후 중앙대책본부에서 지진 대비 업무를 관장하고 있으며 1992년부터 지진대비 기본지침을 수립해 시달하여 지방자치단체별로 자체 대응 계획을

수립하여 실시하고 있다. 내진설계 도입과 운영은 1986년부터 20층 이상 고층 아파트에 내진 규정을 우선 적용하였고 1988년 8월부터 일반건축물에 대한 내진설계 기준 제정을 시행하였다. 건축물 구조 기준 등에 관한 규칙이나 건축 관계 법령 보완에는

- 층수가 6층 이상이거나 연면적 10만 m^2 이상의 건축물
- 연면적 5천 m^2 이상인 위험물저장 및 처리시설, 종합병원, 방송국, 발전소
- 연면적 5천 m^2 이상인 관람집회시설, 운송시설, 운수시설 및 전시시설
- 연면적 5천 m^2 이상인 판매시설
- 6층 이상인 숙박시설, 아파트, 오피스텔 및 기숙사 등에 대하여 내진설계를 적용하도록 규정하고 있다.

이에 적용되는 기준으로는 고속철도 콘크리트 구조물 설계 표준 시방서('91), 외국의 원자력 발전소 내진관계규정(NRC, UBC), 기타 주요 구조물은 필요시 외국기준에 따라 적용한다고 하였으나 이들 모두가 좀더 국내 여건에 맞는 기준으로서의 역할을 위해서는 한국형 종합설계기준의 제정이 시급하다. 또한 계속적인 자료축적에 의한 정밀한 규정의 개선이 필수적이다.

〈그림 3〉 병오항일의병기념비
(반시계방향으로 회전)



6. 결 론

홍성 지진의 경우 비록 규모 5.0과 진도 7~8 정도로 일어났지만 홍성 지역이 연약한 충적토로 두껍게 덮여 있어 심한 변위(Displacement)에 의한 피해가 컸다. 특히 <그림 3>에서 보듯이 항일의병 기념비의 파괴 모양을 보면 먼저 탑 윗부분이 들려 튀어 나왔고 밑부분은 반시계 방향으로 회전한 것을 볼 수 있다. 이상과 같이 지진의 운동은 복잡한 3차원 운동으로 병진운동(Translation)과 회전운동(Rotation) 즉 상하좌우가 동시에 움직이면서 변형을 일으키기 때문에 피해가 더욱 크다고 볼 수 있다. 따라서 이러한 복합적인 운동 때문에 단위시간에 가장 큰 재앙을 초래할 수 있는 지진에 대비하기 위해서는 지진학적 연구에 기초한 지진예보도 중요하지만 지진이 왔을 때, 인명과 재산을 보호하고 피해를 최소한으로 줄일 수 있는 공학적 연구도 매우 절실하다. 우선 정부 기관에서 21세기에 지진 방재 대책을 성공적으로 이끌어 가려면 아래와 같은 3가지 사항을 제안하고 싶다.

첫째로 지진분야의 고급인력을 하루빨리 양성하여 지진 관련 주요 부서에 배치하여야 한다. 현재 우리 나라에서 지진 고급 인력은 10명 이내이고, 이러한 고급인력을 양성할 수 있는 기관은 몇곳 없다. 따라서 비전문가가 지진 전문분야를 대부분 관리하는 추세이고 지진 전문분야가 실제로 무시되고 있다. 정부는 이 분야의 수요와 공급지원을 활성화하여 21세기의 과학의 기술화, 세계화에 적극 참가할 수 있도록 중추역할을 해야 한다.

둘째로 한국은 지진 분야에서 세계 어느 나라보다 후진국에 있다. 정부는 첨단 장비를 구비한 지진 관측망(Seismic Network)을 하루빨리 설치하여 지진관측을 신속 정확하게 하여 자료수집과 분석을 수행하여야 한다. 첨단 장비는 지닌 기록을 디지털로 관측, 기록하며 이

들 자료를 원격 지진 관측망(Telemetry Seismic Array)을 이루어 실시간(Real-time)으로 항상 자료를 전송하는 자동화를 말한다. 이렇게 되면 항상 지진 발생과 동시에 정체를 항상 신속, 정확하게 탐지, 확인, 결정하기 때문에 지진으로부터 재산과 인명피해를 최소화할 수 있다. 또한 지진 자료의 정확한 분석과 보관이 편리하기 때문에 고체 지구물리 자료로 영구 보존이 가능하다.

셋째로 모든 초고층 건물(아파트포함), 고속전철, 대형 교량과 댐 등 주요 구조물을 건설시 내진설계가 철저히 적용되도록 내진 설계의 교육과 법칙 규정이 강화되어야 한다. 현재 원자력 발전소만 국제 원자력기구(IAEA)규정의 건설 면허 허가를 받기 위해서 지키는 내진 규정을 모든 주요 산업 및 공공 건물과 고층 주거 시설에 적용해야 한다.

이 연구는 1995년도 교육부 기초과학육성비의 지원(BSRI-95-5420)의 일부임을 밝힌다.

참 고 문 헌

- 김소구(1995), 지진과 국내 지진 위험 분석의 문제점, 한국 콘크리트학회지 7(3), 24-30.
- 김소구(1994), Is Seoul Free From Earthquake?, Hanyang Journal Hanyang University, 22.
- 김소구(1995), 韓國의 地震과 地震學, 地震研究所 發行(인쇄중).
- 김소구(1995), 韓國 地震 Catalogue, 地震研究所 發行(인쇄중).
- Foreign Language Book, Publishing House (1993), Geology of Korea, Pyongyang, DPRK, Foreign Language Publishing, 619pp.