

우리나라의 지진재해와 내진대책

“체제적 研究 위한 전담기구 필요”

李 東 根

〈韓國科學技術院 土木工學科교수〉

◇ 지진의 발생과 지진재해

우리가 살고 있는 지구는 우주공간의 수많은 별들 가운데서 자연의 혜택을 가장 많이 받고 있는 곳이라 할 수 있다. 물과 공기가 있어서 온갖 동식물이 생명을 유지하고 아름다운 환경을 이루고 있으며 우리에게 충분한 식량을 공급해 주고 있다. 그러나 자연은 우리에게 여러가지의 재해를 가져다 주기도 한다. 예를 들면 태풍이나 홍수 또는 산사태나 화산폭발 및 지진 등과 같이 일시에 엄청난 재산과 인명의 피해를 초래하는 일이 흔히 있다. 이러한 자연재해 가운데서 일시에 집중적으로 큰 피해를 가져오는 것이 지진이다.

지진이란 지구내부의 복잡한 움직임에 의해 지각이 급격하게 진동하게 되는 현상을 말한다. 지진이 발생하게 되면 수많은 건물이 붕괴 또는 파손되고 도로 및 철도가 단절되기도 하며 해일

이 발생하게 되거나 댐이 붕괴되기도 하는 등의 직접적인 피해가 막대하며 화재가 발생하거나 수도, 전기, 도시가스 등이 단절되고 전염병이 만연하게 되어 사회적인 혼란이 야기되는 등의 간접적인 피해도 엄청나게 된다. 지진의 피해를 최소화하기 위한 노력은 다음에서 소개하는 두가지로 크게 나누어 생각할 수 있다.

지진의 예측

대규모의 지진이 발생하게 되면 진앙 부근의 지역에서는 큰 지진피해가 발생하게 되는데 이러한 피해를 쉽게 예방하기는 어렵다. 따라서 대규모의 지진이 발생할 것으로 예상되는 지역에서는 건물, 교량 및 댐 등의 시설물을 설치하지 않도록 하고 꼭 필요한 경우에는 예상되는 지진에 대해 안전하도록 설계를 하여야 한다. 그러므로 각 지역에서 앞으로 지진이 발생할 가능성을 예측하는 것이 지진의 재해를 방지하는 첫 단계이자 가장 중요한 과제이다.

① 지진예측의 사례

지진의 예측을 가장 성공적으로 수행한 예는 1975년 2월 4일 중국의 海青지진의 경우이다. 지진이 발생할 것을 미리 예측하고 지진이 발생하

이글은 지난 7월 6~7일 2일간 한국과학기술단체총연합회가 주최한 「88국내외 한국과학기술자 하계심포지움」에서 발표된 것이다. …………… 〈편집자註〉

기 몇시간 전에 당국에서 모든 주민이 대피할 것을 경고하였다. 그날 저녁 7시 36분에 규모 7.3의 큰 지진이 발생하여 수 많은 건물이 파괴되었으나 단 한명의 사상자도 없었고 가축의 손실도 거의 없었다. 海靑지진의 경우는 성공적인 지진의 예보를 통해 지진의 피해를 최소한으로 줄일 수 있었던 대표적인 예이지만 이러한 대규모의 지진을 장기적으로 예측하고 건축물의 내진설계 등에 미리 반영하였다더라면 더욱 완벽하게 지진재해를 방지할 수 있었을 것이라는 교훈을 남겼다.

이와는 반대로 지진의 발생을 전혀 예측하지 못한 경우도 많이 있다. 그 중에서 대표적인 것으로는 1976년 7월28일 중국의 唐山에서 발생한 지진을 들 수 있다. 지진이 발생할 가능성에 대해서 전혀 고려하지 않고 있던 인구 70만의 도시 唐山에서 규모 7.8의 지진이 발생함으로써 약 65만명의 주민이 생명을 잃었으며 주거용 가옥의 98퍼센트와 산업용 건축물의 90퍼센트가 파괴되어 唐山은 순식간에 폐허로 변하고 말았다. 이것은 지진의 발생가능성에 대해 전혀 무관심했던 결과로 볼 수 밖에 없으며 앞에서 소개한 海靑지진의 경우와 같이 단기적인 예보에 의한 인명피해의 방지에도 실패한 예로서 지구상의 어느 지역도 지진의 재해에서 완전히 벗어난 곳은 없다는 교훈을 남겼다.

또 한가지 예로서 1985년 9월19일에 발생한 멕시코 지진을 들 필요가 있다. 그 당시 멕시코에서는 지진의 위험도를 인식하고 지진에 대한 대비를 하고 있었다. 그러나 멕시코시에서 400km나 떨어진 해안도시 Lazaro Cardenas에서 발생한 지진이 멀리 멕시코시에까지 그 영향을 크게 미쳤으며 지반의 가속도 특성이 특이하였다. 1985년 현재도 멕시코에서 사용되고 있던 내진설계기준에서 정한 설계용 지진보다 더 큰 지반가속도와 진동수 성분의 차이에 의해 많은 건축물이 파손되었고 인명피해도 많이 발생하였다. 따라서 멕시코 당국은 수정된 임시내진설계기준을 공포하고 이에 따라 기존 건물을 전면 보강하도록 긴급 지시함으로써 차후에 발생할 지진에 대비

하였는데 이것은 지진의 예측이 지진의 발생장소, 발생시기, 발생규모 이외에도 지반가속도, 지진파의 전달 범위, 지반의 영향에 의한 진동수 성분의 특성까지를 포함하여야 한다는 결론을 낳았다.

② 지진예측의 방법

일정지역에서 지진이 발생할 가능성에 대해서 알아내기 위하여 사용되는 방법은 그 목적에 따라 다음의 두가지로 나뉘어 진다.

• 물리적 조사에 의한 방법

특정지역에서 지진이 발생할 가능성은 지각에 축적된 변형에너지의 증가에 의해 결정된다. 그러므로 물리적 조사를 수행함으로써 지진을 예측할 수 있다. 지진파의 전파 속도, 지반의 응기, 좌표의 방출 및 지각의 전기저항 등을 유심히 관찰하고 이들의 변화를 분석하여 지진의 발생을 예측하게 되는데 아직 정확한 예측을 하기에 는 미흡하나 과학적인 방법이므로 머지 않아 실용성있는 예측이 가능하리라 생각된다. 그러나 지진을 예측하기 위하여 많은 실험장비나 전문 인력이 필요하므로 일반적인 방법으로 널리 사용되기 어려운 문제점이 있다.

• 확률이론을 사용하는 방법

넓은 지역에 대해서는 과거의 지진발생에 관한 자료를 토대로 확률이론을 도입하여 지진을 예측하는 방법이 널리 이용되고 있다. 먼저 과거에 발생한 지진의 위치와 크기를 사용하여 지진이 주변 지역에 미치는 영향을 산출한다. 그리고 특정지역에 대해 그 주변의 지진들이 미치는 영향을 확률론적으로 분석하여 그 지역에서 일정 기간에 발생할 확률이 일정수준이 되는 지진의 크기(또는 지진의 영향)를 결정하게 된다. 지진이 많이 발생하고 이에 따라 활발한 연구가 수행되고 있는 미국 캘리포니아주에서는 과거의 지진발생자료를 지진에 관계되는 단층(fault)에 연관짓고 특정지역 주변의 단층의 지진활동을 확률론적으로 분석하는 방법을 사용하기도 하는데 이 방법은 더욱 과학적인 방법이지만 지진발생에 관계되는 활성단층에 대한 자료가 풍부한 지역에서만 사용될 수 있는 단점이 있다.

지진피해 방지대책

지진의 피해를 최소화하기 위해서는 각 지역의 지진 발생가능성(지진위험도)을 예측함과 아울러 이에 대한 대비책을 수립하여야 한다. 지진에 의한 직접적 피해를 최소화하기 위해서는 지진이 발생할 것으로 생각되는 예상진앙 부근에는 중요한 시설물을 설치하는 것을 피하고 단층을 통과하는 도로, 상수도관, 송유관 등에 대해서는 특별한 내진조치를 취하여야 하며 건물, 교량, 항만, 댐 등의 설계에는 지진위험도를 고려한 내진설계를 포함시킴으로써 지진에 의한 직접적인 피해를 최소화할 수가 있다. 이러한 목적으로 세계 각국에서는 내진설계기준을 설정하고 여러가지 시설물의 설계에 지진의 피해를 최소화할 수 있도록 노력하고 있다.

원자력 발전소 등과 같이 지진에 의한 직접적 피해와 아울러 간접적 피해가 미치는 영향이 극히 중대한 구조물의 경우에는 별도로 정하는 내진설계기준에 의해 특별히 설계하여 그 지역에서 예상되는 최대의 지진이 발생했을 때에도 구조물에 심각한 피해를 발생하지 않도록 하고 있다. 그러나 모든 시설물에 대해서 지진의 피해를 완벽히 방지한다는 것은 막대한 경제적 부담을 초래하게 된다.

따라서 일반적인 시설물인 경우에는 그 지역에서 발생할 가능성이 있는 지진을 다음의 세가지로 나누고 이에 대해서 각각 다른 수준의 내진조치를 취함으로써 경제적인 측면도 고려하게 된다. ① 발생 가능성이 매우 낮은 대규모 지진, ② 발생 가능성이 중간 정도인 중규모 지진, ③ 발생 가능성이 매우 높은 소규모 지진

현재 각국에서 일반 시설에 대해 적용하는 내진설계기준은 소규모의 지진에 대해서는 지진 피해를 완전히 방지하고 중규모의 지진에 대해서는 약간의 보수 가능한 피해만 발생하도록 하되 대규모 지진에 대해서는 구조물이 붕괴되어 많은 인명 피해가 발생하는 것을 방지하도록 함으로써 지진에 의한 피해를 최소화하기 위한 경제적 부담을 크게 늘리지 않는 것을 기본 철학으로 하여 작성되었다.

◇ 우리나라의 지진 재해

지진 활동

최근에는 우리나라에서 큰 지진이 발생한 적이 없다. 그러나 삼국시대부터 기록된 역사문헌들 속에서 밝혀진 지진 기록은 상당히 많다. 지진 자료를 수록하고 있는 史料로는 三國史記, 高麗史, 高麗史節要, 李朝實錄, 增補文獻備考, 承政院日記, 風雲記 등이 있다. 지진에 관한 최초의 기록은 고구려 유리왕 21년(서기 2년)에 발생한 지진에 관한 것이며 그 이후로 수 많은 지진 발생의 기록이 있다.

약 2000년에 걸쳐 기록된 지진만해도 약2400회가 넘으며 고대 지진은 많은 부분이 기록에서 누락되었을 것으로 판단되며 일일이 열거할 수 없을 정도로 많은 지진이 발생하여 땅에 균열이 발생하고 가옥이나 담이 무너졌으며 심지어는 용출 현상까지 있었다는 기록으로 미루어 우리나라에서도 상당히 많은 지진이 발생한 것으로 생각할 수 있다.

삼국시대 및 고려시대에는 인구가 적고 또 특정 지역에 모여 살았기 때문에 그 당시의 지진 기록은 인구가 많은 지역에 집중적으로 지진이 발생한 것처럼 되어 있다. 따라서 경주, 개성, 평양, 부여 등지에 지진이 집중적으로 발생했던 것으로 판단하기 쉬우나 우리나라의 지진 발생구조로 볼 때에 그당시 인구가 밀집되지 않은 지역의 지진은 기록되지 않았을 가능성이 많으므로 우리나라의 지진위험도를 설정할 때에는 이러한 사실을 감안하여야 한다.

학자에 따라서는 자료의 신뢰도가 높은 조선시대의 지진 기록을 주로 하여 우리나라의 지진위험도를 최소자료로 이용하는 것이 바람직하다고 본다.

지진 역사를 분석해 보면 우리나라에서는 15세기부터 18세기까지에 걸쳐 지진 활동이 상당히 활발하여 지진 발생 기록이 많으며 건축물에 상당한 피해를 줄 수 있는 지진도 많이 발생하였다. 그 이후 20세기 초반까지는 지진의 활동이 다소 약화되었는데 이것은 지진정지기(Seismic

Gap)라고 판단이 되며 지진 활동이 약화되었다는 것은 지각에 축적된 변형에너지가 방출되지 않고 있으므로 언젠가는 다시 지진 활동이 활발하게 되는 시기가 오게 된다는 점을 의미한다.

최근의 지진 활동

약 2세기 정도의 지진정지기를 거쳐 근래에는 우리나라에서 다시 지진 활동이 활발해지기 시작한다고 볼 수 있다. 이에 대한 자료로서 1936년 7월 3일 지리산의 쌍계사 부근에서 발생한 지진(M=5.3), 1968년 9월 6일 동해에서 발생한 지진(M=5.4), 1978년 9월 15일 속리산에서 발생한 지진(M=5.2) 및 1978년 10월 7일 충남 홍성에서 발생한 지진(M=5.0) 등을 들 수 있으며 근래에는 충청도 앞바다에서 소규모의 지진이 자주 발생하는 것도 지진정지기에서 벗어나는 증거라고 생각할 수 있다. 근래에 발생한 지진중 대부분은 인구가 밀집하지 않은 지역에서 발생하였으므로 별다른 피해가 없었으나 1978년의 홍성 지진에 의해 약 4억원의 재산피해와 약간의 부상자가 발생하였다. 이것은 지진 피해로 볼 때는 극히 가벼운 정도라고 말할 수 있다.

◇ 우리나라의 내진대책

근래 약 2세기에 걸쳐 지진정지기에 들어 있으므로 최근까지 우리나라에서는 지진이 발생할 가능성을 경시하고 특별한 내진대책을 세우지 않고 있었다. 다만 원자력 발전소의 건설에 있어서는 구조물의 중요성을 인식하였고 외국의 용역진에 의해 설계되기도 하였으므로 지진의 영향을 고려하여 왔다. 그러나 우리나라에서 발생한 지진의 공학적인 자료가 없으므로 최대 지반가속도를 0.2g 또는 0.26g 등으로 설정하여 사용하는 수 밖에 없었다.

최근에는 우리나라의 지진위험도에 대한 연구가 활발해지기 시작하였고 이에 따라 지진에 대한 관심도가 높아지게 되었다. 건설부에서 고층 건물의 내진조치를 위하여 1986년 1월 4일부터 임시적인 행정지침을 작성하여 전국 4대 도시

(서울, 부산, 대구, 대전)의 21층 이상 건축물(아파트는 16층 이상)에 대하여 내진설계를 하도록 요구했다. 그러나 이에 대한 뒷받침을 할 우리나라의 내진설계기준이 없었으므로 임시로 미국의 UBC를 적용하고 우리나라의 지진위험도는 UBC의 Zone 2에 해당되는 것으로 설정하였었다. 이 후 건설부에서는 행정지침의 한계성을 감안하여 1986년 5월에 대한건축학회에 의뢰하여 약 2년간의 연구를 수행하도록 하고 그 결과를 토대로 금년 초에 관계 법령을 개정하고 금년 7월부터는 개정된 법령에 의해 모든 건축물에 대해 내진설계를 수행하도록 하였다.

건축물의 내진설계기준 제정 방침

건축물의 내진설계를 위한 기준을 제정하기 위한 연구를 수행하는 과정에서 다음의 사항들을 중점적으로 고려하였다.

• 지진에 의한 피해의 최소화

내진설계를 수행함으로써 건축물들이 앞으로 발생할 지진에 대해 안전하도록 하여 재산과 인명의 피해를 최소화하도록 한다.

• 건설경비 증가의 억제

내진설계를 향상시키기 위해서는 구조물의 각 부에서 필요한 보강을 하게 된다. 따라서 전반적인 건설경비의 증가가 뒤따르게 되는데 모든 건축물에 대한 건설경비의 증가는 국가 경제에 큰 부담이 될 것이다. 따라서 건축물의 용도 및 규모와 구조방식 등을 고려하여 설계용 지진하중을 조정하여 지나친 건설경비의 증가를 억제한다.

• 구조기술자의 부담 경감

지진이 많이 발생하고 지진 피해가 심한 미국, 일본 등의 나라에서는 그 동안 내진설계에 관해 많은 연구가 이루어져 왔다. 따라서 내진설계 기법 또한 정교하고 복잡하게 발전되어 왔다. 그러나 우리나라에서는 내진설계기술이 널리 보급되어 있지 않고 있는 점을 고려하여 내진설계 절차를 단순화시킨다. 이러한 목적을 위하여 복잡하고 정교한 내진설계 기법중에서 지진위험도가 대단히 높지 않은 우리나라의 실정에 비추어 크

계 중요성이 없으면서 구조기술자에게 많은 부담이 되는 P-δ 효과의 고려 등은 간단한 규정으로 대체한다.

• 내진설계 적용 대상의 선정

건축물에 대한 내진설계의 시행초기 단계에서 모든 건축물에 대해 내진설계를 요구하는 것은 현실적인 어려움이 있으므로 6층 이상의 대형 건축물이나 중요도가 높은 건축물에 대해 일차적으로 내진설계를 실시하고 내진설계 기술이 보급된 후에 모든 건축물에 대해 내진설계를 시행하도록 한다.

• 지진의 보완 및 발전 가능성

국내에서 최초로 건축물에 대한 내진설계기준이 제정됨에 따라 내진설계가 시행되면서 여러 가지 모순점이나 문제점이 드러날 수 있다. 아울러 국내외에서 내진설계에 대한 기술이 발전됨에 따라 내진설계기준이 보완되거나 개선되어야 할 것이다. 이러한 점을 감안하여 현재까지 알려진 미국의 내진설계기준과 이에 준하는 것들 중에서 ATC3-06를 기준으로 하여 골격을 갖추되 적용방법은 UBC와 비슷하게 함으로써 단순하면서도 앞으로 보완과 개선이 용이하게 한다.

내진설계기준의 요점

건축물에 대한 내진설계의 기본이 되는 밀면 적단력은 대지의 위치, 건물의 용도, 고유진동주기, 구조방식, 유효무게 및 지반의 성질에 따라 다음 식과 같이 산출되는데 이러한 방법은 대부분의 외국 기준에서도 공통적으로 사용된다.

$$V = \frac{AISC}{R} W$$

여기서, V = 밀면적단력
 A = 지역계수
 I = 중요도계수
 C = 동적계수
 S = 지반계수
 R = 반응수정계수
 W = 건물의 유효무게

위의 산식에서 각각의 계수들을 결정하기 위하여 고려된 사항은 다음과 같다.

• 지역계수(A)

우리나라를 지진위험도에 따라 세가지로 나누고 각 구역에 대해 지역계수를 설정하여 손쉽게 설계용 지반가속도를 결정할 수 있게 한다. 다만, 지역계수의 값은 유효 지반가속도와 직접 관계되는 값으로 정하여 앞으로 우리나라의 지진위험도에 대한 연구 결과에 따라 쉽게 개선될 수 있도록 한다.

• 중요도계수(I)

건물의 용도에 따라 설계용 지진하중을 수정하기 위한 것인데 도시계획 구역과 그 이외의 지역으로 나누어 적용한다. 그 이유는 인구밀집 지역에서 발생하는 지진의 피해를 좀더 줄이기 위한 것이다.

• 동적계수(C)

지진이 발생하여 건물이 진동하게 될 때의 동적 영향을 등가의 정적 영향으로 바꾸어주기 위하여 사용하며 국내 실정에 맞게 주기가 긴 건물에 대해 이론적인 값보다 약간 증가된 값을 가지도록 한다.

• 지반계수(S)

지반의 성질에 따라 지진의 영향이 달라지는 것을 고려하기 위하여 사용하는데 ATC3-06의 방법을 택하되 지반 중별의 결정은 국내에서 토질 관계에 많이 사용되는 지반의 분류 방법과 일치시킴으로써 실무작업의 편의를 도모한다.

• 반응수정계수(R)

구조물의 비선형거동과 감쇠효과 등을 고려하여 사용되는 계수인데 ATC에서 사용되는 방법으로서 최초에 제정 또는 개정된 외국의 내진설계기준에서 주로 사용된다. 미국의 UBC(1985년 판)에서 사용되던 K계수와 역수관계가 있는데 K계수는 구조물의 강성(Stiffness)에 관계되는 값이므로 구조재료에 따른 차이를 가지지 않는다. 금년 5월에 개정된 UBC(1988년 판)에서는 K계수를 없애고 R계수방식을 사용하게 되었다.

내진설계기준의 미비점

내진설계를 위한 기준은 장기간에 걸친 지진 피해 자료와 지진발생에 대한 공학적인 자료를 토대로 연구가 수행됨으로써 지속적으로 보완되고 개선되어야 한다. 그러나 우리나라의 내진설계기준은 빈약한 공학적자료를 토대로 단시간에 제정이 될 수 밖에 없었다. 물론 외국의 경험을 간접적으로 받아들여 최선을 다한 연구결과에 의해서 제정이 되었겠지만 여러가지 현실적인 제약에 의해 건축물에 대한 내진설계기준에는 많은 미비점들이 있을 수 밖에 없다. 현재의 내진설계기준이 앞으로 보완되어야 할 미비점들을 정리해 보면 다음과 같이 요약된다.

첫째, 우리나라에서 발생한 지진에 대한 공학적 자료를 토대로 하여 지역계수, 지반계수, 반응수정계수 등이 더욱 우리 실정에 맞게 조정되어야 한다. 그러나 이러한 문제는 앞으로 발생한 지진에 대해 최대한의 공학적 자료를 수집할 수 있도록 함으로써 해결할 수 있다.

둘째, 현재 대형구조물이나 중요도가 높은 높은 구조물에 대해서 적용되도록 되어 있는 내진설계를 모든 구조물에 대해 적용할 수 있도록 해야 한다. 이 문제는 우리나라에서 내진설계가 어느 정도 정착되는 시점에 가서야 가능할 것이다.

셋째, 주택이나 소규모 건물 등에 많이 사용되는 조직구조물 등에 대해서는 계산에 의하지 않고 쉽게 내진성을 향상시킬 수 있는 기법을 개발하여 지진에 대해 안전한 구조물을 설계할 수 있도록 할 필요가 있으며 이러한 내용이 내진구조설계기준에 포함되어야 한다.

네째, 내진설계기준의 개선과 보완을 위해서 절대적으로 필요한 지진에 대한 공학적인 자료를 얻을 수 있도록 대형건물에 지진계를 설치할 것을 의무화할 필요가 있다. 우리나라는 지진발생 빈도가 높지 않으므로 공학적인 자료를 얻을 수 있는 지진이 발생할 때에는 가능하면 많은 지진관련 자료를 얻을 수 있도록 하기 위하여 지진계의 설치를 의무화하고 지진 발생시에 자료를 관계기관에 제출하도록 함으로써 장기적인 안목에서 내진 설계기준의 개선 및 구조물의 내

진성능 향상이 이루어지도록 할 필요가 있다.

◇ 연구과제 및 대책

지진에 대비하기 위한 첫 단계로서 건축물에 대한 내진설계기준이 제정되었고 앞으로 지속적인 연구를 통해 개선, 보완될 것으로 생각된다. 그러나 지진에 의한 피해를 방지하기 위해서 보다 근본적인 대책이 수립되어야 한다.

• 지진공학 연구기관의 설치

우리나라의 지진위험도를 분석하고 내진설계 기법을 연구할 전담 연구기관을 설치하여 지진 관련 자료의 수집업무와 체계적인 연구업무를 수행할 필요가 있다.

• 전문인력의 양성

최근까지 우리나라에는 지진에 대한 관심이 적어서 지진공학 분야의 연구를 수행하는 전문 인력이 절대적으로 부족하다. 그러므로 대학이나 대학원에서는 구조동역학, 지진공학 등의 과목을 개설하여 전문인력을 양성하고 이들이 활발한 연구를 수행할 수 있도록 최대한의 지원을 하여야 한다.

• 내진설계 기술의 개발

현재 우리나라에서 사용되고 있는 구조방식들은 지진의 영향을 고려하지 않고 계획된 경우가 대부분이므로 이러한 구조방식들에 대한 개선이 필요하다. 요즘은 널리 보급된 개인용 계산기를 사용하여 내진설계를 수행할 수 있는 기술이 개발되어 보급되도록 하는 것도 바람직하다.

• 내진설계 범위의 확장

현재 내진설계가 시행되고 있는 분야는 원자력 발전소와 일반 건축구조물에 국한된다. 앞으로는 교량, 항만, 댐 등의 토목구조물과 송수관, 송유관, 송전탑 등 중요구조물 등에도 내진설계 기준을 마련하여 적용함으로써 지진의 피해를 최소화하도록 하여야 한다.

• 지진 발생시 피해복구 대책 수립

앞으로 우리나라에서 지진이 발생하게 되면 조직적이고 체계적인 피해복구사업이 수행될 수 있도록 하기 위한 대책이 수립되어야 한다.