

# 한국의 地震危險加速度地圖와 耐震設計에 관한 小考

李 利 衡 - 漢陽大學校 教授/工博

金 昭 九 - 漢陽大學校 教授/理博

## INVESTIGATION ON THE EARTHQUAKE RESISTANT DESIGN AND SEISMIC RISK MAP OF THE KOREAN PENINSULA

Lee, Li Hyung - Han Yang University/Professor

Kim, So Gu - Han Yang University/Professor

### 1. 서 론

우리나라에서 지진에 관심을 쓰기 시작한 것은 불과 10년 안팎이다. 그것은 원자력발전소 건설에 따르는 엄격한 규정 때문에 발전소 건설 허가를 받기 위해서는 국제 원자력 위원회(IAEA) 혹은 미국 원자력규정 위원회(USNRC)의 내진규정을 수행하지 않으면 안되기 때문이다. 그러나 지진으로 인한 인명과 재산피해는 비록 원자력과 같은 무서운 방사능의 노출뿐만 아니라, 고층건물·뎀·교량·지하철·터널 및 공업단지과 같은 수많은 토목 구조물과 건축물에 피해를 주고 있다.

오늘날 산업시설은 시대적 요청으로 날로 늘어나고 있기 때문에 우리는 더욱 지진의 피해를 최소 한도로 줄이는 지진공학에 심각한 연구와 관심을 기울이게 되었다.

보통 말하기로는 우리나라는 지진이 없다고 하지만 이것은 실제로 잘못 생각하고 있는 것이다. 왜냐하면 우리나라의 고대 문헌을 찾아볼 것 같으면 한반도에 살고 있는 우리 민족은 많은 지진으로 재산과 인명피해를 자주 입었다는 사실이 많이 발견되기 때문이다. 그러나 지난 200년 동안은 조용한 지진 활동으로(18세기부터 19세기까지) 이웃 일본과 중국에 비해서 지진의 빈도수와 그 규모가 비교적 작기 때문에 별로 크게 관심을 일으키지 않았다.

그러나 최근에 와서 우리는 커다란 재산피해를 주었거나 우리를 놀라게 한 지진이 많이 기억난다. 예를 들면

1936년 7월 4일에 일어난 지리산의 쌍계사 지진(M=5.3), 1978년 9월 16일의 속리산 지진(M=5.2), 그리고 같은 해 10월 7일의 홍성 지진(M=5.0, 진도=8(MM)) 등을 말할 수 있다. 그리고 아주 최근에 와서 1981년 4월 15일의 포항 지진(M=5.1(JMA)\*, 5.0(PDE), 4.8(한국)), 1982년 2월 14일의 사리원 지진(M=6.0(JMA), 5.1(PDE), 4.5(한국)), 같은 해의 울진 지진(M=4.2(JMA), 5.0(PDE), 4.7(한국)), 그리고 같은 해 8월 29일의 덕적도 지진을 말할 수 있다. 이와 같이 19세기에 와서 지진활동은 증가하는 추세를 보여주고 있다.

오늘날 날로 번창하는 산업시설과 주택양식으로 우리는 많은 주요 토목 구조물과 건축물을 필요로 하고 있다. 따라서 위험한 대형의 주요한 구조물, 예컨대 원자력 발전소나 LNG(액화 천연 가스) 시설이나 고층건물의 설계에 있어서 인명과 재산피해를 최소 한도로 줄이기 위해서 내진설계는 필수적이 아닐 수 없다. 본 내용은 한국의 지진 역사를 분석하며 지진 가속도 지도를 작성하고, 외국의 내진규정을 조사한 후 한국의 내진설계의 필요성에 대하여 설명하고자 한다.

### 2. 한국의 지진역사

한국은 이웃 중국과 같이 약 2,000년이나 되는 지진역사 기록을 갖고 있다. 이러한 역사 지진은 고대 문헌, 예컨대 三國史記·增補文獻備考·高麗史·國朝寶鑑·承政院日記 등에서 찾아 볼 수 있다. 三國史記 안에는 서

기 471년에 京都地震廣裂二十丈濁水湧出(경주에서 땅이 갈라져 그 넓이가 20丈이 되었다.), 또한 承政院日記 속에는 1664년 8월 12일에 全羅道全州鎮安壓死至於五十名(전라도 진주 및 진안지방에서 깔려 죽은 자가 50여명이나 되었다), 그리고 高麗史를 볼 것 같으면 1298년 3월 6일 개성에서 地折壽寧官門外泉湧高數尺自午至酉面止(땅이 터지고 갈라지면서 수녕궁 문밖에서 샘이 솟구쳐 그 높이가 수尺이나 되었고 10~20時경에 그쳤다)라는 기록이 있다. 이와 같은 역사적 문헌에 기록된 지진의 피해 상황은 대략적인 기술이고 과학적인 측정이 아니므로, 오늘날의 지진 단위(Scale)로 결정하는데 매우 어려운 점이 있다.

옛날의 건축물은 아주 간단한 구조물로서(초가집이나 흙벽돌집) 弱震이나, 中震에도 심한 피해를 입었을 것으로 믿는다. 그리고 이 당시에는 자연과학, 특히 地震에 대한 상식은 전혀 없었으므로, 이 갑작스러운 진동과 함께 따라 오는 파피에 대해서 하늘에서 내려 주는 천벌(Punishment)로 믿었다.

따라서 당시의 지진 피해상황을 기술하는 데는 진실보다 과장된 이야기가 많이 삽입된 것으로 믿는다. 그리고 또한 무엇보다도 고대의 인구분포 상태는 행정수도권에만 밀집되고 지방에는 희박하였으므로 지진의 관측이 전부 카바(Cover)되었다고 말할 수 없다.

따라서 역사지진의 정확한 진앙·규모

\* Japan Meteorological Agency (일본기상청)에서 결정한 규모

\*\* Preliminary Determination of Epicenter 로 미국 USGS에서 결정한 규모

모 및 震源發生時를 결정하는 것은 불가능하다. 그러나 기록상에 나타난 피해상황의 기술과 오늘날의 지역적 지진과 지구물리학적 정보(단층조직)를 바탕으로 위의 3가지 요소는 최선의 방법으로 결정될 수 있다. (Kim, 1980)

역사적 지진의 이용가치는 결정적 방법(Deterministic Method)보다 무

작위 모델(Stochastic Model)에 의한 통계적 방법(Probabilistic Method)에 있다면, 역사적 지진자료의 양적분석(Quantitative Analysis)은 질적분석(Qualitative Analysis) 못지 않게 중요한 의의가 있다.

한국의 지진역사는 중국 및 일본과 더불어 세계에서 가장 오랜 지진역사

를 갖고 있는 나라 중의 하나이다. 초기의 지진역사는 삼국시대, 즉 신라(57 B.C-935 A.D), 백제(16 B.C-668 A.D)와 고구려(37 B.C-659 A.D) 등 세 나라에서 지진이 관측되었다. 다음 고려왕조(936-1391)와 이씨왕조(1392-1910)에 와서는 거의 한반도의 전국에 걸쳐 지진관측이 가능하였다고 생각할 수 있다. 본 논문에서는 이씨왕조(1400-1910)의 역사지진과 계기지진(1910-1981)을 사용하였다. 그러나 그림 1은 한반도에 나타난 모든 역사적 지진(2 A.D-1905)과 계기지진(1906-1980)을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 한반도의 지진 분포는 경상도 지방과 서울, 경기의 중부 지역이 제일 심하게 나타났고, 개마고원 지역은 완전히 조용한 Shield 지역임을 보여준다. 또한 역사지진(1400-1900)과 계기지진(1900-1982)의 축적 Strain 에너지의 방출을 보면 매우 불규칙하게 나타나고 있으며 또한 대지진 이후에는 에너지의 방출(지진)이 없다는 것을 알 수 있다(그림 2와 3 참조).

그리고 14세기부터 17세기까지 지진이 활발하게 일어났고 18세기 초부터 19세기까지는 지진활동이 조용한 지진정지기(Seismic Gap)에 있었으나 20세기에 와서는 다시 지진활동이 활발하게 일어나고 있음을 알 수 있다.

### 3. 板構造論(Plate Tectonics)

최근에 와서 대부분의 지진을 만족스럽게 설명하는 이론으로 板構造論을 말하지 않을 수 없다. 그림 4에서 보는 바와 같이 이 이론의 기본적 개념은 지구의 최외곽, 즉 Lithosphere가 10개 거대한 板으로 되어 있으며 수평운동을 하고 있다는 것이다. 이들은 海底山脈의 맨틀(Mantle) 밑에서는 용암 등의 분출로 계속 생성되고, 다른 한편에서는 계속 침강하는 침강지역(Subduction Zone)으로 소멸되고 있다는 것이다. 이와 같은 판구조론은 한반도의 주위에서 계속 일어나고 있다. 즉, 한반도 주위에서는 태평양판(Pacific Plate)과 Philippine 판이 유우라시아 판과 만나게 된다(이런 지점을 Triple Junction이라고 부름). 한반도 북부지방의 深發地震은 태

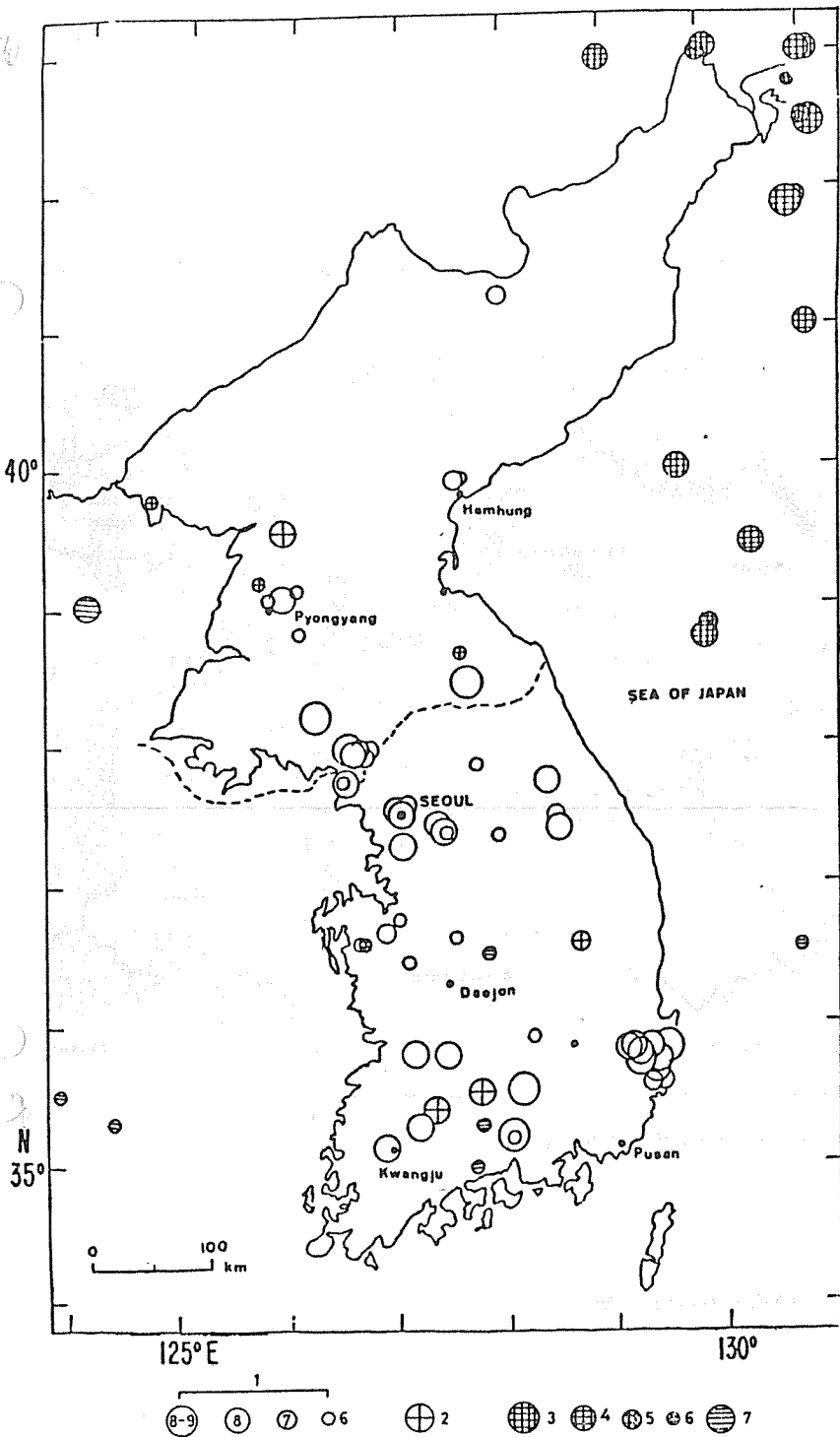


그림 1. 역사자료(27 A. D - 1904)와 지진계(1905~1979)로 얻은 한반도의 연주요지진의 진앙. 역사지진은 진도(MM)로 표시됨.  
 1 : 좁은지역에 미친 역사지진      2 : 넓은 지역에 미친 역사지진  
 3 :  $M \geq 7.0$  진원깊이 300~700km    4 :  $7.0 > M \geq 6.0$   
 5 :  $6.0 > M \geq 5.5$                       6 :  $5.5 > M \geq 5.0$   
 7 : 천발지진 ( $h \leq 60$ km)

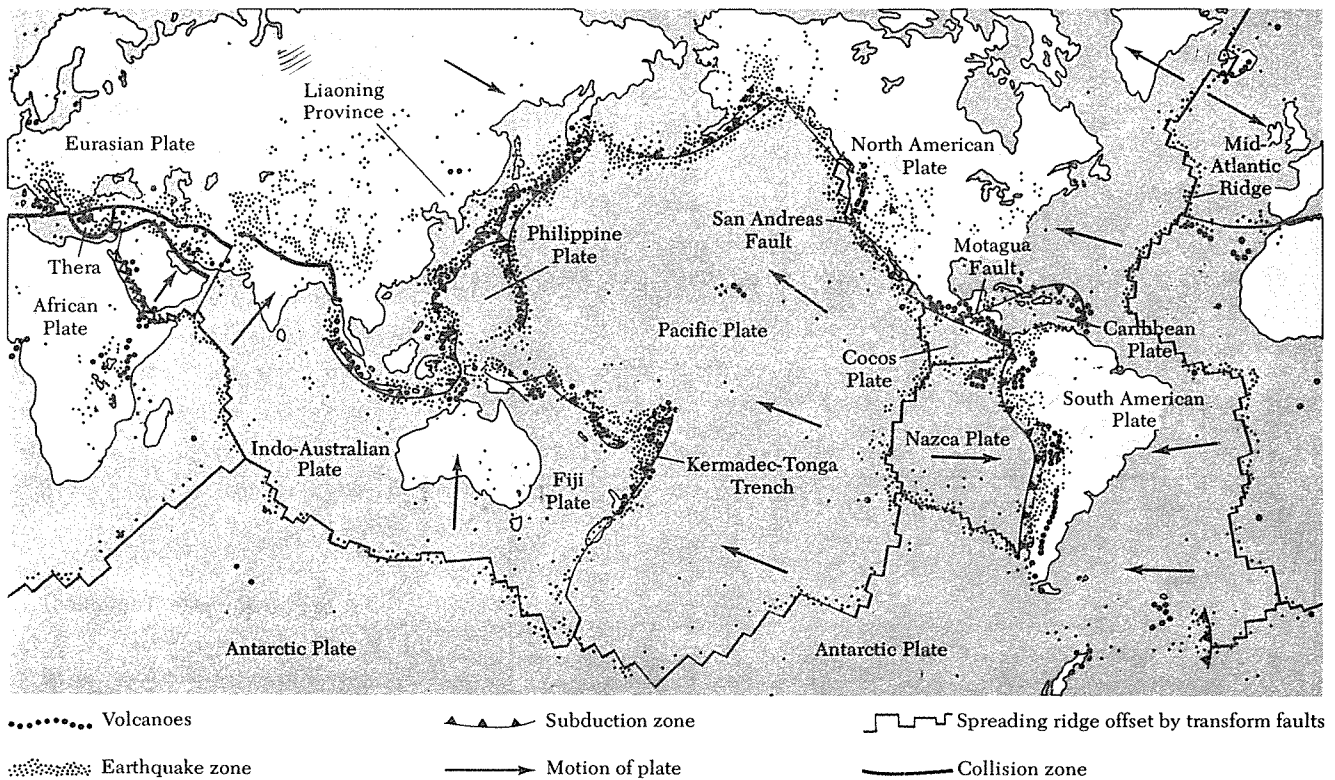
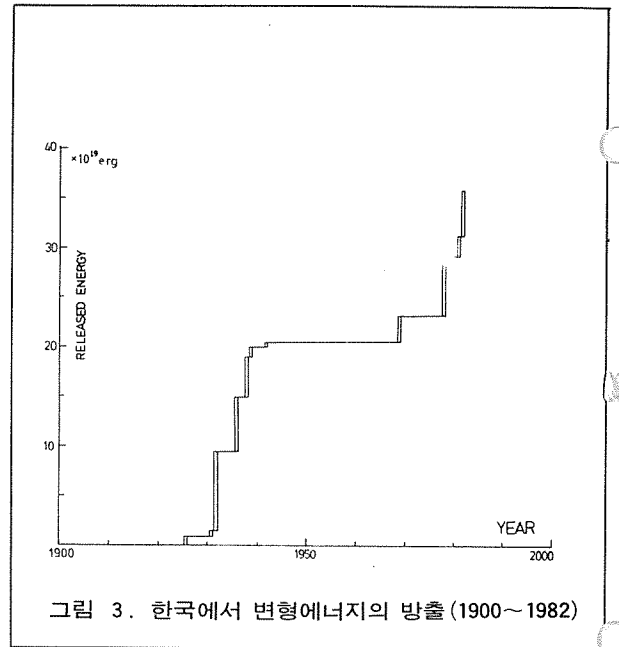
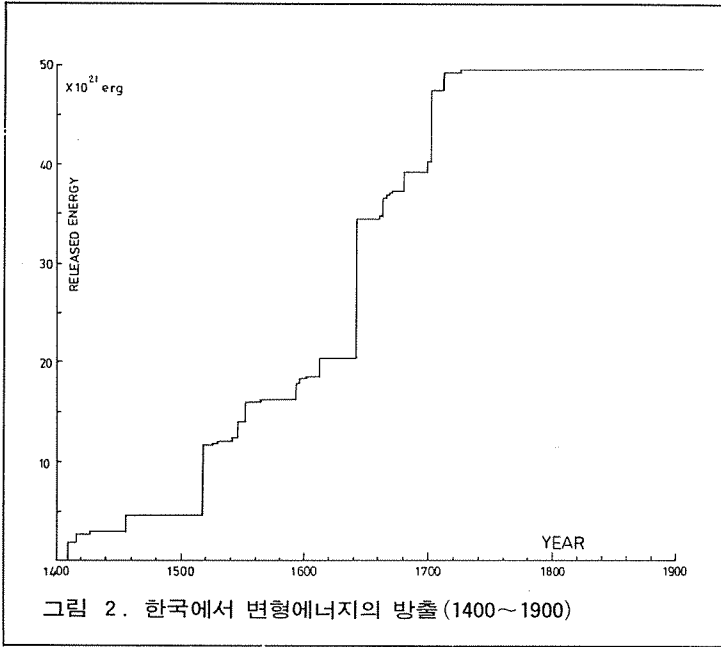


그림 4. 주요한 구조판과 최근 지진 및 화산과의 關係를 보여주는 世界地圖  
 (地震의 진앙지(震央地)는 작은 점(點)으로, 그리고 화산은 큰 점으로 表示 되어 있다)

평양 판이 유우라시아 판으로 침강하기 때문에 일어난다고 볼 수 있다. 그러나 한반도 남부지방의 淺發地震은 태평양 판과 Philippine 판이 유우라시아 판 밑으로 침강운동하는 직접적인 원인보다, 세판의 상호작용으로 일어나는 Strain 에너지의 불균형 때문에 생기는 간접적인 원인으로 설명할 수 있다.

#### 4. 최대지반가속도 지도

역사지진 연구의 궁극적 목적은 지진 위험 평가 지도를 만드는 데 있다. 최근에 와서 이러한 지진위험 지도 (Seismic Risk Map)는 원자력발전소 건설을 비롯하여, 고층건물·큰 댐·교량·LNG(액화천연가스) 시설 및 대규모 산업시설에 매우 필요하기 때문에 많은 선진국가에서는 활발히 연구

를 하고 있다. 지진위험평가 지도는 Stochastic Model의 확률방법에 의거하여서 수행될 수 있다. 기대치의 확률은 지진규모-빈도수 관계 또는 最大値理論에 의해서 구해진다.

最大値理論(Extreme Value Theory)은 원래 Gumbel이 처음 개발한 강력한 예보 방법으로 그 당시에는 주로 홍수의 발생을 예보하는데 활용했었

다. 그러나 오늘날에 와서는 이 이론으로 부터 여러가지 수정이론이 나오게 되었는데, 그중 수정제일접근함수 (Modified First Asymptotic Function) 는 매우 적절한 방법으로 증명되었다 (Kim, 1982). 그림 5는 수정제일근사함수를 사용해서 만든 한국의 최대지반가속도 지도이다. 이 지도는 이 씨왕조 (1400~1900)의 역사지진과 계기지진 (1901~1981) 중 규모가 5 이상인 淺發地震을 전부 전산 처리하여 분석한 후 작성한 것이다. 30년 以内의 초과확률이 10% 이상으로 기대되는 최대잠재지진 (Maximum Potential Earthquake)을 6개로 나눈 地震區 (Seismic Province)에서 각각 구하고 이들을 각 地震區의 최대지진 피해지역 (Meizoseismal Zone)의 有限震源點 (Finite Seismic Source Point)으로 간주한다. 그리고 최대지반가속도는 이 有限震源點에서 전국의 118개의 지리적 기준점까지 Kanai의 공식을 사용하여 구해진다.

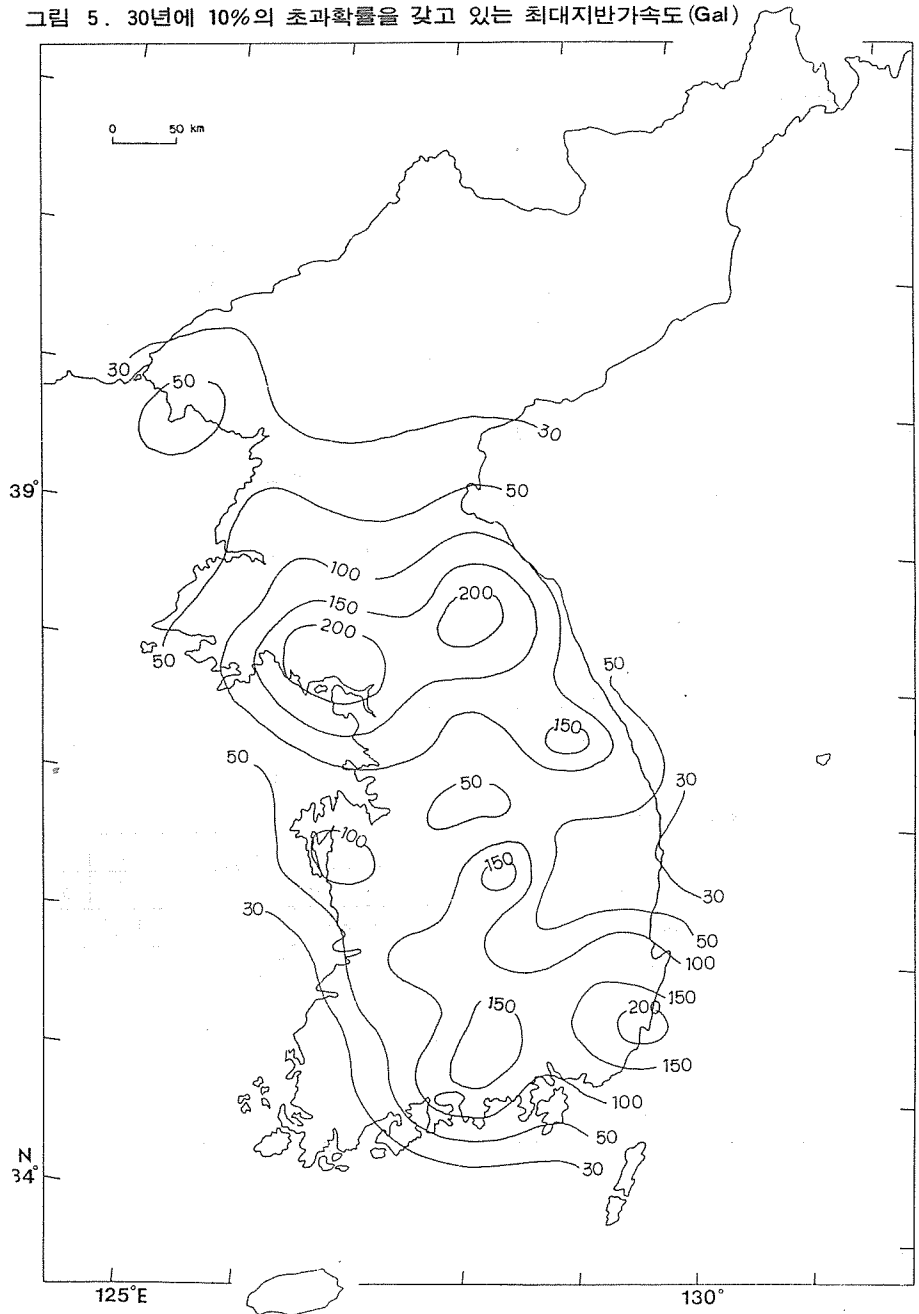
실제로 지진에 의한 피해는 여러가지 복잡한 요소에 기인된다. 즉, 震源의 Focal Mechanism에 따라 수직 혹은 수평성분의 가속도가 차이 나며, 地震波의 종류, 즉 實體波 (Body Waves)와 表面波 (Surface Waves)에 따라 에너지의 운반거리가 틀린다. 그밖에 지진 중의 지속시간, 공진효과 (Resonance Effect) 등을 고려해야 한다. 특히 지진 등의 가속도·속도 및 변위는 지진파가 통과한 매질 (Medium)의 성분에 따라 크게 좌우 된다. 예컨대 평균최대가속도는 基盤石 위에서 의 값이 沖積層 (Alluvium)보다 크게 영향을 미치고 있으며, 평균최대속도 및 변위는 반대로 沖積層에서 더욱 크게 영향을 받게 된다.

지진위험 지도를 만드는데 한가지 첨가할 것은 전문가의 주관적 판단으로 분명한 판단층에 중점을 두어, 계속 수정할 수 있게 하는 것이다. 이러한 변화와 수정은 사회적 여론과 목적에 따라서 지역적 전문지식에 맞도록 계속 수정되어야 한다.

### 5. 外國의 耐震設計規定의 現狀과 動向

세계최초의 내진규정은 일본의 大正13年 (1924년)에 만든 市街地建築法

그림 5. 30년에 10%의 초과확률을 갖고 있는 최대지반가속도 (Gal)



으로, 현재는 세계 대부분의 地震國은 耐震法規를 갖고 있다. 初期에는 日本의 市街地建築法이나 샌프란시스코 條令 등과 같이 하나의 都市나 제한된 지역에만 적용하였으나, 현재는 미국·소련과 같은 大國이 全國適用規定을 작성하고 있다. 또한 UNESCO (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization), IOS (International Organization for Standardization) 등의 국제기구에서 세계 통일 규정을 만들려는 움직임이 있으며, 전 세계의 기술적·학술적 교류를 추진하여 내진에 대하여도 세계 공통의 理念이 確立되는 기반이 만들어지고 있다. 이와 같이 세계통일의 기

반이 어느 정도 되어 있으면서도 國際地震公學會 (IAEE)에서 編集한 世界耐震法規準을 參考하면 各國의 規定은 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

各國의 내진규정 중의 지진력은 미국이나 일본과 같이 靜的水平力에 의하고 있으나 各國에서는 최근의 動的解析의 成果나 地震規測에 의한 新知識을 도입하여 建物の 振動周期를 고려하여 지진력의 크기를 결정하는 새로운 방식의 규정으로 개정하고 있다.

地震力을 결정시키는 요소를 大別하면, 地震學的·土質力學的·構造力學的 등의 요소로 분류된다. 이것이 具體的으로 표현할 때는 地震地域·地盤種別·基準 Base Shear계수·重要度係

數와 같은 형태로 表現되고 있다.

### 6. 各國의 耐震規定의 概要

#### ① 建物에 作用하는 地震力

건물에 작용하는 지진력은 대부분의 나라에서는 다음과 같은 形으로 표현하고 있다.

$$F = C(Z, I, S, K, T)W = \sum f_i$$

또는  $f_i = K_i(Z, I, S, K, T)W_i$   
여기서 F : 全地震力, 즉 건물최하층에서의 전단력 (Base Shear라고 부름)

$f_i$  :  $i$  층에 작용하는 수평력

C : Base Shear계수, Z, I, S, K 및 T에 의해 결정됨.

$K_i$  :  $i$  층에 있어서 震度, Z, I, S, K 및 T에 의해 결정

W : 耐震計算에 利用되는 建物全重量

$W_i$  :  $i$  층에 속하는 部分의 重量

Z : 地域係數

I : 重要度係數

S : 地盤種別

K : 構造形式

T : 建物の 1次周期

#### ② 基準 Base Shear係數

기준 Base Shear계수는 거의 대부분의 나라에서는 건물의 1차고유주기로부터 결정한다. 일반적으로 短周期部分에서의 上限값과 長周期部分의 下限값을 정하여, 주기가 길어짐에 따라 그값이 적어지도록 하고 있다. 주기가 길어짐에 따라 떨어지는율이 심한 것은 소련의 X/T의 形이나 New Zealand의 直線補間形이며, 지반이 연약함에 따라 미국의  $X/\sqrt{T}$ 나 캐나다, 인도 등의  $X/\sqrt[3]{T}$ 로 되고 있다. 단지 멕시코시와 같은 연약지반에서는  $T=1.0\sim 2.5$  sec 중 最大를 택하며,  $T=1.0$  sec 이하에서는 直線, 2.5 Sec 이상에서는 X/T로 抵下시키는 경우도 있다.

#### ③ 地域係數

지역계수는 장래 그 地區에 발생을 예상한 지진에 의해 정하여지고 있지만, 이것은 그 지구의 과거의 地震歷 및 地震學의 地質構造를 검토하여 通

常 定하고 있으며 대개 100년을 기준으로 하여 기간을 정한다. 미국의 UBC (Uniform Building Code)에서는 미국 全土를 0, 1, 2, 3의 4계급으로 구분하고 있으며 소련은 危險度를 直接 震度階로 구분하고 있다. 소련의 진도계는 12階 分類法 (MSK Scale)에 의하고 있지만, 이 중 9, 8, 7, 6... 으로 나누고 있다. 이들의 구분에 대하여 미국이나 소련은 表 1과 같은 同準의 比를 채택하고 있다. 이와같이 廣大한 國土를 갖고 있는 美國이나 소련에서는 Zoning이 1 Rank 틀리면 地震力이 半으로 되는 차이를 갖고 있다. 한편 일본의 경우는 全國 어느 곳이나 地震의 위험이 있으므로 건축기준법에서는 全國을 3 Glass로 분류하여 그 비율을 1.0 : 0.9 : 0.8로 하고 있다. 인도에서는 5개의 Zone으로 구분하여 0.08, 0.05, 0.04, 0.02, 0.01로 하고 있다.

표. 1 미국과 소련의 震度比

ZONE	미국	3	2	1	0
	소련	9	8	7	6
채용진도비		1.0	0.5	0.25	0

#### ④ 重要度係數

대개의 나라에서는 중요한 건물에 대하여 중요도 계수를 곱하여 보통의 건물보다도 지진력을 크게 하고 있다. 이 값은 1.25~1.50 정도이다. 이에 屬하는 建物로서는 병원·구급시설·방송국·소방서·학교 등으로 地震後에 機能保持을 필요로 하는 건물, 多量의 危險物을 저장하는 건물, 즉 그 건물의 파괴에 의해 더 큰 2次被害가 예상되는 건물, 이 以外에 大集會所와 같은 不特定多數의 人間이 出入하는 建物도 포함되는 경우도 있다.

#### ⑤ 地盤種別

地震波의 Response 特性은 그 지반의 성질에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 따라서 많은 나라에서는 지반의 種別에 의해 지진력을 增減시키고 있다. 이때 건물의 구조種別·고유주기 등과 조합하여 결정하는 경우가 많다. 미국에서는 오랜기간 이 지반種別계수 (Soil Factor)가 규정에 없었으나 산페르난도 (San Fernando) 地震以來 表層地盤의 地震動이 震害에 큰 영향을 주는 것이 認識되어 1974년의 SEAOC (Structural Engineers Association of California)

Code 및 UBC에 처음으로 고려하게 됐다. 建物에서 그 건물의 地盤의 주기와 건물의 주기가 가까우면 地震力은 割增되어야 하며 동등할 경우는 1.5倍로 한다.

#### ⑥ 構造種別係數

動的解析 및 地震被害例에 의하면 延性 (Ductility)이 있는 建物이 없는 건물에 비하면 耐震性이 높는데, 이것은 건물이 降伏해도 塑性變形에 의한 에너지 吸收能力이 充分하면 崩壞에는 도달하지 않음을 보여준다. 이와 같은 생각을 Code에 적용시킨 미국이나 캐나다에서는 延性이 기대되는 골조 (Ductile Moment-resisting Space Frames)에서는 지진력을 보통 건물의 2/3로 低減시키고 있다. 한편 延性 效果를 기대하기 힘든 壁式 구조에서는 4/3倍 割增하고 있다. 이 이외에 구조種별은 루마니아의 규정과 같이 그 구조물의 減衰量의 大小와 關係시켜 地震力을 고려하는 경우도 있다.

### 7. 韓國에서의 耐震設計의 必要性

이상과 같이 國內의 지진현황을 分析·考察하여 지진의 발생현황 및 지진의 분포도를 작성한 결과 우리나라도 地震加速度가 50~150 Gal (M. M 진도 VII~VIII에 해당)의 지역이 상당히 많은 지역에 걸쳐 그 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.

諸外國의 내진규정에 대하여 어느 정도의 지진이 발생한 경우를 대상으로 하여 지진규정을 만들었는지, 그 근거에 대하여 정확히는 알 수 없으나 미국 등 대개의 나라에서는 M. M 진도 VI~VIII 이상에 적용토록 한 것으로 볼 때 우리나라도 이 범주에 속하는 것으로 사료된다.

그러므로 우리나라도 지진의 정확한 Source Mechanism의 여러가지 인자, 운동 Mechanism, 實體波 (Body Waves), 表面波 (Surface Waves)의 발생, 진동시간, Ray-path, 地盤 혹은 基盤조건에 대한 공진 현상은 물론 그밖에 각 주요 구조물의 구조역학적인 문제에 대한 더 많은 연구가 필요하게 될 것이다. 더우기 요즈음에 와서 지진예보 (Earthquake Prediction)를 위하여 지진국인 미국, 소련, 일본 및 중공은 이 방면에 국가적 차원에서 막대한 연구비를 들여 심혈을

기울이지만 아직 뚜렷한 성공은 이루어지지 못하고 있다.

현재 우리나라에서는 각 나라의 Engineering 회사의 기술자에 의해서 ad hoc (특별한 목적으로)하게 각 회사마다 틀린 내진규정을 설정하여 원

자력 발전소를 건설하고 있기 때문에 많은 혼돈을 발생시키고 있다.

그러나 현재의 국내여건상 이 분야 (지진학·내진공학)에 대한 연구축적이 충분치 못한 상황에 있으므로 이를 국가적인 차원에서 지원하여 지진

학·내진공학의 발전에 따라 내진규정은 제정되어야 할 것이며, 우선 특수한 건축물, 즉 원자력 발전소·고층건물·LNG 탱크·대형공장 및 공공건물에 대하여는 가능한 한 지진력에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Kim, So Gu (1980) : Earthquake of the Korean Peninsula and its vicinity (seismic risk of the Korean Peninsula and plate tectonics), p. p 101-126
2. 金昭九(1982) : 地震動의 最大地盤加速度 分布에 關해서, 대한토목학회지 30권 특집 p. p 9-15
3. Kim, So Gu (1982) : Macrozonation and seismic risk maps, Proc. 7 th European Conference on Earthquake Engineering, Athens, Greece. p. p 132-144
4. Earthquake Resistant Regulations, A world list. International Association for Earthquake Engineering, Aug. 1980
5. Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, Prepared Applied Technology council, Publication ATC 3-06
6. 李利衡 : 韓國地震地域의 耐震設計方案 研究 漢陽大學校 環境科學研究所, 1981, 7.
7. 李利衡·金潤一·李元虎 : 韓國의 耐震設計方案에 關한 研究, 大韓建築學會 學術發表論文集, 1981. 10.

