

# 지진의 발생기구와 설계법 및 대책에 관하여

정 일 영 우리 협회 자문위원  
서울대 건축과 교수, 공학박사

## (1) 지진의 발생기구

지각 또는 Mantle 상부에 있어서 급격한 움직임에 의하여 생긴 파동이 지표면까지 전달될 때 지표면이 진동하는 현상을 지진이라 한다. 그리고 지진 발생 때 동반하는 탄성파동은 지진 파로되어 멀리까지 전달된다. 지진파는 진원지에서 최초로 전파되어오는 P波는 그림 1에서와 같이 疎密波로 진행하기 때문에 지표면과 직각 방향에서 건물에 미치는 영향은 상하동으로서 기초에 의하여 지지되어 있는 건물내의 사람들은 지진의 진행 속도가 5km/sec이지만 진폭이 적고 주기가 비교적 짧기 때문에 별로 느끼지 않는다. 그러나 그 후에 내습하는 S波는 진행속도가 3km/sec이고 진폭이 다소 길지만 그림 1에서와 같이 지진의 진행이 앞뒤 및 상하로 波形 진행할 뿐 아니라 진행방향과 평면상 剪斷舉動으로 건물의 평면형태가 이겨어지기 때문에 건물내 사람이 충격을 잘 느끼게 된다. 그리고 지표면 부근에 진동 에너지가 집중되어 있을 때 지진파가 생기며 그림 1에서와 같이 long wave가 형성된다. 지하에서 지진동이 발생한 장소를 진원(Hypo center)라 하고 지진 에너지의 축적 범위가 넓을 때에는 진원역이라 한다. 그리고

진원의 상하 연장선과 지표면과의 교점을 진앙(Epicenter)라 한다. 대지진이 발생할 때 계속적으로 소규모의 지진이 발생하는 수가 많으며 이것을 여진(After shock)라 한다. 그러나 여진의 진원은 반드시 일치하지 않는다. 또한 본진이 발생하기 전에 소규모의 지진이 일어나고 이것을 전진(Forth shock)이라 한다. 震度(Seismic Intensity)는 지진동의 강도의 정도를

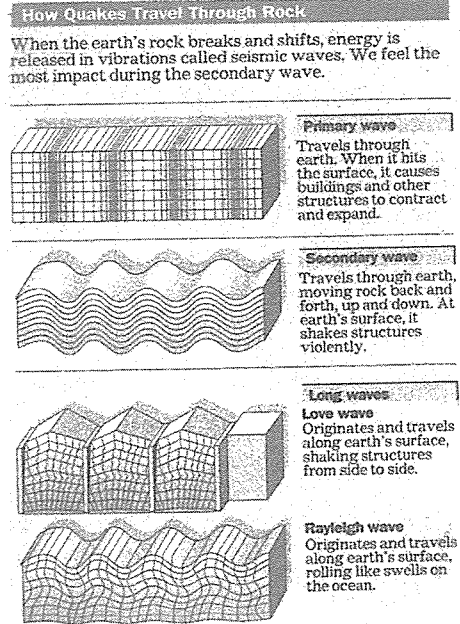


그림 1

표시하는 척도로서 0는 無感, I는 微震, II는 輕震, III는 弱震, IV는 中震, V는 強震, VI는 烈震, VII는 激震으로서 누구나 지진을 감각하는 것은 II이상이며 선반에서 물건이 떨어지는 정도는 IV이다. 그리고 IV는 25~80 Gal, V는 80~250 Gal, VI는 250~400 Gal, VII는 400 Gal 이상이다. 지진의 발생기구는 크게 나누어서 두가지 형태이며 미국에서 발생하는 대부분은 지표면 얇은 곳에 진원지가 있으며 지진의 이동은 연약한 지점을 골라 수평방향으로 진행한다. 이것을 Shallow earth quake라 하며 일본 본지역에서 발생하는 지진은 깊은 진원지를 가진 Deep focus earth quake이다. 한반도에서 발생하는 지진은 태평양 plate가 상당히 깊은 곳에서 지하의 고열로 녹아서 그곳에 축적된 에너지가 포화상태가 되어 윗쪽으로 솟아 오르는 直下型 지진의 위력이 너무 깊은 곳에서 진행되어 건물에 도달될 때에는 약한 지진이 된다고 일본 북해도 대학 島村英紀 교수는 기술하고 있으나 그 이외의 자료는 별로 없는 것 같다. 한반도에서 발생한 지진 활동은 고려 말기에서 급속히 상승하여 16세기에 그 절정에 달하였다가 그후 급속도로 쇠퇴하였다. 그리고 20세기에 들어오면서 점차 활성화될 기미가 엿보인다. 옛 지진에 관한 자료에는 뇌성과 같은 요란한 소리를 동반하였다고 기록되었다. 그리고 이조왕실록에서는 지진과 지동으로 구분되어 있는데 지동은 진동이 빨리 전파된 것을 표현하였다. 지진은 산지에서 발생하는 예는 적고 하천이나 평야에서 많이 발생한 것으로 되어 있다. 그리고 동서 남해의 연안이 내륙지역보다 지진활동이 강하다. 특히 연해지역에서도 하천의 하류지역이 강하다.

### ① 중부지역

1) 경기도 한강, 임진강 하류, 황해도 예성강의 중·하류 지역은 진앙의 치밀성과 강진이, 황해도 백천, 경기도 광주, 개성에서 지진이 수차례 일어났다.

2) 충청남도 삼교천, 곡교천, 그리고 충청북도 승천, 경기도 안성천 하류, 충청남도 홍천, 해미, 덕산 등의 강진과 예산의 서산, 태안, 당진, 보령, 온양, 전의 등의 중진이 발생한다.

3) 충청북과 전북의 금강 및 만경강, 동진강 지역, 전북의 고산, 진안, 전주, 충북 청산의 강진, 그리고 서천, 태인, 김제, 익산, 은진, 공주, 보은 등의 중진이 있는데 지진의 빈도나 분포 면적상 한반도 제1의 고장이다. 그러나 강도로는 격렬하지 못하다.

### ② 이북지역

1) 평남의 대동강, 황해도의 재령강, 봉산의 강진을 제외하고는 용강, 강서, 황해도의 신원, 황천, 장연, 신천 등의 중진이다.

2) 평북 박천의 대령강, 청천강, 태천의 중진이 있다.

### ③ 남해연안

1) 의령, 진주, 사천의 강진이 있다.

2) 전남의 당진, 해남, 장흥, 영광의 강진이 있다.

### ④ 동해연안

1) 양산 단층대로서 동래, 양산, 언양, 경주, 청하, 영덕, 영해를 연결한 대단층에서 강진이 있다.

2) 함남의 영흥만, 문천의 강진이 있다.

3) 경북의 울진, 양양, 삼척의 중진이 있다.

이에 반하여 일본은 지진 발생기구를 확고히 하고 있다. 가령 Plate Tectonics설에 의하면 그림 2와 같이 지구의 가장 바깥쪽은 9장의 plate 인 판상 암석으로서 70km 두께로 덮여져 있는 plate가 mantle 위에 놓여 있으며 남미 해안 산맥에서 매년 5~10cm의 속도로 밀려와 다른 plate와 충돌하는 과정에서 海溝(trough)가 만들어진다. 이와 같은 충돌에서 해일도 일어나고 심한 지각 변동을 일으켜서 일종의 Shallow earth quake인 해중 지진이 일어난다. 이때 plate를 lithosphere라 하며 mantle과 같이 고온부분을 Athenosphere라 한다. 여기서 태평양 plate는 미국 서해안에서 일본 연안까지 옮겨와서 매년 4cm 정도의 속도로 서북진하는 Phillipine plate와 충돌하고 밀도가 적은 태평양 plate가 아래로 꺾어져 아래쪽으로 밀려 들어간다. 태평양 plate 끝 부분은 지중의 고열로 녹고 여기서 지진 Energy가 축적되는데 포화 상태가 되면 지하 수 10km에서 100km의 깊은 곳에서 Deep focus earth quake가 발생하는데 신문 기자들이 흔히 직하형 지진이라고 지칭한다. trough에는 相模 trough와 南海 trough

가 있으며 이들이 일본 본토를 지나가는 때 부분을 중앙 구조선(median line) 또는 단층 파쇄대(fractured zone)라 하며 지진이 발생할 때 운동으로 압축-파괴-육지 plate의 반발이 반복되어 거대한 지진발생의 장이 된다. 중소 지진이 발생하는 지역은 일반적으로 지진 활동이 큰 지역속에 존재하는 경우가 많고 이것을 지진 공백지역이라 한다. 경우에 따라서는 공백지역을 메우는 것과 같은 지진이 발생하는 예가 있으며 이와 같은 지역을 제1종 공백역이라 하며 대지진의 발생 전에 그 진원지 부근에서 적은 지진이 일어나는데 이것을 제2종 공백역 또는 지진 활동 정음화(Seismic quiescence)라 하며 지진 선행의 현상이다. 한편 Shallow earth quake에 의하여 지진의 진행이 수평일 때 단층 현상이 일어나는데 이것은 지질시대 가운데 최신의 시대인 신생대 제4기에 활동하였고 현재에도 계속 활동하고 있다고 생각되는 반면, 다만 간헐적이며 수백년이나 수천년에 한번 찾아오는 급격한 움직임이 일어나지만 사람들의 눈으로 보면 전혀 돌연한 진동이라 느낀다. 미국 California 주 San Andreas 단층의 남쪽 150km 부근에서는 연간 4cm 정도의 비율로 그림 3에서와 같이 Slip fault를 일으킨다. Turkey anadonia에서도 같은 단층의 항상적인 creep이라고 불리는 Slip motion이 나타났다. 이와 같은 단층을 활단층(Active fault)라 한다. 그리고

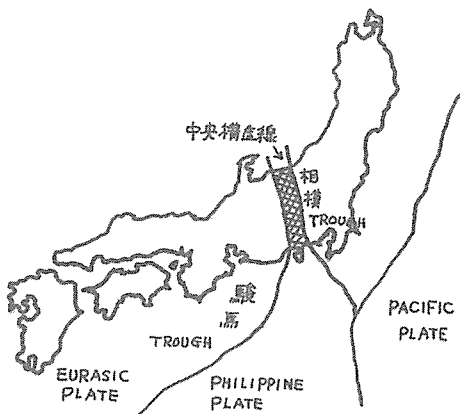


그림 2 (a)

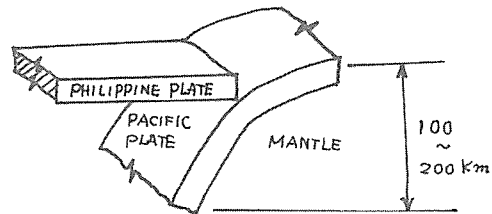


그림 2 (b)

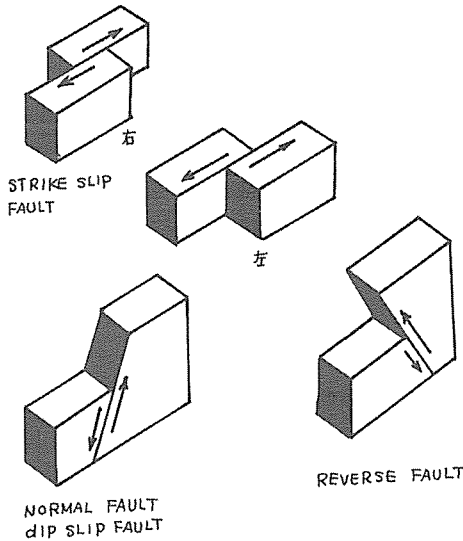


그림 3

내륙 지진은 대륙 plate내의 지진으로서 지각에 stress가 작용하면 파괴되며 지진이 발생한다. 이때 지표면에 단층이 일어난다. 단층에는 Strike slip fault(right slip과 left slip)와 dip slip fault가 있다. 후자의 경우 tension이 작용하면 낙차가 생겨서 정단층(normal fault)이라 하며 compression이 작용하면 한쪽이 솟아올라서 역단층(reverse fault)이 생긴다. 실제로는 strike와 dip slip fault가 조합된다. 단층의 길이는 100km를 넘고 slip량은 수 미터 이상이 된다. 지진 발생과 동반한 탄성 파동이 지진파가 되어 처음에는 적은 진동에서 크게 흔들리면서 멀리까지 전달된다. 그 간격이 짧을 때에는 근거리 지진이라 하며 길 때에는 원거리 지진이라 한다. 가령 진동거리 X는 다음과 같다.

$$X \approx 7.42T$$

이때 T는 상하동을 감축한 후에 수평동이 내습할 때까지의 시간이며 X는 1,000km 이내일 때만 성립한다. 표면파의 속도는 S파의 0.9배 정도이며 진원 가까이에서는 S파와 겹치지만 멀

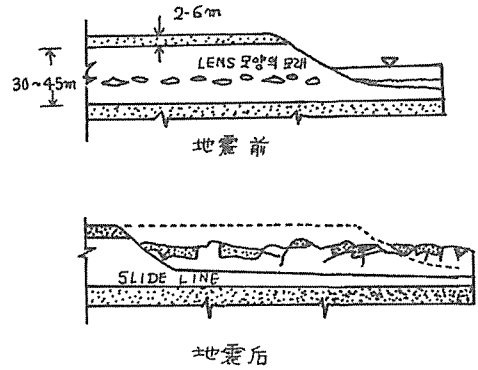


그림 4

어지면서 S파보다 늦게 도달한다. 대지진이 일어나면 지반은 진동하여 단층이나 땅이 갈라지고 언덕이 무너진다. 지반의 재해로는

- ① 지진의 용기와 침강
- ② 단층면에 따른 지반의 상대 운동
- ③ 땅의 갈라짐
- ④ Earth slip, 언덕의 무너짐

⑤ 지하수위가 높고 연약한 모래 지반으로서 모래 알맹이가 적고 입자가 고르게 되어 있을 경우 강진을 받으면 지진동으로 상승, 수압 등으로 모래나 물이 분출하여 포화에 가까운 물을 포함한 모래 알맹이가 수중에서 부유한 상태가 되는데 그림 4에서와 같으며, 이것을 지반의 액상화 현상(liquefaction)이라 한다. 그리고 그 위에 있는 건물은 침하한다. 지형 조건에 따라 지반이 수평으로 밀려 수 미터에 달할 수 있으며 측면 유동으로 pile이 부러질 수도 있다. 이와 같은 유사현상(quick sand)를 볼 수 있다.

⑥ 지하수, 온천의 변천 등이 생긴다. 1964년 Alaska 지진 때 anchorage에서 일어난 earth slip 현상으로 땅이 갈라진 모습을 볼 수 있다. 일본을 동서로 양단하는 Great fractured zone의 남쪽에 위치한 相模 trough와 같은 海溝와 丹那 地溝의 地殼 構造線이 교차하는

지점에 해당한다.

파쇄띠에 빗물이 스며들거나, Earth slip, 언덕이 무너지며 활단층 등으로 건물의 피해가 크다.

다음에 기초의 피해로는,

- ① 지반 침하에 의한 부등침하나 경사
- ② 지진력에 의한 말뚝의 파괴
- ③ 건물 기초가 직접 단층에 의하여 절단된다.

마지막으로 구조체의 피해로는,

- ① 기둥에서 휨이나 전단형 균열로서 5단계로 나누어서 나타냈다.
- ② 벽체의 경우에도 기둥과 같이 5단계로 나누었다.

여기서

L-0 : 거의 무피해의 경우로서 잘 보면 균열을 볼 수 있다.

L-1 : 작게 파손하지만 구조 내력상 지장이 없으며 육안으로 볼 수 있다.

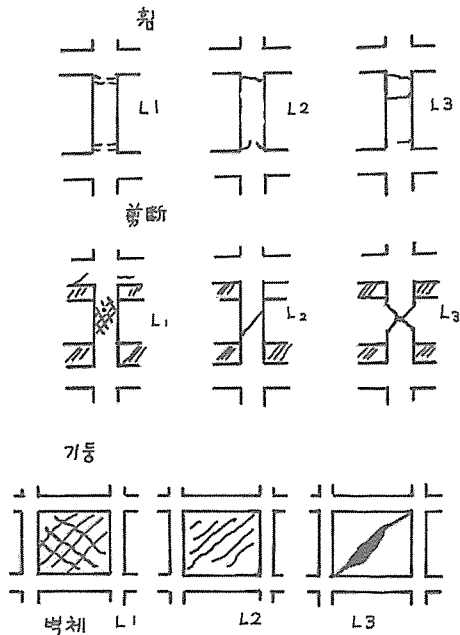


그림 5

L-2 : 중과, 내력벽에 휨 및 전단 파괴가 일어난다. 연직 및 수평내력이 떨어지지만 심하지 않다.

L-3 : 대과, 휨, 전단 파괴로 내력이 떨어지고 대규모의 보수 및 보강이 필요하다.

L-4 : 전도, 기둥이나 내력벽이 붕괴하여 수복이 불가능한 상태이다.

## (2) 지진의 조사

여기서 지진 피해를 조사하기 위하여 우선,

### ① 건물의 현황 조사

건물의 경력 조사, 건물의 외관 조사, 설계도면의 검토가 필요하다. 콘크리트 강도나 철근이 설계대로인지 check한다. 이 외에도 콘크리트의 중성화나 염분 조사, 철근이 녹이 슬었는지의 여부, 부등 침하나 균열, 누수의 유무 등이 있다.

콘크리트의 압축강도의 추정에는 일반적으로 Schmidt hammer를 사용한다. 균열에서 중요한 것은 철근이 녹 슬어서 팽창하여서인지 전단 균열인지 확인하여야 한다. 철근이 녹이 슬었을 경우에는 망치로 두들기면 콘크리트가 떠 있는 소리가 들리고 뜯어내면 된다. 한편 전단 균열은 X형으로 나타나며 끈기가 없고 느슨해진 파괴를 하므로, 특히 무거운 물건은 실은 보 단부에서 주의하여야 한다(벽량에 의한 간편법).

### ② 예비 진단

벽량에 의한 판정식에 합격하면 충분히 안전하다고 생각되므로 다음에 실행한 1차 진단을

할 필요가 없다. 벽은 검토할 방향의 벽만을 계산에 적용한다. 1층 바닥의 단위면적당의 벽량

$$a_{w0} = \frac{(1층벽의 단면적의 합계 \ 1A_w)}{(1층 바닥면적 \ 1A_f)} \text{ 는}$$

다음과 같아야 한다.

$$\text{또는 } a_{w0} = 90 \frac{n(n+1)}{2n+1} \text{ 연 바닥면적당의}$$

$$\text{벽량 } a_w = \frac{a_{w0}}{n} > 90 \frac{n(n+1)}{2n+1} \text{ (cm}^2/\text{m}^2\text{)}$$

이면 합격이다. 여기서 n는 건물의 층수이다. 다만 건물 중량은 바닥면적당 1.2t/m<sup>2</sup>, 벽의 강도를 20kg/cm<sup>2</sup>, 진동 1차 mode를 직선이라고 가정한 경우이다. 윗식을 벽 두께 t로 나누면 1층 바닥면적당의 벽의 길이를 구할 수 있다.

### ③ 1차 진단(벽과 기둥에 의한 약산법)

기둥의 clear distance를 기둥단면의 춤 D로 나눈 값이 2 이하인 굵고 짧은 기둥을 極短柱라 한다. 그리고 다음 식에 의하여 保有性 기본지수 E<sub>0</sub>를 구한다.

일반 기둥일 때

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} (C_w + \alpha_1 C_c) \times F_w \dots\dots\dots (1)$$

極短柱일 때

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} (C_{sc} + 0.7C_w + 0.5C_c) \times F_{sc} \dots\dots\dots (2)$$

벽의 내력

$$C_w = \frac{\tau_{wi}}{w} \times a_{wi} + \frac{\tau_{w2}}{w} \times a_{w2} + \frac{\tau_{w3}}{w} \times a_{w3} \dots\dots\dots (3)$$

일반기둥의 내력

$$C_c = \frac{\tau_c}{w} \times a_c \dots\dots\dots (4)$$

極短柱의 내력

$$C_{sc} = \frac{\tau_{sc}}{w} \times a_{sc} \dots\dots\dots (5)$$

다만, n : 건물층수

i : 대상으로 하는 층수

$\alpha_1$  : 0.7이라 한다. 다만 벽이 없고 기둥만일 경우 1.0이다.

$\tau_{w1}$  : 양쪽에 기둥이 붙은 벽 강도 30kg/cm<sup>2</sup>라 하여도 좋다.

$\tau_{w2}$  : 한쪽에 기둥이 붙은 벽 강도 20kg/cm<sup>2</sup>라 하여도 좋다

$\tau_{w3}$  : 기둥이 없는 벽 강도 10kg/cm<sup>2</sup>라도 좋다

$\tau_c$  : 기둥의 강도 10kg/cm<sup>2</sup>라도 좋다. 다만  $h_c/D > 6$ 일 경우에는 7kg/cm<sup>2</sup>

$\tau_{sc}$  : 極短柱의 강도 15kg/cm<sup>2</sup>라도 좋다.

$\sigma_{w1}$  : 延 바닥면적 벽울(양쪽에 기둥이 붙어 있을 경우)  $A_{w1}/\Sigma A_f$  (cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)

$\sigma_{w2}$  : 延 바닥면적 벽울(한쪽에 기둥이 붙어 있을 경우)  $A_{w2}/\Sigma A_f$  (cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)

$\sigma_{w3}$  : 延 바닥면적 벽울(기둥이 없을 경우)  $A_{w3}/\Sigma A_f$  (cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)

$a_{sc}$  : 延 바닥면적 기둥률  $A_c/\Sigma A_f$

$A_c$  : 지정된 층의 독립주의 단면적의 합

$A_{sc}$  : 지정된 층의 極短柱의 단면적의 합

$A_{wi}$  : 지정된 층의 모든 벽 단면적의 합

$\Sigma A_f$  : 지정된 층보다 윗층의 바닥 면적의 합

$F_w$  : 벽의 인성지표 1.0이라 하여도 좋다.

$F_{sc}$  : 極短柱의 인성지표 0.8이라 하여도 좋다.

w : 지정된 층보다 윗부분의 건물 전체 중량 (건물 자중 + 지진용 적재하중)/ $\Sigma A_f$  (kg/m<sup>2</sup>)

특히 계산 안 할 때는 1,200kg/m<sup>2</sup>

위 식에서 45cm 미만의 벽은 무시하여 계산한다. 1차 진단에서 지표 E<sub>0</sub>가 0.9±0.05 이상

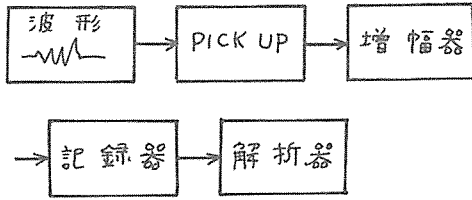


그림 6

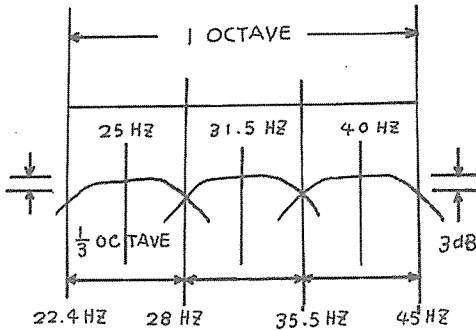


그림 7

이면 합격이다. 그러나 불합격이나 불안할 때는 제2차 및 제3차 진단을 적용하여야 하는데 전문가에게 의뢰하여야 한다.

(3) 측정과 평가

지진 진동을 그림 6에서와 같이 pick up으로 진동 파형을 감지한 물리적인 변화를 전기적 신호로 증폭기에 의하여 증폭시켜서 기록기에 기록하고 필요에 따라 해석기로 기록 파형을 처리한다. 평가는 진동 level, 발생 시간의 간극 등이 불규칙 또는 대폭적으로 변동할 때는 진동의 최대치에 착안하여

- ① 어떤 시간폭 사이에서 읽을 수 있는 최대치를 통계적으로 찾아내는 방법
- ② Random인 사상에서 어떤 시간 간격마다의 순간치를 읽고 통계적인 수치를 추출하는 방법이 있다.

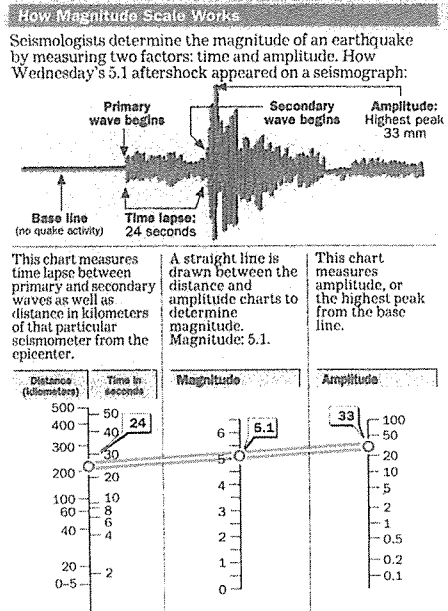


그림 8

진동규정에서는 ②의 방법을 채택하고 있으며 원칙적으로 5초 간격으로 100회의 순간치를 측정하고 그 변동폭이 80% Range의 상단의 수치를 평가치로 정한다. 실제 공해 진동은 여러가지 주파수 성분을 포함하고 있는 경우가 많다. 이와 같은 파형 주파수를 분석하면 탁월한 주파수 성분이나 구성을 알 수 있다. 횡축에 주파수를 종축에 가속도 level를 잡는데 공해 진동의 경우에는 횡축의 주파수 범위를 1 octave 또는 1/3 octave폭의 주파수 band로 나누어 각 band마다의 중심 주파수의 가속도 level을 plot 하였다. 그림 7은 지진의 경우 시간과 진폭을 측정함으로써 magnitude를 결정하고자 1/3 octave를 표시한 것이다. 한 예로서 1994년 1월 7일 오전 4시 31분 Los Angeles에서 발생한 지진으로서 Wednesday의 여진의 magnitude의 값을 구한 것이다. 그림 8에서의 좌단 chart는 진앙에서 particular seismometer까지의 거리와 P파에서 S파 발생까지의 시간에

관한 척도이며 우단 chart는 기준선에서 highest peak나 Amplitude를 측정할 chart이다. 따라서 distance와 Amplitude를 연결하면 구하고자 하는 magnitude 5.1을 얻을 수 있다.

#### (4) 보강 및 개선

기존 건물을 내진 진단 결과 내력, 인성이 부족할 때 개선하여 재사용하는 방법이 있다. 가령 벽체가 있는 건물은 벽체를 증설하여 강도를 증대시키거나 기둥을 보강하여 강도, 강성 및 인성을 늘려서 내진 성능으로서 정적 진도를 0.6으로 할 것인지 0.9로 하는지의 목표를 정하여야 한다. 우선

- ① 내력을 증대시키는 법
- ② 인성을 개선시키는 법
- ③ 강성, 강도의 Balance를 도모하는 법

등 개선책이 있다. 그리고 지반의 지진동을 직접 건물에 전달시키지 않고 중간에서 방진이나 면진 등의 기능을 설치하여 건물이 받은 지진력을 감쇄시켜 내진성을 개선시키는 생각이 있다. 건물이 받은 지진력은

- ① 고유 주기를 길게 하면 적어진다.
- ② 감쇄정수를 크게 하여 적게 한다.
- ③ 주기가 1초 이하(1~10 Hz)일 때 감쇄가 커진다.

여기서 ①의 경우를 생각하면 초고층건물의 경우로서 이와 같은 방법을 더욱 발전시키면 면진 설계법이 된다. ②, ③의 생각은 방진 설계 방법으로서 내부 감쇄의 증대로서 감쇄재, 복합재를 구조 부재에 병용하거나 치환하는 방법이다. 면진 설계법은 구조물의 고유주기를 길게 하여 지진의 진동주기에서 벗어나게 함으로써 지진 입력을 저감시킨다.

#### (5) 내진 설계법

지진이 지반을 통하여 기반까지 도달될 때 진동은 배가 되어 증폭되고 건물의 기초 저면까지 전달된다. 이때 증폭배율  $\alpha$ 는

沖積層이며 두꺼운 낮은 지대  $\alpha = 1 \sim 1.5$

일반적인 경우  $\alpha \approx 3.1$

洪積層(산등성이)의 평균  $\alpha \approx 4.3$ 이다.

건물에 작용하는 수평력  $Q$ 는

$$Q = ma \left( \frac{W}{g} \right) a = \left( \frac{a}{g} \right) w = Kw$$

수평 가속도  $a = 200 \text{ cm/sec}^2$  라면

중력 가속도  $g = 980 \text{ cm/sec}^2$

건물의 중량  $w$

진도  $K = a/g = 200/980 \approx 0.2$

건물의 높이가 16m 넘을 때 4m 증가할 때마다 진도를 0.01씩 증가시키면 높이 24m일 때는

$$0.2 + \frac{24-16}{4} \times 0.01 = 0.22 \quad \text{이다.}$$

최근 실행하고 있는 수정 진동법을 적용한다면 지진 때의 수평 지진력  $Q$ 는

$$Q = K \cdot G \cdot Z \cdot I \cdot W$$

다만  $Q$  : 설계용 정적 지진력

$G$  : 지반 중별과 건물 구조별로 조합하여 변화시킨 계수

$K$  : 표준 설계진도로서 일반적으로는 0.2 이상

$Z$  : 지역계수

$I$  : 용도별 중요도 계수

$W$  : 건물의 중량이다.

과거의 지진피해를 교훈삼아 신내진 설계법으로는 16m 이하일 때는 신뢰성이 높은 허용 응력도 설계법을 적용하고 더 높은 건물일 때는 콘크리트를 구속시켜서 건물이 보유하고 있는



중극내력을 1.5~3배 증대시키는 동시에 콘크리트의 구속 정도에 따라 인성이 생기게 되며 지진력을 흡수하는 능력을 가지게 된다. 그리고 건물의 형태에 따라 높은 설계 응력도를 적용할 수 있다. 가령 강구조물일 때 철의 항복점은 일반적인 것은  $\sigma_y = 2,400\text{kg/cm}^2$  일 때 구조물 평면이 I형일 때 그 건물의 중극강도  $\delta_u$ 는  $2,640\text{kg/cm}^2$ 이며 장방형 평면일 때는  $\delta_u = 3,600\text{kg/cm}^2$  이고 원형 평면일 때는  $\delta_u = 4,080\text{kg/cm}^2$ 이다. 그리고 원형 평면은  $\delta_u = 4,800\text{kg/cm}^2$ 이다. 건물은 철근 콘크리트 구조물, 강 구조물, 그리고 높이에 따라 고유 주기가 다르다. 또한 건물과 지반의 주기가 일치될 때 공진하므로 건물의 주기에 따라 K의 값을 증감하는 설계법을 채택하여야 한다. 이와 같은 방법을 응답 변위법이라 한다. 지반의 탁월 주기와 건물의 고유 주기에서 硬 지반에 주기가 짧은 剛한 건물을 세울 때 그림 9의 A의 경우이다. 그리고 큰 설계진도를 사용하여 硬 지반에 주기가 긴 건물을 세울 때 B로서 적은 설계진도를 사용한다. 한편 軟지반에 剛한 무거운 구조물을 세우는 A의 경우는 기초 공사가 대단히 커진다. 지하 구조물에서는 그림 10에서와 같으며 진도 K는

$$K = 0.1 \left( 1 - \frac{H}{40} \right) Z \quad \text{이다}$$

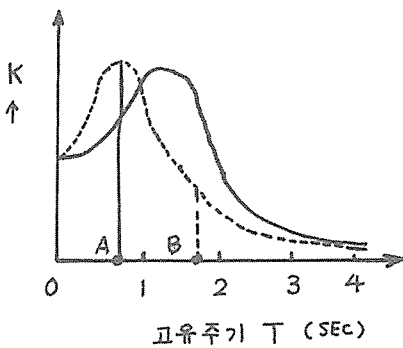


그림 9

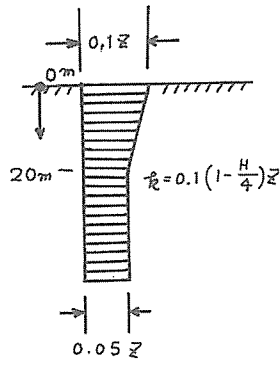


그림 10

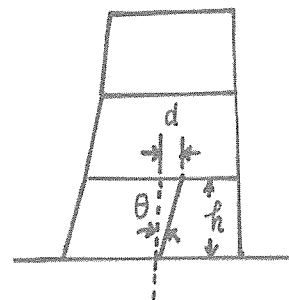


그림 11

다만 Z : 지역 계수

새로운 설계법으로서 층 전단력 계수  $C_i$ 는

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_0$$

다만 Z : 지진의 지역 계수

$R_t$  : 최대 1.0, 최소 0.25, 지반이 경고할수록, 고유 주기가 길수록 그 값이 감소하며 진동 특성 계수라 함

$A_i$  : 층 전단력의 높이 방향의 분포를 나타내는 계수, 1층에서 1이며 층수가 높아질수록 커진다.

$C_0$  : 표준 전단력 계수이며 중 지진동일 때 0.2이다.

### ① 間 變位角

허용범위 1/200 이하(Radian)

그림 11에서  $\theta = d/h < 1/200$

### ② 剛性率(입면적 Balance 확보)

그림 12에서 지진 때 가장 피해가 많은 것은 1층에 집중된다. 강성율은  $(1/\theta)/(500)$

합계 1500이므로 평균치는 500

따라서  $(1/\theta)/(500)$

만일  $\theta$ 의 값이 같을 때  $\theta = \theta_1 = \theta_2 = \theta_3$ 이며

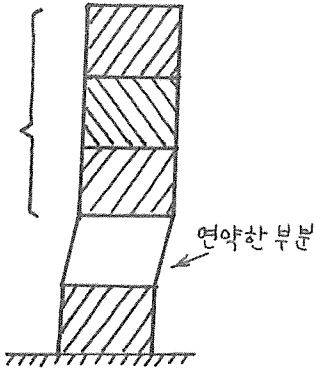


그림 12(a)

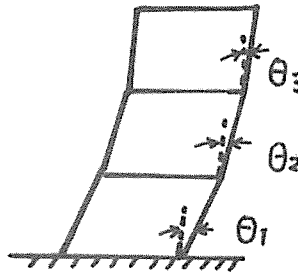


그림 12(b)

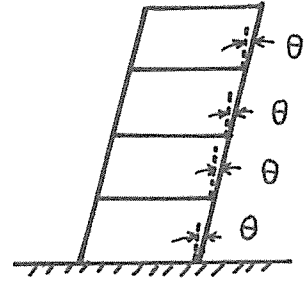


그림 12(c)

층수	$\theta$	$1/\theta$	강성율 $R_s$
3층	1/900	900	1.8
2층	1/400	400	0.8
1층	1/200	200	0.4

$R_s=1.0$ 이다.  $R_s$ 의 값이 1.0보다 클 때 강하다.

지진에 의하여 각층의 수평변위와 층고의 비로서 층간 변위는 어느 정도 수평 방향으로 미끄러지기 쉬운지를 알 수 있다. 강성율이 1.0보

다 클 때에는 견고한 층이며 1.0보다 적을 때에는 약한 층이다. 강성율이 1.0에 가까울수록 지진에 관하여 균일하게 흔들린다.

### ③ 偏心率(평면적 Balance 확보)

기둥이나 내진벽, 가새 등 내진 요소들이 한쪽에 치우쳐 있을 때 지진으로 인한 피해가 크다.

偏心率  $R_e$ 는  $R_e = e/r_e$

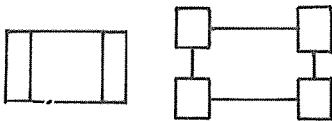
다만  $e$  : 각층에 있어서 2층의 질량 중심인  
重心과 剛性的의 중심인 剛心과의 편심

$r_e$  : 剛心 둘레의 비틀剛性を 수평 강성으로 나눈 값의 평방근

편심율은 0.15 이하이어야 한다. 평면적인 Balance는 core에 의하여 잡을 수 있으며 방법으로는 칸막이로 조절하는 Soft core와 폐쇄형인 경우로서 Hard core가 있는데 그림 13에서와 같이 중앙형, 편심형 그리고 분산형이 있다.



(a) 편심형



(b) 분산형

그림 13