

# 54층건물 구조계산을 하면서 4

## Structural System of the 54 Storey Building

이 창 남

건축사사무소 센구조

### 머릿말

건설부에서는 금년중 건물 설계에 적용 할 내진설계 기준을 제정할 계획이고 이미 고층건축물의 내진설계 지침이 시달되었다. (건축사 '86. 1월호 P42참조)

그러나 업무에 바쁜 일부 실무자들은 그동안 내진 기준이 없다는 이유로 지진에 관하여 너무나 무관심 했었다.

지진은 오늘밤 내집을 방문 할 지도 모른다. 또한 우리는 당장 내진설계지침을 적용 설계하여야 건축허가를 받을 수 있게 되었다.

이에 대비하여 본 협회에서 3월 26일 고층건축물에 대한 지진의 영향 및 방재에 관한 심포지움을 개최할 계획이라는 반가운 소식이고 지진을 전문으로 연구하신 권위자들의 주제발표가 있을 예정이다.

필자는 지진에 관하여 무식한 연고로 54층건물 구조계산에서 많은 고초를 겪었다.

앞으로 그런 아픔을 당할 가능성이 있는 실무자들을 위하여 수박 겉핥기식이나 지진과 내진설계에 관한 상식적인 이야기를 해 보기로 한다.

자막 없는 미국 영화는 재미가 없다. 영화가 나빠서가 아니라 영어가 짧아서이다. 어렵게 마련된 심포지움에서 발표될 귀한 내용을 충분히 알아 듣기 위하여는 최소한의 예비지식이 필요한데 이 글이 그 역할의 일부나마 되어 주었으면 하는것이 필자의 바람이다.

### 지진 노이로제

창 밖에 하얀 구름이 스치는가 했더니 안전벨트를 풀어도 된단다. 날씬한 처녀들이 분주히 먹을것, 마실것을 공짜로 갖다 준다. 비행기는 분명히 지구 주위를 돌고 있는데 오렌지쥬스가 잔잔하다.

불과 443년전인 1543년에야 코페르니쿠스가 지동설(地動說)을 발표한 것을 이상히 여기면서 지구의(地球儀)를 돌려 보았다. 성냥개피 하나를 서울에다 세워 붙이고 또 하나를 멕시코에다 붙여 보았다. 내가 서울의 성냥개피 속(우리집 아파트)에 앉아 있고 지구는 태양 주위를 공전, 자전한다고 생각하니 멀미가 난다. 손가락으로 지구의를 두드려 보았다. 서울의 성냥개피도, 멕시코의 성냥개피도 같이 흔들린다.

지구의는 둥글고 인공위성에서 전송해 왔다는 사진을 보아도 지구는 분명히 둥글다. 그런데도 산(山) 사람들은 히말라야 등반길에 죽어가며 태평양 밑에 가라앉은 보물선은 아직도 입자가 따로 없다.

레이전 대통령은 연두교사에서 초고속 비행기를 만들어 미국, 일본을 2시간에 날으게 한단데 홍성지진의 난리를 나는 신문에서야 읽었다.

건축사들 사이에는 Scale 감각이 예민하다 어떻다는 말들을 하지만 지금은 사무실에서 일하는 친구를 포항공장 친구보다 더 자주 만난다. 그러니 멕시코 지진을 옆집 불로 착각하여 뛰는 가슴 억제하지 못하는것이 일시적인 지진노이로제에 불과하다는 판정이 내려지기를 바랄 뿐이다.

코페르니쿠스가 세상에 태어나기 1500여년전, 다시 말하면 예수님 당시에서부터의 한반도 지진기록을 쫓아 모은 학자들의 기록에 의하면 그동안 약1800회의 유감(有感) 지진이 있었다고 한다. 그들은 수고스럽게도 삼국사기, 고려사, 이조실록등을 한학자들의 힘을 빌어 뒤졌으며 각기 다른 시대에 다른 표현으로 적어 놓은 기록들을 연구 분석하여 MM 진도 Ⅷ이니 V니 하고 신식 계급장을 부여하였다. (지진진도 계급에 관해서는 뒤

에 설명)

1906년 샌프란시스코의 지진발생 이후 H 레이드는 탄성반발설을 발표했는데 그것은 땅 속 어느 약한 부분이 가라앉으면 그 주위 단단한 층과 어긋나게 되는데 이 지층간의 상대변위로 인하여 주위에 축적된 탄성에너지가 파동에너지로 변하여 사방으로 전파되다가 거리가 멀면 소멸된다는 것이다. 이 지진의 발상지 바로 그점을 진원(震源)이라 하며 그 바로 위 지표면을 진앙(震央)이라 부른다.

전 세계에서는 하루에도 수천번의 지진이 발생하며 지구 표면 어디를 막론하고 지진이 없는곳은 없다고 한다. 그러나 특별히 지진이 많은곳은 환태평양지진대로서 1961년에서 7년간 발생한 2,900여회의 지진 진앙을 표시한 그림을 표절하면 그림 1과 같다.

지금부터 불과 25년 전에야 비교적 정설이라고 알려진 판구조론(Plate tectonics)이라는 지진학설이 정립되었는데 지구 껍질은 평균 두께 약 100Km(고속도로 1시간 거리)의 암석판이며 지구 내부 물렁물렁한 물질에 떠 있는 현상이라는 것이다. (지구의 직경이 약 12,700Km 라니 단단한 껍질의 두께는 직경의 1/127에 불과한 셈이다.

태양은 지금도 이글거리며 불타고 있으며 만년설이 뒤덮인 북극의 눈 속에도 아직은 뜨거운 불덩어리인 것이다.

불덩이가 조금 식어 겉이 단단해진 표피 위에 호화주택이나 초고층건물이라면 지어 놓고는 건축문화, 건축기술을 자랑하고 있다.

온천에 가면 바로 밑에까지 불덩이가 올라와 있음직하고 북해 바다 밑에 구멍을 뚫어 석유를 뽑아 내도 뜨거운 석유라는 말이 없는데 작년에도 콜럼비아에서는 화산이 터져 수많은 사람과 재산이

## 지진진도 계급

훈련을 마치고 진짜 군인이 되면 작대기 하나를 달아 준다. 6개월간 군대밥 먹으면 하나 더, 거기서 탈 없이 8개월 지나면 세계짜리 상등병이 된다. 진급한 날과 그 바로 전날과의 실력 차이는 글썽 두배가 될수 있을까? 그러나 우리는 군대를 계급사회라고도 부른다.

미군 계급장과 중공군 계급장이 다르듯이 지진에 관심있는 학자들이 정해 놓은 지진계급장은 서로 같지 않다.

아래 계급장들은 요즈음 신문이나 건설부에서 시달한 내진설계지침에 거론된 것들이다.

신문 방송에서는 JMA 진도계급으로 표현하는 경우가 많고 건설부의 내진설계지침에 지적된 것은 MM진도계급 VII (표 1참조)인데 각 나라마다에서는 그들 편한대로의 진도계급이 있어서 통일성이 없다. 그래서 이들 진도계급의 국제적 통일성을 위하여 제정한 것이 MSK 진도계급(Medvedev Sponheuer Karhik - 1964)라고 한다.

표 3은 이들의 상관관계를 비교한 것이다.

## 지진진도계급과 지진가속도

태풍에는 여자의 이름을 붙인다. 여자는 어지간히 무서운 존재인가보다. girl은 소녀인데 속어로 gal(걸)이라고도 한다. 그런데 우연히도 지진가속도의 크기도 gal로 표시한다. 1gal = 1cm/sec<sup>2</sup>이다. 한편 지진의 크기를 표시하는 단위

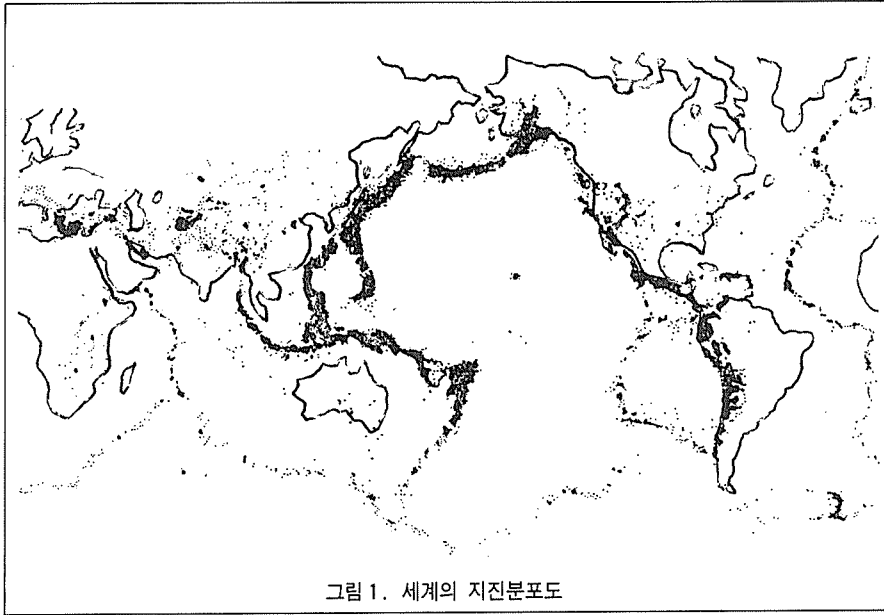


그림 1. 세계의 지진분포도

그것도 불에 탄것이 아니라 눈이 녹아 홍수를 이루어 흘러 내린 진흙더미에 묻혀 버린 것이다.

어느 누가 이 터지는 화산 구멍을 틀어 막을수 있을 것인가?

지진이 상습적으로 일어나는 곳이 따로 있다. 판구조론의 주요 골자는 그 이유를 말해준다.

지구 껍데기는 달걀껍질처럼 균질하지도 않을뿐더러 사람의 해골처럼 몇개의 판으로 금이 가 있어서 이 분리된 판들은 지구 내부의 약한 물질 위에 떠있기 때문에 서로간에 조금씩 상대이동이 불가피하며 이리저리 서로 부딪치게 된다는 것이다.

거대한 땅 덩어리 끼리의 부딪침이니 그 경계 부위가 온전할리 없는 것은 당연한 일이다. 땅이 솟아오르기도 하고 내려앉기도 하며 약해진 껍질을 뚫고 용암이 흘러 나오면 화산이 된다는 설명이다. 그러한 과정을 통하여 땅이 흔들리면 지진이구나!! 하고 우리는 알게 된다. 이와 같은 이유로 해서 발생하는 큰지진 발생지역을 선으로 그어 놓고 판마다 이름 붙인것이 그림 2이다.

판구조론을 주장하는 학자들중에는 판 내부에서 발생하는 지진도 판의 운동과 연관이 있을것이라는 견해를 피력한다고 한다.

그러나 천만 다행히도 우리나라는 그림 2의 유라시아판 경계를 벗어나 내부에 위치하므로 지진에 의하여 방출되는 에너지가 일본의 수만분의 1 정도 라는

설명이다. 그래서 지금까지 지진을 무서워하지 않으면서 벽돌집에 잠자고 있는가 보다.

그럼에도 불구하고 홍성지진은 아직도 기억에 생생하고 앞에 언급한 역사지진자료중 큰것만 추려도 MM진도 VIII이 17회나 되고 1905년 인천에 처음으로 지진계가 설치된 후(지금 어디에 몇개의 지진계가 작동중인지는 모르지만) 계기지진자료로는 1936년 7월 4일 쌍계사 지진이 MM VII, 1978년 10월 7일 홍성지진도 MM VII, 기타는 MM VI이 20회등 적은 규모의 지진이 다수 발생했다는 주장이 있다.

어쨌든 큰 지진이 일어나면 지구 자체가 흔들리는 이른바 자유진동까지 유발한다는데 아!! 모르는게 약 이었다.

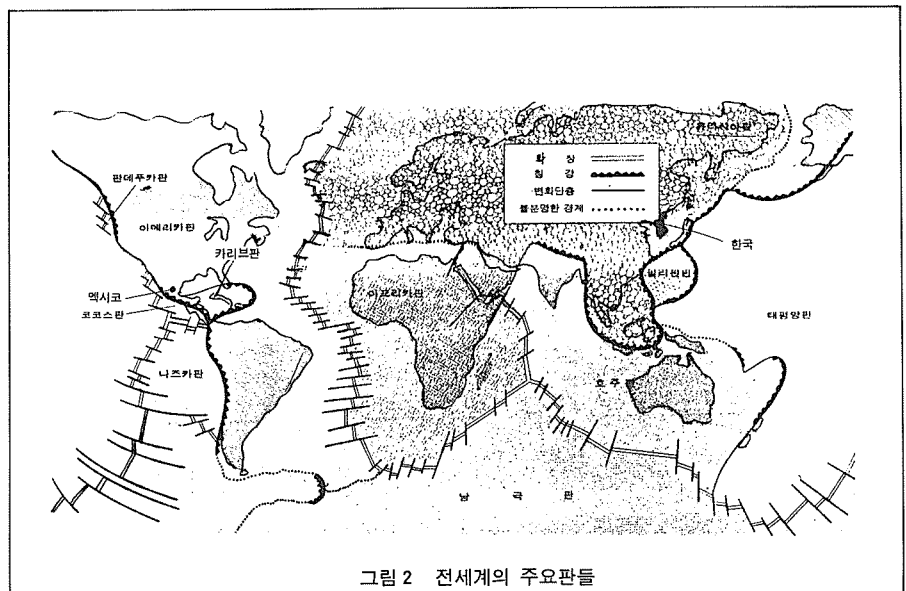


그림 2 전세계의 주요판들

로 0.1g라든가 하는 기록들도 보게 되는데 우선 이들의 상관 관계부터 알아 두어야 지진 이야기를 듣는데 도움이 된다.

국민학교에서 뉴우톤의 사과 얘기는 다 배워서 알고 있다. 모든 물체는 지구 중심 방향으로 약  $980\text{cm/sec}^2$ 의 가속도로 끌어 잡아당긴다. 이것을 한마디로 “중력가속도”라 부르며 더 간략화하면 약  $100\text{cm/sec}^2$ 이 된다. 중력가속도를 한 글자로  $g$ 라고도 하는데 예를들면 앞의 0.1g면 약  $100\text{cm/sec}^2$ 이니까 100gal에 해당된다.

더 무식하게 설명하면 100gal 또는 0.1g는 물건 무게의 1/10에 해당된다고 알아두자. 표 1, 2, 3에 보면 지진진도 계급과 지진가속도간에 적지 않은 혼선이 있다. 필자의 무식의 소치인지는 몰라도 이들간의 정확한 상호 연관성은 없으며 흔히 말하는 리히터(Richter) 지진계의 값과도 정확히 맞출수는 없다.

지난번 멕시코지진도 리히터지진계로 8.1이었는데 약 0.2g(200gal정도)로 치환 설명되었다.

그림 3은 모처에서 애써 제작한 한반도의 지진가속도의 한 예를 발췌한 것이다.

필자는 그림 3과 그림 4를 지진을 설명하는 하나의 도구로만 사용하는 것임을 분명히 밝혀두며 이들의 정확성이나 중요성에 관해서는 아는바가 없다.

다만 자신있게 말할 수 있는것은 아무도 당분간은 한반도의 정확한 지진 등고선을 그릴수는 없다는것을 염두에 두기를 바란다.

역사지진자료와 계기지진자료들을 분석해서 지진가속도 등고선을 만드는것이 얼마나 어려운가 하는것을 설명하기 위한 잡소리이다. 삼국사기등 역사자료에 적혀 있는 내용을 분석해서 진도계급을 부여하는 과정을 상상해 보자. 필자 자신도 여러차례 지진의 경험을 했지만 그때마다 그 크기의 표현방식은 그야말로 천차만별이었다. 같이 앉아있던 사람들간에도 의견 차이가 있었음은 물론 위치가 다른곳에서 감지되는 지진의 크기는 실제로 다를뿐만 아니라 그 판단기준의 변수가 너무나 다양하다. 대부분의 지진은 불과 몇초간에 끝나므로 그 관측이 더구나 어렵다. 창문의 흔들림도 목수의 손재주에 따라 다르고 넘어진 꽃병도 꽃병

표 1 MM진도계급 (Modief Mercalli Intensity scale)

U. B. C. ZONE별	진도계급	해설	지진가속도 gal (cm/sec <sup>2</sup> )
0	I	특히 조용한 환경의 일부 사람들만 느낀다.	15~20
	II	건물 상층에 조용히 있는 사람만 느낀다.	
	III	집 안에서 느낀다; 매달린 물건이 흔들리고 경량급 트럭이 지나가는듯한 느낌이 든다; 진동 지속시간이 감지되기도 하나 지진이 아닌 것으로 여겨지기도 한다.	
	IV	매달린 물건이 흔들린다; 중량급 트럭이 지나가는 것 같은, 또는 무거운 공이 벽에 부딪치는듯한 진동을 일으킨다; 주차중인 자동차가 흔들린다; 창문, 접시, 문짝이 덜컹거린다; 유리컵들이 달그락거리고 질그릇이 깨진다; 심하면 목조벽과 뼈대가 삐걱거린다.	
1	V	옥외에서도 느낀다; 지진 방향이 감지된다; 잠자던 사람이 깨어나고 물이 흔들리고 옆질러지기도 한다; 불안정하게 놓인 작은 물건들이 위치를 옮기거나 떨어진다; 여단이문이 흔들려 닫기거나 열린다. 덜문과 사진틀이 움직인다; 시계추가 멎거나 멎었던 시계추가 흔들리기도 한다.	30~40
	VI	누구나 느낀다; 많은 사람이 놀라서 밖으로 뛰어나간다; 똑바로 걸을수가 없다; 창문, 접시, 유리그릇이 깨진다; 조그만 장식품, 책이 선반에서 쏟아지고 벽에 건 사진틀이 떨어진다; 가구가 움직이거나 넘어진다; 약한 회벽이나 “D급” 조적벽에 금이 간다. 교회의 작은 종이 흔들려 울리고 나무가 흔들리는것이 보이고 우수수 소리가 들린다.	60~70
2	VII	서 있기가 어렵다; 자동차 운전자도 느낀다; 매달린 물건이 떨린다; 가구가 부서진다; “D급” 조적조가 파손된다; 약한 굴뚝은 지붕면에서 깨진다; 회벽이 떨어지고 약한 벽돌, 돌, 타일, 천장돌림 (Moulding) 및 파라페트나 건축 장식물이 떨어져 내린다; “C” 급조적조에 금이 가고 연못에 파도가 생기고 흙탕물로 변한다; 모래나 자갈뚝이 약간 미끄러지거나 구멍이 생긴다; 큰 중도 흔들려 울리고 콘크리트 관개수로가 못쓰게 된다.	100~150
3	VIII	자동차 운전이 마음대로 안된다; “C” 급조적조 일부 피해를 입는다; “B급” 조적조도 일부 피해를 받는다; “A급” 조적조에는 피해가 없다; 조적조가 넘어지고 굴뚝이 뒤틀리거나 쓰러진다; 공장굴뚝, 기념물, 탑, 고기수조, 기초와 보울트로 긴결하지 않은 집은 옆으로 밀려난다; 오래된 말뚝은 부러지고 나뭇가지가 부러진다; 우물이나 샘물의 온도나 수맥이 달라진다.	250~300
	IX	심한 공포감을 느낀다; “D급” 조적조는 무너지고 “C급” 조적조도 못쓰게 되거나 무너진다; “B급” 조적조도 심한 피해를 입으며 기초에 피해를 준다; 건물 구조체가 보울트로 기초에 고정되지 않았으면 튕겨나고 건물 골조가 못쓰게 된다; 탱크류의 저장조에 심한 피해를 입히고 지하 매설물이 터진다; 지면에 분명한 틈이 벌어지고 흙이 튀어오른다; 지진샘물이 솟아나고 모래 웅덩이가 생긴다.	500~550
	X	대부분의 조적조나 골조건물이 기초와 더불어 파괴된다; 잘 지은 목조건물과 교량도 파괴된다; 땀, 개천, 제방에 큰 피해를 주고 큰 산사태가 난다; 강과 호수의 물이 솟구친다; 모래와 흙먼지가 평지에서 훑날리고 기차 레일이 약간 굽는다.	600

U.B.C ZONE별	진도계급	해설	지진가속도 gal (cm/sec <sup>2</sup> )
	XI	기차 레일이 크게 구부러지고 지하파이프도 전혀 쓸모 없게 된다.	
	XII	모든것이 끝장난다; 큰 바위가 옮겨지고 경치는 판세상이 되고 만다. 파편들이 공중으로 뛰어 오른다.	

※ 필자주: 읽기 쉽게 번역한 것이므로 원문과 차이가 있어도 양해를 구하며 좌우측의 ZONE NO, 와 가속도 수치는 참고용임.

“A” 급 조적조: 특수설계, 양질의 모르터 및 정성들여 쌓되 횡하중에 대한 보강이 되어 있고 철골이나 콘크리트로 묶어 놓아 내진시공된 것.

“B” 급 조적조: 양질의 모르터로 정성들여 쌓되 보강은 하나 횡하중은 고려하지 않은것.

“C” 급 조적조: 보통 쌓기의 모르터(특별한 감독하에 쌓은것: 필자주)

“D” 급 조적조: 재료도 약하고 모르터도 적당히 사용한것 (우리나라 일반 조적조에 해당: 필자주)

표 2 일본기상청진도계급; (JMA=Japanese Meteorological Agency)

진도계급	해설	지진가속도 gal (cm/sec <sup>2</sup> )
0 (무감지진)	인체에는 느껴지지 않고 지진계에 기록된다.	0.8이하
I (미진)	정지하고 있는 사람이나 지진에 민감한 사람만 느낄수 있다.	0.8-2.5
III (경진)	대부분이 느끼는 정도이며, 창문이 약간 흔들리는 것을 알 수 있다.	2.5-8
III (약진)	집이 흔들리고 창문이 덜그럭거리며, 전등과 같이 매달린것이 눈에 떨 정도로 흔들리며, 물그릇의 수면이 움직임을 알 수 있다.	8-25
IV (중진)	집이 심하게 흔들리고, 불균형한 꽃병이 넘어지며, 그릇의 물이 넘친다. 걸던 사람도 느끼며 많은 사람이 집 밖으로 도망 나온다.	25-80
V (강진)	벽이 갈라지고 비석이나 석등(石燈)이 쓰러지고 굴뚝, 돌담 등이 파손된다.	80-250
VI (열진)	산사태가 일어나고 땅이 갈라지며 대개의 사람이 서 있을수 없다.	250-400
VII (격진)	집이 무너지는것이 30% 이상이며, 산이 무너지고 땅이 갈라지며 단층이 생긴다.	400이상

나름이다. 조선왕조실록의 기록의 표현 기법은 현대감각에 맞을 리 없다. 일반적으로 천재지변의 크기와 범위는 말을 옮기고 글로 표현하는 과정에서 정도의 차이는 있겠지만 얼마간이라도 과장되는것이 상식일것이다.

지금처럼 매스컴이 발달한 시대에도 20cm 짜리 붓어가 월척으로 둔갑하는 이야기는 들어서도 5중충돌한 자동차 사고현장을 목격한 사람이 3중충돌 했다고 설명하는것을 본적이 없는것은 필자의 안경 때문만은 아닐것이다.

특정지역에 몇개 설치된 지진계의 기록으로 정확한 지진가속도 등고선을 그려내는것 또한 거의 불가능하다. 몇평 안되는 건축대지에 Boring 해서 그려놓은 지층단면도도 실제 땅을 파 놓고 눈으로 확인한 것과 일치하지 않는데 그누가 한반도의 지진진도 등고선을 정확히 그려낼 수 있겠으며 더구나 앞으로 있을 가능성을 정확히 점치겠다고 나서겠는가?

AFKN 미군방송을 들어보면 재빠른 소리로 기상예보를 한다. 그것이 국립중앙기상대 통보관의 말과 맞는지 또한 다르면 어느쪽이 더 신빙성이 있는 지는 몰라도 그것이 참고자료로는 쓸모가 있을 것이다.

미군 자료에 의하면 그전까지는 한반도의 군사 시설물 설계에 지진을 무시해도 좋다는 전 세계적인 지진지역표에 기록되어 있었는데 재작년달 부터는 상부 명령에 의하여 그림 4 와 같은 지진지역도가 내려왔다.

필자가 미군 자료에 특별한 관심을 갖게된 것은 지난번 멕시코 지진 이후인데 앞에 말한 전 세계적인 지진지역표(미군 사용)에는 멕시코시가 ZONE 3인 MM 진도계급 VIII 이상 즉 250gal 이상의 위험한 지진지역으로 표시되어 있고 물론 그 지역의 미군 군사시설에는 그 기준에 의하여 설계할것이 분명한데도 본바닥 멕시코시의 건축법규에는 1957년까지는 지

진하중을 25gal에 해당하는 0.025g로 적용했다가 계속 개정하여 1977년에야 0.14g 즉 140gal 정도로 증가시켰다는 것이다. (ZONE No.2에 해당)

그리고 또한 재미있는 사실은 이번 큰 피해를 입은 지역의 지진가속도는 약 0.2g 여서 멕시코시의 법규값의 약 1.5배이며 미군적용치 ZONE 3에 해당된다는 사실이다.

## U. B. C. 지진지역번호

U. B. C. 는 Uniform Building Code 의 약자로 1927년 10월 미국 아리조나에서 개최된 건축관계 공직자들의 국제회의에서 최초로 제정한 법규로 거의 매 3년마다 개정하여 최근판이 1985년 것이다. 이 U. B. C. 의 내용중 내진설계에 관한 일부 주요 골자를 발췌한 것이 건설부장관의 지시사항이고 미국지도에다 지진지역 등고선을 그려 지역번호를 매겨 놓은 것이 그림 5 이다. 또한 그들의 솜씨로 우리나라 지도에다 지진지역을 구분한것이 그림 4 이다.

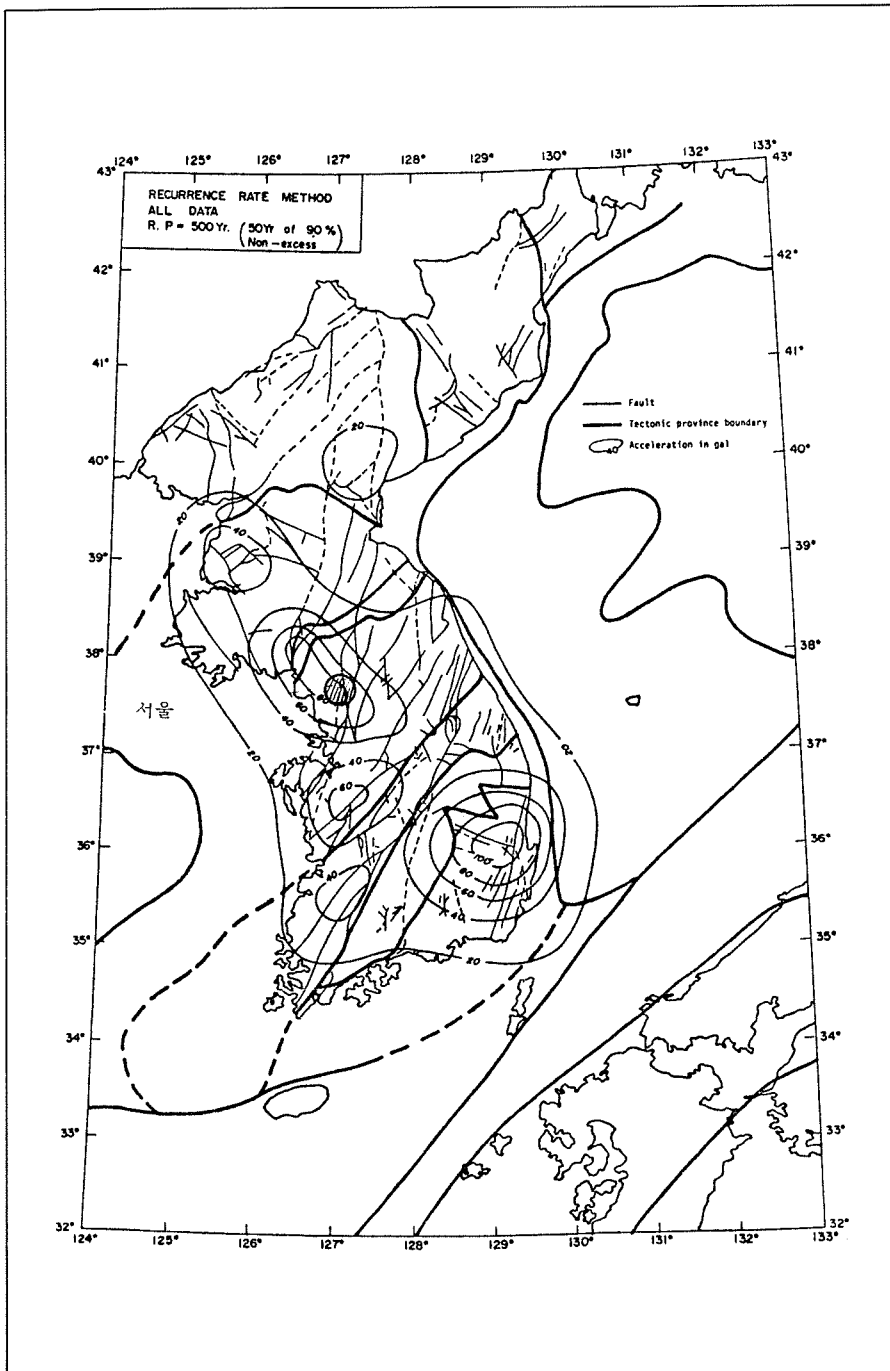
건설부에서 지시한 설계용 전 지진력  $V = Z \cdot I \cdot K \cdot C \cdot S \cdot W \dots \dots$  식(1)에서 V값은 지역계수 Z에 비례하는데 이를 ZONE 2에 해당하는 0.375로 하라는 것이다.

그림 5 에는 ZONE NO. 가 1, 2, 3, 4 로 구분되어 있으며 ZONE 1 의 Z 값은 ZONE 2 의 1/2 즉 0.1875이고 ZONE 3 의 Z 값은 ZONE 2 의 2배인 0.75이다. 즉 ZONE 1 의 4배가 된다.

12단계로 나누어진 MM 진도 계급을 ZONE 1 (사병), ZONE 2 (하사관), ZONE 3 (위관급), ZONE 4 (영관급)로 간략화한 것이다.

우리나라를 ZONE 2 (하사관) 로 인정하라는 것이니 표 1 에 표시된 MM 진도 VIII이고 지진가속도는 100~150gal(표 3 에서는 대략 70-150gal) 이다. 그림 3 이 맞는다면 서울지방이 60~80gal, 그림 4 는 서울이 ZONE O(설계상 고려 안해도 되는 지역)이다.

만약 서울지방의 지진가속도가 60~80gal이라고 해도 필자는 ZONE NO. 얼마인지 찾을 길이 없다. 표1 우측에서 70-100gal까지의 표시가 없고 표3이 맞는 다 해도 약 70~150gal 이어서 ZONE NO. 의 부여가 어렵겠다.



앞으로 있게될 심포지움에서 우리가 관심있게 들어야할 핵심이 이 부분이 될것이다.

## 법과 행정명령

역사 이래 수많은 법이 제정, 시행되었지만 그 어느 하나도 완벽한것은 없었다. 법이 복잡해질수록 변호사만 배불리고 보험료는 올라간다.

그런 면에서는 법이 영성한 우리나라가 살기 좋은 것을 인정한다.

법은 그 시대의 거울이기도 하다. 법은 계속 제정, 개정되고 개정될 시간조차 없으면 행정명령으로 급한 구멍을 메운다.

포니는 Volvo보다 약한 자동차로 알려져 있다. 그래도 고속도로에는 목숨 걸고 100Km/h로 달리는 포니가 Volvo 보다는 많고 이제는 자동차의 나라 미국에 까지 수출한다. 아주 작은 구멍만 뚫려도 죽음을 면치 못하는 연탄 온돌방에는 수많은 백성이 칠성판 삼아 잠자리를 깬다. 끔찍한 꼴을 본 멕시코시 시민들은 다시 시체를 옮기고 그 자리에 집을 짓고 있다. (물론 긴급규준을 작성 적용중임)

북괴가 쳐들어올까봐 이민간 친구는 교통사고로 먼저 죽었다. 전 세계를 대상으로한 통계상으로 보아도 바람과 홍수

의 피해는 지진의 피해 보다 훨씬 크다. 거의 해마다 찾아오는 태풍과 홍수의 수방대책은 완벽한가?

시내버스 뒤에 바짝 붙어 따라가면 디젤 배기가스에 숨이 막힌다. 생명이 단축되는 것을 피부로 느낀다. 버스 배기관을 지붕 위로 구부려 올리는 간단한 조치만으로도 호흡기질환 환자가 줄어들것 같다.

보기도 애슬애슬한 축대 위에 집짓고 사는 사람들, 눈뜨고는 보지 못할 건축사현장의 조잡한 시공, 때마다 불러대는 건축사협회의 설계도서 검토에서 발견하는 구조도면의 질, 이런것들을 대할 때마다 내가 지금까지 숨쉬고 있는 것이 기적인것 같다.

한편 들리는바에 의하면 미군당국에서는 서울 청계천 고가도로 상하부로의 통행을 금하고 있다 한다. 위험하기 때문이란다. 음료수도 제한하고 채소류도 검사를 거쳐야 한다.

어떤 사람들은 그들을 마치 겁이 많아 1년에도 몇번씩 건강진단 하러다니는 사람들처럼 취급하기도 한다.

필자가 내폭구조물의 설계를 할때 발주처에서 슬그머니 귀뜸을 해주었다. 지휘관이 공병참모에게 몇mm의 직격탄에 안전한 대피호를 설계 시공하도록 명령했고 시행후 보고했다. 지휘관은 "귀관 자신있나?"라고 물었다. "물론입니다." 라는 대답은 군대에서 당연한 일이다. 그러면 시험발사 하겠다. "귀관은 그속에 들어가라!!" 라고 명령했다. 공병참모의 창백한 얼굴, 보지는 못했어도 눈에 선하다.

바로 오늘밤 불청객 지진은 내집을 부셔 버릴지도 모른다. 바로 내가 지진 진도 결정을 해야 한다면 어떻게 할것인가? 내가 내돈으로 내집 지어 내가 살 집이라도 어렵다.

관공서의 정책 결정자의 위치라면 어떨까? 독자들의 많은 연구 참여와 의견을 기대해 본다.

모두들 88년까지만 살고 그만둘것 같은 분위기이다. 빛은 500억불에 육박한다는데 어디를 가나 돈 타령이다. 교통사고율은 세계 제일이라면서 초행길 찾아갈수 있는 안내 표지판도돈이 없어 못단다. 그러나 한편 나도 내일 간암에 걸릴수 있다. 암검사도 해보고 싶다. 앞으

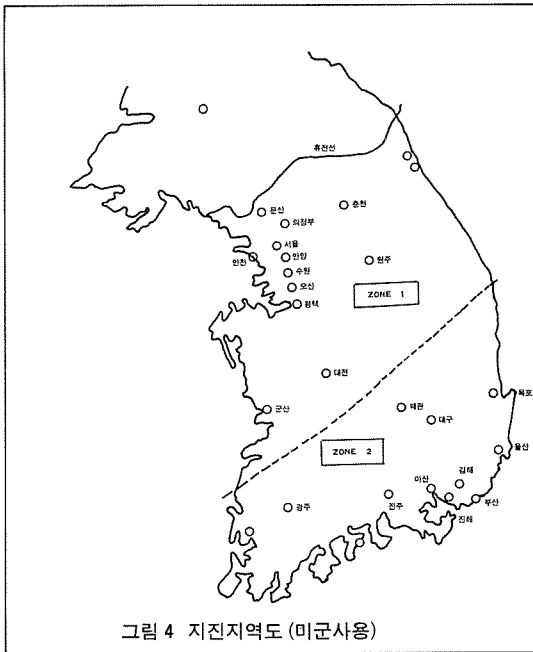


그림 4 지진지역도 (미군사용)

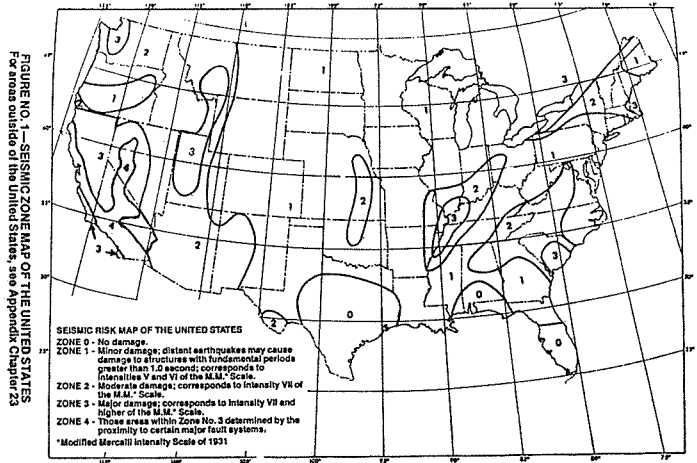


그림 5 미국지진지역도

로 집을 지을때 내진설계가 되면 얼마를 더 투자해야 할까? 아직은 아무도 모른다. 그러나 보릿고개를 걱정하던 시절을 돌이켜 생각하면서 유방압에 걸릴까 두려워 하게 된 오늘 가정주부처럼 내진설계규준을 제정하게 된 오늘날의 우리 형편을 고맙게 생각하자.

## 지진의 입맛

주간지를 뒤적이다 보면 여대생을 포함한 여자들을 수십명이나 농락한 영웅(Killer)의 사진을 보게 된다. 아무리 보아도 나보다 두배 세배 잘생겼거나 힘이 세 보이지는 않는다.

소는 풀을 뜯으며 고래는 상어를 먹지 않는다. 또한 상어가 사냥기는 하나 붕대를 길게 늘이고 수영하는 어린아이와 키를 대 보고는 도망친다고 한다.

그러면 그 무서운 지진의 입맛을 돌구는 밥은 무엇인가? 하루살이나 참새는 지진을 두려워하지 않는다. 자동차도 웬만한 지진에는 끄떡 없다.

세계를 주름잡는 영웅호걸을 꿈쩍 못하게 하는것은 가냘픈 여인의 촉촉한 눈에서 흐르는 0.01cc의 짙짙한 소금물이다. 케케 묵은 구식 병법에도 적을 알고 나를 알면 백번 싸워도 백번 이긴다 했는데 답답한건 적(지진)이 얼마나 큰지, 언제 나타날지 모른다는것이다. 우선 상대방의 일반적인 입맛이라도 알아보자.

옛날 건축가들은 지진이 무서운놈이니 그저 집을 튼튼하게만 지으면 된다고 생

각했다. 그래서 내진구조라면 당연히 단면이 커야 했었다. 무서운놈한테 이기려면 더 큰 힘이 있어야 한다고 굳게 믿었다. 그런데 차츰 건물은 높아져야 하는데 높아질수록 감당하기 어려운 단면의 크기는 급기야 모험적인 집들이 지어졌고 심심하면 찾아오는 지진의 피해를 뼈저리게 경험했으며 따라서 아예 법으로 몇층 이상, 몇m 이상은 집짓지 못하도록 제한하기도 했었다. 지금도 일본에서는 철근콘크리트조로 10층 이상은 별로 짓지 않는다.

남들이 100년 이상 시행착오를 거치면서(지진에 두들겨 맞으면서) 이루어 놓은 도시, 우리도 흉내 내느라고 지난 20여년 동안에 숨막힐 정도의 빌딩 숲을 이루어 놓았는데 아차!! 멕시코 지진이 T.V.에 시끄럽고 일본 지진은 어쩔다는데 자극을 받게 된 것은 너무나 당연하다.

벌써 작년 9월 19일 세상을 놀라게 한 멕시코시 지진 손실은 100억불, 우리돈으로 8조원, 사망이 약 7,000명, 건물은 500여동(완전붕괴는 260여동)으로 모든 구조방식을 망라했다고 한다. 한편 이상한 것은 피해 지역이 멕시코시 전체가 아니라 불과 5~10km<sup>2</sup> 즉 여의도 면적의 3-4배나 될까 하는 국부구역이라는 것이다. 그런데도 파괴되지 않은건물이 수천동(5~21층 건물도)이나 되는데 자료에 의하면 어떤 건물은 상부만 부서졌고, 형체도 없이 가루가 된 건물 바로 옆의 다른 집은 그대로 서 있다. 20층 건

물은 깨끗한데 바로 앞의 12층 건물은 완전히 파괴되었다.

현장답사 기록들에 의하면 멕시코 지진 대형피해의 주요 원인중 가장 큰 것은 해당 지역의 토질 지반 특성에 있었다고 한다. 멕시코 지진의 진앙은 멕시코시에서 약 380Km 떨어진 서해안이며 판구조론에서 설명하는 두 판 사이의 상호로의 충돌에 기인한 것이라고 한다. (캘리포니아의 지진들은 두 판간의 상호스침 형태임).

멕시코시 서북부 경질지반에서는 불과 40gal의 지진가속도가 기록되었는데 멕시코시 연약지반은 마치 접시에 담긴 목 같은 상태여서 이 지반 자체 진동주기와 응답 과정에서 가속화 되었다는 분석이다. (2초 주기의 28Cycle이나 되는 지속적인 진동도 감지되었다는 연구팀의 놀라는 표현도 있다) 그러므로 멕시코시의 지진은 멕시코시가 갖고 있는 특수 조건에만 해당한 것이다.

지진의 동적해석에서는 표준형이다싶이 된 El Cento California (1940), Taft California (1952)의 지진 Spectrum과는 전혀 판판의 지진 Spectrum임을 그림 6에서 볼 수 있다.

지진 진앙 근처의 16층 호텔은 피해가 없는것을 지적하는 조사 연구팀의 중간 보고는 이를 증명하고 있다.

멕시코시는 그 옛날 호수였다고 한다. 그래서 피해지역 지반은 연약층이 무려 1,000m 깊이까지 연장된다. 한편 법규

의 불충분한 이유뿐만 아니라 시공기술, 구조재료의 질 또한 문제점으로 부각되었다. 14, 15층 건물의 1층 기둥의 크기가 35~40cm 철근콘크리트인것도 조사되었다니 정상건물 기둥단면의 1/4에 불과하다. 콘크리트의 질은 형편 없고(현장비비기), 철근은 우리나라 철근 같은 고온가공이 아니라 상온에서 뽑아낸 것이어서 어느 응력 이상에서는 갑자기 항복하는 특성을 갖고 있다.

또한 필자도 이 부분에서는 항상 강조하고 있는 바인데 기둥의 띠철근의 역할이 지진에는 대단한 것이 증명되었다. 부러진 기둥, 말뚝은 거의 다 HOOP (띠철근)가 부족했다고 한다.

이런 상세한 부분은 지진의 입맛을 돋구는 양념에 불과하고 지진이 좋아하는 건물은 과연 어떤 것인가? 1957년 멕시코의 지진 피해 자료중 표 4를 눈여겨 보자.

13층에서 16층 사이의 건물은 모조리 피해를 입었다. 지진은 깎다리도 싫어하고 땅딸이도 좋아하지 않는 모양이다. 필자도 13층 아파트에 살고 있는데 큰일났다. 지진은 너무 길어 휘청거리는 건물은 싱거워서 싫어한다. 또한 너무 짧고 딱딱한것도 눈여겨 보지 않는다. "표준형" 적당히 살지고 융통성 없이 딱딱한 건물은 가차없이 부서 먹는다.

친구 중에 미남이 있다. 체격이 좋아서 운동선수 같다. 그런데도 골프장 18홀 이상은 돌지 못한다. 무릎 관절이 약한 탓이다. 이 친구에게 무릎은 "급소"이다.

지진은 영리하다. 그래서 건물의 급소를 친다. 나올때가 제대로 나오고 들어

갈때는 적당히 들어가야 미인이라. (요즘은 그렇지도 않다지만) 미적 감각이 지나치게 예민한 건축사들은 건물도 미인처럼 들쭉 날쭉 꾸미려 든다.

필자가 처음 구조계산을 시작했을 당시에는 Piloty 있는 집들이 미건(美建?) 취급을 받았다. 요즘은 Sunken Garden, Atrium 있는 집이라야 건축사지에 자신 있게 발표한다. (실례)

이런 것들은 지진이 노리는 급소가 노출된 밥이다. 평면에 굴곡이 많은것, 단면이 계단처럼 높았다, 낮았다 한것, 뒤쪽은 콘크리트 벽인데 전면은 흰-하계 유리창만 있는 건물들은 모두가 지진의 입맛을 돋군다. 그래서 멕시코 비상규준에서는 이런 것들을 못하게 규제하는 항목이 있다.

건물 한동을 놓고 보아도 지진은 단단한 부재 부터 공격한다. 그래서 너무 단단한 부분과의 사이 또는 계단처럼 생긴 단면 사이에는 Expansion Joint를 겸하여 내진조인트(Seismic Joint)를 두어 불규칙 건물을 분리 설계 하기도 한다. 하지만 내진조인트는 Expansion Joint와 달라 두 덩어리 사이 간격의 크기를 별도로 계산하여야 한다. 지진이 내진조인트 방향으로 왔을때는 Expansion Joint로도 충분한 내진조인트 역할을 담당하나 그와 직각방향일때는 건물의 진동주기가 서로 달라서 지진진동으로 인하여 흔들리는 방향이 반대로 되는 경우 서로 부딪치는 이른바 망치질(Hammering) 현상이 생기는 것이다. 도심지 옆 건물과의 사이가 좁을때, 더구나 층고가 서로 다른 경우는 옆건물의 단단한 바닥면이 남의집 기둥을 강타하면 망치질의 효과는 카운터 편

치 때린 권투 주먹 같은 위력을 발휘한다.

JAL기가 추락해서 다 죽었는데도 살아 남은 어린 아이가 있었다. 같은 동리에 있는 건물도 재수 좋게 배치되어 있어서 지진의 피해를 덜 받을수도 있다. 그러므로 멕시코 지진에 피해 없는 건물이라고 전부가 잘 지은 집이라는 등식이 성립되지는 않는다.

지진에도 유선형의 건물이 있다. 지진의 진동 방향에 따라 어느 건물이 안전할 수도 있고 불안정할 수도 있다.

앞에서 자동차는 지진의 피해를 덜 받는다고 했다. 승용차의 좌석은 타이어 자체의 진동 흡수 기능을 포함하여 여러 단계의 쿠션이 마련되어 있다. 달구지와는 다르다. 진동이 큰 기계는 기초에 직접 접촉시키지 않고 사이에 방진재를 끼운다. 건물도 지진 진동이 기초와의 사이에서 소멸되도록 하는 방식도 연구되고 있다.

## 지진과 바람

바람은 지상에서 불고 지진은 땅의 흔들림인데 내진구조계산의 한가지 편법으로 지진을 마치 바람처럼 건물의 위에 힘이 가해지는것처럼 가정한다.

열차를 지구라고 하자. 열차에 무임승차한 개미에게야 그렇게 말해도 속을 데지. 열차식당 식탁에 꽃병이 놓여 있다. 새마을호가 출발도 하기전 성급한 승객의 걸음걸이로 인하여 꽃이 흔들렸다. 개미는 태풍이 불었구나 하고 놀란다. 열차가 출발하여 식탁이 덜그덕거려서 역시 꽃이 흔들렸다. 개미는 지진이 왔구나 하고 알아차린다. 꽃을 건물이라고 하면 역

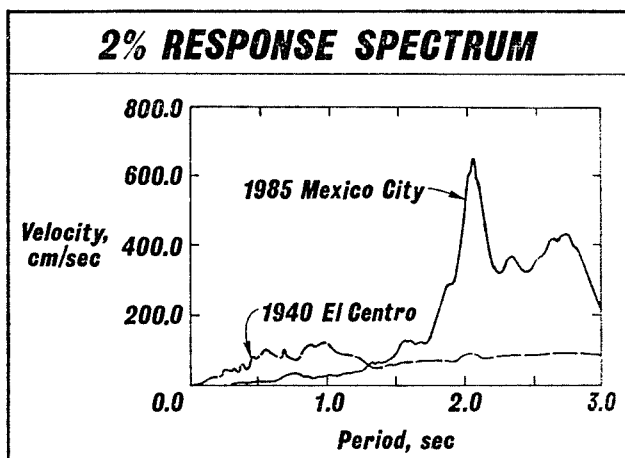


그림 6

표 4 1957년 멕시코 지진 피해자료

층 수	피 해	무피해	계
9	2	3	5
10	2	2	4
11	3	1	4
12	3	1	4
13	5	0	5
14	2	0	2
15	1	0	1
16	2	0	2
23	0	1	1
43	0	1	1

시 흔들렸으니 비슷한 방법으로의 계산이 가능한 것이다.

가벼운 꽃은 바람에 많이 흔들리는데 열차의 진동에는 덜 흔들린다. 건물에 바람이 불면 힘을 차츰 아래층으로 전달하여 최종적으로는 기초 지반이 지탱하는데 반하여 대부분의 지진은 기초를 불과 수초동안 흔들어 건물 꼭대기까지로 진동을 유발한다. 마치 회초리를 흔들어대는것 같다. 바람은 건물의 피부격인 외피에 부딪쳐서 뼈대에 영향을 주는 반면 지진은 오히려 뼈대를 직접 가격한다. 바람은 외피면의 재료나 형상, 및 주위 환경의 지배를 많이 받으나 지진은 지반면과 토질의 영향을 크게 받는다.

감사원에서 자료제출지시 사항에는 수평지진가속도는 물론 수직지진가속도도 적으라고 했지만 U. B. C.에서 ZONE NO. 2까지는 수직지진가속도를 무시한다. 그러나 바람은 건물 표면의 형상에 따라 위, 아래로도 하중이 작용한다. 그림에도 불구하고 주요 골조설계에서는 부재 응력 확인 과정에 지진과 바람을 같은 척도로 비교하여 큰 값을 설계에 반영한다.

서울지방의 설계용 속도압은 높이에 따라 커지며 그 형상은 그림 7에 표시되어 있다.

100m 이상에서는 갑자기 속도압의 증가율이 적어지는게 눈에 거슬리기는 하나 이런 규준이 없었을때 보다는 우선 편리해서 좋다.

다시 식(1)을 분석해 보자.

$V = Z \cdot I \cdot K \cdot C \cdot S \cdot W$  에서 지역계수 Z는 앞에서 설명했고 I는 건물의 중요도계수이다. 건물의 중요도에 따라 1~1.5로 값이 다르다. K는 횡력에 저항하는 구조 방식에 따르는 수평력계수로 0.67~2.5이다. 또한 C는 저면전단계수이며 구조물의 탄성진동주기 T와의 함수관계에 있다.

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}}$$

S는 지반중별계수이다.

V 즉 건물에 작용하는 지진의 전수평지진력은 이상과 같은 6종류의 값을 곱해서 계산하는 것이므로 지진력이 적어 지려면 오른쪽 6개의 값을 줄이는 방법 밖에 없다. 하지만 Z를 0.375로 못박아 놓았고 I와 S는 구조계산자가 마음대로 정할 수 없는 것이므로 남은것은 K, C,

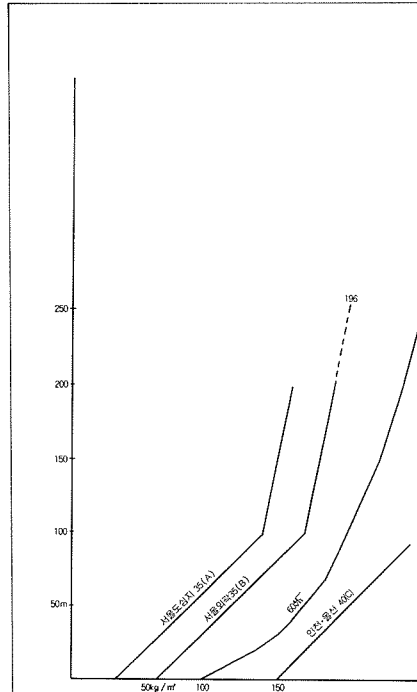


그림 7 속도압

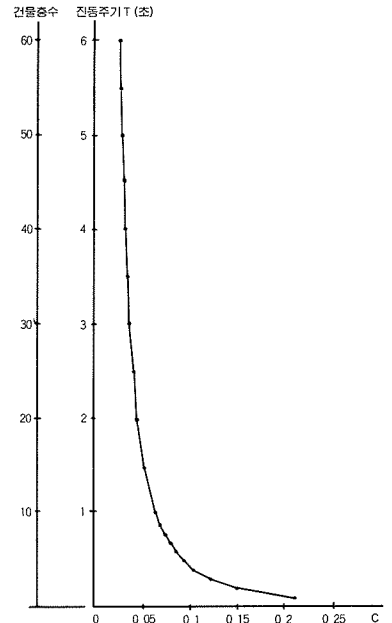


그림 8 건물의 진동주기와 C값  $C = \frac{1}{15\sqrt{T}}$

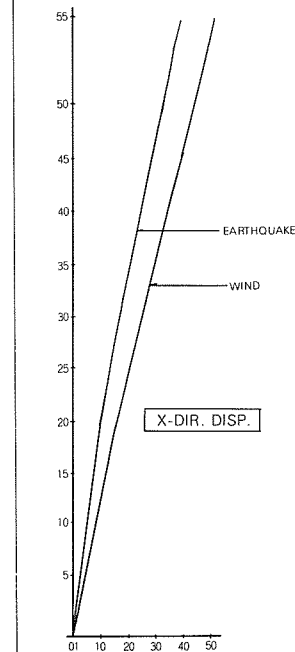
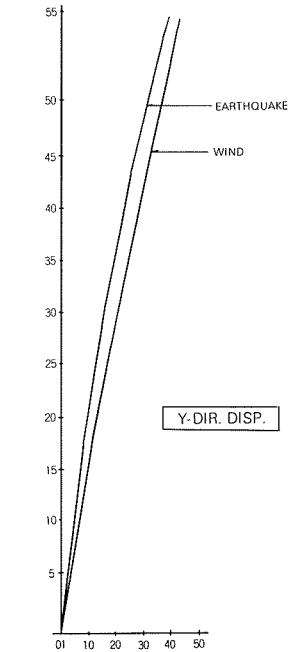


그림 9 54층 건물의 변형도



W이다. W 즉 건물의 중량은 또한 구조장이 혼자 떠들어야 봐야 헛 일이다. 따라서 남은것은 K와C뿐이다. 즉 구조방식을 묘하게 하고 진동주기를 늘이는것 뿐이다.

진동주기를 늘이면 C는 어떻게 줄어드는가를 표시한것이 그림 8이다.

키가 크면 휘청거린다. 그래서 보통 건물의 진동주기는 층수에 비례한다. (20층은 2초, 10층은 1초 등으로 약산식) 즉 그림 8은 층수가 높아지면 C값이 적어

져서 지진력이 적어지는 반면 그림 7의 바람하중은 높아질수록 값이 커진다.

한편 K와 C는 아주 묘한 성격의 소유자로 서로 짜고 술책을 부리기도 한다. 예를들어 아파트에 대 유행인 내력벽구조는 벽체가 너무 딱딱해서 T와 C의 값이 층수에 따라 그림 8처럼 되지 않아서 (예를 들면 10층짜리 아파트의 C가 보통 건물 4층짜리에 해당하는 큰 값) 최종 V값이 의외로 커지게 된다.

이 관계로 인하여 U. B. C.에서는 She



ar Wall로 건축할 수 있는 건물의 높이를 이에 제한을 하게 된 것이다. U. B. C. ZONE 2 이상에서는 Shear Wall 구조의 높이를 160' (약 48m로 아파트 18층 정도)로 제한하였고 이 제한을 무시하고 계산해본 결과 실제로도 고층건물의 Shear Wall 내진벽은 불합리하다는 것이 확인되었다.

우리나라에 고층건물이 고작 30층 대를 유지하다가 대한생명을 계기로 갑자기 60층대로 뛰어 오르게 되었다. 건축주도 불안해 하고 설계자도 조심스럽게 각자 나름대로의 가정하에 지진하중을 검토하는 것을 보았고 필자도 20층이상 건물 건축주의 요청에 의거 지진하중의 크기를 바람하중과 비교 확인해 보곤 했다.

U. B. C. ZONE 2 정도는 바람하중과 별 차이가 없으니 단면산정에서 특별한 수고가 늘어나는 것도 아니라는 것이 필자 뿐 아니라 다른 기술사들의 공통된 의견이었다. 그러다가 54층 건물 구조계산을 하면서 U. B. C. 를 탐독한 결과 만약 U. B. C. ZONE 2로 정식 적용한다면 매우 큰 혼란이 생길 것이고 필자의 소신과 일부 전문가와의 의논 끝에 U. B. C. ZONE E 1으로 검토를 마쳤던 것이다. 건물의 흔들림과 응력은 바람하중의 결과보다 적었다.

그러다가 건축허가를 위한 심의 과정에서 U. B. C. ZONE 2로의 적용 지시를 받아 다시 계산하는 수고를 감당했으며 다행히랄까 역시 바람하중으로 계산한 값보다 흔들림이 오히려 적었다. 물론 지금까지의 심의 과정에서의 조건은 다만 ZONE 2 정도의 지진하중에 주된 구조가 안전하가를 확인하는 간단한 요구 사항에 지나지 않으며 받아 들이는 입장도 그 정도에 그치고 만 것이다.

이렇게 고층건물들의 지진하중 검토에서는 바람하중과 비교했을 때 ZONE 2가 별로 큰 하중이 아닌 것처럼 여겨졌고 급기야는 우리나라의 내진설계 규준이 U. B. C. ZONE 2 정도라 해도 큰 부담이 없으

리라는 막연한 기대마저 갖게 된 것이다. (지진에 능통한 전문가는 제외됨)

2 - 3층 벽돌집이 태풍에 쓰러지는 것은 거의 없다. 옛날 성벽은 바람에 안전하다. 그러나 이들은 지진에 약하다. 반면 바람에 약한 슬레이트 집이나 텐트는 지진적정을 안해도 된다.

바람은 노출된 표면에 공격하므로 임진왜란때의 왜놈의 공격 같아 성이 튼튼하면 안전했으나 지진은 땅굴을 파고 서 울 깊숙이까지 공격하려는, 빨갱이 같은 전술로 주요부분부터 공격해 오는 것이다.

### 나는 어찌하라고?

유행가 제목 같다. 올림픽기차촌 선수촌(아파트) 국제현상설계가 있었다. 현상설계 당시 현재 유행하는 철근콘크리트 내력벽식 아파트가 24층까지 경제적이었느냐는 질문을 받았다. 외국에서는 60층, 70층도 R. C. 로 짓는데 무슨 걱정이냐고 대답했다. 결국 6층부터 24층까지의 벽식구조로의 설계가 당선되었고 3월말에는 골조도면을 제출해야 한다. 그러나 실시설계 단계에서 갑자기 16층 이상 아파트를 U. B. C. ZONE 2를 적용 설계하라는 명령이다.

법이 그 제정 배경과 법조문 한조 한조를 다 파악하고 적용해야 한다. U. B. C. ZONE 2에서 160' (48m) 즉 18층 이상의 벽식아파트는 위법이다. 깎다리 아파트가 너무 딱딱하면 지진의 밥이 된다는 것은 앞에서 배웠다. 그래서 꼭 같은 평면의 아파트라도 14층짜리와 16층 이상은 다른 구조방식으로 설계하도록 재계획중이다.

이렇게 결심하기까지의 고민, 발버둥 치는 듯한 호소, 독자의 상상에 맡기겠다. 그러나 실무자를 위하여 한가지 귀띔하려 하는 것은 U. B. C. ZONE 1과 ZONE 2 이상과의 사이에는 엄청난 차이가 있다는 것이다.

또한 앞으로 내진설계법이 제정되기 전까지 아파트를 15층 이하로 계획하여

**미국의 법을 100% 그대로 적용하지 못할 바에는 실정을 감안하여 조금씩 변형시키는 것도 앞으로의 연구과제이다.**

야 어려움 없는 설계가 될 것이라던 것이다.

U. B. C. ZONE 2의 전적인 적용이 법제화 되었을 때 (변경없이 번역 사용할 경우)는 조적조를 전부 철근 보강하고 0.5B간 벽도 3층 이상에서는 사용이 불가능하다. 보의 스테럽간격, 기둥 띠철근의 간격, 매달리는 천장상재, P. C. 부재의 접합, Access Floor 등 모든 면에 제재가 따른다. 더 충격적인 것은 I 값이 1을 넘는 중요한 건물일 때는 Braced Frame의 부재설계에서 V 값에 1.25 배를 하고 모든 부재 접합을 부재내력 전부를 부담하도록 하거나 지진하중을 장기하중으로 취급하라는 것이다.

재료의 허용응력도도 문제가 있다. U. B. C. 는 단기응력 계산용으로 재료 허용응력도의 1/2 배를 적용하는데 우리는 현재 1/2 로 상향조정하고 있다.

전기, 기계설비, 방재 System에도 큰 변혁이 있어야 한다. 우리나라에 U. B. C. ZONE 2에 해당하는 지진이 온다면 어떠한 혼란이 올 것인가? 필자의 상상이다. 만약 겨울철이라면 우선 대부분의 집에 불이 날 것이다. 전기의 합선, 각종 난로가 없어지고 석유는 쏟아지며 도시가스가 폭발할지도 모른다. 제일 심한 피해를 받는 곳은 중고층 아파트, 파라퀼트, 외벽이 쏟아져 내리고 간판, 천장, 산테리아의 파편이 방안을..... 상상만 해도 소름이 끼친다.

아, 나는 어찌하라고? 어찌다 이 직업을 천직으로 삼았단고?

미국의 법을 100% 그대로 적용하지 못할 바에는 실정을 감안하여 조금씩 변형시키는 것도 앞으로의 연구과제이다. ZONE NO. 가 1, 2, 3, 4인데 1.5나 1.3 등 적당한 수치로의 조정 및 세분화도 가능하며 건물의 중요도계수 I 값의 수정 또는 세분화도 한 방법이다. 재료의 허용응력도를 조정 할 수도 있다.

또한 구조 방식이나 건축상세로도 큰 내진효과를 얻을 수 있다. 이같은 미개척 분야의 많은 연구가 있기를 바란다. \*

내 시간이 소중하면

남의 시간 존중하자