

내진설계 88년 건축법에 도입

지진, 연평균 19회나 발생

우리나라의 지진은 연평균 19회 정도 발생되고 있으며, 사람이 느낄 수 있는 규모 3.0 이상은 연평균 9회이다. 규모 5.0 이상으로 피해가 있었던 지진은 금세기 들어 총 4회 (36년 쌍계사 M5.1, 78년 홍성 M5.0, 78년 속리산 M5.2, 80년 북한 삭주 M5.0) 발생되었으며, 최근 발생한 대표적 지

진은 1978년의 홍성지진으로 건물에 균열이 발생하는 등 피해가 있었다. 기상청에 따르면 지난 21년(1978~1998년)간 총 4백3회의 지진이 관측되었고, 연평균 19회의 빈도를 보이고 있으며, 이중에 남한에서 인체에 감지된 또는 피해를 입은 지진(유감지진)의 발생은 1백23회로써 연평균 5회 정도라고 한다.

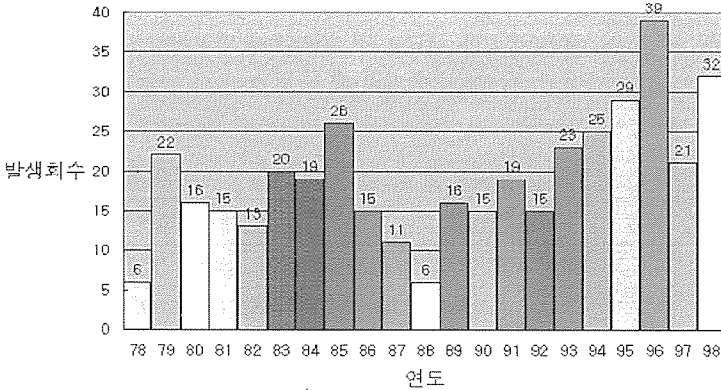
최근까지 우리나라에서는 지진의 위험도를 과소 평가하여 건축물의 설계 및 시공에 지진의 영향을 고려할 필요가 없다고 판단하여 왔으나, 지진의 안전지대라고 생각하여 내진설계라는 어휘조차 어느 시방서에도 찾아 볼 수 없었던 때인 1978년 10월 7일에 발생한 홍성지진은 우리에게 크나큰 충격파로 전달되었다. 그러나 그 후에도 내진설계의 필요성만이 거론될 뿐, 구체적인 내진설계 기준이 마련되지 못하고 있던 차에 1988년 처음으로 내진설계 기준이 건축법에 도입되었다.

〈지진 규모별 연평균 발생빈도 비교〉

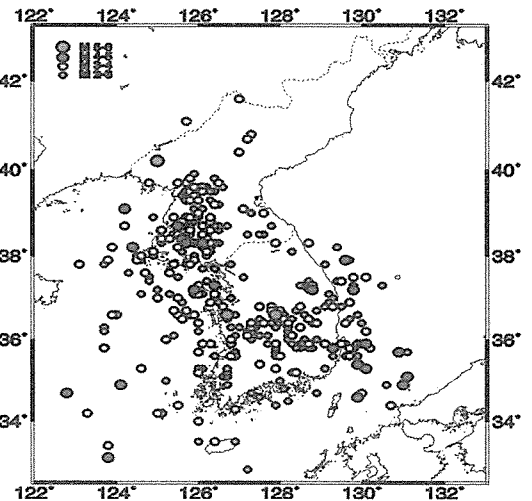
규모	한국	일본	전세계
M3.0 이상	9회/년	1,200회/년	100,000회/년
M4.0 이상	1.3회/년	400회/년	15,000회/년
M5.0 이상	0.2회/년	100회/년	3,000회/년
M6.0 이상	-	10회/년	100회/년

5층 이상 공동주택도 내진설계

처음 6층 이상의 건물에 대해서만 제한적으로 내진설계를 의무화하여 시

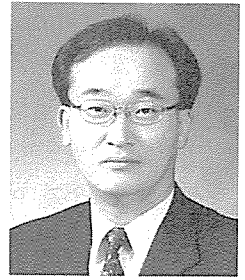


우리나라 지진발생 현황도



지진발생빈도 ('78~'98)

우리나라에서도 연평균 19회의 지진이 발생하고 있으며 78년에 일어난 홍성지진은 건물에 균열이 가는 피해를 입었다. 지진에 무감했던 우리나라는 88년 처음으로 내진설계기준을 건축법에 도입했고 96년엔 5층 이상 공동주택에도 적용, 실시했다. 내진설계는 2가지 개념으로 나누는데 면진구조설계는 구조물의 고유주기를 길게하는 것으로 당산철교 등에 적용했고 제진구조설계는 건물의 흔들림을 컨트롤 제어하는 설계로 인천국제공항 22층관제탑 시공에 적용하였다.



李元虎

〈광운대학교 건축공학과 교수, 건축구조기술사〉

행하였지만 1995년 고베지진 피해 이후 건축물에 대한 내진설계의 중요성이 더욱 인식되어 1996년 이후에는 더욱 건축물의 내진기준을 강화하여 5층 이상의 공동주택에 대해서도 실시하도록 하였다. 그러나 국감자료에 의하면 1989년 이전에 지은 16층 이상 또는 연면적 3만㎡ 이상의 서울 시내 2백80개 대형건물 가운데 내진설계가 되어 시공된 곳은 4곳 뿐이고, 1989년 이후에 신축한 아파트의 경우에도 내진설계와 감리가 형식적으로 이뤄져 있어서 내진설계가 되어 있는 곳과 안되어 있는 곳이 어디인지 파악조차 안 된다고 하니 한심할 따름이다. 게다가 남산 1, 2호 터널 등, 서울의 모든 터널과 지하철 1~4호선도 내진설계가 안 되어 있고, 한강 교량 17곳 가운데 다리가 무너져 새로 건설한 성수대교와 최근 완공한 서강대교만 진도 5.5 강진에 견디도록 설계되어 있을 뿐, 나머지 교량 모두 내진설계가 되어 있지 않다고 한다.

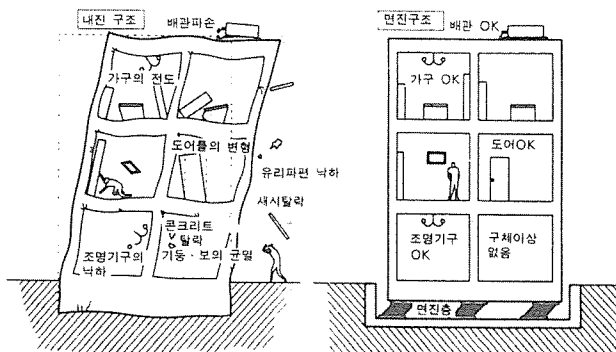
설계하여 지진에 대비하였으나, 1960년대부터 지진력의 강한 주기대역으로부터 구조물의 고유주기를 벗어나게 하여 공진(共振)현상을 피하게 하는 개념인 면진구조(免震構造) 시스템과 제진구조(制震構造) 시스템이 발전하게 되었으며 실제 적용단계에 들어서게 되었다.

이 두가지의 개념을 간략하게 설명을 하면 다음과 같다.

면진구조(免震構造)

면진구조란 지진파에는 장주기 성분을 많이 내포하고 있지 않다는 주기

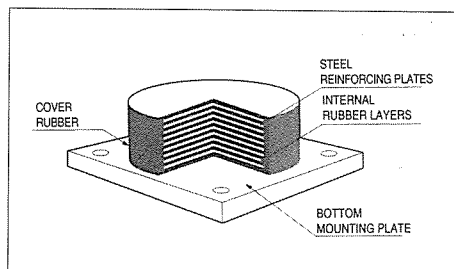
특성을 이용하여 구조물의 고유주기를 길게 함으로써 지진력의 유발을 적게 하는 시스템이다. 그래서 지진다발지역에선 고유주기를 길게 하여 지진에 유리한 초고층건물을 많이 짓게 되었고, 1970년대 후반부터는 고무계열의 탄성받침을 사용하여 면진구조 시스템이 구조물에 적용되기 시작하였다. 이 면진구조의 장치는 건물의 하중을 지지하고 지진동에 의한 수평방향의 큰 변형을 흡수하기 위한 '적층고무'와 기초와 건물간 상대변위를 가능한 한 억제하여 지진에 의한 건물의 진동을



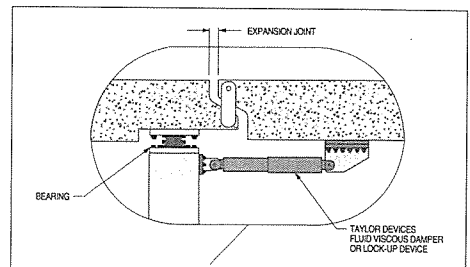
면진구조의 개념도

내진설계의 신 개념 도입

지진이라는 지반의 움직임에 대하여 구조물의 내진설계를 함에 있어서 지진파의 특성을 정확히 파악하지 못한 1950년대까지는 단지 구조물을 튼튼하게



면진장치(적층고무)



댐퍼(damper)의 예

감쇠시키는 '댐퍼(damper)'로 이루어져 있다. 효과로는 건물의 급격한 진동을 방지하여 수납물의 낙하 및 전도를 방지할 수 있으며, 특히 종래의 내진구조에서는 얻기 어려운 대지진 후의 기능보유 성능을 확보할 수 있다는 점이다.

제진구조(制震構造)

면진구조에서는 건물에 작용하는 힘을 입구, 즉 건물의 지지층인 지하층에서 컨트롤하려고 하는 수동제어 방법인 반면에 제진구조는 지진시의 건물의 흔들림을 컨트롤, 제어하고자 하는 능동제어 방법이다. 그 효과로는 지진이나 강풍시의 진동에 건물 내부에 있는 사람에게 불쾌감을 느끼지 않도록 할 수 있으며, 건물 내부의 기능

이 지진이나 강풍으로 인해 손상되지 않도록 함으로써 건물의 기능성 및 안전성을 확보할 수 있다. 이 제진구조는 1990년대 들어서면서 실제에 적용되기 시작하였다. 제진구조의 종류는 질량효과 메커니즘, 에너지흡수 메커니즘, 자동제어 메커니즘으로 대별되고, 제진장치의 설치방식으로는 특정층 설치형, 각층 설치형, 건물사이 설치형 등의 형식이 있다. 질량효과 메커니즘은 건축물의 최상부 근방에 구조물의 1차 고유주기와 거의 같은 주기를 가진 부가질량을 설치하여 건축물이 진동할 때 부가질량을 공진시켜서, 그 운동에너지로서 입력에너지를 흡수하고, 부가질량계의 감쇠 메커니즘을 이용한다. 부가질량으로서는 건

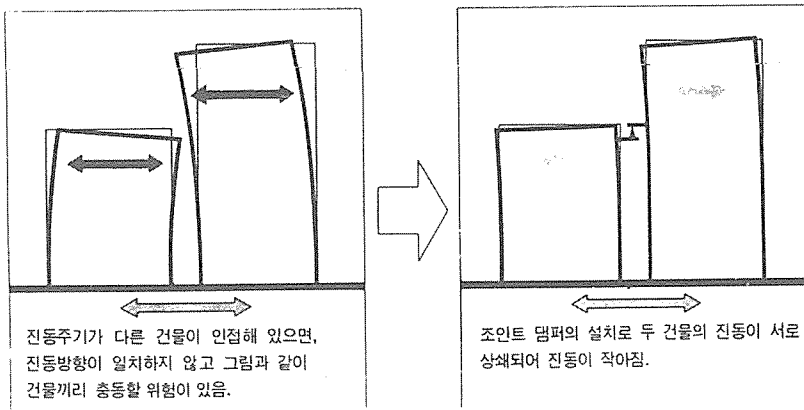
축물의 약 1%가 필요하기 때문에 건축 총중량이 가벼운 탑상 건축물이 적합하다. 건축물과 부가질량계의 고유주기가 틀려지면, 제진효과가 저하된다.

당산철교·인천국제공항 등 적용

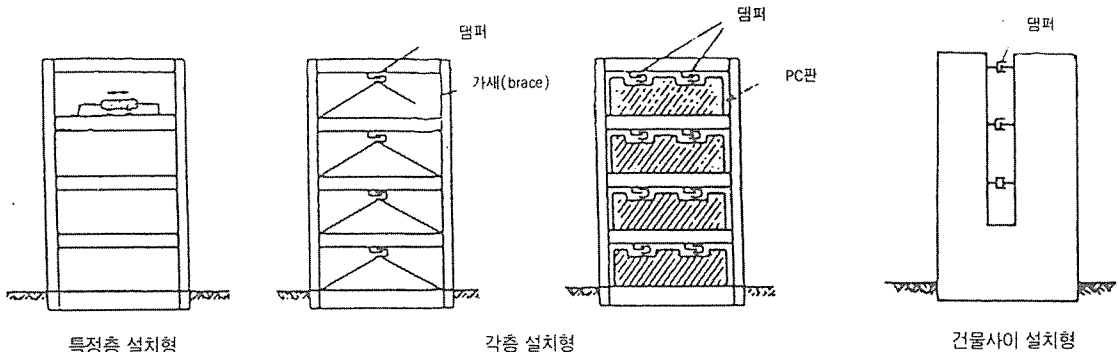
우리나라에서 면진구조 및 제진구조의 적용사례는 많지는 않지만 토목구조물 및 일부 건축구조물에 사용되고 있다. 교량에 적용된 면진구조로는 당산철교, 부산의 광안대교 및 경기도 화성의 장안교 등이 있으며, 인천의 LNG 저장탱크에도 사용되었다. 면진구조의 건물에 사용된 사례로는 내진보다는 진동 차단용으로 LG 강남사옥에의 사용을 들 수 있으며, 제진구조는 내풍 제어용으로 인천국제공항의 관제탑에 사용되었다.

면진구조의 사용사례

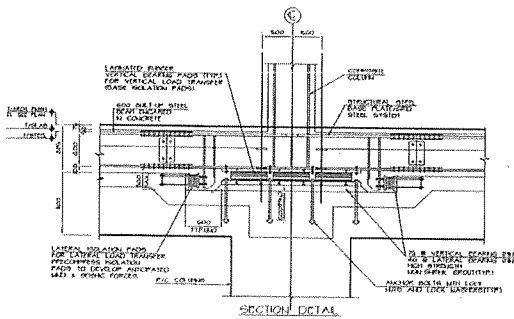
서울의 강남구 역삼동에 신축된 LG 강남사옥의 Art Center에 진동 차단 및 하중 전달체계의 활용으로 면진장치가 사용되었다. 1천50석 규모의 다목적 공연장인 LG Art Center의 현장 조사결과, 지하철과 건물의 기초지반이 같은 암반대에 위치함에 따라 이를 통하여 전달되는 진동차의 진동과



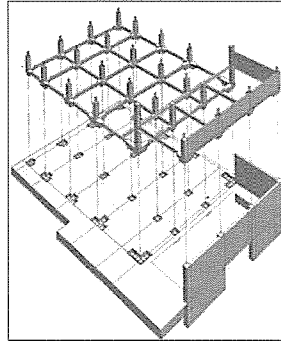
제진구조(에너지흡수 메커니즘) 개념도



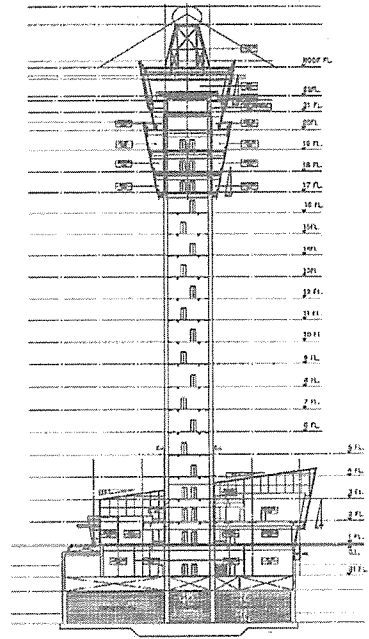
제진장치의 설치방식



IBP 사용 단면상세



IBP 사용위치 개념도



인천국제공항 관제탑 단면도

소음, 건물내 주차설비 등의 작동에 따른 진동음이 건물의 골조를 통하여 공연장 내부로 전달되어 전문 공연장의 허용기준치를 초과하였다.

따라서, IBP(Isolation Bearing Pad)를 사용하여 공연장의 골조(상부 구조)와 진동이 전달되는 하부구조를 분리하는 것이 불가피하였다. 천연고무의 재질인 IBP를 지상 3층의 기둥 중간에 수직과 수평으로 설치하여, 건물의 구조를 하부의 철근콘크리트 구조와 다목적 공연장의 철골구조 2개의 구조시스템으로 수평면을 따라 수직으로 분리하였다.

제진구조의 사용사례

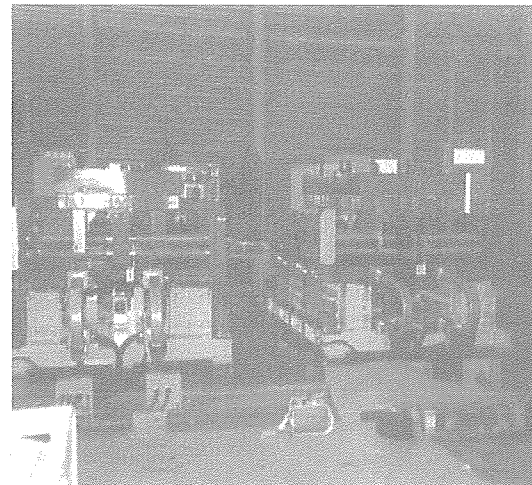
인천국제공항 관제탑은 22층까지는 shaft형태로 시공되고 22층과 지붕사이에는 관제사의 원활한 관제활동을 위하여 8개의 팔각 형태로 철골 기둥을 가진다. 관제탑의 최초 설계안(높이 109.9m, 최대 폭 21)에 대한 풍동실험의 분석에 의하면 진동의 크기가 매우 커서 관제사의 업무에 지장을 초래할 가능성이 있는 것으로 지적되었다. 따라서 진동을 감소시키기 위하여 관제탑의 높이를 낮추고 단면을 변화시켜 수정설계안(높이 100.4m, 최대폭 18m)을 작성하였으며, 이 수정안의 사용성을 평가하기 위하여 풍동실험을

수행하게 되었으며, 이 결과 관제탑의 응답이 과도하므로 이를 제한하기 위한 수단으로 HMD를 설치하게 되었다. 풍하중에 의한 구조물의 거동이 1차 모드의 영향을 지배적으로 받기 때문에, 관제탑에 설치될 제진장치는 1차 모드만을 제어하게 된다.

모드 제어를 위해서는 실 구조물의 응답을 측정하여 이로부터 모드의 영향을 분리하여 이를 피드백 제어에 사용한다. 인천국제공항 관제탑에 설치될 제진장치는 두개의 가속도 센서를 사용하며, 두개의 센서로부터 얻어진 가속도를 적분하여 속도와 변위를 구하고, 이를 모드 필터를 이용하여 1차, 2차 모드의 속도와 변위로 분해한 후 1차 모드의 속도와 변위만을 피드백 제어에 사용하게 된다. 가속도 센서는 19층과 22층 지붕에 설치하였다.

기존 건물 내진 보강 연구해야

우리나라 속담에 '소 잃고 외양간 고친다'라는 말이 있다. 우리나라가 지진에 안전지대가 아니라면 지진은 우리나라가 감당하기 힘든 자연현상이라는 소극적인 생각에서 벗어나 보다 적극적으로 지진으로 인한 재산이나 인명피해에 대비한 실용적 방법을 연구 발전시키고, 건축 시공기술 및 설계기



관제탑 19층에 설치된 제진장치 (Operating Box와 Servo Drive Box에서 전달된 명령에 의해 11톤의 질량을 가동시켜 관제탑의 진동을 축소 시킴)

준에 대한 확립을 통해 면진구조물 및 제진구조물을 더 한층 발전시켜 어떠한 지진이 발생하더라도 안전하고 경제성을 갖는 구조물을 건설할 수 있는 능력을 키워나가야 할 것이다. 또한, 기존 건물의 내진성능 평가를 통한 내진보강 기술에 대한 연구도 계속되어야 할 것이다. (S7)