	<h1>콘크리트 기술정보</h1>	한국레미콘공업협회 기술분과 위원회	
	<h2>지진과 건물설계</h2>	2022.07.11	1/6

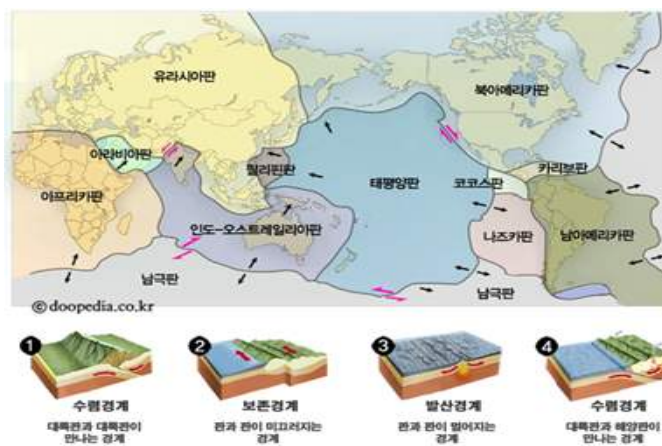
1. 서론

몇해전 경상북도 경주에서 규모 5.1과 5.8의 지진이 잇따라 발생했습니다. 그 동안 지진에 대해서 대한민국은 비교적 안전지대라고 여겨졌기에, 지진에 대한 국민들의 걱정과 관심이 증대되고 있습니다.


2. 판구조론과 지진의 발생

우리가 살고있는 지구는 ‘판(plate)’이라고 불리는 평균두께 약 100km의 15개의 커다란 조각들로 이루어져 있습니다. 온도가 낮고 견고한 암석 권인 판은 그 밑에 고온이고 소성 변형이 가능한 맨틀(Mantel)이라는 지구 내부 물질 위에 올려져 있습니다. 지구 내부에서 발생하는 열로 맨틀 내부에서는 대류가 일어나는데, 이때 이 대류에 의해서 발생하는 힘이 해저산맥을 이루는 암석권을 찢개고 ‘천발지진’ 을 발생시킵니다.

지진이 발생된 틈으로 마그마가 상승하여 냉각되면 새로운 해양지각이 만들어집니다. 해저산맥에서 생성된 판은 1년에 수 cm씩 이동하고, 심해저의 움푹 들어가고 좁고 긴 곳(해구)에 이르면 대륙판 밑으로 비스듬히 침강하면서 맨틀 내부에 다시 녹아 환원됩니다. 이 때 침강하는 해양판의 상부에서는 천발지진이 발생하고, 판 내부의 온도가 가장 낮은 부분에서는 심발지진이 발생합니다.



<판의 종류와 운동방향>

	콘크리트 기술정보	한국레미콘공업협회 기술분과 위원회	
	지진과 건물설계	2022.07.11	2/6

2개의 대륙판이 충돌하면 어떤 판도 다른 판 밑으로 침강하지 않으므로, 서로 밀어 올려 알프스나 히말라야 같은 거대한 산맥을 만들게 됩니다. 판들 사이의 경계 운동이 경계에 평행일 경우에는 경계를 이루는 단층을 따라서 지진이 발생하기도 합니다. 따라서 지진대는 모든 판의 경계가 되며, 판의 내부에서는 그 지진 활동이 상대적으로 적습니다.

3. 지진의 크기


- 1) 규모(Magnitude) : 진원지에서 방출된 지진에너지의 양(지진의 크기)을 수치로 환산한 것을 이야기하고, 지진계에 기록된 지진파의 진폭을 이용하여 계산된 값입니다.
- 2) 진도(Intensity) : 어떤 한 지점에서 사람이 느낀 정도 또는 구조물의 피해 정도를 계급화한 것으로서 진앙으로부터 거리에 따라 차이가 납니다.

경주에서 발생한 지진의 크기가 5.8이라는 것은 ‘규모’를 의미하는 것이지 ‘진도’를 의미하는 것은 아닙니다. 지진은 규모가 1이 증가할 때, 이에 해당하는 에너지가 약 32배 증가합니다. 진도는 각 지역에서 느껴지는 정도로서, 국내에서는 수정메르칼리 진도계급표(MMI)에 따라 12계급으로 나뉘어집니다. 기상청의 자료에 따르면 9월 19일 발생한 여진(규모 4.5)의 경우 경주 지역은 진도 5(옥내 대부분이 느끼고 공포감이 드는 정도), 대전과 서울 등의 지역은 진도 2 정도(옥내의 일부 사람만 느끼는 정도)로 추정됩니다.

4. 건축물의 내진설계

내진설계를 했다는 것은, 말 그대로 지진에 견딜 수 있게 건물을 설계했다는 것입니다. 그러나 내진설계 된 건물이 진도 얼마에 견딜 수 있다고 말할 수는 없습니다. 그 이유는 내진설계 자체가 지진규모 얼마에 견디도록 설계하는 것이 아니기 때문입니다.

건물의 내진설계는 건축구조기준에서 정하는 지진구역계수(유효지반가속도)를 가지고 설계합니다. 건물을 설계한 사람도 그 건물이 리히터규모 얼마짜리 지진에 견딜 수 있는지 정확히 말할 수 없는 것은, 규모와 가속도의 관계가 지반의 상태나 발생 깊이 등의 변수로 인해 항상 일치하는 것은 아니기 때문입니다. 그 예로써, 경주에서 발생했던 규모 5.8의 지진은

	콘크리트 기술정보	한국레미콘공업협회 기술분과 위원회	
	지진과 건물설계	2022.07.11	3/6

지반가속도로 환산하면 0.08g 정도가 됩니다. 그러나 이번에 원전 가동을 중단시킨 실제 측정된 값이 0.12g 였다는 것을 보면 알 수 있듯이, 그 식과 반드시 일치하지 않음을 확인할 수 있습니다.


건축구조기준 KBC2016을 보면 우리나라는 강원북부와 제주도 0.14g, 그 외 모든 지역은 0.22g를 적용하여 설계합니다. 이 값은 2,400년 재현주기의 지반가속도 값으로 설정된 것입니다. 2,400년 재현주기라는 것은 50년 동안 2%의 초과 확률을 갖는 정도이지만, 큰 지진은 2,000년 후에 날 수도 있고, 당장 내일이라도 발생할 수 있습니다.

지반가속도는 일반적으로 g 단위를 사용하는데, 1g는 980gal 또는 9.8 m/s^2 으로 표현 가능합니다. 만일 0.1g의 지진이 10초간 발생한다면 초속 9.8m의 움직임을 느끼게 되는 셈입니다. 지진 때문에 무엇보다 걱정이 되는 것은 주변 국가인 일본의 원전사고가 큰 파장을 불러일으킨 것처럼, 국내의 원전도 과연 지진에 잘 견딜 수 있느냐의 문제일 것입니다. 현재 국내의 원전은 신고리 3,4호기와 신한울 1,2호기만 0.3g로 설계되었을 뿐, 나머지는 모두 0.2g로 내진설계가 되어있어, 대책 마련이 필요할 것으로 보입니다.

Gutenberg와 Richter에 의해 제안된 지진가속도와 규모의 환산 경험식에 따라 계산을 해보면, 지반가속도 0.2g는 규모 6.5~6.6, 0.3g는 규모 6.9~7.0 으로 대략적인 환산이 됩니다. 따라서, 언론에서 발표하는 규모 6.5~7.0 이라는 수치가 이에 해당됩니다. 그러나 이는 앞서 말했듯이, 규모와 가속도 값이 일치하는 경우는 흔치 않기에 가속도 값에 대한 참고 정도로만 생각하면 되며, 규모의 단위 보다는 지반가속도의 값으로 판단하는 것이 좋습니다.

$$M = 2(\log a + 1) \quad (\text{지진가속도와 규모의 환산 경험식})$$

여기서, M: 규모
a: 지진가속도 (단위 : gal, 1g=980gal)

	<h2>콘크리트 기술정보</h2>	한국레미콘공업협회 기술분과 위원회	
	<h3>지진과 건물설계</h3>	2022.07.11	4/6

5. 국내 건축물의 내진설계 현황


국내의 설계기준에 내진관련 사항이 포함된 것은 1988년 이후부터입니다. 내진설계의 법적기준은 1988년도(6층이상, 100,000m² 이상), 1996년도(6층이상, 10,000m² 이상), 2005년도(3층이상, 1,000m² 이상), 2015년도(3층이상, 500m² 이상)로 높이와 면적에 따른 의무기준이 점차 강화되어 왔습니다.

그러나 내진설계가 안 된 건물도 어느 정도 내진성능은 가지고 있습니다. 모든 건축물은 설계 시 혹시 모르는 여러 가지의 불확실성을 고려해 ‘안전율(Safety factor)’의 개념이 적용됩니다. 안전율 쉽게 설명하면, 건물이 지탱해야 하는 하중이 1.0이라면, 그 이상의 1.4나 1.7의 하중에도 견딜 수 있도록 설계하는 것입니다. 따라서 간혹 내진설계건물보다 더 강한 비내진설계 건물도 있을 수 있습니다. 그렇다면, 지진에 가장 취약한 건물구조는 무엇일까요? 흙벽이나 기와를 사용한 전통가옥과 벽돌을 이용하여 만든 건물들은 모두 지진에 취약한 건물입니다. 그러나 가장 걱정이 되는 것은 바로 주변에서 많이 볼 수 있는 필로티 구조를 가진 건물입니다.

필로티 구조란 건물의 1층에 기둥, 내력벽 등 하중을 지지하는 구조체나 외벽, 설비를 설치하지 않고 개방시켜 놓은 구조를 뜻합니다. 예를 들어 1층은 상가 시설 상층부는 주거 형태로 만든 빌라, 1층은 주차장 상층부는 다세대 주택인 오피스텔 등이 해당합니다. 외국의 지진 붕괴사례를 찾아보면 필로티 구조는 1층이 상부층에 비해 연약층을 형성하므로 지진 발생에 따른 붕괴 위험이 큼니다.



<필로티 구조 건물의 예>

	<h2>콘크리트 기술정보</h2>	한국레미콘공업협회 기술분과 위원회	
	<h3>지진과 건물설계</h3>	2022.07.11	5/6


6. 건물의 지진설계와 보강

지진에 대한 건물의 설계 방법은 크게 내진, 면진, 제진의 세 가지 개념을 사용합니다. 지진의 주파수와 건물의 고유주기가 만나게 되면, 공진(Resonance)이 발생하여 그 진동이 크게 증폭되는 등 큰 피해를 입게 되는데, 건물의 지진설계 방법은 이러한 현상을 피하고 발생한 지진 에너지를 소산시켜 건물이 최소한의 피해만을 입도록 하는데 그 핵심이 있습니다.

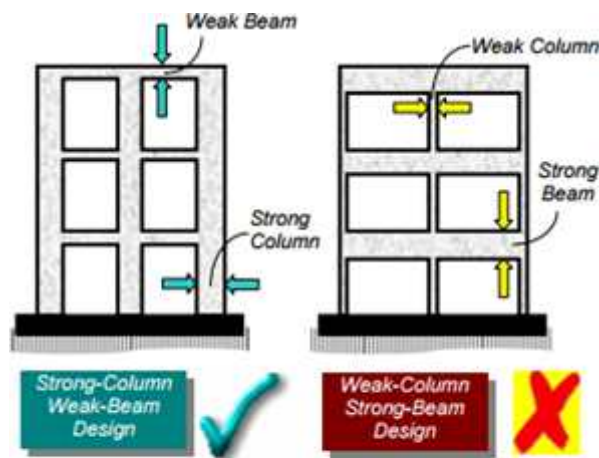
내진은 지진으로 부터 구조물을 보호하는 가장 넓은 뜻의 개념이고, 좁게는 지진력에 대항할 만큼 구조물의 강도나 인성을 크게하여 튼튼하게 만드는 것을 의미 합니다. 면진은 지진을 면한다는 수동적인 설계 의미로 건물의 밑면에 적층 고무등을 설치하여 땅이 그 진동을 건물에 가능한한 적게 전달되도록 하는 방법입니다. 면진설계의 경우 단단한 지반의 10층 이하의 건물인 경우 건물의 주기를 길게 하여 발생 지진의 주기를 피해하기 위해서 사용합니다. 따라서 10층 이상의 고층 건물이나 무른 지반에 지어진 건물에 적용시에는 오히려 더 큰 피해를 받을 수 있습니다. 이런 건물에는 건물 내에 지진을 제어하는 댐퍼(Damper)등의 기계적 장치를 설치하는 제진 방법이 효율적입니다.



일반적인 건물에 가장 많이 사용되는 지진설계 방법은 건물의 부재력을 향상시키는 내진설계입니다. 내진설계의 기본 컨셉은 강한 기둥-약한 보(Strong Column-Weak Girder)입니다.

	<h2>콘크리트 기술정보</h2>	한국레미콘공업협회 기술분과 위원회	
	<h3>지진과 건물설계</h3>	2022.07.11	6/6

이는 건물이 붕괴 시, 국부적으로 보가 붕괴되는 것보다 기둥이 무너질 경우 전체 건물이 큰 피해를 입기 때문에 보가 먼저 파괴되면서 에너지를 소산시키도록 하는데 그 이유가 있습니다. 또한, 기둥보다는 보가 그 연성이 더 높다는 것에 사실에 따른 것입니다. 따라서 건물의 내진성능을 보강하기 위해서는, 먼저 구조설계사무소에 의뢰하여 건물에 대한 정확한 내진성능을 진단받고, 위와 같은 개념을 염두하여 적절한 보강이 이루어져야 할 것입니다. 또한 건물주가 임의로 내력벽을 제거한다든지, 건물 벽에 구멍은 내는 등의 건물 내력을 저하시키는 행위는 삼가해야 할 것입니다.



<내진설계의 컨셉>

▣ 참고문헌 및 자료제공

1. 아주산업(주) 제공