
Global Report

2015 NEHRP 권장 지진 규정 설계

1. 소개
2. 기본사항
3. 지진파 설계 스케일링
4. 선형 시간이력 응답해석 기준
5. 비선형 시간이력 응답해석 기준
6. 횡력 다이아그램 해석
7. 구조물 지반 상호작용

< 2015 NEHRP 권장 지진 규정: 설계 >

배재훈

1. 소개

NEHRP 권고조항 : 설계사례는 건물 및 기타구조물에 대한 2015 NEHRP 권장지진조항, 건물 및 기타구조물에 대한 ASSI 7-16 최소설계하중 및 여기에 언급된 재료설계 표준의 적용을 설명하기 위해 작성되었다. 지진 공학의 역사와 철학에 대해 잘 알지 못하는 사람들은 지진에 저항하는 구조물을 설계하는 것이 어렵다. 디자인 예제의 대상은 광범위하다.

1900년 이전에는 건물의 설계에서는 지진에 대해서 거의 고려하지 않았다. 주요한 지진으로는 특히 보스턴 주변에서 발생했던 1755년 Cap Ann지진, 1811년과 1812년 New Madrid 지진, 1868년에 발생한 Hayward California 지진과 1886년의 Charleston지진 등이 미국에서 관찰되었다. 그러나 이러한 지진으로도 건물이 설계되는 방법에 중요한 변화를 가져오지는 않았다.

1906년도에 발생한 샌프란시스코 지진은 많은 변화를 가져오게 되었다. 지진과 계속되는 화재는 샌프란시스코의 많은 것들을 파괴하였고 대략 3,000명의 사망하는 등 미국에서 가장 끔찍한 지진으로 기록되었다. 이때 건설 환경에 심각한 파괴가 있었지만, 성능이 좋은 건물들은 무너지지 않았다는 중요한 교훈을 얻게 되었다. 가장 주목할 만한 점은 풍하중에 저항하기 위해 설계된 시카고스타일, 즉 리벳 처리하고 기둥사이에 벽돌로 채워진 지어진 철골로 지어진 건물의 놀랄만한 성능이었다.

미국 샌프란시스코에서 열린 미국 토목 학회(ASCE)에서 지진의 영향에 대해 아주 자세하게 연구를 진행하였다. “평방피트당 풍압력 30lbs에 견디게끔 브레이스로 적절하게 설계된 건물은 최근 지진으로 인해 발생한 응력에 안전하게 저항할 것이다” (ASCE, 1907년). 그 성명서는 내진 설계를 제공하는 방법에 대한 미국의 최초 가이드라인이 되었다.

1994년 노스리지(Northridge) 지진에서 가장 큰 문제는 철골 모멘트 프레임 건물에 예상치 않은 피해가 발생한 것이다. 1906년 샌프란시스코 지진에서 뛰어난 성능으로 인하여 철골 모멘트 골조는 일반적으로 최고의 지진 내력 시스템으로 여겨졌다. 그러나 보 기둥 접합부의 용접의 파단이 보 플렌지와 기둥 플렌지를 연결하는 접합부에서 대부분 발생하였다. 이로 인해 철골 모멘트 골조의 내진 성능을 평가하고 개선하기 위해 다년간에 걸쳐서 FEMA에서 연구가 진행되었다.

전문가들은 아직도 지진으로 부터 배우고 있다. 2010년 발생한 칠레 지진으로 인하여 콘크리트 벽 구조물에 대한 설계 조항이 업데이트되었으며 이 규정은 최신 ACI 318 표준에 통합되었다. 2011년에 발생한 크라이스트 처치(Christchurch) 지진은 출구계단의 설계에 있어서도 상당히 중요한 변화를 가져왔다.

2. 기본사항

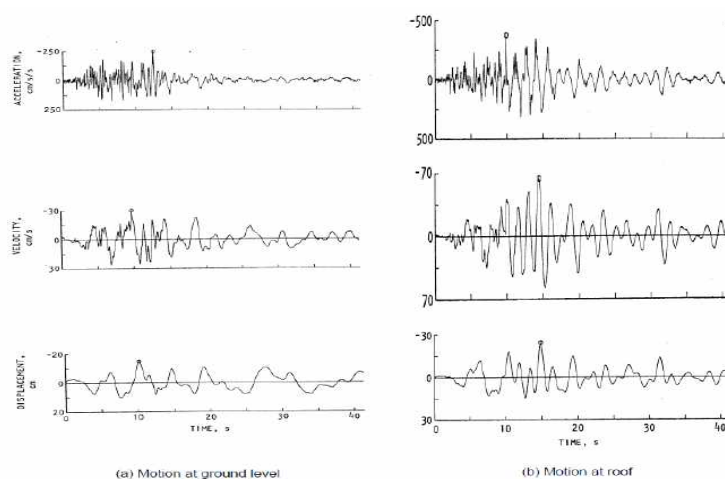
설계에 사용된 위험목표 지반운동을 설명할 때 앞에서 언급한 기준을 상기 할 필요가 있다. 지진으로 인한 구조물의 붕괴 가능성은 제로가 아니다. 50년 중의 1%는 실제로 현재 풍하중이나 적설하중과 같은 다른 자연 부하가 있는 건물 설계시 고려되는 것 보다 높은 발생 확률이다. 설계 지진에 해당하는 지진이 발생

할 때 피해가 예상된다.(설계 지진은 현재 극한 상태의 하중인 MCE 레벨 하중의 3분의 2에 해당하는 하중을 적용) 이때, 극한 하중 상태의 MCE지반 운동과 동등한 지진이 발생할 때 일부붕괴가 발생할 수 있다.

구조물의 기본적인 기준은 강도, 안정성 및 왜곡이다. 항복 수준의 강도는 최소한 설계 스펙트럼 (앞서 설명한 탄성 스펙트럼에서의 감소)에 필요한 수준이어야 한다. 연성적이지 않은 구조적인 부재들에 대해서는 설계 스펙트럼 응답값에 초과강도 계수인 Ω_0 계수를 적용하여 더 큰 강도를 가져야한다. 안정성 기준은 중력 축의 측방향 힘의 효과(P-D효과)를 증폭함으로써 부과된다. 비왜곡기준은 층간 변위에 대한 제한이며 비탄성 거동을 설명하기 위해 Cd계수에 의한 (감소된) 설계 스펙트럼에 대한 선형 응답을 증폭하여 계산된다.

3. 지진과 설계 스케일링

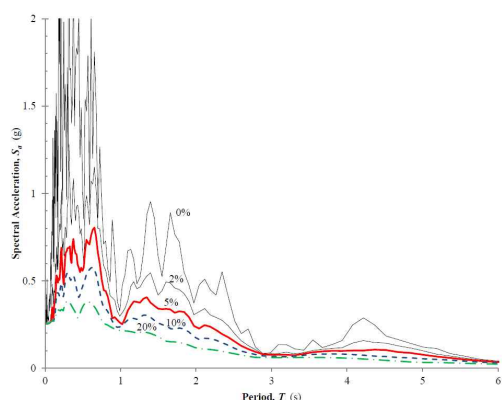
지진에 대한 응답과 대부분의 다른 하중에 대한 응답간의 첫 번째 중요한 차이는 지진 응답이 정적이 아니라 동적이라는 점이다. 대부분의 구조 심지어는 바람에 대한 응답조차도 기본적으로 정적에 해당한다. 구조물 내부의 힘은 구조물의 질량 가속도에 의해서보다는 압력하중에 의해 발생한다. 그러나 지반의 흔들림과 같은 경우에, 구조물의 지상부분에는 어떠한 적용 힘도 존재하지 않는다. 상부 구조물의 응력과 변형은 관성력으로 그 구조물의 지하의 움직임에 대한 동적인 응답에 의해 발생하게 된다. 실제 가장 많이 사용되는 설계 절차가 실제 계산을 위해서 등가 정적하중을 사용하고 있긴 하지만 구조의 진동 이론에 대한 지식은 지진의 거동을 이해하는데 필수적이라 할 수 있다. 설계에서는 지진에 대해 특별한 구조물의 응답은 본래 설계 응답 스펙트럼에서 측정된다. 설계응답 스펙트럼을 만들기 위한 첫 번째 과정은 (그림 2.2-2참조)와 같은 특정 지반 운동이 주어졌을 때의 최대 응답을 결정하는 것이다. 근본적인 이론은 SDOF (단자유도 시스템)을 사용하여서 지붕층에 질량이 집중되어 있다고 가정하여 하나의 등가의 절점을 활용하는 것이다. 그러한 진동특성은 아래와 같이 두 가지 특성, 즉 고유주기와 댐핑의 양에 의해 진동이 줄어들 수 있다. 넓은 범위의 고유 주기에 대해서 응답량을 단자유도 시스템을 이용하여 재 계산하므로써, 하나의 지반운동에 대한 응답 스펙트럼의 집합이 결정된다. 이는 주기와 댐핑의 각각의 조합에 대한 최대 응답을 그래프로 나타낸 것이다.



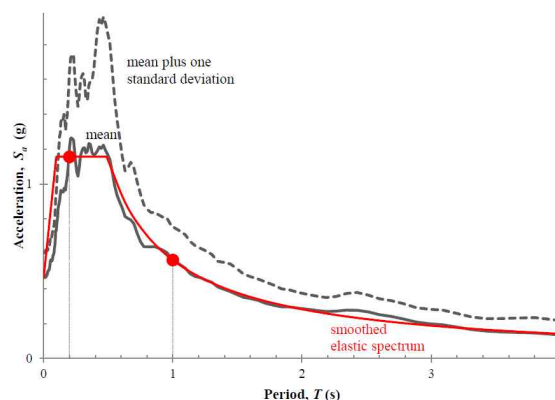
<그림 2.2-2. M6.4 1971 년 San Fernando 지진중북반구지상가속, 속도 및 변위, 그리고 남북 지붕 가속, 속도 및 변위 (Housner and Jennings, 1982)>

그림 2.2-3은그림 2.2-2 (a)의 지반운동에 대한 결과를 보여주며 지반 진동의 불규칙적인 특성으로 인해서 고유주기의 약간의 변화도 응답을 매우 불규칙하게 변화시킬 수 있다는 사실을 보여주고 있다. 그림은 또한 댐핑의 중요성을 보여주고 있다. 서로 다른 지진운동은 고유주기에 따라서 서로 다른 지점에서 최대값의 응답 스펙트럼을 보여주고 있다. 따라서 여러 가지 지반운동에 대한 응답 스펙트럼을 계산한 다음진동의 다른 진폭에 대한 표준화를 기반으로 평균화 한다면 보다 부드러운 스펙트럼 세트가 생성된다. 이러한 평활화된 스펙트럼은 설계 스펙트럼을 개발하는 데 있어서 중요한 단계이다.

1997년 이전에는, 지진 위험도를 표현한 재해 지도는 최대 지반 가속도 (주기, $T = 0$)를 기준으로 그려지고 설계응답 스펙트럼은 주기와 댐핑의 기능으로 인한 증폭 (또는 감쇠)효과가 표현되었다. 1997년 판에 새로운 지도가 도입됨에 따라 이러한 절차는 변경되었다. 이제 지도는 단주기 영역인 0.2초와 장주기 영역인 1.0초의 두 진동주기에서 스펙트럼 응답 가속도를 나타내며, 설계 응답 스펙트럼은 <그림 2.2-4>의 부드러운 곡선에 의해 암시되는 것처럼 직접적으로 계산된다. 이 응답 가속도를 예측할 때 불확실성의 일부는 제거되었다.



<그림 2.2-3 홀리데이 인에서 기록된 남북가속도 (0 %, 2 %, 5 %, 10 %, 20 %)의 응답 스펙트럼, 대략 1971년 페르난도 지진으로부터 5마일 정도 떨어진 위치>

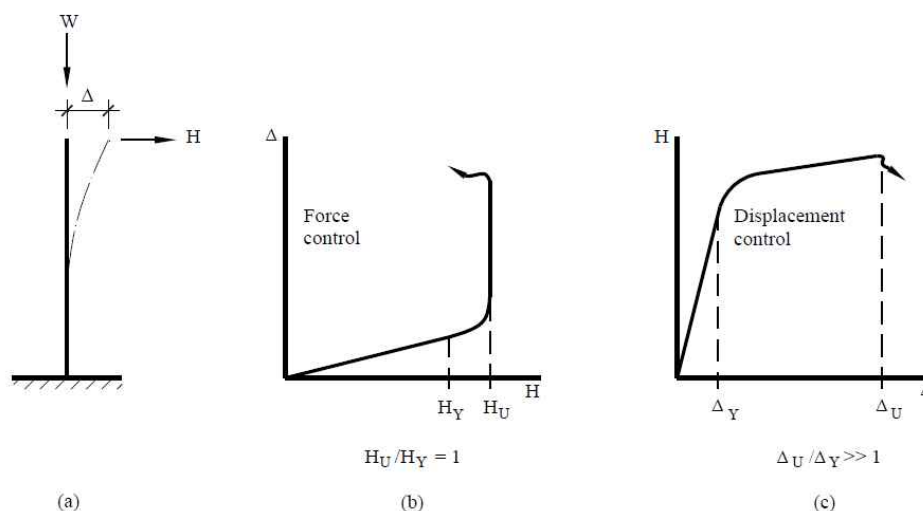


<그림 2.2-4 평균 스펙트럼>

몇몇의 구조물은 단자유도계(single degree of freedom)의 거동같이 단순화된 거동의 특성을 보인다. 그러나 동적 모달 해석의 원리는 많은 조건들이 일치한다면, 다층건물과 같은 다자유도계의 최대 응답을 합리적으로 추정을 가능하게 해준다. 이 절차는 총 건물의 응답을 다수의 고유모드로 나누고 단일 자유도 응답 스펙트럼으로부터 각 모드에 대한 최대 응답을 결정한 다음 개별 모드의 응답을 통계적으로 합산하여 최대 총 응답을 추정한다. 개정판에서는 건물의 모든 가능한 진동모드를 모두 고려하지는 않는데, 그 이유는 고차모드의 진동은 상대적으로 건물의 응답에 덜 기여를 하기 때문이다. 구조물의 응답에 있어서 지반조건은 지반운동의 특성의 상당히 중요한 역할을 한다. 특히나 진폭이 낮고 장주기의 건물에 대해서는 부드러운 토양이 암반의 움직임과 관련하여 표면의 움직임을 증폭시킵니다. 이 증폭은 지반운동의 증폭이 증가함에 따라 지반에서의 항복때문에 짧은 순간에 감소하게 된다. 개정판에서는 다양한 토질에 대해서 0.2초와 1.0초의 스펙트럼 가속도에 적용되는 증폭량을 제공함으로써 이러한 효과를 고려하고 있다.(개정판에서의 지반운동 맵)그리하여, 매우 다양한 설계 응답 스펙트럼이 FEMA P-1051, NEHRP Recommended Provisions: 설계 예에서 명시되어 있다. 앞의 논의는 구조물의 탄성 거동

을 기본 가정으로 한다. 이 Chapter의 시작에서 언급된 보통의 거동을 넘어서 확장은 지진 지반의 흔들림에 응답하는 탄성의 한계를 넘어서는 변형에 대해 허용함을 전제로 한다. 이것은 응력과 변형이 탄성의 한계상태까지 도달하지 못하게 설계하는 기존의 설계방법과는 다르다. 그러한 설계방법의 차이는 경제성에 기인한다.

지반 움직임의 동적인 특성은 만약 구조물이 충분히 연성을 가지고 있고 구조물의 어느 정도의 파괴가 용인된다면 지반 운동 에너지가 비탄성 변형에 의해 소산될 수 있다는 점이다. 그림 2.2-5에서 중요하게 풍하중과 지진에 영향사이의 차이점을 도시화하고 있다. 그림 2.2-5(1)은 하중 W 가 작다면 캔틸레버 보를 나타내고 하중 W 가 크다면 기둥을 나타낸다. 풍압력은 구조물에 대해 힘을 초래하고 이는 변위를 가져온다. 힘은 독립변수이고 변위는 종속 결과이다. 지진의 지반운동은 지반과 매스 사이에서의 변위를 초래하고 그것은 결국 내부의 힘을 초래한다. 두 그래프는 수평축에 독립 변수와 수직축에 종속 응답으로 그려진다. 그리하여 Part (b)의 그림에서 풍압력과 같은 힘의 응답의 특성을 보여주고 있고 (또는 중력 하중)반면에 Part (c)에서는 지진 지반의 움직임(또는 기초의 정착)과 같은 유입된 변위의 특징을 보여주고 있다.



<그림 2.2-5 힘 제어 저항 대변위 제어 저항 (Housner and Jennings 1982 년 이후). 부분 (b)에서 힘 H 는 독립 변수. H 가 증가하면 변위는 항복점 응력에 도달 할 때까지 증가한다. H 가 증가하면 플라스틱 힌지가 추가로 증가(약 15 %)하여 큰 변위가 발생한다. 이러한 종류의 시스템에 대해서 항복점 응력을 발생시키는 힘은 붕괴를 일으키는 힘에 가깝다. 연성은 하중을 저항하는 능력을 크게 증가시키지는 않지만, 매우 단순한 구조물에 비해서 보다 복잡한 구조물이 저항하는 능력이 더욱 증가된다.>

부재 또는 구조물의 탄성 한계를 넘어서는 상태는 연성상태로서 간주된다. 다양한 재료와 다양한 구조부재의 배치는 구조부재를 연성으로 이끌게 된다. 응답 스펙트럼은 다양한 연성을 가진 진자들을 통해 계산될 수 있다. 그러나 심하게 단순화될 위험이 있으므로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1. 매우 긴 고유 주기를 갖는 고층건물에 대해서는, 가속도 응답은 연성비에 상응한 팩터에 의해 줄어든다. (여기서 연성비는 유효 항복 변위에 대한 최대 변위의 비율 - 변형이 아니라 변위라는 점에 유의)
2. 매우 짧은 고유주기를 갖는 단층 건물에 구조물에 대해서는 연성 구조물의 가속도 응답은 탄성

구조물의 응답과 동일하지만 변위는 증가된다.

3. 중간 주기를 갖는 건물에 대해서 (거의 모든 건물에 해당), 응답가속도는 줄어든다. 그러나 변위 응답은 연성 구조물과 일반적으로 동일하다. 왜냐하면 탄성 구조물은 항복없이 응답에 충분히 강하기 때문이다.

지진파의 스케일링과 선택

시간이력 응답해석 (선형인지비선형인지)은 시간에 따라 변하는 지반 가속도를 대상구조의 수학적 모델에 단계적으로 적용하는 것으로 구성된다. 의미있는 결과를 얻기 위해서는 적절하게 수평 지반 가속 시간을 선택하고 조정해야 한다. 3차원 구조해석을 위해 두개의 성분 기록이 사용된다. 다음 절에서는 ASCE 7규정에 명시된대로 지진파의 선택 및 스케일링 값의 조정에 대한 접근 방법을 논의하고 두 가지 구성 요소의 지반운동을 선택하고 조정하는 방법을 설명한다.

지진파 스케일링 방법에는 일반적으로진폭스케일링및스펙트럼매칭의두 가지 방법이 있다. 두 가지 모두 그 목적은 스케일 계수를 적용시켜서 조정된 지진파가 수도-가속도 스펙트럼을 일부 목표 설계 스펙트럼에 근접하게 맞추는 것이다. 진폭 스케일링에서, 레코드의 각 가속도 값은 스케일 된 수도-가속도 스펙트럼 및 목표 스펙트럼의 사전 선택된 진동주기에서 일치하도록 또는 동일한 스케일 팩터에 의해 곱해 지거나, 지진파의 평균값을 이용하여 목표 스펙트럼과 밀접하게 (어떤 허용 오차 내에서) 매치시키는 것이다. 진폭 스케일링의 장점 중 하나는 원래 지진파의 주파수 특성이 유지된다는 점이다.

스펙트럼매칭 방법은 일치된 수도-가속도 응답 스펙트럼이 목표 스펙트럼의 형태와 가깝게 일치하도록 원래의 지진파를 불균일하게 스케일시킨다. (본질적으로 상이한 스케일 팩터가 원래 기록의 각 기록된 값에 대해 사용된다). 이러한 목표를 위한 다양한 접근 방법이 있으며, 푸리에 변환 (Fourier transforms) 또는 웨이블릿(wavelets)을 이용하는 절차가 가장 일반적이다. 스펙트럼과 일치하는 지진파를 사용하는 주된 이유는 진폭 스케일링을 사용할 때 필요한 것보다 적은 지진파를 가지고 다양한 지진을 적용했을 때의 평균 응답을 얻을 수 있다는 것입니다. 그러나 각 지진파의 고유한 특성이 손실된다는 점에서 스펙트럼 매칭에 약간의 우려가 존재한다. 따라서, 비선형 응답해석을 위해 사용시에는 패널티가 적용되는 이유이다.

3. 선형시간 이력 응답 해석 기준

이 장에서는 ASCE 7-16의 12장의 선형절차를 사용한 구조해석의 예시를 제공한다. 해석된 시스템은 캘리포니아 주 스톡턴 (Stockton, California)에 있는 12 층의 특수 모멘트저항 철골 건물이다. 비정형의 구조로 세 가지 구조해석 방법을 사용하여 해석되었다. 등가 횡력 분석, 모달 응답 스펙트럼 해석 및 선형 응답 시간 이력 해석 각각의 경우에 구조는 3차원으로 모델링되었다. 각 분석의 결과를 비교하고 서로 다른 분석 방법의 상대적인 장점을 논의한다. 예제를 제시하기 전에 이 장에서는 ASCE 7-10에 비해 ASCE 7-16에서 제공되는 해석 요구사항에 대한 관련 변경사항 및 추가사항에 대한 요약 제공한다. 이러한 변화의 대부분은 2015 년 NEHRP 조항에서 유사한 방식으로 다루어졌으며 ASCE 7-16과 2015 NEHRP 조항의 요구 사항 간 차이점에 대해 간략하게 논의되었다.

3-1. FEMA P-1050 및 ASCE 7-16의 선형 동적 해석을 위한 새로운 규정

선형 동적 해석 관련된 모든 변경사항은 처음에 2015 NEHRP 조항에 포함되도록 제안 되었으며, ASCE 7-16 표준에 의해 수정되고 채택되었다. ASCE 7에 통합 된 변경 사항을 먼저 설명한 다음 조항과 관련된 차이점에 대해 설명한다.

3-2 이론적인배경

이 절에서, 표준 제 12 장에서 사용 가능한 다양한 분석절차는 가장 일반적인 접근법, 선형 응답 이력(LRH) 분석부터 시작하여 가장 간단한 접근법으로 끝나는 이론적인 관점에서 설명된다. 등가 횡력(ELF) 방법. 또한 발표 된 이슈들 시스템 모델링, 지면 운동의 선택 및 수정, 다양한 분석 방법에 대한 계산 요구 사항에 대한 통찰력을 제공하는 통계 등이 포함된다.

모달 해석에서 모든 모드를 포함하더라도 구조 시스템의 정확한 응답을 추정하는 것은 사실 불가능하다. 이유는 모달 응답의 실제 부호(양수 또는 음수)와 최대 응답 시간을 알 수가 없기 때문이다. 또한, 이러한 정보가 이용가능 할 경우에도 모드는 직접적으로 중첩시킬 수 없는데, 모드의 최대 응답이 일반적으로 각 모드마다 각기 다른 시간에 발생하기 때문이다. 이러한 이유로, 응답은 합계의 제곱근과 같은 통계적 조합(SRSS)을 사용하여 또는 완전한 2차 결합(CQC) 접근법에 의해 대략적으로 결정된다. 모달반응을 직접적으로 더하는 것이 아니라 통계적 방법으로 응답을 계산하는 것은 모달 응답 이력 접근법에 비해 응답의 약간의 오차를 가져온다.

3D 해석이 사용될 때,모달 해석을 조합하는 경우에는 CQC 방법을 사용하는 것이 선호되는데, 왜냐하면 이 방법은 모달주파수가 밀접한 간격을 두어 더 정확한 결과를 제공하기 때문에, 예를들어, X 방향에서 우세한 응답을 갖는 모드와 Y 방향에서 우세한 응답을 갖는 두 모드의 주기는 거의 동일하다.

전체 구조시스템 모델링 (*Modeling the full structural system*)

실행 가능한 범위내에서, "전체구조시스템"은 수학적 모델로 표현되어야 한다. 여기서는 횡방향 하중 저항 시스템, 중력 프레임 시스템, 바닥 및 지붕 다이어프램, 기초 지반 상호 작용이 해석에 포함된다. 이 접근법은 아직까지는 일반적인 관행은 아니지만, 저자는 이러한 접근 방법을 사용하면 가장 강력한 분석을 제공할 수 있다고 생각한다. (비탄성 효과는 고려되지 않는다는 사실을 제외하고) 최신 소프트웨어 도구를 사용하여 전체 모델링 하는데 노력은 들지만 이는 전체 해석 및 설계에 중요한 영향을 미친다.

중력 시스템 모델링 (*Modeling the Gravity System*)

중력시스템의 주요 중력 요소만 포함 되어야하며(보와 기둥), 횡방향 하중 때문에 전단이 발생하지 않도록 핀-핀으로 모델링해야 한다. 간단한 구조물의 경우 중력 시스템을 모델링하는 대신 "경사기둥"을 활용할 수 있다. 이 방법은 경사기둥의 적절한 위치와 축 방향 힘을 결정하기가 어렵기 때문에 복잡한 이 예제 건물의 해석에서는 실용적이지 않다.

4. 비선형시간 이력 응답 해석 기준

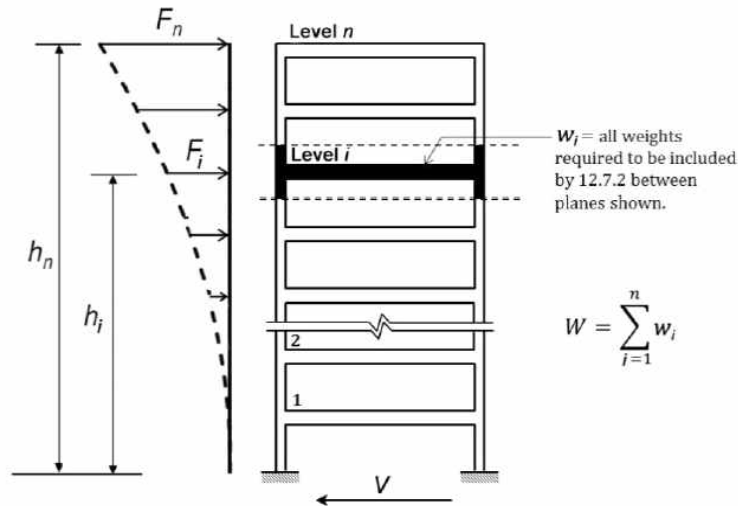
2015년 개정판과 2016년도ASCE7에 개정판에서는16장 지진응답 절차에 대한 내용을 신규 건물에 대한 평가와 설계 절차에 대한 비선형 동적해석 절차를 사용하는 것에 대한 동의와 같은 세부적인 부분을 보완하기 위한 다년간의 노력이 있어 왔다. 새로운 16장은 1997년부터 적용되었던 초기버전을 대체하였고, 비선형 시간이력 해석(RHA) 접근이 국제 지진 위험 감소 프로그램 (NEHRP) 기준의 일환으로 소개되었다.

1. 업데이트된16장에서는 설계가 ASCE/SEI 7기준의 적용가능한 요구조건들을 확인하고, 이러한 요구조건들에 대한 여의사항들, 절차 안에 명백히 내포된 사항들 외에도, 아래에서 설명하고 있는 성능설계 디자인 ASCE7 1.3절의 기준에서 다뤄져야만 하는 사항들이 포함되어 있다.
2. ASCE/SEI 7의 12.8절의 등가 횡력 하중 절차 선형 코드 기준 (예를 들면 DE-레벨) 수행 평가 또는 12.9절에서 제시하고 있는 탄성 스펙트럼 해석 방법은 최소 밀면 전단력 요구조건들을 포함한다. 이러한 절차의 목적은 모든 건물에 요구되는 최소강도 레벨을 강화하고 비틀림 거동에 대한 기본적인 평가를 제공한다. 아래 사항들은 12.8장과 12.9장의 절차에 포함되었다.
 - 위험 카테고리 I, II 와 III범주에 해당되는 구조물에 대해서 12.12.1장의 층간변위 제한은 적용되지 않는다.
 - 위험 카테고리 IV 범주의 해당되는 구조물에 대해서 층간변위 제한은 12.12.1장에서 제시된 제한치의 125%과 같다.
 - 12.4.3장에서의 지진 강도의 영향에 대해서 초과강도 계수 Ω_o 는 1.0과 동일하게 허용한다.
 - 잉여 계수 p 는 1.0과 동일하게 허용한다.
3. 서비스 수준 평가 (PEER-TBI 2009와 LATBSDC2014와같은 현재 가이드라인 문서에서 요구되는) 요구되지 않는다.
4. 극한 한계상태 (MCE레벨)비선형성능 평가를 수행한다. 이 단계는 다음과 같은 사항들을 포함한다.(a) 건물이 극한 한계상태 (MCE레벨)의 지반 흔들림에 대해 예측이 충분히 가능하고, 안정적인 응답을 보이는지를 증명하고, (b) 힘의 영향을 받는(취성 부재) 설계에 대해 에 대한 요구 힘을 결정한다. 이러한 부분을 만족했을 경우에는 기본적으로 12장에서 제시하고 있는 설계기준을 따라서 설계된 건물과 비교해 볼 때, 동등하거나 그 이상의 내진 저항성능을 가질 수 있다는 것을 암시적으로 증명하고 있다.
5. 위의 단계에서 수행 된 작업에 대한 독립적 인 설계 검토를 완료한다. 코드레벨의 평가는 최소강도와 강성을 지니기 위한 명확한 기준을 제공하고, 이러한 단계에서는 극한 상태 (MCE레벨)평가에 대해 요구되지 않는 많은 세부 설계 안전장치를 취하고 있다. 예를 들면,코드 레벨의 평가는 우발적인 비틀림, 중력과 다양한 하중조합의 시행, 그리고 풍하중 이외에도 많은 다른 요구사항들을 포함하고 있다. 따라서, 많은 이러한 설계 안전장치들은 극한상태 RHA 평가에서는 명시적으로 요구되진 않는다.

5. 횡력 다이어그램 해석

다음에서 ASCE 7-16 12.10.1장과 12.10.2장에서 지진 설계하중 다이아프램의 결정을 단계별로 설명한다. 이 장에서의 소개되는 절차는 IBC의 초기 버전이전 이후에 지속적으로 사용되고 있는데, 과거에는 모든 부재의 다이아프램에 적용되었다. ASCE 7-16장의 12.10.1장과 12.10.2장에서는 C, D, E 또는 F등급으로 지정되는 건물에서의 프리캐스트 콘크리트의 다이아프램의 설계에서는 사용되지 않는다.

Step1 : W_{px} 를 결정한다. ASCE 7-16 12.7.2장에서는 유효 지진 무게 W 를 결정한다. W_x 는 W 하중 중에서 x 방향에 속하는 하중을 말한다. W_{px} 는 W_x 와는 다른데 지진하중과 평행한 벽의 무게는 W_{px} 계산시에 제외된다.



<그림 6.1-1 여러층의밀면전단력설계의수직분포로부터얻은횡력과지진하중>

Step2 : x 부터 n 까지 모든 층의 W_i 를 결정한다.

Step3 : 설계 밀면 전단력 V 를 결정한다. (ASCE 7-16 12.8.1 장 참조)

Step4 : i 층에서의 V 의 비율을 결정한다. x 부터 n 까지 모든 층의 F_i (ASCE 7-16 12.8.3 장)

$$\sum_{i=x}^n F_i \text{ 를 계산한다.}$$

Step5 : x 층에서의 다이아 프램 설계하중 F_{px} 를 결정한다.

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \text{ 를 계산한다.}$$

Step6 : 최대 또는 최소값에 대해 F_{px} 를 체크한다.

$$0.2 S_{DS} I_e w_{px} \quad F_{px} \text{ 최대값 : } F_x \text{ 또는 이하}$$

$$0.4 S_{DS} I_e w_{px} \quad F_{px} \text{ 최소값 : 이상}$$

6. 구조물 지반 상호작용

건물과 다른 구조물의 설계에서 채택되는 전통적인 접근법은 관성과 운동학을 모두 이용하는 것이다. 구조물의 힘을 가하고 기초부분을 강하게 고정하는 것이 설계를 할 때의 일반적인 관행이다. 12.7.1장의 기준에서는 이러한 이상화를 허용을 한다. 앞에서 제시한 예시에서, 상부 구조물이 먼저 해석되고 그 이후에 기초는 상부구조물로 부터 지반으로 전달되는 반력에 근거하여 설계를 진행한다. 7 장의 매트 기초예제에서 설명되는 것과 마찬가지로 기초시스템이 구조용 매트가 아닌 경우에 설계에서 기초의 유연성에 대한 고려를 하지 않는다.

그러나, 토질과 기초의 상호작용 사이에서 발생하는 유연성은 실제적으로 발생한다. 이러한 유연성은 토질 때문일 수 있고 기초의 요소 혹은 둘 다 원인이 될 수 있다. 간단히 말하면, 강성이 큰 구조물, 기초의 유연성의 효과는 시스템을 좀 더 유연하게 만들 수 있고, 이것은 건물의 기본주기를 변화시킨다. 그리고, 이에 따라 힘이 부재로 흘러가는 방법을 변화시킬 수 있다.

토질 구조물의 상호작용의 하나의 측면은 토양 - 기초경계면에서 동적 상호작용으로 인해 발생할 수 있는 시스템의 감쇠효과이다. 감쇠가 발생할 수 있는 다양한 요소들이 존재한다 - 토질과 기초의 항복, 토질 이력곡선 거동과 동적인 응답으로 인해서 기초에서 떨어진 곳에서 발생하는 지진파와 같은 요소들이다. 기준에서는 기초 또는 기초 자신의 대한 토질의 거동이 상부구조물보다 큰 것을 원하지 않기 때문에, 기초 요소 또는 기초 요소에 직접 인접한 토양에서 항복 할 가능성이 있다. 이러한 항복은 상부 구조에서 항복하는 것과 마찬가지로 지진에너지의 비탄성 소산에 영향을 미친다. 선형 절차에서는, 이러한 에너지 소산은 특정한 시스템에 대한 R 값 내에서의 내제된 것으로써 간주된다. 왜냐하면 기준에서는 증폭된 지진하중 E_m 에 대한 기초 요소 또는 토질의 거동에 대한 설계를 요구하지 않고 있기 때문이다. 표준 및 조항의 16장에서 비선형 시간이력 응답해석의 경우에는, 이러한 토질 구조물의 상호작용에 대해서 명백하게 비선형 해석 모델에 포함되어 제어되어야 한다.

지진파가 지표면의 하부 물질을 이동함에 따른 토양의 이력현상으로 구조물의 감쇠가 발생할 수 있다. 이러한 영향은 부드러운 토질에서 더 명백하게 나타나는데, 여기에서 지표면 하부물질의 유연성은 토질-구조 시스템의 주기와 강성에 상당히 영향을 미친다. 따라서 지진의 증폭과 사이트 등급을 직접적으로 고려를 하여 해당 감쇠비로 모델링 되어야 한다.