

최근 내진설계 개념의 발전동향

미국 UBC-97의 내진설계 기준의 변화 Changes of Earthquake Resistant Design in UBC-97



김희철*

1. 서론

미국에서 사용되고 있는 내진설계 기준은 여러 종류가 있으나 그 대표적인 것이 Uniform Building Code(이하 UBC)이다. 독자들이 아는 바와 같이 UBC는 매 3년마다 기준을 개정하고 있으며 내진설계에 대한 기준은 최근의 연구와 경험을 바탕으로 특히 많은 개정작업이 이루어지고 있다. UBC의 내진설계기준은 일반적으로 캘리포니아 구조기술자연합 (Structural Engineers Association Of California, 이하 SEAOC)에서 발간되는 내진구조기준과 매우 흡사하며 SEAOC의 기준을 따르는 경향이 많은데 그 이유는 UBC의 개정작업에 참여하는 대부분의 기술자 및 과학자들이 같기 때문이다.

미국에서 사용되고 있는 내진설계에 대한 기

준은 1933년 캘리포니아 주정부에서 처음으로 도입된 이후 지금까지 약 6번의 커다란 개정이 있었다. 그러나 현재 우리가 사용하고 있는 내진설계기준과 비슷한 형식은 1974년 SEAOC에서 사용되었으며 이후 1988년에 커다란 변화가 있었다.

최근 들어 지진의 발생 빈도는 세계적으로 증가하고 있으며 한반도 또한 예외는 아니다. 지진의 발생빈도가 높아짐과 함께 이에 대한 연구 또한 더욱 활발하게 진행되고 있으며 이러한 연구의 결과로써 지진의 크기만 고려하던 과거의 내진기준과는 달리 강진, 중진 및 약진이 발생할 수 있는 확률을 고려하게 되었다. 또한 각 지역에 따라 크기가 다른 지진에 따른 구조물의 거동에 기인한 내진설계법인 performance based seismic design(PBSD)에 대한 개념

* 경희대학교 건축공학과 조교수

이 내진설계 기준에 반영되어야 한다는 과학자들의 연구결과에 따라 이에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다. 가장 최근에 발간된 UBC-97에서는 PBSD 개념의 일부가 도입되므로써 또 다른 변화를 가져오게 되었다. 본 기사의 전반부는 최근에 개정된 UBC-97의 구조물에 대한 지진하중 산정의 변화에 대한 설명을 주로 다루고 후반부에서는 콘크리트 모멘트 저항골조에 대한 내용을 기술한다.

2. UBC-97에 의한 지진하중의 산정

최근에 발행된 UBC-97의 지진하중 산정에 대한 부분은 많은 변화를 하였다. 이러한 변화는 최근 몇 년 사이 세계 각 처에서 발생한 지진에 의한 경험들을 바탕으로 지금까지의 연구 결과를 통하여 얻어진 것이다. 가장 커다란 변화는 새로운 두 종류의 계수를 도입하였다는 사실로써 그 하나는 근접지역계수이며 다른 하나는 신뢰도/잉여 계수이다. 또한 UBC-97은 극한강도설계를 기본으로 하여 작성되었으므로 하중에 적용하는 계수를 개정하였다. 지진하중을 포함하는 하중의 조합에 대한 식을 보면 다음과 같다.

$$1.2D + 1.0E + (f_1 L + f_2 S) \quad (2.1)$$

$$0.9D (1.0E \text{ or } 1.3W) \quad (2.2)$$

위 식에서, D = 고정하중, E = 지진하중, L = 적재하중, S = 적설하중, W = 풍하중을 말하며 f_1 = 적재하중계수, f_2 = 지붕의 형상계수를 말한다.

식 (2.1)과 식(2.2)에 적용되는 지진하중 E 는 아래의 식에 의하여 산출하도록 하였다.

$$E = \rho E_h + E_v \quad (2.3)$$

식 (2.3)에서 E 는 총 설계지진하중, ρ 는 신뢰도/잉여계수, E_h 는 밀면전단력 V 에 의한 횡방향

의 설계지진하중을 말하며, E_v 는 연직방향의 설계지진하중을 말한다.

신뢰도/잉여계수 ρ 는 구조물의 횡하중 저항체계에 있어 잉여도의 정도를 고려하기 위한 것이다. 따라서 횡하중 저항체계에 있어 잉여도가 낮을수록 잉여계수는 높아져서 지진하중은 결과적으로 더 크게 산정된다. UBC-97에 명시된 신뢰도/잉여계수를 SI 단위로 표시하면, 다음과 같다.

$$\rho = 2 - \frac{6.1}{r_{\max} \sqrt{A_B}} \quad (2.4)$$

위 식에서, A_B 는 구조물의 바닥층 단면적(m^2)을 말하며, r_{\max} 는 부재의 전단력에 대한 층전단력의 최대비로써 하중이 작용하는 방향으로의 층전단력에 대하여 전단하중이 최대로 작용하는 부재의 전단력에 대한 비를 말한다.

신뢰도/잉여계수는 최소 1.0, 최대 1.5의 값을 가진다. 이층저항 시스템을 제외한 SMRF(모멘트저항 철골조)의 경우 1.25를 초과할 수 없다.

3. 정적해석법에 의한 전단력의 산정

정적해석법에 의한 밀면전단력의 산정식은 과거의 계산식과 그 형태는 비슷하나 새로운 계수들을 도입하였으므로 계산 방법이 변하였다. 또한 밀면전단력의 상한값과 하한값을 정하여 어느 정도 이상 또는 이하의 하중이 작용하지 않도록 하였다. 새로 도입된 밀면 전단력의 산출식은 다음과 같다.

$$V = \frac{C_v I}{R T} W \quad (3.1)$$

$$0.11 C_a I W \leq V \leq \frac{2.5 C_a}{R} W \quad (3.2)$$

또한 중요도가 높지 않은 저층의 건물에 대하여 간단한 방법으로 밀면 전단력을 산출할 수 있도록 식 (3.3)과 같은 약산식을 제공하였다.

$$V = \frac{3.0C_a}{R} W \quad (3.3)$$

3.1 지진계수 C_a 와 C_v

식 (3.1), 식 (3.2) 및 식 (3.3)에서 사용된 지진계수 C_a 와 C_v 는 이전의 기준에서는 지반의 형태에 따라 다르게 표현되었던 계수로서 UBC-97에서는 종전에 분리되어 있던 지역계수와 지진계수를 하나의 지진계수로 통합하였다. 따라서 표 1 과 표 2에 보는 바와 같이 지역에 따라 각각 다른 계수를 부여함으로써 같은 지반을 가진 건물이라도 지진지역이 다를 경우에는 서로 다른 값을 사용하도록 하였다.

표 1 지진 계수 C_a

지반 종별	지진 구역 계수, Z				
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.3	Z=0.4
S _A	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32N _a
S _B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40N _a
S _C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40N _a
S _D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44N _a
S _E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36N _a
S _F	지질학적 특성 조사 및 동적거동해석을 수행한 지반				

표 2 지진 계수 C_v

지반 종별	지진 구역 계수, Z				
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.2	Z=0.3	Z=0.4
S _A	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32N _v
S _B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40N _v
S _C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56N _v
S _D	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64N _v
S _E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96N _v
S _F	지질학적 특성 조사 및 동적거동해석을 수행한 지반				

표 3에 보는 바와 같이 종전에 5 종류로 분류되었던 지반의 종별은 6 종류로 증가하였다. 첨가된 지반의 종류는 매우 연약한 매립토에서의 지진에 대한 거동을 고려한 것으로서 우리나라의 경우 최근 증가하고 있는 해안 매립지와는 매우 관계가 깊다고 할 수 있다.

표 1과 표 2에 사용된 N_a 와 N_v 는 UBC-97에서 새롭게 사용된 계수로서 단층(fault)으로

부터의 거리에 대한 근접계수이다. 근접계수 N_a 와 N_v 는 단층 부근에서 발생하는 지반 운동에 대한 효과를 고려한 것으로서 표 4와 표 5에 보인 바와 같이 단층으로 부터의 거리에 의존한 계수이다.

표 3 지반 종별

지반 종별	지반 종명/속성 기술	지반 종별의 100feet에서의 평균 지반 성질		
		전단파 속도 V_s , (m/s)	표준관입시험치 N[점착력이 없는 토양에 대해서는 N_{CH}]	전단 강도 (kPa)
S _A	경암반	>1,500	—	—
S _B	암반	760~1,500	—	—
S _C	매우 단 단한 지반, 연약반	360~760	>50	>100
S _D	단단한 지반	180~360	15~50	50~100
S _E	연약한 지반	<180	<15	<50
S _F	공간을 요하는 토양 - 정확한 값. (참조 Section 1629.3.1.)			

표 4 진원 근접 계수 N_e

진원 유형	알고있는 진원까지의 최단거리		
	≤2km	5km	≥10km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

표 5 진원 근접 계수 N_v^1

진원 유형	알고있는 진원까지의 최단거리			
	≤2km	5km	10km	≥15km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

3.2 중요도계수

건물의 중요도에 따른 중요도계수는 과거의 기준과 차이가 없다. 표 6에서 보는 바와 같이 건물을 비롯한 구조물의 경우 중요도에 따라 다섯 종류로 분리하여 1.0 또는 1.25의 계수를 부여함으로써 중요한 건물에 대한 지진하중을 다른 건물에 비하여 25% 더 증가시키도록 하고 있다. 또한 비구조재의 경우 건물의 중요도에 따라 1.0 또는 1.5의 계수를 부여함으로써

표 6 사용분류에 따른 중요도계수

사용 분류	구조물의 사용 또는 기능	지진 중요도 계수, I _I	지진 중요도 계수, I _P
1. 중요한 시설	진료/비상 시설, 소방서, 경찰서 비상(교통/항공사고)시 대피할 격납고, 대피소, 관재탐 비상사태 대비 구조물 또는 피난처 정부 통신센터 또는 긴급 응답에 필요한 구조물 또는 시설 에비전력 공급 장치 분류 1, 2, 3의 구조물을 보호하기 위해 탱크나 주거에 필요 한 구조물, 화재 방재에 필요한 물질이나 도구,	1.25	1.50
2. 위험한 시설	독극물, 폭발성이 강한 화학물등이 있는 구조물, GROUP H, DIVISION 1, 2, 6 및 7에 해당하는 건물 독극물, 폭발성이 강한 화학물등이 있는 비 건축물 및 GROUP H, DIVISION 1, 2, 및 7에 해당하는 건축물	1.25	1.50
3. 특별히 사용되는 구조물	300명 이상의 학생을 수용하는 경우 GROUP E, DIVISION 1, 3을 적용 분류에 속하지 않으나 50명 이상의 거동이 힘든 환자를 수 용하는 경우 GROUP I, DIVISION 1, 2에 해당하는 건물 GROUP I, DIVISION 3의 적용을 받는 5000명 이상을 수 용하는 모든 구조물 분류 1, 2에서 제외된 계속해서 전원을 공급해야 할 모든 비상 전원 공급장치/시설	1.00	1.00
4. 기본 사용되는 구조물	분류 1, 2, 3와 GROUP U에 속하지 않는 모든 구조물/주택	1.00	1.00
5. 기타	GROUP U에 속하는 모든 건축물	1.00	1.00

중요한 건물의 지진하중에 산정에 필요한 중요도를 50%까지 증가시키도록 하였다.

$$T = C_t (h_n)^{3/4} \quad (3.4)$$

3.3 골조시스템에 따른 계수 R

구조물을 형성하고 있는 골조시스템의 종류에 따른 연성계수 R은 과거의 다섯 종류에서 캔틸레버기둥 형태의 구조물과 전단벽과 골조가 상호작용을 하고 있는 두 종류가 첨가되어 7 종류로 분리되었다. 또한 표 7에서 보는 바와 같이 과거에 비하여 계수 R의 값이 전체적으로 하향 조정되었다. 그 이유는 1995년까지 구조물의 연성계수 C에 포함되었던 구조물의 고유주기 T가 별도로 분리되어 식 (3.1)의 분자항으로 자리잡았기 때문이다.

3.4 구조물의 고유주기 T

구조물의 고유주기 T를 산출하는 방법은 종래의 기준과 차이가 없이 두 종류를 명시하였다. 방법 A라고 명시된 첫 번째 방법은 경험법에 의한 식 (3.4)로써 과거의 주기 산출식과 변화가 없다.

식 (3.4)에서 C_t는 주기산출을 위한 계수로써 철골 모멘트저항골조의 경우 0.0853, 철근콘크리트 모멘트저항골조 및 편심 가새골조의 경우 0.0731, 그 이외의 건물들은 0.0488을 사용하도록 하였다. 또한 UBC-97에서는 철근콘크리트 및 조적의 전단벽에 대하여 선택적으로 $0.0743/\sqrt{A_c}$ 를 사용할 수 있도록 하였다. A_c는 m²의 단위이며 식 (3.5)에 의하여 산정한다.

$$A_c = \sum A_e [0.2 + (D_e/h_n)^2] \quad (3.5)$$

위 식에서 A_e는 수평방향의 최소단면적을 말하며 D_e는 작용하중의 방향과 평행한 전단벽의 높이를 말한다. 단 식 (3.5)에서 D_e/h_n은 0.9를 초과할 수 없다.

방법 B는 에너지 보존의 법칙을 이용한 레일리의 식을 이용한 고유주기의 산출식으로써 과거의 식과 변화가 없다.

식(3.1)에 의하여 산출된 밀면 전단력을 각 층에 분포시키는 방법은 종전과 같이 최상층을 제

표 7 구조 시스템에 따른 연성계수 R

기본 구조 시스템	측면 하중 저항 시스템 서술	R	Ω_0
1. 전단벽 시스템	1. 전단패널을 가진 경량골조 벽식	5.5	2.8
	a. 3층 또는 그 이하의 목조 패널벽식	4.5	2.8
	b. 모든 경량골조 벽식		
	2. 전단벽식	4.5	2.8
	a. 콘크리트	4.5	2.8
	b. 벽돌		
	3. 인장 가새에 의한 경량철골 골조 벽식		
	4. 가새가 중력을 전달하는 가새 구조	2.8	2.2
	a. 철골		
	b. 콘크리트	4.4	2.2
c. 목재	2.8	2.2	
2. 골조 시스템	1. 철골 편심 가새 구조(EBF)	7.0	2.8
	2. 전단 패널을 가진 경량 골조벽식		
	a. 3층 또는 그 이하의 목조 패널벽식	6.5	2.8
	b. 모든 경량골조 벽식	5.0	2.8
	3. 전단벽식		
	a. 콘크리트	5.5	2.8
	b. 벽돌	5.5	2.8
	4. 보통 가새 골조		
	a. 철골	5.6	2.2
	b. 콘크리트	5.6	2.2
c. 목재	5.6	2.2	
5. 특별히 집중된 가새구조			
a. 철골	6.4	2.2	
3. 모멘트 저항 골조 시스템	1. 모멘트 저항 골조(SMRF)		
	a. 철골	8.5	2.8
	b. 콘크리트	8.5	2.8
	2. 모멘트저항 조적조(MMRWF)	6.5	2.8
	3. 일부의 모멘트 저항 콘크리트조(IMRF)	5.5	2.8
	4. 일반 모멘트 저항 골조(OMRF)		
a. 철골	4.5	2.8	
b. 콘크리트	3.5	2.8	
5. 모멘트저항 철골트러스조(STMF)	6.5	2.8	
4. 이중 골조 시스템	1. 전단벽		
	a. 콘크리트조 SMRF	8.5	2.8
	b. 콘크리트조 OMRF	4.2	2.8
	c. 콘크리트조 IMRF	6.5	2.8
	d. 조적조 SMRF	5.5	2.8
	e. 조적조 OMRF	4.2	2.8
	f. 조적조 IMRF	4.2	2.8
	g. 조적조 MMRWF	6.0	2.8
	2. 철골 EBF		
	a. 철골조 SMRF	8.5	2.8
	b. 철골조 OMRF	4.2	2.8
	3. 일반 가새 골조		
	a. 철골조 SMRF	6.5	2.8
	b. 철골조 OMRF	4.2	2.8
	c. 콘크리트조 SMRF	6.5	2.8
	d. 콘크리트조 OMRF	4.2	2.8
4. 특별히 집중된 가새 골조			
a. 철골조 SMRF	7.5	2.8	
b. 철골조 OMRF	4.2	2.8	
5. 쉐넬레버 기동시스템	1. 연직 쉐넬레버 요소	2.2	2.0
6. 전단벽-골조 상호작용 시스템	1. 콘크리트	5.5	2.8
7. 기타	Section 1629.6.7, 1629.9.2참조	--	--

의한 모든 층에 선형으로 분포시키도록 하였다.

4. 동적해석법에 의한 전단력의 산정

UBC에서 제안한 동적해석법은 두 종류가 있는

데 그 하나는 기준에 주어진 반응스펙트럼을 사용하여 해석하는 반응스펙트럼법(Response Spectrum Analysis)이며 다른 하나는 특정 지역의 지진기록을 이용하여 해석을 수행하는 시간이력해석법(Time-history Analysis)이다. UBC-97의

동적해석에서는 다음과 같은 5 종류의 설계 자료를 사용할 수 있도록 허용하고 있다.

- 1) UBC에 주어진 탄성의 반응설계스펙트럼
- 2) 특정 지역의 지리학적, 지형학적 및 지반의 특성에 따라 작성된 탄성의 반응설계스펙트럼
- 3) 실제의 지진운동을 대신할 수 있는 특정 지역에서의 시간이력지반운동
- 4) UBC 기준상의 지반형태 S_F 에 지어지는 구조물은 위의 2) 또는 3)항에 의거하여 작성된 반응설계스펙트럼 또는 지반운동
- 5) 해당되는 지역의 수평방향 가속도에 2/3를 곱한 수직방향의 지반운동

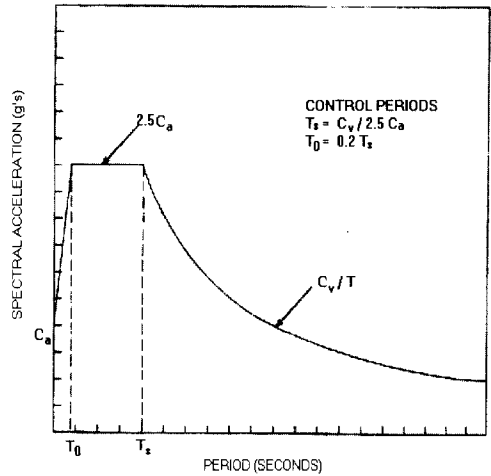


그림 1 Design Response Spectra

4.1 반응스펙트럼 해석법

반응스펙트럼 해석법은 UBC에 명시된 5가지 동적해석법 중에서 가장 쉽고 보편화된 방법으로써 내진설계에서는 매우 유용한 방법이다. 반응스펙트럼이란 특정한 하중을 작용시켰을 때 단자유도계에서 발생하는 최대반응을 그림으로 표현한 것이다.

1994년까지의 UBC에서는 구조물의 지반형태에 따라 세 종류의 반응스펙트럼을 제시하였다. 그러나 UBC-97에서는 지반의 종류에 따라 다른 값을 가지는 지진계수 C_a 와 C_v 의 값에 따라 그림 1에 나타난 바와 같이 사용자가 직접 설계용 스펙트럼을 작성하도록 하였다.

4.2 시간이력 해석법

1994년까지의 UBC에서는 시간이력해석법에 대한 설명이 거의 없이 역학적 원리만을 만족시키도록 하고 있다. 시간이력해석법은 반응스펙트럼 해석법에 비하여 매우 복잡하며 구조물의 지반조건과 같은 지반에서 측정된 지반운동에 대한 자료를 구하기가 힘들기 때문에 실무에서는 거의 사용하지 못하고 있으나 초고층건물 또는 원자력발전소와 같이 특수한 구조물에 대해

서는 보다 정확한 해석을 위하여 수행할 필요가 있다.

UBC-97에서의 시간이력해석법은 탄성 시간이력해석법과 비선형 시간이력해석법의 두 종류로 명시되어 있다. 시간이력해석법에 사용되는 시간이력은 3개 이상의 자료 중에서 적합한 수평지반운동 자료 2개를 사용하여 수행하도록 하고 있다. 3개 이상의 자료가 없을 경우에는 적합하게 묘사된 지반운동 자료의 사용도 가능하며, 5% 감쇠비를 적용하고 SRSS를 이용하여 각각의 자료에 대한 스펙트럼을 작성하도록 하였다. 3개의 자료를 사용하여 시간이력해석을 수행한 경우에는 가장 반응이 큰 값, 7개 이상의 자료를 사용한 경우에는 평균값을 설계에 사용하도록 한다.

탄성 시간이력해석법을 사용하였을 때는 극한 강도에 의한 설계를 수행하도록 하였다. 비선형 시간이력해석을 수행한 경우에는 횡하중 저항시스템에 대한 설계의 검토를 수행하여야 한다. 횡하중 저항시스템에 대한 검토는 다음 사항을 포함한다.

- 1) 특정 지반에 대한 스펙트럼의 개발 및 지반운동 시간이력의 검토
- 2) 횡하중 저항시스템의 기본설계에 대한 검토
- 3) 횡하중 저항시스템의 해석과정 및 최종설계에 대한 검토

5. 철근콘크리트구조

강도설계법에 의한 콘크리트 구조물의 설계에 적용될 수 있는 하중의 조합은 표 8에 보인 바와 같이 5 종류로 나눌 수 있으며 그 중에서 지진하중을 포함하는 하중의 조합은 두 가지이다. 그러나 콘크리트 정착이 부재의 인장축에 묻혀 있을 경우에는 하중계수 2를, 인장축이 아닌 경우에는 1.3을 부가적으로 적용하며 특별한 조사를 하도록 UBC 1923.2에 명시하고 있다. 그러나 특별한 조사를 하지 않는 경우에는 인장축과 인장축이 아닌 부분에 대한 하중계수 3 및 2를 각각 적용하도록 하였다.

표 8 강도설계에 대한 하중계수

하중조합	하중계수				
	D	L	W	S	E
D+L	1.4	1.7	-	-	-
D+L+W	1.05	1.28	1.28	-	-
D+L+S+E	1.32	1.1f ₁	-	1.1f ₂	1.7
D+W	0.9	-	±1.3	-	-
D+E	0.99	-	-	-	±1.1

UBC-97의 철근콘크리트 부분은 많은 부분이 수정되었다. 그러나 본 기사에서는 UBC-97에서 변경된 일부의 내용만을 간단히 기술하기로 한다.

5.1 프리캐스트 횡하중 저항 시스템

97년의 UBC에서는 프리캐스트 구조에 대한 내진설계기준 항목이 신설되었다. 본 항목에서는 프리캐스트 구조의 횡하중 분배에 대한 기준을 설정하였으며, P.C. 구조의 취약점인 보-기둥 접합부에서의 설계하중 및 접합부의 특성들에 대한 기준을 제시하였다.

5.2 철근의 용접 및 기계적이음

지진지역 2, 3, 4에서는 소성힌지가 발생할 가

능성이 있는 부위 및 소성힌지로 부터 보의 춤만큼 떨어진 지역에서는 용접을 할 수 없도록 하였다. 또한 기계적 이음을 사용하는 경우에 대한 강도를 이음의 형태 및 지진지역에 따라 구분하여 표시하였다.

5.3 휨재의 설계

인장 철근만을 사용한 부재의 휨 강도는 다음과 같다.

$$M_n = A_s f_y d (1 - 0.59 \rho f_y / f'_c) \quad (5.1)$$

위 식에서,

A_s = 인장철근의 면적 f_y = 철근의 항복응력
 d = 단면의 유효깊이 $\rho = A_s / bd =$ 철근비
 f'_c = 콘크리트의 압축강도 b = 단면의 폭

을 말한다. 지진하중에 의하여 기둥의 양단에 발생하는 소성힌지의 형성은 횡방향 변위 메커니즘(sidesway mechanism)에 의하여 층을 파괴를 유발하게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 강한-기둥/약한-보의 개념이 요구된다. 기둥이 횡하중 저항시스템의 일부로 작용하는 경우 계수축하중이 $A_g f'_c / 10$ 를 초과하도록 설계하여야 식 (5.2)를 만족시킬 수 있다.

$$\sum M_e \geq 1.2 \sum M_g \quad (5.2)$$

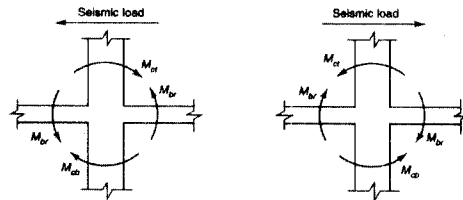


그림 2 강한-기둥/약한-보의 개념

식 (5.2)에서, $\sum M_e$ 는 절점 중앙에 있는 기둥의 설계휨강도의 합, $\sum M_g$ 는 절점 중앙에 있는 보와 같은 평면내에 있는 기둥의 설계휨강도의 합을 말하며 A_g 는 기둥 단면의 총 면적을 말한다.

그림 2에서 보는 바와 같이 지진하중은 어느 방향에서나 작용할 수 있다. 그림에서 사용한 부호는 부재의 양단에 작용하는 휨모멘트는 절점으로 부터 부재로 작용하는 상태를 나타낸 것이다.

부재의 취성 전단파괴를 방지하고 연성 휨파괴를 유도하기 위하여 UBC에서는 설계전단하중의 결정에 있어 부재의 양단에서 발생할 수 있는 휨강도와 사용 중력하중을 합하여 구하도록 하였다. 부재의 양단에서 발생할 수 있는 휨강도는 UBC의 1921.0에 명시된 바와 같이 변형도 경화현상은 철근의 유효인장강도를 25% 증가시킨다는 가정하에 산출할 수 있으며 이를 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$M_{pr} = A_s(1.25f_y)d[1 - 0.59\rho(1.25f_y)/f'_c] \quad (5.3)$$

그림 3에서 보는 바와 같이 양단에서 반대편으로 작용하는 휨모멘트는 2차 곡률을 형성하게 된다. 따라서 위험전단하중을 산출하기 위해서는 보의 오목한 부분과 볼록한 부분에서 모두 휨강도를 계산하여야 한다. 왼쪽으로 작용하는 지진하중에 대한 보의 왼쪽 단부에 대한 설계전단하중은 다음 식에 의하여 산출한다.

$$V_e = (M_{pr1} + M_{pr2})/L_n + V_g \quad (5.4)$$

위 식에서,

L_n = 보의 순 길이

V_g = 사용중력하중에 의한 보의 왼쪽 단부에 작용하는 전단력

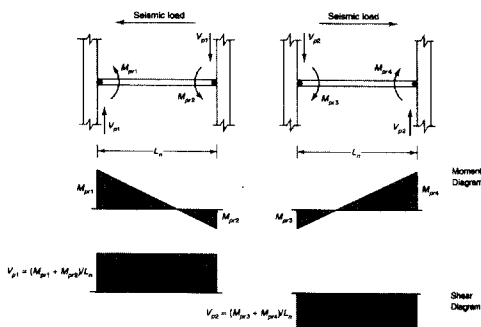


그림 3 휨강도에 따른 보의 전단

이다. 같은 방법으로 오른쪽으로 작용하는 지진하중에 대한 보의 오른쪽 단부에 대한 설계전단하중의 산출은 다음의 식에 의한다.

$$V_e = (M_{pr3} + M_{pr4})/L_n + V_g \quad (5.5)$$

이상과 같이 1997년에 개정된 UBC에 대하여 간단하게 기술하였다. 앞에서 기술한 바와 같이 향후의 UBC는 PBSD 개념에 근거하여 계속적으로 수정될 것이므로 지금까지보다 더욱 빠른 속도로 기준이 변화될 것으로 예측된다. 따라서 모든 구조기술자들은 이러한 변화에 대응할 수 있도록 준비를 하여야 할 것이다.

참고문헌

1. International Conference of Building Officials, 1997 Uniform Building Code, ICBO, Whittier, CA., 1997
2. International Conference of Building Officials, 1988 Uniform Building Code, ICBO, Whittier, CA., 1988
3. Farzad Naeim, The seismic design handbook, Van Nostrand Reinhold, New York, 1989
4. Norman B. Green, Earthquake Resistant Building Design & Construction, 2nd Ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1981
5. M. Paz, International Handbook of Earthquake Engineering, Chapman & Hall, 1994
6. Glen V. Berg, Elements of Structural Dynamics, Prentice-Hall, 1988
7. 한국전산구조공학회, 구조동역학의 개념 및 내진설계, 한국전산구조공학회 기술강습교재 8-1, 1993
8. 한국지진공학회, 도로교의 내진설계, 한국지진공학회 제1회 기술강습회 교재, 1997
9. 한국지진공학회, 건축물의 내진설계, 한국지진공학회 제2회 기술강습회 교재, 1998
10. Alan Williams, Seismic Design of Buildings and Bridges, 2nd Ed., Engineering Press, 1998
11. L.Y. Ho, R. Li, M. Pourzanjani, "Implications for seismic design in the UBC", Concrete International, November, 1997