

KBC 2008(안)-지진하중 주요 개정내용



이영욱
군산대학교 건축공학과 교수

국내 지진하중이 건축물에 설계에 반영되기 시작한 것은 1988년부터이다. 이후 지속적으로 내진설계에 대한 기술이 발전되어 왔으며, 1997년에는 한국지진공학회 주관으로 내진설계기준연구(II)를 수행하여 성능에 근거한 구조물의 설계의 기반을 구축하였다. 2005년에 건축구조설계기준(이후, KBC 2005)이 제정되면서 내진설계에 변동이 있었다.

이번 개정안(이후 KBC 2008)에서는 주로 지진하중의 표기의 국제화 추세의 반영과 국내 지반특성을 기준에 반영하고자 하였다. 이외에도 IBC 등의 기준을 참고하여 불합리하게 높게 산정되거나 잘못된

부분은 일부 수정을 하였다. 최종적으로 문구의 수정을 제외하고 내용상 수정된 부분을 정리하면 <표 1>과 같다.

앞에서 언급한 KBC 2005를 제정할 때에 설계개념의 기본 틀로서 IBC를 참고하였다. 이때 지진하중에서 가장 큰 변동은 지진하중의 재현주기의 설정에 있었다. KBC 2005 이전에는 500년 재현주기의 지진하중을 건축물에 하중계수를 곱하여 적용하였으나, KBC 2005 부터는 2400년 지진하중의 2/3배를 설계하중으로 하고 하중계수를 곱하지 않게 되었다. 그러나 KBC 2005 제정 당시 국내 상위 기준(건축물의 구조기준 등에 관한 규칙)에 지진구역에 따른 지역

<표 1> KBC 2008(안)-지진하중의 주요 변동 조항

수정조항 (KBC 2008)	주요내용
0306.3.1 지진구역 및 지역계수	지역계수 S의 사용을 다음과 같이함 지진구역 1: S=0.22 지진구역 2: S=0.14
0306.3.2.2 지반분류의 기준면	일반적으로 지반분류는 지표면을 기준으로 정함 말뚝기초를 사용하는 경우에는 지표면을 기준으로 사용함
0306.3.3 설계스펙트럼 가속도	설계스펙트럼 산정식의 변화 증폭계수 F_a , F_v 의 사용 재현주기 2400년 최대예상지진도를 이용한 유효지반가속도(S)의 산정
0306.5.2 지진응답계수	최소값을 $C_s=0.01$ 으로 축소
0306.5.3 주기산정법	고유주기는 약산식에 의한 T_d 에 <표 0306.5.1>의 주기 상한계수 C_u 를 곱한 값을 초과할 수 없도록 제한
0306.5.6.4 비틀림의 동적 증폭	비틀림 증폭계수 A_r 를 각 층에서 M_{10} 에 곱함
0306.6.4 내진설계범주 'D'에 대한 시스템 제한	<표 0306.6.1>에서 시스템의 제한과 높이제한을 설정함
0306.7.3.5 설계값의 산정	$C_m=0.85 \frac{V}{V_t} \geq 1.0$

계수가 정의되어 있었기 때문에 재현주기에 맞는 지역계수(표 0306.3.1 참조)들을 표면적으로 사용하지 못하였다.

내진설계의 국제적인 추세를 반영하여 KBC 2008에서는 기준이 되는 지진하중을 2400년 재현주기로 설정되었음을 표현하고자 하였다. 2400년 재현주기에 대한 개념은 이미 KBC 2005에 반영이 되었기 때문에 단지 KBC 2008에서 표현상의 변화만 필요하였다.

이상을 요약하여 정리하면 KBC 2008에서 내진설계 지진하중의 크기를 재현주기 500년에서 2400년으로 증가함으로 외형적으로 하중이 증가하는 것처럼 보이지만 실제의 크기는 KBC 2005와 변동이 없도록 개정작업을 수행한 것이라고 할 수 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 KBC 2005에서는 재현주기에 맞는 지역계수(표 0306.3.1 참조)를 사용하지 못하였으나, 이번 개정에서는 내진의 설계의 개념에 부합되는 지역계수 S를 사용하게 되었다. S는 그림 0306.3.1의 재현주기 2400년 최대예상지진의 유효지반가속도이다. 다시 언급하지만, 재현주기의 증가는 하중의 증가를 의미하는 것이 아니고 기존 지진하중의 크기는 동일한 상태를 유지하지만 내진기준의 국제화를 반영하기 위한 것이다. 다음은 개정된 지역계수 관련 조항이다.

0306.3.1 지진구역 및 지역계수

우리나라 지진구역 및 이에 따른 지역계수 값은 <표 0306.3.1>과 같이 구분한다.

<표 0306.3.1> 지진구역 구분 및 지역계수

지역계수 S	지진구역	행정구역
1	지진구역 2를 제외한 전지역	0.22

※ 강원도 북부(군, 시): 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시, 전라남도 남서부(군, 시): 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

<표 0306.3.1>에서 보면 지진계수는 기존의 A에서 S로 변경되면서 기존의 값을 2배로 하여 지진구역1은 0.22, 지진구역 2는 0.14의 값을 채택하였다. KBC 2005에서 사용한 A는 재현주기 500년에 해당하는 최대예상지반가속도의 크기이나 KBC 2008에서 사용하는 S는 2400년에 해당하는 값을 사용한 것이다. 내진설계기준연구II(건설교통부, 1997)에 따르면 500년 재현주기와 2400년 재현주기의 최대예상지반가속도의 크기는 2배로 정의되어 있기 때문이다. 이렇게 정의된 S를 이용하여 0306.3.3절에서 정의된 수식에 따라 설계스펙트럼가속도를 산정하게 된다.

0306.3.3 설계스펙트럼가속도

단주기와 주기1초의 설계스펙트럼가속도 S_{DS} , S_{D1} 은 다음 식에 의하여 산정한다.

$$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times 2/3 \quad (0306.3.1)$$

$$S_{D1} = S \times F_v \times 2/3 \quad (0306.3.2)$$

여기서 F_a (표 0306.3.3)와 F_v (표 0306.3.4)는 지반증폭계수이다. 위 식에서 2400년 재현주기지진의 유효지반가속도 S값은 <표 0306.3.1>을 이용하여 결정하거나, [그림 0306.3.1]상세지진재해도를 이용하여 구할 수 있다. 단, 상세지진재해도를 이용하여 결정한 S는 <표 0306.3.1>을 이용하여 결정한 S값의 80%보다 작아서는 안된다.

<표 0306.3.3> 단주기지반증폭계수, F_a

지반종류	지진지역		
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$
S_A	0.8	0.8	0.8
S_B	1.0	1.0	1.0
S_C	1.2	1.2	1.1
S_D	1.6	1.4	1.2
S_E	2.5	1.9	1.3

※ S_S 는 <표 0306.3.1>의 S를 2.5배한 값이다. 위 표에서 S_S 의 중간값에 대하여는 직선보간한다.

<표 0306.3.4> 1초주기지반증폭계수, F_v

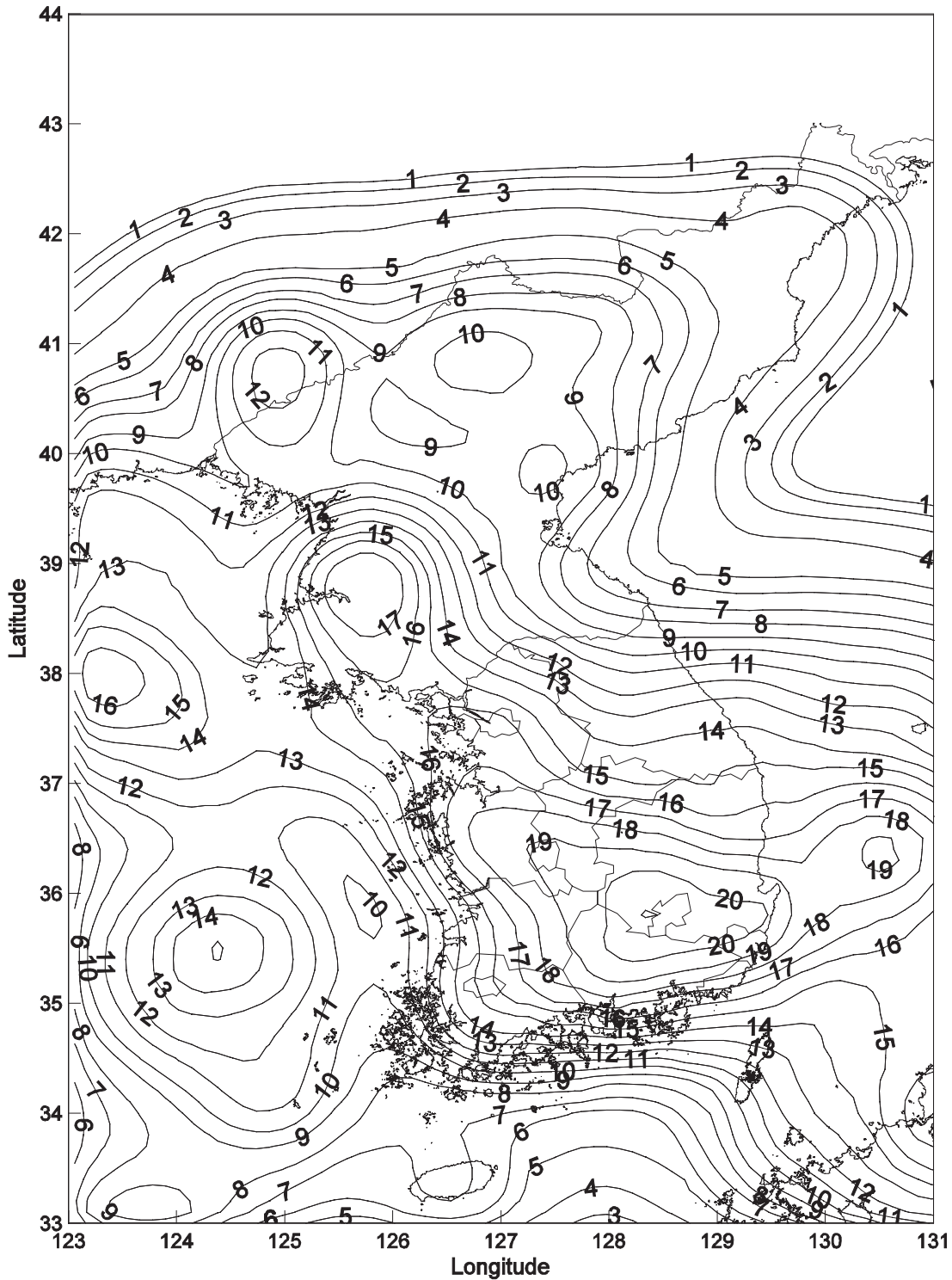
지반종류	지진지역		
	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$
S_A	0.8	0.8	0.8
S_B	1.0	1.0	1.0
S_C	1.7	1.6	1.5
S_D	2.4	2.0	1.8
S_E	3.5	3.2	2.8

※ S는 <표 0306.3.1>의 값이다. 위 표에서 S의 중간값에 대하여는 직선보간한다.

설계스펙트럼가속도 식(0306.3.1)는 재현주기 2400년의 지진위험도로 정의한 최대예상지진(Maximum Considered Earthquake, MCE)에 대한 유효스펙트럼가속도에 지반의 증폭효과와 이에 대한 2/3 값으로 정의한다. 정확한 스펙트럼가속도 곡선의 결정을 위하여 단주기와 주기1초에서 설계스펙트럼가속도(S_{DS} , S_{D1})를 정의한다. 식(0306.3.1)의 2.5는 지반종류 S_B 에 대하여 지반가속도를 단주기의 최대스펙트럼가속도로 변환하기 위한 값이다. 또한 F_a 와 F_v 는 지반증폭계수이며, 2/3의 값은 최대예상지진에 대한 스펙트럼가속도를 설계스펙트럼가속도로 변환하기 위한 계수이다.

유효지반가속도(S)는 <표 0306.3.1> 또는 [그림 0306.3.1]의 상세지진재해도를 이용하여 구할 수 있다. 이러한 이유는 과거 지진하중의 크기를 나타내는 지역계수가 지진구역 1의 경우에 0.11g에 해당하고 지진구역 2의 경우에 0.07g에 해당하여 계수 간에 큰 차이

가 없었다. 그러나 KBC 2005부터 지진하중의 재현주기를 2400년 기준으로 하면서 지역계수의 값에 따라 지진하중에 많은 차이가 발생하게 되었다. 예를 들어 KBC 2005에서 지반종류 S_D 의 경우는 동적증폭계수가 3.6이므로 지역계수 즉, 유효스펙트럼가속도의 차이가



[그림 0306.3.1] 재현주기 2400년 최대예상지진의 유효지반가속도(S); 내진설계기준연구III(건설교통부, 1997)

0.01이 있는 경우 설계스펙트럼은 $0.01 \times 3.6 \times 1.33 = 0.0479$ 의 차이가 발생한다. 따라서 각 지역에 따른 지진하중으로 그림 0306.3.1을 사용하는 방안을 추가하였으며, 그림을 사용하여 얻은 값 S 는 <표 0306.3.1>을 이용하여 결정한 S 값의 80%보다 작아서는 안된다고 하였다. 이것은 KBC 2005의 값에 기준하여 80% 미만으로 떨어지지 않도록 하여 지진하중의 급격한 변동을 제한함을 의미한다. 이는 [그림 0306.3.1]재해도가 데이터의 부족으로 신뢰성에 제한이 있기 때문이다. 1997년에 작성된 재해도는 조속히 보완(upgrade)할 필요가 있으며, 가능하다면 미국과 같이 관련 기관의 지속적인 유지보완이 절실히 필요하다.

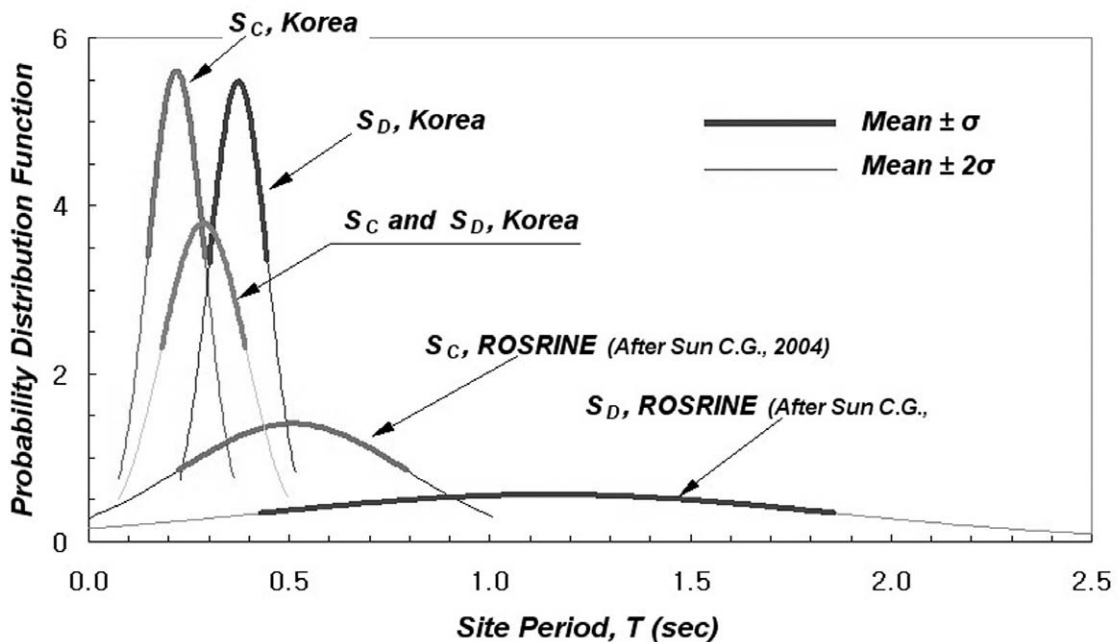
내진설계의 국제화와 더불어 국내 지진의 특성을 반영하고자 본 위원회에서 많은 토론을 나누었다. 국내 지반특성으로 [해그림 0306.3.1]을 사용하여 지진하중을 설정하면 단주기영역의 하중은 현저히 큰 값을 나타내나 장주기영역은 감소하게 된다. 이렇게 지진하중을 산정하여 고찰한 결과, KBC 2005의 값과 매우 큰 차이를 보이게 되어 KBC 2008에서는 반영을 하지 못하고, 해설편에 단지 지반의 특성을 공학적으로 반영할 수 있는 방법을 설명하였다. 본 위원회에서 내진 결론은 지진하중을 산정하기 위하여 지반특성은 지진하중의 크기와 동시에 고려되어야 하며 이와 관련된 작업은 차기 2011년 개정에 수행하기로 하였다. 해설의 내용 중 일부를 간추리면 다음과 같다.

식(0306.3.1)과 식(0306.3.2)에 나타난 F_a , F_v 는 지반의 증폭

계수이다. <표 0306.3.3>과 <표 0306.3.4>에 나타낸 F_a , F_v 는 미국 내진설계기준인 UBC-1997, NEHRP-1994에 제시된 증폭계수를 준용하여 산출한 것으로, 미국 서부해안지역의 지반에 대한 계측 및 해석결과에 근거한다. 미국 서부해안지역의 지반조건은 100m~300m 정도의 기반암깊이를 보이는 반면, 국내 대부분의 지반이 30m이내, 깊은 경우에는 50m내외에 기반암이 존재한다. 또한 [해그림 0306.3.1]에 나타낸 바와 같이 이에 따른 지반의 고유주기에서도 상당한 차이가 나타난다(윤종구 등, 2006; Sun, C.G., 2004). 따라서 국내 지반조건을 고려하지 않고 미국 내진설계기준에 따라 F_a , F_v 를 직접 적용하기에는 무리가 있다.

국내 지반특성을 고려한 지반증폭계수를 산정하기 위하여, 국내 여러지역의 182개 지반에 대하여 부지의 고유주기 지진응답해석을 수행하였다(윤종구 등, 2006; Kim D.S. and Yun J.K., 2006). 해석결과, 국내 지반의 얇은 기반암깊이와 단주기영역의 지반고유주기로 인하여, 단주기영역에서의 증폭은 [표 0306.3.3]보다 크게 발생하였고, 장주기영역에서의 증폭은 [표0306.3.4]보다 작게 발생하였다. 향후 지속적인 연구를 통하여 미국기준의 차용이 아닌 국내지반조건에 맞는 지반분류와 신뢰성 있는 증폭계수산정이 필요하다.

부지고유의 지진응답해석방법으로는 1차원등가선형해석방법과 1차원비선형해석방법을 사용할 수 있다. 지진응답해석에 사용되는 지반입력변수로는 지반의 층상구조와 각 층의 동적물성치가 있고, 자세한 사항을 <해표 0306.3.2>에 명시하였다. 부지고유의 지진응답해석



[해그림 0306.3.1] 국내 지반과 미국서부지역(ROSRINE 지역) 지반의 고유주기 비교

〈해표 0306.3.1〉 국내 지반종류별 기반암깊이 및 상부30m까지의 평균전단파속

지반 종류	기반암 깊이(m)			$V_s, 30(m/s)$		
	최소	최대	평균	최소	최대	평균
S_B	0	14.0	6.0	761	1244	961
S_C	5.3	50.0	18.3	374	729	489
S_D	9.3	47.0	23.5	192	370	313
S_S	28.0	65.0	36.2	114	180	163

을 수행하기 위하여 반드시 신뢰성 있는 지반조사와 지반입력변수의 평가를 하여야 한다.

또한 현재 실무에서 많은 논란중의 하나가 지반분류의 기준면이다. 국내 여건에 합리적인 기준면의 설정은 국내 내진공학의 발전에 매우 중요함을 인식하면서 다음과 같은 안을 설정하였다. 해당되는 기준과 해설을 정리하면 다음과 같다.

0306.3.2.2 지반분류의 기준면

일반적으로 지반분류는 지표면을 기준으로 정한다. 다만, 지하층을 가진 구조물로서 직접기초를 사용하고 기초저면의 지반종류가 S_c 이상의 단단한 지반인 경우에는 기초저면을 지반분류의 기준면으로 사용할 수 있다. 이때 지진에 의하여 지하층구조체에 작용하는 횡토압에 대하여 상부구조의 안전성을 확보하여야 한다.

말뚝기초를 사용하는 경우에는 지표면을 기준면으로 사용한다.

지반분류를 정하는 기준면은 일반적으로 지표면을 기준으로 한다. 다만, 지하층을 갖는 건축물의 경우에 ①기초가 경암, 보통암 또는 연암에 직접 견고히 정착해 있고, ②지진으로 인하여 발생하는 지하층벽체에 작용하는 횡토압에 대하여 상부구조를 지지하는 지하층구조가 과도한 손상없이 저항할 수 있으며, ③지하층구조의 강성이 커서 기초저면의 상부에 위치한 지반의 운동이 지상구조시스템에 큰 영향을 미치지 않는다는 사실을 구조해석 또는 실험으로 입증할 수 있는 경우에는 기초저면을 지반분류의 기준면으로 사용할 수 있다. 위의 3항에 모두 해당한다는 것을 입증하지 못하는 경우에는 반드시 지표면을 지반분류의 기준면으로 사용하여야 한다. 말뚝기초를 사용하는 경우에는 지표면을 기준으로 한다. 그 이유는 일반적으로 말뚝기초는

〈해표 0306.3.2〉 지반입력변수 및 결정방법

지반입력변수	결정방법
지반의 총상구조(기반암* 깊이, 층 두께)	SPT, CPT, Boring 등
지반의 전단파속도 주상도	다운홀, 업홀, SASW, HWAW 등 현장 탄성파시험
각 층의 비선형거동 특성 - 정규화 전단탄성계수 감소곡선($G/G_{max}-\gamma$) - 감쇠비 곡선 ($D-\gamma$)	공진주/비틀림전단시험 미소변형 삼축시험, 등

* 기반암은 전단파속도가 760m/s 이상인 연암층

횡력에 대하여 충분한 저항력을 발휘하지 못하여, 암반에 지하층이 횡방향으로 견고히 정착하지 못하기 때문이다. ①의 사항은 기초 및 지하층설계에 반영하여야 하며, ②에 해당하기 위해서는 지진에 의하여 발생하는 횡토압에 대하여 지하층구조를 설계하여야 한다. 특히 지반의 구성이 상부연약지반, 하부암반인 깊은지하층구조인 경우에는 지반의 상대적인 움직임에 따라서 매우 큰 횡토압이 작용할 수 있다. 횡토압산정을 위해서는 통상적으로 지중구조물의 횡토압을 산정하는 방식인 변위응답법을 사용할 수 있다. ③에 해당하기 위해서는 횡력에 저항하는 지하층벽구조는 매우 큰 강성을 가져야 하며, 지진 및 횡토압에 의하여 과도한 변형이나 손상이 발생하지 않아야 한다. 지반의 기준면은 국내의 특수성이므로 이에 대한 많은 연구와 토의를 통하여 지속적인 발전이 필요하다.

KBC 2008의 큰 변화 중의 하나로서, 지진력 저항시스템의 변화와 시스템의 제한과 높이가 〈표 0306.6.1〉과 같이 설정되었다. 최근에 철근콘크리트와 철골구조 관련기준에서 특수와 보통에 대한 상세가 결정됨에 따라 해당되는 시스템을 표에 추가하였으며 시스템의 제한과 높이의 제한을 두었다.

이상의 내용을 정리하여 요약하면 이번 KBC 2008에서는 기존의 KBC 2005의 틀을 유지하면서 일부 잘못 표현된 부분과 불합리한 항목을 수정하였다. 내진설계의 기본이 되는 지진하중의 재현주기를 국제화 추세에 따라 2400년을 사용하였고 지반의 특성을 반영하는 계수 F_a, F_v 를 사용하였다. 그러나 지진하중 재현주기 2400년을 사용하였으나 이 개념은 이미 KBC 2005년에 포함된 것이므로 하중의 크기는 변동이 없도록 하였다. 이번 개정에는 국내 지반의 특성을 반영하고자 하였으나 급격한 하중의 변동이 예상되어 반영하지 못하였다. 지반특성은 지진하중의 크기와 동시에 고려되어야 하므로 이와 관련된 작업은 차기 2011년 개정에 수행하기로 하였다. 다만 국내의 지반특성을 고려할 수 있는 방안으로 해설에 지반특성을 산정하는 방안을 기술하였다.

〈표 0306.6.1〉 지진력저항시스템에 대한 설계계수

기본 지진력 저항시스템 ¹⁾	설계계수			시스템의 제한과 높이(m) 제한		
	반응수정 계수 R	시스템 초과 강도계수 Ω_0	변위증폭 계수 C_d	내진설계범주 A 또는 B	내진설계범주 C	내진설계범주 D
1. 내력벽 시스템						
1-a. 철근콘크리트 특수 전단벽	5.5	2.5	5.5	허용(제한없음)	허용	허용
1-b. 철근콘크리트 보통 전단벽	4.5	2.5	4			60
1-c. 철근보강 조적 전단벽	2.5	2.5	1.5		60	불가
1-d. 무보강 조적 전단벽	1.5	2.5	1.5		불가	불가
2. 건물 골조 시스템						
2-a. 철골 편심가새골조(링크 타단 모멘트 저항 접합)	8	2	4			
2-b. 철골 편심가새골조(링크 타단 비모멘트 저항 접합)	7	2	4			
2-c. 철골 특수중심가새골조	6	2	5			
2-d. 철골 보통중심가새골조	3.25	2	3.25			
2-e. 합성 편심가새골조	8	2	4			
2-f. 합성 특수중심가새골조*	5	2	4.5			
2-g. 합성 보통중심가새골조*	3	2	3			
2-h. 합성 강판전단벽	6.5	2.5	5.5			
2-i. 합성 특수전단벽	6	2.5	5			
2-j. 합성 보통전단벽	5	2.5	4.5			60
2-k. 철골 특수강판전단벽	7	2	6			
2-l. 철골 좌굴방지가새골조(모멘트 저항 접합)	8	2.5	5			

** 이하 생략, 본문참조

참고문헌

1. 건축구조설계기준 및 해설, 2005, 대한건축학회
2. 내진설계기준연구II, 건설교통부, 1997
3. 윤종구, 김동수, 방은석 (2006), "국내지반특성에 적합한 지반 분류방법 및 설계응답스펙트럼개선에 대한 연구(I)-국내내진설계기준의 문제점분석", 한국지진공학회논문집, Vol.10, No.2, pp.39-50.
4. 윤종구, 김동수, 방은석(2006), "국내지반특성에 적합한 지반분류방법 및 설계응답스펙트럼개선에 대한 연구(III) -설계응답스펙트럼 개선 방법", 한국지진공학회논문집, Vol.10, No.2, pp.63-71.
5. Kim Dong-Soo and Yun Jong-Ku (2006), "Development of New Site Classification System for the Regions of Shallow Bedrock in Korea," Journal of earthquake engineering: JEE, Vol.10, No.3, pp.331-358.
6. Sun, C.G. (2004), "Geotechnical Information System and Site Amplification Characteristics for Earthquake Ground Motions at Inland of The Korean Peninsula", Ph.D. Dissertation, Seoul National University