



KBC 2005 및 그에 따른 구조설계 실무



글 | 김종호
(사)한국건축구조기술사회 회장
(주)장·민우구조컨설팅 대표이사

01 들어가며

2005년도 「건축구조설계기준」(Korean Building Code-Structural 약어로 KBC 2005)은 그동안 각종 훈령 및 고시로 세분화되어 운영되어 온 19종의 구조관련 구조설계기준을 단일화하여 국제 통합기준에 맞도록 각종 기준을 일정순서로 재편성하여 통일성을 갖게 한 뜻있는 시도였음은 모두가 인지하고 있는 주지의 사실이다.

우리나라의 구조설계기준이 기술적으로는 많은 발전적 변천과정을 거쳐 왔지만 행정적으로는 상위법들과의 상충문제 등 해결해야 할 많은 문제를 안고 있다고 본다. 건축행정과 교육제도 그리고 건축업무상의 관행 등 모든 면에서 건축구조전문가의 사회적 기능이나 자격에 부합되는 법정 업무영역이 제한적으로 운영되고 있는 현실을 감안하면 우리 건축구조 전문가들이 문제점 타개를 위해 더 한층 노력해야 할 시점이라 생각된다. 현재까지 배출된

건축구조기술사의 수가 750명이 되었고, 관련종사 직원 및 연구소, 학계의 전문가 등을 합하면 만 여명의 전문가가 현재 활동 중이다. 그들 모두가 지금 많은 불합리한 점들을 계속 느끼고 있어 이에 대한 개선욕구는 증대될 수밖에 없을 것이다.

본 글에서는 KBC-2005의 총칙 구성내용을 간략히 훑어보고 과거와 크게 다르게 강조된 부분을 재정리해 본 후 최근 구조실무자 및 건설 실무자들 간에 쟁점 사항인 내진설계 기준 변경내용에 대하여 실무적 차원에서 다뤄보고자 한다.

결론적으로 말하면 내진관련 기준은 많은 부분이 바뀌었다. 그 뿌리는 국제건축기준(International Building Code 2000, 약어로 IBC 2000)에 두고, 국내중전 기준(AIK 2000)과의 큰 상이점을 보완하기 위해 몇몇 계수조정을 하였는데 이런 결정이 과연 우리나라 현실에 적합한지 여부는 지속적 연구를 통해 확인되어야 할 것이다. 바꾸어 말하면 현 기준 또한 현실적으로 제기되는 모든 문제들을 정확히 이해시키기에는 부족한 부분들이 많고 특히

구조전문가들이 한 목소리로 동의 할 수 있는 답안을 제시하기엔 우리 엔지니어들 스스로의 실력이 미천하므로 더 친절하게 보완되어야 하지 않나 생각된다. 종전보다 과도하게 산정되고 있는 지진력의 크기는 건물 중요도계수의 조정으로 경제적 평가를 재검토하여야 할 것으로 보이며, 특히 고층건물 지진력을 지배하고 있는 Cs 최소값의 보정이 조속히 이루어져야 한다고 본다.

02 KBS-2005의 총칙 구성내용

- (1) 적용범위 : 건축법에서 대상으로 하는 건축물과 공작물에 대하여 건축하거나 대수선하는 구조체는 이 기준을 따라야 하는 것으로 규정함.
- (2) 설계원칙 : 건축물 및 공작물의 안전성, 사용성, 내구성이 확보되도록 하는 것이 구조설계의 원칙으로 기술하고 있음.
- (3) 구조설계의 절차
KBS 2005에서는 건축물 및 공작물의 안전성, 사용성, 내구성이 확보되도록 하는 구조설계의 원칙을 실행하기 위하여 구조설계의 절차를 규정하고 있으며 그 내용은 구조계획, 구조해석 및 부재설계, 구조설계도서의 작성으로 구분하여 기술하고 있음.
- (4) 구조설계법
KBS 2005에서는 건축물 및 공작물의 구조설계법으로 허용응력도 설계법, 강도설계법 또는 한계상태설계법에 의하거나

건설교통부장관이 이와 동등 이상의 성능을 확보할 수 있다고 인정하는 구조설계법에 따르도록 하고 있으며 허용응력도설계법, 강도설계법 또는 한계상태설계법으로 구분하여 기술하고 있음.

(5) 책임구조기술자

KBS 2005의 적용을 받는 건축물 및 공작물의 구조설계와 골조공사감리 및 정밀안전진단은 책임하에 수행하도록 하고 또한 당해 책임구조기술자가 서명 날인하도록 실명화를 의무화하였으며 건축주 또는 공사책임자는 책임구조기술자가 서명·날인한 구조설계도서로 각종 인·허가 및 공사행위를 하도록 다음과 같이 규정하고 있어 책임소재를 분명히 하고 있다.

- 책임구조기술자의 자격

책임구조기술자의 자격은 국가기술자격법에 의한 건축구조기술사 또는 동등 이상의 능력을 갖춘 기술자로 함.

- 책임 구조기술자의 책무

이 기준의 적용을 받는 건축물 및 공작물의 구조설계(구조계획, 구조계산 및 구조도면 작성), 구조 분야 공사감리 및 정밀안전진단은 책임 구조기술자의 책임하에 이 기준에 따라 수행하여야 함.

- 책임 구조기술자의 서명 날인

책임 구조기술자가 작성한 설계도서와 공사감리한 감리보고서는 당해 기술자의 서명 날인이 있어야 유효하며, 특히 건축주 또는 공사책임자는 반드시 책임 구조기술자가 서명 날인한 설계도서로 각종 인·허가 및 공사 행위를 하여야 함.

03 KBC 2005 내진설계 기준변경 내용 소개

KBC 2005 내진설계기준의 뿌리가 되는 IBC 2000은 내진공학 분야의 세계적인 추세라 할 수 있는 성능기반설계법(Performance Based Seismic Design)을 완전히 수용하고 있지는 않지만 하중산정에서 최대지진(Maximum Considered Earthquake)과 설계지진(Design Earthquake)을 고려하므로 기존 기준들에 비하여, 성능기반설계법(PBSD)에 한발 다가선 보다 발전된 기준이라 할 수 있다. KBC 2005 내진설계 기준과 종전의 기준을 비교하므로써 그 변경내용을 간략히 확인해 보도록 한다.

(1) 설계 지진의 변화

표 1 | AIK 2000 및 KBC 2005의 설계지진

구분	AIK 2000	KBC 2005
설계지진	50년간 10% 초과확률을 갖는 지반운동 (재현주기 500년)	50년간 2% 초과확률을 갖는 지반운동의 2/3 (재현주기 2500년)
하중계수	Service Level의 지반운동 → 1.4, 1.35	Strength Level의 지반운동 → 1.0

KBC 2005의 설계지진은 50년간 2% 초과확률을 갖는 지반운동의 2/3수준으로 정의한 이유는 일반적인 구조물에서 지반운동의 Design Level 에 대한 Collapse Level의 비를 나타내는 Seismic Margin(혹은 Margin of Safety)이 최소한 1.5이상인다는 결론에 따른 것이며 KBC2005는 Strength Level의 지반운동을 적용하므로 하중계수는 1.0을 적용한다.

표 2 | 재현주기에 따른 지진위험도 계수

재현주기(년)	지진위험도 계수				
	50	100	200	500	1000
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1.00	1.40

KBC 2005의 지역계수는 AIK 2000과 동일한 지역계수를 적용하고 있으나 재현주기 2500년인 지반운동에 대한 지진위험도는 재현주기 500년인 지반운동에 비해 2배 정도 크기 때문에 KBC 2005의 설계 스펙트럼 가속도를 산정할 때 지역계수에 1.33배를 적용하여야 한다.

2500년 재현주기 지반운동의 2/3 수준 = 500년 재현주기 지반운동 × 2 × (2/3) = 500년 재현주기 지반운동 × (4/3)

(2) 반응수정계수, R(Response Modification Factor)

표 3 | 구조 시스템별 반응수정계수(Response Modification Factor)

구조방식	수직, 지진저항 시스템	AIK 2000	KBC 2005	
내력벽 방식	철근 콘크리트 전단벽	3.0	4.5	
	철근보강 조적 전단벽	-	2.5	
	무보강 조적 전단벽	-	1.5	
모멘트 골조 방식	연성모멘트 골조	철근 콘크리트	5.0	
		철골	6.0	
	보통 모멘트 골조	철근 콘크리트	3.5	
		철골	4.5	
이중 골조 방식	RC 전단벽 + 철골 연성모멘트 골조	6.0	5.5	
	RC 전단벽 + 철근 콘크리트 연성모멘트 골조	5.5	5.5	
	철골 기둥골조 + 연성모멘트 골조	4.5	5.0	
	철골 강판 전단벽 + 연성모멘트 골조	-	6.5	
	철근 콘크리트 전단벽	4.0	5.0	
	가새 골조	3.5	-	
	건물골조 방식	철골 편심 기둥골조(모멘트 저항 접합)	-	8.0
		철골 편심 기둥골조(비모멘트 저항접합)	-	7.0
철골 중심 기둥골조		-	5.0	
철골 강판 전단벽		-	6.5	
철근보강 조적 전단벽		-	3.0	
무보강 조적 전단벽		-	1.5	
기타 구조방식	-	3.0	3.0	

반응수정계수, R은 구조물이 심한 항복상태에 도달하여도 부가적인 저항능력이 있음을 고려하는 경험적인 계수로서 구조물 설계 시, 지진에 의한 밀면전단력의 크기를 감소시키는 반응저감계수의 역할을 한다. 이 계수는 구조 시스템의 초기항복을 넘어 극한 하중과 변위에 도달하기에 충분한 큰 변형 상태에서의 구조물의 연성과 감쇠능력을 반영하는 계수이다. KBC2005에서는 철골모멘트골조의 반응수정계수에 대한 구분이 명확하지 않아 이에 대한 보완이 필요하며, AIK2000에 비해 다양한 구조시스템을 제안하고 있으며 이에 따른 보다 다양한 반응수정계수를 제시하고 있다. 그러나 보다 다양한 구조시스템의 제시에 비해 상대적으로 시스템에 대한 상세(철골내진상세 등)가 부족하므로 차후에 이런 부분에 대한 보완도 필요한 것으로 판단된다.

(3) 초과강도 계수(Over-Strength Factor)

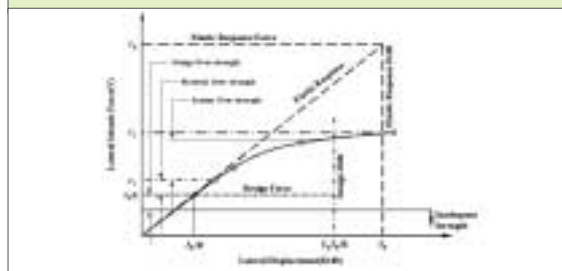
개별부재의 취성파괴가 전체 횡력 저항 시스템의 손상으로 이어지거나 전체 구조물의 불안정성과 구조물의 붕괴를 초래하는 상황을 다루기 위한 계수이다. 초과강도계수는 다음과 같은 세 부분으로 구성되어 진다.

초과강도계수, $R_o = \text{설계초과강도}(R_D) + \text{재료초과강도}(R_m) + \text{시스템 초과강도}(R_s)$

초과강도계수는 어느 정도 임의적인 계수로서 한 구조물에 일어날 수 있는 최대 힘이 설계수준의 3-4배 정도 될 수 있다는 과거의 관찰에 근거한 계수이며, 민감한 부재에 전달될 수 있는 최대의 힘을 정량화하기 위한 시도로 볼 수 있다.

개별부재의 초과강도계수는 특별지진하중(Special Seismic Load)을 적용할 경우, 지진하중 효과를 크게 증가시키는 역할을 한다. 개별부재의 특별지진하중, $E_M = R_o E + 0.2 S_{DS} D$ 은 개별 부재의 취성파괴가 전체 구조물의 불안정이나 붕괴를 유발하는 부재 또는 지진하중의 흐름을 급격히 변화시키는 주요 부재 설계 시 적용하며, 특별지진하중에서 $0.2 S_{DS} D$ 는 수직 가속도의 영향을 고려하기 위한 것이지만 전체 수직 응답을 표현하고 있는 것은 아니며, " $R_o E$ 는 횡력 저항 시스템의 다른 부재에 의해 전달할 수 있는 부재의 최대하중을 초과할 필요는 없다"는 조항은 구조물의 붕괴 메카니즘(Collapse Mechanism)이 형성되었을 때 전달되는 하중을 초과할 필요는 없다는 것을 의미한다.

그림 1 | KBC 2005의 힘-변위 곡선



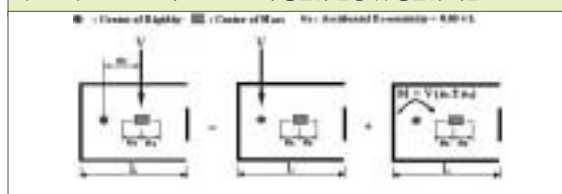
(4) 비틀림의 동적 증폭(Dynamic Amplification of Torsion)

격막이 유연하지 않을 경우, 설계 시 지진하중에 의한 수평 비틀림 모멘트를 고려하여야 하며 수평 비틀림 모멘트는 강심과 편심에 의한 비틀림 모멘트(M_t)와 우발 비틀림 모멘트(M_{ta})의 합으로 한다. 그러나 비틀림 비정형 건물이 내진설계 범주 C, D로 분류되면 비틀림 증폭계수, A_x 를 와의 합에 곱하여야 한다.

$$A_x = \left(\frac{\delta_{MAX}}{1.2 \delta_{avg}} \right)^2 \leq 3.0 \rightarrow M = A_x (M_t + M_{ta})$$

또한 동적해석을 수행할 경우에도, 우발 편심을 정적 비틀림력으로 고려하는 경우에는 비틀림 증폭을 하여야 한다.

표 3 | AIK2000과 KBC2005의 횡변위 산정 및 횡변위 제한



(5) 형변위 결정

구분	AIK 2000	KBC 2005		
		중요도(특)	중요도(I)	중요도(II)
층간변위 산정	$\delta_s = R \delta_e$	$\delta_s = \frac{C_s \delta_e}{I_e}$		
허용층간변위	$0.015 h_{sx}$	$0.010 h_{sx}$	$0.015 h_{sx}$	$0.020 h_{sx}$

층간변위, Δ 는 주어진 층의 상하단 질량중심의 횡변위간 차로 산정하나, 평면 비정형 유형1과 SDC C,D로 분류된 경우, 층간변위, Δ 는 상하단 모서리 변위간 차이 중 최대값으로 하며 변위해석만을 목적으로 할 경우, 건물의 고유주기, T의 산정에 주기의 상한값($T=1.2T_a$)을 적용할 필요는 없지만 지진응답계수, C_s 는 $C_{s,min}(=0.044 S_{DS} I_e)$ 보다 커야한다.

(5) 내진설계범주 D에 해당하는 구조물의 설계

KBC2005에서는 단주기 설계 스펙트럼 가속도와 주기 1초의 설계 스펙트럼 가속도를 산정한 후 내진설계범주 (Seismic Design Category : SDC)를 결정하게 된다. 그러나 대부분의 구조물의 경우, SDC C 혹은 SDC D에 속하게 되는데 SDC D에 해당하는 구조물에 대해서는 지정된 해석 방법을 적용해야 하며 상호작용 효과(Interaction Effect)와 변형 적합성(Compatibility Condition)을 만족하도록 설계해야 한다.

① 단주기 설계 스펙트럼 가속도에 따른 내진설계범주

S_{DS} 의 값	내진등급		
	중요도(특)	중요도(I)	중요도(II)
$0.50g \leq S_{DS}$	D	D	D
$0.33g \leq S_{DS} < 0.50g$	D	C	C
$0.17g \leq S_{DS} < 0.33g$	C	B	B
$S_{DS} < 0.17g$	A	A	A

② 주기 1초에서 설계 스펙트럼 가속도에 따른 내진설계범주

S_{D1} 의 값	내진등급		
	중요도(특)	중요도(I)	중요도(II)
$0.20g \leq S_{D1}$	D	D	D
$0.14g \leq S_{D1} < 0.20g$	D	C	C
$0.07g \leq S_{D1} < 0.14g$	C	B	B
$S_{D1} < 0.07g$	A	A	A

③ 내진설계범주 "D"에 대한 해석법

구조물 형태	내진설계를 위한 해석방법
1. 3층 이하인 경량골조 구조와 각 층에서 유연한 격막을 갖는 2층 이하인 기타 구조로서 내진등급 II의 구조물	등가정적해석법 또는 동적해석법
2. 상기 1항 이외의 높이 70m 미만의 정형 구조물	등가정적해석법 또는 동적해석법
3. 수직 비정형성, 1,2 혹은 3을 갖거나 평면 정형성, 1을 갖으면서 높이가 5층 또는 20m를 초과하는 구조물 또는 높이가 70m를 초과하는 정형 구조물	동적해석법
4. 평면 및 수직 비정형성을 가지는 기타 구조물	동적해석법

④ 상호작용효과(Interaction Effect)

강성이 큰 비구조 요소에 의한 횡력 저항 시스템에 포함된

부재의 기능저하 방지 및 부재의 파괴를 방지할 수 있도록 부재 설계 시 비구조 요소의 영향성을 반영하여야 한다.

그림 3 | 비구조 요소의 강성기여를 고려하지 못함으로써 발생한 전단파괴의 예

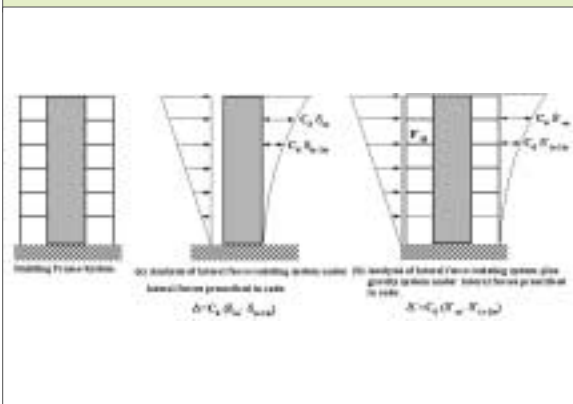


⑤ 변형 적합성(Compatibility Condition)

고려하는 방향의 지지력 저항 시스템에 포함되지 않은 모든 구조요소는 설계 층간변위, 로부터 발생하는 모멘트와 전단력 뿐만 아니라 수직하중을 저항할 수 있도록 설계되어야 한다.

IBC 2000 HAND BOOK에 따르면 건물 골조 시스템의 내진 안전성은 변형 적합성에 대한 요구사항을 얼마만큼 만족시키느냐에 따라 완벽한 내진성능(Seismic Performance)을 발휘할 수 있다고 한다.

그림 4 | 변형 적합성 검토를 위한 해석법



$$\text{설계 층간변위, } \Delta \text{에 의한 부재력, } F_M = \frac{\Delta}{\Delta'} \cdot F'_M$$

(5) 내진설계 기준 변경에 따른 반응 스펙트럼 비교

지금까지는 KBC 2005의 주요 변경 사항에 대해서 살펴보았다. 상기에 서술한 내용이외에도 AIK 2000에 비해 변경된 부

분이 다수 있지만 근간에 KBC2005에 대한 많은 세미나를 통하여 소개된 것이므로 본 자료에서는 다루지 않겠다.

본 절에서는 KBC2005의 지진하중이 AIK 2000의 지진하중에 비해 어떠한 차이점이 있는지 설계 스펙트럼(Response Spectrum)을 이용하여 살펴보기로 하겠다.

AIK 2000과는 달리 KBC2005 내진기준은 정적 해석 시, 지진동 응답스펙트럼을 직접적으로 고려하는 방법을 채택하고 있다. 즉 정적해석에 의한 밀면 전단력 산정 시 단주기 영역의 스펙트럼 가속도와 주기 1초의 스펙트럼 가속도를 이용하여 밀면 전단력을 산정하므로 지진동에 의한 반응 스펙트럼을 비교하는 것만으로 KBC2005의 지진하중이 AIK2000의 지진하중과 어떠한 차이점이 있는지 개략적으로 살펴볼 수 있을 것이다. KBC 2005의 지진하중이 Strength Level 이므로 설계스펙트럼 비교 시 AIK 2000의 지진하중 Strength Level로 조정하기 위하여 AIK 2000의 설계 스펙트럼에 1.4배하여 비교한다. 모든 구조시스템에 대해서 비교할 수 없기 때문에 본 기고문에서는 건물골조방식(Building Frame System)을 적용한 경우에 설계 스펙트럼이 어떠한 차이점을 보이고 AIK2000 설계 스펙트럼에 비해 얼마만큼 증감하는지를 살펴보기로 한다. (중요도 계수, $I_E = 1.5$ 로 가정한다.)

그림 5 | 건물골조 시스템의 설계 스펙트럼(AIK2000 & KBC2005)

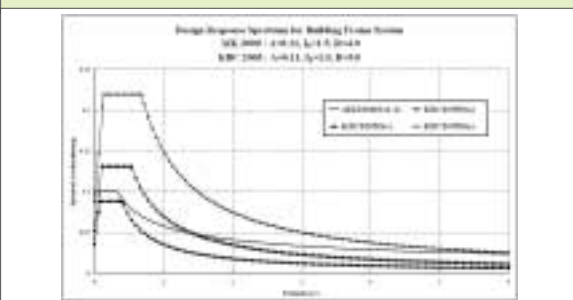
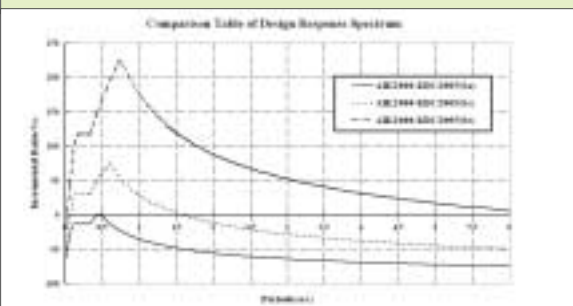
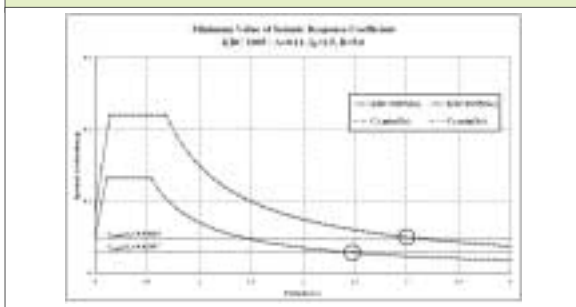


그림 6 | 응답 스펙트럼 비교표



KBC2005 내진기준의 설계 스펙트럼의 특징은 지반종류에 따라 단주기영역에서의 스펙트럼 가속도가 크게 증가한다는 것이다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 지반이 연약할수록 단주기 영역의 응답 스펙트럼 가속도가 약 3배 이상 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 지반이 아주 좋은 SA 지반인 경우에는 응답 스펙트럼 가속도가 AIK 2000에 비해 오히려 감소됨을 알 수 있다. 즉 단주기 영역의 지진하중은 크게 강화되었지만 장주기영역의 지진하중은 지반조건 및 주기에 따라 다소 차이가 있지만 AIK2000에 비해 완화되어진다는 사실을 알 수 있다.

그림 7 | 지진응답계수의 최소값



정적 해석에 의한 밀면 전단력 산정 시, KBC 2005에서는 지진 응답계수, C_s 에 대한 하한치를 그림 7과 같이 제시하고 있다. 이러한 하한치는 중·저층 구조물의 거동에는 큰 영향을 미치지 않지만 장주기 영역에 해당하는 초고층 구조물의 거동에는 큰 영향을 미치게 된다. KBC 2005에서는 변위 해석만을 목적으로 할 경우, 주기에 대한 상한치($T = 1.2T_b$)를 적용할 필요는 없지만 지진응답계수, C_s 에 대한 하한치에 대한 적용성에 대해서는 언급이 없으므로 변위 해석만을 목적으로 할 경우에도 하한치에 대한 규정을 반드시 지켜야 한다.

그림 7에서 알 수 있듯이 구조물의 주기로 비교해 본다면, 지반, SC는 주기 2.5초, SE는 주기 3초에 해당하는 것을 알 수 있다. 즉 동적해석 후 산정되는 보정계수(Scale-Up Factor) 산정 시, 장주기 영역에 해당하는 구조물이든 단주기 영역에 해당하는 구조물이든, 모두 동일한 하한치를 가지므로 변위 해석만을 목적으로 주기상한치를 적용하지 않더라도 구조물의 변위 검토 시, 주기 상한치를 적용하였을 경우와 동일한 결과를 갖게 된다. 이러한 현상은 IBC 2000에서도 동일하게 발생하나 IBC 2003에서는 변위 해석만을 목적으로 할 경우, 이러한 하한치에 대한 제한을 적용받지 않도록 개정되었다.

04 맺으며

KBC-2005의 제정 및 공표는 우리 건축구조기술 발전 및 세계화에 발맞춘 시기적절한 시도였다고 생각된다. 그러나 내진설계와 같이 일부기준이 급격히 변화되어 많은 구조엔지니어들이 그를 이해하느라 수고하고 있다. 어떤 경우는 정확한 해답을 구하기 어렵고 그 해답을 주어야 할 주체도 불 명확한 경우도 있으며 때로는 이해가 되지 않는 부분들도 있다. 이런 혼란을 틈타서 컴퓨터 프로그램업체는 신 내진기준을 소화하는 프로그램을 만들어 놓았으니 비싼 돈 주고 업그레이드 하라는 상술(?)도 발휘하는 재주도 피우고 있다. 그 어떤 경우 든 새로운 기준이 만들어지려면 기준을 제정하는 분들은 관련엔지니어들에게 기준이해를 돕기 위한 충분한 시간을 가져야만 한다. 그렇게 함으로써 우리나라 현실에 부합되지 않는 부분들에 대한 조정이 사전에 이루어질 수 있고 엔지니어들의 충분한 이해 가운데 그 어떤 컴퓨터 프로그램도 활용이 가능할 것이다.

컴퓨터 프로그래머가 구조공학 엔지니어를 능가하여 새로운 기준내용을 교육시키고 홍보시키는 나라는 아마 우리나라 밖에 없을 것이다. 지진공학회와 우리 건축구조기술사회가 공동으로 '내진설계기준연구회' (위원장 :이한선 교수/강신량 소장)를 2년 전부터 지속적으로 운영하는 일은 매우 의미 있는 일이며, 그 모임 가운데 토론되는 많은 주제들은 향후 우리나라 내진기준의 조정 시 큰 밑거름이 될 것이라 믿고 있다. 또한 각 구조기술사 사무실들이 현재 KBC 2005에 따라 수행하고 있는 실제 건물 설계 예들을 모아서 3월경 예제집 출간을 서두르고 있는 것도 매우 고무적이라 생각된다. 국민의 생명과 재산의 안전을 다루는 구조전문가들이 사회적으로 전문성을 인정받는 날 비로소 우리나라가 선진국대열에 올라섰다는 생각을 할 수 있을 것이다.

◎ 참고문헌

- IBC 내진 기준 소개 및 해설 - 한상환, 김장훈, 김준구, 오영훈, 이한선, 정재철, 혼순조 공역
- 건설교통부 고시 건축구조 설계 기준 - 대한건축학회
- INTERNATIONAL BUILDING CODE 2000 - ICC(INTERNATIONAL CODE COUNCIL)
- Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures(ASCE 7-02) - American Society of Civil Engineers
- Seismic and Wind Design of Concrete Buildings - S.K Ghosh and David A. Fanella
- IBC 2000 HAND BOOK - ICC(INTERNATIONAL CODE COUNCIL)
- 건축구조 3, 6, 9, 12월호 (사)건축구조기술사회, 2005