

# 설계스펙트럼의 개정에 따른 철근콘크리트 보통모멘트골조의 내진성능수준 평가

## Performance-Based Evaluation of Seismic Design Proposals for RC Ordinary Moment Frames by Spectrum Revision

심정은<sup>1)</sup> · 최인섭<sup>2)</sup> · 김준희<sup>3)\*</sup>

Shim, JungEun<sup>1)</sup> · Choi, Insub<sup>2)</sup> · Kim, JunHee<sup>3)\*</sup>

<sup>1)</sup>연세대학교 건축공학과 학부연구생, <sup>2)</sup>연세대학교 건축공학과 연구교수, <sup>3)</sup>연세대학교 건축공학과 부교수

<sup>1)</sup>Undergraduate Research Student, Department of Architecture and Architectural Engineering, Yonsei University, <sup>2)</sup>Research Professor, Department of Architecture and Architectural Engineering, Yonsei University, <sup>3)</sup>Associate Professor, Department of Architecture and Architectural Engineering, Yonsei University

### / A B S T R A C T /

New buildings have been designed using different seismic design standards that have been revised. However, the seismic performance of existing buildings is evaluated through the same performance evaluation guidelines. Existing buildings may not satisfy the performance targets suggested in the current guidelines, but there are practical limitations to discriminating the existing buildings with poor seismic performance through a full investigation. In this regard, to classify buildings with poor seismic performance according to the applied standard, this study aimed to evaluate performance-based investigation of the seismic design proposals of buildings with different design standards. The target buildings were set as RC ordinary moment frames for office occupancy. Changes in seismic design criteria by period were analyzed, and the design spectrum changes of reinforced concrete ordinary moment resisting frames were compared to analyze the seismic load acting on the building during design. The seismic design plan was derived through structural analysis of the target model, compared the member force and cross-sectional performance, and a preliminary evaluation of the seismic performance was performed to analyze the performance level through DCR. As a result of the seismic performance analysis through the derived design, the reinforced concrete ordinary moment frame design based on AIK 2000 has an insufficient seismic performance level, so buildings built before 2005 are likely to need seismic reinforcement.

**Key words:** Seismic performance evaluation, Spectrum revision, RC OMF, Seismic design

## 1. 서론

시대별로 내진설계기준이 변화하면서 내진설계 시 동일한 건축물에 대해 산출되는 지진하중이 변화하였으며 이를 만족시키기 위해 설계된 건축물의 부재 또한 변화가 발생하였다[1, 2]. 하지만 건축물의 내진성능평가 시 건축물의 연식과는 관계없이 동일한 현재의 내진설계기준을 적용한다[3]. 따라서 과거의 기준을 만족하도록 지어진 건축물을 현재 성능평가 시 의도한 내진성능을 확보하지 못할 수 있으며 내진 보강이 필요할 수도 있다.

내진 보강이 필요한 건축물을 선정하기 위해서는 현재 건축물의 내진성

능을 정확히 파악할 필요가 있다[4]. 단순히 건축물의 내진설계의 유무를 확인하여 적절한 내진성능이 확보되었는지 판단하기는 무리가 있다. 따라서 건축물의 내진성능을 확인하기 위해서는 각각의 건축물에 대해서 내진성능 평가가 진행되어야 한다. 하지만, 국내 약 730만 동의 건축물에 대하여 현행 내진성능 평가를 진행하여 내진성능을 파악하기 위해서는 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 현실적으로 실현되기가 어렵다.

본 연구는 시대별 내진설계기준에 의해 도출된 내진설계안의 내진성능을 확인하여 건축물의 연식을 통해 내진 보강의 필요 유무를 검토하고자 한다. 이러한 연구 목적을 달성하기 위하여, 본 연구에서는 먼저 시대별 국내 내진설계 기준의 변화를 분석하고자 한다. 다음으로 앞선 분석 결과를 토대로 도출한 설계스펙트럼을 비교하여 철근콘크리트 보통모멘트골조의 지진하중 차이를 확인하고자 한다. 마지막으로, 건축물의 구조, 용도, 규모 등에

\*Corresponding author: Kim, JunHee

E-mail: junhkim@yonsei.ac.kr

(Received July 9, 2022; Revised August 8, 2022; Accepted August 9, 2022)



Fig. 1. Changes in domestic seismic design standards

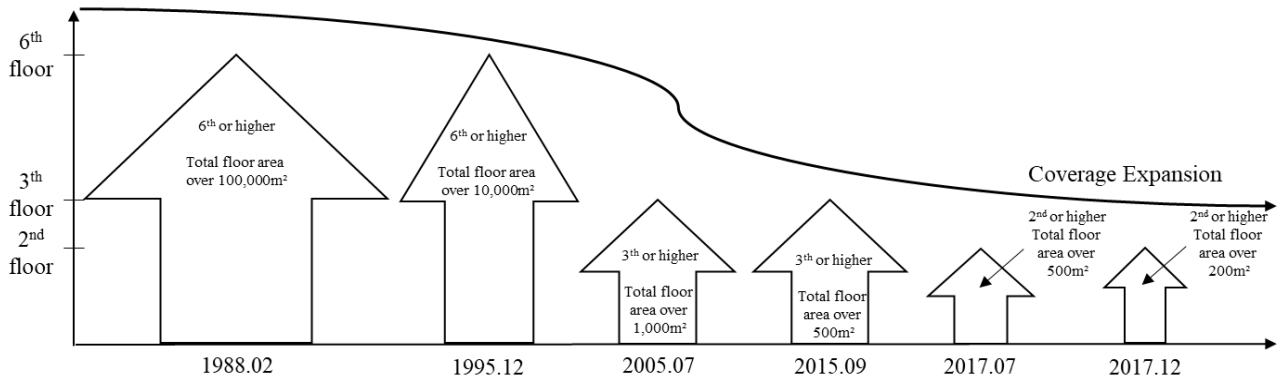


Fig. 2. Changes in domestic seismic design standards' coverage

따른 내진설계 현황분석을 통한 철근콘크리트조 프로토타입 건물을 설정하고 변화된 내진설계기준에 따른 내진설계안을 도출하고 내진성능 예비평가를 수행함으로써 내진 보강의 필요를 검토하고자 한다.

## 2. 시대별 국내 내진설계기준 변화 분석

국내 내진설계기준의 개정에 따른 건축물에 적용되는 지진하중의 변화를 분석하였다. 본 연구에서 고려된 내진설계기준은 다음과 같다.

- 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙, (AIK 1988[5])
- 건축물하중기준, (AIK 2000[6])
- 건축구조 설계기준, (KBC 2005[7], KBC 2009[8], KBC 2016[9])
- 건축물 내진설계기준, (KDS 41 17 00[10])

### 2.1 국내 건축물 내진설계기준의 변천사

국내 내진설계기준의 변화를 시대에 따라 Fig. 1에 나타내었다. 1962년에 제정된 건축법 제 10조에서 건축물은 지진에 안전한 구조를 가져야 한다고 규정만 하였을 뿐, 건축물의 지진하중을 포함하여 체계화된 기준이 정립되지 않았다. 1988년 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙[AIK 1988]에 처음으로 건축물에 적용되는 지진하중이 제정되었고, 해당 규칙 제 14조에 등가정적해석법이 신설되어 내진설계의 기초가 마련되었다.

1994년 노스리지지진에서 건축물의 심각한 지진손상이 관측되어, 국내에서도 건설교통부, 소방방재청, 지진공학회를 중심으로 진보된 지진 공학을 기반으로 내진설계기준을 개정하기 위한 연구가 활발히 진행되었다. 관

련 연구의 결과물로 UBC 94를 벤치마킹한 2000년 건축물하중기준[AIK 2000]이 발간되었다. 이후 국내의 실정에 맞게 지반분류와 지반중복계수가 개선되고 특별지진하중이 추가된 2005년 건축구조 설계기준[KBC 2005]가 발간되어, 현재 건축물 내진설계기준의 토대가 마련되었다. 지속적인 연구를 통해 2016년 지진구역과 지반계수 등이 개정된 KBC 2016이 발간되었다. 2018년에는 건축물을 포함하여 교량 및 기타 시설의 설계기준 21개가 통합된 KDS(Korean Design Standard) 체계가 확립되었으며, 기존 연구를 기반으로 국내 지반분류가 개선된 건축물 내진설계기준[KDS 41 17 00]이 정립되었다.

내진설계기준의 개정에 따른 내진설계대상 건축물의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 1988년 2월 건축법 시행령 제 32조인 ‘구조안전의 확인’ 항목에 층수가 6층 이상이거나 연면적 100,000 m<sup>2</sup> 이상인 건축물이 내진설계 대상에 처음 포함되었다. 1995년 12월에는 내진설계 의무대상인 건축물의 층수는 6층으로 이전과 같지만, 연면적은 100,000 m<sup>2</sup>에서 10,000 m<sup>2</sup>로 강화되었다. 2005년 7월에는 3층 이상, 연면적 1,000 m<sup>2</sup> 이상의 건축물이 내진설계 대상에 포함되면서, 건축물의 내진설계대상 범위가 크게 확대되었다. 2009년에는 내진설계대상 건축물의 범위가 변경되지 않았지만, 6층 이상의 건축물과 그에 해당하지 않은 건축물 2가지로 분류하여 구조 안전 및 내진설계 확인서를 제출하도록 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙 제 58조가 개정되었다. 2014년에는 건축물의 내진설계가 상위법인 건축법으로 확대되었고, 2015년 9월에 내진설계대상의 범위가 3층 이상, 연면적 1,000 m<sup>2</sup> 이상인 건축물로 확대되었다. 다만 연약지반에 위치한 건축물의 경우 지진에 대한 구조적 안전성을 확보하기 위해, 2층 이상의 건축물도 내진설계 대상에 포함된다. 2017년 7월에는 2층 이상, 연면적 500 m<sup>2</sup> 이상인 건축

물, 같은 해 12월에는 2층 이상, 연면적 200 m<sup>2</sup> 이상인 건축물이 내진설계 대상에 포함되도록 관련 법규가 강화되면서, 건축물의 지진에 대한 안전성을 확보하기 위한 노력을 현재까지 지속해서 기울이고 있다.

### 2.2 지반 분류 체계의 변화

지반의 분류에 따른 지반증폭은 지진하중을 결정하는 설계스펙트럼에 큰 영향을 미치는 요소이므로, AIK 1988부터 KDS 41까지 분류된 지반을 Table 1에 정리하였다. AIK1988은 암반까지의 깊이를 기준으로 60 m보다 얕으면 지반1(G1), 깊으면 지반2(G2)로 분류하고 있다. 암반까지의 깊이가 9 m 이상인 때에만 암반 상층이 보통 이하의 단단함을 가진 경우를 지반3(G3)으로 분류했다. AIK 2000에서는 지반을 지반1부터 지반4(G4)까지 분류하였으며, AIK 1988의 G3를 두 개의 지반으로 세분화하여 분류하였다. AIK 2000에서 분류하는 G1과 G2는 AIK 1988과 같으며, AIK 2000에서 G3는 AIK 1988의 G3에서 암반의 깊이가 6~12 m인 경우에 해당되며, AIK 2000에서 G4는 AIK 1988의 G3에서 암반의 깊이가 12 m 이상일 때 해당한다.

KBC 2005와 KBC 2009의 지반 분류는 AIK 2000 대비 한 가지가 추가된 5개로 같은 분류 체계를 갖는다. 지표면으로부터 상부 30 m에 대한 평균 전단파속도가 1500 m/s 이상이면 S<sub>A</sub>, 760~1500 m/s일 때 S<sub>B</sub>, 360~760 m/s일 때 S<sub>C</sub>, 180~360 m/s일 때 S<sub>D</sub>, 180 m/s 미만이면 S<sub>E</sub>로 분류한다. KBC 2016의 지반 분류 체계는 기본적으로 KBC 2009와 동일하지만, S<sub>C</sub>와 S<sub>D</sub> 지반에 대하여 기반암 깊이가 20 m 이하인 경우와 초과일 때에 대해 세부적으로 분류한다. KDS 41은 국내 지반의 특성을 고려하여 대대적으로 지반 분류 체계가 개편되었으며, 기반암의 깊이와 토층 평균 전단파속도를 기준으로 지반을 분류한다. 기반암의 깊이가 1 m 미만일 때 S<sub>1</sub>, 1 m 이상 20 m 이하이면 S<sub>2</sub>와 S<sub>3</sub>, 20 m 초과일 때 S<sub>4</sub>와 S<sub>5</sub>로 일차적으로 분류한다. 기반암의 깊이로 분류된 지반에 대하여 토층 평균 전단파속도를 기준으로 260 m/s 이상이면 S<sub>2</sub>, 260 m/s 미만일 때 S<sub>3</sub>, 180 m/s 이상이면 S<sub>4</sub>, 180 m/s 미만일 때 S<sub>5</sub>로 세부적으로 분류한다.

내진설계기준 개정에 따른 설계스펙트럼에 기반한 지진하중을 비교하기 위해, Table 1에 정리된 바와 같이 평균 전단파속도에 근거하여 AIK 1988부터 KDS 41까지 분류된 지반을 매칭하였다. MLIT[11]에서는 AIK 1988부터 KDS 2016까지의 분류된 지반을 매칭하였다. Baek and Choi[12]은 국토지반정보통합DB센터의 12,200개의 지반조사자료를 통해 KBC 2016과 KDS 41의 지반분류를 대응시켰다. 해당 연구의 내용을 종합하여

Table 1. Changes in the ground classification

Design Standard	Ground classification						
	G1	G2	G3				
AIK 1988	G1	G2	G3				
AIK 2000	G1	G2	G3	G4			
KBC 2005	S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>	S <sub>C</sub>	S <sub>D</sub>	S <sub>E</sub>		
KBC 2009	S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>	S <sub>C</sub>	S <sub>D</sub>		S <sub>E</sub>	
KBC 2016	S <sub>A</sub>	S <sub>B</sub>	S <sub>C</sub>	S <sub>C</sub> *	S <sub>D</sub>	S <sub>D</sub> *	S <sub>E</sub>
KDS 41	S <sub>1</sub>	-	S <sub>4</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub>	S <sub>3</sub> , S <sub>5</sub>

\* The bedrock depth is less than 20 m.

AIK 1988부터 KDS 41까지의 지반분류를 비교하였고, 관련 기준에서 지반에 따른 설계스펙트럼을 결정하는 지반증폭계수를 이용하여 내진설계기준의 개정에 따른 지진하중을 3장에서 비교하였다. 대상 건축물에 대한 지진하중의 변화는 3장에서 자세히 다루도록 하겠다.

### 2.3 설계스펙트럼 산정식 변화

AIK 1988과 AIK 2000은 설계스펙트럼을 산정하는 식이 따로 제시되어 있지 않고, 밀면전단력을 산정하는 식만 제시되어 있다. 밀면전단력 산정식에서 중요도계수와 반응수정계수를 제외한 부분으로부터 AIK 1988과 AIK 2000에 사용되는 설계스펙트럼식을 도출할 수 있으며, 해당 식은 식 (1)과 같다.

$$\frac{AS}{1.2\sqrt{T}} \tag{1}$$

여기서, A는 지역계수, S는 지반계수, T는 건축물의 고유주기이며, S/1.2√T 값은 1.75를 초과할 수 없다.

KBC 2005부터 KDS 41까지 사용되는 단주기 설계스펙트럼식은 식 (2)와 같다. KBC 2005부터 KBC 2016까지 사용되는 장주기 설계스펙트럼 식은 식 (3)과 같으며, 해당 식은 KDS 41에서 1초 주기까지의 설계스펙트럼을 계산하는 데 사용된다. KDS 41에서 사용되는 장주기 설계스펙트럼식은 식 (4)와 같이 주기의 역 제곱에 비례한다.

$$0.6 \frac{S_{DS}}{T_0} T + 0.4 S_{DS} \tag{2}$$

$$\frac{S_{D1}}{T} \tag{3}$$

$$\frac{S_{D1} T_L}{T^2} \tag{4}$$

여기서, S<sub>DS</sub>는 단주기 설계스펙트럼가속도, S<sub>D1</sub>은 1초 주기 설계스펙트럼가속도이며 T<sub>0</sub>와 T<sub>L</sub>은 각 구간에 대한 통제주기이다.

단주기 설계스펙트럼가속도(S<sub>DS</sub>)와 1초 주기 설계스펙트럼가속도

Table 2. Changes in design spectrum equation

Design Standard	Design spectrum equation		
	Short period	1 second	Long period
AIK 1988	$\frac{AS}{1.2\sqrt{T}}$		
AIK 2000	$\frac{AS}{1.2\sqrt{T}}$		
KBC 2005	$0.6 \frac{S_{DS}}{T_0} T + 0.4 S_{DS}$	$\frac{S_{D1}}{T}$	
KBC 2009			
KBC 2016			
KDS 41	$0.6 \frac{S_{DS}}{T_0} T + 0.4 S_{DS}$	$\frac{S_{D1}}{T}$	$\frac{S_{D1} T_L}{T^2}$

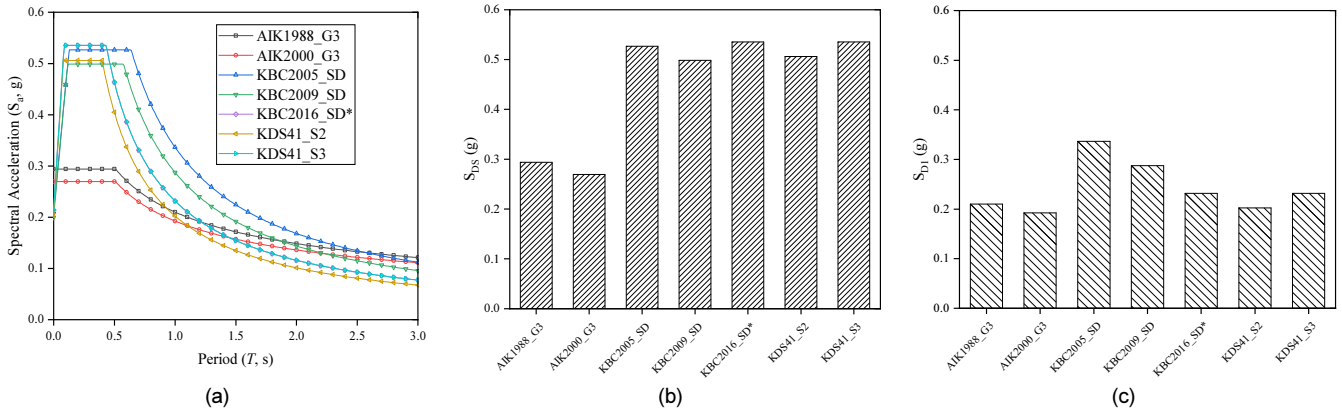


Fig. 3. (a) Design spectrum with load factor for selected ground (b) Design spectrum acceleration at short periods (c) Design spectrum acceleration at 1 s

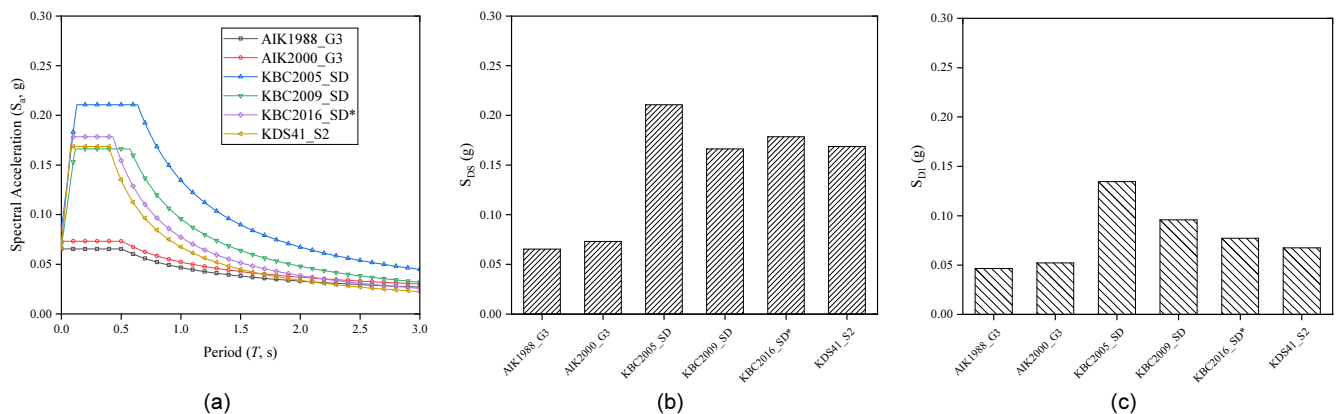


Fig. 4. (a) Design spectrum with load factor, response modification factor and importance factor (b) Design spectrum acceleration at short periods (c) Design spectrum acceleration at 1 s

( $S_{D1}$ )는 지반분류와 지진구역별로 제시되어 있으며, 이를 통해 설계스펙트럼식에서 단주기와 장주기를 구분하는 값인  $T_b$ ,  $T_s$ 를 계산할 수 있다. Table 2에 AIK 1988부터 KDS 41가 사용되는 설계스펙트럼식을 비교하여 정리하였다. 해당 식을 이용하여 본 연구의 대상 건축물인 보통모멘트골조에 대한 시대별 설계스펙트럼과 지진하중을 3장에서 비교하였다.

AIK 1988과 비교할 때 AIK 2000은 약 0.91배로 작게 나타났으며, KBC 2005는 약 1.79배, KDS 41의  $S_2$  지반은 약 1.72배 크게 나타났다. Fig. 3(c)에서 1초 주기 설계스펙트럼 가속도는 AIK 1988과 비교할 때 AIK 2000은 약 0.92배로 작게 나타났으며, KBC 2005는 약 1.62배, KDS 41의  $S_2$  지반은 유사하였다.

### 3. RC 보통모멘트골조의 설계스펙트럼 변화 분석

### 3.2 철근콘크리트 보통모멘트골조의 설계스펙트럼 변화

#### 3.1 기본 설계스펙트럼 분석

2013년 기준 내진설계가 적용되기 시작한 1988년 이후 서울시에 지어진 건축물 29만여 채 중 약 63%가 철근콘크리트조로 나타났다[13]. 철근콘크리트조의 여러 횡력저항시스템 중 가장 보편적인 철근콘크리트 보통모멘트골조의 반응수정 계수와 대다수 건축물이 속해있는 중요도(2)의 중요도계수를 적용하여 설계스펙트럼을 도출하고 비교해보았다.

2장에서 정리한 지반 분류 체계로부터, 국내 지반의 대다수(약 77.9%[12])를 차지하는 AIK 1988과 AIK 2000의  $G_3$ , KBC 2005와 KBC 2009의  $S_D$ , KBC 2016의  $S_D^*$ , KDS 41의  $S_2$ 와  $S_3$ 를 설계스펙트럼의 비교를 위한 대상 지반으로 선정하였다. 유효지반가속도 선정을 위한 지진구역의 경우, 국내 대부분 지역이 속해있는 지진구역 I에 대해 선정된 지반에 따른 기본 설계스펙트럼을 고려된 기준에 따라 Fig. 3과 같이 도출한 뒤 비교하였다.

하중계수가 고려된 스펙트럼(Fig. 3(a))에서 철근콘크리트 보통모멘트골조의 반응수정계수와 중요도(2)에 해당하는 중요도 계수를 적용한 스펙트럼은 Fig. 4(a)로 나타난다. 시대별 기준에 따른 철근콘크리트 보통모멘트골조의 반응수정계수와 중요도계수는 Table 3에 정리하였다. 기본 설계스펙트럼과 동일하게 KBC 2005에서 이전 기준인 AIK 1988과 AIK 2000과 비교했을 때 설계스펙트럼이 큰 폭으로 증가했다. 최댓값을 갖는 단주기 설계스펙트럼 가속도를 나타낸 Fig. 4(b)에서 AIK 1988 기준 AIK 2000은 약



**Table 3.** Considered response modification factor and importance factor for ordinary RC moment frame

Design standard	Response modification factor ( <i>R</i> )	Importance factor ( <i>I<sub>e</sub></i> )
AIK 1988	4.5	1.0
AIK 2000	3.5	0.95
KBC 2005	3.0	1.2
KBC 2009	3.0	1.0
KBC 2016	3.0	1.0
KDS 41	3.0	1.0

1.11배, KBC 2005는 약 3.22배, KDS 41은 약 2.58배 크게 나타났다. Fig. 4(c)에서 1층 주기 설계스펙트럼 가속도는 AIK 1988 기준 AIK 2000은 약 1.12배, KBC 2005는 약 2.88배, KDS 41은 약 1.45배 크게 나타났다. 기본 설계스펙트럼과 비교했을 때 중요도 계수와 반응수정계수를 적용한 철근콘크리트 보통모멘트골조의 설계스펙트럼에서 시대별 내진설계기준의 설계스펙트럼에 따른 지진에 대한 demand의 차이가 더 크게 나타남을 확인했다.

## 4. 시대별 설계안의 내진성능평가

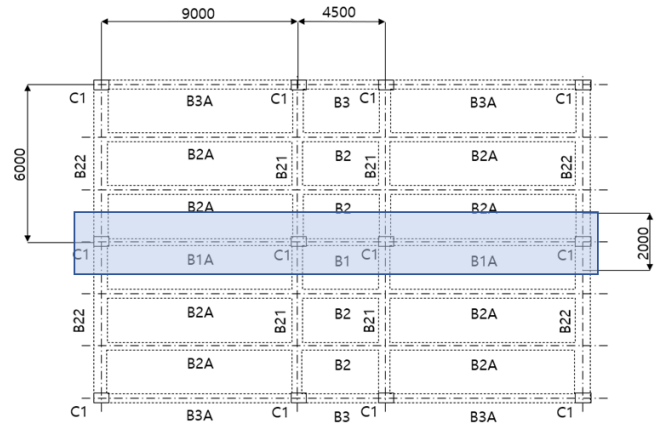
### 4.1 대상 건축물의 선정과 모델링

대상 모델을 가장 보편적인 모델로 채택하기 위하여 지진 구역1에 위치한 철근콘크리트 보통모멘트골조 건물로 선정하였다. 대상 모델의 용도는 철근콘크리트 보통모멘트골조 시스템을 횡력 저항 시스템으로 갖는 대표적인 시설 중 하나인 업무 시설로 선정하였다. 건축물 생애 이력 관리시스템의 데이터를 이용한 2020년 기준 서울시의 업무 시설 9,141 개를 통계한 결과, 건물의 층고는 6~10층이 47%로 가장 크게 나타났으며 건물의 규모는 1000~2000 m<sup>2</sup>가 24%로 가장 크게 나타났다. 이를 반영하여 대상 모델을 3.6 m 층고의 지상 6층, 면적이 270 m<sup>2</sup>인 Fig. 5를 평면으로 설정하였다. 건물의 중요도는 앞서 설정한 정보를 토대로 중요도(2)로 결정하였다. 대상 모델의 평면인 Fig. 5에서 파란색으로 표시된 부분인 6층 3경간 구조물에 대하여 2차원 해석을 수행하였다. AIK 1988은 AIK 2000에 비해 낮은 설계스펙트럼 가속도를 가지므로 AIK 1988은 제외하고 AIK 2000, KBC 2005, KBC 2009, KBC 2016, KDS 41에 대해 구조해석 및 설계를 진행하였다. 고려된 지반조건은 3.1장과 동일하다.

선정한 기준들에 대하여 고정하중과 지진하중의 하중조합으로 MIDAS 구조해석을 진행하였다. 고정하중은 업무 시설 마감하중인 5.2 kN/m<sup>2</sup>을 동일하게 적용하였다. 지진하중은 각 내진설계기준에 따라 산출된 지진하중을 적용하였으며 하중계수를 고려하여 AIK 2000의 지진하중은 1.4를 곱하여 비교해보았다. 또한 콘크리트 압축강도는 24 MPa, 철근 항복강도는 400 MPa로 통일하였고, 강도설계법을 통해 부재를 설계하였다.

### 4.2 부재력 변화 분석

지진하중에 대한 각 층의 전단력을 기준에 따라 Table 4에 정리하였다. 지진하중에 의한 1층 전단력은 AIK 2000이 가장 작으며, KBC 2005가 가



**Fig. 5.** Floor plan of prototype

**Table 4.** Story shear according to revision of design standard

Design standard	Story shear (kN)					
	1F	2F	3F	4F	5F	6F
AIK 2000*	193.0	183.5	164.5	136.1	98.2	50.7
KBC 2005	427.4	410.9	373.7	313.8	229.7	120.4
KBC 2009	365.2	351.1	319.3	268.1	196.3	102.9
KBC 2016	294.3	283.0	257.4	216.1	158.2	82.9
KDS 41	295.7	283.4	256.6	214.4	156.2	81.5

\* Seismic load factor is considered

장 크다. KBC 2005 이후 기준에서 1층 전단력은 작아지는 경향이 나타났으며, KBC 2016과 KDS 41은 거의 같은 값을 가진다. 지진하중이 가장 작게 산정된 AIK 2000의 지진하중에 의한 1층 전단력은 193.0 kN으로, 가장 큰 지진하중을 가진 KBC 2005의 427.4 kN에 비해 약 45%에 불과하다. 즉, AIK 2000이 적용된 건축물은 지진하중에 대한 낮은 demand 때문에 다른 기준들 대비 기둥이나 보의 내력이 작을 수 있다.

대상 모델에 대하여 층수와 관계없이 기둥은 600 × 600 mm, 보는 450 × 700 mm의 동일한 단면으로 설계하여 부재력을 비교하여 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6(a)에서 기둥과 보의 휨모멘트, Fig. 6(b)에서 기둥과 보의 전단력, Fig. 6(c)에서 기둥의 축력을 적용된 기준에 따라 비교해보면, AIK 2000의 부재력이 가장 작고, KBC 2005의 부재력이 가장 큰 경향을 확인할 수 있다. KBC 2016과 KDS 41의 부재력은 거의 동일한 값을 나타냈고, AIK 2000의 부재력은 다른 기준들에 비하여 현저히 낮은 값을 보였다. 즉, 철근콘크리트 보통모멘트골조를 갖고 KBC 2005 전의 기준(AIK 1988, AIK 2000)으로 내진설계된 건축물의 경우, KBC 2005 이후 개정된 기준으로 내진설계된 건축물보다 내진성능이 낮을 가능성이 크다.

### 4.3 내진설계안 도출 및 분석

기둥 부재는 축력과 휨모멘트로 설계되기 때문에 단면 크기를 변수로 설계를 진행하였다. 철근비는 0.024~0.028 사이의 수치로 최대한 유사하도록 설계하였다. 스티럽 간격은 200 mm, 피복 두께는 60 mm로 동일하게 설정하였다. Fig. 7은 각 기준에 따라 내진설계된 기둥의 단면을 비교하여 나타낸 것이다. 정사각형 모양으로 설계된 기둥의 단면 크기를 비교해보았

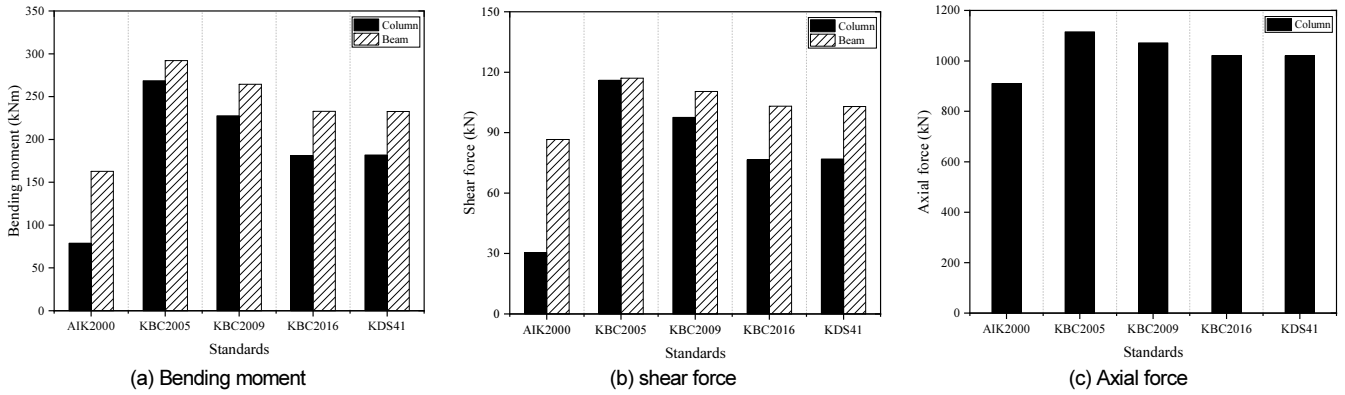


Fig. 6. Comparison of member forces

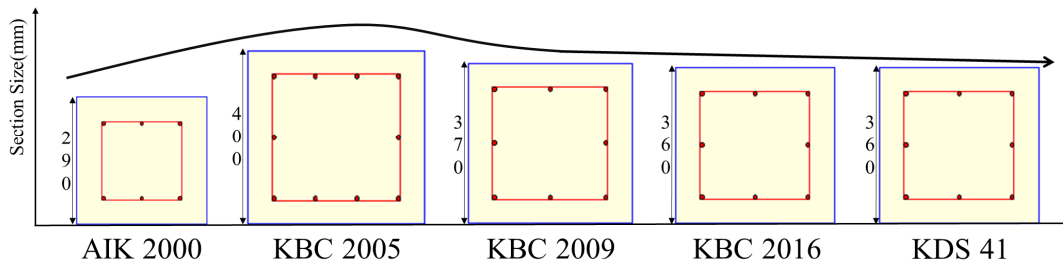


Fig. 7. Column design results comparison

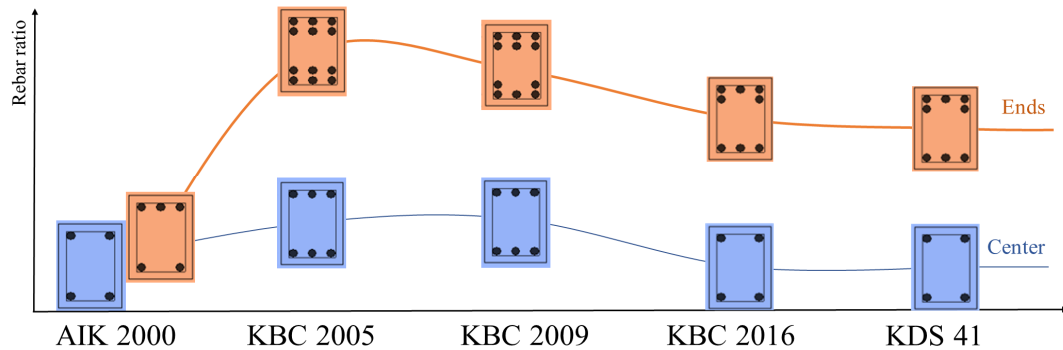


Fig. 8. Beam design results comparison

을 때, KBC 2005에 의한 기둥의 한 변 길이가 400 mm로 가장 컸으며, KBC 2009는 370 mm, KBC 2016과 KDS 41은 360 mm로 뒤를 이었다. AIK 2000에 의한 기둥의 한 변 길이는 290 mm로 다른 기준들에 비해 현저히 작은 단면 크기를 보유했다는 것을 확인할 수 있었다.

보 부재는 휨모멘트로 설계되기 때문에 철근비를 변수로 설계를 진행하였다. 단면 크기는 300 × 500 mm, 스테럽 간격은 200 mm, 피복 두께는 60 mm로 동일하게 설정하였다. 보 부재의 단부와 중심부로 나누어 각각 설계를 진행하였다. 보 부재의 크기와 주근을 기준에 따라 비교한 Fig. 8을 살펴보면, 보 중심부의 철근비는 KBC 2005와 KBC 2009가 동일하게 나타났으며 다른 기준들은 이보다 작은 값으로 동일하게 나타났다. 보 단부의 철근비는 KBC 2005가 가장 크게 나타났으며 KBC 2009가 뒤를 이었다. KBC 2016과 KDS 41은 이어서 동일한 철근비를 나타냈으며, AIK 2000은 다른 기준들에 비하여 현저히 작은 철근비를 나타냈다. 또한 모든 설계안의 층간변위비는 내진등급 II에 해당하는 허용층간변위비인 0.02보다 작아, 층간변위비 기준을 만족함을 확인하였다.

#### 4.4 예비평가를 통한 설계안의 내진성능평가

도출한 설계안들은 국토안전관리원의 내진성능평가 가이드라인[3]에 따라 내진성능 예비평가를 수행하였고, 이를 통해 산정한 DCR(Demand Capacity Ratio)로 각 설계안별 성능수준을 비교하였다. 예비평가시, demand는 KBC 2016  $S_D$  지반의 단주기 설계스펙트럼 가속도에 구조물의 총 중량과 층전단력 분포계수를 곱하여 계산된다. 그리고 capacity는 설계안으로부터 도출된 기둥의 수평전단내력으로부터 계산되며, 각 층에 대한 DCR을 계산하여 층별 성능수준을 결정한다. Fig. 9는 각 설계안의 평가된 DCR을 성능수준에 따라 나타내어 비교한 것이다. AIK 2000의 DCR은 0.757, KBC 2005는 0.398, KBC 2009는 0.465, KBC 2016과 KDS 41은 0.491의 값을 보였다. DCR을 통하여 설계안의 내진성능수준을 도출했을 때, AIK 2000은 유일하게 DCR 값이 0.75를 넘어 붕괴방지(collapse prevention, CP)의 성능수준을 나타냈다. 다른 기준들은 모두 DCR 값이 0.5 미만으로 즉시거주(immediate occupancy, IO)의 성능수준을 나타냈다. AIK 2000

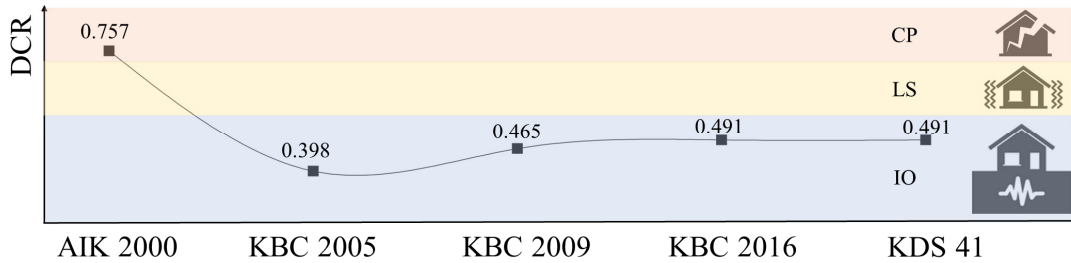


Fig. 9. Seismic performance preliminary evaluation comparison

에 의한 설계안만이 부족한 내진성능수준을 보유했음을 확인할 수 있다. 즉, 예비평가의 결과가 보수적인 성능수준을 나타냄을 고려한다면, AIK 2000으로 설계된 업무시설용도의 중층 철근콘크리트 보통모멘트골조는 내진성능 상세평가를 통해 내진성능을 평가할 필요가 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 국내 내진설계기준의 개정에 따른 철근콘크리트 보통모멘트골조 건축물의 보유 내진성능수준을 분석하였다. 먼저 내진설계기준 개정에 따른 지반 분류 체계와 관련 설계스펙트럼식의 변화를 분석한 뒤, 대표 지반에 대해 지진하중에 대한 demand를 정량적으로 비교하였다. 개정된 내진설계기준에 따라 대상 건축물의 설계안을 도출한 뒤, 예비평가를 통해 보유 성능수준을 평가하였다. 연구를 통해서 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 반응수정계수와 중요도계수가 적용된 철근콘크리트 보통모멘트골조의 지진응답계수는 AIK 2000이 가장 작으며, KBC 2005가 가장 컸다. AIK 2000의 지진응답계수는 현행 KDS 41의 65%에 불과하므로, AIK 2000이 적용된 2005년 이전 철근콘크리트 보통모멘트골조의 전단에 대한 수평보유내력은 매우 부족할 수 있을 것으로 판단된다.
- (2) 대상 건물에 대하여 보와 기둥의 지진하중이 고려된 하중조합에 의한 부재력을 비교한 결과, AIK 2000이 적용된 부재력은 다른 기준들 대비 현저하게 작았다. 이는 고정하중이나 활하중에 대한 기준은 변경되지 않았으나, 지진하중의 변화가 부재력의 차이에 크게 기여한 것으로 분석된다.
- (3) 기둥의 단면 크기를 변수로 내진설계안을 도출하여 비교한 결과, AIK 2000으로 설계된 기둥의 단면이 가장 작았으며, KBC 2005로 설계된 기둥의 단면이 가장 컸다. KBC 2009부터 KDS 41로 설계된 기둥의 단면은 유사하여, 2009년 이후 설계된 철근콘크리트 보통모멘트골조의 내진성능은 유사하다고 판단된다. AIK 2000과 KDS 41로 설계된 기둥의 단면적 차이는 약 65%로, 이는 지진하중에 의한 전단력의 차이와 유사하다.
- (4) 내진성능 예비평가 결과, KBC 2005 이후 개정된 기준으로 설계된 업무시설용도의 중층 철근콘크리트 보통모멘트골조는 현행 내진성능평가 가이드라인에서 제시된 즉시거주수준의 성능을 나타내어 충분한 내진성능을 보유하는 것으로 평가되었다. 반면, AIK 2000 이전 기준이 적용된 2005년 이전 설계된 대상 건축물의 경우, 붕괴방지의 수준을 나타내어 내진성능이 부족할 것으로 판단되므로, 해당 건축물에 대한 내진성능 상세 평가 및 내진 보강이 필요하다고 할 수 있다.

## / 감사의 글 /

본 논문은 2021년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(Grant No. NRF-2021R1A2C2007064).

## / REFERENCES /

1. Park JH, Lee SH, Kim DK, Revision of earthquake loads included in KDS 41 17 00, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2019 May;63(5):20-25.
2. Park HG, Yu E, Introduction to seismic design in Korean building code, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2019 May; 63(5):15-19.
3. KALIS, Guidelines for seismic performance evaluation of existing buildings, Korea Authority of Land and Infrastructure Safety, c2021.
4. Han SW, Korean seismic design code and application status, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2011 May;55(5): 22-26.
5. MCT, Rules on structural standards for buildings (AIK 1988), The Ministry of Construction & Transportation, c1988.
6. AIK, Standards for building loads and analysis (AIK 2000), The Architectural Institute of Korea, c2000.
7. AIK, Korean building code and commentary (KBC 2005), The Architectural Institute of Korea, c2005.
8. AIK, Korean building code and commentary (KBC 2009), The Architectural Institute of Korea, c2009.
9. AIK, Korean building code and commentary (KBC 2016), The Architectural Institute of Korea, c2016.
10. MLIT, Seismic design standards for buildings (KDS 41 17 00), The Ministry of Land, Infrastructure and Transport, c2018.
11. MLIT, Development of seismic performance evaluation for earthquake loss assessment of buildings, Report No. TRKO201900002020, Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, c2019.
12. Beak W, Choi J, Analysis of the effect of the revised ground amplification factor on the macro liquefaction assessment method, Journal of the Korean Geotechnical Society, 2020 Feb;36(2):5-15.
13. SI, Changes in Seoul as an Indicator, The Seoul Institute, 2015;3: 146-147.