

# 저층 철근콘크리트 건물의 지진응답특성

## Seismic Response Characteristics of Low-Rise R/C Buildings

이강석\* 오재근\*\* 최창식\*\*\* 이리형\*\*\*\*  
Lee, Kang Seok Oh, Jae-Keun Choi, Chang Sik Lee, Li-Hyung

### ABSTRACT

The purpose of this study is to discuss how strength and ductility of each system in low-rise R/C buildings combined with extremely brittle, shear and flexural failure systems have influence on seismic capacities of the overall system, which is based on seismic response analysis of SDOF structural systems. To simulate the triple lateral-load resisting system, structures are idealized as a parallel combination of two modified origin-oriented hysteretic models and degrading trilinear hysteretic model that fail primarily in extremely brittle, shear and flexure, respectively. Stiffness properties of three models are varied in terms of story shear coefficients, and structures are subjected to two ground motion components. By analyzing these systems, interaction curves of required strengths of the triple systems for various levels of ductility factors are finally derived for practical purposes.

### 1. 서론

우리나라는 지금까지 지진피해의 경험이 적은 나라로서 인식되어왔다. 그러나, 기상청 통계자료에 의하면 지난 27년(1978~2004년)간 총 641회의 지진이 관측되어, 연평균 23회의 빈도를 보이고 있다. 이 중 지진규모(M) 4이상의 비교적 큰 규모의 지진발생이 34회이다. 또한, 역사지진 및 계기지진에 관한 연구결과에 의하면 각종 건물에 상당한 피해를 줄 수 있는 정도의 지진이 발생할 가능성이 있으며, 가까운 미래에 발생가능한 대규모의 지진에 대한 대책의 중요성이 점차 고조되고 있다. 특히, 최근 들어 일본 고베지진(1995년, M=7.2, 사망자: 6432명), 대만 지지지진(1999년, M=7.6, 사망자: 2474명) 등의 한반도 주변국가에서의 대규모 지진의 발생은 건물의 지진에 대한 대책의 중요성을 보다 크게 인식시키는 계기가 되고 있다.

과거 지진피해 조사에 의하면 저층 건물이 많은 피해를 입었으며, 현재 널리 보급되어진 저층 철근콘크리트(RC) 건물도 예외는 아니었다. 우리나라의 경우 과반수 이상이 저층 RC 건물로서 대규모지진이 발생한다면 저층 RC 건물에 거대한 피해가 발생할 것으로 예상된다. 한편, 대다수의 저층 RC 건물은 다양한 수평저항시스템으로 이루어져 있으며, 이것들은 각기 다른 변위에서 파괴될 것으로 판단된다.

\* 정회원 초대형구조시스템 연구센터 연구조교수

\*\* 정회원 한양대학교 건축공학과 석사과정

\*\*\* 정회원 한양대학교 건축공학과 부교수

\*\*\*\* 정회원 한양대학교 건축공학과 교수

그 가운데에서도, 강성 및 강도는 높지만 소성영역에서 극취성적인 파괴성상(Extremely Brittle Failure)을 나타내는 극단주(Extremely Short Column), 전단벽 등의 전단파괴형 부재 및 비교적 강성 및 강도는 낮지만 연성능력이 탁월한 기둥 등의 휨파괴형 부재는 전형적인 수평저항시스템으로 다수의 피해지진에 의하여 그것들의 중요성이 대두되었다. 극단주, 전단벽, 휨기둥 등과 같이 서로 다른 성질의 역학적 특성을 가지는 내진요소로 혼합된 저층 RC 건물의 내진성능을 평가하기 위해서는, 각각 부재의 내력과 변형능력이 건물전체의 내진성능에 어떻게 영향을 미치는가를 우선적으로 검토하는 것이 필요하다.

본 연구는 극단주(극취성과파괴형 부재), 전단벽(전단파괴형 부재) 및 휨기둥(휨파괴형 부재)이 혼합된 저층 RC 건물의 내진성능을 평가하기 위한 기본적인 자료를 제공하는 것을 주목적으로, 각각 파괴형 부재의 강도와 변형능력사이의 상관관계를 파악하여, 이것들의 비율이 건물 전체의 내진성능에 어떻게 영향을 미치는가를 비선형 지진응답해석을 실시·검토하여 최종적으로 요구내력 스펙트럼(Required Strength Spectrum)을 제안하였다.

## 2. SDOF 비선형 지진응답해석의 개요

### 2.1 해석 변수의 선정 및 모델의 특성

저층 RC건물의 바닥이 무한강성을 가지며, 극취성과파괴, 전단파괴 및 휨파괴가 지배적이라고 가정을 하면, 구조물은 그림 1과 같이 병렬계로 모델링이 가능하다.<sup>1)</sup> 극단주 및 전단벽의 복원력특성( $k_{sc}$  및  $k_s$ )은 Modified Origin-Oriented Model로 하였으며, 휨기둥에 대한 복원력특성( $k_f$ )은 Degrading Trilinear Model을 사용하였다.<sup>1),2)</sup> 그림 1의 SDOF(single degree of freedom) 해석모델의 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$m\ddot{y} + (c_{sc} + c_s + c_f)\dot{y} + V_{sc}(y) + V_s(y) + V_f(y) = -m\ddot{y}_0 \quad (1)$$

여기서, m: 질량, y: 상대변위,  $c_{sc}$ ,  $c_s$  및  $c_f$ : 극단주, 전단벽 및 휨기둥의 감쇠계수,

$V_{sc}$ ,  $V_s$  및  $V_f$ : 극단주, 전단벽 및 휨기둥의 복원력,  $\ddot{y}_0$ : 입력지진동

### 2.2 입력지진과 및 응답해석의 방법

본 연구에서는 입력지진파로서 1940년 Imperial Valley Earthquake의 El Centro파(USA)와 1968년 Tokachi-oki Earthquake의 Hachinohe파(Japan)의 NS성분을 각각 사용하여 응답해석을 실시한다. 감쇠는 내부점성감쇠(Viscous Damping)로서, 식(1)의 감쇠계수  $c_{sc}$ ,  $c_s$  및  $c_f$ 는 식(2)와 같이 결정하였으며, 감쇠율( $\xi$ )은 RC건물의 진동특성을 고려하여 3%로 하였다.<sup>3)</sup> 또한, 이 운동방정식의 해를 구하기 위한 적분법은 선형가속도법(Linear Acceleration Method)을 적용하였다.<sup>3)</sup>

$$c_{sc} = 2 \frac{\xi k_{sc}}{\omega} ; c_s = 2 \frac{\xi k_s}{\omega} ; c_f = 2 \frac{\xi k_f}{\omega} \quad (2)$$

$$(\xi=0.03, \omega = \sqrt{\omega_{sc}^2 + \omega_s^2 + \omega_f^2})$$

여기서,  $\omega_{sc}$ ,  $\omega_s$ ,  $\omega_f$  : 극단주, 전단벽 및 휨기둥의 각 순간의 회전진동수

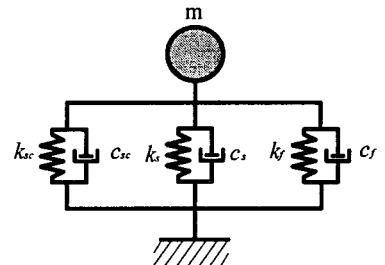


그림 1. 병렬계의 SDOF 모델화

## 3. 비선형 지진응답해석의 결과

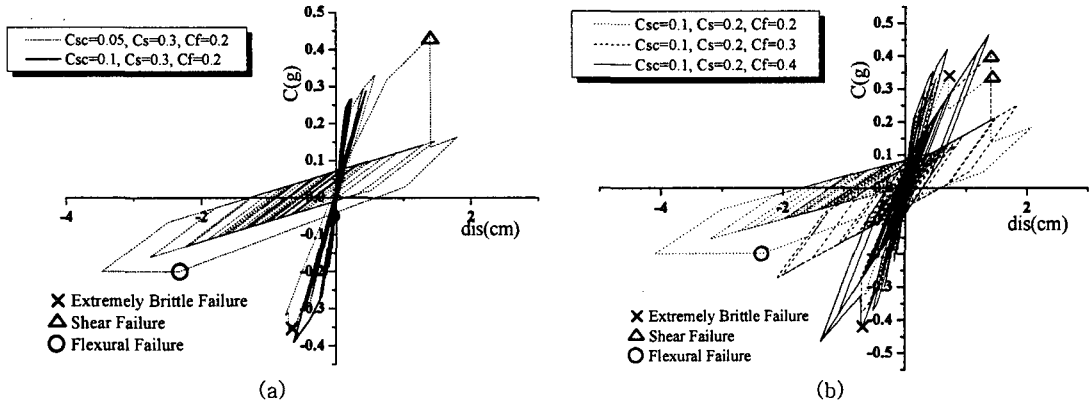


그림 2. 비선형 지진응답해석의 결과(Hachinohe.ns)

### 3.1 응답변위 및 복원력특성

그림 2는 Hachinohe(NS성분) 지진파를 이용한 비선형 지진응답해석 결과 중 일부를 나타낸 것으로서, 이로부터 다음과 같은 사실을 알 수가 있다.

- (1) 그림2(a)에서 극단주의 내력이 0.05일 때는 극단주, 전단벽 및 휨기둥이 모두 파괴되어 약 3.6cm의 변형이 생겼지만, 내력이 0.1일 때는 극단주의 중국변위 이내로 변위가 제한되었다.
- (2) 그림2(b)는 휨기둥의 내력을 점차 변화시켰을 때의 복원력 특성을 나타내고 있다. 휨기둥의 내력이 0.2일 때는 극단주, 전단벽이 차례로 파괴되었으며, 휨항복이 발생하여, 연성을 약 1.7이 되었다. 한편, 휨기둥의 내력이 0.3 및 0.4일 때에는 극단주 및 전단벽의 파괴가 발생하여도 에너지 소산능력이 탁월한 휨기둥에 의하여 변형이 억제되었다.

### 3.2 응답연성을

그림 3은 두가지 입력지진파의 해석결과의 일부( $C_{sc}=0.05$ )를 나타낸 것으로서, 그림의 연성을  $\mu_f$ 는 휨기둥의 항복변위( $\delta_{fy}$ )에 대한 최대 응답변위의 비율을 나타내며,  $\mu_f$ 가 0.03( $\mu_{sc}=1$ )이면 극단주의 균열점, 0.06( $\mu_s=1$ )은 전단벽의 균열점, 0.3( $\mu_{sc}=10$ )은 극단주의 중국점, 0.6( $\mu_s=10$ )은 전단벽의 중국점, 1은 휨기둥의 휨항복점을 나타낸다.

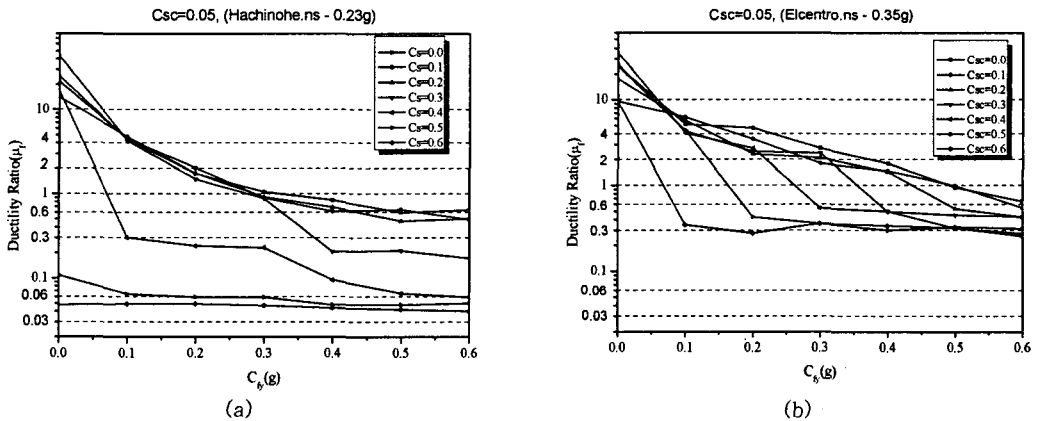


그림 3. 응답연성율( $C_{sc}=0.05$ )의 비교

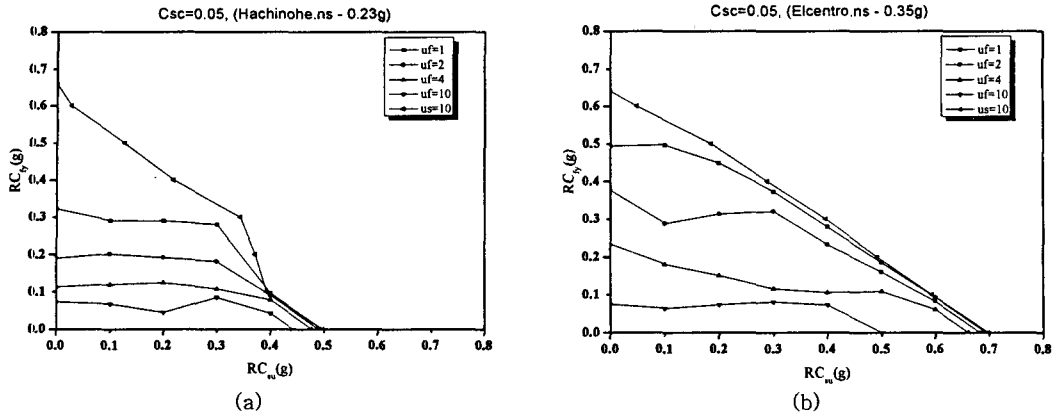


그림 4. 요구내력스펙트럼(Csc=0.05)

### 3.3 요구내력 스펙트럼

어떤 특정소성율에 대하여 극단주, 전단벽 및 휨기둥이 혼합된 저층 RC 건물에 요구되는 요구내력은 그림 3을 이용하여 산정 가능하다. 그림 4에는 본 연구에서 설정한 두가지 입력지진파에 대하여, 극단주의 내력이 0.05일 때, 각종 연성율에 대한 전단벽 및 휨기둥의 요구내력을 나타내었다. 위의 그림들은 건물전체의 내진성능에 극단주, 전단벽 및 휨기둥이 어떻게 협력을 하는가를 나타냄과 동시에, 특정 연성율에 대한 각각의 부재의 요구내력을 구체적으로 파악할 수가 있다.

## 4. 결론

비선형 지진응답해석을 실시하여 극단주, 전단벽 및 휨기둥 부재가 혼합된 저층 RC 건물의 각각의 부재 내력과 연성능력사이의 상관관계를 파악하였으며, 이를 바탕으로 특정 연성율을 위한 요구내력을 산정하였다.

본 연구에서 유도한 요구내력은 어떤 지역의 건물이 요구하는 지진수준에 대하여 특정 연성율을 초과하지 못하게 하는 하한내력의 범위를 파악할 수 있는 등, 이 유도결과는 내진성능평가 및 내진설계의 기본적인 자료로서 활용 가능하다고 사료된다.

본 연구에서 사용된 입력지진파로서 El Centro(NS) 및 Hachinohe(NS)를 선정하여 지진응답해석을 수행하였지만, 향후 연구에서는 다양한 입력지진파를 여러 단계의 지진강도수준으로 표준화하여 특정 연성율을 위한 요구내력의 평균값 또는 최대값을 사용한 요구내력 스펙트럼을 제안할 필요성이 있다고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 R01-2004-000-10787-0) 지원으로 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 이강석, 이원호; '전단 및 휨파괴형 부재가 혼합된 저층 철근콘크리트 건물의 지진응답특성' 대한건축학회논문집 구조계, 제18권11호(통권169호), 2002. 11, p.p 35~46
2. Murakami, M. and J. Penzien, 'Nonlinear Response Spectra for Probabilistic Seismic Design and Damage Assessment of Reinforced Concrete Structures', Report No. EERC 75-38, University of California, Berkeley, Ca., 1975
3. 柴田明德, '最新耐震構造解析 - 3.應答の数値解析', 森北出版, pp.97-111, 1993