

# 지반특성과 지진지역에 따른 보통모멘트 골조의 내진성능 평가

## Seismic Evaluation of Ordinary Moment Concrete Frames Using Capacity Spectrum Method

권건업\*

Kwon, Gun Up

한상환\*\*

Han, Sang Whan

---

### ABSTRACT

This study is to evaluate seismic performance of ordinary moment concrete frames. Base shear and roof displacement relations are obtained from the experiment of 3 story ordinary moment resisting concrete frame. The frame was designed only for gravity loads. The performance of the building is evaluated using capacity spectrum method. Five different seismic zones and three different soil types are considered. For each condition of seismic zone and soil type, ten earthquake ground motions are used to establish the demand spectrum.

---

### 1. 서론

UBC 1997 규준에서는 지반을 전단파 속도에 따라서  $S_A$ 에서  $S_F$ 까지 6종류의 지반으로 분류하고 지진지역을 Zone1, 2A, 2B, 3, 4의 5종류로 분류하고 있다. 미국의 중부, 동부등과 같은 중약진 지역의 경우 대부분의 철근콘크리트 건물은 중력하중 만으로 설계된다. ATC 40에서는 층간변위와 부재의 소성회전각으로 여러 가지 성능수준에 제한치를 두고 있다.

본 연구에서는 중력하중만으로 설계된 보통모멘트 콘크리트 골조의 보유능력을 준정적 실험을 통해 파악한 후 지반특성과 지진지역별로 변위연성비를 이용한 CSM(Capacity Spectrum Method)을 사용하여 성능점을 찾고, 성능점에서의 층간변위비를 구하여 이를 ATC 40 (1997)의 규준에 따라 내진 성능을 평가하였다.

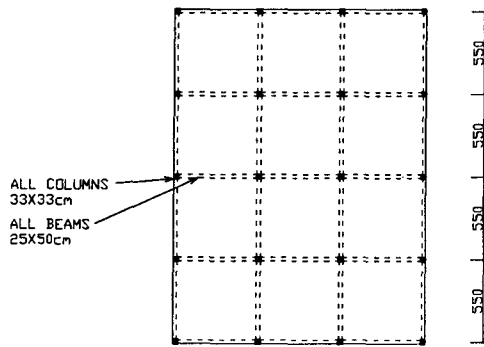
### 2. 능력 스펙트럼

구조물의 내진성능을 평가하기 위해서는 대상건물의 하중-변위관계가 정의되어야 한다.

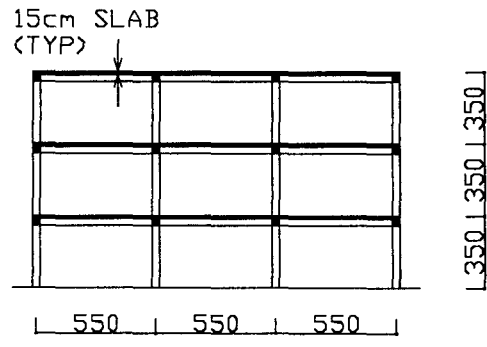
---

\* 정회원, 한양대 건축공학부, 학부과정

\*\* 정회원, 한양대 건축공학과, 조교수



(a)평면도



(unit : cm)

(b)단면도

그림 1. 대상건물

이런 하중-변위 관계는 DRAIN 2D, IDARC 등의 비선형 해석 프로그램을 이용한 비선형 정적해석을 하거나, 더욱 정확한 평가를 위해서는 실험을 통한 방법이 있다. 본 연구에서는 중력하중만으로 설계된 보통모멘트골조의 1:3 규모의 축소모델 준정적실험을 통해 구조물의 보유능력을 파악하였다.

그림 1과 같은 평면과 입면의 3층 사무실 용도 골조를 ACI 318-99 규준에서 정의하는 보통모멘트골조 방식으로 설계하였다. 대상 골조는 자중을 포함한 고정하중  $0.53\text{tf/cm}^2$ 과 적재하중  $0.25\text{tf/cm}^2$ 에 대하여 설계하였으며, 사용재료는 보통포틀랜드 시멘트( $f_{ck}=0.24\text{tf/cm}^2$ )와 D19, D10 철근을 사용하였다.

하나의 기둥열에 대한 1:3 축소 모델을 제작하여 실행한 준정적 실험을 통해서 얻은 1층 전단력과 지붕층 변위관계 그림 2와 같다.

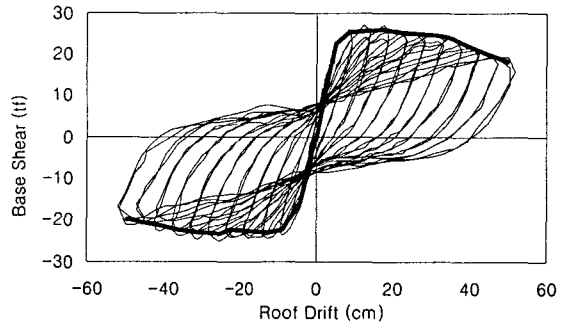


그림 2. 1층 전단력과 지붕층 변위관계

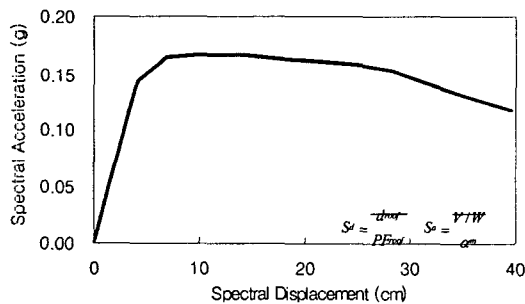


그림 3. 능력 스펙트럼

	W/g (t)	$\phi_1$	$(W/g) \times \phi_1$	$(W/g) \times \phi_1^2$
Roof	58.308	1.000	58.308	58.308
2nd Story	60.143	0.747	44.927	33.560
1st Story	60.143	0.335	20.148	6.750
$\Sigma$	178.593		123.382	98.618
PF <sub>RF</sub>	1.251			
$\alpha_m$	0.864			

표 1. IDARC를 이용한 모드해석 결과

표 2. 선정된 지반운동 기록(S<sub>B</sub>)

Event name	Station name	Date	M	Comp	PGA
Mchoacan	Calete De Campo	21/08/85	8.1	N90W	0.083
Helena	Federal Bleg, Helena	31/10/35	6	EW	0.145
Kern County	Taft	21/07/52	7.6	N21E	0.156
Mammoth lakes	Long Valley Dam, Bed Rock	25/05/80	6.1	90	0.137
Borrego Min	SCE Power Plant, San Onofre	08/04/68	6.5	N33E	0.041
Mammoth lakes	Long Valley Dam, Right Crest C14	25/05/80	6.1	90	0.474
San Fernando	Cal. Tech. Seism. Lab.	09/02/71	6.6	EW	0.192
Imperial Valley	El Centro	18/05/40	6.7	NS	0.318
San Fernando	Santa Felicia Dam(Outlet)	09/02/71	6.6	S08E	0.217
Whittier	Pacoima-Kagel Canyon	01/10/87	6.1	90	0.158

대상 건물의 능력스펙트럼을 구하기 위해서는 동적특성을 파악하여 하중-변위 관계를 응답변위와 가속도의 관계로 변환시켜야한다. 대상 건물의 동적특성을 파악하기 위하여 비선형 해석 프로그램인 IDARC를 사용하여 모델링하였다(Reinhorn, A. et al 1994) 구조물의 초기 규열에 따른 가설저하를 고려하기 위하여 ATC-40에 정의된 바와 같이 기둥과 보에 각각 0.7과 0.5의 강성 감소계수를 적용하였다. 모드 해석결과 얻은 모드 참여계수(PF<sub>roof</sub>)와 모드 질량계수( $\alpha_m$ )를 이용해 1차 모드에 의한 영향만 고려한 대상건물의 능력스펙트럼은 그림 3과 같다.

3. 요구스펙트럼

본 연구에서는 지반특성과 지진지역에 따라 설계 지진에 대하여 내진 성능평가를 수행하였다. 각각의 지반종류에 따른 지반운동기록 10개씩을 설계응답스펙트럼 유효지반가속도(EPA)로 보정하여 그 중간값을 사용하였다. S<sub>B</sub> 지반에서 사용된 지진기록은 표 2, 중간값과 UBC 1997에서 제시하는 설계응답스펙트럼은 그림 4와 같다.

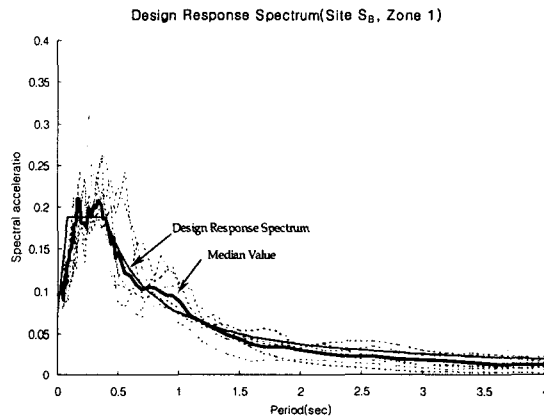


그림 4. 설계응답 스펙트럼(Site S<sub>B</sub>)

표3 지반특성과 지진지역에 따른 응답변위(cm)

	Zone 1	Zone 2A	Zone 2B	Zone 3	Zone 4
Site S <sub>B</sub>	2.27	4.34	5.20	8.01	10.20
Site S <sub>C</sub>	3.24	6.17	7.09	11.73	15.27
Site S <sub>D</sub>	4.64	6.90	9.19	13.21	29.43

설계응답스펙트럼과 선정된 지반운동데이터의 중간값을 비교하기 위해서 대상건물의 주기를 산정하였다. 대상건물의 1차주기를 IDARC를 사용하여 계산한 결과 1.01초로 UBC 1997에 따라 계산한 결과:

$$T = C_t(h_n)^{3/4} = 0.0731(10.5)^{3/4} = 0.426\text{sec}$$

와 상당한 차이를 보였다. 이는 규준에서는 주기산정시 내부 칸막이벽, 비내력벽 등 비구조부재를 고려하지만 대상건물은 기둥, 슬래브, 보로만 이루어졌기 때문이다. 비구조부재가 구조물의 비탄성 거동시 횡력을 저항할 수 없는 점을 고려한다면 대상골조의 내진성능 평가는 적절하다고 할 수 있다.  $S_B$  지반의 경우 선정된 지반운동 데이터의 중간값은 설계응답스펙트럼보다 18%정도 큰 값을 나타내었다.  $S_C$ 와  $S_D$  지반의 경우는 각각 8.6%, 2.5%정도 큰 값을 나타내었다.

#### 4. 능력스펙트럼법

변위연성비를 이용한 능력스펙트럼법 (Capacity Spectrum Method)에 의해서 지진지역과 지반특성에 따라 내진성능을 평가하였다.

요구스펙트럼을 응답변위와 응답가속도의 형태로 나타내어 능력스펙트럼과 같은 그래프에 나타내고 대상건물의 성능점을 가정한 후 지붕층 변위-하중 관계를 등가의 에너지 소산 능력을 갖는 이선형 모델로 치환하였다. 이선형 모델과 같은 초기강성 및

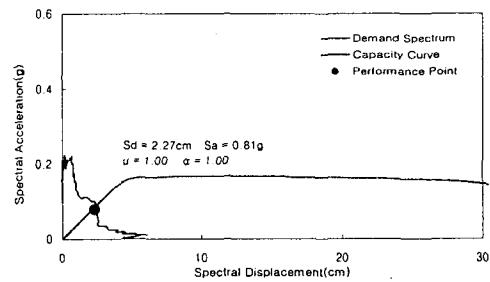


그림 5 CSM(Design Earthquake, Site  $S_B$ , Zone 1)

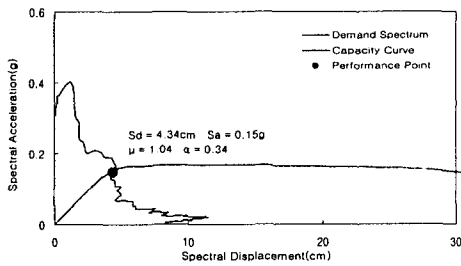


그림 6 CSM(Design Earthquake, Site  $S_B$ , Zone 2A)

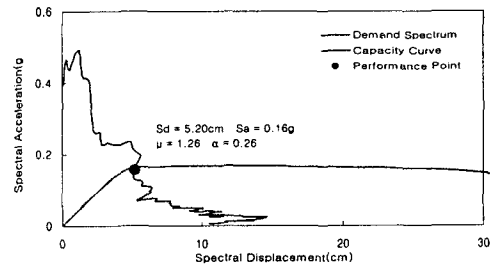


그림 7 CSM(Design Earthquake, Site  $S_B$ , Zone 2B)

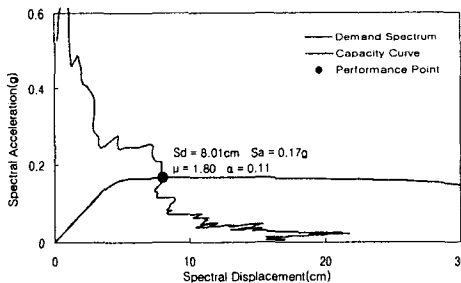


그림 8 CSM(Design Earthquake, Site  $S_B$ , Zone 3)

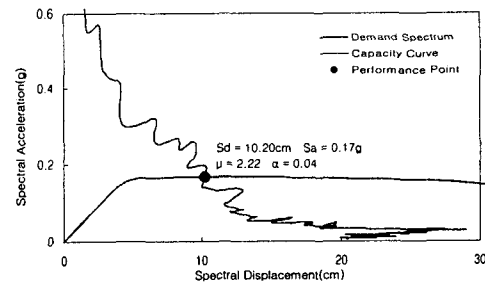


그림 9 CSM(Design Earthquake, Site  $S_B$ , Zone 4)

변위 연성비를 갖는 단자유도 시스템의 동적해석으로부터 요구스펙트럼을 생성하였다. 생성된 요구스펙트럼과 능력스펙트럼의 교점과 가정된 성능점과의 오차가 3% 이내에 들 때까지 반복하여 성능점을 찾았다.  $S_B$  지반에 대한 능력스펙트럼법 수행결과를 그림 5~9에 나타내었다. 아울러 각 지반특성과 지진지역에 따른 성능점에서의 응답변위를 표 3에 나타내었다.

### 5. 층간변위비 제한

CSM을 이용해 얻은 구조물의 성능점에서의 층간변위비를 구했다. ATC40에서는 설계응답스펙트럼에 대하여 0.02의 층간변위비 제한을 두고 있다. 지반특성에 따른 설계응답스펙트럼에서의 층간변위비는 그림 10~12와 같다.  $S_B$ 에서는 모든 지반 조건에 대해 층간변위비의 제한을 만족하고 있으나  $S_C$ 와  $S_D$ 의 경우는 Zone 3과 Zone 4에서 층간변위가 0.02를 초과하였다.

Story Drift(Site  $S_B$ , Design Earthquake)

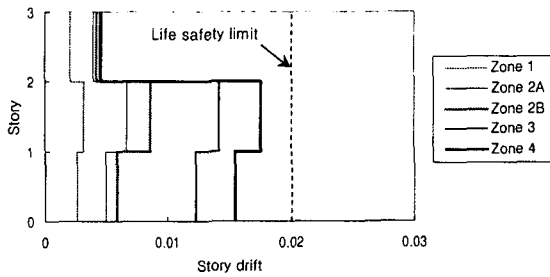


그림 10 지진지역별 층간변위비(Site  $S_B$ )

### 6. 결 론

중력하중으로만 설계된 보통모멘트 골조의 실험으로부터 얻어진 하중-변위 관계를 바탕으로 구조물의 해석 모델을 생성하고, 능력스펙트럼을 구했다.

각 지반특성과 지진지역에 따라 10개씩의 지반 운동 기록의 중간값을 이용하여 요구스펙트럼을 구해서 CSM을 이용하여 성능점을 찾았다. 그리고 그 결과를 ATC 40에서 요구하는 층간변위비의 제한치와 비교한 결과 다음의 결과를 얻을 수 있었다.

Story Drift(Site  $S_C$ , Design Earthquake)

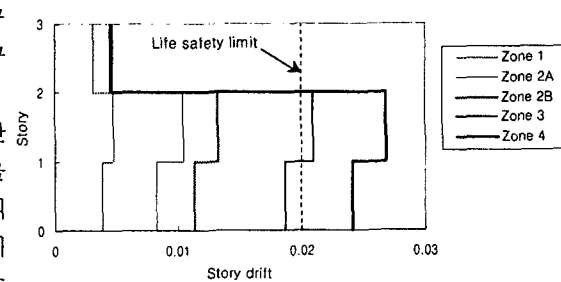


그림 11 지진지역별 층간변위비(Site  $S_C$ )

(1) 각 지반조건과 지진지역에 대해 성능점을 구하고, 성능점에서의 층간변위비를 구한 결과, 2층에서 층간변위비가 최대값을 나타냄을 알 수 있었다. 이로써 2층에서 에너지 소산능력이 가장 크다는 것을 알 수 있다.

(2)  $S_B$ 지반에서 Zone 4에서의 응답변위는 10.20cm로 최대 층간변위비는 0.018로 ATC 40의 인명안전수준 제한치인 0.02를 만족하는 값을 나타내었다.

Story Drift(Site  $S_D$ , Design Earthquake)

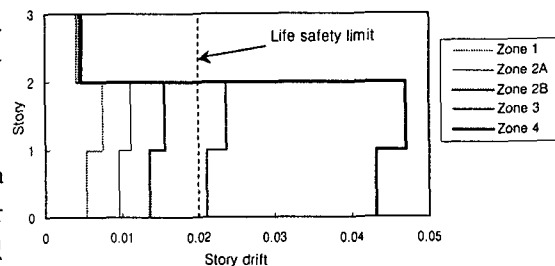


그림 12 지진지역별 층간변위비(Site  $S_D$ )

(3)  $S_c$ 와  $S_D$  지반의 경우, Zone 3에서의 응답변위는 각각, 11.73cm와 13.20cm, 최대 층간변위비는 0.021과 0.024로 ATC의 제한치를 만족시키지 못했다. Zone 4의 경우에는 각각, 0.027과 0.047의 층간 변위비를 나타내었다.

4)  $S_B$  지반의 경우 비교적 많은 지반 운동기록이 측정되어 있으나  $S_c$ ,  $S_D$ 의 경우는 지반운동 기록이 상대적으로 적고 지반에 따른 지역적 증폭효과도 일정치 않아 구조물의 내진성능 평가에 충분한 신뢰성을 주지 못한다. 충분한 지반운동 기록의 측정이 된다면 좀 더 정확한 성능평가가 가능하리라 사료된다.

## 7. 감사의 글

본 연구는 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터의 지원으로 수행된 과제로 이에 감사를 포함합니다.

## 참 고 문 헌

1. Applied Technology Council, "ATC 40 : Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Vol. 1 & 2", California Seismic Safety Commission No. SSC 96-01, Nov. 1996.
2. Bracci, J.M., Reinhorn, A.M., and Mander, J.B., "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designed only for Gravity Loads : Part I-Design and Properties of a One-third Scale Model Structure.", Technical Report NCEER-92-0027, 1992.
3. Anil K. Chopra, Rakesh K. Goel, "Capacity-Demand-Diagram Methods for Estimating Seismic Deformation of Inelastic Structures : SDF Systems", Report No. PEER-1999/02 Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, Berkeley April 1999.
4. Bae,S.J. "Seismic Performance Evaluation of R/C Buildings Designed in the Ordinary Moment Frame", 석사학위논문, 한양대학교 대학원, Jun, 2000.
5. 홍두표, 한상환, "수정된 CSM을 이용한 보통모멘트골조의 내진성능평가 비교, "대한건축학회 추계 학술발표대회 논문집 제 20권 제 2호, pp95~98, 2000. 10.