

직접 변위설계법을 이용한 구조물의 내진성능평가

Seismic Performance Evaluation of a Structure Using Direct Displacement-Based Design Method

김진구* 방성혁**
Kim, Jin Koo Bang, Sung Hyuk

국문요약

본 연구에서는 구조물의 설계방법에 국한되어 있는 직접 변위설계법을 응용하여 기존 구조물의 성능점을 산정하는 방법에 관하여 연구하였다. 개발된 방법을 이용하여 단자유도 구조물의 주기, 항복 후 강성비, 요구되는 탄성강도에 대한 항복강도비 등의 설계변수를 변화시키며, 지진 하중에 대한 응답을 구하고 그 결과를 분석하였다. 또한 10층 철골 골조의 내진성능 평가에 적용하였다. 제안된 방법의 정확성을 검증하기 위하여 기존의 내진성능 평가방법인 능력스펙트럼법과 시간이력해석법에 의한 결과와 비교하였다. 제안된 방법은 능력스펙트럼법과 동일한 결과를 보였으며 시간이력해석 결과와도 비교적 잘 일치하였다.

주요어 : 변위설계법, 성능평가, 능력스펙트럼법, 시간이력해석

ABSTRACT

A procedure for determination of performance point was developed based on the concept of the direct displacement-based design method. Using the proposed procedure, parametric study has been performed for various natural periods of the structure, yield strength, and the stiffness after the first yield. The proposed method was also applied to a 10-story steel frame, and the results were compared to those from the capacity spectrum method and the time history analysis. It was found from the comparison that there were good agreement between the results.

Key words : displacement-based design, performance evaluation, capacity spectrum method, time history analysis

1. 서 론

성능에 기초한 내진설계의 관점에서 변위는 구조부재와 비구조부재의 손상정도를 직접적으로 판단할 수 있는 지표로 사용될 수 있기 때문에 주어진 목표변위 이내로 응답이 제어되도록 설계하는 직접변위설계법(direct displacement-based design, 이하 DBD)에 대한 연구가 최근들어 활발히 진행되고 있다. 특히 기존의 강도에 근거한 설계법에 수반되는 부정확한 고유주기와 반응수정계수 가정 과정을 거치지 않으므로 보다 합리적인 설계 방안으로 간주되고 있다. 이러한 DBD는 Shibata and Sozen⁽¹⁾의 substitute structure method와 Iwan and Gate⁽²⁾, Jennings⁽³⁾의 secant stiffness method에 근거하여 비탄성 거동을 탄성거동으로 치환하며, 이러한 이론을 바탕으로 Priestley 등⁽⁴⁾이 체계화하였다. 또한 최근 Chopra and Goel⁽⁵⁾은 비탄성 스펙트럼을 사용하여 탄성스펙트럼을 사용함으로써 발생하는 응답오차에 대하여 고찰하였다. 또한 Medhekar and Kennedy⁽⁶⁾는 다자유도계 구조물에 대한 적용방법에 관하여 연구하였다. 한편 ATC-40⁽⁷⁾, FEMA-273⁽⁸⁾, 1999 SEAOC Blue Book⁽⁹⁾ 등에서는 성능에 기초한 내진설계 방법론의 하나로써 변위설계법을 소개하고 있다. 특히 SEAOC Blue Book에서는 변위설계법을 성능에 기초한 내진설계방

법으로 추천하고 있으며, 설계된 건물에 대해서는 정적 비탄성 해석을 이용하여 내진성능을 평가하도록 권고하고 있다. 즉 DBD는 신축 건물의 설계방법으로 개발되었다고 할 수 있다. 비록 DBD는 대표적인 정적 비탄성 해석법인 능력스펙트럼법(capacity spectrum method, 이하 CSM)과 근본적으로는 같은 개념에 기반을 두고 있지만, DBD는 변위응답 스펙트럼을 이용하는 반면, CSM은 가속도-변위 스펙트럼을 이용하는 등 방법론에 약간 차이가 있다. 따라서 설계 및 응답 평가단계에서 각각 다른 방법을 적용하는 것은 번거롭고 혼란스러울 수 있다. 따라서 본 연구에서는 DBD의 설계 절차를 변형하여 주어진 지진하중에 대한 구조물의 응답을 구할 수 있는 해석방법에 관하여 연구하였으며, CSM 및 시간이력 해석결과와 비교하였다.

2. 직접변위설계법(DBD)의 개요

그림 1(a)와 같은 비탄성 일자유도계 (SDF)시스템의 거동을 그림 1(b)와 같이 이선형 이력도모델로 가정할 때, 기존의 연구나 보고서등에서 제시하고 있는 DBD의 일반적인 절차는 다음과 같다.^{(5),(9)}

- (1) 구조물의 항복변위 u_y 및 변형능력을 고려한 최대변위 u_m 을 가정하고 설계 연성도 μ 를 구한다.

$$\mu = u_m / u_y \quad (1)$$

* 정회원 · 성균관대학교 건축공학과 조교수(대표저자 : jinkoo@yurim.skku.ac.kr)

** 정회원 · 성균관대학교 건축공학과 석사과정

본 논문에 대한 토의료 2002년 6월 29일까지 확회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.
(논문접수일 : 2001. 10. 5 / 심사종료일 : 2002. 1. 11)

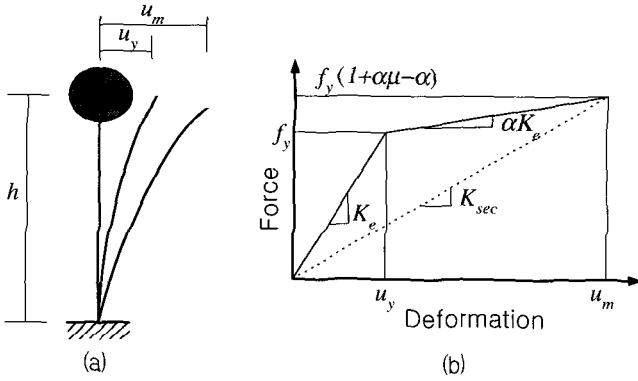


그림 1 SDF system과 이선형 이력곡선

- (2) 설계 연성도로부터 등가 감쇠비(equivalent damping) ζ_{eq} 를 구한다. 등가 감쇠비는 구조물의 이력거동에 의해 소산되는 에너지로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\zeta_{eq} = \frac{2(\mu-1)(1-\alpha)}{\pi\mu(1+\alpha\mu-\alpha)} \quad (2)$$

여기서 α 는 항복 후 강성비이다. 또한 등가의 선형모델의 유효감쇠비(effective damping)는 다음과 같다.

$$\zeta_{eff} = \zeta + x\zeta_{eq} \quad (3)$$

여기서 ζ 는 구조물 자체의 감쇠비로 일반적으로 5%를 적용한다. 또한 실제 구조물의 이력거동은 강도저하, 강성저하, 핀칭 효과 등으로 인해 이상적인 이력거동을 나타내지 못하므로, 감쇠조정계수(damping modification factor, x)를 사용하여 유효감쇠비를 조정할 수 있다. 본 연구에서는 완전한 이선형 모델을 가정하였으므로 $x=1$ 로 설정하였다.

- (3) 유효감쇠비를 이용하여 주어진 지반진동 수준에 해당하는 변위 응답스펙트럼을 작성하고, 최대 변위 u_m 에 해당하는 유효주기 T_{eff} 를 읽는다.
 (4) 유효주기를 이용하여 다음 식으로부터 강성(secant stiffness) K_{sec} 를 구한다.

$$K_{sec} = \frac{4\pi^2}{T_{eff}^2} m \quad (4)$$

여기서 m 은 구조물의 질량이다.

- (5) 요구되는 유효탄성강성(effective elastic stiffness) K_e 를 다음 식으로부터 구한다.

$$K_e = \frac{\mu}{\alpha\mu - \alpha + 1} K_{sec} \quad (5)$$

- (6) 요구되는 항복강도 f_y 를 다음 식으로부터 구한다.

$$f_y = u_y K_e = \frac{u_y u_m}{(1 + \alpha\mu - \alpha)} K_{sec} \quad (6)$$

- (7) 요구되는 항복강도를 갖도록 부재를 선택하고, 유효탄성

강성 K_e 와 항복변위를 구한다.

$$u_y = \frac{f_y}{K_e} \quad (7)$$

- (8) 초기에 가정한 항복변위와 비교하고, 수렴된 결과를 얻을 때까지 이와 같은 과정을 반복한다.

3. DBD를 이용한 내진성능 평가

본 연구에서 제안된 해석방법은 일반적으로 사용되는 DBD의 절차를 조정함으로써 기존 건물의 지진응답을 구할 수 있도록 한 것이다. 즉 2절에서 기술한 DBD의 과정을 역으로 진행하며 다음과 같은 절차를 따른다.

- (1) 응답을 구하고자하는 구조물의 능력곡선(그림 1(b))으로부터 유효탄성강성 K_e , 탄성 고유주기 T_e , 항복하중 f_y , 항복변위 u_y , 항복후 강성비 α 등을 결정한다.
- (2) 구하고자 하는 변위응답 u_m 을 임의로 가정하고 식 (1)로부터 연성도를 구한다. 본 논문에서는 성능목표에 해당하는 값을 초기 값으로 사용하였다.
- (3) 그림 1(b) 또는 식 (5)로부터 최대 변위에서의 유효강성 K_{sec} 를 구하고, 유효 주기 T_{eff} 를 식 (4)에서 구한다.
- (4) 2단계에서 구한 연성도 및 식 (2)와 (3)을 이용하여 유효 감쇠비 ζ_{eff} 를 결정한다.
- (5) 유효감쇠비를 이용하여 주어진 지진하중의 변위 스펙트럼을 작성하고, 유효주기 T_{eff} 에 해당하는 변위 응답을 구한다.
- (6) 산정된 변위와 가정한 변위 또는 전 단계의 변위와의 결과가 서로 수렴할 때까지 산정된 변위응답을 이용하여 2 단계에서부터 다시 진행한다.

이러한 절차는 기존의 변위설계법이 변위스펙트럼상에서 변위에 해당하는 유효주기(T_{eff})를 구하는 것과 달리, 초기에 가정한 변위에 해당하는 유효주기(T_{eff})를 구조물의 힘과 변위 관계에서 구하고, 변위 스펙트럼에서 역으로 주기에 해당하는 변위 응답을 구한다는 점에서 차이가 있다. 이와 같이 DBD를 이용한 내진성능 평가 방법은 모든 과정이 능력곡선과 변위 스펙트럼을 이용하여 진행되므로, 요구스펙트럼과 능력곡선을 ADRS(acceleration-displacement response spectrum) 형식으로 변환할 필요가 없다는 점에서 CSM보다 더욱 간단하다는 장점이 있다.

4. 일자유도계 구조물 해석

4.1 예제구조물

본 논문에서 사용한 예제 구조물은 1층 단자유도계이며, 그림 1(b) 같이 이선형 이력특성을 가진다. 각 구조물은 다음과 같이 분류되며 분류된 각각의 구조물에 대한 이력 곡선은 그림 2와 같다.

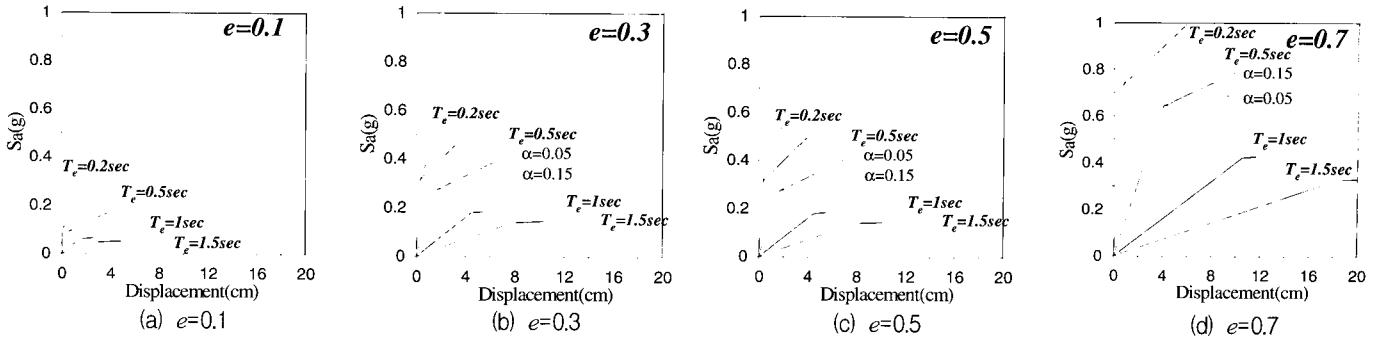


그림 2 예제구조물의 성능곡선

- (1) 구조물의 탄성주기(T_e) : 0.2초, 0.5초, 1.0초, 1.5초
- (2) 탄성강도에 대한 항복강도비(e) : 0.1, 0.3, 0.5, 0.7
- (3) 항복 후 강성비(α) : 0.05, 0.15

4.2 지진하중

본 예제의 해석에는 ATC-40에 제시되어 있는 20개 지반 가속도 기록을 사용하였는데, S_D 지반(단단한 토사지반)에서 측정된 지진기록으로서 규모 6.5이상, 최대지반가속도가 0.2g 이상이다. 각 가속도 기록은 FEMA-273에서 제시하고 있는 절차에 의하여 평균 응답스펙트럼에 각 지진기록이 균등하게 기여하도록 크기를 조절하였다. 그림 3은 20개 지진성분의 10% 감쇠비에 대한 응답스펙트럼을 나타낸 것이다.

4.3 CSM에 의한 성능점 산정

본 논문에서는 제안된 해석방법의 타당성을 검증하기 위하여 CSM으로 구한 결과와 비교하였다. CSM은 능력곡선과 작용하는 지진에 대한 요구스펙트럼의 교차점에서 구조물의 비탄성 응답을 구한다. 구조물의 능력은 비선형 정적 해석에 의한 최상층의 횡변위(Δ_R)와 밀면전단력(V)으로 표현되는데 능력곡선을 요구스펙트럼과 직접 비교하기 위하여 식 (9)에 의하여 Δ_R 과 V 의 능력곡선을 응답가속도(S_a)와 응답변위(S_d)의 능력스펙트럼으로 변환하게 된다.

$$S_a = \frac{V}{M^*}, \quad S_d = \frac{\Delta_R}{\Gamma \bar{\phi}_R} \quad (9)$$

본 논문에서는 유효모드질량(M^*)을 식 (10)의 모드 참여 계수 및 고차모드의 영향을 고려한 식 (11)의 등가 고유모드 형상계수($\bar{\phi}_i$)를 이용하여 식 (12)와 같이 구하였다. 유효주기(T_{eff})는 식(13)과 같이 구할 수 있다.

$$\Gamma_j = \frac{\left[\sum_{i=1}^N m_i \phi_{ij} \right]}{\left[\sum_{i=1}^N m_i \phi_{ij}^2 \right]} \quad (10)$$

$$\bar{\phi}_i = \sqrt{\sum_{j=1}^N (\phi_{ij} \Gamma_j)^2} \quad (11)$$

$$M^* = \frac{\left(\sum_{j=1}^N m_j \bar{\phi}_j \right)^2}{\sum_{j=1}^N m_j \bar{\phi}_j^2} \quad (12)$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a g}} \quad (13)$$

등가 점성감쇠비는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\zeta_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_S} = \frac{2(A_y D - D_y A)}{\pi A D} \quad (14)$$

여기서 E_D 는 이력거동에 의하여 소산되는 에너지며, E_S 는 구조물의 최대변형에너지이다. 또한 A_y , D_y , A , D 는 각각 능력곡선의 항복점에서의 가속도와 항복변위 그리고 능력곡선과 요구곡선의 교차점에서의 가속도와 변위를 나타낸다.

4.4 결과 분석

DBD에 근거한 성능점과 CSM에 의한 성능점을 표 1에 나타내었다. u_m 은 DBD에 의한 변위이고 $u_{(CSM)}$ 은 CSM에 의한 변위, $u_{(time)}$ 은 20개 지진에 대한 시간이력해석의 평균값이다. CSM과 DBD에 의한 방법은 소성 변형에 의한 에너지 소산량을 등가의 점성감쇠비로 치환한다는 점과, 동일한

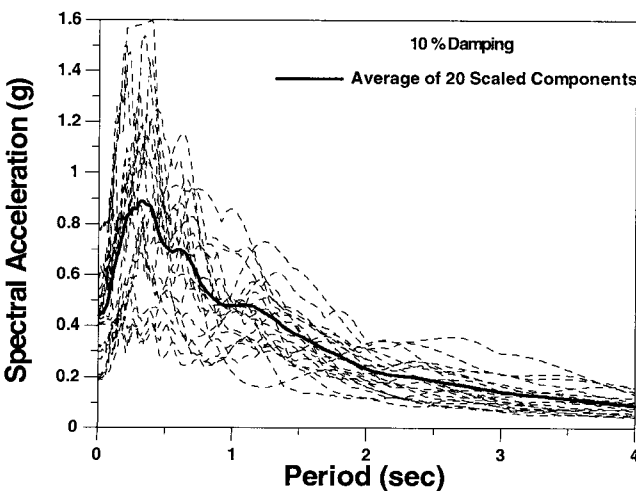


그림 3 20개 지진기록의 응답스펙트럼

탄성 스펙트럼을 사용한다는 점에서 근본 적으로 같은 방법 이라고 할 수 있기 때문에, 해석 결과 또한 거의 일치함을 알 수 있다. 한편 시간이력해석 결과와는 다소 차이가 발생 하였는데, 이는 비선형 정적 해석법의 한계라 사료된다. 특

히 시간이력과의 차이가 큰 경우(음영 부분) 도 있는데, 이 러한 부분은 변위 스펙트럼상에서 스파이크에 의한 결과로 추정된다.

5. 다자유도계 구조물 해석

DBD를 이용한 다자유도계 구조물에 대한 Medheker and Kennedy⁽⁶⁾의 연구는 초기 형상 함수를 임의로 가정하였는 데, 이러한 방법은 초기 설계단계에서 피할 수 없는 과정이 라 할 수 있다. 그러나 구조물의 해석 단계에서는 설계과정 과 달리 구조부재의 특성을 알고 있으므로, 본 연구에서는 고유치해석을 통하여 모드참여계수 및 모드형상을 구하고, 고차모드의 영향을 고려한 층지진하중을 사용하여 비탄성 정적 해석(pushover analysis)을 수행하고 능력곡선을 구하 였다. 이를 이용하여 본 논문에서 제시한 해석 절차에 따라 등가모드를 이용하여 성능점을 산정하고, 1차 모드만을 이 용한 결과 및 시간이력 해석결과와 비교하였다.

표 1(a) $T_e=0.2$ 인 구조물의 응답(cm)

e	α	u_y	μ	u_m	u (csm)	u (time)
0.1	0.05	0.104	58.8	6.13	6.18	4.51
	0.15		35.1	3.66	3.68	3.20
0.3	0.05	0.313	5.89	1.84	1.83	2.00
	0.15		4.86	1.52	1.53	1.51
0.5	0.05	0.521	1.77	0.92	0.91	1.05
	0.15		1.75	0.91	0.98	1.03
0.7	0.05	0.729	1.15	0.84	0.85	1.07
	0.15		1.17	0.85	0.85	1.00

표 1(b) $T_e=0.5$ 인 구조물의 응답(cm)

e	α	u_y	μ	u_m	u (csm)	u (time)
0.1	0.05	0.57	19.3	11.00	11.00	10.76
	0.15		19.4	11.10	11.10	10.28
0.3	0.05	1.71	2.53	4.34	4.34	6.48
	0.15		2.65	4.54	4.54	5.94
0.5	0.05	2.85	1.45	4.14	4.14	4.29
	0.15		1.46	4.23	4.24	4.50
0.7	0.05	3.99	1.13	4.51	4.52	4.75
	0.15		1.14	4.55	4.56	4.81

표 1(c) $T_e=1.0$ 인 구조물의 응답(cm)

e	α	u_y	μ	u_m	u (csm)	u (time)
0.1	0.05	1.49	9.98	14.9	14.90	17.65
	0.15		10.80	16.1	16.10	16.93
0.3	0.05	4.47	2.21	9.89	9.88	10.56
	0.15		2.36	10.6	10.60	10.57
0.5	0.05	7.45	1.40	10.4	10.50	11.37
	0.15		1.44	10.8	10.80	11.05
0.7	0.05	10.40	1.17	12.2	12.20	13.58
	0.15		1.18	12.3	12.30	13.50

표 1(d) $T_e=1.5$ 인 구조물의 응답(cm)

e	α	u_y	μ	u_m	u (csm)	u (time)
0.1	0.05	2.61	0.45	17.6	17.6	18.77
	0.15		0.28	20.3	20.3	21.76
0.3	0.05	7.82	0.30	13.9	13.9	20.61
	0.15		0.27	14.5	15.5	19.30
0.5	0.05	13.11	0.18	16.6	16.6	17.30
	0.15		0.17	17.0	17.0	18.79
0.7	0.05	18.23	0.11	20.3	20.2	22.35
	0.15		0.11	20.4	20.4	22.13

5.1 성능점 산정절차

DBD를 이용한 다자유도 구조물의 성능점 산정절차는 다 음과 같다.

- (1) 층 지진하중을 식 (15)에 의해 산정한다.

$$F_i = \frac{m_i \bar{\phi}_i}{\sum_{i=1}^n m_i \bar{\phi}_i} V \quad (15)$$

여기서 등가 고유모드 형상계수 $\bar{\phi}$ 는 식 (11)에서 구할 수 있다.

- (2) 산정된 층지진하중을 변화시키며 pushover해석을 수행 한 후, 식 (9)를 이용하여 그림 4와 같은 밀면 전단력-등 가 변위 관계를 구한다. 그림과 같이 A_1, A_2 의 면적이 같 도록 직선을 그어 이선형 곡선으로 이상화한 후, 유효강 성과 항복후 강성비, f_y, u_y 를 구한다.
- (3) 임의의 변위 응답을 가정한다.
- (4) 식 (4), (5)로부터 목표 변위에 해당하는 K_{sec} 와 등가주 기 T_{eff} 를 구한다.
- (5) 3단계에서 결정한 임의의 목표변위에 해당하는 연성도 를 결정하고 식 (3), (4)에서 유효감쇠비를 결정한다.
- (6) 유효감쇠비에 해당하는 변위 스펙트럼을 작성한다.
- (7) 변위 스펙트럼에서 등가의 주기에 해당하는 최대 변위를 구한다.
- (8) 산정된 변위가 가정한 변위와 다를 때 7단계에서 산정된 변위를 이용하여 4단계에서부터 다시 진행한다.
- (9) 결과가 수렴하면 식(9)를 이용하여 다자유도계의 최상층 변위로 환산하고, 최상층변위가 그 값에 도달할 때까지 pushover 해석을 수행하여 층간변위 및 부재 연성도 등 을 구한다.

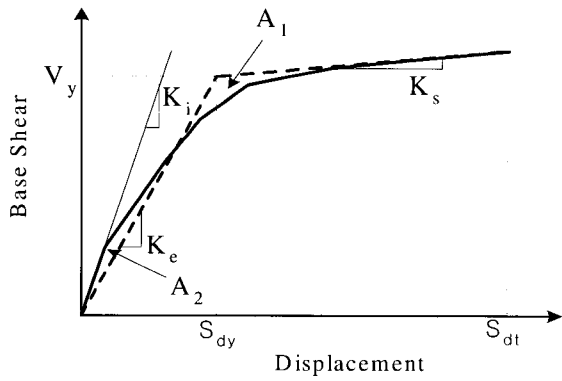


그림 4 변환된 이력곡선

5.2 예제구조물의 성능점산정

해석 모델은 그림 5와 같이 3경간 10층의 2차원 철골 프레임으로 건축학회의 강구조 계산규준(허용응력설계법)에 따라 MIDAS GEN을 이용하여 설계하였다. 고정하중은 540kgf/m², 적재하중은 250kgf/m²을 전 층에 적용하였으며, 설계풍속 30m/sec의 풍하중에 대하여 저항하도록 설계하였다. 보에는 항복강도 2400kgf/m², 기둥에는 3300kgf/m²인 철골부재를 사용하였고 부재크기는 표 2에 나타내었다.

비선형 시간이력해석 프로그램인 CANNEY 99^{(11),(12)}를 이용하여 예제 구조물의 모드해석을 수행하였으며, 그 결과는 표 3 및 그림 6에 나타내었으며, 이를 이용하여 층지진하중

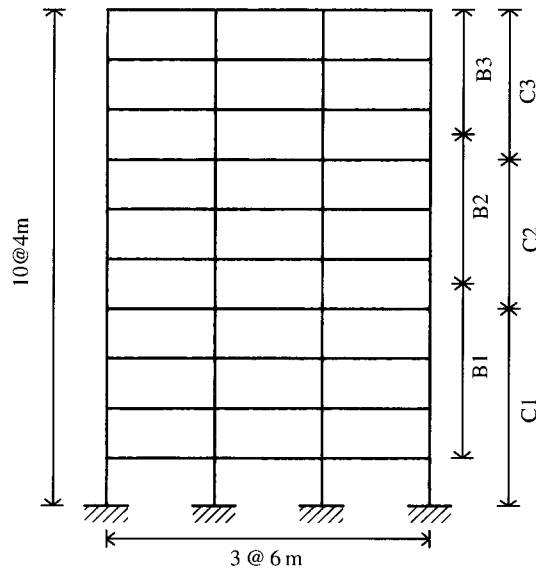


그림 5 예제 구조물

표 2 기둥과 보의 부재단면

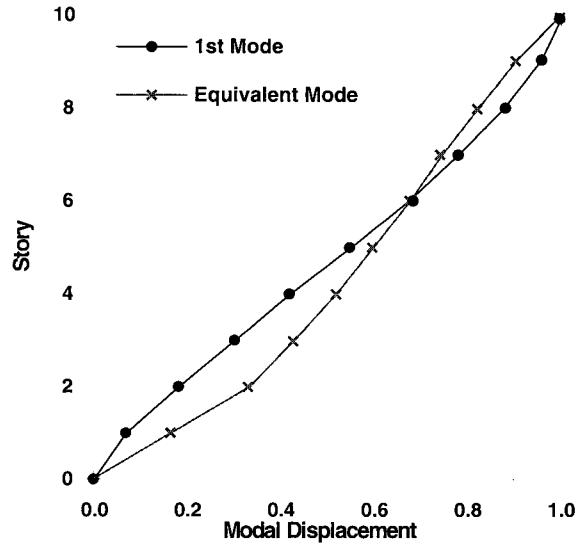
기둥 (보)	기둥		보
	내부	외부	
C1(B1)	H 400×400 ×13×21	H 344×348 ×10×16	H 400×200 ×8×13
C2(B2)	H 350×350 ×12×19	H 300×300 ×10×15	H 396×199 ×7×11
C3(B3)	H 344×354 ×16×16	H 298×299 ×9×14	H 350×175 ×7×11

을 산정하였다(그림 6(b)). 결과에 의하면 등가 모드에 의한 하중이 1차모드에 의한 것보다 하부층에서는 크고 상부층에서는 작은 것을 알 수 있다.

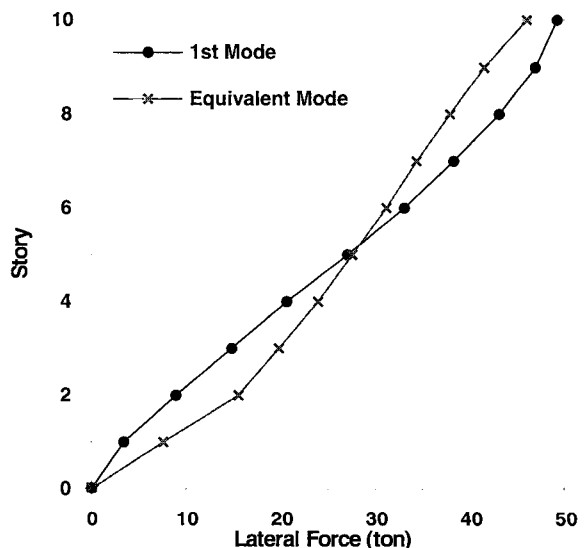
성능수준을 산정하기 위하여 내진설계기준연구 II⁽¹⁰⁾에 제시된 가장 큰 지진 수준인 재현주기 2400년, S_E(연약한 토사지반)지반에서 붕괴방지 수준에 해당하는 설계 스펙트럼 (C_a=0.44, C_v=0.74)을 이용하였다. 시간이력해석 결과와 비교하기 위하여 이를 바탕으로 SIMQKE⁽¹³⁾를 이용하여 인공 지진을 생성하였으며, 그 가속도 시간이력은 그림 7과 같다. 예제구조물의 등가고유모드를 이용한 성능곡선은 그림 8에

표 3 예제 구조물에 대한 모드해석결과

모드	1	2	3	4	5
주기(sec)	1.41	0.49	0.28	0.19	0.14
주기비(T ₁ /T _m)	1.00	2.87	4.98	7.49	10.14
모드참여계수	1.34	0.51	0.30	0.22	-0.16
질량참여율(%)	77.5	11.68	4.28	2.23	1.53



(a) 모드형상



(b) 층지진하중

그림 6 1차모드 및 등가모드를 이용한 모드형상 및 층지진하중

나타나 있으며, 이러한 결과를 바탕으로 앞서 제시한 절차에 따라 그림 9의 변위 스펙트럼으로부터 성능점을 산정하였다. 표 4는 해석 모델을 등가의 단자유도계로 치환하여 구한

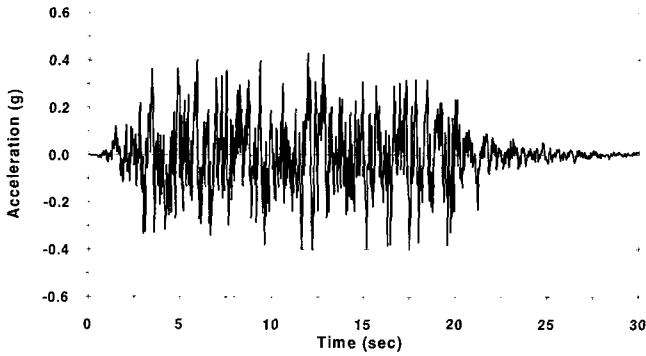


그림 7 인공지진의 가속도 시간이력

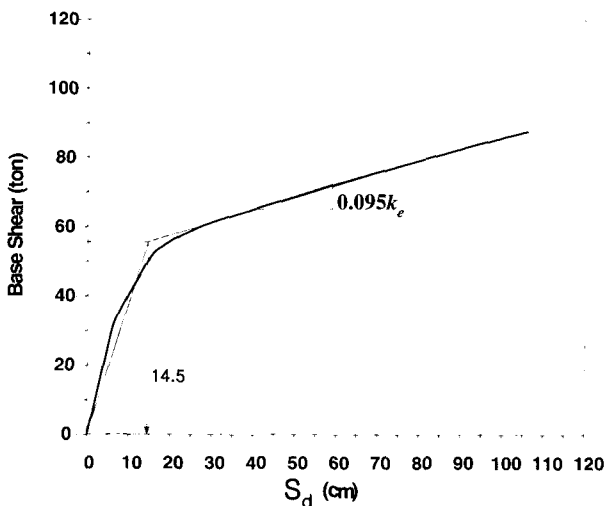


그림 8 예제구조물의 성능곡선

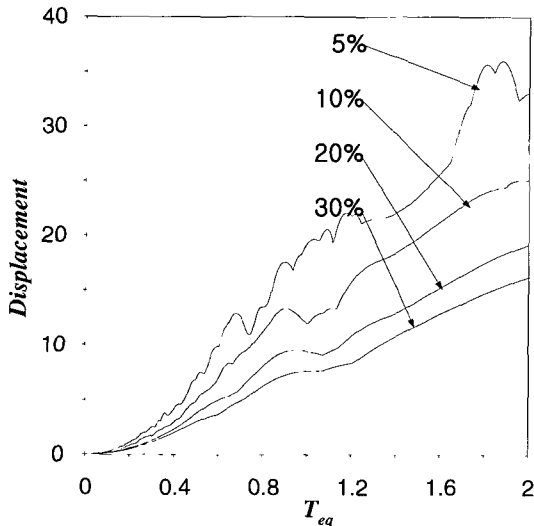


그림 9 인공지진의 변위응답스펙트럼

표 4 예제 구조물의 응답(cm)

	α	u_y	β_{eff}	u_m	u (csm)	u (time)
SDOF	0.095	14.5	27.1	18.74	18.92	-
MDOF	-	-	-	24.93	24.98	26.72

DBD와 CSM에 의한 변위와, 그 값을 원래의 다층 구조물에 해당하는 값으로 치환한 값(최상층 변위), 시간이력 해석에 의한 최상층 최대변위 등을 나타낸다.

등가의 단자유도계에서의 DBD와 CSM에 의한 결과는 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 또한 최상층 변위의 시간이력 해석결과와의 오차가 약 7% 정도임을 감안할 때 만족할만한 결과라 할 수 있다. 이러한 오차는 지진하중 응답스펙트럼의 불규칙성, 성능곡선의 이상화 과정, 그리고 등가모드 형상과 구조물의 비탄성 거동의 불일치성 등에서 발생된다고 사료된다.

그림 10은 등가모드를 이용한 DBD와 CSM의 층간변위와 시간이력해석결과에 의한 층간변위를 도식한 것이다. 해석 결과에 따르면 주어진 하중에 대한 최대 층간변위가 약 4cm 발생하였으며, 이것은 FEMA 273에 주어진 붕괴방지수준을 만족하기 위한 최대 층간변위(층고의 2.5%)보다 작으므로, 해석 모델은 붕괴방지 성능수준을 만족한다고 할 수 있다. 또한 DBD와 CSM에 의한 층간 변위는 거의 일치하며, 시간 이력 해석결과와 비교하면 중저층의 변위가 다소 과소평가 되고, 상층의 변위가 과대평가 되는 것을 알 수 있다.

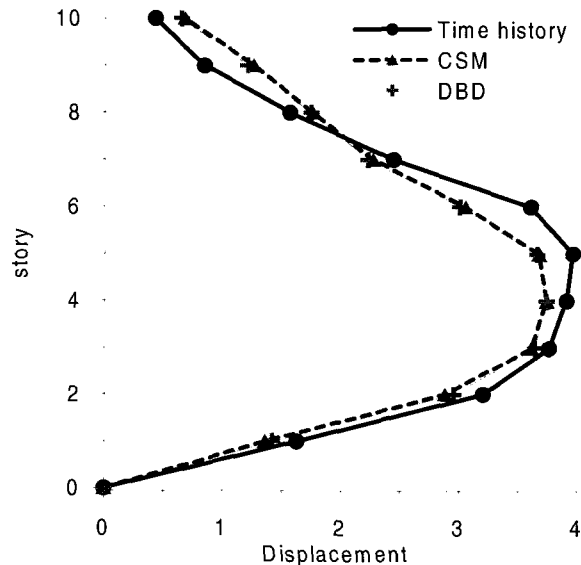


그림 10 각 방법에 의한 층간변위

6. 결 론

본 연구에서는 성능에 기초한 내진설계 방법으로 개발된 직접변위설계법을 응용하여 기존 구조물의 성능점을 산정할 수 있음을 보였다. 제안된 해석 절차는 근본적으로 CSM과 같은 개념(즉 비탄성 거동의 등가 감쇠 탄성거동으로의 치환, 동일한 탄성 응답 스펙트럼의 사용 등)에 근거하므로, 응답도 같은 것을 확인하였으며, 시간이력 해석 결과와도 비교적 잘 일치하였다. CSM의 경우 하중-변위관계를 가속도-변위관계로, 가속도 응답스펙트럼을 가속도-변위 스펙트럼으로 치환해야 하는 것을 고려할 때 더욱 간편하다고 할 수 있다. 특히 DBD에 의해 설계된 구조물의 내진 성능을 확인하기 위한 비탄성 정적해석 단계에서, CSM을 적용하기 위하여

가속도 스펙트럼을 새로 작성하고 ADRS 형식으로 변화시키지 않고, 설계단계에서 이용한 변위스펙트럼을 그대로 사용할 수 있어 해석과정을 단순화할 수 있다. 본 연구는 현재 설계방법에 국한되어 있는 DBD의 적용범위를 해석 영역으로 확대할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 한국 학술진흥재단의 신진교수지원과제(KRF-2001-003-E00481)의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Shibata, A. and Sozen, M. A., "Substitute structure method for seismic design in R/C," *Journal of the Structural Division*, ASCE, Vol. 102, ST1, 1976, pp. 1-18.
2. Iwan, W. D. and Gate, N. C., "The effective period and damping of a class of hysteretic structures," *Earthquake Eng. and Struct. Dyn.*, Vol. 7, 1979, pp. 199-212.
3. Jennings, P. C., "Equivalent viscous damping for yielding structure," *Journal of the Engineering Mechanics Division*, ASCE, Vol. 95, EMI, 1968, pp. 138-163.
4. Priestley, M. J. N. and Calvi, G. M., "Concepts and procedures for direct displacement-based design," *Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes*, Fajfar and Krawinkler(eds.), Balkema, Rotterdam, 1996, pp. 171-181.
5. Chopra, A. K. and Goel, R. K., "Direct displacement-based design: Use of inelastic vs. elastic design spectra," *Earthquake Spectra*, Vol. 7, No. 1, 2001.
6. Medhekar, M. S. and Kennedy, D. J. L., "Displacement-based seismic design of buildings-theory," *Engineering Structures*, Vol. 22, 2000, pp. 201-209.
7. ATC, "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings," ATC-40, Applied Technology Council, Redwood City, California, 1996.
8. FEMA, "NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings", FEMA-273, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 1997.
9. SEAOC, "Tentative guidelines for performance-based seismic engineering," SEAOC Blue Book, Structural Engineers Association of California, 1999.
10. 한국지진공학회, "내진설계기준연구(II)", 건설교통부, 1997.
11. Li, K. N., *CANNY-E Technical Manual(Part 1)*, Canny Consultants Pte. Ltd., 1996. 11.
12. Li, K. N., *CANNY-E Users' Manual*, Canny Consultants Pte. Ltd., 1996. 11, p. 148.
13. Vanmarcke, E. H. and Gasparini, D. A., *A Program for Artificial Motion Generation, User's Manual and Documentation*, Dept. of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1976.