

철근콘크리트 복합구조물의 비선형 지진응답산정을 위한 Pushover해석

Pushover Analysis for Nonlinear Seismic Response of Reinforced Concrete Mixed Building Structures

강 병 두* · 전 대 한** · 김 재 응***

Kang, Pyeong-Doo · Jun, Dae-Han · Kim, Jae-Ung

ABSTRACT

This paper considers the nonlinear direct spectrum method to estimate seismic performance of mixed building structures without iterative computations, given dynamic property T_1 from stiffness skeleton curve and nonlinear pseudo acceleration A_{ly}/g and/or ductility ratio μ from response spectrum. Nonlinear response history analysis has been performed and analysed with various earthquakes for evaluation of correctness and confidence of nonlinear direct spectrum method.

Keywords: *Nonlinear Direct Spectrum Method, Uncoupled Modal Response History Analysis, Mixed Building Structure, Pushover Analysis, Maximum Nonlinear Response*

1. 서 론

구조물의 비선형 지진응답을 산정하기 위해 실용성과 단순성의 측면에서 다양한 비선형 약산법들(ATC-40, FEMA-273 *et al*)이 연구되었다. 본 연구에서는 비선형 약산법의 정확성을 개선하고 구조물의 비선형 지진응답을 복잡한 반복 계산과정을 거치지 않고 직접 구할 수 있는 비선형 직접스펙트럼법(nonlinear direct spectrum method; NDSM)을 상부 및 하부구조의 층수가 변화하는 다양한 복합구조물에 적용하여 신뢰성을 평가하고자 한다.

구조물의 내진성능을 산정하기 위한 NDSM의 정확성과 신뢰성을 검토하기 위해 6가지의 지진기록과 상부 벽식-하부골조구조로 이루어진 8가지의 복합구조물에 대해 비선형 시각이력해석(nonlinear response history analysis; NRHA)을 수행한 결과와 NDSM에 의한 비선형 응답결과를 비교·검토한다.

2. 비선형 직접스펙트럼법(NDSM)

Chopra(2001) 등은 비선형 시스템에 있어, 지진하중을 받는 다자유도계(multi degree of freedom; MDF)에 대한 일반적인 운동방정식으로부터 비선형 거동을 하는 구조물(MDF)의 n 차모드의 응답은 선형 시스템에서

* 정회원 · 거창전문대학 건축 · 인테리어과 부교수 E-mail: pdkang@kc.ac.kr

** 정회원 · 동서대학교 건설공학부 부교수 E-mail: jdh@gdsu.dongsea.ac.kr

*** 정회원 · 동아대학교 건축학부 교수 E-mail: jukim@dau.ac.kr

와 같이 비선형 시스템에서도 n 차모드가 지배적이고, 나머지 모드들의 기여정도가 현저히 낮음을 제시하였다. 따라서 이와 같은 가정에 근거하여 비선형 시스템의 방정식이 각 모드별로 분리된다는 가정에 따른다면, N 차의 연립 2계 미분방정식(coupled; MDF) 대신에 N 개의 독립된 2계 미분방정식(uncoupled; SDF)의 해를 선형중첩하여 응답을 구할 수 있다. 비선형 거동을 하는 구조물에 대하여 각 모드에 대한 응답을 중첩하는 방법을 비연립 모드중첩법(uncoupled modal response history analysis; UMRHA)이라 한다.

NDSM에서는 UMRHA의 특성과 장단점을 토대로 기본모드($n=1$)에 대한 변수변환을 통해 보다 간단하게 비선형 최대응답을 산정하며 전개과정은 다음과 같다.

2.1 기본모드의 최대응답

기본모드의 최대응답은 $u_{1o} = \Gamma_1 \phi_1 D_{1o}$ 로 구할 수 있다. 여기서, $u_{1o} = |u_{1, UMRHA}(t)|_{\max}$ 는 기본모드의 최대응답, Γ_1 는 기본모드 참여계수, ϕ_1 는 기본모드 벡터, $D_{1o} = |D_1(\theta)|_{\max}$ 는 기본모드 ESDF의 최대응답이다.

2.2 기본모드 ESDF의 최대응답

2.2.1 Pushover해석(MDF, $V_b - u_r$)

구조물에 대해 pushover해석을 수행하며 해석의 효율성을 위하여 pushover해석시 고차($n=1\sim 3$) 모드의 영향을 고려한 횡력분포(Valles *et al*, 1996)를 사용하며, 밀면전단력 $V_b (= V_{b1-3})$ 와 최상층변위 $u_r (= u_{r1-3})$ 의 관계를 구하면 $V_b - u_r$ pushover곡선이 된다. 또한 모드벡터 ϕ_1 은 시스템의 기본 모드인 1차($n=1$) 모드에 대한 것을 사용한다. 응답 D_{1o} 를 구하기 위해서는 ESDF의 강성골격곡선이 요구된다. 그림 1(a)와 같은 구조물과 고정된 외력분포에 대하여 pushover해석을 수행하여 그림 1(b)와 같은 구조물의 밀면전단력 V_b 과 최상층변위 u_r 의 이선형 pushover곡선($V_b - u_r$)을 구한다.

2.2.2 강성골격곡선(ESDF, $F_{s1}/L_1 - D_1$)

위에서 구한 구조물의 pushover곡선 ($V_b - u_r$)을 아래와 같은 변수변환을 통하여 그림 1(c)와 같은 ESDF에 대한 강성골격곡선($F_{s1}/L_1 - D_1$)으로 변환할 수 있다. 그림에서 A_{1y} , D_{1y} 는 각각 유사항복가속도, 최대항복변위를 나타내고, β_1 은 초기강성에 대한 항복후강성비를 나타낸다.

$$A_1 = F_{s1}/L_1 = V_b/M_1^*, \quad D_1 = u_r/\Gamma_1 \phi_{r1} \tag{1}$$

$$M_1^* = L_1^2/M_1, \quad T_1 = 2\pi (D_{1y}/A_{1y})^{1/2} \tag{2}$$

여기서,

- | | |
|---|---|
| A_1 : 기본모드의 유사가속도 ($= F_{s1}/L_1$) | D_1 : 기본모드의 최대변형 ($= A_1/\omega_1^2$) |
| ϕ_{r1} : 기본모드의 최상층(r 층)벡터 요소 | M_1^* : 기본모드의 유효질량 ($= \Gamma_1 L_1$) |
| Γ_1 : 기본모드의 모드참여계수 ($= L_1/M_1$) | T_1 : 기본모드의 진동주기 |

대칭구조물인 경우 L_1, M_1 은 다음과 같다.

$$L_1 = \phi_1^T \mathbf{m} \mathbf{1} = \sum_{n=1}^N m_n \phi_n, \quad M_1 = \phi_1^T \mathbf{m} \phi_1 = \sum_{n=1}^N m_n \phi_n^2 \tag{3}$$

여기서,

ϕ_1 : 기본모드벡터

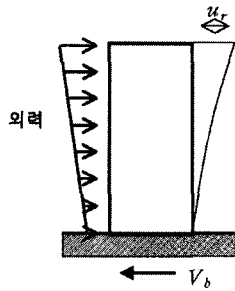
$\mathbf{1}$: 단위벡터

ϕ_{j1} : 기본모드벡터의 j 층요소

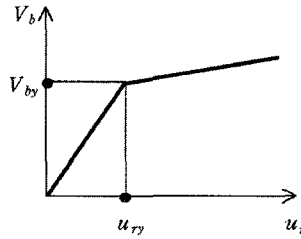
\mathbf{m} : 구조물의 질량행렬($N \times N$)

m_j : j 층 바닥의 질량

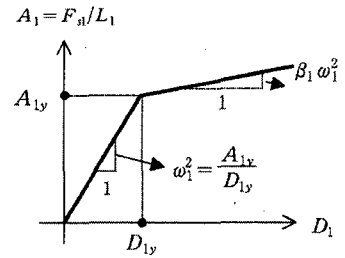
N : 전체 층수



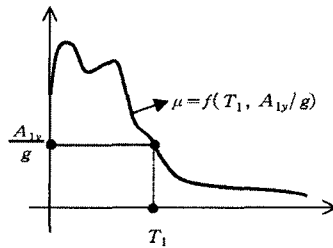
(a) 비선형 pushover해석



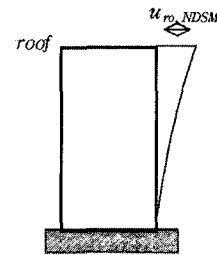
(b) Pushover곡선($V_b - u_r$)



(c) 강성골격곡선($F_{s1}/L_1 - D_1$)



(d) 비선형 가속도응답스펙트럼(Constant $\mu - A_{1y}/g - T_1$)



(e) NDSM에 의한 최상층변위($u_{ro, NDSM}$)

그림 1. NDSM의 해석과정

2.3.3 비선형 응답스펙트럼(ESDF, $A_{1y}/g - T_1$)

입력지진동에 대한 비선형 가속도응답스펙트럼을 $A_{1y}/g - T_1$ 의 관계를 나타내면 그림 1(d)와 같다.

2.2.4 최대응답(ESDF)

위에서 산정된 ESDF의 강성골격곡선(그림 1(c))로부터 구해진 동적특성 T_1 과 비선형 유사가속도 A_{1y}/g 에 따라 그림 1(d)로부터 μ 를 구할 수 있다. 얻어진 연성비 μ 로부터 기본모드에 대한 ESDF의 비선형 최대변위는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D_{1o} = \mu(A_{1y}/g)(T_1/2\pi)^2 g \tag{4}$$

2.3 전체최대응답

그림 1(e)와 같은 구조물의 최상층에서의 전체최대응답은 식 (5)과 같이 산정할 수 있으며, 이를 NRHA 응답결과 $u_{ro, NRHA}$ 와 비교·검토하기로 한다.

$$u_{no, NDSM} = \Gamma_1 \phi_A D_{1o} \tag{5}$$

3. 비선형해석

3.1 기본가정

비선형 정적해석과 비선형 시각이력해석은 CANNY(Li, Kang-Ning, 2000)를 사용하여 수행하기로 하며, 약산법들에 사용할 요구스펙트럼은 USEE(Mehmet Inel *et al*, 2001)를 사용하여 구한다.

3.2 골격곡선

비선형해석을 위해 사용한 골격곡선(skeleton curve)은 휨변형에 대해서는 이선형(bi-linear), 전단변형은 삼선형(tri-linear), 축변형은 선형 모델의 골격곡선을 사용한다. 휨변형에 대한 항복후 강성계수는 철근콘크리트 부재의 휨이론을 적용하여 계산한다.

3.3 Pushover해석

Pushover해석에 있어 구조물에 대한 고정된 분포의 작용수평하중이 필요하며, 여러 가지 외력분포방법 중 복합구조물의 비정형성을 고려할 수 있는 modal adaptive distribution(이후로는 MAD; Valles *et al*, 1996) 방법을 사용한다. MAD 방법에 의한 작용수평하중은 3차모드($n=1\sim3$)까지 고려한다.

3.4 비선형 시각이력해석(NRHA)

NRHA에서 운동방정식을 풀기 위한 수치적분법으로는 Newmark β 법($\beta=0.25, \gamma=0.5$)을 사용하고, 감쇠로는 Rayleigh 감쇠를 사용하여 해석을 수행한다. Rayleigh 감쇠에서 감쇠계수를 구하기 위해 가정된 감쇠비는 5%이다.

4. 해석모델 및 고찰

4.1 입력지진동

입력지진동은 FEMA-307(FEMA, 1998)에서 사용된 것 중 표 1과 같이 Short Duration(SD), Long Duration(LD), Forward Directivity(FD)에서 각각 2가지를 사용하며, 구조물의 비선형 거동을 살펴보기 위해 최대지반가속도(PGA)를 1g로 조정하였다.

표 1. 지진기록

분류	EQ No.	Earthquake, Date	Mag.	Station	Char. Period(sec)
Short Duration(SD)	EQ1	Loma Prieta, 17 Oct. 89	$M_S=7.1$	Corralitos Eureka Canyon Rd.	0.85
	EQ2	Northridge, 17 Jan. 94	$M_W=6.7$	Century City	1.00
Long Duration(LD)	EQ3	Imperial Valley, 18 May. 40	$M_L=6.3$	El Centro Irrigation District	0.65
	EQ4	Tabas, 16 Sep. 78	$M_L=7.1$	Tabas	0.80
Forward Directivity(FD)	EQ5	Landers, 28 Jun. 92	$M_L=7.5$	Lucerne	0.20
	EQ6	Imperial Valley, 15 Oct. 79	$M_L=6.6$	Brawley Municipal Airport	0.35

4.2 해석모델

본 연구에 사용될 해석모델은 표 2와 같이 8가지로써 모든 모델의 평면은 그림 6과 같이 동일하며, 상부

구조의 층수와 하부구조의 층수만 다르다. 표 2와 같은 모델의 선정은 해석모델과 유사한 형식의 국내 철근콘크리트조 복합구조물의 기존설계 사례조사(이한선 외, 1999)를 바탕으로 하였다. 이와 같은 사례조사를 참고하여 복합구조물의 내진성능을 파악하기 위한 해석모델의 상부구조는 1세대, 하부구조는 3경간으로 하였고, 모든 모델의 하부구조의 층고는 4.5m, 상부구조의 층고는 2.8m로 하였다. 모델의 전이층 형식은 전이보 (transfer girder, TG1)를 사용하였다. 상부구조의 평면형태는 국내에서 건설된 아파트 평면형태들을 참조하였으며, TG1은 상부 전단벽이 위치하는 곳에 두어 상부하중을 하부구조의 기둥에 전달하게 하였다. 그리고 하부구조는 상부구조의 평면길이를 고려하여 그림과 같이 보와 기둥을 위치시켰다.

사용재료의 특성 중 콘크리트는 탄성계수 $E_c=2.3 \times 10^4 \text{MPa}$, 설계기준강도 $f_{ck}=24 \text{MPa}$ 이고, 철근은 탄성계수 $E_s=2.1 \times 10^5 \text{MPa}$, 항복응력은 D16이상은 $f_y=400 \text{MPa}$, D13이하는 $f_y=300 \text{MPa}$ 이다. 부재는 국내 하중기준(대한건축학회, 2000)에 적합하도록 설계(강병두, 2003)되었다.

표 2. 해석모델의 종류

모델	하부구조층수	상부구조층수	전체층수	전체높이(m)
MU1	3	21	24	72.3
MU2		16	19	58.3
MU3		11	14	44.3
MU4		6	9	30.3
ML1	7	16	23	76.3
ML2	5		21	67.3
ML3	3		19	58.3
ML4	1		17	49.3

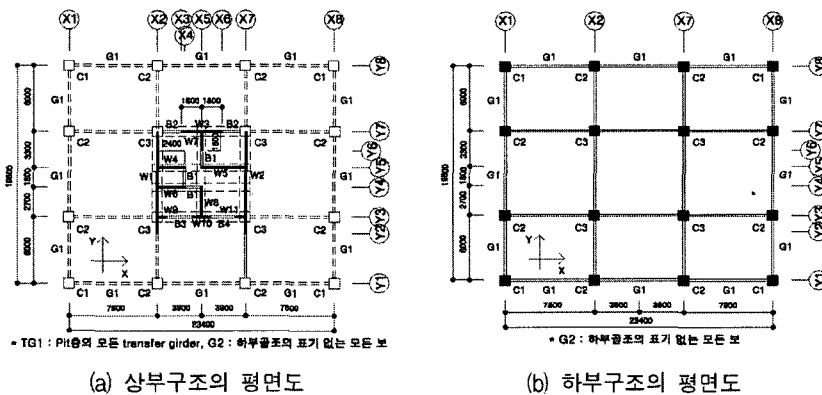


그림 6. 해석모델의 평면도

4.3 적용과정 및 해석변수

입력지진동에 대해 비선형 시가이력해석(NRHA)을 수행하여 최대변위 $|u_r(t)|_{\max} (=u_{r, NRHA})$ 를 산정하며, 이 최대변위를 pushover해석에서의 목표변위(u_t)로 가정한다. 목표변위는 여러 가지 방법으로 산정 가능하지만, 본 연구에서는 해석의 정확성을 평가하기 위해 NRHA의 최대변위로 하였다. 고차모드를 고려한 MAD 방법의 정적수평하중 분포를 이용한 비선형 정적해석(pushover해석)으로부터 pushover곡선($V_b - u_r$ 곡선)을 얻는다. 일반구조물에 대한 pushover곡선은 이선형(bi-linear)이 아니므로, NDSM을 적용하기 위해서는 pushover곡선을 이선형으로 이상화할 필요가 있다. 따라서 구조물에 대한 실제 pushover곡선과 이상화된 pushover곡선 아래의 면적이 같고, 초기 선형상태의 기울기가 원점에서 곡선상의 $0.6 V_{by}$ 인 점에 대해 이선

형으로 이상화하면, 항복밀면전단력(V_{by})과 최상층항복변위(u_{ry}) 및 항복후강성계수(β_1)를 얻게된다.

얻어진 V_{by} 와 u_{ry} 를 식 (1)과 식 (2)에 대입하여 A_{1y}/g 와 T_1 를 구한다. 이상화된 이선형의 pushover곡선으로부터 얻은 항복후강성계수 β_1 와 감쇠비 $\zeta=5\%$ 에 대해 작성된 비선형 가속도응답스펙트럼(그림 1(d))으로부터 A_{1y}/g , T_1 에 대해 연성비 μ 를 산정한다. 식 (4)에 따라 ESDF의 비선형 최대변위 D_{1o} 를 구하면 식 (5)로부터 복합구조물(MDF)의 비선형 최대응답 $u_{ro,NDSM}$ 을 추정할 수 있다.

4.4 해석결과 및 분석

표 3은 다양한 해석방법에 대한 기본진동주기를 나타낸 것으로 표에서 MIDAS와 CANNY의 no initial load에 의한 기본진동주기는 거의 일치하며, 또한 CANNY의 initial load와 다양한 입력지진동에 대한 NDSM의 평균 기본진동주기들도 거의 일치함을 알 수 있다. 전자의 경우, CANNY의 해석모델링 방법의 타당성과 신뢰성이, 후자의 경우, NDSM의 신뢰성이 있음을 간접적으로 보여주는 것이다.

표 3. 각종 기본진동주기

모델	해석법	MIDAS	CANNY		NDSM에 의한 평균***
			No Initial Load*	Initial Load**	
MU1		2.158	2.188	2.373	2.197
MU2		1.549	1.564	1.689	1.703
MU3		1.095	1.101	1.174	1.280
MU4		0.827	0.827	0.857	0.961
ML1		2.396	2.396	2.538	2.591
ML2		1.982	1.982	2.120	2.164
ML3		1.577	1.579	1.736	1.744
ML4		1.247	1.252	1.418	1.310

- * ; 초기하중이 구조물에 가해지기 전, 선형탄성 상태의 기본진동주기
- ** ; 초기하중이 구조물에 가해진 후, 중분해석을 하기 전의 기본진동주기
- *** ; 각 입력지진동에 대한 강성골격곡선(그림 1 (c))로부터 얻어진 기본진동주기들의 평균

여러 가지 해석모델과 다양한 지진동에 대하여 NDSM과 정산해(NRHA)와의 비선형응답 오차를 나타내면 표 4와 같다. 정산해식(NRHA)과의 오차는 아래 식과 같이 구하였다.

$$e_n(\%) = \frac{(u_{ro,NRHA} - u_{ro,NDSM})}{u_{ro,NRHA}} \times 100 \tag{6}$$

여기서,

$u_{ro,NRHA}$: NRHA에 의한 최상층의 최대변위(= $|u_r(t)|_{max}$)

$u_{ro,NDSM}$: NDSM에 의한 최상층의 최대변위

표에서의 각종 오차평균은 다음 식으로 산정된 것이다.

$$\text{단순평균} = \frac{1}{N_e} \sum_{n=1}^{N_e} e_n \tag{7}$$

$$\text{절대평균} = \frac{1}{N_e} \sum_{n=1}^{N_e} |e_n| \tag{8}$$

$$\text{SRSS평균} = \frac{1}{N_e} \left(\sum_{n=1}^{N_e} e_n^2 \right)^{1/2} \tag{9}$$

여기서,

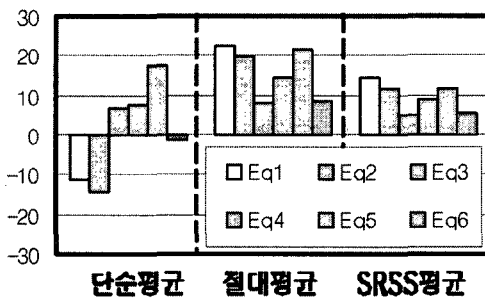
e_n : 해석결과의 오차

N_e : 지진기록의 수

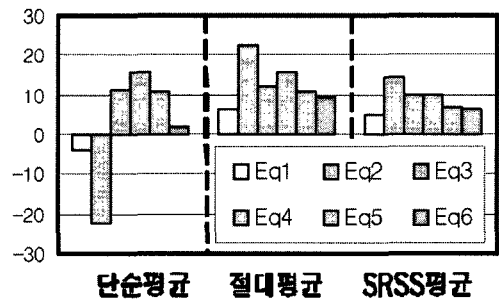
표 4에서 입력지진동에 대한 해석모델의 오차결과를 비교하면 지진동 SD의 모델 MU3, ML1에서 약 50% 정도의 다소 큰 오차를 나타내었으나, 해석결과의 75%(36개) 정도는 20% 미만의 해석오차를 나타내었고, 45%(21개) 정도는 10% 미만의 해석오차를 나타내었다. 특히 상부구조의 층수에 비해 하부구조의 층수가 상대적으로 많은 모델 ML1 및 ML2에서 일부 지진력을 제외하고는 비교적 작은 오차를 나타내었다. 오차의 대부분은 양(+의 값)으로 나타났으며, 이것은 NDSM의 최대변위가 NRHA보다 작은 것을 의미한다.

표 4. NDSM와 NRHA의 오차비교(%)

지진동		MU							ML						
		EQ. No.	MU1	MU2	MU3	MU4	단순 평균	절대 평균	SRSS 평균	ML1	ML2	ML3	ML4	단순 평균	절대 평균
SD	EQ1	22.92	-2.22	-50.88	-13.88	-11.0	22.5	14.4	4.16	0.30	-1.63	-19.60	-5.6	8.0	6.7
	EQ2	-40.76	-15.37	-12.03	10.30	-14.5	19.6	11.6	-50.56	-22.54	-13.59	-2.87	-29.9	25.3	18.5
LD	EQ3	3.93	9.02	16.62	-2.05	6.9	7.9	4.9	-2.13	-0.02	7.93	38.99	14.9	13.7	13.0
	EQ4	30.28	11.79	1.71	-13.04	7.7	14.2	8.8	2.41	9.32	19.85	31.66	21.1	14.5	11.0
FD	EQ5	32.88	16.88	-8.12	28.06	17.4	21.5	11.8	3.07	14.78	22.70	3.13	14.6	7.0	5.1
	EQ6	12.84	-17.34	-2.68	0.99	-1.5	8.5	5.4	0.85	1.13	-15.60	20.47	2.3	7.5	6.8
평균	단순평균	10.35	0.46	-9.23	1.73	0.83	15.69	9.47	-7.03	0.50	3.28	11.96	2.18	12.89	8.70
	절대평균	23.94	12.10	15.34	11.30	9.84	15.69	9.47	10.53	8.02	13.55	19.45	11.04	12.89	8.70
	SRSS평균	11.01	5.39	9.26	5.92	4.54	6.85	4.12	8.49	4.76	6.24	9.64	5.31	5.66	3.76



(a) 모델 MU



(b) 모델 ML

그림 7. 해석오차의 평균

해석결과에 대해 각종 평균 및 지진동의 관점에서 해석오차를 비교하면 그림 7과 같다. 해석모델들에 대해 6가지 지진기록을 적용한 결과, 단순평균관점에서 8가지 모델들에서 EQ1과 EQ2가 음(-)의 결과를 나타내고 나머지 지진동에서는 양(+의) 결과를 나타내었다. 절대평균관점에서는 약 15% 내외의 해석오차가 나타났고, SRSS평균의 관점에서는 약 10% 내외의 해석오차가 나타났다. 절대평균관점에서 모델들에 따른 오차 특성을 살펴보면 모델 ML들 중에서 ML4를 제외한 모델들에서 해석오차가 비슷하거나 작은 분포특성으로 나타났다. 이러한 것은 평면적으로 대칭성과 정형성이 강한 하부골조의 층수가 증가한 것에 기인한 것으로 판단된다.

5. 결 론

비선형 응답을 산정하기 위한 보다 간편하고 실용적인 약산법인 비선형 직접스펙트럼법(NDSM)을 사용하여, 상·하부 층수변화에 따른 복합구조물의 최대응답을 산정하고 정산법과 비교·검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Pushover해석에 의한 강성골격곡선으로부터 산정된 기본진동주기는 정산해와 거의 일치하므로 NDSM의 신뢰성을 간접적으로 확인할 수 있었고, 여러 가지 예제구조물 중, 평면적으로 대칭성과 정형성이 강한 구조물일수록 우수한 신뢰성을 확인할 수 있다.

(2) NDSM은 강성골격곡선으로부터 기본진동주기와 비선형 항복강도를 구하면, 비선형 응답스펙트럼으로부터 복잡한 반복 계산과정 없이 직접적으로 구조물의 비선형 최대응답을 산정할 수 있는 실용적인 방법으로 사료된다.

(3) NDSM의 응답은 정산해와 비교한 결과, 일부 모델에서는 다소 큰 오차가 나타나지만 SRSS평균의 관점에서 10% 내외의 오차를 나타내었고, NDSM의 응답이 일반적으로 비선형 시각이력해석의 응답보다 작게 산정되는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2004-002-D00427)

참고문헌

- ATC (1996) *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Report ATC-40, Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Chopra, A. K. and Goel, R. K. (2001) *A modal pushover analysis procedure to estimate seismic demands for buildings: Theory and preliminary evaluation*, Report No. PEER-2001/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of Berkeley, Berkeley.
- FEMA (1997) *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Report No. FEMA-273, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.
- FEMA (1998) *Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings-Technical resources*, Report No. FEMA-307, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.
- Li, Kang-Ning (2000) *CANNY 99, 3-dimensional nonlinear static/dynamic structural analysis computer program-users manual*, CANNY Structural Analysis, CANADA.
- Mehmet Inel, Erich M. Bretz, Edgar F. Black, Mark A. Aschheim, and Daniel P. Abrams (2001) *USEE 2001 : Utility Software for earthquake engineering report and user's manual*, Civil and Environmental Engineering, University of Illinois at Urbana-Campaign, Urbana, Illinois.
- Valles, R., Reinhorn, A., Kunnath, S., La C., and Madan, A. (1996) *IDARC 2D Version 4.0 : A program for the inelastic damage analysis of buildings*, NCEER-96-0010, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- 강병두 (2003) 상부벽식-하부골조 복합구조물의 비선형 내진성능에 관한 연구, 박사학위논문, 동아대학교.
- 대한건축학회 (2000) 건축물 하중기준 및 해설, 태림문화사.
- 이한선 외 (1999) 복합구조(전단벽+골조)의 내진설계기법 연구, 건교부 '98연구개발사업 보고서, R&D 98-0003, 한국건설기술연구원.