

부재의 이력모델에 따른 건축구조물의 내진성능 평가

Evaluation of Seismic Performance for Building Structures by Hysteresis Model of Elements

한 덕 전*
Han, Duck-Jeon

고 현**
Ko, Hyun

요 약

성능에 기초한 내진설계에서 구조물의 지진에 대한 성능평가를 위하여 구조물의 비탄성 지진거동을 정확하게 예측하는 것이 중요하다. 정확한 시스템의 연성능력 평가를 위해서는 각 부재의 하중과 변형의 관계를 보다 실제적으로 규정하는 것이 중요하다. 비선형 해석에 의한 구조물의 비탄성 거동 파악을 위해서 단순화된 부재의 하중-변형 관계 모델을 적용한다면 구조물의 실제적이고 정확한 거동을 예측하기에는 어려움이 있다. 본 논문에서는 하중-변형 관계를 Backbone 이력모델을 적용하여 단순화된 하중-변형 관계를 적용한 모델과 시스템연성능력 및 층연성능력을 비교, 평가하였다. 해석결과로 이선형 이력모델의 경우에 시스템 및 층 연성도의 과소평가는 실제구조물의 소성거동을 과소평가하는 결과를 초래하며 보다 정확한 비선형 해석을 위하여 부재의 이력모델은 Backbone 이력모델을 사용하는 것이 바람직하다.

Abstract

It is very important that predict the inelastic seismic behavior exactly for seismic performance evaluation of a building in the performance based seismic design. But, it is difficulty that predict the building behavior of actual and exact in simplified load-deformation relation of structural material and members. In this study, system ductility and story ductility capacity of building structure used to the Backbone hinge Model are estimated and compared considering the characteristics of load-deformation relation of structural material and members. Analyses results, bilinear hinge model has lower system ductility and story ductility demands than those of backbone hinge model.

키워드 : 이선형 힌지, Backbone 힌지, 시스템연성도, 층연성도, 내진성능평가

Keywords : Bilinear hinge, Backbone hinge, System ductility, Story ductility, Seismic performance evaluation

1. 서 론

일반적인 내진설계법에서 지진하중을 고려하는 방법은 반응수정계수를 통하여 설계하중을 낮게 산정하고 구조물은 설계하중 이상의 강도를 갖도록 하는 것이다. 반응수정계수라는 것은 구조물이 항복한 이후에도 부가적인 저항능력이 있다고 가정하여 고려한 경험계수이다. 이러한 계수를 사용함으로써 지진하중

에 대한 비탄성 영역에서 발생할 수 있는 구조물의 에너지 흡수능력을 고려할 수 있다. 하중기반설계에 개념을 둔 전통적인 내진설계에서는 임의적이고 불확실한 특성을 가지는 지진계수를 사용한다는 점에서 응답과 거동에 대한 신뢰성이 떨어진다[1,2].

성능에 기초한 내진설계에서는 예상되는 지진하중에 대하여 주어진 조건에서 허용할 수 있는 적절한 피해정도 혹은 에너지 흡수정도를 미리 설정하고 이를 달성할 수 있도록 하는 것이다. 무엇보다도 에너지 흡수정도에 따라서 구조물의 거동이 달라지기 때문에 파괴에 이를 때까지 구조물의 변형성능을 예측할 수 있어야 하며 이는 비탄성 해석을 통해서만이 가능하다. 성능평가의 대상을 구조물의 손상과 직접적인 연

* 정회원 · 서일대학 건축과 교수

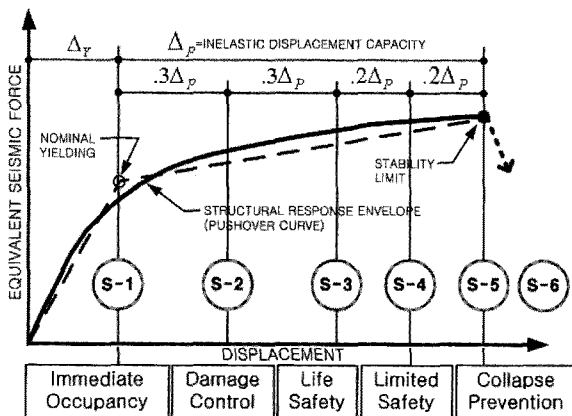
** 교신저자, 정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정
Tel: 031-290-7574 Fax: 031-290-7570
E-mail: amatura@skku.edu

관성이 있는 변위로서 평가하기 때문에 변위기반설계라고 할 수 있다.

정확한 시스템의 연성능력 평가를 위해서는 각 부재의 하중과 변형의 관계를 보다 실제적으로 규정하는 것이 중요하다. 대부분의 경우에는 비선형정적 해석에 의한 구조물의 비탄성 거동 파악을 위해서 단순한 이선형(bi-linear) 또는 삼선형(tri-linear) 모델을 이용하여 해석을 수행한다. 그러나 이러한 부재 모델들은 각 부재에서 발생하는 강성저하와 강도저감의 효과를 반영할 수 없기 때문에 비탄성 영역에서 발생할 수 있는 하중과 부재력의 재분배 현상을 고려할 수 없다. 그러므로 단순화된 부재의 하중-변형 관계 모델은 구조물의 실제적이고 정확한 거동을 예측하기에는 어려움이 있으며 시스템의 연성능력을 평가하는 데는 한계가 있다. 따라서 부재의 하중-변형 관계에 대한 모델의 특성에 따른 구조물의 비탄성 변형능력을 평가하여 시스템의 연성능력을 평가할 필요가 있다.

지진과 같은 반복하중에 의해서는 부재에서 저하(degrading)현상이 발생하며, 특히 전단에 지배를 받는 보와 기둥의 경우에는 이러한 저하특성은 추가적인 반복하중을 받지 못하는 횡항능력의 상실을 의미한다. 한 부재의 저하현상은 인접한 다른 부재에 하중의 재분배 현상을 유도하게 되며, 구조물 전체의 거동에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 강도의 저하현상은 부재의 이력거동에 반드시 고려되어야 한다.

본 연구에서는 부재의 하중-변형 관계에 대한 모델의 특성에 따른 구조물의 비탄성 변형능력을 평가하였다. 동일한 구조물에 단순한 이선형 부재모델과



〈그림 1〉 구조물의 성능수준 (FEMA-356)

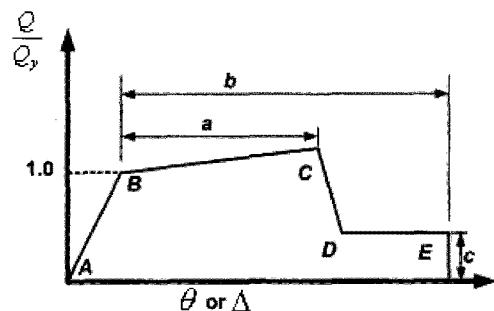
FEMA-356[3]에서 제공하는 보다 정확한 경험모델을 철골구조물에 적용하여 비선형 정적해석을 수행하고 각 모델 특성에 따른 시스템의 연성능력과 연성요구도를 비교 평가하였다.

2. 부재 및 모델화

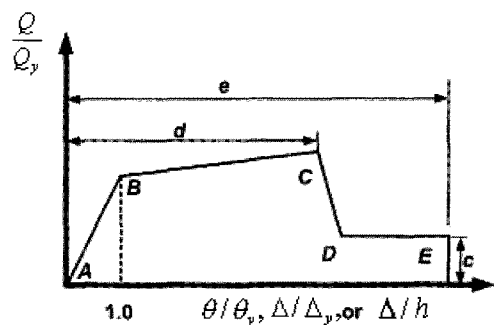
2000년에 발행된 "Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings" 프로젝트의 FEMA-356 보고서는 구조물의 성능수준에 대한 제한규정 및 부재의 하중-변형 이력모델에 대한 내용을 다루었다.

2.1 구조물의 성능수준

FEMA-356에서는 그림 1과 같이 구조물의 성능수준을 구조재의 경우는 6단계의 성능수준으로 비구조재의 경우는 5단계의 성능수준으로 구분하여 정의하고 있다. 그리고 구조물의 성능수준에 따라서 철골모멘트골조의 접합부 손상상태와 최대층간변위를 정의하고 있다. Immediate Occupancy Level의 경우에는 구조부재의 심각하지 않은 국부항복과 좌굴, 순간 최대층간변위비 0.7%로 규정하고 있고



(a) 정규화된 힘과 변위



(b) 정규화된 힘과 변위비

〈그림 2〉 일반적인 부재의 힘과 변위 관계

Life Safety Level의 경우에는 구조부재의 국부 좌굴 및 부분적 파괴, 모멘트접합부의 부분적 파단, 순간 최대층간변위비 2.5%로 규정하고 있다. Collapse Prevention Level의 경우에는 부재의 광범위한 변형, 모멘트접합부의 파단, 전단접합부는 저항력이 유지되며, 순간최대층간변위 5%일 때로 규정하고 있다.

FEMA-356에서는 일반적인 부재의 힘-변위 관계를 그림 2와 같이 Backbone 이력모델로 정의하고 있다. 그리고 해석모델을 모형화할 경우에 철골부재의 연성능력을 부재의 단면과 폭두께비의 관계로 제시하고 있다. 폭두께비의 관계는 철골부재에서 단면을 콤팩트(compact) 단면, 비콤팩트(noncompact) 단면, 세장판(slender) 요소로 구분하여 제시하고 있으며 그 경우를 표 1에 나타내었다. 보의 경우와는 달

리 기둥의 경우는 축하중의 영향에 따라서 부재의 연성능력의 변화를 보이기 때문에 기둥에서 생기는 축하중의 영향을 고려하여야 한다. 여기서는 항복 축하중과 부재에서 생기는 축하중과의 비로서 부재의 연성능력을 분류하고 있다. 표 1의 경우는 그 비가 0.2보다 작은 경우만은 제시하였다.

표 1에서 보면 알 수 있듯이 철골부재의 경우는 부재연성능력은 최대연성능력이 10에서 최소연성능력이 5로 정의할 수 있으며 나머지의 경우에는 선형 보간하여 결정됨을 알 수 있다.

2.2 성능점의 산정

능력스펙트럼법(CSM)은 ATC-40[4]에서 제시하고 있는 건축물의 비탄성 변형능력과 내진성능을 평가할 수 있는 방법으로써 성능에 기초한 내진설계 분

〈표 1〉 철골부재의 연성능력

Component/Action	Modeling Parameters			Acceptance Criteria				
	Plastic Rotation Angle, Radians		Residual Strength Ratio	IO	Plastic Rotation Angle, Radians			
	a	b			Primary		Secondary	
			LS		CP	LS	CP	
Beams-flexure								
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \leq \frac{418}{\sqrt{F_{ye}}}$	9θ _y	11θ _y	0.6	1θ _y	6θ _y	8θ _y	9θ _y	11θ _y
$\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \geq \frac{640}{\sqrt{F_{ye}}}$	4θ _y	6θ _y	0.2	0.25θ _y	2θ _y	3θ _y	3θ _y	4θ _y
Other	플랜지와 웨브의 폭두께비를 검토, 그 중 낮은 값을 사용하여 a,b 선형보간							
Columns-flexure								
For P/P _{CL} < 0.20								
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \leq \frac{300}{\sqrt{F_{ye}}}$	9θ _y	11θ _y	0.6	1θ _y	6θ _y	8θ _y	9θ _y	11θ _y
$\frac{d}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ $\frac{h}{t_w} \geq \frac{460}{\sqrt{F_{ye}}}$	4θ _y	6θ _y	0.2	0.25θ _y	2θ _y	3θ _y	3θ _y	4θ _y
Other	플랜지와 웨브의 폭두께비를 검토, 그 중 낮은 값을 사용하여 a,b 선형보간							

야에서는 가장 널리 사용되고 있는 방법이다.

이 방법은 구조물이 보유하고 있는 저항능력과 지진하중에 의한 요구수준을 스펙트럼 형식으로 서로 비교함으로써 비탄성 최대응답을 평가하는 해석 방법이다. ATC-40의 능력스펙트럼법에서는 유효감쇠계수를 적용하여 감소된 비탄성 응답스펙트럼을 고려한다. 그러나 유효감쇠계수를 적용하여 비탄성 응답스펙트럼을 고려하게 되면 넓은 범위의 주기와 연성비에서 변위응답을 과소평가할 수 있는 가능성이 있다. FEMA-440[5]에서는 연성비(μ)의 범위를 정하여 연성비의 범위에 따라서 유효감쇠(β_{eff}) 및 유효주기(T_{eff}) 산정식을 다음과 같이 제시하였다.

$$1.0 < \mu < 4.0 \text{ 인 경우}$$

$$\beta_{eff} = A(\mu - 1)^2 + B(\mu - 1)^3 + \beta_0 \quad (1)$$

$$T_{eff} = [G(\mu - 1)^2 + H(\mu - 1)^3 + 1] T_0 \quad (2)$$

$$4.0 \leq \mu \leq 6.5 \text{ 인 경우}$$

$$\beta_{eff} = C + D(\mu - 1) + \beta_0 \quad (3)$$

$$T_{eff} = [I + J(\mu - 1) + 1] T_0 \quad (4)$$

$$\mu > 6.5 \text{ 인 경우}$$

$$\beta_{eff} = E \left[\frac{F(\mu - 1) - 1}{[F(\mu - 1)]^2} \right] \left(\frac{T_{eff}}{T_0} \right)^2 + \beta_0 \quad (5)$$

$$T_{eff} = \left\{ K \left[\sqrt{\frac{(\mu - 1)}{1 + L(\mu - 2)}} - 1 \right] + 1 \right\} T_0 \quad (6)$$

여기서, T_0 는 구조물의 탄성주기, β_0 는 구조물의 초기감쇠로 5%를 적용하였다. A~L은 정의되어 있는 계수값으로 본 연구에서 사용한 계수값은 <표 2, 3>에 정리하였다. <표 2, 3>에서 $\alpha(\%)$ 는 부재의 변형경화비를 의미한다. 비선형 정적해석을 수행하고 성능

점의 산정은 개선된 능력스펙트럼법의 유효감쇠와 유효주기 산정식을 이용하였다.

3. 예제 구조물

예제 구조물은 3층, 8층, 20층 3경간 철골 모멘트 골조로 선택하였다. 예제구조물은 특수 모멘트 골조로 UBC-97(1997) 설계기준($C_a=0.4, C_v=0.4$)에 의한 강기둥-약보(Strong Column -Weak Beam, SCWB) 개념을 이용하여 설계되었으며, 1층 층고는 18(feet)이고 나머지 층고는 12(feet)이다[6]. 보와 기둥 접합부에서 발생하는 패널존의 변형은 고려하지 않았으며 내부골조는 보를 핀접합하여 중력하중만을 저항하도록 하며 외부골조는 강접합하여 횡하중에 저항하도록 하였다.

예제구조물의 형상과 보 및 기둥의 부재 크기는 각각 표 4, 5, 6 및 그림 3과 같다. 사용강재는 보의 경우는 SS400, 기둥의 경우는 SM490 보통강재를 적용하였다. 보와 기둥에서 발생하는 소성힌지는 부재의 단부에 집중된다고 가정하였으며, 부재의 이력 거동은 항복 후에 2%의 변형경화 효과를 가지는 이선형(bilinear) 이력모델과 FEMA-356에서 제시한 강도저감 및 강성저하의 효과를 고려할 수 있는 Backbone 이력모델로 가정하였다.

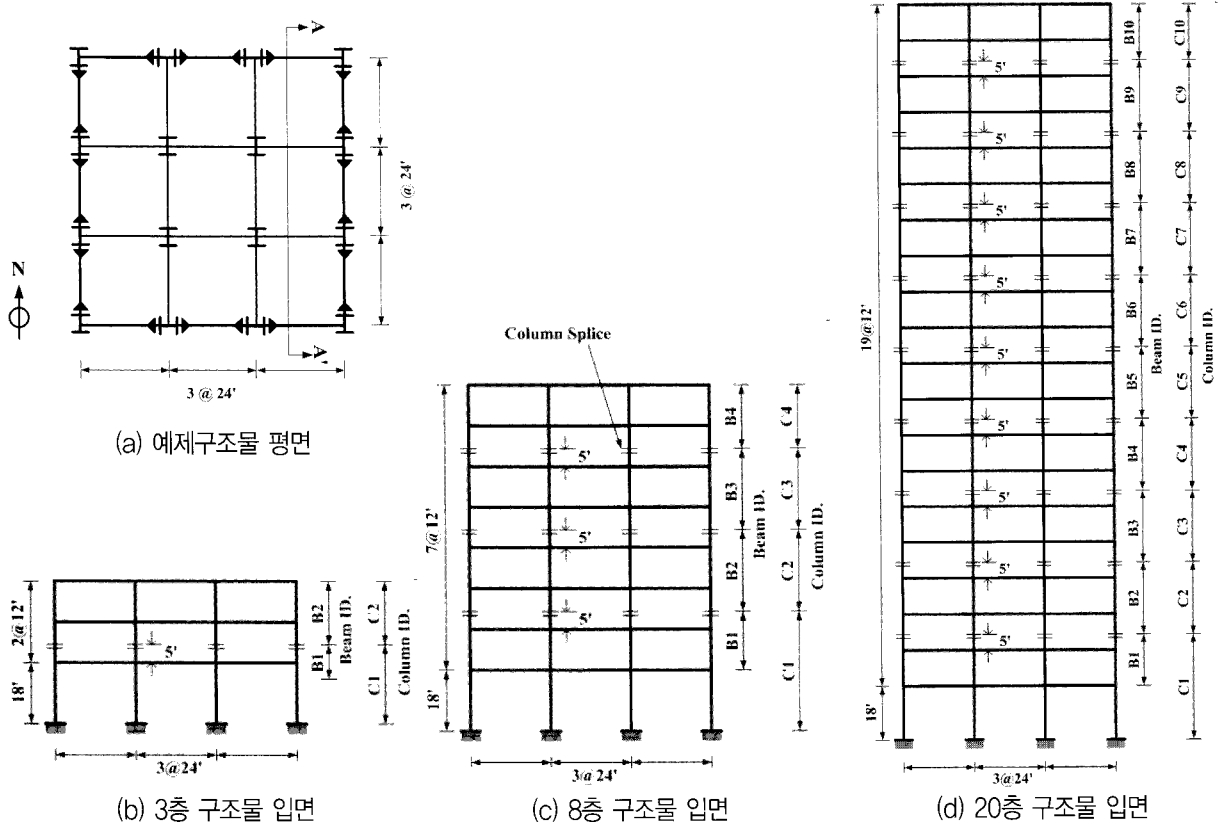
동일한 구조물에서 부재의 이력모델을 정의함에 따라서 여기서는 크게 세 가지로 나누었다. 부재의 이력모델을 단순한 이선형(bilinear) 이력모델로 사용했을 경우를 Model-1이라 정의하였다. Backbone 이력모델의 경우는 FEMA-356에서 정의하고 있는 부재의 연성능력의 범위 안에서 최대값이 10과 최소값인 5를 사용하여 정의하였고 각각 Model-2,

<표 2> 유효감쇠식에 사용된 계수

Model	$\alpha(\%)$	A	B	C	D	E	F
Bilinear hysteretic	2	3.3	0.64	9.4	1.1	19	0.42
Stiffness degrading	2	5.3	1.2	11	1.6	20	0.51

<표 3> 유효주기에 사용된 계수

Model	$\alpha(\%)$	G	H	I	J	K	L
Bilinear hysteretic	2	0.10	0.014	0.17	0.12	0.67	0.02
Stiffness degrading	2	0.18	0.034	0.22	0.16	0.88	0.02



〈그림 3〉 예제구조물

Model-3으로 나타내었다.

비선형 해석 프로그램으로 MIDAS/Gen Ver. 7.1.1을 예제구조물의 비선형 정적해석에 사용하였다. MIDAS/Gen 프로그램의 경우는 사용자의 정의에 의해서 부재의 연성능력을 결정지을 수 있으며 Backbone 이력모델을 정확히 구현할 수 있기 때문에 본 논문의 비선형 정적해석의 프로그램으로 사용하였다.

〈표 4〉 3층 예제구조물의 부재크기

기둥 ID.	내부기둥	외부기둥	보 ID.	내·외부 보
C2	W14X68	W14X48	B2	W18X40
C1	W14X176	W14X120	B1	W18X55

〈표 5〉 8층 예제구조물의 부재크기

기둥 ID.	내부기둥	외부기둥	보 ID.	내·외부 보
C4	W24X55	W14X48	B4	W18X40
C3	W24X84	W14X74	B3	W21X50
C2	W24X94	W14X90	B2	W24X55
C1	W24X192	W14X145	B1	W24X68

〈표 6〉 20층 예제구조물의 부재크기

기둥 ID.	내부기둥	외부기둥	보 ID.	내·외부 보
C10	W27×84	W18×86	B10	W24×62
C9	W27×102	W18×97	B9	W24×68
C8	W30×116	W18×106	B8	W24×76
C7	W30×132	W18×119	B7	W24×76
C6	W36×135	W18×130	B6	W27×84
C5	W36×150	W18×143	B5	W27×84
C4	W36×160	W18×158	B4	W27×94
C3	W36×170	W18×175	B3	W27×94
C2	W36×182	W18×192	B2	W27×102
C1	W36×232	W18×257	B1	W27×102

4. 비선형해석에 의한 연성능력 평가

비선형 정적해석을 수행할 때 사용되는 횡하중 분배방법은 지진하중의 특성에 따라 변화하는 하중 분포 형상을 이용하였다. 즉, 구조물의 층전단력 분포를 탄성영역에서 정확하게 반영할 수 있는 방법이며 구조물의 힘과 변위관계를 나타내는 능력곡선을

평가할 때에 등가변위와 등가저항력의 관계를 적용하였다[6].

4.1 시스템 연성도 평가

비선형 정적해석을 수행하고 발생하는 변위와 횡하중의 관계를 그림 4에 나타내었다. 비선형 정적해석에서 초기 목표변위는 구조물의 전체높이에 대하여 최상층에서의 최대 층간변위가 4% 발생하도록 설정하였다.

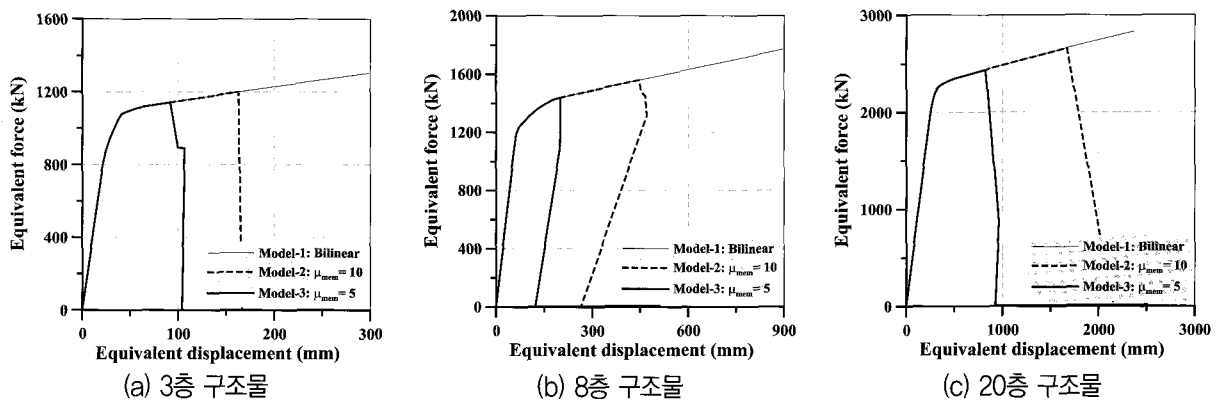
이선형 이력모델인 Model-1의 경우는 부재 자체가 무한강성을 갖기 때문에 시스템의 횡저항 능력은 항복 후 목표변위에 도달하는 동안에 꾸준히 증가함을 볼 수 있다. Model-2, Model-3의 Backbone 이력모델의 경우는 부재의 연성능력의 정도를 제시한 기준에 의하여 정하였기 때문에 구조부재가 한계에 도달하게 되면 시스템의 저항능력이 상실하여 곡선이 떨어지는 현상을 보였다. FEMA-440의 능력스펙트럼법을 이용하여 각 모델을 가속도-변위응답스

펙트럼으로 치환하고 설계지진하중의 가속도응답스펙트럼을 하중으로 하여 성능점을 산정하면 <그림 5>와 같다.

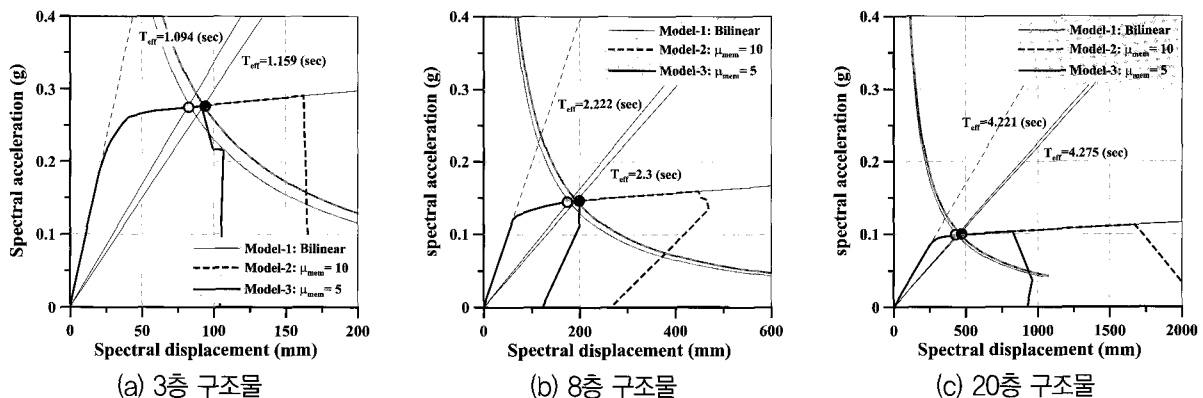
저층일수록 Model-2, Model-3의 경우가 더 큰 연성요구도를 가지는 것을 알 수 있으며 이것은 비선형해석시 구조물에 단순한 하중-변형관계를 이용하여 이력모델을 정의한다면 연성요구도를 과소평가할 수 있는 문제점이 있는 것으로 판단할 수 있다.

3층, 8층의 Model-3의 경우는 요구스펙트럼과 능력스펙트럼과의 만나는 점이 존재하지 않아서 강도가 급격히 떨어지는 부분을 성능점으로 하였다. 20층의 Model-2와 Model-3은 고층일수록 소성거동이 적어서 동일한 성능점을 가지는 것으로 산정되었다. 성능점에서의 연성도를 정리하면 <표 7>과 같다.

단순하게 정의된 Model-1의 경우와 Model-2, Model-3 시스템연성도는 부재의 연성비를 적게 볼수록 작은 값을 나타냈으며 단순하게 정의한다면 시스템의 연성요구도를 과소평가할 수 있는 문제점을 나타내었다. 그리고 저층에서 고층으로 갈수록 시스



<그림 4> 예제구조물의 성능곡선



<그림 5> 각 예제구조물의 성능점 산정

템연성도는 감소하는 경향을 보였다. 비선형 정적해석을 이용한 내진성능의 정확한 평가는 구조물의 국부적인 비탄성 지진거동을 나타내는 소성힌지분포와 층간변위 등과 같은 응답을 검토함으로써 가능할 것으로 판단된다.

〈표 7〉 각 모델별 시스템 연성도 비교

Story	Model	Dy(mm)	Dpp(mm)	μ_{sys}
3층	Model-1	28.4	82.6	2.91
	Model-2		92.9	3.27
	Model-3		91.6	3.22
8층	Model-1	70.9	178.2	2.51
	Model-2		193.0	2.72
	Model-3		199.9	2.82
20층	Model-1	280.7	437.4	1.56
	Model-2		457.5	1.63
	Model-3		457.5	1.63

4.2 층 연성도 평가

각 모델별 층간변위-층전단력의 관계를 나타내고 각 모델의 경우에서 층별 항복변위를 정의하고 시스템의 성능점 변위일 때의 지점을 최대변위로 하여 각 층 연성요구도를 구하였다. 〈그림 6〉은 3층 구조물의 층전단력-층간변위 관계를 그래프로 나타낸 것으로 사각형점은 성능점 변위에서의 각 층의 층간변위를 나타낸 것이다.

최대 층연성도를 정리하면 〈표 8~10〉으로 나타낼 수 있다. 각 모델별 층연성요구도를 비교하면 시스템 연성요구도와 마찬가지로 부재의 연성능력이 증가할 수록 층연성요구도 또한 증가하고 저층에서 고층으로

갈수록 층연성요구도는 감소함을 알 수 있다. 그리고 최대 층연성도는 저층의 경우는 대체로 하부에 집중되지만 고층으로 갈수록 중간층에 집중됨을 확인할 수 있다. 마찬가지로 부재의 이력모델을 단순하게 정의한다면 층연성요구도를 과소평가할 수 있는 문제점을 나타내었다.

〈표 8〉 3층 예제구조물의 층연성도 비교

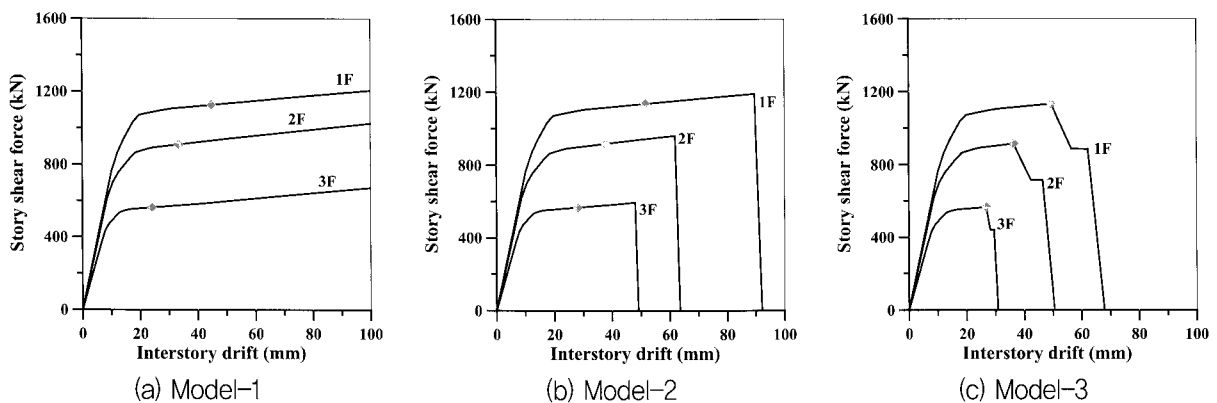
Story	μ_{story}		
	Model-1	Model-2	Model-3
1층	3.18	3.67	3.50
2층	2.75	3.11	2.99
3층	2.39	2.80	2.66

〈표 9〉 8층 예제구조물의 층연성도 비교

Story	μ_{story}		
	Model-1	Model-2	Model-3
1층	1.97	2.17	2.37
2층	2.46	2.61	2.77
3층	2.69	2.83	2.97
4층	2.97	3.11	3.24
5층	2.87	2.99	3.10
6층	2.71	2.82	2.92
7층	2.28	2.38	2.47
8층	1.53	1.57	1.60

5. 결론

본 연구에서는 부재의 하중-변형 관계에 대한 모델의 특성에 따른 구조물의 비탄성 변형능력을 평가하였다. 단순한 이선형 부재모델과 보다 정확한 경험 모델을 철골구조물에 적용하여 비성형 정적해석을 수



〈그림 6〉 3층 예제구조물의 층전단력-층간변위 관계

〈표 10〉 20층 예제구조물의 층연성도 비교

Story	μstory		
	Model-1	Model-2	Model-3
1층	1.46	1.54	1.54
2층	1.63	1.71	1.71
3층	1.73	1.82	1.82
4층	1.93	2.03	2.03
5층	1.92	2.03	2.03
6층	1.89	2.00	2.00
7층	1.91	2.03	2.03
8층	1.74	1.85	1.85
9층	1.63	1.74	1.74
10층	1.66	1.77	1.77
11층	1.44	1.54	1.54
12층	1.31	1.40	1.40
13층	1.25	1.32	1.32
14층	1.16	1.22	1.22
15층	1.15	1.19	1.19
16층	1.05	1.06	1.06
17층	Elastic	Elastic	Elastic
18층			
19층			
20층			

행하고 부재 이력모델의 특성에 따른 구조물의 시스템 연성능력 비교 분석하였다.

1) 단순한 이선형(bilinear) 이력모델의 경우는 무한 연성의 특성을 가지며 시스템 및 층 연성요구도를 과소평가하는 경향을 보인다. 따라서 구조물의 비탄성 거동 및 파괴메카니즘을 정확히 파악하기에는 어려움이 있다.

2) 강도저감 및 강성저하의 영향을 고려할 수 있는 Backbone 이력모델의 경우는 구조물의 비탄성 변형능력의 변화를 예측 가능하고 강도저감에 의한 횡하중저항능력 변화를 효과적으로 파악할 수 있다.

3) 이선형 이력모델의 경우에 시스템 및 층 연성도의 과소평가는 실제구조물의 소성거동을 과소평가하는 결과를 초래하며 보다 정확한 비선형해석을 위하여 부재의 이력모델은 Backbone 이력모델을 사용하는 것이 바람직하다.

추후연구 과제로는 강도저감 및 강성저하의 효과를 고려할 수 있는 이력모델을 적용하여 비선형 시간 이력을 수행하고 비선형 정적해석의 결과와 검증하는 부분이 필요할 것으로 판단된다. 그리고 다양한 구조 시스템에 대한 연구가 필요하며 접합부에 대한 영향을 고려한다면 비탄성 지진응답의 특성과 내진성능이 매우 다르게 평가될 수 있기 때문에 이에 대한 정량적인 평가에 대한 연구가 계속적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2008년도 서일대학 학술연구비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. ATC-19(1995), Structural response modification factors, Applied Technology Council.
2. ATC-34(1995), A critical review of current approaches to earthquake-resistant design, Applied Technology Council.
3. FEMA 356(2000), Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency.
4. ATC-40(1996), Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Applied Technology Council.
5. FEMA 440(2005), Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures, Federal Emergency Management Agency.
6. Dong-Guen Lee, Won-Ho Choi, Myng-Chae Cheong and Dae-Kon Kim(2006), Evaluation of seismic performance of multistory building structures based on the equivalent responses, Engineering Structures, Vol 28(6), 837-856.

접수일자 : 2009년 10월 7일

심사완료일자 : 2009년 11월 12일

게재확정일자 : 2009년 12월 11일