

# 건축 강구조물의 초기 부재단면 설계 및 내진성능에 관한 연구

## The Evaluation of Seismic Performance and the Design of Initial Member Sections for Architectural Steel Structures

이 상 주\*  
Lee, Sang Ju

이 동 우\*\*  
Lee, Dong-Woo

한 상 울\*\*\*  
Han, Sang Eul

### 요 약

내진 댐퍼 브레이스를 가진 강구조물은 브레이스가 지진입력에너지를 충분히 흡수함으로써 주요한 구성부재의 치명적인 피해를 현저하게 저감시키는 것이 가능하므로, 이 시스템 도입에 따른 거동특성 파악 및 적용성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 내진 댐퍼 브레이스를 가진 강구조물의 설계에 있어서는 구조물에 대한 브레이스의 강성비를 결정하여야 하며, 내진성능이 우수한 구조물을 설계하기 위해서는 강성비에 따른 구조물의 지진응답 특성을 파악할 필요가 있다. 본 연구에서는 소성설계에 기초하여 내진 댐퍼 브레이스의 수평 강성비에 따른 강구조물의 초기 부재단면을 설계하고, 지진응답해석을 수행하여 초기 부재단면 설계의 타당성 검토 및 동적거동 특성을 파악한다.

### Abstract

An initial member sections of steel structures is selected by experience of expert building structural designers. And appropriate member section is designed by repeat calculation through structural analysis. Therefore an initial assumption of member section is necessary for saving the time for structural design and is important to acquire safety of building structures. Also brace damper are generally used to prevent or decrease structural damage by its hysteretic behavior in building structures subjected to strong earthquake. Based on plastic design, the initial section of members for architectural steel structures with hysteretic damper braces is presented and seismic effect of structural behavior by the ratio of damper stiffness to structural story stiffness is estimated in this paper.

**키워드 :** 강구조물, 지진응답해석, 동적거동특성, 내진댐퍼브레이스, 강성비, 초기부재단면

**Keywords :** Steel Structures, Seismic Response Analysis, Characteristic of Dynamic Behavior, Hysteretic Damper Braces, The Ratio of Damper Stiffness, Initial Member Sections

## 1. 서 론

일반 구조물의 경우 내진성능을 향상시키기 위해 내진, 제진, 면진시스템의 도입이 연구되고 있으며, 강구조물의 내진설계에 있어서도 내진성능을 확보할 수 있는 구조시스템의 하나로 브레이스 시스템에 대한 관심이 증가되고 있다. 특히 내진 댐퍼 브레이스 시스템은 브레이스가 지진입력에너지를 충

분히 흡수함으로써 주요한 구성부재의 치명적인 피해를 현저하게 저감시키는 것이 가능하고 지진 후에 보수보강이 용이하여, 브레이스 시스템의 도입에 따른 거동특성파악 및 적용성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>1)2)</sup>.

구조설계의 궁극적인 목적은 구조해석을 통한 안전성과 경제성을 확보가능한 적절한 부재의 배치 및 단면의 결정이라 할 수 있으나, 구조해석을 수행하기 위해서는 필연적으로 초기 부재단면을 가정하는 절차를 가진다. 그러나 강구조물의 설계에 있어서 초기 부재단면 가정은 많은 부분을 설계자의 경

\* 플러스구조엔지니어링 선임연구원, 공학박사  
Tel : 02-552-7115, E-mail : kyotolsj@empal.com

\*\* 정회원, 플러스구조엔지니어링 대표이사, 공학박사

\*\*\* 정회원, 인하대학교 건축학부 교수, 공학박사

험에 의존하고 있으므로 적절한 부재단면을 설계하기 위해서는 여러 번의 시행착오가 필수 불가결한 것이라 판단되며, 적절한 초기 부재단면을 선택하는 것은 구조 해석을 위한 시간절약 및 정확한 부재단면의 설계를 위해 대단히 중요한 절차이다<sup>4),5),8)</sup>. 또한 내진 댐퍼 브레이스를 가진 강구조물의 설계에 있어서는 구조물에 대한 브레이스의 강성비를 결정하여야 하며, 내진성능이 우수한 구조물을 설계하기 위해서는 강성비에 따른 초기 부재단면을 가정하고 구조물의 지진응답 특성을 파악할 필요가 있다<sup>6),7)</sup>.

본 연구에서는 내진 댐퍼 브레이스를 가진 강구조물을 대상으로 소성설계에 기초하여 초기 부재단면 설계법을 제시한다. 또한 내진 댐퍼 브레이스의 수평 강성비를 고려하여 설계된 구조물에 대한 지진응답해석을 수행하여 초기 부재단면의 타당성을 검토하고 동적거동특성을 파악한다.

## 2. 소성설계에 기초한 건축 강구조물의 초기 부재단면 설계

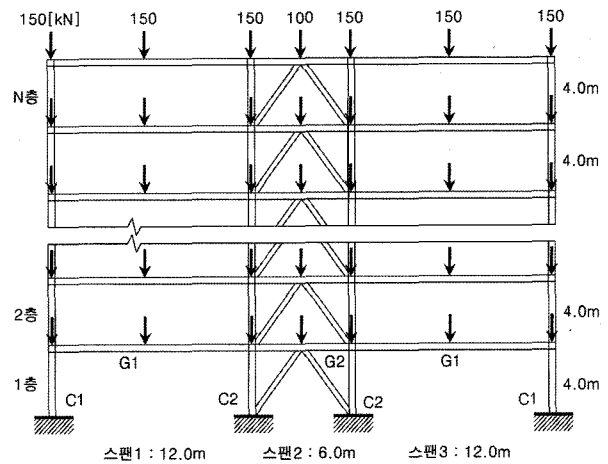
소성설계에 기초한 건축 강구조물의 초기 부재단면 설계는 다음과 같은 절차에 의해 수행된다.

- ① 대상구조물의 설계조건(전제조건, 제약조건)을 설정한다.
- ② 층전단력, 층모멘트를 구한다.
- ③ 보의 필요 소성모멘트를 구한다(보전단항복형으로 설계 시).
- ④ 기둥의 분배모멘트를 계산한다.
- ⑤ 보부재의 단면을 설계한다.
- ⑥ 기둥부재의 단면을 설계한다.
- ⑦ 설계된 부재의 타당성을 검토한다.

### 2.1 대상구조물 및 설계 조건

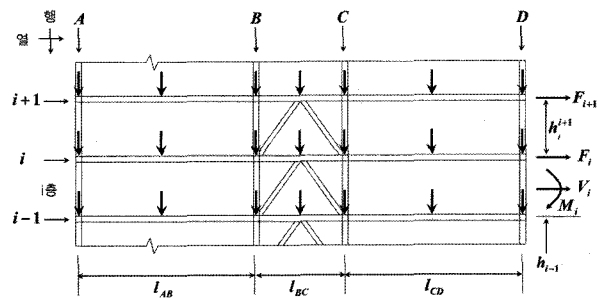
<그림 1>과 같이 일층 주각이 고정인 16층의 3스팬 강구조물에 대하여 아래와 같은 설계조건하에서 소성설계법에 기초하여 초기 부재단면을 설계한다.

- [1] 층간변위각의 제한치와 허용응력도는 고려하지 않고, 소성설계에 따라 단면을 결정한다.
- [2] 설계 시 접합부 패널은 무시하고 크기가 없는



16층 3스팬의 강구조물 (N은 층수, N=16)

<그림 1> 대상구조물



A, B, ... : 기둥열 번호; 0, 1, ... : 층 또는 슬래브 번호  
 $h_{i+1}$  :  $i+1$ 층의 층높이;  $h_{i-1}$  : 밑면에서  $i-1$ 층까지의 높이  
 $P_i^{AB}$  : 연직하중 ;  $l_{AB}$  : 스패;  $F_i$  : 층지진하중  
 $V_i$  : 층전단력;  $M_i$  : 층모멘트

<그림 2> 기호정의

절점으로 다룬다.

- [3] 각 층의 중량은 1,000kN으로 하며, 하중은 각 절점과 보 중앙에 연직방향의 집중하중으로 작용한다.
- [4] 기둥은 정방형의 각형단면으로 하고, 보는 H형 단면으로 한다.
- [5] 보의 소성 단면계수는 스패비에 비례하며, 같은 층의 보 춤은 같은 것으로 한다.
- [6] 보와 기둥부재의 항복응력은 동일한 325N/mm<sup>2</sup>으로 한다.
- [7] 기둥의 축력비는 0.7이하로 한다.

### 2.2 층전단력 및 층모멘트 계산

건축 강구조물의 내진설계를 위한 설계용 층전단력 분포는 "건축구조설계기준"에 준하여 계산한다.<sup>3)</sup>

여기에서, 지역계수  $A$ 는 인천지역을 고려하여 0.11, 지반종류를 SB, 중요도 계수  $I_E$ 는 연면적 1천 $m^2$ 이 상으로 공공업무시설을 고려하여 1.5로 설정하면, 내진설계범주는 "D"가 된다. 반응수정계수  $R$ 은 내진댐퍼브레이스를 가진 모멘트-저항골조 시스템이므로 5.0으로 가정하며, 전 중량  $W$ 는 구조물 총중량에 25%를 가산한 값으로 한다. 이상으로 고유주기 및 지진응답계수가 결정되며 밀면전단력이 계산된다. 계산된 밀면 전단력을 이용하여  $i$ 층의 층지진하중  $F_i$ 는 다음 식에 의해 계산한다.

$$F_i = (W_i h_i^k) / \left( \sum_{j=1}^N W_j h_j^k \right) \cdot V \quad (1)$$

여기에서,  $W_i, W_j$ 는  $i$ 층,  $j$ 층의 건축물 중량이고  $h_i, h_j$ 는 건축물의 밀면으로부터  $i$ 층,  $j$ 층까지의 높이이며,  $k$ 값은 기본진동주기  $T$ 를 고려하여 1.5로 한다. 각층 바닥위에 작용하는 층지진하중(수평력)과  $i$ 층의 층전단력  $V_i$ 의 관계는 다음 식과 같다.

$$V_i = F_i + F_{i+1} + \dots + F_N = \sum_{m=i}^N F_m \quad (2)$$

즉  $i$ 층의 층전단력은  $i$ 층보다 상부에 작용하는 층지진하중들의 총합이며 결국 각층의 중량과 1차고유주기가 부여된다면 식(2)으로부터 설계용 층전단력  $V_i$ 를 계산할 수 있고,  $i$ 층의 설계용 층모멘트  $M_i$ 는  $i$ 층의 설계용 층전단력  $V_i$ 에 층높이  $h_{i-1}$ 를 곱하여

$$M_i = V_i h_{i-1} \quad (3)$$

에 의해 계산된다. <표 1>에 계산된 설계용 층전단력 및 층모멘트를 나타낸다.

<표 1> 설계용 층전단력 및 층모멘트

층 $i$	층의 중량 (kN)	층높이 $h_{i-1}$ (m)	층의 높이 $h_i$ (m)	$W_i h_i^k$	층지진하중 $F_i$ (kN)	층전단력 $V_i$ (kN)	층모멘트 $M_i$ (kN·m)
16	1,000	4.0	64.0	512,000	252	252	1,010
15	1,000	4.0	60.0	465,000	229	481	1,930
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2	1,000	4.0	8.0	22,600	11.2	1,740	6,960
1	1,000	4.0	4.0	8,000	3.95	1,744	6,980

### 2.3 보의 필요 소성모멘트와 기둥의 분배모멘트

중앙 집중하중을 받는 보를 가진 강구조물에 있어서, 소성설계에 기초한 보의 필요 소성모멘트와 기둥의 분배모멘트(평형모멘트)의 계산에는 다음의 설계조건을 설정한다.

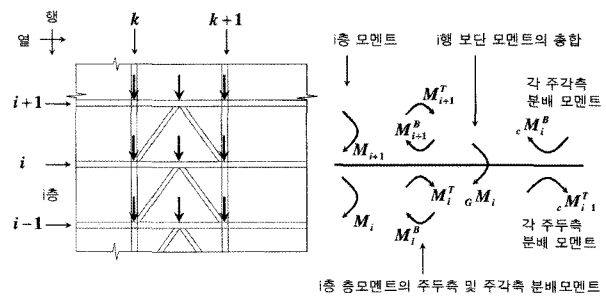
- [8] 층모멘트의 주두측과 주각측 분배비의 초기 값은 1.0 : 1.0로 한다.
- [9] 기둥-보 휨내력비  $r_{cb}$ 의 값은 1.5 : 1.0으로 한다(제1층 주각과 최상층 주두는 제외).
- [10] 보 중앙에 소성한지가 생기지 않도록 한다.
- [11] 보 G1(스팬 AB, CD)의 전소성모멘트는 보 G2(스팬 BC)의 2배로 한다(스팬길이에 비례).

#### 2.3.1 보의 필요 소성모멘트

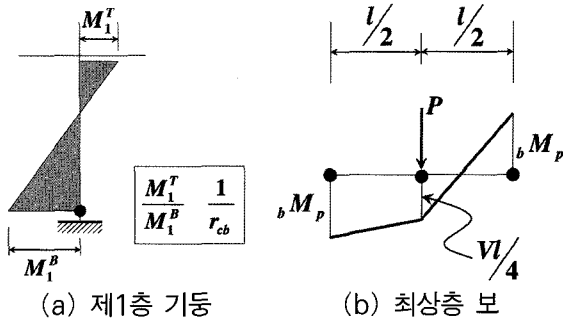
<그림 3>에 나타낸 것처럼  $i$ 층의 층모멘트  $M_i$ 의 주두측 및 주각측의 분배모멘트를 각각  $M_i^T, M_i^B$ 라고 하면, 조건[8]로부터 다음 식이 얻어진다.

$$M_i = M_i^T + M_i^B = 2M_i^T = 2M_i^B \quad (4)$$

동적인 지진 하중에 대해서 일부의 층만에 소성 변형이 집중하는 것을 피하기 위해서 기둥은 탄성역에 머물도록 고려하며, 조건[9]는 이 목적에서 가



<그림 3> 층모멘트 분배



<그림 4> 기둥 및 보의 모멘트분포

정된 것이지만 제1층 주각과 최상층의 주두는 이 적용에서 제외된다. 먼저 제1층에서는 주각측에 소성힌지 형성을 가정하여 층모멘트의 주각측과 주두측에의 분배비를 1.5 : 1.0로 할 필요가 있다. 즉 제1층의 주두측과 주각측의 분배모멘트는 다음 식에 의해 분배된다<그림 4(a)>.

$$M_1^B = \frac{r_{cb}}{1+r_{cb}} M_1 \quad (5-1)$$

$$M_1^T = \frac{1}{1+r_{cb}} M_1 \quad (5-2)$$

최상층에서 보의 모멘트 분포는 조건[10]을 고려하여 <그림 4(b)>와 같이 설정하고 있으며, 그 이유는 중앙 집중하중에 의한 소성힌지가 보 중앙에 먼저 생기는 것을 피하기 위해서이다. 이것은 반복 지진하중에 의해 집중하는 소성메커니즘에 따른 큰 잔류 처짐이 생기는 것을 방지하기 위해서이며, 이를 위해 보 중앙의 집중하중에 의한 단순보 모멘트보다 보 양단 모멘트가 크게 되도록 필요 소성모멘

트를 배분한다. i층 슬래브 보단 모멘트의 총합을 나타내면, i층 슬래브에 있어서의 평형조건은

$${}_cM_i = M_i^T + M_{i+1}^B \quad (6)$$

으로 표현된다. 보 양단에 소성힌지가 생성되는 보 전단항복형의 모멘트분포를 가정하고 보 G1, 보 G2의 전소성모멘트를 각각  ${}_bM_{AB}$ ,  ${}_bM_{BC}$ 로, 이 때의 층간변위각을  $\theta$ 로 나타내면,  ${}_cM_i$ 에 관한 평형 관계식은

$${}_cM_i = {}_bM_{AB} \times 2\theta + {}_bM_{BC} \times 2\theta + {}_bM_{CD} \times 2\theta \quad (7)$$

으로 나타내어지고, 조건[11]에 의해  ${}_bM_{AB} = 2{}_bM_{BC}$ 가 되므로  ${}_cM_i = 5{}_bM_{AB}$  또는  ${}_cM_i = 10{}_bM_{BC}$ 이 된다. 이를 이용하여 층모멘트를 분배하여 얻어진 보의 필요 소성모멘트를 <표 2>에 나타낸다.

### 2.3.2 기둥의 분배모멘트

보의 필요 소성모멘트가 계산되면, 각 기둥 옆의 각 절점에 있어서 위아래 기둥의 휨모멘트는 절점 양쪽 보의 필요 소성모멘트 합을 다음 식과 같이 분배해서 얻어지며, 이것에 의해 각 절점에서의 모멘트의 평형이 확보된다.

$${}_cM_{i-1}^T = \frac{M_{i-1}^T}{M_{i-1}^T + M_i^B} ({}_bM_1 + {}_bM_2) \quad (8-1)$$

$${}_cM_i^B = \frac{M_i^B}{M_{i-1}^T + M_i^B} ({}_bM_1 + {}_bM_2) \quad (8-2)$$

<표 2> 보의 필요 소성모멘트 및 기둥모멘트

층 i	$M_i$ (kN·m)	주두 $M_i^T$ 주각 $M_i^B$	${}_cM_i$	${}_cM_{i,A}^T$ ${}_cM_{i,A}^B$	${}_bM_{AB}$	${}_cM_{i,B}^T$ ${}_cM_{i,B}^B$	${}_bM_{BC}$	${}_cM_{i,C}^T$ ${}_cM_{i,C}^B$	${}_bM_{CD}$	${}_cM_{i,D}^T$ ${}_cM_{i,D}^B$
16	1,010	505	505	101	101	151	50.5	151	101	101
		505	1,470	101	294	151	147	151	294	101
15	1,930	963		192		289		289		192
		963		192		289		289		192
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
2	6,960	3,480	6,940	696	1,390	1,040	694	1,040	1,390	696
		3,480	6,270	696	1,250	939	627	939	1,250	696
1	6,980	2,790		558		942		942		558
		4,190		837		1,410		1,410		837

### 2.4 보 부재의 초기 단면 설계

보부재의 단면은 2.2절에서 계산된 보의 필요 소성모멘트를 이용하여 설계한다. 보는 H형 단면으로 하며, 항복응력  $\sigma_y$ 는 325N/mm<sup>2</sup>로 한다. 보의 축력은 작으므로 이를 무시하면 보의 필요 소성모멘트로부터 보의 필요 소성단면계수  $reqZ_p$ 는 다음 식에 의해 얻어지며, 이 값을 사용하여 선택한 보부재의 일례를 <표 3>에 나타낸다.

$$reqZ_p = {}_bM_p / \sigma_y \quad (9)$$

### 2.5 기둥 부재의 초기 단면 설계

기둥부재에 요구되는 모멘트  $reqM_{pX}$ 는 기둥의 분배모멘트에 따르지만 제1층과 최상층을 제외하고는  $r_{cb}(=1.5)$ 배한 값을 적용한다. 기둥 부재의 초기 단면을 선정하기 위해서는 축력을 계산할 필요가 있으며, 기둥의 연직하중에 의한 축력  $N_p$ 는 절점에 작용하는 하중은 기둥에 직접 전달되는 것으로 하고, 보 중앙에 작용하는 하중은 양쪽 기둥에 균등하게 나누어지는 것으로 계산한다. 그리고 지진하중에 의한 보의 전단력  ${}_bV$ 에 의해 기둥에 축력이 추가되고, 전단력  ${}_bV$ 는 구조물이 붕괴메커니즘을 형성할 때를 가정하면 다음 식에 의해 계산된다.

$${}_bV = 2 {}_bM_p / l \quad (10)$$

보의 전단력에 의해 추가되는 축력을  $N_B$ 로 나타내면 기둥에 작용하는 축력  $N$ 은  $N_p + N_B$ 가 된다. 축력이 작용하는 때 각형강관의 전소성모멘트  $M_{pX}$ 은

$$N/N_y \leq 0.5 \text{ 인 때}$$

$$M_{pX} / M_{pX} = 1 - 4/3 \cdot (N/N_y)^2 \quad (11-1)$$

$N/N_y > 0.5$  인 때

$$M_{pX} / M_{pX} = 4/3 \cdot (1 - N/N_y) \quad (11-2)$$

으로 계산된다. 여기에서  $M_{pX}$ 는 전소성모멘트,  $N_y$ 는 항복축력이며

$$M_{pX} = 3/2 \cdot (D - t)^2 t \sigma_y \quad (12-1)$$

$$N_y = A \sigma_y = 4(D - t)t \sigma_y \quad (12-2)$$

으로 표현되고, 식(11)과 (12)로부터 각형강관의 폭  $D$ 와 두께  $t$ 의 고차대수방정식이 얻어지며 어느 하나를 결정함으로써 단면을 정할 수 있다. 여기에서는  $D$ 를  $t$ 로 표현한다. 선택한 기둥부재의 일부를 <표 3>에 나타낸다.

$N/N_y \leq 0.5$  인 때

$$D = t + \sqrt{\frac{3}{3t\sigma_y} \left( M_{pX} + \frac{N^2}{8t\sigma_y} \right)} \quad (13-1)$$

$N/N_y > 0.5$  인 때

$$D = t + \frac{1}{8t\sigma_y} \left( N + \sqrt{N^2 + 32M_{pX}t\sigma_y} \right) \quad (13-2)$$

## 3. 내진 댐퍼 브레이스를 가진 건축 강구조물의 초기 부재단면 설계

### 3.1 내진 댐퍼 브레이스를 가진 대상구조물의 개요

구조물의 내진 성능을 향상시키기 위하여 내진 댐퍼 브레이스를 도입하며, 브레이스는 <그림 1>에

<표 3> 보 및 기둥의 설계 단면

층 i	보 AB (=CD)			보 BC			기둥 A (=D)			기둥 B (=C)		
	$reqZ_p$	$Z_p$	단면	$reqZ_p$	$Z_p$	단면	$reqM_{pX}$	$M_{pX}$	단면	$reqM_{pX}$	$M_{pX}$	단면
16	311	1,560	H-400×200×9×16	155	1,280	H-400×200×9×12	101	643	□-350×350×12	152	643	□-350×350×12
15	904	1,560	H-400×200×9×16	452	1,280	H-400×200×9×12	289	634	□-350×350×12	434	632	□-350×350×12
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2	4,270	4,270	H-600×250×12×25	2,140	2,960	H-600×200×9×19	1,040	1,240	□-500×500×19	1,490	1,560	□-500×500×19
1	3,860	3,860	H-600×250×12×25	1,930	2,960	H-600×200×9×19	837	1,120	□-500×500×19	1,410	1,490	□-500×500×19

나타낸 것과 같이 전 층의 중앙스팬에 역V형으로 배치한다. 브레이스의 설계조건은 다음과 같다.

[12] 내진 부재로서 브레이스를 가정하고, 브레이스가 구조물 수평강성의 30%를 부담하는 것으로 고려한다.

[13] 브레이스의 좌굴은 구속되어 있는 것으로 가정하며, <그림 1>에 보이는 것처럼 양방향히 같게 설계한다.

[14] 브레이스 부재의 항복응력  $\sigma_y^D$ 은 205N/mm<sup>2</sup>로 한다.

### 3.2 내진 댐퍼 브레이스의 층전단력 분담률 및 단면 가정

기둥과 보로 구성된 강구조물이 부담할 모멘트는 내진부재가 부담하는 만큼 경감되며, i층에 있어서 2개의 내진 부재가 인장력과 압축력을 견디면서 거동한다. i층 브레이스의 층전단력  $V_i^D$ 는 내진부재의 경사각을  $\alpha_i^D$ 로 하면

$$V_i^D = 2N_{yi}^D \cos \alpha_i^D \tag{14}$$

이 되고, 여기에서  $N_{yi}^D$ 는 브레이스의 축력이다. 브레이스의 층모멘트  $M_i^D$ 는 전단력  $V_i^D$ 에 층고  $h_{i-1}^i$ 를 곱한 것이므로

$$M_i^D = V_i^D h_{i-1}^i \tag{15}$$

이 된다. 내진부재가 부담할 층모멘트  $M_i^D$ 의 전 층모멘트  $M_i$ 에 대한 비율은 내진부재의 내력분담률이라 하고, 이것을 브레이스의 강성비  $\beta_i$ 로 고려한

다. 단 여기에서는 조건[12]의 가정에 따라 강성비  $\beta_i$ 를 0.3으로 하며, 댐퍼 브레이스의 단면설계는 식 (15)와 식(14)에 의한 역과정을 통하여 계산된 댐퍼 브레이스의 축력  $N_{yi}^D$ 을 이용하여 선택한다.

### 3.3 보의 단면 및 기둥의 단면 가정

구조물이 부담할 층모멘트  $M_i^F$ 는 내진부재가 부담하는 층모멘트를 뺀  $(1-\beta_i)M_i$ 이고, 이 결과를 이용하여 2장의 소성설계절차 ③부터 반복하면 내진 댐퍼 브레이스를 가진 구조물의 보 및 기둥 부재의 단면을 설계할 수 있다. 설계된 부재 단면의 일부를 <표 4>에 나타낸다. 단 기둥의 축력계산 시 브레이스에 의한 축력의 증가도 고려한다.

## 4. 지진응답해석

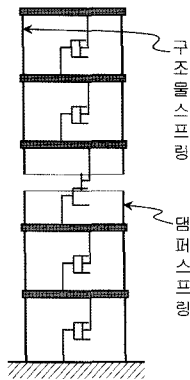
### 4.1 해석 모델과 입력 지진파

지진하중 작용 시 다층 강구조물의 가장 단순한 진동모델은 구조물의 중량을 바닥위치의 집중질량으로 간주하는 것이며, 강구조물의 동적지진응답해석을 위해 <그림 5>와 같이 전단항복형 다질점계로 모델화한다. 각 층은 구조물의 층전단력과 층간변위의 관계를 나타내는 스프링과 댐퍼계의 층전단력과 층간변위의 관계를 나타내는 스프링으로 구성되며, 스프링의 복원력특성을 완전탄소성으로 고려하면 전체 구조물의 이력거동특성은 <그림 6>과 같이 tri-linear형이 된다.

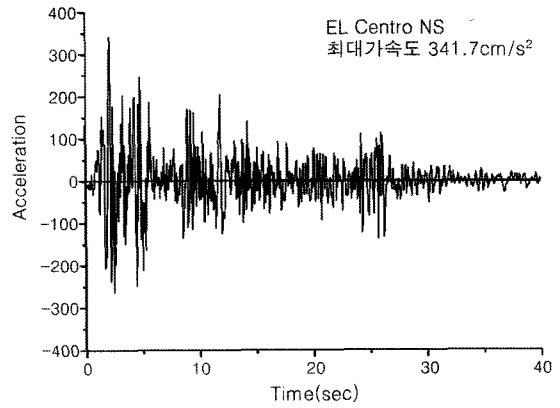
입력지진파는 <그림 7과 8>의 El-Centro NS(최대가속도는 341.7cm/s<sup>2</sup>), Kobe NTTB3 NS(최대가속도는 330cm/s<sup>2</sup>) 지진파를 이용하며 수평방향의 성분만 고려한다.

<표 4> 내진 브레이스 댐퍼를 가진 구조물의 보 및 기둥의 설계 단면

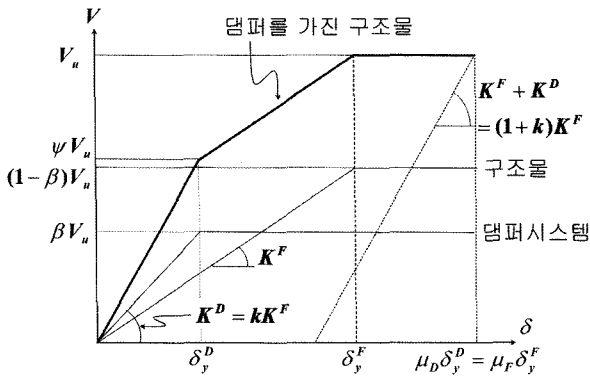
층 i	보 AB (=CD)			보 BC			기둥 A (=D)			기둥 B (=C)		
	req Z <sub>p</sub>	Z <sub>p</sub>	단면	req Z <sub>p</sub>	Z <sub>p</sub>	단면	req M <sub>pnX</sub>	M <sub>pnX</sub>	단면	req M <sub>pnX</sub>	M <sub>pnX</sub>	단면
16	218	1,560	H-400×200× 9×16	109	1,280	H-400×200× 9×12	70.7	644	□-350×350×12	106	643	□-350×350×12
15	633	1,560	H-400×200× 9×16	316	1,280	H-400×200× 9×12	202	634	□-350×350×12	304	630	□-350×350×12
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2	2,990	3,010	H-500×200×12×25	1,490	2,080	H-500×200× 9×16	731	1,010	□-450×450×19	1,040	1,120	□-450×450×19
1	2,700	3,010	H-500×200×12×25	1,350	2,080	H-500×200× 9×16	586	925	□-450×450×19	989	1,050	□-450×450×19



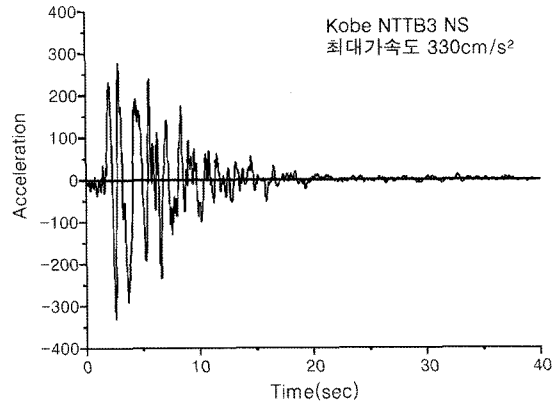
<그림 5> 전단항복형 다질점계 모델



<그림 7> EL Centro NS 지진파



<그림 6> 내진 댐퍼 브레이스를 가진 구조물의 이력 거동 모델



<그림 8> Kobe NTTB3 NS 지진파

### 4.2 브레이스를 가진 시스템의 지진응답

내진 댐퍼 브레이스를 가진 구조물의 모델에서 구조물과 브레이스의 항복 층전단력과 항복층간변위의 관계를 구한다. 먼저 구조물의 층전단력  $V_i^F$ 와 층간변위  $\delta_i$ 의 관계를 다음과 같이 나타낸다.

$$V_i^F = K_i^F \delta_i \quad (16)$$

여기에서  $i$ 층의 전단강성  $K_i^F$ 는 단면2차모멘트를 부재 길이로 나눈 값을 부재의 강도라 하면  $i$ 층 기둥의 강도합  $K_c$ 와 보의 강도합  $K_b$ 를 이용하여 식 (17-1)에 의해 구해진다. 단 제1층의 전단강성  $K_1^F$ 는 주각이 고정인 조건, 최상층의 전단강성  $K_N^F$ 는 위층의 기둥이 없음을 고려하여 중간층과 구분하여 정의한다.

$$K_i^F = \frac{12EK_b K_c}{(K_b + 2K_c)(h_{i-1}^i)^2} \quad (17-1)$$

$$K_1^F = \frac{12EK_c(12K_b + K_c)}{(12K_b + 7K_c)(h_{i-1}^i)^2} \quad (17-2)$$

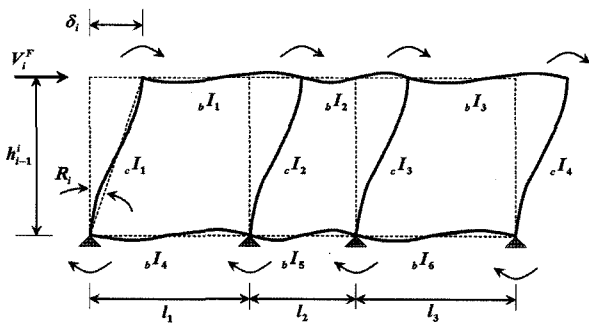
$$K_N^F = \frac{24EK_b K_c}{(2K_b + 3K_c)(h_{i-1}^i)^2} \quad (17-3)$$

여기에서, 기둥과 보의 강도합  $K_c$ ,  $K_b$ 는 <그림 9>을 참조하여 다음 식으로부터 구해진다.

$$K_c = (c_1 + c_2 + c_3 + c_4) / h_{i-1}^i \quad (18-1)$$

$$K_b = (b_1 + b_4) / l_1 + (b_2 + b_5) / l_2 + (b_3 + b_6) / l_3 \quad (18-2)$$

$i$ 층의 층전단 항복내력  $V_{yi}^F$ 는 보전단항복형을 고려하여 설계된 보 단면으로부터 2장의 보 단면 설계의 역과정을 통하여 계산되며, 이를  $i$ 층의 전단강성  $K_i^F$ 으로 나누면  $i$ 층의 항복층간변위  $\delta_{yi}^F$ 가 구해진다. 또한 전단변형에 따른 브레이스의 층전단력과 전단변형의 관계는



<그림 9> 임의 층에서의 변형상태

$$V_i^D = K_i^D \delta_{si} \quad (19-1)$$

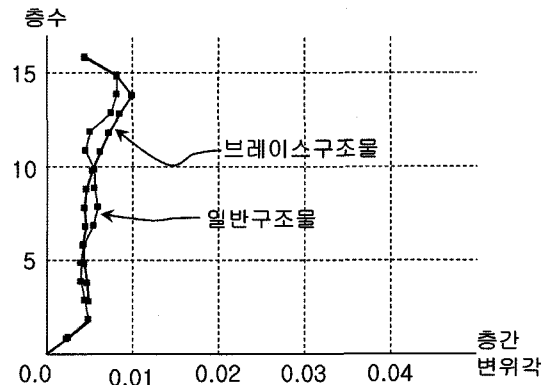
$$K_i^D = \frac{2EA_i^D}{h_{i-1}^i} \sin \alpha_i^D \cos^2 \alpha_i^D \quad (19-2)$$

$$A_i^D = \frac{\beta_i V_i}{2\sigma_y^D \cos \alpha_i^D} \quad (19-3)$$

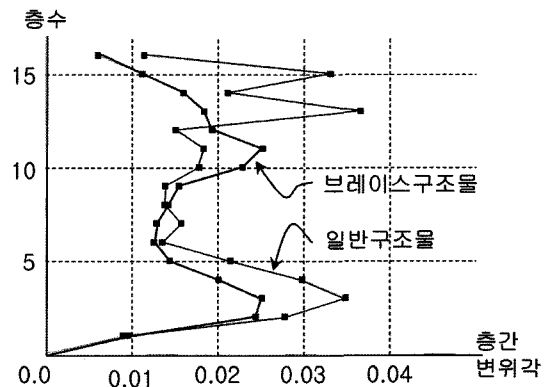
이 되고, 브레이스의 항복층간변위는 다음 식으로 계산되며, 첫 번째 항은 위식(19)으로부터 항복전단 변형에 의한 값이며, 두 번째 항은 기둥의 휨에 의한 변형을 고려한 값이다.

$$\delta_{vi}^D = \frac{h_{i-1}^i \sigma_y^D}{E \sin \alpha_i^D \cos \alpha_i^D} + \frac{2h_{i-1}^i}{E I^2} \sum_{k=1}^{i-1} \frac{h_{i-1}^k}{c A_k} \left( \sum_{m=k+1}^N \beta_m V_m h_{m-1}^m \right) \quad (20)$$

이상으로 구해진 내진 댐퍼 브레이스를 가진 구조물에 대하여 구조물과 브레이스의 항복 층전단력과 항복층간변위를 <표 5>에 나타낸다. 이 값들을 이용하여 보전단항복형의 모델에 대하여 지진응답 해석을 수행한 결과를 <그림 10과 11>에 나타낸다. <그림 10>에서 알 수 있는 것처럼 El Centro 지진파에 대한 최대층간 변위각은 내진 댐퍼 브레이스



<그림 10> 지진응답 해석결과



<그림 11> 지진응답 해석결과

의 유무에 크게 관계없이 그 거동이 안정되어 있다고 할 수 있으며, 이로써 초기 부재 단면의 가정은 타당하다고 할 수 있다.

그러나 NTTB3 지진파에 대한 응답은 <그림 11>에 나타난 것처럼 최대 층간변위가 크게 나타났고, 브레이스의 유무에 따라서도 큰 차이를 보이고 있다.

이 결과로부터 구조물은 적절한 강성비를 갖는 내진댐퍼 브레이스를 설치함으로써 부재단면 감소에 따른 경제성을 확보하고, 내진성능의 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 지진파에 따라

<표 5> 보 및 기둥의 설계 단면 (단, 브레이스를 가진 구조물)

층 i	$V_{yi}^F$ (kN)	$\delta_{yi}^F$ (mm)	$K_i^F$ (kN/mm)	$V_{yi}^D$ (kN)	$\delta_{yi}^D$ (mm)	$K_i^D$ (kN/mm)
16	1,070	92.9	11.5	75.8	29.0	9.13
15	752	75.1	10.2	145	29.0	17.4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2	1,340	63.0	21.3	522	11.4	62.9
1	1,990	45.8	43.4	523	0.83	63.1



응답에 큰 차이가 발생할 수 있다는 것과 이를 해결하기 위해서는 초기 부재 단면 선정에 있어서 더욱 신중한 고려가 필요하다는 것 또한 알 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 소성설계에 기초하여 내진 댐퍼 브레이스를 가진 건축 강구조물의 초기 부재단면을 설계하고, 지진응답해석에 의하여 초기 부재단면 설계의 타당성을 검토하였으며, 브레이스의 수평강성비에 따른 응답특성을 고려하였다. 얻어진 결과를 요약하면, 내진 댐퍼 브레이스의 강성비를 설정하고 일반적인 구조물의 설계조건을 가정함으로써 소성설계에 기초하여 초기 부재단면을 설계하는 것이 효율적임을 보였다. 또한 지진응답해석으로부터 초기 부재단면 설계의 타당성을 검증하였으며, 내진 댐퍼의 도입에 따라 내진성능을 향상시킬 수 있음을 보였다.

이상과 같이 본 논문에서는 내진 댐퍼 브레이스를 가진 구조물의 초기설계를 수행하였으나 향후 상세설계를 위해서는 기둥과 보의 접합상세, 접합부 패널의 좌굴, 브레이스의 접합상세 및 좌굴구속 방법 등에 대해서 상세한 검토가 필요하다. 또한 지진파에 따른 구조물의 거동파악 및 임의의 지진파에 대한 안정성을 확보하기 위한 브레이스의 설계방법

에 대해서도 연구가 필요하다고 판단된다.

## 참고문헌

1. 김진구, 이강준, “가새형 소성변형감쇠기의 적정 강성비 선정”, 대한건축학회, 2003. 10
2. 정명채, 윤태호, 김진구, “전단계 집중질량 모델에 의한 건물의 탄소성 지진 응답해석”, 대한건축학회, 1999. 11
3. 대한건축학회, “건축구조설계기준”, 2005
4. AISC, “Manual of steel construction, Load and resistance factor design, Third edition”, 2001
5. Fritz Engineering Laboratory Department of Civil Engineering Lehigh University, "Plastic Design of Multi-story Frames", 1965
6. 井上一朗, “建築鋼構造の理論と設計”, 京都大學學術出版社, 2003
7. 小川厚治, 多田元英, “柱梁接合部パネルの変形を考慮した静的動的応答解析プログラムの開発”, 第17回情報システム利用技術シンポジウム, 1994. 12
8. 이영호, 김상철, 김홍국, 이병해, “강구조물설계에서 부재선정의 시스템화 방법론”, 한국전산구조공학회 95 학술발표회 논문집, 1995