

# 강골조 구조물의 내진 최적설계에 의한 브레이스 부재 배치에 관한 연구

The Study on the Placements of Brace Members  
Using Optimum Seismic Design of Steel Frames

김 기 욱\*  
Kim, Ki-Wook

박 문 호\*\*  
Park, Moon-Ho

## Abstract

This study presents continuous and discrete optimum design algorithm and computer programs for unbraced and braced steel frame structures under earthquake loads. The program, which is available to perform structural analysis and optimum design, continuous and discrete, simultaneously is developed. And the program adopts various braced types, Unbraced, Z-braced(V), Z-braced(inverse-V), X-braced(A), X-braced(B), X-braced(C) and K-braced, in steel structures with static loads and seismic effects. The objectives in this optimization are to minimize the total weight of steel, and design variables, based on the ultimate strength requirements of AISC-ASD specifications, the serviceability requirements and allowable story drift requirements of ATC-3-06, and various constraints. The purpose is to present proper braced type for seismic effects by comparing and analysing results of various cases.

## 요 지

본 연구는 지진하중을 고려한 브레이스된 강골조 구조물의 연속 및 이산화 최적설계에 관한 내용이다. 구조해석과 연속 및 이산화 최적설계를 동시에 수행할 수 있는 최적설계 프로그램을 개발하여 이를 브레이스가 없는 경우, Z-형(V), Z-형(역V), X-형(A), X-형(B), X-형(C), K-형 등의 다양한 브레이스 배치형태를 사용한 강골조 구조물에 적용하였고, 정하중, 지진하중을 고려하여 해석하였다. AISC-ASD 시방규정과 ATC-3-06에 규정한 사용성, 허용층간변위 및 다양한 제약조건을 모두 만족하는 최소중량, 설계변수 등을 도출하고, 다양한 예들의 해석결과를 비교·분석하여 내진에 적합한 브레이스 배치 형태를 제시하고자 하는데 그 목적이 있다.

**Keywords :** Optimum design, Steel structure, AISC-ASD, ATC-3-06, SUMT

**핵심 용어 :** 최적설계, 강구조물, 허용응력설계법, ATC-3-06, 축차무제약최소화기법

\* 정희원, 경북대학교 방재연구소 연구원, 공학박사

\*\* 정희원, 경북대학교 토목공학과 교수, 공학박사

E-mail : ce5@korea.com 010-7979-8255

•본 논문에 대한 토의를 2005년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2005년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

강구조물은 콘크리트구조물보다 자중면에서 유리하여 경량이면서 높은 내하력이 요구되는 고층구조물에 거의 지배적인 구조형식으로 사용되고 있다. 강구조물로 축조할 경우 재료비에 비해 급속도로 상승하는 인건비의 문제를 기계화 시공 및 공장제품화에 의한 공사기간의 단축, 콘크리트 구조물 공사에서처럼 설계와 시공면에서 복잡하고 난해한 과정이 필요치 않기 때문에 건설공사의 질적 이미지 향상 및 공사관리가 용이한 장점이 있다.

이러한 장점등으로 강골조 구조물에 대한 많은 연구와 그 결과를 이용한 실구조물의 시공이 활발히 이루어지고 있으나, 지진하중을 고려한 브레이스된 강골조 구조물의 최적설계에 대한 연구는 다소 미흡한 편이다.

1998년 발표된 논문<sup>(1)</sup>에는 UBC규정에 의한 LRFD (Load Resistance Factor Design)설계였으나, 본 연구에서는 ATC-3-06 규정<sup>(4)</sup>에 의한 ASD<sup>(5)</sup> (Allowable Strength Design) 설계법으로 프로그램을 구현하여 최적설계를 수행하였으며, 다양한 브레이스 형태의 종류 및 층의 높이에 따른 효과등을 비교하였다. 얼마전 국내 대기업 APT현장에서 처음으로 ATC규정에 의해 구조안전성 검토를 수행한 것을 볼 수 있었으나, 철근콘크리트 구조물로서, 최적설계는 아니었다. 그러므로 본 연구는 ATC-3-06 규정<sup>(4)</sup>에 의한 다자유도 구조물에 대한 지진하중을 산정하여 ASD<sup>(5)</sup>설계법을 적용하여 강골조 구조물의 구조해석과 연속최적 및 이산화 최적설계를 연계하여 동시에 수행할 수 있는 최적화 프로그램을 개발하고, 이를 이용하여 브레이스가 없는 경우, Z-형(V), Z-형(역V), X-형(A), X-형(B), X-형(C), K-형 등의 다양한 브레이스 부재 형태를 사용한 강골조 구조물에 정하중 및 지진하중을 고려하여 해석하며, 다양한 예들의 결과를 비교·분석하여 내진에 적합한 브레이스 부재 배치형태를 제시하고자 하는데 그 목적이 있다. 또한 고층, 중층, 저층의 강골조 구조물에 내진설계를 적용하여 층간변위 및 횡방향 처짐을 비교하였다.

## 2. 다자유도 구조물에 대한 지진 하중 산정

ATC-3-06 규정<sup>(4)</sup>에서는 구조물의 동적특성과 총 무게에 비례하는 밀면전단력을 구하고, 이 밀면전단력으로부터 구조물의 각 층에 작용하는 층지진하중을 구한다. 그러므로 구조물에 대한 내진설계에서는 밀면전단력이 가장 중요한 과정으로 지반의 위치, 구조물의 용도, 고유진동주기, 구조방식, 유효무게 및 지반의 성질에 따라 ATC-3-06<sup>(4)</sup>에서 다음과 같은 형태로 규정하고 있다.

$$V = \frac{1.2A_v S}{RT} \frac{W}{2/3} \quad (1)$$

$$A_a = \frac{EPA}{g} \quad (2)$$

$$A_v = \frac{EPV}{30} \quad (3)$$

$$T_a = C_T \cdot h_n^{3/4} \quad (4)$$

여기서, 식(1)은 밀면전단력으로 지진하중을 등가의 정적하중으로 환산하였을 때 건물의 밀면 상부에 작용하는 지진하중의 총합을 나타낸다.  $A_v$ 는 지역계수이고,  $S$ ,  $W$ ,  $R$ ,  $T$ 는 각각 지반계수, 구조물의 전체중량, 반응수정계수, 기본진동주기를 나타낸다. 식(2)는 지역계수를 표현하며,  $A_a$ 는 유효 최대 가속도( $EPA$ )을 나타내는 지역계수로서 단주기 건물에 활용되며, 식(3)에서  $A_v$ 는 유효 최대 속도( $EPV$ )를 나타내는 지역계수로서 중·장주기 건물에 활용된다. 식(4)는 기본진동주기로서 구조형식과 재료에 따라 구분하고 있으며  $C_T$ 가 철골 구조일 때 0.035이며,  $h_n$ 은 밀면으로부터 최상층까지의 구조물의 높이(feet)를 나타낸다.

## 3. 강골조 구조의 최적화 방법

본 연구에서는 P- $\Delta$ 효과를 고려한 평면골조의 유한요소를 이용한 구조해석<sup>(2)</sup>과 동적계획법<sup>(3)</sup>과 축차무제약 최소화기법(SUMT)<sup>(3)</sup>에 의한 연속 및 이산화 최적설계를 동시에 수행할 수 있도록 하였으며, 사용된

최적설계 알고리즘은 Fig. 1과 같다.



Fig. 1 최적설계 알고리즘

### 3.1 구조시스템의 최적화 문제 형성

본 연구에서는 AISC 규격의 상용 제품인 W형강 (W4×13~W44×335)을 이용하여 이산화 최적설계를 수행하였고, 현장에서 직접 조립·제작하는 형강의 경우는 설계변수를 연속최적화 방법을 이용하여 산출하였다. 그리고 연속 및 이산화 최적화 방법은 구조물의 부재별 최적설계단면을 결정하고, 부재별 최적단면으로 구성된 전체구조가 최적화 되도록 하는 동적계획법<sup>(3)</sup>을 사용하였고, 최적화 기법은 Penalty 함수를 이용하여 무제약 최소화 문제로 변환시킨 목적함수의 최소해를 가능해의 영역안에서부터 지배적인 제약 조건의 경계부를 접근시켜 최적해를 구하는 축차무제약 최소화기법<sup>(3)</sup>(SUMT)을 사용하였다.

강골조 구조물의 전체 중량을 최소화하기 위해서 식 (5)와 같이 중량을 목적함수로 하였다.

$$\text{Obj}(x) = \rho \left[ \sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NR} (V_b)_{ij} + \sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NC} (V_c)_{ij} \right]$$

$$+ \sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NBR} (V_{br})_{ij}] \quad (5)$$

여기서,  $(V_b)_{ij}$ 는  $i$ 번째 층의  $j$ 번째 보 강재의 체적,  $(V_c)_{ij}$ 는  $i$ 번째 층의  $j$ 번째 기둥 강재의 체적,  $(V_{br})_{ij}$ 는  $i$ 번째 층의  $j$ 번째 브레이스 부재의 체적,  $NS$ 는 전체 구조물의 층 수,  $NC$ 는 한 층의 기둥의 수,  $NB$ 는 전체 구조물의 경간 수,  $NBR$ 은 한층의 브레이스 부재 수이다.

#### 3.1.1 부재의 설계 제약조건식

각각의 부재 설계시 고려해야 할 압축, 인장, 휨, 전단조건등을 AISC-ASD<sup>(5)</sup> 1989의 설계규정에 의거하여 고려하였다.

##### (1) 허용압축응력의 제약조건식

축방향 허용압축응력  $F_a$ 의 제약조건식은 식(6)과 같다.

$$G_{ij}(1) = F_a - \frac{12\pi^2 E}{23(KI/r)^2} \leq 0 \quad (6)$$

압축부재의 세장비는 AISC-ASD E1 시방규정<sup>(5)</sup>에 따라 다음의 제약조건식인 식(7)을 만족시켜야 한다.

$$G_{ij}(2) = 200 - \left(\frac{KI}{r}\right) \geq 0 \quad (7)$$

여기서,  $KI/r$ 은 세장비이다.

##### (2) 허용 인장응력의 제약조건식

축방향 허용인장응력  $F_a$ 의 제약조건식은 식(8)과 같다.(ASD D1)

$$G_{ij}(3) = F_a - 0.6F_y \leq 0 \quad (8)$$

인장을 받는 부재에서  $\frac{I}{r}$ 은 300보다 작도록 규정하고 있으며, 제약조건식은 식(9)와 같다.

$$G_{ij}(4) = 300 - \frac{I}{r} \geq 0 \quad (9)$$

(3) 허용 휨응력의 제약조건식  
 허용 휨응력은 compact 단면인 경우와 noncompact 단면인 경우로 분리되어 식(10)과 식(11)로 정식화된다.

① compact 단면인 경우

$$G_{ij}(5) = F_b - 0.66 F_y \leq 0 \quad (10)$$

② noncompact 단면인 경우

$$G_{ij}(6) = F_b - 0.60 F_y \leq 0 \quad (11)$$

(4) 허용전단응력의 제약조건식

허용 전단응력에 대한 제약조건식은

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{380}{\sqrt{F_y}} \text{인 경우 ASD(3) F4-1 시방규정으로}$$

부터 식 (12)와 같이 정식화된다.

$$G_{ij}(7) = F_v - 0.40 F_y \leq 0 \quad (12)$$

3.1.2 단면형상에 대한 제약조건식

단면형상에 사용된 설계변수는 Fig. 2와 같으며, 사용된  $b_f$ ,  $t_f$ ,  $t_w$  및  $d$ 의 단위는 inch,  $F_y$ 의 단위는  $lb/in^2$ 이다.

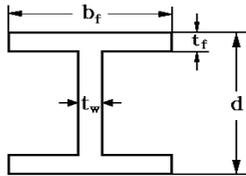


Fig. 2 형강의 단면제원

(1) 보부재의 단면형상에 관한 제약조건식은 식 (13)부터 식(16)과 같이 정식화 하였다.

$$G_{ij}(8) = (b_f)_{ij} - (b_f)_{i+1,j} \geq 0 \quad (13)$$

$$G_{ij}(9) = (d)_{ij} - (d)_{i+1,j} \geq 0 \quad (14)$$

(15)

$$G_{ij}(10) = (t_f)_{ij} - (t_f)_{i+1,j} \geq 0$$

(16)

$$G_{ij}(11) = (t_w)_{ij} - (t_w)_{i+1,j} \geq 0$$

(17)

(2) 기둥부재의 단면형상에 관한 제약조건식은 식 (17)부터 식(22)까지 정식화된다.

$$G_{ij}(12) = (b_f)_{ij} - (b_f)_{i+1,j} \geq 0$$

(18)

$$G_{ij}(13) = (d)_{ij} - (d)_{i+1,j} \geq 0$$

(19)

$$G_{ij}(14) = (t_f)_{ij} - (t_f)_{i+1,j} \geq 0$$

(20)

$$G_{ij}(15) = (t_w)_{ij} - (t_w)_{i+1,j} \geq 0$$

(21)

$$G_{ij}(16) = (b_{cf})_{ij} - (b_{bf})_{i+1,j} \geq 0$$

(22)

$$G_{ij}(17) = (d - 2t_{cf})_{ij} - (b_{bf})_{i+1,j} \geq 0$$

(23)

(3) 브레이스 부재의 단면형상에 관한 제약조건식은 식(23)부터 식(26)과 같이 정립된다.

$$G_{ij}(18) = (b_f)_{ij} - (b_f)_{i+1,j} \geq 0$$

(24)

$$G_{ij}(19) = (d)_{ij} - (d)_{i+1,j} \geq 0$$

(25)

$$G_{ij}(20) = (t_f)_{ij} - (t_f)_{i+1,j} \geq 0$$

(26)

$$G_{ij}(21) = (t_w)_{ij} - (t_w)_{i+1,j} \geq 0$$

(27)

(4) 폭-두께비에 관한 제약조건식

① compact 단면일 경우

W형강 부재가 국부좌굴이 없이 전체 강도를 발휘할 수 있는 compact 단면이 되기 위해서는 아래의 단면 폭-두께비에 관한 제약식인 식(27)을 만족하여야만 한다.(ASD<sup>(3)</sup> TABLE B5.1)

$$G_{ij}(22) = \frac{65}{\sqrt{F_y}} - \left( \frac{b_f}{2 t_f} \right)_{ij} \geq 0 \quad (27)$$

② noncompact 단면일 경우

W형강 부재가 국부좌굴이 발생하기 전까지 초기항복에 대응하도록 하는 noncompact 단면이 되기 위해서는 아래의 단면 폭-두께비에 관한 제약식인 식(28)에서 식(30)을 만족하여야만 한다.(ASD<sup>(5)</sup> TABLE B5.1)

$$G_{ij}(23) = \frac{95}{\sqrt{F_y}} - \left( \frac{b_f}{2 t_f} \right)_{ij} \geq 0 \quad (28)$$

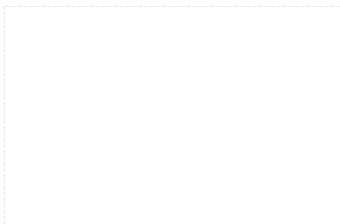
$$G_{ij}(24) = \frac{253}{\sqrt{F_y}} - \left( \frac{d}{t_w} \right)_{ij} \geq 0 \quad (29)$$

$$G_{ij}(25) = \frac{760}{\sqrt{F_y}} - \left( \frac{h}{2 t_w} \right)_{ij} \geq 0 \quad (30)$$

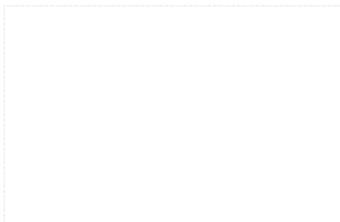
#### 4. 모델 해석 및 결과고찰

##### 4.1 브레이스 배치 형태에 따른 구분

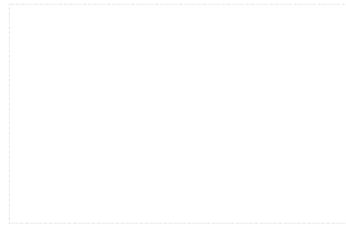
구조물 최적화를 위한 4층-2경간 강골조 구조물의 대상구조물의 형상은 Fig. 3의 (a), (b), (c), (d), (e) 및 (f)와 같고, 설계조건은 Table 1과 같으며, 브레이스는 강접(RIGID)으로 연결하였다.



(a) 브레이스 없는 경우



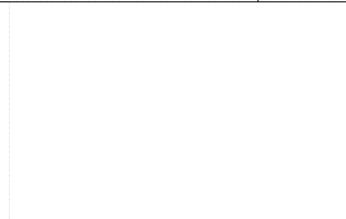
(b) Z-형(V)



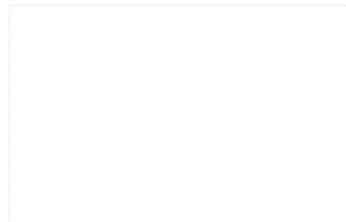
(c) Z-형(역V)

Table 1 설계조건

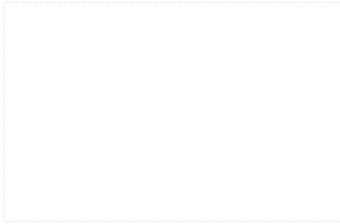
지역계수 ( $A_v$ )	0.40
기본진동주기 ( $T$ )	0.638sec
지반계수 ( $S$ )	1.5
반응수정계수 ( $R$ )	6.0
Seismicity Index	4
Seismic Hazard Exposure Group	II
Seismic Performance Category	C
$E$	29000 <i>ksi</i>
단위중량	0.283 <i>lb/in</i> <sup>3</sup>
최소항복응력	36 <i>ksi</i>
최소인장응력	65 <i>ksi</i>
고정하중	400 <i>lb/ft</i>
활하중	300 <i>lb/ft</i>



(d) X-형(A)



(e) X-형(B)



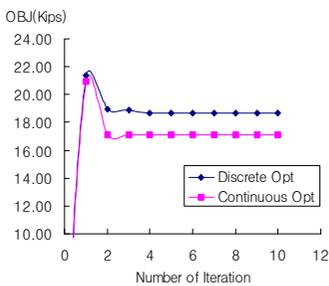
(f) X-형(C)

Fig. 3 대상구조물의 형상

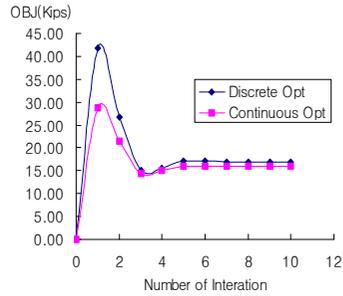
다단계 동적계획법 및 축차무제약최소화 기법(SUMT)을 이용하여 다양한 브레이스 배치 형식을 가진 강골조 구조물의 최적설계 결과를 중심으로 구조물 Type별 목적함수의 이산화 및 연속 최적화의 수렴과정은 Fig. 4의 (a), (b), (c), (d), (e), (f)와 같으며, 이산화 최적 목적함수의 종합비교는 Fig. 5와 같다.

브레이스 부재의 배치 형태에 따른 층간변위 결과는 Fig. 6과 같고, 브레이스 부재의 배치형태에 따른 수평변위 결과는 Fig. 7과 같다.

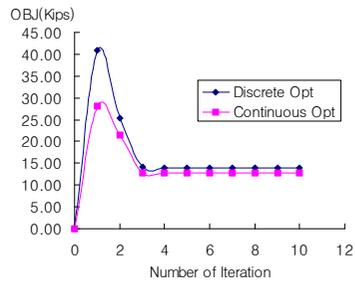
Fig. 3의 6가지 종류 브레이스 배치 형식을 갖는 4층-2경간 구조물 각각에 대한 최적설계결과 Fig. 4에서와 같이 구조물 전체의 목적함수는 이산화 최적화와 연속 최적화 모두에서 3~5회 정도의 Iteration 후 수렴하였고, 연속 최적화에 의한 최적치가 이산화 최적화에 의한 최적치 보다 6%~13% 경제적인 것으로 나타났다.



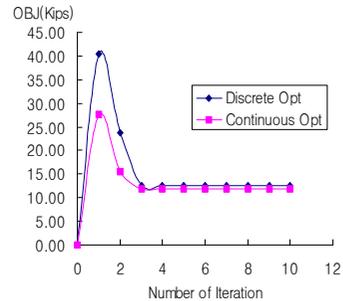
(a) 목적함수의 수렴과정(브레이스 없는 경우)



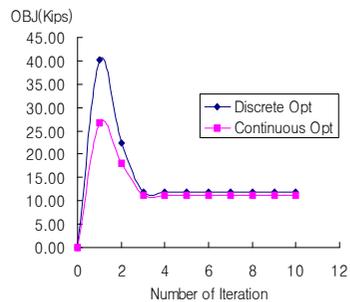
(b) 목적함수의 수렴과정(Z-형(V))



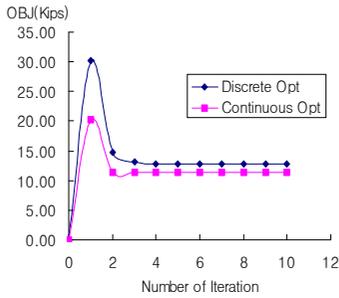
(c) 목적함수의 수렴과정(Z-형(역V))



(d) 목적함수의 수렴과정(X-형(A))



(e) 목적함수의 수렴과정(X-형(B))



(f) 목적함수의 수렴과정(X-형(C))

Fig. 4 목적함수 수렴과정

연속 최적화 알고리즘에 의한 구조물 최적화의 경우는 중량에 의한 구조재료의 경비면에서는 경제적인 것으로 나타났으나 규격화된 상용제품이 아니므로, 각 부재의 형강을 현장에서 조립·용접하여야 하는 인건비와 시공상의 문제를 고려할 경우 상용제품의 형강을 이용한 이산화 최적화 알고리즘에 의한 구조물 최적화의 경우도 필요하다. 그러므로 최적설계시 연속 최적과 이산화 최적 알고리즘을 병행하는 것이 좋은 방법이라 판단된다.

브레이스 배치 형태별 강골조 구조물의 지진하중에 대한 내진효과를 비교하기 위하여 6종류의 브레이스 배치 형태 각각에 대해 이산화 최적화에 의한 최적설계를 비교한 결과 Fig. 5와 같이 4층2경간의 경우에는 X-형(B) 구조물이 가장 경제적인 설계가 되었으며, 이어서 X-형(A), X-형(C), Z-형(역V), Z-형(V), 그리고 브레이스가 없는 경우의 순으로 최적화가 되었다. 연속 최적화의 경우에서도 동일한 결과의 순서를 보였다.

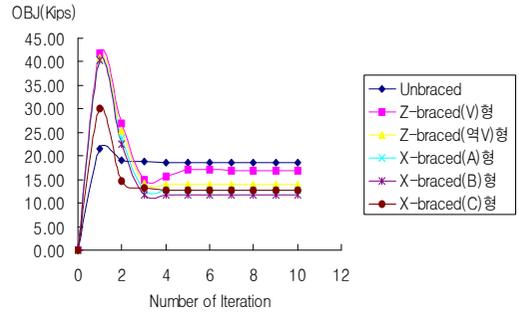


Fig. 5 이산화 최적설계 결과 종합비교

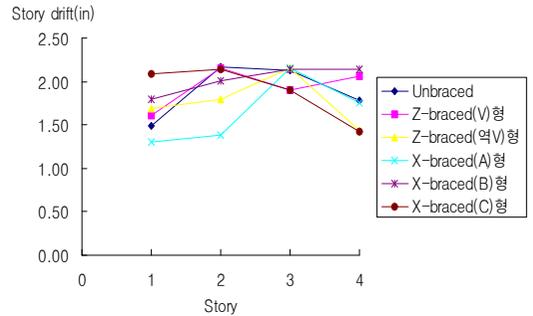


Fig. 6 브레이스 배치 형태에 따른 층간변위

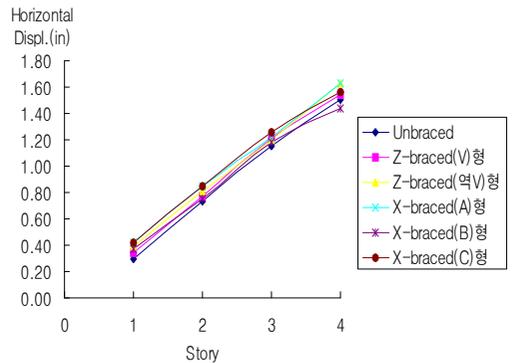


Fig. 7 브레이스 배치 형태에 따른 수평변위

Fig. 6과 같이 구조물의 최적화가 이루어진 단면에서의 각 층별 최대 층간변위의 비교에서는 X-형(A)의 구조가 가장 작은 층간변위값을 나타내었으며, 이어서 Z-형(역V) 구조가 작은 값을 나타내었다. 가장 경제적인 설계가 되었던 X-형(B)의 경우에는 각 층에서

허용기준치를 만족하며 전체적으로 고른 층간변위값을 보였다. 최대 횡방향 처짐의 결과에서는 X-형(B) 구조물의 횡방향 처짐이 가장 적은 것으로 나타났고, 브레이스가 없는 경우와 X-형(C)의 경우 횡방향 처짐과 층간변위의 거동에서 양호한 것으로 나타났으나, 브레이스가 없는 경우 다른 구조물에 비하여 기둥 단면과 보 단면이 급격하게 증가되어 가장 경제적이지 못한 설계가 되는 것을 알 수 있었다. X-형(C)의 경우는 브레이스 배치로 인한 전체 구조물의 중량을 증가시키므로 최적설계를 위한 최적의 브레이스 배치는 될 수 없는 것으로 판단된다.

#### 4.2 저·중·고층의 최적내진설계

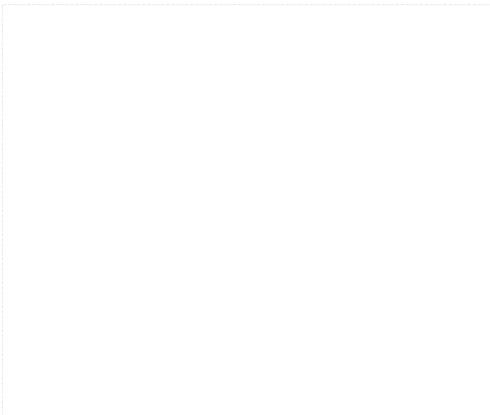


Fig. 8 저·중·고층 구조물의 형상(K-braced)

Fig. 8과 같이 K-braced된 4층·8층·15층1경간의 골조구조물에 대해 이산화 최적화를 수행한 결과 각 층별 최대 층간변위에 있어서는 Fig. 9와 같이 각각의 구조물에 대해 윗층으로 갈수록 증가하였으나 4층·8층·15층에서 같은 층의 비교에서는 고층으로 갈수록 작은 층간변위 결과를 나타내었다.

Fig. 10과 같은 각 층별 최대 횡방향 처짐에 있어서도 각각의 구조물에 대해 윗층으로 갈수록 거의 일정한 기울기로 증가하였고, 4층·8층·15층에서 같은 층의 비교에서는 고층으로 갈수록 작은 최대 횡방향 처짐의 결과를 나타내고 있다.

저·중·고층에서 다른 형태의 브레이스 배치에서도 Fig. 9와 Fig. 10과 같은 형태의 결과를 나타내었다.

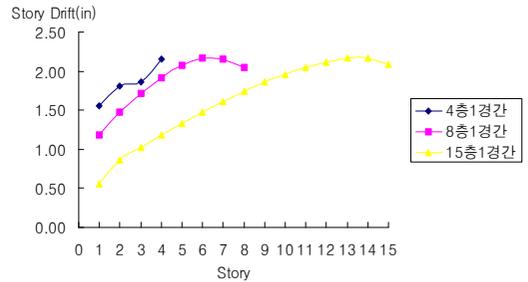


Fig. 9 저·중·고층의 각 층별 층간변위

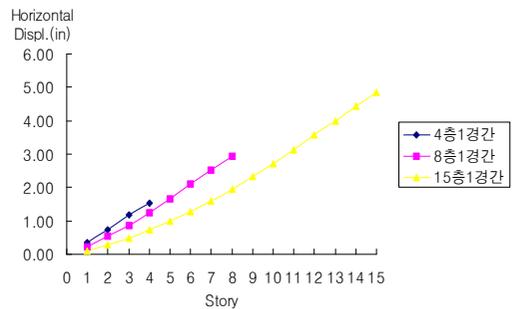


Fig. 10 저·중·고층의 각 층별 수평변위

## 5. 결 론

이상에서와 같이 지진하중을 고려한 브레이스된 강골조 구조물의 구조해석과 최적설계에 관한 연구결과와 결과고찰을 통한 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) ATC-3-06 규정<sup>(4)</sup>에 의한 다자유도 구조물에 대한 지진하중을 산정하여 ASD<sup>(5)</sup>설계법을 적용한 강골조 구조물의 구조해석과 단단계 동적계획법 및 축차무제약최소화 기법을 이용한 종합적인 연속최적 및 이산화 최적설계를 연계하여 동시에 수행할 수 있는 최적화 프로그램을 개발하였다.
- 2) 동일한 하중조건에서 4층2경간의 브레이스된 강골조 구조물의 경우는 브레이스가 없는 경우, Z-형(V), Z-형(역V), X-형(A), X-형(B), X-형(C), K-형 중에서 최적설계 결과 X-형(B)의 구조가 가장 경제적인 설계가 되었다.
- 3) 각 Type별 횡방향 처짐은 X-형(B)의 구조물이 다

---

른 Type에 비해 비교적 안정된 처짐결과를 도출하였고, 허용층간변위에서도 양호하였으며, 목적합수에서도 가장 최적인 값을 도출하여 X-형(B)의 구조물이 가장 적합한 내진설계가 됨을 알 수 있었다.

- 4) 본 연구에서 개발된 최적설계 프로그램에 대한 목적함수의 수렴은 모두 3~5회 정도의 반복과정으로 수렴하므로 매우 효율적이라 생각되고, 연속 최적화에 의한 최적치가 이산화 최적화에 의한 최적치 보다 6%~13% 경제적인 것으로 나타났다.
- 5) 강골조 구조물의 최적설계 결과 브레이스 부재가 있는 강골조 구조물은 브레이스가 없는 구조물에 비해 보나 기둥부재가 받는 모멘트를 브레이스가 흡수하여 설계 최대응력을 감소시켜 단면을 축소시킬수 있으며, 내진효과의 강성을 높이고 강골조 구조물의 단면을 최소화하기 위해서 X-형(B)와 같은 브레이스 배치가 되도록 단면을 구성하여 최적화 하여야 한다고 판단된다.
- 6) 고층, 중층, 저층에서의 층간변위 및 횡방향 처짐 비교에서는 각 층별 최대 층간변위와 횡방향 처짐에 있어서 각각의 구조물에 대해 윗층으로 갈수록 증가하였으나 4층·8층·15층에서 같은 층의 비교에서는 고층으로 갈수록 작은 층간변위와 횡방향 처짐 결과를 나타내었다.

#### 참고문헌

1. 박문호, 조창근, 김기홍, 장준호 “최적내진설계에 의한 강뼈대구조물의 브레이싱효과” 대한토목학회 논문집, 제18권, 6호, pp.829~839, 1998.
2. 허택녕 “전산구조해석”, 엔지니어즈, 1994.
3. 박문호, 조효남, 류연선, “구조물의 최적설계”, 한국전산구조공학회, 단행본, 1991.
4. ATC-3-06, “Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings”, 1984.
5. American Institute of Steel Construction’s “Allowable Stress Design and Plastic Design Specification for Structural Steel buildings”, AISC-ASD, 1989.

(접수일자 : 2004년 12월 2일)