

기둥의 강·연성축을 고려한 브레이싱된 정방형 3차원 강골조 구조물의 최적설계

Optimum Design of Braced Three Dimensional Square Steel Frame Structures Considering Arrangement of Major-minor axis of Column

김기욱*
Kim, Ki-Wook

박문호**
Park, Moon-Ho

Abstract

Most steel frame structures are constructed to one side without considering the arrangement of major-minor axis of column and bracing. This research presents more safety and economic efficiency can be obtained by just rearrangement of major-minor axis. Because most of steel-frame structures are excessively designed with Allowable Stress Design, and it needs to be changed to other specifications. The arrangement of major-minor axis of column is partly referred in AISC-LRFD, but still insufficient. This study compared with the each result from rearrangement of major-minor axis of column, arrangement of bracing, the connecting method of bracing, and consequence with different specifications. Moreover it demonstrated the direction of more economically optimized design

요 지

우리주변에서도 많이 존재하고, 현재 시공중인 강골조 구조물이 대부분 강·연성축을 고려하지 않고 일방향 쪽으로만 시공하고 있는 것이 현실이다. 이로 인하여 재료가 과다로 쓰여지고 있으며, 같은 재료를 강·연성축의 배치만 잘 하여도 구조물의 안전성과 경제성 측면에서 탁월하다는데 착안하였다. 또한, 국내 강구조물의 대부분이 허용응력설계법을 이용한 과다설계로, 다른 설계법으로의 전환이 필요하다고 생각되어 본 논문을 수행하게 되었다. 현재 기둥의 강·연성축 배열은 미국시방서 AISC-LRFD에 일부 기술되어 있을 뿐, 구체적인 효율성과 경제성에 관해서는 미흡한 상태이다. 본 연구에는 3차원 강뼈대구조물에서 기둥의 강·연성축 배치와 브레이스의 배치, 브레이스의 연결방법 및 각국의 시방코드별로 수행한 최적설계를 비교하여 보다 향상되고 합리적인 최적설계의 방향을 제시하고자 한다.

Keywords : Optimum design, Steel structure, AISC-ASD, AISC-LRFD, Major-minor axes

핵심 용어 : 최적설계, 강구조물, 허용응력설계법, 하중저항계수설계법, 강·연성축

* 정희원, 경북대학교 방재연구소 연구원, 공학박사

** 정희원, 경북대학교 토목공학과 교수, 공학박사

E-mail : E-mail: ce5@korea.com 011-524-7012

•본 논문에 대한 토의를 2004년 3월 31일까지 학회로 보내 주시면 2004년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

우리 주변에서도 많이 존재하고, 현재 시공중인 강구조물이 대부분 강·연성축을 고려하지 않고 일방향 쪽으로만 시공하고 있는 것이 현실이다. 이로 인하여 재료가 과다로 쓰여지고 있으며, 같은 재료를 강·연성축의 배치만 잘 하여도 구조물의 안전성과 경제성 측면에서 탁월하다는데 착안하였다. 또한, 국내 강구조물의 대부분이 허용응력설계법⁽⁴⁾을 이용한 설계로, 다른 설계법으로의 전환이 필요하다고 생각되어 본 연구를 수행하게 되었다. 현재 기둥에 대한 강·연성축의 배열은 미국시방서 AISC-LRFD⁽⁵⁾에 일부 기술되어 있을 뿐, 구체적인 효율성과 경제성에 관해서는 그 연구가 미흡한 상태⁽¹⁾이다. 본 연구에서는 3차원 강골조 구조물의 강·연성축을 고려하여 브레이스의 종류별 효과, 각 시방코드별⁽⁴⁾⁻⁽⁸⁾로 수행한 최적설계를 비교하여 보다 향상되고 합리적인 최적설계의 방향을 제시하고자 하였다. 본 연구에서는 부재의 강·연성축과 브레이스 배치 유형별 효과를 고려한 3차원 강골조 구조물을 해석하고 그 해석결과를 이용하여 각 나라의 시방코드별⁽⁴⁾⁻⁽⁸⁾ 규격제품의 강재로 이산화 최적설계를 하였다. 또한 브레이스의 배치유형, 브레이스 연결 방법, 그리고 기둥에 대한 강·연성축 배열을 TYPE별로 다양하게 적용하여, 3차원 강구조물의 최적 설계를 수행하였다.

2. 모델링, 구조해석 및 최적설계방법

3차원의 복잡한 구조물을 쉽고 정확하게 입력하기 위하여 입력데이터는 SAP2000⁽²⁾의 프리프로세서를 이용하였고, 구조해석과 최적설계 방법은 다음의 두가지 방법을 사용하였다.

첫번째 방법은 구조해석으로 유한요소해석 프로그램인 SAP-IV를 수정하여 이용하였고, 최적설계는 축차무제약 최소화기법(SUMT ; Sequential Unconstrained Minimization Techniques)을 사용하여 최적비용을 산출하였다. 두번째 방법으로는 SAP2000⁽²⁾으로 구조해석과 최적설계를 수행하고, 산출된 결과를 이용하여 범용 워크시트인 EXCEL 매크로기법의 프로그래밍으로

최적설계 비용을 자동적으로 계산하는 방법을 취하였다.

두 방법 모두 각 부재별 최적화 과정에서 상용제품인 AISC 형강을 사용하였으며, 형강별 단면제원을 Data Base로 저장하여 보, 기둥 및 브레이싱의 설계 제약 조건, 폭-두께비 제약 조건, 휨 전단 및 축력의 강도 제약 조건, 그리고 단면 형상에 대한 제약 조건을 모두 만족하는 최소중량의 부재별 형강을 선택하도록 하여 최적설계가 이루어지도록 하였다.

2.1 구조시스템의 최적화 문제 형성

본 연구에서는 AISC 규격의 상용 제품인 W/I형강, L형강, DOUBLE-L 형강을 이용하여 이산화 최적설계를 수행하였다. 그리고 이산화 최적화 방법은 구조물의 부재별 최적설계단면을 결정하고, 부재별 최적단면으로 구성된 전체구조가 최적화 되도록 하는 동적계획법을 사용하였고, 최적화 기법은 Penalty 함수를 이용하여 무제약 최소화 문제로 변환시킨 목적함수의 최소해를 가능해의 영역안에서부터 지배적인 제약 조건의 경계부를 접근시켜 최적해를 구하는 축차무제약 최소화기법(SUMT)을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 최적설계 알고리즘은 Fig. 1과 같다.

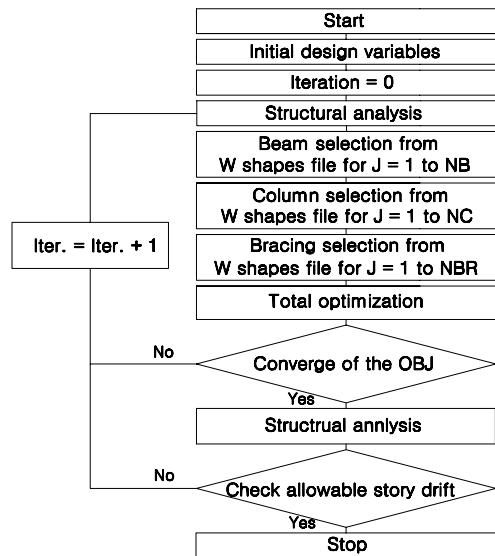


Fig. 1 최적설계 알고리즘

2.2 최적설계의 정식화

강골구조물의 전체 중량을 최소화하기 위해서 중량을 목적함수로 하였으며, 이를 정식화하면 식 (1)과 같다.

$$Obj(x) = \rho \left[\sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NB_x} \sum_{k=1}^{NB_y} (V_b)_{ijk} + \sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NC_x} \sum_{k=1}^{NC_y} (V_c)_{ijk} + \sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NBR_x} \sum_{k=1}^{NBR_y} (V_{br})_{ijk} \right] \quad (1)$$

여기서,

$$(V_b)_{ijk} = (A_b)_{ijk} \cdot (L_b)_{ijk} \quad (2)$$

$$(V_c)_{ijk} = (A_c)_{ijk} \cdot (L_c)_{ijk} \quad (3)$$

$$(V_{br})_{ijk} = (A_{br})_{ijk} \cdot (L_{br})_{ijk} \quad (4)$$

이고, $(V)_{ijk}$, $(A)_{ijk}$, $(L)_{ijk}$ 는 i 번째 층의 j 번째 (x 방향), k 번째(y 방향) 강재의 체적, 면적, 길이이며, 아래첨자 b , c , br 은 보, 기둥, 브레이스 부재를 나타낸다. 그리고, NS 는 구조물 층의 수이고, ρ 는 강재의 단위중량이다. NB_x , NC_x , NBR_x 는 x 방향에 대한 한층의 보, 기둥, 브레이스 부재수이고, NB_y , NC_y , NBR_y 는 y 방향에 대한 한층의 보, 기둥, 브레이스 부재수이다.

2.2.1 부재의 설계 제약조건식

각각의 부재 설계시 고려해야 할 압축, 인장, 휨, 전단조건등을 AISC-ASD⁽⁴⁾ AISC-LRFD⁽⁵⁾, BS⁽⁷⁾(영국), CISC⁽⁶⁾(캐나다), EUROCODE⁽⁸⁾(유럽코드)의 설계규정에 의거하여 고려하였다. AISC-ASD⁽¹⁾1989 설계규정에 의한 제약조건식은 다음과 같으며, 나머지 설계규정⁽⁵⁾⁻⁽⁸⁾에 의한 제약조건식도 아래와 같은 절차로 산출하면 된다.

(1) 허용압축응력의 제약조건식

축방향 허용압축응력 F_a 의 제약조건식은 식 (2)와 같다.

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

압축부재의 세장비는 AISC-ASD⁽⁴⁾ E1 시방규정에 따라 다음의 제약조건식인 식(3)을 만족시켜야 한다.

$$G_{ij}(2) = 200 - \left(\frac{KL}{r}\right) \geq 0 \quad (3)$$

여기서, KL/r 은 세장비이다.

(2) 허용 인장응력의 제약조건식

축방향 허용인장응력 F_a 의 제약조건식을 정식화하면 식 (4)와 같다.(ASD⁽⁴⁾ D1)

$$G_{ij}(3) = F_a - 0.6F_y \leq 0 \quad (4)$$

인장을 받는 부재에서 $\frac{L}{r}$ 은 300보다 작도록 규정하고 있으며, 제약조건식은 식(5)와 같다.

$$G_{ij}(4) = 300 - \frac{L}{r} \geq 0 \quad (5)$$

(3) 허용 휨응력의 제약조건식

허용 휨응력은 식 (6)과 같이 정식화된다.

$$G_{ij}(5) = F_b - 0.66 F_y \leq 0 \quad (6)$$

(4) 허용전단응력의 제약조건식

허용 전단응력에 대한 제약조건식은 ASD⁽⁴⁾ F4-1 시방규정으로부터 $\frac{h}{t_w} \leq \frac{380}{\sqrt{F_y}}$ 인 경우 식 (7)과 같이 정식화된다.

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

2.2.2 단면형상에 대한 제약조건식

단면형상에 사용된 W/I형상의 설계변수는 Fig. 2와 같으며, 사용된 b_f , t_f , t_w 및 d 의 단위는 inch

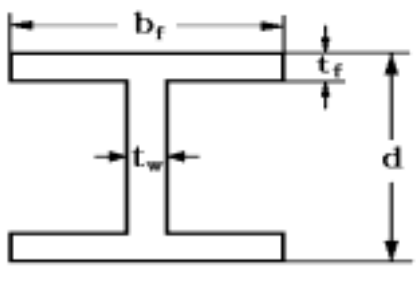


Fig. 2 W/I형강의 단면제원

이고, F_y 의 단위는 lb/in^2 이다. L형강, DOUBLE-L형강의 설계변수와 단면형상에 대한 제약조건식도 같은 방식으로 구하면 된다.

(1) 보의 단면형상에 대한 제약조건식 보부재의 단면형상에 관한 제약조건식은 식 (8)부터 식 (11)과 같이 정식화 하였다.

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

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

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

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

(2) 기둥의 단면형상에 대한 제약조건식 기둥부재의 단면형상에 관한 제약조건식은 식 (12)부터 식 (17)까지 정식화된다.

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

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

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

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

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

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

(3) 브레이스 부재의 단면형상에 대한 제약조건식 브레이스 부재의 단면형상에 관한 제약조건식은 식 (18)부터 식 (21)과 같이 정립된다.

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

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

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

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

(4) 폭-두께비에 관한 제약조건식 폭-두께비에 관한 제약식은 식 (22)를 만족하여야 한다.(ASD(4) TABLE B5.1)

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

3. 적용예제 및 결과고찰

3.1 대상 구조물의 적용예제

적용예제는 4층(z축) 4경간(x·y축)인 3차원 강골 구조물로서, 층간 높이는 3m(z축)를 적용하였고 경간길이는 6m(x·y축)를 사용하였다. 그리고, 기둥과 보 부재단면으로 AISC 규격 총 353개의 W/I 형강을 사용하였으며, 브레이스 부재로는 AISC 규격의 W/I 형강과 L형강, DOUBLE-L형강으로 총 898개 형강재를 사용하였다.

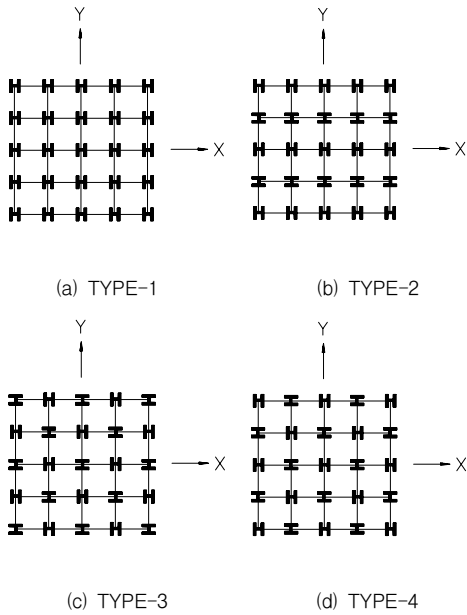


Fig. 3. 기둥배치도(X-Y평면도)

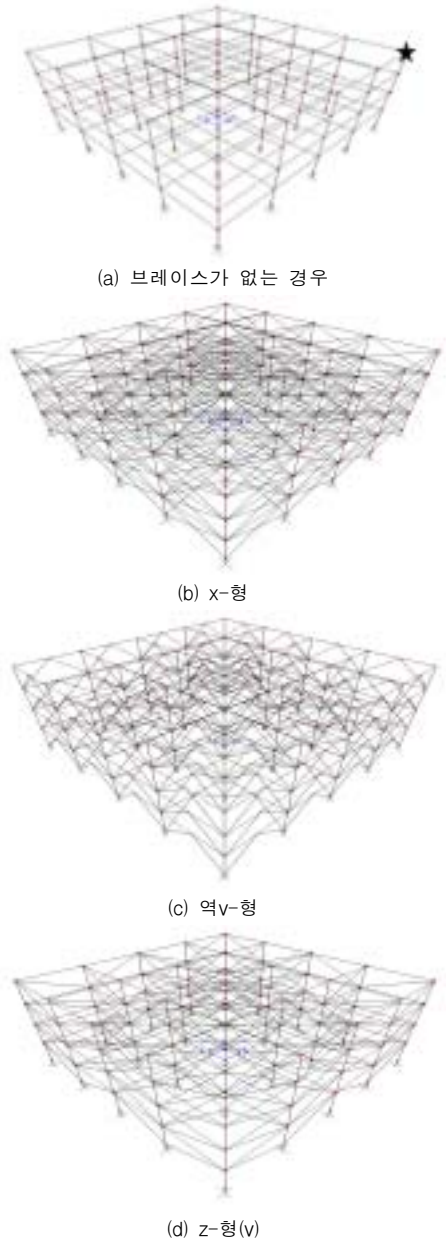
Fig. 3은 강·연성축을 고려한 기둥배치도이다. 여기서, TYPE-1은 한쪽의 강성축 방향으로만 기둥을 배치하였고, TYPE-2는 강성축으로 한줄씩 기둥배치를 하였으며, TYPE-3은 가운데 기둥을 중심으로 교번으로 강성축을 배열하였으며, TYPE-4는 TYPE-3번과 반대로 강성축을 배열하였다.

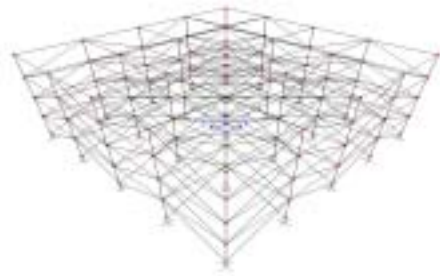
대상구조물에 적용한 설계조건은 Table 1과 같으며 연성축을 고려하기 위하여 X축·Y축방향으로 같은 크기의 등가수평하중을 적용하였고, 모든 구조물에 동일 하중을 가하였으며 사용된 모든 부재의 자중을 포함하였다.

Table 1 설계조건

E	29000 ksi
비 중	0.283 lb/in ³
최소항복응력	36 ksi
최소인장응력	65 ksi
고정하중	400 lb/ft
활하중	300 lb/ft

3차원 강골조 구조물을 브레이스 배치 유형별로 구분하여 Fig. 4와 같이 모델링하였고, 브레이스의 연결 방법도 강접(rigid) 연결과 힌지(Hinged) 연결로 구분하여 각각 모델링한 후 구조해석과 최적설계를 수행하였다.





(e) z-형(역V)

Fig. 4 브레이스 배치 유형별 분류

3.2 유형별 최적결과 고찰

3.2.1 브레이싱 없는 구조물의 최적설계 결과

기둥의 강·연성축 배치를 유형별로 구분하여 구조 해석과 최적설계 후 최적단면이 선택된 260개 부재를 정리하면 Table 2와 같다. 여기서, 각도 90(°)은 기둥부재가 90도로 축이 회전되어 있는 것을 나타낸다.

Table 2 기둥의 강·연성축 배열에 따른 최적설계 결과(브레이싱이 없는 경우)

구분		TYPE-1		TYPE-2		TYPE-3		TYPE-4	
FRAME번호	길이	SECTION	각도(°)	SECTION	각도(°)	SECTION	각도(°)	SECTION	각도(°)
1	3	W40X268	0	W30X173	0	W30X191	90	W30X191	0
2	3	W14X176	0	W14X132	0	W14X145	90	W14X145	0
3	3	W14X120	0	W14X90	0	W14X99	90	W14X99	0
4	3	W12X65	0	W12X53	0	W12X58	90	W12X58	0
5	3	W40X268	0	W40X244	90	W30X191	0	W40X199	90
6	3	W14X211	0	W27X161	90	W14X159	0	W27X161	90
7	3	W14X145	0	W24X117	90	W24X131	0	W24X131	90
8	3	HP13X87	0	W16X67	90	W12X79	0	W18X76	90
}	}	}	}	}	}	}	}	}	}
257	6	W27X114	0	W27X94	0	W27X102	0	W24X76	0
258	6	W30X99	0	W21X101	0	W21X101	0	W18X76	0
259	6	W27X84	0	W14X90	0	W18X86	0	W16X67	0
260	6	W12X58	0	W12X65	0	W16X67	0	W10X49	0
총부피 (M3)		23.979		23.385		22.127		22.127	
총중량(Tonf)		187.839		183.186		173.333		173.333	
비율 (%)		108.37		105.68		100.00		100.00	

Table 3 기둥의 강·연성축 배열에 따른 절점의 변형 결과(브레이싱이 없는 경우)

절점	구분	단위	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4
JOINT 5	X-방향	mm	7.573	9.734	13.348	13.203
	Y-방향	mm	30.591	13.512	13.203	13.348
	Z-방향	mm	0.209	0.241	0.192	0.192

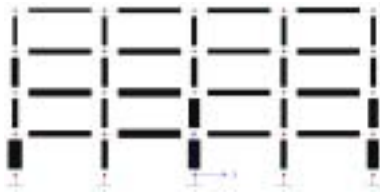
이산화 최적설계 결과 선택된 부재의 총 부피를 구한 후 강재의 단위중량을 곱하면 강골구조물의 총중량을 구할 수 있으며, TYPE-4의 최적비용을 100(%)로 하여 TYPE별 상대적인 값을 비율로 표기하였다. 여기서 경간수가 같은 정방형의 강골구조물의 경우 기둥을 강·연성축으로 교번 배치하면, 강·연성축 기둥을 한쪽 방향으로 편향적으로 기둥을 배치한 경우보다 약 8% 정도 재료경비의 절감효과를 나타냄을 알 수 있다.

또한 Fig. 4(a)에 ★표시된 절점(joint 5)의 변형 결과를 정리하면 Table 3과 같다. 여기서 나타난 결과와 같이 교번으로 기둥을 배치한 TYPE-4의 경우 X·Y축 어느 방향으로도 13mm 정도의 변형을 수반한 안정적인 성향을 나타내고 있으나, 한쪽의 강성축 방향으로만 기둥을 배치한 TYPE-1의 경우는 강성축으로 7.6mm, 연성축으로 31mm 정도의 변형을 보여, 상대적으로 약한 연성축 방향으로 문제가 발생할 가능성이 TYPE-4의 경우보다 월등히 높음을 알 수 있다.

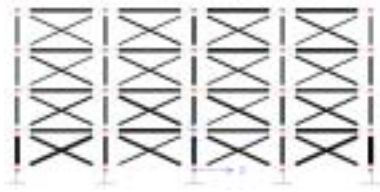
이는 정방형의 3차원 강골조 구조물에서 기둥을 강·연성축으로 교번 배치할 경우, 세로축 방향과 가로축 방향의 층간변위와 절점부의 강성이 상호 보완적으로 안정화되어 3차원 강골조구조물이 구조적으로 안정된 균형을 갖게 됨을 알 수 있었다.

3.2.2 최적설계 결과 산출된 대표단면

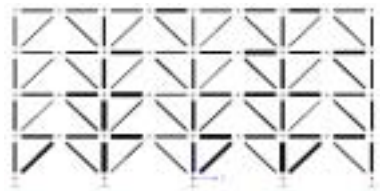
Fig. 5는 브레이스 배치 유형별 3차원 강골조구조물의 최적결과 X-Z평면상의 대표단면을 나타낸 것이다. 선의 굵기는 선택된 강재의 크기를 나타낸 것으로 대체로 아래층으로 갈수록 강재의 규격이 큰 것이 사용됨을 볼 수 있다.



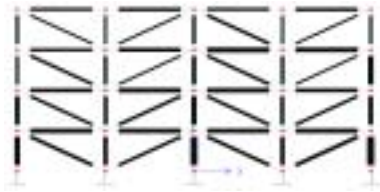
(a) 브레이스가 없는 경우



(b) x-형



(c) 역v-형



(d) z-형(v)



(e) z-형(역v)

Fig. 5 최적결과(X-Z평면 : 대표단면)

3.2.3 기둥의 강·연성축 배열과 브레이스 연결 방법에 따른 최적설계 결과

Table 4는 브레이스 배치 유형 및 브레이스 접합 방법에 따라, 그리고 각국의 시방(4,5,6,7,8)코드별로 최적설계 값을 산출한 것으로 재료경비가 다양하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. Table 4와 Table 5에서 TYPE-2, TYPE-3의 최적설계 결과는 지면관계상 생략하였다.

Table 4에 나타난 바와 같이 정방형 구조물일 경우 브레이스 배치 유형을 기준으로 볼 때 최적설계 비용이 역v-형, x-형, z-형(역v), z-형(v), 브레이스가 없는 경우의 순서로 나타났다. 그리고, 브레이스가 없는 경우의 AISC-ASD⁽⁴⁾ TYPE-1에 비해 역v-형의 AISC-LRFD⁽⁵⁾ TYPE-4의 경우 재료경비를 70% 정도 줄일 수 있었다.

강·연성축의 교번배열을 고려한 구조물은 어느 축의 방향으로도 취약한 부분이 적으며, 이는 브레이스가 있는 구조물에도 다소 비슷한 효과가 발생하였다. 브레이스 된 구조물의 경우에는 연성축쪽으로 큰 브레이스 부재가 자동 선택 되었기 때문에 강·연성축 배열의 효과가 상쇄되는 것으로 나타났으나, 같은 크기의 브레이스 부재를 사용할 경우 강·연성축의 교번 기둥배열이 구조물의 안전성 및 경제성에 탁월한 효과가 나타났다. 그리고, 브레이스가 있는 경우에는 브레이스 연결을 강접보다는 모멘트하중에 자유로운 힌지 거동을 하는 구조물이 유리하게 나타났으나 최적설계값의 차이는 크지 않았다.

Table 4 최적설계결과 : (총재로중량) 단위 : Tonf

브레이스 배치 유형	브레이스 연결방법	TYPE	시 방 코 드 별				
			AISC-ASD	AISC-LRFD	BS5950	CISC	EUROCODE
(a) 브레이스 없는 경우		TYPE-1	187.839	122.612	141.324	125.986	132.768
		TYPE-2	183.186	121.851	136.609	125.124	132.403
		TYPE-3	173.333	115.797	129.769	114.569	128.299
		TYPE-4	173.333	115.797	122.879	120.281	128.299
(b) x-형	RIGID	TYPE-1	118.440	86.355	79.040	86.525	92.705
		TYPE-4	118.263	86.367	78.944	86.531	91.581
	HINGE	TYPE-1	116.511	85.777	76.060	86.559	89.888
		TYPE-4	116.361	85.792	78.944	86.531	91.582
(c) 역v-형	RIGID	TYPE-1	88.935	62.191	62.491	60.999	64.235
		TYPE-4	88.863	62.068	62.610	60.918	64.192
	HINGE	TYPE-1	77.609	56.590	55.712	55.536	58.552
		TYPE-4	77.582	56.561	55.762	55.422	58.668
(d) z-형(v)	RIGID	TYPE-1	119.157	85.206	81.725	82.483	88.393
		TYPE-4	119.887	85.558	82.153	83.324	88.387
	HINGE	TYPE-1	114.295	83.305	78.239	80.544	84.932
		TYPE-4	115.839	83.723	78.093	80.492	85.287
(e) z-형(역v)	RIGID	TYPE-1	119.992	85.571	82.228	82.777	88.821
		TYPE-4	120.100	86.169	82.218	82.924	89.209
	HINGE	TYPE-1	114.726	83.366	78.671	81.114	85.247
		TYPE-4	114.470	83.542	78.539	80.902	85.592

Table 5 최적설계결과 : AISC-ASD를 100(%)으로 볼 때의 시방코드별 백분율 단위 : (%)

브레이스 배치 유형	브레이스 연결방법	TYPE	시 방 코 드 별				
			AISC-ASD	AISC-LRFD	BS5950	CISC	EUROCODE
(a) 브레이스 없는 경우		TYPE-1	100.000	65.275	75.237	67.071	70.682
		TYPE-2	100.000	66.518	74.574	68.305	72.278
		TYPE-3	100.000	66.806	74.867	66.098	74.019
		TYPE-4	100.000	66.806	70.892	69.393	74.019
(b) x-형	RIGID	TYPE-1	100.000	72.910	66.734	73.054	77.427
		TYPE-4	100.000	73.029	66.753	73.168	77.439
	HINGE	TYPE-1	100.000	73.621	65.282	74.292	77.150
		TYPE-4	100.000	73.729	67.844	74.364	78.705
(c) 역v-형	RIGID	TYPE-1	100.000	69.928	70.266	68.589	72.226
		TYPE-4	100.000	69.847	70.457	68.553	72.237
	HINGE	TYPE-1	100.000	72.812	71.785	71.558	75.445
		TYPE-4	100.000	72.905	71.874	71.436	75.621
(d) z-형(v)	RIGID	TYPE-1	100.000	71.507	68.586	69.222	74.182
		TYPE-4	100.000	71.366	68.526	69.503	73.725
	HINGE	TYPE-1	100.000	71.314	68.528	68.986	74.023
		TYPE-4	100.000	71.748	68.458	69.046	74.278
(e) z-형(역v)	RIGID	TYPE-1	100.000	72.665	68.573	70.702	74.305
		TYPE-4	100.000	72.982	68.611	70.676	74.773
	HINGE	TYPE-1	100.000	72.886	68.454	70.471	74.309
		TYPE-4	100.000	72.276	67.415	69.486	73.626

Table 5는 AISC-ASD의 최적값을 100으로 볼 때 각 시방코드별 최적설계값을 백분율로 나타낸 것으로 AISC-ASD⁽⁴⁾보다 AISC-LRFD⁽⁵⁾, BS⁽⁷⁾(영국), CISC⁽⁶⁾(캐나다), EUROCODE⁽⁸⁾(유럽코드)의 최적설계값이 거의 모든 구조물에서 65%~75%정도로, 평균 30% 정도의 재료절감의 효과가 있었다. 현재 국내 강구조물은 거의 대부분 허용응력설계법을 채택하고 있는 실정이므로, 다른 선진 각국의 설계규정⁽⁴⁾⁻⁽⁸⁾을 비교·검토하여 하중저항계수설계법이나 한계상태설계법에 대한 연구도 활발히 진행시켜 나가야 할 것으로 판단된다.

3. 결 론

기둥부재의 강·연성축 배열구성 및 브레이스 의 형태 및 연결방법을 고려하고, 각 나라별 시방규준⁽⁴⁾⁻⁽⁸⁾에 근거하여 규격제품의 AISC 강재로 3차원 강구조물의 이산화 최적설계를 수행하였다. 본 연구에서 수행한 3차원 강구조물의 이산화 최적설계에 적용된 예 들을 중심으로 요약하면 다음과 같다.

- 1) 정방형의 강골구조물은 기둥을 강·연성축으로 교번 배치할 경우, 강·연성축을 고려하지 않고 기둥을 한쪽 방향으로 편향적으로 배치한 경우 (TYPE-1)보다 8.4%정도의 재료경비의 절감효과를 보여주었다.
- 2) 브레이스 형식면을 기준으로 볼 때 정방형 3차원 구조물일 경우 역v-형, x-형, z-형(역v), z-형(v), 브레이스가 없는 경우의 순으로 최적비용이 적게 나타났다. 지진하중과 같은 수평하중이 작용할 경우를 가정하여 브레이스가 없을 경우는 기둥의 배치를 강·연축의 교번배치를 제안하며, 브레이스가 있는 경우에는 브레이스 연결을 강접보다는 모멘트하중에 자유로운 힌지거동을 하는 구조물이 유리하게 나타났다. 브레이스된 구조물의 경우에는 기둥부재의 강·연성축 배열 효과를 브레이스 부재가 대신하기 때문에 브레이스를 연성축 쪽으로 큰 부재를 사용할 것을 제안한다. 또한 같은 크기의 브레이스 부재를 사용하려면 강·연성

축의 배열을 고려하여 교번으로 배치할 것을 제안한다.

- 3) 각 나라별 시방규준에 근거하여 최적설계를 수행한 결과 AISC-ASD⁽⁴⁾(허용응력설계법)보다 AISC-LRFD⁽⁵⁾, BS⁽⁷⁾(영국), CISC⁽⁶⁾(캐나다), EUROCODE⁽⁸⁾(유럽코드)가 거의 모든 구조물에서 평균 30%정도로 재료절감의 효과가 있었다.

단위 환산

$$1 \text{ lb}=0.4536 \text{ kgf}, 1 \text{ in}=2.54 \text{ cm}, 1 \text{ ft}= 12 \text{ in}$$

$$1 \text{ ksi}=1,000 \text{ psi}=1,000 \text{ lb/in}^2$$

참고문헌

1. 박문호, 김기욱, 류홍렬, '약·강성축을 고려한 3차원 강 뼈대구조물의 최적설계' 대한토목학회, pp. 747~750, 학술논문발표회, 2000.
2. SAP2000 Reference, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, 1997.
3. 박문호, 조효남, 류연선, "구조물의 최적설계," 한국전산구조공학회, 단행본, 1991.
4. American Institute of Steel Construction's "Allowable Stress Design and Plastic Design Specification for Structural Steel buildings" , AISC-ASD, 1989.
5. American Institute of Steel Construction's "Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings" , AISC-LRFD, 1999.
6. Canadian Institute of Steel Construction's "Limit States Design of Steel Structures", CAN/CSA-S16.1-94, CISC, 1995.
7. British Standards Institution's "Structural Use of Steelwork in Building" , BS5950, BSI 1990.
8. European Committee for Standardization's "Eurocode 3 , Design of Steel Structures- Part 1.1 , General Rules and rules for buildings" , ENV 1993-1-1, CEN 1992.

(접수일자 : 2004년 2월 2일)