

# 재분배기법을 이용한 강구조물의 강성설계법

## Stiffness Design Method of Steel Structures using Resizing Techniques

안 선 아<sup>1)</sup> · 박 호 선<sup>2)</sup>  
*Ahn, Sun A Park, Hyo Seon*

**요 약** : 강구조물의 강성설계법을 실용적인 변위조절법인 구조물량재분배기법과 강도설계법을 결합하여 개발하였다. 본 연구에 사용된 재분배기법은 최적화기법에 의하여 유도되었으며, 최적화문제의 에너지이론에 근거한 부재변위기여도를 이용하여 정식화되었다. 이러한 재분배기법에 의한 변위조절은 설계민감도계수의 계산 그리고 구조재해석을 필요로 하지 않는 특성을 가지고 있다. 변위조절을 위한 구조물량의 재분배에 의한 부재응력의 재분배 효과는 허용응력설계법에 준한 강도설계모듈에 의하여 조절되었다. 개발된 강성설계법을 3차원 트러스 구조물의 설계에 적용하였다.

**ABSTRACT** : The stiffness design method is presented as a drift control model of steel structures and applied to design of space trusses subjected to stress and displacement constraints. The stiffness design method is developed by integrating the resizing techniques for an effective drift control algorithm with the strength design process according to the commonly used design specifications such as allowable stress design. In the resizing technique the amount of material to be modified depends on the member displacement participation factors and is determined by an optimization technique. Using the stiffness design method, a structural design model for steel structures is proposed and applied to two verifying examples. As demonstrated in the examples, the displacement of the structures can be effectively controlled without expensive computational cost.

**핵심용어** : 강성 설계법, 최적 설계, 변위제어, 재분배법

**KEYWORDS** : Stiffness design method, Optimum design, Drift Control, Resizing Technique

---

1) 학생회원, 영남대 대학원 석사과정  
2) 정회원, 영남대 건축공학과 전임강사, 공학박사

---

본 논문에 대한 토의를 1998년 9월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

구조설계시 고려하는 제약조건은 기본적으로 부재 및 접합부의 강도와 구조물의 사용성에 대한 두 가지로 구성된다. 그러므로 이러한 요구조건들을 반복적으로 만족시키는 과정인 구조설계는 강도설계와 강성설계의 두 단계로 나누어 생각할 수 있다.

작용하중에 의한 부재 및 접합부의 강도를 조절하는 강도설계는 부재 및 접합부의 허용응력(허용응력설계법) 또는 설계강도(하중저항계수설계법)가 구조해석 결과에 의한 작용응력 및 소요강도를 초과하도록 부재 및 접합부의 단면성능을 선택하는 반복과정이다. 이러한 강도설계는 구조해석 결과를 직접 이용하여 강도에 대한 요구조건을 만족시킬 수 있다.

강도설계와는 달리 강성설계는 건물의 소요 기능을 확보하기 위하여 구조물의 반응을 조절하는 설계과정으로 정의될 수 있으며 조절 대상 반응은 과도한 국부 손상, 과도한 처짐 및 회전, 과도한 진동 등으로 분류할 수 있다. 이러한 조절 대상 반응 중, 과도한 국부 손상은 국부좌굴 및 국부항복에 관련한 반응으로 기존의 강도설계 규준에 의하여 직접 조절이 가능하다. 그러나 구조물의 처짐 및 회전 그리고 진동에 대한 요구조건을 만족시키는 강성설계는 강도설계(구조해석 결과를 이용하여 특정부재의 단면성능을 직접 조절)의 경우와는 달리 구조해석 결과에서 반응조절에 대한 정보를 직접 얻을 수 없으므로 설계자의 경험에 의존하는 기존의 설계과정으로는 합리적인 강성설계를 기대하기 힘들다. 또한 강성설계의 대상인 구조물의 반응에 대한 한계 값 자체도 구조물의 형식, 건물의 용도, 그리고 사용자의 반응에 영향을 받고, 기존의 규준에서는 규정되어 있지 않으므로 일반적으로 건물 사용자의 요구에 의한 설계 시방으로 표현된다.

최근 들어 구조물의 규모가 커지고 층수가 많아짐에 따라 강성설계가 구조설계 전체에 미치는

영향이 증가하고 있으며 강성설계의 과정 및 결과가 구조설계업무의 효율성과 경제성을 결정하게 되는 경우가 증가하고 있다. 특히, 고층건물의 경우 수평하중에 의한 과도한 횡방향 처짐이나 층간 변위의 조절이 최종 구조설계를 결정하게 되므로 반복 해석 수의 증가에 따른 인력손실은 물론 소요 강성확보를 위해 추가로 사용되는 강재 물량의 무계획적 손실을 초래할 수 있다.

본 연구에서는 강재물량의 재분배에 의한 실용적인 변위조절설계법을 정식화하고 이를 허용응력설계법에 의한 강도설계 모듈과 결합하여 효율적인 강구조물의 강성설계법으로 개발하고자 한다. 그리고 개발된 강성설계법의 실용성과 효율성은 기존의 H, L, C형강을 이용한 3차원 입체트러스 구조물의 설계에 적용하여 평가한다.

## 2. 변위조절 설계법

구조물의 변위 조절을 위한 강성설계법은 최적화 이론을 중심으로 하는 최적설계법(Optimal Design Method)<sup>(1,2,3)</sup>과 구조물량의 효율적 재분배에 의해 강성을 조절하는 재분배법(Resizing Technique)<sup>(4,5,6)</sup>으로 구분된다.

최적화 이론을 이용한 강성설계법은 목적함수와 제약함수로 정식화되며, 변위조절을 위한 절점 변위의 제한은 물론 부재 응력에 대한 제한 등이 제약함수로 표현된다. 그러나, 최적화과정에서 요구되는 계산량이 실제 구조물의 경우 자유도와 부재 수를 고려하면 비현실적으로 많아서 효율적이지 못하다. 이에 대한 대안으로서 병렬계산법을 이용한 최적화 기법이 다양한 형식의 병렬 최적화 알고리즘으로 표현되어 활발하게 연구가 진행되고 있으나, 실제 구조물의 설계에는 한정적으로 적용되고 있다.<sup>(7,8)</sup>

최적화 이론에 근거한 최적설계법의 대형 또는 고층구조물 강성설계에 대한 적용성의 문제점을 해결하기 위한 방법으로, 최근 구조물량의 효율적 재분배에 의한 변위 조절 또는 강성설계법에 관한

연구가 활발하게 진행되고 있다. 재분배 기법에 의한 강성설계법은 에너지이론에 근거하여 연구되고 있으며, 본 논문에서는 주어진 하중조건하에서 해당 변위의 발생원인을 규명 할 수 있는 변위기여도를 단위하중법으로 효과적으로 계산하여 구조물의 강성 조절에 이용한다. 이러한 재분배 기법에 의한 변위조절법은 최적설계법에서 요구되는 설계 민감도 계수와 구조재해석 등을 필요로 하지 않으므로 강성설계에 소요되는 계산량을 줄일 수 있어 실용적이다.

## 2.1 부재의 변위기여도의 계산

일반적으로 변위 제한 조건이 최종 구조설계를 결정하게 되는 경우, 강성기준에 의해 요구되어지는 구조물량의 강도기준에 의해 요구되어지는 물량보다 많아지게 된다. 이러한 경우 구조설계자는 대상 변위를 조절하는 데 가장 민감한 부재를 경험에 의존해 선택하며 선택된 부재의 단면 성능을 변화시켜 변위를 조절하게 된다. 이러한 강성설계 과정을 통한 변위조절법은 비교적 많은 수의 구조재해석을 피할 수 없어, 구조설계 업무의 효율성을 낮추게 되며 최종설계 결과의 적절성 또한 기대하기 힘들다. 따라서, 본 연구에서는 강성설계 과정을 단위하중법에 의한 각 부재의 해당변위에 대한 변위 기여도를 이용하여 최적화 문제로 표현한다. 구조물의 변위를 구하는 데 사용되는 단위하중법은 가상일의 원리로부터 식 (1)과 같이 주어진다

$$\delta = \sum_{i=1}^m \delta_i = \sum_{i=1}^m \left\{ \int_0^1 \frac{N_i^L N_i^U}{EA_i} dx + \int_0^1 \frac{M_i^L M_i^U}{EI_i} dx + \alpha \int_0^1 \frac{V_i^L V_i^U}{GA_i} dx + \int_0^1 \frac{T_i^L T_i^U}{GI_{p,i}} dx \right\} \quad (1)$$

여기서,  $N^L$ ,  $M^L$ ,  $V^L$ ,  $T^L$ 는 구조물에 작용하는 실제하중에서의 축력, 모멘트, 전단력, 비틀림등의 부재력이고,  $N^U$ ,  $M^U$ ,  $V^U$ ,  $T^U$ 는 계산하고자

하는 변위  $\delta$ 에 대응하는 단위하중에서의 부재력을 나타낸다.  $A_i$ ,  $I_i$ ,  $I_{p,i}$ 는 부재의 단면적, 단면2차모멘트, 단면극2차모멘트이며,  $E$ ,  $G$ ,  $\alpha$ 는 탄성계수, 전단탄성계수, 단면형상에 따른 계수이고,  $m$ 은 구조물을 구성하는 전체 부재의 수이다.  $\delta_i$ 는 해당변위  $\delta$ 에 대한 부재별 변위기여도이며, 식 (1)의 각 항은 해당변위  $\delta$ 를 구성하는 각 부재  $i$ 의 축력, 모멘트, 전단력, 비틀림등의 성분별 변위 기여도이다.

단위 하중법에 의한 각 부재의 해당변위에 대한 변위 기여도를 이용한 강성설계법은 목적함수를 조절하고자 하는 절점의 변위로 그리고 제약함수를 구조물 전체의 구조물량을 변화시키지 않는 것으로 표현하면 식 (2), (3)과 같이 정식화할 수 있다.

$$\text{Minimize} \quad \delta_i = \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\beta_i} \quad (2)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{i=1}^m \beta_i \rho_i A_i L_i = \sum_{i=1}^m \rho_i A_i L_i \quad (3)$$

여기서,  $\beta_i$ 는 부재별 단면 수정계수이다.

이러한 재분배 기법에 의한 강성설계법은 Lagrange Multiplier ( $\lambda_L$ ) 이용한 무제약 최소화문제로 치환하면 다음과 같이 표현된다.

$$\delta_i = \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\beta_i} + \lambda_L \left( \sum_{i=1}^m \beta_i \rho_i A_i L_i - \sum_{i=1}^m \rho_i A_i L_i \right) \quad (4)$$

식 (4)로 표현된 가목적함수 (목적함수+제약함수)가 최적해를 갖기 위한 필요조건으로  $\beta_i$ ,  $\lambda_L$ 에 대하여 미분하여 0으로 두면, 식 (5), (6)과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial \delta_i}{\partial \beta_i} = -\frac{\delta_i}{\beta_i^2} + \lambda_L \rho_i A_i L_i = 0 \quad i=1, m \quad (5)$$

$$\frac{\partial \delta_i}{\partial \lambda_L} = \sum_{i=1}^m \beta_i \rho_i A_i L_i - \sum_{i=1}^m \rho_i A_i L_i = 0 \quad (6)$$

식 (5), (6)에 의해 수정계수 ( $\beta_i$ )의 값은 식 (7)과 같이 계산된다.

$$\beta_i = \sqrt{\frac{\delta_i}{\rho_i A_i L_i}} \frac{\sum_{i=1}^m \rho_i A_i L_i}{\sum_{i=1}^m \sqrt{\delta_i \rho_i A_i L_i}} \quad i=1, m \quad (7)$$

각 부재의 단면 성능을 식 (7)에서 구한  $\beta_i$ 의 값에 의하여 변화시킴으로써, 식 (3)과 같이 구조물 전체의 중량에는 변함없이 제어하고자 하는 해당변위,  $\delta_i$ , 를 식 (2)에 의한 값으로 최소화 할 수 있다.

## 2.2 부재 그룹핑

실제 구조물의 설계에서는 전체 부재의 수, 부재의 역학적 특성 그리고 부재의 위치를 고려하여 비슷한 성질을 갖는 부재들이 같은 단면성능을 갖게 하는 설계변수 그룹핑 기법<sup>(9)</sup>을 사용한다. 그러므로, 변위조절법의 실용성을 고려하여, 부재별 단면수정계수를 부재 그룹별 수정계수로 유도하기 위하여 식 (2), (3)으로 표현된 최소화 문제를 부재 그룹핑 기법을 이용하여 정식화하면 식 (8), (9)와 같이 표현된다.

$$\text{Minimize} \quad \delta'_i = \sum_{i=1}^m \frac{\delta'_i}{\beta_i} \quad (8)$$

$$\text{Subject to} \quad \sum_{i=1}^G \beta_i W'_i = \sum_{i=1}^G W'_i \quad (9)$$

G와 Di는 구조물을 구성하는 부재그룹의 개수와 그룹내의 부재수이다.  $\delta'_i = \sum_{i=1}^{D_i} \delta_i$ 는 i번째 그룹을 구성하는 부재들의 변위 기여도의 합이다.  $\beta_i$ 는 i번째 그룹의 변위기여도에 따른 단면

의 수정 계수이고,  $W_i$ 는 i번째 그룹의 중량의 합이다. 식 (4)와 같이 무제약 최소화문제로 치환하여 i번째 그룹의 수정계수  $\beta_i$ 를 식 (5), (6)과 같이 유도하면 다음 식과 같이 표현된다.

$$\beta_i = \sqrt{\frac{\delta'_i}{W'_i}} \frac{\sum_{i=1}^G W'_i}{\sum_{i=1}^G \sqrt{\delta'_i W'_i}} \quad (10)$$

## 3. 부재강도 설계법

전체 구조물량의 변화없이 단위하중법에 의한 부재 성분별 변위기여도를 이용하여 해당 변위를 식 (2) 또는 식 (8)의 값으로 최소화하는 과정은 식 (7) 또는 식 (10)에서의 수정계수 ( $\beta_i$ )에 의한 단면성능의 재분배를 거쳐 이루어진다. 이러한 구조물량의 재분배는 부정정 구조물의 경우에 실제하중에 의한 각 부재응력의 재분배를 수반하므로 변위조절에 의한 부재응력의 재분배영향을 고려해야 한다.

본 연구에서는 재분배 후 부재의 응력제약을 다음과 같이 조절한다. 축력만이 존재하는 트러스 구조물의 경우 압축재와 인장재에 대한 응력 제약 조건을 허용응력설계법에 준하여 조절하며 다음과 같은 단계로 표현된다.<sup>(10,11)</sup>

단계 1. 변위조절설계이후의 변경된 단면적에 대한 세장비는 다음 식 (11)과 같이 계산한다.

$$\lambda_i = \frac{L_i}{\min((i_x)_i, (i_y)_i)} \quad (11)$$

인장 :  $\lambda_i < 240$

압축 :  $\lambda_i < 200$

여기서,  $L_i$ ,  $(i_x)_i$ ,  $(i_y)_i$ 는 i번째의 부재의 길이, x, y방향의 단면 2차 반경이고, 단면 2차 반

경( $i_y$ )은 Counterpropagation neural network (이하 CPN)(12)를 이용하여 구한다.

일반적으로 단일 압축재의 경우에 세장비 ( $\lambda$ )는 250을 초과하지 않도록, 기동재를 포함한 주요한 구조재에서는 200을 한도로 하고 있다. 또한, 인장재는 좌굴현상이 생기지 않기 때문에 엄격히 규정되어 있지는 않으나, 길이가 너무 길어지면 자중에도 처지는 현상이 생기므로 강성에 제한을 두며, 변위조절설계이후의 변경된 단면적이 세장비 제한조건을 만족하지 않을 때에는 단면적을 변화시켜서 만족시키도록 한다.

단계 2. 변위조절설계이후의 변경된 단면적에 대한 허용 응력을 다음 식 (12), (13)과 같이 계산한다.

$$\text{인장: } f_t = \frac{1}{1.5} F_y \quad (12)$$

$$\text{압축: } \lambda_i > \lambda_p : \lambda_p = \pi \sqrt{\frac{E}{0.6F_y}} : f_c = \frac{0.277}{\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^2} F_y$$

$$\lambda_i \leq \lambda_p : f_c = \frac{1 - 0.4\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^2}{\frac{3}{2} + \frac{2}{3}\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^2} F_y \quad (13)$$

여기서,  $\lambda_p$ 는 한계세장비이며,  $F_y$ 는 강재의 항복강도이다.

단계 3. 변위조절설계이후의 변경된 단면적에 대한 부재 응력비(Stress ratio)를 식 (14)와 같이 계산한다.

$$(S_r)_i = \frac{\sigma_i}{f_i} \quad (14)$$

여기서,  $\sigma_i$ : 부재응력이고,  $f_i$ : 부재허용응력이다. 부재응력이 허용응력을 초과하여 응력비가 1을 넘을때는 소요단면적 ( $A^{req}$ )<sub>i</sub>를 식 (15)와 같이 계산한다.

변위조절설계에 의한 부재응력의 재분배영향을 고려하여  $\gamma_i = 1.15$ 로 두어 식 (16)과 같이 단면적을 변경한 후 단계(1)로 돌아간다.

$$(A^{req})_i = \frac{N}{f_i} \quad (15)$$

$$(A^{neu})_i = (A^{req})_i \times \gamma_i \quad (\gamma_i = 1.15) \quad (16)$$

N은 부재력이며 변위조절설계이후의 단면적 변경에 따른 응력제약조건을 허용응력설계법에 준하여 조절한 후, 변위를 식 (7) 또는 식 (10)에 의해 예측하고 예측된 변위가 식 (17)과 같이 허용치를 만족하는지를 검토한다. 허용치를 초과했을 때는 해당변위에 대한 부재별 변위기여도의 정도에 따라 식 (18)과 같이 단면적을 변경시킨 후 변위를 다시 예측한다.

$$\delta = \sum_{i=1}^m \delta_i < \frac{H}{400} \quad (17)$$

$$\delta_i \geq 0.1 \delta_t \quad (A^{new})_i = (A^{old})_i \times 1.05$$

$$\delta_i < 0.1 \delta_t \quad (A^{new})_i = (A^{old})_i \quad (18)$$

위 과정을 포함한 전체 강성설계법을 나타내면 그림 1과 같다.

#### 4. 강성설계법 적용

본 연구에서 개발된 강성설계법은 3차원 트러스 구조물(13)의 설계에 적용한다. 강성설계법 적용을 위한 예제 구조물의 초기설계는 부재 강도에 대한 제약조건을 만족하도록 부재의 단면성능이 결정되었으며 강도설계의 효율성을 고려하여 응력비의 범위는 0.85-1.0으로 제한되었고, 조절 대상 변위에 대한 허용치는 H/400이 사용되었으며, 예제에서 고려하는 부재 단면은 158개의 H, L, C형강이며, 최소단면적은 2.34cm<sup>2</sup>이고, 최대단면적은 965.7cm<sup>2</sup>이다. 그리고 탄성계수는

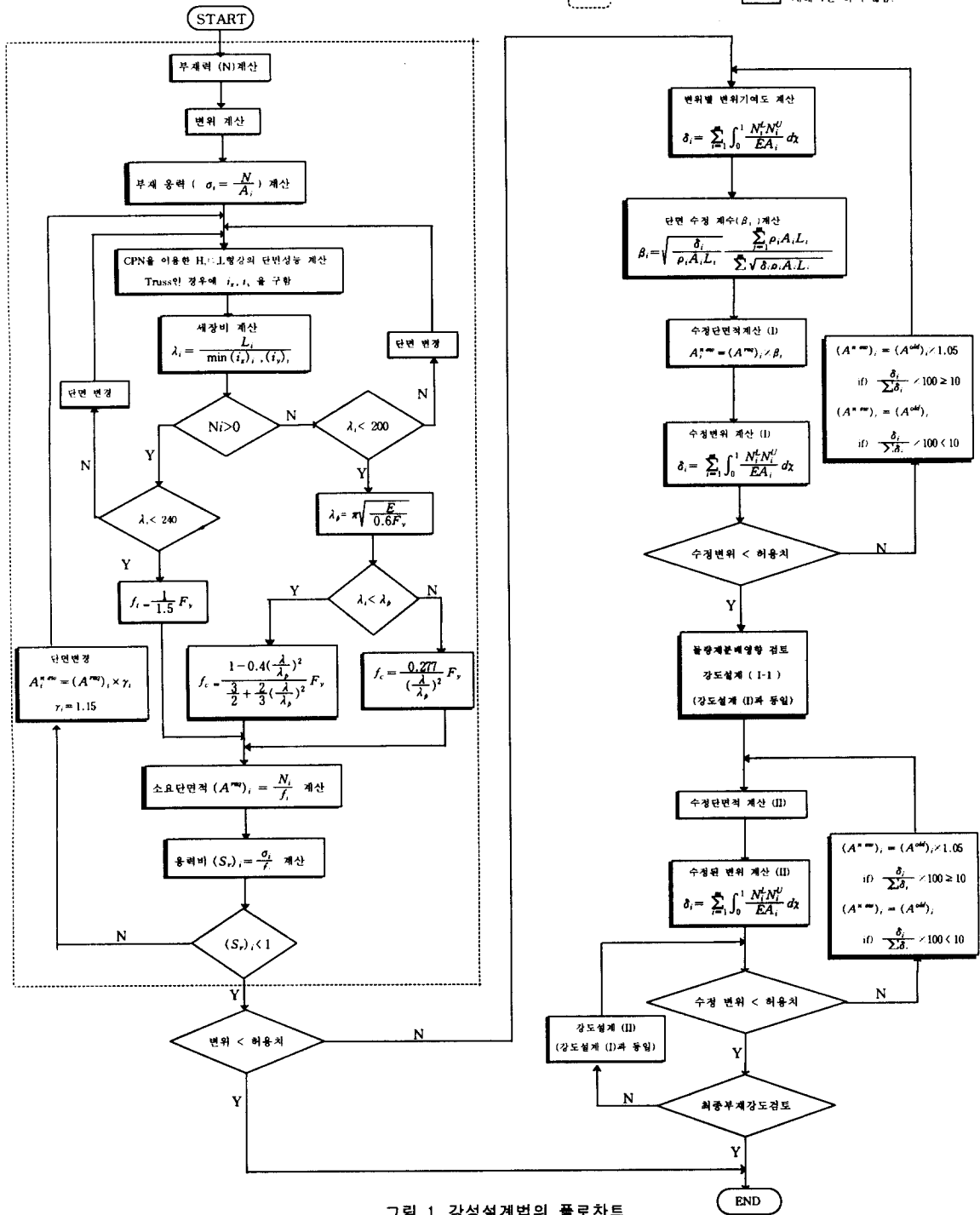


그림 1. 강성설계법의 플로차트

$2.1 \times 10^6 \text{kg/cm}^2$ , 단위 중량은  $7.8510^{-3} \text{kg/cm}^3$ 이다.

#### 4.1 25부재 입체트러스 구조물

그림 2와 같은 25개 부재로 구성되는 입체 트러스 구조물에 표 1과 같은 하중을 작용시키는 경우를 예로 들어 절점 2의 Y방향 변위를 고려한다. 실제하중 및 단위하중에서의 부재력은 표 2에 나타나 있다.

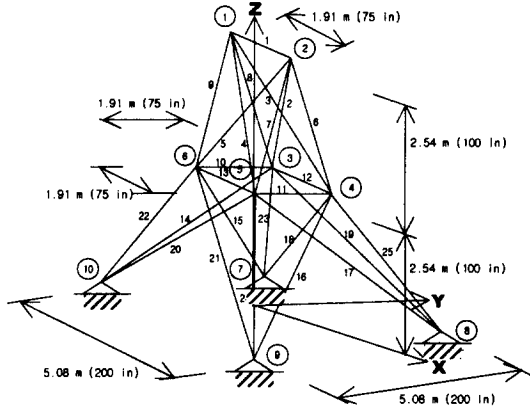


그림 2. 25 부재 입체 트러스

표 1. 25 부재 입체 트러스의 하중조건

하중조건	절점	하중(kg)		
		X	Y	Z
실제 하중	1	50,000	50,000	100,000
	2	0.0	50,000	100,000
	3	25,000	0.0	0.0
	4	25,000	0.0	0.0
	5	25,000	0.0	0.0
	6	25,000	0.0	0.0
단위 하중	2	0.0	1.0	0.0

식 (1)에 의해 절점 2의 Y방향에 대한 각 부재의 변위기여도를 구하면 표 2와 같으며, 예측된 절점 2의 Y방향 변위는 0.98cm로 해석에 의한 것과 같다. 6, 23, 24번 부재의 변위기여도가 25.5%, 20.24%, 20.25%을 차지한다는 것을 알 수 있으며, 2, 6, 23, 24번 부재의 단면적을 변화시키는 것이 절점 2의 Y방향 변위 제어에 상대적으로 효과적이라는 것을 표 2에 의해 알 수 있다.

표 2. 25 부재 입체 트러스의 부재 변위기여도

부재	부재력 (실제하중, kg)	부재력 (단위하 중,kg)	변위 기여도	$\beta_i$	수정 단면적 (I)
1	-841.79	0.13	-0.004	1.257	2.85
2	92,505.30	-0.48	-0.116	0.954	57.49
3	3,889.17	0.24	0.032	1.832	8.36
4	-4,173.88	0.25	-0.016	0.869	8.90
5	-2,426.65	-0.47	0.015	0.814	9.18
6	12,1273.60	1.22	0.249	1.370	105.27
7	-15,634.90	-1.04	0.120	2.002	35.85
8	48,808.18	0.39	0.070	1.080	37.76
9	-14,206.14	-0.21	0.016	0.645	14.85
10	2,268.22	0.004	0.0003	0.372	0.87
11	-1,406.67	0.13	-0.003	0.858	3.68
12	28,552.65	0.43	0.061	1.667	30.20
13	4,400.25	0.09	0.012	1.935	5.49
14	8,879.45	0.12	0.033	1.279	8.91
15	-5,460.02	-0.13	0.008	0.414	7.22
16	42,688.77	0.06	0.018	0.450	13.64
17	-2,733.71	-0.29	0.016	0.709	7.72
18	7,449.14	0.30	0.068	1.812	12.97
19	22,262.91	-0.20	-0.060	1.132	18.32
20	-34,536.88	-0.66	0.100	0.832	41.14
21	11,359.89	-0.15	-0.051	1.540	11.35
22	-24,555.06	-0.53	0.049	0.740	31.13
23	41,977.64	0.79	0.197	1.828	49.92
24	208,925.10	0.77	0.198	0.836	109.88
25	3,655.92	-0.34	-0.045	2.185	9.66
	$\sum \rho_i A_i L_i$ 1,665.293	예측 변위: 0.973cm			$\sum \rho_i A_i L_i$ 1,665.293

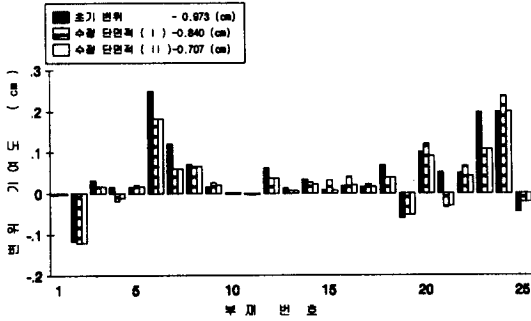


그림 3. 25부재의 단면 성능 변경 전, 후의 변위기여도

표 3. 25부재의 응력 제약에 의한 단면 변경

부재	재분배법에 의한		응력 제약에 의한		Stress ratio		
	수정단면 적 I	변위 기여도	수정단면 적 II	변위 기여도	초기 설계	재분 배법	강도 설계 (II) 후
1	2.85	-0.003	2.85	-0.003	0.96	0.07	0.05
2	57.49	-0.121	57.82	-0.120	0.106	0.96	0.96
3	8.36	0.017	8.36	0.017	0.53	0.32	0.32
4	8.90	-0.018	14.93	-0.011	0.90	1.10	0.27
5	9.18	0.019	10.12	0.017	0.89	7.79	0.77
6	105.27	0.182	105.27	0.182	0.99	0.72	0.72
7	34.85	0.060	34.85	0.060	0.96	0.32	0.32
8	37.76	0.065	37.76	0.065	0.87	0.86	0.86
9	14.85	0.025	20.08	0.019	0.86	1.52	0.94
10	0.87	0.001	2.34	0.0003	0.61	0.74	0.66
11	3.68	-0.004	4.44	-0.003	0.88	0.56	0.01
12	30.20	0.036	30.20	0.036	0.99	0.59	0.61
13	5.49	0.006	5.49	0.006	0.97	0.36	0.35
14	8.91	0.026	10.31	0.022	0.80	0.76	0.58
15	7.22	0.021	20.84	0.007	0.89	3.93	0.92
16	13.64	0.040	26.68	0.020	0.88	1.73	0.95
17	7.72	0.022	10.75	0.016	0.88	4.40	0.88
18	12.97	0.038	12.97	0.038	0.65	0.38	0.33
19	18.32	-0.053	18.32	-0.053	0.86	0.83	0.79
20	41.14	0.120	54.61	0.090	0.99	3.47	0.99
21	11.35	-0.033	12.51	-0.030	0.96	0.66	0.59
22	31.13	0.067	48.87	0.042	0.92	1.90	0.76
23	49.92	0.107	49.92	0.107	0.96	0.55	0.57
24	109.88	0.237	130.58	0.199	0.99	1.18	0.99
25	9.66	-0.020	9.66	-0.020	0.52	0.61	0.47
$\sum \rho_s A_s l$	1665.29		1966.25 (18.07%)				
$\sum \delta_s$		0.840 cm		0.707 cm			

식 (7)을 이용하여 각 부재의 수정계수 ( $\beta_s$ )의 값을 구하면 표 2와 같다. 계산된  $\beta_s$  값을 이용하여 초기설계의 단면성능을 수정한 후 조절 대상변위를 예측하면, 0.84cm으로 초기설계 변위의 86.33%로 감소되었다. 변위조절설계이후의 변경된 단면적에 대한 부재 응력비(Stress ratio)를 구하면 표 3과 같다. 구조물량 재분배의 부재응력에 대한 영향으로 응력비가 1을 초과하는 경우가 4, 5, 9, 15, 16, 17, 20, 22, 24부재에서 발생한다. 그리고, 5, 14, 15, 17, 21번 부재는 식 (11)의 세장비조건을 만족하지 않으며, 4, 9, 16, 20, 22, 24번 부재는 응력비를 초과하므로 그림 1과 같이 단면을 수정한다. 수정된 단면성능으로 변위를 예측하면 0.71cm로 이는 구조재해석에 의한 결과인 0.72cm와는 1.4%의 오차를 보인다. 조절 대상 변위는 초기설계의 72.66%로 감소되며, 구조물량 재분배에 대한 부재응력의 변화에 의한 전체 구조물량은 18.07% 증가했다. 이 전체 구조물량의 증가량은 초기 강도설계의 효율성에 좌우되는 값이다. 그림 3과 그림 4는 단면변경 전, 후에 따른 절점2의 Y방향의 변위기여도의 변화와 절점에서의 x, y, z방향 변위의 변화들을 나타내고 있다.

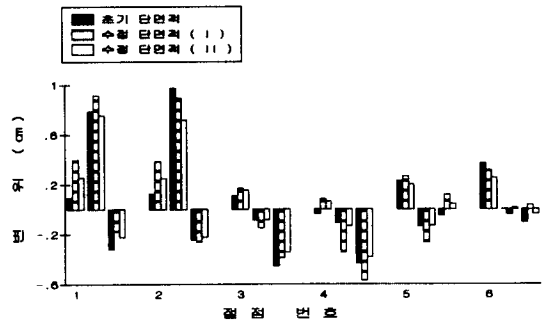


그림 4. 25부재의 단면 성능 변경 전, 후의 변위

#### 4.2 72부재 입체트러스 구조물

그림 5와 같은 72부재 입체트러스 구조물에 표 4과 같은 하중을 작용시키는 경우 부재그룹평



기법을 고려하여 절점 1의 Y방향 변위를 조절하고자 한다. 각 부재그룹의 절점 1 Y방향에 대한 변위기여도는 그림 6과 같으며, 단위하중법에 의한 절점 1의 Y방향 변위는 1.01cm로 해석에 의한 것과 같다. 2, 6, 13, 14번 그룹부재의 변위기여도가 16.86%, 11.14%, 15.97%, 13.60%를 차지하고 있다는 것을 알 수 있으며, 2, 6, 13, 14번 그룹 부재의 단면적의 변화가 절점 1의 Y방향 변위를 제어하는 데 가장 효율적이라는 것을 알 수 있다.

변위기여도의 정도에 따라 수정계수 ( $\beta_i$ )를 식 (10)에 의해 계산하여 단면적을 수정한다. 변위조절 설계에 의해 수정된 단면적으로 변위를 예측하면 0.90cm으로, 허용치 ( $H/400 = 1.52$ )를 초과하지 않으며 초기설계 변위의 89.05%로 감소되었다. 변위조절설계이후의 변경된 단면적에 대한 부재 응력비(Stress ratio)를 구하면, 응력비가 1보다 큰 경

표 4. 72 부재 입체 트러스의 하중조건

하중조건	절점	하중(kg)		
		X	Y	Z
실제하중	1	100,000	100,000	-100,000
단위하중	1	0.0	1.0	0.0

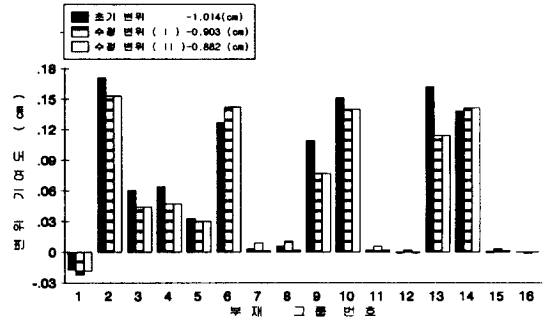


그림 6. 72 부재 단면 성능 변경 전, 후의 변위기여도

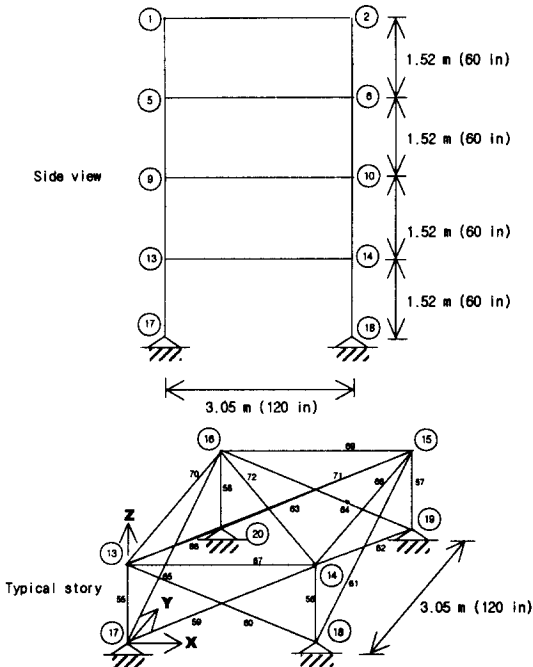


그림 5. 72 부재 입체 트러스

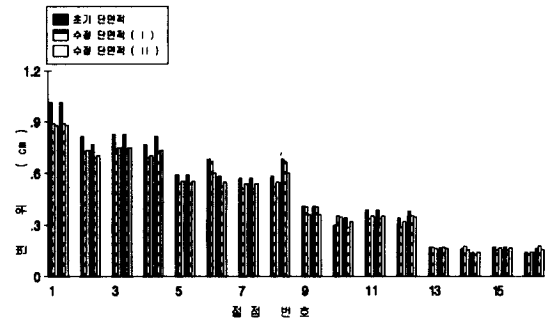


그림 7. 72부재의 단면 성능 변경 전, 후의 변위

우가 1, 7, 8, 11, 12, 15, 16 그룹에서 발생하며, 1, 7, 8, 11, 12, 15번 그룹은 소요단면적에 대해서 16번 그룹은 세장비에 대해서 단면 수정을 하여 변위를 예측하면 0.88cm으로 해석한 결과인 0.88cm과는 0.22%의 오차를 보이며, 초기설계 변위의 86.79%로 감소되고, 물량은 15.11% 증가했다.

## 5. 결론

본 연구에서는 최적화 기법을 이용한 구조물량 재분배에 의한 변위조절 설계법과 허용응력설계법

에 의한 강도설계 모듈을 결합하여 실용적인 강구조물의 강성설계법의 개발에 중점을 두고 있다.

개발된 강성설계법은 입체 트러스 구조물을 통해서 그 적용성을 평가하였으며, 예제에서와 같이 강성설계에 의하여 초기변위를 72.66%, 86.79%로 감소시킬 수 있었다. 그리고, 구조물량의 재분배는 부재용력의 재분배를 수반하므로 소요단면적과 세장비한계등의 용력 제약으로 인한 물량 증가율이 18.07%, 15.11%로 계산되었다. 이는 초기 강도설계단계에서의 용력비를 0.85- 1.0으로 높게 잡았기 때문에 변위기여도정도에 따른 수정계수 ( $\beta_i$ )를 곱한 변경된 단면적이 세장비등의 용력 제약을 초과하는 경우가 발생했기 때문이며, 고층 건물물을 포함한 대부분 실제 구조설계에서의 강도설계 여유분을 고려하면 전체 구조물량의 증가량은 감소될 수 있다. 이상과 같이 단위하중법을 이용한 입체 철골 트러스 구조물의 강성설계법은 변위를 제어하고자 하는 절점에 대하여 어느 부재의 단면의 변화가 가장 효율적인지를 알 수 있으므로 무계획적인 단면 증가를 피할 수 있고, 그에 따른 반복해석에 소요되는 시간과 철골물량의 낭비를 피할 수 있다는 효율성을 가지고 있다.

#### 감사의 말

본 연구는 1997년도 포항종합제철주식회사의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Cohn, M. Z. and Dinovitzer, A. S., "Application of Structural Optimization", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 2, pp. 617-650, 1994.
- (2) Park, H. S. and Adeli, H., "Distributed Neural Dynamics Model for Optimization of Large Steel Structures", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 7, pp. 880-888, 1997.

- (3) Adeli, H., Advances in Design Optimization, Chapman and Hall, London, U.K., 1994.
- (4) Baker, W. F., "Sizing techniques for lateral systems in multi-story steel buildings", 4th World Congress on Tall Buildings: 2000 and Beyond, CTBUH, Hong Kong, 1990, pp. 857-868.
- (5) Graeme, Forrest-Brown, and Bijan Samali., "Practical Optimisation of Framed-Structures Using Virtual Work Principles", 4th World Congress on Tall Buildings: 2000 and Beyond, CTBUH, Hong Kong, 1990, pp1019-1029.
- (6) Park, H. S., and Park, C. L., "Drift control of high-rise buildings with unit load method", The Structural Design of Tall Buildings, Vol. 6, No. 1, 1997, pp. 23-35.
- (7) Park, H. S. and Adeli, H., "Data Parallel Neural Dynamics Model for Integrated Design of Large Steel Structures", Microcomputers in Civil Engineering, Vol. 12, pp. 311-326, 1997.
- (8) Noor, A. K., "New Computing Systems and Future High-Performance Computing Environment and Their Impact on Structural Analysis and Design", Computers & Structures, Vol. 64, No. 1, pp. 1-30, 1997.
- (9) Rao, S. S., Engineering Optimization, John Wiley & Sons, New York, 1996.
- (10) 대한건축학회, 강구조계산규준 및 해설, 1983.
- (11) 한국강구조학회, 강구조편람 제3권, 강구조 구조물의 설계, 1995.
- (12) Adeli, H and Park, H. S., "Conter Propagation Neural Networks in Structural Engineering", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 121, No. 8, pp. 1205-1212, 1995.
- (13) 박효선, 박칠림, "Neural Dynamics Model에 의한 철골구조물의 최적설계", 대한건축학회는 문집, 제12권, 제8호, pp. 195-202., 1996.  
(접수일자 : 1998. 2. 5)