

# 복합강구조물 설계에 정성분석기법을 적용하기 위한 기초연구

## Fundamental Study on the Design of Steel Tube Structures Based on the Qualitative Analysis

강 현 식\*                  임 서 형\*                  박 용 걸\*\*  
Kang, Hyun-Sik          Lim, Seo-Hyung          Park, Yong-Gul

### Abstract

Steel hollow section members have been widely used as a major material in the construction market due largely to their efficiency, their aesthetic appeal, and to the technical development. But it is true that the commercial program for dealing with a joint problem using hollow section members is not firmly established due to its uncertain and variable design parameters. The qualitative analysis program developed by using computer is introduced in this study. The results of that analysis are shown in the two-dimensional space in variable ranges and diagrams, so it would be useful to whom have not many experiences and knowledges. It is represented that the differences between Canadian code and the Korean standard for the connections of hollow section members. And It is verified that the software is applicable to the preliminary design in steel tubular structures.

### 요 지

강관은 그 효율성, 디자인적인 심미성, 그리고 건축 기술의 발전으로 건설시장에서 주요 부재로 널리 사용되고 있다. 그러나 많은 불확실성과 다양한 변수들을 다루는 강관 접합부 상용 프로그램이 확고하게 정착되어 있지는 않다. 본 연구에서는 정성분석 프로그램이 소개되어 있으며 그 분석 결과는 2차원적인 영역으로 결과를 제시해 주고 있기 때문에 많은 경험과 지식이 없는 엔지니어들에게 유용한 자료가 될 것으로 사료된다. 실제로 비렌달 트러스 설계 예제를 통해 캐나다와 국내 기준, 이론해석 결과와의 비교, 그리고 정성분석 프로그램의 예비 설계 적용 가능성을 확인하였다.

**Keywords** : Qualitative Analysis, T-joints, Codes Application, Practical Engineering, Theoretical Analysis

**핵심 용어** : 정성분석기법, T형 접합부, 기준 적용, 실무 기술, 이론 해석

\* 정회원, 진주산업대학교 건축학부 부교수  
\*\* 정회원, 서울산업대학교 철도전문대학원, 교수

E-mail : hskang@jinju.ac.kr 055-751-3405

• 본 논문에 대한 토의를 2006년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2006년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

# 1. 서론

최근 설계·시공되는 건축물중 강구조가 차지하는 비중이 점차 커지고 있는 것은 사회적 요구조건에 따라 강구조의 적용 범위가 날로 확대 되어가고 있기 때문이다. 지금까지 1983년 허용응력설계법에 의한 강구조계산규정이 제정된 이래로 주로 사용된 강제 형태는 개단면인 H형강등이었다. 국제공항 터미널, 국제전시관, 실내경기장, 종합경기장 그리고 격납고등 장스팬 철골 구조물의 지붕구조는 주로 강관, H형강, ㄱ형강, ㄷ형강 단면의 부재를 사용하는데 그 중 폐쇄형 단면인 강관은 그대로 노출이 되어도 외견상 거부감이 생기지 않고 단면 성능면에서도 유리한 측면을 많이 가지고 있다.

국내의 경우에는 열거 연구자들<sup>(1),(2),(3),(4)</sup>에 의해 강관 접합부에 관한 꾸준한 연구 결과를 발표했으며, 강관의 실무 적용을 위한 강관구조설계기준 및 해설이 1997년 대한건축학회 철골구조위원회를 중심으로 준비되어 1998년 대한건축학회 주관으로 강관구조 설계기준 및 해설<sup>(5)</sup>이 발간되었다. 그 이후 배규웅, 박금성<sup>(6)</sup> 등은 각형강관 접합부에 대한 꾸준한 연구를 한 결과 지관에 압축력이 작용하는 단일평면의 각형강관 T형 접합부의 거동은  $\beta < 0.6$ 의 작은 경우에는 명백한 최대 하중 값이 나타나지 않았고,  $\beta \geq 0.6$ 인 경우에는 주관 웨브와 플랜지면의 좌굴이 발생하는 복합 파괴모드를 나타낸다고 보고하였다. 강관 접합부의 내력을 결정하는 변수로는 단면형상, 접합 방법(X, T, Y, Gap, Overlap), 주관과 지관의 직경비( $\beta$ ), 강재의 설계 기준강도, 강관 폭-두께비, 접합 각도, 항복비등 많은 인자가 존재한다.

본 연구에서는 비렌탈 트러스 설계를 예로 들어 Midas Genw을 이용한 구조해석, 캐나다 및 국내 규준에 의한 접합부 내력 비교, 이론해석 결과와 비교, 그리고 정성분석 기법<sup>(7)</sup>의 적용 가능성을 그 변수들의 상관 관계로 부터 고찰하고자 한다.

## 2. 정성분석기법

아래 Fig. 1과 같이 엔지니어링 설계과정에는 기술자의 판단에 따라야만 하는 여러 가지 불확실성이 존재

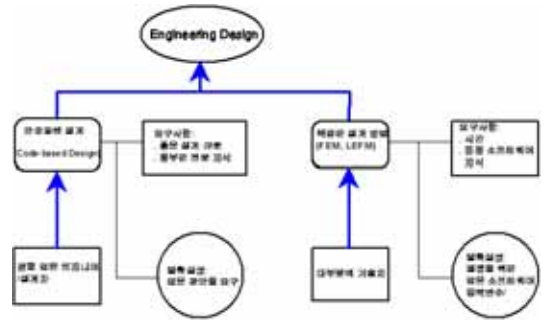


Fig. 1 엔지니어링 설계 과정

한다. 기술적, 경제적인 이유로 상세한 해석이 이뤄질 수 없을 때 불확실성을 줄일 수 있고 경험과 정확한 설계 데이터가 부족할 때 판단을 도울 수 있는 설계 도구를 필요로 하게 되었다.

불확실성을 다루는 것은 여러 기술 분야에서 많은 축적된 데이터를 통해 가능하다. 본 논문에서는 이러한 설계에서의 불확실성과 복잡성을 줄일 수 있는 설계 도구로서 하나의 해법 자체가 단일 치수로 나타나는 것이 아니라 어떤 영역으로 표시됨으로서 선택의 폭을 제시함으로써 신뢰를 기초로 판단할 수 있는 정성분석기법을 소개한다.

정성적 판단은 공간해를 다루는 기법 중의 한가지로 구속 조건으로부터 공간 해를 도출한다. 정성적 판단 기법에서 가장 중요한 기술은 구속만족도(constraint satisfaction)라 할 수 있으며, 이 설계 업무는 구속만족 문제(constraint satisfaction problem, CSP)로 표현될 수 있다.

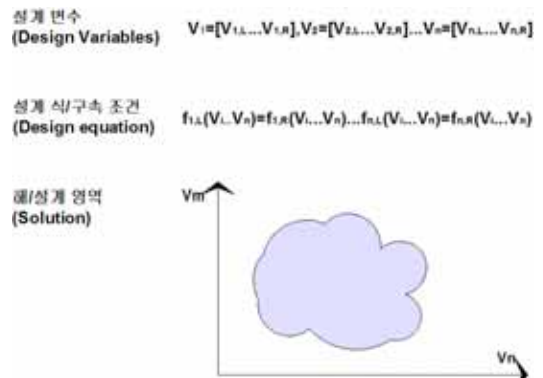


Fig. 2 내부 구속요소와 공간해

Fig. 2에 나타난 바와 같이 변수들( $v_1 \dots v_n$ )을 포함하는 일련의 제한들(Constraints)과 가능한 수치들을 대표하는 실수형 변수( $V_1 \dots V_n$ )들이 주어진 전달 요소이며, 일련의 영역( $R_1 \dots R_n$ )을 분리하기 위한 정성적 과정들이 주요 개념이라 할 수 있다.

### 3. 이론 해석적 연구

항복선 모델은 지관이 접합되어 있는 주관면에 소성 휨 파괴가 발생했을 때 적용할 수 있는 방법으로 강관 T형 접합부에서는 주관에 대한 지관의 폭비( $\beta$ )값이 0.85이하의 경우 주관 상부 플랜지면의 소성 휨 파괴를 고려하여 접합부의 항복내력을 예측하는 방법이다. 그러나 주관과 지관의 폭이 같을 때는 파괴 형태에 따라 지압이론 및 판좌굴 이론이 있다.

#### 3.1 지압 이론

주관과 지관의 폭이 같을 때( $\beta=1$ )<sup>(8)</sup>, 지관에서 주관으로 흐르는 힘은 주관 측벽을 타고 전달된다. 이 때 파괴 모드는 주관 측벽에서 지관 접촉 부분의 지압 파괴와 주관 측벽의 판좌굴의 두 가지로 가정할 수 있다. Brodka<sup>(9)</sup> 등은 실험적 연구 결과로부터 아래 Fig. 3과 같은 모델에서  $n=2.5$ 임을 밝혀 냈다.

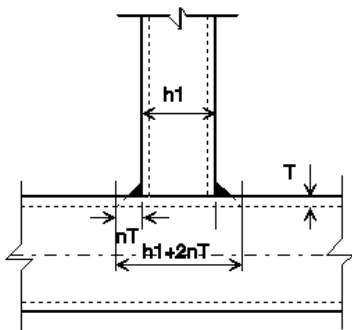


Fig. 3 주관 지압 모델

$$P_y = 2F_y \cdot T(h_1 + 2nT) \quad (1)$$

#### 3.2 판좌굴 이론<sup>(10)</sup>

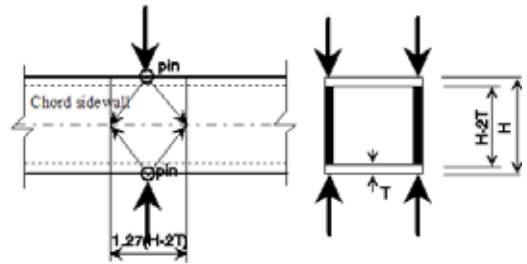


Fig. 4 주관측벽 판좌굴 모델

주관 측벽이 지관으로부터 압축력을 받아 아래 Fig. 4와 같이 마치 판좌굴 문제로 다룰 수가 있으며 그 판좌굴 식은 아래와 같다.

$$N_{cr} = \frac{4\pi}{H-2T} \cdot \frac{ET^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2)$$

여기서,  $N_{cr}$  : 오일러 좌굴 강도,  $\nu$  : 포아송비 한편 길이가  $(H-2T)$ 이고, 판의 유효폭이  $bm$ 일 경우 오일러 좌굴 하중식은 아래와 같다.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(H-2T)^2 \cdot (1-\nu)} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } I &= \frac{b_m T^3}{12}, \quad \lambda = \frac{l_k}{i} = \frac{(H-2T)}{T/2\sqrt{3}} \\ &= \frac{(H-2T)}{0.289T} = 3.46 \frac{(H-2T)}{T} \end{aligned}$$

$i$  : 단면 2차반경( $\sqrt{I/A}$ ),  $\lambda$  : 세장비,

$I$  : 단면 2차모멘트

(2) = (3)로부터

$$b_m = \frac{4}{\pi} \cdot (H-2T) = 1.27(H-2T) \quad (4)$$

$$N_{cr} = 2b_m \cdot T \cdot \sigma_k \quad (5)$$

여기서,  $\sigma_k$  : 또는 안전계수가 고려되지 않은 좌굴응력으로 ECCS의 좌굴곡선 "a"에 속한다.

#### 4. 비렌딜 트러스 접합부 설계예제

아래 Fig. 5와 같은 비렌딜 트러스에 하중(P) 17kN 이 상현재 내부 절점에 단부 절점에는 8.5kN이 작용하고 있다. 모든 접합점은 트러스에 수직방향으로 횡가새로 지지되어 면외 휨을 받지 않는다고 가정한다. 상현재와 하현재(□-152×152×9.0)는 같은 부재로 하고 수직 부재(□-152×152×6.0)를 사용 하였다. MIDAS GENw으로 해석된 축방향력도, 전단력도 그리고 휨모멘트도는 Fig. 6에 나타난 바와 같으며 강재의 적용강도는 실험치와의 비교를 위하여 406N/mm<sup>2</sup>으로 하였다.

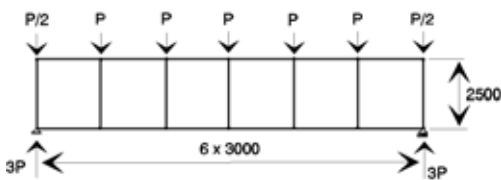


Fig. 5 해석 모델

##### 4.1 캐나다 기준에 의한 접합부 설계

Fig. 7에서와 같이 각형강관 주관(현재)과 지관(웹)으로 접합된  $\beta(b_1/b_o) = 1.0$ 인 T형 접합부의 파괴 모드는 유효 폭 모델(Mode c)과 주관 웹벽체의 좌굴(Mode d)에 의해서 접합부의 저항 모멘트가 결정될 것이다. 또한 각형강관 접합부 기준의 적용 가능 범위는 다음과 같다.

###### 4.1.1 면내 휨을 받는 접합부 내력

###### (1) 유효 폭 모델

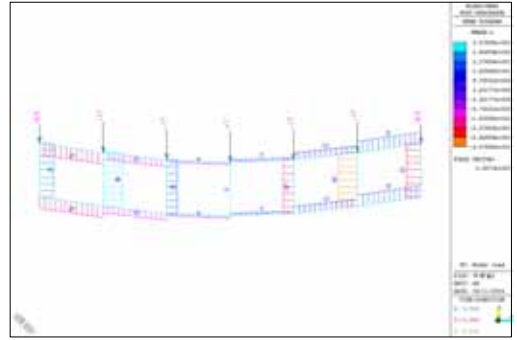
$$M_{r1}^* = f_{y1} [Z_1 - (1 - b_e/b_1)b_1t_1(h_1 - t_1)] \quad (6)$$

$$b_e = [10/(b_o/t_o)](t_o/t_1)b_1$$

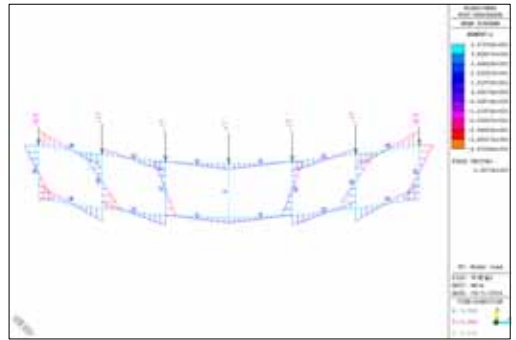
$$= \frac{10}{150/9.0} \left( \frac{9.0}{6.0} \right) 150 = 135\text{mm}$$

$$M_{r1}^* = 0.406 [179,172 - (1 - 135/150) \times 150 \times 6.0(150 - 6.0)]/10^3$$

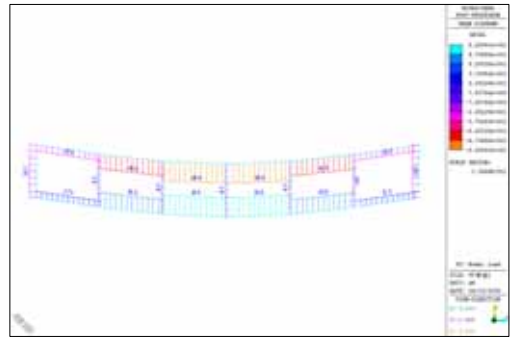
$$= 67.5\text{kNm} \geq 51.0 \therefore O.K.$$



(a) 축방향력도



(b) 전단력도(S.F.D.)



(c) 휨모멘트도(B.M.D.)

Fig. 6 MIDAS GENw 해석 결과

Table 1. 각형강관 T형 접합부 적용 범위

형 태	접합부 주요 변수( $i = 1, 2$ )			
	$b_i/b_o$ , $h_i/h_o$	$b_i/t_i$ , $h_i/t_i$	$h_i/b_i$	$b_o/t_o$ , $h_o/t_o$
X, T, Y	$\geq 0.25$	압축 인장 $\leq 35$	$0.5 \leq \frac{h_i}{b_i} \leq 2$	$\leq 35$

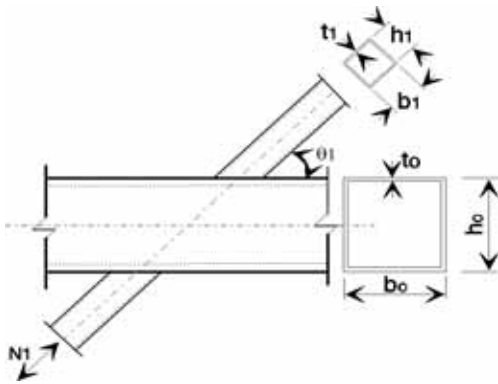


Fig. 7 캐나다 기준에 의한 접합 모델

(2) 주관 웨브면 파괴모드

$$M_{ip}^* = 0.5 f_k t_o (h_1 + 5t_o)^2 \quad (7)$$

$$f_k = f_{yo} \text{ (T형접합부)}$$

$$\begin{aligned} M_{ip}^* &= 0.5 (0.406) 9.0 (150 + 5(9.0))^2 / 10^3 \\ &= 69.5 kNm \geq 51.0 \therefore O.K. \end{aligned}$$

따라서 저항 모멘트는 67.5kNm

#### 4.1.2 축압시 접합부 내력 검토

(1) 주관 웨브면 파괴모드

$$\begin{aligned} N_1^* &= f_k t_o (2h_1 + 10t_o) \\ &= (0.313 \times 9.0) (2 \times 150 + 10 \times 9.0) \\ &= 1098 kN \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \left( \frac{f_y}{\pi^2 E} \right)^{0.5} \frac{KL}{r} \\ &= \left( \frac{406}{3.14^2 \times 200 \times 10^3} \right)^{0.5} \\ &\quad \times \frac{3.46 (h_o - 2t_o)}{t_o} \\ &= 0.0461 \frac{h_o - 2t_o}{t_o} \\ &= 0.0461 \frac{150 - 2 \times 9.0}{9.0} = 0.643 \\ &= 0.728 \end{aligned}$$

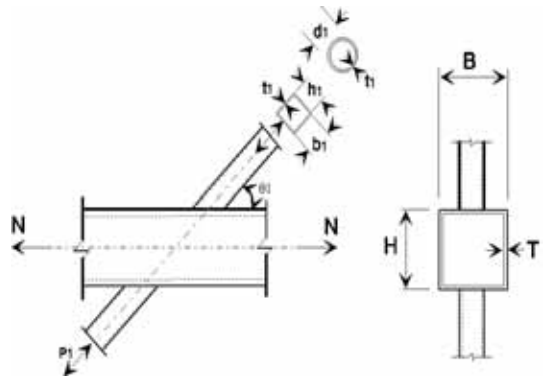


Fig. 8 국내 기준에 따른 접합 모델

여기서,

$$\begin{aligned} \frac{KL}{r} &= 3.46 \left( \frac{h_o}{t_o} - 2 \right) \left( \frac{1}{\sin \theta_1} \right)^{0.5} \\ f_k &= C_r / \phi A \text{ (좌굴 곡선 a 이용)} \\ &= f_{yo} (1.035 - 0.202\lambda - 0.222\lambda^2) \\ &= 313 MPa \end{aligned}$$

(2) 유효 폭 모드

$$\begin{aligned} N_1^* &= f_{y1} t_1 (2h_1 - 4t_1 + 2b_e) \\ b_e &= [10 / (b_o / t_o)] (t_o / t_1) b_1 = 132 mm \end{aligned} \quad (9)$$

따라서

$$\begin{aligned} N_1^* &= (0.406 \times 6.0) [(2 \times 150) - (4 \times 6.0) \\ &\quad + (2 \times 132)] = 1288 kN \end{aligned}$$

식(5)와 식(6) 중 작은 값인  $N_1^* = 1098 kN$

(3) 조합 응력 검토

축력과 모멘트의 합성응력 조건으로부터

$$\frac{N_1}{N_1^*} + \frac{M_{ip}}{M_{ip}^*} \leq 1.0 \quad (10)$$

외부 수직재: 축압(21kN), 모멘트(34kNm)

$$\left( \frac{21.0}{1098} + \frac{34.0}{67.5} \right) = 0.67 \leq 1.0 \therefore O.K.$$

내부수직재: 축압(8.5kN), 모멘트(45kNm)

$$\left( \frac{8.5}{1098} + \frac{45.0}{67.5} \right) = 0.66 \leq 1.0 \therefore O.K.$$

## 4.2 국내 기준에 의한 접합부 설계

주관과 지관의 폭이 같기 때문에  $\beta = 1.0$ 일 경우 주관의 국부변형 모드, 유효 폭 그리고 뚫림 전단 모드의 접합 내력을 검토한다. Fig. 8과 같이  $N=0$ ,  $\sin\theta_1=0$ 인 T형 접합조건으로 산정식에 적용 하였으며 단위는 tf, cm로 치환하여 계산하였다. ( $F_y=4.14 \text{ tf/cm}^2$ )

### 4.2.1 주관의 국부 변형 모드

$$P_{1a} = (2h_1 + 10T)T \cdot f_c \quad (11)$$

여기서,  $H$ =주관 폭,  $T$ =주관 판두께,  $f_c$ 는 아래 세 장비를 이용하여 산정한 허용압축응 력도로 한다.

$$\lambda = 3.46 \left( \frac{H}{T} - 2 \right) \frac{1}{\sqrt{\sin\theta_1}} = 50.7$$

$$\lambda < \lambda_p :$$

$$f_c = \frac{\left( 1 - 0.4 \left( \frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right)}{\frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left( \frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2} \times F_y = 2.13 \text{ tf/cm}^2$$

$$P_{1a} = (2 \times 15.0 + 10 \times 0.9) \times 0.9 \times 2.13 = 74.8 \text{ (tf)} = 733 \text{ kN}$$

### 4.2.2 유효 폭 모드

$$P_{1a} = (2h_1 - 4t_1 + 2b_e)t_1 \cdot f_t \quad (12)$$

$$= (2 \times 15.0 - 4 \times 0.9 + 2 \times 12.43) \times 0.6 \times 2.76 = 84.9 \text{ (tf)} = 832 \text{ kN}$$

$$\gamma = \left( \frac{B}{2T} \right) = \frac{150}{2 \times 9.0} = 8.33$$

$$b_e = \frac{4.6}{\gamma} \frac{T}{t_i} b_i \leq b_i$$

$$= \frac{4.6}{8.33} \times \frac{9.0}{6.0} \times 15.0 = 12.43 \text{ (cm)}$$

## 4.2.3 뚫림 전단 모드

$$P_{1a} = [2h_1 + 2b_{e(p)}]T \cdot f_s \quad (13)$$

$$= [2 \times 15.0 + 2 \times 8.27] \times 0.9 \times 1.593$$

$$= 66.8 \text{ (tf)} = 654 \text{ kN}$$

$$b_{e(p)} = \frac{4.6}{\gamma} b_i = 8.27$$

따라서 식(11), 식(12), 그리고 식(13) 중 최소 값인  $654 \text{ kN}$ 이 접합부의 허용력이 된다. 단기시 1.5배 곱하게 됨으로  $981 \text{ kN}$ 의 내력이 산정된다.

Table 2에서와 보는 바와 같이 국내 기준은 뚫림 전단에 의해 접합부 내력이 결정되었으며, 판좌굴 이론 및 캐나다 기준에서는 주관 웹변형에 의해 내력이 결정되었다. 이론해석 결과와 국내 기준치의 비가 0.96으로 나타났고, 캐나다 기준과의 비교 결과는 1.12로 다소 높게 나타났다. 또한 기존 실험결과는 이론해석 및 각국 기준치 보다 모두 보다 높게 나타났다.

Table 2 내력 산정 결과 비교

구 분	파괴 유형	국부내력 (kN)	접합부 내력	산정결과치/ 국내기준치
이론해석	지압 이론	1425	944	0.96
	판 좌굴론	944		
캐 나 다	주관 웹	1098	1098	1.12
	유효 폭	1288		
국 내	주관 변형	1100	981	1.00
	유효 폭	1248		
	뚫림 전단	981		
실험치 <sup>(6)</sup>	주관 웹	1259	1259	1.28

## 5. 정성분석기법의 적용

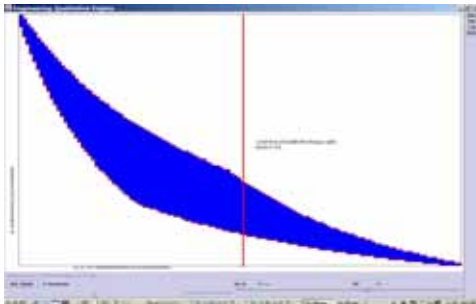
엑셀과 같은 고전적 방법으로는 Fig. 9와 같이 하나의 셀에 하나의 숫자가 대응되어 표시된다. Fig. 10에는 입력데이터(a), 주관 폭두께비와 접합부 내력과의 관계(b)와 한계 세장비와 내력 관계(c)를 각각 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 정성분석기법을 이용한 프로그램에서는 영역변수의 입력이 가능하므로 초기설계 단계에서 유용한 자료를 제공할 것이다.

PROJECT	Design of Welded T-joint with Square Hollow Section	SECTION	1
TITLE	11월 21일 14:54:41	DATE	2004.09.21
FILE	C:\Program Files\Autodesk\AutoCAD 2004\Code	TSCALE	1:1
<b>11월 21일 14:54:41</b>			
DESCRIPTION			
(1) 주관 축방향 파이프 코드	N1* = Fx*o*(2h1+10e)	=	1078 kN
INPUT	Fyo =	=	250 Mpa
	t1 =	=	152 mm
	to =	=	152 mm
	lo =	=	9.5 mm
	lambda = (Fyo*(lo*t1)/(3.0 * KLR))	=	0.845
	Fy*(1-(0.5-0.2)*lambda-0.222*lambda^2)	=	284 MPa
	phi =	=	3.141592
	E =	=	200000 Mpa
	KLR =	=	48.44
(2) 부속 축 코드	N2* = Fy1*t1*(2h1-4t1-2be)	=	1255 kN
	Fy1 =	=	350 Mpa
	t1 =	=	6.4 mm
	t1 =	=	152 mm
	be =	=	152 mm
	to =	=	9.5 mm
	t1 =	=	152 mm
	to*t1 =	=	1.484
	to*to =	=	16
	be = (10*(to*to)/to*t1)	=	141
(3) (1)과 (2) 중 적은 값	N1 = Min(N1*,N2)	=	1078 Mpa

Fig. 9 Spreadsheet 출력결과



(a) 입력 데이터



(b) 주관 폭두께비와 내력 관계



(c) 한계 세장비(λ)와 내력 관계

Fig. 10 정성분석에 의한 변수 상관 관계

## 6. 결론

이상과 같은 정성분석기법의 각형강관 T형 접합부 설계 적용을 위한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 축압을 받는 T형 각형강관 접합부의 내력을 산정하기 위한 국내 규준은 이론해석 결과와의 비교에서 그 비가 0.96으로 나타났고, 캐나다 규준과의 비교 결과는 1.12로 다소 높게 나타났다. 또한 기존 실험결과는 이론해석 및 각국 규준치 보다 모두 보다 높게 나타났다.
- 2) 비연달 트러스와 같이 축압과 면내·외 힘을 받는 용접된 각형강관 T형 접합부의 휨내력을 산정하기 위해 국내 규준에서는 힘을 받을 때 휨내력 산정식의 보완이 필요하다.
- 3) 정성적 판단기법은 복잡하고 불확실한 점들을 설계 변수와 제한 사항의 명확하지 않음에도 불구하고 효과적으로 다룰 수 있게 되었다. 설계 변수와 결과를 공간에 나타냄으로써 설계자들로 하여금 그들의 현재 지식과 경험을 이용할 수 있는 이상적인 방법을 제공한다. 향후 수천의 제한 조건을 갖는 대형 문제를 효과적으로 분석하기 위한 수치·판단 알고리즘의 최적화가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 진주산업대학교 기성희 연구비지원으로 이루어진 것으로 이에 깊이 감사 드립니다.

참고문헌

1. 신태송, 박일민, 문태섭, “강관 Brace접합부의 내력 및 변형 성능에 관한 실험적 연구,” 대한건축학회지 제29권 122호, 1985. 02, pp60~67.
2. 정태현, 노동균, 김종학, 김규석, “강관트러스 용접접합부의 강도에 관한 실험적 연구(I),” 대한건축학회 학술발표논문집 6권 1호, 1986. 04, pp405~408.
3. 박일민, “강관트러스 T형 격점부의 항복하중 예측에 관한 연구,” 한국강구조학회 논문집 제13권 1호, 2001. 02, pp9~18.
4. 정승훈, 이명재, “원형강관 T형 접합부의 거동과 설계

- 강도,” 대한건축학회논문집 제18권 2호, 2002. 02, pp53~60.
5. 대한건축학회, “강관구조설계기준 및 해설,” 기문당, 1998.
  6. 박금성, 배규웅, 정상민, 강석규, 문태섭, “지관이 회전되고 주관 웹보강한 각형 강관 T형 접합부의 거동에 관한 연구,” 한국강구조학회논문집 제15권 6호, 2003. 12, pp. 673~681.
  7. Ye Zhou, “Engineering qualitative analysis and its application on fatigue design steel structures,” PhD Thesis, University of British Columbia, 2003.
  8. Wardenier, J., “Hollow Section Joints,” Delft university press, Delft, Netherlands, 1982.
  9. Brodka, J., “Ultimate load of X and T-joints in rectangular hollow sections for  $\lambda=1$ ,” International Institute of welding Polish Delegation, 1980. 1.
  10. Timoshenko, S. P. and Gere, J. M., “Theory of elastic stability,” McGraw-McGraw-Hill, 1961.

(접수일자 : 2004년 10월 14일)

### 부 록

아래 예제는 엔지니어들이 많이 접하는 다변수 방정식이다. 선형 방정식의 경우는 간단한 계산기에 의해서 풀이가 가능하다. 그러나 복잡한 비선형 방정식은 해법이 어려울 뿐 아니라 변수들간의 상관관계를 이해하는 것도 쉽지가 않다. 구조물 해석과정에서 자주 접하는 3원 1차 연립방정식의 예로 비교해 본다.

예 1) 3원 1차 연립방정식(선형 방정식)

$$\begin{aligned} 3x_1 + 6x_2 + 4x_3 &= 24 \\ 4x_1 - 2x_2 + 3x_3 &= 9 \\ 2x_1 + 2x_2 + 6x_3 &= 24 \end{aligned} \quad (1)$$

풀이)

$$\begin{pmatrix} 3 & 6 & 4 \\ 4 & -2 & 3 \\ 2 & 2 & 6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 27 \\ 9 \\ 24 \end{pmatrix}$$

$$\therefore \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$

예 2) 변수를 영역으로 가정할 경우

$$\begin{aligned} (a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3) &= Y_1 \\ (a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3) &= Y_2 \\ (a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3) &= Y_3 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} a_{11} &= [3,6], & a_{12} &= [6,9], & a_{13} &= [4,8], \\ a_{21} &= [4,7], & a_{22} &= [-10,0], & a_{23} &= [3,6], \\ a_{31} &= [2,5], & a_{32} &= [2,6], & a_{33} &= [6,9], \\ Y_1 &= [27,29], \\ Y_2 &= [0,20], \\ Y_3 &= [24,30], \\ x_2 &= [0,10], \end{aligned}$$



Fig. 1 프로그램 입력데이터

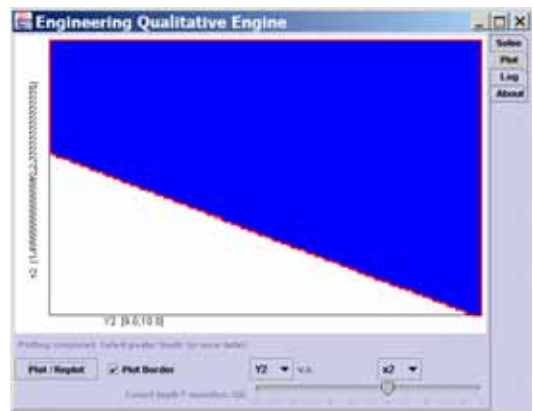


Fig. 2 출력결과 (x2-Y2관계)