

骨造型 家具構造設計에의 유한요소해석 응용*1

鄭 雨 陽*2 · 카알 A. 에켈만*3

Finite Elements Analysis Application to the Structural Design of the Frame Type Furniture*1

Woo-Yang Chung*2 · Carl A. Eckelman*3

ABSTRACT

This analytical study was carried out to make quality and productivity up in designing the frame-type furniture with semi-rigid joint by understanding the mechanical and structural behavior of the joint and by evaluating the validity of application of the time-saving Finite Element Method to its structural analysis.

Slope deflection equation for rigid joint was modified to describe the moment-rotation behavior of semi-rigid joint and the joint stiffness factor(Z) could be calculated to lessen the experimental expense.

It was proved that Finite Element Analysis with imaginary elements having equivalent MOE to the semi-rigid joint could be the alternative method for the structural analysis of the frame-type furniture, comparing the internal rotation of the 2-dimensional beam-to-column model with two-pin(wooden dowel) from the finite element method with other available theoretical and experimental rotation value.

Keywords : Frame-type furniture, semi-rigid joint, slope deflection equation, joint stiffness factor(Z), MOE, moment-rotation behavior, dowel, Finite Element Method

1. 서 언

소비자로 하여금 가구제품에 대한 신뢰를 갖게 하고 생산자 자신은 공정 중 또는 사용 중에 발생하는 이른바 '失敗비용'을 최소화함으로써 생산성을 향상시키기 위해서는 제품의 強度品質을 보장할 수 있는 공학적 설계과정이 필수적이라 할 수 있다. 특히 최근 강화되고 있는 각

종 가구제품의 품질보증기간에 대한 당국의 규제는 업계로 하여금 구조설계에 대한 시각을 과거 시행착오적인 설계방식에서 과학적이고 체계적인 방식으로 전환시킬 것을 요구하고 있다.

가구는 일반적으로 골조요소(frame parts) 및 판상요소(panel parts)로 이뤄지는 바, 상자형 가구를 제외한 거의 모든 가구는 골조형구조를 그 기본구조로 채택

*1 접수 1995년 2월 22일 Received February 22nd, 1995

본 연구는 한국과학재단의 해외방문연구(PostDoc) 지원사업에 의해 수행되었음.

*2 전남대학교 농과대학 College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

*3 美 퍼듀대학교 가구연구센터 Furniture Research Center, Purdue University, IN 47906, U.S.A.

하여 설계, 제작되어 진다. 이들 골조형 가구(frame-type furniture)의 部材접합방식은 대별하여 세 가지로 분류할 수 있는 바, 기하학적(삼각형) 部材배열에 의해 접합부의 회전을 가능하게 하면서 부재의 축방향 하중(axial loads)만을 유도하여 전체 구조를 지탱시키는 '핀 접합' 방식과 외부로부터의 휨 외력에 대항하여 부재의 강도와 접합부의 견고함에 의존하여 그 구조를 유지시키고자 하는 '강성 접합' 방식 그리고 이들 두 접합방식의 중간형태로서 주로 부재의 강성에 의존하면서도 미소한 크기의 접합부 회전이 발생하는 '반강 접합' 방식 등이 있다. (Carpenter, 1960)

가구의 골조요소 중 특히 '보(Beams)要素'의 경우는 중앙 집중하중이 작용하는 경우가 매우 드물고 설령 있다 하더라도 여타의 구조물에 비해 상대적으로 길이가 짧아 별 문제가 되지 않는다. 결국 양쪽 또는 한쪽 고정단에서의 모멘트(fixed end moments)가 커져 접합부에 과도한 하중을 부여함으로써 접합부의 파괴 내지 이로 인한 전체 구조의 약화를 초래하게 된다. 그런데 여기서 흥미로운 것은 구성재료의 특성상 완전한 강성 접합구조를 지니기 곤란한 골조형 목재가구의 설계에서 불가피하게 채택하고 있는 반강 접합방식이 위의 철강 구조의 경우와 같은 긍정적인 효과를 기대할 수 있다는 점일 것이다.

Eckelman 등(1969)은 가구 골조의 분석 및 설계에 관한 연구에서 매트릭스를 이용한 구조분석 방법중 剛性 구조의 외력-변형 관계를 다루기에 유용한 방법인 변위법(일명 stiffness 방법)을 일부분 변형시켜 반강 접합 구조의 비선형 탄성(non-linear elasticity) 특성을 밝힌 바 있다. 그들은 이 연구에서 두개의 나무 핀(dowel)을 사용한 소위 2-pin moment-resisting dowel joint를 형성하는 접합방식을 개발하여 그 이론적 기대치와 실험치를 비교함으로써 이론치의 유효성을 검증한 바 있다. 그 후에도 Eckelman은 많은 시간과 계산을 필요로 하는 매트릭스 해석법을 보다 쉽게 활용하기 위해 골조형 가구의 구조해석을 위한 일반화된 컴퓨터 프로그램(COD-OFF : Computer Design Of Furniture Frame)을 개발하여 다섯 가지 형태의 강성접합을 형성하는 가구 골조의 분석 메카니즘을 비교하였고, 또 반강 접합을 형성하는 경우 상정될 수 있는 여섯가지 경우의 내부변형(internal distortion)의 요체를 구명한 바 있다. 또 그는 Ferguson와 함께 Fortran 및 Basic을 활용한 의자류 가구의 골조분석을 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하여 발표한 바 있다(1976). 그러나 이들 매트릭스 분석법은 반강 접합부를 해석함에 있어 매우 복잡한 식의 변형과 계산을 필요로 하며 그 적합성도 명쾌하게 규명되고 있지

않아 산업체에서의 본격적 활용에는 많은 문제점을 내포하고 있다.

따라서 본 연구에서는 일차적으로 골조형 가구 전체 구조의 강성을 좌우하는 주요소로서의 반강 접합부의 구성 및 거동의 본질을 보다 명확히 분석하고 이를 바탕으로 반강 접합부를 지니는 골조형 가구에 대한 기존의 매트릭스 해석법 그리고 이를 근거로한 가구골조 해석용 컴퓨터 프로그램들에 대한 고찰과 더불어 이들 기존 매트릭스 분석법의 복잡성을 최소화하여 산업체의 설계현장에서 가구 골조의 설계 및 해석에 간단히 활용할 수 있는 구조 해석법으로서의 유한요소 분석법의 응용 가능성을 검토함으로써 가구산업의 설계 생산성 향상 및 공정증 또는 사용중인 제품의 품질 보증을 꾀할 수 있는 방안을 모색코자 하였다.

본 연구에서 사용한 유한 요소분석용 프로그램은 개인용 컴퓨터에서도 충분히 작업이 가능한 소용량의 소프트웨어(MUSAFE2)로서 중소기업에서도 충분히 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 재료 및 방법

2.1 供試 材料

본 유한요소 해석연구의 대상으로 채택한 시험용 골조(test frame)제작에 사용된 재료는 다음과 같다.

- ① 골조부재(frame parts) 소재 : 3/4 × 3-in sugar maple
- ② 부재 연결용 목재 축(dowel) : 3/8 × 2-in sugar maple
- ③ 접착제 : 요소수지 접착제
- ④ 변위 측정용 다이알 게이지

2.2 분석 및 실험방법

2.2.1 半剛接합부의 특성 분석

2.2.1.1 剛性골조에 대한 slope deflection equation 유도과정

Fig. 1은 slope deflection equation을 유도하기 위한 참고도로서 복잡보(b)의 反力은 주어진 보(a)의 경사와 같으며 이는 兩端의 상대적 변형(R)은 포함하지 않고 단지 기울기만을 내포하고 있음을 나타낸다. 따라서 A, B 端에서의 반작용은 각각 A-R 및 B-R로 표시할 수 있다. 여기서 B端 및 A端에서의 모멘트의 합을 각각 0으로 놓고 다른 요소들에 대해 정리를 하면 다음과 같은 평형식을 구할 수 있을 것이다. (Lothers, 1967)

$$\frac{M_A L^2}{3EI} + \frac{M_B L^2}{6EI} - L(\theta_A - R) - \frac{Ab}{EI} = 0 \dots (A)$$

$$\frac{M_A L^2}{6EI} + \frac{M_B L^2}{3EI} - L(\theta_B - R) + \frac{Aa}{EI} = 0 \dots (B)$$

위 (A), (B) 식을 연립하여 풀면

$$M_A = \frac{2EI}{L} (2\theta_A + \theta_B - 3R) + \frac{2A}{L^2} (2b - a) \dots (C)$$

$$M_B = \frac{2EI}{L} (2\theta_B + \theta_A - 3R) - \frac{2A}{L^2} (2a - b) \dots (D)$$

단, A = 하중작용시의 단순 모멘트 모식도의 면적

(균일분포 하중時: $A = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} wL^2 \times L = wL^3/12$)

중앙집중 하중時: $A = \frac{1}{2} L \times \frac{1}{4} PL = PL^2/8$)

$R = \Delta/L$

a, b = 兩端으로부터 A의 重心까지의 거리

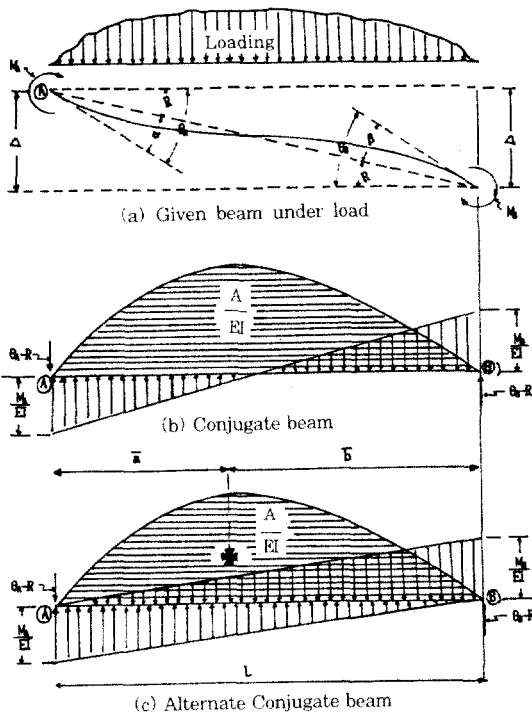


Fig. 1. Data for the derivation of the slope deflection equation.

위 식(C) 및 (D)의 맨 뒤 괄호 항들은 주어진 하중 하에 있는 보의 고정端 모멘트임에 유의하면 균일분포하중인 경우

$$\frac{2A}{L^2} (2b - a) = \frac{2wL^3/12}{L^2} (2 \times \frac{1}{2} L - \frac{1}{2} L) = \frac{wL^2}{12}$$

으로 된다.

2.2.1.2 半剛접합 인자(semi-rigid joint factor), Z

半剛접합이란 지지대와 보의 말단에 작용하는 偶力の 영향을 완충시키는 일종의 쿠션으로 정의될 수 있다. 鐵鋼구조에서는 대부분의 경우 이러한 쿠션效果는 각가지 형태의 앵글을 사용함으로써 달성할 수 있으며 가구의 경우는 목재축(dowel)이나 補助코너블럭과 병용한 앵커볼트등 주로 기계적 접합방식에서 흔히 채택되고 있는 방법이다. (Eckelman, 1968)

半剛접합방식에서의 추가 회전량 값의 크기는 보의 末端모멘트, M의 함수로서 그에 비례한다고 볼 수 있다. 그러나 이때 증가의 속도는 절대적으로 이 반강접합부의 剛性에 의해 결정된다. 또 이 값은 每接합부마다 다른 값을 가질 것이므로 Z 라는 상수를 써서 반강접합부의 고유특성을 나타내는 것이 편리할 것이다.

$$Z = \phi / M \dots \dots \dots (E)$$

이 Z값이 연결部材의 탄성계수(E)와 단면 모멘트(I) 값 등과 같이 쓰일 때 일반적인 구조 분석을 수행하기 위한 보정인자로 의미를 지니게 될 것이다. 이 값은 반강접합의 강성에 반비례할 것이므로 완전 강성접합인 경우 0, 편 접합인 경우 ∞ 를 지닌다.

2.2.1.3 Slope deflection equation의 변형

2.2.1에서 설명했듯이 兩端에서의 모멘트는 결국 兩端의 slope deflection의 함수로 표시되며 그 방정식은 各端에서의 모멘트의 합 $M = 0$ 로 취하여 세울 수 있으므로 반강 접합에 대해서도 마찬가지로 접합부 변형에 상응하는 모멘트($M_A Z_A L$ 및 $M_B Z_B L$)만 추가하여 다음 식 (F) 및 (G)와 같이 그 변형 방정식(slope deflection equation)을 세울 수 있다. (Eckelman *et al.*, 1969)

$$M_A = 6EI \frac{2L_A(\theta_A - R) + L(\theta_B - R)}{4L_A L_B - L^2} - \frac{6A}{L} \times \frac{2bL_A - aL}{4L_A L_B - L^2} \dots (F)$$

$$M_B = 6EI \frac{2L_B(\theta_B - R) + L(\theta_A - R)}{4L_A L_B - L^2} + \frac{6A}{L} \times \frac{2aL_B - bL}{4L_A L_B - L^2} \dots (G)$$

단, $L_A = L + 3EI Z_A$
 $L_B = L + 3EI Z_B$

上記 식(A)에서 식(G)까지의 유도과정에서 흥미로운 사실은 보의 말단연결(접합)을 剛節에서 半剛접합으로 바꾸는 일은 마치 beam의 길이를 '3EI Z 만큼 늘여주는 것과 같은 의미라는 점이다. 예를 들어 임의의 beam의 반강 접합된 어느 끝이 접합인자 Z-값을 가질 때 생각할 수 있는 새로운 의미의 길이는 $L_A = L + 3EI Z$ 로 된다는 사실이다.

2.2.2 半剛골조의 매트릭스 해석

'傾斜變形(slope deflection)분석법' 이 매트릭스를 이용한 구조분석 특히 변위법의 기본적 요약 형태이므로 이에 대한 이론적 연장선에서 반강접합부를 지니는 가구의 골조해석을 위한 매트릭스법을 유도해낼 수 있을 것이다. 이 분석법에서는 구조내 부재의 兩端에 작용하는 내부 힘, 즉 구조로 하여금 저항하도록 설계되어진 힘이 표준 傾斜變形방정식(slope deflection equation)에 의해 未知의 접합부 회전 및 部材의 변위로 나타나게 된다. 접합부 평형식 및 剪斷평형식은 공히 다음과 같은 매트릭스 형태로 쓸 수 있다. (Rubinstein, 1966)

$$\bar{M} = \bar{K} \bar{U} \dots\dots\dots (H)$$

- 단, \bar{M} = 外部하중 벡터
- \bar{K} = 접합부 剛性 매트릭스
- \bar{U} = 회전 및 變位 벡터

일단 \bar{U} 가 매트릭스 계산에 의해 풀리면 구조의 内部 모멘트는 앞서의 傾斜變形표현식 (F) 및 (G)에 이들 회전 및 변위값을 대입하여 구하게 된다.

여기서 접합부에 대한 평형식은 구조내 각 접합부에 대해서 그것에 작용하는 모멘트라는 개념으로 쓰여질 수 있다. 그러나 부재의 이동이 존재하기 때문에 未知회전과 변위의 수가 접합부 평형식의 수를 초과하게 되어 剪斷평형식으로 방정식을 추가해야 한다. 한편 剪斷평형식을 체계적으로 만들어내기는 어렵기 때문에 부재兩端의 변위를 부재 자체의 이동으로 간주하기 보다는 단순한 미지수로 취급하여 컴퓨터로 작업하는 것이 용이하다. Fig. 2 에 나타난 것과 같은 4각 부재인 경우, 左右端에서의 모멘트는 이제 다음과 같이 표현될 수 있을 것이다. (Eckelman et al., 1969)

$$M_A = \frac{4EI}{L} \theta_A + \frac{2EI}{L} \theta_B + \frac{6EI}{L^2} (d_A - d_B) \dots\dots\dots (I)$$

$$V_A = \frac{6EI}{L^2} \theta_A + \frac{6EI}{L^2} \theta_B + \frac{12EI}{L^3} (d_A - d_B) \dots\dots\dots (J)$$

$$M_B = \frac{2EI}{L} \theta_A + \frac{4EI}{L} \theta_B + \frac{6EI}{L^2} (d_A - d_B) \dots\dots\dots (K)$$

$$V_B = \frac{6EI}{L^2} \theta_A - \frac{6EI}{L^2} \theta_B - \frac{12EI}{L^3} (d_A - d_B) \dots\dots\dots (L)$$

여기서 우리는 소위 접합부의 内部변형 또는 半剛접합부의 内部角度변화를 傾斜變形(slope deflection)표현식에 반영할 필요가 있다. 즉 兩端에서의 이들 접합부 변형(internal angle change)를 각각 θ_A, θ_B 로 놓으면 앞서의 傾斜變形표현식 (I) 및 (K)은 다음과 같이 변형될 수 있다.

$$M_A = \frac{4EI}{L} (\theta_A - \theta_A) + \frac{2EI}{L} (\theta_B - \theta_B) + \frac{6EI}{L^2} (d_A - d_B) \dots\dots\dots (I_1)$$

$$M_B = \frac{2EI}{L} (\theta_A - \theta_A) + \frac{4EI}{L} (\theta_B - \theta_B) + \frac{6EI}{L^2} (d_A - d_B) \dots\dots\dots (K_1)$$

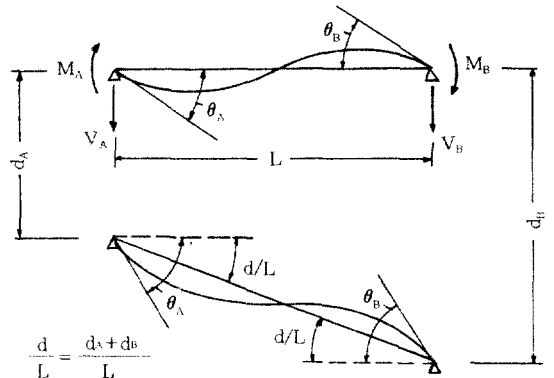


Fig. 2. End rotations and beam translation when a simply supported beam is acted upon by end moments and one end is displaced more than the other.

* Definition of symbols:

- M_A = internal moment acting on left beam end
- M_B = internal moment acting on right beam end
- V_A = internal shear force acting at right end
- θ_A = rotation of left beam end
- θ_B = rotation of right beam end
- d_A = translation of left beam end
- d_B = translation of right beam end
- L = length of the beam

2.2.3 가구골조의 유한요소해석

본 연구에서는 상용화된 유한요소 해석용 프로그램을 이용하여 간편하게 가구골조의 구조해석을 행할 수 있도록 하기 위해 2개의 목재축(dowel)으로 반강 접합된 골조에 대한 요소화 작업을 수행하고 그 구조 모델에 대한 응력-변위 관계를 상기 프로그램을 이용하여 구하여 기존의 two-pin moment resisting dowel joint에 대한 연구(Eckelman, 1971) 해석 결과와 비교함으로써 그 효율성 및 가용성을 구명하고자 하였다 (Segerlind, 1984; Yang, 1986; 李炳海, 1985).

본질적으로 유한 요소법은 선형성에 기초하므로 벡터 및 매트릭스에 대한 수학적 이해가 필요하며 특히 매트릭스 기법을 주로 사용하는 이유로는 많은 변수와 다항식을 취급하므로 식의 전개 및 프로그래밍 대응이 용이하기 때문이다. (Przemieniecki, 1968)

Fig. 3은 흔히 가구 골조에서 나타나는 보-支柱 접합 방식의 거동을 이해하는데에 필수적인 모식도로서 하중 작용시의 반강접합부 내부의 각도변형(ϕ)는 일반적으로 y/x (y : 인장 목재 축의 변위, x : 인장 목재 축으로부터 중립축까지의 거리)로 나타낼 수 있다. 일단 임의의 목재 축에 대한 변위 함수가 이렇게 구해지게 되면 단지 중립축의 위치 및 목재 축에 작용할 축하중 만이 ϕ 를 구하기 위해 필요한 인자가 되게 된다. 이들은 접합부내의 보-支柱 경계면을 非均質部로 간주한 다음 다시 그것을 等價의 均質部로 변환시키는 방법을 이용해서 구할 수 있다. 즉 중립축의 위치는 보의 末端에 작용하는 힘들에 대한 水平合力으로 구할수 있는 바, 보의 末端은 주어진 하중조건에서 변형하지 않고 支柱내의 압축응력의 분포가 선형적이라고 가정하면 四角形의 보에 대한 수평 합력은 다음과 같이 쓸 수 있다고 알려지고 있다. (Eckelman *et al.*, 1969)

$$\frac{bx_1^2}{2} E_1' - (x_1-x_2)(E_3'-E_1')A = (x_3-x_1)AE_3' \dots (M)$$

- 단, x_1 = 보上端으로부터 중립軸까지의 거리
- x_2 = 보上端으로부터 압축 목재 축까지의 거리
- x_3 = 보上端으로부터 인장 목재 축까지의 거리
- A = 각 목재 축의 단면적
- b = 보의 幅
- E_1' = 支柱의 횡단면 탄성계수(약 $0.05 E_c$)

인장하중하에 있는 목재 축은 이 보의 보강재로서 간주되며 이에 대한 等價의 $MOE(E_1')$ 는 별도의 인장 실험

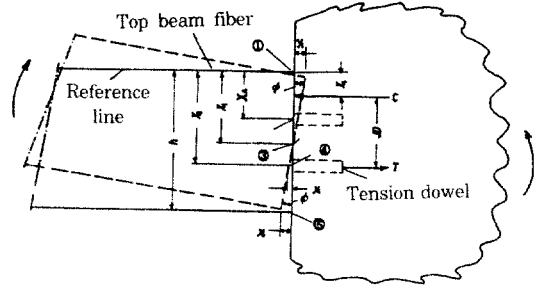


Fig. 3. Internal joint rotation and rotation of two-dowel beam-to-column joint. The curved arrows moments acting on the joint sections. Circled numbers refer to specific points of interest.

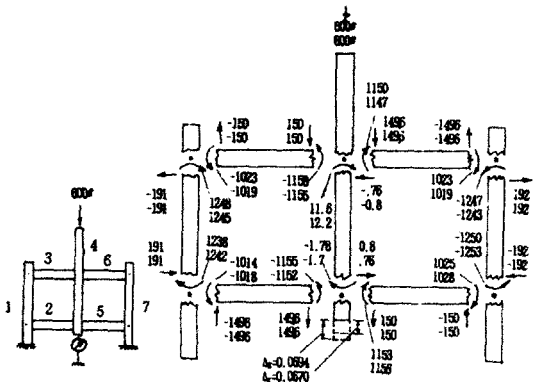
* Definition of symbols:

- x_1 = distance from top beam fiber to neutral axis
- x_2 = distance from top beam fiber to diametral axis of compression dowel
- x_3 = distance from top beam fiber to diametral axis of tension dowel
- x_4 = distance from top beam fiber to resultant compression force vector
- d = depth of beam
- JD = distance from resultant compression force vector to tension force vector
- y_1 = compression of top beam fibers at point 1
- y_4 = extension of tension dowel at point 4
- y_5 = displacement of bottom beam fiber at point 5
- ϕ = internal semi-rigid joint rotation

힘으로 구할 수 있다. Eckelman(1969)에 의하면 횡단면과 종단면이 접합된 시편의 경우 전체 신장의 $\frac{1}{3}$ 은 횡단部材에서 $\frac{2}{3}$ 은 縱斷部材에서 발생하는 것으로 나타났다. 즉 단면적이 0.11 in^2 인 목재 축의 시험 블럭(E_c 값: $2.52 \times 10^6 \text{ psi}$)내의 삽입 깊이를 1 인치로 하고 하중을 1050lb로 하였을 때의 전체의 평균 변위를 0.0070 인치라 하면 이 때의 등가의 $MOE(E_1')$ 는

$$E_1' = \frac{\frac{1}{3} (1050)}{\frac{1}{3} (7.0 \times 10^{-3})(0.11)} = 9.825 \times 10^5 \text{ psi} = 0.389 E_c \text{ 로 계산되었다.}$$

본 연구에서는 위와 같은 번잡한 실험 및 계산과정을 줄이고 실제 임의의 골조구조에의 유한 요소해석법의 적



(a) Loading test (b) Structural analysis of the frame

Fig. 4. Test frame used to verify analytical procedures(Eckelman & Suddarth, 1969). The frame was constructed of $3/4 \times 3$ -inch sugar maple members with $3/8 \times 2$ -inch sugar maple dowels and was assembled using a urea-formaldehyde adhesive. Distance between joint centers of horizontal members in 17.5 inches, and 13.0 inches for vertical members. Calculated moments, shears and center post deflection using a theoretically determined moment-rotation curve are shown in upper numbers. Those for an analysis using an experimentally found curve are shown in lower numbers. Shear forces are placed adjacent to straight arrows; moments are associated with curved arrows.

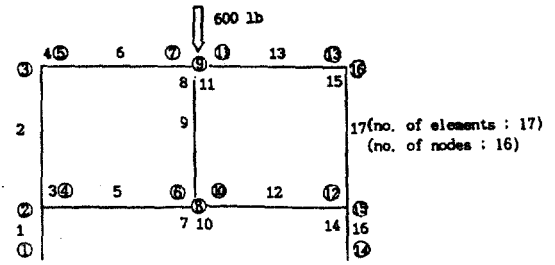


Fig. 5. 2-D diagram for the beams, nodes and external load.

용가능성을 검토하기 위해 Eckelman의 연구에서 그 실효성이 입증된 모델(Fig. 4)에 대해 전술한 바와 같이 수평 부재(beam)에 삽입된 나무 핀에 상응한 길이의 가상의 요소(Fig. 5)에 대해 임의로 수평부재의 탄성계수(2.52×10^5 psi)의 20%에서 80%까지 매 10% (2.52×10^5 psi) 간격으로 탄성계수를 부여하여 주어진 하중 조건하에서 각각의 변형양상을 MICROSAFE-2D에 의해 비교함으로써 반강접합부를 대치할수 있는 가상요소에 대한 등가의 탄성계수를 찾아내고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 1은 본 연구에서 분석한 각 절점(nodes)에서의 변형치와 Eckelman의 연구에서 수행된 결과를 비교한 것이다.

앞의 표에서 각 점(접합부 또는 절점)에서의 内部각도 변화(회전)는 모멘트-회전 함수식으로부터 계산하여 나

Table 1. Comparison between measured and computed internal joint rotation(Eckelman's) and the displacement of the corresponding node from finite element analysis.

Load cycle	Joint No. (node no.)	Eckelman's rotation*1		FEM internal rotation w/ each MOE*2						Center post displacement(in)	
		Measured	computed	20%	30%	40%	50%	60%	70%		80%
1	4-6(9)	.00409	.00384	.0082	.0075	.0067	.0058	.0048	.0037	.0025	0.0880
2	6-7(6)	.00343	.00340	.0073	.0069	.0063	.0054	.0043	.0033	.0021	0.0874
3	1-3(3)	.00359	.00340	.0073	.0069	.0063	.0054	.0043	.0033	.0021	0.0848
4	3-4(9)	.00398	.00388	.0082	.0075	.0067	.0058	.0048	.0037	.0025	0.0848
5	2-4(8)	.00405	.00386	.0083	.0076	.0068	.0058	.0048	.0037	.0025	0.0826
6	1-2(2)	.00341	.00338	.0074	.0070	.0064	.0054	.0043	.0033	.0021	0.0848
7	5-7(5)	.00363	.00342	.0074	.0070	.0064	.0054	.0043	.0033	.0021	0.0848
8	4-5(8)	.00420	.00386	.0083	.0076	.0068	.0058	.0048	.0037	.0025	0.0841

*1 Unit of rotation was radian.

*2 Percentage of the longitudinal MOE(2.52×10^6 psi).

타내었다. 상기 분석에 의하면 Eckelman의 연구 결과에 비해 유한 요소해석시 응력이나 변형의 기하학적 좌우 대칭성이 좀더 확연히 나타났으며 동일 수직부재내의 절점에서의 변위(이는 결국 내부회전으로 환산되어 표현됨)는 거의 일정함을 알 수 있다. 또 이 표에 의하면 반강 접합부를 외부하중에 대해 수직방향에 존재하는 가상의 요소로 나타내고자 할 때 그 요소의 탄성계수를 수평부재의 원래 탄성계수의 70% 내외로 부여했을 경우 Eckelman의 연구에서 보고된 바와 거의 같은 내부 회전량을 나타냄으로써 복잡하고 어려운 가구 골조구조의 반강 접합부 해석을 유한 요소법을 이용 간단히 해석할 수 있는 가능성 및 타당성이 존재함이 밝혀졌다. 단, 이 실험 및 분석은 가장 간단한 의자의 골조구조를 2차원적으로만 해석한 것이기에 실제 이 보다 구조적인 면에서 더욱 복잡하고 절점의 좌표설정 및 하중조건이 까다로운 3차원 골조구조(비틀림 하중이 존재)에 대한 응용을 위해서는 보다 다양한 부재규격 및 접합방식에 대한 추가적인 해석이 뒤따라야 할 것으로 사료되는바이다.

4. 결 론

골조형 가구의 전형적인 반강 접합부(semi-rigid joint)의 의의 및 특성을 파악하고 일반 강성 골조 해석용 '傾斜 변형方程式(slope deflection equation)'에 대한 변형을 통해 복잡 다단한 반강접합부에 대한 수리적 해석 방안을 구명하고 구조체로서의 가구 골조구조에 대한 이해를 바탕으로 반강 접합부를 대체하기 위한 가상의 요소를 설정하여 개인용 컴퓨터에서도 작업이 가능한 소용량의 2차원 구조분석용 유한요소 해석프로그램(MICROSAFE-2D)을 이용하여 가구 골조에 대한 유한요소 해석응용의 타당성을 분석함으로써 가구산업의 설계 품질 및 생산성 향상을 도모코자 하였다. 본 연구분석을 통해 얻은 주요한 결론은 다음과 같다.

1. 가구 골조는 구조상 접합부를 형성하는 부재 兩端에서의 모멘트가 커지는 경향이 있으므로 이를 완화시킬 수 있는 반강 접합부의 구성은 필수적이다.
2. 반강 접합부의 모멘트 발생량 등 역학적거동은 傾斜 변형方程式(slope deflection equation)을 일부 변형시켜 해석할 수 있으며 동시에 접합부 인자(Z)도 세부 접합부의 기하학적 분석에 의해 계산함으로써 비용 절감뿐 아니라 설계시 접합 품질의 계량화가 가능하게 된다.
3. 골조형(frame-type) 가구는 구조의 복잡성 및 접합부의 불균질성등을 고려할 때 보다 균일하고 간

략화된 모델을 대상으로한 구조해석법을 채택, 설계 생산성을 제고해야 한다.

4. 2차원 가구골조에 대한 유한요소 해석은 반강 접합부와 等價의 탄성계수를 지니는 가상의 요소를 설정하여 수행할 수 있으며 그 타당성도 입증되었다. 단, 3차원인 실제 가구골조에의 유한요소법 응용을 위해서는 모델화 및 하중조건에 대한 추가적 연구 분석이 뒷받침되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Carpenter, S.T. 1960. Structural Mechanics. John Wiley & Sons, New York
2. Eckelman, C.A. 1968. Furniture Frame Analysis and Design. Ph.D. Thesis. P.U. W.Lafayette, Indiana
3. Eckelman, C.A. 1971. Computer Design of Furniture Frames—Program Documentation. P.U. Agr. Exp. Sta. Research Bulletin No.876
4. Eckelman, C.A., and D. A. Fergus. 1976. Computer Analysis of Chair Frames. P.U. Agr. Exp. Sta. Res. Bull. No.937
5. Eckelman, C.A., and F.E. Goodrick. 1968. Computer Analysis of Member Stresses in Chair Side Frames. P.U. Agr. Exp. Sta. Prog. Rpt. No.325
6. Eckelman, C.A., and S.K. Suddarth. 1969. Analysis and Design of Furniture Frames. P.U. Agr. Exp. Sta. Res. Bull.
7. Lothers, J.E. 1967. Advanced Design in Structural Steel. Prentice-Hall Civil Engineering Mechanics Series
8. Przemieniecki, J.S. 1968. Theory of Matrix Structural Analysis. McGraw-Hill Inc., New York
9. Rubinstein, M.F. 1966. Matrix Computer Analysis of Structure. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs
10. Segerlind, L. J. 1984. Applied Finite Element Analysis(2nd ed.). John Wiley & Sons, New York
11. Wilson, D.M. 1945. Analysis of Rigid

Transaction of ASCE 110 : 1498

12. Yang, T. Y. 1986. Finite Element Structural Analysis. Prentice-Hall Inc., Englewood

Cliffs, N.J.

13. 이병해. 1985. 基礎 有限要素法. 경문사. 서울