

유한요소법을 이용한 반강접합부의 구조해석모델^{*1}

양한승^{*2} · 이필우^{*2}

Analysis Model of Semi-Rigid Joint Using Finite Element Method^{*1}

Han-Seung Yang · Phil-Woo Lee^{*2}

ABSTRACT

This study was carried out to develop a finite element analysis model that considers the semi-rigid characteristics of a wood-dowel joint, which is different from conventional joints that are used in the field of engineering. Wood-dowel joints are classified as semi-rigid joints that possess the following characteristics: (1) they are less stiffer than rigid joints and (2) their stiffness is determined by the dowel's diameter, depth of dowel embedment in the face member and quantity of pin dowels. In this study a finite element model that considers the changes in stiffness according to the above mentioned factors was developed and its suitability was verified by experiments using a wood-dowel joint test specimen made up of particleboards.

After comparing the experimental results and the analysis results of the wood-dowel joint which was applied with the proposed finite element model, less than 10% of error was found which is considered to be negligibly small. Hence this shows that this proposed finite element model can be used to predict deformation of wood-dowel joints.

Keyword: Finite element model, semi-rigid characteristics, predict, deformation

1. 緒 論

가구란 일상생활의 활동, 휴식, 수납, 정돈의 용도를 만족시킴과 동시에 그가 가지고 있는 미적요소로서 생활을 더욱 쾌적하게 하여 주는 생활용구임에도 불구하고 지금까지 가구의 설계에 있어서는 용도를 만족시킬 수 있는 기능보다도 심미적인 측면에서의 설계에 치우쳐 발전하여 왔다. 그러나 최근들어 가구의 설계에 있어서 공학

적인 기초에서 출발한 새로운 디자인 기법이 연구발전되고 있다. 가구의 공학적 디자인은 실생활에서 가구의 사용시에 어떤 문제점이 발생했을때 과학적인 해석을 통해 원인분석을 함으로써 해결방안을 제시하거나 한단계 더 발전시켜서 제작되기 이전의 설계단계에서 가구의 구조해석을 통해 제품의 비파괴 시험과 그에 따른 문제점의 조기발견 등에 이용하는 것 등이 그것의 중요성이라 할 수 있다.

1950년대말 부터 가구의 강도를 과학적으로 해석하는 방법에 대한 연구들이 발표되기 시작한 이후로 수치해석

*1 접수 1995년 3월 27일 Received March 27, 1995.

*2 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

법을 이용한 해석방법을 주로하여 계속 발전해 오고 있다. 국내에서도 가구의 공학적 디자인의 기초자료를 얻기 위한 몇건의 연구가 취급된 바 있으나 가구의 공학적 해석방법이나 모델링 방법에 대한 구체적인 연구는 수행된 바 없으며 국외의 경우도 가구구조의 강성해석방법과 모델링 방법에 관한 연구는 매우 빈약한 실정이다. 특히 오늘날 폭넓게 사용되고 있는 수치해석법 중의 하나인 유한요소법을 사용한 가구의 구조해석에 관한 연구는 극히 최근에 시작되었고 이를 바탕으로 한 많은 발전이 예상되고 있다. 하중작용시 각 부위의 변형량과 응력분포를 알아볼 수 있는 유용한 수치해석방법인 유한요소법을 가구의 구조해석에 이용하는 것은 가구의 공학적 디자인에 있어서 새로운 연구의 방향이 되고 있으며 설계과정에서 중요한 결정요인으로 작용하게 될 것이다.

국내외의 주요연구로 Eckelman과 Resheidat(1983)는 case의 강성에 대해 연구하였고 각 corner에 작용하는 힘을 식으로 표현하였다. 이 연구들은 모두가 한쪽면이 개방된 다섯면의 case구조에 관한 연구지만 선반이나 구획에 관하여는 다루지 않았다. Eckelman과 Rabiej(1985)는 이러한 것을 유한요소법을 사용하여 해석하였으며 이러한 선반같은 것을 포함한 부분의 강성을 연구하는 간단한 방법을 제시하였다. 더욱이 Ganowicz 등(1983)은 기존의 해석방법을 발전시킨 방법을 토대로 case의 강성을 연구하였다. Ganowicz와 Kwiatowski(1978)는 접합부가 강성에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 그들은 또한 dowel joint를 사용하고 뒷 패널에 screw를 사용한 case에서 이론적인 예측치보다 강성이 31% 증가한 것도 발견하였다. Lin과 Eckelman(1987)은 접합부의 강성이 case의 강성에 미치는 영향을 연구하였는데 접합부는 뚜렷한 효과를 미친다는 것을 알 수 있었다. 또한 Cai 등(1993)도 역시 접합부의 강성이 전체의 강성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

다음으로는 구조해석방법에 관한 연구인데 금고나 책꽂이 등 실제제품에 있어서 joint가 전체 case의 강성에 미치는 영향이나 front frame이 전체 case의 강성에 미치는 영향을 해석해 내는 방법을 연구한 것으로는 Eckelman과 Munz(1987)의 연구가 있다. 또한 Kotas(1957)와 Eckelman(1967), Ganowicz 등(1978)이 hinge joint를 사용한 다섯면 case 구조의 강성 해석방법을 발전시킨 연구가 있다. 그 후 Ganowicz와 Kwiatowski(1983), Eckelman과 Rabiej(1985)는 선반과 내부구획을 포함한 case에 이러한 해석방법을 도입하였다. Ganowicz와 Eckelman(1983) 그리고 Lin(1983)은 여러가지 접합부의 형태가 case의 강성에 미치는 영

향에 대해 연구하였다. Kotas(1958)는 frame의 type에 따른 강성을 평가하였다. Eckelman과 Rabiej(1985)는 선반과 구획을 포함한 case의 해석에 쓰인 방법을 적용하여 front frame을 포함한 case를 해석하는 일반적 방법을 발전시켰다. 또한 접합부에 관한 연구를 살펴보면 Hayashi와 Eckelman(1986)은 널리 쓰이는 CBA 접합부의 강도나 안정성 등에 영향을 미치는 인자들에 대해서 연구 발표하였다. Zhang(1993)은 dowel을 하나 사용한 corner joint의 bending moment resistance와 그것을 예측하는 방법을 제시하였다. Eckelman(1989)은 through bolt와 dowel-nut를 사용한 가구의 접합부의 강도적 성질에 관한 연구를 수행하였다. 그 밖에 Eckelman과 Cassens(1985)는 wood dowel의 유지력에 대한 연구결과를 발표하였으며, Yamada 등(1991)은 staple의 침투깊이에 따른 가구 frame의 joint강도에 대한 연구 결과를 발표하였다.

한편 국내에서는朴과李(1990)가 wood dowel 접합부의 접합부 강도와 강성계수를 구하여 영향인자들을 평가분석한 바 있고李 등(1991)은 가구구조용 콤폴라이드 wood dowel 접합부를 구성하여 휨하중시의 강도적 성질과 반강접합특성에 관해 검토하였다.

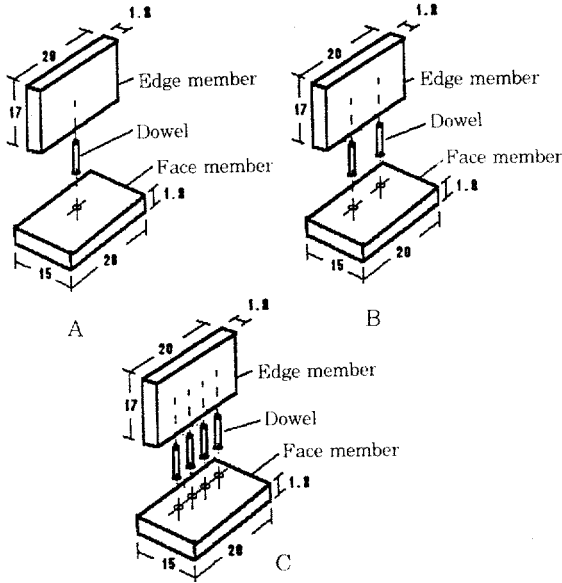
본 연구의 목적은 가구제품에 널리 쓰이는 wood dowel 접합부의 반강접합부적 특성을 고려한 적절한 유한요소 해석모델의 개발을 통해 접합부의 모델링 문제에 대한 방향성을 제시하는데 있다. 반강접합부의 특성은 일반 rigid joint에 비해 강성이 약하며 dowel의 직경, 예비구멍의 깊이, 사용갯수 등에 따라 강성이 변화한다는 것이다. 가구 전체구조의 강성에 접합부의 강성이 미치는 영향이 월등히 크기 때문에 이와같은 측면에서 본 연구는 파티클보드로 wood dowel 접합부 시험체를 구성하여 위의 인자들이 변화함에 따른 접합부 강성의 변화를 감안한 적절한 간단한 유한요소 해석모델을 개발하고자 하였으며, 이들에 대한 실제 실험을 통해 적합성도 평가하고자 하였다.

2. 材料 및 方法

2.1 재 료

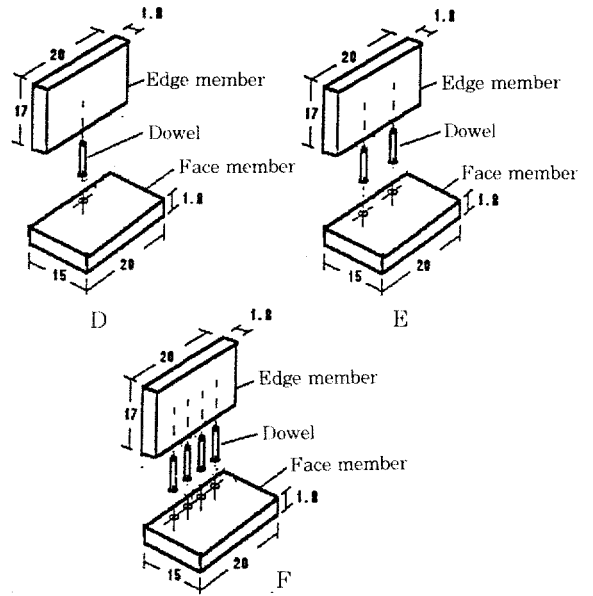
2.1.1 Wood dowel

접합부에 사용된 wood dowel은 국내 가구제작업체인 현대중합목재산업 주식회사에서 실제로 사용하는 것을 분양받아 사용하였다. 직경은 6, 8 및 10mm, 길이는 30, 35 및 40mm로 총 9종류를 사용하였다. 수종은 yellow birch였으며 함수율은 10.6%, 비중은 0.60이었다.



A : "T" form 1-pin dowel joint.
 B : "T" form 2-pin dowel joint.
 C : "T" form 4-pin dowel joint, unit: cm.

Fig. 1. Wood dowel joint specimen.



D : "L" form 1-pin dowel joint.
 E : "L" form 2-pin dowel joint.
 F : "L" form 4-pin dowel joint, unit: cm.

Fig. 2. Wood dowel joint specimen

2. 1. 2 접착제

접합부에 사용한 접착제는 수지 고형분이 42%인 초산 비닐수지(polyvinyl acetate resin)였으며, 도포량은 $200\text{g}/\text{m}^2$ 을 적용하였다.

2. 1. 3 패널부재

패널부재는 현대중합목재산업 주식회사에서 분양받은 두께 18mm의 파티클보드를 사용하였다. 온도 20℃, 상대습도 65%의 조건에서 조습처리한 후 KS F 3104에 의거하여 시험한 결과 흡수율은 8.6%, 비중은 0.61이었고, ASTM D 1037에 의거하여 사용된 부재의 영율을 구한 결과 $1.90 \times 10^5 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ 였다.

2. 1. 4 시험체의 형상 및 치수

접합부 시험체의 형상과 치수는 그림 1과 2에 나타나 있는 바와 같다. wood dowel의 사용위치는 1개의 경우 중앙이었으며, 2개의 경우 6.4cm 간격, 4개의 경우 3.2cm 간격으로 하였다.

2. 1. 5 접합부 시험체의 제작

접합부 시험체는 그림 1과 2와 같이 T자와 L자의 두 가지 형태로 제작하였다. 사용한 wood dowel의 수는 1, 2 및 4개의 3가지, 직경은 6, 8 및 10mm의 3가지, face member의 예비구멍의 깊이는 5, 10 및 15mm의 3가

지로 하였으며 반복수는 각각 10반복으로 하여 총 540개의 시험체를 제작하였다.

2. 1. 6 실험기기

접합부 하중실험은 서울대학교 임산공학과 내에 설치되어 있는 일본 시마즈사 제품인 최대하중 1000kgf의 만능강도시험기를 사용하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션은 서울대학교 공과대학 전자계산소 내에 설치되어 있는 workstation을 사용하였다.

2. 2 방법

2. 2. 1 접합부 시험체의 변형측정

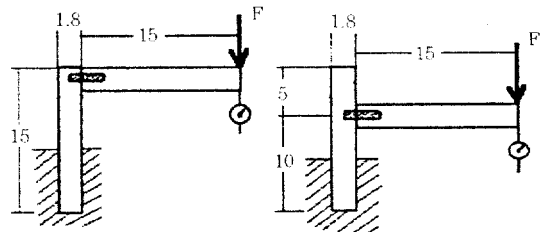


Fig. 3. Load application and displacement measurement of dowel joints (unit: cm).

접합부 시험체는 dowel의 사용갯수와 직경, face member의 예비구멍 깊이에 따른 강성의 변화를 알아보고 강성해석의 기초자료로 사용하기 위해 만능강도시험기를 사용하여 접합부 변형량을 그림 3과 같이 측정하였다. 하중적용은 정과 이(1989), 이 등(1991)의 연구에서 적용한 방법을 사용하였다.

2.2.2 유한요소해석모델

2.2.2.1 접합부 변형의 계산

rigid joint일 경우 Timoshenko와 Young(1968)이 제시한 cantilevered plate의 하중점 변형량을 나타내는 식은 다음과 같다.

$$f = [l^2(3a-1)/6EJ] \times P \dots\dots\dots (1)$$

- f : Deformation (cm).
- l : Distance between joint and deformation gage (cm).
- a : Distance between joint and load (cm).
- P : Load (kgf).
- E : Young's modulus (kgf/cm²).
- J : Moment of inertia (cm⁴).

wood dowel 접합부는 semi-rigid joint이기 때문에 rigid joint에 비해 강성이 약하며, semi-rigid joint로 구성된 cantilevered plate의 경우 접합부 변형 계산을 위해서는 위 식과 비교하여 강성이 약한 것을 보정해 줄 수 있는, 식 (1)의 $l^2(3a-1) / 6EJ$ 부분과 대응하는 계수가 필요하게 된다. 본 연구에서는 다음 식과 같이 표현하였다.

$$f_d = k \times P \dots\dots\dots (2)$$

- f_d : Deformation of wood dowel joint (cm).
- P : Load (kgf).
- k : Deformation constant.

그런데 wood dowel 접합부는 강성의 여러가지 영향 인자들이 변화함에 따라 강성이 달라지므로 더 이상 이러한 보정계수 k를 가지고 설명할 수 없게 되며 상수가 아닌 어떤 함수의 형태로 나타나게 된다. 따라서 본 연구에서는 실험에 의해 측정된 접합부위의 변형을 wood dowel 접합부 강성의 영향인자인 dowel의 직경, face member의 예비구멍의 깊이, 동일 사용간격 내의 갯수에 대

한 회귀식을 구하여 나타내고 이렇게 구한 하중 P에 곱해지는 함수를 최종적으로 변형량 함수 $g(D, e_m, n)$ 로 정의하였다. 보정함수 C는 식 (3)의 $g(D, e_m, n)$ 부분과 식 (1)의 $l^2(3a-1) / 6EJ$ 부분의 비를 구한 것이다.

그리하면 rigid joint일 경우의 변형량과 semi-rigid joint일 경우의 차이를 보정해 주는 보정함수 C가 식 (4)와 같이 정의될 수 있다.

$$f_d = g(D, e_m, n) \times P \dots\dots\dots (3)$$

$$C = g(D, e_m, n) / [l^2(3a-1) / 6EJ] \dots\dots (4)$$

- f_d : Deformation of wood dowel joint (cm).
- D : Wood dowel diameter (cm).
- e_m : Depth of dowel embedment in the face member (cm).
- n : Number of dowel.
- C : Corrective function.

이렇게 해서 구한 보정함수 C는 유한요소해석모델에 사용하게 될 것이다.

2.2.2.2 유한요소해석모델

유한요소법을 이용한 계산은 서울대학교 공과대학 전자계산소내의 workstation을 이용하였으며, 소프트웨어는 ansys 5.0 이라는 유한요소해석 패키지 프로그램을 사용하였다. 접합부 시험체는 그림 4, 5와 같이 절점과 요소를 나누어 모델링하여 탄성영역내의 동일하중시 하중점 변형량을 계산하였다.

그림에서 접합부위에 인접한 곳의 작은 element들은 반강접합부의 특성을 감안한 transient element 이다. 파티클보드와 파티클보드의 interface 면에 영율이 약한 새로운 물질로 이루어진 element가 존재한다는 가정을 하였다. 이것의 크기를 결정하기 위하여 총 1620번의 계산을 수행하여 해의 수렴성을 조사한 결과 wood dowel 이 침투한 지점에 그대로 절점을 잡는 것이 적합하다는 결론을 얻었다. 앞서 구한 보정함수 C로 파티클보드의 영율을 나누어 transient element의 영율을 다음 식과 같이 구한다.

$$E_s = E/C \dots\dots\dots (5)$$

- E : Young's modulus of particleboard (kgf/cm²).
- E_s : Young's modulus of transient element (kgf/cm²).

그리고 transient element의 연속성 문제를 해결하

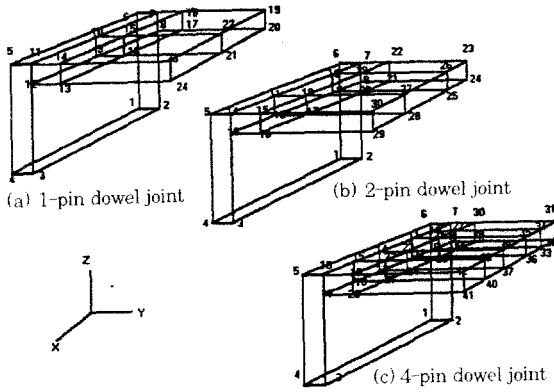


Fig. 4. Finite element model of "L" form dowel joint.

기 위해 파티클보드로 구성된 element와 만나는 면의 rotation이 각각 같고 그 면에 존재하는 절점의 변형량이 각각 같다는 경계조건을 주었다. 이와 같은 해석모델에 의해 계산을 수행하여 각 node의 변형량을 주어진 하중조건에서 계산하였다. 본 연구의 해석모델은 강성이 더 약한 transient element의 변형으로 접합부위 전체의 변형량을 정의한다는 해석방법상의 가정으로 wood dowel 접합부의 접합부 rotation에 의한 변형량을 예측하는 것으로 요약될 수 있다. 이와 같은 가정방법은 Cai 등 (1993)의 연구에서 사용되었는데 이들은 2차원 평면 element를 사용하였다.

3. 結果 및 考察

3.1 접합부 시험체의 변형측정

파티클보드로 구성된 접합부 시험체의 하중실험을 실시하여 각 인자별로 변형량을 측정하여 표 1 과 2에 나타내었다. dowel의 직경이 클수록, 침투깊이가 깊을수록, 사용개수가 많을수록 강성이 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 이는朴과李(1990),李 등(1991)의 연구결과와 같은 경향을 나타내고 있다. 이 하중실험결과를 근거로 식 (3)의 회귀식 $g(D, e_m, n)$ 을 구하였다.

3.2 보정함수와 transient element의 영율

3.2.1 반강접합부 보정함수의 계산

실험을 통해 얻어진 변형량을 자료로 사용하여 구한 회귀식 $g(D, e_m, n)$ 는 다음과 같다. T자 형태 접합부일 경우 g_1 로, L자형태 접합부일 경우 g_2 로 구분하여 표기하였다. 역시 dowel의 직경이 클수록, 침투깊이가 깊을수록,

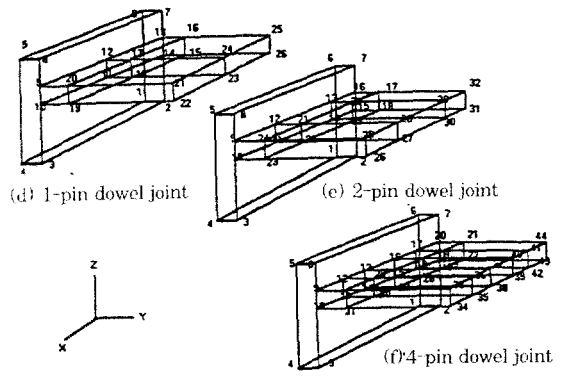


Fig. 5. Finite element model of "T" form dowel joint.

Table 1. Deformation of "T" form dowel joints (cm).

Dowel's diameter (cm)	Depth of embedment (cm)	Number of pin dowels		
		1	2	4
0.6	0.5	1.142	0.745	0.355
	1.0	1.199	0.439	0.203
	1.5	0.555	0.302	0.193
0.8	0.5	1.360	0.636	0.670
	1.0	0.659	0.362	0.228
	1.5	0.491	0.275	0.180
1.0	0.5	0.483	0.390	0.496
	1.0	0.459	0.306	0.197
	1.5	0.390	0.240	0.121

Table 2. Deformation of "L" form dowel joints (cm).

Dowel's diameter (cm)	Depth of embedment (cm)	Number of pin dowels		
		1	2	4
0.6	0.5	1.563	1.861	0.313
	1.0	1.113	0.670	0.299
	1.5	0.685	0.406	0.186
0.8	0.5	2.043	1.019	0.557
	1.0	1.090	0.495	0.408
	1.5	0.554	0.284	0.186
1.0	0.5	0.582	0.353	0.265
	1.0	0.785	0.283	0.222
	1.5	0.697	0.228	0.117

사용갯수가 많을수록 강성이 증가하는 것을 알 수 있다.

$$g(D, e_m, n) = 0.278 \times D^{-0.86961} \times e_m^{-0.82111} \times n^{-0.83315} \dots \dots \dots (6)$$

$$g(D, e_m, n) = 0.406 \times D^{-0.82380} \times e_m^{-1.23985} \times n^{-0.93605} \dots \dots \dots (7)$$

본 연구에서 정의한 보정함수 C는 다음과 같다. 역시 T자 형태와 L자 형태를 구분하여 표기하였다.

$$l = 15\text{cm}$$

$$a = 15\text{cm}$$

$$E = 1.90 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$$

$$J = 9.72\text{cm}^4$$

$$C_t = 0.278 \times D^{-0.86961} \times e_m^{-0.82111} \times n^{-0.83315} / [15^3 / 3 \times 1.90 \times 10^5 \times 9.72] \\ = 0.278 \times D^{-0.86961} \times e_m^{-0.82111} \times n^{-0.83315} / 6.09 \times 10^4 \dots \dots \dots (8)$$

$$C_l = 0.406 \times D^{-0.82380} \times e_m^{-1.23985} \times n^{-0.93605} / [15^3 / 3 \times 1.90 \times 10^5 \times 9.72] \\ = 0.406 \times D^{-0.82380} \times e_m^{-1.23985} \times n^{-0.93605} / 6.09 \times 10^4 \dots \dots \dots (9)$$

3.2.2 Transient element의 영율

파티클보드의 영율은 $1.90 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ 였으며, 이것을 보정함수 C로 나누어 transient element의 영율을 다음과 같이 구하였다. 역시 T자 형태와 L자 형태를 구분하여 표기하였다.

$$E_{st} = E/C_t = 1.90 \times 10^5 / [0.278 \times D^{-0.86961} \times e_m^{-0.82111} \times n^{-0.83315} / 6.09 \times 10^4] \dots \dots \dots (10)$$

$$E_{sl} = E/C_l = 1.90 \times 10^5 / [0.406 \times D^{-0.82380} \times e_m^{-1.23985} \times n^{-0.93605} / 6.09 \times 10^4] \dots \dots \dots (11)$$

3.3 접합부 시험체의 하중점 변형량 예측

3.3.1 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 하중점의 변형량 예측

본 연구에서 개발한 유한요소 해석모델을 적용하여 접합부 시험체의 탄성영역내의 동일하중시 하중점 변형량을 계산한 결과를 표 3과 4에 나타내었다.

3.3.2 유한요소 해석모델의 적합성 검증

본 연구에서 제시한 유한요소해석모델을 적용한 계산

Table 3. Predicted deformation of "T" form dowel joints (cm)

Dowel's diameter (cm)	Depth of embedment (cm)	Number of pin dowels		
		1	2	4
0.6	0.5	1.479	0.800	0.452
	1.0	0.983	0.452	0.234
	1.5	0.613	0.352	0.198
0.8	0.5	1.281	0.696	0.334
	1.0	0.669	0.375	0.223
	1.5	0.452	0.270	0.176
1.0	0.5	1.052	0.476	0.263
	1.0	0.511	0.334	0.184
	1.5	0.431	0.225	0.130

Table 4. Predicted deformation of "L" form dowel joints (cm).

Dowel's diameter (cm)	Depth of embedment (cm)	Number of pin dowels		
		1	2	4
0.6	0.5	2.698	1.551	0.874
	1.0	1.229	0.630	0.308
	1.5	0.759	0.396	0.201
0.8	0.5	2.109	1.065	0.592
	1.0	0.971	0.506	0.355
	1.5	0.601	0.287	0.166
1.0	0.5	1.649	1.030	0.450
	1.0	0.794	0.366	0.222
	1.5	0.601	0.241	0.121

에 의한 접합부 변형량의 예측치와 실험을 통한 접합부 변형량의 차이를 표 5와 6에 백분율로 나타내었다. 예측치를 기준으로 해서 식 (12)와 같이 계산하였으며 예측치가 실측치 보다 큰 경우를 양의 부호로 표기하였다. 침투깊이 0.5cm인 경우 다소 많은 오차가 발생하였으나 나머지 경우에는 대부분 10% 미만의 오차가 발생하였다. 침투깊이 0.5cm에서는 강성이 극히 약하기 때문에 실험 오차가 발생할 가능성이 높으며, 또한 이 깊이가 실제 가구제작시에는 사용되지 않는 것을 감안한다면 본 연구의 해석모델은 유용하다고 사료된다.

$$100 \times (P_{\text{predicted}} - P_{\text{practical}}) / P_{\text{predicted}} \dots \dots (12)$$

$P_{\text{predicted}}$: Predicted deformation

$P_{\text{practical}}$: Practical deformation

Table 5. Percent differences between practical and predicted deformation in "T" form dowel joints(%)

Dowel's diameter (cm)	Depth of embedment (cm)	Number of pin dowels		
		1	2	4
0.6	0.5	22.8	6.9	21.4
	1.0	-21.9	2.9	13.2
	1.5	9.6	14.3	2.9
0.8	0.5	-6.2	8.6	-100.6
	1.0	1.5	3.5	-1.9
	1.5	-8.8	-1.9	-2.5
1.0	0.5	54.0	18.1	-88.6
	1.0	10.2	8.3	-7.3
	1.5	9.4	-6.6	7.4

Table 6. Percent differences between practical and predicted deformation in "L" form dowel joints(%)

Dowel's diameter (cm)	Depth of embedment (cm)	Number of pin dowels		
		1	2	4
0.6	0.5	42.1	-20.0	64.1
	1.0	9.4	-6.4	2.9
	1.5	9.7	-2.4	7.4
0.8	0.5	3.1	4.3	5.9
	1.0	-12.3	2.2	-15.0
	1.5	7.7	1.0	-12.3
1.0	0.5	64.7	65.7	41.0
	1.0	1.2	22.7	0.2
	1.5	-16.2	5.4	7.4

4. 結 論

wood dowel 접합부의 반강접합부적 특성을 고려한 적절한 유한요소해석모델을 개발하여 탄성영역 내에서 동일하중시 하중점의 변형량을 예측하고 실제 실험을 통해 모델링 방법의 적합성을 평가해 본 결과 대부분 10% 미만의 오차가 발생하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. transient element 개념을 도입하여 본 연구에서 제시한 wood dowel 접합부의 유한요소해석모델은 대부분 10% 미만의 오차를 나타내었으며 반강접합부 강성해석의 기준모델로서의 사용가능성이 있다

고 사료된다.

2. 탄성영역 내에서 파티클보드로 구성된 wood dowel joint의 하중점 변형량은 다중회귀에 의해 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$f_d = 0.278 \times D^{-0.86961} \times e_m^{-0.82111} \times n^{0.83315} \times P$$

("T" form dowel joints)

$$f_d = 0.406 \times D^{-0.82380} \times e_m^{-1.23985} \times n^{0.93605} \times P$$

("L" form dowel joints)

3. wood dowel 접합부의 강성에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 동일 사용범위 내에서의 사용갯수였으며 직경이 클수록, 침투깊이가 깊을수록, 사용갯수가 많을수록 강성이 증가하였다.
4. wood dowel 접합부의 적절한 유한요소 해석모델 개발은 비파괴 시험이나 응력해석 등 가구제품의 설계단계에서의 초기검증과 가구의 공학적 디자인 개념을 구현하는데 선행되어야 할 접합부 강성 해석 모델의 확립이라는 측면에서 앞으로 더욱 연구발전되어야 할 과제라 생각된다.

參 考 文 獻

1. American Society for Testing Materials. 1987. Standard method of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. ASTM D 1037. Philadelphia, Pa.
2. Bulleit, W. M. 1985. Elastic analysis of surface reinforced particleboard. *Forest Prod. J.* 35(5) : 61~68
3. Eckelman, C. A. 1969. Engineering concepts of single-pin dowel joint design. *Forest Prod. J.* 19(12) : 52~60
4. Eckelman, C. A. 1971. Bending strength and moment-rotation characteristics of two-pin moment resisting dowel joint. *Forest Prod. J.* 21(3) : 35~39
5. Eckelman, C. A. 1978. Strength design of furniture. Tim Tech. Inc. West Lafayette, Ind. : 231
6. Eckelman, C. A. 1979. Out-of-plane strength and stiffness of dowel joint. *Forest Prod. J.* 29(8) : 32~38
7. Eckelman, C. A. and D. L. Cassense. 1985. Withdrawal strength of dowels from wood

- composites. *Forest Prod. J.* 35(5) : 55~60
8. Eckelman, C. A. and R. Rabiej. 1985. A comprehensive method of analysis of case furniture. *Forest Prod. J.* 35(4) : 62~68
 9. Eckelman, C. A. and S. Munz. 1987. Rational design of cases with front frames and semi-rigid joints. *Forest Prod. J.* 37(6) : 25~30
 10. Ganowicz, R. T. and B. Ozarska-Bergandy. 1983. Theory of deformation of cabinet construction : deformation of multipart carcasses. *Holztechnologie* 24(4) : 231~235
 11. Ganowicz, R. T. and J. Rogozinski. 1972. Analysis of case furniture. *Prezem. Drzenwny* 23(7) : 20~23
 12. Ganowicz, R. T. and K. Kwiatkowski. 1978. Experimental testing of the theory of deformations of cabinet designs. *Holztechnologie* 19(2) : 100~106
 13. Hoyle, R. J. Jr. 1956. The effect of boring speed and feed rate on the strength of glued dowel joints in tension. *Forest Prod. J.* 6(10) : 387~393
 14. Lin, Shih-Chao. and C. A. Eckelman 1987. Rigidity of furniture cases with various joint construction. *Forest Prod. J.* 37(1) : 23~27
 15. Liping Cai. and Fenghu Wang. 1993. Influence of the stiffness of corner joint on case furniture deflection. *Holz als Roh- und Werkstoff* 51 : 406~408
 16. Pellicane, P. J. 1991. Nail/glue joints in wood. *Forest Prod. J.* 41(11/12) : 33~35
 17. Pellicane, P. J. 1991. A finite element to model thin inhomogeneities in solids. *Forest Prod. J.* 42(1) : 50~52
 18. Soltis, L. A. and Primus V. A. Mtenga. 1995. Strength of nailed wood joints subjected to dynamic load. *Forest Prod. J.* 35(11/12) : 14~18
 19. Timoshenko, S.P. and D.H. Young. 1968. Elements of strength of materials. 5th ed. : 377
 20. Yuichi Hayashi. and C. A. Eckelman. 1986. Designs of corner block with anchor bolt table joints. *Forest Prod. J.* 36(2) : 44~48
 21. Zhang, Ji-Lei. and C. A. Eckelman. 1993. The bending moment resistance of single-dowel corner joints in case construction. *Forest Prod. J.* 43(6) : 19~24
 22. Zhang, Ji-Lei. and C. A. Eckelman. 1993. Rational design of multi-dowel corner joints in case construction. *Forest Prod. J.* 43(11/12) : 52~58
 23. 박희준, 이필우. 1990. 목재와 목질판상재료의 Dowel-joint 반강접합 특성에 관한 비교연구. *가구 - 기술과 정보-* 1(1) : 12~25
 24. 이필우, 박희준, 한유수. 1991. 가구구조용 콤폴라이의 휨강도와 반강접합 특성. *가구 - 기술과 정보-* 2(2) : 23~31
 24. 정우양, 이필우. 1989. 조립식 탁자의 CBA접합부 강성에 관한 연구. *목재공학* 17(2) : 12~25
 25. 한국공업규격. KS F 3104. 1987