

국산재에 대한 나무못 직경과 천공 여척이 나무못 유지력에 미치는 영향¹

차 재 경^{2,†}

The Effect of Diameter and Prehole Clearance for Wooden Dowel on The Withdrawal Loads of Domestic Wood¹

Jae Kyung Cha^{2,†}

요 약

나무못은 다양한 구조물의 목재부재들을 연결하는데 일반적으로 사용된다. 하지만 국산재의 나무못 유지력에 대한 자료는 매우 부족하다. 본 연구는 나무못의 직경과 천공여척이 유지력 특성에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 실시했다. 실험 블록은 두께 15 mm인 소나무와 잣나무 목재로 제작했다. 6, 8 및 10 mm 직경인 나무못은 밤나무, 잣나무 및 백합나무 목재로 각각 제작했다. 연구결과 나무못 직경이 증가하면 유지력은 선형으로 증가했지만 유지력 강도는 감소했다. 본 연구는 또한 천공여척이 작아질수록 유지력과 유지력 강도도 선형으로 증가하는 것을 보였다.

ABSTRACT

Wooden dowels are commonly used to join the wooden members together in many types of structures, But little information is available concerning their holding properties in domestic wood. This study was performed to determine the withdrawal loads and strengths on the effect of diameter of dowel and hole clearance. The test block was manufactured from 15 mm thick korean red pine and korean pine. The dowel was manufactured 6, 8 and 10 mm diameters from korean castanea, korean pine and tuliptree. Research reported here indicates that withdrawal loads increase, but withdrawal strengths decrease, in a linear fashion as the dowel diameter increases. This study also indicates that dowel withholding load and strength increase in a linear fashion as a hole clearance decreases.

Keywords : wooden dowel withdrawal load, wooden dowel withdrawal strength, domestic wood, dowel diameter and hole clearance

¹ Date Received July 7, 2016, Date Accepted September 4, 2016

² 국민대학교 임산생명공학과 Department of Forest Products and Life Science, College of Forest science, Kookmin University, Seoul 02707, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 차재경(e-mail: jcha@kookmin.ac.kr)

1. 서 론

오늘날 목재로 만든 구조물들은 여러 부재들로 복잡하게 구성되지만, 초기인류는 자연 그대로의 단순한 모양을 가진 목재를 필요에 따라 앉거나 물건을 보관하는 등의 편리를 위해 이용하였을 것이다. 시간이 흐르면서 인류는 목재를 돌로 다듬어 원하는 모양으로 만들어 사용할 수 있었다. 목공기술의 발달과 함께 점차 원하는 모양으로 가공된 목재들은 서로 연결하여 사용되기 시작했다. 가장 초기에는 부재들을 서로 결합하기 위해 동어매는 간단한 방법이 일반적으로 사용되었다. 동물가죽으로 만든 끈과 식물의 줄기 등이 부재들을 서로 묶기 위해 사용되었다. 특히 목재로 만든 구조물들 중에 초기 인류가 일반적으로 사용했던 물건은 테이블과 등받이 없는 의자였다. 테이블과 등받이 없는 의자는 다리가 수평부재인 테이블 윗면과 좌석을 지지하는 단순한 구조였다. 이러한 구조형태는 건축과 가구 등 목재로 만든 구조물의 발전에 기초를 제공했다. 가구 등 목재로 만든 구조물들은 점차 다양한 부재들로 구성되었고, 다양한 결구의 사용은 가구 및 주택 등의 구조발전에 중요한 역할을 하였다. 또한 뼈대재와 판재로 이용하기에 충분히 곧고 큰 목재가 부족했던 고대 이집트인들은 목재 가공기술의 발달과 함께 작은 목재들로 큰 부재를 만들기 위해 다양한 방법들을 개발했다. 작은 목재들을 연결하기 위한 결합부들은 횡단면 결합, 스카프 조인트, 장부축 이음접합 및 나무못 등이 사용되었다. 특히 나무못은 기원전 약 3000년경에, 장부축 이음접합 등은 약간 늦은 시기에 사용되었다.

목재로 만든 구조물의 강도와 안정성은 부재들을 고정하기 위해 사용된 결합부가 크게 영향한다. 따라서 목재 구조를 설계하는 사람은 결합부의 거동에 대해 잘 이해하여야 한다. 구조재료로서 목재의 중요한 장점들 중에 하나는 못, 나사못, 볼트 등에 의해 쉽게 부재들을 고정시킬 수 있다. 각각의 고정물은 함수율의 변화로 발생하는 치수변화와 함께 목재가 하중은 지지하지만 느슨하게 되어 결합부분에서 틈을 보인다. 외양이 중요한 가구의 구조적 특징은 이들 금속으로 만든 결합물의 문제점을 해결하기 위해

접착제를 사용한 다양한 이음과 짜임이 이용된다. 이음과 짜임의 기법은 외부로는 접합부분이 잘 나타나지 않게 하고 다른 판재로 보강하지 않고도 구조를 튼튼하게 한다. 특히 나무못은 가구제작에 부재들을 서로 결합하기 위해 일반적으로 사용된다. 나무못은 관습, 개인의 취향 및 경험에 의해 접착제와 함께 사용됐다. 하지만 가구 등의 구조물에 대한 세부설계는 나무못의 정확한 유지력에 대한 지식이 필요하다. 외국에서는 나무못 결합부에 대한 연구가 활발히 이루어졌다. 나무못은 한쪽 끝부분을 실험 블록의 천공된 구멍에 끼워넣은 다음, 다른 끝은 하중 블록에 실험 블록과 같은 방법으로 구멍에 삽입하였다(Eckelman, 1969; Eckelman & Cassens, 1985; Uysal, 2005). 이 방법은 두 목재 블록의 정확한 위치에 수직으로 천공하는 것이 필수이다. 또한 블록들을 실험기에 고정하는데 필요한 핀을 위한 구멍도 나무못과 일직선이 되도록 천공해야 하는 어려움도 있다. 두 개의 나무못을 사용하여 모멘트와 나무못 유지력 관계를 이용하는 실험방법도 사용됐다. 모멘트지지실험은 시편이 수평 rail과 수직의 post로 이루어졌다. rail의 선단은 두 나무못들에 의해 post의 측면과 결합되었다(Eckelman, 1971; Eckelman *et al.*, 2002). 각 post는 실험기에 고정시키기 위해 2개의 구멍들을 위와 아래 부분에 뚫었다. 이 방법은 모멘트를 측정하여 구할 수 있으나 모멘트 지지점인 rail의 측면에서 찌그러짐 등으로 정확한 거리를 구하는데 어려움도 있다.

국내에서는 나무못 유지력에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 국내산 목재의 나무못 유지력에 대한 자료와 그러한 자료들을 바탕으로 유지력을 예측하고자 하는데 목적이 있다. 특히 본 연구는 주어진 인자들로부터 더 강한 결합부를 결정하기 위한 목적으로도 실행되었다. 축하중이 작용하는 하나의 나무못에 대한 유지력을 결정하기 위해 Cha (2016)가 개발한 장치를 사용하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 목재의 표면에서 나무못의 직경 및 천공여척에 대한 영향을 측정하기 위해 직경이 서로

다른 나무못을 사용했다. 나무못은 통직목리인 잣나무, 백합나무 및 밤나무 목재를 여주에 위치한 백합산업에서 직경이 6, 8 및 10 mm이고, 길이는 90 cm로 제작하여 실험실에서 필요한 길이로 잘라 직경별로 5회 반복실험에 사용했다. 실험 블록은 가구 등의 뼈대재로 많이 사용되었던 소나무와 잣나무로 두께가 15 mm인 판재를 사용했다. 소나무와 잣나무 목재는 모든 측면 길이가 10 cm인 정사각형으로 제작한 다음 나무못 유지력의 변이를 줄이기 위해 미리 구멍을 냈다. 나무못을 위한 구멍들은 표면과 직각으로 각 시편의 중앙에 두께를 관통하도록 뚫었다. 나무못과 구멍 사이에 여척은 Table 2와 같이 최대 0.5 mm 이하로 했다. 나무못들을 관입하기 전 모든 구멍의 벽들과 나무못의 표면은 접착제로 칠했다. 접착제를 도포하기 전에 실험 블록에는 구멍 주위로 왁스를 칠하였다. 이는 흘러나온 접착제가 실험 블록에 접착되지 않고 나무못이 완전히 실험 블록에 관입되게 했다. 나무못은 두께가 15 mm인 판재의 두께를 관통하여 완전히 튀어나오게 했다. 접착제는 시중에서 쉽게 구입하여 사용할 수 있고, 상온에서 경화되는 목공용 접착제인 오폴본드를 사용했다.

나무못 유지력을 구하기 위해 기존에 사용한 방법들은 앞에서 언급한 것과 같이 시험편의 고정과 시편제작 등에 어려움이 있었다. 본 연구는 간단한 시편제작 및 하중을 나무못의 중심축에 정확히 가하기 위해 선행연구(Cha, 2016)에서 개발한 장치를 사용했다. 나무못을 실험기에 직접 고정시키기 위해 고안한 장치는 4개의 철제 블록을 썸기 모양으로 만들어 원형의 나무못에 인장하중이 가해질수록 더 단단히 고정하였다. 하중이 제거될 때는 crosshead를 하중방향과 반대방향인 아랫방향으로 이동시켜 철제 블록이 위쪽방향으로 이동하므로 느슨하게 되어 장치로부터 나무못이 쉽게 제거될 수 있도록 했다. 나무못과 썸체 사이에 미끄러지는 것을 방지하기 위해 접촉면의 톱니는 위쪽으로 향하도록 만들었다.

목재 함수율이 유지력에 영향하므로 모든 시험편은 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 이고 상대습도 $65 \pm 3\%$ 인 항온항습기에 실험 전에 적어도 1주일 동안 처리했다. 모든 시험편은 만능재료 시험기에 Fig. 1과 같이 하중을 가했다.



Fig. 1. Test setup for dowel withdrawal load.

하중속도는 ASTM D 1761 (1986)에 따라 분당 1.5 mm를 사용했다. 하중은 모든 실험블록과 나무못의 분리가 일어날 때까지 가했다.

실험을 마친 시편들의 실험 블록과 나무못은 무게와 전진무게를 측정하였다. 무게는 실험을 위해 구멍이나 접착제가 첨가되지 않은 실험블록과 나무못 일부를 잘라 측정했고, 온도가 103°C 인 전기오븐에서 일정한 무게로 전진되었을 때 무게를 측정하여 함수율과 비중 계산에 사용했다(ASTM 143 1986).

3. 결과 및 고찰

나무못 유지력 실험에 사용된 실험 블록과 나무못의 물리적 성질은 Table 1과 같다. 소나무 및 잣나무 목재로 만든 실험 블록의 비중과 함수율은 각각 0.46과 10.8% 및 0.40과 9.8%였다. 또한 나무못으로 사용된 밤나무, 잣나무 및 백합나무의 비중은 각각 0.91, 0.42 및 0.44였고, 함수율은 8.7, 9.6 및 9.2%였다.

본 연구에 사용된 장치는 모든 실험에서 나무못이 뽑힐 때까지 미끄러지지 않고 고정하였다. Table 2는 나무못 직경과 천공여척에 따른 밤나무, 잣나무, 백

Table 1. Average specific gravities and moisture contents for test block and dowel used for withdrawal tests

	Species	Moisture content (%)	Specific gravity
Test block	<i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc.	10.8 (0.28)*	0.46 (0.02)*
	<i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc.	9.8 (0.59)	0.40 (0.02)
Dowel	<i>Castanea crenata</i> Sieb. et Zucc.	8.7 (0.23)	0.91 (0.04)
	<i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc.	9.6 (0.38)	0.42 (0.02)
	<i>Liriodendron tulipifera</i> L.	9.2 (0.32)	0.44 (0.03)

* Standard deviation

합나무 목재로 만든 나무못의 최대 유지력과 강도의 평균 및 표준편차를 보여주고 있다. 최대 나무못 유지력은 수종과 직경의 크기 및 천공여척에 따라 다르게 나타났다. 잣나무목재 실험 블록이 소나무목재 실험블록 보다 모든 수종에서 천공여척이 0일 때 큰 나무못 유지력을 보여주었다. 가장 큰 나무못 유지력은 잣나무목재 실험 블록에 백합나무목재로 만든 직경 10 mm인 나무못이 가장 큰 값을 보여주고 있다.

유지력 강도(σ)는 최대하중(P_{max})과 시편의 접촉면적(A)을 사용하여 다음과 같이 계산했다.

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A} = \frac{P_{max}}{h(\pi D)}$$

P_{max} : 최대하중(N)

A: 면적(mm²)

D: 나무못 지름(mm)

h: 나무못 관입길이(mm)

최대 나무못 유지력 강도의 평균과 표준편차는 Table 2와 같다. 나무못 유지력 강도도 유지력과 같이 잣나무목재 실험 블록에서 소나무목재 실험 블록보다 큰 값을 보여주고 있다. 또한 잣나무목재 실험 블록에 밤나무목재로 만든 직경 6 mm 나무못이 가장 큰 값을 보여주고 있다.

3.1. 나무못 유지력에 대한 천공여척의 영향

Table 2는 수종과 천공의 여척에 따른 나무못의 유지력과 유지력강도를 보여주고 있다. 모든 수종 및 나무못 직경에서 천공여척이 감소하면 나무못 유지력과 유지력강도가 증가하는 것을 나타내고 있다. 최

대 유지력과 유지력강도는 여척이 0일 때 가장 큰 값을 보여주고 있다.

나무못 유지력은 선형회귀분석을 이용하여 나무못 유지력의 비와 천공여척의 함수로 나타났다. 천공여척과 유지력 사이에 관계를 알아보기 위해 유지력이 최대였던 여척이 0인 유지력을 1로 하고, 여척에 따른 각각의 유지력을 최대 유지력의 비로 나타났다. 나무못 유지력은 천공여척이 증가하면 감소하였다. Table 3은 천공여척이 증가하면 유지력의 비는 부(-)의 상관관계를 나타냈고, 모든 수종에서 R²이 0.90 이상이었다. 이는 천공여척이 나무못 유지력과 크게 관계가 있음을 의미한다. 실험 블록의 수종과 관계없이 천공여척이 나무못 유지력과 유지력강도에 영향했지만, 종합적으로는 잣나무목재 실험 블록이 소나무목재 실험 블록보다 약간 작은 상관관계를 나타냈다. 이는 밤나무 나무못이 소나무목재 실험 블록에서 잣나무목재 실험 블록보다 더 크고, 잣나무 나무못이 더 적게 영향했기 때문으로 판단된다.

Table 4 또한 나무못 유지력 강도와 천공여척 사이에 선형관계를 보여주고 있다. 모든 수종에서 천공여척이 유지력 강도에 영향을 주는 것을 보여준다. 나무못의 유지력 강도는 천공여척이 증가하면 감소하는 것을 보여준다. 천공여척은 밤나무 나무못이 여척이 증가하면 가장 크게 감소하는 것을 보여준다. 잣나무 나무못이 가장 적게 감소하였다. 전체적으로는 소나무목재 실험 블록보다 잣나무목재 실험 블록이 낮은 상관관계를 보였다. 이는 잣나무 나무못이 소나무목재 실험 블록보다 잣나무목재 실험 블록에서 더 작은 감소가 일어났지만, 밤나무와 백합나무로 만든 나무못의 더 큰 감소가 원인으로 판단된다.

Table 2. Summary of plain wooden dowel withdrawal loads and strengths

species		dowel		Maximum withdrawal load (kN)	Maximum withdrawal stress (N/mm ²)
Test block	Dowel	Diameter (mm)	Hole clearance (mm)		
Pinus densiflora Sieb. et Zucc.	Castanea crenata Sieb. et Zucc.	6	0.33	0.62 (0.05)*	2.09 (0.15)*
			0.04	1.07 (0.07)	3.62 (0.20)
		8	0.15	1.12 (0.08)	2.83 (0.20)
			0	1.25 (0.07)	3.16 (0.17)
		10	0.13	1.25 (0.14)	2.57 (0.33)
			0.03	1.42 (0.07)	2.91 (0.16)
	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	6	0.44	0.56 (0.05)	1.91 (0.16)
			0	0.96 (0.06)	3.28 (0.23)
		8	0.15	1.11 (0.07)	2.76 (0.16)
			0	1.17 (0.05)	2.94 (0.15)
		10	0.18	1.05 (0.05)	2.16 (0.08)
			0.08	1.33 (0.04)	2.73 (0.09)
Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	Liriodendron tulipifera L.	6	0.31	0.68 (0.07)	2.30 (0.10)
			0.05	1.01 (0.04)	3.42 (0.15)
		8	0.16	1.09 (0.05)	2.76 (0.14)
			0.01	1.23 (0.05)	3.12 (0.14)
		10	0.20	1.19 (0.06)	2.45 (0.13)
			0.08	1.36 (0.04)	2.80 (0.08)
	Castanea crenata Sieb. et Zucc.	6	0.28	0.82 (0.11)	2.81 (0.35)
			0.02	1.27 (0.06)	4.35 (0.19)
		8	0.16	1.02 (0.07)	2.60 (0.17)
			0	1.42 (0.05)	3.6 (0.09)
		10	0.21	0.99 (0.06)	2.07 (0.12)
			0.11	1.45 (0.09)	3.01 (0.20)
Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	6	0.44	0.66 (0.05)	2.24 (0.13)
			0	1.03 (0.08)	3.66 (0.37)
		8	0.29	0.92 (0.06)	2.40 (0.18)
			0	1.24 (0.05)	3.21 (0.12)
		10	0.37	0.87 (0.07)	1.85 (0.18)
			0.17	1.16 (0.09)	2.45 (0.14)
	Liriodendron tulipifera L.	6	0.29	0.81 (0.09)	2.78 (0.31)
			0.03	1.19 (0.08)	4.09 (0.28)
		8	0.24	1.03 (0.10)	2.66 (0.27)
			0	1.47 (0.08)	3.79 (0.20)
		10	0.3	0.92 (0.08)	1.93 (0.16)
			0.2	1.38 (0.04)	2.90 (0.10)
		0	1.64 (0.09)	3.44 (0.18)	

* Standard deviation

Table 3. Summary of regression equations for withdrawal load by hole clearance

Test block	Species		Regression Eq.: $P = A x + B$		R ²
	Dowel		A	B	
Pinus densiflora Sieb. et Zucc.	Castanea crenata Sieb. et Zucc.		-1.25	1.01	0.95
	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.		-0.97	1.01	0.94
	Liriodendron tulipifera L.		-1.07	1.02	0.96
	overall		-1.06	1.01	0.93
Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	Castanea crenata Sieb. et Zucc.		-1.05	1.00	0.91
	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.		-0.92	1.00	0.99
	Liriodendron tulipifera L.		-1.24	1.01	0.93
	overall		-1.07	0.99	0.88

* standard deviation

Table 4. Summary of regression equations for withdrawal strength by hole clearance

Test block	Species		Regression Eq.: $\sigma = A x + B$		R ²
	Dowel		A	B	
Pinus densiflora Sieb. et Zucc.	Castanea crenata Sieb. et Zucc.		-1.21	1.00	0.95
	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.		-0.97	1.01	0.94
	Liriodendron tulipifera L.		-1.01	1.00	0.97
	overall		-1.04	1.00	0.94
Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	Castanea crenata Sieb. et Zucc.		-1.45	1.00	0.91
	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.		-0.92	1.00	0.99
	Liriodendron tulipifera L.		-1.24	1.01	0.93
	overall		-1.07	0.99	0.88

3.2. 나무못 유지력 및 유지력 강도의 직경에 대한 영향

Table 2는 나무못 직경에 따른 최대 나무못 유지력 및 유지력강도를 또한 나타내고 있다. 직경에 따른 유지력과 유지력 강도를 비교하기 위해 각 직경에서 최대값을 보인 천공여척이 0인 유지력과 유지력 강도는 Fig. 2과 3으로 나타냈다. 모든 실험 블록에서 나무못 직경이 증가할수록 유지력은 증가하였다. Fig. 2는 실험 블록의 수종에 따른 나무못 유지력의 차이를 보여주고 있다. 최대 나무못 유지력은 소나무목재 실험 블록보다 잣나무목재 실험 블록이 더 큰 값을 보여주고 있다. 아마 이 차이는 실험에 사용된 목재 사이에 접착강도와 함께 실험 블록의 해부 및 물리적 성질 차이 때문으로 판단된다. 소나

무목재보다 비중이 작은 잣나무목재의 큰 공극율이 접착에 더 크게 기여한 것으로 판단된다.

나무못 유지력 강도는 Fig. 3과 같이 모든 수종에서 나무못 직경이 커질수록 감소하는 것을 보여주고 있다. 밤나무 나무못은 직경이 커질수록 가장 큰 감소를 보여주고 있다. 실험결과는 또한 밤나무 나무못의 유지력이 다른 수종의 목재로 만든 나무못보다 크고, 잣나무 목재로 만든 나무못이 가장 작은 값을 나타냈다. 이는 접착강도보다 가공할 때 발생하는 시편의 변이와 함께 기계적 성질이 어느 정도 영향한 것으로 판단된다. 또한 둥근 나무못을 만드는데 비중이 큰 밤나무목재는 나무못의 표면이 털 일정하였지만 비중이 작은 백합나무목재의 큰 유지력 강도는 다른 수종의 목재보다 더 균일한 표면을 가진 나무못으로 제작되었기 때문에 큰 유지력강도를 보였을

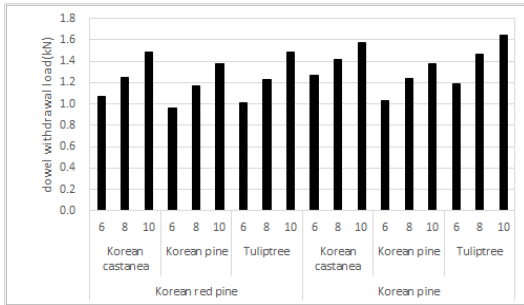


Fig. 2. Diagram for dowel withdrawal load by different diameter.

것으로 판단된다. 그러나 이들 연구결과들은 적은 시편의 수로 실질 평균값을 나타내지 않으므로 더 많은 체계적인 연구들이 나무못 직경과 천공여척에 대한 나무못 유지력과 유지력 강도의 영향에 대해서 요구된다.

4. 결 론

국산재에 대한 국내산 목재로 만든 나무못 유지력의 실험 결과는 다음과 같다. 천공여척이 증가하면 나무못 유지력과 유지력 강도는 감소하였다. 나무못 직경의 유지력에 대한 영향은 직경이 커지면 유지력은 증가하였지만 유지력 강도는 감소하였다. 하지만 이들 결과들은 실험에 사용된 제한된 수의 시편들에 대한 값으로 이들 수종에 대한 실질 평균값을 나타내진 않는다.

사 사

본 연구는 국민대학교 교내연구비(2016) 지원에 의해 수행되었음.

REFERENCES

American Society for Testing and Materials. 1986. Standard test method for small clear specimens

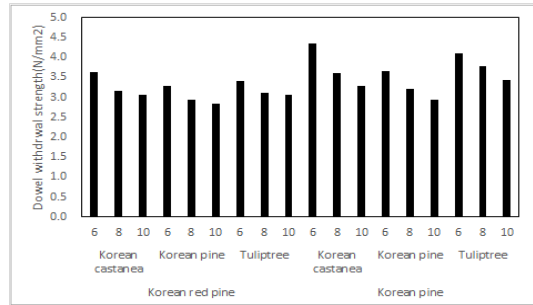


Fig. 3. Diagram for dowel withdrawal strength by different dowel diameter.

of timber. ASTM D 143. ASTM, Philadelphia, PA.

American Society for Testing and Materials. 1986. Standard test method of testing mechanical fasteners in wood. ASTM D 1761. ASTM, Philadelphia, PA.

Cha, J.K. 2016. A new apparatus development for withdrawal testing of wooden dowel. Forest and Humanity 28: 55-64.

Eckelman, C.A. 1969. Engineering concepts of single-pin dowel joint design. Forest Products Journal 19(12): 52-60.

Eckelman, C.A. 1971. Bending strength and moment-rotation characteristics of two pin moment resisting dowel joint. Forest Products Journal 21(3): 35-39.

Eckelman, C.A., Erdil, Y.Z., Zhang, J. 2002. Withdrawal and bending strength of dowel joints constructed of plywood and oriented strandboard. Forest Products Journal 52(9): 66-74.

Eckelman, C.A. and Cassens, D.L. 1985. Withdrawal strength of dowels from wood composites. Forest Products Journal 35(5): 55-60.

Uysal, B. 2005. Withdrawal strength of various laminated veneer dowels from composite materials. Wood and Fiber Science 37(2): 213-219.