

국내산 파티클보드에 대한 나무못의 직경과 천공여척이 나무못 유지력에 미치는 영향

김 범 준, 차 재 경[†]

국민대학교 임산생명공학과

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

Birm-June Kim, JaeKyung Cha[†]

Department of Forest Products and Life Science, College of Forest science, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

Abstract: Wooden dowels are commonly used to join the particleboard members together in many types of structures, But little information is available concerning their holding properties in domestic particleboard. 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 domestic particleboard. 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, as the dowel diameter increases. This study also indicates that dowel withholding load and strength for particleboard less decrease than those for domestic wood as a hole clearance decreases.

Keywords: *Wooden dowel withdrawal load, Wooden dowel withdrawal strength, Domestic particleboard, Dowel diameter and Hole clearance*

1. 서 론

초기 인류는 나무그루터기, 속이 빈 통나무 등 자연 그대로의 단순한 모양을 가진 목재를 필요에 따라 앉거나 물건을 보관하는 등의 편리를 위해 이용하였을 것이다. 시간이 점차 흐르면서 인류는 돌로 다듬어 원하는 모양으로 만들고, 식물의 줄기 등을 이용하여 간단한 물건들을 만들기 시작했다. 특히 목재로 만든 구조물들 중에 초기 인류가 일반적으로 사용했던 물건은 테이블과 등받이가 없

는 의자였다. 테이블과 등받이가 없는 의자는 다리가 수평부재인 테이블 윗면과 좌석을 지지하는 간단한 구조였다. 이러한 구조형태는 건축과 가구 등 목재로 만든 복잡한 구조물의 발전에 기초를 제공했다. 목재로 만든 구조물들은 점차 다양한 부재들로 구성되었고, 못 등 철로 만든 다양한 결구의 사용은 가구 및 주택 등의 구조발전에 중요한 역할을 하였다. 또한 목재 가공기술의 발달과 함께 작은 목재들로 큰 부재를 만들기 위해 다양한 방법들을 개발했다. 작은 목재들을 연결하기 위한 결합부들은 횡단면 결합, 스킵프 조인트, 장부축 이음 접합 및 나무못 등이 사용되었다.

주택 및 가구 등에서 목재의 사용량 증가에도

2016년 10월 25일 접수; 2016년 12월 7일 수정; 2016년 12월 20일 게재확정

[†] 교신저자 : 차 재 경(jcha@kookmin.ac.kr)

불구하고, 목재로 만든 목제품의 사용을 기피하는 이유들 중에 하나는 결합부의 강도에 대한 신뢰성의 부족이다. 목재로 만든 여러 부재들로 복잡하게 구성된 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. 금속으로 만든 고정물들은 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 외양이 중요한 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 연구들이(Eckelman 1969; Eckelman 1971; Eckelman & Cassens 1985; Eckelman et. al. 2002; Uysal 2005) 활발히 이루어졌다.

목재 부재들을 결합하는데 나무못의 사용은 많은 시간이 소요되어 인건비가 크지만 못 등 결합철물보다 더 큰 장점을 가지고 있다. 철물 결합은 재활용을 위해서는 제거해야 되지만 나무못은 제거하지 않고도 재활용이 가능하다. 특히 파티클보드는 폐목재 등을 이용한 자원의 재활용할 수 있는 재료들 중에 하나이다. 또한 가구 제작 및 부엌의 싱크대 제조 등에 광범위하게 사용되고 있으나 국내에서 생산되는 파티클보드의 나무못 유지력에 대한 자료가 매우 부족하다. 합리적인 가구의 설계 등을 위하여는 파티클보드의 나무못 유지력에 대한 정보가 요구된다. 양 표면에 단판을 접착하여 구조용으로 충분히 이용이 가능하지만 이 또한 파티클보드의 결합부의 성능에 대한 정보가 요구된

다. 따라서 본 연구의 목적은 국내에서 제조된 파티클보드의 나무못 유지력에 대한 자료와 그러한 자료들을 바탕으로 유지력을 예측하는데 사용할 수 있도록 하는데 목적이 있다. 특히 본 연구는 주어진 인자들로부터 더 강한 결합부를 결정하기 위한 목적으로도 실행되었다. 인장하중이 작용하는 하나의 나무못에 대한 유지력을 결정하기 위해 차(2016)가 개발한 장치를 사용하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 국내에서 생산된 파티클보드의 표면에서 나무못의 직경 및 천공여척에 대한 영향을 측정하기 위해 직경이 서로 다른 나무못을 사용했다. 나무못은 통직목리인 잣나무, 백합나무 및 밤나무 목재를 경기도 여주에 위치한 백향산업에서 직경이 6, 8 및 10 mm이고, 길이는 90 cm로 제작하여 실험실에서 필요한 길이로 잘라 직경별로 5회 반복 실험했다. 실험블록은 가구 등에 많이 사용되는 파티클보드로 두께가 15 mm인 판재를 사용했다. 국내 3사에서 제조된 파티클보드는 모든 측면 길이가 10 cm인 정사각형으로 제작한 다음 나무못 유지력의 변이를 줄이기 위해 미리 구멍을 뚫었다. 나무못을 위한 구멍들은 테이블용 드릴을 사용하여 파티클보드를 고정한 다음 표면과 직각으로 각 시편의 중앙에 두께를 관통하도록 뚫었다. 나무못과 구멍 사이에 여척은 Table 3과 같이 최대 0.5 mm 이하로 했다. 여척은 나무못 직경과 구멍을 뚫을 때 사용한 bit의 직경 차이를 사용했다. 나무못들을 관입하기 전에 모든 구멍의 벽들과 나무못의 표면은 접착제로 칠했다. 접착제를 도포하기 전에 실험블록에는 구멍 주위로 왁스를 칠하였다. 이는 흘러나온 접착제가 실험블록에 접착되지 않고 나무못이 완전히 실험블록에 관입되게 했다. 나무못은 두께가 15 mm인 파티클보드의 두께를 관통할 수 있도록 3 mm 정도 튀어나오게 했다. 접착제는 시중에서 쉽게 구입할 수 있고 상온에서 경화되는 목공용 접착제인 오공본드를 사용했다. 본 연구에 사용된 접착제의 특성들은 Table 1과 같다.

Table 1. Properties of Adhesives

Properties	
Color	White
Viscosity (cps/25°C)	22,000~24,000
Solid content (%)	28~30
pH	4~5
Ingredient (%)	PVAc resin (25-30), Additives (1-5), Water (65-70)

나무못 유지력을 구하기 위해 기존에 사용한 방법들은 선행연구(차 2016)에서 언급한 것과 같이 시험편의 고정과 시편제작 등에 어려움이 있었다. 본 연구는 간단한 시편제작 및 하중을 나무못의 중심축에 정확히 가하기 위해 Fig. 1과 같이 선행연구(차 2016)에서 개발한 장치를 사용했다. 나무못을 실험기에 직접 고정시키기 위해 고안한 장치는 4개의 철타블록을 썬기 모양으로 만들어 원형의 나무못에 인장하중이 가해질수록 더 단단히 고정하였다. 하중이 제거될 때는 crosshead를 하중방향과 반대방향인 아랫방향으로 이동시켜 철타블록이 위쪽방향으로 이동하므로 느슨하게 되어 장치로부터 나무못이 쉽게 제거될 수 있도록 했다. 나무못과 철타 사이에 미끄러지는 것을 방지하기 위해 접촉면의 톱니는 위쪽으로 향하도록 했다.

함수율이 유지력에 영향하므로 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 이고 상대습도 $65 \pm 3\%$ 인 항온항습기에 처리한 파티클보드로 제작한 시편들은 실험 전에 적어도 1주일 동안 다시 처리했다. 모든 시편들은 Hounsfield 만능재료시험기에 Fig. 2와 같이 하중을 가했다. 하중속도는 ASTM D 1761 (1986)에 따라 분당 1.5 mm를 사용했다. 하중은 모든 실험블록과 나무못의 분리가 일어날 때까지 가했다.

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

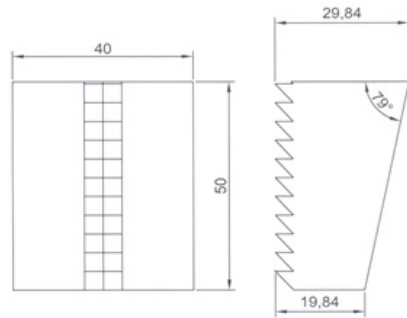


Fig. 1. Schematic diagram for test apparatus of dowel withdrawal load (Cha 2016).



Fig. 2. Test setup for dowel withdrawal load.

3. 결과 및 고찰

나무못 유지력 실험에 사용된 실험블록과 나무못의 물리적 성질은 Table 2와 같다. 파티클보드로 만든 실험블록의 비중과 함수율은 각각 0.60과 10.9%이었다. 또한 나무못으로 사용된 밤나무, 잣나무 및 백합나무의 비중은 각각 0.93, 0.41 및 0.47이었고, 함수율은 8.7, 9.1 및 8.8%이었다.

본 연구에 사용된 장치는 모든 실험에서 나무못이 뽑힐 때까지 미끄러지지 않고 고정하였다. Table 3은 나무못 직경과 천공여척에 따른 밤나무, 잣나무, 백합나무 목재로 만든 나무못의 최대 유지력과 강도의 평균 및 표준편차를 보여주고 있다. 최대 나무못 유지력은 나무못의 수종과 직경의 크

Table 2. Average specific gravities and moisture contents for test block and dowel used for withdrawal tests

	Species	Moisture content (%)	Specific gravity
Test block	particleboard	10.9(0.47)*	0.60(0.02)*
Dowel	Castanea crenata Sieb. et Zucc.	8.7(0.22)	0.93(0.03)
	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	9.1(0.35)	0.41(0.01)
	Liriodendron tulipifera L.	8.8(0.32)	0.47(0.02)

* Standard deviation

Table 3. Summary of plain wooden dowel withdrawal loads and strengths

Dowel species	dowel		Maximum withdrawal load (kN)	Maximum withdrawal strength (N/mm ²)
	Diameter (mm)	Hole clearance (mm)		
Castanea crenata Sieb. et Zucc.	6	0.37	0.89 (0.08*)	3.07 (0.30*)
		0	1.10 (0.06)	3.78 (0.27)
	8	0.13	1.16 (0.09)	2.94 (0.25)
		0	1.30 (0.03)	3.29 (0.11)
	10	0.47	1.13 (0.05)	2.32 (0.22)
		0	1.55 (0.10)	3.19 (0.22)
Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	6	0.48	0.62 (0.06)	2.18 (0.02)
		0	0.95 (0.02)	3.35 (0.09)
	8	0.27	1.05 (0.05)	2.70 (0.16)
		0	1.17 (0.05)	3.06 (0.06)
	10	0.49	1.03 (0.03)	2.13 (0.09)
		0	1.30 (0.04)	2.69 (0.12)
Liriodendron tulipifera L.	6	0.46	0.84 (0.10)	3.00 (0.31)
		0	1.06 (0.05)	3.73 (0.18)
	8	0.25	1.18 (0.14)	3.02 (0.36)
		0	1.28 (0.05)	3.28 (0.08)
	10	0.48	1.30 (0.04)	2.70 (0.08)
		0	1.52 (0.04)	3.15 (0.07)

* Standard deviation

기 및 천공여척에 따라 다르게 나타났다. 모든 수종에서 천공여척이 0일 때 큰 나무못 유지력을 보여주었다. 나무못 유지력은 밤나무로 만든 직경 10 mm인 나무못이 가장 큰 값을 보여주고 있다. 잣나무로 만든 직경이 6 mm인 나무못의 유지력이 가장 작은 값을 나타냈다.

유지력 강도(σ)는 최대하중(P_{max})과 시편의 접착면적(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 4. Comparison between solid wood and particleboard for withdrawal load by hole clearance

Test block species	Dowel species	dowel diameter/clearance/load ratio					
		6 mm		8 mm		10 mm	
Particleboard	Castanea crenata Sieb. et Zucc.	0.37	0.81	0.13	0.89	0.47	0.73
	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	0.48	0.65	0.27	0.90	0.49	0.79
	Liriodendron tulipifera L.	0.46	0.79	0.25	0.92	0.48	0.86
Pinus densiflora Sieb. et Zucc.	Castanea crenata Sieb. et Zucc.	0.37	0.55	0.13	0.85	0.47	0.42
	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	0.48	0.54	0.27	0.75	0.49	0.54
	Liriodendron tulipifera L.	0.46	0.53	0.25	0.75	0.48	0.51
Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	Castanea crenata Sieb. et Zucc.	0.37	0.61	0.13	0.86	0.47	0.51
	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	0.48	0.56	0.27	0.75	0.49	0.55
	Liriodendron tulipifera L.	0.46	0.44	0.25	0.70	0.48	0.42

Table 5. Comparison between solid wood and particleboard for withdrawal strength by hole clearance

Test block species	Dowel species	dowel diameter/clearance/strength ratio					
		6 mm		8 mm		10 mm	
Particleboard	Castanea crenata Sieb. et Zucc.	0.37	0.81	0.13	0.89	0.47	0.73
	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	0.48	0.65	0.27	0.88	0.49	0.79
	Liriodendron tulipifera L.	0.46	0.80	0.25	0.92	0.48	0.86
Pinus densiflora Sieb. et Zucc.	Castanea crenata Sieb. et Zucc.	0.37	0.55	0.13	0.84	0.47	0.43
	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	0.48	0.54	0.27	0.75	0.49	0.54
	Liriodendron tulipifera L.	0.46	0.54	0.25	0.75	0.48	0.52
Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	Castanea crenata Sieb. et Zucc.	0.37	0.46	0.13	0.81	0.47	0.32
	Pinus koraiensis Sieb. et Zucc.	0.48	0.56	0.27	0.75	0.49	0.55
	Liriodendron tulipifera L.	0.46	0.44	0.25	0.70	0.48	0.42

Table 3과 같다. 나무못 유지력 강도도 유지력과 같이 천공여척이 0일 때 최대값을 나타냈다. 밤나무로 만든 직경 6 mm 나무못이 가장 큰 값을 보여주고 있다. 잣나무로 만든 직경 10 mm인 나무못의 유지력 강도가 가장 작았다.

3.1. 나무못 유지력에 대한 천공여척의 영향

Table 3은 나무못의 수종과 천공여척에 따른 나무못의 유지력과 유지력 강도를 보여주고 있다. 모든 나무못의 수종 및 직경에서 천공여척이 증가하면 나무못 유지력과 유지력 강도가 감소하는 것을 나타내고 있다. 나무못의 유지력과 유지력 강도는 천공여척이 0일 때 가장 큰 값을 보여주고 있다.

천공여척과 유지력 사이에 관계를 알아보기 위

해 유지력이 최대였던 천공여척이 0인 유지력을 1로 하고, 여척에 따른 각각의 유지력을 유지력의 비로 나타냈다. 또한 파티클보드의 천공여척과 비교하기 위해 국산재에 대한 나무못 유지력의 비는 차(2016)의 연구에서 천공여척의 함수로 나타냈던 식에 파티클보드의 천공여척과 같은 값을 대입하여 유지력의 비를 구하였다. Table 4는 각각의 직경 및 천공여척에서 최대하중과의 비를 보여주고 있다. 모든 수종과 직경의 나무못에서 잣나무와 소나무 판재보다 파티클보드가 작은 감소를 일으켰다. 이는 파티클보드를 실험블록으로 사용했을 때 접촉제가 파티클보드 내층의 큰 공극에 더 잘 침투하여 접착력에 크게 기여했기 때문으로 판단된다.

Table 5는 나무못의 직경과 수종의 천공여척에

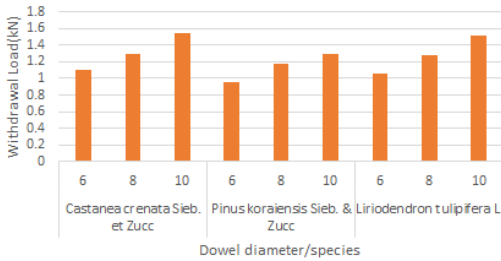


Fig. 3. Diagram for dowel withdrawal load by different dowel diameter.

따른 각각의 나무못 유지력 강도 비를 보여주고 있다. 국산재의 나무못 유지력 강도 비 또한 유지력과 같은 방법으로 차(2016)의 연구에서 천공여척의 함수로 나타낸 식에 파티클보드의 천공여척과 같은 값들을 대입하여 계산했다. 모든 수종의 나무못은 파티클보드에서 천공여척이 유지력 강도에 영향을 주는 것을 보여준다. 나무못 유지력과 같이 파티클보드의 나무못 유지력 강도 또한 국산재에 대한 값보다 적게 감소하였다. 나무못의 유지력 강도 또한 천공여척이 증가하면 감소하는 것을 보여준다. 직경이 10 mm인 나무못에서 밤나무로 만든 나무못의 천공여척이 증가하면 가장 크게 감소하였고, 백합나무로 만든 나무못이 가장 적게 감소하였다. 다른 직경에서 천공여척의 감소효과를 비교하기 위해서는 더 많은 체계적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

3.2. 나무못 유지력 및 유지력 강도의 직경에 대한 영향

Table 3은 나무못 직경에 따른 최대 나무못 유지력 및 유지력 강도를 나타내고 있다. 직경에 따른 유지력과 유지력 강도를 비교하기 위해 각 직경에서 최대값을 보인 천공여척이 0인 유지력과 유지력 강도는 Fig. 3과 4로 나타났다. 모든 실험 블록에서 나무못 직경이 증가할수록 유지력은 증가하였다. Fig. 3은 파티클보드의 나무못 수종에 따른 유지력 차이를 보여주고 있다. 최대 나무못 유지력은 밤나무로 만든 나무못이 가장 큰 값을 보여주고 있다. 이 차이는 아마 비중이 가장 큰 밤나무가 비중이 작은 백합나무와 잣나무보다 접착제

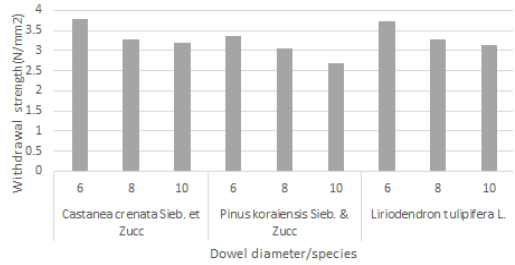


Fig. 4. Diagram for dowel withdrawal strength by different dowel diameter.

가 파티클보드와 접착 및 팽창에 의한 여척감소에 어느 정도 더 크게 기여했기 때문으로 판단된다.

나무못 유지력 강도는 Fig. 4와 같이 모든 수종에서 나무못 직경이 커질수록 감소하는 것을 보여주고 있다. 실험결과는 밤나무로 만든 나무못의 유지력이 다른 수종의 목재로 만든 나무못보다 크고, 잣나무로 만든 나무못이 가장 작은 값을 나타냈다. 비중의 차이가 큰 밤나무와 백합나무 사이에 작은 유지력 및 유지력 강도 차이는 접착강도와 함께 가공할 때 발생하는 시편의 변이가 어느 정도 영향을 주는 것으로 판단된다. 둥근 나무못을 만드는데 비중이 큰 밤나무는 나무못의 표면이 덜 일정하였지만 비중이 작은 백합나무는 다른 수종보다 더 균일한 표면을 가진 나무못으로 제작되었기 때문에 큰 유지력 강도를 보였을 것으로 판단된다. 그러나 이들 연구결과들은 제한된 시편의 수로 실질 평균 값을 나타내지 않으므로 더 많은 체계적인 연구들이 나무못 직경과 천공여척에 대한 나무못 유지력과 유지력 강도의 영향에 대해서 요구된다.

4. 결 론

국내에서 생산되는 파티클보드에 대한 나무못 유지력의 실험결과는 다음과 같다. 천공여척이 증가하면 나무못의 유지력과 유지력 강도는 감소하였다. 파티클보드에 대한 유지력과 유지력 강도는 목재에 대한 값들보다 천공여척의 크기가 증가할수록 적은 감소를 보였다. 나무못 직경의 유지력에 대한 영향은 직경이 커지면 유지력은 증가하였지만 유지력 강도는 감소하였다. 하지만 이들 결과들

은 실험에 사용된 제한된 수의 시편들에 대한 값으로 이들 수종에 대한 실질 평균값을 나타내진 않는다.

참 고 문 헌

- 차재경. 2016. 나무못 뽑기 실험을 위한 새로운 장치 개발. 산림과학 28집: 55-64.
- 차재경. 2016. 국산재에 대한 나무못 직경과 천공여척이 나무못 유지력에 미치는 영향. 목재공학 44(5): 736-742.
- American Society for Testing and Materials. 1986. Standard test method for small clear specimens 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.
- 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., and 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 D.L. Cassens. 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.