

국내산 목재에 대한 나사못 직경, 관입깊이 및 목재비중에 따른 나사못 유지력 예측*¹

차재경*^{2†}

Predicting the Withdrawal Load of Wood Screws in Domestic Wood by Screw Diameter, Depth of Penetration and Specific Gravity of Wood*¹

Cha, Jae Kyung*^{2†}

요약

국내에서 생산되는 목재에 대한 나사못 유지력을 기존의 식으로부터 수정된 예측 식으로 나타내기 위해 나사못 뽑기 실험을 실시했다. 본 연구에 사용된 나사못은 No. 6, No. 8 및 No. 10이었다. 예측 식은 길이가 서로 다른 No. 8 나사못의 실험결과와 매우 일치하였다. 나사못 유지력의 예측 식은 나사못의 직경과 관입깊이 및 목재비중의 함수로 나타났다. 예측 식은 나사못 길이가 25와 30 mm에서 5% 이내로 작게 예측되었으나 18과 38 mm에서 큰 값을 보였다.

ABSTRACT

Tests were carried out on domestic wood samples to modify the formula which had previously been developed to predict the withdrawal strength of screw on the face of lumber. Screw sizes were No. 6, 8 and 10 used in this study. Predicted equations were fitted to the results of different length of No. 8 wood screw. The withdrawal strength of screws was enabled to predicted as a function of screw diameter, depth of penetration, and specific gravity of wood. Predicted equation

*¹ 접수 2011년 4월 19일, 채택 2011년 5월 13일

본 연구는 국민대학교 교내연구비(2011) 지원에 의해 수행되었음.

*² 국민대학교 임산생명공학과, Dept. of Forest Products and Life Science, College of Forest science, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 차재경(E-mail: jcha@kookmin.ac.kr)

was under-predicted the withdrawal strength of 25 and 30 mm length of screw within 5% and over-predicted withdrawal strength of 18 and 38 mm length of screw.

Keywords: wood screw withdrawal load, screw diameter, depth of penetration, specific gravity and domestic wood

1. 서 론

못은 사용하기 쉽고 간편하여 인건비를 절약할 수 있는 장점을 가지고 있어 목재를 결합하는데 많이 이용되어 왔다. 하지만 못은 박을 때 목재를 쪼개는 성질을 가지고 있어 가구제작자들로부터 외면 받아왔다. 한때 철사로 만든 못들이 사용됐으나 그들이 지지하는 연결부들은 횡단면이 직사각형인 못보다 크게 약했다. 직사각형 못은 목섬유를 절단하여 부재들을 고정하기 때문에 더 큰 하중을 지지한다. 하지만 등근 못은 연결부를 만드는 동안 목섬유 사이를 쪼개고 미끄러져 지지력을 감소시킨다. 그러나 나사못은 매우 강한 이음매를 만들어 목재산업에 많은 변화를 가져왔다. 나사못은 적어도 고대 그리스시대로부터 이용되기 시작했고, 특히 대부분의 지역에서 가구제작자들은 목재를 결합하고자 했을 때 사용을 망설이지 않았다.

목재를 사용한 구조의 설계는 요구되는 강도와 내구력을 충족시키기 위해 사용되는 철패(fastener)의 유지력에 대한 값이 요구된다. 따라서 파티클보드 등 복합목재에 대한 나사못 유지력에 대한 많은 연구들이 있었다. 특히 나사못 유지력은 나사못의 직경과 관입깊이(depth of penetration), 복합목재 및 목재의 하나 이상의 기계적인 성질들의 함수로 예측하고자 많은 연구들이 있었다. Eckelman (1975)은 파티클보드의 비중이 나사못 유지력의 예측인자로 적합함을 보였다. Eckelman (1988)은 중밀도 섬유판에 대한 나사못 유지력을 내부접착력으로 나타냈다. Rajak와 Eckelman (1993)은 파티클보드와 중밀도섬유판에 대한 유지력에 천공의 크기 등의 영향을 조사하였다. Erdil 등(2002)은 합판과 OSB의 나사못 유지력을 나사못의 직경과 밀도로 나타냈다. Wood Handbook (1985) 또한 목조건물에 사용되는 나사못

유지력의 예측 식을 나사못의 직경, 관입깊이 및 목재비중으로 나타냈다. 하지만 Wood handbook의 식은 가구제작 등에 적용하기에는 부족함이 있다. Eckelman (1975)은 활엽수목재의 경우 비중보다 전단강도가 나사못 유지력의 예측인자로 더 적합함을 보였다. Eckelman (1978)은 활엽수 목재의 나사못 유지력을 직경, 관입깊이 및 전단강도로 나타냈다. 나사못 유지력에 대한 연구가 많이 시행되어 비중(USDA forest service)이나 전단강도(Eckelman 1975; Eckelman 1978)에 대한 함수로 나타내고 있지만 국내에서의 연구(차, 2002; 2003)는 매우 미흡한 실정이다.

목재에 대한 나사못 유지력 실험이 많이 실시되었고, 유지력에 대한 식이 만들어졌다. 하지만 상대적으로 국산재에 대한 자료는 매우 미흡하다. 특히 나사못 유지력은 비중과 같은 목재특성들과 함께 나사못의 직경 및 관입깊이와 밀접한 관계를 가지고 있다. 따라서 본 연구는 국내에서 생산되는 목재에 대한 나사못 유지력을 예측하기 위해 나사못 뽑기 실험을 실시했다. 본 연구의 중요한 목적은 나사못의 직경, 관입깊이 및 목재비중의 함수로 나사못 유지력에 대한 식을 유도하고 평가하고자 했다.

2. 재료 및 실험방법

나사못은 끝 부분(tip)이 몸통 부분(shank)보다 직경이 작아 나사못의 끝부분에 대한 영향이 유지력 예측식의 관입깊이에 포함되어야 한다. 이를 위해 나사못이 두께가 15 mm인 국내에서 생산되는 소나무목재, 잣나무목재 및 낙엽송목재의 판재를 완전히 관통하여 끝 부분이 튀어나오게 했고, 다른 하나는 나사못의 끝이 다른 표면에 튀어나오지는 않았지만 두께에 완전히 박히게 했다(Fig. 1). 따라서 직경은 같지만 길이가 다른 25 mm와 30 mm의 나사못이 같은 시

Table 1. Wood screw characteristics

Screw No.	Shank diameter (mm)	Length (mm)	Prehole diameter (mm)
6	352 (0.01*)	2479 (0.15)	25
	356 (0.02)	296 (0.06)	
8	383 (0.10)	1859 (0.07)	30
	379 (0.10)	2464 (0.42)	
	387 (0.08)	3176 (0.18)	
	376 (0.06)	3753 (0.17)	
10	459 (0.07)	2444 (0.45)	35
	451 (0.11)	3165 ((0.24)	

* Standard deviation.

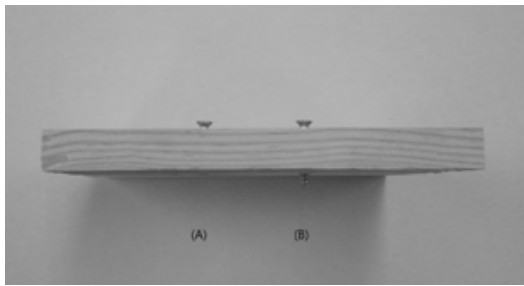


Fig. 1. Samples of wood screw with fully embedded tip (A) and protruded tip (B).

편에 사용됐다. Table 1과 같이 나사못 유지력에 대한 직경과 유효 관입길이의 영향을 보기 위해 같은 방법으로 3종류의 나사못 직경(No. 6, 8 및 10)을 사용했다. 따라서 각 시편은 모두 6회의 서로 다른 직경과 길이에 대한 나사못 실험에 사용됐다. 시편들은 나사못이 원하는 위치와 방향으로 관입되도록 미리 천공을 하였다. 특히 천공은 나사못이 각 시편의 표면과 수직이 되도록 고정하는데 도움을 준다. 또한 구멍의 직경은 Wood Handbook (1985)에서 추천하는 침입수에 대한 No. 6, 8 및 10 나사못 직경의 70~80%에 해당하는 2.5, 3, 3.5 mm로 뚫었다. 본 연구에 사용된 나사못의 성질은 Table 1과 같다.

시편의 외형은 Fig. 1과 같다. 시편마다 각각의 나사못을 위해 6개의 구멍을 뚫었다. 각 시편은 2개의 구멍마다 같은 직경의 나사못을 관입하여 3개의 서로 다른 직경의 나사못이 사용됐다. 이는 서로 다른

직경의 나사못을 같은 시편을 사용하므로 사용된 목재 사이에 변이를 줄여 나사못 직경에 대한 더 나은 영향을 조사하기 위해서였다. 유지력 시편은 Fig. 1 (B)와 같이 나사못의 끝부분(tip)이 튀어나오게 박았다. 하나의 직경에 대한 실험이 끝난 후에 다른 위치에 있는 구멍에 두 번째 직경의 나사못을 삽입하여 실험했다. 이 과정은 각 직경에 대해 5회의 나사못 실험이 끝날 때까지 반복됐다. 두 번째 실험은 관입 길이의 영향을 알아보기 위해 Fig. 1 (A)와 같이 나사못의 끝이 다른 표면에 도달하도록 나사못을 모두 관입했다. 위와 같은 방법이 모든 직경의 실험이 끝날 때까지 반복됐다. 나사못 뽑기 실험은 Hounsfield 만능시험기를 이용했다(Fig. 2). 하중속도 또한 나사못의 유지력에 영향을 하므로 하중속도는 분당 2 mm로 하였다. 나사못의 유지력은 최대 하중을 측정하여 사용했다. 시편은 그림과 같이 특별히 제작된 틀에 고정했다. 나사못의 머리는 load cell에 연결된 그림에 고정했다.

나사못의 관입길이가 유지력에 미치는 영향을 알아보기 위해 No. 8의 나사못을 사용하여 뽑기 실험을 했다. 나사못의 길이는 Table 1과 같이 18, 25, 30 및 38 mm로 두께가 30 mm인 목재에 관입하였다. 목재 사이의 변이를 최소로 하기 위해 각각의 시편들은 모든 길이의 나사못을 각각 하나씩 관입하여 4회 실험에 사용됐다.

목재의 함수율이 나사못 유지력의 크기에 영향을 미치므로 웅이 등의 결점이 없는 시편을 온도 21°C와

Table 2. Average specific gravities and moisture contents for wood used screw withdrawal tests

Species	Thickness of specimen (mm*)		Moisture content (%)	Specific Gravity
	Diameter	Length		
<i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc	15.06 (0.18**)	30.40 (0.58)	11.0 (0.47)	0.38 (0.03)
<i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc	15.16 (0.22*)	32.10 (0.92)	11.4 (0.88)	0.50 (0.03)
<i>Larix leptolepis</i> Sieb. et Zucc	15.29 (0.11*)	30.42 (0.71)	11.6 (0.50)	0.52 (0.01)

* Diameter: specimen thickness for screw diameter, length: specimen thickness for screw length.

** Standard deviation.

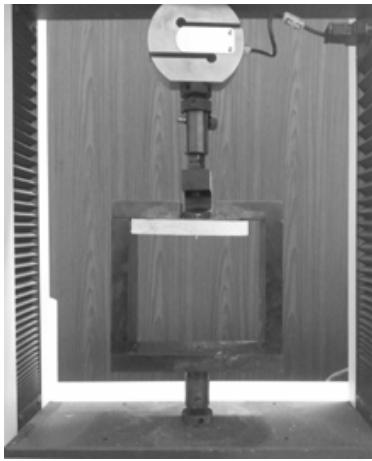


Fig. 2. View of testing arrangement used on wood screw test.

상대습도 65%인 항온항습기에 조습하였다. 조습된 목재는 나사못을 관입하기 전에 비중 측정을 위해 치수와 무게를 측정했다. 나사못 뽑기 실험을 모두 마친 다음 함수율과 실험에 사용된 시편의 비중을 계산하기 위해 모든 시편은 작게 잘라 무게를 측정하였다. 전건무게는 온도가 104°C인 전기오븐에서 일정한 무게로 전건되었을 때 무게를 측정하여 함수율 계산에 사용했다. 비중은 함수율을 사용하여 각 시편의 전건무게를 구한다음 비중 계산에 이용했다.

3. 결과 및 고찰

나사못 유지력 실험에 사용된 목재의 성질들은

Table 2와 같다. 평균함수율은 11.0~11.6%였다. 비중의 평균은 잣나무목재가 0.38로 가장 작았고, 낙엽송목재는 0.52로 가장 큰 값을 보였다.

Table 3은 나사못의 끝부분(tip)이 시편에 모두 관입되어 있는 것(A)과 나사못의 끝부분이 시편 밖으로 튀어나온 것(B)에 대한 나사못 유지력을 보여주고 있다. 나사못의 끝부분이 튀어나오도록 한 것이 끝부분을 시편에 관입한 것보다 더 큰 나사못 유지력을 보여주고 있다. 이는 tip의 영향으로 시편을 나사못 관입하기 전에 천공했을 때 나사못의 끝부분이 뿔족하여 하중을 지지하지 못하기 때문으로 판단된다. Table 3은 No. 6의 전체 평균이 22%, No. 8은 23.2%, No. 10은 36.5% 증가하여 직경이 큰 나사못이 더 큰 증가를 보여주고 있다.

Wood Handbook은 목재에 대한 유지력(F)이 aG^2DL 로 나사못 부분의 관입깊이(L)를 사용하여 나타내고 있다. 따라서 Wood Handbook에 있는 나사못 유지력에 대한 예측 식은 관입깊이에 대한 수정이 필요하다. 유효 관입깊이는 일반적으로 관입깊이로부터 나사못 직경만큼 감소된 값(L-D)이 사용된다. 그러나 나사못 유지력의 예측 식은 $F_e = aG^2D^{\beta}(L - \alpha D)$ 와 같이 설정했다. 이 식을 tip의 효과를 고려하지 않은 Wood Handbook 식과 비교하면 두 식 사이에 비는 $\frac{F_c}{F} = \frac{L - \alpha D}{L}$ 이 되어 α 에 대한 식은 $\left(1 - \frac{F_c}{F}\right) \left(\frac{L}{D}\right)$ 로, No. 6, 8, 10의 α 는 각각 0.79, 0.82 및 0.88을 나타냈다. 이 결과는 나사못이 모두 관입되었을 때 Eckelman의 식(1975)과 같이 $\alpha = 1.0$ 을 대입하

Table 3. Summary of wood screw withdrawal load by different shank diameter

Species	Screw No.	Wood screw withdrawal load (kgf)		
		embedded tip (A)	protruded tip (B)	difference (B/A 100, %)
<i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc	6	108.8 (3.4*)	134.8 (5.6)	23.9
	8	129.8 (6.33)	159.6 (10.8)	22.9
	10	132.7 (9.8)	172.1 (12.8)	29.7
<i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc	6	155.1 (4.1)	184.8 (19.8)	19.1
	8	169.5 (28.3)	209.2 (30.6)	23.4
	10	165.3 (23.4)	215.3 (23.1)	30.3
<i>Larix leptolepis</i> Sieb. et Zucc	6	172.6 (5.1)	204.4 (13.7)	18.4
	8	205.0 (33.0)	252.5 (13.7)	23.2
	10	182.8 (15.1)	268.6 (46.5)	47.0
Overall	6	145.5 (28.2)	174.7 (33.1)	22.0
	8	168.1 (39.5)	207.1 (43.6)	23.2
	10	160.3 (26.7)	218.7 (48.2)	36.5

* standard deviation.

여 shank 직경의 크기만큼 감소시킨 것(L-D)에 비해 관입깊이의 더 작은 감소가 이루어질 것이다. 식에 $\alpha = 0.79$ 와 0.82 는 No. 6과 No. 8에 사용하고, No. 10은 0.88 을 사용하는 등 특정한 값이 나뉘니 직경에 따라 사용되어야 할 것으로 판단된다.

같은 실험결과들을 사용하여 나사못의 shank 직경의 영향에 대해 알아보았다. 유효 관입깊이를 구한 방법과 같이 서로 다른 직경 사이에 유지력의 비는 $\frac{F_c}{F} = \frac{D_c}{D}$ 로 No. 6에 대해 No. 8과 No. 10의 직경 비는 각각 1.08 과 1.31 이었고 각각의 나사못에 대한 유지력의 비($\frac{F_c}{F}$)는 1.186 와 1.252 로 평균값을 사용

하여 $\frac{F_c}{F} = \left(\frac{D_c}{D}\right)^\beta$ 로 회귀분석에 의해 구한 $\beta = 0.73$ 으로 $R^2 = 0.75$ 였다. 같은 방법으로 나사못 유지력에 대한 비중의 영향을 알아보기 위해 $\frac{F_c}{F} = \left(\frac{SG_c}{SG}\right)^\gamma$ 를 이용하여 회귀분석에 의해 구한 $\gamma = 0.92$ 일 때 $R^2 = 0.99$ 를 보였다. 마지막으로 상수 a를 구하기 위해 $F_c = aG^{\gamma}D^{\beta}(L - \alpha D)$ 의 식에 목재비중, 직경 및 유효 관입깊이와 함께 α , β 및 γ 를 대입하여 구한

F_c 에 대해 실험결과 값들을 사용하여 회귀분석을 통해 a를 구하였다. α 가 0.79 일 때 a는 8.88 이었고 $\alpha = 0.82$ 일 때 8.96 , $\alpha = 0.88$ 이면 9.13 을 보였다.

위의 분석결과를 종합하면 나사못 유지력 $F = a SG^{0.92} D^{0.73} (L - \alpha D)$ 로 a는 유효 관입깊이를 구하는데 사용된 α 에 따라 차이가 있었다. D와 L의 단위는 mm이다. 실험결과들은 위 예측 식에 의한 정확도를 평가하기 위해 식에 의해 계산된 값(y')과 실험에 의한 값(y) 사이에 차이는 $\frac{y' - y}{y} \times 100(\%)$ 로 계산하였다. 그 차이는 $\alpha = 0.79$ 일 때 No. 6가 -7.0% 작았고, No. 8은 -0.75% , No. 10은 5.33% 로 가장 컸다. $\alpha = 0.82$ 일 때 No. 6은 -0.99% , No. 8은 -0.71% , No. 10은 4.99% 로 차이가 적었다. $\alpha = 0.88$ 에서 No. 6이 -8.8% 작았고, No. 8은 -2.9% , No. 10은 1.9% 로 가장 컸다. No. 8은 No. 6과 No. 10보다 모든 경우에 -0.75% , -0.71% 및 -2.9% 로 작은 차이를 나타냈다.

나사못 길이에 따른 tip 효과를 평가하기 위해 실시한 실험 결과는 Table 4와 같다. 나사못은 No. 8로 길이가 18, 25, 30 및 38 mm인 실험한 결과이다. 나사못의 길이가 증가하면 유지력은 증가하였다. 하지만 38 mm에서 비중이 큰 소나무와 낙엽송은 감소하

Table 4. Summary of wood withdrawal load by different screw length

Species	Wood screw withdrawal load (kgf)			
	18 mm	25 mm	30 mm	38 mm
<i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc	721 (4.67*)	117.7 (11.09)	158.5 (12.93)	197.0 (17.68)
<i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc	99.3 (9.21)	187.8 (31.77)	260.6 (30.79)	231.64 (19.71)
<i>Larix leptolepis</i> Sieb. et Zucc	108.7 (14.83)	197.2 (21.45)	267.8 (29.66)	239.5 (13.04)
difference** ($\frac{y' - y}{y} \times 100, \%$)	7.39	-4.98	-4.22	10.46

* Standard deviation.

** y' : values from predicted equation, y : test result values.

는 것을 보여 주었다. 또한 실험결과들은 예측 식에 의한 정확도를 평가하기 위해 식에 의해 계산된 값 (y')와 실험에 의한 값(y) 사이에 차이는 $\frac{y' - y}{y} \times 100(\%)$ 로 계산하였다.

식으로부터 계산된 값을 구하기 위해 모든 직경에서 차이가 적었던 $a = 8.96$ 과 $\alpha = 0.82$ 를 사용했다. 그 차이는 25 mm와 30 mm에서는 -4.98%와 -4.22%로 작은 값을 보였지만 18 mm와 38 mm에서는 7.39%와 10.46%로 큰 값을 보였다. 이는 실험하는 동안 길이가 38 mm인 나사못의 머리가 찌그러지는 영향과 함께 길이가 18 mm인 경우 tip의 효과를 고려한 유효 관입깊이의 영향으로 판단된다.

4. 결 론

국산재에 대한 나사못 유지력을 예측하기 위한 식을 유도하고 평가하기 위한 실험 결과는 아래와 같다. 나사못 직경을 크게 하면 유지력이 증가하였으며, 나사못 길이를 길게 하면 유지력 또한 증가했다. 실험 결과는 비중이 증가하므로 나사못 유지력도 증가하는 것을 보여주었다. 나사못 유지력의 예측 식은 나사못의 직경, 관입깊이 및 비중의 함수로 나타났다. 나사못 유지력은 식으로부터 계산된 값과 실험에 의한 값 사이에 나사못 길이가 25와 30 mm 약간 작은 값을 보여주었고, 18 mm와 38 mm에서 큰 값을 보였다. 본 연구에서 유도된 국산재에 대한 나사못 유지력의

예측식을 이용하기 위해서는 더 다양한 수종의 목재와 함께 많은 시편에 연구가 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. American Society for Testing and Materials. 1986. Standard test method of testing mechanical fasteners in wood. ASTM D 1761. ASTM, Philadelphia, PA.
2. Eckelman, C. A. 1978. Predicting withdrawal strength of sheet metal-type screws in selected hardwoods. Forest Prod. J. 28(8): 25~28.
3. Eckelman, C. A. 1988. The withdrawal strength of screws from commercially available medium density fiberboard. Forest Prod. J. 38(5): 21~24.
4. Eckelman, C. A. 1975. Screwholding performance in hardwoods and particleboard. Forest Prod. J. 25(6): 30~36.
5. Erdil, Y. Z, J. Zhang, and C. A. Eckelman. 2002. Holding strength of screws in plywood and oriented strandboard. Forest Prod. J. 52(6): 55~62.
6. Rajak, Z. I. B. H. A. and C. A. Eckelman. 1993. Edge and face withdrawal strength of large screws in particleboard and medium density fiberboard. Forest Prod. J. 43(4): 25~30.
7. Wood handbook. 1985. U. S. Dept. of Agri. handbook 72 Govt. print. off. Washington, D. C.
8. 차재경. 2002. 국산소경제의 나사못뽑기 강도. 한국임학회지 91(5): 637~641.
9. 차재경. 2003. 국산소경제에 대한 못과 나사못 뽑기 거동 비교 연구. 산림과학 15: 85~91.