

국내에서 생산된 파티클보드의 나사못 유지력 예측*¹

차재경*^{2†}

Predicting the Screw Withdrawal Load of Commercial Particleboard Manufactured in Korea*¹

Cha, Jae Kyung*^{2†}

요약

국내에서 생산된 파티클보드에 대한 나사못 유지력을 기존의 식으로부터 수정·보완된 예측 식으로 나타내기 위해 나사못 유지력실험을 실시했다. 본 연구에 사용된 나사못은 No. 6, No. 8 및 No. 10이었다. 나사못 유지력의 예측 식은 나사못의 직경과 관입깊이, 파티클보드의 비중 및 IB의 함수로 나타났다. 예측 식은 길이가 서로 다른 No. 8 나사못의 실험결과와 상당히 일치하였다. 파티클보드에 대한 실험결과들과 표면에서 나사못 유지력의 예측 값은 비중보다 IB가 더 좋은 예측인자였고, 측면에서는 IB보다 비중이 더 일치하였다.

ABSTRACT

Tests were carried out on commercial particleboards manufactured in Korea to evaluate and modify formulas which had previously been developed to predict the holding loads of screw on the face and edge of specimen. Screw sizes were No. 6, 8 and 10 used in this study. The withdrawal loads of screws were developed to predict as a function of screw diameter, depth of penetration, specific gravity and IB of particleboard. Predicted equations were fitted to the test results of different length of No. 8 screws. Results of tests indicate that IB is a better predictor of holding loads on the face of particleboard than SG. On the other hand, SG is a good indicator of holding load on the edge of particleboard.

*¹ 접수 2013년 7월 2일, 채택 2013년 10월 28일

본 연구는 국민대학교 교내연구비(2013) 지원에 의해 수행되었음.

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

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

Keywords: screw withdrawal load, screw diameter, depth of penetration, IB (internal bond strength), specific gravity and particleboard

1. 서 론

못은 사용하기 쉽고 간편하기 때문에 인건비를 절약할 수 있어 목재를 결합하는데 많이 이용되어 왔다. 하지만 못은 표면이 매끄러워 목섬유 사이로 미끄러지듯 박혀 목재를 쪼개지게 하는 성질도 가지고 있어 가구제작자들로부터는 외면받아왔다. 한때 철사로 만든 못들이 이용 가능했으나 결합부는 나사못보다 매우 약했다. 나사못은 강한 결합부를 제공하여 가구제조 산업에 많은 기여를 했다. 고대 그리스 시대부터 이용되기 시작한 나사못은 대부분의 지역에서 가구제작자들이 망설이지 않고 사용했다(차 2012).

가구의 설계는 목재부재들에 요구되는 하중들과 함께 내구력 및 부재들의 결합에 사용되는 점쇄(fastener)의 유지력을 충족시키기 위한 예측 값이 필요하다. 나사못의 경우 가구제작 등에 많이 사용되는 목재 및 목질복합재료에 대한 직경과 관입깊이(depth of penetration) 및 하나 이상의 목재성질들의 함수로 유지력을 예측하는 것이 필요했다. 제재목의 나사못 유지력에 대한 연구가 광범위하게 이루어져, 목재의 성질들 중에 비중과 전단강도의 함수로 평가되었다. USDA (1985)는 제재목의 나사못 지지력을 비중으로 나타냈고, Eckelman (1975, 1978)은 비중보다 전단강도가 나사못 유지력의 예측인자로 더 적합함을 보였다. 목질복합재료에 대한 나사못 유지력도 많은 연구들이 있었다. Eckelman (1975)은 파티클보드의 나사못 유지력 예측인자로 비중이 적합함을 보였다. Eckelman (1988)은 중밀도섬유판(MDF)의 나사못 유지력을 IB (Internal bond strength)로 나타냈다. Edril 등(2002)은 합판과 OSB에 대한 나사못 유지력을 보드의 밀도로 나타냈다. Rajak과 Eckleman (1993)은 파티클보드와 중밀도섬유판에 직경이 큰 나사못을 사용하여 IB를 인자로 나사못 유지력을 예측하고자 했다.

국산재에 대한 나사못 유지력 실험이 많이 실시되

었고, 나사못 유지력의 예측에는 전단응력과 비중의 함수로 추정하는 유지력에 대한 식(차 2011, 2012)을 유도했다. 하지만 상대적으로 국내에서 생산되는 목질복합재료에 대한 연구(차와 오 2002; 차 2003)는 매우 미흡하다. 따라서 본 연구는 국내에서 제조된 파티클보드에 대한 나사못 유지력의 예측을 위해 파티클보드의 표면과 측면에서 나사못 뽑기 실험을 실시했다. 나사못 뽑기 실험은 직경과 관입깊이의 영향에 대해 알아보기 위해 직경과 관입깊이를 달리 하여 실시했다. 또 다른 목적인 가구의 제작 등에 많이 사용되는 나사못의 유지력을 예측하기 위한 식을 유도하고 평가하였다.

2. 재료 및 실험방법

나사못 유지력 실험은 파티클보드의 표면과 측면에서 나사못의 직경과 관입깊이 영향을 측정하기 위해 Table 1과 같이 직경과 길이가 서로 다른 나사못을 사용했다. 표면에는 나사못의 직경 및 관입깊이 영향을 알아보기 위해 Fig. 1과 같이 관입했다. 나사못의 끝부분(tip)은 몸통부분(shank)보다 직경이 작아 이에 대한 영향이 유지력을 예측하는데 포함되어야 한다. 이를 위해 나사못은 두께가 15 mm인 국내에서 생산되는 파티클보드의 두께를 관통하여 끝부분이 완전히 튀어나오게 했고, 다른 하나는 나사못의 끝이 다른 표면으로 튀어나오지는 않았지만 나사니가 완전히 박히게 했다. 따라서 직경은 같지만 길이가 25 mm와 30 mm인 나사못이 사용됐다. 또한 나사못의 유지력에 대한 직경의 영향을 알아보기 위해 같은 방법으로 3종류의 나사못 직경(No. 6, 8 및 10)을 사용했다. 나사못 유지력에 대한 관입깊이의 영향을 보기 위해 같은 방법으로 길이만 서로 다른 No. 8 나사못을 사용했다. 파티클보드의 두께가 15 mm이므로 길이가 긴 나사못의 관입깊이 영향을 측정하기 위한 시편들은 2장을 겹쳐 시중에서 유통되는 상온접착제인 PVAc로 접착하였다. 파티클보드

Table 1. Screw characteristics

Screw No.	shank diameter	length	prehole diameter
6	3.52(0.01)	24.79(0.15)	25
	3.56(0.02)	29.6(0.06)	
8	3.83(0.10)	18.59(0.07)	30
	3.79(0.10)	24.64(0.42)	
	3.87(0.08)	31.76(0.18)	
	3.76(0.06)	37.53(0.17)	
10	4.59(0.07)	24.44(0.45)	35
	4.51(0.11)	31.65(0.24)	

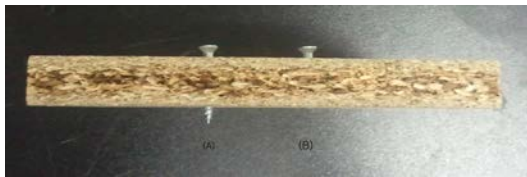


Fig. 1. Samples of screw with protruded tip (A) and fully embedded tip (B) to the face surface.

시편들은 모든 측면의 길이가 15 cm인 정사각형으로 제작한 다음, 나사못 유지력에 대한 변이를 줄이기 위해 미리 구멍을 뚫었다. 구멍은 나사못 직경의 크기에 따라 각각 2.5 mm, 3.0 mm 및 3.5 mm로 미리 뚫었다.

측면 유지력 시편들도 표면의 나사못 유지력 실험에서와 같이 측면이 갈라지는 것을 방지하기 위해 모두 미리 구멍을 뚫었다. 측면에서 나사못 직경의 영향을 알아보기 위해 길이가 30 mm로 같고 직경이 서로 다른 나사못(No. 6, No. 8 및 No. 10)을 사용했다. 모든 직경의 나사못은 하나의 구멍에 하나씩 나사나기가 완전히 관입되도록 하였고, 시편의 측면과 수직이 되도록 했다. 실험이 끝난 후 다음 위치에 두 번째 나사못을 관입하여 실험을 반복했다. 이 과정은 나사못 유지력 실험이 모두 끝날 때까지 계속됐다. 두 번째 실험은 관입길이의 영향을 보기위해 No. 8 나사못이 길이가 25, 30 및 38 mm인 나사못을 나사나기가 모두 감추어지도록 관입했다. 단지 하

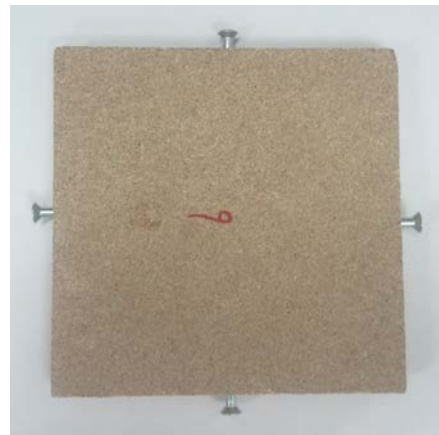


Fig. 2. Sample of screw embedded to edge face.

나의 나사못이 시편의 각 측면에 사용됐다(Fig. 2). 실험이 끝나면 다음 나사못을 두 번째 위치에 관입하여 길이의 나사못 유지력 영향에 대한 실험을 반복했다. 모든 실험은 5회 반복하여 실시했다.

파티클보드의 흡수율이 나사못 유지력의 크기에 영향하므로 모든 시편들은 온도 21°C와 상대습도 65%인 항온 항습기에서 조습하였다. 모든 실험은 Hounsfield 만능시험기로 실험했다. 하중속도 또한 나사못의 유지력에 영향을 하므로 분당 1.5 mm로 하였다. 나사못의 유지력을 위해 최대 하중을 측정했고, 나사못 머리는 Fig. 3과 같이 고정하여 하중을 가했다.



Fig. 3. View of testing arrangement used on screw test.

3. 결과 및 고찰

나사못 유지력 실험에 사용된 파티클보드의 성질들은 Table 2와 같다. 파티클보드의 함수율평균은

10.4%였다. 비중평균은 0.61이었고, 표면의 관입길이 영향을 측정하기 위해 두께가 30 mm 되도록 2매를 겹친 시편은 함수율평균 10.6%였고, 비중평균은 0.60이었다.

3.1. 파티클보드의 표면에서 나사못 유지력 예측

Table 3은 나사못의 끝부분(tip)이 두께 15 mm인 시편에 모두 관입된 것과 시편 밖으로 튀어나온 것에 대한 나사못 유지력을 보여주고 있다. 나사못의 끝부분이 튀어나오도록 한 것이 끝부분을 시편에 완전히 관입한 것보다 더 큰 나사못의 유지력을 보여주고 있다. 이는 나사못의 끝부분이 뾰족하여 하중을 지지하기 못하기 때문에 나사못 유지력을 위한 예측 식에 유효관입길이의 사용이 필요한 이유이다. Table 3은 나사못의 직경이 증가할수록 유지력이 더 크게 증가하는 것도 보여주고 있다.

Eckelman (1975)은 파티클보드의 나사못 유지력 $P = kD^{0.5}(L-D/3)^{1.25}G^2$ 로 k 는 상수로 표면에서

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

Characteristics	Dimension of specimen(mm)			Moisture content(%)	Specific Gravity
	Thickness	Width	Length		
1-layer	15.4(0.05*)	150.2(0.05*)	150.2(0.06*)	10.4(0.21*)	0.61(0.02*)
2-layer	31.2(0.16)	150.8(0.44)	150.6(0.52)	10.6(0.46)	0.60(0.03)

* standard deviation

Table 3. Average screw withdrawal load by screw diameter to face of particleboard embedded tip (A) and protruded tip (B)

Characteristics	Screw Diameters		
	No. 6	No. 8	No. 10
	Withdrawal load (kgf)		
embedded tip (B)	77.4	79.8	81.7
protruded tip (A)	96.9	106.9	110.9
Difference (% (A-B)/B)	25.2	33.9	35.8

Table 4. Screw withdrawal load by screw lengths on the face of particleboard specimen

Characteristics	Screw length		
	25 mm	30 mm	38 mm
Withdrawal load (kgf)			
Test results	117.1	186.3	201.2
Eckelman eq (1975)	89.5	127.7	151.8
Difference (%)	-23.6	-31.5	-24.6

2655이고, 측면에서는 2055이며, D는 직경 (inch), L은 관입길이 (inch), G는 사용할 당시 함수율에서 비중이다. Table 4는 실험결과와 Eckelman 식으로부터 예측된 값 및 두 값 사이에 차이를 보여주고 있다. 예측 식에 의한 정확도를 평가하기 위해 예측식에 의한 값(y')과 실험에 의한 값(y) 사이에 차이는 $\frac{y'-y}{y} \times 100(\%)$ 로 계산하였다. Eckelman 식에 의해 예측된 값과 실험에 의한 값 사이에는 -23.6에서 -31.5%로 큰 차이를 보여주고 있다.

Eckelman (1975) 식을 수정·보완하기 위해 나사못 유지력의 실험결과들을 사용하여 나사못 직경의 영향에 대해 알아보았다. 파티클보드의 표면에서 비중과 관입길이가 일정할 때 나사못 직경에 대한 유지력 $P = \alpha D^\beta$ 를 사용하였다. 이 식은 두께가 15 mm인 파티클보드를 나사못이 관통하는 나사못의 뽑기 실험 결과를 이용하였다. 나사못 직경에 대한 유지력은 $P = 48.9D^{0.54}$ 이고, R^2 은 0.84였다. 나사못 직경과 유지력 사이엔 좋은 상관관계를 보였고, 직경이 26.7% 증가하였을 때 유지력은 단지 14.4% 증가했다.

관입길이에 따른 나사못의 유지력을 알아보기 위해 나사못 유지력 $P = \alpha(L - D/3)^\beta$ 을 사용했다. 이 식은 파티클보드의 비중과 나사못의 직경이 일정한 것으로 가정하기 위해 No. 8 나사못의 길이에 따른 유지력 실험 결과를 사용했다. 인자 D/3은 Eckelman (1988)이 제안했던 나사못의 끝부분 효과로 유효관입길이의 감소를 고려하기 위해 사용했다. 유효관입길이는 일반적으로 관입길이로부터 나사못 직경만큼 뺀 값이 사용됐다. 하지만 나사못이 모두

관입되었을 때 직경의 $\frac{1}{3}$ 만큼 감소시키면 유효관입 길이는 덜 감소가 이루어질 것이다. 그 결과 $P = 3.06(L - D/3)^{1.34}$ 로 R^2 은 0.96로 나사못 유지력과 관입길이 사이에는 직경보다 높은 상관관계를 보였다. 같은 방법으로 나사못 유지력에 대한 비중의 영향을 알아보기 위해 차와 오(2002)의 자료를 사용하여 $P = \alpha G^\beta$ 로 회귀분석한 결과 $\alpha = 270$ 와 $\beta = 1.81$ 일 때 $R^2 = 0.91$ 이었다.

위의 분석결과를 종합하면 나사못 유지력 $P = 1.52G^{1.81} D^{0.54} (L - D/3)^{1.34}$ 로 D와 L의 단위는 mm이다. 실험결과들은 위 예측식에 의한 정확도를 평가하기 위해 예측식에 의한 값(y')과 실험에 의한 값(y) 사이에 차이는 $\frac{y'-y}{y} \times 100(\%)$ 로 계산하였다. 그 차이는 Table 5와 같이 25 mm 13.8%와 30 mm 18.9%였지만, 38 mm에서 46.0% 크게 나타났다. 이는 식을 유도하기 위해 서로 다른 형태의 파티클보드가 실험에 사용되어 발생했을 것으로 판단된다. 특히 비중과 나사못 유지력 사이에 관계를 이용한 차와 오(2002)의 실험 자료는 실험실에서 제작한 얇은 파티클보드를 여러 장 겹쳐 사용했다.

나사못의 직경과 관입길이에 IB (Internal bond strength)가 표면의 나사못 유지력을 예측하는데 포함됐다. IB는 차와 이(2007)의 실험결과를 사용했다. 본 실험 결과들과 Eckelman (1988)과 Rajak (1993)의 예측식에 의해 계산된 값과 비교한 결과는 Table 5와 같다. Rajak(1993)은 파티클보드의 표면에서 직경이 큰 No. 8~No. 14 나사못의 유지력 $P = 14D^{0.645}(1+H/100)^{0.3}IB^{1.025}$ 로 H는 친공 직경으로 단

Table 5. Comparison of differences between test results and predicted values for face by various studies

Predicted Eq.	Screw length		
	25 mm	30 mm	38 mm
	Withdrawal load difference (%)		
Present study	13.8	18.9	46.0
Eckelman (1988)	8.1	-3.0	6.3
Rajack (1993)	17.7	-24.7	-30.9

Table 6. Comparison of differences between test results and predicted values for edge by various studies

Predicted Eq.	Screw length		
	25 mm	30 mm	38 mm
	Withdrawal load difference (%)		
Present study	-4.6	3.9	-0.8
Eckelman (1975)	29.6	88.5	76.4
Eckelman (1988)	8.2	13.1	5.8

위가 인치였다. Eckelman (1988)은 표판에서의 나사못 유지력 $P = 39(IB)^{0.85}D^{0.5}(L-D/3)^{1.25}$ 와 측판에서의 나사못 유지력 $P = 18.4(IB)^{0.85}D^{0.5}(L-D/3)^{1.25}$ 로 IB의 단위는 psi이었다. Table 5의 값 또한 예측값과 실험결과 값 사이에 차이를 %로 나타냈다. 비중 대신에 IB가 포함된 Eckelman (1988)의 예측식은 실험결과와 가장 작은 차이(-3.0~8.1%)를 보여주고 있다. IB와 구멍의 직경을 예측인자로 사용했던 Rajack (1993)의 예측식은 17.6~-30.9% 사이로 큰 차이를 보여주고 있다. 이는 Eckelman (1975)의 실험결과에서와 같이 천공직경이 나사못 직경의 50~90%일 때 큰 차이를 보이지 않기 때문으로 판단된다.

3.2. 파티클보드의 측면에서 나사못 유지력 예측

본 연구는 또한 측면에서 나사못의 유지력에 대한

직경의 영향을 알아보았다. 표면에서와 같이 나사못의 직경과 유지력 사이의 관계를 알아보기 위해 $P = \alpha D^\beta$ 를 이용하여 분석한 결과 β 가 1.05로 표면보다 매우 큰 값을 보였다. 또한 나사못 직경이 표면에서와 같은 크기로 증가했을 때 유지력이 36.7% 증가하여 표면에서 증가의 2배 이상을 나타냈다. 이는 유효관입깊이의 영향 때문으로 판단된다. 따라서 본 연구는 표면에서와 같은 인자들을 사용하여 측면에서 나사못 유지력 $P = 1.65G^{1.81} D^{0.54} (L-D/3)^{1.34}$ 를 유도하였다.

Table 6는 파티클보드의 측면에서 나사못 유지력의 실험결과와 여러 연구들의 예측 식들로부터 계산된 예측 값들과의 차이를 보여주고 있다. 비중을 예측인자로 사용한 Eckelman의 식(1975)은 매우 큰 차이(29.6~88.5%)를 보였지만 IB를 이용한 Eckelman (1988)식은 5.8~13.1%를 나타냈다. 그러나 본 연구에서 유도한 예측 식으로 계산된 예측값은 실험값과 차이가 -4.6~3.9%로 차이가 매우 작았다. 하지만

국내에서 생산되는 파티클보드에 대한 측면에서의 나사못 유지력 예측 식을 이용하기 위해서는 유효관입길이, 비중 및 IB 등을 포함한 더 많은 연구가 필요한 것으로 판단된다.

4. 결 론

국내에서 생산되는 파티클보드에 대한 나사못 유지력을 예측하기 위한 식과 실험결과는 다음과 같다. 나사못 유지력은 나사못의 직경과 관입길이 및 파티클보드의 비중과 IB의 함수로 나타났다. 나사못 직경의 크기, 나사못 길이 및 파티클보드의 비중이 증가하면 유지력 또한 증가했다. 실험결과와 예측 식으로부터 계산된 값들 사이에 차이는 표면에서 IB, 측면에서는 비중이 가장 적었다.

참 고 문 헌

1. American Society for Testing and Materials. 1986. Standard test methods for evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. ASTM D 1037. 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. Screw-holding 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. U.S. Dept. of Agri. 1985. Wood handbook 72. Govt. print. off. Washington, D.C.
8. 차재경, 오용성. 2002. 국산소경재로 제조된 파티클보드의 나사못뽑기 하중. *한국임학회지* 91(6): 750~754.
9. 차재경. 2002. 파티클보드에 접착제로 처리한 나사못뽑기 거동. *산림과학* 14: 119~124.
10. 차재경, 이성우. 2007. VARTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)방법에 의해 목재 및 파티클보드를 유리섬유로 보강한 복합소재의 성질. *목재공학* 35(3): 29~35.
11. 차재경. 2011. 국내산 목재에 대한 나사못 직경, 관입길이 및 목재비중에 따른 나사못 예측. *목재공학* 39(3): 252~257.
12. 차재경. 2012. 국내산 목재의 연륜경사에 따른 전단강도 및 나사못 유지력 영향. *목재공학* 40(6): 363~369.