

드리프트 핀의 배열 형태가 집성재 접합부의 회전 거동 및 강도 성능에 미치는 영향*1

이 인 찬*2 · 박 천 영*2 · 이 전 제*2†

Effect of Drift Pin Arrangement for Strength Property of Glulam Connections*1

In-Chan Lee*2 · Chun-Young Park*2 · Jun-Jae Lee*2†

요 약

집성재 다우얼 접합부가 적용되는 기둥의 기초, 기둥-보 접합부에는 회전이 발생하므로 접합부의 모멘트 성능에 대한 연구가 필요하다. 접합부의 회전에 의해서 섬유방향과 각을 이루어 작용하는 하중을 섬유방향에 평행한 하중과 수직하중으로 단순화 하여 거동을 해석하고 예측하였다. 드리프트 핀의 휨강도 및 지압응력을 평가하였으며, 섬유방향에 평행한 인장하중과 수직하중을 받는 접합부의 끝면 거리를 다르게 하여 접합부의 인장형 전단성능을 시험하였고 회전이 작용하는 접합부는 드리프트 핀의 개수와 배열 방향을 다르게 하여 시험하였다. 접합부에 인장하중이 작용할 때 항복 이후의 변형량은 드리프트 핀의 소성변형에 의해서 발생하며, 집성재의 끝면 거리 확보에 의한 드리프트 핀의 변형 흡수가 접합부 전체의 변형량에 영향을 주는 것으로 판단된다. 2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 평행하게 배열된 경우(b2h)에는 섬유방향에 수직하중 거동을 나타내고, 2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 수직하게 배열된 경우(b2v)에는 섬유방향에 평행한 인장하중 거동을 나타내는 것으로 평가된다. 4개의 드리프트 핀이 정사각 배열된 접합부의 경우(b4)에 2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 평행하게 배열된 접합부(b2h)의 약 1.7배의 하중 성능을 나타냈으며, 접합부에 회전이 작용하여 섬유방향과 각을 이루는 하중을 섬유방향에 대한 평행 또는 수직하중으로 치환하여 거동을 평가, 예측하는 것이 가능하다고 판단된다.

* 1 접수 2007년 3월 2일, 채택 2007년 5월 3일

* 2 서울대학교 산림과학부, Dept. of Forest Science, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea.

† 주저자(corresponding author) : 이진제(e-mail: junjae@snu.ac.kr)

ABSTRACT

It is necessary to study about moment performance of glulam-dowel connections which had been applied rotation. To analyze and predict the moment performance, angled to grain load was replaced with parallel to grain load and perpendicular to grain load. The dowel bending strength and dowel bearing strength were tested. And tensile strength test for connections of two different end distances was performed. Specimens of rotation test were composed with different drift pin numbers and drift pin arrangement. Connection deformation was occurred by plastic behavior of drift pin after yield when tensile load applied at connection. And the absorbing drift pin deflection by end distance continued the connection deformation. When rotation applied at connection that 2 drift pins were arranged parallel to grain (b2h), it showed similar performance with tensile perpendicular to grain. And connection that 2 drift pins were arranged perpendicular to grain (b2v) showed similar performance with tensile parallel to grain. Connection capacity that 4 drift pins were arranged rectangular (b4) showed 1.7 times as strong as connection that 2 drift pins were arranged parallel to grain (b2h). These results agreed predicted values and it is available that rotation replaced with tensile load.

Keywords: glulam connection, drift pin, steel plate insertion, tensile load, rotation, moment

1. 서 론

목조건축에 대한 관심이 확대되고 수요가 증가하고 있으며 건축구조기준의 개정을 통해서 목조건축의 내화성능이 인정되고 규모 제한이 완화됨에 따라서 목조건축도 공동주택을 포함한 5층까지의 다층건축이 가능하게 되었다(건축구조설계기준, 2005). 대형 목조건축에는 주로 기둥-보 양식이 적용되며, 기둥-보 양식에서는 부재가 하중을 직접 지지하기 때문에 부재의 단면 크기가 커야 하므로 대단면 각재나 집성재를 구조부재로서 사용한다. 기둥-보 접합부에는 하중에 의해 회전이 발생하게 되며 그에 대한 연구는 아직 미흡하다. 또한 대형 구조물의 공간활용에 있어서 부재 사이의 간격을 넓히기 위한 아치형 구조 등을 가능하게 하는 곡선형 부재가 필요해짐에 따라서 대단면 구성이 용이한 구조용 집성재의 사용이 증가하고 있다(오세창 역, 2001). 이러한 집성재의 경우 볼트, 드리프트 핀과 같은 다우얼 형태의 접합철물을 주로 사용하고, 경우에 따라 집성재에 철판을 덧대거나 삽입한 후에 다우얼 형태의

접합철물로 접합하기도 한다(김광철, 2005^a).

다우얼 접합부의 강도를 해석 및 예측하기 위해서 목재의 다우얼 지압강도와 다우얼의 휨 강도 등이 입력 요소로 사용되었으며(Blass 등, 2001), 목재의 이방성에 의해 섬유방향에 따라서 다르게 나타나는 하중은 섬유방향에 평행, 수직인 하중을 바탕으로 Hankinson 식을 통해 구할 수 있다(김광철, 1999).

철판 측재형 접합부에 대한 연구에서 다우얼 형태의 접합철물 삽입구멍의 증가는 항복하중, 최대하중과 같은 하중성능에 대한 영향은 작지만 변형량은 증가시킨다고 지적하였으며(Wilkinson, 1993), 집성판의 볼트 접합부에 하중이 섬유방향에 평행하게 작용하는 경우에는 탄성 거동을 나타내고, 하중이 섬유방향에 수직인 경우에는 항복 이후에도 하중이 증가하는 3단계 선형 거동을 나타냄을 확인하였다(Gattesco, 1996). 이처럼 항복 이후에도 하중이 증가하는 경우는 초기에 목재의 다우얼 지압강도에 의해 좌우되던 접합부의 하중-변형 관계가 항복 이후 볼트에 의해 좌우되는 하중-변형 관계로 전환되기 때문으로 평가하고 있다(이전제와 박주생, 2000).

다중 볼트 접합부를 설계할 때에 목재의 파괴를

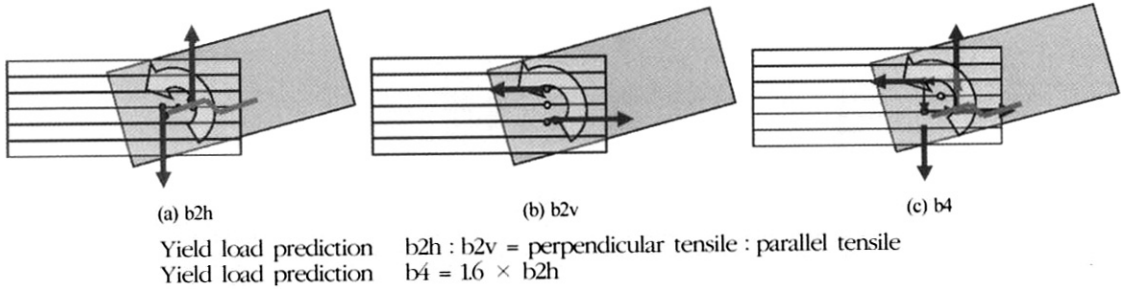


Fig. 1. Prediction of connections failure mode for moment connections.

예측하는 것이 중요하고, 볼트의 수가 증가하면 전체 하중성능은 증가하지만 볼트 1개가 받는 하중은 감소하는 경향을 확인하였으며(Yasumura 등, 2000). 축방향 응력과 수직방향 응력의 상호작용에 의해 목재의 지압응력과 피 보다 할렬에 의한 취성파괴가 먼저 발생함을 확인하였고(Pedersen, 2002), 하중 작용 초기에는 다우얼의 접촉부분에서 비탄성 변형 즉, 지압응력에 의한 변형이 발생하지만 접합부의 파괴는 전단과 인장의 복합적인 작용으로 발생하게 된다고 확인하였다(Kharouf 등, 2003; 2005). 그리고 구조물에 있어서 급작스런 취성파괴 거동보다 반강성 파괴 거동이 안정성에 유리하므로 목재의 접합부는 반강성 모멘트 회전거동을 나타내야 한다고 하였다(Noguchi 등, 2006).

본 연구는 현장 적용이 확대되어가고 있는 철판 삽입형 집성재 다우얼 접합부의 인장형 전단성능을 평가하고, 다우얼 형태 접합철물의 배열에 따른 접합부의 회전 거동을 평가하며, 하중 방향에 따른 인장형 전단성능을 바탕으로 접합부의 모멘트 성능을 예측, 평가하고자 하였다. 그리고 접합부에 작용하는 회전을 인장으로 치환하여 예측할 수 있는지 하중 실험을 통해 평가하고자 하였다.

2. 접합부 회전을 단순화한 거동 예측

접합부에 작용하는 모멘트를 간략하게 평가하기 위하여 접합부에 회전이 일어날 때 섬유방향에 기울어 이루어 작용하는 하중을 섬유방향에 평행, 수직한

하중으로 단순화하여 회전을 인장으로 치환하여 접근한다. 회전이 작용하는 철판 삽입형 집성재 드리프트 핀 접합부의 거동을 예측해보면, 회전 중심을 기준으로 2개의 드리프트 핀이 섬유방향으로 평행하게 배열된 경우(b2h)에는 섬유방향에 수직인 인장하중에 의한 거동을 하게 되고, 2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 수직하게 배열된 경우(b2v)에는 섬유방향에 평행한 인장하중에 의한 거동을 하게 될 것이다. 일반적으로 섬유방향에 평행한 인장하중의 경우가 섬유방향에 수직인 인장하중의 경우보다 접합부의 하중성능이 크게 나타나므로, 드리프트 핀을 섬유방향에 수직하게 배열한 접합부(b2v)가 섬유방향에 평행하게 배열한 접합부(b2h)보다 강도 성능이 클 것으로 예측되고, 이때 하중성능의 차이는 인장하중에 의한 성능 차이와 같은 경향을 나타낼 것으로 예측된다. 부재의 파괴가 발생할 경우에 파괴 거동은 섬유방향에 평행한 배열의 경우의 파괴가 먼저 나타날 것으로 예상된다(Fig. 1(a)). 회전 중심을 기준으로 4개의 드리프트 핀을 정사각 배열한 접합부의 경우(b4)에는 회전방향에 따른 섬유 평행방향 및 수직방향의 인장에 의한 전단거동에 의해 응력이 집중되는 부재 바깥쪽 아랫부분의 파괴가 예상된다(Fig. 1(c)). 하중성능은 2개의 드리프트 핀을 사용한 접합부 중에서 성능이 약한 접합부(b2h)의 1.6배가 될 것으로 예상되며, 이것은 접합부에 인장하중이 작용할 경우 다우얼 형태 접합철물의 개수가 증가할 때 다우얼 1개당 하중성능은 0.8배로 감소하는 경향(Yasumura and Daudeville, 2000; Kharouf, 2005)을 적용시켜 판단하였다. 변형량에 있어서도 하중성능 증가와 함께 2개의 드리프트 핀을 사용하

는 접합부의 변형량보다 크게 나타날 것으로 예상된다.

3. 재료 및 방법

3.1. 공시 재료

MOE 기준 $10.0 \times 10^3 \text{ KN/mm}^2 \sim 11.8 \times 10^3 \text{ KN/mm}^2$ 등급의 국산 낙엽송 라미나를 6층 집성하여 단면크기 $170 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ 의 구조용 집성재를 제작하였다. 두께 6 mm의 탄소강 철판을 시중에서 구입-가공하여 하중시험용 철판을 제작하였고, 직경 12 mm 탄소강 환봉을 집성재 접합부 크기에 맞게 가공하여 드리프트 핀을 제작하였다.

3.2. 시험 방법

3.2.1. 드리프트 핀 휨 평가

드리프트 핀의 휨강도 평가는 ASTM F 1575에 근거하여 지점 사이의 거리는 100 mm, 1.5 mm/min 속도의 하중을 가하여 하중-변형 곡선을 얻었고, 반복수는 3 반복으로 수행하였다. 얻어진 하중-변형 곡선으로부터 5% off-set을 적용하여 항복하중을 구하고 다음의 Eq. (1), (2)로부터 드리프트 핀 휨강도를 구하였다.

$$\text{Bending yield strength of drift pin} = 1.5 \frac{P_{s_{bp}}}{D^3} \quad (1)$$

$$\text{Bending yield moment} = \frac{P_{s_{bp}}}{4} \quad (2)$$

P: Yield load (N), s_{bp} : Length between bearing points (mm), D: Dowel diameter (mm)

ASTM F 1575

3.2.2. 드리프트 핀 지압응력 평가

드리프트 핀 지압응력의 평가는 ASTM D 5764에 근거하여 수행하였으며, 하중방향이 섬유방향에 평

행한 경우(dbsa)와 수직인 경우(dbsb)로 구분하여, 1.5 mm/min의 하중 속도로 3번 반복하여 시험하고, 다음의 Eq. (3)을 통해 지압응력을 산출하였다.

$$\text{Dowel bearing strength} = \frac{P}{Dt} \quad (3)$$

P: Yield load (N), D: Dowel diameter (mm),

t: Specimen width (mm)

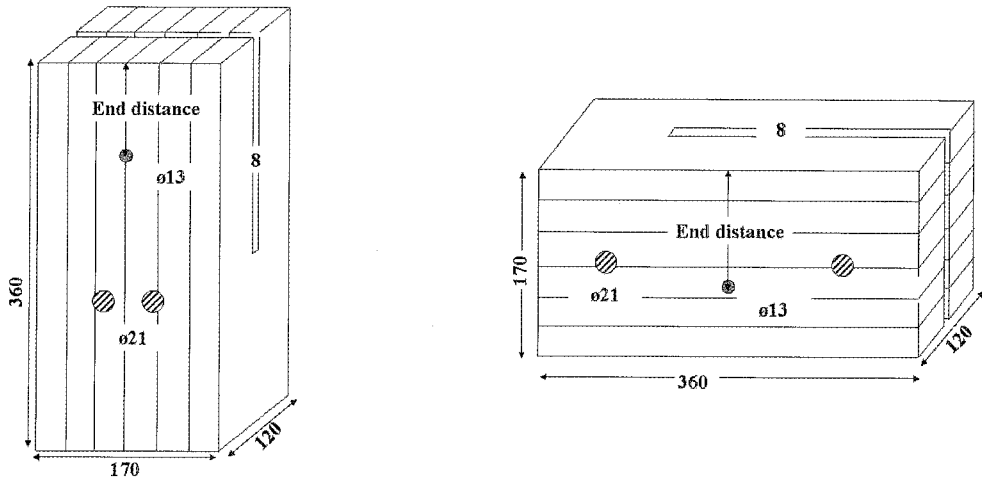
ASTM F 5764

3.2.3. 접합부 인장형 전단성능 평가

집성재를 360 mm 길이로 절단하고 12 mm 드리프트 핀 삽입 구멍과 6 mm 철판의 삽입 슬롯, 시편 고정용 볼트 삽입 구멍을 가공하였다(Fig. 2). 하중방향에 섬유방향에 평행한 경우와 섬유방향에 수직인 경우로 구분하여 기준에 따라서(National design specification, 2005) 각 끝면 거리의 차이를 두어 총 네 가지의 접합부 인장형 전단성능 평가 시험체를 제작하였다(Table 1).

ASTM D 5652에 기초하여 하중 속도 1.5 mm/min로 최대하중에 도달한 이후 파괴될 때까지 수행하고, 시험장치에서 하중-변형을 측정하였으며, 3 반복하여 하중시험을 실시하였다. 다음의 그림에 섬유방향에 대하여 평행한 인장하중(Fig. 3(a))과 수직인 인장하중(Fig. 3(b))에 대한 시험장치를 나타내었다. 실험환경상 부득이하게 접합부의 변형은 따로 변위 측정기를 설치하지 않고 만능강도 시험기에서 측정된 변형을 사용하였다. 그리고 시험체를 고정하기 위한 클램프 고정부분 및 시험체와 만능강도 시험기를 연결하는 부분에서의 변형은 드리프트 핀 접합부보다 강한 성능을 나타내는 재료를 사용하였으므로 불필요한 변형이 발생하지 않거나 발생하더라도 무시할 수 있는 정도라고 판단하여 고려하지 않았다. 그러나 정확한 연구 결과를 위해서는 변위 측정기를 추가적으로 설치하여 오차를 줄이는 시험의 설계가 필요하다.

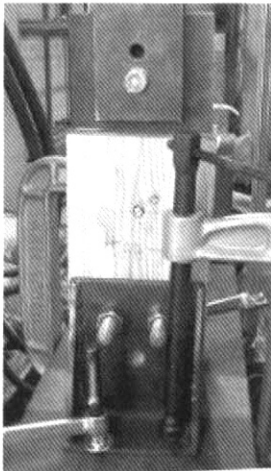
다음의 Eq. (4)에 드리프트 핀 휨강도 시험결과와 드리프트 핀 지압응력 시험결과를 대입하여 접합부의 인장 항복하중을 예측하고 실제 인장하중 시험결과와 비교한다.



(a) parallel to grain load direction

(b) perpendicular to grain load direction

Fig. 2. Drilled-hole and plate slot specification of glulams for connection tensile strength test (mm).



(a) load parallel to grain



(b) load perpendicular to grain

Fig. 3. Tensile strength test apparatus for connections.

Table 1. Drilled-hole locations for connection tensile strength test (mm)

Load direction	Parallel to grain		Perpendicular to grain	
	taa	tab	tba	tbb
Specimen s	taa	tab	tba	tbb
End distance	85	135	60	110

$$P_y = s \cdot d \cdot l \cdot \left(\sqrt{\frac{16M}{s \cdot d \cdot l^2} + 2} - 1 \right) \quad (4)$$

P_y : Yield load (N), s : Dowel bearing strength (N/mm^2), d : Drift pin diameter (mm), l : Glulam width (mm), M : Bending yield moment ($\text{N} \cdot \text{mm}$)
Larsen (1974)

드리프트 핀의 배열 형태가 집성재 접합부의 회전 거동 및 강도 성능에 미치는 영향

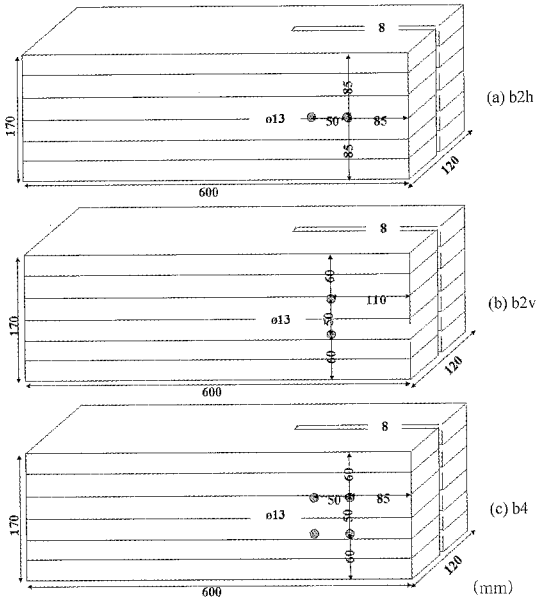


Fig. 4. Drilled-hole and plate slot specification of glulams for connection moment strength test.

3.2.4. 접합부 회전 평가

회전이 작용하는 접합부는 캔틸레버 형태나 라멘 형태의 구조로 평가하는 것이 적합하다 하겠으나 본 연구에서는 실험의 편의상 접합부 두 개를 연결한 보 형태의 시험체에 4점 휨 시험을 하여 중심축에서의 전단 발생을 배제하고 휨-모멘트가 작용하도록 하였다. 이러한 시험방법은 기존에 다른 연구자에 의해 수행되어 접합부에 발생하는 회전 평가에 대한 적용 가능성이 확인되었다(Jensen, 2005).

Table 2. Drilled-hole locations for connection moment strength test (mm)

Drift pin arrangement direction to grain	2 pin		4 pin
	Parallel	Perpendicular	Rectangular
Specimens	b2h	b2v	b4
End distance	85	110	85
Edge distance	85	60	60

집성재를 600 mm 길이로 절단한 후에 12 mm 드리프트 핀 삽입 구멍과 6 mm 철판의 삽입 슬롯을 가공하였다(Fig. 4). 드리프트 핀을 2개 사용하는 경우에는 드리프트 핀의 배열 방법에 따라 섬유방향에 평행한 경우(b2h)와 수직인 경우(b2v)로 구분하고, 드리프트 핀을 4개 사용하는 경우(b4)에는 드리프트 핀을 정사각 배열하는 한가지를 제작한다(Table 2). 각 드리프트 핀 간의 간격은 50 mm로 한다.

접합부의 회전시험은 접합부 두 개를 연결한 보 형태의 시험체에 4점 휨 시험을 하여 중심축에서의 전단 발생을 배제하고 휨-모멘트가 작용하도록 하였다. 하중 속도는 2 mm/min으로 하여 시험장치에서 하중-변형을 측정하고 LVDT 센서를 설치하여 시험체 중앙, 회전중심, 하중 작용점에서의 변형을 측정하였다(Fig. 5, 6). 각 시험체에 대하여 3 반복 시험을 수행하였다.

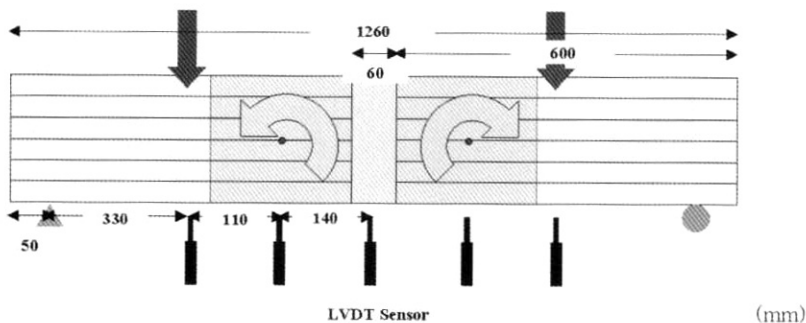


Fig. 5. Moment strength test for steel-glulam-steel dowel connections.

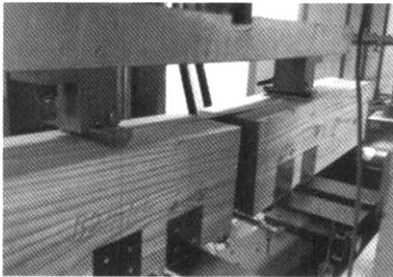


Fig. 6. Moment strength test apparatus for steel-glulam-steel dowel connections.

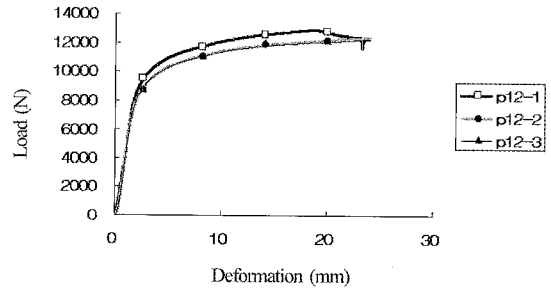


Fig. 7. Load-deflection curve of drift pin bending test results.

Table 3. Results of dowel bearing, tensile, calculated tensile strength values

Direction	Parallel to grain			Perpendicular to grain			
	Strength	P_y (KN)	K (KN/mm)	D_y (mm)	P_y (KN)	K (KN/mm)	D_y (mm)
Dowel bearing		51.62	27.34	2.49	30.06	14.74	2.64
Tensile		29.45	5.23	6.98	19.83	4.78	5.38
Calculated tensile		31.28	-	-	21.96	-	-

¹⁾ P_y : Yield load, ²⁾K: Initial stiffness, ³⁾ D_y : Yield deformation.

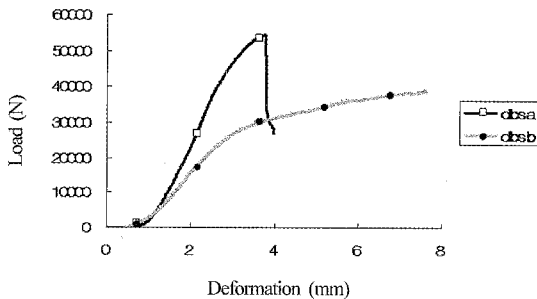


Fig. 8. Load-deformation curve of dowel bearing test results.

4. 결과 및 고찰

4.1. 드리프트 핀 휨 강도

직경 12 mm의 드리프트 핀에 대한 휨강도 평가 결과 평균 항복하중 8.67 KN, 초기 강성 5.27 KN/mm, 항복시점의 변형량은 2.30 mm로 나타났으며, 휨 항복강도(Eq. (1))는 0.78 KN/mm², 항복모멘트(Eq.

(2))는 224.17 KN·mm로 평가되었다.

4.2. 드리프트 핀 지압응력

집성재의 드리프트 핀 지압응력 평가 결과 하중이 섬유방향에 평행하게 작용한 경우(dbasa)에 평균 항복하중 51.62 KN, 초기강성 27.34 KN/mm, 항복시점의 변형량은 2.49 mm로 나타났으며(Table 3), 항복 이후에는 할렬에 의한 취성과파괴가 발생하여 그래프가 급격하게 꺾이는 현상을 확인할 수 있었다(Fig. 8). 하중의 방향이 섬유방향에 수직인 경우(dbsb)에는 평균 항복하중 30.06 KN, 초기강성 14.74 KN/mm, 항복시점의 변형량은 2.64 mm로 나타났으며(Table 3), 할렬에 의한 파괴 없이 소성변형에 의해 항복 이후에도 하중과 변형이 꾸준히 증가하는 것이 확인되었다(Fig. 8). 시험결과를 통해 계산된 집성재의 지압응력(Eq. (3))은 하중이 섬유방향에 평행하게 작용하는 경우(dbasa)에는 35.85 N/mm², 하중이 섬유방향에 수직하게 작용하는 경

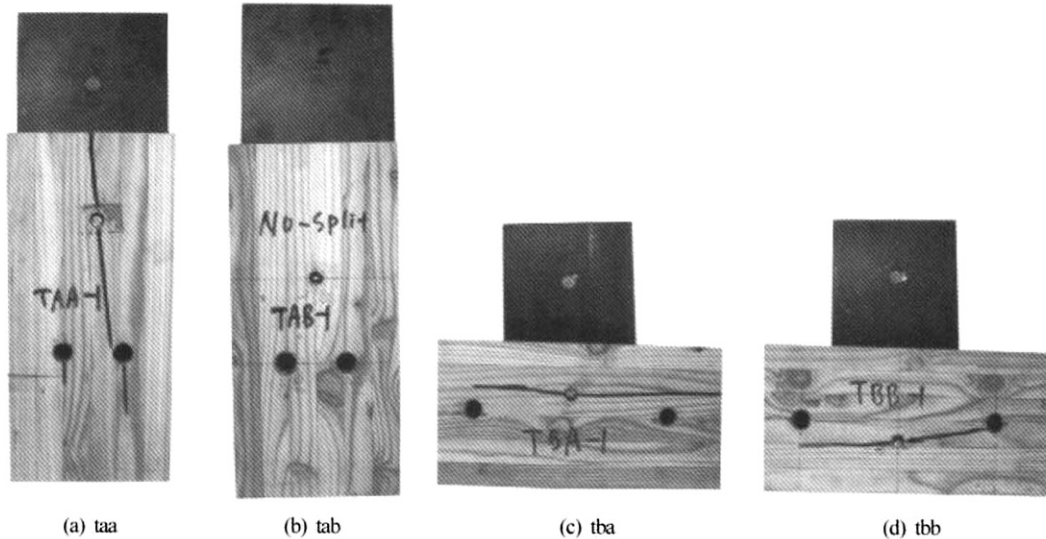


Fig. 9. Failure mode of connections after tensile strength tests.

우(dbsb)에는 20.88 N/mm²로 나타났다.

4.3. 접합부 인장형 전단성능

접합부에 대한 인장형 전단성능 평가 시험결과 하중이 섬유방향에 평행하게 작용하는 경우에 평균 항복하중은 29.45 KN, 초기강성은 5.24 KN/mm, 항복시점의 변형량은 6.98 mm로 나타났으며(Table 3), 섬유방향에 수직하중이 작용하는 경우에는 평균 항복하중은 19.83 KN, 초기강성은 4.78 KN/mm, 항복시점의 변형량은 5.38 mm로 확인되었다(Table 3). 끝면 거리에 따라서 하중 성능의 차이는 없었으며, 하중이 섬유방향에 평행하고 끝면 거리가 긴 135 mm일 때(tab)에만 부재의 할렬 파괴가 발생하지 않았는데(Fig. 9) 이는 항복 이후의 드리프트 핀의 휨을 끝면 거리가 흡수하여 할렬을 발생시키지 않고 소성변형을 지속시켰기 때문으로 판단된다.

드리프트 핀 휨강도, 집성재의 드리프트 핀 지압 응력을 통해 계산된 항복하중(Eq. (4))과 시험결과를 통해 구해진 접합부의 인장 항복하중을 비교해보면 다음과 같다(Table 3). 일반적으로 계산결과가 실제 하중 시험결과보다 작게 평가되어 설계의 위험요소를 줄이지만 본 연구에서는 계산결과가 더 크게

평가되어 설계시 위험요소가 발생하였다. 이는 드리프트 핀 휨 평가시 기준보다 짧은 지간거리를 적용하여 드리프트 핀의 휨강도가 실제보다 크게 평가되었기 때문으로 판단된다.

이와 같은 섬유방향에 따른 인장 항복하중 결과의 비율에 따라서 접합부 회전 성능을 예측하면 섬유방향 평행한 인장으로 치환된-2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 수직하게 배열된 접합부(b2v)의 항복하중은 섬유방향 수직한 인장으로 치환된-2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 평행하게 배열된 접합부(b2h)의 항복하중의 약 1.5배의 성능을 나타낼 것으로 예측할 수 있다.

4.4. 접합부 회전 성능

접합부에 대한 회전 평가 시험결과 회전 중심을 기준으로 드리프트 핀 2개가 섬유방향에 평행하게 배열되어 있는 경우(b2h)에 평균 항복하중 4.48 KN, 초기 강성 102 KN/rad 항복시점의 회전 0.051 rad로 나타났으며, 드리프트 핀 2개가 섬유방향에 수직하게 배열되어 있는 경우(b2v)에 평균 항복하중 5.59 KN, 초기 강성 111 KN/rad, 항복시점의 회전 0.053 rad로 나타났다(Table 4). 그리고 드리프트

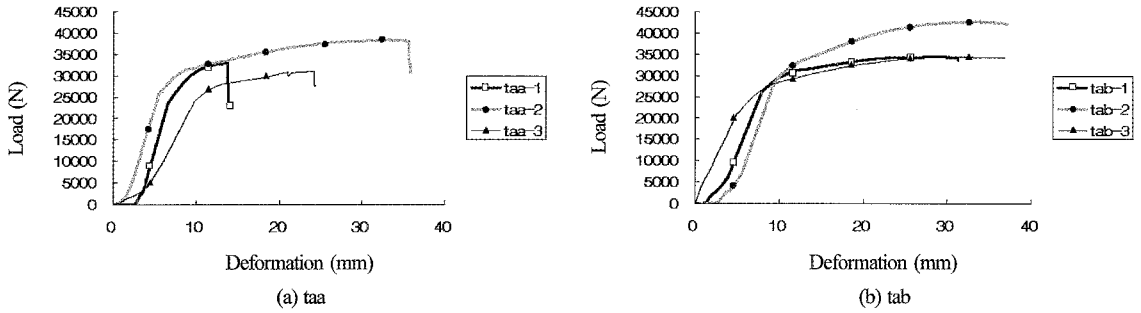


Fig. 10. Load-deformation curve of connection tensile strength tests for parallel to grain load.

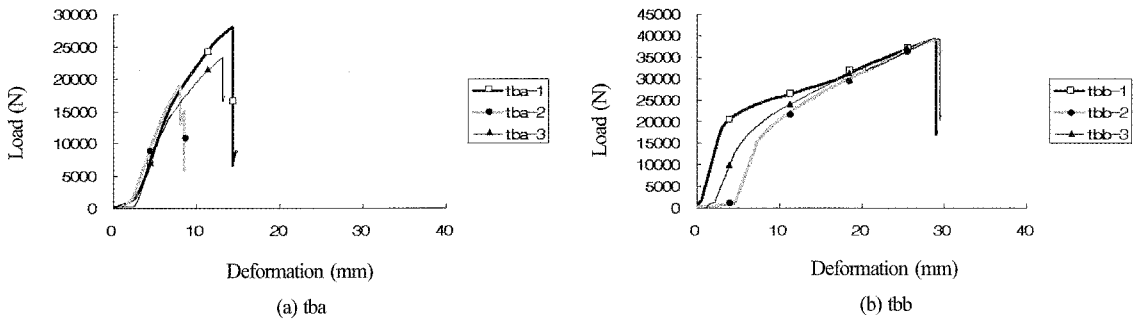


Fig. 11. Load-deformation curve of connection tensile strength tests for perpendicular to grain load.

Table 4. Moment strength test results of connections

Properties	$P_y^{1)}$ (KN)	$K^{2)}$ (KN/rad)	$D_y^{3)}$ (rad)	M_e	M_c
b2h	488	102	0.051	536	485
b2v	559	111	0.053	627	736
b4	815	241	0.035	880	775

¹⁾ P_y : Yield load, ²⁾ K : Initial stiffness, ³⁾ D_y : Yield rotation.

트 핀 4개가 정사각 배열된 경우(b4)에는 항복하중 8.15 KN, 초기강성 241 KN/rad, 항복시점의 회전 0.035 rad로 확인되었다(Table 4).

$$\text{Calculated moment } M_c = \sum(P_i \times d_i) \quad (5)$$

$$\text{Experimental moment } M_e = P_y \times d_m \quad (6)$$

P_i : Tensile strength of connection, P_y : Yield load of rotation applied connection, d_i : Distance from rotation center of i -th dowel, d_m : Moment arm length

2개의 드리프트 핀을 사용한 접합부의 경우(b2h, b2v)에 강성이 더 큰 접합부(b2v)의 항복시점의 회전이 더 크게 발생하였으나 동일 하중이 작용할 경우에는 더 작은 회전이 발생하므로 섬유방향 평행한 인장으로 치환된 접합부의 높은 강성에 의한 회전 저항이 더 크게 나타나는 것으로 평가할 수 있다. 4개의 드리프트 핀을 사용한 접합부의 경우(b4)에는 강성이 2개의 드리프트 핀을 사용한 접합부(b2h, b2v)에 비하여 더 크게 2.2배로 크게 확인되었으며, 그에 따라 항복 시점의 회전 역시 약 66%로 작게 나타나 높은 강성에 따른 회전에 대한 저항을 확인할

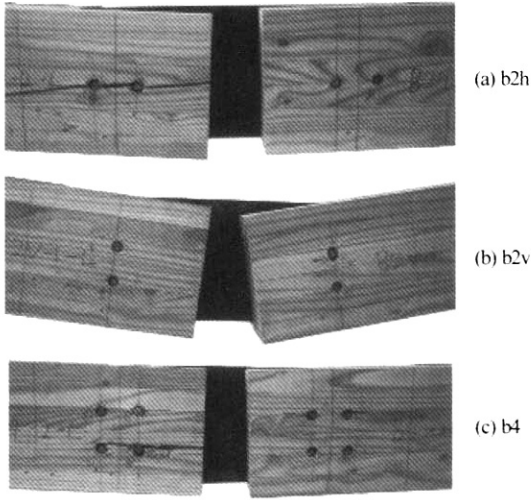


Fig. 12. Failure mode of connections after moment strength tests.

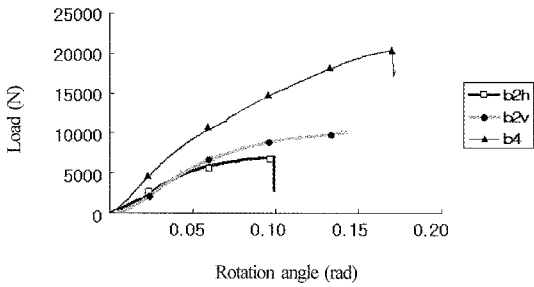
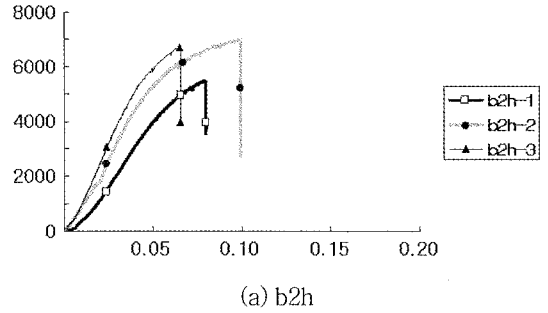


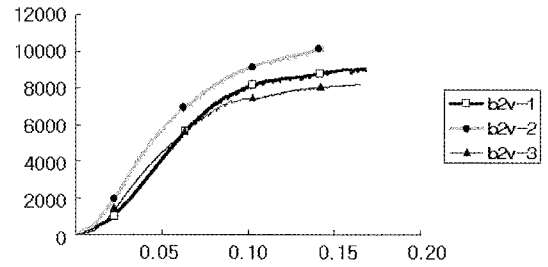
Fig. 13. Load-rotation angle curves of connection moment strength tests.

수 있다.

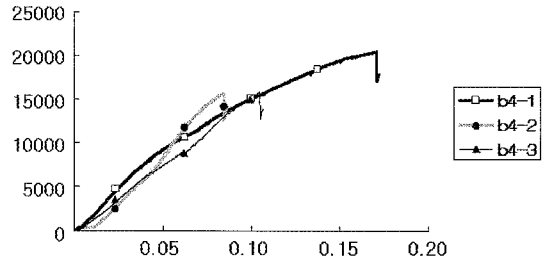
파괴 거동을 평가해보면, 2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 평행하게 배열된 접합부(b2h)에서는 드리프트 핀 구멍에서부터 집성재 끝면 쪽으로 섬유방향에 평행한 할렬에 의한 파괴가 나타났으나(Fig. 12(a)), 2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 수직하게 배열된 경우(b2v)에는 할렬파괴가 발생하지 않았다(Fig. 12(b)). 4개의 드리프트 핀이 정사각 배열된 경우(b4)에는 하중방향에서 접합부의 아래에 위치하여 섬유방향에 평행하게 배열된 두 개의 드리프트 핀 구멍에서부터 집성재 끝면 쪽으로 할렬파괴가 나타났다(Fig. 12(c)). 이러한 파괴 거동은 앞서 예측한 파괴 거동과 일치하며 따라서 접합부에 작용하는



(a) b2h



(b) b2v



(c) b4

Fig. 14. Load-rotation angle curves of moment strength tests for different connection type.

회전을 섬유방향에 평행, 수직인 인장으로 치환하여 거동을 예측하는 것이 타당성이 있다고 판단된다.

접합부의 각 드리프트 핀에 작용하는 섬유방향에 평행, 수직인 인장하중으로부터 계산된 항복 모멘트(M_c)와 실제 하중시험으로 구한 항복 모멘트(M_e)를 비교하여 Table 4에 정리하였다. 각 드리프트 핀 배열 방법에 따라서 인장하중으로부터 계산하여 예측한 값과 실제 하중 시험결과가 유사한 경향을 보였으며 계산 값이 실험값보다 약 10% 정도 작게 예측됨에 따라서 설계시 위험요소가 발생하지 않는 것으

Table 5. Yield load for predicted and experimental results of connections

Specimens	Predicted		Experimental	
	Load	Ratio	Load	Ratio
b2h	4.41 KN	1	4.88 KN	1
b2v	6.69 KN	1.5	5.59 KN	1.2
b4	7.05 KN	1.6	8.15 KN	1.7

로 평가된다. 그러나 섬유방향 평행한 인장으로 치환된 경우에 실제 시험결과의 값이 작게 나타났는데 이는 집성재의 지압응력에 의한 파괴보다 드리프트 핀의 항복이 일찍 발생하였기 때문으로 판단된다.

계산된 모멘트로부터 예측한 각 접합부의 항복하중과 실제 하중 시험결과의 항복하중을 비교하여 보았다. 섬유방향에 따른 인장 항복하중의 비율에 따라서 2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 수직하게 배열된 접합부(b2v)의 항복하중은 2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 평행하게 배열된 접합부(b2h) 항복하중의 1.5배의 성능을 나타낼 것으로 예측되었으나 실제 시험결과는 약 1.2배로 나타났다(Table 5). 이는 앞서 고찰한 대로 드리프트 핀의 항복이 일찍 발생하였기 때문으로 판단되며 정확한 평가를 위해서는 추가적인 연구와 고찰이 필요하다고 판단된다. 4개의 드리프트 핀이 정사각 배열된 접합부(b4)의 항복하중은 2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 평행하게 배열된 접합부(b2h) 항복하중의 1.6배의 성능을 나타낼 것으로 예측하였으며 실제 시험결과 약 1.7배로 근접하게 예측하였다고 평가된다(Table 5).

5. 결 론

본 연구를 통해 철판 삼입형 집성재 드리프트 핀 접합부의 인장형 전단성능을 평가하고, 그 결과를 바탕으로 접합부의 모멘트 성능을 예측하고 평가하였으며 그에 따른 결론은 다음과 같다.

철판 삼입형 접합부에 인장하중이 작용하면 드리프트 핀의 휨을 흡수하는 부재의 끝면 거리가 항복 이후의 소성 변형에 영향함을 확인하였다. 접합부에

회전이 작용하면 드리프트 핀 배열 방향에 따른 하중성능의 차이가 발생하며, 회전 중심을 기준으로 2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 평행하게 배열된 경우(b2h)에는 섬유방향에 수직인 인장하중 거동을 나타내고, 2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 수직하게 배열된 경우(b2v)에는 섬유방향에 평행한 인장하중 거동을 나타내는 것으로 평가된다. 4개의 드리프트 핀이 정사각 배열된 경우(b4)에는 2개의 드리프트 핀이 섬유방향에 평행하게 배열된 경우(b2h)의 약 1.7배의 하중성능을 나타낸다. 접합부에 작용하는 회전을 인장하중으로 치환하여 접합부의 거동을 해석할 수 있을 것이라고 생각되고, 인장하중만으로 모멘트 성능의 예측이 가능한 것으로 판단되며 더 정확한 평가를 위한 추가적인 연구가 필요하다. 접합부의 회전은 드리프트 핀 배열 방향에 수직인 인장하중으로 치환 가능하며 섬유방향에 평행한 인장으로 치환되는 배열이 회전 저항에 유리한 것으로 평가된다.

참 고 문 헌

1. American Society for Testing and Materials. 2003. ASTM D 1575-03. Standard test method for determining bending yield moment of nails.
2. American Society for Testing and Materials. 2000. ASTM D 5652-95. Standard test method for bolted connections in wood and wood-based products.
3. American Society for Testing and Materials. 2002. ASTM D 5764-97a. Standard test method for evaluating dowel-bearing strength of wood and wood-based products.
4. American Forest & Paper Association and the American Wood Council. 2005. National design specification for Wood construction. 1~174.
5. Blass, H. J., Bienhaus, A. and Kramer, V. 2001. Effective bending capacity of dowel-type fasteners. Joints in timber structures, 71~80.
6. Gattesco, N. 1996. Strength and local deformability of wood beneath bolted connectors. Journal of structural engineering 124(2): 195~202.

7. Jensen, J. L. 2005. Quasi-non Linear fracture mechanics analysis of splitting failure in moment-resisting dowel joints. *J Wood Sci* 51: 583~588.
8. Kharouf, N., McClure, G. and Smith, I. 2003. Elasto-plastic modeling of wood bolted connections. *Computers and structures* 81: 747~754.
9. Kharouf, N., McClure, G., Smith, I. and MASCE 2005. Postelastic behavior of single- and double bolt timber connections. *Journal of structural engineering* 131(1): 188~196.
10. Larsen, H. J. 1974. IUFRO-V, 646~654.
11. Noguchi, M., Takino, S. and Komatsu, K. 2006. Development of wooden portal frame structures with improved columns. *J Wood Sci* 52: 51~57.
12. Pedersen, M.U. 2002. dowel type timber connections-strength modelling. Department of civil engineering, Technical university of Denmark, 97~101.
13. Wilkinson, T.L. 1993. Bolted connection strength and bolt hole size. Forest products laboratory research paper, 1~9.
14. Yasumura, M. and Daudeville, L. 2000. Fracture of multiply-bolted joints under lateral force perpendicular to wood grain. *J Wood Sci* 46: 187~192.
15. 건축구조 설계기준. 2005. 대한건축학회, 1~597.
16. 김광철. 1999. 반강성 이론을 이용한 목재 볼트 결합부의 거동 해석. 서울대학교 대학원, 1~150.
17. 김광철. 2005. 다양한 형태의 목재 결합부의 강도 성능 개선에 관한 연구. *목재공학* 33(6): 38~45.
18. 오세창 역. 2001. 구조용 공학목재. 신진문화사, 1~329.
19. 이진제, 박주생. 2000. 국산소경계의 목재-볼트 접합부 강도 성능. 2000 학술발표논문집, 한국목재공학회, 35~40.