

낙엽송집성재를 이용한 기계프리컷트 주먹장접합부의 인장성능*1

박 주 생*2 · 황 권 환*2† · 박 문 재*2 · 심 국 보*2

Tensile Performance of Machine-Cut Dovetail Joint with Larch Glulam*1

Joo-saeng Park*2 · Kweonhwan Hwang*2† · Moon-Jae Park*2 · Kug-Bo Shim*2

요 약

전통공법에서는 주로 소나무를 수가공하여 구조부재로 사용하고 있다. 주먹장 접합(이음, 맞출)은 일반 가구나 구조부재의 접합에 사용되고 있으며, 수가공이나 간단한 기계가공에 의해 쉽게 가공할 수 있는 이점이 있다. 비록 외관상 선형적인 가공이 주를 이루지만, 손쉬운 짜맞춤이 될 수 있어야 하는 고도의 가공정밀성이 요구된다. 더욱이, 장부와 장부받이는 틈새없는 긴결한 접합이 이루어져야 한다. 주먹장접합부에 대한 과학적인 연구는 체계적으로 수행된 예가 많지 않으므로 전통공법과 국산재 활용이라는 관점에서 낙엽송집성재를 기계가공하여 이용하였다. 통주먹장이음 접합부의 인장성능을 파악하기 위하여 150 mm 정각 낙엽송 집성재를 사용하였으며, 내력성능에 영향을 끼치는 주먹장의 다양한 기하학적 요소(장부 너비, 길이, 각도)에 대해 조사하였다. 보강목을 설치하지 않은 시험편은 장부받이(장부홈)의 모서리부에서 할렬이 발생하며 내력도 낮게 나타났다. 기둥머리의 화통맞춤 및 주두와 같은 상황을 고려한 보강시험편은 최대인장내력에서 2배 이상의 성능을 발휘하였다. 장부의 적정각도는 25도 수준이었으며, 어깨폭의 변화와는 상관성이 없는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

Members used for the Korean traditional joints have been processed by handicraft, especially with domestic red pine species. Dovetail joint is most commonly used in woodworking joinery and traditional horizontal and vertical connections. It is able to be processed much easier to cut

* 1 접수 2009년 12월 18일, 채택 2010년 4월 13일

* 2 국립산림과학원 녹색자원이용부 탄소순환재료과. Division of Wood Engineering, Department of Forest Resources Utilization, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 황권환(e-mail: m54290@hotmail.com)

by handcraft and machines. However, although it is processed straight forwards, it requires a high degree of accuracy to ensure a snug fit. Also, tenons and mortises must fit together with no gap between them so that the joint interlocks tightly. A few scientific studies on the dovetail joints have been conducted so far. For the effective applications of traditional joints and domestic plantation wood species, dovetail joints were assembled by larch glulam members processed by machine pre-cut. To identify the tensile properties of through dovetail joints, larch glulam with 150150mm in cross section were prepared. Furthermore, various geometric parameters of dovetail joints such as width, length, and tenon angle, were surveyed. The ends in the mortise was cracked mainly at a low strength level in the control specimens without reinforcements. The maximum tensile strengths of reinforced specimens considering real connections such as capital joint and headpiece on a column, increased by two times with shear failures on the tenon than the control specimens. The maximum tensile strength was obtained in the specimen of 25 degrees, and no difference was observed in the changes of neck widths.

Keywords: tenons and mortises, dovetail joint, larch glulam, machine pre-cut, tensile strength

1. 서 론

국산재 이용은 국제사회의 기후변화와 환경문제에 대한 인식으로부터 온난화, 이산화탄소 배출문제 등에 대한 해결법으로 적극 활용해 나가야 할 것이며, 미래의 목재자원 공급문제를 자체적으로 해결하기 위한 근본적인 방안이라 할 수 있을 것이다. 현대목구조의 시공에서 구조상의 이유로 많이 이용되고 있는 국내산 수종으로는 낙엽송(일본잎갈나무, *Larix kaempferi*)과 소나무(적송, *Pinus densiflora*)를 들 수 있다. 소나무는 문화재와 한옥과 같은 전통공법의 구조부재로 많이 이용되고 있으며, 낙엽송은 상대적으로 높은 소재의 강도적 특성으로 인하여 구조용 부재로서의 가치가 인정되어 공학목재로서의 소재 및 집성재로 많이 활용되고 있다[1].

최근 전통구조의 하나인 한옥에 대한 수요가 급격히 증가하기 시작하여 지자체를 중심으로 전원주택, 은퇴자마을과 같은 단지조성 등과 같은 형태로 전국적으로 활발히 시공이 이루어지고 있다. 전통목구조의 접합방법은 현대목구조에 있어서의 접착접합, 철물접합과는 달리 짜맞춤접합에 의해 구성되므로 그 접합내력의 정도와 해석에 있어서는 달리 접근하여야 할 것이다. 한편, 건조문제와 웅이 등의 목재 결함

을 완화하기 위해 집성재가 거론되고 있지만, 문화재 및 전통목구조 전문가들은 천연건조된 소재만을 고집하는 경향이 있는 듯 하다. 일반적인 구조용 집성재는 강도 등급을 구분하고 건조된 층재를 접착적층하여 만든 공학적인 구조재료(EWP, engineered wood products)이므로 그 성능을 미리 알 수 있는 이점이 있음에도 불구하고 미관상의 이유와 접착제에 대한 이해부족으로 외면시 되고 있다. 또한, 이들 전통목구조의 부재로 활용되는 수종으로는 국내에서 그 생육과 재적량이 많은 소나무가 주를 이루고 있으나, 최근에는 수입재인 미송(Douglas-fir)과 솔송(Hemlock), 때로는 뉴송(Radiata pine)이 국산재의 대체용으로 사용되고 있는 실정이다[2]. 전통목구조의 강도적 성능을 파악하고 해석을 위한 기초 실험을 행할 때는 각재의 직각도와 사용함수를 조건이 적합하여야 하므로 현재로서는 집성재를 많이 이용하고 있는 실정이다.

전통목구조에 대한 연구는 전통건축을 바탕으로 하는 대학과 관련연구소의 과제를 중심으로 전개되어 왔다[3,4]. 이러한 연구는 특히 목조문화재의 구조적 안정성을 평가하기 위한 노력의 일환으로 행해지고 있다. 전통목구조에서 많이 사용하고 있는 접합(가구재의 결구) 형태로는 그 용도에 따라 다양하지만,

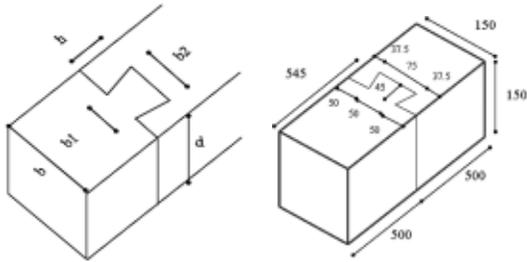


Fig. 1. Criteria and dimension of dovetail joint.

가공이 용이하고 강도적 성능이 우수한 엇걸이산지이음, 주먹장 접합을 들 수 있으며 [5], 주먹장에 대한 형태와 명칭을 정립하려는 시도가 행해졌다 [4]. 국립문화재연구소의 연구보고 [5]에서 주먹장은 수직하중이 증가할수록 수평내력이 증가하였고, 장부의 길이에 따른 내력변화는 없다고 보고하였다. 그러나, 주먹장의 변화요소 [4]는 장부(숫장부)의 목폭, 머리폭, 목길이, 어깨폭을 규정하고 있으나, 목길이의 변화에 따른 목폭과 머리폭이 이루는 각도(주먹장부의 경사도)가 큰 영향인자일 것으로 고려되므로 그 기초실험을 행할 필요가 있으며, 목길이와 목폭의 치수변화에 따른 성능변화를 함께 파악할 필요가 있다. 일례로, 전통 목구조 시스템의 구조안정성을 유지하는데 중요한 역할을 하는 기둥-창방 접합부의 인장력에 대한 파괴모드와 저항내력에 대한 연구가 이루어졌다 [5]. 이 연구로부터 기둥-창방 접합부는 갈퀴이음, 나비장이음, 엇걸이산지이음, 엇댄산지이음, 주먹장맞춤 등 9가지의 접합부가 검토되었으며, 인장내력은 엇걸이산지이음과 주먹장 접합부에서 우수한 성능을 발휘함을 확인하였다.

본 연구에서는 낙엽송 집성재를 이용한 통주먹장 접합부에 대해 다양한 주먹장 장부의 치수변화를 설정하여 인장시험을 행하고 그 인장성능을 검토하였다.

2. 재료 및 시험방법

2.1. 공시재료

국내산 조림 낙엽송집성재를 주먹장접합부의 부재로 사용하였다. 구조용 낙엽송집성재 150 mm 각재에 대해 주먹장부 및 장부홈(숫장부와 암장부)의 치수

Table 1. Dimensions of dovetail joints

Specimen	Neck width (b1, mm)	Head width (b2, mm)	Neck length (h, mm)	Tenon angle (degree)
Control	15	32	30	15
	20	36	30	15
	20	43	30	20
	20	47	30	25
	20	55	30	30
	15	40	45	15
	20	45	45	15
	35	60	45	15
	50	75	45	15
Reinforced	50	75	45	15

변화에 따른 인장성능 변화를 살펴보기 위해 수가공이 아닌 각도를 변화시킬 수 있는 일반 등근톱을 이용한 기계가공 프리커트에 의해 부재를 정밀하게 가공하여 인장시험에 이용하였다.

Table 1은 각 주먹장접합부의 치수를 나타냈으며, 세부명칭은 Fig. 1을 참조하였다.

2.2. 시험방법

암장부(mortise)와 숫장부(tenon)의 형태로 가공된 부재를 서로 접합하여 각각의 주먹장 접합부를 형성하여 인장시험을 행하였다. 암장부의 모서리(예각 부분)에서 할렬에 의한 파괴가 발생할 여지가 있으므로 암장부의 여폭인 어깨폭을 조절하여 목길이에 따른 목폭과 머리폭에 의한 각도를 15, 20, 25, 30도로 각각 설정하고 목폭과 목길이에 변화를 주어 실험을 행하였다. 또한, 암장부의 예각에서 일어나는 할렬은 실제 접합에서는 주두에서의 측면부재의 존재를 고려하여 할렬방지용 보강목을 덧대어 보강효과를 검증하기 위한 인장시험을 행하였다.

인장시험은 Fig. 2와 같은 방법으로 분당 6 mm의 속도로 인장하중을 가하였으며, 시험체 양면에 부착한 변위측정기를 통해 평균 인장변위를 얻고, 만능재료시험기(Instron 4606)의 100 kN의 로드셀로부터 하중을 얻었다. 얻어진 최대인장하중에 대해 주먹장 접합부의 전체 전단면적으로부터 최대인장내력을



Fig. 2. Tested dovetail joint and testing.

산출하였다.

2.3. 인장내력의 예측

암장부(장부반이 또는 장부홈, mortise)의 모서리(예각부분)에서 할렬에 의한 파괴와 장부의 전단파괴를 예상하기 위해 임업연구원(현 국립산림과학원)의 연구자료[6]를 이용하였다. 자료에서 제시하는 전단강도는 방사방향 11.1 MPa, 접선방향 10.8 MPa이며, 할렬저항값은 방사방향 21.6 N/mm, 접선방향 18.6 N/mm을 각각 이용하여 파괴강도를 예측하고 유효할렬길이와 유효전단길이를 산정하였다.

할렬저항길이는 유효길이로 예측되는 범위에서 50 mm까지 일정 간격으로 각각 추정하였으며, 전단길이는 주먹장부 전체길이인 45 mm에서부터 5 mm 간격으로 점차적으로 줄이면서 예측하여 실험값과 비교하였다. 이는 실제 접합이 이루어진 접합부에서 접촉면의 긴결 정도를 정확히 알 수 없기 때문이며, 일정부분 변형을 일으킬 때까지는 그 변화 정도를 정확하게 예측하기 힘들기 때문이다. 또한, 방사방향 및 접선방향에 대해 예측을 행하여 최소값을 선택하여 개략적인 유효길이를 산정하는 방식을 택하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 공시재료의 기본 물성

집성재의 평균함수율은 10.7%, 전건비중 0.49, 기건비 중 0.47 g/cm³이었다. 함수율시험편은 주먹장의 암수 장부로부터 인장시험이 종료한 시점에 제

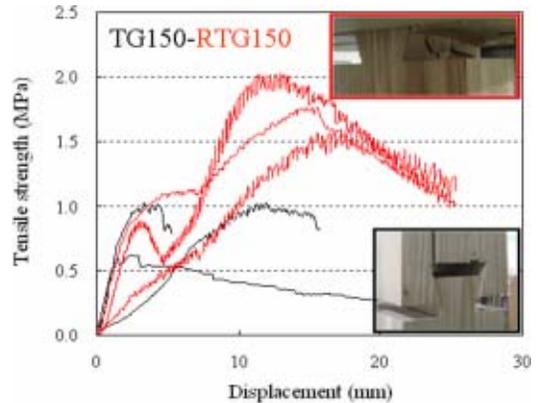


Fig. 3. Tensile strength of dovetail joints with or without reinforcement.

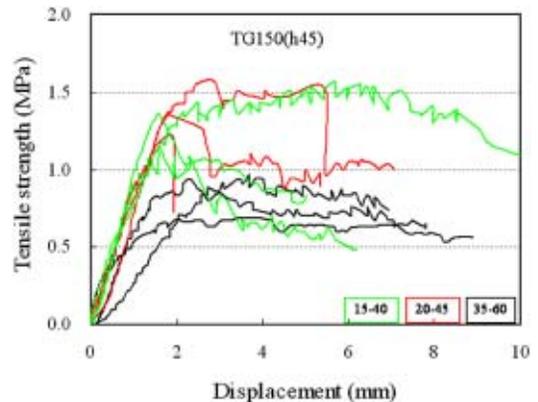


Fig. 4. Tensile strength of dovetail joints with various neck width.

작한 것으로 평균함수율을 채택하였다.

3.2. 주먹장접합부의 인장내력 성능

단순 인장시험편(TG150)에 대한 인장내력과 보강을 행한 시험편(RTG150)의 인장내력 성능을 Fig. 3에 나타냈다. 다양한 장부각도에 따른 결과는 Fig. 4와 5에 나타냈으며, 이들 평균값은 Table 2에 나타냈다.

이에 대한 검토사항으로 Fig. 4와 같이 암장부의 어깨폭을 변화시켜 시험을 진행한 결과, 목폭은 15 mm까지 좁혀도 강도의 차이는 크지 않았으나 다소 왜소한 느낌을 갖게 하여 외관상의 안정감이 떨어졌

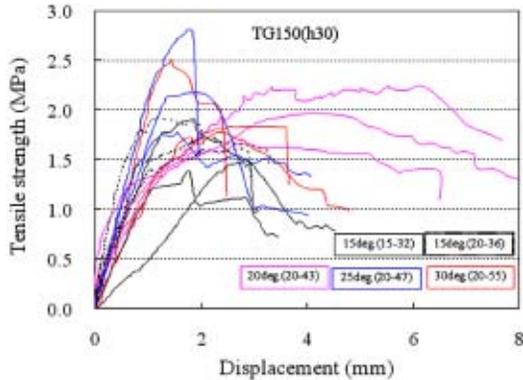


Fig. 5. Tensile strength of dovetail joints with various angles.

Table 2. Tensile strengths of dovetail joints

Specimen	b1	b2	h	Tensile force (kN)	Tensile strength (MPa)
TG150-1	15	32	30	14.4	1.60
TG150-2	20	36	30	15.7	1.75
TG150-3	20	43	30	17.7	1.97
TG150-4	20	47	30	20.2	2.24
TG150-5	20	55	30	18.3	2.04
TG150-6	15	40	45	18.4	1.36
TG150-7	20	45	45	18.8	1.40
TG150-8	35	60	45	11.7	0.87
TG150-9	50	75	45	12.0	0.89
RTG150	50	75	45	24.2	1.80

다. 20 mm 정도의 목폭으로도 충분한 강도성능은 발현됨을 알 수 있었다. 따라서, 목길이를 다소 좁혀도 강도적 변화는 없을 것으로 기대된다.

이에 대한 성능변화를 검토하기 위해 목길이를 30 mm로 설정하고 장부 각도를 15도에서 5도 간격으로 30도까지 변화시킨 접합부에 대해 시험을 행하였다. Fig. 5와 같이 30도 시험편에서 전단파괴를 나타냈으며, 25도 시험편이 가장 높은 인장강도를 나타냈으나 변형능력을 고려하면 20도 시험편이 가장 안정적인 것으로 나타났다. 물론, 이러한 각도의 영향은 실제접합부에서와 같은 조건에서는 측면부재에 의한 보강효과가 있으므로 강도에 상승효과를 줄 수 있을 것이다. 목재의 손실을 최소화하고 가공성 및 부

Table 3. Estimation of tensile strengths for dovetail joints

Specimen	Estimated tensile strength (kN)	Experimental tensile strength (kN)
TG150	14.0 (12.0)* (at 50 mm cleavage)	12.0
RTG150	24.3 (20.2)* (at 15 mm shear length)	24.2

* Values in parentheses are calculated by the data of tangential direction.

재성능을 생각한다면 20도에서 30도의 범위에 목폭 20 mm 이상이 적당할 것으로 여겨진다.

Table 2는 각각의 사양에 따른 인장강도를 나타냈다. 목폭과 목길이(장부길이)의 영향이 크지 않다는 기존 연구결과[4]는 일정 범위 내에서는 유효한 결과임을 확인할 수 있다. 그러나, 아직도 많은 변수들(재의 크기, 단면형상, 함수율 등)이 남아 있으며, 이들 변수들에 대한 검증이 더욱 필요한 실정이다.

3.3. 주먹장접합부의 인장내력 예측 성능

Fig. 1에서와 같이 주먹장접합부의 숫장부와 암장부에 대한 기하학적 관점으로부터 설정된 다양한 형태의 주먹장접합부 시험편에 대한 최대인장내력 실험결과와 할렬강도와 전단강도로부터 예측한 값을 비교하였다. 두 가지의 인자로부터 선정된 각각의 예측값 중 Table 3에서와 같이 실험결과 일치하는 유효 할렬저항길이는 50 mm, 유효 전단길이는 15 mm로 각각 나타났다. 즉, 할렬에 의한 파괴가 일어나는 무보강 접합부에서 할렬에 저항하는 부재의 길이는 50 mm의 수준에 지나지 않으며, 전단에 의해 파괴가 일어나는 보강 접합부에서 전단에 저항하는 유효길이는 숫장부 전체길이의 1/3에 지나지 않음을 알 수 있다. 이는 접합부의 공차를 줄이거나 초기 결합응력을 부여하는 등 실제 접합부의 전단강도 성능을 향상시키기 위해서는 유효 전단길이를 확보할 필요가 있음을 시사한다.

4. 결 론

주먹장접합부의 각종 치수변화에 따른 인장강도 특성을 살펴보았다. 실제 접합부를 가정한 보강이 없을 경우, 목폭은 20 mm 수준까지 좁혀도 무난한 것으로 나타났으며 주먹장부(숫장부)의 길이(목길이)는 30mm에서도 강도적 변화는 나타나지 않았으며, 목길이와 목폭과 머리폭이 이루는 각도는 30도에서 전단파괴가 일어나는 것으로 미루어 현행 15도 정도의 각도에서 20도에서 30도 범위로 설정하는 것이 무난한 것으로 판단되었다.

기타 변수 요인들에 의해 주먹장접합부의 인장성능은 변화의 소지가 많다. 또한, 이러한 성능은 실제 접합부에서 인장요소만 작용하는 것이 아니므로 모멘트 성능을 고려한다면, 목폭은 현행대로 유지하여도 무방하지만 각도에 대해서는 전단력이 작용할 수 있도록 가공하는 것이 바람직할 것이다. 또한, 이러한

기초적 연구와 예측 시스템은 전통목구조에 대한 설계사항을 확립하여 목조건축구조설계 [7]에 반영할 수 있는 기초 자료로 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 황권환, 박주생, 박문재. 2007. 목재공학 35(6): 1~12
2. Hwang, K. h, B.-S. Park, J.-H. Park, and Sung-Ho Chong. 2009. JAABE 8(2): 525~530.
3. 국립문화재연구소. 2005. 목조문화재 구조성능 평가 연구용역 최종보고서.
4. 대한건축학회. 2005. 대한건축학회역사의장위원회(건축역사, 문화재분과) 워크숍 pp. 139~153.
5. 황종국, 홍성걸. 2008. 대한건축학회 논문집(구조계) 24(11): 41~52
6. 임업연구원. 1994. 연구자료 제95호, 125.
7. 대한건축학회. 2008. 목조건축구조설계매뉴얼 pp. 89~152.