

기둥-보 뼈대구조를 위한 각부 접합부의 모멘트저항성능*1

박 주 생*2 · 황 권 환*2†

Moment Resistance Performance of Each Joint for Post-Beam Frame Structure*1

Joo-Saeng Park*2 · Kweon-hwan Hwang*2†

요 약

한국 전통 목구조양식에서 뼈대구조인 기둥-보 접합부를 이용하여 현대적인 기법을 적용한 목구조 접합을 개발하기 위하여 낙엽송 집성재를 구조부재로 사용하였다. 집성재를 이용한 전통 접합기술과 드리프트핀 접합으로 구성된 접합부의 부재는 공장에서 프리컷트에 의해 가공하였다. 뼈대구조의 전체 성능을 파악하고 향상시키기 위한 기초 연구로서 핀접합부의 인발내력 시험과 각 접합부의 모멘트저항 시험을 행하였다. 본 연구에서 사용된 기둥-보 부재는 본 연구에서 사용된 주각부 및 보단부 접합철물로 이루어진 접합부에서 우수한 모멘트저항 성능을 발휘하였다. 핀의 세장비에 따라 초기강성은 세장비가 클수록 다소 높게 나타났으며, 모멘트저항성능인 휨모멘트와 최대모멘트는 세장비가 작을수록 우수함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Japanese larch glulam was used as structural members to develop a modern engineered wood jointing system using traditional post and beam structure. For the connections comprised of traditional joining and drift-pins, structural members are processed at a pre-cut factory. As a basic study to examine and increase the whole shear performance of portal frame, pin withdrawal test and moment resistance tests were conducted on each connection. The post and beam members with specified connectors showed good bearing performance in the wood members' joining system, column-base and beam-end. Moment rigidity was a bit better in a joint with higher

*1 접수 2010년 7월 29일, 채택 2010년 9월 28일

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

† 교신저자(corresponding author) : 황권환(e-mail: khwang@forest.go.kr)

slenderness ratio of drift-pin, but moment resistance performances, yield moment and maximum moment, were excellent in smaller one.

Keywords: glulam, post and beam, drift-pin, pre-cut, moment resistance

1. 서 론

우리나라의 전통 목구조에 사용되는 접합부는 접합철물과 파스너와 같은 현대적 개념의 철물이 거의 사용되지 않는 것이 특징이며, 목재 부재간의 짜맞춤에 의한 접합으로 구조체를 형성하여 목재의 지압에 의한 구조내력을 발휘하도록 설계되어 그 변형성능이 뛰어난 것이 또 하나의 특징이라고 할 수 있다. 구조부재의 재료로써는 삼국시대의 상수리나무(*Quercus acutissima*), 고려시대의 느티나무(*Zelkova serrata*), 조선시대의 소나무(*Pinus densiflora*)를 거쳐 현대에 이르러서는 소나무뿐만 아니라 미송(*Douglas-fir*, *Pseudotsuga menziesii*) 및 뉴송(*radiata pine*, *Pinus radiata*)과 같은 외국산 수종을 비롯하여 낙엽송(*Larix kaempferi*), 잣나무(*Pinus koraiensis*) 등이 사용되고 있는 실정이다[1].

국내산 낙엽송은 1900년대 초반부터 국내에 식재되기 시작하여 현재에도 주요조림수종으로 많이 식재되고 있다. 이러한 조림 수종은 꾸준한 육림정책의 성과로 벌령기에 도달한 것이 많으며, 유용한 자원으로서의 이용이 연구되어 왔다. 낙엽송은 0.50 g/cm^3 이상의 높은 밀도를 가지는 수종군인 낙엽송류[2]에 속하여 강도적 성능은 우수하며, 육안등급에서 주요 결점인자로 작용하는 옹이의 크기가 작고 원구와 말구의 직경차가 적은 통직재를 생산하기 쉬워 제재수율이 높고 특히 못뽑기 저항이 뛰어난 것이 특징이다. 또한, 접착성과 내후성이 양호하여 집성재로 제조하여 구조재로 이용하기에 적합하다[3]. 집성재는 층재의 함수율이 15% 이하로 최종함수율이 균일한 점이 장점이며, 층재의 등급구분이 이루어지므로 원하는 강도의 부재를 얻을 수 있고 부재크기를 조절할 수 있어 재료수급 문제에서 다소 자유로울 수 있다.

또한, 구조설계와 내력성능 예측이 용이하므로 공학 목재로써의 가치가 충분히 있다고 평가할 수 있다 [4].

한편, 전통기법과 현대기술의 융합은 목구조에 있어서도 새로운 접합법의 탄생을 요구하게 되는 계기가 되었다. 이러한 하이브리드형의 새로운 접합법에서 요구되는 기본사항은 전통요소를 계승하고 현대의 뛰어난 기술적 요소를 적용하는 것이다. 이를 위해서 짜맞춤 접합법의 장점인 지압내력성능을 충분히 살리고, 목구조의 구조안정성을 담보하기 위해 접합철물을 개입하며, 목재와 접합철물을 연결하는 파스너의 일종인 드리프트핀의 삽입으로 구조물의 외관상 심미적 요소를 해결하는 것이 가장 기본적이라고 할 수 있다. 이러한 접합철물과 파스너의 개입에 의한 이중 접합은 드리프트핀 구멍과 슬롯부의 노출이 여전히 존재하는 경우가 많다. 하지만, 이러한 드리프트핀 접합부에서 외관적 결함은 미세하며 메움목으로 간단하게 처리할 수 있다. 게다가, 드리프트핀의 시공 편이성과 외관상 철물이 보이지 않는 구조로 마무리 할 수 있는 가능성을 충분히 갖추고 있으므로, 한국적이며 현대화된 목구조 접합방식이라 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 목구조의 기둥 하부와 상부에서 형성되는 주각 및 보단부 접합부에 대해 드리프트핀 접합을 위한 접합철물을 적용하여 기둥-보 부재로 이루어지는 뼈대 구조의 내력성능을 예측하고 성능 향상을 미리 파악할 수 있는 기초자료로 활용하고자, 뼈대를 구성하는 각부 접합부인 주각접합부와 보단부 접합부의 모멘트저항성능을 실험적으로 파악하여 그 개선점과 성능에 대해 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료 및 시험체

본 연구에서 사용된 구조용 집성재는 국내산 낙엽송으로 KS F3021 (2005) [5] 조건으로 생산되어 층재의 호칭치수는 두께 27 mm였으며, 기둥재는 180 mm, 정각재로 길이가 2450 mm, 보재는 나비 140 mm, 춤 240 mm, 길이 3480 mm였다. 사용된 기둥과 보 부재는 기계프리커트로 공장에서 가공되었으며, 핀 및 볼트 구멍, 슬롯, 파넬 등의 가공이 이루어졌다. 가공된 부재는 Fig. 1에서와 같이 각각의 접합부에 대해 접합철물과 드리프트핀으로 접합하여 접합부를 형성하였다. 사용된 접합철물의 두께는 4.5 mm 였다. 이러한 접합법을 적용한 실제 건물이 국립 산림과학원내에 실연사업(테스트하우스 축조실연 사업, 2006)으로 건립되어 있다.

2.2. 시험방법

한국표준협회 KS F2153 (2005) [6] 기준을 참조하여 핀인발시험을 행하였고, KS F2154 (2001) [7] 기준에 의거하여 보단부 접합부와 주각접합부에 대해 모멘트저항성능시험을 행하였다. 각 접합부의 시험 모습은 Fig. 1의 (a), (b), (c)와 같으며, 각 조건당 세 개의 시험체에 대해 시험을 행하였다.

2.2.1. 핀인발시험

핀인발시험을 위한 보단부 접합부는 ㄷ형 접합철물을 보단부의 슬롯에 삽입하고 드리프트핀으로 결합하는 방식이며, Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 보단부는 전통공법의 하나인 쌍장부맞춤의 형태를 가지며 기둥에 장부받이를 가공하고 볼트구멍을 가공하여 기둥을 통과한 볼트로 서로 연결하는 방식이다.

ㄷ형 접합철물은 PBM-S12 (150 × 150 mm, 90

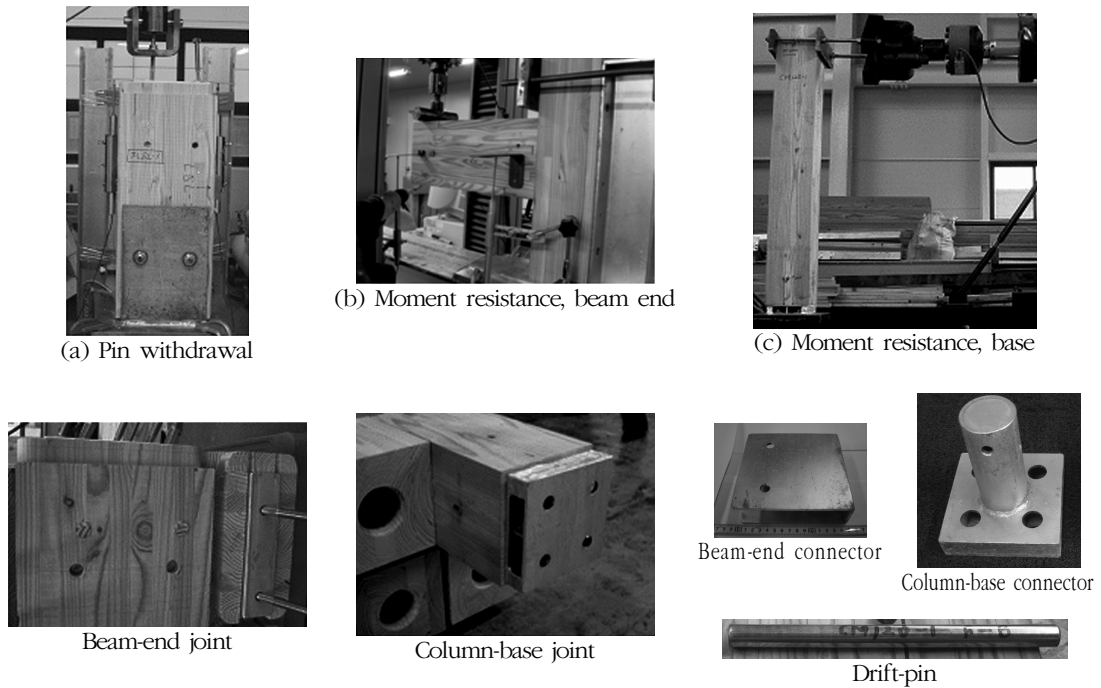
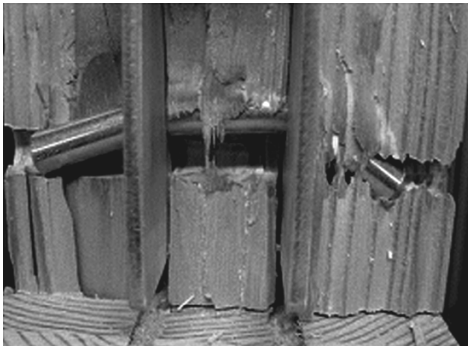


Fig. 1. Test setups for each connection.



(a) 12 mm drift-pin joint



(b) 16 mm drift-pin joint

Fig. 2. Failures in each connection.

mm 끝면거리)와 PBM-L16 (200 × 200 mm, 140 mm 끝면거리)의 두 가지 형태로 준비하여 핀인발시험을 행하였다. 볼트를 인장하여 핀의 인발내력을 측정하였으며, 200 kN의 용량과 로드셀이 장착된 인장-압축형 시험기를 이용하여 시험을 행하였다. 변위제어로 시험속도는 1 mm/min 였으며, 하중과 변위는 컴퓨터제어로 일정 간격으로 수집하였다. 얻어진 하중-변위 관계로부터 최대인발력을 산출하였으며, 핀의 직경과 세장비에 따른 영향력을 검토하였다.

2.2.2. 보단부 접합부의 모멘트저항시험

기둥과 보가 만나는 보단부 접합부의 모멘트저항 시험은 핀인발시험의 사양에 기둥이 볼트에 의해 보단부와 결합된 접합부에 대해 실시하였다. 두 개의 볼트와 두 개의 드리프트핀으로 결합되어 접합부의 긴결성이 유지되는 형태로서, 핀인발시험에서와 같이 접합철물은 12 mm와 16 mm용으로 구분하여 준비하였다. ㄷ형 접합철물의 내부 간격은 35 mm로 두 가지 형태의 접합철물에서 동일하며, 보단부 접합부의 모멘트저항성능을 측정하기 위한 가력 위치는 Fig. 1(b)에서와 같이 기둥면에서 500 mm 위치에서 가력하였다. 사용 시험기 및 데이터수집 방법은 핀인발시험과 동일하며, 그림에서와 같이 가력부에서 보의 하부와 기둥면 하부에서 보의 하부 처짐변위로부터 모멘트-회전각 관계를 산출하였다.

측정된 하중-변위 관계로부터 모멘트-회전각 관계를 얻어 항복모멘트와 모멘트강성을 5% 읍셋법과

완전탄소성 분석법(bi-linear analysis) [8]에 의해 구하였다. 또한, 항복모멘트(M_y)는 목조건축구조설계 매뉴얼[2]과 건축구조설계기준[9]에 의거하여 EYT (European Yield Theory)에 의해 이중전단 금속-목재 접합부로 설정하여 가능한 모드별로 산정하였다.

2.2.3. 주각접합부의 모멘트저항시험

주각부용 접합철물은 기초와 기둥을 직접 연결할 수 있도록 Fig. 1(c)에서와 같이 철물의 하부는 벽체 구성에서 토대나 하부 플레이트와 같은 수준인 38 mm의 박스 형태로 하였으며, 상부는 파이프 형태로 기둥에 삽입되어 드리프트핀으로 열십자의 형태로 고정되는 방식이다. 파이프의 직경은 60 mm, 길이는 160 mm이며, 박스는 높이 38 mm, 한 변이 160 mm 인 정사각형의 형태이다.

모멘트저항시험은 KS F2154[7]에 준하여 수평하중을 가하였다. 하중-변형 관계로부터 변형각(rad.)과 모멘트(kN · m)를 구하였으며, 항복모멘트(M_y), 최대모멘트(M_{max}), 모멘트강성(K_M) 등을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 핀인발내력

12 mm와 16 mm 드리프트핀 한 개가 삽입된 각각의 보단부 접합부에 대한 핀인발 시험으로부터 얻어진 핀인발내력은 47.1 kN과 53.7 kN으로 나타났다.

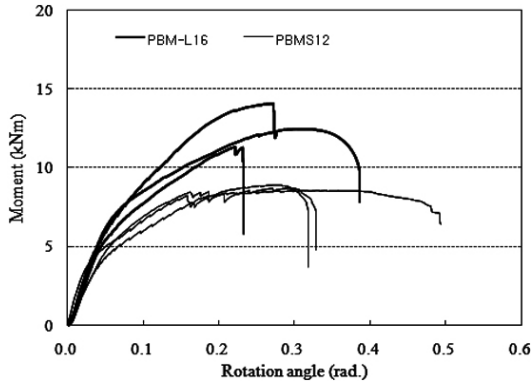


Fig. 3. Moment and rotation angle relations.

핀의 직경 증가로 인한 강도향상이 확인되었으며, 각 접합부의 파괴형태는 Fig. 2(a) 및 (b)에서와 같이 확연한 차이가 있음을 알 수 있었다. 핀의 직경이 상대적으로 작은 12 mm 드리프트핀 접합부의 파괴는 핀의 휨변형에 의한 파괴가 주로 이루어졌으며, 핀의 직경이 상대적으로 큰 16 mm 드리프트핀 접합부에서는 핀의 변형보다는 주부재에 해당하는 \square 형 접합철물의 중앙부의 목재의 전단할렬파괴 및 측면부재에 해당하는 \square 형 접합철물의 외측 목재부에서의 할렬 등이 관찰되었다. 이러한 원인발내력으로부터 다양한 접합부의 내력성능 예측이 가능하며, 일례로 황과 박의 연구[10]에서는 핀접합부의 인발성능으로부터 보단부접합부의 모멘트저항성능을 실험값에 근사하게 예측하였다.

3.2. 보단부 접합부

보단부 접합부의 모멘트저항성능의 모멘트와 회전변형각 사이의 관계는 Fig. 3에서와 같으며, 모멘트저항성능값은 Table 1에서와 같다. Fig. 3에서는 상대적으로 큰 단면과 드리프트핀으로 구성된 시험체인 PBM-L16 보다는 12 mm 드리프트핀을 적용한 PBM-S12 시험체에서 항복점 이후에 거치상의 모멘트-변형각 거동이 나타났다. 이는 12 mm 드리프트핀을 사용함으로써 핀의 휨변형으로 인한 목재의 파괴가 동시에 진행되어 생긴 것으로 사료된다. 한편, 파괴형상면에서는 PBM-S12 시험체에서는 대부분이

Table 1. Moment resistance performance of beam-end joints

Specimen	M_{max} (kN · m)	$M_{0.05}$ (kN · m)	K_M (kN · m/rad.)	M_y (kN · m)
PBM-S12	8.7	4.0	1126	2.7(III _s) 2.5(IV)
PBM-L16	12.6	6.5	1113	4.0(III _s) 4.5(IV)

M_{max} , maximum moment; $M_{0.05}$, 5% offset yield moment; K_M , moment rigidity; M_y , yield moment; III_s, yield mode III by fastener; IV, yield mode IV.

핀의 휨변형과 접합철물 내부의 목재부에서 전단파괴가 주로 일어났으며, PBM-L16 시험체에서는 핀의 휨변형에 의한 파괴는 거의 관찰되지 않았으며 목재의 전단파괴가 주로 일어났다. 이로써, 핀의 직경이 커지면 목재부에서의 파괴가 주로 일어남을 알 수 있었다.

Table 1에서와 같이 항복모멘트($M_{0.05}$)와 허용모멘트(M_a)에서는 드리프트핀의 직경이 큰 쪽이 높게 나타남을 알 수 있다. 특히, PBM-L16 시험체의 항복모멘트는 PBM-S12 시험체보다 50% 이상 증가한 값을 나타냈다. 하지만, PBM-S12 시험체의 낮은 항복모멘트에도 불구하고 모멘트강성(K_M)은 PBM-L16 시험체의 거의 비슷한 값을 보였다. 이로써, 직경이 큰 파스너가 반드시 모든 성능에서 우수한 것은 아니라는 것을 시사한다. 결국, 각 접합부의 성능에 맞는 파스너의 세장비를 선택하는 것이 중요한 이유가 여기에 있는 것이다. 즉, 직경이 작은 파스너는 세장비(10.0)가 커서 휨변형을 일으키기 쉬우며 초기강성을 필요로 하는 접합부에 사용하는 것이 유리하며, 직경이 큰 파스너는 세장비(7.5)가 작으므로 파스너의 휨변형보다 내력증대를 목적으로 하는 접합부에 사용하는 것이 유리함을 의미한다. 한편, 실제 접합부의 항복모멘트는 EYT에 의한 항복모멘트보다 모두 높게 나타났다.

3.3. 주각접합부

Fig. 4는 주각접합부의 모멘트와 변형각의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 각각의 포락선(envelope

Table 2. Shear properties for the column-base connection

Specimen	Direction	M_y (kNm)	M_{max} (kNm)	$2/3M_{max}$ (kNm)	K_M (kNm/rad.)	M_{50} (kNm)	M_U (kNm)	μ	D_s
P1	+	5.2	6.5	4.3	339	233	5.8	3.81	0.39
	-	3.0	5.2	3.5	350	243	4.8	5.09	0.33
P2	+	4.2	5.9	3.9	125	0.38	5.1	1.87	0.60
	-	3.0	6.0	4.0	272	1.99	5.3	3.88	0.38
P3	+	3.9	6.7	4.5	247	1.82	6.2	2.90	0.46
	-	-	5.1	3.4	139	0.68	4.3	2.52	0.50
Average		4.4	6.4	4.2	237	1.51	5.7	2.86	0.48

M_y , yield moment; M_{max} , maximum moment by experiments; K_M , moment rigidity; M_{50} , moment at 1/50 rad; M_U , maximum moment by bi-linear analysis; μ , ductility; D_s , structural factor.

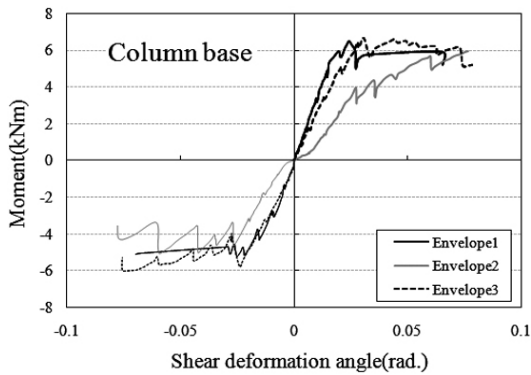


Fig. 4. Relation of rotation angle and moment.

curve)은 수평전단시험으로부터 얻어진 각 구간의 커브에서 순전단변형각(pure shear deformation angle, G_3)과 최외곽 하중값에 대하여 정리한 것이다. 양의 값을 나타낸 부분이 압축형 하중, 음의 값이 인장형 하중을 표현한 포락선이다. 포락선은 완전탄소성분석을 위하여 취해진 것으로, 하중이 연속적으로 증가하여 탄성영역을 보이는 초기강성 부분과 하중 증가가 더 이상 보이지 않고 강성증가가 없는 상태의 소성영역으로 대별할 수 있는 것으로 간주하는 접합부 내력 평가 방식이다. 그림에서는 하나의 시험편을 제외하고는 포락선에서 초기의 수직적 직선영역과 수평적 직선영역으로 구별할 수 있다. 이러한 결과로부터 주각접합부의 성능은 완전탄소성분석이 적합한 것으로 사료된다. 한편, 최대 모멘트에서 드리프트 핀의 휨변형과 목재의 할렬이 관찰되었으며, 초기 변

형은 따냄, 구멍 공차에 의해 발생한 것으로 전체 모멘트저항 시스템에 어느 정도 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

Table 2 는 주각접합부를 하나의 구조체로 간주하여 완전탄소성 분석 [8]을 행한 결과를 나타낸 것이다. 최대모멘트는 세 시험편에서 유사한 수준으로 나타났다으며, 특정변형각(1/150 rad.)에서의 모멘트는 시험편에 따라 다소 차이를 나타냈다. 한편, Table 2 에서 기호 μ 와 D_s 는 완전탄소성 분석을 위해 채택된 소성영역을 고려한 특성값이며, 구조체의 변형능력을 나타내는 지표라 할 수 있다. 표에서 K_M 은 강성영역, M_U 는 소성영역을 나타내며 모멘트저항시스템에서 완전탄소성 특성을 대표하는 것이다. 이러한 완전탄소성 분석법은 목구조의 전단성능을 평가할 때 사용되는 유용한 방법이다 [8]. 즉, 본 연구에서 구해진 각각의 접합부에 대한 값들은 기둥-보 뼈대구조와 같은 형식의 실대구조체의 수평전단성능을 예측하고 향상시킬 수 있는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

낙엽송 집성재를 전통공법이 가미된 기둥-보 구조의 부재로 사용하여 뼈대구조를 구성하는 보단부 접합부와 주각접합부의 모멘트저항성능을 살펴보았다. 각 접합부의 모멘트저항성능의 기초자료로 활용하기 위해서 두 가지 형태의 접합부에 대해 편인발시

험을 행하여 편직경에 의한 세장비의 영향에 대해 검토하였다. 드립트핀의 세장비가 크면 초기강성에 어느 정도 유리하고 세장비가 작으면 항복내력과 최대내력 측면에서 유리함을 알 수 있었다.

기둥-보 구조에 있어 전통공법과 드립트핀 접합법의 융합으로 전체 구조체에 있어서는 핀의 세장비를 적절히 설정하면 우수한 모멘트 저항성능이 발휘 및 예측이 가능할 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. Hwang, K., B.-S. Park, J.-H. Park, and S.-H. Chong. 2009. Wood identification of structural column members for Korean historic timber structures. JAABE 8(2): 525~529.
2. 대한건축학회. 2008. 목조건축설계매뉴얼.
3. 임업연구원. 1994. 한국산 주요목재의 성질과 용도. 연구자료 제95호.
4. 황권환, 박주생, 박문재. 2007. 프리컷 방식을 적용한 기둥-보 공법의 수평전단내력. 목재공학 35(6): 1~12.
5. 한국표준협회. 2005. 구조용 집성재. KS F 3021.
6. 한국표준협회. 2005. 목구조 철물 접합부의 전단 시험 방법. KS F 2153.
7. 한국표준협회. 2001. 경골 목조 전단벽의 전단 시험 방법. KS F 2154.
8. 일본주택목재기술센터. 2006. 목조축조공법주택의 허용응력도설계.
9. 대한건축학회. 2009. 건축구조설계기준.
10. 황권환, 박주생. 2008. 집성재 소시험편의 전단강도에 의한 편접합부의 모멘트 저항성능 예측. 목재공학 36(4): 58~65.