

다방향 접합철물 삽입형 기둥-기초 접합부 모멘트 저항성능평가

김 건 호[†], 이 상 준

국립산림과학원 재료공학과

Evaluation of Moment Resisting Post-Base Connection Using Multi-directional Connector

Keon-Ho Kim[†], Sang-Joon Lee

Department of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

Abstract: The purpose of this paper is to evaluate the moment resistance of glulam post-to-base connections by applying quasi-static cyclic loads. The connectors consisted of inserted plates and drifted pins according to the load direction. The connection types employed in this study were total three including two unidirectional types (H, V) and the multi-directional type (M). The moment resistance of 8 mm-plate M-type is compared to 6 mm plate. Total four types of Post-to-base connection are prepared and tested under pseudo-static reversed cyclic loading. Test results showed that the yield moment of multi-directional connection is about 2 times higher than that uni-directional connections. The ductility ratio of multi-directional connection determined by EEEP was higher than that of uni-directional connection. It was becoming higher as the thickness of plate is increased. The Finite Element Analysis was conducted to estimate the stress distribution behavior of tested connections. Results showed the failure of multi-directional type were caused by the split of pinned hole and the shear failure of lifted part of post.

Keywords: moment resistance, post base connection, ductility ratio, glulam, finite analysis

1. 서 론

국내 목조건축 시장이 점차 확대되면서 10년간 목조건축물의 건축허가 건수가 약 6배로 급격히 증가하고 있으며, 이와 함께 국산재의 새로운 수요를 창출하고 고부가가치 건축 및 토목 부재로 활용하기 위하여 부가가치가 높은 대형 목조건축물 및 교량 등 토목용재의 구조요소 개발에 대한 필요성이 제기되고 있다(국토교통부 2014).

유럽에서는 최근 크로스램(X-LAM)이라고 하는 집성패널을 이용하여 9층 아파트를 비롯한 대형

목조건축물을 시공하는 기술을 개발하였으며, 2008년도에는 일본 방재과학연구소에서 7층 규모의 실대 목조건축물에 대한 진동대 시험을 통하여 내진 성능의 우수성과 아울러 내화성능을 구명하여 중층 목조건축물의 확산을 주도하였다. 국내에 시공되는 현대식 기둥-보 목조건축물은 규모화 추세를 반영하고 있으나, 구조부재와 접합철물을 비롯하여 시공인력과 구조설계까지도 수입에 의존하고 있는 실정이다. 기둥-보 구조의 접합부 형태는 구조부재의 종류, 경계조건과 하중형태에 따라 설계된 벽 구조마다 다양할 수 있다. Palermo (2006)는 단판적층재를 이용한 기둥-보 구조성능을 평가하였으며, Awaludin (2011)은 집성재의 볼트접합부에 못을 덧붙여 조합하여 모멘트 저항성능을 향

2014년 9월 12일 접수; 2014년 10월 6일 수정; 2014년 10월 7일 게재확정

[†] 교신저자 : 김 건 호 (corri97@forest.go.kr)

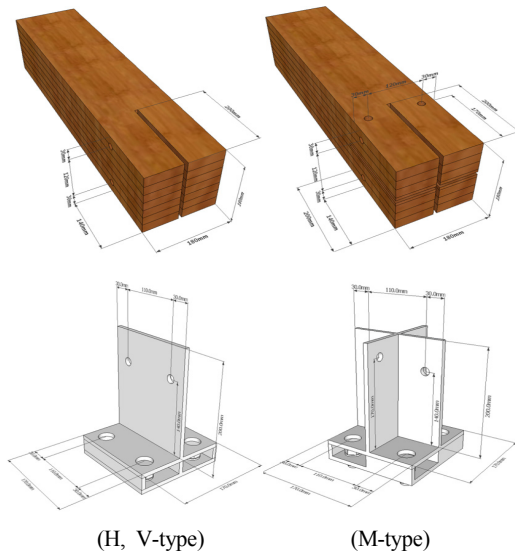


Fig. 1. Schematic representation of types.

상시켰다고 보고하였다. 박 등(2011)은 한국 전통 목구조 양식에서 뼈대 구조인 기둥재와 보부재를 기계프리커트로 가공하여 모멘트 저항성능을 평가하였다. 기둥-보 목구조물은 반복 횡하중을 받을 경우 기둥-기초 접합부에 전단, 인장, 모멘트 하중을 통해 구조물자체 변형이 발생하게 된다. 모멘트 저항성능이 양호한 목구조물에서 기둥-기초 접합부는 횡하중으로 인한 수직인장력이 발생하고 반대쪽 접합부에서는 수평 전단하중과 함께 수직 압축하중이 발생하게 된다. 모멘트 저항이 약한 구조물은 평행사변형 모양으로 변형된다. 이와 같이 기둥-기초 접합부의 모멘트 저항성능을 평가하는 것은 구조체에 바람, 지진과 같이 작용하는 수평하중의 영향을 완화시키는데 중요하다. 더불어 모멘트 저항성능시험은 수치시물레이션에서 계산, 유효성 있는 데이터를 제공하는데 필요하다. 기둥-보 구조의 내력향상을 위해 접합부의 보강을 통한 모멘트 저항 개선 연구와 구조부재 자체의 강도성능 향상을 위한 연구가 진행되고 있다(Buchanan *et al.* 2001; Nakatani *et al.* 2006; Iqbal *et al.* 2005; Hwang *et al.* 2007). 기둥-보 구조물의 구조요소 중 기초부위에 기둥을 연결하는 주각부의 경우 기둥에 작용하는 하중을 파악하여 안전하게 설계하여 접합하

는 것이 중요하다. 일반적으로 주각부 설계는 수평, 수직방향의 거동과 구조물자체의 중량, 그리고 지진하중에 따른 모멘트 등이 고려되어진다. 이전 논문에서는 구조의 연성과 에너지 소산을 향상시킬 수 있는 다방향 기둥-기초 접합철물을 이용하여 기둥부재의 형상과 접합철물의 용접형식에 따른 모멘트 저항성능평가를 실시하였으며, 접합철물의 선 용접상태가 기둥-기초 접합부의 모멘트 저항성능을 개선시켜주었다고 보고하였다(Humbert *et al.* 2013-a).

본 연구는 다방향 금속철물 접합부로서 하중방향에 따른 기둥-기초 접합부의 모멘트 저항성능시험을 실시하였다. 기둥-기초 접합부 모멘트 저항성능은 하중 방향에 따른 접합철물과 드리프트핀의 배치에 따라 모멘트 특성을 비교하고 접합철물 두께에 따른 모멘트 저항성능을 비교하였다. 하중 방향에 따른 드리프트핀과 접합철물의 응력분포 특성을 알아보기 위하여 유한요소 분석을 실시하였고 실제 파괴형상과 비교하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

기둥-기초 접합부에 사용된 기둥부재는 단면크기 180 mm × 180 mm, 길이 800 mm의 7층재의 일본잎갈나무 집성재를 사용하였다. 기둥-기초 접합부는 기초부에 접합철물을 고정시킨 후 기둥부재를 삽입하여 드리프트핀으로 접합하는 형태이다. 기둥부재는 적용하중방향에 대해 접합형식과 드리프트핀 방향에 따라 H타입, V타입과 M타입으로 제작하였다(Fig. 1). H타입과 V타입은 단일방향 접합부로서 두 개의 드리프트핀의 접합방향이 각각 하중 수평방향, 하중 수직방향으로 접합된 형태이며, 기둥재는 볼트열 간격 110 mm, 끝면거리 140 mm 위치에 선공하였다. M타입은 다방향 접합부로서 하중 평행방향으로 접합된 두 개의 드리프트핀과 하중 수직방향으로 접합된 두 개의 드리프트핀으로 구성되었으며, 하중 평행방향 핀구멍의 끝면거리는 170 mm, 하중 수직방향의 끝면거리는 140 mm 위치에 선공하였다.

Table 1. Parameters for finite element model

Material	Parameter	Value
Wood	Density	$\rho_w = 520 \text{ kg/m}^3$
	Elasticity modulus (L)	$E_{wL} = 12.6 \text{ GPa}$
	Elasticity modulus (T)	$E_{wT} = 0.75 \text{ GPa}$
Steel	Density	$\rho_s = 7850 \text{ g/m}^3$
	Elasticity modulus	$E_s = 210 \text{ GPa}$

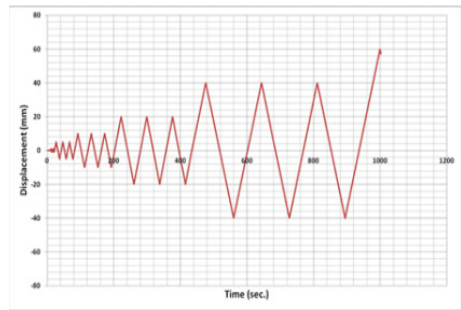
접합철물은 재질이 SS400인 두께 8 mm 강판으로 제작하였으며, 전체 크기는 170 mm × 170 mm × 240 mm였다. 접합철물은 기둥부재와 접합되는 상부와 기초부와 접합되는 하부로 구성되어 있다. 상부 강판은 Fig. 1과 같이 하부 강판들과 용접되어 있으며, 하부는 기초부에 접합된 볼트가 노출되지 않도록 두 개의 강판을 이용하여 제작하였다. 접합철물을 구성하는 강판은 전체 선용접하였으며, 이는 이전 논문에서 강판삽입형 다방향 기둥-기초 접합부의 모멘트 저항성능시험을 통해 접합철물의 전체 선용접의 강도향상 효과를 확인하였기 때문이다(Jerome *et al.* 2013). 접합철물은 현장에서 시공이 용이하도록 하부 상판은 워셔의 직경인 30 mm 구멍으로 제작하였고, 하부 하판은 앵커볼트의 직경인 20 mm 구멍으로 제작하였다.

2.2. 모멘트 저항성능시험

기둥-기초 접합부에 사용된 접합구는 직경 16 mm인 드리프트핀을 사용하였으며, 기초 고정용 접합구는 직경 16 mm인 고장력 앵커 볼트를 사용하였다. 제작된 기둥부재의 하단부는 기초부와 접합된 철물과 접합시켰고 상단부는 수평으로 배치된 유압장치와 고정시켰다. 기둥재 상단부는 20 mm 강판사이에 Fig. 2-a와 같이 삽입하여 반복하중이 가해지도록 배치하였다. 모멘트 저항성능시험은 가상 정적하중(pseudo-static loading)을 준정적 반복하중(quasi-static reversed cyclic loading) 상태에서 목재접합부를 위한 ISO-16670프로토콜에 의거하여 부과하여 실시하였다. 진폭은 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80 mm로 증가하며 정진폭으로 구간별 3반복 실시하였다(Fig. 2-b). 하중속도는 ISO-16670에서 허용하는 범위에서 1 mm/s를 설



(a)



(b)

Fig. 2. Moment-resistance test (a) and loading cycle (b).

정하였다. 하중은 100 kN의 로드셀을 이용하여 측정하였으며 변형은 유압잭의 이동거리와 유압잭 위치에 상응하는 높이의 변형을 레이저변형센서를 이용하여 측정하였다. 모멘트 저항시험은 접합철물의 형태에 따라 3개씩 실험하였다.

2.3. 유형별 유한요소 해석

기둥-기초 접합부의 유한요소모델은 드리프트핀과 접합철물의 응력분포와 거동을 비교해보기 위하여 V형태와 M형태를 선택하였다. 유한요소해석은 ANSYS 15.0 (SAS 2013)을 사용하였고 기둥재와 접합철물의 모델은 3D 솔리드 모델로 20절점 육면체 요소와 10절점 정사면체 요소를 이용하였으며 대략 106개의 메쉬로 구성되어 있다. 해석의 정확도를 높이기 위해 응력이 집중될 것으로 예상되는 접합구멍 주변의 메쉬 밀도를 높였다. 유한요소모델의 재료특성은 Table 1과 같이 입력하였다. 모델의 경계조건은 변위조건으로 모멘트 저항시험과 같은 기둥부재의 상단부 위치에 수평으

Table 2. Comparison of the performance of configurations of connection

Connector type	Elastic behavior			Strength	EEEP			Ductility
Thickness	α_y [$\times 10^2$ rad]	M_y [kN · m]	K_y [kN · m/rad]	M_{max} [kN · m]	α_v [$\times 10^2$ rad]	α_u [$\times 10^2$ rad]	M_u [kN · m]	m [-]
M	4.65	14.82	319.49	22.36	6.39	11.57	20.42	1.81
8 mm	0.41	1.63	35.06	3.11	0.58	1.02	3.07	
H	6.44	7.70	120.19	10.78	8.38	13.03	9.96	1.57
8 mm	0.50	0.41	15.79	0.77	1.38	1.10	0.34	
V	4.14	8.14	204.05	11.69	5.08	9.21	10.04	1.80
8 mm	1.02	0.56	41.91	0.96	1.15	2.35	1.22	
M	5.56	14.83	268.75	22.98	7.27	10.82	19.45	1.49
6 mm	0.58	0.25	26.86	1.63	0.96	1.71	2.49	

로 강재변위 10 mm를 부여하였다. 접촉조건은 기동부재와 드리프트핀 간, 기동부재와 접합철물 간, 드리프트핀과 접합철물 간의 접촉을 정의하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 다방향 기동-기초 접합부의 모멘트 저항 성능 비교

기동부재에 삽입된 기동-기초 접합철물과 드리프트핀 조합에 따른 타입별 모멘트 저항성능을 평가하였다. 강판두께 6 mm의 M타입 모멘트 저항 그래프에서 양방향의 최대모멘트는 22.7 kN · m 였고, 이전 논문에서 같은 두께의 전체 용접한 접합부의 모멘트 저항성능보다 약 37% 증가하였다. 모멘트 저항성능의 차이는 이전 기동-기초 접합부의 경우 상부 강판이 하부 강판의 상판에만 용접이 되었으나, 본 논문의 시편은 상부 강판이 하부 강판의 상판과 하판에 모두 용접하였기 때문이라고 사료된다. M타입의 접합부 강판 두께를 8 mm로 증가하였을 경우 최대 모멘트는 접합철물 하부 강판의 변형과 용접부위 파괴로 인해 6 mm 접합부와 비슷하게 측정되었다. M타입의 모멘트 저항 그래프에서 접합부 파괴와 에너지소산을 통한 이력현상과 비대칭 형상을 확인할 수 있었다. 이는 첫 번째 하중사이클의 초기에 모멘트 저항을 통해 접합부의 에너지가 손실되었기 때문이라고 생각된다. 두 번째 하중사이클은 첫 번째 사이클의 에너

지 손실 때문에 더 낮게 측정되었다. M타입의 최대내력은 이러한 초기 에너지 손실 이후 접합부의 내력이 점차 증가하다가 기동부의 접합구멍부위에서 할렬파괴가 일어나거나 기초 고정용 하부 강판 상부와 하부의 용접부위가 파괴되어 측정되었다. 전 논문에서 기동-기초 접합부의 최대내력 시 기초 고정용 볼트의 절단현상과 접합철물의 상, 하부의 용접부위 파괴형상이 확인되었고 본 연구에서는 8 mm 접합부 시편의 약 50% 정도가 용접부위만 파괴되었다.

각 타입별 기동-기초 접합부의 연성을 정량화하기 위하여 등가에너지 탄소성비(Equivalent Energy Elastic-Plastic: EEEP)을 이용하였다. 일본에서 제안한 전단내력벽의 반복성능 정량화 방법을 적용한 산정방법은 접합부의 실제 실험을 통한 모멘트 저항 거동을 단순화시켜 탄소성구간을 이선형으로 최소화하는 것이다(AIJ 2002). 모멘트 저항성능 실험을 통해 얻어진 최대모멘트의 10% ~ 40%, 40% ~ 90% 값들의 연장선을 이용하여 항복모멘트 저항값(M_y)과 항복초기강성(K_y)을 산출하였다. 극한모멘트(M_u)는 EEEP곡선과 실험치 곡선으로 둘러싼 넓이가 동일하다는 조건하에 추정한다. K_y 와 M_u 를 통해 각각 항복회전각(α_y)과 극한회전각(α_u)을 산출하고, α_u / α_y 비를 이용하여 연성비(m)를 유도한다. Table 2는 각 타입별 기동-기초 접합부의 모멘트 저항성능과 연성을 비교한 것이다. 연성비는 6 mm 보다 8 mm 강판을 사용한

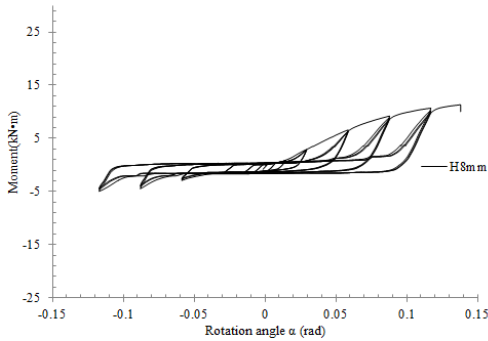


Fig. 3. Evolution of the moment M function of the rotation angle α with H type (Plate thickness: 8 mm).

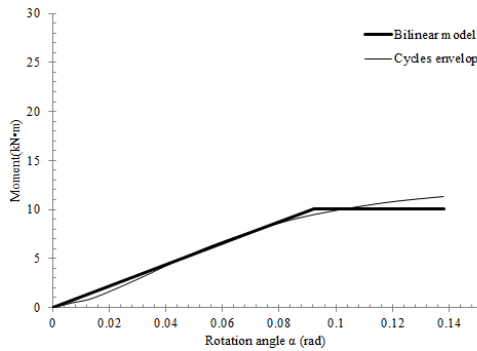
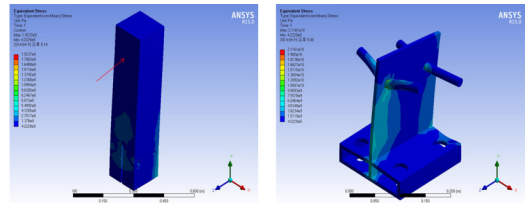


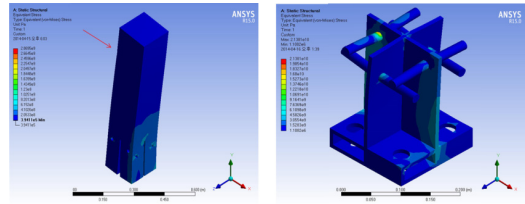
Fig. 4. EEEP curve (bilinear model) for H type (Plate thickness: 8 mm).

M타입이 가장 양호하게 나타났으며 V타입이 H타입보다 양호한 연성을 보였다. 이를 통해 두꺼워진 접합철물과 하중 수직방향의 드리프트핀이 최대모멘트 이후에 파괴로 인한 급격한 모멘트 감소율을 저지시킨 것으로 사료된다.

하중방향에 따른 타입별 모멘트 저항성능을 알아보기 위하여 8 mm H타입과 V타입의 항복 모멘트 저항(M_y)을 비교하였다. H타입과 V타입의 항복 모멘트 값은 M타입에 비해 각각 48%, 45% 감소하였다. 초기강성은 V타입이 H타입보다 약 1.7 배 크게 측정되었으며, 접합부의 초기강성을 통해 하중 수직방향에 따라 삽입된 강판보다 드리프트핀이 모멘트 저항강성을 향상시키는 중요한 인자임을 확인할 수 있었다. H타입의 모멘트 저항그래프는 하중이 증가함에 따라 하중사이클에 따른 내



(a)



(b)

Fig. 5. Stress (in Pa) in the connector and the pins for an input the deformation = 10 mm.

력감소는 보이지 않았고 접합철물의 변형만 증가한다(Fig. 3). 드리프트핀은 거의 굴곡되지 않고 삽입된 강판만 변형되는 것을 확인할 수 있었다. V타입의 모멘트 저항그래프는 M타입과 같이 하중사이클에 대한 모멘트 저항 이력현상을 확인하였고 접합구멍부위에서 하중 수직방향 드리프트핀의 굴곡을 통한 할렬파괴를 확인할 수 있었다.

3.2. 다방향 접합부의 유한요소 분석

다방향 기둥-기초 접합부의 유한요소 해석결과 10 mm 강제 변위조건에서 최대응력은 드리프트핀에서 발생하였으며, 접합철물은 하중 평행방향의 강판과 기초부 상판의 용접부에서 응력이 집중되는 것을 확인할 수 있었다. Guan 등(2010)은 유한요소 분석을 통해 기둥-보 접합부의 파괴형태 예측이 가능하다고 보고하였다. M형태의 접합부는 하중 수직방향의 드리프트핀이 하중 평행방향 드리프트핀보다 수평하중에 대해 더 큰 응력분포를 보였으며, 드리프트핀의 파괴형상은 V형태의 유한요소분석을 통해 모멘트에 의해 기둥부재가 회전되어 Fig. 5와 같이 굴곡된 것을 예측할 수 있었다. 예측된 드리프트핀의 파괴형상과 비교하기 위하여 모멘트 저항시험 종료 후 실제 접합부 내부

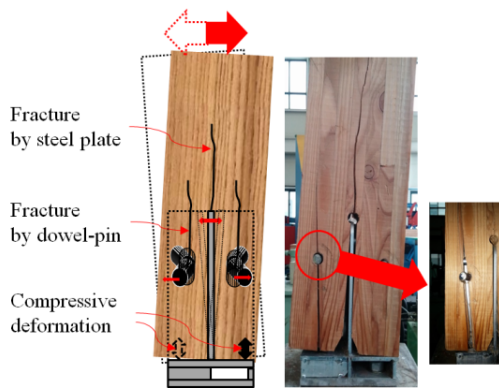


Fig. 6. Schematic representation of failure mode of Type M (Plate thickness: 6 mm).

를 확인한 결과 비슷한 양상을 확인할 수 있었다. V타입과 M타입 접합부는 반복횡하중시 기둥부재의 회전에 의해 인장부와 압축부로 나뉘게 되며 인장부는 드리프트핀이 모멘트를 저항하며 접합구멍에서 응력집중이 발생되고 압축부는 전단면을 따라 접합철물에 의해 들리게 된다. 실제 모멘트 저항시험을 통한 M타입과 V타입 접합부의 파괴형태는 하중 수직방향 드리프트핀의 휨파괴와 기둥부재의 들림에 따른 전단파괴가 유한요소 분석을 통한 기둥부재의 응력분포를 통해 예측 가능하였다(Fig. 6).

4. 결 론

목구조물의 구조요소인 기둥부재와 기초부의 접합부로서 다방향 접합철물을 이용한 기둥-기초 접합부의 모멘트 저항성능을 비교하였다. 반복횡하중시험을 통해 다방향 접합부의 항복모멘트는 단일방향 접합부보다 약 1.9 배 정도 증가하였으며, 하중 수직방향으로 접합된 드리프트핀과 삽입강판이 중요한 모멘트 저항인자임을 확인할 수 있었다. 목구조물 적용시 다방향 기둥-기초 접합부의 모멘트 저항성능은 다방향의 외부하중에 대해 동일한 모멘트 저항성능을 발휘할 것이다. 유한 요소 해석을 통해 기둥부재의 접합구멍 주위에 응력집중과 강판삽입부의 전단파괴, 그리고 접합철물의 용접부에 응력집중이 예측 가능하였으며, 이를 보완하

기 위해 다방향 접합부에 적합한 접합구의 개발과 접합형식이 개선되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 국토교통부. 2014. 건축허가 및 착공통계. KOSIS국가통계포털(<http://kosis.kr>).
- 박주생, 황권환. 2011. 기둥-보 뼈대구조를 위한 각부 접합부의 모멘트저항성능. 목재공학 39(1): 8-14.
- Architectural Institute of Japan. 2002. New estimation method for shear wall performance. Standard for Structural Design of Timber Structure (in Japanese), 104pp.
- Awaludin, A., T. Hayashikawa, A. Oikawa, T. Hirai, Y. Sasaki, and A. J. M. Leijten. 2011. Seismic Properties of Moment-resisting Timber Joints with a Combination of Bolts and Nails. Civil Engineering Dimension 13(1): 1-5.
- Buchanan, A. P. Moss, and N. Wong. 2001. Ductile moment-resisting connections in glulam beams. in Proceedings of the NZSEE conference.
- Guan Z., K. Komatsu, K. Jung, and A. Kitamori. 2010. STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF BEAM-COLUMN CONNECTIONS USING COMPRESSED WOOD DOWELS AND PLATES. in Proceedings of the 11th World Conference on Timber Engineering.
- Humbert J, S. J. Park, J. S. Park, and M. J. Park. 2013. Cyclic Behavior of Timber Column Concealed Base Joint Journal of the Korean Wood Science and Technology 41(2): 123-133.
- Humbert J, S. J. Lee, J. S. Park, and M. J. Park. 2013. Improvement on moment resistance of a concealed timber post base joint. Journal of the Korean Furniture Society 24(4): 444-451.
- Hwang K. H., J. S. Park, and M. J. Park. 2007. Shear performance of post and beam construction by pre-cut process. Journal of the Korean Wood Science and Technology 35(6): 1-12.
- International Organization for Standardization. 2003. ISO 16670: Timber Structures – Joints made with mechanical fasteners – Quasi-static reversed-cyclic test method, Geneva, Switzerland.
- Iqbal A., S. Pampanin, and A. H. Buchanan. 2008. Experimental Study of Prestressed Timber Columns

- under Bi-directional Seismic Loading, in Proceedings of the NZSEE conference.
- Nakatani M., T. Mori, and K. Komatsu. 2006. Development of moment-resisting joint systems using lagscrewbolts. in Proceedings of the 9th World Conference on Timber Engineering.
- Palermo A., S. Pampanin, M. Fragiaco, A. H. Buchanan, B. L. Deam, and L. Pasticier. 2006. Quasi-static cyclic tests on seismic-resistant beam-to-column and column-to-foundation subassemblies using Laminated Veneer Lumber (LVL), Proc. of Australasian Conference on Mechanics and Materials, Christchurch, New Zealand.
- Shim K. B., K. H. Hwang, J. S. Park, and M. J. Park. 2010. Shear performance of hybrid post and beam wall system infilled with structural insulation panel (SIP). *Mokchae Konghak* 38(5): 405-413.