

프리컷 방식을 적용한 기둥-보 공법의 수평전단내력*1

황 권 환*2† · 박 주 생*2 · 박 문 재*2

Shear Performance of Post and Beam Construction by Pre-Cut Process*1

Kweonhwan Hwang*2† · Joo-Saeng Park*2 · Moon-Jae Park*2

요 약

한국형 목조건축 실현 및 국내산 조림 낙엽송의 유효 이용을 위해 전통목구조에 있어 널리 사용되는 짜맞춤 공법을 응용한 기계 프리컷 방식으로 드리프트 핀 접합한 낙엽송 집성재 기둥-보 공법에 대해 수평전단내력성능을 평가하였다. 기계 프리컷 가공된 부재로부터 기둥-보 공법으로 이루어진 골조구조체, 골조와 경골목구조 공법을 혼용한 벽구조체에 대해 현행 KS F 2154 기준에 의거하여 수평전단반복시험을 행하여 얻어진 하중-변위로 부터 전단 변형과 전단력의 관계를 산출하였다. 무재하식 수평전단 가력에 의해 최대 전단내력은 골조구조체에서 1.9 kN/m, 벽구조체에서 9.7 kN/m, 전단강성계수는 167 kN/rad, 8198 kN/rad로 각각 나타났다. 골조구조체는 벽구조체에 비해 하중 분담률이 20% 정도, 강성에 있어서는 2% 정도로 나타났으며, 전단내력벽의 최대 전단내력은 골조에 비해 상대적으로 변형성능이 낮게 나타났다. 일본건축학회의 벽배율 산정법에 의한 전단내력벽의 벽배율은 1.5로 산출되었다. 전단내력벽의 전단성능 향상을 위해서는 주각부 및 기둥-보, 못과 면재에 대한 차후 검토와 수평전단 가력법에 대한 검토가 필요한 것으로 판단되었다.

ABSTRACT

For the purpose of effective utilization of domestic second-grown larch as structural members, post and beam construction applying traditional construction to Japanese larch glulam members was adopted with processing by machine pre-cut method. In general, horizontal shear test by KS F 2154 is conducted to assess the horizontal shear properties of the wooden structure by post and

* 1 접수 2007년 6월 13일, 채택 2007년 7월 25일

* 2 국립산림과학원 임산공학부 목재성능과, Div. of Wood Engineering, Dept. of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

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

beam construction. The frame was consisted of post and beam member with appropriate fasteners, and members have their own processed parts (notch, hole, etc.) that can be well-connected each other. The shear wall was consisted of the frame with screw-nail sheathed panel (OSB). The results of horizontal shear loading tests without vertical loads conducted on the frame and the shear wall structures, the maximum strengths were about 1.9 kN/m and about 9.7 kN/m, the shear rigidities were about 167 kN/rad, 8198 kN/rad, respectively. The strength proportion of the frame specimen was about 20% of the wall's and about 2% in initial stiffness. Nail failures are remarkable on the shear wall specimen with punching shears and shear failures. The shear load factor for the shear wall specimen by the method of Architectural Institute of Japan was 15, which was obtained by the bi-linear method. Loading method should be considered to obtain smooth load-deformation relationship. For the better shear performance of the structures, column base and post and beam connections and sheathed panel should be further examined as well.

Keywords: post and beam construction, pre-cut, horizontal shear test, frame, shear wall

1. 서 론

최근 국내 목조주택에의 수요확대를 계기로 주요 침엽수류를 중심으로 각종 국내 조림수종의 이용방안과 적용에 대한 연구들이 행해져 왔다(Shim, 2005, 심 등, 2005). 이러한 연구 활동은 조림 국산재 이용이 환경문제 및 국제사회의 자국자원보호정책 등으로 인한 목재자원의 공급문제를 근본적으로 해결할 수 있는 하나의 방안으로 해석된다. 그러나 우리나라의 유용한 목재자원의 연간생산량은 그 소비량에 비하면 아직 절대적으로 부족한 상황이다. 국내산업 활성화라는 관점에서는 경제 수종의 조림확대와 육림관리 등에 역점을 두어 계획적인 경영을 해 나간다면 많은 이점과 잠재성을 가지고 있는 것으로 평가할 수 있다.

국산 침엽수 구조재 개발과 적용은 낙엽송을 중심으로 잣나무 및 소나무, 리기다소나무 또는 삼나무 등에 이르기까지 다양하며, 집성재제조에 의한 구조재로서의 이용이 활발히 검토되고 있다. 집성재는 강도 등급별로 층재(lamina)를 배치하여 부재의 역학적 성능을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있으며 강도성능 예측 및 조절이 가능한 공학목재(EWP, engineered wood products)로서의 이용에 있어 중요한 재료이다. 목재자원의 유효 이용을 도모하기

위해 다른 수종과의 결합을 통한 이수종 집성재의 제조와 강도성능 평가가 국내에서도 최근 연구되어졌다(심 등, 2005; 여 등, 2006).

한편, KS F 2154 (경골 목조 전단벽의 전단 시험방법)에서는 최근 우리나라에서의 목조건축 보급 확산에 따른 내력평가를 위해 수평 하중에 대한 전단내력벽의 전단내력 시험방법을 제정하여 바닥이나 지붕 구조 또는 기둥-보 구조에도 같은 시험방법을 적용하도록 규정하고 있다. 국내에서도 Itani *et al.* (1982) 등의 연구결과를 바탕으로 경골목구조에 대한 전단내력벽 실험 및 해석이 일부 이루어졌다(Jang, 2002; 장, 2002). 그러나 한국 실정에 맞는 한국형 목조건축실험을 위한 기둥-보 구조체에 대한 관련 연구가 거의 수행되지 않은 상태이다.

일본에서의 내력벽 전단시험은 수십 년에 걸쳐 꾸준히 연구되어져 왔으며, 기둥-보(축조)공법에서는 가새(brace)를 이용한 것과 면재(sheathing)를 못으로 접합한 방식이 많이 이용되고 있으며 개구부(opening)의 유무 등에 관한 연구도 수행되고 있다(예를 들면, 平嶋 등(2006)). 특히, 일본건축학회(AIJ, 2006)에서는 경골목구조, 전통축조공법, 기둥-보 공법에 적합한 각각의 시험법과 성능평가에 대해 많은 연구결과를 바탕으로 보다 상세한 규정을 설정하고 있다. 앞으로 전개되어질 여러 가지 공법의 국내 목구조물의 전단성능 평가를 위해서는 이에

대한 검토·도입이 요구되어지고 있다.

본 연구에서는 국내 중요 조림수종인 낙엽송으로부터 제조된 집성재를 이용하여 전통 짜맞춤 공법을 응용한 기계 프리컷(pre-cut)된 기둥 및 보 부재의 골조구조체(frame), 기둥-보 골조내부에 스티드(stud)와 오에스비(OSB, oriented strand board)를 설치하여 못으로 접합한 벽구조체(전단벽(shear wall), 또는 내력벽(bearing wall))에 대하여 현행 KS 기준과 일본의 기둥-보 공법 전단시험법(AIJ, 2006)에 따라 수평전단시험을 행하고 그 전단성능을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 부재

국산 조림 낙엽송(Japanese larch, *Larix kaempferi* (Lamb.) Carriere) 층재(두께 27 mm)에 대하여 레조시놀 접착제를 사용하여 제작한 집성재에 대하여 골조 구성용 기둥과 보 부재를 제작하여 기계 프리컷에 의해 부재가공을 실시하여 골조 및 벽구조체를 형성하여 수평전단내력시험에 이용하였다. 벽구조체는 골조에 오에스비(공칭 두께 12 mm)를 현장 시공에서와 같은 조건으로 못접합하여 구성하였다. 집성재에 사용된 층재의 평균 함수율은 12%, 전건 밀도(oven-dry density), 기건밀도(air-dry density), 기본밀도(basic density)는 각각 0.63, 0.65, 0.58 g/cm³ 수준이었다. 기둥의 치수는 180 × 180 × 2,450 mm, 보의 치수는 140 × 240 × 3,480 mm로 하였으며, 구조체의 경간(span)은 3.6 m로 설정하였다.

기둥의 밑부분(주각, base)은 $\phi 70 \times 160$ mm 원통형 접합철물에 대해 공차 clearance) 1 mm를 두어 기둥 부재에 원통형 구멍을 가공하였으며, 드리프트 핀 삽입용 구멍은 철판 13 mm, 부재 14 mm로 기계 가공하였다. 기둥 상부(주두, capital)에는 보와의 접합을 위해 30 mm의 따냄 가공을 하였으며, 보에는 기둥상부 따냄에 삽입되도록 내뿔 구조 형식에 Γ 자형 접합철물(높이 140 mm, 길이 150 mm, 개구부 35 mm)을 이용한 접합을 위해 슬릿 slit)과 핀 구멍을 가공하여 형성하였다. 접합철물은 보 축 beam

depth)에 대하여 상부로부터 삽입되는 형태로 모멘트저항 성능을 향상시키기 위해 보의 상단에 시공하였다. 이러한 따냄에 의한 짜맞춤 공법은 연직하중에 대한 목재와 목재간의 지압 bearing)에 의해 전단성능을 향상시킬 수 있는 이점을 가진 것으로 전통공법에서 주요 시공방법으로 채택되어 왔다. 기둥 부재에의 Γ 자형 접합철물 부착을 위해 12 mm 볼트용 구멍은 공차 1 mm로 가공하였다. 이러한 접합철물은 무게가 비교적 가벼우며 시공 전에 현장에서도 조립이 가능한 이점이 있으며 부재간의 접합은 드리프트 핀을 망치 등으로 가볍게 박아 넣어 형성할 수 있어 현장 시공성이 뛰어나며 삽입된 철물은 외관에 드러나지 않고 드리프트 핀 삽입부위는 메움목으로 처리하여 외관상 목재만 드러나는 구조를 형성할 수 있어 미관상의 이점이 있다.

2.2. 구조체

Fig. 1과 같이 주각 접합철물(원통+박스형)과 기둥-보 접합철물(Γ 자형)을 이용하여 12 mm 드리프트 핀으로 각 접합부를 이루어 구조체를 형성하였다. 본 연구에서 사용된 삽입형 주각 및 기둥-보 접합철물과 드리프트 핀 접합은 시공성과 심미성이 뛰어나 많이 이용되고 있는 접합법이다. 기둥과 철물의 접합은 12 mm 볼트로 연결하였으며, 오에스비를 이용한 면재의 접합은 낙엽송집성재의 기둥-보 골조에 대해 그 내부에 S-P-F 규격재로 깔도리 및 기둥 덧댐목을 형성하고 400 mm 간격으로 스티드를 설치하여 아연도금 나사니 철선못(8d: 실제치수 3.15 × 81 mm)을 현장시공조건에서와 같이 타정기(nailer)로 접합하여 구성하였다. 이때 토대(밑깔도리)와 기초는 16 mm 볼트로 고정하였으며, 평균 못 간격은 150 mm로 배치하여 벽구조체에 대한 면재의 고정을 위해 수직방향 200여 개, 수평방향 250여 개가 접합되었다.

2.3. 가력 방식

Fig. 2는 부재 치수와 시험 양상을 나타낸 것으로

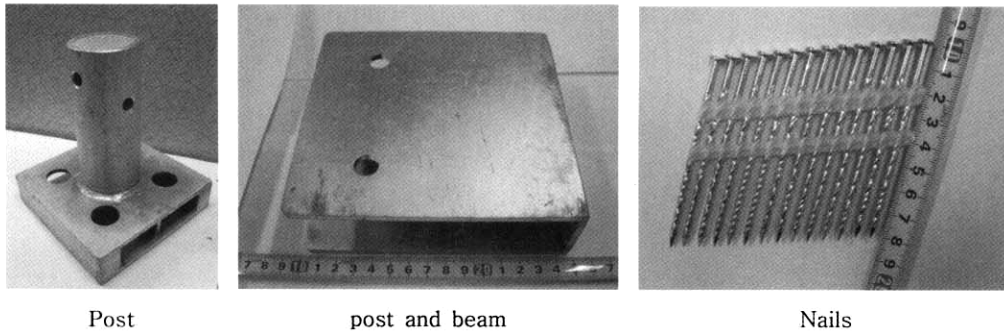


Fig. 1. Fasteners and nails.

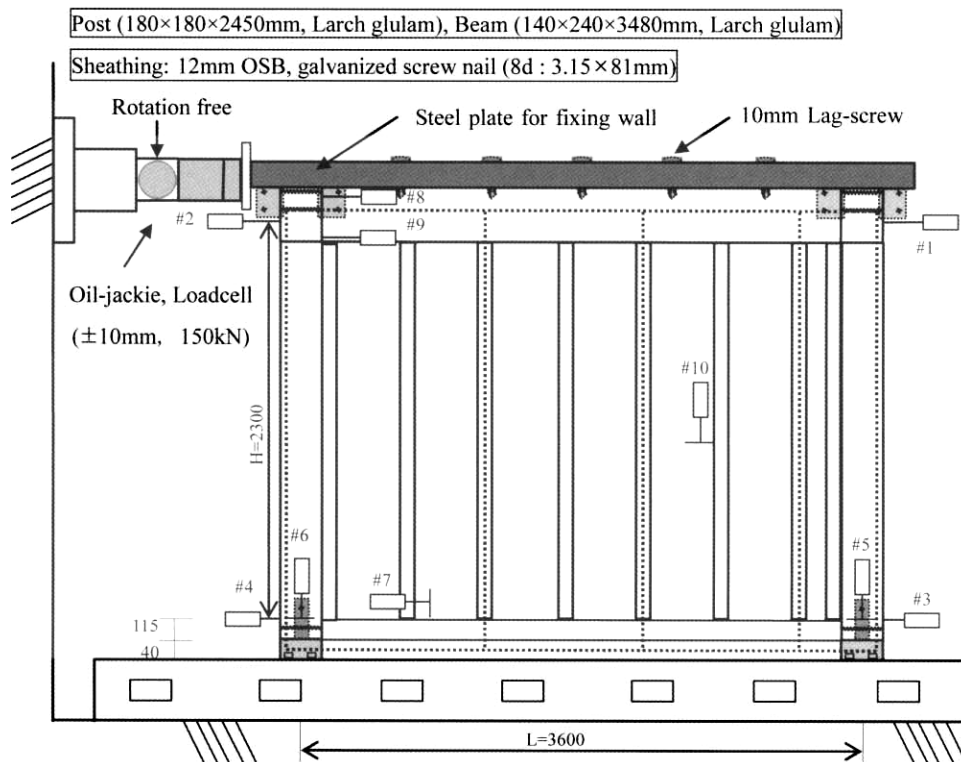


Fig. 2. Wall Specification.

최대 스트로크가 ± 100 mm인 액츄에이터를 사용하였으며, 수평전단 가력에 따른 전단변형에 대해 구조체의 상향력(uplift)에 대응하도록 일부분에 상회전이 가능하도록 회전 장치를 설치하였으며 로드셀(load cell)과 벽구조체 고정용 금속판 사이는 래그나사못(lag screw)으로 연결하였다. 각 구조체는

준정적 반복 하중(quasi-static cyclic load) 시험방법에 따라 자동 가력시스템으로 압축-인장 방식으로 수평전단반복하중이 가해졌으며, 1초 간격으로 하중 및 변위를 수집하였다. 가력 방식은 Fig. 3과 같이 KS F 2154 (2001)를 근거로 ISO-16670 (2003), ASTM E 72 (2001) 및 ASTM E 564 (1998)를 참고

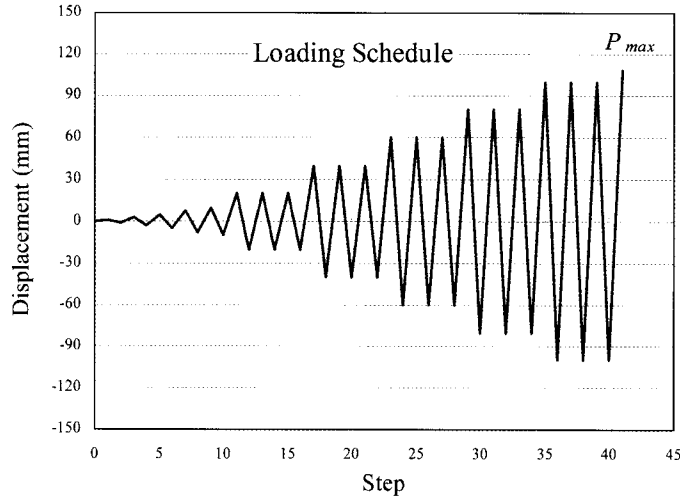


Fig. 3. Loading schedule.

하여 1.25, 2.5, 5, 7.5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 mm의 반복 하중으로 실시하였으며, 스트로크 10 mm까지의 스텝에서는 1회 반복, 그 이후는 3회 반복으로 하였으며 최종단계에서는 최대 스트로크까지 가력하여 실험을 종료하였다. 연직하중을 고려한 무게(통상 200 kgf/m, 1.96 kN/m)를 구조체에 부과하지 않았으며, 구조체의 상향력을 억제하기 위한 고정(hold-down) 철물이나 구조체의 수평이동을 방지하기 위한 스톱퍼(stopper)는 설치하지 않은 수평내력시험을 행하였다. 이러한 방식은 일본(AIJ, 2006)에 있어서는 재래축조공법 및 각종 조립식(prefabricated) 공법 등의 벽배율을 결정하기 위해 주로 이용되는 것으로 인장력을 받는 기둥 주각부의 상향력에 의한 변형이 일어날 가능성이 있으나 안전환 결과를 취할 수 있는 이점이 있다.

2.4. 전단내력성능 평가법

2.4.1. KS 기준(KS F 2154, 2001)

KS 기준에 의한 전단벽의 전단내력성능은 식 (1)과 같이 전단변형(ϕ), 최대 전단내력(S_u), 전단강성계수(G)를 각각 구하여 평가한다. 최대 전단내력의 평가에서는 전단벽의 파괴 때까지 또는 변형이 50 mm가 될 때까지 하중을 가하여 변형을 측정하며,

변형 50 mm는 1/50 rad 정도의 변형각에 해당한다. 전단강성계수는 최대 전단내력의 1/3에 해당하는 값을 그때까지의 변형각으로 나누어 산출한다.

$$\begin{cases} \phi = \frac{\delta_1 - \delta_2}{h} - \frac{\delta_3}{b} \\ S_u = \frac{P_{\max}}{b'} \\ G = \frac{P}{d} \times \frac{a}{b'} \end{cases} \quad (1)$$

여기에서, ϕ : 전단 변형, S_u : 최대 전단내력, G : 전단강성계수, δ_1 : 가력 위치에서의 수평 순변위(m), δ_2 : 전단벽 나비 방향 하부의 수평 순변위(m), δ_3 : 수직방향의 순변위(m), h : 높이 방향의 변위 측정점 사이의 거리(m), b : 전단벽 나비 방향의 변위 측정점 사이의 거리(m), P_{\max} : 최대 하중 또는 변위 50 mm에서의 하중(N), b' : 전단벽 나비(m), P : 최대하중의 1/3, a : 전단벽의 높이(m), d : 총 변위(mm)

2.4.2. 허용전단내력 평가(AIJ, 2006)

일본에서는 허용전단내력(벽배율) 평가법이 2000년 6월 이후 개정되어 Fig. 4와 같은 방법에 의해 허용전단내력을 유도하고 있으며 벽배율의 산정수치도 1.275 N/m에서 1.960 N/m로 개정되어 식 (2)로

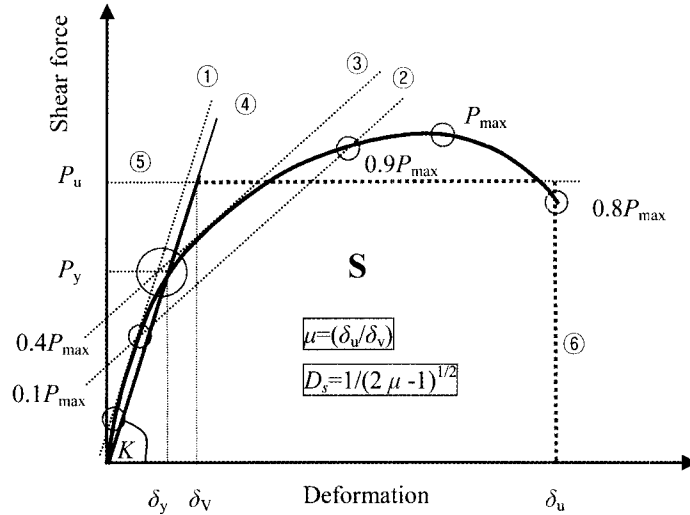


Fig. 4. Calculation method of allowable shear strength (AIJ, 2006).

부터 결정하며, 단기허용전단내력(P_a)은 식 (3)의 P_0 에 내력저감계수(α)를 곱하여 결정한다.

$$\text{Shear Load Factor} = P_a \times (1/1,960) \times (1/L) \quad (2)$$

$$P_0(\min) = \left\{ \begin{array}{l} P_y \\ (0.2/D_s) \cdot P_u \\ 2/3 \cdot P_{\max} \\ P_r (P_{150} \text{ or } P_{120}) \end{array} \right\} \quad (3)$$

허용전단내력(P_a)을 평가함에 있어서 기준허용전단내력(P_0)의 산출은 Fig. 4에서 항복하중(P_y), 최대하중의 $2/3(2/3P_{\max})$, 특정 변형각에서의 하중(P_r), 구조특성을 나타내는 값($(0.2/D_s) \cdot P_u$) 중에서 최소값으로 하고 있다. 여기서, 최근 허용전단내력 산출 방식의 특징은 해석을 위해 이론상으로 도출된 최대하중(P_u)이 시작되는 지점과 최종 지점에 있어서의 변형각의 비율인 μ 가 부가된 것으로 구조특성을 결정짓는 계수(D_s)를 산출하는 데 있어 중요한 인자이다. 이는 내진성능 향상을 위한 항목으로 변형성능이 중요한 요소로 작용한 것이다. 또한, 특정 변형각에서의 하중(P_r)의 경우, 타이로드 방식의 시험에서는 진전단변형각 $1/150$ rad, 재하식 또는 무재하식에서는 결보기 전단변형각 $1/120$ rad에 대응하는 하

중으로 정하고 있다. 최근의 각종 철물접합에 의한 경골목구조 및 기둥-보 공법으로 이루어진 구조체는 상당수가 μ 에 의해 결정되고 있는 실정이다. 초기강성이 높거나 변형성능이 클수록 μ 는 커지게 되며, 최대하중 이후의 변형성능이 클수록 구조체의 안전성이 뛰어나 전단성능이 향상된다.

얻어진 전단력과 변형각의 관계로부터 완전탄소성 분석(bi-linear)을 행하여 초기강성(K), 특정 변형각에서의 하중(P_{120}), 이론상의 최대 하중(P_u) 등을 산출하였다. 완전탄소성 분석은 일반 접합부 및 구조체에 대한 내력성능 평가와 안전성 검토를 위해 이용되어지고 있는 분석법으로 접합부의 내력성능에 요구되는 강성, 강도, 인성(안전성)을 고려한 것이다. 특히, 목재끼리의 짜맞춤이 주를 이루는 전통 목구조 등에서 주로 나타나는 낮은 초기강성과 대변형성능을 고려한 것으로 내력벽의 허용전단내력을 유도하는 방법이다. 완전탄소성 분석은 Fig. 4와 같이 실제 접합부의 각종 시험에 의해 얻어진 실험결과 하중-변형선도에서 최대하중의 80%까지의 흡수 에너지에 해당하는 면적(S)을 산출할 때 필요한 각각의 해당 변형(또는 변형각)과 하중을 결정하여 접합부 또는 구조체를 탄성영역과 소성영역으로 평가하는 방식이다. 이는 장(2002)과 Jang (2002)이 경골목구조의 수평전단내력 시험결과에서 제시한 세

Table 1. Tabulated values of points defining the envelope curves

Type	First envelope curve				Second envelope curve				Third envelope curve			
	Positive		Negative		Positive		Negative		Positive		Negative	
	ϕ (rad)	kN	ϕ (rad)	kN	ϕ (rad)	kN	ϕ (rad)	kN	ϕ (rad)	kN	ϕ (rad)	kN
Frame	0.0005	0.3	-0.0005	-0.3	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.0011	0.4	-0.0010	-0.6	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.0021	0.7	-0.0021	-0.8	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.0032	0.9	-0.0033	-1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.0044	1.1	-0.0044	-1.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.0087	1.8	-0.0086	-2.1	0.0087	1.9	-0.0086	-2.0	0.0087	1.9	-0.0086	-2.0
	0.0179	4.4	-0.0170	-4.0	0.0179	4.4	-0.0170	-3.9	0.0179	4.4	-0.0171	-3.9
	0.0269	6.0	-0.0255	-5.4	0.0270	5.7	-0.0257	-5.2	0.0270	5.7	-0.0256	-5.2
	0.0361	6.9	-0.0344	-5.3	0.0361	5.6	-0.0345	-5.2	0.0359	5.5	-0.0344	-5.0
	0.0449	6.3	-0.0415	-6.2	0.0450	6.2	-0.0415	-6.1	0.0451	6.1	-0.0415	-5.9
Wall	0.0004	8.2	-0.0004	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.0008	9.7	-0.0009	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.0014	12.4	-0.0019	-6.8	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.0022	14.8	-0.0029	-10.3	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.0032	17.8	-0.0034	-13.4	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.0049	27.1	-0.0066	-23.4	0.0063	25.4	-0.0059	-22.4	0.0057	25.0	-0.0062	-21.8
	0.0110	33.1	-0.0113	-29.4	0.0145	30.5	-0.0122	-27.0	0.0142	29.2	-0.0120	-25.5
	0.0224	35.0	-0.0196	-31.1	0.0168	29.3	-0.0196	-24.8	0.0196	24.7	-0.0204	-20.5
	0.0283	27.9	-0.0323	-22.0	0.0327	19.2	-0.0298	-17.7	0.0334	16.8	-0.0302	-16.0
	0.0421	18.3	-0.0384	-17.6	0.0427	16.1	-0.0385	-16.0	0.0424	15.2	-0.0377	-15.0

개의 직선구간으로 구분되는 해석법과는 다소 차이가 있으나 마지막 단계의 직선 부분에 대한 검출 여부는 각 공법에 따른 구조체의 구성에 따라 달라 나타날 수 있으므로 여기서는 전체 결과에 대해 두 개의 직선 영역으로 구성된 완전탄소성으로 가정하였다. 여기서, 최대하중의 10%와 40%에 해당하는 하중을 갖는 초기직선영역(①), 최대하중의 40%와 90%의 하중을 갖는 직선(②), ②의 직선을 하중-변형선도로 오프셋(offset)한 직선(③), ①을 원점에서 시작하도록 조정한 직선 ④를 설정하고, 하중-변형선도의 최대하중 80%까지의 흡수에너지(면적, S)에 해당하는 면적을 산출하기 위한 직선 ⑤를 설정함으로써 직선 ①과 ②가 만나는 지점에 해당하는 하중을 항복하중으로 정하고, 직선 ④와 ⑤의 접점의 변위를 δ_v , 최대하중의 80%에 있어서의 변위(δ_b)로 정하여 분석하는 방법이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 하중-변형 관계

기둥-보 골조구조체와 벽구조체의 수평전단시험에 의한 전단내력 결과를 Table 1에 나타냈다. Table 1에서와 같이 전체 구조체에 있어서 골조만의 최대내력은 6.9 kN 정도였으며 벽구조체에서는 35.0 kN 정도로서 골조의 하중 분담률은 20% 정도로 나타났다. 이는 2차, 3차의 반복하중에서도 플러스(압축)와 마이너스(인장) 측에서 비슷한 변화양상을 보였다. 최대 전단내력은 골조 시험체에서는 1/28변형각(83.0 mm 변위)에서 나타났으나 벽구조체에서는 이보다 훨씬 낮은 1/45변형각(51.5 mm 변위)에서 나타나 변형성능은 상대적으로 떨어짐을 알 수 있다. 이러한 변형성능의 차이는 벽구조체의 전단변형성능은 골조와 함께 면재의 전단성능으로 나타나 골조에 비해 상대적으로 높은 역할분담을 하는 면재에 의해 영향을 받기 때문인 것으로 검토된다.

각 단계별 반복가력에 대해 특정 변형각의 수치 차이는 시험기 액츄에이터의 변위 통제에 의해 시험이 진행됨에 따라 실제 구조체에서의 변위(Fig. 2의 #1과 #2의 조합변위)가 다르게 나타나기 때문이다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 실제 변위에 의한 통제가 필요할 것으로 고찰된다. 최대하중 이전에는 두 번째 및 세 번째 가력단계에 있어서 내력저하는 크지 않았으며, 최대하중과 최대하중 이후에는 반복가력에 의한 변형-내력 관계가 첫 번째 변형-내력 관계에 비해 많은 차이를 나타내었다. 결과 분석을 위한 envelope curve와 완전탄소성 해석에 있어서는 이러한 부분을 제외하여 이용하였다. 그러나 골조구조체에 있어서는 시험기기의 스트로크 관계상 최대하중 80%에 달하지 못한 상태에서 실험을 종료하였다. 이러한 문제점의 보완을 위해서는 스트로크가 큰 액츄에이터의 사용 및 실제 변위에 의한 통제 등 시험법의 개선이 요구되는 부분으로 전통공법과 같이 상대적으로 변형성능이 큰 시험체에 대해서는 시급히 도입되어야 할 사항이기도 하다.

실험으로부터 얻어진 골조구조체와 벽구조체의 전단 변형각(rad)과 전단력(kN) 관계로부터 KS F 2154에 의한 최대 전단내력(S_u)은 골조구조체에서는 1.9 kN/m, 벽구조체에서는 9.7 kN으로 나타나 벽구조체가 골조구조체에 비해 5배 이상 높게 나타났다. 또한, 전단강성계수(G)는 167.4 kN/rad, 8197.6 kN/rad으로 나타나 벽구조체의 전단강성계수가 49배 정도 높게 나타났다.

Fig. 5는 각 시험체의 전단변형각(rad)과 전단하중(전단력)의 관계를 나타낸 것으로 Fig. 2에서 구조체의 하부 변형각(#5와 #6에 대한 변형각으로 그래프에서 Gamma-2에 해당)은 최대내력 도달 시 골조구조체에 있어서는 0.00046 rad, 벽구조체는 0.00007 rad 정도로 그래프에서 Gamma-3에 해당하는 전단변형각 0.03514, 0.01298 rad에 끼치는 영향은 미미하여 본 시험사양의 기둥-보 구조에서는 상향력의 영향은 크게 고려하지 않아도 좋을 것으로 판단되었다. 그래프에서 최대내력 이후의 반복하중은 가력스케줄이 자동적으로 이루어진 때문이며, 최대하중에 달한 이후의 변형-하중을 반복가력 없이

지속적으로 측정하는 것이 올바른 구조내력을 평가하는데 필수적이므로 이에 대한 시험방법의 검토가 필요하다.

골조구조체와 벽구조체간의 전단변형성능에 있어서 차이가 크게 나타나 골조구조체의 최대하중까지의 변형성능이 벽구조체에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 못접합에 의해 면재 및 스티드 등이 모두 설치된 벽구조체에 비해 기둥과 보만으로 구성된 골조구조체는 주각부 및 기둥-보 접합부의 편에서 대부분의 변형이 발생하여 전체 구조체의 변형 증대로 나타나 최대하중까지의 변형성능은 크게 나타났으며, 벽구조체에 있어서는 기둥과 보 및 스티드와 각종 깔도리에 못접합된 면재로부터 하중을 부담하게 되므로 상대적으로 변형성능이 작은 면재에서 최대내력을 결정짓게 된다. 이는 전체 구조체에 있어서의 변형에 대한 접합부의 내력성능이 약한 모서리 부분의 못으로부터 변형이 시작되어 면재에 설치된 전체 못에 대해 점차적으로 내력에 가담하게 되는 일련의 과정을 거치면서 전체의 변형성능과 내력성능을 발휘하게 된다. 따라서 못의 변형성능과 항복 전단내력 및 최대 전단내력 요소들이 면재로 구성된 구조체의 변형성능과 내력을 결정짓는 중요한 요소가 되는 것이다. 못의 직경, 못의 미끄러짐 성능, 못의 개수, 못의 배치, 타정 방법 등에 따라서 면재의 성능은 크게 달라지므로 면재로 벽을 구성하는 구조체에 있어서는 염두에 두어야 할 부분이다.

각 구조체의 기둥-보 접합부에 있어서 모멘트저항성능은 골조구조체의 경우, 최대모멘트(M_u)가 1.0 kN·m, 모멘트강성(K_m)은 32.0 kN·m/rad, 벽구조체에 있어서는 최대모멘트가 5.6 kN·m, 모멘트강성은 1229.9 kN·m/rad으로 각각 나타났다. 골조구조체와 벽구조체의 모멘트저항성능 비율은 최대모멘트에서는 18.6%, 모멘트강성에 있어서는 2.6%에 해당하여 구조체 전체의 전단내력-변형성능을 비교한 것과 거의 같은 경향을 나타냈다. 이러한 기둥-보 부분의 접합부를 개량하기 위해서는 본 연구에서 사용된 철물보다 치수가 큰 철물, 즉 전체 보의 춤에 대응하는 철물의 사용이 요구되며 편 의 직경을 크게 하는 방법 등에 대한 차후 연구·검토가 요구

프리컷 방식을 적용한 기둥-보 공법의 수평전단내력

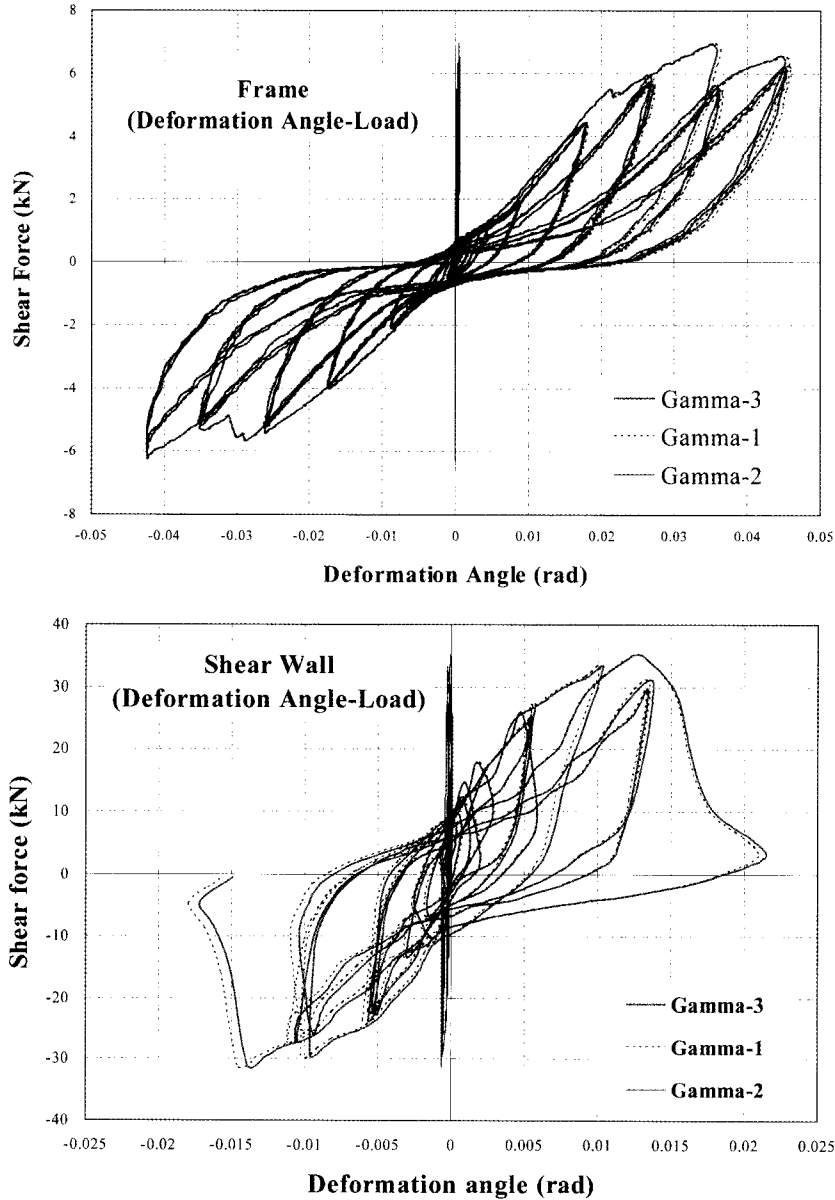


Fig. 5. Relationships between deformation angle and shear force of each specimen.

되고 있다.

또한, 최대하중에서의 면재간의 미끄러짐은 14.5 mm로 나타났으며, 토대의 횡방향 미끄러짐은 2.8 mm 정도였다. 면재간의 미끄러짐은 구조체 전체에 있어서의 전단변형에 대한 각각의 면재 요소(panel)에 있어서의 못접합부의 변형에 의한 것이다. 면재

간의 전단내력성능에 차이가 있을 경우에는 인접한 면재에 전단력을 부여하여 전체 면재의 변형을 유발하며(Fig. 6(c) 참조), 면재의 두께가 너무 얇거나 못의 배치가 부적절할 경우에는 면재의 좌굴이 발생할 우려도 있다. 토대의 미끄러짐은 면재와 토대간의 못접합부가 수평전단내력에 대한 저항으로 발생

Table 2. Results by bi-linear analysis

Specimen	P_{max} (kN)	K (kN/rad)	P_u	$\mu = \delta_u / \delta_v$	D_s
Frame 1st	694	216	71	139	0.75
Frame 2nd	6.21	225	50	207	0.56
Frame 3rd	6.06	221	47	213	0.55
Wall 1st	35.03	3486	398	133	0.78
Wall 2nd	30.52	5292	208	3.49	0.41
Wall 3rd	29.16	4069	200	3.34	0.42

* Legends are referenced in Fig. 4

하지만 볼트로 기초와 고정하여 구속 상태를 유지하고 주각부 접합철물이 기초에 고정되는 등으로 인해 구조체에 피해를 입힐 정도의 영향을 끼치지 않는 것으로 여겨진다.

한편, 얻어진 데이터분석에 있어서 현행 KS 및 ISO 기준은 특정 변위(변형각)와 그에 상응하는 전단내력을 보고하도록 하고 있으나, 내진설계 등을 고려한 일본의 규격(AIJ, 2006)과 같이 보다 면밀한 데이터분석이 필요할 것으로 검토된다.

3.2. 벽배율

벽구조체에 대해 일본건축학회에서 규정한 식 (2)와 (3)으로부터 허용전단내력(P_n)과 벽배율을 산출한 결과, P_n 는 식 (3)의 두 번째 항목인 D_s 에 의한 P_0 가 16.2 kN으로 가장 낮게 나타나 1.72의 벽배율을 나타내었으며 이는 벽배율 1.5에 해당한다. 이 벽배율은 두께 30 mm 이상, 폭 90 mm 이상의 목재 가새를 넣은 축조에 해당하는 것이다(AIJ, 2006). 본 연구에서의 벽구조체는 한쪽에만 면제를 설치한 벽시공 방식으로 오에스비의 내력 요소만 포함한 것이므로 실제 마무리된 벽구조에서는 보다 뛰어난 전단 성능을 발휘할 것으로 예측된다.

허용전단내력 산출에 필요한 완전탄소성 해석에 있어서 각 층의 구조특성을 나타내는 계수(D_s)는 특정 건축물의 구조내력상 주요한 부분의 구조방법에 따른 감쇄성 및 각 층의 인성을 고려한 정수이다. 이 계수를 특징짓는 인자 μ 는 변형성능에 대한 성능을 고려한 것으로 구조안정성이 요구되는 내진설계에 있어서 매우 중요한 것으로 최근 일본의 목구조설계

에 도입된 인자로써 거의 대부분의 목조건축물의 내력설계에서 결정인자로 자리 잡고 있다(AIJ, 2006).

실험으로부터 얻어진 변형각(rad)과 전단력(kN) 관계로부터 완전탄소성 분석에 의한 결과를 Table 2에 나타냈다. 벽구조체의 전단강성계수는 골구조체보다 완전탄소성 분석에서는 15~18배 정도 높은 것으로 나타났다. 벽구조체에 있어서의 높은 강성은 골조를 포함한 면제 전체에서의 못접합부를 통해 발휘된 것으로 골조의 P_0 비율(골구조체의 P_0 /벽구조체의 P_0)은 17.8% 정도였다. 완전탄소성 분석에 의한 강성 계수는 KS 기준에 의한 강성계수의 비 49배보다 낮게 평가되었다.

Envelope curve로부터 Table 2와 같은 완전탄소성 분석을 위한 최대하중 이후의 하중-변형 관계를 보다 정량적으로 획득하기 위해서는 적어도 한 개의 시험체에 대해서 단조증가 혹은 압축가력에 있어서의 반복하중만으로 최대하중을 먼저 알아둘 필요가 있을 것으로 검토된다. 즉, 시험기의 최대 스트로크 용량을 중시한 현행 시험법보다는 변형각에 의한 압축-인장(push & pull) 반복시험을 행하되 최대하중이 측정되면 곧바로 단조증가로 시험을 이행하여 최대하중의 80% 값을 취할 수 있도록 시험방법이 검토되어야 할 것으로 여겨진다.

3.3. 파괴형상과 따냄의 적절성

파괴형상은 Fig. 6에서와 같이 골조에 있어서 60 mm 부근의 변위에서 특히 주각부의 상향력(up-lift)에 의해 핀 접합부에서의 기동부재 활렬이 심하였다. 벽체의 최대하중(내력)은 골조에 비해 낮은

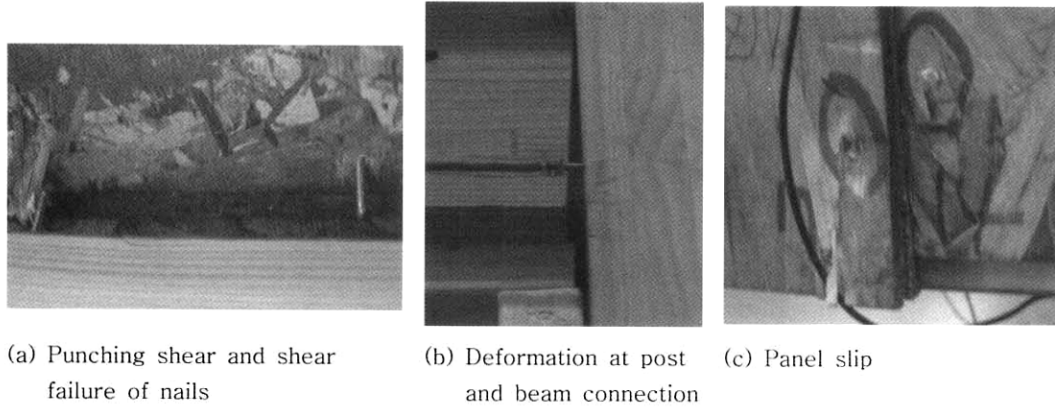


Fig. 6. Failures.

변위 정도에서 나타났으며 Fig. 6에서와 같이 면재의 변형에 의한 못의 펀칭쉬어(punching shear)와 전단파괴(꿨어짐) 등으로 인해 잔여 못과 골조만으로 하중이 분담되면서 전체적인 내력이 저하한 것으로 여겨지며, 못의 미끄러짐(slip) 성능향상과 접합철물의 개량으로 구조체에 강성과 유연성을 더욱 부여할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

한편, 따냄 부위에 대한 적절성은 벽구조체에서 최대하중 시점에서 2.6 mm, 골조구조체에 있어서는 6.2 mm의 돌출을 나타내어 따냄 깊이 30 mm는 충분히 여유가 있는 것으로 평가된다(Fig. 6(b) 참조).

이상의 결과로부터 본 연구에서 이용된 벽구조체의 전단성능 향상을 위해서는 골조를 형성하는 접합철물의 개선과 벽체의 구성에 대한 연구가 더욱 이루어져야 할 필요성이 제기되었다. 이를 위해서는 단면 결손을 최대한 줄이면서 시공성과 심미성을 함께 고려한 기둥 접합철물 개발과 모멘트저항성능을 향상시킬 수 있는 기둥-보 접합철물의 개발에 대한 차후 연구가 이루어져야 할 것이다.

4. 결 론

전통목구조에 있어 널리 사용되는 짜맞춤 공법을 응용한 기계 프리컷 방식으로 드리프트 핀 접합한 기둥-보 공법에 대해 수평전단내력 평가를 행하였다. 기계 프리컷 가공된 국산 조림 낙엽송 집성재 부

재로부터 기둥-보 공법으로 이루어진 골조구조체, 골조와 경골목구조 공법을 혼용한 벽구조체에 대해 수평반복전단시험을 행하여 얻어진 하중-변위로부터 전단 변형과 전단력의 관계를 산출하였다. 골조구조체는 벽구조체에 비해 하중 분담율이 20% 정도였으며, 전단벽의 최대 전단내력은 골조구조체에 비해 낮은 변형 단계에서 나타나 상대적으로 변형능이 낮게 나타났다. 이러한 전단내력벽의 성능 향상을 위해서는 기둥 및 기둥-보, 못과 면재에 대한 차후 검토가 필요한 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 한국표준협회. 2001. KS F 2154. 경골 목조 전단벽의 전단 시험 방법.
2. 심상로, 여환명, 심국보. 2005. 이수종 구조용집성재의 전단접착력 및 접착내구성 평가. 목재공학. 33(1): 87~96.
3. 여환명, 심국보, 김운섭, 엄창득, 한연중, 심상로. 2006. 리기다소나무와 낙엽송 혼합 이수종 구조용집성재 강도성능 평가. 2006 학술발표논문집. 한국목재공학회. pp. 172~173.
4. 장상식. 2002. 전단벽의 전단성능 예측 모형. 목재공학. 30(4): 96~105.
5. 日本建築學會(AIJ). 2006. 木質構造設計規準・同解説 -許容応力度・許容耐力設計法-, pp. 109~115.
6. 平嶋義彦, 田原 賢. 2006. 合板張り軸組および筋かい入り軸組の水平せん断試験. 木材學會誌. 52(5): 312~319.

7. American Society for Testing and Materials. 2001. ASTM E 72-01. Standard test methods of conducting strength tests of panels fro building construction.
8. American Society for Testing and Materials. 1998. ASTM E 564-98. Standard practice for static load test fro shear resistance of framed walls for construction.
9. The International Organization for Standard. 2003. ISO16670. Timber structures-Joints made with mechanical fasteners-Quasi-static reversed-cyclic test method.
10. Itani, R. Y., R. L. Tuomi, and W. J. McCutcheon. 1982. Methodology to evaluate racking resistance of nailed walls.
11. Jang, S. S. 2002. Effects of stud spacing, sheathing material and aspect-ratio on racking resistance of shear walls. Mokchae Gonghak. 30(3): 97~103.
12. Shim, K. B. 2005. Structural utilization of planted softwood in Korea. In: Symposium on Engineering Properties and Uses of Plantation Timber. pp. 51~69.