H형강 접합부를 갖는 목조 골조의 보강형식에 따른 구조성능

Structural performance by strengthening types of wood frames using H shaped steel joints

김 순 철* 문 연 준* 양 일 승** 박 근 홍***
Kim, Soon-Chul Moon, Youn-Joon Yang, Il-Seung Park, Guen-Hong

Abstract

The effective mixture of structural laminated timber and other materials is expected to extend the potentials of building structures because of the potentials to realize high performance in structural safety. The classical joint types using drift pin and bolts are occurred local failures due to the small bearing area. In result, new joints using H shaped steel were suggested in this research. The objective of this study is to evaluate elasto-plastic behaviors by strengthening types of wood frames with new joints connecting structural laminated timber with H shaped steel. A total of five specimens of about one-second scale were tested. Specimens had columns with 1,050 height and 84mmx100mm section, and a beams with 1,950mm length and 130mmx100mm section. Also, the specimens were stiffened by brace, hwang-toh brick, and autoclaved lightweight concrete. The results of the test showed that the specimen stiffened with autoclaved lightweight concrete was characterized by fairly good strength and stiffness than those of the other specimens. Initial stiffness of H-2.0D-NS specimen with 2 times inserting length of beam height showed 1.33 times than that of H-1.5D-NS specimen. However, the strength of H-2.0D-NS specimen has not improved too much than H-1.5D-NS specimen.

키워드 : 목구조, 구조용집성재, 반복가력, 전단강도, 가새, 하이브리드, 삽입길이
Keywords : Wood frame, Structural laminated timber, Cyclic loading, Shear strength, Brace, Hybrid, Inserting length

1. 연구 배경 및 목적

건축구조의 대표적인 구조재료에는 목재, 강재, 및 콘크리트 등이 있다. 그 중에 목재는 수목이 광합성에 의해 대기로부터 흡수·고정한 탄소를 축적하고 있으며, 가공·이용 과정에서의 에너지 소비(대기 중의 산소방출)가 적다. 그래서, 목재를 적절하게 장시간 사용한다면, 환경조화성이 매우 뛰어난 재료라고 할 수가 있다. 한편, 강도이방성, 함수율에 의한 강도 변화, 수분에 의한 수축팽창, 자연적 결함 및 크리프로 발생 등과 같은 단점을 가지고 있다. 이러한 목재의 결점을 보완하기 위한 방안으로 구조용집성재가 사용되고 있지만, 기존의 드리프트 핀이나 볼트에 의한 접합은 지압면적이 작기 때문에 국부적인 파괴가 발생하여, 실질적인 목재강도를 충분히 반영한 설계가 어렵다. 따라서, 본 연구는 접합장치에 의한 지압파괴를 방지하기 위하여 그림 1과 같이 H형강을 이용한 접합장치를 제안하였고, 보-기둥 접합실험 등을 통하여 유효성을 검증하였다. 또한 구조용집성재와 H형강을 이용한 목조 골조의 내력 및 강성을 향상방안으로 가새(brace), 황토벽돌(hwang-toh brick), ALC (autoclaved lightweight concrete) 블록을 사용한 벽체에 대한 구조적 성능을 실험을 통하여 규명하고자 한다.

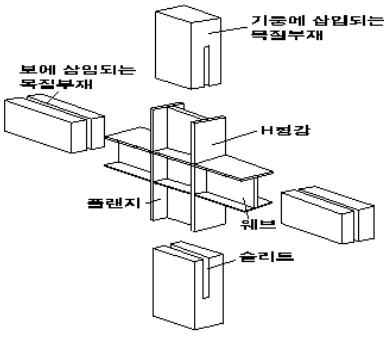


그림 1. 보-기둥 접합장치

2. 실험 개요

2.1 시험체 계획

시험체는 H형강 접합부와 구조용집성재로 구성된 목조 골조의 내력 및 강성을 향상시키기 위한 방안으로 가새, 황토벽돌, ALC블록으로 보강하였으며, 표 1과 그림 2에

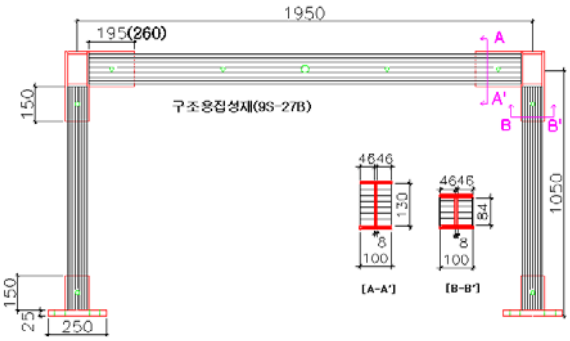
* 동신대학교 문화건축학부, 교수
** 동신대학교 문화건축학부, 전임교수
*** 교신저자, 서남대학교 건축공학과, 교수
(pgh615@hanmail.net)

나타내었다. 기둥과 보의 전체길이는 각각 1,050(mm), 1,950(mm)으로, 구조용집성재의 기둥단면은 100x84(mm)이고, 보단면은 46x100(mm)의 부재를 양쪽에 사용하고, 중간에 6mm강판을 삽입하였다. 또한, 기둥의 구조용집성재에는 8mm의 슬리트(slit)를 가공하여 H형강의 웨브에 삽입할 수 있도록 하였다. 기둥접합과 보접합에 사용하는 H형강은 H-100x100x6x8(mm)과 H-148x100x6x9(mm)를 사용하였다. 기둥의 하단부에 사용한 베이스플레이트(base plate)는 국부변형을 방지하기 위하여 250x250x25(mm)로 과대하게 설계하였다. 그리고, 황토벽돌과 ALC블록을 쌓은 시험체는 조적을 위해 좌우 베이스플레이트의 끝단에 ㄷ형강(ㄷ-125x65x6x8(mm))을 용접하여 설치하였다. H-1.5D-NS시험체와 H-2.0D-NS시험체는 순수한 목조골조로 보부재의 삽입길이가 보춤(D=130mm)의 1.5배(195mm), 2.0배(260mm)인 시험체이다. 그리고, H-1.5D-B시험체는 가새(ϕ8, SS400)를 이용하여 목조골조를 보강한 시험체로 가새의 중간에 설치한 턴버클을 이용하여 조였으며, 보부재의 삽입길이는 보춤의 1.5배로 하였다. 또한, H-1.5D-HB시험체는 황토벽돌(285x150x80 (mm))을 조적하여 보강하였으며, 구조용집성재의 삽입길이는 보춤의 1.5배로 하였다. 마지막으로 H-1.5D-ALC시험체는 ALC블럭(600x400x100(mm))으로 목조골조를 보강하였으며, 구조용집성재의 삽입길이는 보춤의 1.5배로 하였다. 단, 모든 시험체에서, 기둥에서 구조용집성재의 H형강 웨브에의 삽입길이는 기둥 춤(D=100(mm))의 1.5배로 제작하였다.

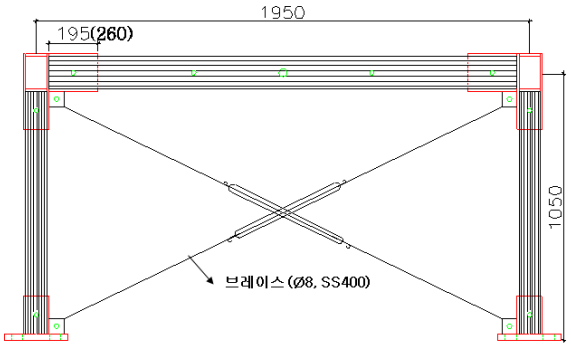
표 1. 수평하중 시험체 개요

시험체명	보강형식	삽입길이 (mm)	구조용집성재 (B×D×L)(mm)	접합장치
H-1.5D-NS	-	195	기둥:84×100×956 보:46×130×1850	기둥 H-100×100×6×8 보 H-148×100×6×9
H-2.0D-NS	-	260		
H-1.5D-B	브레이스	195		
H-1.5D-HB	황토벽돌	195		
H-1.5D-ALC	ALC블록	195		

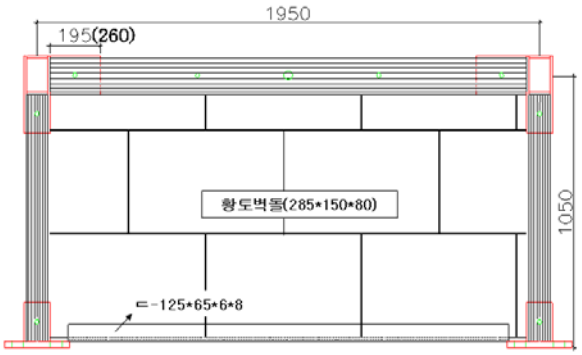
여기서, H-□-□
- 보강형식 : NS(무보강), B(가새), HB(황토벽돌) ALC(ALC블록)
- 구조용집성재 삽입길이:1.5D, 2.0D
- 접합장치 : H형강



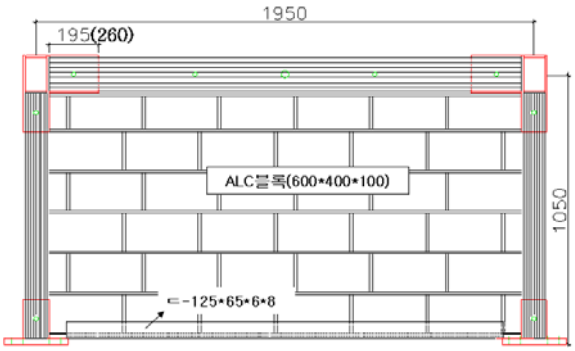
(a) H-1.5(2.0)D-NS



(b) H-1.5D-B



(c) H-1.5D-HB



(d) H-1.5D-ALC

그림 2. 시험체 상세

2.2 시험체 설치 및 가력

시험체 설치는 그림 3에 나타낸 것과 같이 우선 베이스플레이트에 용접된 H형강을 고정시킨 후 슬리트 가공된 구조용집성재 기둥을 삽입하고 H형강으로 제작된 보-기둥 접합장치를 기둥부재의 상단에 결합였다. 마지막으로, 구조용집성재 보를 양쪽 측면에서 삽입한 후에 볼트를 사용하여 4개소에서 고정하여 목조골조를 완성하였다. 또한, 보강된 시험체의 경우, 목조 골조를 완성한 후에 가새, 황토벽돌, ALC블록으로 보강하였다. 가력방법으로 그림 3에 나타낸 것과 같이 기둥하단으로부터 1,050mm위치에 설치된 유압잭(oil-jack)을 이용하여 수평하중(Q)을 가력하였으며, 유압잭 헤드에 설치된 100kN용량의 로드셀(load cell)을 사용하여 하중을 측정하였다.

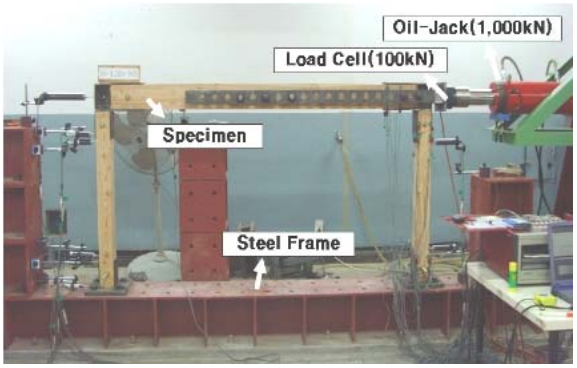


그림 3. 시험체 설치상황

2.3 이력 프로그램

가력은 목조골조의 탄성영역과 소성영역에서의 거동을 평가하기 위하여 변위제어를 실시하였다. 이력프로그램은 층간변형각을 기준으로 정부 반복으로 ±1/200rad., ±1/100rad., ±1/67rad., ±1/50rad., ±1/40rad., ±1/30rad., +1/25rad., ±1/20rad., ±1/15rad., ±1/10rad.순으로 가력하였다. 층간변형각(drift angle)은 가력위치에서 수평변위(δ)를 기둥높이(H)로 나눈 값으로 정의하였다.

2.4 측정방법

변위계는 그림 4에 나타낸 것과 같이 벽체의 전체 수평변위를 측정하기 위하여 D1을 설치하였고, 강재와 구조용집성재 각각의 변형은 D2~D8을 설치하여 측정하였으며, 횡변위를 측정하기 위하여 D9를 설치하였다. 한편, 형강과 구조용집성재의 지압응력 및 변형도 및 가새의 측변형을 측정하기 위하여 강재용 스트레인게이지와 목재용 스트레인게이지를 부착하였다.

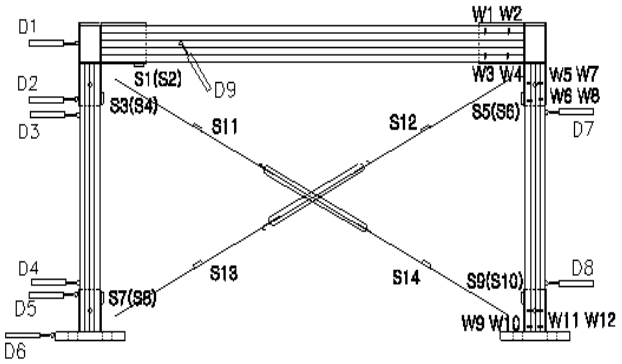


그림 4. 변위계 및 게이지 설치 위치

2.5 소재시험 결과

2.5.1 강재

인장시험은 KS B 0802(금속재료 인장시험 방법)에 준하여 보와 기둥의 플랜지와 웨브 및 가새를 대상으로 각각 3개씩 시편을 취하여 인장시험을 행하였으며, 시험결과의 평균치를 표 2에 나타내었다. 단, 연신율은 기준표점을 50(mm)로 하여 계산하였다. 표 2에 나타낸 것과 같이 모든 부재에서 KS규준을 만족한 것을 알 수가 있었다.

표 2. 강재의 소재시험 결과

부위		두께 (mm)	항복점 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
기둥	플랜지	9	334.9	485.8	27.2
	웨브	6	360.9	492.3	26.4
보	플랜지	8	299.5	450.6	29.8
	웨브	6	346.7	475.8	27.6
가새		8	347.4	489.3	33.2

2.5.2 구조용집성재의 최외층재

목조골조에 사용한 구조용집성재(9S-27B, 대칭다른등급)의 재료특성을 파악하기 위하여 휨부재에서 가장 중요한 최외층재를 대상으로 기계응력등급, E11에 대한 휨시험과 부분압축시험을 실시하였다. 목재의 비중과 함수율은 강도 및 탄성계수에 매우 큰 영향을 미친다고 알려져 있다. 따라서, 그림 5(a)와 같은 최대 300g까지 측정할 수 있는 전자저울을 사용하였으며, 함수율 측정기(CSA eletronic GmbH)를 이용하여 시험 전 시험편의 중앙부분을 측정하였다(그림 5(b)).

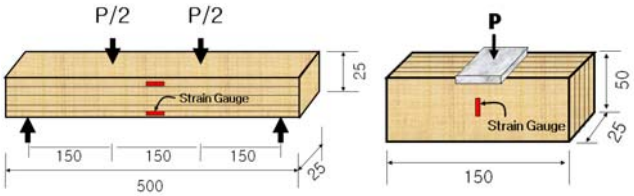
휨시험편은 KS F 2208(목재의 휨시험)에 따라, 그림 6(a)에 나타낸 것과 같이 단면 25x25(mm)인 정사각형으로 하며, 길이는 보춤의 20배인 500(mm)로 제작하였고, 경간길이는 450(mm)로 하였다. 한편, 부분압축시험편은 그림 6(b)에 나타낸 것과 같이 횡단면 높이, 나비 및 섬유방향의 길이는 50(mm), 50(mm), 150(mm)인 직육면체의 형태로 제작하였다. 시험편 개수는 목재 자체의 재료적 특성을 감안하여 각 시험편에 대해서 10개 이상 제작하였다. 목재에대한 휨 및 부분압축 시험 결과를 표 3에 나타내었다. 실험 전에 함수율과 비중은 각각 6.5~7.6%, 0.46~0.58g/cm^{3}이었다. 함수율은 15% 이내로 KS규준치를 만족하였다. 휨탄성계수의 평균치는 15.95GPa로 규준치(11.0GPa)의 1.46배로 나타났으며, 휨응력의 평균치는 65.89MPa로 규준치(45MPa)의 약 1.46배로 규준치를 만족하였다. 한편, 부분압축응력의 평균치는 4.65MPa로 JIS에서 규정하고 있는 기준허용도에 비해 1.60~2.45배 정도의 값을 나타내었다. 휨시험체의 파괴형태는 그림 7(a)와 같이 섬유결 방향으로 파괴되었으며, 부분압축시험의 파괴유형은 그림 7(b)에 나타낸 것과 같이 가력지그 단부에서 지압에 의한 균열이 발생하지만, 내력저하 없이 그대로 눌리는 파괴형태를 나타내었다.

표 3. 구조용집성재 최외층재의 물리적 특성

함수율 (%)	비중 (g/cm3)	휨시험		부분압축시험	
		강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)
6.5~7.6	0.46~0.58	65.89	15.95	4.65	233.84

(a) 무게 측정 (b) 함수율 측정

그림 5. 비중 및 함수율 측정



(a) 휨시험편 (b) 부분압축시험편

그림 6. 시험편 형태

(a) 휨시험편 (b) 부분압축시험편

그림 7. 시험편 파괴형태

3. 실험결과

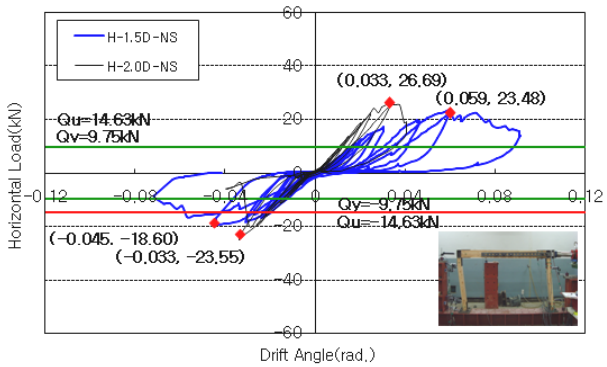
3.1 수평하중과 층간변형각의 관계

실험결과를 그림 8과 표 4에 나타내었으며 그림 8안에 무보강형식의 목조골조에 대한 항복하중(Qy)과 최대하중(Qu) 계산치를 나타내었다. 여기서, 층간변형각은 수평변위(D1)값을 기둥하단에서 가력위치까지의 거리(1,050mm)로 나눈 값으로 정의하였다. 정방향은 우측에서 좌측으로 가력한 경우를 나타내고 있다.

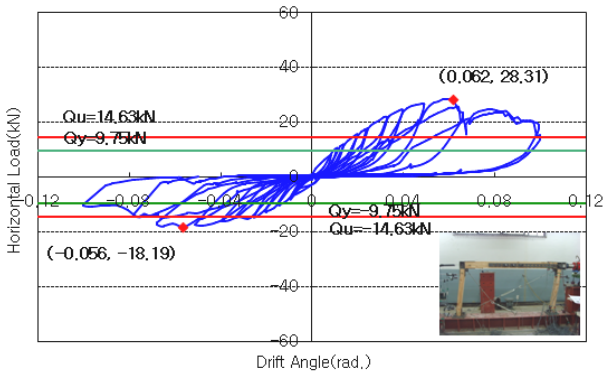
무보강형식으로 보의 삽입길이가 보춤(D)의 1.5배인 H-1.5D-NS시험체의 정방향(부방향)에서의 최대하중과 최대내력시 층간변형각은 23.48kN(-18.6kN), 0.059rad.(-0.045rad.)으로 나타났다. 균열은 H-1.5D-NS 시험체의 경우, -1/30rad.에서 우측기둥 상단의 볼트주변에서 발생하였으며, 1/25rad.에서는 보의 우측에서 발생하였다(그림 9(a)). 그리고, +1/15rad.에서 우측 기둥의 상단에서 지압파괴로 내력이 크게 저하되었다. 한편, 무보강형식이며 보의 삽입길이가 보춤의 2.0배인 H-2.0D-NS시험체의 정방향(부방향)에서의 최대하중과 최대내력시 층간변형각은 각각 26.69kN(-23.55kN), 0.033rad(-0.033rad)으로 나타났다. +1/40rad.에서 좌측기둥 주각부의 볼트주변에서 균열과 주두 부분에서 균열이 관찰되었으며, 1/30rad.에서는 좌측기둥 상단과 우측기둥의 하단부에서 파단이 발생하여 내력이 급격하게 저하되었다. 가새로 보강한 H-1.5D-B시험체의 정방향(부방향)의 최대내력과 최대내력시 층간변형각은 28.31kN(-18.19kN), 0.062rad.(-0.056rad.)나타났으며, -1/15rad.에서 좌측기둥의 하단의 볼트주변에서 균열이 발생하여 내력이 완만하게 저하였다. 그리고, +1/10rad.에서는 좌측기둥의 주각과 주두뿐만 아니라 우측기둥 하단에서 균열이 발생하였으며, 가새가 크게 변형되었다(그림 9(b)). 벽체부분에 황토벽돌을 사용하여 보강한 H-1.5D-HB시험체의 정방향(부방향)의 최대내력과 최대내력시 층간변형각은 30.97kN(-31.78kN), 0.067rad. (-0.068rad.)로 나타났으며, -1/200rad.에서 처음으로 황토벽돌 부분에서 균열이 육안으로 확인되었고, 하중증가에 따라 균열이 확대되어 1/20rad에서 +20mm이상의 균열과 황토벽체의 배부름 현상이 관찰되었다. 한편, 목재에서는 -1/20rad.에서 균열이 관찰되었으며, -1/10rad에서 좌측기둥의 상하단에서 구조용집성재가 파단되었다(그림 9(c)). 마지막으로, 목조벽체에 ALC블록을 사용하여 보강한 H-1.5D-ALC시험체의 정방향(부방향)에서 최대내력과 최대내력시 층간변형각은 각각 51.54kN(-56.66kN), 0.02rad.(-0.017rad.)으로 나타났다(그림 9(d)). +1/200rad.에서 ALC블록에 전단균열과 -1/200rad.에서의 2mm정도의 수평균열이 육안으로 관찰되었다. 하중의 증가에 의해 전단균열이 확대되었으며, +1/30rad.에서 ALC블록의 전단균열폭이 36.7mm정도로 벽체의 기능을 완전히 상실하였다. 한편, 구조용집성재는 -1/30rad.에서 좌측기둥의 중앙부에서 균열이 발생하였으며, +1/20rad.에서는 우측기둥의 주각부에서 파단되었다.

표 4. 실험결과

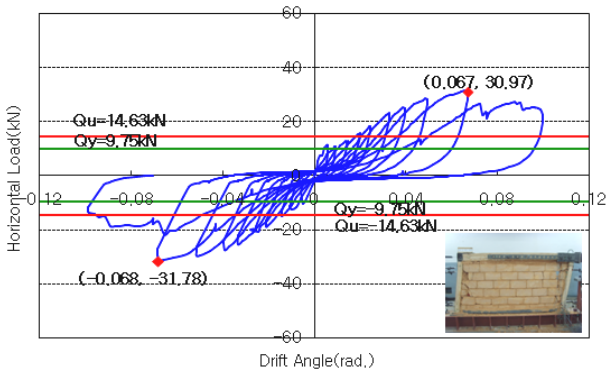
시험체명	정방향(+)			부방향(-)			이론값	
	$_{E}K_{pi}$ (kN/mm)	$_{E}Q_{py}$ (kN)	$_{E}Q_{pm}$ (kN)	$_{E}K_{ni}$ (kN/mm)	$_{E}Q_{ny}$ (kN)	$_{E}Q_{nm}$ (kN)	$_{A}Q_{y}$ (kN)	$_{A}Q_{m}$ (kN)
H-1.5D-NS	0.63	11.94	23.48	0.57	12.27	18.60	9.75	14.63
H-2.0D-NS	0.84	13.67	26.69	0.81	12.69	23.55		
H-1.5D-B	0.92	14.55	28.31	0.89	12.66	18.19		
H-1.5D-HB	1.80	12.34	30.97	1.76	13.85	31.78		
H-1.5D-ALC	3.93	18.05	51.44	3.85	17.39	56.66		



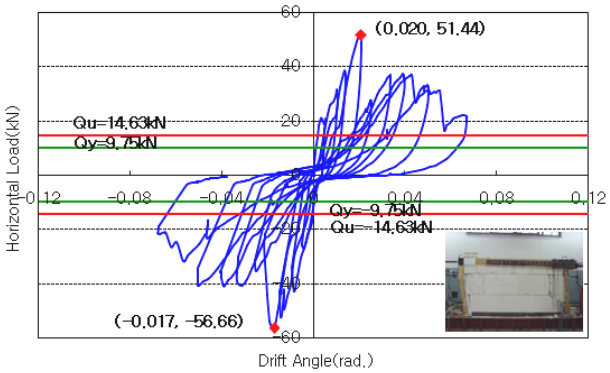
(a) H-1.5D(2.0D)-NS



(b) H-1.5D-B



(c) H-1.5D-HB



(d) H-1.5D-ALC

그림 8. 수평하중과 층간변형각의 관계

(a) 볼트주변의 균열 (b) 가새의 변형

(c) 황토벽돌의 전단균열 (d) ALC블록의 전단균열

그림 9. 시험체의 파단상황

4. 분석 및 고찰

4.1 초기강성

그림 10은 목조골조의 보강형식에 따른 초기강성을 나타내고 있다. 여기서, 초기강성은 1/200rad.에서의 강성을 초기강성으로 정의하였다.

무보강 형식의 목조골조인 H-1.5D-NS시험체의 정(부)방향에서의 초기강성은 0.63(0.57)kN/mm로 큰 차이가 없는 것을 알 수가 있다. 한편, 무보강 형식으로 구조용집성재를 H형강의 웨브에 보춤(D)의 2.0배를 삽입한 H-2.0D-NS시험체의 정(부)방향에서의 초기강성은 각각 0.84 (0.81) kN/mm로 H-1.5D-NS시험체의 1.3배 정도의 높은 값을 나타내었다. 이는 힘을 전달하는 지압면적이 크기 때문으로 판단된다. H-1.5D-NS시험체에 가새(φ8)를 X자로 보강한 H-1.5D- B시험체의 정(부)방향에서의 초기강성은 0.92(0.89)kN/ mm로 H-1.5D-NS시험체의 1.46배로 큰 값을 나타내었다. 그리고, 황토벽돌과 ALC블록을 사용하여 H-1.5D-NS시험체을 보강한 H-1.5D-HB 시험체와 H-1.5D-ALC시험체의 정(부)방향의 초기강성은 각각 1.80(1.76)kN/mm, 3.93(3.85)kN/mm로 H-1.5D-NS 시험체의 2.85배와 6.23배로 매우 높은 값을 나타내었다. 이상에서 목조골조의 보강형식에 따른 초기강성은 ALC 블록>황토벽돌>가새>삽입길이 순으로 효과가 뛰어난 것으로 나타났다.

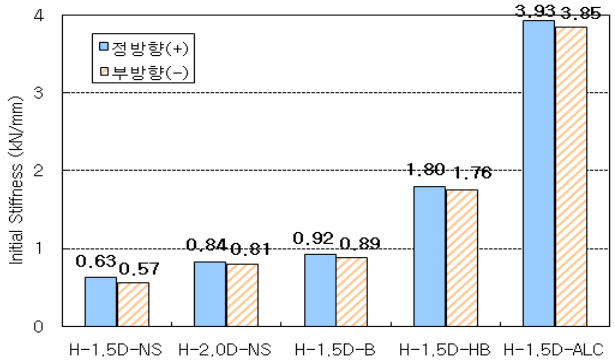


그림 10. 접합방식에 따른 초기강성

4.2 항복하중과 최대하중

그림 11은 각 시험체별로 정방향에서 항복하중과 최대하중을 나타내고 있다. 단, 항복하중은 초기강성에 비해서 강성이 급격하게 저하되는 하중으로 정의하였다. 무보강형식의 H-1.5D-NS시험체의 항복하중과 최대하중은 11.9kN, 23.5kN이었으며, 목조골조 계산치의 1.22배, 1.6배로 나타났다. 한편, 구조용집성재의 삽입길이가 보춤(130)의 2배인 H-2.0D-NS시험체의 항복하중과 최대하중은 13.7kN, 26.7kN으로 목조골조 계산치의 1.4배, 1.82배로 H-1.5D-NS시험체에 비해 높은 값을 나타내었다.

가새로 보강한 H-1.5D-B시험체의 항복하중과 최대하중은 14.6kN, 28.3kN으로, H-1.5D-NS시험체의 1.22배와 1.21배로 높은 값을 나타내었다. 또한, 황토로 보강한 H-1.5D-HB시험체의 항복하중과 최대하중은 12.3kN, 31kN으로 목조골조 이론치의 1.03배, 1.32배의 값을 나타내었다. 마지막으로, ALC블록으로 보강한 H-1.5D- ALC 시험체의 항복하중과 최대하중은 18.1kN, 51.4kN으로 계산치의 1.51배, 2.19배의 값을 나타내었다. 이상에서 본 것과 같이 최대내력에는 ALC블록>황토벽돌>가새>삽입길이 순으로 높게 나타났다.

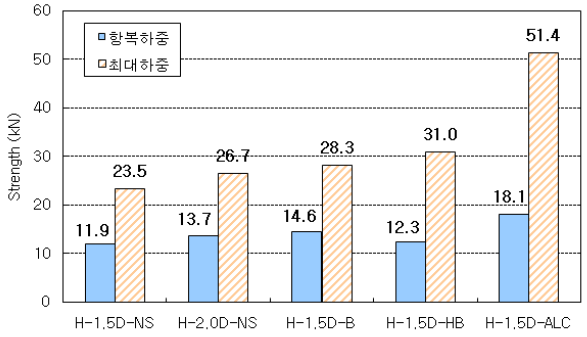


그림 11. 각 시험체의 수평하중

4.3 에너지흡수능력

그림 12는 각 시험체의 에너지흡수능력(energy absolution capacities) 을 나타내고 있으며, 하중-변위 곡선에서 각 변위까지의 면적을 누적(ΣAi)시킨 값이다.

층간변형각 1/30rad.에서 무보강형식의 목조벽체인 H-1.5D-NS시험체와 H-2.0D-NS시험체의 에너지흡수능력은 각각 520kN.mm, 947kN.mm이었다. 즉, 구조용집성재의 삽입길이가 2.0D인 H-2.0D-NS시험체의 에너지흡수능력이 H-1.5D-NS시험체에 비해 약 1.82배정도 우수한 것으로 나타났다. 한편, H-1.5D-NS시험체를 가새로 보강한 H-1.5D-B시험체의 경우, 1/30rad.에서 에너지흡수능력은 597kN.mm로 H-1.5D-NS시험체에 비해 1.15배 정도로 효과가 없는 것으로 나타났다. 마지막으로, H-1.5D-NS시험체를 황토벽돌과 ALC블록으로 보강한 H-1.5D-HB시험체와 H-1.5D-ALC시험체의 경우, 1/30 rad.에서의 에너지흡수능력은 각각 1,164kN.mm, 2,284 kN.mm로 H-1.5D-NS시험체에 비해서 2.24배, 4.39배로 매우 우수한 것으로 나타났다.

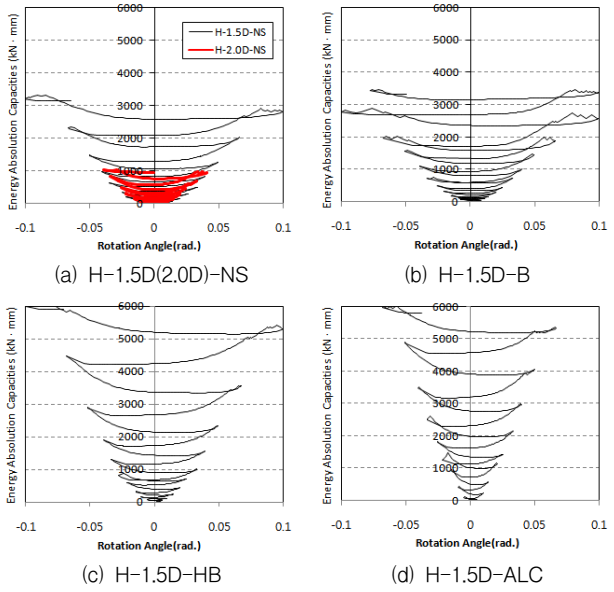


그림 12. 각 변위에서의 에너지흡수능력

4.4 구조용집성재의 변형도

그림 13은 보부재에서 H형강의 끝단의 위치에 부착한 스트레인게이지(W3)의 변형도를 나타내고 있다. 그림 13에 나타낸 것과 같이, 층간변형각 1/30rad.에서 H-1.5D-ALC 시험체의 변형도는 1,887μ정도로 가장 큰 값을 나타내었으며, H-1.5D-HB시험체와 H-1.5D-B시험체의 변형도는 각각1,411μ, 1,101μ이었다. 마지막으로, 무보강 형식의 목조골조에서 삽입길이가 보춤의 1.5D, 2.0D인 H-1.5D-NS시험체와 H-2.0D-NS시험체의 부분압축 변형도가 348μ과 791μ로 삽입길이가 길수록 큰 지압응력을 전달할 수 있는 것을 알 수가 있다.

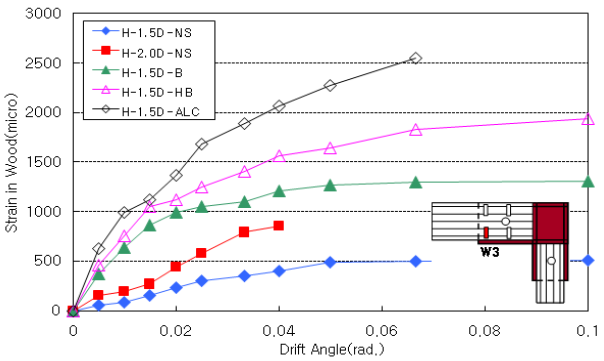


그림 13. 구조용집성재의 변형도

5. 결 론

본 연구는 H형강 접합부를 갖는 목조골조의 보강형식별 탄소성거동을 평가하기 위한 실험으로, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 구조용집성재의 최외층재의 휨응력은 KS규준에 비해 1.46배 높은 것으로 나타났으며, 부분압축응력은 JIS규준에 비해 1.6배 이상 높은 결과를 나타내었다.

(2) 무보강형식으로 구조용집성재 삽입길이가 보춤의 2.0배인 H-2.0D-NS시험체의 초기강성와 최대내력은 0.84kN/mm와 26.7kN으로, 삽입길이가 보춤의 1.5배인 H-1.5D-NS시험체보다 33%, 13.6%정도 높게 나타났다. 이는 지압면적이 클수록 강성과 내력에는 효율적인 것을 알 수가 있다.

(3) 벽체보강형식에 따른 초기강성, 내력, 및 에너지흡수능력은 ALC블럭>황토벽돌>가새 순으로 뛰어난 것을 알 수가 있었다.

후 기

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임"(지방연구중심대학육성사업/바이오하우징연구사업단)

참고문헌

1. 宮本俊輔, 山口修由, 宮澤健二, 2005, "木質複合建築構造技術の開發-H型鋼を用いた接合法", 日本建築學會構造工學論文集,

vol.51B,
2. 宮本俊輔, 森清輝, 山口修由, 宮澤健二, 2004, “木質複合建築構造技術の開發-H型鋼を用いた接合法”, その4~5, 日本建築學會大會學術講演梗概集、C-1分冊, pp.345-348
3. (社)日本建築學會, 1998.10, “木質構造設計規準 同解說 -許容応力度 許容耐力設計法-, (社) 日本ツーバイフォー建築協會
4. Fauzan and Kuramoto, H., July 2005, "Experimental study on structural performance of engineering wood encased concrete-steel composite columns subjected to lateral loading reversals", proceedings off the first international conference on AESE, Nagoya, Japan, Vol.1, pp.219-226
5. 김순철, 양일승, 2006.4, “H형강과 구조용집성재로 구성된 휨재의 접합형식에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 구조계, 제 22권 4호, pp.95-102
6. 김순철, 양일승, 문연준, 2006.4, “H형강과 구조용집성재의 삽입길이에 따른 접합부의 탄소성 거동”, 한국강구조학회 논문집, 제 18권 2호, pp.251-258
7. 김순철, 양일승, 2006.6, “H형강 플랜지 두께 변화에 따른 구조용집성재 접합부의 탄소성 거동”, 한국강구조학회 논문집, 제 18권 3호, pp.385-392
8. 김순철, 양일승, 김용빈, 정인수, 2006, “반복하중을 받는 목재형 하이브리드 보부재의 실험적 연구”, 대한건축학회 학술발표대회, pp.317-320
9. 한국표준협회, 2004, 구조용 집성재(KS F3021)
10. 한국표준협회, 2004, 목재의 휨시험 방법(KS F2208)

투고(접수)일자: 2008년 1월 10일
심사일자: 2008년 1월 16일
게재확정일자: 2008년 6월 20일