

구조용 집성판(CLT)-콘크리트 경계면의 전단성능 평가

Shear Performance Evaluation at the Interface Between CLT and Concrete

박 금 성*

Park, Keum-Sung

Abstract

An experimental study was carried out to evaluate the shear performance at the interface composed of structural laminates and concrete. The main variables are the number of CLT layers and the shape of the shear connector. The number of CLT layers consisted of 3 and 5 layers. A total of 6 test specimens for shear performance evaluation were prepared in the form of a shear connector, a direct screw type and a vertically embedded type. As a result of the experiment, similar behavior was shown in all specimens, regardless of the number of layers, including direct screw type (SC series) and vertically embedded type (VE series). The behavior at the joint surface was damaged due to the occurrence of initial shear cracks, expansion of shear groove cracks, and splaying at the interface after the maximum load. After the maximum load, the shear strength decreased gradually due to the effect of the shear connector. It can be seen that the shear strength of all specimens is determined by shear and compression stress failure of concrete at the interface of the notch joint.

Keywords : Cross laminated timber, Notch joint, Shear connector, Floor system, Sshear performance

1. 서론

녹색건축의 건설에 대해 국내외적으로 관심이 증대되고 있으며, 건설분야에 있어서 자원재활용, 탄소배출량 저감, 친환경건축 등을 위해 친환경 재료인 목재 사용에 대한 관심이 증가되고 있다. 국내에서 생산된 목재는 대부분 펄프용 또는 보드용으로 사용되고 있으며, 고부가 가치 건축자재로 사용은 매우 저조한 실정이다. 목재는 폐기시 생태계로 환원되고, 지속 가능한 자원이며, 온실 가스인 이산화탄소를 저장하는 대표적인 생태건축 자재이다. 보다 효율적으로 구조용 목재로 사용하기 위해서는 구조용 집성재(GLT), 구조용 집성판(이하, CLT) 등의 공학목재료의 활용이 요구된다.

북미, 유럽, 호주 등 선진국에서는 CLT 및 하이브리드 구조시스템 등의 활용으로 목조 건축물의 대형화를 위한 기술적 토대를 마련해 가고 있다. 목조 생태건축

시장은 고층화, 대형화된 목조건축으로 기후변화시대에 대응하기 위한 건축, 도시적 전략 대안으로 부상하고 있다.

목재는 대표적인 건축 재료인 콘크리트 및 강재에 비해 낮은 강도와 취성적 파괴 거동을 나타내며 휨 부재로 사용시 압축력에 비해 인장력에 취약하기 때문에 건축물의 합성바닥판으로 적용하기에는 강재-콘크리트 합성바닥판에 비해 합성효과가 현저히 떨어진다.

목재와 콘크리트를 합성 부재로 사용하기 위해서는 첫째로 목재의 인장저항성능을 향상시켜 합성효과를 극대화하여야 하며 그 다음으로는 목재와 콘크리트 간에 완전합성이 가능하도록 전단 연결재를 설치하는 것이다. 이를 합성바닥판에 적용할 경우 목재의 부족한 인장강도를 향상시켜 콘크리트 합성효과가 극대화될 것으로 기대되기 때문이다.

이에 본 연구에서는 우선 목재-콘크리트 간의 경계면에서의 구조 실험을 통하여 전단성능을 평가하여 CLT 목재와 콘크리트 이종재료 간의 합성력 확보 여부를 파악하여 향후 경량의 합성바닥판으로 사용 가능성을 파악하고자 하였다³⁾.

* 주교신저자, 한국건설기술연구원, 연구위원, 공학박사
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
Tel: 031-910-0370 Fax: 031-910-0392
E-mail: kspark1@kict.re.kr

2. 기존 연구 현황

TCC(Timber Composite Concrete) 시스템에서 목재 부재로 CLT를 사용하는 경우, 횡방향 층재의 특성에 주의 기울여야 한다. 횡방향 층재는 길이방향 층재보다 전단 강성이 훨씬 낮기 때문이다.

횡방향 층재를 고려하기 위해 Gagnon과 Pirvu가 제 공한 설계 예를 따를 수 있다. Gagnon과 Pirvu는 γ -method를 사용하여 CLT 패널의 휨강성을 계산하는 방법을 설명하고 있다¹⁾.

Kanocz et al.은 접착제로 연결된 CLT-콘크리트 복합재 보의 단기 및 장기상태에서 기계적 거동을 조사한 결과 접착제로 연결된 복합재 보가 매우 효과적이라는 것을 발견하였다²⁾.

Mai et al.은 4개의 CLT-콘크리트 바닥에서 실대형 실험 크기로 테스트를 수행 한 결과, CLT- 콘크리트 바닥은 기존 CLT 바닥보다 압축력 측면에서 3~5배 높은 우수한 구조적 거동을 보여 주었음을 확인하였다. 복합 바닥의 진동 성능도 향상됨을 확인하였다³⁾.

목재-콘크리트 복합재(TCC) 바닥을 위한 여러 형태의 전단연결재가 지난 30~40년 동안 연구자들에 의해 제안되었습니다. 연결재는 일반적으로 금속 패스너로 구성되지만⁴⁻⁶⁾, 때로는 목재 기반 전단기로 구성되거나⁷⁾ 목재 흡으로 형성되고 콘크리트로 채워진 노치로 구성 될 수도 있다⁸⁻¹⁰⁾.

바닥판 유형에 따라 배열된 커넥터는 개별 또는 연속, 수직 또는 경사로 배치될 수 있다. 전 세계의 TCC 연결에 사용할 수 있는 체계적인 정보와 실험 데이터는 Cost Action FP 1402의 WG4-하이브리드 구조(HG4-Hybrid Structures)에서 작성된 최근의 보고서에 소개되었다¹¹⁾.

래그스크류 또는 유사한 패스너에 의해 완성된 노치 연결은 바닥판의 강도와 강성 모두에서 목재-콘크리트 복합 바닥판에 가장 효율적인 연결 중 하나이다. 노치는 일반적으로 빠르고 정밀하게 경제적인 생산을 가능하게 하는 컴퓨터 수치제어(CNC) 기계로 절단되어 제작된다. 노치 연결에서 목재와 콘크리트 사이의 전단력은 직접 지압전달에 의해 취해지며, 이는 높은 강성으로 인해 두 재료 사이의 상대 미끄러짐을 상당히 줄여 준다. 노치의 지압 강성과 비교하여 휨강성이 낮기 때문에 수직방향

나사는 목재와 콘크리트 사이의 전단력 전달에 무관하게 기여하게 된다. 그러나 스크류는 콘크리트의 축력과 목재의 축력 사이의 편심으로 인해 발생하는 인발력을 발생시키기 때문에 중심에 작용하게 되므로 적재층 중 두 재료 사이의 분리를 피할 수 있게 한다.

여러 연구자들에 의해 상이한 노치 형상이 제안되었다(예 : 직사각형, 삼각형, 사다리꼴 등). Fragiacomio et al.에 따르면에서 노치의 길이, 래그스크류의 존재 유무 및 목재의 노치 깊이는 연결 성능 향상에 영향을 미치는 가장 중요한 요소인 것으로 밝혀졌다. 특히, 플레이트가 아닌 보로 구성된 목재 부분이 있는 목재-콘크리트 복합 바닥의 경우 노치 길이는 연결 강도와 강성에 영향을 미치며 래그스크류가 있으면 최대하중 이후 거동음을 향상시키는 것으로 나타났다¹²⁾.

국산 목재를 이용한 본 연구에서는 표면 노치깊이는 25mm, 길이 100mm의 직사각형 단면을 갖는 노치 형태를 적용하였다. 가공 및 설치가 용이한 2가지의 강재 절곡형 전단연결재를 노치홈 내부에 배치하여 합성력을 극대화하고자 하였다. 목재의 지압강도와 콘크리트의 전 단강도는 노치의 깊이와 폭을 결정하는 주요한 변수이다.

3. 전단성능 평가 실험

3.1 실험 개요

목재 바닥판 측면에서는 강성이 높은 콘크리트와 합성됨으로써 휨강성이 증대되는 이점이 있고, 이로 인해 진동, 차음능력이 향상되며, 콘크리트 피복을 통해 내수성과 내화성이 향상된다.

이에 구조용 집성판인 CLT와 콘크리트 바닥판의 일체성 확보를 위해서는 전단연결재 형상의 개선이 필요하며, 이에 대한 일체성 확보 가능성을 확인할 필요가 있다.

주요 변수로는 CLT 층재 수, 전단연결재 형상, 층재 두께 등에 따른 최적 바닥판 형상 도출하여 제안하였으며, 이에 대한 전단 성능 평가를 수행하였다.

CLT-콘크리트 바닥판은 기존의 합성보 이론으로 설계가 가능하며, CLT-콘크리트 바닥판의 하부 CLT는 인장을 받고, 상부의 콘크리트는 압축을 받으며, 노치접합

부는 전단력을 받게 되는 개념이다.

전단연결재를 갖는 노치접합부의 전단 강도를 파악하면 CLT-콘크리트 바닥판에 요구되는 휨모멘트 성능에 맞추어 전단연결재 크기와 두께 및 노치의 지름(D_{notch})와 간격(S_{notch})을 설계할 수 있다.

노치의 깊이(T_{notch})는 CLT 최외층의 두께보다 얇게 하는 것이 목재의 섬유직각방향 굴림전단강도(Rolling shear)보다는 섬유방향의 전단강도로 설계가 되므로 적절하고, 접착층에 부담도 줄일 수 있게 계획하였다.

3.2 실험체 계획

CLT 바닥판의 전단 성능 실험에 사용한 구조용 집성판은 KS F 3021(구조용 집성판)에 따라 정의된 대칭 다른 등급을 사용하였다¹³⁾. 구조용 집성판의 층단면 두께는 30mm, 40mm이며, 층재의 폭은 120mm로 동일하여 계획하였다.

CLT는 국산 낙엽송 층재(비중: 0.55, 함수율: 12%) E12 등급을 외층에 E10 등급을 내층에 사용하여 3층과 5층으로 제작하였다.

CLT 층재는 40mm 목재를 3층으로 구성하여 슬래브 두께를 120mm로 구성하였으며, 층재가 30mm 두께인 경우에는 5개층 150mm로 하였다. 또한, 구조용 집성판 경계면에 형성되는 노치깊이는 25mm, 수직 매입형의 깊이는 30mm로 전단 성능 실험체에 동일하게 적용하였다.

구조용 집성판과 콘크리트 경계면을 구성하는 전단연결재의 형상은 강재를 절곡하여 직결나사로 고정하는 형태와 강재를 절곡하여 노치면 상부에 30mm 매입하는 형태로 구성하였다.

전단연결재에 사용된 강재의 제원은 강판 두께 3.2mm로 하였으며, 강종은 SS275를 사용하였다. 전단 성능 실험체에 사용된 콘크리트 설계기준 압축강도는 27MPa로 계획하였다.

구조용 집성판에 적용된 낙엽송에 대한 목재의 소재 시험은 별도로 계획하지 않았으며, 구조용 직교 집성판의 KS F 2081 기준을 그대로 준용하여 설계·검토를 하였다¹⁴⁾.

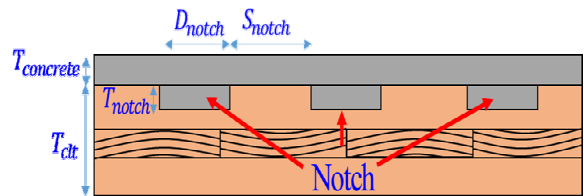
구조용 집성판의 전단 성능 실험체를 구성하는 전단연결재 형상 및 노치흠, 층재 구성 형상 등을 <Fig. 2>

에 자세히 나타내었다.

<Fig. 2>와 <Table 1>에 나타난 바와 같이 구조용 집성판을 이용한 목재와 콘크리트 전단 성능 평가를 위한 실험체는 집성판 내의 직사각형 노치형성 부위에 절곡형 강재를 활용한 직결나사형과 강재 매입 형태로 3개 층재로 집성한 전단 성능 실험체 4개와 5개 층재로 집성한 2개의 전단 성능 실험체를 계획하여 총 6개를 제작하였다.

구조용 집성판 노치접합부와 내부에 전단연결재 배치된 형상을 대상으로 전단 성능 평가의 원활한 수행을 위해 구조용 집성판의 양측면에 노치흠을 배치하였으며 120mm 두께를 갖는 콘크리트가 단순 지지조건을 형성되도록 제작하였다.

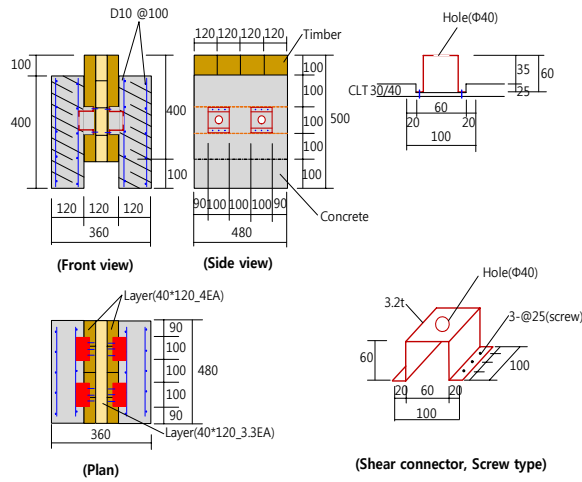
실험체의 주요 변수에 따른 실험체 형상과 상세는 <Fig. 1>과 같다.



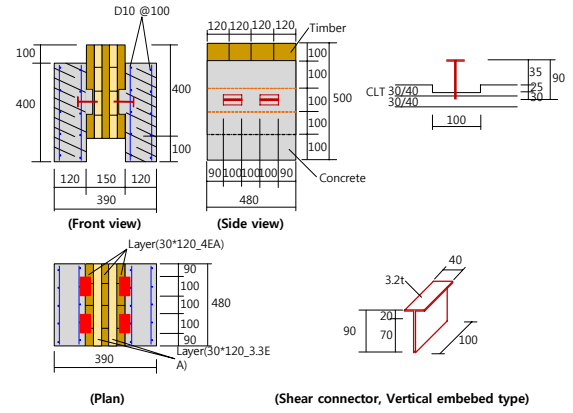
<Fig. 1> Composition of CLT notch joint

<Table 1> List of specimens

Specimen	CLT Specification	f_{ck} (MPa)	Connect or shape	Layer rs	Layer thickn ess (mm)	CLT (mm)
SC-40-3-1	E12/E10	27	screw	3	40	120
SC-40-3-2				3		
VE-40-3-1	E12/E10	27	embed	3	40	120
VE-40-3-2				3		
SC-30-5-1	E12/E10	27	screw	5	30	150
VE-30-5-1				5		

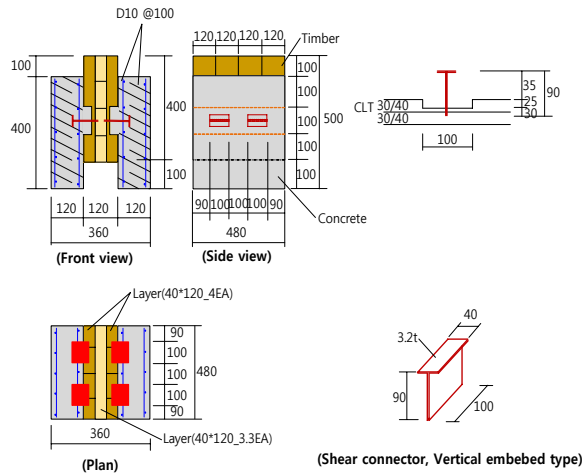


(a) 3-CLT screw type

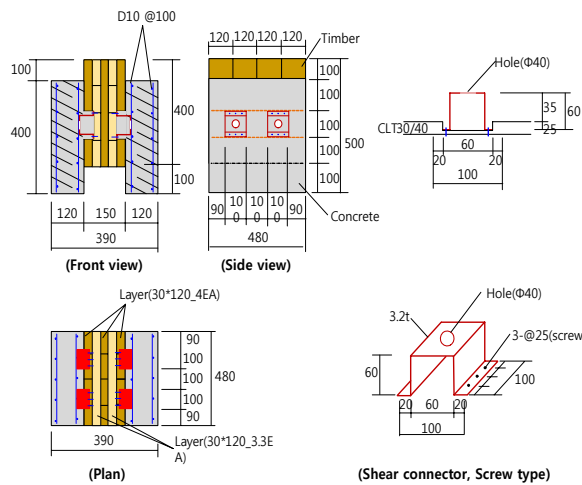


(d) 5-CLT vertical embed type

〈Fig. 2〉 Shape and details of shear performance specimen



(b) 3-CLT vertical embed type



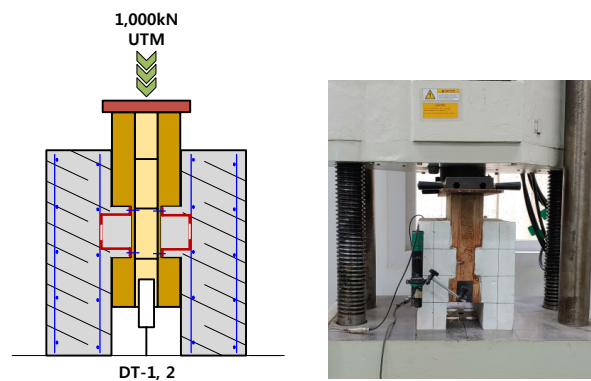
(c) 5-CLT screw type

3.3 가력 및 측정 방법

구조용 집성판 표면에 가공된 전단홈과 강재의 전단 연결재로 구성된 경계면에서의 거동 및 전단 성능 평가를 위한 실험은 구조용 집성판 양 측면에 전단홈을 가공하여 전단연결재로 배치하였으며, 양 측면에는 일정 두께의 철근콘크리트로 지지되도록 계획하여 제작하였다.

가력방법은 변위제어를 하였으며, 가력은 0.01mm/sec 속도로 가력하였다. 〈Fig. 3〉과 같이 1,000kN 용량의 UTM을 사용하여 중앙부 중심에 집중 선형가력 하였다. 또한 가력 시 가력 지점에서의 목재의 지압 등의 국부변형을 방지하고자 가력지점부에 소정의 두께는 갖는 강판을 설치하였다.

측정 장치로는 전단 성능 실험체의 수직변위를 측정하기 위하여 실험체 전·후면에 LVDT 2개를 설치하여 수직변위를 측정하였다.



〈Fig. 3〉 Set up of shear specimen

3.4 재료 시험

전단 성능 시험에 사용된 강재의 재료 특성을 알아보기 위해 각 3개의 인장시험편(14B호)을 제작하여 KS B 0802를 따라 강판(SM275)의 인장강도 시험을 실시하였다¹⁵⁾. 시험 결과, 강판의 평균 항복강도는 301MPa, 인장강도는 362MPa, 탄성계수는 195,545MPa, 연신율은 41.2%, 항복비는 0.83으로 나타났다. 강재의 강종에 따른 규격을 만족하는 것으로 평가됨을 확인할 수 있다.

또한 전단 성능 시험체에 사용된 콘크리트는 설계기준강도 27MPa로 계획하였으며, 사용된 레미콘의 수에 따라 각각 3개씩 총 12개의 공시체를 제작하였다. 콘크리트 압축강도 시험은 KS F 2405의 시험 방법에 따라 1000kN 유압식 만능시험기(U.T.M)를 사용하여 실시하였다¹⁶⁾. KS F 2403¹⁷⁾에 따라 제작한 공시체의 콘크리트 압축강도 시험 결과, 평균 31MPa로 나타났다.

3.4 실험 결과

구조용 집성판과 콘크리트 접합면의 전단성능 실험 결과, <Fig. 4>와 <Fig. 5>의 접합면의 파괴형상 및 <Fig. 6>의 하중-변위 관계 곡선에서 보는 바와 같이 직결 나사형(SC계열)과 수직 매입형(VE계열) 및 층재 수에 관계 없이 모든 실험체에서 파괴 거동은 접합면의 초기 전단균열발생→전단흙 내부 균열 확대→최대하중 이후 인터페이스 면에서의 벌어짐이 발생하면서 콘크리트가 파괴된 이후 접합면에서 전단연결재의 영향으로 하중이 비교적 완만히 저하되면서 파괴되는 양상을 보였다. 모든 전단 실험체는 전단흙 내부의 콘크리트의 전단 및 지압파괴에 의해 접합면에서 전단내력이 결정됨을 알 수 있다. 직결 나사형의 실험체 일부에서 지점 콘크리트 부분에 균열이 발생하는 현상을 나타내었다.

<Table 2>에는 초기균열하중, 최대하중 및 변형량, 초기균열강성 등을 정리하여 나타내었다. 구조용 집성판의 층재 수에 관계 없이 직결 나사형의 평균 최대하중은 753kN, 수직 매입형은 637kN으로 나타나 직결나사형의 전단연결재는 갖는 실험체가 1.18배 높게 나타남을 알 수 있다. 또한, 최대하중 시의 변위에서 직결 나사형은 평균 4.45mm, 수직 매입형은 평균 2.25mm로 나타나 직결 나사형의 실험체가 높게 나타났다. 육안으로 관찰한 균열하중과 균열하중시의 변위 관계로부터 얻은

초기 균열강성 측면에서 직결 나사형은 평균 263.5kN/mm, 수직 매입형은 평균 303.9kN/mm로 수직 매입형의 실험체가 1.15배 높게 평가되었다.

구조용 집성판 층재의 수에 따라 비교한 결과, 직결 나사형과 수직 매입형의 경우에 3개의 층재를 갖는 실험체가 초기 내력 및 초기 균열강성 측면에서 높게 평가되었음을 알 수 있다.

이러한 거동과 내력 및 강성의 차이는 수직 매입형의 경우, 초기에 콘크리트 전단과 지압파괴 이후 목재 내부에 수직 매입된 전단연결재는 직결 나사형에 비해 매입부의 부착력이 바로 상실되는 영향요인으로 판단된다. 목재에 매입하는 형태보다 목재와 전단연결재를 직접 결합하는 형태가 구조용 집성판과 콘크리트 간의 전단 저항 성능 확보에 보다 유리할 것으로 생각된다.

<Table 2> Test result

No.	P_c (kN)	δ_c (mm)	P_m (kN)	δ_m (mm)	k_{is} (kN/mm)
SC-40-3-1	237	1.10	742	3.65	215.5
SC-40-3-2	180	0.40	807	3.12	450.0
SC-30-5-1	60	0.31	710	6.57	193.5
Avg.	159	0.60	753	4.45	263.5
VE-40-3-1	108	0.15	619	1.97	720.0
VE-40-3-2	200	0.68	636	2.48	294.1
VE-30-5-1	84	0.46	657	2.30	182.6
Avg.	131	0.43	637	2.25	303.9

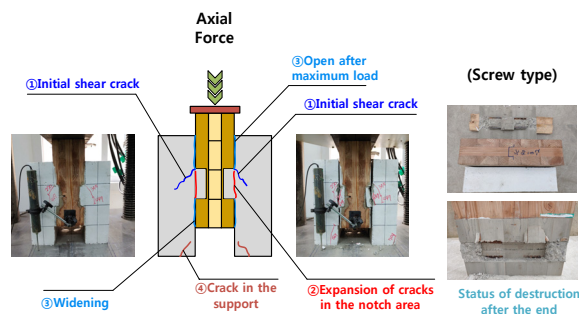
* P_c : Crack load (kN)

* δ_c : Displacement of crack load (mm)

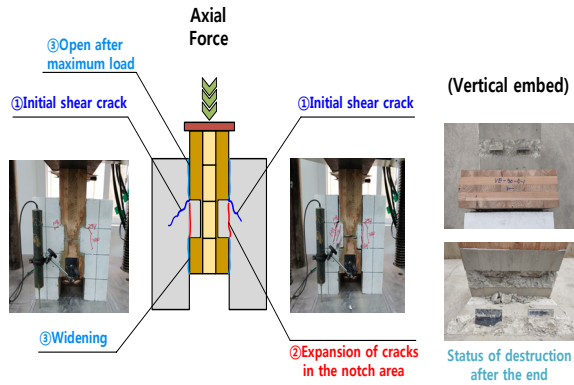
* P_m : Maximum load (kN)

* δ_m : Displacement of maximum load (mm)

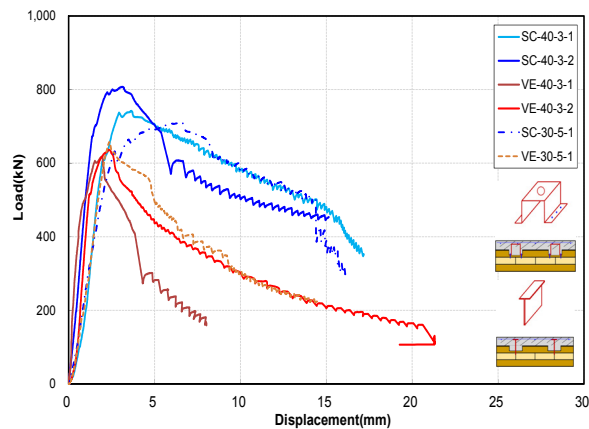
* k_{is} : Initial crack stiffness (kN/mm)



<Fig. 4> Failure mode of screw connection (SC series) joint surface



〈Fig. 5〉 Failure mode of screw connection (VE series) joint surface



〈Fig. 6〉 Load-displacement relationship curve

3.5 결과 분석 및 고찰

노치가 가공된 목재(CLT)에 전단연결재를 설치하고 콘크리트를 타설하여 28일 이상 양생하였다. 경계면에서 전단력으로 인한 Slip modulus(k)는 식 (1)과 같이 최대하중의 10%와 40% 하중과 이때의 변위 관계로부터 계산할 수 있다.

$$k_s = \frac{F_{0.4} - F_{0.1}}{\delta_{0.4} - \delta_{0.1}} \quad (1)$$

여기서,

k_s : Slip modulus (kN/mm),

$F_{0.4}$: 최대하중의 40% 하중 (kN),

$F_{0.1}$: 최대하중의 10% 하중 (kN),

$\delta_{0.4}$: 최대하중의 40% 하중에서의 변위 (mm),

$\delta_{0.1}$: 최대하중의 10% 하중에서의 변위 (mm)

〈Table 3〉 Slip modulus

No.	$0.1P_m$ (kN)	0.1δ (mm)	$0.4P_m$ (kN)	0.4δ (mm)	k_s (kN/mm)	$1k_s$ (kN/mm)
SC-40-3-1	74	0.51	297	1.22	314.1	78.5
SC-40-3-2	80	0.18	323	0.65	517.0	129.3
SC-30-5-1	71	0.36	284	1.08	295.8	74.0
Avg.	75	0.35	301	0.98	375.6	93.9
VE-40-3-1	62	0.12	248	0.40	664.3	166.1
VE-40-3-2	64	0.41	254	0.75	558.8	139.7
VE-30-5-1	66	0.40	263	1.05	303.1	75.8
Avg.	64	0.31	255	0.73	508.7	127.2

* $0.1P_m$: 10% maximum load (kN)

* $0.4P_m$: 40% maximum load (kN)

* 0.1δ : Displacement of 10% of the maximum load (mm)

* 0.4δ : Displacement of 40% of the maximum load (mm)

* k_s : Slip modulus (kN/mm)

* $1k_s$: Slip modulus per one (kN/mm)

〈Table 2〉와 〈Table 3〉에 나타난 바와 같이 층재의 수와 관계없이 100(폭) × 25(깊이)mm를 갖는 노치와 4개의 직결 나사형 전단연결재로 구성된 실험체에서 최대하중은 평균 753kN, 전단연결재 한개당 Slip modulus는 평균 93.9kN/mm으로 나타났다. 또한 4개의 수직 매입형 전단연결재로 구성된 실험체에서는 층재의 수와 관계없이 최대하중은 평균 637kN, 한개당 Slip modulus는 평균 127.2kN/mm으로 나타났다.

3개 또는 5개의 층재로 구성된 직결 나사형을 갖는 노치 접합부가 수직 매입형 접합부에 비해 최대하중은 높게 평가되었다. 그러나 3개 층재인 경우에 직결 나사형 노치 접합부에서의 전단 슬립계수는 수직 매입형에 비해 낮게 평가되었고, 5개의 층재로 구성된 직결 나사형과 수직 매입형을 갖는 노치 접합부의 전단 슬립계수는 상당히 유사하게 평가됨을 확인할 수 있다.

4. 결론

구조용 집성판(CLT)과 콘크리트로 구성된 바닥판 경계면에서의 전단 성능 평가를 위한 실험적 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 구조용 집성판과 콘크리트 경계면의 전단 성능 실험결과, 직결 나사형(SC계열)과 수직 매입형(VE계열) 노치 접합부는 층재 수와 관계 없이 모든 실험체에서 파괴

거동은 접합면의 초기 전단균열발생→전단흠 내부 균열 확대→최대하중 이후 경계면에서의 벌어짐이 발생하면서 파괴되는 양상을 보였다. 이후 접합면에서는 전단연결재의 영향으로 하중이 비교적 완만히 저하되는 형상을 보였다. 전단흠 내부에서 콘크리트의 전단 및 지압파괴에 의해 경계면에서 전단 내력이 결정됨을 알 수 있다.

2) 구조용 집성판 층재의 수에 따라 비교한 결과, 직결 나사형의 경우에는 3개의 층재를 갖는 실험체가 내력 및 초기 균열강성 측면에서 높게 평가되었으나, 수직 매입형의 경우에는 층재 수에 관계 없이 비교적 유사한 내력 및 초기 균열강성을 보이고 있음을 알 수 있다.

3) 이러한 거동과 내력 및 강성의 차이는 수직 매입형의 경우, 콘크리트 전단과 지압파괴 이후 목재 내부에 수직 매입된 전단연결재는 직결 나사형에 비해 매입부의 부착력이 바로 상실되는 요인으로 판단된다. 목재에 매입하는 형태보다 목재와 전단연결재를 직접 결합되는 형태가 구조용 집성판과 콘크리트 간의 전단 성능 확보에 다소 유리할 것으로 생각된다.

4) 3개의 층재로 구성된 직결 나사형을 갖는 노치접합부가 수직매입형 노치접합부에 비해 최대하중은 높게 평가되었으나 노치흠 접합부의 전단 슬립계수는 작게 평가됨을 확인할 수 있다.

5) 5개의 층재로 구성된 직결 나사형을 갖는 노치접합부가 수직 매입된 노치접합부에 비해 최대하중은 높게 평가되었으며, 노치흠 접합부의 전단 슬립계수는 상당히 유사하게 평가됨을 알 수 있다.

6) 향후 구조용 집성판과 콘크리트로 구성된 바닥판의 구조성능 검증과 효율적인 구조설계를 수행하기 위해서는 전단 성능 실험 결과에서 나타난 직결 나사형의 전단연결재로 구성된 합성바닥판에 대한 휨성능 평가를 통해 바닥판의 일체성과 안정적인 거동을 확인하는 연구가 추가로 수행되어야 할 것으로 보인다.

감사의 글

이 연구는 국토교통과학기술진흥원의 주거환경연구사업(No. 20RERP-B082884-07)과 도시건축연구사업(No. 20AUDP-B146511-03)의 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Gagnon S, Pirvu C. "CLT handbook: cross-laminated timber", FPInnovations, 2011.
2. J. Kanócz, V. Bajzecerová, Š. Šteller, "Timber-concrete composite elements with various composite connections. Part 3: Adhesive connection", Wood Res. 60 (6), pp.939-952, 2015.
3. K.Q. Mai, A. Park, K.T. Nguyen, et al., "Full-scale static and dynamic experiments of hybrid CLT-concrete composite floor", Constr. Build. Mater. 170, pp.55-65, 2018.
4. E. Lukaszewska, H. Johnsson, M. Fragiaco, "Performance of connections for prefabricated timber-concrete composite floors", Mater. Struct. 41 (9), pp.1533-1550, 2008
5. B.L. Deam, M. Fragiaco, A.H. Buchanan, "Connections for composite concrete slab and LVL flooring systems", Mater. Struct. 41 (3), pp.495-507, 2008.
6. N. Khorsandnia, H.R. Valipour, K. Crews, "Experimental and analytical investigation of short-term behaviour of LVL-concrete composite connections and beams", Constr. Build. Mater. 37, pp.229-238, 2012.
7. R. Crocetti, T. Sartori, R. Tomasi, "Innovative timber-concrete composite structures with prefabricated FRC slabs", J. Struct. Eng. 141 (9), 2014.
8. D. Yeoh, M. Fragiaco, M. De Franceschi, et al., "State of the art on timber concrete composite structures: literature review", J. Struct. Eng. 137 (10), pp.1085-1095, 2010.
9. R.M. Gutkowski, K. Brown, A. Shigidi, et al., "Investigation of notched composite wood-concrete connections", J. Struct. Eng. 130 (10), pp.1553-1561, 2004.
10. D. Yeoh, M. Fragiaco, M. De Franceschi,

- et al., "Experimental tests of notched and plate connectors for LVL-concrete composite beams", J. Struct. Eng. 137 (2), pp.261-269, 2010.
11. A.M.P.G. Dias, U. Kuhlmann, K. Kudla, et al., "Performance of dowel-type fasteners and notches for hybrid timber structures", Eng. Struct. 171, pp.40-46, 2018.
 12. M. Fragiaco, D. Yeoh, "Design of timber-concrete composite beams with notched connections", CIB - W18, Meeting Forty-three, Nelson, New Zealand.
 13. Korean Standards Association, "KS F 3021 Structural glued laminated timber", The Ministry of Knowledge Economy, Korean Agency for Technology and Standards, 2013.
 14. Korean Standards Association, "KS F 2081 Cross laminated timber", The Ministry of Knowledge Economy, Korean Agency for Technology and Standards, 2021.
 15. Korean Standards Association, "KS B 0802 Method of tensile test for metallic materials", The Ministry of Knowledge Economy, Korean Agency for Technology and Standards, 2018.
 16. Korean Standards Association, "KS F 2405 Standard test method for compressive strength of concrete", The Ministry of Knowledge Economy, Korean Agency for Technology and Standards, 2017.
 17. Korean Standards Association, "KS F 2403 Standard test method for making concrete specimens", The Ministry of Knowledge Economy, Korean Agency for Technology and Standards, 2019.

- Received : June 03, 2021
- Revised : July 01, 2021
- Accepted : July 08, 2021