

접착제 두께에 따른 Glued-in rod 접합부 인발 성능 유한요소해석

Finite Element Analysis of Pull-out Performance of Glued-in-Rod Connection according to Adhesive Thickness

○이강민* 황경민** 김예인** 장대희***
Lee, Kangmin Hwang, Kyeongmin Kim, Yein Jang, Daehee

Abstract

As environmental problems become more serious, interest in wood as a building material is increasing. Several countries have conducted research on wooden building technology and built high-rise wooden buildings. Korea is also making efforts to promote the development of wooden buildings. However, although there are some studies on the durability of the wood itself in Korea, studies on the connections of high-rise wooden buildings are insufficient. In this study, each pull-out performance was analyzed using the thickness of the adhesive as a variable in a finite element analysis model applying the properties of wood and adhesives produced in Korea. Through the results of this study, it is intended to contribute to the establishment of the design criteria for the connections of high-rise wooden buildings in Korea.

키워드 : 목조 건축, 접합부, Glued-in rod, 유한요소해석, 인발 성능, 접착제 두께, 변수 해석

Keywords : Wooden building, Connection, Glued-in rod, Finite element analysis, Pull-out, Adhesive thickness, Parametric analysis

1. 서론

1.1 연구의 목적

전 세계적으로 환경문제가 대두되면서 친환경 건축 재료인 목재에 대한 관심이 증가하고 있다. 목재는 탄소를 흡수하고 저장하는 기능이 탁월하며, 건축물과 같이 목재를 대량으로 장기간 사용 시 탄소 중립에 큰 기여를 할 수 있다. 이에 세계 각국에서는 목조 건축 시장 활성화를 위해 다양한 기술들을 시도하였으며, 노르웨이의 ‘미에스토르네’, 오스트리아의 ‘호호비엔나’, 캐나다의 ‘브룩 커먼스’ 등 여러 고층 목조 건축물을 축조하였다. 국내에서도 2020년부터 목조 건축물의 18m 높이 제한을 개선함으로써 규모 제한을 완화하는 등 고층 목조 건축물의 발전을 촉진하기 위해 노력하고 있지만, 국내 목조 건축은 해외사례에 비해 많이 못 미치는 실정이다.

이러한 목조 건축물을 대중화시키기 위해서는 현대 사회의 요구에 맞추어 고층화·대형화 건축물의 보급이 필요하다. 하지만, 현재 국내에서는 목조 건축의 안전에 대한 신뢰성 확보가 미흡한 상황이다. 목조 건축의 접합부

공법 중 Glued-in rod는 목재 단면을 천공한 후 볼트 등을 삽입하고 접착제를 활용해 부재 간을 연결하는 접합 방법으로, 강성이 높고 힘의 전달이 원활하여 고층 목조 건축물에 주로 사용되고 있다. 해외에서는 자국의 목재와 접착제를 활용한 Glued-in rod 접합부 연구가 활발하게 진행되고 있다. 하지만 국내에서는 목재 자체의 내구성에 관한 연구가 주로 수행되고 있어, 고층 목조 건축 접합부에 대한 연구와 기준이 충분하지 않은 상황이다. 그로 인해 실무자들은 구조설계 및 현장 시공 과정에서 해외사례를 참조해 수행하는 등 어려움을 겪고 있다.

이에 본 연구에서는 국내 환경에 맞는 목조 건축 접합부의 성능 확보 및 기준 확립을 위한 기초자료를 제공하고자 국산 목재와 접착제를 활용한 Glued-in rod 접합부의 접착제 두께에 따른 인발 성능에 대한 유한요소해석을 진행하였다.

2. 본론

2.1 유한요소해석 개요

본 연구에서 해석모델의 형상은 선행 실험의 실험체를 참고하여 제작하였다. 해석모델의 개요는 그림 1과 같다. 접착제의 두께는 각 1.5mm, 2mm, 3mm, 4mm로 적용하여 총 4개의 모델을 해석하였으며, 접착제의 종류는 에폭시 접착제로 하였다. 철근의 직경은 19mm이며, 철근의 길이는 300mm로 하였다. 집성재는 폭 300mm, 너비 300mm, 높이가 800mm로 하였다. 철근 매입 깊이는 150mm로 하였으

* 충남대 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, leekm@cnu.ac.kr)

** 충남대 대학원 석사과정

*** 충남대 대학원 박사과정

이 연구는 2024년도 한국연구재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호:2023R1A2C1007693

며, 철근 단부와 집성재 사이에 여유공간 10mm를 적용하였다. 해석모델에 사용된 재료의 물성값은 실험값을 참고하여 설정하였다. 구조용 집성재는 직교 방향별로 역학적 성질을 다르게 갖는 직교이방성 재료로 하였다. 재료의 방향은 L(Longitudinal, 1방향), T(Transverse, 2방향), R(Radial, 3방향)로 설정하였다. 각 방향별 탄성계수 및 전단탄성계수는 $E_1=12,000\text{MPa}$, $E_2=E_3=400\text{MPa}$, $G_{12}=G_{13}=387.5\text{MPa}$, $G_{23}=25\text{MPa}$ 으로 적용하였으며, 푸아송비는 $\nu_{12}=\nu_{13}=0.4$, $\nu_{23}=0.02$ 으로 적용하였다. 철근의 밀도 Mass Density= $7.85e-009$, 탄성계수 $E=200,000\text{MPa}$, 푸아송비 $\nu=0.3$ 을 적용하였다, 철근의 항복강도는 446.16MPa , 최대 인장강도는 650MPa 을 적용하였다. 접착모사는 Cohesive zone으로 적용하였다. 접착제의 탄성영역 내 최대응력을 파괴모드별로 $\sigma_n(\text{Mode1, Normal})=3\text{MPa}$, $\sigma_s(\text{Mode2, Shear})=13.4\text{MPa}$, $\sigma_t(\text{Mode3, Tear})=13.4\text{MPa}$ 을 적용하였다. 경계조건으로 집성재의 바닥을 고정 한 후, 철근을 그림 1과 같이 10mm만큼 변위 가력하였다.

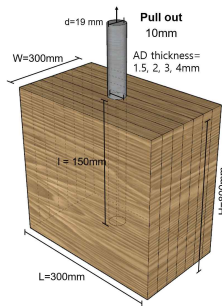


그림1. Glued-in rod 접합부 해석 개요

2.1 유한요소해석 개요

접착제의 두께를 변수로 하였을 때 접합부 최대 인발하중의 변화를 확인하기 위해서 각 두께 변수별로 접합부의 하중과 변위를 측정하였으며, 그림 2와 같이 나타났다. 이때 얻은 최대 하중 및 변위는 표 1과 같다. 또한 접착제 두께에 따른 접합부 인발 거동 및 응력분포를 확인하기 위하여 각각의 응력분포도를 분석하였으며, 그림 3, 4, 5, 6와 같이 나타났다.

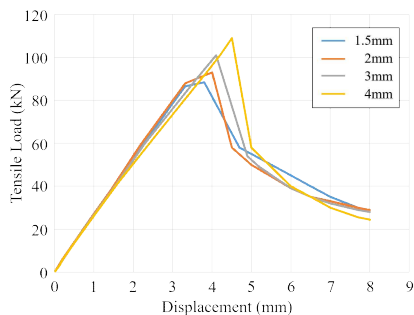


그림2. 접착제 두께별 하중-변위 곡선

표1. 접착제 두께별 최대 하중 및 변위

접착제 두께	1.5mm	2mm	3mm	4mm
결과값				
최대 하중(kN)	88.47	93.21	101.31	109.42
변위(mm)	3.80	4.05	4.18	4.52

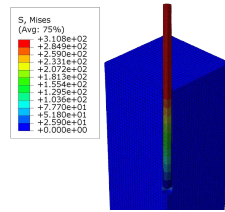


그림3. 1.5mm 응력분포도

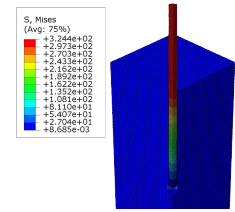


그림4. 2mm 응력분포도

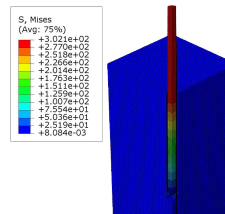


그림5. 3mm 응력분포도

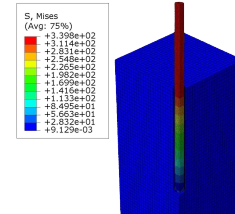


그림6. 4mm 응력분포도

3. 결론

본 연구에서는 접착제 두께에 따른 Glued-in rod 접합부의 철근 인발성능을 유한요소해석을 이용하여 분석하였다. 도출된 결과는 다음과 같다.

- 1) 각 해석모델의 최대 하중을 분석한 결과, 접착제 두께가 증가함에 따라 최대 하중이 증가함을 확인하였다. 이는 접착제 두께가 증가함에 따라 접착제와 집성재의 접촉면적이 증가하여 접합부 부착강도가 증가한 것으로 판단된다. 또한, 접착제 두께별 하중-변위 곡선에서 접착제가 두꺼워질수록 기울기가 감소하는 것을 확인하였다. 이는 접착제가 두꺼워짐에 따라 철근에 집중되었던 응력이 접착제로 분산되어 강성이 감소한 것으로 판단된다.
- 2) 본 연구에서 접착제 두께를 변수 해석한 결과, 접착제의 두께가 접합부 인발성능에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 이를 통해 국내 맞춤형 구조용 집성재 접합부 설계법 개발을 위한 참고 자료로써 활용될 것으로 판단한다.
- 3) Glued-in rod 접합부에서 부재 사이의 원활한 하중 전달과 연성적인 파괴반응을 위해 철근에서 항복이 발생하도록 하는 것이 이상적인 설계 방안이다. 하지만, 접착제의 두께가 증가함에 따라 접착제에 응력이 집중되고, 접착제 내부에서 전단파괴가 발생할 가능성이 증가한다. 따라서, Glued-in rod 접합부 설계 시 이를 고려하여 접착제 두께를 선정해야 한다.

참고문헌

1. Broughton JG, Hutchinson AR. Pull-out behaviour of steel rods bonded into timber. *Materials and Structures*, 34(2), 100~109, 2001
2. 박극성, 오근영, 접착제에 따른 Glued-in rod 접합부 인발성능에 관한 실험연구, *한국건축시공학회지*, 제22권 2호, 149~160, 2022.