

집성재 구조의 구조설계 기법 개발 및 내화성능 평가

Development of structural design method for
glulam structures and
evaluation of fire-resistance of glulam

접합부의 성능 평가 및 구조설계 기법의 개발

Evaluation of performance of connections and
development of structural design method

구조용 집성재의 내화성능 평가

Evaluation of fire resistance of structural glulam

연구기관: 충남대학교

농 립 부 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “집성재 구조의 구조설계 기법 개발 및 내화성능 평가”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2002년 11월 28일

주관 연구 기관명: 충남대학교
총괄 연구 책임자: 장 상 식
세부 연구 책임자: 장 상 식
연 구 원: 이 경 호
연 구 원: 곽 은 혁
연 구 원: 박 종 성
협동연구기관명: 방재시험연구원

협동 연구 책임자: 이 경 구
참 여 기 업: 경민산업(주)

요 약 문

I. 제목

집성재 구조의 구조설계 기법 개발 및 내화성능 평가

II. 연구개발의 목적 및 중요성

우리나라는 전국토의 65% 정도가 산으로 구성되어 있는 산림 국가이면서도 전체적으로 소모되는 목재의 95% 이상을 외국으로부터의 수입에 의존하고 있다. 이러한 결과는 한국전쟁 이후에 전국토의 산림이 황폐화됨으로써 우리나라의 산림정책의 중심이 산림녹화에 초점이 맞추어져 왔기 때문이다. 따라서 아직까지 우리나라의 산림에는 경제적으로 가치가 있는 대경재의 양이 매우 적고 조림 후 20-30년 정도밖에 경과되지 않은 소경재가 주를 이루기 때문에 목재의 가공을 통한 경제적 가치의 창출에는 한계가 있을 수밖에 없는 실정이다.

집성재는 국산재의 제재 및 가공용 용도의 범주에 들 수 있으며 치수 또는 성질의 측면에서 비교적 등급이 떨어지는 목재를 고부가가치의 제품으로 활용할 수 있는 분야로서 앞으로 그 용도가 크게 확대될 것으로 기대되는 제품이다. 국산재를 이용한 집성재 산업의 발달은 곧바로 우리나라 산주들의 소득 증가 및 목재 가공 산업의 발전, 집성재를 이용한 대규모 건축 산업의 발달 등으로 연결되어 사회 전반의 경제 및 산업적인 파급 효과가 매우 크다고 할 수 있다.

집성재는 문화적으로도 효율적인 활용이 가능한 제품이다. 예를 들면 현재 진행 중인 경회루 복원 및 지붕 개량사업에서 지붕의 서까래에 할열의 발생 및 귀서까래에 전단 파괴라는 문제점이 발견되었다. 따라서 현재 할열 및 전단파괴가 진행된 귀서까래를 제거하고 이를 다른 소재로 대체하고자 하지만 이 부재의 치수가 매우

크고 부담하여야 하는 하중이 매우 높기 때문에 부재의 선택에 어려움을 겪고 있다는 이야기를 현장을 담당하고 있는 문화재 관리국의 직원으로부터 들은 바가 있다. 이와 같은 경우에 집성재는 바람직한 대안이 될 수 있다.

집성재의 제조에는 건조된 층재들이 사용되기 때문에 미건조로 인한 문제의 발생 가능성이 없다. 국산재로서 매우 큰 치수의 부재를 구하기가 현실적으로 불가능하지만 집성재를 사용한다면 이러한 문제를 손쉽게 해결할 수 있다. 만곡진 부재의 가공 문제도 집성재의 제조에서는 크게 문제되지 않으며 가변 단면의 부재도 집성재 제조과정의 간단한 조작으로 쉽게 해결할 수 있는 문제이다. 따라서 문화재 복원 사업 분야에서도 우리 선조의 정신과 고유한 멋이 깃들어 있는 전통 문화재에 왜래 수입목재를 사용하기보다는 국산재를 이용한 집성재를 사용하는 것이 우리나라만의 전통과 얼을 살릴 수 있는 길이 될 것이다.

목재는 불에 탄다는 사실은 누구나 알고 있다. 따라서 일반인들은 목구조 건물은 불에 잘 타기 때문에 화재가 발생하면 건물이 붕괴될 위험이 아주 높은 것으로 인식하고 집성재 구조의 사용에 회의를 느끼고 있다. 그러나 목재는 열전도율이 아주 낮기 때문에 화재가 발생하는 경우에 표면은 탄화되지만 목재의 내부는 오랜 시간 동안 건전한 상태에서 원래의 강도를 유지함으로써 화재 시에도 건물이 붕괴되지 않고 상당한 시간동안 견뎌주기 때문에 오히려 철구조보다 더욱 안전한 내화구조를 이루고 있다. 특히 집성재 구조와 같이 대형 부재를 사용한 목구조에서는 부재의 치수를 필요한 것보다 조금 크게 설계함으로써 화재에 대한 안전대책을 수립하는 것이 일반적인 방법이다.

그러나 이러한 내화구조의 설계는 화재 발생 후 목재의 탄화속도 및 목재 내부로의 열전도율과 밀접하게 연관되어 있기 때문에 이에 관한 체계적인 연구가 선행되어야 할 것이다. 그러나 아직까지 우리나라에서는 집성재의 내화성능에 대한 시험이 전혀 이루어지지 못하였으며 따라서 집성재 구조의 내화성능 평가 및 이에 기초한 내화설계의 기본방향조차 정립되어 있지 못한 실정이다.

구조용 집성재는 기존의 목재가 가지고 있던 치수, 결점 등의 문제점을 개선하

여 목재의 한계로 여겨지던 치수와 구조성능의 문제를 해결할 수 있는 매우 중요한 구조용 재료이다. 대형구조물을 목재로 건축한다고 하는 것은 해당 시장의 확대 및 관련 산업의 발전이라는 측면에서도 중요하지만 목재산업 전반에 걸쳐서 일반인들이 목재에 대하여 가지고 있던 부정적인 시각을 수정하고 목재를 새롭게 인식할 수 있는 계기가 된다는 점에서도 그 의의가 매우 크다고 할 수 있다. 이 연구에서는 그 동안 구조용 집성재의 활용에 장애가 되어오던 여러 가지 문제들을 파악하고 이를 해결할 수 있는 방안을 강구함으로써 구조용 집성재가 대형 건축물의 구조재료로 사용될 수 있는 가능성을 열어주는데 초점을 맞추어서 진행되었다.

구조용 집성재를 대형 건축물의 구조용 재료로 사용하기 위해서는 먼저 구조설계의 문제가 해결되어야 한다. 현재 국내의 모든 구조설계 기법은 콘크리트 건축물 및 철강구조물에 초점을 맞추고 있으며 목구조의 구조설계를 할 수 있는 기능을 전혀 가지고 있지 않은 실정이다. 따라서 대형 건축물에 구조용 집성재가 구조용재료로 사용되기 위해서는 먼저 구조설계를 통하여 안전을 확보할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것이다. 집성재 구조의 구조설계에서는 접합부의 성능평가 및 이를 반영한 구조설계가 중요하다. 그리고 집성재의 허용응력 산출을 위하여 적용되는 조정계수의 종류, 값 및 적용 방법 등이 확립되어야 할 것이다.

집성재 구조의 구조설계에서 다음으로 떠오르는 문제는 집성재의 내화성능을 공식적으로 인정받는 문제이다. 매년 건축을 할 때마다 집성재에 대한 내화성능 시험을 건설시험연구소에 의뢰하고 그 성적에 의하여 내화성능을 인정받는다는 것은 비용과 시간의 측면에서 실용성이 거의 없다고 할 수 있다. 따라서 공식적으로 구조용 집성재의 1시간 내화성능을 인정받음으로써 매년 다시 내화시험을 수행할 필요가 없이 구조용 집성재를 대형 건축물의 구조재료로 사용할 수 있도록 방안을 강구할 필요가 있다. 이를 위하여 이 연구에서 이루어진 내화성능 시험 성적을 근거로 “집성재의 내화성능” KS규격안을 도출하여 이를 공식적으로 인정받을 수 있도록 기술표준원에 제출하고자 한다.

이 연구는 구조용 집성재의 구조설계 기법 개발과 내화성능 평가라는 두가지 주제로 구성되어 있다. 구조용 집성재의 구조설계 기법 개발에서는 접합부의 새로운 접합 방법의 개발과 성능 평가를 실시하였다. 현재 접합부의 시험 방법에 대한 KS규격이 미비하여 이 연구에서 사용된 방법으로 KS규격안을 도출하였으며 이를 기술표준원에 제출하여 KS F 2153(목구조 철물 접합부의 전단 시험 방법)로 인정을 받은 바 있다. 다음으로 구조용 집성재의 구조설계 방법에 대하여 연구를 실시하고 2차원의 포탈프레임 구조와 아치 구조에 대한 구조설계 방법을 개발하고 집성재 부재의 허용응력 계산을 위하여 적용되는 조정계수들의 종류 및 적용방법 등에 대하여 연구함으로써 실제 구조설계에 활용할 수 있는 방안을 강구하고자 하였다. 이 연구에서 연구된 조정계수들은 차후 KS규격안으로 정리하여 기술표준원에 제출하여 KS규격으로 인정받고자 한다. 구조용 집성재의 내화성능 평가에서는 집성재 보와 기둥에 대한 내화성능 시험을 실시하고 구조용 집성재에서 사용되는 접합부에 대한 내화성능 시험도 실시하였다. 접합부의 내화성능을 향상시킬 수 있는 방안도 강구하였으며 이를 통하여 집성재의 내화성능에 대한 KS규격안을 도출하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 세부과제

이 연구의 세부과제에서는 집성재의 구조설계 기법 개발에 중점을 두어서 연구를 진행하였다. 먼저 집성재 접합부 및 접합부재의 성능을 평가함으로써 구조설계의 기본 자료를 도출하고 이를 응용하여 집성재 건축물의 구조설계 기법을 개발하는데 초점을 맞추었으며 연차별 연구 내용은 다음과 같다.

가. 1차년도

- 접합부의 성능 평가

나. 2차년도

- 모멘트 저항 접합부의 성능 평가

다. 3차년도

- 철물 접합부재의 성능 평가 및 구조설계 기법 개발

2. 협동과제

협동과제에서는 집성재 및 철물 접합부재의 내화성능 평가에 중점을 두었다. 집성재 보 및 기둥 그리고 철물 접합부재의 내화성능을 평가하고 철물 접합부재의 내화성능 향상에 초점을 맞추었으며 연차별 연구내용은 다음과 같다.

가. 1차년도

- 집성재 보의 내화성능 평가

나. 2차년도

- 집성재 기둥 및 접합 집성재 보의 내화성능 평가

다. 3차년도

- 철물 접합 집성재 보의 내화성능 향상

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

가. 연구개발 결과

1. 세부과제

1차년도에는 집성재 사용될 수 있는 접합부의 기본 단위인 볼트 접합부에 대한 2면 전단 시험을 실시하여 여러 가지 목재 및 철판, 철물의 조건에 따른 접합부의 강성 및 강도를 평가하였다. 2차년도에는 집성재 부재와 부재 사이의 접합부에 대하여 모멘트 저항 시험, 전단 시험 및 휨 시험을 실시하여 여러 가지 성상의 부재간의 접합부에 대한 강성 및 강도를 측정하였다. 3차년도에는 내화성을 향상시키기 위하여 새롭게 개발된 부재들에 대한 휨 시험을 통하여 강성과 강도를 측정하고 집성재 건축물의 구조설계 방법을 개발하였다.

가) 1차년도 연구 결과 요약

- 1) 여러 가지 볼트 지름, 세 가지 목재 수종, 목재의 섬유방향과 하중방향 사이의 관계 등에 따른 볼트 접합부의 전단시험을 실시하여 볼트접합부의 설계에 활용할 수 있는 기초자료를 수집하였다.
- 2) 볼트접합부의 전단시험 방법에 대한 KS규격을 제안하여 이 연구에서 개발된 방법대로 KS F 2153 (목구조 철물접합부의 전단 시험 방법)으로 확정되었다.
- 3) 볼트의 지름이 증가할수록 볼트접합부의 강성 및 강도가 증가하였다.
- 4) 낙엽송 볼트접합부는 미송 볼트접합부와 거의 비슷한 강성 및 강도를 나타내었으며 소나무 볼트접합부는 약간 낮은 값을 나타내었다.

- 5) 목재-강철판 볼트접합부가 목재-목재 접합부보다 높은 강도를 나타내었다.
- 6) 강철판을 주부재로 사용한 접합부가 측면부재로 사용한 접합부보다 접합계수는 높게 나타났으나 항복강도 및 최대강도는 더 낮은 값을 나타내었다.
- 7) 목재-목재 접합부에서는 주부재와 측면부재 두 가지 모두 섬유방향이 하중에 평행한 경우가 가장 높은 강도를 나타내었으며 두 가지 모두 섬유방향이 하중에 수직인 경우가 가장 낮은 강도를 나타내었다.
- 8) 목재-목재 접합부에서 주부재의 섬유방향이 하중에 평행하고 측면부재의 섬유방향이 하중에 수직인 경우가 그 반대의 경우보다 접합계수는 높았으나 항복강도 및 최대강도는 낮게 나타났다.
- 9) 목재의 섬유방향이 하중에 평행한 경우에는 항복점에 도달한 후 하중이 감소하거나 또는 거의 균일한 상태에서 변위가 급격히 증가하는 경향을 나타내었으나 목재의 섬유방향이 하중에 수직인 경우에는 항복점에서 변위가 급격히 증가하다가 다시 하중이 빠르게 증가하는 경향을 나타내었다.

나) 2차년도 연구결과 요약

- 1) 접합부가 포함된 집성재 보의 하중-변위선도는 접합부가 없는 집성재 보의 하중-변위선도보다 불규칙한 형상을 나타내었다.
- 2) 중앙에 접합부가 있는 집성재 보의 MOE 및 MOR은 접합부가 없는 부재에 비하여 MOE는 34~65% 그리고 MOR은 27~79% 정도의 값을 나타내었다.
- 3) 접합부재 중에서는 합판-못 접합부재의 MOE 및 MOR이 가장 높았다.
- 4) 볼트 접합부재의 MOE가 가장 낮게 나타났으며 철근 삽입 접합부재의 MOR이 가장 낮은 값을 나타내었다.
- 5) 볼트 접합부재 및 나사못 접합부재는 MOE는 낮게 나타났으나 MOR은 비교적 높은 값을 나타내었다.

- 6) 철근 삽입 접합부재는 접합부의 제작과정에 문제가 있어서 철근 삽입을 위한 구멍을 뚫기 및 에폭시 수지 주입에서 완전한 공정이 이루어지지 못하였기 때문에 부재의 MOE 및 MOR이 낮게 나타났다.
- 7) 모든 접합부재들은 휨 하중에 의하여 중앙의 접합부가 벌어지면서 파괴가 발생하였으며 합판-못 접합부재에서는 덧댄 합판이 세로로 갈라지는 파괴형태를 나타내었다.
- 8) 주격쇠 보강 볼트 접합부의 모멘트 저항 능력이 보강 안장쇠 접합부보다 2배 이상 높게 나타났다.
- 9) 보강 안장쇠 접합부에 대한 모멘트 저항 시험에서는 항복점이 뚜렷하였으며 주격쇠 보강 볼트 접합부에서는 항복점이 뚜렷하게 나타나지 않았다.
- 10) 안장쇠 접합부에서는 변위가 증가할수록 목재와 철물이 분리되는 파괴형태를 나타내었다.
- 11) 주격쇠 보강 볼트 접합부에 대한 반복하중 하에서의 모멘트 저항 시험 결과 1차, 2차 및 3차 특성곡선이 모두 거의 직선형태를 나타내었다.
- 12) 모멘트 저항 접합부에서 파괴는 주로 철물의 변형과 철물을 통한 섬유 직각 방향 압축에 의한 목재의 변형으로 나타났다.
- 13) 접합부의 전단시험에서는 볼트 접합부와 래그나사못 접합부 사이에 큰 차이가 없었다.
- 14) 안장쇠 접합부에서 안장쇠를 고정시키는 볼트 사이의 간격은 접합부의 전단 성능에 큰 영향을 미치지 못하였다.

다) 3차년도 연구 결과 요약

- 1) 접합부의 내화성능 향상을 위하여 외부 노출 철물에 대한 내화페인트 도장 및 목재덮개에 의한 보호 등의 2가지 방법이 사용될 수 있다.
- 2) 내화성능 향상을 위하여 개발된 접합부재들은 접합부가 없는 부재에 비하여

51~97%의 MOE 및 18~70%의 MOR을 나타내었다.

- 3) 내화성능 향상 접합부재는 2차년도에 접합부재에 비하여 MOE는 증가되었으나 MOR은 큰 차이를 보이지 않았다.
- 4) 강관 볼트 접합부재 및 래그나사못 접합부재는 비교적 높은 MOE값을 나타내어 초기 강성이 높음을 알 수 있다.
- 5) 강관 볼트 접합부재, 래그나사못 접합부재 및 철판 상하 분리 볼트 접합부재는 접합부가 없는 부재에 비하여 약 60~70%의 비교적 높은 MOR을 나타내었다.
- 6) 라멘 철물 접합부재는 MOE는 비교적 높은 값을 나타내었으나 MOR은 낮은 값을 나타내었다.
- 7) 인장볼트 접합부재는 MOE 및 MOR 모두 낮은 값을 나타내었다.
- 8) 강관 볼트 접합부재는 접합부의 양끝에 상하로 배열된 볼트열을 따라서 파괴가 진행되었고 이 부분의 유효 단면적이 감소하여 하중에 대한 저항력이 감소된 것으로 생각되며 양끝에 배열된 볼트 사이의 간격을 증가시킬 필요가 있을 것으로 생각된다.
- 9) 모든 접합부재에서 하중이 증가함에 따라서 접합부의 벌어짐이 관찰되었다.
- 10) 인장볼트 접합부재에서는 인장볼트를 통하여 전달된 하중이 와서 밑의 좁은 면적에 집중됨으로써 와서 밑의 목재부분이 섬유방향 압축에 의하여 변형되는 파괴형태를 나타내었다.
- 11) 라멘 철물 접합부재에서는 목재에 삽입된 이중볼트가 인장력에 의하여 뽑혀나오고 중간 철물에 설치된 전단 볼트에 의하여 철물의 볼트 구멍이 찌그러지는 변형이 관찰되었다.
- 12) 부재 사이의 접합부가 강성 접합을 이루는 집성재 구조의 구조설계에는 포탈 프레임 해석법 및 외팔보 해석법이 적용될 수 있다.
- 13) 아치구조는 정정구조인 3개의 힌지를 갖는 구조 또는 부정정구조인 2개의 힌지를 갖는 구조로 설계될 수 있다.

- 14) 대부분의 집성재 구조는 매우 복잡한 형태 및 큰 치수를 가지고 있기 때문에 손으로 계산하기에는 무리가 있으며 시중에서 구조설계용으로 판매되는 프로그램의 철골구조 설계 부분을 적용할 수 있다.
- 15) 시판 구조설계 프로그램의 철골구조 부분을 적용하여 구조계산을 하여 각각의 구조부재에 작용하는 하중 및 모멘트의 최대값을 구한 후 이에 대한 구조설계는 손 계산으로 실시한다.
- 16) 집성재의 구조설계에 적용될 수 있는 조정계수 및 설계 과정을 순서대로 수록하였다.

2. 협동과제

1차년도에는 집성재 보의 내화성능을 평가하여 1시간 내화성능을 만족시키기 위하여 필요한 조건을 찾는 데 주력하였다. 2차년도에는 집성재 기둥의 내화성능 및 철물 접합부재의 내화성능을 평가하였다. 3차년도에는 2차년도에 시험을 실시한 철물 접합부재들의 내화성능이 기대 이하로 나타남으로써 철물 접합부재들의 내화성능 향상 방법을 개발하고 내화성능이 개선된 철물 접합부재의 내화성능을 평가하였다.

가) 1차년도 연구 결과 요약

- 1) 화염에 노출된 상태에서 집성재 보의 처짐은 시간이 지남에 따라서 증가하였고 처짐의 증가속도도 시간이 갈수록 급격하게 증가하는 경향을 나타내었다.
- 2) 집성재 표면으로부터 15mm 깊이는 가열 후 20분 정도에서 목재의 탄화온도인 400℃를 초과하였고 30mm 깊이는 가열 후 약 40분 정도에서 탄화온도에 도달하였다.
- 3) 1시간 동안 가열 후에도 45mm 및 60mm 깊이에서는 탄화온도에 도달하지

않아서 약간의 강도 감소는 있지만 건전한 목재로 남아있었다.

- 4) 130mm 나비의 부재는 모든 항목에서 1시간 내화성능에 미달되었으며 나비 150mm의 부재는 일부 항목에서 기준에 미달되었고 나비 170mm의 부재는 모든 항목에서 기준에 합격하였다.
- 5) 낙엽송 및 미송은 1시간당 탄화량을 40mm로 볼 수 있으며 소나무를 1시간당 탄화량을 45mm로 볼 수 있다.
- 6) 낙엽송 및 미송의 평균탄화속도는 0.60mm/min이며 소나무의 평균탄화속도는 0.65mm/min인 것으로 나타났다.
- 7) 1시간 내화성능을 만족시키기 위해서는 부재의 나비가 최소한 150mm 이상 되어야 하며 부재의 높이는 250mm 이상 되어야 한다.
- 8) 집성재의 열전도율은 목재의 비중이 증가함에 따라서 증가하는 경향을 나타내었다.
- 9) 비중이 낮은 소나무가 비중이 높은 낙엽송에 비하여 열전도율은 낮지만 탄화속도는 더 높은 것으로 나타났다.

나) 2차년도 연구 결과 요약

- 1) 모든 접합 집성재 보가 가열 후 5~28분 만에 파괴되어 1시간 내화성능에 불합격하였다.
- 2) 외부에 노출된 철물에 내화페인트를 도장하지 않았기 때문에 철물이 높은 열에 쉽게 열화되어 급격한 파괴현상이 나타났다.
- 3) 합판-못 접합 집성재 보는 표면에 덧댄 얇은 합판이 쉽게 탄화되면서 가열 후 5분 만에 파괴되어 가장 짧은 내화성능을 나타내었다.
- 4) 접합부의 내화성능이 예상보다 짧게 나타나서 접합부의 내화성능을 향상시킬 수 있는 대책이 마련되어야 할 것으로 생각된다.
- 5) 접합 집성재보의 평균탄화속도는 0.33~0.75mm/min를 나타내었으나 시험 시

간이 너무 짧아서 의미있는 결과로 받아들이기는 힘들 것으로 생각된다.

- 6) 시험편이 너무 빨리 파괴되었기 때문에 시험편이 파괴될 때까지도 집성재의 내부온도는 15mm 깊이를 제외하고 대부분 탄화온도에 도달하지 않은 상태이었다.
- 7) 집성재에서 접착층이 있는 방향과 접착층이 없는 방향의 열전도율이 비슷하여 접착층이 열전도율에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단된다.
- 8) 집성재 기둥은 모두 1시간 내화성능을 만족하였다.
- 9) 집성재 기둥의 평균탄화속도는 집성재의 경우와 유사하였다.
- 10) 집성재 기둥은 매우 작은 변형량 및 변형율을 나타내었다.

다) 3차년도 연구 결과 요약

- 1) 외부에 노출되는 철물에는 내화페인트를 칠하고 내부에 삽입되는 철물은 목재덮개로 보호한 접합부재는 거의 1시간 내화성능을 만족하였다.
- 2) 화염에 노출되는 목재 밑면으로부터 30mm 정도의 깊이에 삽입된 철물은 1시간 이내에 주변의 목재가 모두 탄화되어 철물 접합의 강도가 소실되는 것으로 나타났다.
- 3) 목재 표면으로부터 30mm 깊이까지는 가열 후 40분 정도에 목재의 탄화온도인 약 400℃에 도달하는 것으로 나타났다.
- 4) 1.2mm 두께의 내화페인트가 0.6mm 두께의 내화페인트보다 더 높은 내화성능을 나타내었다.
- 5) 집성재 내부에 삽입되는 철물은 목재 표면으로부터 최소한 40mm 이상의 깊이에 삽입되어야 1시간의 내화성능을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.
- 6) 시험편의 평균탄화속도는 0.55~0.71mm/min를 나타내어 이전의 시험결과와 비슷하였다.

나. 연구 개발 결과 활용 계획 및 활용에 대한 건의

1. 발표 실적

- 1) 한국목재공학회 2001년 추계 학술발표대회에서의 논문 발표. 2001년 10월 19-20일, 경북대학교
- 2) 제 5회 세계목구조학술회의(World Conference on Timber Engineering)에서의 논문 발표. 2000년 7월 31일-8월 3일, 밴쿠버, 캐나다.
- 3) 집성재의 내화성능 세미나 및 내화시험 견학. 2000년 4월 및 2001년 4월에 방재시험연구원에서 2회 개최
- 4) KS F 2153(목구조 철물접합부의 전단 시험 방법) 규격 개발
- 6) 집성재의 내화성능 KS 규격안 개발

2. 홍보 실적

- 1) 집성재의 내화성능 세미나를 통한 홍보

3. 사업화

- 1) 참여기업인 경민산업(주)에서 구조용 집성재 생산 및 구조설계에 활용

4. 연구 결과 활용 계획

- 1) 연구의 결과를 정리하여 국내 및 국외 저명 학술지에 논문 게재
- 2) 국내 및 국외 학술회의에서 논문 발표
- 3) 각종 세미나에서 연구 결과 발표 및 홍보

- 4) 구조용 집성재의 생산 및 구조설계에 대한 상담 및 기술 이전
- 5) 집성재의 내화성능 KS 규격안 개발
- 6) 구조용 목재의 허용응력 산출을 위한 조정계수 KS 규격안 개발

5. 연구결과 활용에 대한 건의

연구결과를 각 도서관 및 유관 기관에 배포하였으며 참여기업인 경민산업(주)에서는 연구결과를 구조용 집성재의 생산 및 구조설계에 활용하고자 계획하고 있다. 이 연구의 결과는 KS규격화를 통하여 공식적으로 인정받고자 하며 KS규격이 확정되면 관련 법규도 개정되어야 실제적인 연구결과의 활용이 가능해진다. 특히 집성재의 내화성능 KS규격은 건설교통부의 내화성능 인정 고시의 내용이 근본적으로 개정되어야만 대형 건축물에 구조용 집성재의 사용이 증가될 수 있을 것이다. 따라서 이 연구의 결과로 만들어지는 KS규격을 통하여 관련 법규도 개정될 수 있도록 관계기관의 관심과 협조가 필요하다.

SUMMARY

I . Title

Development of structural design method for glulam structures and evaluation of fire-resistance of glulam

II. Objectives

In our country, around 65% of land is forest area but more than 95% of raw material for wood industry is imported from foreign countries. So far, large diameter trees are small in number in forest area of our country and most trees have age of 20~30 years and small in diameter. Therefore, small logs have limited usage for creation of economic values through processing and manufacturing.

Glulam is one of the good value-added industrial fields that can use relatively low grade timber having small diameter, and related industry is expected to be fully developed in the near future. Development of glulam manufacturing industry utilizing domestic timber related directly to increase of income of land owners, development of wood processing industry, and activation of construction industry utilizing glulam.

Glulam has various usages in the view point of culture and heritage. For example, there were problems related to check in rafters and shear failure in hip rafters when remodeling KyoungBok-Kung. These checked and shear-failed members had very large dimension and could not be replaced by solid timber because such a large size cannot be manufactured by domestic

wood. In this case, glulam can be a good alternative because it can be manufactured from small domestic timber and has very stiff and strong properties.

When manufacturing glulam, dried laminations are used. Thus, there is little problem related to drying and shrinkage in glulam. Most of domestic wood is small but these small wood can be used to manufacture large glulam members. It is no problem manufacturing curved glulam members and glulam having varying cross section. Therefore, it may be a better way of preserving out traditions and spiritual meaning of our ancestors to use glulam manufactured from domestic small timber rather than using imported large solid timber.

Everybody knows about the fact that wood is burning and is not willing to use wood for structural materials because he is afraid of damage or collapse of building due to fire. However, wood has very low thermal conductivity, and interior keeps low temperature and usual strength for quite long time even though exterior is charred because of fire. Therefore, wood structures are safer than steel structures under fire. It is general practice to increase the required cross sectional dimension for fire safety in heavy timber construction using glulam members.

However, such a design for fire-safety is closely related to charring rate of wood and thermal conductivity of wood. So, research on these subjects are required before applying such a practice to structural design. In our country, there has no research or test on fire-resistance of glulam and no basic direction or specification has been established for fire-safety design of glulam structures.

Glulam is one of the very important structural materials because it can

solve the limit on dimension and structural performance of wood by removing growing characteristics and drying defects of wood. Activation of heavy timber construction means not only development of related market and wood industries but also improvement of negative thought that people have about wood, and it can give a chance to recognize wood as a new and very desirable material for people.

To use glulam as a structural material for large scale building, problems related to structural design shall be solved first. At the present time, all the structural design methods used in our country deal with design of concrete and steel structures and do not have any function to perform structural design of wood buildings. Therefore, structural design method for wood building shall be developed first to secure safety of wood structures. Structural design of glulam buildings shall be based on performance of joints and connections. And adjustment factors applied to calculate allowable properties of glulam shall be exactly defined.

Next is to solve problems related to fire-resistance of glulam, which means to obtain the official recognition of fire-resistance if glulam through standard formulation and Building Code revision. In this study, proposal for KS on fire-resistance of glulam is formulated and will be submitted to Korea Institute of Technology and Standard to get approval as an official KS.

This study is composed of two subjects such as development of structural design method for glulam and evaluation of fire-resistance of glulam. The method of testing double shear of fastener joints that was developed in this study has been formulated to a KS and obtained an approval as KS F 2153. Structural performance of glulam members containing joints have been evaluated, and structural design methods for glulam portal frames and arches

were developed. Adjustment factors applied to obtain allowable properties of glulam have been defined and the method of applying those factors to structural calculation have been established. These results related to adjustment factors will be written as a proposal for KS and submitted for approval.

For evaluation of fire-resistance of glulam, glulam beams of various dimensions were tested. Glulam beams, columns and beams with joints were also tested to obtain fire-resistance data. For connections in glulam beams, the method of improving fire-resistance have been developed and the effectiveness of those method have been tested. From the results of the study, a proposal for KS on fire-resistance of glulam have been formulated and will be submitted to obtain official approval.

III. Research content and scope

1. Section A

In this Section, research have been focused on development of structural design method that can be applied to glulam structures. Bolt joints and glulam beams with joints at center were tested to obtain basic data for structural performance of connection systems. And various structural design method were developed for glulam structures, and adjustment factors applicable to glulam were defined.

a. 1st year

- Evaluation of structural performance of joints

b. 2nd year

- Evaluation of structural performance of moment resisting connections

c. 3rd year

- Evaluation of glulam members with joints at center and development of structural design method for glulam structures

2. Section B

In this Section, research has been focused to evaluation of fire-resistance of glulam and connections. Glulam beams and columns, and fastener jointed members were tested for fire-resistance, and various method have been developed to improve fire-resistance of joints and their fire-resistance have been evaluated.

a. 1st year

- Evaluation of fire-resistance of glulam beams

b. 2nd year

- Evaluation of fire-resistance of glulam columns and beams with mechanical joints

c. 3rd year

- Improvement of fire-resistance of glulam beams with mechanical joints

IV. Results and application

1. Section A

In the 1st year, double shear tests for bolt joints were performed to obtain basic data for structural design. In the 2nd year, connections between glulam members were tested for moment resistance, shear strength, and bending performance. In the 3rd year, glulam beams with mechanical joints that were developed to improve fire-resistance were tested and structural design method for glulam structures were developed.

a. Summary of the research results for the 1st year

- 1) Basic data for shear performance of bolt joints were obtained by performing double shear tests of bolt joint having various combinations of species, bolt diameters, relationship between grain direction and load direction, and kind of main and side members.
- 2) Method of shear test for joint that have been developed in this study have been established as KS F 2153.
- 3) Stiffness and strength of bolt joints increased as diameter of bolt increased.
- 4) Stiffness and strength of bolt joint made of larch and Douglas-fir were similar to each other and bolt joints made of red pine showed slightly lower values.
- 5) Bolt joints between wood and steel plate were stronger than bolt joints between wood and wood.
- 6) Bolt joints with steel main members showed higher joint moduli, and

lower strength than bolt joints with steel side members.

7) In bolt joints between wood and wood, joints with grain parallel to loading for main and side members were strongest and joints with grain perpendicular to loading for main and side members were weakest.

b. Summary of the research results for the 2nd year

1) Load-displacement diagrams for glulam beams with joints showed irregular shape than those of glulam beams without joints.

2) For glulam beams with joints at center, MOE was 34~65% and MOR was 27~79% of those for glulam beams without joints.

3) MOE and MOR of glulam beams with nailed plywood gusset joint at center showed highest values among glulam beams with joints.

4) MOE was lowest for glulam beam with separated steel plate and bolt joint at center and MOR was lowest for glulam beam with glued-in rod joint at center.

5) Glulam beams with separated steel plate and bolt joint, and with top and bottom steel plate and lag screw joint showed low MOE but their MOR were relatively high.

6) Glulam beam with glued-in rod joint had problem in manufacturing process and showed low MOE and MOR.

7) In all the glulam beams with joints, failure was developed by widening of joint and vertical breakage of plywood was observed for glulam beam with nailed plywood gusset joint.

8) Moment-resistance of bolt joint with steel plate and spoon tie was two times higher than that of reinforced hanger joint.

9) Load-displacement diagram of reinforced hanger joint showed clear yield

point but it was not clear for bolt joint with steel plate and spoon tie.

10) In reinforced hanger joint, hanger connector was separated from wood as displacement increased.

11) In the testing of bolt joints with steel plate and spoon tie under cyclic loads, envelop curves for the 1st, 2nd and 3rd cycles were very close to each other and almost linear.

12) Failures in moment-resisting joints were mostly caused by deformation of fasteners and connectors, compressive deformation perpendicular to grain in wood under steel.

13) In shear tests of joints, there is no difference between bolt and lag screw joints.

14) In hanger joints, spacing between bolts used to anchor connector to wood had no effect on shear performance.

c. Summary of the research results for the 3rd year

1) To improve fire-resistance of joint, two methods such as coating of fire-resisting paint on exposed steel and wood covering for steel can be employed.

2) Jointed members developed for improvement of fire-resistance 51~97% of MOE and 18~70% of MOR compared to members without joint.

3) Glulam beams with bolted steel gusset joint, and top and bottom steel plate and lag screw joint showed relatively high initial stiffness.

4) Glulam beams with bolted steel gusset joint, top and bottom steel plate and lag screw joint, and separated steel plate and bolt joint showed relatively high MOR, which is around 60~70% of MOR for glulam beams without joint.

5) For glulam beams with Rahmen connector joints, MOE was relatively high

but MOR was very low.

6) For glulam beams with tension bolt joint, MOE and MOR were very low.

7) For glulam beams with bolted steel gusset joint, failure was developed along the bolt row located at both ends of joint.

8) For all glulam beams with joints, widening of joint was observed as load increased.

9) For glulam beams with tension bolt joint, load transmitted through tension bolts was concentrated on small area under washer, and deformation was developed by crushing of wood under washers.

10) For structural analysis of glulam structures forming rigid frame, both of portal and cantilever analysis methods can be applied.

11) For structural analysis of complicated glulam structures, structural analysis for steel structures in commercial softwares for structural design can be applied.

12) After analysing glulam structures by application of software, structural design can be performed by hand calculations.

2. Section B

In Section B, glulam beams were tested to evaluate fire-resistance and to check conditions required to satisfy 1 hour fire-resistance for glulam in the 1st year. In the 2nd year, fire-resistance of glulam columns and glulam beams with joints were evaluated. In the 3rd year, glulam beams with joints developed for improved fire-resistance were tested.

a. Summary of the research results for the 1st year

- 1) Under fire, deflection and deflection rate of glulam beams increased very fast as time passed.
- 2) Temperature at 15mm and 30mm depth reached 400°C, that is considered to be charring temperature of wood, after around 20 and 40 minutes of burning, respectively.
- 3) After burning for 1 hour, temperature at 45mm and 60mm depth did not reach charring temperature, which means there is still sound wood at that depth after 1 hour of burning.
- 4) All the glulam beams with 130mm width and part of glulam beams with 150mm width failed for 1 hour fire-resistance, and all the glulam beams with 170mm width satisfied 1 hour fire-resistance requirements.
- 5) Charring depth after fire-resistance tests for 1 hour was 40mm for larch and Douglas-fir glulam and 45mm for red pine glulam.
- 6) Average charring rate was 0.60mm/min for larch and Douglas-fir and 0.65mm/min for red pine.
- 7) To satisfy 1 hour fire-resistance requirements, minimum 150mm width and 250mm depth are required.
- 8) Thermal conductivity for glulam increased as specific gravity of wood increased.
- 9) Red pine with low specific gravity showed low thermal conductivity and high charring rate compared to larch with high specific gravity.

b. Summary of the research results for the 2nd year

- 1) All the glulam beams with joints failed within 5~28 minutes of burning and did not satisfied 1-hour fire-resistance requirements.

- 2) Fire-resisting paint was not applied to exposed steel parts, and steel fasteners and connectors were easily weakened under fire and experienced abrupt failures.
- 3) For glulam beams with nailed plywood gusset joint, thin plywood exposed to fire was burnt very fast and failed in 5 minutes after burning.
- 4) Fire-resistance of glulam beams with joints was lower than expected, and, thus, methods to improve fire-resistance of such members shall be developed.
- 5) Total burning time for each glulam beam was too short to calculate average charring rate.
- 6) Interior temperature did not reach charring temperature except 15mm depth, because all the specimens failed too fast.
- 7) Glue line did not affect thermal conductivity.
- 8) All the glulam columns satisfied 1 hour fire-resistance requirements.
- 9) Average charring rate for glulam columns were similar to that for glulam beams.
- 10) Deformation and deformation rate for glulam columns under fire were very small and negligible.

c. Summary of research results for the 3rd year

- 1) Glulam beams with fire-resisting paint coating on exposed steel parts and wood covering for inserted steel parts mostly satisfied 1 hour fire-resistance requirements.
- 2) Steel fasteners inserted into wood at 30mm depth lost all the strength because wood surrounding fasteners was completely charred within 1 hour.
- 3) Up to 30mm depth from wood surface, temperature reached 400°C at around 40 minutes of burning.

- 4) 1.2mm thick coating of fire-resisting paint showed higher fire-resistance than 0.6mm thick coating.
- 5) For steel fasteners inserted into wood, at least 40mm of depth is required to satisfy 1 hour fire-resistance requirements.
- 6) Average charring rate was 0.55~0.71mm/min and similar to the results of previous tests.

TABLE OF CONTENTS

Submission document -----	1
Korean summary -----	2
I. Title -----	2
II. Objectives -----	2
III. Research contents and scope -----	5
IV. Results and application -----	7
English summary -----	16
English contents -----	28
Contents -----	29
I. Introduction -----	30
II. Evaluation of performance of joint and development of structural design method -----	41
1. Introduction -----	41
2. Materials and method -----	43
3. Results and discussion -----	66
4. Conclusions -----	154
III. Evaluation of fire-resistance of glulam -----	158
1. Introduction -----	158
2. Materials and method -----	163
3. Results and discussion -----	215
4. Conclusions -----	276
IV. Proposal for KS on fire-resistance of glulam -----	279
V. References -----	296

목 차

제출문 -----	1
요약문 -----	2
I. 제목 -----	2
II. 연구의 목적 및 중요성 -----	2
III. 연구개발 내용 및 범위 -----	5
IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의 -----	7
영문 요약 -----	16
영문 목차 -----	28
목차 -----	29
제 1장 서론 -----	30
제 2장 접합부의 성능 평가 및 구조설계 기법 개발 -----	41
I. 서설 -----	41
II. 재료 및 방법 -----	43
III. 결과 및 고찰 -----	66
IV. 결론 -----	154
제 3장 구조용 집성재의 내화성능 평가 -----	158
I. 서설 -----	158
II. 재료 및 방법 -----	163
III. 결과 및 고찰 -----	215
IV. 결론 -----	276
제 4장 집성재의 내화성능 KS 규격안 -----	279
제 5장 참고문헌 -----	296

제 1장 서론

우리나라는 전국토의 65% 정도가 산으로 구성되어 있는 산림 국가이면서도 전체적으로 소모되는 목재의 95% 이상을 외국으로부터의 수입에 의존하는 매우 기형적인 구조를 지니고 있다. 이러한 결과는 한국전쟁 이후에 전국토의 산림이 황폐화됨으로써 우리나라의 산림정책의 중심이 산림녹화에 초점이 맞추어져 왔기 때문이다. 따라서 아직까지 우리나라의 산림에는 경제적으로 가치가 있는 대경재의 양이 매우 적고 조림 후 20-30년 정도밖에 경과되지 않은 소경재가 주를 이루기 때문에 목재의 가공을 통한 경제적 가치의 창출에는 한계가 있을 수밖에 없는 실정이다.

특히 그 동안의 국가 정책적인 측면에서도 산지 자원화보다는 녹화에 중점을 두어 온 측면이 있으나 최근에 산림시책이 산지자원화 방향으로 무게중심이 옮겨가는 것은 바람직한 현상이라고 할 수 있다. 그러나 산지 자원화는 조림과 육림을 통한 우수한 산림자원의 조성뿐만이 아니라 조성된 자원의 고부가가치 활용에도 관심을 가져야 하며 이를 통한 경제적인 가치의 창출이 가능하여야만 산지자원화의 결실을 얻을 수 있는 것이다. 우리나라처럼 소경재가 중심이 된 경우에는 원자재인 나무 자체의 치수가 작고 물리 및 화학적 성질이 뒤떨어지기 때문에 소재로서의 가공 및 이용에는 한계가 있기 마련이다. 따라서 목재의 이용에 관한 연구는 보다 부가가치가 있는 2차 및 3차 가공에 관한 연구로 방향을 설정하여야 할 것이다. 그러한 측면에서 집성재는 소경재를 보다 경제적으로 활용할 수 있는 매우 바람직한 분야의 한 예라고 할 수 있다.

1998년도 우리나라의 목재 수급 현황은 표 1-1과 같다. 표 1-1에서 보면 우리나라의 목재 자급률은 7%에 불과하여 93%의 목재를 수입에 의존하고 있음을 알 수 있다. 목재의 자급률 향상은 산림자원의 확충과 직접적으로 관련되어 있기 때문에 짧은 기간 내에 자급률의 급속한 향상을 기대할 수는 없지만 현재 공급되는 목재만이라도 경제성이 있는 고부가가치의 제품으로 활용할 수 있는 방법이 마련되어야

할 것이다.

표 1 우리나라의 1998년도 목재 수급 실적

(단위: 1,000m³)

구 분	수 요		합 계	공 급				자급율 (%)
	내수용	수출용		국산재	수입재			
					소계	원목	목제품	
갱목용	110	-	110	110	-	-	-	100
합판용	1,881	262	2,143	-	2,143	1,121	1,022	0
보드용	726	193	919	417	502	184	318	45
펄프용	7,351	4	7,355	406	6,949	590	6,359	6
제재 및 가공용	9,480	74	9,554	495	9,059	2,475	6,584	5
합 계	19,548	533	20,081	1,428	18,653	4,370	14,283	7

그러나 우리나라의 현실은 정반대로서 국산재는 거의 대부분이 부가가치가 매우 낮은 가설재, 갱목, 말뚝, 보드용 칩 등의 용도로 사용되고 있는 실정이다. 표 1-1에서 보면 갱목용은 100% 국산재로 사용되고 있으며 보드용 칩을 생산하는 원자재도 45%의 자급률을 보이고 있다. 그러나 제재 및 가공용 목재의 경우에는 자급률이 5%에 불과하여 국산재가 고부가가치 용도로 거의 활용되지 못하고 있음을 알 수 있다.

집성재는 국산재의 제재 및 가공용 용도의 범주에 들 수 있으며 치수 또는 성질의 측면에서 비교적 등급이 떨어지는 목재를 고부가가치의 제품으로 활용할 수 있는 분야로서 앞으로 그 용도가 크게 확대될 것으로 기대되는 제품이다. 특히 우리나라의 경우에는 현재까지 구조용 집성재의 사용이 전혀 없는 실정이었기 때문에 집성재의 제조기술 및 집성재를 사용한 건축물의 구조설계 기술 등이 개발되고 일반인들에게 집성재 구조의 내화성능을 확신시켜 줄 수 있는 내화성능 평가 모델이 개발된다면 집성재 수요의 확대 가능성은 매우 높다고 할 수 있다. 아직까지 국내의

구조용 집성재 시장은 미미하기 때문에 이 연구를 통하여 어느 정도까지 시장을 확대할 수 있을 지는 미지수이지만 교회, 체육관, 수영장, 공장, 창고 등과 같은 큰 건물들에 모두 적용이 가능하기 때문에 성장 가능성이 매우 높은 분야라고 할 수 있다. 국산재를 이용한 집성재 산업의 발달은 곧바로 우리나라 산주들의 소득 증가 및 목재 가공 산업의 발전, 집성재를 이용한 대규모 건축산업의 발달 등으로 연결되어 사회 전반의 경제 및 산업적인 파급 효과가 매우 크다고 할 수 있다.

현재 우리나라의 입엽 분야에서는 목재의 낮은 자급율과 함께 간벌을 통한 올바른 산림관리의 문제가 시급히 해결되어야 하는 선결과제이다. 현재로서는 간벌재의 경제성이 없기 때문에 간벌이 제대로 이루어지지 못하고 간벌이 되지 않았기 때문에 좁은 지역에 너무 많은 나무가 성장하여 나무의 올바른 성장이 불가능하고 다 자란 나무도 경제적인 측면에서 가치가 없는 자원으로 전락하게 되는 악순환이 거듭되고 있다. 따라서 이러한 악순환의 고리를 끊기 위해서는 간벌재의 사용이 고부가가치의 용도로 이루어짐으로써 간벌작업에 경제성이 부여되어야 하는 것이 1차적인 과제가 될 것이다.

정부에서는 실업문제도 해결하고 산림관리도 촉진하기 위하여 공공근로 요원들을 산림에 투입하여 생명의 숲 가꾸기 운동을 실시하고 있다. 이러한 운동도 올바른 결실을 맺기 위해서는 국산 목재의 생산 및 사용에 경제성이 부여되어야 하는 전제조건이 충족되어야 할 것이다. 국민의 세금과 많은 실업자들의 땀이 투입된 산림의 공공근로 사업이 목재의 활용에 대한 기술개발의 미비로 실패로 끝난다면 그 동안 투입된 자금과 국민들의 관심과 노력에 대한 보상을 받을 수 있는 길이 요원하게 될 것이다. 따라서 지금 이루어지고 있는 국민들의 산림에 대한 관심과 산림에 대한 국가적인 재원이 투입은 국산 목재의 효율적인 활용 방법에 대한 연구와 병행함으로써 그 가치를 인정받을 수 있게 될 것이다. 집성재의 활용에 대한 연구는 현재 이루어지고 있는 사회적인 비용의 투입과 아울러 앞으로도 지속적으로 이루어질 투자에 대한 결실을 약속 받을 수 있는 한 가지 방법이 될 수 있을 것이다.

집성재는 문화적으로도 효율적인 활용이 가능한 제품이다. 예를 들면 현재 진행

중인 경회루 복원 및 지붕 개량사업에서 지붕의 서까래에 할열의 발생 및 귀서까래에 전단 파괴라는 문제점이 발견되었다. 따라서 현재 할열 및 전단파괴가 진행된 귀서까래를 제거하고 이를 다른 소재로 대체하고자 하지만 이 부재의 치수가 매우 크고 부담하여야 하는 하중이 매우 높기 때문에 부재의 선택에 어려움을 겪고 있다는 이야기를 현장을 담당하고 있는 문화재 관리국의 직원으로부터 들은 바가 있다. 이와 같은 경우에 집성재는 바람직한 대안이 될 수 있다.

집성재의 제조에는 건조된 층재들이 사용되기 때문에 미건조로 인한 문제의 발생 가능성이 없다. 국산재로서 매우 큰 치수의 부재를 구하기가 현실적으로 불가능하지만 집성재를 사용한다면 이러한 문제를 손쉽게 해결할 수 있다. 만곡진 부재의 가공 문제도 집성재의 제조에서는 크게 문제되지 않으며 가변 단면의 부재도 집성재 제조과정의 간단한 조작으로 쉽게 해결할 수 있는 문제이다. 따라서 문화재 복원 사업 분야에서도 우리 선조의 정신과 고유한 멋이 깃들어 있는 전통 문화재에 왜래 수입목재를 사용하기보다는 국산재를 이용한 집성재를 사용하는 것이 우리나라만의 전통과 얼을 살릴 수 있는 길이 될 것이다.

우리나라에서 집성재와 관련된 연구는 그 역사가 매우 짧다. 집성재의 제조 및 성질과 관련된 단편적인 연구가 이전에도 소규모로 진행되기는 했지만 집성재에 고나한 본격적인 연구는 1996년도에 농림기술개발과제로 임업연구원이 주관하여 수행된 “국산재의 신수요 개발”이 처음이라고 할 수 있다. 이 과제에서는 집성재의 제조와 관련된 기술이 집중적으로 연구되었으며 부재의 구조성능 평가에 관한 모델이 개발되기도 하였다. 그러나 이 연구는 집성재 제조의 기본적인 내용들만이 주로 연구되었으며 집성재의 이용과 관련된 분야까지 연구가 이루어지지지는 못하였다.

그 이후에도 집성재의 제조와 관련된 연구는 임업연구원을 중심으로 계속 이루어지고 있지만 집성재를 이용한 구조물의 설계 및 분석 그리고 집성재 부재 및 구조의 내화 성능에 관한 연구가 이루어지지 못함으로써 실제로 업계에서는 집성재에 대한 수요의 창출에 어려움을 겪고 있다. 일반인들이 목재에 대하여

가지고 있는 편견 중에서 가장 많은 내용이 목재의 구조적인 성능과 내화성능의 문제이다. 일반인들은 목재는 약한 재료로서 내장재로는 사용될 수 있지만 구조부재 특히 대규모 건물의 구조부재로서는 부적합하다는 인식을 가지고 있다. 또한 목재는 불에 타기 때문에 구조부재로 사용되었을 때 화재가 나면 건물이 쉽게 붕괴될 위험이 있는 것으로 생각하고 있다.

목재는 철이나 콘크리트 등의 재료에 비하여 단위 밀도당 강도가 가장 높으며 이는 목재가 가벼우면서도 강한 우수한 구조재료라는 것을 의미하는 것이다. 일반인들이 목재를 약하게 생각하는 것은 아직까지 우리나라에는 목구조에 대한 학문적인 배경이 미약하고 그 역사가 짧으며 이에 관한 연구의 결과도 매우 부족하기 때문이다. 이론적으로 일반인들을 설득시킬 수 있는 구조설계의 기술, 방법 및 이를 위한 자료가 부족하기 때문에 대규모 목구조의 사용에 대한 합리적인 방안을 제시할 수 없는 것이 우리의 현실이다. 집성재를 제조하는 업체에서조차 자신들이 제조하는 재료에 대한 확신이 없으며 이를 어떠한 방법으로 활용할 것인가에 대한 대책이 전혀 없는 실정이다.

목재는 불에 탄다는 사실은 누구나 알고 있다. 따라서 일반인들은 목구조 건물은 불에 잘 타기 때문에 화재가 발생하면 건물이 붕괴될 위험이 아주 높은 것으로 인식하고 집성재 구조의 사용에 회의를 느끼고 있다. 그러나 목재는 열전도율이 아주 낮기 때문에 화재가 발생하는 경우에 표면은 탄화되지만 목재의 내부는 오랜 시간 동안 건전한 상태에서 원래의 강도를 유지함으로써 화재 시에도 건물이 붕괴되지 않고 상당한 시간동안 견뎌주기 때문에 오히려 철구조보다 더욱 안전한 내화구조를 이루고 있다. 특히 집성재 구조와 같이 대형 부재를 사용한 목구조에서는 부재의 치수를 필요한 것보다 조금 크게 설계함으로써 화재에 대한 안전대책을 수립하는 것이 일반적인 방법이다.

그러나 이러한 내화구조의 설계는 화재 발생 후 목재의 탄화속도 및 목재 내부로의 열전도율과 밀접하게 연관되어 있기 때문에 이에 관한 체계적인 연구가 선행되어야 할 것이다. 그러나 아직까지 우리나라에서는 집성재의 내화성능에

대한 시험이 전혀 이루어지지 못하였으며 따라서 집성재 구조의 내화성능 평가 및 이에 기초한 내화설계의 기본방향조차 정립되어 있지 못한 실정이다.

우리나라에 비하여 미국, 일본 및 유럽 여러 나라들에서의 집성재에 관한 연구는 매우 높은 수준에 도달하여 있으며 집성재 구조의 실용화도 크게 진전되어 점차 집성재 건축물의 규모가 대형화되어 가는 추세이다. 미국이나 일본 등에서는 이미 내부 직경이 150m를 초과하는 실내 체육관의 지붕구조에 집성재가 사용되고 있으며 집성재는 구조용재로 사용하면서 동시에 내장의 효과까지 나타냄으로써 경제적으로도 매우 경쟁력 있는 건축용 구조재료로 인식되고 있다. 유럽에서는 오래 전부터 실내체육관이나 수영장, 실내 스케이트장 등을 집성재 구조로 건축하고 있으며 동계 및 하계올림픽 시설을 집성재 구조로 건축함으로써 환경친화적인 건축물로서도 호평을 받은 바 있다.

외국의 집성재 구조 건축은 이제 대형 건축물뿐만 아니라 보행자용 다리 또는 고속도로의 차량용 다리건축에까지 응용되고 있으며 방부처리를 통하여 내구성이 뛰어나고 진동의 흡수능력이 우수하여 교량으로써도 매우 우수한 재료임이 입증되었다. 그 외에도 집성재는 통신용 전봇대나 도로변의 가로등 또는 울타리와 조경용 구조물, 기념 조형물 등에 다양하게 활용되고 있다. 일반 주거용 및 상업용의 건축에서도 집성재의 활용은 점차 그 범위가 확장되고 있으며 이를 통하여 그 동안 목조건축의 한계로 받아들여지던 건축물의 규모가 점차 커지고 있는 실정이다.

목재는 지구상에서 유일하게 재생산이 가능한 천연자원으로서 오랜 시간이 경과한 후에는 모든 재생산이 불가능한 천연자원들이 고갈되고 인간이 활용할 수 있는 자원은 오직 목재만이 유일하게 남는 목재시대(Wood Age)가 도래하게 될 것이다. 이 때가 되면 많은 목재자원을 확보하고 있고 목재를 효율적으로 활용할 수 있는 기술을 가진 나라가 세계의 강대국이 될 것이다. 아직까지 이러한 시기가 오려면 먼 것처럼 느껴지겠지만 이러한 변화가 그렇게 오래 걸리지는 않을 것이며 이에 대비한 준비는 지금 시작해도 늦은 감이 있다고 할 수 있다.

이미 석유나 석탄 등의 자원은 매장량이 유한하여 앞으로 얼마되지 않아서 고갈될 우려가 있다는 사실들이 오래 전부터 알려져 있으며 이를 대비한 대체 에너지에 관한 연구가 전 세계적으로 광범위하게 이루어지고 있다. 육지에 매장된 자원의 양이 얼마 남지 않았기 때문에 깊은 바다 속의 자원에 대한 탐사나 개발이 진행되고 있으며 심지어는 달이나 화성의 자원을 채취하여 지구로 운반하는 방안에 관한 연구도 진행 중에 있다. 이러한 사실은 자원의 고갈에 대한 우려가 생각보다 심각하며 이에 대한 대비를 하루빨리 시행하여야 함을 의미하는 것이다.

목재시대의 대비라는 측면을 떠나서 현실을 보더라도 경제가 발전하면 목재의 소비가 증가하는 경향이 있다. 이는 다른 선진국들의 경우를 보더라도 쉽게 이해할 수 있다. 많은 나라들이 경제의 발전과정에서 일정 수준을 넘어서면 목재의 소비가 증가하면서 보다 많은 곳에 목재를 사용하고자 하는 경향을 나타내고 있다. 경제가 발전한 나라일수록 목재의 소비가 많고 목재자원에 대한 소중함을 인식하고 있다는 사실에서도 이러한 경향을 알 수 있다.

우리나라의 경우도 마찬가지로 1980년대 말부터 경제의 발전이 가속되고 국민소득이 증가하면서 목조건축에 대한 수요가 급격히 증가하여 1996년 및 1997년에 피크를 이루었고 1998년도에는 경제위기의 영향으로 수요가 급속히 감소한 바 있다. 이러한 목조건축에 대한 수요는 1999년도에 경제가 다소 회복되면서 다시 수요가 서서히 회복되는 추세를 나타내고 있다. 구조용 집성재에 대한 수요도 1995년도 이후에 교회나 전시관 등을 중심으로 조금씩 나타나기 시작하였으나 작년에는 경제위기로 인하여 급격한 감소세를 나타내었다. 아직까지 본격적인 경제 회복이 나타나지 않고 있으며 집성재 구조에 대한 일반인들의 인식 전환이 앞에서 언급한 이유들로 인하여 늦어지고 있기 때문에 본격적인 수요 창출은 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

그러나 앞으로 경제 위기가 완전히 극복되고 국민소득이 1997년도 수준으로 회복된다면 집성재 구조에 대한 수요도 급속도로 증가될 것으로 예상된다. 그러

나 이 때를 대비하기 위해서는 먼저 집성재 구조의 구조설계 기술 및 내화성능 평가 방법이 확립되어야만 일반 수요자들의 확신을 얻을 수 있고 본격적인 수요의 확대를 기대할 수 있을 것이다. 또한 외국업체들의 국내진출로부터 국내 시장의 보호와 국내업체들의 경쟁력 확보도 이러한 연구를 통하여 가능하게 될 것이다.

현재까지 우리나라의 목재 산업은 제재산업과 목질판상재료 산업 중심으로 발전되어 왔으며 이제는 이러한 산업 중심의 발전이 한계에 도달하였다. 현재 국내의 제재산업은 거의 사라지고 없는 실정이며 합판산업도 상당부분이 동남아시아로 넘어가고 PB 및 MDF산업만이 겨우 명맥을 유지하고 있는 실정이다. 목재산업도 기존의 1차 또는 2차 가공 산업만으로는 앞으로의 무한경쟁 시대에 경쟁력을 확보할 수 없으며 보다 부가가치가 높으며 첨단 기술이 필요한 산업구조로의 전환이 필요한 시점이다. 집성재산업은 이러한 관점에서 미래의 목재산업으로 집중 육성할 가치가 있는 산업분야로서 이를 위한 연구 개발의 노력이 절실히 요구되고 있다.

현재 우리나라의 건축법규에서는 건축법 시행령에서 세대 사이의 경계벽이나 3층 이상의 건축물에서는 주요 구조부를 내화구조로 건축하도록 정하고 있다. 건설교통부령 제 241호인 “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”에서는 내화구조의 종류를 지정하고 그 외의 구조들은 건설시험연구소의 내화시험 결과 인정을 받아서 사용하도록 정하였다. 목재는 “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”에서 내화구조로 열거되어 있지 않기 때문에 이를 내화구조에 사용하기 위해서는 매번 사용할 때마다 건설시험연구소의 시험을 거쳐서 사용하여야 하며 사실상 목재의 사용이 불가능한 현실이라고 할 수 있다. 건설교통부 고시 제 2000-93호인 “내화구조의 인정 및 관리 기준”에서는 각종 건축물의 구조부별로 내화성능을 정하였으며 1시간의 내화성능 인정을 받으면 4층 이하의 건축물에서는 거의 대부분의 용도 및 구조에 사용될 수 있도록 하였다. 건설교통부 고시 제 1996-43호인 “건축물의 구조내력에 관한 기준”에서는 목구

조의 경우에는 지붕 높이 13m, 처마 높이 9m 이하로 규정하고 있으며 바닥면적은 3,000m²까지 건축할 수 있도록 정하였다. 따라서 현행 법규의 테두리 내에서도 목재의 내화성능을 1시간까지만 인정받는다면 3층 이하의 건물에서는 다세대 주택, 공동주택, 근린생활시설, 근린공동시설, 의료시설, 체육시설 등에 목재를 구조용 재료로 사용할 수 있다고 할 수 있다.

구조용 집성재는 기존의 목재가 가지고 있던 치수, 결점 등의 문제점을 개선하여 목재의 한계로 여겨지던 치수와 구조성능의 문제를 해결할 수 있는 매우 중요한 구조용 재료이다. 대형구조물을 목재로 건축한다고 하는 것은 해당 시장의 확대 및 관련 산업의 발전이라는 측면에서도 중요하지만 목재산업 전반에 걸쳐서 일반인들이 목재에 대하여 가지고 있던 부정적인 시각을 수정하고 목재를 새롭게 인식할 수 있는 계기가 된다는 점에서도 그 의의가 매우 크다고 할 수 있다. 이 연구에서는 그 동안 구조용 집성재의 활용에 장애가 되어오던 여러 가지 문제들을 파악하고 이를 해결할 수 있는 방안을 강구함으로써 구조용 집성재가 대형 건축물의 구조재료로 사용될 수 있는 가능성을 열어주는 데 초점을 맞추어서 진행되었다.

구조용 집성재를 대형 건축물의 구조용 재료로 사용하기 위해서는 먼저 구조설계의 문제가 해결되어야 한다. 현재 국내의 모든 구조설계 기법은 콘크리트 건축물 및 철강구조물에 초점을 맞추고 있으며 목구조의 구조설계를 할 수 있는 기능을 전혀 가지고 있지 않은 실정이다. 따라서 대형 건축물에 구조용 집성재가 구조용재료 사용되기 위해서는 먼저 구조설계를 통하여 안전을 확보할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것이다. 집성재 구조의 구조설계에서는 접합부의 성능평가 및 이를 반영한 구조설계가 중요하다. 그리고 집성재의 허용응력 산출을 위하여 적용되는 조정계수의 종류, 값 및 적용 방법 등이 확립되어야 할 것이다.

집성재 구조의 구조설계에서 다음으로 떠오르는 문제는 집성재의 내화성능을 공식적으로 인정받는 문제이다. 매년 건축을 할 때마다 집성재에 대한 내화성능 시험을 건설시험연구소에 의뢰하고 그 성적에 의하여 내화성능을 인정받는다는

것은 비용과 시간의 측면에서 실용성이 거의 없다고 할 수 있다. 따라서 공식적으로 구조용 집성재의 1시간 내화성능을 인정받음으로써 매년 다시 내화시험을 수행할 필요가 없이 구조용 집성재를 대형 건축물의 구조재료로 사용할 수 있도록 방안을 강구할 필요가 있다. 이를 위하여 이 연구에서 이루어진 내화성능 시험 성적을 근거로 “집성재의 내화성능” KS규격안을 도출하여 이를 공식적으로 인정받을 수 있도록 기술표준원에 제출하고자 한다.

구조용 집성재는 대형 건물의 건축에 사용됨으로써 국내 시장뿐만 아니라 수출 시장의 개척도 가능할 것으로 예상된다. 구조용 집성재는 부피와 무게가 크기 때문에 운반비가 많이 소요된다. 따라서 가까운 일본이나 중국 시장을 대상으로 하는 경우에 멀리 떨어진 미국이나 캐나다에 비하여 우리나라가 지리적으로 훨씬 가깝기 때문에 운반비 부담이 적고 운송 기간이 적게 소요되어 상대적으로 높은 경쟁력을 갖게 될 것으로 생각된다. 일본의 목조건축 시장은 연간 약 70만 ~ 80만호에 이르며 이 중에서 많은 부분이 구조용 집성재로 건축됨으로써 그 시장 규모가 매우 크다.

구조용 집성재의 수출 시장 개척 가능성은 일본뿐만이 아니라 중국의 경우에도 매우 높다고 할 수 있다. 중국은 10억의 많은 인구가 있으며 앞으로 경제 성장의 잠재력이 매우 높기 때문에 목구조 건축 시장의 발전 가능성도 매우 높다고 할 수 있다. 따라서 중국에 대하여도 지리적으로 비교적 가까운 위치에 있는 우리나라가 구조용 집성재 수출에 있어서 유리한 입장에 있다고 할 수 있다. 따라서 일본 시장이나 중국 시장의 개척을 위하여도 구조용 집성재의 활용과 내화성능에 대한 연구 개발은 꼭 필요한 분야라고 할 수 있다.

이 연구는 구조용 집성재의 구조설계 기법 개발과 내화성능 평가라는 두가지 주제로 구성되어 있다. 구조용 집성재의 구조설계 기법 개발에서는 접합부의 새로운 접합 방법의 개발과 성능 평가를 실시하였다. 현재 접합부의 시험 방법에 대한 KS규격이 미비하여 이 연구에서 사용된 방법으로 KS규격안을 도출하였으며 이를 기술표준원에 제출하여 KS F 2153(목구조 철물 접합부의 전단 시험 방

법)로 인정을 받은 바 있다. 다음으로 구조용 집성재의 구조설계 방법에 대하여 연구를 실시하고 2차원의 포탈프레임 구조와 아치 구조에 대한 구조설계 방법을 개발하고 집성재 부재의 허용응력 계산을 위하여 적용되는 조정계수들의 종류 및 적용방법 등에 대하여 연구함으로써 실제 구조설계에 활용할 수 있는 방안을 강구하고자 하였다. 이 연구에서 연구된 조정계수들은 차후 KS규격안으로 정리하여 기술표준원에 제출하여 KS규격으로 인정받고자 한다. 구조용 집성재의 내화성능 평가에서는 집성재 보와 기둥에 대한 내화성능 시험을 실시하고 구조용 집성재에서 사용되는 접합부에 대한 내화성능 시험도 실시하였다. 접합부의 내화성능을 향상시킬 수 있는 방안도 강구하였으며 이를 통하여 집성재의 내화성능에 대한 KS규격안을 도출하였다.

제 2장 접합부의 성능 평가 및 구조설계 기법 개발

제 1절 서설

구조용 집성재는 제 2차 세계대전 기간 중에 개발되었으며 그 동안 목재 자체로서는 사용의 제한을 받는 여러 가지 용도로 다양하게 사용되어 왔다. 1980년대 들어서 목재의 재료로서의 평가가 새롭게 이루어지면서 집성재를 대형 건축물의 구조 재료로 사용하고자 하는 움직임이 본격화되기 시작하였다. 현재 인간이 사용하는 많은 재료들이 재생산이 불가능하며 이러한 재생산이 불가능한 자원의 무분별한 사용은 결과적으로 지구환경의 파괴를 초래하여 이 지구를 살만한 땅으로 후손들에게 물려주기 위해서는 보다 근원적인 대책이 필요하다는 공감대가 형성되기 시작한 것이다.

목재는 소재 자체로는 나무의 치수와 여러 가지 성질의 제약 때문에 대형 건축물의 구조재료로서의 용도에는 한계가 있다. 이러한 목재의 한계를 극복하고 재생산이 가능한 자원의 장점을 최대한 살리기 위하여 목재에 여러 가지 공학적인 기능을 부여하고자 하는 연구가 여러 분야에서 이루어져 왔다. 이러한 노력의 결과로 공학 목재로 일컬어지는 많은 재료들이 개발되었으며 그 중에서 가장 널리 사용되는 제품 중의 하나가 집성재이다. 집성재는 목재의 장점을 최대한 살릴 수 있으면서 또한 목재의 제한조건이 되는 치수와 강도의 문제를 효율적으로 해결할 수 있다는 측면에서 많은 연구자 및 설계자들의 관심을 받아왔다.

미국이나 유럽의 여러 나라, 캐나다, 일본, 호주 및 뉴질랜드 등에서는 일찍부터 집성재의 사용이 일반화되어 있으며 실내체육관, 교회, 운동시설, 수영장, 스케이트장 등의 사회 공공시설들이나 음식점, 호텔, 상점 등의 상가건물들이 집성재 구조로 건축되고 있다. 근래에는 차량용 또는 보행자용의 교량까지 집성재 구조로 건축되고 있으며 이를 통하여 재생산이 불가능한 자원의 사용의 최소화하고 재생산이 가

능한 자원의 활용을 최대도로 증가시킴으로써 지구환경 보존에 일익을 담당하고 있다.

집성재 구조는 재생산이 가능한 재료의 사용이라는 측면이외에 보다 아름답고 환경친화적이며 인간에게 친밀하고 자연적인 구조물의 건축이라는 측면에서도 매우 큰 의의가 있다. 따라서 앞에서 열거한 많은 선진국들에서는 앞으로 건축이나 건설 분야에서 목재 또는 집성재의 사용을 보다 확대시키고자 노력하고 있으며 이를 위하여 많은 연구자들이 새로운 제품의 개발, 새로운 구조 건축 기법의 개발, 새로운 설계 기법의 개발, 개발된 제품의 성능 평가 등의 작업에 몰두하고 있다. 매년 전 세계에서는 목구조 관련 학술회의들이 2-3건 개최되고 있으며 이들 학회에서 발표되는 주요한 연구결과들을 보면 집성재를 이용한 대규모 건축물의 설계, 시공 및 성능에 관한 연구가 점차 많아지고 있음을 알 수 있다.

이러한 세계적인 연구 추세에 비하여 우리나라는 집성재를 비롯한 공학목재 연구 분야에서 이제 초기 단계에 접어들어 있으며 연구자의 숫자나 연구투자 등의 측면에서 매우 열악한 실정을 벗어나지 못하고 있다. 구조용 집성재에 관한 국가 표준인 KS규격(KS F 3021(구조용 집성재))이 1998년초에 제정되었으며 구조용 집성재를 생산할 수 있는 능력이나 시설을 갖춘 기업도 1~2개에 불과한 실정이다. 그러나 앞으로 사회의 모든 분야에서 환경의 문제가 고려되어야 하며 세계의 일원으로서 우리나라도 지구환경 보호에 참여하여야 하고 경제의 발전과 더불어 집성재를 이용한 목구조에 대한 수요가 더욱 늘어날 것으로 예상되기 때문에 이에 관한 기술의 개발이 시급히 요구되고 있다.

이 연구에서는 구조용 집성재를 사용한 건축물에서 집성재 부재 사이의 접합부에 대한 성능 평가와 구조설계 기법의 개발을 목표로 설정하였다. 이러한 연구 목표를 통하여 현재 우리나라의 집성재 산업이 안고 있는 문제에 접근하고자 하며 이러한 문제점들을 해결함으로써 국내의 집성재 제조산업의 활성화, 국산 목재의 활용도 증진, 집성재를 이용한 대규모 건축물의 건축 활성화 등에 기여하고자 한다.

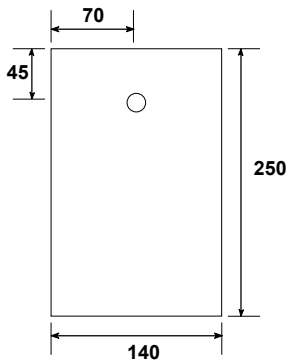
제 2절 재료 및 방법

1. 1차년도: 접합부의 성능 평가

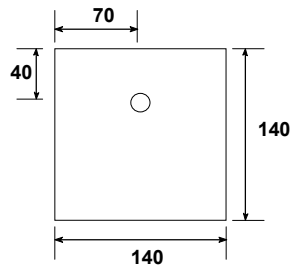
가. 시험재료

구조용 집성재 제조용 재료로서 국산 낙엽송과 소나무를 사용하였고 비교를 위하여 캐나다에서 수입된 미송을 사용하였다. 공시재료는 인공건조를 통하여 함수율을 18% 이하로 조절하고 최종치수를 38mm×140mm로 대패질하여 볼트접합부 시험용 목재를 제조하였다. 하중방향이 섬유에 평행한 볼트접합부의 시험을 위하여 시험편의 길이를 250mm로 제조하고 끝면으로부터 45mm되는 지점에 양 측면으로부터 중앙부에 볼트를 설치하기 위한 구멍을 뚫었다. 하중방향이 섬유에 수직인 볼트접합부의 시험을 위하여 시험편의 길이를 140mm로 제조하고 측면으로부터 40mm 되는 지점에 양 끝면으로부터 중앙부에 볼트를 설치하기 위한 구멍을 뚫었다(그림 2-1).

(Unit: mm)



(a) Specimens for loading parallel to grain



(b) Specimens for loading perpendicular to grain

Figure 2-1. Specimens for tests of bolted joints.

볼트 접합부 시험은 그림 2-2와 같이 2면 전단 시험으로 실시하였으며 주부재가 철판이고 양 측면부재가 목재인 경우(그림 2-2(a)), 주부재가 목재이고 양 측면부재가 철판인 경우(그림 2-2(b)) 그리고 주부재 및 양 측면부재가 모두 목재인 경우(그림 2-2(c))에 대하여 시험편을 제조하였다. 볼트접합부를 만들기 위하여 직경이 12mm, 16mm 20mm 및 22mm이고 표면을 검게 열처리한 H/T 볼트를 시중에서 구입하여 사용하였다.

집성재에 대한 접합부 시험을 위한 시험재료는 인천에 소재하며 KS F 3021 표시 허가업체인 경민산업(주)에서 제조하였다. 집성재 제조를 위하여 레솔시놀수지를 사용하였으며 집성재의 품질 및 제조조건은 KS F 3021(구조용 집성재) 규격을 적용하였다. 볼트접합부에서 접착층이 허용내력에 미치는 영향을 측정하기 위하여 5개의 층재를 접착하여 130mm×150mm의 집성재를 제조하였다. 집성재 접합부의 시험을 위하여 130mm×400mm 단면에 2m 길이의 집성재를 제조하였으며 집성재의 목표 등급은 KS F 3021에 규정된 10S-28B로 하였다.

철판 주부재 및 측면부재는 KS D 3752의 SM45C 등급의 표면이 열처리된 철판으로 제조하였으며 두께는 6mm로 하였다. 단일볼트 접합부 시험을 위한 철판은 140mm×140mm 크기로 제작하였고 2개 및 3개의 볼트 접합부 시험을 위하여 각각 140mm 나비에 220mm 및 320mm의 길이로 제작하였다. 볼트 설치를 위한 구멍은 볼트의 직경과 동일하게 제작하였으며 볼트와 볼트 사이의 거리는 100mm로 하였다.

목재의 수종별 강도 차이와 방향에 따른 강도 차이를 측정하기 위하여 표 2-1과 같이 여러 가지 조합의 시험편을 제작하여 시험을 실시하였다. 한가지 시험편의 성상에 대하여 각각 10회의 반복을 실시하였고 결과의 평균치를 구하였다.

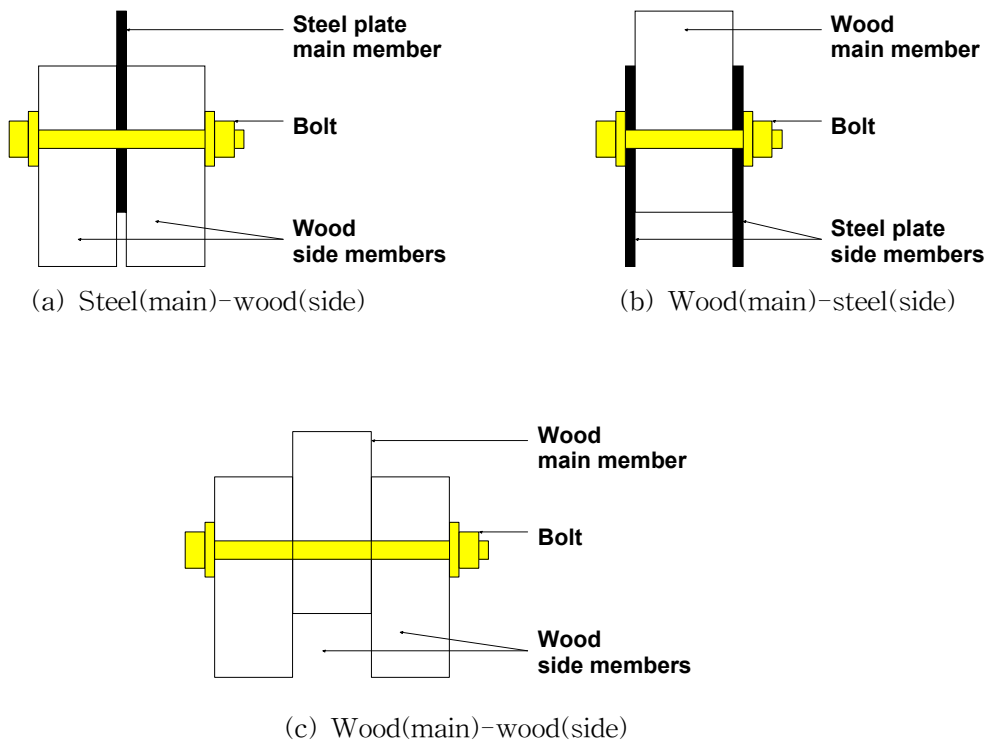


Figure 2-2. Bolted-joint specimens.

Table 2-1. Kinds of specimens used for the tests

Diameter of bolt	Species	Main member	Side member
12, 16, 20, 22	Larch, Red pine, Douglas-fir	Steel	Wood (∥ to grain) ¹⁾
		Steel	Wood (⊥ to grain) ²⁾
		Wood (∥ to grain)	Steel
		Wood (⊥ to grain)	Steel
		Wood (∥ to grain)	Wood (∥ to grain)
		Wood (∥ to grain)	Wood (⊥ to grain)
		Wood (⊥ to grain)	Wood (∥ to grain)
		Wood (⊥ to grain)	Wood (⊥ to grain)

주 ¹⁾ ∥ to grain: 부재의 섬유방향이 하중방향에 평행
²⁾ ⊥ to grain: 부재의 섬유방향이 하중방향에 수직

나. 시험 방법

1) 볼트접합부의 2면전단 시험

볼트접합부의 시험방법은 아직까지 KS 표준 규격이 정하여져 있지 않기 때문에 이 연구에서는 미국의 ASTM E 767, ASTM D 1760, ISO 6891 등의 규격을 참고하여 우리의 실정에 적합하게 목재접합부의 1면전단 및 2면전단 시험 방법을 정하고 이를 KS 규격으로 제정하기 위하여 “목구조 철물접합부의 전단 시험 방법”이라는 제목으로 KS 규격 제정안을 기술표준원에 제출하였다. 이 규격 제정안은 목재전문위원회와 건축부회를 거쳐서 KS F 2153으로 확정되었다.

이 연구에서는 볼트접합부의 2면전단 시험 방법을 적용하여 시험을 실시하였다. 먼저 그림 2-2의 접합부 시험편에 대하여 압축하중을 가하고 시험편의 양측면에 LVDT를 부착하여 주부재와 측면부재 사이의 상대적인 변위값을 측정하고 그 평균치를 변위로 하여 그림 2-3과 같은 하중-변위선도를 구한 후 이로부터

접합계수, 항복강도 및 최대강도를 구하였다.

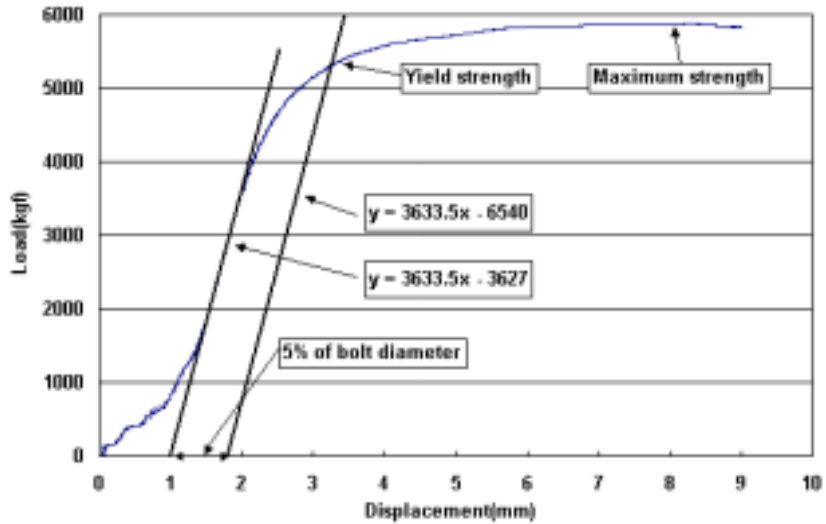


Figure 2-3. Typical load-slip diagram for double shear of bolted joints.

그림 2-3에서 접합계수는 식 (2-1)과 같이 초기 직선 구간의 기울기로 구하였으며 최대하중은 가장 큰 하중값으로 구였다. 식 (2-1)에서 분모의 2는 2면 전단에 의한 시험 측정치로부터 1면 전단 볼트접합부의 허용내력을 계산하기 위한 수치이며 2면 전단 접합부에 대한 허용내력을 계산하는 경우에는 식 (2-1)의 분모에서 2를 삭제하여야 한다. 그림 2-3에서 초기직선구간의 기울기를 그대로 하여 볼트 직경의 5%에 해당하는 변위를 주어 수평 이동시킨 직선과 하중-변위 곡선이 만나는 점을 항복점으로 정의하고 이 때의 하중값을 항복강도로 하였다.

$$K = \frac{P_{pl}}{2(\Delta_{pl} - \Delta_o)} \quad (2-1)$$

여기서 K = 접합계수 (kgf/mm)

P_{pl} = 비례한도 하중 (kgf)

Δ_{pl} = 비례한도 변위 (mm)

Δ_o = 그림 4에서 초기 비례한도 구간의 직선이 x축과 만나는 값 (mm)

실제 시험장치의 사진은 그림 2-4 및 2-5와 같으며 실제 시험에서 시험편의 아래쪽에 LVDT를 설치하는 것이 측정기의 파손 우려가 있고 설치에 어려움이 있기 때문에 그림 2-4와 같이 시험편의 양면에 각각 1개씩의 LVDT를 설치하고 이들 2개의 LVDT 측정치의 평균으로 접합부 변위를 구하였다.

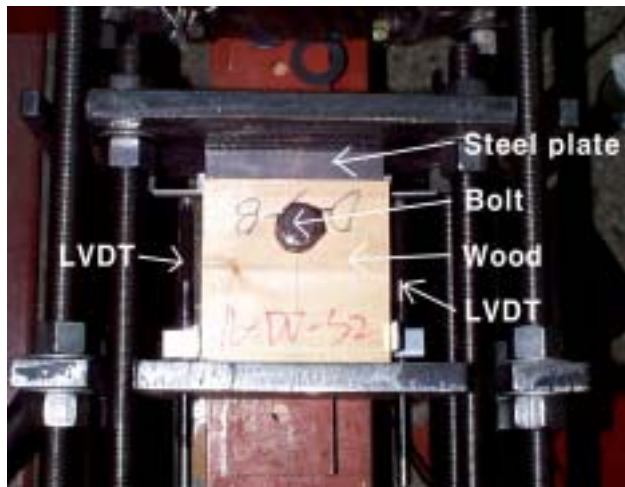


Figure 2-4. Picture of testing arrangement for double shear of bolted joints.



Figure 2-5. Overall testing arrangement for bolted joints.

2) 집성재 접합부의 모멘트 저항 시험

실대재 크기의 집성재 접합부에 대한 모멘트 저항 성능 시험을 위하여 그림 2-6과 같은 시험장치를 제작하였다. 집성재 부재의 크기는 단면 치수 130mm×400mm에 길이는 2.4m로 하였으며 한쪽 끝은 핀지점으로 회전이 자유롭도록 받침틀에 고정시키고 다른 쪽 끝은 시험기의 실린더에 핀으로 고정시켜서 하중을 가하게 된다. 실린더에 의하여 작용하는 인장이나 압축하중은 접합부에 모멘트로 전달되며 접합부의 변위를 상하 양면에서 측정하여 그 평균치를 접합부의 회전각으로 계산하여 변위를 구하게 된다. 실제로 제작된 접합부 모멘트 저항 시험용 받침틀의 사진은 그림 2-7과 같다.

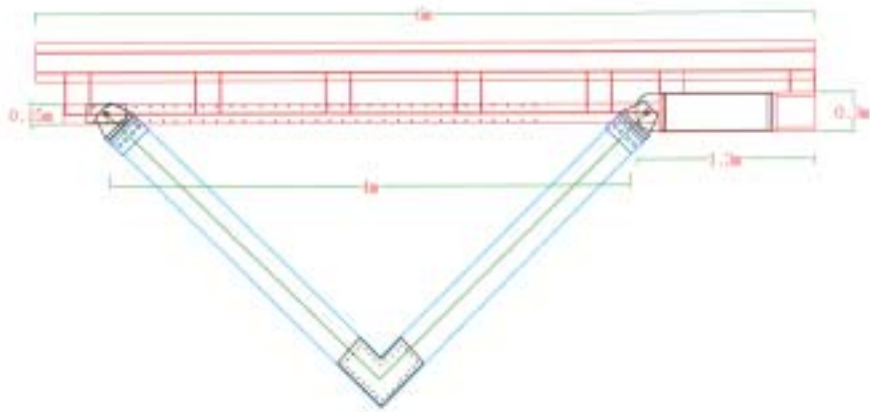


Figure 2-6. Schematic diagram of moment-resistance testing arrangement for glulam connections of actual size.



Figure 2-7. Picture of moment-resistance testing frame for glulam.

2. 2차년도: 모멘트 저항 접합부의 성능 평가

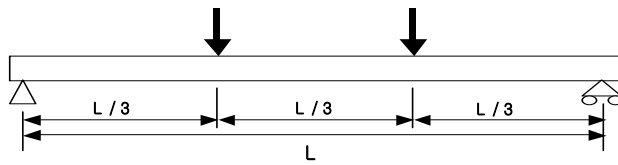
가. 시험재료 및 시험편

시험용 집성재의 제조를 위하여 국산 낙엽송을 사용하였고 집성재의 제조는 1년차의 경우와 마찬가지로 참여기업인 경민산업(주)에 의뢰하였다. 집성재의 단면치수는 130mm×250mm로 하였고 집성재 보 시험을 위한 부재는 길이를 3400mm로 하였으며 접합부의 제조를 위한 부재는 길이를 1800mm로 하였다. 휨시험에서 지간거리는 3000mm로 하였고 접합부 제작을 위하여 두께 6mm의 철판을 사용하고 직경 15mm의 볼트를 사용하였다.

나. 시험방법

1) 실대재 휨시험 방법

모멘트 저항 접합부재의 구조성능에 대한 평가 자료를 얻기 위하여 접합부가 없는 집성재 및 접합부가 있는 집성재 실대재에 대한 휨시험을 실시하였다. 집성재 실대재의 휨시험은 KS F 2150에 따라서 그림 2-8과 같이 1/3점 하중 방법으로 실시하였다. 하중의 속도는 분당 15N/mm² 이하로 하고 식 (2-2) 및 (2-3)에 의하여 휨탄성계수(MOE) 및 휨강도(MOR)를 계산하였다.



L: 지간거리

Figure 2-8. A-type bending test for structural glulam(KS F 3021).

$$\text{휨탄성계수(MOE)} = \frac{P_e L^3}{4.7 \Delta_e b h^3} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{-----} \quad (2-2)$$

$$\text{휨파괴계수(MOR)} = \frac{P_m L}{b h^2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{-----} \quad (2-3)$$

여기서 P_e = 비례한도 하중 (N)

Δ_e = 비례한도 변형 (mm)

L = 지간거리 (mm)

b = 시험편의 나비 (mm)

h = 시험편의 두께 (mm)

P_m = 최대하중 (N)

2) 철물접합 집성재 부재의 제작

모멘트 저항 접합부재에 대한 실험을 실시하기 위하여 그림 2-9와 같이 철물접합부재를 설계 제작하였다. 그림 2-9에서 a)는 철물접합부가 없는 집성재 부재로써 접합부가 있는 집성재보와 시험결과를 비교하기 위한 용도로 사용되었다. 그림 2-9 b)는 볼트접합부재로써 15mm 직경의 볼트를 상부에 4개

중간에 4개 그리고 하부에 8개를 사용하였다. 그림 2-9 c)는 합판-못접합부재로써 15mm 두께의 합판을 양면에 대고 90mm 길이의 건축용 못을 상하좌우 각각 30mm 간격으로 양면에 총 240개를 박아서 접합부를 구성하였다. 그림 2-9 d)는 래그나사못 접합부재로써 지름 9mm의 래그나사못을 상부 및 하부에 각각 4개 및 8개를 설치하였고 중간에는 지름 15mm의 볼트를 4개 설치하였다. 그림 2-9 e)는 철근 삽입 접합부재로써 30도의 경사각으로 지름 10mm의 이형철근을 삽입하고 구멍과 철근 사이에 에폭시 수지를 채운 형태이다. 그림 2-9 e)의 접합부재는 매우 강한 모멘트 저항 능력을 지닐 것으로 예상하였지만 철근을 삽입하기 위한 30도 각도의 구멍을 뚫는 공정과 빈틈에 에폭시 수지를 완전히 채우는 제작 공정상의 문제로 인하여 완전한 접합부를 만들지 못한 것으로 생각되며 강도시험 결과도 다른 접합부재에 비하여 성능이 좋지 않은 것으로 나타났다.

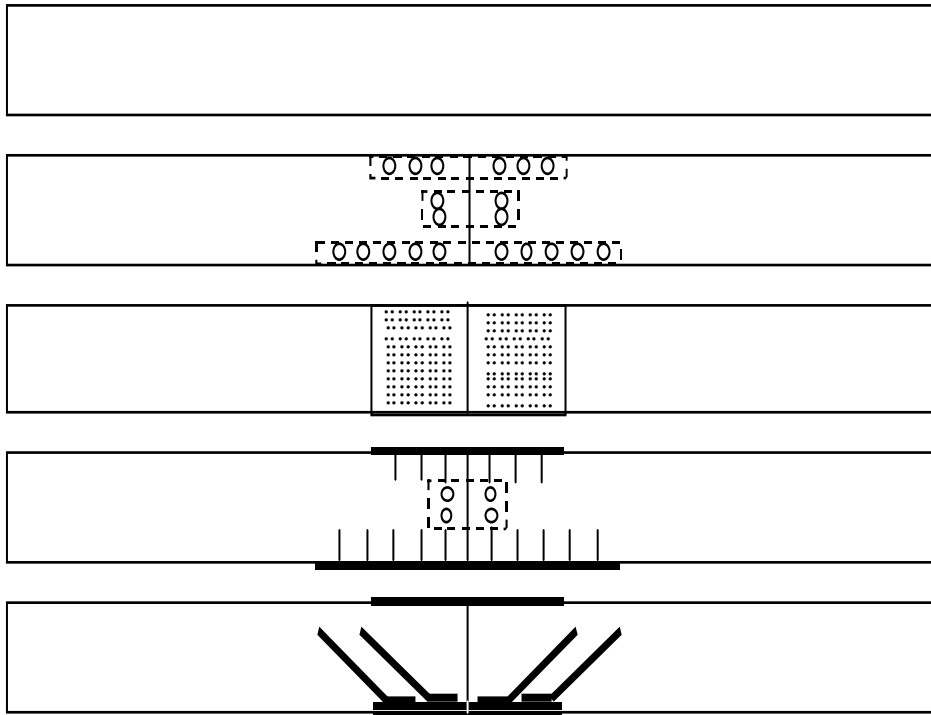


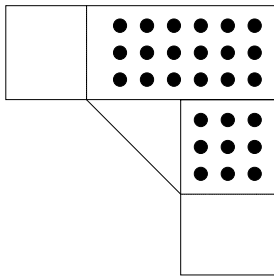
Figure 2-9. Types of glulam beams used for tests.

3) 철물접합부의 모멘트 저항 시험

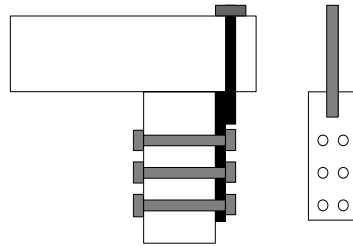
집성재 구조에서는 직각으로 만나는 부재 사이에 철물접합부가 일반적으로 사용되는데 아직까지는 이들 철물접합부의 모멘트 저항 성능이 구조계산에서 인정 받지 못하고 있다. 그것은 목재 사이의 철물접합부가 강성결합을 이루지 못하고 반강접합의 특성을 나타내며 성질의 변이가 크게 나타나기 때문이다. 따라서 세계 여러 나라들에서는 모멘트저항 철물접합부를 개발하고 그들의 강도 특성을 평가하고 있으며 이 연구에서도 그러한 노력의 일환으로 여러 가지 철물접합부

의 모멘트 저항 시험을 그림 2-6과 같이 실시하였다. 그림 2-6에서 직각으로 만나는 부재 사이에 철물접합부를 구성하고 접합부의 중심으로부터 부재의 길이는 1.8m로 하였다. 부재의 한쪽 끝은 핀접합으로 고정시킴으로써 회전이 자유롭게 하였고 다른 끝부분은 시험기에 연결하여 인장, 압축 또는 인장과 압축의 반복하중 하에서 시험을 실시하였다.

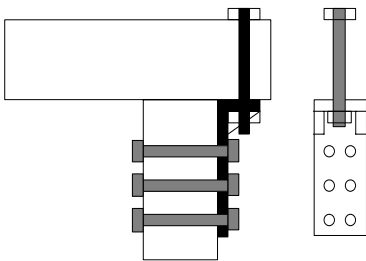
이 연구에서는 모멘트 저항 철물접합부로서 그림 2-10 및 2-11과 같은 철물을 개발하고 그 접합부에 대하여 모멘트 저항 시험을 실시하였다. 먼저 그림 2-10의 철물들을 설계한 후 장단점을 분석하고 단점을 보완하여 그림 2-11과 같은 철물 접합부를 제작하여 이들 2가지 접합부에 대하여 모멘트 저항 시험을 실시하였다. 그림 2-11 a)는 변형 주격쇠를 이용한 접합방법으로써 모멘트에 대하여 상당한 수준의 저항력을 제공할 수 있을 것으로 예상되었다. 그림 2-11 a)에서 볼트 대신에 지름 9mm의 래그나사못을 사용한 접합부재에 대한 시험도 실시하였으며 볼트 접합부의 실제 사진은 그림 2-11 c)와 같다. 그림 2-11 b)의 접합부는 집성재 구조에서 일반적으로 사용되는 전단 접합부의 변형된 형태로써 실제 사진은 그림 2-11 d)와 같으며 비교자료를 얻기 위하여 모멘트 저항시험을 실시하였다. 이 연구에서 개발된 주격쇠 접합철물의 모양은 그림 2-11 e)와 같다.



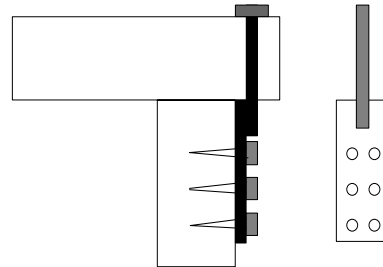
a) Bolted joint with steel plate



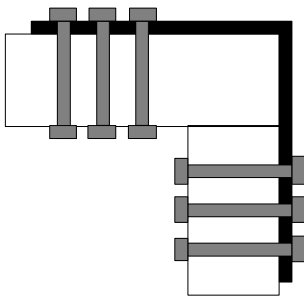
b) Bolted joint with spoon tie



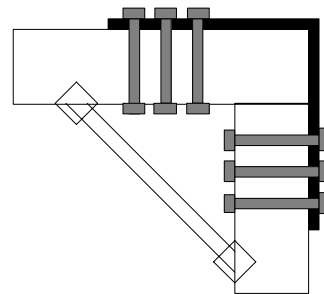
c) Bolted joint with revised spoon tie



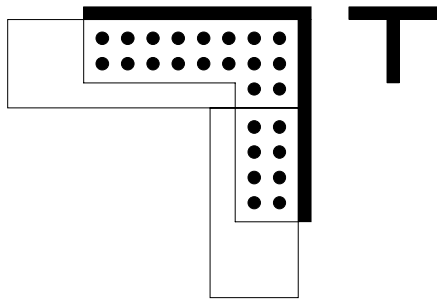
d) Lag-screwed joint with spoon tie



e) Bolted joint with steel plate

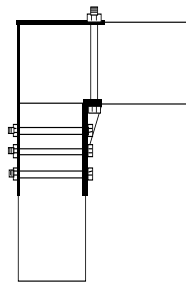


f) Bolted joint with steel plate and knee brace

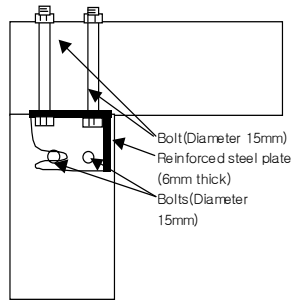


g) Bolted or lag-screwed joint with steel plate of T-section

Figure 2-10. Various joint configurations developed in this study.



a) Bolt or lag-screw joint with steel plate and spoon tie



b) Reinforced hanger joint



c) Picture of bolt joint with steel plate and spoon tie



d) Picture of reinforced hanger connector



e) Picture of spoon tie connector

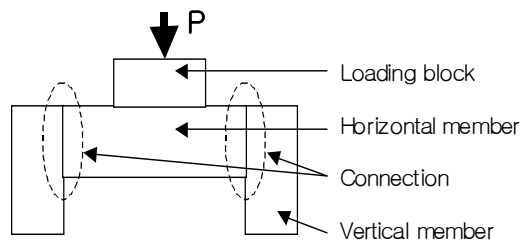
Figure 2-11. Glulam connections employed in this study.

4) 철물접합부의 진단시험

현재 집성재 구조에서 적용되는 수직 부재 사이의 철물접합부는 모멘트 저항 성능은 인정받지 못하고 수직하중을 전단에 의하여 지지 또는 전달하는 것으로 구조설계가 이루어진다. 따라서 여러 가지 형태의 철물접합부에 대한 전단 시험을 실시하여 그 수직하중지지 성능을 평가하였다. 철물접합부의 전단시험은 그림 2-12와 같이 실시하였으며 양 측면의 변형을 측정하여 그 평균치를 접합부의 변형으로 하고 측정된 하중의 1/2을 단일 접합부의 하중지지 능력으로 계산하였다.



(a) Picture of testing set-up



(b) Testing arrangement

Figure 2-12. Shear tests for glulam connections.

5) 모멘트 저항 접합부재의 구조계산 방법 개발

모멘트 저항 접합부재는 접합부가 없는 부재와는 달라서 휨성능에 접합부의 영향이 포함될 것이다. 따라서 시험을 통하여 접합부의 영향이 얼마나 되는지 확인하고 이를 접합부재를 위한 구조계산에서 반영할 수 있는 방법을 강구하고자 한다.

3. 3차년도: 철물 접합부재의 성능 평가 및 구조설계 기법 개발

가. 시험재료 및 시험편

2차년도의 내화성능 시험에서 접합부재의 설계가 내화성능을 나타내기에 부적합하여 내화성능이 매우 낮게 나타남으로 인하여 3차년도에는 접합부의 내화성능을 향상시킬 수 있는 방안을 강구하고 이에 대한 모멘트 저항 성능 평가를 실시하였다. 이를 위하여 3차년도에도 국산 낙엽송을 사용하여 시험용 집성재를 제조하였으며 시험편의 제조는 이 연구의 참여기업인 경민산업(주)에 의뢰하였다. 시험용 집성재보의 단면 치수는 130mm×350mm로 하였고 길이는 3400mm로 제조하였으며 휨시험에서의 지간거리는 3000mm로 하였다. 접합부는 휨 시험편의 중앙에 배치하였으며 접합부를 구성하기 위하여 6mm 두께의 철판과 12mm 지름의 볼트 및 래그나사못을 사용하였다.

나. 시험 방법

1) 시험용 집성재 접합부재

이 연구에서는 그림 2-13, 2-14, 2-15, 2-16 및 2-17과 같은 5가지 종류의 접합부재를 제작하고 이에 대한 내화성능 및 구조성능 평가를 실시하였다.

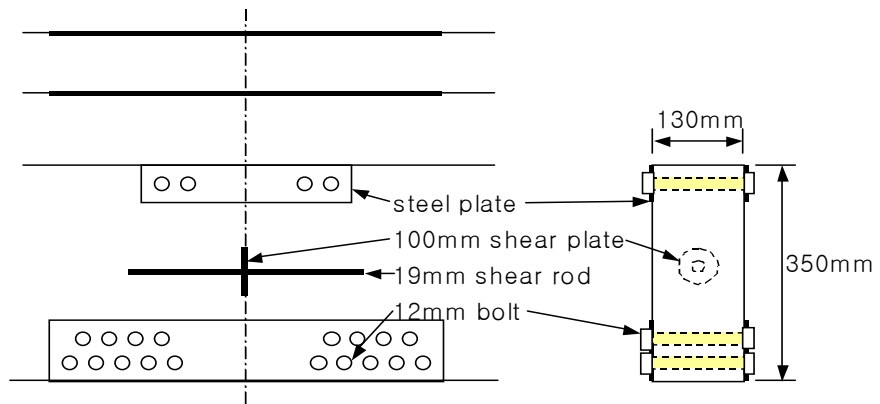


Figure 2-13. Bolted joint with splitted steel plates(SP-type connector).

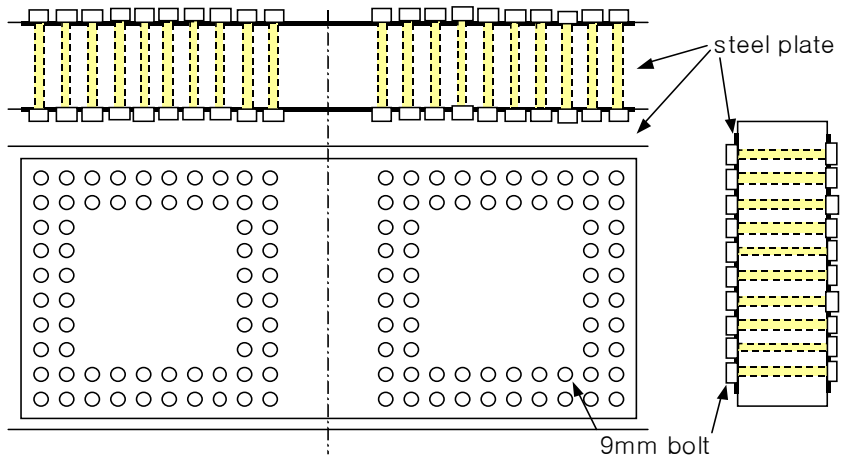


Figure 2-14. Bolted joint with whole steel plate(GP-type connector).

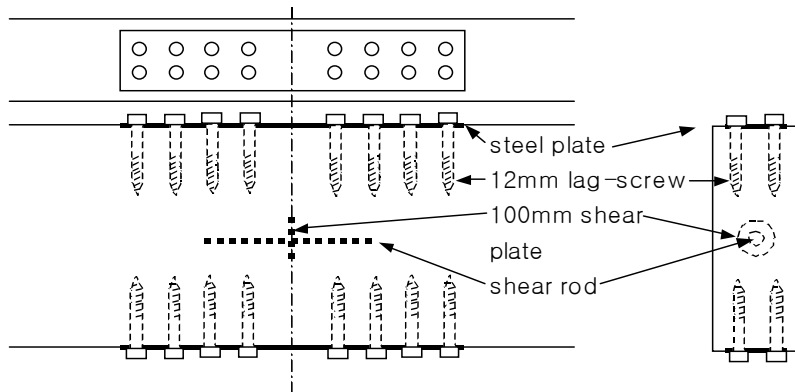


Figure 2-15. Lag-screwed joint with top and bottom steel plate (SCP-type connector).

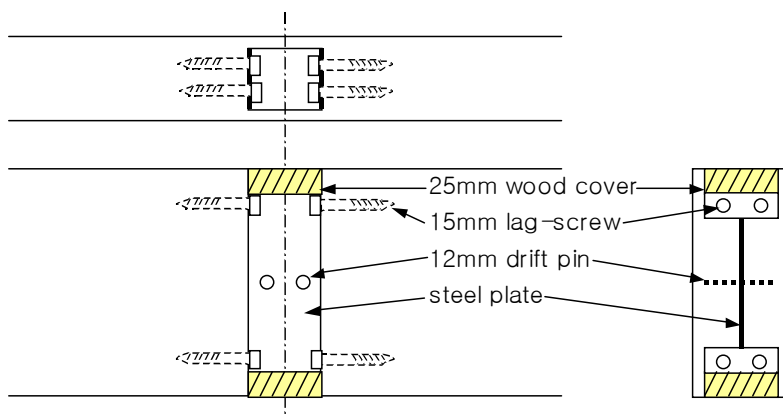


Figure 2-16. Joint with Rahmen steel connector (R-type connector).

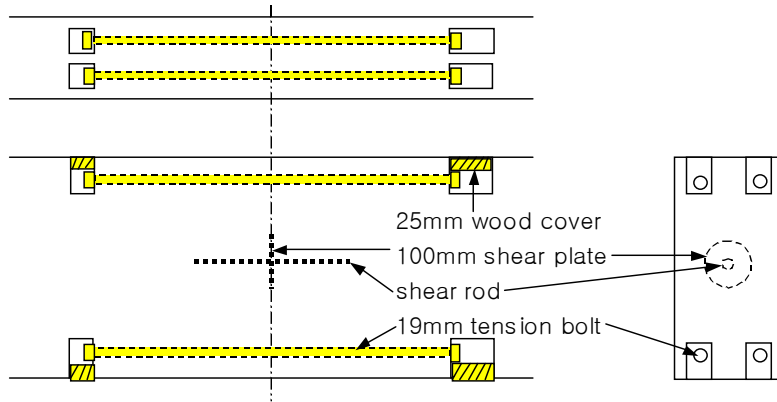
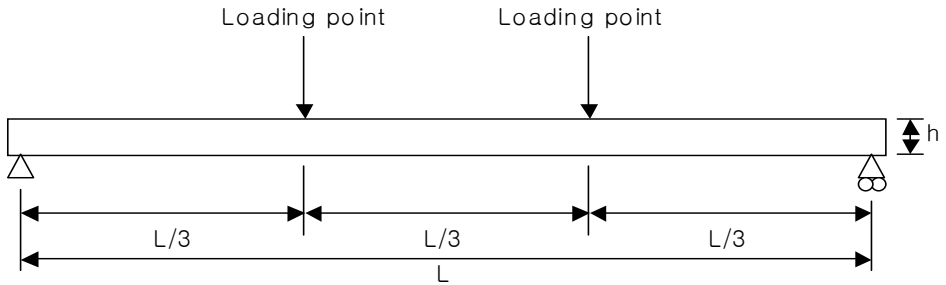


Figure 2-17. Joint with inserted tension bolts(TB-type connector).

2) 집성재 실대재의 휨시험

모멘트 저항 접합부재의 구조성능에 대한 비교 평가 자료를 얻기 위하여 접합부가 없는 집성재 실대재에 대한 휨시험을 실시한다. 집성재 실대재의 휨시험은 그림 2-18과 같이 KS F 2150(구조용 실대재의 휨시험 방법)에 따라서 실시하고자 한다. 하중의 속도는 시험 시작 후 10분 정도에서 최대하중에 도달하도록 조정하고 식 (2-4) 및 (2-5)에 의하여 휨탄성계수(MOE) 및 휨강도(MOR)를 계산한다.



L: Span

h: Thickness of specimen

S: Distance between loading points

Figure 2-18. Third-point loading bending test for glulam beam(KS F 2150).

휨탄성계수 ----- (2-4)

$$(N/mm^2) = \frac{P_e L^3}{4.7 \Delta_e b h^3}$$

휨강도 ----- (2-5)

$$(N/mm^2) = \frac{P_m L}{b h^2}$$

여기서 P_e = 비례한도 하중 (N)

Δ_e = 비례한도 변형 (mm)

L = 지간거리 (mm)

S = 하중점 사이의 거리 (mm)

b = 시험편의 나비 (mm)

h = 시험편의 두께 (mm)

P_m = 최대하중 (N)

3) 포탈프레임구조의 구조설계 기법

구조용 집성재를 이용한 구조는 기둥-보 구조로써 일반적으로 포탈프레임으로 간주하여 구조설계가 이루어진다. 포탈프레임에서는 기둥과 보의 접합부가 모멘

트 저항 접합이라는 가정 하에서 구조설계가 이루어진다. 그러나 집성재 기둥과 보 사이의 접합부는 완전한 강성 접합부를 형성하지 못하고 어느 정도까지는 강성을 나타내지만 일정 수준 이상의 모멘트가 작용하면 회전이 발생하기 때문에 반강 접합으로 인식되고 있다. 반강접합의 구조설계는 매우 복잡하고 아직까지 완전히 정립된 이론이 없기 때문에 이 연구에서는 강성 접합으로 가정하고 구조설계 방법을 개발하였다.

4) 아치구조의 구조설계 기법

집성재 구조 중에서 가장 많은 형태 중의 하나가 아치구조이다. 집성재는 제조 시에 원하는 곡률을 갖는 부재를 자유자재로 제조할 수 있다는 장점을 갖는다. 따라서 다른 구조와는 달리 만곡집성재의 제조가 가능하기 때문에 그 장점을 이용하여 아치구조의 집성재 건축물 설계가 용이하게 이루어진다. 따라서 집성재 아치구조에 대한 구조설계 방법의 확립이 필요하며 여기서도 앞의 포탈프레임의 경우와 집성재의 접합부를 강성이라고 가정하고 구조설계 방법을 연구하였다.

제 3절 결과 및 고찰

1. 1차년도: 접합부의 성능 평가

가. 볼트접합부의 2면전단 시험

1) 볼트접합부의 강도

볼트접합부에 대한 2면전단 시험은 표 2-1의 시험편들에 대하여 각각 볼트를 통하여 전달되는 하중이 섬유방향인 경우와 섬유직각방향인 경우 그리고 볼트직경이 12mm, 16mm, 20mm 및 22mm의 4가지에 대하여 시험을 실시하였다. 현재 사용 중인 강도시험기는 압축시험용이 아니고 인장형 피로시험기로서 시험기가 고정된 형태가 아니기 때문에 큰 압축하중이 작용하면 시험장치 자체의 균형이 무너져서 시험을 실시하기가 어렵다. 이 문제를 해결하기 위하여 인장하중을 압축하중으로 전환하여 시험편에 전달할 수 있는 그림 2-4와 같은 보조장치를 만들어서 시험을 실시하였다.

볼트접합부에 대한 2면전단 시험의 결과는 표 2-2, 2-3 및 2-4와 같다.

Table 2-2. Results of double shear tests for bolted joints made of larch
lumber

Bolt diameter (mm)	Main member	Side member	Joint modulus (kgf/mm)	Yield point		Maximum strength (kgf)
				Load (kgf)	Displacement (mm)	
12	Steel	Wood(∥) ¹⁾	6339	2694	1.20	3014
	Steel	Wood(⊥) ²⁾	2387	1585	1.33	1903
	Wood(∥)	Steel	3608	4179	2.37	4601
	Wood(⊥)	Steel	1564	2371	2.28	2896
	Wood(∥)	Wood(∥)	2453	2108	2.19	2208
	Wood(∥)	Wood(⊥)	637	1869	3.21	1998
	Wood(⊥)	Wood(∥)	974	999	1.71	1472
16	Steel	Wood(∥) ¹⁾	22202	- ³⁾	-	-
	Steel	Wood(⊥) ²⁾	3393	2155	2.0	2587
	Wood(∥)	Steel	3343	5649	2.18	6029
	Wood(⊥)	Steel	1545	2648	2.72	3234
	Wood(∥)	Wood(∥)	3539	2053	2.38	2418
	Wood(∥)	Wood(⊥)	744	2033	3.03	2332
	Wood(⊥)	Wood(∥)	816	1441	2.82	1858
20	Steel	Wood(∥) ¹⁾	22578	-	-	-
	Steel	Wood(⊥) ²⁾	3630	2124	2.44	3084
	Wood(∥)	Steel	2739	6573	2.88	6837
	Wood(⊥)	Steel	2218	2342	2.82	3651
	Wood(∥)	Wood(∥)	3570	2856	2.65	3294
	Wood(∥)	Wood(⊥)	807	2602	2.86	2646
	Wood(⊥)	Wood(∥)	1295	1450	2.66	2184
22	Steel	Wood(∥) ¹⁾	22464	-	-	-
	Steel	Wood(⊥) ²⁾	2714	2253	2.87	2946
	Wood(∥)	Steel	2420	6886	2.62	6973
	Wood(⊥)	Steel	1080	3448	2.64	4081
	Wood(∥)	Wood(∥)	2714	3691	3.00	3835
	Wood(∥)	Wood(⊥)	823	3334	2.96	3472
	Wood(⊥)	Wood(∥)	1419	1648	2.61	2479
	Wood(⊥)	Wood(⊥)	754	1968	3.90	2346

주 1) 목재의 섬유방향이 하중방향에 평행
 2) 목재의 섬유방향이 하중방향에 수직
 3) 시험 초기에 목재 부재가 섬유방향에 평행하게 갈라짐(볼트의 끝면거리 부족)

Table 2-3. Results of double shear tests for bolted joints made by red pine lumber

Bolt diameter (mm)	Main member	Side member	Joint modulus (kgf/mm)	Yield point		Maximum strength (kgf)
				Load (kgf)	Displacement (mm)	
12	Steel	Wood() ¹⁾	4181	4181	1.39	2608
	Steel	Wood(⊥) ²⁾	1782	1353	1.42	2131
	Wood()	Steel	3040	3040	1.19	3758
	Wood(⊥)	Steel	1448	1717	2.01	2094
	Wood()	Wood()	1828	1720	2.51	2278
	Wood()	Wood(⊥)	705	951	3.31	2027
	Wood(⊥)	Wood()	788	1059	2.02	1367
	Wood(⊥)	Wood(⊥)	543	933	2.39	1309
16	Steel	Wood() ¹⁾	22266	- ¹⁾	-	-
	Steel	Wood(⊥) ²⁾	1966	1490	1.64	2108
	Wood()	Steel	2369	4163	1.67	4600
	Wood(⊥)	Steel	1262	2461	2.82	2893
	Wood()	Wood()	2043	2101	2.06	2535
	Wood()	Wood(⊥)	810	1059	2.83	2367
	Wood(⊥)	Wood()	977	1228	2.32	1347
	Wood(⊥)	Wood(⊥)	657	1232	2.82	1624
20	Steel	Wood() ¹⁾	22578	-	-	-
	Steel	Wood(⊥) ²⁾	2408	1524	1.65	2430
	Wood()	Steel	2765	4990	1.72	5307
	Wood(⊥)	Steel	1110	2674	2.69	2893
	Wood()	Wood()	2162	2577	2.35	2825
	Wood()	Wood(⊥)	1089	1465	2.87	2767
	Wood(⊥)	Wood()	1138	1386	2.65	1792
	Wood(⊥)	Wood(⊥)	998	1329	3.45	1828
22	Steel	Wood() ¹⁾	22188	-	-	-
	Steel	Wood(⊥) ²⁾	2555	1505	1.93	2430
	Wood()	Steel	2516	5183	2.08	6060
	Wood(⊥)	Steel	1268	3220	3.59	3648
	Wood()	Wood()	2605	3120	3.57	3175
	Wood()	Wood(⊥)	1625	1752	3.82	3096
	Wood(⊥)	Wood()	1140	1530	3.63	2170
	Wood(⊥)	Wood(⊥)	1154	1484	3.98	2014

주 1) 목재의 섬유방향이 하중방향에 평행
 2) 목재의 섬유방향이 하중방향에 수직
 3) 시험 초기에 목재 부재가 섬유방향에 평행하게 갈라짐(볼트의 끝면거리 부족)

Table 2-4. Results of double shear tests for bolted joints made by Douglas-fir lumber

Bolt diameter (mm)	Main member	Side member	Joint modulus (kgf/mm)	Yield point		Maximum strength (kgf)
				Load (kgf)	Displacement (mm)	
12	Steel	Wood() ¹⁾	5505	2768	2.4	2898
	Steel	Wood(⊥) ²⁾	2918	1413	1.30	2287
	Wood()	Steel	3456	4158	2.18	4587
	Wood(⊥)	Steel	1244	2686	3.14	3351
	Wood()	Wood()	2324	1671	2.38	2147
	Wood()	Wood(⊥)	1102	2292	2.85	2394
	Wood(⊥)	Wood()	782	1409	2.68	2098
	Wood(⊥)	Wood(⊥)	660	1123	3.16	2445
16	Steel	Wood() ¹⁾	22448	- ³⁾	-	-
	Steel	Wood(⊥) ²⁾	2562	1418	1.39	2801
	Wood()	Steel	2316	5870	2.53	6168
	Wood(⊥)	Steel	935	2616	3.62	3970
	Wood()	Wood()	3081	1994	2.50	3480
	Wood()	Wood(⊥)	1670	2486	3.33	3468
	Wood(⊥)	Wood()	1447	1649	3.16	2197
	Wood(⊥)	Wood(⊥)	951	1278	3.46	2893
20	Steel	Wood() ¹⁾	22504	-	-	-
	Steel	Wood(⊥) ²⁾	2863	2081	1.59	3383
	Wood()	Steel	2309	6882	2.20	6926
	Wood(⊥)	Steel	1443	3088	3.62	4766
	Wood()	Wood()	4315	3459	2.45	3867
	Wood()	Wood(⊥)	1715	2564	3.77	3417
	Wood(⊥)	Wood()	1780	1849	3.55	2353
	Wood(⊥)	Wood(⊥)	1420	1383	3.87	2968
22	Steel	Wood() ¹⁾	22584	-	-	-
	Steel	Wood(⊥) ²⁾	3215	2572	1.72	3391
	Wood()	Steel	2881	6897	2.41	6928
	Wood(⊥)	Steel	1952	5038	3.36	5428
	Wood()	Wood()	3039	3867	2.63	4230
	Wood()	Wood(⊥)	1905	4227	3.34	4524
	Wood(⊥)	Wood()	2077	1933	3.73	2654
	Wood(⊥)	Wood(⊥)	1261	1689	3.81	3244

주 1) 목재의 섬유방향이 하중방향에 평행
 2) 목재의 섬유방향이 하중방향에 수직
 3) 시험 초기에 목재 부재가 섬유방향에 평행하게 갈라짐(볼트의 끝면거리 부족)

표 2-2, 2-3 및 2-4에서 보면 전반적으로 볼트의 지름이 증가할수록 접합부의 강성도 및 강도도 증가하는 경향을 나타냄을 알 수 있다. 낙엽송(larch)과 미송(Douglas-fir) 볼트접합부가 거의 비슷한 강성 및 강도를 나타내었으며 소나무(red pine) 볼트접합부는 약간 낮은 강성 및 강도를 나타내었다. 목재-목재 볼트 접합부 보다는 강철판-목재의 볼트 접합부가 높은 강성 및 강도를 나타내었으며 하중방향에 대하여 목재의 섬유방향이 평행한 경우가 수직인 경우보다 더 높은 강성 및 강도를 나타내었다.

목재-강철판 접합부에서는 강철판을 주부재로 사용한 경우에 접합계수가 더 높게 나타났으나 항복강도 및 최대강도는 오히려 강철판을 측면부재로 사용한 경우에 더 높게 나타났다. 목재-목재 접합부에서는 주부재와 측면부재의 섬유방향이 모두 하중방향에 평행한 경우가 가장 높은 강성 및 강도를 나타내었으며 두 가지 부재의 섬유방향이 모두 하중방향에 수직인 경우가 가장 낮은 강성 및 강도를 나타내었다. 주부재와 측면부재 중에서 하나의 섬유방향이 하중에 평행하고 다른 하나의 섬유방향이 하중에 수직인 경우는 서로 비슷한 값을 나타내었으나 주부재의 섬유방향이 하중에 평행한 경우가 수직인 경우보다 접합계수는 높았으나 항복강도 및 최대강도는 낮게 나타났다.

2) 하중-변위선도

볼트접합부의 하중-변위선도는 목재의 섬유방향과 하중방향 사이의 관계, 주부재와 측면부재의 섬유방향, 강철판의 사용 및 볼트의 지름 등에 따라서 서로 다른 특성을 나타내고 있다. 일반적으로 볼트접합부의 하중-변위선도는 목재의 섬유방향과 하중방향 사이의 관계에 따라서 가장 크게 영향을 받는다. 목재의 섬유방향이 하중에 평행한 경우에는 항복강도가 높고 초기에 항복점에 도달한 후 곧 이어 최대강도에 이르고 그 후에는 하중이 감소하거나 또는 이와 비슷한 수준을 유지하면서 변위가 급격히 증가하는 경향을 나타내고 있다.

목재의 섬유방향이 하중에 수직인 경우에는 초기에 비교적 낮은 항복강도를 나타내며 항복점 이후에 변위가 빠르게 증가하면서 목재 세포에 수직인 하중에 의하여 세포가 눌리면서 평평하게 되고 그로 인하여 하중이 후반부에 급격하게 증가하는 경향을 나타내고 있다. 섬유방향이 하중에 평행한 접합부에 대한 하중-변위선도의 예로 그림 2-8 및 2-9에 각각 낙엽송 주부재(섬유방향이 하중에 평행)와 강철판 측면부재 접합부와 낙엽송 주부재 및 측면부재(두 가지 모두 섬유방향이 하중에 평행) 접합부에 대한 결과를 수록하였다.

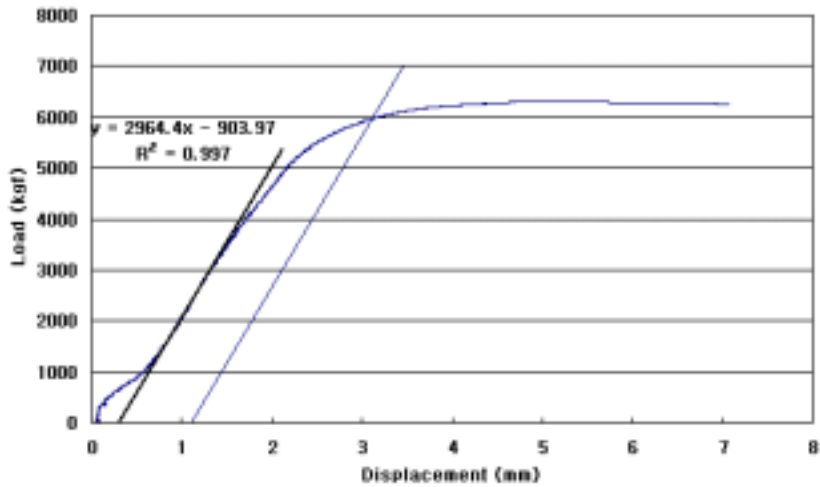


Figure 2-8. Load- displacement diagram for bolted joint with larch lumber main member (grain parallel to load direction) and steel side members, and 16mm bolt.

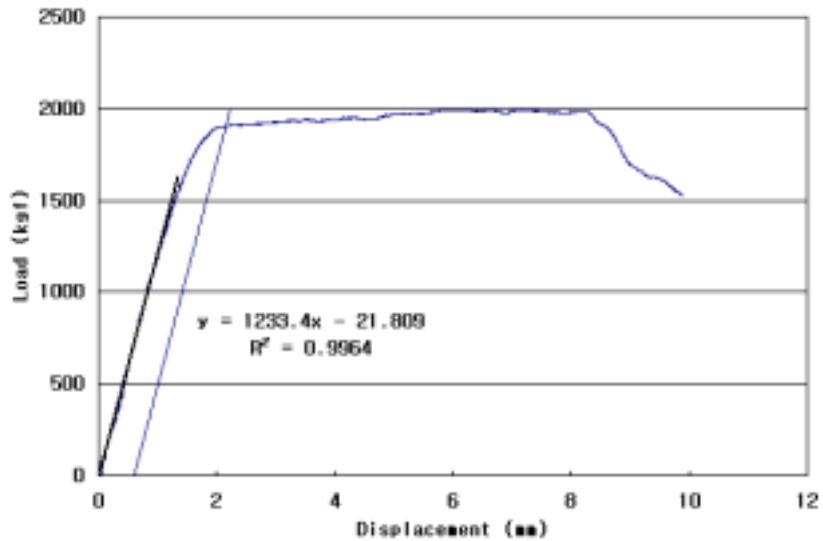


Figure 2-9. Load- displacement diagram for bolted joint with larch lumber main and side members (grain parallel to load direction for both members), and 12mm bolt.

섬유방향이 하중에 수직인 접합부의 하중-변위선도의 예로 소나무 측면부재 (섬유방향이 하중에 수직)와 강철판 주부재 접합부와 소나무 주부재 및 측면부재 (두 가지 모두 섬유방향이 하중에 수직) 접합부에 대한 시험결과를 그림 2-10과 2-11에 수록하였다.

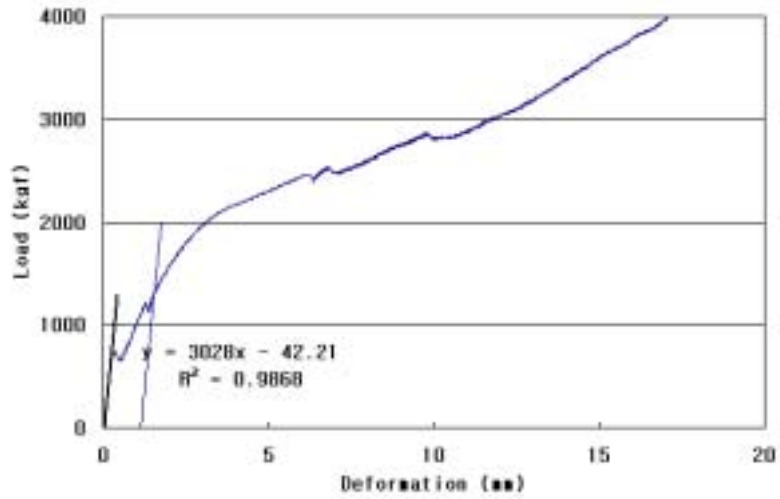


Figure 2-10. Load- displacement diagram for bolted joint with red pine lumber side member (grain perpendicular to load direction) and steel main members, and a 22mm bolt.

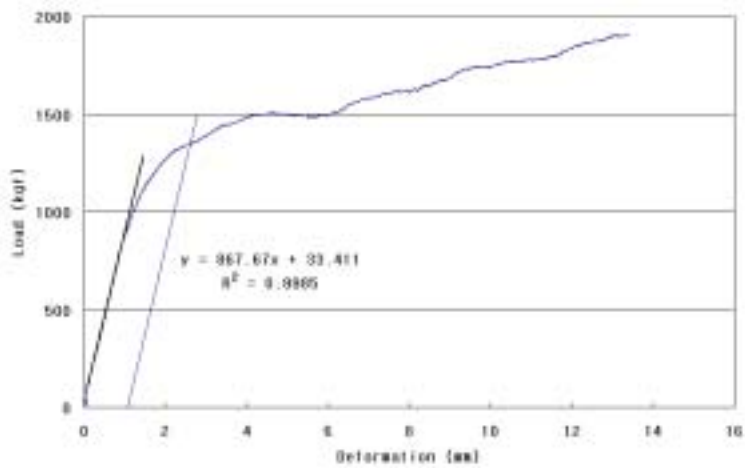


Figure 2-11. Load- displacement diagram for bolted joint with red pine lumber main and side members (grain perpendicular to load direction for both members), and 22mm bolt.

3) 접합계수

볼트접합부에서 초기 하중 하에서 하중과 변위 사이의 관계를 접합계수(joint modulus)라고 하며 이 값은 하중 하에서 접합부의 변위가 얼마나 잘 발생하는지의 척도를 나타낸다. 접합부에서의 접합계수는 일반 목재의 강성도(stiffness) 또는 탄성계수(modulus of elasticity)와 같은 개념을 가지며 접합부의 역학적인 성질을 평가하는 기준 중의 하나가 된다. 일반적으로 접합계수는 접합부의 하중-변위선도에서 초기 직선 구간의 기울기로 표현될 수 있다.

강철관을 주부재로 사용하고 목재를 측면부재로 사용한 볼트접합부의 접합계수는 목재의 섬유방향이 하중방향에 평행한 경우와 수직인 경우에 대하여 각각 그림 2-12 및 2-13과 같다. 목재를 주부재로 사용하고 강철관을 측면부재로 사용한 볼트접합부의 접합계수는 목재의 섬유방향이 하중방향에 평행한 경우와 수직인 경우에 대하여 각각 그림 2-14 및 2-15와 같다.

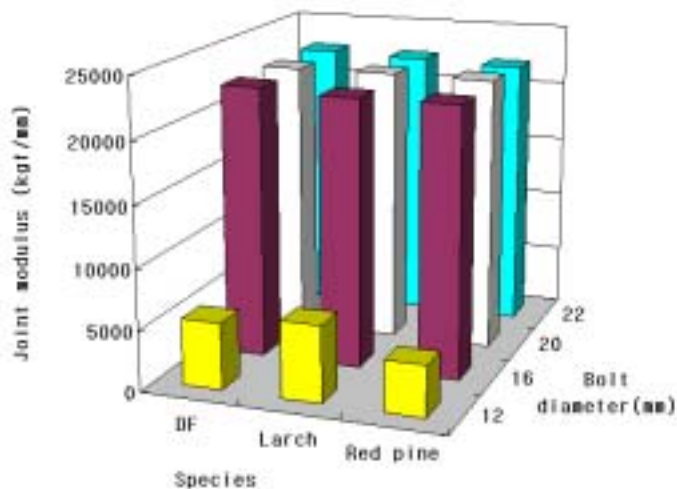


Figure 2-12. Joint moduli of bolted joints with steel main member and wood side members (grain direction parallel to load direction).

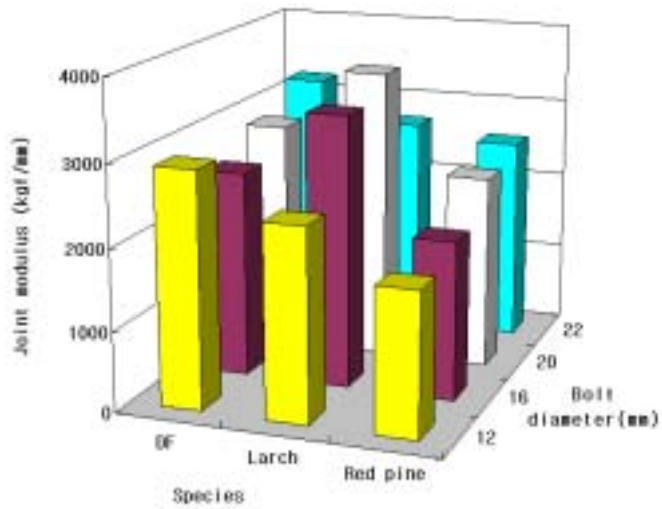


Figure 2-13. Joint moduli of bolted joints with steel main member and wood side members (grain perpendicular to load direction).

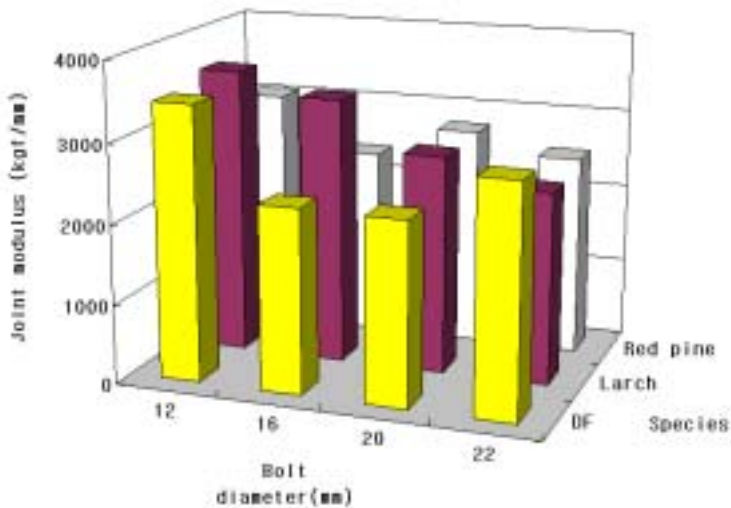


Figure 2-14. Joint moduli of bolted joints with steel side members and wood main member (grain parallel to load direction).

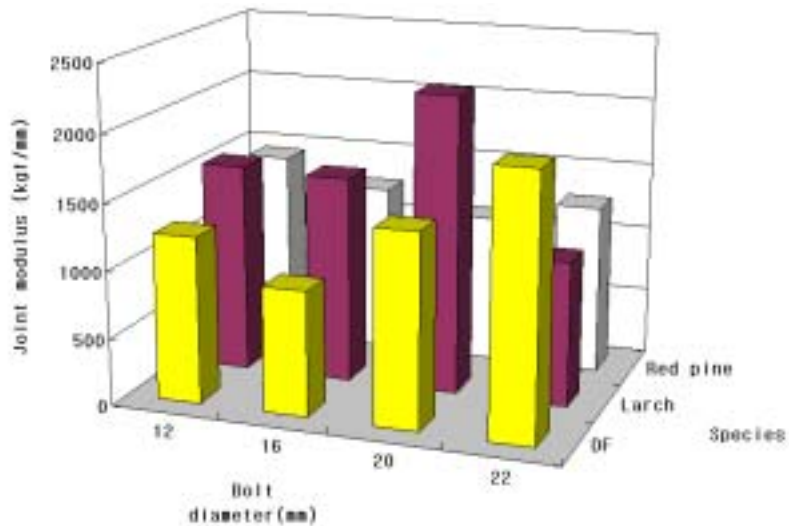


Figure 2-15. Joint moduli of bolted joints with steel side members and wood main member (grain perpendicular to load direction).

그림 2-12, 2-13, 2-14 및 2-15에서 보면 볼트접합부의 접합계수는 수종이나 볼트의 치수에 따라서 뚜렷한 경향을 나타내지는 않지만 전반적으로 미송과 낙엽송이 소나무보다는 높은 경향을 나타내고 있으며 볼트의 지름이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내고 있다.

목재-목재 볼트접합부에서 주부재의 섬유방향이 하중에 평행하고 측면부재의 섬유방향이 하중에 평행한 경우와 수직인 경우에 대한 접합계수는 각각 그림 2-16 및 2-17과 같고 주부재의 섬유방향이 하중에 수직하고 측면부재의 섬유방향이 하중에 평행한 경우와 수직인 경우에 대한 접합계수는 각각 그림 2-18 및 2-19에 수록하였다.

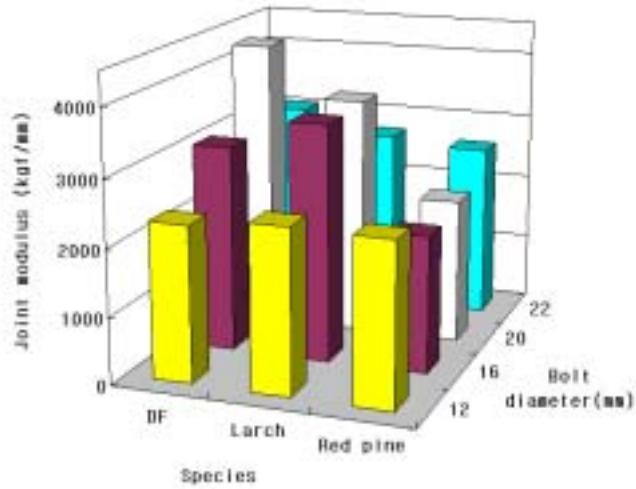


Figure 2-16. Joint moduli of bolted joints with wood main member (grain parallel to load direction) and wood side member (grain parallel to load direction).

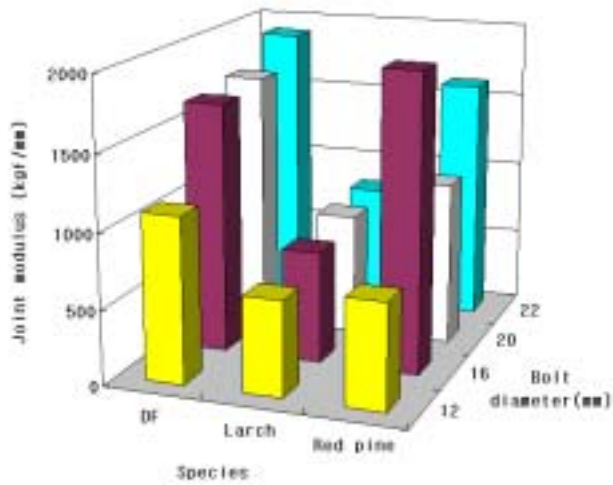


Figure 2-17. Joint moduli of bolted joints with wood main member (grain parallel to load direction) and wood side member (grain perpendicular to load direction).

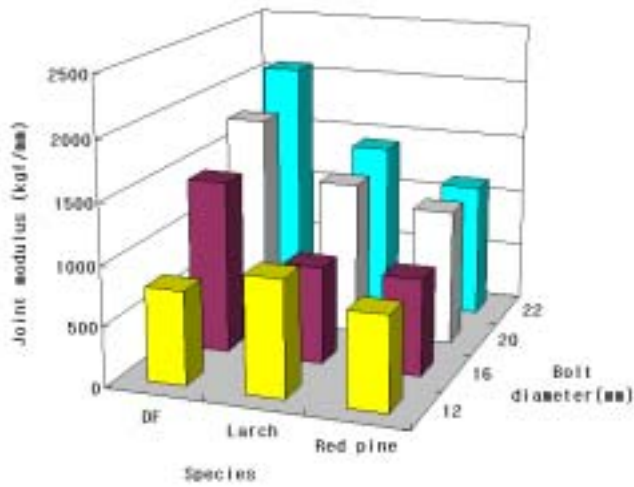


Figure 2-18. Joint moduli of bolted joints with wood main member (grain perpendicular to load direction) and wood side member (grain parallel to load direction).

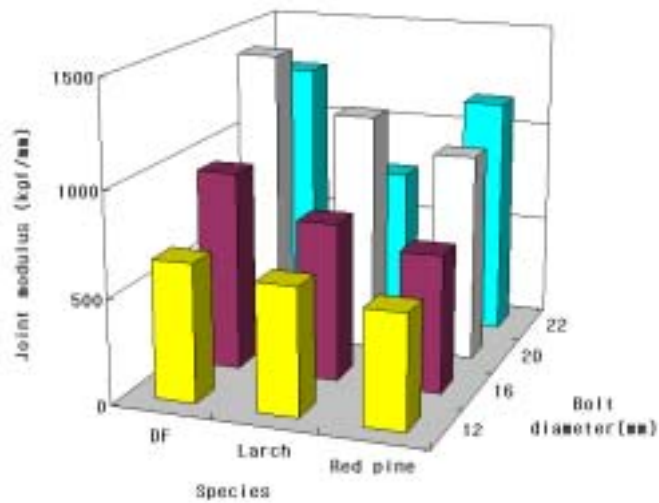


Figure 2-19. Joint moduli of bolted joints with wood main member (grain perpendicular to load direction) and wood side member (grain perpendicular to load direction).

그림 2-16, 2-17, 2-18 및 2-19에서도 보면 목재-목재 볼트접합부의 접합계수는 수종과 볼트의 지름에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않지만 전반적으로 낙엽송과 미송이 비슷하고 소나무는 약간 낮은 값을 나타내며 볼트의 지름이 증가할수록 접합계수가 증가하는 경향을 나타내고 있다.

4) 항복강도

금속에 대한 응력-변형율선도에서는 하중의 증가없이 변형이 크게 증가하기 시작하는 항복점이 뚜렷하게 나타나지만 목재의 경우에는 항복점과 같은 현상이 나타나지 않는다. 목재에 대한 볼트접합부에서는 목재의 성질과 금속의 성질이 복합적으로 나타나기 때문에 목재의 거동과 금속의 거동의 중간 정도의 성질을 나타낸다. 목재보다는 탄성영역 이후에 나타나는 변위의 양이 많지만 금속과 같이 하중의 증가없이 변위가 크게 증가하는 현상은 나타나지 않는다. 그러나 볼트접합부에서는 탄성한계의 의미가 모호하고 그 값을 찾기가 어려우며 탄성한계의 변이가 매우 크기 때문에 접합부에서는 탄성한계가 큰 의미를 갖지 않는다. 그러나 시험결과의 분석을 위한 목적과 설계치(허용강도)로 사용하기 위한 목적으로 접합부에 대해서는 항복점을 정의하고 이 값을 탄성한계 대신에 사용하게 된다.

강철관을 주부재로 사용하고 목재를 측면부재로 사용한 볼트접합부의 항복강도는 목재의 섬유방향이 하중방향에 수직인 경우에 대하여 그림 2-20과 같다. 목재를 주부재로 사용하고 강철관을 측면부재로 사용한 볼트접합부의 항복강도는 목재의 섬유방향이 하중방향에 평행한 경우와 수직인 경우에 대하여 각각 그림 2-21 및 2-22와 같다.

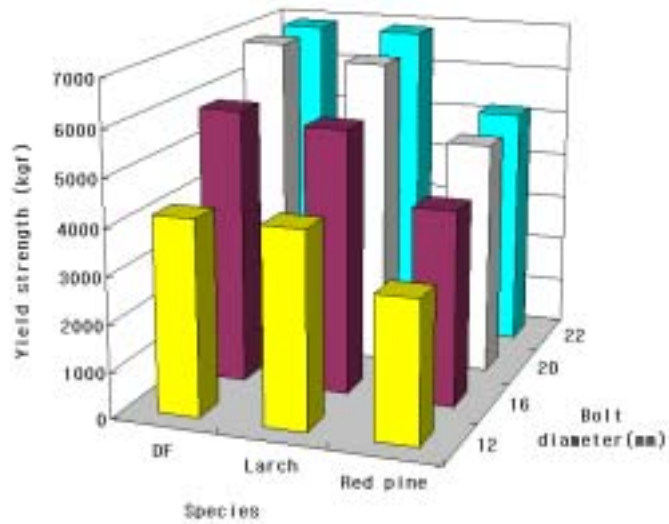


Figure 2-20. Yield strength of bolted joints with steel main member and wood side members (grain perpendicular to load direction).

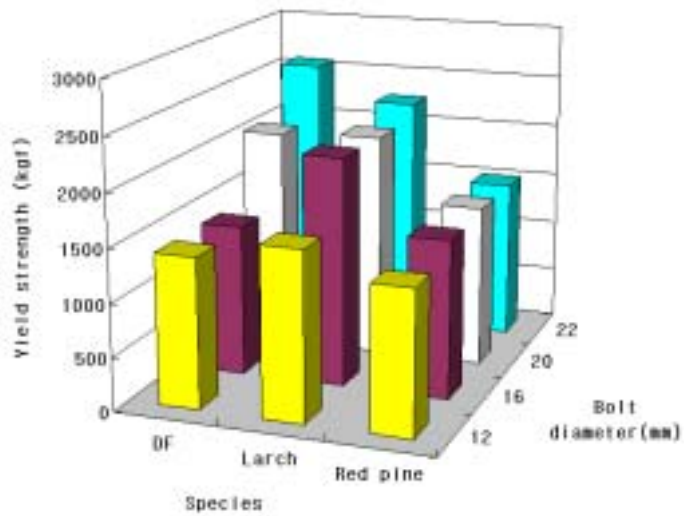


Figure 2-21. Yield strength of bolted joints with steel side members and wood main member (grain parallel to load direction).

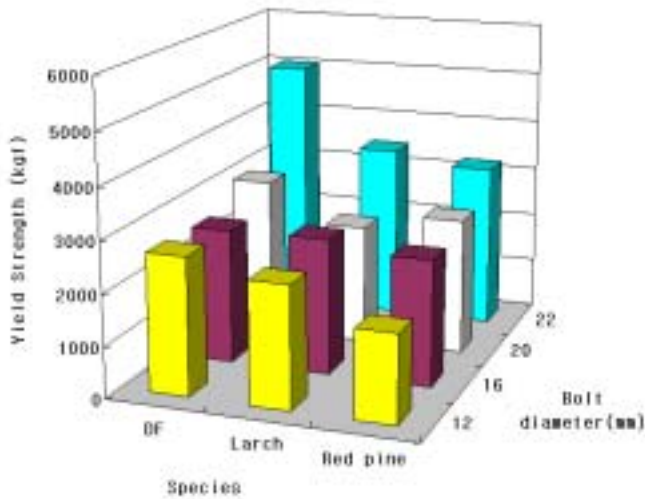


Figure 2-22. Yield strength of bolted joints with steel side members and wood main member (grain perpendicular to load direction).

그림 2-20, 2-21 및 2-22에서 보면 볼트접합부의 항복강도는 낙엽송과 미송이 비슷하게 높았고 소나무는 이보다 약간 낮은 값을 나타내었다. 볼트접합부의 항복강도는 볼트의 지름이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 목재부재의 섬유방향이 하중방향에 평행한 경우가 수직인 경우보다 높은 항복강도를 나타내었으며 강철판을 주부재로 사용한 경우가 측면부재로 사용한 경우보다 낮은 항복강도를 나타내었다.

목재-목재 볼트접합부에서 주부재의 섬유방향이 하중에 평행하고 측면부재의 섬유방향이 하중에 평행한 경우와 수직인 경우에 대한 항복강도는 각각 그림 2-23 및 2-24와 같고 주부재의 섬유방향이 하중에 수직하고 측면부재의 섬유방향이 하중에 평행한 경우와 수직인 경우에 대한 항복강도는 각각 그림 2-25 및 2-26에 수록하였다.

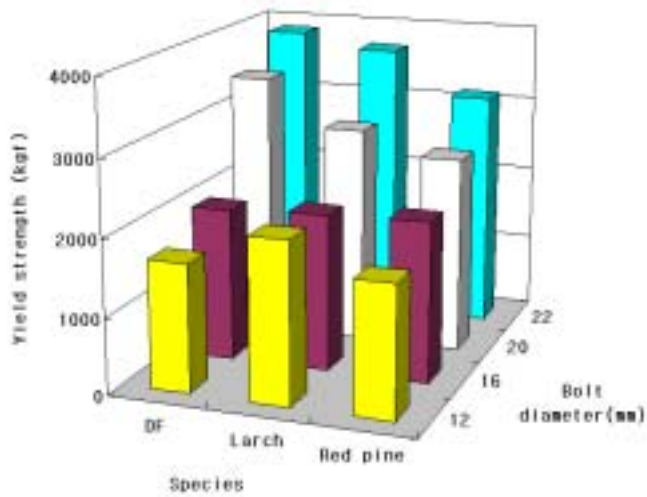


Figure 2-23. Yield strength of bolted joints with wood main member (grain parallel to load direction) and wood side member (grain parallel to load direction).

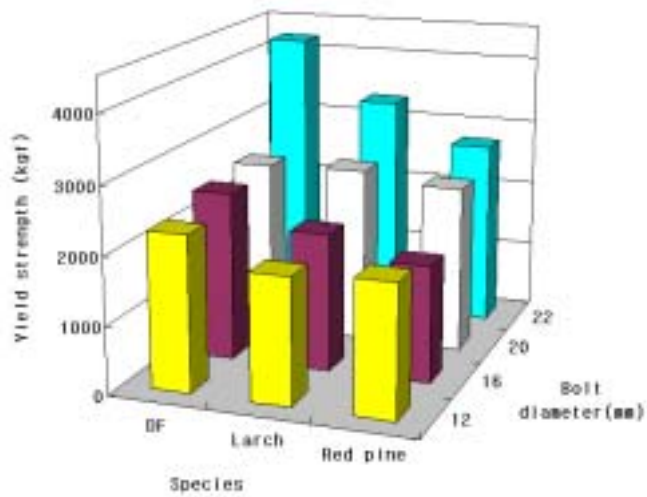


Figure 2-24. Yield strength of bolted joints with wood main member (grain parallel to load direction) and wood side member (grain perpendicular to load direction).

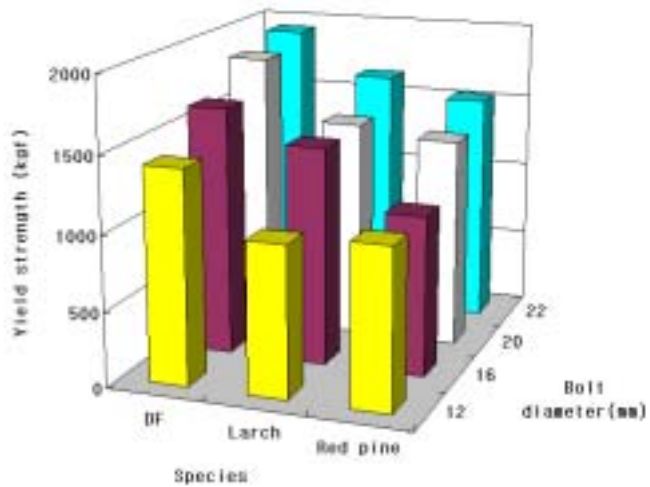


Figure 2-25. Yield strength of bolted joints with wood main member (grain perpendicular to load direction) and wood side member (grain parallel to load direction).

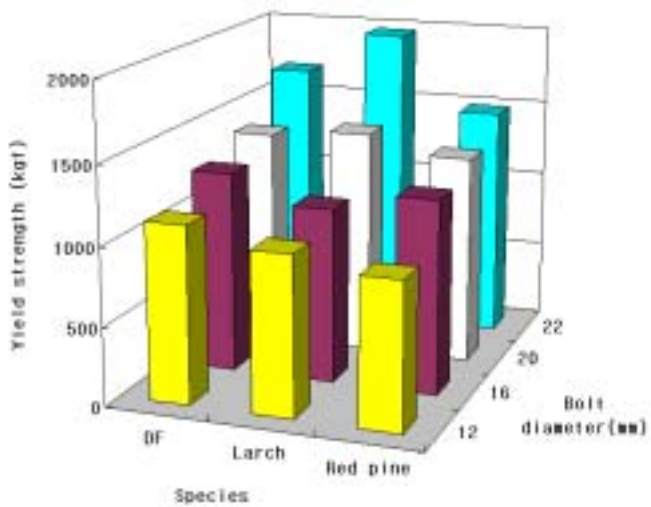


Figure 2-26. Yield strength of bolted joints with wood main member (grain perpendicular to load direction) and wood side member (grain perpendicular to load direction).

그림 2-23, 2-24, 2-25 및 2-26에서 보면 목재-목재 접합부의 항복강도는 미송과 낙엽송이 높고 소나무가 낮게 나타났으며 볼트의 지름이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 주부재와 측면부재의 섬유방향이 모두 하중에 평행한 경우에 가장 높은 항복강도를 나타내었으며 두 가지 부재의 섬유방향이 모두 하중에 수직인 경우에 가장 낮은 항복강도를 나타내었다. 주부재의 섬유방향이 하중에 평행하고 측면부재의 섬유방향이 하중에 수직인 경우가 그 반대의 경우보다 높은 항복강도를 나타내었다.

5) 최대강도

볼트접합부의 최대강도는 접합부가 파괴되기 이전에 나타나는 가장 높은 하중값을 의미하며 이는 볼트접합부의 궁극적인 하중 저항 능력을 나타낸다. 일반적으로 목재의 섬유방향이 하중에 평행하게 사용된 접합부에서는 접합부가 변위의 측정 범위 내에서 최대강도를 나타내었다가 감소하거나 또는 최대치를 나타낸 후 이와 비슷한 값의 범위에서 계속 변위가 증가하는 경향을 나타내었지만 목재의 섬유방향이 하중에 수직하게 사용된 경우에는 하중이 초기에 급속히 상승하다가 항복강도 부근에서 하중에 비하여 변위가 크게 증가하고 변위가 일정량 증가한 후에는 다시 하중이 급속히 상승하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 현상은 섬유방향이 하중에 수직하기 때문에 초기 저항능력은 약하지만 점차 세포들이 섬유에 수직인 하중에 의하여 평평해지면서 다시 하중이 증가하는 경향을 나타내기 때문인 것으로 생각된다.

강철판을 주부재로 사용하고 목재를 측면부재로 사용한 볼트접합부의 최대강도는 목재의 섬유방향이 하중방향에 수직인 경우에 대하여 그림 2-27과 같다. 목재를 주부재로 사용하고 강철판을 측면부재로 사용한 볼트접합부의 항복강도는 목재의 섬유방향이 하중방향에 평행한 경우와 수직인 경우에 대하여 각각 그림 2-28 및 2-29와 같다.

그림 2-27, 2-28 및 2-29에서 보면 볼트접합부의 최대강도는 낙엽송과 미송이 비슷하게 높았으며 소나무는 약간 낮은 값을 나타내었고 볼트의 지름이 증가할 수록 접합부의 최대강도도 증가하는 경향을 나타내었다. 목재부재의 섬유방향이 하중방향에 평행한 경우가 수직인 경우보다 높은 항복강도를 나타내었으며 강철 판을 주부재로 사용한 경우가 측면부재로 사용한 경우보다 낮은 항복강도를 나타내었다.

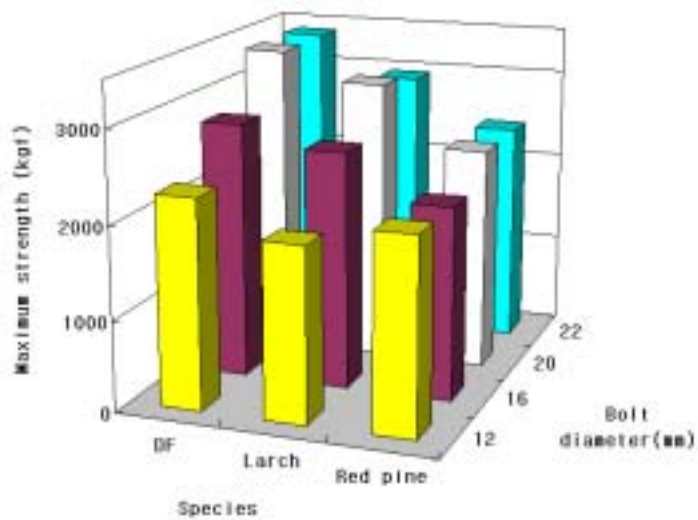


Figure 2-27. Maximum strength of bolted joints with steel main member and wood side members (grain perpendicular to load direction).

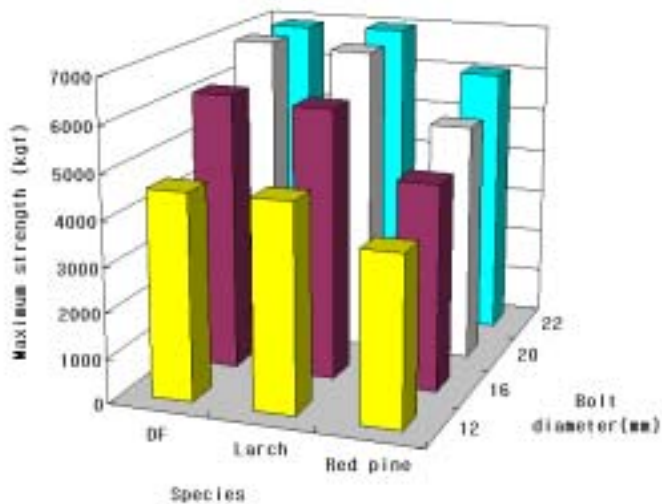


Figure 2-28. Maximum strength of bolted joints with steel side members and wood main member (grain parallel to load direction).

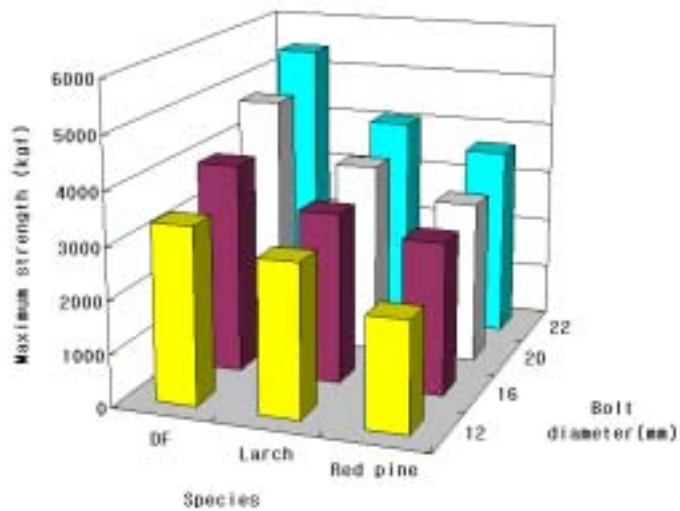


Figure 2-29. Maximum strength of bolted joints with steel side members and wood main member (grain perpendicular to load direction).

목재-목재 볼트접합부에서 주부재의 섬유방향이 하중에 평행하고 측면부재의 섬유방향이 하중에 평행한 경우와 수직인 경우에 대한 최대강도는 각각 그림 2-30 및 2-31과 같고 주부재의 섬유방향이 하중에 수직하고 측면부재의 섬유방향이 하중에 평행한 경우와 수직인 경우에 대한 최대강도는 각각 그림 2-32 및 2-33과 같다.

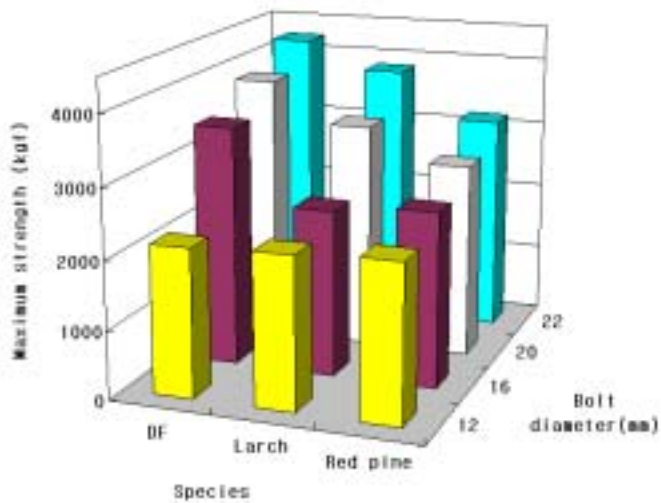


Figure 2-30. Maximum strength of bolted joints with wood main member (grain parallel to load direction) and wood side member (grain parallel to load direction).

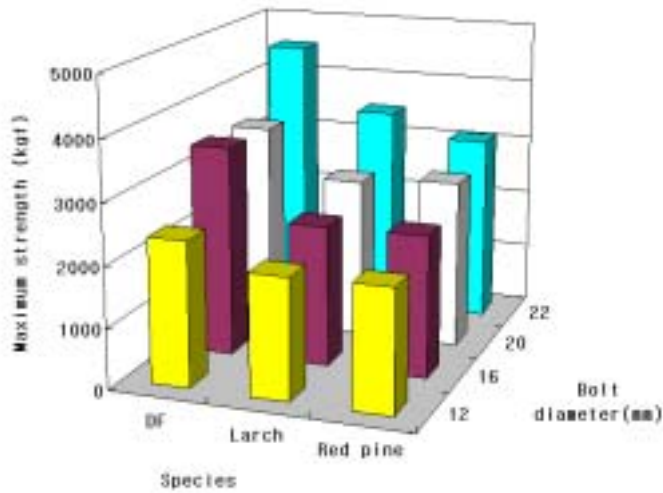


Figure 2-31. Mzmximum strength of bolted joints with wood main member (grain parallel to load direction) and wood side member (grain perpendicular to load direction).

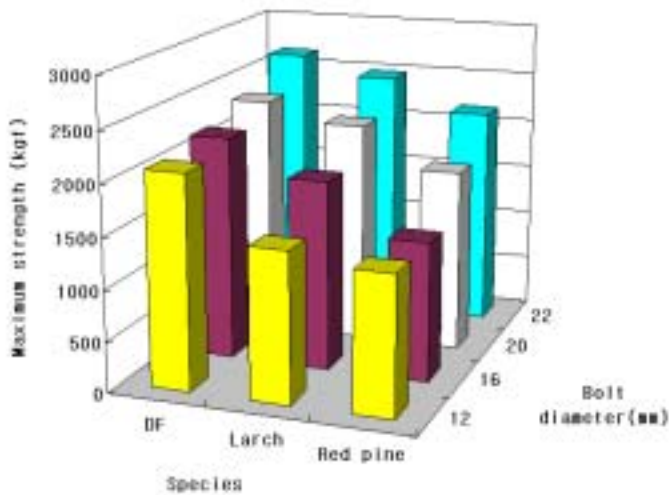


Figure 2-32. Maximum strength of bolted joints with wood main member (grain perpendicular to load direction) and wood side member (grain parallel to load direction).

그림 2-30, 2-31, 2-32 및 2-33에서 보면 목재-목재 접합부의 최대강도는 미송이 가장 높고 낙엽송이 그 다음으로 높은 값을 나타내었으며 소나무가 가장 낮은 값을 나타내었다. 모든 접합부에서 볼트의 지름이 증가할수록 최대강도도 증가하는 경향을 나타내었다. 주부재와 측면부재의 섬유방향이 모두 하중에 평행한 경우에 가장 높은 최대강도를 나타내었으며 두 가지 부재의 섬유방향이 모두 하중에 수직인 경우에 가장 낮은 최대강도를 나타내었다. 주부재의 섬유방향이 하중에 평행하고 측면부재의 섬유방향이 하중에 수직인 경우가 그 반대의 경우보다 높은 최대강도를 나타내었다.

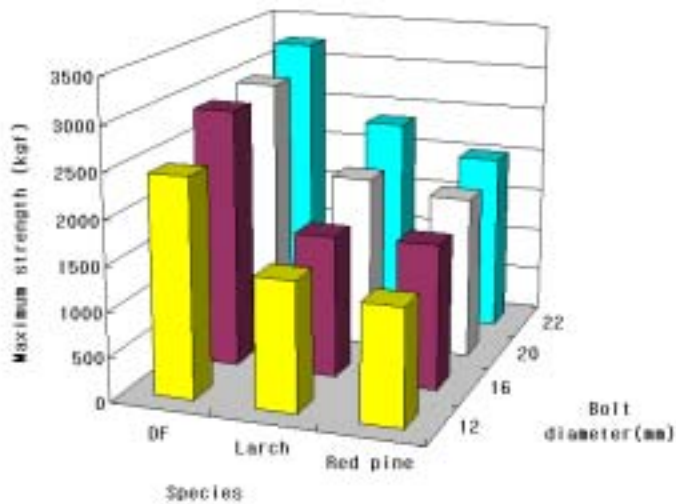


Figure 2-33. Maximum strength of bolted joints with wood main member (grain perpendicular to load direction) and wood side member (grain perpendicular to load direction).

2. 2차년도: 모멘트 저항 접합부의 성능 평가

가. 실대재의 휨 시험

1) MOE 및 MOR

철물접합 집성재 보 중에서 볼트접합 집성재 보의 실제 휨시험 사진은 그림 2-34와 같으며 2개의 하중점 사이에 변위계를 부착하여 하중점 사이의 변위를 측정하였다. 집성재 실대재 중에서 접합부가 없는 부재와 볼트접합부재의 휨시험 결과는 각각 그림 2-35 및 2-36과 같다. 그림 2-35에서 보면 접합부가 없는 부재는 매우 깨끗한 하중-변위선도를 나타내었으나 그림 2-36의 볼트접합부재의 경우에는 접합부에서 철물과 철물 주변의 목재 변형으로 인하여 불규칙한 형태의 하중-변위선도를 나타내었다. 일반적으로 접합부가 포함된 부재는 접합부에서의 불규칙한 하중-변위 거동과 철물, 목재, 철물과 목재 사이의 틈새 등의 영향으로 불규칙한 형상의 하중-변위선도를 나타낸다. 각각의 부재별 MOE 및 MOR 값은 표 2-5와 같다.



Figure 2-34. Bending test of bolt-jointed glulam beam.

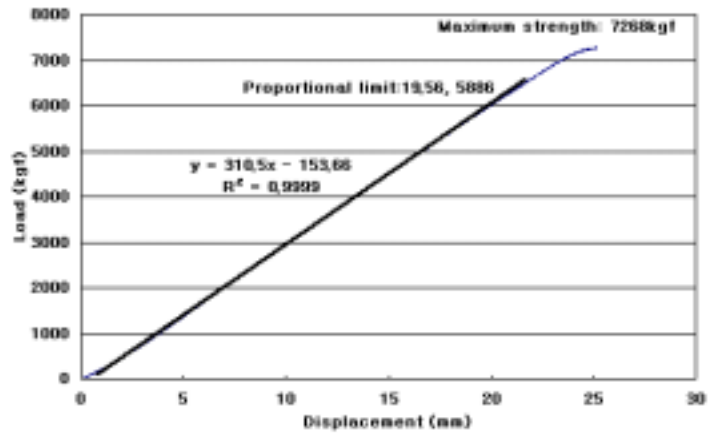


Figure 2-35. Load-deflection diagram obtained from bending test of glulam beam without joint.

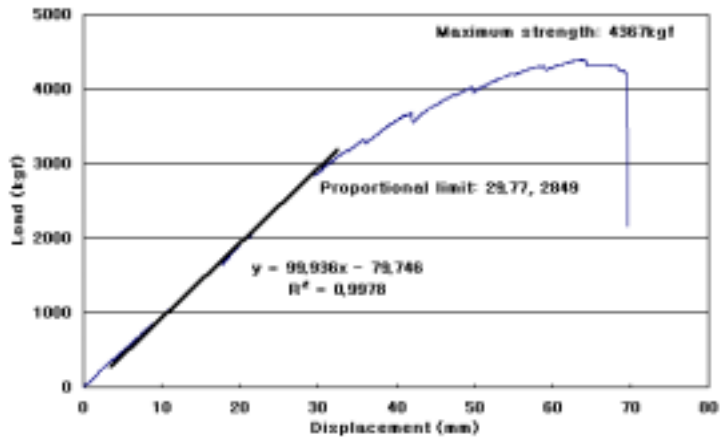


Figure 2-36. Load-deflection diagram obtained from bending test of glulam beam with bolt-joint at center.

Table 2-5 MOE and MOR of glulam beams with and without joint.

부재 종류	MOE (N/mm ²) (%)	MOR (N/mm ²) (%)
집성재보	8285 (100)	26.3 (100)
볼트접합부재	2826 (34.1)	15.8 (60.1)
합판-못접합부재	5411 (65.3)	20.8 (79.1)
래그나사못 접합부재	3408 (41.1)	17.1 (65.0)
철근삽입 접합부재	3670 (44.3)	7.2 (27.4)

표 2-5에서 괄호 안의 값은 집성재보에 대한 백분율을 나타내며 집성재보가 접합부재에 비하여 높은 MOE 및 MOR을 나타내었다. 합판-못 접합부재가 집성재보 다음으로 높은 강성 및 강도를 나타내었으며 다음으로 래그나사못 접합부재가 볼트접합부재보다 약간 높은 값을 나타내었고 철근삽입 접합부재는 가장

낮은 MOR을 나타내었다. 철근삽입 접합부재의 경우에는 철근 삽입을 위한 구멍을 30도의 경사각을 뚫는 공정에 어려움이 있어서 철근 지름과의 사이에 오차가 컸으며 천공용 드릴의 길이 제한 때문에 300mm 정도 밖에는 철근을 삽입하지 못하였다. 그리고 에폭시 수지를 빈 공간에 완전히 채우는 공정이 정확하지 않아서 철근 주변에 빈 공간이 상당 부분 남아있었던 것으로 생각된다.

2) 철물 접합 집성재보의 파괴 형태

철물접합 집성재 보의 휨하중 하에서의 파괴는 대부분 접합부가 벌어지면서 철물의 파괴로 인하여 초래되었으며 대표적인 파괴 형태는 볼트 접합 부재, 래그나사못 접합 부재, 합판-못 접합 부재 및 철근 삽입 접합 부재에 대하여 각각 그림 2-37, 2-38, 2-39 및 2-40과 같다.



Figure 2-37. Failure of glulam beam with bolt-joint at center.



Figure 2-38. Failure of glulam beam with lag-screw joint at center.

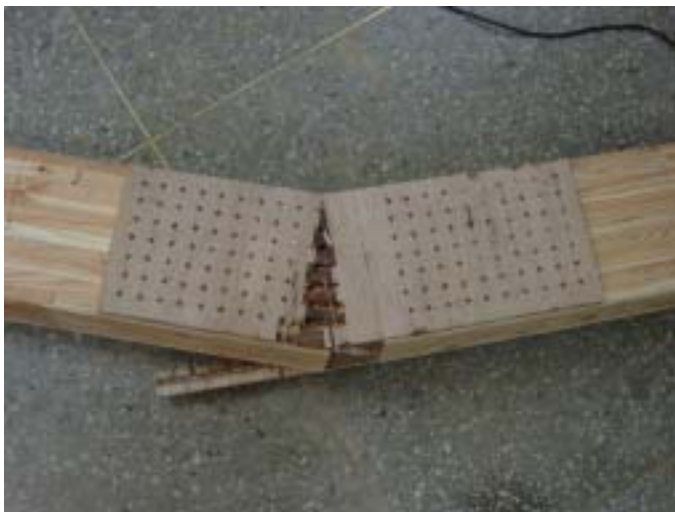


Figure 2-39. Failure of glulam beam with nailed-plywood gusset plate joint at center.



Figure 2-40. Failure of glulam beam with glued-in rod joint at center.

나. 철물접합부의 모멘트 저항 시험

1) 시험 장치

그림 2-11의 a) 및 b) 접합부재에 대하여 그림 2-6 및 2-7의 장치를 사용하여 모멘트 저항 시험을 실시하였으며 시험편이 설치된 모습은 모양은 그림 2-41 a), b), c) 및 d)와 같다. 기둥과 보의 접합부위에는 철물 및 목재 부재의 회전을 측정하기 위하여 변위측정센서를 부착하였으며 강도시험기의 유압장치와 반대쪽의 고정지점 부분에서는 회전을 자유롭게 할 수 있도록 핀 접합을 설치하였다.



a) Testing set-up for moment-resistance of column-beam joint.



b) Attachment of LVDT to reinforced hanger joint



b) Connection to moving head of testing machine



c) Connection to the fixed rotational end

Figure 2-41. Picture of testing arrangement for moment-resistance of joint.

2) 하중-변위선도

그림 2-11 a) 및 b)의 접합부에 대하여 부재가 벌어지는 방향으로 하중을 가하면서 실시한 모멘트 저항시험 결과는 각각 그림 2-42 및 2-43과 같다.

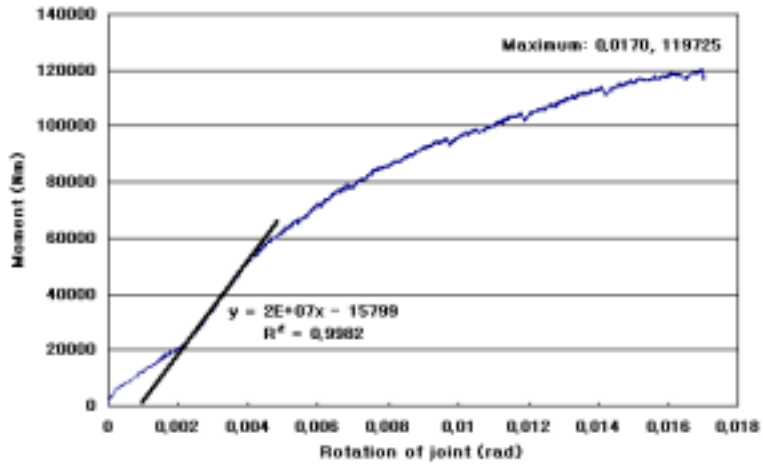


Figure 2-42. Load-displacement diagram obtained from moment-resistance test of bolt joint with steel plate and scoop tie.

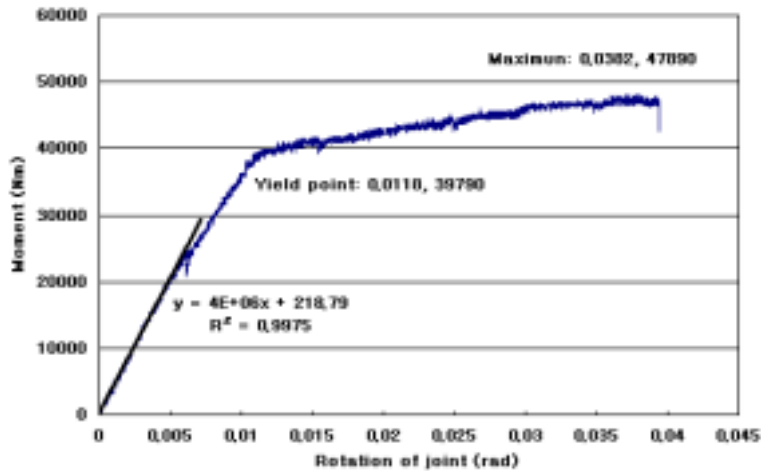


Figure 2-43. Load-displacement diagram obtained from moment-resistance test of reinforced hanger joint.

그림 2-11 b)의 보강 안장쇠 접합부는 예상대로 모멘트에 대한 저항력이 매우 낮아서 그림 2-42를 보면 접합계수(joint modulus)가 4.0MNm/rad을 나타내었고 최대 저항력 47,890Nm를 나타내었다. 그림 2-42의 보강 안장쇠 접합부의 모멘트-변위선도에서 보면 항복점(yield point)이 뚜렷하게 나타나는데 이는 접합철물의 항복에 의한 현상으로 생각되며 항복점에서는 0.0118rad의 변위에 39790Nm의 모멘트 값을 나타내었다.

그림 2-11 a)의 주걱쇠 보강 볼트 접합부재에 대한 모멘트 저항 시험 결과(그림 2-43)를 보면 기존의 안장쇠 접합부재에 비하여 2배 이상의 높은 모멘트 저항 능력을 나타내어 접합계수가 20.0MNm/rad 그리고 최대 저항력이 119,725Nm를 나타내었다. 주걱쇠 보강 접합부재의 경우에는 보강 안장쇠 접합부재와는 달리 뚜렷한 항복점이 나타나지 않는데 이는 안장쇠 접합부에서는 주로 철물의 강

도에 의존하여 저항력을 나타내는데 비하여 주걱쇠 접합부에서는 철물과 목재의 복합적인 저항력이 나타나는데 기인하는 것으로 생각된다.

그림 2-44는 주걱쇠 보강 접합부재에서 볼트 대신에 래그나사못을 사용하고 하중의 방향을 반대로 바꾸어서 부재 사이의 각도가 감소하도록 하중을 가하면서 모멘트 저항 시험을 실시한 결과이다. 부재 사이의 각도가 감소하는 방향을 하중을 가한 경우에는 주걱쇠 부분의 목재에 대한 섬유 직각 방향 압축과 바깥쪽을 감싸고 있는 철판의 인장 그리고 철판 아래쪽 목재의 섬유 직각 방향 압축에 의한 복합적인 저항이 나타나기 때문에 그림 2-43의 경우와 비교하여 접합계수는 동일하지만 최대 저항력은 194,315Nm으로써 더 높은 값을 나타내었다.

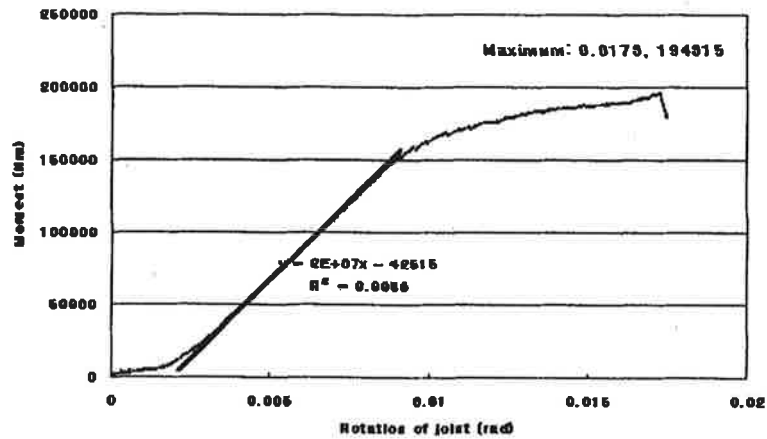


Figure 2-44. Load-displacement diagram obtained from moment-resistance test of lag-screw joint with steel plate and scoop tie.

3) 접합부의 회전

안장쇠 접합부재와 주걱쇠 접합부재의 모멘트 저항 시험을 실시하면서 철물 부분의 회전과 목재부재의 회전이 비례하는지를 파악하기 위하여 각각의 위치에 LVDT를 부착하고 변위를 측정 한 후 이를 회전으로 계산한 결과는 각각의 접합부재들에 대하여 그림 2-45 및 2-46과 같다.

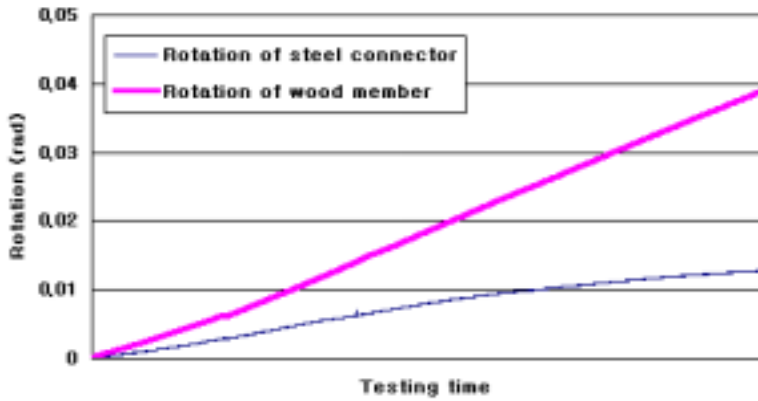


Figure 2-45. Rotation of wood members and connector at reinforced hanger joint.

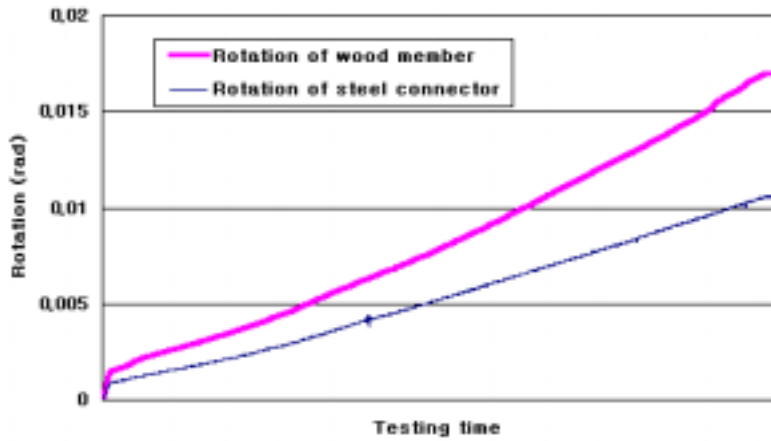


Figure 2-46. Rotation of wood members and connector at bolt joint with steel plate and scoop tie.

그림 2-45에서 보면 안장쇠 접합부에서는 목재부재와 철물 사이의 변위 차이가 점점 커짐으로써 변위가 증가할수록 목재가 철물로부터 분리됨을 알 수 있다. 그림 2-46의 주걱쇠 접합부의 경우에는 목재부재와 철물 사이의 변위 차이가 조금씩 증가하기는 하지만 그 차이가 크지 않으며 이는 목재와 철물의 결합이 공고함을 의미한다.

4) 반복하중 하에서의 모멘트 저항 시험

주걱쇠 보강 볼트 접합부재에 대해서는 반복하중 하에서의 모멘트 저항 시험도 실시하였으며 그 결과는 그림 2-47과 같고 그림 2-47에 대한 특성곡선(envelop curve)는 그림 2-48과 같다. 그림 2-48에서 보면 1차, 2차 및 3차 특성곡선이 모두 비슷한 값을 나타내었으며 거의 선형의 직선형을 나타내었다. 이는

작용한 모멘트의 크기가 비례한도 내에 있었으며 이로 인하여 접합부의 변형이 탄성적으로 나타났음을 의미한다.

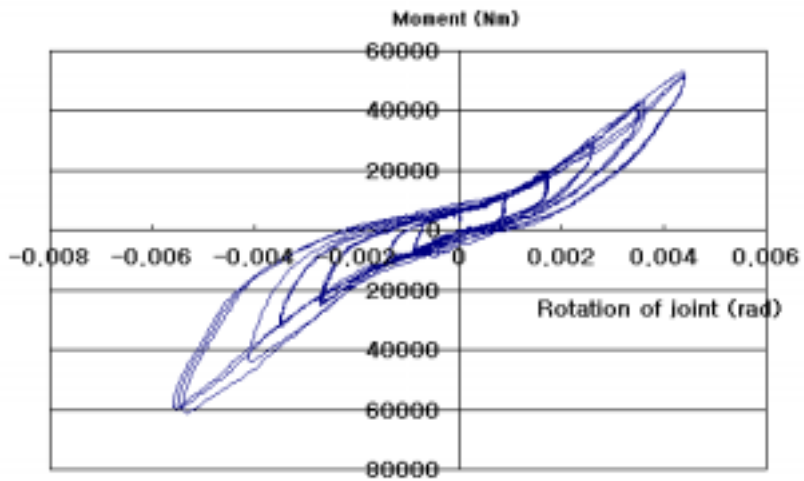


Figure 2-47. Load-displacement diagram for bolt joint with steel plate and scoop tie under cyclic load function.

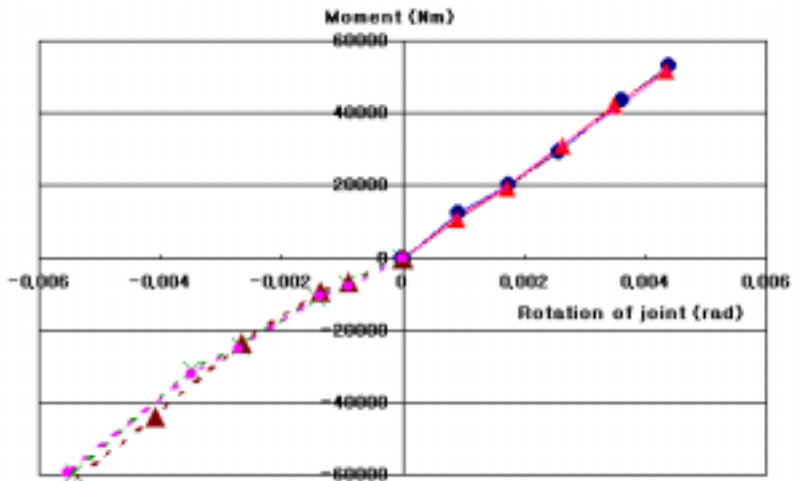


Figure 2-48. Envelop curve under cyclic load function for bolt joint with steel plate and scoop tie.

5) 접합부의 파괴

하중 또는 모멘트의 작용 하에서 모멘트 저항 접합부의 파괴는 직접적으로 철물의 변형과 철물의 늘림에 의한 목재의 섬유 직각 방향 파괴의 두가지 주요 원인에 의하여 발생되었다. 철물의 강도가 약하여 철물이 변형됨으로써 파괴가 진행되는 형태는 그림 2-49와 같이 주로 안장쇠 접합부에서 관찰되었다.



a) Deformation of hanger joint



b) Deformed shape of hanger

Figure 2-49. Deformation of reinforced hanger joint.

주걱쇠 보강 볼트 접합부재의 변형된 모습은 그림 2-50과 같으며 그림 2-50 a)는 부재 사이의 각도가 줄어드는 방향의 모멘트 하에서 철판의 눌림에 의한 목재의 섬유 직각 방향 압축에 의한 파괴를 나타내며 그림 2-50 b)는 부재 사이의 각도가 증가하는 방향의 모멘트 하에서 철판의 변형을 나타낸다.



a) Failure of wood under steel plate



b) Deformation of steel plate

Figure 2-50. Deformation of bolt joint with steel plate and scoop tie.

그림 2-51은 철판에 의하여 섬유 직각 방향 압축으로 눌러서 변형된 목재의 모양을 나타낸다. 목재는 섬유 직각 방향 압축에 대하여 약하기 때문에 아무리 철판으로 보강하여도 강성 접합부를 구성하기가 어려우며 그림 2-51이 그러한 이유를 명확하게 보여주고 있다. 따라서 집성재 접합부의 강성을 증가시키기 위해서는 철판 밑에 위치하는 목재 부분의 섬유 직각 방향 압축 강도를 증가시키거나 이 응력을 보다 넓은 면적으로 분산시킴으로써 보다 큰 모멘트 저항 능력을 부여하여야 할 것이다. 그림 2-51 a)는 그림 2-50 a)의 변형 하에서 철판에 의하여 눌림으로써 생기는 목재 부위의 변형을 나타낸다. 그림 2-51 b)는 주걱쇠 부분에 의하여 전달된 하중이 최종적으로 목재의 섬유 직각 방향 압축으로 나타나서 목재가 변형된 모습을 보여준다.



a) Deformation perpendicular to grain under steel plate



b) Deformation perpendicular to grain under scoop tie connector

Figure 2-51. Deformation of wood perpendicular to grain under steel connector.

다) 철물 접합부의 전단 시험

철물 접합부의 전단시험 결과 얻을 수 있는 하중-변위선도는 그림 2-52와 같다.

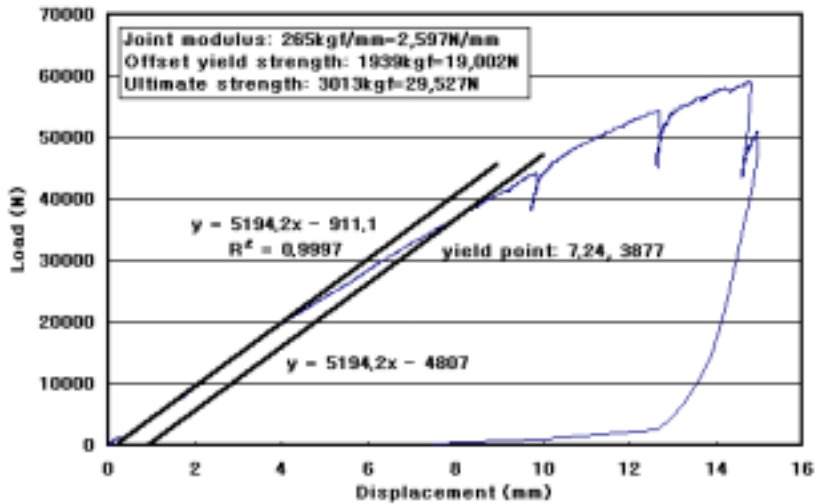


Figure 2-52. Load-deformation diagram obtained from double shear test of hanger type fastener connection, KM15-S.

이 연구에서는 철물접합부의 전단 성능 평가를 위하여 전단에 의하여 하중을 지지하는 기능을 갖는 기존의 안장쇠형 철물접합부를 사용하였으며 조임쇠로 볼트(B)와 래그나사못(S)을 사용하였고 조임쇠의 지름을 15mm(KM15) 및 20mm(KM20)로 하여 시험을 실시하였다. 각각의 철물 접합부에 대한 접합계수(joint modulus), 유사 항복강도(offset yield strength) 및 최대강도(maximum strength)의 값은 표 2-6과 같다.

Table 2-6 Results of double shear tests for hanger type fastener connections

Symbol of joint	Joint modulus (N/mm)	Offset yield strength (N)	Maximum strength (N)
KM15-B	2,352	17,150	33,114
KM15-S	2,597	19,002	29,527
KM20-B	3,538	32,830	33,291
KM20-S	3,949	28,547	33,281

표 2-6에서 보면 볼트와 래그나사못 사이에는 접합부의 전단시험에 큰 차이가 없었으며 조임쇠의 지름이 증가하면 접합계수, 항복점 및 최대강도 등의 전단성능이 증가하는 것으로 나타났다.

기존의 안장쇠를 사용하기 편하도록 개량한 개량 안장쇠형 접합부의 전단시험 결과는 표 2-7과 같다. 이 안장쇠에서는 모두 지름 15mm의 볼트를 사용하고 안장쇠를 고정시키기 위하여 설치되는 볼트 사이의 간격을 65mm(KM15-L) 및 35mm(KM15-N)로 변화를 주었다. 표 2-7에서 보면 안장쇠를 고정시키는 볼트 사이의 간격은 접합부의 전단성능에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

Table 2-7 Results of double shear tests for improved hanger type fastener connections

Symbol of joint	Joint modulus (N/mm)	Offset yield strength (N)	Maximum strength (N)
KM15-L	1,798	27,567	34,506
KM15-N	1,779	24,451	34,800

3. 3차년도: 철물 접합부재의 성능 평가 및 구조설계 기법 개발

가. 내화성능 향상 접합부재의 개발 및 휨 시험

1) 내화성능 향상 접합부재의 개발

2차년도의 집성재 접합부재에 대한 내화성능 시험에서 모든 시험편들이 1시간 내화성능에 훨씬 못 미치는 결과를 나타냄에 따라서 3차년도에는 이를 보강하여 접합부재의 내화성능을 향상시킬 수 있는 방법 개발에 중점을 두기로 하였다. 2차년도 접합부재 시험결과 및 내화성능 시험결과를 바탕으로 내화성능 향상을 위하여 필요한 사항들을 조사하였으며 목재 접합부재의 내화성능 향상을 위해서는 다음과 같은 2가지 사항이 고려되어야 한다는 결론을 얻게 되었다.

- 철물의 목재 내 삽입: 화재에 노출 시 위험한 철물을 보호하기 위하여 철물들은 가능하면 목재 내에 삽입되어 화염에 직접 노출되는 것을 피하여야 한다. 철물을 목재 내에 삽입하는 경우에는 목재의 표면으로부터 적절한 깊이 이상으로 삽입되어야 원하는 내화성능을 얻을 수 있다.
- 외부 노출 철물에 대한 보호: 가능하면 철물을 목재 내부에 삽입하여야 하지만 여러 가지 사정으로 외부에 노출하여야 하는 경우에는 철물의 표면에 내화페인트를 적절하게 피복함으로써 보호하여야 한다.

1차년도 및 2차년도의 집성재 부재에 대한 내화성능 시험 결과 낙엽송류의 평균 탄화속도는 0.6mm/min이며 소나무류의 평균 탄화속도는 0.65mm/min로 조사되었다. 따라서 목재 내부에 삽입되는 철물의 경우에는 30분 내화부재에 대해서는 25mm 깊이로 묻히고 1시간 내화부재에 대해서는 낙엽송류는 40mm 깊이 그

리고 소나무류에 대해서는 45mm 깊이로 묻혀야 한다는 결론에 도달하였다. 따라서 목재 내부에 삽입되는 철물은 목재의 표면이나 측면 등의 모든 화염에 노출되는 면으로부터 30분 또는 1시간의 요구되는 내화성능을 얻기 위하여 위에 언급된 깊이만큼 깊게 삽입되어야 할 것이다.

그림 2-13, 2-14, 2-15, 2-16 및 2-17은 위의 요건을 고려하여 결정된 접합부재의 구조로써 그림 2-13, 2-14, 2-15의 접합방법은 기존의 집성재 구조에 적용되던 접합방법으로서 다만 내화성능을 위하여 삽입형 철물의 삽입깊이를 적절하게 조절하거나 노출형 철물에는 내화페인트를 도포하도록 하였다. 그림 2-16은 최근에 일본에서 개발된 라멘구조의 내부 삽입형 철물로써 원형은 래그나사못 대신에 볼트를 사용하여 수직볼트와 결합시키도록 되어 있으나 이 연구에서는 래그나사못을 사용하도록 약간의 변형을 주었다. 그림 2-17은 인장볼트형 접합부로서 역시 최근에 개발된 접합 방법이며 볼트의 강한 인장강도를 최대로 이용하여 접합부의 휨모멘트 저항력을 증가시킨 방법이다.

2) 접합부재의 하중-변형선도

그림 2-53은 그림 2-14의 철판 볼트 접합부재에 대한 휨 하중 하에서의 하중-변형선도로써 이 연구에서 개발된 접합부재 중에서 가장 높은 강성 및 강도를 나타낸 부재들 중의 하나이다. 3,680kgf의 하중까지 비례한도를 나타내었으며 그 이후의 하중에서는 부재의 갑작스러운 파괴로 변형측정센서가 상할 것에 대비하여 변형측정 센서를 제거하고 하중만을 측정하면서 파괴 시까지 시험을 실시하였다. 그림 2-54는 그림 2-17의 인장볼트 접합부재에 대한 휨 하중 하에서의 하중-변형선도로써 볼트의 인장력이 와셔를 통하여 목재 부분에 전달되어 목재가 섬유 방향에 평행한 압축변형에 의하여 많은 양의 변형이 나타남을 알 수 있다.

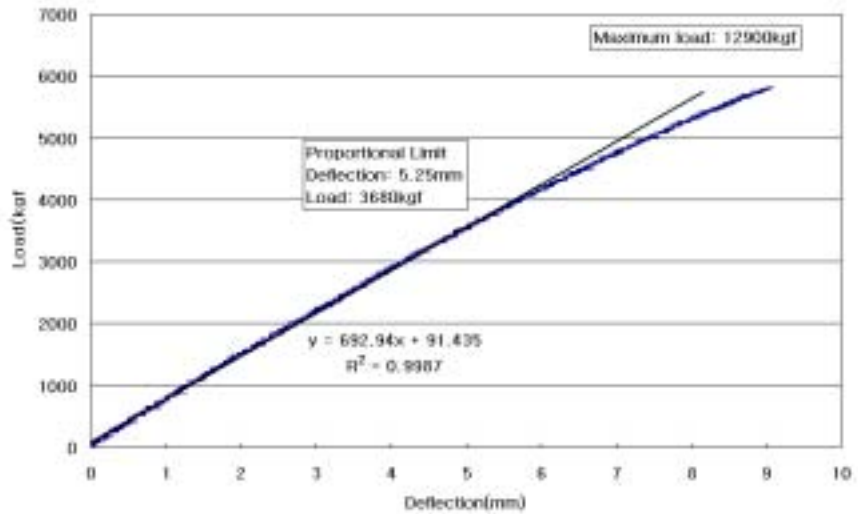


Figure 2-53. Load-deflection curve obtained from bending test of glulam beam with GP type joint at center.

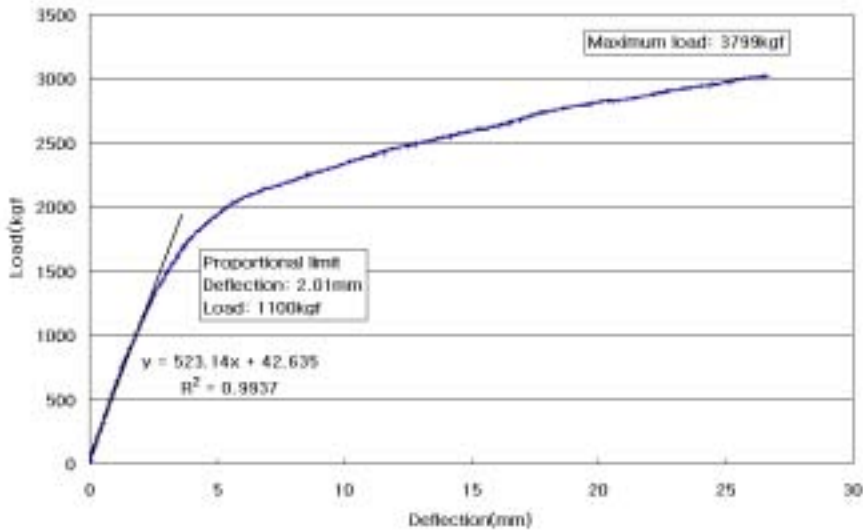


Figure 2-54. Load-deflection curve obtained from bending test of glulam beam with TB type joint at center.

3) MOE 및 MOR

이 연구에서 개발된 접합부재들에 대한 휨 시험으로부터 산출한 부재의 MOE 및 MOR은 표 2-8과 같다.

Table 2-8 MOE and MOR of glulam beams with improved fastener joint

Type	MOE (N/mm ²) (%)	MOR (N/mm ²) (%)
No joint	8285 (100)	26.3 (100)
GP	5852 (70.6))	18.4 (70.0)
SCP	8088 (97.6)	17.6 (66.9)
SP	3896 (47.0)	16.5 (62.7)
R	4990 (60.2)	10.1 (38.4)
TB	4271 (51.6)	4.8 (18.3)

MOE는 SCP 접합부재(그림 2-15)가 접합부가 없는 집성재보와 거의 같은 값을 나타내었으며 GP 접합부재(그림 2-14)도 상당히 높은 값을 나타내었다. 그러나 SP(그림 2-13), R(그림 2-16) 및 TB 접합부재(그림 2-17)들은 접합부가 없는 부재에 비하여 매우 낮은 MOE값을 나타내어 강성이 약함을 알 수 있다.

MOR은 GP, SCP 및 SP 접합부재들이 접합부가 없는 부재의 MOR에 대하여 약 60~70% 수준 정도의 비교적 높은 강도를 나타내었다. 그러나 R 및 TB 접합부재들은 접합부가 없는 집성재보에 비하여 매우 낮은 MOR값을 나타내어 휨 강도가 기대보다 매우 낮은 것으로 나타났다. R 접합부재에서는 래그나사못이 인장력에 의하여 뽑히는 현상이 나타났으며 TB 접합부재에서는 볼트를 통하여 전달된 인장력이 와셔를 통하여 목재에 전달되면서 좁은 와셔 면적에 집중되어 매우 높은 압축응력을 가함으로써 와셔 밑의 목재 부분이 압축에 의하여 파괴되는 현상이 관찰되었다.

TB 접합부재에서는 볼트를 삽입하기 위한 구멍을 뚫을 때에 구멍의 지름을 볼트 지름보다 1~2mm 정도 크게 정확하게 뚫고 또 직선으로 뚫는 기술이 필요하지만 실제로 이 접합부재를 제작하는데 볼트 구멍을 뚫기가 매우 어려움을 발견하였다. 만약에 볼트 구멍의 지름이 너무 크거나 볼트 구멍이 직선이 되지 못하는 경우에는 와서 밑에서 압축응력을 견디는 목재 부분의 면적이 줄어들어서 더 많은 변형이 일어나게 될 것이다.

4) 파괴 형태

집성재 접합부재의 휨 시험을 실시하는 실제 사진은 그림 2-55와 같다. 그림 2-55 a)는 전체적인 휨 시험 사진이며 2-55 b)는 변형측정센서인 LVDT를 부착하는 방법을 보여주고 있다. 시험편의 앞뒷면에는 LVDT를 보조도구에 설치하여 양 쪽 하중점 사이의 처짐을 측정하여 그 평균값을 취하였으며 시험편의 아래쪽 중앙에 설치된 LVDT는 양 지점 사이에서의 시험편의 전체적인 처짐을 측정하였다.



a) Bending test of glulam specimen



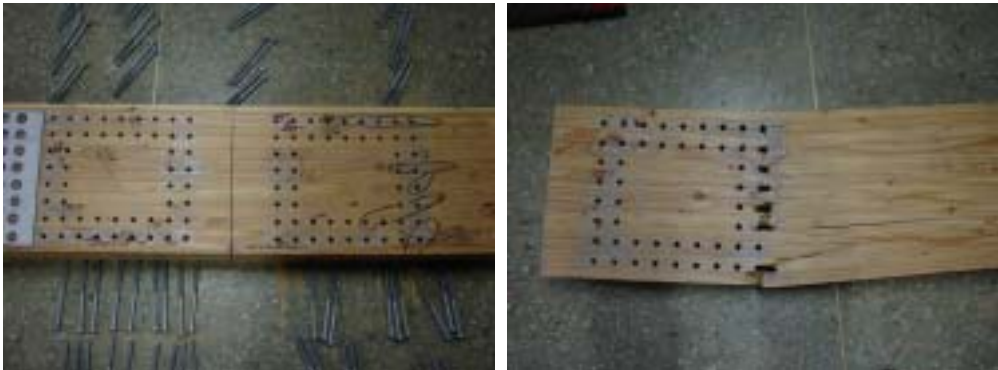
b) Attachment of LVDTs

Figure 2-55 Picture of bending test arrangement for glulam beam.

그림 2-56은 GP 접합부재의 휨에 의한 파괴를 보여주고 있다. GP 접합부재는 접합부의 양 끝부분에서 수직방향으로 배열된 볼트의 수가 많아서 그 부분의 유효 단면적이 작아짐으로써 이 부분을 통하여 파괴가 일어남을 알 수 있다.



a) Failure of wood along the bolt line at GP-type joint



b) Development of Failure of wood along bolt holes

Figure 2-56. Failure of glulam beam with GP-type joint at center.

그림 2-57은 SCP 접합부재의 파괴 형태를 보여주고 있다. SCP 접합부재에서는 상하면의 철판에 의하여 래그나사못이 전단력을 받음으로써 전단 변형이 발생하고 이로 인하여 접합부위가 벌어지는 결과가 나타남을 알 수 있다. SCP 접합부재는 래그나사못의 나사산 때문에 못뽑기 저항력이 매우 크므로 그 영향으로 매우 강성 및 강도가 높은 접합부를 이룰 수 있었다.



a) Widening of gap between members within SCP-type joint



b) Deformation of lag-screw
installed on top side



c) Deformation of lag-screw
installed on bottom side

Figure 2-57. Failure of glulam beam with SCP-type joint at center.

그림 2-58은 TB 접합부에서 상부 및 하부에 설치된 삽입형 인장볼트에 의한 목재부의 섬유 직각 방향 압축 변형을 보여주고 있다.



- a) Crushing of wood under washer at top tension belt b) Crushing of wood under washer at bottom tension bolt

Figure 2-58. Failure of glulam beam with TB-type joint at center.

TB 접합부재에 작용하는 최대 휨 하중의 평균치가 2584kgf이므로 부재 길이의 1/3 위치에 있는 2개의 하중점에 각각 1292kgf의 하중이 작용하게 되며 이 경우의 휨 부재에 대한 전단력선도 및 모멘트선도는 그림 2-59와 같다. 이 때 작용하는 휨모멘트의 최대값이 1292kgf-m 또는 1,292,000kgf-mm가 된다. 이 모멘트가 인장볼트의 인장하중으로 전환되고 상하의 인장볼트 사이의 거리가 270mm 이므로 인장볼트에 작용하는 인장 하중은 식 (2-6)과 같이 계산된다.

$$P_t = \frac{1,292,000 \text{ kgf} \cdot \text{mm}}{270 \text{ mm}} \approx 4,785 \text{ kgf} \quad (2-6)$$

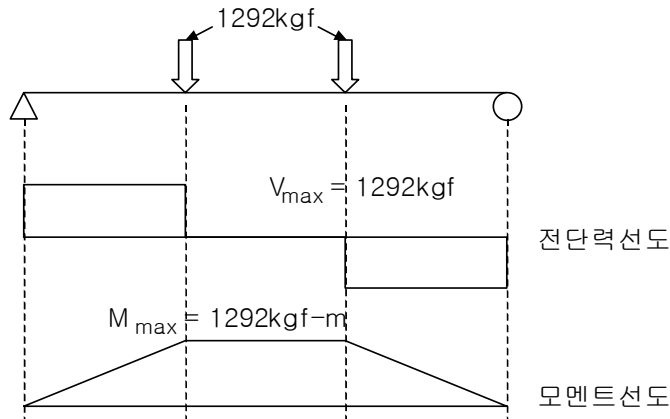


Figure 2-59. Shear and moment diagram for third-point bending test beam.

인장볼트에 작용하는 인장하중은 외부 지름 30mm, 내부 지름 15mm 및 두께 4mm의 와셔를 통하여 전달되며 볼트 구멍의 지름은 18mm이었다. 와셔와 목재의 접촉면적은 약 452mm²가 되며 인장 볼트 2개가 상하부에 각각 설치되었으므로 904mm²의 면적에 4,785kgf의 하중이 작용하는 셈이다. 따라서 목재에 작용하는 섬유 방향 압축응력은 식 (2-7)과 같이 계산될 수 있다.

$$f_t = \frac{4785\text{kgf}}{904\text{mm}^2} = 5.29(\text{kgf}/\text{mm}^2) = 529(\text{kgf}/\text{cm}^2) = 51.9\text{MPa} \quad (2-7)$$

낙엽송에 대한 허용 압축응력이 532kgf/cm²이므로 인장볼트의 와셔를 통하여 작용하는 압축응력이 낙엽송의 압축강도와 비슷한 값을 나타내었다. 만약에 접합부를 제조할 때에 볼트 구멍의 지름을 너무 크게 가공한 경우에는 이보다 더욱 큰 압축응력이 작용할 것이며 낙엽송에 대한 압축강도는 평균치이므로 시험용으로 사용된 목재의 경우에 이보다 낮은 압축강도를 나타낼 가능성이 아주 높

다. 그림 2-58 b)의 하부에 설치된 인장볼트의 경우를 그림 2-58 a)의 상부에 설치된 인장볼트의 경우와 비교해보면 압축응력의 작용 결과를 확실하게 알 수 있다. 그림 2-58 a)에서는 와셔 밑의 목재 부분에 대한 압축 변형을 거의 볼 수 없으나 그림 2-58 b)에서는 와셔 밑의 목재 부분이 압축에 의하여 변형되어 보이지 않을 밖에서는 잘 보이지 않을 정도로 깊이 눌러 들어간 것을 볼 수 있다.

그림 2-60은 R 접합부재의 파괴형태, 철물의 모양 및 하중에 의한 변형 형태 등을 보여주고 있다.



a) Deflection of R-type joint



b) Shape of R-type connector



c) Withdrawal of double bolt inserted into glulam member



d) Deformation of bolt hole at center of R-type connector

Figure 2-60. Failure of glulam beam with R-type joint at center.

그림 2-60 a)는 휨 하중에 의하여 접합부가 벌어지면서 철물을 화염으로부터 보호하기 위하여 덮은 목재 덮개가 떨어지는 것을 나타낸다. 그림 2-60 b)는 R 접합부재의 분해된 모습이며 그림 2-60 c)는 R 접합부에서 하부에 설치된 이중 볼트가 인장력에 의하여 밖으로 밀려나온 형태를 나타낸다. 그림 2-60 d)는 R 접합 철물의 옆모습으로서 접합부가 벌어지면서 부재의 길이 방향에 수직하게 설치된 볼트에 의하여 R 접합부재 중앙부의 볼트 구멍이 옆으로 찌그러진 모습을 보여주고 있다.

나. 집성재 구조의 구조설계 방법

1) 포탈프레임 구조의 구조설계

포탈프레임은 기둥-보 구조의 가장 대표적인 구조로써 기둥과 보를 집성재로 사용하고 기둥과 보 사이에는 철물을 사용한 접합부를 구성한 경우에 해당된다. 일반적으로 포탈프레임은 비정정구조로써 정역학적인 방법으로는 정확한 해를 구할 수 없으며 포탈해석 방법 또는 외팔보 해석법을 적용하여 근사해를 구하여야 한다.

가) 포탈해석법

포탈해석법은 다음과 같은 세 가지 가정 하에서 기둥-보 구조의 각 부재에 작용하는 하중을 결정하는 방법이다.

- (1) 가정 1: 각 기둥의 중앙에 영향점(influence point)이 존재한다.
- (2) 가정 2: 각 보의 중앙에 영향점이 존재한다.
- (3) 가정 3: 내측 기둥이 외측 기둥보다 2배 더 큰 수평전단의 작용을 받는다.

위의 가정 3에 의하여 수평하중을 각 기둥에 분산시키고 그 크기를 구한 후 가정 1 및 2와 기둥과 보의 중앙부에서의 모멘트 합이 영이 된다는 평형방정식을 이용하여 각 기둥 및 보에 작용하는 수평 및 수직하중을 구할 수 있다. 각 영향점에서의 수직하중이 결정되면 여기에 각 기둥과 보의 접합부로부터의 거리를 곱하여 각 접합부에 작용하는 최대 모멘트를 구할 수 있다.

(구조계산의 예)

포탈프레임 구조설계의 예로 그림 2-61과 같은 집성재 포탈프레임 구조의 구조계산을 실시하였다.

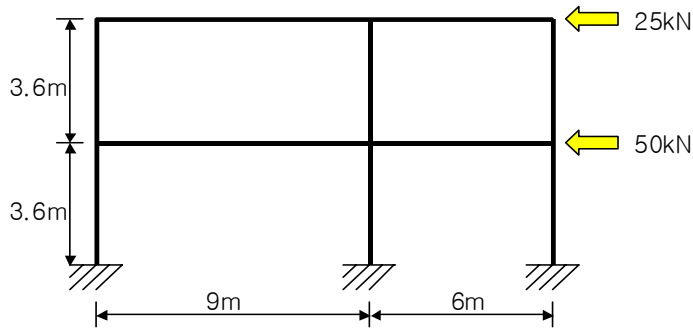


Figure 2-61. Example of glulam portal frame structure.

그림 2-61에서 2층의 기둥-보 구조에서 기둥의 중앙에 영향점이 있다고 가정하고 자유물체도를 그리면 그림 2-62와 같다. 그림 2-62의 자유물체도에서 위의 3번째 가정을 도입하여 내부 기둥의 수평전단력이 외부 기둥의 수평전단력의 2배라고 가정하면 식 (2-8)과 같이 수평 전단력을 구할 수 있다.

$$H + 2H + H = 25 \quad \therefore H = 6.25\text{kN} \quad \text{-----} \quad (2-8)$$

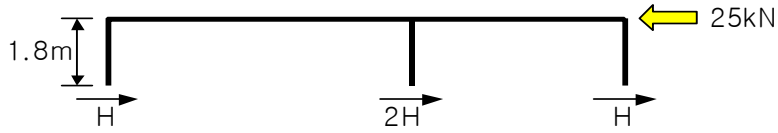


Figure 2-62. Free-body diagram for the 2nd floor of example.

그리고 그림 2-62에서 보의 중앙에도 영향점이 있다고 가정하고 평형 방정식을 적용하여 각 부재에 작용하는 수직하중 및 수평하중을 구한 후 자유물체도를 그리면 그림 2-63과 같아진다.

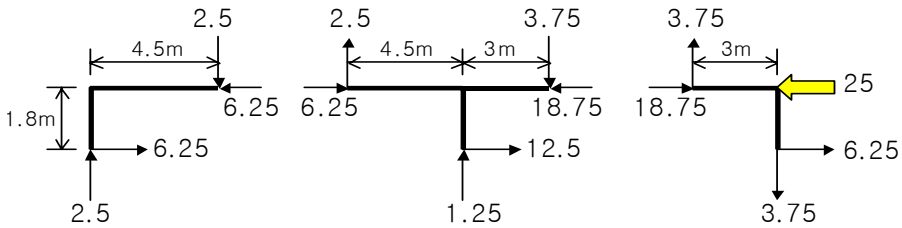


Figure 2-63. Free-body diagrams of columns and beams of the 2nd floor.

그림 2-61의 1층 부분에 대한 자유물체도를 그리면 그림 2-64와 같고 여기서도 가정 3을 적용하여 내부 기둥의 수평전단력이 외부 기둥의 수평전단력보다 1배가 높은 것으로 가정하면 그림 2-64로부터 수평전단력을 식 (2-9)와 같이 구할 수 있다.

$$H + 2H + H = 25 + 50 \quad \therefore H = 18.75\text{kN} \quad \text{-----} \quad (2-9)$$

그림 2-64에서 보의 영향점도 중앙에 있다고 가정하고 평형 방정식을 적용하

면 각각의 부재에 작용하는 수평하중 및 수직하중을 구할 수 있고 이를 자유물체도로 표시하면 그림 2-65와 같다.

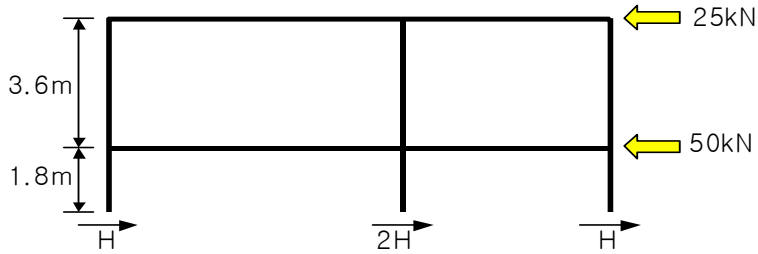


Figure 2-64. Free-body diagram for the 1st floor of example.

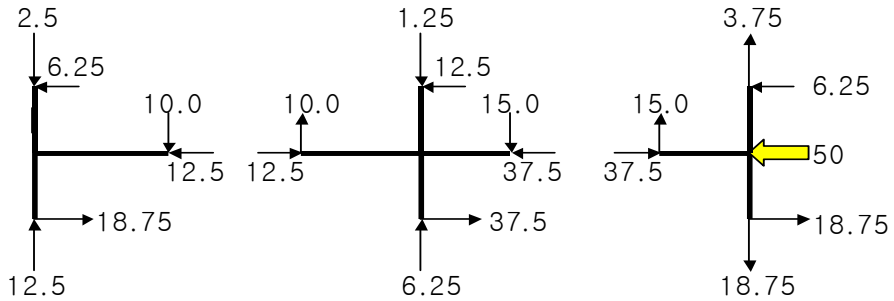


Figure 2-65. Free-body diagrams of columns and beams of the 1st floor.

예의 구조에서 각각의 접합부에 작용하는 최대 모멘트는 각 부재에 작용하는 전단력과 부재 길이의 절반의 곱으로 구할 수 있다. 그림 2-61의 포털프레임 구조에 대하여 각각의 부재에 작용하는 수직하중 수평하중 및 모멘트를 구하여 종합하면 그림 2-66과 같다.

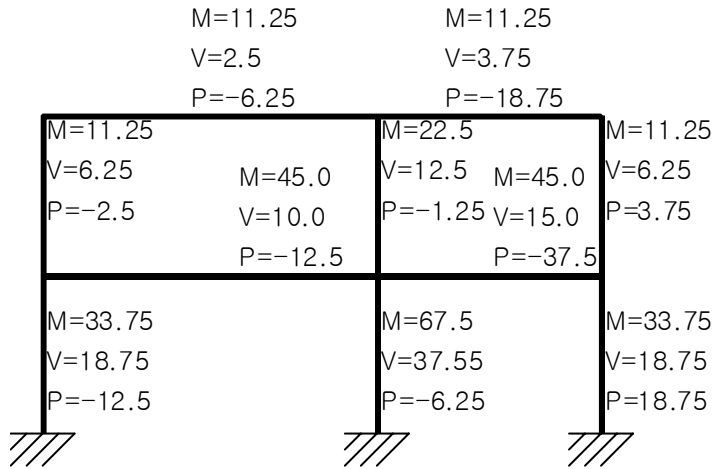


Figure 2-66. Maximum moment, shear and axial forces calculated by portal frame method for example structure.

나) 외팔보 해석법

외팔보 해석법에서는 포털프레임을 지면에 고정된 외팔보로 보고 다음과 같은 가정 하에서 외부하중에 대한 분석을 실시한다.

- (1) 가정 1: 각 기둥의 중앙에 영향점(influence point)이 존재한다.
- (2) 가정 2: 각 보의 중앙에 영향점이 존재한다.
- (3) 가정 3: 각 기둥에 작용하는 축하중은 가상 도심으로부터 각 기둥까지의 거리에 비례한다.

외팔보 해석법에서는 가정 1과 2가 포털해석법과 동일하지만 가정 3에서 전단력이 기둥에 분산된다는 가정 대신에 축하중이 기둥에 분산되는 것으로 가정한다. 외팔보 해석법에서는 먼저 프레임구조를 외팔보로 가정하고 가상의 도심을 구하여야 한다. 도심에 대한 각 기둥의 면적의 모멘트의 합이 영이 된다는 평형

방정식을 이용하여 도심의 위치를 구하고 가정 3에 의하여 각각의 기둥에 작용하는 축하중의 크기를 계산한다. 다음에는 포탈 해석법과 동일하게 각각의 접합부에 대한 자유물체도와 평형 방정식으로부터 각 보 및 기둥에 작용하는 수평 및 수직하중과 최대 모멘트의 크기를 계산할 수 있다.

(구조계산의 예)

앞의 포탈프레임 구조계산에 사용하였던 그림 2-61의 구조를 그대로 적용하여 외팔보 해석법으로 구조계산을 실시하였다. 단면적이 동일한 기둥들이 전체 구조에 사용된 것으로 가정하고 가상 도심의 위치(그림 2-67의 d)를 식 (2-10)에 의하여 구하였다.

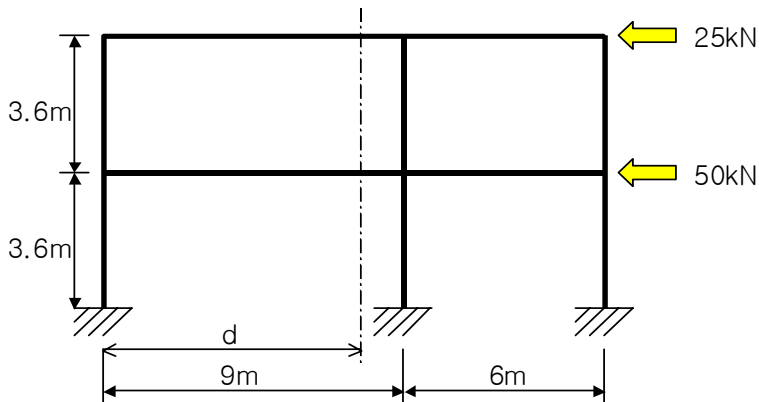


Figure 2-67. Position of the centroid of the column areas.

$$d = \frac{9 + 15}{3} = 8.0m \quad (2-10)$$

그림 2-67에서 2층 기둥의 중앙 영향점 윗부분에 대한 자유물체도를 그리면 그림 2-68과 같아진다.

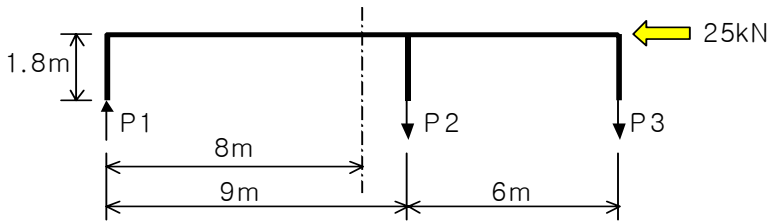


Figure 2-68. Free-body diagram for the 2nd floor of example.

그림 2-68에서 각각의 기둥에 작용하는 축하중의 크기는 가정 3을 적용하고 평형방정식을 적용함으로써 식 (2-11), (2-12) 및 (2-13)와 같이 계산할 수 있다.

$$P_2 = \frac{1.0}{8.0} P_1 = 0.125 P_1 \quad \text{-----} \quad (2-11)$$

$$P_3 = \frac{7.0}{8.0} P_1 = 0.875 P_1 \quad \text{-----} \quad (2-12)$$

$$-(25)(1.8) + 15P_1 - (6)(0.125P_1) = 0 \quad \text{-----} \quad (2-13)$$

$$\therefore P_1 = 3.158 \text{ kN}, P_2 = 0.397 \text{ kN}, P_3 = 2.763 \text{ kN}$$

2층의 기둥들에 작용하는 축하중을 계산한 후 다른 기둥들 및 보들에 작용하는 수직 및 수평하중과 모멘트의 크기를 계산하는 방법은 포털프레임구조의 경우와 동일하다. 외팔보 해석법에 의하여 계산된 각각의 부재에 작용하는 힘들은 그림 2-69와 같다. 그림 2-66과 2-69를 비교해 보면 힘의 크기의 강약과 분포 경향은 비슷하지만 각 부재에 작용하는 힘과 모멘트에 약간의 차이가 나타남을 알 수 있다. 위의 예는 부정정 구조로서 정역학적인 방법으로 해석할 수 없기 때문에 매우 복잡한 부정정 구조 해석법으로 해석을 실시하여야 하지만 이러한 부정정 구조를 손으로 간단하게 계산할 수 있는 방법은 없으며 복잡한 계산 과정을 컴퓨터로 처리하여야 원하는 답을 얻을 수 있다. 그러나 위의 두 가지 방법은 부정정 구조를 정정 구조로 전환시킬 수 있는 몇 가지의 가정을 도입함으로써 간단하게 구조에 대한 해석을 실시하여 각 부재에 작용하는 대략적인 힘과 모멘트의 값을 계산하기 위한 방법이다. 따라서 적용되는 방법에서 도입되는 가정에 따라서 계산 결과에 약간의 차이를 나타낸다.

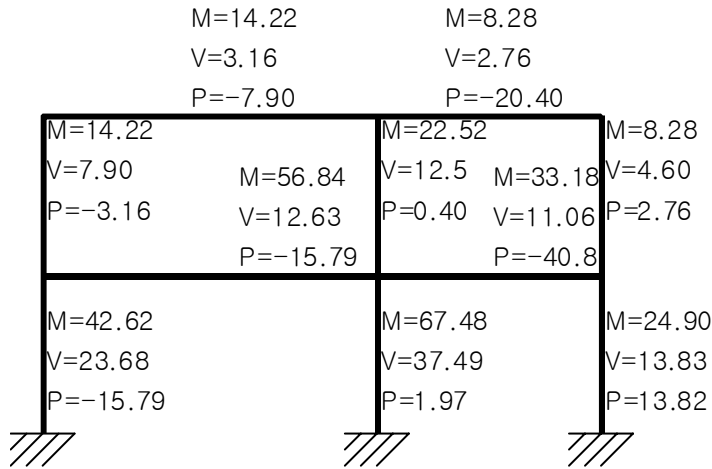


Figure 2-69. Maximum moment, shear and axial forces calculated by cantilever method for example structure.

2) 아치구조의 구조설계

아치구조는 포털프레임구조와 더불어 집성재구조의 가장 대표적인 구조이다. 아치구조는 수평보에 비하여 휨모멘트의 작용이 적고 외관이 둥글고 독특한 형태를 띠고 있기 때문에 대형 건축물의 건축에서 선호되는 구조이다. 일반적으로 3개의 힌지를 갖는 아치구조는 정정구조로써 정역학적으로 해석이 가능하지만 그렇지 않은 경우에는 부정정구조로써 다른 방법에 의하여 근사치를 구하여야 한다.

가) 3개의 힌지를 갖는 아치구조

3개의 힌지를 갖는 아치구조에서는 양쪽의 지점이 핀 접합으로 되어 있고 아치의 중간에 힌지가 있으며 이들 3점에서 모두 모멘트의 합이 영이 되는 평형방

정식이 성립된다. 이 아치구조에서는 양 쪽의 지점에서 각각 수평 및 수직의 2개 반력이 있기 때문에 총 4개의 반력이 존재하며 이를 구하기 위하여 총 4개의 평형방정식이 필요하다. 따라서 기존의 평형방정식인 식 (2-14), (2-15) 및 (2-16)의 3개의 식에 중앙 힌지에 대한 모멘트의 합이 영이라는 식 (2-17)을 포함하여 4개의 식으로부터 4개의 미지수인 반력들을 계산할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^n F_{x_i} = 0 \quad \text{-----} \quad (2-14)$$

$$\sum_{j=1}^m F_{y_j} = 0 \quad \text{-----} \quad (2-15)$$

$$\sum_{k=0}^l M_k = 0 \quad \text{-----} \quad (2-16)$$

$$\sum_{h=1}^p M_h = 0 \quad \text{-----} \quad (2-17)$$

이 반력분포로부터 아치부재에 작용하는 휨모멘트의 크기를 계산하고 최대휨모멘트를 구하여 이 부위에서의 휨 응력을 계산하고 이 응력을 견딜 수 있는 부재를 설계한다.

(구조계산의 예)

그림 2-70과 같은 3개의 힌지를 갖는 아치구조를 예로 들어서 구조계산을 실시하였다.

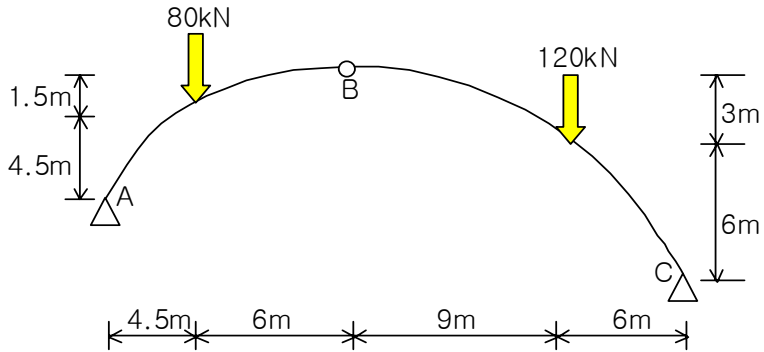


Figure 2-70. Example of three-hinged glulam arch structure.

그림 2-70의 아치 구조에 대한 자유물체도는 그림 2-71과 같다.

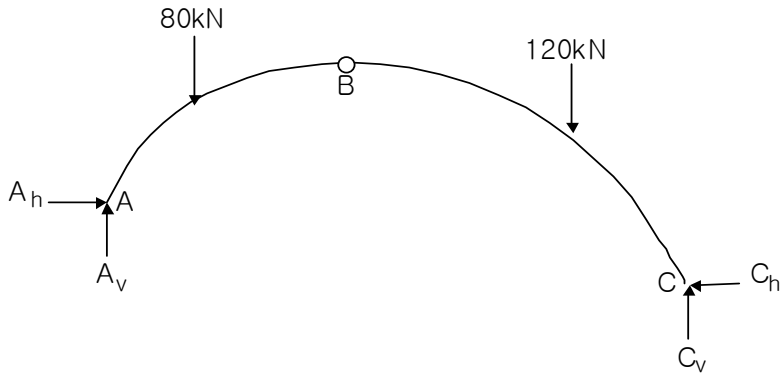


Figure 2-71. Free-body diagram for example.

그림 2-71의 자유물체도에서 A점에 대한 모멘트의 합을 영으로 놓고 또 아치 구조의 BC 부분에서 B점에 대한 모멘트의 합을 구하여 영으로 놓으면 C_h 와 C_v 에 대한 식 (2-18)과 (2-19)를 구할 수 있고 이 식들을 풀어서 C_h 및 C_v 의 값을 구할 수 있다.

$$(80)(4.5) + (120)(19.5) + 3C_h - 25.5C_v = 0 \quad \text{-----} \quad (2-18)$$

$$\therefore 3C_h - 25.5C_v = -2700$$

$$(120)(9) + 9C_h - 15C_v = 0 \quad \text{-----} \quad (2-19)$$

$$\therefore 9C_h - 15C_v = -1080$$

식 (2-18)과 (2-19)로부터 $C_h = 70.24\text{kN}$, $C_v = 114.15\text{kN}$ 의 값을 구할 수 있다. 그러므로 그림 2-71에 평형방정식을 적용하면 $A_h = 70.24\text{kN}$, $A_v = 85.85\text{kN}$ 의 값을 구할 수 있다. 이 값들을 이용하여 예의 아치구조에 대한 모멘트의 분포를 구하면 그림 2-72와 같다.

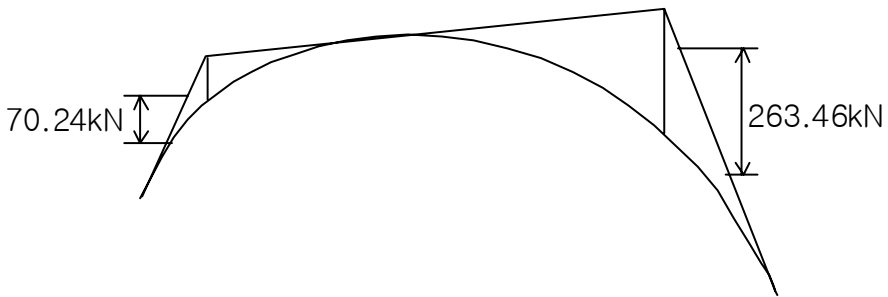


Figure 2-72. Moment diagram drawn on the compression side of arch structure.

나) 부정정 아치구조

아치부재의 중간에 힌지가 없이 양 지점에만 힌지가 있는 2개의 힌지를 갖는 아치구조가 부정정 아치구조에 해당된다. 이러한 구조는 부정정구조이기 때문에

구조해석이 복잡하고 설계가 어려우며 전체를 하나의 부재로 만들어야 하므로 운반 상의 어려움으로 인하여 소규모 구조물을 제외하고는 잘 사용되지 않는다.

2개의 힌지를 갖는 아치구조는 반력이 4개로서 3개의 평형방정식으로 구할 수 있는 반력의 수보다 1이 많은 부정정도 1의 구조이다. 부정정구조인 아치의 구조계산을 위하여 2가지 방법 중의 하나가 사용될 수 있다. 첫 번째는 반력 계산을 위하여 1개 더 필요한 방정식을 구하기 위하여 가상일 해석법(virtual work method)이 사용될 수 있다. 가상일 해석법으로 수평반력을 구하면 나머지 반력들은 평형방정식으로 구할 수 있다. 아치구조를 적당한 간격으로 몇 개의 지점으로 나눈 후 각 지점에서의 모멘트, 축하중 및 전단력을 계산하고 모멘트의 부호가 바뀌는 지점을 찾아서 이를 영향점으로 보고 압축하중에 대한 기둥의 설계 방법을 적용하여 계산을 실시한다.

두 번째 방법에서는 반력을 구하기 위하여 가상일 해석법 대신에 적용할 수 있는 방법이다. 아치구조를 몇 개의 등분점으로 나눈 후 수직반력을 계산하고 아치구조를 단순보로 가정하여 각 등분점에서의 모멘트(M_s)를 구한다. 계산된 모멘트에 각 등분점의 y 좌표값을 곱하고 식 (2-20)에 의하여 수평반력을 구하며 나머지 과정은 위와 동일하다.

$$R_H = \frac{\sum (M_s y)}{\sum y^2} \quad \text{-----} \quad (2-20)$$

(구조계산의 예)

그림 2-73과 같은 2개의 힌지를 갖는 아치구조를 예로 들어서 구조계산을 실시하였다.

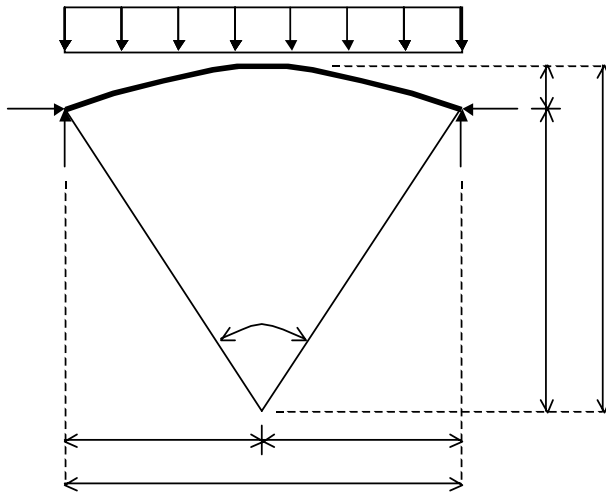


Figure 2-73. Example of two hinged glulam arch structure.

그림 2-73의 아치구조에서 다음과 같이 가정한다.

$$L = 30\text{m}, S = 15\text{m}, T = 4\text{m}, R = 30\text{m}$$

$$e = 26\text{m}, w = 1500\text{kgf/m}, \alpha = 60\text{도} = 1.0472\text{rad}$$

그림 2-73의 아치구조의 오른쪽 절반에 대하여 3.75도 간격으로 8구간으로 등분하면 그림 2-74와 같으며 각 등분점에 대한 x 및 y 좌표값은 표 2-9와 같다.

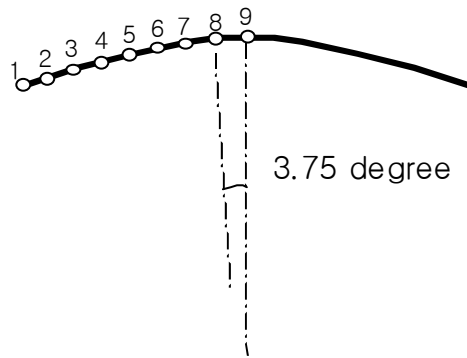


Figure 2-74. Subdivision of the example arch structure.

Table 2-9. Point coordinates for Figure 2-74.

Point	x-coordinate(m)	y-coordinate(m)	y^2
1	0	0	0
2	1.76	0.94	0.88
3	3.58	1.76	3.10
4	5.44	2.47	6.10
5	7.35	3.04	9.24
6	9.30	3.50	12.25
7	11.27	3.82	14.59
8	13.25	4.02	16.16
9	15	4.00	16.00

각 지점에서의 반력은 작용하는 외력이 좌우 대칭이므로 외력의 절반인 22500kgf이 된다. 아치구조를 단순보로 가정하고 표 2-9의 각 등분점에서의 모멘트를 구하면 표 2-10과 같다.

Table 2-10 Moments at each subdivided point assuming simple beam

Point	$M_s(\text{kgf-m})$	$M_{sy}(\text{kgf-m}^2)$	$M(\text{kgf-m})$
1	0	0	0
2	37277	35040.19	-3858
3	70938	124850.4	52020
4	100205	247505.9	145295
5	124858	379568.7	253771
6	144383	505338.8	360505
7	158315	604764.5	446689
8	166453	669141.6	502790
9	168750	675000	509476

식 (2-20)에 의하여 수평반력을 계산하면 식 (2-21)과 같다.

$$R_H = \frac{\sum(M_s y)}{\sum y^2} = \frac{3241210}{78.3265} \doteq 41381 \quad \text{----- (2-21)}$$

각 등분점에서의 실제 모멘트(M)는 식 (2-22)에 의하여 계산될 수 있으며 계산결과는 표 2-10에 수록되어 있다.

$$M = M_s - R_H y \quad \text{----- (2-22)}$$

표 2-10 중에서 9번 위치에 작용하는 최대 모멘트에 대하여 집성재 부재를 설계할 수 있다.

3) 구조설계 프로그램의 적용

집성재구조를 위하여 별도의 구조설계 프로그램을 개발한다는 것은 단순한 구

조만을 대상으로 삼으면 실용성이 없고 범용으로 적용할 수 있는 프로그램의 개발은 경제적으로 시간적으로 거의 불가능하다고 할 수 있다. 따라서 이러한 여러 가지 사정들을 고려한다면 일반적인 건축물에 적용되는 범용의 구조설계 프로그램을 구입하여 이를 집성재구조에 적용할 수 있는 방법을 찾는 것이 가장 바람직한 대안이 될 수 있을 것이다. 이를 위하여 시중에서 건축물의 구조설계에 일반적으로 많이 사용되는 구조설계 프로그램으로 MIDAS를 선정하고 이를 구입하여 집성재구조에 적용할 수 있는 방안을 찾고자 하였다.

시중에서 구할 수 있는 범용의 구조설계 프로그램들은 대부분 콘크리트 구조 및 철골구조에 대한 구조설계 부분을 포함하고 있다. 이 중에서 목구조설계는 재료의 성질과 형상, 그리고 허용응력 산출 방법 등을 제외한 구조계산 부분은 철골구조와 유사하므로 기존의 구조설계 프로그램 중에서 철골구조 부분을 적용하여 먼저 구조계산을 실시할 수 있다. 이러한 구조계산 부분을 손 계산으로 수행하기에는 너무 복잡하며 일반적인 경우에 3차원의 계산이 포함되는 경우가 많기 때문에 구조계산 프로그램의 사용이 필요하다. 구조계산에 의하여 각 부재에 작용하는 하중이나 모멘트의 크기가 결정되면 이러한 외력을 지지하기 위하여 필요한 부재의 종류, 등급, 치수 등을 결정하게 된다. 이 과정에서 목구조에서는 구조용 목재의 허용응력 산출을 위하여 여러 가지 조정계수들을 적용하게 되며 이 부분이 다른 구조의 구조설계 과정과 큰 차이를 나타낸다.

(MIDAS의 적용 예)

우리나라에서 개발된 구조설계 프로그램 중에서 MIDAS가 일반적으로 많이 사용되고 있다. MIDAS를 적용하여 그림 2-75, 2-76 및 2-77의 구조를 분석하였다.

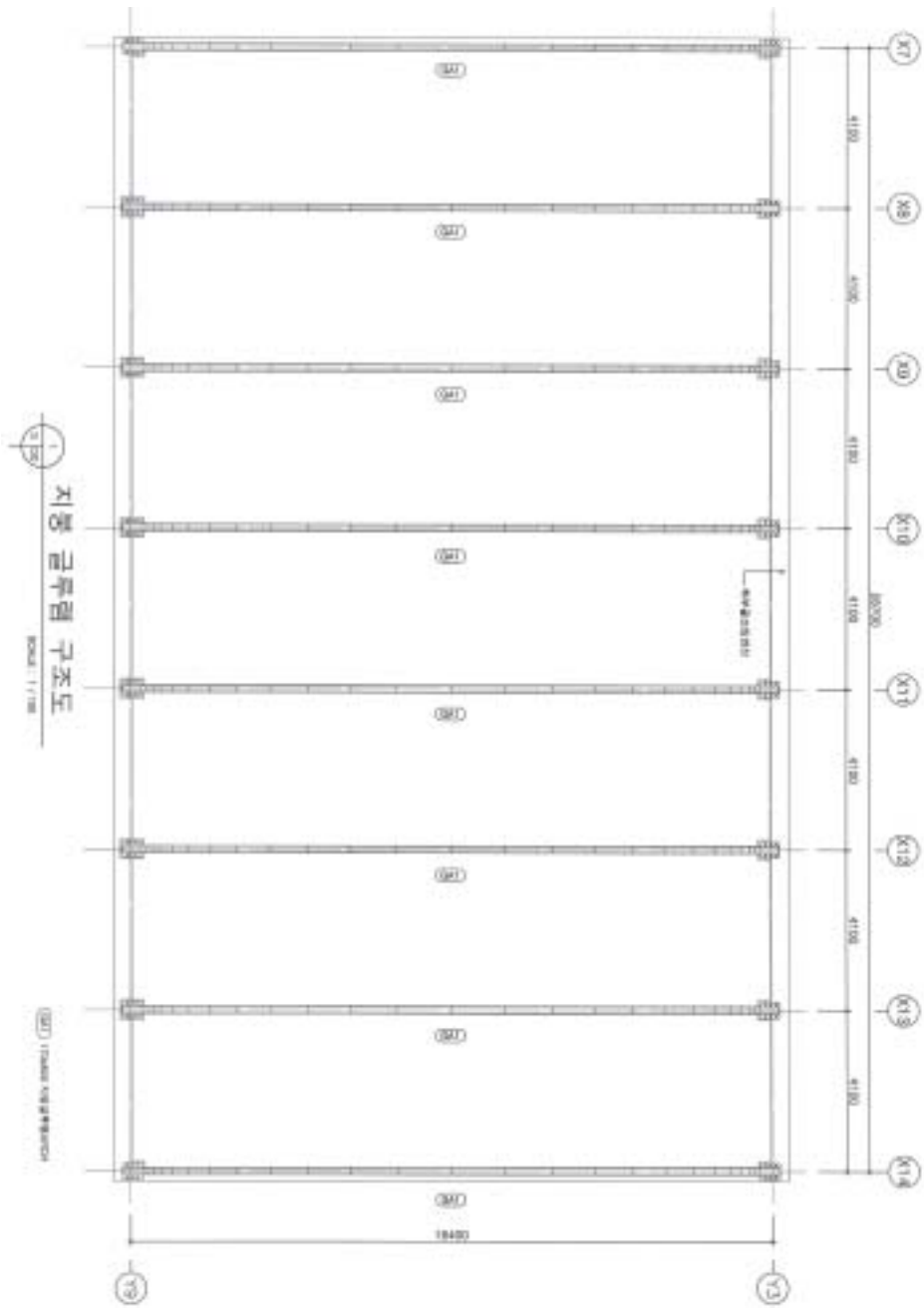


Figure 2-75. Structure of glulam girder supporting roof.

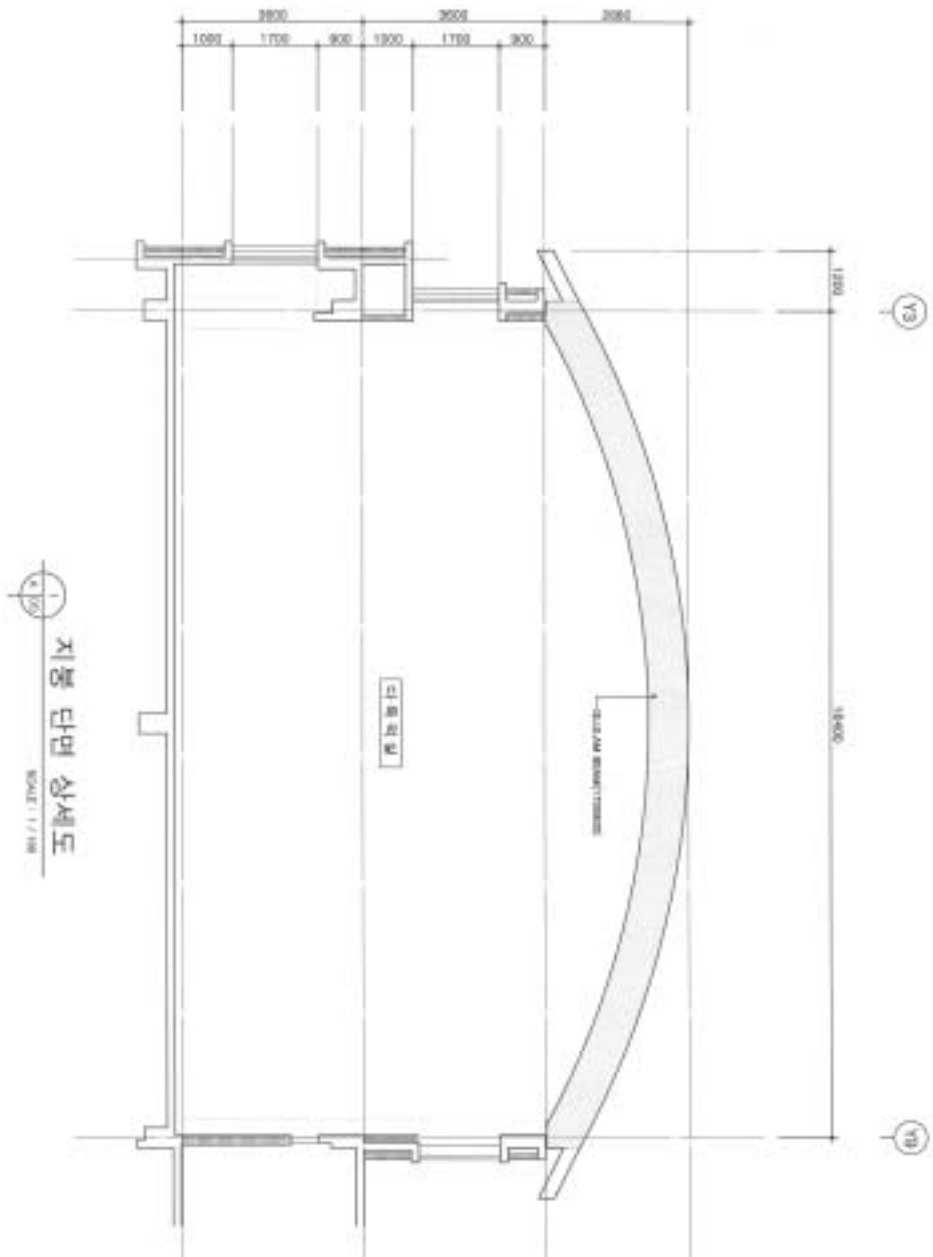


Figure 2-76. Section view of roof structure.

MIDAS 프로그램을 사용하기 위하여 적용된 입력자료는 다음과 같다.

수종: 국산 낙엽송 2등급 이상(KS F3020)

집성재: 국산 낙엽송 구종용 집성재(KS F 3021)

고정하중(dead load): 90kg/m^2

적재하중(live load): 60kg/m^2

풍하중에 대한 입력자료는 표 2-11과 같고 적설하중에 대한 입력자료는 표 2-12와 같다.

Table 2-11 Input data for wind load applied to MIDAS analysis

지역	기본풍속	노풍도	고도분포 계수	풍속할증 계수	중요도 계수	GUST 영향계수
부천	30m/sec	C	높이별 계산	1.0	1.0	0.9

Table 2-12 Input data for snow load applied to MIDAS analysis

지역	지붕적설 하중계수	노출계수	온도계수	중요도 계수	지상 적설하중
부천	0.7	1.1	1.2	1.0	80kg/m^2

표 2-11 및 2-12의 자료를 이용하여 계산된 풍하중 및 적설하중은 다음과 같다.

풍하중:

고도분포계수: 1.147

지붕면 풍상 1/4 지점: 126.8kg/m^2 (↓)

지붕면 풍상 1/2 지점: 152.2kg/m^2 (↑)

지붕면 풍상 3/4 지점: 109.0kg/m^2 (↑)

적설하중:

평지붕 적설하중(SL_1): 74kg/m^2

평지붕 적설하중(SL_2): $80\text{kg/m}^2 > SL_1$

∴ 설계 적설하중: 80kg/m^2

위의 설계하중에 근거하여 MIDAS에서 각각의 집성재 보에 대하여 입력된 외력 자료는 표 2-13과 같다.

Table 2-13 Input data for external loads applied to MIDAS analysis

(unit: kg/m)

DL	LL	SL	WL		
			WL1	WL2	WL3
369	246	328	520	625	447

적용된 하중조합은 다음과 같다.

$$LC1 = DL + LL$$

$$LC2 = DL + SL$$

$$LC3 = DL + WL$$

아치구조의 분석을 위하여 하나의 집성재 보를 그림 2-78과 같이 35개의 지점

으로 등분하였다.



Figure 2-78. Subdivision of glulam arch girder for structural analysis.

위의 자료들을 MIDAS 프로그램에 적용하여 얻은 출력자료는 그림 2-79와 같다.

Node	Load	DX (cm)	DY (cm)	Node	Load	DX (cm)	DY (cm)
1 dH		-1.187	1.893	1 dHw		-0.207	0.339
2 dH		0.834	1.893	2 dHw		0.894	0.203
3 dH		0.950	0.000	3 dHw		0.000	0.000
4 dH		5.487	0.000	4 dHw		0.733	0.000
5 dH		0.437	-0.815	5 dHw		0.080	-0.148
6 dH		5.030	-0.815	6 dHw		0.006	-0.087
7 dH		0.834	-1.820	7 dHw		0.188	-0.294
8 dH		4.835	-1.820	8 dHw		0.044	-0.173
9 dH		1.168	-2.406	9 dHw		0.215	-0.432
10 dH		4.277	-2.406	10 dHw		0.606	-0.257
11 dH		1.503	-3.166	11 dHw		0.267	-0.557
12 dH		3.964	-3.166	12 dHw		0.571	-0.339
13 dH		1.775	-3.894	13 dHw		0.309	-0.689
14 dH		3.680	-3.894	14 dHw		0.541	-0.419
15 dH		2.006	-4.578	15 dHw		0.342	-0.766
16 dH		3.481	-4.578	16 dHw		0.515	-0.486
17 dH		2.199	-5.215	17 dHw		0.367	-0.848
18 dH		3.203	-5.215	18 dHw		0.492	-0.568
19 dH		2.355	-5.798	19 dHw		0.305	-0.912
20 dH		3.112	-5.798	20 dHw		0.473	-0.638
21 dH		2.479	-6.324	21 dHw		0.398	-0.864
22 dH		2.958	-6.324	22 dHw		0.458	-0.703
23 dH		2.572	-6.797	23 dHw		0.406	-1.003
24 dH		2.894	-6.797	24 dHw		0.445	-0.769
25 dH		2.640	-7.186	25 dHw		0.411	-1.031
26 dH		2.827	-7.186	26 dHw		0.435	-0.821
27 dH		2.696	-7.515	27 dHw		0.414	-1.048
28 dH		2.781	-7.515	28 dHw		0.427	-0.873
29 dH		2.713	-7.773	29 dHw		0.415	-1.056
30 dH		2.753	-7.773	30 dHw		0.422	-0.930
31 dH		2.728	-7.969	31 dHw		0.415	-1.052
32 dH		2.738	-7.969	32 dHw		0.418	-0.880
33 dH		2.733	-8.072	33 dHw		0.419	-1.041
34 dH		2.734	-8.072	34 dHw		0.418	-0.904
35 dH		2.733	-8.109	35 dHw		0.415	-1.021
1 dHw		-1.224	1.985				
2 dHw		0.951	1.985				
3 dHw		0.000	0.000	Node	Load	FX (kgf)	FY (kgf)
4 dHw		5.726	0.000	3 dH		0	7529.030
5 dHw		0.488	-0.866	4 dH		0	7529.030
6 dHw		5.268	-0.855	5 dH		0	8157.927
7 dHw		0.875	-1.700	6 dH		0	8157.927
8 dHw		4.652	-1.700	7 dH		-2169.91	4294.907
9 dHw		1.348	-2.527	8 dHw		0	436.5084
10 dHw		4.479	-2.527				
11 dHw		1.576	-3.325	SUMMATION OF REACTION FORCES PRINTOUT			
12 dHw		4.150	-3.325			FX (kgf)	FY (kgf)
13 dHw		1.861	-4.086	dH		0	16058.07
14 dHw		3.895	-4.086	dHw		0	16315.85
15 dHw		2.103	-4.804	dHw		-2159.91	4733.318
16 dHw		3.623	-4.804				
17 dHw		2.305	-5.471				
18 dHw		3.421	-5.471				
19 dHw		2.489	-6.082				
20 dHw		3.257	-6.082				
21 dHw		2.588	-6.633				
22 dHw		3.129	-6.633				
23 dHw		2.686	-7.119				
24 dHw		3.030	-7.119				
25 dHw		2.767	-7.536				
26 dHw		2.960	-7.536				
27 dHw		2.814	-7.881				
28 dHw		2.912	-7.881				
29 dHw		2.843	-8.150				
30 dHw		2.883	-8.150				
31 dHw		2.858	-8.347				
32 dHw		2.869	-8.347				
33 dHw		2.853	-8.484				
34 dHw		2.864	-8.484				
35 dHw		2.860	-8.504				

Figure 2-79. Output of MIDAS analysis.

		(kgf/cm)									
Elem	Load Part	Axial	Shear-y	Moment-z	Elem	Load	Part	Axial	Shear-y	Moment-z	
1	d#1	0	0	0	15	d#1	1	-59.72	-1758.47	2438722	
1	d#1 01層 04層	189.61	226.29	-3989.71	15	d#1 01層 04層	1	-81.30	-1061.70	2452967	
1	d#1 02層 04層	279.22	452.79	-15868.8	15	d#1 02層 04層	1	-73.91	-965.09	2466009	
1	d#1 03層 04層	416.83	679.10	-35907.4	15	d#1 03層 04層	1	-66.51	-868.4	2477700	
1	d#1 1	608.44	905.58	-65835.4	15	d#1 1	1	-59.1	-771.71	2488327	
2	d#1 1	-2261.03	-3696.54	-63435.6	16	d#1 1	1	-35.46	-773.16	2488327	
2	d#1 01層 04層	-3003.05	-5097.85	18295.63	16	d#1 01層 04層	1	-31.03	-676.47	2497024	
2	d#1 02層 04層	-2957.08	-5501.16	99202.15	16	d#1 02層 04層	1	-26.59	-679.79	2505690	
2	d#1 03層 04層	-2905.11	-5404.47	178338.2	16	d#1 03層 04層	1	-22.16	-683.09	2512496	
2	d#1 1	-2853.13	-5307.78	256249.8	16	d#1 1	1	-17.72	-386.4	2518072	
3	d#1 1	-2699.05	-6402.89	256249.8	17	d#1 1	1	-9.91	-386.76	2518072	
3	d#1 01層 04層	-8621.28	-5208	333767.2	17	d#1 01層 04層	1	-4.43	-390.07	2522408	
3	d#1 02層 04層	-2573.51	-5209.31	407962.8	17	d#1 02層 04層	1	-2.95	-193.35	2525926	
3	d#1 03層 04層	-2525.75	-5112.62	481866.8	17	d#1 03層 04層	1	-1.48	-89.69	2527364	
3	d#1 1	-2477.96	-5015.93	554029	17	d#1 1	1	0	0	2527364	
4	d#1 1	-2307.07	-5038.8	554029	18	d#1 1	1	0	0	2527364	
4	d#1 01層 04層	-2583.31	-6000.11	625030.4	18	d#1 01層 04層	1	-1.48	96.69	2527364	
4	d#1 02層 04層	-2219.54	-4803.42	694671.9	18	d#1 02層 04層	1	-2.95	193.35	2525926	
4	d#1 03層 04層	-2175.77	-4905.73	762953.6	18	d#1 03層 04層	1	-4.43	290.07	2522408	
4	d#1 1	-2132.01	-4710.04	829675.4	18	d#1 1	1	-5.91	386.76	2518072	
5	d#1 1	-1974.07	-4778.99	829675.4	19	d#1 1	1	-17.72	386.4	2518072	
5	d#1 01層 04層	-1804.13	-4687.7	895447.2	19	d#1 01層 04層	1	-32.16	483.09	2512496	
5	d#1 02層 04層	-1894.18	-4955.01	969978.5	19	d#1 02層 04層	1	-26.59	579.78	2505690	
5	d#1 03層 04層	-1894.24	-4488.32	1022689	19	d#1 03層 04層	1	-21.03	676.47	2497024	
5	d#1 1	-1814.20	-4391.63	1084120	19	d#1 1	1	-35.46	773.16	2488327	
6	d#1 1	-1699.14	-4448.62	1084120	20	d#1 1	1	-59.1	771.71	2488327	
6	d#1 01層 04層	-1432.67	-4332.13	1144339	20	d#1 01層 04層	1	-66.51	868.4	2477700	
6	d#1 02層 04層	-1396.59	-4255.44	1203234	20	d#1 02層 04層	1	-73.91	965.09	2466009	
6	d#1 03層 04層	-1560.21	-4158.75	1269807	20	d#1 03層 04層	1	-81.30	1061.70	2452967	
6	d#1 1	-1624.04	-4062.07	1317056	20	d#1 1	1	-98.72	1158.47	2438722	
7	d#1 1	-1391.51	-4109.35	1317056	21	d#1 1	1	-134.21	1158.2	2438722	
7	d#1 01層 04層	-1358.77	-4012.66	1371990	21	d#1 01層 04層	1	-134.61	1251.89	2423212	
7	d#1 02層 04層	-1326.03	-3915.97	1425816	21	d#1 02層 04層	1	-145.01	1348.58	2408457	
7	d#1 03層 04層	-1293.28	-3819.28	1477934	21	d#1 03層 04層	1	-155.4	1445.27	2393456	
7	d#1 1	-1260.54	-3722.59	1528944	21	d#1 1	1	-165.8	1541.96	2379200	
8	d#1 1	-1140.48	-3761.11	1628944	22	d#1 1	1	-213.17	1536.13	2369329	
8	d#1 01層 04層	-1111.17	-3664.42	1678652	22	d#1 01層 04層	1	-226.59	1632.82	2348713	
8	d#1 02層 04層	-1081.85	-3567.73	1727967	22	d#1 02層 04層	1	-240.01	1729.5	2328967	
8	d#1 03層 04層	-1052.53	-3471.04	1774186	22	d#1 03層 04層	1	-253.42	1826.19	2309970	
8	d#1 1	-1023.21	-3374.35	1720011	22	d#1 1	1	-266.84	1922.88	2292722	
9	d#1 1	-915.5	-3405.15	1720011	23	d#1 1	1	-326.14	1913.72	2278722	
9	d#1 01層 04層	-889.51	-3308.46	1764548	23	d#1 01層 04層	1	-342.60	2010.41	2254221	
9	d#1 02層 04層	-863.51	-3211.77	1807802	23	d#1 02層 04層	1	-359.1	2107.1	2227483	
9	d#1 03層 04層	-837.52	-3115.09	1849772	23	d#1 03層 04層	1	-375.67	2203.79	2199448	
9	d#1 1	-811.52	-3018.4	1890490	23	d#1 1	1	-392.05	2300.48	2170176	
10	d#1 1	-716.05	-3042.48	1890490	24	d#1 1	1	-463.34	2287.19	2170176	
10	d#1 01層 04層	-693.29	-2945.77	1929870	24	d#1 01層 04層	1	-482.92	2383.88	2139044	
10	d#1 02層 04層	-670.53	-2849.08	1968008	24	d#1 02層 04層	1	-502.51	2480.56	2107969	
10	d#1 03層 04層	-647.78	-2752.39	2004873	24	d#1 03層 04層	1	-522.1	2577.25	2074788	
10	d#1 1	-625.02	-2655.7	2040495	24	d#1 1	1	-541.69	2673.94	2040495	
11	d#1 1	-541.69	-2673.94	2040495	25	d#1 1	1	-625.02	2655.7	2040495	
11	d#1 01層 04層	-522.1	-2577.25	2074788	25	d#1 01層 04層	1	-647.78	2752.39	20204873	
11	d#1 02層 04層	-502.51	-2480.56	2107969	25	d#1 02層 04層	1	-670.53	2849.08	1999208	
11	d#1 03層 04層	-483.29	-2383.88	2139044	25	d#1 03層 04層	1	-693.29	2945.77	1978070	
11	d#1 1	-463.34	-2287.19	2170176	25	d#1 1	1	-716.05	3042.48	1950480	
12	d#1 1	-392.05	-2300.48	2170176	26	d#1 1	1	-811.52	3018.4	1930480	
12	d#1 01層 04層	-375.57	-2203.79	2199448	26	d#1 01層 04層	1	-837.52	3115.09	1949772	
12	d#1 02層 04層	-359.1	-2107.1	2227483	26	d#1 02層 04層	1	-863.51	3211.77	1927920	
12	d#1 03層 04層	-342.60	-2010.41	2254221	26	d#1 03層 04層	1	-889.51	3308.46	1764548	
12	d#1 1	-326.14	-1913.72	2278722	26	d#1 1	1	-915.5	3405.15	1720011	
13	d#1 1	-286.84	-1922.88	2278722	27	d#1 1	1	-1023.21	3374.35	1720011	
13	d#1 01層 04層	-268.42	-1826.19	2303970	27	d#1 01層 04層	1	-1052.53	3471.04	1674186	
13	d#1 02層 04層	-240.01	-1729.5	2326967	27	d#1 02層 04層	1	-1081.85	3567.73	1627067	
13	d#1 03層 04層	-226.59	-1632.82	2348713	27	d#1 03層 04層	1	-1111.17	3664.42	1578652	
13	d#1 1	-213.17	-1536.13	2369329	27	d#1 1	1	-1140.49	3761.11	1528944	
14	d#1 1	-185.8	-1541.96	2369329	28	d#1 1	1	-1260.54	3722.99	1528944	
14	d#1 01層 04層	-155.4	-1445.27	2386456	28	d#1 01層 04層	1	-1293.28	3819.28	1477034	
14	d#1 02層 04層	-145.01	-1348.58	2408457	28	d#1 02層 04層	1	-1326.03	3915.97	1425616	
14	d#1 03層 04層	-134.61	-1251.89	2429212	28	d#1 03層 04層	1	-1368.77	4012.66	1371990	
14	d#1 1	-124.21	-1155.2	2438722	28	d#1 1	1	-1391.51	4109.35	1317056	

Figure 2-79. (Continued)

(kg/cm)				(kg/cm)							
Elem	Load	Part	Axis	Shear-y	Moment-z	Elem	Load	Part	Axis	Shear-y	Moment-z
29	d=8		-1524.04	4262.07	1317056	9	d=8		-1717.38	-3265.94	1607711
29	d=8	01	-1560.91	4158.76	1269897	9	d=8	01	-1899.85	-3457.26	1654301
29	d=8	02	-1596.59	4255.44	1203224	9	d=8	02	-1662.33	-3346.57	1699449
29	d=8	03	-1632.87	4352.13	1144339	9	d=8	03	-1664.81	-3238.86	1643166
29	d=8		-1669.14	4448.82	1084120	9	d=8		-1647.29	-3131.19	1685420
30	d=8		-1514.29	4397.83	1064120	10	d=8		-1547.65	-3181.52	1665420
30	d=8	01	-1664.04	4488.92	1022668	10	d=8	01	-1532.31	-3073.18	1632653
30	d=8	02	-1684.18	4585.51	952073.5	10	d=8	02	-1517.17	-2964.84	1606501
30	d=8	03	-1734.13	4651.7	855447.2	10	d=8	03	-1501.83	-2856.49	1584633
30	d=8		-1874.07	4778.39	829675.4	10	d=8		-1486.5	-2748.15	1541513
31	d=8		-2132.01	4710.04	829675.4	11	d=8		-1389.85	-2792.28	1541513
31	d=8	01	-2176.77	4836.73	762593.6	11	d=8	01	-1366.64	-2685.23	1517328
31	d=8	02	-2219.54	4923.49	694671.9	11	d=8	02	-1373.44	-2577.19	1521179
31	d=8	03	-2263.31	5030.11	625030.4	11	d=8	03	-1360.24	-2469.15	1544710
31	d=8		-2307.07	5096.8	564929	11	d=8		-1347.04	-2361.01	1527622
32	d=8		-2477.98	5015.83	564929	12	d=8		-1278.03	-2401.79	1527622
32	d=8	01	-2625.75	5112.62	481656.6	12	d=8	01	-1261.83	-2293.89	1500798
32	d=8	02	-2673.51	5209.31	407903.9	12	d=8	02	-1260.82	-2186.19	1535913
32	d=8	03	-2621.28	5306	332767.2	12	d=8	03	-1299.71	-2079.39	1506367
32	d=8		-2669.05	5422.68	258249.5	12	d=8		-1228.61	-1970.58	1569941
33	d=8		-2653.13	5307.76	258249.5	13	d=8		-1167.12	-2007.61	1598943
33	d=8	01	-2805.11	5404.47	178338.2	13	d=8	01	-1168.08	-1900.02	1541623
33	d=8	02	-2857.09	5501.16	99326.15	13	d=8	02	-1149.03	-1792.42	1543034
33	d=8	03	-3009.06	5597.85	16295.83	13	d=8	03	-1139.99	-1684.82	1481984
33	d=8		-3061.03	5694.54	63325.4	13	d=8		-1130.94	-1577.22	1482983
34	d=8		568.44	-925.56	-63825.4	14	d=8		-1081.87	-1611.26	1482982
34	d=8	01	418.83	-879.18	-35907.4	14	d=8	01	-1074.87	-1503.84	1502753
34	d=8	02	279.20	-452.79	-16958.8	14	d=8	02	-1067.88	-1396.4	1521440
34	d=8	03	139.61	-226.39	-3939.71	14	d=8	03	-1080.85	-1289.98	1533742
34	d=8		0	0	0	14	d=8		-1052.84	-1181.52	1564990
1	d=8		0	0	0	15	d=8		-1017.11	-1213.29	1535660
1	d=8	01	84.1	366.7	-4726.44	15	d=8	01	-1012.12	-1105.97	1569961
1	d=8	02	188.2	598.4	-18925.6	15	d=8	02	-1007.13	-998.85	1543382
1	d=8	03	292.3	834.6	-42637.9	15	d=8	03	-1002.14	-891.33	1559226
1	d=8		378.4	1072.8	-75823	15	d=8		-997.14	-784.01	1603990
2	d=8		-3660.43	-9092.34	-75823	16	d=8		-972.69	-814.16	1606990
2	d=8	01	-3515.4	-5979.46	12176.84	16	d=8	01	-993.7	-706.92	1615745
2	d=8	02	-3480.37	-5866.56	36234.86	16	d=8	02	-966.71	-589.69	1623124
2	d=8	03	-3445.34	-5753.7	162565.5	16	d=8	03	-963.72	-482.44	1631158
2	d=8		-3410.3	-5640.81	266724.2	16	d=8		-960.73	-385.2	1630756
3	d=8		-3214.44	-5754.88	283724.2	17	d=8		-949.51	-414.38	1636756
3	d=8	01	-3162.25	-5642.69	347182.1	17	d=8	01	-947.52	-307.17	1641379
3	d=8	02	-3150.05	-5530.59	426996.6	17	d=8	02	-946.52	-199.97	1644829
3	d=8	03	-3117.86	-5418.54	506234.3	17	d=8	03	-945.53	-92.77	1649504
3	d=8		-3085.66	-5306.5	581868.6	17	d=8		-944.53	14.43	1647006
4	d=8		-2904.59	-5407.74	581868.6	18	d=8		-944.53	14.43	1647006
4	d=8	01	-2875.09	-5296.44	657140.2	18	d=8	01	-945.53	82.77	1648804
4	d=8	02	-2845.59	-5185.13	739346.5	18	d=8	02	-946.52	199.97	1644829
4	d=8	03	-2816.09	-5073.83	832267.5	18	d=8	03	-947.52	307.17	1641379
4	d=8		-2786.59	-4962.53	937583.1	18	d=8		-948.51	414.38	1636756
5	d=8		-2619.89	-5052.32	937583.1	19	d=8		-995.73	385.2	1636756
5	d=8	01	-2592.97	-4941.89	942538.4	19	d=8	01	-993.72	482.44	1631158
5	d=8	02	-2568.04	-4831.34	1015690	19	d=8	02	-986.71	589.69	1623124
5	d=8	03	-2539.12	-4720.8	1076780	19	d=8	03	-989.7	706.92	1615745
5	d=8		-2512.2	-4609.36	1141492	19	d=8		-972.69	814.16	1606990
6	d=8		-2359.5	-4699.35	1141492	20	d=8		-997.14	784.01	1603990
6	d=8	01	-2325.05	-4579.89	1204899	20	d=8	01	-1002.14	891.33	1599226
6	d=8	02	-2310.6	-4469.84	1288810	20	d=8	02	-1007.13	998.85	1543034
6	d=8	03	-2286.15	-4359.78	1377225	20	d=8	03	-1012.12	1105.97	1569961
6	d=8		-2261.7	-4249.72	1386133	20	d=8		-1017.11	1213.29	1544660
7	d=8		-2122.7	-4320.83	1386133	21	d=8		-1025.84	1181.52	1564990
7	d=8	01	-2100.53	-4211.29	1442041	21	d=8	01	-1095.65	1289.98	1533742
7	d=8	02	-2078.56	-4101.75	1500067	21	d=8	02	-1067.88	1396.4	1521440
7	d=8	03	-2056.49	-3992.21	1554911	21	d=8	03	-1074.87	1503.84	1502753
7	d=8		-2034.42	-3882.67	1609873	21	d=8		-1081.87	1611.26	1482982
8	d=8		-1906.64	-3945.89	1609873	22	d=8		-1130.94	1577.22	1482982
8	d=8	01	-1889.07	-3826.85	1680173	22	d=8	01	-1139.99	1684.82	1481984
8	d=8	02	-1866.51	-3717.76	1710813	22	d=8	02	-1149.03	1792.42	1436984
8	d=8	03	-1849.55	-3618.67	1799989	22	d=8	03	-1158.08	1900.02	1415213
8	d=8		-1829.79	-3529.58	1807711	22	d=8		-1167.12	2007.61	1386942

Figure 2-79. (Continued)

(g/cm ³)											
Elem	Load Part	Axis	Shear-y	Moment-z	Elem	Load Part	Axis	Shear-y	Moment-z		
23	dHsl		-1228.81	1970.59	2389940	3	dHsl		403.93	-2685.88	89189.13
23	dHsl 01월 04일		-1239.71	2078.29	2363627	3	dHsl	01월 04일	438.12	-2727.19	129159.3
23	dHsl 02월 04일		-1255.82	2186.19	2335913	3	dHsl	02월 04일	488.32	-2887.71	167136.9
23	dHsl 03월 04일		-1261.93	2293.99	2308798	3	dHsl	03월 04일	500.61	-2948.23	200118.9
24	dHsl		-1273.03	2401.79	2279282	3	dHsl		530.71	-3008.75	237110.1
24	dHsl		-1347.04	2391.06	2276282	4	dHsl		810.42	-3289.43	237110.1
24	dHsl 01월 04일		-1360.24	2469.13	2244710	4	dHsl	01월 04일	699.92	-2161.12	269336.1
24	dHsl 02월 04일		-1373.44	2577.18	2211726	4	dHsl	02월 04일	669.82	-2012.82	297018.9
24	dHsl 03월 04일		-1388.64	2685.23	2177326	4	dHsl	03월 04일	692.92	-1874.52	324852.8
24	dHsl		-1399.65	2793.28	2141619	4	dHsl		728.42	-1736.21	350349.2
25	dHsl		-1466.3	2748.15	2141519	5	dHsl		786.8	-1711.01	390343.2
25	dHsl 01월 04일		-1501.83	2856.49	2104839	5	dHsl	01월 04일	812.72	-1573.75	373111.2
25	dHsl 02월 04일		-1517.17	2964.84	2069321	5	dHsl	02월 04일	839.84	-1436.49	393976.5
25	dHsl 03월 04일		-1639.85	3073.18	2026583	5	dHsl	03월 04일	886.57	-1299.24	412989.9
25	dHsl		-1547.85	3181.52	1985420	5	dHsl		893.49	-1161.98	429698.8
26	dHsl		-1647.29	3131.19	1869420	6	dHsl		931.16	-1132.02	429698.8
26	dHsl 01월 04일		-1664.81	3239.88	1843155	6	dHsl	01월 04일	955.81	-995.69	444557.5
26	dHsl 02월 04일		-1682.33	3348.57	1809449	6	dHsl	02월 04일	980.06	-858.36	457249.9
26	dHsl 03월 04일		-1699.85	3457.26	1854301	6	dHsl	03월 04일	1004.51	-723.03	466077.1
26	dHsl		-1717.38	3565.94	1807711	6	dHsl		1028.96	-588.7	477038.6
27	dHsl		-1829.79	3509.69	1807711	7	dHsl		1047.45	-463.02	477038.6
27	dHsl 01월 04일		-1848.55	3618.67	1732992	7	dHsl	01월 04일	1088.61	-417.51	483602.9
27	dHsl 02월 04일		-1869.31	3727.76	1710813	7	dHsl	02월 04일	1091.58	-282	480334.1
27	dHsl 03월 04일		-1889.07	3836.85	1660173	7	dHsl	03월 04일	1113.85	-148.49	491232.1
27	dHsl		-1908.84	3945.93	1620673	7	dHsl		1136.72	-10.87	482397.1
28	dHsl		-2034.42	3882.67	1620673	8	dHsl		1135.49	25.46	482397.1
28	dHsl 01월 04일		-2056.49	3992.21	1554911	8	dHsl	01월 04일	1155.25	180.25	491263.9
28	dHsl 02월 04일		-2078.56	4101.75	1500087	8	dHsl	02월 04일	1175.01	295.04	489506
28	dHsl 03월 04일		-2100.63	4211.29	1443341	8	dHsl	03월 04일	1194.77	429.84	483153.3
28	dHsl		-2122.7	4320.83	1386139	8	dHsl		1214.53	564.83	470496.3
29	dHsl		-2261.7	4288.78	1386139	9	dHsl		1195.98	802.92	478496.3
29	dHsl 01월 04일		-2286.15	4359.78	1327225	9	dHsl	01월 04일	1213.51	685.17	488614.7
29	dHsl 02월 04일		-2310.8	4469.84	1268510	9	dHsl	02월 04일	1231.03	567.62	492969.7
29	dHsl 03월 04일		-2335.05	4579.89	1204889	9	dHsl	03월 04일	1248.55	549.67	453556.3
29	dHsl		-2359.5	4689.95	1141462	9	dHsl		1266.07	531.80	448283.2
30	dHsl		-2512.2	4603.98	1141462	10	dHsl		1248.69	571.63	448283.2
30	dHsl 01월 04일		-2539.12	4720.8	1076798	10	dHsl	01월 04일	1264.03	554.44	438973.9
30	dHsl 02월 04일		-2566.04	4831.24	1010680	10	dHsl	02월 04일	1279.36	537.34	431787.8
30	dHsl 03월 04일		-2592.97	4941.68	942838.4	10	dHsl	03월 04일	1294.7	520.25	424827.3
30	dHsl		-2619.89	5052.52	873583.1	10	dHsl		1310.04	503.15	418092
31	dHsl		-2786.59	4982.53	873583.1	11	dHsl		1289.67	543.87	418092
31	dHsl 01월 04일		-2818.09	5073.83	802887.5	11	dHsl	01월 04일	1306.87	527.33	411090.3
31	dHsl 02월 04일		-2845.59	5185.13	730948.5	11	dHsl	02월 04일	1320.07	510.8	404354.7
31	dHsl 03월 04일		-2873.09	5296.44	657140.2	11	dHsl	03월 04일	1333.28	494.26	397735.2
31	dHsl		-2904.59	5407.74	581888.6	11	dHsl		1346.48	477.73	391381.9
32	dHsl		-3085.66	5306.5	681899.6	12	dHsl		1330.98	519.33	391381.9
32	dHsl 01월 04일		-3117.99	5418.54	620234.3	12	dHsl	01월 04일	1342.08	503.27	384736.4
32	dHsl 02월 04일		-3150.05	5530.59	428998.6	12	dHsl	02월 04일	1353.2	487.21	378299.7
32	dHsl 03월 04일		-3182.25	5642.63	347182.1	12	dHsl	03월 04일	1364.3	471.15	372071.7
32	dHsl		-3214.44	5754.68	265724.2	12	dHsl		1375.41	455.08	366562.2
33	dHsl		-3410.3	5640.81	265724.2	13	dHsl		1360.69	487.37	366562.2
33	dHsl 01월 04일		-3445.34	5783.7	182950.5	13	dHsl	01월 04일	1369.79	461.7	359720.2
33	dHsl 02월 04일		-3480.37	5996.68	98334.99	13	dHsl	02월 04일	1378.78	466.02	352990.7
33	dHsl 03월 04일		-3515.4	5973.46	12178.84	13	dHsl	03월 04일	1387.82	450.39	347863.9
33	dHsl		-3550.43	6092.34	-75623	13	dHsl		1396.87	434.67	341939.9
34	dHsl		376.4	-1072.8	-75623	14	dHsl		1382.83	477.43	341939.9
34	dHsl 01월 04일		382.3	-804.6	-42537.9	14	dHsl	01월 04일	1389.84	462.08	336586.3
34	dHsl 02월 04일		188.2	-536.4	-18205.8	14	dHsl	02월 04일	1396.84	446.72	330030.7
34	dHsl 03월 04일		94.1	-268.2	-4726.44	14	dHsl	03월 04일	1408.85	431.35	324373.2
34	dHsl		0	0	0	14	dHsl		1410.86	415.96	318913.7
1	dHsl		0	0	0	15	dHsl		1397.44	459.56	318913.7
1	dHsl 01월 04일		94.1	339.87	-8919	15	dHsl	01월 04일	1402.43	443.81	313112.2
1	dHsl 02월 04일		188.2	871.74	-23676	15	dHsl	02월 04일	1407.42	428.77	307526.2
1	dHsl 03월 04일		282.3	1007.62	-53271	15	dHsl	03월 04일	1412.41	413.63	302092.7
1	dHsl		376.4	1343.49	-94704	15	dHsl		1417.4	398.49	296674.9
2	dHsl		185.05	-3442.11	-94704	16	dHsl		1404.54	441.67	296674.9
2	dHsl 01월 04일		200.08	-3901.3	-46666.3	16	dHsl	01월 04일	1407.52	428.88	291306.1
2	dHsl 02월 04일		235.11	-3180.49	1339.14	16	dHsl	02월 04일	1410.62	411.89	286829.7
2	dHsl 03월 04일		270.14	-2019.88	46288.28	16	dHsl	03월 04일	1413.61	396.7	280748.5
2	dHsl		355.17	-2878.89	89189.13	16	dHsl		1416.5	381.71	275753.7

Figure 2-79. (Continued)

				(kgf-cm)							
Elem	Load	Part	Axial	Shear-y	Moment-z	Elem	Load	Part	Axial	Shear-y	Moment-z
17	dHwl		1404.16	424.81	275752.7	31	dHwl		581.33	342.39	64322.41
17	dHwl	01월 04일	1405.17	409.89	270405.7	31	dHwl	01월 04일	551.83	344.7	59523.76
17	dHwl	02월 04일	1406.17	394.98	265246.9	31	dHwl	02월 04일	622.33	347	64659.74
17	dHwl	03월 04일	1407.16	380.06	260283.9	31	dHwl	03월 04일	492.33	349.31	49762.28
17	dHwl		1408.16	365.14	255506.7	31	dHwl		463.33	351.61	44834.41
18	dHwl		1399.35	407.98	255506.7	32	dHwl		461.19	367.07	44834.41
18	dHwl	01월 04일	1395.55	392.06	250370.5	32	dHwl	01월 04일	418.59	368.36	39579.51
18	dHwl	02월 04일	1394.36	378.15	245435.3	32	dHwl	02월 04일	389.79	369.65	34336.16
18	dHwl	03월 04일	1393.36	363.23	240665.9	32	dHwl	03월 04일	354.6	370.94	29214.26
18	dHwl		1392.37	348.31	236126.4	32	dHwl		322.4	372.23	23704.1
19	dHwl		1381.07	390.7	236126.4	33	dHwl		309.42	363.09	23704.1
19	dHwl	01월 04일	1378.08	375.7	231271.6	33	dHwl	01월 04일	274.39	363.24	16130.44
19	dHwl	02월 04일	1375.09	360.71	226469.9	33	dHwl	02월 04일	239.36	363.39	12554.62
19	dHwl	03월 04일	1372.11	345.72	221926.5	33	dHwl	03월 04일	204.32	363.64	6976.69
19	dHwl		1369.12	330.73	217620.6	33	dHwl		169.29	363.69	1366.46
20	dHwl		1368.36	315.77	213211.6	34	dHwl		176.4	363.69	1366.46
20	dHwl	01월 04일	1353.36	300.73	21001.5	34	dHwl	01월 04일	262.3	14.86	789.62
20	dHwl	02월 04일	1348.37	285.74	206427.1	34	dHwl	02월 04일	166.2	9.81	349.12
20	dHwl	03월 04일	1343.38	270.74	204137.3	34	dHwl	03월 04일	94.1	4.86	67.25
20	dHwl		1338.39	255.73	200032.1	34	dHwl		0	0	0
21	dHwl		1329.19	240.7	200032.1						
21	dHwl	01월 04일	1321.19	225.74	196684.8						
21	dHwl	02월 04일	1314.18	210.71	193335.5						
21	dHwl	03월 04일	1307.17	195.67	189986.2						
21	dHwl		1300.16	180.63	186637						
22	dHwl		1290.55	165.59	182437						
22	dHwl	01월 04일	1281.54	150.56	179248.2						
22	dHwl	02월 04일	1272.5	135.52	176059.2						
22	dHwl	03월 04일	1263.45	120.48	172870.2						
22	dHwl		1254.41	105.44	169681.4						
23	dHwl		1245.51	90.4	167916.4						
23	dHwl	01월 04일	1234.4	75.36	164028.5						
23	dHwl	02월 04일	1223.3	60.32	160360						
23	dHwl	03월 04일	1212.19	45.28	156791.9						
23	dHwl		1201.08	30.24	153223.8						
24	dHwl		1192.96	15.2	150655.2						
24	dHwl	01월 04일	1179.76	0.16	146767.3						
24	dHwl	02월 04일	1166.55	-14.8	142879.4						
24	dHwl	03월 04일	1153.35	-29.74	138991.5						
24	dHwl		1140.15	-44.68	135103.6						
25	dHwl		1132.9	-59.62	131215.7						
25	dHwl	01월 04일	1117.57	-74.56	127327.8						
25	dHwl	02월 04일	1102.23	-89.5	123439.9						
25	dHwl	03월 04일	1086.89	-104.44	119552						
25	dHwl		1071.56	-119.38	115664.1						
26	dHwl		1065.31	-134.32	111776.2						
26	dHwl	01월 04일	1047.79	-149.26	107888.3						
26	dHwl	02월 04일	1030.27	-164.2	104000.4						
26	dHwl	03월 04일	1012.75	-179.14	100112.5						
26	dHwl		995.23	-194.08	96224.6						
27	dHwl		990.16	-209.02	92336.7						
27	dHwl	01월 04일	970.4	-223.96	88448.8						
27	dHwl	02월 04일	950.63	-238.9	84560.9						
27	dHwl	03월 04일	930.87	-253.84	80673						
27	dHwl		911.11	-268.78	76785.1						
28	dHwl		904.34	-283.72	72897.2						
28	dHwl	01월 04일	882.27	-298.66	69009.3						
28	dHwl	02월 04일	860.2	-313.6	65121.4						
28	dHwl	03월 04일	838.13	-328.54	61233.5						
28	dHwl		816.06	-343.48	57345.6						
29	dHwl		807.7	-358.42	53457.7						
29	dHwl	01월 04일	783.25	-373.36	49569.8						
29	dHwl	02월 04일	758.8	-388.3	45681.9						
29	dHwl	03월 04일	734.35	-403.24	41794						
29	dHwl		709.9	-418.18	37906.1						
30	dHwl		700.1	-433.12	34018.2						
30	dHwl	01월 04일	673.17	-448.06	30130.3						
30	dHwl	02월 04일	648.25	-463.0	26242.4						
30	dHwl	03월 04일	619.33	-477.94	22354.5						
30	dHwl		592.4	-492.88	18466.6						

Figure 2-79. (Continued)

그림 2-79의 MIDAS 출력자료로부터 얻을 수 있는 최대 하중 및 모멘트 값들은 다음과 같다.

DL + LL:

최대 모멘트(M_{max}) = 25,273kg-m (Node 17 및 18)

최대 전단력(V_{max}) = 5,694kg (Node 2 및 33)

최대 축하중(P_{max}) = 3,061kg (Node 2 및 33)

DL + SL:

최대 모멘트(M_{max}) = 26,470kg-m (Node 17 및 18)

최대 전단력(V_{max}) = 6,092kg (Node 2 및 33)

최대 축하중(P_{max}) = 3,550kg (Node 2 및 33)

DL + WL:

최대 모멘트(M_{max}) = 4,923kg-m (Node 7 및 8)

최대 전단력(V_{max}) = 3,442kg (Node 2)

최대 축하중(P_{max}) = 1,417kg (Node 15)

4) 조정계수의 적용

집성재 구조를 설계할 때에 구조에 작용하는 외력으로부터 각각의 부재에 작용하는 하중이나 모멘트의 크기를 계산하는 구조계산 또는 분석과정은 철골구조와 동일하다. 그러나 계산된 하중 및 모멘트로부터 각 부재의 치수 및 등급을 결정하는 과정은 기타 재료와 상이하다. 여기서 가장 큰 차이점은 주변 환경의 영향을 많이 받는 목재의 특성 때문에 여러 가지 조정계수들이 적용된다는 점이다. 목재에 적용되는 조정계수들은 표 2-11과 같다.

Table 2-11 Adjustment factors applied to wood

실계 허용 응력	기준허 용응력	하중 계수	습윤 계수	온도 계수	보 안정 계수 ¹⁾	부피 계수 ²⁾	평면 사용 계수 ³⁾	곡률 계수 ⁴⁾	형상 계수	기동 안정 계수	지압 면적 계수	인사이 징계수
$F_b' =$	(F_b)	(C_D)	(C_m)	(C_t)	(C_L)	(C_V)	(C_{fu})	(C_c)	(C_f)	·	·	(C_i)
$F_t' =$	(F_t)	(C_D)	(C_m)	(C_t)	·	·	·	·	·	·	·	(C_i)
$F_v' =$	(F_v)	(C_D)	(C_m)	(C_t)	·	·	·	·	·	·	·	(C_i)
$F_{c\perp}' =$	$(F_{c\perp})$	·	(C_m)	(C_t)	·	·	·	·	·	·	(C_b)	(C_i)
$F_c' =$	(F_c)	(C_D)	(C_m)	(C_t)	·	·	·	·	·	(C_p)	·	(C_i)
$E' =$	(E)	·	(C_m)	(C_t)	·	·	·	·	·	(C_p)	·	(C_i)

주 1) 집성휨부재에 대하여는 보안정계수 C_L 과 부피계수 C_V 를 함께 적용하지 아니하고, 이 조정계수 중에서 작은 값을 적용한다.

2) 부피계수 C_V 는 집성휨부재에만 적용한다.

3) 평면사용계수 C_{fu} 는 1중구조재(규격재) 휨부재 및 집성휨부재에만 적용한다.

4) 곡률계수 C_c 는 집성휨부재의 굽은 부분에만 적용한다.

표 2-11에서 F_b , F_t , F_v , F_c , $F_{c\perp}$ 및 E 는 각각 휨, 인장, 전단, 섬유방향 압축 및 섬유 직각방향 압축응력 그리고 탄성계수를 나타낸다. 집성재에 대하여 하중계수(C_D), 습윤계수(C_m) 및 온도계수(C_t)는 표 2-12, 2-13 및 2-14와 같이 결정된다.

평면사용계수(C_{fu})는 층재의 나비와 평행한 방향으로 작용하는 하중을 지지하는 용도에 적용되며 층재의 나비에 평행한 집성재의 치수가 300mm 미만일 경우에 표 2-15의 값을 적용한다.

Table 2-12 Load duration factor, C_D

Load duration	C_D	Designed load
Permanent	0.9	Dead load
10 years	1.0	Live load
2 months	1.15	Snow load
7 days	1.25	Roof live load
10 minutes	1.6	Wind load, earthquake load
Impact	2.0	Impact load

Table 2-13 Moisture adjustment factor, C_m

Design value	F_b	F_t	F_v	F_c	$F_{c\perp}$	E
C_m	0.8	0.8	0.875	0.53	0.73	0.833

* C_m is applied for the environment in which equilibrium moisture content of glulam member in service exceed 16%.

Table 2-14 Temperature factor, C_t

Design value	Service condition	Temperature		
		$T \leq 38^\circ\text{C}$	$38^\circ\text{C} < T \leq 52^\circ\text{C}$	$52^\circ\text{C} < T \leq 66^\circ\text{C}$
F_t, E	Moist, dry	1.0	0.9	0.9
$F_b, F_v,$	Dry	1.0	0.8	0.7
$F_c, F_{c\perp}$	Moist	1.0	0.7	0.5

Table 2-15 Flat use factor, C_{fu}

Size parallel to width of lamination(mm)	65	80	130	170	215	270
C_{fu}	1.19	1.16	1.1	1.07	1.04	1.01

* For intermediate value, use linear interpolation method to obtain the factor.

형상계수(C_f)는 사각형 이외의 단면을 갖는 부재의 휨응력에 적용하는 계수로써 둥근 단면의 부재에는 1.18 그리고 다이아몬드형 단면의 부재에는 1.414의 값을 적용한다.

지압면적계수(C_b)는 지압길이가 150mm 이하이고 부재의 끝면으로부터 75mm 이상 떨어진 지점에서 생기는 지압에 대하여 적용되며 식 (2-23)에 의하여 계산될 수 있다.

$$C_b = \frac{\ell_b + 0.375}{\ell_b} \quad \text{-----} \quad (2-23)$$

인사이징계수(C_i)는 구조용 집성재의 방부처리를 위하여 목재에 인사이징처리를 한 경우에 적용되며 그 값은 표 2-16과 같다.

Table 2-16 Incising factor, C_i

Design value	E	F_b, F_t, F_c	$F_v, F_{c\perp}$
C_i	0.95	0.85	1.00

보안정계수(C_L)는 보의 높이가 나비보다 작거나 보의 전체 길이에 걸쳐서 측방 지지가 제공됨으로써 좌굴이 방지되는 경우에는 1.0를 적용하며 그렇지 않은 경우에는 식 (2-24)에 의하여 그 값을 계산한다.

$$C_L = \frac{1 + (F_{bE} / F_b^*)}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + (F_{bE} / F_b^*)}{1.9} \right]^2 - \frac{F_{bE} / F_b^*}{0.95}} \quad (2-24)$$

여기서 F_b^* = 기준허용휨응력에 C_{fu}, C_V, C_L 을 제외한 모든 적용가능한 조정 계수를 곱한 값

$$F_{bE} = \frac{K_{bE} E'}{R_B^2}, \quad K_{bE} = 0.610$$

$$R_B = \sqrt{\frac{\ell_e d}{b^2}} \quad : \text{휨 부재의 세장비}$$

ℓ_e = 유효지간거리(측방 지점 사이의 거리)
 d = 부재의 높이
 b = 부재의 나비

부피계수(C_V)는 층재의 나비에 수직인 방향의 하중에 대한 휨응력에 적용하며 식 (2-25)에 의하여 계산한다.

$$C_V = K_L (6.4/L)^{1/10} (30.5/d)^{1/10} (13.0/b)^{1/10} \leq 1.0 \quad \text{-----} \quad (2-25)$$

여기서 L = 휨부재에서 모멘트가 영인 지점간 거리, m
 d = 휨부재의 춤, cm
 b = 휨부재의 나비, cm
 K_L = 하중조건계수
 = 1.09 (단일지간보에 중앙집중하중이 작용하는 경우)
 = 0.96 (두 개의 1/3점 집중하중의 경우)
 = 1.0 (단일지간보에 균일분포하중이 작용하거나 연속보 또는 외팔보인 경우)

식 (2-24)의 보안정계수와 식 (2-25)의 부피계수는 함께 적용하지 않으며 두 가지 계수 중에서 작은 값을 적용하여야 한다.

곡률계수(C_c)는 만곡집성재의 굽은 부분에 적용되며 식 (2-26)에 의하여 계산된다.

$$C_c = 1 - (2000) (t/R)^2 \quad \text{-----} \quad (2-26)$$

여기서 t = 층재의 두께, mm
 R = 층재의 안쪽 재면의 곡률 반경, mm
 $t/R \leq 1/125$ (침엽수)

압축하중에 적용되는 기둥안정계수(C_p)는 식 (2-27)에 의하여 계산된다.

$$C_P = \frac{1 + (F_{cE} / F_c^*)}{2c} - \sqrt{\left[\frac{1 + (F_{cE} / F_c^*)}{2c} \right]^2 - \frac{F_{cE} / F_c^*}{c}} \quad \text{----- (2-27)}$$

여기서 F_c^* = 기준허용압축응력에 C_P 를 제외한 모든 적용가능한 조정계수
 를 곱한 값

$$F_{cE} = \frac{K_{cE} E'}{(\ell_e / d)^2}$$

$$K_{cE} = 0.9$$

c

(조정계수의 적용 예)

위의 MIDAS 프로그램에 적용되었던 구조에 대하여 구조설계를 실시하였다.
 KS F 3021로부터 결정된 구조설계에 사용될 집성재의 성질은 다음과 같다.

등급: 16S-48B

단면 치수(1차 시도): 171mm×770mm(22층 적층)

단면적(A) = 1,317cm²

단면계수(S) = 16,898cm³

단면의 2차모멘트(I) = 650,559cm⁴

탄성계수(E) = 120,000kg/cm²

기준 허용 휨 응력(F_b) = 160kg/cm²

기준 허용 인장 응력(F_t) = 100kg/cm²

기준 허용 압축 응력(F_c) = 120kg/cm²

기준 허용 전단 응력(F_v) = 14kg/cm²

유효지간거리(ℓ_e) = 1,640cm

조정계수들을 적용하여 산출된 설계 허용응력은 다음과 같다.

DL + LL:

C_D = 1.25, C_m = 1.0, C_t = 1.0, C_{fu} = 1.0, C_f = 1.0, C_i = 1.0

$$C_L = \frac{1+186.45/198}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1+186.45/198}{1.9}\right]^2 - \frac{186.45/198}{0.95}} = 0.792$$

$$= 0.818$$

$$C_V = 1.0 \left(\frac{6.4}{14.35}\right)^{0.1} \left(\frac{30.5}{77}\right)^{0.1} \left(\frac{13.0}{17.1}\right)^{0.1}$$

$$= 0.992$$

$$C_c = 1 - (2000) \left(\frac{35}{17150}\right)^2$$

$$C_\rho = \frac{1+91.37/150}{1.8} - \sqrt{\left[\frac{1+91.37/150}{1.8}\right]^2 - \frac{91.37/150}{0.9}} = 0.544$$

설계 허용응력:

$$F_b' = 160(1.25)(0.792)(0.992) = 157.1\text{kg/cm}^2$$

$$F_c' = 120(1.25)(0.544) = 81.6\text{kg/cm}^2$$

$$F_v' = 14(1.25) = 17.5\text{kg/cm}^2$$

DL + SL:

$$C_D = 1.15, C_m = 1.0, C_t = 1.0, C_{fu} = 1.0, C_f = 1.0, C_i = 1.0$$

$$C_L = \frac{1+186.45/184}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1+186.45/184}{1.9}\right]^2 - \frac{186.45/184}{0.95}} = 0.822$$

$$= 0.818$$

$$C_V = 1.0 \left(\frac{6.4}{14.35}\right)^{0.1} \left(\frac{30.5}{77}\right)^{0.1} \left(\frac{13.0}{17.1}\right)^{0.1}$$

$$= 0.992$$

$$C_c = 1 - (2000) \left(\frac{35}{17150}\right)^2$$

$$C_\rho = \frac{1+91.37/138}{1.8} - \sqrt{\left[\frac{1+91.37/138}{1.8}\right]^2 - \frac{91.37/138}{0.9}} = 0.581$$

설계 허용응력:

$$F_b' = 160(1.15)(0.818)(0.992) = 149.3\text{kg/cm}^2$$

$$F_c' = 120(1.15)(0.581) = 80.18\text{kg/cm}^2$$

$$F_v' = 14(1.15) = 16.1\text{kg/cm}^2$$

DL + WL:

$$C_D = 1.6, C_m = 1.0, C_t = 1.0, C_{fu} = 1.0, C_f = 1.0, C_i = 1.0$$

$$C_L = \frac{1 + 186.45/254}{1.9} - \sqrt{\left[\frac{1 + 186.45/254}{1.9}\right]^2 - \frac{186.45/254}{0.95}} = 0.667$$

$$= 0.818$$

$$C_V = 1.0 \left(\frac{6.4}{14.35}\right)^{0.1} \left(\frac{30.5}{77}\right)^{0.1} \left(\frac{13.0}{17.1}\right)^{0.1}$$

$$= 0.992$$

$$C_c = 1 - (2000) \left(\frac{35}{17150}\right)^2$$

$$C_p = \frac{1 + 91.37/192}{1.8} - \sqrt{\left[\frac{1 + 91.37/192}{1.8}\right]^2 - \frac{91.37/192}{0.9}} = 0.441$$

설계 허용응력:

$$F_b' = 160(1.6)(0.667)(0.992) = 169.4 \text{ kgf/cm}^2$$

$$F_c' = 120(1.6)(0.441) = 84.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_v' = 14(1.6) = 22.4 \text{ kg/cm}^2$$

위의 설계 허용응력에 대하여 MIDAS의 출력자료에 나타난 하중과 모멘트를 지지하기에 부재의 치수가 적당한지 확인한다.

DL + LL:

$$f_b = 2,527,300/16,898 = 149.5 \text{ kg/cm}^2 < F_b' = 157.1 \quad \therefore \text{O.K.}$$

$$f_c = 3,061/1,317 = 2.31 \text{ kg/cm}^2 < F_c' = 81.6 \quad \therefore \text{O.K.}$$

$$f_v = 1.5(5,694)/1,317 = 6.49 \text{ kg/cm}^2 < F_v' = 17.5 \quad \therefore \text{O.K.}$$

DL + SL:

$$f_b = 2,647,000/16,898 = 156.6 \text{ kg/cm}^2 < F_b' = 149.3 \quad \therefore \text{N.G.}$$

$$f_c = 3,550/1,317 = 2.70 \text{ kg/cm}^2 < F_c' = 80.18 \quad \therefore \text{O.K.}$$

$$f_v = 1.5(6,092)/1,317 = 6.94 \text{ kg/cm}^2 < F_v' = 17.5 \quad \therefore \text{O.K.}$$

DL + WL:

$$f_b = 492,300/16,898 = 29.13\text{kg/cm}^2 < F_b' = 169.4 \quad \therefore \text{O.K.}$$

$$f_c = 1,417/1,317 = 1.08\text{kg/cm}^2 < F_c' = 84.7 \quad \therefore \text{O.K.}$$

$$f_v = 1.5(3,442)/1,317 = 3.92\text{kg/cm}^2 < F_v' = 22.4 \quad \therefore \text{O.K.}$$

전체 계산과정 중에서 (DL + SL)의 하중조합 하에서 휨응력에 대한 부분에서 약간의 차이로 불합격이 되었으나 이런 정도의 차이는 설계자의 주관적인 판단에 따라서 무시할 수 있을 정도의 차이로 생각할 수 있다. 만약에 이러한 차이를 인정하지 않는 경우에는 집성재의 높이를 한 단계 더 높일 수 있으며 바뀐 치수에 대한 계산과정은 위의 경우와 동일하다. 이 예의 경우에는 이 오차를 무시하고 시도 치수로 선정한 집성재를 그대로 사용 가능한 것으로 판단할 수 있다.

제 4절 결론

1. 1차년도: 접합부의 성능 평가

- 1) 여러 가지 볼트 지름, 세 가지 목재 수종, 목재의 섬유방향과 하중방향 사이의 관계 등에 따른 볼트 접합부의 진단시험을 실시하여 볼트접합부의 설계에 활용할 수 있는 기초자료를 수집하였다.
- 2) 볼트접합부의 진단시험 방법에 대한 KS규격을 제안하여 이 연구에서 개발된 방법대로 KS F 2153 (목구조 철물접합부의 진단 시험 방법)으로 확정되었다.
- 3) 볼트의 지름이 증가할수록 볼트접합부의 강성 및 강도가 증가하였다.
- 4) 낙엽송 볼트접합부는 미송 볼트접합부와 거의 비슷한 강성 및 강도를 나타내었으며 소나무 볼트접합부는 약간 낮은 값을 나타내었다.
- 5) 목재-강철판 볼트접합부가 목재-목재 접합부보다 높은 강도를 나타내었다.
- 6) 강철판을 주부재로 사용한 접합부가 측면부재로 사용한 접합부보다 접합계수는 높게 나타났으나 항복강도 및 최대강도는 더 낮은 값을 나타내었다.
- 7) 목재-목재 접합부에서는 주부재와 측면부재 두 가지 모두 섬유방향이 하중에 평행한 경우가 가장 높은 강도를 나타내었으며 두 가지 모두 섬유방향이 하중에 수직인 경우가 가장 낮은 강도를 나타내었다.
- 8) 목재-목재 접합부에서 주부재의 섬유방향은 하중에 평행하고 측면부재의 섬유방향은 하중에 수직인 경우가 그 반대의 경우보다 접합계수는 높았으나 항복강도 및 최대강도는 낮게 나타났다.
- 9) 목재의 섬유방향이 하중에 평행한 경우에는 항복점에 도달한 후 하중이 감소하거나 또는 거의 균일한 상태에서 변위가 급격히 증가하는 경향을 나타내었으나 목재의 섬유방향이 하중에 수직인 경우에는 항복점에서 변위가 급격

히 증가하다가 다시 하중이 빠르게 증가하는 경향을 나타내었다.

2. 2차년도: 모멘트 저항 접합부의 성능 평가

- 1) 접합부가 포함된 집성재 보의 하중-변위선도는 접합부가 없는 집성재 보의 하중-변위선도보다 불규칙한 형상을 나타내었다.
- 2) 중앙에 접합부가 있는 집성재 보의 MOE 및 MOR은 접합부가 없는 부재에 비하여 MOE는 34~65% 그리고 MOR은 27~79% 정도의 값을 나타내었다.
- 3) 접합부재 중에서는 합판-못 접합부재의 MOE 및 MOR이 가장 높았다.
- 4) 볼트 접합부재의 MOE가 가장 낮게 나타났으며 철근 삽입 접합부재의 MOR이 가장 낮은 값을 나타내었다.
- 5) 볼트 접합부재 및 나사못 접합부재는 MOE는 낮게 나타났으나 MOR은 비교적 높은 값을 나타내었다.
- 6) 철근 삽입 접합부재는 접합부의 제작과정에 문제가 있어서 철근 삽입을 위한 구멍을 뚫기 및 에폭시 수지 주입에서 완전한 공정이 이루어지지 못하였기 때문에 부재의 MOE 및 MOR이 낮게 나타났다.
- 7) 모든 접합부재들은 휨 하중에 의하여 중앙의 접합부가 벌어지면서 파괴가 발생하였으며 합판-못 접합부재에서는 덧댄 합판이 세로로 갈라지는 파괴형태를 나타내었다.
- 8) 주격쇠 보강 볼트 접합부의 모멘트 저항 능력이 보강 안장쇠 접합부보다 2배 이상 높게 나타났다.
- 9) 보강 안장쇠 접합부에 대한 모멘트 저항 시험에서는 항복점이 뚜렷하였으며 주격쇠 보강 볼트 접합부에서는 항복점이 뚜렷하게 나타나지 않았다.
- 10) 안장쇠 접합부에서는 변위가 증가할수록 목재와 철물이 분리되는 파괴형태를 나타내었다.

- 11) 주걱쇠 보강 볼트 접합부에 대한 반복하중 하에서의 모멘트 저항 시험 결과 1차, 2차 및 3차 특성곡선이 모두 거의 직선형태를 나타내었다.
- 12) 모멘트 저항 접합부에서 파괴는 주로 철물의 변형과 철물을 통한 섬유 직각 방향 압축에 의한 목재의 변형으로 나타났다.
- 13) 접합부의 전단시험에서는 볼트 접합부와 래그나사못 접합부 사이에 큰 차이가 없었다.
- 14) 안장쇠 접합부에서 안장쇠를 고정시키는 볼트 사이의 간격은 접합부의 전단 성능에 큰 영향을 미치지 못하였다.

3. 3차년도: 철물 접합부재의 성능 평가 및 구조설계 기법 개발

- 1) 접합부의 내화성능 향상을 위하여 외부 노출 철물에 대한 내화페인트 도장 및 목재덮개에 의한 보호 등의 2가지 방법이 사용될 수 있다.
- 2) 내화성능 향상을 위하여 개발된 접합부재들은 접합부가 없는 부재에 비하여 51~97%의 MOE 및 18~70%의 MOR을 나타내었다.
- 3) 내화성능 향상 접합부재는 2차년도의 접합부재에 비하여 MOE는 증가되었으나 MOR은 큰 차이를 보이지 않았다.
- 4) 강판 볼트 접합부재 및 래그나사못 접합부재는 비교적 높은 MOE값을 나타내어 초기 강성이 높음을 알 수 있다.
- 5) 강판 볼트 접합부재, 래그나사못 접합부재 및 철판 상하 분리 볼트 접합부재는 접합부가 없는 부재에 비하여 약 60~70%의 비교적 높은 MOR을 나타내었다.
- 6) 라멘 철물 접합부재는 MOE는 비교적 높은 값을 나타내었으나 MOR은 낮은 값을 나타내었다.
- 7) 인장볼트 접합부재는 MOE 및 MOR 모두 낮은 값을 나타내었다.

- 8) 강판 볼트 접합부재는 접합부의 양끝에 상하로 배열된 볼트열을 따라서 파괴가 진행되었고 이 부분의 유효 단면적이 감소하여 하중에 대한 저항력이 감소된 것으로 생각되며 양끝에 배열된 볼트 사이의 간격을 증가시킬 필요가 있을 것으로 생각된다.
- 9) 모든 접합부재에서 하중이 증가함에 따라서 접합부의 벌어짐이 관찰되었다.
- 10) 인장볼트 접합부재에서는 인장볼트를 통하여 전달된 하중이 와서 밑의 좁은 면적에 집중됨으로써 와서 밑의 목재부분이 섬유방향 압축에 의하여 변형되는 파괴형태를 나타내었다.
- 11) 라멘 철물 접합부재에서는 목재에 삽입된 이중볼트가 인장력에 의하여 뽑혀나오고 중간 철물에 설치된 전단 볼트에 의하여 철물의 볼트 구멍이 찌그러지는 변형이 관찰되었다.
- 12) 부재 사이의 접합부가 강성 접합을 이루는 집성재 구조의 구조설계에는 포탈 프레임 해석법 및 외팔보 해석법이 적용될 수 있다.
- 13) 아치구조는 정정구조인 3개의 힌지를 갖는 구조 또는 부정정구조인 2개의 힌지를 갖는 구조로 설계될 수 있다.
- 14) 대부분의 집성재 구조는 매우 복잡한 형태 및 큰 치수를 가지고 있기 때문에 손으로 계산하기에는 무리가 있으며 시중에서 구조설계용으로 판매되는 프로그램의 철골구조 설계 부분을 적용할 수 있다.
- 15) 시판 구조설계 프로그램의 철골구조 부분을 적용하여 구조계산을 하여 각각의 구조부재에 작용하는 하중 및 모멘트의 최대값을 구한 후 이에 대한 구조설계는 손 계산으로 실시한다.
- 16) 집성재의 구조설계에 적용될 수 있는 조정계수 및 설계 과정을 순서대로 수록하였다.

제 3장 구조용 집성재의 내화성능 평가

제 1절 서설

목재는 인류 역사상 인간 생활에 가장 적합한 건축재로써 이용되어 왔다. 그러나 소재 자체로는 나무의 치수와 여러 가지 성질의 제약 때문에 대형 건축물의 구조재료로서의 용도에는 한계가 있다. 목재는 불에 타고, 썩으며, 건조과정에서 변화가 생기며 강도가 약하다는 점 등 단점도 많이 있다. 또한 자연 자료가기 때문에 품질, 생산, 공급측면에서의 문제점도 함께 지니고 있다. 이러한 목재의 결점을 극복하고 그 특성을 살리는 연구가 진행되고 있으며 그 중 하나가 집성재이다.

집성재는 소형이거나 구조재로 사용이 불가능한 목재를 제재목으로 가공한 층재를 함수율 15 % 이하로 인공 건조하여, 용이, 섬유경사 또는 갈라짐 등의 강도상 약점이 되는 결점을 제거하고 경사접합(scarf joint), 핑거 조인트(finger joint) 등의 접합 공법을 사용하여 길이, 나비 및 두께방향으로 우수한 접착제를 이용하여 적층 집성한 것이다. 구조용 집성재는 구조체로서 결함이 적고 역학적으로도 안정된 재질을 지니고 있으며, 단면 및 형상을 자유롭게 제작할 수 있는 구조용재로서 사용범위가 넓고 목재의 특성과 질감을 그대로 살린 인간과 환경에 가장 친화적인 재료라고 할 수 있다.

집성재는 목재의 장점을 최대한 살릴 수 있으면서 또한 목재의 제한조건이 되는 치수의 문제를 효율적으로 해결할 수 있다는 측면에서 많은 연구자 및 설계자들의 관심을 받아 왔다. 그리고 재생산이 가능한 재료의 사용이라는 측면 이외에 보다 아름답고 환경 친화적이며 인간에게 친밀하고 자연적인 구조물의 건축이라는 측면에서도 매우 큰 의의가 있다.

우리나라처럼 소경재가 중심이 된 경우에는 원자재인 나무 자체의 치수가 작

고 물리 및 화학적 성질이 뒤떨어지기 때문에 소재로서의 가공 및 이용에는 한계가 있기 마련이다. 따라서 목재의 이용에 관한 연구는 보다 부가가치가 있는 2차 및 3차 가공에 관한 연구로 방향을 설정해야 할 것이다. 그러한 측면에서 집성재는 소경재를 보다 경제적으로 활용할 수 있는 매우 바람직한 분야의 한 예라고 할 수 있다.

재료로서 구조용 집성재의 특징은 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째, 옹이나 갈라짐 등의 결점 중에서 큰 것은 제거하고 작은 결점은 분산시킬 수 있으므로 재질적으로 균질하게 되고 강도가 높으며 또 강도의 변이가 작은 특성을 지니므로 구조적으로 대단히 유리하다. 둘째, 일반적인 제재목에서는 목재의 건조가 큰 문제이고 특히 대단면이 되면 사실상 목재의 건조가 불가능하다고 할 수 있다. 이에 비하여 집성재에서는 치수가 작은 층재들을 원하는 수준까지 건조한 후에 집성재 제조에 사용하므로 대단면 집성재에서도 미건조로 인한 문제의 발생이 적고 수축으로 인한 치수 변화의 문제도 거의 없다고 할 수 있다. 셋째, 국산재로서 매우 큰 치수의 부재를 구하기가 현실적으로 불가능하지만 집성재는 작은 치수의 제재목 층재로부터 임의의 치수 및 형상을 갖는 재료를 만들 수가 있다. 따라서 매우 큰 치수의 부재뿐만 아니라 만곡부재로 제조할 수도 있기 때문에 설계의 자유도가 커진다. 넷째, 목재의 성질은 거의 그대로 유지되므로 목재의 장점 등을 살릴 수가 있다. 다섯째, 품질이 균일하고 고른 재료를 양산할 수 있다. 여섯째, 아름다운 외관의 재료를 만들 수 있다. 일곱째, 비교적 가격이 싸고 품질이 우수한 재료를 생산할 수 있다.

일반적으로 목재는 약한 재료로서 내장재로는 사용될 수 있지만 구조부재 특히 대규모 건물의 구조부재로서는 부적합하다는 인식을 가지고 있다. 또한 목재는 불에 타기 때문에 구조부재로 사용되었을 때 화재가 발생되면 건물이 쉽게 붕괴될 위험이 있을 것으로 생각하고 있다. 그러나 목재는 무게에 비하여 강도가 높은 재료로서 이와 비교되는 철, 콘크리트 등의 재료와 비교하였을 때에 비강도(비중이 다른 재료들의 강도를 동일한 비중 하의 값으로 전환하여 서로 비교

하기 위한 목적으로 계산되는 값으로 강도를 비중으로 나눈 값)가 가장 높은 값을 나타내고 있다. 또한 목재가 화재에 약할 것이라는 선입관과는 달리 목재는 열전도율이 아주 낮기 때문에 화재가 발생하는 경우에 표면은 탄화되지만 목재 내부는 오랜 시간동안 건전한 상태에서 원래의 강도를 유지함으로써 화재 시에도 건물이 붕괴되지 않고 상당한 시간동안 견뎌주기 때문에 오히려 철구조보다 더욱 안전한 내화구조를 이루고 있다.

대단면의 집성재는 화재 시에 표면의 탄화층이 내부의 목재를 보호하기 때문에 그 탄화부분의 단면을 내화시간에 따라 고려하여 부재의 치수를 필요한 것보다 크게 설계함으로써 화재에 대한 안전대책을 수립하여 화재 시 건물의 붕괴를 일정시간 방지할 수 있게 된다. 또한 이것은 대규모 목조건축물의 화재 시 피난 활동이나 소화활동에 있어 커다란 장점으로 작용하게 되어 대피 및 소화활동에 소요되는 시간적 여유를 주게 된다.

따라서 대단면의 구조용 집성재를 사용한 목조건축물에서는 작은 지름의 목재를 이용한 건축물과는 달리 방화피복이 없어도 일정한 시간은 화재 시에 필요한 구조내력을 유지하며 건물의 붕괴나 화재의 확대를 어느 정도 방지할 수 있다. 이와 같이 대단면 목재에서는 연소에 따라 목재의 표면에서 내부로 향하여 진행되는 속도 즉 탄화속도가 비교적 적게 된다.

목재의 탄화속도는 가열조건이나 수종 및 비중 등에 관계되나 일반적으로 표준적인 화재가열조건하에서는 거의 0.5 ~ 0.7 mm/min 정도가 되는 것이 많은 연구결과에서 알려져 있다. 그림 3-1은 표준적인 화재의 온도로 일정한 시간 가열된 구조용 집성재 보에서 단면의 탄화상태(탄화속도 : 0.6 ~ 0.7 mm/분)를 표시한 것이다.

가열 중 목재 내부의 온도에 대해서도 표면은 고온으로 가열되어 있으나 표면에 형성되는 탄화층의 차열성이나 목재 자체의 낮은 열전도율 또는 목재자체가 지닌 수분 등에 따라 내부온도는 쉽게 상승되지 않고 단면의 중앙부위에서는 표면부위와는 달리 상온에 가깝게 유지된다. 따라서 예상되는 화재의 계속 시간

내에 표면에서 손실되는 목재 단면의 깊이를 탄화속도에 따라 구하고, 남은 단면에서 건물전체의 붕괴를 방지할 수 있는가 여부를 예측하는 것도 가능하며 대규모 목조건축물이라도 화재 시에 건물전체가 붕괴되는 것을 미연에 방지하는 설계도 가능하게 된다.

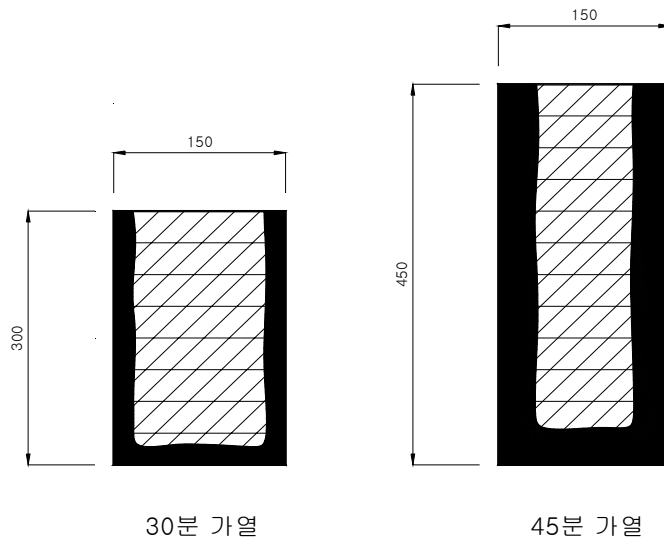


Figure 3-1. Configuration of glulam cross section after burning.

구조용 집성재는 제 2차 세계대전 기간 중에 개발되었으며 그 동안 목재 자체로서는 사용의 제한을 받는 여러 가지 용도로 다양하게 사용되어 왔다. 1980년대 들어서 목재의 재료로서의 평가가 새롭게 이루어지면서 집성재를 대형 건축물의 구조 재료로 사용하고자 하는 움직임이 본격화되기 시작하였다. 우리나라에서도 1990년대 들어서 구조용 집성재의 사용이 시작되었으며 현재 국내에서도 구조용 집성재 제조업체가 생기고 구조용 집성재 표준 규격인 KS F 3021이 제정되고 이에 따른

KS표시 허가업체도 생기면서 구조용 집성재 시장도 서서히 확대되어 가고 있는 추세이다. 그러나 아직까지는 구조용 집성재를 내화재료로 인식하지 못하고 있으며 이로 인한 제약이 관련 산업 발전에 걸림돌이 되고 있다. 이 연구에서는 이러한 문제의 해결을 위하여 구조용 집성재 및 구조용 집성재 많이 사용되는 철물 접합부재에 대한 내화성능 시험을 실시하고 접합부재의 내화성능을 향상시킬 수 있는 방안을 마련하며 더 나아가서 구조용 집성재의 내화성능을 공식적으로 인정받을 수 있는 길을 마련하고자 한다.

제 2절 재료 및 방법

1. 1차년도: 집성재 보의 내화성능 평가

가. 집성재 보의 재하가열 시험

1) 시험 목적

집성재의 내화성능 파악을 위한 기초 연구로서 집성재의 내부온도변화, 집성재 표면의 탄화 진행상태, 집성재의 탄화속도 및 하중이 작용하는 상태에서 화재발생 시 집성재의 구조성능 변화 등을 통해 집성재 보의 내화성능(1시간)을 파악하고자 하였다.

2) 시험체 제작

가) 재료

내화시험용 구조용 집성재 보를 제조하기 위하여 국산 낙엽송을 사용하였으며 이에 대한 지교 자료를 얻기 위하여 북미산 Douglas Fir와 Sweden산 Red pine 을 사용하여 각 수종별로 2종의 시험용 보를 제작하였다.

나) 시험편의 치수

내화성능 시험에 사용된 구조용 집성재 보의 치수는 표 3-1과 같다. 나비 130mm의 부재는 내화성능을 기대하기에는 너무 치수가 적은 것으로 생각되었지만 국산 낙엽송 간벌재의 경우에는 나비 170의 층재를 구하기가 힘들기 때문에 나비 130mm 및 150mm의 부재를 제작하였으며 Douglas-fir나 red pine의 경우

에는 나비 150mm 및 170mm의 부재로 제작하였다.

Table 3-1 Dimension of glulam beams manufactured for fire-resistance tests

실험체명	수 종	실험체 크기 (mm)	실험 체수	강도등급	적층수	접착제 종류
P - 170	Sweden산 Red pine	170×400×5000	1	12S-36B	12	레소시놀
L - 150	국산 낙엽송	150×400×5000	1	10S-28B	17	레소시놀
L - 130	국산 낙엽송	130×600×5000	1	10S-28B	24	레소시놀
D - 130	북미산 Douglas Fir	130×600×5000	1	12S-36B	18	레소시놀
P - 130	Sweden산 Red pine	130×600×5000	1	12S-36B	16	레소시놀
D - 170	북미산 Douglas Fir	170×600×5000	1	12S-36B	17	레소시놀

3) 시험 방법

가) 내화성능 시험 개요

집성재의 내화성능을 파악하기 위해서 선정된 시험체(6개)에 하중을 가하면서 인위적으로 화염에 노출시키는 재하가열 시험을 실시한다. 이 때 하중의 크기는 시험용으로 제작된 보의 최대 허용응력으로 설정하여 허용응력이 작용하는 상태

에서 어느 정도까지 내화성능을 나타내는지 평가하고자 하였다.

나) 시험 기준

KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법 - 일반요구사항, 1999) 및 KS F 2257-6(건축구조부재의 내화시험방법 - 보의 성능기준, 1999)의 기준에 따라서 재하가열 시험을 실시하였다.

다) 재하가열 시간

상기 규격에 의하여 규정된 1시간 동안 가열 시험을 실시하였다.

라) 내부온도 측정

그림 3-2와 같이 중앙부 깊이 별(표면에서 15, 30, 45, 60 mm)로 2개 지점씩 총 8개 지점에 열전대를 삽입하여 외부 가열 온도에 따른 집성재 내부 온도의 변화를 측정하였다.

(단위 : mm)

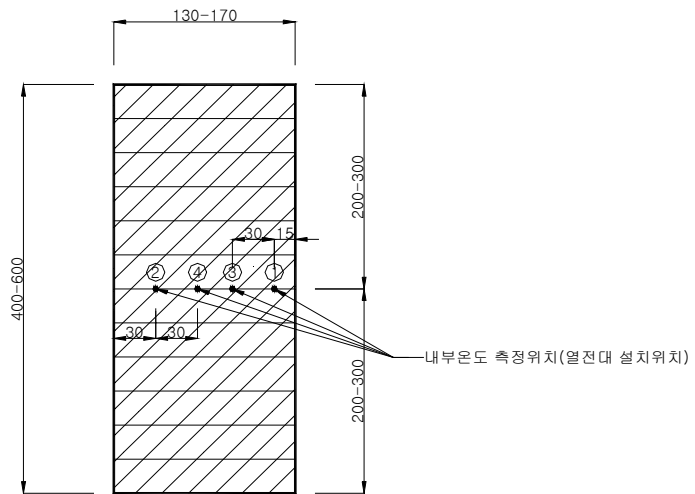
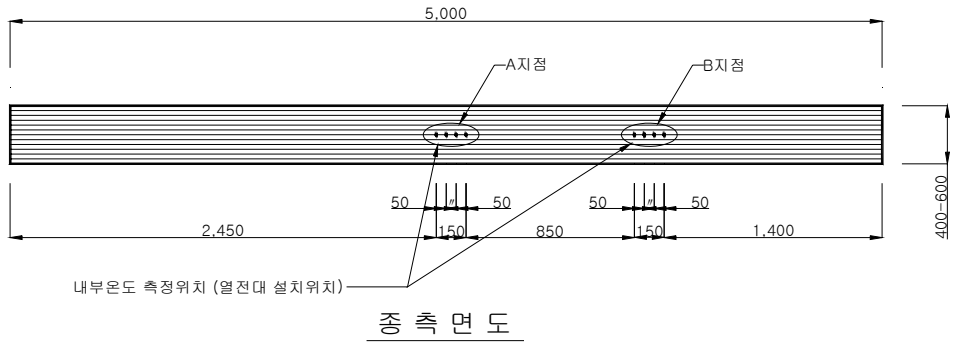


Figure 3-2. Positions of temperature sensors installed in glulam beams to measure the change of internal temperature during fire-resistance tests.

마) 시험 하중

내화성능 시험에 적용된 하중을 계산하기 위하여 각 집성재 보의 허용응력에 2.0의 안전계수를 적용하였으며 실제 재하가열 시험에 적용된 하중의 크기는 표 3-2와 같다.

Table 3-2 Loads applied to glulam beam during fire-resistance tests

시험체명	허용 휨 응력도 (kgf/cm ²)	스팬 길이 (cm)	단면계수 (cm ³)	총하중 (kgf)	실험하중 (kgf)	비 고
P - 170	142	468	2,813	5,120	2,560	안전계수 = 2.0
L - 150	135	468	2,344	4,060	2,030	
L - 130	135	468	4,408	7,630	3,815	
D - 130	142	468	4,408	8,030	4,015	
P - 130	142	468	4,408	8,030	4,015	
D - 170	142	468	6,613	12,040	6,020	

바) 재하 방법

그림 3-3과 같이 보의 3등분점인 2개의 하중점에 각각 표 3-에서 결정된 하중의 절반에 해당하는 크기의 집중하중을 가하면서 가열 시험을 실시한다.

(단위 : mm)

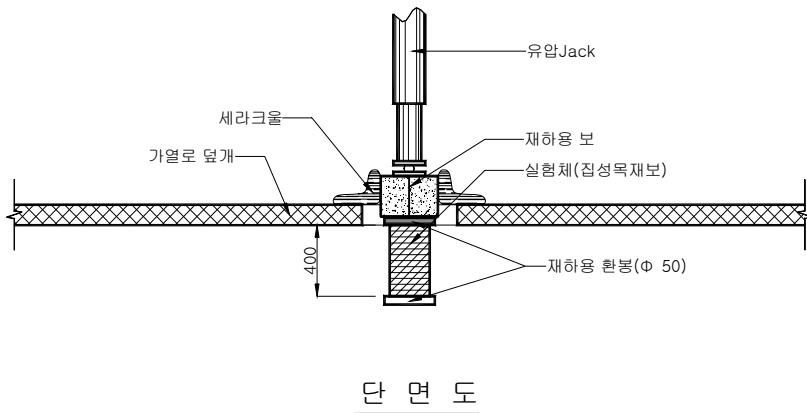
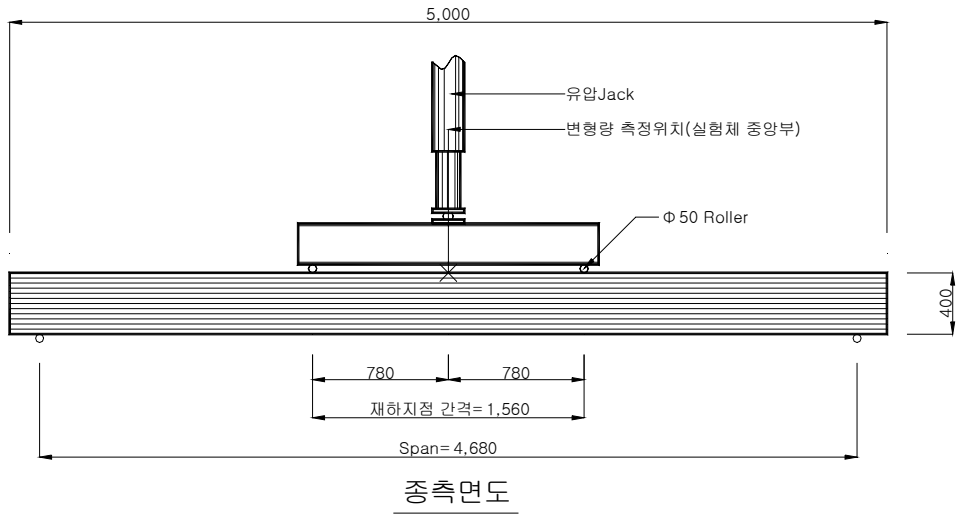


Figure 3-3. Loading arrangement for fire-resistance tests of glulam beams.

나. 집성재의 열전도율 시험

1) 시험 목적

집성재의 열전도율을 측정하여 집성재의 내화성능 파악을 위한 기초연구 자료로서 활용하고자 하였다.

2) 시험편 제작

재하가열 시험과 동일하게 국산 낙엽송, 북미산 Douglas Fir 및 Sweden산 Red pine을 사용하여 두께 38mm에 가로 및 세로가 300mm인 정사각형의 열전도율 시험편을 각 수종별로 2개씩 제작하였다.

3) 시험 방법

가) 시험 조건

- 1차 열전도율 시험: 각 수종별로 1개씩 기건 상태와 105 °C에서 24시간 건조 후 각각 열전도율 시험을 실시하였다.

- 2차 열전도율 시험: 각 수종별로 1개씩 기건 상태와 60 °C에서 24시간 건조 및 105 °C에서 24시간 건조 후 각각 열전도율 시험을 실시하였다.

나) 시험 기준

구조용 집성재의 열전도율을 측정하기 위하여 KS L 9016 (보온재의 열전도율 측정방법, 1995)을 적용하였다.

2. 2차년도: 집성재 기둥 및 접합 집성재 보의 내화성능 평가

가. 철물 접합 집성재 보의 재하가열 시험

1) 집성재의 철물 접합

대단면 목재는 제조설비가 허용하는 한도 내에서 요구되는 치수 및 모양으로 제조할 수 있으나 수송 등의 제조 설비 외적인 문제로 인하여 제조 치수에 제약을 받기도 한다. 따라서 운반 설비 또는 도로교통법 상의 제약으로 인하여 긴 부재를 적절한 길이로 나누어서 제조하는 경우에는 현장까지 운반하여 부재끼리 현장에서 접합할 필요가 생기게 된다. 부재의 제조 길이를 결정할 때에는 운반 상의 최대 길이로 하기도 하지만 설계나 구조내력상의 문제 등도 함께 고려되어야 한다.

실제로 집성재를 이용한 목구조 건축물을 설계할 경우에 가장 복잡하고 어려운 부분이 접합부이다. 철근콘크리트 구조에서의 일체라든가 철골조에서의 용접이나 하이텐션볼트 접합 등과 비교해 보면 목구조의 접합은 종류가 많고 또한 복잡하다. 목구조에서 구조체의 강도는 부재 자체의 강도보다는 접합부의 강성이나 강도가 구조체 전체의 강도를 결정하는 주된 요인이 되는 경우가 많다. 그러나 접합부의 강성이나 강도를 부재의 구조특성에 버금갈 정도로 제작하는 것이 매우 어려우며 이로 인하여 아직까지 목구조에서 접합부가 모멘트를 지지할 수 있는 강성접합은 인정을 받지 못하고 있고 부분적인 모멘트 지지 능력을 인정하는 반강접합이나 또는 모멘트 저항능력을 전혀 인정하지 않는 핀접합으로 가정하여 구조설계가 이루어지고 있다. 구조용 집성재에서 철물을 사용하여 일반적으로 많이 적용되는 부재와 부재 사이의 접합 방법은 다음과 같다.

가) 철물 접합부의 종류

- 볼트 접합: 집성재의 접합에 있어서는 일반적으로 철판에 의한 볼트 접합이 이용된다.

- 강판 접합: 철판과 함께 못이나 볼트 등의 파스너가 이용되며 접합기구에 따라 강판-못 접합 또는 강판-볼트 접합 등으로 칭한다. 못 접합의 경우에는 집성재에 못을 박기 위한 구멍 가공이 필요하지 않으며 따라서 강판의 구멍지름만 못의 지름에 맞추어 두면 비교적 간단하면서도 강한 접합부를 만들 수 있다.

- 강판 삽입 접합: 강판 삽입 접합은 강판이 표면에 노출되지 않기 때문에 외관 및 방화의 목적에서 유리하다.

나) 접합부의 설계

구조용 집성재를 사용하여 목조건축물의 프레임을 구성할 경우 프레임의 종류, 규모에 맞는 접합부 설계가 목조건축물의 구조강도를 크게 좌우하게 된다. 목조건축물은 일반적으로 현장에서 조립되고 현장에서 조립된 접합부가 부재 상호간의 하중을 전달시키기 때문에 구조내력 상 대단히 중요한 역할을 담당한다. 더욱이 접합부 설계는 구조용 집성재의 구조방법, 시공방법, 내구성 및 디자인에 큰 영향을 미치고 최종적으로는 경제성이 문제가 된다. 개개의 목조건축물에 대해서 접합방법을 한정하는 것은 불가능하며 접합방법의 선정은 설계자에게 있어서 매우 중요한 작업이다. 일반적으로 접합방법이 단순하면서도 강성 및 강도가 뛰어나고 접합부가 가능하면 적을수록 좋은 건물이라고 할 수 있다.

2) 시험 목적

집성재 철물접합 보의 내화성능 파악을 위한 기초 연구로서 화재 시 하중이 작용하는 상태에서 집성재 표면의 연소와 탄화속도 등에 따른 집성재 철물접합 보의 내화성능(1시간)을 파악하고자 하였다.

3) 시험편 제작

가) 재료

철물 접합 집성재 보의 내화성능 시험을 위하여 국산 낙엽송을 사용하여 시험편을 제작하였다.

나) 시험체 사양

내화성능 시험을 위한 철물 접합 집성재 보에는 구조성능 시험에 사용되었던 그림 2-9의 접합 방법들이 적용되었으며 각 시험편의 세부 형태는 그림 3-6, 3-9, 3-12 및 3-15와 같고 시험편들의 종류별 치수 및 사양은 표 3-3과 같다.

Table 3-3 Dimension of glulam beams with connection at center

시험체 번호	시험체 종류	시험체 크기(mm)	시험체수	재하량(kgf)
No. 4	볼트 접합 집성재 보	150×400×5,000	1	1,815
No. 5	합판-못 접합 집성재 보	150×400×5,000	1	1,815
No. 6	래그나사못 접합 집성재 보	150×400×5,000	1	1,815
No. 7	에폭시 수지 주입 철근 접합 집성재 보	150×400×5,000	1	1,815

4) 시험 방법

가) 시험 기준

KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법 - 일반요구사항, 1999) 및 KS F 2257-6(건축구조부재의 내화시험방법 - 보의 성능기준, 1999)의 기준에 따라서 재하가열 시험을 실시하였다.

나) 재하가열 시간

상기 규격에 의하여 규정된 1시간 동안 가열 시험을 실시하였다.

다) 내부온도 측정

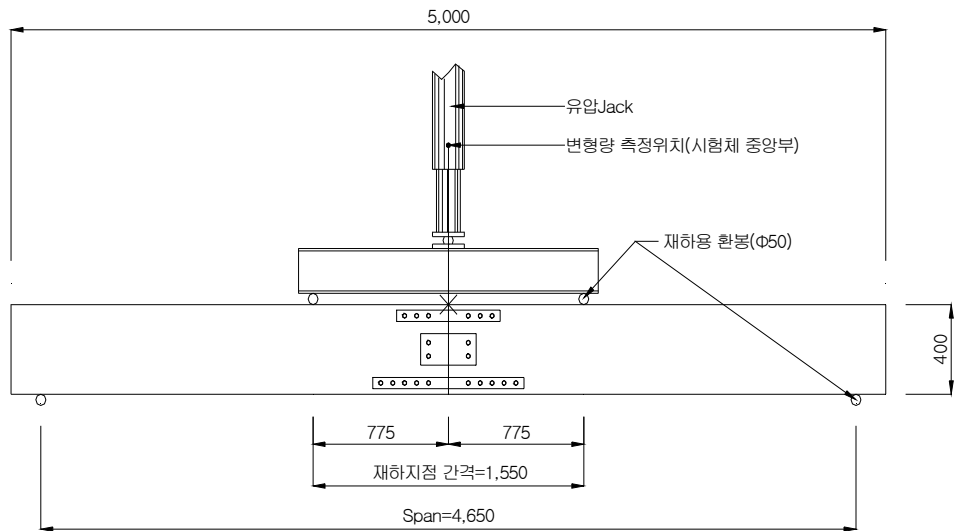
각 시험편별로 접합부의 철물 주변의 목재 내부 온도가 철물의 영향을 받아서 어떻게 변하는지를 측정하기 위하여 그림 3-5, 3-8, 3-11 및 3-14에 표시된 측정 위치에서 깊이 별(표면에서 15, 30, 45, 60 mm)로 1개 지점씩 총4개 지점에 열전대를 삽입하여 외부 가열 온도에 따른 집성재 내부 온도의 변화를 측정하였다.

라) 시험하중

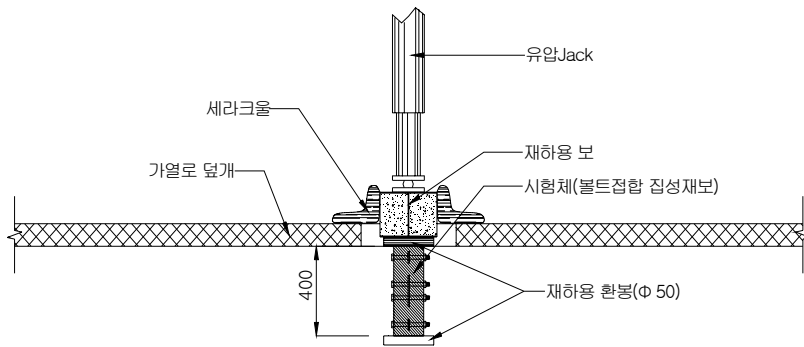
내화성능 시험에 적용된 하중을 계산하기 위하여 각 집성재 보의 단면에서 탄화면적을 제외한 나머지 단면에 대한 허용응력에 2.0의 안전계수를 적용하였으며 실제 재하가열 시험에서 표 3-3과 같이 모든 접합부재에 대하여 동일하게 1815kgf의 하중을 가하였다.

마) 재하방법

그림 3-4, 3-7, 3-10 및 3-13과 같이 각 시험편별로 보의 3등분점에 같은 크기의 집중하중을 가하여 그 합이 1815kgf이 되도록 하였다.



A) Side view



b) Section view

Figure 3-4. Testing arrangement for fire-resistance of glulam beam with bolt joint at center.

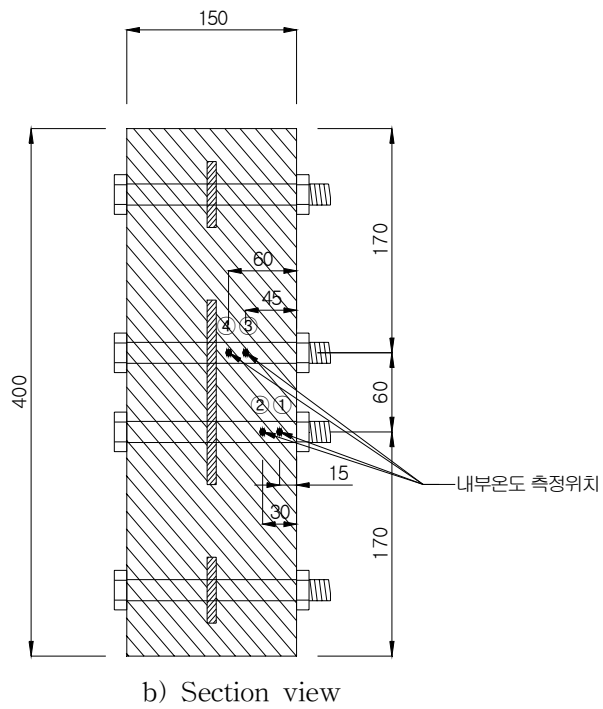
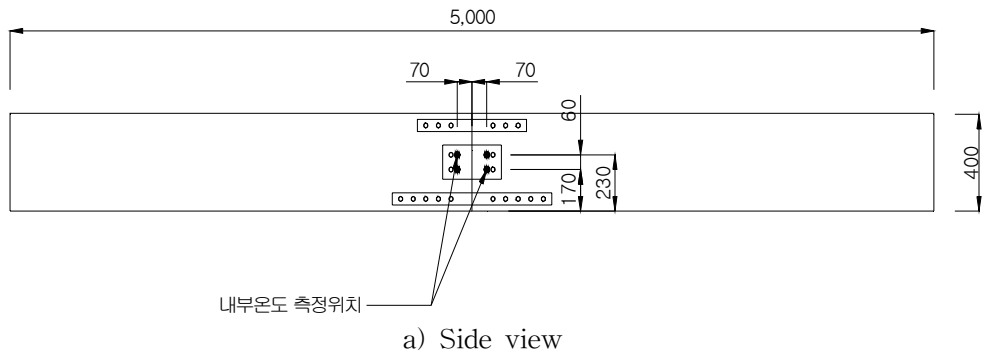
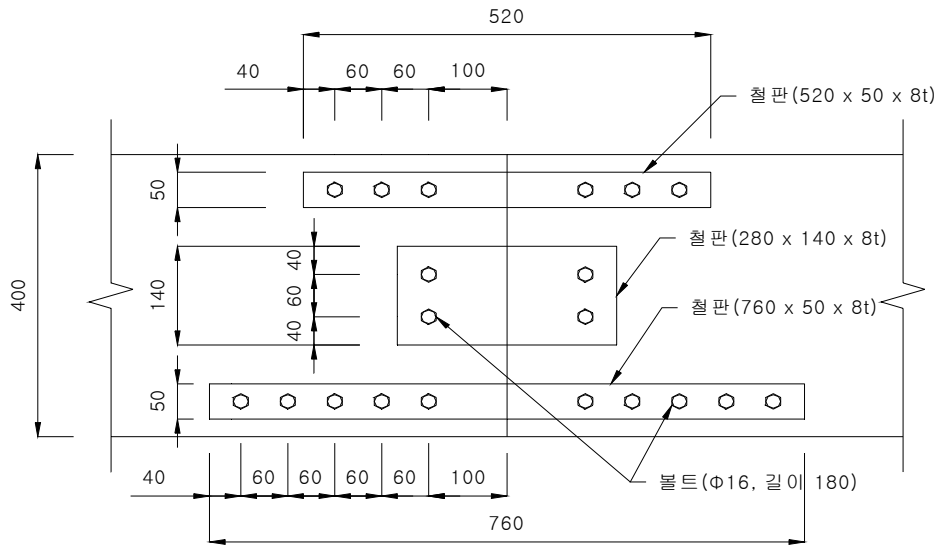
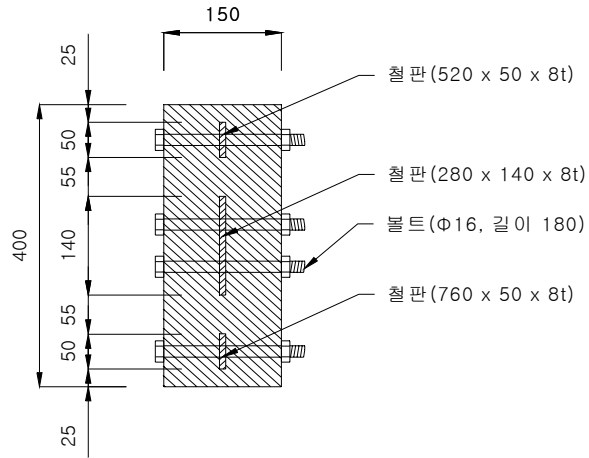


Figure 3-5. Configuration of glulam beam with bolt joint at center.

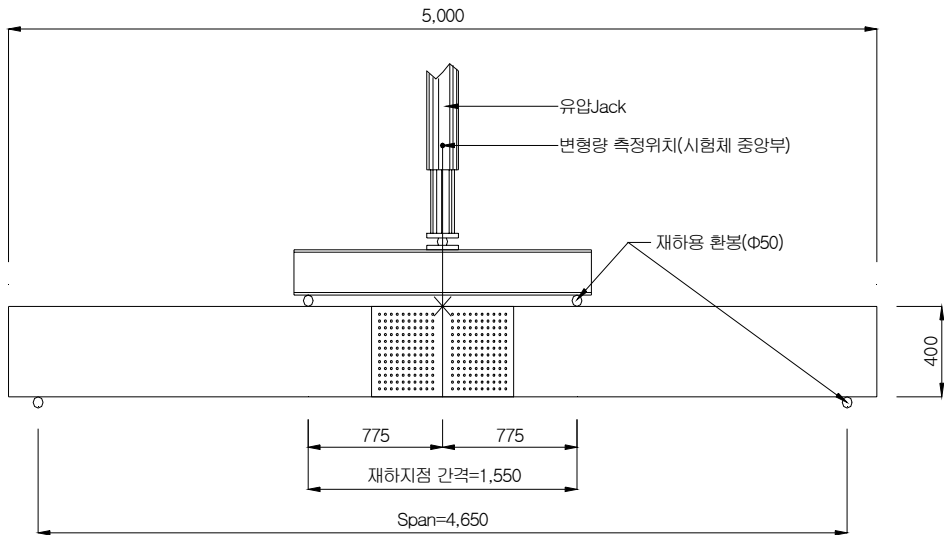


a) Detailed side view of bolt joint

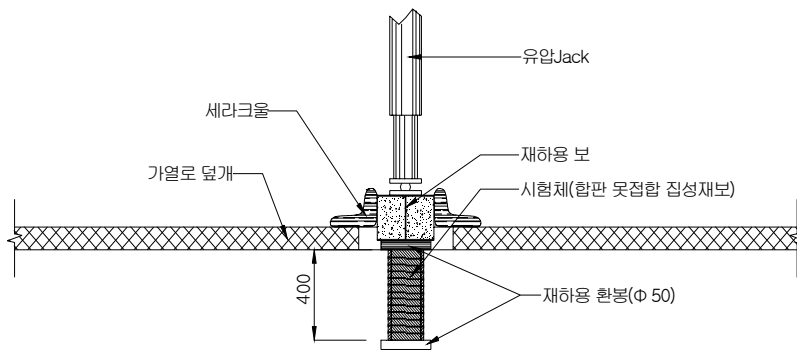


b) Section view

Figure 3-6. Details of bolt joint installed in glulam beam.



a) Side view



b) Section view

Figure 3-7. Testing arrangement of fire-resistance tests for glulam beam with nailed-plywood gusset joint at center.

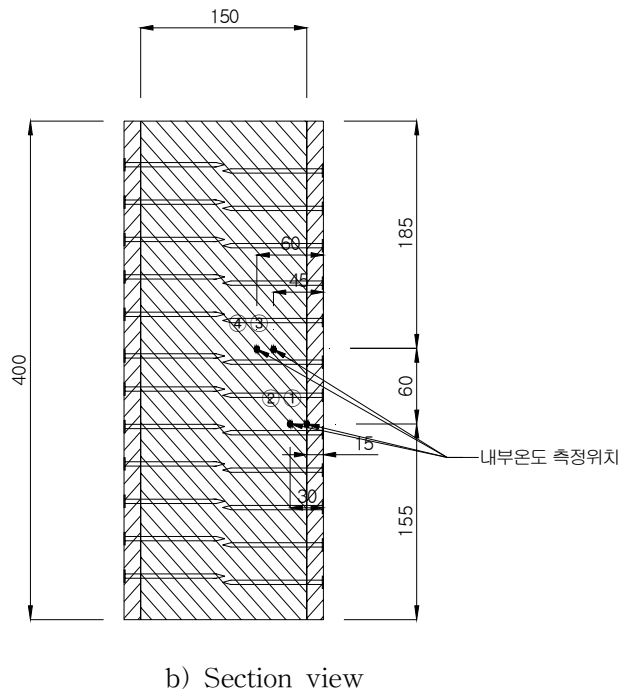
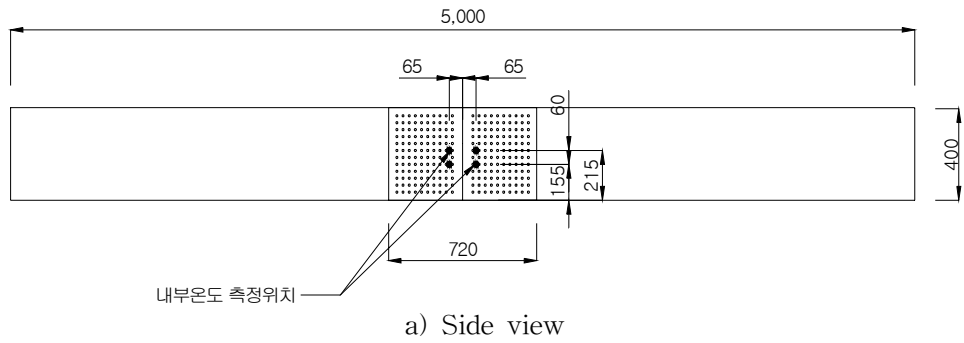
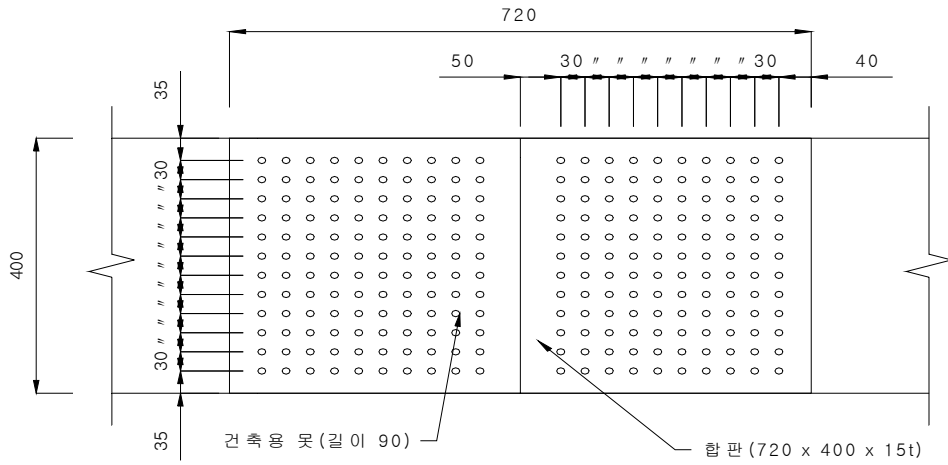
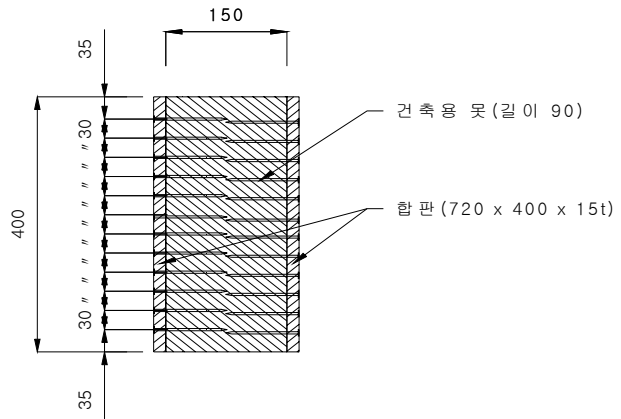


Figure 3-8. Configuration of glulam beam with nailed-plywood gusset joint at center.

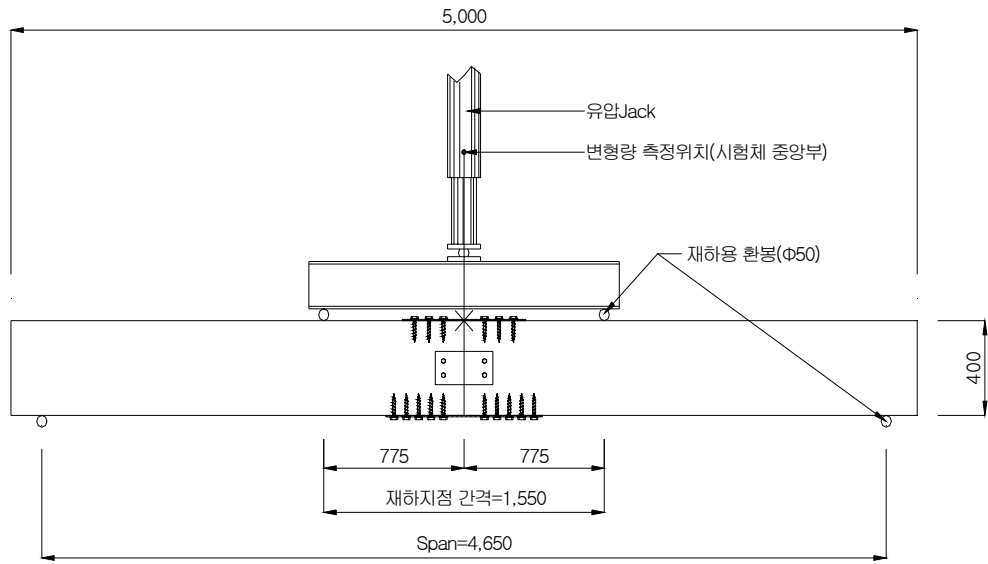


a) Detailed side view of nailed-plywood gusset joint

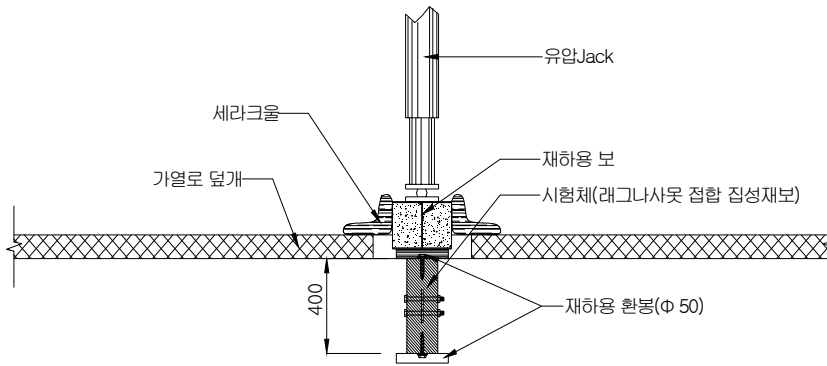


b) Section view

Figure 3-9. Details of nailed-plywood gusset joint installed in glulam beam.



a) Side view



b) Section view

Figure 3-10. Testing arrangement of fire-resistance tests for glulam beam with lag screw joint at center.

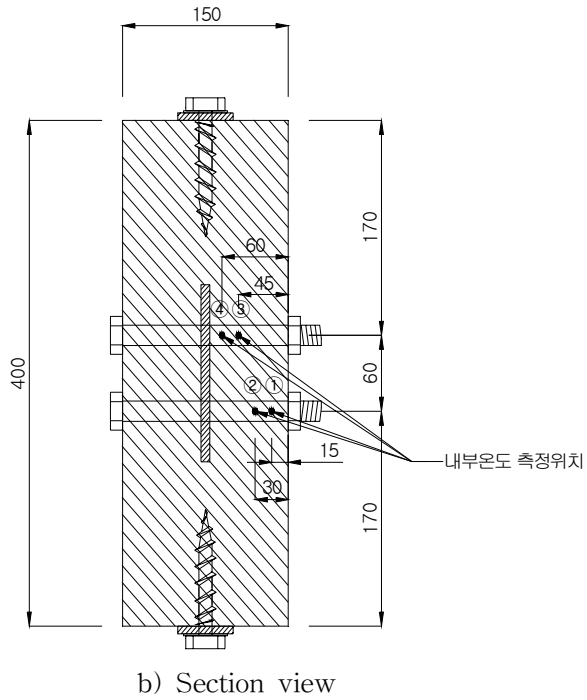
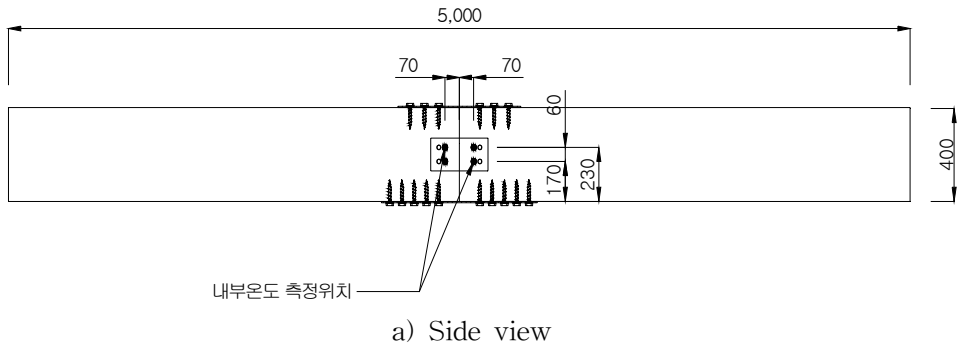
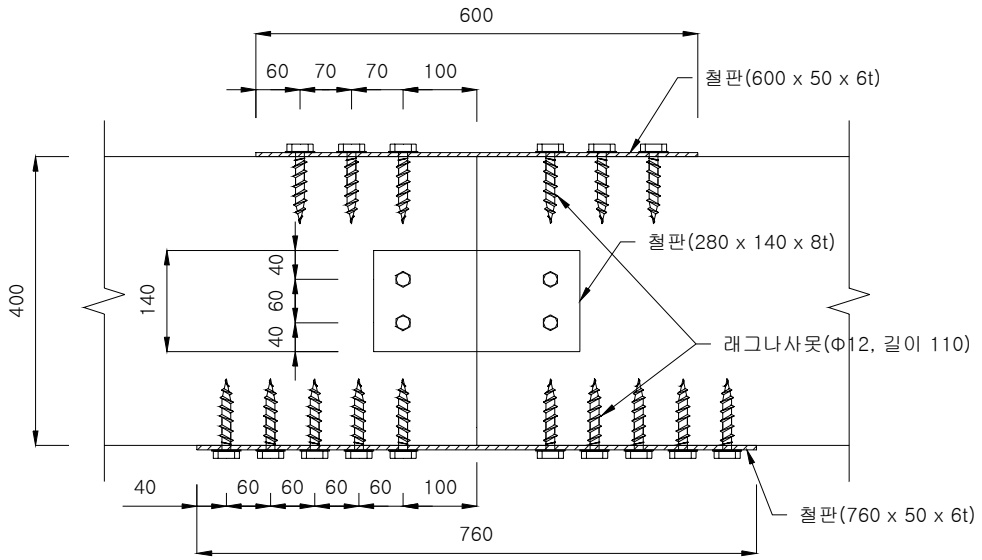
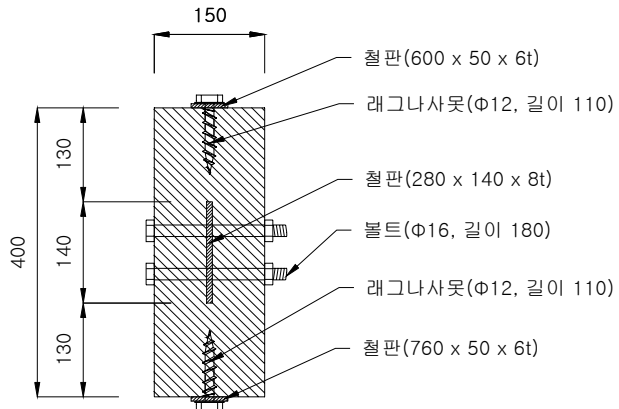


Figure 3-11. Configuration of glulam beam with lag screw joint at center.

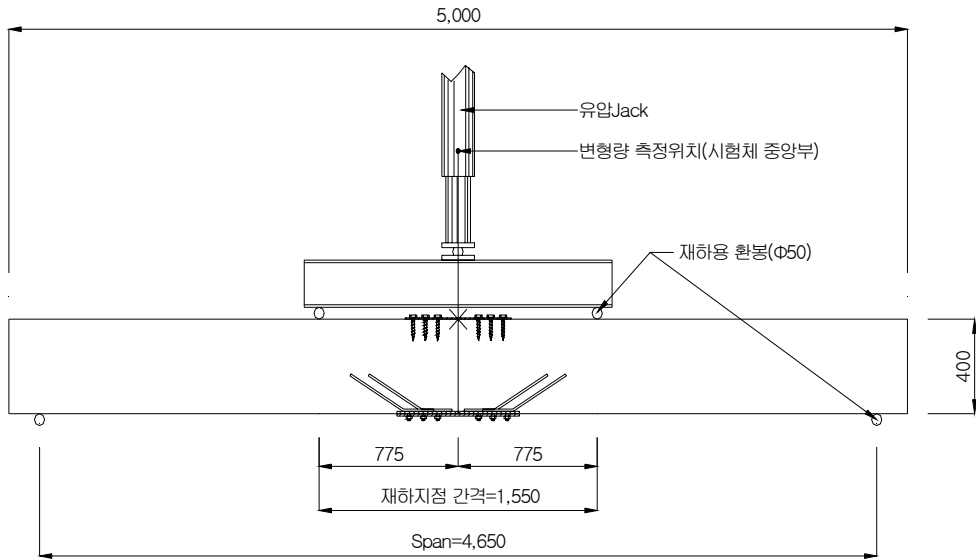


a) Detailed side view of lag screw joint

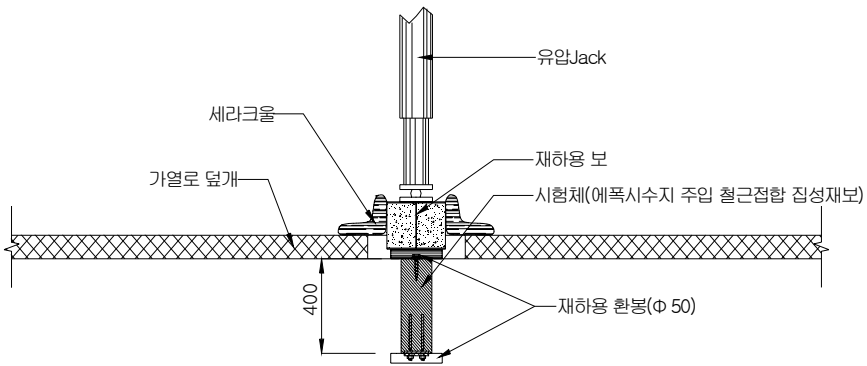


b) Section view

Figure 3-12. Details of lag screw joint installed in glulam beam.

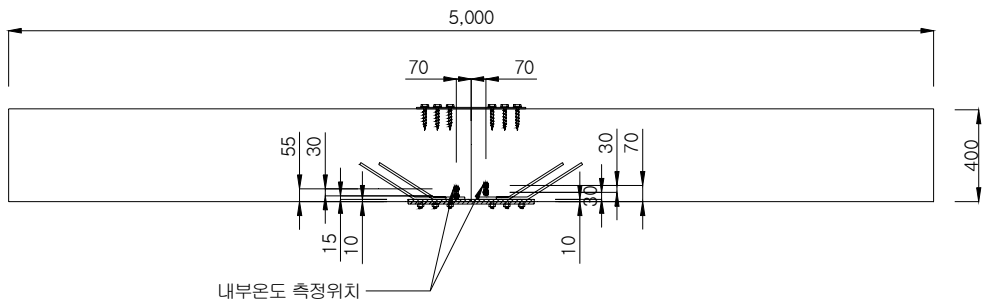


a) Side view

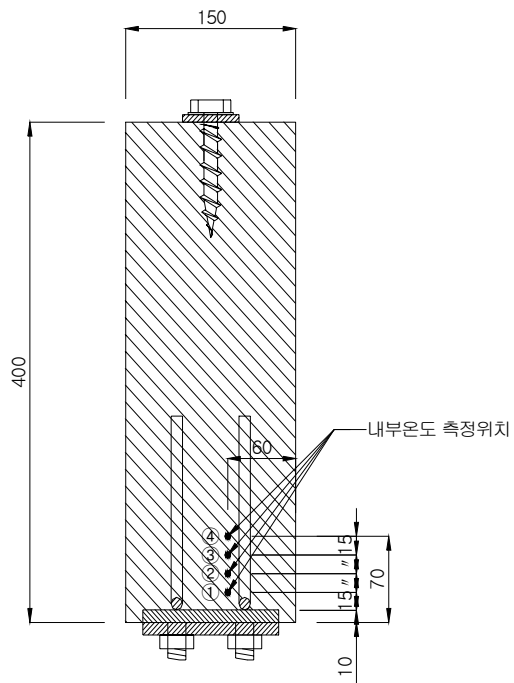


b) Section view

Figure 3-13. Testing arrangement of fire-resistance tests for glulam beam with glued-in rod joint at center.

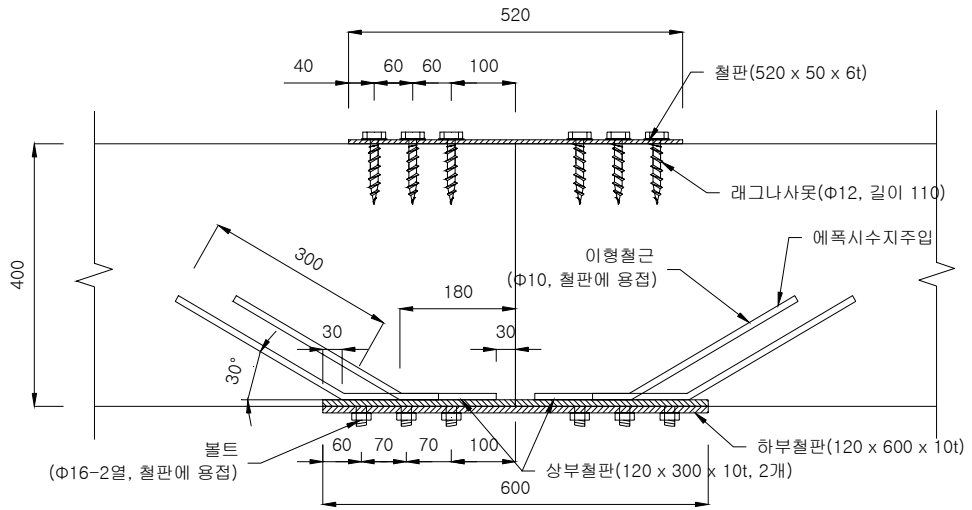


a) Side view

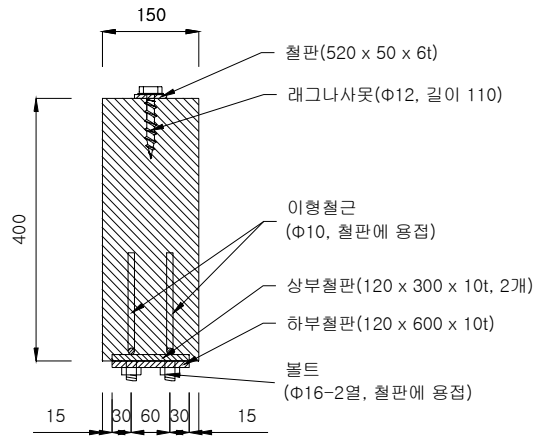


b) Section view

Figure 3-14. Configuration of glulam beam with lag screw joint at center.



a) Detailed side view of glued-in rod joint



b) Side view

Figure 3-15. Details of glued-in rod joint installed in glulam beam.

나. 집성재의 열전도율 시험

1) 시험 목적

1차년도에는 접착층이 포함되지 않은 목재만의 열전도율을 측정하였으며 2차년도에는 접착층이 열전도율에 미치는 영향을 평가하기 위하여 접착층이 포함된 집성재의 열전도율을 측정하여, 집성재 내화성능 파악을 위한 기초연구 자료로서 활용하고자 하였다.

2) 시험편 제작

2차년도의 열전도율 시험은 2개의 접착층이 포함된 국산 낙엽송 집성재를 사용하였으며 두께 81mm에 가로 및 세로가 300mm인 정사각형의 열전도율 시험편 3개를 제작하였다.

3) 시험 방법

가) 시험 조건

각 시험편별로 기건 상태와 60℃에서 24시간 건조 후 각각 열전도율 시험을 실시하였다.

나) 시험 기준

구조용 집성재의 열전도율을 측정하기 위하여 KS L 9016 (보온재의 열전도율 측정방법, 1995)을 적용하였다.

다. 집성재 기둥의 재하 가열(내화성능) 시험 및 탄화속도 측정

1) 시험 목적

집성재 기둥의 내화성능 파악을 위한 기초 연구로서 화재 시 하중이 작용하는 상태에서 집성재 표면의 연소와 탄화속도 등에 따른 집성재 기둥의 내화성능(1시간)을 파악하고자 하였다.

2) 시험편 제작

가) 재료

집성재 기둥의 내화성능 시험을 위하여 국산 낙엽송을 사용하여 시험편을 제작하였다.

나) 시험편 사양

내화성능 시험을 위하여 사각단면 기둥 1개 및 및 속이 빈 원형 단면 기둥 2개를 표 3-4와 같이 제작하였다.

Table 3-4 Dimension of glulam columns used for fire-resistance tests

시험체 번호	시험체 종류	시험체 크기(mm)	시험체수	재하량(kgf)
No. 1	원통기둥	Ø 300(내부 □100×100 공간)	1	20,000
No. 2	원통기둥	Ø 300(내부 □100×100 공간)	1	20,000
No. 3	사각기둥	300×300×3,500	1	27,812

3) 시험 방법

가) 시험 기준

KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법 - 일반요구사항, 1999) 및 KS F 2257-7(건축구조부재의 내화시험방법 - 기둥의 성능기준, 1999)의 기준에 따라서 재하가열 시험을 실시하였다.

나) 재하가열 시간

상기 규격에 의하여 규정된 1시간 동안 가열 시험을 실시하였다.

다) 시험하중

내화성능 시험에 적용된 하중을 계산하기 위하여 각 집성재 보의 단면에서 탄화면적을 제외한 나머지 단면에 대한 허용응력에 2.0의 안전계수를 적용하였으며 실제 재하가열 시험에서 표 3-4와 같이 속이 빈 원형단면 기둥에는 20,000kgf 그리고 사각단면 기둥에는 27,812kgf의 하중을 가하였다.

라) 재하방법

내화성능 시험이 진행되는 동안 그림 3-16, 3-17, 3-18 및 3-19과 같이 각 시험편별로 기둥 단면의 도심을 통하여 하중이 작용하도록 표 3-4의 축하중을 가하였다.

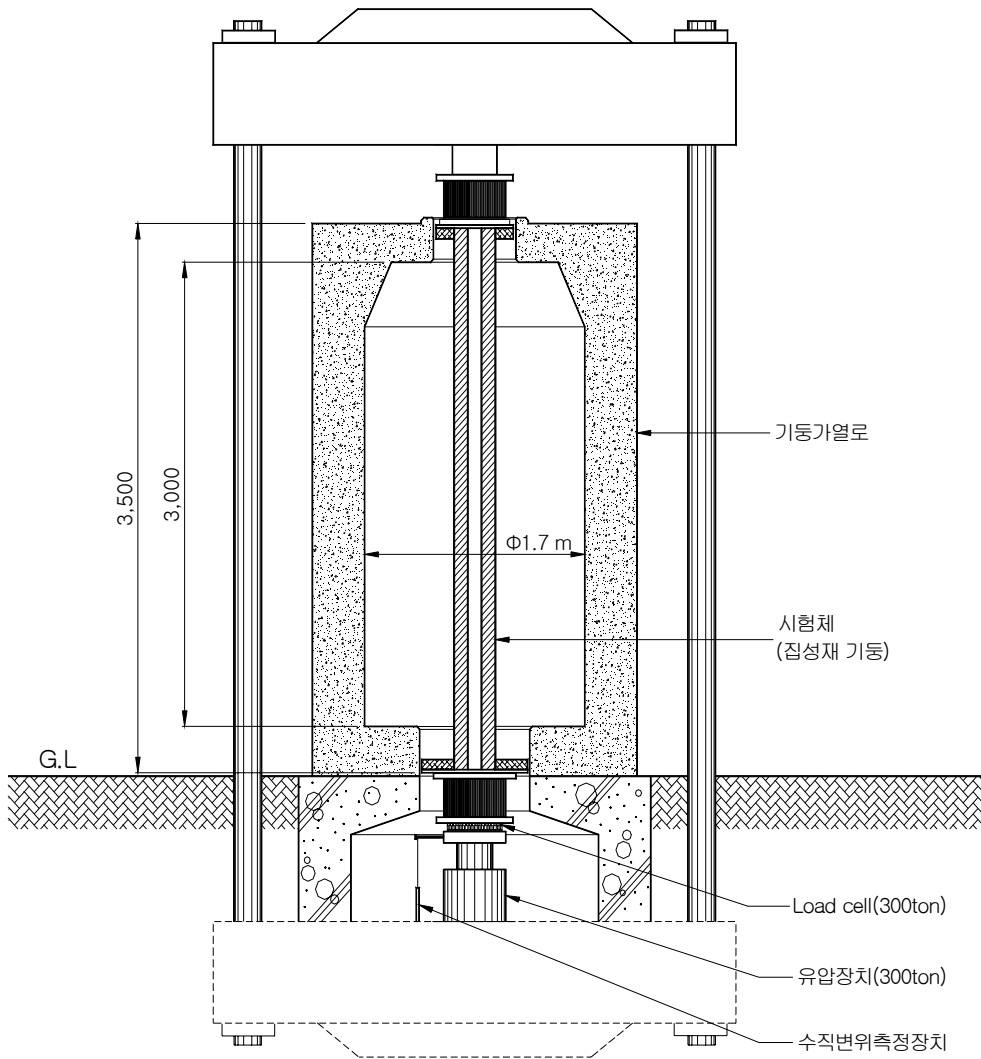
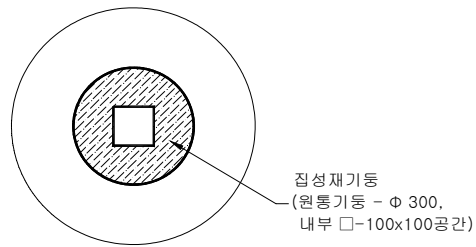
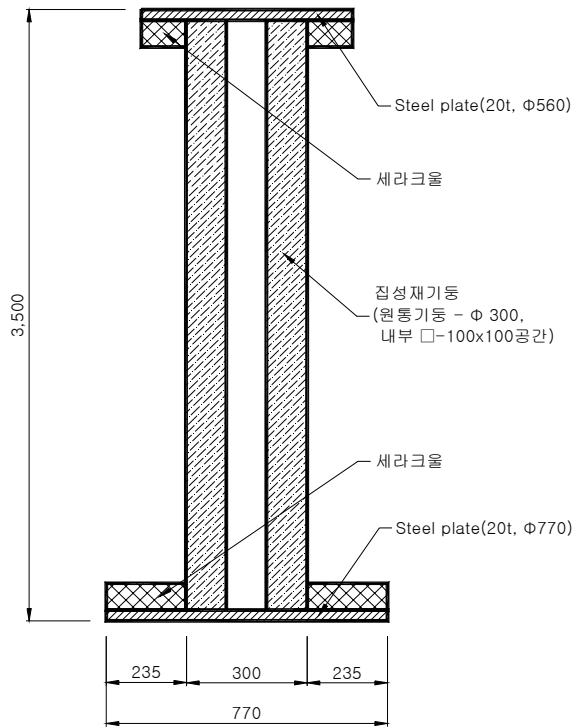


Figure 3-16. Testing arrangement for fire-resistance of glulam column having circular cross section with empty interior.



a) Cross section view



b) Vertical section view

Figure 3-17. Section view of testing arrangement for fire-resistance of glulam column having circular cross section with empty interior.

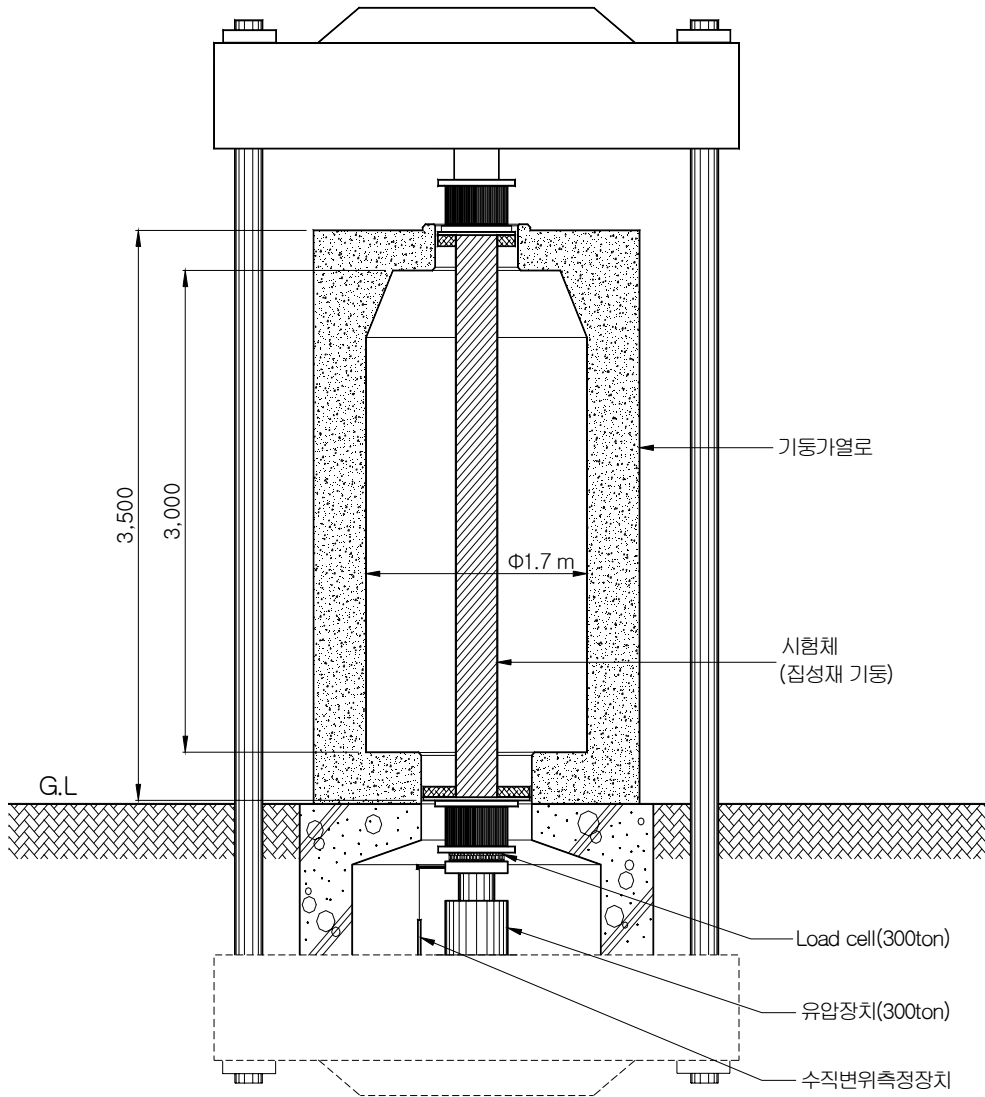
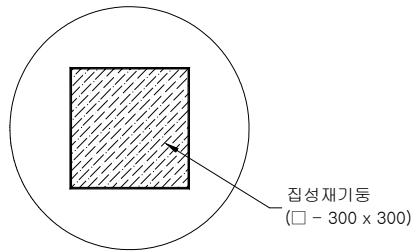
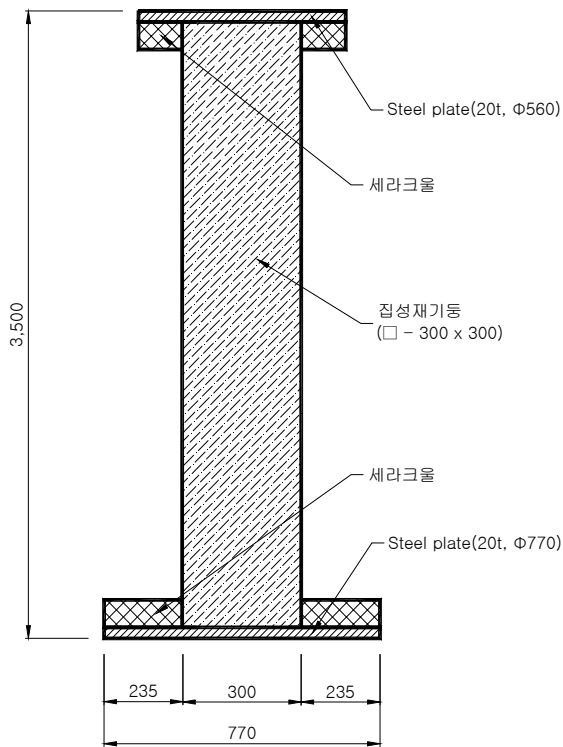


Figure 3-18. Testing arrangement for fire-resistance of glulam column having square cross section.



a) Cross section view



b) Vertical section view

Figure 3-19. Section view of testing arrangement for fire-resistance of glulam column having square cross section.

3. 3차년도: 철물 접합 집성재 보의 내화성능 향상

가. 철물 접합 집성재 보의 재하가열 시험

1) 철물 접합부의 내화성능 향상 방법

일반적인 목구조의 접합은 구성방법에 따라서 다음의 3가지로 분류된다. 하나는 볼트나 너트 등을 사용하여 부재와 부재를 접합하는 기계적 접합방식이며, 다른 하나는 접착에 의한 접합 방식으로서 최근에 대형 핑거조인트를 이용한 접합방법이 개발되어 주목을 받고 있으나 현장에서 접착을 실시하여야 하므로 현장의 환경에 따라서 많은 제약이 있을 수 있다. 또 다른 하나는 접착과 기계적 접합을 함께 적용하는 복합 접합 방법으로서 목재 부재와 목재 부재 사이에 기본적으로 철물에 의한 접합이 이루어지며 철물과 목재 사이의 빈 공간을 접착제로 채움으로써 접합부의 강성과 강도를 향상시키는 방법으로써 최근 많이 실용화되고 있는 추세이다.

우리나라의 전통적인 목구조나 또는 다른 나라에서도 과거에 철물이 발달하기 전에는 목수의 손작업에 의한 접합부의 가공 및 맞춤이 유일한 접합 방법이었다. 그러나 현대 과학의 발전과 특히 철강산업의 발달로 인하여 여러 가지 형태 및 기능을 가지는 철물들이 개발되고 공장가공에 의하여 규격화된 목구조부재 등의 생산이 가능해지면서 여러 가지의 철물에 의한 접합이 일반화되고 있다.

특히, 현대식 구조용 집성재에 의한 목구조 건축에서는 부재 사이의 접합은 모두 철물에 의한 접합이라고 할 수 있다. 철물 접합은 접합부의 형태를 단순화할 수 있으며 현장 조립이 간편하고 또한 비교적 높은 강성 및 강도를 얻을 수 있다는 점에서 앞으로도 더욱 발전되고 쓰임새가 늘어날 것으로 예상된다. 구조용 집성재와 철물의 조합에는 그 형태가 다양하다. 구조용 집성재 부재는 일반적으로 대형 구조물에 사용되기 때문에 단순히 못이나 볼트 등의 직접적인 접합

에 의한 방법을 적용하기는 어려우며 여러 가지 접합 철물들이 함께 사용되어야 한다. 강철제 접합철물들은 일반적으로 못, 볼트, 드리프트핀 또는 래그나사못 등으로 접합되며 전단력에 대한 저항력을 강화시키기 위하여 목재 내부에 위어 플레이트(shear plate)나 스피리트링(split ring) 등이 함께 사용되기도 한다.

일반적으로 목구조부재는 화재로 인하여 그 표면이 타더라도 남은 내부의 단면부분이 하중을 지지할 수 있으면 요구 성능을 만족하게 된다. 따라서 대단면을 가진 목구조 부재의 경우에는 탄화속도를 고려하여 단면의 치수를 증가시킴으로써 원하는 내화성능을 얻을 수 있다. 그러나 접합부의 경우에는 철물이 사용되기 때문에 이 철물을 화염으로부터 보호할 수 있는 대책이 있어야 접합부의 내화성능을 향상시킬 수 있고 또한 전체 구조물의 내화성능도 향상시킬 수 있을 것이다.

일반적으로 목구조의 접합부는 다른 부위에 비교하여 화재에 취약성을 가지고 있다. 특히, 철물을 이용한 접합부의 경우는 화재 시 철물에 의한 열전도 등으로 구조강도가 현격히 저하되어 쉽게 붕괴되는 원인이 되기도 한다. 따라서 철물 접합부에 대한 내화성능의 향상 방법이 개발되어야 하며 이 연구에서는 다음과 같은 두 가지 원칙에 의하여 철물 접합부의 내화성능 향상을 꾀하였다.

- 가능하면 접합철물은 목재의 내부에 삽입하여 화염으로부터 보호한다.
- 외부에 노출되는 철물에는 내화페인트를 도장하여 화염으로부터 보호한다.

2) 시험 목적

내화성능을 향상시킨 철물접합 집성재 보에 대한 기초 연구로서 집성재의 내부 온도 변화, 집성재 표면의 탄화 진행상태, 집성재의 탄화속도 및 하중이 작용하는 상태에서 화재발생시 집성재의 구조성능 변화 등을 측정하여 철물접합 집성재 보의 내화성능(1시간) 향상 정도를 평가하고자 하였다.

3) 시험편 제작

가) 재료

철물 접합 집성재 보의 내화성능 시험을 위하여 국산 낙엽송을 사용하여 시험편을 제작하였다.

나) 시험편 사양

내화성능 시험을 위한 철물 접합 집성재 보에는 구조성능 시험에 사용되었던 그림 2-13, 2-14, 2-15, 2-16 및 2-17의 접합 방법들이 적용되었으며 각 시험편의 세부 형태는 그림 3-21, 3-24, 3-27, 3-30 및 3-34와 같고 시험편들의 종류별 치수 및 사양은 표 3-5와 같다.

4) 시험 방법

가) 시험 기준

KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법 - 일반요구사항, 1999) 및 KS F 2257-6(건축구조부재의 내화시험방법 - 보의 성능기준, 1999)의 기준에 따라서 재하가열 시험을 실시하였다.

나) 재하가열 시간

상기 규격에 의하여 규정된 1시간 동안 가열 시험을 실시하였다.

다) 내부온도 측정

각 시험편별로 접합부의 중앙부의 그림 3-22, 3-25, 3-28, 3-31, 3-32, 3-35 및 3-36에 표시된 측정위치에서 깊이 별(표면에서 15, 30, 45, 60 mm)로 1개 지점씩 총4개 지점에 열전대를 삽입하여 외부 가열 온도에 따른 집성재 내부 온도의 변

화를 측정하였다.

Table 3-5 Dimension of glulam beams with improved connection at center

시험편 번호	시험편명	시험편 종류	시험편 크기(mm)	시험편수	재하량 (kgf)	비고
No. 1	R-1	라멘 철물 접합 집성재 보	170×400×5,000	1	768	노출 철물 없음
No. 2	SCP-1	상하 철판 래그나사못 접합 집성재 보 1	170×400×5,000	1	2,048	
No. 3	SCP-2	상하 철판 래그나사못 접합 집성재 보 2	170×400×5,000	1	2,048	
No. 4	TB-1	인장 볼트 접합 집성재 보	170×400×5,000	1	384	
No. 5	SP-1	철판 상하 분리 볼트 접합 집성재 보 1	170×400×5,000	1	1,280	노출 철물 내화 도료 도장
No. 6	SP-2	철판 상하 분리 볼트 접합 집성재 보 2	170×400×5,000	1	1,280	
No. 7	GP-1	강판 볼트 접합 집성재 보 1	170×400×5,000	1	2,048	
No. 8	GP-2	강판 볼트 접합 집성재 보 2	170×400×5,000	1	2,048	

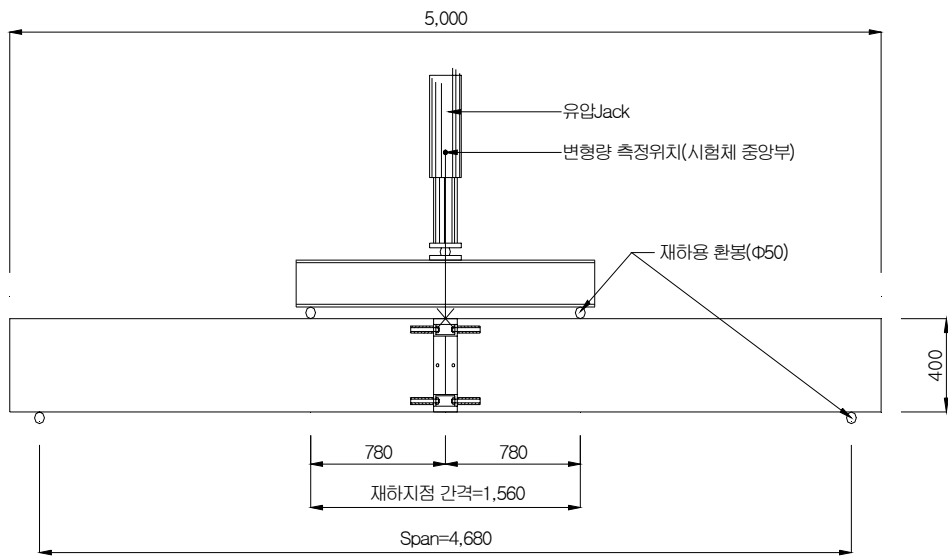
표 3-5에서 시험편 번호 5, 6, 7 및 8은 철물이 외부에 노출되는 형태의 접합 부로서 내화페인트를 5 및 6번 시험편에는 0.6mm 두께로 도포하고 7 및 8번 시험편에는 1.2mm 두께로 도포하여 내화페인트의 두께에 따른 내화성능의 차이를 평가하였다.

라) 시험하중

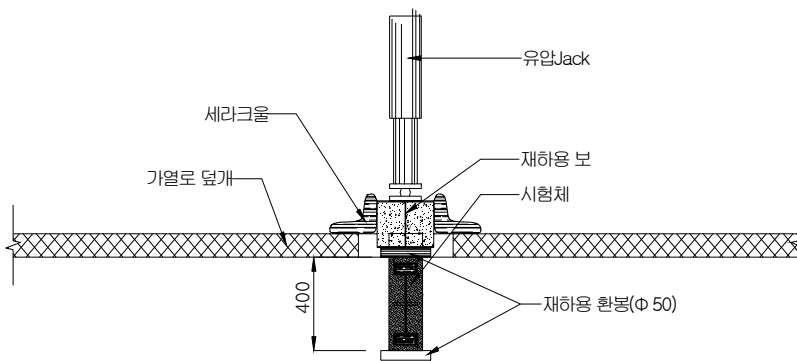
내화성능 시험에 적용된 하중을 계산하기 위하여 각 집성재 보의 단면에서 탄화면적을 제외한 나머지 단면에 대한 허용응력에 2.0의 안전계수를 적용하였으며 실제 재하가열 시험에서 표 3-5와 같이 하중을 가하였다.

마) 재하방법

그림 3-4, 3-7, 3-10 및 3-13과 같이 각 시험편별로 보의 3등분점에 같은 크기의 집중하중을 가하여 그 합이 표 3-5에 주어진 값과 같도록 하였다.



중측면도



단면도

Figure 3-20. Testing arrangement of fire-resistance test for glulam beam with Rahmen connector joint at center.

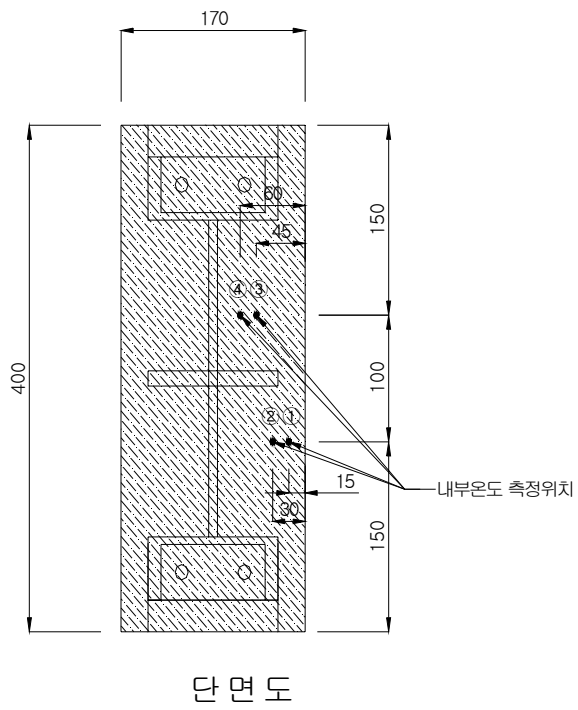
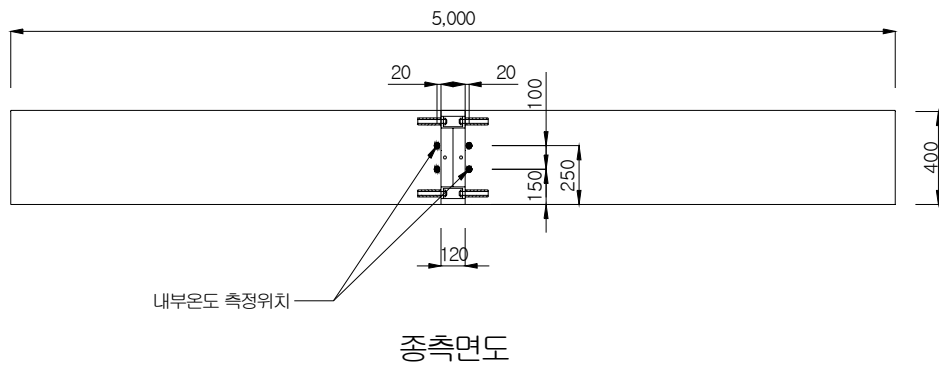
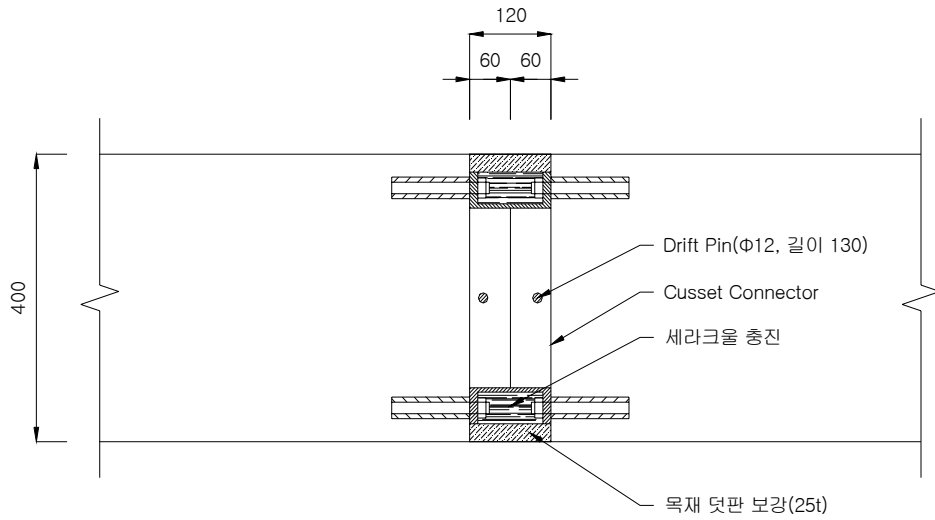
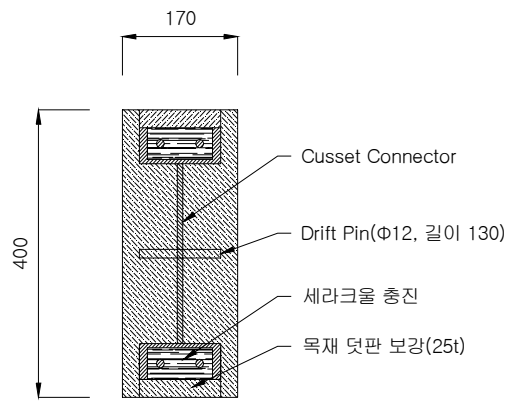


Figure 3-21. Configuration of glulam beam with Rahmen connector joint at center.

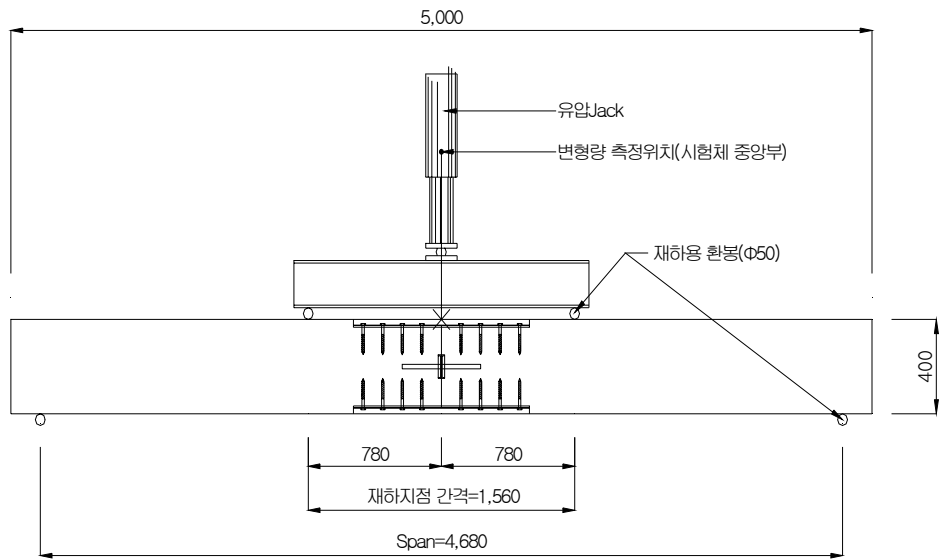


부분상세도

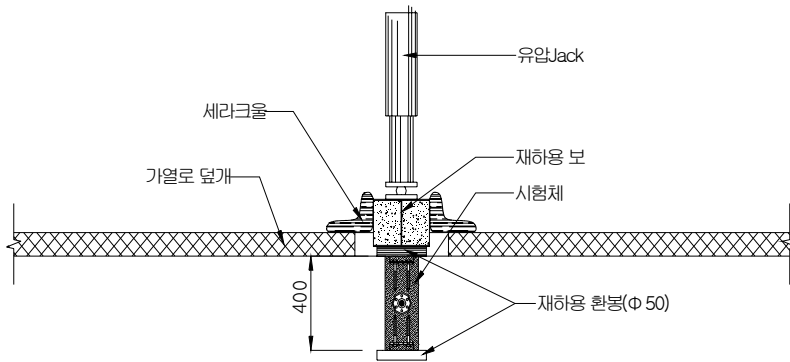


단면도

Figure 3-22. Details of Rahmen connector joint installed in glulam beam.



중측면도



단면도

Figure 3-23. Testing arrangement of fire-resistance tests for glulam beam with lag screw joint and wood covering at center.

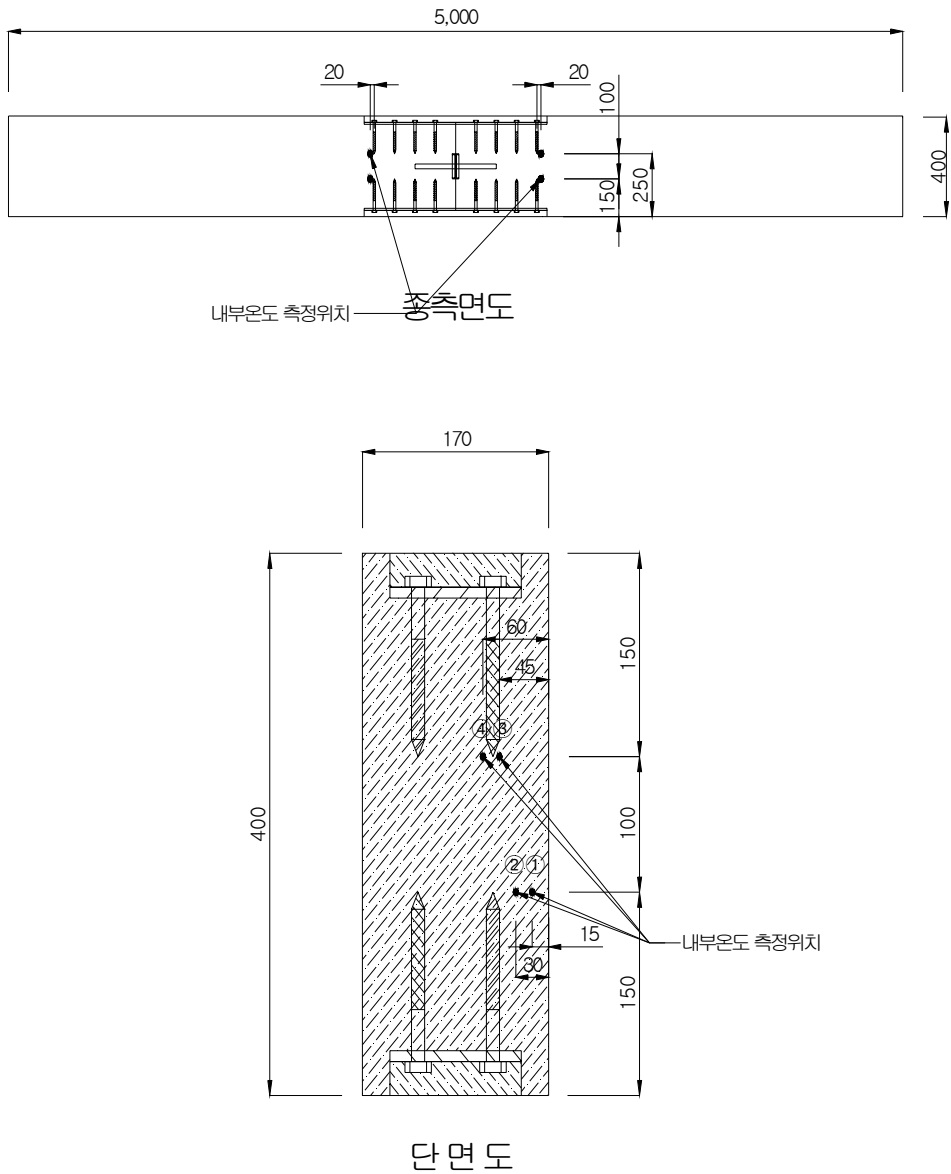
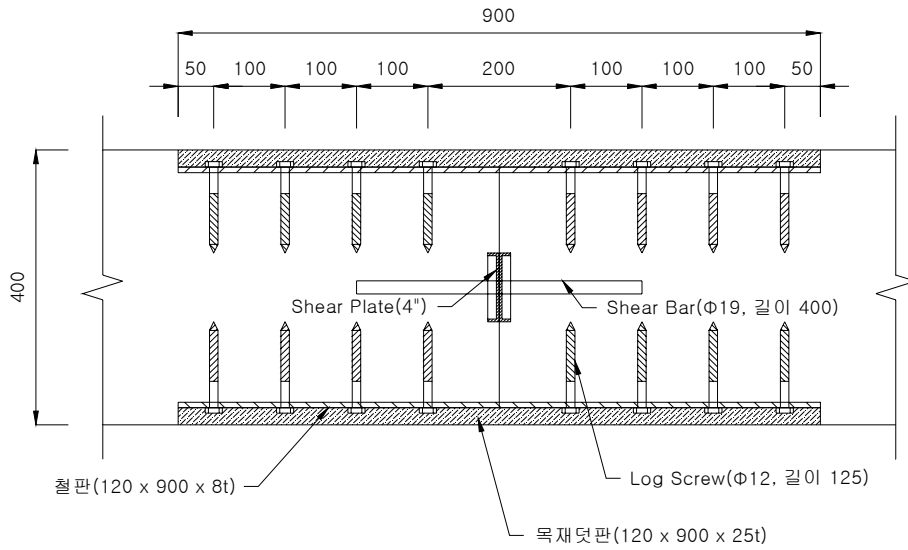
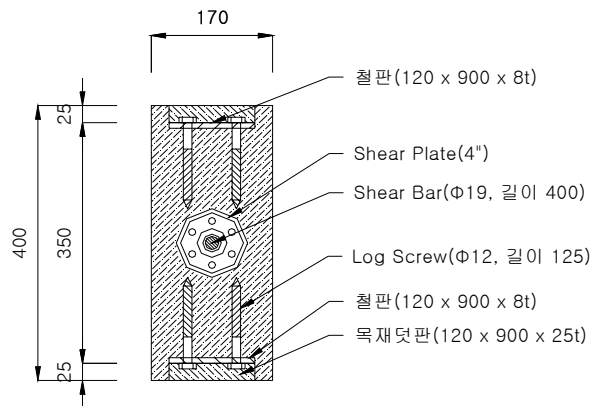


Figure 3-24. Configuration of glulam beam with lag screw joint and wood covering at center.

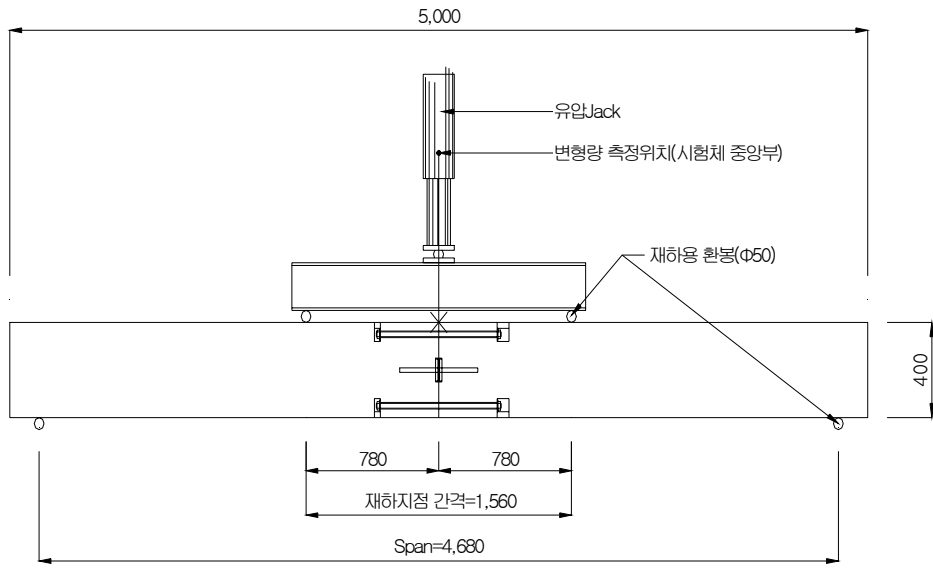


부분상세도

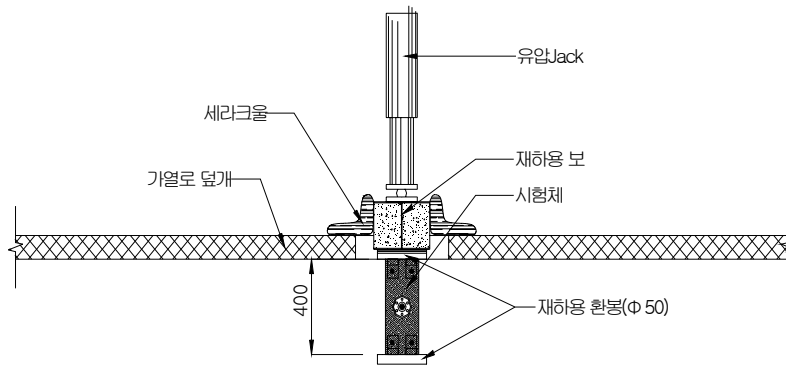


단면도

Figure 3-25. Details of lag screw joint and wood covering installed in glulam beam.

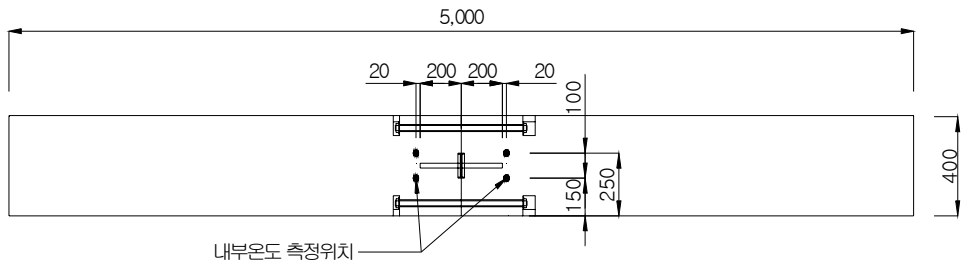


종측면도

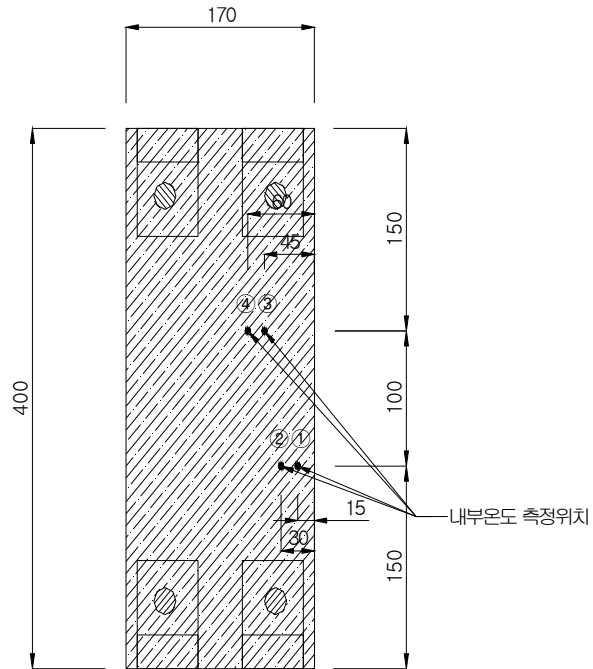


단면도

Figure 3-26. Testing arrangement of fire-resistance tests for glulam beam with tension bolt joint at center.

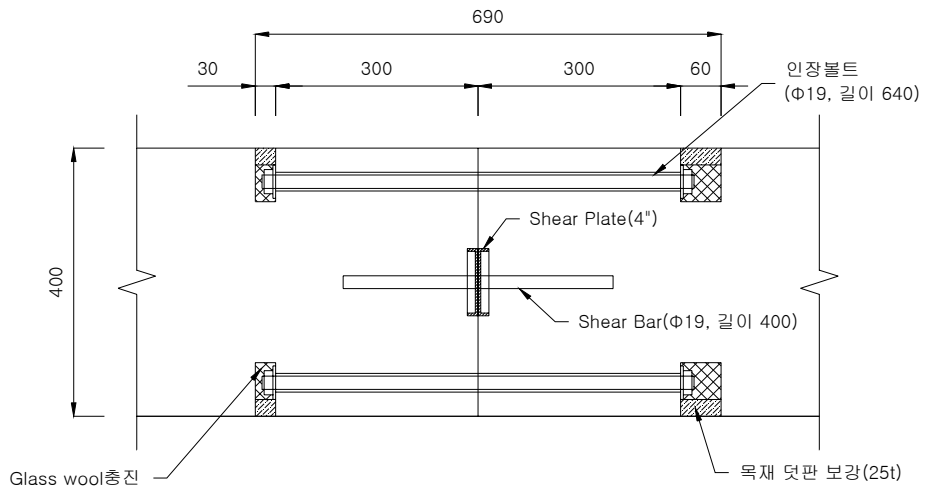


중측면도

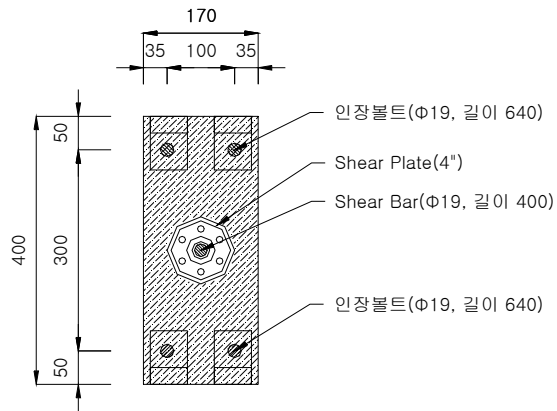


단면도

Figure 3-27. Configuration of glulam beam with tension bolt joint at center.

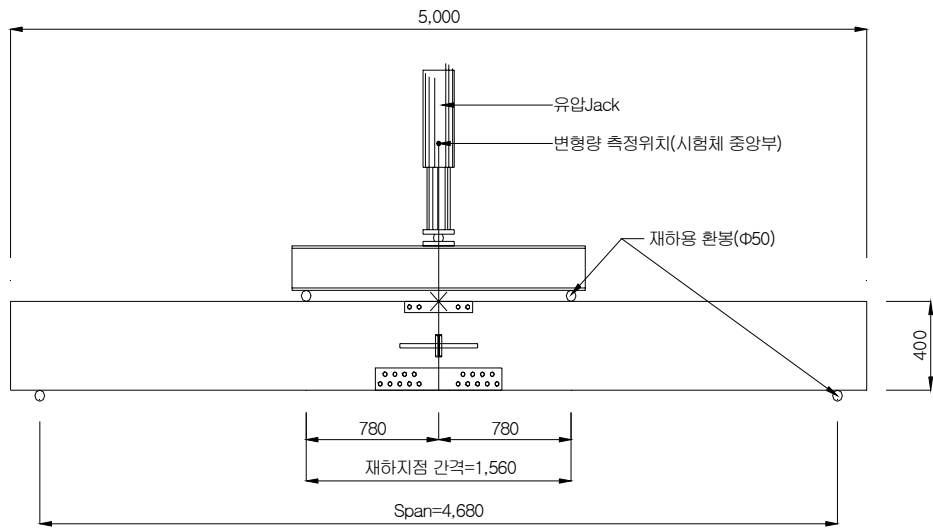


부분상세도

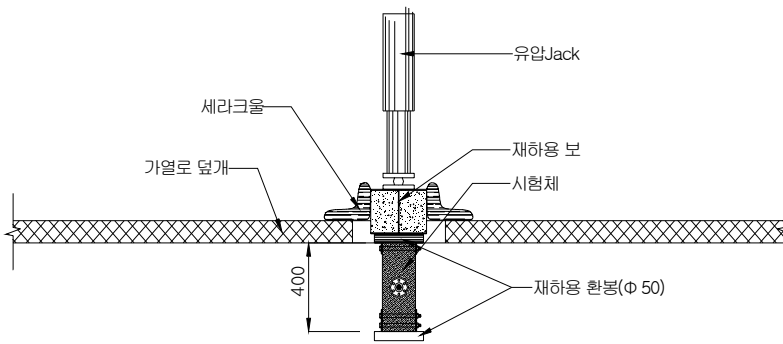


단면도

Figure 3-28. Details of lag screw joint installed in glulam beam.



종측면도



단면도

Figure 3-29. Testing arrangement of fire-resistance tests for glulam beam with separated steel plate and bolt joint at center.

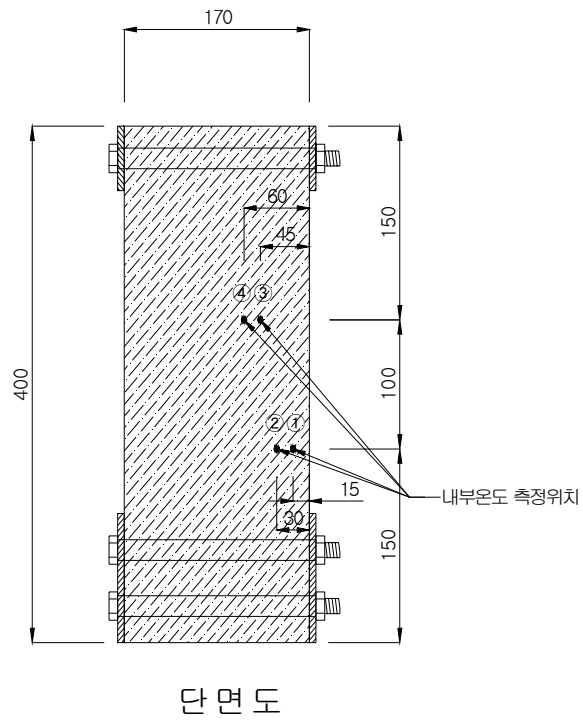
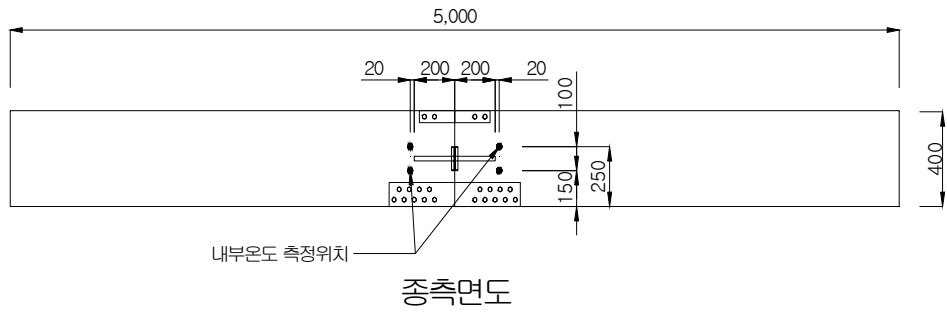
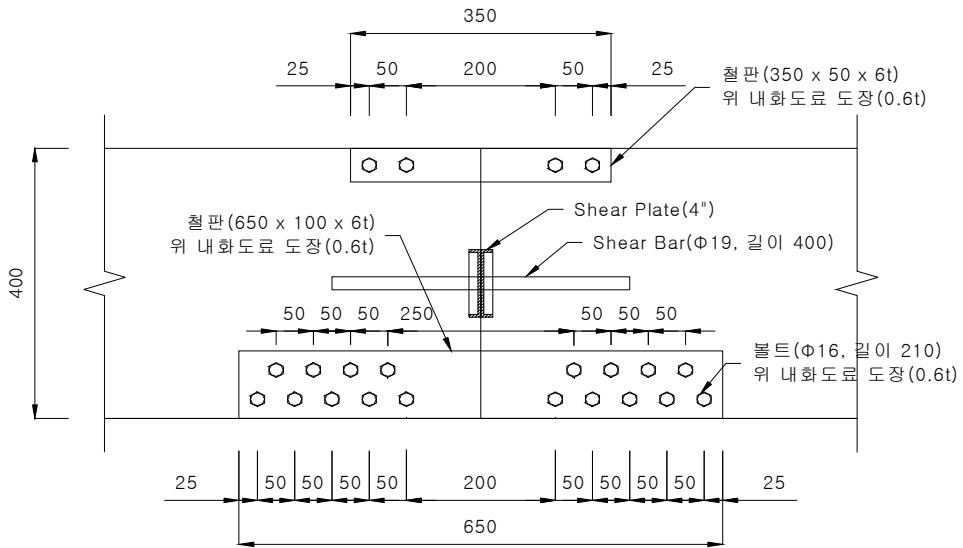
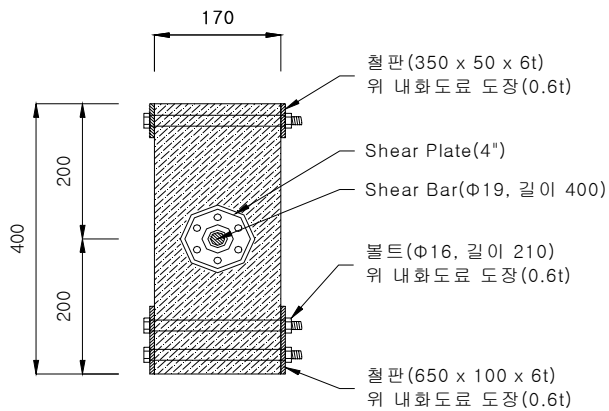


Figure 3-30. Configuration of glulam beam with separated steel plate and bolt joint at center.

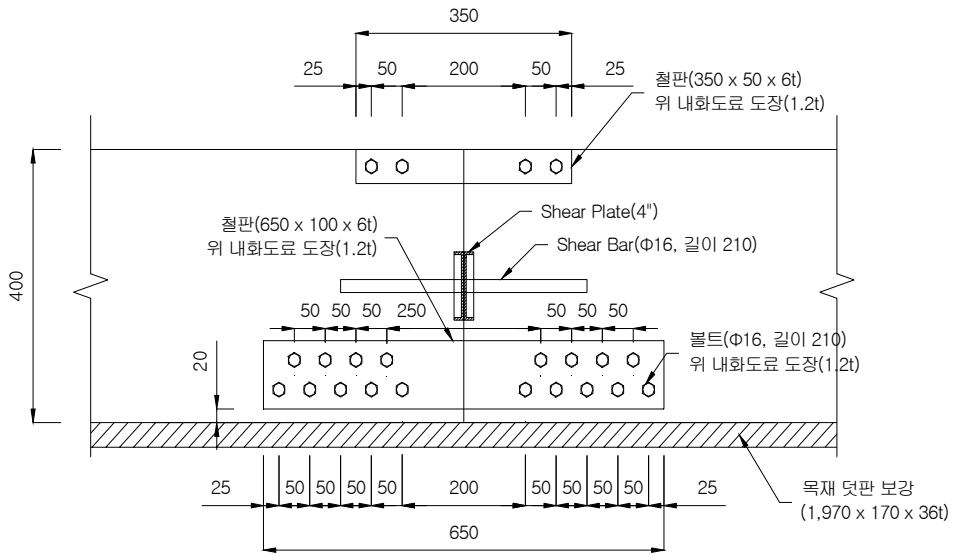


부분상세도

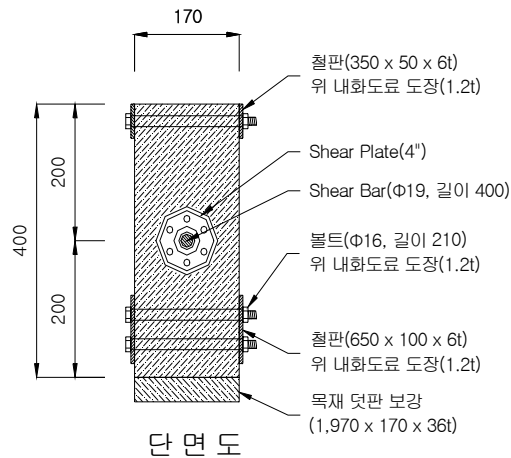


단면도

Figure 3-31. Details of separated steel plate and bolt joint installed in glulam beam and coated by fire-resistant paint (thickness: 0.6mm).

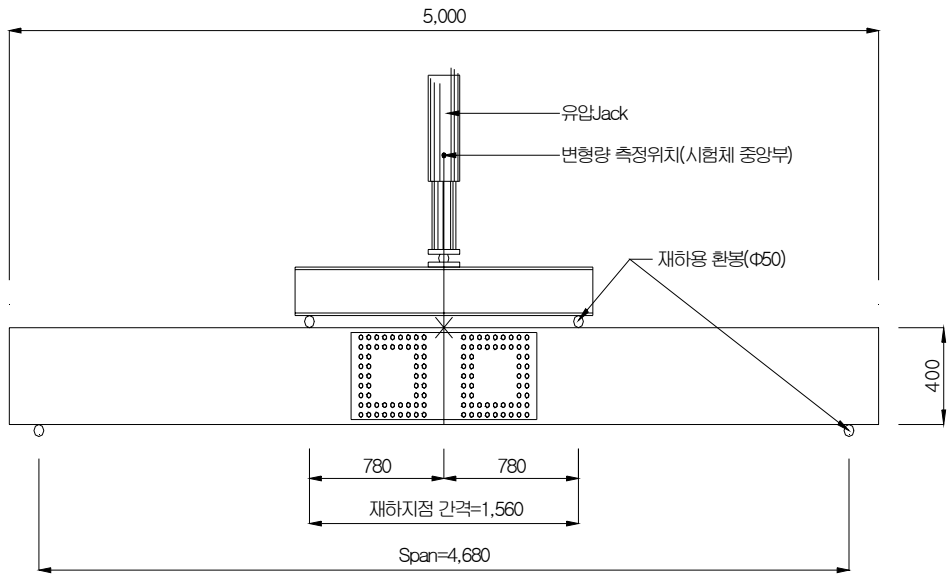


부분상세도

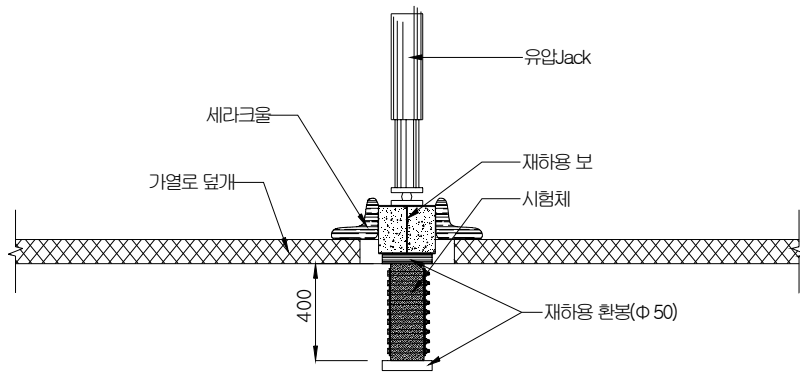


단면도

Figure 3-32. Details of separated steel plate and bolt joint installed in glulam beam, coated by fire-resistant paint (thickness: 1.2mm) and covered by wood.



종측면도



단면도

Figure 3-33. Testing arrangement of fire-resistance tests for glulam beam with bolted steel gusset plate joint at center.

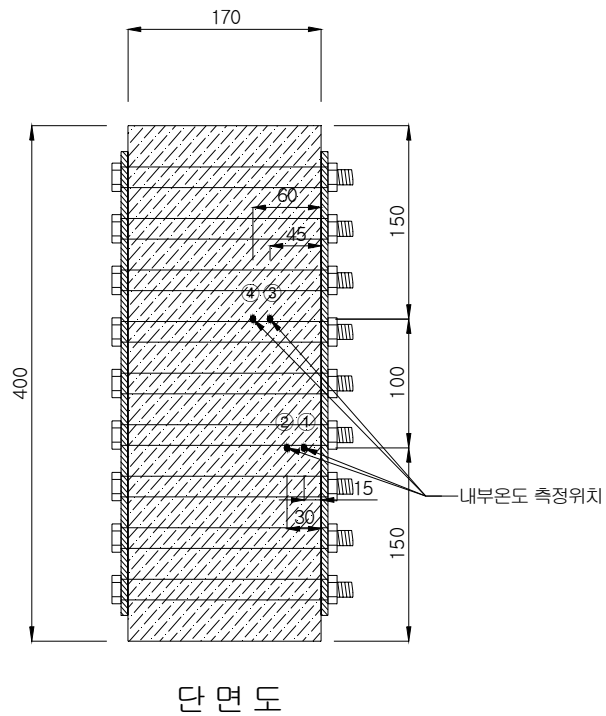
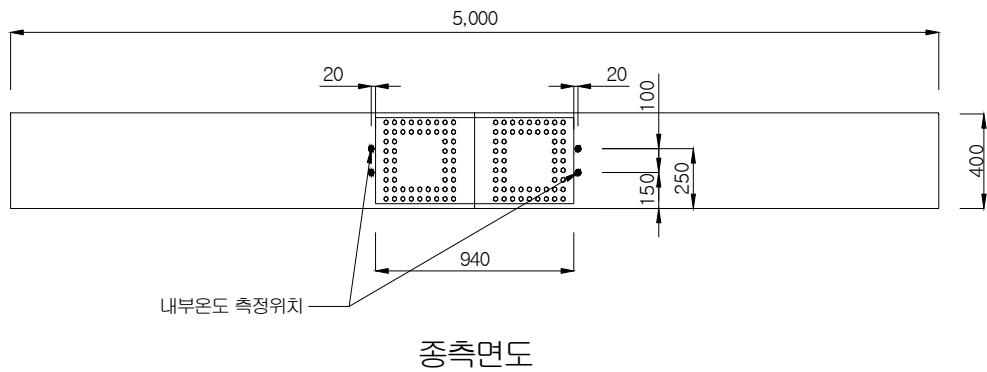
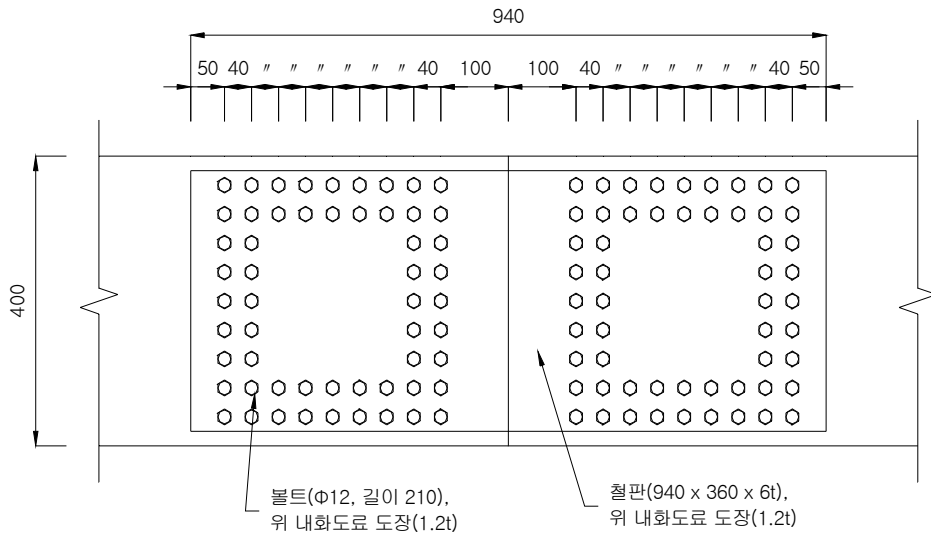
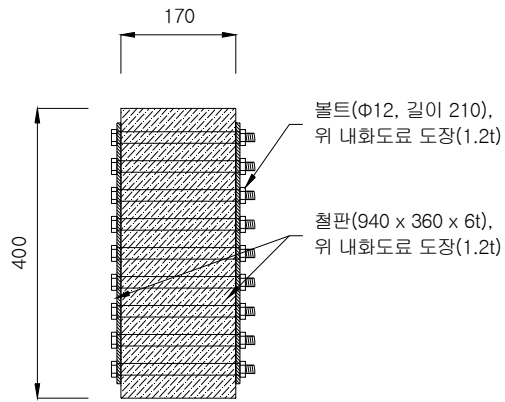


Figure 3-34. Configuration of glulam beam with bolted steel gusset plate joint at center.



부분상세도



단면도

Figure 3-36. Details of bolted steel gusset plate joint installed in glulam beam and coated by fire-resistant paint(thickness: 1.2mm).

제 3절 결과 및 고찰

1. 1차년도: 집성재 보의 내화성능 평가

가. 집성재 보의 재하가열 시험

1) 가열온도곡선 및 내화시험 결과

이 연구에서는 집성재 보에 대하여 시험 규격에 명시된 바와 같이 1시간 동안에 최고온도인 1000℃에 도달하도록 자동으로 온도 조절이 되는 시험로를 사용하여 가열하였으며 P-170 시험편에 대한 설정 및 실제 가열온도곡선은 그림 3-37과 같다.

그림 3-37의 가열온도곡선 하에서 측정된 시간에 따른 가열온도 및 온도면적 측정 결과는 그림 3-38과 같다. 그림 3-38을 보면 규격에 설정된 가열온도곡선에서 실제 가열온도곡선이 크게 벗어나지 않도록 온도 조절이 이루어졌음을 알 수 있다.

그림 3-37의 가열온도곡선 하에서 내화시험을 실시하면서 측정된 집성재 시험편의 변형량의 시간에 따른 변화는 그림 3-39와 같다. 그림 3-39의 측정치를 그래프로 나타내면 그림 3-40과 같다.

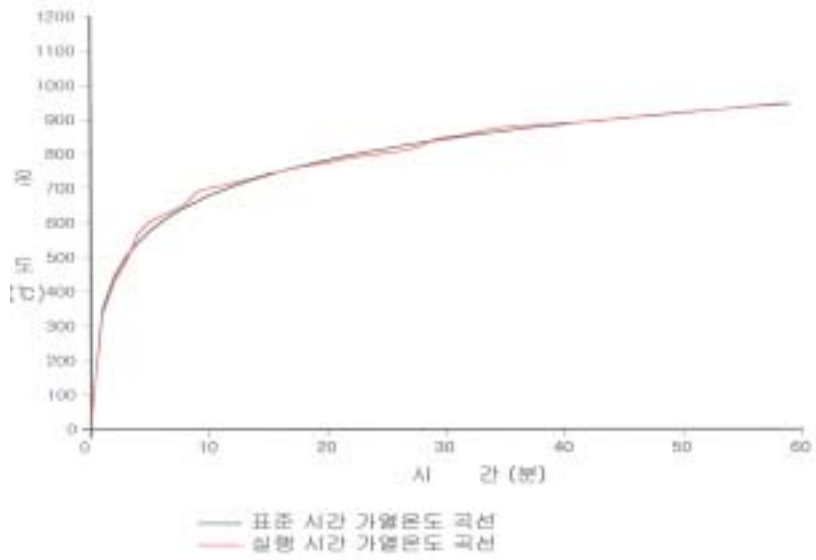


Figure 3-37. Heating temperature curve for fire-resistance test of P-170 glulam beam

FILE: 2000.3.31 P-170

TIME	ISO-KSF	ACTUAL	AREA UNDER	AREA UNDER	DIFFERENCE	TOLERANCE
	FURNACE	FURNACE	STANDARD	ACTUAL		(+ or -)
	TEMP.	TEMP.	CURVE	CURVE		
(Mins)	(Deg C)	(Deg C)	(Deg C. Min)	(Deg C. Min)	(%)	(%)
0	20	29	0	0	0.00	
1	349	334	185	182	-1.63	
2	444	430	581	564	-3.01	
3	502	486	1054	1022	-3.08	
4	543	549	1577	1549	-1.74	
5	576	602	2136	2135	-0.07	
6	603	620	2726	2746	0.73	15.00
7	625	636	3340	3374	1.02	15.00
8	645	653	3975	4018	1.09	15.00
9	662	690	4628	4690	1.33	15.00
10	679	700	5299	5385	1.62	15.00
12	705	714	6683	6798	1.72	14.00
14	728	731	8116	8243	1.56	13.00
16	748	748	9592	9725	1.38	12.00
18	765	763	11106	11236	1.18	11.00
20	781	773	12652	12772	0.95	10.00
22	795	787	14228	14333	0.74	9.00
24	808	796	15831	15917	0.54	8.00
26	820	806	17459	17521	0.35	7.00
28	831	823	19111	19148	0.20	6.00
30	841	847	20783	20822	0.19	5.00
35	864	875	25048	25123	0.30	4.59
40	884	886	29421	29533	0.38	4.17
45	902	901	33887	33997	0.32	3.76
50	918	917	38436	38542	0.28	3.34
55	932	933	43060	43166	0.25	2.92
60	945	948	47753	47869	0.24	2.51

Figure 3-38. Records of heating temperature and area under temperature curve depending on heating time.

FILE 2008.3.31
P-170

L²/400d = 136.9mm
L²/9000d = 6.1mm
L/30 = 156.0mm

DEFLECTION = CH1-(CH2+CH3)/2. Rate of DEF. = (CH)

TIME (mins)	CHAN 1	DEFLECTION (mm)	Rate of DEF. (mm/min)
0.00	0.0	0.0	0.0
1.00	-0.2	-0.2	-0.2
2.00	-0.3	-0.3	-0.1
3.00	-0.9	-0.9	-0.6
4.00	-0.9	-0.9	0.0
5.00	0.0	0.0	0.9
6.00	0.0	0.0	0.0
7.00	0.3	0.3	0.0
8.00	0.1	0.1	0.1
9.00	0.4	0.4	0.3
10.00	0.7	0.7	0.3
11.00	1.0	1.0	0.3
12.00	1.4	1.4	0.4
13.00	1.4	1.4	0.0
14.00	1.7	1.7	0.3
15.00	1.7	1.7	0.0
16.00	1.6	1.6	-0.1
17.00	1.6	1.6	0.0
18.00	1.9	1.9	0.3
19.00	2.4	2.4	0.5
20.00	2.9	2.9	0.5
21.00	3.3	3.3	0.4
22.00	3.5	3.5	0.2
23.00	3.5	3.5	0.0
24.00	3.8	3.8	0.3
25.00	4.2	4.2	0.4
26.00	4.5	4.5	0.3
27.00	4.8	4.8	0.3
28.00	4.9	4.9	0.1
29.00	5.4	5.4	0.5
30.00	5.7	5.7	0.3

FILE 2008.3.31
P-170

L²/400d = 136.9mm
L²/9000d = 6.1mm
L/30 = 156.0mm

DEFLECTION = CH1-(CH2+CH3)/2. Rate of DEF. = (CH)

TIME (mins)	CHAN 1	DEFLECTION (mm)	Rate of DEF. (mm/min)
31.00	5.7	5.7	0.0
32.00	5.7	5.7	0.0
33.00	6.6	6.6	0.9
34.00	7.3	7.3	0.7
35.00	7.7	7.7	0.4
36.00	8.5	8.5	0.8
37.00	8.9	8.9	0.4
38.00	9.4	9.4	0.5
39.00	9.7	9.7	0.3
40.00	10.7	10.7	1.0
41.00	10.4	10.4	-0.3
42.00	11.6	11.6	1.2
43.00	12.3	12.3	0.7
44.00	12.7	12.7	0.4
45.00	13.5	13.5	0.8
46.00	14.1	14.1	0.6
47.00	14.8	14.8	0.7
48.00	15.5	15.5	0.7
49.00	16.0	16.0	0.5
50.00	16.9	16.9	0.9
51.00	17.4	17.6	0.7
52.00	18.6	18.6	1.0
53.00	18.3	18.3	-0.3
54.00	18.6	18.6	0.3
55.00	19.4	19.4	0.8
56.00	20.4	20.4	1.0
57.00	22.7	22.7	2.3
58.00	24.2	24.2	1.5
59.00	25.7	25.7	1.5
60.00	27.5	27.5	1.8

※ 범 례

$\frac{L^2}{400d}$: 허용 변형량, $\frac{L^2}{9,000d}$: 허용 변형율
 $\frac{L^2}{400d}$ CHAN 1 : 변형량, Rate of DEF : 변형율

Figure 3-39. Deflection of P-170 glulam beam under fire.

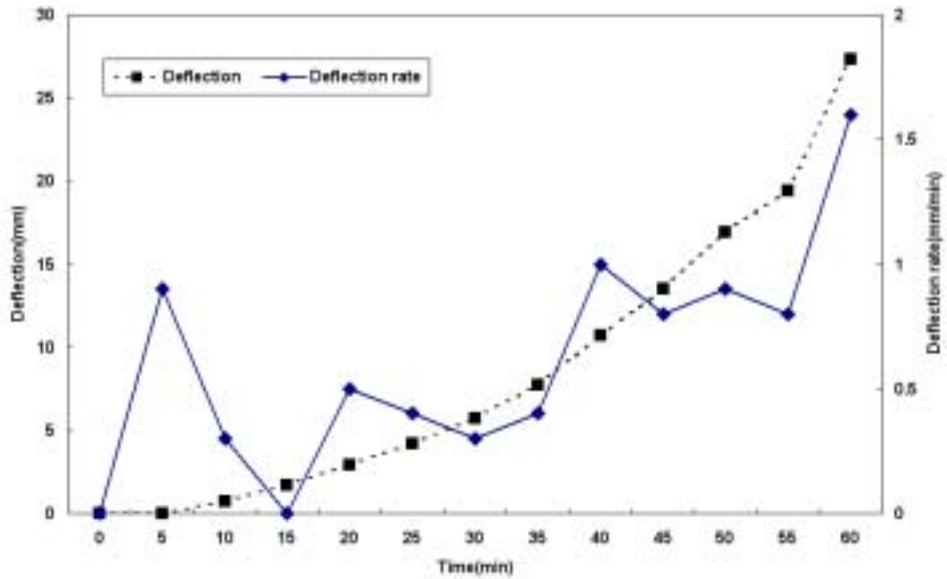


Figure 3-40. Change of deflection and deflection rate for P-170 beam under fire depending on time.

그림 3-40에서 보면 화염에 노출된 상태에서 집성재 보의 중앙부 처짐량은 시간이 지남에 따라서 증가하였으며 처짐의 증가속도도 시간이 갈수록 급격하게 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 화염에 장시간 노출됨으로써 탄화면적이 증가되어 남아있는 건전목재 부분이 감소되고 내부의 목재부분도 고온에 노출됨으로써 강도가 감소됨으로써 하중에 대한 저항력이 시간이 지남에 따라서 감소됨을 보여주고 있다.

내화시험 중에 집성재의 내부에 삽입된 온도측정센서를 통하여 측정된 내부온도의 시간에 따른 변화를 그림 3-41과 같다. 그림 3-41을 그래프로 나타내면 그림 3-42와 같다. 그림 3-41 및 3-42에서 보면 내화시험 중에 집성재 표면으로부터 15mm 깊이의 온도는 급격하게 표면 온도와 근사하게 증가하여 약 40분 정

도가 경과한 시점에서 거의 외부 온도와 비슷하게 증가된 것으로 생각된다. 내부 30mm 및 45mm 지점의 온도는 각각 약 40분 및 50분 정도가 경과한 시점에서 목재의 탄화온도인 400℃ 정도에 도달하여 탄화가 시작된 것으로 생각된다. 그러나 60mm 깊이의 온도는 60분 후에도 200℃를 밑돌아서 약간의 강도 감소는 있지만 탄화는 진행되지 않은 것으로 생각된다.

FLX 2008.3.31 P-133

TIME (hr:min)	CHAN 11	CHAN 12	CHAN 13	CHAN 14	CHAN 15	CHAN 16	CHAN 17	CHAN 18
1.00	45	42	22	22	34	28	20	21
2.00	45	45	27	27	34	28	21	21
4.00	152	150	27	26	37	29	22	21
6.00	213	202	22	45	46	32	21	22
8.00	262	240	22	56	60	36	22	22
10.00	315	275	21	69	76	41	22	22
12.00	365	302	21	82	86	45	23	23
14.00	417	333	123	96	102	48	25	25
16.00	457	369	141	105	114	48	27	27
18.00	495	404	161	118	122	47	28	28
20.00	544	454	185	130	134	46	32	32
22.00	597	506	214	141	152	46	36	36
24.00	630	576	249	155	174	102	41	40
26.00	664	619	282	175	199	110	46	45
28.00	690	644	317	200	225	116	49	51
30.00	718	674	354	227	251	124	50	56
32.00	740	694	375	248	284	134	65	59
34.00	759	717	428	289	321	149	72	64
36.00	773	732	474	326	367	173	78	71
38.00	780	740	508	452	423	202	85	78
40.00	783	748	538	468	486	228	91	84
42.00	797	759	564	476	525	258	97	88
44.00	820	771	587	497	574	289	101	91
46.00	834	783	610	567	606	301	105	95
48.00	851	795	627	605	632	353	108	99
50.00	815	837	644	638	652	388	112	104
52.00	824	818	660	659	672	432	115	110
54.00	822	827	682	678	684	474	120	116
56.00	837	836	694	691	696	515	126	127
58.00	846	843	724	707	707	550	135	141
60.00	859	850	733	705	727	579	147	158

- 비고 1. CHAN 11, 12 : 표면에서 15 mm 지점, CHAN 13, 14 : 표면에서 30 mm 지점
 2. CHAN 15, 16 : 표면에서 45 mm 지점, CHAN 17, 18 : 표면에서 60 mm 지점

Figure 3-41. Change of internal temperature of glulam beam under fire.

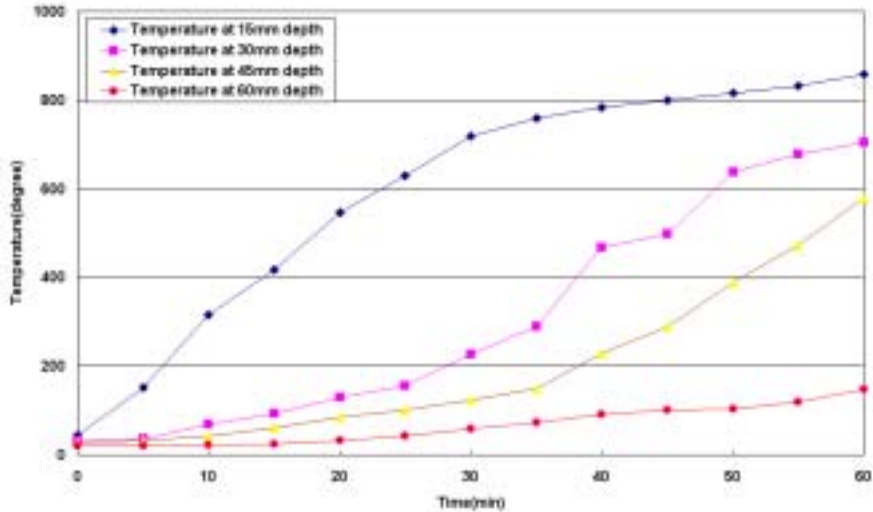


Figure 3-42. Change of internal temperature of glulam beam depending on time under fire.

위의 그림들은 P-170 시험편에 대한 예이지만 다른 시험편들도 내화시험 중에 측정된 값이 그림 3-37, 3-38, 3-39, 3-40, 3-41 및 3-42와 유사한 경향을 나타내었다.

2) 집성재 보의 내화성능 기준 및 시험결과의 비교

집성재보에 대한 1시간 내화성능 합격 기준 및 시험결과의 비교는 표 3-6과 같다. 표 3-6에서 보면 P-170 및 D-170 시험편은 1시간 내화성능 기준을 만족하였으나 L-150, L-130, D-130 및 P-130 시험편들은 1시간 내화성능 기준을 충족시키지 못하였다. L-150 시험편의 경우에는 변형량 항목에서는 기준에 합격하였으나 변형율이 기준값을 초과하였으며 나비가 130mm인 시험편들은 세 가지

수종 모두에서 변형량과 변형율 모두 기준값을 초과하였다. 위의 시험 결과를 보면 나비가 170mm인 시험편은 1시간 내화성능을 충분히 만족시키는 것으로 나타났으며 나비 150mm의 부재는 일부 항목에서 불합격되는 것으로 나타났고 나비 130mm의 부재는 모든 시험 항목에서 불합격인 것으로 나타났다.

Table 3-6 Performance criteria and testing results of fire-resistance for glulam beam

시험체명	변형량 (mm)		변형율 (mm/min)		비 고
	성능기준	측정결과	성능기준	측정결과	
P - 170	136.9	27.3	6.1	2.3	- 변형량 = $\left(\frac{L^2}{400d} \right)$ - 변형율 = $\left(\frac{L^2}{9,000d} \right)$: 시험체 스핀 L: 시험체 압축축에서 d 인장축까지의 거리
L - 150	136.9	85.5	6.1	53.9	
L - 130	91.3	102.4	4.1	77.8	
D - 130	91.3	134.1	4.1	100.5	
P - 130	91.3	79.7	4.1	44.4	
D - 170	91.3	11.3	4.1	1.3	

이 시험에서 적용된 하중의 크기는 부재의 탄화면적을 고려하지 않고 전체 단면적에 대한 허용응력을 기준으로 부재가 최대로 견딜 수 있는 하중의 크기에 안전계수 2를 적용한 값이므로 실제 건축물에서 집성재 보가 받을 수 있는 하중보다 더 큰 최대 하중의 조건에서 시험이 실시된 것으로 볼 수 있다. 시험편의 단면에서 탄화층을 제거하고 남은 면적만을 고려한다면 1시간 동안의 탄화속도를 낙엽송과 미송은 40mm로 볼 수 있고 소나무는 45mm로 볼 수 있으므로 시험편의 나비는 낙엽송과 미송 및 소나무에 대하여 각각 80mm 및 90mm가 감소하게 될 것이다. 시험용 보들은 3면이 노출되는 조건에서 시험했으므로 부재의

높이는 각각 40mm 및 45mm가 감소하게 되므로 각각의 부재에 대한 시험전 단면 치수 및 시험 후 단면 치수 및 단면계수는 표 3-7과 같게 될 것이다.

표 3-7에서 보면 집성재의 내화시험 후에 단면의 치수가 감소함으로써 단면계수도 시험 전의 값에 비하여 26.3%~48% 정도로 감소함을 알 수 있다. 휨모멘트 지지능력은 단면계수에 비례하며 또한 외력과 휨모멘트가 비례하므로 부재가 지지할 수 있는 외력의 크기는 단면계수에 비례한다고 할 수 있다. 그러므로 탄화 후의 탄소층을 제외한 나머지 건전 목재만을 대상으로 집성재 부재의 하중 지지능력을 계산한다면 이 연구에서 시험편에 가한 하중의 크기가 너무 크다고 할 수 있다. 이를 고려하여 이 연구의 결과로부터 1시간의 내화성능 인정 집성재 부재의 조건으로 나비가 150mm 이상 되어야 한다는 결론을 얻을 수 있다. 집성재 부재의 높이에 대한 조건은 특별히 규정할 필요는 없지만 탄화 후에 높이 감소 부분을 고려하여 최소한 250mm 이상이 되어야 할 것으로 생각된다.

Table 3-7 Dimensions of cross section and section moduli of glulam beam specimens before and after fire-resistance tests

Specimen	Dimension before test (mm)	Section modulus before test (mm ³)	Dimension after test (mm)	Section modulus after test (mm ³)
P-170	170 × 400 × 5000	4,533,333	80 × 355 × 5000	1,680,333
L-150	150 × 400 × 5000	4,000,000	70 × 360 × 5000	1,512,000
L-130	130 × 600 × 5000	7,800,000	50 × 560 × 5000	2,613,333
D-130	130 × 600 × 5000	7,800,000	50 × 560 × 5000	2,613,333
P-130	130 × 600 × 5000	7,800,000	40 × 555 × 5000	2,053,500
D-170	170 × 600 × 5000	10,200,000	90 × 560 × 5000	4,704,000

3) 평균탄화속도

이 연구 실시한 내화성능 시험 결과로부터 각 수종별 집성재의 평균탄화속도를 계산한 결과는 표 3-8과 같다. 표 3-8에서 보면 이 연구에 사용된 낙엽송, 소나무 및 미송의 세 가지 수종 중에서 비중이 가장 낮은 소나무의 탄화속도가 가장 빨랐으며 낙엽송과 미송의 탄화속도가 이 보다는 조금 늦음을 알 수 있다. 따라서 이 연구에서는 각 수종별 평균 탄화속도를 소나무와 미송은 동일하게 0.60mm/min 내외 그리고 소나무는 0.65mm/min 정도인 것으로 결론을 내릴 수 있었다.

Table 3-8 Average charring rate for glulam beam

실험체명	가열시험시간(분)	탄화깊이(mm)	탄화속도(mm/min)
P - 170	60	40~45	0.67~0.75
L - 150	60	36~41	0.60~0.68
L - 130	56	33~41	0.59~0.73
D - 130	46	30~34	0.65~0.74
P - 130	27	17~22	0.63~0.81
D - 170	60	37~40	0.62~0.67

4) 집성재 내부온도의 변화

이 연구에서는 집성재 보를 화염에 노출시키면서 시간에 따른 집성재의 내부 온도 변화를 측정하였으며 집성재의 표면으로부터 15, 30, 45 및 60mm 지점에 삽입된 온도 측정 센서를 통하여 시험 중에 측정된 최고온도는 표 3-9와 같다.

Table 3-9 Maximum internal temperature of glulam beam under fire

내부온도 측정위치		내부최고온도(℃)					
		P-170	L-150	L-130	D-130	P-130	D-170
표면에서 15mm 지점 ①	A	859	814	761	688	384	805
	B	850	734	703	685	498	767
표면에서 30 mm지점 ②	A	733	346	276	628	192	683
	B	707	409	338	554	181	657
표면에서 45 mm지점 ③	A	717	157	153	233	149	185
	B	579	177	152	332	143	129
표면에서 60 mm지점 ④	A	147	91	74	108	41	92
	B	159	102	79	133	47	125

시험 중에 각 시험편의 외부 온도는 1000℃ 정도까지 상승하지만 표 3-9에서 보면 각 시험편의 내부 온도는 표면으로부터의 거리가 증가할수록 감소되어 표면에서 60mm 내부의 온도는 외부 온도와 비교할 때에 목재의 강도에 손상을 초래할만한 수준까지 도달하지 않았음을 알 수 있다. 표 3-9에서 나비 130mm의 시험편은 1시간을 견디지 못하고 중간에 파괴되었기 때문에 외부 온도가 충분히 상승되지 못한 결과로 내부 온도도 낮게 나타난 것이다. 나비 170mm의 시험편을 보면 표면으로부터 1시간의 내화시험 이후에 표면으로부터 45mm 깊이의 온도가 소나무는 목재의 탄화 온도인 400℃ 이상을 나타내어 탄화가 진행되었음을 알 수 있다. 그러나 낙엽송 및 미송의 경우에는 1시간의 내화시험 후에도 표면에서 30mm 깊이까지는 탄화 온도 이상에 도달하였으나 45mm 깊이에서는 200℃ 이하의 온도를 나타내어 목재의 강도 손실은 있지만 탄화는 발생하지 않은 것을 알 수 있다.

5) 내화시험 사진

P-170 시험편의 시험 전 및 1시간 내화시험 후의 사진은 그림 3-43과 같다. P-170 이외의 시험편들에 대한 시험 전 및 시험 후의 사진은 그림 3-43과 유사하였다.



A) Before test

b) After test

Figure 3-43. Picture of P-170 glulam beam.

나. 집성재의 열전도율 시험

집성재에 대한 1차 및 2차 열전도율 시험 결과는 각각 표 3-10 및 3-11과 같다.

표 3-10 및 3-11에서 보면 집성재의 열전도율은 목재의 비중에 비례하여 증가함을 알 수 있다. 그러나 앞의 내화시험에서 보면 비중이 낮은 소나무의 탄화속도가 더 빠르게 나타남으로써 비중이 낮은 목재는 비중이 높은 목재보다 내부로 열전도가 늦지만 탄화속도는 더 빠르다는 사실을 알 수 있다.

Table 3-10 Results of the first heat transfer tests for glulam

구 분		수 종	북미산	국산	Sweden산
			Douglas Fir	낙엽송	Red pine
실험체 크기(mm)			298.5×298.5×38.0	301.5×299.0×38.0	297.0×300.0×38.0
23±3 °C, RH 50 %, 기건무게(g)			1,648.3	2,206.6	1,813.4
60 °C 24시간 건조무게(g)			-	-	-
105 °C 24시간 건조무게(g)			1,512.0	2,018.0	1,639.4
체 적(m ³)			0.003386	0.003430	0.003386
열전도율 시험체의 함수율 (%)	기 건		9.0	9.3	10.6
	60 °C 24시간 건조		-	-	-
비 중	기 건		487	643	536
	60 °C 24시간 건조		-	-	-
	105 °C 24시간 건조		448	588	484
열전도율 W/m·K (평균온도)	기 건		0.107(22.2°C)	0.150(22.8°C)	0.103(21.9°C)
	60 °C 24시간 건조		-	-	-
	105 °C 24시간 건조		0.084(21.7°C)	0.120(22.3°C)	0.087(21.8°C)

Table 3-11 Results of the second heat transfer tests for glulam

구 분 \ 수 종		북미산 Douglas Fir	국산 낙엽송	Sweden산 Red pine
실험체 크기(mm)		300.0×300.0×38.0	297.0×300.5×37.7	301.0×297.0×37.9
23±3 °C, RH 50 %, 기건무게(g)		1,811.7	2,155.4	1,652.0
60 °C 24시간 건조무게(g)		1,694.2	2,021.5	1,526.5
105 °C 24시간 건조무게(g)		1,635.4	1,955.8	1,472.5
체 적(m ³)		0.003420	0.003365	0.003388
열전도율 시험체 의 함수율(%)	기 건	10.8	10.2	12.2
	60 °C 24시간 건조	3.4	3.4	3.7
비 중	기 건	529	623	480
	60 °C 24시간 건조	495	601	451
	105 °C 24시간 건조	478	581	435
열전도율 W/m·K (평균온도)	기 건	0.114(22.2°C)	0.145(22.9°C)	0.104(22.2°C)
	60 °C 24시간 건조	0.102(22.0°C)	0.142(22.6°C)	0.091(22.0°C)
	105 °C 24시간 건조	0.091(21.9°C)	0.127(21.7°C)	0.083(21.9°C)

2. 2차년도: 집성재 기둥 및 접합 집성재 보의 내화성능 평가

가. 철물 접합 집성재 보의 재하가열 시험

1) 가열온도곡선 및 내화시험 결과

이 연구에서는 철물 접합 집성재 보에 대하여 시험 규격에 명시된 바와 같이 1시간 동안에 최고온도인 1000℃에 도달하도록 자동으로 온도 조절이 되는 시험로를 사용하여 가열하였으며 래그나사못 접합 집성재 보 시험편에 대한 설정 및 실제 가열온도곡선은 그림 3-44와 같다.

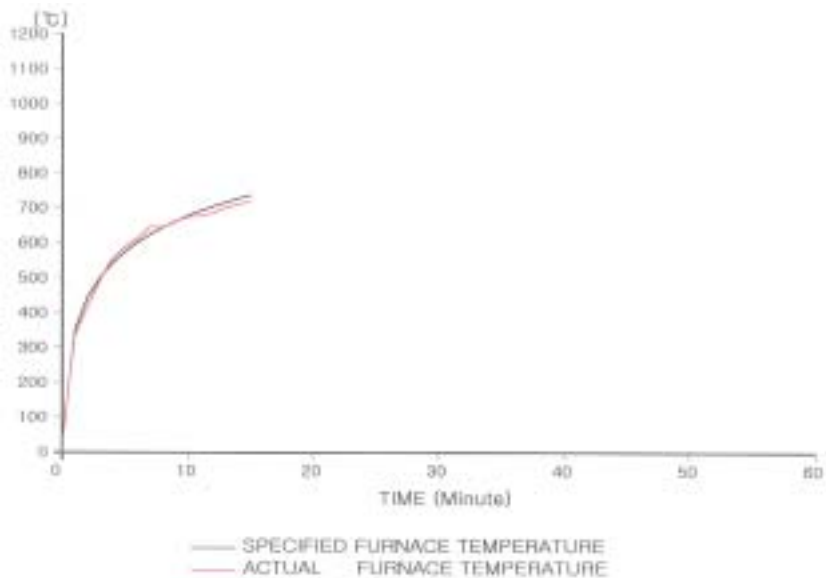


Figure 3-44. Heating temperature curve for fire-resistance test of glulam beam with lag screw joint at center.

그림 3-44의 가열온도곡선 하에서 측정된 시간에 따른 가열온도 및 온도면적 측정 결과는 그림 3-45와 같다. 그림 3-45를 보면 규격에 설정된 가열온도곡선

에서 실제 가열온도곡선이 크게 벗어나지 않도록 온도 조절이 이루어졌으며 시험편이 약 15분 만에 파괴되었음을 알 수 있다. 래그나사못 접합부에서는 외부에 노출된 철물에 내화페인트를 도장하지 않음으로써 철물이 그대로 화염에 노출되어 짧은 시간 내에 파괴된 것으로 생각된다.

FILE 2021.6.29 10.6

TIME	TD-KSF	ACTUAL	AREA UNDER	AREA UNDER	DIFFERENCE-TOLERANCE
	FURNACE	FURNACE	STANDARD	ACTUAL	(% of)
	TEMP.	TEMP.	CURVE	CURVE	
(Min)	(Deg C)	(Deg C)	(Deg C, Min)	(Deg C, Min)	(%)
0	30	31	0	0	0.00
1	349	337	185	184	-0.07
2	444	418	581	567	-1.76
3	522	496	1264	1219	-3.77
4	543	527	1577	1545	-2.00
5	576	590	2136	2119	-0.80
6	603	614	2726	2721	-0.18
7	625	648	3242	3252	0.36
8	645	645	3770	3763	-0.19
9	662	664	4229	4252	0.53
10	679	675	4709	4722	0.44
11	692	678	5184	5199	0.29
12	705	666	5663	5661	-0.03
13	717	702	6134	6175	0.26
14	725	711	6616	6581	-0.43
15	736	719	6949	6796	-0.60

Figure 3-45. Records of heating temperature and area under temperature curve depending on heating time.

그림 3-44의 가열온도곡선 하에서 내화시험을 실시하면서 측정된 집성재 시험편의 변형량의 시간에 따른 변화는 그림 3-46과 같다. 그림 3-46의 측정치를 그래프로 나타내면 그림 3-47과 같다.


```

51.1 2001.4.29          L2/400d : 135.1mm
NO.6                   L2/9000d : 4.0mm
                        L/30 : 185.0mm
DEFLECTION = CH1-(CH2)+(CH3)/2. Rate of DEF. = CH1

```

TIME (mins)	CH1 (mm)	DEFLECTION (mm)	Rate of DEF. (mm/min)
0.00	0.0	0.0	0.0
1.00	0.1	0.1	0.1
2.00	0.1	0.1	0.0
3.00	3.5	3.5	3.4
4.00	8.9	8.9	5.0
5.00	16.5	16.5	8.0
6.00	34.1	34.1	17.6
7.00	42.7	42.7	8.6
8.00	48.6	48.6	5.9
9.00	54.2	54.2	5.6
10.00	60.5	60.5	6.3
11.00	67.1	67.1	6.6
12.00	74.1	74.1	7.0
13.00	95.0	95.0	20.9
14.00	211.0	211.0	116.0
15.00	307.0	307.0	96.0

※ 범 례

$\frac{L^2}{400d}$: 허용변형량, $\frac{L^2}{9,000d}$: 허용 변형율
 CHAN 1 : 변형량, Rate of DEF : 변형율

Figure 3-46. Deflection of glulam beam with lag screw joint at center under fire.

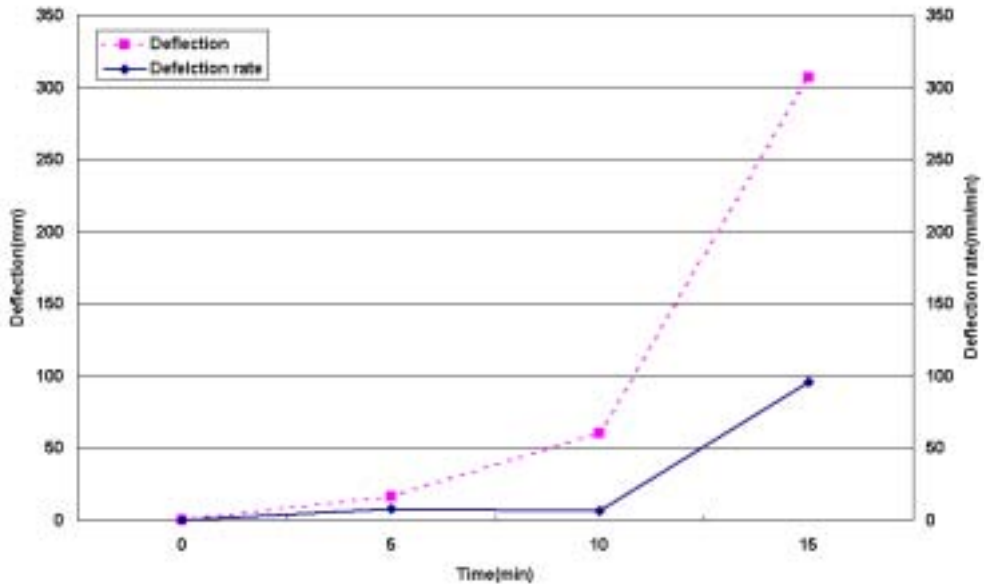


Figure 3-47. Deflection and deflection rate of glulam beam with lag screw joint at center under fire.

그림 3-47에서 보면 화염에 노출된 상태에서 래그나사못 접합 집성재 보의 중앙부 처짐량은 시간이 지남에 따라서 증가하였으며 처짐의 증가속도도 시간이 갈수록 급격하게 증가하는 경향을 나타내었으며 시험 시작 후 15분 만에 파괴되었다. 래그나사못 접합부는 철판 및 래그나사못 머리가 외부에 노출되었으며 외부에 노출된 철물에 대한 별도의 보호대책을 세우지 않았기 때문에 철물이 높은 온도에서 쉽게 열화되어 파괴된 것으로 생각된다.

내화시험 중에 집성재의 내부에 삽입된 온도측정센서를 통하여 측정된 내부 온도의 시간에 따른 변화는 그림 3-48과 같다. 그림 3-48을 그래프로 나타내면 그림 3-49와 같다. 그림 3-48 및 3-49에서 보면 내화시험 중에 집성재의 내부 온도는 깊이 15mm 지점에서 목재가 탄화되기 시작하는 온도인 400℃ 정도에 도달

한 것을 제외하고 그 보다 깊은 곳의 온도는 거의 증가하지 않은 상태임을 알 수 있다. 따라서 시험편의 파괴 당시에 목재 자체는 표면만 조금 탄화된 상태에서 아직 대부분의 단면이 건전한 상태를 유지하고 있었으며 접합부에서 외부에 노출된 철물이 높은 열에 의하여 급격히 약해지면서 쉽게 파괴된 것으로 생각된다.

Table 3001.a.29 NO.4

TIME	CHAN 11	CHAN 12	CHAN 13	CHAN 14
0.00	27	25	25	24
1.00	38	26	25	25
2.00	77	29	25	25
3.00	109	34	24	26
4.00	161	40	24	26
5.00	195	48	28	27
6.00	222	55	31	28
7.00	238	63	34	30
8.00	256	72	37	32
9.00	275	83	43	35
10.00	295	93	52	38
11.00	317	103	61	43
12.00	338	112	70	47
13.00	358	121	77	52
14.00	377	129	84	58
15.00	400	137	98	64

- 비고 1. CHAN 11, 12 : 표면에서 15 mm 지점, CHAN 13, 14 : 표면에서 30 mm 지점
- 2. CHAN 15, 16 : 표면에서 45 mm 지점, CHAN 17, 18 : 표면에서 60 mm 지점

Figure 3-48. Change of internal temperature of glulam beam with lag screw joint at center under fire.

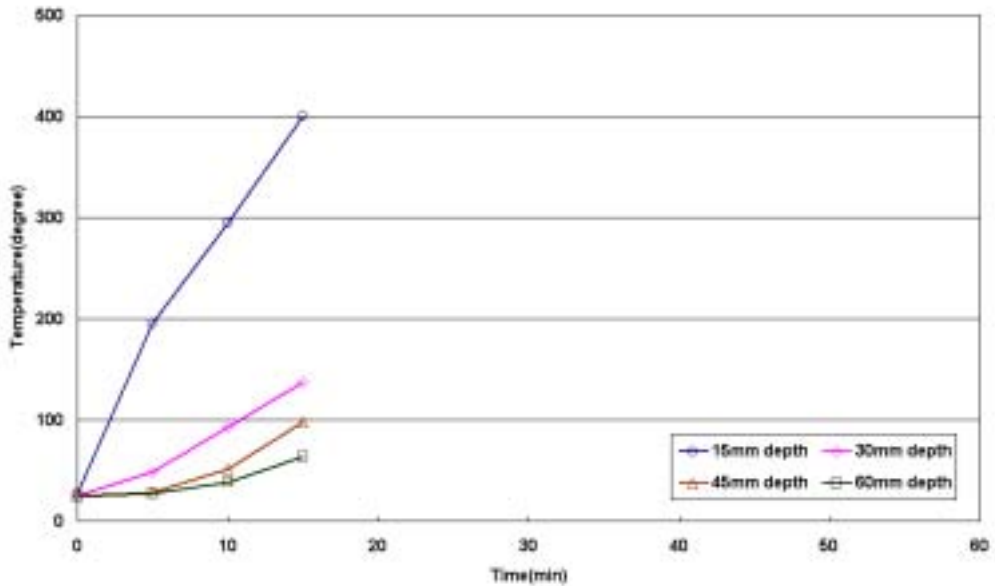


Figure 3-49. Change of internal temperature of glulam beam with lag screw joint at center depending on time under fire.

위의 그림들은 래그나사못 접합 부재에 대한 예이지만 외부에 노출된 철물에 의하여 접합된 볼트 접합 집성재 보 시험편도 내화시험 중에 측정된 값이 그림 3-44, 3-45, 3-46, 3-47, 3-48 및 3-49과 유사한 경향을 나타내었다. 합판-못 접합 집성재 보 시험편은 외부에 철물이 노출된 것은 아니지만 15mm 두께의 얇은 합판에 의하여 접합이 이루어짐으로써 이 합판이 짧은 시간에 탄화되어 쉽게 파괴되었다. 에폭시 수지 주입 철근 접합 집성재보도 철물이 외부에 노출됨으로써 쉽게 열에 의하여 열화되기는 하였지만 예상보다 더 빨리 파괴 된 것은 철근 삽입을 위한 구멍을 뚫고 철근을 삽입한 후 이 구멍의 남은 부분에 에폭시 수지를 채우는 제조 과정에서 약간의 문제가 있어서 불완전한 시험편이 만들어진 때문인 것으로 생각된다.

2) 집성재 보의 내화성능 기준 및 시험결과의 비교

집성재보에 대한 1시간 내화성능 합격 기준 및 시험결과의 비교는 표 3-12와 같다. 표 3-12에서 보면 시험에 사용된 모든 접합 집성재 보들이 기준을 만족하지 못하여 불합격되었으며 모두가 너무 빠른 시간 내에 쉽게 파괴되어 접합부재의 내화성능 향상을 위한 대책의 마련이 필요함을 알 수 있다.

Table 3-12 Performance criteria and testing results of fire-resistance for glulam beam

시험편 번호	실 시험 시간(분)	변형량 (mm)		변형율 (mm/min)		비 고
		성능기준	측정결과	성능기준	측정결과	
No. 4	27	135.1	313.0	6.0	110.9	- 변형량 = $\left(\frac{L^2}{400d}\right)$ - 변형율 = $\left(\frac{L^2}{9,000d}\right)$: 시험체 스펜 L: 시험체 압축축에서 d 인장축까지의 거리
No. 5	5	135.1	60.4	6.0	55.6	
No. 6	15	135.1	307.0	6.0	116.0	
No. 7	28	135.1	234.1	6.0	160.1	

3) 평균탄화속도

이 연구 실시한 내화성능 시험 결과로부터 각 수종별 집성재의 평균탄화속도를 계산한 결과는 표 3-13과 같다. 표 3-13에서 보면 이 연구에서 시험편 제작을 위하여 사용된 낙엽송의 평균탄화속도는 0.33~0.75mm/min의 변이를 나타내

었으나 모든 시험편에서 시험 시간이 너무 짧아서 평균탄화속도를 계산하기에는 문제가 있는 것으로 생각된다.

Table 3-13 Average charring rate for glulam beam with joint at center

시험체명	가열시험시간(분)	탄화깊이(mm)	탄화속도(mm/min)
No. 4	27	13 ~ 17	0.48 ~ 0.63
No. 5	5	-	-
No. 6	15	5 ~ 8	0.33 ~ 0.53
No. 7	28	15 ~ 21	0.54 ~ 0.75

비고 No. 5 시험체는 가열시간이 너무 짧아(5분) 정확한 측정값이 불가하여 탄화속도 계산을 생략하였음.

4) 집성재 내부온도의 변화

이 연구에서는 집성재 보를 화염에 노출시키면서 시간에 따른 집성재의 내부 온도 변화를 측정하였으며 집성재의 표면으로부터 15, 30, 45 및 60mm 지점에 삽입된 온도 측정 센서를 통하여 시험 중에 측정된 최고온도는 표 3-14와 같다.

표 3-14에서 보면 볼트 접합부 부재인 4번 시험편의 경우에 내부 온도가 매우 높은 것으로 나타났는데 이는 온도 센서가 삽입된 위치 부근에 볼트가 위함으로써 볼트를 통하여 높은 열이 전달된 때문인 것으로 생각된다. 합판-못 접합부재인 5번 시험편은 너무 짧은 시간 내에 파괴됨으로써 열이 내부로 전달될 수 있는 시간이 거의 없었기 때문에 내부 온도가 낮게 나타났다. 일반적으로 표 3-14에서 보면 접합부재들의 내부온도 편차가 심한 것으로 나타났는데 철물 접합부위 근처에서 내부 온도를 측정함으로써 철물의 영향을 받는 정도에 따라서 차이

가 나타난 것으로 생각된다.

Table 3-14 Maximum internal temperature of glulam beam with joint at center under fire

내부온도 측정위치	내부최고온도 측정결과 (°C)			
	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7
표면에서 15mm 지점 ①	588	125	400	214
표면에서 30 mm지점 ②	471	54	137	120
표면에서 45 mm지점 ③	236	36	98	88
표면에서 60 mm지점 ④	126	29	64	95

비고 1. No. 7 시험체의 내부온도 측정위치는 하단철판의 상부철판으로 부터의 거리임.
 2. 내부최고온도 측정결과는 시험종료시의 온도임.

5) 내화시험 사진



a) Before test

b) After test

Figure 3-50. Pictures of glulam beam with bolt joint at center.



a) Before test



b) After test

Figure 3-51. Pictures of glulam beam with lag screw joint at center.



a) Before test



b) After test

Figure 3-52. Pictures of glulam beam with nailed plywood gusset joint at center.



a) Before test



b) After test

Figure 3-53. Pictures of glulam beam with glued-in rod joint at center.

나. 집성재의 열전도율 시험

집성재에 대한 열전도율 시험 결과는 표 3-15와 같다. 표 3-15와 표 3-10 및 3-11을 비교해 보면 집성재의 열전도율은 중간에 접착층이 있는 경우와 접착층이 없는 경우의 열전도율이 비슷함을 알 수 있다.

Table 3-15 Results of heat transfer tests for glulam

구 분		수 종		
		낙엽송 1	낙엽송 2	낙엽송 3
시험체 크기(mm)		299.0×299.0×81.2	299.0×298.0×81.2	299.0×299.0×81.2
23±3 °C, 기건무게(g)		4,266.7	4,306.9	4,187.4
60 °C 24시간 건조무게(g)		4,170.9	4,194.5	4,084.8
105 °C 24시간 건조무게(g)		3,936.3	3,966.9	3,842.2
체 적(m ³)		0.007259	0.007235	0.007259
열전도율 시험체의 함수율(%)	기 건	8.4	8.6	9.0
	60 °C 24시간 건조	6.0	5.7	6.3
비 중	기 건	588	595	577
	60 °C 24시간 건조	575	582	568
	105 °C 24시간 건조	542	548	529
열전도율 W/m·K (평균온도)	기 건	0.155(21.4°C)	0.155(21.5°C)	0.155(21.4°C)
	60 °C 24시간 건조	0.140(21.4°C)	0.147(21.4°C)	0.150(21.6°C)
	105 °C 24시간 건조	-	-	-

다. 집성재 기둥의 재하 가열 시험

1) 가열온도곡선 및 내화시험 결과

이 연구에서는 집성재 기둥에 대하여 시험 규격에 명시된 바와 같이 1시간 동안에 최고온도인 1000℃에 도달하도록 자동으로 온도 조절이 되는 시험로를 사용하여 가열하였으며 속이 빈 원형단면 기둥에 대한 가열곡선은 그림 3-54와 같다.

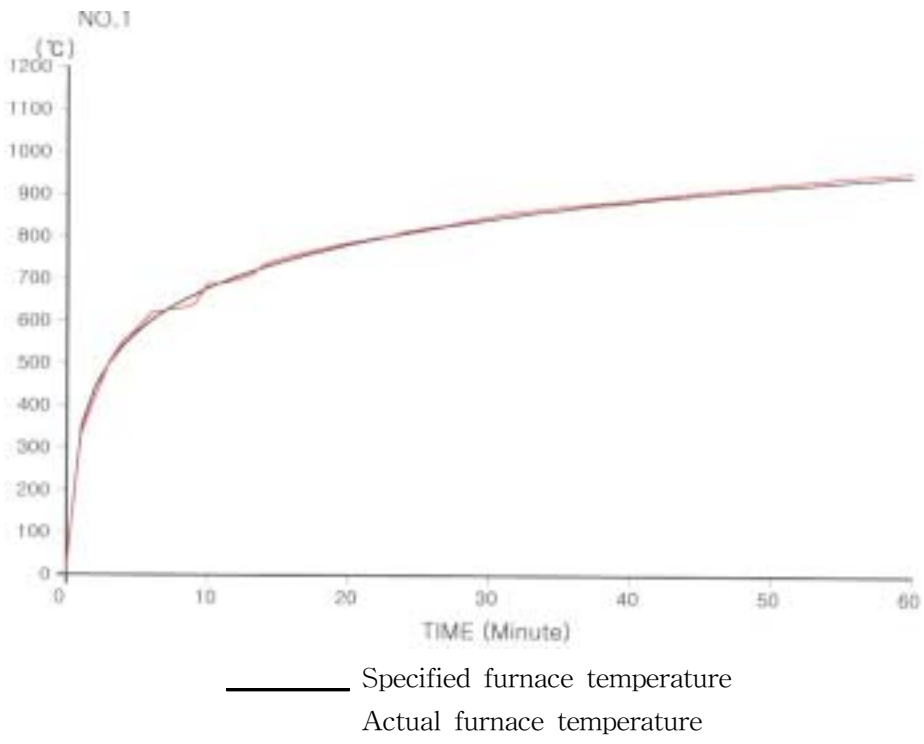


Figure 3-55. Heating temperature curve for fire-resistance test of glulam column with circular cross section and empty interior.

그림 3-54의 가열온도곡선 하에서 측정된 시간에 따른 가열온도 및 온도면적 측정 결과는 그림 3-55와 같다. 그림 3-55를 보면 규격에 설정된 가열온도곡선에서 실제 가열온도곡선이 크게 벗어나지 않도록 온도 조절이 이루어졌음을 알 수 있다.

TIME	SETPOINT	ACTUAL	AREA UNDER	AREA UNDER	DIFFERENCE TO SERVICE
	CURVE	CURVE	STANDARD	ACTUAL	(+ or -)
(Min)	(Deg C)	(Deg C)	(Deg C, Min)	(Deg C, Min)	(%)
0	20	18	0	0	0.00
1	249	224	180	176	-4.61
2	444	420	581	557	-4.87
3	500	505	1054	1014	-3.85
4	543	554	1577	1545	-3.37
5	576	583	2136	2114	-2.16
6	607	620	2726	2715	-1.19
7	635	625	3340	3318	-2.26
8	643	629	3975	3965	-0.95
9	645	640	4628	4599	-2.83
10	679	690	5299	5264	-3.65
11	700	693	6005	5949	-5.57
12	700	705	6736	6712	-2.65
13	740	733	7500	7503	0.31
14	740	771	8286	8289	0.33
15	760	766	9097	9064	-3.34
16	760	768	9930	9891	-3.91
17	760	781	10782	10739	-5.33
18	760	788	11650	11609	-4.11
19	760	813	12531	12479	-5.20
20	760	824	13429	13376	-5.13
21	760	836	14350	14284	-6.60
22	760	845	15288	15218	-7.00
23	760	871	16248	16169	-7.90
24	760	877	17226	17136	-9.00
25	760	899	18221	18114	-10.70
26	760	908	19237	19117	-12.00
27	760	915	20276	20139	-13.70
28	760	925	21336	21187	-14.90
29	760	941	22416	22255	-16.10
30	760	954	23515	23342	-17.30

Figure 3-55. Records of heating temperature and area under temperature curve for glulam column with circular cross section and empty interior depending on time.

그림 3-54의 가열온도곡선 하에서 내화시험을 실시하면서 측정된 집성재 시

헝편의 변형량의 시간에 따른 변화는 그림 3-56과 같다.

그림 3-56에서 보면 화염에 노출된 상태에서 집성재 기둥에서는 변형이 거의 나타나지 않았으며 1시간 가열 후에 1.6mm의 변형이 나타나는데 그쳐서 무시할 수 있는 정도의 변형이라고 할 수 있다. 내화시험 중에 집성재 기둥의 내부온도 변화는 집성재 보의 경우와 같을 것으로 예상되므로 기둥에 대해서는 내부온도의 변화를 측정하지 않았다. 그림 3-54, 3-55 및 3-56의 그림들은 속이 빈 원형 단면 집성재 기둥에 대한 예이지만 사각기둥의 경우에도 이와 유사한 결과를 나타내었다.

FILE 2001.5.15 1/100 : 15.0mm
 NO.1 34/1.000 : 12.5mm

FILE 2001.5.15 1/100 : 15.0mm
 NO.1 34/1.000 : 12.5mm

TIME (mins)	CHAN	Rate of DEF. (mm/min)
0.00	0.0	0.0
1.00	0.0	0.0
2.00	0.0	0.0
3.00	0.0	0.0
4.00	0.1	0.1
5.00	0.1	0.0
6.00	0.0	-0.1
7.00	0.0	0.0
8.00	0.0	0.0
9.00	0.0	0.0
10.00	0.0	0.0
11.00	0.0	0.0
12.00	0.0	0.0
13.00	0.1	0.1
14.00	0.0	0.0
15.00	0.0	0.0
16.00	0.0	0.0
17.00	0.0	0.0
18.00	0.0	0.0
19.00	0.0	0.0
20.00	0.0	0.0
21.00	0.0	0.0
22.00	0.0	0.0
23.00	0.0	0.0
24.00	0.0	0.0
25.00	0.0	0.0
26.00	0.0	0.0
27.00	0.0	0.0
28.00	0.0	0.0
29.00	0.0	0.0
30.00	0.0	0.0

TIME (mins)	CHAN	Rate of DEF. (mm/min)
31.00	0.1	0.1
32.00	0.1	0.1
33.00	0.1	0.1
34.00	0.1	0.1
35.00	0.1	0.1
36.00	0.1	0.1
37.00	0.1	0.1
38.00	0.1	0.1
39.00	0.1	0.1
40.00	0.2	0.2
41.00	0.4	0.4
42.00	0.4	0.4
43.00	0.4	0.2
44.00	0.4	0.0
45.00	0.4	0.0
46.00	0.4	0.0
47.00	0.4	0.0
48.00	0.4	-0.1
49.00	0.0	0.0
50.00	0.0	0.0
51.00	0.0	0.0
52.00	0.0	0.0
53.00	0.0	0.0
54.00	0.0	0.0
55.00	0.0	0.0
56.00	0.0	0.0
57.00	0.0	0.0
58.00	0.0	0.0
59.00	0.0	0.0
60.00	0.0	0.0

※ 범 례

$\frac{L^2}{400d}$: 허용변형량, $\frac{L^2}{9,000d}$: 허용 변형율
 CHAN 1 : 변형량, Rate of DEF : 변형율

Figure 3-56. Deflection of glulam column with circular cross section and empty interior under fire.

2) 집성재 기둥의 내화성능 기준 및 시험결과의 비교

집성재 기둥에 대한 1시간 내화성능 합격 기준 및 시험결과의 비교는 표 3-16과 같다. 표 3-16에서 보면 시험에 사용된 모든 집성재 기둥들이 성능 기준보다 매우 낮은 값을 나타내며 기준에 합격하였음을 알 수 있다.

Table 3-16 Performance criteria and testing results of fire-resistance for glulam column

구 분	시 험 결 과				비 고
	성 능 기 준	측 정 결 과			
		No. 1	No. 2	No. 3	
변 형 량	35.0 mm $(\frac{h}{100})$	1.6 mm	3.9 mm	1.3 mm	: 시험체 <i>h</i> 높이
변 형 율	10.5mm/min $(\frac{3h}{1,000})$	0.5 mm/min	0.7 mm/min	0.5 mm/min	

3) 평균탄화속도

이 연구 실시한 내화성능 시험 결과로부터 각 수종별 집성재 기둥의 평균탄화속도를 계산한 결과는 표 3-17과 같다. 표 3-17에서 보면 집성재 기둥으로 사용된 낙엽송의 탄화속도는 이전 연구의 낙엽송 집성재 보의 탄화속도와 거의 비슷하며 기둥과 보의 탄화속도에는 기본적으로 차이가 없음을 알 수 있다.

Table 3-17 Average charring rate for glulam beam with joint at center

시험체 번호	가열시험시간(분)	탄화깊이(mm)	탄화속도(mm/min)
No. 1	60	38~54	0.63~0.90
No. 2	60	37~53	0.62~0.88
No. 3	60	38~45	0.63~0.75

4) 내화시험 사진



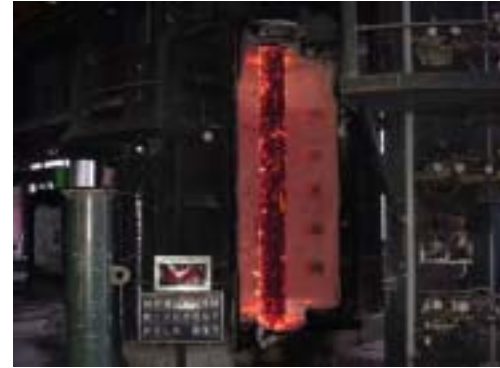
a) Before test

b) After test

Figure 3-57. Picture of glulam column with circular cross section and empty interior.



a) Before test



b) After test

Figure 3-58. Picture of glulam column with square cross section.

3. 3차년도: 철물 접합 집성재 보의 내화성능 향상

가. 철물 접합 집성재 보의 재하가열 시험

1) 가열온도곡선 및 내화시험 결과

가) 라멘 철물 접합 집성재 보

이 연구에서는 내화성능 향상을 위하여 설계된 라멘 철물 접합 집성재 보에 대하여 시험 규격에 명시된 바와 같이 1시간 동안에 최고온도인 1000℃에 도달하도록 자동으로 온도 조절이 되는 시험로를 사용하여 가열하였으며 시험에 적용된 설정 및 실제 가열온도곡선은 그림 3-59와 같다.

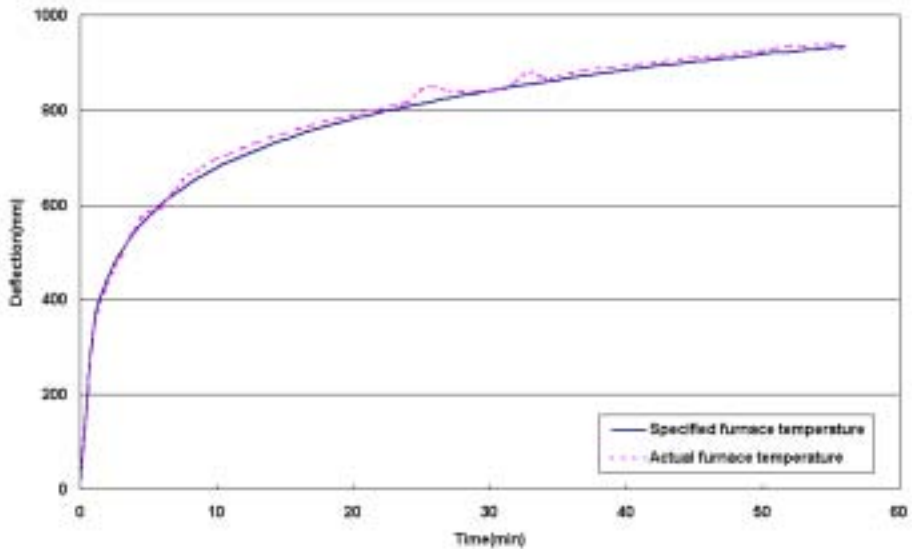


Figure 3-59. Heating temperature curve for fire-resistance test of glulam beam with Rahmen joint at center.

그림 3-59를 보면 규격에 설정된 가열온도곡선에서 실제 가열온도곡선이 크게 벗어나지 않도록 온도 조정이 이루어졌음을 알 수 있다. 라멘 철물 접합 집성재 보는 56분에 파괴되어 1시간 내화성능에는 못 미쳤으며 내화시험 중의 변형 측정 결과는 그림 3-60과 같다.

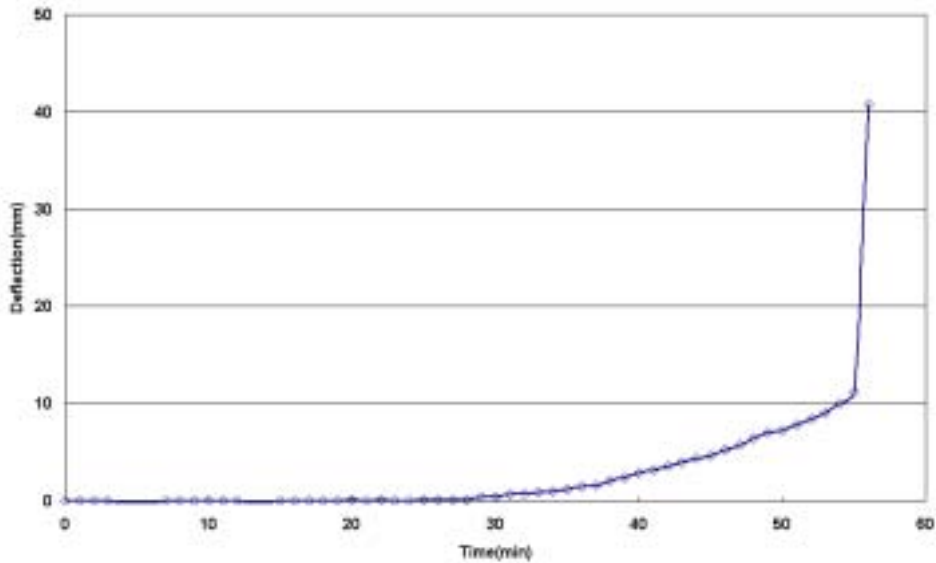


Figure 3-60. Deflection of glulam beam with Rahmen joint at center under fire.

그림 3-60에서 보면 라멘 철물 접합 집성재 보의 처짐이 가열 후 30분경부터 서서히 증가하기 시작하여 56분쯤에 급격하게 증가하면서 시험편이 파괴되었다. 파괴된 시험편을 보면 화재에 노출된 밑면에서 라멘 철물을 고정시키는 이중 볼트(삽입깊이 30mm) 주변의 목재부분이 모두 탄화되고 철물이 화재에 드러난 것

을 볼 수 있었다. 이와 같이 목재 내에 삽입되는 철물의 삽입 깊이가 너무 얇으면 철물이 탄화 층 내에서 존재하게 되고 그로 인하여 탄화된 목재 층이 철물을 잡을 수 있는 능력을 상실함으로 인하여 부재의 저항력이 상실되어 갑작스러운 파괴가 일어나게 된다. 라멘 접합 집성재 보에서 내화시험 중에 측정된 목재 내부 온도의 변화는 그림 3-61과 같다.

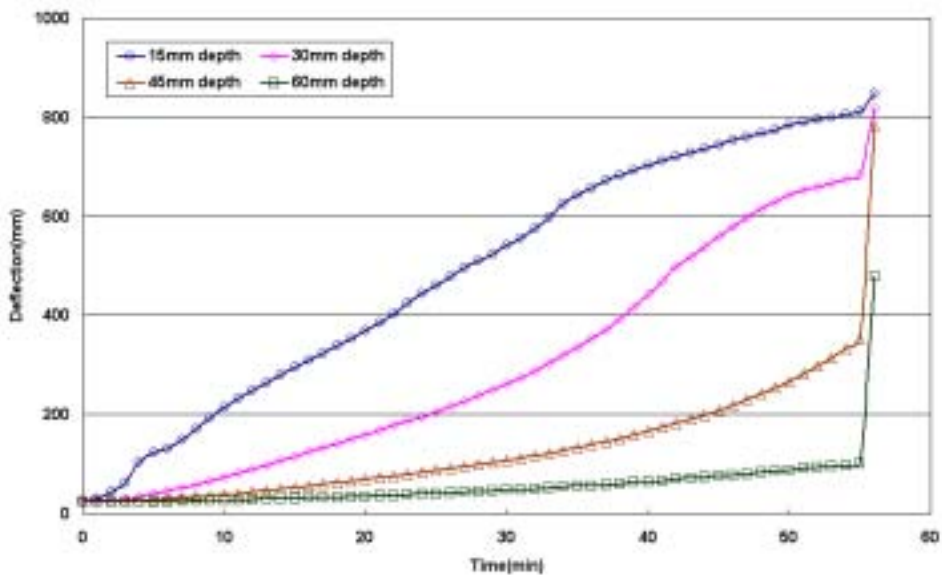


Figure 3-61. Change of internal temperature of glulam beam with Rahmen joint at center under fire.

그림 3-61에서 보면 15mm 깊이는 가열 후 20분경에 탄화온도인 400℃를 넘어섰고 30mm 깊이에서는 가열 후 40분경에 탄화온도에 이미 도달하였음을 알 수 있다. 그러나 45mm 깊이 및 60mm 깊이는 파괴되기 직전까지도 탄화온도에 도

달하지 않아서 어느 정도의 건전한 목재 부분이 존재하였음을 알 수 있다. 라멘 접합부에서 라멘철물의 깊이뿐만 아니라 이를 고정하는 이중볼트나 나사못 등도 목재 내부에 최소한 40mm 이상의 깊이를 확보하여야 1시간 내화성능을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

나) 래그나사못 접합 집성재 보

이 연구에서는 내화성능 향상을 위하여 설계된 외부를 목재덮개로 보호한 래그나사못 접합 집성재 보에 대하여 시험 규격에 명시된 바와 같이 1시간 동안에 최고온도인 1000℃에 도달하도록 자동으로 온도 조절이 되는 시험로를 사용하여 가열하였으며 시험에 적용된 설정 및 실제 가열온도곡선은 그림 3-62와 같다.

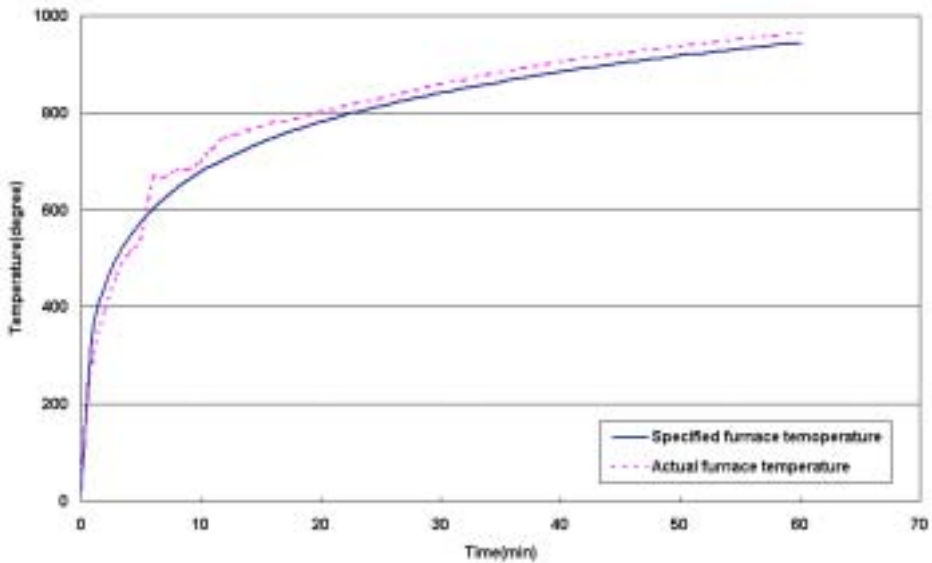


Figure 3-62. Heating temperature curve for fire-resistance test of glulam beam with lag screw joint and wood covering at center.

래그나사못 접합부를 목재덮개로 보호한 접합부재는 1시간 내화성능을 나타내었으며 그림 3-62의 가열곡선 하에서 실시한 내화시험 중에 측정된 부재의 처짐은 그림 3-63과 같다. 그림 3-63에서보면 래그나사못 접합부재의 처짐은 지속적으로 증가하였으며 증가속도도 시간이 지남에 따라서 점차 빨라짐을 알 수 있다. 래그나사못 접합부재의 내화시험 중 내부온도의 변화는 그림 3-64와 같다.

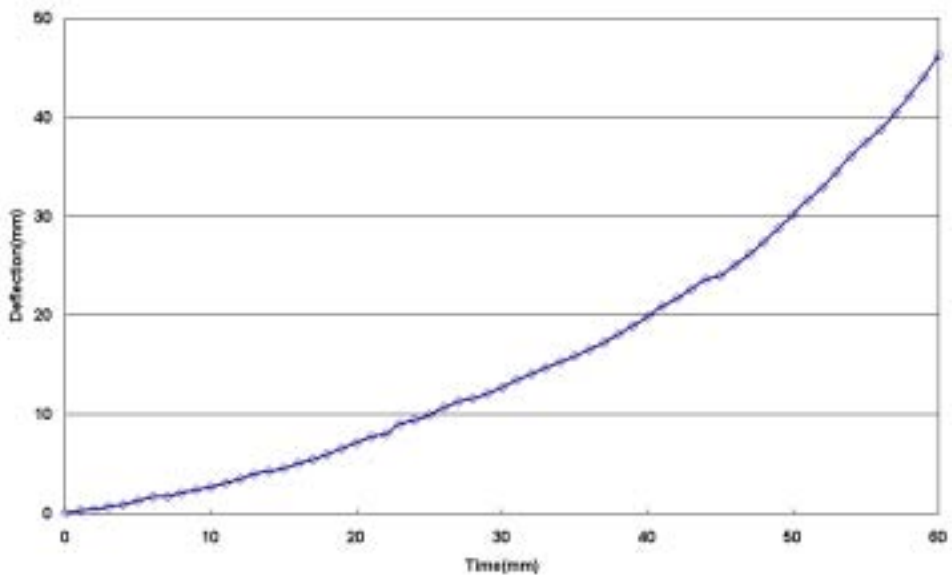


Figure 3-63. Deflection of glulam beam with lag screw joint and wood covering at center under fire.

그림 3-63에서 보면 15mm 및 30mm 깊이에서는 가열 후 20~40분 사이에 탄화온도에 도달하였으나 45mm 및 50mm 깊이에서는 60분 가열 후에도 탄화온도에 도달하지 않음으로써 1시간 가열 후에도 건전목재가 존재하였고 래그나사못

이 아직 탄화되지 않은 목재의 중심 방향으로 설치됨으로써 강한 못뽑기 저항력을 유지할 수 있었던 것으로 생각된다. 래그나사못 접합부에서는 목재덮개의 두께가 조금 얇아도 나사못이 박히는 부분이 중심 방향이기 때문에 건전한 목재에 나사못이 고정되어 오랜 시간 가열 후에도 강한 성능을 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.

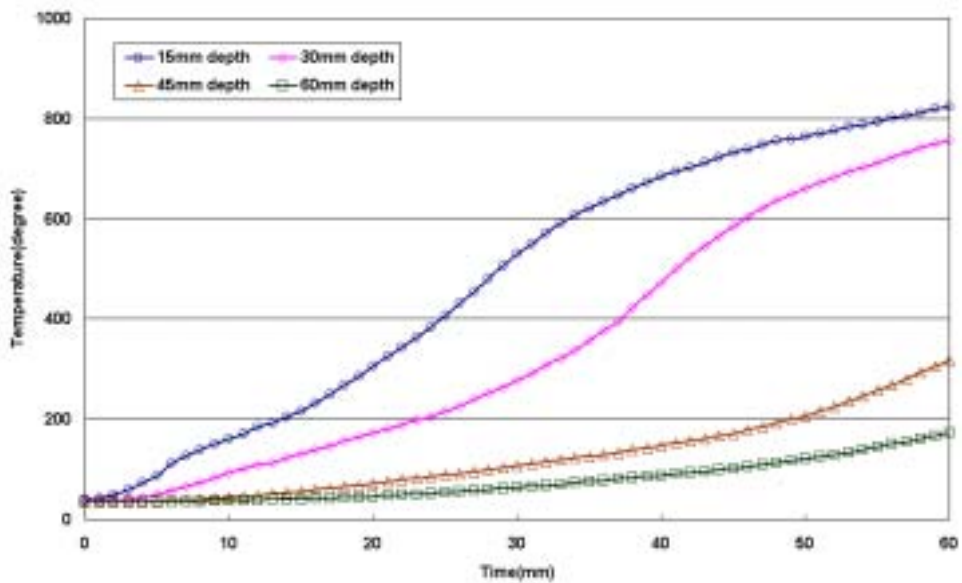


Figure 3-64. Change of internal temperature of glulam beam with lag screw and wood covering at center under fire.

다) 인장볼트 접합 집성재 보

이 연구에서는 내화성능 향상을 위하여 설계된 인장볼트 접합 집성재 보에 대하여 시험 규격에 명시된 바와 같이 1시간 동안에 최고온도인 1000℃에 도달하

도록 자동으로 온도 조절이 되는 시험로를 사용하여 가열하였으며 시험에 적용된 설정 및 실제 가열온도곡선은 그림 3-65와 같다.

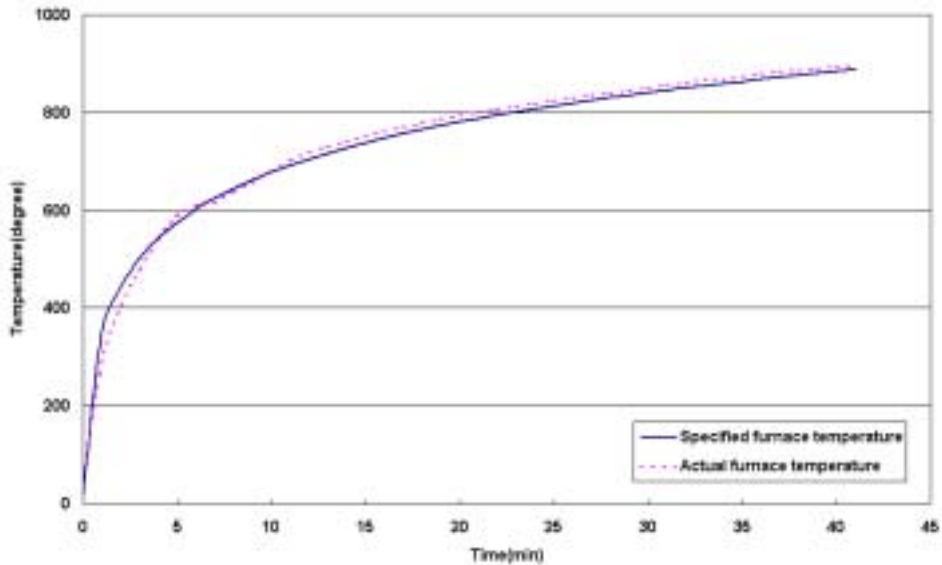


Figure 3-65. Heating temperature curve for fire-resistance test of glulam beam with tension bolt joint at center.

그림 3-65를 보면 규격에 설정된 가열온도곡선에서 실제 가열온도곡선이 크게 벗어나지 않도록 온도 조절이 이루어졌음을 알 수 있다. 인장볼트 접합 집성재 보는 40분에 파괴되어 1시간 내화성능에는 못 미쳤으며 내화시험 중의 변형 측정 결과는 그림 3-66과 같다.

그림 3-66에서 보면 인장볼트 접합 집성재 보의 처짐이 가열 후 20~25분경부터 서서히 증가하기 시작하여 40분쯤에 급격하게 증가하면서 시험편이 파괴되었

다. 파괴된 시험편을 보면 화재에 노출된 밑면에서 복재 내부에 삽입되었던 인장볼트 철물(30mm 깊이에 삽입)이 외부 목재층이 모두 탄화되면서 철물이 화재에 드러난 것을 볼 수 있었다. 이와 같이 목재 내에 삽입되는 철물의 삽입 깊이가 너무 얕으면 철물이 탄화 층 내에서 존재하게 되고 그로 인하여 탄화된 목재층이 철물을 잡을 수 있는 능력을 상실함으로써 인하여 부재의 저항력이 상실되어 갑작스러운 파괴가 일어나게 된다. 인장볼트 접합 집성재 보에서 내화시험 중에 측정된 목재 내부 온도의 변화는 그림 3-67과 같다.

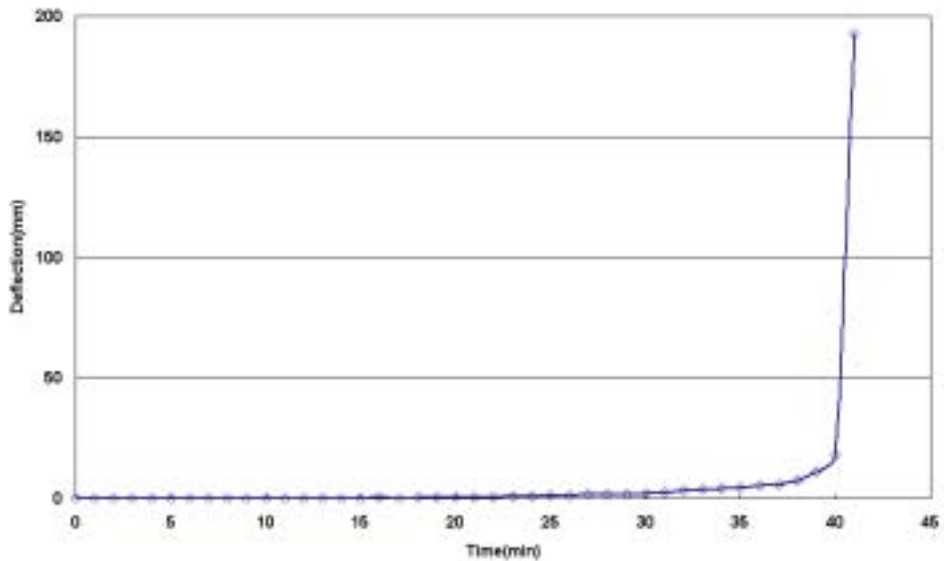


Figure 3-66. Deflection of glulam beam with tension bolt joint at center under fire.

그림 3-67에서 보면 15mm 깊이는 가열 후 20분경에 탄화온도인 400℃를 넘어

섰고 30mm 깊이에서는 가열 후 40분경에 탄화온도에 도달하였음을 알 수 있다. 그러나 45mm 깊이 및 60mm 깊이는 파괴되기 직전까지도 탄화온도에 도달하지 않아서 어느 정도의 건전한 목재 부분이 존재하였음을 알 수 있다. 인장볼트 접합부에서 내부에 삽입되는 철물의 깊이가 최소한 40mm 이상이 확보되어야 1시간 내화성능을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

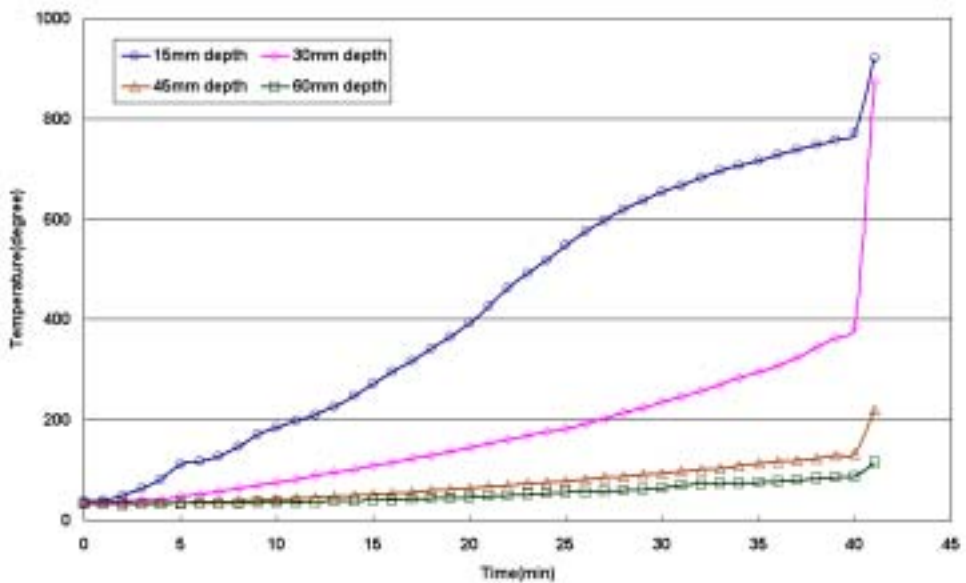


Figure 3-67. Change of internal temperature of glulam beam with tension bolt joint at center under fire.

라) 상하 철판 분리 볼트 접합 집성재 보

이 연구에서는 내화성능 향상을 위하여 설계된 철판 상하 분리 볼트 접합 집성재 보에 대하여 시험 규격에 명시된 바와 같이 1시간 동안에 최고온도인 100

0℃에 도달하도록 자동으로 온도 조절이 되는 시험로를 사용하여 가열하였으며 시험에 적용된 설정 및 실제 가열온도곡선은 그림 3-68과 같다.

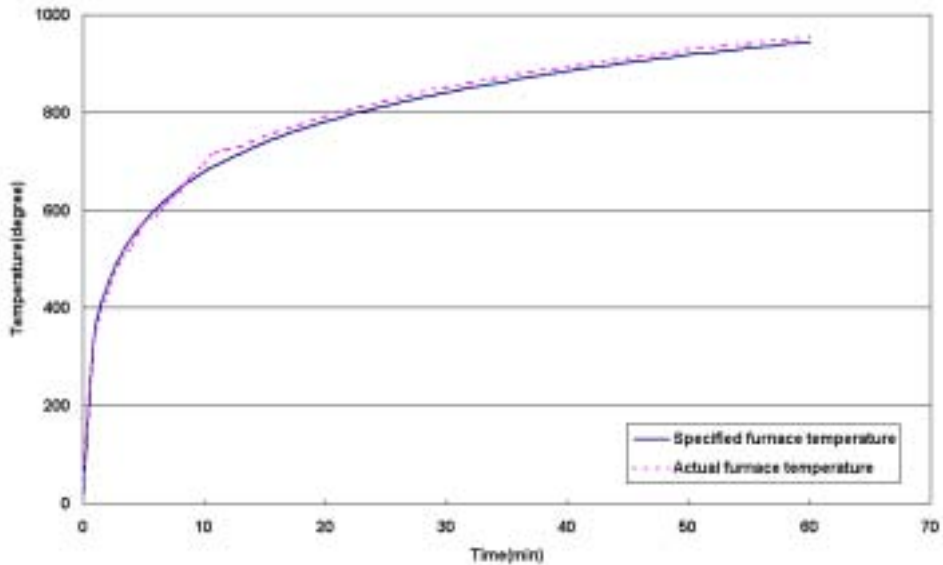


Figure 3-68. Heating temperature curve for fire-resistance test of glulam beam with separated steel plate and bolt joint at center.

그림 3-68을 보면 규격에 설정된 가열온도곡선에서 실제 가열온도곡선이 크게 벗어나지 않도록 온도 조절이 이루어졌음을 알 수 있다. 철판 상하 분리 볼트 접합 집성재보는 53분에 파괴되어 1시간 내화성능에는 못 미쳤으며 내화시험 중의 변형 측정 결과는 그림 3-69와 같다.

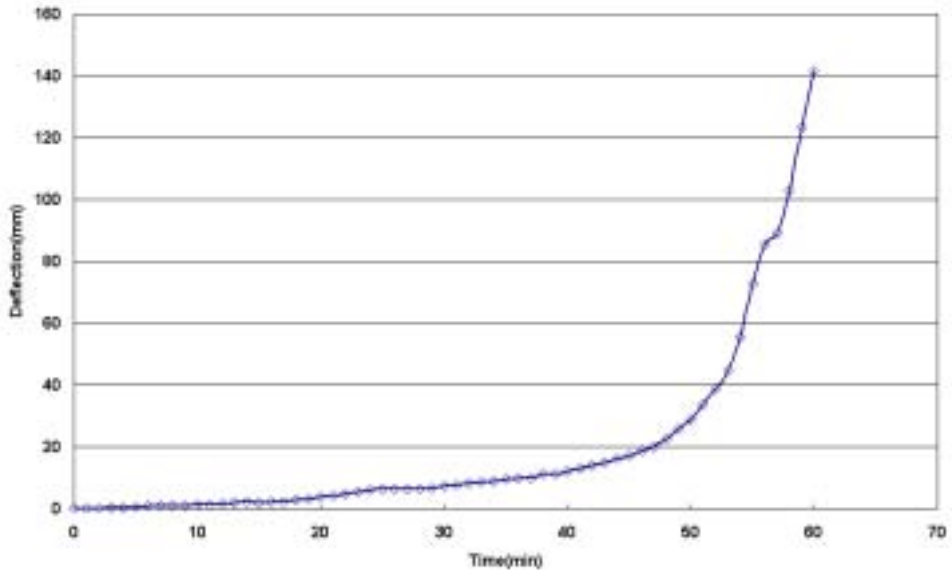


Figure 3-69. Deflection of glulam beam with separated steel plate and bolt joint at center under fire.

그림 3-69에서 보면 인장볼트 접합 집성재 보의 처짐이 가열 후 20경부터 서서히 증가하기 시작하여 40~50분쯤에 급격하게 증가하면서 시험편이 파괴되었다. 파괴된 시험편을 보면 화재에 노출된 밑면에서 복재 내부에 삽입되었던 볼트(30mm 깊이에 삽입)가 외부 목재층이 모두 탄화되면서 철물이 화재에 드러난 것을 볼 수 있었다. 이와 같이 목재 내에 삽입되는 철물의 삽입 깊이가 너무 얕으면 철물이 탄화 층 내에서 존재하게 되고 그로 인하여 탄화된 목재 층이 철물을 잡을 수 있는 능력을 상실함으로써 인하여 부재의 저항력이 상실되어 갑작스러운 파괴가 일어나게 된다. 볼트 접합 집성재 보에서 내화시험 중에 측정된 목재 내부 온도의 변화는 그림 3-70과 같다.

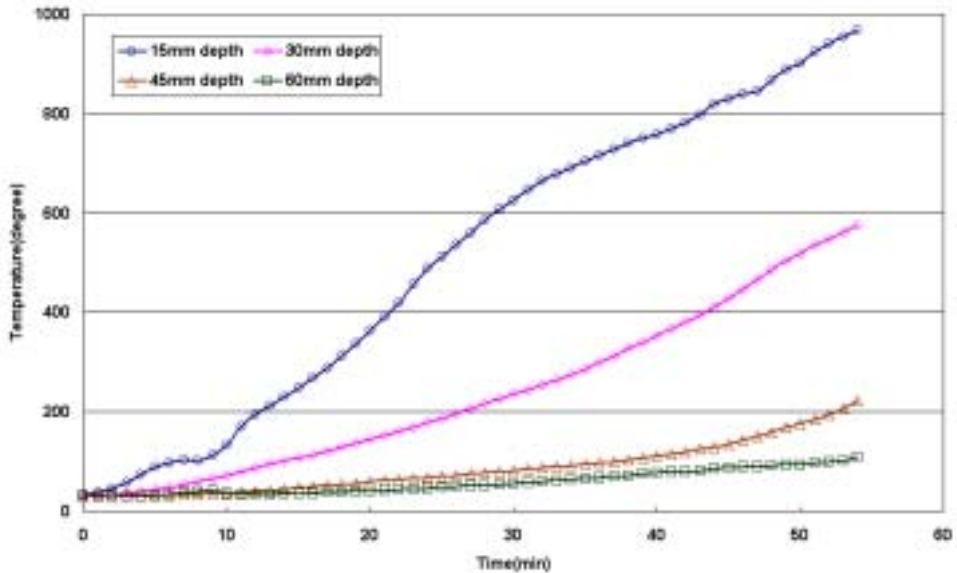


Figure 3-70. Change of internal temperature of glulam beam with separated steel plate and bolt joint at center under fire.

그림 3-70에서 보면 15mm 깊이는 가열 후 20분경에 탄화온도인 400°C를 넘어섰고 30mm 깊이에서는 가열 후 42~43분경에 탄화온도에 도달하였음을 알 수 있다. 그러나 45mm 깊이 및 60mm 깊이는 파괴되기 직전까지도 탄화온도에 도달하지 않아서 어느 정도의 건전한 목재 부분이 존재하였음을 알 수 있다. 철판 상하 분리 볼트 접합부에서 내부에 삽입되는 철물의 깊이가 최소한 40mm 이상이 확보되어야 1시간 내화성능을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

마) 철판 상하 분리 볼트 접합 집성재보의 내화성능 향상

철판 상하 분리 볼트 접합 집성재 보의 내화성능이 1시간에 못 미쳤기 때문에 이 부재의 내화성능을 향상시키기 위하여 외부에 노출되는 철물에 대한 내화페

인트 도장 두께를 1.2mm로 증가시키고 내부에 삽입되는 철물의 삽입 깊이를 40mm 이상으로 증가시키기 위하여 이미 제조된 집성재에 두께 38mm 및 길이 197mm에 집성재의 나비와 같은 제재목을 접합부 바로 아래 면에 접착제와 못을 사용하여 덧댄 후 내화성능 시험을 실시하였다.

내화성능 향상을 위하여 설계된 외부를 목재덮개로 보호한 철판 상하 분리 볼트 접합 집성재 보에 대하여 시험 규격에 명시된 바와 같이 1시간 동안에 최고 온도인 1000℃에 도달하도록 자동으로 온도 조절이 되는 시험로를 사용하여 가열하였으며 시험에 적용된 설정 및 실제 가열온도곡선은 그림 3-71과 같다.

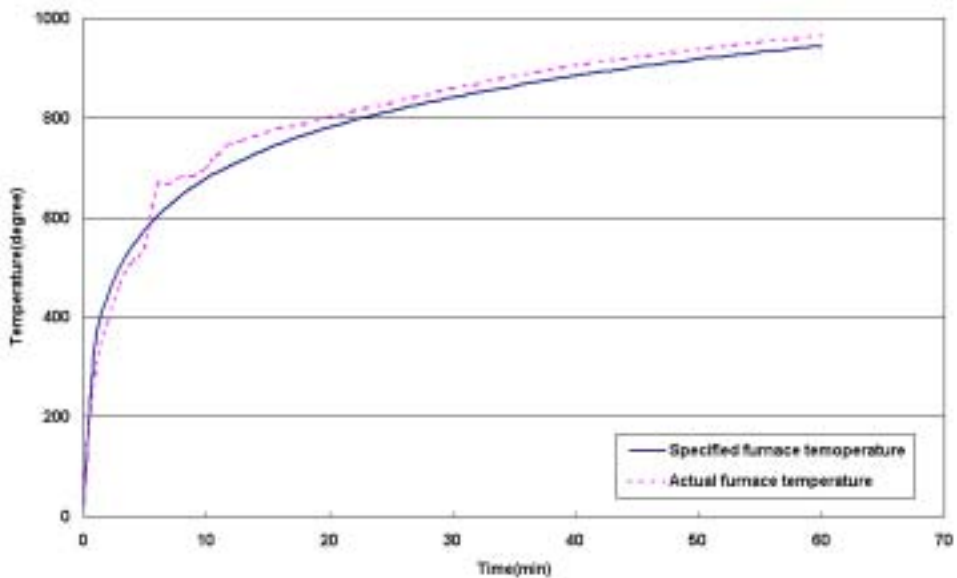


Figure 3-71. Heating temperature curve for fire-resistance test of glulam beam with separated steel plate and bolt joint covered by wood at center.

볼트 접합부를 목재덮개로 보호한 접합부재는 1시간 내화성능을 나타내었으며 그림 3-71의 가열곡선 하에서 실시한 내화시험 중에 측정된 부재의 처짐은 그림 3-72와 같다.

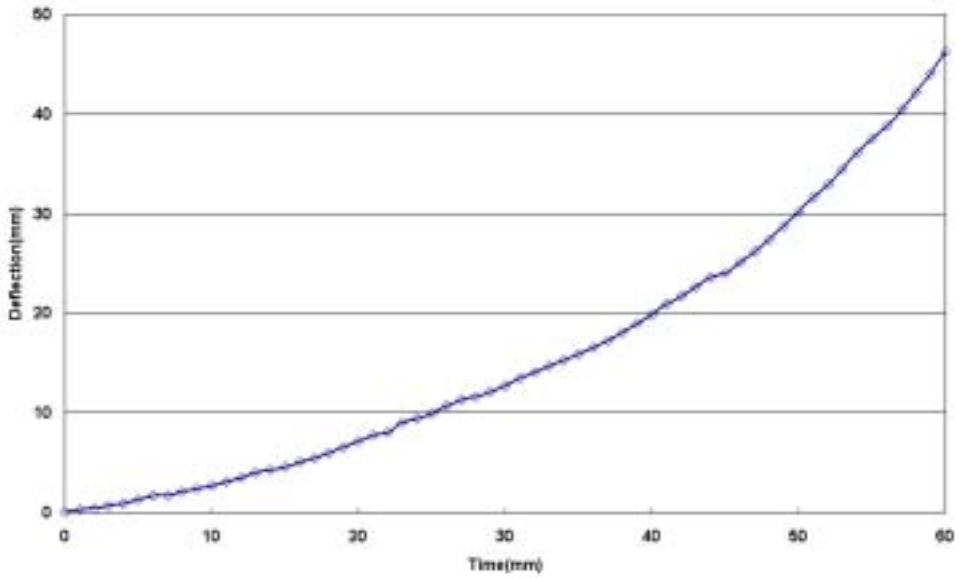


Figure 3-72. Deflection of glulam beam with separated steel plate and bolt joint covered by wood at center under fire.

그림 3-72에서보면 볼트 접합부재의 처짐은 지속적으로 증가하였으며 증가속도도 시간이 지남에 따라서 점차 빨라짐을 알 수 있다. 볼트 접합부재의 내화시험 중 내부온도의 변화는 그림 3-73과 같다.

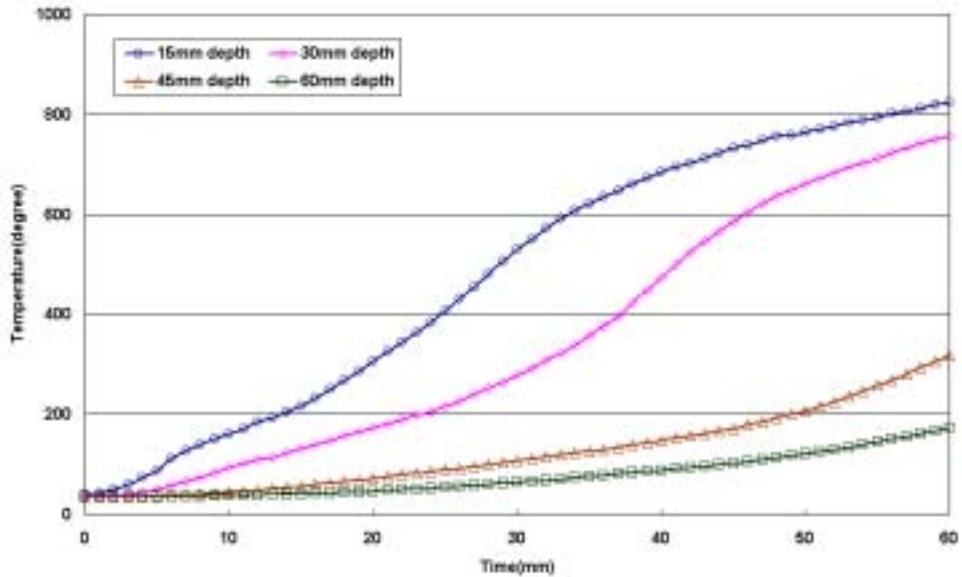


Figure 3-73. Change of internal temperature of glulam beam with separated steel plate and bolt joint covered by wood at center under fire.

그림 3-73에서 보면 15mm 및 30mm 깊이에서는 가열 후 30~45분 사이에 탄화온도에 도달하였으나 45mm 및 50mm 깊이에서는 60분 가열 후에도 탄화온도에 도달하지 않음으로써 1시간 가열 후에도 건전목재가 존재하였고 볼트가 아직 탄화되지 않은 목재 부분에 설치됨으로써 강한 저항력을 유지할 수 있었던 것으로 생각된다.

바) 강판 볼트 접합 집성재보

이 연구에서는 내화성능 향상을 위하여 설계된 강판 볼트 접합 집성재 보에 대하여 시험 규격에 명시된 바와 같이 1시간 동안에 최고온도인 1000℃에 도달하도록 자동으로 온도 조절이 되는 시험로를 사용하여 가열하였으며 시험에 적용된 설정 및 실제 가열온도곡선은 그림 3-74와 같다.

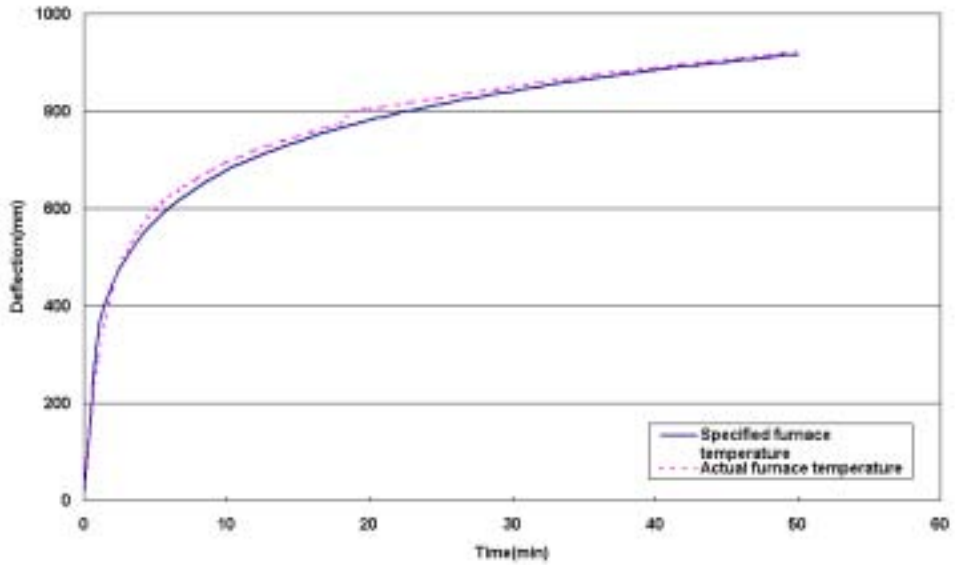


Figure 3-74. Heating temperature curve for fire-resistance test of glulam beam with bolted steel gusset plate joint at center.

그림 3-74를 보면 규격에 설정된 가열온도곡선에서 실제 가열온도곡선이 크게 벗어나지 않도록 온도 조정이 이루어졌음을 알 수 있다. 강관 볼트 접합 집성재보는 50분에 파괴되어 1시간 내화성능에는 못 미쳤으며 내화시험 중의 변형 측정 결과는 그림 3-75와 같다.

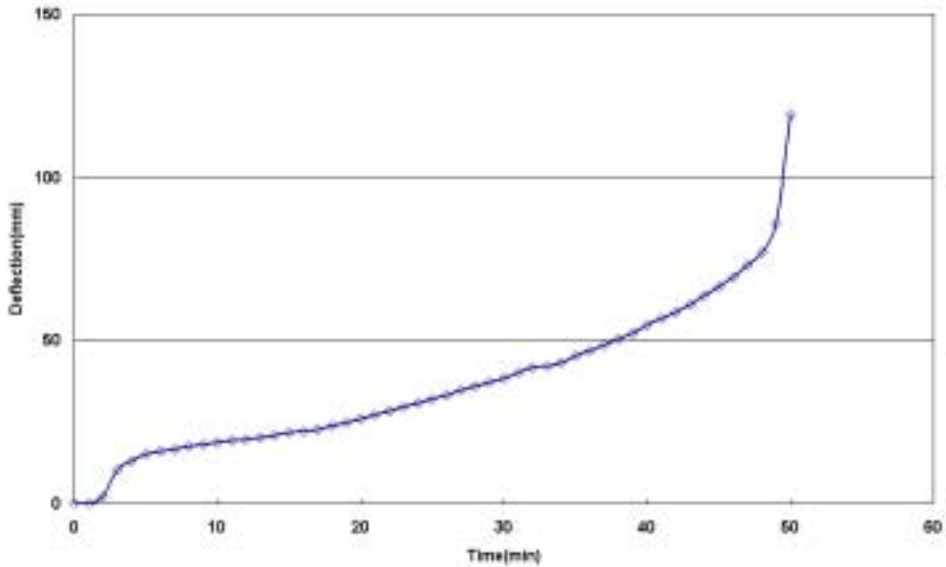


Figure 3-75. Deflection of glulam beam with bolted steel gusset plate joint at center under fire.

그림 3-75에서 보면 인장볼트 접합 집성재 보의 처짐이 가열 후 5분부터 서서히 증가하기 시작하여 40~50분쯤에 급격하게 증가하면서 시험편이 파괴되었다. 파괴된 시험편을 보면 화재에 노출된 밑면에서 복재 내부에 삽입되었던 볼트 (40mm 깊이에 삽입)가 화재에 드러나지는 않았으며 외부에 덧댄 철판이 고온에 노출되어 열화되면서 전체적인 저항력이 감소된 것으로 생각된다. 볼트 접합 집성재 보에서 내화시험 중에 측정된 목재 내부 온도의 변화는 그림 3-76과 같다.

그림 3-76에서 보면 15mm 깊이는 가열 후 25분경에 탄화온도인 400℃를 넘어섰고 30mm 깊이에서는 가열 후 47~48분경에 탄화온도에 도달하였음을 알 수 있다. 그러나 45mm 깊이 및 60mm 깊이는 파괴되기 직전까지도 탄화온도에 도

달하지 않아서 어느 정도의 건전한 목재 부분이 존재하였음을 알 수 있다. 강판 볼트 접합부에서 내부에 삽입되는 철물의 깊이가 최소한 40mm 이상이 확보되어야 1시간 내화성능을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

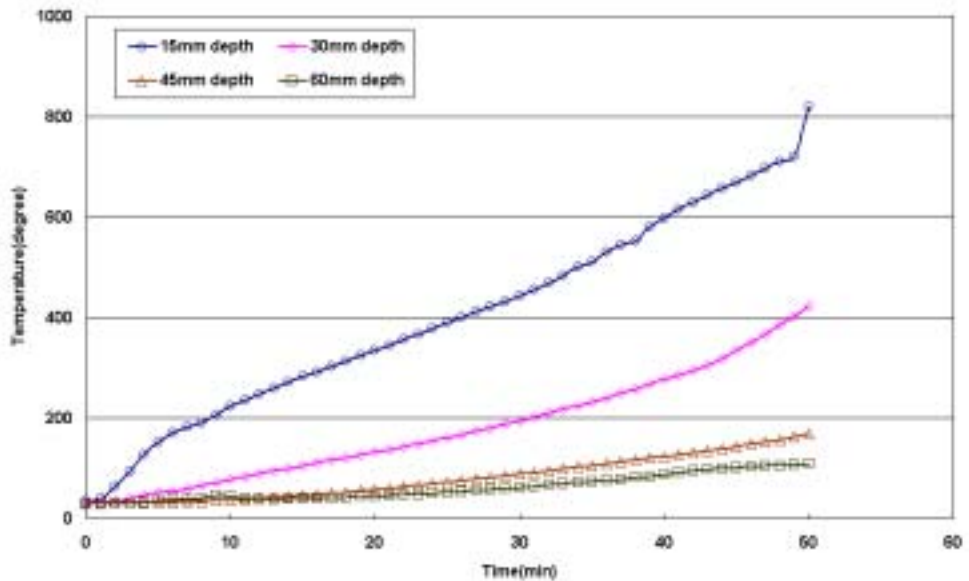


Figure 3-76. Change of internal temperature of glulam beam with bolted steel gusset plate joint at center under fire.

사) 강판 볼트 접합 집성재 보의 내화성능 향상

강판 볼트 볼트 접합 집성재 보의 내화성능이 1시간에 못 미쳤기 때문에 이 부재의 내화성능을 향상시키기 위하여 외부에 노출되는 철물에 대한 내화페인트 도장 두께를 1.2mm로 증가시킨 부재에 대하여 내화성능 시험을 실시하였다.

내화성능 향상을 위하여 철판에 내화페인트를 두껍게 도장한 강판 볼트 접합

집성재 보에 대하여 시험 규격에 명시된 바와 같이 1시간 동안에 최고온도인 1000℃에 도달하도록 자동으로 온도 조절이 되는 시험로를 사용하여 가열하였으며 시험에 적용된 설정 및 실제 가열온도곡선은 그림 3-77과 같다.

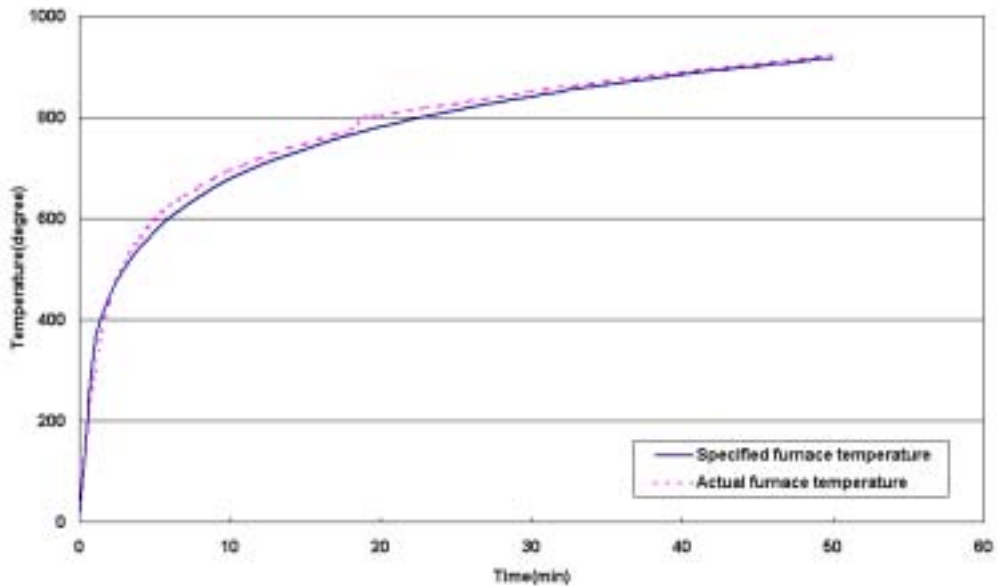


Figure 3-77. Heating temperature curve for fire-resistance test of glulam beam with bolted steel gusset plate joint at center.

내화페인트를 두껍게 도장한 강관 볼트 접합부재는 1시간 내화성능을 나타내었으며 그림 3-77의 가열곡선 하에서 실시한 내화시험 중에 측정된 부재의 처짐은 그림 3-78과 같다.

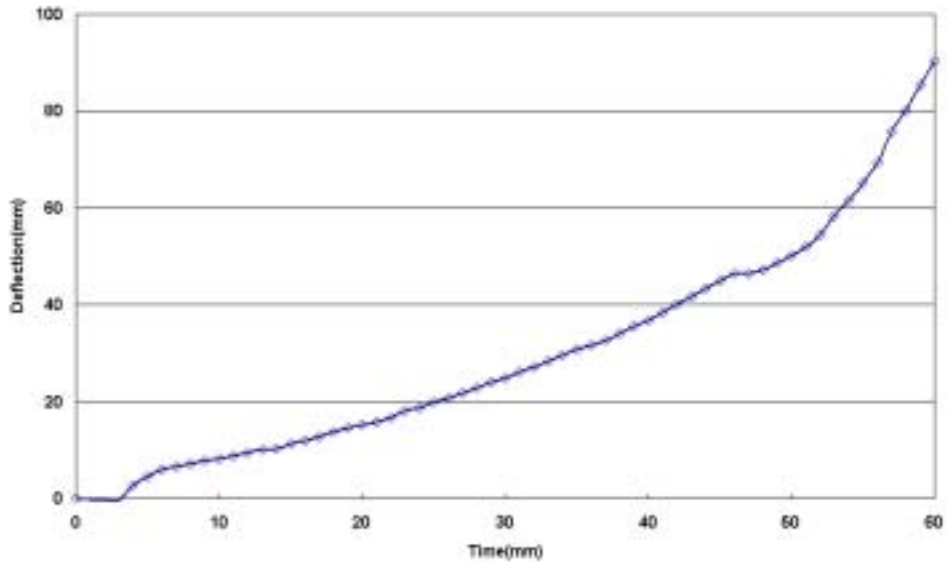


Figure 3-78. Deflection of glulam beam with bolted steel gusset plate joint at center under fire.

그림 3-78에서보면 강판 볼트 접합부재의 처짐은 지속적으로 증가하였으며 증가속도도 시간이 지남에 따라서 점차 빨라짐을 알 수 있다. 강판 볼트 접합부재의 내화시험 중 내부온도의 변화는 그림 3-79와 같다.

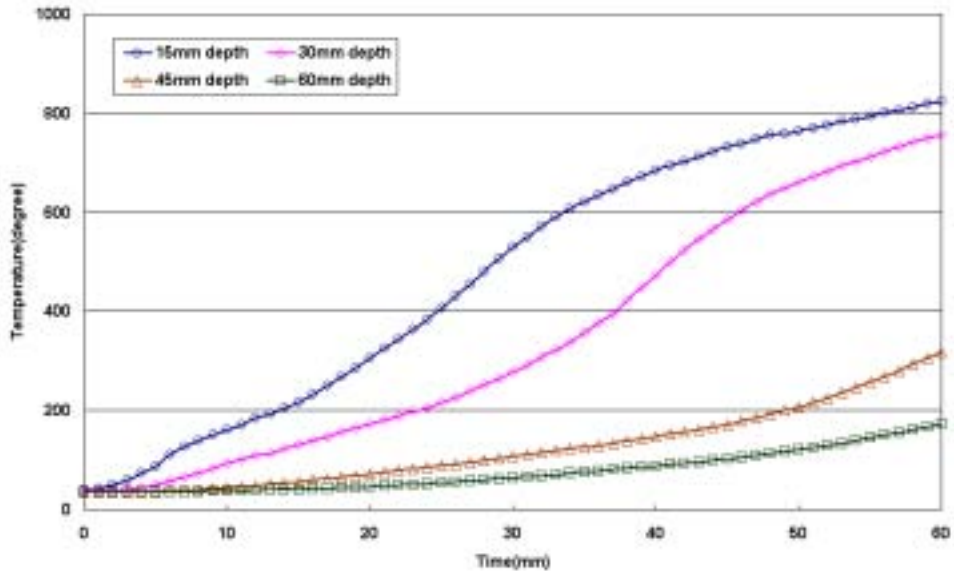


Figure 3-79. Change of internal temperature of glulam beam with bolted steel gusset plate joint at center under fire.

그림 3-79에서 보면 15mm 및 30mm 깊이에서는 가열 후 25~40분 사이에 탄화온도에 도달하였으나 45mm 및 50mm 깊이에서는 60분 가열 후에도 탄화온도에 도달하지 않음으로써 1시간 가열 후에도 건전목재가 존재하였고 볼트가 아직 탄화되지 않은 목재 부분에 설치됨으로써 강한 저항력을 유지할 수 있었던 것으로 생각된다.

2) 집성재 보의 내화성능 기준 및 시험결과의 비교

집성재보에 대한 1시간 내화성능 합격 기준 및 시험결과의 비교는 표 3-18과 같다.

Table 3-18 Performance criteria and testing results of fire-resistance for glulam beam with joint at center

시험체 번호	실 시험 시간(분)	변형량 (mm)		변형율 (mm/min)		내화 성능 (분)	비 고
		성능기준	측정결과	성능기준	측정결과		
No. 1	56	136.9	40.8	6.1	29.6	56	- 변형량 = $L^2/400d$ - 변형율 = $L^2/9,000d$ L : 시험체 스펠 d : 시험체 압축축 에서 인장축 까지의 거리
No. 2	60	136.9	141.7	6.1	20.5	60	
No. 3	60	136.9	46.2	6.1	2.2	60	
No. 4	41	136.9	192.6	6.1	174.5	40	
No. 5	53	136.9	147.6	6.1	17.4	53	
No. 6	60	136.9	146.3	6.1	19.9	60	
No. 7	50	136.9	119.3	6.1	33.6	50	
No. 8	60	136.9	90.3	6.1	6.4	60	

- 비고 1. No. 1(R-1) : 56분 경과시 시험체 붕괴로 인하여 최대 변형량 및 변형율 측정이 불가하였음.
 2. No. 4(TB-1) : 41분 경과시 시험체 붕괴로 인하여 시험을 중단하였음.
 3. No. 5(SP-1), No. 7(GP-1) : 시험체 붕괴될 우려로 판단하여 각각 53분 경과 및 50분 경과 시 시험을 중단하였음.
 4. 변형량 및 변형율 측정결과는 시험 종료 시까지의 최대 변형량 및 최대 변형율임.

표 3-18에서 보면 시험에 사용된 접합 집성재 보들이 2년차의 연구 결과에 비하여 매우 향상된 내화성능을 나타내었으나 그 중에 일부는 기준에 조금 못 미치는 결과를 나타내었다. 기준을 만족하지 못하여 불합격된 시험편들은 대부분이 내부에 삽입된 철물의 삽입 깊이가 40mm보다 작았기 때문에 가열 후 40~50분 정도 후에 철물 주변의 목재가 탄화됨으로써 철물의 강도가 약화되고 주변의

탄화된 목재층이 철물을 잡아둘 수 있는 강도가 부족하여 갑작스럽게 파괴되는 경향을 나타내었다. 1시간의 내화성능을 만족시키지 못하는 철판 상하 분리 볼트 접합부재(표 3-18의 시험편 번호 5번) 및 강판 볼트 접합부재(표 3-18의 시험편 번호 7번)에 대하여 외부 노출 철물의 내화페인트 도장 두께 증가 및 내부 삽입 철물의 삽입 깊이 증가 등을 통하여 내화성능 향상을 기한 부재들(표 3-18의 시험편 번호 6번 및 8번)은 1시간 내화성능 기준을 만족하였다.

3) 평균탄화속도

이 연구 실시한 내화성능 시험 결과로부터 집성재의 평균탄화속도를 계산한 결과는 표 3-19와 같다. 표 3-19에서 보면 이 연구에서 시험편 제작을 위하여 사용된 낙엽송의 평균탄화속도는 0.55~0.71mm/min의 변이를 나타내었으며 이전의 시험결과와 거의 유사하였다.

Table 3-19 Average charring rate for glulam beam with joint at center

시험체번호	가열시험시간(분)	탄화깊이(mm)	탄화속도(mm/min)
No. 1	56	36 ~ 40	0.64 ~ 0.71
No. 2	60	37 ~ 40	0.62 ~ 0.67
No. 3	60	38 ~ 39	0.63 ~ 0.65
No. 4	41	25 ~ 30	0.61 ~ 0.73
No. 5	53	33 ~ 35	0.62 ~ 0.66
No. 6	60	35 ~ 38	0.58 ~ 0.63
No. 7	50	28 ~ 31	0.56 ~ 0.62
No. 8	60	33 ~ 36	0.55 ~ 0.60

4) 집성재 내부온도의 변화

이 연구에서는 집성재 보를 화염에 노출시키면서 시간에 따른 집성재의 내부 온도 변화를 측정하였으며 집성재의 표면으로부터 15, 30, 45 및 60mm 지점에 삽입된 온도 측정 센서를 통하여 시험 중에 측정된 최고온도는 표 3-20과 같다.

Table 3-20 Maximum internal temperature of glulam beam with joint at center under fire

내부온도 측정위치	내부최고온도 측정결과 (°C)							
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
표면에서 15mm 지점 ①	848	986	824	921	885	931	820	928
표면에서 30 mm지점 ②	817	672	757	874	579	774	425	938
표면에서 45 mm지점 ③	784	223	318	220	252	269	168	179
표면에서 60 mm지점 ④	478	110	173	114	196	238	110	252

비고 1. 내부최고온도 측정결과는 시험 종료 시까지의 최고온도임.
 2. No.2의 ③, ④ 내부최고온도 측정결과는 54분 경과 시의 결과임.

표 3-20에서 보면 라멘 철물 접합부재인 1번 시험편의 경우에 내부 온도가 매우 높은 것으로 나타났는데 이는 부재가 벌어지면서 온도 센서가 화염과 가까운 위치에 노출되었기 때문으로 생각된다. 1번 시험편을 제외한 나머지 시험편들에서는 45mm 및 60mm 깊이의 온도는 시험이 끝날 때까지 목재의 탄화온도인 400°C에는 도달하지 않아서 가열 후 1시간 후에도 강도는 일부 감소하였지만 건전한 목재 부분으로 남아있음을 알 수 있다.

5) 내화시험 사진



a) Before test



b) After test

Figure 3-80. Picture of glulam beam with Rahmen connector joint at center.



a) Before test



b) After test

Figure 3-81. Picture of glulam beam with lag screw joint and wood covering at center.



a) Before test



b) After test

Figure 3-82. Picture of glulam beam with tension bolt joint at center.



a) Before test



b) After test

Figure 3-83. Picture of glulam beam with separated steel plate and bolt joint at center.



a) Before test



b) After test

Figure 3-84. Picture of glulam beam with separated steel plate and bolt joint covered by wood at center.



a) Before test



b) After test

Figure 3-85. Picture of glulam beam with bolted steel gusset plate joint covered by thin(0.6mm) coating of fire-resistant paint at center.



Figure 3-86. Picture of glulam beam with bolted steel gusset plate joint covered by thick(1.2mm) coating of fire-resistant paint at center.

제 4절 결론

1. 1차년도: 집성재 보의 내화성능 평가

- 1) 화염에 노출된 상태에서 집성재 보의 처짐은 시간이 지남에 따라서 증가하였고 처짐의 증가속도도 시간이 갈수록 급격하게 증가하는 경향을 나타내었다.
- 2) 집성재 표면으로부터 15mm 깊이는 가열 후 20분 정도에서 목재의 탄화온도인 400℃를 초과하였고 30mm 깊이는 가열 후 약 40분 정도에서 탄화온도에 도달하였다.
- 3) 1시간 동안 가열 후에도 45mm 및 60mm 깊이에서는 탄화온도에 도달하지 않아서 약간의 강도 감소는 있지만 건전한 목재로 남아있었다.
- 4) 130mm 나비의 부재는 모든 항목에서 1시간 내화성능에 미달되었으며 나비 150mm의 부재는 일부 항목에서 기준에 미달되었고 나비 170mm의 부재는 모든 항목에서 기준에 합격하였다.
- 5) 낙엽송 및 미송은 1시간당 탄화량을 40mm로 볼 수 있으며 소나무를 1시간당 탄화량을 45mm로 볼 수 있다.
- 6) 낙엽송 및 미송의 평균탄화속도는 0.60mm/min이며 소나무의 평균탄화속도는 0.65mm/min인 것으로 나타났다.
- 7) 1시간 내화성능을 만족시키기 위해서는 부재의 나비가 최소한 150mm 이상 되어야 하며 부재의 높이는 250mm 이상 되어야 한다.
- 8) 집성재의 열전도율은 목재의 비중이 증가함에 따라서 증가하는 경향을 나타내었다.
- 9) 비중이 낮은 소나무가 비중이 높은 낙엽송에 비하여 열전도율은 낮지만 탄화속도는 더 높은 것으로 나타났다.

2. 2차년도: 집성재 기둥 및 접합 집성재 보의 내화성능 평가

- 1) 모든 접합 집성재 보가 가열 후 5~28분 만에 파괴되어 1시간 내화성능에 불합격하였다.
- 2) 외부에 노출된 철물에 내화페인트를 도장하지 않았기 때문에 철물이 높은 열에 쉽게 열화되어 급격한 파괴현상이 나타났다.
- 3) 합판-못 접합 집성재 보는 표면에 덧댄 얇은 합판이 쉽게 탄화되면서 가열 후 5분 만에 파괴되어 가장 짧은 내화성능을 나타내었다.
- 4) 접합부의 내화성능이 예상보다 짧게 나타나서 접합부의 내화성능을 향상시킬 수 있는 대책이 마련되어야 할 것으로 생각된다.
- 5) 접합 집성재보의 평균탄화속도는 0.33~0.75mm/min를 나타내었으나 시험 시간이 너무 짧아서 의미있는 결과로 받아들이기는 힘들 것으로 생각된다.
- 6) 시험편이 너무 빨리 파괴되었기 때문에 시험편이 파괴될 때까지도 집성재의 내부온도는 15mm 깊이를 제외하고 대부분 탄화온도에 도달하지 않은 상태이었다.
- 7) 집성재에서 접착층이 있는 방향과 접착층이 없는 방향의 열진도율이 비슷하여 접착층이 열진도율에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단된다.
- 8) 집성재 기둥은 모두 1시간 내화성능을 만족하였다.
- 9) 집성재 기둥의 평균탄화속도는 집성재의 경우와 유사하였다.
- 10) 집성재 기둥은 매우 작은 변형량 및 변형율을 나타내었다.

3. 3차년도: 철물 접합 집성재 보의 내화성능 향상

- 1) 외부에 노출되는 철물에는 내화페인트를 칠하고 내부에 삽입되는 철물은 목재덮개로 보호한 접합부재는 거의 1시간 내화성능을 만족하였다.
- 2) 화염에 노출되는 목재 밑면으로부터 30mm 정도의 깊이에 삽입된 철물은 1시간 이내에 주변의 목재가 모두 탄화되어 철물 접합의 강도가 소실되는 것으로 나타났다.
- 3) 목재 표면으로부터 30mm 깊이까지는 가열 후 40분 정도에 목재의 탄화온도인 약 400℃에 도달하는 것으로 나타났다.
- 4) 1.2mm 두께의 내화페인트가 0.6mm 두께의 내화페인트보다 더 높은 내화성능을 나타내었다.
- 5) 집성재 내부에 삽입되는 철물은 목재 표면으로부터 최소한 40mm 이상의 깊이에 삽입되어야 1시간의 내화성능을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.
- 6) 시험편의 평균탄화속도는 0.55~0.71mm/min를 나타내어 이전의 시험결과와 비슷하였다.

제 4장 구조용 집성재의 내화성능 KS규격안

1. 적용범위 이 규격은 구조용 집성재⁽¹⁾로 제조된 보와 기둥의 내화성능⁽²⁾에 대하여 규정한다.

주 ⁽¹⁾ KS F 3021의 품질기준에 적합하게 제조된 구조용 집성재

주 ⁽²⁾ 구조용 집성재 보 및 기둥을 KS F 2257-1, KS F 2257-4 및 KS F 2257-5에서 정한 시험 방법에 따라서 시험한 결과 30분 이상의 내화성능을 갖는 것으로 한다.

2. 인용 규격

KS B 1002 6각 볼트

KS B 1012 6각 너트

KS D 3501 열간 압연 연강판 및 강대

KS D 3503 일반 구조용 압연 강재

KS D 3512 냉간 압연 강판 및 강대

KS D 3555 강관용 열간 압연 탄소 강대

KS F 3021 구조용 집성재

KS F 2257-1 건축구조부재의 내화시험방법 - 일반요구사항

KS F 2257-4 건축구조부재의 내화시험방법 - 수직내력 구획부재의 성능조건

KS F 2257-5 건축구조부재의 내화시험방법 - 수평내력 구획부재의 성능조건

KS F 4514 목구조용 철물

KS F 4537 목조건축용 철못

3. 정의

a) 3면 노출 부재 화재 시 한 측면과 양 표면이 화염에 노출되는 보

b) 4면 노출 부재 화재 시 양 측면과 양 표면 모두가 화염에 노출되는 보

c) 구조용 집성재 구조용으로 사용하기 위하여 두께 40mm 이하의 층재를 두께 방향으로 접착 적층하여 KS F 3021의 품질 기준에 적합하게 제조된 공학목재 제품

d) 압축층 휨하중을 받는 구조용 집성재 보에서 가장 큰 압축응력이 작용하는 제일 위쪽의 층재

- e) **인장층** 휨하중을 받는 구조용 집성재 보에서 가장 큰 인장응력이 작용하는 제일 밑쪽의 층재
- f) **측면(edge)** 집성재 보에서 접착층에 평행하며 위와 아래에 노출되는 좁은 면
- g) **탄화속도** 목재가 높은 온도에 노출되었을 때에 표면에서부터 내부로 타들어 가는 속도로써 mm/min의 단위로 나타냄
- h) **표면(surface)** 집성재 보에서 접착층에 수직하며 양옆에 노출되는 넓은 면

4. 재료

4.1 구조용 집성재 구조용 집성재는 KS F 3021의 품질 기준에 적합하게 제조된 것이어야 한다.

4.2 철물접합부 철물접합부를 구성하는 철판은 두께 6mm 이상으로서 그 품질은 KS D 3501, KS D 3503, KS D 3512 및 KS D 3555에 적합하여야 하고 볼트 및 너트의 품질은 KS B 1002 및 KS B 1012에 적합하여야 하며 못의 품질은 KS F 4537 그리고 기타 철물의 품질은 KS F 4514에 적합하여야 한다.

4.3 내화 페인트 철물접합부에 도포하는 내화페인트는 KS F 2257-4 및 KS F 2257-5에 따라서 시험하여 1시간의 내화성능이 인정된 제품으로 한다.

5. 내화부재의 치수 구조용 집성재 내화부재의 치수는 구조설계에 의하여 결정된 치수에 표 1의 탄화층 두께를 더한 값으로 한다.

표 1 구조용 집성재 내화부재의 치수

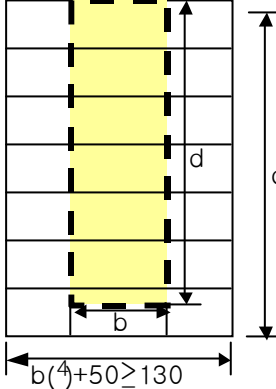
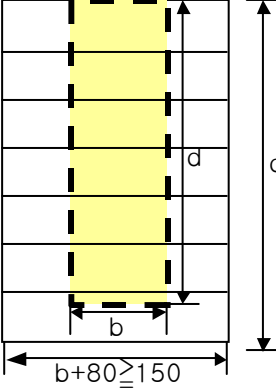
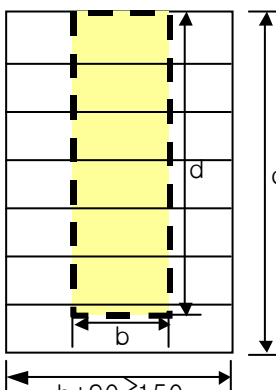
부재	수종균 (³)	내화부재의 치수 (mm)		내화 성능
3면 노출 보	낙엽 송류 소나 무류	<ul style="list-style-type: none"> · 나비는 130mm 이상 · 춤은 200mm 이상 · 화염에 노출되는 각 면에 대하여: 구조설계에 의한 치수 +25mm 		30분
	낙엽 송류	<ul style="list-style-type: none"> · 나비는 150mm 이상 · 춤은 250mm 이상 · 화염에 노출되는 각 면에 대하여: 구조설계에 의한 치수 +40mm 		1시간
	소나 무류	<ul style="list-style-type: none"> · 나비는 150mm 이상 · 춤은 250mm 이상 · 화염에 노출되는 각 면에 대하여: 구조설계에 의한 치수 +45mm 		1시간

표 1 (계 속)

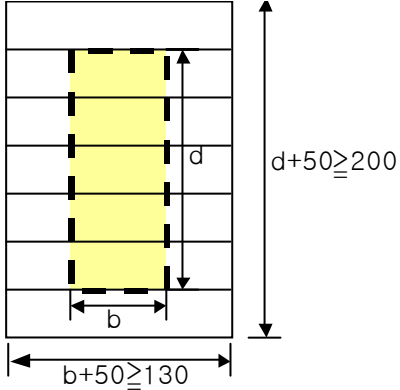
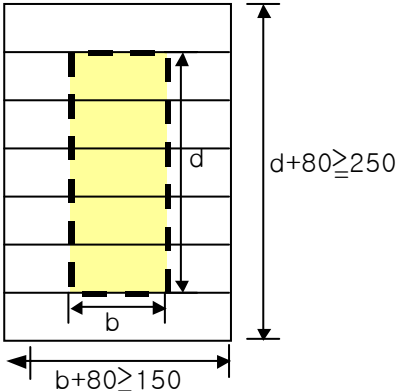
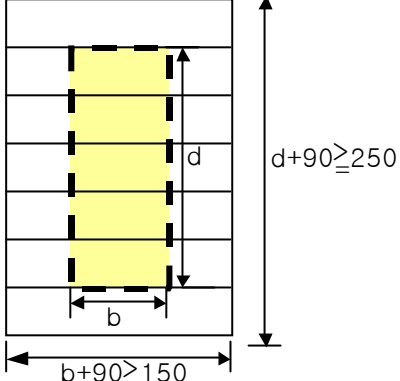
부재	수종 균(³)	내화부재의 치수 (mm)		내화성 능
4면 노출 보	낙엽 송류 소나 무류	<ul style="list-style-type: none"> · 나비는 130mm 이상 · 촘은 200mm 이상 · 화염에 노출되는 각 면에 대하여: 구조설계에 의한 치수 +25mm 		30분
	낙엽 송류	<ul style="list-style-type: none"> · 나비는 150mm 이상 · 촘은 250mm 이상 · 화염에 노출되는 각 면에 대하여: 구조설계에 의한 치수 +40mm 		1시간
	소나 무류	<ul style="list-style-type: none"> · 나비는 150mm 이상 · 촘은 250mm 이상 · 화염에 노출되는 각 면에 대하여: 구조설계에 의한 치수 +45mm 		1시간

표 1 (계 속)

부재	수종 균(³)	단면	치수	단면의 치수(단위:mm)	내화 성능
기둥	낙엽 송류	사각 단면	<ul style="list-style-type: none"> 가로 및 세로: 130mm 이상 화염에 노출되는 각 면에 대하여: 구조설계에 의한 치수 + 25mm 		30분
		원형 또는 타원형 단면	<ul style="list-style-type: none"> 단면의 최소 지름: 130mm 이상 내화 부재: 구조설계에 의한 치수 + 50mm 		
		속이 빈 기둥	<ul style="list-style-type: none"> 단면의 최단 거리: 80mm 이상 내화 부재: 구조설계에 의한 치수 + 50mm 		

표 1 (계 속)

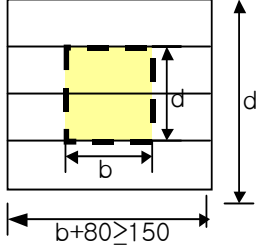
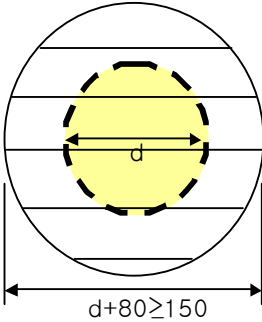
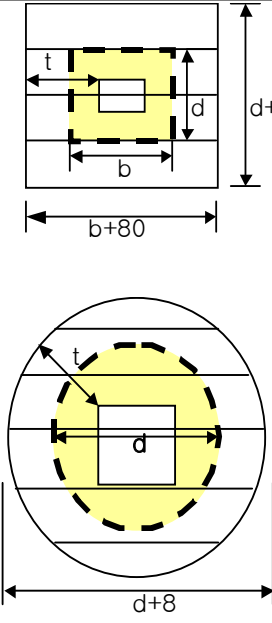
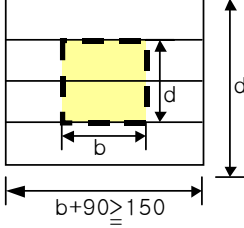
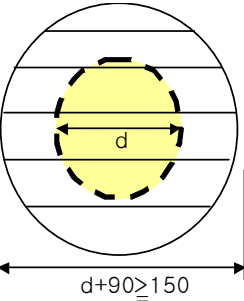
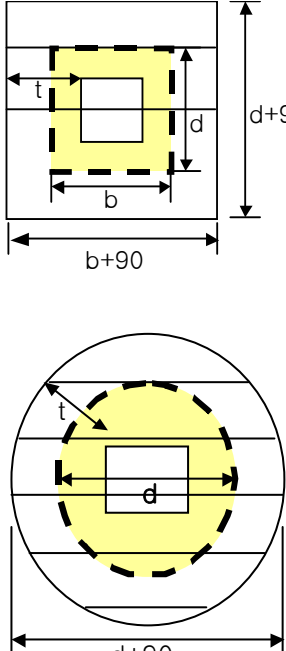
부재	수종 균(%)	단면	치수	단면의 치수(단위:mm)	내화 성능
기둥	낙엽 송류	사각 단면	<ul style="list-style-type: none"> · 가로 및 세로: 150mm 이상 · 화염에 노출되는 각 면에 대하여: 구조설계에 의한 치수 + 40mm 		1시간
		원형 또는 타원 형 단면	<ul style="list-style-type: none"> · 단면의 최소 지름: 150mm 이상 · 내화 부재: 구조설계에 의한 치수 + 80mm 		
		속이 빈 기둥	<ul style="list-style-type: none"> · 단면의 최단 거리: 100mm 이상 · 내화 부재: 구조설계에 의한 치수 + 80mm 		

표 1 (계 속)

부재	수종 균(2)	단면	치수	단면의 치수(단위:mm)	내화 성능
기둥	소나무류	사각 단면	<ul style="list-style-type: none"> · 가로 및 세로: 150mm 이상 · 화염에 노출되는 각 면에 대하여: 구조설계에 의한 치수 +45mm 		1시간
		원형 또는 타원 형 단면	<ul style="list-style-type: none"> · 단면의 최소 지름: 150mm 이상 · 내화 부재: 구조설계에 의한 치수 + 90mm 		
		속이 빈 기둥	<ul style="list-style-type: none"> · 단면의 최단 거리: 100mm 이상 · 내화 부재: 구조설계에 의한 치수 + 90mm 		

- 주 ⁽³⁾ KS F 3020의 수중균 분류에 따른 낙엽송류 및 소나무류
 - 주 ⁽⁴⁾ 구조설계에 의하여 결정된 단면의 치수
 - 주 ⁽⁵⁾ 속이 빈 기둥 단면의 최단 거리로서 30분 내화성능을 위해서는 80mm 이상, 1시간 내화성능을 위해서는 100mm 이상이 되어야 한다.
- 비고** KS F 2257-1, KS F 2257-4 및 KS F 2257-5에 의하여 구조용 집성재의 내화성능 시험을 실시한 결과 KS F 3020의 낙엽송류로 제조된 구조용 집성재의 평균탄화속도는 0.60mm/min, 소나무류로 제조된 구조용 집성재의 평균탄화속도는 0.65mm/min이다. 구조용 집성재의 탄화속도는 탄화가 진행될수록 외부 탄화층이 단열작용을 나타냄으로써 약간씩 감소하는 경향을 나타낸다.

5.1 최외층재 내화성능을 갖는 구조용 집성재 보에는 인장쪽 최외층재를 **그림 1**과 같이 이중으로 배치하여야 한다. 4면 노출보의 경우에는 압축쪽 최외층재도 이중으로 배치하여야 한다.

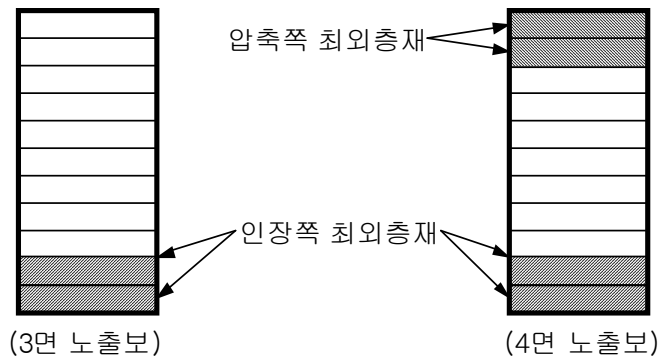


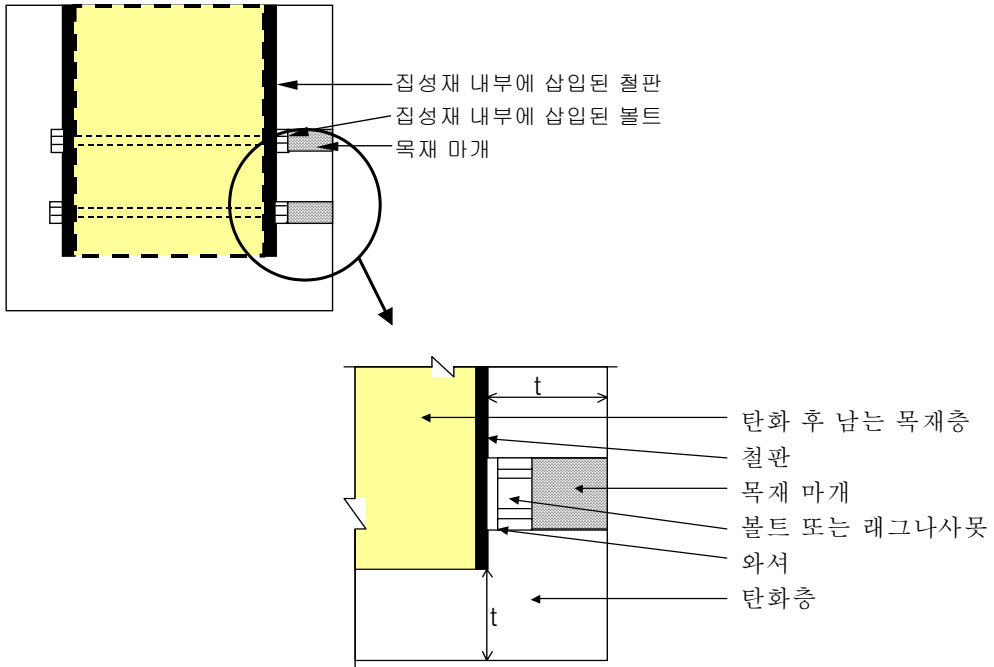
그림 1 내화성능을 갖는 구조용 집성재 보의 최외층재 배치

6. 접합부의 내화성능

6.1 접합부의 시공

6.1.1 삽입형 철물의 시공 구조용 집성재 부재를 서로 접합시키기 위하여 철물을 사용하는 경우에 철관의 두께는 6mm 이상으로 하고 볼트, 래그나사못 등의 파스너는 목재 내부에 조임에 따른 파괴가 발생하지 않는 범위 내에서 단단히 조여져야 한다. 목재의 내부에 설치되는 철물은 **그림 2**와 같이 화염에 노출되는 목재 표면 및 측면으로부터 30분 내화성능 부재의 경우에는 25mm 이상, 그리고 1시간 내화성능 부재의 경우에는 40mm 이상의 깊이에 설치되어야 한다. 이 경

위에 볼트 또는 래그나사못 머리를 덮는 목재 마개의 두께는 목재 피복 두께(그림 2의 t)에서 볼트 머리의 두께와 와셔 두께의 합을 뺀 값이 된다.



t: 목재 피복 두께
 $t \geq 25\text{mm}$ (30분 내화성능 부재)
 $t \geq 40\text{mm}$ (1시간 내화성능 부재)

그림 2. 집성재 내부에 설치되는 철물의 피복 두께

6.1.2 목재덮개의 설치 철물에 내화페인트를 6.2.1에 따라서 도장하지 않는 경우에는 목재덮개를 덮어서 철물을 화염으로부터 보호하여야 한다. 이 경우에 철물을 덮는 목재덮개의 두께는 30분 내화성능 부재의 경우에는 낙엽송류 및 소나무류 모두 25mm 이상, 1시간 내화성능의 부재인 경우에는 낙엽송류는 40mm 이상 그리고 소나무류는 45mm 이상이 되어야 한다.

6.1.3 외부 노출형 철물의 내화처리 구조용 집성재의 접합부에서 부재의 외부

에 노출되는 철물의 경우에는 4.3에 적합한 내화페인트를 사용하여 균일한 두께에 달하도록 도장하여야 한다.

6.2 철물의 설치 볼트, 래그나사못, 스프리트링 및 전단플레이트 등과 같은 철물의 설치 방법은 부속서에 따른다.

부속서(참고) 집성재 접합부에서 철물의 설치 방법

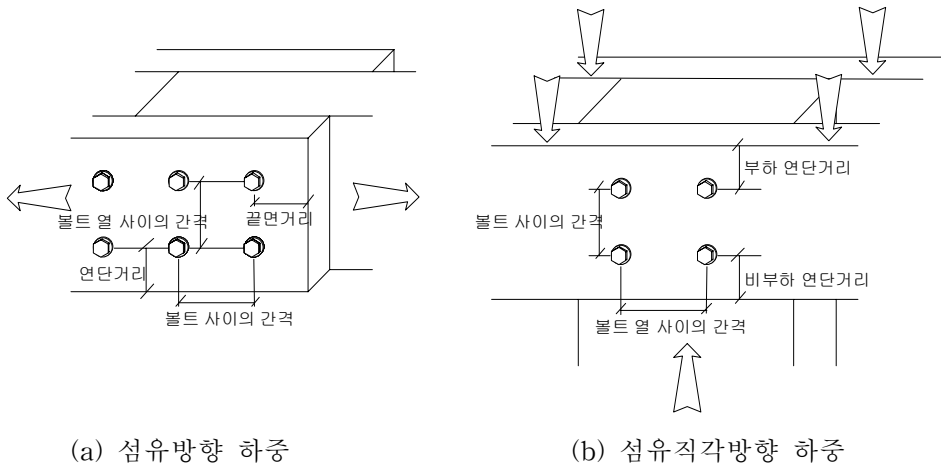
서 문 이 부속서는 집성재의 접합부에 설치되는 볼트, 래그나사못, 스프리트링 및 전단플레이트 등과 같은 철물의 설치 방법에 대하여 기술하는 것으로 규정의 일부는 아니다.

1. 볼트의 설치

- a) 볼트를 설치하기 위하여 미리 목재에 뚫는 구멍의 지름은 볼트의 지름보다 0.75~1.5mm 더 커야 하며 볼트를 설치하기 위하여 충격이나 무리한 힘을 가하는 것은 피한다.
- b) 볼트가 설치되는 주부재와 측면부재의 볼트구멍 중심이 일치하여야 한다.
- c) 볼트머리와 목재 사이 및 너트와 목재 사이에는 **부속서 표 1**에 주어진 크기 이상의 금속판, 금속띠쇠 또는 와셔가 사용되어야 한다.
- d) 볼트의 끝면거리, 연단거리 및 보트 열 사이의 간격에 대한 용어의 정의는 **부속서 그림 1 (a)** 및 **(b)**에 따르고 그 값은 **부속서 표 2, 3** 및 **4**에 따른다.
- e) 1열 내에서 볼트 사이의 간격은 볼트 지름의 5배 이상이 되어야 한다.

부속서 표 1 볼트접합부에 사용되는 와셔의 최소 크기

볼트의 지름 (mm)	와셔의 크기 (mm)			유효 지압면적 (mm ²)
	두께	등근 와셔의 지름	정사각형 와셔의 변의 길이	
6	1.6	30	25	200
8	2.0	36	32	350
10	2.5	45	40	570
12	3.0	55	50	750
16	4.0	65	57	1,330
20	5.0	75	65	1,960
24	6.0	90	80	2,830



부속서 그림 1 볼트접합부에서 볼트의 위치 관련 용어의 정의

부속서 표 2 볼트에 대한 최소 연단거리

하중 방향		최소 연단거리
섬유에 평행한 하중	$\ell/D \leq 6^{(5)}$	1.5D
	$\ell/D > 6^{(5)}$	1.5D와 볼트 열 사이의 간격 중에서 더 큰 값
섬유에 수직인 하중	부하측면	4D
	비부하측면	1.5D

주 (5) ℓ = 목재 주부재 내의 볼트 길이 또는 목재 측면부재 내의 볼트 길이의 합 중에서 더 작은 값(mm)
 D = 볼트의 지름(mm)

부속서 표 3 볼트에 대한 최소 끝면거리

하중 방향		최소 끝면거리
섬유에 수직인 하중		4D
섬유에 평행한 압축		4D
섬유에 평행한 인장	침엽수	7D
	활엽수	5D

부속서 표 4 볼트의 열 사이의 최소 간격

하중 방향		최소 간격
섬유방향 하중		1.5D
섬유직각방향 하중	$\ell/D \leq 2^{(5)}$	2.5D
	$2 < \ell/D < 6^{(5)}$	$(5\ell + 10D)/8$
	$\ell/D \geq 6^{(5)}$	5D

2. 래그나사못의 설치

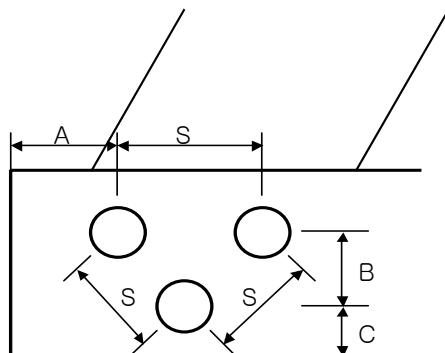
- 래그나사못을 설치하기 위하여 미리 목재에 뚫는 구멍의 지름 및 깊이는 **부속서 표 5**에 따른 다.
- 래그나사못은 망치로 박지 않고 렌치로 돌려서 설치한다.
- 래그나사못의 설치를 용이하게 하고 목재의 손상을 방지하기 위하여 필요한 경우에는 비누 등 의 윤활물질을 사용할 수 있다.
- 래그나사못에 대한 끝면거리, 연단거리 및 간격의 최소치는 **1.**에서 래그나사못의 못대와 동일한 한 지름을 갖는 볼트에 대한 값을 적용한다.

부속서 표 5 래그나사못 설치를 위한 구멍의 지름 및 깊이

목재의 비중(G)	못대를 위한 구멍	나삿니 부분을 위한 구멍	
	지름 및 깊이	지름	깊이
$G > 0.6$	못대의 지름 및 길이와 동일	0.7D ~ 0.8D	나삿니 길이와 동일
$0.5 < G \leq 0.6$		0.6D ~ 0.7D	
$G \leq 0.5$		0.4D ~ 0.6D	

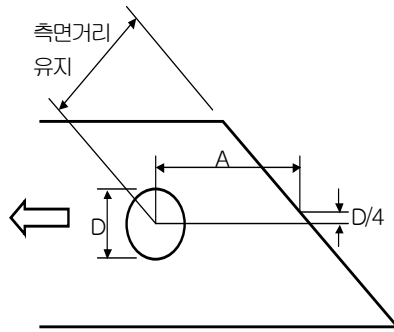
3. 스프리트링 및 전단플레이트의 설치

- a) 지름 64mm의 스프리트링에는 지름 12mm의 볼트 또는 래그나사못을 설치하고 지름 102mm의 스프리트링에는 지름 20mm의 볼트 또는 래그나사못을 설치한다.
- b) 지름 67mm의 전단플레이트에는 지름 20mm의 볼트 또는 래그나사못을 설치하고 지름 102mm의 전단플레이트에는 지름 24mm의 볼트 또는 래그나사못을 설치한다.
- c) 볼트 또는 래그나사못을 설치하기 위하여 목재에 미리 뚫는 구멍의 지름 및 깊이는 1. 및 2.에 따른다.
- d) 스프리트링 및 전단플레이트에 대한 연단거리, 끝면거리 및 간격의 정의는 **부속서 그림 2**와 같고 그 최소값은 **부속서 표 6**에 따른다.
- e) 부재의 끝면이 섬유방향에 경사지게 절단된 경우에는 **부속서 그림 3**에서 보는 바와 같이 파스너 지름의 중앙 1/2내의 임의의 점으로부터 섬유방향에 평행하게 측정된 끝면거리가 직각절단 부재에 대하여 필요한 끝면거리 이상이어야 하며 파스너의 중심으로부터 부재의 경사면까지의 수직거리가 최소 연단거리 이상이어야 한다.



A = 끝면거리
 B = 비부하 연단거리
 C = 부하 연단거리
 S = 간격

부속서 그림 2 스프리트링 및 전단플레이트의 연단거리, 끝면거리 및 간격



A = 끝면거리
 D = 파스너의 지름

부속서 그림 3 경사절단 부재에 대한 끝면거리

부속서 표 6 스프리트링과 전단플레이트에 대한 연단거리, 끝면거리 및 간격

구분		62mm 스프리트리링 및 67mm 전단플레이트		102mm 스프리트리링 및 102mm 전단플레이트	
		섬유에 평행하중	섬유에 수직하중	섬유에 평행하중	섬유에 수직하중
연단 거리	비부하측면	45mm	45mm	70mm	70mm
	부하측면	45mm	70mm	70mm	95mm
끝면 거리	인장부재	140mm	140mm	180mm	180mm
	압축부재	100mm	140mm	140mm	180mm
간격	섬유에 평행	170mm	90mm	230mm	130mm
	섬유에 수직	90mm	110mm	130mm	150mm

제 5장 참고 문헌

- 기술표준원. KS F 1519. 목재의 제재 치수.
- 기술표준원. KS F 1552. 목재 표준 용어 - 목조 건축.
- 기술표준원. KS F 1554. 목재 표준 용어 - 목구조용 철물.
- 기술표준원. KS F 2150. 구조용 실대재의 휨 시험 방법.
- 기술표준원. KS F 2153. 목구조 철물 접합부의 전단 시험 방법.
- 기술표준원. KS F 2198. 목재의 밀도 및 비중 측정 방법.
- 기술표준원. KS F 2199. 목재의 함수율 측정 방법.
- 기술표준원. KS F 2201. 목재의 시험 방법 통칙.
- 기술표준원. KS F 2206. 목재의 압축 시험 방법.
- 기술표준원. KS F 2208. 목재의 휨 시험 방법.
- 기술표준원. KS F 3020. 침엽수 구조용재.
- 기술표준원. KS F 3021. 구조용 집성재.
- 기술표준원. KS F 4514. 목구조용 철물.
- 기술표준원. KS F 4537. 목조 건축용 철못.
- American Society for Testing and Materials. 1982. Standard methods of static tests of timber in structural sizes. ASTM D 198.
- Atherton, G. H. 1983. Ultimate strength of structural particleboard diaphragm. Forest Products Journal 33(5):22-26.
- Bohannon, B. 1966. Effect of size on bending strength of wood members. USDA Forest Service Res. Pap. FPL-56. Madison, WI.
- Bryant, A. and R. Hunt. 1999. Estimates of joint strength from experimental tests. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol II, Rotorua, New Zealand, March 14-18.

- Buchanan, A. 1999. Burning issues in timber engineering. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol III, Rotorua, New Zealand, March 14-18.
- Chui, Y. 1999. Developing pre-engineered designs for eccentrically loaded bolted timber connections. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol II, Rotorua, New Zealand, March 14-18.
- Fewell, A.R. and W.T. Curry. 1983. Depth factor adjustments in the determination of characteristic bending stresses for visually stress graded timber. Building Research Establishment Ind, Pap. IP 1/83. Garston, England.
- Guan, Z. and P. Rodd. 1999. 3-D numerical modelling of moment transmitting joints made with hollow steel dowels. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol II, Rotorua, New Zealand, March 14-18.
- Isoda, H., T. Mori and A. Sasagawa. 1999. Destructive mechanism of glulam beam subjected to bending moment. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol III, Rotorua, New Zealand, March 14-18.
- Jang, S. 1995. Strength and damping properties of tenon-and-mortise joints. The 40th Anniversary Conference of the Japan Wood Research Society, Tokyo University, Japan, April 6-9
- Jang, S. 1997. Comparison of nondestructive parameters with destructive parameters for larch lumber grown in Korea. The 50th Anniversary International Conference of Forest Products Society, Vancouver, Canada, June 22-26
- Johnson, J.W. 1983. Compression perpendicular to the grain in dry Douglas-fir and hem-fir. FPJ 33(3):55-63.
- Johnson, J.W. and R.H. Kunesh. 1975. Tensile strength of special Douglas-fir

- and hem-fir 2-inch dimension lumber. *Wood and Fiber* 6(4): 305-318.
- Jorissen, A. Multiple fastener timber connections with dowel type fasteners. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol III, Rotorua, New Zealand, March 14-18.
- Kangas, J. 1999. Block tearing failure in nailed steel-to-timber joints. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol II,] Rotorua, New Zealand, March 14-18.
- Komatsu, K, Y. Hara, Y. Nanami and T. Ikki. 1999. Development of lagscrew bolt as a connector for glulam moment-resisting joints. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol II, Rotorua, New Zealand, March 14-18.
- Konig, J. and L. Walleji. 1999. Performance of timber frame assemblies in standard and parametric fires. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol III, Rotorua, New Zealand, March 14-18.
- Kuenzi, E.W. and T.L. Wilkinson. 1971. Composite beams-effects of adhesive or fastener rigidity. USDA Forest Service Res. Pap. FPL 152, Madison, WI.
- Kunesh, R.H. and T.W. Johnson. 1972. Effect of single knots on tensile strength of 2-by 8-inch Douglas-fir dimension lumber. *FPJ* 22(1):32-36.
- Littleford, T.W. and R.A. Abbott. 1978. Parallel-to-grain compressive properties of dimension lumber from western Canada. Forintek Canada Corp., Vancouver, BC.
- MacIare, P. 1988. Radiate pine wood density. *Tree Grower* 90(2):41-43.
- McGowan, W.M. 1963. Strength and related properties of small, clear specimens of Douglas-fir cut from stress-graded lumber. Forintek

- Canada Corp. Dept. For. Pub. No. 1025. Vancouver, BC.
- Moses, D. and H. Prion. 1999. Bolted connections in structural composite lumber: Anisotropic plasticity model. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol II, Rotorua, New Zealand, March 14-18.
- Polensek, A. 1986. Rotational restraint of wood-stud wall supports. Journal of Structural Engineering 112(6):1247-1262.
- Polensek, A. and D. S. Gromala. 1984. Probability distributions for wood walls in bending. Journal of Structural Engineering 110(3):619-636.
- Polensek, A. and K. M. Bastendorff. 1982. Wood-stud walls: stiffness of joints between stud and hardwood paneling. Forest Products Journal 32(7):51-53.
- Rodd, P. and D. Pope. 1999. The stiffness of moment transmitting joints in reinforced glulam. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol III, Rotorua, New Zealand, March 14-18.
- Shelton, R. 1999. Limit state timber joints: The development of a test method. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol II, Rotorua, New Zealand, March 14-18.
- Smith, I., D. Tan, N. Kharouf and G. McClure. 1999. Modelling brittle failure in a row of bolts. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol II, Rotorua, New Zealand, March 14-18.
- Takeda, H. 1999. Model to predict fire resistance of wood-stud walls: The effect of shrinkage of gypsum board. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol III, Rotorua, New Zealand, March 14-18.
- Tsuchimoto, T, N. Ando and T. Arima. 1999. Effect of clearance on the mechanical properties of timber joints. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol. II, Rotorua, New Zealand, March 14-18.

Yang, P, Y. Ohsako, H. Yamauchi and H. Sasaki. 1999. Numerical analysis of stress distribution along the glueline between cylindrical LVL column and its reinforcement core for end-joints. Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, Vol II, Rotorua, New Zealand, March 14-18.