

집성재 보·기둥 및 접합부재의 재하가열 시험연구

정재균 (건축구조부 선임연구원)

1. 머리말

목재는 인류 역사상 인간 생활에 가장 적합한 건축재로서 이용되어왔다. 목조건축은 선진국에서는 오랜 역사를 가지고 다양하게 발전해왔다. 이는 철이나 콘크리트와는 달리 자연에서 얻어지는 재료로서 그 가공이 용이하고 또한 가볍고 인장에 강하다는 점에서 널리 사용되어져왔다. 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 단점을 극복하고 그 특성을 살리는 연구가 진행되고 있으며 그 중 목재를 건축재료로서 품질, 가격, 공급면에서 안정된 재료로 생산하기 위하여 목재의 결점을 개량하여 공업화 제품에 가깝게 만든 것이 집성재이다. 집성재는 소형이거나 구조재료 사용이 불가한 목재를 판상으로 가공한 라미나재를 함수율 15% 이하로 인공건조하여, 마디나 결손 등 강도상 약점이 되는 결점을 제거하고 스카프 죠인트, 핑거 죠인트 등 죠인트 공법을 사용하여 길이·나비 및 두께방향으로 우수한 접착제를 이용하여 적층·집성한 것으로 결함이 적고 역학적으로 합리적인 재

질을 지니고 있으며, 단면·형상이 자유로운 장대재를 얻을 수 있어 사용범위가 넓고 목재의 특성과 질감을 그대로 살린 인간에게 친화적인 재료이다.

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 측면이 외에 보다 아름답고 환경 친화적이며 인간에게 친밀하고 자연적인 구조물의 건축이라는 측면에서도 매우 큰 의의가 있다.

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 설정해야 할 것이다. 그러한 측면에서 집성재는 소경재를 보다 경제적으로 활용할 수 있는 매우 바람직한 분야의 한 예라고 할 수 있다.

오랜 목재 문화전통을 지니고 있는 우리나라에서도 최근 생활수준의 향상과 주택문화에 대한 관심이 높아지면서 목구조 주택의 수요가 꾸준히 증가하고 있으며 이는 목재가 주거용 건축재료로서 그 우수성을 인정받고 있음을 의미한

다. 목재는 살아 숨쉬는 소재로 수분과 공기가 안팎으로 드나드는 성질을 가지고 있으며 실내의 습도가 높을 때는 수분을 흡수하고 건조할 때는 방출하여 항상 쾌적한 상태를 유지시켜 주며 단열성이 매우 뛰어나 난방비를 절감시킬 수 있다. 또한 구조재 및 수장재로서 큰 역할을 해 오고 있다.

나무는 탄다, 타기 때문에 불에 약하다는 개념으로 인하여 내화상 요구가 있는 건축부재는 비교적 나무가 사용되지 않았었다. 그러나 최근 방내화에 관한 연구개발에 따라 그 상황이 크게 달라졌다. 대단면의 목재는 표면이 착화·연소 되더라도 연소부분에 형성되는 탄화층이 차열성을 가졌기 때문에 표면의 연소가 그 심부에 미칠때까지는 상당한 기간이 걸린다. 따라서 대단면의 구조재를 사용한 목조건축물에는 작은 지름의 목재를 이용한 건축물과 달리 방화피복이 없어도 일정한 시간은 화재시에 필요한 구조내력을 유지하며 건물의 붕괴나 화재의 확대를 어느 정도 막을 수가 있다. 이것은 대규모 목조건축물의 화재시 피난활동이나 소화활동에 있어 커다란 장점으로 작용하게 된다.

대단면의 목재는 연소와 탄화에 의해 단면의 손실은 있지만 그 진행은 느리고 단면손실을 고려하여 화재시라도 일정시간 필요한 내력은 보호되고 유지된다. 부재단면이 어느 정도 크게 되면 소실과 탄화에 의한 손실이 있어도 꽤 건전한 부분이 남아 있다.

집성재구조가 실제 사용중에 화재에 노출되었을 때에는 하중을 받으면서 화재의 영향을 받게 되며 집성재구조의 화재하에서의 거동을 올바르게 이해하기 위해서는 실험치수에 의한 재하내

화실험이 필요하고 집성재의 내화성능을 파악하여 집성재 구조물의 설계에 활용할 수 있도록 하여야 하나, 아직까지 집성재에 대한 실험 내화성능실험에 대한 연구가 국내에서 이루어지고 있지 않아 이에 대한 집성재구조의 내화성능 평가를 위해 재하내화성능실험을 실시하고 또한 재하내화실험과 병행하여 집성재의 탄화속도, 화재에 노출된 집성부재의 내부온도변화 및 집성재 표면의 탄화진행상태를 파악하여 집성재의 구조물의 설계에 활용할 수 있도록 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 집성재의 특징 및 장점

첫째, 마디와 결손 등의 결점중 큰 것은 제거하고 작은 결점은 분산되므로 재질적으로 균질하게 되고 따라서 강도가 크며 또 강도의 산포가 작다. 따라서 구조적으로 대단히 유리하다.

둘째, 일반적으로 제재에서는 건조가 큰 문제이고, 특히 대단면이 되면 단기간에 완전히 건조시키는 것은 불가능에 가깝다. 때문에 터지거나 변형이 생기기 쉽다. 이에 비하여 집성재의 제조에는 건조된 층재들이 사용되기 때문에 대단면인 것도 미건조로 인한 문제의 발생 즉 터지거나 변형하는 일이 적고 또 건조수축도 작으므로 치수가 안정된다.

셋째, 국산재로서 매우 큰 치수의 부재를 구하기가 현실적으로 불가능하지만 집성재는 제재판을 집성하므로써 임의의 치수, 형상을 만들 수가 있다. 따라서 매우 큰 치수의 부재뿐만 아니라 만곡부재로 형상 할 수 있어 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.

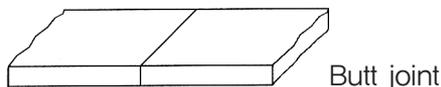
일곱째, 가격이 싼 원료를 이용할 수 있다.

3. 목재의 이음 및 접합법

가. 목재의 이음

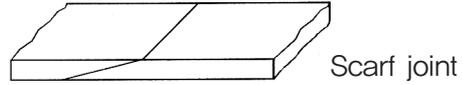
소재를 길이 방향으로 접합시켜 소정 길이의 라미나로 하는 접착공정의 길이이음으로 일반적으로 Butt joint, Scarf joint 및 Finger joint의 3종류가 있다.

1) Butt joint : 조제작업이 가장 간단하며 재료가 경제적인 점에서 가장 유리하나, 강도적 관점에서 보면 유효율이 가장 낮아 강도는 기대하지 말아야 하며 또한 집성재에 외력이 가해졌을 때 butt joint부에 응력이 집중되며 따라서, 강도를 필요로 하지 않는 집성화장재의 코어재 등에 사용되고 있다.

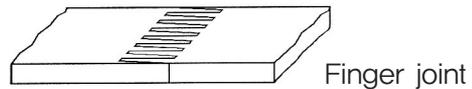


Butt joint

2) Scarf joint : 제재판의 단면을 경사가 되도록 평면상으로 가공한 판재를 접착하여 상호 joint한 것으로 접합조작을 용이하게 하기 위하여 scarf 부분에 계단이나 hook을 만드는 경우도 된다. 설계, 경사 및 접착 조건이 적절히 이루어지면 인장강도에 있어서 소재와 비교하여 95% 이상의 유효율을 기대할 수 있고 장대한 집성구조재의 제조에 널리 사용되고 있으나 원목의 이용율이 낮고 작업이 어려운 등의 결점을 가지고 있다.



3) Finger joint : 원목 이용율이 상당히 높고 강도 유효율은 60 ~ 80% 정도이며 품질이 균일하고 제조비용이 적게 드는 이점이 있으며 경사가 1/8보다 급하면 강도가 급격히 감소하여 경사는 1/8 ~ 1/10 정도로 하면 알맞다.



나. 대단면 목재의 접합법

목구조 건축에 있어서는 거의 필연적으로 접합부가 있다. 이것은 일반 목조건축에서나 구조용 집성재 건축에 있어서나 한정된 치수의 부재를 조립하여 골조를 만들기 때문이다. 이런 점에서 집성재 건축은 일체 구조인 철근콘크리트와는 다르고 철골구조와는 비슷한 점이 있다. 접합부를 어떻게 만들 것인가 하는 것이 집성재 건축설계의 가장 큰 문제이다. 또한 집성재는 요구하는 어떠한 장대한 구조로도 제조할 수 있으나 수송 관계 등으로 인하여 그대로 운반할 수 없을 때가 있다. 따라서 현실적으로 모처럼 만든 부재를 적당한 부분으로 절단하여 현장까지 운반하여 다시 재차 접합 할 필요가 있을 때가 많다. 절단위치는 운반상 최대한의 길이로 하는 것이 물론이지만 design상의 고려, 구조내력상의 고려 등도 다같이 이루어져야 한다.

1) 접합부

목질구조의 설계에 있어서 가장 복잡하고 어려운 곳은 접합이다. 철근콘크리트 조에서의 일

체라든가 철골조에서의 용접이나 하이텐션볼트 접합 등과 비교해 보면 목조의 접합은 종류가 많고 또한 복잡하다. 목질구조에서 구조체의 강도는 접합에 따르는 바가 크고 특히 접합부 강도를 부재강도 이상으로 하는 것은 매우 어려우며 일반적인 접합방법은 다음과 같다.

- ① 볼트 접합 : 집성재의 접합에 있어서는 일반적으로 철판에 의한 볼트 접합이 이용된다.
- ② 강판 덧판 접합 : 못, 볼트 등의 접합기구가 이용되며 접합기구에 따라 강판 덧판 못치기 접합 등이라 칭한다. 못치기의 경우는 집성재에 선구멍 가공이 불필요하며 따라서 강판의 구멍지름을 못지름에 맞추어 두면 결함이 없는 접합으로 할 수가 있다. 또한 그 갯수를 많게 하면 강성을 상당히 높게 할 수가 있으나 그 부분만은 작업시간이 길어진다.
- ③ 강판삽입형 접합 : 강판삽입타입은 강판이 표면이 아니기 때문에 외관상 및 방화 상 유리하다.

2) 접합부의 설계

구조용 집성재를 사용하여 목조건축물의 프레임을 구성할 경우 프레임의 종류, 규모에 맞는 접합부 설계가 목조건축물의 구조강도를 크게 좌우하게 된다. 목조건축물은 일반적으로 현장에서 조립하기 때문에 접합부는 부재 상호간의 하중을 전달시키기 때문에 구조내력상 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 접합

방법의 선정은 설계자에게 있어서 매우 중요한 작업이다. 일반적으로 접합방법이 단순하며 접합부가 적을수록 좋은 건물이라고 할 수 있다.

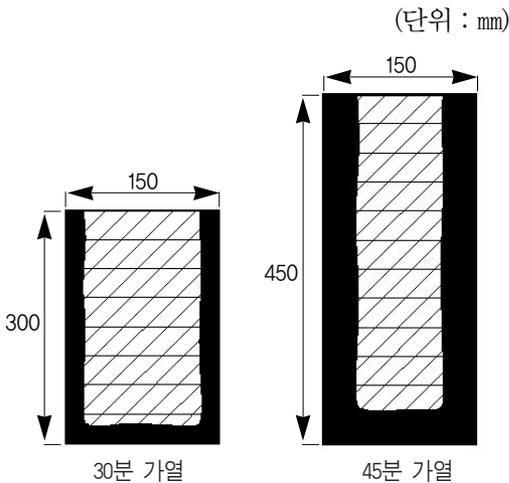
4. 화재특성

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 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 화재시에도 건물이 붕괴되지 않고 상당한 시간동안 견디어 준다.

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

따라서 대단면의 구조재를 사용한 목조건축물에서는 작은 지름의 목재를 이용한 건축물과는 달리 방화피복이 없어도 일정한 시간은 화재시에 필요한 구조내력을 유지하며 건물의 붕괴나 화재의 확대를 어느 정도 방지하는 것이 기대된다.

목재의 탄화속도는 가열조건이나 수증 및 비 중 등에 관계되나 일반적으로 표준적인 화재가 열조건하에서는 거의 0.5 ~ 0.7 mm/분 정도가 되는 것이 많은 연구결과에서 알려져 있다. [그림 1]은 표준적인 화재의 온도로 일정한 시간 가열된 구조용 집성재 보의 직각인 절단면의 탄화상태(탄화속도 : 0.6 ~ 0.7 mm/분)를 표시한 것이다



[그림 1] 집성재 보의 탄화상태

가열중 목재 내부의 온도에 대해서도 표면은 고온에 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 시간내에 표면에서 손실되는 목재 단면의 깊이를 탄화속도에 따라 구하고, 남은 단면에서 건물전체의 붕괴를 방지할 수 있는가 여부를 예측하는 것도 가능하며 대규모 목조건축물이라도 화재시에 건물전체가 붕

괴되는 것을 미연에 방지하는 설계도 가능하게 된다.

일반적으로 목구조부재는 화재로 인하여 그 표면이 타더라도 남은 내부의 단면부분이 하중을 지탱할 수 있으면 요구성능을 만족하게 된다. 따라서 대단면을 가진 목구조부재의 경우 표면의 탄화부분보다 남은 내부 부분이 크기 때문에 내화상 유리하다. 그러므로 대단면을 가능케하는 집성재가 이런 의미에서 우수한 동시에 경제적이 라고 할 수 있다. 또한 철물을 이용한 접합부에서도 화재시 소정의 하중을 지지할 수 있으면 구조안전성을 확보할 수가 있다.

일반적으로 목구조의 접합부는 다른 부위에 비교하여 화재에 취약성을 가지고 있다. 특히, 철물을 이용한 접합부의 경우는 화재시 철물에 의한 열전도 등으로 구조강도가 현저히 저하되어 쉽게 붕괴되는 원인이 되기도 한다. 따라서 접합부에 내화성 능이 요구될 경우, 내화성 능이 낮은 접합부나 접합구성재(볼트, 강판 등)를 사용하고 있는 곳에서는 다음과 같은 대책을 강구하고 있다. 하나는 접합부를 목재, 석고보드 등에 의한 내화재료로 피복하여 둘러싸는 방법이고 다른 하나는 철물부분을 내화도료를 사용하여 피복하는 방법이다.

5. 집성재 보의 제하가열(내화성능)시험 및 탄화속도 측정 실시(1년차)

가. 개요

집성재 보의 내화성능 파악을 위한 기초 연구로서 집성재의 내부온도변화, 집성재 표면의 탄화 진행상태, 집성재의 탄화속도 및 하중이 작용하는 상태에서 화재발생시 집성재 보의 구조

성능 변화 등을 통해 집성재 보의 내화성능(1시간)을 파악하기 위함.

나. 시험체 제작

1) 수 중 : 국산 2종, 외산 4종

2) 시험체 사양

| 시험 번호 | 시험체 크기 (mm) | 시험 체수 | 강도 등급 | 적층 수 | 접착제 종류 |
|-------|--------------|-------|---------|------|--------|
| 시험체 1 | 170×400×5000 | 1 | 12S-36B | 12 | 레소시놀 |
| 시험체 2 | 150×400×5000 | 1 | 10S-28B | 17 | 레소시놀 |
| 시험체 3 | 130×600×5000 | 1 | 10S-28B | 24 | 레소시놀 |
| 시험체 4 | 130×600×5000 | 1 | 12S-36B | 18 | 레소시놀 |
| 시험체 5 | 130×600×5000 | 1 | 12S-36B | 16 | 레소시놀 |
| 시험체 6 | 170×600×5000 | 1 | 12S-36B | 17 | 레소시놀 |

다. 시 험

1) 개 요

집성재의 내화성능을 파악하기 위해서 선정된 시험체(6개)를 재하가열 실시함.

2) 시험기준

KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법 - 일반요구사항, 1999) 및 KS F 2257-6(건축구조부재의 내화시험방법 - 보의 성능기준, 1999)의 기준에 따른 재하가열시험

3) 재하가열시간 : 1시간

4) 내부온도 측정 :

중양부 깊이별(표면에서 15, 30, 45, 60 mm)로 2 points씩 8 points

5) 시험하중

| 시험 번호 | 허용 힘 응력도 (kgf/cm ²) | 스팬 길이 (cm) | 단면 계수 | 총 하중 (kgf) | 시험 하중 (kgf) | 비 고 |
|-------|---------------------------------|------------|-------|------------|-------------|-------------|
| 시험체 1 | 142 | 468 | 2,813 | 5,120 | 2,560 | 안전 계수 = 2.0 |
| 시험체 2 | 135 | 468 | 2,344 | 4,060 | 2,030 | |
| 시험체 3 | 135 | 468 | 4,408 | 7,630 | 3,815 | |
| 시험체 4 | 142 | 468 | 4,408 | 8,030 | 4,015 | |
| 시험체 5 | 142 | 468 | 4,408 | 8,030 | 4,015 | |
| 시험체 6 | 142 | 468 | 6,613 | 12,040 | 6,020 | |

6) 재하방법

보의 3등분 지점에 집중하중을 가함.

7) 시험결과

• 성능기준 및 시험결과

| 시험 번호 | 변형량 (mm) | | 변형율 (mm/min) | | 비 고 |
|-------|----------|-------|--------------|-------|---|
| | 성능 기준 | 측정 결과 | 성능 기준 | 측정 결과 | |
| 시험체 1 | 136.9 | 27.3 | 6.1 | 2.3 | - 변형량 = $\left(\frac{L^2}{400d}\right)$ - 변형율 = $\left(\frac{L}{9,000d}\right)$ L : 시험체 스패 d : 시험체 압축축에서 인장축까지의 거리 (덧붙임 변형량 측정 결과 참조) |
| 시험체 2 | 136.9 | 85.5 | 6.1 | 53.9 | |
| 시험체 3 | 91.3 | 102.4 | 4.1 | 77.8 | |
| 시험체 4 | 91.3 | 134.1 | 4.1 | 100.5 | |
| 시험체 5 | 91.3 | 79.7 | 4.1 | 44.4 | |
| 시험체 6 | 91.3 | 11.3 | 4.1 | 1.3 | |

• 탄화속도 측정결과

| 시험번호 | 가열시험시간(분) | 탄화깊이(mm) | 탄화속도(mm/min) |
|-------|-----------|----------|--------------|
| 시험체 1 | 60 | 40~45 | 0.67~0.75 |
| 시험체 2 | 60 | 36~41 | 0.60~0.68 |
| 시험체 3 | 56 | 33~41 | 0.59~0.73 |
| 시험체 4 | 46 | 30~34 | 0.65~0.74 |
| 시험체 5 | 27 | 17~22 | 0.63~0.81 |
| 시험체 6 | 60 | 37~40 | 0.62~0.67 |

• 내부온도 측정결과

| 내부온도 측정위치 | | 내부최고온도 측정결과 (°C) | | | | | |
|----------------|---|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 시험체 1 | 시험체 2 | 시험체 3 | 시험체 4 | 시험체 5 | 시험체 6 |
| 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 |

8) 분 석

- ① 시험체 1, 6 : 1시간 성능기준에 적합
- ② 시험체 2, 3, 4, 5 : 주어진 하중(설계하중)에 실험체가 견디지 못하고 실험 하중을 제대로 받지 못하여 정확한 변형량 및 변형을 측정이 불가하였음.
- ③ 상기 시험결과 단면 폭은 150 mm 이상으로 설계되어야 할 것으로 판단됨.

6. 집성재 기둥의 재하가열(내화성능)시험 및 탄화속도 측정실시(2년차)

가. 개 요

집성재 기둥의 내화성능 파악을 위한 기초 연구로서 화재시 하중이 작용하는 상태에서 집성재 표면의 연소와 탄화속도 등에 따른 집성재 기둥의 내화성능(1시간)을 파악하기 위함.

나. 시험체 제작

- 1) 수 종 : 낙엽송

2) 시험체 사양

| 시험 번호 | 시험체 종류 | 시험체 크기 (mm) | 시험 체수 | 재하량 (kgf) |
|-------|--------|-----------------------|-------|-----------|
| 시험체 7 | 원통기둥 | ∅ 300(내부□ 100×100공간) | 1 | 20,000 |
| 시험체 8 | 원통기둥 | ∅ 300(내부□ 100×100 공간) | 1 | 20,000 |
| 시험체 9 | 사각기둥 | 300×300×3,500 | 1 | 27,812 |

다. 시 험

1) 시험기준

KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법 - 일반요구사항, 1999) 및 KS F 2257-7(건축구조부재의 내화시험방법 - 기둥의 성능 기준, 1999)의 기준에 따른 재하가열시험

2) 재하가열시간 : 1시간

3) 시험하중

- 시험체 7, 8 : 20,000 kgf
- 시험체 9 : 27,812 kgf

4) 재하방법 : 중심 축하중을 가함.

5) 시험결과

• 성능기준 및 시험결과

| 구분 | 시 험 결 과 | | | | 비 고 |
|-----|---|------------|------------|------------|------------|
| | 성능 기준 | 측 정 결 과 | | | |
| | | 시험체7 | 시험체8 | 시험체9 | |
| 변형량 | $35.0 \text{ mm} \left(\frac{h}{100} \right)$ | 1.6 mm | 3.9 mm | 1.3 mm | h : 시험체 높이 |
| 변형율 | $10.5 \text{ mm/min} \left(\frac{3h}{1,000} \right)$ | 0.5 mm/min | 0.7 mm/min | 0.5 mm/min | |

• 탄화속도 측정결과

| 시험번호 | 가열시험시간(분) | 탄화깊이(mm) | 탄화속도(mm/min) |
|-------|-----------|----------|--------------|
| 시험체 7 | 60 | 38~54 | 0.63~0.90 |
| 시험체 8 | 60 | 37~53 | 0.62~0.88 |
| 시험체 9 | 60 | 38~45 | 0.63~0.75 |

라. 분 석

1) 시험체 7, 8, 9 : 1시간 내화성능기준에 모두 적합하였음.

7. 집성재 철물접합 보의 재하가열(내화성능) 시험 및 탄화속도 측정실시(2년차)

가. 개 요

집성재 철물접합 보의 내화성능 파악을 위한 기초 연구로서 화재시 하중이 작용하는 상태에서 시험체 표면의 연소와 탄화속도 등에 따른 집성재 철물접합 보의 내화성능(1시간)을 파악하기 위함.

나. 시험체 제작

- 1) 수 중 : 낙엽송
- 2) 시험체 사양

| 시험 번호 | 시험체 종류 | 시험체 크기(mm) | 시험 체수 | 재하량 (kgf) |
|--------|----------------------|---------------|-------|-----------|
| 시험체 10 | 볼트 접합 집성재 보 | 150×400×5,000 | 1 | 1,815 |
| 시험체 11 | 합판 못접합 집성재 보 | 150×400×5,000 | 1 | 1,815 |
| 시험체 12 | 래그나사못 접합 집성재 보 | 150×400×5,000 | 1 | 1,815 |
| 시험체 13 | 에폭시 수지 주입 철근접합 집성재 보 | 150×400×5,000 | 1 | 1,815 |

다. 시 험

1) 시험기준

KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법-일반요구사항, 1999) 및 KS F 2257-6(건축구조부재의 내화시험방법-보의 성능 기준, 1999)의 기준에 따른 재하가열시험

2) 재하가열시간 : 1시간

3) 내부온도 측정 : 깊이별(표면에서 15, 30, 45, 60 mm)로 1 point씩 4 points

4) 시험하중 : 1,815 kgf

5) 재하방법 : 보의 3등분 지점에 집중하중을 가함.

6) 시험결과

• 성능기준 및 시험결과

| 시험 번호 | 실 시험 시간 (분) | 변형량 (mm) | | 변형율 (mm /min) | | 비 고 |
|--------|-------------|----------|-------|---------------|-------|---|
| | | 성능 기준 | 측정 결과 | 성능 기준 | 측정 결과 | |
| 시험체 10 | 27 | 135.1 | 313.0 | 6.0 | 110.9 | - 변형량 = $\left(\frac{L^2}{400d} \right)$ |

| 시험 번호 | 실 시험 시간 (분) | 변형량 (mm) | | 변형율 (mm /min) | | 비 고 |
|--------|-------------|----------|-------|---------------|-------|--|
| | | 성능 기준 | 측정 결과 | 성능 기준 | 측정 결과 | |
| 시험체 11 | 5 | 135.1 | 60.4 | 6.0 | 55.6 | $- \text{변형율} = \left(\frac{L}{9,000d} \right)$ L : 시험체 스패 d : 시험체 압축축에 서인장축까지의 거리(덧붙임 변형량 측정 결과 참조) |
| 시험체 12 | 15 | 135.1 | 307.0 | 6.0 | 116.0 | |
| 시험체 13 | 28 | 135.1 | 234.1 | 6.0 | 160.1 | |

• 탄화속도 측정결과

| 시험번호 | 가열시험시간(분) | 탄화깊이(mm) | 탄화속도(mm/min) |
|--------|-----------|----------|--------------|
| 시험체 10 | 27 | 13 ~ 17 | 0.48 ~ 0.63 |
| 시험체 11 | 5 | - | - |
| 시험체 12 | 15 | 5 ~ 8 | 0.33 ~ 0.53 |
| 시험체 13 | 28 | 15 ~ 21 | 0.54 ~ 0.75 |

※ 단, 시험체 11은 가열시간이 너무 짧아(5분) 정확한 측정값이 불가하여 탄화속도 측정을 생략하였음.

• 내부온도 측정결과

| 내부온도 측정위치 | 내부최고온도 측정결과 (°C) | | | |
|----------------|------------------|--------|--------|--------|
| | 시험체 10 | 시험체 11 | 시험체 12 | 시험체 13 |
| 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 |

※ 1. 시험체 13의 내부온도 측정위치는 하단철판의 상부철판으로 부터의 거리임.

2. 내부최고온도 측정결과는 시험종료시의 온도임.

라. 분 석

1) 시험체 10, 11, 12, 13 : 주어진 하중(설계하중)에 시험체가 견디지 못하고 허용 기준을

초과하여 1시간 내화성능 기준에 부적합하였음.

- 2) 시험체 10, 13 : 동일 시험기간 동안의 내부 최고온도 측정결과가 상당한 차이를 보여 주고 있는데 이는 시험체 10은 측정부위 근처에 철판 및 볼트가 있어 내부온도에 영향을 미친 것으로 판단됨.
- 3) 상기 시험결과 집성재 철물접합 보는 철물에 보강조치(예, 내화도료 도장 등)가 필요할 것으로 판단됨.

8. 철물접합 집성재 보의 재가열(내화성능) 시험 및 탄화속도 측정실시(3년차)

가. 개 요

철물접합 집성재 보의 내화성능 파악을 위한 기초 연구로서 집성재의 내부온도변화, 집성재 표면의 탄화 진행상태, 집성재의 탄화속도 및 하중이 작용하는 상태에서 화재발생시 집성재의 구조성능 변화 등을 통해 철물접합 집성재 보의 내화성능(1시간)을 파악하기 위함.

나. 시험체 제작

- 1) 수 종 : 국산납엽송
- 2) 시험체 사양

| 시험 번호 | 시험 체명 | 시험체 종류 | 시험체 크기(mm) | 시험 체수 | 재하량 (kgf) | 비고 |
|--------|-------|-------------------|----------------|-------|-----------|----------|
| 시험체 14 | R-1 | 라멘 철물 접합 집성재 보 | 170×400 ×5,000 | 1 | 768 | 노출 철물 없음 |
| 시험체 15 | SCP-1 | 철물 덧판 접합 집성재 보 1 | 170×400 ×5,000 | 1 | 2,048 | |
| 시험체 16 | SCP-2 | 철물 덧판 접합 집성재 보 2 | 170×400 ×5,000 | 1 | 2,048 | |
| 시험체 17 | TB-1 | 인장 볼트 삼입 접합 집성재 보 | 170×400 ×5,000 | 1 | 384 | |

| 시험 번호 | 시험 체명 | 시험체 종류 | 시험체 크기(mm) | 시험 체수 | 재하량 (kgf) | 비고 |
|--------|-------|---------------------|----------------|-------|-----------|---------------|
| 시험체 18 | SP-1 | 철물 상하 분할 접합 집성재 보 1 | 170×400 ×5,000 | 1 | 1,280 | 노출 철물 내화도료 도장 |
| 시험체 19 | SP-2 | 철물 상하 분할 접합 집성재 보 2 | 170×400 ×5,000 | 1 | 1,280 | |
| 시험체 20 | GP-1 | 강판 외부 접합 집성재 보 1 | 170×400 ×5,000 | 1 | 2,048 | |
| 시험체 21 | GP-2 | 강판 외부 접합 집성재 보 2 | 170×400 ×5,000 | 1 | 2,048 | |

※ 노출철물 내화도료 도장 두께(시험체 18 ~ 21)는 아래와 같음.

시험체 18, 20 : 0.6 mm, 시험체 19, 21 : 1.2 mm

다. 시 험

1) 시험기준

KS F 2257-1(건축구조부재의 내화시험방법-일반요구사항, 1999) 및 KS F 2257-(건축구조부재의 내화시험방법-보의 성능 기준, 1999)의 기준에 따른 재하가열시험

2) 재하가열시간 : 1시간

3) 내부온도 측정 : 깊이별(표면에서 15, 30, 45, 60 mm)로 1 point씩 4 points

4) 시험하중

- 시험체 14 : 768 kgf
- 시험체 15, 16, 20, 21 : 2,048 kgf
- 시험체 17 : 384 kgf
- 시험체 18, 19 : 1,280 kgf

5) 재하방법 : 보의 3등분 지점에 집중하중을 가함.

6) 시험결과

- 성능기준 및 시험결과

| 시험 번호 | 실 시험 시간 (분) | 변형량 (mm) | | 변형율 (mm/min) | | 비 고 |
|--------|-------------|----------|-------|--------------|-------|---|
| | | 성능 기준 | 측정 결과 | 성능 기준 | 측정 결과 | |
| 시험체 14 | 56 | 136.9 | 40.8 | 6.1 | 29.6 | $- \text{변형량} = \left(\frac{L}{400d} \right)$ $- \text{변형율} = \left(\frac{L}{9,000d} \right)$ L : 시험체 스패 d : 시험체 압축축에서 인장축까지의 거리(덧붙임 변형량 측정 결과 참조) |
| 시험체 15 | 60 | 136.9 | 141.7 | 6.1 | 20.5 | |
| 시험체 16 | 60 | 136.9 | 46.2 | 6.1 | 2.2 | |
| 시험체 17 | 41 | 136.9 | 192.6 | 6.1 | 174.5 | |
| 시험체 18 | 53 | 136.9 | 147.6 | 6.1 | 17.4 | |
| 시험체 19 | 60 | 136.9 | 146.3 | 6.1 | 19.9 | |
| 시험체 20 | 50 | 136.9 | 119.3 | 6.1 | 33.6 | |
| 시험체 21 | 60 | 136.9 | 90.3 | 6.1 | 6.4 | |

※ 1. 시험체 14(R-1) : 56분 경과시 시험체 붕괴로 인하여 최대변형량 및 변형율 측정이 불가하였음.

2. 시험체 17(TB-1) : 41분 경과시 시험체 붕괴로 인하여 시험을 중단하였음.

3. 시험체 18(SP-1), 시험체 20(GP-1) : 시험체 붕괴 될 우려로 판단하여 각각 53분 경과시, 50분 경과시 시험을 중단하였음.

• 탄화속도 측정결과

| 시험번호 | 가열시험시간(분) | 탄화깊이(mm) | 탄화속도(mm/min) |
|--------|-----------|----------|--------------|
| 시험체 14 | 56 | 36 ~ 40 | 0.64 ~ 0.71 |
| 시험체 15 | 60 | 37 ~ 40 | 0.62 ~ 0.67 |
| 시험체 16 | 60 | 38 ~ 39 | 0.63 ~ 0.65 |
| 시험체 17 | 41 | 25 ~ 30 | 0.61 ~ 0.73 |
| 시험체 18 | 53 | 33 ~ 35 | 0.62 ~ 0.66 |
| 시험체 19 | 60 | 35 ~ 38 | 0.58 ~ 0.63 |
| 시험체 20 | 50 | 28 ~ 31 | 0.56 ~ 0.62 |
| 시험체 21 | 60 | 33 ~ 36 | 0.55 ~ 0.60 |

• 내부온도 측정결과

| 내부온도 측정위치 | 내부최고온도 측정결과 (°C) | | | | | | | |
|----------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 시험체 14 | 시험체 15 | 시험체 16 | 시험체 17 | 시험체 18 | 시험체 19 | 시험체 20 | 시험체 21 |
| 표면에서 15mm 지점 ① | 848 | 986 | 824 | 921 | 881 | 931 | 820 | 928 |
| 표면에서 30 mm지점 ② | 817 | 672 | 757 | 874 | 564 | 774 | 425 | 938 |
| 표면에서 45 mm지점 ③ | 784 | 223 | 318 | 220 | 243 | 269 | 168 | 179 |
| 표면에서 60 mm지점 ④ | 478 | 110 | 173 | 114 | 177 | 238 | 110 | 252 |

- ※ 1. 내부최고온도 측정결과는 시험종료시까지의 최고온도임.
- 2. 시험체 15의 ③, ④ 내부최고온도 측정결과는 54분 경과시의 결과임.

라. 분 석

- 1) 시험체 14, 17, 18, 20 : 주어진 하중(설계하중)에 시험체가 견디지 못하고 허용기준을 초과하여 1시간 내화성능 기준에 부적합하였음.
- 2) 시험체 15, 16, 19, 21 : 1시간 내화성능 기준에 적합하였음.
- 3) 집성재 철물접합 보에서 내부에 철물을 보강하는 경우(시험체 14 ~ 17), 탄화 깊이, 탄화속도 등을 감안하여, 1시간 내화성능을 갖기 위해서는 내부철물까지의 목재부분 두께는 40 mm 이상을 외부부분에 둘 필요가 있는 것으로 판단됨.
- 4) 집성재 철물접합 보에서 외부에 철물이 노출되는 경우(시험체 18 ~ 21), 외부노출철

물에 내화도로 및 일부 목재를 하단부에 보강(시험체 19)하였으며 1시간 내화성능에 일부 부족하였으며, 그 성능은 다음과 같음.

- 시험체 18, 19(외부노출철물에 내화도로 칠함) 시험에 있어서는 동일한 규격의 집성재이나 시험체 19는 도료두께가 1.2 mm이고(시험체 18은 도료두께 0.6 mm) 시험체 18에 비해 시험체 하부중앙에 목재덧판을 덧붙여 보강하였으며, 그 결과 약 7분 정도의 내화성능 향상을 가져왔음.
- 시험체 20, 21(외부노출철물에 내화도로 칠함) 시험에 있어서는 동일한 규격의 집성재이나 시험체 21은 도료두께가 1.2 mm이고 시험체 20은 도료두께가 0.6 mm 이며, 그 결과 약 10분 정도의 내화성능 향상을 가져왔음.

9. 맺 음 말

이상에서 집성재 보·기둥 및 접합부재의 내화성능평가를 위해 설계에 따른 재하내화성능 시험을 실시하였으며 이와 병행하여 집성재의 탄화속도, 화재에 노출된 집성재 접합부재의 내부온도변화를 측정하였다. 시험의 결과에서 알 수 있는 것처럼 화재의 계속시간내에 표면에서 손실이 예상되는 목재단면의 깊이를 탄화속도에 따라 구하고, 남은 단면에서 건물의 예상되는 하중을 견딜 수 있도록 탄화부분의 단면을 충분히 고려하여 설계를 한다면 목재가 화재에 약할 것이라는 선입관과는 달리 대규모 목조건축물이라도 화재시에 건물전체가 붕괴되는 것

을 미연에 방지할 수 있고 집성재구조가 보다 광범위하게 우리생활에서 사용될 수 있을 것이라 생각된다. 다만, 철물접합부재는 철물의 노출로 인하여 화재시 철물의 강도저하로 집성재가 접합성을 잃어 붕괴되는 현상을 가져오는데 이는 접합부위에 보강조치(예, 내화도료 도장

또는 목재 덧씌움 등)등을 강구하면 해결할 수 있을 것으로 생각된다. 철이나 콘크리트에 비하여 환경 친화적이며, 인간에게 친밀하고 자연적인 목조건축물이 보다 우리 주변 가까이에서 머물기를 기대하면서 이에 대한 많은 시험·연구가 진행되어야 할 것이다. **FILK**

FILK 인증품 보험료 할인율표

- 화재보험

| 구 분 | 대 상 | | 주요 구성품 | 기본요율 할인율 |
|-------------|--|-----------|---------------------------|-------------|
| 소화설비할인 | 소화기 | | 전체 | 3 % |
| | 전기설비중앙감시시스템 | | 전기설비중앙감시시스템 | 5 % |
| | 옥외소화전 | | 호스, 노즐 | 8~15 % |
| | 옥내소화전 | | 호스, 노즐 | 5~10 % |
| | 동력소방펌프 | | 소화펌프 | 8~15 % |
| | 자동화재경보설비 | | 감지기, 수신기, 발신기 외 2품목 | 8 % |
| | 자동화재속보설비 | | 자동화재속보기 | 5 % |
| | 스프링클러소화설비 | | 경보밸브, 헤드 | 10~60 % |
| | 이산화탄소 소화설비 | 전역·국소방출방식 | 기동장치, 선택밸브 외 5품목, 패키지형 | 5~20 % |
| | | 호스, 노즐방식 | 호스, 노즐 | |
| | 포소화설비 | | 포혼합장치, 포소화약제 외 1품목 | 5~18 % |
| | 할론1301 소화설비 | 전역·국소방출방식 | 기동장치, 선택밸브 외 5품목, 패키지형 | 5~20 % |
| 호스, 노즐방식 | | 호스, 노즐 | | |
| 불연내장재 할인 | 구조급수가 1급 또는 2급인 건물로서 반자를 설치하지 아니하거나, 사용한 내장재가 방재시험연구원에서 인증한 불연재료(FILK 인증품)인 경우 | | 5 % | |

- 제조물배상책임보험 : 5% 할인