# 집성재 기둥 및 접합부재의 재하가열 시험연구

정 재 군 (건축구조부 선임연구원)

## 1. 머 리 말

목재는 인류 역사상 인간생활에 가장 적합한 건축재료로서 이용되어 왔으며 오랜 목재 문화전통을 지니고 있는 우리나라에서도 최근 생활수준의 향상과 주택문화에 대한 관심이 높아지면서 최근 목구조 주택의 수요가 꾸준히 증가하고 있으며 이는 목재가 주거용 건축재료로서 그 우수성을 인정받고 있음을 의미한다. 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 해오고 있다.

목조건축은 선진국에서는 오랜 역사를 가지고 다양하게 발전하여 왔다. 이는 철이나 콘크리트와는 달리 자연에서 얻어지는 재료로서 그 가공이 용이하고 또한 가볍고 인장에 강하다는 점에서 널리 사용되어 져 왔다. 이와는 달리 목재는 불에 타고, 썩으며 건조과정에서 변화가 생기며 강도가 약하다는 점 등 단점도 또한 가지고 있다. 이러한 목재의 단점을 극복하고 그 특성을 살리는 연구가 진행되고 있는데 그 중 목재를 건축재료로서 품질, 가격, 공급면에서 안정된 재료로 생산하기 위하여 목재의 결점을 개량하여 공업화 제품에 가깝게 만든 것이 집성재이다.

집성재는 목재를 충분히 건조시켜 결점을 제거한 라미나재를 집성한 것으로 결함이 적고 역학적으로 합리적인 재질을 지니고 있으며, 형상이 자유로운 장대재를 얻을 수 있고 특히 목재가 지닌 질감을 그대로 살린 공업화 재료라고 할 수 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 · 연소되더라도 연소부분에 형성되는 탄화층이 차열성을 가졌기 때문에 표면의 연소가 그 심부에 미칠 때까지는 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. 또한 다른 철골조, 철근콘크리트조 등과 비교하여 일반적으로 부재의 중량이 적고 목재 자체가 지닌 단열성의 성질도 우수하다.

대단면의 목재는 연소와 탄화에 의해 단면의 손실은 있지만 그 진행은 느리고 단면손실을 고려하여 화재시라도 일정시간 필요한 내력은 보호되고 유지된다. 부재단면이 어느 정도 크게되면 소실과 탄화에 의한 손실이 있어도 꽤 건전한 부분이 남아 있다. 목재의 탄화속도는 표준적인 화재로써는 0.5 ~ 0.7 ㎜/min 정도이나 기둥의 탄화속도는 보의 탄화속도보다 조금 크게되는 경향이 있다.

기둥은 내력부재로서 화재시 장기하중 지지가 요구성능이 된다. 이에 대해서 목구조 기둥은 예상한 화재중 그 표면이 타더라도 남은 내부의 단면부분이 소정의 하중을 지탱할 수가 있으면 이 요구성능을 만족시킬 수 있다. 따라서 나무는 타기 때문에 나쁘다라는 구속은 없어지게 된다. 대단면의 경우는 표면의 탄화부분보다 남은 내부부분이 크기 때문에 방화상 유리하다.

한편 미국 등 외국에서는 대단면 목재를 중복구조

(Heavy Timber)라 하여 1시간 내화성능을 갖는 구조로 인정하고 있으나 우리나라에서는 아직 이를 보편적으로 인정하고 있지 않다.

## 2. 목재의 이음 및 접합법

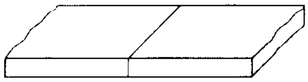
### 가. 목재의 이음

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

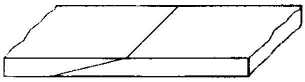
1) Butt joint : 조제작업이 가장 간단하며 재료가 경제적인 점에서 가장 유리하나, 강도적 관점에서 보면 유효율이 가장 낮아 강도는 기대하지 말아야 하며 또한 집성재에 외력이 가해졌을 때 butt joint부에 응력이 집중되며 따라서, 강도를 필요로 하지 않는 집성화장재의 코어재 등에 사용되고 있다.

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.



Butt joint



Scarf joint

Finger joint

### 나. 대단면 목재의 접합법

대단면 목재는 요구하는 어떠한 장대한 재료도 제조할 수 있으나 수송 관계로 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) 접 합 부

목질구조의 설계에 있어서 가장 복잡하고 어려운 곳은 접합이다. 철근콘크리트 조에서의 일체라든가 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 방화상 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 접합방법의 선정은 설계자에게 있어서 매우 중요한 작업이다. 일반적으로 접합방법이 단순하며 접합부가 적을수록 좋은 건물이라고 할 수 있다.

## 3. 집성재의 열전도율시험 실시

### 가. 개 요

집성재의 열전도율을 측정하여, 집성재 내화성능 파악을 위한 기초연구 자료로서 활용하기 위함.

### 나. 시 험 체

1) 수 종 : 낙엽송

2) 시험체 크기 : 300 × 300 × 두께 81 ㎜

3) 시험체 수 : 3개

### 다. 시 험

1) 시험조건

각각의 시험체에 대하여 기건상태와 60 ℃에서 24시간 건조후 각각 시험실시

2) 시험기준 : KS L 9016 (보온재의 열전도율 측정방법, 1995)

### 라. 시험결과

[표 1] 열전도율시험 결과 참조

[표 1] 열전도율시험 결과

| 구 분 | 수 종 | 낙엽송 1 | 낙엽송 2 | 낙엽송 3 |
|---|---|---|---|---|
| 시험체 크기(㎜) | | 299.0×299.0×81.2 | 299.0×298.0×81.2 | 299.0×299.0×81.2 |
| 23±3 ℃, 기건무게(g) | | 4,266.7 | 4,306.9 | 4,187.4 |
| 60 ℃ 24시간 건조무게(g) | | 4,170.9 | 4,194.5 | 4,084.8 |
| 105 ℃ 24시간 건조무게(g) | | 3,936.3 | 3,966.9 | 3,842.2 |
| 체 적(㎥) | | 0.007259 | 0.007235 | 0.007259 |
| 열전도율 시험체의 함수율(%) | 기 건 | 8.4 | 8.6 | 9.0 |
| | 60 ℃ 24시간 건조 | 6.0 | 5.7 | 6.3 |
| 비 중 | 기 건 | 588 | 595 | 577 |
| | 60 ℃ 24시간 건조 | 575 | 582 | 568 |
| | 105 ℃ 24시간 건조 | 542 | 548 | 529 |
| 열전도율 W/m?K (평균온도) | 기 건 | 0.155(21.4℃) | 0.155(21.5℃) | 0.155(21.4℃) |
| | 60 ℃ 24시간 건조 | 0.140(21.4℃) | 0.147(21.4℃) | 0.150(21.6℃) |
| | 105 ℃ 24시간 건조 | - | - | - |

### 마. 분 석

열전도율 측정결과 동일 수종의 집성재의 열전도율은 함수율과 비중이 유사하다면 열전도율도 유사한 결과를 나타냄.

## 4. 집성재 기둥의 재하가열(내화성능)시험 및 탄화속도 측정실시

### 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

| 시험체 번 호 | 시험체 종 류 | 시험체 크기 (mm) | 시 험 체 수 | 재하량 (kgf) |
|---|---|---|---|---|
| No. 1 | 원통기둥 | Φ 300 (내부 □ 100×100공간) | 1 | 20,000 |
| No. 2 | 원통기둥 | Φ 300 (내부 □ 100×100공간) | 1 | 20,000 |
| No. 3 | 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 성능기준, 1999)의 기준에 따른 재하가열시험

2) 재하가열시간 : 1시간

3) 시험하중

- No. 1, No. 2 : 20,000 kgf • No. 3 : 27,812 kgf

4) 재하방법 : 중심 축하중을 가함.

5) 시험결과

- 성능기준 및 시험결과

| 구 분 | 시 험 결 과 | | | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 성 능 기 준 | 측 정 결 과 | | | |
| | | No. 1 | No. 2 | No. 3 | |
| 변형량 | 35.0mm$\left(\frac{h}{100}\right)$ | 1.6 mm | 3.9 mm | 1.3 mm | h: 시험체 높이 |
| 변형율 | 10.5mm/min$\left(\frac{3h}{1,000}\right)$ | 0.5 mm/min | 0.7 mm/min | 0.5 mm/min | |

- 탄화속도 측정결과

| 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 |

### 라. 분 석

1) No. 1, No. 2, No. 3 : 1시간 내화성능기준에 모두 적합하였음.

## 5. 집성재 철물접합 보의 재하가열(내화성능)시험 및 탄화속도 측정실시

### 가. 개 요

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

### 나. 시험체 제작

1) 수 종 : 낙엽송

2) 시험체 사양

| 시험체 번호 | 시험체 종류 | 시험체 크기(mm) | 시험 체수 | 재하량 (kgf) |
|---|---|---|---|---|
| No. 4 | 볼트 접합 집성재 보 | 150×400×5,000 | 1 | 1,815 |
| No. 5 | 합판 못접합 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 |

### 다. 시 험

1) 시험기준

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

- 탄화속도 측정결과

| 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 |

※ 단, No. 5 시험체는 가열시간이 너무 짧아(5분) 정확한 측정값이 불가하여 탄화속도 측정을 생략하였음.

• 성능기준 및 시험결과

| 시험체명 | 실 시험 시간(분) | 변형량 (㎜) | | 변형율 (㎜/min) | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 성능기준 | 측정결과 | 성능기준 | 측정결과 | |
| No. 4 | 27 | 135.1 | 313.0 | 6.0 | 110.9 | – 변형량 = $\left(\frac{L^2}{400d}\right)$ |
| No. 5 | 5 | 135.1 | 60.4 | 6.0 | 55.6 | – 변형율 = $\left(\frac{L^2}{9,000d}\right)$ |
| No. 6 | 15 | 135.1 | 307.0 | 6.0 | 116.0 | L : 시험체 스팬<br>D : 시험체 압축측에서 |
| No. 7 | 28 | 135.1 | 234.1 | 6.0 | 160.1 | 인장측까지의 거리<br>(덧붙임 변형량 측정 결과 참조) |

• 내부온도 측정결과

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

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

## 라. 분 석

1) No. 4, No. 5, No. 6, No. 7 : 주어진 하중(설계하중)에 시험체가 견디지 못하고 허용기준을 초과하여 1시간 내화성능 기준에 부적합하였음.
2) No. 4, No. 7 : 동일 시험기간 동안의 내부최고온도 측정결과가 상당한 차이를 보여주고 있는데 이는 No. 4 시험체는 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.

## 6. 맺 음 말

이상에서 집성재 기둥 및 접합부재의 내화성능평가를 위해 설계에 따른 재하내화성능시험을 실시하였으며 이와 병행하여 집성재의 탄화속도, 화재에 노출된 집성재 접합부재의 내부온도변화를 파악하였고 또한 기초연구자료로써 열전도율을 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 것을 미연에 방지할 수 있고 집성재 구조가 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