

집성재의 내화성능평가 시험연구

정 재 군 / 건축구조부 선임연구원

1. 서론

목재는 인류 역사상 인간 생활에 가장 적합한 건축재로서 이용되어 왔다. 그러나 소재 자체로는 나무의 치수와 여러가지 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 판상으로 가공한 라미나재를 함수율 15% 이하로 인공건조하여, 마디나 결손 등 강도상 약점이 되는 결점을 제거하고 스퀘어 조인트, 핑거 조인트 등 조인트 공법을 사용하여 길이·나비 및 두께방향으로 우수한 접착제를 이용하여 적층·집성한 것이다. 구조체로서 결합이 적고 역학적으로도 안정된 재질을 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 측면이외에 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.

그러나 집성재구조가 실제 사용중에 화재에 노출되었을 때에는 하중을 받으면서 화재의 영향을 받게되며 집성재구조의 화재하에서의 거동을 올바르게 이해하기 위해서는 실

대치수에 의한 재하내화실험이 필요하고 집성재의 내화성능을 파악하여 집성재의 구조물의 설계에 활용할 수 있도록 하여야 하나, 아직까지 집성재에 대한 실대 내화성능실험에 대한 연구가 국내에서 이루어지고 있지 않아 이에 대한 집성재 구조의 내화성능 평가를 위해 재하내화성능실험을 실시하고 또한 재하내화실험과 병행하여 집성재의 탄화속도, 화재에 노출된 집성부재의 내부온도변화 및 집성재 표면의 탄화진행상태를 파악하고 또한 열전도율시험 등을 통하여 집성재의 내화성능을 파악하여 집성재의 구조물의 설계에 활용할 수 있도록 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 집성재의 부재별 특성

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. 그 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 집성함으로써 임의의 치수, 형상을 만들 수가 있다. 따라서 매우 큰 치수의 부재뿐만 아니라 만곡부재로 형성할 수 있어 설계의 자유도가 커진다.

넷째, 목재의 성질은 거의 그대로 유지되므로 목재의 장점 등을 살릴 수가 있다.

다섯째, 품질이 균일하고 고른 재료를 양산 할 수 있다.

여섯째, 아름다운 외관의 재료를 만들 수 있다.

일곱째, 가격이 싼 원료를 이용할 수 있다.

3. 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 견뎌주기 때문에 오히려 철구조보다 더욱 안전한 내화구조를 이루고 있다.

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.

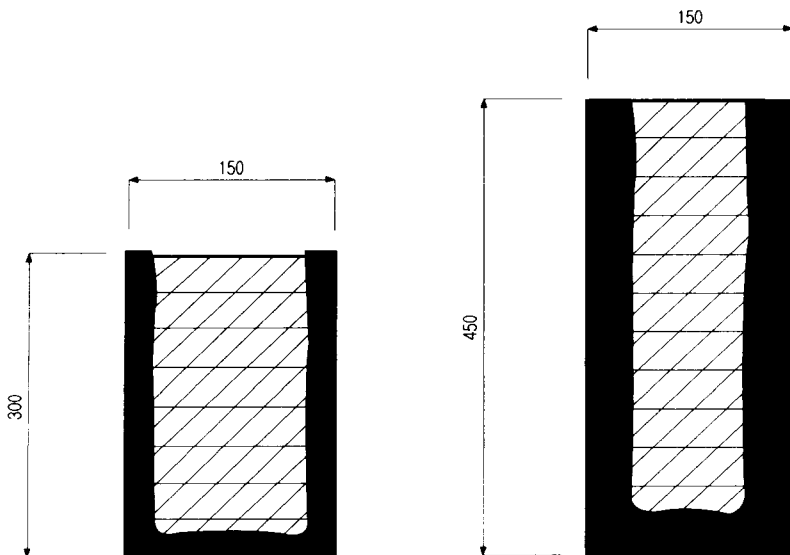
따라서 대단면의 구조재를 사용한 목조건축물에서는 작은 지름의 목재를 이용한 건축물과는 달리 방화피복이 없어도

일정한 시간은 화재시에 필요한 구조내력을 유지하며 건물의 붕괴나 화재의 확대를 어느 정도 방지하는 것이 기대된다.

이와 같이 대단면 목재의 성상은 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/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.

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 붕괴되는 것을 미연에 방지하는 설계도 가능하게 된다.



[그림1] 집성재 보의 탄화상태

4. 집성재 재하 내화성능시험 및 탄화속도 측정 실시

(1) 실험목적

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

(2) 실험체 제작

- ① 수 종 : 국산 2종, 외산 4종
- ② 실험체 사양

시험번호	실험체 크기(mm)	실험체수	강도등급	적중수	접착제 종류
실험체 1	170×400×5000	1	12S-36B	12	레소시놀
실험체 2	150×400×5000	1	10S-28B	17	레소시놀
실험체 3	130×600×5000	1	10S-28B	24	레소시놀
실험체 4	130×600×5000	1	12S-36B	18	레소시놀
실험체 5	130×600×5000	1	12S-36B	16	레소시놀
실험체 6	170×600×5000	1	12S-36B	17	레소시놀

(3) 실험

① 개요

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

② 실험기준

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 : 중앙부 깊이별(표면에서 15, 30, 45, 60 mm)로 2 points씩 8 points (붙임 실험체 제작 및 실험도면 참조)

⑤ 실험하중

시험번호	허용 힘 응력도 (kgf/cm ²)	스팬 길이 (cm)	단면 계수	총하중 (kgf)	실험하중 (kgf)	비 고
실험체 1	142	468	2,813	5,120	2,560	안전 계수 = 2.0
실험체 2	135	468	2,344	4,060	2,030	
실험체 3	135	468	4,408	7,630	3,815	
실험체 4	142	468	4,408	8,030	4,015	
실험체 5	142	468	4,408	8,030	4,015	
실험체 6	142	468	6,613	12,040	6,020	

⑥ 재하방법

보의 3등분 지점에 집중하중을 가함. (붙임 실험체 제작 및 실험도면 참조)

⑦ 실험결과

- 성능기준 및 실험결과

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

• 탄화속도 측정결과

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

• 내부온도 측정결과

내부온도 측정위치		내부최고온도 측정결과 (°C)					
		실험체 1	실험체 2	실험체 3	실험체 4	실험체 5	실험체 6
표면에서 15mm 지점 ①	A	859	814	761	688	384	805
	B	850	734	703	685	498	767
표면에서 30 mm 지점 ②	A	733	346	276	628	192	683
	B	707	409	338	554	181	657
표면에서 45 mm 지점 ③	A	717	157	153	233	149	185
	B	579	177	152	332	143	129
표면에서 60 mm 지점 ④	A	147	91	74	108	41	92
	B	159	102	79	133	47	125

⑧ 분 석

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

5. 집성재의 열전도율실험 실시

(1) 실험목적

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

(2) 실험체

- ① 수 종 : 국산 2종, 외산 4종
- ② 실험체 크기 : 300 × 300 × 두께 38 mm

(3) 실험

① 실험조건

- 1차 열전도율실험 : 각 수종별로 1개씩 기건상태와 105 °C에서 24시간 건조후 각각 실험 실시
- 2차 열전도율실험 : 각 수종별로 1개씩 기건상태와 60 °C에서 24시간 건조후 및 105 °C에서 24시간 건조후 각각 실험 실시

② 실험기준 : KS L 9016 (보온재의 열전도율 측정 방법, 1995)

(4) 실험결과

표 1 및 표 2 열전도율실험 결과 참조

(5) 분 석

열전도율 측정결과 동일목재 집성재의 열전도율은 비중이 증가(흡수율 증가)함에 따라 높아짐을 알 수 있음.

[표 1] 1차 열전도율실험 결과

시험번호		실험체 1	실험체 2	실험체 3
구 분	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(m³)	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)

[표 2] 2차 열전도율실험 결과

시험번호		실험체 4	실험체 5	실험체 6
구 분	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

시험번호		실험체 4	실험체 5	실험체 6
105 ℃ 24시간 건조무게(g)		1,635.4	1,955.8	1,472.5
체 적(m ³)		0.003420	0.003365	0.003388
열전도율 시험체의 함수율(%)	기 건	10.8	10.2	12.2
	60 ℃ 24시간 건조	3.4	3.4	3.7
비 중	기 건	529	623	480
	60 ℃ 24시간 건조	495	601	451
	105 ℃ 24시간 건조	478	581	435
열전도율 W/m·K (평균온도)	기 건	0.114(22.2℃)	0.145(22.9℃)	0.104(22.2℃)
	60 ℃ 24시간 건조	0.102(22.0℃)	0.142(22.6℃)	0.091(22.0℃)
	105 ℃ 24시간 건조	0.091(21.9℃)	0.127(21.7℃)	0.083(21.9℃)

6. 맺음말

이상에서 집성재구조의 내화성능평가를 위해 설계에 따른 재내화성능실험을 실시하였으며 이와 병행하여 집성재의 탄화속도, 화재에 노출된 집성부재의 내부온도변화를 파악하였고 또한 기초연구자료로써 열전도율을 측정하였다. 실험의 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 화재가 약할 것이라는 선입관과는 달리 대규모 목조 건축물이라도 화재시에 건물전체가 붕괴되는 것을 미연에 방지할 수 있고 집성재구조가 보다 광범위하게 우리생활에서 사용될 수 있을 것이라 생각된다. 철이나 콘크리트에 비하여 환경친화적이며, 인간에게 친밀하고 자연적인 목조건축물이 보다 우리 주변 가까이에서 머물기를 기대하면서 이에 대한 많은 시험·연구가 진행되어야 할 것이다.

불임 실험체 제작 및 실험도면

