

목조 건축물 문화재를 화재 등의 재난으로부터 보호하기 위한 다양한 노력을 통해 민족의 자부심이 되어온 귀중한 문화재의 가치를 보존해야 한다. 사찰, 궁궐 등이 아름다운 목조 건축물을 보고 느끼는 즐거움을 유지하고 후세에 전하기 위해서는, 한치의 오차도 없는 화재예방을 염두에 두고 목재의 방화처리 및 목구조의 화재안전 대책을 마련해야 할 것이다.

기획특집

03

목조 건축물의 화재위험과 안전 대책

머.리.말.

강원도 양양에서 발생한 대형 산불로 인해 우리나라의 주요 문화재 중 하나인 낙산사가 큰 손실을 입음에 따라 대부분 목조 건축물로 지어진 사찰, 궁궐 등 문화재에 대한 화재안전 대책이 최근 중요한 이슈가 되고 있다. 이러한 화재안전 대책의 일환으로 일부에서는 지역 내 목조 문화재 전반에 대해 소방점검을 실시하고, 사태별 대응훈련을 실시하여 자체 방화관리 능력을 확보하는 등 대책 마련에 나선 것으로 알려지고 있다.

과거 우리나라의 주요 문화재, 특히 목조로 이루어진 건축물은 임진왜란 등 전란으로 인한 화재로 소실된 경우가 많았으며, 그러한 사례로는 경복궁, 창덕궁, 종묘의 정전 및 영년전, 금산 향교 등을 들 수 있다. 그러나 오늘날에는 문화재의 유지관리 방안 및 화재 안전에 대한 관심과 화재 발생시 초기에 진화할 수 있는 필수 소화설비 확보 등의 미흡, 그리고 낙산사의 경우와 같이 대형 산불이 원인이 되어 발생하는 문화재의 소실 등에 의한 피해가 늘고 있어 대책 마



련이 요구되고 있다. 이 기고에서는 목조로 지어진 귀중한 우리 문화재의 하나인 낙산사의 화재 피해를 접하면서 최근 우리나라에서도 점차 관심이 높아지고 있는 목조 건축물과 관련하여 목재의 특성 및 구조공법, 화재안전 성능 확보를 위한 법규정 및 평가 방법 등에 대하여 살펴보고자 한다.

■ 사진 1. 낙산사 화재



목재의
착화 및
연소요인.

목재의 착화와 연소에 영향을 미치는 요인은 여러 가지가 있으나 크게 다음과 같은 요인들을 들 수 있다.

가. 목재의 외형

나뭇가지는 쉽게 불이 붙지만 무겁고 두터운 통나무는 착화되기 어려운데 이것은 물질이 잘게 나누어질수록 표면적이 커지기 때문이며, 따라서 잘고 얇은 가연물이 두껍고 큰 것보다 잘 탈 수 있는 것이다.

나. 열전도

목재는 열전도가 철의 약 1/350, 알루미늄의 약 1/1000 정도이다. 화재시 두터운 목재 및 목구조의 건물이 경량 철골구조의 건물보다 더 오래 견딜 수 있는 것으로 알려지고 있는데 이는 목재가 연소해서 생기는 목탄의 단열효과로 인한 것이다.

다. 수분함량

크기 및 외형, 화학적 조성이 동일한 고체 가연물이라 하더라도 수분함량에 따라 착화와 연소성상이 다르게 나타난다. 목재는 수분함량이 15% 이상이면 비교적 고온에 장기간 접촉해도 쉽게 착화되지 않는 것으로 알려지고 있다.

라. 가열속도와 시간

목재를 가열하는 속도와 시간은 목재의 착화성에 영향을 미친다. 가연성 액체나 기체와 달리 고체 물질은 쉽게 기화하지 않고 상온 상압 하에서 가연성증기를 방출하지 않는다.

마. 자연발화

목재나 목재가공품은 오염된 상태로 두면 자연 발화할 수 있는데, 그 예로 깨끗하고 건조



된 섬유물질은 자연발화가 어려우나 기름에 적셔 통풍이 불량한 곳에 보관하면 자연발화의 가능성이 높게 나타난다.

목재의 방화처리

목재는 다른 건축 재료에 비해 경량인데 비해 강도가 크고, 열전도율이 낮을 뿐 아니라 가공 및 공급의 용이성 등 많은 장점을 갖고 있으나, 연소하기 쉬운 단점을 갖고 있다. 목재의 발화점은 400~600℃이며 일반적으로 열분해가 이루어지는 온도(약 260℃)를 넘으면 인화될 수 있어, 일본의 경우 방화공학에서는 출화위험 온도를 260℃로 정하고 이 온도를 바탕으로 목재를 사용하는 재료나 구조재의 이면온도의 허용 한계치로 적용하고 있다.

또한 목재가 열분해하면 1g당 30cal 정도의 발열이 있어 비교적 저온상태로 장기간 가열되면 열이 축적하여 불꽃 없이도 착화가 일어날 수 있는 가능성이 있는 것으로 알려지고 있다. 목재의 가연성을 개선하여 방화성능을 갖도록 하기 위해서는 다음과 같은 방법이 있다.

가. 방화목재

목재를 방화처리하여 화재에 저항하도록 하는 것으로서, 목재의 방화처리는 제2인산암모니아(NH₄)₂HPO₄ 10%액을 사용하기도 하고 제2인산암모니아(NH₄)₂HPO₄ 5%와 붕산H₃BO₃ 5%의 혼합액을 주입한다. 이러한 목재는 화재시 방화약제가 열분해되어 불연성가스를 발생함으로써 방화효과를 갖게 한다.



나. 방화섬유판

유기질섬유로 된 연질판·반경질판·경질판 등의 목재에 방화약제로 방화처리한다.

다. 방화도료

목재 표면에 시공한 도료가 고온의 화재에 노출될 때 일정 두께 이상 발포되어 화염을 차단함으로써 바탕재로의 열전달을 지연할 수 있도록 한다.

목구조의 화재안전 대책

가. 목구조 공법

목조의 구조 공법은 크게 다음의 3가지로 분류된다.

- 통나무 구조(Log House)
- 기둥-보 구조(Post & Beam)

· 경골목구조(Light Weight Wood Frame)

이 중 경골목구조는 단면 크기가 2"×4"(38 mm×89 mm), 2"×6"(38 mm×140mm), 2"×10"(38mm×235mm)의 각재를 기본으로 하는 것으로서, 발룬 구조(Balloon Framing), 플랫폼 구조(Platform Framing)로 구분된다.

(1) 발룬 구조(Balloon Framing)

작은 단면의 각재들만 사용하여 그 간격을 좁혀서 벽체에는 스테드로, 바닥은 장선으로, 지붕에는 서까래로 구성하는 공법으로서, 건물을 가볍게 하여 풍선처럼 날아갈 듯한 인상을 준다.

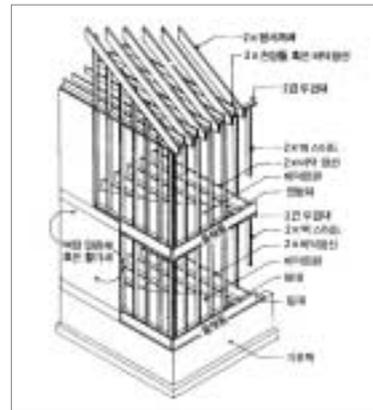
(2) 플랫폼 구조(Platform Framing)

화재시 취약한 발룬 구조의 약점을 보완한 구조로서, 벽체가 평탄한 바닥구조 위에 놓이게 된다. 발룬 구조와 차이는 구조 부재의 길이가 짧고 가벼우며, 플랫폼으로 구성된 바닥 구조가 하층부와 상층부 벽체 사이에서 방화막의 기능을 하게 된다.

■ 그림 1. 발룬 구조



■ 그림 2. 플랫폼 구조



■ 사진 2. 경골목구조 건물 시공



■ 사진 3. 경골목구조 공동주택



나. 법규정

우리나라는 일반적으로 목재는 불에 타므로 화재에 약하다는 고정 관념을 가지고 있어 아



직까지 법규정에 목구조를 내화구조로 예시하고 있지 않다. 반면, 선진 외국의 경우 많은 실험 및 연구를 통하여 목구조라 하더라도 일정한 단면 크기를 갖는 경우 화재에 안전한 구조임을 입증하고 이에 따라 일정 규모의 건축물에 대해서는 목구조를 허용하고 있다. 목구조 건축물과 관련하여 우리나라와 미국, 캐나다 등 주요 국가의 법규정을 간략히 소개한다.

(1) 우리나라

■ 표 1. 우리나라 목구조 관련 법규정

구 분	조 항	내 용
건축법 시행령	제57조 3항	연면적이 1,000㎡ 이상인 목조의 건축물은 그 외벽 및 처마말의 연소할 우려가 있는 부분을 방화구조로 하되, 그 지붕은 불연재료로 하여야 한다.
건축물의 구조 내력에 관한 기준	제2장 6조	주요 구조부(지붕을 제외한다)가 목조인 건축물은 높이를 13m(처마높이 9m) 미만으로, 연면적을 3,000㎡ 미만으로 건축하여야 한다.

(2) 미국

미국의 통합 건축법인 IBC(International Building Code)에서는 경골목구조(Light-Framed Wood Structure) 건축물에 대하여 다음과 같이 규정하고 있다.

- 경골목구조에 의한 구조의 층수는 최대 3층 이하로 할 것
- 1개 층의 내력벽의 높이는 3m를 초과하지 않을 것
- 스타드의 크기, 높이, 간격은 <표 2>에 따를 것
- 제재목은 인정기구가 승인한 제재목 등급이나 검사기관에 의한 등급 구분에 의해 구별될 것

■ 표 2. 스타드 크기, 높이 및 간격

스타드 크기 (inch)	스타드 간격(inches)			
	측방향으로 지지받지 않는 스타드 높이 (feet)	지붕 및 천장만 지지	1개층 바닥, 지붕 및 천장지지	2개층 바닥, 지붕 및 천장지지
2×3 ^(*)	-	-	-	-
2×4	10	24	16	-
2×5	10	24	24	-
2×6	10	24	24	16
3×4	10	24	24	16

(*) : 외벽에서는 사용하지 않을 것

(3) 캐나다

캐나다 건축법인 NBC(National Building Code)에서는 경골목구조 건축물에 대하여 우측 상단의<표 3>을 따르도록 규정하고 있다.

다. 경골목구조 내화성능 평가

경골목구조로 벽 및 바닥을 구성하는 건축물이 화재에 안전하도록 하기 위해서는 사전에 벽, 바닥 구조의 화재 안전성을 평가하여야 한다. 평가 방법은 현장에 설치되는 부재와 크기, 구성이 동일한 시험체를 제작하여 가열로에 설치하고, 내력 부재에 전달되는 하중을 계산하여 계산된 하중을 시험체에 가력하면서 가열한다. 이 때 목구조의 내화성능은 가열 중 부재가 시험규격에서 정한 허용 온도 및 변형량을 초과하는지의 여부로 결정하게 된다.

■ 표 3. 경골목구조의 스타드 크기 및 간격

구 분	지지하중(자중 포함)	최소 스타드 크기 (inch)	최대 스타드 간격 (mm)		
내 벽	· 지지하중 없음	2×2 2×4 flat	400 400		
	· 계단으로 출입이 어려운 다락	2×3 2×3 flat	600 400		
		2×4 2×4 flat	600 400		
		2×4	400		
	· 계단으로 출입이 어려운 다락 +1개층 바닥 · 지붕하중 + 1개층 바닥 · 계단으로 출입이 어려운 다락 +2개층 바닥	2×4	300 400 400		
		· 지붕하중 · 계단으로 출입이 가능한 다락 · 계단으로 출입이 어려운 다락 +1개층 바닥	2×3 2×4	400 600	
			· 계단으로 출입이 가능한 다락 +2개층 바닥 · 지붕하중 + 2개층 바닥	2×4 3×4 2×6	300 400 400
				· 계단으로 출입이 가능한 다락 +3개층 바닥 · 지붕하중 + 3개층 바닥	2×6
		외 벽	· 다락이 있거나 없는 지붕	2×3 2×4	400 600
				· 다락이 있거나 없는 지붕 + 1개층 바닥	2×4 2×6
· 다락이 있거나 없는 지붕 + 2개층 바닥	2×4 3×4 2×6		300 400 400		
	· 다락이 있거나 없는 지붕 + 3개층 바닥		2×6		300

맺.음.말.

목조 건축물은 석조나 콘크리트조 건물과 달리 주요 구조 부재가 목재로 구성되어 있기 때문에 화재에 노출되면 표면의 탄화로 부재의 단면이 감소되어 구조 안전상 영향을 받으므로 이러한 특성을 반영한 내화공법에 따라 시공하여야 한다. 그러나 문화재로서 대부분의 목조 건축물은 오늘날과 같이 불에 견딜 수 있는 성능을 지닌 자재의 사용이나 내화구조 공법이 적용되지 못하여 화재시 쉽게 소실될 우려가 크므로 귀중한 문화재의 가치가 상실되지 않도록 보전에 더욱 힘써야 한다. 우리나라에서도 최근 국내에서 생산되는 목재의 활용을 다각화하기 위한 연구가 점차 늘고 있고, 목조 건축물의 용도도 단독 주택에서 복지시설, 종교시설 등 보다 큰 규모로 확대 추세에 있다. 이에 따라 목조 건축물의 구조 공법, 표준 내화성능 등 이와 관련한 국가규격도 활발히 제·개정되고 있다. 조상들이 물려준 수많은 아름다운 목조 건축물을 문화재로 보유하고 있는 문화 선진국의 자긍심이 빈약한 화재예방 조치나 낙후된 문화재 보존 의식으로 또 다시 한순간에 귀중한 문화재의 소실로 이어지지 않도록 많은 노력이 필요한 때이다. 

참고문헌

1. 한국화재보험협회, 방재이론과 실무
2. 기술표준원, 내화목구조부재 표준화 연구, 2001
3. 미국임산물협회 한국사무소, 경량 목조 주택 해설
4. ICC, International Building Code, 2003
5. NRCC, National Building Code of Canada, 1995