

목조건축물 문화재 방호를 위한 미분무 소화설비 소화성능평가

제1장 서론

작년에 발생한 숭례문 화재를 계기로 주요 목조문화재에 대한 방재설비의 필요성이 한층 더 부각되었으며, 그동안 문화재 훼손 우려로 인해 감히 시도되지 못했던 고정식 소화설비의 도입이 조심스럽게 검토되기 시작하였다.

최근 문화재청 궁능관리과에서는 5대궁을 포함한 국보급 목조문화재에 적용하기 위한 자동소화설비의 가능성을 타진하고자 모형 목조문화재 구조물을 지어 스프링클러설비 및 미분무소화설비에 대해 화재시험을 실시하기도 하였다.

본 연구에서는 목조문화재 건축물을 내외부의 화재위험요인으로부터 보다 효과적이고 신속하게 보호하기 위한 방재시스템 구축의 일환으로 시도중인 고정식 자동소화설비의 효용성을 살펴보고자 방수량이 비교적 적어 수손우려가 작고 소화성능도 양호하다고 알려져 있는 미분무소화설비에 대해 소화성능을 평가하고자 한다. 이를 위해서 실제상황을 고려한 시험방법 및 화재시나리오를 선정하고, 실대 크기의 모형 목조문화재 구조물과 미분무소화설비를 설치하여 화재시험을 실시하고 소화성능을 평가한다.

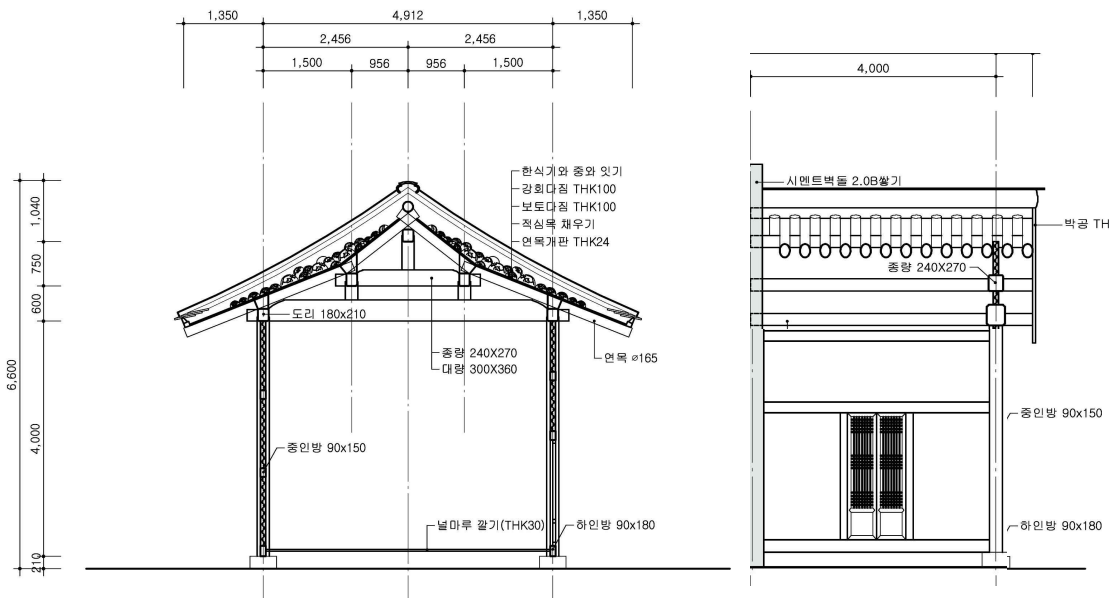
제2장 화재시험장치 및 시험방법

본 연구의 화재시험을 위한 시험장치 및 시험방법은 다음과 같다.

제1절 화재시험장치

1. 모형 목조문화재

본 미분무 소화설비의 소화성능을 평가하기 위하여 아래 그림과 같이 실물과 유사한 크기와 모양의 목조문화재 모형(이하 모형물)을 제작하였다. 모형물의 크기는 길이 4.9m, 폭 4m, 최고 높이 6.6m 이며, 기둥과 보, 벽체, 널마루 모두 목재로 되어 있고 지붕 위에 기와는 올리지 않았다. 또한 대량이 있는 도리까지의 높이는 4m 이고, 종량까지의 높이는 4.6m, 지붕 밑 최상단 도리까지의 높이는 5.35m 이다.



[그림 1] 모형 목조문화재 도면



[그림 2] 모형 목조문화재 사진

2. 미분무 설비

가. 미분무 노즐

본 연구에 사용된 미분무 노즐은 모형물 내부용과 모형물 외부용으로 구분되며 총 2종이다. 모형물 내부용은 유량이 30~35 l/min, 방수압력 13~14 bar 이고, 외부용은 유량이 40~45 l/min, 방수압력은 14~15 bar로 유량은 비교적 많으며 입자의 크기가 크고 방수압력이 낮은 중저압용 미스트 노즐이다.

[표 1] 미분무 노즐 사양

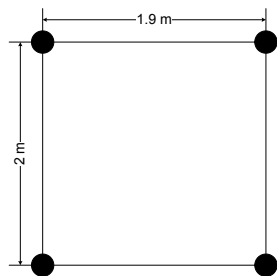
구 분	정격압력 bar	유 량 ℓ /min	유량계수	팁 개수	설치 수량
내부용 미분무 노즐	13~14	30~35	8.3~9.4	4개	4개
외부용 미분무 노즐	14~15	40~45	10.7~11.6	3개	1개



[그림 3] 미스트 노즐 사진

나. 설치조건

모형물 내부 미분무 노즐의 배치는 아래 그림과 같이 사각 형태이며 수량은 4개, 설치 간격은 1.9m, 설치높이는 4.6m 이다. 이에 반해 모형물 외부의 미분무 노즐은 출입문 위 쪽 지붕 처마 아래에 한 개가 설치되어 있으며, 설치높이는 4m 이고 노즐팁이 일렬로 3 개가 나란히 있어 세로방향은 살수 폭이 좁으나 가로방향으로 살수반경이 넓은 특징이 있다. 이는 출입문 쪽의 화재 시 양쪽 벽까지 넓게 방호하기 위함이다.



[그림 4] 미분무 노즐 배치

3. 화원

목조문화재에서 발생할 수 있는 다양한 형태의 화재를 모사하기 위해서 A급 일반화재와 B급 유류화재로 나누어 화원의 종류 및 크기를 선정하였다.

우선 A급 화재는 일반가연물의 표준화원인 목재크립을 사용하였고, 모형물의 벽체로는 합판(12t)을 사용하였으며, 문화재의 특성상 침구류도 가연물로 채택하였다. 목재크립의 크기는 1단위 모형의 절반 크기인 10단을 적층하였으며 이것은 약 1.3 MW의 열방출율을 가진다.

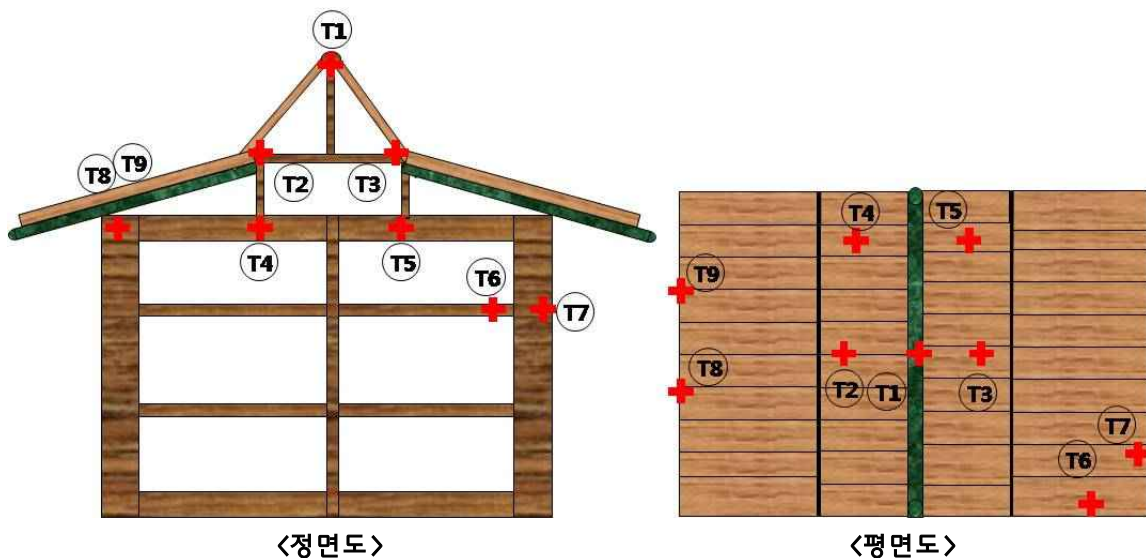
침구류는 면 이불과 베개를 적당히 쌓아 궁궐 문화재 등에 많이 보관되어 있는 침구류에

화재 발생시 소화 적응성 여부를 확인하고자 하였다.

한편 B급 화재는 휘발유를 사용하였는데 일정한 소화성능을 평가하기 위한 팬 화원과, 방화 등에 의한 화재를 모사해 실제와 유사하게 바닥에 기름을 부어 화재시험을 수행하였다.

4. 계측장비

화재시험 시 소화여부 또는 화재억제 효과를 살펴보기 위해 모형물 실내 및 화원 주위의 온도변화를 측정하였으며 또한 화재시험 장면의 촬영과 동영상 녹화를 위해 캠코더를 사용하였다. 온도계측은 K형 열전대와 16채널 동시 A/D 변환이 가능한 온도수집장치(Data acquisition board) 및 노트북을 이용하여 모두 10개 지점의 온도를 실시간으로 측정하였다. 온도측정위치는 다음과 같다.



[그림 5] 목조문화재 온도측정위치

열전대 위치는 모형물 실내의 경우 중앙 상단에 3개, 좌우 벽체 위쪽에 2개, 기둥 쪽 구석 상단에 2개 지점이고, 실외의 경우 출입문 위 처마 아래 좌우에 2개 지점이며 시험장치 주위(화재시험장 내부) 온도도 참고로 계측하였다.

제2절 화재시나리오

본 목조문화재용 미분무 소화장치의 성능평가를 위해 실시한 화재시험의 시나리오는 크게 모형물 내부화재와 모형물 외부화재로 구분된다.

화재시나리오는 목조문화재에서 발생할 수 있는 가능한 한 모든 형태의 화재를 재현하고자 하였으며, 실제 상황에서 초기감지에 실패하여 소화장치의 가동이 지연되는 악조건에서의 적응성을 확인하기 위해 일반가연물이나 유류에 착화되어 화재가 충분히 성장하였을 때

소화장치를 가동하였다.

또한 모형물 중앙(3면이 개방된 경우)이나 외부 출입문 화재 시 소화시험은 풍속 5m/s 가량의 바람이 있는 조건에서 시험을 수행하여 외풍이 있는 악조건에서 소화장치의 적응성을 관찰하였다. 상세한 화재시나리오는 다음과 같다.

1. 모형물 내부화재

- 가 A급 모형(0.5단위, 1.3MW급)에 점화하여 외부에서 2~3분간 자유연소한 후, 모형물 내부 중앙으로 신속히 이동하여 소화장치 가동(모형물 내 풍속 5m/s)
 - 나-1 모형물 내부의 한쪽 구석에 2~3분간 자유연소한 A급 모형(0.5단위, 1.3MW급)을 설치하고 소화장치 가동
 - 나-2 모형물 내부의 한쪽 구석에 침구류를 놓고 2~3분간 자유연소 시킨 후 소화장치 가동
 - 다 모형물 내부 중앙에 탁자를 놓고 탁자 아래에 A급 모형을 설치하여 점화한 후 2분간 자유연소하고 소화장치 가동
 - 라 B급 모형(1단위)을 사등분 면의 중심에 총 4개 설치하고 점화하여, 30초간 자유연소한 후 소화장치 가동
 - 마 바닥 중앙에 휘발유를 3리터 뿌리고 점화하여 15초간 자유연소한 후 소화장치 가동
 - 바 내부 벽면 아래 연료팬(300×300)을 2개소에 설치하고 점화하여 2~3분간 연소시켜서 벽체에 충분히 불이 옮겨 붙게 한 후 소화장치 가동
 - 사 내부 구석의 기둥 및 양쪽 벽면 아래에 연료팬(300×300)을 설치하고, 기둥에도 약간의 휘발유를 뿌린 후 점화하여 2~3분간 연소시켜서 벽체에 불이 충분히 옮겨 붙게 한 후 소화장치 가동
- (바. 및 사.의 경우 연료의 양은 2분간 자유연소 할 수 있는 분량으로 함)

2. 모형물 외부화재

- 가 출입문 아래에 연료팬(300×300)을 설치하고 점화하여 2~3분간 연소시켜서 문쪽에 불이 충분히 옮겨 붙게 한 후 소화장치 가동(출입문 부근 풍속 5m/s)
- 나 출입문 좌우 벽면 및 기둥 아래에 연료팬(300×300)을 각각 설치하고, 벽 및 기둥에도 약간의 휘발유를 뿌린 후 점화하여 1~2분간 자유연소 후 소화장치 가동

제3장 시험결과 및 고찰

제2장에서 제시한 각 화재시나리오에 따라 화재시험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

제1절 모형물 내부화재

중저압 미스트 노즐을 적용한 본 소화설비에서 목재크립을 이용한 일반가연물 화재는 약 1.3 MW급의 화재를 소화할 수 있는 것으로 나타났으며, 모형물 내부 벽체나 구석에서 발생한 목재화재도 소화 내지 화염억제 효과가 있는 것으로 나타났다.

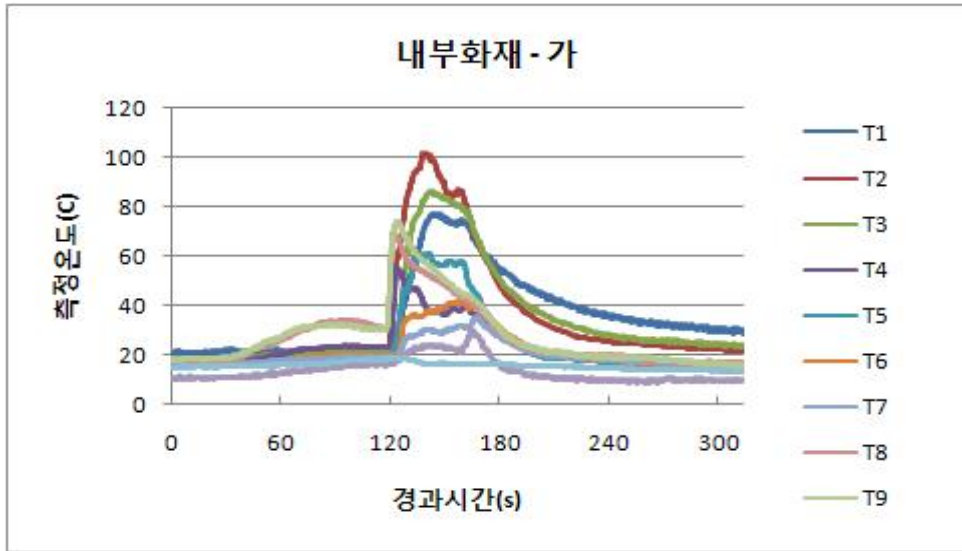
탁자 등 차폐물에 가려진 숨은 화재의 경우 완전히 소화되지는 않았으나 차폐물 내부에 억제되어 더 이상 연소확대 되지 않았으며, 침구류의 화재 시에도 안쪽에 잔염이 남아 있었으나 표면의 화재는 모두 소화되어 실제 상황에서 소방대가 출동할 때까지 방수가 지속 되면 더 이상 확대되지 않는 것으로 사료된다.

그러나 미스트 입경이 큰 특성상 풀팬(pool pan) 유류화재에 대해서는 적응성이 다소 떨어지는 것으로 나타났는데 완전소화에는 실패하였으나 연소확대는 되지 않는 것으로 판단된다.

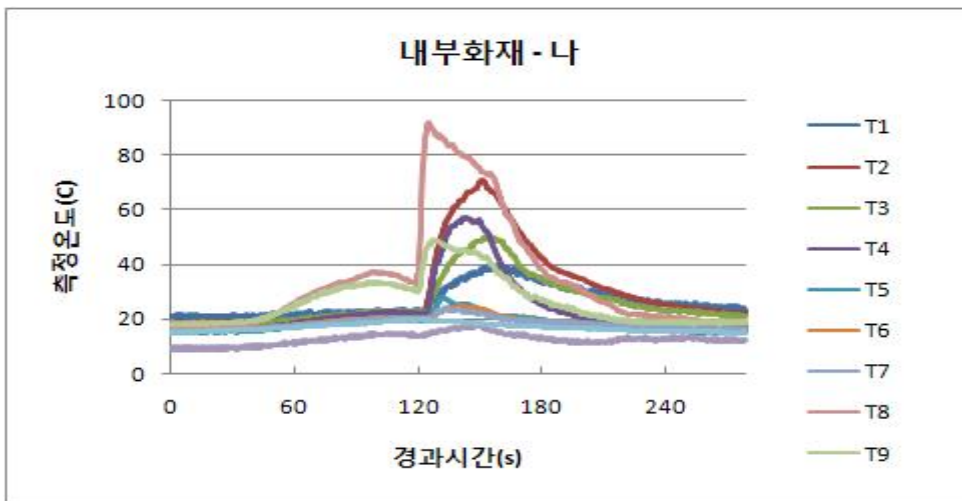
내부화재 시험결과를 [표 2]에 정리하였으며, 각 화재시나리오에 따른 측정온도 및 시험장면은 다음과 같다.

[표 2] 모형물 내부화재 시험결과

화재 시나리오	점화 시간 (분:초)	방수 시작시간 (분:초)	방수 종료시간 (분:초)	소화 또는 억제여부	방수압력 및 유량	비 고
1-가	0:00	2:30	5:00	4:10경 소화됨 (방수종료 후 일부 잔신 발견)	14 bar 119 ℓ/min	풍속 5m/s
1-나-①	0:00	2:05	3:57	3:20경 소화됨 (방수종료 후 일부 잔신 발견)	13 bar 112 ℓ/min	
1-나-②	0:00	2:00	7:00	이불표면-6:30경 소화됨 이불 안쪽에 잔염	14.4 bar 123 ℓ/min	침구류
1-다	0:00	2:00	5:00	소화실패 탁자 아래로 화염억제	14 bar 119 ℓ/min	
1-라	0:00	0:30	2:10	소화실패 천장온도 50℃ 이하로 억제	15 bar 125 ℓ/min	
1-마	0:00	0:15	1:55	1:50경 소화됨	16 bar 132 ℓ/min	
1-바	0:00	3:00	4:25	3:55경 소화됨	16 bar 130 ℓ/min	
1-사	0:00	2:05	3:50	3:15경 소화됨	15 bar 126 ℓ/min	



[그림 6] 측정온도 그래프 : 내부화재 (가)



[그림 7] 측정온도 그래프 : 내부화재 (나-1)



자유 연소

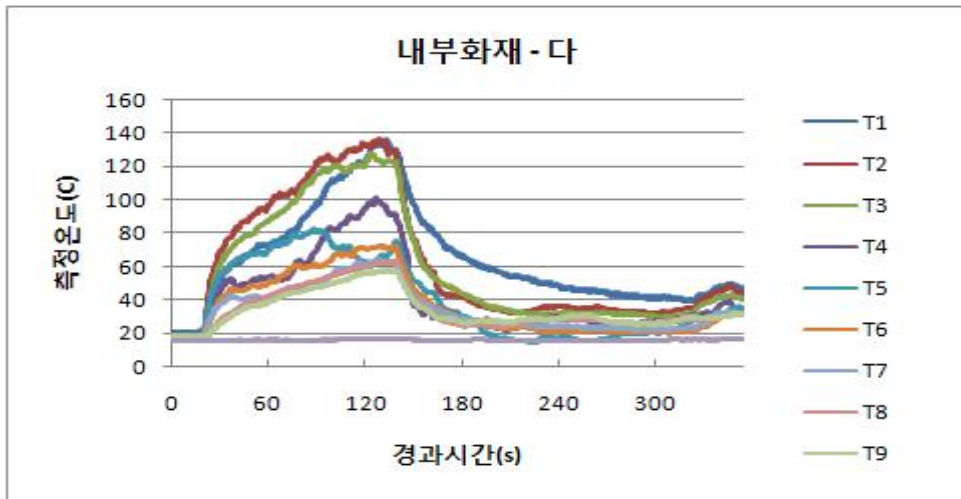


소화장치 작동

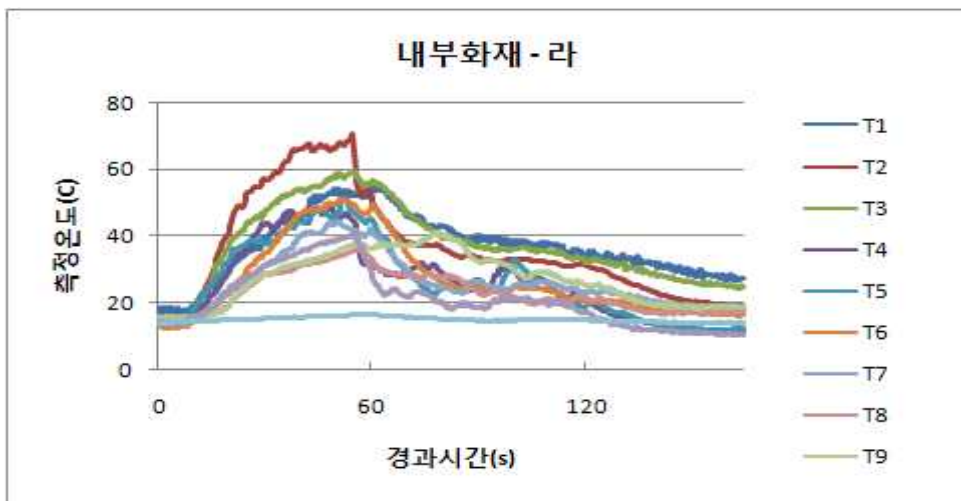


방수종료(일부 잔신발견)

[그림 8] 화재시험장면 : 내부화재 (나-1)



[그림 9] 측정온도 그래프 : 내부화재 (다)



[그림 10] 측정온도 그래프 : 내부화재 (라)



자유 연소

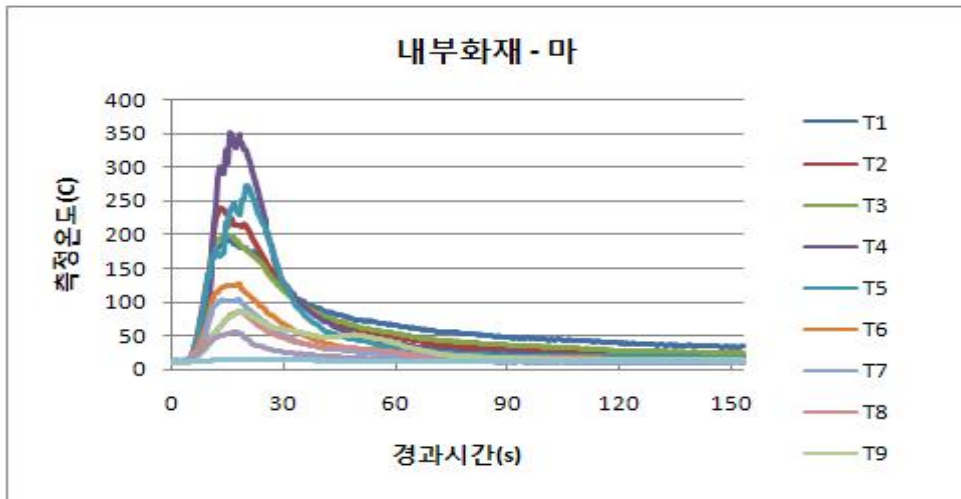


소화장치 작동

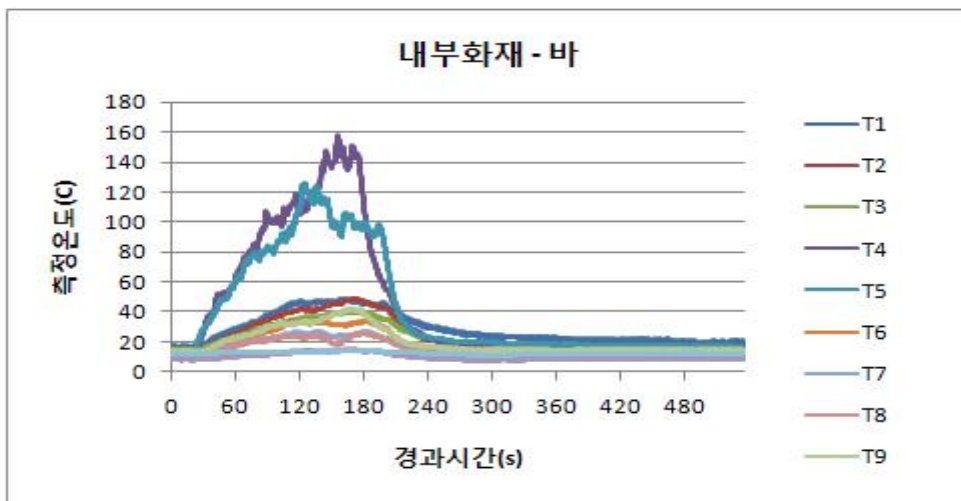


소화실패(천장온도 60°C이하 유지)

[그림 11] 화재시험장면 : 내부화재 (다)



[그림 12] 측정온도 그래프 : 내부화재 (마)



[그림 13] 측정온도 그래프 : 내부화재 (바)



[그림 14] 화재시험장면 : 내부화재 (바)

제2절 모형물 외부화재

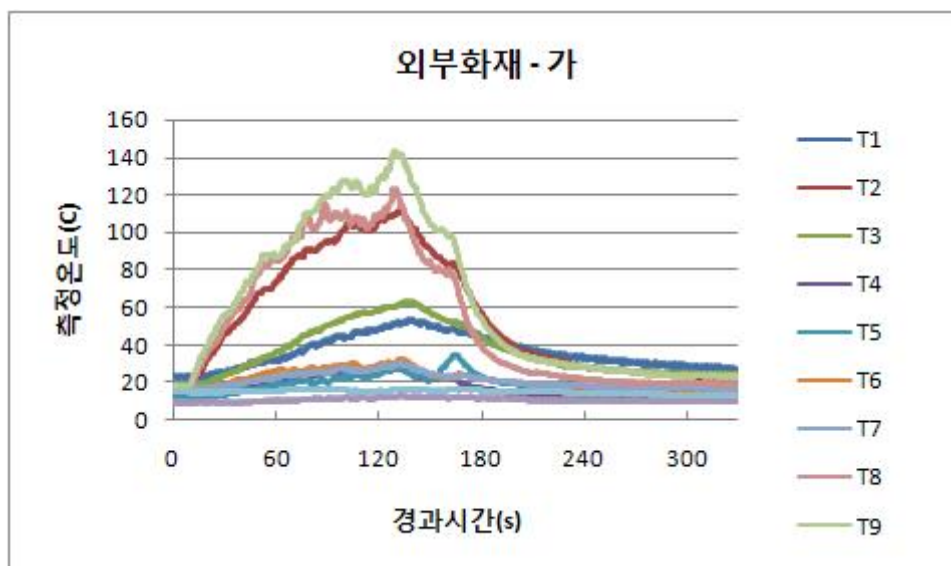
목조문화재 외부 즉, 출입문이나 외벽 부근에서 화재가 발생한 경우를 모사한 시험에서 나무 창살로 된 출입문에 방화나 기타 원인으로 착화되었을 때의 소화성능은 창살 일부나 벽체에 일부 잔신이 남아 있었지만 연소확대되지 않고 소화능력이 있는 것으로 판단된다.

시험에서 5 m/s의 외풍이 있는 경우 풍속이 0인 조건에 비해 연소가 촉진되고 미스트의 화염으로의 침투가 용이하지 않으므로 소화능력이 다소 떨어지는 것이 관찰되었으므로, 추후 풍속이 강한 조건(15 m/s 이상)에서의 적응성도 확인해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

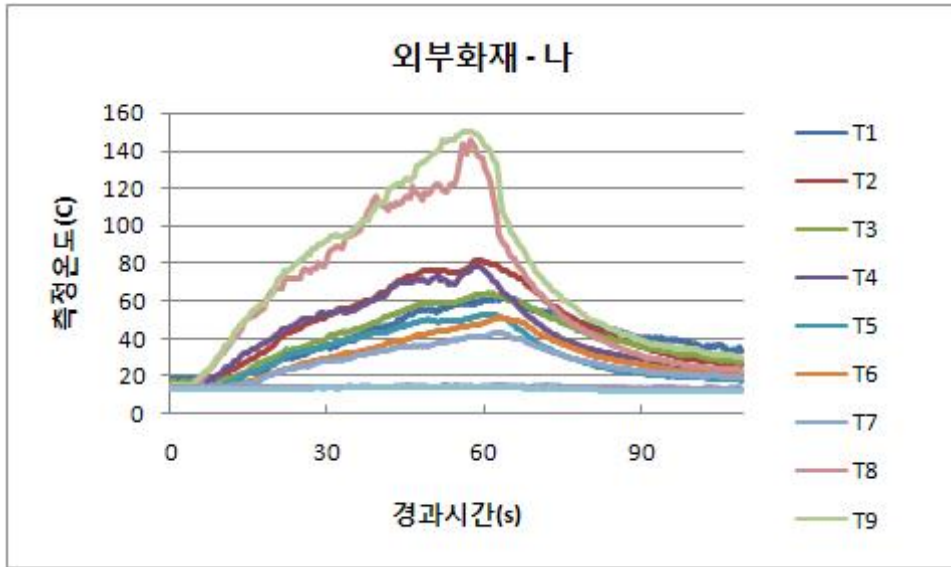
외부화재 시나리오에 따른 시험결과를 [표 3]에 정리하였으며, 각 화재시나리오에 따른 측정온도 및 시험장면은 다음과 같다.

[표 3] 모형물 외부화재 시험결과

화재 시나리오	점화 시간 (분:초)	방수 시작시간 (분:초)	방수 종료시간 (분:초)	소화 또는 억제여부	방수압력 및 유량	비 고
2-가	0:00	3:00	4:50	4:20경 소화됨 창살 일부에 잔신	15.5 bar 40.8 ℓ /min	풍속 0m/s
	0:00	2:30	5:15	5:04경 소화됨 창살 일부에 잔신		풍속 5m/s
2-나	0:00	1:00	1:30	1:18경 소화됨	17 bar 44 ℓ /min	풍속 0m/s



[그림 16] 측정온도 그래프 : 외부화재 (가)



[그림 17] 측정온도 그래프 : 외부화재 (나)



[그림 18] 화재시험장면 : 외부화재 (나)

제4장 결론

우리 민족의 오랜 역사와 전통을 간직하고 있는 목조문화재 건축물을 화재로부터 보호하기 위한 다각적인 노력이 활발한 가운데 그 일환으로 본 연구에서는 목조문화재 내에 고정식 초기화재 자동진압설비를 직접 설치하여 적용하였을 때 미분무 소화설비의 소화성능을 확인해 보고자 다양한 시나리오에 대해 화재시험을 실시하였다.

미스트는 특성상 입경이 작아 목재가연물과 같은 심부화재에는 적응성이 떨어지는 것으로 알려져 있으나 본 시험에서 입경이 200 μm 에 가까운 중저압의 미스트는 목재화재에도 상당한 적응성이 있는 것으로 나타났으며, 완전소화에는 실패하더라도 소방대가 출동할 때까지 연소확대가 되지 않도록 화재를 억제해 줄 수 있을 것으로 기대된다.

다만 목조문화재 건축물의 종류 및 구조가 무척 다양하므로 추후 목조문화재에 미분무소화설비를 설치하기 위해서는 더욱 다양한 조건(노즐설치높이, 화재실 크기, 풍속, 밀폐조건 등)들을 고려한 시험을 통해 성능이 검증되어야 하겠다.

※ 흑백출력으로 선명하지 못한 그래프 및 시험장면사진은 홈페이지-지식창고-발간자료(위험관리정보)에서 자세히 보실 수 있습니다.

작성 : 방재시험연구원 소화연소팀 선임연구원/공학박사 곽지현