

목조문화재 방호를 위한 수계소화설비의 소화성능 비교 연구

곽지현 / 공학박사 · 소화연소팀 선임연구원

1. 도입

현재 소방시설설치유지및안전관리에관한법률에서 인정되고 있는 소화설비는 스프링클러설비와 물분무 등 소화설비인데, 이 중 물분무 등 소화설비에 비교적 고압으로 미분무수를 방출하여 화재를 진압하는 미분무소화설비의 추가가 최근 입법 예고 되었다. 이에 따라 육상에서도 많은 분야에 미분무소화설비가 활용될 것으로 예상된다.

미분무소화설비의 특징은 스프링클러설비보다 적은 양의 물로 일반화재 및 유류화재까지 진압이 가능하다는 장점이 있어 해상에서는 대형선박의 기관실에 가스계소화설비를 대체하여 많이 사용되고 있으며 최근에는 거주구역이나 공공장소, 선실발코니에 이르기 까지 적용이 확대되고 있다.

그러나 미분무소화설비는 액적의 크기가 작아 일반 가연물, 특히 목재와 같은 심부화재대해서는 완전소화가 어려우며 다량의 소화수가 방출되어야 하는 단점도 있어 사용장소의 화재특성에 맞게 분사압력과 액적의 크기, 관통거리 등을 잘 설계하여 적용하여야 한다.

최근에 국보급 궁·릉 목조문화재에 이러한 미분무 소화설비가 설치되었다. 소량의 방수량과, 배관 및 관부속품의 노출을 최소화할 수 있는 장점이 크게 부각되어 스프링클러설비를 누르고 미분무소화설비가 채

택된 것이다. 실물화재모형을 모사한 다양한 화재시험을 통해 어느 정도 성능이 입증되었으며, 초기화재에 신속히 대응하여 소방대가 출동할 때까지 화재의 성장을 효과적으로 제어해줄 수 있다는 판단에 따라 문화재청이 과감한 결단을 내리게 되었다. 이러한 결정을 한 배경에는 중요 문화재의 훼손을 최소화해야 한다는 고민이 크게 작용하였다.

한편 이러한 문화재 훼손의 제약에서 어느 정도 벗어날 수 있다면 우리는 또 다른 수계소화설비인 스프링클러설비의 적용도 충분히 고려해볼 필요가 있다. 화재역학의 상식에서 볼 때 목재 심부화재는 물방울의 크기가 크고 유량이 많은 스프링클러설비가 더욱 유리하기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 목조문화재에 적용 시 각 설비는 어떠한 특성을 나타내는지 살펴보기 위해 모형 화재실을 제작하여 스프링클러헤드와 미분무노즐을 각각 설치하고 화재시험을 수행해 보았다. 이 때 천장의 높이와 화원의 크기를 달리하여 각 조건에 대해 소화성능과, 방수량, 방수시간 등을 면밀히 관찰하여 두 소화설비의 효용성을 고찰하고자 하였다.

2. 시험장치 및 시험방법

가. 소화설비

- 배관 및 관부속품은 압력식 탄소강관 공통으로

사용

- 미분무노즐 및 스프링클러헤드는 각각 2×2 정방형으로 총4개씩 3m 간격으로 설치

나) 방수압력 및 총방수량

- 방수압력 : 7bar(최소사용압력)
- 총방수량 : 128 ~138ℓ /min

1) 스프링클러설비

가) 노즐 사양

- 구분 : 표준형(하향형) 스프링클러헤드
- 제조사 및 모델 : FESCO, SSP
- 유량계수(K) : 80
- 특징 : 폐쇄형 헤드의 퓨지블링크 감열체 개방하여 설치

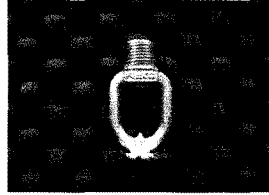


그림 13. 스프링클러헤드

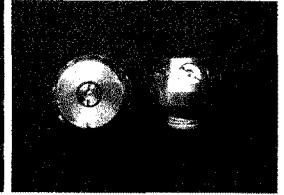


그림 14. 미분무노즐

나) 방수압력 및 총방수량

1 bar, 320 ~ 330ℓ /min

2) 미분무소화설비

가) 노즐 사양

- 구분 : 개방형, 저압용 노즐(노즐팁 8+1)
- 제조사 및 모델 : 건국E&I, KWH-9012
- 치수 : 외경 45mm × 길이 38mm
- 유량계수(K) : 12.4

나. 화원(가연물)

1) A급 1단위

- 화재시험에 사용하는 A급 1단위 화재모형은 730mm × 35mm × 30mm 규격의 수분함유율이 9~13%인 소나무 또는 오리나무를 사용하여 아래 그림과 같이 교차 배열하되 목재 90개를 이용하여 설치한다.
- 시험 화원은 점화용 연소대에 1.5ℓ 의 휘발유를 넣고 점화한다.

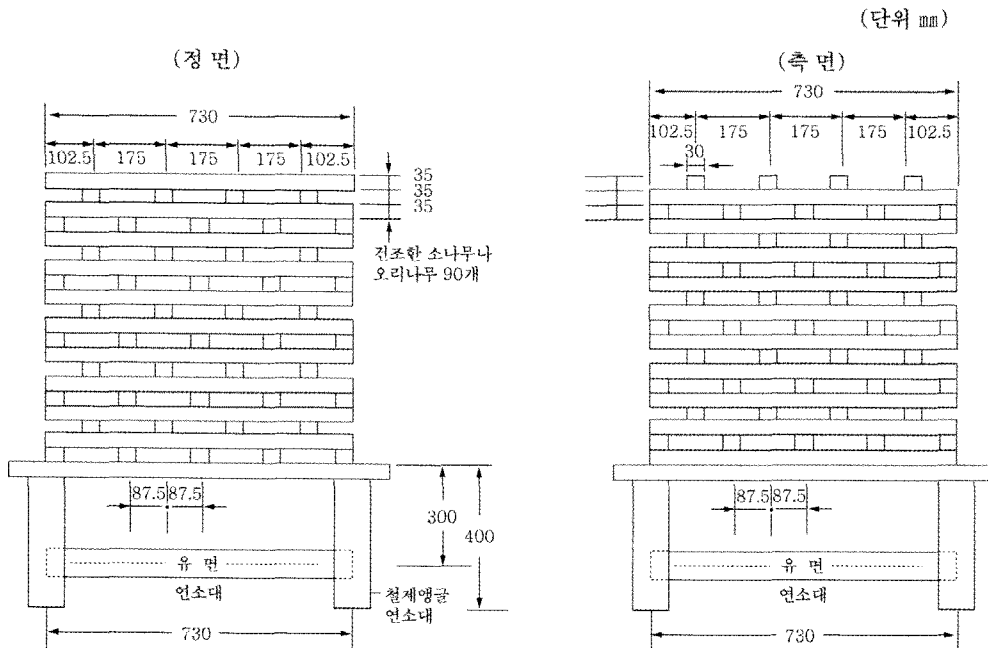


그림 3. A급 1단위

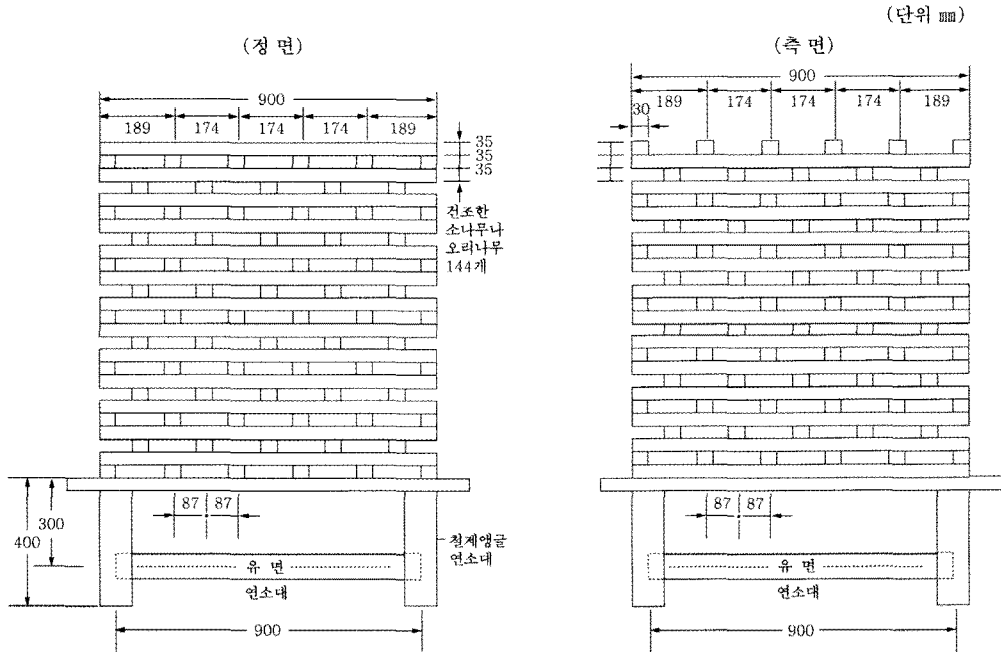


그림 4. A급 2단위

2) A급 0.5 단위

- A급 0.5단위 화재모형은 위 A급 1단위 모형과 같이 배열하되 절반인 45개의 목재를 이용하여 만든다.
- 시험 화원은 점화용 연소대에 1ℓ의 휘발유를 넣고 점화한다.

3) A급 2단위

- A급 2단위 화재모형은 900mm × 35mm × 30mm 규격의 수분함유율이 9~13%인 소나무 또는 오리나무를 사용하여 아래 그림과 같이 교차 배열하되 목재 144개를 이용하여 설치한다.
- 시험 화원은 점화용 연소대에 3ℓ의 휘발유를 넣고 점화한다.

4) B급 방화(목재에 유류)

- B급 화재모형은 모형화재실 한 쪽 구석 바닥에 연료팬을 설치하고 그 위에 널빤지를 깔 뒤 휘발유 1.5ℓ를 채운 페트병을 놓고, 또한 주위의 벽체에 합판을 덧댄 뒤 1.5ℓ의 휘발유를 골고루 뿌린 후 점화한다.

다. 모형화재실

- 1) 모형화재실은 철골 구조에 석고보드와 얇은 합판을 덧대어 제작하고 치수는 아래 그림과 같다.
- 2) 모형화재실의 바닥은 화재시험장의 바닥을 이용한다.
- 3) 스프링클러헤드 또는 미분무노즐의 위치는 모형화재실 천장 중심을 기준으로 대칭형으로 하며, 각 천장높이에서 2×2 정방형으로 3m 간격으로 설치한다.
- 4) 천장높이(H)는 2.5m, 4m, 5.5m로 한다.

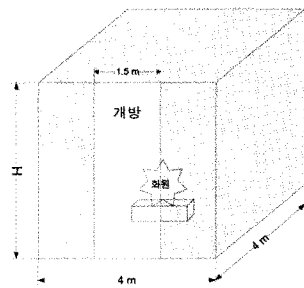


그림 5. 모형화재실

라. 데이터 수집장치

시험기간 동안 온도 및 압력 등을 수집하기 위한 데이터 수집장치는 열전대, 압력센서, 유량계와 이들의 신호를 디지털로 변환하기 위한 A/D보드(외장형), 노트북PC, 전원공급기 등으로 구성된다. 화재실 각 측정 지점의 온도 및 방수압력은 1초에 1회씩 실시간으로 계측한다.

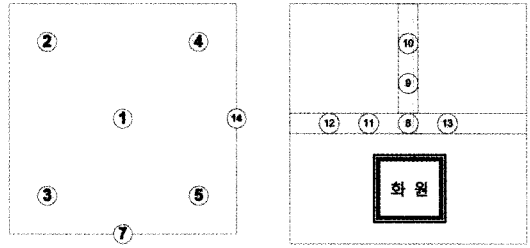


그림 18. 천장부 온도측정위치 그림 19. 화원주위 온도측정위치

마. 시험방법

1) A급 화재(목재크립)

스프링클러헤드와 미분무노즐 모두 동일하게 적용한다.

- ① 화재모형에 점화하여 0.5단위는 2min간, 1, 2단위는 3min간 자유연소한 후 수동으로 소화수를 방출한다.
- ② 시험시간은 방수 후 최대 5min으로 하며, 시험기간 동안 방수압력, 방수량, 소화여부, 화재실 각 측정위치의 온도변화를 기록한다.
- ③ 천장의 높이 및 화원의 크기를 바꾸어 가며 위 시험을 반복한다.

2) B급 화재(유류 방화)

- ① 천장높이 4m에 미분무노즐을 앞 절과 같이 설치한다.
- ② 모형화재실 한 쪽 구석 바닥에 연료팬을 설치하고 그 위에 널빤지를 깔 뒤 휘발유 1.5ℓ 를 채운 페트병을 놓고, 또한 주위의 벽체에 합판을 덧댄 뒤 1.5ℓ 의 휘발유를 골고루 뿌리고 점화한다.
- ③ 40s간 자유연소 한 후 5min간 방수한다. 시험기간 동안 방수압력, 방수량, 소화여부, 화재실 각 측정위치의 온도변화를 기록한다.

3) 온도측정위치

천장면의 온도측정위치와 화원주위의 온도측정 위치는 다음과 같다.

4) 시험관련 사항

- 가) 스프링클러헤드 및 미분무노즐은 공칭경 15A 로서 개방형 노즐을 사용한다.
- 나) 시험에 사용되는 노즐은 4개 모두 동일품종으로 한다.
- 다) 소화수는 상수도 또는 동일 성상의 물을 사용하며 첨가액은 사용하지 않는다.
- 라) 소화수는 펌프가압방식으로 설치하여 시험한다.
- 마) 스프링클러헤드의 작동압력은 1bar로 한다.
- 바) 미분무노즐 작동압력은 7bar로 하며, 해당 노즐의 최소사용압력으로 시험한다.
- 사) 온도는 K형 열전대를 사용하여 1s에 1회 이상 계측한다.
- 아) 시험진행 동안 다음사항을 관측하고 기록한다.
 - ① 시험(점화)의 시작 시간
 - ② 소화장치가 작동한 시간
 - ③ 소화여부
 - ④ 소화장치가 정지한 시간
 - ⑤ 재발화 여부
 - ⑥ 시험 중 온도변화

3. 시험결과 및 고찰

가. 소화성능시험 결과

1) 스프링클러설비

연번	설치 높이 (m)	화원 종류	점화 시간 (분:초)	방수 시작 시간 (분:초)	방수 종료 시간 (분:초)	소화여부	방수 압력 (bar)	총방수량 (ℓ /min)	비고
1	2.5	A 1	0:00	3:00	4:10	소화 후 재발화	-	-	
2	2.5	A 2	0:00	3:00	4:14	화세 제어	-	230	8번 100℃ 이하됨
3	4	A 1	0:00	3:00	7:04	잔염 있음	-	264	
4	4	A 2	0:00	3:00	8:00	소화실패	1	327	
5	4	A 1	0:00	3:00	8:00	잔염 있음	1	323	
6	5.5	A 1	0:00	3:00	8:00	소화실패	1	330	
7	5.5	A 0.5	0:00	2:30	7:00	소화됨	1	330	

2) 미분무소화설비

연번	설치 높이 (m)	화원 종류	점화 시간 (분:초)	방수 시작 시간 (분:초)	방수 종료 시간 (분:초)	소화여부	방수 압력 (bar)	총방수량 (ℓ /min)	비고
1	2.5	A 1	0:00	3:00	5:17	소화실패	-	86	
2	2.5	A 0.5	0:00	2:00	7:29	화세 제어	-	83	2:50경 8번 100℃ 이하됨
3	4	A 1	0:00	3:00	11:00	잔염 있음	7	138	
4	4	A 0.5	0:00	2:00	7:00	소화됨	7	134	
5	4	B	0:00	0:40	6:00	패트병에 잔염 있음	7	136	3:00경 모퉁이온도 100℃ 이하됨
6	5.5	A 0.5	0:00	2:00	7:00	소화됨	7	132	
7	5.5	A 1	0:00	3:00	8:00	소화실패	7	128	

나. 소화성능 시험결과 고찰

1) 스프링클러설비

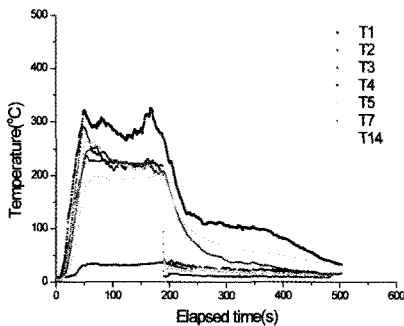


그림 SP_4m_A1_천장부

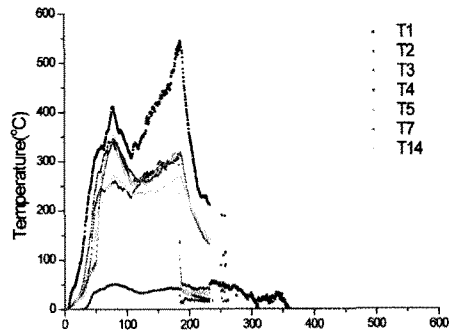


그림 SP_4m_A2_천장부

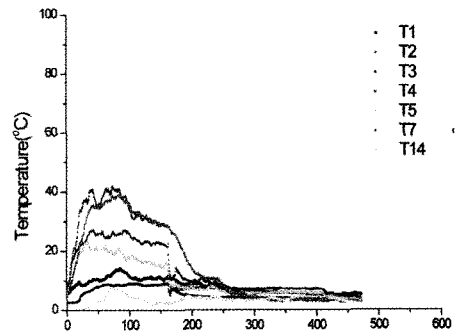


그림 SP_5.5m_A0.5_천장부

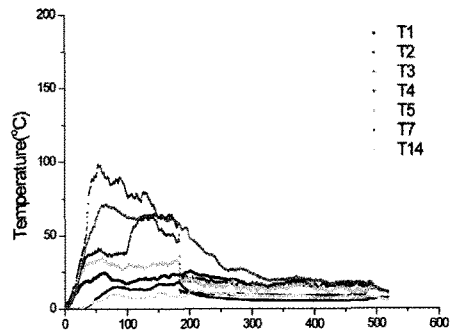


그림 SP_5.5m_A1_천장부

가) 천장부 온도변화

스프링클러설비의 소화성능시험에서 천장부의 온도는 높이 4m의 경우 2단위는 최고 600℃, 1단위는 350℃ 이하로 나타났으며, 소화수의 방출과 함께 온도가 감소하기 시작하였다. 이 때 화원 직상단의 T1과, 천장 가장자리에 해당하는 T7, T14는 스프링클러 헤드에서 가까운 T2~T5의 온도가 급격히 감소하는데 비해 좀 더 완만히 감소되는 특징을 나타내었다.

시험에서 2단위 화원은 소화에 실패하였으며, 1단

위는 방수 종료 후 약간의 잔열이 남아있는 것이 확인되었다.

천장높이 5.5m의 경우 두 가지 화원 모두 소화수의 방출과 함께 T7을 제외하고 급격히 온도가 감소하는 것을 확인하였다. 1단위와 0.5단위의 천장부 온도를 비교하면 화원의 크기에 비례하여 최고온도도 그만큼 감소되는 것으로 나타났다.

나) 화원 주변 온도변화

스프링클러설비의 화재시험에서 소화능력을 살펴 보기 위해 화원 부근의 온도변화를 관찰하였다. 천장높이 4m의 시험에서 화원 바로 직상단의 T8이 가장 높게 나타났으며 소화수의 방출과 함께 온도가 급격히 감소하였는데, 이 때 1단위와 2단위의 온도차이는 크게 나지 않았다.

화원 1단위에 대해 T8의 온도가 50℃ 이하로 떨어지는 데는 높이 4m의 경우 소화수 방출 후 약 200초가 소요되었으나, 5.5m의 경우는 100초 정도가 소요되었다. 설치높이가 좀 더 높아짐에 따라 화재실 중앙부의 살수영역이 겹치며 살수밀도가 높아져 나타난 것으로 생각된다.

2) 미분무소화설비

가) 천장부 온도변화

미분무소화설비의 소화성능시험에서 천장높이 4m의 경우 천장부의 온도는 예상한대로 화원 직상단에 해당하는 T1의 온도가 화원의 크기에 관계없이 가장 높게 나타났으며 가장 자리의 온도도 시험기간 동안 거의 비슷한 변화 양상을 나타내었다.

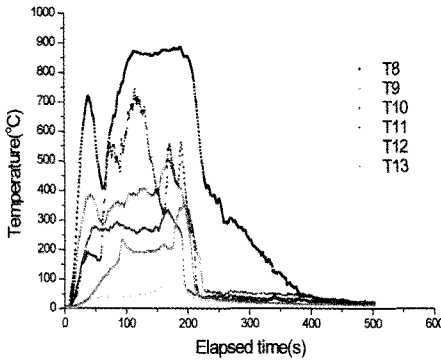


그림 SP_4m_A1_화원

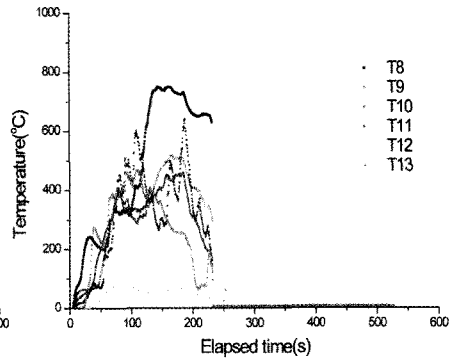


그림 SP_4m_A2_화원

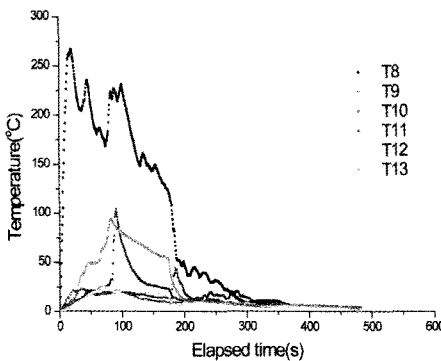


그림 SP_5.5m_A0.5_화원

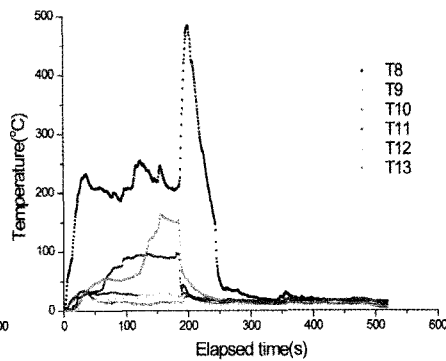


그림 SP_5.5m_A1_화원

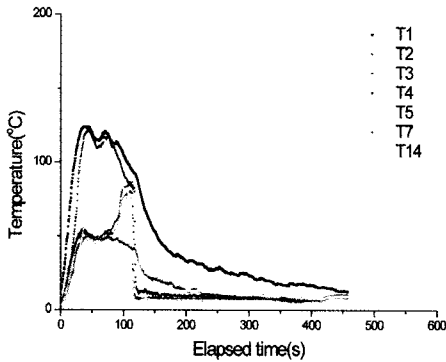


그림 WM_4m_A0.5_천장부

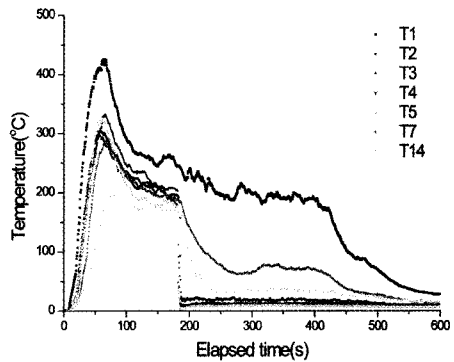


그림 WM_4m_A1_천장부

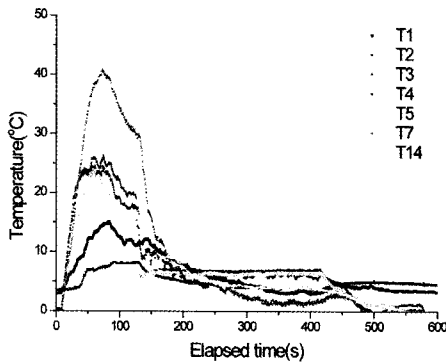


그림 WM_5.5m_A0.5_천장부

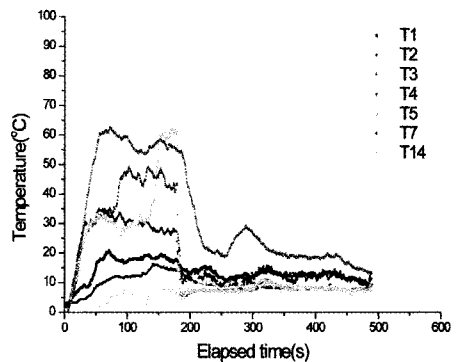


그림 WM_5.5m_A1_천장부

그러나 소화수가 방출되면서 천장 가장자리의 온도는 급격히 떨어지는데 비해 T1의 온도는 완만히 감소하였으며, 화원의 크기가 큰 A 1단위의 경우가 좀 더 오랫동안 높은 온도가 유지되었다.

한편 천장높이 5.5m의 경우 천장 상단 주위가 개방된 구조이므로 4m의 경우와 직접 비교는 곤란하나 1단위와 0.5단위 모두 비슷한 양상을 나타내었고, 천장부의 온도는 시험기간 내내 100도 이하의 낮은 값을 나타내었다.

나) 화원 주변 온도변화

미분무소화설비의 경우 1단위의 화원은 소화수 방출 후에도 상당시간 동안 최고온도가 유지되어 미분무수가 진압하기에는 다소 역부족인 것으로 나타났으나, 0.5단위의 화원은 쉽게 소화되는 것으로 확인

되었다.

높이 5.5m의 경우도 1단위는 완전소화에 실패하였으나 방수 후 약 200초 후에 50°C 이하로 진압되었으며, 0.5단위는 30초 이내에 진압에 성공하여 적용성이 있는 것으로 나타났다.

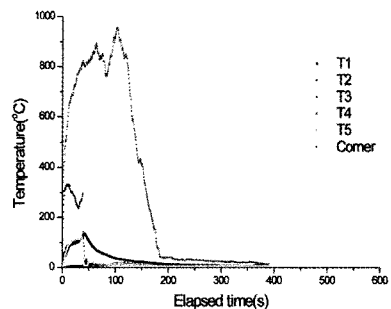


그림 WM_4m_B_방화

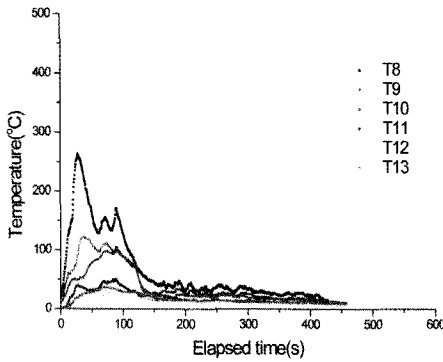


그림 WM_4m_A0.5_화원

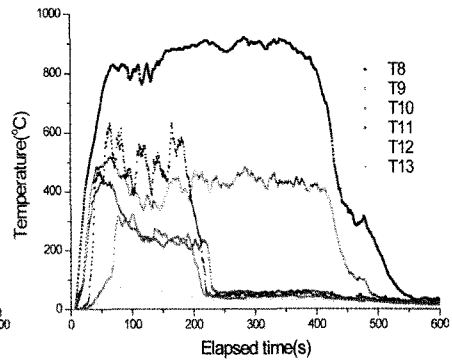


그림 WM_4m_A1_화원

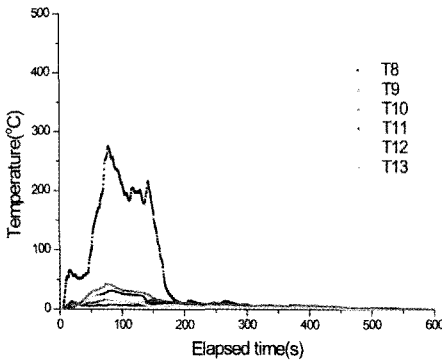


그림 WM_5.5m_A0.5_화원

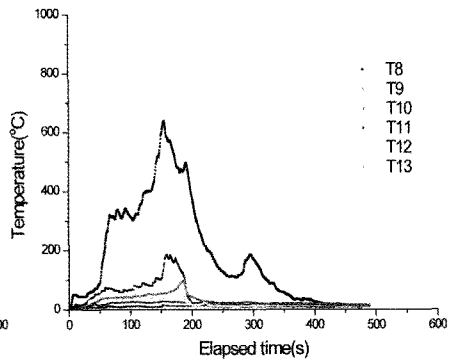


그림 WM_5.5m_A1_화원

다) B급 방화

방화시험의 경우 화염에서 가까운 화재실 모퉁이 (바닥에서 1.2m 높이)의 온도가 가장 높게 나타났는데, 소화수 방수(40초) 후에도 100초가량 최고온도가 유지 되었으며 방수 종료 후에도 잔염이 확인되었다. 그러나 방수 후 약 2분 후부터 50℃ 이하로 온도가 떨어져 화재는 성장하지 않았으며 주위 벽체로 확대되지 않았다.

3) 소화성능 비교분석

스프링클러설비와 미분무소화설비의 소화성능을 비교해보면 먼저 높이 4m에서 같은 1단위의 화원의 경우 천장 중앙(T1)의 온도와 화원 인근(T8)의 최고온도는 서로 비슷하다. 그러나 화원인근의 온도는 스프링클러설비가 미분무설비보다 훨씬 빨리 소화되기 시작하였다. T8의 온도가 400℃ 이하가 되는데 미분무

설비는 250초가량 소요되나, 스프링클러설비는 약 40초 정도 밖에 소요되지 않았다. 화원의 온도가 100℃ 이하가 되는 시간도 스프링클러설비가 160초 가량 짧게 나타나 보다 신속한 화재진압이 가능할 것으로 사료된다.

그러나 화원의 온도가 100℃ 이하로 진압될 때까지 소요된 총방수량은 미분무노즐이 스프링클러보다 적게 나타났다. 즉, 스프링클러설비는 $323\text{l} / \text{min} \times 180\text{초} = 969\text{l}$, 미분무소화설비는 $138\text{l} / \text{min} \times 340\text{초} = 782\text{l}$ 로 미분무소화설비의 방수량이 스프링클러설비의 약 80% 수준으로 나타났다. 따라서 건물 특성에 따라 화재진압과 수손피해를 고려한 신중한 선택이 요구된다 할 수 있다.

높이 5.5m의 경우 1단위와 0.5단위의 소화성능 비교에서 0.5단위는 화재가 작아 큰 차이가 없었으며,

1단위의 경우는 스프링클러설비가 약 100초 정도 일찍 화재가 진압되었다.

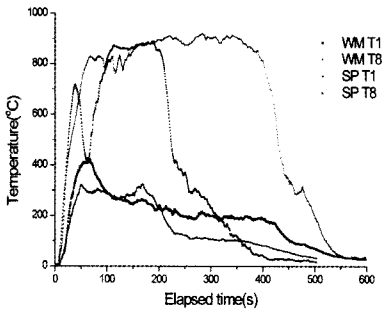


그림 WM-SP A1 온도비교_4m

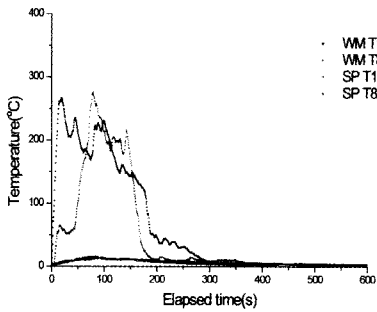


그림 WM-SP A0.5 온도비교_5.5m

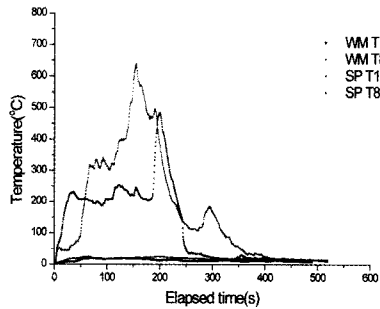


그림 WM-SP A1 온도비교_5.5m

설비는 화재발생 시 소방대가 출동하여 소화활동에 착수하기까지의 시간(수분 이내의 짧은 시간이지만) 동안 급격히 확대될 수 있는 화재의 성장을 막고자 많은 비용을 들여 설치한 자동식 화재진압설비이다. 따라서 방호대상물의 성격에 따라 보다 신속한 진압이 요구된다면 스프링클러설비의 설치가 더 효과적인 것이다. 그러나 국보급 문화재와 같이 훼손되기 쉬운 목조건축물은 다량의 방수로 인한 수손피해를 고려하지 않을 수 없으며, 또한 배관 등 설비의 시공상 어려움도 고려해야 할 사항이다.

이상에서 설계자는 이러한 특성을 잘 고려하여 목조건축물의 성격에 따라 방호의 수준을 결정하고, 이에 따라 소화설비를 선택하는 것이 현명한 판단이 될 것이다.

4. 맺음말

화재로부터 목조건축물의 방호를 위해 소화수 방출에 의한 직접 화재진압 외에도 고성능 화재감지설비와 경보설비, 관리자의 배치 등을 통해 다각적인 방법이 마련되고 있다.

본 연구에서 고찰한 스프링클러설비와 미분무소화