

# 공·능 목조문화재 미분무수 노즐 성능평가

공학박사 **곽지현**/소화연소팀 선임연구원

## 1. 도입

그동안 문화재 훼손 우려로 인해 감히 시도되지 못했던 고정식 소화설비의 도입이 최근에 발생한 승례문 화재사고를 계기로 우선 궁궐과 왕릉에 설치된 국보급 목조건축문화재라도 방재설비를 하는 것이 필요하다는 의견이 검토되기 시작하였다.

그리하여 문화재청 공능관리과에서는 5대궁과 왕릉의 국보급 목조문화재에 적용하기 위한 자동식소화설비의 가능성을 타진하고자 모형 구조물을 지어 스프링클러설비 및 미분무수소화설비에 대해 화재시험을 실시하였고, 이를 통해 유량이 적어 수손 피해가 적은 미분무수소화설비를 설치하기로 결정하였다.

이에 따라 화재진압능력을 검증하기 위한 성능시험을 우리 연구원에서 진행하기로 결정하였으며 희망하는 각 노즐 제조업체에서 공능 목조문화재에 적합한 노즐을 개발 및 제공하여 성능시험을 수행하였다.

본 연구에서는 문화재청에서 수립한 공능 목

조문화재 미분무수소화설비 시험기준에 따라 미분무수 노즐의 화재진압성능 및 노즐성능을 평가하였다. 이를 위해서 실규모 크기의 모형화재실과 미분무수 노즐을 설치하여 성능시험을 수행하였으며 그 중 한 사례를 소개하고자 한다.

## 2. 시험체

가. 시험체명 : 미분무수 노즐

나. 구분(모델) : 내부용(KWH-901), 벽체용(KWH-501)

다. 사 양

1) 내부용(KWH-901)

· 치수 : 외경 45 mm × 길이 38 mm

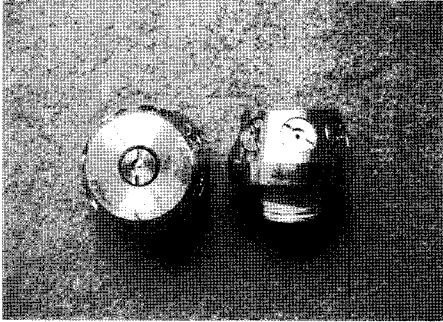
· 정격작동압력 : 13 bar(최소사용압력 12.5 bar)

· 유량 : 30 l /min

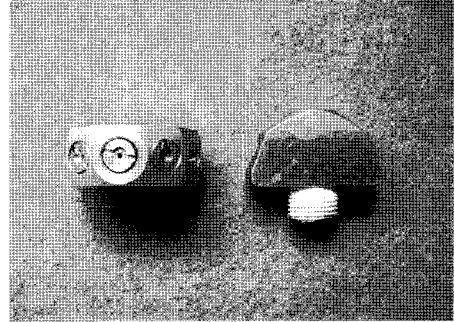
· 유량계수(K) : 8.32

2) 벽체용(KWH-501)

· 치수 : 외경 55 mm × 길이 44 mm



[그림 1] 내부용(KWH-901)



[그림 2] 벽체용(KWH-501)

- 정격작동압력 : 13 bar(최소사용압력 12.5 bar)
  - 유량 : 30 l /min
  - 유량계수(K) : 8.32
- 라. 외관

### 3. 시험기준

공능 목조문화재 미분무수 소화설비 시험기준  
(공능문화재과-2163, 2009.11.12)

### 4. 시험방법 및 성능요건

본 공능 목조문화재 미분무수 노즐의 성능시험은 화재진압성능시험과 노즐성능시험으로 구분되며 두 가지 시험에 모두 합격한 경우 성능을 인정한다.

#### 4.1 화재진압성능시험

##### 4.1.1 화재모형

1) 시험과 관련된 설비의 작동 및 성능확인에 필요한 부품은 소방관련법령 및 국가화재안전기준에 적합하게 설치하거나 이와 동등 성능 이상의 제품을 설치하여야 한다.

##### 2) 소화시험 화원

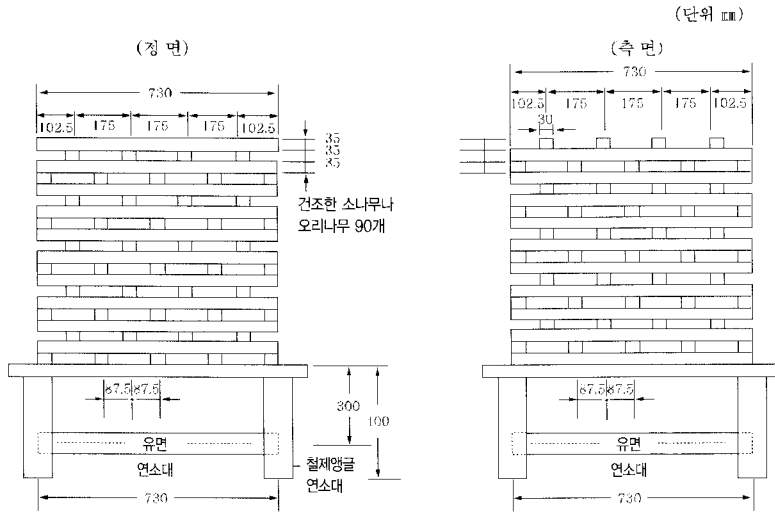
- A,B,C 시험에 사용하는 목재는 수분함유율이 9~13(%)인 소나무 또는 오리나무를 사용하며, 730 mm × 35 mm × 30 mm 규격 목재를 아래 [그림 1]과 같이 90개 교차 배열한다.

- D,E 시험에 사용하는 목재는 수분함유율이 9~13(%)인 소나무 또는 오리나무를 사용하며, 730 mm × 35 mm × 30 mm 규격 목재를 45개 교차 배열하여 A,B,C 시험의 1/2 높이로 설치한다.

- 시험 화원은 점화용 연소대에 1.5 L의 휘발유를 넣고 점화한다.

##### 4.1.2 화재시험장

1) 시험장 내부는 그림 2와 같이 가로(8,000



[그림 3] 소화시험 화원

mm), 세로(8,000 mm), 높이(5,000 mm) 크기의 불연재료로 된 구조물로 한다.

2) 시험장 벽체는 인접한 2개의 벽은 내화용 석고보드 등을 사용하고, 나머지 2개의 벽체는 개방상태로 한다.

3) D,E 시험시 화원 측벽의 내화용 석고보드 등을 제거한 후 폭 2 m, 높이 5 m, 두께 12 mm이고, 폭 1 m, 높이 2 m의 개구부가 있는 보통합판을 설치하여 개구부로 공기가 자연유입 될 수 있도록 한다.[그림 3]

4) 시험장은 외기의 바람과 풍속에 영향을 받지 않는 장소이어야 한다.

5) 화재시험 전 주위 온도는 (20±10) °C를 유지하여야 한다.

6) 시험장과 주변시설은 시험으로 인한 열, 하중, 충격, 피로 등에 안전하도록 조치하여야 한다.

#### 4.1.3 시험 관련 사항

1) 미분무 노즐 체결 직경은 10 A 또는 15 A로서 개방형 노즐을 사용한다.

2) 미분무 노즐은 1번과 2번 노즐이 동일품종이고 3~6번 노즐이 동일품종이어야 하며, 1~6번 노즐 모두 동일품종이어도 무방하다.

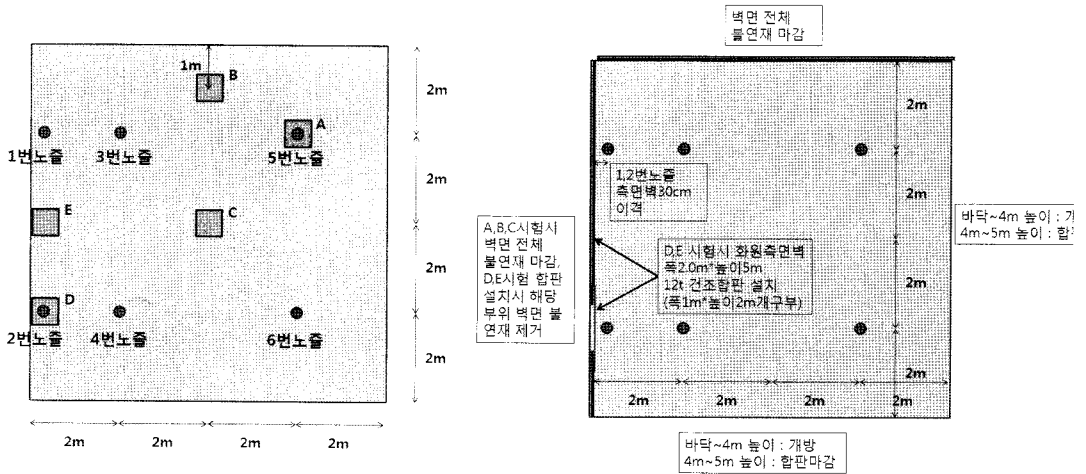
3) 미분무수는 상수도 또는 동일 성상의 물을 사용하며 첨가액은 사용하지 않는다.

4) 미분무수와 압력용기는 질소 가압 방식으로 압력용기를 현장 설치하여 시험한다.

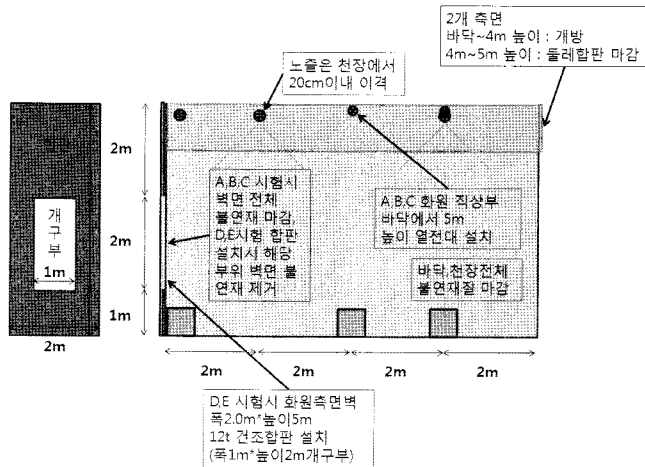
5) 노즐 작동 압력은 10~100 bar 사이 압력으로서 해당 노즐 최소사용압력으로 시험한다.

6) 1개 노즐의 방수량은 35 l /min 이하이어야 한다.

7) 온도는 비드(bead) 직경이 0.5 mm를 초과하지 않는 K-type 열전대를 사용하여 1초에 1회 이상 계측하며, 노즐에서 분사되는 물입자가 열



[그림 4] 화재시험장(평면도)



[그림 5] 화재시험장(측면도)

전대 점점에 직접 접촉하지 않아야 한다.

## 4.2 . 노출성능시험

### 4.1.4 화재시나리오 및 성능요구사항

〈표 1〉의 화재시나리오에 따라 시험을 실시하여 모두 만족하는 경우 화재진압 성능시험에 합격한 것으로 판단한다.

### 4.2.1 시험방법

#### 1) 흐름시험

- 2개의 노즐로 시험한다.
- 소화수 공급파이프에 노즐과 압력계를 부착

〈표 1〉 화재시나리오

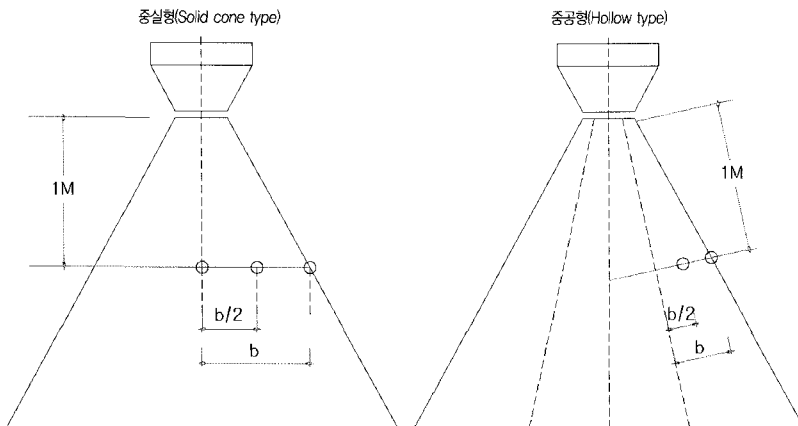
구분	화재시나리오	화원 위치	화재발생 및 작동 조건	합격 기준
A	실내노즐하부 목재화재	5번 노즐 하부	화원착화 3분 경과 후 3,4,5,6번 노즐 5분간 개방	미분무 작동 30초 후 5분간 화원 중심부 건물바닥에서 5m 높이 위치 평균온도 90℃이하 (30초 평균온도를 5분간 계속 측정)
B	실내노즐사이 목재화재	3,5번 노즐 사이 벽면에서 화원 중심 1m 이격위치		
C	실내중심부 목재화재	3,4,5,6번 노즐 중간부 바닥		
D	벽체노즐하부 유류 및 가연물 화재	2번 노즐 하부 벽면에 화원 밀착	화원착화 30초 경과 후 1,2번 노즐 5분간 개방	미분무 작동 후 5분 이내 화원 및 기타 가연물 소화
E	벽체노즐사이 유류 및 가연물 화재	1번,2번 노즐사이 벽면에 화원 밀착		

한다.

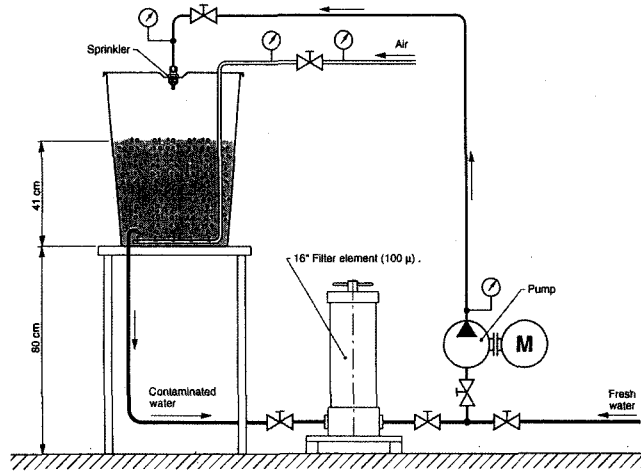
- 정격작동압력의 0.8~1.2배 압력 하에서 정격작동압력의 10% 간격으로 소화수 흐름을 측정하며, 1회는 압력을 올리면서 2회에는 압력을 내리면서 측정한다.
- 각 단계에서의 흐름상수 K는 압력 P(bar), 유량 Q(l /min), 분출량 V(l), 시간t(min)

라 할 때  $K = Q/P^{0.5} = V/\sqrt{P}$ 에 부합되는지를 확인한다.

- 흐름상수 “K”의 평균치를 산출한다.
- 2) 수분입자 크기측정(참고시험)
  - 2개의 노즐로 시험한다.



[그림 6] 수분입자 크기측정



[그림 7] 막힘시험장치

- 액적의 평균지름(SMD)을 측정할 수 있는 장치에 노즐을 설치한다. 노즐의 분무특성(중심형, 중공형)에 따라 측정위치를 아래와 같이 노즐 중심 1 m 아래 지점과, 이 곳으로부터 분무제트의 폭을 따라  $b/2$  만큼 떨어진 곳으로 한다. 여기서  $b$ 는 분무제트의 폭을 나타낸다.
- 측정은 정격작동압력에서 측정하여야 한다.

### 3) 충격시험

- 5개의 노즐로 시험한다.
- 노즐의 충격시험은 바닥 디플렉터의 중심으로부터 1M 높이에서 헤드 중량에 0.15N(15g)을 더한 중량의 원통형 추를 자유낙하 시켜 1회의 충격을 가했을 때 균열, 파손 등의 여부를 확인한다.
- 상기 충돌 후 정격작동압력에서 소화수 흐름시험을 실시하여 시험 전후 흐름상수  $K$ 값의 변화를 측정한다.

### 4) 막힘시험

- 2개의 노즐로 시험한다.
- 정격작동압력에서 여과기 또는 필터가 내장된 개방형 노즐의 소화수 흐름을 측정한다.
- [그림 7]의 시험장치에서 노즐과 여과기 또는 필터를 설치하고 아래 <표 2>에 의하여 준비된 1.58 kg의 오염물질과 60 리터의 담수를 혼합시킨 오염물을 정격작동압력으로 30분 동안 흐르게 한 다음, 소화수 흐름을 다시 측정한다.
- 시험 중 노즐로 분무되는 오염물은 연속적으로 교반하여야 한다.
- 오염물질의 양은, 구리 또는 스테인리스강 파이프용으로만 사용이 제한된 노즐은 50%, 정격압력이 4.9 MPa 이상이고 스테인리스강용으로만 사용이 제한된 노즐은 90%를 줄일 수 있다.

〈표 2〉 오염물질

체(sieve)의 호칭	공칭체 구멍 (mm)	오염물질(±5%)(g)		
		파이프스케일(Fe2O3)	표토	모래
No. 25	0.706	-	456	200
No. 50	0.297	82	82	327
No. 100	0.150	84	6	89
No. 200	0.074	81	-	21
No. 325	0.043	153	-	3
계		400	544	640

5) 열내력시험

- 2개의 노즐로 시험한다.
- 정상 설치자세로 설치된 1개의 노즐모체를 800℃ 오븐에서 15분 동안 가열한 다음 노즐모체를 분리하여 나사로 된 입구 쪽을 잡고 약 15℃의 물에 신속히 담근다.
- 잠시 후 노즐을 꺼내어 이상 유무를 확인하고 소화수 흐름시험을 실시한다.

개로 밀봉한 후, 5~15l 사이의 시험용기 내 덮개 아래쪽에 정상설치 자세로 설치한다.

- 시험용기에 500 ml의 물에 20 g의 비율로 혼합한 3산 이황화나트륨수산화물(Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O) 용액을 주입하고, 용기의 바닥에서 160 mm 위쪽 중앙에 설치된 열전대로 용기의 내부 온도를 (45±3) ℃로 조절하여 8일 동안 방치한다. 응축수는 노즐에 직접 떨어지지 않도록 하여야 한다.

6) 이산화황 부식시험

- 5개의 노즐로 시험한다.
- 각 노즐의 입구를 플라스틱과 같은 비반응 마

- 8일의 노출기간 중 최소한 6일은 묽은 황산(156 ml의 진한 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0.5 mol/l)에 844ml의 물을 희석한 것) 20ml를 일정한 비

〈표 3〉 노즐 성능시험 성능요건

시험 항목	합 격 기 준	비 고
소화수 흐름시험	흐름상수 "K"의 평균치와 설계값의 편차가 ±5%이내	
수분입자 크기측정	노즐 중심 1 m 아래에서의 입경 SMD 값 [μm]	기록사항
	1 m 아래 b/2 지점의 입경 SMD 값 [μm]	
충격 시험	시험 전후 흐름상수 "K"의 편차가 ±5%이내	
막힘 시험	시험 전후 흐름상수 "K"의 편차가 ±10%이내	
열내력 시험	시험 전후 흐름상수 "K"의 편차가 ±5%이내	
부식 시험	시험 전후 흐름상수 "K"의 편차가 ±5%이내	

율로 보충한다.

- 상기 시험 후 노즐을 꺼내어 상대습도 70% 이하, 온도 35℃ 이하에서 4~7일 동안 건조시켜 정격작동압력에서 소화수 흐름시험을 실시한다.

#### 4.2.2 성능요구사항

수분입자 크기측정을 제외한 모든 시험항목에 대하여 아래의 기준을 만족하는 경우 노즐 성능 시험에 합격한 것으로 판단한다. <표 3>

### 5. 시험 결과

#### 5.1 화재진압성능시험 <표4>, [그림 8]

#### 5.2 화재진압성능시험 온도 그래프 [그림 9], [그림 10], [그림 11]

### 5.3 노즐성능시험

#### 5.3.1 흐름시험

- 1) 내부용(KWH-901)
  - 설계흐름상수 K=8.32 <표 5>
- 2) 벽체용(KWH-501)
  - 설계흐름상수 K=8.32 <표 6>

#### 5.3.2 수분입자 크기측정

- 1) 내부용(KWH-901) <표7>
- 2) 벽체용(KWH-501) <표8>
- 3) 분무 형상(3개팁만 개방)  
[그림 12], [그림13]

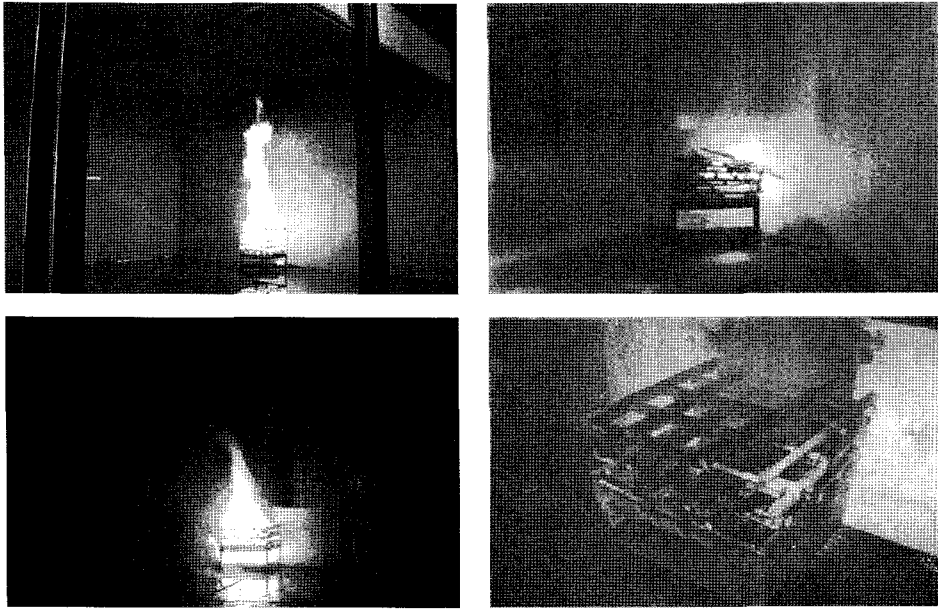
#### 5.3.3 충격시험

- 1) 내부용(KWH-901) <표 9>
  - 충격시험 후 균열, 파손 등의 이상 없음.
- 2) 벽체용(KWH-501) <표 10>
  - 충격시험 후 균열, 파손 등의 이상 없음.

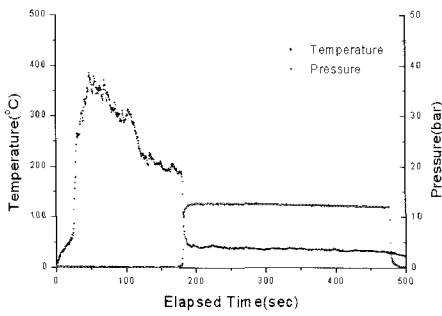
<표 4> 화재진압성능시험 결과

구분	화재시나리오	점화 시간 (분:초)	방수시작 시간 (분:초)	방수종료 시간 (분:초)	30초 평균온도 또는 소화여부	방수압력 (bar)	총방수량 (ℓ /min)	비 고
A	실내노즐하부 목재화재	0:00	3:00	8:00	40.8 ℃	12.5	115	적합
B	실내노즐사이 목재화재	0:00	3:00	8:00	43.3 ℃	12.5	118	적합
C	실내중심부 목재화재	0:00	3:00	8:00	64.0 ℃	12.5	118	적합
D	벽체노즐하부 유류 및 가연물 화재	0:00	0:30	5:30	3:00경 소화됨 (재발화안됨)	12.5	60	적합
E	벽체노즐사이 유류 및 가연물 화재	0:00	0:30	5:30	2:00경 소화됨 (재발화안됨)	12.5	59	적합

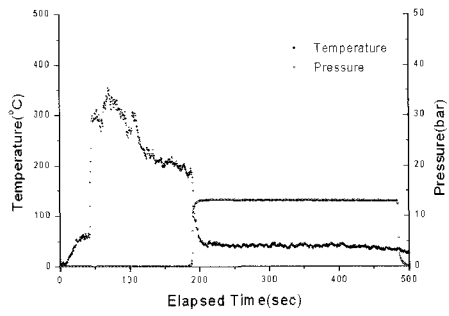




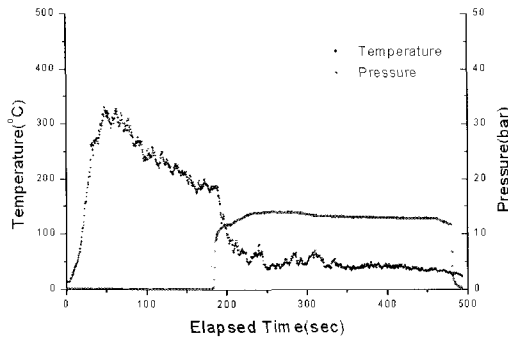
[그림 8] 화재진압성능 시험장면



[그림 9] A화원



[그림 10] B화원



[그림 11] C화원

〈표 5〉 노즐 흐름시험 - 내부용

분무압력 (bar)	유량 (ℓ /min)		흐름상수		흐름상수 평균과 설계 흐름상수와의 편차(%)		비 고	
	시험체 1	시험체 2	시험체 1	시험체 2	시험체 1	시험체 2	시험체 1	시험체 2
10.4	28.1	26.4	8.71	8.19	4.29	-2.43	적합	적합
11.7	29.5	27.7	8.62	8.10				
13.0	31.4	29.3	8.71	8.13				
14.3	32.7	30.6	8.65	8.09				
15.6	33.8	31.7	8.56	8.03				
14.3	32.9	30.5	8.70	8.07				
13.0	31.4	29.4	8.71	8.15				
11.7	29.6	27.8	8.65	8.13				
10.4	28.3	26.4	8.78	8.19				
평 균			8.68	8.12				

〈표 6〉 노즐 흐름시험 - 벽체용

분무압력 (bar)	유량 (ℓ /min)		흐름상수		흐름상수 평균과 설계 흐름상수와의 편차(%)		비 고	
	시험체 1	시험체 2	시험체 1	시험체 2	시험체 1	시험체 2	시험체 1	시험체 2
10.4	26.8	28.0	8.31	8.68	-0.72	2.47	적합	적합
11.7	28.4	29.1	8.30	8.51				
13.0	29.8	30.8	8.27	8.54				
14.3	31.0	32.0	8.20	8.46				
15.6	32.2	33.3	8.15	8.43				
14.3	30.9	31.9	8.17	8.44				
13.0	29.7	30.7	8.24	8.51				
11.7	28.5	29.2	8.33	8.54				
10.4	27.0	27.8	8.37	8.62				
평 균			8.26	8.53				

〈표 7〉 수분입자 크기 측정- 내부용

시험체 번호	분무 압력 bar	측정위치	평균입경(SMD) μm
3	13	노즐 중심 아래 1 m 지점	266.6
		1 m 아래 b/2 지점	214.3
4		노즐 중심 아래 1 m 지점	225.3
		1 m 아래 b/2 지점	181.1

5.3.4 막힘시험

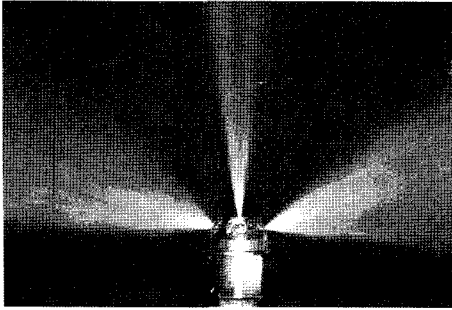
- 1) 내부용(KWH-901) <표 11>
- 2) 벽체용(KWH-501) <표 12>

5.3.5 열내력시험

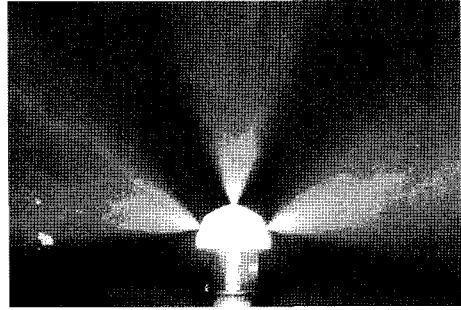
- 1) 내부용(KWH-901) <표 13>
- 2) 벽체용(KWH-501) <표 14>

<표 8> 수분입자 크기 측정- 벽체용

시험체 번호	분무 압력 bar	측정위치	평균입경(SMD) $\mu\text{m}$
3	13	노즐 중심 아래 1 m 지점	133.9
		1 m 아래 b/2 지점	150.9
4		노즐 중심 아래 1 m 지점	123.2
		1 m 아래 b/2 지점	134.2



[그림 12] 분무형상 - 내부용



[그림 13] 분무형상 - 벽체용

<표 9> 충격시험 -내부용

시험체 번호	유 량( $\ell$ /min)		흐름상수		편차(%)	비 고
	시험전	시험후	시험전	시험후		
5	30.7	29.5	8.51	8.18	-3.91	적합
6	29.1	28.6	8.07	7.93	-1.72	적합
7	30.8	29.7	8.54	8.24	-3.57	적합
8	28.7	27.9	7.96	7.74	-2.79	적합
9	31.5	30.6	8.74	8.49	-2.86	적합

<표 10> 충격시험 - 벽체용

시험체 번호	유 량( $\ell$ /min)		흐름상수		편차(%)	비 고
	시험전	시험후	시험전	시험후		
5	31.4	30.8	8.71	8.54	-1.91	적합
6	28.9	27.8	8.02	7.71	-3.81	적합
7	29.2	29.5	8.10	8.18	1.03	적합
8	30.9	29.7	8.57	8.24	-3.88	적합
9	28.6	27.5	7.93	7.63	-3.85	적합

〈표 11〉 막힘시험 - 내부용

시험체 번호	유 량( $l/min$ )		흐름상수		편차(%)	비 고
	시험전	시험후	시험전	시험후		
10	31.2	28.1	8.65	7.79	-9.94	적합
11	30.4	27.5	8.43	7.63	-9.54	적합

〈표 12〉 막힘시험 - 벽체용

시험체 번호	유 량( $l/min$ )		흐름상수		편차(%)	비 고
	시험전	시험후	시험전	시험후		
10	30.2	27.3	8.38	7.57	-9.60	적합
11	30.5	28.1	8.46	7.79	-7.87	적합

〈표 13〉 열내력시험 - 내부용

시험체 번호	유 량( $l/min$ )		흐름상수		편차(%)	비 고
	시험전	시험후	시험전	시험후		
12	28.5	28.2	7.90	7.82	-1.05	적합
13	28.6	27.8	7.93	7.71	-2.80	적합

〈표 14〉 열내력시험 - 벽체용

시험체 번호	유 량( $l/min$ )		흐름상수		편차(%)	비 고
	시험전	시험후	시험전	시험후		
12	29.8	29.2	8.27	8.10	-2.01	적합
13	29.8	28.8	8.27	7.99	-3.36	적합

〈표 15〉 이산화황 부식시험 - 내부용

시험체 번호	유 량( $l/min$ )		흐름상수		편차(%)	비 고
	시험전	시험후	시험전	시험후		
14	28.5	28.0	7.90	7.77	-1.75	적합
15	28.7	28.5	7.96	7.90	-0.70	적합
16	29.7	29.7	8.24	8.24	0.00	적합
17	29.2	28.9	8.10	8.02	-1.03	적합
18	31.3	30.9	8.68	8.57	-1.28	적합

5.3.6 이산화황 부식시험

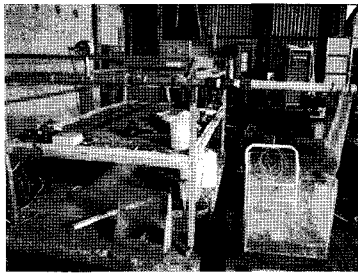
- 1) 내부용(KWH-901) <표 15>
- 2) 벽체용(KWH-501) <표 16>

5.3.7 노즐성능시험 장면

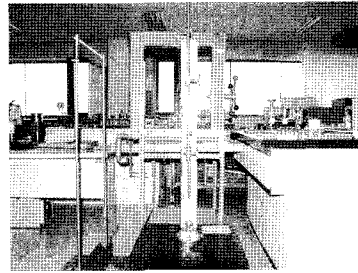
그림 14~18

<표 16> 이산화황 부식시험 - 벽체용

시험체 번호	유 량(l /min)		흐름상수		편차(%)	비 고
	시험전	시험후	시험전	시험후		
14	28.9	28.7	8.02	7.96	-0.69	적합
15	29.2	29.0	8.10	8.04	-0.68	적합
16	31.0	30.8	8.60	8.54	-0.65	적합
17	30.6	30.3	8.49	8.40	-0.98	적합
18	31.2	30.7	8.65	8.51	-1.60	적합



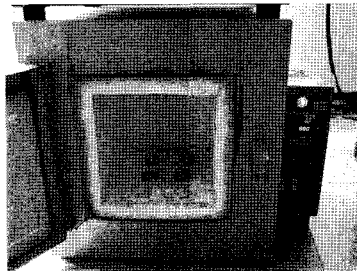
[그림 14] 흐름시험



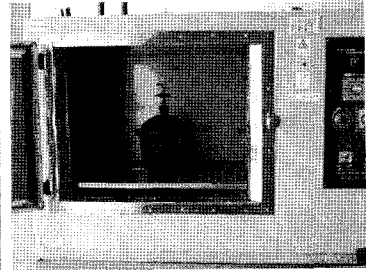
[그림 15] 충격시험



[그림 16] 막힘시험



[그림 17] 열내력시험



[그림 18] 이산화황 부식시험