



PROFESSIONAL ENGINEER FIRM THE SAFE CO., LTD.
기술사사무소더세이프(주)

0000

TECHNICAL REPORT

0000 신축현장

Report No. 0000-00-00

Hot Smoke Test 결과보고

0000. 00. 00.

Qualified Persons:

소방기술사 000

소방기술사 000

2F, Daekwang B/D., 3, Seoulsiripdae-ro 27-gil, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea

T. 82-2-6212-0500 F. 82-2-6212-0584

Smoke Control Consulting & Fire Safety Consulting

PROFESSIONAL ENGINEER FIRM THE SAFE CO., LTD.

www.thesafe@pethesafe.co.kr

1. Hot Smoke Test의 개요

1-1 Hot Smoke Test 수행절차 및 주요 계측 사항

1-1-1 Hot Smoke Test 수행절차

1-1-1-1 Hot Smoke Test 개요

가. 적용 조건

(1) 본 Hot Smoke Test는 0000 신축공사 Project에 적용한다.

시험은 건물 또는 그것의 중요한 부분의 건설 이후에 수행되어야 하며, 건물의 건축 또는 관련 부분이 완료되고 연기 제어 시스템을 포함한 공기 취급 시스템이 설치 및 점검 된 후에 수행되어야 한다.

(2) 본 조건에 언급되지 않은 사항은 AS 4391-1999에 따른다.

나. 시험 목적

시험의 목적은 시스템의 적합성을 입증 할 매개 변수를 식별하기 위해 관련 기관과 협의하여 결정한다. 다음은 사항은 시험 중 달성해야 할 최소 기준이다.

(1) 연기 제어 시스템의 자동 동작은 합의된 설계 요구 사항에 따른다.

(2) 시스템의 성능은 건축의 완성도 또는 건물 등의 결함에 의해 크게 영향을 받지 아니하여야 한다.

(3) 시험 중인 연기 제어 시스템의 모든 구성요소의 일부분 또는 전체가 고장 났다는 증거가 없어야 한다.

1-1-1-2 HOT SMOKE TEST 절차

가. 시험 절차

(1) 시험 준비

건물 공조 시스템은 시험 절차가 시작되기 전에 설계 내부 환경 조건을 달성하기에 충분한 시간 동안 정상 모드에서 작동해야 한다. 새로운 설비 및 장치는 설계 조건에서 최소 4 시간 동안 작동되어야 한다.

(2) 시험 화재 크기

시험 화재 크기는 최대 안전 천장 온도로 제한되는 설계 변수에 근거해야한다. 권장 시험 화재가 사용되는 경우, 이 매개 변수는 표 A에서 선택 될 수 있다.

* 주의사항

1. 표 A에 주어진 온도는 대기 중의 축 대칭 플럼의 거동에 기초한다.

정체된 공기 조건을 달성 할 수 없는 경우, 기온이 상승한 Plume으로 공기의 추가 난류 혼합에 의해 야기되는 여분의 공기 혼합 때문에 표시된 온도보다 낮을 수 있다.

2. 안전한 시험 화재 크기 선택은 표 B의 순서도를 참조하여 선정한다.

(3) 트레이 구성

트레이 크기와 표 A에 부합하는 조합으로 할 경우, 트레이 구성은 아래 그림(트레이 구성도)에 따라야 한다.

(4) 시험의 위치

시험 화재는 시험 구획의 가장 작은 치수의 중앙에 놓이거나 규제 당국이 지시한 곳에 놓아야한다. 불규칙한 모양의 평면도가 있는 시험 구획에서의 시험 화재는 전체 격실을 대표하는 구역의 중심에 위치해야 한다.

구획의 최소 크기는 250m³보다 큰 곳을 선정한다.

(5) 트레이 설치 순서

석고 보드는 시험을 위해 선택된 위치를 정한다. 필요한 물 트레이는 가.(3) 절에 따라 필요한 구성으로 석고보드의 상단에 배치된다. 빈 화재 트레이는 물 트레이 중앙에 위치해야한다. 물 트레이는 물이 가득해야한다. 빈 화재 트레이가 뜰 때까지 물을 채운다. 화재 트레이는 적어도 10분 이상 정상상태 연소가 가능한 양으로 채워져야 하며, 연료는 변성 알코올 grade 95를 사용 한다.

RECOMMENDED FUEL QUANTITIES

Tray size	Fuel per tray L	Approximate heat output, kW/m ²	Approximate gross heat output, kW
4 × A1	16.0 × 4	751	1 500
2 × A1	15.0 × 2	696	700
A1	13.0	678	340
A2	5.5	566	140
A3	2.5	471	60
A4	1.0	412	26
A5	0.4	379	11

(6) 점화

화재 트레이의 연료는 LPG gas 토치, 긴 테이퍼의 불꽃 점화 또는 원격 전자 점화기에 의해 점화되어야 한다.

(7) 추적용 연기

추적용 연기는 Plume의 전체 색을 유지하기에 충분한 비율로 시험 화재 고온 Plume에 연속적으로 첨가 되어야 한다.

나. 보충 시험

(1) 반복

시험은 1-1-1-1 의 '나' 조건 중 어느 것도 발생하지 않을 때까지 반복해야한다.

(2) 재시험 절차

구획의 모든 연기는 배출되어야하며, 모든 연기 감지 시스템 재설정되고 반복 시험을 수행하기 전에 비 경보 상태로 유지되어야 한다. 물 및 연료 트레이는 2.1.5에 따라 보충되어야 한다.

다. 공기 퍼지

모든 Hot Smoke Test 및 재시험 후, 건물은 완전히 모든 연기 오염 물질을 제거하기 위해 퍼지하여 정화 되어야한다. 일반적인 공기 조화 시스템의 실외기

전체 용량에서 작동조건에서 4 시간 정도면 충분하다.

1-1-1-3. 측정

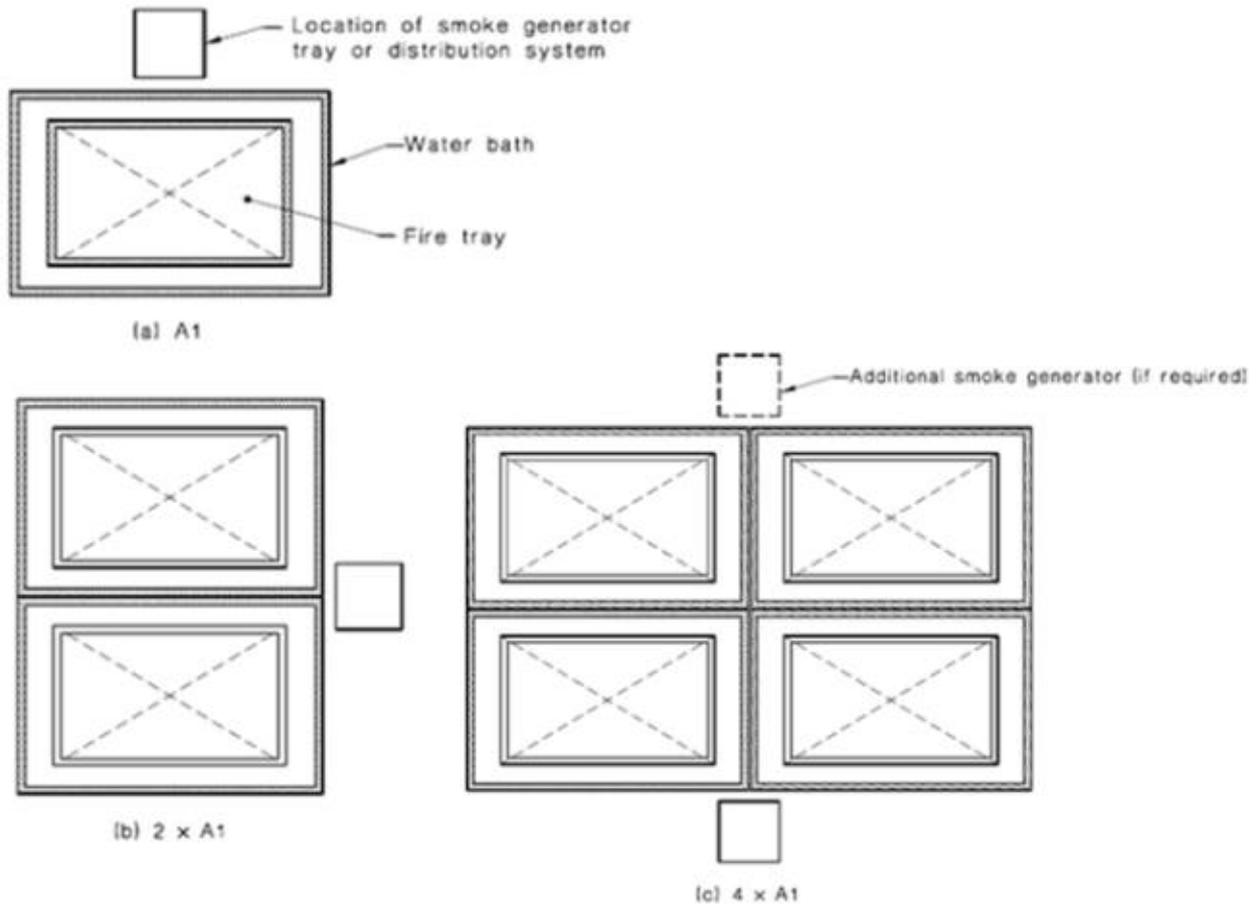
시험 중 아래 항목이 측정되어야 한다.

◇ 천정 온도

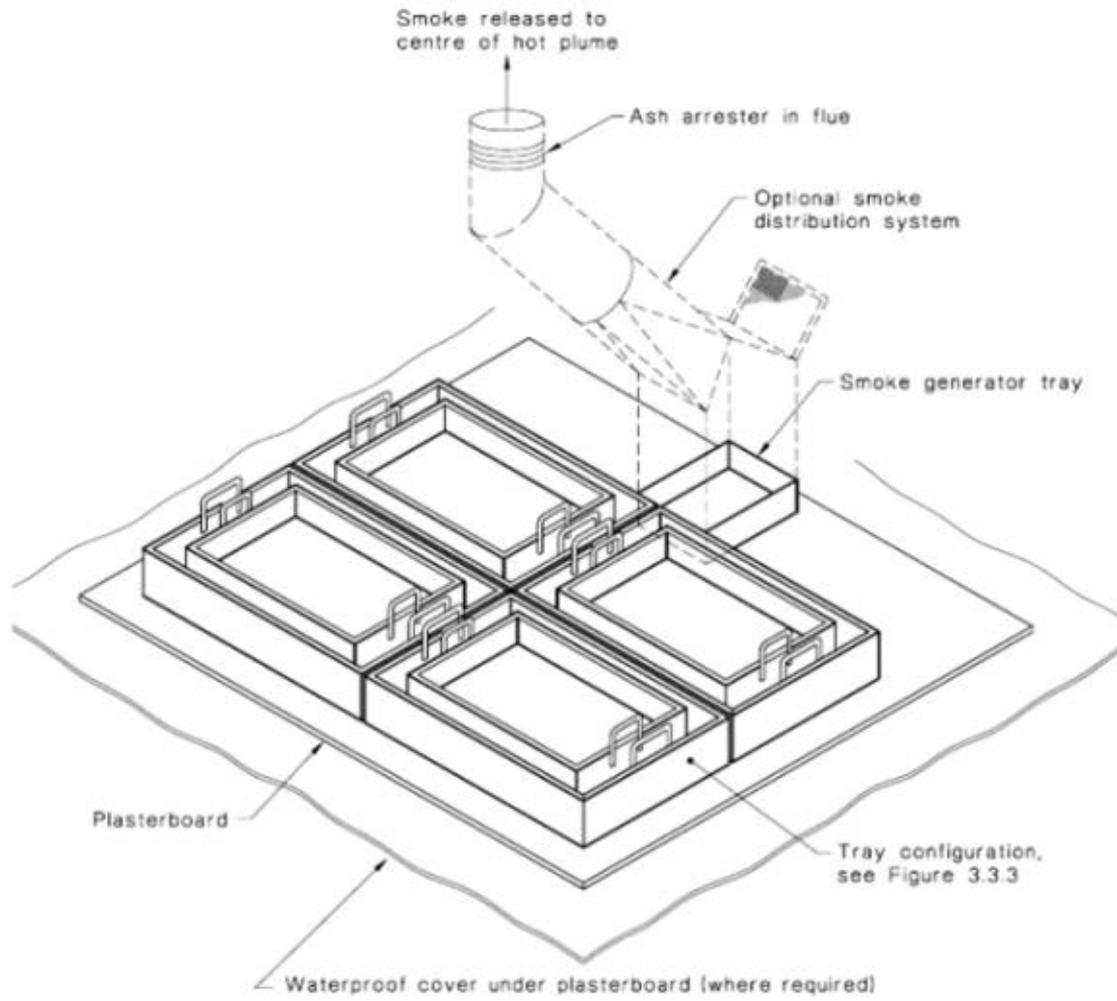
천장에 접근이 가능한 경우, 열 센서는 대류 열 측정을 위해, 화재 중앙 위에 천장 높이에 설치한다.

◇ 정지 상태 사진

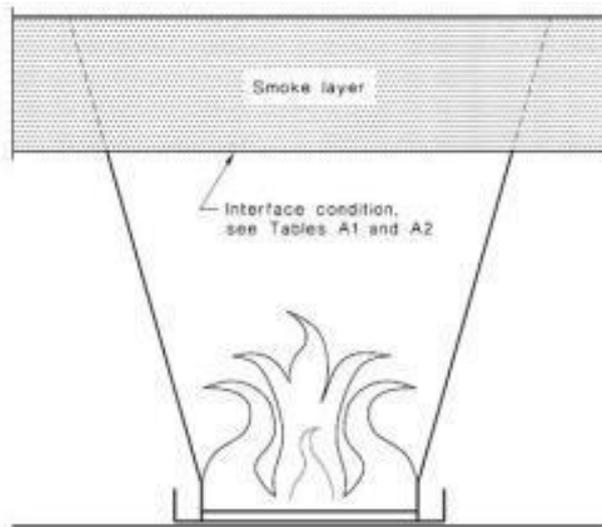
◇ 비디오 - 시험을 기록하기 위해 건물 내 적절한 위치에 설치



[트레이 구성도 2-1]



[트레이 구성도 2-2]

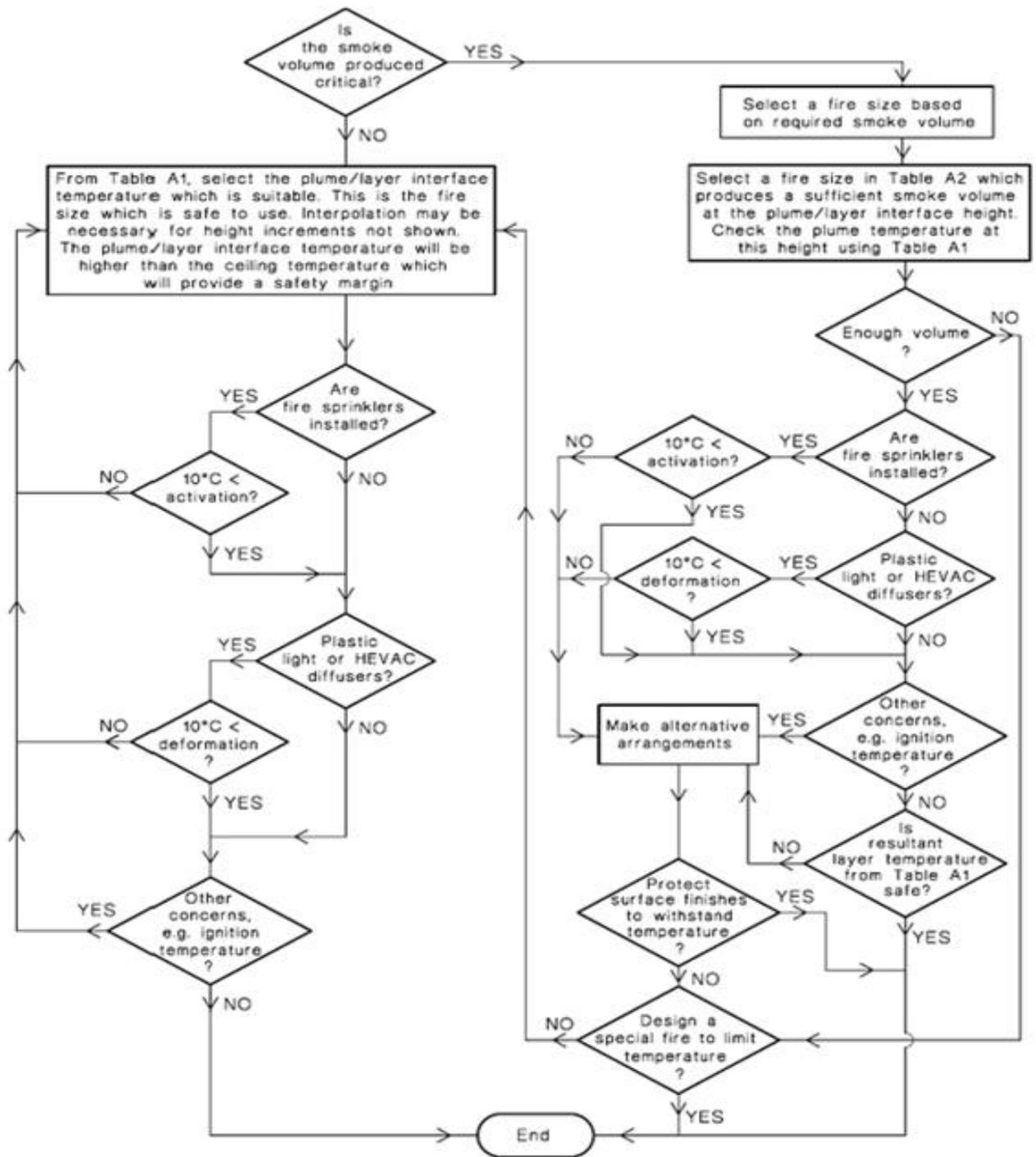


[Plume과 Smoke Layer]

TEMPERATURES (°C) AT THE PLUME AND SMOKE LAYER INTERFACE FOR RECOMMENDED TRAY SIZES AND CONFIGURATIONS (STILL AIR CONDITIONS)

Height m	Entrained air	4A1	2A1	A1	A2	A3	A4	A5
2	10	436	309	221	135	83	56	37
2	20	454	325	234	147	95	67	48
2	30	471	340	248	159	10	77	58
3	10	242	173	125	78	50	35	25
3	20	256	186	137	89	61	45	35
3	30	270	199	149	100	71	56	45
4	10	161	116	84	54	36	26	20
4	20	173	128	96	65	46	36	30
4	30	186	140	107	76	57	47	40
5	10	118	86	63	42	29	22	17
5	20	130	97	74	52	39	32	27
5	30	142	108	85	63	49	42	37
6	10	92	68	51	34	24	19	1
6	20	103	79	61	44	34	29	25
6	30	115	90	72	55	45	39	35
7	10	75	56	42	29	21	17	14
7	20	86	67	53	39	31	27	24
7	30	97	77	63	50	42	37	34
8	10	63	47	36	26	19	16	13
8	20	74	58	47	36	29	26	23
8	30	85	69	57	46	39	36	34
9	10	55	41	32	23	18	15	13
9	20	65	52	42	33	28	25	23
9	30	76	62	53	44	38	34.5	33
10	10	48	37	29	21	17	14	12
10	20	59	47	39	31	27	24	22
10	30	69	58	49	42	37	34	33
15	10	31	25	20	16	14	12	11
15	20	41	35	30	26	24	23	21
15	30	51	45	41	36	34	32	31
20	10	23	19	17	14	12	11	11
20	20	34	30	27	24	22	21	21
20	30	44	40	37	34	32	31	31
25	10	20	17	15	13	12	11	11
25	20	30	27	25	23	22	21	21
25	30	40	37	35	33	32	31	31
30	10	17	15	14	12	11	11	10
30	20	27	25	24	22	21	21	20
30	30	38	35	34	32	31	31	30
50	10	13	12	12	11	11	10	10
50	20	23	22	22	21	21	20	20
50	30	34	32	32	31	31	30	30

[표 A 트레이 크기와 천장 높이에 따른 온도 상승]



[표 B 시험 화재 크기 선택을 위한 순서도]

1-1-1-4. 생명 및 자산 보호 요구사항

가. 안전관리

안전한 시험의 진행을 위하여 프로젝트 현장대리인이 안전관리 책임자로서 TEST를 수행하는 인력에 대하여 통제를 실시하고 적용 화재크기에 적절한 화재진압 장비를 배치한다.

나. 개인용 호흡 장비

시험에 사용되는 연료는 인체에 무해한 Hot Smoke Test 전용 Oil을 사용하여 진행하며, 안전을 위하여 N-95 등의 마스크를 착용하도록 할 수 있다.

다. 연료 및 연기발생 저장 장소

1회 이상의 시험에 필요한 연료 등은 시험장소 이외의 안전한 장소에 별도 보관한다.

라. 기구 보호

복사열로 인한 손상방지용 알루미늄 호일 또는 석고보드 등을 비치할 수 있으나, 시험조건이 스프링클러헤드의 작동온도 보다 10°C 낮은 온도로 계획된 경우 별도의 기구 보호 조치를 생략할 수 있다.

마. 천장 온도 모니터링

천장의 아래쪽 등 온도의 상승이 예상되는 부위에 열전대를 설치하여 시험구간의 온도를 지속적으로 모니터링 한다.

1-1-1-5 기록장비

가. 요구사항

(1) 일반

이 절에 명시된 장비를 사용하여 시험결과를 기록한다.

(2) 모든 테스트의 필수 데이터

- 정적 사진
- 비디오 녹화
- 천장온도 측정

(3) 테스트를 위한 보충 자료

Plume 온도 측정

나. 사진기

사진은 장비 배치, 연기층 형성 및 연기 모양과 같은 중요한 단계의 시험결과를 기록

다. 비디오 기록장치

시험 시작부터 시험이 완료될 때 까지의 시험의 진행내용을 비디오 기록으로 저장

라. 천장온도 측정장치

시험장치에 의하여 온도의 상승이 예상되는 부위 중 천장 또는 적정한 위치에 최고온도 측정이 가능한 온도 측정장치를 설치

1-1-1-6. 시험 준비 및 보고서

가. Mock-up 테스트

본 시험에서는 별도의 Mock-up 테스트를 실시하지 않는다.

나. 준비 목록

- (1) 관할소방서 및 건물 관계자의 통보는 용역수행자와 협의된 일정에 대하여 시공자가 감리원의 확인을 득한 후 통보한다.
- (2) 시험장소 결정은 발주자 및 책임감리원과 협의하여 시행하되, 성능위주설계

심의내용을 고려하여 결정하고, 시험장비 및 건축물 시험조건은 8. TEST 실시에 따른 요청사항을 참조하여 준비한다.

- (3) 테스트 레코딩 설비는 시험 당일 적정한 위치를 선정하여 설치한다.
- (4) TEST 진행자는 무선통신장비(무전기)를 휴대하고 진행한다.
- (5) 시험장소의 출입은 시험에 필요한 최소한의 인원만 출입할 수 있도록 발주처에서 통제하며 시험 전일 및 당일 방송 등을 통하여 관련자에게 공지될 수 있도록 조치한다.

다. 보고서 명시될 사항

(1) 시험조건

- 적용된 Fire size
- 급·배기 설비의 개요 및 작동상태
- 건물 내 시험 화재의 정확한 위치사항은 다음과 같이 구성
 - (i) Plan drawing
 - (ii) Heat sensor locations
- 테스트 원리 - 연기제어 원리에 대한 간략한 설명
- 장비 구성
 - (i) Fire tray size (Test Fire)
 - (ii) Fuel tray configuration
 - (iii) Fuel quantities
 - (iv) Smoke Generator
 - (v) Heat sensors
- 시험 결과
 - (i) 수행된 테스트의 수
 - (ii) 천장 온도
 - (iii) 외부 공기 건구 온도
 - (iv) 연기 제어 시스템의 작동 및 설계 기준 준수 여부에 대한 의견

- (v) 제안된 원칙과 관련하여 연기 확산을 제어하는 시스템 성능에 대한 의견
- (vi) 연기제어 실패 시 원인에 대한 의견

라. 보고서 보충 사항

- (1) 시험조건에서 형성된 Plume온도에 대한 데이터를 제시한다.

2. 시험 상세 사항

- 시험의 대상

- 0000 지하0층 주차장

- 시험방법

“AS 4391-1999 Smoke management systems - Hot smoke test“에 근거한 절차에 따라 지하주차장에 설치된 스프링클러의 동작온도보다 10°C 낮은 온도에서 시행

- 시험의 목적

- 주차장 환기시설로 설치된 유입팬과 급배기 팬을 화재 시 연기 제어 시스템으로 활용 시 그 성능 및 발생 문제점 등을 사전에 확인하기 위함
- 주차장에 설치된 배기용량의 적정성 확인 및 방화셔터, 도어 자동개폐 장치 등 관련 연동 설비의 적정 동작 여부 확인

- 주요 기기 및 측정 항목

3. 화원 및 CCTV 카메라 설치 위치

- 화원의 위치 및 크기

- 급배기 조건

시나리오 1 : 주차장 환기용 급기팬 및 배기팬 운전 상태

시나리오 2 : 주차장 환기용 급기팬, 배기팬 및 유인팬 운전 상태



4. Hot Smoke Test 연기 제어 시나리오

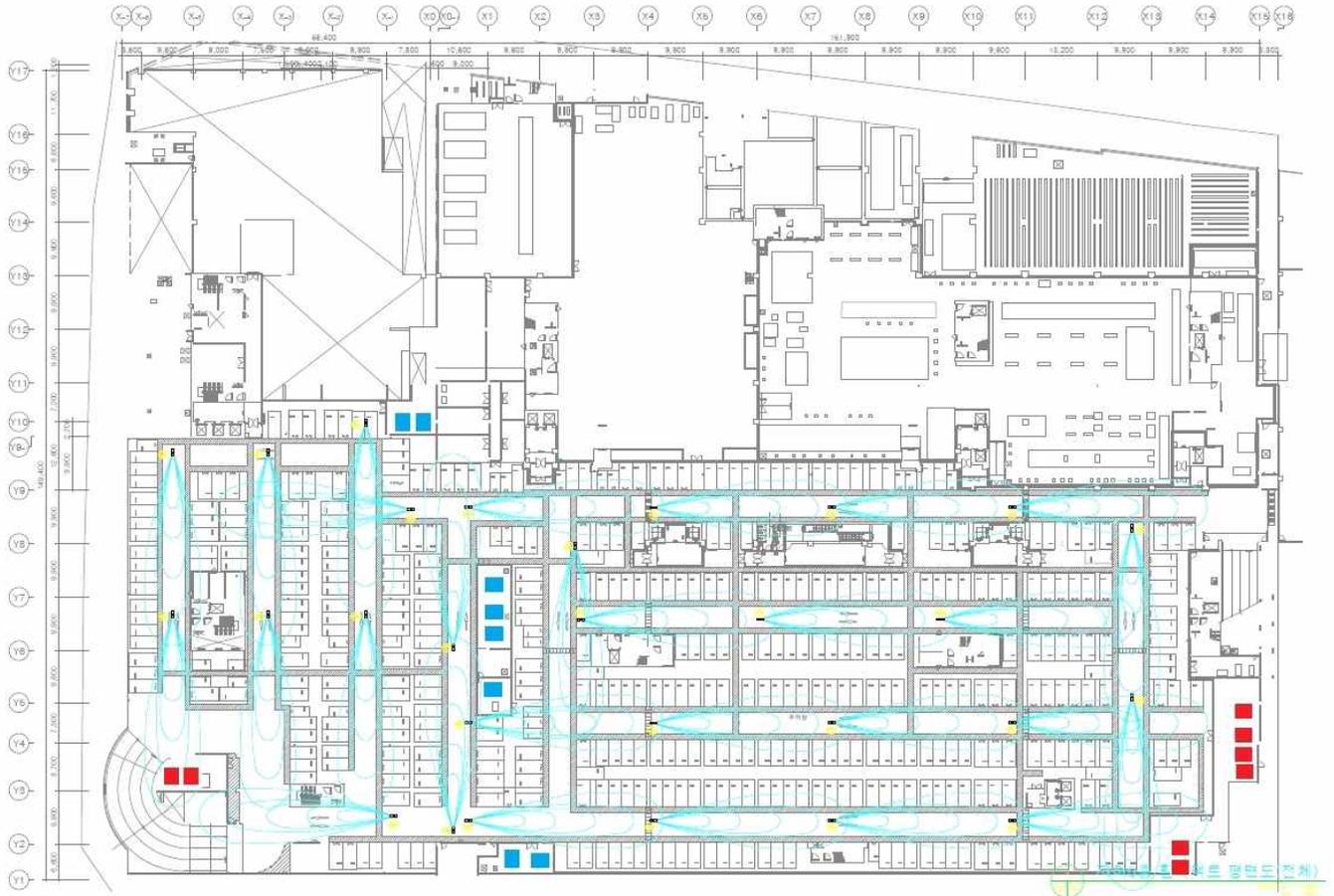
4-1. 시나리오 1(급기팬 및 배기팬 운전, 유인팬 : 정지)

○ 급배기 조건

- 급배기 풍량 : 480,000CMH(환기 횟수 기준 : 약 10회/h)
- 유인팬 풍량 : 0 CMH

○ 급배기팬 위치

- 빨간색 : 배기팬
- 파란색 : 급기팬
- 하늘색 : 유인팬



4-2. 시나리오 2(급기팬 및 배기팬 운전, 유인팬 : 운전)

○ 급배기 조건

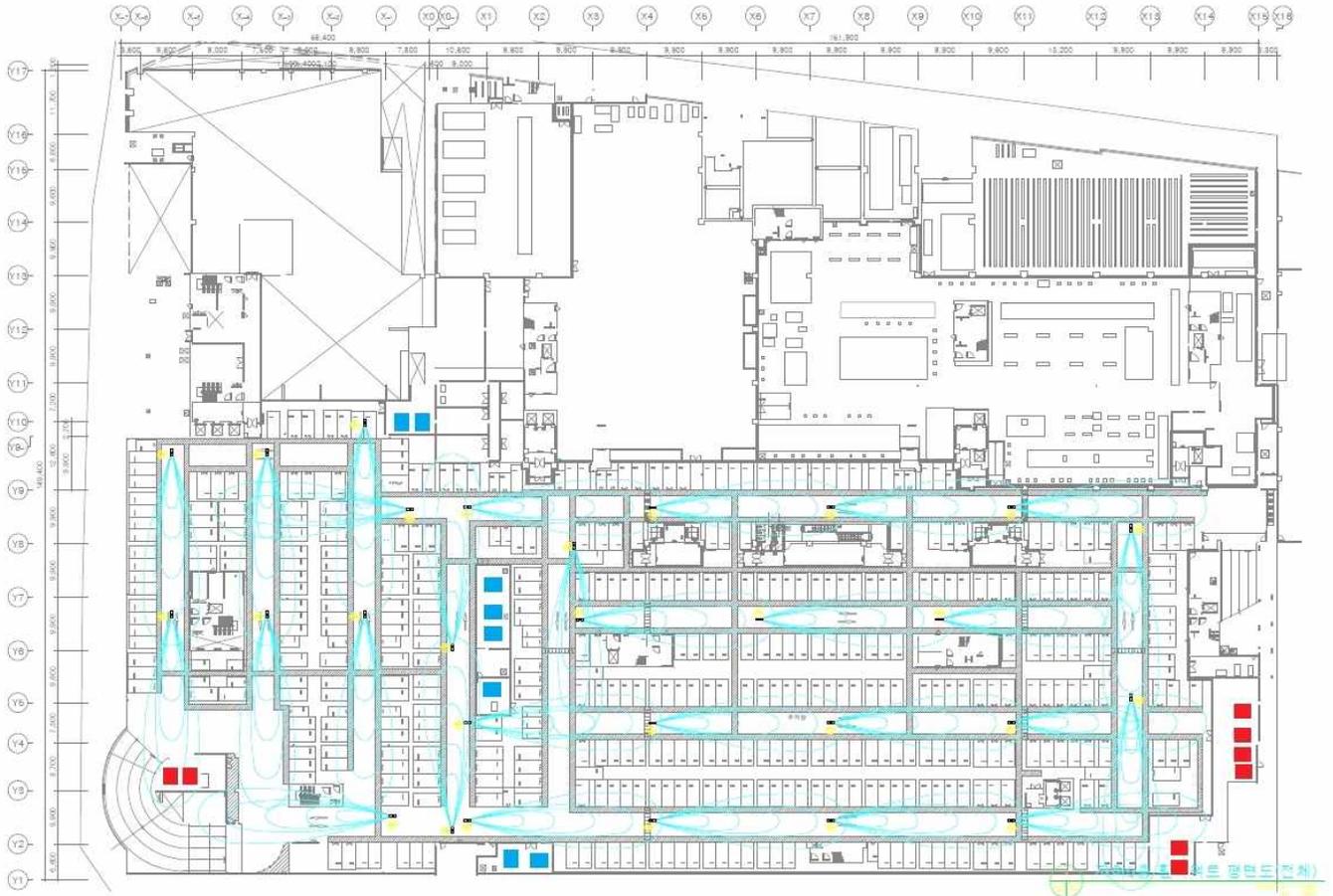
- 급배기 풍량 : 480,000CMH(환기 횟수 : 약 10회/h)
- 유인팬 풍량 : 86,400 CMH

○ 급배기팬 위치

빨간색 : 배기팬

파란색 : 급기팬

하늘색 : 유인팬



5. Hot Smoke Test 시험결과 분석

- 유인팬의 가동 여부에 따른 연기 발생 중 연기층의 교란
 - CCTV #1과 #5를 통해 유인팬의 가동에 따른 연기층의 교란 상태를 비교한 결과 유인팬 가동 시 청결층이 유지되지 못함을 확인 함.
 - 이러한 결과는 유인팬의 기류 배출 방향이 약 5도 하향(수평기준)이기 때문인 것으로 추정됨.
 - 화재 발생 시 유인팬도 가동될 경우 청결층이 유지되지 못함에 따라 화재 인근 지역에서 피난을 위한 가시거리가 짧아지고 연기 흡입으로 인한 피해가 우려됨.

[CCTV Ch #1] - 기류 유입 위치

유인 팬 미가 동				
	1분	3분	5분	7분
유인 팬 가동				
	1분	3분	5분	7분

[CCTV Ch #5] - 기류 배출 위치

유인 팬 미가 동				
	1분	3분	5분	7분
유인 팬 가동				
	1분	3분	5분	7분

- 유인팬의 가동 여부에 따른 연기 발생 정지 후의 환기 효율 증감 효과
 - 통상 유인팬이 적용될 경우 적용되지 않을 때보다 빠르게 환기가 이루어지는 것으로 알려져 있으나, 본 테스트에서는 이러한 경향을 명확히 확인하기 어려움.
 - 그 이유는 급기팬과 배기팬이 자연스럽게 형성하는 기류를 방해하는 유인팬이 일부 있기 때문인 것으로 판단됨.
 - 유인팬 가동 조건에서 CCTV Ch #6 위치가 Ch #5 위치에 비해 빨리 환기되는 이유는 급기팬과 배기팬이 자연스럽게 형성하는 기류를 방해하는

유인팬의 영향력이 Ch #6 위치가 Ch #5 위치에 비해 약하기 때문으로 판단됨.

[CCTV Ch #5]

유인 팬 미가 동				
	연기발생 정지 후 1분	연기발생 정지 후 3분	연기발생 정지 후 5분	연기발생 정지 후 10분
유인 팬 가동				
	연기발생 정지 후 1분	연기발생 정지 후 3분	연기발생 정지 후 5분	연기발생 정지 후 10분

[CCTV Ch #6]

유인 팬 미가 동				
	연기발생 정지 후 1분	연기발생 정지 후 3분	연기발생 정지 후 5분	연기발생 정지 후 10분
유인 팬 가동				
	연기발생 정지 후 1분	연기발생 정지 후 3분	연기발생 정지 후 5분	연기발생 정지 후 10분

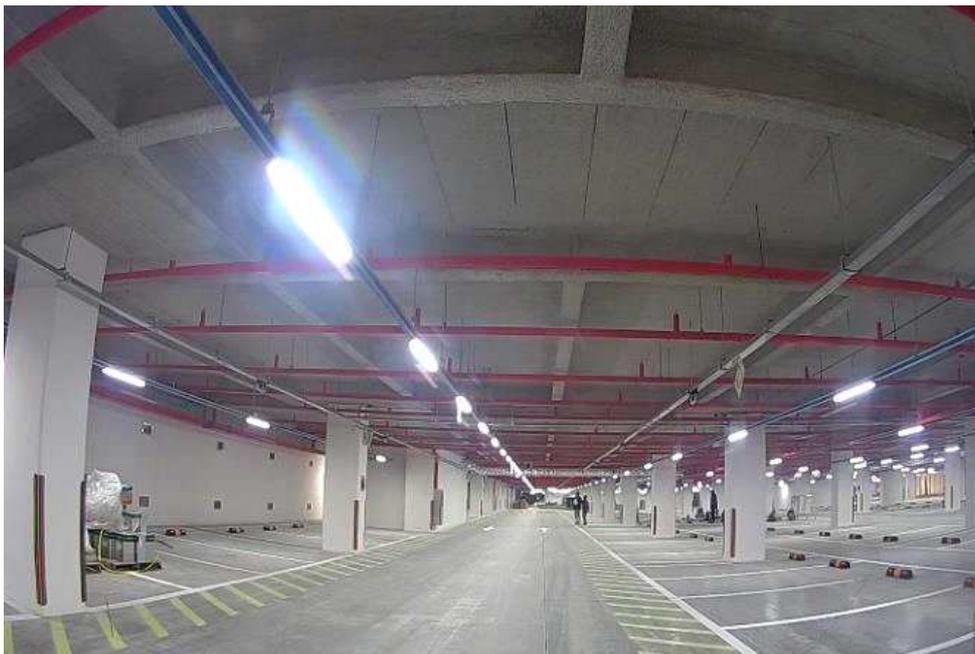
○ 지하 주차장의 환기 능력

- 본 주차장의 환기 횟수가 시간당 10회로(통상 약 3회) 설계되어 있기 때문에 연기 발생 정지 후 약 10분~15분 정도 경과하였을 때 유인팬 운전 여부와 관계없이 연기가 모두 배출되었음.

[Ch #5(유인팬 가동) - 연기발생 정지 15분 후]



[Ch #6번(유인팬 가동) - 연기발생 정지 10분 후]

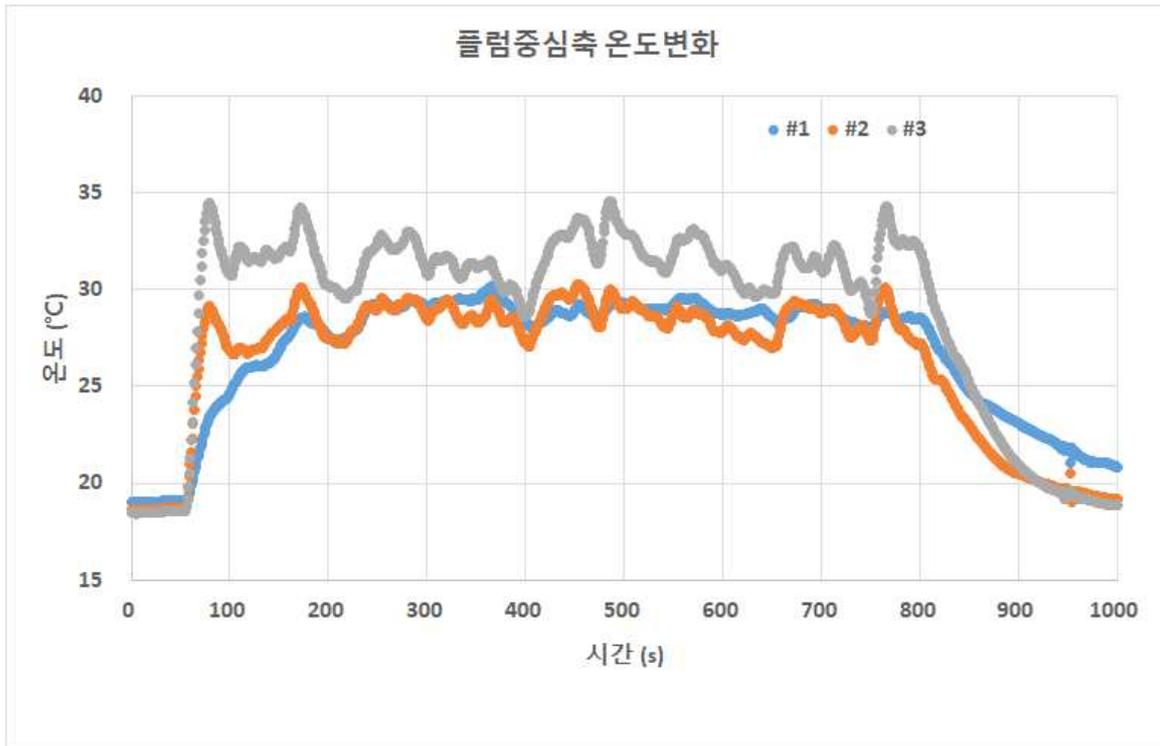


○ 플럼 중심축의 온도 비교

- 급배기팬만 운전했을 때 중심축 최상부에서 60cm 아래에 위치한 #1 온도계의 최대온도는 27°C, 유인팬도 함께 가동했을 때는 34°C로 측정됨.
- 두 시나리오 모두 측정된 최상부 온도는 Alpert식 및 Australian Standard 4391-1999에 의한 예측온도인 47°C보다 낮은 온도로 이는 급배기 기류에 의한 온도하강의 효과로 판단됨.



[급배기팬 가동]



[급배기팬 + 유인팬 가동]

○ 지하주차장 Hot Smoke Test 결과

2018년 10월 8일 지하주차장(지하 5층) X6, Y3 위치에서 실시한 Hot Smoke Test를 통하여 다음과 같은 결과를 확인할 수 있었음.

- 환기용 급/배기팬만 가동했을 경우에 비해 유인팬을 추가로 가동하는 경우 화원 인근 부근에서의 연기층 교란이 확인 됨.
- 두 시나리오 모두 측정된 최상부 온도는 Alpert식 및 Australian Standard 4391-1999에 의한 예측온도인 47°C보다 낮은 온도로 이는 급배기 기류에 의한 온도하강의 효과로 판단됨.
- 통상 유인팬이 적용될 경우 적용되지 않을 때보다 빠르게 환기가 이루어지는 것으로 알려져 있으나, 연기 발생 정지 이후의 연기 가시도를 비교해본 결과에

따르면 급기팬과 배기팬이 자연스럽게 형성하는 기류를 유인팬이 방해하는 정도가 클수록 배기효율이 떨어짐을 확인함.

- 본 주차장의 환기 횟수가 시간당 약 10회로(통상 약 3회) 설계되어 있기 때문에 연기 발생 정지 후 약 10분~15분 정도 경과하였을 때 유인팬 운전 여부와 관계없이 연기가 모두 배출됨을 확인함.

6. Hot Smoke Test 결과에 따른 제안

- 유인팬이 유발시키는 하향기류에 의해 화원 인근의 연기층이 교란되어 초기 피난에 지장을 초래할 수 있으므로 감지기 화재 신호와 자동으로 유인팬을 연동하는 대신 진압대의 판단에 따라 가동될 수 있도록 별도의 수동 제어반을 설치할 필요가 있으며, 그 위치는 방재실 등 안전이 확보된 장소여야만 함.
- 급기팬과 배기팬이 자연스럽게 형성하는 기류를 방해하는 방향으로 설치된 유인팬의 설치 방향 및 위치를 조정할 필요가 있음.