

차동식 열감지기 설치기준 비교분석에 관한 연구

황 동 환* · 양 광 모** · 강 경 식***

*동부기술단 · **유한대학교 산업경영과 · ***명지대학교 산업경영공학과 교수

Differential temperature fire detector analysis of comparative study based on sensor installation

Dong-hwan Hwang* · Yang Kwang Mo** · Kyung-Sik Kang***

*Dongbu Eng. Co LTD · **Department of Industrial Engineering, Yuhan University, Pucheon

***Department of Industrial Management Engineering, Myongji University

Abstract

Fire detectors are designed to minimize loss of life from a fire alarm system as an alarm to help evacuate more quickly until the completion of the evacuation alarm should be continued. the purpose of such alarms in order to achieve the characteristic fire heat release rate reaches a certain level, or when a certain time has elapsed, when the heat detector is to be alarms to answer. Requires a quick response, it is desirable to install the sensor as much as possible, but taking into account the cost of installation problems by engineering approach to minimize the quantity and rapidity of detection capability should be increased.

In order to increase the rapidity of fire detectors in a room according to the height of the sensing period is to be maintained the optimum distance of the fire detector detects characteristics should be considered. Differential spot-type heat detectors installed domestic basis, depending on the type of sensor that can detect one sensor area is limited and less than 4m ceiling height regulations and simply double the number in excess of 4m and intended to be installed

Keyword : Differential Temperature Fire Detector, Thickness of the Flame, Flames Reach, Distance Detector Placement, Growth Rate of Fire

1. 서 론

1.1 연구의 목적

화재감지기는 화재로부터 인명손실을 최소화하기 위한 경보설비로서 경보는 신속할수록 피난에 도움이 되고 피난이 완료될 때까지의 지속적인 경보가 이루어져야 한다. 이러한 경보특성의 목적을 달성하기 위해서는

화재가 특정수준의 열 방출율에 도달할 때 혹은 특정 시간이 경과했을 때 감지기가 반드시 응답하여야한다. 신속한 응답을 위해서는 가급적 많은 감지기를 설치하는 것이 바람직하나 비용 문제를 고려하여 설치 수량을 공학적인 접근에 의해 최소화하고 감지능력의 신뢰도를 높여야 한다. 감지기의 신뢰도를 높이기 위해서는 화재실에서의 높이에 따른 감지기간의 적정거리가 유지되어야 하고 화재감지기의 감지 특성을 고려하여야 할 것이다.

†Corresponding Author : Dong-hwan Hwang, Department of Industrial and Management Engineering College of Engineering Myong Ji University, San 38-2, Nam-Dong, Cheoin-Gu, Yongin Gyeonggi - Do, S.Korea 449-728 M•P:010-6306-9808, E-mail : h4299@hanmail.net

Received October 20, 2014; Revision Received November 10, 2014; Accepted November 30, 2014.

국내의 차동식 스포트형 열감지기 설치 기준으로는 감지기 종류에 따라 감지기 1개가 감지할 수 있는 면적으로 제한하고 있으며 천장의 높이는 단순하게 4m 이내로 규정하고 4m를 초과시 2배의 개수로 설치하도록 되어있다. FMRC 규정으로는 10ft~70ft 마다 1개씩 설치하고 있는 등 이미 외국은 감지기는 배치거리에 준하여 설치하고 국내는 면적기준으로 설치하고 있어 면적기준과 배치간격기준을 비교 분석하여 합리적인 결과를 도출하고자 한다.

1.2 이론적 배경

1) 연구배경

지금까지의 화재사고에서 경보기능이 작동되지 않아 인명피해가 큰 사건을 종종 보아 왔다. 그러나 화재감지 설비의 작동 유무만 확인되었으나 경보설비의 시설이 공학적인 접근에 의한 정상 상태로 설치되었는지는 의문이다. 이러한 화재감지기의 적정설치에 대하여 화재현상을 조명해볼 필요가 있다.

우리가 화염으로 인식한다는 것은 시각적인 측면에서 우선 육안으로 보이는 부분만 화염(Plume)으로 이해되었으나 결국 화염은 연소중이거나 또는 미연소중인 가스의 흐름으로 이미 1950년경부터 FMRC¹⁾에서는 Fire Gas의 온도와 흐름(Temperature, Velocities)의 현상을 관찰하고 이를 NIST(National Institute of Standards and Technology)에 검토를 의뢰하게 되어 NIST와 여러 실험기관에서 화염의 거동에 대한 현상을 기초로 하여 적정 감지기 설치 위치를 결정하였다. 따라서 우리나라의 화재안전기준에서 정하는 차동식 스포트형 열감지기의 면적별 설치 기준과 UL²⁾에서 정한 감지기간의 배치거리를 비교하고자 한다.

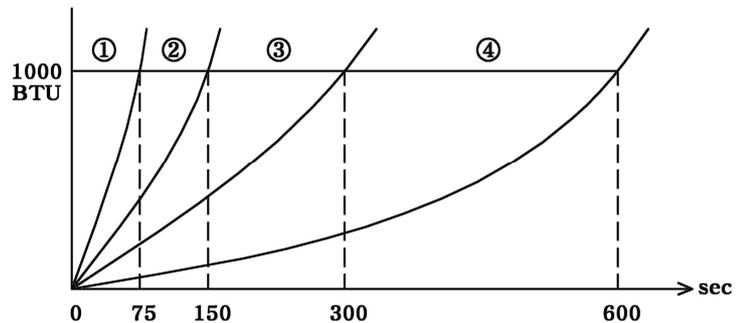
2) Ceiling Jet Flow의 이해

화염에서의 상부로 이동되는 운동에너지는 상부로 올라갈수록 화염은 냉각되고 상부로 밀어 올리는 공기는 냉각되어 운동에너지가 감소되는데 초기화염(Incident Plume)에서 약 75%가 손실된다.

천장의 높이가 높다면 운동에너지는 더욱 크게 손실되고 반대로 천장고가 낮으면 부력의 힘을 받아 화염은 천장면에 부딪히고 기류는 천장면을 따라 비교적 흐름이 빠른 제트흐름으로 될 것이다. Ceiling Jet Flow는 초기에는 공기보다 가벼워진 상태에서 천장면

에 닿으면 반력에 의하여 다시 아래로 내려오게 되는데 지속적인 화염의 부력과 운동에너지를 받아야만 공기의 흐름이 빠르게 되어 Ceiling Jet Flow가 유지되는 것이다.

화염가스의 흐름은 초기화재에서 천장면에 도달하여 수평으로 이동된다하더라도 화염이 냉각되면 [그림 1-2]와 같이 아래로 급강하 하는 것이다. 따라서 Ceiling Jet Flow가 유지되기 위해서는 t^2 화재³⁾와 같이 충분한 열 방출률이 필요하며 감지기의 이격거리를 추정하는 데는 Fast fire(150s)를 기준으로 하고 있다. 화재의 성장속도는 $Q = \alpha T^2$ 으로 변화되는데 발화하여 1000BTU에 도달하는데 까지의 소요시간을 구분하여 화재의 성장속도를 추정하고 있다.



[Figure 1] Growth rate of fire

<Table 1> step-by-step reach fire

Distribution	Level off at Time(sec)	Start Decay at Time(sec)
Ultra Fast Fire	75	675
Fast Fire	150	750
Medium Fire	300	900
Slow Fire	600	1200

이러한 화재의 성장속도는 Heskestad의 정상상태 화재에 의해 형성되는 최대천장 분출온도 및 속도에 대한 실험에서 나타난바와 같이 $r / H = 0.5$ 에서 화염의 두께는 8~12%를 유지하며 그중 천장면으로부터 약 1~2%정도의 화염이 가장 높은 온도를 유지하는 화염의 흐름이 된다.

따라서 스프링클러설비에서 상향형헤드의 설치는 천

1) Factory Mutual Research Corporation

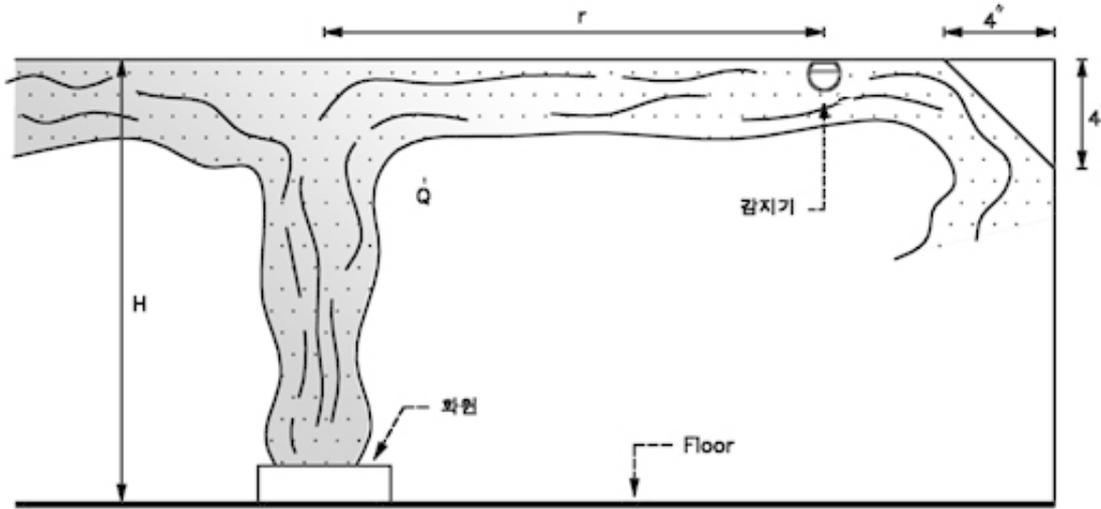
2) Underwriters Laboratories Inc.

3) 1000BTU(1055KW)에 도달하는 시간으로 화재의 성장속도를 4단계로 구분한다.

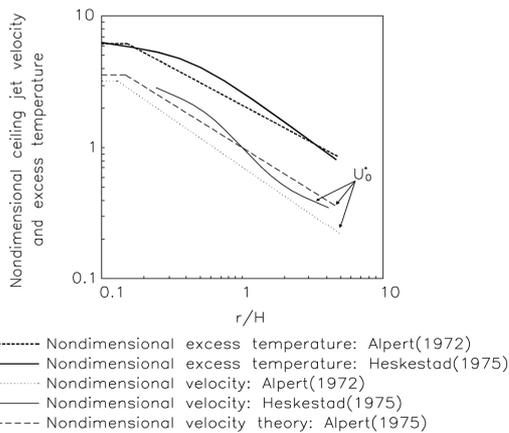
장면으로부터 0.3m이내에 설치하도록 화재안전기준에서 정하고 있으며 열감지기의 적정 이격거리를 선정하여 작동온도에 도달하고 응답속도를 추정하는데 있다.

Heskestad의 실험에 의하면 천장의 높이가 12m이하에서는 수평으로 이동되는 5m 거리에서 50°C의 온

도 강하하는 Ceiling Jet가 유지되지 않는다. 또한 열 방출율이 Wall Fire에서는 2배가 되며 Corner Fire에서는 4배의 열 방출이 일어난다. 그리고 Corner Fire에서는 Ceiling Jet가 일어나기 위해서는 1.472MW의 열 유속이 필요하다.



[Figure 2] Transient ceiling jet flow in a room



[Figure 3] Dimensionless correlations for maximum ceiling jet temperatures and velocities produced by steady fires.

위의 그림과 같이 바닥에서 천장까지의 높이(H)에 대하여 수평흐름의 거리 비율이 r/H=0.18 일 때 온도 강하가 많이 일어나기 시작함을 알 수 있다. 결국 r/H ≥ 0.18이 되면 온도는 급강하되어 열류는 아래로 내려오게 되는데 열감지기가 작동하는데 응답시간은 길어질 것으로 판단된다. 이러한 열 흐름의 관계식에서 화염의 두께를 계산하는 공식은 아래의 식을 이용한다.

$$\frac{L_f}{H} = 0.112(1 - \exp(-2.24(\frac{r}{H}))) \quad (식 1)$$

$$L_f = 0.112(1 - \exp(-2.24(\frac{r}{H}))) \times H \quad (식 2)$$

여기서, L_f : 화염의 두께(m)

r : 화염 중심선에서 감지기까지의 거리(m)

H : 바닥으로부터 천장까지의 거리(m)

식(2)에서 천장의 높이가 4m이고 화원의 중심으로 부터 2m의 거리에서는 $L_f = 0.414m$ 가 되어 스프링클러헤드 설치 시 높은 열류의 영향으로 개방되도록 하기 위하여 천정면으로부터 0.3m미만으로 이격하도록 화재안전기준에서 규정한 것으로 보인다. 또한 천장의 높이가 4m라면 차동식 분포형 열감지기를 비롯한 모든 열감지기는 천장면에 부착하여야 하나 부득이한 경우 가장 온도가 높은 열류층인 천장면으로부터 1~2%범위인 0.08m(8cm)이내에 설치되어야한다.

$$L_f = 0.112(1 - \exp(-2.24(\frac{2}{4}))) \times 4 = 0.414m$$

특히 구획화재에서의 Ceiling Jet Flow 범위밖의 모서리부분 4" (0.1m)는 열류의 영향이 적은 범위이므로 스프링클러헤드나 감지기를 설치하여서는 아니된다.

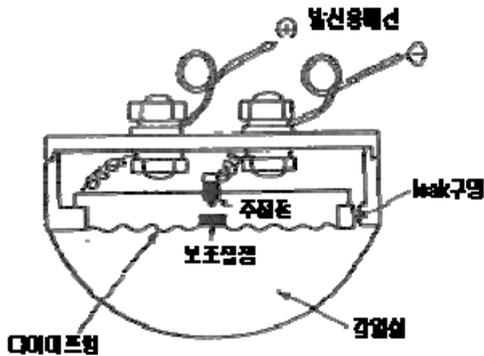
2. 국내의 설계방식

2.1 차동식 스포트형 감지기의 특성

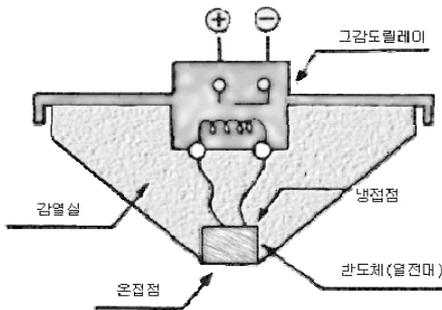
차동식 스포트형 열감지기는 발생하는 열이 일정 온도상승율에 도달하면 경보를 발하게 되는 것이다. 차동식 열감지기의 대표적인 방식으로는 다이어프램식과 반도체 센서형을 주로 많이 사용하고 있다. 다이어프램식 방식은 화재시 감열실의 온도상승에 의해 완만한 온도상승으로 공기가 팽창되는 것은 리크공을 통하여 배출되고 급격한 온도상승만이 화재로 인식되는 것이다.

또한 반도체 센서식은 열을 받으면 반도체 센서(thermistor)에서 전류를 발생시켜 고감도 릴레이에 접점되어 신호를 발하게 되는 것이다.

따라서 스포트형 차동식 열감지기는 Medium Fire, Slow Fire에서는 매우 느리게 작동되므로 신속한 경보를 기대할 수 없다.



[Figure 4] Differential spot-type detectors (Diaphragm type)



[Figure 5] Differential spot-typedetectors (thermistor type)

2.2 화재의 종류에 따른 감지기의 적응성

구획실의 용도에 따라 적응성 있는 감지기를 아래의 표에 수록하였다.

<Table 2> 감지기의 부착높이에 따른 적응성

부착높이	감지기의 종류
4m 미만	차동식(스포츠형, 분포형) 보상식 스포트형 정온식(스포츠형, 감지선형) 이온화식 또는 광전식 (스포츠형, 분리형, 공기흡입형) 열복합형 연기복합형 열연기복합형 불꽃감지기
4m 이상 ~ 8m 미만	차동식(스포츠형, 분포형) 보상식 스포트형 정온식(스포츠형, 감지선형) 특종 또는 1종 이온화식 1종 또는 2종 광전식(스포츠형, 분리형, 공기흡입형) 1종 또는 2종 열복합형 연기복합형 열연기복합형 불꽃감지기
8m 이상 ~ 15m 미만	차동식 분포형 이온화식 1종 또는 2종 광전식(스포츠형, 분리형, 공기흡입형) 1종 또는 2종 연기복합형 불꽃감지기
15m 이상 ~ 20m 미만	이온화식 1종 광전식(스포츠형, 분리형, 공기흡입 형) 1종 연기복합형 불꽃감지기
20m 이상	불꽃감지기 광전식(분리형, 공기흡입형)중 아날 로그방식

1) 감지기별 부착높이 등에 대하여 별도로 형식승인 받은 경우에는 그 성능 인정범위 내에서 사용할 수 있다.
2) 부착높이 20M 이상에 설치되는 광전식 중 아나로그방식의 감지기는 공칭감지농도 하한값이 감광율 5%/m 미만인 것으로 한다.

3.3 감지기의 설치수량

<Table 3> 열감지기의 부착높이에 따른 설치 면적 기준

(단위 m²)

부착높이 및 특정소방대상물의 구분		감지기의 종류						
		차동식 스포츠형		보상식 스포츠형		정온식 스포츠형		
		1종	2종	1종	2종	특종	1종	2종
4m 미만	주요 구조부를 내화구조로 한 특 정소방대상물 또는 그 부분	90	70	90	70	70	60	20
	기타 구조의 특정소방대상물 또는 그 부분	50	40	50	40	40	30	15
4m 이상 8m 미만	주요 구조부를 내화구조로 한 특 정소방대상물 또는 그 부분	45	35	45	35	35	30	
	기타 구조의 특정소방대상물 또는 그 부분	30	25	30	25	25	15	

<Table 4> 연기감지기의 부착높이에 따른 설치 면적 기준
(단위 m²)

부착높이	감지기의 종류	
	1종 및 2종	3종
4m 미만	150	50
4m이상 20m 미만	75	

3. 배치거리 계산

3.1 배치거리 계산 순서 및 고려사항

- (1) 고려대상면적에 대해 다음과 같은 환경조건을 결정한다.
 - a. 주위온도 T_a (절대온도로 환산할 것)
 - b. 천장높이 혹은 가연물 위쪽으로의 높이 H
- (2) 연소예상 가연물에 대한 화재성장 특성인 α 혹은 t_g 를 추정한다. t_g 를 사용할 경우에는 그에 해당하는 α 를 계산한다. 해당방정식을 이용하기 전에 α 에 대류분율을 곱해 αc 를 구한다.
- (3) 필요한 응답시간 t_r 혹은 최대 열방출을 허용한 계 Q_T 등 해당설비의 목표를 결정한다.
- (4) 사용할 감지기 형식을 선정한다. 정온식의 경우에는 감지기 선정에 따라 감지기 응답온도 T_r 및 그에 따른 RTI 혹은 τ_0 및 μ_0 가 결정된다.

- (5) 설비목표 달성을 위해 적용해야하는 화재로부터 감지기까지의 거리를 1차로 추정한다.
- (6) 화재발생시점($t = 0$)에서 화재가 먹-급수모델을 따른다는 가정을 한다.
- (7) 감지기 및 그 주변온도의 초기온도를 주위온도로 설정한다.
- (8) 방정식 (3)을 이용해 초기 열 선단이 감지기에 도달하는 무차원시간 t_{2f} 를 계산한다.
- (9) 방정식 (4)에 정의 되어있는 계수 A를 계산한다.
- (10) 가변 대류 분율에 대한 방정식을 이용할 경우에는 α 에 대류분율 X를 곱해 αc 를 구한 뒤 그 결과를 방정식($t_p = \frac{t}{A^{-1/(3+p)} \alpha^{-1(3+p)} H^{4/(3+p)}}$)의 응답시간 요구 수치와 함께 이용해 그에 해당하는 t_2 값을 구한다.
- (11) t_2 가 t_{2f} 보다 클 경우 제 12 단계로 넘어간다. 그렇지 않을 경우에는 화재에 보다 가까운 새로운 감지기 위치 r 을 적용한 뒤 제8단계로 되돌아 간다.
- (12) 방정식($u_p = f(t_p, \frac{r}{H})$)을 이용해 u/u_2 의 비를 구한다.
- (13) 방정식($\Delta T_p = g(t_p, \frac{r}{H})$)을 이용해 $\Delta T/\Delta T_2$ 의 비를 구한다.
- (14) 방정식 ($\Delta T_2 = [\frac{(t_2 - t_{2f})}{(0.126 + 0.210r/H)}]^{-1/8}$)을

이용해 ΔT_2 를 계산한다.

- (15) $u_2/(\Delta T)^{1/2}$ 의 비를 구할 때는 방정식 23을 이용한다.
- (16) 방정식(9) 및 방정식(12)을 이용해 D와 Y를 계산한다.
- (17) 이제 방정식(13)를 이용해 해당감지기의 온도를 구할 수 있다.
- (18) 감지기 온도가 해당 작동 온도보다 낮을 경우에는 r을 더 작게 한 상태에서 이 과정을 반복한다. 감지기 온도가 해당 작동 온도를 초과할 경우에는 r을 더 크게 할 수 있다.
- (19) 감지기 온도가 해당 작동온도에 가까워 질 때까지 이 과정을 반복한다. 감지기 배치 간격 요구 사항은 $S = 1.41r$ 이다.

3.2 화재모델 활용에서의 설치 적정거리

화재감지기의 감지 시간은 열 방출률이 RTI를 결정하기 때문에 직접 공식을 이용하여 계산하고 기타 조건에 대하여는 감지기에 대한 시간상수 데이터를 이용하여 계산하고자 한다. 이에 따른 조건으로는 열 방출

율의 계산이 필요하다.

$$Q = \alpha t^2 \text{KW} \tag{식 3}$$

여기서, Q : HRR(heat release rate)

α : 화재강도계수(KW/S^2)

계산식에 Fast Fire를 적용하면

$$\alpha = \frac{1055}{150^2} = 0.047 \text{KW}/\text{s}^2$$

여기에 열 방출률이 2,500KW에 도달되면 감지기가 작동되어야 한다면 다음과 같이 도달되는 시간을 구할 수 있다.

$$t = \sqrt{\frac{Q}{\alpha}} = \sqrt{\frac{2500}{0.047}} = 231\text{s}$$

여기에서 연기의 유동속도를 1.5m/s로 하여 RTI를 계산하면

$$RTI = \tau_0 u_0^{1/2} \tag{식 4}$$

여기서, τ_0 : 시간상수(Table 5참조)

u_0 : 유동속도(m/s)

$$RTI = 80 \sqrt{1.5} = 98 \text{m}^{1/2} \text{s}^{1/2}$$

<Table 5> Time Constants for Any Listed Detector ($\tau_0(S)^a$)

Listed Spacing ft(m)	UL °F(°C)						FMRC All Temp.
	128(53)	135(57)	145(63)	160(71)	170(77)	196(91)	
10(3.05)	400	330	262	195	160	97	195
15(4.57)	250	190	156	110	89	45	110
20(6.10)	165	135	105	70	52	17	79
25(7.62)	124	100	78	48	32		48
30(9.14)	95	80	61	36	22		36
40(12.19)	71	57	41	18			
50(15.24)	59	44	30				
70(21.34)	36	24	9				

These Time Constants are based on an analysis of the Underwriters Laboratories Inc. and Mutual Research Corporation listing test procedures. Plunge test results performed on the detector to be used will give a more accurate time constant. At a reference velocity of 5ft/s(Reproduced from NFPA 72-1993, Appendix B.⁸)

3.3 감지기 배치계산(6m)

감지기 배치를 위한 1차 추정에 의해 감지기간의 간격은 6m를 계산한다. (UL규정은 30ft)

열 선단이 감지기에 도달하는 무차원 시간을 구하면

$$t_{2f} = 0.813 \left(1 + \frac{r}{H}\right) \tag{식 5}$$

여기서, $t_{2f}^{1)}$: 감지기에 열이 감지되는 시간
 r : 화원중심에서 감지기까지의 거리(m)
 H : 바닥으로부터 천장까지의 높이(m)

$$t_{2f} = 0.813(1 + \frac{6}{3.5}) = 2.207$$

여기에 무차원 면적(A)을 구하면

$$A = \frac{g}{C_p T_a \rho_0} \quad (\text{식 6})$$

여기서, A : 무차원 면적($m^4/s^2 \cdot KJ$)
 C_p : 공기의 정압비열(kj/kg · K)
 g : 중력가속도(m/s)
 T_a : 주위온도(°C)
 ρ_0 : 공기밀도(Kg/m³)

$$A = \frac{9.81}{1.040(10 + 273)1.1} = 0.030$$

응답시간을 구하기 위하여 열전달율(α)를 구하면

$$\alpha = X\alpha \quad (\text{식 7})$$

$$\alpha = 0.70(0.047) = 0.033 KW/S^2$$

$$t_2 = \frac{t}{A^{-1/5} \alpha^{-1/5} H^{4/5}} \quad (\text{식 8})$$

여기서, t_2 : 감지기 주위온도(°C)
 t : 2,500KW에 도달하는 시간(sec)
 A : 무차원 면적($m^4/s^2 \cdot KJ$)
 α : 화재강도계수(KW/S^2)
 H : 바닥으로부터 천장까지의 높이(m)

$$t_2 = \frac{231}{(0.030)^{-1/5} (0.033)^{-1/5} (3.5)^{4/5}} = 21.256$$

위 계산에서 화재가 발생하여 2500KW에 도달하는 시간이 231초에 도달하면 $t_2 > t_{2f}$ 이므로 화염의 선단이 이미 감지기를 통과한 것이다.

여기에서 무차원속도에 대한 속도의 비를 계산하면

$$u_2 = \frac{u}{(A^{1/5})(\alpha_c^{1/5})(H^{1/5})} \quad (\text{식 9})$$

위식을 속도비로 유도하면

$$\frac{u}{u_2} = (A^{1/5})(\alpha_c^{1/5})(H^{1/5})$$

여기서, u : 초기화염의 진행속도(m/s)

u_2 : 화염의 말단 진행속도(m/s)

A : 무차원 면적($m^4/s^2 \cdot KJ$)

α_c : 감지기측의 화재강도계수(KW/S^2)

H : 바닥으로부터 천장까지의 높이(m)

$$\frac{u}{u_2} = (0.030)^{1/5} (0.033)^{1/5} (3.5^{1/5}) = 0.322$$

여기에서 무차원 가스 온도의 변화의 비를 계산하면

$$\Delta T_2 = \frac{\Delta T}{A^{2/5} (T_a/g) \alpha_c^{2/5} H^{-3/5}} \quad (\text{식 10})$$

위 식을 온도변화비로 유도하면

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_2} = A^{2/5} (\frac{T_a}{g}) \alpha_c^{2/5} H^{-3/5}$$

여기서, ΔT_2 : 화염선단의 온도(°C)

ΔT : 감지기 주변의 가스온도(°C)

T_a : 초기 주위온도(°C)

g : 중력가속도(m/s)

α_c : 감지기측의 화재강도계수(KW/S^2)

H : 바닥으로부터 천장까지의 높이(m)

$$\frac{T}{T_2} = (0.030)^{2/5} (\frac{283}{9.81}) (0.033)^{2/5} (3.5)^{-3/5} = 0.855$$

화염 가스온도 변화율을 계산하면

$$D = 0.126 + 0.210(\frac{r}{H}) \quad (\text{식 11})$$

여기서, D^2 : 온도변화율

r : 화원중심에서 감지기까지의 거리(m)

H : 바닥으로부터 천장까지의 높이(m)

$$D = 0.126 + 0.210(\frac{6.0}{3.5}) = 0.486$$

$$\Delta T_2 = [\frac{(t_2 - t_{2f})}{D}]^{4/3}$$

(식 12)

여기서, ΔT_2 : 화염과 화염선단의 온도차(°C)

t_2 : 감지기 주위온도(°C)

t_{2f} : 감지기에 열이 감지되는 시간

D : 온도변화율

$$\Delta T_2 = [\frac{(21.256 - 2.207)}{0.486}]^{4/3} = 133.142$$

다음에는 $u_2/(\Delta T_2)^{1/2}$ 의 비를 계산한다.

$$\frac{u_2}{(\Delta T_2)^{1/2}} = 0.59(\frac{r}{H})^{-0.63}$$

(식 13)

1) fast fire로서 1000BTU에 도달하는 시간이 150sec이다

2) 화염으로부터 천장과 감지기까지의 거리로서 화염가스온도 변화율의 무차원 수

여기서, u_2 : 화염의 말단 진행속도(m/s)
 ΔT_2 : 화염과 화염선단의 온도차(°C)
 r : 화원중심에서 감지기까지의 거리(m)
 H : 바닥으로부터 천장까지의 높이(m)

$$\frac{u_2}{(\Delta T_2)^{1/2}} = 0.59 \left(\frac{6.0}{3.5}\right)^{-0.63} = 0.420$$

다시 감지기온도의 순간 변화율(Y)를 계산하면

$$Y = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{u}{u_2}} \sqrt{\frac{u_2}{(\Delta T_2)^{1/2}}} \left(\frac{\Delta T}{RTI}\right) \left(\frac{t}{t_2}\right) D \quad (\text{식 14})$$

여기서, Y : 감지기 온도의 순간 변화율
 u : 초기화염의 진행속도(m/s)
 u_2 : 화염의 말단 진행속도(m/s)
 t : 2,500KW에 도달하는 시간(sec)
 t_2 : 감지기 주위온도(°C)
 ΔT : 감지기 주변의 가스온도(°C)
 ΔT_2 : 화염과 화염선단의 온도차(°C)
 D : 온도변화율

$$Y = \frac{3}{4} \sqrt{0.322} \sqrt{0.420} \left(\frac{133.142}{98}\right) \left(\frac{231}{21.256}\right) (0.486) = 1.979$$

$t=231s$ 에 대한 감지기 온도 $T_d(t)$ 를 계산할 수 있다. 화재발생초기에 감지기온도($T_d(0)$)는 주위온도 T_a 와 동일하다고 가정하여 감지기의 온도를 계산하면

$$\Delta T_d = T_d(t) - T_d(o) = \frac{\Delta T}{\Delta T_2} \Delta T_2 \left[1 - \left(\frac{1 - e^{-Y}}{Y}\right)\right] \quad (\text{식 15})$$

여기서, ΔT_d : 화염으로 인한 감지기의 온도
 $T_d(t)$: 감지기 주위온도(°C)
 $T_d(o)$: 실내온도(°C)
 ΔT : 감지기주변의 가스온도(°C)
 ΔT_2 : 화염선단의 온도(°C)

$$\Delta T_d = T_d(t) - T_d(o) \quad (\text{식 16})$$

$$= 0.855(133.142) \left[1 - \left(\frac{1 - e^{-1.979}}{1.979}\right)\right]$$

$$\Delta T_d = T_d(t) - T_d(o) = 64.264$$

$$T_d(t) = \Delta T_d + T_d(o) = 64.264 + 10 = 74.264 = 74^\circ\text{C}$$

감지기간의 이격거리계산

$$S = r \sqrt{2} \quad (\text{식 17})$$

여기서, S : 감지기간의 거리(m)
 r : 화원중심에서 감지기까지의 거리(m)

$$S = 6 \sqrt{2} = 8.48m$$

위의 계산에서 열 방출률이 2,500KW에 도달하는 231초 후에는 화재축으로 부터 6m 떨어진 감지기의 온도는 74°C에 도달하였다. 감지기의 작동온도는 57°C이므로 조금 더 이격거리를 멀리 할 수도 있다. 따라서 감지기온도 계산결과가 작동온도에 가까워질 때까지 계산을 반복한다.

3.4 감지기 배치계산(7.4m)

만약 화원의 중심에서 감지기까지의 거리가 7.4m라고 추정하여 같은 방법으로 계산하면 무차원 가스 온도의 변화의 비를 계산한다.

$$\Delta T_2 = \frac{\Delta T}{A^{2/5} (T_a/g) \alpha_c^{2/5} H^{-3/5}}$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_2} = A^{2/5} \left(\frac{T_a}{g}\right) \alpha_c^{2/5} H^{-3/5}$$

$$\frac{T}{T_2} = (0.030)^{2/5} \left(\frac{283}{9.81}\right) (0.033)^{2/5} (3.5)^{-3/5} = 0.855$$

가스온도변화를 계산하면

$$D = 0.126 + 0.210 \left(\frac{7.4}{3.5}\right) = 0.57$$

$$\Delta T_2 = \left[\frac{(t_2 - t_{2f})}{D}\right]^{4/3}$$

$$\Delta T_2 = \left[\frac{(21.256 - 2.207)}{0.57}\right]^{4/3} = 107.65$$

다음에는 $u_2/(\Delta t_{2f})^{1/2}$ 의 비를 계산한다.

$$\frac{u_2}{(\Delta T_2)^{1/2}} = 0.59 \left(\frac{r}{H}\right)^{-0.63}$$

$$\frac{u_2}{(\Delta T_2)^{1/2}} = 0.59 \left(\frac{7.4}{3.5}\right)^{-0.63} = 0.368$$

다시 감지기온도의 순간 변화율(Y)를 계산하면

$$Y = \frac{3}{4} \sqrt{\frac{u}{u_2}} \sqrt{\frac{u_2}{(\Delta T_2)^{1/2}}} \left(\frac{\Delta T}{RTI}\right) \left(\frac{t}{t_2}\right) D$$

$$Y = \frac{3}{4} \sqrt{0.322} \sqrt{0.368} \left(\frac{133.142}{98}\right) \left(\frac{231}{21.256}\right) (0.57) = 2.173$$

t=231s에 대한 감지기 온도 $T_d(t)$ 를 계산할 수 있다. 화재발생초기에 감지기온도($T_d(0)$)는 주위온도 T_a 와 동일하다고 가정하여 감지기의 온도를 계산하면

$$\Delta T_d = T_d(t) - T_d(o) = \frac{\Delta T}{\Delta T_2} \Delta T_2 \left[1 - \left(\frac{1 - e^{-Y}}{Y} \right) \right]$$

$$\Delta T_d = T_d(t) - T_d(o)$$

$$= 0.855 (133.142) \left[1 - \left(\frac{1 - e^{-2.173}}{2.173} \right) \right]$$

$$T_d = T_d(t) - T_d(o) = 67.413$$

$$T_d(t) = \Delta T_d + T_d(o) = 67.143 + 10 = 77.143 = 77^\circ\text{C}$$

감지기간의 이격거리계산

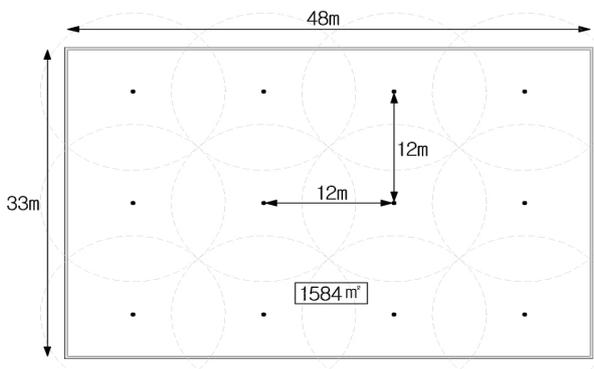
$$S = r\sqrt{2}$$

$$S = 7.4\sqrt{2} = 10.465\text{m} \quad \therefore 10.465\text{m}$$

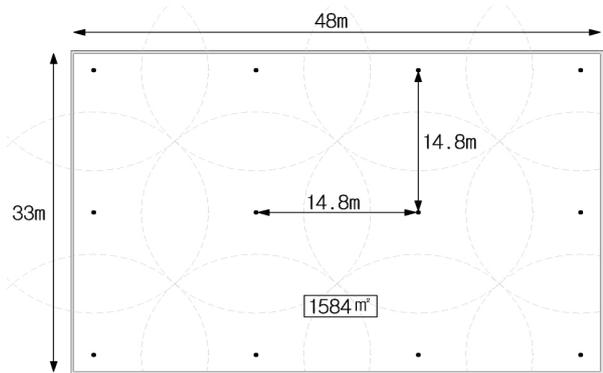
4. 결론

차동식 열감지기의 적정 배치간격을 계산하는 것은 임의의 감지기 거리 및 열 방출율을 정하여 계산결과에 따라 반복하여 계산 결과를 도출하는데 있다. 감지기 배치간격에 영향을 주는 요소는 감지기 배치간격, 열 방출율과 천장의 높이에 따라서 감지기의 배치간격이 변화됨을 알 수 있다.

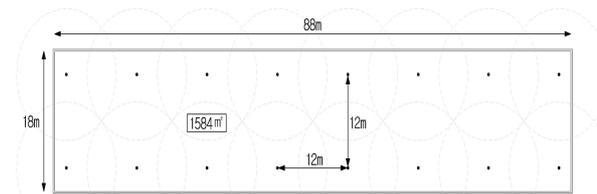
다음의 감지기 배치 도면은 열 방출율이 2,500KW, 천장의 높이는 3.5m로 하고 화원의 중심에서 감지기까지의 57°C에 도달하는 시간은 231s가 되었으며 임의의 설치되는 감지기의 이격거리 반지름이 6m와 7.4m로 할 경우 적정한 감지기의 배치거리는 각각 8.485m와 10.465m로 설치되어야 함을 알 수 있었다. 다만, 231s는 3분 51초로서 거의 4분에 해당되므로 피난시간의 단축을 위해서는 감지기의 이격거리를 단축할 필요가 있다.



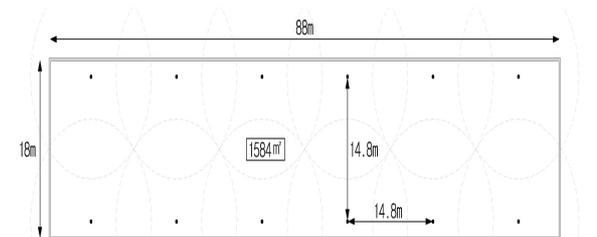
[Figure 6] Drawing a detectors spacing of 6m



[Figure 7] Drawing a detectors spacing of 7.4m



[Figure 8] Drawing a detectors spacing of 6m



[Figure 9] Drawing a detectors spacing of 7.4m

<Table 6> detectors installed quantity

면적 (m ²)	규격 (m)	형태	설치간격 (r=m)	NFSC 203 (70m ² /1개)	UL	FMRC
1,584	33×48	정방향	6	23	12	12
			7.4	23	12	12
	18×88	장방향	6	23	12	12
			7.4	23	12	12

<Table 6>과 같이 동일한 면적에서 감지기 설치 수량을 화재실의 형태에 따라 배치 간격을 달리하여 계산한 결과 설치 수량은 일정하였다. 다만 실내의 폭이 감지기 설치간격이 6m를 약간 벗어나는 구조일 때 감지기는 1열로 배치하게 되므로 수량이 증가될 수 있다. FMRC에서는 감지기 설치구간이 6m일 때의 RTI계산에서 적용되는 시간상수는 79로 계산되므로 UL기준의 80과 근사한 차이로서 계산 결과에 영향이 미치지 않는 것을 알 수 있었다. 감지기 설치 수량은 국내의 기준이 거의 2배에 달하는 것으로 신속한 경보를 기대할 수 있으나 폭이 좁은 실내에서는 설치 수량이 면적으로만 결정되므로 설치거리가 멀어지면 작동하는 시간이 길어지므로 면적기준을 유지하면서 감지기간의 배치거리의 최소치를 정하는 것이 필요하다.

5. References

[1] THE SFPE HAND BOOK of Fire Protection Engineering Chapter 4-1 Design of Detection System 4-3, 3 editions(2005), 4.1-4.44pp

[2] THE SFPE HAND BOOK of Fire Protection Engineering Chapte 2-2 Ceilling Jet Flows, 3editions(2005), 2.18-2.31pp

[3] Ho-Cheol Ryu, Byung-Kon Lee, Journal of KILS vol. 9, NO 1, March '1994. Operating Temperature and Time of Rise Heat Detector, 61-67pp

[4] Publisher of CYBER (2009), Combustion and fire dynamics, 58-70pp

[5] National fire safety code (2014), NFSC 203, NO 16, Automatic fire detection facility fire safety code

[6] Principles of Fire Behavior (1997), James G Quintiere, Chapte 3, Heat Transfer, 47-54pp

[7] Shi-kuk Kim, (2012) A Study on the Address Function of Automatic Fire Alarm System for Reliability Improvement, PhD thesis, HOSEO University Graduate School. 24-26pp

[8] dong-ha Park, (2010) A Study on the Automatic Fire Detector Spacing Calculation for Performance based Design, PhD thesis, University of Seoul Graduate School. 6-8pp

[9] Seung-cheol Sin, (2013), A Study on Differences in Test Methods of Domestic & Foreign Fire Detectors, Master's Thesis, GACHON University Graduate School of Industry & Environment. 29-34pp

[10] Hyun-dai Yuk, (2009) A Study on the Development of High Reliability Inspection Tester for the Field Test of Fire Detector, PhD thesis, HOSEO University Graduate School. 78-99pp

[11] Kap-chan Lee, (2001), (A) study on the improvement of reliability of automatic fire detecting system, Yonsei Graduate School of Industry, 18-27pp

[12] Ha-na Cha, (2008), A Study on the Problem and Improvement of the Fire Detector Test in the Field, Master's Thesis, HOSEO University Graduate School, 9-13pp

저자 소개

황 동 환



명지대학교 산업경영공학과
박사과정 중
현 (주) 동부기술단 이사로 재직,
소방기술사, 수원과학대학교
건축설비소방학과 겸임교수

주소 : 서울시 강동구 양재대로
103길(성내동) 51-3

강 경 식



인하대학교 산업공학과에서 학
사석사박사와 연세대학교경희
대학교에서 경영학 석사박사 취
득.North Dakota State Univ.
에서 Post -Doc과 Adjunct
Professor 역임.

현재 명지대학교 산업경영공학과
교수로 재직 중. 주요 관심분야

는 생산관리, 물류관리, 안전경영 등

주소 : 경기도 용인시 처인구 남동 산 38-1 명지대학
교 산업경영공학과

양 광 모



명지대학교 산업공학과 학사, 석
사 박사, 현재 유한대학교 산업
경영과 부교수로 재직 중

관심분야 : 생산관리, 작업관리,
안전관리 등

주소 : 경기도 부천시 소사구 괴
안동 185-34 유한대학 산업경
영과 (422-749)