

급기가압제연설비의 개선에 관한 연구

박승민, 안병국, 김미경
주식회사 안국이앤씨

Study for Pressurized Smoke Control System

Park Seungmin, An Byungkug, Kim Mekyoung
ANKUG ENGINEERING & CONSULTING Co., Ltd.

1. 서론

건물의 화재시 열 보다는 연기에 관한 대책을 심각하게 고려하여야만 한다. 비록 화재가 구획된 실내에서 발생된다고 하더라도 연기는 인접된 장소나 화재실에서 멀리 떨어진 장소까지로 빠르게 확산한다. 연기로 인한 계단, 엘리베이터실 등의 오염은 안전한 피난을 막는다. 이와같이 많은 사람은 화재시 열 보다는 연기에 의한 위험에 노출되고, 결과적으로는 건물내의 거주자들은 열에 의한 부상보다는 연기의 흡입으로 인하여 사망한다. 따라서 연기의 확산을 제어함으로써 건물전체에 연기가 확산으로 인한 인명에 대한 위험과 재산손실을 막기 위하여 제연설비를 설치한다. 우리나라에서는 행정자치부고시를 통하여 '특수장소에 부설된 특별피난계단 및 비상용 승강기의 승강장의 제연설비 설치에 관한 기준'을 규정하고 있다. 급변 연구는 현재의 행정자치부고시와 외국의 기준을 비교하고 좀더 공학적으로 검토하여 새로운 기준을 설정하는 데 있어서 방향을 제시하고자 한다.

2. 연기의 정의와 유독성

2-1 연기의 정의

연기는 기체 가운데 완전 연소되지 아니한 가연물인 고체의 미립자가 부유하는 것을 말하며 아래와 같이 정의한다.

- 1) 연소물질에서 발생하는 고온의 수증기와 가스
- 2) 불완전 연소물질과 응축된 물질
- 3) 불에 의하여 가열되고 상승하는 Fire Plume에 흡입된 공기

2-2 연기의 유독성

화재시 발생하는 연기는 우선 시야를 감소시키고 이 시야 감소는 피난을 방해하고 독성가스들은 거주자들을 수 분간 수 ppm에 노출되더라도 죽음에 이르게 할 수 있다.

표1. 일반연소가스의 유독성 (5분 노출시)

가스 종류	무기력 현상	치사 농도
CO	6,000 ~ 8,000 ppm	12,000 ~ 16,000 ppm
HCN	150 ~ 200 ppm	250 ~ 400 ppm
LOW O ₂	10 ~ 13%	< 5%
CO ₂	7 ~ 8%	> 10 %
Acrolein		500 ~ 1000 ppm
HCl		12,000 ~ 16,000 ppm

표2 일반 연소가스의 유독성 (30분 노출시)

가스 종류	무기력 현상	치사 농도
CO	1,400 ~ 1,700 ppm	2,500 ~ 4,000 ppm
HCN	90 ~ 120 ppm	170 ~ 230 ppm
LOW O ₂	< 12%	6 ~ 7%
CO ₂	6 ~ 7%	> 9%
Acrolein		50 ~ 135 ppm
HCl		2,000 ~ 4,000 ppm

$$* \text{Exposure Index(EI)} = \frac{C_1}{TLV_1} + \frac{C_2}{TLV_2} + \dots + \frac{C_n}{TLV_n}$$

3. 연기의 유동

화재시 방화구획 등으로 구획된 한정된 실에서 화재가 발생된다고 하더라도 연기는 건물의 문, 창문, 틈새등을 통하여 쉽게 이동하는데 이렇게 연기가 확산되는데는 몇가지 요인이 있다.

빌딩화재시 연기이동의 요인

- 화재에 의해 가연된 가스의 팽창
- 불꽃 상단의 고온가스와 화재주위의 찬 공기와의 밀도차
- 굴뚝효과
- 바람
- 건물내 공조설비 등의 기계적 요인

3-1 열적팽창 (Thermal Expansion)

$$PV = RT$$

- 여기서 P = 절대압력
 V = 가스체적
 R = 가스상수
 T = 절대온도

3-2 부력(Buoyancy Force)

$$\delta pf = g(h - hn)(\rho a - \rho f)$$

$$= g(h - hn)\rho a(T_f - T_a)/T_f$$

- 여기서 δpf : 화재에 의한 차압 [Pa]
 g : 중력가속도 [m/s²]

h : 높이
 hn : 중성대 높이
 ρ : 공기밀도 [kg/m³]
 T : 절대온도 [K]
 a : 인접실
 f : 화재실

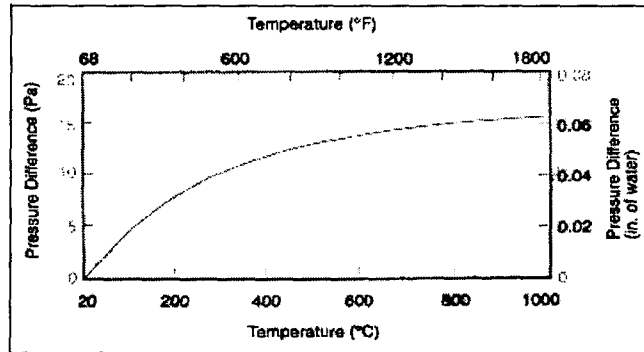


그림 1. 부력에 의한 차압 (높이 3.5m 기준)

3-3 굴뚝효과(Stack Effect)

$$\delta P_s = g(h-h_n) \rho \alpha (T_i - T_o) / T_o$$

여기서 δP_s : 굴뚝효과에 의한 차압[Pa]

i : 실내

o : 실외

3-4 바람(wind)

$$P_v = \frac{\rho a V_H^2}{2}$$

여기서 P_v : 속도압[Pa]

ρa : 공기밀도 [kg/m³]

V_H : 풍속 [m/s]

따라서 풍속이 20m/s 시 풍압은 240Pa

풍속이 10m/s 시 풍압은 60Pa

풍속이 5m/s 시 풍압은 15Pa 임.

3-5 차압의 합계

$$\delta P_T = \delta P_f + \delta P_s + \delta P_w + \delta P_m$$

여기서 δP_T : 차압의 합계

δP_f : 화재로 인한 차압

δP_s : 굴뚝 효과에 의한 차압

δP_w : 바람에 의한 차압

δP_m : 기계적 동작에 의한 차압

4. 현행관련 규정의 검토 및 토론

4-1 최소차압

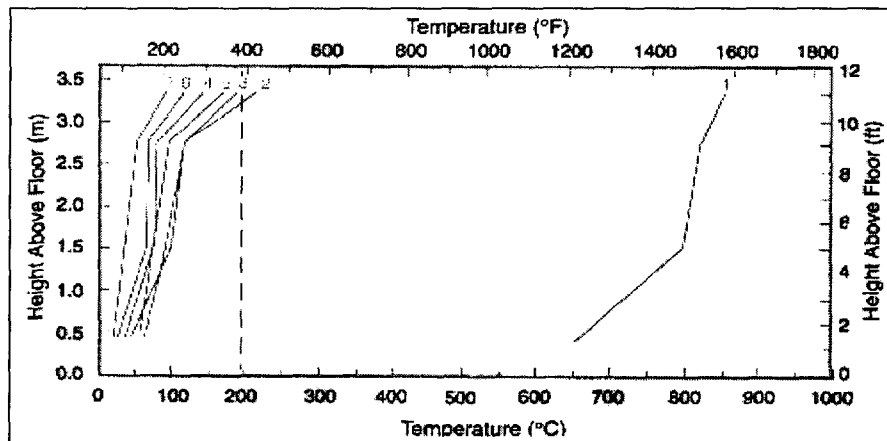
특별피난계단의 부속실, 혹은 계단실 비상용 승강기의 승강장에 설치하는 그 차압은 제연설비의 기준 차압은 50Pa이며 최소 차압은 40Pa이고 최대 차압은 60Pa이다. 그러나 이 기준은 영국 등 유럽에서 사용되는 기준이며, NFPA 92A 에서는 연소가스 온도 925℃를 기준으로 아래 표3과 같이 제시하고 있다.

표3 건물에 따른 최소설계차압

Sprinkler 설치여부	천정고	설계차압
설치	모든건물	12.5Pa
미설치	2.7m	25Pa
미설치	4.6m	35Pa
미설치	6.4m	45Pa

상기의 표에서 살펴볼 수 있는 것은 스프링클러설비가 설치되는 장소는 그 실의 천정면의 높이에 상관하지 않고 설계 차압을 12.5Pa 으로 지정하고 있으며, 스프링클러설비가 설치되지 않은 실내의 높이를 3m 기준으로 보더라도 29Pa 이면 된다.

그림 2. 스프링클러 설비가 설치된 공간의 화재시 온도(예)



그러나 현재 급기가압 제연설비가 설치되는 대부분은 스프링클러설비가 설치되어 있으며 이 경우에 특수장소의 차압의 기준을 미국의 NFPA 기준과 같은 12.5Pa 은 아니더라도 현재의 국내기준 50Pa보다는 훨씬 작은 차압 즉 25Pa정도로 변경시켜도 충분함을 판단할 수 있다.

4-2 최대차압

급기가압식 제연설비에 있어서 최소차압이 건물내의 화재시 연기의 이동을 차단하기 위하여 필요한 것인 반면에 최대 차압은 급기제연 제연공간의 압력이 과다하게 클 경우에 피난자가 문을 개방하는 경우에 방해받을 수 있으므로 최대압력을 정하여 피난에 장애가 없이 피난을 할 수 있도록 하기 위한 압력(차압)이다.

즉 제연설비가 가동되어 있을 경우 출입문의 개방에 필요한 힘에 관한 규정이며, 이 힘은 미국의 NFPA에서는 133N 이하, 싱가포르에서는 110N 이하로 규정하고 있다.

아래 표4는 NFPA 92A에서 제시하는 문의 크기와 힌지의 힘에 따른 최대차압의 기준이다.

표4 최대 허용차압(Pa)

힌지의 힘(Lbf)	문 폭				
	32 "	36 "	40 "	44 "	48 "
6	112.5	100.0	92.5	85.0	77.5
8	102.5	92.5	85.0	77.5	70.0
10	92.5	85.0	75.0	70.0	65.0
12	85.0	75.0	67.5	62.5	57.5
14	75.0	67.5	60.0	55.0	52.5

* 조건 : 1) 문높이 : 7ft

2) 문의 손잡이에서 문의 면까지 거리 : 3"

상기의 표4 에서 보는 바와 같이 문의 개방을 위해 허용되는 최고의 힘을 133N으로 기준으로 하더라도, 힌지의 힘과 문의 크기에 따라서는 허용되는 최대 차압은 52.5Pa ~ 112.5Pa로 다양하다. 그러나 우리나라의 급기가압제연설비규종은 최대차압을 60Pa로만 일괄적으로 규정하고 문의 크기나 힌지의 힘은 고려하지 않고 있다. 그러나 최대 차압이 최종적으로는 문의 개방을 위한 힘을 제한하기 위한 규정이므로 반드시 문의 크기나 힌지의 힘을 고려한 새로운 기준의 설정이 필요하며, 우리나라는 미국의 133N 보다는 동양적인 신체적 조건을 고려하여 싱가포르 기준인 110N으로 정함을 검토함이 필요하다.

4-3 과압 방지장치 중 Flap Damper의 문제

‘특별피난계단 및 비상용 승강기의 승강장에 설치하는 급기가압제연설비’에 관한 행정자치부고시 제92조제5호 에는 플랩댐퍼의 재질은 두께[1.6mm 이상의 연강판(KSD 3501) 또는 이와 동등 이상의 내식성 및 내열성이 있는 것으로 되어 있으나 두께 1.6mm의 철판을 사용하는 경우에는 제연구역과 인접실 간의 최대차압이 60pa이상이 되더라도 철판의 자중으로 인하여 개방이 되지 않는다. 따라서 제연구역과 화재실 사이의 설치되는 플랩댐퍼의 두께는 이론적으로는 0.78mm 정도이나 여러 요인을 고려하면 0.5mm 이하가 되게 하여야 한다.

- 두께 1.6mm 철판 1m²당 무게

$$= 1m \times 1m \times 1.6mm \times \frac{1m}{1000mm} \times 7850kg/m^3$$

$$= 12.56kgf$$

- 차압이 60Pa인 경우에 철판 1m²에 미치는 힘

$$= 1m \times 1m \times 60Pa$$

= 60N
 = 6.12kgf

4-4 보충량 산출

제연설비의 급기량은 누설량과 보충량을 합한량이 이상으로 하며, 이중 보충량은 피난을 위하여 제연구역의 출입문이 일시적으로 개방되는 경우 옥내로부터 제연구역내로 연기의 유입을 유효하게 방지 할 수 있는 풍속을 유지하도록 옥외의 공기를 제연구역내로 보충 공급하는 것으로 행정자치부 고시에서는 보통 0.5m/sec ~ 0.7m/sec 이상으로 규정하고 있다.

또한 보충량의 산출기준을 보면 방연풍속을 유지하기 위해 필요한 공기량에서 화재층이 아닌 다른 층의 부속실로부터 계단실을 통하여 유입되는 공기량을 감하여 정하도록 되어있다.

그러나 계단실과 부속실 사이의 출입문의 기밀도가 높은 경우에는 부속실로부터 계단실로 유입되는 공기량은 극히 제한적일 수 밖에 없고, 행정자치부고시에 의한 보충량의 산출기준으로 설계된 제연설비는 차압유지에는 문제가 없으나 자칫 방연 풍속은 부족할 우려가 있다.

4-5 배연창의 문제

건설교통부령 제328호 '건축물의 설비기준 등에 관한 규칙'에 의하면 피난층을 제외한 6층 이상의 건축물로서 문화 및 집회시설, 판매 및 영업시설, 의료시설, 교육연구 및 복지시설 중 연구소, 아동관련시설, 노인복지시설 및 유스호스텔, 운동시설, 업무시설, 위탁시설 및 관광휴게시설 등의 거실에는 당해 건축물의 바닥면적의 1/100 이상의 유효면적을 가지는 배연창 설비 또는 기계적 배연설비를 설치하도록 되어있다. 이 경우 배연창 배연설비를 살펴보면 화재시 화재로 인한 팽창, 부력등의 힘이 외부의 풍압보다 크지 않거나, 반대 방향에서 바람이 불어온다면 확산 및 오염이 될 수 있을 뿐 아니라 급기압제연설비의 차압에도 상당히 좋지않은 영향을 미칠 것이다.

따라서 화재시 화재층의 외부창을 열어서 배기하는 배연창 방식보다는 화재층에서는 기계적으로 배기를 하고 다른 층에서는 급기를 하는 방식이 거실에서의 연기의 확산 방지 차원에서나 특별피난계단이나 비상용 승강기의 승강장에서의 차압을 유지하는데 유리할 것이다.

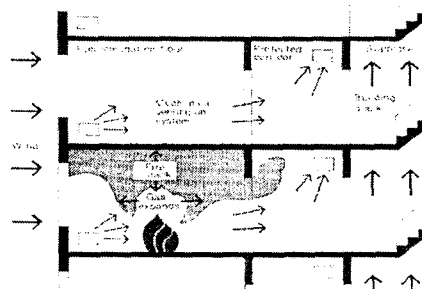


그림 3. 바람의 유입으로 인한 연기확산

5. 결론 및 과제

- 5-1 급기가압 제연설비의 최소차압은 현재 40Pa에서 스프링클러설비가 설치되는 장소에 국한 하더라도 25Pa 또는 그 이하로 낮출수 있도록 검토되어야 한다.
- 5-2 급기가압제연설비의 최대차압은 현재와 같이 60Pa로 규정하기 보다는, 문의 형태, 현지의 힘 등을 고려하여 실제로 피난로에 있는 출입문의 개방에 필요한 힘을 정함이 합당하며 이 경우 우리나라 사람의 체형에 맞는 힘을 고려하여 결정되어야 한다.
- 5-3 플랩댐퍼에 의해 과압을 방지하는 조치를 할 경우에는, 현재의 철판두께 1.6mm 보다는 작은 두께(약 0.5mm정도)로 하거나, 다른 방안을 선택하여야 한다.
- 5-4 방연풍속을 위한 보충량 산정시 화재층이 아닌 다른 층의 부속실로부터 계단실을 통하여 유입되는 공기량은 무시도록 보충량 산출 기준을 개정하여야 한다.
- 5-5 화재층의 배연창 개방에 의한 배연방식의 유효성을 다시 검토하여 풍속등을 고려한 새로운 거실제연 및 급기방식의 제연설비방식에 대한 기준설정이 필요하다.

참고문헌

1. E. G. Butcher, A. C. Parnell, Smoke Control in Fire Safety Design, 1979
2. George T. Tamure, Smoke Movement & Control in High-rise Buildings, 1994
3. NFPA 92A, Recommended Practice for Somke, Control Systems, 2000
4. NFPA, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 1995