

굴뚝효과와 공학적분석에 의한 부속실 가압시스템 설계 - 사례를 중심으로 -

Design for Pressurizing System about Vestibule by Stack Effect & Engineering Analysis - Focused on Case Study -

김용광[†]

Yong-Kwang Kim[†]

서한건설단트(주)

(2009. 7. 14. 접수/2009. 8. 7. 채택)

요 약

화재안전기준 NFSC 501A에 의하면 몇 가지 제연구역 선정방법이 있지만, 특별피난계단 부속실만을 단독으로 제연하는 경우가 보편화 되고 있다. 그러나 여기에는 상당한 문제점이 있다. 저자의 책임 감리현장도 다른 많은 유사 현장과 같이 부속실만 단독제연하는 것으로 설계되어 있다. 그 설계내용에서 몇 가지 문제점을 도출하고, 이를 해소하기 위한 대안으로 굴뚝효과를 고려한 공학적 분석방법에 의한 “계단실 및 그 부속실을 동시에 제연하는 것”으로 설계 변경하는 것이 가장 적합하다는 결론을 얻었다.

ABSTRACT

We are generally applicate smoke control only vestibule about special escape staircase, it is one of some smoke control model of NFSC 501A. But there are some point at issue in this system. The smoke control system on supervision field of writer is smoke control only vestibule same as the other resemble field. Writer studied in the concrete to find a solution at this issue, and derived a conclusion the most reasonable system on the field is “same time smoke control for staircase and vestibule” by the engineering analysis considering stack effect.

Key words : Smoke control, Vestibule, Staircase, Engineering analysis

1. 서 론

건축물의 특별피난계단에는 화재안전기준 501A에 의한 제연설비를 설치하도록 규정하고 있다. 이를 적용하는 현장을 살펴보면 많은 현장이 건축허가 및 준공검사를 위한 요건 갖추기 수준으로 적용되고 있는 실정이다. 이는 제연이론 정립이 부족한 상태에서 설치기준이 만들어졌고 이해도가 부족한 우리는 법규 준수에 급급할 수밖에 없었던 때문이라고 말할 수 있다. 그러다보니 가장 비용이 적은 간단한 방법이 선호되었고, 따라서 제연설비에 대한 신뢰도는 아주 낮아졌다.

저자가 책임 감리하고 있는 현장에도 가장 선호되고 있는 방법인 ‘부속실만 단독으로 제연하는 것’으로 설계되어 있다. 이제 이 제연설비의 신뢰성을 확보하기 위하여 그 설계내용에서 문제점을 도출하고 대안을 검토해 보고자한다.

2. 검토대상 건축물

서론에서 언급한 바와 같이 다른 현장에서도 특별피난계단 제연설비에 대해 유사한 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 저자가 담당하는 현장을 그 예로 인용한다. 대상 현장은 대구에 위치하며, 여러 개의 주동 중 하나의 동(이하 “사례 건축물”이라 한다)에 대하여 검토한다.

[†]E-mail: ykkimhsi@hanmail.net

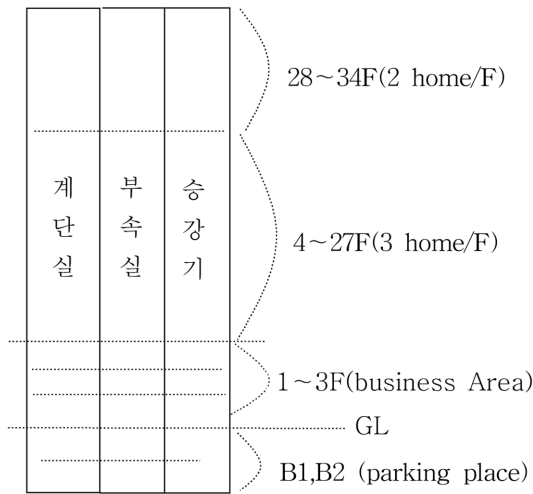


Figure 1. Building structural drawing.

사례 건축물은 Figure 1에 보인 바와 같이 지하 2층 지상 34층으로서 지하층은 주차장, 1~3층은 상업·업무용, 4~34층은 주거용 아파트로 구성되어 있는 주상복합건축물로서 전 층에 스프링클러설비가 설치되어 있다.

아파트에서 특별피난계단을 이용한 피난행동은, 5~34층(4층은 부속실이 없음)의 각 세대 및 B1·B2층(주차장에서 진입하여 1층·4층인 피난층 및 옥상(35층)으로 피난하는 구조이다. 즉, 1~3층 상업·업무용시설에서는 아파트 특별피난계단으로 진입로가 없는 구조로서 본 검토의 특별피난계단 이용이 없는 층이다. 아파트부분은 4~27층은 층당 3세대, 28~34층은 층당 2세대가 배치되어 총 86세대가 있다.

3. 현재 설계에 대한 문제점 파악

3.1 현재의 설계내용

사례 건축물의 특별피난계단 제연설비설계는 다른 대부분의 고층 공동주택과 같이 ‘부속실만 단독으로 제연하는 것’으로 되어 있다.

급기량 중 누설량은 관련 화재안전기준에서 규정한 방법에 의하여 누설면적을 계산한 후, 이를 구(舊) 고시에 있었던 공식(1)¹⁾에 대입하여 계산하여 그 결과는 9.94m³/sec이었다. 여기서 차압 P는 50Pa를 적용하였다.

$$QL = K \times [(N - 1) \times A1 \times A1 + N \times AF + AT] \times P^{1/2} \times 1.25 \quad (1)$$

또한 보충량은 구(舊) 고시에 있었던 공식(2)에 의해 계산하여 그 결과는 0.25m³/sec이었다.

$$Q_D = \frac{S \times V}{0.3} - K \times [\dots] \times P^{1/2} \times 1.25 \quad (2)$$

송풍기 용량은 위 누설량 및 보충량의 합에 여유치 20%를 가산한 12.2m³/sec이다.

그리고 계단실과 부속실에는 수동으로 조작되는 창문이 다수 설계되어 있다.

3.2 문제점 파악

현재의 설계 내용에서 문제점을 살펴본다.

첫째, 급기량 계산에 굴뚝효과가 반영되어 있지 않았다. 계단실 및 승강로와 같은 수직샤프트는 겨울철 및 여름철에 굴뚝효과에 의해 높이에 따라 서로 다른 기압이 형성되는데, 누설량 및 보충량은 이를 고려하여 계산하는 것이 합리적이다.²⁾ 구 고시의 공식은 이를 고려하지 않은 공식이다.

누설량 계산 과정을 살펴보면 공식(1)에 부속실과 거실과의 차압 P를 일률적으로 50Pa로 적용하였다. 굴뚝효과를 고려하면 이 차압은 많은 층에서 급기챔퍼의 설정차압보다 높아진다. 차압 50Pa는 평균차압³⁾의 개념이라면 상당한 타당성이 있으나 관련 화재안전기준 제6조의 최소허용차압으로 적용하였으므로 전 층이 스프링클러가 설치된 사례 건축물에서는 과한 것이다.

이 값으로 부속실 자동차압·과압조절형 급기챔퍼를 설정한다면 굴뚝효과에 의한 누설량은 더 클 것이며 굴뚝효과의 영향이 큰 부속실에는 과압을 야기하게 될 것이다.

둘째, 보충량 계산공식(2)는 화재안전기준 제4조 제2호에서 규정한 피난을 위해 거실 및 계단실 출입문이 동시에 개방되는 부속실(이하 “개방부속실”이라 한다)의 압력이 영(zero)으로 된다는 가정 하에서 만들어진 공식이다. 즉, 공식의 마이너스(-) 부호 뒷부분의 의미는 개방부속실은 거실방향 및 계단실 방향의 출입문 각 1개가 모두 열려 대기압 상태가 되어 가압되어 있던 비개방부속실의 공기가 계단실 및 승강로를 따라 개방부속실로 유입하여 그것이 방연풍량에 보태진다는 것이다.⁴⁾ 그러나 개방부속실의 기압은 화재실 기압 이상일 수 있어야 한다고 보아야 차압을 이용하는 제연의 개념에 부합할 것이다. 또한 그 유입은 지속성이 없을 것이며, 거실출입문만 개방되는 때에는 기대할 수 없다.

셋째, 보충량 계산에서 피난층의 외부로 향하는 계단실 출입문의 개방이 반영⁵⁾ 되어있지 않았다. 피난이던 소화활동이던 계단실의 피난층 출입문 한 개의 적당한 개방은 고려하는 것이 합리적일 것이다.

넷째, 제연구역에 수동으로 조작되는 창문이 있는데 화재 시에 열려있을 가능성이 있어 제연설비의 정상적인 역할을 기대하기 어렵다.

4. 공학적 분석 방법에 의한 급기량 계산

이상의 문제점에 대한 대안을 찾기 위하여 먼저 급기량 계산을 굴뚝효과를 고려한 공학적 분석방법에 의하여 계산해본다.⁶⁾

공학적 분석이란 가압공간에서 비가압 공간을 경유하거나 직접 외부로 향하는 틈새 및 개구부를 나열하고, 굴뚝효과 등에 의해 발생하는 각층별 계단실 및 부속실의 기압에 의한 누설·유출량을 계산하고 여유치를 가산하여 급기량을 정하는 방식을 말한다.

4.1 굴뚝효과

고층건축물의 경우 수직샤프트에서는 굴뚝효과가 발생한다. 승강장 겸용 부속실인 경우에는 승강로의 굴뚝효과도 고려하여야 할 것이다. 이 굴뚝효과는 모든 제연방법에서 감안하여야 하기 때문에 먼저 파악할 필요가 있다.

굴뚝효과를 검토하기 위해서는 제연구역과 외부(거실)와의 최소차압, 즉 계단실 및 부속실 압력기준치(std ΔP_{Vo})를 미리 설정하는 것이 필요하다. 이를 관련 화재안전기준 제6조에서 정하는 최소허용차압인 12.5Pa로 설정한다.

4.1.1 겨울철 굴뚝효과

(1) 겨울철 계단실 굴뚝효과^{7,8)}

다음과 같은 가정 하에 겨울철 계단실의 굴뚝효과를 검토한다. 즉, 지하층은 실내온도가 계단실과 동일한 것으로 간주하여 굴뚝효과가 없다고 보고 지상층은 외부의 기압과 거실의 기압이 동일한 것으로 본다. 그리고 외기온도를 -5°C , 계단실 온도를 $+5^{\circ}\text{C}$ 로 가정한다. 본 논문에서 외부 및 실내 온도의 가정은 어떤 통계에 의한 것이 아니라 저자의 유추에 의한 것이다.

34층 천장의 높이가 지상 104m이며, 1층 바닥에서의 계단실 기압이 최소허용차압인 12.5Pa로 보면 34층 천장에서의 외부와의 차압은 식(3)과 같이 계산된다.

$$\Delta P_i = \Delta P_0 + bh = 12.5 + 0.464 \times 104 = 60.8(\text{Pa}) \quad (3)$$

$$\text{여기서, } b = 3460(1/T_0 - 1/T_s) \quad (4)$$

로 표현되어 온도지수라고 부르며,

$$b = 3460(1/268 - 1/278) = 0.464(\text{Pa/m}) \text{로 계산된다.}$$

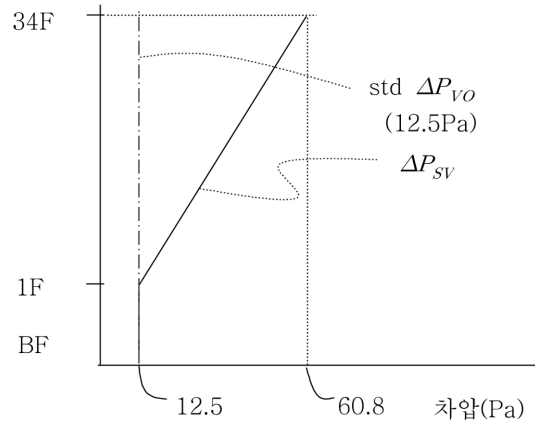


Figure 2. Stack effect of stair on winter.

계단실 기압이 부속실 기압과 같은 층은 지하층과 1층이며 그 위의 층은 계단실 기압이 부속실보다 높아질 것이다.

이를 그림으로 나타내면 Figure 2와 같다.

(2) 겨울철 승강기샤프트의 굴뚝효과

가압된 부속실의 기압에 의해 승강로도 가압되어 굴뚝효과가 발생하고 다시 부속실에 영향을 미칠 것이다. 승강로는 계단실에 비해 거실 누설공기의 침투가 다소 쉬우며 보온성이 좋으므로 그 기온은 계단실 기온 이상의 수준일 것이다. 따라서 외기온도를 -5°C , 승강로 기온을 계단실 보다 1°C 높은 $+6^{\circ}\text{C}$ 로 가정하여 식(4)에 의하여 온도지수는 $0.509(\text{Pa/m})$ 로 계산된다.

검토대상 승강로는 지하 2개 층에서 각 1개의 부속실에, 1층 및 4층은 외기에, 5~27층은 3세대를 가진 부속실에, 28~34층은 2세대를 가진 부속실에 면하여 있다. 승강로의 문은 모두 닫혀있으며 각 부속실은 외부기압보다 12.5Pa 높게 컨트롤 된다.

1층 바닥부분의 승강로의 기압은 부속실 기압인 12.5Pa보다 ΔP_{EVB} 가 낮은 ΔP_{EOB} 가 형성된다. 이로부터 높이가 'h'm 증가함에 따라 승강로와 외부와의 차압은 $\Delta P_{EOB} + 0.509 \times h$ 로 증가하나, 부속실과의 차압은 부속실 기압이 일정하면 $0.509 \times h$ 만큼 줄어든다. 점점 위의 층으로 올라가면 어느 층에선가 이 차압이 영이 되어 승강로와 부속실 기압이 일치하는 중성면이 있을 것이다.

이상의 겨울철 승강로 굴뚝효과를 그림으로 나타내면 Figure 3과 같다.

여기서 승강로와 부속실 간의 공기유동현상을 살펴본다. 중성면보다 아래층에서는 부속실 공기가 승강로로 유입되고 중성면 위층에서는 승강로 공기가 부속실로 유출된다. 유출된 공기는 부속실 기압을 상승시키

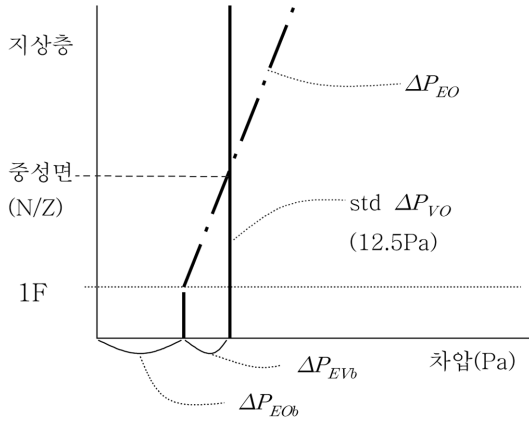


Figure 3. Stack effect of E/V shaft on winter.

고 다시 거실로 유출된다. 승강로에서 부속실로 누설 경로인 승강로 문틈의 면적은 부속실에서 세대로 누설 경로인 방화문 2개의 면적보다 상당히 크며 그 부속실에는 급기팬퍼에서 리크되는 공기량이 있어 부속실의 기압은 승강로 기압에 가까운 수준으로 인가될 것이다. 여기서는 해석의 단순화를 위해 이 중성면 위층의 부속실 기압은 승강로의 기압과 동일하게 인가되는 것으로 가정한다. 따라서 승강로에서 불 때 유입은 중성면 아래의 층, 유출은 상부의 로프구멍과 1·4층 승강로문을 통하여 일어난다고 단순화할 수 있다. 이 단순화에 의해 시행

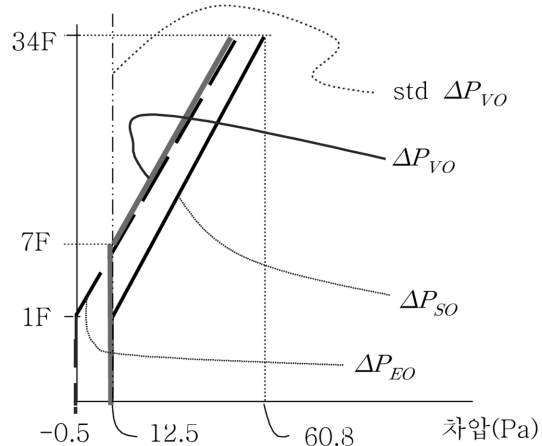


Figure 4. Overall stack effect on winter.

착오법으로 유입·유출계산식을 세워 유입·유출이 비슷한 층, 즉 중성면을 찾아보면 7층이 된다. 이 계산에서 누설면적은 4.3항을 참조하며, 1층 승강로 기압 ΔP_{EOb} 가 $-0.5Pa$ 임을 알 수 있다. 이를 Table 1과 Figure 4에 반영하였다.

(3) 겨울철 굴뚝효과 종합

겨울철 계단실과 승강로의 굴뚝효과를 종합하여 표로 나타내 보면 Table 1과 같으며 그림으로 나타내 보면 Figure 4와 같다.

Table 1. Overall Stack Effect on Winter

층	계단실 압력	계단실 · 부속실 간 차압	기류	부속실 압력	기류	부속실 · 승강로 간 차압	승강로 압력	비고
옥상층	60.8	-	-	-	-	-	53	
34	59.6	7.6	→	52	-	0	52	층당 2세대
32	57.0	7.9		49.1			49.1	
28	51.7	8.7		43			43	
27	50.4	8.9		41.5			41.5	층당 3세대 (4~27층)
9~26	-1.32Pa /하향층			층당 +1.45			-	
8	25.28	11.4		13.9			13.9	
7	23.96	11.46		12.5			→	
6	22.64	10.14	1.5		11			
5	21.32	8.82	3		9.6			
4층	20	-	-	-	-	-	7.6	
1층	12.5	-	-	-	-	-	-0.5	
지하층	12.5	-	-	12.5	→	13	-0.5	

4.2.2 여름철 굴뚝효과

(1) 여름철의 계단실 굴뚝효과

지하층은 실내온도가 계단실과 동일한 것으로 보아 굴뚝효과 없을 것이며, 지상층은 외부의 기압과 거실의 기압이 동일한 것으로 본다.

외기온도 34°C, 계단실 온도 30°C, 지상으로부터 34층 천장의 높이가 지상 104m, 34층에서 최소허용차압인 12.5Pa로 보면 1층 바닥 부분의 외부·거실과의 차압은 식(5)과 같다.

$$\Delta P_b = \Delta P_t - bh = 12.5 - (-0.149) \times 104 = 28.0\text{Pa} \quad (5)$$

여기서, b는 온도지수로서 식(4)에 의해 -0.149(Pa/m)로 계산된다.

층당온도지수는 $-0.149(\text{Pa/m}) \times 2.85(\text{m/층}) = -0.425(\text{Pa/층})$ 가 된다.

계단실 기압이 부속실 기압과 같은 곳은 34층이며 그 아래의 층은 계단실 기압이 부속실보다 높다. 이를 그림으로 나타내면 Figure 5와 같다.

(2) 여름철 승강로의 굴뚝효과

겨울철 검토에서와 같이 지하층은 굴뚝효과가 없고 각층 거실기압은 외부기압과 같다고 본다.

승강로 내의 기온은, 계단실에 비해 거실 누설공기의 침투가 다소 쉬우며 보온성이 좋기 때문에, 계단실 기온과 같은 수준이거나 약간 높은 수준일 것이다. 따라서 외기온도를 34°C, 승강로 기온을 계단실 보다 1°C 낮은 29°C로 가정하여 식(4)에 의하여 온도지수는 $b = -0.18(\text{Pa/m})$ 로 계산된다.

검토대상 승강로는 지하 2개 층에서 각 1개의 부속실에, 1층 및 4층은 외기에, 5~27층은 3세대를 가진 부

속실에, 28~34층은 2세대를 가진 부속실에 면하여 있다.

승강로의 문은 모두 닫혀 있으며 각 부속실은 외부 기압보다 12.5Pa 높게 컨트롤 된다.

34층 부분의 승강로 기압은 부속실 기압인 12.5Pa보다 ΔP_{EVi} 만큼 낮은 ΔP_{EOt} 가 형성된다. 그 아래의 층은 층당 $0.18 \times 2.85 = 0.513\text{Pa}$ 상승하게 되며 부속실과의 차압은 그만큼 감소한다.

점점 아래층으로 내려가면 어느 층에선가 차압이 영이 되어 승강로 기압이 부속실과 일치하는 중성면이 있을 것이다.

이를 그림으로 나타내면 Figure 6과 같다.

여기서 승강로와 부속실 간의 공기유동현상을 살펴 본다. 중성면 위의 층에서는 부속실 공기가 승강로로 유입되며 그 아래층에서는 승강로 공기가 부속실로 유출될 것이다. 그러나 겨울철 승강로 굴뚝효과 검토에서와 같은 이유로 그 부속실 기압은 승강로 기압에 가까워질 것이다. 여기서는 해석의 단순화를 위해 중성면 위의 층 부속실 기압은 승강로와 동일하게 인가되는 것으로 가정한다.

따라서 승강로에서 볼 때 유입은 중성면 위의 층, 유출은 상부의 로프구멍과 1·4층 승강로문을 통하여 일어난다고 단순화할 수 있다. 이 단순화에 의해 시행착오법으로 유입·유출계산식을 세워 유입·유출이 비슷한 층, 즉 중성면을 찾아보면 26층이 된다.

이 계산에서 누설면적은 4.3항을 참조하며, ΔP_{EOt} 가 8.4Pa임을 알 수 있다. 이를 Figure 6, 7과 Table 2에 반영하였다.

(3) 여름철 굴뚝효과 종합

여름철 계단실 및 승강로 굴뚝효과를 표로 정리해 보면 Table 2, 그림으로 나타내 보면 Figure 7과 같다.

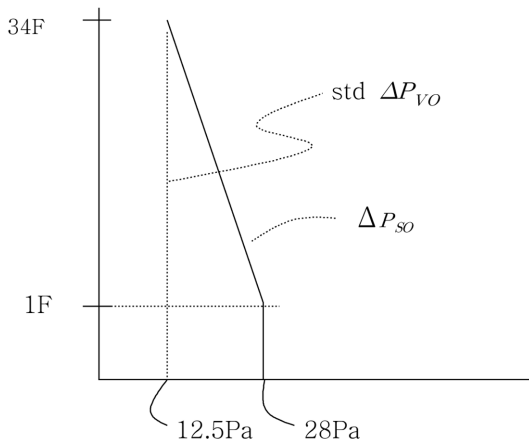


Figure 5. Stack effect of stair on summer.

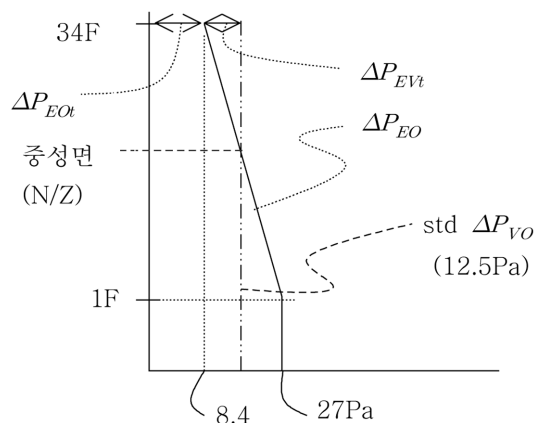


Figure 6. Stack effect of E/V shaft on summer.

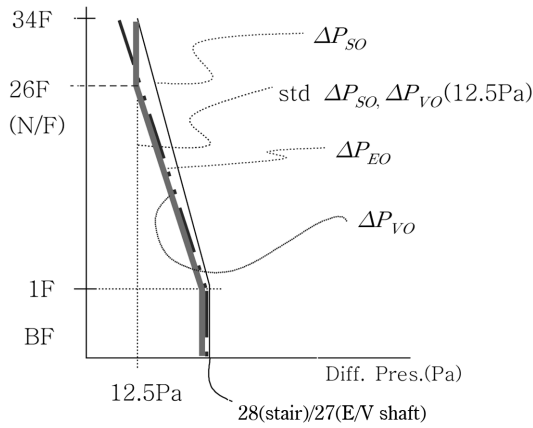


Figure 7. Overall stack effect on summer.

4.3 누설면적

각 출입문별 누설틈새 면적을 기존 설계서의 기준과 동일하게 특별피난계단 및 부속실제연설비의 화재안전 기준 제12조의 기준을 적용하여 계산하면 아래와 같다.

세대에서 부속실, 부속실에서 계단실, 계단실에서 옥상, 계단실에서 지상 등 4종류 출입문은 열리는 방향과 누설방향이 일치할 때는 개당 0.022m², 열리는 방향과 누설방향이 반대일 때는 개당 0.011m²이었다.

승강기 출입문(2set)은 층당 0.125m², 상부 기계실 로

프구멍 가정 면적은 0.12m²로 하고, 계단실 및 부속실의 창문에 대해서는 계산결과 부속실은 부속실 하나당 0.013m², 계단실은 한층 당 0.004m²이었다.

4.4 제연급기용량의 계산

현재의 설계는 ‘부속실만 단독으로 제연하는 것’으로 하였으나 다른 방법에 대해서도 검토해본다. 화재안전기준이 정하는 제연구역 선정방법 중에서, ‘계단실만 단독으로 제연하는 것’은 거실에서 피난 시 먼저 거실출입문만 개방될 때 방연풍속을 얻을 수 없다는 모순이 있어 제외하고, 계단실이 개방된 상태에서 부속실만 단독으로 제연하는 것, 계단실이 밀폐된 상태에서 부속실만 단독으로 제연하는 것, 계단실과 부속실을 동시에 제연하는 것에 대하여 검토한다.

검토 조건은 계단실 및 부속실에서의 최소허용차압을 12.5Pa로 한 굴뚝효과를 반영하되, 개방부속실의 기압은 최소허용차압이며 계단실 밀폐의 경우에는 피난층 계단실 출입문 하나가 적절하게 개방되는 것으로 본다.

4.4.1 계단실 개방 상태의 부속실 단독제연 방법

이 방법은 계단실이 밀폐되기 어려워 외부로 개방된 상태에서 부속실만 단독으로 제연한다는 개념이다. 누설량은 개방되지 않는 부속실에서의 각 문틈 등으로 누설되는 양이며 개방부속실은 누설량 계산에서 제외

Table 2. Overall stack effect on summer

층	계단실압력	계단실 부속실 간 압력차	기류	부속실 압력	기류	부속실 승강로 간 압력차	승강로압력	비고	
옥상층	12.0	-	→	-		-	7.5		
34	12.5	0		12.5	→	4.1	8.4	2세대층	
33	12.9	0.4				4.1 - 0.513 × 하향층수	8.4 + 0.513 × 하향층수		
29~33	12.5 + (0.425 × 하향층수)					4.1 - 0.513 × 하향층수	8.4 + 0.513 × 하향층수		
28	15.1	2.6							
27	15.5	3.0				0.5	12.0		3세대/층
26	15.9	3.4		-	0	12.5	부속실과 승강로 간의 중성면		
6~25	0.425 × 하향층수			+ 0.513/ 하향층수		0	+ 0.513/ 하향층수	4~27층; 3세대층	
5	25.2	1.9		23.3		23.3			
4층	25.6	-		-		-	23.8		
1층	28.0	-			-		-	27	
지하층	28.0	1.0			27		0	27	

하는 것으로 하였다.

(1) 누설량 계산

누설량을 계산하는 요령²⁾은 차압이 같은 층은 일괄로 모아서 계산하고, 차압이 변하는 층은 누설면적이 같은 층끼리 구분하여 모아서 평균차압($\overline{\Delta P}$)³⁾을 적용하여 계산한다.

계산공식은 $q = 0.827 \times A \times \sqrt{\overline{\Delta P}}$ 을 사용하였다.

겨울철의 누설량은 차압을 Table 1에서 찾아 계산하며 그 결과 총 누설량은 9.41m³/s이었다.

여름철의 누설풍량은 차압을 Table 3에서 찾아 계산하며 그 결과 총 누설풍량은 7.9m³/s이었다.

(2) 보충량 계산

보충량을 계산하는 요령은 2개 층 개방부속실은 계단실로 12.5Pa의 기압을 유지하기 위한 풍량이 유출되고, 거실로 규정방연풍속을 발생한다.

2개의 개방부속실에서 하나의 세대출입문 방연풍속 0.7m/s을 위한 풍량은 $q = 0.7\text{m/s} \times 2.1\text{m}^2 \times 2(\text{개}) = 2.94\text{m}^3/\text{s}$ 가 된다.

또한 2개의 개방부속실 계단실 출입문에서 유출되는 풍량은 개방률을 70%(사람에 의해 상당히 가려지는 등을 감안)로 가정할 때 다음과 같다.

$$q = 0.827 \times 2.1 \times 0.7 \times 2 \times = 8.6\text{m}^3/\text{s}$$

위 둘의 합인 총보충량은 여름과 겨울의 구분 없이 11.4m³/s가 된다.

급기뎀퍼의 능력은 이 총보충량의 반인 5.7m³/s가 되어야 할 것이다.

총급기량은 겨울철 누설량과 보충량을 합산하면 되는데 그 결과 21m³/s가 된다.

송풍기 용량은 총급기량에 법적으로는 15% 이상을 가산하여야 하는데 누설량 및 보충량의 신뢰성 정도에 따라 여유치를 추가할 필요가 있다. 여기서는 20%를 가산하여 그 결과 25.2m³/s가 되었다.

4.4.2 계단실 밀폐 상태의 부속실 단독제연 방법

이 방법은 계단실은 밀폐 되어 있으나 계단실 급기 없이 부속실만 급기 한다는 개념이다.

개방부속실은 피난층의 계단실 출입문이 피난을 위해 개방될 때 최소허용차압을 유지하기 위해 가장 많은 풍량을 외부로 방출하여야 하는 부속실 2개로 정한다. 가장 많은 풍량의 방출을 필요로 하는 부속실은 개방부속실의 기압을 12.5Pa로 유지시키기 위해 피난층 계단실문 앞에 가장 높은 압력이 형성되는 경우이다.

겨울철에는 지하층의 부속실을 12.5Pa로 유지하기 위해서 4층의 피난문이 개방되는 경우로서, 이 경우 4

층 피난문에는 Table 1에 보인 바와 같이 20Pa가 인가된다.

여름철에는 33~34층의 부속실을 12.5Pa로 유지하기 위해서 1층의 피난문이 개방되는 경우로서, 이 경우 1층 피난문에는 Table 2에 보인 바와 같이 28Pa가 인가된다. 이것을 기초로 앞에서와 같은 요령으로 누설량 및 보충량을 구한다.

누설량 계산결과 겨울철 누설량은 7.43m³/s, 여름철 누설량은 5.0m³/s가 되었다.

보충량 계산결과 겨울철 보충량은 8.38m³/s, 여름철 보충량은 9.34m³/s가 되었다.

따라서 총급기량은 두 계절의 누설량과 보충량의 합을 구하여 큰 것을 택하면 16m³/s가 된다. 송풍기 용량은 여기에 20% 여유치를 가산하여 19.2m³/s가 된다.

이제 부속실 급기뎀퍼의 급기능력을 생각해 본다. 최소급기량은 논의로 하고, 최대급기량은 보충량을 급기하는 때이므로 여름철 보충량의 반인 9.34/2개 = 4.7m³/sec으로 보기 쉬우나, 개방부속실이 하나인 경우를 생각하면 하나의 급기뎀퍼로 계단실 기압을 유지하여야 한다. 따라서 급기뎀퍼의 최대급기능력은 여름철의 보충량 9.34m³/sec에서 거실 방연풍속 풍량 1.5m³/sec를 제외한 7.9m³/sec가 되어야 할 것이다.

4.4.3 계단실과 부속실을 동시에 제연하는 방법

이 방법은 위 '계단실을 밀폐한 상태에서 부속실을 단독으로 제연하는 것'과 급기량 차원에서는 동일하다. 즉, 총 급기량은 16m³/sec이며 송풍기 용량은 19.2m³/sec이다.

그러나 본 방법이 '계단실 밀폐한 상태의 부속실만 단독제연'과 차이가 있는 것은 급기방식이다. '부속실만 단독으로 제연하는 것'은 계단실 급기는 없이 부속실에만 급기한다는 개념이다. 본 '계단실과 부속실을 동시에 제연하는 것'은 방연풍속을 위한 풍량 수준을 부속실 급기뎀퍼가, 계단실을 통한 누설 및 방출량 수준은 계단실 급기뎀퍼가 담당하도록 한다는 개념이다. 따라서 부속실급기뎀퍼의 급기능력이 전자의 경우는 너무 크고 후자는 적당한 수준이다.

4.4.4 각 제연구역 선정방법의 비교

위에서 검토한 바와 같이 굴뚝효과를 고려하여 공학적 분석방법에 의하여 도출된 송풍기용량 및 급기뎀퍼 필요능력을 상호비교하면 Table 3과 같다.

Table 3을 보면 계단실 개방 상태인 부속실 단독제연의 경우에는 송풍기 용량과 급기뎀퍼의급기능력이 너무 크며, '계단실 밀폐 상태인 부속실 단독제연'의

Table 3. Capacity of Fan & Supply Damper

제연방법구분	㉠ 송풍기 용량(m ³ /sec)	㉡ 급기댐퍼 능력(m ³ /sec)	비고
계단개방 부속단독	25.2	5.7	㉠㉡이 과대
계단밀폐 부속실단독	19.2	7.9	㉡이 과대
계단·부속실 동시제연	19.2	1.5	㉠㉡이 적절
현재의 설계	12.2	1.5	-

경우에는 송풍기 용량은 줄어들지만 급기댐퍼의 급기 능력은 더욱 크다. 부속실 급기댐퍼의 급기능력이 크다는 것은 급기풍도가 커지고 부속실의 미관을 해칠 우려가 있어 바람직하지 않다 할 것이다. 특히 층수가 높아 부속실 수가 많은 경우에는 비용의 부담이 클 것이다. 따라서 부속실만 단독제연하는 것은 적용하기가 무리이다.

‘계단실과 부속실을 동시에 제연’하는 경우에는 송풍기 용량은 ‘계단실 밀폐한 부속실 단독제연’ 동일하고 부속실 급기댐퍼의 능력이 적당한 수준이다. 그러나 별도로 계단실 급기댐퍼가 필요하다.

사례 건축물의 문제점 해결을 위한 대안은 굴뚝효과를 고려한 공학적 분석에 의한 급기량을 소화하면서 현장 적용성이 우수하여야 한다. 이러한 측면에서 제연구역 선정은 ‘계단실과 부속실을 동시에 제연하는 것’이 가장 적합하다.

다음에는 각 방법 별로 부속실과 거실, 부속실과 계단실 사이의 출입문에 인가되는 최대차압 발생을 비교하면 다음 Table 4와 같다.

즉, 부속실과 거실 간의 차압은 세 가지 방법 공히 겨울철 34층에서의 경우로 52Pa이 발생하나 우려할 수준이 아니다. 다만 층고가 상당히 높거나 외기와 승강로의 기온 차이가 클 경우에는 부속실에 과압의 우려

Table 4. Maximum Differential Pressure (Unit; Pa)

제연방법 구분	부속실과 거실간 최대차압	부속실과 계단실간 최대차압	계단실과 외부간의 최대차압
계단개방 부속단독	52	52	-
계단밀폐 부속단독	52	11.5	겨울[34층]; 60Pa 여름[1층]; 28Pa
계단·부속 동시제연	52	11.5	

가 충분히 있으므로 신중한 검토가 필요할 것이다.

부속실과 계단실 사이의 최대차압은, ‘계단실 개방 상태의 부속실만 단독제연’에서는 겨울철에 34층에서 52Pa의 부속실 기압이 형성되어 계단실 문이 열렸다 닫히는 것이 문제될 것이므로 닫히는 폐쇄력이 강한 자동폐쇄장치를 설치할 필요가 있다. 이 경우에는 평상시 일반인 출입이 불편하여 합리적 방법이라 하기 어렵다.

그러나 ‘계단실을 밀폐한 부속실만 단독제연’과 ‘계단실과 부속실을 동시에 제연하는 것’에서는 최대차압이 11.5Pa 수준으로 낮아 일반 자동폐쇄장치로서도 폐쇄력 문제가 발생되지 않을 것이다.

계단실과 외부 간의 차압은 계단실이 밀폐된 경우에 옥상층의 경우에는 겨울철에 60Pa 수준이 인가될 수 있고, 피난층인 1층 및 4층의 경우에는 여름철에 27Pa 수준이 인가될 수 있으므로 옥상 피난문과 지상의 피난문에는 거기에 상응하는 자동폐쇄장치를 설치하여야 한다.

5. 제연구역 창문에 대한 고찰

제연구역에 차압을 형성하는 것은 제연구역의 밀폐성이 생명이다. 따라서 제연구역의 창문은 가급적 없는 것이 좋으며 있더라도 화재 시 닫혀있어야 한다. 따라서 제연구역인 계단실 및 부속실의 창문은 가급적 없애고 꼭 필요한 것은 화재 시에는 자동으로 폐쇄되도록 하여야 할 것이다. 이 문제점은 미리 인지되어 2007년 12월에 관련 화재안전기준에 자동폐쇄장치를 설치하도록 명기되었는데, 이로 인하여 그 이전에 건축허가 등이 된 것에 대해서는 수동창문으로 설치하는 것이 적법한 것으로 되어버린 것 같다. 차라리 이 규정을 신설하지 않고 합리성 차원에서 지도·감독하도록 하는 것이 낫지 않았을까 하는 생각도 든다. 제연구역의 수동창문을 방지한다는 것은 제연설비의 역할을 포기한다는 것이 될 수 있으므로 여기에 대한 대책 검토가 필요하다 하겠다.

대상 건축물에 대해서는 자동폐쇄장치를 모든 수동 조작창문에 설치하는 것이 필요하나, 최소한의 조치로서 그 창문에 평상시에 닫혀있어야 한다는 취지의 경고문이라도 부착하여야 할 것이 라고 생각된다.

6. 결 론

본 논문에서는 특별피난계단에 설치되는 제연설비에 대해 하나의 사례를 중심으로 문제점을 도출하고 대안을 검토하여 보았다. 도출된 불합리한 점은 다음과 같다.

- (1) 굴뚝효과를 고려하지 않았다.
- (2) 개방되는 부속실의 기압을 화재실에 상응하는 기압이 아니라 대기압으로 보았다.
- (3) 계단실에서 외부로 피난 또는 옥외에서 소화활동 진입을 위한 피난층의 계단실 출입문 개방을 고려하지 않았다.
- (4) 제연구역은 밀폐성이 생명이므로 창문 등의 폐쇄가 필수적인데 수동으로 조작되는 창문이 설계되어 있었다.

위 (1)~(3)의 문제점을 해소하기 위해서는 굴뚝효과를 고려한 공학적 분석에 의해 급기량을 계산하여야 한다. 그리고 이 급기량을 소화하고 현장적응성이 우수한 '계단실과 부속실을 동시에 제연하는 것'으로 하는 것이 가장 적합하다.

위 (4)의 수동조작창문에 대해서는 자동폐쇄장치를 설치하는 것이 가장 타당하나 최소한 평상시 닫혀 있어야한다는 경고문이라도 부착하여야 할 것이다.

기호설명

식(2)에서 Q_D 는 보충량, S 는 방화문의 면적, V 는 필요한 방연풍속, K 는 상수(0.827),는 생략, P 는 거실과 부속실 사이의 차압, 식(3) 및 식(5)에서 ΔP_t 및 ΔP_b 는 최고 및 최저부에서의 차압, 식(4)에서 T_0 및 T_s 는 외부 및 계단실의 기온(절대온도)이다.

그림에 있는 기호 F 는 층, BF 는 치하층, N/Z 는 중성면, ΔP 는 차압, std 는 기준, 첨자 V 는 부속실, O 는 외부, S 는 계단실, E 는 승강로, t 및 b 는 최고 및 최저부의 뜻으로서, 예를 들어 ΔP_{EO} 는 승강로와 외기 사이의 차압, ΔP_{EVt} 는 최고부(34층)에서의 승강로와 부속실 간의 차압, ΔP_{EVb} 는 승강로와 부속실 간의 최저부(1층)에서의 차압, 'std ΔP_{Vo} '는 '기준이 되는 부속실과 외부 간의 차압'을 뜻한다.

참고문헌

1. 남상욱, "소방시설의 설계 및 시공", 성안당, p.670(2005).
2. 이동명, "제연공학", 성안당, pp.204-206(2008).
3. 이동명, "제연공학", 성안당, p.191(2008).
4. 남상욱, "소방시설의 설계 및 시공", 성안당, p.659(2005)
5. "차압을 이용하는 제연설비에 대한 기술 지침(안)", 한국소방기술사회, p.8(2008).
6. "차압을 이용하는 제연설비에 대한 기술 지침(안)", 한국소방기술사회, p.10(2008).
7. 이동명, "제연공학", 성안당, pp.186-188(2008).
8. 김정엽, "연돌효과가 급기가압 제연시스템에 미치는 영향에 대한 현장실험", 한국화재소방학회논문지, Vol.22, No.3, p.199(2008).