

화재피난용 엘리베이터의 연기제어 시스템

화재시 신체부자유자의 피난안전을 보장하기 위한 방법으로 유효한 비상엘리베이터 피난시스템의 연기제어시스템 설계와 관련된 요소에 대하여 소개한다.

1. 개요

화재 발생시 보통사람과 같이 건물에서의 자력 피난이 어려운 신체장애자 등에 대한 화재피난대책이 필요하며, 신체부자유자의 피난안전을 보장하기 위한 방법으로 비상엘리베이터 피난시스템(Emergency Elevator Evacuation System : EEES)의 개념이 제시되었다. 본 고에서는 EEES로 연기의 유입을 방지하기 위한 연기제어시스템 설계와 관련된 요소를 제시하였다.

창문이 꺼져 외부에서 바람이 불거나 또는 불지 않을 때 발생하는 차압은 매우 중요하며, EEES에 의한 연기제어시스템 설계시 이 같은 압력변화가 적용되어야 한다.

연기제어시스템의 설계시에는 바람의 영향에 대한 분석이 필요하며, 화재시 문의 개방이나 폐쇄에 의해 발생하는 압력변동도 매우 중요한 영향을 미치며, 본 고에서는 꺼어진 창문, 바람의 영향 및 개방된 문에 의한 압력변화는 EEES 연기제어시스템 설계에 유용하다는 것을 입증하고 있다.

Klote, Levin과 Groner(1995)는 화재시 피난에 엘리베이터 이용 가능성(유용성)에 대한 연구를 하였으며, 비상엘리베이터(EEES)개념을 소개하였다.

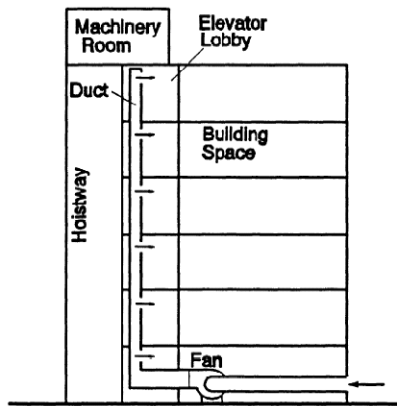
EEES에는 열, 화염, 연기 및 수순으로 인한 피해를 방지하기 위해 엘리베이터 장비, 엘리베이터 샤프트, 기계실, 엘리베이터 로비 및 엘리베이터 기계실 장비의 과열과 전력의 상실 등에 대한 내용들이 포함된다.

ASHRAE 연기제어 핸드북(Klote와 Mike 1992)은 엘리베이터 가압에 대한 설계자료를 제시하고 있다.

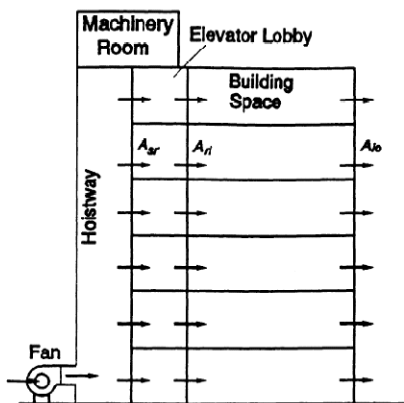
바람에 의한 공기유입 계산방법은 Shaw와 Tamura(1977)에 의해 발표되었고, Aynsley(1989)는 배출시스템의 입구와 출구에서 풍압을 평가하는 방법을 개발하였다.

가압방식은 각 엘리베이터 로비로 직접 가압공기를 공급받는 직접가압식과 엘리베이터 로비와 연결된 엘리베이터 샤프트를 통해서 가압공기를 공급받는 간접가압식으로 구분되며, 직접

가압식의 경우 공기 분배 덕트 및 덕트 샤프트 공간 증가로 인해 설치비용이 증가되는 단점이 있다. <그림 1, 2 참조>



[그림 1] 직접가압방식(로비가압)



[그림 2] 간접가압방식(샤프트가압)

2. 차압 설계

로비 문에 적용될 수 있는 최소 및 최대허용차압이 고려되어야 한다. 연기제어시스템은 최저 허용차압보다 적지 않고 최고 허용차압보다 크지 않은 차압을 유지하여야 한다. EEES의 연기

제어를 위해서 이들 차압이 엘리베이터 로비 문에 항상 유지되어야 한다.

여기서 로비 문은 엘리베이터 로비와 거실 사이에 위치하는 문을 의미하며, 엘리베이터 문은 엘리베이터 로비와 엘리베이터 샤프트 사이에 설치된 문을 의미한다.

EEES 연기제어시스템을 작동시키면, 로비 문은 자동으로 폐쇄되고 엘리베이터 연기제어시스템이 가동된다.

최대허용차압은 로비 문을 여는데 과도한 힘이 들지 않는 차압이어야 한다. 문을 개방하는 힘은 문에 걸리는 차압과 문 폐쇄장치 메커니즘에 의한 모멘트로 계산된다. (Klote and Milke 1992).

인명안전코드(NFPA 101)에서는, 피난문을 개방하는데 필요한 힘은 133N을 초과하지 않도록 규정하고 있다. 즉, 85Pa (0.34in H₂O)의 차압이 적용되고, 문 폐쇄력이 45N인 0.91m의 힌지형 문을 개방하는데 필요한 힘이 133N 임을 의미한다.

그러나, 자동식 개방형 및 폐쇄형 문의 경우 최대허용차압은 개방장치의 성능에 좌우되며, 문을 개방하는 사람의 힘에 좌우되지 않는다.

최소허용차압은 EEES로 연기의 유입을 막을 수 있는 차압을 의미하며, NFPA 92A에서는 반자 높이가 2.74m이며, 스프링클러가 설치되지 않은 경우는 25Pa(0.10 in H₂O), 스프링클러가 설치된 경우에는 12Pa(0.05in H₂O)를 최소 차압으로 규정하고 있다. 연기제어시스템은 모든 층의 로비 문에 최소한의 차압을 유지하여야 한다.

3. 바람의 영향 (Wind Effect)

바람에 의한 영향은 다음 식으로 계산된다.

$$P_w = K_w C_w \rho_o V^2 \text{ -----(1)}$$

여기서

P_w = 표면에 발생하는 풍압 Pa

C_w = 무차원 압력계수

ρ_o = 외부공기밀도, kg/m³

V = 풍속, m/s

K_w = 계수, 0.50

일반적으로 압력계수 C_w 는 바람이 불어오는 측 벽체는 “+” 이고 바람이 들어가는 측 벽체는 “-” 값을 가지며 -0.8~0.8 범위값을 갖는다.

압력계수는 건물의 형상과 국부적인 장애물에 좌우되며, 압력계수는 벽체면 전체에 국부적으로 변화를 갖기 때문에 형상에 따른 평균 압력계수 ($\overline{C_w}$) (장방향 건물 벽체에 대한 평균압력계수, MacDonald, 1975)가 적용한다.

지면에서 먼 바람은 일정한 값을 가지며, 이것을 Gradient Wind라고 한다. 지면에서 Gradient Wind까지 바람의 속도는 지표면 0에서 Gradient Wind 속도까지 증가된다. 경계층에서의 유동은 나무 또는 건물과 같은 장애물과 불규칙한 표면에 의해 영향을 받는다.

장애물이 있는 건물근처의 바람은 여러 방향에서 속도와 2차적인 유동으로 균일하지 못하다. 그러나 장애물이 없다면 속도와 높이사이의 관계식은 다음과 같다.

$$V = V_o \left(\frac{Z}{Z_o} \right)^n \text{ -----(2)}$$

여기서

V = 풍속, m/s

V_o = 기준높이에서의 속도, m/s

Z = 속도 높이, V, m

Z_o = 기준높이, m

n = 바람지수, 무차원

바람의 높이는 지표면에서 약 10m 높이인 Z_o 높이에서 공항과 기상대에 의해 기록된다. 그러므로 기준높이는 10m를 적용하였다.

4. 시스템 개념(System Concept)

EEES 연기제어시스템은 연기의 침입을 방지할 수 있도록 EEES가 가압되도록 설계되어야 한다. 가압공기는 엘리베이터 샤프트, 엘리베이터 로비 또는 양쪽에서 공급받을 수 있다.

엘리베이터 샤프트 가압시스템은 복잡하지 않은 덕트 구조를 갖는다는 장점이 있기 때문에 이러한 시스템에 초점을 맞추었으나, 일반적으로 로비 가압시스템이 적용된다.

4.1 문 개방에 따른 압력변동

연기제어시스템은 문이 개방되거나 폐쇄되는 모든 경우에도 설계차압을 유지하여야 한다. 화재시에는 여러 개의 외부 문이 닫히지 않도록 개방상태를 유지할 것이며, 계단실 문은 피난자의 사용여부에 따라 개방과 폐쇄를 반복할 것이다.

엘리베이터 로비 문도 엘리베이터 로비 출입에 따라 개방되고 폐쇄될 것이다. 그러므로 엘리베이터 문은 자동폐쇄장치가 설치된 문이어야

한다(또는 자동문). 그러나 이들 문은 부주의에 의해 개방에 방해받을 수도 있다. 거주자가 연기에 노출되는 것을 막기 위해서 이같이 개방된 문이 닫힐 것으로 기대할 수밖에 없다.

4.2 창문 파괴 및 풍압

화재로 인한 상승온도로 인해 종종 창이 깨지는 경우가 발생한다. Klote, Nelson, Deal과 Levin(1992)이 발표한 것처럼, 많은 피해를 발생시키는 최성기 실 화재는 화재구획실 내의 창문을 파괴시킨다. 연기제어시스템은 깨어진 창문 및 바람의 상태에 따른 압력변화 조건 하에서 정해진 차압을 유지할 수 있어야 한다. 또한 바람의 방향은 창문 안으로 들어 올 수도 있고, 창문을 통해 나갈 수도 있기 때문에 매우 중요한 설계요소이다.

아래의 <표1>은 기준높이 10m에서 7, 9, 11m/s 인 경우 높이 35m,와 100m에서 발생하는 속도와 풍압을 표시하고 있다.

풍압은 48Pa~210Pa까지 다양하게 변화하며, 이 압력은 앞에서 언급된 설계차압과 비교시 중요한 자료가 된다.

4.3. 간접 가압의 유용성

간접 가압시 엘리베이터 로비와 관련된 차압과

유동면적(Flow Area)과의 관계는 다음과 같다.

$$\frac{\Delta P_{rb}}{\Delta P_{sr}} = \left(\frac{A_{sr}}{A_{rb}} \right)^2 \text{ -----(3)}$$

ΔP_{rb} : 로비와 기타 부분과의 차압, Pa

ΔP_{sr} : 로비와 엘리베이터 샤프트의 차압, Pa

A_{rb} : 로비와 기타부분 사이의 유동면적(Flow Area), m²

A_{sr} : 로비와 엘리베이터 통로 사이의 유동면적(Flow Area), m²

Tamura 와 Shaw(1976)는 일반건물에서와 같이 넓은 틈새면적을 갖는 엘리베이터의 경우 틈새에 의한 누설면적이 0.05~0.07m²가 된다고 제시하였다.

경험에 의하면, 일반건축물에서는 A_{sr}/A_{rb} 는 약 2.5이며, 밀실한 건축물의 경우 약 10 정도이다. 그러므로 식3에 의하면, $\Delta P_{rb}/\Delta P_{sr}$ 값은 일반적인 건축물과 밀실한 건축물의 경우 각각 6.25와 100이다.

거실과 로비의 차압(ΔP_{rb})이 로비와 샤프트의 차압(ΔP_{sr})보다 상대적으로 크다는 것은 시스템의 성능이 우수하다는 것을 의미한다. 거실에서 로비로 연기유입을 막기 위한 거실과 로비의 차압(ΔP_{rb})은 앞에서 언급된 설계차압 이내 이어야 한다.

만약 A_{sr}/A_{rb} 값에 의한 면적비가 적은 경우

[표1] 높이에 따른 바람속도와 풍압 영향

V _o (m/s)	z=35m		Z=100m	
	V(m/s)	P _w (Pa)	V(m/s)	P _w (Pa)
7	10	48	13	81
9	13	81	17	140
11	16	120	21	210

주) Z_o = 10m, C_w = 0.8, n = 0.28일때 식(1)과 (2)에 의해 계산된 풍압과 속도임

엘리베이터 로비의 가압은 직접가압방식이 바람직하다.

4.4. 압력변동 처리 시스템

연기제어시스템은 문이 열린 상태, 문이 닫힌 상태, 창문이 깨진 상태, 바람의 유, 무 하에서도 적절한 차압을 유지하여야 한다.

Klote와 Milke(1992)는 문의 개방과 폐쇄에 따른 압력변동을 완화시킬 수 있는 엘리베이터 연기제어에 대한 방법론을 제시하였으며, 이 방법론은 압력 릴리프 벤트(Pressure-relief venting), 기압 댐퍼 벤트(Barometric damper venting), 가변량 급기공기(Variable-supply air)와 화재실 배출을 이용하는 것이다.

가. 압력릴리프 벤트

(Pressure-Relief Venting)

정풍량(Constant-supply)팬과 외벽면에 압력릴리프 벤트를 사용하는 방식으로 벤트 면적은 연기제어시스템을 작동시킬 수 있는 크기이어야 한다.

만약 평상시 폐쇄상태로 유지할 경우에는 벤트에 자동댐퍼를 설치 할 수도 있다.

벤트는 모든 문이 폐쇄된 상태에서도 최대차압에 도달되지 않을 만큼의 크기이어야 한다. 외부 통로가 개방되는 경우(문 개방과 창문이 깨짐 등)이 개방된 장소를 통하여 공기가 누설되면, 엘리베이터 샤프트와 엘리베이터 로비의 압력이 저하된다.

연기제어시스템은 설계바람 조건 하에서 문이나 창문(설계시 가정된 갯수)이 개방되었을 때에도 최소차압을 유지할 수 있도록 설계되어야 한다.

나. 기압댐퍼 벤트

(Barometric Damper Venting)

이 접근방식은 벤트에 기압댐퍼를 설치하여 압력이 임계값 이하로 저하되면, 댐퍼를 폐쇄시키는 방식으로 저압조건 하에서 공기의 손실을 최소화시킬 수 있다.

다. 변풍량 급기공기

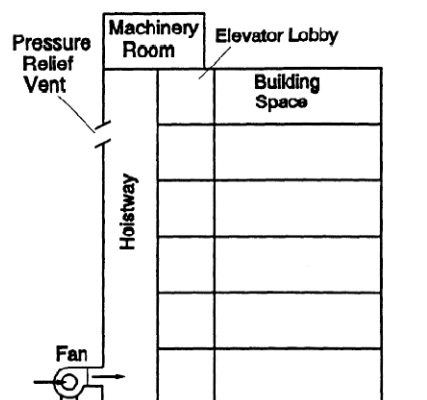
(Variable-Supply Air)

변풍량 급기팬을 설치하여 변풍량 급기공기를 공급하거나 덕트와 댐퍼의 bypass 배열을 갖는 팬을 이용하여 shaft나 전실에 공급되는 유량을 변화시킬 수 있다. 유량은 로비와 거실사이에 위치한 정압압력 센서에 의해 제어된다.

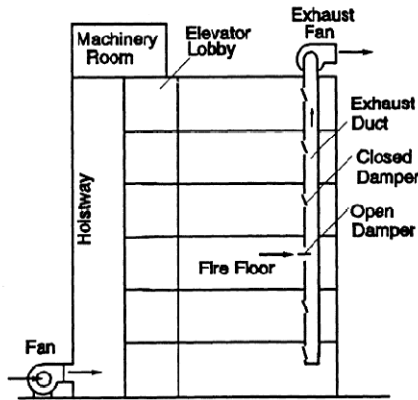
라. 화재층의 배출

(Fire Floor Exhaust)

화재가 발생한 거실로부터 연기를 배출하여 화재층 로비 문의 차압을 유지할 수 있다. 화재가 감지되면 화재층에서 연기를 배출시키는 방식으로, 감지시스템이 화재층을 감지할 수 있도록 설치되어야 한다.



[그림3] 압력릴리프 벤트



[그림4] 화재층 배출

5. 연기제어시스템의 분석

연기제어시스템(Smoke Control System)은 1992년 Klote 와 Milke가 제시한 연기제어시스템의 분석(Analysis of Smoke Control System, ASCOS)이란 프로그램에 의해 분석할 수 있다. 이 프로그램에서는 건물을 각각의 특별한 압력과 온도를 갖는 network node 또는 network space로 표현한다. 엘리베이터 통로 및 계단 통로와 같은 shaft는 연속적인 수직공간으로 모델링 되며, 엘리베이터 연기제어시스템에 대한 시뮬레이션이 가능하다.

6. 결론

최근 건물의 초고층화 추세에 비추어 불 때 화재시 안전한 피난 및 소화활동을 위해서 비상용 엘리베이터를 방호하기 위한 연기제어시스템의

역할은 매우 중요하므로 엘리베이터 샤프트 또는 로비의 안전구역 조건 충족을 위해서는 연기제어시스템의 설계시 조건변화에 따른 차압 변동에 대한 충분한 연구와 검토가 필요하다.

결론적으로 말하면,

- 1) 가압시스템이 엘리베이터의 연기제어에 가장 적당한 방법이다.
- 2) 화재시 문의 개방과 폐쇄에 따른 차압은 매우 중요하므로, 엘리베이터의 연기제어시스템에 문의 개방 또는 폐쇄에 다른 영향을 충분히 분석하여 반영하여야 한다.
- 3) 바람이 있거나 없거나에 관계없이 창문이 깨졌을 때 발생된 차압도 매우 중요한 인자가 되므로 엘리베이터의 연기제어시스템 설계시 이들 차압에 대한 검토가 필요하다.
- 4) 만약 가압시스템이 엘리베이터 로비문의 차압을 25Pa이상 유지시킬 수 있다면, 화재실의 온도는 비상용 엘리베이터의 가압시스템 성능에 큰 영향을 미치지 않는다.
- 5) 엘리베이터 샤프트에서 로비로 공급되는 간접가압방식도 연기제어설계에 효과적으로 적용될 수 있다.

※ 본고는 " Design of Smoke Control System for Elevator Fire Evacuation including Wind Effect" by John H.Klote을 요약, 정리한 내용임. ☺

— 정리: 중앙지부 권재철