

국내 고층건물의 피난성능확보를 위한 급기가압방연(제연)시스템의 제도개선연구

박형주, 김상욱*

경원전문대학 소방학과 교수, *화재공학연구원장

A Research on Legal Alternative Application of Pressurized Smoke Control System for Guarantying Effective Escape in High-Rise Buildings

Park, HungJoo and Kim SangWook*

Kyungwon Col. Prof., *Fire Research & Tech. Station President

1. 연구의 필요성 및 목적

최근 빈번히 발생하고 있는 대형인명화재참사의 희생자는 지하층에서 계단을 타고 올라오는 연기에 의해 질식사하여 사망하는 경우가 빈번하게 발생하고 있으며 국내에서 발생한 건축물화재시 희생을 당한 사망자의 90% 이상이 연기에 의한 질식사로 판명되고 있는 바, 미국방화협회(NFPA)가 집계하고 있는 미국내 화재사망자의 수치(75%)보다 높은 점은 시사하는 바가 크다

국내건축물에서 적용하는 제연시설은 연기를 배출하는 배연시스템과 연기가 확산되지 못하게 하는 방연시스템으로 구분되며, 그 중에서도 일정규모 이상의 고층건물에 위치한 피난계단에 의무적으로 적용하는 방연시스템은 외부공기를 강제로 불어넣어 일정공간의 압력을 높여 인접하고 있는 공간으로부터 연기침입을 막는 급기가압방연방식이 적용되고 있다.

급기가압에 의한 방연시스템은 일시대피장소(Egress Route)인 피난계단이나 특별피난계단실의 계단실 또는 전실 등에 주로 적용하고 있는 시스템으로서 건축법기준에 의해 배연창이 설치된 곳을 제외한 자연배연이 어려운 공간에 설치되어 화재시 가압되도록 운영되고 있으며 사후관리 및 그 성능유지를 위해 필수적으로 요구되는 제반기준을 철저히 지켜야만 설치목적의 달성이 가능하다.

국내 소방법에 의하여 현재 고층건물의 특별피난계단에 적용하고 있는 급기가압시스템은 설치취지에 비하여 적용상의 문제점과 유지관리상의 미흡으로 말미암아 성능확보에 큰 어려움을 갖고 있는 때문에 고층건물의 화재시 효과적인 피난확보가 이루어질 수 있을지는 미지수이다. 또한 관련기준도 선진국에서 설정하고 있는 레벨, 즉 세계표준기준(Global Standardization)과 비교하여 보완할 점이 많아 제도상의 불합리한 점을 시급히 개선할 필요가 있다.

2. 연구의 목표

현재 국내에서 적용 설치되고 있는 특별피난계단 부속실(이하 부속실이라 칭한다)이나 계단실에 적용되고 있는 급기가압방연(제연)시스템의 실효성에 대한 문제점을 발췌하여 그 해결책을 제시함으로써 전문가들의 우려를 불식시키는데 연구의 목표를 두며 세부목표는 다음과 같다.

- 국내 급기가압방연시스템의 적용시 제도적 미비점에 따른 방재성능에 대한 실효성 검증
- 실효성 확보를 위한 범세계적 기준(Global Standardization)에 입각한 대안제시에 의한 실효성있는 제연성능 확보

3. 급기가압시스템의 설계원리

3.1 급기가압시스템의 제연원리 및 설계원칙

피난계단 또는 특별피난계단의 부속실이나 계단실 또는 비상용승강기의 승강장에 주로 적용하는 일종의 강제적인 시스템으로서 내부로 흘러들어온 연기를 흡인하여 배연시키는 방식과는 달리 강제적으로 외부공기를 급기하여 내부압력을 상승시킴으로써 인접공간(복도 등)에서 흘러들어오는 연기의 침입을 방지하는 원리를 이용하는 방연시스템이다.

인접공간과의 차압을 이용하는 시스템으로서 압력상승이 비교적 용이한 소공간구획에서 효과적이므로 피난경로상의 공간에서 주로 사용되며 재실자의 피난뿐 아니라 화재시 위험을 무릅쓰고 진압활동을 하여야 할 소방대를 위한 공간인 비상용승강기의 승강장에서도 사용되며 세부적인 적용공간도 다음과 같이 다양하게 분류가능하다.

- 계단실 단독가압(그림 1 참조)
- 부속실 단독가압(그림 2 참조)
- 계단실 및 부속실의 동시가압(그림 3 참조)
- 비상용승강기의 승강장(부속실과 겸용하는 경우도 포함)가압

상기 적용공간에 외부공기를 강제로 불어넣어 지속적으로 일정압력을 유지하기 위해서는 그 공간의 구조가 가지는 특성을 고려하여 불어넣어야 할 급기풍량을 결정하여야 한다. 즉 층별피난경로에 적절한 압력을 증가시켜 피난시에도 연기의 침입을 방지하기 위해서는 어떤 조건하에서도 적절한 차압이 유지되도록 급기풍량이 공급되어야 하므로 다음과 같은 항목을 고려하여 적절한 풍량산정을 하여야 한다.

- 일정차압을 유지하기 위한 급기풍량
- 제연구역에서 필연적으로 누출되는 누설풍량(출입문, 창문, 승강기문 등의 누설틈새)
- 출입문의 일시개방시 연기의 유입방지를 위해 비가압공간으로 주는 풍속(이하 방연풍속이라 칭함))
- 출입문이 일시개방후 원위치로 닫힐시 과압방지
- 급기풍도의 풍도내 누설량

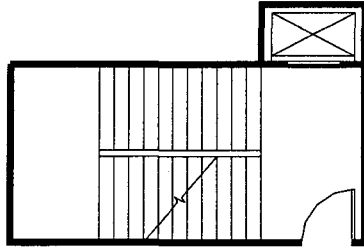


그림 1. 계단실 단독가압설비를 가진 피난계단 예

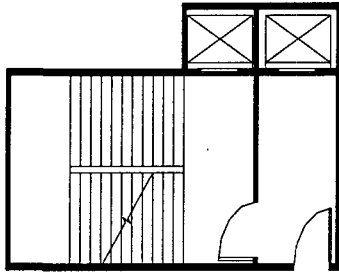


그림 2. 계단실 및 부속실 개별가압설비를 가진 피난계단 예

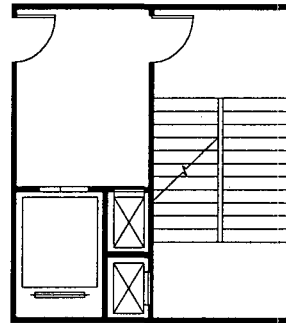
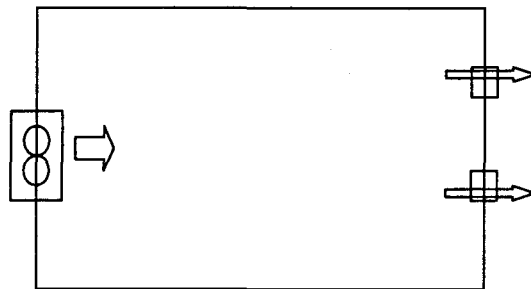


그림 3. 계단실 및 비상용승강장 (부속실 겸용)에 개별가압 설비를 가진 특별피난 계단 예

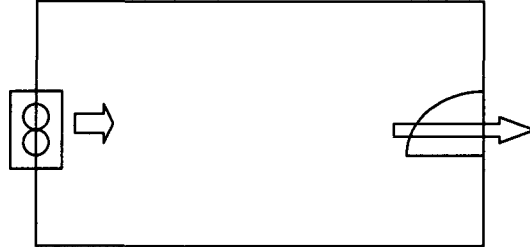
3.2 피난공간특성에 따른 단계적 설계안 제시

가압되어야 할 공간의 구조상태 및 피난상황에 맞게 계속적으로 적절한 차압을 유지하기 위해서는 외부공기의 취입량을 먼저 결정하여야 하며 취입된 외부공기가 공간내의 틈새로 어느 정도 빠져나가는지를 계산하여야만 한다. 그러나 출입문이 개방되는 경우에는 출입문의 일시개방에 따른 요구되는 방연풍속을 고려하여야 하며, 마지막으로 발생가능한 일시적 과압에 의한 출입문의 개방장애가 일어나지 않도록 고려하여 다음과 같이 단계적으로 설계하여야 한다.

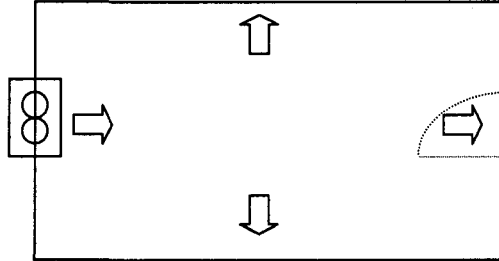
- 1) 제1단계 : 풍량설계, 즉 차압유지를 위한 누설공기량 만큼의 급기량 산정



- 2) 제2단계 : 풍량설계, 즉 화재시 문이 일시개방되는 경우 연기침입방지를 방연풍속 유지를 위한 보충급기량 산정



- 3) 제 3단계 과압방지설계 : 과압배출용 댐퍼설치 또는 과압조절용 자동급기댐퍼 설치



3.3 적용공간 유니트별 송풍량 필요용량 산정식

- 1) 차압을 부여하기 위한 급기량 산출기본식

$$Q = 0.827 \times A \times (\Delta P)^{1/N}$$

Q는 체적 급기율(m³/s), A는 누설틈새 면적(m²), ΔP는 인접공간과의 차압(Pa), N은 지수(1 < N < 2) (BS 5588 : Part4기준에 따라, 출입문은 N=2, 창문은 1.6임)

단 승강기 문의 틈새를 통한 승강장(로비)으로부터의 누설공기량은

$$Q_E = 0.827 \frac{A_E \times A_V}{(A_E^2 + A_V^2)^{1/2}} (\Delta P_{EL})^{1/2}$$

Q_E : 승강기샤프트로 누설되는 총 누설공기량(m³/s)

ΔP_{EL} : 승강장의 가압레벨(Pa)

A_E : 승강장과 승강로간의 누설틈새면적 합(m²)

(A_L는 일반적으로 n_LA_d와 같음. n_L: 가압되는 승강장로비의 승강기 문의 개수,

A_d: 승강기 문 한개소당 누설틈새 면적)

A_V : 승강로와 외기와의 틈새합(m²)

- 2) 출입문 개방시 요구되는 방연풍속유지를 위한 보충급기량 산정

화재시 재실자의 피난이 이루어지는 동안 모든 문은 간헐적으로 열리므로 이에 따른 연기의 유입을 고려해야 하는데 이를 위하여 열린 문을 통하여 피난의 역방향으로 풍속

을 유지할 필요가 있다. 단 저항인자(Resistant factor)를 고려하여 실제풍속은 이론치의 60%만 성능이 발휘되므로 0.6으로 나누어야 하며 하며 편개문을 기준으로 하되 양개문인 경우에는 하나의 문만 열리는 것을 원칙으로 방연풍속을 산정하는 것이 통례이다. 다만 가압공간의 특성에 따라 방연풍속기준을 선진국에서는 다음과 같이 규정하고 있다.

□ 계단실 단독 가압시(Staircase only pressurised)

최소 방연풍속은 0.75m/s 이상 요구되며 10층 이하의 건물인 경우 전체 급기량은 방연풍속을 유지하는데 충분한 반면에 10층을 초과하는 건물에서는 방연풍속의 유지에 필요한 보충급기량을 누설특성을 고려하여 추가되어야 하며 20층이 넘는 건물인 경우 최소방연풍속을 유지하기 위해서는 서로 다른층의 2개소의 문(4개의 문)에서 방연풍속이 유지되도록 요구하고 있음.

□ 부속실 단독 가압시(Lobby only pressurised)

각층의 부속실이 가압되는 경우 부속실의 2개 문(부속실과 계단실간의 문, 부속실과 거실부와의 문)이 개방시 요구되는 최소 방연풍속은 0.7m/s 이상이 요구되며, 20층을 초과하는 건물에서는 최소방연풍속을 유지하기 위해 서로 다른 2개층에 위치한 2개소의 문(4개의 문)을 동시에 개방하는 것으로 간주함.

□ 계단실과 부속실 동시 가압시(Staircase & Lobby separately pressurised)

계단실과 부속실 동시 가압인 경우에 있어서는 계단실/부속실간 출입문이 닫혀있고 부속실/거실간 출입문이 개방시 개방된 부속실/거실간 출입문의 방연풍속은 최소 0.5m/s 이상이어야 하거나, 또는 계단실/부속실간의 출입문을 통하여 계단실과 부속실간의 차압은 5Pa 이내가 되도록 계단실의 가압수준을 맞추어야 함.

□ 인접된 3개 안전구역내 문이 전부 방화문인 경우

계단실과 부속실이 동시 가압되고 부속실이 내화성능 30분 이상인 복도로 연결되는 경우 계단실/부속실간 출입문, 부속실/복도간 출입문과 복도에 연결되는 거실의 문이 내화성능 30분 이상을 가진 을종방화문으로 구성될 경우 ‘안전구역 3개소 문방호’ 개념에 의해 복도/거실간 출입문의 방연풍속은 요구되지 않는 것이 상례임.

상기의 출입문에 요구되는 방연풍속을 유지하기 위해 차압을 유지하는데 필요한 급기량을 보충하여야 한다. 따라서 출입문의 면적에 상기의 필요방연풍속을 곱하여 방연풍속을 유지하는데 필요한 급기량을 산정하고, 산정한 값에서 최초의 차압유지를 위해 필요한 급기량을 감한 값을 보충급기량으로 설정하여야 한다. 다만, 실제요구되는 급기풍량은 마찰손실 등에 의해 이론상 계산되는 급기풍량($Q_m = 0.827 A(\Delta P)^{1/N}$)의 60% 정도밖에 나오지 않으므로 급기량 계산시 0.6으로 나누어 산정하여야 충분한 풍량을 기대할 수 있다.

4. 국내적용 급기가압시스템 적용상 문제점

4.1 법규기준상 문제점

제연방식이나 적용공간은 선진국과 비교하여 큰 차이가 없으나 세부적으로 방연풍속 기준 등이 합리적이지 못하며 계단실 단독가압도 최근에는 허용함으로써 피난상 상대적

으로 가장 중요한 계단실의 연기제어 효과를 극대화하지 못하고 있는 실정이다.

특히 선진국과는 달리 제연구역에 설치되는 출입문에 대한 기준이 미흡하며 성능확인을 위한 시험기준 등이 의무화되어 있지 않아 효과의 극대화를 기하기 어려우며 그 또한 건축법, 소방법 등의 관련 법규에서 분산되어 관리되고 있다. 또한 평상시 자동 폐쇄장치에 의하여 정상적인 단힘상태를 유지하도록 의무화하고 있으나 예외적으로 연감지기 연동 자동폐쇄장치에 의해 닫히는 방식으로 개방상태유지를 허용하고 있어 만에하나 닫히지 않을 경우 인명피해 방지가 사실상 어렵다고 사료된다.

더욱이 급기풍량을 결정하는데 가장 영향을 미치는 방연풍속은 피난시의 상황을 고려하지 않은 상태에서 완화규정없이 일률적으로 적용함에 따라 선진국에 비하여 상당히 강화되어 있는 상태로서 합리적인 풍속기준의 연구가 필요하다.

4.2 운용상 분석

현재 급기 가압방연설비를 특별피난 계단실에 적용하고 있는 고층건물을 방문하여 현행소방법에 의해 설계되어 운영하고 있는 현황을 조사하여 당초의 설계 목적에 부합되도록 운영하고 있는가를 조사하였다.

○ 출입문 권리 부실로 인한 초기 차압유지 보장이 불확실함

- 급기가압 시스템이 적용되는 특별피난계단의 부속실과 옥내와의 사이에 있는 출입문의 개방상태 유지관리가 이루어지고 있지 않아 화재시 확실한 구획방연 효과를 기대할 수 없는 실정임

표 1. 조사대상 건축물 개요

건물명	소재지	규모 및 용도	제연시설	출입구 관리상태
테크노마트	서울시 광진구 구의동 소재	<ul style="list-style-type: none"> · 지상 39층 · 지하 4층 · 복합용도건축물(판매, 업무, 집회 및 관람) 	<ul style="list-style-type: none"> · 특별피난계단부속실단독급기 가압방연 	<ul style="list-style-type: none"> · 부속실과 복도와의 출입문: 도어클로저에 의한 상시폐쇄 · 부속실과 계단실간 출입문: 도어클로저에 의한 상시폐쇄
시네하우스	서울시 강남구 논현동 소재	<ul style="list-style-type: none"> · 지상 10층 · 지하 3층 · 복합용도건축물(집회 및 관람·업무시설) 	<ul style="list-style-type: none"> · 지하층의 특별피난 계단부속실에 강제급배기동시배연시스템 	<ul style="list-style-type: none"> · 배연구는 벽체상부(배풍량: 59 m³/분), 급기구(송풍량: 300 m³/분)는 벽체하부에 위치하여 강제로 배연하는 시스템(연감지기 연동) · 부속실과 복도와의 출입문: <ul style="list-style-type: none"> - 평상시에는 상시개방하나 비상시에는 휴즈형 도어클로저에 의한 자동폐쇄 · 부속실과 계단실간 출입문: 도어클로저에 의한 상시폐쇄
거평프레야타운	서울시 중구 을지로6가 소재	<ul style="list-style-type: none"> · 지상 22층 · 지하 6층 · 복합건축물(판매, 업무, 집회 및 관람시설) 	<ul style="list-style-type: none"> · 특별피난계단부속실 단독급기가압방연 · 비상용승강기승강장: 배연창 	<ul style="list-style-type: none"> · 부속실과 복도와의 출입문: <ul style="list-style-type: none"> - 평상시: 상시개방 - 비상시: 열감지기 내장 도어클로저에 의한 자동폐쇄 · 부속실과 계단실간 출입문: 도어클로저에 의한 폐쇄

- 복합건축물인 경우 편개문 보다는 양개문의 설치가 보편화되어 있고 피난시 다량의 피난자가 연속적으로 이어짐에 따른 양개문의 양쪽 문짝이 완전히 개방될 것으로 판단되어 방연풍속 유지가 어려워 연기 침입이 쉽게 일어날 것으로 예상
- 평상시 개방상태로 장시간 보존됨에 따른 도어클로저에 편심과중 발생으로 인한 피로 누적으로 이탈이 빈번히 발생하여 화재시 폐쇄가 되지 않는 시나리오 추정이 예상됨
- 열감지기 센서내장 도어크로셔에 의한 자동 폐쇄방식은 연기가 침입후 닫히는 경우가 발생가능 하므로 그 실효성이 의문시됨
- 급기덤편 위치의 부적절함에 따른 연기 침입에 따른 오염발생예상
- 급기 덤편가 상부에 설치되는 것을 허용함에 따라 문이 개방된 상태에서 연기 침투시 급기 가동시 층이 오염 발생예상
- 상부부터 가압함에 따른 침입된 열류나 연기가 하부로 하강될 우려도 있어 피난지대에 피난 장애요인으로 작용할 소지 큼.



그림 4. 특별피난계단의 부속실과 복도 사이의 상시개방된 출입문

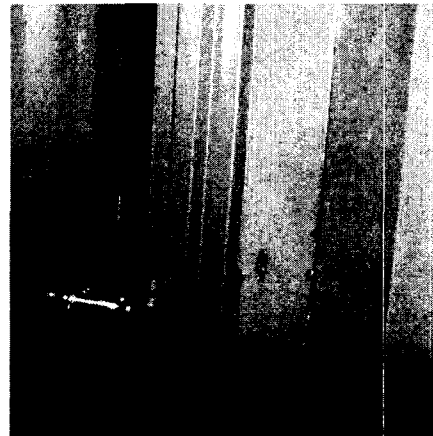


그림 5. 완전폐쇄가 되지 않은 상태로 관리중인 부속실과 복도와의 출입문

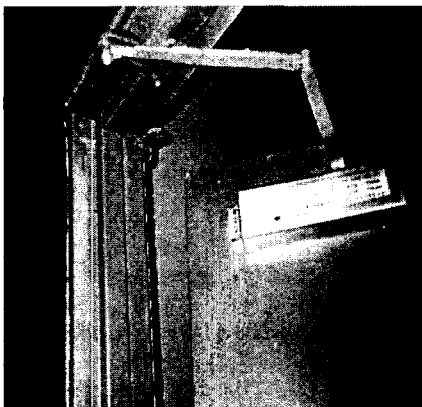


그림 10. 파손된 상태로 관리되고 있는 부속실과 복도와의 출입문

5. 개선안

급기가압방연시스템 운용에 의한 채류자의 피난성능확보를 위하여는 우선 특별피난계단에 설치되는 출입문의 개방조건에 적합한 효율적인 자동폐쇄장치의 부착강화가 필수적으로 수반되도록 소방법상의 피난방화시설규정을 개정하여야 하며 적용공간의 특성에 맞추어 경제적인 방연풍속의 설정이 합리적으로 개정되어야 한다.

궁극적으로 국내 건축물의 특별피난계단에 적용중인 급기가압방연시스템의 제연성능에 대한 소방·방재전문가의 우려를 불식시키기 위해서는 건축물의 용도에 따른 특별피난계단의 관리실태를 조사하여 국내실정에 적합한 관리기준의 수립과 동시에 다음과 같은 제도상 기준 및 운영방안의 제고가 수반되어야 한다.

- 출입문의 개방조건에 적합한 효율적인 자동폐쇄장치의 부착을 강화하고 관리부실 상태의 초래를 근본적으로 방지가능한 시스템 구축이 시급
 - ▶ 복합용도 건축물(판매·관람집회·아파트 복합용도 등)
 - 특별피난계단이 유일한 수직피난통로이므로 화재시 불특정다수군중이 한꺼번에 몰릴 우려가 커 연기오염시 대량의 인명피해발생이 예상되므로 세계표준기준(Global Standardization)수준의 출입문관리가 선행되어야 성능의 확보가 가능함.
 - 피난시 계단실/부속실간 출입문과 부속실/거실간 출입문이 동시에 열릴 경우가 빈번하므로 2개소 문이 열리는 경우를 상정하여 방연풍속등의 적절한 고려가 필요함.
 - ▶ 업무용도 건축물
 - 특별피난계단이 유일한 수직피난통로이지만 사용상 상시 개방을 요하는 출입문(부속실/복도 또는 거실 간 출입문의 예)의 경우가 있으므로 연감지기 연동 릴리즈 등의 해정기구의 사용에 의한 상시개방을 허용하되, 그 성능을 관련시험기관의 검증을 받도록 조치하여 사용토록 해야 함.
 - 업무용도 건축물은 계단실과 부속실이 동시에 가압되는 특별피난계단에서 특별피난계단이 내화구조의 복도에 의해 거실로 연결되고 복도/거실간 출입문이 을종방화문 이상인 경우 국제적 기준인 '3개소 출입문 방호'원칙에 의해 부속실/복도간 출입문에 요구되는 방연풍속이 면제될 수 있는 방향으로 제정하여 과잉보호에 의한 경제적 손실을 줄여야 함.
 - ▶ 아파트용도 건축물
 - 고층아파트에 위치하는 특별피난계단은 그 특성상 부속실이 승강장을 겸하면서 거실로 직접 연결되는 구조를 가지므로 부속실/계단실 간 출입문의 상시 닫힘은 이루어지나 부속실/계단실 간 출입문의 상시 닫힘은 관리수준을 살펴볼 때 현실적으로 기대하기 어려우므로 부속실/계단실간의 출입문을 선진국 수준의 방연기능을 확보하도록 그 성능을 보완할 필요가 있음.
 - 2세대만을 공유하는 특별피난계단인 경우 부속실의 규모가 계단실에 비하여 상대적으로 적으므로 부속실의 가압보다는 계단실의 가압이 효과적으로 판단되며 예기치 않게 부속실/계단실간의 출입문이 개방될 경우를 고려하여 가압하여도 크게 무리가 되지 않음.

- 적용공간의 안전성 및 재실자의 피난특성을 고려하여 적절한 방연풍속기준이 국제기준에 맞게 설정할 필요가 큼.
- 고층 건축물의 특별피난계단에 적용하는 현행 급기가압제연시스템의 설계시 저공하는 방연풍속유지기준에 합리적이고도 경제적인 대안으로 개정되어야 하며 특히 계단실 단독가압방식이 추가됨으로써 그 방식에 적합한 방연풍속기준설정이 시급함.(표 2 참조).
- 또한 국내 고층아파트의 직통형 특별피난계단실과 같이 인접세대간 방화구획이 설정되어 있으며 안전구획특성을 같은 구조에서는 방연풍속보다는 거주자의 피난에 초점을 맞추는 선에서 방연풍속이 유지되어야 함.(표 3 참조)

표 2. 계연방식별 방연풍속기준(세계표준기준)

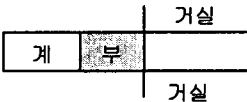



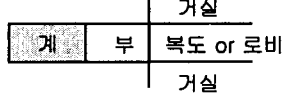
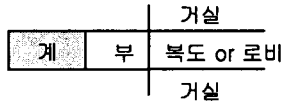
경우	내 용		구 조	방연풍속		비고
				현행	개선안	
Case1	부속실 단독가압시	a.부속실의 출입문에 방화구획된 복도 or 로비가 연결시		0.5	0.5	
		b.부속실의 출입문에 거실이 직접 연결시		0.7	0.7	
Case2	부속실과 계단실 동시가압시 (개별급기 풍도 방식)	a.부속실의 출입문에 방화구획된 복도 or 로비가 연결시		0.5	0	3차 안전구획 확보시 불필요
		b.부속실의 출입문에 거실이 직접 연결시		0.7	0.5	2차 안전구획 확보시 완화 가능
Case3	계단실 단독가압시	a.부속실의 출입문에 방화구획된 복도 or 로비가 연결시		명기 없음	0.7	계단실 단독 가압 허용의 기준필요
		b.부속실의 출입문에 거실이 직접 연결시		명기 없음	0.5	

표 3. 국내 아파트 전용 직통형특별 피난계단의 개선안

경우	구조	현행	개선안	비고
Case1: 계단실이 외기와 면한 경우		<ul style="list-style-type: none"> · 부속실 단독 · 부속실+계단실 동시가압 · 계단실 동시가압 (창문의 유무와 무관) 	<ul style="list-style-type: none"> · 창문이수동개방환기창인 경우 부속실 단독가압이 실효율 큼 · 창문이 불박이 채광창(Fix)인 경우 계단실 단독가압이 실효성 큼-방연풍속은 계단실문만 적용 	문의 평상시 개방이 불가 피함을 고려
Case2: 계단실이 외기와 면하지 않는 경우		<ul style="list-style-type: none"> · 부속실 단독 · 부속실+계단실 동시가압 · 계단실 동시가압 	<ul style="list-style-type: none"> · 계단실+부속실 동시 가압하고 방연 풍속 면제(O) 	3차원 안전 구획화 구조임
		상동	<ul style="list-style-type: none"> · 계단실+부속실 동시가압이 효과적 · 방연풍속은 면제 가능 	2차원 안전구획이나 거실이 상대적으로 크고 문의 피난개방횟수가 적어 방연풍속불필요 (방화구획된 독립 유닛형)

마지막으로 급기가압설비를 소방법상 “소화활동상 필요한 설비”의 설치목적에 부합하려면 비상용승강기의 승강장에서 소방대의 출입문 고정개장에 안전성확보를 위하여는 방연풍속이 2m/초가 될 수 있도록 구성함으로써 부속실의 출입문 상단공간에서 연기를 별도로 배출할 수 있는 배연구를 설치할 필요성을 줄이는 것도 고려할 사항이다.

참고문헌

1. BS 5588 : Fire precautions in the design, construction and use of buildings:Part4: 1996: Code of practice for smoke control in protected escape routes using pressurisation (London:British Standards Institution), (1996)
2. CIBSE Guide E, “Fire Engineering”, The chartered Instituion of Building Services Engineers Delta House, London.
3. 박형주 저 “대규모 건축물의 방배연(제연)설비기술지침” 지인당 (1997) 1985.
4. Morgan, H. P. and Gardner J. P. Design Principles for smoke ventilation in enclosed shopping center BRE report BR186(Garston:Building Research Establishment), (1990)