한국화재소방학회 논문지, 제25권 제6호, 2011년
[논 문]

J. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.
Vol. 25, No. 6, 2011

고층건물에서 승강기 승강로 가압을 통한 연돌효과 저감 방법에 대한 연구

Study on the Method of Stack Effect Mitigation by the Elevator Shaft Pressurization at High-rise Buildings

김진수 · 이의평†

Jin-Soo Kim · Eui-Pyeong Lee†

전주대학교 대학원 소방안전공학과
(2011. 10. 12. 접수/2011. 12. 8. 수정/2011. 12. 9. 채택)

요 약

초고층 건물의 승강기는 혹한기에 연돌효과에 의한 차압 때문에 고층부의 승강기 문틈에서 소음을 유발하고, 1층에서 승강기 문 개폐에 영향을 줄 정도의 강한 압력이 발생하며, 화재시에는 건물 내에 연기를 전파시키는 주된 구동력이 된다. 또한 승강기를 피난용으로 사용하기 위해서도 연돌효과는 반드시 극복되어야 할 과제이다. 이 논문에서는 연돌효과가 고층건물의 승강기 승강로에 미치는 부정적 영향을 줄이기 위해 승강로를 가압하는 방식을 검토하였다. 승강로와 거실 사이를 균압화하고 승강로를 급기 가압하는 조건으로 시뮬레이션 함으로써 NFPA 92A와 IBC 2012에서 요구하는 조건에 근접하는 결과를 얻었다.

ABSTRACT

In cold season, the elevator systems in super high-rise buildings would make noises at the door-gaps on high floors, and the elevator doors on the 1st floor would suffer from opening/closing trouble due to the pressure differences. Such pressure differences are also the main driving power of smokes through the hoistway in the case of fire. In addition, the pressure differences should be overcome to use the elevator systems as a measure of emergency escape. This paper reviews the way of hoistway pressurization to reduce the adverse influences. Simulations achieved a good result close to the requirements of NFPA 92A and IBC 2012 under the condition that the hoistway should be pressurized after pressure equalizing between floors and hoistway with the openings through the hoistway wall.

Key words : Stack effect, shaft, Pressure difference, Opening, Pressurization, Hoistway

1. 서 론

혹한기 고층건물에는 연돌효과 때문에 내외부 사이에 큰 압력차이가 나타난다. 연돌효과는 수직샤프트와 외부 사이에 나타나는데, 고층건물에서 가장 크고 중요한 수직샤프트들은 계단실과 승강기 승강로이다. 초고층 건물 승강기는 혹한기에 고층부의 승강기 문틈에서 상당한 소음이 발생하고, 1층에서는 승강기 문 개폐에 영향을 줄 정도로 강한 압력이 걸리기도 하는데, 승강로에 발생하는 이러한 차압이 화재시에는 건물 내에 연기를 전파시키는 연기의 주된 구동력이 되기도 한다.

이 논문에서는 연돌효과가 고층건물의 승강기 승강로에 미치는 영향을 살펴보고 그 부정적 영향을 줄이기 위한 방안을 제시한다.

2. 연돌효과

2.1 연돌효과 일반

중위도 이북의 온대 및 한대지역에 있는 초고층 건물들은 겨울철 연돌효과의 영향을 크게 받는다. 이 연돌효과는 승강기 등의 운전 장애 및 소음을 발생시키고, 화재시 연기전파의 가장 큰 원인이 되며, 초고층에서는 유리창 등 건물 외장재에 미치는 영향도 무시할 수 없다.[1)]

건물의 샤프트 내부 기온과 건물 외부의 기온이 서

† E-mail: kr-fire-chief@hanmail.net

로 다르면 공기의 밀도차이 때문에 샤프트와 외부 사이에 압력차이가 발생하는데, 이러한 압력 차이가 발생하는 현상을 연돌효과(stack effect, chimney effect)라 부르며, 그 정도는 샤프트의 수직 위치에 따라 다르다. 그 압력차이는 샤프트와 건물외부 사이에 존재하는 벽이나 문 등 각 구획요소에서 나타나는데, 각 구획요소의 기밀도에 따라 차압이 배분된다. 한 샤프트 안에서 어느 한 지점이 중성대로부터 h[m]만큼의 높이 차가 있을 경우, 그 지점에서 측정되는 샤프트 내부와 건물 외부 사이의 압력차이는 대기압 조건에서 다음 수식과 같이 나타낼 수 있다.[2-4)]

$$\Delta p_{so} = 3460\left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_i}\right)h \text{ [Pa]}$$

위 식에서 상수 3460은 이상기체상태방정식에 공기의 물성인 비중량과 온도를 대입할 때 나타나는 결과 값으로 불변요소이다[e.g: $mgT = 1.204\ kg/m^3 \times 9.807\ m/s^2 \times 293.15\ K$].

연돌효과는 건물 내외부의 온도차가 커질수록, 그리고 건물의 높이가 커질수록 커지기 때문에 혹한기에 초고층 건물에서 가장 심하게 나타난다.

2.2 샤프트의 복합효과가 연돌효과에 미치는 영향

연돌효과는 수직 변위에 따른 밀도차에 의해 발생하므로, 건물 구조적으로 연돌효과의 주된 발생원은 수직샤프트이다. 바꿔 말하자면, 수직샤프트가 없으면 연돌효과는 발생하지 않는다. 수직샤프트와 인접공간과의 소통 면적이 커서 공기의 이동이 자유로우면 그 두 공간 사이가 균압화되어 연돌효과는 줄어든다. 이것은 하나의 수직 샤프트 내부에서 샤프트 외부로 통하는 면적이 클 경우만이 아니라 여러 개의 샤프트에 뚫린 작은 개구부 면적 합이 클 경우에도 마찬가지이다. 따라서 승강기 샤프트, 환기 샤프트, 아트리움, 중정(inner court), 덕트 샤프트 등 샤프트가 많을 경우에는 연돌효과가 현저히 줄어든다. 이러한 여러 샤프트의 복합효과를 적절히 분석하여 활용하면 연돌효과를 적절히 제어할 수 있다.

일반적인 오피스 빌딩은 개방형 평면이어서 승강기 샤프트가 승강기 문의 틈새를 통하여 거실로 직접 소통하는데, 그 틈새가 비교적 크기 때문에 균압효과가 크고 승강기 샤프트와 화장실 배기 샤프트가 상호 복합효과를 일으키기 때문에 연돌효과가 비교적 작게 나타난다.

2.3 연돌효과가 연기전파에 미치는 영향

고층건물은 대개 승강로와 거실 사이가 승강장 출입문 한 겹만으로 격리되어 있으며 문의 틈새가 비교적 넓어 공기의 소통이 자유로운 편이다. 이런 구조는 승강로와 거실의 균압화를 이루어 연돌효과를 줄이는 긍정적인 면도 있으나 화재시 연기의 소통도 그만큼 자유로워서 연기의 유력한 전파경로가 된다. 화재시 연기는 일반적으로 화재층을 먼저 채운 후 고층부로부터 오염시키며 차례로 아래층으로 내려온다. 연기는 공기보다 가벼워서 상승경향이 있으므로 일단 수직 샤프트로 들어가기만 하면 신속히 상승하여 최상층부터 채우면서 내려오게 되는데, 연돌효과가 이런 경향을 촉진하게 된다. 겨울철 연돌효과로 인해 건물의 저층부에서는 샤프트가 실내공기(또는 연기)를 빨아들이고 고층부에서는 샤프트에서 실내로 공기(또는 연기)가 밀려나가게 되며, 샤프트 안에서의 상승속도도 연돌효과에 의한 유동 때문에 더 빨라지기 때문이다. 그러므로 연돌효과를 줄임으로써 건물 내 가장 큰 연기이동경로를 차단하는 효과와 함께 승강기 이용상의 여러 가지 불편을 해소하는 효과를 얻을 수 있다.

3. 승강기 샤프트 연돌효과 저감에 대한 고찰

3.1 연기전파 측면의 고찰

수직샤프트에서 연기전파의 문제는 샤프트와 거실사이의 공기유동방향이 저층부에서와 고층부에서 서로 반대되기 때문에 생긴다. 즉 저층부에서는 빨아들이고 고층부에서는 밀어내어 연기를 신속히 전파시키는 펌핑 기능이 문제이다. 그러므로 공기의 유동방향을 같게 하여 모든 층에서 연기를 빨아들이지 않든가 모든 층에서 연기를 빨아들이되 어느 층으로도 밀어내지 않도록 하면 연기의 전파문제는 해소된다.

건물 1층에서 승강기 승강로를 외기로 개방하면 겨울철에는 건물의 거의 모든 층에서 승강로가 양압이 되고 연기가 승강로로 빨려들지 않게 된다. 또한 승강로의 꼭대기 부분에 대형 개구를 설치하여 개방하면 건물의 거의 모든 층에서 승강로가 음압이 되고 승강로로 빨려든 연기가 꼭대기의 대형개구로 배출되어 승강로가 배연타워의 역할을 하게 된다.

이 두 가지 방법이 모두 건물 내 연기전파를 막을 수 있으나, 건물 상층부 또는 하층부에 극심한 차압을 조성함으로써 승강기 사용상의 불편을 더 심화시킬 수 있고, 승강로를 배연타워로 사용하는 것은 여름철 역방향 연돌효과 하에서는 오히려 역효과를 초래할 수 있다.

3.2 승강기 사용 측면의 고찰

혹한기에 초고층 건물의 승강기는 1층에서 부압이

크게 발생하여 승강기 문의 작동에 장애가 생기는 경우도 있다. 대개 건물의 외부 출입문을 이중으로 하고 외벽의 누설요소를 줄이는 등 건물 외피를 보강함으로써 승강기 문에 작용하는 부압을 완화하는데, 화재 등 비상상황에서는 피난 및 소방대 진입을 위해 건물의 외부 출입문을 개방해야 하기 때문에 건물 외피 보강은 화재 시에 도움이 안 된다.

승강기 승강로 벽에 개구를 설치하여 승강로와 거실 사이를 균압화 하면 승강로와 거실 사이의 차압을 줄일 수 있다. 이렇게 차압을 줄임으로써 승강기 사용 측면의 불편을 해소할 뿐 아니라 연기의 유입경향도 줄일 수 있다. 승강로벽의 개구에 연기감지기 연동 폐쇄형 댐퍼를 설치하여 화재층에서만 폐쇄하도록 하면 화재층에서 연기가 유입되는 것을 줄일 수 있다.

3.3 승강기를 피난용으로 사용하는 문제

화재 시에 승강기를 보호할 공인된 방법이 없기 때문에 화재 시 승강기를 사용하는 것은 대단히 위험하다. 그러나 초고층 건물에서 계단만을 이용하는 피난에 한계가 있고 또한 승강기를 이용하려는 건물사용자들의 심리를 완전히 극복하기 어려우므로, 승강기를 피난용으로 사용할 수 있도록 신중히 고려할 필요가 있다. 일부 상업용 피난 시뮬레이션 프로그램에서는 승강기도 피난수단의 한 가지 옵션으로 고려하고 있다. 승강기를 피난용으로 사용하기 위해서는 승강로에 연기가 들어가지 않도록 해야 한다. 미국과 유럽의 건물 설계 기준에서는 연기의 전파를 막기 위하여 승강로 가압을 원칙으로 하고 있는데 연돌효과에 의한 음의 차압을 극복할 만큼 승강로를 가압하면 건물의 일부 층에서 차압을 극대화하여 오히려 장애를 초래할 수 있다. 앞의 3.2에서 논한 바와 같이 승강로 벽에 개구를 설치하여 승강로와 거실 간의 차압을 줄이면서 적당한 가압으로 차압 조절을 하면, 승강로에 연기의 유입을 막아 화재 시 피난용으로 승강기 사용 가능성을 높일 수 있다.

4. 시뮬레이션 분석

4.1 시뮬레이션 모델 및 조건

앞에 설명한 요인들을 고려하여 60층, 건물 높이 241 m의 고층 건물에 대해 시뮬레이션을 실시한 결과를 Figure 2와 Figure 3에 나타내었으며, 시뮬레이션 대상 평면의 간단한 모델을 Figure 1에 나타내었다. 이 평면은 가상의 개방형 건물평면으로서 건축법령의 기본적 요구조건인 두 개의 특별피난계단을 설정하였고,

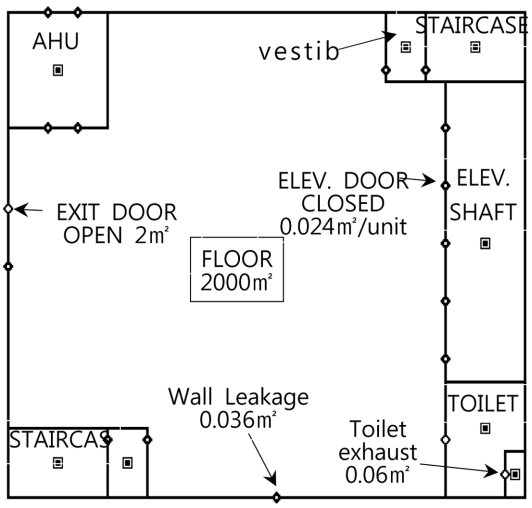

Figure 1. Simulation modeling plan (1st floor).

일반적인 구조를 반영하여 공조실, 화장실, 5대의 승강기를 반영하였으나, 비상용 승강기는 반영하지 않았다. 시뮬레이션 Tool은 미국의 NIST(National Institute of Standard and Technology)에서 보급하는 CONTAMW3.0을 사용하였다. 피난 시의 경우를 가정하여 1층의 외부출입문은 개방면적 2 m^2로 열었고, 각 계단실 문은 열지 않았다. 승강기 승강로에는 승강기 5대가 수용되어 있으며, 각 승강기 문의 누설틈새 면적은 0.024 m^2이다. 외벽누설면적은 NFPA92A의 표 4.6.1의 Tight wall 기준을 적용하여 외벽면적의 0.5×10^{-4}로 하였다. 화장실배기 fan은 감지기와 연동 정지하면서 면적 1 m^2의 자연배기구가 옥상에서 개방된 것으로 보았고, 화장실배기구의 방화댐퍼는 화재초기 작동하지 않으므로 0.06 m^2의 환기구 면적이 개방된 것으로 보았다. 계단실 문은 닫힌 상태이며 공조실이 외기에 접하는 부분은 화재감지와 연동하여 모두 닫힌 것으로 하였다. Network model simulator인 CONTAMW3.0에서는 각 실의 면적을 고려하지 않으므로 각 구획공간의 면적은 기록하지 않았다.

4.2 시뮬레이션 결과

Figure 2로부터 Figure 5까지의 그래프에서 차압이 음의 크기로 나타난 것은 거실 쪽의 압력이 높아서 승강로로 공기가 밀려들어가는 것이고, 차압이 양의 크기로 나타난 것은 그 반대의 현상을 나타낸다. Figure 2는 겨울철 외기온이 영하 10 ºC일 때의 일반적인 경우이다. 1층에서 연돌효과에 의해 185.5 Pa의 강한 차압이 승강로로 작용하며, 2층에서는 19.8 Pa의 승강로

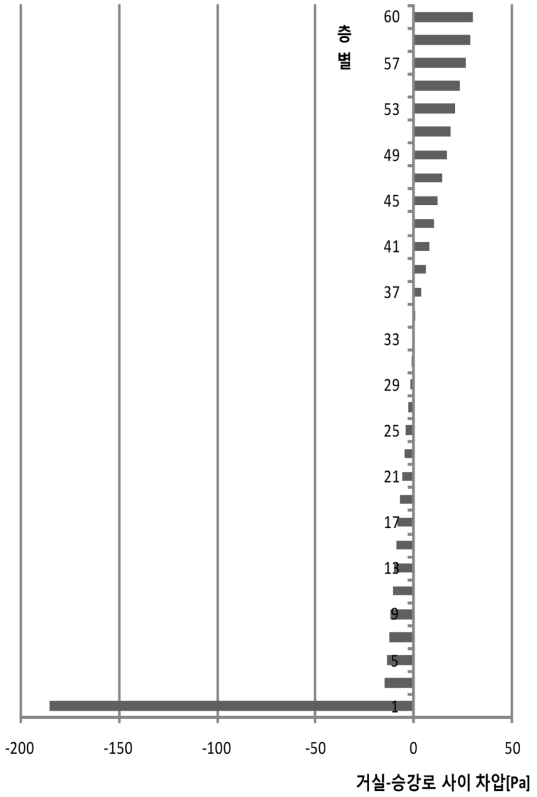

Figure 2. Pressure difference in normal case.

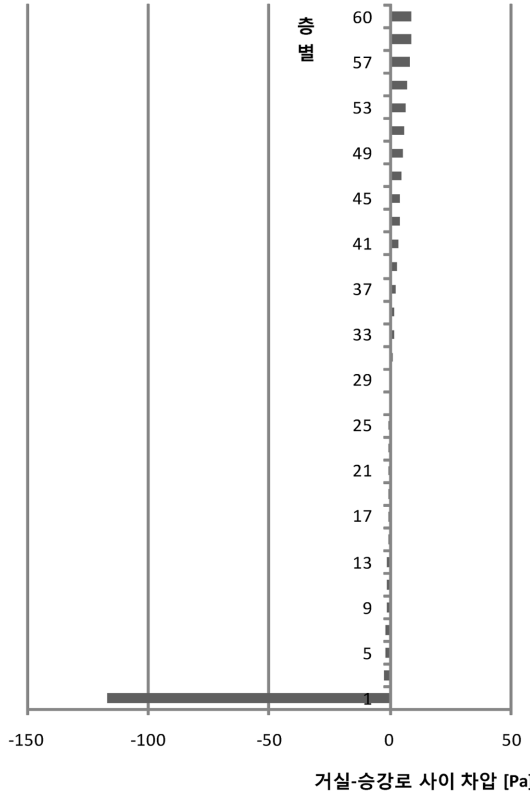

Figure 3. Wall Openings made on every floor (1st floor opening 1 m^2, over 2nd floor 0.2 m^2).

방향 차압, 최상층에서는 29.7 Pa의 거실 방향 차압이 작용한다. 중성대는 34층이다. 이 상태에서는 저층부의 연기가 승강로를 통해 고층부로 전파될 수 있고, 미국의 건축 Code인 IBC 2012에서 승강기 문에 작용하는 차압을 최대 67 Pa로 제한하고 있는 것을 감안하면, 1층에서 승강기 문의 작동 장애가 일어날 수 있다. Figure 3은 각 층 승강로 벽에 거실 쪽으로 개구를 형성한 경우이다. 1층에는 면적 1 m^2, 2층 이상의 층에는 면적 0.2 m^2의 개구를 만들었다. 이 경우 1층의 차압은 116.8 Pa로 줄었고, 2층에서는 2.3 Pa의 승강로 방향 차압, 최상층에서는 8.9 Pa의거실 방향 차압이 작용한다. 중성대는 27층이다. 각 층에 면적 0.2 m^2의 작은 개구를 설치한 것만으로도 연돌효과는 상당히 개선되었고, 개구의 크기가 커질수록 연돌효과의 개선폭도 커질 수 있다. 그러나 건축구조만을 이용한 자연적인 상태에서는 하층부에서 승강로로 거실 공기(연기)가 흡입되는 현상을 완전히 막을 수가 없고, 특히 1층에서 승강기 문을 승강로 안으로 밀어붙이는 큰 차압을 해소하기 위해서는 비현실적인 규모의 급기로 가압하거나 외부로 통하는 대형 개구부를 두어야 하는데, 그러할 경우 상층부의 승강기 문에 아주 큰 차압이 형성된다. 그러므로 Figure 4와 Figure 5에서는 승강로를 가압하여 하층부의 음압을 없애는 것을 시도하였다.

Figure 4와 Figure 5는 1층 승강로 벽에만 면적 1.5 m^2의 개구를 만들고 1층에서 외부로부터 35 m^2/s의 공기를 공급하여 가압한 것이다.

1층 승강로 벽의 개구는 화재시 피난층으로 소환된 승강기 5대 중 3대가 문이 열려있는 상황을 가정한 것이다. 각 층의 화장실 배기구는 자동화재탐지설비와 연동하여 닫힌 것으로 하였다.

Figure 4는 외기온도가 –10 ºC이고 실내기온이 20 ºC인 상황에서 대규모 급기로 인해 승강로 내부 기온이 그 중간인 5 ºC가 되는 조건으로 시뮬레이션 한 것이다. 1층에서는 62.2 Pa의 차압이 발생하고, 2층 이상에서는 20 Pa로부터 32.6 Pa까지 비교적 고른 차압이 발생하였다. 이 차압은 NFPA92A에서 정하는 차압(스프링클러가 있는 경우 12.5 Pa 이상)을 만족하며, IBC

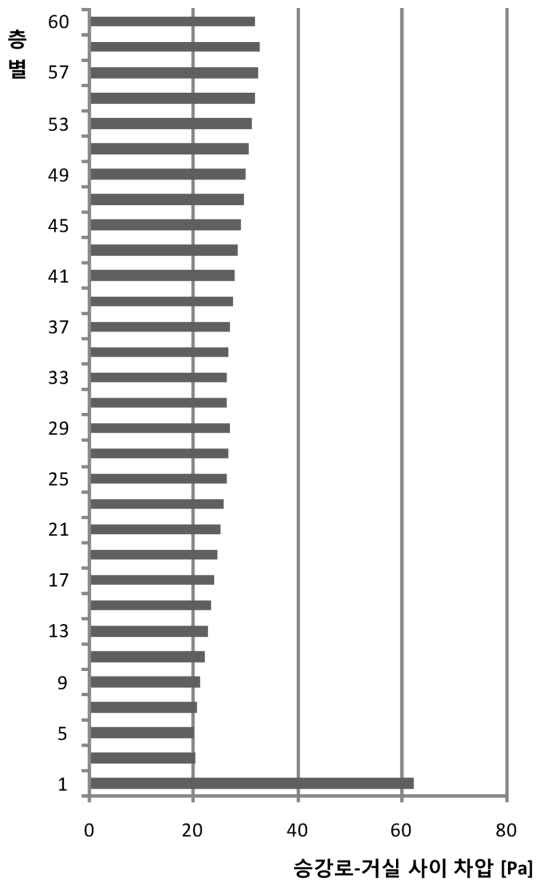

Figure 4. Wall opening only on 1st floor 1.5 m^2, pressurized from 1st floor, 35 m^3/s (winter).

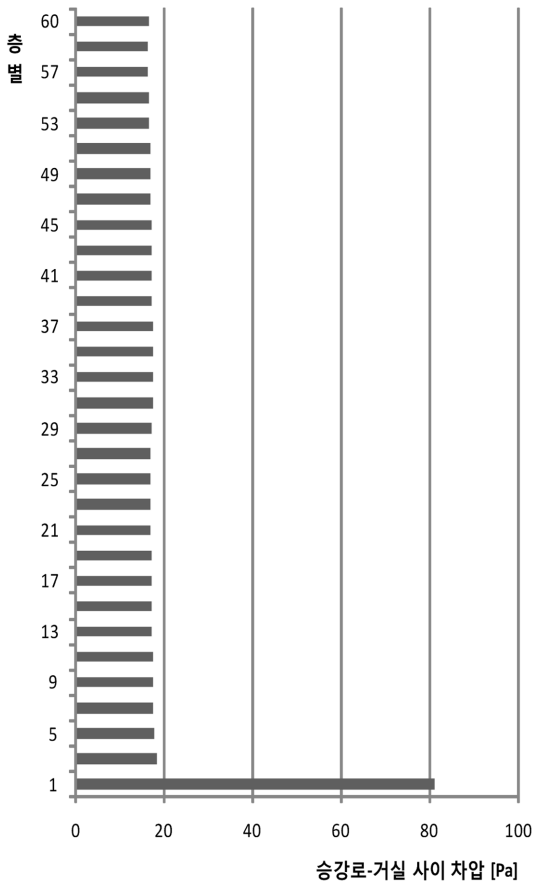

Figure 5. Wall opening only on 1st floor 1.5 m^2, pressurized from 1st floor, 35 m^3/s (summer).

2012에서 정하는 차압범위(25~67 Pa)와도 근사하다.

Figure 5는 외기온도가 33 ºC이고 실내기온이 25 ºC인 상황에서 대규모 급기로 인해 승강로 내부 기온이 그 중간인 29 ºC가 되는 조건으로 시뮬레이션 한 것이다. 1층에서는 81.2 Pa의 차압이 발생하고, 2층 이상에서는 16.4 Pa로부터 18.5 Pa까지 차압이 고르게 발생하였다. 이 차압은 NFPA 92A에서 정하는 차압을 만족한다. 2층 이상에서는 IBC 2012에서 정하는 차압의 하한에 조금 못 미치며, 1층에서 규정차압의 상한을 넘는다. 급기량을 조금 더 늘리면 2층 이상의 전층에서 IBC 2012의 요구조건인 25~67 Pa 범위의 적정압력을 조성할 수 있을 것으로 판단되지만, 1층에 나타나는 초과압력을 67 Pa 이내로 억제하기 어려워 좀 더 연구가 필요하다. 어느 경우에나 가장 불리한 연돌효과의 상황을 고려한 것이므로 NFPA 92A의 규정차압 이상이면 실용상 지장이 없을 것으로 판단되며, 또한 경험상 82 Pa 정도의 차압에서 승강기 문의 장애가 심각하지 않을 것으로 판단한다.

Figure 4와 Figure 5에서 승강로 벽의 개구부가 없음에도 불구하고 비교적 고른 차압이 나오는 것은 승강기 5대의 문 틈새면적 합계가 상당히 커서 그 자체만으로도 균압효과가 크고, 대규모 가압용 급기 때문에 승강로 내부 온도가 낮아졌기 때문이기도 하다.

5. 결 론

초고층 건물의 승강기 승강로에 대한 이상의 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

■ 승강로와 거실 사이에 공기의 소통이 가능하도록 승강로 벽에 개구를 만들면 연돌효과에 의한 차압을 줄일 수 있으며, 개구가 클수록 차압 완화 효과도 커진다.

■ 승강로를 가압함으로써 승강로를 통한 연기의 전

파를 막을 수 있다. 특히 1층의 승강로에 개구가 클수록 차압분포가 고르게 되며, 모든 승강기가 1층에서 도어를 열고 있을 때에는 NFPA 92A와 IBC 2012의 규정조건에 가까운 차압분포를 얻을 수 있다.

■ 승강로를 적절히 가압함으로써 승강기를 이용한 피난 가능성을 높여준다.

■ 1층의 외부 출입문을 닫으면 1층 거실과 승강로가 대형 개구를 통하여 균압화됨으로써 차압이 거의 상실되지만 1층은 피난층으로서 화재 가능성을 고려할 필요가 없으므로 문제가 없다. 그러나 1층에서도 화재 가능성을 고려하여야 한다면 피난경로가 1층 거실을 거치지 않도록 승강기로부터 외부까지의 안전 피난경로를 별도로 만들어야 한다.

참고문헌

1. J.S. Kim, A Study on Reducing Method for Stack Effect in High-rise Building, Proceedings, Korean Society of Hazard Mitigation 2011 Annual Conference, Cheonan, p.66(2011).
2. John H. Klote and James A. Milke, Principles of Smoke Management, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA(2002).
3. G.T. Tamura, Smoke Movement & Control In High-rise Building, NFPA, Quincy, MA(1994).
4. NFPA 92A:2006, NFPA, Quincy, MA.
5. IBC 2012, International Code Council, Washington, DC.