

고층 공동주택의 승강로가압을 이용한 차압 및 방연풍속에 관한 연구 A Study for Pressure Difference and Critical Velocity by Pressurization of Elevator Shaft at High Rise Apartment

박경환[†] · 윤명오

Kyung-Hwan Park[†] · Myong-O Yoon

서울시립대학교 재난과학과
(2011. 6. 3. 접수/2011. 8. 12. 채택)

요 약

(초)고층건축물에서 승강로가 연기 확산의 주요 통로였기 때문에 승강기를 통해 피난하는 것은 권장되지 않았다. 하지만 북미에서는 승강로를 연기로부터 방호하기 위해, 승강로를 가압하는 방식을 사용하여 왔다. 이번 시험은 실제로 승강로 급기가압 방식을 이용해서 연기 전파를 차단할 수 있는지와 피난수단으로 승강기를 사용할 수 있는지를 검증하기 위해 고층 아파트에서 실시되었다. 시험 결과 승강로가압은 공기의 이동에 의한 마찰손실이 작았기 때문에 150 CMM의 풍량에서 승강장과 세대 사이에 50 Pa의 차압을 전 층에 고르게 형성시켰다. 또한 1개층 세대 문과 승강기 문이 동시에 개방되었을 때, 180 CMM의 풍량으로 연기의 역류를 차단할 수 있는 방연풍속을 형성하였다. 그리고 승강로가압은 모든 문이 닫힌 상태에서 차압유지에 필요한 풍량과 1개층이 개방되었을 때 방연풍속을 유지하는데 필요한 풍량의 차가 작아서 과압의 우려가 낮을 것으로 예상되었다. 따라서 이번 시험을 통해 고층아파트의 화재 시에 승강로가압을 적용하면 일반인과 피난약자의 피난수단으로 승강기를 사용할 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

It is not recommended that elevator use for egress at (super) high rise buildings because elevator shaft main roles to spread of fire smoke. But in North America used to protect this area by elevator shaft pressurization. These tests are performed at high rise apartment to verify that elevator shaft pressurization can protect to spread of fire smoke or not. and verify to used for egress at fire. Pressurization at elevator shaft make pressure difference of 50 Pa all floor at 150 CMM because this method have low friction loss from air flow. Also when dwelling door and elevator door are opened that critical velocity is performed to protect of back-layering from fire room for escape routs by 180 CMM. Therefore through out these pressurization tests by elevator shaft are estimated to have less overpressure because supply air difference are low between to satisfy critical velocity at one door opened and maintain to pressure difference all doors closed. Finally we verified that disable or residual people can use elevator for egress at fire by elevator shaft pressurization.

Key words : Fire, smoke control, Elevator shaft pressurization, Pressure difference, Critical velocity

1. 서 론

화재에서는 많은 양의 연기가 발생하고, 이 연기는 부력, 굴뚝효과, 바람, 팽창과 피스톤 효과에 의해 건물 전체로 확산된다. 일반적으로 건축물의 화재에서 연기는 인간의 생명을 빼앗는 주된 원인으로 알려져왔다.¹⁾

특히 석유화학 제품이 건축물의 내장재와 가구등에 많이 사용되면서 연기의 발생량과 독성은 더욱 증가하였다. 대연각호텔 화재를 포함해서 많은 인명피해를 발생시킨 대부분의 화재에서 연기는 화재실로부터 계단, 승강기, 공조용 덕트를 통해 건물 전체로 이동하였다.²⁾ 이런 사고의 경험을 통해 연기의 확산을 저지하기 위한 공학적인 연구와 더불어 법적인 기준들이 강화되어 왔다.

[†]E-mail: kwfree21@hanmail.net

화재 연구의 선진국이라고 할 수 있는 미국과 캐나다의 Tamura와 Klote를 중심으로 피난경로의 압력을 화재실보다 높게 유지하여 연기 이동을 제한하기 위한 많은 시험을 수행하였다. 이들은 계단실 가압, 승강로 가압, 특별피난계단의 부속실과 승강기의 승강장 가압 및 여러 방식을 조합한 제연방식을 시험하였다. 그들은 많은 시험에서 피난경로의 차압 분포와 문이 개방되었을 때 연기 역류를 방지하기 위한 방연풍속을 연구하였다. 이런 연구를 통해 그들은 승강로를 직접 가압하는 제연방식이 수직개구부인 승강로를 통한 연기의 수직 이동을 제한할 수 있는 매우 효과적인 수단임을 증명하였다.^{3,4)}

건물의 피난안전을 주로 다룬 NFPA 101에서는 화재 시 승강기를 사용했을 때 연기에 노출되는 위험에도 불구하고 장애인, 노인, 어린이 등 피난 약자들에게는 승강기가 하나의 피난수단이 될 수 있다고 제시하고 있다.⁵⁾ 또한 2001년 미국 무역센터 붕괴 사고가 발생한 이후에는 승강기를 이용한 피난은 피난약자뿐만 아니라 (초)고층 건물의 일반 재실자도 이용할 수 있도록 건축기준을 변경하였다.⁶⁾

우리나라의 경우에도 비상용승강기의 승강로를 연기로부터 보호하기 위해, 1995년 특별피난계단 및 비상용승강기 부속실 제연에 대한 기술기준을 제정하였고,⁷⁾ 이후 2006년에는 이 기술기준을 화재안전기준으로 변경하였다.⁸⁾ 이 과정에서 최초 부속실만을 급기대상으로 하던 것이 계단실 및 그 부속실 동시 제연, 부속실만 단독 제연, 계단실 단독 제연 및 비상용승강기 승강장 단독 제연으로 방식이 확대되었다. 하지만 아직은 승강로 가압 방식은 허용하지 않고 있다.

승강로를 이용한 급기가압방식과 관련된 중요한 연구들이 국내에서 다수 진행되었다. 김학중은 승강기의 이동에 의해 발생하는 압력변동에 대한 연구를 통해 피스톤효과를 측정하여 승강로 형식별로 최소 4 Pa에서 최대 29 Pa까지 압력변동이 있음을 실증하였다.⁹⁾ 박재현은 비상용승강기의 승강로를 가압하는 현장 시험을 통해 제연효과를 향상시켰다고 제시하고 있다.¹⁰⁾ 또한 최금란은 기존 건물의 승강기 승강로를 가압함으로써 얻을 수 있는 이점을 제시하고 있다.¹¹⁾

다른 한편 건축법에서는 초고층에 대한 정의를 신설하고, 초고층 건축물에는 피난전용 승강기의 설치를 의무화할 예정이다.¹²⁾

이런 국내외 여건의 변화를 고려해서 승강로 가압 제연방식이 연기의 이동을 차단하고, 피난경로를 연기로부터 방호할 수 있는지를 검증하기 위해 이번 시험이 실시되었다. 특히 우리나라가 다른 나라에 비해 고

층 공동주택이 많다는 점을 고려해서 이번 시험은 비상용승강기 승강장과 특별피난계단의 부속실을 겸용하는 20층 공동주택에서 실시되었다.

2. 연구방법

이번 시험은 승강로를 직접 가압함으로써 건물 전체의 차압분포와 화재실로 가정된 세대의 문이 열리는 경우에 세대 문에서 발생하는 기류속도 분포를 측정하는 것을 목표로 하였다. 시험의 대략적인 개요는 아래 Table 1에 제시하였다.

T01에서는 모든 층의 계단실 문, 부속실 문 및 승강기 문이 닫힌 상태에서 급기를 해서 건물 전체의 압력 분포를 측정하였다. T02에서는 화재층으로 가정된 2층의 세대 문 1개와 승강기 문이 동시에 열린 상태에서 건물 전체의 차압분포와 2층 세대의 개방된 문에서 기류속도 분포를 측정하였다. T03은 20층 세대 문과 승강기 문이 동시에 개방된 상태에서 압력분포와 방연풍속분포를 측정한다. 방연풍속 측정은 가로 1m, 세로 2m인 문을 가로로 5등분, 세로로 8등분하여 40개소를 측정하였다.

여기서, 150 CMM의 풍량은 부속실과 세대 사이 차압이 약 50 Pa를 만족시키는 것을 확인하고 정한 값이다. 마찬가지로 180 CMM도 세대에서 방연풍속을 측정하였을 때 평균 방연풍속이 0.7 m/s 이상을 만족하는 것을 확인하여 정한 값이다.

승강기 승강장과 세대 및 계단실의 차압을 측정하기 위해서 차압측정용 호스를 2개 층 마다 세대와 부속실, 부속실과 계단실 사이에 설치하였다. 급기가압은 지하 2층의 승강기 문을 개방한 후 대형송풍기에 직경 900 mm 후렉시블 튜브를 연결하고, 인버터형 송풍기를 이용해서 실시하였다. 측정은 송풍기의 풍량이 정상치에 도달한 후, 공기유동과 누설량의 변화가 적은 10분 이후에 시작되었다. 측정에 사용된 장비는 아래와 같다.

Table 1. Abstraction of Test

| Test No | Test Condition | Result |
|---------|---|---|
| T01 | all elevator door closed, supply air 150 CMM | only pressure difference |
| T02 | 2nd floor elevator door open, supply air 180 CMM | pressure difference & critical velocity |
| T03 | 20nd floor elevator door open, supply air 180 CMM | pressure difference & critical velocity |

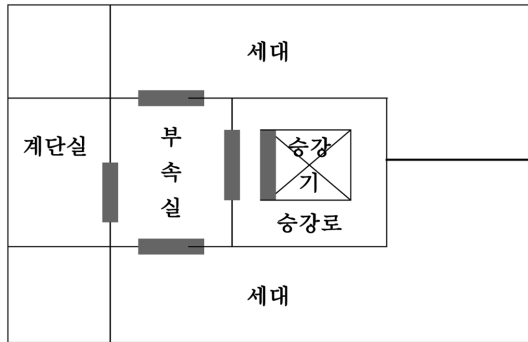


Figure 1. Plan of test building.

① 대형 송풍기: 풍량 최대 450 CMM × 300 Pa (AXIAL FAN)

② 풍량 측정 장치: 태흥 Airtron Flow

③ 3차원 풍속측정기: KAIJO wa590

시험대상물의 평면은 Figure 1과 같이 비상용승강장과 특별피난계단의 부속실을 겸하고, 부속실에는 2개 세대가 연결되는 계단식구조이다. 굵은선은 세대 문(방화문)과 계단실 문(방화문) 및 승강기 문을 표시한 것이다. 승강기 문은 양쪽으로 여닫는 구조이고, 세대와 계단실 문은 미닫이 구조이다.

3. 시험결과

3.1 승강기 문이 완전히 닫힌 상태 압력분포

Figure 2는 승강기 문이 모두 닫힌 상태에서 지하1층에서 150 CMM으로 급기를 할 때, T01에서 형성된 차압분포를 보여준다. 부속실-세대 사이의 차압(점선)은 2층을 제외하고 모든 층에서 50~53 Pa로 매우 균등하게 측정되었다. 반면 계단실-부속실의 차압(실선)은 매우 고르지만, 차압은 부속실-세대 사이보다 다소 낮았다. 이때 부속실-세대 사이의 차압은 각 세대의 창문이 개방된 상태여서 다소 높게 측정된 것으로 추정된다. 반면 계단실-부속실의 차압은 계단실이 닫혀 있었기 때문에 일부 급기가 계단실에서 축적되어 압력차가 작아진 것으로 판단된다. 다른 층에 비해 2층에서 차압이 많이 떨어진 것은 지하2층에서 공급한 공기의 유동에 의해 정압이 낮아졌기 때문인 것으로 추정된다.

이 결과를 보면, 하나의 계단실 문과 2개의 세대 문이 있는 부속실-세대 사이의 차압을 약 50 Pa로 유지하려면 약 7.1 CMM/층(150 CMM/21층) 정도의 급기량이 필요함을 알 수 있었다. 이 결과는 승강로를 가압하는 제연설비의 설계자료로 사용될 수 있을 것이다.

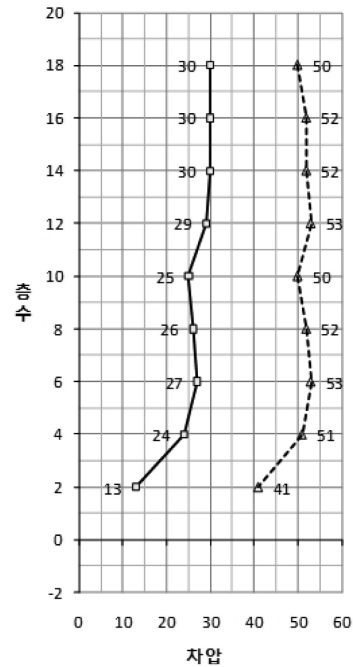


Figure 2. Result of T01(solid line ΔP stair-부속실, dotted line ΔP 부속실-room).

결과적으로 승강로 가압은 체적이 큰 공간에 급기를 하기 때문에 유동에 의한 압력손실이 매우 작았다. 그 결과 급기 지점에 가까운 몇 개 층을 제외하면 급기 지점부터 끝 지점까지 전체적으로 균일한 압력분포를 형성시킬 수 있음을 알 수 있었다.

3.2 1개 층 승강기 문 개방된 상태

3.2.1 압력분포

Figure 3은 2층의 승강기 문과 세대 문 1개가 동시에 개방된 상태에서 측정된 T03의 차압분포 결과이다. 측정 결과, 2층의 세대 문이 개방된 상태에서 계단실-부속실과 부속실-세대 사이의 차압은 19~21.5 Pa이었고, 계단-부속실의 차압은 17~18.7 Pa이었다.

Figure 4는 20층 승강기 문과 세대 문 1개가 동시에 개방된 상태에서 측정된 차압 분포 결과이다. 실선은 계단실-부속실 사이의 차압을 나타낸 것으로, 14~18층까지는 압력차가 21~23 Pa로 상당히 높게 유지되었다. 반면 4~12층까지는 12~13 Pa로 조금 낮게 유지되었다. 또 부속실-세대 사이의 차압을 보여주는 점선은 15~20 Pa로 상당히 높았다. 2층에서 계단실-부속실, 부속실-세대 사이의 차압이 급격히 낮아진 것은 T01의 결과와 같이 지하2층에서 공급한 공기의 유동에 의해 정압

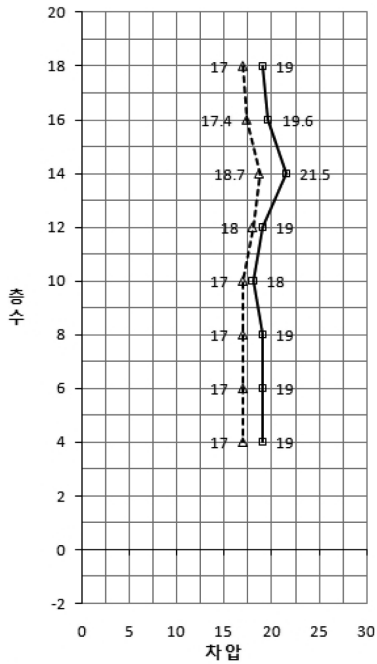


Figure 3. Result of T02(solid line ΔP stair-부속실, dotted line ΔP 부속실-room).

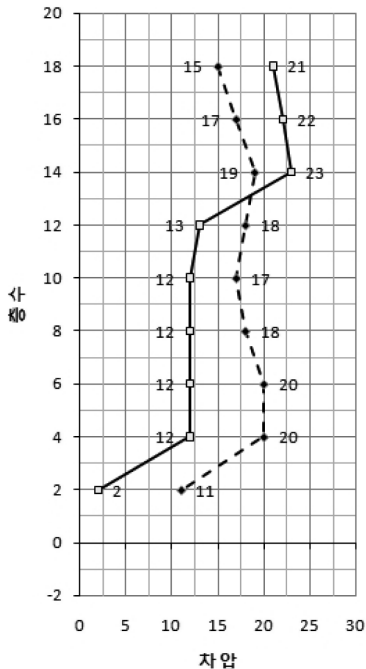


Figure 4. Result of T03(solid line ΔP stair-부속실, dotted line ΔP 부속실-room).

이 낮아진 결과를 반영한 것으로 판단된다.

결과적으로 승강로가압은 승강기의 문이 닫힌 상태와 개방된 상태 사이의 풍량 차이가 작은 상태에서도 계단실-부속실, 부속실-세대 사이에 높은 차압을 형성시킬 수 있었다. 그리고 저층부와 고층부의 차압 분포도 급기지점에 가까운 2층을 제외하고는 매우 고르게 나타났다.

3.2.2 방연풍속 분포

T02와 T03 시험에서는 차압분포뿐만 아니라 개방된 문에서 형성되는 기류 속도의 분포도 측정하였다.

먼저 Table 2는 2층을 화재층으로 가정하고 실시한 T02 시험에서 세대 문에서 측정된 속도분포를 보여준다. 세대 문 전체에서 측정된 평균 기류 속도는 0.97 m/s였다. Table 2에서 음영으로 처리한 22개 지점의 평균 풍속은 0.8 m/s이고, 중심부의 18개 지점의 평균 풍속은 1.16 m/s였다. 결과적으로 180 CMM 중 116 CMM은 2층의 개방된 승강기 문틈을 통해 세대 문으로 이동하였고, 나머지 64 CMM은 비개방된 승강기 문틈을 통해 각 층의 부속실을 가압하는데 사용된 것으로 추정되었다.

Table 3은 20층 승강기 문과 세대 문이 동시에 개방된 상태인 T03에서 측정된 풍속 분포를 보여준다. 세

Table 2. Result of T02 (Velocity Distribution)

| | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 1.00 | 0.59 | 0.34 | 0.42 | 0.29 |
| 0.91 | 1.20 | 1.27 | 1.22 | 1.07 |
| 0.45 | 1.21 | 1.11 | 0.97 | 0.85 |
| 1.14 | 1.34 | 1.20 | 1.23 | 0.91 |
| 0.73 | 1.20 | 1.04 | 0.88 | 0.76 |
| 0.90 | 1.08 | 1.37 | 0.92 | 0.44 |
| 1.16 | 1.39 | 1.35 | 0.94 | 0.76 |
| 1.32 | 1.28 | 1.30 | 0.67 | 0.37 |

Table 3. Result of T03 (Velocity Distribution)

| | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 0.83 | 0.90 | 0.88 | 0.34 | 0.27 |
| 0.67 | 1.22 | 1.14 | 0.46 | 0.41 |
| 0.23 | 1.16 | 1.35 | 1.19 | 0.43 |
| 0.72 | 1.25 | 1.14 | 1.00 | 0.72 |
| 1.14 | 1.24 | 1.12 | 1.08 | 1.22 |
| 1.06 | 1.16 | 1.26 | 0.40 | 0.50 |
| 1.00 | 0.25 | 1.00 | 0.85 | 0.42 |
| 0.52 | 1.30 | 0.74 | 0.49 | 0.21 |

대 문에서 측정된 평균 풍속은 0.83 m/s로 T02에 비해 조금 낮아졌다. 또 음영으로 표시한 문틀 주위의 22개 지점에서 측정된 평균 풍속은 0.68 m/s, 중심부 18개 지점의 평균 풍속은 1.02 m/s였다. 이것은 약 100 CMM의 공기가 개방된 승강기 문틈을 통해 세대 문으로 이동하였고, 나머지 80 CMM이 비개방된 층을 가압하는데 사용된 것으로 추정되었다. 따라서 개방된 승강기 문의 위치가 급기지점에 가까우면 개방된 문틈 사이로 유동하는 공기량이 증가하고, 그 결과로 방연풍속도 증가하는 것을 알 수 있었다.

4. 결과 및 분석

이번 승강기의 승강로를 급기가압하는 제연방식에 대한 시험을 통해 다음과 같은 결과들을 얻을 수 있었다.

- 1) 승강로가압 방식은 부속실-세대 사이에 50 Pa 이상의 충분한 차압을 형성시켜서 승강로를 통한 연기의 확산을 방지할 수 있음을 확인하였다.
- 2) 승강로는 단면적이 넓어서 공기 유동에 의한 압력 손실이 작기 때문에 급기지점과의 거리에 따른 압력감소가 거의 없었다. 그 결과 전 층의 부속실-세대 사이에 높고, 고른 차압을 형성시켰다.
- 3) 전 층의 승강기 문과 세대 문 및 계단실 문이 닫힌 상태에서 약 50 Pa의 차압을 형성시킬 수 있는 공기량은 150 CMM이었다. 이 값을 통해 층 당 누설량(즉 차압 유지에 필요한 급기량)은 약 7.1 CMM 정도인 것으로 추정되었다.
- 4) 180 CMM으로 급기하는 경우, 2층 승강기 문과 세대 문이 동시에 개방된 상태에서 세대 문에서 측정된 평균 풍속은 약 1.16 m/s였다. 같은 방법으로 20층 세대 문에서 측정하였을 때는 평균 풍속이 0.97 m/s이었다. 20층 평균 풍속이 낮아진 것은 개방된 승강기 문이 먼 경우에 공기유동 경로가 길어져서 더 많은 공기의 누설이 발생한 결과로 추정되었다.
- 5) 세대 문에서 측정된 풍속분포를 보면, 문 주위에서의 속도는 시험 T02와 T03에서 각각 0.8 m/s와 0.68 m/s로 나타났다. 이 값은 중심부에서 측정된 1.16 m/s와 1.02 m/s에 비해 낮은 것이다. 하지만 전체적으로는 연기의 역류를 방지하는데 충분한 풍속을 형성하였다.
- 6) 승강로를 급기가압하는 방식은 과압의 우려가 상대적으로 작을 것으로 예상되었다. 왜냐하면 모든 문

이 닫힌 상태에서 차압을 유지하는데 필요한 풍량(150 CMM)과 1개층 문이 개방되었을 때 방연풍속을 만족하는데 필요한 풍량(180 CMM)의 차이가 작기 때문이다.

7) 결과적으로 승강로를 급기가압하는 방식은 승강로를 통한 연기의 이동을 차단할 수 있고, 또한 화재실의 연기의 역류를 차단할 수 있음을 확인하였다. 따라서 이 방식을 이용함으로써 승강기를 이용한 피난을 안전할 수 있을 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. W.G. Berl and B.M. Halpin, "Human Fatalities from Unwanted Fires", J. Hopkins APL Tech., pp.129 (1980).
2. 한양대학교 건축설비·환경 공학 연구실, "대연각호텔 화재", 한국화재소방학회, Vol.2, No.2, pp.82-87(1988).
3. G.T. Tamura and J.H. Klote, "Experimental Fire Tower Studies of Elevator Pressurization Systems for Smoke Control", ASHRAE Transactions(1987).
4. G.T. Tamura and J.H. Klote, "Experimental Fire Tower Studies on Mechanical Pressurization to Control Smoke Movement Caused by Fire Pressures", Fire Safety Science - Proceedings of the Second International Symposium of the International Association for Fire Safety Science(2010).
5. NFPA, "Handbook of Life Safety Code"(2000).
6. ICC, "International Building Code"(2009).
7. 내무부, "특수장소에 부설된 특별피난계단 및 비상용 승강기의 승강장에 설치되는 제연설비에 관한 기술기준"(1995).
8. 소방방재청, "특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC501A)"(2006).
9. 김학중, 김범규, 박용환, 임채현, "엘리베이터 승강로 형식별 압력변동에 관한 실험 연구", 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.3, pp.139-144(2010).
10. 박재현, "승강기 승강로 가압에 의한 비상용승강기승강장 차압 및 방연풍속 성능 개선", 한국화재소방학회지, Vol.4, No.2, pp.139-144(2008).
11. 최금란, 유승관, 윤명오, "기존 건축물의 승강로 화재 안전성능 개선 방안에 관한 연구", 한국화재소방학회 춘계학술발표회, pp.303-310(2010).
12. 국토해양부, "건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 일부개정령(안) 입법예고"(2011).