

엘리베이터 승강로의 유량계수 산정에 관한 실험 연구 An Experimental Study on the Estimation for the Flow Coefficient of Elevator Hoistway

김학중

Hak-Joong Kim

초당대학교 소방행정학과

(2011. 11. 8. 접수/2012. 1. 19. 수정/2012. 2. 10. 채택)

요 약

최근 건축물이 대형화, 복잡화되면서 건축물내 거주자의 피난 안전성이 관심의 초점이 되고 있다. 초고층 건물의 경우 화재 발생 시 계단을 통한 피난에 시간이 많이 소요되고 특히, 장애인의 경우 계단을 통한 피난 자체가 불가능할 수 있다. 이에 거주자의 피난에 엘리베이터를 이용하는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 엘리베이터를 피난에 이용하기 위하여 엘리베이터 승강로가 연기에 오염되지 않도록 하는 연구의 일환으로 엘리베이터 운행 시 승강로 내의 유량계수를 실험을 통하여 살펴보았다. 유량계수는 엘리베이터 피스톤 효과의 양을 결정짓는 중요한 인자이다. 본 연구의 결과는 엘리베이터 피스톤 효과에 대한 연구의 기초 데이터로 활용 가능하다. 실험은 3층과 2층 건물 5곳의 엘리베이터 승강로에서 수행하였으며, 실험 결과 평균 유량계수는 0.954이며 99.99% 신뢰도를 위해 4 σ 를 적용하였을 경우 유량계수가 0.86으로 나타났다. 이 결과는 Klote와 Tamura가 제안한 0.83보다 3.6%가 큰 값이며, 동일 조건의 엘리베이터 운행 시 피스톤 효과에 의한 최대 계산 압력이 약 7% 감소함을 의미한다. 이 결과는 현재의 초고층 건물의 제연성능 평가 시 엘리베이터 피스톤 효과의 최대 임계압력을 적용할 경우 보다 실제적이고 작은 값을 적용하여 경제성을 확보할 수 있다는 것을 의미한다.

ABSTRACT

Recently, evacuation safety of building resident become the major concern, as the building has been higher and more complicated. Required evacuation time using stairway is longer in high-rise buildings, moreover it is impossible for the disabled to evacuate by using stairway. For this reason the study on the effectiveness of using elevator for evacuation is progressing. This study shows the flow coefficient of hoistway when elevator is moving. The results of this study can be used for the study of elevator piston effect as basic data. Experiments were performed in 5 different hoistways at 3-story and 2-story buildings. According to the result of flow coefficient experiments, average flow coefficient is 0.954. Considering the 4 σ to guarantee 99.99% reliance, it is 0.86. This result is 3.6% bigger than 0.83 that Klote and Tamura suggested. It represents that the maximum critical pressure is decreased about 7% on the same condition of elevator and elevator shaft. When the smoke control performance of high-rise building is evaluated, the result is significant economically by applying a more realistic and less value of elevator piston effect.

Key words : Elevator evacuation, Piston effect, Smoke control, Flow coefficient

1. 서 론

초고층 건물의 경우 다양한 형태의 엘리베이터가 적용되며 엘리베이터가 고속 운동을 하게 된다. 엘리베

이터 고속 운행에 의한 피스톤 효과는 엘리베이터 속도, 엘리베이터 카의 단면적, 엘리베이터 승강로와 카 사이의 유출면적, 건물 내 누설틈새에 의해 영향을 받는다. 초고층 건물에서의 피스톤 효과는 화재 시 화재실 내의 화염 및 연기를 건물 상부로 전파하는 문제점을 발생시키는 요인으로 작용하므로¹⁾ 국내에서도 이에

E-mail: khj4513@hanmail.net

대한 지속적인 연구 및 개선이 필요하다. 그러나 화재 시 소방방재적인 측면에서의 피난안전 및 연기확산에 대한 연구는 극히 초기 단계인 실정이다. 국내의 경우 1996년 변현섭에 의해 실제 건물에서의 승강로 내 엘리베이터 운행에 의한 승강장과 승강로 사이의 압력변동에 관한 실험이 수행되었다. 그 결과 연돌효과와 피스톤 효과가 혼합된 압력변동 값을 취득하였으나,²⁾ 엘리베이터와 승강로 사이의 유량계수는 접근하지 못하였다. 국외의 경우 1980년대에 Tamura와 Klote에 의하여 실험동에서의 실험과 시뮬레이션을 통하여 엘리베이터 운행에 의한 피스톤 효과와 엘리베이터와 승강로 사이의 유량계수 산정이 수행되었다. 그러나, 건축기술과 엘리베이터 성능이 발달됨에 따라 승강로와 엘리베이터의 공기 누설환경이 변화하여 피스톤 효과와 유량계수에 대한 새로운 연구가 필요하게 되었다.

특히, 최근 건립이 급증하고 있는 초고층주상복합건물의 경우 건물의 특성상 엘리베이터 수직샤프트의 길이가 길고 엘리베이터 속도가 빨라 화재 발생 시 피스톤 효과에 의한 연기확산이나 피난장애 등의 문제점이 크게 발생될 것으로 예상된다. 이러한 피스톤 효과의 문제점 및 위험성은 건물의 압력분포에 따라 결정되는데 이는 수직 압력분포와 수평 압력분포로 구분할 수 있다. 수직압력분포는 엘리베이터 운행에 의한 정압과 부압이 발생하고 수평 압력분포는 구획요소의 압력분담률이 피스톤 효과와 함께 작용하여 압력분포를 형성한다. 이렇게 형성되는 압력분포는 건물 내에서 수평 또는 수직방향으로의 기류흐름을 가지는데 이러한 기류흐름은 화재발생 시 연기확산의 구동력이 된다.³⁾

이에 초고층 건물을 대상으로 엘리베이터 운행 시 발생하는 피스톤 효과의 최대 임계 압력값을 산정하기 위하여 유량계수 산정 실험을 통하여 엘리베이터 카와 승강로 벽 사이의 유량계수를 산정하였으며 이 결과값을 초고층건물 제연설비 설계 시 피스톤 효과에 의한 압력값을 선정하는데 활용하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험 목적 및 방법

엘리베이터 피스톤 효과에 영향을 미치는 주요인자로는 엘리베이터 속도, 누설틈새 면적, 승강로의 면적, 승강로와 엘리베이터 사이의 유량계수 등이 있다. 이 중 엘리베이터 속도, 누설틈새 면적, 승강로 면적은 각 건물의 구조나 엘리베이터 사양에 의해 결정되는 변수이나 유량계수의 경우 엘리베이터 승강로 형식별로 상

수값이다.

유량계수 산정 실험은 엘리베이터 피스톤 효과에 영향을 미치는 주요 인자 중 승강로와 엘리베이터 사이의 유량계수를 계산하기 위한 기초데이터를 확보하는 실험이다.

Klote와 Tamura는 승강로와 엘리베이터 사이의 유량계수를 결정하기 위하여 12층 건물의 2대의 엘리베이터가 운행하는 샤프트에서 실험을 수행하였다. 이 실험을 통하여 2대의 엘리베이터가 동시에 운행하는 경우 유량계수는 0.83을 제시하였다.⁴⁾

하지만, 이 실험은 2대의 엘리베이터를 동시에 운행하여 1개의 승강로에 1대의 엘리베이터가 운행하는 것과 유사한 효과를 나타내도록 시도한 실험이며 실험도 12층 건물 1 곳에서만 이루어져 실험 결과에 대한 의구심이 잔존한다. 이런 이유로 엘리베이터 유량계수를 결정하기 위한 실험을 실제 건물에서 수행하여 정확한 승강로와 엘리베이터사이의 유량계수를 제시하는 것이 본 실험의 목적이다. 피스톤 효과는 1 승강로에 1대의 엘리베이터 카가 존재하는 상태에서 가장 크게 발생하므로⁵⁾ 1 승강로 1 엘리베이터 카에 대한 유량계수 실험을 수행하여 결과를 산정하고자 한다.

실험은 저층용 엘리베이터를 승강로 형식별로 선정하여 엘리베이터 문 및 기계실 개구부를 밀봉하고 엘리베이터를 운행할 때 엘리베이터 상부 및 하부의 압력과 속도를 다음과 같은 방법으로 측정하였다.

- (1) 저층건물 엘리베이터 선택(1shaft 1car)
- (2) 전층 엘리베이터 도어 밀봉 및 기계실 밀봉(기계실 내부 밀봉)
- (3) 엘리베이터 최하층에 정지
- (4) 절대압력계 압력단자를 엘리베이터 하부 승강로에 설치
- (5) 최하층에서 최상층까지 엘리베이터 운행
- (6) 최상층에서 최하층까지 엘리베이터 운행
- (7) 엘리베이터 최상층에 정지
- (8) 절대압력계 압력단자를 엘리베이터 상부 승강로에 설치
- (9) 최상층에서 최하층까지 엘리베이터 운행
- (10) 최하층에서 최상층까지 엘리베이터 운행
- (11) 승강로 온도, 승강장 온도, lobby · 건물외부에서 절대압 측정
- (12) 엘리베이터 운행 시 엘리베이터 속도 측정

엘리베이터 운행 시 측정 결과인 엘리베이터 상·하부 압력차이 값과 엘리베이터 속도 및 승강로의 사양 및 구조 데이터를 활용하여 유량계수를 산정하였다. 승강로의 사양 및 구조데이터는 건물 도면과 엘리베이터

Table 1. Elevator Specification for the Flow Coefficient Tests

Description	EL.1	EL.2	EL.3	EL.4	EL.5
Shaft Type	1 shaft 1 car	1 shaft 1 car	1 shaft 1 car	1 shaft 1 car	1 shaft 1 car
Rated Capacity	900 kg, 13 persons	900 kg, 13 persons	1,000 kg, 15 persons	1,000 kg, 15 persons	1,350 kg, 20 persons
Rated Velocity	1 m/s	1 m/s	1 m/s	1 m/s	0.75 m/s
Door Type	2 door center operate	2 door center operate	2 door center operate	2 door center operate	2 door center operate
Floor Number	B1F~2F	B1F~2F	1F~3F	1F~3F	1F~3F
Elevator Use	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled
Manufacturer	Sinsung	Sinsung	Sinsung	Sinsung	Taewha

도면의 데이터를 활용하였다.

2.2 대상건물 및 측정장비

유량계수 실험은 저층용 엘리베이터가 적용된 3곳의 건물에 설치된 5대의 엘리베이터를 선정하여 수행하였으며, 사양은 Table 1과 같다.

본 실험의 측정 장비로는 엘리베이터 운행 시 승강로내의 압력변화와 승강장의 압력을 측정하기 위하여 절대 압력계를 사용하였고, 엘리베이터 운행시간을 측정하여 속도를 계산하기 위하여 초시계를 사용하였으며, 승강장 및 승강로의 온도 측정을 위해 열선식 풍량 풍속계를 사용하였다. 절대 압력계와 열선식 풍량 풍속계의 주요 사양은 다음과 같다.

(1) 절대압계

- 측정범위: 500 hPa~5,000 hPa
- 분해능: 0.1 Pa
- 정밀도: ± 0.1 Pa

(2) 풍속 풍압계

- 측정범위: 5 °C~60 °C
- 분해능: 0.1 °C

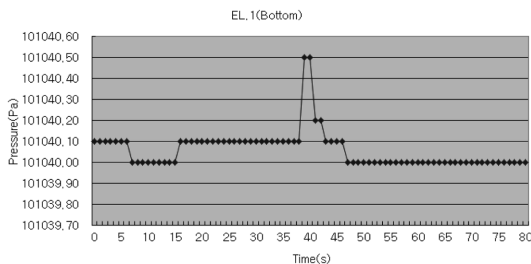


Figure 1. Pressure change at the bottom of EL.1.

- 정밀도: ± 0.1 °C

2.3 실험 결과

유량계수 산정을 위하여 총 5대의 엘리베이터에서 엘리베이터를 밀봉한 후 운행 시 압력변동을 측정하였다. 압력변동 측정결과는 Figure 1~Figure 10에 나타나 있으며, 각 엘리베이터 별 실험결과는 다음과 같다. 각 그래프의 결과값은 절대 압력 값이며 엘리베이터 운행 시간별로 승강로 내의 압력변동을 나타내고 있다. 엘리베이터 승강로가 완전 밀봉에 가깝다면 압력변동 폭

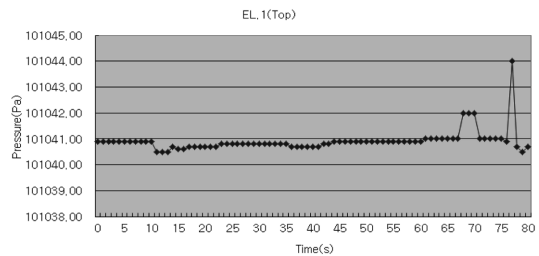


Figure 2. Pressure change on the top of EL.1.

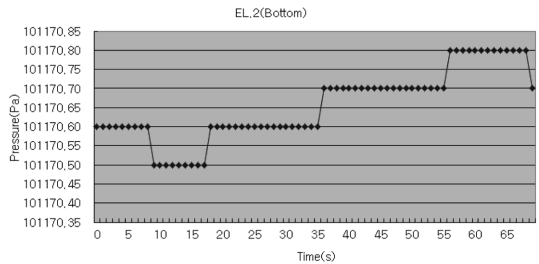


Figure 3. Pressure change at the bottom of EL.2.

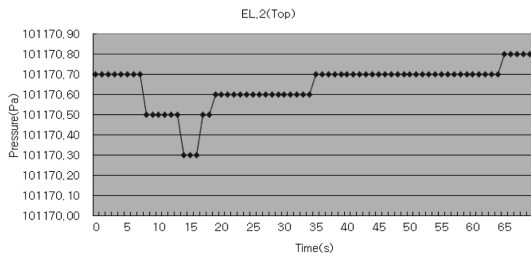


Figure 4. Pressure change on the top of EL.2.

이 클 것으로 예상되지만, 기본적인 누설틈새가 존재하므로 압력변동폭은 예상보다 작은 값을 나타내고 있다.

EL. 1의 속도는 0.48 m/s이며, 엘리베이터 하강 운행 중 엘리베이터 카 하부 사이의 최대 압력변동은 Figure 1에 나타난 것처럼 하강 운행 중 0.4 Pa이 발생하였고, 상부의 최대 압력변동은 Figure 2에 나타난 것처럼 하강 운행 중 0.4 Pa이 발생하였다. 그러므로 EL. 1에서의 상·하부의 최대 압력 차이는 0.8 Pa이 발생하였다.

EL. 2의 속도는 0.5 m/s이며, 엘리베이터 하강 운행 중 엘리베이터 카 하부 사이의 최대 압력변동은 Figure 3에 나타난 것처럼 하강 운행 중 0.5 Pa이 발생하였고, 상부의 최대 압력변동은 Figure 4에 나타난 것처럼 하강 운행 중 0.4 Pa이 발생하였다. 그러므로 EL. 2에서의 상·하부의 최대 압력 차이는 0.9 Pa이 발생하였다.

EL. 3의 속도는 0.42 m/s이며, 엘리베이터 하강 운행

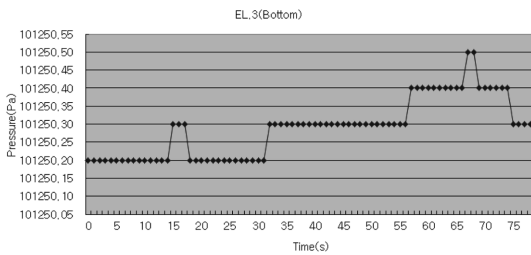


Figure 5. Pressure change at the bottom of EL.3.

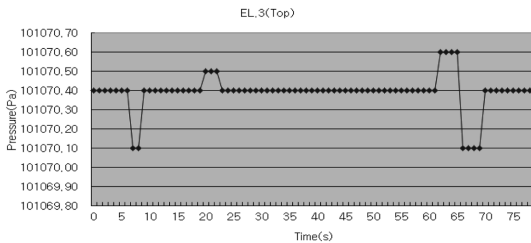


Figure 6. Pressure change on the top of EL.3.

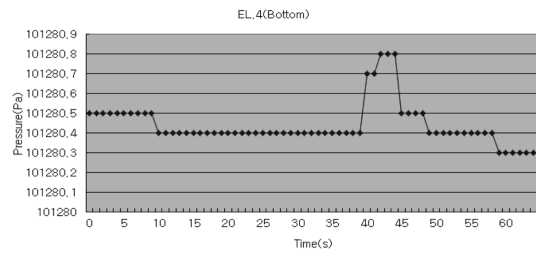


Figure 7. Pressure change at the bottom of EL.4.

중 엘리베이터 카 하부 사이의 최대 압력변동은 Figure 5에 나타난 것처럼 하강 운행 중 0.3 Pa이 발생하였고, 상부의 최대 압력변동은 Figure 6에 나타난 것처럼 하강 운행 중 0.3 Pa이 발생하였다. 그러므로 EL. 3에서의 상·하부의 최대 압력 차이는 0.6 Pa이 발생하였다.

EL. 4의 속도는 0.43 m/s이며, 엘리베이터 하강 운행 중 엘리베이터 카 하부 사이의 최대 압력변동은 Figure 7에 나타난 것처럼 하강 운행 중 0.3 Pa이 발생하였고, 상부의 최대 압력변동은 Figure 8에 나타난 것처럼 하강 운행 중 0.3 Pa이 발생하였다. 그러므로 EL. 4에서의 상·하부의 최대 압력 차이는 0.6 Pa이 발생하였다.

EL. 5의 속도는 0.35 m/s이며, 엘리베이터 하강 운행 중 엘리베이터 카 하부 사이의 최대 압력변동은 Figure 9에 나타난 것처럼 하강 운행 중 0.2 Pa이 발생하였고, 상부의 최대 압력변동은 Figure 10에 나타난 것처럼 하

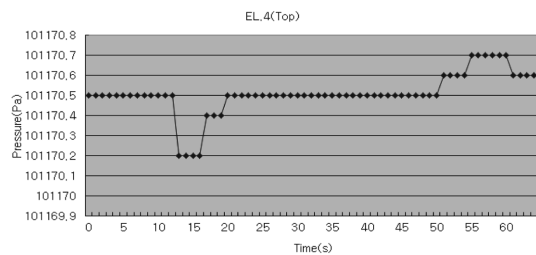


Figure 8. Pressure change on the top of EL.4

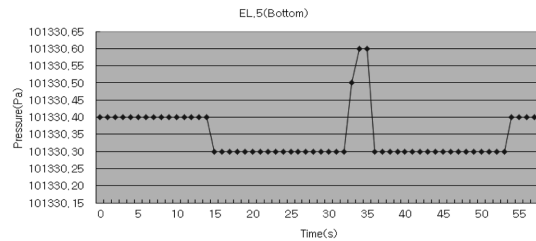


Figure 9. Pressure change at the bottom of EL.5

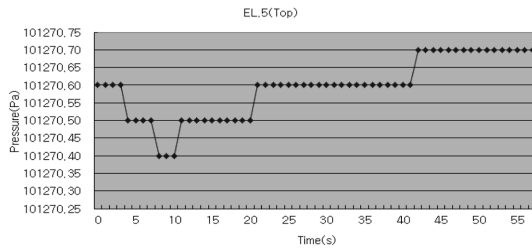


Figure 10. Pressure change on the top of EL.5

강 운행 중 0.2 Pa이 발생하였다. 그러므로 EL. 4에서의 상·하부의 최대 압력 차이는 0.4 Pa이 발생하였다.

2.4 실험 결과 분석

실험 수행 결과와 각 엘리베이터 속도, 엘리베이터 카 면적, 엘리베이터 카와 샤프트 사이의 면적 등 사양 데이터를 이용하여 식(3)을 적용하여 각 엘리베이터의 유량계수는 Table 2와 같이 산정되었다.

엘리베이터 운행에 의한 차압과 엘리베이터 속도는 실험 결과 값을 적용하였으며, 공기밀도는 실험 당시의 승강로 내의 온도를 기준으로 선정하였고, 엘리베이터 면적 및 엘리베이터 카와 승강로 사이의 유출면적은 건축도면과 엘리베이터 도면에서 취득하였다.

엘리베이터 상·하부의 압력 차이는 엘리베이터 모서리에 의한 장애와 벽면 마찰에 의하여 발생하며 엘리베이터 하부에서 상부로 이동하는 유량은 다음과 같다.

$$\dot{m}_{ba} = A_f C_c \sqrt{2\rho(P_b - P_a)} \quad (1)$$

\dot{m}_{ba} : 엘리베이터 카의 아래에서 위로의 질량흐름(kg/s)
 A_f : 카 주위의 샤프트 누설 틈새 또는 샤프트 면적에서 카의 면적을 제외한 면적(m^2)
 C_c : 카 주위의 흐름에 대한 유량계수

P_a : 엘리베이터 카 상부의 샤프트 공기 압력(Pa)

P_b : 엘리베이터 카 하부의 샤프트 공기 압력(Pa)

ρ : 샤프트에서의 공기밀도(kg/m^3)

엘리베이터 승강로에서의 누설이 없다고 가정하면 엘리베이터 카와 승강로 사이의 유량흐름은 다음과 같다.

$$\dot{m}_{ba} = \rho A_s V \quad (2)$$

A_s : 승강로 단면적

V : 엘리베이터 속도

식(1)과 (2)를 조합하여 풀면 유량계수는 다음 식으로 나타낼 수 있다.⁶⁾

3. 결 론

유량계수 실험결과 평균 유량계수는 0.954로 나타났으며, 여기에 완전 밀봉 불가능으로 인한 안전율과 측정오차 등을 고려하여 99.99%의 신뢰도를 확보하기 위하여 4시그마(σ)를 적용하면 0.86이라는 결과를 도출하였다.

일반적으로 통계 시 2시그마(σ)를 적용하지만 본 실험 결과의 경우 데이터 수량이 적어 보수적으로 4시그마(σ)를 적용하였으며 향후 실험 데이터가 누적된다면 2시그마(σ)를 적용할 수 있으리라 판단된다.

Klote와 Tamura의 실험에 의하여 제시된 유량계수 값 0.83에 비하여 3.6% 증가된 결과가 도출되었으며 이는 동일한 엘리베이터 샤프트 및 엘리베이터 카 조건에서 피스톤 효과에 의한 최대 임계압력이 유량계수의 제공에 반비례하므로 7% 정도 감소함을 나타낸다.

이 결과는 현재의 초고층 건물의 제연성능 평가 시 엘리베이터 피스톤 효과의 최대 임계압력을 적용할 경우 보다 실제적이고 작은 값을 적용하여 경제성을 확보할 수 있다는 것에 의미가 있다.

참고문헌

1. J.H. Klote, "An Analysis of the Influence of Piston Effect on Elevator Smoke Control", NBSIR 88-3751, National Bureau of Standard(1988).
2. 변현섭, "엘리베이터 승강로 내에서의 피스톤 효과에 의한 압력변동에 관한 연구", 공기조화 냉동공학회 '97 하계학술발표회 논문집, pp.134-139(1997).
3. 김학중, 김범규, 박용환, 임채현, "엘리베이터 승강로 형식별 압력변동에 관한 실험 연구", 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.3, pp.139-144(2010).
4. G.T. Tamura and J.H. Klote, "Experimental Fire

Table 2. Results of Flow Coefficient by Field Test

Description	EL.1	EL.2	EL.3	EL.4	EL.5
Pressure Difference (Pa)	0.8	0.9	0.6	0.6	0.4
Air Density (kg/m^3)	1.156	1.156	1.156	1.156	1.156
Velocity (m/s)	0.48	0.5	0.42	0.43	0.35
Elevator Section Area (m^2)	4.387	4.387	5.062	5.062	3.06
Flow Area (m^2)	1.872	1.872	2.16	2.16	1.4
Flow Coefficient	0.956	0.939	0.966	0.989	0.919

- Tower Studies of Elevator Pressurization Systems for Smoke Control”, ASHRAE Trans., Vol.93, Part.2, pp.2235-2256(1987).
5. G.T. Tamura and J.H. Klote, “Smoke Control Systems for Elevator Fire Evacuation”, Elevators and Fire, pp.83-94(1993).
 6. J.H. Klote and G.T. Tamura, “Elevator Piston Effect and the Smoke Problem”, Reprinted from Fire Safety J., Vol.11, No.2, pp.227-233(1986).