

엘리베이터 승강로 형식별 압력변동에 관한 실험 연구 An Experimental Study on the Pressure Change in the Type of Elevator Hoistways

김학중[†] · 김범규* · 박용환* · 임채현**

Hak-Joong Kim[†] · Boem-Gyu Kim* · Yong-Hwan Park* · Chae-Hyun Lim**

(주)건일엠이씨, *호서대학교 소방방재학과, **울산시설관리공단
(2010. 4. 30. 접수/2010. 6. 11. 채택)

요 약

최근 건축물이 대형화, 복잡화되면서 건축물내 거주자의 피난안전성이 관심의 초점이 되고 있다. 국내에서도 주상복합건물을 비롯하여 다양한 초고층 건물이 건설되고 있거나 건설예정이다. 초고층건물의 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 승강로 형식에 따른 엘리베이터 운행 시 승강로 내의 압력변동을 실험을 통하여 살펴보았다. 본 연구의 결과는 엘리베이터 피스톤 효과에 대한 연구의 기초 데이터로 활용 가능하다. 실험은 4가지 형태의 엘리베이터 승강로에서 수행하였으며 엘리베이터 승강로 형식별로 압력변동폭이 크게 차이가 났다. 실험 결과 1개의 승강로에 1대의 엘리베이터가 설치되어 운행되는 형태의 승강로에서의 압력변동이 가장 크고 1개의 승강로에 다수의 엘리베이터가 설치되어 운행되는 형태의 승강로에서의 압력변동은 상대적으로 작은 값을 나타내었다.

ABSTRACT

Recently, evacuation safety of building resident become the major concern, as the building has been higher and more complicated. Many high-rise multi use buildings are under construction in Korea. 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 pressure change in various types of hoistway when elevator is moving. Experiments were performed in 4 different types of hoistway, and showed big difference in pressure change between the type of hoistway. The pressure change in single hoistway that have one car is bigger than that in multi hoistway that have multi cars. The results of this study can be used for the study of elevator piston effect as basic data.

Key words : Elevator evacuation, Piston effect, Smoke control

1. 서 론

최근 건축물이 대형화, 복잡화됨에 따라 거주자의 피난안전성 확보가 주요 관심사로 떠오르고 있다. 특히, 초고층건물의 경우 화재 발생 시 유일한 피난통로인 계단을 통한 피난에 시간이 많이 소요되고, 장애인의 경우 계단을 통한 피난이 불가능할 수 있다. 이에 거

주자의 피난에 엘리베이터를 이용하는 방법이 연구되고 있다. 거주자의 피난안전성 확보를 위하여 다양한 건축적, 설비적인 방법이 있다. 거주자의 피난안전성에 큰 영향을 주는 요인 중의 하나가 화재 시 발생하는 연기이다. 초고층 건축물내에서 연기의 유동에 영향을 주는 요인으로는 연돌효과, 부력, 공조설비에 의한 유동, 바람의 영향, 엘리베이터 피스톤 효과 등이 있다. 화재 시 승강로에서의 연돌효과에 의한 연기유동과 엘리베이터 운행에 의한 피스톤효과로 인하여 승강장에

[†]E-mail: khj4513@hanmail.net

유입된 연기가 승강로로 유입되거나 유입된 연기가 다른 층으로 확대될 위험이 있다.

Klote와 Tamura는 화재시 연기제어를 위하여 엘리베이터의 움직임으로 인한 압력변동의 영향을 연구하였다.¹⁾ 엘리베이터의 움직임에 의한 피스톤효과 실험, 연기제어를 위한 엘리베이터의 실험타워에서의 압력 시스템 및 화재 시 피난을 위한 엘리베이터의 연기제어 설계 방법 등을 연구하였고 고층건물에서의 공기압력 분포에 대한 문제점들을 제시하였다.²⁾

이렇게 실험타워를 통한 실험 및 연구, 연기제어기술을 제시하였으나 실제 사람들이 거주하는 건물에는 적용실험을 하지 못하였으며 국내의 경우 실험타워를 통한 연구도 수행하지 못하고 있는 실정이다.

본 연구는 엘리베이터를 피난에 이용하기 위하여 엘리베이터 승강로가 연기에 오염되지 않도록 하는 기초 연구로 엘리베이터 승강로 형식에 따른 엘리베이터 운행 시 승강로 내의 압력변동을 실제 건물에서 실험을 통하여 살펴보았다. 본 연구의 결과는 초고층 건물의 제연설계 시 엘리베이터 피스톤 효과를 분석하는데 기초자료로 활용 가능하리라 판단된다.

2. 본 론

2.1 엘리베이터 관련 국내·외 법적 기준

현재 국내 건축물에는 건축물의 층수가 6층 이상으로 연면적이 2,000m² 이상일 경우 승강기를 설치하여 수직 이동수단으로 사용하고 있으며, 건축물의 높이가 31m를 넘으면 일반용 승강기외에 비상용 승강기를 별도로 설치하여야 한다.³⁾

비상용승강기는 31m를 넘는 층의 바닥면적을 기준으로 설치대수를 정하며, 2대 이상을 설치하는 경우에는 화재 시 소화에 지장이 없도록 일정한 간격을 두고 설치하도록 되어있다.⁴⁾ 이 비상용승강기는 피난수단으로 설치하는 것이 아니라 소방대의 소화 및 구조활동에 사용하는 것을 목적으로 한다.

승강장 및 승강로의 구조는 내화구조로 갑종방화문으로 격리되는 것을 기본으로 하고 승강장과 승강로로의 연기유입을 자연배기 또는 제연설비에 의해 차단하며, 야간 및 정전시에도 소방대의 소화활동을 위하여 조명시설을 갖추도록 되어있다.⁵⁾

미국의 경우 Life Safety Code에 승강기를 피난경로의 일부로 하는 것은 금지되어 있으나 예외규정으로 지하의 집회시설에 대해서는 승강기를 비상시의 피난수단으로 요구하고 있다. 또한, Uniform Building Code에서는 장애자에 대해 4층 이상인 경우 승강기를 장애

인의 요구피난 통로로 하도록 규정하고 있다.

영국의 경우 승강기를 기본적으로 피난경로로 인정하지 않으나 자력피난이 곤란한 장애인을 계획적으로 피난시키는 방법으로 승강기를 허용하고 있으며, 일본의 경우에는 고령화 사회에 대비하여 화재 시의 승강기를 통한 피난안전에 대해 검토를 시작하였다.

2.2 피난용 엘리베이터의 필요성 및 문제점

건축물이 고층화, 심층화됨에 따라 수직 피난경로가 길어져 피난시간이 지연되어 재해약자에 대한 피난대책이 필요하다. 20층 이상의 고층건물에서는 계단을 통한 직접피난이 체력의 한계로 곤란하며 심층 지하공간에서는 계단을 올라가야 하므로 체력부담이 커서 승강기의 이용이 필요하다.⁶⁾

이러한 문제점을 개선하기 위하여 피난용 엘리베이터를 적용할 수 있으나 피난용 엘리베이터의 적용에는 다음과 같은 문제점이 있다.

(1) 엘리베이터를 이용하여 피난하는 사람들은 일정 시간 엘리베이터 문 앞에서 기다려야 하는데 이때 화염 및 연기에 노출될 위험이 있다.

(2) 자동 엘리베이터의 경우 화재 발생층에 자동으로 멈추어 문이 열리면서 승객들이 화재와 연기에 노출될 가능성이 있다.

(3) 현대식 엘리베이터의 경우 문이 완전히 닫히기 전에는 운행되지 않는다. 화재 시 사람들이 엘리베이터에 몰릴 경우 엘리베이터 운행이 불가능할 수 있다.

(4) 화재 시 정전이 될 경우 엘리베이터가 정지되어 피난자들이 층간에 갇히는 경우가 발생할 수 있다.

(5) 소화전이나 스프링클러 작동에 의한 물이 엘리베이터의 전원이나 제어배선에 스며들어 문제를 유발할 수 있다.

(6) 엘리베이터의 운행으로 인한 피스톤효과는 연기를 엘리베이터 승강장이나 승강로로 유입시킬 수 있다.

건축물의 최대 위기상황인 화재상황에서 가장 중요한 인명 안전성 확보와 관련하여 연기위험, 즉 연소가스의 유해성인 피난상의 시각적 가시거리의 저하, 연소가스의 독성과 호흡곤란으로 인한 생리적 위험 및 화재발생 사실과 더불어 시각적, 심리적 스트레스에서 피난군집의 혼란과 비합리적이고 비이성적인 비정상적인 행동, 불안과 공포감에서 피난자를 분리시키는 대책이 필요하다. 이 대책은 연기유입의 차단, 유입된 연기의 배출 또는 희석을 통한 연기제어대책이 우선적으로 고려되어야 한다. 피난용 엘리베이터로 사용되기 위해서는 엘리베이터 피난 계획, 열과 연기의 제어 및 엘리베이터 운행통제에 대한 검토가 선행되어야 한다.

Table 1. Elevator Specification for the Test

항 목	EL.1	EL.2	EL.3	EL.4
형태	1 shaft 1 car	1 shaft 2 car	1 shaft 3 car	1 shaft 4 car
정격하중	1,000kg/15인승	1,150kg/17인승	1,150kg/17인승	1,150kg/17인승
정격속도	3m/s	2.5m/s	2.5m/s	2.5m/s
출입문형태	2문 중심 작동	2문 중심 작동	2문 중심 작동	2문 중심 작동
정지층수	B6~48(총54층)	B5~30(총35층)	B5~33(총38층)	B4~54(총58층)
용도	비상용	일반용	일반용	일반용
제조사	Thyssen Krupp	현대	Otis	현대

2.3 건축물내 연기 유동 인자

건물 화재에서 연기의 구동력은 연돌효과(Stack effect), 부력(Buoyancy), 바람의 영향(Wind effect), 공조시스템(HVAC systems), 엘리베이터의 피스톤효과(Elevator piston effect) 등을 들 수 있다.

연돌효과는 건물 내·외부간의 온도차로 인하여 발생하는 실내공기의 부력이 수직방향으로 이동하는 현상으로 온도차와 높이와의 함수이다. 연돌효과는 정상 연돌효과(Normal stack effect)와 역 연돌효과(Reverse stack effect)로 구분할 수 있는데 우리나라는 여름보다는 겨울철이 실내·외 온도차가 크게 발생하므로 여름철에 발생하는 역 연돌효과보다는 겨울철에 발생하는 정상 연돌효과에 대한 문제점들이 많이 보고되고 있다. 또한, 초고층건물에서 계단실, 엘리베이터 샤프트, 전기 및 설비 피트(Pit) 등과 같은 수직샤프트는 구조적으로 일반건물에 비해 높이가 높아 화재 발생시 연돌효과가 크게 발생하여 연기확산 및 피난장애를 유발하는 주된 위험인자가 된다.

부력은 화재에서 나오는 고온의 연소 가스는 밀도의 감소로 인해 상승하는 힘을 말하는데 이 부력은 강제 또는 자연 배기시스템의 제연원리로 사용된다.

바람에 의한 영향은 외기풍속이 높이에 따라 증가하고 풍속의 제곱에 비례하여 풍압으로 작용하므로 초고층건물의 경우 고도에 따라 증가하는 풍압이 건물 외피의 기밀도에 따라 침기를 발생시키고 이렇게 유입된 외기는 연돌효과와 함께 건물 내부 기류이동의 구동력이 되어 건물 내 압력분포에 많은 영향을 끼친다.

공조시스템에 의한 영향은 건축물의 환기 및 냉·난방을 위한 기류가 건물 내부 기류이동의 구동력이 되거나 기류가 이동하는 덕트가 연기의 이동통로가 되어 화재실이 아닌 타구역으로의 연기확산을 유발하게 된다.

엘리베이터의 피스톤효과에 의한 영향은 엘리베이터의 움직임에 따라 승강로에 압력변동이 발생하여 승강로나 승강장으로 연기 확산을 유발하게 된다.

화재 발생 시 제연과 관련하여 건축물내 연기 유동 인자에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으나 엘리베이터 피스톤효과에 대한 연구는 아직 초기 단계이다.

2.4 실험대상 엘리베이터 및 실험방법

본 실험은 국내 초고층 주상복합건물에 설치된 엘리베이터를 대상으로 수행하였다. 엘리베이터 승강로 형태는 1 승강로 1 엘리베이터, 1 승강로 2 엘리베이터, 1 승강로 3 엘리베이터, 1 승강로 4 엘리베이터로 구분하여 실험을 수행하였으며, 실험대상 엘리베이터의 사양은 Table 1에 나타나있다.

엘리베이터 운행에 따른 압력변동을 측정하기 전에 건물 외부 및 엘리베이터 승강장의 온도와 압력을 측정하였으며, 엘리베이터 운행 시 최하층의 엘리베이터 하부와 최상층의 엘리베이터 상부에서의 압력을 다음과 같이 측정하였다.

- (1) 엘리베이터 최하층에 정지
- (2) 절대압력계 압력단자를 엘리베이터 하부 승강로에 설치
- (3) 최하층에서 최상층까지 엘리베이터 운행
- (4) 최상층에서 최하층까지 엘리베이터 운행
- (5) 엘리베이터 최상층에 정지
- (6) 절대압력계 압력단자를 엘리베이터 상부 승강로에 설치
- (7) 최상층에서 최하층까지 엘리베이터 운행
- (8) 최하층에서 최상층까지 엘리베이터 운행

2.5 측정 장비

본 실험의 측정장비로는 엘리베이터 운행 시 승강로 내의 압력변화와 승강장의 압력을 측정하기 위하여 절대 압력계를 사용하였고, 엘리베이터 운행 시간을 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

- 모델명: PTB330TS
- 측정범위: 500hPa~5,000hPa
- 분해능: 1hPa
- 정밀도: ± 0.1hPa

(2) 풍속 풍압계

- 모델명: TSI-8386
- 측정범위: 5°C~60°C
- 분해능: 0.1°C
- 정밀도: ± 0.3°C

2.6 실험 결과 및 분석

엘리베이터 운행 시 엘리베이터 승강로 내의 압력 변화를 측정 한 결과 1 승강로에 1 엘리베이터의 경우 승강로에서의 압력변동폭이 가장 컸으며 상부에서의 측정값과 하부에서의 측정값에 차이를 보여주었다.

예상외로 1 승강로에 2 엘리베이터의 경우보다 1 승강로에 3 엘리베이터의 경우 승강로에서의 압력변동폭이 더 컸다.

2.6.1 1 승강로 1 엘리베이터(EL. 1)

엘리베이터 운행 시 엘리베이터 승강로 내의 압력 변화를 측정 한 결과 1 승강로에 1 엘리베이터의 경우 승강로에서의 압력변화는 Figure 1, 2와 같이 나타났다.

엘리베이터 샤프트 하부에서는 21Pa~29Pa의 압력변화를 보였으며, 엘리베이터 샤프트 상부에서는 17Pa~21Pa의 압력변화가 나타났다. 상부와 하부의 엘리베이터 운행에 따른 압력변동폭의 차이는 건물 상부에 존재하는 기계실의 압력완충역할과 기계실을 통한 누설 틈새의 증가 때문으로 판단된다.

엘리베이터 하부에서 압력측정 시 엘리베이터가 상

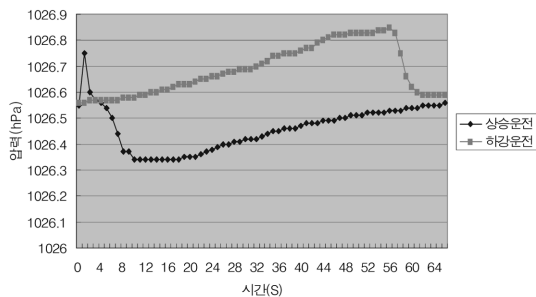


Figure 1. Pressure change at the bottom of the single hoistway.

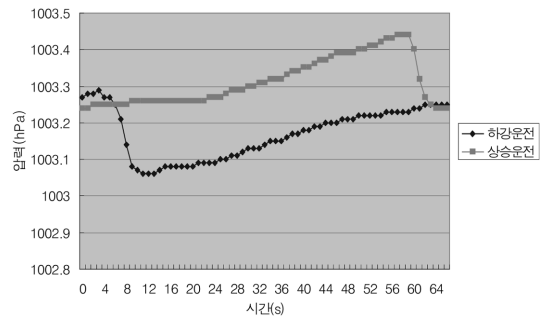


Figure 2. Pressure change on the top of the single hoistway.

승할 경우 초기에 압력이 급격히 저하된 후 서서히 회복됨을 보여주며 엘리베이터가 하강할 경우 압력이 서서히 증가하여 최하층에 도달하기 직전에 압력이 최고값에 이르는 것을 보여준다.

엘리베이터 상부에서 압력측정 시 엘리베이터가 하강할 경우 초기에 압력이 급격히 저하된 후 서서히 회복됨을 보여주며 엘리베이터가 상승할 경우 압력이 서서히 증가하여 최상층에 도달하기 직전에 압력이 최고값에 이르는 것을 보여준다.

2.6.2 1 승강로 2 엘리베이터(EL. 2)

1 승강로에 2 엘리베이터의 경우 승강로에서의 압력 변화는 Figure 3, 4와 같이 나타났다.

엘리베이터 하부에서 압력측정 시 4Pa~7Pa의 압력변화를 보였으며, 엘리베이터 샤프트 상부에서는 1Pa~4Pa의 압력변화가 나타났다. 이 경우에도 하부에서의 압력변동폭이 상부에서의 압력변동폭 보다 크게 나타났다.

EL.2의 경우 예상되는 압력변동 폭이 하부에서 23Pa, 상부에서는 16Pa 정도임에도 불구하고 EL.3보다 압력변동폭이 작았는데 이는 1개의 승강로에 설치된 엘리

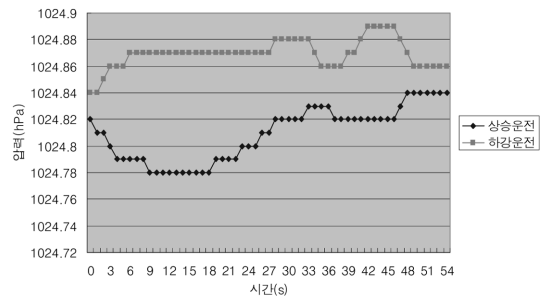


Figure 3. Pressure change at the bottom of the double hoistway.

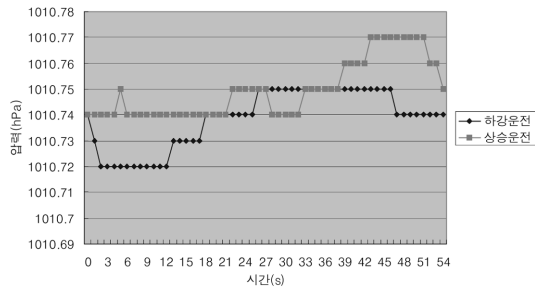


Figure 4. Pressure change on the top of the double hoistway.

베이어 수량외에 엘리베이터 승강로와 승강장사이의 누설형태 및 승강로의 유량계수, 엘리베이터의 속도 등의 변수가 승강로 내의 압력변화에 영향을 주었기 때문이라고 판단된다.

또한, 이러한 이유로 압력변동 추세가 EL. 1이나 EL. 3처럼 엘리베이터 운행 시 급격히 저하된 후 회복하거나 서서히 증가하여 최고값에 이르는 형태를 보이지 않고 거의 변동이 없는 형태를 보여주고 있다.

2.6.3 1 승강로 3 엘리베이터(EL. 3)

1 승강로에 3 엘리베이터의 경우 승강로에서의 압력 변화는 Figure 5, 6과 같이 나타났다. 압력변화의 추세는 1승강로에 1 엘리베이터의 경우와 유사하나 압력변동의 폭이 현저히 작음을 보여준다.

1 승강로에 3 엘리베이터의 경우 승강로에서의 압력 변동폭이 오히려 1 승강로에 2 엘리베이터 경우보다 크게 나타났다. 엘리베이터 샤프트 하부에서는 12Pa~15Pa의 압력변화를 보였으며, 엘리베이터 샤프트 상부에서는 7Pa~11Pa의 압력변화가 나타났다.

이 경우에도 하부에서의 압력변동폭이 상부에서의 압력변동폭 보다 크게 나타났다.

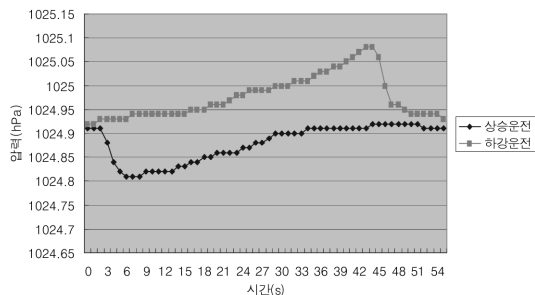


Figure 5. Pressure change at the bottom of the triple hoistway.

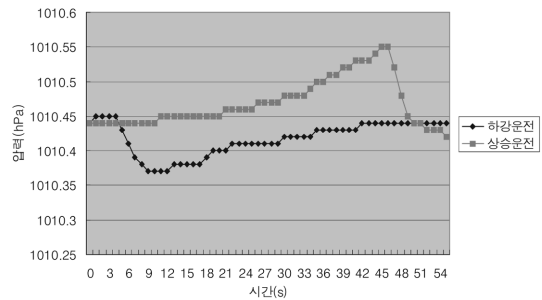


Figure 6. Pressure change on the top of the triple hoistway.

2.6.4 1 승강로 4 엘리베이터(EL. 4)

1 승강로에 4 엘리베이터의 경우 승강로에서의 압력 변화는 Figure 7, 8과 같이 나타났다. 압력변화의 추세가 전혀 다른 형태로 나타났으며 압력 증가가 예상되는 부분에서 오히려 압력이 감소하는 결과를 보여주고 있다.

승강로 하부에서 압력측정시 엘리베이터가 상승할 때는 오히려 압력이 미미하게 증가하였고 하강할 때는

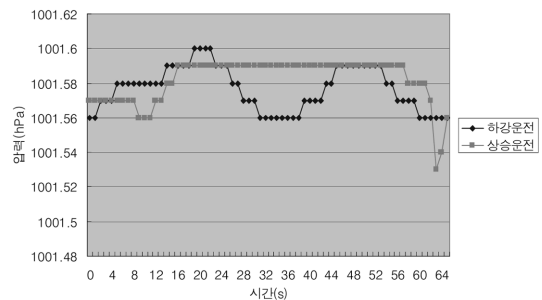


Figure 7. Pressure change at the bottom of the quadruple hoistway.

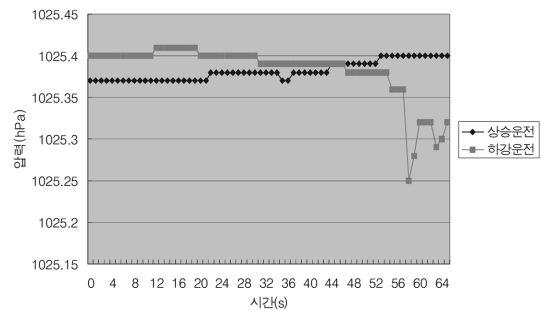


Figure 8. Pressure change on the top of the quadruple hoistway.

압력이 하강하는 현상이 나타났다.

승강로 상부에서 압력측정시에도 엘리베이터가 하강할 때 오히려 압력이 미미하게 증가하였고 상승할 때 압력이 미미하게 증가하다가 최상층 근처에서 갑자기 4Pa 정도 압력이 감소하였다.

이는 승강로가 넓은 조건에서 엘리베이터 운행에 의해 공기가 압축되지 않고 오히려 와류가 발생하여 압력이 감소한 것으로 판단된다.

이 경우 엘리베이터 운행에 따른 피스톤 효과에 의한 압력변동이라기 보다는 넓은 승강로 내부에서 공기의 유동에 의한 압력변동에 가까운 현상이라 생각된다.

3. 결 론

엘리베이터 승강로 형식별 엘리베이터 운행에 따른 승강로 압력변화를 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였으며, 향후 엘리베이터 승강로 형태별 유량계수를 도출하는 실험을 통하여 엘리베이터 운행에 따른 피스톤 효과에 대한 연구를 수행할 예정이다.

(1) 1개의 승강로에 1대의 엘리베이터가 설치된 경우 압력변동폭이 21~29Pa까지 측정되어 엘리베이터 운행에 의한 피스톤 효과가 가장 크게 나타났다.

(2) 1개의 승강로에 설치된 엘리베이터 수량이 증가할수록 압력변동폭이 작아지며, 특히 4대의 엘리베이터가 설치된 경우에는 압력증가가 예상되는 부분에서 오히려 압력이 감소되는 예상과 다른 압력변화 추세를 보여주었다. 그러나 압력 변동 폭이 4Pa 이하로 피스톤 효과로 인한 영향이 거의 없음을 알 수 있다.

(3) EL. 2의 경우 압력변동폭이 4~7Pa로 EL. 3의 압력변동폭 12~15Pa보다 오히려 작다.

이는 1개의 승강로에 설치된 엘리베이터 수량외에 엘리베이터 승강로와 승강장사이의 누설틈새 및 승강로의 유량계수, 엘리베이터의 속도 등의 변수가 승강로 내의 압력변화에 영향을 주었다고 판단된다.

(4) 동일 조건에서도 엘리베이터의 상승운전과 하강운전시 압력변동폭에 차이가 존재한다. 이는 건물 상부에 기계실이 존재하여 기계실을 통한 누설틈새의 증가와 기계실 자체의 압력완충효과 때문으로 판단된다. 그러므로 피스톤 효과를 설계에 반영 시에는 상승운전 조건과 하강운전 조건을 모두 반영하거나 두 가지 운전조건 중 더 보수적인 압력변동 값을 적용하여야 한다.

참고문헌

1. J.H. Klote and Tamura, "Experiment of Piston Effect on Elevator Smoke Control", ASHRAE Trans., Vol,93, Part 2, pp.2217-2228(1985).
2. G.T. Tamura and J.H. Klote, "Experimental Fire Tower Studies of Elevator Pressurisation Systems for Smoke Control", ASHRAE Trans., Vol,93, Part 2, pp.2235-2256(1987).
3. "건축법", 제 64조, 국토해양부(2009).
4. "건축법 시행령", 제 90조, 국토해양부(2009).
5. "건축물의 설비기준 등에 관한 규칙", 제 10조, 국토해양부(2009).
6. "화재시 승강기를 이용한 피난대책", 위험관리정보 제 164호, 한국화재보험협회, p.9.