

초고층 건축물에서 엘리베이터 구동이 부속실과 화재실 간 차압형성에 미치는 영향연구

박영기¹, 홍기배², 유홍선^{*}

¹중앙대학교 기계시스템엔지니어링학과, ²한국교통대학교 기계자동차항공공학부

The Study on the Effect of Elevator Movement on the Pressure Difference between Vestibule and Living room in High-rise Buildings

Younggi Park¹, Kibea Hong², Hong Sun Ryou^{*}

¹Department of Mechanical System Engineering, Chung-Ang University

²Department of Mechanical Engineering, Transportation of University

요약 최근 초고층 건축물에서 화재로 인해 많은 인명피해가 발생하고 있다. 특히, 화재 발생시 생성되는 유독성 가스 및 연기로 인해 많은 사망자가 발생하고 있다. 이러한 인명피해를 줄이기 위한 방안으로 제연시스템이 도입되어 있다. 제연시스템은 초고층 건축물에서 연기의 확산을 방지하고 재실자의 안전한 피난을 도와주는 장치이다. 또한, 엘리베이터를 이용한 피난은 초고층 건축물에서 필수적인 피난 방법으로 여겨진다. 하지만, 엘리베이터 구동시 생성되는 강력한 압력장 및 유동변화로 인해 제연시스템의 성능확보에 영향을 미친다.

따라서, 본 연구에서는 성능설계위주의 샌드위치 가압방식이 적용된 초고층 건축물에서 엘리베이터 구동에 따른 제연성능 확보에 미치는 영향을 실험 및 수치해석 연구로 수행하였다. 실제 초고층 건축물에서 발생하는 창문, 방화문 그리고 엘리베이터의 누설면적은 화재안전기준 및 면적비를 이용하여 산출하였다. 실제 엘리베이터 속도 7 m/s~17 m/s에 해당하는 20 m/s~100 m/s로 동역학적 상사를 통해 엘리베이터 속도를 변경하였다. 그 결과 엘리베이터 속도가 빠르면 빠를수록 부속실과 화재실 간 차압이 크게 발생하였으며 관계식은 $\Delta P=40 \cdot \exp(-Ves /-104.7)-23.735$ 로 산출되었다. 본 연구 결과는 초고층 건축물에서 엘리베이터 구동을 고려한 제연시스템 설계 자료로 활용이 가능하다.

Abstract Recently, there have been a lot of casualties due to fires in high-rise buildings. The toxic gases and smokes generated by fires in high-rise buildings spread rapidly through the elevator shaft and stairwell, due to the stack effect, and can cause critical casualties. To reduce the number of casualties, smoke control systems have been introduced. Smoke control systems play an essential role in preventing the spread of smoke in high-rise buildings and securing the evacuation route. Also, in high-rise buildings, evacuation by an elevator is considered to be indispensable. However, the pressure field in the shaft is strongly disturbed when the elevator is moving and this can affect the performance of the smoke control system.

Therefore, in this study, we experimentally and numerically analyzed the effect of elevator movement on the pressure difference between the vestibule and living room by building a model using the sandwich pressurization method based on the performance based design. To consider the leakage areas in high-rise buildings, e.g. the windows, fire door and elevator, the National Fire Safety Codes and area ratio were used. The elevator speed in the model building was varied between 20 m/s and 100 m/s corresponding to a real elevator speed of 7 m/s~17 m/s. As a result, the relationship between the pressure difference and elevator speed was found to be $\Delta P=40 \cdot \exp(-Ves /-104.7)-23.735$. This result can be used to take into consideration the effect of elevator movement when designing smoke control systems.

Keywords : Elevator movement, High-rise building, Pressure difference between vestibule and living room, Smoke control system, Sandwich pressurization method

본 연구는 한국교통대학교의 지원 및 산업통산자원부의 재원으로 한국 산업 기술진흥원(KIAT)의 지원(2014년 엔지니어링 전문 인력 양성 사업, 과제번호:N0001075)을 받아 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Hong Sun Ryou(Chung-Ang Univ.)

Tel: +82-2-820-5280 email: cfdmec@cau.ac.kr

Received November 6, 2017

Revised (1st November 27, 2017, 2nd January 4, 2018)

Accepted January 5, 2018

Published January 31, 2018

1. 서론

초고층 건축물은 인구밀집에 대한 대안책과 한 나라를 대표하는 랜드마크로서 세계적으로 활발하게 건설되고 있다. 하지만, 초고층 건축물의 화재가 끊임없이 발생하면서 화재에 대한 위험성이 대두되고 있다. 특히, 화재 발생 시 생성되는 연기는 유독성 가스와 함께 계단실 혹은 엘리베이터 샤프트를 통해서 건물 전체로 빠르게 확산되어 많은 인명피해를 야기하고 있다. 실제로 화재에 의한 인명피해보다 연기 및 유독성 가스로 인한 가시거리 미확보 및 질식사로 인한 사망자가 더 많은 추세이다 [1]. 이에 대한 대응책으로 신선한 공기의 유입과 함께 연기 및 유독성 가스의 확산을 방지하고 안전한 피난 경로를 확보하기 위한 급기가압 댐퍼를 활용한 제연시스템이 실간 차압 40~60 Pa로 유지되도록 규정하고 있다.[2][3]. 국내의 제연시스템의 경우, 계단실과 거실 사이 부속실을 제작하여 화재 발생 시 생성되는 연기 및 유독성 가스의 확산을 차압을 원리를 이용해서 제어하는 부속실 단독가압이 주로 적용되고 있다. 하지만, 연돌효과와 함께 댐퍼에서 발생하는 누설 및 압력강하로 인해 제연성능 확보가 불가능 할 수 있다. 따라서 최상층과 최하층에서의 부속실과 거실 간의 차압이 다르게 나타나 제연성능 확보가 이루어지고 있지 않다[4]. 이러한 문제점을 보완하기 위해 국외의 경우, 직상 및 직하층은 급기, 화재층은 배기를 시키는 성능설계 위주의 샌드위치 가압방식이 주로 적용되고 있으며 국내에는 제 2 롯데타워에서 처음으로 적용되었다.

또한, 미국의 ‘WTC’ 참사를 통해 초고층 건축물에서 계단만을 이용한 피난은 비효율적이고 한계가 있음을 확인했다[5]. 1992년 ASME가 주최한 “Fire and Elevators Symposium”에서 엘리베이터를 이용한 피난의 중요성을 언급하였다. 하지만, 당시의 엘리베이터의 기계적 조건 및 시스템 상의 문제로 엘리베이터를 이용한 피난은 오히려 더 많은 사상자를 야기할 수 있다고 언급하였다. 하지만, ELVAC 프로그램을 이용하여 피난 시간을 계산했을 때, 계단만을 이용한 피난시간과 엘리베이터를 함께 구동했을 때의 피난 시간을 비교하였을 때, 10%에서 50% 까지 피난 시간이 감축된다고 제시하였다[6]. 또한, 계단만을 이용한 피난 시, 계단실로 많은 재실자가 몰리는 병목현상으로 인해 많은 인명피해가 야기 될 수 있다 [7]. 따라서, 엘리베이터를 이용한 피난은 초고층 건축물

화재 발생 시 중요한 피난방법으로 대두되고 있지만 이에 대한 연구는 미비한 실정이다. 또한, Byun은 엘리베이터 구동에 따라 샤프트 내부에 강력한 압력장이 형성되는 실험 연구를 수행하였다[8]. 이 연구를 통해 초고층 건축물에서 빠르게 구동되는 엘리베이터는 제연시스템의 성능 확보에 영향을 미칠 가능성이 있음을 확인하였다. 초고층 건축물에서 화재 발생 시 제연시스템의 성능 확보는 재실자의 안전한 피난을 위해 필수적인 연구임에도 불구하고 국내외적인 연구는 미비한 실정이다.

국내의 경우, Park은 3층 모델 건축물을 이용하여 화재가 제연시스템의 성능확보에 미치는 영향을 실험적으로 수행하였으며, 수치해석 연구를 통해 실험장치에 대한 신뢰성과 실험 결과를 검증하였다[9]. 또한, Kim은 샌드위치 가압방식의 제연시스템 성능평가에 관한 연구를 FDS 및 CONTAMW 프로그램을 이용하여 수행하였다[10].

국외의 경우, Klote와 Tamura는 가압방식 종류에 따른 엘리베이터 샤프트와 건물 내부의 압력변동에 관한 수치해석 연구를 수행하였다[11]. 또한, Klote는 엘리베이터를 이용한 피난의 중요성에 대해 언급하였다[6]. 하지만, 국내외 연구들은 제연 방식 종류에 따른 영향만을 고려하고 재실자의 안전확보를 위한 필수적인 제연성능 확보에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 성능설계 위주의 샌드위치 가압방식이 적용된 초고층 건축물에서 엘리베이터 구동이 제연성능 확보에 미치는 영향을 실험적, 수치해석적으로 분석하고자 한다.

2. 본론

2.1 실험 장치

Figure 1은 엘리베이터 구동에 따른 부속실과 거실 간 차압변화를 분석하기 위한 3층 모델 건축물의 실험장치 및 개략도 이다. Park은 동일한 실험장치를 이용하여 실화재 실험을 통해 화재가 제연성능에 미치는 영향에 대해서 분석하여 실험장치의 정확성과 신뢰성을 확보하였다[9].

따라서, 본 연구에서는 동일한 실험장치를 이용하여 엘리베이터 구동에 따른 부속실과 거실 간 차압형성에 미치는 영향을 실험 및 수치해석 연구를 통해 분석하고자 한다.

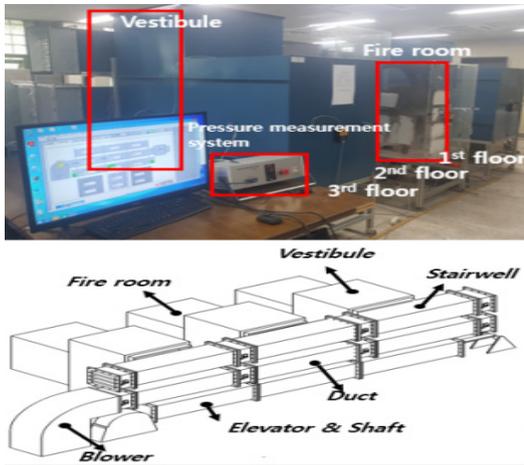


Fig. 1. 3 stories model building and schematic diagram

본 실험장치의 경우, 엘리베이터의 구동 속도가 장치의 제약으로 인해 실제 엘리베이터 속도를 구현하지 못하고 있다. 따라서, 저속의 엘리베이터에 의한 영향을 선행 분석하고 검증하였다. 그리고 수치해석 기법을 통해 실제 엘리베이터 속도를 적용하여 제연성능 확보에 미치는 영향을 분석하였다.

2.2 실험 결과

Figure 2는 엘리베이터가 1층에서부터 3층까지 구동될 때의 부속실 및 거실의 압력 변화는 나타낸다. 엘리베이터 구동 유무에 따라서 약 1 Pa의 부속실의 압력변화가 발생하였다. 거실의 경우 엘리베이터 구동 유무에 관계없이 일정한 값을 유지하고 있다. 이는 엘리베이터의 속도가 미비하기 때문에 엘리베이터 누설틈새를 통해 부속실로 유입되는 유량 또한 미비하고 거실에는 영향을 미치지 못한 것으로 판단된다. 하지만, 엘리베이터의 속도가 저속으로 구동함에도 불구하고 부속실로 유입되는 유량이 존재하면서 부속실 내부의 압력을 상승시켰다. 이는 엘리베이터 구동이 제연시스템의 성능확보에 영향을 미치는 인자임을 나타낸다.

따라서, 본 연구에서는 3층 모델 건축물을 모델링하여 실제 엘리베이터 속도에 따른 실간 압력변화에 미치는 영향을 수치해석 기법을 통해 분석하였다.

2.3 수치해석

Figure 3은 ANSYS DESIGN MODELER V13.0을 사용하여 3층 모델 건축물을 모델링한 형상을 나타내고

있다. 일반적으로 거실은 건물의 외부 벽면이므로 엘리베이터 구동 해석을 위해 거실 바깥쪽의 대기 유동을 포함하도록 해석 영역을 외부 대기영역까지 확장하였다. 해석 격자는 엘리베이터 구동을 구현하기 위해 삼각 cell로 구성하였으며, 격자 독립성 테스트를 통해 약 160만 개의 격자 수를 선택하였다. 수치해석을 위한 Inlet 조건은 실험에서 측정된 유량 값 0.144m^3 을 기반으로 적용하였으며, 창문, 방화문, 엘리베이터 누설면적 등 출구 부분에서는 Pressure-outlet조건을 적용하였다.

엘리베이터 구동을 구현하기 위해 ANSYS CFX V.13.0 Immersed solid 기능을 사용하였으며, 수렴조건의 Residual 값은 10^{-3} 이하로 유지하였다.

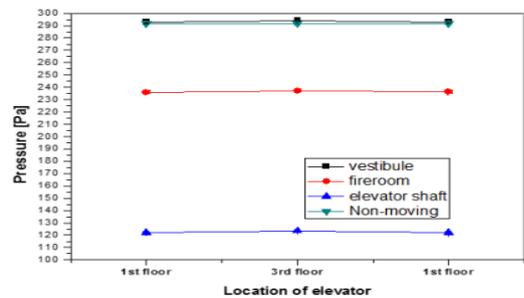


Fig. 2. The change of pressure on each room depending on elevator movement

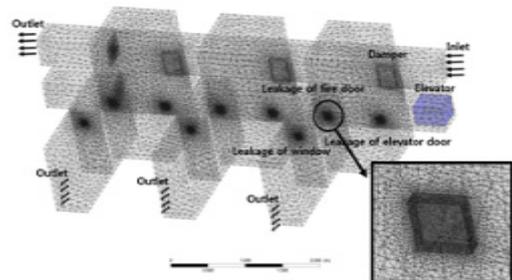


Fig. 3. Computational domain and modeling for experimental apparatus

2.4 수치해석 결과

2.4.1 해석 결과 검증

Figure 4 및 Table 1은 엘리베이터가 저속으로 구동되는 경우, 부속실 및 거실의 압력 그리고 방화문 및 창문의 방연풍속 값을 실험 및 수치해석 결과 값을 비교한 값을 나타낸다. 부속실 및 거실의 압력은 최대 6%, 그리고 방화문 및 창문의 방연풍속은 약 10%의 오차가 발생하였다.

Table 1. The validation of Experimental and Numerical Study

	Experiment	Numerical	Error rate	Experiment	Numerical	Error rate
	Non-moving			Moving on 0.6 m/s		
Vestibule	294.23 Pa	309.263 Pa	4.86 %	295.89 Pa	311.143 Pa	4.9 %
Living room	242.11 Pa	256.818 Pa	5.72 %	242.34 Pa	257.188 Pa	6.14 %
Pressure difference	52.12 Pa	52.445 Pa	0.62 %	53.55 Pa	52.955 Pa	1.11 %
Fire door	8.7 m/s	9.213 m/s	5.57 %	8.82 m/s	9.359 m/s	5.75 %
Window	20.23 m/s	18.182 m/s	10.12 %	22.25 m/s	23.887 m/s	6.12 %

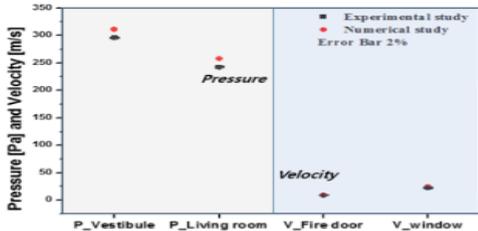


Fig. 4. Comparison of Experimental and Numerical study

이는 댐퍼 및 창문 그리고 엘리베이터 누설틈새를 해석 모델링의 간편화를 위해 유호누설면적을 적용하여 실제 모델에서 나오는 누설면적들을 하나로 표현하는 과정에서 발생하는 오차로 사료된다. 하지만, 엘리베이터 구동 유무에 따라 실험 및 수치해석 결과 값은 오차범위 최대 10% 내에서 동일한 경향성을 나타내고 있다. 따라서, 수치해석 기법의 유효성을 확인하였으며 실제 초고층 건축물 엘리베이터 속도를 적용하기 위해 엘리베이터 샤프트를 확장시켜 엘리베이터에 의한 영향을 분석하였다.

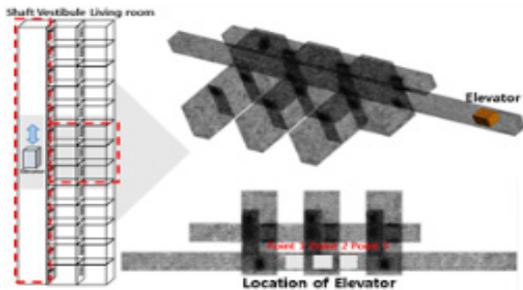


Fig. 5. Computational domain for the difference of elevator speed

Figure 5는 엘리베이터 속도를 고속으로 운행하기 위해 엘리베이터 샤프트를 확장한 도메인을 나타낸다. Point 1은 엘리베이터가 누설면적을 지나가기 전, Point 2는 엘리베이터가 누설면적 앞에 존재하는 경우, Point

3은 엘리베이터가 누설면적을 통과해서 지나갈 때의 위치를 나타낸다. 본 모델 도메인을 이용하여 초고층 건축물에 이용되는 엘리베이터 속도를 적용하여 실제 엘리베이터 속도에 따른 부속실과 거실 간 차압변화를 정량적으로 분석하였다.

2.4.2 실제 엘리베이터 속도를 고려한 부속실과 거실 간 차압변화 해석결과

Figure 6은 엘리베이터가 구동하지 않을 때의 Streamline을 나타내고 있다. 그림에서 확인할 수 있듯이, Fan에서 유입되는 송풍유량은 댐퍼를 통해서 부속실과 화재실로 유입되어 기준차압을 형성하고 있다. 또한, 부속실에서 엘리베이터 샤프트로 유동이 유입되는 것을 확인할 수 있다.

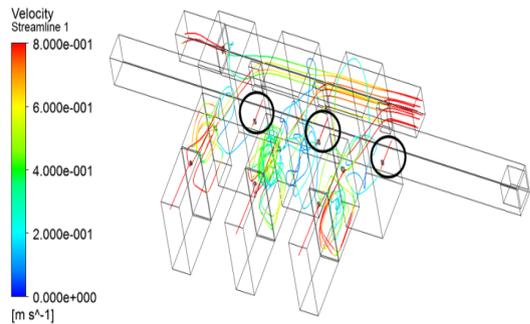


Fig. 6. Streamline when non-moving elevator

Table 2는 엘리베이터 구동에 따른 제연성능 확보에 미치는 영향을 분석하기 위하여 엘리베이터 위치 및 속도에 따른 부속실로 유입되는 유량을 나타내고 있다. 엘리베이터의 위치가 Point 1에 위치하고 10 m/s로 구동되는 경우, 엘리베이터 구동이 제연성능 확보에 미치는 영향은 미비하였다. 하지만, 엘리베이터 속도가 20 m/s 이상으로 구동되는 경우 엘리베이터 샤프트 내부의 유동을 부속실로 유입시켜 부속실의 압력을 상승시켰다.

Table 2. The mass flow rate from Elevator to Vestibule [kg/s]

	Point 1	Point 2	Point 3
10 m/s	0.031	0.027	0.046
20 m/s	-0.008	0.055	0.067
40 m/s	-0.043	0.086	0.118
70 m/s	-0.073	0.120	0.198
100 m/s	-0.138	0.170	0.256

Figure 7는 엘리베이터 속도에 따른 부속실에 미치는 영향을 velocity vector를 통해 나타내고 있다. 엘리베이터가 저속으로 구동 되는 경우, 엘리베이터 구동에 따라 부속실로 유입되는 유량이 굉장히 미비한 것을 확인할 수 있다. 하지만, 엘리베이터의 속도가 점점 증가할수록 부속실로 유입되는 유량의 양이 증가하고 미치는 영향 또한 상승하였다. Figure 8는 엘리베이터 속도에 따른 부속실과 화재실에 미치는 영향을 나타내고 있다.

엘리베이터가 10 m/s, 20 m/s로 구동되는 경우에는 급기가압 댐퍼에서 부속실로 송풍유량이 유입되었다. 하지만, 엘리베이터가 40 m/s, 70 m/s, 100 m/s 고속으로 구동되는 경우에는 부속실에서 급기가압 댐퍼로 역유입 되었다.

이는 엘리베이터 속도가 빠르면 빠를수록 부속실 유입 유량이 많아진다. Table 3을 통해 부속실에서 급기가압 댐퍼로 유입되는 유량을 정량적으로 확인하였다.

Figure 7 및 Table 2를 통해 엘리베이터 구동이 제연 시스템 성능 확보에 미치는 중요한 인자임을 확인하였다.

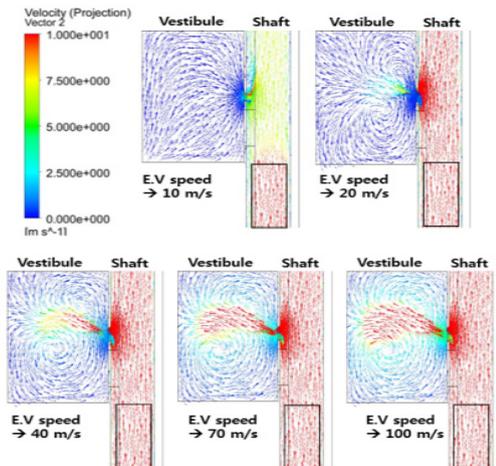


Fig. 7. Velocity vector between Vestibule and Elevator Shaft

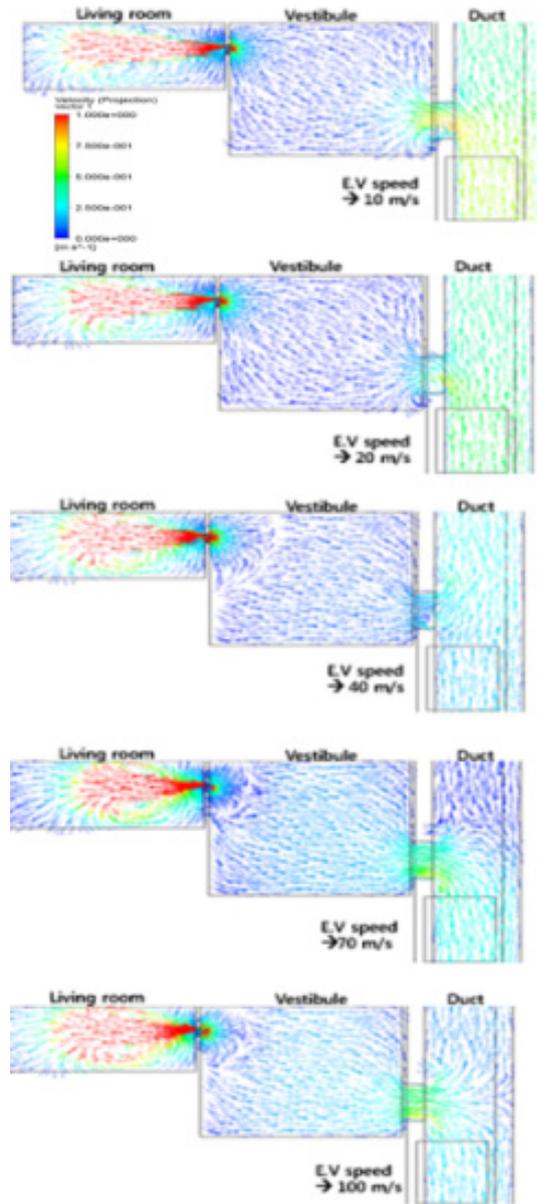


Fig. 8. Velocity vector between Vestibule, Living room and Duct

Table 3. The mass flow rate from Damper to Vestibule [kg/s]

	Point 1	Point 2	Point 3
10 m/s	-0.042	-0.061	-0.066
20 m/s	-0.011	-0.073	-0.091
40 m/s	0.027	-0.091	-0.141
70 m/s	0.082	-0.101	-0.214
100 m/s	0.137	-0.116	-0.323

Table 4. The results of Pressure for Vestibule and Living room

	[Pa]				
	10 m/s	20 m/s	40 m/s	70 m/s	100 m/s
Vestibule	97.8	150.5	207.1	233.7	280.4
Living room	80.5	125.1	166.8	188.4	201.2
ΔP	17.3	25.4	40.3	45.3	79.2

Table 4는 엘리베이터 속도에 따른 부속실 및 거실의 압력을 나타내고 있다. 엘리베이터 속도가 빠르면 빠를수록 엘리베이터 샤프트 내부의 유량이 부속실 내부로 유입되어 부속실 및 화재실의 압력변화에 영향을 미쳤다.

엘리베이터 속도에 따른 부속실과 거실의 차압변화는 각각 17.31 Pa, 25.45 Pa, 40.315 Pa, 45.34 Pa, 79.214 Pa 로써 속도가 빠르면 빠를수록 증가하였다.

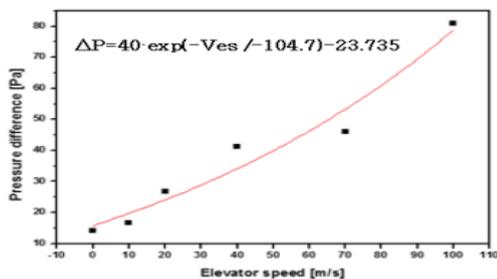


Fig. 9. Pressure difference versus elevator speed

Figure. 9은 엘리베이터 속도에 따른 부속실과 거실 간 차압과의 관계를 나타내며 curve-fitting을 통하여 다음의 방정식(1)을 산출하였다.

$$\Delta P=40 \cdot \exp(-Ves /-104.7)-23.735 \quad (1)$$

여기서, ΔP 는 부속실과 화재실의 차압 그리고 Ves 는 엘리베이터의 속도를 나타낸다.

또한, 적정 송풍유량 $0.144m^3$ 을 고속의 엘리베이터가 구동하는 경우에 적용하였을 때, 급기가압 댐퍼에서 부속실로 유입되는 유량보다 엘리베이터 구동으로 인해 부속실에 미치는 유량이 지배적인 것을 확인하였다. 따라서 엘리베이터 속도를 고려한 송풍유량이 필요할 것으로 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 초고층 건축물에서 엘리베이터 구동에 따른 제연시스템 성능확보에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 엘리베이터 속도에 따른 부속실과 거실 간 차압변화는 다음의 식을 통해서 확인할 수 있다.

$$\Delta P=40 \cdot \exp(-Ves /-104.7)-23.735$$

2. 엘리베이터의 속도가 고속으로 구동되는 경우, 원활한 제연성능 확보를 위해 엘리베이터의 속도를 고려한 송풍유량을 변경해야 한다.

Reference

- [1] Park, H.J., Kim, S.W., A Legal Alternative for Effective Application of Pressurized Smoke Control System to Provide 'Smoke-free' Access for Escape Shafts Used in High-Rise Building, Journal of Fire & Science Engineering, vol. 15, no. 4, pp. 49-56
- [2] NFSC 501 : Fire Safety Standard Codes for Smoke Control System. Korea : Ministry of Public Safety and Security, 2015.
- [3] NFPA 92A : Recommended Practice for Smoke control Systems. Quincy, USA : National Fire Protection Association, 2000.
- [4] Sung, K.H, Ryou, H.S., The Effect of Damper Leakage and Fire Size on the Performance of Smoke Control System in High-rise Building, Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 31, no. 8, pp. 4029-4034
- [5] Hwang, H.S, Yun, A.Y., A Study of Elevator Assisted Evacuation for Super High-rise Building, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 9-17, 2007
- [6] Klote, J.H., Tamura, G.T., "Fire and Elevators symposium", the American Society of Mechanical Engineers, 1991.
- [7] Son, B.S., Fire Safety Planning for High-Rise Buildings, Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, vol. 5, no. 3, pp. 1-10
- [8] Byun, H.S, H, H.T., A study on pressure changes in elevator hoistway by piston effect, Conference of society of air conditioning and refrigerating engineers, 1997.
- [9] Park, Y.G., Ko, K.H., Hong, G.B., Ryou, H.S., 2017 "Experimental Study on the Effect of Elevator Movement on the Smoke Control System Using Comprehensive Performance Tester", 2th Universal Academic Cluster, 2017.
- [10] Kim, S.I., A Study on Pressure Sandwich Application Method of Super high-rise office building, Master's thesis, 2012.

박 영 기(Younggi Park)

[정회원]



- 2010년 3월 ~ 2016년 2월 : 순천향대학교 (기계공학과 학사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 중앙대학교 (기계시스템엔지니어링 학과 석사)

<관심분야>

열, 유체, 에너지, 화재, 발전플랜트

홍 기 배(Kibea Hong)

[정회원]



- 1984년 2월 : 홍익대학교 (기계공학과 석사)
- 1997년 8월 : 아주대학교 (기계공학과 박사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 충주파스터 RIS사업단 단장
- 1984년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 기계자동차항공공학부 (자동차공학 전공) 교수

<관심분야>

열, 유체공학

유 흥 선(Hong Sun Ryou)

[정회원]



- 1977년 3월 ~ 1979년 2월 : 서울대학교 (기계항공공학부 석사)
- 1983년 10월 ~ 1988년 7월 : 임페리얼 컬리지 (기계항공공학과 박사)
- 1993년 9월 ~ 1994년 8월: 스탠포드 대학교 방문교수
- 1996년 3월 ~ 현재 : 중앙대학교 기계공학부 교수

<관심분야>

열, 유체, 에너지, 화재, CFD