

피난계단 출입구 유효너비가 수용인원의 피난시간에 미치는 영향 분석

Analysis of the Effect of the Effective width of the Exit of the Evacuation Stairs on the Evacuation Time of the Occupants

양성훈*

Sung-Hoon Yang*

Graduate student, Department of Industrial Engineering, Sunmoon University, Asan, Republic of Korea

*Corresponding author: Sung-Hoon Yang, cocogreen2@hanmail.net

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study was to investigate the relationship between the minimum effective width (90cm) of the exit of the evacuation stairway installed in accordance with the Building Act and the evacuation time of all occupants using the corresponding floor from an evacuation point of view. **Method:** The evacuation simulation (Pathfinder) was used to investigate how the change in doorway width affects the evacuation time of occupants. **Result:** It was found that as the effective width of the doorway became larger than the minimum standard of 90cm, the evacuation time to the evacuation stairs was shortened. This is also proof that the effective width of the evacuation stair entrance can be appropriately applied differently depending on the number of occupants on the floor. **Conclusion:** In the future, in order to secure evacuation safety of occupants, it is judged that the effective width standard for the exit of the evacuation stairway considering the total number of occupants by use is necessary. In addition, it is expected that the evacuation efficiency of occupants can be greatly increased if various effective width standards for entrances are made according to the number of occupants by use through research and experiments.

Keywords: Evacuation Stairs, Effective width of Entrance, Evacuation Time, Factors Affecting Evacuation Time, Evacuation Capacity, Simulation, Evacuation

요약

연구목적: 건축법에 따라 설치되는 피난계단 출입구의 최소 유효 폭(90cm) 기준이 해당 층을 사용하는 전체 재실자의 피난 시간과는 어떤 관계가 있는지 피난 관점에서 알아보려고 하였다. **연구방법:** 출입구 폭의 변화에 따라 재실자의 피난 시간에 어떠한 영향을 미치는지를 피난 시뮬레이션(Pathfinder)을 통하여 알아보았다. **연구결과:** 출입구의 유효 폭이 최소기준 90cm보다 커지면 커질수록 피난계단으로의 피난 시간이 단축되는 것을 알 수 있었고, 더불어 출입구의 너비가 일정 크기 이상 되면 피난 시간은 더는 단축되지 않는다는 사실도 알 수 있었다. 이는 해당 층 전체 재실자의 수에 따라 피난계단 출입구의 유효 너비를 적절하게 달리 적용할 수 있다는 방증(傍證)이기도 한 것이다. **결론:** 앞으로는 재실자의 피난 안전성 확보를 위해 용도별 전체 수용인원을 고려한 피난 계단 출입구 유효 폭 기준이 필요할 것으로 판단된다. 더불어 연구 및 실험을 통해 용도별 수용인원에 따른 다양한 출입구 유효 폭 기준이 만들어진다면 재실자의 피난 효율성이 크게 증대될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 피난계단, 출입구 유효 폭, 피난 시간, 피난 시간 영향요소, 피난용량, 시뮬레이션, 피난

Received | 29 November, 2021

Revised | 18 January, 2022

Accepted | 28 January, 2022

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

본 연구에서는 건축법에 따라 설치되는 피난계단 출입구 최소 유효 너비 기준이 해당 층을 사용하는 전체 재실자의 피난 시간과 어떠한 관계가 있는지 피난 관점에서 알아보고자 하였다. 피난계단의 출입구는 건축법에 따라 최소 90cm로 설치되고 있지만, 이 기준은 화재 등의 비상사태 발생 시 건물을 이용하는 재실자의 피난 시간은 고려하지 않는 기준이다. 따라서 재실자의 피난 안전성 확보를 위해 피난계단 출입구 유효 너비가 피난 시간에 어떠한 영향을 주는지 피난 시뮬레이션(Pathfinder)을 통하여 알아보고자 하였다. “화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률”에 따라 실시하는 성능 위주 설계에서는 화재 및 피난 시뮬레이션을 통해 ASET(화재위험 도달 시간) 및 RSET(피난 완료 시간)을 산정하며, ASET이 RSET의 값보다 크면 안전하다는 피난 안전성 평가를 하고 있다. 따라서 건물 안의 수용인원의 피난 안전성 확보를 위해 ASET은 늘리는 대책, RSET은 줄이는 대책이 중요한 요소이며 RSET은 해당 층의 마지막 재실자가 피난계단의 출입구로 피난하는 시간을 기준으로 산정한다. 따라서 피난계단의 출입구 유효 너비는 피난 시간을 단축할 수 있는 매우 중요한 요소인 것이다. 이러한 상관관계를 알아보기 위하여 성능 위주 설계 시 현업에서 가장 많이 사용하고 있는 피난 시뮬레이션 프로그램인 Pathfinder를 사용하였고, 요즘 많이 건축되는 생활형 숙박시설인 오피스텔 1개 층 150명의 수용인원 전체가 피난계단의 출입구로 피난하는 시간을 총 9개의 Case로 구분하여 본문과 같이 분석해 보았다.

본론

건축물 개요 및 모델링 적용

본 건축물은 “OOOOO 파크뷰 신축공사” 현장으로 지하 2층, 지상 40층의 성능 위주 설계 대상이며, 지하 1~2층은 주차장, 지상 1~3층은 근린생활시설 및 주차장, 지상 4층은 오피스텔, 지상 6~40층은 공동주택으로 구성된 주상복합 건축물이다. 여기서, 수용인원이 150명으로 가장 많은 지상 4층 오피스텔을 시뮬레이션 장소로 선정하였으며, Fig. 1은 오피스텔의 실제 평면도이며, 평면도를 이용한 시뮬레이션 모델링 적용현황은 다음의 Fig. 2와 같다.



Fig. 1. Floor plan

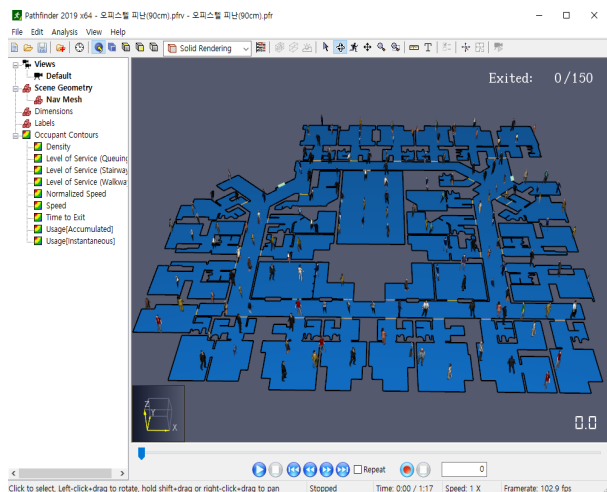


Fig. 2. Floor plan modeling

수용인원 산정 및 모델링 적용

Table 1은 “소방시설 등의 성능 위주 설계 방법 및 기준”의 “화재 및 피난 시뮬레이션의 시나리오 작성 기준”이며 이에 따라 지상 4층 오피스텔의 수용인원을 다음의 Table 2와 같이 산정하여 입력하였다.

Table 1. Criteria for Calculating Capacity

사용용도	m ² /인
접근출입구, 좁은통로 회랑(回廊)	9.3
업무용도(오피스텔)	9.3
호텔, 기숙사, 아파트	18.6



Table 2. Officetel capacity

4층 오피스텔 면적	수용인원
전용면적 : 906.32m ²	100명
복도,홀 면적 : 457.93m ²	50명
총 수용인원	150명

산정된 수용인원을 프로그램에 적용하기 위한 신체 치수는 한국인 인체 치수 조사(Size Korea) 자료를 참조하여 적용하였고, 보행속도는 “표준 화재 모델에 따른 화재 확대 방지 및 피난안전 설계기술 개발, 건설기술연구원, 2009.12” 연구보고서를 참조하여 Table 3과 같이 적용하였다.

Table 3. Average Body Dimensions by Resident Age

구분	남성			여성		
	키	어깨너비	보행속도	키	어깨너비	보행속도
어린이(10세 이하)	131.4cm	28.3cm	1.0m/s	130.4cm	28.4cm	1.0m/s
청소년(10~20세)	160.8cm	35.5cm	1.3m/s	154.1cm	33.7cm	1.3m/s
성인(20~60세)	171.3cm	39.5cm	1.2m/s	158.2cm	35.4cm	1.1m/s
노인(60세 이상)	164.4cm	37.9cm	0.7m/s	152.3cm	35.0cm	0.79m/s

그리고, 수용인원의 남, 여, 어린이, 노인의 구성비는 인구 총 조사 자료 중 본 건물이 위치하는 지역의 인구 비율을 참조하여 다음의 Table 4와 같이 적용하였다.

Table 4. Proportion of male and female residents

구분	남성		여성	
	인구수	비율	인구수	비율
어린이(10세 이하)	902명	6%	758명	5%
청소년(10~20세)	1,372명	9%	1,149명	7%
성인(20~60세)	4,829명	29%	4,349명	26%
노인(60세 이상)	1,181명	7%	1,930명	11%

피난 시뮬레이션(Pathfinder) 프로그램에 적용된 수용인원 특성 및 남녀 구성 비율은 다음 Fig. 4와 같다.

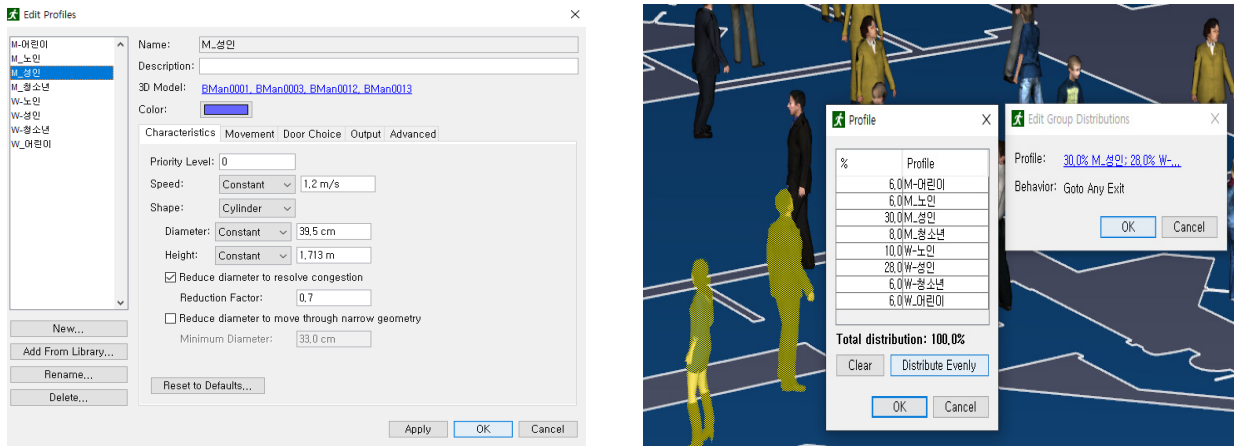


Fig. 4. Characteristics of the number of occupants and the ratio of male and female

피난계단 출입구 유효 너비에 따른 적용 CASE 및 모델링

건축물에 적용하는 직통 계단은 “건축법 시행령 제35조(피난계단의 설치)”에 근거하여 5층 이상 또는 지하 2층 이하인 층에는 피난계단 및 특별피난계단으로 설치하여야 하며, “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제9조(피난계단 및 특별피난계단의 구조)”에 따라 계단실로 통하는 출입구의 유효 너비는 0.9m (90cm) 이상으로 할 것으로 규정하고 있다. 따라서 90cm를 기준으로 10cm씩 출입구 너비를 키워가며 다음 Table 5와 같이 9개의 Case로 구분하여 피난 시물레이션을 수행하였다.

Table 5. Application case by effective width of entrance

적용 CASE	출입구 유효 너비	피난 인원
Case-1	90 cm	150 명
Case-2	100 cm	
Case-3	110 cm	
Case-4	120 cm	
Case-5	130 cm	
Case-6	140 cm	
Case-7	150 cm	
Case-8	160 cm	
Case-9	170 cm	



시물레이션 수행 결과

피난계단의 출입구 유효 너비에 따라 9개의 Case로 구분하여 시물레이션을 수행해본 결과 피난계단 출입구의 유효 너비가 10cm씩 증가할 때마다 Case-1에 비하여 수용인원의 총 피난 시간이 Case-2에서는 70.3초, Case-3에서는 59.5초, Case-4

에서는 55.5초, Case-5에서는 51.8초로 줄어들었으며, Case-6부터는 피난 시간이 더 이상 줄어들지 않고 평균 50초를 유지하는 결론을 얻을 수 있었다. 이 결과는 해당 층 수용인원 150명 전체가 가장 빨리 피난을 완료하는데 필요한 출입구의 유효 너비는 약 140cm 이상인 것을 알 수 있다. 다음의 Fig. 4는 Case 별 피난 완료 시간이고, Fig. 5는 Case-1 대비 단축된 피난 시간을 나타낸 것이다.

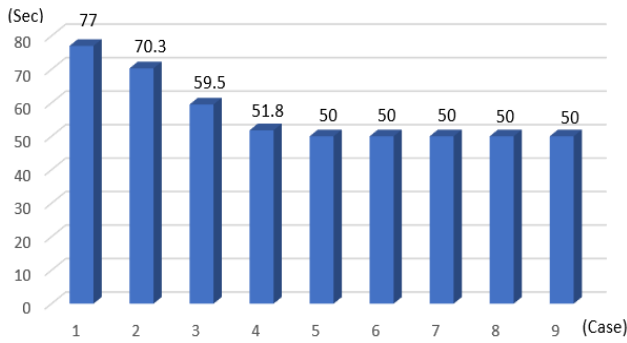


Fig. 4. Evacuation completion time by case

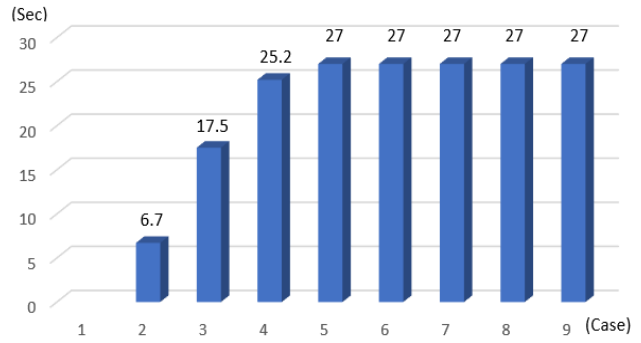


Fig. 5. Shorter evacuation time compared to Case-1

최종 시뮬레이션 수행 결과를 정리하면 다음의 Table 6과 같다. 여기서, Case-1 대비 피난 시간 개선율이 Case-2에서는 8.7%부터 최대 약 35%까지 피난 시간을 단축할 수 있는 결과를 도출할 수 있었다. 이는 재실자의 피난 시간을 단축하기 위한 하나의 요소로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 6. Simulation performance results (based on 150 evacuees)

적용 CASE	피난계단 출입구 유효너비(cm)	피난시간(sec)	Case-1 대비 단축시간(sec)	Case-1 대비 피난시간 개선율(%)
Case-1	90	77	-	-
Case-2	100	70.3	6.70	8.70
Case-3	110	59.5	17.50	22.73
Case-4	120	55.5	21.50	27.92
Case-5	130	51.8	25.20	32.73
Case-6	140	50	27.0	35.06
Case-7	150	50	27.0	35.06
Case-8	160	50	27.00	35.06
Case-9	170	50	27.00	35.06

위의 결과표에서 알 수 있듯이 해당 층의 수용인원에 대한 피난계단 출입구의 적정한 유효 너비를 시뮬레이션을 통해 도출할 수 있었다. 즉, 건축물의 용도별 수용인원에 따라 피난계단의 출입구 유효 너비를 달리 적용하면 피난 안전성이 증대될 수 있을 것으로 판단된다. 다음의 Fig. 6은 Case-1, Fig. 7은 Case-6, Fig. 8은 Case-7의 시뮬레이션 수행 결과로 150명의 피난 인원이 피난을 완료하는데 걸린 시간을 의미한다.

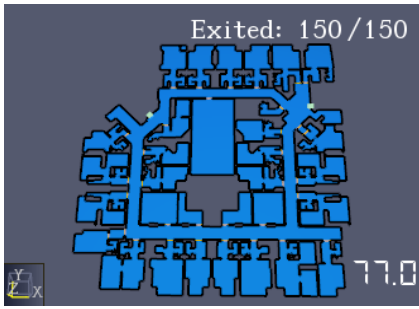


Fig. 6. Case-1 execution result

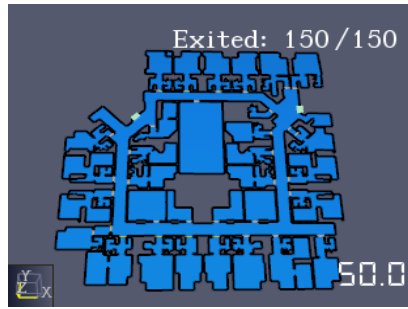


Fig. 7. Case-6 execution result

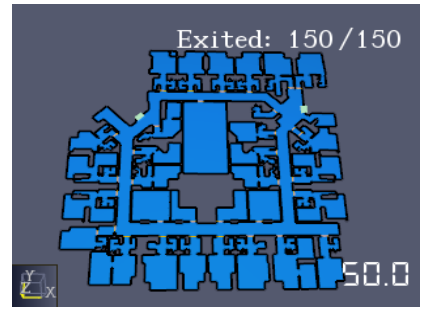


Fig. 8. Case-7 execution result

다음의 Fig. 9는 피난 계단 출입구 유효 너비 증가에 따른 피난 완료 시간 및 Case-1대비 단축 피난 시간을 하나의 도표로 나타낸 것이다. 시뮬레이션을 통한 결과 Fig. 9와 같이 피난 시간이 크게 단축되어 피난 안전성을 확보할 수 있을 것으로 예측되었다.

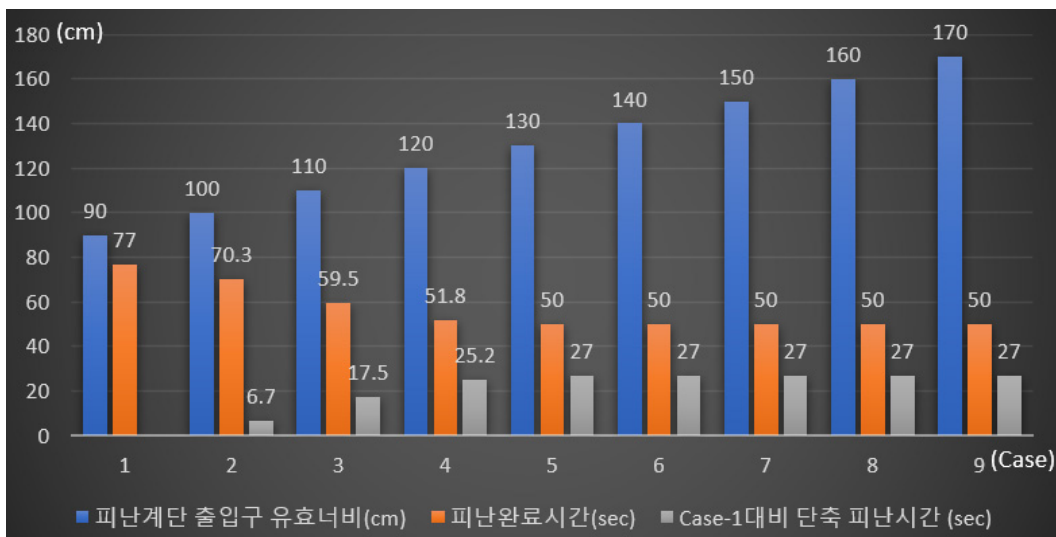


Fig. 9. Evacuation items and evacuation items for culling and evacuation time in preparation for Case-1

결론

피난계단 출입구의 유효 폭이 최소기준 90cm보다 커지면 커질수록 거실에서 피난계단으로의 피난 시간이 단축되는 것을 알 수 있었고, 더불어 출입구의 너비가 일정 크기 이상 되면 피난 시간은 더는 단축되지 않는다는 사실도 알 수 있었다. 이는 해당 층 전체 재실자의 수에 따라 피난계단 출입구의 유효 너비를 적정하게 달리 적용할 수 있다는 방증(傍證)이기도 한 것이다. 따라서 해당 층 전체 재실자의 수에 따라 피난계단 출입구의 유효 너비를 적정하게 달리 적용한다면 Table 6에서와 같이 적게는 8%부터 최대 약 35% 이상 피난 시간을 크게 개선할 수 있다는 것이다. 지금까지의 선행연구 논문들은 출입구 등에서 병목현상이 발생하여 피난이 지연된다는 문제점을 도출(Moon, 2019)하거나, 출입구의 유효 폭이 재실자의 밀도와 보행속

도에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구(Lee, 2017), 그리고 피난자들이 출입구의 전체 유효 폭을 점유하지 않고 가장자리에서 일정 폭 떨어져서 이동한다는 이론을 적용하여 시뮬레이션을 통해 피난 시간을 도출한 연구(Im, 2021)가 있었다. 하지만 본 논문과 같이 피난계단 출입구의 유효 폭 증가에 따라 해당 층 전체 재실자의 피난 시간이 얼마나 개선되는지 수치로 도출한 연구는 본 논문이 유일무이(唯一無二)한 것으로 판단된다. 앞으로 본 연구를 바탕으로 지속적인 연구 및 실험을 통해 건축물의 용도별 수용인원에 따른 다양한 출입구 유효 폭 기준이 만들어진다면 재실자의 피난 효율성이 크게 증대될 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2020 6610100060).

References

- [1] Choi, D.C., Hwang, H.-S., Ko, M.-H., Lee, S.-Y. (2020). "A study on fire and Evacuation simulation analysis for use of disaster vulnerable personal evacuation device." *Journal of The Korean Society of Disaster Information*, Vol. 16, No. 4, pp. 824-831.
- [2] Ha, J.I. (2019). "A Study on the improvement of fire protection door performance in apartment houses through Analytic Hierarchy Process (AHP)." *Journal of The Korean Society of Disaster Information*, Vol. 15, No. 4, pp. 540-547.
- [3] Ham, E.G., Kim, D.-C., Lee, C.-W. (2015). "A study on fire risk assessment of a small space using fire simulation." *Journal of The Korean Society of Disaster Information*, Vol. 11, No. 4, pp. 581-588.
- [4] Im, S.H. (2021). A Study on the Travel Distance and Exit Width for Securing Efficient Evacuation Time in Business and Sales Facilities. Master's Thesis, Gachon University Graduate School of Industrial Environment.
- [5] Ko, J.S. (2017). "A study on measures for the mitigation of fire damage in Korea super high-rise building through the improvement of domestic foreign standards" *Journal of The Korean Society of Disaster Information*, Vol. 13, No. 2, pp. 233-248.
- [6] Lee, B.H. (2017). A Study on the Analysis of Determinants for Evacuation Time Prediction of Office Buildings. Ph.D. Dissertation, Pusan National University.
- [7] Lee, C.W., Choi, B.-Y., Kim, J.-S., Cho, Y.-S., Yoo, J.-Y. (2016). "The study of simulation for reproduce accidents of narrow dwelling space." *Journal of The Korean Society of Disaster Information*, Vol. 12, No. 3, pp. 210-218.
- [8] Moon, H.R. (2019). A Study on Evacuation Time for Subway Transit Stations by Egress Simulation. Ph.D. Dissertation, Seoul National University of Science and Technology.
- [9] Yoo, Y.H. (2009). Development of Fire Spread Prevention and Escape Safety Design Technique According to Standard Fire Model 2009. 12. Korea Institute of Construction Technology, 1415091720, Science On.
- [10] Youn, H.J., Hwang, E.-K. (2013). "A study of on the occupant movement speed during emergency evacuations for the evacuation safety assessment of domestic buildings." *Journal of The Korean Society of Disaster Information*, Vol. 9, No. 3, pp. 332-338.