

고층의 주상복합건축물 계단폭과 수용인원 산정기준에 따른 피난효율의 비교

Comparison of Evacuation Efficiency for Stair Width and Code for Occupant Load Calculation in High-rise Buildings

이양주 · 고경찬* · 박외철**†

Yang-Ju Lee · Kyoung-Chan Ko* · Woe-Chul Park**†

한방유비스(주), *(주)지티이테크, **부경대학교 소방공학과
(2010. 7. 27. 접수/2011. 2. 11. 채택)

요 약

고층건축물에서의 피난효율과 수용인원 산정기준의 문제점을 확인하기 위하여 피난 시뮬레이션을 수행하였다. 지상 39층 주상복합 건축물의 계단폭이 각각 1.2m, 1.5m, 1.8m일 때, 피난시간과 피난자수를 Simulex로 계산하였다. 소방법 기준으로 산정한 총수용인원은 실거주자의 2.3배, NFPA 101 인명구조코드 기준의 2.6배였다. 소방법 기준의 경우, 계단폭이 작을수록 중간층에서의 병목현상으로 인해 피난효율이 낮았지만, 실거주나 NFPA 기준에서는 피난효율이 높고 계단폭이 피난효율에 미치는 영향이 미미함을 확인하였다. 소방법 기준을 적용할 때 계단폭이 1.8m에서도 병목현상이 일어나지만, 실거주 또는 NFPA 기준을 적용할 때는 계단폭 1.2m에서도 안전한 것으로 나타 남에 따라 수용인원 산정관련 소방법 기준의 완화가능성에 대한 추가연구가 필요하다.

ABSTRACT

An evacuation simulation was carried out to confirm evacuation efficiency for stair width and problems in calculation of occupant load for high-rise buildings. The evacuation time and number of evacuated persons from a 39 story condominium-mercantile building were calculated by using Simulex for stair widths of 1.2 m, 1.5 m, and 1.8 m. The total occupant load based on the Korean code was higher than the number of actual residents by 2.3 times, and that based on the NFPA 101 Life Safety Code by 2.6 times, respectively. For the occupant load based on the Korean code, smaller stair width resulted in lower evacuation efficiencies due to bottlenecks in egress. For the actual residents and NFPA code-based occupant load, a high evacuation efficiency and negligible effects of the stair width on evacuation efficiency were confirmed. It was shown that there was a bottleneck even at the stair width of 1.8 m for the Korean code-based occupants, while the stair width of 1.2 m provided safe egress to the actual residents or NFPA code-based occupants. This recommended further studies on possibility of lowering the level of the Korean code in calculation of the occupant load.

Key words: High-rise building, Occupant load, Evacuation efficiency, Stair width, Simulex

1. 서 론

건축기술의 발달과 토지의 효율적 이용, 도시의 이미지 제고, 수직공간의 활용성 증대 등 사회 경제적 측면의 여러 장점으로 인해 고층 건축물의 건설이 증가하고 있다. 특히 주거와 업무를 같은 공간에서 할 수

있는 고층 주상복합 건축물의 건설이 크게 늘어나고 있다. 고층 주상복합 건축물은 많은 인원과 시설을 수용하므로 화재 발생 시 큰 피해가 우려되고 있으나, 현행 건축법에서는 주상복합 건축물에 대한 규정이 따로 없고 일반적인 건축물에 통용되는 기준을 중심으로 규정되어 있다.^{1,2)}

한편, 건축물의 고층화에 따라 피난설계에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나 건축물의 구조와 용도에

† E-mail: wcpark@pknu.ac.kr

따라 법규에 규정된 방화설계 만으로는 충분한 안전성을 확보할 수 없으므로, 피난 시뮬레이션을 통해 예상되는 화재위험으로부터 피난 안전성을 보완할 필요가 있다. 또한 피난 시뮬레이션의 결과에 따라 설계 단계에서부터 피난 계단을 충분히 확보함으로써 문제점을 개선할 수 있다.³⁾

본 연구의 목적은 고층 주상복합 건축물의 계단폭과 수용인원 산정기준에 대한 피난완료 시간과 피난자수를 비교함으로써 계단폭에 대한 피난효율과 수용인원 산정의 문제점을 확인 하는 것이다. 이를 위해 지상39층의 주상복합 건축물을 대상으로 상용 프로그램인 Simulex⁴⁾를 사용하여 피난 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 피난 시뮬레이션

피난 시뮬레이션의 대상으로 선정된 건축물은 지상 39층의 주상복합 건축물로서 제원은 Table 1과 같다. 피난 시나리오는 39층 거실에서 화재가 발생하면 각층의 수용인원이 피난 층인 1층까지 대피하는 것으로 설정하였다. 실제 건축물의 계단폭은 건축법에서 규정하고 있는 특별피난계단의 폭 0.9m보다 넓은 1.2m이다. 따라서 본 연구에서는 법규에서 정해진 것보다 0.3m 크게 건축되어 있으므로 실제 건축된 것 보다 0.3m씩 크게 계단폭을 설정하여 3가지의 계단폭 1.2m와 1.5m, 1.8m에 대해 피난 시뮬레이션을 수행하여 피난완료시간과 피난자수, 그리고 각 층별 피난완료시간을 계산하였다. 또한, Simulex⁴⁾에서는 2가지 피난형태, 즉, 기본(default)으로 설정되어 있는 기본피난과 분산피난을 선택할 수 있다. 기본피난은 재실자들이 각자 최단거리 경로를 통해 출구로 이동하고, 분산피난은 2개 이상의

Table 1. Specifications of Target Building

구분	내용		
건물명	주상복합 건축물		
대지면적	5,202.90m ²		
건축면적	2,599.87m ²	건폐율	49.90%
연면적	66,633.29m ²	용적률	934.81%
구조	철근 콘크리트 구조		
층수	지하2층, 지상39층		
최고높이	132m		
용도	숙박시설(휴양콘도미니엄)		
승강설비	승강기 4대, 비상용승강기2대		
소방설비	스프링클러설비, 옥내소화전설비, 자동 화재탐지설비, 제연설비, 비상조명등		

지정된 복수경로를 통해 출구로 이동한다. 이 2가지 피난형태에 따른 피난완료시간의 차이를 조사하기 위해 기본피난 외에 분산피난에 걸리는 시간도 계산하였다.

Simulex를 이용하여 피난 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 각 층의 재실자, 즉 수용인원의 산정과 피난계단의 개수와 폭, 길이, 수용인원의 신체크기 및 분포 등에 대한 입력자료가 필요하다.

2.1 수용인원 산정

수용인원을 산출하기 위해서는 각 층의 용도와 바닥면적 및 내부시설에 대한 자료가 필요하므로, 건축물의 층별 용도와 바닥면적을 Table 2에 나타내었다. 1층은 판매시설이고, 2~6층은 주차장이다. 7층에서 38층까지는 숙박시설인 콘도미니엄이며, 각 층에 109.09m²(33평)형 2세대, 125.62m²(38평)형 2세대, 132.23m²(40평)형 2세대가 배치되어 있다. 또 39층은 콘도미니엄과 스카이라운지로, 콘도미니엄109.09m²(33평)형 2세대, 125.62m²(38평)형 2세대가 있다.

수용인원은 Table 3과 같이 소방법,⁵⁾ 실거주, National Fire Protection Association(NFPA) 101 Life Safety Code⁶⁾의 3가지 기준을 적용하여 계산하였다. 수용인원이 적용기준에 따라 크게 다르므로, 각 기준에 따라 산정한 수용인원에 대하여 피난 시뮬레이션을 수행하였다.

2.1.1 소방법

소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령⁵⁾

Table 2. Occupancies and Floor Areas

층	용도	바닥면적(m ²)
1	판매시설	1,376.4
2~6	주차장	각층 2,462.5
7~38	숙박시설	각층 474.82
39	숙박시설	325.82
	스카이라운지	174.0

Table 3. Codes for Calculation of Occupant Load

수용인원 산정기준	내용
소방법	소방시설설치유지 및 안전관리에 관한 법률시행령 별표 3
실거주	실제 거주인원
NFPA	NFPA 101 Life Safety Code Sales area on street floors(판매시설) Hotels and dormitories(숙박시설)

별표[3] 1호 가항의 규정에 따라 수용인원을 산정하였다. 1층 판매시설의 수용인원은 459명이고, 2층부터 6층까지는 숙박시설의 주차장이므로 층당 30인으로 하였다. 7층 이상 숙박시설의 109.09m²에는 방 2개, 거실 1개, 125.62m²은 방 3개, 거실 1개, 132.23m²은 방 3개, 거실 1개가 배치되어 있다. 방 1개당 2명(2인용 침대 1개), 거실은 바닥면적 3m²당 1명으로 산정하여 109.09m² 수용인원은 15명, 125.62m² 19명, 132.23m² 17명이 되고, 따라서 7~38층의 수용인원은 층당 102명이다.

2.1.2 실거주

숙박시설의 실거주 수용인원은 방에 설치된 침대를 기준으로 산정한 실제 수용인원이므로, 소방법 기준 수용인원에서 거실의 수용인원만큼 감소하게 된다. 따라서 1~6층의 실거주 수용인원은 소방법 기준과 같지만, 7~39층은 소방법 기준보다 훨씬 더 적다.

2.1.3 NFPA

NFPA 101⁶⁾의 기준 수용인원은 용도별 바닥면적을 수용인원 계수(occupant load factor)로 나눈 값이다. 판매시설은 Sales area on street floors, 숙박시설은 Hotels and dormitories의 수용인원 계수를 적용하여 판매시설은 2.8m²/1인, 숙박시설은 18.6m²/1인으로 하여 수용인원을 산출 하였다.

이상 3가지 기준에 따라 산정한 수용인원을 Table 4에 비교하였다. 판매시설인 1층에서는 소방법 기준과 실거주 모두 459명이고, NFPA 기준 수용인원은 이보다 많은 492명이다. 주차장인 2~6층에서는 3가지 기준 모두 층당 30명이지만, 7층 이상의 숙박시설에서는 크게 차이가 난다. 소방법 기준 총수용인원은 3,999명으로 실거주자수의 2.3배, NFPA 기준의 2.6배나 되었다.

2.2 기타 입력자료

피난 시뮬레이션용 도면은 CAD로 작성된 각 층의 평면도를 변환하여 사용하였다. 피난계단의 길이(1개

층 11.8m, 전체 450.7m)를 입력하고, 각층 2개의 출입문별로 1번 계단은 Simulex의 링크 1번부터 39번까지, 2번 계단은 링크 40번부터 78번까지로 지정하였다. 계단 폭은 건축법에서 0.9m 이상이고 실제 폭은 1.2m이므로, 3가지 폭 1.2m, 1.5m, 1.8m에 대한 피난 시뮬레이션을 수행하였다.

출입문은 각층의 피난계단 입구에 2개가 있고 크기가 0.9m×2.1m이다. 각 층에서 계단을 통해 피난층인 1층으로 내려온 피난자는 크기가 3.6m×2.1m인 3개의 출입문을 통해 피난하며, 1층 상가의 수용인원은 각 점포에서 1층 상가의 출입문 9개소를 통해 피난하도록 설정하였다.

Simulex에 입력한 수용인원의 신체크기, 보행속도, 분포는 Table 5와 같다. 신체크기는 3개의 원으로 R(t), R(s), S로 나타내는데, 이는 각각 Figure 1에 표시된 바와 같이 몸통크기가 R(t), 어깨둘레가 R(s)로 아래원, 몸통중심에서 어깨까지의 거리가 S로 이는 R(t)에서 상부 원의 중심까지의 거리를 나타내며, 한국표준체위를 사용하였다. 수용인원의 분포에 관해서는 법규에 구

Table 5. Body Dimensions, Moving Speed, and Distribution for Body Types

구분	R(t) (m)	R(s) (m)	S (m)	속도 (m/s)	분포(%)	
					판매시설	숙박시설
남자	0.25	0.16	0.09	1.35	20	20
여자	0.24	0.14	0.09	1.15	30	25
어린이	0.18	0.11	0.07	0.9	20	25
노인	0.24	0.16	0.09	0.8	10	10
청소년	0.23	0.14	0.09	1.0	20	20

Table 4. Occupant Loads

층	수용인원(명)		
	소방법	실거주	NFPA
1	459	459	492
2~6	층당 30	층당 30	층당 30
7~38	층당 102	층당 32	층당 26
39	126	78	81
합계	3,999	1,711	1,555

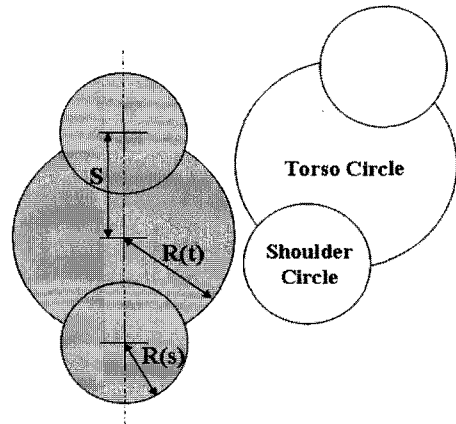


Figure 1. Definition of body within Simulex.

정된 사항이 없으므로 임의로 숙박시설이나 판매시설의 특성을 감안하여 배치하였다.

3. 결과 및 분석

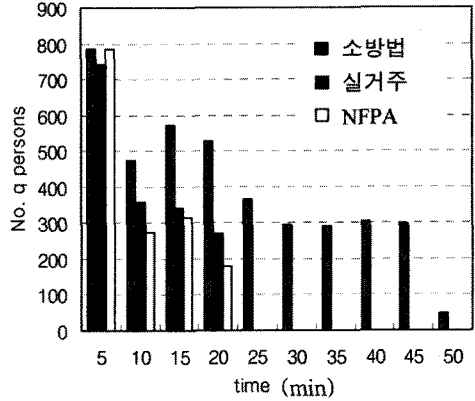
3.1 피난완료시간

피난 시뮬레이션으로 계산된 피난완료시간은 Table 6과 같다. 계단폭이 1.2m이고 총수용인원이 가장 많은 소방법 기준의 경우, 기본피난(최단거리 피난)의 피난완료시간은 55.41분으로 분산피난 33.12분에 비해 22분이 더 소요되었다. 그러나 실거주나 NFPA 기준에서는 기본피난과 분산피난의 피난완료시간이 거의 같음을 알 수 있다. 앞에서 수용인원 산정에서 언급한 바와 같이 기본피난은 Simulex에 기본으로 설정되어 있는 최단거리 피난이고, 분산피난은 2개 이상의 경로를 통해 출구로 이동하는 피난이다.

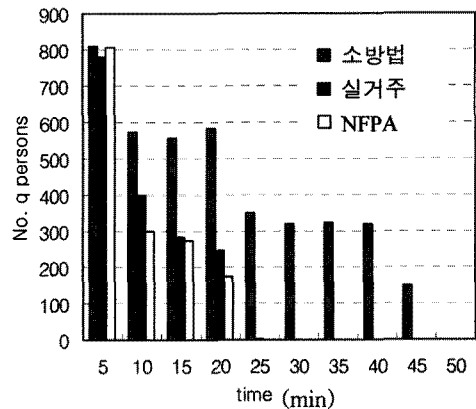
기본피난의 경우, 소방법 기준 수용인원의 피난완료시간이 계단폭이 1.2m일 때와 1.5m일 때 각각 55.41분, 42.57분으로 계단폭이 0.3m 늘어날 때 피난완료시간이 크게 감소하였다. 그러나 계단폭이 1.5m에서 1.8m로 늘어나면 피난완료시간이 약간 감소하여 피난효율에는 큰 차이가 없었다. 한편, 수용인원의 수가 적은 실거주와 NFPA 기준의 경우 피난시간이 계단폭에 따라 차이가 없음을 알 수 있다.

피난완료시간비 t^* 는 기본피난, 계단폭 1.8m, NFPA 기준 피난완료시간에 대한 피난완료시간의 비이다. 기본피난, 소방법 기준의 경우, t^* 의 값은 계단폭 1.2m일

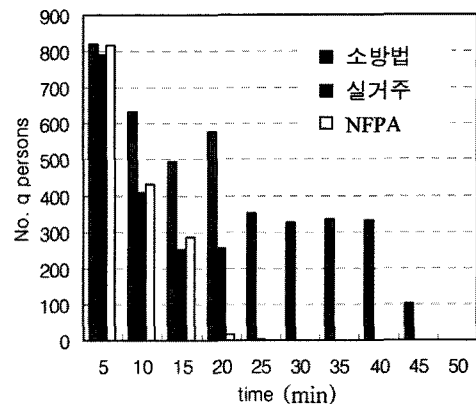
때 2.62, 1.5m일 때 2.01, 1.8m일 때 1.99로, 피난완료에 소방법 기준이 NFPA 기준보다 훨씬 더 많은 시간을 소요함을 알 수 있다. 실거주 또는 NFPA 기준에서



(a) 계단폭 1.2 m



(b) 계단폭 1.5 m



(c) 계단폭 1.8 m

Table 6. Evacuation Time Calculated from Simulation

피난 형태	계단폭 (m)	수용인원 산정기준	피난완료시간 (min)	t^*
기본	1.2	소방법	55.41	2.62
		실거주	21.29	1.00
		NFPA	21.17	1.00
	1.5	소방법	42.57	2.01
		실거주	21.27	1.01
		NFPA	21.16	1.00
1.8	소방법	42.11	1.99	
	실거주	21.17	1.00	
	NFPA	21.15	1.00	
분산	1.2	소방법	33.12	1.57
		실거주	21.46	1.02
		NFPA	21.46	1.02

Figure 2. Number of evacuated persons versus time (single route).

는 계단폭과 관계없이 피난완료시간비가 거의 1.0로 나타났다.

병목현상이 발생하는 층과 그 층에서의 피난완료시간을 알아보기 위해 기본피난, 소방법 기준의 경우에 계단폭에 따라 각 층의 피난완료시간을 조사하였다. 계단폭이 1.2m일 때 피난시간이 가장 오래 걸린 층은 36층으로 1,505초가 소요되어, 병목현상이 심각함을 확인할 수 있었다. 또, 계단폭이 1.5m일 때는 34층에서 피난을 완료하는데 1,110초가 소요되었고, 계단폭이 1.8m일 때는 29층에서 200초가 걸렸다. 이 결과는 계단폭이 작을수록 병목현상으로 인해 피난이 지연되며 병목현상은 중간층에서 발생함을 나타낸다. 따라서 고층건축물의 피난 안전성을 확보하기 위해서는 출입문과 피난계단의 폭을 크게 하여 피난효율을 높이고, 중간층에 피난안전구역을 설치할 필요가 있음을 알 수 있다.

한편, 수용인원이 소방법 기준보다 훨씬 적은 실거주나 NFPA 기준에서는 계단폭이 1.2m일 때도 모든 층에서 피난완료시간이 1분 이내로 고르게 나타났다.

3.2 피난자수

계단폭에 따라 피난시간 5분 간격으로 피난자수를 Figure 2에 비교하였다. Figure 2(a)는 계단폭이 1.2m로, 실거주와 NFPA 기준의 경우 5분 이내에 총수용인원의 50% 정도가 피난하고, 25분 이내에 피난이 완료된다. 그러나 소방법 기준의 경우에는 피난개시 5분 이내에 수용인원의 20% 정도만 피난하고, 병목현상으로 인해 피난완료에 50분 이상 소요되었다.

Figure 2(b)의 계단폭 1.5m의 경우, 소방법 기준일 때 병목현상의 발생으로 피난시간이 지연된다. (a)의 계단

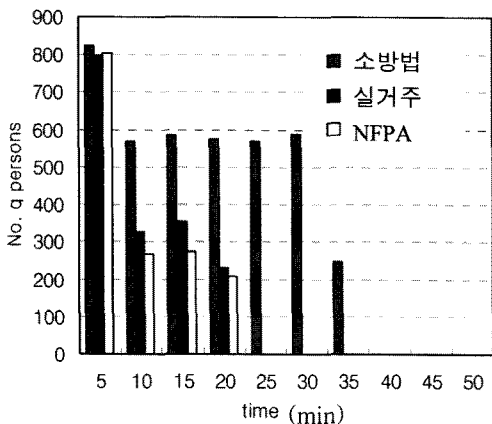
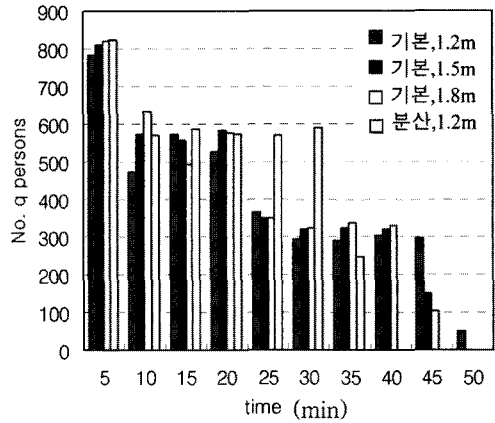
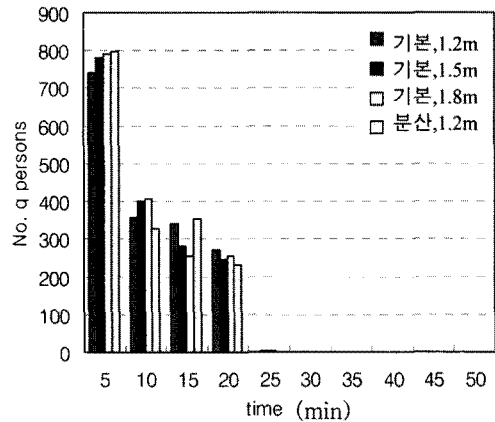


Figure 3. Number of evacuated persons versus time (multiple routes, stair width 1.2 m).

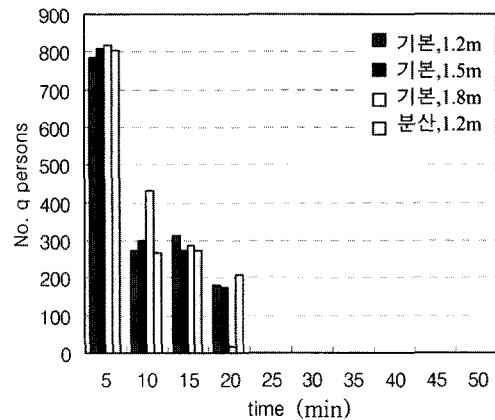
폭 1.2m의 경우와 비교하면 3가지 기준 모두 계단폭의 증가로 인해 피난자수가 증가함을 알 수 있다.



(a) 소방법



(b) 실거주



(c) NFPA

Figure 4. Number of evacuated persons versus time for occupant load calculation codes.

Figure 2(c)의 계단폭 1.8m의 경우에도 1.5m와 비슷한 결과가 나타났다. 소방법 기준의 경우에 피난완료 시간이 계단폭 1.5m의 경우와 비슷하였지만, 병목현상은 여전히 나타남을 알 수 있다.

Figure 3은 계단폭 1.2m, 분산피난의 경우피난시간대별 피난자수를 나타낸 그림이다. 실거주와 NFPA 기준의 경우에는 Figure 2(a)의 기본피난과 큰 차이가 없지만, 수용인원이 훨씬 더 많은 소방법 기준의 경우에는 기본피난에 비해 피난시간이 많이 단축됨을 알 수 있다. 따라서 수용인원이 많은 고층 주상복합 건축물에서는 NFPA 101과 같이 피난동선을 분산 배치하는 것이 바람직하다.

Figure 4는 3가지 수용인원 산정기준에 대하여 계단폭에 따른 피난시간과 피난자수를 비교한 그림이다. Figure 4(a)는 소방법 기준 수용인원의 피난자수로, 계단폭이 넓을수록 초기 피난자수가 증가하고 피난완료 시간도 단축되었다. 실거주 기준인 (b)와 NFPA 기준인 (c)에서도 계단폭이 증가함에 따라 피난자수는 증가하지만 피난완료시간은 비슷하다.

이상과 같이 소방법 기준을 적용하는 경우에 계단폭이 1.8m일 때도 병목현상으로 피난이 지연되었다. 그러나 실거주 또는 NFPA 기준으로 산정한 수용인원이 소방법 기준보다 훨씬 적어 계단폭 1.2m에서도 안전한 것으로 나타났다. 이러한 모순된 결과는 수용인원의 산정기준에서 비롯된 것이므로, 만일 소방법의 산정기준이 불필요하게 높다면 이를 개선해야 한다. 따라서 수용인원 산정기준을 NFPA 101 수준으로 완화할 수 있는가에 대한 추가연구가 필요하다.

4. 결 론

고층 건축물의 피난 안전성을 확인하기 위하여 지상 39층 주상복합 건축물을 대상으로 피난 시뮬레이션을 수행하였다. 계단폭과 수용인원 산정기준에 대한 피난 완료시간과 피난자수로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 소방법과 실거주, NFPA 101 인명구조 코드의 3가지 기준으로 산정한 수용인원에 큰 차이가 있었고, 소방법 기준 총수용인원은 실거주자의 2.3배, NFPA 기준의 2.6배였다.

(2) 소방법 기준의 경우, 계단폭이 작을수록 중간층에서의 병목현상으로 인해 피난효율이 낮았고, 계단폭

의 피난효율에 미치는 영향이 컸으나, 실거주나 NFPA 기준의 경우, 계단폭이 1.2m일 때도 피난효율이 높고 계단폭이 피난시간에 미치는 영향이 거의 없었다.

(3) 소방법 기준의 경우, 중간층에서 병목현상이 발생하고 기본피난에 비해 분산피난의 피난시간이 짧으므로, 수용인원이 많은 고층 건축물의 중간층에 피난 안전구역 설치와 피난동선의 분산배치가 필요함을 확인하였다.

(4) 소방법 기준의 경우에는 계단폭이 1.8m일 때도 병목현상이 일어나지만, 실거주 또는 NFPA 기준에서는 계단폭 1.2m에서도 안전하므로, 수용인원 산정관련 소방법 기준의 완화가능성에 대한 추가연구가 필요함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 최준호, 전규엽, 홍원화, “고층 주상복합 건축물의 피난 안전을 위한 국내의 법규 사례 분석 및 개선방향에 관한 연구”, 한국화재소방학회, 춘계학술논문발표회 논문집, pp.203-208(2006).
2. 이용재, 이범재, “고층 공동주택의 피난특성 및 관련 법규정에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.14, No.1, pp.13-21(2000).
3. 오혁진, 백승태, 김우석, 이수경, 강계명, “피난의 적정성 검토에 관한 연구”, 한국화재소방학회 춘계학술논문발표회 논문집, pp.375-381(2002).
4. Simulex User Guide, v5.4, IES (2003).
5. 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령 (2004).
6. NFPA 101-2006 Life Safety Code, NFPA, MA, U.S.A.(2006).
7. 박창영, 최창호, “신체 특성이 피난시간과 흐름율에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한건축학회, Vol.22, No.12, pp.283-290(2006).
8. 김대회, 윤인식, 황은경, “건축물 피난관련 연구동향 및 특성에 관한 연구”, 한국화재소방학회, 춘계학술논문발표회 논문집, pp.3-8(2007).
9. 김우석, 이수경, 백승태, “숙박용도에 대한 피난 적정성 검토에 관한 연구”, 한국화재소방학회, 춘계학술논문발표회 논문지, pp.59-65(2003).
10. 박재성, “건축물 화재시 피난행동을 고려한 피난예측 모델에 관한 연구”, 서울시립대학교 박사학위논문 (2004).