

국내 PBD기반 피난안전설계를 위한 피난용량 산정에 관한 연구(IV)

서동구 · 김동은 · 황현배* · 황은경** · 권영진
호서대학교 소방방재학과 · 교통안전공단* · 한국건설기술연구원**

A Investigation study on the evaluation of evacuation capacity for egress safety design in Korea(IV)

Seo, Dong Goo · Kim, Dong Eun · Hwang Hyun Bae
Hwang, Eun Kyung · Kwon, Young Jin
Fire & Disaster protection Engineering of Hoseo Univ.
Korea Transportation Safety Authority* · KICT**

요 약

최근 건축물은 초고층화 · 대형화 · 지하심층화 되어가고 있다. 이러한 건축물의 성능적인 피난안전성을 확보하기 위한 대책으로서 성능설계, 화재영향평가, 초고층 및 지하연계 방재관련 특별법 등 많은 제도가 시행되지만 구체적인 방법론이 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 성능적인 피난안전성을 확보하기 위하여 피난행동 중 수직적인 피난속도식을 제안하기 위하여 지하공간의 계단을 선정하여 관찰하였다.

1. 연구배경 및 목적

최근 우리나라는 건축물의 화재 및 피난안전을 목적으로 성능설계, 화재영향평가, 초고층 및 지하연계 방재관련 특별법 등 많은 제도가 시행되어 지고 있다. 성능적인 피난안전성을 확보하기 위해서는 건축물에 존재할 것으로 사료되는 재실자의 수, 피난경로의 폭, 피난경로의 확보, 피난자의 피난행동 특성 즉, 건축물의 용도에 맞는 피난용량의 확보 및 행동특성이 우선 시 되어야 할 것으로 판단된다. 하지만 우리나라의 경우 구체적인 피난용량을 확보하는 방안 및 피난행동에 관한 연구가 미흡한 실정이다. 특히 피난행동 중 피난시간에 가장 기여하는 피난속도의 조사는 더욱 부족하다.

따라서 본 연구는 한국의 성능적인 피난용량 산정에 대한 기초연구를 목적으로 군집되어 있는 밀도의 범위를 살펴보고 그에 대한 보행속도 측정을 실시하였다. 또한 이를 기존연구와 비교함으로써 한국의 수직적 군집형성시의 피난속도식을 제안하였다.

2. 수직적 보행속도에 관한 기존연구의 동향

피난에 있어서의 보행속도는 피난자의 행동능력이나 피난군중의 밀도, 피난경로의 조건, 연기의 상황등에 따라 달라진다. 실험이나 관찰결과에 의하면 일반적인 성인의 수평한 복도에서의 보행속도는 1[m/s] 전후의 범위이지만 고령자나 유아, 재해약자의 경우에는 그의 반정도이다. 계단부분은 기울기에 따라 보행속도가 다소 다르지만 표준적인 단 높이에 따른 면의 경우 수평 투영의 보행속도는 0.5[m/s]와 수평보행속도의 반정도가 된다. 그림 1은 기존의 수평 및 수직에서의 보행속도로 조사되었던 군집밀도와 보행속도와의 관계식을 나타낸 그래프이다. 군집밀도 높은 경우에는 극단적으로 보행속도가 저하된다. 피난 행동 예측에서는 통상 피난을 하는 것이라고 판단하여 일반적인 성인보행속도의 값을 이용하는 것이 대부분이다.

기존연구를 살펴보면 하행하는 인원의 보행속도는 일반적으로 상행보다 133%정도 빠른 것으로 보고되어있다. 일반적으로 상행계단을 통한 피난은 지하공간에서 옥외로 탈출하는 것이며, 하행계단을 통한 피난은 지상공간에서 옥외로 탈출하는 개념이다. 그러나 초고층 건축물에서는 화재 발생 지점 및 연소상황에 따라서 계단을 통하여 상층으로 올라가는 피난행동이 이루어지는 경우도 있다. 계단에서 군집의 보행속도는 수평통로에서 보행속도를 결정하는 요인과는 다소 차이가 있다. 가장 결정적 요인은 군집의 밀도이지만, 계단이라는 공간적 특성으로 인하여 경사도와 군집의 구성원 중 느린 보행자의 보수(步數)에 의해 영향을 받게 된다. 특히 계단에서 군집의 밀도가 1.0~1.5[인/m²]일 때 군집의 구성원 중 느린 보행자의 보수(步數)에 의해 보행속도가 결정된다.

또한 계단의 구배에 따라 보행속도는 차이가 있으며, 특히 군집이동시의 앞 인원의 느린걸음과 보수 등에 따라 많은 차이를 보인다.

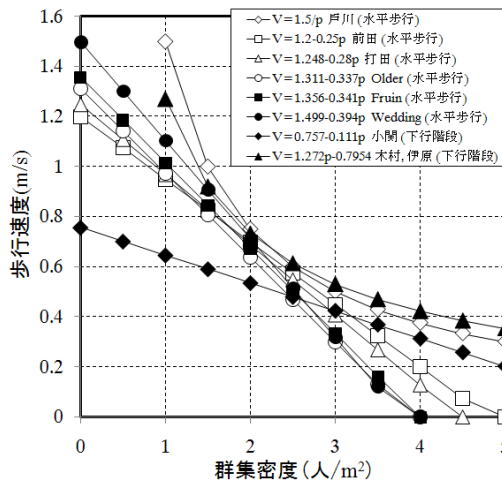


그림 1. 군집밀도와 보행속도의 관계

3. 수직적인 공간에서의 보행속도 조사

3.1 조사장소 및 방법

수직적인 피난은 상행과 하행으로 나뉘지만 본 조사는 일반적인 건축물의 층 피난을 고려하여 하행하는 인원을 대상으로 하였으며, 조사의 개요는 표 1과 같다. 또한 조사측정위치는 그림 2의 평면도에 위치한 계단에서 실시하였으며, 유효폭 3.5[m], 유효면적 25[m²], 수평길이 7.2[m], 경사도 29°로 구성된 계단에서 측정하였다.

측정방법은 외부출입구에서 지하전동차로 유입되는 인원이 가득 차게 되는 시점을 선정하여 유동이 시작되는 지점의 조사자 1이 타이머로 시간을 체크함과 동시에 출구방향으로 이동한다. 그 시각 출구에 위치한 조사자 2는 계수기를 이용하여 인원의 수를 측정하게 된다. 여기서 조사자 1이 조사자 2의 위치에 도달하는 순간까지의 인원과 시간을 체크하여 보행속도를 산정한다. 그림 3은 조사자의 배치 및 방법의 개요도이다.

표 1. 수직보행속도 조사의 개요

구분	내용
조사일시	2009년 1월 20일(일요일) 출퇴근시간(07:30~09:30, 18:00~20:00)
조사대상	한국 서울시 신도림역 이용객
조사범위	자유보행속도로 판단되는 조사결과 및 신뢰할 수 없는 결과는 제외
조사횟수	44회
결과분석	단순회귀분석

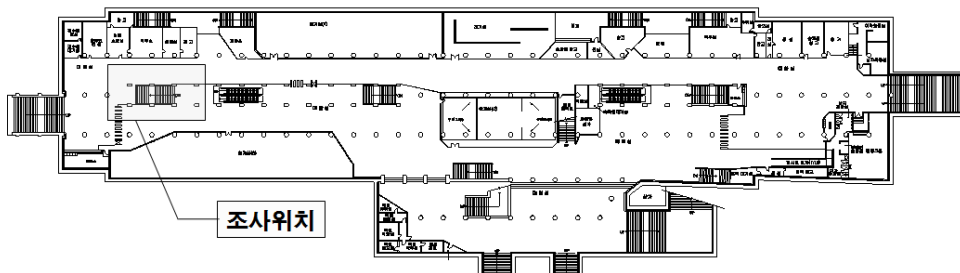


그림 2. 조사대상물의 평면도

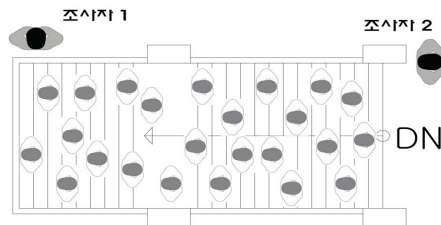


그림 3. 조사자배치 및 조사방법의 개요

3.2 조사결과 및 분석

본 조사는 군집보행이 형성되는 최저밀도를 1[인/m²]로 정하고, 최저밀도 기준이상의 밀도의 측정값은 자유보행속도로 가정하여 제외하였다. 여기서 자유보행속도란 일반적으로 인원의 충돌이 이뤄지지 않는 상태로 가정한다.

총 조사의 횟수는 44회 측정하였으며, 군집의 밀도는 1.00~3.96[인/m²]의 범위로 분포하였다. 최대의 보행속도는 1[인/m²]에서 0.42[m/s]로 측정되었고, 군집의 밀도가 증가함에 따라 보행속도는 3.90[인/m²]에서 0.27[m/s]를 기록되었다. 표 2는 군집보행속도를 측정된 것을 기록한 것이다.

표 2. 군집밀도에 따른 수직적(하행) 보행속도

No.	인원수	보행시간	유효면적	군집밀도	거리	보행속도
1	16	19.04	25	0.64	7.4	0.39
2	17	18.01	25	0.68	7.4	0.41
3	18	16.35	25	0.72	7.4	0.45
4	22	19.45	25	0.88	7.4	0.38
5	25	18.00	25	1	7.4	0.41
6	25	17.59	25	1	7.4	0.42
7	26	19.66	25	1.04	7.4	0.38
8	27	19.04	25	1.08	7.4	0.39
9	30	20.28	25	1.2	7.4	0.36
10	31	18.50	25	1.25	7.4	0.4
11	33	19.54	25	1.32	7.4	0.38
12	35	19.04	25	1.4	7.4	0.39
13	35	18.63	25	1.4	7.4	0.40
14	37	18.31	25	1.48	7.4	0.40
15	38	19.47	25	1.5	7.4	0.38
16	39	17.80	25	1.56	7.4	0.42
17	40	20.90	25	1.6	7.4	0.35
18	40	20.00	25	1.6	7.4	0.37
19	41	18.21	25	1.64	7.4	0.41
20	42	20.90	25	1.68	7.4	0.35
21	42	19.00	25	1.68	7.4	0.39
22	44	20.00	25	1.75	7.4	0.37
23	46	20.07	25	1.84	7.4	0.37
24	47	21.17	25	1.88	7.4	0.35
25	50	21.14	25	2	7.4	0.35
26	52	20.07	25	2.08	7.4	0.37
27	53	21.76	25	2.1	7.4	0.34
28	55	23.39	25	2.2	7.4	0.32
29	56	20.49	25	2.24	7.4	0.36
30	57	23.80	25	2.28	7.4	0.31
31	58	23.13	25	2.33	7.4	0.32
32	61	22.50	25	2.44	7.4	0.33
33	63	21.76	25	2.5	7.4	0.34
34	65	21.52	25	2.6	7.4	0.34
35	68	22.42	25	2.7	7.4	0.33
36	68	22.56	25	2.7	7.4	0.328
37	71	25.25	25	2.84	7.4	0.29
38	73	25.46	25	2.92	7.4	0.29
39	75	21.73	25	3	7.4	0.34
40	77	23.39	25	3.08	7.4	0.32
41	85	24.67	25	3.4	7.4	0.3
42	87	22.90	25	3.48	7.4	0.32
43	98	27.41	25	3.9	7.4	0.27
44	99	24.63	25	3.96	7.4	0.30

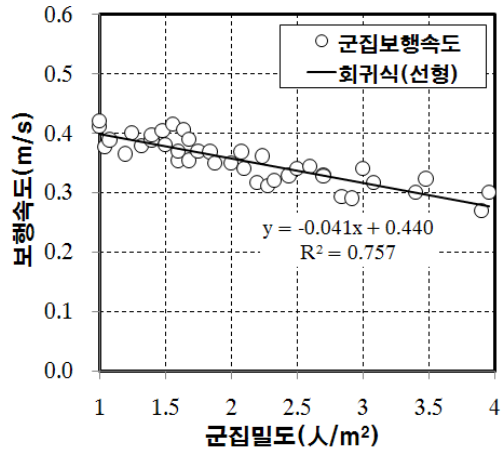


그림 4. 군집밀도에 따른 수직(하행) 보행속도

표 2의 군집밀도의 범위에 따른 보행속도를 그래프화 하면 그림 4와 같다. 그래프에서 볼 수 있듯이 데이터의 범위는 상당히 조밀하게 분포되어있으며, 특히 R2값은 0.757로서 높은 것으로 판단된다. 또한 전술한 바와같이 일반적인 계단에서의 보행속도는 0.5[m/s]로 표현되지만 본 조사에서 살펴볼 수 있듯이 자유보행속도의 경우에서만 적용되는 결과이며, 군집이 형성될수록 보행속도는 현저히 낮아지는 것을 알수 있다.

이를 단순회귀 분석하면 다음 (식 1)과 같은 회귀식이 도출된다.

$$v = 0.440 - 0.041\rho \quad (\text{식 1})$$

여기서, v 는 군집보행속도[m/s]이며, ρ 는 군집밀도를 나타낸다.

본 조사에서 도출된 회귀식을 기존 연구와 비교하면 다음 그림 5와 같다. 본 조사의 결과와 기존의 하행계단에서의 결과를 비교하면 계단의 구배에 따라 달라질수 있지만 값의 정도가 상대적으로 낮은 보행속도가 측정되었다.

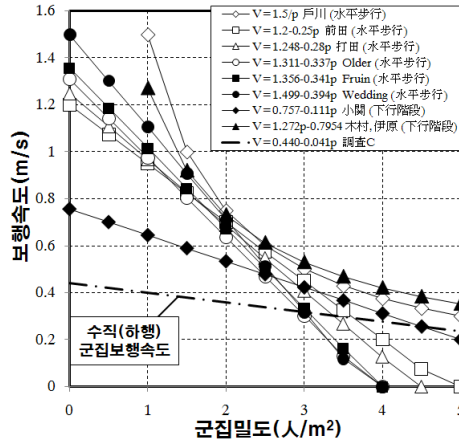


그림 5. 기존연구의 회귀식과 비교

이는 조사당시 조사의 대상인원이 출퇴근시간에 빠르게 분포되지만 일반적으로 빠른 보행은 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 또한 군집밀도가 높아짐에 따른 보행속도의 감소하는 비율을 나타내는 그래프의 경사도는 小關의 결과와 비슷한 양상을 가진다. 약 0.3[m/s]이상의 차이를 보이지만 군집밀도 4[인/m²]에서는 비슷한 결과가 나타내지는 것을 확인할 수 있다. 물론 계단의 구배의 조건이 다르기 면밀한 비교가 어렵지만 군집밀도에 따른 보행속도의 차이는 수평적인 결과보다는 낮은 분포를 보이는 것으로 판단된다.

4. 결론

수직적(하행)인 군집보행속도를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 건축구조물의 피난 시 군집밀도는 피난자의 보행속도와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 자유보행속도보다 현저히 감소되는 것을 알 수 있다. 군집밀도에 따라 전체 피난시간을 증가하므로, 성능적인 피난안전계획 시 군집밀도에 따른 피난속도의 계단은 면밀한 검토가 이루어져야 한다고 판단된다.
- 2) 본 조사 결과, 군집의 밀도에 따른 수직적 하행 보행속도는 $v = 0.440 - 0.041p$ 에 회귀식에 의하여 도출되어 질 수 있다. 하지만 이에 대한 보행속도는 더욱 다양하고 면밀한 조사가 진전되어 향후 한국인 특성에 맞는 군집보행속도를 도출할 수 있을 것이라 사료된다.
- 3) 수평적인 공간에서의 군집보행속도 보다 수직적(하행)인 보행속도가 현저히 낮게 나타났으며, 이는 군집이 형성됐을 경우 일반적으로 계단의 경사도에 따라 많은 차이를 보이게 되는 것으로 사료된다. 또한 향후 재해약자 및 성별의 분포에 따른 조사가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

- 1) 2001年版避難安全検証法の解説及び計算ツールとその解説, pp.3-10

- 2) Ando, K., Ota, H. and Oki, T., 1988, Forecasting the Flow of People, Railway Research Review, 45, 8, pp.8-14
- 3) 김종환, 건축공간 지각특성과 경로탐색 측면을 고려한 건축계획에 관한 연구, 단국대학교 박사논문, pp 47-48, 1992
- 4) 박재성, 건축물 화재시 피난행동을 고려한 피난예측모델에 관한 연구, 서울시립대학교 박사논문, pp 86-97