

[Research Paper]

보행 가능 높이에 따른 재실자의 보행속력에 관한 연구

손종영 · 배영훈 · 전규엽* · 홍원화**† · 신영민

경북대학교 건설환경에너지공학부 대학원생, *제주대학교 건축학부 교수, **경북대학교 건설환경에너지공학부 교수

The Relationship Between Walking Speed and Available Walking Height

Jong-Yeong Son · Young-Hoon Bae · Gyu-Yeob Jeon* · Won-Hwa Hong**† · Young-Min Shin

Graduate Student, School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University,

*Professor, Department of Architectural Engineering, Jeju National University,

**Professor, School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University

(Received January 6, 2020; Revised February 3, 2020; Accepted February 11, 2020)

요 약

건물화재 시 발생한 연기는 천장에서부터 내려오는 특성을 가진다. 이러한 특성으로 인해 화재상황에 따라 연기가 존재하는 공간을 지나는 사람들의 보행 가능 높이는 낮아지게 된다. 이에 본 연구에서는 보행 가능 높이에 따라 사람들의 보행속력을 분석하기 위해 보행실험을 수행하였다. 실험은 남녀 총 23명의 참가자가 참여하였다. 실험에 대한 분석결과, 전체적으로 보행 가능 높이가 낮아질수록 실험참가자들의 평균 보행속도는 낮아졌다. 하지만 보행 가능 높이가 1.2 m일 때의 보행속도만이 자유보행속도와 비교하여 유의미한 차이를 나타냈다. 또한, 실험참가자들의 BMI 지수 등급(저체중, 정상, 과체중, 비만)에 따라 분석한 결과 각 BMI 지수 등급 사이에는 유의미한 차이를 나타내지 못했다. 하지만 정상 등급은 경우 보행 가능 높이가 1.2 m에서의 보행속도가 정상 등급의 자유보행속도와 비교하여 유의미하게 저하되었고, 과체중 등급의 경우 1.8 m, 1.7 m에서의 보행속도가 과체중 등급의 자유보행속도와 비교하여 유의미하게 증가하였다.

ABSTRACT

During fire outbreaks, smoke accumulates from the ceiling and reduces the available walking height of people passing through. In this study, a walking experiment was conducted to investigate the relationship between the walking speed of people and available walking height. Twenty-three participants were enrolled. Based on the results, the lower the available walking height, the lower the average walking speed of the participants. However, a significant difference was noted only in the walking speed when the available walking height was 1.2 m compared to the free walking speed. In addition, there was no significant difference among participants in terms of their BMI index grade. However, in the case of participants with normal BMI, the walking speed at a 1.2 m available walking height was significantly lower than when walking freely. Further, in the case of overweight participants, the walking speed at 1.8 m and 1.7 m available walking height was significantly increased compared to that when walking freely.

Keywords : Performance criteria, Performance-based design, Walking speed, Smoke layer height

1. 서 론

1.1 연구의 목적 및 배경

대상 건축물에 대하여 의무적으로 시행되는 성능위주설계제도는 재산 및 건물을 보호하고, 인명을 보호하는 것을 목적으로 한다. 여러 평가 요소 중에는 건물을 이용하는 사람들의 피난 안전성이 있다. 이를 평가하기 위해서는 실제

로 실증실험을 통해 화재 및 피난시간을 측정하거나, 시뮬레이션 및 공학적인 계산식을 활용할 수 있다. 각 방법은 장단점을 가지고 있는데 건물 화재 상황의 성격이나 규모, 시간, 비용 등의 이유로 실제로 실증실험을 통하여 평가하기가 어렵기 때문에 시뮬레이션의 활용은 필수적이다. 이에 국내에서는 일반적으로 화재 및 피난 시뮬레이션을 통해 피난 안전성의 평가가 이루어진다.

† Corresponding Author, E-Mail: hongwh@knu.ac.kr. TEL: +82-53-950-5597, FAX: +82-53-950-6590

© 2020 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

시뮬레이션을 통한 평가방법은 화재 시뮬레이션을 수행하여 사람들이 피난에 이용 가능한 시간(Available safety evacuation time, ASET)을 도출하고, 피난 시뮬레이션을 통해 사람들이 피난에 필요한 시간(Required safety evacuation time, RSET)을 도출한 후에 두 시간을 비교한다. ASET이 RSET보다 크면 안전하고, ASET이 RSET보다 작으면 안전하지 않다고 판단한다. RSET은 피난 시뮬레이션에서 에이전트가 피난을 시작한 후 마지막 에이전트가 안전한 지역으로 도달한 시간까지를 의미하고, ASET은 화재 시뮬레이션에서 화재의 진행 상황이 사람들에게 위협해졌다고 판단되는 시간까지를 의미한다. ASET의 위협의 판단 기준은 성능위주설계제도에서 제시되는 인명안전기준으로 열에 의한 영향(온도), 독성에 의한 영향(농도), 가시거리에 의한 영향을 호흡기계선에서 측정하여 ASET을 결정한다.

시뮬레이션을 활용한 평가방법은 국내에서 성능위주설계시 일반적으로 사용되기에 활용되는 시뮬레이션들의 신뢰도는 무엇보다 중요하다. 하지만 현재 ASET과 RSET을 비교하는 방식은 연기나 위험물질의 영향이 피난과정에 반영되지 않는 단점이 있다. 일부 프로그램에서는 구동방식에 따라 화재상황을 고려하여 기어서 피난하기도는 하지만 연기층의 높이 변화를 고려한 피난에 대한 연구는 부족하다.

연기는 재실자가 위험을 인지하여 빠르게 피난하게 할 수 있게 하는 요인이 되기도 하지만, 연기 통과할 때는 보행속도가 감소한다⁽¹⁻³⁾. 하지만 현재 국내에서 건축물의 인명안전성평가를 위해 활용하는 컴퓨터 시뮬레이션인 화재 및 피난 시뮬레이션에서는 사용되는 분석 방법의 한계상 위험요소가 피난 과정에 미치는 영향이 반영되지 않는다⁽⁴⁾. 건축물 내에서의 재실자의 유동은 공간이나 화재상황에 따라 유동성이 크기 때문에 과학적이고 정량적인 데이터가 필요하다. 이에 국내외에서는 재실자가 피난 과정에서 받을 수 있는 영향을 고려하여 다양한 환경과 조건에서의 보행속도 변화를 연구하였지만, 보행 공간의 높이에 따른 보행속도에 관한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 실험을 통해 보행 가능 높이에 따른 재실자의 보행속도의 변화를 분석하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 건물의 화재 상황에서 피난경로의 천장 또는 연기 등으로 인해 공간의 높이가 제한되는 것을 가정하여 보행실험을 수행하였다. 실험에 앞서 변수인 보행 가능 높이를 도출하기 위해 한국인의 인체치수를 조사하였다. 도출된 보행 가능 높이를 기반으로 천장의 높이가 조절 가능한 세트장을 직접 제작하여 보행 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 보행 가능 높이만을 고려하였고, 위험요소나 다른 조건은 고려하지 않았다.

2. 관련 기준 및 선행연구 고찰

2.1 보행속도 기준 및 선행연구 분석

보행속도는 화재 시 재실자들의 피난시간에 영향을 주는 중요한 요소로 다양한 화재 환경 및 공간의 상황에 대한 보행속도를 예측하기 위해 많은 연구가 수행되어왔다. 이러한 연구들은 일반적으로 실험대피실험을 통해 실험참가자의 이동속도를 측정하고 분석하였다.

Choi 등⁽⁵⁾은 한국인의 보행속도 및 피난행동을 분석하기 위해 334명을 대상으로 초고층건물에서 피난실험을 실시하였고, 결과를 바탕으로 재실자의 수직 이동에 관한 기초적인 데이터를 제시하였다. 그리고 이와 유사한 실험대피 실험들이 주요 피난경로인 복도, 계단 등에서의 보행속도 및 피난행동을 분석하기 위해서 수행되었다^{(3),(6-7)}. 이러한 보행실험들은 실험참가자의 자유보행속도를 측정하여 한국인의 보행속도를 측정하거나 최악의 상황을 가정하여 사람들이 몰려서 피난하는 즉, 군집피난에 대해서 연구를 수행하였다⁽⁵⁻⁸⁾.

하지만 이러한 연구들은 주로 20-30대의 일반적인 신체 조건의 사람들을 대상으로 실시되었고, 다양한 연령대나 대상을 하지 못했다. 이에 10대부터 60대까지의 연령대의 사람들에게 대해서 보행속도를 측정·분석하는 연구도 수행되었다⁽⁹⁾.

또한 체력이나 BMI지수⁽¹⁰⁾, 노약자⁽¹¹⁻¹³⁾, 장애인⁽¹⁴⁻¹⁵⁾ 등과 같이 신체적인 조건이나 보행행태에 따른 보행속도를 측정하기 위한 연구들이 수행되어 기초적인 데이터들을 제공하였다.

이외에도 다양한 조건에서의 보행속도를 분석하기 위한 여러 실험적 선행연구들이 수행되었지만, 본 연구와 같이 호흡기계선과 관련된 보행속도에 대한 선행연구는 거의 없다고 할 수 있다.

2.2 한국인의 신체특성에 근거한 보행 가능 높이 기준

산업통상자원부의 국가기술표준원에서 실시하는 한국인 인체치수조사 결과에 따르면 2015년 기준 한국인 19-60세의 평균키는 남자 171.5 cm, 여자 158.6 cm로 나타났다(Table 1, Table 2 참조). 이를 고려하여 보행실험을 위한 보행 가능 높이를 1.8 m를 기준으로 도출하였다.

2.3 체질량지수 기준

Body Mass Index(체질량지수)는 체지방측정에 이용될 수 있는 가장 간단한 인체 계측법 중 하나이며, 체중(kg)을 신장(m)의 제곱으로 나눈 값이다. 우리나라에서는 세계보건기구(WHO)에서 제시하는 아시아인에 대한 비만 권고기준을 따르고 있다. 동양인의 BMI 지수 기준은 저체중(18.4이하, Low Weight) 정상(18.5-22.9, Normal), 과체중(23-24.9, Overweight), 비만(25 이상, Obesity)으로 분류한다.

Table 1. Average Height of Korean Male

Age (year)	Number (person)	Average Height (mm)	Standard Deviation (mm)
19	394	1728	58.5
20-24	378	1735	51.7
25-29	465	1736	57.2
30-34	432	1724	56.2
35-39	459	1719	57.4
40-49	435	1692	56.8
50-59	302	1663	59.2
19-60	2896	1715	61.4

Table 2. Average Height of Korean Female

Age (year)	Number (person)	Average Height (mm)	Standard Deviation (mm)
19	416	1598	54.9
20-24	298	1604	52.7
25-29	313	1602	51.3
30-34	337	1601	52.2
35-39	353	1590	51.5
40-49	374	1567	49.9
50-59	350	1547	51.7
19-60	2483	1586	56.2

3. 보행 가능 높이에 따른 보행실험

3.1 대상지 개요

보행실험은 대구에 위치한 K 대학교의 강의실에서 수행되었다. 천장을 조절할 수 있는 환경을 위해 높이를 제한할 수 있는 10 m 길이의 복도를 구성하여 임의의 세트장을 제작하였다. 실험을 위해 구성된 복도는 파티션을 이용하여 양측 면의 벽을 구성하였고, 보행 가능 높이를 조절하기 위한 천장은 부직포 재질의 천이 활용되었다(Figure 1).

3.2 실험 방법 및 절차

본 연구는 다음과 같은 가설을 세우고 보행실험을 계획하고 수행하였다.

- 1) 보행 가능 높이가 낮아질수록 보행속도는 느려진다
- 2) 보행자의 신체적인 특성(BMI지수)에 따라 보행속도의 차이가 있다.
- 3) BMI지수에 따라 보행 가능 높이별 보행속도는 차이가 있다.

이를 위해 실험가자의 보행 가능 높이를 보행속도의 독립변수로 설정하였고, 실험에 따라 실험참가자의 이동경로가 되는 복도의 천장 높이를 변화하여 수행하였다. 변수가



Figure 1. View of experimental corridor set.



Figure 2. Pictures of experiment process.

되는 보행 가능 높이는 한국인 인체치수조사 결과인 한국인의 평균 키를 고려하여 1.8 m부터 0.1 m 단위로 보행 가능 높이를 하향 조정하면서 반복 실행하였다. 이는 실험참가자들이 더 이상 일어선 자세로 피난할 수 없을 때까지 반복하였다. 모든 실험참가자의 이동과정은 실험진행요원들이 도착지점에서 스톱워치를 활용하여 측정 및 기록을 하였다(Figure 2).

보행실험 결과 실험참가자들 중에서 일어선 자세로 피난이 불가능한 실험참가자들이 발생한 1.1 m에서 보행실험을 종료하였다. 따라서 최종적으로 보행실험은 1.8 m를 시작으로 0.1 m씩 감소시켜 1.2 m까지 7가지의 높이에 대해 실시되었다(1.8 m, 1.7 m, 1.6 m, 1.5 m, 1.4 m, 1.3 m, 1.2 m).

Table 3. Average Height and Weight of Participants

Category	N	Average Height [cm]	Average Weight [kg]
Total	23	175.1	72.5
Low Weight	1	160.0	46.0
Normal	9	175.3	64.9
Overweight	7	175.6	73.7
Obesity	6	176.7	87.0

N: Number of People

Table 4. Normal Walking Speed of Participants

	Average	Standard Deviation	Median Value	Min Value	Max Value
Walking Speed [m/s]	1.39	0.19	1.35	1.02	1.86

Table 5. Ranks of Available Walking Height-Walking Speed (Normal Walking - 1.2 m)

Available Walking Height	N	Mean Ranks	Sum of Ranks
Normal Walking	23	28.02	644.50
1.2 m	23	18.98	436.50
total	46		

N: Number of People

3.3 실험참가자의 신체적 특성 및 자유보행속도

보행실험은 20-30대 남녀 23명(남자 19명, 여자 4명)의 실험참가자를 대상으로 수행되었다. 실험참가자들은 사전에 키와 몸무게를 측정하였다(Table 3 참조). 또한, 보행실험을 실시하기 전 보행 가능 높이별 보행속도와 대조하기 위해 실험참가자의 일반적인 상황에서의 속도인 자유보행속도를 측정하였다. 자유보행속도는 동일한 공간에서 10 m 거리를 평상시 걸음걸이로 걸어가게 실험참가자의 보행속도를 측정하였다(Table 4 참조). 측정결과 실험참가자의 평상시 보행속도는 1.39 m/s으로 나타났다.

4. 실험 결과 분석

4.1 보행 가능 높이에 따른 보행속도 분석

먼저 보행 가능 높이에 따라 실험참가자들의 보행속도는 다음 Figure 3과 같다. 측정결과 실험참가자들의 보행속도는 실험참가자별로 정도의 차이는 존재했지만 보행 가능 높이가 낮아질수록 느려지는 것으로 나타났다.

실험참가자들의 보행속도를 세부적으로 살펴보면, 1.8 m의 높이에서는 평균 1.42 m/s, 1.7 m에서는 평균 1.42 m/s, 1.6 m에서는 평균 1.41 m/s, 1.5 m에서는 평균 1.43 m/s, 1.4 m에서는 평균 1.41 m/s, 1.3 m에서는 평균 1.36 m/s, 1.2 m에서

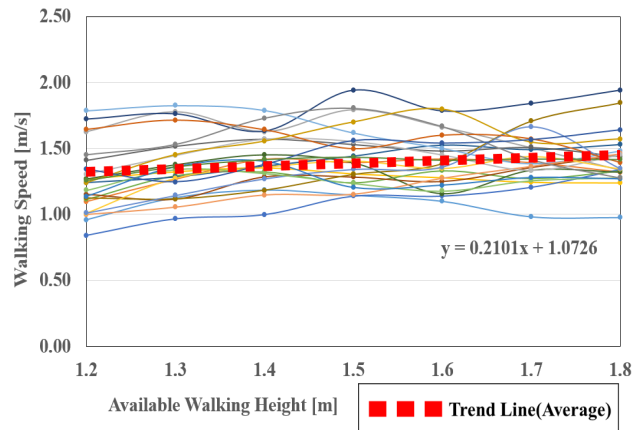


Figure 3. Relationship between walking speed and available walking height.

는 평균 1.26 m/s으로 나타났다. 1.4 m의 보행높이 조건까지는 3.3장에서 언급하였던 실험 참가자의 평균 자유보행속도와 비교하여 조금 높거나 비슷한 것으로 나타났으나, 보행 가능한 천정의 높이가 1.3 m 이하로 낮아지게 되면 실험참가자의 평균 보행속도가 자유보행속도 이하로 낮아지는 것으로 분석되었다. 평균 보행속도에 대한 분석 결과 보행 가능 높이가 낮아짐에 따라 보행속도가 느려지는 것을 확인할 수 있었다.

하지만 보행 가능 높이별 보행속도가 자유보행속도와 비교하여 통계적으로 유의미하게 감소하는지를 분석하기 위하여 통계해석프로그램인 SPSS 25 (Statistical package for the social sciences)를 활용하여 분석을 실시하였다. 보행실험의 각 보행 가능 높이별 참가자수가 정규분포를 나타내기에는 부족하여 통계해석방법으로 적은 표본에 대해서 분석이 가능한 비모수검정 중 Mann-Whitney Test을 선택하였다. 신뢰도 수준은 95%로 설정하였다.

분석결과 보행 가능 높이의 각 구간에서의 보행속도는 실험참가자들의 자유보행속도와 비교하여 유의한 차이 발생하지 않았습니다. 이는 전체적으로 증가하든 감소하든 통계적으로 의미가 없었다는 것이다. 하지만 보행 가능 높이가 1.2 m 구간에서의 보행속도는 자유보행속도와 비교하여 유의한 차이(p = 0.022) 발생했다. 이는 보행 가능 높이가 1.2 m의 보행속도는 자유보행속도와 비교하여 통계적으로 유의한 정도로 감소되었고, 이는 연기층이 1.2 m까지 낮아질 경우 피난에 현저하게 지장을 줄 정도로 보행속도의 감소가 있을 것으로 판단된다(Table 5, 6 참고).

보행 가능 높이가 1.2 m에서의 평균보행속도는 1.26 m/s로 자유보행속도의 1.39 m/s의 표준편차(0.19)이내 이다. 하지만 이는 몇몇 실험참가자들의 보행속도가 보행 가능 높이 1.2 m에서 높은 보행속도를 나타내 평균보행속도를 높였지만 대다수 실험참가자들은 유의미한 차이로 보행속도가 감소한 결과로 판단된다.

Table 6. Test Statistics of Available Walking Height-Walking Speed (Normal Walking - 1.2 m)

	Walking Speed [m/s]
Mann-Whitney U	160,500
Wilcoxon W	436.500
Z	-2.286
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.022

Asymp. Sig.: Asymptotic Significance

Table 7. BMI Index of Experiment Participant

BMI Level	N	Average BMI value	Normal Walking Speed
Low Weight	1	17.97	1.02 m/s
Normal	9	21.03	1.45 m/s
Overweight	7	23.89	1.30 m/s
Obesity	6	27.72	1.49 m/s

N: Number of People

4.2 BMI지수에 따른 보행속도 변화 분석

4.2.1 보행 가능 높이별 BMI 지수 등급에 따른 보행속도 차이

다음으로 실험참가자의 신체적인 특성에 따라 보행 가능 높이별 보행속도가 차이가 나는지 알아보기 위해 통계 분석을 수행하였다.

이를 위해 본 연구에서는 보행 가능 높이별 보행속도의 변화를 실험참가자의 BMI를 활용하여 보행자의 신체 특성에 따른 보행속도의 변화를 세부적으로 분석하였다. 기준에 따른 실험참가자들의 BMI 지수 분포와 그에 속한 실험참가자달의 보행속도는 Table 7과 같다.

BMI 지수 기준에 따라 구분되는 실험참가자들의 자유보행속도는 저체중 1.02 m/s, 정상 1.45 m/s, 과체중 1.30 m/s, 비만 1.49 m/s이다. 또한, 보행 가능 높이의 변화에 따른 각 BMI 지수 등급에 속한 실험참가자들의 평균 보행속도는 Figure 4 및 Table 8과 같다.

분석결과 각 보행 가능 높이에서 BMI지수 기준에 따라 실험참가자들의 보행 속도는 차이가 존재하였다. 하지만 각 BMI지수 기준에 따라 보행속도의 패턴은 일정하지 않았다. 이를 통계적으로 분석하기 위해서 통계해석방법은 실험참가자의 수가 정규분포를 만족하지 못하였기에 비모수검정 중 Kruskal-Wallis Test를 선택하였다. 신뢰도 수준은 95%로 설정하였다.

세부적으로 BMI 지수 등급에 따라서 보행속도의 유의미한 차이가 나타나는지 살펴보기 위해 각 BMI 지수 등급들의 자유보행속도와 각 보행 가능 높이의 보행속도에 대해 통계분석을 실시하였다.

하지만 통계분석 결과 BMI 지수 등급들 사이의 보행속

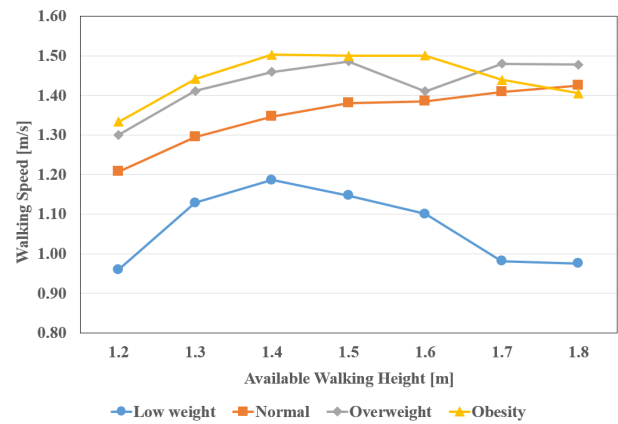


Figure 4. Changes in Walking Speed according to the BMI Level of Experiment Participant.

Table 8. Average Walking Speed according to the BMI Level at each Available Walking Height [unit : m/s]

	1.8 m	1.7 m	1.6 m	1.5 m	1.4 m	1.3 m	1.2 m
Lo.	0.98	0.98	1.10	1.15	1.19	1.13	0.96
No.	1.43	1.41	1.39	1.38	1.35	1.30	1.21
Ov.	1.48	1.48	1.41	1.49	1.46	1.41	1.30
Ob.	1.40	1.44	1.50	1.50	1.50	1.44	1.33

Lo.: Low Weight, No.:Normal, Ov.:Overweight, Ob: Obesity

도는 각 보행 가능 높이에서 유의미한 차이를 나타내지 않았다(Table 9 참조). 이는 보행 가능 높이가 낮아질 때 각 BMI지수 기준에 해당하는 실험참가자들의 보행속도는 큰 차이가 없다는 의미이다.

4.2.2 BMI지수 등급별 자유보행속도와 개별 보행 가능 높이에서의 보행속도 차이

BMI지수 등급별 자유보행속도와 개별 보행 가능 높이에서의 보행속도의 차이는 비모수검정 중 Mann-Whitney Test를 선택하여 통계분석을 수행하였다. 신뢰도 수준은 95%로 설정하였다.

분석 결과 BMI 지수 등급별 자유보행속도와 개별 보행 가능 높이에서의 보행속도 사이에서 유의미한 차이가 나타난 등급은 정상과 과체중 등급이다. 그 결과는 다음과 같다.

(1) 정상 체중

정상 등급에 대한 분석결과 실험참가자들의 자유보행속도와 비교하여 보행 가능 높이가 1.2 m까지 낮아졌을 때 실험참가자들의 보행속도가 유의미하게($p = 0.019$) 감소하였다(Table 10, 11 참조). 이는 체질량지수가 정상 등급의 사람들의 경우 건물 화재시 보행 가능한 높이가 1.2 m까지 낮아졌을 때 피난과정에서 지장을 받게 된다는 것을 의미한다.

Table 9. Independent Sample Kruskal-Wallis Test Results of Available Walking Height-Walking Speed According to BMI Level

Normal Walking Peed	N	23
	Test Statistics	6.652
	df	3
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.084
Walking Speed (1.8 m)	N	23
	Test Statistics	3.839
	df	3
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.279
Walking Speed (1.7 m)	N	23
	Test Statistics	3.294
	df	3
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.348
Walking Speed (1.6 m)	N	23
	Test Statistics	3.894
	df	3
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.273
Walking Speed (1.5 m)	N	23
	Test Statistics	3.524
	df	3
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.318
Walking Speed (1.4 m)	N	23
	Test Statistics	3.774
	df	3
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.287
Walking Speed (1.3 m)	N	23
	Test Statistics	3.203
	df	3
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.361
Walking Speed (1.2 m)	N	23
	Test Statistics	3.619
	df	3
	Asymp. Sig. (2-tailed)	0.306

N: Number of People, df: Degree of Freedom, Asymp. Sig.: Asymptotic Significance

(2) 과제중

과제중 등급에 대한 분석결과 실험참가자들의 자유보행 속도와 비교하여 보행 가능 높이가 1.8 m, 1.7 m로 낮아졌을 때 실험참가자들의 보행속 도가 유의미하게(1.8 m의 p = 0.047, 1.7 m의 p = 0.025) 증가하였다(Table 12-15 참조). 이는 체질량지수가 과제중 등급의 사람들의 경우 건물 화재 시 보행 가능한 높이가 1.8 m, 1.7 m까지 낮아졌을 때는 피 난과정이 빨라진다는 것을 의미한다.

Table 10. Ranks of Available Walking Height-Walking Speed (BMI:Normal, Normal Walking - 1.2 m)

Available Walking Height	N	Mean Ranks	Sum of Ranks
Normal Walking	9	12.44	112.00
1.2 m	9	6.56	59.00
Total	18	-	-

N: Number of People

Table 11. Test Statistics of Available Walking Height-Walking Speed (BMI:Normal, Normal Walking - 1.2 m)

	Walking Speed [m/s]
Mann-Whitney U	14.000
Wilcoxon W	59.000
Z	-2.340
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.019
Exact Sig. (2*1-tailed Sig.)	0.019 ^b

a. Group Variable : BMI_Normal

b. Not corrected for ties

N: Number of People, Asymp. Sig.: Asymptotic Significance, Exact Sig.: Exact Significance

Table 12. Ranks of Available Walking Height-Walking Speed (BMI:Overweight, Normal Walking - 1.8 m)

Available Walking Height	N	Mean Ranks	Sum of Ranks
Normal Walking	7	5.29	37.00
1.8 m	7	9.71	68.00
Total	14	-	-

N: Number of People

5. 결 론

본 연구에는 건물 화재시 발생하는 연기층이 쌓이는 것 을 가정하여 변화하는 보행 가능 높이에 따라 사람들의 보 행속도를 분석하고자 했다. 이를 위해 보행 가능 높이의 조 절이 가능한 세트장을 제작하여 보행실험을 실시하였으며, 실험결과에 대해 분석을 실시했다. 그 결과는 다음과 같다.

보행 가능 높이에 따른 실험참가자 전체의 평균 보행 속 도는 1.8 m에서는 1.42 m/s, 1.7 m에서는 1.42 m/s, 1.6 m에 서는 1.41 m/s, 1.5 m에서는 1.43 m/s, 1.4 m에서는 1.41 m/s, 1.3 m에서는 1.36 m/s, 1.2 m에서는 1.26 m/s를 나타냈다.

실험참가자들의 평균 보행 속도는 자유보행속도와 비교 하여 통계적으로 유의미하게 증가 또는 감소하지 않았다. 하지만 보행 가능 높이가 1.2 m 조건에서의 평균 보행속도 는 자유보행속도와 비교하여 유의하게 속도가 감소하였다. 이는 피난상황에서 호흡기계선과 관련하여 연기층이 1.2 m

Table 13. Test Statistics of Available Walking Height-Walking Speed (BMI:Overweight, Normal Walking - 1.8 m)

	Walking Speed [m/s]
Mann-Whitney U	9.000
Wilcoxon W	37.000
Z	-1.985
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.047
Exact Sig. (2*1-tailed Sig.)	0.053 ^b

a. Group Variable : BMI_Overweight

b. Not corrected for ties

N: Number of People, Asymp. Sig.: Asymptotic Significance, Exact Sig.: Exact Significance

Table 14. Ranks of Available Walking Height-Walking Speed (BMI:Overweight, Normal Walking - 1.7 m)

Available Walking Height	N	Mean Ranks	Sum of Ranks
Normal Walking	7	5.00	35.00
1.7 m	7	10.00	70.00
Total	14	-	-

N: Number of People

Table 15. Test Statistics of Available Walking Height-Walking Speed (BMI:Overweight, Normal Walking - 1.7 m)

	Walking Speed [m/s]
Mann-Whitney U	7.000
Wilcoxon W	35.000
Z	-2.236
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.025
Exact Sig. (2*1-tailed Sig.)	0.026 ^b

a. Group Variable : BMI_Overweight

b. Not corrected for ties

N: Number of People, Asymp. Sig.: Asymptotic Significance, Exact Sig.: Exact Significance

까지 내려오기 전까지는 보행속도의 감소가 있었지만 유의미한 감소는 발생하지 않았다. 하지만 1.2 m에서는 재실자의 이동에 유의미한 보행속도의 감소를 나타내었다.

BMI 지수 기준에 따른 실험참가자의 평균 보행속도를 비교하였을 때 각 보행 가능 높이에서 저체중, 정상, 과체중, 비만 등급의 실험참가자들 사이에서 평균 보행속도는 차이가 있었지만 유의미한 차이를 나타내진 못했다.

실험참가자의 BMI 지수 등급별 보행가능 높이에 따른 자유보행속도와 이동속도의 차이는 BMI 지수가 정상인 실험참가자 군집의 경우에만 보행 가능 높이 1.2 m에서 감소하는 것으로 유의미한 차이가 나타났다. 저체중, 비만인 실험참가자 군집의 경우 유의미한 차이를 나타내지 못했으며,

과체중 군집의 경우 보행가능 높이 1.8 m, 1.7 m에서 실험참가자의 평균보행속도가 자유보행속도와 비교하여 오히려 유의미하게 증가한 것으로 나타났다.

본 연구는 보행 가능 높이에 따른 보행속도의 변화를 분석하고자 하였다. 본 실험은 궁극적으로 변화하는 연기층에 따라 변화하는 사람들의 보행속도를 산출하여 현재 독립적으로 수행되는 화재 및 피난시물레이션을 보완할 수 있는 데이터를 구축하기 위한 기초연구이다. 이를 통해 시물레이션을 통한 피난안전성 평가방법의 신뢰도를 높여줄 수 있을 것이다. 하지만 본연구에서는 실험 참가자의 나이 분포가 20대로 한정되어 있었으며, 실험참가자의 인원 수 또한 결과에 대한 객관성을 가지기에 충분하지 않은 한계가 있다. 향후 추가 연구를 통해 다양한 연령대, 더욱 많은 실험참가자 수, 추가적인 변수에 대한 고려를 하고자 한다.

후 기

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원 (19AUDP-B100356-05)에 의해 수행되었습니다.

References

1. S. M. Seo, J. H. Choi and W. H. Hong, "How Visual-Field Obstruction from Fire Smoke Influences a Resident's Necessary Time to Reach Fire Escape and Evacuation Route in a High-rise Apartment Housing", Journal of the Korean Housing Association, Vol. 19, No. 5, pp. 103-110 (2008).
2. K. I. Hwang, D. K. Shin, Y. J. Kim, J. H. Youn, S. I. Lee and W. H. Hong, "A Case Study on the Passengers' Evacuation Times according to the Fire Smoke Density On a Ship", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 33, No. 2, pp. 336-343 (2009).
3. S. H. Lee, J. H. Choi and W. H. Hong, "Analysis on Vertical Walking Speed according to Extinction Coefficient within Smoke Layers in a Staircase", Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol. 27, No. 11, pp. 357-364 (2011).
4. H. M. Koo, R. S. Oh, S. H. An, C. H. Hwang and J. H. Choi, "A Study on Comparison of Life Safety Assessment Results according to Three Coupling Methods of Fire and Evacuation Simulation", Fire Science and Engineering, Vol. 33, No. 1, pp. 121-129 (2019).
5. J. H. Choi and W. H. Hong, "Two-way Evacuation Modelling and Human Behaviour Analysis from a Full-scale High-rise Apartment Data-set", Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol. 29, No. 10, pp. 233-240 (2013).

6. J. H. Choi and W. H. Hong, "A Development of Occupant's Vertical Travel Time Prediction Model from High-rise Building's Experimental Data", *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 28, No. 11, pp. 375-382 (2012).
7. R. S. Oh, S. N. Baek, J. H. Choi, S. H. Lee, K. I. Hwang and W. H. Hong, "Comparison of Agent Walking Speeds in Staircases in Tall Buildings", *Proceeding of 2014 Spring Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 153-154 (2014).
8. W. H. Kim, G. H. Lee and J. H. Kim, "Measurement of the Movement Speed and Density of People on a Building Corridor", *Fire Science and Engineering*, Vol. 31, No. 1, pp. 36-41 (2017).
9. S. J. Park, J. S. Lee, D. H. Kang, E. H. Jung, H. J. Jeon and S. B. Park, "A Study on Walking Speed and Stride According to Age", *Proceeding of 2007 Conference, Ergonomics Society of Korea*, pp. 430-434 (2007).
10. E. M. Jeon, J. H. Choi, B. Y. Seo and W. H. Hong, "A Statistical Analysis of Evacuation Time based on Evacuee's Physical Conditions in a High-rise Building", *Proceeding of 2010 Spring Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 261-266 (2010).
11. E. S. Kim, J. S. Lee and S. Y. Kim, "Measurement and Analysis of Moving Velocity of Elementary School Students Under a Escape Drill", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 17, No. 4, pp. 1-6 (2003).
12. H. R. Hong, D. G. Seo, Y. Hasemi and Y. J. Kwon, "A Study on the Walking Speed of Crowd for Safety Evacuation Design of the Elderly", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 25, No. 1, pp. 19-26 (2011).
13. J. S. Kim, E. K. Hwang and H. J. Youn, "A Study on Egress Planning Safety Factor of Weak Person for PBD", *Proceeding of 2011 Spring Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 219-226 (2011).
14. E. S. Kim, J. H. Park, Y. S. Kwon, I. S. Kim and M. H. Kim, "A Study on Walking Speed of the Disabled People by Cerebral Palsy in Welfare Center", *Proceeding of 2011 Fall Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 328-333 (2011).
15. M. H. Kim, H. M. Ji, I. S. Kim, J. S. Lee and E. S. Kim, "A Study on Walking Speed of Visually Handicapped People in Welfare Center", *Proceeding of 2011 Fall Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 324-327 (2011).