

# 초등학생의 피난 훈련 상황하에서의 이동속도 측정 및 분석에 관한 연구 Measurement and Analysis of Moving Velocity of Elementary School Students Under a Escape Drill

김응식 · 이정수\* · 김수영†

Eung-Sik Kim · Jung-Soo Lee\* · Soo-Young Kim†

호서대학교 환경안전공학부, \*충남대학교 건축공학과  
(2003. 2. 16. 접수/2003. 10. 2. 채택)

## 요 약

본 논문에서는 우리나라 초등학생을 대상으로 피난상황 시 교내에서의 여러 가지 이동속도를 측정하였으며 이들의 분석방법에 대하여 논하였다. 여기서 이동속도라 함은 교실 문에서의 유출속도, 복도에서의 개인별 이동속도, 복도에서의 밀도별 이동속도(Crowd movement, Flow velocity<sup>1)</sup>) 및 개인별 계단에서의 이동 속도 등을 포함하게 된다. 이를 위하여 대전의 한 초등학교를 선택하고 각 학년 남녀 각각 15명씩 총 180명을 추출하여 시험에 임하였다. 이를 통하여 초등학교 아동들의 이동속도에 대한 기초 자료를 얻을 수 있었으며 이들 자료를 피난 시뮬레이션을 행할 때 초등학생에 대한 지표로 사용하고자 한다.

## ABSTRACT

This study measures the various moving velocities of elementary school children under situation of fire drill and suggests the methods of analysis. The velocities are such as the exiting velocity at the door of the classroom, personal walking velocity at corridor, velocity according to density of crowd and personal walking velocity at stairway. For these measurement an elementary school in Daejeon is chosen and 15 girls and 15 boys are selected in each grade. Finally speed data of the children is obtained and we can apply this data for the evacuation simulation of a school.

**Keywords :** Moving velocity, Working velocity, Evacuation

## 1. 서 론

현재 건축 및 토목 기술의 발달로 건축물은 더욱 고층화, 대형화 되어가고 있으며 또한 거듭되는 대형 사고로 사회 분위기도 안전에 대한 인식이 전환되어가는 시점에 있다. 이러한 배경 하에 화재 시 피난시간의 예측 및 피난 경로의 사전검토 등이 요구되어지고 있다. 이미 여러 선진국들은 이를 위한 각종 예측 기법들을 소개하고 있다. 이러한 해석 기법은 크게 두 가지로 나뉘어지는데, 하나는 우리가 SFPE handbook<sup>2)</sup>에서 보는 바와 같이 건물의 설계치를 사용하여 총 피난시간을 예측하는 방법으로 그래픽 처리가 없는 텍스트 환

경 하에서 프로그래밍이 가능한 것 들이다. 이를 바탕으로 개발된 S/W로는 EXIT 89, EGRESS등이 있다. 다른 부류는 GUI(Graphic User Interface) 환경 하에서 피난 행태패턴을 실시간 으로 시각적으로 보여 주는 것으로 EXODUS, SIMULEX<sup>3)</sup>와 같은 것들이 있다.

전자의 부류를 예측 기법으로 사용시 전체 피난예상 시간 외에는 다른 데이터를 뽑아내기에는 어려움이 존재한다. 그러나 후자의 경우 전체 피난로 중에서 병목 지역이라든지, 피난로 주변에 여러가지 가구라든지 장애물이 존재 할 경우의 피난 패턴이라든지, 또한 구조 변경 등이 발생할 경우 전체의 흐름의 변화 등 전체적인 시간대로 피난 패턴을 실시간으로 건물내 피난 상황을 사용자가 볼 수 있게 하여 준다. 이외에 화재 시 시뮬레이션 프로그램과 같이 사용되면 화재 발생시 시간

† E-mail: sykim00@empal.com

경과에 따른 건축물 내의 재실자 인원 분포, 그때의 건물내 연기의 유동 상태 등을 같이 고려할 수 있게 하여 준다는 장점이 존재한다. 따라서 현재의 추세는 후자의 방법으로 연구가 진행 중이다.

이들의 구현을 위해서는 실제 상황을 연출해내는 정교한 프로그래밍 기법이 요구되어지지만, 이에 앞서 재실자들의 개별적이면서도 포괄적인 이동속도의 데이터가 필수적으로 요구되어진다. 몇 가지 기본적인 분류방법으로 헤아리더라도 나이, 성별, 건물의 용도, 건물의 구조, 계절, 군중의 성격<sup>4)</sup> 등으로 나누어진다.

이미 국내에서도 후자에 해당하는 시뮬레이션의 연구가 시작되어 진행되고 있으며 알고리즘의 연구<sup>5,6)</sup>와 병행하여 한국인의 여러가지 이동속도<sup>7)</sup>를 실측 중에 있다. 본 연구진은 우선적으로 피난 시 가장 취약한 노약자를 중심으로 여러 데이터를 축적 중이며 이러한 취지 하에 초등학교 학생을 대상으로 이동속도를 측정하여 이의 결과를 논문화 하였다. 따라서 본 논문은 아래와 같은 목적에 사용되어질 수 있다. 첫째, 피난 simulation 프로그램의 활용시 개인의 보행속도를 설정한다. 둘째, 학교건물의 성능 위주 평가(건물내 피난 소요시간 계산)시 기초자료로 활용된다

## 2. 측정 방법

초등학생을 학년별, 성별로 나누어 이들의 개인별 이동속도와 그룹별 이동 속도를 복도와 계단에서 측정하였다. 구체적인 실험방법 및 목적은 Table 1에 정리하였다.

보행속도는 여러 가지로 나뉠 수 있다. 즉 피 실험자가 임의로 선택한 자유선택 보속(Self-selected walking velocity)에서부터 긴급한 상황에서의 속도 이동까지 속도는 큰 차이가 있을 수 있다. 해외의 경우에는 모두 피 실험자에게 걸음속도를 자유선택에 맡길 경우의 데이터를 사용하고 있다. 이는 피난 시간에 안

Table 1. 실험목적 및 방법

분류	실험 목적	측정 방법
유출속도	출구에서의 유출 속도 측정	학년별 문너비에 따른 시간당 유출인원 측정
복도보행 속도	개인	학년별 개인 및 밀도별 보행 속도 측정
	단체	
계단보행 속도	개인	학년별 계단 하강 보행 속도 측정(단체 실험은 안전상의 문제로 실시하지 못함)

전을 고려한다는 의미가 있다. 이 외에도 실질적으로 실제 상황에서의 피난 속도를 측정하기란 매우 어려운 측면이 있기 때문이다. 우리나라에서는 아직도 어느 속도를 사용해야 하는가에 대하여 전문가들 사이에서 논란이 일어나는 경우가 종종 있다. 본 논문에서는 피 실험자들에게 민방위 훈련 상황임을 주지시킨 후 실험에 임하였다. 실험 참여 인원으로는 초등학교 6개 학년을 각 학년 30명, 즉 남 15명, 여 15명으로 구성하여 총 180여명에 대하여 실험에 임하였다. 측정은 1999년 10월 15일에 행하여 졌으며 이들의 복장은 긴팔 티셔츠, 얇은 잠바 및 조끼 등을 착용한 춘추복이 대중을 이룬 상태에서 실험이 행하여졌다. 실제적으로 여름과 겨울의 복장에 따라 피 실험자가 차지하는 부피가 군중 피난 속도에 영향을 미치므로 속도 측정 시에는 신경을 써야할 부분이다.<sup>9)</sup> 얻어진 결과를 해외 아동들의 이동속도와 비교하려 하였으나 정확한 데이터를 얻을 수 없었으며, 또한 부분적인 데이터라든 이들은 자유보행속도를 나타내고 있어 완전한 비교가 이루어 질 수 없었다.

## 3. 각종 피난속도의 측정

### 3.1 유출 속도의 측정

유출 속도는 Fig. 1과 같이 각 학년의 전체 인원이 교실 문에서 교실 밖으로 나가는 시간을 재어 시간당 배출될 수 있는 인원을 측정하였다. 이는 피난 시 중요한 변수가 되리라 사료된다. 따라서 유출속도는 출구앞에서 정체된 상태로서 전체 인원이 문 옆에 대기하고 있다가 신호를 받은 후 바로 문을 빠져 나가게 한 후 측정하였다. 문의 넓이는 교실의 문 넓이인 80 cm에서 60 cm, 50 cm 등으로 변화시켜가며 측정하였다. 이의 실험 및 결과는 Fig. 2와 같이 나온다.



Fig. 1. 유출속도 실험 모습.

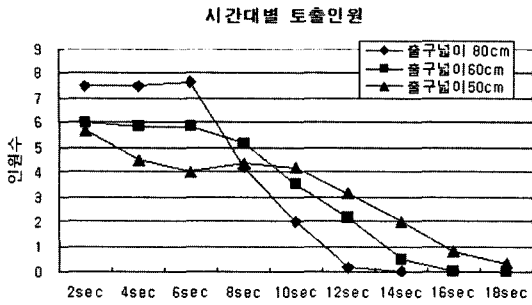


Fig. 2. 전학년 평균 시간대별 유출인원.

Fig. 2에서 유출이 시작 후 6~10초가 지나면 유출 인원이 줄어들기 시작한다. 이는 교실에서 유출이 시작된 시점에서 이 시각까지 약 78%의 학생이 빠져나가고 나머지 학생들이 느리게 꼬리를 잇기 때문이다. 따라서 만약 인원이 많이 밀려 있을 경우를 예상한다면 유출이 시작 후 6~10초 동안의 상태가 계속 유지된다고 보아야 한다. 평균 유출 속도 문 너비가 80cm 일 경우 6초까지, 60cm일 경우 8초까지 그리고 50cm 일 경우 10초까지 유출 인원을 가지고 구하였다. Fig. 3은 문 너비에 따른 전 학년 평균 유출 속도이다. 유출속도의 주요 물리적 변수로는 피난자의 공간에 차지하고 있는 면적으로서 주요변수로는 신체치수 및 옷차

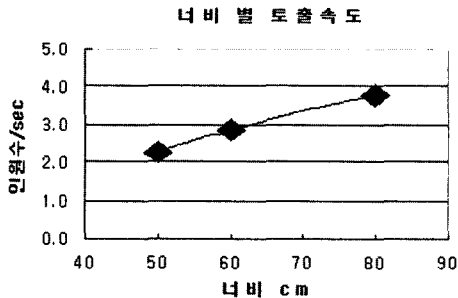


Fig. 3. 문너비 별 유출속도.

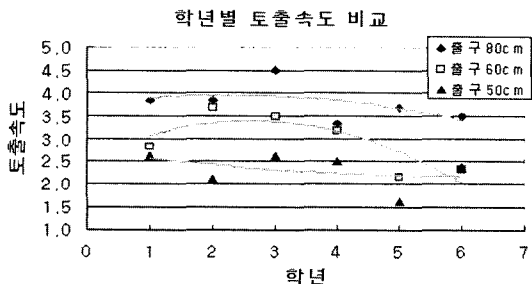


Fig. 4. 학년별 유출속도의 비교.

림이 있으며 실험자들의 신체치수는 1997년 국민표준 체위조사치와 유사하였으며 가을철 옷을 착용하였다.

Fig. 4는 학년 별로 본 유출 속도이다. 추세를 보면 나타나듯이 몸집이 작은 저학년 쪽이 유출 속도가 빠르며 이는 넓이가 60~80cm인 경우에는 3학년이 최고 속도를 보이나 문이 50cm로 좁아질 경우 1학년이 제일 빠른 속도를 보여준다.

### 3.2 복도 보행속도

개인 별 보행속도는 Fig. 5와 같이 각 학년 30명을 너비 2.3m, 길이 30m인 복도에서 피난 상황이라는 가정 하에 걷게 하여 측정하였다. 특히 유출이나 전체 피난은 민방위 훈련에 준하여 실행한 것 등이 피 실험자의 보행속도에 영향을 미쳤으리라 사료되어, 각 학년별 피 실험자들에게 어느 정도 심리적인 긴장감이 주어졌다고 보여진다. 따라서 보행속도는 어른의 자유 보행속도(1.4~1.5 m/sec)에 준하는 값을 갖게 되었다. 실제 저학년의 경우 계측 시 뛰는 학생들도 종종 관찰되어 이들의 데이터는 배제하고 측정에 임하였다. 각 학년 30여 명씩을 남겨 각각 15인 각각의 속도를 구하여 평균을 내었다. Fig. 6은 이의 결과 값이다.



Fig. 5. 개인별 보행속도 측정 실험 모습.

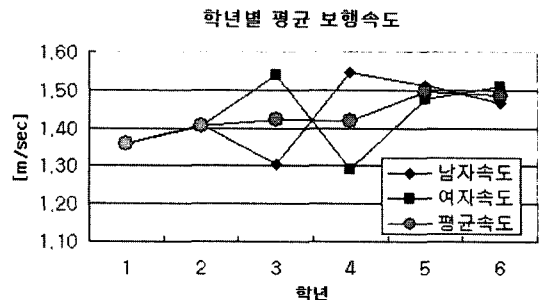


Fig. 6. 학년별 평균속도.

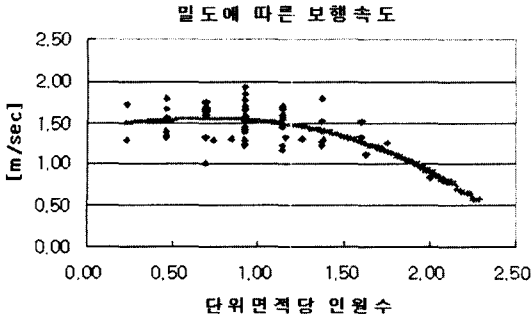


Fig. 7. 밀도에 따른 보행속도.

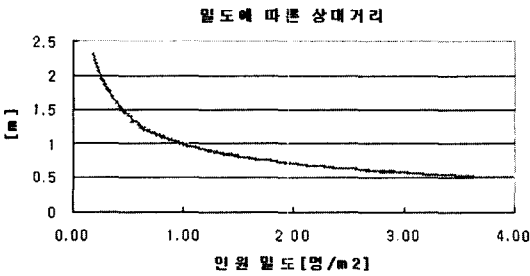


Fig. 8. 밀도에 따른 피실험자 간의 거리.

Fig. 7은 학년에 관계없이 밀도에 따른 보행속도 그래프이다. 개인별 이동속도의 평균은 1.43 m/sec이었으며 단체 보행의 경우 밀도가 0.5~1.0명/m<sup>2</sup>을 기준으로 속도가 감소하였다.

Fig. 8은 밀도가 주어질 경우 그에 따른 피실험자 간의 상대거리를 계산하여 그림으로 나타내었다. 이를 시뮬레이션에 응용할 경우 각각의 피난자는 자기 주위의 이동 중인 사람들을 인식하여 이들과의 거리를 계산하면 피난자 주위의 밀도가 계산되어지고 계산된 밀도로 이동속도가 결정되어진다.

### 3.3 계단 보행속도

계단 이동 속도는 Fig. 9와 같이 실험되어 졌으며 Fig. 10은 계단 이동속도를 측정한 S초등학교의 계단 구조로서 a)는 측면 4층에서 2층까지의 구조이고 b)는 평면도이다. 피실험자를 대상으로 4층 첫 계단에서 2층까지 내려갈 때까지의 시간을 측정하였다. 따라서 계단의 개수 4개, 계단참의 개수 4개를 총 계측 구간으로 사용하였다. 계단은 사선으로 진행되므로 계단의 개수와 c)에서의 계단의 평균 높이와 너비를 고려하여 계산한 결과 3.6 m가 되었으며, 층계참에서의 이동 구간은 층계참에서의 반원의 길이 3.14 m로 하였다. 따라서 총 길이는 27.0 m가 되었다. 실험에 참가한 학생은

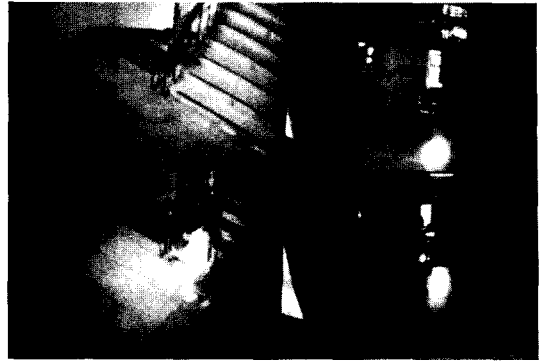


Fig. 9. S초등학교의 계단 보행 속도 측정 실험 모습.

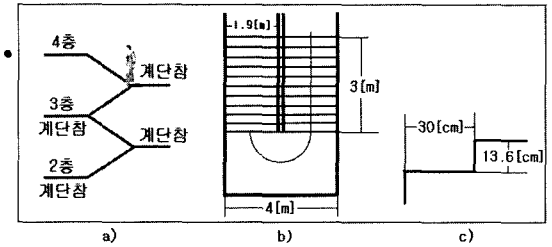


Fig. 10. S초등학교의 계단 구조.

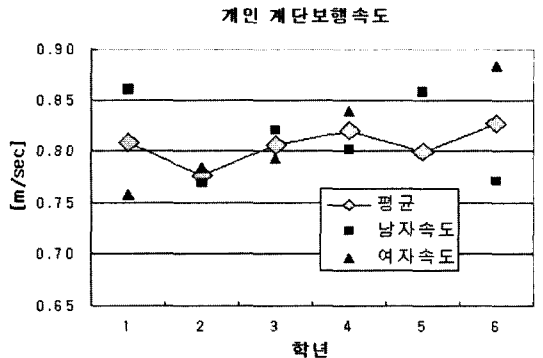


Fig. 11. 남녀별 계단 보행속도.

각 학년 남녀 각각 15명으로 총 180여명으로 계산하였다. 계단의 회전 방향은 우회전이었다.

Fig. 11은 개인별 계단 보행속도에 대한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 1학년과 고 학년에서는 남녀 그룹 별로 큰 편차를 보임을 알 수 있다. 이는 실험에 임하는 그룹의 분위기에 따라 측정에 큰 영향을 미친 결과라 할 수 있다. 따라서 초등생들의 이동속도를 측정 시에는 각별한 주의가 요구됨을 알 수 있다. 측정 데이터를 추출할 때 계단참에서의 속도와 계단에서의 속도를 분리하여 기록하였다. 계단에서의 단체 피난은

사고의 위험으로 인하여 측정하지 못하였다.

Fig. 12는 계단참에서의 이동속도를 측정한 것이다. 이동방향의 전환이 일어나는 계단참은 길이가 짧고 이동로 또한 개인 별로 차이가 생기므로 큰 의미를 부여하기는 어려우나 계단에서의 이동속도 보다는 증가함을 알 수 있었다.

Fig. 13은 계단과 계단참의 총 길이 27m를 전체 시간으로 나눈 값으로 계단구간에서의 평균이동이다. 시뮬레이션 기초 데이터로 사용할 때는 이 값을 이용하여 하리라 사료된다. 전 학년 계단에서의 평균보속은 0.88 m/sec이었다.

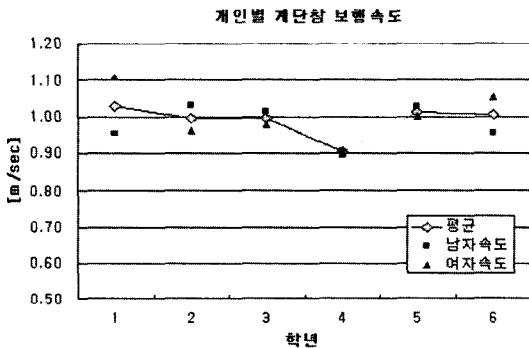


Fig. 12. 남녀별 계단참 보행속도.

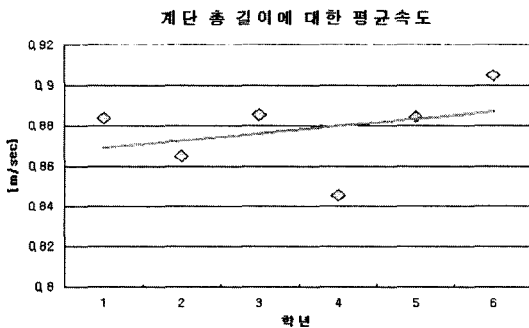


Fig. 13. 계단구간에서의 평균속도.

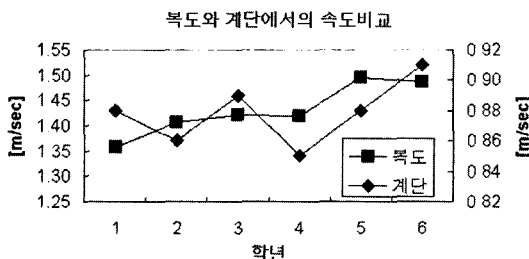


Fig. 14. 복도와 계단에서의 속도 비교.

Fig. 14는 복도와 계단에서의 속도 비교이다. 두개의 데이터가 비슷한 추세를 보이고 있음을 알 수 있고, 각 학년별로 (계단 보행속도)/(복도 보행속도)를 계산하여 보니 평균 0.61에 분산 0.02의 거의 일정한 값을 얻을 수 있었다. 따라서 계단에서의 보행 속도는 복도 보행 속도에서 유추가 가능함을 알 수 있었다. 참고적으로 일반적인 하강 계단에서의 보행속도 예측<sup>10)</sup> 및 Simulex라는 피난프로그램에서는 계단에서의 하강이동속도를 복도에서의 수평이동속도의 반(0.5)으로 적용하고 있어<sup>11,12)</sup> 유사한 패턴을 보여주고 있음을 확인하였다.

### 4. 결 론

본 연구를 통하여 측정된 data들은 한국의 초등학생들을 대상으로 건물내 피난을 예측시 사용될 자료로서 활용되어질수 있으며 피난 상황이 고려된 초등학생들의 보행속도를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다

1) 교실 문에서의 유출 속도는 문 너비에 따라 차이가 있었지만 문이 열린 경우(80 cm)의 전 학년 유출속도는 평균 3.78명/sec이었으며, 상대적으로 문의 넓이에 따른 몸의 크기 면이나 민첩성 면에서 비교 우위에 있는 3학년이 가장 빠른 유출속도를 보여 주었다.

2) 초등학생의 개인별 이동속도는 평균 1.43 m/sec 속도실험으로 측정되었다. 단체 보행의 경우 밀도가 0.5~1.0명/m<sup>2</sup>을 기준으로 속도가 감소하는 것을 알 수 있었다.

3) 전체 계단로에서 계단과 계단참에서의 이동속도가 차이를 알 수 있었으며, 전 학년 계단에서의 평균 보속은 0.88 m/sec이었다.

4) 복도와 계단에서의 속도 비교 결과 서로 정비례 관계인 것이 확인 되었고 비례상수는 0.61로 거의 일정한 값을 얻을 수 있었다. 따라서 계단에서의 보행 속도는 복도 보행 속도에서 유추가 가능함을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Committee 8A, "Fire safety in tall buildings", p. 134, MCGraw-Hill(1992).
2. NFPA, "The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", nd Edition, pp. 3-290(1995).
3. Roderick A. Smith and Jim F. Dicke, "Engineering for Crowd Safety", p. 249, Elsevier(1993).
4. 박동주, "보행목적에 따른 보행교통류 특성에 관한 연구", p. 10, 서울대 환경대학원 석사논문(1993. 6).

5. 윤승진, “재실자의 피난형태 모델링에 관한 연구”, 호서대학교 산업안전공학과 석사논문(1999. 2).
6. 김응식, 백상현, “대피시뮬레이션 프로그램에 대한 고찰”, pp. 33-38, 99 한국산업안전학회 춘계학술 논문발표회 논문집(1999. 6).
7. 이정수, 김응식, 오규형, “대피 시뮬레이션 시스템 개발을 위한 조사연구”, 보건복지부용역보고서(2001).
8. 이정수, 김응식, “초등학교 공간구성형식에 따른 피난행태 특성 분석”, pp. 3-12, 대한건축학회논문집, 제16권, 제7호(2000. 7).
9. Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Committee 8A, “Fire Safety in Tall Buildings, p. 129, McGraw-Hill(1992).
10. “건축방화, p. 107, 한국화재보험협회(1998).
11. Henry Weckman, “Evacuation of A Theatre: Exercise VS. Calculations, p. 484, Proceedings of the First International Symposium(1998).
12. “Simulex User Manual, p. 39, Intergrated Environmental Solutions Ltd.(2001).