

# 계단에서 올라가는 군집보행의 속도에 관한 조사 및 특성에 관한 연구

## A Study on the Character and Walking Velocity of Crowd Going up Stairs

박재성

Jae-Sung Park

한국사이버대학교 소방방재학과  
(2011. 1. 7. 접수/2011. 2. 11. 채택)

### 요 약

현대 도시는 수평적 토지이용의 제한, 지가 상승, 인간 요구의 다양화 등으로 인하여 도시기능의 일부를 지하공간으로 흡수하고자 하는 노력이 증가하는 추세이다. 따라서 건축물의 지하층, 지하철 역사 등이 점차 대심도화 되어 지하공간에서 지상으로 피난에 대한 안전성 여부가 부각되고 있다. 그동안 계단에서 군집보행에 관한 연구는 내려가는 군집보행을 중심으로 진행되어 왔으며, 계단에서 올라가는 군집보행에 대한 연구는 거의 전무한 상황이다. 본 연구에서는 한 방향 군집유동이 형성되는 지하철 역사 승강장 내 계단에서 올라가는 군집의 밀도에 따른 보행속도를 직접 실측하여 조사하였다. 올라가는 보행은 실측결과 경사도 23°에서 관계식  $V = 0.638 - 0.0949\rho$ 에 의해 보행속도가 결정되며, 이를 일본건축학회에서 제안하는 계단 경사도에 따른 평균보행속도를 근거로 환산하면 경사도 30°에서는  $V = 0.597 - 0.1067\rho$ 가 되는 것으로 분석되었다.

### ABSTRACT

The effort of transferring some parts of urban functions to the underground space is growing trend among modern cities because of the limit of horizontal land use, the rise of land value, the diversification of human desire, etc. Thus, the basement of building and the subway station have deepened. It calls our attention to safety about evacuation from the underground space to the ground. Until now, the study about crowding walk in stairs has been progressed, focusing on the crowding walk that is going down the stairs, and there is no study about crowding walk that is going up the stairs. This study measured walking pace by crowd density that is going up the stairs in the subway station stairs making one-way movement of crowd. The actual survey showed that the mathematical relation ' $V = 0.638 - 0.0949\rho$ ' determines going up walking velocity at a gradient of 23°, and the mathematical relation will be ' $V = 0.597 - 0.1067\rho$ ' at a gradient of 30°, when it is converted, based on the average walking velocity of crowd by the slope of the stairs which is recommended by Architectural Institute of Japan.

**Key words** : Crowd density, Walking of crowd, Egress routes, Walking velocity, Stair

## 1. 서 론

현대 도시는 수평적 토지이용의 제한, 지가 상승, 인간 요구의 다양화 등으로 인하여 도시기능의 일부를 지하공간으로 흡수하고자 하는 노력이 증가하는 추세이다. 따라서 건축물의 지하층, 지하철 역사 등이 점차 대심도화 되어 지하공간에서 지상으로 피난에 대한 안

전성 여부가 부각되고 있다. 실질적으로 2003년 2월 18일 발생하여 192명이 사망한 대구 중앙로 지하철역사 화재, 1996년 9월 29일 발생하여 12명이 사망한 서울 톨링스톤 락카페 화재 등 지하공간 화재로 인하여 많은 사망자가 발생한 화재사태가 증가하고 있는 추세이다.

건축물에서 피난이라고 함은 화재가 발생한 층에서 피난계단 등으로 탈출하면 일시적으로 피난이 완료되었다는 개념인 층 피난과 화재가 발생한 건축물에서

† E-mail: jsparkgod@empal.com

완전히 탈출하는 개념인 전관 피난으로 구분된다. 또한 피난경로에서 군집보행의 단계를 경로의 유형에 의해 분류하면 수평통로에서 군집보행, 계단에서의 군집보행, 출구에서의 군집보행 등이 있다. 군집유동 중 보행속도에 관한 연구는 주로 일방향 유동이 형성되는 지하철 역사나 가로, 피난훈련 등을 관찰·측정하는 방법에 의해서 진행되어 왔다. 군집의 보행속도는 피난시간을 예측·평가하는데 중요한 요소로서 피난경로의 유형에 따라 복도 등의 수평통로, 계단, 출구 등으로 구분된다.

수직 피난경로인 계단에서 군집보행에 관한 연구는 수평통로에 비해 현저히 부족한 상황이다. 계단에서의 경로는 상행과 하행으로 구분되며, 일반적으로 상행 계단을 통한 피난은 지하공간에서 옥외로 탈출하는 것이며, 하행 계단을 통한 피난은 지상공간에서 옥외로 탈출하는 개념이었다. 그러나 초고층 건축물에서는 화재 발생 지점 및 연소상황에 따라서 계단을 통해 상층으로 올라가는 피난행동이 이루어지는 경우도 있다. 더욱이 그동안 계단에서 군집보행에 관한 연구는 전관 피난을 위한 행동으로 계단에서 내려가는 군집보행을 중심으로 진행되어 왔기 때문에 계단에서 올라가는 군집보행에 관한 연구 및 데이터는 거의 전무한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 한 방향 군집유동이 형성되는 지하철 역사 승강장 내 계단에서 올라가는 군집의 밀도에 따른 보행속도를 조사하였다. 그 결과의 분석을 통해 지하공간 등 피난을 위해 상행의 피난보행이 요구되는 피난경로에서의 피난행동예측에 필요한 보행속도 관계식을 도출하는데 그 목적이 있다. 또한 계단에서 군집보행에 관한 기존 연구의 비교분석을 통해 내려가는 군집보행속도의 적정성을 분석하여 제안하고자 한다.

## 2. 군집보행 특성 및 요소·변수의 분석

### 2.1 군집보행에 관련된 요소

#### 2.1.1 군집밀도에 의한 영향

군집밀도가 증가하면 보행속도는 감소하고, 일반적으로 밀도가 5~6인/m<sup>2</sup> 이상이 되면 보행에 정체가 발생한다. 이 값은 경로의 유형 및 계절에 따라 변화한다. 특히 겨울에는 여름에 비해 의복의 양 및 두께가 증가하기 때문에 1인당 점유면적이 40%가 증가하게 되고, 밀도의 상한은 약 70%가 낮아진다.<sup>1)</sup>

#### 2.1.2 피난자간의 거리에 의한 영향

군집의 보행속도는 피난경로를 점유하고 있는 군집

밀도에 의해 산출하는 방법 이외에 피난자간의 거리 함수에 의해 보행속도를 산출하게 되며 피난자간의 거리가 가까울수록 보행속도는 감소하게 된다. 일반적으로 전면 피난자와의 거리가 30cm 이하가 되면 보행속도는 제로(Zero)가 되는 것으로 간주한다.

피난자간의 거리는 어떤 피난자의 머리 중심으로부터 전면 또는 측면 피난자의 머리 중심까지의 거리로서 정의된다. 앞뒤 피난자간의 등과 가슴사이 보다 좌우 피난자간의 어깨사이 거리가 일반적으로 멀기 때문에 측면의 거리가 더 큰 것으로 이해할 수 있다. 그러나 군집보행 시 사람들은 이동방향보다 측면으로 더 밀착해서 보행하는 경향이 있다.<sup>2)</sup> 이는 사람이 걸음을 내딛기 위해서는 어느 정도의 공간이 필요하기 때문이다. 따라서 전후좌우로 인접한 피난자들의 중심간 거리가 같다는 가정은 밀도에 의해 인접 피난자와의 거리로 변환시키는 것이 가능하며 피난자간 거리는  $1/\sqrt{\text{군집밀도}}$ 와 같은 이론적인 식으로 나타낼 수 있다.

#### 2.1.3 피난경로 폭 및 속성에 의한 영향

군집의 유동은 밀도, 피난자간의 거리뿐만 아니라 피난경로의 폭에 따라 영향을 받는다. 특히 내려가는 계단에서는 안목치수로 산정하는 실제 폭보다도 피난하는 동안 사용되지 않은 벽으로부터의 거리를 뺀 유효 폭에 의해 좌우된다.

오피스빌딩에서 피난훈련 시 계단을 통해 내려가는 피험자를 관찰한 결과<sup>3)</sup>에 의하면 피험자들은 벽에 충돌하지 않기 위해서 벽으로부터 떨어지려는 행동을 하기 때문에 약 15cm의 경계영역(boundary layer)이 발생한다는 것을 확인하였다. 그러나 경기장이나 극장처럼 좌석 사이에 계단이 있다면 경계영역은 존재하지 않는다.

Table 1은 Pauls과 Fruin이 제안한 결과<sup>4)</sup>를 토대로 피난경로의 속성에 따른 각 측면에서의 경계영역의 크기를 분석한 것이다. 그러나 최근 연구에서는 군집의 밀도가 3~4인/m<sup>2</sup> 이상이 되면 피난경로 중 내려가는

**Table 1.** The Size of Guard Area by the Characteristic of the Egress Route

피난경로의 구분	경계영역 크기
계단실 벽	15cm
핸드레일	9cm
복도 벽	20cm
기타 장애물	10cm
홀(Hall)과 같이 폭이 넓은 통로 벽	< 46cm
출입문	15cm

계단을 제외하고는 Pauls과 Fruin이 제안한 경계영역이 존재하지 않는다는 견해가 우세하다.

2.2 군집의 보행속도

2.2.1 수평통로에서 군집의 보행속도

통로에 경사나 바닥 차가 없는 수평통로에서 군집밀도가 0.5~1인/m<sup>2</sup> 이하이면 자유보행이 가능하지만, 밀도가 1.2인/m<sup>2</sup> 이상이 되면 전면에 위치한 피난자를 추월하기 위해서는 피난자간의 신체적 충돌이 불가피하게 되므로 군집보행이 형성된다.<sup>5)</sup>

Pauls은 밀도가 2인/m<sup>2</sup> 이상이 되면 군집유동에 혼잡이 발생하여 보행속도가 빠르게 감소한다고 분석하였다.<sup>6)</sup> 밀도 0.1인/m<sup>2</sup>에서 보행속도는 1.3m/s이 되며, 2.2인/m<sup>2</sup>에서 되면 보행속도는 0.7m/s까지 감소하게 된다. Older가 런던 가로 상에서 보행자를 관찰하여 분석한 결과<sup>7)</sup>는 자유보행 시 1.4m/s로부터 밀도 4인/m<sup>2</sup>에서 보행속도 0.3m/s까지 범위에 있다. Pauls과 Older가 분석한 결과는 가로상의 보행자를 대상으로 한 것이기 때문에 기후, 보행자의 목적성, 가로의 상태 등 다양한 변수에 따라 차이가 발생할 수 있다.

수평통로에서 군집밀도( $\rho$ )와 보행속도( $V$ )의 상관관계에 대해서는 Figure 1과 같이 많은 연구에서 관계식을 도출하여 적용하고 있다.<sup>8)</sup>

군집밀도 1.0인/m<sup>2</sup> 이하에서 자유보행 시 최대보행속도는 戶川을 제외하고는 1.2~1.5m/s의 범위로 신체 건강한 남성의 천천히 걷는 보행속도로서, 이는 가로 상에서 일반 군집보행을 측정 한 것이기 때문이다. 戶川의 경우 지하철 역사에서 통근하는 군집의 보행을 측정 한 것이기 때문에 1.0인/m<sup>2</sup> 이하에서의 보행속도는 고려하지 않았다.

군집밀도 1.0인/m<sup>2</sup>에서 보행속도는 0.95~1.5m/s 범위에 위치하며, 군집밀도 3.5~4.5인/m<sup>2</sup> 범위에서 戶川의 결과를 제외하고는 보행이 가다 서다하는 정체가 발생하게 된다. 이러한 원인은 일반 군집보행에서는 사람들 간에 신체적 접촉과 일정 수준이상의 체압이 느껴지는 경우 이를 회피하려는 행동이 나타나기 때문에 보다 낮은 밀도에서 정체가 발생하게 되는 것이다. 그러나 통근 군집의 경우 보행자간에 체압을 느끼면서도 밀려가는 보행이 이루어지기 때문에 戶川의 관계식에서는 군집밀도 4.5인/m<sup>2</sup>에서도 약 0.3m/s의 보행속도가 유지된다.

군집의 밀도가 지속적으로 증가하면 어느 밀도부터는 군집 유동에 정체가 발생할 것이기 때문에 군집보행에 정체가 발생하기 시작하는 밀도를 파악하는 것은 피난행동 예측에 중요한 요소이다. Figure 1과 같이 초기 군집보행에 관한 연구에서는 일반적으로 밀도가 4인/m<sup>2</sup> 이상이 되면 정체가 발생한다는 견해가 우세하였다. 그러나 Ando가 지하철 역 승강장에서 통근 군집을 관찰하여 분석한 결과<sup>9)</sup>에 의하면 밀도가 4인/m<sup>2</sup>에 도달하여도 약 0.3m/s 정도의 느린 보행이 가능하다는 것을 확인하였다. 이는 戶川이 분석한 결과와 일치하는 것으로 통근 군집은 출근시간 등 시간적 제약으로 인하여 가로 상의 일반 군집 보다 피난상황에 가까운 보행형태를 나타내는 것으로 판단된다.

2.2.2 계단에서 군집의 보행속도

수직 피난경로인 계단에서 동일한 군집밀도 및 경사도에서는 하행이 상행 보다 보행속도가 약 133% 정도 빠른 것으로 보고되어 있다. 일반적으로 상행 계단을 통한 피난은 지하공간에서 옥외로 탈출하는 것이며, 하행 계단을 통한 피난은 지상공간에서 옥외로 탈출하는 개념이었다. 그러나 초고층 건축물에서는 화재발생 지점 및 연소상황에 따라서 계단을 통해 상층으로 올라가는 피난행동이 이루어지는 경우도 있다.

계단에서 군집보행에 관한 연구 및 데이터는 수평통로에 비해 현저히 부족한 상황이다. 더욱이 올라가는 군집보행에 관한 연구 및 데이터는 거의 전무하다. 이것은 그동안 피난이라는 것을 층피난과 계단을 통해 내려가는 피난의 개념으로 한정하였기 때문이다.

계단에서 군집의 보행속도는 수평통로에서 보행속도를 결정하는 요인과는 다소 차이가 있다. 가장 결정적 요인은 군집의 밀도이지만, 계단이라는 공간적 특성으로 인해 경사도와 군집의 구성원 중 느린 보행자의 보수에 의해 영향을 받게 된다.

특히 계단에서 군집밀도가 1.0~1.5인/m<sup>2</sup>일 때 군집의

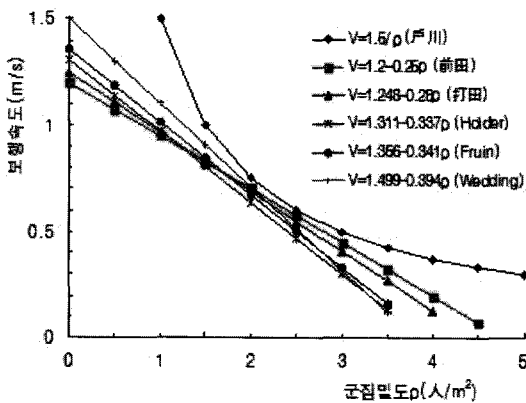


Figure 1. The correlation between crowd density and walking velocity in horizontal walking.

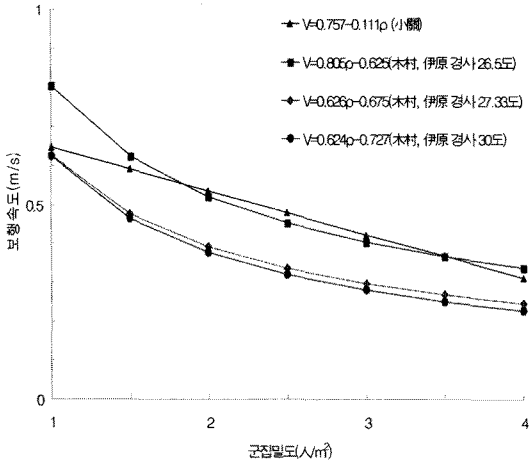


Figure 2. The walking velocity by crowd density and slope on going down stairs.

구성원 중 느린 보행자의 보수에 의해 보행속도가 결정된다.<sup>10)</sup> 군집에서 느린 보행자는 일반적으로 1분간 110~120보가 되기 때문에 계단수에 0.5초를 곱한 것이 군집이 계단을 오르내릴 때의 속도가 된다. 이러한 결과가 모든 군집밀도에서 적용되는 것은 아니지만 계단의 유효폭이 두 사람이 나란히 이동하기 불가능한 110cm 이하이고, 전면 피난자에 대한 추월이 불가능해지는 밀도에서 발생하게 되는 것이다. 그러나 군집밀도에 따라 감소되는 보행속도가 느린 보행자의 보행속도 이하가 되는 시점부터는 밀도에 의해 보행속도는 결정된다.

일반적으로 내려가는 계단에서 군집밀도가 1.5~2인/m<sup>2</sup> 이상, 즉 피난자간의 거리가 0.7~0.8m 이하가 되면 원활한 보행을 위한 공간이 확보되지 않아 보행속도가 빠르게 감소되고, 0.5m 이하가 되면 지체가 발생하기 시작한다.<sup>11)</sup> Figure 2는 小關, 木村 등이 분석한 계단을 내려가는 군집의 밀도( $\rho$ )와 수평분보행속도( $V$ )의 관계식을 비교한 것이다.<sup>12)</sup>

군집이 형성되기 시작하는 밀도인 1.0인/m<sup>2</sup>에서 보행속도는 계단의 경사도에 따라 약 0.63~0.80m/s 범위에 분포하며, 小關의 결과는 木村의 결과 중 계단 경사도 26.5°와 유사한 결과치를 나타내고 있다. 군집밀도 1.0인/m<sup>2</sup>에서 보행속도는 수평통로에서 동일한 밀도의 보행속도 보다 약 30% 느리지만 군집밀도의 증가에 따른 보행속도의 감소율은 수평통로 보다 완만하게 진행된다.

계단 경사도 27.33°와 30°에서는 밀도가 3인/m<sup>2</sup> 이상이 되면 보행속도가 0.3m/s 이하로 감소하게 되어 군

집유동에 지체가 시작된다. 수평통로에서는 군집밀도 5인/m<sup>2</sup> 이상에서 지체가 발생하기 때문에 계단이 수평통로보다는 약 2인/m<sup>2</sup>가 낮은 밀도에서 빠르게 지체가 발생하는 것으로 판단된다.

### 3. 계단에서 올라가는 군집보행속도에 관한 조사 분석

#### 3.1 조사의 방법

##### 3.1.1 조사장소 및 특성

본 조사는 다중이용건축물 중 한 방향 군집보행이 형성되고, 보행에 공간 및 시간적으로 장애물이 없으며, 가능한 한 빠른 보행이 형성되는 장소인 중앙선 옥수역 승강장 계단에서 실시하였다. 중앙선 옥수역은 조사시간대 전철의 운행간격이 약 8~10분으로 길고, 중앙선 승강장에서 지하철 3호선 승강장으로 환승하기 위한 승객이 출근시간대 집중되기 때문에 한 방향 군집보행이 형성되는 조건을 갖추고 있다.

조사시간은 보행에 장애가 발생하지 않도록 비가 오지 않는 평일을 조건으로 설정하여 사흘 동안 오전 7시에서 9시까지 출근시간대에 실시하였으며, 조사공간인 승강장 계단은 Figure 3과 같은 공간 요소로 구성되어 있다.

계단 중앙에 핸드레일이 설치되어 있어 핸드레일 우측 계단으로 한정하여 군집보행을 조사하였으며, 핸드레일이 없는 계단참에서 양측간에 유동이 발생하지 않

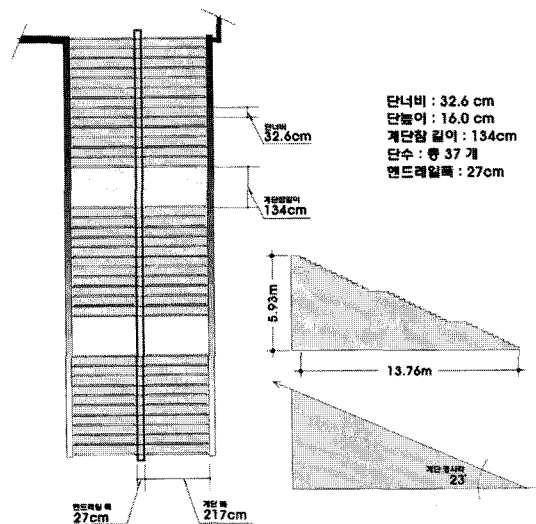


Figure 3. The component of station stairs in the oksu station.

도록 차단물을 설치하였다. 해당 부분은 유효폭 2.17m, 유효면적 29.87m<sup>2</sup>, 수평길이 13.76m, 경사도 23°로 구성되어 있다.

### 3.1.2 조사방법

전동차에서 내린 승객이 군집을 형성하여 계단을 올라가고, 계단 전체가 승객으로 가득 차 있는 상태에서 군집유동이 끊어지지 않고 연속적으로 형성되는 시점이 발생하게 된다. 그 시점에 계단이 시작되는 부분에 대기하고 있던 조사자 중 한 명이 군집의 유동을 따라 계단을 올라가면 다른 조사자는 계단이 끝나는 부분에서 유출되는 승객의 수와 시간을 측정하는 방식으로 실시하였다. 또한 군집이 형성되기 전 자유보행으로 계단을 올라가는 승객의 보행시간과 군집보행이 끝난 후 자유보행을 하는 노인의 보행시간을 측정하였다.

### 3.2 조사결과 분석

본 조사에는 군집보행이 형성되는 최저 밀도를 1.00인/m<sup>2</sup>로 설정하고, 그 이하 밀도에서는 자유보행을 하는 것으로 가정하여 조사범위에서 제외하고, Table 2와 같이 총 31회의 유효결과에 대해 분석하였다.

분석결과에 의하면 군집밀도는 1.00~3.18인/m<sup>2</sup> 범위에 분포하였으며 최대 보행속도는 군집밀도 1.00인/m<sup>2</sup>에서 0.58m/s를 기록한 후 밀도가 증가함에 따라 감소하여 밀도 3.18인/m<sup>2</sup>에서 최저 보행속도인 0.35m/s를 기록한 것으로 분석되었다.

계단 부근의 전동차 출입문을 통해 내리는 승객은 대부분이 자유보행으로 계단을 올라갈 수 있었으며, 이때 20~30대의 신체건강한 남성이 빠른 보행을 하는 경우 보행속도는 0.69~0.87m/s 범위에 분포하였다. 또한 노인의 경우 자유보행으로 계단을 올라갈 때 대부분이 핸드레일을 손으로 붙잡는 행동을 보였으며, 자유보행속도는 0.39~0.48m/s 범위로 신체건강한 남성의 빠른 보행속도와는 큰 차이를 나타냈다.

Table 2의 군집밀도에 따른 보행속도의 관계를 단순 회귀분석을 통해 아래와 같은 회귀식으로 도출하였다. 이 회귀식의 신뢰도 R제곱은 0.942로 상당히 높은 것으로 나타났다.

$$\text{회귀식: } V = 0.638 - 0.0949\rho$$

여기서 V는 군집보행속도이고,  $\rho$ 는 군집밀도이다.

본 연구에서 도출된 회귀식  $V = 0.638 - 0.0949\rho$ 와 木村, 小關 등이 도출한 계단에서 내려가는 군집의 보행속도에 관한 회귀식을 비교하면 Figure 4와 같다.

본 연구의 결과와 木村, 小關의 결과는 계단의 경사

**Table 2.** The Result of Survey of Walking Velocity by Crowd Density on Going Up Stairs

군집규모 (인)	보행시간 (sec)	군집밀도 (인/m <sup>2</sup> )	보행속도 (m/s)
30	23.8	1.00	0.58
31	25.3	1.04	0.54
34	25.2	1.14	0.55
34	24.8	1.14	0.55
36	26.4	1.20	0.52
37	26.1	1.24	0.53
42	28.5	1.41	0.48
42	26.9	1.41	0.51
47	28.9	1.57	0.47
49	30.9	1.64	0.45
52	28.5	1.74	0.48
52	27.8	1.74	0.49
55	29.4	1.84	0.46
58	30.9	1.94	0.45
59	31.6	1.98	0.43
63	33.2	2.11	0.41
66	32.7	2.21	0.42
66	32.3	2.21	0.42
67	33.1	2.24	0.42
68	32.9	2.28	0.42
70	34.9	2.34	0.39
70	33.1	2.34	0.42
75	35.1	2.51	0.39
78	34.9	2.61	0.39
79	35.7	2.65	0.38
82	36.4	2.75	0.38
84	35.9	2.81	0.38
88	36.8	2.95	0.37
91	37.5	3.05	0.37
94	39.2	3.14	0.35
95	38.4	3.18	0.36

도 등 실험 및 분석조건이 다르기 때문에 정확한 비교는 어렵지만, 군집밀도 1.00인/m<sup>2</sup>일 때 본 연구의 회귀식에 의한 보행속도는 0.54m/s이고, 하행 계단에서는 0.80m/s와 0.64m/s로서 계단에서 내려가는 군집보행이 올라가는 군집보행보다 다소 빠른 보행을 하게 되는 것으로 판단된다.

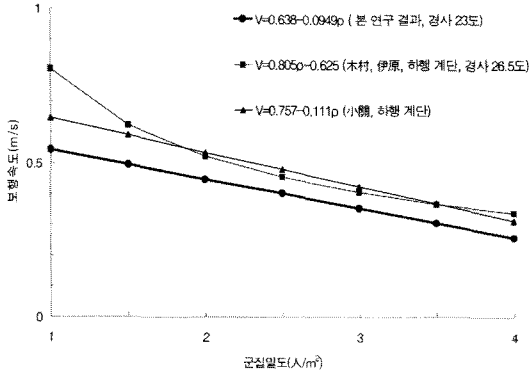


Figure 4. The relation of walking velocity by crowd density on stairs.

군집밀도의 증가에 따른 보행속도의 감소비율을 나타내는 그래프의 경사도는 小關의 결과와 비슷한 양상으로 진행되며, 小關이 분석한 보행속도의 82%~84% 범위에 분포하고 있다. 그러나 木村의 결과와 비교하면 군집밀도 1.00인/m<sup>2</sup>에서 보행속도는 67%에 불과하나, 2.50인/m<sup>2</sup>에서는 88%로 차이가 줄어들다가 4.00인/m<sup>2</sup>에서 76%로 다시 차이가 벌어지는 것으로 분석되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 계단에서 군집보행의 특성을 분석하고, 한 방향 군집유동이 형성되는 지하철 역사 승강장 내 계단에서 올라가는 군집의 밀도에 따른 보행속도를 조사하였다. 그 결과의 분석을 통해 지하공간 등 피난을 위해 상행의 피난보행이 요구되는 피난경로에서의 피난행동에측에 필요한 보행밀도에 따른 보행속도 모델 수식 등 기초 자료를 도출하여 제안하고자 한다.

계단에서 올라가는 보행속도에 관하여 중앙선 옥수역 승강장에서 올라가는 군집을 실측하여 군집밀도에 따른 보행속도의 관계를 회귀분석을 통해 회귀식  $V = 0.638 - 0.0949\rho$ 을 도출하였다. 小關과 木村이 제시한 계단에서 내려가는 군집보행속도와 비교하면 보행속도가 약 80% 수준인 것으로 분석되었다.

또한 본 연구의 실측계단의 경사도 23°에서 도출된 관계식  $V = 0.638 - 0.0949\rho$ 를 일본건축학회에서 제안하는 계단 경사도에 따른 평균보행속도<sup>13)</sup>를 근거로 환산하면 경사도 30°에서는  $V = 0.597 - 0.1067\rho$ 가 된다.

계단에서 내려가는 보행속도에 대한 기존 연구자료를 비교분석한 결과에 의하면 군집이 형성되기 시작하

는 밀도인 1.0인/m<sup>2</sup>에서 계단에서 내려가는 보행속도는 계단의 경사도(26.5°~30°)에 따라 0.63~0.80m/s 범위에 분포하며 밀도가 증가함에 따라 비슷한 비율로 감소하는 것으로 나타났다. 국내 다중이용건축물에 설치되는 피난계단의 경사도는 일반적으로 27°~30° 범위에 분포하고 안전을 등을 고려하면 경사도 30°에서 관계식  $V = 0.624\rho^{-0.727}$ 을 계단에서 내려가는 군집보행속도로 적용하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다.

#### 참고문헌

1. 日本建築學會編, “建築人間工學事典”, 彰國社, p.54 (1997).
2. George A Wilson, “Logic Engineering in Public Safety”, Proceeding of the International Conference on Engineering for Crowd Safety, London, UK, p.232(1993.3).
3. J. Pauls, “Movement of People”, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. NFPA Quincy MA, p.98(1998).
4. J.J. Fruin, “Pedestrian Planning and Design”, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners Inc., New York, p.35(1971).
5. 日本建築學會編, “建築人間工學事典”, 彰國社, p.56 (1997).
6. A. Polus, J.L. Schofer, and A. Ushpiz, “Pedestrian Flow and Level of Service”, Journal of Transportation Engineering, Proc ASCE, 109, Reston, pp.46-57(1983).
7. S.J. Older, “Pedestrians. Dept Scientific and Industrial Research”, Road Research Laboratory, LN275/SJO, Crowthorne, England, pp.17-28(1964).
8. 岡田光正, 吉田勝行, 柏原士郎, “建築と都市の人間工學”, 鹿島出版會, p.79(1972).
9. K. Ando, H. Ota, and T. Oki, “Forecasting the Flow of People”, Railway Research Review, 45, 8, pp.8-14(1988).
10. 日本建築學會, “建築防火教材”, pp.115-116(1980).
11. J.J. Fruin, “Pedestrian Planning and Design”, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners Inc., New York, pp.34-41 (1971).
12. 岡田光正, 吉田勝行, 柏原士郎, “建築と都市の人間工學”, 鹿島出版會, pp.79-80(1972).
13. 日本建築學會, “建築學大系21 建築防火論”, 彰國社, p.337(1992).