

# 지하철 역사에서의 계단 및 개찰구 군중흐름에 관한 연구

김명훈 · 김응식<sup>†</sup> · 조주호

호서대학교 안전보건학과

(2008. 10. 1. 접수 / 2009. 6. 2. 채택)

## The Study of Crowd Movement in Stair and Turnstile of Subway Station

Myeoung-Hun Kim · Eung-Sik Kim<sup>†</sup> · Ju-Ho Cho

Department of Safety and Health Engineering, Hoseo University

(Received October 1, 2008 / Accepted June 2, 2009)

**Abstract** : Most of subway stations are located underground and the number of passengers is far more than that of designed value, therefore the risk of accident is growing bigger and serious damage is expected in case of disaster. In Korea the period of evacuation study is short and numerical and experimental data of evacuation phenomena in subway station is rare. Many egress evaluation depend on foreign commercial S/Ws which are not yet proven its availability in special case such as subway station. In this paper outflow coefficients which are essential in egress evaluation are calculated at train door, stairway and turnstile at 3 most crowded subway stations. This numerical data can be used in prediction of egress evaluation and the result of other prediction methods can be verified with these experimental data.

**Key Words** : underground, subway station, evacuation, outflow coefficient

### 1. 서론

#### 1.1. 연구의 배경 및 필요성

지하철의 경우 많은 역사들이 지하공간에 위치하고 있으며 사람들이 가장 많이 이용하는 교통수단으로서, 사용인원이 개통 당시인 1980년 약 280만 명에서 현재 약 73,000만 명으로 약 257배의 증가율을 보이고 있어 화재 및 기타 재난이 발생한 경우 대형 사고의 위험성이 존재한다. 실제로 2003년 2월 대구지하철역 화재사고, 2005년 1월 광명역 방화사고 등과 같은 화재사고가 발생하고 있다. 2008년 2월에 승례문 방화사고 역시 방화범이 “지하철에 방화를 시도하려다 인명피해 때문에 포기하였다”는 진술로써 알 수 있듯이 지하철 역사는 위험에 노출될 수 있다.

지하공간에서의 화재가 위험한 이유는 폐쇄 공간이라는 점과 피난방향이 상방향(上方向)인 점, 상방향 피난 통로와 연기의 이동 경로가 동일한 점, 이용자가 불특정 다수이며 공간 인식이 충분하지 못한 점 및 화재 발생 시 급격한 연기의 확산 및 빠른 화재전파 등의 현상들이 존재하기 때문이다.

한 철저한 실험 및 검증에 의한 분석이 우선하며 그 결과를 바탕으로 외국 문헌<sup>1-6)</sup>이나 상용 프로그램<sup>10-13)</sup>의 적용성을 검토하여야 한다. 이는 문헌의 결과 값이 동일한 실험 조건에서 수행되었다는 보장이 없으며, 프로그램의 알고리즘 또한 다양한 입력 변수를 고려하지 않기 때문이다.

피난 소요시간 평가는 안전 대책을 세우는데 있어서 필수적이고, 이중에서도 유출계수의 산정은 가장 중요한 요소이다<sup>1)</sup>. 유출계수(outflow coefficient)란 병목이 존재하는 곳에서 통로의 폭이 결정되어 있을 때 단위 시간당 단위길이를 통과할 수 있는 인원수를 나타낸 계수로서, 전체인원이 병목 구간을 통과하는데 소요되는 시간을 예측할 수 있기 때문에 피난시간 평가를 위해서는 필수적 변수이다. 따라서 본 논문에서는 지하철 역사 관측을 통하여 전체 피난 시간 평가에 필요한 각 병목 구간에 서의 유출현상을 관측하고 유출계수를 계산하였다.

#### 1.2. 연구 범위

지하철 역사에서의 재해발생 시 확실한 대책을 세우기 위하여 피난 성능평가가 전제되어야 한다. 그러나 국내에서는 피난에 관한 연구의 역사가 짧고 각종 형태의 데이터 부족으로 인해 외국 상용 프

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
eskim@hoseo.edu

로그그램을 기초로 피난 계획을 수립하는 실정이다. 또한 국내 지하철역사와 같이 동 시간대 많은 인원이 집중되어 상방향으로 피난하는 외국의 예를 찾아보기 힘들며, 더욱이 역사 피난 실측 데이터는 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 피난시 가장 유사하게 피난상황을 재현하기 위하여 하차 승객이 가장 많은 역사들 중 가장 보편적인 형태의 승강장 구조인 A역(하루 이용객 약 15만명), B역(하루 이용객 약 20만명) 및 C역(하루 이용객 약 8만명)<sup>14,15)</sup>을 선정하여 병목이 존재하는 구간인 전동차 문, 개찰구, 계단에 관측 장비를 설치하여 피난평가에 필요한 데이터를 취득하였으며, 이를 바탕으로 유출계수를 산출하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1. 피난에 영향을 주는 요소

실제 화재 및 기타재난 시 피난에 고려되어야 할 사항으로는 개인별 신체치수, 성별, 연령, 보행속도, 심리적인 요인<sup>16,17)</sup> 등의 개인적 특성치와 화재발생 시 연기의 농도, 연기의 자극의 정도 등의 화재 성상 그리고 조명의 밝기, 장애물의 위치 등의 건축물의 구조 등이 있다. 따라서 피난 형태는 어느 한 가지 요인에 의하여 결정되는 것이 아니라 Fig. 1에서와 같이 구조물의 특성, 개인의 특성, 화재의 성상 등이 함께 연관성을 갖고 있다<sup>18)</sup>.

상용 프로그램중 Simulex는 구조적 특성만을 고려하였으며 Exodus는 구조적 특성 및 화재의 성상을 고려하였습니다. 본 연구에서 피난시 발생하는 병목구간에서의 유출계수 산정에는 개인적 특성이나 화재의 성상은 고려되지 않았다.

그러나 이러한 모든 요인들을 고려하여 피난 평가를 하는 것은 사실상 불가능한 문제이며 이는 여

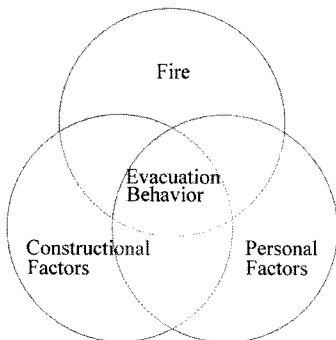


Fig. 1. The relation of evacuation behavior with various factors.

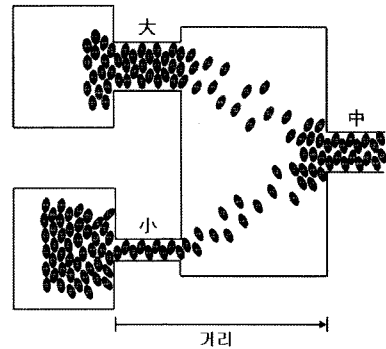


Fig. 2. Evacuation at bottleneck.

러 관련분야 연구자들 사이에서 아직 논의되고 있는 중이다<sup>9)</sup>.

일반적으로 전체 피난 시간은 Fig. 2에서와 같이 병목의 폭과 이동거리 에 가장 큰 영향을 받게 되며 이 두 변수로 피난시간을 예측하는 알고리즘은 가장 일반적인 방법으로 통용되어 왔다.<sup>10-13,18,19)</sup> 본 논문에서는 전동차 문, 계단, 개찰구 등과 같이 피난에 영향을 주는 병목구간을 관측하였고 이들은 일반적으로 알려진 문(Door)에서의 병목과 다른 유출계수를 가지게 된다.

### 2.2. 유출계수의 정의 및 종류

유출계수란 병목이 존재하는 곳에서 통로의 폭이 결정되어 있을 때 단위 시간당 그 폭을 통과할 수 있는 인원수를 나타낸 계수<sup>1,5)</sup>로서 피난시간 평가를 위해서는 필수적 변수이다. 지하철 역사의 경우 전동차 문에서의 유출, 계단 및 개찰구에서 인원의 유출시간의 산정에서 유출계수가 이용되었다.

본 연구에서는 지하철 역사에서의 병목구간인 전동차 문, 계단 및 개찰구에서의 인원에 따른 유출을 측정·분석하여 유출계수를 도출하였으며 유출계수를 산정하는 방법은 다음과 같다.

- 1) 전동차 문 유출계수 [person/sec · m]  
전동차 유출계수 = 인원/(시간×문폭)<sup>1,5)</sup> (1)
- 2) 계단 유출계수 [person/sec · m]  
계단 유출계수 = 인원/(시간×계단폭)<sup>1,5)</sup> (2)
- 3) 개찰구 유출계수 [person/sec · n]  
개찰구 유출계수 = 인원/(시간×개찰구수) (3)

위의 식 (3)의 개찰구 유출계수는 폭이 일정한 여러개의 개찰구를 통하여 나오는 유출계수가 기존 문헌<sup>1-9)</sup>에 정의되어있지 않으며 모든 역사의 개찰구의 폭이 일정하여 개찰구의 개수가 피난의 시간

을 결정하기 때문에 본 연구에서는 개찰구수를 측정하여 유출계수를 산출하는 방법을 사용하였다.

### 3. 연구 방법 및 진행

#### 3.1. 측정 장소 및 측정 장비

Fig. 3은 서울시내 지하철 역사 중 유동인구가 가장 많은 3곳의 시간대별 유동인구를 나타낸 그림이다<sup>14)</sup>. 측정 장소는 유동인구가 가장 많은 A, B, C 지하철역사내에 병목이 예상되는 전동차 문, 계단 및 개찰구로 선정하였다. 측정 시간은 하차인원이 가장 많은 오전 7~10시로 선택하여 데이터를 획득 하였으며 이는 출근시간에 인원의 유동이 가장 많으며 한 방향으로의 이동이 이루어져 전체 피난 상황과 가장 유사하기 때문이다.

#### 3.2. 측정 및 분석방법

##### 3.2.1. 분석을 위한 가정

NFPA의 “SFPE Handbook”<sup>1)</sup>에서는 비상시 군중의 흐름을 예측하기 위하여 다음과 같이 가정하고 있다.

- 1) 모든 사람은 동시에 피난을 개시한다.
- 2) 거주자의 흐름은 관련된 사람들의 의사결정으로 인한 개입이 관련되어 있지 않다.
- 3) 관련된 사람들의 거의 전부는 집단 이동을 저해하는 장애요소를 갖고 있지 않다.

본 연구에서는 실제 피난상황에서 발생하는 각각의 현상들을 모두 재연할 수 없으므로 실행 불가능한 실험조건들은 발생하지 않는 것으로 가정하였으며 다음 조건들과 같다.

- 1) 피난시 개인의 상태 및 차이는 고려하지 않았다. 많은 인원이 피난 시에 개인의 특성을 측정하기가 어렵다. 따라서 노약자, 유아, 장애인은 고려하지 않는다.

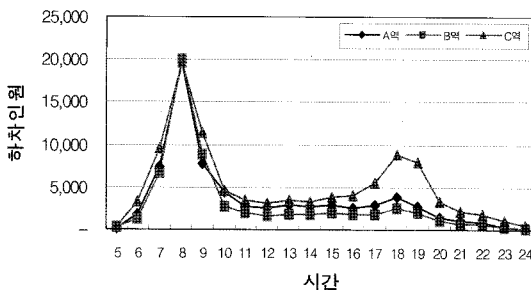


Fig. 3. The numbers of passenger in subway stations according to time flow.

2) 패닉 및 전도현상은 존재하지 않는다. 이와 같은 심리적인 요인이나 돌발적인 상황에 대한 현상들은 수치적으로 모사가 불가능하다. 하지만 발생 시에는 대규모 사상자가 발생할 수 있다.

3) 개찰구의 고장으로 인한 피난로의 장애가 발생하지 않는다. 이는 개찰구의 고장은 고장 시점을 판단할 수 없으므로 돌발적인 상황중의 하나로 보았다.

4) 조명은 충분히 밝으며 연기하강은 고려하지 않는다.

##### 3.2.2. 전동차

지하철에서 가장 처음으로 병목이 생기는 구간은 전동차 도착 후 문이 개문되었을 때이며, 하차를 위한 승객들이 병목을 이루고 있는 상태에서 개문과 동시에 유출하기 때문이다. 전동차에서의 측정 및 분석 방법은 다음과 같다.

- 1) 전동차 문이 열리기 시작한 시점부터 유출되는 인원수를 매 초당 측정한다.
- 2) 관측 장비에 기록되어진 각 전동차별 데이터를 분석하여 각 전동차별 유출계수를 산출한다.

##### 3.2.3. 계단

지하 역사에서의 피난은 일반적인 피난과 달리 아래에서 위로 향해지므로 계단은 피난에 있어서 큰 영향을 미칠 수 있는 구간중 하나이다. 전동차에서 많은 인원이 하차 후 모두 계단으로 이동하므로 병목이 발생한다. 지하철 역사에서의 계단로의 개수는 승강장의 구조에 따라 다르며 대표적으로 ‘섬식’승강장(Island Platform)과 ‘상대식’승강장(Side Platform)(Fig. 5)이 있다.



Fig. 4. Door outflow analysis process.

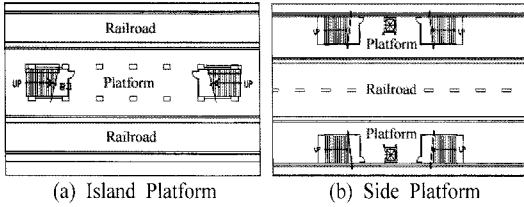


Fig. 5. Two kinds of platform type.

본 연구에서는 사람이 가장 많이 이동하는 A, B, C역사를 선정하여 ‘섬식’ 및 ‘상대식’ 구조의 계단병목에 대한 유출특성 및 유출계수를 산출하였다. 단, 복잡한 구조의 심층역사와 환승역은 고려하지 않았다. 계단에서의 실험 및 분석 방법은 다음과 같다.

- 1) 전동차 도착 후 계단을 오르는 승객들의 병목이 시작되는 순간부터 병목이 종료되는 순간까지의 시간과 유출되어지는 전체 인원을 계수하여 측정하였다.
- 2) 위의 1)을 이용하여 유출계수식을 산출하였다
- 3) Fig. 6의 처음 두 개의 그림에서 계단의 개수를 설정 후 설정 계단 안의 인원수를 측정하여 밀도를 결정한다.
- 4) Fig. 6의 마지막 두 개의 그림에서와 같이 기준인원이 구간을 통과할 때까지의 시간을 동영상 편집기를 이용하여 측정한다.
- 5) 과정 3)과 4)에서 밀도 및 속도를 산출하였으며 이를 이용하여 유출인원을 유추할 수 있다.

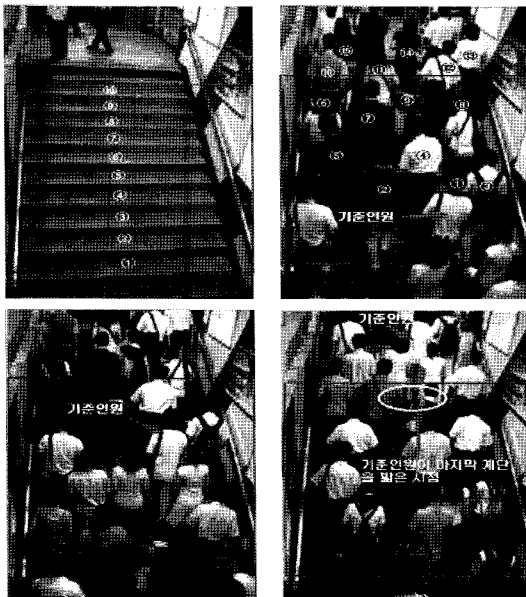


Fig. 6. Stairway outflow analysis process.

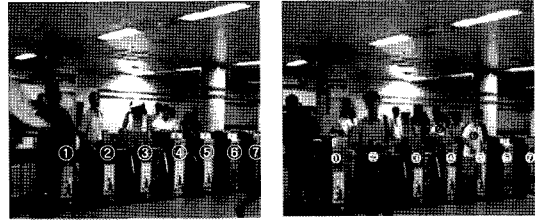


Fig. 7. Turnstile outflow analysis process.

### 3.2.4. 개찰구

지하철 역사에서 또 다른 병목이 일어나는 구간은 개찰구이다. 이는 승객들이 계단을 오른 후 검표를 하기위하여 개찰구 앞에 정지하며, 검표 후 유출 시에도 삼발이를 밟는 시간이 소요되기 때문이다. 개찰구는 ‘삼발이’와 ‘센서식’의 두 가지 형태가 있으며 A, B, C 역사에서의 유출계수를 산출하였다. 개찰구에서의 측정 및 분석 방법은 다음과 같다.

- 1) 계단에서 올라온 승객이 개찰구를 통과한 시간부터 마지막 승객이 통과한 시간과 개찰구를 통하여 유출되어지는 전체 인원을 계수하여 측정하였다.
- 2) 개찰구에서의 변수인 개찰구 개수와 1)의 측정 결과로 각 개찰구당 인원별 유출계수를 산출하였다.

## 4. 분석결과

### 4.1. 전동차 분석결과

Fig. 8은 전동차의 유출 인원수와 유출계수간의 관계그래프이다. 위의 그림에서 확인할 수 있듯이 전동차 내부에 하차인원의 밀도가 높을수록 유출계수가 증가함을 알 수 있으며 전동차유출계수 산정식은 다음과 같다.

$$y = 0.55\ln(x) + 0.0349 \quad (4)$$

사용 예는 아래와 같다. 지하철에 객차당 약 430명이 탑승하고 있는 상태에서 피난을 시작한다고 하고 전동차의 문 하나로 나오는 인원은 약 54명

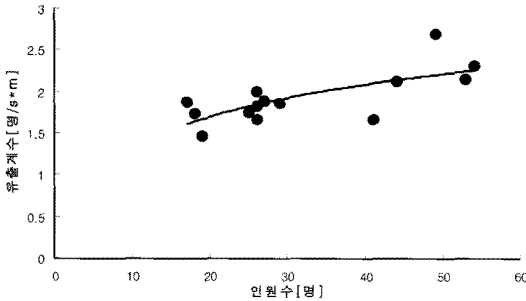


Fig. 8. Outflow coefficient of train door.

(430/8)이며 이 인원을 식 (4)에 대입하여 유출계수를 산출하고 식 (1)에 대입하여 피난시간을 산출할 수 있다. 이 경우 약 19초가 예상된다.

## 4.2. 계단 분석결과

### 4.2.1. 유출계수

Fig. 9는 실험대상 역사로 선정된 A, B, C 역사에서 하차하여 유출되는 약 13,000여명을 대상으로 측정된 각 역사 계단의 인원수별 유출계수 비교에 관한 그림이다.

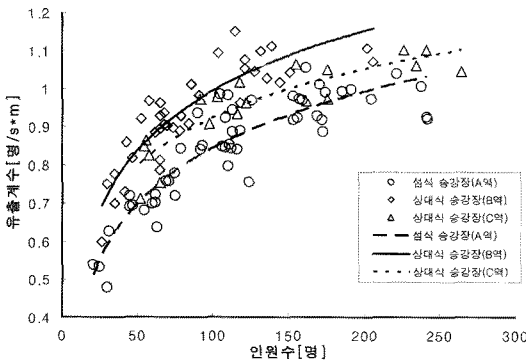


Fig. 9. Outflow coefficients of stairway at A, B, C station.

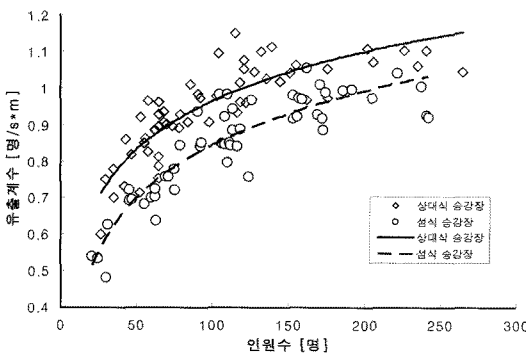


Fig. 10. Outflow coefficients of stairway according to platform type.

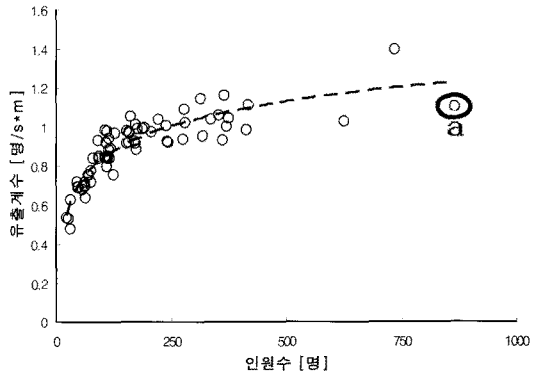


Fig. 11. Outflow coefficient of stairway at separated platform.

위의 Fig. 10은 승강장의 형태별로 나누어서 비교해놓은 그림이다. 그림에서 ‘섬식’ 승강장 형태의 유출 계수가 상대식의 유출계수보다 낮은 것을 알 수 있다. 이는 승강장의 구조상 섬식과 상대식이 계단로의 개수 및 계단으로 유도하는 통로의 폭이 다르기 때문에 섬식에서의 병목이 상대식보다 심하게 나타난다. 또한 Fig. 11에서 섬식 승강장의 계단로 한곳의 최대유출인원이 약 900명까지 관찰되었으며 인원이 늘어날수록 포화되는 경향을 보여주고 있다.

상대식 승강장 유출계수식

$$y = 0.192\ln(x) + 0.078 \quad (5)$$

섬식 승강장 유출계수식

$$y = 0.213\ln(x) - 0.136 \quad (6)$$

일예로서 1,000명이 피난시에 계단에서 소요되는 시간은 섬식 승강장 약 5분 5초, 상대식 승강장 약 4분 44초로 예측할 수 있다.

본 연구에서의 계단의 인원별 유출계수식은 로그 함수 꼴로 표현하였다. NFPA의 “SFPE Handbook”<sup>21)</sup>에서는 계단을 내려가는 인원들에 대한 유출계수식을 지수식으로 근사하였으나 본 연구에서는 계단을 오르는 인원들에 대한 유출계수 산정식을 분석하였으며 로그형태의 그래프가 가장 잘 근사하는 것을 확인하였다.

Fig. 12의 (a)는 상향계단에서의 밀도별 속도 그래프이고 (b)는 인원수별 유출계수이다. 이 두 그래프를 사용하여 밀도와 유출계수의 상관관계를 유도할 수 있다. 예를 들어 (a)의 x점(밀도 1.54명/m<sup>2</sup>, 이동속도 0.52m/s, 계단분석 방법 3)번항 참고)에서 두 점을 곱하게 되면 유출계수가 되고 구해진 유

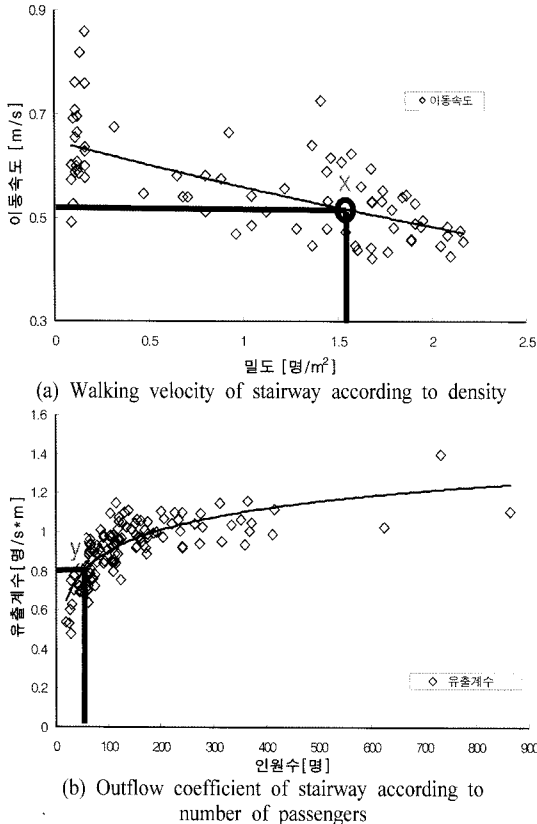


Fig. 12. Correlation of density and outflow coefficient.

출계수에서 (b)의 y점을 찾아 인원수를 얻을 수 있다. 결과적으로 50명이 유출할 때 밀도 및 속도를 알 수 있다.

### 4.3. 개찰구 분석결과

Fig. 13은 A, B, C 역사의 개찰구에서 총 40,000명을 대상으로 측정하여 분석한 각 개찰구에서의

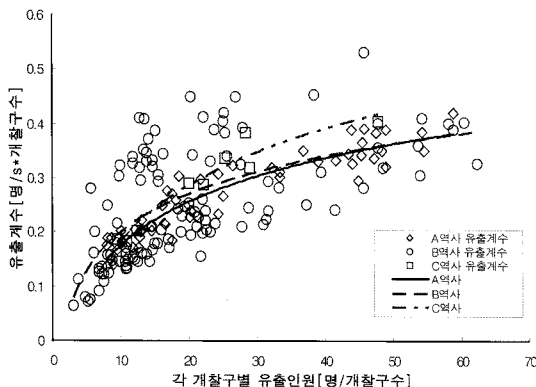


Fig. 13. Outflow coefficients of turnstiles at A, B, C station.

유출계수에 대한 그래프이다. A, B역사는 삼발이 형태의 개찰구이며 C역사는 센서형태의 개찰구이다. A, B, C역사 모두 유사한 유출경향을 보였으며 센서식이 삼발이식보다 약간 빠르게 유출되는 경향을 볼 수 있다. 이는 개찰구의 작동방식의 차이에 기인하여 수동형태의 삼발이식이 자동형태의 센서식보다 유출에 영향을 많이 주기 때문이라 사료되어진다. 삼발이 형태의 A, B역사의 각 개찰구당 피난인원이 약 50명 이상인 경우 유출경향이 일치함을 볼 수 있으며 이는 삼발이식의 개찰구에서 병목이 이루어진 상황에서 각 개찰구당 유출계수가 0.39[명/s\*m]임을 알 수 있다. 하지만 센서식 개찰구의 경우 심한 병목이 예상되었던 출근시간에도 삼발이식 개찰구와는 다르게 병목이 발생하는 역이 존재하지 않았고 이로 인하여 데이터를 제한적 범위에서 밖에 획득할 수 없었다.

개찰구에서의 유출계수 산정식은 다음과 같다.

$$y = 0.1067 \ln(x) - 0.0757 \quad (7)$$

각 개찰구별 유출계수식은 계단 유출계수식과 마찬가지로 여러 가지 형태의 추세선중 결정계수가 가장 높은 로그형태의 함수로 나타내었다. 일례로 삼발이식 개찰구 10개로 1,000명이 피난시에 개찰구에서 소요되는 시간은 약 4분 1초로 예측할 수 있다.

### 4.3.1. 계단 부터의 동선거리에 따른 개찰구 유출 인원 분석

Fig. 14는 각 개찰구에서 인원수별 유출계수이다. A역-1의 그래프는 계단에서 개찰구까지의 동선이 짧고 대기 면적이 좁아 바로 병목이 발생하여 유

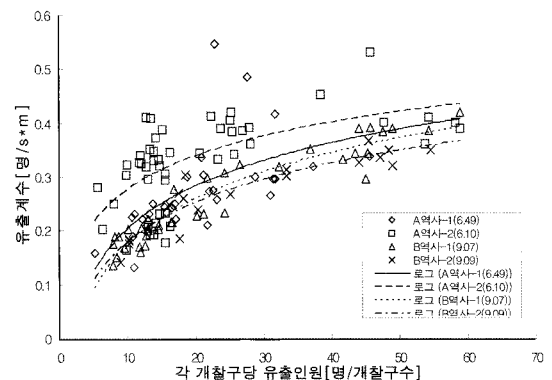


Fig. 14. Outflow coefficients of various turnstiles.

출계수가 높은 추이를 보인다. B역-2의 개찰구의 경우 계단에서 개찰구까지의 동선이 X자 형태로 교차되어 흐름에 방해를 받아 유출계수가 작아진다. 이와 같이 개찰구에서도 각각의 형태에 따라 조금씩 다른 유출계수를 갖게 되는 것을 확인할 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 지하철 역사에서 재난발생 시 피난에 소요되는 시간에 가장 큰 영향을 줄 수 있는 전동차 문, 계단, 개찰구등의 병목을 선정하여 각 구간에서의 유출계수를 산출하였으며 결론은 다음과 같다.

1) 전동차 문, 계단, 개찰구에서의 피난 인원별 유출계수를 구하였다. 인원이 늘어날수록 값이 증가하다가 포화하는 경향을 보이고 있으며 로그함수 꼴로 가장 잘 근사되었다. 또한 이들의 비교를 통하여 최종 병목구간을 확인할 수 있다.

2) 전동차 문에서 유출되는 인원에 대한 유출계수를 구함으로써 객차 당 객실인원에 따른 유출시간을 예측할 수 있다.

3) 계단에서의 유출계수는 승강장 형태에 따른 계단로의 개수와 구조에 영향을 받으며 섬식과 상대식 중 섬식의 유출계수가 작았다.

4) 계단 유출계수, 밀도 및 계단을 오르는 이동속도의 상관관계를 분석하였다.

5) 개찰구 유출계수는 센서식, 삼발이식 모두 유사한 경향을 보였으며 센서식의 유출계수가 삼발이식에 비하여 높게 관측되었다.

6) 지하철 역사 구조에 따라 개찰구 및 계단의 유출계수가 다소 차이가 있음을 확인하였다.

7) 구해진 유출계수를 사용하여 전체 피난시간을 예측할 수 있다.

## 참고문헌

- 1) "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", 3rd Edition Chap.3.12~13.
- 2) 이수경, 정용기, 고한목, "최신 건축방화", 도서출판 의제, p. 200, 1998.
- 3) J.L. Pauls, "International Life Safety and Egress Seminar, Maryland, November 1981: Summary of Presentations and Discussion", F. Safety J., 5, pp. 213, 1983.

- 4) J.L. Pauls, "Development of Knowledge about Means of Egress", Fire Tech., Vol. 20, No. 2, pp. 28, 1984.
- 5) K. Togawa, Report No. 14, Building Research Institute, Tokyo, 1955.
- 6) J.L. Pauls, "Effective-Width Model for Crowd Evacuation Flow on Stairs", Proceedings of 6th International Fire Protection Engineering Seminar, Karlsruhe, Germany, pp. 295~306. 1982.
- 7) J.L. Pauls and B.K. Jones, "Building Evacuation: Research Methods and Case Studies", in Fires and Human Behaviour, John Wiley and Sons, New York, pp. 227~249, 1980.
- 8) J.L. Pauls, "The 7-11 stair: Should It Be Required for Residential Construction? (Rebuttal to National Association of Home Builders)", The Building Official and Code Administrator, May-June 1985, pp. 16~35. The Building Official and Code Administrator, 26 (May-June 1985).
- 9) Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 8A, "Fire Safety in Tall Building", Mc Graw-Hill inc, 1992.
- 10) "Simulex User Manual", p. 39, Intergrated Environmental Solutions Ltd, 2001.
- 11) Peter Thompson, "Modelling Evacuation in Multi-story Buildings with Simulex", Fire Engineering journal, 1996.11.
- 12) building EXODUS User Guide and Technical Manual.
- 13) "Evacuation model for merging traffic flows in multi-room and multi-storey buildings", Fire Safety Science Proceedings of the 4-th International Symposium, IAFSS, Ottawa, Ont., pp. 625~632, 1994.
- 14) 서울메트로([www.seoulmetro.co.kr](http://www.seoulmetro.co.kr)).
- 15) 서울특별시도시철도공사([www.smrt.co.kr](http://www.smrt.co.kr)).
- 16) 長田泰公, 건축환경 심리, 도서출판 국제, pp. 154, 1992.
- 17) 윤승진, "재실자의 피난형태 모델링에 관한 연구", 호서대학교 산업안전공학과 석사논문, 1999. 2.
- 18) Bryan. J.L., "Human Behavior in Fire the Development and maturity of a Scholarly Study Area", 「Human Behavior in Fire」, 1998.
- 19) 김응식, 백상현, "대피시뮬레이션 프로그램에 대한 고찰", 99 한국산업안전학회 춘계학술 논문발표회 논문집, pp. 33~38, 1999. 6.
- 20) 김응식, 이정수, "초등학교 공간구성형식에 따른 피난행태 특성 분석", 대한건축학회 논문집, 제16권, 제7호, pp. 3~12, 2000. 7.

- 21) 호서대학교 · 보건복지부, 대피 시뮬레이션 시스템 개발을 위한 조사연구, 2001~2005.
- 22) 김응식, 이정수, 김수영, “초등학교 현장실험을 통한 피난특성 분석”, 한국화재·소방학회 춘계학술 논문발표회 논문집, pp. 185, 2003.
- 23) 김응식, 이정수, 김명훈, 유희권, 송용호, 민경찬, “병원피난에 관한 연구 : Part I”, 한국화재·소방학회 춘계학술 논문발표회 논문집, 2005.