

# 대중교통카드 자료를 활용한 도시철도 승강장 혼잡도 추정 알고리즘 개발

## Development of an Algorithm for Estimating Subway Platform Congestion Using Public Transportation Card Data

이 호\* · 최진경

Ho Lee · Jin-Kyung Choi

**Abstract** In some sections of the Seoul Metropolitan Subway, severe congestion can be observed during rush hours and on specific days. The subway operators have been conducting regular surveys to measure the level of congestion on trains: the results are then used to make plans for congestion reduction. However, the survey has so far focused just on train' congestion and has been unable to determine non-recurring congestion due to special events. This study develops an algorithm to estimate the platform congestion rate by time using individual public transportation card data. The algorithm is evaluated by comparison of the estimated congestion rate and the ground truth data that are actually observed at non-transfer subway stations on Seoul subway line 2. The error rates are within  $\pm 2\%$  and the performance of the algorithm is fairly good. However, varying walking times from gates to platforms, which are applied to both non-peak periods and peak time periods, are needed to improve the algorithm.

**Keywords** : Public Transportation Card, Metro Congestion, Platform Congestion

**초 록** 수도권 도시철도 일부 구간에서는 이용객의 집중화에 따라 극심한 혼잡이 발생하고 있다. 도시철도 운영회사들은 정기 및 분기별 혼잡조사를 실시하여, 혼잡개선 대책을 수립하고 있다. 하지만, 이러한 조사는 열차 혼잡도에 국한되어 있으며, 이벤트 발생에 따른 비반복 혼잡에 대한 조사가 어려운 실정이다. 본 연구에서는 교통카드자료를 활용한 시간대별 승강장 혼잡도를 추정하는 알고리즘을 개발하도록 한다. 알고리즘 검증에 위하여 2호선 잠실~신도림 구간의 비환승역을 대상으로 혼잡도 추정치와 실측치 값을 비교하였으며, 오차의 범위는  $\pm 2\%$  이내였다. 연구결과는 승강장 혼잡도를 시간대별로 상시 모니터링할 수 있으며, 장기적인 승강장 혼잡도 분석을 통한 승강장 대기공간의 적정성 여부도 판단할 수 있을 것이다. 추후 연구에서는 본 연구에서 반영하지 못한 역별 게이트에서 승강장까지의 혼잡상황을 고려한 동적보행시간이 고려되어야 할 것이다.

**주요어** : 대중교통카드 자료, 도시철도 혼잡도, 승강장 혼잡도

### 1. 서 론

도시철도는 대도시 교통체계에 있어 첨두시 대량수송이 가능하다는 장점으로 2014년 기준 55개국 148개 도시에서 운행 중에 있다. 2014년 기준 서울의 도시철도 수송인원은 연간 약 2,660백만명으로, 세계에서 혼잡한 도시철도 중 하나로 꼽힌다[1,2]. 2011년 수도권 철도 서비스 만족도 조사 결과에 따르면, 도시철도의 접근성과 정시성에 대하여 응답자는 대체로 만족하고 있지만, 도시철도 혼잡에 대해서는 매우 불만족한 것으로 조사되었다[3]. 수도권 도시철도 일부구간에서는 출·퇴근 시간대 및 특정일에 승객이 집중화됨에 따라 극심한 혼잡이 발생하고 있다. 이러한 도시철도에서의 혼잡은 역사 및 열차에서 승객의 안전사고 위험을 증가시키며, 열차 정차시간 증가로 인한 열차 지연 운행을 야기 시킨다.

도시철도운영회사는 자체적으로 정기 및 분기 혼잡도 조사를 통하여 혼잡상황에 따른 운행간격조정이나 열차 스케줄을 탄력적으로 운영함으로써 혼잡을 완화 시키려 노력하고 있다. 추가로, 역사 내부 연결 통로 및 계단 확대, 추가 설치 등의 지하철 이용시설을 확충하는 물리적 개선노력을 통해 혼잡을 완화하고자 하고 있다. 정기·분기 혼잡도 조사는 특정일을

\*Corresponding author. Tel.: +82-44-211-3116, E-mail : holee@koti.re.kr.

© 2015 The Korean Society for Railway. All rights reserved.

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2015.18.3.270>

정하여 조사하기 때문에 구체적인 혼잡유형 및 요일별·계절별 혼잡변동에 대한 조사가 이루어지지 못하고 있다. 또한 이벤트 발생에 따른 비반복 혼잡(non-recurring congestion)에 대한 조사가 어려워, 이에 대한 대책은 운영자의 경험에 의존하여 마련되고 있는 실정이다.

도시철도에서 발생하는 혼잡은 승객이 출발지 게이트를 지나 목적지 게이트를 나올 때까지 지속적으로 나타나는 것으로, 열차혼잡 이전에 이미 승강장에서부터 혼잡이 발생하게 된다. 하지만 그동안 혼잡도 조사는 열차에 국한되어 있어 승강장 혼잡도 조사는 제대로 이루어지지 않았다.

이에 본 연구에서는 교통카드자료를 활용한 승강장 혼잡도 추정 알고리즘을 개발하도록 한다. 교통카드자료를 활용함으로써 시간별 승강장 혼잡도를 상시 모니터링 할 수 있으며, 추가적으로 장기적인 승강장 혼잡도 분석을 통하여 승강장 대기공간의 적정성 여부도 판단할 수 있을 것이다. 이를 위해 먼저 2장은 교통카드자료를 포함한 빅데이터를 활용한 철도분야 연구사례를 살펴본다. 3장은 본 연구에서 활용된 교통카드자료 구조와 특성에 대해서 다루도록 한다. 4장은 교통카드자료를 바탕으로 승강장 대기인원 산정을 통한 승강장 혼잡도 추정 알고리즘을 개발한다. 이어서 5장은 4장에서 도출한 알고리즘을 검증하기 위하여, 추정된 승강장 대기인원 및 혼잡도를 실측자료와 비교하도록 한다. 마지막으로 6장은 본 연구의 결과를 요약하고 향후 연구방향을 제시한다.

## 2. 선행연구검토

다양한 분야에서 빅데이터(Big data)에 대한 관심이 높아지고 있다. 과거에는 시간 및 예산의 제약으로 자료수집에 한계가 있었다면, 현재는 IT 기술의 발전으로 인해 광범위한 자료의 수집이 가능해졌다. 이를 통해 보다 구체적이고 세부적인 분석이 가능해졌으며, 정책수립에도 활용되고 있다. 예를 들어 서울시는 공공부문 빅데이터를 활용하여 2013년 자정부터 오전 5시까지 이용된 민간이동통신사의 통화량 데이터를 통해 심야시간대에 유동인구 집중도를 분석하여 심야전용 버스인 올빼미버스 노선을 선정하는데 활용하였다. 2014년에는 택시 운행 데이터 분석 등 빅데이터를 활용한 교통정책을 수립하였다. 또한 2015년 3월 공공과 민간이 보유한 교통사고 내역과 유동인구, 날씨 등 1,400억 건이 넘는 빅데이터를 활용하여 어린이와 노인, 음주운전 등 5개 분야에 대한 교통사고 방지대책을 발표하였다.

철도분야에서도 교통카드자료를 활용하여 철도운영지표 및 정책수립을 위한 활용방안을 제시하고 있다. 예를 들어 국내에서 철도청[4]이 수행한 수도권전철교통량조사에서는 수도권전철 전구간 이용승객을 대상으로 3일간 역별 승강인원 및 환승 통행량조사를 실시하였으며, 시간대별 총량을 보정하기 위하여 개집표자료를 활용하였다. 이를 통하여 향후 수송력 증대, 혼잡역 개선, 운영전반에 대한 개선방안 및 합리적인 업무추진의 기초자료를 확보하였다. 신성일[5]은 대중교통카드자료를 활용하여 도시철도의 혼잡도 지표를 산출하는 방법론을 제안하고 이를 서비스지표로 활용하는 방안을 제시하였다. 대중교통카드를 기반으로 진출입 수요가 많은 역사와 지하철 네트워크상의 혼잡구간 및 이용자행태 분석을 통해 환승수요를 분석함으로써, 노선별 환승에 따른 전환수요가 미치는 영향을 파악하였다. 엄진기외[6]는 인천 1호선 구간을 대상으로 2009년 집계된 대중교통카드 자료를 활용하여 혼잡도와 정시성 지표를 도출하고, 도시철도 서비스를 평가하는 방안을 제시하였다. 차량단위의 대중교통 서비스 평가를 위해 개별 이용자의 교통카드자료를 스케줄에 의해 운행되는 차량단위로 집합화하였다. 분석결과로 차내 혼잡도와 정시성 간에는 밀접한 연관성이 있으며, 이전 역에서의 높은 승객수요가 지속적인 열차의 연착을 발생시킨다고 제시하였다.

국외에서는 Chan[7]은 런던의 지하철에서 사용 중인 자동운임정산시스템(Automatic Fare Collection System) “Oyster Card” 자료의 분석을 실시하여 역간 수요추정의 경우 직접 조사한 결과와 유사한 패턴을 도출하였다. 또한 교통카드자료를 통한 수요추정은 현재 수요를 반영한 시간대별 OD를 추정할 수 있고, 이를 통해 각 노선별로 안정적인 철도 서비스제공이 가능하다고 제시하였다. Van den Heuvel외[8]는 자동운임정산 데이터(Automatic Fare Collection Data)를 통해 네덜란드 철도역에서 보행환경수준을 모니터링할 수 있는 시스템을 개발하고자 하였다. 교통카드자료를 철도역 운영과 설계를 확인할 수 있는 잠재적 요소로 판단하였으며, 환승시간과 대기시간을 줄일 수 있는 중요한 요소가 될 것 이라고 판단하였다. 추가로 Gokasar외[9]는 이스탄불의 자동운임정산시스템과 가격정책, 운영자료의 빅데이터를 소개하고 이스탄불의 대중교통 스마트카드 운임 자료(Istanbulkart)를 통해 BRT를 이용하는 이용자들의 통행행태를 분석하고자 하였다. Rsutdio라는 프로그램을 이용한 빅데이터 분석을 통해 이용자들이 겪는 장·단기적 문제를 풀고자 하였다.

지금까지 철도분야에서 교통카드자료를 활용한 다양한 연구가 이루어졌지만, 아직까지 시간대별 승강장 혼잡도를 측정하고 이를 시계열적으로 분석하고자 하는 연구는 없었다. 이에 본 연구에서는 교통카드자료를 활용한 승강장 혼잡도 추정 알고리즘을 개발하고 향후 시간대별 승강장 혼잡도 모니터링 및 분석을 통한 도시철도 혼잡 개선 대책수립을 위한 기초자료를 제공할 수 있도록 한다.

### 3. 분석자료

2000년부터 버스와 수도권 지하철에서의 교통카드 호환을 시작으로 본격적인 통합교통카드 시대가 열리게 되었다. 서울시의 보도자료[10]에 따르면 2007년 수도권 통합환승할인제도가 시행되면서 교통카드 사용자가 급증하였고, 2014년 3월 기준 서울시 대중교통이용자의 98.9%가 교통카드를 사용하고 있다. 이에 따라 과거에는 통행량 조사를 위하여 현장에 나가던 조사 방식이 주를 이루었지만, 현재는 점진적으로 교통카드자료를 활용하는 방안에 대해 검토하고 있다.

도시철도의 경우 대중교통카드 자료 수집은 승객이 출발역에서 개찰구 통과 시 승차태그와 목적지에서 하차 후 개찰구 통과 시 하차태그를 통하여 이루어진다. 개찰구 통과 시 대중교통카드리더기는 각 개인의 고유카드번호와 함께 승하차시 역 정보, 개찰구 통과 날짜와 시간, 해당역의 개찰구 번호 등 다양한 정보를 기록하게 된다. 본 연구에서는 이렇게 취득한 자료를 승강장에서의 승차대기인원을 산정하는데 활용하도록 한다. 추가로 앞서 제시한 개찰구를 통하여 취득된 교통카드자료를 본 논문에서는 AFC(Automatic Fare Collection) 자료로 명명한다.

AFC 자료는 개인 고유카드번호를 기준으로 진출입자료에 대한 매칭 후에 통행자별 OD(Origin-Destination) 형태로 취득되었다. Table 1은 연구에 활용된 개별 도시철도 승객의 OD자료 예시를 보여준다. 역 코드는 노선별 역을 4자리수 번호로 표시하고 있으며, 환승역의 경우 노선에 따라 다른 번호를 부여하고 있다. 개찰구 장비번호는 개찰구 위치에 따라 번호가 부여되어 있으며, 이는 역사지도와 매핑을 통하여 계단통로 및 역사출입구에 대한 동선을 파악하는데 활용 가능하다. 예를 들어, Table 1에서 2번째 승객은 2014년 4월1일 5시22분13초에 학동역(역코드 2733)에서 3번 개찰구를 통과 후 열차를 탑승하였고 6시30분43초에 상록수역(역코드 1754)에서 3번 개찰구를 빠져나갔음을 나타낸다.

Table 1. Example of passenger's OD extracted from public transportation card data.

Sequence number	Board				Alight			
	Station number	Gate number	Date (yyyymmdd)	Time (hr:min:sec)	Station number	Gate number	Date (yyyymmdd)	Time (hr:min:sec)
1	2733	3	20140401	051619	2750	17	20140401	061153
2	2733	3	20140401	052213	1754	3	20140401	063043
3	2733	3	20140401	052256	3126	8	20140401	065539
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

### 4. 승강장 혼잡도 분석 알고리즘 개발

#### 4.1 기본설계

승강장 혼잡도는 발생시점에 따라 두 가지로 구분할 수 있다. 하나는 열차 승차를 위하여 승강장에 대기하는 승객들로 인한 혼잡과 다른 하나는 열차 도착 이후 열차에서 하차하는 승객들과 기존 승차대기 승객들이 혼재되어 발생하는 혼잡이다. 하지만 후자는 전자에 비하여 일시적으로 나타나는 혼잡이기에 일차적으로 승차를 위하여 승강장에 대기하는 사람을 연구 범위로 설정한다. 결과적으로 본 연구에서 승강장 혼잡도는 승강장 면적대비 승차대기인원으로 표시하고, 승차대기인원은 열차탑승을 위하여 대기하는 인원으로 정의하도록 한다.

AFC 자료를 활용한 승강장 혼잡도 측정은 승강장 구조와 환승유무에 따라 다른 방법이 적용되어야 한다. 즉 상대적 승강장은 상·하행 2개의 선로를 중앙에 두고 대칭적으로 마주보는 형태로, 대합실에서 승강장으로 내려갈 때 상·하행으로 분리되어 있는 구조이다. 이 경우 대부분의 개찰구 위치는 상·하행으로 구분되어 있으며, 이에 따라 개찰구 위치에 따른 진입인원도 자동으로 상행과 하행 승강장으로 구분되어 분석이 가능하다.

하지만, 섬식 승강장은 선로와 선로사이에 상행과 하행을 공용하는 승강장 형태로 개찰구 진입자료만으로 상하행을 구분하기는 어렵다. 섬식 승강장에서 진입인원의 방향별 승강장 구분을 위하여, OD 자료를 바탕으로 과거 시간대별·방향별 승강장 이용패턴을 활용하도록 한다. 앞서 언급한 것과 같이 AFC 자료는 단지 승차와 하차정보를 따로 제공하지만, 대략 하루가 지난 자료에 대해서는 이용객의 개별식별번호를 통한 OD 자료의 구축이 가능해 진다. OD 자료를 통해 이용객의 노선별 방향을 추정할 수 있으며, 이를 통한 섬식 승강장 구조에서의 시간대별·방향별 승강장 이용률을 계산할 수 있다. 결과적으로 섬식 승강장에서 방향별 이용객 수는 시간대별 진입인원과 시간대별·방향별 승강장 이용률을 고려하여 산정하도록 한다.

환승역의 경우 개찰구 진입인원 이외에 추가적으로 환승으로 유입되는 인원까지 고려하여야 한다. 현재 도시철도 시스템에서는 환승할 때 카드단말기에 태그를 하지 않는 이상 정확한 환승인원 파악이 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 환승하여 승강장으로 유입되는 인원에 대한 이력환승자료를 구축하여 활용하도록 한다. 이력환승자료는 최단경로탐색 알고리즘을 적

용한 기종점간 경로 설정 후, 이를 승객 OD자료에 적용한 환승역에서 방향별 시간대별 환승 자료를 의미한다.

종합적으로 Table 2는 환승유무 및 승강장 구조에 따른 승강장 혼잡도 추정을 위해 요구되는 자료들을 보여준다. 예를 들어 상대식 환승역의 경우는 승강장 혼잡도를 추정하기 위하여 AFC 자료와 이력환승자료가 필요한 반면, 섬식 비환승역의 경우 승강장 혼잡도 추정을 위하여 AFC 자료와 이력 OD 자료가 필요하다.

Table 2. Data types required to estimate congestion rate on a platform.

Type of Station		AFC Data	Historical OD data	Historical transfer data
Whether or not transfer	Type of platform			
Non-Transfer	Side*	○	-	-
	Island	○	○	-
Transfer	Side*	○	-	○
	Island	○	○	○

\*Even though a platform is a type of a side platform, a side platform is considered as a type of island platform whenever location of gates is unable to separate a direction of passengers

## 4.2 열차운행에 따른 승강장 대기인원 산정

개찰구를 통과한 승객들은 승강장으로 이동하여 열차가 도착하기 전까지 승강장에서 대기하게 된다. 대기인원은 열차도착과 함께 점진적으로 줄어들며 이는 열차 출발 직전까지 지속된다. 결과적으로 본 연구에서 승강장 대기인원은 이전열차를 탑승하지 못하고 현재열차를 탑승한 사람으로, 이전열차 출발부터 현재열차 출발까지 승강장으로 유입된 인원으로 정의 하도록 한다. 현재 열차에 대한 승강장 대기인원을 산정하기 위하여 열차출발정보와 승강장누적진입인원을 활용하도록 한다.

Fig. 1(a)는 승강장 누적진입인원( $N(t)$ )과 열차출발시간( $t_1, t_2, t_3$ )을 보여주고 있다. 승강장 누적진입인원은 게이트를 통과한 인원을 전체 열차운행시간동안 누적한 인원이다. 게이트와 승강장은 어느 정도 거리만큼 떨어져 있기에 시간별 승강장 진입인원을 추정하기 위하여, 게이트 통과시간에 게이트에서 승강장까지의 이동시간을 더하여 승강장 진입시간으로 변경하여야 한다. 열차 도착이후 부터 출발하기 전까지 승강장에 진입한 인원이 모두 열차에 승차한다고 가정하였을시, Fig. 1(a)의 ( $N(t)$ )는 열차출발시간( $k$ )를 기준으로 나누어지며, 이는 Fig. 1(b)에서 열차별 승강장 누적대기인원( $NN(t)$ )으로 보여진다. 결과적으로 열차출발정보가 주어진 상황에서 승강장 누적진입인원( $N$ )과 열차별 승강장 누적대기인원( $NN$ )은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$NN(t_i) = N(t_i) - N(t_{i-1}) \quad (1)$$

여기에서,  $N(t_i)$ =현재열차( $i$ )가 출발하기 전까지 승강장 누적진입인원  
 $N(t_{i-1})$ =이전열차( $i-1$ )가 출발하기 전까지 승강장 누적진입인원  
 $NN(t_i)$ =현재열차( $i$ ) 승차를 위한 승강장 누적대기인원

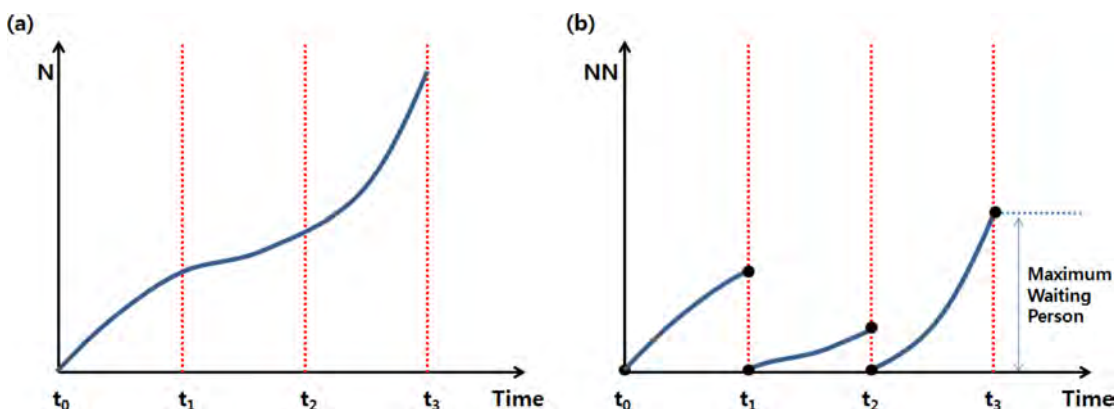


Fig. 1. Method developed to estimate the number of passengers waiting at a platform : (a) cumulative persons waiting on platform and train departure time; (b) cumulative persons waiting on platform truncated by a train departure.

Fig. 1에서 승강장 최대 대기인원은 세 번째 열차를 탑승하기 위해 두 번째 열차가  $t_2$ 에서 출발한 후부터 세 번째 열차가  $t_3$ 에서 출발하기 전까지 승강장에 대기하는 누적인원으로 나타난다.

### 4.3 승강장 혼잡도 알고리즘

4.1절과 4.2절에 언급한 내용을 바탕으로 시간대별 승강장 대기인원 추정을 통한 승강장 혼잡도 추정 알고리즘을 개발하였다. Fig. 2는 역별 개찰구 위치정보, 역사정보, 이력환승 자료, 이력 OD 자료, 역별 열차출발정보를 바탕으로 역별 방향별 승강장 혼잡도 추정을 위한 알고리즘을 보여준다. 역사정보를 바탕으로 환승역이 아닌 경우 역의 승강장 구조에 따라 방향별 승강장 유입인원을 분석하도록 한다. 상대식 승강장 경우 게이트 위치에 따라 방향구분이 가능한 경우 직접적으로 방향별 승강장 유입인원을 계산하지만, 게이트 위치가 승강장 방향구분을 하지 못할 때는 다음에서 언급하는 섬식 승강장 방식을 따르도록 한다. 섬식 승강장에서 유입인원으로부터 방향별 인원을 구분하기 위하여 이력 OD 자료를 활용하도록 한다. 환승역이 있는 경우 이력 환승 자료를 바탕으로 방향별 환승 유입인원과 환승역 승강장 구조에 따른 방향별 승강장 유입인원을 추정하도록 한다. 방향별 시간별 승강장 대기인원은 역별 열차출발시간과 방향별 승강장 누적유입인원을 바탕으로 식 (1)을 활용하여 산정하도록 한다. 마지막으로 승강장 혼잡도는 승강장 수용가능인원 대비 방향별 시간별 승강장 대기인원으로 산출한다.

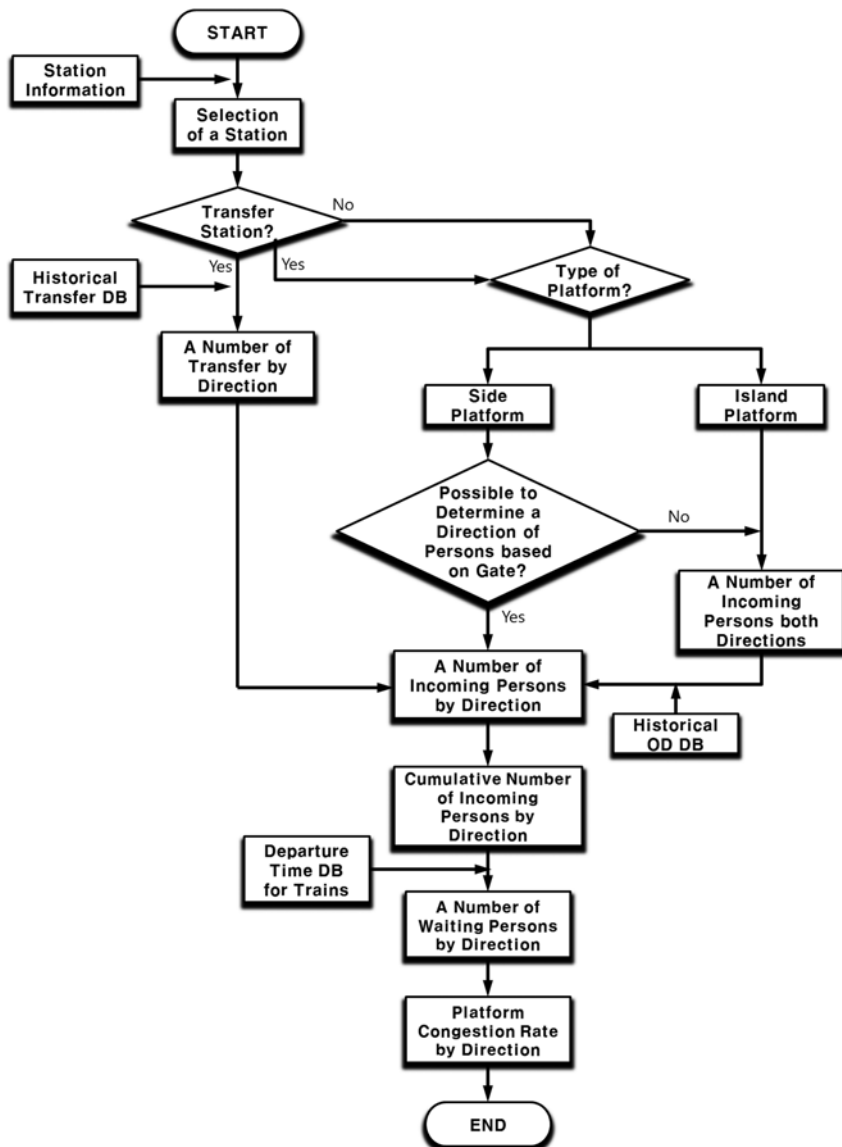


Fig. 2. Algorithm to estimate congestion rate at a platform.

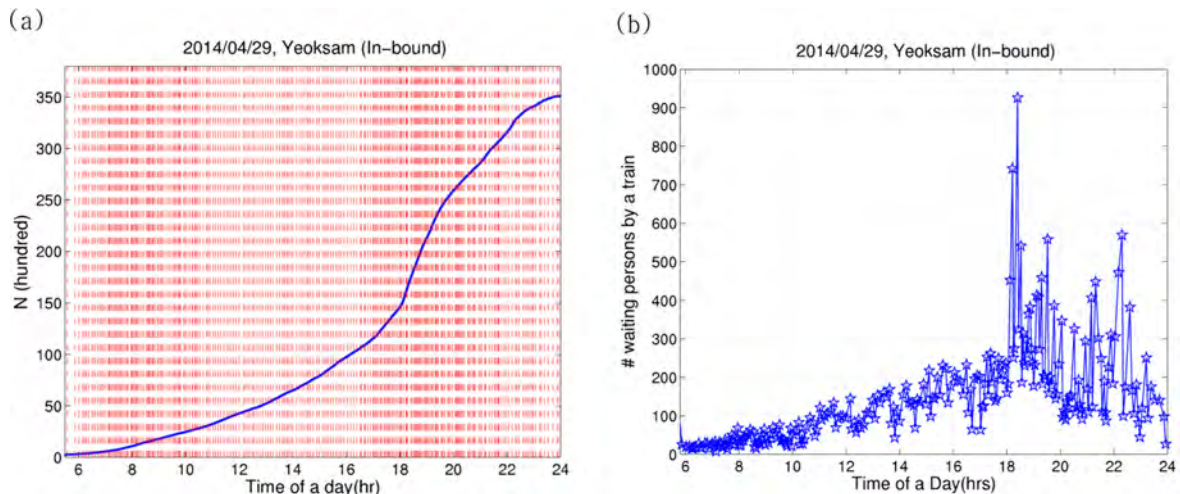
## 5. 승강장 혼잡도 분석 알고리즘 적용 및 검증

### 5.1 알고리즘 적용

2014년 4월29일(화요일) 수도권 지하철 총 327개역에 대한 개인별 교통카드이용실적 자료를 취득하였다. 역별 열차출발 시간은 열차운행제어컴퓨터(TTC)자료를 활용하였으며, 취득된 TTC자료는 동일날짜의 2호선 순환노선에 대한 역별 열차 출발정보를 담고 있다.

AFC 자료와 TTC로부터 취득한 열차출발시간 자료를 바탕으로 식 (1)을 활용하여 역별 승강장 대기인원을 산출 하였다. 예를 들어 Fig. 3은 2호선 내선 역삼역에 대해서 Fig. 1에서 제시한 방법을 적용하였을 때의 결과를 보여준다. Fig. 3(a)에서 굵은 실선은 역삼역 내선에서 열차운행시간동안 개찰구 진입인원을 바탕으로 산정된 승강장 누적유입인원을 나타낸다. 역삼역의 경우 개찰구로부터 승강장까지 거리는 대략 25m이며, 보행속도를 1m/s로 가정하였을시 이동시간 25초를 개찰구 진입시간에 더하여 승강장 유입시간으로 변환하였다. 세로 점선은 오전 5시35분부터 자정까지 총 243편성이 2호선 내선 역삼역 도착후 출발하는 TTC에 기록된 열차시간을 나타낸다. Fig. 3(b)는 열차별 승강장 대기인원 산정방법에 따라 계산된 열차출발 전까지 승강장 대기인원을 나타낸다. 역삼역의 승강장 최대대기인원은 18시부터 18시 30분사이에 발생하고 있으며, 구체적으로 최대 승강장 대기인원은 926명으로 18시15분에 발생하였다.

승강장 혼잡도는 승강장 대기공간 수용가능인원 대비 승강장 대기인원으로 계산하며, 승강장 대기공간 수용가능인원은 승강장 전체면적에서 시설점유면적을 뺀 면적(이하 승강장 가용면적)중 보행공간을 제한 대기공간에서의 수용가능인원으로 나타낸다. 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계지침[11]에서는 서비스 D급 수준을 요구하는 1인당 평균 대기공간 면적( $0.5m^2$ )과 보행공간면적( $1.25m^2$ )를 제시하고 있다. 평균 대기공간면적은 대기공간면적과 보행공간면적 합의 대략 30%로서, 본 연구에서의 승객이 대기할 수 있는 면적(이하 “승강장 실용대기공간면적”)은 승강장 가용면적의 30%로 가정하도록 한다. 역삼역 내선 승강장 가용면적은  $783.5m^2$ 으로 실용대기공간은  $235.1m^2$ 이며, 역삼역 내선 승강장 대기공간 수용가능인원은 470명이다. 결과적으로 최대 승강장 대기인원이 발생하는 18시15분에 역삼역 내선의 승강장 혼잡도는 197%이다.



**Fig. 3.** Analysis of platform congestion at Yeoksam station(in-bound): (a) cumulative arrival passengers at a platform superimposed on a train departure time; (b) the number of waiting persons at a platform for each train.

### 5.2 알고리즘 검증

본 연구에서 개발된 승강장 혼잡도 추정 알고리즘에 대한 검증은 추정된 승강장 대기인원과 동일한 시간에 현장에서 조사된 승강장 대기인원을 비교하여 수행하도록 한다. 도시철도 운영회사에서는 열차편성에 대한 객차별 채차인원 조사를 위하여 2014년 4월29일 2호선 내선 잠실역~신도림역 구간의 2398호(잠실나루역 출발시간 18:45)에 대한 승하차 인원을 조사하였다. 조사를 위하여 열차 내 출입문마다 조사를 배치하고 열차가 역에 도착하고 출발하기 직전까지 역별 승·하차 인원을 조사하였다. 승강장에서 열차탑승을 위하여 대기하는 인원수는 조사되지 못하였으나, 조사원에 따르면 열차탑승을 대기하는 사람들은 대체로 열차에 탑승하였다고 한다. 이에 본 연구에서는 승차인원을 승강장 대기인원으로 가정하도록 한다. 하지만 승강장 대기인원 중 열차에 승차하지 않는 사람이 존재할 시 실제 승강장 대기인원과 차이를 보이기에, 추후 알고

리즘에 대한 보다 정확한 검증을 위하여 추후 실제 승강장 대기인원을 조사할 필요가 있다.

실측자료의 유효성에 따라 2호선 내선 6개역(신천역, 종합운동장역, 삼성역, 역삼역, 서초역, 낙성대역)을 선정하여, 열차 239호 탑승을 위한 승강장 대기인원 추정치와 실측치 값을 비교하였으며, 결과는 Table 3과 같다. 삼성역을 제외한 5개 역들은 상대식 승강장 구조로 게이트별로 승강장 방향이 구분 되지만, 삼성역은 섬식 승강장으로 게이트별 방향별 구분이 어렵다. 승강장 가용면적은 역마다 차이를 보이고 있으며  $644.3\text{m}^2$  -  $1,808.1\text{m}^2$  범위에 있다. 실측치 자료에 따르면 삼성역과 역삼역은 다른 역들과 비교하여 3배~14배 많은 승객들이 대기하고 있다. 승강장 대기인원 추정치와 비교하였을 시, 삼성역과 역삼역은 각각 추정치가 실측치 보다 9명, 2명이 많이 추정되었으며 실측치 대비 각각 3%와 1%의 오차를 보였다. 신천역, 종합운동장역, 서초역, 낙성대역은 2명에서 8명까지 추정치가 실측치보다 적게 추정되었으며 실측치 대비 -18% ~ -9% 오차를 보인다. 하지만 대기인원 오차(%)는 실측 대기인원의 대소에 따라 많은 차이를 보인다. 이에 반하여 Table 3 맨 우측에 제시된것과 같이, 승강장 혼잡도를 분석하였을 때 오차의 범위는 -1.7% ~ 1.3%로 나타났으며 실측치와 추정치간의 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다.

**Table 3.** Summary of comparison of the numbers of passengers at a platform as determined using the algorithm and using the ground truth data.

Station name	Type of platform	Platform usable area ( $\text{m}^2$ )	Departure time (hh:mm:ss)	A number of passengers waiting in a platform from:			Platform congestion rate (%) from:		
				GTD(A)	ALG(B)	Diff(A-B)	GTD (C)	ALG (D)	Diff (D-C)
Sincheon	S	796.4	18:48:59	32	26	-6	6.7%	5.5%	-1.2%
Sports complex	S	1808.1	18:51:15	22	20	-2	2.0%	1.8%	-0.2%
Samseong	I	1226.9	18:53:24	305	314	9	41.4%	42.7%	+1.3%
Yeoksam	S	783.5	18:57:50	240	242	2	51.1%	51.5%	+0.4%
Seocho	S	789.3	19:03:46	72	64	-8	15.2%	13.5%	-1.7%
Nakseongdae	S	644.3	19:11:25	47	41	-6	12.2%	10.6%	-1.6%

S: Side platform, I: Island platform, GTD: Ground truth data, ALG: Algorithm

## 6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 교통카드자료를 바탕으로 도시철도 승강장의 혼잡도 추정 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘은 환승역 여부와 승강장 구조 등의 역사정보, 개별 승하차 자료, 이력 OD자료, 이력 환승자료를 바탕으로 방향별 누적승강장유입인원을 계산하고 역별 열차출발시간정보를 토대로 승강장 대기인원을 산정하였다. 방향별 승강장 혼잡도는 승강장 대기공간 수용가능인원 대비 추정된 승강장 대기인원으로 계산하였다. 알고리즘 검증을 위하여 서울메트로 2호선 내선 6개역에 대한 승강장 대기인원 추정치와 동일한 시간대의 실측치 값과 비교하였으며, 승강장 대기인원 추정치는 실측치 비교하여 오차범위는 -18% ~ 3%였으나, 승강장 혼잡도로 환산시 오차범위는  $\pm 1.7\%$  이내였다.

본 연구는 역별 승강장 혼잡도에 대한 장기적인 DB 구축을 통하여, 요일별·계절별 혼잡도 분석 및 이벤트 발생에 따른 비반복 혼잡에 대한 보다 구체적인 혼잡완화 방안을 강구하는데 활용할 수 있을 것으로 본다.

마지막으로 본 연구의 한계는 첫째, 열차가 도착하였지만 열차혼잡으로 인하여 탑승하지 못하는 경우는 알고리즘 상에서 반영되지 않았다. 이럴 경우 다음열차에 대한 승강장 혼잡도가 과소 추정되는 문제점을 가지게 된다. 이에 열차혼잡도에 따른 승강장 혼잡도 변화 영향에 대한 추가 연구가 필요할 것이다. 둘째, 승객의 승강장 유입시간은 개찰구 진입시간에 개찰구에서 승강장까지의 보행시간을 포함하여 추정하였다. 본 연구에서 제시한 보행시간은 비침두시를 가정한 것으로 역사 혼잡정도에 따라 보행시간이 증가될 가능성이 있다. 결과적으로 역사 혼잡정도에 따른 보행시간의 변화는 승강장 대기인원 추정치에 영향을 미치기에, 추가적으로 혼잡상황을 반영한 보행시간 연구가 필요할 것이다. 마지막으로 이력환승자료가 아직 구축되지 않아 환승역에서 환승인원을 고려한 승강장 대기인원에 대한 검증이 이루어지지 않았다. 이러한 연구의 한계는 추후 알고리즘 업데이트를 통하여 보완되어야 한다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(15RTRP-B067918-03)에 의해 수행되었습니다.

## References

- [1] <http://stat.seoul.go.kr/jsp3/> (Accessed 17 April 2015).
- [2] <http://www.metro9.co.kr/index.do> (Accessed 17 April 2015).
- [3] Korea Transport Database Center (2010) Korea Transport Survey and Database 2010, The Korea Transport Institute.
- [4] Y.S. Lee (1997) Traffic Survey in The Seoul Metropolitan Subway Lines, The National Railroad Administration.
- [5] S.I. Shin (2011) Congestion Index of Urban Rail Transit Using Public Transportation Card Data, Seoul Development Institute, Working Paper 2011-BR-04.
- [6] J.K Eom, M.H Choi, D.S Kim, J. Lee, J.Y Song (2012) Evaluation of Metro Services based on Transit Smart Card Data(A Case Study of Incheon Line 1), *Journal of the Korean Society for Railway*, 15(1), pp. 80-87.
- [7] J. Chan (2007) Rail Transit OD Matrix Estimation and Journey Time Reliability Metrics Using Automated Fare Data, *The degree of Master of Science in Transportation*, Massachusetts Institute of Technology.
- [8] J.P.A. van den Heuvel, J.H. Hoogenraad (2014) Monitoring the Performance of the Pedestrian Transfer Function of Train Stations Using Automatic Fare Collection Data, *Transportation Research Procedia*, Volume 2, pp. 642-650.
- [9] I. Gokasar, K. Simsek, K. Ozbay (2014) Using Big Data of Automated Fare Collection System for Analysis and Improvement of BRT in Istanbul, *Transportation Research Board*, TRB 2015 Annual meeting.
- [10] <http://www.seoul.go.kr> (Accessed 26 March 2014).
- [11] Metropolitan Railway Division (2013) Station and Accommodations of Design Principle in Subway, Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

【Received 20 April 2015; Revised 3 June 2015; Accepted 9 June 2015】

---

**Ho Lee** : holee@koti.re.kr

Department of Railway Transport Research, The Korea Transport Institute, 370 Sicheong-daero, Sejong-si, 339-007, Korea

**Jin-Kyung Choi** : ioniaro@koti.re.kr

Department of Railway Transport Research, The Korea Transport Institute, 370 Sicheong-daero, Sejong-si, 339-007, Korea