

## 교통카드데이터를 이용한 경량전철 통행특성 및 열차 혼잡도 분석 (우이-신설선 사례를 중심으로)

\*조혜림           \*\*박순용           \*\*\*권민지  
\*서울기술연구원   \*\*서울기술연구원   \*\*\*서울기술연구원  
\*hrcho@sit.re.kr   \*\*psy@sit.re.kr       \*\*\*mjkwon@sit.re.kr

### Analysis of Traffic Characteristics and Crowded Degree in Light Rail Transit using Smart Card Data (in case of Ui-Line)

\*Cho, Hyerim   \*\*Park, Soon Yong   \*\*\*Kwon, Min-ji  
\*Seoul Institute of Technology   \*\*Seoul Institute of Technology   \*\*\*Seoul Institute of Technology

#### 요약

서울시 첫 번째 경전철인 우이신설선은 2017년 9월 개통 이후 대중교통 불모지인 서울 동북부지역의 중요한 교통축을 담당하고 있다. 일평균 약 8만 명이 이용하는 우이신설선은 통행시간의 획기적인 개선과 지역 활성화에 기여하는 등 긍정적 효과가 있으나 개통 2주년이 지난 현재 출퇴근시 혼잡도 문제가 심화되는 등 대시민 서비스 측면에서의 쟁점도 제기되고 있다. 본 논문은 우이신설선 사례를 기반으로 서울시 경량전철 통행특성을 분석하고 침두시 혼잡원인을 파악하여 계획단계부터 혼잡도를 고려한 시설설계 개선방안 등을 제시하였다. 통행특성 및 혼잡원인 분석은 우이신설선을 통과하는 개별 카드데이터를 활용하였으며, 더 나아가 카드데이터의 특성을 고려한 열차 내 혼잡도 산정 알고리즘을 연구·개발하였다.

#### 1. 서론

서울시는 생활인구 약 1,300만 명의 거대도시이다. 매일 약 3천만 명이 경제활동을 위해, 학업을 위해, 그리고 친목 도모를 위해 서울 시내를 통행하고 있다. 그중 약 40%에 해당하는 1천3백만 명이 지하철·철도를 이용하고 있다. 그러나 아직도 서울시 시가화구역 중 약 37%는 도시철도가 닿지 않는 대중교통 불모지로 정시통행에 어려움을 겪고 있다. 이에 서울시는 2017년 9월 서울 시내 첫 경전철인 우이신설선을 개통한 이래로 신림선, 동북선, 위례신사선 등 다양한 경전철 노선 확충에 나서고 있으며, 지난 2019년 1월 기존 1~9호선의 중전철을 보완하고자 지선의 역할을 수행하기 위해 총 6개의 추가 경전철의 도입을 발표한 바 있다.

이렇듯 경전철은 낙후지역의 교통문제를 해소하고 지역 활성화에 기여한다는 긍정적 효과가 있는 반면, 중전철에 비해 너무 작은 규모, 지하경전철 건설로 인한 막대한 공사비, 수요예측 실패, 과거 최소수입 보장(MRG ; Minimum Revenue Guarantee) 민간투자사업의 상정적 존재 등 부정적인 사회적 인식도 자리하고 있다. 특히 우이신설선은 이용자수는 당초 예측했던 일평균 13만명의 약 55% 수준인 8만명에 불과한데 반해 개통한지 2년 만에 침두시 열차내 혼잡도가 157%를 기록하는 등 침두시 집중율이 높아 시민의 불편이 증가하고 있다.

현재 국내에서 적용되는 도시철도 열차내 혼잡도 기준은 1인당 0.35㎡ 수준이다.[1][2] 미국과 베를린(0.25㎡/명), 싱가포르/베이징(0.2

㎡/명)에 비하면 양호한 수준이나 도로교통편람에서의 1인당 면적기준을 고려할 때 일반적인 설계수준인 LOS D (0.4㎡/명)에 못미치는 상태이다.[2] 또한, 도시철도 계획시 적정 열차량 산정기준은 혼잡도 150%를 기준으로 하는 관계로 사실상 1인당 차지하는 면적은 0.23㎡/명을 기준으로 하는 것과 같다.[2][3]

서울시 도시철도의 열차내 혼잡도는 서울교통공사에서 2년 단위로 정기적으로 산출, 발표한다. 도시철도 이용자들이 수도권 전철 Network 내에서 실제 어떻게 환승하고 있는지에 대한 정확한 Data가 없는 관계로 카드데이터를 활용하여 혼잡도 산정에는 한계가 있다. 이에 미리 정해진 기간동안(7일) 주요 환승역의 목적조사와 카드데이터를 함께 고려하여 수도권 전체 노선별 방향별 혼잡도를 추정한다.[4] 최근 서울지하철 2호선에 도입된 신조전동차의 경우 하중감지센서(WIM)를 통해 열차별 개략적인 혼잡도 정보를 함께 제공하고 있다.

카드데이터를 통한 통행특성이나 최소경로탐색을 연구한 사례는 다수 있다. 신성일 등[5]은 수도권 전철에서의 이동기준이 최단거리를 기준으로 이동하는 것으로 가정하고 카드데이터를 도시철도의 최소환승알고리즘을 개발하였으며 이를 기반으로 승강장의 실시간 혼잡도 산정에 대한 가능성을 제시한 바 있다. 또한 김경민 등[6], 김승준 등[7]은 교통카드를 활용하여 9호선 급행/일반열차 선택모형을 제시하고 이를 통한 차내혼잡도를 산출하였다[

본 논문은 우이신설선 사례를 기반으로 서울시 경량전철 통행특

성을 분석하고 침두시 혼잡 원인을 파악하여 계획단계부터 혼잡도를 고려한 시설설계 개선방안 등을 제시하였다. 우이신설선은 민간투자사업으로 추진된 노선인 관계로 3개 환승역에 모두 환승게이트를 운영중인 관계로 통행특성 분석 및 혼잡도 산출은 모두 승하차태그 개별 카드데이터를 기반으로 하였다. 먼저 카드데이터를 통한 노선별 방향별 통행특성 및 이용자 구성을 우선 검토하였으며, 현장조사를 통한 열차별 재차인원 산정을 통해 차내 혼잡도를 산출하였다. 통행특성과 차내 혼잡도의 교차분석을 통해 혼잡 원인을 규명하고 후속사업 추진과정에 있어서의 개선방안을 제시하였다. 마지막으로 승하차 카드데이터의 특성을 고려한 열차내 혼잡도 산정 알고리즘을 개발하고, 현장조사 데이터와의 검증을 통해 모형의 설명력을 입증한다.

## 2. 연구 방법

우이신설선은 총 연장 11.4km, 13개 정거장이 있으며 이 중 3개 정거장이 1, 2, 4, 6호선과 환승역으로 운영중이다. 서울시 북동지역에서 도심을 연결하는 남북축 노선으로 출근시(오전침두)에는 남쪽방향, 퇴근시(오후침두)에는 북쪽방향으로 주방향으로 통행이 이동한다. 방향별 통행특성을 오전오후로 살펴보면 주방향 비율이 70:30까지 편차가 발생한다.



그림 1 우이신설선 침두시 승차자 수

Fig. 1. The number of passenger of Ui-line in R/H

도시철도 건설 기술기준에 의하면 적정 열차 소요량수는 최대 혼잡구간의 침두시 수요를 기준으로 산정토록 제시되어 있으며 역사별 이용자 수 및 최대 재차인원수를 통해 산정한다.

$$\text{시간당 운행편선수} = \text{최대혼잡구간 침두시 수요(통행시, 방향)/정원} \quad \text{식(1)}$$

오전침두시(7~9시)를 기준으로 우이신설선 13개 역을 기준으로 개별 카드데이터 O/D 매칭한 결과 최대재차구간은 정릉→성신여대입구로 나타났다. 성신여대입구는 우이신설선 역사 중 가장 많은 이용객이 승하차하는 역으로 4호선 환승 등으로 이용자가 분산되는 것으로 성신여대입구 직전구간인 정릉-성신여대입구가 가장 높은 혼잡도를 나타내었다. 북쪽방향의 최대재차구간은 솔샘→북한산보국문 역으로 재차인원 규모는 정릉→성신여대입구의 50% 미만으로 분석되었다. 현재 시설규모 결정시 적용하고 있는 양 방향의 최대재차인원의 평균값을 기준으로 할 경우 최대 재차인원 규모는 방향별 최대 재차인원 규모의 약 70~75% 수준으로 나타났다.

이와 같은 통행특성을 고려하여 열차내 혼잡도 산정 모형을 제시하였다. 우선 입력자료로는 열차시설 진입/진출시 카드데이터 승하차 기록과 역사의 열차 출발/도착시간으로 하였으며, 승하차시 도보시간은 거리대비 최고/최저속도를 적용하였다

열차혼잡도 산정을 위해 특정역의 카드데이터를 시계열 분석한 결과 역사 기준의 카드데이터에서는 특정한 패턴이 나타나지 않았으나 이를 승하차 태그로 구분한 결과 승차태그는 불특정 패턴으로 역사에 도착하는 형태를 보이는 반면, 하차태그 데이터는 열차의 도착에 따라 Platoon을 이루는 것을 알 수 있었다. 이에 열차 혼잡도 산정 알고리즘은 도착카드데이터를 기준으로 최소보행시간을 고려하고 역사별 열차 출도착 log data를 매칭하여 해당 이용자가 어떠한 열차를 이용했는지를 거꾸로 유추하는 방법을 적용하였으며, 단계별 프로세스는 다음과 같다.

- Step 1. 카드데이터 Pairing을 통한 통행 방향성 분리
- Step 2. 도착카드데이터 기준 이용열차 추정(보행시간 고려)
- Step 3. 열차별 차내혼잡도 산정
- Step 4. 시간기준 차내혼잡도 집계

## 4. 결과 및 논의

본 연구에서는 카드데이터 기반의 경전철 통행특성 분석결과를 토대로 열차의 적정용량 산정을 위한 혼잡도 산정 모형을 제시하였다. 그 결과 방향별 통행특성 분석이 어려워 최대재차인원값을 양방향 평균값을 적용하였던 기존 방법론 적용시 실제 적정 열차대수보다 적게 시설규모가 결정되는 문제가 있었음을 알 수 있었다. 또한 최대재차인원은 승강장 면적이나 환승통로 규모, 등 전반적인 도시철도 시설용량에도 영향을 미치는 요인이라는 점을 고려할 때 통행의 방향성을 고려한 수요예측 및 시설규모산정방식 적용이 타당한 것으로 확인되었다.

다만 우이신설선은 건설이 완료되어 추가적인 시설규모 확보가 사실상 어려운 만큼 역사시설은 차치하고라도 열차의 시격조정(침두시 현 3분→2.5분) 및 추가 증차를 통한 혼잡도 개선방안이 필요한 것으로 판단된다. 또한 경전철 노선이 대부분 도시철도 불모지인 시 외곽에서 인근 중전철 역사를 연결하는 지선역할을 수행하는 점을 고려시 후속 경전철 노선 역시 우이신설과 유사하게 진 노선에 걸쳐 방향성을 뚜렷이 나타낼 가능성이 높다. 이에 적정 열차대수는 물론 승강장 규모 등 도시철도 시설규모 산정에 침두시 방향성을 반드시 고려할 것을 제언한다.

## Acknowledgment

본 논문은 서울기술연구원(19-4-2, 경전철 추가 도입을 위한 개선 과제 연구)의 지원을 받아 수행된 연구임.

## 참 고 문 헌 (References)

- [1] 도시철도차량 표준규격, 국토교통부, 2012
- [2] 도로 및 철도부문 비용 추정 지침 변경 Guidline, 공공투자관리센터, p.160, 2017
- [3] 도로용량편람, 국토교통부, pp.617~618, 2013
- [4] 2019년도 서울교통공사 수송계획, 서울교통공사, pp.245, 2019
- [5] 신성일, "대중교통카드를 활용한 도시철도 혼잡도 지표개발연구", pp.55-63, 2011
- [6] 김경민, 오석문, 노학래, "서울지하철9호선 2단계 개통에 따른 급행열차 선택 및 혼잡도 변화 분석", 한국철도학회논문집, Vol.19, No.5, pp. 663-671, 2016.10
- [7] 김승준, "서울특별시 도시철도 9호선 열차운행 개선방안 연구", 서울연구원, 2015