

# 대중교통 노선 조정 통합 시뮬레이터 개발

## Development of integrated simulator for adjustment of public transportation routes

전인우\*, 이민혁, 전철민

Inwoo Jeon, MinHyuck Lee, Chulmin Jun

서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정 (yugo123@uos.ac.kr)

서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정 (lmh1123@uos.ac.kr)

서울시립대학교 공간정보공학과 교수 (cmjun@uos.ac.kr)

### 요약

현재 대중교통 노선 조정은 대중교통 이용자와 운영자, 관리부서 등 다양한 이해관계의 협의를 통해 이루어진다. 다만, 이러한 협의 과정은 시간이 많이 소요되며 노선 조정 이후 어떤 효과가 발생할지 예측하기 어렵다. 이를 위해 본 연구에서는 노선 조정 전·후의 효과를 정량적으로 분석할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 시뮬레이터에서는 대중교통 네트워크(정류장, 노선, 운행시간표) 편집, 통행수요 추정, 노선 조정 전·후의 운영비용 변화 분석이 가능하다.

### 1. 서론

현재 대중교통 노선 조정은 구간별 승하차인원, 배차간격, 대체노선 유무 등을 고려하여 인원이나 운영 효율성의 문제가 제기된 구간에 대해 전문가들이 토의하여 결정하고 있다[1]. 다만 전문가들의 경험 및 직관에 의존한 노선 조정 방식은 정성적인 효과 분석은 가능하나 정량적인 편익 변화를 예측하기 어렵다. 이에 효율적인 대중교통 노선 조정 계획을 수립하기 위해서 노선 조정 전·후의 편익 변화가 정량적으로 제시될 필요가 있다[2].

따라서 본 연구에서는 대중교통 노선 조정 전·후의 수요 변화 및 운영비용을 분석할 수 있는 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터는 대중교통 네트워크(정류장, 노선, 운행시간표)를 추가, 삭제할 수 있는 편집, 변경된 대중교통 네트워크에서 시간대별, 노선별 통행수요를 추정, 노선 조정 전·후의 운영비용을 정량적으로 비교할 수 있다.

### 2. 본론

본 연구의 시뮬레이터의 작동 방식은 대중교통 네트워크 편집, 대중교통 카드기록과 경로 탐색 알고리즘을 활용한 통행수요 추정, 노선 조정 전·후 운영비용 비교 순서로 진행된다.

#### 2.1 대중교통 네트워크 편집

대중교통 네트워크는 기존 노선의 수정(정류장 추가, 삭제), 운행계획의 변경(운행시간, 배차간격), 신설 노선 생성을 통해 변경된다. 이와 같은 네트워크 편집을 위해 시뮬레이터는 기존 대중교통 네트워크의 수정 mode, 신설 노선 생성 mode, 기존 대중교통 네트워크의 속성정보를 확인할 수 있는 탐색 mode를 포함하고 있다.

[그림 1]은 GUI기반의 대중교통 네트워크 편집기를 실행한 화면이다. 탐색mode가 기본 mode로 설정되어 있으며 화면의 실선은 노선의 형상정보, 주황색 점은 정류장을 의미한다. [그림 1]에서는 '대치사

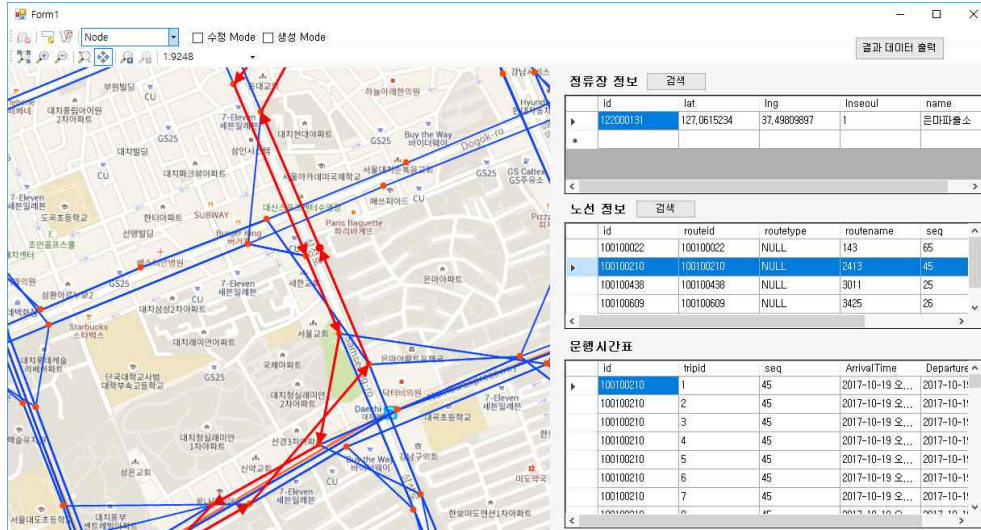


Figure 1. 대중교통 네트워크 편집기 실행 화면

거리' 정류장을 지나는 3425번 버스를 선택한 것으로 화살표 선은 3425번 노선의 이동방향을 의미한다.

기존 노선을 수정하는 경우 수정 mode로 변환한 뒤, 조정이 필요한 노선과 정류장을 선택하고 추가 또는 삭제 버튼을 이용하면 해당 노선의 형상정보 및 운행시간표를 수정한다. [그림 2]는 기존 노선에

새로운 정류장을 추가시킨 상황에서의 운행시간표 및 형상정보가 변경된 것을 예시로 나타낸 것이다. 만약 운행계획의 변경이 필요한 경우 특정 노선을 선택한 뒤 운행계획 정보를 불러오고, 운행계획을 변경하여 새로운 운행계획을 생성한다. 신설 노선 생성은 생성 mode로 변환한 뒤 노선이 지날 정류장을 순서대로 입력하고 운행계획을 변경하여 새로운 노선을 생성한다.

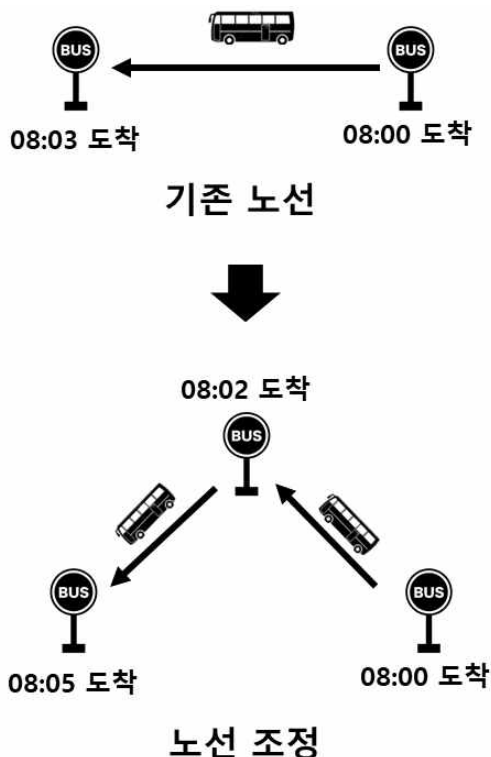


Figure 2. 대중교통 노선 조정 예시

## 2.2 통행수요 추정

본 연구는 대중교통 카드기록과 경로 탐색 알고리즘을 활용하여 통행수요를 추정하였다. 본 연구에서 사용한 RAPTOR라는 경로 탐색 알고리즘은 입력한 대중교통 네트워크에서 출발정류장부터 도착정류장까지의 최소 이동시간이 소요되는 경로를 탐색한다.[3]

대중교통 카드에는 실제 승객이 이동한 경로가 기록되며 출발정류장, 도착정류장, 출발시각 등이 포함되어 있다. 본 연구에서는 대중교통 카드에 기록된 정류장-to-정류장의 수요가 노선 조정 전·후에도 동일하다고 가정하였고, 대중교통 카드에 기록된 승객의 출발정류장, 도착정류장, 출발시각을 추출하여 경로탐색 알고리즘에 적용하여 통행수요의 변화를 확인하였다. 통행수요를 추정하기 위해 본 연구에서는 최적전략 통행배정 기법을 이용하여 각

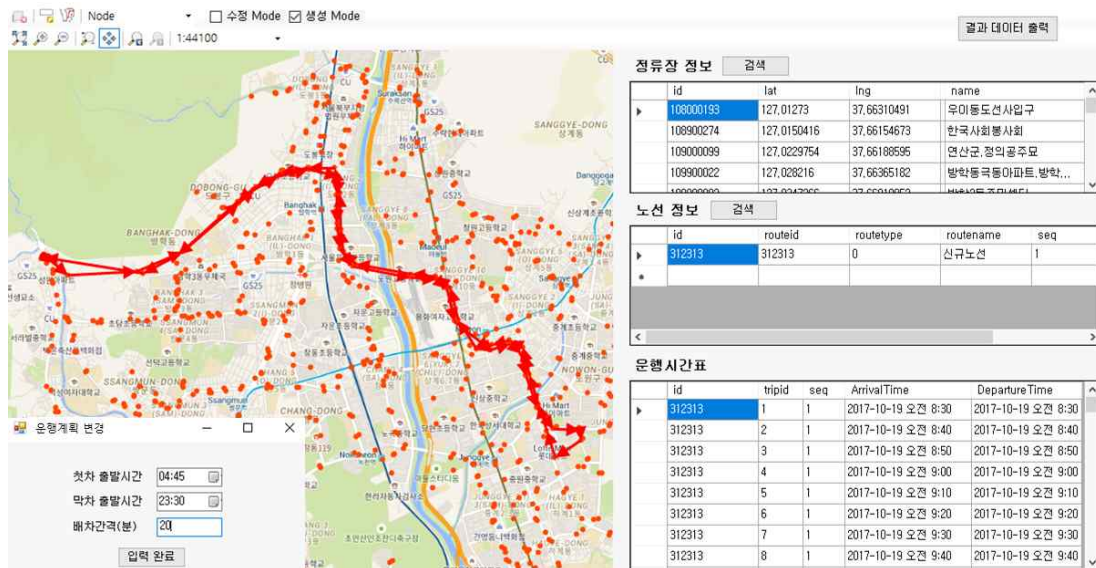


Figure 3. 1167번 신설 노선의 형상정보 및 운행계획

정류장에서 가장 먼저 오는 노선을 탐색하도록 하였다.[4]

### 2.3 노선 조정 전·후 운영비용 비교

노선 조정의 효과를 정량적으로 분석하기 위해 본 연구에서는 이용자 측면의 통행시간 감소량과 통행수요에 따른 수입, 노선 운행비용 등을 고려하였다. 경로 탐색 알고리즘을 통해 산출된 통행시간과 실제 승객의 통행시간을 비교하여 통행시간 감소량을 확인하였으며, 추정된 통행수요에 1회 대중교통 이용비용을 곱해 노선별 운행수입을 계산하였다. 노선의 운행비용은 운전자의 월급, 차량 정비, 주유 등 다양한 방면이 고려되어야 하지만 본 연구에서는 비용원단위에 총 운행거리를 곱하여 노선 운행비용을 산정하였다.

### 3. 실험 및 결과

본 연구는 2017년 10월 12일부터 10월 17일의 대중교통 카드기록과 2017년 10월 19일의 운행시간표를 이용하여 실험을 진행하였다. 실험의 대상으로 선정한 노선 조정 시나리오는 2018년에 신설된 1167번의 노선 신설 시나리오를 선택하였다. 먼저 대중교통 네트워크 편집기를 이용하여 1167번 버스의 형상정보 및 운행시간표를 생성하였고 이는 [그림 3]과 같다. 신설 노선이 생성됨에 따라 통행수요가 변할 것으로 예상되는 지역을 선택하여 수요변화를 확인하였고, 이를 위해 신설 노선이 지나는 정류장들과 700m 이내에 있는 정류장들을 이용한 통행만 따로 추출하였다. 1167번의 경우 486,528 건의 통행이 신설 노선에 영향을 받는 통행으로 추출되었고, 각 통행을 경로 탐색 알고

Table 1. 신설 노선 생성 전·후의 노선별 탑승 비율 비교

노선 이름	실제 승객의 노선별 탑승 비율	경로 탐색 알고리즘 노선별 탑승 비율	신설 노선 생성 후 노선별 탑승 비율
4호선	11.2%	11.0%	11.0%
7호선	5.2%	5.7%	5.7%
노원15	4.5%	5.0%	5.0%
1132	3.9%	3.5%	3.3%
146	3.9%	3.2%	3.2%
1142	3.4%	3.0%	2.9%
도봉09	2.9%	2.3%	2.3%
1167(신규)	—	—	1.2%

Table 2. 신설노선 적용 전·후 운영비용 산정 결과

일평균 신설 노선 이용자 수(명)	신설 노선 적용 전 평균 통행시간(분)	신설 노선 적용 후 평균 통행시간(분)	신설 노선이용자의 평균 통행시간 감소량(분)
2,140	59	54	5
운행계획 시간(분)	총 운행대수(대)	총 운행거리(km)	버스 운행비용(원)
1,125	57	1,026	2,351,592
신설 노선 이용 승객 수(명)	순 승차 승객 수(명)	환승 승차 승객 수(명)	신설 노선 운행수입(원)
2,140	1,573	567	1,887,600

리즘에 적용하여 노선별 통행수요 및 통행시간을 산출하였다.

[표 1]은 실제 승객의 노선별 탑승비율과 경로 탐색 알고리즘을 통해 산출된 노선별 탑승비율, 신규 노선 생성 후 노선별 탑승비율을 비교한 것이다. 실제 승객의 출발 정류장, 도착 정류장, 출발시각을 이용하여 경로 탐색 알고리즘에 적용한 결과 평균적으로 0.5%의 오차가 발생하였지만 대체적으로 비슷한 탑승비율을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이후 신설 노선이 생성된 네트워크를 이용하여 탑승비율을 확인한 결과, 신설 노선에는 1.2% 승객이 탑승한 것으로 확인되었다.

신설 노선 생성 전·후의 운영비용 변화를 각 항목별로 확인한 결과는 [표 2]와 같다. 통행수요를 계산한 결과 일평균 2,140명의 승객이 신설 노선을 탑승할 것으로 예상되며, 신규 노선을 이용함으로써 평균적으로 5분의 통행시간이 감소하는 것으로 나타났다. 운행수입은 신설 노선이 첫 번째 탑승수단인 경우를 순 승차로, 환승하여 탑승한 경우를 환승 승차로 분류하고 순 승차에 성인 1회 대중교통 탑승비용인 1,200원을 곱하여 1,887,600원으로 산정되었다. 버스 운행비용은 167번 하루 총 운행거리 1,026km에 2016년 버스 표준 운송원가인 2,992원/대-km를 적용하여 2,351,592원이 산정되었다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 대중교통 노선 조정 전·후의 편익 변화를 정량적으로 분석할 수 있

는 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터에서는 대중교통 네트워크를 편집하고 통행수요를 추정하여 운영비용의 변화를 비교할 수 있었다. 추후 연구에서는 노선 조정으로 인한 운영비용 변화를 정확하게 확인하기 위해서 사회적 편익 비용까지 포함한 비용 산정이 필요할 것으로 예상된다.

#### 감사의글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진 연구사업의 연구비지원(18CTAP-C133228-02)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] 윤호선, “정류장 기반 수요 추정을 활용한 버스 노선 조정의 효과 분석 연구”, 서울시립대학교, 석사학위논문, 2018
- [2] 정창용, “GIS 기반 노선별 버스수요 추정에 관한 연구”, 서울시립대학교, 석사학위논문, 2012
- [3] Delling, D., Pajor, T., and Wernerk, R. F. “Round-based public transit routing”, *Transportation Science*, 49.3, 591-604. 2014
- [4] 김형철, “복합대중교통 시스템에서 교통카드 자료와 확률배정모형을 융합한 네트워크 분석”, 한양대학교, 박사학위논문, 2014