

교통카드데이터를 활용한 대중교통 수단선택 형태분석: 버스의 도시 철도에 대한 대체 및 경합을 중심으로

**Analysis of Mode Choice Behavior Mass Transit Using Smart Card Data:
Focusing on Replacement and Competition of Bus for Metro**

김경태 · 이인묵*
Kyoungtae Kim · Inmook Lee

순천향대학교 AI·빅데이터학과 김성훈

목차

1. 서론
2. 본론
 - 2.1 선행연구 검토
 - 2.2 분석의 전제
 - 2.3 철도와 버스의 경쟁관계 분석
 - 2.4 철도와 버스의 수단분담 모형
3. 결론
4. HOW TO APPLY

1. 서론

1. 서론

연구 배경

- 9호선 개통 초기 차량 용량 부족으로 인한 급행 차량의 혼잡 문제 발생
- 김포 골드라인 개통에 따른 출퇴근 시의 혼잡 문제 발생

연구 목적

- 도시철도 혼잡 문제의 해결 방안 제시
 - 근본적인 문제 해결 방안 : 철도의 공급 용량을 늘리는 방안
 - **단기적인 문제 해결 방안** : 통행 수요가 큰 구간에 신규 버스노선 신설 또는 대체 버스를 투입하는 방안

대체 버스 노선을 투입하는 데 필요한 수요전환 효과를 분석할 수 있도록 철도와 버스의 경쟁관계 분석 및 수단 선택 모형을 구축

2. 본문

2. 본론

▶ 선행연구 검토

B. Agard et al. Mining public transport user behavior from smart card data

- 대중교통 이용자 행동을 분석하기 위해 kmeans 클러스터 기반의 방법론을 개발
- 데이터 마이닝 기법을 실현하고 대중교통 운영기관이 승객의 행동을 더 잘 이해하는데 도움이 됨

Yap et al. Crowding valuation in urban tram and bus transportation based on smart card data

- 교통카드데이터를 기반으로 도시대중교통(트램, 버스) 혼잡도를 평가
- 통행 빈도가 낮은 이용자는 경로 선택에 있어서 혼잡도를 고려하지 않음을 발견

F.Devillaine et al. Detection of Activities of Public Transport Users by Analyzing Smart Card Data

- 교통카드데이터를 활용해 대중교통 이용자가 수행한 활동 장소, 시간, 기간, 목적 등을 검출 및 추정한 후, 목적별로 구분하는 방법론을 개발

2. 본론

▶ 분석의 전제

대체 버스 노선을 투입하는 데 필요한 수요전환 효과를 분석할 수 있도록 **철도와 버스의 경쟁관계 분석** 및 수단 선택 모형을 구축

아래 조건을 충족할 때 경쟁 관계 성립

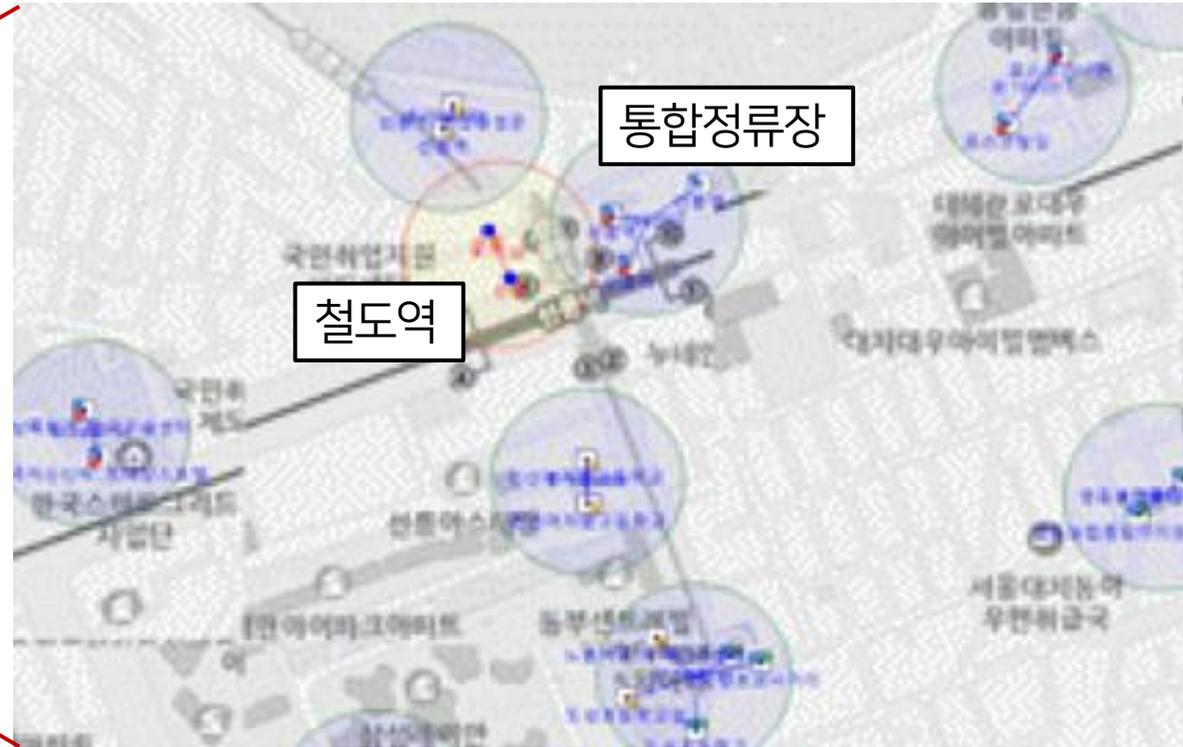
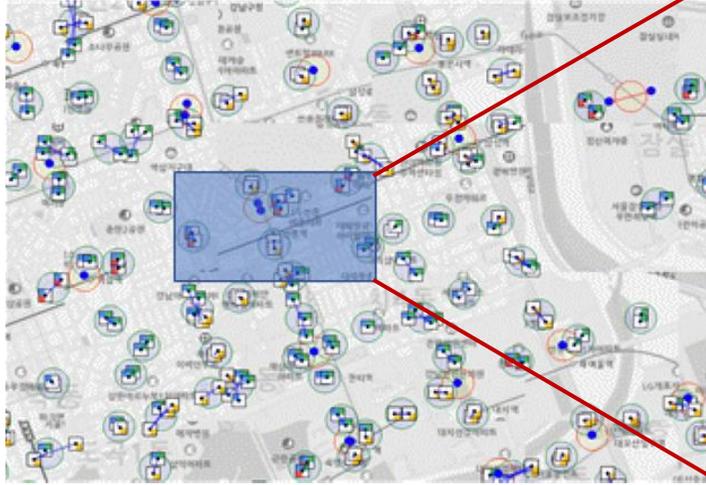
- ① 버스 통행의 경우 개별 정류장 단위의 분석이 아닌 인접한(200m 기준) 정류장을 묶어서 통합정류장을 구성
 - 중심점은 통합정류장을 대표하는 지점
 - 중심점의 좌표 : $(\frac{station_{x_1}+station_{x_2} \dots station_{x_{n-1}}+station_{x_n}}{n}, \frac{station_{y_1}+station_{y_2} \dots station_{y_{n-1}}+station_{y_n}}{n})$
- ② 통행의 출발지와 도착지의 조합인 OD의 설정은 철도역 OD를 기준으로 설정
 - 철도역과 버스 통합정류장의 중심 간의 직선거리 500m 이내인 경우로 한정, 100m 단위로 구분하여 분석
 - 철도역 OD를 기준으로 기준거리 이내 버스 통합정류장이 존재하지 않는 경우는 분석 대상 OD에서 제외

Table 1. Summary of smart card data.

| Date | Number of stations | | Number of bus lines | Number of trips by number of transfers | | | | |
|----------|--------------------|--------|---------------------|--|-------------|-----------|---------|--------|
| | Metro | Bus | | Total | No transfer | 1 | 2 | 3+ |
| 20191111 | 739 | 14,721 | 617 | 10,694,010 | 8,627,747 | 1,828,200 | 208,616 | 29,447 |
| 20191112 | | | | 10,935,560 | 8,822,944 | 1,872,835 | 211,000 | 28,781 |
| 20191113 | | | | 10,867,316 | 8,731,163 | 1,890,622 | 215,348 | 30,183 |
| 20191114 | | | | 10,791,766 | 8,704,141 | 1,850,144 | 208,247 | 29,234 |
| 20191115 | | 14,710 | 616 | 11,026,869 | 8,946,765 | 1,849,626 | 202,846 | 27,632 |

2. 본론

▶ 분석의 전제

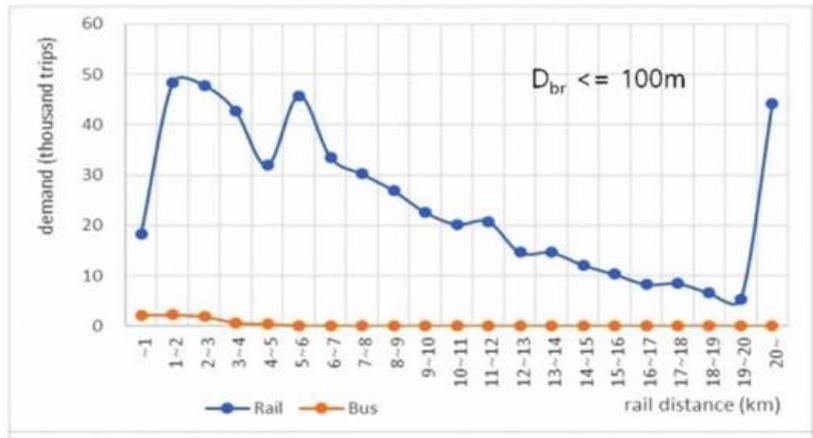


단계 1: 철도역을 기준으로 하여 실제 통행이 발생한 철도의 출발지와 도착지 쌍(A)을 모두 구축.

단계 2: 출발지 및 도착지의 철도역 모두에서 기준거리 이내에 있는 버스 통합정류장이 있는 경우만을 경쟁이 가능한 것으로 설정하여 버스 및 철도의 출발지-도착지 쌍을 구축(즉, A에서 경쟁이 성립하지 않는 출발지-도착지 쌍은 제외).

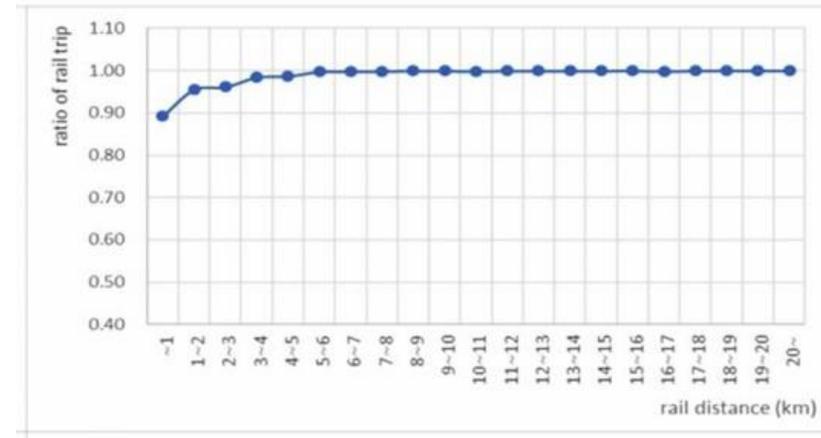
2. 본론

▶ 철도와 버스의 경쟁관계 분석



철도 거리에 따른 여행 빈도

- x축은 철도 거리
- y축은 여행 빈도 (천명 단위)



철도 거리에 따라 철도를 선택하는 비율

- x축은 철도 거리
- y축은 철도를 선택하는 비율

※ D_{br} : 통합 버스정류장과 철도역 간의 거리

※ 철도 거리 : 출발지에서 목적지까지 철도를 이용하여 이동하는 실제 거리

2. 본론

▶ 철도와 버스의 경쟁관계 분석

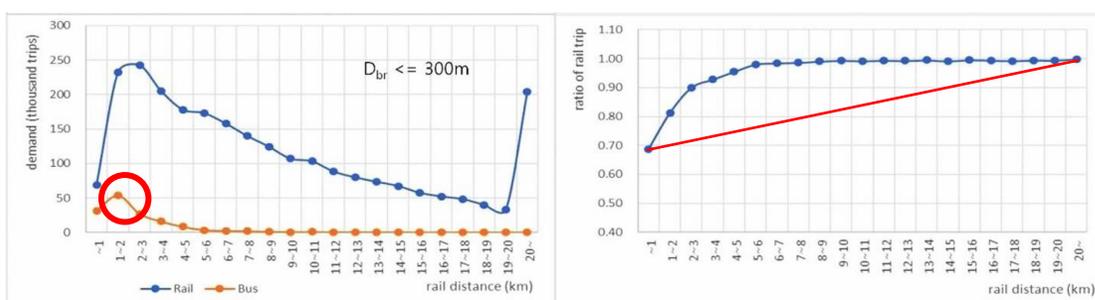
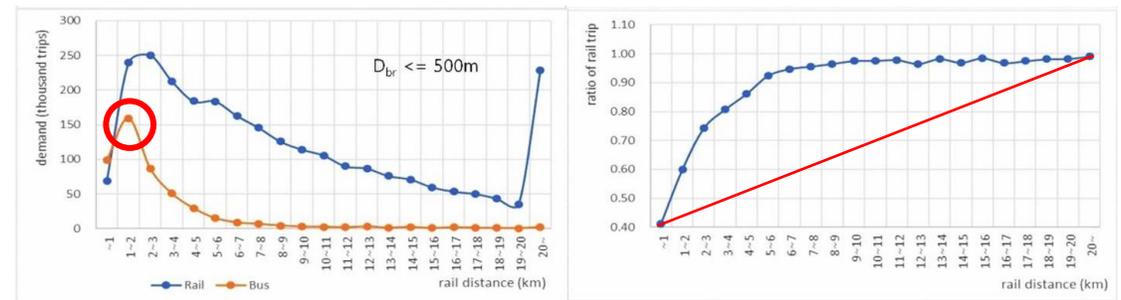
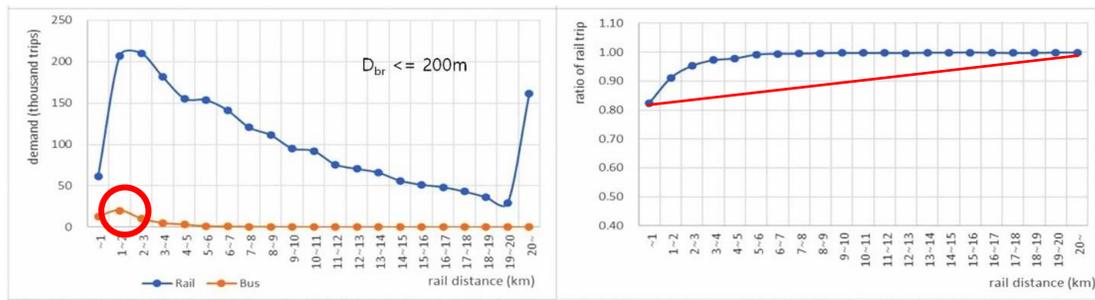
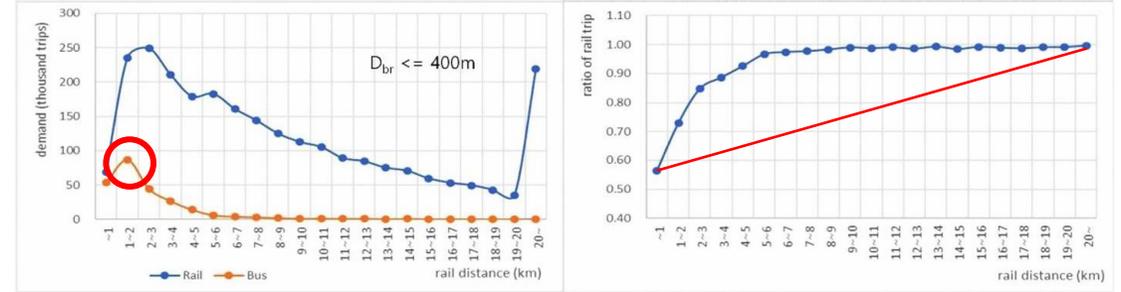
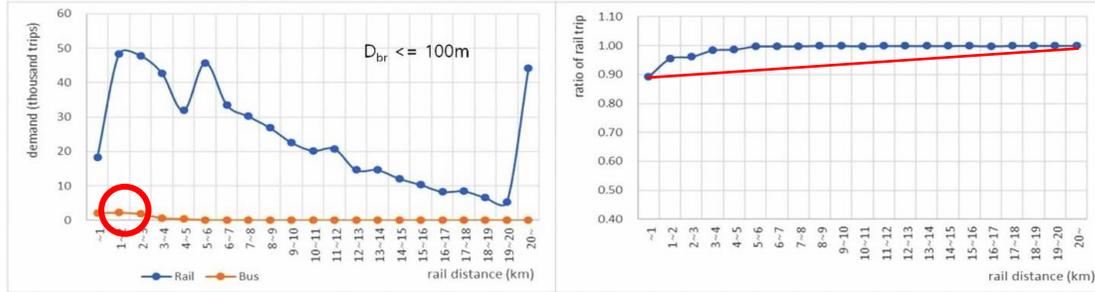


Table 2. Distances at which modal share of metro is achieved (non-transfer trips).

| D_{br} | Modal share of metro | | | | |
|----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 50% | 75% | 85% | 90% | 95% |
| ~ 100m | 0~1km | 0~1km | 0~1km | 1~2km | 1~2km |
| ~ 200m | 0~1km | 0~1km | 1~2km | 1~2km | 2~3km |
| ~ 300m | 0~1km | 1~2km | 2~3km | 3~4km | 4~5km |
| ~ 400m | 0~1km | 2~3km | 3~4km | 4~5km | 5~6km |
| ~ 500m | 1~2km | 3~4km | 4~5km | 5~6km | 7~8km |

2. 본론

▶ 철도와 버스의 수단분담 모형

효용함수 구축의 데이터 조건

- ① 철도역과 버스정류장 간의 물리적인 직선거리가 200m ~ 300m 이내인 경우로 한정
- ② 통행거리가 철도 기준 1~8km인 통행을 대상으로 분석
- ③ 환승 통행은 고려하지 않음
- ④ 서울시에서 운행하고 있는 버스노선 중에서 일반적인 버스의 성격을 갖는 간선(파란색) 및 지선(초록색) 버스를 대상으로 분석

Table 3. Summary of input data.

| | Number of OD pairs | Number of trips | | Average number of operating bus | Average travel distance | |
|--------|--------------------|-----------------|--------|---------------------------------|-------------------------|-------|
| | | Rail | Bus | | Rail | Bus |
| ~ 200m | 1,320 | 465,155 | 33,093 | 563 | 3,332 | 2,476 |
| ~ 300m | 2,234 | 784,718 | 89,344 | 552 | 3,525 | 2,564 |

2. 본론

▶ 철도와 버스의 수단분담 모형

$$U_m = \alpha_1 \cdot DIST_m + \alpha_2 \cdot FREQ_m + c_m$$

U_m : 수단 m의 효용함수 (ex. 철도, 버스)

α_1, α_2 : 통행거리 및 운행횟수에 대한 계수

c_m : 수단 m의 상수항

$DIST_m$: 수단 m을 이용한 이용자의 통행거리 평균 (단위 m)

$FREQ_m$: 수단 m의 운행횟수 합으로, 버스 경우에만 적용 (철도의 경우 0) (단위: 회)

2. 본론

▶ 철도와 버스의 수단분담 모형

효용함수 구축의 데이터 조건

- ① 철도역과 버스정류장 간의 물리적인 직선거리가 200m ~ 300m 이내인 경우로 한정
- ② 통행거리가 철도 기준 1~8km인 통행을 대상으로 분석
- ③ 환승 통행은 고려하지 않음
- ④ 서울시에서 운행하고 있는 버스노선 중에서 일반적인 버스의 성격을 갖는 간선(파란색) 및 지선(초록색) 버스를 대상으로 분석

Table 3. Summary of input data.

| | Number of OD pairs | Number of trips | | Average number of operating bus | Average travel distance | |
|--------|--------------------|-----------------|--------|---------------------------------|-------------------------|-------|
| | | Rail | Bus | | Rail | Bus |
| ~ 200m | 1,320 | 465,155 | 33,093 | 563 | 3,332 | 2,476 |
| ~ 300m | 2,234 | 784,718 | 89,344 | 552 | 3,525 | 2,564 |

2. 본론

▶ 철도와 버스의 경쟁관계 분석

Table 4. Summary of utility functions.

| | Coefficient (standard error, t-value) | | Constant (standard error, t-value) | | Rho-squared (Rho-bar-squared) | Log-likelihood at zero (Log-likelihood at convergence) |
|--------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----|-------------------------------|--|
| | α_1 | α_2 | rail | bus | | |
| ~ 200m | -0.00072043 (0.000028, -25.2909) | 0.00106168 (0.000035, 30.6972) | 2.9483 (0.0258, 114.4260) | 0 | 0.6714 (0.6713) | -34,545.1 (-11,353.0) |
| ~ 300m | -0.00068128 (0.000020, -34.6536) | 0.00091698 (0.000023, 39.4633) | 2.4049 (0.0167, 143.6913) | 0 | 0.5507 (0.5507) | -60,626.1 (-27,236.9) |

Table 5. Validation of models.

| D_{br} | Number of OD pairs | RMSE | MAPE | MAE | Theil's U* |
|----------|--------------------|---------|---------|---------|------------|
| ~ 200m | 1,320 | 32.5924 | 40.1981 | 17.9710 | 0.0307 |
| ~ 300m | 2,234 | 49.2391 | 49.4152 | 27.9632 | 0.0477 |

$$* \text{Theil's } U = \frac{\sqrt{\sum_{a=1}^N (\hat{V}_a - V_a)^2 / N}}{\sqrt{\sum_{a=1}^N (V_a)^2 / N + \sum_{a=1}^N (\hat{V}_a)^2 / N}}$$

V_a : the actual values, \hat{V}_a : the predicted values,
 N : the number of observations

3. 결론

3. 결론

결론

- ① 경합 관계에 있는 버스노선에 따라 도시철도 수요가 달라짐
- ② 도시철도의 용량 한계로 수요의 분산이 필요한 경우, 분산해야 하는 구간이 상대적으로 종장거리라면 철도역과 다소 거리를 두고 버스 정류장을 배치해도 충분한 분산 효과를 얻음
- ③ 실제 도시철도의 대체 버스노선을 설계하는 경우, 신규 버스노선의 OD와 도시철도의 OD를 매칭하여 거리대별로 모형 적용 가능

한계

- ① 수단분담 모형이 분석 대상 지역에서만 검증했기 때문에, 다양한 지역에서의 분석을 통해 일반화 필요
- ② 주말, 공휴일 및 환승 통행과 환승 유형까지 포함하는 형태의 연구가 필요

4. HOW TO APPLY

4. HOW TO APPLY

- 현재 지역구 간 이동량을 파악 → 범위를 좁혀 분석 시행
- 데이터 중 "승차 좌표"를 활용하여 기준거리를 정해 "통합 승차 좌표" 설정하여 분석 시행