

환승비용함수를 반영한 도시철도 환승통행량 추정모형

Prediction of Transfer Trip in Urban Railway Considering Transfer Cost Function

이미영*, 신성일†

MeeYoung Lee*, Seongil Shin †

Abstract This study proposes a methodology for constructing integrated public transit network using public transportation card. For this purpose, an efficient inter- and multi- modal network construction technique is developed. As main research contents, this study includes 1) Construction of a big node that has the same station name but different station number in railway system, 2) road network matching with each bus line, 3) construction of transfer link by conceptualizing pedestrian transfer influential area in order to consider transfer behavior between public transit lines.

Keywords : Public Transportation Card, Urban Railway, Transfer Trip, Transfer Cost Function

초 록 대중교통카드자료는 통행행태에 대한 모집단 수준의 자료를 제공하고 있으나 도시철도의 환승승객의 이용행태를 파악하는 수준에 이용되지 못하고 있다. 수도권 철도역사에서 발생하는 환승과 관련된 데이터는 역사를 관리하는 목적수준으로 제시되고 있는 실정이다. 도시철도 노선간의 수단분담율이 대중교통 인프라 구축과 서비스 지원을 위한 중요한 지표임을 고려할 때 도시철도 환승통행을 정확하게 판단하는 방안이 요구된다. 여기서는 도시철도 역사에서 발행하는 환승통행을 추정하는 모형 및 컴퓨팅 알고리즘을 제안한다. 환승모형은 통행시간을 기반으로 일반화된 비용을 추정하는 방안을 제안한다. 특히 환승횟수에 비례하여 통행비용이 증가하는 환승비용함수를 도입하여 합리적인 통행행태를 반영하는 방안을 제안한다.

주요어 : 대중교통카드, 수도권도시철도, 환승통행량, 환승비용함수

1. 서 론

수도권 대중교통카드자료를 이용하여 도시철도의 환승통행량을 추정하는 모형을 제안한다. 교통카드를 이용하는 승객의 출발 및 도착역사와 카드태그 시간을 이용하여 승객의 통행을 추정하는 방안을 강구한다. 일반적으로 도시철도 통행에 영향을 미치는 비용요소는 차내통행시간과 차외통행시간으로 구분된다. 특히 차외통행시간은 차량을 대기하는 시간과 환승을 위해 이동하는 시간으로 구분된다. 환승회수가 증가함에 따라 차외통행시간에 대한 영향을 함수화하는 방안을 검토한다. 효율적인 컴퓨팅 수행방안을 논의한다.

* 국토연구원 국토계획연구본부

† 서울연구원 교통시스템연구실 (ssi@si.re.kr)

2. 도시철도 환승통행량 추정모형

2.1 수도권 교통카드와 도시철도 네트워크

2.1.1 수도권 교통카드와 환승정보

수도권 교통카드자료는 승객의 출발역과 도착역에 대한 정보는 전부 포함하고 있으나 환승과 관련된 정보는 완전하게 구축되어 있지 못하다. 신분당선, 공항철도, 메트로9호선과 같이 민자운영기관으로 출발한 기관은 승객의 운임수입에 대한 우선권을 주장하기 위하여 환승지점에 Gate를 설치하여 환승정보가 생성되고 있다. 그러나 기존의 4개 철도운영기관-서울메트로, 서울도시철도공사, 인천교통공사, 철도공사 -기관에서 관리하는 통합철도네트워크에서는 환승정보가 누락되어 있다. 따라서 <Fig. 1>의 (a)와 같이 통행을 완성하기 위해서는 이용된 환승지점에 추측이 필요하다.

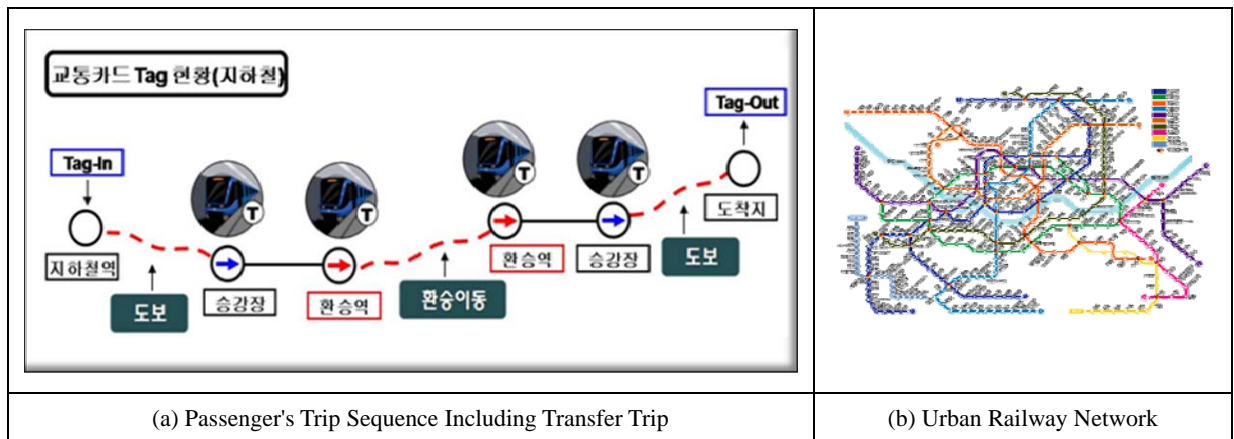


Fig. 1 Passenger's Trip in Urban Railway Network

2.2 도시철도 통행비용함수

2.2.1 통행비용함수

도시철도를 통행하는 함수는 차량내통행시간과 차량외통행시간으로 구분된다. 승객이 출발지와 도착지 간 최소통행비용경로를 선택한다고 가정하면 차량내통행시간과 차량외통행시간의 합을 최소화하는 경로를 선정하는 방안이 필요하다. 차량외통행시간은 환승이동시간과 차량대기시간으로 구분된다. <Fig. 2>와 같이 출발지에서 출발한 승객이 노선a와 노선b로 진행이 이루어진다. 이때 환승이 증가하면서 통행에 대한 추가적인 반영이 필요하며, 이는 계수를 포함하는 일반화비용(Generalized Trip Cost)으로 재정의 될 수 있다.

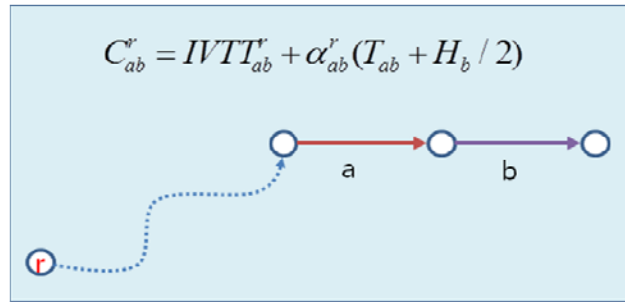


Fig. 2 Generalized Trip Cost Expressed In terms of Origination

- C_{ab}^r : 출발지r에서 노선a에서 노선b로 진행하는데 소요되는 최소일반화비용 (분)
- $IVTT_{ab}^r$: 출발지r에서 노선a에서 노선b로 진행하는데 소요되는 차내통행시간 (분)
- H_b : 노선b의 배차간격 (분)
- T_{ab} : 노선a에서 노선b로의 환승시간 (분)
- α_{ab}^r : 출발지r에서 노선a에서 노선b로 진행하는데 소요되는 환승파라메타

2.2.2 환승파라메타를 반영한 환승비용함수

환승파라메타는 환승이 증가하면 환승을 피하려는 속성을 나타낸다. <Fig. 3>와 같이 환승 회수가 증가하면서 파라메타의 값이 증가하는 개념을 보여주고 있다.

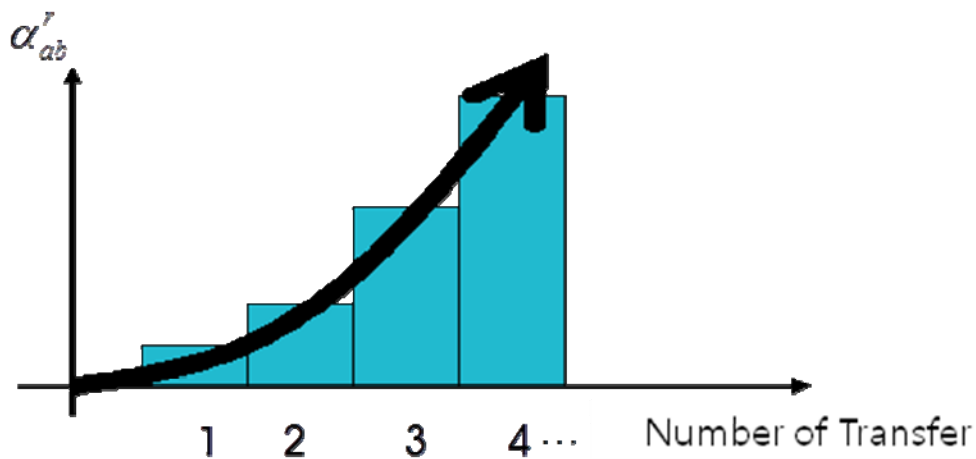


Fig. 3 Value of Transfer Parameter by Number of Transfer

2.3 환승통행량 추정모형과 알고리즘

2.3.1 링크기반 환승통행량 추정모형

<Fig. 2>는 출발지에서 통행을 진행하면서 최적통행비용을 선택하는 것을 나타낸다. 이를 모형으로 표현하면 다음과 같은 선형계획법(Linear Programming)으로 표현가능하다.

$$\min Z(v) = \sum_r \sum_a \sum_b (\xi_a^r + d_{ab}^r + c_b) \cdot v_{ab}^r$$

s. t.

$$q^{rs} = \sum_k f_k^{rs}$$

$$v_{ab}^r = \sum_s \sum_k f_k^{rs} \cdot \delta_{k,ab}^{rs}$$

$$f_k^{rs} \geq 0$$

$$d_{ab}^r = \alpha_{ab}^r \cdot (w_{ab} + h_b / 2)$$

ξ_a^r : 출발지r에서 노선a까지 최소일반화비용

d_{ab}^r : 노선a에서 노선b로 진행하는데 소요되는 환승비용

q^{rs} : r-s간 승객 (명)

f_k^{rs} : r-s간 경로k를 이용하는 승객(명)

v_{ab}^r : r에서 출발해서 노선a에서 노선b로 진행하는 승객 (명)

$\delta_{k,ab}^{rs}$: r-s간 경로k가 노선a와 노선b를 통과하면 1, 아니면 0

2.4 알고리즘

2.4.1 비가산성 통행비용 함수

환승파라메타가 반영되면 어디에서 출발했는가에 따라 환승비용이 동일하지 않다. 따라서 환승지점 자체에서 발생하는 비용이 아닌 출발지를 기준으로 환승지점의 비용이 달라지는 구조이다. 이러한 비용구조는 비가산성 통행비용함수로서 새로운 해법의 적용이 필요하다.

2.4.1 통행비용 함수의 고려사항

승객의 통행비용을 정확하게 예측하는 것은 불가능하다. 따라서 확률적인 요소를 포함하는 방안에 대한 검토가 필요하다. 이를 위해서 최적경로와 유사한 복수의 경로를 탐색하는 방안

이 요구된다. 또한 비가산성 통행비용함수를 고려하여 최적의 경로를 탐색하는 방안에 대한 추가적인 방안이 요구된다.

2.4.2 유입링크기반 전체경로삭제기법을 적용한 유사경로탐색 적용

복수의 통행경로를 탐색하기 위해서 적용하는 기법은 유입링크기반의 전체경로삭제 알고리즘을 활용한다. 이 방법의 경우 최적경로를 우선 탐색하고 유입링크기반의 네트워크변형을 통하여 다음의 경로를 탐색하는 방안이다. 본 연구는 추가적으로 비가산성 통행비용함수에 대한 반영이 필요하므로 이 알고리즘을 변형하여 최적비용경로를 탐색하고, 이와 유사한 경로를 재선정하는 방안을 강구한다.

3. 결론

<Fig. 4>는 24시간 동안 안국-종로3가 (3호선) 시간대별로 환승통행량을 추정한 것이다. 모형의 결과와 현실 목적치에 대한 비교가 필요하다고 판단되나 경로선택에서 상당부분 일치하므로 모형의 예측도는 매우 우수할 것으로 기대된다. <Fig. 5>는 모형경로상에서 나타나는 추정치와 승객의 실제통행시간을 비교한 것으로 일치도가 약 91%로 나타나는 것으로 판단되었다.

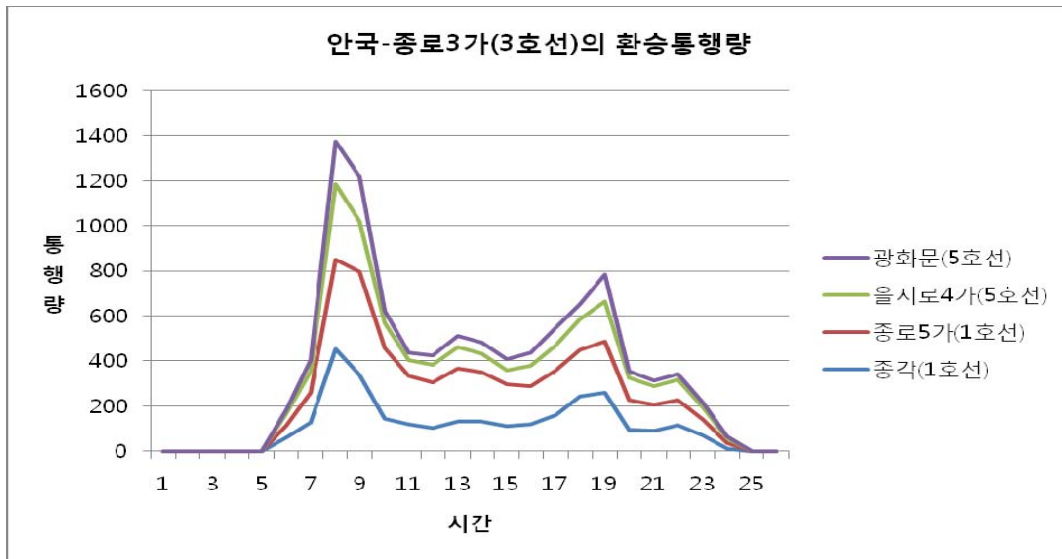


Fig. 4 Hour Transfer Trip in Anuk-Jongro3Ga (3rd Line)

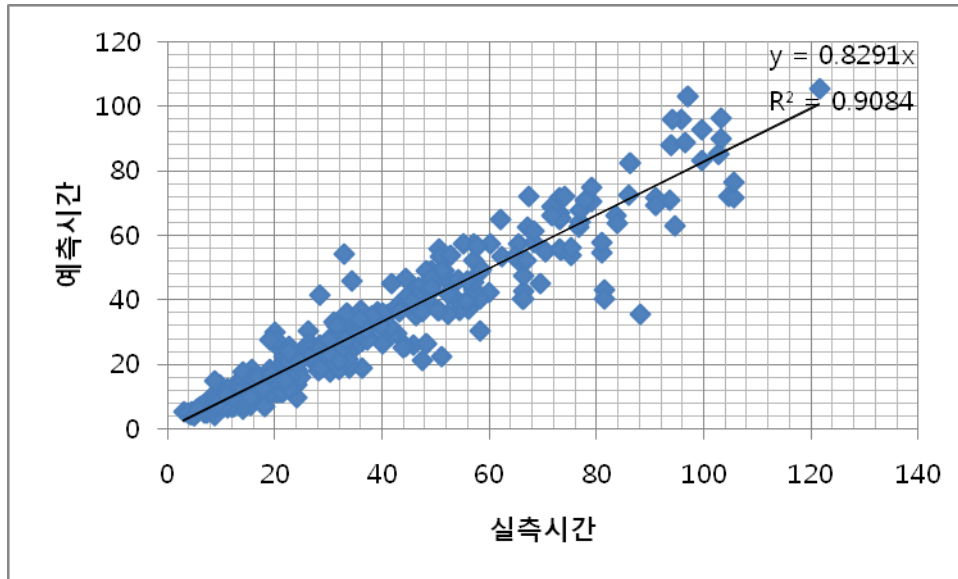


Fig. 4 Linear Regression Comparison

참고문헌

- [1] Lee, M., 2004, Transportation Network Models and Algorithms Considering Directional Delay and Prohibition for Intersection Movement, Ph.D. Thesis, University of Wisconsin-Madison
- [2] Sheffi, Y., Urban Transportation Networks : Equilibrium Analysis Mathematical Programming Methods, Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ.