

# Stepwise 환승계수를 고려한 Logit 유형 대중교통통행배정모형

신성일<sup>1</sup> · 백남철<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>서울연구원 교통시스템연구소, <sup>1</sup>한국건설기술연구원 ICT융합연구소

## A Logit Type of Public Transit Trip Assignment Model Considering Stepwise Transfer Coefficients

SHIN, Seongil<sup>1</sup> · BAIK, Namcheol<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Transportation System Research, The Seoul Institute, Seoul 06756, Korea

<sup>2</sup>ICT Convergence & Integration Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi 10223, Korea

\*Corresponding author: nc100@kict.re.kr

### Abstract

This study proposes a concept of Stepwise Transfer Coefficient(STC) which implies greater transfer cost with increasing the number of transfers. Thus, the public transport information system provides the choice sets of travel routes by the consideration of not only transportation time but also the optimum number of transfers. However, path choice problems that involve STC are found to include non additive cost, which requires additional route enumeration works. Discussions on route enumeration in actual transportation networks is very complicated, thereby warranting a theoretical examination of route search considering STC. From these points of view, this study results in a probability based transit trip assignment model including STC. This research also uses incoming link based entire route deletion method. The entire route deletion method proposed herein simplifies construction of an aggregation of possible routes by theoretically supporting the process of enumeration of the different routes from origin to destination. Conclusively, the STC reflected route based logit model is proposed as a public transportation transit trip assignment model.

**Keywords:** entire path deletion, logit model, non additive cost, public transit assignment, stepwise transfer parameter

### 초록

Stepwise 환승계수(이하 STC)는 환승회수 증가에 따라 환승비용을 실제보다 많게 인식하도록 한다. 통행시간과 최소환승회수 정보를 제공하는 것은 이러한 경향을 감안하는 취지이다. STC가 포함된 경로탐색문제는 비가산성비용을 포함하며 최적조건의 비성립으로 경로열거가 요구된다. 따라서 대중교통망에서 STC를 고려하는 경로탐색에 대한 이론적 검토를 통해서 경로탐색의 실패를 우회하는 방안이 요구된다. 본 연구는 STC가 포함되는 대중교통망에서 확률적 통행배정모형에 대하여 검토한다. 비가산성 경로문제를 완화하는 방안으로 유입링크기반 전체경로삭제기법을 활용하는 방안을 제안한다. 전체경로삭제기법은 출발지에서 도착지까지 서로 상이한 경로의 구성된 가능경로집합을 구축하기 용이하다. STC를 반영한 경로기반 Logit 모형을 대중교통통행배정기법으로 구축한다.

**주요어:** 전체경로삭제기법, Logit모형, 비가산성비용, 대중교통통행배정, Stepwise 환승계수

J. Korean Soc. Transp.  
Vol.34, No.6, pp.570-579, December 2016  
<https://doi.org/10.7470/jkst.2016.34.6.570>

pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

Received: 20 October 2016

Revised: 6 December 2016

Accepted: 14 December 2016

Copyright ©  
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 서론

대중교통 환승시간(transfer time)은 차량하차 후 탑승역(사) 플랫폼까지 이동시간(movement time)과 탑승차량 도착 시까지 대기시간(waiting time)으로 구성된다. 대중교통 통행에서 환승시간은 차외시간으로 분류되며 보행이 동불편, 날씨영향 등으로 인하여 일반적으로 차내시간과 함께 대중교통 통행수단의 결정에 영향도가 매우 크다. 특히 대중교통 이용승객이 환승회수를 줄이면서 통행시간이 더 소요되는 경로를 선택하는 경향- 특히 장애인, 보행약자-은 보편적 현상으로 인식된다. 이 경향은 대중교통정보매체에서 통행시간과 환승회수의 복합적 선택대안을 마련하는 것으로 판단할 수 있다.

Stepwise 환승계수(Stepwise Transfer Coefficients: STC)는 환승회수가 증가될수록 환승자체에서 발생하는 비용에 반영되는 상향식 계수(upward coefficient)이다. STC가 반영되면 환승회수가 늘어날수록 개별환승비용보다 더 많이 반영된다. 이는 출발지부터 현 환승지점까지 누적된 환승회수로 환산되는 경우 출발지부터 현 지점까지 환승비용을 재계산해야함을 의미한다. 따라서 STC가 고려된 최적대중교통경로를 선정하기 위해서는 출발지부터 현 환승지점까지 누적된 STC로 계산해야 한다.

대중교통경로선택에 있어서 STC가 포함되면 최적의 경로선택에 대한 조건이 충족되지 않는 문제가 발생하게 된다. 경로선택의 최적조건(optimality condition)은 당해 링크 또는 노드표지의 전표지(previous label)와의 관계로 한정하며 출발지부터 재연산된 STC의 포함은 궁극적으로 경로의 열거문제를 발생시킨다. 교통망에서 경로열거는 np-hard 문제로 귀결되어 최적해법을 규명하지 못하는 한계에 봉착한다. 경로열거를 필요로 하는 교통망의 문제는 일반적으로 비가산성비용(non additive cost)에 대한 검토가 요구되는 문제이다. 일반적으로 통행요금 또는 환경비용이 경로비용에 포함되는 비가산성 문제는 Gabriel and Bernstein(1997, Yang et al.(2004), Chen and Nie(2013)과 같이 문제 유형별로 검토하는 방안을 채택하고 있다.

본 연구는 STC를 반영한 Logit 유형의 확률적 대중교통통행배정을 제안한다. 기존의 확률적 대중교통모형은 STC를 반영하지 않았기 때문에 출발지부터 목적지까지 비가산성 경로에 대한 검토가 필요하지 않았다. 그러나 STC가 반영되게 되면 경로탐색과정에서 최적조건 불일치에 따른 문제를 위회하는 전략이 필요하다. 우선 출발지에서 목적지까지 가능한 경로를 효과적으로 구축하는 전략이 요구된다.

본 연구는 Shin et al(2016)이 제안한 진입링크기반 전체삭제경로기법(incoming link based entire path deletion : ILBEPD) 기법을 활용하여 가능경로집합(feasible path set)을 구축하는 방안을 적용한다. ILBEPD기법은 경로를 열거함에 있어 K개의 경로에 대한 최적의 순차적인 비용경로에 대한 탐색을 보장하지는 못하나 상이한 경로탐색 조건은 만족하는 이론적용이 가능하다는 장점이 존재한다. 따라서 상이한 경로를 구성된 가능경로집합에 대하여 경로를 따라 재연산 및 정렬과정을 거쳐서 기존에 나타난 최족조건 불일치를 사후적으로 수정하는 개념이다.

확률적 Logit 모형은 링크기반모형(link-based model)과 경로기반모형(path-based model)으로 구분된다. 링크기반 모형은 Dial(1971)이 제안한 STOCH 알고리즘이 알려져 있다. 환승이 포함된 대중교통량 배정알고리즘의 가장 최근 연구는 Jung and Chang(2014)에 의해 수행되었다. 경로기반 Logit 통행배정모형은 Cascetta et al(1996)의 C-Logit, Sheffi(1985)의 확률적 균형통행배정모형, Lim(2003)의 해석알고리즘기법 등 경로의 탐색기법에 따른 알고리즘이 다르게 적용되고 있다. 본 연구는 출발지-도착지의 STC가 포함된 K경로탐색기법을 ILBEPD기법을 적용하여 정렬된 경로로 재열거후 확률을 계산하여 통행배정을 수행하는 경로기반모형을 구축하도록 한다.

## 선행연구

선택대안에 대한 개별선택모형을 적용해서 확률적 통행배정모형은 Logit 모형과 Probit 모형이 있다. Logit 모형은 확률적 오차항의 분포가 독립적인 검벨분포(gumbell distribution)를 Probit 모형은 종속적인 정규분포(normal distribution)를 가정한다. 본 연구는 Logit 모형의 경로기반해법에 대중교통의 통행행태를 효과적으로 지원하는

STC를 반영하는 것이다. 본 절에서는 Logit 모형의 경로기반 통행배정기법과 STC에 대하여 기존의 연구내용을 논의한다.

### 1. STC를 반영한 One-to-One 경험적 최적경로탐색기법

Shin et al.(2016)이 제안한 STC는 누적환승함수의 일종이다. 누적환승함수는 함수회수가 증가되며 환승회수의 증가에 선형 및 비선형적으로 비례하여 환승비용도 증가되는 함수이다. 누적환승함수를 포함하는 최적경로알고리즘은 Equation(1) 및 Figure 1과 같이 출발지 r에서 환승이 누적되어 나타나는 환승비용( $d_{ab}^r$ )을 고려한다. Equation(9)에서 최적경로의 탐색조건이 성립되기 위해서는 전링크 a까지의 최적통행비용과 링크a와 링크b의 환승비용은 두 링크만의 관계로서 고정된 비용 ( $d_{ab}$ )로만 적용되는 것이다. 그러나  $d_{ab}^r$ 는 a에서 b로 환승하면서 출발지 r에서 누적되는 환승비용으로 적용되어 최적조건성립에 대한 문제가 제기된다.

$$\pi_b^r \approx \min(\pi_a^r + d_{ab}^r + c_b, \pi_b^r), b \in T_a^+ \tag{1}$$

여기서 a, b : 2개 노드(시작, 도착)로 구성된 링크

$\pi_b^r$  : r에서 b의 도착노드까지 최적경로비용

$d_{ab}^r$  : r에서 출발하여 a에서 b로의 누적환승비용

$c_b$  : b의 통행비용,  $T_a^+$  : a의 도착노드가 시작노드인 링크집합

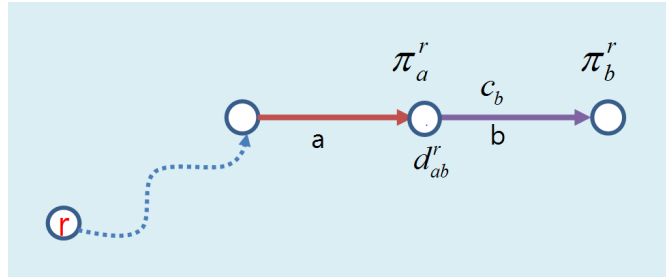


Figure 1. Concept of link label based optimal path search considering cumulative transfer cost (Shin et al., 2016)

우선  $d_{ab}^r$ 를 누적환승함수로 간단하게 적용하는 방안 중 하나는 계단형 환승계수(Stepwise Transfer Coefficients: STC)를 도입하는 것이다. Figure 2의  $\alpha_{ab}^r$ 는 환승회수에 대하여 일정한 값으로 나타난다. 출발지부터 탐색된 서브경로를 따라서 환승이 발생하는 순간 환승회수를 계산해서 비용에 대해 환승비용  $d_{ab}$ 에 영향력을 나타내는 수치  $\alpha_{ab}^r$ 를 반영하는 방안이다.

$$d_{ab}^r = \alpha_{ab}^r \cdot d_{ab}, b \in T_a^+ \tag{2}$$

여기서  $\alpha_{ab}^r$ 는 r에서 출발, a에서 b로 환승회수에 대한 계수

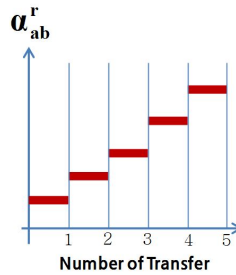


Figure 2. Relationship between stepwise transfer parameter and number of transfer (Shin et al., 2016)

STC가 포함되는 경우 토이네트워크에 대하여 최적조건이 성립하지 않는 상황을 검토한다.  $d_{ab}=2$ 인 상황에 대하여 Figure 3에서 비용을 포함한 링크 8개, 노드 7개, 환승노드 5개로 구성된 토이네트워크에 최적경로탐색과정 적용한다. 이때  $\alpha_{ab}^r$ 는 Figure 4와 같이 최대 4번까지 환승파라메타 값으로 각각 1, 2, 4, 8 이다. r에서 b까지 경로는 4개 (A, B, C, D)이다.

$$d_{ab}^r = \alpha_{ab}^r \cdot 2, b \in T_a^+ \tag{3}$$

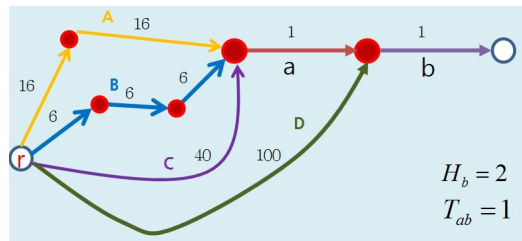


Figure 3. Toy network with four routes

위의 네트워크에서 최적조건이 성립하기 위해서는 r에서 a까지의 최적경로는 반드시 r에서 b까지의 최적경로에서 b링크를 제외한 경로이어야 한다. Figure 4에서 A, B, C, D 4개 경로에 대하여 a까지 비용은 각각 39, 33, 43, 100으로 B경로가 최적경로이다. 그러나 a에서 b로 환승이 발생하는 순간 비용이 48, 50, 46, 103으로 C경로가 최적이 되는 역전현상, 첫 번째 탐색된 경로가 최적경로가 아닌 최적경로탐색 실패상황이 발생한다. 그럼에도 최적조건에 기반한 표지확정은 처음 탐색된 B경로가 최적인 것처럼 진행된다. 다시 표지확정방법으로 설명하면 링크b의 전링크는 링크a로 확정되거나 r부터 링크a까지 최적경로는 경로 B이다. 따라서 경로 B까지의 비용 33과 환승과 통행비용으로 합산되는 비용 9를 더하여 50의 경로비용으로 나타나게 된다. 이는 명백한 경로탐색오류의 한 사례이며, 더 큰 문제는 STC의 값의 증폭에 따라서 표지확정문제는 매우 복잡한 상황- 경로중복, 불필요한 순환로 발생과 같이-으로 전개될 가능성이 존재한다.

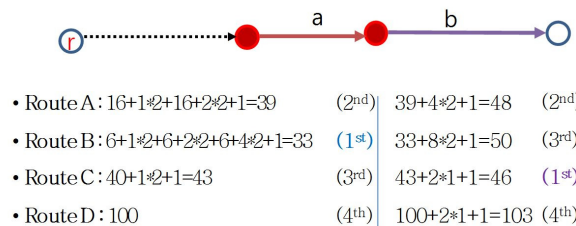


Figure 4. Failure of searching the optimal route in process of link label setting

Figure 4의 사례에서 볼 때 계단형환승계수(Stepwise Transfer Coefficients: STC)의 포함으로 C경로가 최적경로로 올바르게 판단하는 방법은 A, B, C, D 4 경로를 열거하여 최적이 되는 경로선택으로 가능하다. 일반적으로 경로의 열거는 K경로탐색기법(Pollack(1957), Yen(1971), Shier(1979), Lee(2004))을 활용하나 위의 알고리즘은 탐색과정에서 위의 사례의 경우 최적조건의 불일치(Bellman, 1957)로 인한 문제는 표지확정 문제를 발생시킨다. 이는 탐색오류 및 경로중복 등의 문제로 확산될 가능성이 존재하여 선정된 경로에 대한 적정성 문제가 발생한다.

Shin et al.(2016)은 ‘최적경로집합조건’ 개념을 도입하여 모두 다른 경로로 구성되며 모두 올바른 경로비용정보를 보유에 대한 확신을 유도했다. 최적경로집합조건은 링크표지 확정과정과는 상관없이 적합한 경로집합의 구성만으로 최적경로비용을 사후적으로 도출하는 방안을 위해서 도입되었다. Shin et al.(2016)은 최적경로집합을 구성하는 방안으로 기존에 제안된 전체경로삭제기법(Martins et al.(1984), Azevedo et al.(1993))에서 환승을 고려하지 못하는 점을 착안하여 Azevedo et al.(1993)을 대상으로 개선된 ILBEPD를 적용하였다.

기존의 ILBEPD는 출발지와 도착지가 정해진 두 지점에서 K개의 경로를 구축하는 기법으로 이전 네트워크(N)에서 기 탐색된 경로를 모두 제거한 네트워크(N')를 구축하여 경로를 탐색하는 방안이다. N'에서는 기존에 탐색된 경로가 삭제되었으므로 STC가 포함되어도 경로중복문제는 발생하지 않는다. 그러나 최적경로집합의 경로속성은 표지확정의 오류를 포함할 가능성이 존재하므로 경로속성을 갱신한 후 최적경로를 재선정하는 기법이 요구된다. Figure 5는 Shin et al.(2016)이 STC를 포함한 경험적 최적경로선정을 위해 제안한 ILBEPD이다. 우선 최적경로로 가정하고 표지확정을 진행한다. 탐색된 경로에 대하여 비용 등 정보를 갱신한다. 기 구축된 링크 및 노드표지 불확정성을 가정하여 출발지 r와 도착지 s를 연결하는 새로운 경로를 경로탐색을 통하여 구축한다. 최종적으로 구축된 경로 K개에 대하여 최적경로를 갱신하고 선정한다.

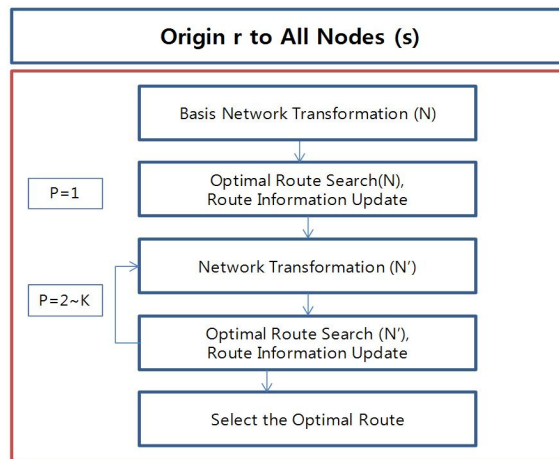


Figure 5. Revised in-coming link based entire path deletion

## 2. Logit기반 확률적 통행배정모형 (Lim, 2003)

출발지r, 도착지s, 수요  $q^{rs}$ 에서 k번째 경로의 선택확률  $p_k^{rs}$  과 통행량  $f_k^{rs}$  의 관계는 Equation(4)와 같이 정의된다.

$$f_k^{rs} = q_{rs} p_k^{rs} \quad \forall r, s, k \tag{4}$$

선택확률은 개별행태모형(discrete choice model)이론에서 사용되는 효용함수의 가정을 통해 구성할 수 있다. 개별행태모형의 경우 확정적 및 확률적 효용을 결합하여 대안의 효용  $U_k(a)$ 을 결정하는데 기본형태는 Equation(5)와 같다.

$$U_k(a) = V_k(a) + \xi_k(a) \quad \forall k \in K \quad (5)$$

여기서  $a$ 는 효용의 속성을 나타내는 변수들의 벡터이며,  $V_k(a)$ 는  $a$ 에 따른 확정적 효용을  $\xi_k(a)$ 는 확률적 오차항을 나타낸다.  $a$ 가 주어진 상태에서 대안  $k$ 가 선택될 확률은  $U_k(a)$ 가 타 대안의 효용보다 클 확률로서 Equation(6)과 같다.

$$P_k(a) = \Pr[U_k(a) \geq U_l(a), \forall l \in K] \quad \forall k \in K \quad (6)$$

효용을 기종점의 통행비용  $C_k^{rs}$ 으로 한정하면 Equation(7)과 같이 표현된다.

$$C_k^{rs} = c_k^{rs} - \frac{1}{\theta} \xi_k^{rs} \quad \forall r, s, k \quad (7)$$

여기서  $\theta$ 는 양의 파라메타,  $c_k^{rs}$ 는 확정적 관측통행비용,  $\xi_k^{rs}$ 는 확률적 오차항이다.

$\xi_k^{rs}$ 의 확률분포가 주어지면 사용자의 특정대안에 대한 선택확률을 구할 수 있는데, 오차항의 분포가 독립적이고 동일하게 검벨분포를 이루고 있다고 가정하면 Logit 모형이 되고, 정규분포를 따르면 Probit 모형이 된다. Logit 모형의 확률을 적용하여 Equation(8)과 같이 표현된다.

$$f_k^{rs} = q_{rs} \frac{\exp(-\theta c_k^{rs})}{\sum_{l \in K} \exp(-\theta c_l^{rs})} \quad (8)$$

여기서  $\theta$ 는 경로선택시 사용자의 인지분산값을 나타내는 양의 파라메타이며 이 값이 커질수록 확정적 통행배정에 근접하게 된다.  $K$ 는  $r$ - $s$  간의 대안경로집합을 의미한다.

집합  $K$ 를 구성하는 모든 경로에 대하여 Equation(8)은 확률적 경로기반 통행배정기법이 된다. 일반적으로 확률적 경로기반 통행배정기법은  $K$ 경로탐색기법을 적용하여 한정된 경로를 미리 구축하고 확률을 계산해서 기법(Cascetta et al., 1996)과 확률적 균형통행배정모형과 같이 최적경로의 열거를 반복하는 기법(Sheffi and Powell, 1982)이 있다. 전자는 링크 및 수단의 용량을 고려하지 않고 배정하며, 후자는 용량을 고려하여 배정하는 기법이다.

## STC를 반영한 경로기반 로짓모형 사례연구

본 장은 대중교통망에서 STC를 반영하는 Logit 유형의 확률적 통행배정해법으로서 경로기반의 해법을 사례연구를 통해 파악한다. 일반적으로 경로기반해법은 경로의 열거를 통해서 이용확률이 직접 계산되기 때문에 개별경로들이 STC를 포함하는 경우 경로비용갱신은 Shin et al.(2016)이 제안한 one-to-one ILBEPD 기법으로 적용이 가능하다. Shin et al.(2016)은 Azevedo et al.(1993)이 제안한 one-to-one ILBEPD기법이 순차적  $K$ 경로탐색기법을 STC가 포함되는 경우 비순차적 비용경로를 받아들여 순차적으로  $K$ 경로탐색기법으로 재연산을 통해 구축하는 방안을 제안하였다.

계산과정을 검토하기 위하여 Figure 3의 네트워크를 대상으로 Figure 6는 새롭게 노드번호를 입력하여 ILBEPD 기법으로 가상의 출발지( $r$ )과 도착지( $s$ )와 더미링크 ( $r, 1$ ), ( $7, s$ )로 재구성된 네트워크를 나타내고 있다.  $r$ 에서  $s$ 로 STC를 적용하여 탐색된 최적경로는 경로탐색의 실패에도 불구하고 경로B이며 통행비용은 50으로 나타났다.



두 번째 경로를 탐색하기 위하여 첫 번째 탐색된 경로와 Figure 6의 네트워크를 합산하여 ILBEPD 기법으로 경로를 탐색하게 Figure 7과 같이 경로A가 경로비용 48로 탐색되었다. 경로A는 두 번째로 탐색된 경로이나 최초로 탐색된 경로A보다 경로비용이 적다.

세 번째 경로를 탐색하기 위하여 두 번째 탐색된 경로와 Figure 7의 네트워크를 합산하여 ILBEPD 기법으로 경로를 탐색하게 Figure 8과 같이 경로C가 경로비용 46로 탐색되었다. 경로C는 경로A와 B보다 적은 통행비용으로 지금까지는 가장 최즉경로로 나타난다.

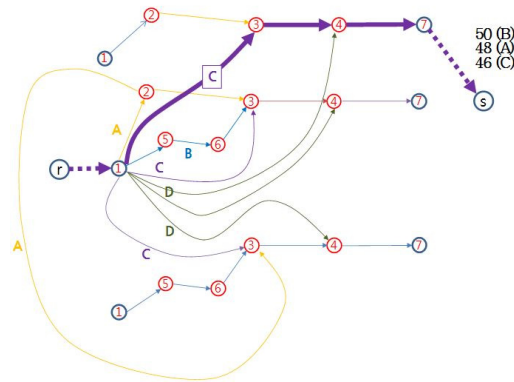


Figure 8. Basis network transformation (N) of origin r and destination j

네 번째 경로를 탐색하기 위하여 세 번째 탐색된 경로와 Figure 8의 네트워크를 합산하여 ILBEPD 기법으로 경로를 탐색하게 Figure 9와 같이 경로D가 경로비용 103로 탐색되었다.

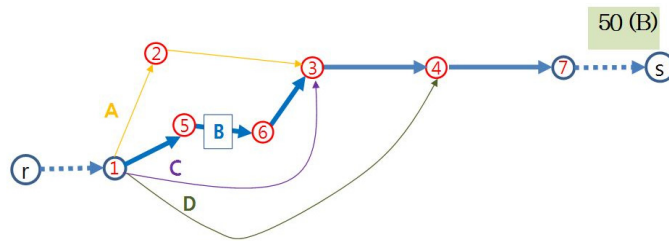


Figure 6. Basis network transformation (N) of origin r and destination s

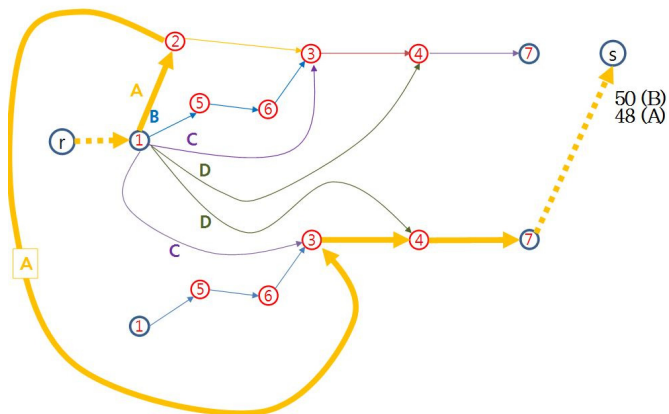


Figure 7. Basis network transformation (N) of origin r and destination j

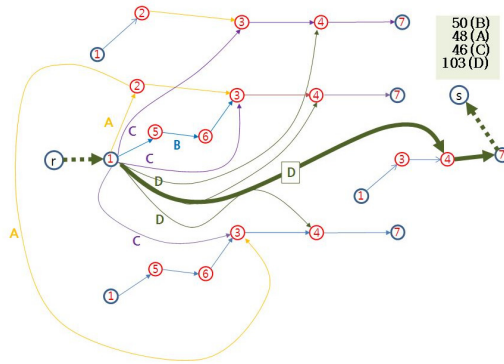


Figure 9. Basis network transformation (N) of origin r and destination j

Figure 9에서 r에서 s까지 탐색된 경로는 50(B), 48(A), 46(C), 103(D)로서 재연산을 통하여 경로를 정렬하면 Figure 10과 같이 46(C), 48(A), 50(B), 103(D)의 경로비용순서로 정렬된다.

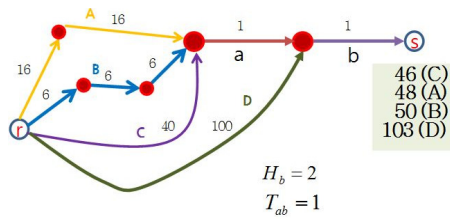


Figure 10. Toy network with four routes

Table 1-2는 각각  $\theta = 0.01$ 과  $\theta = 0.05$ 에 대하여  $q_{r,s} = 1000$ 의 경우 경로배정확률과 경로배정통행량을 나타내고 있다.  $\theta = 0.01$ 에서  $\theta = 0.05$ 로 증가할수록 배정통행량은 편차는 더욱 커져  $\theta$ 가 계속 증가하면 <Tabel 3>와 같이 경로C로 점차 배정량이 월등해지는 결과가 나타난다.

Table 1. Result of path-based logit model

Route	$c_k^{r,s}$	$\exp(-\theta c_k^{r,s})$	$f_k^{r,s} = q_{r,s} \frac{\exp(-\theta c_k^{r,s})}{\sum_{l \in K} \exp(-\theta c_l^{r,s})}$
A	48	0.618783	279.5
B	50	0.606531	274.0
C	46	0.621284	285.2
D	103	0.357007	161.3

$\theta = 0.01, q_{r,s} = 1000$

Table 2. Result of path-based logit model

Route	$c_k^{r,s}$	$\exp(-\theta c_k^{r,s})$	$f_k^{r,s} = q_{r,s} \frac{\exp(-\theta c_k^{r,s})}{\sum_{l \in K} \exp(-\theta c_l^{r,s})}$
A	48	0.008230	328.5
B	50	0.006738	268.9
C	46	0.010052	401.2
D	103	0.000034	1.3

$\theta = 0.1, q_{r,s} = 1000$



**Table 3.** Result of path-based logit model

Route	$c_k^{r,s}$	$\exp(-\theta c_k^{r,s})$	$f_k^{r,s} = q_{r,s} \frac{\exp(-\theta c_k^{r,s})}{\sum_{l=K} \exp(-\theta c_l^{r,s})}$
A	48	-	117.3
B	50	-	15.9
C	46	-	866.8
D	103	-	0.0

$\theta = 1.0, q_{r,s} = 1000$

## 결론

대부분의 대중교통승객은 환승통행에 대한 심리적 저항감을 가지고 있다. 승객의 행태 모델링은 통행시간의 정량적인 지표와 함께 ‘하기 싫음’의 정성적인 느낌이 반영되도록 구현하는 것이 적절하다. Stepwise 환승계수(STC)는 환승이 빈번하게 발생하는 대중교통통행에서 통행시간과 함께 환승회수를 민감하게 반응하는 승객행태를 설명하기 위하여 도입되었다. 환승회수가 증가될수록 출발지에서 환승지점까지 갈아타기에 대한 거부감의 비용화가 STC로 가능하게 되었다. 이러한 장점에도 불구하고 STC가 포함되는 문제는 경로의 열거를 필요로 하는 비가산성 통행비용을 포함한다. 대중교통망에서 STC는 고려한 경로탐색은 표지확정 문제를 발생시킨다. 따라서 STP를 고려하여 경로를 열거하는 문제에 대한 이론적인 검토가 필요하다.

본 연구는 Logit 통행배정기법의 경로탐색기법에 STC를 반영하는 방안을 구축하였다. 진입링크기반 전체경로삭제기법을 활용한 네트워크변형은 경로가능집합을 구축하여 경로의 원형을 유지하도록 할 수 있다. 따라서 사후적인 경로정보의 갱신과 정렬을 통하여 STC의 반영을 효과적 지원할 수 있게 되었다. STC가 포함된 토이네트워크 사례 연구를 통하여 경로기반 Logit 대중교통통행배정이 효과적으로 구동될 수 있음을 예시했다.

**알림:** 본 논문은 대한교통학회 제73회 학술발표회(2016.9.23)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

## REFERENCES

- Azevedo J. A., Costa M. E. O. S., Madeira J. J. E. R. S., Martins E. Q. V. (1993), An Algorithm for the Ranking of Shortest Paths, *European Journal of Operational Research*, 69, 97-106.
- Bellman R. (1957), *Dynamic Programming*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Cascetta E., Agostino N., Francesco R., Antonino V. (1996) A Modified Logit Route Choice Model Overcoming Path Overlapping Problems, Specification and Some Calibration Result for Interurban Networks, *Transportation and Traffic Theory*, Pergamon, 697-711.
- Chen P., Nie Y. (2013), Bicriterion Shortest Path Problem With A General Nonadditive Cost, *Social and Behavioral Sciences*, 80, 553-575.
- Dial R. B. (1971) A Probabilistic Multi-Path Traffic Assignment Algorithm Which Obviates Path Enumeration, *Transportation Research*, 5, 83-111.
- Gabriel S., Bernstein D. (1997), The Traffic Equilibrium Problem With Nonadditive Path Costs, *Transportation Science*,

- 20(5), 337-348.
- Jung D., Chang J. S. (2014), Evaluation of the Performance of Transit Assignment Algorithms for Urban Rail Networks, *Journal of the Korean Society for Railway*, 17(6), 433-442.
- Lee M. (2015), Transportation Network Models and Algorithms Considering Directional Delay and Prohibitions for Intersection Movement, Ph.D. Thesis, University of Wisconsin at Madison.
- Lim Y. T. (2003) Solution Algorithms for Logit Stochastic User Equilibrium Assignment Model, *J. Korean Soc. Transp.*, 21(2), Korean Society of Transportation, 95-105.
- Martins E. Q. V. (1984), An Algorithm for Ranking Paths that May Contain Cycles, *European Journal of Operational Research*, 18, 123-130.
- Pollack M. (1961), The Kth Best Route Through A Network, *Operations Research*.
- Sheffi Y. (1985) *Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis With Mathematical Programming Methods*, Prentice-Hall, New York.
- Sheffi Y., Powell W. B. (1982) An Algorithm for the Equilibrium Assignment Problem With Random Link Times, *Networks*, 12(2), 191-207.
- Shier R. D. (1979), On Algorithm From Finding the K Shortest Paths in A Network, *Networks*, 9, 195-214.
- Shin S. I., Baek N. C., Nam D. H. (2016), A Heuristic Optimal Path Search Considering Cumulative Transfer Functions, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 15(3), 60-67.
- Yang Y., Zhang X., Meng Q. (2004), Modeling Private Highways in Networks With Entry-Exit Based Toll Charges, *Transportation Research B*, 38, 191-213.
- Yen J. Y. (1971), Finding the K Shortest Loopless Paths in A Network, *Management Science*, 17, 711-715.