

## 제약조건을 고려한 통합대중교통망의 대안경로탐색

### Finding Alternative Routes in Inter Modal Transit Networks Considering Constraints

이 미 영\*  
(Mee-Young Lee)

백 남 철\*\*  
(Nam-Chul Back)

#### 요 약

다양한 대중교통수단이 함께 구축되어 있는 통합대중교통망(Integrated Transit Network)에 대하여, 최적통행시간 경로정보뿐만 아니라 다수의 최적통행시간 정보를 제공하는 방안에 대한 기초연구는 그 사례를 찾아보기 어렵다. 본 연구는 다수의 대중교통경로를 탐색하기 위하여, 버스와 지하철의 두 수단이 함께 존재하는 복합교통망에서 K개의 최소통행시간을 갖는 경로를 탐색하는 방안을 제안한다. 제안된 방안은 통행정보에서 대중교통 사용자가 일반적으로 필요로 하는 다음의 3가지 제약조건 (1) 수단의 서비스시간제약, (2) 통합거리비례제 요금제약, 3) 환승회수제약을 고려한다.

사례연구를 통해 K개의 최소통행시간 경로정보뿐만 아니라 위의 제약조건을 조합적으로 반영하여 사용자에게 필요한 경로정보의 질적 향상 및 다양화에 대한 가능성을 제시한다.

#### Abstract

For integrated transit networks operated with diverse transit modes, it is difficult to find related literatures on the provision of multiple travel time routes information. This study proposes a methodology on how to select K number of least time transit routes in the integrated transit network

with two modes, bus and subway. In the proposed method, three constraints usually (will be) encountered for decision by users- (1) service time constraints of travel modes, (2) maximum payment fare constraints under the integrated distance based fare system, and (3) maximum number of transfer

constraints - are taken into consideration in the searched routes. The experimental studies shows that the proposed method properly provides K number of least time routes. In addition, it somehow proves that by combinatorially considering three constraints the proposed method can be evaluated as to enlarge the quality as well as the diversity of route information demanded by users.

**Key Words** : Intergrated Transit network, k number of least time, Service time, Constraints, Max number of transfer, Constraints

## 1. 서 론

대중교통 이용자의 통행행태를 통행비용의 최소

화라는 단일의 척도로서 규정하기에는 한계가 존재한다. 대중교통이 갖는 특성 상, 통행시간(travel time), 수단까지의 접근성(accessibility), 요금(fare), 환승(transfer)과

\* 주저자 : 한국건설기술연구원 첨단교통연구센터 선임연구원(비회원)

\*\* 공저자 : 한국건설기술연구원 첨단교통연구센터 선임연구원(회원)

† 논문접수일 : 2004년 12월 2일

같이 통행의 질에 영향을 미치는 외부비용(external cost)이 다수 존재하며, 사용자의 통행특성에 따라 이러한 변수들의 영향이 서로 다르게 나타난다. 대중교통통행에 대한 다양성을 반영하기 위한 방안으로서 사용자가 경로에 대한 다수의 정보를 고려하여 자신의 조건에 부합하는 통행경로를 선택하게 하는 것이 효과적인 대안이 될 수 있다.

최근 서울시의 대중교통체계개편과 관련된 통합 대중교통정책으로 인하여 기존의 단일 대중교통운 영방식에 비하여 사용자의 요구와 선호도에 부합 할 수 있는 대안경로정보에 관련된 수요가 더욱 증 가하고 있다. 그럼에도 불구하고 다수의 대중교통수 단이 공동으로 존재하는 통합대중교통망(Intermodal Transit Network)에 대하여 사용자의 다양한 통행행 태를 고려한 대안경로를 제공하는 연구는 심도 깊 게 시도되지 않았다.

본 연구는 통합대중교통망에서 다수의 대안경로 를 탐색하기 위하여 사용자에게 일반적으로 봉착 되는 통행행태제약을 고려하여 K개의 최소통행시 간경로를 탐색하는 방안의 활용성에 대하여 검토 한다. 이를 위해 우선 사용자가 최소통행시간으로 여행하는 경우를 가정하여 K개의 최소통행시간경 로를 탐색하는 방안을 파악한다. 그리고 제안된 탐 색방법을 이용하여, 사용자의 경로에 대한 요구를 제약조건으로 고려하여 탐색하는 방안을 제안한다. 경로제약조건은 일반적인 대중교통의 특성이 고려 될 수 있는 다음의 세가지 경우를 대상으로 한다.

- (1) 수단의 서비스시간제약
- (2) 통합거리비례제의 요금제약
- (3) 환승회수제약

수단의 서비스제약은 수단간 환승지점에서 교통 수단의 출발시간이 정해져 있어 도착 즉시 출발할 수 없도록 하는 제약을 의미한다. 통합거리비례제 에 의한 요금제약은 대중교통체계개편에서 통합거 리비례제에 따른 요금부과방안에서 사용자가 제시 한 최대지불요금 이하의 요금을 갖는 경로를 선정

하는 것이다. 환승회수제약은 수단간 최대 환승회 수를 미리 정하여 통행행태에서 발생가능하지 않 은 통행을 사전에 배제하고자 하는 것이다.

본 연구에서 사용되는 기본 표식(Notations)은 다 음과 같다.

$K$  : 최대 탐색경로 수.

$p, q, k$  : 1부터 K번째까지의 경로 중에서 개별 경로를 나타내는 경로지수.

$r, s, i, j$  : 노드, 특히  $r, s$ 는 각각 출발지와 도착지.

$a, b, e$  : 링크, 특히  $e$ 는 시작노드가 출발지( $r$ )인 링크.

$n, m$  : 통행수단.

$L$  : 링크집합.

$Q$  : 탐색링크집합.

$N$  : 노드집합.

$M$  : 탐색노드집합.

$\Xi$  : 네트워크 상에 포함되어 있는 통행수단집합.

$\Gamma_a^+$  ( $\Gamma_a^-$ ) : 링크  $a$ 의 도착노드(출발노드)가 시 작노드(도착노드)인 링크집합.

$\Gamma_r^+$  ( $\Gamma_r^-$ ) : 출발지  $r$ 이 시작노드(도착노드)인 링크집합.

$C_a, C_{ij}$  : 링크  $a(i, j)$ 의 거리(Km).

$C_{a,m}$  : 링크  $a$ 를 수단  $m$ 으로 주행 시 통행비용.

$d_{ab}$  : 링크  $a$ 에서  $b$ 로 통행 시 페널티.

$p, k$  : 1부터  $k$ 까지의 순서, 즉  $p, k = 1, \Lambda, K$

$d_{ab}^{m,n}$  : 링크  $a$ 를  $m$ 수단으로 통행중 링크  $b$ 에 서  $n$ 수단으로 환승 시 환승페널티.

$\pi_k^{ri}$  : 출발지  $r$ 에서 노드  $i$ 까지  $k$ 번째 최소통행시간

$\pi^r$  : 출발지  $r$ 에서 노드  $i$ 까지의  $k$ 개의 최소 통행시간벡터

$\pi^r = \{\pi_1^r, \pi_2^r, \Lambda, \pi_K^r\}$

$\pi_k^{ra}$  : 출발지  $r$ 에서 링크  $a$ 의 도착지점까지의  $k$ 번째 최소통행시간

$\pi^r$  : 출발지  $r$ 에서 링크  $a$ 의 도착지점의  $k$ 개 의 최소통행시간벡터

- $\pi^{ra} = \{\pi_1^{ra}, \pi_2^{ra}, \Lambda, \pi_k^{ra}\}$
- $\Theta_k^{ra}$  : 출발지  $r$ 에서 링크  $a$ 의 도착지점의  $k$ 번째  
총 통행요금
- $\Theta^{ra}$  : 출발지  $r$ 에서 링크  $a$ 의 도착지점의  $k$ 개  
의  $\Theta^{ra} = \{\Theta_1^{ra}, \Theta_2^{ra}, \Lambda, \Theta_k^{ra}\}$  요금벡터
- $\Delta_k^{ra}$  : 출발지  $r$ 에서 링크  $a$ 의 도착지점의  $k$ 번째  
경로의 환승회수
- $\Delta^{ra}$  : 출발지  $r$ 에서 링크  $a$ 의 도착지점의  $k$ 개의  
환승회수벡터  $\Delta^{ra} = \{\Delta_1^{ra}, \Delta_2^{ra}, \Lambda, \Delta_k^{ra}\}$
- $T^{ra}$  : 출발지  $r$ 에서 링크  $a$ 의 도착지점까지의  
최소요금(원)
- $D_k^{ra}$  : 출발지  $r$ 에서 링크  $a$ 의 도착지점까지  
경로  $k$ 의 주행거리(Km).
- $F_a$  : 링크(수단)  $a$ 를 주행 시 기본요금(원)
- $F_a^n$  : 링크(수단)  $a$ 를  $n$ 으로 주행 시 기본요금  
(원)
- $\Phi_{ek}$  :  $k$ 번째 경로에서 출발지와 연결된 링크  
(수단)  $e$ 의 기본요금(원)
- $M_{More}$  : 단위거리 당 할증요금; 단위할증요금  
(원)
- $D_{Basic}$  : 기본요금 적용거리; 기본거리구간(Km)
- $D_{More}$  : 할증요금 적용거리; 단위할증거리(Km)
- $\theta_k^{ra}$  : 출발지  $r$ 에서 링크  $a$ 의 도착지점까지  $k$   
번째경로에서 요금이 가장 비싼 수단의  
기본요금(원)

$\mathcal{G}\{\min_k\{\}\}$ :  $k$ 개의 원소로 구성된 두 벡터에서  $k$   
개의 순차적인 최소값  $k$ 개의 원소를  
추출. 예를 들면,

$$\mathcal{G}\{\min_2\{[4,5]^T, [3,7]^T\}\} = [3,4]^T$$

$\mathcal{G}\{\text{same}_k\{\}\}$ :  $\mathcal{G}\{\min_k\{\}\}$ 에서 추출된 표지와 동일하  
게 두 벡터에 적용하여  $k$ 개의  
원소를 추출. 위의 결과를 적용  
하면

$$\mathcal{G}\{\text{samk}_2\{[4,5]^T, [7,6]^T\}\} = [7,4]^T$$

$\xi\{\min_k\{\}\}$  :  $k$ 개의 원소로 구성된 w(>0)개의

벡터에 대하여 최소값이 구분되  
는  $k(1$ 부터  $k$ 까지)번째가 존재  
하는 벡터를 선택. 예를 들면,

$$\xi\{\min_2\{[4,\infty]^T, [4,6]^T, [4,\infty]^T\}\} = [4,6]^T$$

(2번째 벡터)

$P_k^{ra}$  : 출발지  $r$ 에서 링크  $a$ 의 도착지점까지 링  
크의 순서로 표현된  $k$ 번째 통행시간경로

$P_k^{ra} \oplus b$  :  $P_k^{ra}$ 의 마지막 링크  $a$ 의 도착노드  
와 링크  $b$ 의 시작노드를 연결한 경로.  
따라서  $P_k^{ra} \oplus b$ 의 마지막 링크는  
링크  $b$ .

$\text{Tnfer}[P_k^{ra} \oplus b]$  : 경로  $P_k^{ra} \oplus b$ 의 환승횟수.

$\text{T}_{\max}$  : 최대환승횟수.

$\text{Fare}[P_k^{ra} \oplus b]$  : 경로  $P_k^{ra} \oplus b$ 의 요금.

$\text{F}_{\max}$  : 최대지불요금.

## 2. K최소시간경로탐색 알고리즘

K최소시간경로탐색 알고리즘 (K Least Time Path Algorithm: K-LTPA)은 경로의 통행시간에 대해 순차적인 순서를 갖는 K개의 경로를 탐색하는 것이다. 기존에 제안된 K-LTPA은 크게 2가지 (1) 기존의 표지확정(또는 갱신) 방법을 활용하는 방법, (2) 이미 발견된 경로의 삭제를 통해 다음 경로를 탐색하는 방법 -로 분류된다. 두 방법의 가장 큰 차이는 전자는 K개의 경로를 동시에 탐색하는 방법 [1-3]이고 후자는 기존의 최적경로 알고리즘을 네트워크의 확대[4,5] 또는 부분삭제[6]을 통하여 K번째 경로까지 순차적으로 발견하는 방법이다.

K-LTPA에서 Shier[1]의 노드표지확정 알고리즘을 활용하여 링크표지를 적용하는 방안은 Lee [4]에 의하여 처음 시도되었다. Lee[7]는 링크표지를 도입하여 교차지점에서 네트워크의 확장이 요구되지 않도록 회전지체를 고려하는 방안에 대하여 제안하였다. Lee[7]가 제안한 링크표지에 근거한 K-LTPA의 최적식은 식 (1)과 같이 표현된다. K개의 시간을 동시에 고려하기 위하여 최적식에 K개의 원소

(scalar)를 갖는 두 벡터  $\pi^{rb}$  와  $\Pi^{ra}$  를 도입 하였으며, 네트워크의 확장이 요구되지 않도록 회 전비용(  $d_{ab}$  )이 식 (1)에 포함되었다.

$$\begin{aligned} \pi^{rb} &= \mathcal{G}\left\{\min_{\kappa} \left\{ \Pi^{rab}, \forall a \in \Gamma_b^- \right\}\right\}, \forall b \in L \setminus \Gamma_r^+ \\ \pi^{re} &= [c_e, \infty, \Lambda, \infty]^T, \forall e \in \Gamma_r^+ \\ \Pi^{rab} &= [\Pi_1^{rab}, \Pi_2^{rab}, \Lambda, \Pi_K^{rab}]^T \\ \Pi_k^{rab} &= \pi_k^{rb} + d_{ab} + c_b \end{aligned} \quad (1)$$

이 경우  $\pi^{rb}$  : 출발지  $r$ 에서 링크  $b$ 의 도착지 점까지  $K$ 개의 순차적인 통행시간을 갖는 통행시간 벡터  $\pi^{rb} = [\pi_1^{rb}, \pi_2^{rb}, \Lambda, \pi_K^{rb}]^T$  .

다수의 통행수단이 존재하는 통합교통망에 적용 되는 K-LPTA에 대한 연구는 이미영 외[8]에 의해 최초로 시도되었다. 이미영 외[8]는 링크표지확정 기법을 적용하여 통합거리비례제도 하에서의 대중 교통요금을 순차적으로 탐색하는 알고리즘을 제안 하였다. 제안된 알고리즘을 통하여 간단하게 통합 교통망의 K-LTPA의 최적식 (2)의 유추가 가능하다.  $K$ 개의 링크비용표지를 각 수단에 따라 동시에 고려하기 위하여 최적식에 수단에 따른  $K$ 개의 원 소(scalar)를 갖는 두 벡터  $\pi_n^{rb}$  와  $\Pi_{mn}^{ra}$  를 도입 하였으며, 수단 간의 환승을 고려하기 위하여 네트 워크의 확장이 요구되지 않도록 환승비용 (  $d_{mn}^{ab}$  ) 가 최적식 (2)에 반영되었다.

$$\begin{aligned} \pi_n^{rb} &= \mathcal{G}\left\{\min_{\kappa} \left\{ \Pi_{mn}^{rab}, \forall a \in \Gamma_b^-, \forall m \in \Xi \right\}\right\}, \forall b \in L \setminus \Gamma_r^+; \forall n \in \Xi \\ \pi_n^{re} &= [c_e^n, \infty, \Lambda, \infty]^T, e \in \Gamma_r^+; \forall n \in \Xi \\ \Pi_{mn}^{rab} &= [\Pi_{mn1}^{rab}, \Pi_{mn2}^{rab}, \Lambda, \Pi_{mnK}^{rab}]^T \\ \Pi_{mnk}^{rab} &= \pi_{mk}^{ra} + d_{ab}^{mn} + c_b^n \end{aligned} \quad (2)$$

이 경우  $\pi_n^{rb}$  : 출발지  $r$ 에서 링크 $b$ 의 도착지 점까지 수단 $n$ 을 이용하여 통행한  $K$ 개의 순차적인 통행시간을 원소로 하는 통행시간벡터

$$\pi_n^{rb} = [\pi_{n1}^{rb}, \pi_{n2}^{rb}, \Lambda, \pi_{nK}^{rb}]^T$$

이미영 외[8]는 또한 동일링크를 통행하는 복수 수단을 표현하기 위하여 동일링크에 주행하는 모든 수단을 링크로 확장하는 방안을 제안하였다. 이 방법이 적용되면, 복합교통망에서는 출발지와 도착 지가 동일하나 링크의 속성이 다른 복수의 링크를 포함하게 된다. 동일링크에서 복수의 수단이 확장 된 복합교통망을 표현하기 위하여 기존의 단일링 크에서 존재하는 모든 수단이 링크처럼 처리되므로 이에 대한 고려가 필요하다. 확장네트워크에서 집합에 대한 표식을 다음과 같이 재정의하여 통합 교통망에서 K-LTPA의 최적식은 식 (3)과 같다.

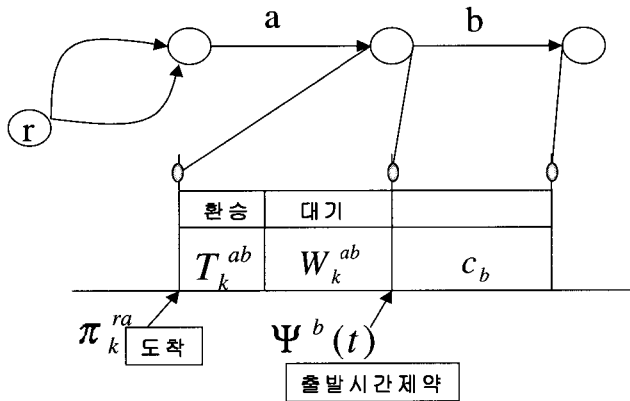
$$\begin{aligned} L^{\Xi} &: \text{링크확장네트워크에서의 링크집합.} \\ N^{\Xi} &: \text{링크확장네트워크에서의 노드집합.} \\ G(L^{\Xi}, N^{\Xi}) &: L^{\Xi}, N^{\Xi} \text{로 구성된 교통망} \\ \Gamma_a^{\Xi+} \text{ ( } \Gamma_a^{\Xi-} \text{ )} &: G(L^{\Xi}, N^{\Xi}) \text{에서 } a \text{의 도착} \\ &\text{(출발노드)가 시작(도착노드)인 링크집합.} \\ \Gamma_r^{\Xi+} \text{ ( } \Gamma_r^{\Xi-} \text{ )} &: G(L^{\Xi}, N^{\Xi}) \text{에서 출발지 } r \text{이} \\ &\text{시작(도착노드)인 링크집합.} \end{aligned}$$

식 (2)에서는 수단에 따른 표식이 따로 존재하였 으나 식 (3)는 수단이 링크로 표시되었으므로, 모든 링크에 통과하는 각 수단이 단일의 링크로 변환된 네트워크로 변화가 가능하다. 따라서 단일수단의 교통망에서와 같이 최적식의 적용이 가능하며, 단 지 다른 점은 네트워크에서 링크와 노드집합이 다 르게 표현된다는 것이다. 식 (3)은 본 연구에서 3가 지 제약조건을 추가하기 위한 기본 K-LTPA이다.

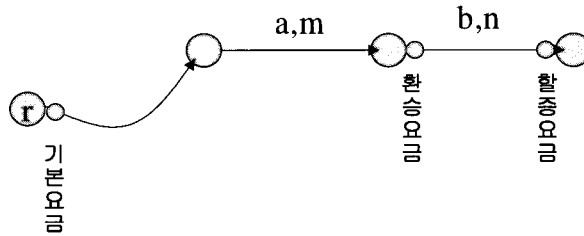
$$\begin{aligned} \pi^{rb} &= \mathcal{G}\left\{\min_{\kappa} \left\{ \Pi^{rab}, \forall a \in \Gamma_b^{\Xi-} \right\}\right\}, \forall b \in L^{\Xi} \setminus \Gamma_r^{\Xi+} \\ \pi^{re} &= [c_e, \infty, \Lambda, \infty]^T, \forall e \in \Gamma_r^{\Xi+} \\ \Pi^{rab} &= [\Pi_1^{rab}, \Pi_2^{rab}, \Lambda, \Pi_K^{rab}]^T \\ \Pi_k^{rab} &= \pi_k^{ra} + d_{ab} + c_b \end{aligned} \quad (3)$$

이 경우  $\pi^{rb}$  : 출발지  $r$ 에서 링크 $b$ 의 도착지 점까지  $K$ 개의 순차적인 비용을 갖는 통행시간벡터

$$\pi^{ra} = [\pi_1^{ra}, \pi_2^{ra}, \Lambda, \pi_K^{ra}]^T$$



<그림 1> 수단의 서비스시간 제약의 고려  
 <Fig. 1> Service Time Constraints for Modes



<그림 2> 기본, 환승, 활증요금의 부과과정  
 <Fig. 2> Imposition of Basic, Transfer, and Premium Fares

### 3. 제약조건을 고려

2장의 최적식 (3)에 대하여 본 장에서는 3가지 제약조건- (1) 수단의 서비스시간제약, (2) 통합거리비례제 요금제약, (3) 환승회수제약 -을 고려하는 방안에 대하여 각각 설명한다.

#### 3.1 수단의 서비스시간 제약

서비스시간제약은 어떤 노드에서 통행의 시간대를 제한함으로써 환승지점에 도착하는 차량이 도착 즉시 출발할 수 없도록 하는 제약조건이다. 이 제약조건은 어떤 노드에서 통행이 특정 시간대에만 가능함을 나타내기 위하여 사용되는 시간창(Time Window)[9-11]을 보다 일반화하여 나타낸 것으로 대중교통망에 보다 현실적인 제약조건이라고 할 수 있다. 서비스시간제약 (Time-Schedule Constraints) 를 갖는 최단경로 문제는 Chen & Tang [12,13]에

의해 처음 단일수단을 대상으로 소개되었다. 이 제약조건을 고려하여 최적경로를 탐색하는 기본 개념은 환승을 통해서 타 수단으로 전화하여 통행하는 경우, 탑승수단의 출발시간을 고려하여 환승수단의 도착시간(Arrival Time), 환승시간(Transfer Time), 대기시간(Waiting Time)을 결정해야 한다. <그림 1>은 수단의 출발시간을 고려한 K경로탐색 개념을 나타낸다. 링크 a의 도착지점까지 k번째 도착시간이  $\pi_k^{ra}$  이면, 링크 a에서 환승시간  $T_k^{ab}$  를 소요하여 링크 b의 출발지점에 도달한다. 이때 링크 b로 진행할 때, t번째 서비스 시간 스케줄  $\Psi^b(t)$  이 이용 가능하면 대기시간  $W_k^{ab}$  을 소요한 후 출발할 수 있으며, 바로 출발할 수 있는 출발시간 스케줄이 있으면, 대기시간이 0이 된다. <그림 1>의 기본개념을, K-LTPA에 대한 최적식으로 전환하면 식 (4)와 같다. 링크 b까지의 k번째 통행시간에 대하여 서비스시간제약조건을 고려하지 않는 기존 최

적석과 달리, 식 (4)는 대기시간  $W_k^{ab}$  이 포함되었으며, 4개의 추가적인 제약을 포함한다. 첫 번째는 대기시간을 계산하기 위한 것이며, 두 번째와 세 번째는 도착 후 가장 신속하게 이용 가능한 수단의 서비스시간으로 고려된다는 것을 의미한다. 네 번째는 변수의 비음조건을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \pi^{rb} &= \mathcal{G}\left\{\min_{\kappa} \left\{ \Pi^{rab}, \forall a \in \Gamma_b^{\Xi-} \right\}\right\} \forall b \in L^{\Xi} \setminus \Gamma_r^{\Xi+} \\ \pi^{re} &= [c_e, \omega, \Lambda, \infty]^T, \forall e \in \Gamma_r^{\Xi+} \\ \Pi^{rab} &= [\Pi_1^{rab}, \Pi_2^{rab}, \Lambda, \Pi_K^{rab}]^T \\ \Pi_k^{rab} &= \pi_k^{ra} + T_k^{ab} + W_k^{ab} + c^b \\ \text{Subject to} \\ W_k^{ab} &= \Psi^b(t) - \pi_k^{ra} - T_k^{ab} \\ \pi_k^{ra} + T_k^{ab} &\leq \Psi^b(t) \\ -\pi_k^{ra} - T_k^{ab} &< \Psi^b(t-1) \\ W_k^{ab}, \pi_k^{ra}, T_k^{ab} &\geq 0; k = 1, \Lambda, K \end{aligned} \quad (4)$$

이 경우  $\pi^{rb}$  : 출발지  $r$ 에서 링크 $b$ 의 도착지점까지  $K$ 개의 순차적인 비용을 갖는 토이행시간벡터

$$\pi^{ra} = [\pi_1^{ra}, \pi_2^{ra}, \Lambda, \pi_K^{ra}]^T$$

### 3.2 통합거리비례제 요금제약

통합거리비례제 요금제약조건은 사용자의 최대 지불요금 이하의 요금이 도출되는 경로 만 탐색하도록 하는 것이다. 통합거리비례제에 따른 요금부과는 크게 기본요금, 환승요금, 할증요금으로 구분된다. <그림 2>는 출발지에서 임의의 링크  $b$ 까지 계산된 요금이 제약조건을 만족하는지 파악하기 위하여 두 링크  $(a,b)$ 간의 관계를 나타낸 것이다. 출발지에서 링크  $a$ 의 도착지점까지의 서비스수단이  $m$ 이면, 링크  $a$ 의 도착지점까지 요금은 수단  $m$ 을 기준으로 탑승 시 기본요금이 적용된다. 링크  $a$ 에서 링크  $b$ 로 주행하기 위하여 수단  $n$ 으로 환승하는 경우, 수단  $n$ 의 기본요금이 수단  $m$ 보다 낮을 경우 환승요금은 존재하지 않으나, 수단  $n$ 의 기본요금이 수단  $m$ 보다 높을 경우 요금차이만큼의 환

승요금이 부과된다. 그리고 출발지  $r$ 에서 도착지  $b$ 까지 기본거리 이상의 추가거리에 대해 할증요금을 부과한다.

식 (5)는 이러한 요금계산 과정을 K-LPTA의 제약조건으로 나타낸 것이다. 식 (5)의 제약조건은 요금계산과정을 나타내는 등식제약과 최대요금 이하의 경로탐색 만을 허용하는 부등식 제약을 포함하고 있다. 식 (3)의 벡터함수가  $\mathcal{G}\{\min_{\kappa}\{\}\}$ 만 존재하는 것과는 달리 최적식(5)의 벡터함수는  $\mathcal{G}\{\min_{\kappa}\{\}\}$ 과 함께  $\mathcal{G}\{\text{same}_{\kappa}\{\}\}$ 가 제약조건으로 존재하며, 이는 경로의 탐색기준이 요금이 아니라 시간이기 때문에  $\mathcal{G}\{\min_{\kappa}\{\}\}$ 에 의해 결정된 경로에 대하여 요금을 계산하는 것이므로  $\mathcal{G}\{\min_{\kappa}\{\}\}$ 에 의해 계산된 통행시간 벡터 결정순서가 그대로  $\mathcal{G}\{\text{same}_{\kappa}\{\}\}$ 에 의해 수용된다는 것을 의미한다.

$$\begin{aligned} \pi^{rb} &= \mathcal{G}\left\{\min_{\kappa} \left\{ \Pi^{rab}, \forall a \in \Gamma_b^{\Xi-} \right\}\right\} \forall b \in L^{\Xi} \setminus \Gamma_r^{\Xi+} \\ \pi^{re} &= [c_e, \infty, \Lambda, \infty]^T, \forall e \in \Gamma_r^{\Xi+} \\ \Pi^{rab} &= [\Pi_1^{rab}, \Pi_2^{rab}, \Lambda, \Pi_K^{rab}]^T \\ \Pi_k^{rab} &= \pi_k^{ra} + d_{ab} + c_b \\ \text{Subject to} \\ \Theta^{rb} &= \mathcal{G}\left\{\text{same}_{\kappa} \left\{ \Omega^{rab}, \forall a \in \Gamma_b^{\Xi-} \right\}\right\} \forall b \in L^{\Xi} \setminus \Gamma_r^{\Xi+} \\ \Theta^{re} &= [F_e, 0, \Lambda, 0]^T, e \in \Gamma_r^{\Xi+} \\ \Omega^{rab} &= [\Omega_1^{rab}, \Omega_2^{rab}, \Lambda, \Omega_K^{rab}]^T \\ \Omega_k^{rab} &= \Phi_k + \max[F_b - \theta_k^{ra}, 0] + F_{\text{More}} \cdot [\text{int}](Z_k) \\ \Omega_k^{rab} &\leq F_{\text{max}} \end{aligned} \quad (5)$$

이 경우  $\pi^{rb}$  : 출발지  $r$ 에서 링크 $b$ 의 도착지점까지  $K$ 개의 순차적인 비용을 갖는 통행시간벡터

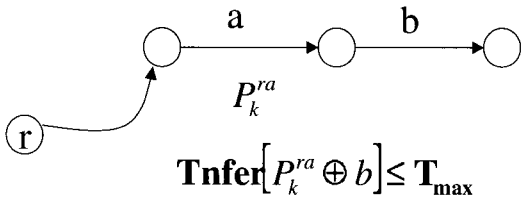
$$\pi^{ra} = [\pi_1^{ra}, \pi_2^{ra}, \Lambda, \pi_K^{ra}]^T$$

$\Theta^{rb}$  : 출발지  $r$ 에서 링크 $b$ 의 도착지점까지  $K$ 개의 요금을 나타내는 경로요금벡터

$$\Theta^{ra} = [\Theta_1^{ra}, \Theta_2^{ra}, \Lambda, \Theta_K^{ra}]^T$$

$\epsilon$  : 아주 작은 실수(예를 들면, 0.0001)

$\Gamma = 1.0$



<그림 3> 최대환승 제약조건  
<Fig. 3> Maximum Transfer Constraint

[int] : 실수의 정수부분

$$Z_k = \begin{cases} 0 & \text{if } (D_k^{ra} + c_b \leq D_{Basic}) \\ \chi & \text{if } (D_k^{ra} + c_b > D_{Basic}) \end{cases}$$

$$\chi = \left( \frac{\max[D_k^{ra} + c_a - D_{Basic}, 0]}{D_{More}} - \epsilon \right)_+ \Gamma$$

### 3.3 환승회수제약

환승회수를 제약하는 방안은 링크 a에서 링크 b로 2개의 링크를 동시에 탐색하는 과정에서 용이하게 고려될 수 있다. <그림 3>을 예로 설명하면, 링크 a의 도착지점까지의 경로가  $P_k^{ra}$  이면 링크 a에서 링크 b로 탐색한다는 것은 링크 a까지의 k번째 경로  $P_k^{ra}$  에서 b로 탐색하는 것과 같다. 출발지 r에서 링크 a까지의 k번째 경로에서 환승

회수의 파악이 가능하므로  $P_k^{ra}$  에서 b로 탐색하는 과정에서, 합쳐진 경로  $P_k^{ra} \oplus b$  에서 환승이 발생하는지 여부만 파악되면 된다. 이때 환승이 발생하여 최대환승회수를 초과하여 탐색과정을 생략하면, K개  $P_k^{ra} \oplus b$  의가 제약조건을 만족하는 경로로 선정된다. 따라서 K-LTPA와 고려되면 최적식 (6)과 같다.  $\mathcal{G}\{\min_k\{\}\}$ 과 함께  $\mathcal{G}\{\text{same}_k\{\}\}$ 가 제약조건으로 존재하는데 이는 경로의 탐색기준이 최소시간이기 때문에  $\mathcal{G}\{\min_k\{\}\}$ 에 의해 결정된 최소시간 경로에 대하여 환승회수를 제약하는 것이므로  $\mathcal{G}\{\min_k\{\}\}$ 에 의해 계산된 통행시간벡터 결정순서가 그대로  $\mathcal{G}\{\text{same}_k\{\}\}$ 에 의해 수용된다는 것을 의미한다.

$$\pi^{rb} = \mathcal{G}\{\min_k\{\Pi^{rab}, \forall a \in \Gamma_b^{\pm}\}\} \forall b \in L^{\pm} \setminus \Gamma_r^{\pm}$$

$$\pi^{re} = [c_e, \infty, \Lambda, \infty]^T, \forall e \in \Gamma_r^{\pm}$$

$$\Pi^{rab} = [\Pi_1^{rab}, \Pi_2^{rab}, \Lambda, \Pi_K^{rab}]^T$$

$$\Pi_k^{rab} = \pi_k^{ra} + d_{ab} + c_b$$

Subject to

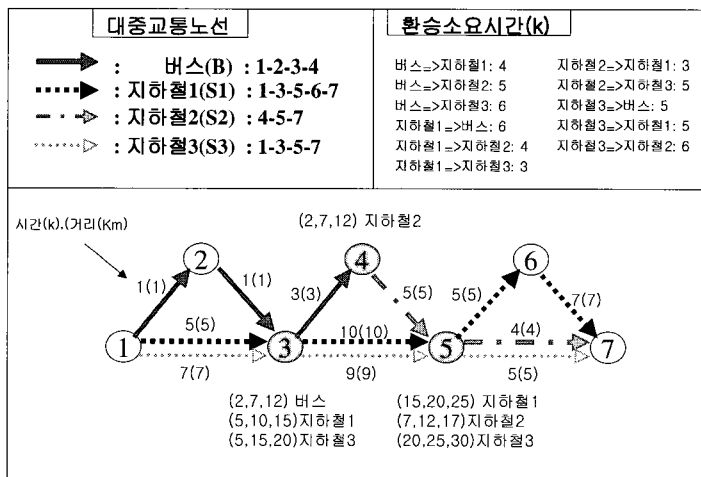
$$\Delta^{rb} = \mathcal{G}\{\text{same}_k\{\Delta^{rab}, \forall a \in \Gamma_b^{\pm}\}\} \forall b \in L^{\pm} \setminus \Gamma_r^{\pm}$$

$$\Delta^{re} = [0, 0, \Lambda, 0]^T, e \in \Gamma_r^{\pm}$$

$$\Delta^{rab} = [\Delta_1^{rab}, \Delta_2^{rab}, \Lambda, \Delta_K^{rab}]^T$$

$$\Delta_k^{rab} \leq T_{max}$$

.. (6)



<그림 4> 사례연구 적용네트워크  
<Fig. 4> Network for Case Study

### 3.4 알고리즘종합

통합대중교통망에서 K개의 최소통행시간 탐색 최적식과 수단의 출발시간스케줄계약, 거리비례제 요금계약, 환승회수제약을 고려하여 링크표지(확정)방식을 기반으로 적용된 탐색알고리즘을 요약하면 다음과 같이 3부분-초기화, 다음탐색링크결정, 탐색링크의 확장으로 간략하게 구분  $\pi^m$  된다. Step 0의 초기화 부분에서는 통행시간벡터의 각 요소 값을 무한대로, 요금벡터  $\Theta^m$ 의 요소 값을 0으로 초기화하고, 출발지 r과 연결된 링크(수단)에 대해서는 최초의 통행시간과 통행요금을 계산한다. Step 1의 다음탐색링크결정 과정에서는 탐색링크 집합에 탐색링크가 포함되어 있지 않으면, 알고리즘을 종료한다. 탐색링크가 존재하면 벡터함수  $\xi\{\min_k\{\}\}$ 를 활용하여 다음탐색링크를 결정한다. Step2에서는  $\xi\{\min_k\{\}\}$ 에 의하여 결정된 탐색링크 a를 기반으로 연결된 링크 b로 확장하여 탐색하는 과정을 나타낸다. 탐색하는 과정에서 링크 a까지의 부분경로와 링크 b가 결합되는 과정인  $P_k^m \oplus b$ 가 수단의 서비스시간계약, 최대환승회수계약, 최대지불요금제약을 만족하는 지 여부에 따라 링크 b를 대상으로 k번째 경로에 포함시킬지 여부를 결정한다. 이때 경로순서는 순차적인 통행시간에 따라 배열된다. 통행시간의 배열에 적용된 벡터결정순서가 그대로 요금을 계산하는 과정에

포함되게 된다.

Step 0 : 초기화  
 $\pi^m = \{\infty, \infty, \Lambda, \infty\}, \forall a \in L^E$   
 $Q = \{\}$   
 $\Theta^m = \{F_e, 0, \Lambda, 0\}, \forall e \in \Gamma_r^{E+}$   
 $\pi^e = \{c_e, \infty, \Lambda, \infty\}, e \in \Gamma_r^{E-}$   
 $Q = Q \cup \{e\}, \forall e \in \Gamma_r^{E+}$

Step 1 : 다음탐색링크결정  
 If  $(Q = \{\})$ : 알고리즘종료  
 Else  $a = \xi\{\min_k\{\pi^m, \forall a \in Q\}\}$   
 $Q = Q - \{a\}, \forall a \in Q$

Step 2 : 다음링크( $a \rightarrow b$ )로 탐색확장  
 If  $(\Omega_1^{rab} < \pi_k^r, \forall a \in \Gamma_b^{E-})$ :  
 (1)수단서비스시간계약 체크  
 (2)최대요금계약 체크  
 (3)최대환승회수계약 체크  
 Goto Step 2  
 } Else : Goto Step 2

### 4. 사례연구

<그림 4>은 버스 1개 노선과 지하철 3개 노선, 총 4개의 노선의 교통수단이 존재하는 통합네트워크

<표 1> 서비스시간계약조건인 K경로탐색 (요금, 환승횟수 무계약)  
 <Table 1> K Routes with Service Time Constraint

경로 순서	통행 시간	통행 거리	요금	출발 시간	환승 회수	목적지< 경로 수단 < 출발지
1	21	14	900	17	1	7-(S2)-5-(S2)-4-(B)-3-(B)-2-(B)-1
2	21	21	1,000	16	0	7-(S3)-5-(S3)-3-(S3)-1
3	25	20	1,000	20	1	7-(S3)-5-(S1)-3-(S1)-1
4	27	27	1,100	20	0	7-(S1)-6-(S1)-5-(S1)-3-(S1)-1
5	29	16	900	24	1	7-(S3)-5-(S3)-3-(B)-2-(B)-1
6	29	19	1,000	24	1	7-(S3)-5-(S3)-3-(S1)-1
7	30	17	900	25	2	7-(S3)-5-(S1)-3-(B)-2-(B)-1
8	30	15	900	25	2	7-(S3)-5-(S2)-4-(B)-3-(B)-2-(B)-1
9	32	24	1,000	25	1	7-(S1)-6-(S1)-5-(S1)-3-(B)-2-(B)-1
10	32	22	1,000	25	2	7-(S1)-6-(S1)-5-(S2)-4-(B)-3-(B)-2-(B)-1
11	37	29	1,100	30	1	7-(S1)-6-(S1)-5-(S1)-3-(S3)-1
12	37	28	1,100	30	1	7-(S1)-6-(S1)-5-(S3)-3-(S3)-1



<표 2> 서비스시간, 요금1,100원 환승횟수 1회의 K경로탐색

<Table 2> K Routes with Service Time, 1,100 Fare, and One Transfer Constaints

경로 순서	통행 시간	통행 거리	요금	출발 시간	환승 회수	경로 목적지< 수단 < 출발지
1	21	14	900	17	1	7-(S2)-5-(S2)-4-(B)-3-(B)-2-(B)-1
2	21	21	1,000	16	0	7-(S3)-5-(S3)-3-(S3)-1
3	25	20	1,000	20	1	7-(S3)-5-(S1)-3-(S1)-1
4	27	27	1,100	20	0	7-(S1)-6-(S1)-5-(S1)-3-(S1)-1
5	29	16	900	24	1	7-(S3)-5-(S3)-3-(B)-2-(B)-1
6	29	19	1,000	24	1	7-(S3)-5-(S3)-3-(S1)-1
7	32	24	1,000	25	1	7-(S1)-6-(S1)-5-(S1)-3-(B)-2-(B)-1
8	37	29	1,100	30	1	7-(S1)-6-(S1)-5-(S1)-3-(S3)-1
9	37	28	1,100	30	1	7-(S1)-6-(S1)-5-(S3)-3-(S3)-1

크이며, 이를 대상으로 알고리즘의 수행과정과 적용방안에 대하여 검토한다. 네트워크는 각 수단이 링크로 표현되어 12개의 링크와 7개의 노드로 구성되어 있다. 통행시간과 팔호 안에 포함된 거리가 링크의 통행저항으로 존재한다. 7개의 노드 중 환승이 가능한 노드는 3, 4, 5 이다. 각 환승노드의 아래(위)에 연결교통수단의 출발시간스케줄이 나타나 있다. 모든 수단은 각각 3개의 출발스케줄을 포함하고 있다. 출발지 1에서 도착지 7까지의 환승없이 연결이 가능한 노선은 2개의 지하철 노선으로 각각 지하철 1과 지하철 3이다. 그림 우측상단에 수단간 환승에 소요되는 시간이 나타나 있다. 수단의 기본요금은 버스 600원, 지하철은 800원이며, 기본요금거리는 12km, 추가할증거리는 6km이다. <그림 4>과 위에서 설명된 제약조건을 포함하여 수행된 알고리즘의 결과는 <표 1>~<표 6>에 출발지 1에서 도착지 7를 대상으로 설명되어 있다. 우선 <표 1>은 출발시간제약만을 포함하고 요금과

환승횟수는 제약하지 않은 결과로서, 최단경로를 나열한 것이다. 총 12개의 경로가 순차적인 통행시간에 따라 탐색되었다. 경로는 최단통행시간 순으로 순차적으로 제시되었으나, 요금은 6번째와 7번째 경로처럼, 통행시간은 6번째 경로가 적게 소요되나, 7번째 경로에 비하여 요금은 높게 나타났다. 이는 요금 계산을 위해 적용되는 벡터함수  $\mathcal{M}\{same_k\}$ 가 통행시간벡터순서를 그대로 받아들이기 때문이다. 환승횟수는 직접 연결된 지하철 1과 지하철 3만 0이고, 나머지 9개 경로는 최대 2번까지 환승하였다.

<표 2>는 출발시간제약과 최대지불요금 1,100원 및 최대환승횟수 1회 제약에 대하여 수행한 결과이다. 총 9개의 경로가 탐색되었으며, 3개의 제약조건을 만족하는 경로를 발견하였다. 벡터함수  $\mathcal{M}\{same_k\}$ 의 영향이 경로 4와 5에서도 발견되는 것으로 나타났다.

<표 3>은 출발시간제약과 최대지불요금 1,000원

<표 3> 서비스시간, 요금1,000원 환승횟수 0회의 K경로탐색

<Table 3> K Routes with Service Time, 1,000 Fare, and No Transfer Constaints

경로순서	통행시간	통행거리	요금	출발시간	환승회수	경로 목적지< 수단 <출발지
1	21	21	1,000	16	0	7-(S3)-5-(S3)-3-(S3)-1

<표 4> 서비스시간, 요금900원 환승횟수 1회의 K경로탐색

<Table 4> K Routes with Service Time, 900 Fare, and One Transfer Constaints

경로순서	통행시간	통행거리	요금	출발시간	환승회수	경로 목적지< 수단 <출발지
1	21	14	900	17	1	7-(S2)-5-(S2)-4-(B)-3-(B)-2-(B)-1
2	29	16	900	24	1	7-(S3)-5-(S3)-3-(B)-2-(B)-1

계약조건을 고려한 통합대중교통망의 대안경로탐색

<표 5> 환승1회, 요금 900원, 서비스시간제약조건 하의 K경로탐색과정(K=2)

<Table 5> Searching K(K=2) Routes with Service Time, 900 Fare, and One Transfer Constraints

반복	전링크		다음링크		통행소 시간(t)	링크출 시간(t)	환승 회수	기본요금 부과(백원)	환승요금 부과(백원)	할증요금 부과(백원)	총부과 요금(백원)	통행거리 (Km)
	탐색 링크	수단	탐색링크	수단								
0			1->2	B	(1,X)	(0,-)	(0,0)	(6,0)	(0,0)	(0,0)	(6,0)	(1,-)
			1->3	S1	(5,X)	(0,-)	(0,0)	(8,0)	(0,0)	(0,0)	(8,0)	(5,-)
			1->3	S3	(7,X)	(0,-)	(0,0)	(8,0)	(0,0)	(0,0)	(8,0)	(7,-)
1	1->2	B	1->3	S1	(5,X)	(0,-)	(0,0)	(8,0)	(0,0)	(0,0)	(8,0)	(5,-)
			1->3	S3	(7,X)	(0,-)	(0,0)	(8,0)	(0,0)	(0,0)	(8,0)	(7,-)
			2->3	B	(2,X)	(1,-)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(6,0)	(2,-)
2	2->3	B	1->3	S1	(5,X)	(0,-)	(0,0)	(8,0)	(0,0)	(0,0)	(8,0)	(5,-)
			1->3	S3	(7,X)	(0,-)	(0,0)	(8,0)	(0,0)	(0,0)	(8,0)	(7,-)
			3->4	B	(5,X)	(2,-)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(6,0)	(5,-)
			3->5	S1	(20,X)	(10,-)	(1,0)	(0,0)	(2,0)	(0,0)	(8,0)	(12,-)
			3->5	S3	(24,X)	(15,-)	(1,0)	(0,0)	(2,0)	(8,0)	(11,-)	
3	1->3	S1	1->3	S3	(7,X)	(0,-)	(0,0)	(8,0)	(0,0)	(0,0)	(8,0)	(7,-)
			3->4	B	(5,15)	(2,12)	(0,1)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(6,8)	(5,8)
			3->5	S1	(15,20)	(5,10)	(0,1)	(0,0)	(0,2)	(1,0)	(9,8)	(15,12)
			3->5	S3	(24,24)	(15,15)	(1,1)	(0,0)	(2,0)	(0,1)	(8,9)	(11,14)
4	3->4	B	1->3	S3	(7,X)	(0,-)	(0,0)	(8,0)	(0,0)	(0,0)	(8,0)	(7,-)
			3->5	S1	(15,20)	(5,10)	(0,1)	(0,0)	(0,2)	(1,0)	(9,8)	(15,12)
			3->5	S3	(24,24)	(15,15)	(1,1)	(0,0)	(2,0)	(0,1)	(8,9)	(11,14)
			4->5	S2	(17,X)	(12,0)	(1,0)	(0,0)	(2,0)	(0,0)	(8,0)	(10,-)
5	1->3	S3	3->5	S1	(15,20)	(5,10)	(0,1)	(0,0)	(0,2)	(1,0)	(9,8)	(15,12)
			4->5	S2	(17,X)	(12,-)	(1,0)	(0,0)	(2,0)	(2,0)	(8,0)	(10,-)
			3->5	S3	(16,24)	(7,15)	(0,1)	(0,0)	(0,2)	(0,2)	(9,8)	(16,11)
6	3->5	S1	4->5	S2	(17,X)	(12,-)	(1,0)	(0,0)	(2,0)	(0,0)	(8,0)	(10,-)
			3->5	S3	(16,24)	(7,15)	(0,1)	(0,0)	(0,2)	(1,0)	(9,8)	(16,11)
			5->6	S1	(25,X)	(20,-)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(9,0)	(17,-)
7	3->5	S3	4->5	S2	(17,X)	(12,-)	(1,0)	(0,0)	(2,0)	(0,0)	(8,0)	(10,0)
			5->6	S1	(25,X)	(20,-)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(9,0)	(17,-)
			5->7	S3	(29,X)	(24,-)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(9,0)	(16,0)
8	4->5	S2	5->6	S1	(25,X)	(20,-)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(9,0)	(17,-)
			5->7	S3	(29,X)	(24,-)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(9,0)	(16,0)
			5->7	S2	(21,X)	(17,-)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(9,0)	(14,0)
9	5->7	S2	5->6	S1	(25,X)	(20,-)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(9,0)	(17, )
			5->7	S3	(29,X)	(24,-)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(9,0)	(16,0)
10	5->6	S1	5->7	S3	(29,X)	(24,-)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(9,0)	(16,0)
11	5->7	S3										

X: 무한대 통행비용;

(.): 벡터함수  $\xi\{\min_K\{\}\}$  의해 탐색된 탐색링크 a.

및 최대환승횟수 0회 제약에 대하여 수행한 결과이다. 부과된 3개의 제약조건을 만족하는 경로는 단지 1개가 발견되었다.

<표 4>는 출발시간제약과 최대지불요금 900원 및 최대환승횟수 1회 제약에 대하여 수행한 결과이다. 부과된 3개의 제약조건을 만족하는 경로는 총 2개로, 900원 이하의 경로는 탐색되지 않았다.

<표 5>는 <표 4>에서 부과된 제약조건을 기반으로 링크표지확정 알고리즘에 근거하여 2개의 경로를 탐색하는 과정을 나타낸 것이다. 벡터합수

$\{\min_k\}$ 에 의해 탐색된 링크  $a$ 에서 인접링크  $b$ 로 탐색을 진행하는 과정에서 출발시간제약을 고려하며, 만약 환승횟수, 요금제약조건이 만족되지 않는 경우 탐색과정이 생략된다. 총 요금은 탐색이 진행되는 과정에서 통행거리를 고려하여 기본요금, 환승요금, 할증요금으로 각각 계산되어 합쳐진다.

<표 6>은 <표 5>의 계산결과를 출발지에서 각 링크로 확장된 K최소통행시간 경로트리로 재구성한 것이다. 지원링크벡터가 존재하기 때문에 목적지에 연결된 링크에서 출발지에 연결된 링크까지

지원링크벡터 요소를 역으로 추적하고, 이들 링크를 연결하면 완전한 경로로서 구성된다. <표 6>에서 2개의 목적지 연결링크 중 링크5->7(S2)와 5->7(S3)의 첫 번째 경로비용이 순차적으로 최소이므로 이들 링크의 지원링크벡터를 역으로 추적하여 <표 4>의 2개의 경로가 탐색된다.

## 5. 결 론

대중교통의 경로에 대한 정보는 통행시간, 요금, 환승 등의 통행에 영향을 미치는 다양한 변수가 존재하므로 단일의 최적경로에 대한 정보로 사용자의 요구를 충족시키기는 어렵다. 따라서 통행비용에 영향을 미치는 외부비용을 고려하여 나타낼 수 있는 다양한 경로에 대한 정보를 제공하는 것이 효과적인 대안이 될 수 있다. 특히 출발지와 목적지 간에 나타나는 경로에 대한 조건을 부과하여 어느 정도 부합되는 경로에 대한 정보 중에서 선택하는 것이 효과적이다.

이를 위해 본 연구에서 우선 링크표지확정 기법

<표 6> 출발지에서 모든 링크의 K최소시간경로트리  
<Table 6> K Minimum Link Time Path Tree from the Origin

링크(수단)	지원링크(수단)	통행시간(k)	통행요금(원)	환승횟수	통행거리(Km)
1 >2(B)	(-, -)	(1, X)	(600, -)	(0, -)	(1, -)
1 >3(S1)	(-, -)	(5, X)	(800, -)	(0, -)	(5, -)
1 >3(S3)	(-, -)	(7, X)	(800, -)	(0, -)	(7, -)
2 >3(B)	(1->2(B), -)	(2, X)	(600, -)	(0, -)	(2, -)
3 >4(B)	(2->3(B), 2->3(S1))	(5, 15)	(600, 800)	(0, 1)	(5, 8)
3 >5(S1)	(1->3(S1), 2->3(B))	(15, 20)	(900, 800)	(0, 1)	(15, 12)
3 >5(S3)	(1->3(S3), 2->3(B))	(16, 24)	(900, 800)	(0, 1)	(16, 11)
4 >5(S2)	(3->4(B), -)	(17, X)	(800, -)	(1, -)	(10, -)
5 >6(S1)	(3->5(S1), -)	(25, X)	(900, -)	(1, -)	(17, -)
5 >7(S2)	(4->5(S2), -)	(21, X)	(900, -)	(1, -)	(14, -)
5 >7(S3)	(3->5(S3), -)	(29, X)	(900, -)	(1, -)	(16, -)
6 >7(S1)	(-, -)	(X, X)	(-, -)	(-, -)	(-, -)

N >M(S) : K=1번째 경로추적

N >M(S) : K=2번째 경로추적

에 근거한 K최소통행시간 경로탐색알고리즘의 활용성을 확대하였으며, 제약조건을 부과된 경로를 구분하여 사용자가 경로에 대한 선택의 폭을 합리적으로 결정하는 방안을 시도했다. 이들 제약조건은 다양하게 나타날 수 있으나, 본 연구는 최근 대중교통체계개편의 정책적 기조를 근간으로 추진중인 버스과 지하철이 존재하는 통합대중교통망을 중심으로 세가지 제약조건 - 1) 대중교통 수단의 서비스시간제약, 2) 통합거리비례제의 요금제약, 3) 환승회수제약 - 을 고려하는 방안을 제안하였다.

사례연구를 통하여 제안된 알고리즘은 다양한 경로에 대한 정보뿐만 아니라, 다수의 조건에 부합되지 않는 경로를 선택적으로 제한할 수 있다는 사실을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. D. Shier, "On Algorithms from Finding the k Shortest Paths in a Network", *Networks*, vol. 9, pp.195-214, 1979.
- [2] M. Pollack, "The Kth Best Route Through A Network", *Operations Research*, vol. 9, pp 578-580, 1961.
- [3] R. Bellman and R. Kalaba, "On Kth Best Policies", *J. SIAM*, vol. 8, pp.582-588, 1968.
- [4] E.Q.V. Martins, "An Algorithm for Ranking Paths that May Contain Cycles", *European Operational Research*, vol. 18, pp.123-130, 1984.
- [5] J. A. Azevedo, M. E. O. S. Costa, J. J.E.R.S. Madeira, and E.Q.V. Martins, "An Algorithm from the Ranking of Shortest Paths", *European Journal of Operational Research*, vol. 69, pp 97-106, 1993.
- [6] J.Y. Yen, "Finding the K shortest Loopless Paths in a Network", *Management Science*, vol. 17, pp.711-715, 1971.
- [7] M. Lee, *Transportation Network Models and Algorithms Considering Directional Delay and Prohibition for Intersection Movement*, Ph. D. Thesis, University of Wisconsin-Madison, 2004.
- [8] 이미영, 백남철, 문병섭, 강원의, "거리비례제 요금정책에 따른 K요금경로탐색", *대한교통학회지*, 제23권, 1호, pp. 103-114, 2005.
- [9] J. Desrosiers and F. Soumis, "A Generalized Permanent Labeling Algorithm for the Shortest Path Problem with Time Windows", *INFOR*, vol. 26, pp. 191-211, 1988.
- [10] M. M. Solomon, "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints", *Operations Research*, vol. 35, pp. 254-265, 1987.
- [11] J. Desaulniers and D. Villeneuve, "The Shortest Path Problem with Time Windows and Linear Waiting Costs", *Transportation Science*, pp. 312-319, 2000.
- [12] Y. L. Chen and K. Tang, "Shortest Paths in Time-Schedule Networks", *Operations and Quantitative Management*, vol. 3, pp. 157-173, 1997.
- [13] Y. L. Chen and K. Tang, "Minimum Time Paths in A Network with Mixed Time Constraints", *Computer Ops Res.*, vol. 25, no. 10, pp. 793-805, 1998.
- [14] R.B. Potts and R.M. Oliver, "Flows in Transportation Networks", *Academic Press*, 1972.

〈저자소개〉



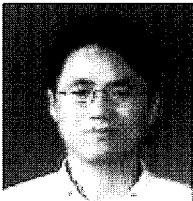
**이 미 영 (Mee Young Lee)**

1988년 : 경원대학교 경제학과 학사

1993년 : 경원대학교 도시계획학과 공학석사

2004년 : 미국 위스콘신주립대학교(Madison) 토목환경과 교통공학박사

2004년 6월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 첨단교통체계연구센터 선임연구원



**백 남 철 (Chul Nam, Baek)**

1993년 : 서울대학교 환경계획학과 석사

2002년 : 서울대학교 교통공학박사

~ 현재 : 한국건설기술연구원 첨단교통체계연구센터 선임연구원