

# 대중교통 정보제공(UTI)을 위한 경로정보제공 알고리즘 개발

## A Path Finding Algorithm for Ubiquitous Transportation Information (UTI) in Integrated Public Transportation Networks

조 종 석

(서울시정개발연구원 연구위원)

신 성 일

(서울시정개발연구원 연구위원)

### 목 차

- |                          |             |
|--------------------------|-------------|
| 1. 서론                    | 3.2 최적조건    |
| 2. 전체경로삭제기반 동적 K경로탐색     | 3.3 알고리즘 개발 |
| 2.1 동적 통합교통망의 표현         | 4. 사례연구     |
| 2.2 서비스시간제약을 고려한 동적K경로탐색 | 5. 결론       |
| 3. 대중교통 정보제공 알고리즘        | 참고문헌        |
| 3.1 표식                   |             |

## 1. 서론

대중교통망의 발달과 함께 대중교통 여행자에 대한 교통정보제공의 필요성이 증대하고 있다. 대중교통정보는 대중교통 여행자에게 출발지부터 도착지까지의 통행거리, 통행시간, 통행요금, 환승횟수, 좌석 존재 여부등의 대중교통 특성들을 포함하는 정보를 제공함으로써 대중교통 여행자의 편의를 도모하고 궁극적으로 대중교통 이용률 증진에 기여할 수 있다. 이러한 대중교통 통행정보 제공은 대중교통망에서의 경로탐색알고리즘을 구현함으로써 가능한데, 대중교통망은 일반가로망과는 달리 환승과 운행시간 특성을 포함하며, 통행자가 경로선택시 통행거리, 통행요금, 환승횟수 등과 같은 복수의 요소에 대해 고려가 필요하다.

대중교통을 이용한 통행에서 최적의 경로선택을 위한 현실적인 방법 중의 하나는 요인들을 제약조건을 이루는 변수들로 정의하고, 사용자의 임의대로(원하는 대로) 탐색된 경로집합을 줄여 나가면서 궁극적으로 단일(또는 소수)의 사용자의 의도가 반영된 궁극적인 최적의 선택경로에 도달하는 것이다.

본 연구에서는 사용자에게 영향을 미칠 수 있

는 요인들을 제약조건으로 구성하고 그들의 상한값을 변수화 함으로써 사용자의 경로탐색조건을 보다 자의적으로 축소해나가는 기법을 제안한다. 이를 위해 본 연구에서는 서비스시간 제약조건을 고려한 K경로탐색알고리즘에 기반하여 환승회수, 총통행시간, 좌석확보, 거리비례제의 요금제약, 환승시간을 제약조건으로 구축하고 최적의 경로를 탐색하는 방법을 제안한 후 서울시 및 수도권 도시철도망에 대하여 적용함으로써 맞춤형 환승교통정보를 구현해 본다.

적용되는 K경로탐색알고리즘은 전체경로삭제(Entire Path Deletion Method)에 근거하여 시간종속적(Time Dependent)인 개념으로 확장하여 향후 여행전(Pre Trip), 여행중(In Vehicle Route Guidance), 실시간적인 경로계획(Path Planning)에도 활용될 수 있는 기반을 구축하였다.

## 2. 전체경로삭제기반 동적 K경로탐색

본 장에서는 전체경로삭제기반 K경로탐색 알고리즘을 실시간적인 통합대중교통망에 적용이 가능하도록 시간종속적 알고리즘으로 구축하는 과정을 설명한다. 특히 사용자의 다양한 요구조건을 수용하기 위해 기본이 될 수 있는 출발시간제약이 고려되는 알고리즘을 구축한다. 정적교통망에서 전체경로삭제기반 K경로탐색 알고리즘에 대한 연구는 Martins(1984) Azevedo et al (1993)과 신성일(2004)에서 검토가 가능하다. 정적·복합 교통망의 K경로탐색에 대한 연구는 신성일, 노현수(2004)에서 시작하였다. 조종석(2006)은 출발시간제약을 고려한 동적K경로탐색 알고리즘을 개발하였으며, 그 내용은 다음과 같으며, 사용되는 표식은 다음과 같다.

$V$ : 노드집합;  $L$ : 링크집합;  $M$ : 통행수단;  
 $S$ : 서비스시간제약집합;  $T$ : 시간집합

$G(V, L, M, S, T)$ :  $V, L, M, S, T$ 로 구성된 시간 종속적 통합교통망

$G^{M^1}(V^{M^1}, L^{M^1}, S, T)$ : 링크(수단)로 확장된 최초의 교통망

$G^{M^k}(V^{M^k}, L^{M^k}, S, T)$ : 네트워크변형을 K번째 수행한 교통망

$c_a(t)$ :  $t$ 시간에 링크  $a$ 의 통행시간(Travel Time)

$T_{ab}(t)$ : 링크  $a$ 에서 링크  $b$ 로 전환 시 발생하는 환승시간(Transfer Time)

$W_{ab}(t)$ : 링크  $a$ 에서 링크  $b$ 로 전환 시 발생하는 대기시간(Waiting Time)

$\pi^{ra}(t)$ :  $r$ 에서  $t$ 시간에 출발하여 링크 $a$ 의 도착노드까지의 최소시간

$P^{ra}(t)$ :  $r$ 에서  $t$ 시간에 출발하여 링크 $a$ 의 도착노드까지 도착한 최소시간경로

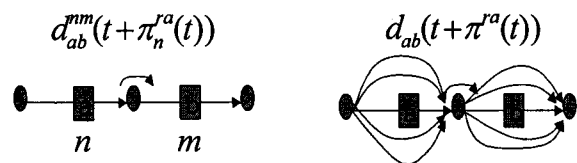
$P^{ra}(t) \oplus b$ : 경로  $P^{ra}(t)$ 의 마지막 링크  $a$ 에서 링크  $b$ 를 탐색하는 과정

$\Psi^{rb}$ : 경로  $P^{rb}(t)$ 에서 링크  $b(i, j)$ 의  $i$ 와  $j$ 가 한 번만 나타나는 경로집합

$P_k^{rs}(t)$ :  $r$ 에서  $t$ 시간에 출발하여 도착지  $s$ 까지 도착한  $k$ 번째 최소시간경로

### 2.1 시간종속적 동적 통합교통망의 표현

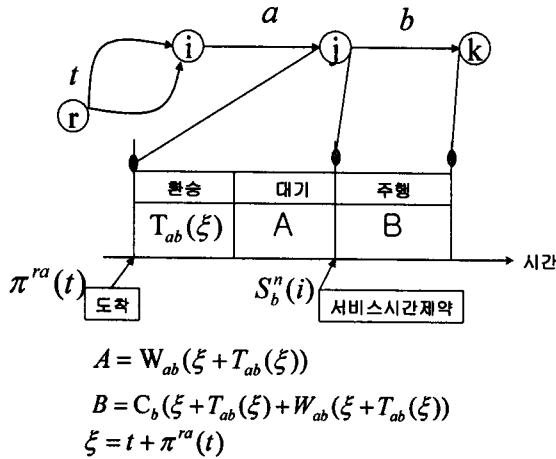
동일링크를 통행하는 복수수단을 표현하기 위해 본 연구에서 추구하는 방법은 동일링크에 통행하는 모든 수단을 링크로 처리하는 방안이다. 이 방법이 적용되면, 복합교통망에서는 출발노드와 도착노드가 동일하나 링크의 속성이 다른 복수의 링크를 포함하게 된다. 이 방법은 링크의 수가 노선 수에 비례하여 증가하는 단점이 있으나 수단의 특성이 링크로 반영되고 수단간 환승을 고려할 경우 수단 및 노선 특성에 따른 다각도의 분석이 가능하다는 장점이 있다(De Cea & Fernández, 1993). 또한 수단이 링크로 표현되었으므로 기존의 복합교통망에서 활용되고 있는 링크표지기반 K최적경로탐색알고리즘(Lee, 2004)을 적용하여 환승에 대한 처리가 용이하다. <그림1>은 두 인접링크( $a, b$ )를 통행하는 수단( $m, n$ )에서 시간  $t + \pi_n^{ra}(t)$ 에서의 환승시간( $d_{ab}^{nm}(t + \pi_n^{ra}(t))$ )를 수단링크확장을 통하여 수단이 제외된( $d_{ab}(t + \pi^{ra}(t))$ )로 단순화하여 고려되고 있음을 나타내고 있다.



<그림 1> 수단( $n, m$ )의 환승시간 반영 및 동일링크에서 수단확장

## 2.2 출발시간제약을 고려한 동적K경로 탐색

통합교통망에서 환승을 통해서 타 수단으로 전환하는 경우 다음 수단의 출발시간까지 수단의 도착시간, 환승시간, 대기시간을 고려하여 최적경로를 탐색한다. <그림2>는 이러한 과정을 도식화하여 설명한 것으로, 링크(수단) a와 링크(수단) b가 교차하는 지점에서 환승하는 경우를 나타내며, 링크a에 도착시간을  $\pi^{ra}(t)$ , 링크(수단) b로의 환승시간을  $T_{ab}(t + \pi^{ra}(t))$ , 대기시간을  $W_{ab}(t + \pi^{ra}(t) + T_{ab}(t + \pi^{ra}(t)))$ 로 각각 정의될 수 있다.



<그림2> 서비스시간제약 고려한 최적조건 개념도

### 1) 최적식

최적식(1)은 그림<2>의 서비스시간 개념을 포함한 최적식을 구축한 것으로, 링크(수단) a에서 링크(수단) b로 환승하는 경우 도착시간, 환승시간, 대기시간을 고려하여 최소의 통행시간경로를 산정하는 것을 나타낸다. 최적식(1)이하의 제약조건은 도착과 환승과 대기는 가장 빠른 서비스시간 스케줄 이전에 이루어져야 함을 나타낸다.

$$\pi^{rb}(t) = \min \left\{ \begin{array}{l} \pi^{ra}(t) + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)) + C_b(\xi + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi))) \\ C_b(\xi + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi))) \end{array} \right\} \forall a \in \Gamma_b, \forall b \quad (1)$$

여기서

$$\begin{aligned} \xi &= t + \pi^{ra}(t) \\ W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)) &= S_b(i) - \pi^{ra}(t) - T_{ab}(\xi) \\ \pi^{ra}(t) + T_{ab}(\xi) &\leq S_b(i) \\ S_b(i-1) &< \pi^{ra}(t) + T_{ab}(\xi) \\ i &= [1, 2, \dots, I] \end{aligned}$$

### 2) 알고리즘

최적식(1)의 해를 구하기 위하여 전체경로삭제기법을 고려한 알고리즘은 다음과 같다.

단계1: 초기 교통망  $G^{M^1}$ 에 서비스시간제약을 고려한 링크기반 동적 최소시간경로탐색알고리즘을 수행하여  $P_1^{rs}(t)$  발견

단계2:  $k=2$ 부터  $K$ 까지 반복

네트워크 확장알고리즘으로  $G^{M^k}$ 에서  $G^{M^{k+1}}$ 의 구축

$G^{M^k}$ 에 추가된 노드 및 링크표지를 서비스시간제약을 고려하여 확정 ( $P_k^{rs}(t)$ )

### <단계1의 세부 알고리즘>

전체경로삭제알고리즘 단계1의 서비스시간제약을 고려한 표지기반 동적 최소시간경로탐색알고리즘을 고려하여 최소시간경로  $P_1^{rs}(t)$ 를 탐색하는 알고리즘은 다음과 같다.

#### 단계1-1: 초기화

출발지  $r$ 이 시작노드인 링크(수단)  $e$ 의  $t$ 시간의 최적통행시간(표지)을 링크(수단)통행시간으로 초기화하고( $\pi^{re}(t) = c_e(t)$ ) 이 링크(수단)를 탐색링크(수단)집합  $Q$ 에 저장.

이때  $Q$ 에 저장되지 않은 링크(수단)  $a$

( $\forall a \in Q$ )에 대해서는 무한대 시간 ( $\pi^{ra}(t) = \infty$ )으로 초기화.

**단계1-2: 다음 탐색 링크(수단)의 결정**

집합  $Q$ 에서 최소통행시간표지를 갖는 링크(수단)를 다음 탐색링크(수단)로 선정하며, 선정된 링크(수단)를 집합  $Q$ 에서 삭제.

이때  $Q$ 에 포함된 링크(수단)가 존재하지 않으면 종료.

이때 목적지  $S$ 를 끝노드로 하는 링크(수단)중 최소통행시간표지를 갖는 링크(수단)의 시간이 동적 최소통행시간경로( $P_1^r(t)$ )의 통행시간.

**단계1-3: 인접 링크(수단) 탐색**

단계2에서 선정된 링크(수단) $a$ 의 끝노드가 시작노드인 인접 연결 링크(수단) $b$ 에 대하여 링크(수단) $b$ 의 서비스시간을 고려하여 수단 환승에서 발생하는 환승소요시간( $T_{ab}(\xi)$ )과 환승대기시간( $W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi))$ )이 서비스시간 전에 만족되어 통행이 합리적으로 이루어지는 최적조건

$$\pi^{rb}(t) \geq \left( \frac{\pi^{ra}(t) + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)) + c_b(\xi + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)))}{c_b(\xi + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)))} \right)$$

을 만족시키는 링크(수단)  $b$ 를  $Q$ 에 포함한 후 단계2 반복. 이때  $\xi = t + \pi^{ra}(t)$ .

**<단계2의 세부 알고리즘>**

■  $G^{M^k}$ 에 포함된 링크( $a$ )와  $G^{M^{k+1}}$ 에 포함된 링크( $b$ )에 대해

$$\pi^{rb}(t) =$$

여기서  $\forall a \in L^{M^k}, \forall b \in L^{M^{k+1}}$

$$P^{ra}(t) \oplus b \in \Psi^b$$

이 경우  $\xi = t + \pi^{ra}(t)$

■  $G^{M^{k+1}}$ 에 포함된 링크( $a, b$ )에 대하여  $\pi^{rb}(t) =$

여기서  $\forall a \in L^{M^k}, \forall b \in L^{M^{k+1}}$

$$P^{ra}(t) \oplus b \in \Psi^b$$

이 경우  $\xi = t + \pi^{ra}(t)$

**3. 대중교통정보제공 알고리즘**

대중교통 이용자에게 경로정보를 제공하는 핵심기능으로서 고려될 수 있는 방안은 사용자의 요구조건과 대중교통수단의 스케줄을 함께 반영하여 대안의 경로집합을 제안하는 것이다. 2장에서 언급된 출발시간 스케줄은 수단의 조건을 반영한 것으로, 본 장에서는 이에 덧붙여 이용자가 통행수단 선택시 고려할 수 있는 다양한 조건들의 반영이 필요하다. 이러한 로드맵이 완성되면 실제적인 이용자 개인에게 적합한 맞춤형 대중교통정보체계가 실현된다고 볼 수 있다.

본 장에서는 복수의 대중교통수단이 존재하는 교통망에서 이용자의 경로선택시 반영될 수 있는 통행시간, 환승시간, 좌석여부, 요금, 출발시간을 고려하여 K경로탐색에 반영하는 알고리즘을 제안하였다.

본 장에서 사용하는 표식은 2장의 서비스시간제약을 고려한 동적K최소시간경로탐색에서 사용한 표식을 사용하였으며, 사용자의 제약조건을 추가하기 위하여 환승회수  $\Theta^{ra}(t)$ , 환승시간  $\Xi^{ra}(t)$ , 좌석확보  $\Lambda^{ra}(t)$ , 요금  $F^{ra}(t)$ 과 관련된 변수를 추가하였다.

$\Theta^{ra}(t)$  : r에서 t시간에 출발하여 링크a의 도착노드까지의 환승회수

$\Xi^{ra}(t)$  : r에서 t시간에 출발하여 링크a의 도착노드까지의 환승시간

$\Lambda^r(t)$  : r에서 t시간에 출발하여 링크b의 잔여좌석(예약)

$F^r(t)$  : r에서 t시간에 출발하여 링크a의 도착노드까지 요금

- $\Theta^{rb}(t) \leq \bar{\Theta}$  : 최대환승횟수제약
- $\pi^{rb}(t) \leq \bar{\pi}$  : 최소통행시간제약
- $\Xi^{rb}(t) \leq \bar{\Xi}$  : 최대환승시간제약
- $\Lambda^{rb}(t) \leq \bar{\Lambda}$  : 좌석확보여부
- $F^{rb}(t) \leq \bar{F}$  : 최대요금제약

### 3.1 최적식

환승수단의 서비스시간제약, 환승회수제약, 환승시간제약, 최소통행시간제약, 좌석예약제약, 요금제약을 제약조건으로 반영하여 사용자가 최소통행시간경로를 선정하기 위한 최적식을 구상하면 다음과 같다.

최적식은 서비스시간을 고려한 동적최소시간 경로탐색알고리즘의 최적식과 동일하나, 서비스시간제약을 제외한 나머지 제약식은 사용자가 값을 임의적으로 조정할 수 있는 계수변수(Parameter Variables)들 (최대환승회수 ( $\bar{\Theta}$ ), 최대환승시간 ( $\bar{\Xi}$ ), 최대통행시간( $\bar{\pi}$ ), 최대가능좌석수( $\bar{\Lambda}$ ), 최대지불요금( $\bar{F}$ )변수를 사용하며, 조건식에 맞지 않을 경우 경로의 탐색을 중지한다.

최적식(2)은 링크(수단) a에서 링크(수단) b로 환승하는 경우 환승시간의 서비스시간스케줄을 고려하며, 환승시간, 대기시간, 주행시간을 고려한 최소의 통행시간경로를 산정하는 것을 나타낸다. 여기서 추가된 선호도제약조건과 계수변수의 상한값을 임의로 조정하여(반복적수행을 통하여) 사용자의 조건과 요구에 부합하는 최적의 대안경로집합을 구축할 수 있다. 궁극적으로는 사용자는 일부 계수변수의 미세한 수치의 변화를 통해 최적해에 도달할 수 있다.

$$\pi^{rb}(t) = \min \left[ \begin{array}{l} \pi^{ra}(t) + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)) \\ + C_b(\xi + T_{ab}(\xi)) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)) \end{array} \right] \quad (2)$$

여기서,  $\forall a \in \Gamma^{\dagger}$

여기서 서비스시간제약은 동일하며, 기타 제약은 다음과 같다.

### 3.2 알고리즘

최적식의 해를 구하기 위하여 전체경로삭제 기법을 활용한 알고리즘은 다음과 같다.

#### <알고리즘>

단계1: 초기 교통망  $G^{M^1}$ 에 서비스시간제약과 경로선호도를 고려한 링크기반 시간종속적 최소시간경로탐색알고리즘을 수행하여  $P_1^{rs}(t)$  발견

단계2: k=2부터 K까지 반복

네트워크 확장알고리즘으로  $G^{M^{k-1}}$ 에서  $G^{M^k}$ 의 구축

$G^{M^k}$ 에 추가된 노드 및 링크표지를 서비스시간제약과 경로선호도를 고려하여 확정 ( $P_k^{rs}(t)$ )

#### <단계1의 세부알고리즘>

전체경로삭제알고리즘 단계1의 서비스시간제약과 최소통행시간제약, 최대환승시간제약, 좌석확보제약, 최대부과요금제약을 고려한 표지 기반 동적 최소시간경로탐색알고리즘을 고려하여 최소시간경로  $P_1^{rs}(t)$ 를 탐색하는 알고리즘은 다음과 같다.

단계 1-1: 초기화

출발지 r이 시작노드인 링크(수단)e의 t시간의 링크(수단) 통행시간이 최대통행시간제약

( $\pi^{re}(t) \leq \bar{\pi}$ ), 최대환승시간제약( $\Xi^{re}(t) = 0 \leq \bar{\Xi}$ ), 좌석확보(혼잡도)제약 ( $\Lambda^e(t) \leq \bar{\Lambda}$ ), 최대요금제약( $F^{re}(t) \leq \bar{F}$ )을 만족하면 ( $\pi^{re}(t) = c_e(t)$ )하고 링크(수단)를 탐색링크(수단)집합  $Q$ 에 저장. 이때  $Q$ 에 저장되지 않은 링크(수단)  $a$  ( $\forall a \notin Q$ )에 대해서는 무한대 시간( $\pi^{ra}(t) = \infty$ )으로 초기화.

### 단계1-2: 다음 탐색 링크(수단)의 결정

집합  $Q$ 에서 최소통행시간표지를 갖는 링크(수단)를 다음 탐색링크(수단)로 선정하며, 선정된 링크(수단)를 집합  $Q$ 에서 삭제.

이때  $Q$ 에 포함된 링크(수단)가 존재하지 않으면 종료.

이때 목적지  $s$ 를 끝노드로 하는 링크(수단) 중 최소통행시간표지를 갖는 링크(수단)의 시간이 동적 최소통행시간경로( $P_1^{rs}(t)$ )의 통행시간.

### 단계1-3: 인접 링크(수단) 탐색

단계2에서 선정된 링크(수단)  $a$ 의 끝노드가 시작노드인 인접 연결 링크(수단)  $b$ 에 대하여 링크(수단)  $b$ 의 서비스시간을 고려하여 수단 환승에서 발생하는 환승소요시간( $T_{ab}(\xi)$ )과 환승대기시간( $W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi))$ )이 서비스시간 전에 만족되면서,

• 최대통행시간제약:

$$\left[ \begin{array}{l} \pi^{ra}(t) + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)) \\ + C_b(\xi + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi))) \end{array} \right] \leq \bar{\pi}$$

• 최대환승시간제약:

$$\Xi^{ra}(t) + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)) \leq \bar{\Xi}$$

• 좌석확보(혼잡도)제약:  $\Lambda^b(t) \leq \bar{\Lambda}$

• 최대요금제약;  $F^{rb}(t) \leq \bar{F}$

을 만족하는 최적조건

$$\pi^{rb}(t) \geq \left[ \begin{array}{l} \pi^{ra}(t) + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)) \\ + C_b(\xi + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi))) \end{array} \right]$$

에 대하여 링크(수단)  $b$ 를  $Q$ 에 포함하고, 통행시간, 환승시간, 요금을 계산한 후 단계1-2를 반복. 이때  $\xi = t + \pi^{ra}(t)$ .

### <단계2의 세부알고리즘>

■  $G^{M^k}$ 에 포함된 링크( $a$ )와  $G^{M^{k+1}}$ 에 포함된 링크( $b$ )에 대해

$$\pi^{rb}(t) =$$

여기서  $\forall a \in L^{M^k}, \forall b \in L^{M^{k+1}}$

$$P^{ra}(t) \oplus b \in \Psi^b$$

을 수행하며, 다음의 제약 조건을 만족하게 함.

• 최대통행시간제약:

$$\left[ \begin{array}{l} \pi^{ra}(t) + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)) \\ + C_b(\xi + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi))) \end{array} \right] \leq \bar{\pi}$$

• 최대환승시간제약:

$$\Xi^{ra}(t) + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)) \leq \bar{\Xi}$$

• 좌석확보(혼잡도)제약:  $\Lambda^b(t) \leq \bar{\Lambda}$

• 최대요금제약;  $F^{rb}(t) \leq \bar{F}$

■  $G^{M^{k+1}}$ 에 포함된 링크( $a, b$ )에 대하여

$$\pi^{rb}(t) =$$

여기서  $\forall a \in L^{M^k}, \forall b \in L^{M^{k+1}}$

$$P^{ra}(t) \oplus b \in \Psi^b$$

을 수행하며, 다음의 제약 조건을 만족하게 함.

• 최대통행시간제약:

$$\left[ \begin{array}{l} \pi^{ra}(t) + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)) \\ + C_b(\xi + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi))) \end{array} \right] \leq \bar{\pi}$$

• 최대환승시간제약:

$$\Xi^{ra}(t) + T_{ab}(\xi) + W_{ab}(\xi + T_{ab}(\xi)) \leq \bar{\Xi}$$

• 좌석확보(혼잡도)제약:  $\Lambda^b(t) \leq \bar{\Lambda}$

• 최대요금제약;  $F^{rb}(t) \leq \bar{F}$

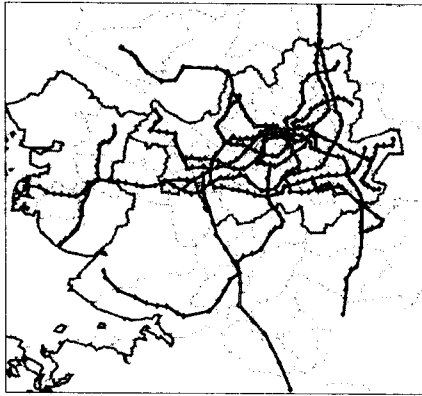
#### 4. 사례연구

##### 1) 적용 네트워크

개발된 동적K경로알고리즘이 현실교통망과 같은 대규모 교통망에서도 합리적인 경로를 탐색하는가를 검증하기 위해 서울시 도시철도 및 수도권 철도망에 대하여 적용해 보았으며, 이를 위해 역간거리, 노선별 표정속도, 환승역별 환승시간 등의 실제대중교통속성자료를 사용하였다.

##### 가. 적용네트워크

동적K최소시간경로탐색알고리즘 적용을 위해 사용한 서울시 및 수도권철도망은 2006년 5월 기준으로 철도 및 지하철역을 대표하는 362개의 노드, 804개의 링크, 60개(방향별로는 419개)의 환승노드(환승역)로 구성된다(<그림3> 참조).



<그림3> 수도권 지하철 노선도

또한, 각 역별 통과노선 및 역간 거리, 배차간격, 환승역별 환승시간 등은 <표1>~<표4>와 같으며, 철도 네트워크를 구축하기 위하여 사용된 자료는 노드자료, 링크자료, 각 호선의 평균표정속도자료, 환승통행자료를 사용하였다.

<표1> 입력 노드자료의 예

노드 번호	역 이름	역 번호	x좌표	y좌표	환승 횟수	호선 1	호선 2	호선 3
1	의정부북부	503	204038.42	469867.95	0	91	0	0
2	의정부	502	204117.17	468503.52	0	91	0	0
3	회룡	501	204117.17	467244.04	0	91	0	0
⋮								

<표2> 입력 링크자료 예

링크번호	시작노드	도착노드	링크길이 (km)	호선
1	1	2	1.2	91
2	2	3	1.6	91
3	2	1	1.2	91
4	3	4	1.4	91
5	3	2	1.6	91
⋮				

<표1>의 수도권 철도 노드자료 및 <표2>의 링크자료는 『연도별 서울시 교통지표 산출(서울시정개발연구원, 2005)』에서 구축한 EMME/2 네트워크자료를 사용하였으며, <표3>의 노선별 표정속도자료는 서울시 도시철도공사 자료를 사용하였다.

<표3> 호선표기 및 표정속도

Notation	기관	호선	구간	표정속도 1(km/h)
1	서울지하철 공사	1호선	회기-용산	31.2
2		2호선	시청-시청	33.6
3		3호선	구파발-수서	34.0
4		4호선	당고개-남태령	35.8
5	서울도시철도 공사	5호선	방화-상일동	32.7
6		6호선	봉화산-응암	30.1
7		7호선	장암-은수	32.3
8		8호선	암사-모란	34.2
91	한국철도공사	경원선	의정부북부-회기	36.0
92		분당선	선릉-보정	37.7
93		경부선	서울역-천안	46.2
94		안산선	금정-오이도	37.6
95		경인선	구로-인천	34.8
96		과천선	남태령-금정	45.0
97		일산선	지축-대화	41.8
98		중앙선	용산-덕소	40.8
99	인천지하철 공사	인천선	굴현-동막	32.6

자료: 도시철도공사, 2004 수송계획

통행시간은 구간통행시간과 환승시간으로 구성되며, 이때 구간통행시간은 노선별로 구해지며 적용된 통행시간함수는 식(3.5)과 같다.

노선별구간통행시간(t)

$$= \frac{\text{구간통행거리}(km)}{\text{노선별표정속도}(km/h)} * 3600/\text{시}/10$$

환승시간은 환승소요시간자료와 (평균)대기시간으로 구성되는데, 환승소요시간은 「대중교통이동성분석지표 개발(서울시정개발연구원,2005년)」에서 구축한 환승통행실태 자료를 사용 하였으며, 이때 환승소요시간이라 함은 환승시작역 플랫폼의 중간에서 환승도착역의 플랫폼의 중간까지의 물리적 도보통행시간을 의미한다. 대기시간은 해당호선에 대하여 평균 배차간격(f)의 1/2로 평균대기시간개념을 사용 하였다.

<표4> 환승통행자료 예

환승 노드 번호	시작 노드	환승 노드	도착 노드	환승 소요 시간(분)	배차 간격 (분)	평균 대기 시간 (분)
1	도봉	도봉산	장암	1.78	3.00	1.50
2	도봉	도봉산	수락산	1.66	3.00	1.50
3	망월사	도봉산	장암	1.93	3.00	1.50
4	망월사	도봉산	수락산	1.80	3.00	1.50
5	장암	도봉산	도봉	1.78	3.00	1.50
6	수락산	도봉산	도봉	1.66	3.00	1.50

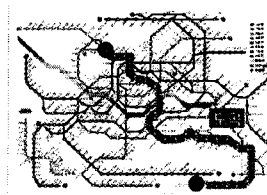
알고리즘 적용시 출발시간은 0t(t=10초)로 통일하였으며, 각 시간간격 t와 관계없이 역간 통행시간, 환승소요시간은 일정하다고 가정하였다. 즉, 역간 통행시간은 오직 <표3>의 표정속도에만 의존하며, 환승소요시간 역시 시간간격 t와 관계없이 역별로 <표4>의 값을 갖는다고 가정하였다.

본 연구에서 구축된 알고리즘을 토대로 대안 경로와 동적정보를 고려한 맞춤형 환승교통정보를 서울시 및 수도권도시철도망에 적용해 보았다. 이를 위해 3장에서 구축한 서비스시간제약을 고려한 동적K최소시간알고리즘에 <표5>와 같은 시나리오 1과 시나리오 2의 두 가지 제약조건을 포함시켜 통행자의 선호도를 고려한 맞춤형 정보를 구현시켜 보았으며, 그 결과는 시나리오1은 <그림4>, <표6>와 같으며, 시나리오2는 <그림5>, <표7>과 같다.

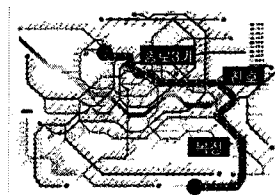
<표5> 맞춤형 교통정보를 위한 제약조건

	시나리오 1	시나리오 2
제약 조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>·총요금 : 1600원</li> <li>·총환승횟수: 5회</li> <li>·환승시간:200t</li> <li>·총통행시간: 1550t</li> <li>·잔여좌석: 존재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·총요금 : 1400원</li> <li>·총환승횟수: 2회</li> <li>·환승시간:60t</li> <li>·총통행시간: 600t</li> <li>·잔여좌석수: 존재</li> </ul>

<표5>의 제약조건을 토대로 경로선호도를 고려한 동적K최소시간경로탐색결과 통행자가 시나리오 1 또는 시나리오 2의 조건에서 통행시간을 최소화할 경우, 즉 시나리오 1에서 총요금이 1600원 미만이며, 환승횟수는 5회 이하, 환승시간은 200t 이하, 총통행시간은 1550t이하로서 잔여좌석이 있는 경로를 찾을 경우 <그림4>과 <표6>에서 알 수 있듯이 녹번역에서 미금역까지 5개의 경로가 제공되어짐을 알 수 있다. 반면에 시나리오 2의 경우에는 <그림5>과 <표7>에서 알 수 있듯이 시나리오 1의 5개 경로 중 시나리오 2의 제약조건을 만족시키는 오직 1개의 경로만 탐색되어짐을 알 수 있다.

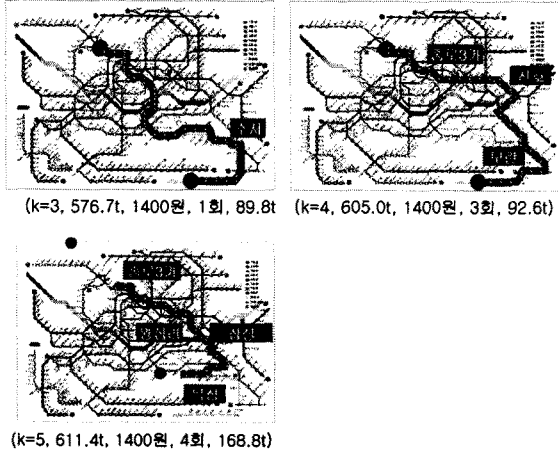


(k=1, 523.4t, 1400원, 1회, 46.9t.)



(k=2, 546.1400원, 3회, 71.6t)



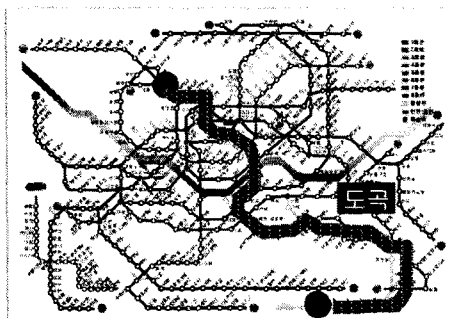


<그림4> 맞춤형 교통정보제공결과(시나리오1)

<표6> K최소통행시간알고리즘을 활용한 맞춤형 교통정보제공결과 요약 (시나리오1)

K	구간통행 시간(t)	거리 (km)	요금 (원)	환승 횟수	환승소요 시간(t)	환승대기 시간(t)
1	523.4	47.3	1400	1	9	37.9
2	546.1	45.8	1400	3	33.0	38.6
3	576.7	47.8	1400	1	8.5	81.3
4	605.0	49.0	1400	3	36.5	56.1
5	611.4	43.0	1400	4	58.3	110.5

또한, 선호도를 고려한 동적k최소시간경로탐색 알고리즘의 개별 경로 궤적을 살펴보았을 때, 위의 제약조건을 만족시키며 서비스시간제약을 고려한 합리적인 최소통행시간경로를 탐색하는 것을 확인할 수 있어, 본 장에서 구축한 알고리즘이 대규모 교통망에서의 맞춤형 정보 구현에 적용될 수 있음을 보여 주었다.



<그림5> 맞춤형 교통정보제공결과(시나리오2)

<표7> K최소통행시간알고리즘을 활용한 맞춤형 교통정보제공결과 요약 (시나리오2)

K	구간통행 시간(t)	거리 (km)	요금 (원)	환승 횟수	환승소요 시간(t)	환승대기 시간(t)
1	523.4	47.3	1400	1	9	37.9

## 5. 결론

본 연구에서는 통행거리, 통행요금, 환승횟수, 좌석여부 등의 대중교통망에서의 환승교통정보제공을 위해 유입기반 전체경로삭제기법을 기반으로한 K경로탐색 알고리즘에 사용자의 다양한 요구조건(수단의 출발시간, 도착시간, 환승시간, 대기시간, 혼잡등 등)을 고려하여 대안경로정보를 제공하는 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘은 수도권 도시철도망에 적용해 본 결과 합리적인 경로가 산출되어짐을 알 수 있었으며, 이러한 알고리즘 개발을 통해 대중교통망에서 통행자가 자신의 요구조건에 부합하는 경로를 제공받는 것이 가능해졌으며, 따라서, 향후 유비쿼터스 시대의 대중교통 이용을 증진할 수 있도록 실시간 동적통행정보제공에 적합한 기초알고리즘으로서 활용될 것으로 예상되어진다.

## 참고문헌

1. 신성일, 노현수 (2004), K링크비루프 최적경로 탐색 알고리즘과 복합대중교통망에의 활용, 교통정책연구, 제11권, pp.83~103
2. 조종석 (2006), 출발시간제약이 존재하는 동적 복합교통망의 K최소시간경로탐색, 대한교통학회지, pp167~176
3. 신성일 (2004) 교통망에 적합한 K 비루프 경로 탐색 알고리즘, 대한교통학회지, 제22권 6호, pp. 121~131.
4. Lee M. (2004), Transportation Network Models and Algorithms Considering Directional Delay and Prohibition for Intersection Movement, Ph.D. Dissertation, University of Wisconsin Madison.
5. Azevedo J. A., Costa M. E. O. S., Madeira

- J.J.E.R.S., and Martins E.Q.V. (1993) An Algorithm from the Ranking of Shortest Paths, European Journal of Operational Research, Vol. 69, pp 97~106.
6. De Cea. J. and J.E. Fernández. (1993) Transit Assignment for Congested Public Transport Systems: An Equilibrium Model, Transportation Science Vol. 27.
  7. Lozano A. and Storchi G. (2001) Shortest Viable Path Algorithm in Multimodal Networks, Transportation Research A 35(3), pp225~241.