

ATIS에서 기종점의 경로인지특성을 반영한 경로정보제공방안

A Route Information Provision Strategy in ATIS Considering User's Route Perception of Origin and Destination

조 종 석* 손 기 민** 신 성 일***
(Chong-Suk CHO) (Kee-Min SOHN) (Seong-il SHIN)

요 약

교통망에서 경로의 총 통행비용은 통행비용과 인지비용으로 구분된다. 출발지와 도착지간에 상이하게 인지되는 비용을 고려하여 경로를 탐색하는 것은 전체경로를 열거해야 하는 문제 때문에 현실 적용에 한계가 있다. 따라서 현재 활용되고 있는 첨단교통정보체계(ATIS)에서 경로정보를 제공할 때 통행비용만을 고려하여 경로를 탐색하는 기법을 적용하는 것이 일반적이다. 본 연구는 경로열거문제 없이 상이한 링크인지비용을 반영하는 최적 및 K경로탐색기법을 제안한다. 이를 위해 링크를 경로의 최소단위로 정의하고, 따라서 두 링크의 비교가 경로의 비교로 확대되는 링크표지 기반 경로탐색기법을 활용하며, 도착지를 기반으로 후방향 최적링크인지경로트리를 구축한 후 출발지 기반으로 전방향 최적의 링크총비용 경로트리를 구축하는 수식과 알고리즘을 제안한다.

Abstract

Route travel cost in transportation networks consists of actual route travel cost and route perception cost. Since the route perception cost is differently perceived according to each origin and each destination, route search has limitation to reflect the route perception cost due to route enumeration problem. Thus, currently employed advanced traveller information systems (ATIS) have considered only actual route travel cost for providing route information. This study proposes an optimal and a K-route searching algorithm which are able to reflect the route perception cost but encompass route enumeration problem. For this purpose, this research defines the minimum unit of route as a link by adopting the link label technique in route searching, therefore the comparison of two adjacent links which can be finally expanded the comparison of two routes. In order to reflect the characteristics of route perception in real situation, an optimal shortest cost path algorithm that both the forward search from the origin and the backward search from the destination can be simultaneously processed is proposed. The proposed algorithm is applied for finding K number of shortest routes with an entire-path-deletion-type of K shortest route algorithm.

Key Words : Route Perception, Link Label, Optimal Path, K Shortest Cost Path, Entire Path Deletion

I. 서 론

출발지와 도착지를 연결하는 최적경로를 탐색함

에 있어 일반적인 경로비용에 대한 가정은 경로를 구성하는 링크통행비용의 합으로 구성된다는 것이다. 이는 출발지와 도착지의 특성과는 무관하게 링

* 주저자 : 서울시정개발연구원 도시교통부 연구원
** 공저자 : 서울시정개발연구원 도시교통부 연구위원
* 논문접수일 : 2005년 8월 30일

크의 통행비용을 동일하게 인지한다는 가정을 기반으로 한 것이다. 그러나, 현실적으로 최적경로를 선택함에 있어 출발지와 도착지에 따라 링크를 상이하게 인지하여 경로선택에 반영하는 특성이 존재한다.

예를 들면, 여행하려는 지역의 교통상황에 대한 정보가 부족하다면 고속도로 및 주요간선도로와 같이 시인성이 뛰어난 도로구간(링크)을 먼저 인지하고 출발지에서 이 도로구간으로 접근하고 도로구간으로 최대한 목적지 주변까지 근접하여 목적지로 이탈하여 목적지에 도달하기 위해 주변에서의 접근에 대한 오류를 줄이려고 한다. 이 경우 최적경로로서 보다 많은 통행시간 및 비용이 발생하더라도 시인성 및 안정성이 확보된 경로를 최적경로로 인식하는 경향이 존재한다. 또 다른 예로서, 교통망 상황에 대해 매우 친숙한 근거리의 지점간 통행에 대해서는 세 가로로의 통행이라도 통행시간을 최소화하는 것이 우선적으로 고려되는 경로인지행태를 나타내게 된다.

그 동안 최적경로탐색알고리즘에 이러한 경로인지특성이 반영되지 못했던 원인으로는 출발지와 도착지를 연결하는 경로에 따라 링크를 인지하는 비용이 상이하게 적용되기 때문이다. 이는 출발지와 도착지를 연결하는 최적경로를 탐색하기 위해서는 모든 경로에 대해 비교해야 하는 경로열거문제(Route Enumeration Problem)로 확산되기 때문에 교통망의 규모가 어느 정도 커지게 되면 경로의 열거에 의한 계산은 일반적으로 현재의 컴퓨터 계산 방식으로는 불가능하거나 한계가 존재한다 (Ran, et al, 1996).

이러한 경로인지특성에 대한 대안적인 방법으로서 확률적 경로탐색알고리즘(Hall, 1986)이 오래전부터 연구되기 왔으나, 링크평균비용 이외의 항목에 대해서는 설명되지 않는 오차항(Error Term)의 가정을 기반으로 분포함수로서 계산하므로 경로인지특성이 평균적으로 경로비용을 유발하는 행태와 매우 상이한 경우를 포괄적으로 설명하기에도 한계가 존재하여(Daganzo & Sheffi, 1977; Sheffi & Powell, 1982) 확률적 경로탐색알고리즘에도 경로인지비용을 설명하려는 시도는 성공적이었다고

할 수 없다.

본 연구에서는 출발지와 도착지에서 경로의 열거문제를 발생시키지 않으면서 경로상에 상이한 링크인지비용을 반영하는 확정적 경로탐색을 위한 최적식과 알고리즘을 제안하여 최적경로탐색뿐만 아니라 K개의 경로탐색알고리즘의 기반을 조성한다. 본 연구에서는 우선 경로의 최소단위를 링크로 정의하여 링크간의 비교가 경로간의 비교로 확대될 수 있도록 링크표지(Link Label) 탐색기법을 도입하여 최적경로를 탐색하는 기반을 마련한다. 또한 출발지와 목적지에서 고려된 링크의 인지특성을 반영하기 위하여 출발지를 기반으로 전방최적경로탐색, 목적지를 기반으로 후방최적경로탐색 기법을 동시에 적용하는 방안을 강구한다. 양방향(Bi-Directional) 최적경로탐색은 최적해가 보장되지 못하므로 목적지에서 후방으로 구축된 최적인지트리에서 계산된 인지특성을 전방최적경로탐색과정에 반영하는 출발지기반 One-to-One 최적경로탐색을 위한 수식과 알고리즘을 제안한다. 제안된 One-to-One 최적경로탐색알고리즘을 대상으로 K개의 링크 비루프경로를 순차적으로 탐색하기 위하여 제안된 전체경로삭제기법(Azevedo et al, 1993; 신성일, 2004)에 적용하는 방안을 제시한다.

연구의 진행방법으로서, 2장에서 링크표지기반의 최적경로탐색알고리즘과 K경로탐색알고리즘에 대하여 개관하고, 3장에서 경로인지비용을 반영하는 최적경로탐색을 위한 최적식과 알고리즘을 제안하며, 4장에서 최적경로 및 K경로탐색에 대한 사례 연구를 통하여 제안된 방안의 계산과정과 활용성에 대하여 검토하고, 5장에서는 연구의 결론과 향후 연구방향에 대하여 서술한다.

II. 경로탐색알고리즘

링크표지기반 최적경로탐색알고리즘(Kirby & Potts (1969), Potts & Oliver (1972))은 탐색시작지점이 출발지인 경우 출발지에서 모든 링크의 도착노드까지의 최적비용을 계산하는 One-to-All 알고리즘과 탐색지점이 도착지인 경우 도착지에서 모든 링크의 출발노드

까지의 최적비용을 계산하는 All-to-One 알고리즘으로 구분된다. 본 장에서는 링크표지 기반 최적경로탐색알고리즘에 대하여 검토한다. 본 장의 설명을 위해 사용되는 표식(Notations)은 다음과 같다.

L : 링크집합.

Q : 탐색링크집합.

N : 노드집합.

r, s, i, j, k : 노드, 특히 r 은 출발지, s 는 도착지
노드

a, b, e, f : 링크, 특히 e 의 시작노드는 r , f 의
도착노드는 s

Γ_a^+ (Γ_a^-) : 링크 a 의 도착노드(출발노드)가 시작노드
(도착노드)인 링크집합.

Γ_r^+ (Γ_r^-) : 노드 r 이 시작노드(도착노드)인 링크집합.

c_a, c_{ij} : 링크 $a(i, j)$ 의 통행시간.

d_{ab} : 링크 a 에서 b 로 통행 시 페널티.

π^{ri} : 출발지 r 에서 노드 i 까지 최소통행시간

π^{js} : 노드 i 에서 도착지 s 에서 최적통행비용

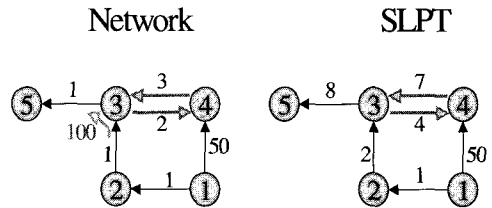
π^{ra} : 출발지 r 에서 링크 a 의 도착지점까지의 최소
통행시간

π^{as} : 링크 a 의 시작노드에서 도착지 s 까지의 최적
통행비용

1. 최적경로탐색알고리즘

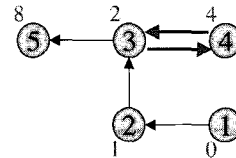
출발지 기반 최적경로탐색알고리즘은 출발지에서 모든 링크까지의 최적통행비용경로를 발견한다. 이때 통행비용은 출발지에서 링크의 도착지점까지의 비용으로 정의된다. 모든 링크까지의 최적통행경로는 최적링크경로가지(Shortest Link Path Tree: SLPT)를 구축하여 발견된다. <그림1>은 교통망에 대하여 SLPT를 나타내고 있으며, 출발지에서 모든 노드까지의 최적통행비용은 SLPT를 최적통행가지와 덩굴망(Shortest Path Tree and Vine: SPTV)로 변환하여 발견된다. <그림2>는 <그림1>의 SLPT가 SPTV로 변환된 것을 나타내고 있으며, 링크까지의 최적통행비용이 노드까지

의 통행비용으로 재 구성되었다. 식(1)은 SLPT를 구축하기 위한 최적식(Optimality Equation)을 나타내고 있다. 식(1)의 표지갱신(Moore, 1958) 방법에 의한 링크표지갱신 최단경로알고리즘은 식(1)과 함께 나타나 있다.



<그림 1> 출발지 기반 최적링크경로가지
<Fig. 1> Origin Based SLPT

SPTV



<그림 2> 출발지 기반 최적경로가지와 덩굴망
<Fig. 2> Origin Based SPTV

$$\begin{aligned} \pi^{rb} &= \min_{\forall a \in \Gamma_r^+} \{ \pi^{ra} + d_{ab} + c_b \}, \quad \forall b \in L \setminus \Gamma_r^+ \\ \pi^{re} &= c_e, \quad \forall e \in \Gamma_r^+ \\ \pi^{rs} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

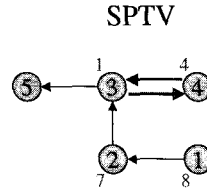
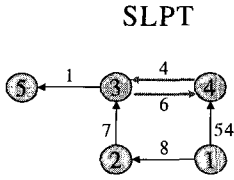
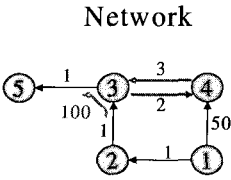
이 경우 π^{rb} : 출발지 r 에서 링크 b 의 도착노드까지
최적통행비용

Step 1 : 초기화

$$\begin{aligned} \pi^{ra} &= \infty, \quad \forall a \in L \setminus \Gamma_r^+ ; \\ Q &= \{ \}; \\ \pi^{re} &= c_e, \quad \forall e \in \Gamma_r^+ ; \\ Q &= Q \cup \{e\}; \end{aligned}$$

Step 2 : 다음탐색링크결정

$$\text{If } (Q = \{ \}) : \pi^{ri} = \min_{\forall a \in \Gamma_r^+} \{ \pi^{ra} \},$$



<그림 3> 도착지(5)기반 최적링크경로가지
<Fig. 3> Destination Based SLPT

<그림 4> 도착지(5)기반 최적경로가지와 덩굴망
<Fig. 4> Destination Based SPTV

$\forall i \in N$; 종료.

Else : $Q = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ 에서

$a = a_1$ 의 선정; $Q = Q - \{a_1\}$;

Step 3 : 전 방향 링크탐색 ($a \rightarrow b, \forall a \in \Gamma_b^-$)

If : $(\pi^a + d_{ab} + c_b < \pi^{rb})$: $\pi^{rb} = \pi^a + d_{ab} + c_b$;

$Q = Q \cup \{b\}$;

Go to Step 2;

Else : Go To Step 2;

도착지기반 최적경로탐색 알고리즘은 도착지에서 모든 링크까지의 최적통행비용경로를 발견한다. 이때 통행비용은 도착지에서 링크의 시작지점까지의 비용으로 정의된다. 모든 링크까지의 최적통행경로는 최적링크경로가지(Shortest Link Path Tree: SLPT)를 구축하여 발견된다. <그림3>은 교통망에 대하여 도착지를 기반으로 구축된 SLPT를 나타내고 있으며, 도착지에서 모든 노드까지의 최적통행비용은 SLPT를 최적통행가지와 덩굴망(Shortest Path Tree and Vine: SPTV)로 변환하여 발견된다. <그림4>는 <그림3>의 SLPT가 SPTV로 변환된 것을 나타내고 있으며, 링크까지의 최적통행비용이 노드까지의 통행비용으로 재 구성되었다. 식(2)은 SLPT를 구축하기 위한 도착지기반의 최적식(Optimality Equation)을 나타내고 있다. 식 (2)의 도착지기반 표지갱신방법에 의한 링크표지갱신 최단경로알고리즘은 식 (2)와 함께 나타나 있다.

$$\begin{aligned} \pi^{as} &= \min_{\forall a \in \Gamma_s^-} \{ \pi^{bs} + d_{ab} + c_a \}, \quad \forall a \in L \setminus \Gamma_s^- \\ \pi^{fs} &= c_f, \quad \forall f \in \Gamma_s^- \\ \pi^{ss} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

이 경우 π^{as} : 링크 a 의 시작노드에서 도착지 s 까지의 최적통행비용

Step 1 : 초기화

$\pi^{as} = \infty, \forall a \in L \setminus \Gamma_s^-$;

$Q = \{ \}$;

$\pi^{fs} = c_f, \forall f \in \Gamma_s^-$;

$Q = Q \cup \{f\}$;

Step 2 : 다음탐색링크결정

If : $(Q = \{ \})$: $\pi^{is} = \min_{\forall a \in \Gamma_s^-} \{ \pi^{as} \}$,

$\forall i \in N$; 종료.

Else : $Q = \{a_1, a_2, \dots, a_N\}$ 에서 $a = a_1$ 의 선정;

$Q = Q - \{a\}$;

Step 3 : 역 방향 링크탐색 ($a \leftarrow b, \forall b \in \Gamma_a^+$)

If : $(\pi^{bs} + d_{ab} + c_a < \pi^{as})$: $\pi^{as} = \pi^{bs} + d_{ab} + c_a$;

$Q = Q \cup \{a\}$;

Go to Step 2;

Else : Go To Step 2;

2. K경로탐색알고리즘 전체경로삭제

출발지와 도착지가 정해진 경우 경로삭제방법(Path Deletion Method)은 (K)개의 경로를 탐색하기 위하여 (1) 비루프경로(Loopless Path)를 탐색하는 방안(Yen, 1971)과 (2) 루프경로(Loop Path)를 포함하여 탐색하는 방안(Martins, 1984; Avezedo et al, (1998)이 제안한 알고리즘은 자료구조의 구축 및

이해에 대한 설명을 포함해야 하므로 Eppestins (1998)에서 자세한 내용의 참조가 가능하다.

Yen(1971)은 경로를 링크단위의 부분삭제방안 (Path Partition Algorithm)에 기반을 두고 비루프 경로탐색을 위한 효율적인 알고리즘을 제안했다. 이 방안의 수행시간은 일반적인 $|V|$ 노드수의 일반적인 네트워크에서 $O(K|V|^3)$ 이다. (K-1)개의 링크와 관련된 부분링크조합을 고려하여 최적경로탐색을 수행하기 때문에 네트워크가 커질수록 ($|V|$) 수행시간은 3의 지수만큼 큰 폭으로 증가한다.

루프경로를 포함하여 탐색하는 방안으로서, Martins(1984)은 전체경로삭제방안으로서 최대수행시간이 $O(K^3|V|)$ 인 알고리즘을 제안했다. 유사한 방법을 활용하여 Avezedo et al(1993)는 최대수행시간 $O(K^2|V|)$ 의 Martins(1984)의 방법보다 개선된 효율적인 알고리즘을 제안했다.

Martins(1984)와 Avezedo et al(1993)이 제안한 알고리즘은 네트워크의 변형(Enlarged Network)을 통해 경로의 전체를 삭제하는 기법(Entire Path Deletion)에 기반을 두고있다. 이들 방법은 최적경로 알고리즘의 한번 수행으로 (K)번째 경로를 발견하기 때문에 효율적으로 수행시간을 갖는 것으로 알려져 있다 (Yang & Chen, 2003).

두 알고리즘에 대해 보다 상세히 설명하면, 우선 Martins(1984) 알고리즘은 네트워크 N 에 대하여 2단계의 세부알고리즘을 수행한다: (1) 두 지점간 최적경로 p 발견을 위한 최적경로알고리즘과, (2) 새로운 네트워크 N' 을 생성시키기 위한 경로삭제 알고리즘으로, 개략적 개념은 우선 최적경로 p 가 탐색되면, 그 p 경로를 네트워크 N 에서 삭제하여 다시 최적경로알고리즘을 수행한다는 것이다. 이때 새로운 노드와 링크를 네트워크 N 에 추가하여 구성된 확장된 네트워크 N' 은 경로 p 를 제외한 모든 경로의 탐색이 가능하게 구축된다. N_1 을 기본네트워크로 하여 순차적인 (K)개의 경로를 탐색한다는 것은 $\{N_1, N_2, \dots, N_k\}$ 의 순차적인 네트워크를 구축함을 의미하며, 이 경우 j번째 네트워크 N_j 로부터 j번째 경로 p_j 가 탐색된다. 이 알고리즘에서 최적경

로알고리즘을 K번 경로삭제알고리즘은 K-1번 수행된다.

경로삭제알고리즘의 수행과정을 나타내기 위한 표식(Notations)으로서 네트워크 N 의 경로 p 는 다음과 같은 노드의 순서로 표현된다. $p = \{v_0, v_1, \dots, v_{j-1}, v_j, v_{j+1}, \dots, v_{m-1}, v_m\}$ 여기서 $v_0 = R$ 는 출발지 $v_m = S$ 은 도착지 노드이며 $m \geq 3$. 어느 노드 u 와 연결된 유출링크 (Outgoing Links) 집합은 $O(u) = \{(u, v) \in A | u, v \in N\}$, 유입링크(Incoming Links) 집합은 $I(u) = \{(v, u) \in A | v, u \in N\}$ 로 정의한다.

경로 p 를 삭제하여 네트워크 N' 을 생성하기 위하여 Martins 알고리즘은 새로운 노드를 추가하고, 이들 노드에서 유출링크를 연결하며, p 의 첫번째 경로를 삭제하는 것이다. 알고리즘의 수행과정은 다음과 같다.

$$\text{단계1: } N = N \cup \{v_1', \dots, v_{m-1}'\}$$

$$\text{단계2: } O(v_0) = O(v_0) - \{(v_0, v_1)\} \cup \{(v_0, v_1')\}$$

$$\text{단계3: } O(v_j') = \{(v_j', u) | (v_j, u) \in O(v_j); u \neq v_{j+1}\} \cup \{(v_j', v_{j+1}')\}, \forall j \in \{1, \dots, m-2\}$$

$$O(v_{m-1}') = \{(v_{m-1}', u) | (v_{m-1}, u) \in O(v_{m-1})\}$$

Avezedo et al(1993) 알고리즘은 Martins (1984) 알고리즘의 수행능력의 향상을 목적으로 제안되었다. Avezedo et al (1993) 알고리즘이 Martins (1984)이 제안한 방법과의 가장 큰 차이는 경로 p 의 마지막 링크를 삭제하고 새로 추가된 노드의 유입링크집합을 네트워크 N 에 추가한다는 것이다. Martins (1984) 알고리즘이 K번의 최적경로 알고리즘과 K-1번의 경로삭제알고리즘이 수행되나, p 의 마지막 링크를 삭제하고 새로 추가된 노드의 유입 링크집합을 추가하여 N' 을 생성시키면, Avezedo et al (1993) 알고리즘은 N 의 링크 및 노드의 영구표지는 N' 에서 영구표지로 남아있으며, N 에서 삭제된 p 의 부분경로(Subpath)가 N' 의 최적 경로설정에 포함된다는 사실에 근거하여 (K-1)번의 최적경로알고리즘 수행을 절약할 수 있다. 따라서,

Avezedo et al (1993) 알고리즘의 최대수행시간이 $O(K^2|V|)$ 로 절감된다. 알고리즘의 수행과정은 다음과 같이 설명된다.

단계1: $N = N \cup \{v_1', \dots, v_{m-1}'\}$

단계2: $I(v_1') = \{(u, v_1') | (u, v_1) \in I(v_1); u \neq v_0\}$

$I(v_j') = \{(u, v_j') | (u, v_j) \in I(v_j); u \neq v_{j-1}'\} \cup$

$\{(v_{j-1}', v_j')\}, \text{ for any } j \in \{2, \dots, m-1\}$

단계3: $I(v_m) = I(v_m) - \{(v_{m-1}, v_m)\} \cup \{(v_{m-1}', v_m)\}$

Avezedo et al (1993) 알고리즘을 요약하면 크게, 1) 최적경로탐색알고리즘과 2) 네트워크 확장 알고리즘과 3) 확장네트워크의 추가 노드 및 링크표지확정 알고리즘으로 구분되며 알고리즘의 구성은 다음과 같다.

단계 1: 최적경로알고리즘의 수행으로 P_1 의 발견

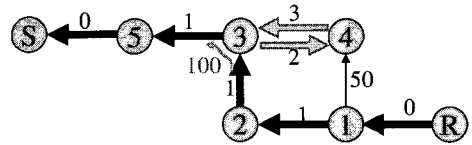
단계 2: k=2부터 K까지 반복네트워크 확장알고리즘으로N에서 N'의 구축 N'에 추가된 노드 및 링크표지확정 출발지에서 도착지까지 최적경로탐색

신성일(2004)는 Avezedo et al(1993) 알고리즘이 링크비루프도 탐색하기 때문에 일반 교통망의 활용에는 한계가 존재함을 인식하고, 링크표지를 도입하여 링크비루프를 제거하는 기법을 추가적으로 포함하였다. <그림5>와 <그림6>은 <그림1>의 Network를 대상으로 2개의 순차적인 경로를 탐색하는 과정을 보여주고 있다. <그림5>에서 우선 가상적인 출발노드 R과 도착노드 S를 도입하고 R과 출발지1, 도착지5와 S를 연결하는 비용0인 더미링크를 연결한다. 구축된 네트워크를 기반으로 R에서 출발지기반 최적링크경로가지를 구축하여, R과 S를 연결하는 최적경로는 R->1->2->3->4->3->5->S 이다. N'을 생성시키기 위해 Avezedo et al(1993)의 네트워크확장알고리즘을 적용하여 <그림6>과 같이 확장된 네트워크 N'이 구축되고, 추가된 링크와 노

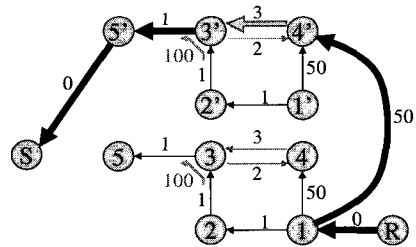
드의 표지를 확정하여 N'에 해당되는 최적경로를 탐색하게 되면, R->1->4'->3'->5'->S의 두 번째 경로를 얻게된다. 이 경로는 기존의 Network에서 R->1->4->3->5->S의 경로와 동일하다.

단계 1: 식(1)에 의한 최적경로알고리즘의 수행으로 P_1 의 발견

단계 2: k=2부터 K까지 반복 Avezedo et al (1993)에서 제시한 네트워크 확장알고리즘으로 N에서 N'의 구축 N'에 추가된 노드 및 링크표지확정 출발지에서 도착지까지 최적경로탐색



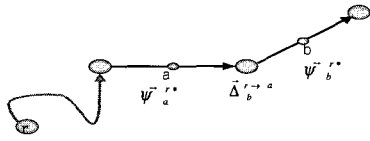
<그림 5> 네트워크 N 과 최적경로탐색
<Fig. 5> Network N and Optimal Path Search



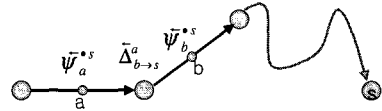
<그림 6> 네트워크 N' 과 최적경로탐색
<Fig. 6> Network N' and Optimal Path Search

Ⅲ. 수식 및 알고리즘

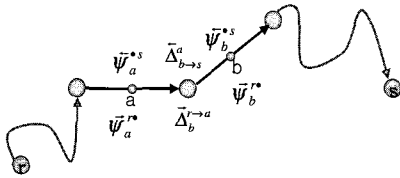
본 장에서는 출발지와 도착지에 따라 경로를 인지하는 특성을 고려하고 경로인지비용을 계산하기 위해서 일반적으로 발생하는 경로열거문제를 극복하는 최적경로탐색에 대한 수식과 알고리즘을 제안한다. 본 연구에서 제안하는 기법은 링크표지기반 최적경로탐색을 시도하는 과정에서 두 개의 링크를 동시에 고려하여 표지를 확정 할 때 출발지와 도착



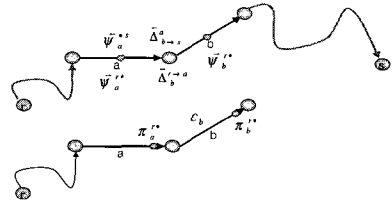
<그림 7> 출발지기반 링크인지비용
<Fig. 7> Origin Based Link Perception Cost



<그림 8> 도착지기반 링크인지비용의 확장
<Fig. 8> Extension Of Destination-Based Link Perception Cost



<그림 9> 출발지와 도착지 동시에 고려된 링크인지비용
<Fig. 9> Link Perception Cost Considering Origin and Destination



<그림 10> 출발지기반 총 통행비용
<Fig. 10> Origin Based Total Travel Cost

지에서 동시에 링크를 인지하는 특성이 반영되도록 설계하는 것이다. 알고리즘은 링크표지에 근거한 One-to-One 최적경로탐색에 대한 수식과 알고리즘으로 정의되며, 탐색과정에서 최적해의 존재를 보장하기 위하여 목적지를 기반으로 구축된 최적링크 인지경로를 대상으로 출발지에서 링크통행비용과 인지비용으로 구축된 전방최적경로탐색을 시도하는 것이다. 본 장에서는 관련내용과 최적해의 존재여부에 대한 증명을 포함한다.

제안되는 수식과 알고리즘에 추가적으로 적용되는 표식은 다음과 같다.

- π_i^{r*} : r에서 노드 i까지 출발지기반 통행비용
- $\bar{\psi}_i^{r*}$: r에서 노드 i까지 출발지기반 링크인지비용
- $\bar{\psi}_i^{s*}$: s에서 노드 i까지 도착지기반 최적링크인지비용
- $\bar{\psi}_i^{s*}$: s에서 노드 i까지 도착지기반 최적링크인지비용(고정 값)
- π_b^{r*} : r에서 링크 b의 도착노드까지 출발지기반 통행비용
- π_a^{s*} : s에서 링크 a까지 도착지기반 통행비용
- $\bar{\psi}_b^{r*}$: r에서 링크 b까지 출발지기반 링크인지비용
- $\bar{\psi}_a^{s*}$: s에서 링크 a까지 도착지기반 최적링크인지비용

- $\bar{\psi}_a^{s*}$: s에서 링크 a까지 도착지기반 최적링크인지비용(고정 값)
- $\bar{\psi}_b^{r*}$: r에서 링크 b까지 출발지기반 링크인지비용
- $\bar{\psi}_a^{s*}$: s에서 링크 a까지 도착지기반 최적링크인지비용
- $\bar{\psi}_a^{s*}$: s에서 링크 a까지 도착지기반 최적링크인지비용
- $\bar{\pi}_b^{rs}$: 출발지 r과 도착지 s에서 링크 b의 인지특성을 동시에 고려한 링크 b의 도착노드까지의 최적총통행비용
- $\bar{\pi}_b^{r*}$: 출발지 r에서 링크 b의 인지특성을 고려한 링크 b의 도착노드까지의 출발지기반 최적총통행비용
- $r \rightarrow a$: r에서 링크 a의 도착노드까지의 경로
- $b \leftarrow s$: 링크 b에서 도착지 s까지의 경로
- $r \rightarrow a \oplus b$: 경로 $r \rightarrow a$ 의 끝 노드와 링크 b의 출발노드와 연결
- $a \oplus b \rightarrow s$: 링크 a의 도착노드와 경로 $b \leftarrow s$ 의 시작노드와 연결
- $\bar{\Delta}_b^{r \rightarrow a}$: $r \rightarrow a \oplus b$ 연결과정에서 발생하는 인지비용의 변화
- $\bar{\Delta}_{b \rightarrow s}^a$: $a \oplus b \rightarrow s$ 연결과정에서 발생하는 인지비용의 변화

지비용의 변화

- $\bar{\Omega}_{kb}^{rs}$: $r-s$ 의 경로 k 에서 링크 b 의 인지비용
- P_k : k 번째 경로.
- P^{rs} : $r-s$ 를 연결하는 경로집합
- $P^{rs} = \{p_1, p_2, \dots, p_k, \dots, p_K\}$.

출발지, 도착지, 출발지와 도착지를 연결하는 경로에 따라 링크를 인지하는 값이 상이하 다($\bar{\Omega}_{kb}^{rs} \geq 0, \forall k \in P^{rs}$).

$$\bar{\Pi}_b^{rs} = \min_{\forall a \in \Gamma_b^+, \forall k \in P^{rs}} \{ \pi_a^{rs} + c_b + \bar{\Omega}_{kb}^{rs} \}, \forall b \in L \quad (3)$$

1. 수 식

경로가 열거된 링크인지비용을 포함하여 출발지 기반으로 최적경로를 탐색하는 과정은 다음과 같다.

정의1: 링크 b 의 통행비용은 링크를 일정한 속도로 주행한 양의 통행시간 ($c_b > 0$)과 출발지와 도착지에서 인지하는 음이 아닌 인지통행비용으로 구성되어 있으며, 인지통행비용은

비용은 s 에서 역으로 연결된 부분경로의 마지막 링크 b 의 링크인지비용과 링크 a 의 인지비용의 변화를 포함하는 과정으로 음수가 아닌 비용 ($\bar{\psi}_a^{rs} = \bar{\psi}_a^{rs} + \bar{\Delta}_{b \rightarrow s}^{rs} \geq 0$).

정의4: 출발지 r 과 도착지 s 에서 동시에 링크 b 를 인지하는 비용은 출발지 기반 인지비용과 도착지 기반 인지비용을 합

$$(\bar{\psi}_b^{rs} + \bar{\psi}_s^{rs} = \bar{\psi}_a^{rs} + \bar{\Delta}_{b \rightarrow a}^{rs} + \bar{\psi}_b^{rs} + \bar{\Delta}_{b \rightarrow s}^{rs} \geq 0).$$

정의5: r 과 s 동시에 링크 b 를 인지하는 총 통행비용은 출발지 기반 인지비용, 도착지 기반 인지비용, 출발지 기반 통행비용($\pi_b^{rs} > 0$) 합. 즉 $\pi_b^{rs} + \bar{\psi}_b^{rs} + \bar{\psi}_s^{rs} = \pi_a^{rs} + c_b + \bar{\psi}_a^{rs} + \bar{\Delta}_{b \rightarrow a}^{rs} + \bar{\psi}_b^{rs} + \bar{\Delta}_{b \rightarrow s}^{rs} > 0$.

2. 최적경로탐색알고리즘

<정의5>에 의한 출발지와 도착지를 고려한 인지비용과 통행시간비용을 포함하여 출발지에 근거하여 탐색을 진행하는 문제는 다음과 같이 출발지와 도착지에 따라 동시에 고려되어야 하는 문제이다.

$$\begin{aligned} \bar{\Pi}_b^{rs} &= \min_{\forall a \in \Gamma_b^+} \{ \pi_a^{rs} + c_b + \bar{\psi}_a^{rs} + \bar{\Delta}_{b \rightarrow a}^{rs} + \bar{\psi}_b^{rs} + \bar{\Delta}_{b \rightarrow s}^{rs} \}, \forall b \in L \setminus \Gamma_s^+ \\ \bar{\Pi}_c^{rs} &= c_c + \bar{\psi}_c^{rs}, \quad \forall c \in \Gamma_r^+ \\ \pi_c^{rs} &= c_c, \quad \forall c \in \Gamma_r^+ \\ \bar{\psi}_c^{rs} &= 0, \quad \forall c \in \Gamma_r^+ \\ \bar{\psi}_f^{rs} &= 0, \quad \forall f \in \Gamma_s^- \end{aligned} \quad (4)$$

정의2: 출발지 r 에서 링크 b 를 인지하는 비용은 r 에서 부분경로의 마지막 링크 a 의 링크인지비용과 링크 b 의 인지비용의 변화를 포함하는 과정으로 음수가 아닌 비용이다 ($\bar{\psi}_b^{rs} = \bar{\psi}_a^{rs} + \bar{\Delta}_{b \rightarrow a}^{rs} \geq 0$).

정의3: 도착지 s 중심으로 역으로 링크 a 를 인지하

일반적으로 동시에 양방향 탐색을 진행하는 문제의 최적 해의 보장에 대해서는 알려지 있지 않다. 본 연구는 도착지를 기반으로 후방으로 진행되는 최적링크인지비용을 제약조건으로 고정하고, 출발지를 기준으로 전방향으로 최적탐색비용을 진행한다. 아래의 식은 도착지 기반 최적링크인지경로트리의 값($\bar{\psi}_a^{rs}, \forall b \in \Gamma_s^+$)이 고정된 제약조건 하에서 출발지 기반 최적통행비용의 탐색문제를 나타내는 최적식을 의미한다.

$$\begin{aligned} \bar{\Pi}_b^{rs} &= \min_{\forall a \in \Gamma_b^+} \{ \pi_a^{rs} + c_b + \bar{\psi}_a^{rs} + \bar{\Delta}_{b \rightarrow a}^{rs} + \bar{\psi}_a^{rs}, \bar{\Pi}_b^{rs} \}, \quad \forall b \in L \setminus \Gamma_s^+ \\ \pi_c^{rs} &= c_c, \quad \forall c \in \Gamma_r^+ \\ \bar{\psi}_c^{rs} &= 0, \quad \forall c \in \Gamma_r^+ \\ \text{subject to} \\ \bar{\psi}_a^{rs} &= \bar{\psi}_a^{rs} = \min_{\forall b \in \Gamma_a^+} \{ \bar{\psi}_b^{rs} + \bar{\Delta}_{a \rightarrow b}^{rs} \}, \quad \forall a \in L \setminus \Gamma_s^- \\ \bar{\psi}_f^{rs} &= \bar{\psi}_f^{rs} = 0, \quad \forall f \in \Gamma_s^- \end{aligned} \quad (5)$$

따라서, 출발지 기반 최적경로탐색알고리즘은 크게 도착지 기반 최적인지경로트리($\bar{\psi}_a^{rs}, \forall b \in \Gamma_s^+$)를 구축하는 과정과, 출발지를 기점으로 최적경로를 탐색하고, 마지막으로 출발지와 도착지를 연결하는 최적 경로를 탐색하는 크게 Step0, Step1의 2단계의 과

정으로 구분되며, 각 단계에서 세부적인 알고리즘은 기존의 링크표지갱신방법을 응용한 것으로 Step0.1 부터 Step1.3까지 나타나 있다.

Step0: 도착지기반 최적링크인지경로구축.
Step1: 출발지기반 최적링크비용경로탐색.

[Step 0.1] : 초기화

$$\begin{aligned} \bar{\psi}_a^{*s} &= \infty, \forall a \in L \setminus \Gamma_s^-; \\ Q &= \{ \}; \\ \bar{\psi}_f^{*s} &= 0, \forall f \in \Gamma_s^-; \\ Q &= Q \cup \{f\}; \end{aligned}$$

[Step 0.2] : 다음탐색링크결정

$$\begin{aligned} \text{If } (Q = \{ \}) &: \text{종료.} \\ \text{Else : } Q = \{a_1, a_2, \dots, a_N\} &\text{에서 } a = a_1 \text{의 선정;} \\ Q &= Q - \{a\}; \end{aligned}$$

[Step 0.3] : 역 방향 링크탐색($a \leftarrow b, \forall b \in \Gamma_a^+$)

$$\begin{aligned} \text{If : } (\bar{\psi}_b^{*s} + \bar{\Delta}_{b \rightarrow s}^a < \bar{\psi}_a^{*s}) &: \bar{\psi}_a^{*s} = \bar{\psi}_b^{*s} + \bar{\Delta}_{b \rightarrow s}^a; \\ Q &= Q \cup \{a\}; \\ \text{Go to [Step 0.2];} \\ \text{Else : Go To [Step 0.2];} \end{aligned}$$

[Step 1.1] : 초기화

$$\begin{aligned} \bar{\pi}_a^{*r} &= \infty, \forall a \in L \setminus \Gamma_r^+; \\ Q &= \{ \}; \\ \pi_e^{*r} &= c_e, \forall e \in \Gamma_r^+; \\ \bar{\psi}_e^{*r} &= 0, \forall e \in \Gamma_r^+; \\ Q &= Q \cup \{e\}; \end{aligned}$$

[Step 1.2] : 다음탐색링크결정

$$\begin{aligned} \text{If : } (Q = \{ \}) &: \bar{\pi}_i^{*r} = \min_{\forall i \in \Gamma_r^+} \{ \bar{\pi}_i^{*r} \}, \forall i \in N; \text{종료.} \\ \text{Else : } Q = \{a_1, a_2, \dots, a_N\} &\text{에서 } a = a_1 \text{의 선정;} \end{aligned}$$

$$Q = Q - \{a\};$$

[Step 1.3] : 전 방향 링크탐색($a \rightarrow b, \forall a \in \Gamma_b^-$)

$$\begin{aligned} \text{If : } (\bar{\pi}_a^{*r} + c_b + \bar{\Delta}_b^{r \rightarrow a} + \bar{\psi}_a^{*s} < \bar{\pi}_b^{*r}) &: \\ \bar{\pi}_b^{*r} &= \bar{\pi}_a^{*r} + c_b + \bar{\Delta}_b^{r \rightarrow a} + \bar{\psi}_a^{*s}; \\ Q &= Q \cup \{b\}; \\ \text{Go to [Step 1.2];} \\ \text{Else : Go To [Step 1.2];} \end{aligned}$$

3. K경로탐색알고리즘 Modified 전체경로삭제기법

식 (2)에 의해 목적지기반 최적경로인지비용을 상수화하여 제약조건화하고 식 (5)를 활용하여 최적 경로탐색 탐색알고리즘을 다음의 2단계로 구분된다.

- 단계 1: 식 (2)의 목적지기반 최적경로알고리즘으로 목적지기반 최적인지 경로비용계산 식 (5)의 기종점 경로인지비용을 반영한 최적경로알고리즘의 수행으로 P_1 의 발견
- 단계 2: $k=2$ 부터 K 까지 반복 Avezedo et al (1993)에서 제시한 네트워크 확장알고리즘으로 N 에서 N' 의 구축 N' 에 추가된 노드 및 링크표지확정 출발지에서 도착지까지 최적경로탐색

IV. 사례연구

2가지 사례연구를 통하여 제안된 알고리즘에 대하여 검토한다. 첫 번째 사례는 소규모 교통망을 대하여 계산과정을, 두 번째는 중 규모 교통망을 대상으로 교통정보와 도로위계가 교통망의 통행에서 제안된 기법이 시인성과 안전성을 확보하기 위해 어떻게 활용되는 가에 대하여 설명한다.

1. 최적경로탐색

4개의 노드와 4개의 링크로 구성된 <그림 11>의 소규모 교통망을 대상으로 두 인접링크($3 \rightarrow 2 \rightarrow 4$) 방향(고속도로에서 간선도로)으로 출발지1과 도착지

4의 관점에서 동일한 5의 통행인지비용이 발생한다고 가정한다. 인지비용을 고려하지 않았을 때 최적경로는 비용7로 (1→2→4) 노드순서로 나타난다.

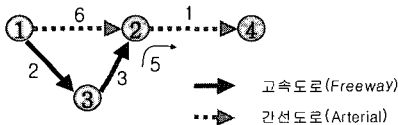
<그림12>은 도착지4에 대하여 최적링크인지경로트리를 구축한 것으로 링크(2→3)과 링크(1→3)에서 도착지에 대하여 5의 인지통행으로 나타난다. <그림 13>은 <그림 6>의 링크인지경로트리를 제약 조건으로 출발지기반 최적비용경로트리를 구축한 것으로 최적경로는 인지비용을 고려하지 않은 경우와 동일하게 비용7의 (1→2→4) 노드순서로 나타난다.

<그림 14>은 출발지와 도착지의 경로인지특성이 다른 경우로서 파라메타 α, β 를 도입하여 (3→2→4) 방향으로 출발지기반으로는 0.1 도착지기반으로는 0.3의 <그림 11>에 비하여 다른 경로인지특성이 적용되도록 하였다.

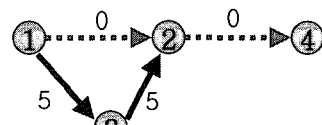
<그림 15>는 도착지기반으로 최적링크인지트리를 구축한 것이며, <그림 16>은 <그림 11>에서 구축된 최적링크인지트리를 제약으로 출발지기반으로 최적비용경로트리를 구축한 것이다. <그림 16>에서

최적비용경로는 (1→3→2→4)의 노드순서로 6.4의 비용으로 나타난다. <그림 11>의 경우와 비교하여 볼 때, 출발지와 도착지의 경로인지기준을 다르게 적용하는 예로서 활용될 수 있으며, 정도에 대한 경우로 확장될 수 있음을 시사하고 있다.

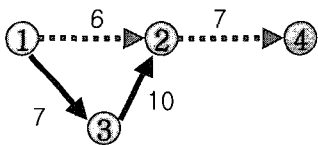
<그림 17>과 같은 중 규모의 교통망에 대하여 경로인지비용에 대한 가정을 확대 적용하기로 한다. 양방향통행의 교통망이 26개의 노드와 78개의 링크로 구성되어 있으며 링크($\forall a \in L$)는 4등급의 도로위계($R_a = \{1, 2, 3, 4\}$) - 고속도로(4), 주간선도로(3), 보조간선도로(2), 접근도로(1) - 구분된다. 출발지1 도착지10을 통행하는데 도로위계와 교통망에 대한 접근정보를 대상으로 3개의 시나리오로 구성하였다. 시나리오에 따라 적용된 수식과 파라메타(α, β, δ)는 아래의 3가지 시나리오로 구성되어 있다. 여기서 α 는 출발지에서 경로를 선택함에 따라 위계가 낮은 도로로 전환하는 경우에 대한 운전자의 부담감을 나타내어 출발지에서 통행이 멀어질수록 시인성이 양호한 도로를 가급적 선택하여 통행을 유도



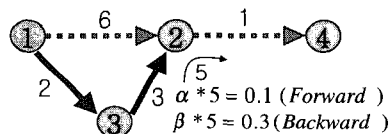
<그림 11> 네트워크 및 도로위계와 교통정보 인지비용
<Fig. 11> Network and Perception Cost Considering Road Hierarchy



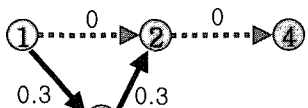
<그림 12> 도착지기반 최적링크인지경로트리
<Fig. 12> Detination Based Optimal Link Perception Path Tree



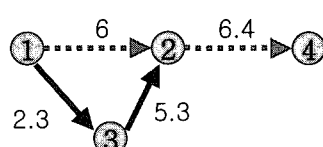
<그림 13> 출발지기반 최적비용경로트리
<Fig. 13> Origin Based Optimal Cost Path Tree



<그림 14> 인지비용 파라메타적용(안정성, 정보 제공정도, 인지정도)
<Fig. 14> Perception Cost Parameter



<그림 15> 도착지기반 최적링크인지경로트리
<Fig. 15> Detination Based Optimal Link Perception Path Tree



<그림 16> 출발지기반 최적비용경로트리
<Fig. 16> Origin Based Optimal Cost Path Tree

한다. β 는 도착지까지 시인성이 낮은 도로로 접근하는 경우에 대한 운전자 부담감으로서 도착지까지의 접근에 시인성이 양호한 도로의 선택하여 통행이 종료되도록 한다. δ 는 도착지 주변에 대하여 익숙한 지역의 경우 β 의 부담감이 적어지도록 조종하는 역할을 한다. 실제 이들 파라메타는 운전자의 나이, 성별, 통행거리, 통행특성을 고려하여 다양한 조합이 나타날 수 있으므로 향후에 관련연구가 필요할 것으로 판단된다.

- (1) 교통망에 대한 완전정보에 대한 가정으로서 통행시간을 최소화하기 위한 통행

$$\bar{\pi}_b^{1-10} = \bar{\pi}_b^* = \min_{\forall a \in \Gamma_b^+} \{ \pi_a^* + c_b, \bar{\pi}_b^* \}, \quad \forall b \in L \setminus \Gamma_1^+$$

$$\pi_e^* = c_e, \quad \forall e \in \Gamma_1^+$$

$$\bar{\Delta}_b^{1 \rightarrow a} = 0, \quad \bar{\Delta}_{b \rightarrow 10}^a = 0$$

- (2) 교통망에 대한 불완전정보로서 도착지까지 출발지를 기준으로 시인성과 안전성을 확보하고자 하는 통행

$$\bar{\pi}_b^{1-10} = \bar{\pi}_b^* = \min_{\forall a \in \Gamma_b^+} \{ \pi_a^* + c_b + \bar{\psi}_a^* + \bar{\Delta}_b^{1 \rightarrow a}, \bar{\pi}_b^* \}, \quad \forall b \in L \setminus \Gamma_1^+$$

$$\pi_e^* = c_e, \quad \forall e \in \Gamma_1^+$$

$$\bar{\psi}_e^* = 0, \quad \forall e \in \Gamma_1^+$$

$$\bar{\Delta}_b^{1 \rightarrow a} = \alpha \cdot (R_a - R_b), \quad \bar{\Delta}_{b \rightarrow 10}^a = 0$$

- (3) 도착지주변에 대해 교통정보가 존재하여 도착지 주변까지는 도상으로 시인성을 확보하면서도 주변에서 통행저항을 최소화하려는 통행으로 도착지 주변은 통행시간으로 2.5단위 내에서 상세한 경로정보를 인지하고 있다고 가정한다.

$$\bar{\pi}_b^{1-10} = \bar{\pi}_b^* = \min_{\forall a \in \Gamma_b^+} \{ \pi_a^* + c_b + \bar{\psi}_a^* + \bar{\Delta}_b^{1 \rightarrow a} + \bar{\psi}_a^{*10}, \bar{\pi}_b^* \}, \quad \forall b \in L \setminus \Gamma_1^+$$

$$\pi_e^* = c_e, \quad \forall e \in \Gamma_1^+$$

$$\bar{\psi}_e^* = 0, \quad \forall e \in \Gamma_1^+$$

subject to

$$\bar{\psi}_a^{*10} = \bar{\psi}_a^{*10} = \min_{\forall f \in \Gamma_a^+} \{ \bar{\psi}_f^{*10} + \bar{\Delta}_a^{f \rightarrow 10} \}, \quad \forall a \in L \setminus \Gamma_{10}^-$$

$$\bar{\psi}_f^{*10} = \bar{\psi}_f^{*10} = 0, \quad \forall f \in \Gamma_{10}^-$$

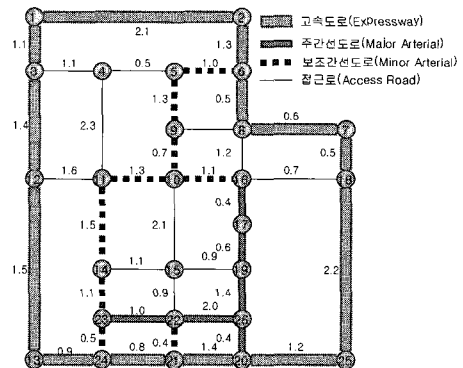
$$\bar{\Delta}_b^{1 \rightarrow a} = [\alpha \cdot \delta \cdot \max(R_a - R_b, 0)]^2$$

$$\text{if } (\pi_a^{*10} \leq 2.5) : \quad \bar{\Delta}_{b \rightarrow 10}^a = [\beta_1 \cdot \delta_1 \cdot \max(R_a - R_b, 0)]^2$$

$$\text{else if } (\pi_a^{*10} > 2.5) \quad \bar{\Delta}_{b \rightarrow 10}^a = [\beta_2 \cdot \delta_2 \cdot \max(R_a - R_b, 0)]^2$$

<표 1> 총 통행비용에 적용된 파라메타
<Table 1> Parameter Applied in Total Travel Cost

시나리오	인지비용		비고
	출발지기반	도착지기반	
(1)	0	0	통행시간
(2)	$\alpha = 50$	0	통행시간+출발지기반 인지비용
(3)	$\alpha = 5, \delta = 0.02$	if($\pi_a^{*10} \leq 2.5$)	if($\pi_a^{*10} > 2.5$)
		$\beta_1 = 5, \delta_1 = 1$	$\beta_2 = 5, \delta_2 = 0.01$



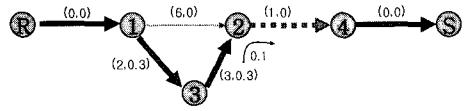
<그림 17> 대상네트워크
<Fig. 17> Revised Sioux Fall Network

시나리오에 대한 결과는 <그림18>, <그림19>, <그림20>과 같다. 우선 인지비용이 고려되지 않은 완전정보를 가정한 시나리오1의 수행 결과인 <그림18>은 통행시간에 의해서만 최적경로의 선택이 이루어지는 경우로서 1 → 3 → 4 → 5 → 9 → 10의 경로로서 나타남을 보여주고 있다. 시나리오2의 도착지 주변에 대한 교통정보가 전무하여 출발지를 기준으로 도착지까지 시인성이 양호한 도로에 대한 통행은 보다 장거리를 통행하더라도 도로의 위계가 체계적으로 정립되는 통행인 - <그림19>을 통하여 설

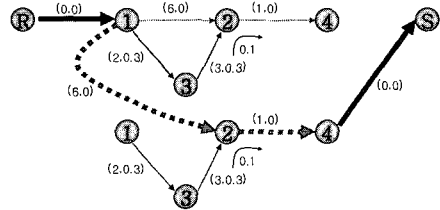
명되고 있는 $-1 \rightarrow 3 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 24 \rightarrow 21 \rightarrow 20 \rightarrow 26 \rightarrow 19 \rightarrow 17 \rightarrow 16 \rightarrow 10$ 의 통행으로 이루어진다. 시나리오3에서 <그림 20>과 같이 도착지 주변의 경로정보가 반경 2.5통행시간 내에서 인지되는 경우로서, 비록 도로의 위계가 급격하게 변화하더라도 경로에 대한 정보효과가 비용으로 인지되지 않기 때문에 출발지에서 시인성이 양호한 도로로 접근하다가 교통정보가 존재하는 주변지역에서 통행시간을 줄이는 방향의 통행인 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 16 \rightarrow 10$ 의 통행으로 이루어진다.

2. K경로탐색

<그림21>과 <그림22>는 <그림14>은 출발지1과 도착지4의 경로인지비용을 고려하여 본 연구에서 제안하는 Modified 전체경로삭제기법을 적용하여 2개의 경로를 탐색하는 과정을 나타낸 것이다. 링크상단에는 링크비용과 도착지기반 최적인지경로비용을 포함하고 있으며, 이 최적인지경로비용은 식(5)에 의해 전방향으로 탐색하는 과정에서 링크비용, 전방향 인지비용과 함께 합산되어 반영된다. <그림 21>의 전방향 최적경로비용은 <그림16>의 전방향 최적경로비용과 동일함을 고려하면 알고리즘의 수행과정에 대해 쉽게 이해가 가능하다.



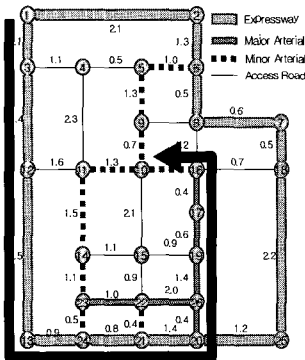
<그림 21> 네트워크 N과 최적경로탐색
<Fig. 21> Network N and Shortest Path Search



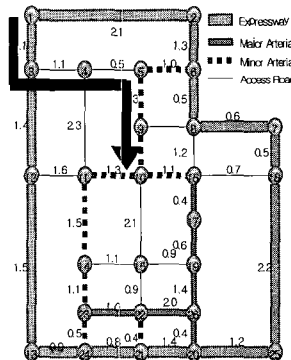
<그림 22> 네트워크 N'과 최적경로탐색
<Fig. 22> Network N' and Shortest Path Search

V. 결 론

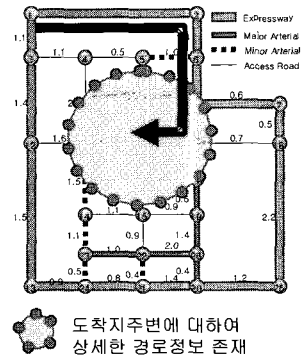
경로탐색알고리즘의 일반적인 가정은 출발지와 도착지 그리고 출발지와 도착지를 연결하는 경로에 관계없이 링크의 통행비용이 동일하다는 것이다. 그러나 실제 교통망에서 여행자가 경로를 선택함에 있어서 출발지 또는 도착지가 어디인가, 그리고 이 두 지점을 연결하는 경로의 특성이 어떠한가에 따라 링크를 인지하는 정도가 매우 다르게 표현될 수 있다. 본 연구는 출발지, 도착지, 경로에 따라 링크를 인지하는 특성이 다른 교통망에서 경로를 탐색하는



<그림 18> 시나리오1: 완전정보
<Fig. 18> Scenario 1 : Perfect Infomation



<그림 19> 시나리오2: 도착지 주변 정보부족(시인성 확보)
<Fig. 19> Scenario 2: Insufficient Information Nearby Destination



<그림 20> 시나리오3: 도착지 주변정보 제공(시인성+통행시간단축)
<Fig. 20> Scenario 3: Information Provision Nearby Destination

최적식과 알고리즘을 제안하였다. 연구방법으로서 우선 경로의 최소단위를 링크로 정의하여 링크간의 비교가 경로간의 비교로 확대되도록 링크표지기반 최적경로탐색기법을 활용하여 전체경로삭제기법을 적용한 K경로탐색알고리즘으로 적용되도록 Modified 전체경로삭제기법을 제안하였다. 특히 출발지와 목적지에서 고려된 링크의 인지특성을 반영하기 위하여 출발지기반 최적경로탐색, 목적지기반 최적경로탐색 기법을 동시에 적용하는 방안을 제안하였다. 양방향 탐색기법에 의한 최적경로탐색은 최적 해를 보장되지 못하므로 목적지기반 최적링크인지경로트리출발지기반의 최적경로탐색의 제약조건으로 반영하는 수식과 알고리즘을 최적경로와 K경로탐색 알고리즘으로 각각 제안하였다.

2가지 사례연구를 통해 제안된 알고리즘에 대한 수행성과 활용성을 검토하였다. 첫 번째 사례는 소규모 네트워크와 중규모 네트워크를 통하여 알고리즘의 수행과정과 교통망에 대한 정보여부에 따른 인식에 대한 3가지 시나리오- 1) 교통망에 대한 완전정보, 2) 출발지에서 도착지까지의 출발지에서 경로를 인지하는 특성의 반영, 3) 도착지의 주변지역에서의 경로정보 -에 대하여 운전자가 경로선택에 있어서 어떻게 인지특성이 반영되는가에 대하여 설명하였다. 두 번째 사례연구에서는 첫 번째 사례연구의 소규모 네트워크를 기반으로 Modified 전체경로삭제기법의 수행과정을 설명하였다.

본 연구에서 제안된 기법은 여행자의 경로인지특성을 경로선택행태에 반영한 최초의 합리적인 시도라는 점에서 의의가 존재하며, 향후 인지비용특성이 운전자의 다양한 행태를 반영하여 ATIS의 맞춤형 정보체계의 핵심으로서 활용이 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 신성일 (2004) 교통망에 적합한 K 비루프 경로탐색 알고리즘, 대한교통학회지, 제22권 제6호, pp. 121-131.
- [2] 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.
- [3] Daganzo C.F. and Sheffi Y. (1977) On Stochastic Models of Traffic Assignment. *Transportation Science* 11(3), pp. 253-274.
- [4] Hall, R. W. (1986) The Fastest Path through A Network with Random Time-Dependent Travel Times. *Transportation Science*, 20(3).
- [5] Kirby R. F. and Potts R. B. (1969) The Minimum Route Problem for Networks with Turn Penalties and Prohibitions. *Transportation Research* 3, pp. 397-408.
- [6] Lee M. (2004) Transportation Network Models and Algorithms Considering Directional Delay and Prohibition for Intersection Movement, Ph.D. Thesis, University of Wisconsin-Madison.
- [7] Martins E.Q.V. (1984) An Algorithm for Ranking Paths that May Contain Cycles, *European Journal of Operational Research*, Vol. 18, pp.123-130.
- [8] Moore E. F. (1957) The Shortest Path through A Maze. *Proc. Int. Conf. on the Theory of Switching*. Harvard Univ., Cambridge, MA.
- [9] Ran B., Hall, R., and Boyce D. (1996) A Link-Based Variational Inequality Model for Dynamic Departure Time/Route Choice, *Transportation Research B*, Vol. 30, No. 1, pp. 31-46.
- [10] Sheffi Y. and Powell W.B. (1982) An Algorithm for the Equilibrium Assignment Problem with Random Link Times. *Networks* 12(2), pp. 191-207.
- [11] Shier R. D. (1979) On Algorithms from Finding the k Shortest Paths in a Network, *Networks*, Vol. 9, pp.195-214.
- [12] Yen J.Y. (1971) Finding the K shortest Loopless Paths in a Network, *Management Science*, Vol.17, pp.711-715.

〈 저 자 소 개 〉

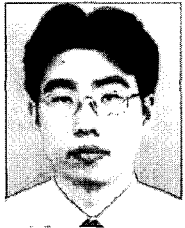


조 중 석 (Cho, Chong-Suk)

2004년 2월: 서울대환경대학원 박사과정 수료

2004년 5월~현재:

서울시정개발연구원 도시교통부 연구원



손 기 민 (Sohn, Kee-Min)

2003년 8월: 서울대학교 공과대학 토목공학과(공학박사)

2002년 9월-현재: 서울시정개발연구원 도시교통부 부연구위원, 연구위원



신 성 일 (Shin, Seong-il)

2001년 8월: University of Wisconsin-Madison(공학박사)

2001년 9월-2002년 1월 미국중서부대학 교통연구센터 박사후과정

2002년 2월-현재: 서울시정개발연구원 도시교통부 부연구위원, 연구위원