

■ 論 文 ■

# 출발지와 도착지의 경로인지특성을 반영한 One-to-One 최적경로탐색 (출발지기반 수식 및 알고리즘을 중심으로)

Finding the One-to-One Optimum Path Considering User's Route Perception Characteristics of Origin and Destination (Focused on the Origin-Based Formulation and Algorithm)

<b>신 성 일</b> (서울시정개발연구원 연구위원)	<b>손 기 민</b> (서울시정개발연구원 연구위원)	<b>조 종 석</b> (서울시정개발연구원 연구위원)
<b>도 철 웅</b> (한양대학교 교통시스템공학과 교수)	<b>김 원 근</b> (한양대학교 교통시스템공학과 박사과정)	

## 목 차

- |   |   |
|---|---|
| I. 서론<br>II. 링크표지기반 최적경로탐색알고리즘<br>1. 출발지기반 최적경로탐색알고리즘<br>2. 도착지기반 최적경로탐색알고리즘<br>III. 수식 및 알고리즘<br>1. 출발지와 도착지의 경로인지특성반영 | 2. 수식<br>3. 알고리즘<br>IV. 사례연구<br>1. 사례연구1: 소규모 네트워크<br>2. 사례연구2: 중규모 네트워크<br>V. 결론 |
|---|---|

Key Words : 경로인지비용, 양방향 최적경로탐색, 최적경로트리, 최적링크인지경로트리, 출발지기반 최적경로탐색, 도착지기반 최적경로탐색, 경로열거

## 요 약

출발지와 도착지를 연결하는 경로의 총통행비용은 경로를 구성하는 링크통행비용과 경로인지비용의 합으로 구성된다. 링크인지비용이 출발지와 도착지에 따라 상이한 경우 경로인지비용을 고려한 최적경로탐색은 경로열거문제에 직면하여 현실 적용에는 한계가 있다. 본 연구에서는 출발지와 도착지 간 경로의 열거문제를 발생시키지 않으면서 경로상에 상이한 링크인지비용을 반영하는 최적경로탐색 최적식과 알고리즘을 제안한다. 경로의 최소단위를 링크로 정의하고 링크의 비교가 경로의 비교로 확대되는 최적경로탐색기법을 제안한다. 출발지와 목적지에서 링크의 인지특성을 반영하기 위하여 출발지기반 최적경로탐색과 목적지기반 최적경로탐색을 동시에 적용하는 방안을 제안한다. 양방향 탐색에 의한 경로탐색은 최적해가 보장되지 못하므로 목적지기반 최적링크인지경로트리를 먼저 구축하고 출발지기반 최적경로탐색의 제약조건으로 반영하는 수식과 알고리즘을 제안한다.

주변지역에 대한 경로정보의 다양성과 도로위계에 대한 인지비용을 포함한 사례연구를 통해 제안된 수식과 알고리즘이 실제 교통망에서 출발지와 도착지의 특성이 반영된 경로인지행태를 적절하게 반영하는 지에 대하여 검토한다.

Total travel cost of route which connects origin with destination (O-D) is consist of the total sum of link travel cost and route perception cost. If the link perception cost is different according to the origin and destination, optimal route search has limitation to reflect the actual condition by route enumeration problem.

The purpose of this study is to propose optimal route searching formulation and algorithm which is enable to reflect different link perception cost by each route, not only avoid the enumeration problem between origin and destination. This method defines minimum unit of route as a link and finally compares routes using link unit costs. The proposed method considers the perception travel cost at both origin and destination in optimal route searching process, while conventional models reflect the perception cost only at origin. However this two-way searching algorithm is still not able to guarantee optimum solution. To overcome this problem, this study proposed an origin based optimal route searching method which was developed based on destination based optimal perception route tree.

This study investigates whether proposed numerical formulas and algorithms are able to reflect route perception behavior reflected the feature of origin and destination in a real traffic network by the example research including the diversity of route information for the surrounding area and the perception cost for the road hierarchy.

## I. 서론

출발지와 도착지를 연결하는 최적경로를 탐색함에 있어 일반적인 경로비용에 대한 가정은 경로를 구성하는 링크통행비용의 합으로 구성된다는 것이다. 이는 출발지와 도착지의 특성과는 무관하게 링크의 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 이달하여 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 확산되기때문에 교통망의 규모가 어느 정도 커지게 되면 경로의 열거에 의한 계산은 일반적으로 현재의 컴퓨터 계산방식으로는 불가능하거나 한계가 존재한다 (Ran, et al, 1996). 이미영외(2005)는 이러한 문제를 인식하고 확장적 통행배정모형에서 출발지와 도착지를 연결하는 경로를 모두 열거하지 않고 인지비용을 반영한 최적경로를 탐색하기 위하여 링크표지를 도입한 경로탐색알고리즘을 제안하였으나, 이 알고리즘은 출발지(도착지)를 기준으로 경로를 탐색하기 때문에 도착지(출발지)의 특성이 동시에 반영된 여행자의 경로선택행태를 정확하게 고려할 수 없었다.

이러한 경로인지특성에 대한 대안적인 방법으로서

확률적 경로탐색알고리즘(Hall, 1986)이 오래 전부터 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 확장적 최적경로탐색을 위한 수식과 알고리즘을 제안한다. 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.

연구의 진행방법으로서, 2장에서 링크표지기반 최적경로탐색알고리즘에 대해서 개관하고, 3장에서 링크인지비용을 반영한 최적경로탐색을 위한 최적식과 알고리즘을 제안하며, 4장에서 2가지 사례연구를 통하여 제안된 방안의 계산과정과 활용성에 대하여 실험 보고, 5장에서는 연구의 결론과 향후 연구방향에 대하여 서술한다.

## II. 링크표지기반 최적경로탐색알고리즘

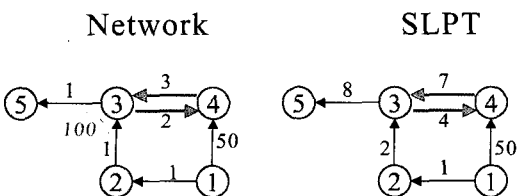
링크표지기반 최적경로탐색알고리즘(Kirby & Potts (1969), Potts & Oliver (1972))은 탐색시작지점이 출발지인 경우 출발지에서 모든 링크의 도착노드까지의 최적비용을 계산하는 One-to-All 알고리즘과 탐색지점이 도착지인 경우 도착지에서 모든 링크의 출발노드까지의 최적비용을 계산하는 All-to-One 알고리즘으로 구분된다. 본 장에서는 링크표지기반 최적경로탐색알고리즘에 대하여 검토한다. 본 장의 설명을 위해 사용되는 표식

(Notations)은 다음과 같다.

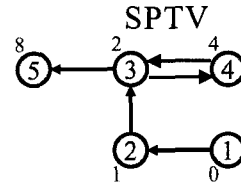
- $L$  : 링크집합.
- $Q$  : 탐색링크집합.
- $N$  : 노드집합.
- $r, s, i, j, k$  : 노드, 특히  $r$ 은 출발지,  $s$ 는 도착지 노드
- $a, b, e, f$  : 링크, 특히  $e$ 의 시작노드는  $r$ ,  $f$ 의 도착노드는  $s$
- $\Gamma_a^+ (\Gamma_a^-)$  : 링크 $a$ 의 도착노드(출발노드)가 시작노드(도착노드)인 링크집합.
- $\Gamma_r^+ (\Gamma_r^-)$  : 노드 $r$ 이 시작노드(도착노드)인 링크집합.
- $c_a, c_{ij}$  : 링크 $a$ ( $i, j$ )의 통행시간.
- $d_{ab}$  : 링크 $a$ 에서  $b$ 로 통행 시 페널티.
- $\pi^r$  : 출발지  $r$ 에서 노드  $i$ 까지 최소통행시간
- $\pi^{js}$  : 노드 $i$ 에서 도착지  $s$ 에서 최적통행비용
- $\pi^{ra}$  : 출발지  $r$ 에서 링크 $a$ 의 도착지점까지의 최소통행시간
- $\pi^{as}$  : 링크 $a$ 의 시작노드에서 도착지  $s$ 까지의 최적통행비용

1. 출발지기반 최적경로탐색알고리즘

출발지기반 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. <그림 1>은 교통망에 대하여 SLPT를 나타내고 있으며, 출발지에서 모든 노드까지의 최적통행비용은 SLPT를 최적통행가지와 덩굴망(Shortest Path Tree and Vine: SPTV)로 변환하여 발견된다. <그림 2>는 <그림 1>의 SLPT가 SPTV로 변환된 것을 나타내고 있으며, 링크까지의 최적통행비용이 노드까지의 통행비용



<그림 1> 출발지기반 최적링크경로가지



<그림 2> 출발지기반 최적경로가지와 덩굴망

으로 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.

$$\pi^{rd} = \min_{\forall a \in \Gamma_b^-} \{ \pi^{ra} + d_{ab} + c_b \}, \forall b \in L \setminus \Gamma_r^+ \quad (1)$$

$$\pi^{re} = c_e, \forall e \in \Gamma_r^+$$

$$\pi^{rr} = 0$$

이 경우  $\pi^{rb}$ : 출발지  $r$ 에서 링크 $b$ 의 도착노드까지 최적통행비용

[Step 1] 초기화

$$\pi^{ra} = \infty, \forall a \in L \setminus \Gamma_r^+$$

$$Q = \{ \};$$

$$\pi^{re} = c_e, \forall e \in \Gamma_r^+$$

$$Q = Q \cup \{ e \}$$

[Step 2] 다음탐색링크결정

If :  $(Q = \{ \}) \pi^r = \min_{\forall a \in \Gamma_i^-} \{ \pi^{as} \}, \forall i \in N$  : 종료

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

$a = a_1$ 의 선정 :  $Q = Q - \{ a_1 \}$ ;

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

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

$Q + Q \cup \{ b \}$

Go to Step 2;

Else : Go To step 2;

2. 도착지기반 최적경로탐색알고리즘

도착지기반 최적경로탐색알고리즘은 도착지에서 모

든 링크까지의 최적통행비용경로를 발견한다. 이때 통행비용은 도착지에서 링크의 시작지점까지의 비용으로 정의된다. 모든 링크까지의 최적통행경로는 최적링크경로가지(Shortest Link Path Tree: SLPT)를 구축하여 발견된다. <그림 3>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. <그림 4>는 <그림 3>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 최단경로 알고리즘은 식(2)와 함께 나타나 있다. <표 1>은 <그림 3>의 Network를 기반으로 도착지 노드(5)에서 모든 출발지 노드까지의 최적경로탐색과정을 나타내고 있다.

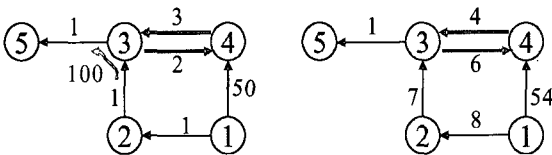
$$\pi^{as} = \min_{\forall a \in \Gamma_s^+} \{ \pi^{bs} + d_{ab} + c_a \}, \forall b \in L \setminus \Gamma_s^- \quad (2)$$

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

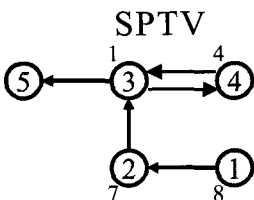
$$\pi^{as} = 0$$

이 경우  $\pi^{as}$  : 링크 a의 시작노드에서 도착지 s까지의 최적통행비용

Network SLPT



<그림 3> 도착지(5)기반 최적링크경로가지



<그림 4> 출발지기반 최적경로가지와 덩굴망

<표 1> 도착지기반 최적경로탐색과정

반복 회수	$a \leftarrow b, \forall b \in \Gamma_s^+$		$\pi^{as}$	지원링크 b	Q
	a	b			
0	(3,5)	-	1	-	{(3,5)}
1	(4,3)	(3,5)	1+3=4	(3,5)	{(4,3),(2,3)}
	(2,3)	(3,5)	1+100+1=102	(3,5)	
2	(1,4)	(4,3)	4+50=54	(4,3)	{(2,3),(1,4),(3,4)}
	(3,4)	(4,3)	4+2=6	(4,3)	
3	(1,2)	(2,3)	102+1=103	(2,3)	{(1,4),(3,4),(1,2)}
4	-	(1,4)	-	-	{(3,4),(1,2)}
5	(2,3)	(3,4)	6+1=7	(2,3)	{(1,2),(2,3)}
6	-	(1,2)	-	-	{(2,3)}
7	(1,2)	(2,3)	7+1=8	(2,3)	{(1,2)}
8	-	(1,2)	-	-	{}

<표 2> 도착지기반 최적경로결과

링크	최적비용	지원링크
(1,2)	8	(2,3)
(1,4)	54	(4,3)
(2,3)	7	(3,4)
(3,4)	6	(4,3)
(3,5)	1	-
(4,3)	4	(3,5)

[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

$$a = a_1 \text{의 선정 } Q = Q - \{ a \}$$

[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;

### 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 도착지에서 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 최적링크인지경로를 대상으로 출발지에서 링크통행비용과 인지비용으로 구축된 전방최적경로탐색을 시도하는 것이다. 본 장에서는 관련내용과 최적해의 존재여부에 대한 증명을 포함한다.

제안되는 수식과 알고리즘에 추가적으로 적용되는 표식은 다음과 같다.

- $\pi_i^{r*}$  :  $r$ 에서 노드 $i$ 까지 출발지기반 통행비용
- $\psi_i^{r*}$  :  $r$ 에서 노드 $i$ 까지 출발지기반 링크인지비용
- $\overline{\psi}_i^{s*}$  :  $s$ 에서 노드 $i$ 까지 도착지기반 최적링크 인지비용
- $\overline{\overline{\psi}}_i^{s*}$  :  $s$ 에서 노드 $i$ 까지 도착지기반 최적링크 인지비용(고정 값)
- $\pi_b^{r*}$  :  $r$ 에서 링크 $b$ 의 도착노드까지 출발지기반 통행비용
- $\pi_a^{s*}$  :  $s$ 에서 링크 $a$ 까지 도착지기반 통행비용
- $\overline{\psi}_b^{r*}$  :  $r$ 에서 링크 $b$ 까지 출발지기반 링크인지비용
- $\overline{\overline{\psi}}_a^{s*}$  :  $s$ 에서 링크 $a$ 까지 도착지기반 최적링크 인지비용
- $\overline{\overline{\overline{\psi}}}_a^{s*}$  :  $s$ 에서 링크 $a$ 까지 도착지기반 최적링크 인지비용(고정 값)
- $\overline{\psi}_b^{r*}$  :  $r$ 에서 링크 $b$ 까지 출발지기반 링크인지비용
- $\overline{\overline{\psi}}_a^{s*}$  :  $s$ 에서 링크 $a$ 까지 도착지기반 최적링크 인지비용
- $\overline{\overline{\overline{\psi}}}_a^{s*}$  :  $s$ 에서 링크 $a$ 까지 도착지기반 최적링크 인지비용

- $\overline{\overline{\overline{\psi}}}_b^{rs}$  : 출발지 $r$ 과 도착지  $s$ 에서 링크 $b$ 의 인지 특성을 동시에 고려한 링크 $b$ 의 도착노드까지의 최적총통행비용
- $\overline{\overline{\overline{\psi}}}_b^{r*}$  : 출발지 $r$ 에서 링크 $b$ 의 인지특성을 고려한 링크 $b$ 의 도착노드까지의 출발지기반 최적총통행비용
- $r \rightarrow a$  :  $r$ 에서  $a$ 링크의 도착노드까지의 경로
- $b \leftarrow s$  : 링크 $b$ 에서 도착지  $s$ 까지의 경로
- $r \rightarrow a \oplus b$  : 경로 $r \rightarrow a$ 의 끝 노드와 링크 $b$ 의 출발노드와 연결
- $a \oplus b \rightarrow s$  : 링크 $a$ 의 도착노드와 경로 $b \leftarrow s$ 의 시작노드와 연결
- $\overline{\Delta}_b^{r \rightarrow a}$  :  $r \rightarrow a \oplus b$  연결과정에서 발생하는 인지비용의 변화
- $\overline{\Delta}_{b \rightarrow s}^a$  :  $a \oplus b \rightarrow s$  연결과정에서 발생하는 인지비용의 변화
- $\overline{\overline{\omega}}_{kb}^{rs}$  :  $r \rightarrow s$ 의 경로 $k$ 에서 링크 $b$ 의 인지비용
- $P_k$  :  $k$ 번째 경로.
- $P^{rs}$  :  $r \rightarrow s$ 를 연결하는 경로집합  
 $P^{rs} = \{p_1, p_2, \dots, p_k, \dots, p_k\}$ .

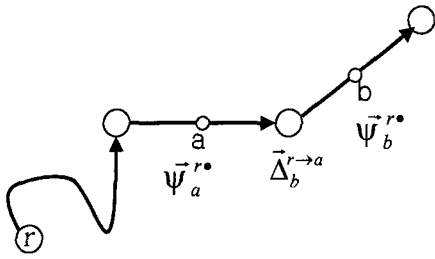
#### 1. 출발지와 도착지의 경로인지특성반영

경로가 열거된 링크인지비용을 포함하여 출발지기반으로 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 출발지, 도착지, 출발지와 도착지를 연결하는 경로에 따라 링크를 인지하는 값이 상이하 다( $\overline{\overline{\omega}}_{kb}^{rs} \geq 0, \forall k \in P^{rs}$ ).

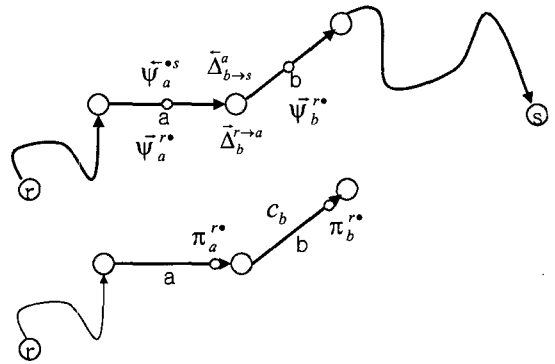
$$\overline{\overline{\overline{\psi}}}_b^{rs} = \min_{\forall a \in \Gamma_i^r, \forall k \in P^{rs}} \{ \pi_a^{r*} + c_b + \overline{\overline{\omega}}_{kb}^{rs} \}, \forall b \in L \quad (3)$$

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 ( $\overline{\psi}_b^{r*} = \overline{\overline{\psi}}_a^{r*} + \overline{\Delta}_b^{r \rightarrow a} \geq 0$ ).



〈그림 5〉 출발지기반 링크인지비용

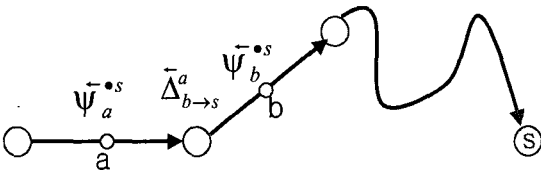
정의3 : 도착지  $s$  중심으로 역으로 링크  $a$ 를 인지하는 비용은  $s$ 에서 역으로 연결된 부분경로의 마지막 링크  $b$ 의 링크인지비용과 링크  $a$ 의 인지비용의 변화를 포함하는 과정으로 음수가 아닌 비용 ( $\bar{\Psi}_a^{*s} = \bar{\Psi}_b^{*s} \bar{\Delta}_{b \rightarrow s}^a \geq 0$ ).



〈그림 8〉 출발지기반 총 통행비용

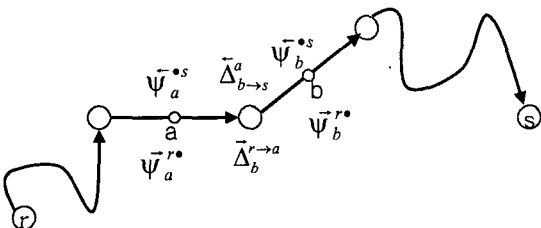
## 2. 최적식 및 알고리즘

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



〈그림 6〉 도착지기반 링크인지비용의 확장

정의4 : 출발지  $r$ 과 도착지  $s$ 에서 동시에 링크  $b$ 를 인지하는 비용은 출발지기반 인지비용과 도착지 기반 인지비용을 합 ( $\bar{\Psi}_b^{r*} + \bar{\Psi}_a^{*s} = \bar{\Psi}_a^{r*} + \bar{\Delta}_b^{r \rightarrow a} + \pi_b^{r*} > 0$ ,  $\bar{\Psi}_b^{*s} + \bar{\Delta}_b^{r \rightarrow a} \geq 0$ ).



〈그림 7〉 출발지와 도착지 동시에 고려된 링크인지비용

정의5 :  $r$ 과  $s$  동시에 링크  $b$ 를 인지하는 총 통행비용은 출발지기반 인지비용, 도착지 기반 인지비용, 출발지기반 통행비용( $\pi_b^{r*} > 0$ )의 합.

$$\begin{aligned} \text{즉 } (\pi_b^{r*} + \bar{\Psi}_b^{r*} + \bar{\Psi}_a^{*s} &= \pi_b^{r*} + c_b + \bar{\Psi}_a^{r*} + \bar{\Delta}_b^{r \rightarrow a} \\ &+ \bar{\Psi}_b^{*s} + \bar{\Delta}_{b \rightarrow s}^a > 0) \end{aligned}$$

$$\bar{\Pi}_b^{rs} = \min_{\forall ae \in \Gamma_s^+} \{ \pi_a^{r*} + c_b + \bar{\Psi}_a^{r*} + \bar{\Delta}_b^{r \rightarrow a} + \bar{\Psi}_b^{*s} + \bar{\Delta}_{b \rightarrow s}^a \} \quad \forall e \in L \setminus \Gamma_r^+$$

$$\bar{\Pi}_b^{r*} = c_e + \bar{\Psi}_e^{*s}, \quad \forall e \in \Gamma_r^+ \tag{4}$$

$$\pi_e^{r*} = c_e, \quad \forall e \in \Gamma_r^+$$

$$\bar{\Psi}_e^{r*} = 0, \quad \forall e \in \Gamma_r^+$$

$$\bar{\Psi}_f^{*s} = 0, \quad \forall f \in \Gamma_s^-$$

일반적으로 동시에 양방향 탐색을 진행하는 문제의 최적 해의 보장에 대해서는 알려져 있지 않다. 본 연구는 도착지를 기반으로 후방으로 진행되는 최적링크인지비용을 제약조건으로 고정하고, 출발지를 기준으로 전방향으로 최적탐색비용을 진행한다. 아래의 식은 도착지기반 최적링크인지경로트리의 값( $\bar{\Psi}_a^{*s}, \forall a \in \Gamma_s^+$ )이 고정된 제약조건 하에서 출발지기반 최적통행비용의 탐색문제를 나타내는 최적식을 의미한다.

$$\bar{\Pi}_b^{r*} = \min_{\forall ae \in \Gamma_s^+} \{ \pi_a^{r*} + c_b + \bar{\Psi}_a^{r*} + \bar{\Delta}_b^{r \rightarrow a} + \bar{\Psi}_b^{*s} + \bar{\Pi}_b^{*s} \}, \quad \forall b \in L \setminus \Gamma_r^+$$

$$\begin{aligned} \pi_e^{r*} &= c_e, \forall e \in \Gamma_r^+ \\ \overline{\Psi}_e^{r*} &= 0, \forall e \in \Gamma_r^+ \end{aligned} \quad (5)$$

subject to

$$\begin{aligned} \overline{\Psi}_a^{*s} &= \overline{\Psi}_a^{*s} = \min_{\forall a \in \Gamma_b^-} \{ \overline{\Psi}_a^{*s} + \overline{\Delta}_{b \rightarrow s}^a \}, \quad \forall a \in \Gamma_s^- \\ \overline{\Psi}_f^{*s} &= \overline{\Psi}_f^{*s} = 0, \forall f \in \Gamma_s^- \end{aligned}$$

따라서, 출발지기반 최적경로탐색알고리즘은 크게 도착지기반 최적인지경로트리 ( $\overline{\Psi}_a^{*s}, \forall b \in \Gamma_s^+$ )를 구축하는 과정과, 출발지를 기점으로 최적경로를 탐색하고, 마지막으로 출발지와 도착지를 연결하는 최적경로를 탐색하는 크게 Step0, Step1의 2단계의 과정으로 구분되며, 각 단계에서 세부적인 알고리즘은 기존의 링크표지갱신 방법을 응용한 것으로 Step 0.1부터 Step1.3까지 나타나 있다.

Step0 : 도착지기반 최적링크인지경로구축.

Step1 : 출발지기반 최적링크비용경로탐색.

**[Step 0.1] 초기화**

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

**[Step 0.2] 다음탐색링크결정**

If ( $Q = \{ \}$ ): 종료.  
 Else :  $Q = \{ a_1, a_2, \dots, a_N \}$ 에서  
 $a = a_1$ 의 선정  $Q = Q - \{ a \}$

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

If : ( $\overline{\Psi}_b^{*s} + \overline{\Delta}_{b \rightarrow s}^a < \overline{\Psi}_a^{*s}$ )  
 :  $\overline{\Psi}_a^{*s} = \overline{\Psi}_b^{*s} + \overline{\Delta}_{b \rightarrow s}^a$   
 $Q = Q \cup \{ a \}$   
 Go to **[Step 0.2]**  
 Else : Go To **[Step 0.2]**

**[Step 1.1] 초기화**

$$\begin{aligned} \overline{\Pi}_a^{r*} &= \infty, \forall a \in L \setminus \Gamma_r^+ \\ Q &= \{ \}; \\ \pi_e^{r*} &= c_e, \forall e \in \Gamma_r^+; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{\Psi}_e^{r*} &= 0, \forall e \in \Gamma_r^+ \\ Q &= Q \cup \{ e \} \end{aligned}$$

**[Step 1.2] 다음탐색링크결정**

If : ( $Q = \{ \}$ ):  $\overline{\Pi}_a^{r*}, \forall i \in N$  종료.  
 Else :  $Q = \{ a_1, a_2, \dots, a_{NRIGHT} \}$ 에서  
 $a = a_1$ 의 선정  $Q = Q - \{ a_1 \}$ ;

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

If :  $\overline{\Pi}_a^{r*} + c_b + \overline{\Delta}_b^{r \rightarrow a} + \overline{\Psi}_f^{*s} < \overline{\Pi}_b^{r*}$ :  
 $\overline{\Pi}_b^{r*} = \overline{\Pi}_a^{r*} + c_b + \overline{\Delta}_b^{r \rightarrow a} + \overline{\Psi}_f^{*s}$ ;  
 $Q = Q \cup \{ b \}$   
 Go to **[Step 1.2]**  
 Else : Go To **[Step 1.2]**

정리1 : 알고리즘은 한정된 반복회수 후에 수렴한다.  
 증명 : 알고리즘이 종료한다는 사실을 증명하기 위해, 한정된 반복회수 후에 다음탐색집합 Q에 남아있는 링크가 없음에 대한 모순의 반박으로서 증명된다. 제안된 알고리즘은 도착지기반 최적링크인지경로트리를 제약조건으로 출발지기반 최적링크비용경로를 탐색하는 것이므로, 두 가지의 경우 모두에 대하여 Q에 남아있는 링크가 존재하지 않아야 한다. 동일한 문제이므로 여기서는 출발지기반 최적링크인지경로트리를 중심으로 증명하며, 출발지기반에는 동일하게 추론하면 응용이 가능하다. Q가 한정된 반복회수에도 원소가 남아있다고 가정하면, 이는 적어도 하나의 노드는 반복적으로 Q에 진입 되며, 이는 다시 적어도 하나의 링크표지가 매번 반복 때마다 무한적으로 개선되고 있음을 의미한다. 결론적으로 이는 음의 링크표지가 계산되는 것을 의미하며, 이 것은 다시 모든 표지는 <정의5>에 의하여 양의 값을 갖는 다는 사실에 대한 모순이다.

정리2 : 매 반복회수에서 모든 링크와 링크의 지원링

크는 무한 값( $\infty$ )과 유한 값( $< \infty$ )으로 나타난다. 무한 값은 출발지와 링크까지의 경로가 존재하지 않는 것을 의미하며, 유한 값을 나타내면, 두 지점 간 경로를 연결하는 최적통행비용의 상한 값을 의미한다.

증명 : 링크  $cb$ 와 지원링크가 대해 매 반복회수에 무한 값을 갖는 경우는 어떤 인접링크에 대하여 표지가 변하지 않았음을 의미하며, 이것은 결론적으로 출발지를 연결하는 어떤 링크와도 연결하는 경로가 존재하지 않음을 의미하다. 링크  $cb$ 의 표지가 유한 값이고, 지원링크  $ca$ 에 대해서 아래 식에 의해 표지가 변화되었으면 다음의 세 가지 경우에 해당됨:

$$\overline{\Pi}_a^{r*} = \{ \pi_a^{r*} + c_b + \overline{\Psi}_b^{r*} \Delta_b^{r-a} + \overline{\Psi}_f^{r*s} \}$$

- (a) 탐색링크  $cb$ 와 선행링크  $ca$ 의 표지에 변화가 없음.
- (b) 탐색링크  $cb$ 의 표지가 선행링크  $ca$  방향에서 감소했음.
- (c) 탐색링크  $cb$ 의 표지가  $a$ 가 아닌 다른 선행링크 방향에서 감소했음.
- (d) 선행링크  $ca$ 의 표지가 감소했으나, 탐색링크  $cb$ 의 표지의 감소는 발생하지 않음.

(a)~(c)의 경우는 탐색링크  $cb$ 와 선행링크  $ca$ 의 관계에서 등식부호가 성립하나, (d)의 경우는 부등식이 된다. 부등식에서 링크  $cb$ 와 선행링크  $ca$ 의 표지는 다음의 식과 같다.

$$\overline{\Pi}_a^{r*} \geq \{ \pi_a^{r*} + c_b + \overline{\Psi}_b^{r*} \Delta_b^{r-a} + \overline{\Psi}_f^{r*s} \}$$

위의 논리가 선행링크  $ca$ 와  $a$ 의 선행링크, 다시 선행링크의 선행링크, 계속 역 방향으로 진행되면, 도착지와 연결된 링크에 도달된다. 결과적으로 출발지에서 모든 링크를 연결하는 경로는 존재하며, 링크  $cb$ 의 표지는 유한 값을 갖는다. 이 표지는 출발지에서 링크  $cb$ 까지 최적통행비용의 상한 값이다.

정리3 : 알고리즘의 종료에 관련하여, 모든 링크  $cb$ 의 표지는 선행링크  $ca \forall a \in \Gamma_b^-$ 와 다음의 관계식이 성립된다.

$$\overline{\Pi}_a^{r*} \geq \{ \pi_a^{r*} + c_b + \overline{\Psi}_b^{r*} \Delta_b^{r-a} + \overline{\Psi}_f^{r*s} \}$$

증명 : 링크표지갱신알고리즘의 【Step1.3】에서 유추하여 증명된다. 다음의 식을 만족하는 인접링크  $a (\forall a \in \Gamma_b^-)$ 가 존재한다고 가정하면,

$$\overline{\Pi}_a^{r*} = \{ \pi_a^{r*} + c_b + \overline{\Psi}_b^{r*} \Delta_b^{r-a} + \overline{\Psi}_f^{r*s} \}$$

알고리즘은  $a$ 가  $Q$ 에서 원소로 남아있기 때문에 종료되지 않는다.  $a$ 가 아직  $Q$ 의 원소라는 사실은 알고리즘이 종료되었다는 주장에 대한 모순이다.

이론1 : 제안된 알고리즘의 종료 후에, 출발지와 도착지를 연결하는 경로는 출발지와 도착지의 경로의 인지특성이 고려된 최적비용경로이다.

증명 : 정리2에 의하여 출발지노드에서 도착지노드까지 탐색된 경로를 다음의 링크로 연계될 수 있다.

$$p_{n*} = \{ b_0(r, j_0), b_1(j_0, j_1), \dots, b_i(j_{i-1}, j_i), b_{N-1}(j_{N-2}, j_{N-1}), b_N(j_{N-2}, j_{N-1}), b_N(j_{N-1}, j_N = s) \}$$

경로에 해당되는 표지를  $\overline{\Pi}_{bN}^{r*}$ 로 정의하고,  $\overline{\Pi}_{bN}^{r*}$ 이 출발지와 도착지의 경로의 인지특성이 고려된 다음의 최적비용경로라는 사실의 모순을 통하여 증명한다.

$$\overline{\Pi}_{bN}^{r*} \leq \pi_{bN-1}^{r*} + c_{bN} + \overline{\Psi}_{bN-1}^{r*} \Delta_{bN}^{r-b_{N-1}} + \overline{\Psi}_{bN}^{r*s}$$

$\overline{\Pi}_{bN}^{r*}$ 이 출발지와 도착지의 경로의 인지특성이 고려된 최적비용경로가 아니라고 가정하면, 최적비용경로인 다음의 다른 경로가 존재한다

$$\overline{\Pi}_{bN}^{r*} > \{ \pi_c^{r*} + c_{bN} + \overline{\Psi}_c^{r*} \Delta_{bN}^{r-c} + \overline{\Psi}_c^{r*s} \}$$

이 경우  $c \in \Gamma_{bN}^-$

이 관계식은 앞에서 제시된 "알고리즘의 종료 후 다음과 같은 Label이 존재하지 않는다는 <정리3>에 모순되는 것이다. 즉 종료 시 다음식을 만족하는 표지가 존재하지 않는다.

$$\overline{\Pi}_b^{r*} > \{ \pi_a^{r*} + c_b + \overline{\Psi}_a^{r*} \Delta_b^{r-a} + \overline{\Psi}_a^{r*s} \} \overline{\Pi}_b^{r*}$$



이 경우  $\forall a \in \Gamma_b$

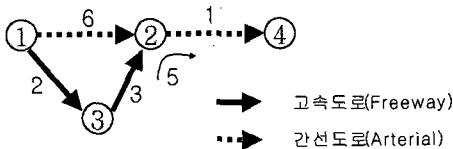
따라서,  $P^{**}$ 는 출발지와 도착지를 연결하는 통행비용이  $\prod_{a \in P^{**}}$ 인 최적경로이다.

### IV. 사례연구

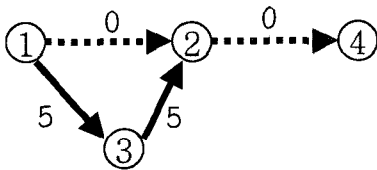
2가지 사례연구를 통하여 제안된 알고리즘에 대하여 검토한다. 첫 번째 사례는 소 규모 교통망을 대하여 계산과정을, 두 번째는 중 규모 교통망을 대상으로 교통정보와 도로위계가 교통망의 통행에서 제안된 기법이 시인성과 안전성을 확보하기 위해 어떻게 활용되는가에 대하여 설명한다.

#### 1. 사례연구1

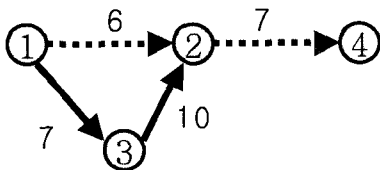
4개의 노드와 4개의 링크로 구성된 <그림 9>의 소 규모 교통망을 대상으로 두 인접링크(3→2→4)방향(고속도로에서 간선도로)으로 출발지1과 도착지4의 관점



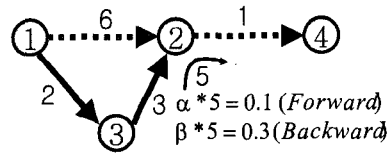
<그림 9> 네트워크 및 도로위계와 교통정보 인지비용



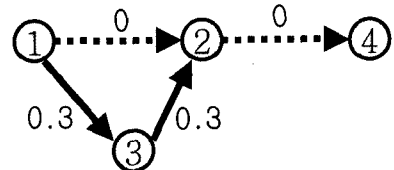
<그림 10> 도착지기반 최적링크인지경로트리



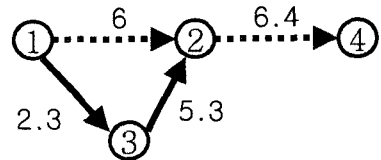
<그림 11> 출발지기반 최적비용경로트리



<그림 12> 인지비용 파라미터적용(안정성, 정보제공정도, 인지정도



<그림 13> 도착지기반 최적링크인지경로트리



<그림 14> 출발지기반 최적비용경로트리

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

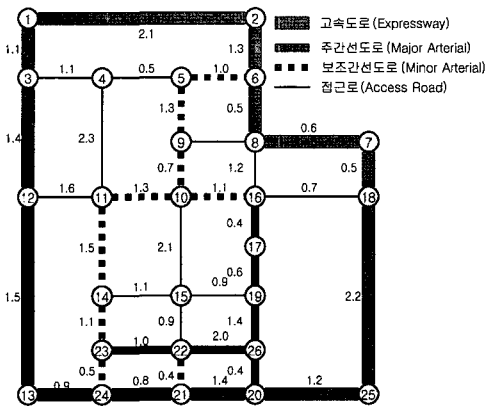
<그림 10>은 도착지4에 대하여 최적링크인지경로트리를 구축한 것으로 링크(3→2)과 링크(1→3)에서 도착지에 대하여 5의 인지통행으로 나타난다. <그림 11>은 <그림 10>의 링크인지경로트리를 제약조건으로 출발지기반 최적비용경로트리를 구축한 것으로 최적경로는 인지비용을 고려하지 않은 경우와 동일하게 비용7의 (1→2→4) 노드순서로 나타난다.

<그림 12>은 출발지와 도착지의 경로인지특성이 다른 경우로서 파라메타  $\alpha, \beta$ 를 도입하여 (3→2→4)방향으로 출발지기반으로는 0.1 도착지기반으로는 0.3의 <그림 9>에 비하여 다른 경로인지특성이 적용되도록 하였다.

<그림 13>는 도착지기반으로 최적링크인지트리를 구축한 것이며, <그림 14>은 <그림 13>에서 구축된 최적링크인지트리를 제약으로 출발지기반으로 최적비용경로트리를 구축한 것이다. <그림 14>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.

## 2. 사례연구2

(그림 15)과 같은 중 규모의 교통망에 대하여 경로인 지비용에 대한 가정을 확대 적용하기로 한다. 양방향의 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( $\alpha, \beta, \delta$ )는 아래의 3가지 시나리오로 구성되어 있다. 여기서  $\alpha$ 는 출발지에서 경로를 선택함에 따라 위계가 낮은 도로로 전환하는 경우에 대한 운전자의 부담감을 나타내어 출발지에서 통행이 멀어질수록 시인성이 양호한 도로를 가급적 선택하여 통행을 유도한다.  $\beta$ 는 도착지까지 시인성이 낮은 도로로 접근하는 경우에 대한 운전자 부담감으로서 도착지까지의 접근에 시인성이 양호한 도로의 선택하여 통행이 종료되도록 한다.  $\delta$ 는 도착지 주변에 대하여 익숙한 지역의 경우  $\beta$ 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.



(그림 15) 대상네트워크

1) 교통망에 대한 완전정보에 대한 가정으로서 통행시간을 최소화하기 위한 통행

$$\overleftarrow{\Pi}_b^{1-10} = \overleftarrow{\Pi}_b^1 = \min_{\forall a \in L} \{ \pi_e^1 + c_b, \overleftarrow{\Pi}_b^1 \}, \forall b \in L \setminus \Gamma_r^+$$

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

$$\overleftarrow{\Pi}_b^{1-10} = \overleftarrow{\Pi}_b^1 = \min_{\forall a \in L} \{ \pi_e^1 + c_b, \overleftarrow{\Psi}_a^{1-a} + \overleftarrow{\Delta}_b^{-a}, \overleftarrow{\Pi}_b^1 \}, \forall b \in L \setminus \Gamma_1^+$$

$$\pi_e^1 = c_e, \forall e \in \Gamma_1^+$$

$$\overleftarrow{\Psi}_e^1 = 0, \forall e \in \Gamma_1^+$$

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

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

$$\overleftarrow{\Pi}_b^{1-10} = \overleftarrow{\Pi}_b^1 = \min_{\forall a \in L} \{ \pi_e^1 + c_b, \overleftarrow{\Psi}_a^{1-a} + \overleftarrow{\Delta}_b^{-a}, \overleftarrow{\Psi}_a^{*10} \}, \forall b \in L \setminus \Gamma_1^+$$

$$\pi_e^1 = c_e, \forall e \in \Gamma_1^+$$

$$\overleftarrow{\Psi}_e^1 = 0, \forall e \in \Gamma_1^+$$

subject to

$$\overleftarrow{\Psi}_a^{*10} = \overleftarrow{\Psi}_a^{*10} \min_{\forall a \in L} \{ \overleftarrow{\Psi}_a^{*10} + \overleftarrow{\Delta}_{b-10}^a \}, \forall e \in \Gamma_1^+$$

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

if ( $\pi_a^{*10} \leq 2.5$ ) :  $\overleftarrow{\Delta}_{b-10}^a = :$

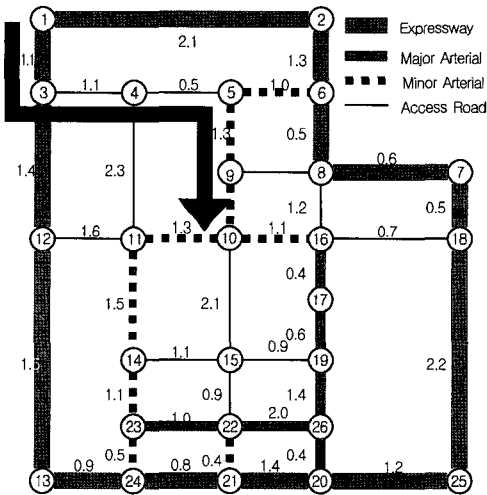
$$[\beta_1 \cdot \delta_1 \cdot \max(R_a - R_b, 0)]^2$$

(표 3) 총 통행비용에 적용된 파라메타

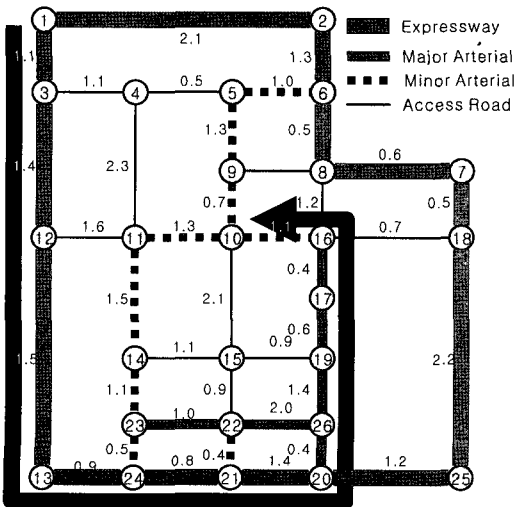
시나리오	인지비용		비고
	출발지 기반	도착지 기반	
(1)	0	0	통행시간
(2)	$\alpha = 50$	0	통행시간 + 출발지 기반 인지비용
(3)	$a = 5, \delta = 0.02$	if ( $\pi_a^{*10} \leq 2.5$ )	통행시간 + 출발지 기반 인지비용 + 도착지 기반 인지비용
		if ( $\pi_a^{*10} > 2.5$ )	
		$\beta_1 = 5, \delta_1 = 1$	$\beta_2 = 5, \delta_2 = 0.01$

$$\text{elseif} (\pi_a^{*10} > 2.5) \overrightarrow{\Delta}_{b \rightarrow 10} = [\beta_1 \cdot \delta_1 \cdot \max(R_a - R_b, 0)]^2$$

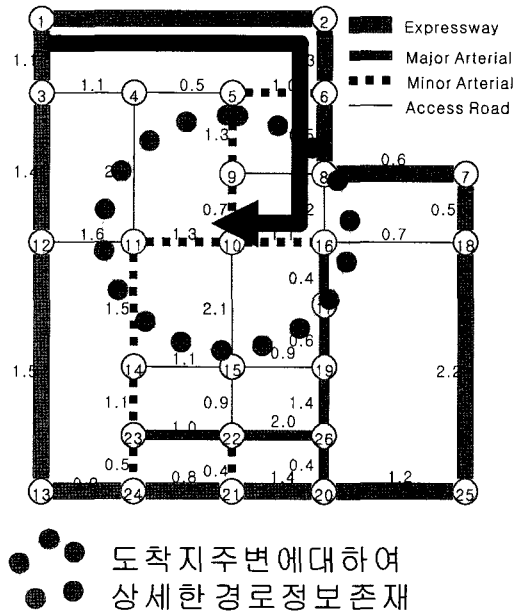
시나리오에 대한 결과는 <그림 16>, <그림 17>, <그림 18>과 같다. 우선 인지비용이 고려되지 않은 완전 정보를 가정한 시나리오1의 수행 결과인 <그림 16>은 통행시간에 의해서만 최적경로의 선택이 이루어지는 경우로서 1→3→4→5→9→10의 경로로서 나타남을 보여 주고 있다. 시나리오2의 도착지 주변에 대한 교통정보가 전무하여 출발지를 기준으로 도착지까지 시인성이 양호한 도로에 대한 통행은 보다 장거리를 통행하더라도 도로의 위계가 체계적으로 정립되는 통행인 - <그림 17>



<그림 16> 시나리오1 : 완전정보



<그림 17> 시나리오2 : 도착지 주변 정보부족 (시인성 확보)



<그림 18> 시나리오3 : 도착지 주변정보제공 (시인성+통행시간단축)

을 통하여 설명되고 있는 - 1→3→12→13→24→21→20→26→19→17→16→10의 통행으로 이루어진다. 시나리오3에서 <그림 18>과 같이 도착지 주변의 경로 정보가 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→2→6→8→16→10의 통행으로 이루어진다.

### V. 결론

최적경로탐색알고리즘의 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 최적경로를 탐색하는 최적식과 알고리즘을 제안하였다. 연구방법으로서 우선 경로의

최소단위를 링크로 정의하여 링크간의 비교가 경로간의 비교로 확대되도록 링크표지갱신 최적경로탐색기법을 확대하여 제안하였다. 또한 출발지와 목적지에서 고려된 링크의 인지특성을 반영하기 위하여 출발지 기반 최적경로탐색, 목적지 기반 최적경로탐색 기법을 동시에 적용하는 방안을 제안하였다. 양방향 탐색기법에 의한 최적경로탐색은 최적 해를 보장되지 못하므로 목적지 기반 최적링크 인지경로트리를 출발지 기반의 최적경로탐색의 제약조건으로 반영하는 수식과 알고리즘을 구축하였다.

2가지 사례연구를 통해 알고리즘에 대한 수행성과 활용성을 검토하였다. 첫 번째 사례는 4개의 링크와 4개의 노드로 구성된 소규모 네트워크를 통하여 알고리즘이 어떻게 계산되는가에 대하여 설명하였다. 두 번째 사례연구에서는 26개의 노드와 78개의 링크로 구성된 중 규모 교통망을 대상으로 세 가지 시나리오- 1) 교통망에 대한 완전정보, 2) 출발지에서 도착지까지의 출발지에서 경로를 인지하는 특성의 반영, 3) 도착지의 주변지역에서의 경로정보에 대하여 운전자가 경로선택에 있어서 어떻게 인지특성이 반영되는가에 대하여 설명하였다. 결론적으로 본 연구에서 제안된 기법은 여행자의 경로인지특성을 경로선택행태에 반영한 합리적인 시도라는 점에서 의의가 존재한다. 향후 연구로서 인지비용특성이 운전자의 보다 다양한 경로 선택행태와 연관되도록 제약조건을 고려하여 다수의 대안경로를 탐색하는 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. 이미영·백남철·문병섭·강원의 (2005), 경로인지비

용을 반영한 사용자최적통행배정모형, 대한교통학회지, 제23권 제2호, 대한교통학회, pp.117~130.

2. Daganzo C.F. and Sheffi Y. (1977) On Stochastic Models of Traffic Assignment. *Transportation Science* 11(3), pp.253~274.
3. Hall, R. W. (1986) The Fastest Path through A Network with Random Time-Dependent Travel Times. *Transportation Science*, 20(3).
4. 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.
5. Lee M. (2004) *Transportation Network Models and Algorithms Considering Directional Delay and Prohibition for Intersection Movement*, Ph.D. Thesis, University of Wisconsin-Madison.
6. Moore E. F. (1957) The Shortest Path through A Maze. *Proc. Int. Conf. on the Theory of Switching*. Harvard Univ., Cambridge, MA.
7. 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.
8. Sheffi Y. and Powell W.B. (1982) An Algorithm for the Equilibrium Assignment Problem with Random Link Times. *Networks* 12(2), pp.191~207.

✉ 주 작 성 자 : 신성일

✉ 논문투고일 : 2005. 5. 12

논문심사일 : 2005. 9. 15 (1차)

2005. 11. 4 (2차)

심사판정일 : 2005. 11. 4

✉ 반론접수기한 : 2006. 4. 30