

■ 論 文 ■

다양한 경로속성을 고려한 최적경로 탐색

Search for an Optimal-Path Considering Various Attributes

한 진 석

(서울대학교 건설환경공학부 박사과정)

전 경 수

(서울대학교 건설환경공학부 교수)

목 차

- | | |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경 및 목적</p> <p>2. 연구의 범위 및 방법</p> <p>II. 통행자 경로선택 모형</p> <p>1. 독립변수 선정</p> <p>2. 경로선택 모형 구축</p> <p>III. 최적경로 탐색 알고리즘</p> | <p>1. 기존 알고리즘 고찰</p> <p>2. 최적경로 탐색 알고리즘</p> <p>3. 가상 네트워크 적용</p> <p>4. 실제 네트워크 적용</p> <p>IV. 결론 및 향후 연구과제</p> <p>참고문헌</p> |
|---|---|

Key Words : 최단경로 탐색알고리즘, 이산선택모형, 경로선택모형, 효용, 다항로짓모형
Shortest-Path Algorithm, Discrete Choice Model, Route Choice, Utility, Multinomial Logit Model

요 약

기존의 최단경로 탐색모형들은 주로 경로의 단일 속성만을 고려한다. 그러나 실제로 통행자가 단일 속성만을 고려하여 경로를 선택하는 경우는 드물며, 대부분의 경로는 통행시간이나 경로길이 또는 통행자의 개인적인 선호 등과 같은 다양한 속성들이 종합적으로 고려되어 선택되어진다. 따라서 최적경로를 탐색하기 위해서는 이와 같은 다양한 속성들을 종합적으로 고려하여야 한다.

본 논문에서는 다양한 경로속성들을 고려하기 위하여 이산선택모형을 사용하여 네트워크의 노드별 효용을 산출하고, 이를 이용하여 최대의 효용을 가지는 경로를 탐색한다. 경로선택모형을 구축하기 위하여 경로선택에 영향을 미치는 요소들을 통행시간, 지체시간, 경로길이, 신호교차로수, 회전수, 전용도로의 포함비율 6가지로 선정하고, 모형의 모수를 추정하기 위한 현시선호자료를 구하기 위하여 서울시와 인접 신도시 간의 기종점 5개에 대한 경로를 선정하여 설문조사를 실시하였다.

경로선택모형의 함수형태로는 다항로짓모형을 사용하였으며, 모수추정 결과 통행시간과 신호 교차로수, 전용도로의 포함비율을 제외한 경로길이, 지체시간, 회전수를 가지고 모수를 추정한 결과가 통계적 유의성이 가장 높은 모형으로 도출되었다.

경로탐색 알고리즘으로는 도심부에서 U-turn과 회전제한의 반영이 가능한 기존의 수정형 덩굴망 알고리즘을 사용하였으며, 이를 구현하여 실제 네트워크에 적용하였다.

Existing shortest-path algorithms mainly consider a single attribute. But traveler actually chooses a route considering not single attribute but various attributes which are synthesized travel time, route length, personal preference, etc. Therefore, to search the optimal path, these attributes are considered synthetically.

In this study route searching algorithm which selects the maximum utility route using discrete choice model has developed in order to consider various attributes. Six elements which affect route choice are chosen for the route choice model and parameters of the models are estimated using survey data.

A multinomial logit models are developed to design the function of route choice model. As a result, the model which has route length, delay time, the number of turning as parameter is selected based on the significance test.

We use existing shortest path algorithm, which can reflect urban transportation network such as u-turn or p-turn, and apply it to the real network.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

최적경로 문제는 네트워크 이론에서 가장 기본적인고 중요한 문제 중의 하나이며, 최근에 연구가 활발한 지능형 교통체계(Intelligent Transportation System : ITS) 분야 중 첨단 여행자 정보체계(Advanced Traveler Information System : ATIS)에서 효율적인 경로정보를 제공하기 위하여 필수적인 기법이다.

최적경로는 정해진 기점과 종점을 연결하는 다수의 경로들 중 통행자의 목적을 최적으로 하는 경로이다. 일반적으로 최적경로를 탐색하는 기준으로 통행시간, 통행비용 또는 경로길이 등 하나의 속성만을 고려하며, 통행자는 자신의 목적에 맞는 경로를 최적경로로 선택한다. 그러나 실제로 통행자가 단일 속성만을 고려하여 경로를 선택하는 경우는 드물며, 통행시간이나 경로길이 또는 통행자의 개인적인 선호 등과 같은 다양한 속성들을 종합적으로 고려하여 선택한다. 그러므로 최적경로를 탐색하기 위해서는 통행자들이 경로선택시 중요하게 고려하는 속성들을 파악하여야 하며, 경로탐색 과정에서 이들 속성이 고려되는 경로가 탐색되어야 한다.

기존의 최단경로 탐색 알고리즘으로는 Dijkstra 알고리즘, Moore 알고리즘 등 다양한 기법들이 개발되었으며, 특히 다중목적을 고려한 최적경로 탐색 알고리즘으로는 파레토 최적을 이용한 "A bicriterion shortest path algorithm"(Climaco, Martins, 1982)과 "On Finding dissimilar paths"(V.Akgun, E. Erkut, 2000), "On finding dissimilar Pareto-optimal paths"(Paolo Dell'Olmo, 2004) 등이 있다.

그러나 일반적으로 파레토 최적해는 무수히 많기 때문에 파레토 개념을 적용한 알고리즘은 과도한 최적경로가 산출된다는 단점이 있으며, 또한 2가지 이상의 목적을 고려하지 못하는 한계를 가진다.(E.Q.V. Martins, J.L.E. Santos, 1999)

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 다양한 경로속성을 고려하기 위하여 이산선택모형을 사용하여 네트워크의 노드별 효용을 산출하였으며, 그 결과를 이용하여 최대 효용을 가지는 경

로를 탐색하였다. 경로선택에 영향을 미치는 요소들은 통행시간, 지체시간, 경로길이, 신호교차로수, 회전수, 전용도로의 포함비를 6가지로 선정한다.

경로선택 모형으로는 다항로짓모형을 사용하였으며, 모형의 모수를 추정하기 위한 현시선호자료를 구하기 위하여 서울시 및 인접 신도시의 기종점 5개(김포공항~당산역, 김포공항~서울대, 서울대~국회의사당, 시청앞~일산백석역, 대치역~분당구청)에 대한 경로를 선정하여 설문조사를 실시하였다. 또한 경로탐색 알고리즘으로는 도심부에서 유턴(U-turn)과 회전제한의 반영이 가능한 기존의 수정형 덩굴망 최단경로 탐색 알고리즘(김익기, 1998)을 사용하였으며, 이를 기반으로 실제 네트워크에 적용이 가능하도록 구현하였다.

II. 통행자 경로선택 모형

1. 독립변수 선정

경로선택에 영향을 미치는 요소들은 여러 가지가 있을 수 있으나, 이들 가운데 계량화가 어렵거나 현실적으로 자료수집 가능성이 적은 요소들을 제외한 다음의 6가지 요소들을 독립변수로 선정하였다.

〈표 1〉 독립변수의 선정

통행시간	지체시간
경로길이	신호교차로수
회전수	전용도로의 포함비율

통행시간은 각 통행자가 인지하고 있는 통행시간을 의미하며, 지체시간은 인지한 통행시간에서 자유류 통행시간(free-flow travel time)을 뺀 값을 사용하였다. 여기서 자유류 통행시간은 운전자의 희망속도가 아닌 제한속도로 주행했을 때의 통행시간으로 간주하였으며, 정지나 지체없이 교차로를 통과하는 경우도 자유류 통행시간으로 보았다.

신호교차로수는 통행시간과 마찬가지로 운전자가 인지하고 있는 신호교차로수를 의미한다. 단, 모수추정을 위한 독립변수로는 단위길이(km)당 신호교차로수를 사용하여 경로길이의 차이로 인한 편의를 제거하였다.

이상의 경로속성들과 결과로 나타나는 운전자의 선택 간의 관계를 규명할 수 있도록, 선정된 속성들이 다양하게 분포하고 운전자들의 인지도가 높으며, 중요하게 경

합되는 경로가 존재하는 기종점을 선정하여 현시선호자료를 구득하였다.

2. 경로선택 모형 구축

경로선택 모형의 함수형태는 다항로짓모형을 사용하였으며, 다항로짓모형의 모수를 추정하기 위하여 최우추정법(maximum likelihood method)을 사용한다. 또한 추정된 모형이 관측된 자료를 얼마나 잘 설명하는가를 나타내는 지표인 모형의 적합도(goodness of fit)를 검증하기 위하여 우도비 지표(likelihood ratio index, ρ^2)와 유사한 통계량인 조정우도비지표(adjusted likelihood ratio index, $\bar{\rho}^2$)를 사용하였다. $\bar{\rho}^2$ 는 추정되는 계수의 수에 대해 ρ^2 를 보정한 값이며, 모형의 효율성을 함께 고려하기 위하여 사용된다. 통상의 경우 설명변수의 수가 증가하면 ρ^2 값은 증가하기 때문에, 모수의 수가 많은 모형을 최적의 모형으로 선정하게 되는 문제점을 해결할 수 있다.

$$\bar{\rho}^2 = 1 - \frac{\{L(\hat{\beta}) - K\}}{L(0)}$$

$L(0)$: 모형의 모든 계수의 값이 0일 경우의 로그우도함수의 값

$L(\hat{\beta})$: 로그우도함수의 값이 최대일 때의 로그우도함수 값

K : 모수의 수

모형의 구축과정으로는 우선 6개 독립변수 모두에 대한 모수를 추정한 후 t-통계량이 낮게 산출된 변수인 통행시간, 전용도로비율, 경로길이를 선정하고 이후의 모형에서는 이들 세 변수를 동시에 사용하지 않고 모형들을 구축하였다. 검토된 모형들 중에서 지체시간과 회전수, 경로길이를 독립변수로 하는 모형의 조정우도비지표가 가장 높게 나타났으며 모수추정 결과¹⁾는 <표 2>와 같다.

추정결과 모수의 부호와 t-통계량이 모두 만족스러운 것으로 나타났으며, 경로길이의 t-통계량이 다소 낮기는 하지만 경로길이 변수를 제외할 경우 경로선택모형의 구성상 문제가 될 소지가 있어 이를 제외하지 않는다. 이는

<표 2> 모수추정 결과

독립변수	모형		
	추정값	표준오차	t-통계량
통행시간	*	*	*
지체시간	-0.306	-0.042	-7.30
신호교차로수	*	*	*
회전수	-0.643	0.128	-4.90
전용도로비율	*	*	*
경로길이	-0.090	-0.089	-1.00
모수의 수	3		
조정우도비지표	0.498		

경로길이 변수가 제외되는 경우 지체시간은 짧지만, 통행시간은 상당히 큰 경로가 선택될 우려가 있기 때문이다.

본 연구에서는 네트워크를 구성하는 각 노드(node)의 효용을 경로선택 모형으로 계산하고, 기존의 최적경로 탐색 알고리즘(김익기, 1998)을 사용하여 다음과 같은 최대의 효용을 가지는 경로를 탐색한다.

$$Max. \sum_{i=1}^N U_i \quad i = \{1, 2, \dots, N\}$$

U_i : 효용함수 V_k 에 따른 노드별 효용

V_k : $-0.3056 \cdot (\text{지체시간}) - 0.6430 \cdot (\text{회전수}) - 0.0902 \cdot (\text{경로길이})$

i : 네트워크상의 노드번호

또한 통행자의 행태를 기반으로 산출된 효용함수를 사용하여 각 노드별 효용을 계산하고, 이를 사용하여 최적경로를 탐색하기 때문에 다양한 경로속성을 고려하는 경로의 탐색이 가능하다.

III. 최적경로 탐색 알고리즘

1. 기존 알고리즘 고찰

대도시권의 복잡한 도로망에서는 교차로에서의 좌회전 금지나 P-turn, U-turn과 같은 회전제한을 반영할 수 있는 합리적인 최단경로를 탐색할 수 있어야 한다. Caldwell(1961), Sheffi(1985) 등은 도로망에 회전제한을 표현하기 위하여 기존 도로망을 확장하거나 변형하였으며, 이를 기반으로 최단경로를 탐색하였다. 그러나

1) 교통정보제공에 따른 사용자 반응행태모델 개발, 과학기술부, 2000

이와 같은 방법은 기존 도로망에 노드 및 링크를 추가하여 경로를 탐색하기 때문에 경로탐색에 많은 시간이 소비된다는 단점을 가지고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 도로망의 확장 또는 변형이 없이 경로 탐색과정상에서 도시부의 회전제한을 고려할 수 있어야 하며, 이와 같은 목적으로 링크탐색 알고리즘(노정현, 남궁성, 1995; 이승환 외, 1996)과 수정형 덩굴망 알고리즘(김익기, 1998) 등이 개발되어졌다.

또한 김익기(2004)는 “이성적 한계범위(rational upper boundary)”라는 통행자들의 행태적 개념을 도입하여 수정형 덩굴망 알고리즘을 이용한 다경로 생성 알고리즘을 개발하였으며, 이미영(2005)은 경로인지비용을 반영하여 최적경로 탐색 알고리즘을 제시하였다.

2. 최적경로 탐색 알고리즘

전통적인 최단경로 탐색 알고리즘이 만족하는 Bellman (1958)의 최적원리(principle of optimality)는 다음과 같다.

$$\pi_1 = 0$$

$$\pi_j = \min_{i \neq j} \{ \pi_i + d_{ij} \} \quad (j = 2, 3, \dots, N)$$

π_j : 시발점 1에서부터 교점 j 까지의 최단거리

즉, 교점 j 까지의 최단경로상에서 교점 i 까지의 부분 경로는 교점 1에서 i 까지의 최단경로이어야 하기 때문에 교점 i 가 어떤 교점이든지 간에 $\pi_j = \pi_i + d_{ij}$ 가 성립한다.

그러나, Bellman의 식을 만족하는 기존의 알고리즘은 도시 가로망에서 다수 존재하는 U-turn 및 회전제한을 고려하지 못함으로써 실제 최단경로를 탐색하지 못하는 문제점을 가진다. 또한 교차로에서 회전제한을 반영하기 위한 덩굴망 알고리즘 역시 경우에 따라 최적해를 구하지 못하는 한계를 가진다.(노정현, 남궁성, 1995)

이와 같은 문제를 해결하기 위한 지금까지의 접근 방법은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다.

첫 번째 방법은 도로망의 표현방식에 의한 것으로 기존의 알고리즘을 그대로 사용하면서 도로망에 가상노드와 링크(link)를 추가하는 방법이다. 그러나 이는 노드

와 링크가 현저하게 증가하기 때문에 탐색 속도의 저하를 야기한다.

두 번째 방법은 기존의 알고리즘을 바탕으로 알고리즘 내 적용 자료의 구조적인 변형에 의한 것인데 이 역시 대부분 지나치게 알고리즘이 복잡해지는 단점을 가진다(노정현, 1995).

본 논문에서는 이러한 기존 덩굴망 알고리즘의 문제점과 도시부의 합리적인 회전제약을 고려할 수 있는 기존의 수정형 덩굴망 최단경로 탐색 알고리즘(김익기, 1998)을 사용하였으며, 이를 기반으로 Microsoft Visual Basic 6.5를 사용하여 실제 네트워크에 적용이 가능하도록 구현하였다.

프로그램 진행 중 U-turn 또는 P-turn에서 순환이 발생하는 경우에는 한번만 순환을 하고 다른 경로를 탐색하도록 설정하였으며, 이는 순환의 통행비용이 다른 경로를 선택하는 비용보다 적다고 하더라도 계속적인 순환은 현실적으로 발생하지 않으며, 회전비용이 없는 일반적인 회전에서 아무리 회전비용이 크다고 하더라도 U-turn과 P-turn의 비용보다 적다고 생각할 수 있기 때문에, 이와 같은 계속적인 순환을 탐색하는 것은 의미가 없다고 가정하였다.

또한 기존의 수정형 덩굴망 알고리즘의 가정을 충실히 반영하여 유고발생시 다른 경로를 탐색이 가능하고, 특정 경우지를 포함하는 경로의 탐색을 가능하도록 구현하였다.

실제 네트워크에서 경로를 탐색하는 경우 네트워크내의 회전제한을 조사하여 회전수 속성에 반영하여 모형을 구축하였기 때문에, 실제 네트워크 적용에서는 U-turn에 대한 비용을 별도로 고려하지 않았다.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 흐름도와 수행단계는 <그림 1>과 같다.

s, t : 출발노드, 도착노드

i : 현재 경로탐색 대상이 되는 첫 번째 노드

j : 노드 i 와 하나의 링크로 연결된 노드, 현재 경로탐색 대상이 되는 두 번째 노드

k : 노드 j 와 하나의 링크로 연결된 노드, 현재 경로탐색 대상이 되는 세 번째 노드

$cost_{ij}$: 노드 i 에서 노드 j 로 가는데 드는 노선비용

$cost_{jk}$: 노드 j 에서 노드 k 로 가는데 드는 노선비용

$cost_{ik}$: 노드 i 에서 노드 k 로 가는데 드는 노선비용

$cost_{tp}$: 회전비용을 고려한 최종 노선비용

집합 J : 노드 i 와 하나의 링크로 연결된 노드 j 의 집합

집합 K : 노드 j 와 하나의 링크로 연결된 노드 k 의 집합

[단계 1] 네트워크 내의 모든 노드비용을 초기화하고, 기점노드와 종점노드를 선택한다.

[단계 2] 선택된 기점노드(노드 i)와 하나의 링크로

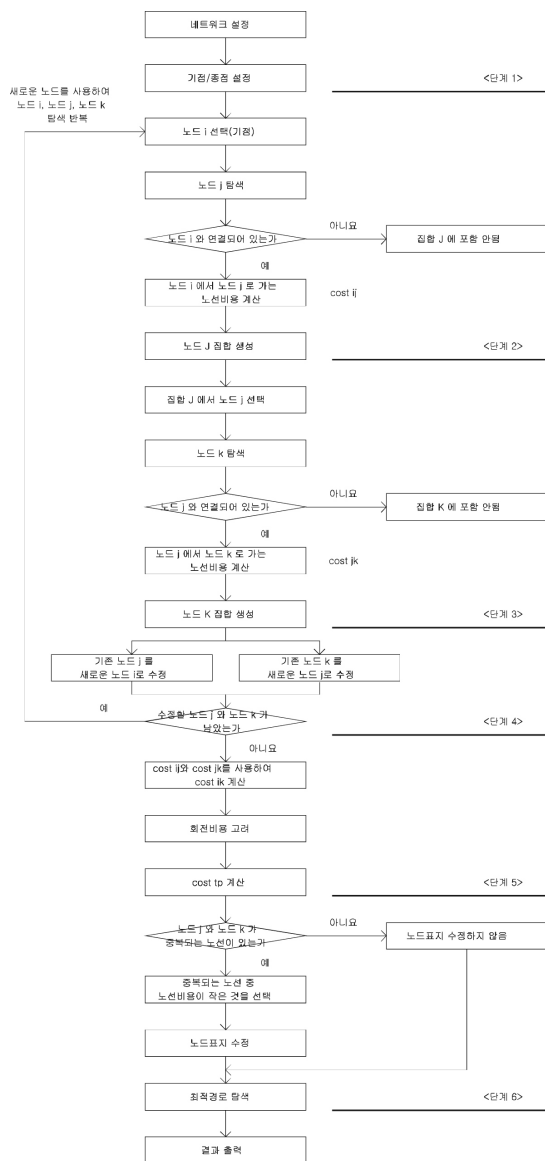
연결된 노드 j 를 탐색한다. 노드 i 와 연결되어 있으면, 노드 i 에서 노드 j 로 가는데 드는 노선비용 $cost_{ij}$ 을 계산하고, 집합 J 를 생성한다.

[단계 3] 집합 J 의 노드 j 와 하나의 링크로 연결된 노드 k 를 탐색한다. 노드 j 와 연결되어 있으면, 노드 j 에서 노드 k 로 가는데 드는 노선비용 $cost_{jk}$ 을 계산하고, 집합 K 를 생성한다.

[단계 4] 기존 노드 j 를 새로운 노드 i 로, 기존 노드 k 를 새로운 노드 j 로 수정하여 <단계 2>로 돌아간다. 만약 수정할 노드 j 와 노드 k 가 남아있지 않으면 <단계 5>로 넘어간다.

[단계 5] $cost_{ij}$ 와 $cost_{jk}$ 를 사용하여 $cost_{ik}$ 를 계산한 후, 회전비용을 고려한 최종 노선비용 $cost_{tp}$ 를 계산한다.

[단계 6] 경로탐색 과정에서 노드 j 또는 노드 k 가 중복되는 경로가 존재하는 경우, $cost_{tp}$ 를 비교하여 가장 작은 노선비용을 가지는 경로를 최적경로로 선택한다.

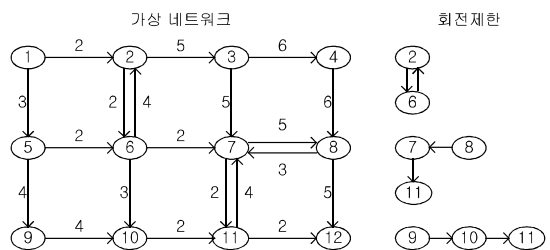


(그림 1) 최적경로 탐색 알고리즘

3. 가상 네트워크 적용

실제 네트워크에 적용하기에 앞서, 본 연구에서 구현한 경로탐색 알고리즘이 최적경로를 올바르게 탐색하는지 검토하기 위하여 회전제한이 존재하는 가상 네트워크에 적용하였다. 가상 네트워크는 총 12개의 노드와 20개의 링크를 가지며, 각 링크의 통행비용과 U-turn 및 회전제한은 (그림 2)와 같다.

각 링크의 통행비용은 최적경로 탐색시 통행자가 고려하는 다양한 속성들을 반영하는 임의의 일반화비용으로써, 가상 네트워크에서는 이러한 비용을 최소화 하는 최적경로를 탐색한다.



(그림 2) 가상 네트워크

가상 네트워크에서 U-turn이 허용되는 노드는 2번, 7번, 8번, 11번으로 모두 4개이며, 노드 2-노드 6-노드 2, 노드 8-노드 7-노드 11, 노드 9-노드 10-노드 11의 경로에서는 회전비용을 부여하여 회전을 제한하도록 하였다.

<표 3> 제안된 알고리즘의 경로탐색 과정

노드 i	노드 j	노드 k	$\cos t_{ik}$	$\cos t_{jp}$
1	2	3	7	7
		6	4	4
		6	5	5
5	5	9	7	7
		4	13	13
		7	12	12
2	3	2	8	108
		7	6	6
		10	7	7
3	4	8	19	19
		8	17	17
		11	14	14
7	7	7	22	22
		12	24	24
4	8	7	22	22
		12	24	24
		2	9	9
5	6	7	7	7
		10	8	8
		10	11	11
6(2) ²⁾	2	3	13	113
		6	10	110
		8	11	11
7	7	11	8	8
		11	9	9
		10	11	11
6(5)	2	3	14	14
		6	11	11
		8	12	12
7	7	11	9	9
		11	10	10
7(3)	8	7	20	20
		12	22	22
		7	18	18
11	11	12	16	16
		7	14	14
		12	16	16
7(6,2)	8	7	14	14
		12	16	16
		7	12	12
11	11	12	10	10
		7	15	15
		12	17	17
7(6,5)	8	7	13	13
		12	11	11
		8	27	27
7	7	11	24	124
		12	-	24

8(7,3)	7	8	25	25
		11	22	122
8(7,6,2) ³⁾	12	-	22	22
		7	8	19
		11	16	116
8(7,6,5)	12	-	16	16
		7	8	20
8(7,6,5)	7	11	17	117
		12	-	17
9	10	11	13	113
10(9)	11	7	17	117
		12	15	115
10(6,2)	11	7	13	13
		12	11	11
10(6,5)	11	7	14	14
		12	12	12
11(7,3)	7	8	23	23
		11	20	20
11(7,6,2)	7	8	17	17
		11	14	14
11(7,6,5)	7	8	18	18
		11	15	15
11(10,9)	7	8	22	122
		11	19	119
11(10,6,2)	7	8	18	18
		11	15	15
11(10,6,5)	7	8	19	19
		11	16	16

계산과정을 보면 기존의 덩굴망 알고리즘과는 달리 모든 노드마다 들어오는 방향별로 이전 경로를 가지고 있으므로, 하나의 노드가 경로 상에 중복되어 포함되더라도 지속적인 탐색이 가능하며, 위에서 살펴본 알고리즘의 수행단계 중 <단계 6>에서 노드 j 또는 노드 k 가 중복되는 경로 중 노선비용을 비교하여 가장 작은 비용을 가지는 경로를 선택하기 때문에 U-turn이나 회전제한이 존재하더라도 올바른 경로탐색이 가능하다. 제안된 알고리즘의 경로탐색 과정은 <표 3>과 같다.

가상 네트워크에 대한 최종 경로탐색 결과는 <표 4>와 같다.

가상 네트워크에 대한 최적경로는 노드 1-노드 2-노드 6-노드 7-노드 11-노드 12이고, 최종 노선비용은 10으로 검토되었다.

가상 네트워크에서는 통행자들이 경로선택 과정에서 고려하는 다양한 속성들을 반영하지 않았으며, 본 연구에

2) a(i)에서 i는 a의 전노드, a(i,j)에서 i는 a의 전노드, j는 a의 전전노드
 3) a(i,j,k)에서 i는 a의 전노드, j는 a의 전전노드, k는 a의 전전전노드

<표 4> 경로탐색 결과

노드 i	노드 j	노드 k	$\text{cost } t_{ip}$
1	2	3	7
1	2	6	4
1	5	6	5
1	5	9	7
2	3	4	13
2	3	7	12
2	6	2	108
2	6	7	6
2	6	10	7
3	4	8	19
3	7	8	17
3	7	11	14
4	8	7	22
4	8	12	24
5	6	2	9
5	6	7	7
5	6	10	8
5	9	10	11
6	2	3	14
6	2	6	11
6	7	8	11
6	7	11	8
6	10	11	9
7	8	7	14
7	8	12	16
7	11	7	12
7	11	12	10
8	7	8	19
8	7	11	116
9	10	11	113
10	11	7	13
10	11	12	11
11	7	8	17
11	7	11	14

서 구현한 알고리즘이 올바른 경로를 탐색하는가에 대한 검토를 수행하였다. 이러한 과정을 통하여 실제 네트워크에 적용이 가능한가에 대한 판단기준을 제시한 것에 가상 네트워크를 구축하여 사용한 의의가 있다고 사료된다.

그러나 가상 네트워크는 실제 네트워크와 달리 상당히 간략화되어 있기 때문에, 현실상황을 정확하게 반영하지 못하는 한계를 가지고 있으며, 본 연구에서는 이를 보완하기 위하여 구현한 알고리즘을 검토하는 과정에서 반드시 필요한 현실상황인 U-turn과 회전제한을 가상 네트워크에 표현하여 경로탐색 과정을 검토하였다.

4. 실제 네트워크 적용

U-turn 또는 P-turn 과 같은 회전제한이 존재하는

도심부의 실제 도로망을 대상으로, 본 연구에서 구현한 경로탐색 알고리즘을 적용하였다. 실험에 사용되는 도로망은 경로 간 비교가 가능하도록 간선도로와 일반도로를 적절하게 포함하여 대안 경로가 명확한 지역을 고려하였다.

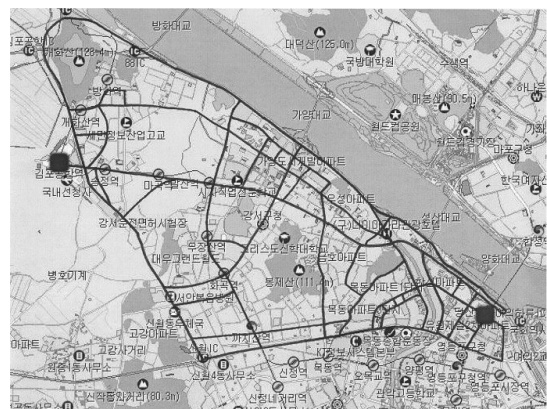
기종점이 김포공항에서 당산역인 강서구 지역은 올림픽대로와 남부순환도로 등의 간선도로와 공항로, 노들길 등과 같은 주요도로를 적절하게 포함하여 뚜렷한 대안 경로를 가지므로, 본 논문에서 실제 네트워크로 사용하였으며, 실제 네트워크의 모든 도로를 고려하는 것은 어렵기 때문에 본 연구에서는 실험목적에 알맞도록 도로망을 최소한으로 간략화한 네트워크를 설계하였다.

실험에 사용된 네트워크는 교차로와 U-turn 지점을 포함하여 총 91개의 노드를 가지며, 양방향과 일방통행을 포함하여 총 186개의 링크를 가진다. 이중 U-turn이 가능한 지점은 36개이고, 회전제한이 있는 지점은 총 64개이다.

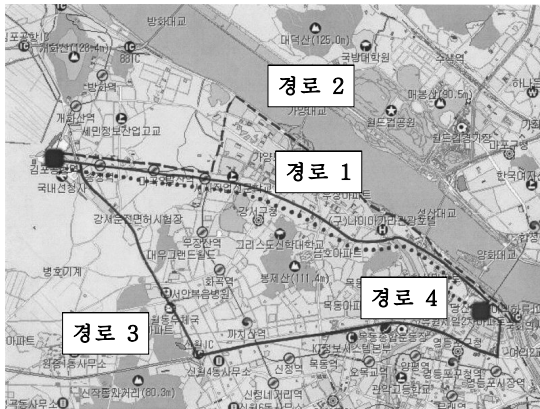
실제 네트워크의 노드분포는 <그림 3>과 같다.

본 연구에서 구현한 경로탐색 알고리즘을 사용하여 다양한 경로속성을 고려한 최적경로와 단일 속성을 고려한 경로를 탐색한 결과는 <그림 4>와 같으며, 각 경로의 탐색기준 및 주요 경유지는 <표 5>와 같다.

경로 1의 경우 다양한 경로속성을 반영하는 효율을 산출하기 위하여 실제 네트워크를 간략화한 분석 네트워크의 총 186개 링크에 대한 실제 지체시간과 회전수, 경로 길이 자료를 기반으로 본 연구에서 구축한 경로선택 모형을 사용하여 각 링크에 대한 일반화비용으로 산출하였으며, 이를 기반으로 경로를 탐색하였다. 경로 2의 경우는 각 링크에 대한 실제 통행시간 자료를 기준으로 탐색하였으며, 경로 3과 경로 4의 경우는 각각 실제 통행속도 자



<그림 3> 분석 네트워크



〈그림 4〉 경로탐색 결과

〈표 5〉 각 경로의 탐색기준 및 주요경유지

탐색 기준	경로	주요경유지
다양한 경로 속성	경로 1	김포공항→송정역→발산역사거리→강서구청사거리→도시가스앞→양화교→인공폭포→〈노들길〉→양화대교남단→당산역
통행 시간	경로 2	김포공항→송정역→발산역사거리→양천향교입구→(올림픽대로)→여의하류IC→당산 삼성아파트→당산역
통행 속도	경로 3	김포공항→〈남부순환로〉→신월사거리→신월 IC→구화곡사거리→목동교→경인고속입구→영등포전화국→당산주유소→당산역
통행 거리	경로 4	김포공항→송정역→발산역사거리→강서구청사거리→도시가스앞→양화교→양평로→양평동→당산역

료와 통행거리 자료를 기반으로 경로를 탐색하였다.

다양한 경로속성을 고려한 최적경로로 경로 1이 탐색되었는데, 이는 경로 1의 주요도로인 공항로와 노들길의 제한속도가 다른 경로에 포함되어 있는 간선도로의 제한속도와 큰 차이가 없고, 관측된 통행속도는 다른 경로의 도로보다 높아서 지체시간이 적게 산출되었기 때문이다.

또한 경로선택 모형의 결과를 고려하면 통행자는 회전수가 적고 거리가 짧은 경로를 선호하므로, 최적경로도 거의 직선과 같은 경로 1이 탐색되었다.

또한 실제로 통행자들이 어떠한 경로를 선호하는지 알아보기 위하여 다양한 경로속성을 고려한 최적경로와 단일 속성을 고려한 경로에 대해 설문조사를 실시하였다.

설문은 총 300명에게 실시하였으며, 이 가운데 분석에 유의하지 않은 16부는 제외하였다. 설문조사의 대상

〈표 6〉 설문결과

평균연령	평균경력	경로 1	경로 2	경로 3	경로 4
32세	8년	50.3%	26.7%	4.30%	13.3%

자는 선정된 경로상황에 대해 답변이 가능하도록 해당 지역의 경로에 대한 지식이 풍부하고 경력이 오래된 강서구 지역에 거주하는 개인 운전자를 대상으로 하였으며, 설문결과는 〈표6〉과 같다.

설문결과 다양한 경로속성을 고려한 최적경로가 단일 속성을 고려한 경로보다 통행자의 선택이 많은 것으로 나타났다. 이는 경로 2와 경로 3의 경우 간선도로를 포함하고 있어 통행속도가 다른 경로에 비하여 높을 것으로 예상되지만, 실제로는 간선도로를 포함하지 않는 경로 1의 평균통행속도와 큰 차이가 없고, 통행거리는 상대적으로 길기 때문에 통행자들의 선호도가 높지 않은 것으로 생각된다.

경로 4의 경우는 최적경로인 경로 1과 중첩도가 높기 때문에, 대부분의 통행자들에게 동일한 경로로 인식되었다.

본 연구에서는 경로의 탐색기준이 다름에도 불구하고, 실제 도로망에서 조사된 공항로(경로 1)의 지체시간이 올림픽대로(경로 2)나 남부순환도로(경로 3)의 지체시간과 큰 차이가 없었기 때문에, 최적경로는 통행거리가 가장 짧은 경로 4와 유사하게 탐색되었다.

즉, 본 연구에서는 통행자들이 경로선택 과정에서 고려하는 변수로 지체시간과 회전수, 경로길이를 제시하였으나, 실제 도로망에서 각 경로의 지체시간이 서로 유사하게 산출되었기 때문에 모형에 대한 지체시간 변수의 설명력이 다소 감소하였다.

따라서 실험에 사용된 실제 네트워크와 다른 기준점을 가지는 도로망, 즉 모형의 독립변수인 지체함수와 회전수, 경로길이를 적절하게 비교할 수 있는 도로망을 새롭게 선정하여 본 연구에서 구현한 알고리즘을 적용해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

IV. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 다양한 경로속성들을 고려하기 위하여 다항로지모형을 사용하여 노드별 효율을 산출하였으며, 이를 이용하여 최적경로를 탐색하였다. 경로탐색 알고리즘으로는 기존의 수정형 덩굴망 알고리즘을 사용하였으며, 이를 기반으로 실제 네트워크에 적용이 가능하도록 구현하여 사례분석을 수행하였다.

구현된 알고리즘을 이용하여 다양한 속성을 고려한 최적경로를 탐색한 결과, 단일속성을 고려한 경로보다 통행자의 선택이 많은 것으로 나타났으며, 이를 통하여 통행자의 행태를 좀 더 정확하게 반영하기 위해서는 경로탐색시 다양한 경로속성을 검토해야 함을 알 수 있다.

또한 경로탐색 알고리즘을 구현하여 실제 네트워크에 적용해 본 결과 간선도로와 같은 주요도로들의 속성차이가 크지 않을 경우, 경로의 중첩도가 높아져 최적경로의 선택이 어려워지는 문제점을 가진다. 따라서 경로상의 속성차이가 비슷할 경우 최적경로를 제외한 대안경로의 정가가 필요하며, 네트워크를 확장할 경우 탐색시간을 줄이는 방안 등에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 강맹규(1991), 네트워크와 알고리즘, 박영사.
2. 과학기술부(2000), 교통정보제공에 따른 사용자 반응행태모델 개발.
3. 노정현·남궁성(1995), “도시가로망에 적합한 최단 경로 탐색 기법의 개발”, 대한국토·도시계획학회지 국토계획 제30권 제5호.
4. 최기주(1995), “U-turn을 포함한 가로망 표현 및 최단경로의 구현”, 대한교통학회지, 제13권 제3호, 대한교통학회, pp.35~52.
5. 이승환·최기주·김원길(1996), “도시부 ATIS 효율적 적용을 위한 탐색영역기법 및 양방향 링크탐색 알고리즘의 구현”, 대한교통학회지, 제14권 제3호, 대한교통학회, pp.45~59.
6. 김익기(1998), “ATIS를 위한 수정형 덩굴망 최단 경로 탐색 알고리즘의 개발”, 대한교통학회지, 제16권 제2호, 대한교통학회, pp.157~167.

7. 김현명·임용택(1999), “유전 알고리즘을 이용한 전역탐색 최단경로 알고리즘개발”, 대한교통학회지, 제17권 제2호, 대한교통학회, pp.163~178.
8. 김익기(2004), “수정형 덩굴망 최단경로 탐색 알고리즘을 이용한 다경로 생성 알고리즘의 개발”, 대한교통학회지, 제22권 제2호, 대한교통학회, pp.121~130.
9. 이미영(2005), “경로인지비용을 반영한 사용자최적통행배정모형”, 대한교통학회지, 제23권 제2호, 대한교통학회, pp.117~130
10. Caldwell, T(1961), “On Finding Minimum Routes in a Network with Turn Penalties”, Communications of the ACM, Vol. 4.
11. J.C.N. Climaco, E.Q.V. Martins(1982), “A bicriterion shortest path problem”, European Journal of Operational Research.
12. Sheffi, Y(1985), “Urban Transportation Networks”, Prentice-Hall.
13. Thomas, R(1991), “Traffic Assignment Techniques”, Avebury, Technical.
14. E.Q.V. Martins, J.L.E. Santos(1999), “The labeling algorithm for the multiobjective shortest path problem”.
15. Vedat Akgun, Erhan Erkut, Rajan Batta (2000), “On finding dissimilar paths”, European Journal of Operational Research.
16. Paolo Dell’Olmo, Monica Gentili, Andrea Scozzari(2004), “On finding dissimilar Pareto-optimal paths”, European Journal of Operational Research.

✉ 주 작 성 자 : 한진석
 ✉ 교 신 저 자 : 한진석
 ✉ 논문투고일 : 2007. 7. 3
 ✉ 논문심사일 : 2007. 11. 29 (1차)
 2008. 1. 28 (2차)
 2008. 2. 19 (3차)
 ✉ 심사판정일 : 2008. 2. 19
 ✉ 반론접수기한 : 2008. 6. 30