

교통망 분할을 통한 최적경로 탐색 기법의 적용성 연구

A Study of Shortest Path Algorithm using Network Partition

홍영석* · 강명호** · 조종래***

Hong, YoungSuk · Kang, MyoungHo · CHO, JungRae

1. 서론

교통수요 모형은 사람 및 화물의 통행을 예측하는 모형으로 전통적으로 4단계의 과정을 거쳐 이루어지며 그중 마지막 단계인 통행배정모형에서 사람 및 화물의 통행에 대한 결과를 파악할 수 있다. 통행배정모형에는 다양한 모형이 존재하고 있으며, 모형의 핵심에는 출발지와 도착지를 연결하는 최적경로를 탐색하는 기술이 포함되어 있다.

최적 경로 탐색 문제는 망(network)을 이용하는 교통, 통신시스템 등에서 제기되는 문제로서 지난 30년 동안 최적화 대상 및 응용분야에 따라 연구가 진행되어 왔으며 각종 응용 분야에서 제기되는 그 분야만의 독특한 문제를 해결할 수 있도록 설계된 다양한 최적 경로 알고리즘들이 발표되었다. 교통분야에서도 도로망의 특성들을 고려한 알고리즘에 대한 연구가 활발히 진행되어 현재는 최적 경로 알고리즘 분류의 한 분야를 이루고 있다. 그러나 현재 교통분야에서 이용되는 전통적인 최단경로 알고리즘은 주로 산업공학에서 개발된 수형망(Tree Building) 알고리즘에 그 기초를 두고 있어 네트워크에 존재하는 여러 문제들을 고려해 올바른 경로를 탐색하는데 한계를 가지고 있다. 그래서 실제의 복잡한 네트워크에서의 회전문제등을 고려하기 위해서 수형망 알고리즘을 발전시킨 덩굴망 알고리즘을 개발하였으나 이마저도 특정한 문제에 있어서는 해결책을 내놓지 못하는 관계로 새로운 알고리즘의 개발이 진행되어 왔다.

현재까지 교통망의 최단경로 탐색에서 연구된 주요 문제는 회전 금지나 회전 벌점을 고려할 수 있는 최단 경로 탐색 알고리즘과 다양한 교통수단들이 하나의 교통망에서 함께 고려되는 통합교통망에서의 최단경로 탐색 알고리즘이 주요 연구 개발 분야였다.

최단경로 탐색에 있어 가장 근본적인 문제는 네트워크의 물리적인 크기가 증가하는 것이다. 물리적인 크기가 증가하게 되면 최단경로 탐색의 시간이 증가하게 된다. 수요분석에 있어 정확한 수요를 산출해야 한다면 네트워크는 더 세밀하고, 기·종점 통행량은 현재의 행정동 단위보다는 지역의 블록(Block)단위의 기·종점 통행량으로 수요분석을 해야 할 것이다.

본 연구는 네트워크 분할(Partition)을 통해 물리적인 네트워크의 크기 증대를 제한함으로써 경로탐색 시간을 단축하는 목적이 있다. 이를 위해 분할된 네트워크를 대상으로 한 최단경로 탐색결과를 전체 네트워크의 최단 경로로 도출하기 위하여 Matrix-Method 기법을 활용하였다.

2. 기존 연구 고찰

현재 교통 분야에서 이용되는 전통적인 최단경로 알고리즘은 주로 산업공학에서 개발된 수형망(Tree-Building) 알고리즘에 그 기초를 두고 있다. 현재까지 교통망의 최단경로 탐색에서 연구된 주요 문제는 회전금지나 회전벌점을 고려할 수 있는 최단경로 알고리즘 개발분야였다. Dijkstra(1959) 알고리즘으로 대표되는 수형망 알고리즘의 경우 좌회전, 우회전, P-turn, U-turn문제를 최단경로탐색과정에서 효율적으로 반

* 정회원 · 명지대학교 교통공학과 조교수 · 공학박사 · 031-330-6506(E-mail:yshong@mju.ac.kr)

** 비회원 · ADLEnc · 공학석사 · 010-4913-7833(E-mail:fighting0521@naver.com)

*** 비회원 · 명지대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 · 031-330-6500(E-mail:jrcho@mju.ac.kr)



영하지 못하기 때문에 덩굴망(Vine Building) 알고리즘이 개발되었다.

2.1 노드기반기법(Node-based shortest path algorithm)

1) 수형망 알고리즘(Tree-based algorithm)

수형망 알고리즘은 한 경로에서 순환 없이 모든 마디가 다른 모든 마디와 서로 연결된 그래프를 뜻하며, 노드와 연결링크 간의 관계를 이용하여 경로를 구축하기 때문에 경로 구축시 고려되는 범위가 좁다는 점에서 단순교통망에서는 효율적이나, 경로구축과정에서 전 노드만을 기억하는 관계로 회전제약과 같은 문제를 해결할 수 없는 단점이 있다.

2) 덩굴망 알고리즘(Vine-based algorithm)

덩굴망 알고리즘은 최소도착비용을 결정해야 하는 노드의 전 노드와 전링크, 전전 노드까지 검색범위로 가지기 때문에 노드와 노드 간의 관계뿐 아니라 제한된 범위 내에서 링크와 링크 간의 연결관계도 고려할 수 있다. 따라서 회전제한 문제를 쉽게 해결할 수 있다. Moore 알고리즘, RRL 알고리즘, Shimbel 알고리즘 등이 여기에 속한다. 이 밖에 연속된 회전제한 문제를 풀기 위하여 개발된 양방향 Dijkstra 알고리즘의 경우 노드비용을 저장하지 않고 링크중점의 비용을 저장하기 때문에 연속적인 회전제한문제를 해결할 수 있다.

덩굴망 알고리즘은 좌회전 금지와 같이 교통망상의 노드통과시 일정 비용을 지불해야 하는 회전별점문제나 최근 들어 통합교통망에서 다루는 교통수단간 환승비용을 고려해야 하는 경우 등에서 사용할 수 있다. 덩굴망 알고리즘의 기본개념은 특정 노드에서의 회전별점을 고려하기 위하여 전 노드뿐만 아니라 전 노드의 전 노드까지 저장하는 것이다.

덩굴망 알고리즘을 이용할 경우 회전별점문제를 어느 정도 해결할 수 있다. 이러한 예는 임강원(1986)의 노선배정부분을 참고하기 바란다. 그러나 회전별점이 연속되어 나타나는 경우 또는 교통망에서 회전별점을 갖는 노드의 수가 대단히 많을 경우나 U-turn, P-turn 등의 연속하여 고려해야 할 경우 덩굴망 알고리즘을 통해서서는 최단경로를 찾을 수 없음이 밝혀졌다.

2.2 링크기반기법(Link-based shortest path algorithm)

기존 최단경로 탐색에서는 연속적으로 회전이 금지된 교통망의 경우 기존 최단경로 알고리즘으로는 정확한 최단경로를 찾지 못한다고 알려졌다.(이승환 외, 1988) 이러한 문제를 극복하기 위하여 링크기반 최단경로 알고리즘(link-based shortest path algorithm)이 제시되었는데, 이 방법은 연속회전별점, 연속U-turn, P-turn문제 등이 쉽게 해결할 수 있는 탐색법이다.

위 링크기반 알고리즘의 장점은 쉽게 프로그래밍화(coding)할 수 있으며, 회전제약이 있는 경우에도 이를 쉽게 고려할 수 있다는 것이다. 또한 이 알고리즘은 전통적인 수형망 알고리즘과 매우 유사하여 현재 널리 사용되고 있는 기존 수형망 알고리즘을 약간 수정하여 사용할 수 있다. 기존 수형망 알고리즘과의 차이는 단지 노드를 기반으로 최단경로를 찾지 않고 링크를 기반으로 찾는다라는 점뿐이다.

2.3 기존 경로탐색 기법의 한계

최단경로를 찾기가까지 소요되는 계산 시간(counting)은 주로 교통망의 구조(topology)에 의존한다. 소요시간은 문제의 크기, 즉 분석교통망의 크기에 따라 달라지게 되는데, 교통망의 크기가 커지면 많은 시간이 소요된다. 최단경로 알고리즘의 효율성을 비교하기 위하여 n 이라는 파라미터를 갖는 $O(n)$ 이라는 기호를 사용하는데, $O(n)$ 은 문제를 풀기 위한 최대소요시간(maximum time requirement)을 의미하며 알고리즘의 복잡성(Complexity)을 나타낸다. 이와 관련하여 좀 더 자세한 내용은 Ahuja et al(1993)에 설명되어 있다.

$O(n)$ 값을 통하여 최단경로 탐색 알고리즘들의 계산시간을 비교할 수 있다. 수형망 알고리즘의 경우 $O(n^2)$ 이라는 시간이 소요되며 이때 n 은 노드 수를 나타낸다. 덩굴망 알고리즘의 경우 $O(n^3)$ 의 시간이 소요된다. 대상교통망이 n 개의 노드와 l 개의 링크로 구성된 양방향 격자형(bidirectional rectangular) 구조라면 노드 n 과 링크 l 은 $l = 4[n - \sqrt{n}]$ 과 같은 관계가 있다. 링크기반 알고리즘의 경우, 노드기반이 아닌 링크를

기반으로 최단경로를 찾기 때문에 $O(l^2)$ 의 시간이 소요된다. 아래의 표는 세 가지 알고리즘에 대한 탐색시간을 비교한 내용이다. 탐색 시간을 보듯이 네트워크 확장에 따라 최단경로 탐색시간은 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

표 1. 최단경로 탐색 시간 비교

노드수 n	수형망(Tree-based)	덩굴망(Vine-based)	링크기반(LSPA)
	$O(n^2)$	$O(n^3)$	$O(l^2)O(4[n - \sqrt{n}])$
1,000	10^6	10^9	1.5×10^7
10,000	10^8	10^{12}	1.568×10^9
100,000	10^{10}	10^{15}	1.569×10^{11}

3. 교통망 분할을 이용한 최단경로 탐색 기법

3.1 교통망 분할로 인한 최단경로시 기대 효과

기존 연구에서 살펴본 결과 교통망을 분석하는데 있어 링크기반이 노드 기반의 탐색 모형보다 신뢰할 수 있으며 효율적인 경로탐색 기법으로 판단되었으며, 이를 통해 표 1의 링크기반을 기준으로 교통망을 분할할 경우 최단경로 탐색 시간이 감소할 것인지를 분석하였다. 실제 교통망 분석시에는 하나의 교통망에 대해서 존수 만큼 반복 수행됨에 따라 이를 포함하여 탐색시간을 비교하였다.

100,000개의 노드를 갖는 가상의 교통망을 대상으로 한 분석결과, 4분할을 통해 최단경로를 탐색할 경우 1개의 네트워크로 분석할 때 소요되는 시간대비 약 94%가 감소하는 것으로 나타났다. 또한, Multi-CPU로 분석할 경우 탐색시간이 98.5%가 감소할 것으로 기대된다.

표 2. 분할에 따른 최단경로 탐색 시간

구 분	기본 네트워크	2분할	4분할
네트워크 수	1	2	4
네트워크별 노드수	100,000	50,000	25,000
네트워크별 존수	2000	1000	500
탐색시간	$2000 \times 1.569 \times 10^{11}$	$2 \times 1000 \times 3.964 \times 10^{10}$	$4 \times 500 \times 9.873 \times 10^9$
탐색시간 비율	1	0.249343	0.062104

3.2 교통망 분할에 따른 최단경로 탐색 기법의 개념

본 연구에서 제시하는 최단경로 탐색 기법은 교통망을 분할하고 각각의 분할된 교통망에 대하여 기존의 탐색기법을 활용하여 경로를 탐색한 후 Matrix Method 기법을 도입하여 전체 네트워크에 대한 경로를 추정하는 방법이다.

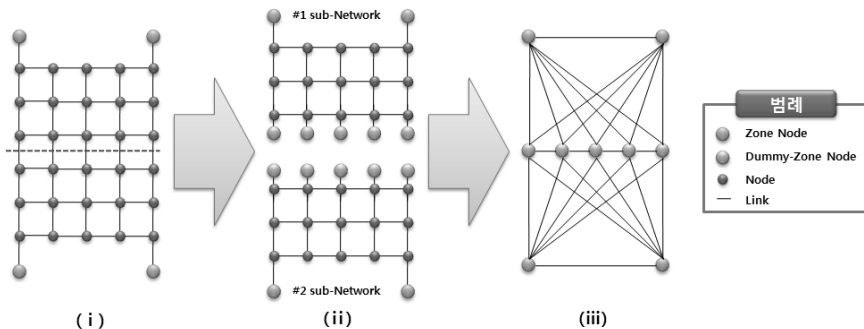


그림 1. 교통망 분할 처리 개념도



3.3 Matrix-Method 최단경로 탐색 알고리즘

Matrix-Method 최단경로 탐색 알고리즘을 단계별로 정리하면 다음과 같다. 여기서, R 은 Update가 완료된 노드의 집합이며, \bar{R} 는 Update가 완료되지 않은 노드의 집합이다.

[Step 0] 네트워크의 노드 개수(n)만큼의 Path-Matrix (n:n)와 Cost-Matrix (n:n)를 생성하여 초기값을 입력한다.

$$Path(i, j) = 0$$

$$Cost(i, j) = \infty$$

[Step 1] 네트워크의 링크 Data의 속성 값을 Matrix에 입력한다.

출발노드가 i 이고, 도착노드가 j 인 링크(i,j)의 통행비용을 link_cost(i,j)라고 할 때,

$$Path(i, j) = j$$

$$Cost(i, j) = link_cost(i, j)$$

[Step 2] 임의의 노드 k 에 대하여 Matrix를 update한다. 모든 i, j 에 대하여

$$\text{If } Cost(i, k) + Cost(k, j) \leq Cost(i, j)$$

$$\text{Then } Cost(i, j) = Cost(i, k) + Cost(k, j)$$

$$Path(i, j) = Path(i, k)$$

[Step 3] Update가 완료된 노드 k 를 집합 \bar{R} 에서 삭제하고 집합 R 로 이동한다.

[Step 4] If $\bar{R} = \emptyset$ stop, otherwise go to [Step2]

4. 적용성 평가

본 연구에서 제시하는 탐색기법에 대하여 모의실험을 통해 적용성을 평가하였다. 모의실험을 위한 교통망은 그림 2와 같으며 4개의 존, 30개의 노드, 106개의 링크로 구성된 격자형 교통망으로 구성된다. 모의실험 교통망을 대상으로 한 경로탐색 결과는 표 3과 같다.

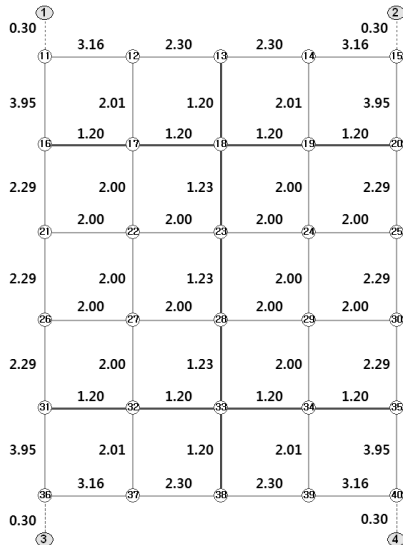


그림 2. 모의실험 교통망

본 연구에서 제시한 기법의 검증을 위하여 교통망을 2분할하였으며, 그림 1과 같이 그림 2의 교통망의 중심구간을 분리하고 분리된 지점에 Dummy Zone을 추가하여 교통망을 분할하였다. 분할된 교통망은 각각 존

표 3. 최단경로 탐색 결과

기점	종점	비용	경유 노드											
			11	12	13	14	15	16	17	18				
1	2	11.52	11	12	13	14	15							
1	3	15.37	11	16	21	26	31	36						
1	4	16.99	11	16	17	18	23	28	33	34	35	40		
2	1	11.52	15	14	13	12	11							
2	3	16.99	15	20	19	18	23	28	33	32	31	36		
2	4	15.37	15	20	25	30	35	40						
3	1	15.37	36	31	26	21	16	11						
3	2	16.99	36	31	32	33	28	23	18	19	20	15		
3	4	11.52	36	37	38	39	40							
4	1	16.99	40	35	34	33	28	23	18	17	16	11		
4	2	15.37	40	35	30	25	20	15						
4	3	11.52	40	39	38	37	36							

주: 1개의 네트워크를 대상으로 분석한 경로탐색 결과

2개, 일반노드 30개, 링크 58개로 구성되었다. Dummy Zone은 41,42,43,44,45번을 부여하였다.

각각의 교통망에 대해 최단경로 탐색을 수행한 결과는 표 4와 표 5와 같으며, 최초의 존과 Dummy Zone 간의 최단경로 탐색이 추가된다. 기존 네트워크에서는 4번의 최단경로를 탐색하나, 모의실험에서는 6번의 최단경로를 탐색하게 된다.

표 4. #1 Sub 교통망 최단경로

기점	종점	비용	경유 노드						
1	2	11.520	11	12	13	14	15		
1	41	7.685	11	16	21				
1	42	8.450	11	16	17	22			
1	43	8.495	11	16	17	18	23		
1	44	10.850	11	16	17	18	19	24	
1	45	12.485	11	16	17	18	19	20	25
2	1	11.520	15	14	13	12	11		
2	41	12.485	15	20	19	18	17	16	21
2	42	10.850	15	20	19	18	17	22	
2	43	8.495	15	20	19	18	23		
2	44	8.450	15	20	19	24			
2	45	7.685	15	20	25				
41	1	7.685	21	16	11				
41	2	12.485	21	16	17	18	19	20	15
41	42	4.145	21	22					
41	43	5.760	21	22	23				
41	44	8.145	21	22	23	24			
41	45	10.290	21	22	23	24	25		
42	1	8.450	22	17	16	11			
42	2	10.850	22	17	18	19	20	15	
42	41	4.145	22	21					
42	43	3.615	22	23					
42	44	6.000	22	23	24				
42	45	8.145	22	23	24	25			
43	1	8.495	23	18	17	16	11		
43	2	8.495	23	18	19	20	15		
43	41	5.760	23	21					
43	42	3.615	23	22					
43	44	3.615	23	24					
43	45	5.760	23	24	25				
44	1	10.850	24	19	18	17	16	11	
44	2	8.450	24	19	20	15			
44	41	8.145	24	23	22	21			
44	42	6.000	24	23	22				
44	43	3.615	24	23					
44	45	4.145	24	25					
45	1	12.485	25	20	19	18	17	16	11
45	2	7.685	25	20	15				
45	41	10.290	25	24	23	22	21		
45	42	8.145	25	24	23	22			
45	43	5.760	25	24	23				
45	44	4.145	25	24					

표 4. #2 Sub 교통망 최단경로

기점	종점	비용	경유 노드						
3	4	11.520	36	37	38	39	40		
3	41	7.685	36	31	26				
3	42	8.450	36	31	32	27			
3	43	8.495	36	31	32	33	28		
3	44	10.850	36	31	32	33	34	29	
3	45	12.485	36	31	32	33	34	35	30
4	3	11.520	40	39	38	37	36		
4	41	12.485	40	35	34	33	32	31	26
4	42	10.850	40	35	34	33	32	27	
4	43	8.495	40	35	34	33	28		
4	44	8.450	40	35	34	29			
4	45	7.685	40	35	30				
41	3	7.685	26	31	36				
41	4	12.485	26	31	32	33	34	35	40
41	42	4.145	26	27					
41	43	5.760	26	27	28				
41	44	8.145	26	27	28	29			
41	45	10.290	26	27	28	29	30		
42	3	8.450	27	32	31	36			
42	4	10.850	27	32	33	34	35	40	
42	41	4.145	27	26					
42	43	3.615	27	28					
42	44	6.000	27	28	29				
42	45	8.145	27	28	29	30			
43	3	8.495	28	33	32	31	36		
43	4	8.495	28	33	34	35	40		
43	41	5.760	28	27	26				
43	42	3.615	28	27					
43	44	3.615	28	29					
43	45	5.760	28	29	30				
44	3	10.850	29	34	33	32	31	36	
44	4	8.450	29	34	35	40			
44	41	8.145	29	28	27	26			
44	42	6.000	29	28	27				
44	43	3.615	29	28					
44	45	4.145	29	30					
45	3	12.485	30	35	34	33	32	31	36
45	4	7.685	30	35	40				
45	41	1.290	30	29	28	27	26		
45	42	8.145	30	29	28	27			
45	43	5.760	30	29	28				
45	44	4.145	25	24					

표 4와 표 5의 최단경로 탐색 결과를 Matrix Method 최단 경로 탐색을 수행한 결과 표 6과 같은 결과를 도출하였다. 표 6에서 bold 처리한 Dummy zone 번호를 제외하면 표 3과 동일한 결과를 도출한 것을 볼 수 있다. 따라서, 본 연구에서 제시하는 경로탐색 기법과 기존 기법의 결과가 동일함을 검증하였다.



표 6. 교통망 2분할을 통한 최단경로 탐색 결과

기점	중점	비용	경유 노드										기점	중점	비용	경유 노드																
1	2	11.52	11	12	13	14	15									3	1	15.37	36	31	26	41	21	16	11							
1	3	15.37	11	16	21	41	26	31	36							3	2	16.99	36	31	32	33	28	43	23	18	19	20	15			
1	4	16.99	11	16	17	18	23	43	28	33	34	35	40			3	4	11.52	36	37	38	39	40									
2	1	11.52	15	14	13	12	11								4	1	16.99	40	35	34	33	28	43	23	18	17	16	11				
2	3	16.99	15	20	19	18	23	43	28	33	32	31	36		4	2	15.37	40	35	30	45	25	20	15								
2	4	15.37	15	20	25	45	30	35	40						4	3	11.52	40	39	38	37	36										

5. 결론

본 연구에서는 교통망 분할을 통한 최단경로 탐색 기법의 적용성에 대해 검토하였다. 모의실험을 통한 적용성 검토 결과, 기존 최단경로 탐색기법과 동일한 결과가 도출되는 것으로 증명되었다. 본 연구논문에는 지면상의 이유로 3분할, 4분할을 수행한 결과는 제시하지 못하였으나, 2분할과 마찬가지로 동일한 결과가 도출되는 것으로 분석되었다.

본 연구가 적용 가능한 모형으로 확립되기 위해서는 다음과 같은 3가지의 여구가 추가적으로 진행되어야 한다.

첫째로는 교통망 분할에 있어 더미존의 최소화와 균등한 노드, 링크 배분을 할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것이다. 본 연구에서는 수동으로 교통망을 분할하였으나, 실제 대규모 네트워크에서는 수동으로 교통망 분할이 매우 어려우며 균등한 분할도 매우 어렵게 된다. 이로 인해 탐색시간에 영향을 미칠 수 있다.

둘째, Matrix Method 최단경로 탐색 기법과 기존의 최단경로 탐색 기법의 결합이 필요하다. 본 연구에서는 Sub Network별로 최단경로를 탐색하고 그 결과를 취합하여 Matrix Method 최단경로 탐색을 수행하여 최종 경로를 도출하였으나, 이러한 모든 과정이 하나의 프로그램에서 결합되어야 한다.

셋째, 병렬 Computing에 대한 이론적 고찰 및 최단경로 기법의 적용성에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서 구축한 기법은 병렬 Computing이 가능하다면 Sub-교통망의 최단경로 탐색시간이 1/(Sub-Network개수)만큼 현저하게 감소한다. 이에 심도 있는 연구를 통해서 병렬 Computing기법을 적용한 최단경로 탐색기법이 정립된다면 본 연구의 가치가 높아질 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 교통체계효율화사업(09교통체계-지능06)의 지원에 의해 수행되었으며, 본 연구를 가능케 한 한국건설교통기술평가원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김익기, ATIS를 위한 수정형 덩굴망 최단경로 탐색 알고리즘의 개발, 대한교통학회지, 제16권 제2호, pp.157~167. 1998.
2. 김현명, 임용택, 유전 알고리즘을 이용한 전역탐색 최단경로 알고리즘개발, 대한교통학회지, 제17권 제2호, pp.163~178. 1999.
3. 이승환, 최기주, 김원길, 도시부 ATIS 효율적 적용을 위한 탐색영역기법 및 양방향 링크탐색 알고리즘의 구현, 대한교통학회지, 제14권 제3호, pp.45~59, 1996.
4. 임강원, 도시교통계획 이론과 모형, 서울대학교 출판부, 1992. pp.146~151.
4. 임강원, 임용택, 교통망 분석론, 서울대학교 출판부, 2003.
5. 최기주, 장원재, 복합 교통망에서의 최적경로산정 모형개발, 대한교통학회지. 제16권 제4호, 1998.
6. 정영근, 박창호, 퍼지 추론을 이용한 최단경로 탐색 알고리즘 개발, 대한교통학회지. 제 23권 제 8호, 2005.