

교통약자의 대중교통환승을 위한 K경로 알고리즘 적용성 연구

Applicability of K-path Algorithm for the Transit Transfer of the Mobility Handicapped

김 응 철 Kim, Eung Cheol
 김 태 호 Kim, Tea Ho
 최 은 진 Choi, Eun Jin

정회원 · 인천대학교 건설환경공학전공 부교수 (E-mail : eckim@incheon.ac.kr)
 인천발전연구원 도시교통연구실 위촉연구원 (E-mail : thkim5588@idi.re.kr)
 인천대학교 토목환경공학과 박사과정 (E-mail : toryjin1532@naver.com)

ABSTRACT

The Korean government concentrates on supplying public transit facilities for the mobility handicapped. In other hands, increasing needs of transfer information when the mobility handicapped use transit facilities are substantial but not satisfactory as a whole. This study focuses on evaluating the applicability of developed K-path algorithm to provide user-customized route information that could make an active using of public transit while considering the mobility handicapped preferences. Developed algorithm reflects on requirements considering transfer attributes of the mobility handicapped. Trip attributes of the handicapped are addressed distinguished from handicapped types such as transfer walking time, transfer ratio, facility preferences and etc. This study examines the verification and application of the proposed algorithm that searches the least time K-paths by testing on actual subway networks in Seoul metropolitan areas. It is shown that the K-path algorithm is good enough to provide paths that meet the needs of the mobility handicapped and to be adoptable for the future expansion.

KEYWORDS

the mobility handicapped, travel characteristic, transfer, K-path algorithm, path deletion method

요지

정부는 교통약자에게 이동성을 확보해 대중교통 이용의 형평성을 제공하기 위해 교통수단과 시설공급 위주의 개선사업에 주력하고 있다. 그러나 시설위주의 공급만으로 효과적인 교통약자 이동편의성 증진을 도모하기에는 역부족이다. 그러므로 보다 적극적인 활성화 방안의 일환으로, 교통약자가 대중교통을 이용하는데 있어서 기피하는 요소와 선호하는 요소를 분석하여 필요에 부합하는 경로정보제공서비스가 필요하다. 이에 본 연구에서는 유입링크기반의 전체경로삭제방법을 네트워크에 확장·적용해봄으로써 링크(수단)통행경로를 최소통행시간 순으로 탐색하는 K경로탐색 알고리즘을 이용하여 교통약자의 특성을 반영한 경로정보제공알고리즘 및 그 적용성 평가를 시도하였다. 해당 알고리즘에서 교통약자의 특성은 환승속성으로 반영하였으며, 환승속성은 교통약자의 유형에 따른 상이한 환승도보시간과 환승이동시 필요한 편의시설의 유무와 선호하는 시설에 따른 가중치를 둬으로써 적용하였다. 또한 해당 알고리즘에 대한 실제 네트워크에서의 적용성을 검증하기 위해 수도권전철망을 노드와 링크의 네트워크로 구축하여 적용성을 평가하였다. 평가결과 K경로탐색 알고리즘의 적용성이 타당한 것으로 분석되었으며 향후 확장성이 확인되었다.

핵심용어

교통약자, 통행특성, 환승, K경로 알고리즘, 경로삭제방법

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

급격한 자동차의 대중화로 인해 발생하고 있는 사회 불경
 제영향에 대해 대중교통의 역할이 그 어느 때보다도 중요시

되고 있으며, 대부분의 도시교통정책도 차량통행속도향상 및 시설공급에서 발전하여 녹색교통이용확대를 위한 자전거도로 건설, 친환경 교통시설 확충 등 대중교통 이용향상을 위해 노력하고 있는 추세이다.

그러나 대중교통의 경우 승용차와 달리 출발지부터 목적지까지 직접적인 통행(Door to Door)이 불가능하고 환승을 위한 추가적인 보행과 대기시간으로 인해 통행시간의 증가, 이용상의 어려움, 대중교통 서비스 미비 등 승용차보다 불리한 점이 많아 여전히 기피되고 있는 것이 현실이다.

특히, 환승의 경우 대중교통의 서비스 품질 항목 중에서도 중요한 요인으로써 통행에 불편함이 없는 일반인에게도 대중교통이용을 기피하게 하는 항목이므로 신체적 핸디캡을 가지고 있는 교통약자가 버스나 지하철과 같은 대중교통을 이용하여 목적지까지 이동할 시 환승은 대중교통이용을 힘들게 하는 큰 원인으로 작용하기도 한다. 이에 정부는 2005년 「교통약자 이동편의 증진 법률」을 제정하고 특별교통수단 확충·운영 등 이동편의향상을 증진시키고자 하였으나, 무분별하고 의무적인 시설공급에만 치중되어, 다양한 교통수단이 혼재된 복합대중교통망상에서 교통약자의 이동상 어려움이 가중되고 있는 실정이다. 실제로 교통약자가 보행시 또는 교통수단을 이용할 때 무엇을 필요로 하고 무엇 때문에 불편함을 느끼고 있는지에 대한 조사나 분석이 부족하고 교통약자의 통행특성을 고려한 경로정보제공이 이루어지지 않고 있기 때문이다.

현재 여행자 정보체계에 대한 연구를 통해 합리적인 경로정보가 제공될 수 있도록 노력하고 있지만 대부분 일반인 위주의 경로정보만을 담고 있다. 이러한 측면에서 볼 때 교통약자의 이동편의증진과 이용촉진을 위한 시설적인 배려도 중요하지만 보다 나은 통행을 위해서는 교통약자에게 적합한 경로를 제공할 수 있는 정보제공도 필요하다. 이러한 경로정보는 노드와 링크로 이루어진 경로탐색알고리즘을 구현함으로써 가능하며 본 연구에서는 교통약자의 통행특성분석을 통해 교통약자에게 영향을 미칠 수 있는 이동편의시설, 환승횟수, 환승을 위한 도보소요시간, 대중교통서비스 운행시간을 제약조건으로 알고리즘을 구현하였다.

또한 본 연구의 알고리즘은 단일의 최적경로탐색 알고리즘과 달리 교통약자의 경로선택의 폭을 넓혀줄 수 있도록 다수경로탐색 알고리즘을 기반으로 기존의 노드기반 알고리즘을 링크기반의 모형으로 전환, 패널리티 반영이 용이하도록 하여 교통약자를 고려한 최적의 K경로탐색 알고리즘을 제시하였다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

교통약자는 협의의 개념과 광의의 개념으로 구분하여 정의할 수 있다. 협의의 교통약자란 교통수단을 이용하여 이동할 때 신체적 이유로 인하여 여러 가지 이동상의 제약을 받는 사

람의 의미를 지니며, 광의의 의미로는 신체적 교통약자 외에 경제적, 혹은 사회적 이유에 의해 이동에 제약을 받는 사람, 저소득자, 낙후된 소외지역 주민까지도 포함하는 포괄적인 의미를 지닌다. 이에 본 연구에서는 교통약자를 협의의 교통약자 즉, 고령자, 장애인, 임산부, 어린이, 영유아를 동반한 자 중에서도 특히 장애인(지체, 시각, 청각장애인)만을 연구 대상으로 하였다. 이는 임산부, 어린이, 영유아를 동반한 자는 지체장애인으로 포함될 수 있으며 고령자는 지체, 청각, 시각의 모든 범주 안에 포함된다고 할 수 있기 때문이다.

교통약자의 경로정보를 위해 구현한 알고리즘으로는 다수 경로탐색 알고리즘인 Azevedo et al(1993)알고리즘으로 한정하였다. 다수경로탐색이 가능한 Azevedo et al(1993)알고리즘은 노드기반의 전체경로삭제방법으로 K개의 경로탐색이 가능하지만 노드기반에서 발생할 수 있는 문제점인 회전벌점과 환승에 대한 반영에 어려움이 따를 수 있다. 그러나 교통약자와 같이 제약조건이 많을 경우 다양한 제약식 반영이 용이하고 경로탐색을 위한 수행속도 측면이 타 알고리즘에 비해 우수하기 때문에 본 연구를 위해 가장 적합하다고 판단하였기 때문이다.

본 연구에서 연구수행은 다음의 네 가지 사항에 초점을 맞추어 이루어졌다. 첫째, 이론적 검토를 경로삭제기반 K경로탐색 알고리즘을 알아보았으며 둘째, 경로삭제기반 K경로탐색 알고리즘의 문제점 해결을 위한 방안을 검토하여 본 연구에 적용할 대안 알고리즘을 선정하기 위한 방안을 모색해보았다. 셋째, 교통약자 통행특성 분석을 통해 알고리즘에 탑재할 제약조건을 알아보았으며 넷째, 알고리즘의 속성 값을 구축하기 위한 환승링크, 환승시간, 대기시간, 이동시간 구축방안을 검토하였다. 마지막으로 개발된 알고리즘을 Visual C# 프로그램을 이용하여 구축, 서울 및 수도권 도시철도망에 알고리즘의 적용성을 검증해보았다.

2. 이론적 배경

2.1. 경로삭제기반 K경로탐색 알고리즘

교통약자의 경우 정보습득과 선택에 일반인보다 어려움이 많기 때문에 단순한 최적의 경로만을 제공하는 것은 정보제공 대상에 대해 충분히 고려했다고 판단하기 힘들다. 이에 다수경로를 탐색하도록 하는 다수경로 탐색 알고리즘을 활용하는데 이는 K개의 다수경로를 탐색하는 알고리즘으로써, K-path 알고리즘이라 일컬어진다.

K-path 알고리즘에 대한 연구는 최단경로 알고리즘의 일환으로 연구되어왔으며, 통행배정, 혼잡시 우회도로안내, 복수속성을 갖는 최적경로탐색 등 여러 분야에서 유용성을 인정받고 있다(임강원 외, 2005). 먼저 Yen(1971)이 제안한

비 루프경로를 탐색하는 방법은 링크단위의 부분삭제방안 (Path Partition Algorithm)에 기반을 두고 있는 것으로, K 번째 경로는 K-1개의 경로를 포함하고 그 경로집합을 기반으로 발견된다는 사실에 근거하여 이미 탐색된 K-1개 경로를 고려하여 K번째 다른 경로를 탐색하는 방법이다. 이는 대기경로집합에 포함되어 있는 모든 경로를 비교하여 최소비용 경로를 선택하기 때문에 네트워크가 커질수록 K번째 경로선정을 위한 알고리즘의 수행속도가 크게 저하되는 단점이 있으나 출발지에서 도착지까지 가능한 경로집합이 세밀하게 추적된다는 장점이 있다(조종석 외, 2006).

반면 루프경로를 포함하여 K개의 경로를 탐색하는 방법으로는 Martins. E. Q. V.(1984)과 Azevedo et al.(1993)의 방법이 있다. 이는 네트워크의 변형 (Network Transformation)을 통한 경로전체를 삭제하는 기법(Entire Path Deletion)으로 두 알고리즘은 경로삭제 후 새로이 생성된 노드에 유입링크를 연결하는지, 유출링크를 연결하는지에 따라 구분된다. 또한 링크 연결 후 Martins. E. Q. V.(1984)알고리즘은 기존 네트워크에서 시작링크를 삭제하나 Azevedo et al.(1993)알고리즘은 도착 전 마지막 링크를 삭제하고 네트워크 변형을 통해 생성된 마지막 노드를 연결해, 연결된 링크를 따라 역으로 탐색하므로 노드의 수도 탐색하는 경로의 수가 줄어든다. 따라서 Azevedo et al.(1993)알고리즘의 경로탐색 수행속도가 더 빠르다. 즉, Azevedo et al.(1993)이 제안한 방법은 K개의 경로탐색을 위하여 K-1번의 네트워크 변형과 한 번의 최적경로 알고리즘만을 수행하여 K번째 경로를 탐색하기 때문에 수행속도측면에서 Martins. E. Q. V.(1984)이 제안한 방법보다 더 효율적이라 할 수 있다(신성일, 2004).

2.2. 링크표지기반 최적경로 알고리즘

대부분의 최적경로 알고리즘은 노드기반의 순차적 탐색법을 따르는 알고리즘으로 경로계산을 위해 전 노드만을 검색하는 수형망 알고리즘과 전전노드까지를 검색범위로 하는 덩굴망 알고리즘으로 분류할 수 있다. 이러한 순차적 탐색법은 Bellman(1958)의 최적원리에 의거해서 최적경로를 구축하는 방법이다.

$$\begin{aligned} \pi_i &= 0 \\ \pi_j &= \min_{i \neq j} \{\pi_i + d_{ij}\} \quad (j = 2, 3, \dots, N) \\ \pi_i &= \text{기점 } i \text{ 에서부터 교점 } j \text{ 까지의 최단거리} \end{aligned} \quad (1)$$

Bellman(1958)의 최적원리를 바탕으로 하고 있는 노드기반의 알고리즘은 진행 방향별로 서로 다른 회전 패널티가 존

재할 경우, 동일한 노드가 최적경로 내에 두 번 나타나거나 혹은 최적경로내의 부분경로가 최적경로가 되지 못하는 문제가 발생한다. 때문에 노정현 외(1995), 최기주 외(1998)는 교통망 확장을 통한 시도를 하였지만 교통망의 규모가 증가하면 계산비용이 추가적으로 소요되어 알고리즘의 비효율성을 증가시키는 등의 어려움이 발생하였다. 이러한 네트워크의 확장에 따른 비효율성을 해결하는 방법으로 이미영 외(2008) 등은 모형변화를 통한 링크기반으로 수단간 연결을 동시에 확장하는 방법을 제시하였다. 이는 노드기반과 달리 별도의 추가적인 환승노드 및 환승링크가 필요하지 않아 링크표지를 활용할 경우 각 링크의 중점에 대한 도착비용과 링크의 전 링크를 저장하여 탐색하기 때문에 링크 간에 회전비용과 환승비용을 교통망 확장이 없이 고려할 수 있다. 그리고 동일한 노선의 중복이 존재하는 대중교통망에 링크기반을 이용하기 때문에 어떤 노선을 이용하였는지 명확하게 판단할 수 있는 장점을 가지고 있어 많은 연구에 적용되고 있다(신성일, 2004; 조종석 외, 2006).

2.3. 교통약자를 고려한 경로정보 대안 알고리즘

교통약자의 특성을 반영하기 위해서는 다양한 제약식의 반영이 필요할 뿐 아니라 다수단을 고려해야 하므로 네트워크상의 제약식과 링크, 노드를 가중시키게 되어 보다 효율적인 알고리즘이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 조건을 만족시킬 수 있는 알고리즘을 선택하고자 하였다.

첫째, 다수의 교통수단이 혼재된 대중교통망에서 단일의 최적경로정보를 제공하기보다는 개개인의 특성에 맞는 다수의 경로정보를 제공함으로써 선택의 폭을 넓힐 수 있도록 다수경로 탐색이 가능해야 한다.

둘째, 본 연구에서 대상으로 하는 이동의 제약을 가지는 교통약자는 환승기피, 선호수단, 편의시설의 유무 등과 같은 제약조건을 반영한 경로탐색을 수행하여야 하므로 제약식 반영이 용이해야 한다.

셋째, 보다 실질적인 활용을 위해서는 버스, 지하철 등 다수단과 각 수단의 다양한 노선을 반영할 수 있도록 네트워크의 확장성이 용이하여야 한다.

넷째, 다수단을 고려함으로써 네트워크가 복잡할뿐 아니라 다수의 제약조건을 반영하므로 알고리즘의 수행속도 측면에서도 우수해야 한다.

앞서 설명한 바와 같이 Azevedo et al.(1993)알고리즘은 제약식 반영과 적용이 용이할 뿐 아니라 이미 복합 대중교통망에서의 다수 유사경로탐색, 합리적 수요배분을 위한 연구(이미영 외, 2008; 임강원 외, 2005; 신성일 외, 2007; 조

종석 외, 2006; 김응철 외, 2008)를 통해 유용성을 인정받고 있으므로 본 연구에서는 교통약자의 경로정보제공을 위해 Azevedo의 알고리즘을 적용하였다.

3. 교통약자의 통행특성

김철 외(1999)는 교통약자 유형별 이동특성에 관한 연구를 통해 교통약자 유형별 보행속도를 제시하였고, 교통약자의 보행속도는 표 1에 나타난 것처럼 일반인에 비해 평균 29~40%정도 낮게 나타난다고 하였다.

표 1. 교통약자 유형별 보행속도(m/s)

구 분	지체	시각	일반인
평균 보행속도	0.96	0.84	1.29~1.35

출처: 김철 외 2명, 1999

서울시정개발연구원(2008)의 연구에서는 교통약자가 통행 목적지에 도달하기까지의 환승횟수를 조사하였다. 그 결과 일반인의 경우 다수의 환승을 통하여 최단경로를 이용하고자 하는 통행행태를 보인 반면 교통약자의 경우 지체장애인은 0.85회, 시각 1.19회, 청각 1.15회로 일반인에 비하여 환승을 기피하는 것으로 나타났다. 그중에서도 특히 지체장애인의 경우 일반인 및 타 유형의 교통약자에 비하여 더 적은 환승횟수로 환승을 기피하는 것을 확인할 수 있다. 이 같은 연구결과의 조사·분석결과는 일반인과 교통약자 사이의 통행 행태적 특성이 상이할 것이라는 가정을 증명함과 동시에 교통약자 그룹 내에서 장애 유형에 따라 통행행태가 상이할 수 있음을 보여준다.

표 2. 교통약자 통행목적지까지의 환승횟수

구 분	교통약자			일반인
	지체	시각	청각	
환승횟수/1 trip	0.85회	1.19회	1.15회	2.25회

출처: 서울시정개발연구원, 2008

이같은 결과는 동일 연구의 환승시 선호하는 편의 시설에 대한 조사에서도 확인할 수 있다. 이동에 제약을 가지는 교통약자의 경우 계단 및 긴 환승통로를 여러 가지 편의 시설을 통해 이동하는데 표 3에서 제시된 환승시설에 대한 선호도를 살펴보면 지체장애인과 시각장애인은 엘리베이터와 안내원을 가장 선호하는 반면에 청각장애인과 고령자는 반복적인 경로이동을 통한 습득보행을 가장 많이 선호하는 것으로 나타난다. 청각장애인과 고령자는 환승시설에 대하여 낮은 선호도를 보이는데 그들은 지체·시각장애인과 달리 이동상에 큰 제약을 받지 않으므로 시설물에 대한 선호도가 작게 나타난 것으로 판단된다. 이와 같은 사항의 일례로 지체장애인이 'n'이라는 지하철역에서 환승해야하는 경우 편의시설이

설치되어 있지 않아 계단이용이 불가피한 경우 해당 통행자는 통행시간이 증가하더라도 다른 노선을 선택할 것이기 때문이다. 반면 교통약자이지만 청각/언어장애를 가진 교통약자의 경우 지체장애인과 편의시설이 없더라도 이동에 큰 제약을 받지 않기 때문에 지체장애인과는 다른 경로를 선택할 가능성이 클 것이다. 따라서 이러한 조사결과는 교통약자의 경로정보를 제공함에 있어서 편의시설에 대한 선호도의 반영이 필요함을 보여준다.

표 3. 교통약자 유형에 따른 환승시설에 대한 선호도

구 분	지체	시각	청각/언어	고령자
엘리베이터	33.3%	19.1%	7.3%	7.5%
계단리프트	16.7%	-	4.9%	2.5%
안내보행	23.3%	69.1%	4.9%	-
저상버스리프트	6.7%	-	-	0
습득보행	-	2.9%	22.0%	87.5%
필요없음	20.0%	8.8%	61.0%	2.5%

출처: 서울시정개발연구원, 2008

4. 알고리즘 구축

4.1. 환승링크 속성

본 장에서는 네트워크상에서 다수간의 환승을 고려하기 위해 선택한 방법과 환승시 함께 고려되어야 할 환승대기시간과 도보소요시간을 반영하는 방법에 대해 제시하고자 한다.

링크와 노드로 구성된 네트워크상에서 환승을 다루기 위해서는 동일 링크에서 다양한 수단의 속성을 반영하면서 보다 효과적인 경로탐색이 가능하도록 하는 것이 첫 번째 주요과제이다. 이를 위하여 본 알고리즘에서는 링크-수단을 확장하는 방법을 선택하였다. 그림 1의 (1) 도식을 보면 링크 a와 b를 통행하는데 있어 통행시간과 같은 링크속성에 추가적으로 다양한 수단을 고려해야 하나 이러한 수단을 동일링크에 다차원으로 표현하는 경우 이를 링크 a의 속성으로 표현하는 데는 한계가 있다. 실제 네트워크로 고려할 때 버스의 경우 노선에 따라 수단이 다르다고 봐야하기 때문이다. 그러나 이를 그림 1의 (2)와 같이 수단에 따라 링크를 확장시키는 방법은 노선수에 비례하여 링크가 증가하게 되는 단점은 있으나, 개별 링크에 수단의 특성을 반영함으로써 기존의 환승(d_{ab}^{mm})이 d_{ab} 로 보다 단순화 될 수 있다. 즉, 단일 수단 개념으로 고려가 가능하게 되는 것이다(신성일, 2004; 조종석 외, 2006).

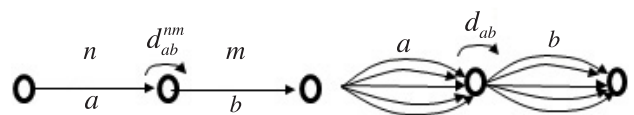


그림 1. 링크 - 수단 확장 (1), (2) 개념도

4.2. 환승시간

환승시간은 환승을 하기 위해 또 다른 노드 또는 정류장으로 이동하는 환승도보소요시간과 환승장에서 대기하는 환승 대기시간으로 구분된다. 이러한 환승시간은 그림 2의 출발노드 r 에서 도착노드 k 까지 이동시간 중 환승지점인 노드 j 에서 발생하는 시간으로 환승조건을 고려하여 전개된 최적의 식은 식(2)와 같이 표현된다.

여기서 환승은 d_{ab} 로 a 링크의 하차지점에서 b 링크의 승차지점까지 환승도보소요시간(TW_n)과, b 링크의 수단이 도착할 때까지 대기하는 환승대기시간(W_{ab})을 의미한다.

$$\begin{aligned} \pi^{rb} \min\{\pi^{ra} + d_{ab} + c_b, \pi^{rb}\} \\ \pi^{re} = c_e \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

- i, j, k, r, s : 노드, r 은 출발지, s 는 도착지
- π^{re} : 기점 r 에서 출발하여 링크 e 의 도착지점까지의 통행시간
- π^{ra} : 기점 r 에서 출발하여 링크 a 의 도착지점까지의 통행시간
- d_{ab} : 기점 a 에서 출발하여 링크 b 의 도착지점까지의 환승시간
- c_b : 링크 b 의 통행시간
- c_e : 링크 e 의 통행시간
- π^{rb} : 기점 r 에서 링크 b 까지 도달한 최적 통행시간
- $d_{ab} = ((TW_n)_{ab} + W_{ab})$
 $(TW_n)_{ab}$: 환승도보소요시간
 W_{ab} : 서비스시간에 따른 대기시간

4.2.1. 환승대기시간

환승시간은 환승을 위해 이동하는데 소요되는 시간과 환승 대기시간으로 구성되어 있으며, 이 중 환승대기시간은 보다 정확한 정보제공을 위해 환승노드에 도착하는 교통수단의 스케줄을 함께 고려하여 중요하게 다루어야 할 요인이다. 가상 네트워크를 묘사하고 있는 그림 2는 i 지점에서 k 지점으로 이동시 수단 n 에서 m 으로의 환승을 나타내고 있다. j 는 환승이 발생하는 지점으로 만일, 이 환승노드에 도착시간이 9시 35분이라고 할 때 수단 1과 2의 스케줄에 따라 서로 다른 대기시간이 발생하게 된다. 이는 최종적으로는 출발지에서 도착지까지의 총소요시간에 영향을 미치므로 최적경로선택의 주요요인으로 작용할 수 있다. 따라서 경로탐색시 보다 정확한 정보 제공을 위해서는 교통약자의 이용행태뿐 아니라 각 수단의 스케줄에 의한 환승대기시간을 반영해야 한다.

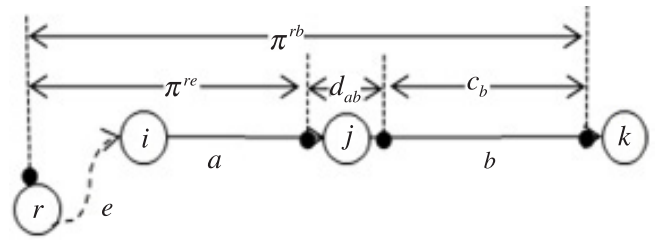


그림 2. 최적경로탐색 개념도

4.2.2. 환승이동시간

환승시 일반인과 교통약자 모두 최소 환승대기시간을 원하며, 이는 각 노선의 배차간격에 의한 것이므로 동일노선과 수단에 대해 교통약자에게만 나타나는 특징적인 변수가 없어 공통변수로 생각될 수 있다. 그러나 환승이동시간은 일반인과 교통약자에 따라 환승도보시간, 환승경로의 시설물에 따른 선호도가 상이하여 명백하게 구분되어진다. 따라서 환승 대기시간이 보다 정확한 정보제공을 위한 반영요인이라면, 환승이동시간은 교통약자의 통행특성을 반영하는 항목으로 가장 중요한 요인이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서 구성한 알고리즘에서는 교통약자에게 일반인과의 차별적인 경로정보제공을 위해 환승이동시 이동편의시설의 유무와 종류, 장애유형을 시간으로 고려하는 방안을 적용하였다. 이는 교통약자의 환승은 이동시 보행속도, 환승편의시설 및 경로제공서비스의 유무에 따라 이동시간에 차이가 발생할 수 있다는 점을 전제로 하였다.

현재 교통약자가 환승지점에서 이용할 수 있는 이동편의시설은 엘리베이터(E/V), 휠체어 리프트(W/L), 유도점자타일, 핸드레일(점자 안내판), 음성 안내 등이 있다. 각각의 시설물은 교통약자의 통행제약 요인인 장애유형에 따라 통행자의 이동시간에 미치는 영향이 상이할 것이다. 또한 신체적 장애에 의해 통행에 불편을 겪는 통행자들이 통행시간이 길어지더라도 환승을 꺼려하는 통행특성을 감안하여 환승시간 산출시 시설 선호도에 따른 가중치를 적용하는 것은 장애유형에 따라 선호하는 시설물이 마련되어 있는 경로로 보다 안락한 통행을 가능하게 할 것으로 판단된다. 이러한 가중치를 반영한 환승시간 산출은 식(3)과 같이 시설물 가중치와 보행속도를 반영하여 산정하였다(김우철 외, 2008).

$$(TW_n)_{ab} = E_e \left(\frac{L_e}{V_e} \right) + E_l \left(\frac{L_l}{V_l} \right) + E_w \left(\frac{L_w}{V_w} \right) \quad (3)$$

여기서,

- $(TW_n)_{ab}$: 교통약자별 환승도보소요시간(sec)
($n=1$: 지체, 2: 시간, 3 : 청각/언어)
- E_e : 엘리베이터 가중치
- E_l : 휠체어리프트 가중치

- E_w : 도보이동 가중치
- L_e : 엘리베이터 이동거리(m)
- L_l : 휠체어리프트 이동거리(m)
- L_w : 도보 이동거리(m)
- V_e : 엘리베이터 이동속도(m/s)
- V_l : 휠체어리프트 이동속도(m/s)
- V_w : 교통약자 유형별 보행속도(m/s)
- ($w=1$: 지체, 2: 시간, 3 : 청각/언어)

환승시간 산출식은 장애 유형에 따른 시설선호도를 반영하기 위한 가중치와 시설의 이동속도, 교통약자 유형별 보행속도로 구성되어 있다. 환승시간의 산정시 시설없이 통행하는 구간은 장애유형별 도보통행속도를 적용하고, 시설물 이용시에는 편의시설의 이동속도를 적용함으로써 산출할 수 있다. 장애유형별 도보 통행속도는 표 1을 통해 제시하였으며, 편의시설의 이동속도는 표 4를 통해 확인할 수 있다.

표 4. 교통약자 편의시설 이동속도(m/s)

구 분	엘리베이터	휠체어리프트
속도	0.75	0.15

출처: 서울메트로, 2009

교통약자의 장애 유형에 따른 시설물의 가중치 산정은 선호도 조사결과를 활용하여 산정하였다. 환승 이동수단 항목 중 선호도가 낮은 승덕보행, 안내보행, 저장 버스리프트를 제외한 엘리베이터(E/V), 휠체어리프트를 고려하였으며, 고령자는 주로 승덕보행을 선호하였는데 해당 유형의 통행은 본 연구에서 대상으로 정의한 장애를 가진 교통약자로서 판단할 수 없으므로 가중치의 산정을 엘리베이터와 휠체어리프트만을 고려하였다. 가중치의 산정은 시설의 이용없이 통행해야 하는 경우를 기준 값 '1'로 설정하여 이에 대한 상대적 선호도를 통해 산출되었으며, 가중치 산출은 표 5에 제시된 교통약자별 시설 선호도의 상대적 비율에 역수를 취하여 산정하였다. 그 결과 산출된 가중치는 표 6을 통해 제시하는 바와 같다(김응철 외, 2008).

표 5. 교통약자별 시설선호도 상대적 비율

구 분	지체	시각	청각/언어
엘리베이터	1.665	2.17	0.12
계단리프트	0.835	0	0.08
필요없음(도보)	1	1	1

표 6. 가중치 산정

구 분	지체	시각	청각/언어
엘리베이터	0.6	0.46	8.333
계단리프트	1.2	∞	12.5
필요없음(도보)	1	1	1

5. 알고리즘 개발

5.1. 알고리즘 개발

교통약자의 환승을 고려한 경로정보 제공은 교통약자 제약 유형에 따른 조건을 반영한 경로탐색을 수행해야 하므로 이를 위해 앞서 언급했듯 다수경로 제공이 가능하고, 제약식 반영이 용이해야 한다. 또한 복합대중교통망을 구현하기 위해 네트워크 확장성을 가지고, 수행속도가 빨라야 하는 네 가지 조건을 충족시킬 수 있는 알고리즘이 필요하다.

이에 교통약자 유형별로 적합한 다양한 경로를 제공하기 위해 본 연구에서는 노드기반의 전체 경로삭제방법인 Azevedo의 K경로탐색 알고리즘을 링크기반으로 전환 적용하여 네트워크 확장과 링크표지 갱신·확정을 통해 경로를 탐색하였다. 또한 교통약자의 특성을 반영하기 위해 유형별 환승도보소요시간, 이동편의시설물, 저장버스 운행시간등을 제약변수로 구축하여 적용하였다. 다음은 위에서 언급한 제반 사항을 반영하여 정립한 교통약자의 통행특성을 반영한 경로 탐색 알고리즘의 수행단계와 흐름도(그림 3)이다(김응철 외, 2008).

[단계1]: 장애인 유형과 기·중점노드를 선택하고 출발지 r 이 시작노드인 링크(수단) e 의 최적통행시간(표지)을 링크(수단)통행시간으로 초기화($\pi^r = c_e$)한다. 그리고 이 링크(수단)를 탐색링크(수단)집합 Q 에 저장한다. 이때, 저장되지 않은 링크(수단) $a(\forall a \notin Q)$ 에 대해서는 무한대 시간으로 초기화($\pi^a = \infty$)한다.

[단계2]: 탐색링크(수단)집합 Q 에서 최소통행시간 표지를 갖는 링크(수단)를 다음 탐색링크(수단)로 선정한다. 선정된 링크(수단)를 집합 Q 에서 삭제하며, 만약 집합 Q 에 포함된 링크(수단)가 없으면 종료하고 목적지 s 를 끝 노드로 하는 링크(수단) 중 최소통행시간 표지를 갖는 링크(수단)의 시간이 최적통행시간경로가 된다.

[단계3]: 인접링크(수단) 탐색. [단계2]에서 선정된 링크(수단) a 의 끝 노드가 시작노드인 인접 연결링크(수단) b 에 대하여 서비스시간을 고려하여 수단간 환승에 발생하는 환승도보소요시간($(TW_n)_{ab}$)과 환승대기시간(W_{ab})이 서비스시간 전에 만족되어 통행이 합리적으로 이루어지는 최적조건 즉, $\pi^{rb} \geq \{\pi^{ra} + (TW_n)_{ab} + W_{ab} + C_b\}$ 를 만족시키는 링크(수단) b 를 Q 에 포함한 후 [단계2]를 반복한다. 만약 존재하지 않으면 목적지 s 를 끝 노드로 하는 링크(수단) 중 최소통행시간 표지를 갖는 링크(수단)의 시간이 최적통행시간경로가 된다.

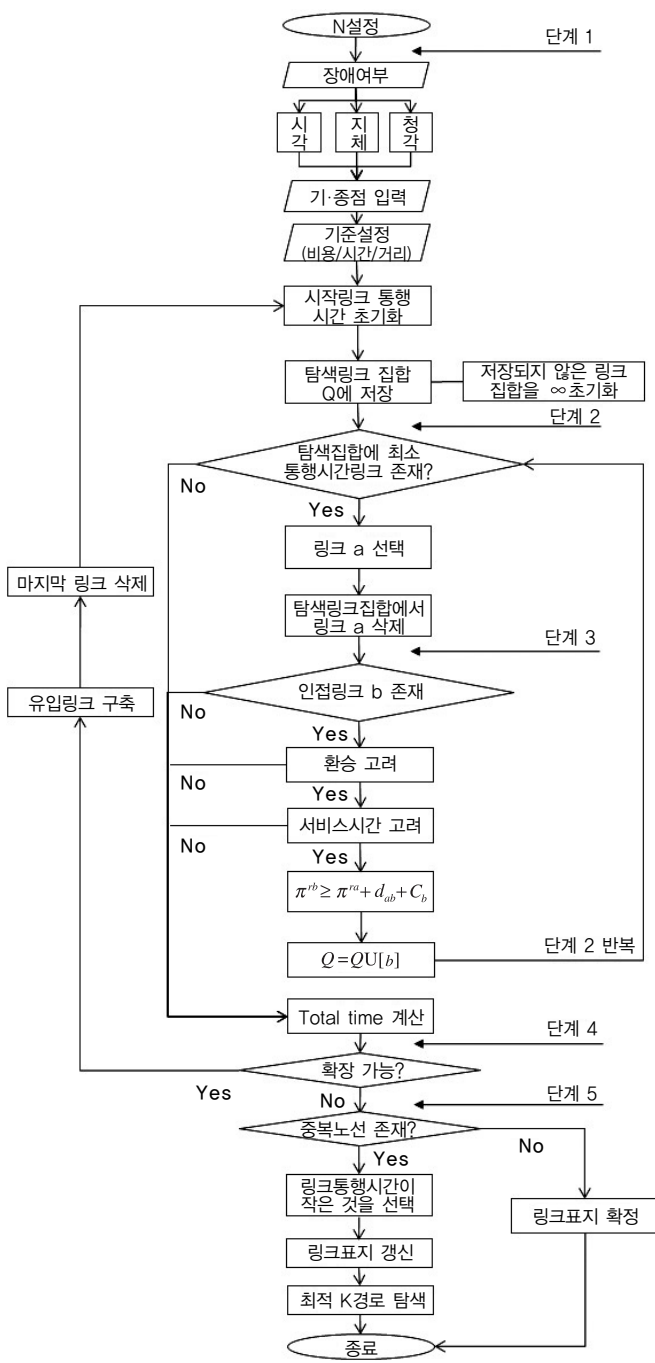


그림 3. 교통약자를 위한 K경로 제공 알고리즘 흐름도

- [단계4]: 네트워크 확장 알고리즘으로 기존 네트워크(N)에서 새로운 네트워크(N')의 구축. N에 추가된 노드 및 링크표지를 갱신하고 [단계2] 반복. 만약 더 이상 확장될 네트워크가 없으면 [단계5]를 수행한다.
- [단계5]: 경로탐색과정에서 중복되는 경로가 존재하는 경우, 최소통행시간을 비교하여 가장 작은 통행시간을 가지는 경로를 최적통행시간경로로 지정하며 이 때, 중복노선이 없으면 링크표지 확정 후 종료한다.

6. 알고리즘 검증

6.1. 네트워크 구축

개발된 알고리즘이 현실교통망과 같은 대규모 교통망에서도 합리적인 경로를 탐색하는가를 검증하기 위해 서울시 도시철도 및 수도권 철도망의 노선을 네트워크로 구축하고 알고리즘을 적용하였다.

수도권 철도망은 2009년 1월 기준으로 인천 지하철노선을 포함한 총 18개 노선으로 445(인천23개)개 전철역으로 구성되어 있으며, 총연장 639.2km(인천 22.9km)의 규모를 가지고 있다. 이러한 규모의 수도권 철도망을 네트워크로 구축하기 위해 요구되는 정보인 역간거리, 배차간격과 각 호선의 평균표정속도는 2009 도시철도 수송계획, 2002 서울시 가구방문 실태조사자료 등을 활용하여 필요한 속성 자료를 획득하였다.

표 7. 수도권 철도네트워크 노드링크자료의 예

노드 번호	역명	역 고유번호	호선	환승 노선	링크 번호	시작 노드	도착 노드	역간 거리(km)	호선
1	인천	1812	경인선	-	1	1	2	1.9	경인선
2	동인천	1811	경인선	-	2	2	3	1.2	경인선
3	도원	1817	경인선	-	3	2	1	1.9	경인선
4	제물포	1810	경인선	-	4	3	4	1.4	경인선
5	주안	1856	경인선	-	5	3	2	1.2	경인선
6	간석	1809	경인선	-	6	4	5	1.0	경인선
.	.	.	.	-
.

출처: 2009년 도시철도수송계획

일반적으로 통행시간은 구간통행시간과 환승시간으로 구성되며, 이 때 구간통행시간은 노선별 표정속도가 상이하므로 이를 구분하여 구간통행거리(km)를 노선별 통행속도(km/h)로 나누어 산정한다.

환승시간의 경우 역내 도보통행시간과 배차간격으로 인한 서비스 대기시간으로 구성된다. 우선 교통약자를 고려한 환승시간을 산정하기 위해 도시철도수송계획(2009)에서 제공하는 환승거리와 평균 대기시간 자료를 이용하고, 도보통행시간은 환승시작역 플랫폼의 중간지점에서 환승도착역의 플랫폼의 중간까지의 물리적 도보통행시간으로 앞서 구한 교통약자 환승시간을 이용하여 산출하였다. 이 때 모든 역을 대상으로 환승시간을 산정하기에는 한계가 있으므로 본 연구에서는 경로탐색을 위한 출발지와 목적지를 정하고 출발지와 목적지 사이에 환승이 발생할 수 있는 역만을 대상으로 환승시간을 산정하였다. 그리고 서비스 대기시간은 해당 노선에 대한 평균배차간격의 1/2를 평균 대기시간 개념으로 가정하였다.

알고리즘 적용시 출발시간을 0t로 통일하였으며, 역간 통행

시간 및 서비스 대기시간은 일정하다고 가정하였다. 즉, 역간 통행시간은 오직 표 8의 표정속도에 따르면 서비스 대기시간은 표 9의 평균대기시간에 따르며, 환승소요시간 역시 시간간격 t 와 관계없이 역별로 임의의 값을 갖는다고 가정하였다.

표 8. 수도권 호선별 표정속도

기관	호선	구간	표정속도 (km/h)	기관	호선	구간	표정속도 (km/h)
서울 메트로	1	서울-청량리	29.3	한국 철도 공사 (광역 전철)	경부선 (장항선)	서울-천안-신창	1선:51.9 2선:34.5
	2	시청-시청	33.7		경인선	구로-인천	39.9
	3	지축-수서	34.1		경원선	소요산-청량리	45.1
	4	당고개-남태령	35.9		중앙선	용산-국수	43.9
서울 도시철도	5	방화-상일동-마천	32.7	인천 지하철공사	안산-과천선	남태령-오이도	38.4
	6	응암-봉화산	30.1		분당선	선릉-보정	36.9
	7	장암-온수	32.3		일산선	지축-대화	36.9
	8	암사-모란	34.2		인천선	굴현-국제업무지구	32.6

출처: 2009년 도시철도수송계획

표 9. 수도권 철도 링크자료의 예

환승노드 번호	노드번호			환승거리 (m)	배차간격 (min)	평균대기시간 (min)
	시작	환승	도착			
1	구로	신도림	문래	258.6	RH : 2.5 / NH : 6.0	3
2	구로	신도림	대림	256.8	RH : 2.5 / NH : 6.0	3
3	영등포	신길	여의도	434.4	RH : 2.5 / NH : 6.0	3
4	영등포	신길	영등포시장	452.4	RH : 2.5 / NH : 6.0	3
5	신도림	대림	신풍	280.2	RH : 2.5 / NH : 6.0	3
6	신도림	대림	남구로	291.6	RH : 2.5 / NH : 6.0	3
.
.

출처: 2009년 도시철도수송계획

6.2. 적용성 분석

알고리즘이 적절한 경로를 탐색하는지 알아보기 위해 본 연구에서는 수도권지하철을 대상으로 적용성 분석을 실시하였다. 경로탐색 표출화면은 경로를 탐색하기 위한 제반정보 제공내용과 이에 따른 결과를 나타내고 있는데, 제공되는 정보는 출·도착지, 교통약자의 장애유형(시각, 청각, 지체장애), 탐색조건(요금, 시간, 거리)으로 구성된다. 이 같은 정보를 통해 표출되는 정보는 최소 2개의 경로로 '최적경로 1'과 '대안경로 2'로 구성되며, 탐색된 경로의 우선순위, 총 통행시간, 환승횟수, 통행거리, 통행요금 등이 나타나도록 구축되었다. 또한 교통약자의 장애유형에 따라 선호하는 정보제공방

식을 음성안내와 SMS 수신, 프린트 등으로 구분하였다.

실제 네트워크에서 경로탐색결과 시각장애인이 최소시간으로 통행하는 경우 온수역에서 건대입구역까지의 경로는 아래의 그림 4(a), (b)와 같이 표출되었다.

경로 1(K=1)은 구로, 신도림, 신길, 용산, 시청, 동대문운동장역으로 하는 경로로 50분의 통행시간이 소요되는 것으로 나타났으며, 대안경로 2(K=2)는 구로, 신도림, 사당, 교대, 선릉, 잠실역으로 하는 경로로 시간은 52분으로 나타났다. 경로 1(K=1)과 경로 2(K=2) 공통적으로 1번의 환승이 발생하지만 통행시간에서 2분가량의 차이가 발생한다. 이와 같은 경우 기본경로 1이 최적 경로라고 판단하기는 힘들다. 따라서 다수의 경로를 제공함으로써 교통약자의 경로선택 폭을 넓혀줄 수 있을 것이다.



그림 4. 경로표출화면 K=1(a), K=2(b)

7. 결론 및 연구의 한계

복합 대중교통망에서 이용자가 제공받기를 원하는 정보는 통행수단, 통행시간, 통행요금과 같은 기본적인 정보외에도 환승과 관련된 정보와 경로 등 다양한 속성의 정보가 있다.

이용자의 통행상 편의를 위하여 제공할 수 있는 정보는 통행수단, 시간, 요금과 같은 기본적인 정보 외에도 환승과 관

런된 정보 및 이를 포함한 경로 등이 있다. 이는 단지 통행거리, 시간, 요금 등을 최소화 하는 최단경로를 제공하기 보다는 이용자의 요구에 맞는 다수의 경로를 제공하고 이용자로 하여금 최적경로를 선택할 수 있도록 할 수 있다.

이 같은 서비스를 제공하기 위해 진행되고 있는 대다수의 K 경로탐색 알고리즘관련 연구는 일반인의 경로탐색에 초점이 맞추어져 있고, 통행에 제약을 가지는 교통약자를 위한 연구는 아직 미진하다. 이는 일반인의 경우 거리, 요금, 시간 등을 최소화 하는 경로탐색으로 추가적인 제약식을 필요로 하지 않으나, 교통약자의 경우 장애유형에 따라 개별적인 통행특성을 파악하고 이를 네트워크에 반영해야 하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 교통약자의 통행에 영향을 미치는 시설요소(엘리베이터, 휠체어리프트)와 보행속도를 제약식으로 반영하는 링크기반 다수경로 탐색 알고리즘을 개발하였다.

개발된 알고리즘은 환승과 서비스시간을 속성으로 갖는 교통망에 대해 적용되므로 확장이 가능하지만 교통약자의 가장 대표적인 대중교통수단인 도시철도 수단에 대해서 기초적으로 적용해 보았다. 적용결과, 교통약자에게 적절한 경로를 도출할 수 있다는 것을 확인할 수 있었으며, 결과적으로 경로정보 제공시 교통약자에 대한 다양한 요구사항을 맞추기 위해서 다수경로 알고리즘이 필요하다는 사실을 확인하였다. 또한 향후 버스 등을 함께 고려한 실제 대중교통망에 대해서도 확장이 가능한 것으로 판단되었다.

즉, 통행시간 정보뿐 아니라 환승통행시간, 환승통행거리 등의 다양한 정보를 교통약자의 요구에 따라 제공할 수 있는 가능성을 찾았으며, 이를 통해 차별화된 경로정보를 제공함으로써 대중교통에서 소외되어 있는 교통약자가 보다 적극적으로 대중교통을 활용할 수 있는 환경을 구현하는데 기능할 수 있을 것이라 사료된다.

향후 보다 실제적인 서비스를 위해서는 현실적인 속성자료의 반영이 필요하다. 즉, 환승지점에서의 환승시간을 반영하는 경우 교통약자의 장애유형에 따라 상이한 환승도보시간과 환승교통수단의 배차간격을 함께 고려해야 하므로 보다 정밀한 조사에 의한 현실적 제약식이 필요하다는 의미이다. 또한, 첨단 정보통신기술의 진화와 함께 다양화 되고 복잡해지고 있는 대중교통망에서 교통약자가 보다 효율적으로 이용할 수 있도록 실시간 정보에 기반한 알고리즘 개발 및 적용에 대한 연구가 필요한 것으로 분석된다.

감사의 글

이 논문은 인천대학교 2009년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- 건설교통부(2007), *교통약자이동편의증진계획(2007~2011)*.
- 오성호 외(2007), "TAGO 기본계획 및 유지·관리방안, 국토연구원.
- 서울시정개발연구원(2008), *교통약자 통행특성 분석*.
- 김원호, 이신해, 김시현(2008), "교통약자 유형별 이동행태분석 및 맞춤형 대중교통정보 제공방안 연구", *서울도시연구, 서울시정개발연구원*, 제9권 제2호, pp.
- 김응철, 김태호(2009), "교통약자의 환승을 고려한 경로탐색 알고리즘 개발", *서울도시연구, 서울시정개발연구원*, 제10권 2호, pp.147~160
- 김철, 금기정, 남궁문(1999), "기본적 교통환경을 중심으로 한 교통약자의 이동특성에 관한 연구", *대한토목학회논문집, 대한토목학회*, 제19권 제3호, pp.361~368.
- 노정현, 남궁성(1995), "도시가로망에 적합한 최단경로탐색기법의 개발", *국토계획학회지, 대한국토도시계획학회*, 제30권 제5호, pp. 153~168.
- 신성일 (2004), "교통망에 적합한 K비루프 경로 탐색 알고리즘", *대한교통학회지, 대한교통학회*, 제22권 제6호, pp.121~131.
- 신성일, 박제진, 이종철, 하태준(2007), "대중교통 정보제공을 위한 맞춤형 경로탐색 알고리즘 개발", *대한교통학회지, 대한교통학회*, 제 28권 제3호, pp.317~323.
- 이미영, 김형철, 박동주, 신성일(2008), "복합대중교통망의 링크표지갱신 다목적 경로탐색", *대한교통학회지, 대한교통학회*, 제26권 제1호, pp. 127~135.
- 이미영, 백남철, 강원의, 신성일(2004), "링크표지확정 다수경로탐색 알고리즘과 대안경로 선정을 위한 활용", *대한교통학회지, 대한교통학회*, 제22권 제4호, pp.85~96.
- 임강원, 양승묵, 신성일(2005), "교통망 분석에서 K경로탐색 알고리즘에 관한 연구", *대한교통학회지, 대한교통학회*, 제 23권 제 8호, pp.113~128.
- 윤상원, 배상훈(2007), "대중교통 수단선택과 연계한 복합환승센터 내 보행자 최적경로 산정", *한국ITS학회논문지, 한국ITS학회*, 제6권 제2호, pp.45~56.
- 장인성(2000), "서비스시간 제약이 존재하는 도시부 복합교통망을 위한 링크기반의 최단경로탐색 알고리즘", *대한교통학회지, 대한교통학회*, 제18권 제6호, pp.111~121.
- 조종석, 신성일, 임강원, 문병섭(2006), "복합교통망에서의 동적K최소시간경로탐색", *대한교통학회지, 대한교통학회*, 제24권 제 5호, pp.77~88.
- 조종석, 신성일, 문병섭, 임강원(2006), "출발시간제약이 존재하는 동적 복합교통망의 K최소시간경로탐색", *대한교통학회지, 대한교통학회*, 제24권 제3호, pp.167~176.
- 최기주, 장원재(1998), "복합 교통망에서의 최적경로산정 모형개발", *대한교통학회지, 대한교통학회*, 제16권 제4호, pp. 167~186.
- Azevedo J. A, Costa M. E. O. S, Madeira J. J. E. R. S, and Martins E. Q. V(1993), "An algorithm for the ranking of shortest paths", *European Journal of Operational Research*, vol. 69 issue. 1, pp. 97-106.

Bellman R.(1958), "On a routing problem" , *Probability in the Engineering and Informational Science Archive*, vol 18 issue 3, pp. 329-337.

Martins E. Q. V(1984), "An algorithm for ranking paths that may contain cycle" , *European Journal of Operational Research*, vol. 18 issue. 1, pp. 123-130.

Yen J.Y(1971), "Finding the K shortest loopless paths in a network" , *Management Science*, vol 17 issue 11, pp.712-716.

접 수 일 : 2010. 11. 9
심 사 일 : 2010. 11. 16
심사완료일 : 2011. 1. 26