

교통약자의 환승을 고려한 K경로탐색 알고리즘 개발*

김응철** · 김태호***

K-path Algorithm for a Transfer of the Mobility Handicapped*

Eungcheol Kim** · Taeho Kim***

요약 : 지속적으로 증가하는 교통약자에 대한 국가적·사회적 관심이 높아지면서 정부는 교통약자의 이동성 확보와 균등한 기회를 제공하기 위하여 2005년 교통약자 이동편의 증진법률을 제정하여 교통수단과 시설공급을 위주로 확대·개선 중에 있다. 그러나 제정된 법률은 제도적 시설공급으로 치중되어 일시적인 이동상의 불편함을 해소할 수 있는 실정으로 교통약자에게 보다 향상된 이동편의를 제공하기 위해서는 교통약자의 요구사항을 적절하게 반영한 대중교통경로정보가 필요하다고 할 수 있다. 이러한 대중교통경로정보는 경로탐색알고리즘으로써 구현이 가능한데 현재 이용자측면을 고려한 다양한 연구가 진행되고 있지만 교통약자를 고려한 측면이라고 보기는 어렵다. 이에 본 연구에서는 교통약자의 통행특성분석을 통한 교통약자의 보행속도, 환승횟수, 선호시설, 선호수단 등의 다양한 속성을 고려한 대중교통(저상버스, 지하철) 서비스시간 존재 하에 효율적인 경로를 탐색하는 방법론을 검토하였다. 제안된 경로탐색알고리즘은 제약식의 적용이 용이하고 효율성이 입증된 유입 링크기반의 전체경로삭제방법을 가상네트워크에 확장·적용해봄으로써 링크(수단) 통행경로를 최소 통행시간 순으로 탐색하는 K경로탐색 알고리즘을 제시하였다.

주제어 : 교통약자, 통행특성, 경로삭제방법, 링크표지 알고리즘, K경로알고리즘

ABSTRACT : Since national attention for the mobility handicapped increases, the government established a law on mobility improvement for the mobility handicapped to offer convenience and equality of mobility opportunity in 2005. But, it only can solve restricted convenience of mobility because the law just provides institutional transit facility expansion. In order to better improve in mobility, it needs to provide public transportation information service reflecting the needs of the mobility handicapped. In this study, analysis was performed to find out variables such as walking speed, the number of transfer and preference facilities, and also constrained conditions. The K path algorithm was, then, applied to find effective paths for providing relevant path information for the mobility handicapped. Finally, this study examined the verification and application of the proposed algorithm through a case study to find K least time paths.

Key Words : the mobility handicapped, travel characteristics, path deletion method, link-based algorithm, K least time path

* 본 연구는 2008년도 교통체계효율화 사업 지원(연구기간: 2008.10.20~2009.7.8)에 의해 수행되어 제출된 결과임.

** 인천대학교 토목환경공학과 조교수(Assistant Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Incheon), E-mail: eckim@incheon.ac.kr, Tel: 032-770-8469.

*** 인천대학교 토목환경공학과 석사과정(Master Course Student, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Incheon)

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

지속적으로 증가하고 있는 교통약자의 이동상 어려움을 해소하기 위해 교통 분야에서도 국가적 관심과 대응이 대두되고 있다. 이에 최근 정부는 「교통약자 이동편의 증진법률(2005)」을 제정하여 인간중심의 교통체계 구축을 목적으로 교통약자들의 이동편의 증진을 위한 대중교통수단과 시설에 대한 투자를 확대·개선하고 있다. 하지만 이 법률은 제도적 시설공급에만 치중되고 있을 뿐 21세기 다수의 수단이 결합된 복합대중교통망상에서 교통약자들이 언제, 어디서, 어떻게, 무엇을 타고 이동해야 되는가에 대한 현실적인 정보제공이 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이러한 이유는 교통약자의 통행특성을 고려한 대중교통 경로정보 부족으로 현재 대부분의 대중교통정보가 일반인 위주의 정보로만 제공되고 있기 때문이다. 이렇듯 교통약자의 기본적인 이동성 확보와 균등한 사회적 참여기회 등을 수용하기 위해서는 이동편의시설의 투자·공급뿐만 아니라 교통약자들의 요구사항에 부합할 수 있는 대중교통 경로정보 제공이 필요하다. 대중교통 경로정보는 경로탐색 알고리즘을 구현함으로써 가능한데, 현재 이용자 측면을 고려한 여행자 정보체계(Advanced Traveler Information System)에 대한 연구가 활발해지면서 합리적인 경로정보가 제공될 수 있도록 노력하고 있다. 그러나 아직까지 불특정 다수에 대한 포괄적인 경로정보일 뿐 교통약자를 고려한 경로정보라고 할 수 없다.

따라서 교통약자의 이동편의증진을 위해서는 시설의 공급과 더불어 교통약자에게 적합한 경로

정보체계가 구축/제공된다면 이동상 기본기능을 확보/향상을 시킬 수 있으며, 사회적·경제적 참여와 이동복지향상에 대한 요구를 수용할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 우선적으로 교통약자 통행 특성 분석을 통한 교통약자의 Needs를 적절하게 반영한 대중교통 경로정보가 되어야 한다. 이러한 대중교통 경로정보는 단일의 최적 경로정보와는 달리 다수의 교통수단이 혼재된 대중교통망에서 개인들이 원하는 경로정보선택의 폭을 넓혀줄 수 있는 다수 경로탐색 알고리즘에 기반을 두어야 할 것이다. 특히, 교통약자의 경우 이동의 불편함, 환승의 어려움, 선호수단, 편의 시설의 유무 등과 같은 다양한 제약조건들이 존재하기 때문에 복수의 경로정보는 필수적이라 생각되며 기존에 제공되고 있는 경로탐색 알고리즘을 교통약자의 Needs와 교통약자 유형별 특성을 반영한 합리적인 경로를 탐색할 수 있는 알고리즘으로 확대·발전될 수 있어야 한다.

이를 위해 본 연구에서는 교통약자들의 통행 특성 분석을 통하여 그들에게 영향을 미칠 수 있는 이동편의시설, 환승 횟수, 환승 도보소요시간 및 서비스 운영시간을 제약조건으로 구축하여 노드 기반의 전체 경로삭제방법(Azevedo et al., 1993; 신성일, 2004)을 네트워크 갱신과 링크표지 전환을 통하여 교통약자를 고려한 최적의 K 경로탐색 알고리즘을 제시하고자 한다.

II. 이론적 배경

1. 경로삭제기반 K 경로탐색 알고리즘

경로삭제방법(Path Deletion Method)은 출발지와 도착지가 정해진 네트워크에서 두 지점 간 K

개의 경로를 탐색하는 기법(Yen, 1971; Martins, 1984; Azevedo et al., 1993; 신성일, 2004)으로 경로상에 노드 또는 링크의 중복이 존재하지 않는 비루프경로(Node Loopless Path)를 탐색하는 방안(Yen, 1971)과 루프경로(Looping Path)까지 포함하여 탐색하는 방안(Martins, 1984; Azevedo et al., 1993)으로 분류할 수 있다.

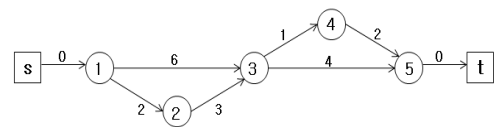
먼저 Yen(1971)이 제안한 비루프경로를 탐색하는 방법은 링크단위의 부분삭제방안(Path Partition Algorithm)에 기반을 두고 있는 것으로 K번째 경로는 K-1개의 경로를 포함하고 그 경로 집합을 기반으로 발견된다는 사실에 근거하여 이미 탐색된 K-1개 경로를 고려하여 K번째 다른 경로를 탐색하는 방법이다. 이는 대기경로집합에 포함되어 있는 모든 경로를 비교하여 최소비용경로를 선택하기 때문에 네트워크가 커질수록 K번째 경로선정을 위한 알고리즘의 수행속도가 크게 저하되는 단점이 있지만, 출발지에서 도착지까지 가능한 경로집합이 세밀하게 추적된다는 장점이 있다(조종석·신성일·문병섭·임강원, 2006; 조종석·신성일·임강원·문병섭, 2006). 반면 루프경로를 포함하여 K개의 경로를 탐색하는 방법으로 Martins(1984)과 Azevedo et al.(1993)은 네트워크의 변형(Network Transformation)을 통한 경로전체를 삭제하는 기법(Entire Path Deletion)을 기반으로 한다. 두 방법의 차이점은 경로삭제 후 새로이 생성된 노드에 유입링크를 연결하는지, 유출링크를 연결하는지에 달려 있다. 특히 Azevedo et al.(1993)가 제안한 방법은 K개의 경로탐색을 위하여 K-1번의 네트워크변형과 1번의 최적경로알고리즘만을 수행하여 K번째 경로를 탐색하기 때문에 수행속도측면에서 Martins(1984)이 제안한 방법보다 효율적인 것으로 알려져 있다(신성일,

2004). Azevedo et al.(1993)알고리즘 수행과정은 <그림 1>과 같다.

[단계1] 최단경로탐색 알고리즘으로 첫 번째 최단경로 p_k 탐색($k = 1$)

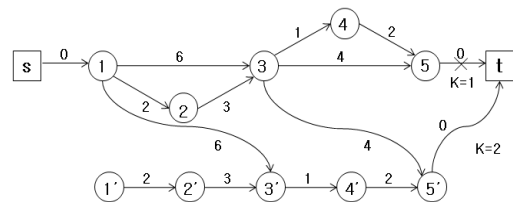
[단계 2] $k = 2$ 부터 K 까지 반복

- (1) 네트워크 확장 알고리즘으로 확장네트워크 \tilde{N} 구축
- (2) \tilde{N} 에 추가된 노드 및 링크를 표지
- (3) \tilde{N} 에서 k 번째 경로탐색



<그림 1> 기본네트워크 구성

<그림 1>은 5개 노드와 6개의 링크로 구성되어 있는 네트워크로 링크위의 숫자는 비용(cost)을 나타낸다. 더미노드 {s, t}를 추가하여 출발노드와 도착노드에 연결하고 [단계 1]의 최적경로탐색 알고리즘을 수행하면, 최적경로는 {(1, 2), (2, 3), (3, 4), (4, 5)}로 탐색된다. 아래의 <그림 2>는 [단계 2]의 네트워크 확장알고리즘을 적용한 것으로 최적경로로 탐색된 노드{1, 2, 3, 4, 5}에 대하여 확장노드 {1', 2', 3', 4', 5'}가 추가된다.



<그림 2> 네트워크 확장(Azevedo et al., 1993)

Azevedo et al.(1993)은 새로운 \tilde{N} 에 최적경로가 아닌 다른 링크를 유입링크{(1, 3'),(3, 5')}로 연결하여 마지막 연결링크 (5, t)를 제거하고, 확장네트워크 \tilde{N} 의 마지막 노드 5'를 터미노드 t에 연결함으로써 2번째 최적경로를 탐색한다. 즉, 확장된 k=2 최단경로는 (s - 1 - 3' - 4' - 5' - t)로 기존 N의 노드 및 링크표지는 \tilde{N} 에 영구적으로 고정되고, 삭제된 p의 부분경로는 \tilde{N} 의 표지검색만으로 탐색할 수 있기 때문에 최적경로알고리즘의 수행과정 없이 k=2의 탐색이 가능하다.

최근 이러한 Azevedo et al.(1993) 알고리즘을 기반으로 하여 현실교통망의 제약조건을 반영하려는 연구가 진행되고 있으며(신성일, 2004; 조종석·신성일·문병섭·임강원, 2006; 조종석·신성일·임강원·문병섭, 2006), 신성일(2004)은 Azevedo et al.(1993) 알고리즘이 불필요한 루프까지 모두 고려해야 하는 본질적인 탐색구조를 채택하고 있음을 인지하고 불필요한 루프를 선별적으로 제어하기 위해 링크 비루프 탐색방법을 제안하였다.

2. 링크표지기반 최적경로 알고리즘

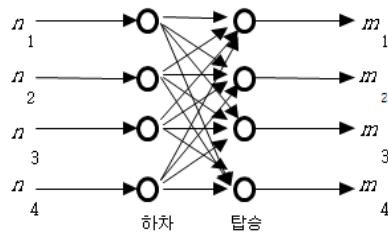
대부분의 최적경로 알고리즘은 노드기반의 순차적 탐색법을 따르는 알고리즘으로 경로계산을 위해 전 노드만을 검색하는 수형망 알고리즘과 전 전노드까지를 검색범위로 하는 덩굴망 알고리즘으로 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 이러한 순차적 탐색법은 Bellman(1958)의 최적원리에 의거해서 최적경로를 구축하는 방법으로 식은 다음과 같다.

$$\pi_i = 0$$

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

$$\pi_i = \text{기점 } i \text{에서부터 교점 } j \text{까지의 최단거리}$$

즉, Bellman(1958)의 최적원리를 바탕으로 하고 있는 노드기반의 알고리즘은 진행 방향별로 서로 다른 회전 패널티가 존재할 경우, 동일한 노드가 최적경로 내에 두 번 나타나거나 혹은 최적경로내의 부분경로가 최적경로가 되지 못하는 경우가 발생한다(노정현·남궁성, 1995). 이러한 문제를 해결하기 위하여 최기주·장원재(1998)는 교통망 확장을 통한 시도를 하였지만 교통망의 규모가 증가하면 계산비용이 추가적으로 소요되어 알고리즘의 비효율성을 증가시키는 등의 어려움이 발생하였다. 다음의 <그림 3>은 노드기반으로 환승노드와 수단을 모두 표시한 것으로 8개의 수단 간에 환승을 고려하기 위해 16개의 가상링크와 7개의 가상노드가 필요하다.



<그림 3> 노드기반 표현(신성일, 2004)

이러한 네트워크의 확장을 해결하는 대안으로 이미영 외(2008)는 모형의 변화를 통한 링크기반으로 수단간 연결을 동시에 확장하는 방법을 <그림 4>와 같이 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 근래에 들어 많은 연구에 적용되고 있다(신성일, 2004; 조종석·신성일·문병섭·임강원, 2006; 조종석·신성일·임강원·문병섭, 2006).



〈그림 4〉 링크기반 표현(신성일, 2004)

III. 교통약자 정의 및 통행특성

교통약자는 이동제약의 범위에 따라 협의적 개념(The Mobility Handicapped)과 광의적 개념(The Transportation Poor People)으로 구분할 수 있으며 이동제약의 형태에 따라 신체장애인(지체, 시각, 청각/언어)과 고령자(보행곤란, 노환) 등의 항시적 교통약자와 신체적·물리적 및 기타요인(부상자, 임산부) 등의 일시적 교통약자로 구분할 수 있다(김원호 외, 2008). 본 연구에서는 이러한 교통약자 중에서도 항시적 교통약자 특히, 대중교통이용에 큰 어려움을 가지는 장애인만을 대상으로 연구범위를 정하였다. 따라서 지체, 시각, 청각/언어 장애인을 중심으로 이동특성을 조사하였다.

김철 외(1999)는 기본적 교통 환경을 중심으로 한 교통약자 유형별 이동특성에 관한 연구를 통해 교통약자 유형별 보행속도와 대중교통수단 이용에 따른 문제점을 파악하여 교통체계상의 정비방향을 제시하고 구체적인 연구 동기를 유발하였다. 특히, 교통약자 유형별 보행속도는 〈표 1〉에서처럼 일반인에 비해 평균 29~40%정도 낮게 나타나고 있음을 보였다.

〈표 1〉 교통약자 유형별 보행속도(m/s)

구분	지체	시각	일반인
평균 보행속도	0.96	0.84	1.29~1.35

출처: 김철 외(1999)

〈표 2〉는 통행목적지까지의 환승횟수를 나타내며, 다수의 환승을 통하여 최단경로를 이용하고자 하는 일반인들에 비해 교통약자의 경우 목적지까지 도달하기 위하여 지체 장애인은 평균 0.85회, 시각 및 청각장애인은 평균 1회의 환승횟수를 가지는 것을 알 수 있다. 이는 몸이 불편한 교통약자들이 환승을 최소화시키려고 하는 경향으로 보인다.

〈표 2〉 교통약자 통행목적지까지의 환승횟수

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

출처: 서울시정개발연구원(2008)

또한 대중교통을 이용하는 교통약자의 경로탐색 시 중요하게 작용하는 요소는 이용 가능한 시설물의 유무이다. 〈표 3〉은 교통약자 유형별 선호 환승시설이며 유형별로 다른 선호환승시설을 나타내고 있다.

〈표 3〉 환승선호시설

구분	지체	시각	청각/언어	고령자
엘리베이터	33.3%	19.1%	7.3%	7.5%
계단 리프트	16.7%	-	4.9%	2.5%
안내보행	23.3%	69.1%	4.9%	-
저상버스 리프트	6.7%	-	-	0
습득보행	-	2.9%	22.0%	87.5%
필요없음	20.0%	8.8%	61.0%	2.5%

출처: 서울시정개발연구원(2008)

지체장애인과 시각장애인은 엘리베이터와 안내원을 가장 선호하는 반면에 청각장애인과 고령자는 반복적인 경로이동을 통한 습득보행을 가장 많이 선호하는 것으로 보인다. 청각장애인과 고령자는 선호시설에 매우 낮은 수치를 보이는데 그들은 지체·시각 장애인과 달리 이동상에 큰 어려움이 없기 때문에 선호하는 시설물이 적게 나타난 것으로 판단된다.

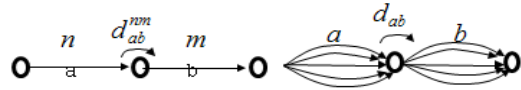
지금까지 살펴본 교통약자별 보행속도, 환승 횟수 및 환승선호시설 등을 반영하지 않은 기존의 대중교통경로정보는 일반인을 대상으로 한 것으로 교통약자에게는 부적절한 경로가 제공될 수 있다. 따라서 교통약자에게 적합한 경로 탐색 시 위에서 분석한 교통약자의 이동특성(보행속도, 환승 횟수, 선호환승시설)을 고려한 대중교통경로정보를 제공할 수 있도록 알고리즘을 구축하여야 한다.

IV. 알고리즘 개발

1. 대중교통망의 표현

본 연구에서는 다수의 교통수단이 함께 존재하는 대중교통망을 표현하기 위해서 동일링크를 통행하는 모든 수단을 링크로 처리한다(신성일, 2004). 이는 출발노드와 도착노드가 동일하나 링크의 속성이 다른 복수의 링크를 포함하고 있기 때문이다. 이러한 방법은 링크의 수가 노선 수에 비례하여 증가하는 단점이 있으나 수단의 특성이 링크로 반영되어 수단간 환승처리가 용이하기 때문에(조종석·신성일·문병섭·임강원, 2006; 조종석·신성일·임강원·문병섭, 2006) 경로탐색이 효율적이다. <그림 5>는 두 인접링크(a, b)를 통행하는 수단(n, m)에서 발생하는 환승(d_{ab}^{nm})을 링크-

수단 확장을 통해 환승(d_{ab})으로 단순화하여 단일수단 개념으로 표현한 것이다.



<그림 5> 링크-수단 확장

$$\pi^{rb} = \min_{a \neq b} \{ \pi^{ra} + d_{ab} + c_b, \pi^{rb} \} \quad (1)$$

이 경우, a, b : 링크

π^{rb} : 출발지 r에서 링크b까지 최적경로시간

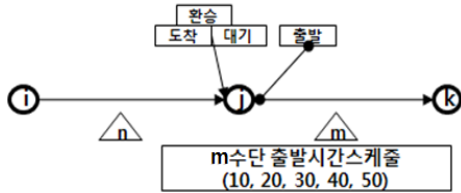
c_b : 링크b의 통행시간

d_{ab} : 두 인접링크 a에서 b사이에 발생하는 환승시간

특히 다수의 교통수단이 존재하는 대중교통망에서 최적경로를 탐색하기 위해서는 서비스시간을 고려해야 하는 경우가 매우 일반적으로(장인성, 2000) <그림 6>은 서비스시간을 고려한 가상 네트워크로 i지점에서 k지점으로 이동시에 발생하는 수단 n에서 수단 m으로의 환승을 나타낸 예로써 환승노드 j에 도착한 시간이 9시 10분이고 환승도보 소요시간이 25분이라고 하면 다음 링크의 수단 m의 탑승 지점에는 9시 35분에 도착하게 된다. 하지만 수단 m의 출발시간 스케줄에 따라 수단 m은 9시 40분에 도착하므로 5분 동안의 대기 시간이 발생하게 된다.

따라서, 대중교통망에서 경로탐색 시 보다 정확한 자료를 제공하기 위해서는 교통약자의 이용행태 뿐만 아니라 서비스시간 제약에 의한 시간변동을 반영할 필요가 있다(조종석·신성일·문병섭·임

강원, 2006; 조중석·신성일·임강원·문병섭, 2006).



〈그림 6〉 환승과 서비스시간 제약

2. 교통약자 환승소요시간 산정방안

교통약자에게 효율적인 경로정보를 제공하기 위해서 본 연구는 교통약자 통행특성분석에 따른 일반인과의 차별적인 환승시간과 이동편의시설을 고려하는 방안을 제시한다. 이는 교통약자들이 환승지점 내에서 환승 시 이용할 수 있는 보행속도, 환승편의시설 및 경로정보제공서비스 등의 유무에 따라 시간차이가 발생할 수 있기 때문이다. 현재 교통약자들이 환승지점에서 이용 가능한 환승편의시설로는 엘리베이터(E/V), 휠체어 리프트(W/L), 유도점자타일, 핸드레일(점자 안내판), 음성안내 등이 있으며, 본 연구에서는 이러한 교통약자들이 이용 가능한 시설물 중에서 선호도 조사에 따른 시설물 가중치와 보행속도를 반영한 식 (2)와 같은 환승시간 산정방안을 제안한다.

$$(TW_n)_{ab} = E_e \left(\frac{L_e}{V_e} \right) + E_l \left(\frac{L_l}{V_l} \right) + E_w \left(\frac{L_w}{V_w} \right) \quad (2)$$

여기서,

$(TW_n)_{ab}$ = 교통약자별 환승도보소요시간(sec)

($n = 1$: 지체, 2: 시각, 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 = 휠체어 리프트 이동속도(m/s)

V_w = 교통약자 유형별 보행속도(m/s)

($w = 1$: 지체, 2: 시각, 3: 청각/언어)

이때, 사용한 시설물별 가중치 산정은 〈표 3〉에 나타나 있는 교통약자들의 시설물 선호도 조사 결과(지체: 31명, 시각: 31명, 청각/언어: 40명)를 활용하였다. 환승 이동 수단 항목 중 선호도가 작은 습득보행, 안내보행, 저상버스리프트를 제외하고 선호도가 높은 엘리베이터(E/V) 및 휠체어리프트(W/L)만을 고려하였다. 고령자는 습득보행에 의한 선호도가 매우 높을 뿐만 아니라 장애인의 일부로 포함시킬 수 있으므로 가중치 산정시 제외하였다. 〈표 4〉에서처럼 필요 없음(도보)을 1로 기준으로 볼 때 교통약자별 시설물 선호도의 상대적 비율은 다음과 같다.

〈표 4〉 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

이를 다시 가중치로 산정하기 위해 선호도의 상대적 비율에 역수 값을 취하여 〈표 5〉와 같이

가중치 값이 산정되었다.

<표 5> 가중치 산정

구 분	지 체	시간	청각/언어
엘리베이터	0.6	0.46	8.333
계단리프트	1.2	∞	12.5
필요없음(도보)	1	1	1

또한, <표 1>의 교통약자별 보행속도와 <표 6>의 시설물 속도를 고려함으로써 환승이 발생하는 지점에서 교통약자 유형별 환승도보소요시간을 산정할 수 있다.

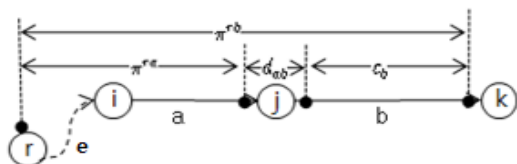
<표 6> 편의시설 이동속도(m/s)

구분	엘리베이터	휠체어리프트
속도	0.75	0.15

출처: 서울메트로 내부자료

3. 대중교통 환승 대기시간

일반적으로 환승시간은 크게 두 가지, 즉, 환승 이동시간과 환승대기시간으로 구분된다. <그림 7>과 같이 a링크의 하차지점에서 b링크의 승차지점까지 환승도보소요시간(TW_n)과, b링크의 수단이 도착할 때까지 대기하는 환승대기시간(W_{ab})으로 표현할 수 있다. 이와 같은 환승조건을 고려하여 전개된 최적의 식은 (3)과 같다.



<그림 7> 최적경로탐색 개념도

$$\pi^{rb} = \min\{\pi^{ra} + d_{ab} + c_b, \pi^{re}\} \quad (3)$$

$$\pi^{re} = c_e$$

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} : 링크 a 에서 링크 b 로 수단전환에 따른 환승시간

c_b : 링크 b 의 통행시간

c_e : 링크 e 의 통행시간

π^{rb} : 기점 r 에서 링크 b 까지 도달한 최적 통행시간

특히,

$$d_{ab} = ((TW_n)_{ab} + W_{ab})$$

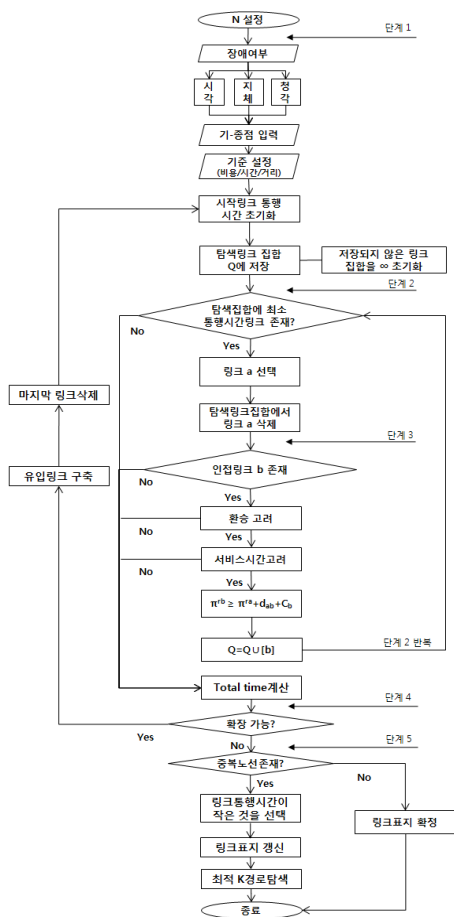
$(TW_n)_{ab}$: 환승도보소요시간

W_{ab} : 서비스시간에 따른 대기시간

4. 교통약자를 고려한 경로탐색 알고리즘

교통약자 유형별로 적합한 다양한 경로를 제공하기 위해 본 연구에서는 K경로탐색 알고리즘을 활용한다. 현재 복잡한 대중교통망에서 다수의 유사경로탐색, 합리적인 수요배분을 위한 연구(이미영 외, 2008; 임강원 외, 2005; 신성일 외, 2007; 조종석·신성일·문병섭·임강원, 2006; 조종석·신성일·임강원·문병섭, 2006)를 통해 K경로탐색 알고리즘의 유용성을 인정받았으며, 이외에도 합리적인 통행배정, 혼잡시 우회도로 안내, 복수속성

을 갖는 최적경로탐색 등의 분야에서도(임강원 외, 2005) 그 우수성을 인정받아 활용되고 있다. 이에 본 연구는 교통약자의 통행특성 분석을 통하여 환승지점에서의 유형별 환승도보소요시간 및 이동편의시설물, 저장버스운행시간 등을 제약변수로 구축하고, 노드기반의 전체경로삭제방법(Azevedo et al., 1993)을 링크기반으로 전환 후 네트워크 확장과 링크표지 갱신·확정을 통한 K경로탐색방법을 제안하고자 한다. 또한 제안된 알고리즘을 가상네트워크에 확대 적용하여 알고리즘을 검토하였다. 알고리즘의 수행단계는 <그림 8>과 같이 크게 5단계로 나누어진다.



<그림 8> 알고리즘 흐름도

[단계1] : 장애인 유형선택, 기·종점노드를 선택하고 출발지r이 시작노드인 링크(수단)e의 최적통행시간(표지)을 링크(수단)통행시간으로 초기화($\pi^{re} = c_e$), 이 링크(수단)를 탐색링크(수단)집합 Q에 저장.

이때, 저장되지 않은 링크(수단) a ($\forall a \notin Q$)에 대해서는 무한대 시간으로 초기화($\pi^{ra} = \infty$).

[단계2] : 탐색링크(수단)집합 Q에서 최소통행시간 표지를 갖는 링크(수단)를 다음 탐색링크(수단)로 선정. 선정된 링크(수단)를 집합 Q에서 삭제. 만약, Q에 포함된 링크(수단)가 없으면 종료하고 목적지 s를 끝 노드로 하는 링크(수단) 중 최소통행시간 표지를 갖는 링크(수단)의 시간이 최적통행시간 경로.

[단계3] : 인접링크(수단) 탐색. [단계2]에서 선정된 링크(수단) a의 끝 노드가 시작노드인 인접 연결링크(수단) b에 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) b를 Q에 포함 후 [단계2]의 반복. 만약 존재하지 않으면 목적지 s를 끝 노드로 하는 링크(수단) 중 최소통행시간 표지를 갖는 링크(수단)의 시간이 최적통행시간 경로.

[단계4] : 네트워크 확장알고리즘으로 기존 네트

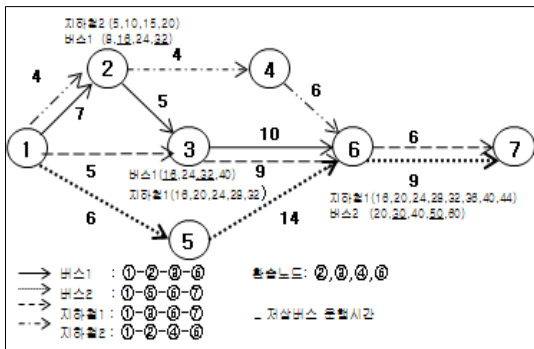
워크(N)에서 새로운 네트워크(N')의 구축. N 에 추가된 노드 및 링크표지를 갱신하고 [단계2]의 반복. 만약 더 이상 확장될 네트워크가 없으면 [단계5].
 [단계5] : 경로탐색과정에서 중복되는 경로가 존재하는 경우, 최소통행시간을 비교하여 가장 작은 통행시간을 가지는 경로를 최적통행시간경로. 이때, 중복노선이 없으면 링크표지 확정 후 종료.

V. 가상네트워크 적용

본 연구의 알고리즘이 최적경로를 올바르게 탐색하는지 검토하기 위해 총 7개의 노드, 12개의 링크, 3개의 환승노드 및 4개의 수단으로 구성된 <그림 9>와 같은 가상네트워크를 설정하였다.

이때, 노드1과 노드7은 기점과 종점을 나타내며, 기점까지의 도착시간은 0분으로 가정한다. 또한 링크위의 숫자는 그 링크를 통과하는데 소요되는 시간(분)을 나타낸 것으로 전 시간대에 걸쳐 일정하다고 가정한다.

(단위 : 분)



<그림 9> 가상네트워크 예제

그리고 환승노드 2, 3, 4, 6에서는 위의 그림과

같이 배차시간이 제한된다고 가정하였으며, 버스 운행시간 중에서 밀줄 친 것은 저상버스 운행시간으로 지체장애인은 이 시간에만 버스를 탑승할 수 있다고 가정하였다. 특히 노드 3에서는 시각장애인이 이용할 수 있는 시설이 존재하지 않아 환승이 불가능하도록 설정, 무한대 값으로 처리하여 시각장애인은 3번 노드를 이용할 수 없도록 하였다. 이와 더불어 링크(수단)전환 시 교통약자 환승도보소요시간은 보행속도와 교통약자 유형별 선호시설을 고려하여 환승지점마다 다른 값을 적용하기 위해 <표 7>에서처럼 환승지점별 도보소요시간을 설정하였다.

<표 7> 환승도보 소요시간

(단위: 분)

환승(노드2)	지체	시각	청각	일반인
지하철2-버스1	6	9	3	3
버스1-지하철2	6	9	3	3
환승(노드3)	지체	시각	청각	일반인
버스1-지하철1	8	∞	4	4
지하철1-버스1	8	∞	4	4
환승(노드6)	지체	시각	청각	일반인
지하철2-지하철1	4	6	2	2
지하철2-버스2	10	15	5	5
버스2-지하철1	8	12	4	4
버스1-지하철1	6	9	3	3
버스1-버스2	8	12	4	4
지하철1-버스2	8	12	4	4

그리고 하나의 수단을 이용하여 출발지에서 목적지까지 통행하는 경우에는 환승시간과 서비스 시간을 고려 할 필요가 없다고 가정하여 경로를 탐색하였으며, 동일한 수단을 반복하여 환승하는 경우는 현실통행에서는 존재하지 않으므로 동일한 수단이 반복하여 탐색되는 경로는 제외하였다.

단계별 경로탐색과정은 다음과 같다. 먼저 더미 노드 {s, d}를 추가하여 출발노드 {1}과 도착노드 {7}에 연결, (s, 1), (7, d)의 값은 0으로 가정하여 [단계 1]을 수행하면 s→1→3→6→7→d번 노드의 경로가 20분의 최소시간을 가지는 k=1경로로 탐색된다.

또한 기존네트워크의 최적경로로 탐색된 k=1 경로는 [단계 4]의 네트워크 확장을 통하여 (1'→3'→6'→7') 새로운 노드와 링크를 생성하고 기존 네트워크의 최적 경로에 포함되지 않은 링크를 유입링크 ({2, 3'}, (5, 6'), (6', 7'))로 연결하는 새로운 링크를 생성하게 된다. 이때 기존 네트워크의 마지막 링크(7, d)를 삭제, 새로 생성된 (7', d)를 연결함으로써 2번째 최적경로를 탐색하기 위한 네트워크를 생성한다. 즉, 탐색된 k=2 최소시간 경로는 (s→1'→2'→4'→6'→7'→d)의 22분 경로가 되며 기존의 k=1경로는 새로운 네트워크에 영구 표지로 확정된다. 이와 같이 네트워크 확장을 통하여 링크표지가 더 이상 갱신되지 않을 때까지 알고리즘이 반복 수행된다.

수행된 알고리즘 결과는 <표 8>과 같으며, 출발지(기점)에서 각각 다른 수단을 이용하여 목적지(도착)까지 도착한 최소시간경로는 (교통약자 유형별로 단일의 수단을 이용하여 동일한 경로시간이 도출된 k=1번 k=4번 경로를 제외하고) 환승 횟수가 1회 발생할 시 지체장애인에게는 2, 6, 9 및 8번 경로가, 시각장애인에게는 2, 3, 6 및 9번 경로가 탐색되었으며, 환승이 최대 2회 발생 시에는 7번 경로까지 포함한 경로가 최소시간 순으로 나타난다. 이때 시각장애인은 노드 3번에서 환승이 불가능 하므로 8, 11, 13 및 17번 경로가 제외됨을 알 수 있다. 반면, 청각장애인과 일반인은 2, 3, 5, 6경로가(여기서, 다른 교통약자에 비해 청각/

언어장애인은 이동의 어려움이 적어 일반인의 환승과 동일하다고 가정) 최소시간경로로 나타났다. 경로 탐색 시 시각장애인과 지체장애인의 경로가 중복 탐색되는 것을 확인할 수 있는데 이는 지체장애인이 탑승할 수 있는 저상버스가 제한적으로 운행되기 때문이라 판단된다.

<표 8> 경로탐색결과

(단위: 분)

경로	환승	(출발지)노드-수단-노드(도착지)	지체	시각	청각	일반
1	0	1→지하철1→3→지하철1→6→지하철1→7	20	20	20	20
2	1	1→지하철2→2→지하철2→4→지하철2→6→지하철1→7	26	26	22	22
3	1	1→지하철1→3→지하철1→6→버스2→7	39	39	29	29
4	0	1→버스2→5→버스2→6→버스2→7	29	29	29	29
5	1	1→지하철2→2→지하철2→4→지하철2→6→버스2→7	39	39	29	29
6	1	1→버스2→5→버스2→6→지하철1→7	34	38	30	30
7	2	1→버스1→2→지하철2→4→지하철2→6→지하철1→7	38	38	30	30
8	1	1→버스1→2→버스1→3→지하철1→6→지하철1→7	35	∞	31	31
9	1	1→버스1→2→버스1→3→버스1→6→지하철1→7	34	38	34	34
10	2	1→지하철2→2→버스1→3→버스1→6→지하철1→7	44	46	34	34
11	2	1→지하철2→2→버스1→3→지하철1→6→지하철1→7	47	∞	35	35
12	1	1→버스1→2→버스1→3→버스1→6→버스2→7	39	49	39	39
13	2	1→버스1→2→버스1→3→지하철1→6→버스2→7	59	∞	39	39
14	2	1→지하철1→3→버스1→6→버스2→7	59	∞	39	39
15	2	1→지하철2→2→버스1→3→버스1→6→버스2→7	59	59	39	39
16	2	1→버스1→2→지하철2→4→지하철2→6→버스2→7	59	59	39	39
17	3	1→지하철2→2→버스1→3→지하철1→6→버스2→7	-	∞	49	49

VI. 결론 및 향후연구과제

지속적으로 증가하는 교통약자에 대한 국가적

관심이 높아지면서 정부는 교통약자의 이동성 확보와 균등한 기회제공을 목적으로 2005년 교통약자 이동편의 증진법률을 제정하여 교통수단과 시설공급 위주로 확대·개선하고 있다. 그러나 제정된 법률은 제도적 시설공급에만 치중되어 있는 측면이 있어 보다 향상된 이동의 편의성을 제공하기 위해서는 교통약자의 요구사항을 적절하게 반영한 대중교통정보제공이 필요하다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 교통약자의 통행특성분석을 통한 교통약자의 보행속도, 환승횟수, 신호시설, 신호수단 등을 고려한 K경로탐색을 위해, 대중교통(저상버스, 지하철)의 서비스시간 존재 하에 가상네트워크를 구축하여 K경로탐색을 통한 그 결과를 검토해 보았다. 가상네트워크 경로탐색 적용 결과 장애인 유형별로 서로 다른 경로가 탐색되었으며, 개발된 알고리즘이 합리적이고, 교통약자들에게 적절한 경로로 도출되는 것을 확인할 수 있었다. 이처럼 교통약자에게는 일반인과 차별화된 경로정보제공이 필요하며, 향후 좀 더 구체적인 DB들이 구축된 후 실제 네트워크를 통한 경로탐색이 필요하다고 판단된다. 이와 함께 교통약자의 다양한 요구조건을 좀 더 세분화하여, 보다 효율적인 대안 경로를 제공할 수 있는 연구와 대중교통망과 Dial-a-ride의 연계를 통한 최적경로정보 제공이 가능한 통합적인 알고리즘이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

건설교통부, 2007.4, 『교통약자이동편의증진계획(07~11)』.
 김원호·이신혜·김시현, 2008, “교통약자 유형별 이동행태 분석 및 맞춤형 대중교통정보 제공방안 연구”, 『서울도시연구』, 제9권 제2호.
 김철·금기정·남궁문, 1999, “기본적 교통환경을 중심으로

한 교통약자의 이동특성에 관한 연구”, 『대한토목학회논문집』, 제19권 제3호, 361~368.
 노정현·남궁성, 1995, “도시가로망에 적합한 최단경로탐색기법의 개발”, 『대한국토도시계획학회』, 제30권 제5호, 153~168.
 서울시정개발연구원, 2008, 『교통약자 통행특성 분석』.
 신성일, 2004, “교통망에 적합한 K비루프 경로 탐색 알고리즘”, 『대한교통학회지』, 제22권 제6호, 121~131.
 신성일·박제진·이종철·하태준, 2007, “대중교통 정보제공을 위한 맞춤형 경로탐색 알고리즘 개발”, 『대한교통학회지』, 제28권 제3호, 317~323.
 윤상원·배상훈, 2007, “대중교통 수단선택과 연계한 복합 환승센터 내 보행자 최적경로 산정”, 『한국ITS학회 논문지』, 제6권 제2호, 45~56.
 이미영·김형철·박동주·신성일, 2008, “복합대중교통망의 링크표지갱신 다목적 경로탐색” 『대한교통학회지』, 제26권 제1호, 127~135.
 이미영·백남철·강원의·신성일, 2004, “링크표지확정 다수 경로탐색 알고리즘과 대안경로선정을 위한 활용”, 『대한교통학회지』, 제22권 제4호, 85~96.
 임강원·양승묵·신성일, 2005, “교통망 분석에서 K경로탐색 알고리즘에 관한 연구”, 『대한교통학회지』, 제23권 제8호, 113~128.
 장인성, 2000 “서비스시간 제약이 존재하는 도시부 복합교통망을 위한 링크기반의 최단경로탐색 알고리즘” 『대한교통학회지』, 제18권 제6호, 111~121.
 조종석·신성일·문병섭·임강원, 2006, “출발시간제약이 존재하는 동적 복합교통망의 K최소시간경로탐색” 『대한교통학회지』, 제24권 제3호, 167~176.
 조종석·신성일·임강원·문병섭, 2006, “복합교통망에서의 동적K최소시간경로탐색”, 『대한교통학회지』, 제24권 제5호, 77~88.
 최기주·장원재, 1998, “복합 교통망에서의 최적경로산정 모형개발”, 『대한교통학회지』, 제16권 제4호, 167~186.
 한국건설기술연구원, 2007. 9, 『TAGO 기본계획 및 유지·관리방안』.
 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* 69, North-Holland, 97~106.
- Bellman R. 1958, "On a routing problem", *Quart. Appl. Math.*, 16, 87~90.
- Martins., E. Q. V., 1984, "An algorithm for ranking paths that may contain cycle", *European Journal of Operational Research* 18, North-Holland, 123~130.
- Yen, J. Y., 1971, "Finding the K shortest loopless paths in a network", *Management Science*, Vol. 17, 711~715.
- 원 고 접 수 일 : 2009년 5월 20일
1차심사완료일 : 2009년 6월 1일
최종원고채택일 : 2009년 6월 15일

