



대중교통경로정보서비스 기술동향 분석 및 교통약자를 고려한 환승스케줄링알고리즘 개발 기초연구

Analysis of providing transit Path Information technology and development of transfer scheduling algorithm for the transportation vulnerable.

김응철* 김태호**
Kim, Eungcheol Kim, Taeho

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

2005년도 보건복지부가 실시한 장애인 실태조사 결과, 우리나라 전체 장애인수는 약 214만 명으로 이는 5년 전에 비해 약 70만 명 정도가 증가한 하였다. 또한 의료기술의 발전 및 사회·경제적 향상으로 인한 인구의 고령화가 급속히 진전되면서 2000년 들어 전체인구 중 65세 이상의 인구비율이 7%를 넘어서 고령화 사회로 진입하게 되었다. 이에 정부는 교통수단과 여객시설의 편의시설 확충 및 보행환경 개선을 제도적으로 지원할 수 있도록 하는 「교통약자의 이동편의 증진법, 2005」를 제정하여 총 인구의 24.6%에 달하는 교통약자(장애인, 고령자, 임산부, 영유아를 동반한 자, 어린이 등)들의 교통복지 향상을 위한 대중교통 중심의 다양한 사업들을 추진하고 있다.

「교통약자의 이동편의 증진법, 2005」는 주요장소(전철역, 버스정류장, 환승장 등)에서 교통약자들을 고려한 대중교통편의시설 설치위주로서의 연구가 진행되고, 편중되어 있다. 하지만 이러한 기본적인 시설설치만으로는 교통약자들의 대중교통이용증진에 크게 기여할 수 없을 것으로 사료된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 교통약자의 유형과 특성을 고려한 맞춤형 정보와 연계교통수단(시내버스, 전철)에 대한 환승 및 이동경로 정보서비스를 제공하여, 이동의 편의성을 증진시키며 대중교통 서비스(정보와 전용매체)를 개발함으로써 교통약자의 이동의 자율성을 구현할 수 있을 것이다.

지속적으로 증대되고 있는 교통약자에 대한 사회적 요구 및 문제점을 해결하기 위해서는 첨단정보통신기술기반으로 BIS, BMS, CNS등과 같은 이용자 중심의 대중교통서비스와의 병행하거나 업그레이드를 통해 교통약자 맞춤형 경로정보가 구현되어야 할 것이다. 이러한 교통약자에게 적합한 맞춤형 대중교통정보제공을 구현하기 위해서는 가장먼저 교통약자에게 알맞은 알고리즘개발이 우선시 되어야 할 것이며 이를 탑재한 경로정보서비스가 구현되어야 한다.

현재 대중교통이용자에게 제공되고 있는 서비스정보는 버스나 지하철의 노선에 대한 최단, 최적경로탐색, 통행시간, 통행요금 등이 주를 이루고 있으며 필요시에는 환승정보에 대한 제공도 하고 있다. 이와 같이 현재 제공되는 서비스는 일반인위주의 개별적인 편의에 따라 필요한 정보만을 제공하여 교통약자가 대중교통이용 시에는 많은 어려움이 있다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 교통약자를 고려한 버스, 지하철 등이 상호 원활한 환승체계를 이루며 다양하고 효율성 높은 경로정보제공서비스를 구현하기 위하여 교통약자를 고려한 대중교통 환승스케줄링 알고리즘개발을 위한 사전연구를 목적으로 한다.

* 정회원 · 인천대학교 토목환경공학과 조교수
** 비회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정



1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 대중교통 환승스케줄링을 정의하며 현 대중교통경로정보제공서비스 및 시스템 기술개발 현황분석을 통한 시사점 및 문제점을 도출한다. 또한 국내외 기 연구된 알고리즘 관련 문헌검토 및 교통약자의 통행특성 및 요구사항을 분석하여 향후 교통약자를 고려한 대중교통환승 스케줄링 알고리즘 개발을 위한 방안을 수립해 보았다.

교통약자*라 함은 협의의 개념과 광의의 개념으로 구분 정의할 수 있다. 협의의 교통약자란 교통수단을 이용하여 이동할 때 신체적 이유로 인하여 여러 가지 이동상의 제약을 받는 사람의 의미를 지닌다. 광의의 의미로는 신체적 교통약자 외에 경제적, 혹은 사회적 이유에 의해 이동에 제약을 받는 사람, 저 소득자, 낙후된 소외지역 주민까지도 포함하는 포괄적인 의미를 지닌다.

본 연구의 대상범위로 협의의 교통약자 즉, 고령자, 장애인, 임산부, 어린이, 영유아를 동반한 자 중에서도 특히 장애인(지체, 시각, 청각장애인)만을 연구대상으로 하는데, 이는 임산부, 어린이, 영유아를 동반한 자는 교통약자 중에 지체장애인으로 고려할 수 있으며 고령자는 지체, 청각, 시각의 모든 범주안에 포함된다고 할 수 있기 때문이다. 교통약자들이 주로 이용하는 대중교통 대상으로는 버스와 지하철(도시 내 철도포함)만으로 한정하여 연구한다.

2. 본 론

2.1 대중교통정보제공 서비스 기술동향

2.1.1 국내 대중교통정보제공 서비스 기술동향

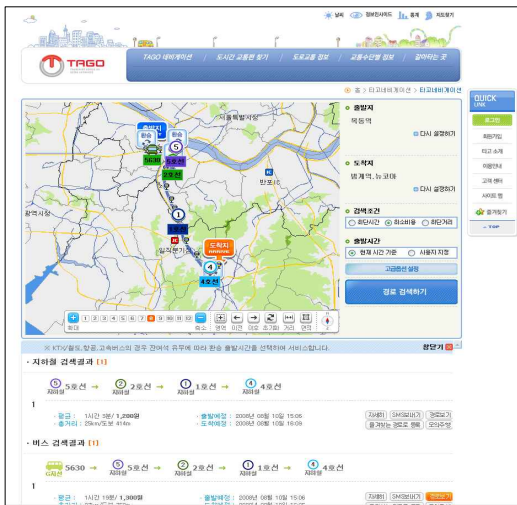
1990년대 말부터 교통정보제공시스템에 대한 관심이 증가하면서 대중교통 관련 기술개발 및 투자가 매우 활성화 되어 있으며, 각 지자체를 중심으로 사업이 이루어지고 있다. 하지만 이용자를 중심으로 한 연구 개발 및 서비스 부문에는 버스도착시간안내 및 주변시설물 안내와 같은 정보전달을 위한 정보제공 매체가 정류장 및 환승장을 중심으로 설치되어 있으며, 또한 차량내 운전자를 위한 차량의 배차간격 조정과 운영의 편의를 위한 운전자 단말기가 많이 설치되어 있다.

대중교통 이용자들이 이용할 수 있는 정보제공 형태로는 Web, Kiosk, BIT등의 고정형 정보제공 방식과 휴대폰, PDA, ARS 등의 이동식 정보제공방식으로 나눌 수 있다. 그러나 많은 이용자들이 아직 정보의 접근방법에서 불편함을 호소하고 있으며, 그 사용빈도도 투자에 비해서 낮은 편이다. 특히 일반인 위주의 정보제공으로 교통약자에게 필요한 서비스가 제공되지 못하고 있는 실정이다.

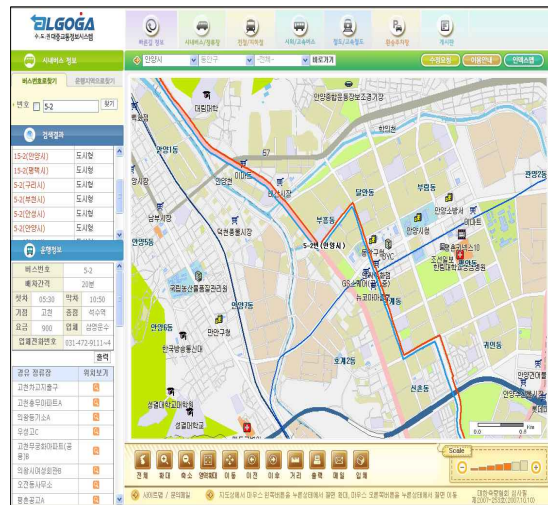
현재 국내에서 서비스되고 있는 대표적인 정보제공서비스로 서울시가 대중교통체계개편 이후 서비스를 시작한 「서울시 개편노선 안내시스템」과 2003년 초 국토해양부에 의해 구축된 「수도권 대중교통이용 정보시스템 알고가」는 버스와 지하철에 대한 노선 및 정류장, 최단경로 및 지도 검색과 같은 복합수단 개념의 통합 대중교통 정보를 제공하고 있다. 또한 실시간 환승교통종합정보시스템(TAGO)의 현장시스템인 KISOK은 주요 역과 터미널에 설치되어 있고 네비게이션, 시외 교통 찾기, 지하철/버스 찾기, 대중교통 운행정보, 도로교통 운행정보, 터미널 정보, 날씨 정보 등을 제공하고 있다. 다음 <그림 1>과 <그림 2>는 인터넷 기반의 경로정보제공 서비스 TAGO와 ALGOGA의 경로탐색 도면을 보여주고 있다.

인터넷 TAGO시스템은 철도·항공·고속버스·지하철의 운행시간정보, 요금정보, 예약정보, 환승정보 등을 제공하고 있다. 그밖에 인터넷 포털<표 1>에서의 대중교통서비스도 다양하게 이루어지고 있는데 야후 “거기” 서비스에서는 기본적인 길 찾기 및 시내버스와의 지하철을 활용한 환승을 포함한 대중교통서비스를 제공하고 있으며, 국토해양부와 전국 버스운송사업 조합연합회가 운영 중인 “알고가”는 수도권을 중심으로 지하철 정보와 빠른 길 정보 등을 인터넷 서비스로 제공하고 있다.

* 신연식 교통약자를 고려한 교통수단제공 및 시설정비지침 연구, 연구총서,2000-13,교통개발연구원



〈그림 1〉 인터넷 기반의 서비스 TAGO



〈그림 2〉 인터넷 기반의 서비스 ALGOGA

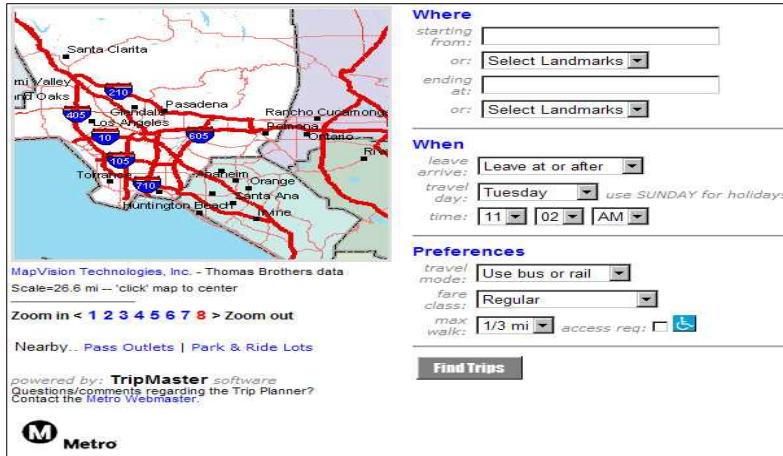
〈표 1〉 국내 대중교통정보제공 서비스 현황 요약

시스템명	제공서비스	수단	매체
ALGOGA	- 경로(환승), 요금, 시간	버스, 지하철	인터넷, 휴대폰, ARS
대중교통통합시스템 (서울, 부산)	- 경로(환승), 요금, 시간	버스, 지하철	인터넷, 휴대폰
TAGO	- 수단별, 경로, 요금, 시간 - 환승에 필요한 시설	항공, 철도, 버스, 지하철	인터넷, 키오스크 ARS
Naver, daum, yahoo, empass	- 경로(환승), 요금, 시간	버스, 지하철	인터넷

2.1.2 국외 대중교통정보제공 서비스 기술동향

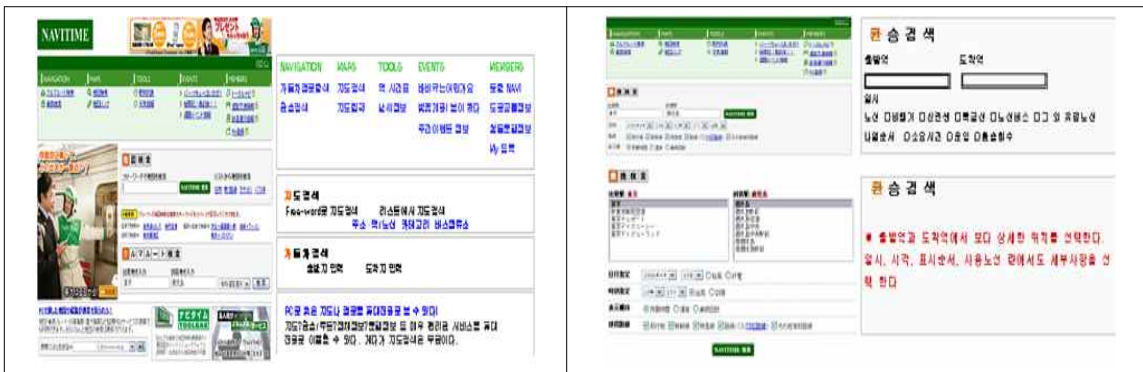
해외의* 대중교통 정보제공서비스로는 미국 San Francisco Bay Area 지역의 기관들이 연계하여 교통수단간 교통정보를 ARS로 시범사업을 시작하였고 2001년에는 인터넷(511 Take Transit)을 통한 서비스를 시작하였다. 이는 출발지, 목적지, 출발시간, 통행옵션(최단시간, 최소 환승횟수, 최소요금, 최소보행)등을 입력하면 가능한 교통수단간 최적경로를 산정하여, 텍스트와 이미지 형태로 경로, 환승, 요금정보 등을 제공한다. LA시는 2001년 장기교통계획과 2003년 단기교통계획에 의해 대중교통수단 및 교통체계의 효율화를 위해 여러 가지 사업 중 일환으로 웹사이트(Metro)에서 대중교통 정보 및 도로교통 상황 정보를 제공하게 되었다. Metro<그림 3>에서 제공되는 서비스로는 대중교통 수단의 운행 시각표, 운행 노선도, 장애인 시설물 이용가능 정보, 여행 전 대중교통정보를 제공하는 “Trip Planner”, 실시간 도로교통정보가 있으며 제공되는 서비스 중에서 시각표, 노선도, 장애인 접근정보는 사용자가 웹사이트에 링크된 전자문서 파일을 다운 받아서 컴퓨터에서 열람하는 방식으로 되어있다. Trip Planner 서비스가 제공되고 있으며 이 서비스는 사용자로부터 출발지, 목적지, 여행을 원하는 날짜와 시간, 여행 조건(선호하는 교통수단, 요금등급, 최대보행거리, 장애인 여부)을 기입하고 실행하면 사용자가 기입한 조건에 맞추어 여러 가지 경로를 제시한다.

* 서울시 대중교통체계개편에 따른 대중교통정보체계 정비 및 활용방안, 서울시정개발연구원, 2005



〈그림 3〉 Metro의 trip planner

일본의 NaviTime<그림 4>은 출발지와 목적지를 지정하여 목적지까지의 전철/버스/항공기/철도/자동차/도보/그밖에 유료 교통수단 등 이용 가능한 모든 교통수단을 검색하고 전국 도로 교통정보, 버스 운행 상황, 교통 정체를 고려하여 목적지까지 소요시간, 선택 가능한 교통수단, 경로를 지도상으로 보여주는 등의 실시간 정보 서비스를 제공하고 있다. 출발시간을 설정하여 목적지 도착시간 및 소요시간을 알려줄 뿐만 아니라 목적지와 목적지 도착시간을 설정하면 적정 출발시간을 알려주는 기능을 제공한다. 검색 시 요금/소요시간/환승회수 세 가지 항목 중 우선 항목을 지정하여 지정된 항목에 대한 경로가 우선적으로 표시되는 기능을 제공하며 또한 탐색 조건에 도착시간이 빠른 순서/총 소요 시간이 짧은 순서/도보거리가 짧은 순서 세 가지 항목 중 선택하여 우선적으로 표시할 수 있다.



〈그림 4〉 일본의 NAVITIME

영국의 Journey Planner in TFL은 웹사이트를 통하여 버스를 비롯한 지하철의 통합정보를 제공하고 있으며 프랑스 파리의 대표적인 대중교통공사인 RATP 와 SNCF가 시민들에게 파리 교통망의 운영정보를 제공하기 위해 운영하는 RATP웹 사이트에서는 버스 및 철도에 대한 대중교통정보에 대한 검색이 가능하며 기점, 종점, 경로, 수단, 통행시간, 정류장정보 및 주변지역의 지리 정보 등을 제공하고 있다. 이 밖에도 해외 여러 나라에서 이와 비슷한 대중교통정보를 제공하고 있다.



〈표 2〉국의 대중교통정보제공 서비스 현황

구분	시스템명	제공서비스	수단	매체	구현 주체
미국	511Take Transit	- 경로(환승), 요금	버스, 지하철	인터넷	샌프란시스코
	Trip planner	- 경로(환승), 요금	버스, 지하철	인터넷	LA
	RTA	- 경로(환승), 요금	버스, 지하철	인터넷	시카고
영국	Journey Planner	- 도착안내 정보제공 - 최단경로, 수단정보, 통행시간, 정류장정보, 주변지역지리정보	대중교통	인터넷 Kiosk	파리
프랑스	RATP	- 버스운행관리, 안전관리 - 실시간 버스도착안내정보 - 노선정보, 종착지정보, 대기시간정보, 사고정보, 도로상황정보, 철도정보	대중교통 (버스, 철도)	인터넷 Kiosk	파리
핀란드	Promise	- 실시간 대중교통 - 항공운항, 날씨정보	대중교통	인터넷 휴대용 장치	헬싱키
이탈리아	5T	- 실시간 대중교통 정보제공 및 경로검색 시스템 - 교통상황 및 주차관리정보시스템	대중교통	Kiosk VMS	Turin
독일	PIEPSER	- 대중교통 도착안내 및 지연정보	대중교통	-	마그테부르크
	DOM	- 경로정보	대중교통	-	카를스루에
	INFORTEN, MOBINET	- 다수단 대중교통정보제공	복합대중교통	휴대장치 인터넷 Kiosk	뮌헨
일본	버스운행관리 시스템	- 버스운행정보	버스	인터넷 휴대폰	동경
	버스안내 시스템	- 버스도착안내정보	버스	Kiosk	요코하마

2.1.3 시사점 및 문제점

실시간 환승정보 서비스를 위해 여행 전 정보 시스템은 부가가치 서비스 모델(Value Added Service Provider Model) 과 공공 서비스 제공 모델(Public Service Provider Model)이 있고 여행 중 정보서비스는 인터모달 환경을 이용하는 정보서비스와 자동차 이용자를 위한 정보서비스로 구분하고 있다.

대중교통서비스는 최단경로탐색 서비스가 주를 이루고 있으며, 대중교통정보를 이용자가 이용할 수 있는 매개체는 현재 인터넷 과 휴대폰 및 ARS로 구분될 수 있다. 현재 주로 이용되고 있는 서비스는 무선인터넷을 통한 최단경로탐색 서비스로 버스나 지하철의 노선에 대한 경로, 시간 및 요금정보가 제공되고 있으며 환승이 필요할 시에는 환승지점에 대한 언급도 표시하고 있다. 하지만 정보의 대부분은 버스를 이용한 최단경로탐색내용이며 지하철을 이용한 최단경로 탐색 시에는 단일경로만 제공되고 있다. 소요시간의 경우 지하철인 경우 운행스케줄에 의해 거의 동일한 시간을 제공해 주고 있지만 버스의 경우에는 교통상황에 따라 상이한 시간을 제공하고 있으며, 환승정보의 경우 국내는 수단간 환승시스템이 잘 갖추어져 있지 않아 환승경로에서 수단간 환승정보를 제외한 입출입·환승 대기장, 환승이동시간에 대한 정보는 아직 제공하지 못하고 있다. 즉, 대중교통정보 시스템 상에서는 환승시간, 환승위치까지의 이동시간 및 대기시간, 환승이동거리 및 스케줄링에 대한 정보를 제공하지 못하고 있기 때문에 정확한 이동시간을 예측하는데 한계를 지니는 문제가 있다.



2.2 이론적 고찰

2.2.1 대중교통 환승스케줄링 정의

환승이란 통행자가 출발지에서 목적지까지 도달하기 위하여 두개 이상의 교통수단을 사용하는 경우, 이미 타고 온 교통수단에서 하차하여 다음 교통수단에 승차하기까지의 “갈아타기” 행위를 말한다. 이는 통행자 측면에서 볼 때, 환승은 통행자에게 승·하차를 위한 이동과 대기를 요구하게 되므로 서비스 수준을 낮추는 요인이 된다. 따라서 환승이 필요 없도록 통행의 출발지와 목적지를 직접 연결하는 교통 서비스가 제공되는 것이 이상적이라고 할 수 있다.

그러나 일정한 노선을 가지고 있고 역 또는 정류장을 중심으로 서비스가 이루어지는 대중교통의 운행에 있어 환승은 불가피하게 발생하게 된다. 따라서 승용차, 버스, 지하철 등의 육상교통수단과 항공기를 포함하는 통합교통망에서 이용자에게 목적지까지 도달하기 위한 연계수단, 통행시간, 통행요금, 환승횟수, 대기시간 등을 최소화함으로써 환승으로 인한 이동과 대기를 최소화시켜 서비스 수준을 높일 수 있다. 이를 대중교통환승스케줄링이라 정의 할 수 있으며 이는 최단경로 탐색을 통해 이루어진다.

2.2.2 최단경로의 정의 및 요약

최단경로 알고리즘이란 경로 안내시스템의 핵심적 요소로써 수집된 각종 교통정보를 바탕으로 출발지와 목적지 사이의 실현 가능한 가장 경제적인 최선의 경로를 탐색하는 과정이다. 이는 출발지에서 도착지까지의 경로 상에 포함된 링크의 통행비용의 총 합을 최소화하는 최단경로를 찾는 것에 그 목적을 두고 있다.

최적경로의 기본원리는 1958년 Bellman이 밝혀낸 출발노드 h에서 임의의 노드 j까지 최단경로가 노드 k를 통과한다면 그 경로 중의 출발노드 h에서 노드 k까지의 부분 경로 또한 최단경로가 된다는 기본사실에서부터 시작한다. 다음의 <표 3>은 대표적인 최적경로 알고리즘으로 수형망, 덩굴망, 수정형 덩굴망, 수형망 링크표지, 유전자 알고리즘의 기법, 장단점을 요약하였다.

<표 3> 최적경로 알고리즘의 장·단점

알고리즘 종류	알고리즘 기법	장점	단점
수형망 알고리즘	- 교통 분야에서 가장 많이 사용되는 알고리즘으로 Label-setting 기법을 이용. - 대표적인 알고리즘으로 Dijkstra 알고리즘.	- 계산이 빠르고 고려되는 범위가 좁으므로 단순교통망에서 효율적.	- 노선결정을 위해 자신이 노드의 전 노드만을 저장하므로 회전(좌회전, U턴, P턴)에 대해 전혀 고려할 수 없다.
덩굴망 알고리즘	- 회전을 고려하기 위해, 자신의 전 노드, 전전노드까지 고려하여 회전방향을 인식하고 가능성을 탐색, 비교하는 알고리즘	- 노드로 표현되는 교차로에서 회전제한 특성을 고려할 수 있음.	- 계산량이 많음 - U턴, P턴을 근본적으로 고려할 수 없음 - 좌회전 금지교차로가 2개 이상 연속되어 위치한 경우 정확한 해를 찾지 못함.
수정형 덩굴망 알고리즘	- 덩굴망 알고리즘의 통행비용 계산과정과 노선 역추적과정을 수정한 형태. - 노드에 표지를 설정함에 있어 차기대안의 경우를 고려하여 노드에 접근하는 방향별로 설정. - 최적 대안이 회전제약 등과 같이 경로의 일부가 될 수 없을 때 차기 대안에 의해 경로를 찾게하는 알고리즘.	- 좌회전 금지 2개이상 연속하여 위치한 경우, U턴, P턴 등을 고려가 가능함.	- 경로의 역 추적 시 올바르지 못한 노선을 찾는 경우가 생길 수 있음.



수형망 링크표지 알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 알고리즘을 바탕으로 U턴, P턴, 회전금지 제약을 고려한 알고리즘으로 경로가 노드가 아닌 링크의 집합으로 구성. 	<ul style="list-style-type: none"> - 좌회전 금지의 경우 기존 알고리즘은 3개의 노드를 고려해야 하나 수형망 링크표지 알고리즘은 2개의 링크만을 고려하므로 계산량이 작아짐. - 기존 알고리즘의 구조적 수정 없이도 정확한 최적경로 탐색이 가능. 	<ul style="list-style-type: none"> - 현재까지 복합대중교통망에서 가장 많이 사용.
유전자 알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> - 생물학의 진화이론을 기초 - 후보해를 이진수 문자열로 이루어진 염색체로 표현하여 이 염색체들의 집합을 모집단(population)이라 하여 적자생존의 원칙에 따라 모집단의 개체가 적합도(fitness)가 높으면 선택되고(selection) 낮으면 도태되는 원리. 	<ul style="list-style-type: none"> - 초기 data가 많지 않을 때 사용할 수 있음. - 복잡한 문제들에 대한 빠른 해답을 얻을 수 있음. - 다른 문제에 확장 결합하기 쉬움. 	<ul style="list-style-type: none"> - 세대가 거듭될수록 유전적 다양성이 상실되는 불완전 수렴(premature convergence)의 문제를 가짐.

2.3 선행 연구검토

교통망의 경로를 구축하는 방법은 수형망(Tree)과 덩굴망(Vine)으로 구분할 수 있다. 수형망(Tree)이란 모든 마디가 다른 모든 마디와 순환 없이 연결되는 교통망으로서, 이전 노드(Back node)를 저장하는 방법으로 경로를 구축하는 방법이며 덩굴망(Vine)이란 이전노드 뿐만 아니라 이전 노드의 이전 노드(Back-back node)까지 저장하는 방법이다.

탐색하는 경로의 수가 하나이면 최단경로 알고리즘 둘 이상이면 K-path 알고리즘으로 분류한다. 현재교통분야에서 널리 사용되는 알고리즘의 형태는 Labeling Algorithm(노드기반)으로 네트워크의 각 노드를 방문할 때 그 노드까지의 누적 경로비용과 전 노드의 번호를 표지하는 것으로 노드 방문이 종료된 후, 전 노드를 추적해 나감으로써 최단경로를 산출하는 방법이다. 최단경로의 탐색 과정에서 각 노드에는 전 노드에 대한 표지와 노드까지의 누적비용(accumulated cost)이 기록된다.

표지 기입 방법에 따라 표지수정기법(label-correcting)와 표지확정기법으로 분류된다. 우선 표지수정기법(Label Correcting algorithm)은 최단경로 탐색과정 중에 각 노드까지의 최소 도착비용을 계속해서 수정하는 알고리즘으로 탐색할 노드가 없을 때까지 모든 노드에서 탐색이 이루어진다. 대표적인 알고리즘으로 Moore algorithm이 있다. Moore algorithm의 장점으로는 단순하고 교통망의 확장에 따른 계산비용의 증가가 선형적으로 이루어진다는 것이다. 반면에 표지 확정기법(Label setting algorithm)은 특정 노드까지의 도착비용을 각 탐색단계에서 고정시키는 것으로 즉, 노드를 방문하는 과정마다 영구표지를 설정하여 영구표지가 설정된 노드는 다시 방문하지 않는 방법이다. 대표적인 알고리즘으로 Dijkstra algorithm이 있으며 한 번의 탐색으로 각 노드까지의 최단 도착비용을 결정한다는 장점이 있으나, 교통망이 복잡할 경우 기점으로부터 도착비용이 낮은 순서대로 정렬해야 하므로 추가적인 계산이 필요하다.

주로 교통망에서는 연구되는 알고리즘으로는 표지수정기법보다는 표지확정기법을 이용하는데 이는 이용자는 하나의 기점과 종점에 대한 최단경로를 원하기 때문이다. 하지만 노드기반 최단경로 알고리즘은 회전제약을 고려하지 못하므로 현실에서 실현 불가능한 경로를 산출하며 U-turn 및 P-turn을 고려하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 현실적인 문제점을 해결하기 위해 최근 대중교통망에서 가장 많이 이용되는 방법은 링크기반 최단경로 알고리즘으로 노드 간의 관계 대신 링크 간의 관계를 이용하여 최단경로를 산출하는 것으로 대표적인 알고리즘으로 링크표지 알고리즘을 들 수 있다. 링크기반 최단경로 알고리즘의 경우 링크의 중복은 고려하지 못하지만 노드의 중복은 묘사가 가능하다. 따라서 U-turn 및 P-turn을 반영할 수 있으며 또한 링크간의 관계를 직접 정의 할 수 있으므로 덩굴망 알고리즘의 문제점인 연속된 회전계약 문제점을 해결할 수 있는 장점이 있다. 링크기반 최단경로 알고리즘의 대표적인 알고리즘으로 링크표지 알고리즘은 Dijkstra 알고리즘과 동일하지만 가상링크 설정 및 링크 번호를 부여하고 회전제약을 고려하는



점, 최단경로 산출 후 다시 링크를 노드로 변환하는 과정이 추가된다.

기존에 가장 기초적인 최단경로 탐색 알고리즘은 단일수단에서 단일 목적을 대상으로 시작하였다. 그러나 현재 대중교통망은 실제로는 단일 목적만을 기준으로 경로를 선택하는 경우가 드물며, 통행시간, 통행요금, 환승 등의 다양한 목적을 종합적으로 고려해서 결정되어진다. 우선 노정현(1995), 김익기(1998)는 효율적인 최단경로를 산정하기 위해서 도로망의 확장 없이 경로 계산과정에서 회전제한을 반영한 링크탐색 알고리즘과 수정형 덩굴망 알고리즘을 제시하였다. 그리고 최기주와 장원재(1998)는 수단별 교통망을 독립적으로 계층화하여 다층 네트워크를 구성하고 환승이 이루어지는 수단별 교통망의 환승링크를 추가함으로써 계층화된 다층 네트워크를 하나의 교통망으로 통합하였고 김현명과 임용택(1999), 이순재 외(2000), 장인성과 문형수(2001)는 최단경로 탐색 모형을 개발하기위해 유전자 알고리즘을 제안하였다. 또한 장인성(2000)은 환승지점에서 수단 간에 발생하는 환승에 대한 고려가 용이하도록 링크기반 최소시간 경로 알고리즘과 서비스 시간 제약이 존재하는 복합교통망을 위한 링크기반의 최단경로탐색알고리즘을 제안하였고 이미영 외(2003)은 회전제약을 포함하는 두 지점 간에 다수의 경로를 순차적으로 탐색하는 K-path 알고리즘을 기반으로 링크표지탐색방식을 제안하였다. 그 밖에 조중석 외(2006)는 복합교통망에서 출발시간제약을 고려하여 K개의 최소 시간경로를 탐색하는 알고리즘을 제안하였다. 이러한 최단경로 탐색은 회전제약(U-turn, P-turn)과 서비스시간, 환승 등을 고려한 다수단 단일목적의 연구들이다.

그러나 최근에 다수단의 교통수단이 혼재된 교통망에서 다목적경로탐색에 대한 연구가 시작되었는데 이미영(2007)은 복합대중교통망의 다목적 경로탐색에서 최적 해를 도출하는 링크표지기반 알고리즘으로 환승을 포함하는 복합교통망에서 다목적 탐색기법에 적합하도록 알고리즘을 개선하는 방안을 제안하였으며 이에 더 나아가 신성일(2008)은 다수의 계층을 고려한 링크표지로 구축된 비지배 경로를 재정의 하였으며, 또한 링크경로표지를 갱신하는 방법과 링크경로표지를 노드경로표지로 전환하는 방안이 합리적임을 제시하였다.

2.4 교통약자 유형별 통행특성분석

효율적인 교통약자를 고려한 환승스케줄링 알고리즘 개발을 위해서는 현재 대중교통을 이용하는 교통약자들의 통행 특성분석이 우선시되어야 한다. 이에 본 연구에서는 서울시정개발연구원의 교통약자 통행특성자료를 중심으로 분석해보았다. 다음 <표 4>는 교통약자들이 선호하는 대중교통수단으로 다음과 같다.

<표 4> 교통약자들이 선호하는 대중교통수단

구분	버스	지하철	택시	기타
지체	26.08%	43.47%	4.34%	26.08%
시각	6.45%	70.96%	9.67%	3.22%
청각	17.5%	60%	12.5%	10%

교통약자들이 가장 선호하는 교통수단은 지하철로 나타났다. 이러한 이유는 현재 지하철이 교통약자를 위한 이동편의 시설면에서 가장 좋으며 배차간격 또한 일정하기 때문이다. 버스는 저상버스의 부족으로 인한 탑승의 어려움과 버스정류장으로의 이동의 불편함, 도로상황의 따른 일정치 못한 배차간격의 문제 때문에 낮게 나타났다. 교통약자 유형별에 따른 대중교통이용이 지하철로 편중되는 것으로 나타나 향후 알고리즘 개발 시에는 지하철을 중심으로 알고리즘을 구축하며, 그 밖에 타 대중교통 수단의 환승을 유도 교통약자들이 원활하게 대중교통을 이용할 수 있도록 알고리즘이 구축되어야 할 것이다.



다음 <표 5>는 교통약자 유형별 대중교통 환승소요시간이다. 유형별로 많은 차이가 보이는데 특히, 지체와 고령자가 각 유형별 환승 소요시간이 비슷한 경향을 보이며, 시각·청각장애자들이 지체·고령자에 비해 환승소요시간이 짧은 것을 알 수 있다. 또한 모든 유형의 교통약자를 위한 편의 시설이 가장 잘 설치된 지하철에서 유형별 환승소요시간이 가장 적게 나타나는 것으로 나타났다. 시각장애인들의 환승 소요 시간이 적게 나타난 이유는 대부분 시각장애인들은 안내원의 도움을 받거나, 동행인이 같이 이동을 하기 때문에 환승시간이 짧게 나타나는 것으로 생각된다.

<표 5> 교통약자 유형별에 따른 대중교통 환승 소요시간

구분	교통약자			
	지체	시각	청각	고령자
버스에서 버스	16.45분	10.32분	13.03분	15.68분
버스에서 지하철	16.8분	10.16분	13.78분	18.40분
지하철에서 지하철	14.61분	9.51분	14.86분	16.13분

다음 <표 6>는 교통약자의 환승횟수를 보여주고 있다. 대중교통 이용 시 일반인들은 목적지까지 최단경로를 이용하기 위하여 많은 환승횟수를 가지지만, 교통약자들은 일반인들에 비해 매우 적은 대중교통 환승횟수를 보여주고 있다. 특히, 지체장애인과 고령자들의 환승횟수가 적는데, 지체 장애인은 신체적 장애로 인하여 이동이 불편함으로 환승을 줄이는 경향이 있으며, 고령자의 경우는 경험에 의한 의사결정에 따라 다른 교통수단을 선택하는 것으로 해석 될 수 있다.

<표 6> 교통약자 유형별 통행 목적지까지의 환승횟수

구분	교통약자			
	지체	시각	청각	고령자
환승횟수/1외출	0.85회	1.19회	1.15회	0.18회

3. 알고리즘 개발 방향 수립 및 소결론

3.1 알고리즘 개발을 위한 방향수립

본 연구의 최종목표인 교통약자를 고려한 환승스케줄링 알고리즘 개발을 위해 기존문헌을 통한 연구분석 결과를 바탕으로 향후 알고리즘개발방향을 수립해보았다.

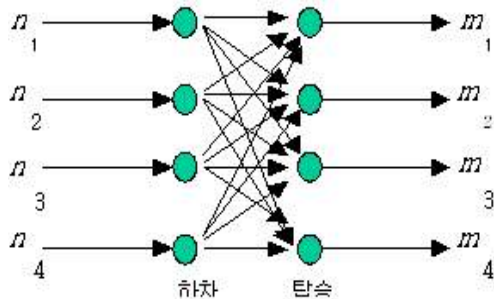
현재 대중교통망에서 가장 적합하다고 할 수 있는 링크기반 최적경로 알고리즘을 기반으로 교통약자의 통행특성 분석에 따른 이동특성과 요구사항을 분석하여 그에 따른 관련DB등을 도출하여 알고리즘에 적용할 수 있도록 한다. 특히, 교통약자들이 경로를 선택하는 과정에서 고려할 수 있는 통행시간, 통행요금, 이동의 편의성, 쾌적성, 환승횟수, 환승시간, 환승시설, 환승요금 등과 같은 복수의 제약 또는 목적을 고려한 다수단의 다목적경로탐색에 다계층(지체, 청각, 시각)을 포함한 연구(신성일, 2008)로 보완 발전시킬 것이다.

본 연구에 적용될 알고리즘은 다목적 경로탐색을 위한 K-최단경로 알고리즘(이승재 2000)을 이용하여 목적에 따라 분류하여, K개의 경로를 찾은 후에 따로 구한 경로들 중에서 파레토(Pareto) 최적경로를 판단하는 과정으로 수행될 것이다. K-최단경로 알고리즘은 단일목적에서 k개의 순차적인 최단경로를 찾는 것으로 최단경로이외의 제2의 경로 또는 제3의 경로를 구하는 것을 목적으로 한다. 또한 파레토 최적경로는 다른 경로들에 의해 지배되지 않는 경로(Non

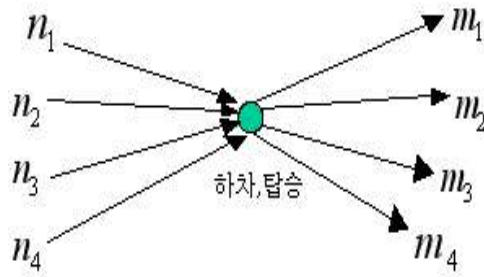
Dominated Path)를 의미한다. 즉, 다른 경로의 속성 값과 비교하여 적어도 하나의 속성은 지배되지 않는 경로로, 이러한 최적경로는 다수 존재하며, 탐색되어진 파레토 최적경로는 대체경로로서 통행자에게 다양한 정보로 제공되어 질 수 있을 것이다.

본 연구에서 적용되는 K-경로탐색알고리즘은 전체경로삭제방법(Azevedo et al, 1993)을 기반으로 대중교통망에서 링크의 반복이 허용되지 않는 불필요한 루프가 생성되지 않도록 링크표지를 확정하는 방안(신성일 2004)이다. 링크표지를 활용하는 장점은 경로 탐색 시 두 인접링크를 동시에 고려하기 때문에 루프가 생성되는 방향의 탐색을 생략하는 것이 가능하며 두 링크간의 탐색관계를 고려하여 링크반복이 존재하지 않은 링크 비루프를 탐색하는 것이 가능하다.

두 번째로 복합교통망에서의 네트워크(이미영, 2004)를 표현하기 위해서는 단일수단 교통망과 비교하여 수단간 환승에 대한 추가적인 고려가 필요하다. 환승표현의 경우 노드표지 알고리즘은 환승노드에서 발생하는 수단간 하차-탑승형태를 표현하기 위해서 각 수단에 대한 모든 연결링크를 가상적으로 확대하는 방안을 이용한다. 교통망 확장(이미영, 2004인용)의 예로서 <그림 5>은 환승노드에서 발생하는 수단간 연결가능성을 모두 표시한 것으로 그림에서 나타나듯이 4개의 수단간 환승요금을 고려하기 위해서는 8개의 가상노드와 16개의 가상의 환승링크가 필요하다. <그림 6>은 링크기반 네트워크로 링크를 주행하는 수단에 대한 확장은 필요하지만, 환승지점에서 기존의 링크기반처럼 네트워크를 확장하는 것이 필요하지 않다. 즉 하나의 노드에서 다수의 수단간 하차와 탑승형태가 완성된다.



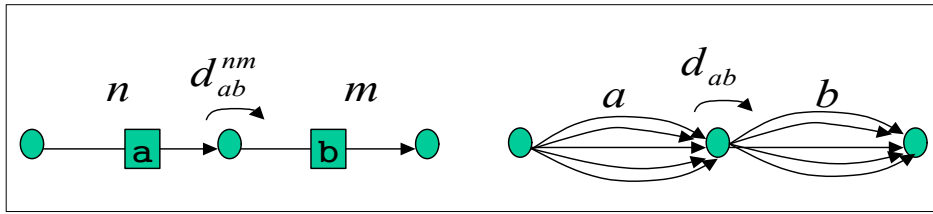
<그림 5> 환승노드 및 수단링크(노드기반)



<그림 6> 수단링크의 확장(링크기반)

단일링크를 주행하는 모든 수단에 대하여 각각을 링크로 구축하는 링크수단확장을 적용하여 기존의 단일수단기반의 최적경로알고리즘으로 수행이 가능하도록 한다. 이 방법이 적용되면, 출발지와 도착지가 동일하나 링크의 속성(거리, 비용)이 다른 복수의 링크를 포함하게 된다. 이 방법은 링크의 수가 노선 수에 비례하여 증가되는 단점이 있으나 수단의 특성이 링크로 반영되고 수단간 환승을 고려할 경우 수단 및 노선 특성에 따른 다각도 분석이 가능하다. 또한 수단을 링크로 표현하였으므로 기존의 복합교통망에서 활용되고 있는 링크기반 최적경로 알고리즘을 적용하여 환승에 대한 처리가 가능하다.

그러나 링크표지(이미영, 2004인용)를 이용하게 되면 두 수단간 발생하는 환승비용(그림 7)을 네트워크 확장 없이 회전지체(d_{ab}^{mn})처럼 고려할 수 있으므로 네트워크를 단순화하여 표현이 가능하며 이는 네트워크의 구축비용과 계산노력의 감소와도 직접적으로 연결된다. 즉 하나의 노드에서 다수의 수단간 하차와 탑승형태가 완성되며, 이는 최적식이 2개의 인접링크(a 와 b)에서 발생하는 회전비용 (d_{ab})을 포함하고 있어 최적경로 알고리즘에서 추가적인 네트워크의 확장 없이 고려할 수 있다.



(그림 7) 수단의 환승반영 및 동일링크에서 수단 확장

마지막으로 교통약자의 특성을 반영하기 위해 관련 제약조건(환승횟수, 통행시간, 좌석확보, 환승시간, 통행비용 등)을 조사 분석하여 필요 자료를 구축하며 또한 교통약자를 유형별로 분류하여 특징에 맞게 최적경로 혹은 2-3개의 선택대안 경로를 줄 수 있는 복수의 요소를 고려한 알고리즘을 구축한다. 이외에도 링크의 속성과 노드속성, 환승속성을 반영하여야 하는데 이러한 속성들에 대한 관련(시설, 정보 등) DB를 탑재한 알고리즘을 개발한다.

3.2 소결론

본 연구는 교통약자를 고려한 알고리즘 개발을 위한 기초연구로 우선 대중교통경로정보서비스 기술들을 알아보았고 알고리즘 관련된 다수의 문헌들을 검토해보았으며 통행특성 분석을 통해 교통약자들의 통행행태를 분석해보았다. 현재 우리나라 대중 교통망에서는 교통약자를 위한 서비스가 많이 구축되어 있지 않고 교통약자들이 대중교통으로 출발지에서 목적지까지 이동시 알맞은 스케줄링 부재와 경로정보제공의 부족으로 인하여 많은 어려움을 가지고 있다. 이에 교통약자 이동성 제약에 따른 사회적 경제적 손실이 나타나고 있는 실정이다. 앞으로 교통약자가 안전하고 편리하게 이동할 수 있도록 기술적·제도적 정책이 필요할 것으로 사료되며 특히, 이러한 문제점의 개선을 위해서는 교통약자를 위한 알고리즘 개발을 통하여 대중 교통망에서 소외되었던 교통약자를 위한 복지사회가 실현될 수 있을 것이다.

향후연구과제로서 교통약자에게 합리적인 알고리즘에 대한 구체적인 연구가 필요할 것이며 기존에 연구된 자료를 참고하여 교통약자 통행특성에 알맞은 방안에 대한 지속적인 연구 또한 수행되어야 할 것이다. 그리고 알고리즘개발을 위한 교통약자 DB를 반영하여 교통약자 맞춤형 알고리즘을 구현하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(07교통체계-지능07)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김종수(1996) “OR이론과 응용”, 박영사
2. 노정현(1999) “교통계획”, 나남출판
3. 윤대식(2001) “교통수요분석”, 박영사
4. 신연식(2002) “교통약자의 보행교통환경에 대한 평가와 정비방안” 한국교통연구원
5. 최기주·장원재(1998) “복합 교통망에서의 최적경로산정 모형개발”, 「대한교통학회지」 제16권 제4호, pp.167~186
6. 김현명·임용택(1999) “유전 알고리즘을 이용한 전역탐색 최단경로 알고리즘 개발”, 「대한교통학회지」 제17권 제2호, pp.163~178
7. 조종석·신성일·임강원·문병섭(2006) “복합교통망에서의 동적K최소시간경로탐색”, 「대한교통학회지」 제24권 제5호, pp.77~88
8. 윤상원·배상훈(2007) “대중교통 수단선택과 연계한 복합환승센터 내 보행자 최적경로 산정”, 「한국IT학회논문



지」 제6권 제2호, pp.45~56

9. 신성일 · 박제진 · 이종철 · 하태준(2008) “대중교통 정보제공을 위한 맞춤형 경로탐색 알고리즘 개발” 「대한토목학회논문집」 제28권 제3호
10. 조종석 · 신성일 · 문병섭 · 임강원(2006) “출발시간제약이 존재하는 동적 복합교통망의 K최소시간경로탐색” 「대한교통학회지」 제24권 제3호, pp.167~176
11. 장인성(2000) “서비스시간 제약이 존재하는 도시부 복합교통망을 위한 링크기반의 최단경로탐색 알고리즘” 「대한교통학회지」 제18권 제6호, pp.111~121
12. 이미영 · 백남철 · 최대순 · 신성일(2004) “링크표지갱신 다수경로탐색 알고리즘” 「대한교통학회지」 제22권 제2호, pp. 131~143
13. 김익기(2004) “수정형 덩굴망 최단경로 탐색 알고리즘을 이용한 다경로 생성 알고리즘의 개발” 「대한교통학회지」 제22권 제2호, pp.121~130
14. 박준식 · 고승영 · 김점산 · 권용석(2007) “최적 배차시각 설정에 관한 해석적 연구” 「대한교통학회지」 제25권 제3호, pp.137~144
15. 신성일(2004) “교통망에 적합한 K비루프 경로 탐색 알고리즘” 「대한교통학회지」 제22권 제6호, pp.121~131
16. 이미영, 김형철, 박동주, 신성일 (2007), “복합교통망의 링크표지갱신 다목적 경로탐색”, 대한교통학회지, 제26권 제1호.
17. Brumbaugh-Smith, J., and Shoer, D. (1989), “An Empirical Investigation of Some Bicriterion Shortest Path Algorithms”, European Journal of Operational Research, 43, pp. 216-224.
18. Aifandopoulou, G., Ziliaskopoulos, A., and Chrisohoou, E. (2006), “A Multi-Objective Optimum Path Algorithm for Passenger Pre-Trip Planning in Multimodal Transportation Networks”, Transportation Research Board, Washington.
19. 실시간 환승교통종합정보제공시스템(TAGO) 3차 구축사업, 2007, SK C&C 컨소시엄
20. 수도권대중교통이용정보시스템(알고가) : <http://www.algoga.go.kr>
21. 서울시 개편노선 안내시스템 : <http://bus.seoul.go.kr>
22. Take Transit : <http://transit.511.org>
23. BUSVIEW : <http://busview.its.washington.edu>
24. Mybus : <http://www.mybus.org>
25. RATP : <http://www.ratp.info/infomer/anglais/index.php>
26. TFL : <http://www.tfl.gov.uk/tfl/>
27. 실시간 환승교통 종합정보, 건설교통부, 2006
28. 교통약자이동편의 증진계획 수립, 건설교통부, 2007