



2011

최적 대중교통 통합네트워크 구축 연구

Constructing an Optimal Integrated Public Transit Network

신 성 일

최적 대중교통 통합네트워크 구축 연구

Constructing an Optimal Integrated Public Transit Network

2011

■ 연구진 ■

연구책임 신 성 일 • 도시교통연구실 연구위원
연 구 원 정 현 진 • 도시교통연구실 연구원

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

I. 연구 개요

1. 연구의 배경 및 목적

- 수도권 대중교통 통합Network는 버스·철도의 역간 수요와 노선망을 기반으로 구성되어 있으며, 이를 이용하여 대중교통노선의 서비스 제공 수준 및 운영 현황에 대한 판단이 가능함.
- 2004년 대중교통체계 개편과정의 일환으로 대중교통(RF)카드가 도입됨으로써 수도권 대중교통 통합O/D는 전수화에 가까운 자료가 구축되었으나, Network는 수단별로 분리되어 있어 활용되고 있지 못함.
- 통합Network는 수단 간 환승(Transfer)이 중요한데, 기하급수적으로 늘어나는 환승Line과 다양한 환승패턴의 고려 등에 대한 문제로 인해 구축이 어려움.
- 대중교통수요, 패턴 등의 분석을 위한 기존 상용프로그램은 수도권 대중교통 통합Network 분석에 부적합한 이론적 기반 위에서 운영되고 있어 통합대중교통의 정책분석에 활용 가능한 결과 도출에는 한계로 작용함.
- 이 연구에서는 대중교통카드자료를 활용하여 서울시 대중교통 통합Network의 구축 및 활용 방안을 제시함.

2. 연구의 내용

- 먼저 수도권 대중교통 통합Network를 구축하기에 앞서 현(現) 대중교통체계와 교통분석체계에 대해 살펴보고, 향후 대중교통 정책분석에서 요구하는 사항을 점검하였음.
- 현재 통합O/D가 구축되어 있는 대중교통카드 데이터의 구조와 통합 교통망에의 적용 가능성을 살펴보고, 도입 가능한 새로운 이론체계를 구축하였음. 이 연구의 핵심은 개별적으로 존재하는 수단별 Network들 간의 환승Network를 구축함으로써 수단-링크표지(Mode-Link Label) 개념을 적용한 것임. 환승Network는 정류장·역을 기준으로 일정

범위의 환승영향권을 설정하여 영향권 내의 정류장·역들에 대해서 환승이동시간과 환승대기시간, 이동파라메타를 고려하여 환승링크를 구축하였으며, 구축된 링크의 정보를 환승직전노드에 기억시키는 형식으로 적용하였음.

- 이 연구에서 구축된 통합Network는 노선 변화(신규, 변경, 삭제)나 정류장·역의 변화에 따라 자동적으로 구축이 가능한 프로세스로 구성되어 있음.
- 통합Network에 대중교통카드 데이터(O/D)를 적용하여 지하철 수요(역간 수요, 환승역 수요) 분석과 환승을 포함한 경로탐색 사례를 제시하였고, 향후 통합Network의 보완 사항도 제시하였음.

II. 주요 연구 결과

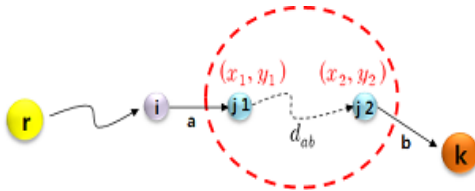
1. 통합Network 구축방향

- 통합대중교통망은 수요예측 모형을 통하면 정책적인 평가가 가능한데, 기존 수요예측 모형에서 접근하기 어려웠던 것이 환승통행임. 대중교통카드시스템의 도입으로 인해 승객들의 출발-도착 경로에 수단 간 환승패턴까지 파악할 수 있게 되어 환승 O/D는 알 수 있으나 환승Network는 별도로 구축해야 함.
- 우선, 정류장·역을 중심으로 하여 승객이 도보로 이동 가능한 정도의 범위를 환승영향권으로 설정하고, 그 안에 포함된 정류장·역 간을 연결하는 환승링크를 생성함. 수단-링크 표지 및 통합노드 개념을 적용하고 경로 탐색 시 환승링크는 환승이동시간, 환승대기시간 등을 고려하는 통합Network 구축 프로세스를 제시함.

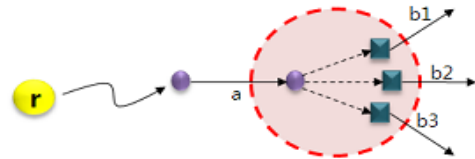
2. 환승 이론 체계

- 링크기반 경로탐색 알고리즘은 네트워크의 전 링크가 저장된 상태에서 각 링크의 종점에 대한 도착비용을 바탕으로 경로를 탐색하기 때문에 회전비용 및 환승비용을 고려하며, 환승직전 노드에 대한 이전 링크와 도착비용이 저장되어 환승문제의 해결이 가능함.

- 이 연구에서는 동일한 도로 또는 레일을 주행하는 모든 수단을 가상의 링크로 연결하는 방법을 적용함. 이 방법은 가상링크가 수단이나 노선의 수에 비례하여 증가하며 각각의 특성들을 반영할 수 있고, 수단 간 환승의 표현이 가능하다는 장점을 가지고 있음. 또한 수단별 이동경로가 모두 링크로 표현되었기 때문에 다수단 통합교통망에서 최적경로 알고리즘을 적용한 환승문제도 해결할 수 있음.
- 환승링크는 실제 존재하는 것이 아닌 환승연결을 위해 저장해놓은 가상의 연결링크라고 할 수 있음. 환승직전노드에 환승 가능한 다음 노드의 정보를 가지게 한 다음 경로탐색과정을 수행함.
- 이 방법의 최대 장점은 환승링크의 직접연결과정이 불필요하여 무분별한 환승링크의 증가를 방지할 수 있다는 점임.
- 환승링크의 구축을 위한 방법을 두 가지 제시하였는데 하나는 환승노드의 위치좌표를 이용하는 방법¹⁾과 또 하나는 환승영향권 내 노드들을 연결하는 방법²⁾임.



〈그림 1〉 좌표를 이용한 환승링크



〈그림 2〉 환승영향권을 이용한 환승링크

3. 통합Network 구축

○ 버스 네트워크

- 대중교통카드 데이터를 이용한 버스네트워크는 정류장 간 도로를 개별링크로 정의하고 버

-
- 1) 환승노드의 위치좌표를 이용한 환승링크 구축 후 경로탐색 수식은 다음과 같음.

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

- 2) 환승영향권을 이용한 환승링크 구축 후 경로탐색 수식은 다음과 같음.

$$\pi^{rb} = \min(\pi^{ra} + d_{ab}^{\Delta} + c_b)$$

여기서, d_{ab} : 환승비용(환승이동 m , 대기 w , 파라메타 β) = $f_{(m,w)} \rightarrow m = \beta \cdot \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$

π^{ra} : 출발지 r 에서 수단-링크 a 의 도착지점까지 최소비용

c_b : 수단-링크 b 의 주행비용

- 스 정류장의 위치를 나타내는 좌표와 노선명, 노선운행정보를 종합하여 노선망을 구축함.
- 버스의 정보는 변화 주기가 짧고 비정기적인 업데이트 방식을 고수하고 있으므로 사전에 특정 일자를 기준으로 한 데이터를 사용하였음.

조합 구분	버스노선ID	교통수단명	노선명	노선번호	정류장ID	정류장명	정류장 노선	정류장 부속거리(m)
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	8003152	보림교동차고지	1	0
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	8000312	청암동강변삼성아파트	2	0
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072983	형심경로입	3	187
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072984	원효2동주민센터	4	301
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072985	산천동	5	524
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072986	신광동새마을아파트	6	652
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072987	향북한교회	7	936
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072988	새마을금고	8	1091
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0033066	율문시장	9	1301
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072990	율산전지상가입구	10	1503
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072991	전지상가, 관할터미널	11	1801
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072313	산울산역	12	2362
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072992	율산역발정일	13	2545
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072314	율산역입	14	2728
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072993	한강로동행당코리어	15	3060
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072994	서부미혼율입	16	3660
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072995	미혼2동주민센터	17	4051
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072996	미혼2동주민센터	18	4251
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072997	미혼2동부영주유소	19	4528
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0073000	미혼119안전센터,성순공립	20	4791
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072998	원효2동삼성아파트후문	21	5251
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	8003000	청암동강변삼성아파트	22	5756
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(미혼율-산천동)	0017	0072966	원효산아파트	23	5911

ID	정류장이름	X측	Y측	진입각도
0000015	남부주유소	126.8480433	372.1477867	109
0000016	대성아파트	126.849785	372.1476733	81
0000017	한진아파트후문	126.854725	372.1502917	21
0000018	진성학원	126.85612	372.151875	70
0000366	달산역	126.9015167	373.0391	33
0000365	달산역	126.9011433	373.0391533	212
0000387	현대1.2.3차아파트	126.8968283	373.032245	302
0000572	월산동도덕초등학교.주공9.10단지	126.8692483	372.1514	256
0000573	월산8.10단지LG슈퍼	126.867335	372.15105	256
0000574	월산2동주민자치센터	126.8663	372.1516833	348
0000575	월산2동반딧가스	126.8649933	372.1534283	263
0000576	인제약국	126.8637017	372.1533067	263
0000577	정원슈퍼	126.862695	372.1532117	263
0000578	대명각	126.8610633	372.15285	248
0000579	월말점	126.8600067	372.1524917	254
0000580	광천목욕탕	126.8591917	372.1523	254
0000581	개봉교입구	126.857195	372.15215	265
0000591	월산2동입구	126.8572233	372.15204	85
0000592	광천목욕탕	126.8592483	372.1522083	73
0000593	월말점	126.8600267	372.15239	73
0000594	대명각	126.8611017	372.15275	68
0000595	정원슈퍼	126.862695	372.1531067	82
0000596	인제약국	126.8636667	372.153195	83

〈그림 3〉 버스 노선 데이터 구조

〈그림 4〉 버스 정류장 데이터 구조

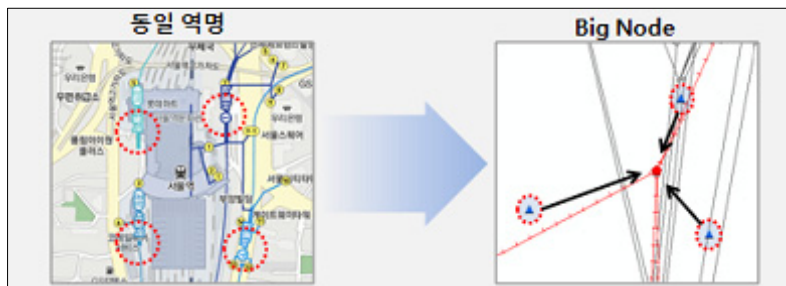
○ 철도 네트워크

- 지하철은 버스와 달리 전용레일을 통해 운행하고 있으며, 호선(Line) 간 환승시스템이 구축되어 있어 주로 수도권 내 장거리 이동비용이 많은 지하철은 환승역을 통하여 자유로운 이동이 가능함.
- 버스네트워크와 마찬가지로 지하철역의 위치좌표, 노선명, 운행정보 등을 바탕으로 노선망을 구축하는데 추가로 몇 가지를 고려하였음.
- 첫 번째로, 지하철은 일반완행노선 외에 급행노선이 별도로 존재하는데 역 정보는 완행노선과 동일하지만 노선이 별도로 움직이기 때문에 새로이 링크를 연결해줘야 함. 무정차 통과역은 하나로 묶어 운행역, 급행역 간 거리 등을 구축함.

〈표 1〉 급행 노선별 운행시간

운행 시간	운행 노선
24시간 운행	천안 급행(용산), 9호선 급행, 인천 급행
출·퇴근시간 운행	천안 급행(서울역)
출근시간 운행	경의선 급행, 경의선 특급, 중앙선 급행, 경춘선 급행, 4호선 급행

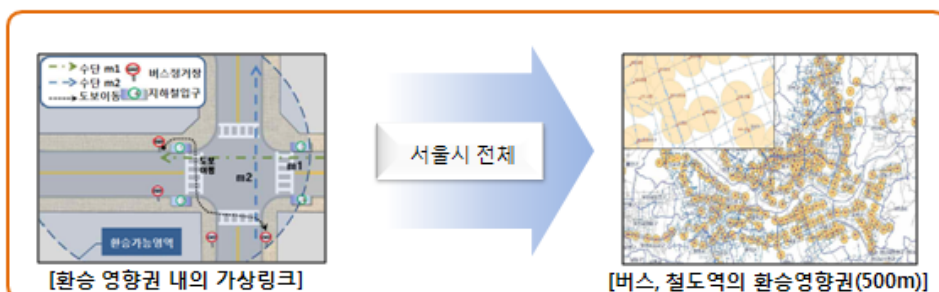
- 두 번째로, 환승역에 대한 단일화 과정을 들 수 있음. 지하철 환승역은 1개의 개념으로 보지만, 실제로는 교차하는 호선별로 1개씩 존재하며(예_서울역은 1호선, 4호선, 공항철도, 경의선의 역사가 인접거리에 위치), 위치좌표를 이용하여 버스와의 환승을 적용하기 위해선 각각의 위치를 한 번에 고려해주어야 함.
- 또한 각 위치에 따른 좌표값은 그대로 보유한 상태에서 이들 사이의 평균거리에 새로운 노드를 추가하고 각 역에 대한 정보를 모두 가지도록 설정하였음(Big Node).



〈그림 5〉 동일 역명을 가진 역들의 단일화

○ 환승 네트워크

- 각 수단 간의 환승과 더불어 지하철↔버스 간 환승링크의 별도 구축이 필요함. 환승은 승객이 도보로 이동 가능한 범위 내에서 이루어지며, 이는 환승영향권을 통하여 표현할 수 있음.
- 버스정류장과 지하철역을 중심으로 반경 500m를 환승영향권으로 설정하여 범위 내에 존재하는 수단들에 대한 환승링크를 구축함.



〈그림 6〉 환승 영향권 설정 기준(반경 500m)

-Big Node로 처리한 지하철 환승역의 환승영향권은 기존 호선별 역사의 위치좌표를 중심으로 한 영향권들을 모두 합친 영역으로 설정하였음. 이는 승객이 실제 이용하려는 노선의 역을 찾아 진입하지 않고 가장 가까운 역으로 진입한 후 환승통로로 이동하는 패턴을 보이기 때문임.

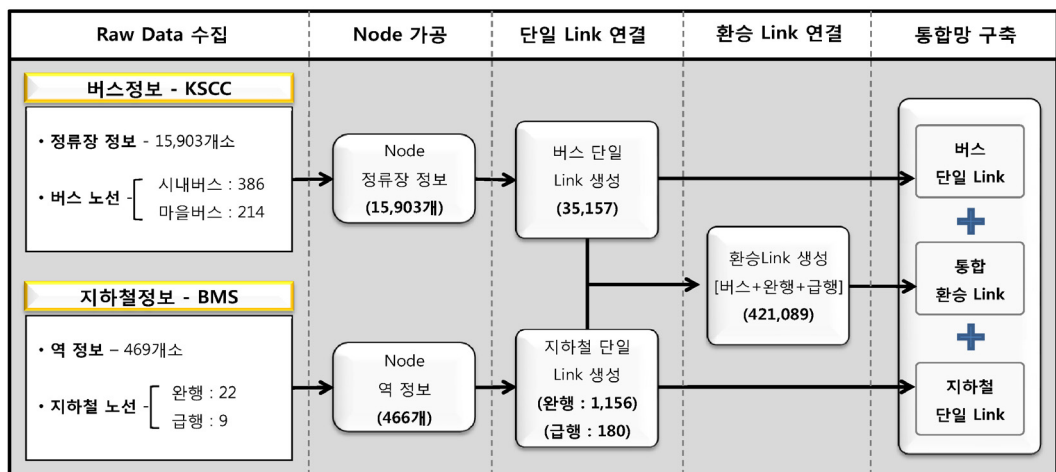
○ 통합 네트워크 구축

-통합네트워크는 다음 표와 같이 통합Node와 통합Link, 환승Link로 구성되어 있음.

〈표 2〉 통합Network 모드

모 드	종 류
통합Node	(bus), (subway)
통합Link	(bus), (subway), (rapid subway)
환승Link	(bus↔subway), (bus↔bus), (subway↔subway), (bus↔rapid subway), (subway↔rapid subway)

- 2011년 10월 21일 기준 지하철역은 469개가 운영 중이며, 이 중 환승역은 72개가 있음. 노선은 총 30개가 운영 중이며, 이 중 완행노선이 21개, 급행노선이 9개임.
- 버스 정류장은 15,903개소가 운영 중임. 버스노선은 총 600개가 운영되고 있으며, 이 중 시내버스 노선은 386개, 마을버스 노선은 214개임.
- 방향별로 환승링크를 구축한 결과 총 421,089개의 링크가 생성됨.



〈그림 7〉 대중교통 통합Network 자동화 구축 프로세스

Ⅲ. 정책 건의

- 대중교통카드 노선의 좌표체계를 바탕으로 수단 간 환승통행을 컴퓨팅을 통해 자동적으로 수행하도록 하는 노드·링크 체계의 구축 방법 및 이론체계를 제시함.
 - 수단·링크 개념을 통한 대중교통망확장기법
 - Big Node 개념을 이용한 환승역 링크 처리방안
 - 노선정보를 이용한 버스·철도 통합네트워크 자동화 구축방안
- 구축된 통합Network 대중교통 관련 분석 등에서 활용이 가능함.
 - 대중교통 네트워크 분석, 수요 분석, 철도 혼잡도 분석 등
- 교통모형 측면에서의 활용
 - 수도권 통합대중교통 정책분석을 위한 기반 모형체계
- 대중교통 노선 합리화 측면에서의 활용
 - 버스·경전철과 같은 대중교통 노선의 신설 및 폐지를 위한 노선 합리화 분석 체계
- 대중교통 정책 측면에서의 활용
 - 수도권의 다양한 대중교통정책 분석 지원을 통하여 합리적인 의사결정 유도

목 차

제1장 연구의 개요	3
제1절 연구의 배경 및 목적	3
1. 연구 배경	3
2. 연구 목적	3
제2절 연구의 범위	4
1. 시간적 범위	4
2. 공간적 범위	4
3. 내용적 범위	4
제3절 연구의 내용 및 방법	5
1. 연구의 내용	5
2. 연구의 방법	5
3. 연구의 흐름	6
 제2장 대중교통 분석체계 현황	9
제1절 통합대중교통체계의 정책분석	9
1. 서울시 대중교통체계	9
2. 수도권 통합대중교통 정책분석	14
제2절 현(現) 교통분석체계의 한계	15
1. 단일수단 기반의 분석체계	15
2. 환승링크 증가	16
3. 분석모형의 한계	17
4. 관련 연구사례 - 환승영향권을 이용한 환승링크 연구	17
 제3장 대중교통 통합Network 구축방안	23
제1절 대중교통카드를 활용한 Network 구축진단	23
1. 대중교통카드 데이터의 구조	23
2. 대중교통카드의 활용 가능성	25
3. 대중교통카드 기반 네트워크의 특성	25

제2절 이론체계 구축	27
1. 기존 교통모형의 네트워크 구축체계	27
2. 수단-링크 표지(Link-Mode Label) 개념의 이론체계	31
3. 대중교통카드의 환승을 고려한 이론체계	33
제3절 Network 구축	36
1. 버스 Network	36
2. 철도 Network	38
3. 환승 Network 구축	41
제4장 대중교통 통합Network 활용 사례분석	47
제1절 대중교통 통합Network 자동화 구축방안	47
1. 분석 데이터	47
2. Network 구축 프로세스	48
제2절 대중교통정책에의 활용 사례	49
1. 철도망 통행수요 분석	50
2. 연계수단 최적경로탐색 활용	51
제5장 결 론	57
제1절 연구의 결론	57
제2절 향후 연구과제	58
참고문헌	61
영문요약	65

표 목 차

〈표 2-1〉 대중교통체계 개편 내역	9
〈표 2-2〉 연차별 버스 수송인원 변화	10
〈표 2-3〉 연차별 수송분담률 현황	11
〈표 2-4〉 수도권 통합요금제	12
〈표 2-5〉 수도권 통합환승할인제 주요 내용	13
〈표 2-6〉 인구수를 고려한 최소유효표본율	16
〈표 2-7〉 존 크기에 따른 통행배정 결과의 정확도 및 결정계수	18
〈표 2-8〉 존 크기에 따른 대중교통 선택경로의 수	19
〈표 3-1〉 교통카드이용자료 활용방안의 장점	24
〈표 3-2〉 교통카드 수록 정보 및 정보 내용	24
〈표 3-3〉 환승노드에서 다음 경로 데이터 저장	35
〈표 3-4〉 수도권 지하철 노선별 운영기관	38
〈표 3-5〉 급행 노선별 운행시간	40
〈표 3-6〉 통합Network 모드	44

그림 목차

〈그림 1-1〉 연구의 흐름도	6
〈그림 2-1〉 대중교통 수송인원 비교	11
〈그림 2-2〉 대중교통수단별 환승통행 비율	11
〈그림 2-3〉 환승통행 사례_직행좌석(광역)버스 → 서울 간선·지선 버스/전철 환승 시	13
〈그림 2-4〉 통합대중교통망 분석체계	14
〈그림 2-5〉 단일수단기반 분석	15
〈그림 2-6〉 환승라인 개념도	16
〈그림 2-7〉 서울역 주변 대중교통 현황 예	17
〈그림 2-8〉 존 크기 : 반경 50m	18
〈그림 2-9〉 존 크기 : 반경 250m	18
〈그림 2-10〉 존 크기 : 반경 1,000m	19
〈그림 3-1〉 대중교통카드(RF)데이터 집계 프로세스	23
〈그림 3-2〉 대중교통카드 구조	25
〈그림 3-3〉 대중교통카드 기반 지하철 네트워크	26
〈그림 3-4〉 대중교통카드 기반 버스 네트워크	26
〈그림 3-5〉 ‘대중교통 서비스지표 산출연구-2단계’의 표준교통망 기반 버스노선 구축	26
〈그림 3-6〉 노드기반의 교통망 확장 예	27
〈그림 3-7〉 대중교통 네트워크와 수요량 예제(in EMME/3 user manual)	29
〈그림 3-8〉 전통적인 4단계 모형의 교통수요 추정 과정	30
〈그림 3-9〉 지하철 완행·급행 노선	31
〈그림 3-10〉 링크 확장방안	32
〈그림 3-11〉 링크기반의 복합교통망 확장 예	32
〈그림 3-12〉 가상 환승링크 연결(ex 버스↔철도)	33
〈그림 3-13〉 좌표를 이용한 환승링크의 표현	34
〈그림 3-14〉 환승영향권을 이용한 환승링크 연결	35
〈그림 3-15〉 실제 버스노선	36
〈그림 3-16〉 버스 Network 구조	36
〈그림 3-17〉 버스 정류장 데이터 구조	37

〈그림 3-18〉 버스 노선 데이터 구조	37
〈그림 3-19〉 버스 정류장/노선 위치 표현(Arc Map)	37
〈그림 3-20〉 지하철역 데이터 구조	39
〈그림 3-21〉 지하철 노선 데이터 구조	39
〈그림 3-22〉 지하철 위치좌표 구현(Arc Map)	39
〈그림 3-23〉 급행Network 구축(인천 급행 중 구로~역곡 구간)	40
〈그림 3-24〉 동일 역명을 가진 역들의 단일화	41
〈그림 3-25〉 환승 영향권 설정 기준(반경 500m)	42
〈그림 3-26〉 버스→철도 환승패턴(교대역 2호선역으로 진입하여 3호선 이용)	42
〈그림 3-27〉 버스→버스 환승통행	43
〈그림 3-28〉 지하철→지하철 환승통행	43
〈그림 3-29〉 지하철→버스 환승통행	44
〈그림 3-30〉 모드 구축	44
〈그림 3-31〉 서울시 대중교통 노선도(Arc Map)	44
〈그림 4-1〉 환승가능영역 설정	49
〈그림 4-2〉 대중교통 통합Network 자동화 구축 프로세스	49
〈그림 4-3〉 지하철 수요 추정	50
〈그림 4-4〉 2호선 사당↔강남 수요 분석(구간별 수요 분석 예시)	50
〈그림 4-5〉 신도림역 방향별 수요 분석(환승방향별 수요 분석 예시)	51

제1장 연구의 개요

제1절 연구의 배경 및 목적

제2절 연구의 범위

제3절 연구의 내용 및 방법

제 1 장

연구의 개요

제1절 연구의 배경 및 목적

1. 연구 배경

- 버스와 철도수단으로 구성된 통합대중교통에 대한 정책분석은 역간 수요(O/D)와 통합대중교통 Network 자료를 기반으로 이루어지며, 통합대중교통 Network 상에 O/D를 배정하면 노선의 서비스수준 및 운영 등에 대한 판단이 가능함.
- 현재 서울시 통합대중교통 분석을 위해 필요한 자료 중 대중교통(RF)카드기반의 통합 O/D는 구축되었으나 대중교통 통합Network는 구축되지 않아, 현재 버스와 철도 수단 별로 분리된 Network 분석체계로 운영되고 있으므로 개선이 필요함.
- 대중교통 통합Network의 구축을 위해서는 노선 간의 환승(Transfer)이 중요하나, 기하급수적으로 늘어나는 환승Line과 다양한 환승패턴을 고려하는 복잡한 문제 때문에 시도되지 못하고 있는 실정임.
- 또한, 기존 상용프로그램은 수도권 대중교통 통합Network 분석에 부적합한 이론적 기반 위에서 운영되고 있어 통합대중교통을 위한 정책분석에 활용 가능한 결과를 도출하기에는 한계로 작용하고 있음.

2. 연구 목적

- 대중교통카드기반 서울시 대중교통 통합Network 구축
- 대중교통 통합Network에서 최적의 교통운영에 요구되는 Trip Chain의 분석을 위한 교

통망분석기법과 연결

- 대중교통 통합Network의 자동적 구축 및 업데이트 방안 제시

제2절 연구의 범위

1. 시간적 범위

- 지하철역 및 버스정류장의 위치 좌표 정보 최종 업데이트 이후 특정 일자

2. 공간적 범위

- 현재 수도권의 대표적인 대중교통은 지하철(도시철도)과 버스로 구분되며, 승객들은 장거리 이동 시 지하철을, 단거리 이동 시 버스를 주로 이용하는 행태를 보이고 있음.
- 분석범위는 서울시내 버스정류장, 지하철역 지점과 이들 수단 간 환승통행, 그리고 서울시 외곽에서 진출·입하는 대중교통노선으로 설정함.

3. 내용적 범위

- 현재까지의 분석체계는 단일수단 기반의 표본(Sampling) 분석체계로 이루어져 있어 실용성과 정확성에 한계를 드러내고 있음.
- 2004년 대중교통체계 개편에 따라 대중교통카드가 도입되면서 수도권 대중교통 이용자의 전수화 자료를 통해 실시간으로 분석이 가능한 기반이 만들어졌음. 대중교통카드 쓰는 수도권 1일 2천만 통행의 상세내역이 전수화되어 있어 현재 이를 이용한 연구가 활발히 진행 중임.
- 대중교통 통합Network의 구축을 위해서 이 연구는 다음과 같은 내용으로 구성됨.
 - ① 링크-수단 표지(Link-Mode Label) 개념의 이론체계
 - ② 버스정류장·지하철역의 좌표를 이용한 환승링크 구축(환승영향권)
 - ③ 수도권 대중교통 통합Network 자동화 구축 방안 개발

제3절 연구의 내용 및 방법

1. 연구의 내용

- 이 연구의 내용은 크게 제1장 연구의 개요, 제2장 대중교통 분석체계 현황, 제3장 대중교통 통합Network 구축방안, 제4장 대중교통 통합Network 활용방안, 제5장 결론으로 구성되어 있음.
- 제1장에서는 연구의 필요성과 목적, 연구내용, 연구방법 등에 대하여 개략적으로 살펴봄.
- 제2장에서는 현(現) 대중교통체계와 앞으로 대중교통분석에 요구되는 부분들을 검토한 후 기존 대중교통 분석체계를 살펴보고 적용의 한계점을 검토함.
- 제3장에서는 대중교통 통합Network의 구축방안을 제시함. 먼저 대중교통카드 데이터의 적용 방안을 살펴보고, 도입 가능한 새로운 이론체계를 정의한 후 이를 이용하여 통합Network를 구축함.
- 제4장에서는 통합대중교통망의 자동화 구축과정과 이를 이용한 분석사례를 제시함.
- 마지막으로 제5장에서는 대중교통카드를 활용한 통합대중교통망 구축 program과 정책에의 활용방안에 대해 제시함.

2. 연구의 방법

(1) 연구사례조사

- 기존의 대중교통 분석체계와 통합Network에 대한 관련 연구보고서를 살펴보고 문제점 및 현시점에서 적용의 한계를 분석함.

(2) 활용자료

- 대중교통체계 개편 시 도입된 대중교통카드에서 추출되는 승객통행자료의 적용 방향을 검토하여 이 연구에 활용함.

(3) 이론체계 적용

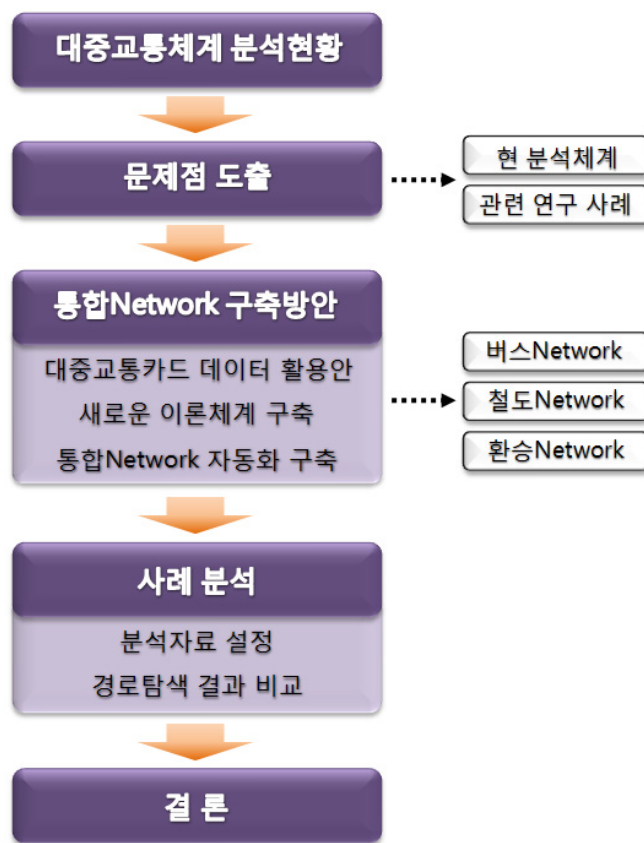
- 기존 분석체계의 틀에서 벗어나 새로 구축되는 통합Network에 적용할 새로운 이론체계를 정립함.

(4) 전문가 자문회의 실시

- 해당분야 전문가, 실무자와의 토론 및 의견수렴을 통해 연구의 방향 결정, 통합 Network의 활용방안 등을 검토하여 연구에 반영함.

3. 연구의 흐름

- 이 연구의 구성 및 흐름은 <그림 1-1>과 같음.



<그림 1-1> 연구의 흐름도

제2장 대중교통 분석체계 현황

제1절 통합대중교통체계의 정책분석

제2절 현(現) 교통분석체계의 한계

제 2 장

대중교통 분석체계 현황

제1절 통합대중교통체계의 정책분석

1. 서울시 대중교통체계

1) 대중교통체계 개편

- 2004년 대중교통체계의 대대적인 개편이 추진됨. 이로 인해 기존 대중교통 이용자들의 통행패턴에 변화가 발생하고 동시에 대중교통 이용객이 지속적으로 증가하고 있음.
- 대중교통체계 개편은 크게 세 부분에서 조정되었는데, 개편전의 노선 사유화로 인한 민영체제의 흑자노선 독점과 과중복 현상, 적자노선 기피 등을 조정하여 지·간선 체계로 분리하고 노선 조정 권한을 시민에게도 부여하여 서울시의 버스 활성화를 꾀함.
- 또한, 통합환승할인제의 시행으로 대중교통 이용률의 증가를 도모하였으며, 준공영제의 도입으로 서비스, 안정성, 효율성 측면에서 긍정적인 변화를 추구하였음.

〈표 2-1〉 대중교통체계 개편 내역

개편 내용	세부 사항
노선 체계	-지·간선 기능의 분리로 운행의 효율성 향상 -간선은 노선 입찰제, 지선은 수입금 공동관리의 형태로 운영 -노선 조정에 대한 시민 참여와 노선 확장 등으로 서울시 버스 활성화
요금 체계	-지하철↔버스 간 통합환승 할인제 시행 -형평성 제고 및 운영수입금 투명성 지향, 교통약자에 대한 배려
운영 체계	-버스 준공영제의 도입으로 인한 노선의 공공성 -서비스 측면의 안정성, 효율성의 증진

- 통합교통체계 개편에 교통카드시스템에 의한 통합요금체계를 지원하면서 수도권 대중교통운영의 통합정산체계도 가능해짐.
- 교통카드시스템을 도입하면서 수도권 통합 거리비례요금제와 통합 환승할인제도의 시행이 가능해졌고, 이 제도들로 인해 수도권의 버스와 철도시스템이 통합교통망체계 내에서 운영되기 시작함.
- 이러한 시스템이 가능케 된 이유는 대중교통체계 개편 항목 중 서울시의 버스준공영제 시행과 더불어 인천시와 경기도에서 각각 버스준공영제 시행, 환승할인지원시스템 구축 등으로 이해관계가 맞아 떨어졌기 때문임.
- 이로 인해 단일수단의 통행패턴이 다수단·다목적통행으로 변화되었으며, 이러한 통행패턴을 표현할 수 있는 통합 대중교통망의 구축이 시급한 실정에 이르렀음.

2) 대중교통 수송인원의 변화

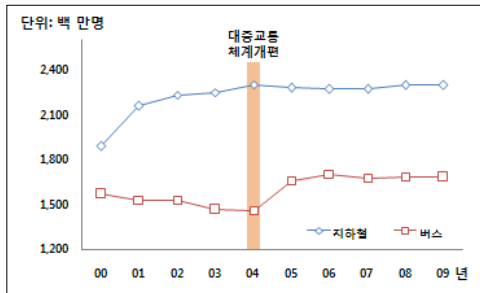
- 통합요금제의 시행으로 인해 승객들의 요금부담이 감소하기 시작하면서 대중교통 이용수요가 늘어나기 시작함.
- 또한, 환승체계의 정착으로 인해 승객들이 환승위주의 통행을 계기로 기존에 버스와 지하철을 독립적인 개별 교통수단으로 보던 인식에서 이제는 하나의 목적을 위한 다양한 수단통행을 단일통행으로 보는 인식으로 바뀌었음.

〈표 2-2〉 연차별 버스 수송인원 변화

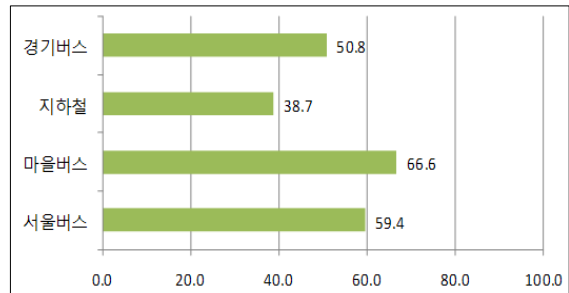
(단위 : 백만명)

연도	버스 수송인원	지하철 수송인원	비 고
2000	1,567	1,888	지하철 7호선 연장, 6호선 개통
2001	1,530	2,158	
2002	1,526	2,231	
2003	1,462	2,249	
2004	1,457	2,301	대중교통체계 개편 - 서울시 통합요금제
2005	1,659	2,277	
2006	1,699	2,269	
2007	1,673	2,268	경기도 통합환승할인제 확대 대중교통 요금 인상
2008	1,684	2,294	
2009	1,681	2,293	인천시 통합환승할인제 확대 지하철 9호선 개통

- 2000년대 초반까지 지하철 노선의 연속적인 확장·개통으로 지하철 이용수요가 급격하게 증가하였음.
- 2004년 대중교통체계 개편을 계기로 서울시의 버스와 지하철이 통합환승할인제도를 시작하면서 버스의 이용률도 높아지기 시작하였으며, 2007년과 2009년 경기도와 인천시까지 확대되어 환승통행량이 더 증가하게 됨.



〈그림 2-1〉 대중교통 수송인원 비교



〈그림 2-2〉 대중교통수단별 환승통행 비율

- 수송분담률을 보면 2004년 대중교통체계 개편 이후 버스는 꾸준히 증가추세를 보이고 있고, 지하철은 일정량 감소 후 2007년 경기도의 통합환승할인제 시행과 함께 증가추세에 들어섰음.
- 이와는 반대로 택시를 비롯한 승용차는 2004년 이후 감소추세를 보이고 있음. 이는 기존 이용수요가 버스로 전환되었기 때문으로 판단됨.

〈표 2-3〉 연차별 수송분담률 현황

(단위: %)

구 분	2004	2005	2006	2007	2008	2009
버 스	26.2	27.5	27.6	27.6	27.8	27.8
지하철	35.8	34.8	34.7	34.9	35.0	35.2
택 시	6.6	6.5	6.3	6.2	6.2	6.2
승용차	26.4	26.3	26.3	26.3	26.0	25.9
기 타	5.0	4.9	5.1	5.0	5.0	4.9

자료 : 서울특별시, 2011, 「시내버스 경영효율화를 통한 운송원가 절감」

3) 통합환승할인제

- 통합환승할인제는 대중교통수단 이용 시 환승 때 요금을 각각 지불하는 방식이 아닌, 환승수단에 상관없이 이동거리만큼 요금을 부과하는 방식임.
- 대중교통수단별로 적용하던 요금이 통합요금제가 시행됨에 따라 대중 교통비가 일부 절감되는 효과가 발생함.
- 2008년 12월 시행된 광역, 좌석버스의 통합요금제에 대한 설문조사에서 수도권 통합요금제의 확대에 승용차에서 광역버스로 이용수단을 변경하였다고 응답한 이용승객이 7.5%나 되었고 실제 교통카드 이용자도 약 5만 7천 여명이 증가하였음. 또한, 서울지방경찰청에서 제공한 자료에 따르면 시내 유출·입 차량은 전년대비 0.9% 감소하였고 특히 도심은 4.2% 감소한 것으로 나타남(서울특별시 도시교통본부 보도자료).
- 단독통행의 경우 서울, 인천시의 버스는 기본요금을 부과하는 단일요금제를 적용하나 경기도의 버스는 초승거리비례제로 운영되고 있음. 지하철의 경우 구간요금제와 거리비례제를 동시에 적용하고 있으며, 수단 간 환승통행 시에는 통합거리비례요금제를 적용하고 있음.

〈표 2-4〉 수도권 통합요금제

구 분		적용 요금제
단독통행	버스	—서울, 인천시 : 단일요금제 —경기도 : 초승거리비례요금제
	철도	—구간요금제 —거리비례요금제
환승통행(버스↔철도)		—통합거리비례요금제

주 : 2004년 서울시 첫 시행
2007년 경기도 확대, 2009년 인천시 확대

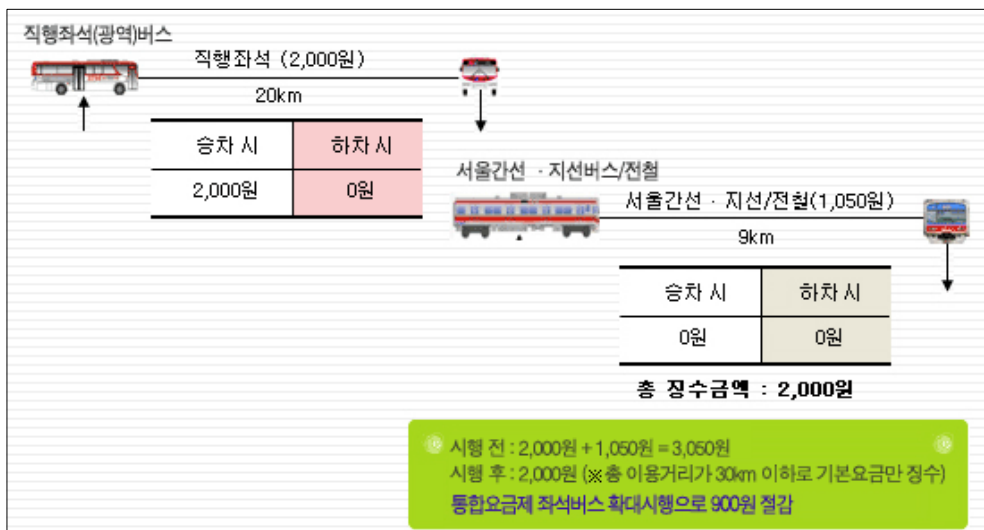
- 서울시는 시내버스·마을버스의 모든 노선에 통합환승할인제를 적용하고 있음.
- 경기도의 도시형버스는 일부를 제외한 노선에서, 경기순환버스는 모든 노선에서 통합거리비례제에 따라 구간요금을 추가 징수하고 있음.
- 기존 경기도의 도시형버스는 시계 외 유출·입시 별도의 구간요금을 추가 징수하였으나, 현재는 어느 지역에서 이용하든 상관없이 10km 초과 승차 시 5km마다 100원씩의 거리비례형 요금을 추가 징수하고 있으며, 경기순환버스도 30km 초과 승차 시 5km마다 100원의 요금이 추가됨.

- 통합환승할인제는 수단 간 무료환승과 거리비례에 따른 요금제를 적용하여 수도권 대중교통체계의 정착과 안정적인 운영 기반을 만들었음.
- 통합환승할인제를 시행·확대함으로써 수도권 대중교통 환승수요가 증가하였으며, 향후 수도권 교통체계의 정확한 분석을 위해서는 이러한 환승통행의 표현이 가능한 네트워크체계가 절실함.

〈표 2-5〉 수도권 통합환승할인제 주요 내용

구분	내 용	
적용대상	경기버스	일반버스, 좌석버스, 직행좌석버스, 마을버스
	서울버스	간지선버스, 순환버스, 광역버스, 마을버스
	인천버스	간지선버스, 좌석버스, 광역버스
	수도권전철	한국철도공사 등 6개 기관
환승요금	① 기본구간(일반/마을 10km, 좌석 30km) 내 기본요금	
	② 초과 시 5km마다 100원(청소년 80원, 어린이 50원)씩 추가요금 부과	
기대효과	1회 환승 시 평균 850원, 연간 최대 51만원의 절약효과	

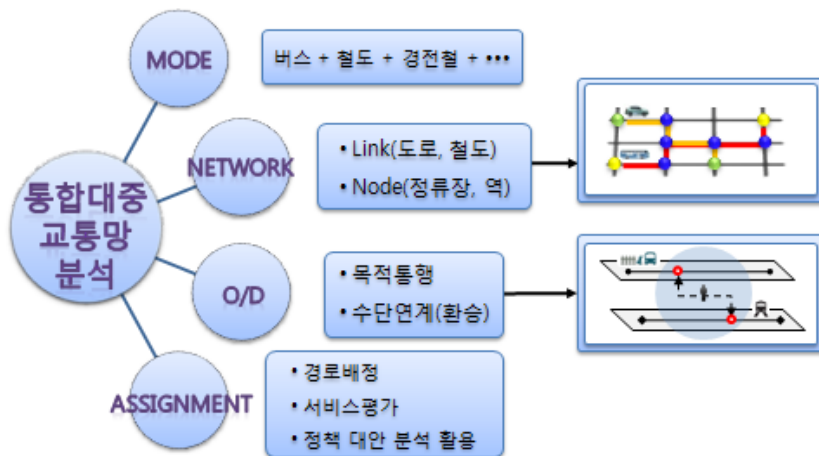
자료 : 경기도청 대중교통과, <http://gbus.gg.go.kr>



〈그림 2-3〉 환승통행 사례_직행좌석(광역)버스 → 서울 간선·지선 버스/전철 환승 시

2. 수도권 통합대중교통 정책분석

- 통합대중교통망은 수요예측모형을 통하여 대중교통 정책분야의 평가가 가능함.
- 대중교통 수요분석을 위해 활용하는 통합대중교통망은 4가지 구조로 이루어져 있음.
- 첫 번째로 대중교통수단(Mode)은 버스, 지하철, 경전철 등 실제 이용하는 대중교통을 의미하며, 통합대중교통망에서 이들을 표현하려면 각각 수단별로 정의를 해줘야 함.
- 두 번째로 대중교통수단들이 이동하는데 필요한 도로·철로(Link)와 승객들이 타고 내리는 정류장·역(Node)이 필요함. 그리고 각 수단을 연결할 환승링크를 추가적으로 고려하여야 함.
- 세 번째로 통행량(O/D)이 필요함. 승객들은 각기 뚜렷한 목적을 가지고 출발지와 목적지를 정하여 대중교통을 이용하며, 이러한 정보를 데이터화하여 분석에 사용할 수 있음. 위에서 언급한 수단별 네트워크에 이 통행O/D 자료를 배정하면 승객수요를 예측할 수 있음. 2004년 대중교통 체계개편 시 도입된 대중교통카드시스템 때문에 승객들의 출발·목적지 데이터에 수단 간 환승 패턴까지 알 수 있게 되었음.
- 이를 활용하면 특정 조건에 의한 경로선택, 수단별 또는 지역별 대중교통 서비스평가 등의 정책 대안 분석에 활용할 수 있음.

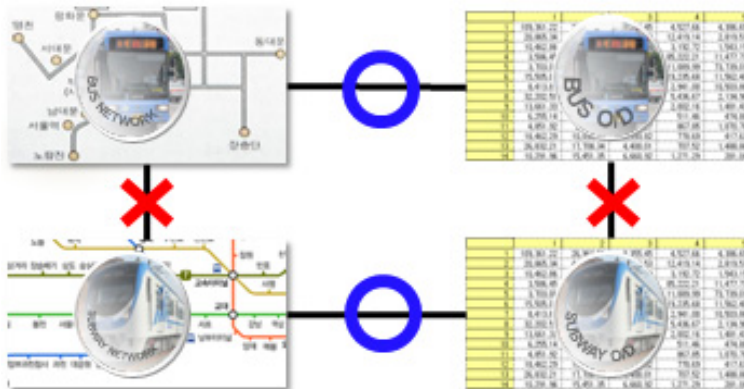


〈그림 2-4〉 통합대중교통망 분석체계

제2절 현(現) 교통분석체계의 한계

1. 단일수단 기반의 분석체계

- 기존의 통행배정 4단계 분석체계에 의한 대중교통 분석은 버스·철도 등 수단을 개별 활동으로 보고 이를 바탕으로 통행O/D를 구축함.
- Network 또한 수단에 따라서 별도로 구축하게 되어 있음. 이로 인해 수단 간 환승은 실시간으로 표현할 수 없는 문제가 발생하기 때문에 사전에 수단분담 과정을 거쳐서 환승수요를 처리하는 방법을 사용함.



〈그림 2-5〉 단일수단기반 분석

- 분석에 사용되는 통행O/D는 서울시에서 시행하는 가구통행실태조사를 바탕으로 구축함. 가구통행실태조사는 현장조사와 교통수요이론에 근거하여 5년 단위로 시행하며, 수도권을 중심으로 해당 지역의 가구통행 유무, 개인통행실태 및 통행특성에 대하여 최소유효표본율(모집단의 2~3%)을 바탕으로 시행함.
- 그러나 표본조사는 특성상 전수화하는 과정에서 불가피하게 오차가 발생하며, 이는 통행수요 추정 결과에 영향을 미치게 됨.

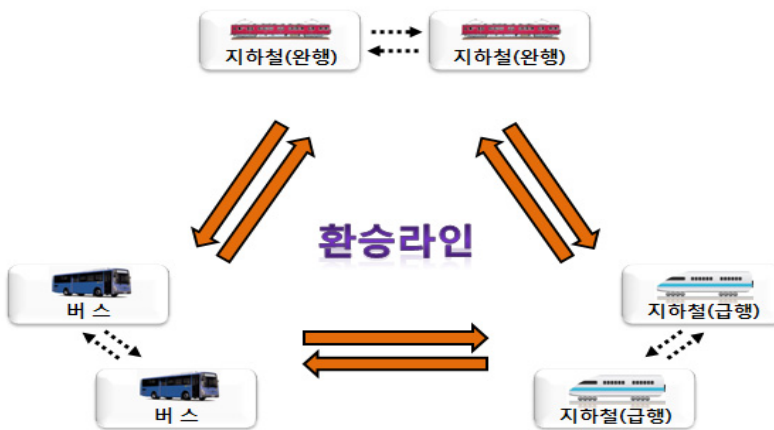
〈표 2-6〉 인구수를 고려한 최소유효표본율

읍·면·동별 인구수	최소 유효표본율 (표본가구수 / 모집단가구수)
인구 5천명 미만	3.6%
인구 5천명~1만명 미만	2.9%
인구 1만명 이상	2.4%

자료 : 국토해양부, 2009.8, 「교통조사지침」

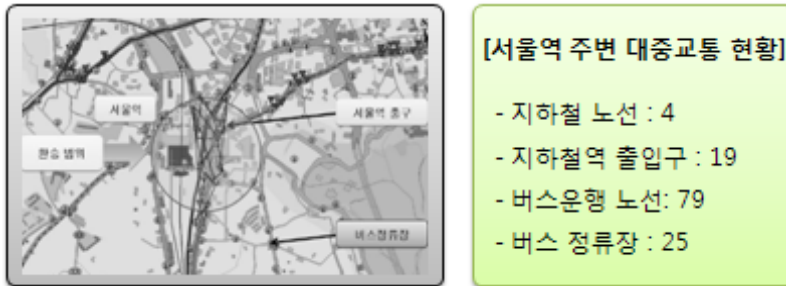
2. 환승링크 증가

- 환승통행은 지하철 호선 간 환승 외에 지하철과 버스 간 환승, 그리고 급행 지하철과 완행지하철·버스 간 환승을 모두 포함하고 있음.



〈그림 2-6〉 환승라인 개념도

- 지하철과 버스 간의 환승은 1 : 1로 연결되나 지하철역과 버스정류장은 다수가 존재하기 때문에 이들 간 환승연결라인은 1대 다수가 발생하게 됨. 환승라인이 정류장·역의 개수면 환승링크는 기하급수적으로 증가하기 때문에 신규노선이나 버스정류장 추가 도입 등 변동요인이 발생하게 됨.
- 또한, 이용 승객들의 환승패턴이 다양하다는 데에 문제가 있음. 환승거리의 예를 들어 보면 10m 내의 정류장·역에 환승을 위해 이동하는 사람이 있는가 하면, 500m~1km 정도를 이동하는 경우도 종종 목격되고 있기 때문에 이 또한 환승라인으로 고려해야 하는 문제도 있음.



〈그림 2-7〉 서울역 주변 대중교통 현황 예

3. 분석모형의 한계

- 기존 분석모형은 노드기반(Node-based)체계로 이루어져 있으며, 단일교통망은 노드 기반 체계의 적용으로 인한 효과를 볼 수 있지만, 다수단 복합교통망은 수단 간 환승시간의 문제로 적용이 어려운 면이 있음.
- 기존의 상용 프로그램 역시 노드기반체계를 바탕으로 하고 있으며, 이에 따라 구축되는 기본 데이터 구조상(단일수단 Network, 단일 O/D 체계, Aggregate Zone) 복합교통망의 이론적·실용적 한계에 부딪쳐 현실의 다양한 요구들을 반영하기가 어려움.
- 또한, 목적수요기반의 통합대중교통망 통행배정모형이 요구되므로 현 시점에서 통합 대중교통체계의 분석이 가능한 모형은 전무하다고 볼 수 있음.

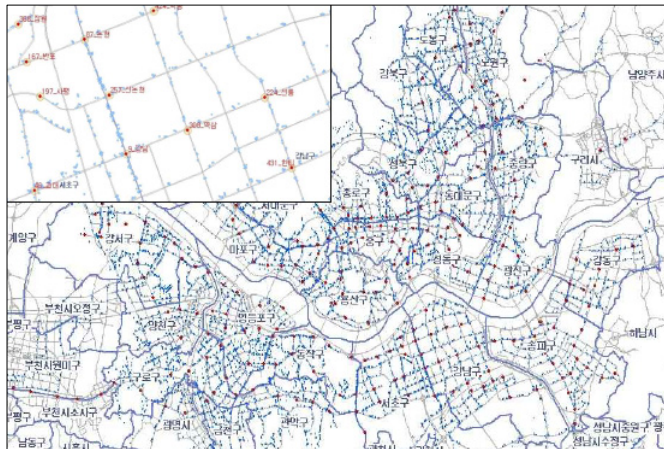
4. 관련 연구사례 — 환승영향권을 이용한 환승링크 연구

- 천승훈(2010)은 존 크기의 설정규모에 따른 경로선택 대안에 대한 변화 예측과 대중교통 통합Network의 구축에 대한 이론적 방안을 제시함.
- 여기서 존 크기란 해당 존에서 발생하는 환승 가능영역을 의미하며 반경 50m~1000m 까지 5가지 경우로 구분하여 분석하였음.
- 실제 대중교통 이용자가 대중교통 경로를 선택할 때, 승용차 이용자처럼 모든 통행경로를 대상으로 경로선택을 하는 것이 아닌, 도보로 이동 가능한 거리 내에 있는 대중교통 수단을 선택하는 것으로 가정하였으며, 도보이동 거리를 어떻게 정의하느냐에 따라 통행배정모형의 정확도가 달라질 수 있는 것으로 전제하였음.

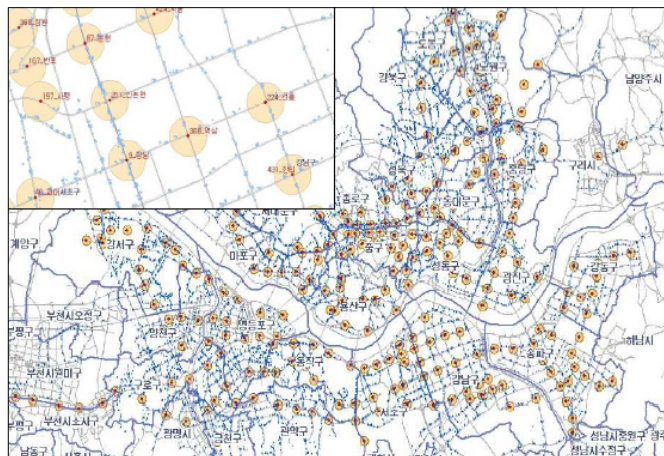
〈표 2-7〉 존 크기에 따른 통행배정 결과의 정확도 및 결정계수

구 분	정확도 (100-MAPE weighted by real volume)	결정계수(R^2)
존 반경 50m시 통행배정	100.0%	1.0
존 반경 100m시 통행배정	98.35%	0.999
존 반경 250m시 통행배정	87.9%	0.993
존 반경 500m시 통행배정	77.96%	0.969
존 반경 1000m시 통행배정	64.54%	0.941

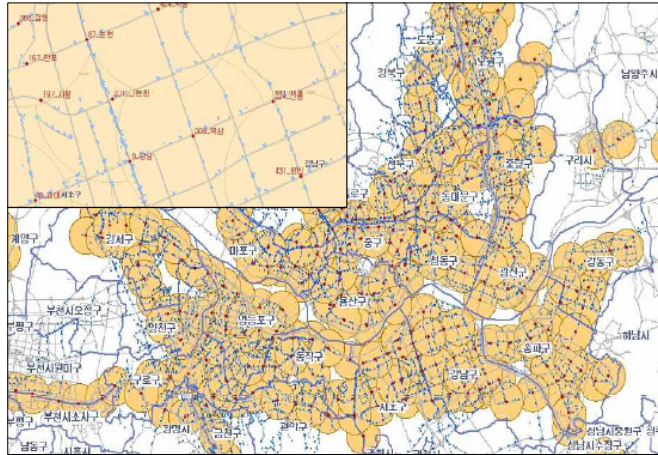
자료 : 천승훈, 2010, “교통카드 자료 기반 통합대중교통망의 확률적 통행배정모형 개발”, 서울대학교 박사학위논문



〈그림 2-8〉 존 크기 : 반경 50m



〈그림 2-9〉 존 크기 : 반경 250m



〈그림 2-10〉 존 크기 : 반경 1,000m

- 〈표 2-8〉은 존 크기에 따른 기종점별 대중교통 선택경로의 개수를 나타내며, 존의 반경이 50m일 때는 단일경로가 전체의 95.77%를 차지하고 있는 것으로 나타남.
- 대부분의 기종점이 단일 대중교통경로를 이용하여 통행하고 있으며, 존의 반경이 커질수록 선택경로의 수가 증가하는 것으로 나타나 대중교통의 선택경로가 존의 반경에 비례함을 알 수 있음.

〈표 2-8〉 존 크기에 따른 대중교통 선택경로의 수

경로 선택 대안수	반경 50m		반경 100m		반경 250m		반경 500m		반경 1000m	
	기종점 개수	비율 (%)	기종점 개수	비율 (%)	기종점 개수	비율 (%)	기종점 개수	비율 (%)	기종점 개수	비율 (%)
1	1,671,976	95.77	1,610,675	94.31	1,349,802	89.27	884,280	81.54	301,742	64.86
2	70,367	4.03	89,316	5.23	130,548	8.63	135,324	12.48	80,028	17.20
3	3,222	0.18	6,882	0.40	23,204	1.53	37,210	3.43	33,657	7.24
4	204	0.01	794	0.05	5,903	0.39	15,239	1.41	19,751	4.25
5	26	0.00	115	0.01	1,813	0.12	7,242	0.67	13,187	2.83
6	0	0.00	22	0.00	574	0.04	3,334	0.31	8,411	1.81
7	2	0.00	9	0.00	145	0.01	1,323	0.12	4,905	1.05
8	-	-	-	-	34	0.00	385	0.04	2,357	0.51
9	-	-	-	-	9	0.00	101	0.01	872	0.19
10	-	-	-	-	-	-	15	0.00	245	0.05
11	-	-	-	-	-	-	3	0.00	30	0.01
12	-	-	-	-	-	-	1	0.00	1	0.00
계	1,745,797	100	1,707,813	100	1,512,032	100	1,084,457	100	465,186	100

자료 : 천승훈, 2010, “교통카드 자료 기반 통합대중교통망의 확률적 통행배정모형 개발”, 서울대학교 박사학위논문

제3장 대중교통 통합 Network 구축방안

제1절 대중교통카드를 활용한 Network

구축진단

제2절 이론체계 구축

제3절 Network 구축

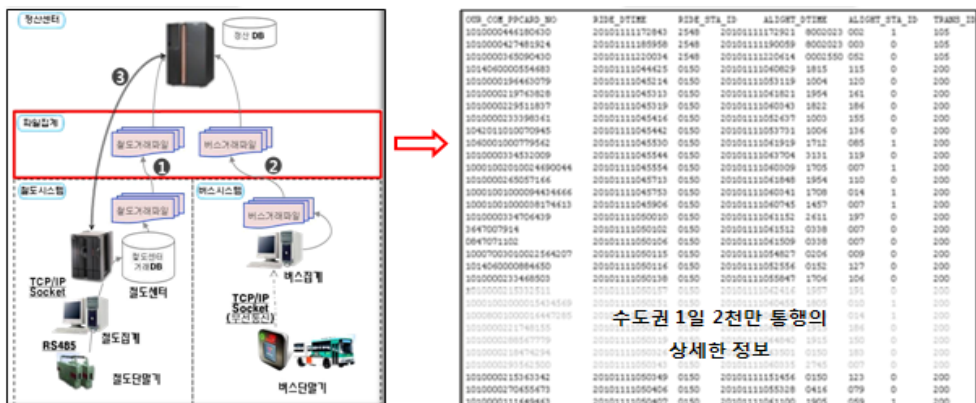
제 3 장

대중교통 통합Network 구축방안

제1절 대중교통카드를 활용한 Network 구축진단

1. 대중교통카드 데이터의 구조

- 대중교통 개편과 함께 도입된 대중교통카드는 그 이용정보가 시스템을 통해 관리됨으로써 사람이 직접 조사하는 방식에 비해 정확성이 높다고 할 수 있음.
- 대중교통카드는 1년 365일 24시간 수도권 어느 지역에서나 이용 가능하기 때문에 시간별, 요일별, 일별, 계절별 등의 전 시간대 및 전 지역에 걸친 자료습득이 가능하며 이미 시스템이 구축되어 있어 비용면에서도 저렴하다는 것을 장점으로 들 수 있음.
- 현재 교통카드 이용비율이 점차 높아지는 추세로 향후 전수조사에 가까운 자료의 습득이 가능할 것으로 판단되며, 지역·기관 간 교통카드 정보의 통일화 작업을 통해 전국 단위 대중교통 이용패턴 분석이 가능할 것으로 판단됨.



〈그림 3-1〉 대중교통카드(RF)데이터 집계 프로세스

〈표 3-1〉 교통카드이용자료 활용방안의 장점

장 점	내 용
정확성	수집자료의 정확성 및 신뢰성 증대
경제성	조사비용의 획기적 절감
지역성	모든 시간대 및 광범위한 지역에 걸친 자료 취득 가능
단축성	실시간 자료구축 또는 자료취득 시간의 단축
활용성	통행목적 파악을 위한 자료의 활용 가능성 증대
확장성	방대한 자료 수집 가능 및 향후 정보 확장 가능
안전성	안전사고 및 돌발 상황 예방
범용성	다양한 목적으로의 교통카드 사용 가능

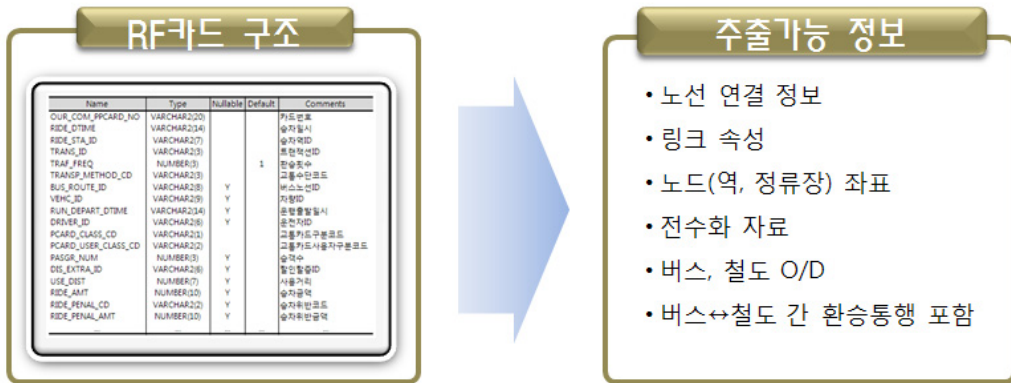
자료 : 한국교통연구원, 2006, 「대중교통정책수립을 위한 교통카드자료 활용방안」

〈표 3-2〉 교통카드 수록 정보 및 정보 내용

	수록정보	내용	실제 Data
1	일일카드번호	일별 최초 사용 시 해당카드에 부여되는 번호	11
2	승차일시	사용자가 승차 시 단말기에 카드를 접촉한 시각	20090512113708
3	수단	지하철과 버스유형별 부여된 ID	120
4	트랜잭션ID	환승을 구분하기 위한 ID	005
5	환승횟수	하차태그 후 30분 이내에 다시 승차한 횟수	0
6	버스노선ID	버스노선별로 부여되는 ID [지하철 없음]	41110078
7	교통사업자ID	사업자별로 부여되는 ID, 지하철은 호선정보 수록	111002200
8	버스차량ID	버스 차량별로 부여되는 ID [지하철 없음]	11100783
9	사용자구분코드	초등학생, 청소년, 일반인을 구분하는 코드	01
10	이용거리	수단별 이동거리(m)	25010
11	운행출발일시	버스가 종점에서 운행을 출발한 시각	20090512062705
12	승차정류장ID	승차한 정류장에 부여된 ID	0013514
13	도착일시	하차 시 단말기에 카드를 접촉한 시각	20090512073635
14	하차정류장ID	하차한 정류장에 부여된 ID	0014713
15	이용객수	하나의 카드로 지불한 이용객 수	1
16	승차금액	승차 시 지불된 금액	900
17	하차금액	하차 시 지불된 추가요금	0
18	패널티금액	하차 미태그 시 추징금액	0

2. 대중교통카드의 활용 가능성

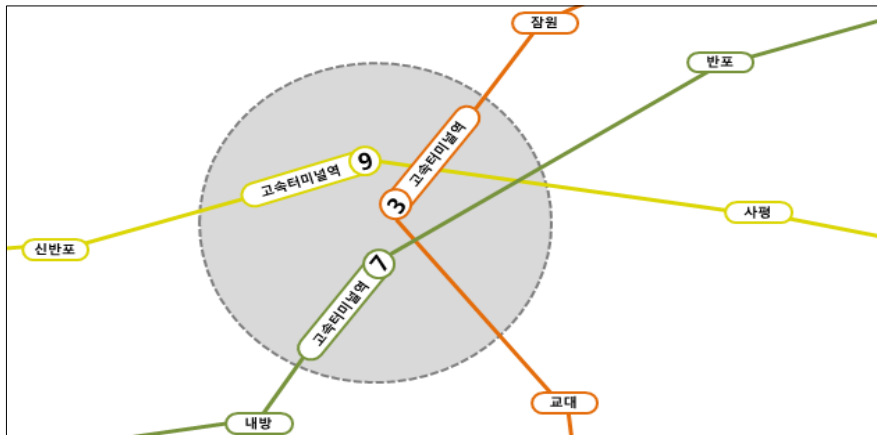
- 대중교통카드를 활용하여 대중교통 통합Network를 효과적으로 구축 및 운영하기 위해서는 대중교통카드에서 제공하는 노선정보를 이용한 효과적인 대중교통 통합Network이론에 대한 추가적인 연구가 요구됨.
- 대중교통카드는 버스와 철도의 개별노선을 역의 순서에 따른 Line정보만 제공하며, 노선과 노선의 환승연계(Transfer Line)에 대한 효과적 구축 방안은 대중교통카드의 연계통행(Trip Chain)정보와 역의 좌표를 이용하는 방안의 검토가 필요함.
- 일반적으로 교통망에서 링크는 2개의 Node(시작노드, 끝노드)에 하나의 Line으로 표현되나 대중교통은 2개의 노드에 다수의 Line으로 표현되는 문제를 추가적으로 고려해야 하는 문제도 있음.



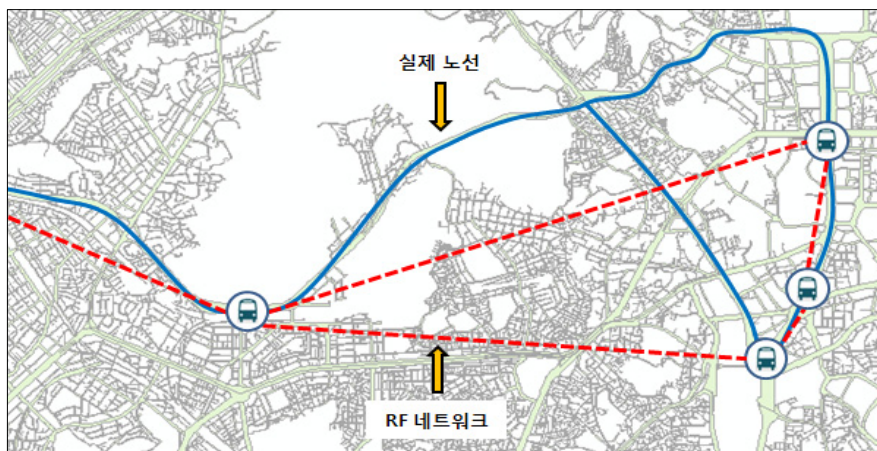
〈그림 3-2〉 대중교통카드 구조

3. 대중교통카드 기반 네트워크의 특성

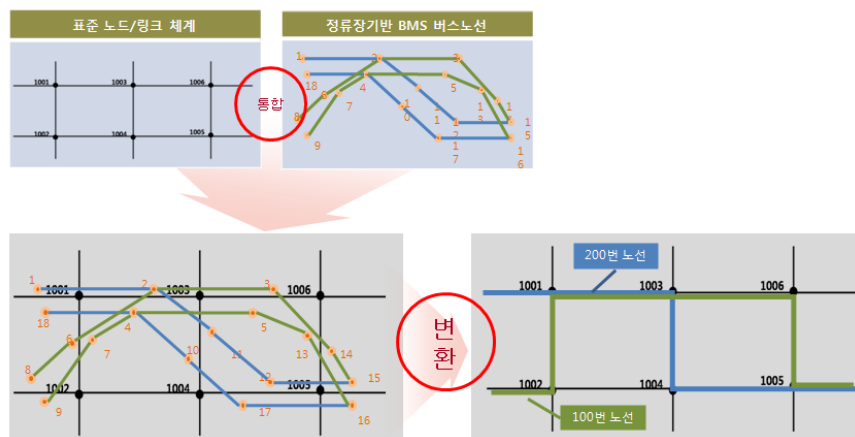
- 대중교통카드를 기반으로 하는 가상 철도네트워크는 역을 연결하는 각 링크에 역간 거리 속성이 입력되어 있으며, 지하/지상에서 전용 레일을 통하여 이동하므로 실제 노선망과 차이가 없음. 그러나 버스노선은 일반도로 위에 배치되어 있으므로 대중교통카드 기반의 버스네트워크는 각 정류장 간 링크에 도로 속성이 입력되어 있다고 해도 <그림 3-4>처럼 실제 노선망과 차이가 발생할 수밖에 없음.
- 「대중교통 서비스지표 산출연구-2단계(서울시정개발연구원, 2010)」에서는 표준정류장 기반 버스노선의 구축을 위해 <그림 3-5>와 같이 표준정류장과 정류장기반 BMS 버스노선을 통합하여 교통망을 고려한 실제 운행노선으로 변환하는 과정을 수행하였음.



〈그림 3-3〉 대중교통카드 기반 지하철 네트워크



〈그림 3-4〉 대중교통카드 기반 버스 네트워크



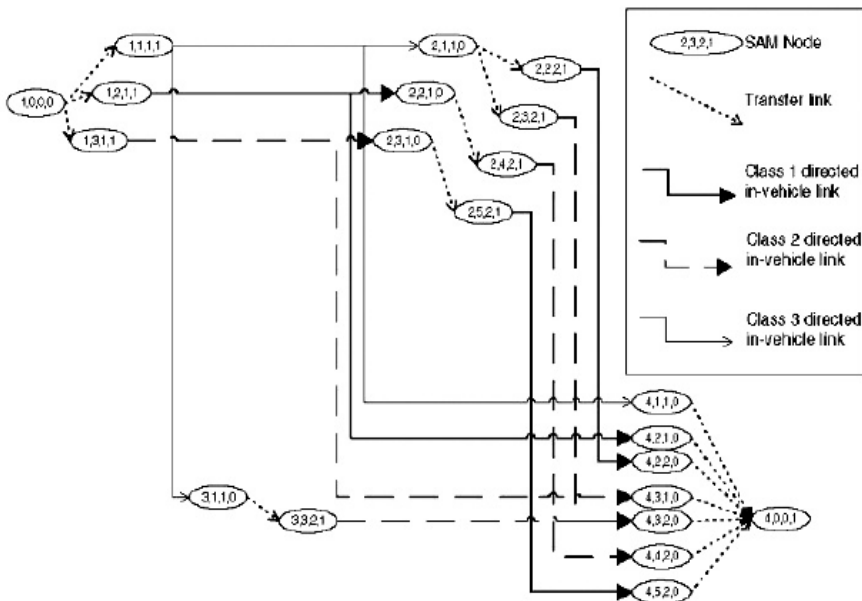
〈그림 3-5〉 ‘대중교통 서비스지표 산출연구-2단계’의 표준교통망 기반 버스노선 구축

제2절 이론체계 구축

1. 기존 교통모형의 네트워크 구축체계

1) 노드기반(Node-Based) 교통망 체계

- 노드기반 교통망의 규모는 수단에 따라 새로이 노드를 생성하고 다음 수단-노드로 진행하는 과정을 거침. 이는 선택 가능한 수단의 개수와 수단-노드의 개수가 비례한다는 의미이며, 환승이 자주 발생하고 통과하는 수단이 많을수록 교통망은 점점 더 복잡해지는 경우가 발생함.
- <그림 3-6>은 노드기반의 교통망 확장을 표현한 것으로, 총 3개의 수단이 두 개의 경로를 통하여 두 번의 환승을 거쳐 목적지로 진행하는 과정을 풀이한 것임.
- 출발지 노드(1.0.0.0)에서 다음 노드로 가는 경로에 3개의 Class로 확장된 노드(1.1.1.1, 1.2.1.1, 1.3.1.1)에 환승링크(Transfer Link)가 연결되어 있음.
- 다음 환승경로를 거칠 때마다 환승노드는 확장되어 출발지인 노드(1.0.0.0)에서 목적지인 노드(4.0.0.1)까지의 수단-노드 경로는 총 7개가 발생함.



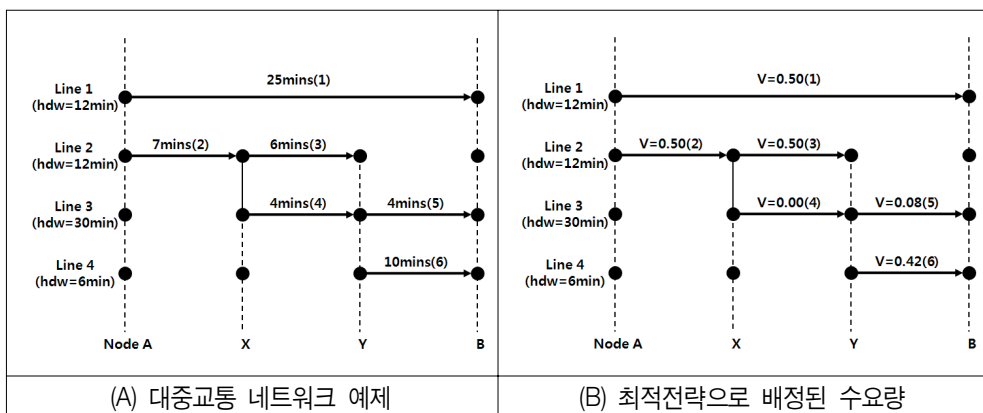
〈그림 3-6〉 노드기반의 교통망 확장 예

- 기존 대중교통분석모형의 네트워크 구축체계는 전통적인 노드기반(Node-Based) 교통망 체계로 이는 단일교통망에의 적용에는 효과가 있지만, 다수의 복합교통망에 적용하게 되면 각 수단 간의 환승시간 고려로 인해 Bellman의 최적원리가 만족되지 않는다는 단점이 있음(임강원, 임용택(2003)).
- 또한, 복합교통망을 노드기반체계로 풀기 위해 수단 - 환승 간 연결을 동시에 진행하는 방법이 연구되었으나, 교통망의 규모가 일정기준 이상을 넘어설 경우 적용이 불가능하다는 사실을 발견하였음(Lo et al(2003), Hamdouch et al(2006)).
- 이로 인해 복합교통망 모형 등의 검증 시 주로 소규모의 네트워크를 구축하여 분석하였으며, 불가피하게 교통망 확장이 필요하면 무리하게 네트워크를 확장시켜 분석하기도 하였음.

2) 상용화된 교통수요추정 프로그램

- 국내에서는 도로건설에 따른 타당성 평가를 위해 도로네트워크의 장래 교통수요를 추정 하는데, 여기에 한국개발연구원에서 인정한 상업적인 교통계획 소프트웨어를 사용하고 있음.
- 교통계획 소프트웨어는 수요 추정 4단계(통행발생, 통행분포, 수단분담, 통행배정) 과정을 프로그램화하여 분석가가 보다 손쉽게 수요를 추정할 수 있도록 보조해주는 역할을 하며 최근까지 국내에서 널리 사용되고 있는 프로그램은 EMME/3, TransCAD 등을 들 수 있음.
- 이 소프트웨어들은 현재까지 개발되고 정의된 이론들을 바탕으로 하고 있으며, 단일수단 Network, 단일 O/D 체계, 행정구역별 Aggregate Zone의 구조로 되어 있음.
- EMME/3의 대중교통 통행배정기법상의 문제로 최적전략에 따라 노선을 결정하는 경우 배차간격(hdw : headway)이 짧은 노선에 우선적으로 승차하도록 모형화되어 있으며, 환승비용을 고려하지 못하기 때문에 노선 간 환승이 많이 발생하는 경로를 최단 경로로 선택할 가능성이 많아 노선 간 다수의 환승이 발생함. 이에 따라, 기종점 간 통행시간이 짧은 노선에 오히려 통행이 적게 발생하는 문제가 발생함.
- 일반적으로 대중교통 통행배정 시 노선별 통행시간이 노선선택에 주요한 영향을 미친다고 알려져 있으나, 실제 EMME/3의 최적전략을 이용한 대중교통 통행배정 시 통행수요가 통행시간에 큰 영향을 받지 않아 비현실적으로 노선에 배정됨.

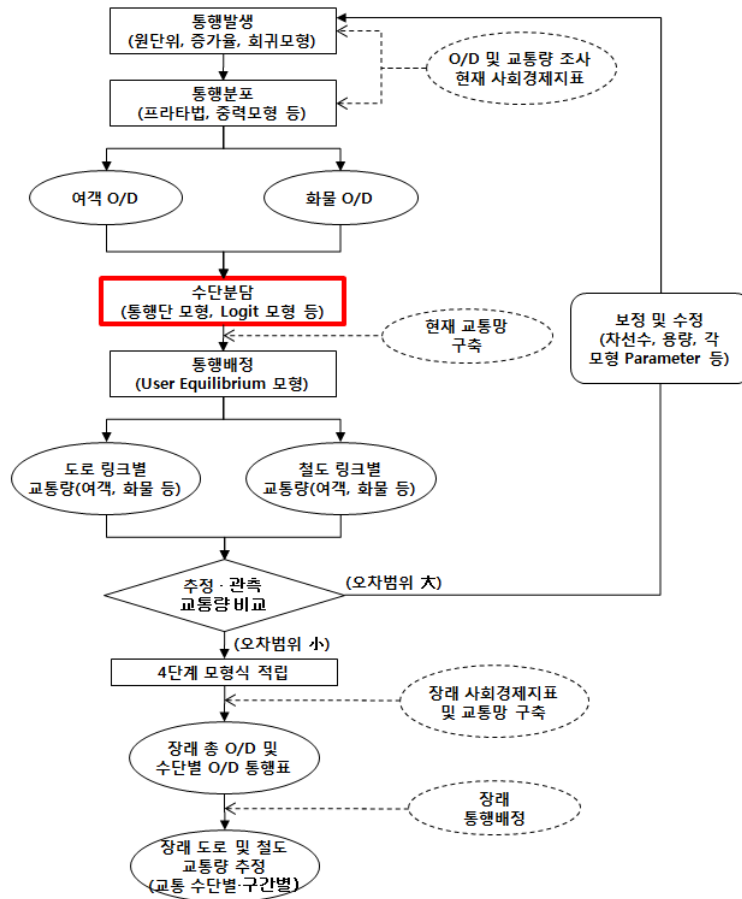
- <그림 3-7>을 예로 들면, Node A에서 Node B까지 연결된 경로 중 최소통행시간을 가지는 경로는 Line2를 출발하여 X지점에서 Line3로 환승하는 (2)→(4)→(5)의 경로로 총 15분이 소요되는 것으로 배정되어야 함.
- 최적전략을 사용하는 EMME/3은 같은 hdw를 가진 Line1의 링크(1)과 Line2의 링크(2)에 같은 비율로 배정되며, 링크(2)에 배정된 통행량도 Line3에 비해 Line2의 hdw가 짧아 X에서 Y까지 진행하는데 링크(3)에 전량이 배정됨.
- Node Y에서 Node B까지의 이동도 마찬가지로 hdw가 짧은 Line 4에 배정되어 최종 경로는 (1), (2)→(3)→(6)으로 설정됨.



(그림 3-7) 대중교통 네트워크와 수요량 예제(in EMME/3 user manual)

- 전량통행배정모형은 넓은 도시지역에는 적합하지 않고 용량을 고려하지 않는다는 단점을 지니고 있는 반면, Pathfinder는 사용하기 편리하고 계산이 빠르며 적용하기가 간단함. 또한 확률적 균형통행배정모형은 다소 복잡하나 대중교통의 이용 특성을 보다 양호하게 재현할 수 있음.
- 이들 세 가지 모형은 교통수요분석 패키지인 TransCAD에 내재되어 있는 통행배정 모형으로 이들의 한계는 통합거리비례요금제를 반영할 수 없다는 것에 있음.
- 통합거리비례요금제는 링크비용의 합인 경로비용과 다른 비가산성(Non-Additive) 통행함수를 가정으로 성립되어야 하는데, 이들 모형에는 이러한 문제를 해결할 수 있는 내용이 존재하지 않음.
- 또한, 이 두 가지 프로그램들로 대중교통의 수요를 분석하면 환승통행을 반영하기 위해 수단선택과정을 추가로 거치게 되며, 이에 따른 수단별 교통수요 추정과정이 추가됨.

- 이럴 경우 <그림 3-8>과 같이 이동하는 중간에 환승이 이루어지는 실제 통행과는 반대로 사전에 환승과정이 결정되어 수요추정과정에 입력됨. 결국 통행목적이 주가 되어 이루어지는 실제 통행과는 달리 통행수단이 주가 되어 분석하는 구조가 되는 경우가 발생함.

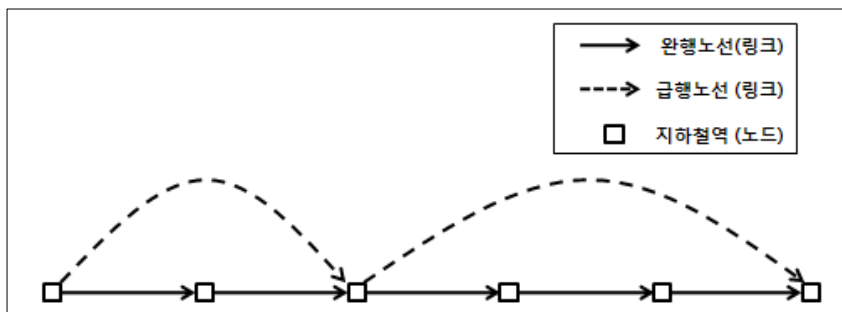


〈그림 3-8〉 전통적인 4단계 모형의 교통수요 추정 과정

- 대중교통체계 개편 이후 통합된 대중교통망을 분석하기 위해선 목적수요를 기반으로 하는 통행배정모형이 요구되고 있음. 그러나 기존의 상용 프로그램은 위에서 언급한 구조상의 이론적/실용적인 한계로 인해 통합대중교통망의 다양한 요구들을 반영하기 어려운 것이 현실임.
- 현 시점에서 서울시와 같은 통합대중교통 체계의 분석이 가능한 모형은 전무하다고 볼 수 있음.

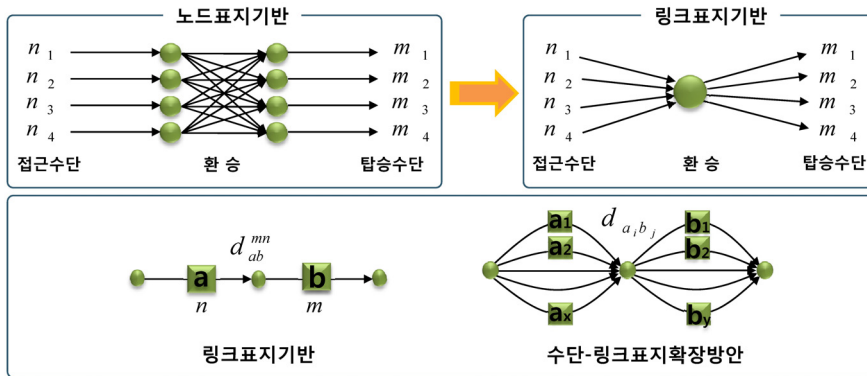
2. 수단-링크 표지(Link-Mode Label) 개념의 이론체계

- 다수단 복합교통망에서의 수단 간 환승문제를 처리하기 위해 이 연구에서는 기존의 노드기반(Node-Based)이 아닌 링크기반(Link-Based)의 경로탐색 이론을 적용함. 링크 표지기반의 경로탐색 알고리즘(LSPA, Link-Based Shortest Path Algorithm)은 Potts & Oliver(1972)가 P-turn을 고려하기 위하여 최초로 제시한 개념임.
- 링크기반 경로탐색 알고리즘은 각 링크의 종점에 대한 도착비용과 링크의 전 링크를 저장하여 경로를 탐색하기 때문에 교통망의 모든 연속 링크 간의 회전비용 · 환승비용을 고려할 수 있으며, 하나의 노드에 대해 접근로 수만큼의 이전 링크와 도착비용이 저장되어 연속 회전 별점이나 환승문제를 해결할 수 있음(천승훈 외, 2008).
- 이 연구에서는 동일 링크에서 주행하는 모든 수단(ex. 지하철의 완행, 급행)을 가상링크로 연결하는 방법을 적용하였음. 이 경우 출발지와 목적지는 동일하나 속성이 다른 링크가 추가됨.



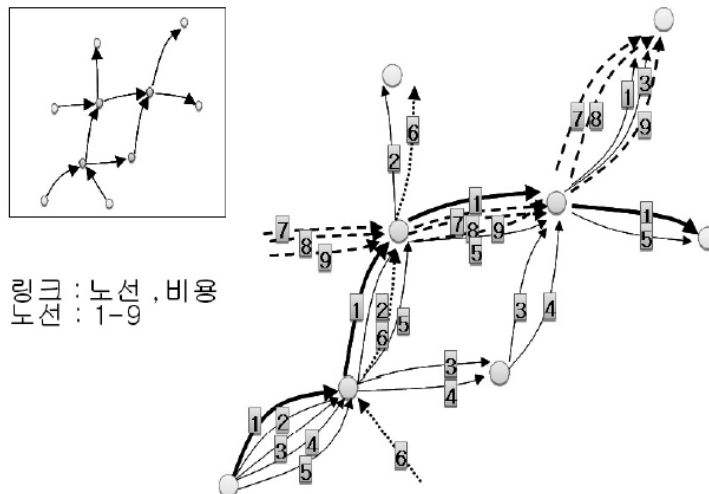
〈그림 3-9〉 지하철 완행·급행 노선

- 이 방법은 실제 링크를 이용하는 수단이나 노선이 많은 만큼 가상링크도 증가하기 때문에 복잡성과 분석시간이 증가하지만, 수단별 특성이 반영되고, 수단 간 환승의 표현이 가능하며, 각 수단 · 노선을 링크로 설정하였기 때문에 링크기반 최적경로탐색 알고리즘의 적용이 가능하다는 장점을 가지고 있음.
- 수단별 이동경로가 모두 링크로 표현되었기 때문에, 다수단 통합교통망에서 최적경로 알고리즘을 적용한 환승문제도 해결할 수 있음.
- <그림 3-10>은 링크표지기반의 개념을 설명하고, 수단 n 에서 수단 m 으로 환승 시에 발생하는 환승비용 d_{ab}^{mn} 이 수단-링크표지 확장방안을 적용할 경우 d_{ab} 로 단순화됨을 보여줌.



〈그림 3-10〉 링크 확장방안

○〈그림 3-11〉은 수단-링크표지 확장방안을 적용하여 4개의 환승노드와 10개 링크로 구성된 네트워크를 9개의 수단이 통과할 수 있도록 도로망에서 31개의 수단-링크로 확장되는 사례임.

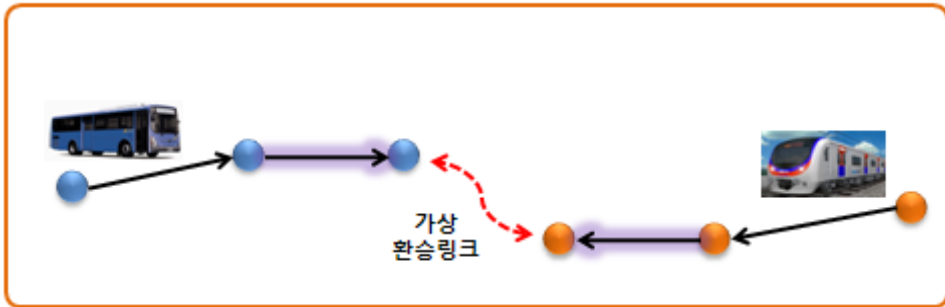


자료 : 이미영 외 3명, 2008, 「복합대중교통망의 링크표지갱신 다목적 경로탐색」, 대한교통학회

〈그림 3-11〉 링크기반의 복합교통망 확장 예

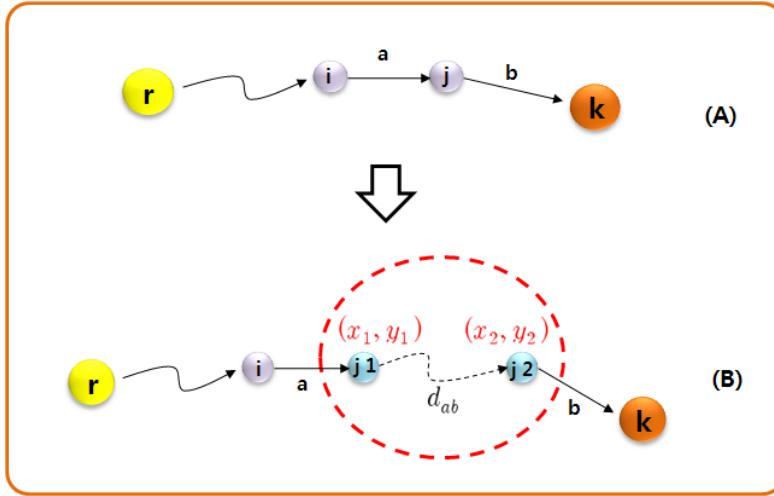
3. 대중교통카드의 환승을 고려한 이론체계

- 모든 수단이 링크를 확장한 통합교통망에서 분석의 기본이 되는 경로탐색 기법은 Bellman의 최적원리(Bellman's Optimality Condition)가 성립됨.
- 현재 대중교통 분석체계는 환승링크가 없음. 이 연구에서 제안한 방법에는 환승링크를 위치좌표의 연결로 처리하며, 유클리드 거리에 대한 환승저항으로 표현함.
- 개별 노선은 링크로 활용함(수단 - 링크).



〈그림 3-12〉 가상 환승링크 연결(ex 버스↔철도)

- 이 연구에서 제시하는 환승링크를 연결하는 방법은 두 가지로 분류할 수 있음.
- 환승노드의 위치좌표를 이용하여 가상의 환승링크를 연결하는 방법과 환승노드를 중심으로 환승영향권을 설정하여 그 범위 내에 포함되는 노드를 연결하는 방법이 그것임.
- <그림 3-13>의 그림(A)는 출발지 r 을 출발하여 수단 - 링크 a 에서 b 로 환승 후 도착지인 k 에 도착하는 경로를 링크로 표현한 것임.
- r 에서 k 의 경로는 (식 1)과 같이 표현이 가능하며, 출발지 r 에서 수단 - 링크 a 의 도착지점까지의 소요비용 π^{ra} 와 환승비용 d_{ab} , 그리고 b 의 주행비용인 c_b 를 더한 값이 최소가 되는 경로를 우선적으로 선택하게 됨.
- 수단 - 링크 a 에서 b 로의 환승은 중간노드인 j 에서 이루어지며, 그림(B)처럼 j 노드가 j_1, j_2 로 분리됨. 분리된 j_1, j_2 는 각각 좌표 (x, y) 정보를 가지고 위치하게 되며, j_1-j_2 를 연결하는 가상링크를 환승링크라 함.
- 환승링크를 결정하는 최소환승비용은 환승이동시간(m : moving time)과 환승대기시간(w : waiting time), 그리고 이동 파라메타(β)로 구성됨.



〈그림 3-13〉 좌표를 이용한 환승링크의 표현

$$\pi^{rb} = \min(\pi^{ra} + d_{ab} + c_b, \pi^{rb}) \quad \text{----- (식 1)}$$

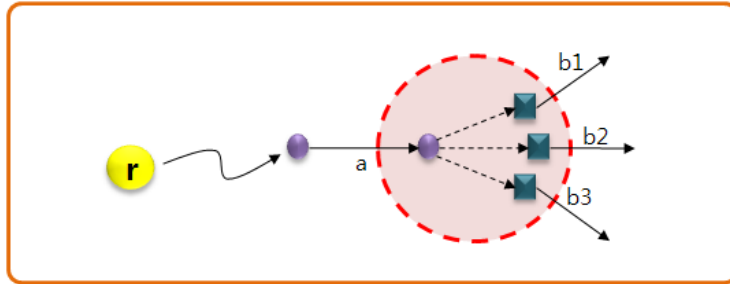
여기서,

π^{ra} : 출발지 r에서 수단-링크 a의 도착지점까지 최소비용

$$d_{ab} = f_{(m,w)} : \text{환승비용함수} \quad \left[\begin{array}{l} m : \text{환승이동} = \beta \cdot \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \\ w : \text{환승대기} \\ \beta : \text{이동파라메타} \end{array} \right.$$

c_b : 수단-링크 b의 주행비용

- 환승노드의 위치좌표를 가상의 환승링크로 연결하는 방법과 더불어 환승역(Node)을 중심으로 반경 일정 범위를 환승영향권으로 설정하여 다음 경로를 연결하는 방법은 <그림 3-14>와 같음.
- 수단-링크 a의 도착노드를 환승노드로 보고 그 중심으로부터 일정범위에 포함되는 다음경로의 노드들을 가상의 환승링크로 연결함.
- (식 2)에서 보는 바와 같이 출발지 r에서 a까지의 이동에 소모되는 비용 π^{ra} 과 환승비용 d_{ab} , b의 주행비용 c_b 의 합이 최소가 되는 경로를 선택함.
- 여기서 환승비용 d_{ab} 은 최소비용이 소요되는 경로 Δ 에 의해서 결정됨.



〈그림 3-14〉 환승영향권을 이용한 환승링크 연결

$$\pi^{rb} = \min(\pi^{ra} + d_{ab}^{\Delta} + c_b) \quad \text{----- (식 2)}$$

여기서,

d_{ab}^{Δ} : Δ 로 구축된 환승비용

- 환승링크는 실제로 존재하지 않지만 수단 간 환승연결을 위해 필요한 가상 링크로 환승노드에 다음 경로의 정보를 사전에 저장해놓은 상태에서 경로선택과정을 출발하게 됨.
- 진행 중 환승노드에 도착하게 되면 <표 3-3>과 같이 저장된 경로가 활성화되며, 이 중 최적경로를 선택하여 진행함.
- 이 방법은 환승노드마다 다음경로의 정보가 저장되어 있기 때문에 많은 메모리를 차지하나 계산방법이 단순하고 빠르며, 모든 환승링크를 직접 연결하는 방식이 아니기 때문에 환승링크의 급격한 증가를 방지할 수 있다는 장점을 가지고 있음.

〈표 3-3〉 환승노드에서 다음 경로 데이터 저장

링크	경로의 마지막 노드에 저장된 링크	환승노드
① → ②	④ → ⑥	
	④ → ⑦	
	⑤ → ⑧	

제3절 Network 구축

1. 버스 Network

1) 버스 운행의 특성

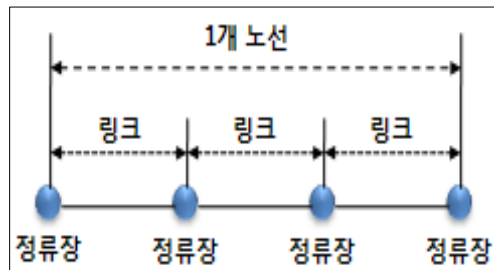
- 버스 Network는 일반도로 위에 노선이 있는 형태로 도로 속성 및 타 수단의 통행특성에도 영향을 받음.
- 버스는 특성상 정류장과 노선의 변화 주기가 빠르고, 일정한 틀이 없이 상시적으로 업데이트가 되기 때문에 현재시점의 정확한 자료를 파악하기는 어려움. 심지어 하루 단위로 변경되는 경우도 발생하기 때문에 분석 시 특정일자를 선택하고 그 기준에 맞추어 데이터를 설정하여야 함.
- 광역버스를 제외한 시내/마을버스는 단거리 통행에 특화되어 있으며, 정류장 간 거리가 짧고, 해당 지역을 크게 벗어나지 않음.
- 현재 600여개가 넘는 노선이 서울시내에서 운행되고 있음.

2) Network 구조

- 버스노선망에 대한 기초네트워크를 위해 버스정류장을 노드(Node)로 설정하고, 정류장을 잇는 버스노선을 링크로 설정하여 버스노선망을 구축함.
- 일반적으로 1개 버스노선은 여러 정류장을 거치는 경로를 가지고 있으나 이를 하나의 링크로는 표현이 불가능하기 때문에, 개별링크의 연결방식을 적용하여 버스노선 중 정류장과 정류장을 잇는 도로를 한 개의 링크로 가정하여 네트워크를 구축함.



〈그림 3-15〉 실제 버스노선



〈그림 3-16〉 버스 Network 구조

3) Network 구축

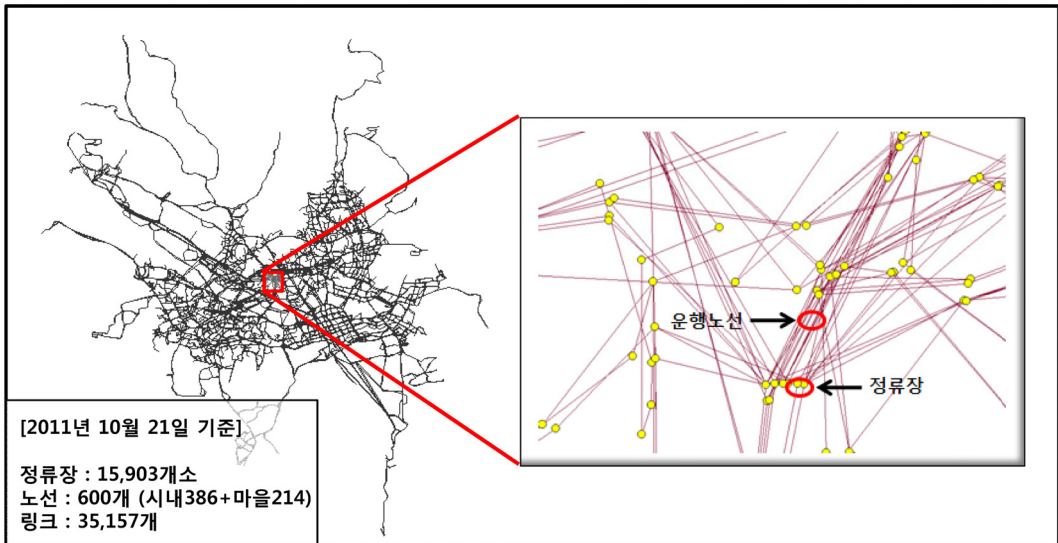
- 버스 단일 수단에 대한 노선망을 구축할 경우 버스 정류장의 위치를 나타내는 좌표, 노선 구분을 위한 노선명, 그리고 정류장들을 연결하는 노선운행정보가 필요함. 이 연구에서는 네트워크 구축을 위해 대중교통카드의 버스 데이터를 활용하였음.
- 위에서 언급한 바와 같이 버스 정보는 변화 주기가 짧고 비정기적이므로 특정일자를 기준으로 대중교통카드의 서울시 버스 정류장·노선에 대한 데이터를 변환하였음.

ID	정류장이름	X축	Y축	진입각도
0000015	남부주유소	126.8480433	372.1477867	109
0000016	대신아파트	126.8497895	372.1476733	81
0000017	한진아파트후문	126.8547225	372.1502917	21
0000018	진성학원	126.85612	372.151875	70
0000366	달산역	126.9015167	373.0331	33
0000385	달산역	126.9011433	373.0331533	212
0000387	현대1.2.3차아파트	126.8968283	373.032245	302
0000572	철산중도덕초등학교, 주공9.10단지	126.8692483	372.1514	256
0000573	철산8.10단지ILG슈퍼	126.867335	372.15105	256
0000574	철산2동주민자치센터	126.8663	372.1516833	348
0000575	광명2동반딧가스	126.8649933	372.1534283	263
0000576	인재약국	126.8637017	372.153067	263
0000577	정원슈퍼	126.862695	372.1532117	263
0000578	대명각	126.8610633	372.15285	248
0000579	철물점	126.8600067	372.1524917	254
0000580	광천목욕탕	126.8591917	372.1523	254
0000581	개봉교입구	126.857195	372.15215	265
0000591	광명2동입구	126.8572233	372.15204	85
0000592	광천목욕탕	126.8592483	372.1522083	73
0000593	철물점	126.8600267	372.15239	73
0000594	대명각	126.8611017	372.15275	68
0000595	정원슈퍼	126.862695	372.1531067	82
0000596	인재약국	126.8636667	372.153195	83

〈그림 3-17〉 버스 정류장 데이터 구조

조합 구분	버스노선ID	교동수단명	노선명	노선번호	정류장ID	정류장명	정류장 위치	정류장 노점거리(m)
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	8003152	보달교동차고지	1	0
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	8003312	철암동강변상설아파트	2	0
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072983	철암동경로당	3	187
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072984	철암2동주민센터	4	301
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072985	신천동	5	524
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072986	신암동새마을아파트	6	652
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072987	행복한교회	7	936
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072988	새마을교	8	1091
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0033066	동문시장	9	1301
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072989	용산전차상차입구	10	1503
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072991	전차상차,관왕터미널	11	1801
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072313	산촌신역	12	2362
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072992	용산역광장앞	13	2545
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072314	용산의집	14	2728
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072993	한양로종해일코리야	15	3060
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072994	서부미촌출입구	16	3660
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072995	이촌2동대일아파트	17	4051
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072996	이촌2동주민센터	18	4251
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072997	이촌2동부영주유소	19	4528
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0073000	이촌119안전센터,성촌공원	20	4791
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072998	철암2동상하아파트후문	21	5251
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	8003000	철암동강변상설아파트	22	5756
시내	11110897	지선버스(120)	0017번(이촌동-산천동)	0017	0072986	철암2호아파트	23	5911

〈그림 3-18〉 버스 노선 데이터 구조



〈그림 3-19〉 서울시 버스 정류장/노선 위치 표현(Arc Map)

2. 철도 Network

1) 지하철 구조

- 지하철은 도로를 주행하는 버스와 달리 지하/지상에서 지하철 전용 레일(Right of way)을 이용하므로 이동에 방해가 주는 다른 요인이 없으며, 수도권 전체를 통행하는 광역교통의 성향을 띠고 있어서 승객들이 장거리 이동을 하는데 주로 이용하고 있음.
- 또한, 호선(Line) 간 환승시스템이 구축되어 있어 환승역을 통하여 자유로운 이동이 가능하기 때문에 어디에서나 특정 지역을 가기 위하여 지하철을 이용하는데 편리하며, 특히 장거리 출·퇴근 시 주 이용대상이기도 함.
- 수도권의 지하철 환승역은 역명은 하나이지만 적게는 2개 노선에서 많게는 5개의 노선이 포함되어 있고, 이들 노선별로 역이 따로 존재하지만 한 공간에 밀집되어 있으며, 환승통로가 별도로 구축되어 있기 때문에 환승이동이 편리함.
- 지하철은 지자체와 별개로 7개의 철도 운영기관들(서울메트로, 코레일, 서울 도시철도공사, 인천메트로, 메트로 9호선, 공항철도, 신분당선)이 수도권 전체를 대상으로 운영하고 있으며, 총 22개의 노선이 운행되고 있음.

〈표 3-4〉 수도권 지하철 노선별 운영기관

운영기관	운영노선
서울메트로	1, 2, 3, 4호선
서울특별시 도시철도공사	5, 6, 7, 8호선
한국철도공사(코레일)	경부선, 경인선, 경원선, 중앙선, 안산선, 과천선, 일산선, 분당선, 경의선, 경춘선, 공항철도
서울시 메트로 9호선	9호선
인천교통공사(인천메트로)	인천 1호선
DX Line	신분당선

2) 지하철 Network 구축

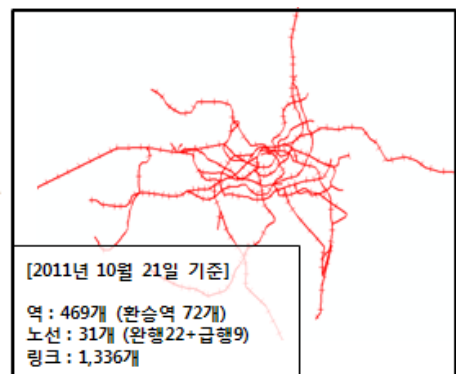
- 지하철에 대한 노선망을 구축할 경우 버스 정류장의 위치를 나타내는 좌표, 노선 구분 위한 노선명, 그리고 지하철역들을 연결하는 노선운행정보가 필요함. 이 연구에서는 BMS의 지하철 데이터를 활용하였음.
- BMS와 대중교통카드에서 사용하는 지하철역 ID는 각기 사용체계가 다르므로 대중교통카드 역정보에 맞추어 BMS의 역정보를 변환하여 아래와 같이 구축하였음.

노선	역명	ID	point_x	point_y
1호선	서울역	150	126.972	37.555
1호선	시정	151	126.977	37.565
1호선	종각	152	126.983	37.570
1호선	종로3가	153	126.992	37.570
1호선	종로5가	154	127.002	37.571
1호선	동대문	155	127.012	37.572
1호선	신설동	156	127.024	37.576
1호선	제기동	157	127.035	37.578
1호선	정랑리(지하)	158	127.045	37.580
1호선	동묘알	159	127.016	37.573
2호선	시정	201	126.976	37.564
2호선	을지로입구	202	126.982	37.566
2호선	을지로3가	203	126.991	37.566
2호선	을지로4가	204	126.998	37.567
2호선	동대문역사문화공원	205	127.009	37.566
2호선	신광	206	127.020	37.566
2호선	상왕십리	207	127.029	37.564
2호선	왕십리	208	127.038	37.561
2호선	한양대	209	127.044	37.556
2호선	북성	210	127.047	37.547
2호선	성수	211	127.056	37.545
2호선	건대입구	212	127.070	37.540
2호선	구의	213	127.086	37.537
2호선	랑변	214	127.095	37.535
2호선	잠실나루	215	127.104	37.520
2호선	잠실	216	127.101	37.514
2호선	신정	217	127.087	37.512
2호선	동탄운동장	218	127.073	37.511
2호선	삼성	219	127.063	37.509
2호선	선릉	220	127.048	37.504
2호선	역삼	221	127.036	37.501
2호선	강남	222	127.028	37.498
2호선	교대	223	127.014	37.494

〈그림 3-20〉 지하철역 데이터 구조

index	노선번호	노선	노선	순번
1	1호선	서울역	시정	1
2	1호선	시정	종각	2
3	1호선	종각	종로3가	3
4	1호선	종로3가	종로5가	4
5	1호선	종로5가	동대문	5
6	1호선	동대문	동묘알	6
7	1호선	동묘알	신설동	7
8	1호선	신설동	제기동	8
9	1호선	제기동	정랑리(지하)	9
10	1호선	정랑리(지하)	회기	10
11	1호선	회기	외대알	11
12	1호선	외대알	신이론	12
13	1호선	신이론	석계	13
14	1호선	석계	성북	14
15	1호선	성북	월계	15
16	1호선	월계	녹천	16
17	1호선	녹천	창동	17
18	1호선	창동	방학	18
19	1호선	방학	도봉	19
20	1호선	도봉	도봉산	20
21	1호선	도봉산	망월사	21
22	1호선	망월사	회릉	22
23	1호선	회릉	의정부	23
24	1호선	의정부	가릉	24
25	1호선	가릉	녹양	25
26	1호선	녹양	양주	26
27	1호선	양주	덕계	27
28	1호선	덕계	덕정	28
29	1호선	덕정	지정	29
30	1호선	지정	동두천중앙	30
31	1호선	동두천중앙	보산	31
32	1호선	보산	동두전	32
33	1호선	동두전	수요산	33

〈그림 3-21〉 지하철 노선 데이터 구조



〈그림 3-22〉 지하철 위치좌표 구현(Arc Map)

3) 지하철 급행Network 구축

- 지하철은 버스와 다르게 급행노선이 따로 존재함. 이는 장거리를 이동하는 승객들에게 보다 빠른 서비스를 주기 위함인데 노선별 특징에 따라 24시간 운행되는 노선이 있는가 하면, 출·퇴근 시간에만 운행되는 노선도 있음.

〈표 3-5〉 급행 노선별 운행시간

운행 시간	운행 노선
24시간 운행	천안 급행(웅산), 9호선 급행, 인천 급행
출·퇴근시간 운행	천안 급행(서울역)
출근시간 운행	경의선 급행, 경의선 특급, 중앙선 급행, 경춘선 급행, 4호선 급행

- 급행노선은 특정 역만 정차하고 나머지 역은 무정차 통과의 개념으로 운행되고 있으므로, 완행노선 위에 별도의 급행링크를 추가하였음.
- 이를 표현하기 위해 완행노선 중 무정차 통과역은 하나로 묶어 운행역, 급행역 간 거리 등을 구축하였음.

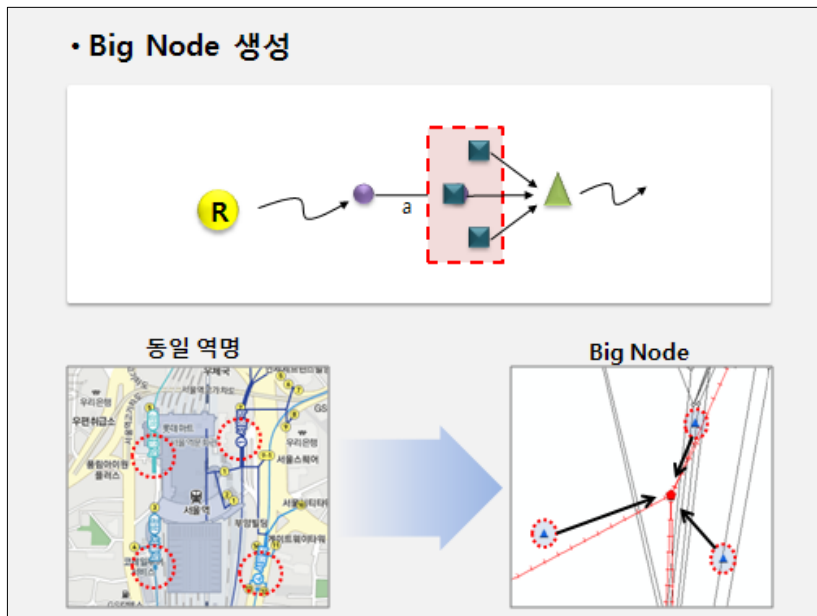
1	부산	->	노랑진	::	부산(2.6)->노랑진 2.6 (Km) :	인천급행
2	노랑진	->	대방	::	노랑진(1.5)->대방 1.5 (Km) :	인천급행
3	대방	->	신길	::	대방(0.8)->신길 0.8 (Km) :	인천급행
4	신길	->	영등포	::	신길(1.0)->영등포 1.0 (Km) :	인천급행
5	영등포	->	신도림	::	영등포(1.5)->신도림 1.5 (Km) :	인천급행
6	신도림	->	구로	::	신도림(1.1)->구로 1.1 (Km) :	인천급행
7	구로	->	역곡	::	구로(1.4)->구로(1.0)->개봉(1.3)->오류동(1.9)->온수(1.3)->역곡 6.9 (Km) :	인천급행
8	역곡	->	부천	::	역곡(1.5)->소사(1.1)->부천 2.6 (Km) :	인천급행
9	부천	->	송내	::	부천(1.7)->중동(1.0)->송내 2.7 (Km) :	인천급행
10	송내	->	부개	::	송내(1.2)->부개(1.5)->부개 2.7 (Km) :	인천급행
11	부개	->	주안	::	부개(1.7)->배운(1.5)->주안 3.2 (Km) :	인천급행
12	주안	->	동인	::	주안(1.2)->간석(1.2)->주안 2.4 (Km) :	인천급행
13	주안	->	동인천	::	주안(1.0)->도화(1.0)->계월포(1.4)->도원(1.2)->동인천 4.6 (Km) :	인천급행
14	노랑진	->	용산	::	노랑진(2.6)->용산 2.6 (Km) :	인천급행
15	대방	->	노랑진	::	대방(1.5)->노랑진 1.5 (Km) :	인천급행
16	신길	->	대방	::	신길(0.8)->대방 0.8 (Km) :	인천급행
17	영등포	->	신길	::	영등포(1.0)->신길 1.0 (Km) :	인천급행



〈그림 3-23〉 급행Network 구축(인천 급행 중 구로~역곡 구간)

4) 환승 지하철역 단일화(Big Node)

- 철도네트워크를 구축할 때 고려하여야 할 사항 중 한 가지는 환승역 간 이동의 문제임. 지하철 환승역은 1개의 개념으로 보지만, 실제로 노선별로 역사가 존재하기 때문에 이를 통합해주는 개념을 적용하였음.
- 각각의 위치에 따른 좌표값은 지니고 있는 채로 이들 간 평균거리에 새로운 노드(Big Node)를 생성하여 모든 환승역의 정보를 지니도록 설정하였음.
 - －예) 서울역 Big Node = 서울역(1호선)+서울역(4호선)+서울역(공항철도)+서울역(경의선)



〈그림 3-24〉 동일 역명을 가진 역들의 단일화

3. 환승 Network 구축

1) 환승영향권 설정

- 지하철 노선 간 환승 외에 버스↔지하철의 환승을 표현하기 위해서는 환승링크가 별도로 필요함. 환승링크는 승객이 도보로 이동이 가능한 범위 내로 설정해야 하며 이를 위해 환승가능 영향권을 설정해 주어야 함.

- 천승훈(2010)은 버스, 철도역을 중심으로 도보 이동이 가능한 환승영향권 설정에 대한 기준을 제시하였음.



〈그림 3-25〉 환승 영향권 설정 기준(반경 500m)

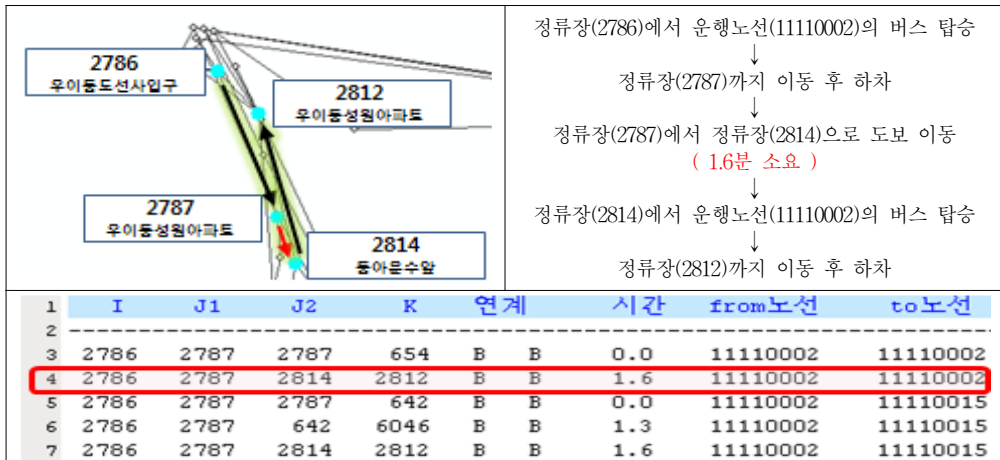
2) 환승 Network 구축

- 수단 간 환승은 지하철 환승역뿐만 아니라 전체 역에서 발생하므로 환승 한계점을 조절하기 위한 영향권의 설정이 필요함.
- 이 연구에서는 버스정류장과 지하철역을 중심으로 환승영향권을 500m로 설정하여 범위 내에 존재하는 수단들에 대해 환승링크를 구축하였음.
- 지하철 환승역은 동일한 이름을 가지고 2개 이상의 역사가 일정한 거리를 두고 산개되어 있으나, 승객들은 본인이 이용하려는 노선의 역으로 들어가지 않고 가장 가까운 역으로 진입하여 환승통로를 거쳐 이동하는 패턴을 보임.

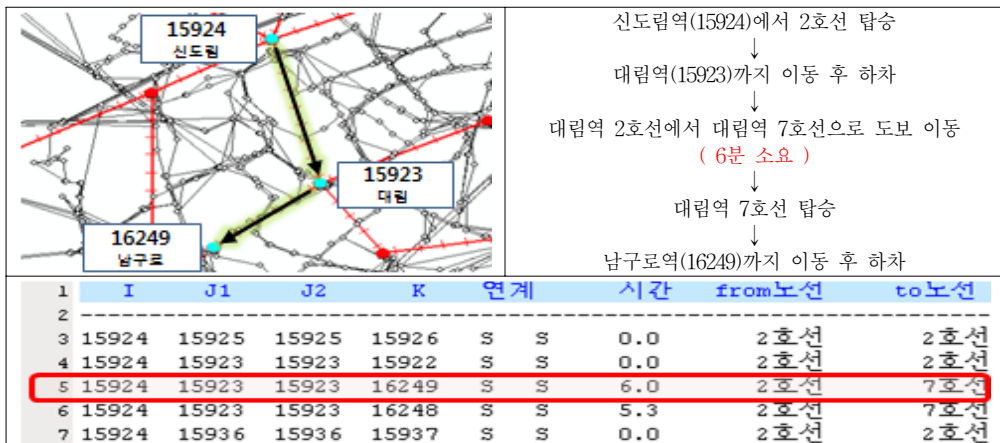


〈그림 3-26〉 버스→철도 환승패턴(교대역 2호선역으로 진입하여 3호선 이용)

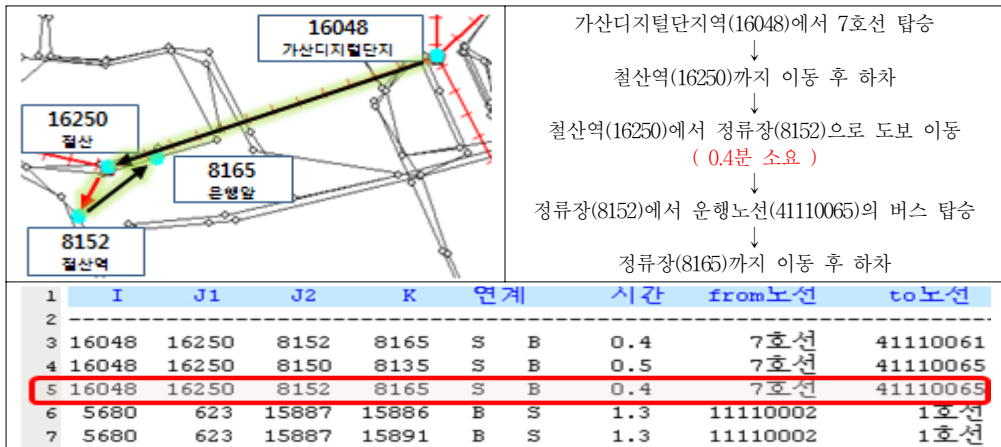
○지하철 환승역을 통합노드(Big Node)로 묶는 과정에서 개별 역사에 대한 위치 정보를 그대로 저장하였는데, 통합노드는 다른 정류장·역과 다르게 개별역사의 영향권을 합친 영역을 영향권으로 설정하였음. 구축된 환승링크는 <그림 3-27~29>와 같이 표현이 가능함.



〈그림 3-27〉 버스→버스 환승통행



〈그림 3-28〉 지하철→지하철 환승통행



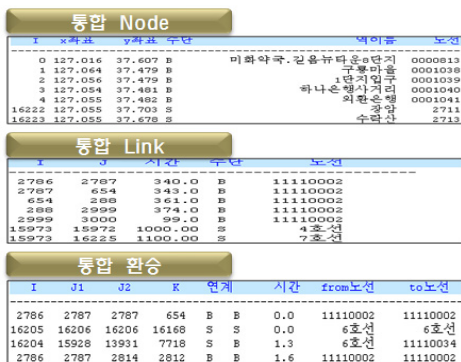
〈그림 3-29〉 지하철-버스 환승통행

3) 통합Network 구축

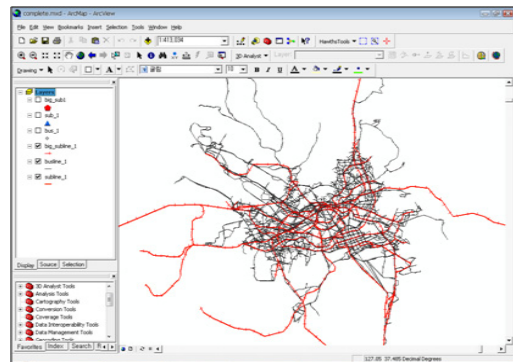
- 앞에서 구축한 버스와 지하철의 네트워크와 이들 간 환승링크를 결합하여 통합 Network를 구축하였음.
- 통합Network의 모드 구조는 <표 3-6>과 같으며, 이를 <그림 3-30>처럼 데이터화한 다음 위치좌표를 이용해 표현하면 <그림 3-31>과 같음.

〈표 3-6〉 통합Network 모드

모 드	종 류
통합Node	(bus), (subway)
통합Link	(bus), (subway), (rapid subway)
환승Link	(bus↔subway), (bus↔bus), (subway↔subway), (bus↔rapid subway), (subway↔rapid subway)



〈그림 3-30〉 모드 구축



〈그림 3-31〉 서울시 대중교통 노선도(Arc Map)

제4장 대중교통 통합 Network 활용 사례 분석

제1절 대중교통 통합 Network 자동화 구축방안

제2절 대중교통정책에의 활용 사례

제 4 장

대중교통 통합Network 활용 사례분석

제1절 대중교통 통합Network 자동화 구축방안

1. 분석 데이터

1) 데이터 기준

- 버스 정류장/노선의 비주기적이고 빠른 변화 패턴 때문에 특정 일자를 기준으로 설정하고 분석함.
- 데이터는 2011년 10월 21일을 기준으로 하였으며, 신분당선이 개통되기 전의 데이터이므로 분석 시 이를 제외하였음.

(1) 지하철 정보 -BMS

- 역 : 469개(환승역 : 72개)
- 노선 : 31개(완행 22개 + 급행 9개)
- 역간 링크 : 1,336개

(2) 버스 정보 -KSCC

- 정류장 : 15,903개
- 노선 : 600개(시내 386개 + 마을 214개)
- 정류장 간 링크 : 35,157개

2. Network 구축 프로세스

1) 정류장/역 정보를 Node로 변환

- 버스와 지하철의 정류장/역을 Node로 설정하고 지정된 좌표에 따라 위치를 설정함. 각 위치에 따라 정류장/역 간 거리를 구할 수 있으며, 정류장/역을 중심으로 환승영향권을 임의로(ex_반경 100m, 500m) 설정할 수 있음.
- 지하철 정보는 서울시 BMS에서 역 위치좌표, 호선별 노선정보를 제공함. BMS의 위치좌표는 국제지구기준 좌표계(ITRF2000 : International Terrestrial Reference Frame 2000)로 구성되어 있음.
- 2011년 10월 21일 기준 지하철역은 469개가 운영 중이며, 이 중 환승역은 72개가 있음. 환승역의 경우 노선별로 역이 존재하므로 각 역 중심부에 하나의 통합역(Big Node)을 구축하여 연결하며, 각 역 중심으로 반경 일정범위의 환승영향권을 합친 영역을 환승역의 영향권으로 설정함.
- 버스 정류장/노선 정보는 비주기적으로 바뀌기 때문에 한국스마트카드(KSCC)에서 제공하는 데이터를 사용함. KSCC는 정류장의 위치좌표를 경위도로 사용하기 때문에 지하철역과 버스정류장의 좌표체계를 하나로 통일하는 작업이 선행되어야 함.
- 2011년 10월 21일 기준 버스 정류장은 15,903개소가 운영 중임.

2) 단일 Link 연결

- 정류장/역을 Node로 설정했으면, 그 정류장/역을 거쳐 운행하는 노선을 링크로 설정함.
- 노선진행방향에 따라 정류장/역을 연결하는 링크들을 생성하며, 이 링크들이 모여 하나의 운행노선이 됨.
- 2011년 10월 21일 기준 지하철 노선은 총 30개가 운영 중이며, 이 중 완행노선이 21개, 급행노선이 9개임. 버스노선은 총 600개가 운영되고 있으며, 이 중 시내버스 노선은 386개, 마을버스 노선은 214개임.

3) 환승 Link 연결

- 지하철역 중 72개의 환승역을 기준으로 각기 다른 노선들 간 환승이 가능하도록 방향별로 별도의 환승링크를 만들어주어야 함. 이와는 별개로 버스정류장은 특별한 환승

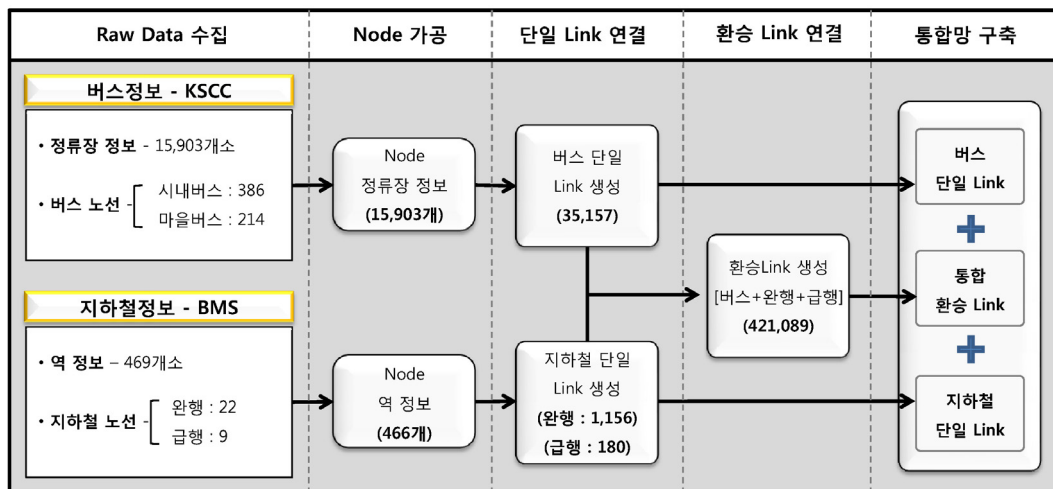
지점이 따로 존재하지 않기 때문에 버스 운행노선 정보에 따라 환승링크를 구축해야 함. 또한, 지하철은 급행과 완행으로 분류되는 노선이 존재하기 때문에 이들 간 환승도 필요함.

- 방향별로 환승링크를 구축한 결과 총 421,089개의 링크가 생성됨. 환승 기준을 정리하면 다음과 같음.

	지하철 완행	지하철 급행	버스(시내/마을)	총 계
지하철 완행	환승가능 영역			-
지하철 급행				
버스(시내/마을)				
총 계	-			421,089

〈그림 4-1〉 환승가능영역 설정

- 최종적으로 통합Network를 구축하는 프로세스는 다음과 같음.



〈그림 4-2〉 대중교통 통합Network 자동화 구축 프로세스

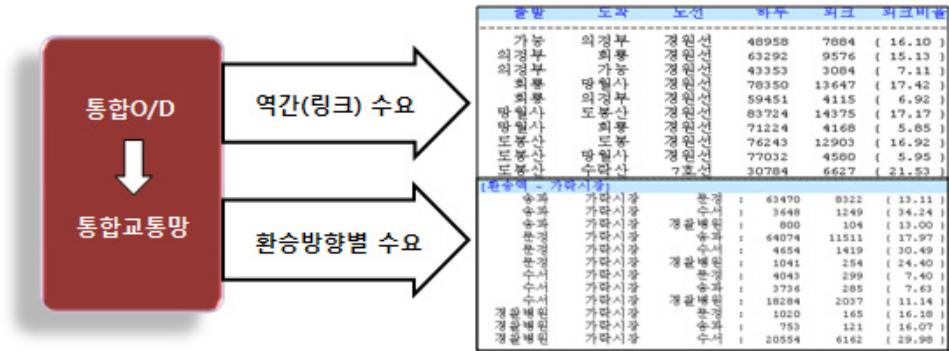
- 구축 결과는 <그림 3-30>과 같음.

제2절 대중교통정책에의 활용 사례

- 이 연구에서 구축한 통합Network는 대중교통 관련 분석에 활용이 가능함.
 - 대중교통 네트워크 분석, 수요 분석, 철도 혼잡도 분석 등

1. 철도망 통행수요 분석

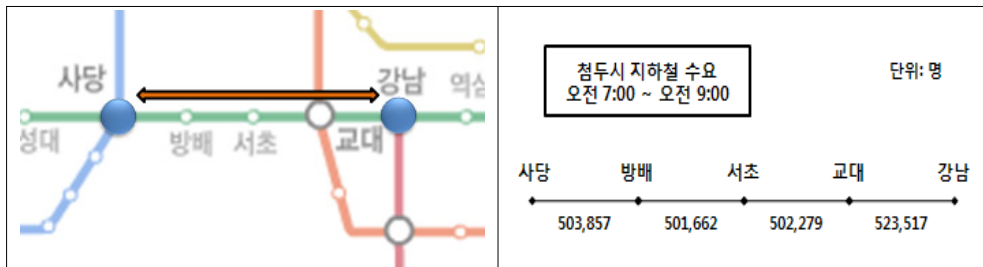
- 통합Network에 O/D를 구축하여 통행배정 시행
- 지하철의 역간 수요 및 환승역의 방향별 수요 추정이 가능



〈그림 4-3〉 지하철 수요 추정

1) 지하철역 간(링크) 수요배정

- 통합Network를 기반으로 대중교통카드 통행데이터를 적용하여 오전 출근 침두시 역간 수요를 분석하였음.
- 2호선 사당에서 강남까지의 오전 7시에서 오전 9시까지 수요를 분석한 결과 사당에서 교대까지는 승·하차 인원의 변동이 크지 않지만 교대에서 3호선 승객들의 진입으로 인해 교대-강남 구간이 증가한 것을 알 수 있음. 이는 강남 이후부터가 업무지구이기 때문에 출근수요가 밀집되는 것으로 판단할 수 있음.

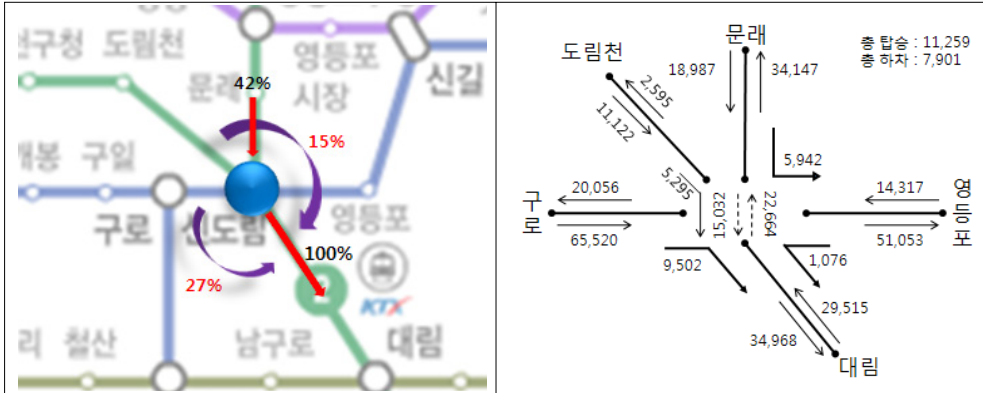


〈그림 4-4〉 2호선 사당↔강남 수요 분석(구간별 수요 분석 예시)

2) 지하철 환승역 방향별 수요배정

- 인천과 서울지역을 연결하는 역할을 하는 신도림역의 오전 침두시 수요를 분석함.

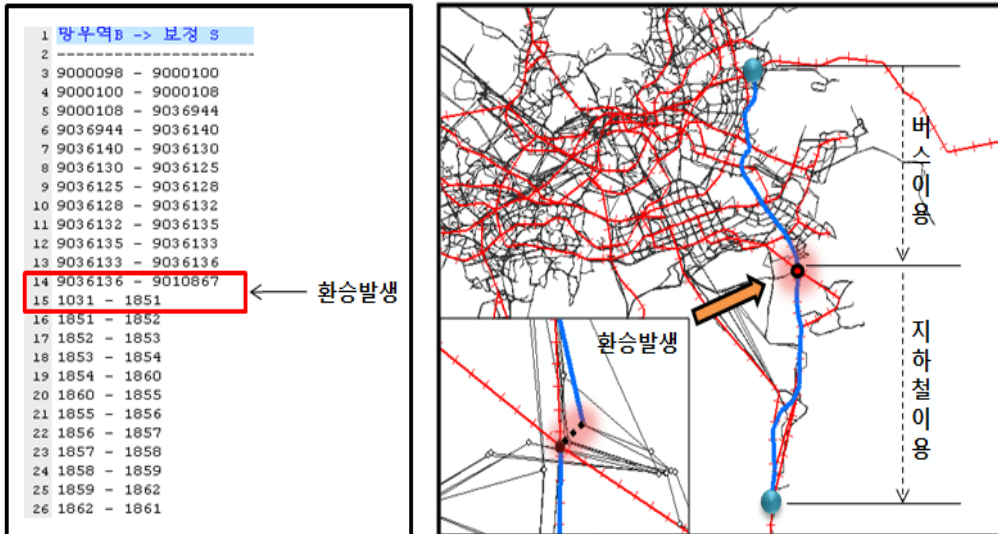
- 인천방향에서 서울내부로 진행하는 수요가 주를 이루고 있으며, 하차승객보다 승차승객이 월등히 많은 것으로 나타나 출근 시에는 외곽에서 서울내부로 수요가 집중되는 것을 알 수 있음.



〈그림 4-5〉 신도림역 방향별 수요 분석(환승방향별 수요 분석 예시)

2. 연계수단 최적경로탐색 활용

- 경로 : 망우역(B) → 보정(S)
- 환승 : 간선버스(320) → 분당선(복정)

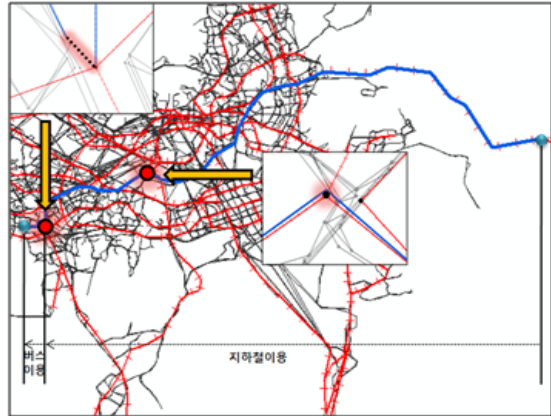


- 경로 : 운길산(S) → 광명2동반딧가스(B)
- 환승 : 중앙선(운길산) → 1호선(용산) → 지선버스(5012)

51	윤길산 S -> 황명2중만덕가스 B:
52	
53	1205 1204
54	1204 1203
55	1203 1202
56	1202 1201
57	1201 1015
58	1015 1014
59	1014 208
60	208 1012
61	1012 325
62	325 1010
63	1010 1009
64	1009 430
65	430 1003
66	1003 1004
67	1004 1005
68	1005 1032
69	1032 1006
70	1006 234
71	234 1701
72	1701 1702
73	8000991 0076285
74	0076285 8001424
75	0010411 8000994
76	8000994 8101423
77	8001423 0010439
78	0020121 0076294
79	0076294 8003002
80	8076295 8000726

환승발생
(지하철 → 지하철)

환승발생
(지하철 → 버스)



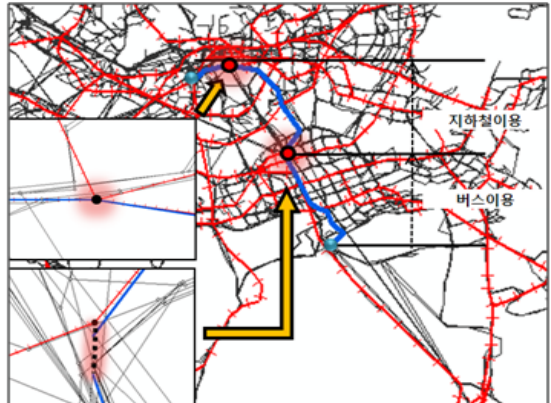
○ 경로 : 염곡동(중점)(B) → 서울역(S)

– 환승 : 마을버스(서초21) → 3호선(신사) → 4호선(충무로)

93	염곡동(중점) B -> 서울역 S:
94	
95	0004003 0004004
96	0004004 0004005
97	0004005 0004006
98	0004006 0004007
99	0073168 0070467
100	0070467 0014540
101	0014540 0012897
102	0012897 0072096
103	0072096 0075751
104	0075751 0075752
105	0075752 0075753
106	0075753 0007666
107	327 326
108	326 325
109	325 324
110	324 323
111	323 322
112	322 321
113	321 424
114	424 425
115	425 150

환승발생
(버스 → 지하철)

환승발생
(지하철 → 지하철)



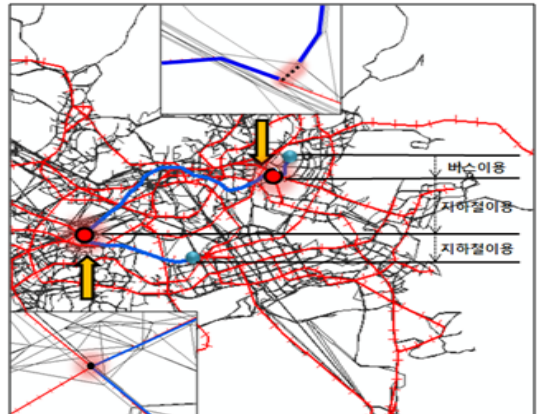
○ 경로 : 전농사거리(B) → 신반포(S)

– 환승 : 지선버스(2015) → 5호선(답십리) → 9호선(여의도)

118	전농사거리 B -> 신반포 S:
119	
120	0072142 0010891
121	0010891 0072144
122	0072144 0072145
123	0072145 0010862
124	0010862 0010842
125	0010842 0072148
126	2543 2542
127	2542 208
128	208 2540
129	205 204
130	204 153
131	153 2534
132	2534 2533
133	2533 243
134	243 2531
135	2531 2530
136	2530 2529
137	2529 2528
138	2528 2527
139	2527 4116
140	4116 1004
141	1004 4118
142	4118 4119
143	4119 431
144	431 4121
145	4121 4122

환승발생
(지하철 → 버스)

환승발생
(지하철 → 지하철)



○ 경로 : 구로여자정보산업고 · 오류고등학교(B) → 성모병원(S)

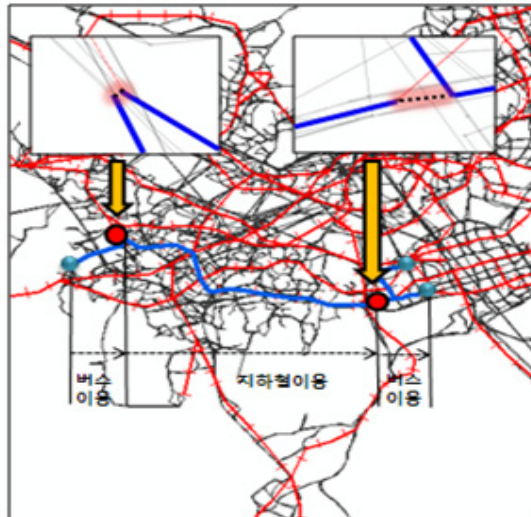
– 환승 : 지선버스(6613) → 2호선(신정네거리) → 2호선(방배) → 간선버스(363)

148 구로여자정보산업고·오류고등학교 B -> 성모병원 B:

149		
150	9035601	9035603
151	9035603	9035512
152	9034417	9004288
153	9004288	9004290
154	9004290	9036064
155	9036064	9009749
156	9009749	9004260
157	9004260	9004259
158	9004259	9004257
159	249	248
160	248	247
161	247	234
162	234	233
163	233	232
164	232	231
165	231	230
166	230	229
167	229	228
168	228	227
169	227	226
170	226	225
171	0072817	0008992
172	0008992	0009017
173	0009017	0009068
174	0009068	0009024
175	1002996	1003120
176	1003120	1003235
177	1002176	100217

← 환승발생
(버스 → 지하철)

← 환승발생
(지하철 → 버스)



○ 경로 : 부평(S) → 충무로(S)

– 환승 : 1호선(부평) → 4호선(서울역)

189 부평 S -> 충무로 S:

190		
191	1806	1815
192	1815	1805
193	1805	1822
194	1822	1804
195	1804	1814
196	1814	1803
197	1803	1821
198	1821	1802
199	1802	1801
200	1801	1813
201	1813	1701
202	1701	234
203	234	1006
204	1006	1032
205	1032	1005
206	1005	1004
207	1004	1003
208	1003	1002
209	1002	150
210	150	425
211	425	424
212	424	321

← 환승발생



제5장 결 론

- 제1절 연구의 결론
- 제2절 향후 연구과제

제1절 연구의 결론

- 대중교통카드는 서울시 통합교통체계를 지원하는 인프라로서 전수화 통행행태의 정보를 보유하고 있어 활용성이 커지고 있음.
- 최근까지 통합대중교통체계의 분석지원을 위해서 출발지↔도착지 정보의 O/D구축이 시도되었으나 교통카드를 활용한 네트워크 구축은 환승관련 기존 이론 및 분석 기법의 한계로 추진되지 못했음.
- 이 연구는 대중교통카드 노선(지하철·버스)의 좌표체계를 이용한 환승의 컴퓨팅 분석을 자동적으로 수행하는 노드·링크체계로 재구축하는 방법 및 이론을 제시하였음.
 - 수단-링크 개념을 통한 대중교통망확장기법
 - Big Node 개념을 이용한 지하철 환승역 링크 처리방안
 - 노선정보를 이용한 버스·철도 통합네트워크 자동화 구축방안
- 이 연구의 결과인 대중교통 통합Network 구축 프로세스는 다음과 같이 대중교통 이론 및 정책수립 측면에서 활용할 수 있음.

① 교통모형 측면

- 수도권 통합대중교통 정책분석을 위한 기반 모형체계

② 대중교통 노선합리화 측면

- 버스·경전철과 같은 대중교통 노선의 신설 및 폐지를 위한 노선 합리화 체계

③ 대중교통 정책 측면

- 수도권의 다양한 대중교통정책 분석 지원을 통하여 합리적인 의사결정 유도

제2절 향후 연구과제

- 대중교통카드의 좌표체계는 실제 도로망이나 노선을 구체적으로 표현하지 못하는 한계가 존재함. 대중교통노선과 가로망이 실제 매칭(matching)이 되도록 기존의 노드·링크 사업과 연계하는 방안 등에 대한 고려가 필요함.
- 실제 환승에 대한 일반화비용의 고려가 필요함. 환승역에서 소요되는 시간과 그에 대한 통행저항을 현실적으로 반영할 수 있도록 조사와 연구가 보완되어야 함.
- 링크 간의 속도는 기하구조나 시·공간의 차이에 의한 혼잡, 운행차량의 각기 다른 속도 등의 변수로 인해 차이가 발생하며, 이를 링크함수에 반영하는 것에 대한 연구가 필요함.

참 고 문 헌



참고문헌

- 국토해양부, 2009, 「교통조사지침」
- 서울시정개발연구원, 2011, 「교통카드 운송수입금 정산·배분의 검증 및 평가」
- 서울특별시, 2011, 「시내버스 경영효율화를 통한 운송원가 절감」
- 신성일, 2004, “교통망에 적합한 K 비루프 경로 탐색 알고리즘”, 『대한교통학회지』 제22권 제6호
- 신성일·노현수, 2004, “K 링크 비루프 최적경로 탐색알고리즘과 복합대중교통망에의 활용”, 『교통정책연구』 제2권 제1호
- 이미영·신성일·김형철·박동주, 2008, “복합대중교통망의 링크표지갱신 다목적 경로탐색”, 『대한교통학회지』 제26권 제1호
- 임강원·임용택, 2008, 「교통망 분석론」, 서울대학교 출판부
- 천승훈, 2010, “교통카드 자료 기반 통합대중교통망의 확률적 통행배정모형 개발”, 서울대학교 박사학위논문, 서울대학교
- 천승훈·신성일·이영인·이창주, 2008, “교통카드 기반자료를 활용한 복합대중교통망 구축 및 경로탐색 방안 연구”, 『대한교통학회지』 제26권 제3호
- 한국교통연구원, 2006, 「대중교통정책수립을 위한 교통카드자료 활용방안」

<http://transport.seoul.go.kr>(서울특별시 도시교통본부)

<http://gbus.gg.go.kr>(경기도청 대중교통과)

영 문 요 약

(Abstract)



Constructing an Optimal Integrated Public Transit Network

Seongil Shin · Hyeonjin Cheong

Integrated transit network is composed of demand between stations and line network of bus and subway. By using detailed information that is included in the integrated transit network, the degree of service provision and operation status can be estimated.

As a part of 2004 Seoul transit system reform project, transit smart card using radio-frequency (RF) were introduced in Seoul Metropolitan area. Since then, transit passengers basic travel information can be all collected automatically. However transit network has not yet been integrated into one huge network, but rather various small networks of separate transit modes coexisting.

Transfer between transit modes is an important factor in integrated network. Due to possible number of transfer lines and considerations upon diverse transfer patterns increase exponentially, the task remains difficult.

Since current commercial programs that analyze transit demand and patterns are being operated on a theoretical basis, are not suitable for real network analysis. Hence, its application to analyze current integrated transit policy is limited.

To solve such limitations, this study focuses on using transit smart card data into building integrated transit network and synchronizing theoretical background in order to analyze trip chain.

This study examined applicability of data structure of transit smart card into integrated network, and formed a new theoretical basis. The key aspect of this study is to apply Mode-Link labeling concept by building a transfer network between individual transit modes. Transfer link was applied in the transfer network by setting walking time, waiting time and moving parameters between bus stops and stations within a transfer range that was set from

a certain bus stop or station, and information of a link was stored on a pre-transfer node.

The integrated transit network built in this study is capable of reflecting transit line changes (new lines, modified lines, or deleted lines) or a change in stops or stations automatically through a composed computing process.

This study applied O/D data from transit smart card to analyze subway demand (demand between stations and for transfer stations) and presented path-finding cases including transfers. Further recommendations to improve the integrated transit network were also proposed.

Conventional demand forecasting models could be used to evaluate implemented policies, however it could not take account into the transfers between transit modes. As the transit smart card system has been introduced, detailed information of a passenger's travel pattern can be obtained to analyze a passenger's origin-destination path and transfer patterns. Still, integrated transit network should be built with additional efforts.

In the buildup of integrated transit network, a transfer range is set by a walking distance of transit passengers based on a bus stop or station. Afterwards, transfer links that considers walking time and waiting time connects other bus stops and stations within the range. Mode-Link Label and a big-node concept are then applied to be used as a path finding algorithm.

Since link-based path finding algorithm finds paths based on the arrival cost of each link's end with the information of previous link saved, also with turn cost and transfer cost considered as well as the information of previous link and arrival cost of pre-transfer node, transfer issue can be solved.

In this study, every transit modes using the same road or rail was connected by a dummy link. As dummy links may increase proportionate to the number of transit modes or lines, this enables reflecting each of transit modes and lines features and transfers between transit modes. Also, as paths of each mode are expressed as links, transfer issue in shortest path finding algorithm in integrated transit network can be solved.

A transfer link is not an actual link, but rather a virtual link to connect transfers. Path-finding process is executed after information of next transferable node is stored in

pre-transfer node.

The utmost advantage of this method is that a direct connection of transfer link is unnecessary thus it can prevent reckless increase of transfer links.

In this study, two method were suggested in building a transfer link: using transfer node's coordinates, and connecting nodes within a transfer range.

This study proposes both methodology and theoretical basis of node-link system that executes transfer automatically by computing process based on the coordinate data of transit lines from transit smart card data.

Integrated transit network proposed in this study can be used in various transit related studies including network analysis, transit demand analysis, and metro compartment crowdedness analysis.

Table of Contents

Chapter 1 Introduction

Chapter 2 Status on a Public Transit Analysis System

1. Policy Analysis on an Integrated Public Transit System
2. Limitations in the Current Transit Analysis System

Chapter 3 Measures to Construct Integrated Public Transit Network

1. Diagnosis on Construction Utilizing Public Transit Cards
2. Construction of a Theoretical System
3. Network Construction

Chapter 4 Analysis on Application Cases for Integrated Public Transit Network

1. Measures to Automatize Integrated Public Transit Network
2. Application Cases for Integrated Public Transit Network Policies

Chapter 5 Conclusion

1. Conclusion of Studies
2. Future Studies

References

시정연 2011-PR-59

최적 대중교통 통합네트워크 구축 연구

발 행 인 이 창 현

발 행 일 2012년 2월 29일

발 행 처 서울시정개발연구원

137-071 서울특별시 서초구 남부순환로 340길 57

전화 (02)2149-1234 팩스 (02)2149-1025

값 6,000원 ISBN 978-89-8052-865-3 93530

본 출판물의 판권은 서울시정개발연구원에 속합니다.