

대중교통 카드 자료를 이용한 지역 간 대중교통 서비스 평가 체계

An Evaluation of Mass Transit Service Among Regions
Using Public Transportation Card Data

신성일

(서울시정개발연구원, 연구위원)

이창주

(서울대학교, 석사과정)

조용찬

(서울시정개발연구원, 연구원)

Key Words : 대중교통카드, 서비스 평가 지표, 정류장 기반 네트워크, 지하철 형태 모형

목 차

- I. 서론
 - II. 과거 대중교통 평가 방안 고찰
 - III. 대중교통 카드 자료
 - IV. 대중교통 서비스 평가 체계 구축
 - V. 사례 연구
 - VI. 결론 및 향후 과제
- 참고 문헌

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

서울시는 2004년 7월 1일 전면적인 대중교통 개편을 단행하였다. 이를 계기로 중앙버스차로제, 통합거리비례요금제, 시간선 노선체계를 비롯한 버스준공영제와 같은 혁신적인 제도가 시행되었으며, 통합거리비례요금제와 무료 환승제가 도입되었다. 또한, 이러한 통합거리비례요금제와 무료 환승제도는 기존의 있어왔던 요금지불수단을 대신하는 획기적인 지불수단을 필요로 하였으며, 이에 개인의 통행 및 환승 정보를 포함하는 스마트카드라는 대중교통 카드시스템을 도입하게 되었다. 더불어, 2007년 7월 1일 수도권 대중교통 통합요금제가 시행됨에 따라 일원화된 대중교통 카드시스템은 그 중요성을 더하게 되었다.

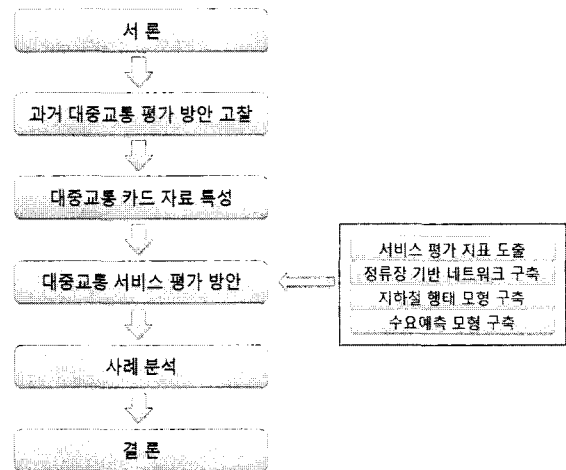
대중교통 체계 개편과 함께 등장한 대중교통 카드시스템으로 인해 개개인의 통행, 환승 정보 및 이용 수단의 정보를 파악할 수 있는 등 기존엔 불가능하였던 대중교통 이용자의 통행 특성을 정확하게 파악할 수 있게끔 되었다. 이러한 변화 및 효과로 그 동안 이루어지지 못했던 통합대중교통망 차원의 대중교통 수단 간 서비스 평가 뿐 만 아니라 지역 간 서비스 평가도 가능하게 되었다.

이에 본 연구에서는 대중교통 카드 이용 자료를 기반으로 지역 간 대중교통 서비스 평가를 위한 체계를 제안하도록 한다. 구체적으로는 첫째, 지역 간 대중교통 평가를 위해 통행 시간, 통행요금, 환승횟수, 대기시간 등을 포함하는 개별 및 지역 서비스 평가 지표를 제안하며, 둘째 정류장 위치 좌표와 대중교통 노선자료를 토대로 한 정류장 기반 네트워크 구축 방법론을 제안한다. 끝으로 지하철 통행 중 발생하는 이용 경로 및 지하철 내부 환승에 대한 정보를 얻기 위한 지하철 형태 모형에 관한 개략적인 상(像)을 제시하도록 한다.

2. 연구 절차 및 방법

먼저 본 연구에서는 기존의 대중교통 평가 방안에 대한 고찰을 통해 한계점을 파악하는 동시에, 대중교통 카드 자료의 특성을 파악하고자 한다. 이를 기반으로 향후 전국 단위의 대중교통 카드의 도입에 따른 대중교통 서비스 평가 체계를 정립하고자 한다. 이를 위해 2006년 10월 31일의 서울시 대중교통 카드 자료(Smart Card Data)를 활용하여 제안한 서비스 평가 지표 및 서비스 평가 체계의 적용 가능성을 사례 연구를 통해 파악하고자 한다.

본 연구의 절차 및 방법은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구의 흐름

II. 과거 대중교통 평가 방안 고찰

1. 국내 및 국외 연구 사례

<표 1> 국내 연구 사례

연구 사례	연구 내용 및 평가 지표
서울시 시내버스노선 조정 방안 연구 (서울시정개발연구원,1994)	<ul style="list-style-type: none"> •서울시 버스의 합리적인 노선체계 구축방안 마련 •노선거리, 운행시간, 지하철 경합 비율, 과소·밀 노선 지표 외 다수
시내버스노선의 합리적 조정 방안 (서울시정개발연구원,1995)	<ul style="list-style-type: none"> •제2기 지하철 개통에 따른 대중교통체계 변화 예측 및 시내버스 노선체계 개편방안 제시 •노선거리, 운행시간, 지하철 경합 비율, 지하철 연계역수 외 다수
제2기 지하철 전면개편에 따른 시내버스노선 체계 개편구상 (서울시정개발연구원, 2000)	<ul style="list-style-type: none"> •제2기 지하철 개통에 따른 대중교통체계 변화 예측 및 대중교통 서비스 제고 방법론 구축 •신속성, 쾌적성, 편리성, 수익성
지속가능한 이동성 연구 (국토연구원, 2002)	<ul style="list-style-type: none"> •전국 각 도시의 대중교통 서비스 수준 비교를 위한 대중교통 평가지표 및 매뉴얼 개발 •운행속도, 운행간격, 접근성, 환승성 외 다수
시내버스노선체계 평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용 (이상용 외, 2003)	<ul style="list-style-type: none"> •도시 내 전체 버스노선체계의 평가를 위한 기준 및 정량적 지표의 설정 •접근성, 환승률, 승차안락성, 형평성 외 다수
대중교통망 이동성 지표 개발 (노현수 외, 2005)	<ul style="list-style-type: none"> •복합대중교통망에서의 대중교통 이동성 지표 및 서비스제공 분석 지표 제안 •이동성, 접근성
세계주요도시의 대중교통 경쟁력 비교 (김동준 외, 2006)	<ul style="list-style-type: none"> •대중교통경쟁력 지표 선정 및 대중교통 경쟁력 수준 평가 •면적당 버스노선 연장, 인당 버스 운행거리, GDP 대비 대중교통투자 비율 외

<표 2> 해외 연구 사례

연구 사례	연구 내용 및 평가 지표
Transit Capacity and Quality of Service Manual (TRB, 2001)	<ul style="list-style-type: none"> •대중교통용량과 서비스 질에 관한 연구 •승객량, 신뢰성, 통행시간, 환승필요 여부 외
A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement system (TRB, 2001)	<ul style="list-style-type: none"> •대중교통과 관련한 성과지표를 활용하고자 대중교통 시스템 관리자를 위한 지표선택 가이드북 •접근도, 변동계수, Run Time Ratio, 굴곡도 외
Florida's Mobility performance Measures Program (Florida DOT, 2000)	<ul style="list-style-type: none"> •2020 Florida Transportation Plan 아래 이동성 지표 선정 및 사용 •통행량, 통행의 질, 접근성, 이용율
CTA(Chicago Transit Authority) Service Standards (Chicago Transit Authority, 2001)	<ul style="list-style-type: none"> •새로운 서비스, 서비스 확장, 서비스감소 등의 이용자 수요에 맞는 의사결정을 위한 수단 •서비스 범위, 서비스 빈도, 최소 생산성, 서비스 시간

2. 시사점

국내 및 국외 대중교통 평가 관련 기존 연구에서는 정확한 전수화 실적 데이터를 이용하지 않고, 조사 자료를 기반으로 평가가 이루어졌으며, 이용자 측면 지표 중 대부분 통행시간만을 문제 삼고 있다. 또한, 개별 대중교통 노선 또는 개별 지역의 대중교통의 서비스 기반의 연구가 대다수를 이룬다.

이는 대중교통을 바라보는 관점이 대중교통체계 전체가 아닌 개별 노선의 사업성 평가 또는 개별지역의 대중교통노선 투입의 합리성 확보 등 제한된 필요성에 기인한 것으로 판단된다.

현재 국내는 대중교통 카드시스템의 도입으로 대중교통 이용자 및 수단의 전수화된 실적 자료를 얻을 수 있다. 따라서 이를 기반으로 기존 연구의 한계적인 단일 노선에 대한 평가뿐만 아니라 통합대중교통망 상에서의 대중교통체계를 평가하는 연구가 필요하다고 하겠다. 더 나아가 대중교통 통행 배정 모형을 통하여 기존 대중교통 노선을 평가하고 신교통수단의 신설 또는 투자에 따른 대중교통평가 방안까지 필요하다고 판단된다.

III. 대중교통 카드 자료

1. 자료의 특성

대중교통 개편과 함께 도입된 대중교통 카드는 그 이용에 대한 정보가 시스템을 통해 이루어지므로 사람이 직접 조사하는 방식에 비해 정확성이 높다고 할 수 있다.

또한, 대중교통 카드의 이용은 1년 365일 24시간 수도권 어느 지역에서나 이용 가능하기 때문에 시간별, 일별, 요일별, 계절별 등 전 시간대 및 전 지역에 걸친 자료습득이 가능하며, 이미 시스템이 구축되어 있어 비용면에서도 저렴하다.

현재 점차 교통카드 이용비율이 높아지는 추세로 향후 전 수조사에 가까운 자료의 습득이 가능할 것으로 판단되며, 지역 간/기관 간 교통카드 정보의 통일화 작업을 통해 전국 단위 대중교통 이용패턴 분석이 가능할 것으로 판단된다.

<표 3> 교통카드이용자료 활용방안의 장점

장점	내용
정확성	수집 자료의 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 활용가능성 증대
확장성	방대한 자료 수집 가능 및 향후 정보 확장 가능
안전성	안전사고 및 돌발 상황 예방
범용성	다양한 목적으로의 교통카드 사용 가능

자료: 대중교통정책수립을 위한 교통카드자료 활용방안, 한국교통연구원, 2006

2. 자료의 내용

1) 대중교통 카드 자료 수록 정보

대중교통 카드 자료는 총 18개의 항목으로 구분되며 개별 정보는 <표 4>와 같다.

<표 4> 대중교통 카드 자료

번호	수록 정보	내용
1	D/**/암호화ID	개인 정보 암호화
2	일일카드번호	일별 최초 사용 시 해당카드에 부여되는 번호
3	카드종류	카드회사별 번호로 분류
4	출발시간	사용자가 승차 시 단말기에 카드를 접촉한 시각
5	트랜잭션ID	환승을 구분하기 위한 ID
6	수단	지하철과 버스유형별 부여된 ID
7	환승횟수	하차태그 후 30분 이내에 다시 승차한 횟수
8	버스노선ID	버스노선별로 부여되는 ID [지하철 해당사항 없음]
9	교통사업자ID	사업자별로 부여 ID, 지하철은 호선정보 수록
10	버스차량ID	버스 차량별로 부여되는 ID [지하철 해당사항 없음]
11	사용자구분코드	초등학생, 청소년, 일반인을 구분하는 코드
12	운행출발일시	버스가 종점에서 운행을 출발한 시각 [지하철 해당사항 없음]
13	승차정류장ID	승차한 정류장에 부여된 ID
14	도착일시	하차 시 단말기에 카드를 접촉한 시각
15	하차정류장ID	하차한 정류장에 부여된 ID
16	이용객수	하나의 카드로 지불한 이용객 수
17	승차금액	승차 시 지불된 금액
18	하차금액	하차 시 지불된 추가요금

<표 5> 교통수단 ID별 버스 유형

교통수단 ID	유형	교통수단 ID	유형
101	도시형버스	121	지선버스(500)
102	일반좌석	122	지선버스(600)
103	고급좌석(심야포함)	130	광역버스(1400)
105	마을버스(500)	131	광역버스(1200)
115	간선버스	140	순환버스
120	지선버스(500)	151	마을버스(600)
200	지하철		

2) 대중교통 카드 자료의 예

대중교통 카드 자료의 내용과 실제 예는 <표 6>과 <표 7>에 나타나 있다.

3) 수집 가능한 교통 지표

대중교통 카드로부터 수집 가능한 교통 지표는 <표 7>과 같다.

<표 6> 수집 가능한 교통 지표

구분	지표	산출방법
통행 요소	정류장별 이용승객	정류장별 승차인원 및 하차인원 수
	노선별, 수단별, 이용승객	노선별, 수단별 승차인원 및 하차인원 수
	승객유형별 이용횟수	승객유형별 승차인원 및 하차인원
	차량1대당 운송실적	총 승차인원/차량대수
	차량별 평균재차인원	구간별 재차인원의 합/구간수
	1인당 평균 통행시간	승차시간과 하차시간의 차이의 평균
	1인당 평균 통행거리	승차지역과 하차지역간 거리의 평균
	1인당 평균 통행횟수	총통행수/이용자수
	수단별 평균이용시간	각 수단별 평균이용시간
	혼잡율	현재승차인원+승차인원-하차인원
운임 수입	1인당 평균 요금	지불요금의 평균
	차량한대당 운임수입	운임수입의 합
	노선별 운임수입	노선별 총 운임수입
환승	평균 환승 횟수	통행수의 합/총 이용자수
	평균 환승소요시간	이전 수단 하차시간과 환승한 수단의 승차시간 차이의 평균
	평균 환승이용요금	환승이 발생한 경우의 총 지불요금의 평균
기종점 통행량	기종점통행량	승차 및 하차지역의 통행량

자료: 대중교통정책수립을 위한 교통카드자료 활용방안, 한국교통연구원, 2006

<표 7> 대중교통 카드 자료 예

13	7	20061029134848	004	115	0	41110004	111001900	111742047	01	20061029123113	0008419	20061029135705	0007768	1	800	0
13	7	20061029141042	004	115	1	111110035	111002900	111749773	01	20061029133633	0007769	20061029145245	0009528	1	0	200
13	7	20061029191243	005	120	0	111110315	111008500	111749761	01	20061029185209	0009606	20061029192129	0009373	1	800	0
13	7	2006102919330	005	115	1	11410002	111009030	111749687	01	20061029172143	0013262	20061029201000	0008408	1	0	200

<표 8> 대중교통 카드 자료 내용

	ID	수단	승차정류장	승차시간	하차정류장	도착시간	승차요금	하차요금
	13	간선버스	답십리 삼거리	오후 1:48:48	신설동역	오후 1:57:05	800원	0원
환승	13	간선버스	신설동역	오후 2:10:42	명지대 사거리	오후 2:52:45	0원	200원
	13	지선버스(800)	명지대	오후 7:12:43	모래내 시장	오후 7:21:29	800원	0원
환승	13	간선버스	모래내시장	오후 7:33:09	답십리 삼거리	오후 8:10:00	0원	200원

IV. 대중교통 서비스 평가 체계 구축

1. 대중교통 서비스 평가 지표 구축

본 연구의 주된 관심사인 대중교통 카드 자료를 이용한 지역 간 서비스 평가 체계를 구축하기 위해서는 서비스 평가를 위한 지표가 필요하다. 이에 대중교통 카드로부터 수집 가능한 지표 중 현재 활용 가능한 지표를 제안하도록 한다. 또한, 범지역적으로 사용 가능한 지점대지점(point-to-point ; 노드, 역)의 개별 서비스 평가 지표를 제안함과 동시에, 지역대지역(area-to-area ; 동, 구, 특정지역)의 지역 서비스 평가 지표를 제안하고자 한다.

1) 도출 가능 지표

대중교통 카드로부터 수집 가능한 지표 중 본 연구에서 지역 간 대중교통 서비스 평가체계 구축을 위한 지표는 <표 9>와 같다.

<표 9> 도출/미 도출된 서비스 평가 지표

서비스 지표	지표산출	비고
평균 통행시간	○	대중교통카드
평균 통행속도	○	정류장 위치자료 및 대중교통카드
총 환승횟수	○	대중교통카드
평균 환승시간	○	대중교통카드
승용차대비 통행시간	△	승용차 통행시간 고려
평균 승차요금	○	대중교통카드
혼잡도	△	전수화 자료로써 개별차량 탑승인원 고려 가능
정류장 접근시간	△	대중교통 이동성 지표 활용
지역 간 통행특성	○	정류장 위치자료 및 대중교통카드

○: 현재 도출 가능, △: 향후 도출 가능

2) 표식

본 연구의 지표의 모형화를 위해 사용한 표식은 다음과 같다.

m : 이용 수단

n : 이용 노선

k : 이용 노선상의 환승 지점

$U_{i,j}^m$: m 수단을 이용한 i 지점에서 j 지점까지의 통행 속도

$T_{i,j}^m$: m 수단을 이용한 i 지점에서 j 지점까지의 통행 시간

$D_{i,j}^m$: m 수단을 이용한 i 지점에서 j 지점까지의 통행 거리

$UT_{i,j,k}^m$: i 지점에서 j 지점까지의 n 노선상의 k 지점에서의 승차시간

$DT_{i,j,k}^m$: i 지점에서 j 지점까지의 n 노선상의 k 지점에서 하차시간

$WT_{i,j}^m$: i 지점에서 j 지점까지의 n 노선상의 총 환승 시간

$TWT_{i,j}$: i 지점에서 j 지점까지의 모든 노선상의 총 환승 시간

$AWT_{i,j}$: i 지점에서 j 지점까지의 모든 노선상의 평균 환승 시간

$S_{i,j}$: i 지점에서 j 지점까지의 통행 표본수

$U_{i,j}^m$: m 수단을 이용한 I 지역에서 J 지역까지의 통행 속도

$T_{i,j}^m$: m 수단을 이용한 I 지역에서 J 지역까지의 통행 시간

$D_{i,j}^m$: m 수단을 이용한 I 지역에서 J 지역까지의 통행 거리

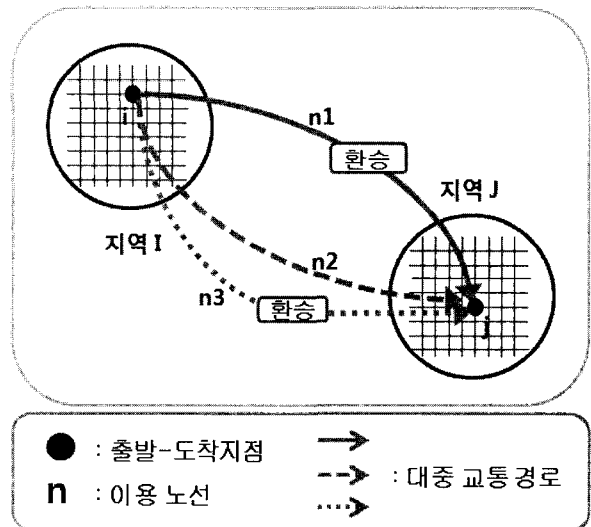
$TWT_{i,j}$: I 지역에서 J 지역까지의 모든 노선상의 총 환승 시간

$AWT_{i,j}$: I 지역에서 J 지역까지의 모든 노선상의 평균 환승 시간

$S_{i,j}$: I 지역에서 J 지역까지의 통행 표본수

3) 개별 서비스 평가 지표

본 연구에서 개별 서비스 평가 지표 중 대중교통 카드로부터 직접적으로 도출가능하지 못하는 개별 서비스 평가 지표에 대한 산출식을 제안하도록 한다.



<그림 2> 지역 간 개별 서비스 평가 지표

(1) 평균 통행속도

본 연구에서 적용할 지표 중 평균 통행속도 산출을 위한 수식은 식 (1)과 같다.

$$U_{i,j}^m = \frac{D_{i,j}^m}{T_{i,j}^m} \quad (1)$$

개별 서비스 평가를 위한 평균 통행속도는 각 수단 별 이동시간과 정류장(버스, 지하철) 좌표 혹은 기존 정류장 간 거리를 통해 산출할 수 있다.

(2) 환승 시간

본 연구에서 적용할 지표 중 총 환승 시간 및 평균 환승 시간 산출을 위한 수식 식 (2), 식 (3), 식 (4)와 같다.

$$WT_{i,j}^n = \sum_k (UT_{i,j,k}^m - DT_{i,j,k}^m) \quad (2)$$

$$TWT_{i,j} = \sum_k WT_{i,j}^n \quad (3)$$

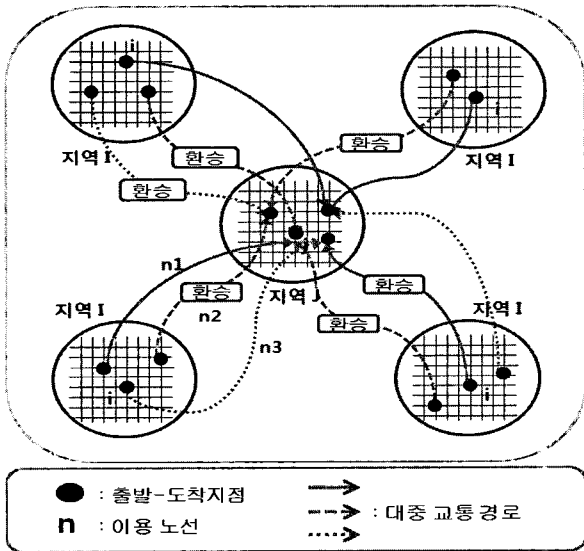
$$AWT_{i,j} = \frac{TWT_{i,j}}{S_{i,j}} \quad (4)$$

총 환승 시간은 두 지점(i, j)을 운행하는 대중교통의 노선(n) 상에 있는 환승 지점(k)에서의 승차 시간(UT_{i,j,k}^m)과 하차 시간(DT_{i,j,k}^m)의 차이와 이들 두 지점을 운행하는 모든 노선의 환승 시간을 합하여 산출할 수 있다.

또한, 평균 환승 시간은 총 환승 시간을 대중교통 카드로부터 얻어진 두 지점 간 표본수(S_{i,j})를 통해 도출될 수 있다.

4) 지역 서비스 평가 지표

본 연구에서 제안하는 지역 간 서비스 평가 지표는 지역의 접근성과 이동성을 평가하는데 활용될 수 있으며, 이는 해당 지역의 접근성, 형평성 및 이동성을 평가하는 데에도 활용될 수 있다고 본다.



<그림 3> 지역 간 지역 서비스 평가 지표

(1) 평균 통행속도

지역 간 대중교통 서비스 평가를 위해 지역 단위의 대중교

통 평균 통행속도를 평가 지표로 활용한다.

$$U_{I,J}^m = \frac{\sum_i \sum_j D_{i,j}^m}{\sum_i \sum_j T_{i,j}^m} \quad \forall i, j; i \in I, j \in J \quad (5)$$

지역 간 평균통행속도는 두 지역 간(I, J)을 이동하는 모든 노선의 총 이동 시간과 총 이동 거리(정류장 간 거리)를 통해 도출 가능하다.

(2) 환승 시간

지역 서비스 평가 지표 중 총 환승 시간과 평균 환승 시간 산출을 위한 수식은 식 (6), 식 (7)과 같다.

$$TWT_{I,J} = \sum_i \sum_j TWT_{i,j} \quad \forall i, j; i \in I, j \in J \quad (6)$$

$$AWT_{I,J} = \frac{TWT_{I,J}}{S_{I,J}} \quad \forall i, j; i \in I, j \in J \quad (7)$$

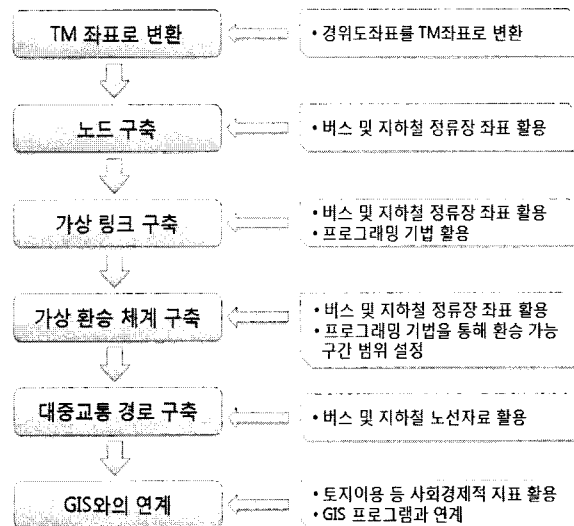
총 환승 시간은 지점 간 개별 총 환승 시간의 합으로 구해지며, 평균 환승 시간은 두 지역을 운행하는 노선의 표본수(S_{I,J})를 통해 도출할 수 있다.

2. 정류장 기반 네트워크 구축

대중교통 카드 자료로 지역 간 대중교통 서비스 평가가 가능해짐에 따라 대중교통 분석 시 기존의 행정동 기반의 O/D와 네트워크는 한계를 보인다. 이에 정류장 위치 좌표와 대중교통 노선자료를 기반으로 한 정류장 기반 대중교통 네트워크 구축 방안에 대한 상(像)을 제안하도록 한다.

1) 구축방법론

대중교통 서비스 평가 체계 구축을 위한 네트워크는 자료의 특성상 버스와 지하철만을 대상으로 하며, 이에 대한 구축 과정은 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 정류장 기반 네트워크 구축 방법

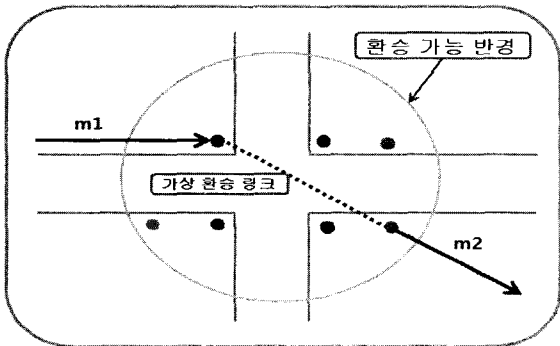
기존 버스 및 지하철 정류장의 좌표는 경위도체계로 되어 있기 때문에 이를 거리계산이 가능한 TM(Transverse Mercator) 좌표로 변환할 필요성이 있다. TM좌표로 변환된 정류장 좌표로 노드를 구축하고 프로그래밍 기법을 활용하여 가상으로 링크와 환승체계를 구축한다. 끝으로 이렇게 구성된 네트워크상에 대중교통 노선자료를 활용하여 대중교통 경로를 구축하도록 한다.

2) 가상 링크 및 환승 체계 구축

본 연구에서 제안한 대중교통 서비스 평가를 위한 네트워크 구축 방법의 핵심은 프로그래밍 기법을 통한 가상 링크 및 환승 체계 구축에 있다고 하겠다.

컴퓨터 프로그래밍 언어를 이용하여 버스 및 지하철 정류장 좌표를 이용한 각 정류장 간 가상 링크를 구성할 수 있다. 또한, 이렇게 구성된 노드와 가상 링크를 기반으로 수단 간 환승이 이루어지는 정류장 및 일정거리(예, 500m) 이내의 정류장을 환승 가능 지역으로 표현하여 가상 환승 체계를 구축할 수 있다.

이를 개념적으로 도시화하면 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 가상 링크 및 환승 체계

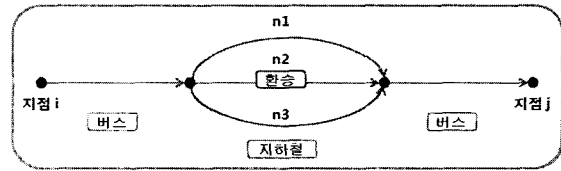
3) 지리정보시스템과의 연계

버스 및 지하철 정류장으로 구축된 노드와 가상 링크, 가상 환승 체계를 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System)과 연계하여 프로그래밍 언어를 통한 대중교통 서비스 평가 방안을 구축한다.

GIS를 활용하게 되면 토지이용이나 지역별 인구수와 같은 다양한 사회·경제적 지표를 정류장 기반 네트워크와 함께 활용할 수 있게 된다. 그러므로 수도권 통합요금제 실시 후 달라진 통행자들의 패턴 분석 등이 가능하게 된다.

3. 지하철 행태 모형

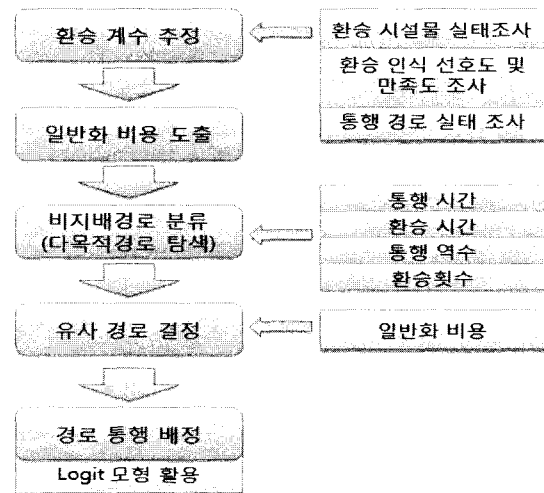
대중교통 카드 이용 자료는 지하철 이용 자료를 포함하기는 하지만, 지하철 통행 중 발생하는 이용 경로 및 지하철 내부 환승에 대한 자료는 획득하기 어렵다. 따라서 지하철 내부 환승과 이용 경로에 대한 자료를 얻기 위해서는 가상의 경로를 구축하는 방안이 강구되어야 한다.



<그림 6> 지하철 통행 경로

1) 구축방법론

본 연구에서는 지하철 행태 모형에 대한 개략적인 상(像)을 <그림 7>과 같이 제시해 보도록 한다.



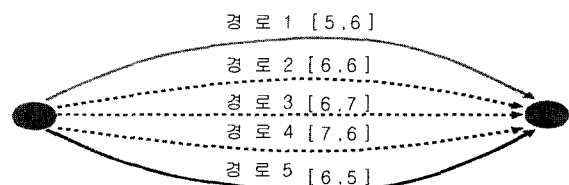
<그림 7> 지하철 행태 모형 구축 방법

지하철 경로 구축을 위한 지하철 행태 모형은 SP(Stated Preference) 조사와 Logit 모형을 기반으로 이루어지며 이에 대한 본격적인 논의는 본 연구에서는 향후 연구과제로 남겨 두도록 한다.

2) 비지배경로 정의

• 정의 1: 두 경로 $P_1(t), P_2(t)$ 가 시간 종속적 가능 경로 집합에 있고, n 개 속성값 $(u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_n)$ 에서 어떤 i 개별속성 $(\mu_i \in u_i)$ 에 대하여 $P_1(t), P_2(t)$ 의 개별속성 $\mu_{P_1(t)}^i, \mu_{P_2(t)}^i$ 이 $\mu_{P_1(t)}^i \leq \mu_{P_2(t)}^i$ 가 모든 속성 $(i=1,2,3,\dots,n)$ 에서 성립한다면 $P_1(t)$ 은 $P_2(t)$ 를 지배(Dominated)한다고 정의

• 정의 2: 경로 $P(t)$ 가 시간 종속적 가능 경로 집합에 포함되고, 다른 어떤 경로도 $P(t)$ 를 지배하는 경로가 존재하지 않으면 경로 $P(t)$ 는 비지배경로로 정의



<그림 8> 비지배경로 정의

2개 노드와 5개 경로의 경우로 예를 들면 출발지 0에서 도착지 1을 연결하는 경로가 총 5개 존재하고 (정의1)과 (정의2)를 만족하는 비지배경로는 [5,6], [6,5]의 속성(통행비용, 환승시간)을 갖는 1번과 5번 경로이다. 여기서 비지배경로이외의 나머지 3개 경로의 속성 값은 [6,6], [6,7], [7,6]으로 이미 탐색된 두 개의 비지배경로와 유사한 속성 값을 나타내고 있으나, 비지배경로에는 포함되지 않는다.

V. 사례 연구

앞서 제안한 지역 간 대중교통 서비스 평가 체계 구축 방법론의 활용 가능성을 검증하고자 사례 연구를 실시하도록 한다.

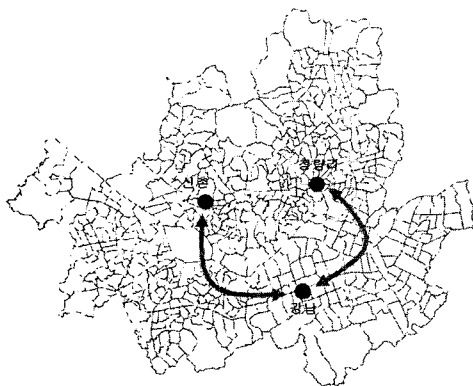
본 사례 연구는 평가 체계 중 개략적인 상(像)을 제안했던 지하철 형태 모형을 제외한 대중교통 서비스 평가 지표와 정류장 기반 네트워크 구축을 위주로 실시하도록 한다.

1. 개별 서비스 평가 지표

1) 분석 자료 및 대상 지역

분석 자료로는 아직 대중교통 카드의 시행이 전국적이지 못하고, 전국 단위의 전수화된 대중교통 카드 자료의 확보가 용이하지 못한 관계로 2006년 10월 31일의 서울시 대중교통 카드 자료(Smart Card Data)를 이용하도록 한다.

또한, 사례 분석을 위해 유동 인구가 많으며, 통행 대중교통 노선이 비교적 많고, 거리가 비슷한 서울시의 지점 쌍(신촌-강남, 청량리-강남)을 선정한다. 개별 서비스 평가 지표의 사례 분석이므로, 분석의 용이성을 위해 지하철역을 중심으로 분석 지점(신촌역, 강남역, 청량리역)을 선정하도록 한다.



<그림 9> 대상 지역

2) 서비스 평가 지표

선정된 지점 쌍의 대중교통 카드 자료를 기반으로 컴퓨터 프로그래밍 언어를 활용하여 서비스 평가 지표를 산출하도록 한다.

(1) 신촌과 강남 간 서비스 평가

대중교통 카드 자료 중 2006년 10월 31일 신촌역과 강남역 간 대중교통 통행 중 총 535개의 표본수를 추출하였다. 분석 결과는 <표 10>과 같다.

<표 10> 신촌-강남 간 서비스 평가 지표

교통수단	데이터	단위	평균값
지하철	통행시간	초	2904.723
	요금	원	896.183
	표본수	수	448
버스	통행시간	초	2357.286
	요금	원	814.8571
	표본수	수	70
복합수단	통행시간	초	3853.765
	요금	원	947.0588
	표본수	수	17
전체	통행시간	초	2863.252
	요금	원	887.1589
	표본수	수	535

분석 결과 지하철의 평균 통행 시간이 버스의 평균 통행 시간보다 약 547초(약 9.11분) 정도 많게 소요되는 것으로 나타났다. 평균 요금 또한 버스가 약 81원 정도 적게 발생되는 것으로 나타났다. 끝으로 신촌역과 강남역을 복합수단(환승)을 이용하여 통행할 경우 통행 시간과 요금 모든 면에서 지하철과 버스만의 단일 수단을 이용하였을 때보다 높게 나타났다.

따라서, 신촌역과 강남역을 통행하는 대중교통 수단 중 통행 시간과 통행 요금 측면에서는 버스의 서비스가 지하철의 서비스보다 비교적 우수하다고 평가할 수 있다고 본다.

(2) 청량리와 강남 간 서비스 평가

신촌과 강남 간 분석과 동일한 방법으로 분석을 실시하도록 한다. 두 지점을 대중교통 통행 중 총 118개의 표본수를 추출하였다.

<표 11> 청량리-강남 간 통행지표 자료

교통수단	데이터	단위	평균값
지하철	통행시간	초	3054.093
	요금	원	876.6667
	표본수	수	54
버스	통행시간	초	2536.963
	요금	원	841.4815
	표본수	수	54
복합수단	통행시간	초	3800.9
	요금	원	1020
	표본수	수	10
전체	통행시간	초	2880.729
	요금	원	872.7119
	표본수	수	118

분석 결과 신촌-강남 간 결과와 유사하게 지하철의 평균 통행 시간이 버스의 평균 통행 시간보다 약 517초(약 8.61분)

정도 높게 나타났으며, 평균 통행 요금의 경우도 지하철이 약 35원 정도 높게 나타났다. 복합수단 이용 시에는 평균 통행 시간과 평균 통행 요금 모든 면에서 단일 수단 이용 시보다 높게 발생되었다.

결국, 청량리역과 강남역을 통행하는 대중교통 수단 중 통행 시간과 통행 요금 측면에서는 앞의 신촌-강남 간 결과와 유사하게 버스의 서비스가 지하철의 서비스보다 비교적 우수한 것으로 나타났다.

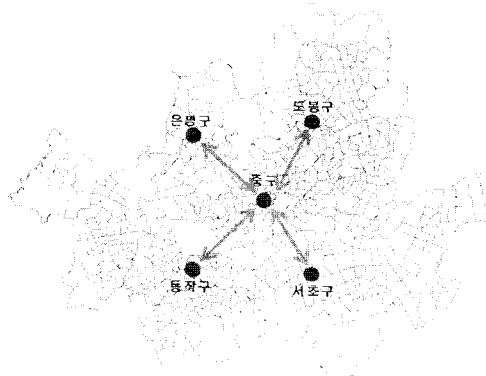
2. 지역 서비스 평가 지표

1) 분석 자료 및 대상 지역

지역 서비스 평가 지표는 지역 간 이동성, 접근성 및 형평성을 평가하는 데 활용할 수 있다. 본 사례 연구에서는 지역 간 거리대가 비슷한 5개의 행정구(은평구, 도봉구, 동작구, 중구, 서초구)를 선정하도록 하며, 분석의 용이성을 위해 단일 통행의 통행 시간만을 산출하도록 한다.

<표 12> 대상 지역

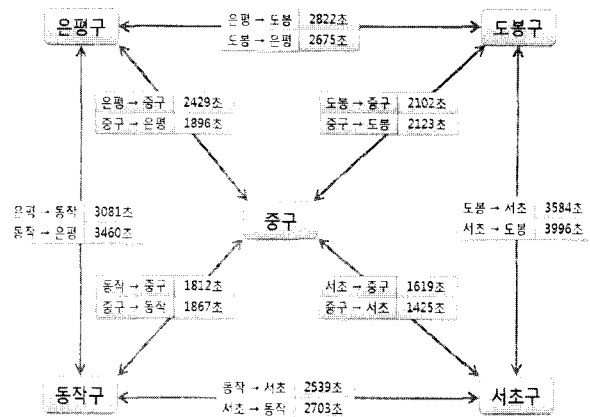
행정구	행정동
은평구	불광1동
	불광2동
	불광3동
도봉구	수유1동
	수유5동
	미아3동
중구	을지로3,4,5가동
	명동
동작구	대방동
	상도1동
	상도2동
	상도3동
서초구	서초1동
	서초2동
	서초4동



<그림 10> 대상 지역

2) 서비스 평가 지표

대중교통 카드 자료 중 2006년 10월 31일 분석 대상 지역 간의 평균 통행 시간(전일)은 <그림 11>과 같다.



<그림 11> 분석 지역 평균 통행 시간

대상 지역 중 중구(서울 중심)로의 접근성은 서초구가 가장 좋은 것(약 27분)으로 나타났으며, 중구에서 각 지역으로의 접근성도 서초구가 가장 좋은 것으로 나타났다.

3. 정류장 기반 네트워크 구축

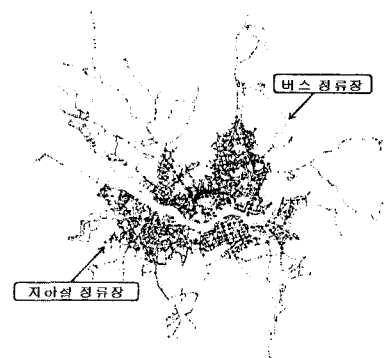
1) 분석 방법 및 대상 지역

앞서 제안한 정류장 기반 네트워크 구축 방법론을 토대로 정류장 위치 좌표 및 대중교통 노선자료를 기반으로 하는 대중교통 네트워크를 구축해보도록 한다. 또한, 지리정보시스템(GIS)과의 연계 가능성을 알아보기 위해 ArcInfo 프로그램을 활용하여 행정동 및 도로시설물과 같은 사회·경제적 지표를 반영해보도록 한다. 분석 대상은 현재 수도권 지역의 정류장 위치 좌표의 확보가 용이하므로 수도권으로 한정하도록 한다.

여기서 실시하는 사례 연구는 아직 가상 링크와 환승 체계를 반영하지 않은 네트워크이며, 향후 이를 반영한 사례 연구를 실시하도록 한다.

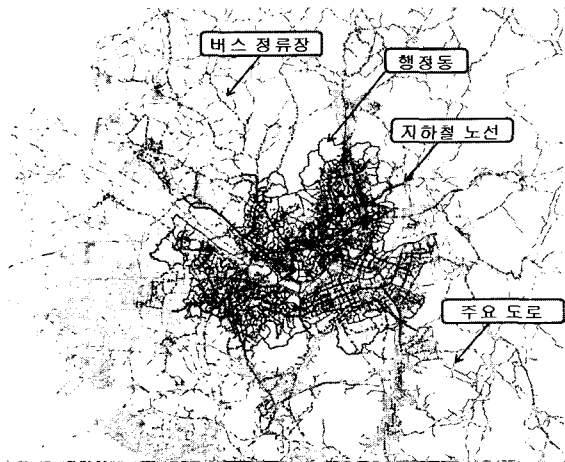
2) 정류장 기반 네트워크

제안한 네트워크 구축방법에 따라 정류장 좌표를 도식화하면 <그림 9>와 같다.

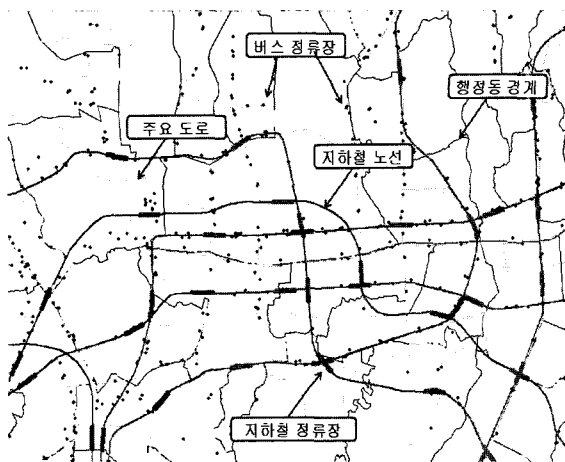


<그림 12> 버스 및 지하철 정류장

지리정보체계를 활용을 위해 행정동, 주요 도로 및 지하철 노선과 함께 네트워크를 구축하면 <그림 10>, <그림 11>과 같다.



<그림 13> 정류장 기반 네트워크



<그림 14> 정류장 기반 네트워크

위와 같이 구축된 네트워크에 컴퓨터 프로그래밍 기법을 활용하여 가상 링크 및 환승 체계를 구축하면 정류장 기반 네트워크 구축이 가능하게 된다.

VI. 결론 및 향후 과제

본 연구는 대중교통 카드 자료를 이용하여 지역 간 대중교통 서비스 평가 체계를 구축하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 먼저 범지역적으로 활용 가능한 대중교통 서비스 평가 지표를 제안하였고, 정류장 기반 네트워크 구축 방안을 제시하였다. 또한, 지하철 통행 중 발생하는 이용 경로 및 지하철 내부 환승 파악을 위한 지하철 행태 모형의 상(像)을 제안하였다.

대중교통 서비스 평가 지표는 개별 서비스 평가 지표와 지역 서비스 평가 지표로 구분하여 제안하였으며, 정류장 기반 네트워크는 정류장 위치 좌표 및 대중교통 노선 자료, 지리정보를 활용하는 방향으로 구축 방법론을 제시하였다.

또한, 이렇게 제안된 평가 방법 중 사례 연구를 통해 지역 간 대중교통 서비스 평가를 일부 실시하였으며, 가상 링크 및 환승 체계를 제외한 정류장 기반 네트워크 구축을 실시하였다.

이런 결과 이외에 본 연구에서는 여러 아쉬운 점을 지니고 있는데, 첫째, 제안된 지역 간 대중교통 서비스 지표는 각 지표 간 중요도를 반영하지 못하고 있다. 실제 이용자는 지표의 경중에 따라 이용 수단을 선택할 확률이 높는데 제안된 지표는 이를 표현하는데 한계가 있다. 따라서 이는 각 지표들 사이에 가중치를 두어 일반화 비용으로 전환하여 지역 간 대중교통의 서비스를 평가하는 방안을 생각해 볼 수 있다. 둘째, 본 연구에서는 정류장 기반 네트워크와 대중교통카드 자료를 지리정보체계와 연계하여 대중교통의 서비스를 평가하는 방안을 제안하였다. 향후 이를 통행배정 모형과 결합하여 환승 센터 입지 선정, 대중교통 노선 효율성 평가와 같은 연구가 필요하다고 하겠다. 셋째, 앞서 개략적인 상(像)으로만 제안했던 지하철 행태 모형에 관한 연구가 수행되어야 하겠다. 끝으로 본 연구에서 제안한 정류장 기반 네트워크를 승용차 및 택시가 함께 고려되어질 수 있는 통합 교통망 차원으로 확대할 필요성이 있으며, 이를 기반으로 대중교통, 승용차 및 택시의 서비스가 함께 평가되어질 수 있는 평가체계에 관한 연구가 필요하다고 하겠다.

참고 문헌

1. 서울시정개발연구원, 서울시 시내버스 노선조정 방안 연구, 1994.
2. 서울시정개발연구원, 시내버스노선의 합리적 조정방안, 1995.
3. 서울시정개발연구원, 제2기 지하철 전면개통에 따른 시내버스 노선체계 개편구상, 2000.
4. 서울시정개발연구원, 도로교통망의 이동성 분석지표 개발, 2003.
5. 국토연구원, 지속가능한 이동성 연구, 2002.
6. 이상용, 박경아, "시내버스노선체계 평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용", 대한교통학회지, 제21권 제4호, 2003.
7. 안형준, "정류장 기반 대중교통 O/D 및 네트워크 구축과 활용방안에 관한 연구", 서울대학교, 석사학위논문.
8. 노현수 외, "대중교통망 이동성지표 개발(네트워크 분석을 중심으로)", 대한교통학회지, 제23권 제8호, 2005.
9. 신성일 외, "수도권 도시철도 수입금 정산 분석 모형", 대한교통학회지, 제23권 제5호, 2005.
10. 김동준 외, "세계주요도시의 대중교통 경쟁력 비교", 대한교통학회지, 제24권 제4호, 2006.
11. 한국교통연구원, 대중교통정책수립을 위한 교통카드자료 활용방안, 2006.
12. Chicago Transit Authority, CTA(Chicago Transit Authority) Service Standards, 2001.
13. Florida DOT, Florida's Mobility Performance Measures System, 2000.
14. TRB, A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement System, TCRP Report 88, 2001.
15. TRB, Transit Capacity and Quality of Service Manual, TCRP Report 100, 2001.