시정연 2007-R-09

교통카드 Data를 활용한 대중교통 평가체계 구축 방안

[신성일]

서울시정개발연구원
SEOUL DEVELOPMENT INSTITUTE

시 정 연
2007-R-09

교통카드 Data를 활용한 대중교통 평가체계 구축 방안

Integrated Transit Service Evaluation Methodologies Using Transportation Card Data

2007

서울시정개발연구원
Seoul Development Institute

연 구 진

연구책임	신 성 일	• 도시교통연구부 연구위원
연 구 원	조 용 찬	• 도시교통연구부 연구원
	이 창 주	• 도시교통연구부 연구원
자문위원	김 찬 성	• 한국교통연구원
	김 형 철	• 경원대학교
	이 수 진	• 서울특별시
	정 희 돈	• 교통안전공단
	황 기 연	• 홍익대학교

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

요약 및 정책건의

Ⅰ. 연구의 개요

1. 연구의 배경 및 목적

○ 2004년 시행된 서울시 대중교통체계 개편으로 대중교통 이용객들의 통행 패턴에 변화가 발생되었으며 이러한 제도 시행이 대중교통 서비스에 미친 영향을 파악화는 것이 필요함

○ 서울시를 중심으로 한 통합거리비례 요금제가 2007년 7월 수도권으로 확대 시행됨에 따라 수도권 대중교통 이용객의 경로나 수단 선택 및 대중교통 서비스 변화에 크게 기여한 것으로 판단됨

○ 통합거리비례 요금제 및 무료 환승제도의 시행에 따라 요금 지불수단의 첨단화 필요성이 대두되었으며 개인의 통행 및 환승정보를 포함하는 대중교통 카드가 도입됨

○ 본 연구는 서울시 대중교통카드 정보를 활용하여 대중교통체계 개편 이후 대중교통 평가체계 구축을 위한 방안 모색을 목적으로 하며, 본 연구에서 제안한 대중교통 평가체계 구축방안과 평가 모형이 장래 수도권 통합 대중교통 서비스 평가에도 활용될 수 있도록 함

2. 연구 내용

■ 기존 대중교통 평가체계 고찰

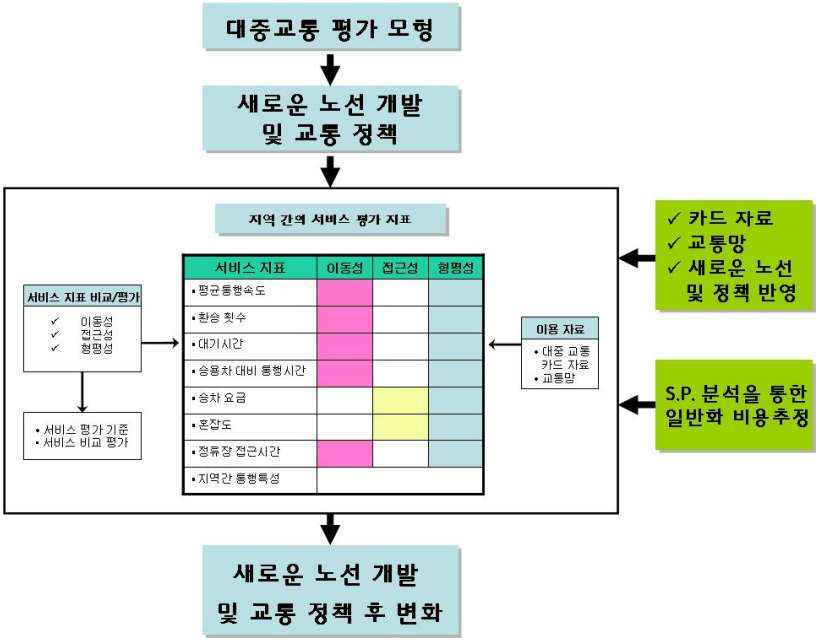
○ 기존 국내·외 대중교통 평가는 대부분 설문에 의한 샘플데이터를 기반으로 수행되고 이용자 측면 지표 중 대부분 통행시간만을 이슈화 하고

있으며 개별 대중교통 노선 또는 개별 지역의 대중교통 서비스 에 국한된 연구가 대다수임

○ 현재 대중교통 카드시스템 도입으로 대중교통 이용자 및 수단의 전수 화된 실측자료 획득이 가능해졌으며 이를 기반으로 단일노선 평가뿐만 아니라 통합대중교통망에서의 대중교통평가 실현으로 기존의 한계를 극복할 수 있는 대안이 마련됨

■ 대중교통 서비스평가 지표 및 모형 제안

○ 본 연구에서는 대중교통 이용에 대한 지역 간 평가지표를 제시하고 카드 이용자의 통행이 상세하게 추적이 가능하도록 대중교통 평가모형을 제안함



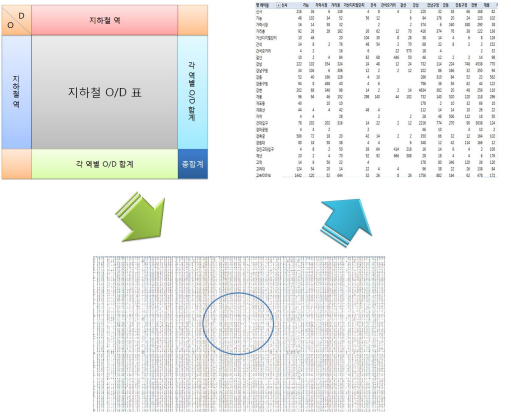
<그림 1> 대중교통 평가지표 및 모형의 상

○ 지역 간 대중교통 서비스 평가를 위한 기초자료는 대중교통카드 자료에 의해 수집되며 분석을 위한 기본 네트워크는 환승체계가 반영된 정류장 기반으로 지리정보시스템(GIS: Geographic Information System)과 연계하여 구축가능성을 제시함

○ 본 연구에서는 통합대중교통 평가 및 분석을 수행하기 위해 통행시간, 환승시간, 통행 역 수 등과 같은 다목적 속성을 고려하면서 개개인의 선택 가능한 경로를 도출 할 수 있는 다목적 경로를 포함한 유사경로 결정방법 및 링크기반 통행배정 모형의 단점을 극복할 수 있는 Column Generation 개념에 근거한 경로기반 통행배정 모형을 제안함

■ 교통카드 자료를 활용한 대중교통 O/D 추출

○ 대중교통 카드 자료는 시간대별, 정류장 ID별 및 이용 수단 별로 통행자료 추출이 가능함

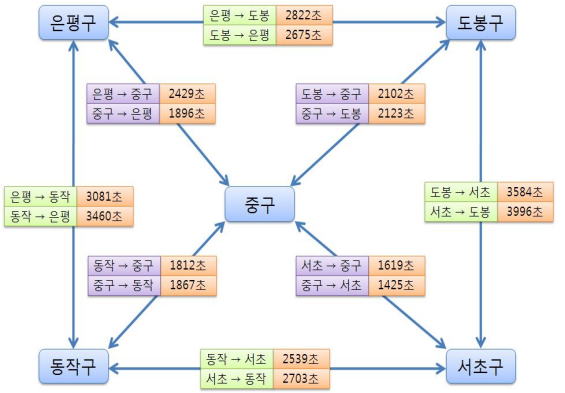


<그림 2> 지하철 역간 O/D 구축

■ 대중교통 서비스 평가지표를 활용한 지역간 대중교통 서비스 평가

○ 앞서 제시된 대중교통 평가지표를 활용하여 서울시 지역간 대중교통 서비스를 평가하였으며 평가 대상지역은 지역간 거리대가 유사한 5개 행

정구를 선정하였음. 분석의 용이성을 위해 대중교통 서비스 평가지표는 단일통행시간만을 산출하였음

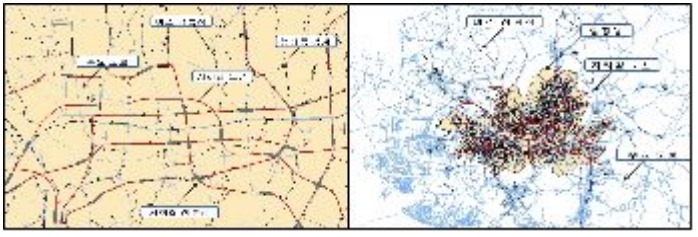


<그림 3> 분석 지역 평균 통행 시간

○ 분석결과 중구(서울 중심)로의 지역간 대중교통 이동성은 서초구에서 가장 높게 나타났으며, 중구에서 각 지역으로의 이동성도 서초구가 가장 높은 것으로 나타났음

■ 정류장 기반 네트워크 구축

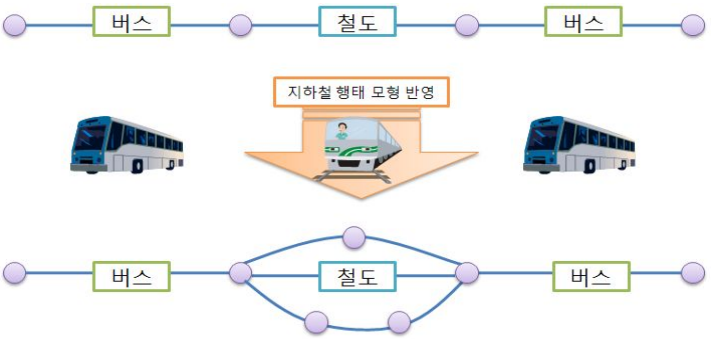
○ 정류장 위치좌표 및 대중교통 노선자료를 기반으로 하는 대중교통 네트워크를 구축하였으며 지리정보시스템(GIS)과 연계하여 행정동, 주도로 및 지하철 노선과 함께 네트워크를 구축함



<그림 4> 정류장 기반 네트워크

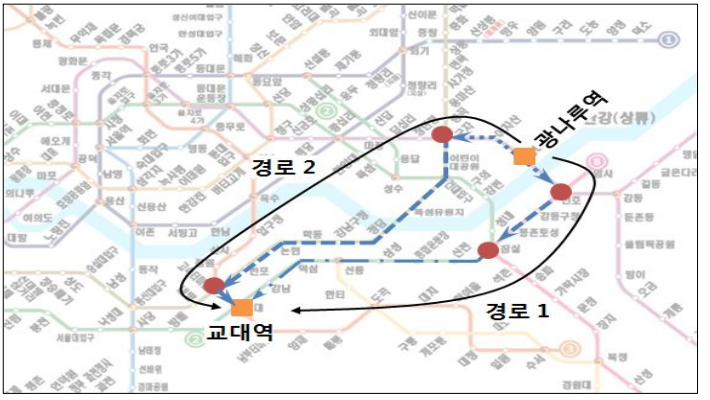
■ 지하철 행태모형 반영

○ 대중교통 카드정보를 이용한 대중교통 O/D 특성상 철도내 환승정보가 포함되어 있지 않기 때문에 일반화비용에 근거한 유사경로 탐색 알고리즘을 적용하여 철도내 통행경로를 산출함



<그림 5> 지하철 행태 모형 반영

○ 환승이 포함된 경로를 포함하는 역쌍중에서 광나루역(2547)과 교대역(330)을 선정하여 다수경로(유사경로)를 탐색한 결과와 역간 통행수요(일평균 1.9인)를 배정한 결과는 다음과 같음



<그림 6> 탐색된 다수경로

<표 1> 다수경로(유사경로) 탐색 결과

경로	비용 (분)	선택 확률(%)	통행량 (인)	이용노선 운영기관	통행 경로	이용 Km	인·Km
1th	26.3	51.6	0.98	도시철도	광나루-천호	2.0	1.960
				도시철도	천호-잠실	3.3	3.234
				서울메트로	잠실-교대	7.9	7.742
2th	27.0	48.4	0.92	도시철도	광나루-군자	2.5	2.300
				도시철도	군자-고속터미널	9.7	8.924
				서울메트로	고속터미널-교대	1.6	1.472

■ 일반화비용 식 추정

○ 대중교통 이용자는 경로 선택시 비용이 가장 적은 경로를 선택하려는 경향이 있으며 이 비용을 일반화비용이라고 함.

$$C = IVTT + \alpha(\beta_1 \text{환승접근} + \beta_2 \text{환승대기}) \qquad \text{식 (5-1)}$$

여기서,

C : 일반화비용
$IVTT$: 차내시간
α : 환승 횟수에 대한 계수
β_1, β_2 : 환승접근 및 환승대기시간에 대한 가중치

○ 본 연구에서 선호의식(SP) 조사를 기반으로 일반화비용 식을 추정한 결과는 다음과 같음

<표 2> 분석 결과

구분	계수 값(α)	표본수	결정계수	유의한 F	P-값
환승1회	0.537	20	0.864	2.06 E-9	1.13 E-9
환승2회	1.179	20	0.954	1.04 E-13	3.44 E-14
환승3회	1.888	20	0.923	1.15 E-11	4.87 E-12

<표 3> 일반화비용

통행 거리	일반화 비용
단거리 통행	$C = IVTT + 0.537(4.475 * 환승접근 + 3.71 * 환승대기)$
중거리 통행	$C = IVTT + 1.179(4.475 * 환승접근 + 3.71 * 환승대기)$
장거리 통행	$C = IVTT + 1.888(4.475 * 환승접근 + 3.71 * 환승대기)$

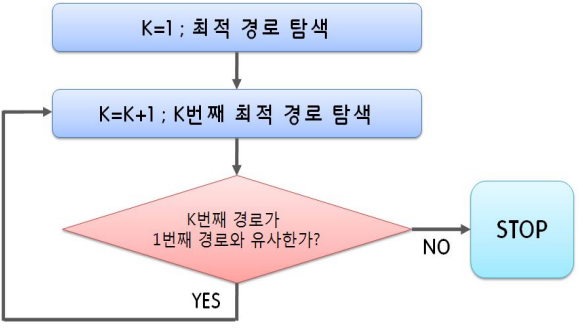
○ 분석 결과, 단거리 통행 시 α =0.537, 중거리 통행 시 α =1.179, 장거리 통행 시 α =1.888로 추정되었으며 각각의 계수는 통계적으로 유의한 것으로 나타나 통행의 특성을 잘 설명하는 것으로 판단됨

■ 유사통행경로 결정

○ 대중교통 승객은 자신이 통행하는 경로에 대해 몇 가지 대안 경로를 가지고 있으며 환승역이 존재하기 때문에 서울시 대중교통 통행은 단일경로로 통행행태를 표현할 수 없기 때문에 이를 해결하기 위해서는 대등한 서비스를 제공하는 다수의 유사통행경로를 파악해야 함

○ 유사통행경로를 결정하는 기준으로 일반화비용을 사용하며 최적경로의 일반화비용 대비 다른 경로의 일반화비용 차이가 몇 %내에 포함되는 경로로 나타낼 수 있음

○ 유사통행경로를 탐색하는 알고리즘은 다음과 같음



<그림 7> 유사통행경로 결정방안 프로세스

○ 유사통행경로를 탐색하는 프로세스에 본 연구는 링크기반 노드 비루프 다수경로 탐색알고리즘을 적용함

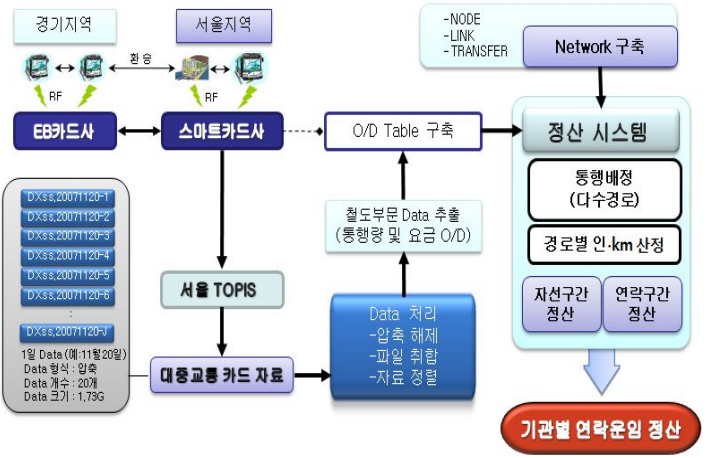
■ 유사통행경로 방안 검증

○ SP 조사를 통해 구축된 일반화비용을 토대로 유사통행경로 방안을 검증함. SP조사를 통해 2,919개의 지하철 통행경로에 대한 실태를 조사·분석한 결과 1회 이상 환승의 경우 2,913개, 2회 이상은 360개, 3회 이상은 20개 통행으로 나타남

○ 조사를 통해 나타난 대중교통 이용자의 통행경로와 알고리즘에 의해 탐색된 유사경로가 동일한 것으로 나타나 유사통행경로 방안이 실제 통행행태를 반영하는 것으로 판단됨

■ 수도권 철도 운영기관 간 수입금 정산사례

○ 수도권 통합환승할인제 시행 이후 대중교통 운영기관 간 수입금정산문제가 발생함에 따라 교통카드 자료와 대중교통 평가모형을 적용하여 수도권 철도 운영기관 간 수입금 정산 사례분석을 수행함



<그림 8> 본 사례에서의 수도권 도시철도 수입금 정산 과정

○ 본 연구의 사례분석에서는 각 기관별 출발 인원의 상위 10개 역을 대상으로 수입금 정산 사례 분석을 수행함

<표 2> 기관별 분석대상 역

서울메트로	한국철도공사	서울도시철도	인천지하철
222 강남	1711 성균관대	2518 화곡	3126 인천터미널
214 강변	1713 수원	2519 까치산	3116 작전
216 잠실	1716 병점	2521 목동	3131 동막
219 삼성	1804 부천	2522 오목교	3123 간석오거리
226 사당	1805 송내	2527 여의도	3120 부평
221 역삼	1806 부평	2534 광화문	3119 부평시장
228 서울대입구	1808 동암	2722 상봉	3132 동막
232 구로디지털	1809 주안	2747 남구로	3114 계산
220 선릉	1855 서현	2748 가산디지털	3117 갈산
230 대림	1859 오리	2750 광명사거리	3130 원인재

<표 3> 기관 간 정산 금액

(단위 : 원/일)

기관 간 정산 금액	받을 금액	서울메트로	한국철도공사	서울도시철도	인천지하철
지급금액	0	−344,497	−434,234	854,644	−75,914
서울메트로	344,497	0	−149,119	492,135	1,481
한국철도공사	434,234	149,119	0	362,584	−77,469
서울도시철도	−854,644	−492,135	−362,584	0	75
인천지하철	75,914	−1,481	77,469	−75	0

○ 사례분석 결과는 RF카드 자료를 이용하여 철도기관의 운영수입을 계산할 수 있으며 최근 문제시 되고 있는 운영기관의 수입금 정산문제에 활용할 수 있음을 예시함

■ 연구 결론

○ 본 연구는 서울시 대중교통체계 개편 이후 대중교통 서비스 평가에 활용할 수 있는 방안 및 대중교통 평가모형을 제안하였으며 이렇게 제안된 방안은 실시간적으로 제공되는 대중교통 카드자료를 충분히 활용하여

대중교통 서비스를 평가할 수 있도록 제안함

○ 본 연구에서 제안한 대중교통 평가모형은 기존의 여러 한계점을 지니고 있던 링크기반 대중교통 평가모형을 실제 이용 가능한 환승을 포함한 모든 대중교통 수단의 궤적을 추적 가능하도록 경로기반의 대중교통 평가모형으로 제안함

○ 이러한 대중교통 평가모형은 향후 전개될 통합대중교통 시대에 적합하며 대중교통 카드자료와 더불어 대중교통 서비스 평가에 기여할 것으로 판단됨

II. 정책건의

1. 전국단위 대중교통 카드의 단일화 및 통일화 작업이 시행될 예정으로 전국단위 개인 대중교통 이용정보의 습득 및 대중교통 평가가 가능해질 것으로 판단됨. 본 연구의 시작으로 서울시와 수도권의 교통수요예측 및 대중교통 평가모형에 관한 연구 및 개발이 필요함

2. 본 연구에서 제안한 정류장 기반 네트워크, 경로기반 통행배정모형 및 대중교통 카드 자료를 지리정보체계와 결합하여 환승센터 입지선정 및 대중교통 노선의 효율성 평가에 관한 연구로 확장이 필요함

3. 본 연구에서 구축한 복합대중교통망에 근거하여 지역간 대중교통의 이동성, 접근성, 형평성 평가가 가능해졌으므로 제시된 평가체계는 대중교통 사각지대의 판단, 대중교통 노선의 신설 및 폐지, 신교통수단의 도입, 수요관리를 위한 대중교통정책수행을 위한 평가모형으로 활용될 필요가 있음

목 차

제Ⅰ장 서 론 ····· 3

제1절 연구의 배경 및 목적 ····· 3

1. 연구의 배경 ····· 3

2. 연구의 목적 ····· 4

제2절 연구의 범위 및 절차 ····· 4

1. 연구의 범위 ····· 4

2. 연구의 절차 ····· 4

제Ⅱ장 서울시 대중교통 체계 현황 ····· 9

제1절 서울시 대중교통 체계 개편 ····· 9

1. 버스 노선 체계 개편 ····· 9

2. 버스전용차로 ····· 11

3. 과학적인 운행관리 ····· 13

4. 버스의 고급화 ····· 14

5. 대중교통 환승센터 ····· 15

6. 운영체제 개편 ····· 16

7. 첨단교통카드 ····· 18

8. 합리적인 요금체계 (2007년 4월 1일 이전) ····· 19

제2절 수도권 대중교통시스템 통합 ····· 22

1. 수도권 버스ㆍ전철 환승요금 폐지 ····· 22

2. 광역 심야버스 운행시간 연장 및 노선 다변화 ····· 23

3. 수도권 통합 요금제 ····· 24

제3절 서울시 대중교통 여건변화 ····· 26

1. 대중교통체계 개편에 따른 통행실태변화 ····· 26

2. 철도건설계획 ····· 30

제Ⅲ장 기존 대중교통 평가체계 ····· 37
제1절 대중교통 평가지표 고찰 ····· 37
1. 국내 대중교통 평가지표 연구 ····· 37
2. 국외 대중교통 이동성 관련 지표 ····· 41
제2절 대중교통 평가 모형 고찰 ····· 51
1. 대중교통 통행배정모형 ····· 51
2. EMME/2와 TransCAD 대중교통 통행배정 모형 ····· 54
제3절 시사점 ····· 58
1. 국내·외 평가지표 고찰에 대한 시사점 ····· 58
2. 평가모형 고찰에 대한 시사점 ····· 60

제Ⅳ장 대중교통 평가모형 개발 ····· 63
제1절 평가 지표 및 모형의 상 ····· 63
1. 평가 지표의 상 ····· 63
2. 평가 모형의 상 ····· 64
제2절 지역 간 서비스 평가 방안 ····· 66
1. 대중교통 카드 자료 ····· 66
2. 대중교통 카드 자료를 활용한 O/D ····· 69
3. 대중교통 서비스 평가 지표 구축 ····· 70
4. 정류장 기반 네트워크 구축 ····· 75
5. 지하철 행태 모형 ····· 78
제3절 통합 대중교통 평가모형 ····· 80
1. 개요 ····· 80
2. 일반화 비용 ····· 80
3. 유사통행경로 결정 방법 ····· 82

4. 경로기반 통행배정 모형 ····· 86

제Ⅴ장 사례 연구 ····· 97
제1절 정류장 간 O/D 구축 ····· 97
제2절 지역 간 서비스 평가 ····· 99
1. 개별 서비스 평가 지표 ····· 99
2. 지역 서비스 평가 지표 ····· 102
3. 정류장 기반 네트워크 구축 ····· 103
4. 지리정보시스템과의 연계 ····· 109
제3절 대중교통 평가모형 적용 ····· 112
1. 일반화 비용 ····· 112
2. 유사 통행 경로 방안 검증 ····· 129
제4절 수도권 철도 운영기관 간 수입금 정산 사례 ····· 133
1. 대중교통체계 개편 후 수입금 정산 원칙 ····· 133
2. 수도권 도시철도 수입금 정산 방법론 ····· 136
3. 수도권 도시철도 수입금 정산 알고리즘 ····· 136
4. 수도권 철도 운영기관 간 수입금 정산 ····· 137

제Ⅵ장 결론 및 정책 제안 ····· 149
제1절 결론 ····· 149
제2절 정책 제안 ····· 150

참고문헌 ·····
부록 ·····

표 목 차

<표 Ⅱ-1> 버스노선 부여방법 ····· 10
<표 Ⅱ-2> 축별 버스중앙차로제 설치 개요 ····· 12
<표 Ⅱ-3> BMS단계별 발전계획 ····· 14
<표 Ⅱ-4> 버스고급화 추진방향 ····· 15
<표 Ⅱ-5> 준공영제 운영비 구성 ····· 18
<표 Ⅱ-6> 대중교통 통합요금제 적용 ····· 20
<표 Ⅱ-7> 버스요금 체계 ····· 21
<표 Ⅱ-8> 수도권 대중교통 요금체계 현황 ····· 22
<표 Ⅱ-9> 연도별 추진계획 ····· 22
<표 Ⅱ-10> 연도별 추진계획 ····· 24
<표 Ⅱ-11> 요금적용 대상 ····· 25
<표 Ⅱ-12> 수도권 총통행량 변화 ····· 27
<표 Ⅱ-13> 1995년-2004년 도시철도 호선간 환승통행량 변화 ····· 27
<표 Ⅱ-14> 광역철도망 계획 ····· 31
<표 Ⅱ-15> 수도권 경전철노선 건설계획 ····· 33
<표 Ⅲ-1> 평가지표 설정 ····· 41
<표 Ⅲ-2> 제시된 대중교통 서비스 측정지표 ····· 42
<표 Ⅲ-3> 이동성 지표 ····· 44
<표 Ⅲ-4> 대중교통 이동성 평가지표 프로그램 ····· 47
<표 Ⅲ-5> 도로망에 대한 이동성 평가지표 ····· 48
<표 Ⅲ-6> 버스격자시스템에서의 가이드라인 ····· 49
<표 Ⅲ-7> Passenger Flow 적용기준 ····· 50
<표 Ⅲ-8> 국내 연구 사례 ····· 58
<표 Ⅲ-9> 해외 연구 사례 ····· 59

<표 Ⅳ-1> 교통카드자료에서 획득 가능한 지표 및 획득방법 ····· 63
<표 Ⅳ-2> 교통카드이용자료 활용방안의 장점 ····· 66
<표 Ⅳ-3> 대중교통 카드 자료 ····· 67
<표 Ⅳ-4> 교통수단 ID별 버스 유형 ····· 67
<표 Ⅳ-5> 수집 가능한 교통 지표 ····· 68
<표 Ⅳ-6> 대중교통 카드 자료 예 ····· 69
<표 Ⅳ-7> 대중교통 카드 자료 내용 ····· 69
<표 Ⅳ-8> 대중교통 카드자료의 O/D 특성 ····· 70
<표 Ⅳ-9> 도출/미 도출된 서비스 평가 지표 ····· 70
<표 Ⅴ-1> 지하철 역간 O/D ····· 98
<표 Ⅴ-2> 신촌-강남 간 서비스 평가 지표 ····· 100
<표 Ⅴ-3> 청량리-강남 간 통행지표 자료 ····· 101
<표 Ⅴ-4> 대상 지역 ····· 102
<표 Ⅴ-5> 분석 결과 ····· 114
<표 Ⅴ-6> 일반화비용 ····· 114
<표 Ⅴ-7> 선택 대안 경로 ····· 116
<표 Ⅴ-8> Data 가공 전·후 모습 ····· 119
<표 Ⅴ-9> 정류장 위치 좌표 ····· 121
<표 Ⅴ-10> 그룹화 작업 예시 ····· 122
<표 Ⅴ-11> ID 정렬 예시 ····· 123
<표 Ⅴ-12> 목적 O/D 예시 ····· 123
<표 Ⅴ-13> 선택 대안 경로 자료 수 ····· 125
<표 Ⅴ-14> 환승의 부담정도를 계량화한 선행연구들과의 비교 ····· 127
<표 Ⅴ-15> 환승 부담정도를 계량화한 선행연구들과의 비교 ····· 127
<표 Ⅴ-16> 모형의 추정결과 ····· 128
<표 Ⅴ-17> 선택 대안 ····· 128
<표 Ⅴ-18> 환승역에서 조사된 통행 경로 ····· 130

<표 Ⅴ-19> 알고리즘에 의한 유사경로 및 비지배 경로 ····· 131
<표 Ⅴ-20> RF카드 통행배정결과 ····· 132
<표 Ⅴ-21> 정산배분 예시(2개 수단 이용 시) ····· 134
<표 Ⅴ-22> 정산배분 예시(3개 수단 이용 시) ····· 134
<표 Ⅴ-23> 대중교통 카드로부터 O/D 분석 예시1 ····· 138
<표 Ⅴ-24> 대중교통 카드로부터 O/D 분석 예시2 ····· 138
<표 Ⅴ-25> 수도권 도시철도 O/D 예시 ····· 139
<표 Ⅴ-26> 실제 수입금 및 분석 값 비교 ····· 139
<표 Ⅴ-27> 최적 환승 계수 ····· 140
<표 Ⅴ-28> 환승 도보시간 조사 예 ····· 141
<표 Ⅴ-29> 환승 통행 자료 ····· 141
<표 Ⅴ-30> 시간대별/기관별 통행량 ····· 142
<표 Ⅴ-31> 첨두 비율을 고려한 배차간격 가중평균 ····· 142
<표 Ⅴ-32> 다수경로(유사경로) 탐색 결과 ····· 143
<표 Ⅴ-33> 기관별 분석대상 역 ····· 144
<표 Ⅴ-34> 기관 간 정산 금액 ····· 144

그림목차

<그림 Ⅰ-1> 연구 절차 ····· 5
<그림 Ⅱ-1> 버스유형 변화 ····· 9
<그림 Ⅱ-2> 권역별 버스노선 번호 ····· 10
<그림 Ⅱ-3> 버스중앙차로제 실시 예 ····· 12
<그림 Ⅱ-4> 중앙버스전용차로제 설치계획 ····· 12
<그림 Ⅱ-5> BMS 운영 개요 ····· 13
<그림 Ⅱ-6> 정류소별 버스도착시간 안내 ····· 14
<그림 Ⅱ-7> 환승센터 개념도 ····· 15
<그림 Ⅱ-8> 환승센터 건설방향 ····· 16
<그림 Ⅱ-9> 수도권 환승 개념도 ····· 23
<그림 Ⅱ-10> 요금적용 방식 ····· 25
<그림 Ⅱ-11> 서울시 수단분담율 변화추이 ····· 26
<그림 Ⅱ-12> 대중교통 체계 개편 후 대중교통 이용객 추이 ····· 28
<그림 Ⅱ-13> 대중교통 환승율 추이 ····· 29
<그림 Ⅱ-14> 거리대별 통행비율 ····· 29
<그림 Ⅱ-15> 수도권 광역철도 신설 또는 확장계획 ····· 31
<그림 Ⅱ-16> 수도권 경전철노선 건설계획 ····· 32
<그림 Ⅳ-1> 지역 간 서비스 평가 지표 ····· 64
<그림 Ⅳ-2> 대중교통 평가모형의 상 ····· 65
<그림 Ⅳ-3> 지역 간 개별 서비스 평가 지표 ····· 72
<그림 Ⅳ-4> 지역 간 지역 서비스 평가 지표 ····· 74
<그림 Ⅳ-5> 정류장 기반 네트워크 구축 방법 ····· 76
<그림 Ⅳ-6> 가상 링크 및 환승 체계 ····· 77
<그림 Ⅳ-7> 대중교통 카드자료와 GIS의 연계 ····· 78

<그림 Ⅳ-8> 지하철 통행 경로 ····· 78
<그림 Ⅳ-9> 지하철 행태 모형 구축 방법 ····· 79
<그림 Ⅳ-10> 비지배경로 정의 ····· 83
<그림 Ⅳ-11> 유사통행경로 결정방안 프로세스 ····· 84
<그림 Ⅳ-12>유사통행경로 탐색 알고리즘 ····· 86
<그림 Ⅴ-1> 지하철 역간 O/D ····· 97
<그림 Ⅴ-2> 대상 지역 ····· 99
<그림 Ⅴ-3> 대상 지역 ····· 102
<그림 Ⅴ-4> 분석 지역 평균 통행 시간 ····· 103
<그림 Ⅴ-5> 버스 및 지하철 정류장 ····· 104
<그림 Ⅴ-6> 정류장 기반 네트워크 ····· 104
<그림 Ⅴ-7> 가상링크 및 환승체계 ····· 106
<그림 Ⅴ-8> 가상링크 및 환승체계 ····· 106
<그림 Ⅴ-9> 단절된 링크 연결 ····· 107
<그림 Ⅴ-10> 단절된 링크에서의 환승 ····· 108
<그림 Ⅴ-11> 서울역 주변 가상 환승링크 표현 ····· 109
<그림 Ⅴ-12> 버스정류장별 승하차인원수의 밀도 ····· 110
<그림 Ⅴ-13> 변수별 버스 하차인원에 대한 지역별 영향력 ····· 110
<그림 Ⅴ-14> 전체적인 경향 ····· 111
<그림 Ⅴ-15> 국지적인 경향 ····· 111
<그림 Ⅴ-16> 대중교통 카드 자료 분석 ····· 118
<그림 Ⅴ-17> 지하철역 중심 그룹화 작업 ····· 120
<그림 Ⅴ-18> 수도권 철도역 위치좌표 구축 ····· 121
<그림 Ⅴ-19> ID 정렬(Sorting) 과정 ····· 122
<그림 Ⅴ-20> 지하철 행태 모형 반영 ····· 124
<그림 Ⅴ-21> 선정된 분석 기·종점 ····· 125
<그림 Ⅴ-22> 철도 운영기관 간 연락운임 정산 과정 ····· 135

<그림 Ⅴ-23> 본 사례에서의 수도권 도시철도 수입금 정산 과정 ····· 136
<그림 Ⅴ-24> 수입금 정산 알고리즘의 방향 ····· 137
<그림 Ⅴ-25> 최적 환승 계수 ····· 140
<그림 Ⅴ-26> 탐색된 다수경로 ····· 143

제Ⅰ장 서 론

제1절 연구의 배경 및 목적

제2절 연구의 범위 및 절차

제Ⅰ장 서 론

제1절 연구의 배경 및 목적

1. 연구의 배경

1) 서울시 대중교통체계 개편

서울시는 2004년 7월 1일 전면적인 대중교통 개편을 단행하였다. 이를 계기로 중앙버스차로제, 버스준공영제, 지간선 노선체계와 같은 혁신적인 제도가 시행되었으며 통합거리비례요금제와 무료 환승제가 도입되었다. 대중교통 개편은 대중교통 이용객들의 통행 패턴의 변화에 영향을 미친 것으로 파악되고 있으며 제도시행이 대중교통 서비스에 얼마만큼의 영향을 미쳤는지에 관한 논의가 필요한 시점이다.

2) 수도권 통합요금제 실시

서울시를 중심으로 한 통합거리비례요금제는 2007년 7월을 기점으로 경기도를 포함하는 수도권 통합요금제로 확대 실시되었으며 이는 기존의 서울 시내에서의 무료 환승 제도가 수도권 영역까지 확대되는 내용을 주로 포함하고 있다. 수도권 통합요금제는 이용객의 경로나 수단 선택 및 대중교통 서비스에 크게 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

3) 대중교통 카드의 등장

2004년 시행된 서울시 통합거리비례요금제와 무료 환승제도는 기존의 요금 지불 수단을 대신하는 획기적인 지불 수단을 필요로 하였다. 이에 개인의 통행 및 환승 정보를 포함하는 스마트카드라는 대중교통 카드가 도입 되었다.

대중교통 카드시스템은 개개인의 통행, 환승 정보 및 이용 수단의 정보를 포함하고 있어 기존엔 추적이 불가능했던 대중교통 이용자의 통행 특성을 정확하게 파악할 수 있다. 이러한 카드시스템의 채택으로 그 동안 이루어지지 못했던 통합대중교통망 차원의 대중교통 수단 간 서비스 평가뿐만 아니라 지역 간 서비스 평가도 가능할 것으로 판단된다.

2. 연구의 목적

본 연구는 대중교통 체계 개편 이후 대중교통 평가체계 구축을 위한 방안 모색을 그 주요 연구 목적으로 한다. 또한 기존 대중교통 평가 방법의 한계를 극복하는 동시에 향후 전개될 통합 대중교통 시대에 적합한 경로 기반의 대중교통 평가 모형을 제안하도록 한다. 이를 위해 서울시 대중교통 카드 자료를 활용하여 대중교통 평가 체계 구축 방안과 평가 모형이 장래 수도권 통합 대중교통 서비스 평가에도 응용되는 사례를 제시한다.

제2절 연구의 범위 및 절차

1. 연구의 범위

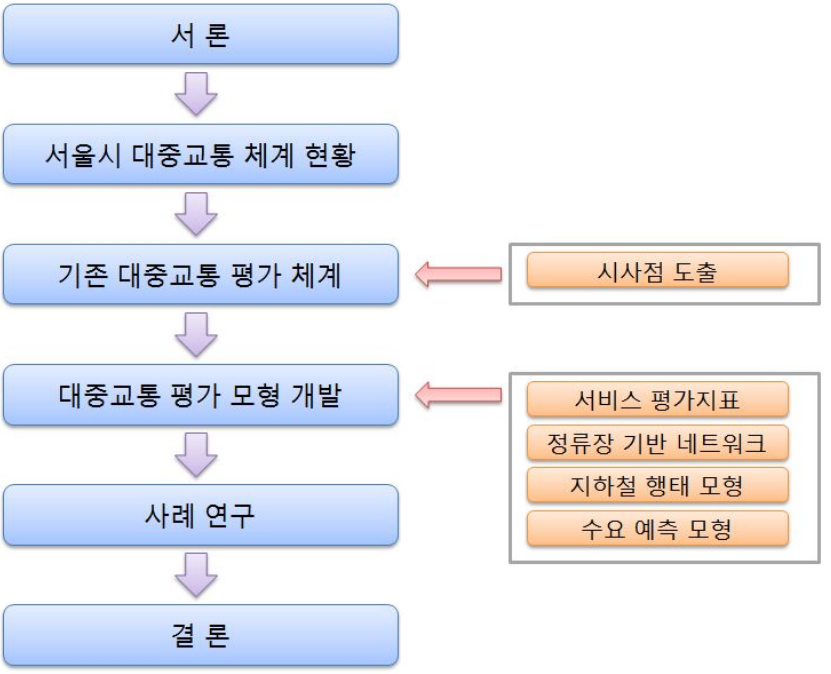
본 연구는 서울시 대중교통 개편 이후 및 수도권 통합요금제 이전의 서울시 버스, 지하철의 대중교통 서비스 평가를 그 내용적 범위로 한정하며 서울시를 공간적 범위로 정하도록 한다.

2. 연구의 절차

먼저 본 연구의 제2장에서는 서울시 대중교통체계 현황을 파악하고, 제3장에서는 기존 대중교통 평가체계에 대해 살펴본다. 제4장은 이를 기반으로 대중교통 평가모형을 개발하며, 제5장에서는 제안된 평가 모형으로 사례 연구를 실시

한다.

본 연구의 개략적인 절차는 아래와 같다.



<그림 Ⅰ-1> 연구 절차

제Ⅱ장 서울시 대중교통 체계 현황

제1절 서울시 대중교통 체계 개편
제2절 수도권 대중교통 시스템 통합
제3절 서울시 대중교통 여건변화

제Ⅱ장 서울시 대중교통 체계 현황

제1절 서울시 대중교통 체계 개편

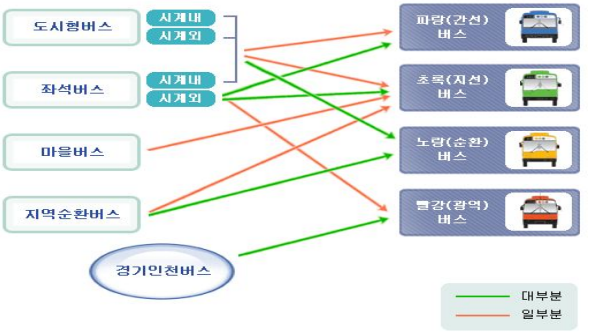
1. 버스 노선 체계 개편

2004년 서울시는 전반적인 대중교통 체계 개편을 단행하였으며, 버스 노선 체계 개편에 대해 살펴본다.

1) 버스유형변화

종래의 도시형 버스, 좌석버스, 마을버스, 지역순환버스가 기능별로 파랑(간선)버스, 초록(지선)버스, 노랑(순환)버스, 빨강(광역)버스 등 새로운 유형 체계로 개편이 되었다. 구체적인 내용은 아래와 같다.

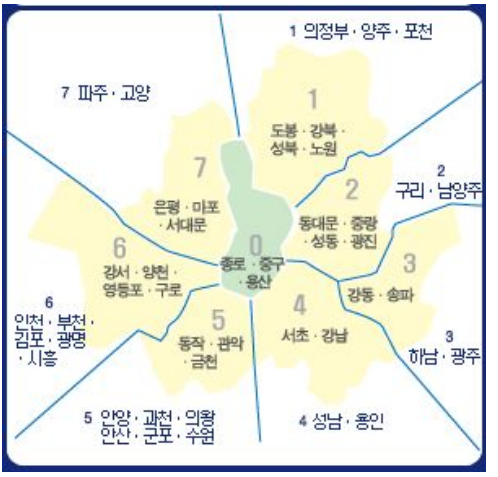
- 장거리 · 굴곡 · 중복노선을 정리하여 간선과 지선으로 개편
- 간선노선: 외곽 · 도심, 도심 · 부도심, 부도심 간을 직행연결
- 지선노선: 간선버스 정류소 및 지하철역과의 연계, 지역교통 생활권역 순환



<그림 Ⅱ-1> 버스유형 변화

2) 권역별 버스노선 번호부여

서울시 버스노선 번호 부여 방법은 <표 Ⅱ-1>과 같다.



<그림 Ⅱ-2> 권역별 버스노선 번호

<표 Ⅱ-1> 버스노선 부여방법

버스 구분	부여방법
간선(파랑)버스	출발지 권역 +도착지 권역 + 1자리 일련번호 (3자리 번호)
초록(지선)버스	출발지 권역 +도착지 권역 + 2자리 일련번호 (4자리 번호)
빨강(광역)버스	9 + 경기도 출발권역 + 2자리 일련번호 (4자리 번호)
노랑(순환)버스	권역번호 + 1자리 일련번호 (2자리 번호)

3) 버스노선 안정화

서울시는 버스노선체계 개편을 하면서 불편노선의 지속적인 보완, 조정 및 교통 불편지역의 신규 노선 발굴로 노선관련 민원을 적극 해소하려고 노력하였다. 이에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

- 분기별 노선조정 (3, 6, 9, 12월) : BMS 자료 분석, 현장검증, 민원사항 검토, 체계적 홍보 등을 이용 노선조정 심의위원회를 통한 노선조정(변호사,

버스업체, 교육청 등)

- 노선 및 운행계통의 합리적 조정 : 교통관리의 효율성 제고
- 물리적 상황의 변경(도로 및 교통신호 체계변경, 지역개발 등) 및 역 민원이 없는 경미한 사항, 관계기관 이해관계 협의를 거쳐 수시조정

4) 시민의견 수렴

시민의견을 수렴하기 위해서 다음과 같은 노력을 기울였다.

- 노선관련 민원에 대한 적극적 대응: 구청, 운수업체, 주인의견 적극 수렴
- 단순 민원에 대한 적극적인 검토 및 이해설득시 정확한 근거자료제시
- 부분적, 개인적 이익을 추구하는 민원사항 근절풍토 조성
- 신규노선 발굴
- 재개발, 재건축 등으로 신규 교통수요가 증가한 지역의 교통여건 개선
- 짧은 구간임에도 쇼핑, 통학 등에 불편이 많은 지역의 교통여건 개선
- 수요탄력노선 발굴

2. 버스전용차로

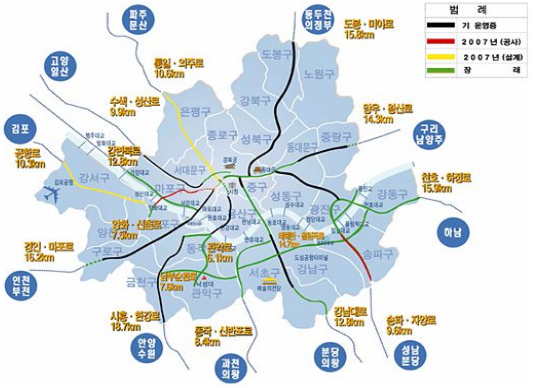
1) 버스중앙차로제

버스중앙차로제는 도로의 중앙 차로를 버스 전용으로 이용하여 가로변 전용차로와 달리 일반차량의 진입을 엄격히 제한하고 버스정류소 또한 도로의 중앙에 설치하여 안정성 확보, 이용편의성 향상, 버스통행속도를 향상을 도모한다.

<그림 Ⅱ-3> 버스중앙차로제 실시 예

2) 버스중앙차로 설치계획

서울시 버스중앙차로 설치계획은 다음과 같다.



<그림 Ⅱ-4> 중앙버스전용차로제 설치계획

<표 Ⅱ-2> 축별 버스중앙차로제 설치 개요

› 운영중 (7개도로 67.9km)

대상노선	연장	구간
천호·하정로	7.6km	신설동 R~아차산역
도봉·미아로	15.8km	의정부시계~원남R
강남대로	5.9km	신사역 ~영동1교 (삼일로1.1km포함)
수색·성산로	6.8km	고양시계~이대후문
망우로	4.8km	망우역~청량리
시흥·한강로	14.9km	안양시계~서울역
경인·마포로	12.1km	오류IC~아현삼거리

› 2007년 공사추진 (2개도로 10.8km)

대상노선	연장	구간
양화·신촌로	5.2km	양화대교남단~이대역
송파대로	5.6km	복정역~잠실대교남단

› 설계추진 (2개도로 20.9km)

대상노선	연장
통일·의주로	10.6km
공항로	10.3km

› 장래 (91.6km)

대상노선	연장
천호·하정로 (미시행구간)	8.3km
테헤란·올림픽로	14.7km
강변북로	12.8km
관악로	6.1km
남부순환로	7.6km
기타잔여구간 42.1 km포함	

3) 가로변 전용차로

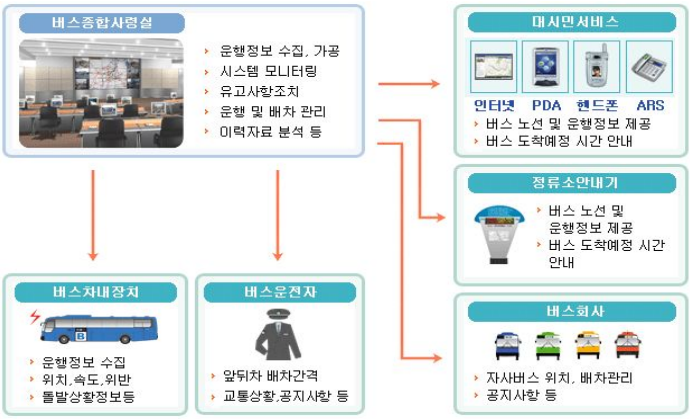
가로변 전용차로 확대에 대한 내용은 다음과 같다.

- 도로변 진출입 지점의 일반차량이용을 최소화하기 위해 가 감속 점선을 최소화하고 버스전용차선의 시인성 증대를 위해 차선폭을 확대
- 버스정류소의 시인성 확보 및 차별화를 위한 레드존 설치로 불법 주정차를 최소화하고 버스의 정확한 정차를 유도하기 위한 정차구획선 설치
- 운전자의 시인성 증대 및 착오진입을 방지하고, 일반차량의 진입 및 주행으로 인한 버스와의 마찰요인을 최소화하기 위해 전용차로 적색 포장

3. 과학적인 운행관리

1) 추진내용

서울시는 대중교통의 효율적인 운행을 도모하기 위해 BMS(Bus Management System)을 도입하였으며 이에 대한 개요 및 발전 계획은 <그림 Ⅱ-5>와 같다.



<그림 Ⅱ-5> BMS 운영 개요

<표 Ⅱ-3> BMS단계별 발전계획

1단계 (기초서비스 제공)	2단계 (성장/확산 단계)	3단계 (성숙/고급화 단계)
-버스종합사령실 구축(센터) -확대 구축(간선, 지선, 순환, 광역) 및 관리범위 확대	-버스정보시스템으로의 확대 -수도권 버스운행관리 통합/연계	-정보안내 서비스 확대 구축

서울시에서 추진 중인 BMS 사업에서 가장 주요한 내용 중 하나는 정류소 고유번호를 이용하여 버스도착 예정시간 정보를 제공하는 데 있다.

<그림 Ⅱ-6> 정류소별 버스도착시간 안내

4. 버스의 고급화

1) 추진방향

기존 버스가 가지고 있던 문제점을 개선하고 버스 수단분담 율을 높이기 위해 서울시는 버스의 고급화 정책을 추진 중에 있다.

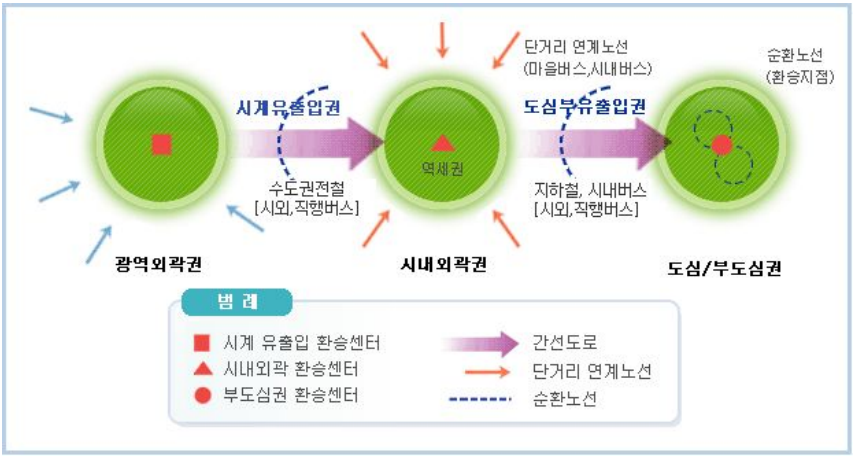
<표 Ⅱ-4> 버스고급화 추진방향

기존버스의 문제점	고품격 서비스형 버스 도입
쾌적성과 안전성이 떨어지는 도시형 버스 지하철/경전철 건설의 한계(장기공사기간, 비용과다) 버스에 의한 대기오염 심각(경유버스 1대가 승용차의 50배) 교통약자의 버스이용이 매우 불편 승객에 대한 차량 내/외부 정보제공 및 안내 미흡	버스의 안정성 확보 버스의 쾌적성 향상 친환경적인 저공해 버스 운영 교통약자의 자유로운 대중교통 이용 승객편의를 위한 부가정보 제공 버스체계개편과 연계도입 대용량 고효율 교통수단 마련

5. 대중교통 환승센터

1) 환승센터

버스와 버스, 버스와 지하철 등 대중교통수단간 환승이 타 지역에 비해 많이 이루어지는 일종의 “갈아타기의 중심지”란 의미이다. 대중교통의 허브(HUB) 기능을 수행함으로써 도시의 권역(지역)별 교통, 상업, 문화중심지 역할을 수행한다.

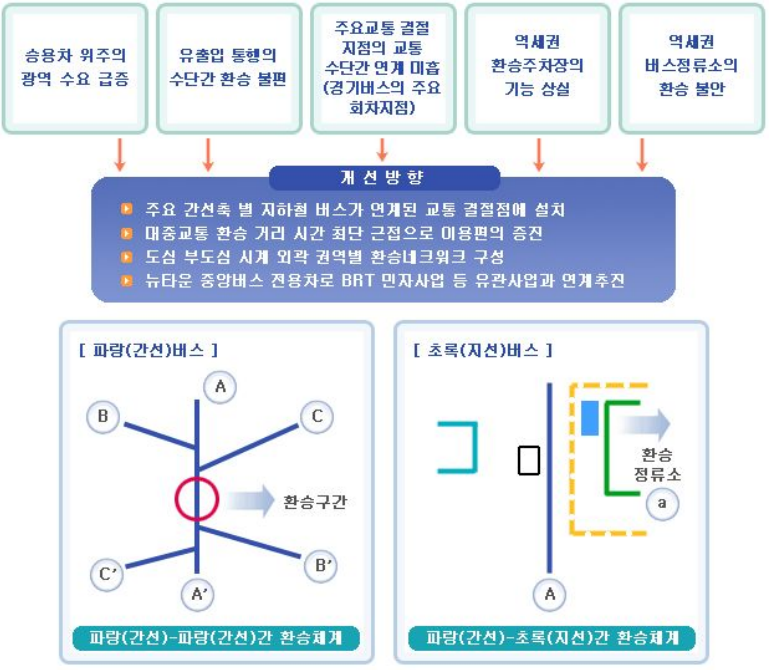


<그림 Ⅱ-7> 환승센터 개념도

2) 건설 방향

환승이 많이 이루어지고 있는 지역과 환승 거점으로 활용 가치가 있는 지역을 선정함으로써 대중교통 이용 시민들의 선택의 폭을 확대한다. 버스 이용 시설을 고품격화하고 환승센터를 중심으로 버스노선을 다양하게 발굴하도록 한다.

주요 간선 축별 지하철 버스가 연계된 교통 결절 점에 설치하여 대중교통 환승 거리 시간 최단 근접으로 대중교통 이용자의 편의를 증진시키도록 한다.



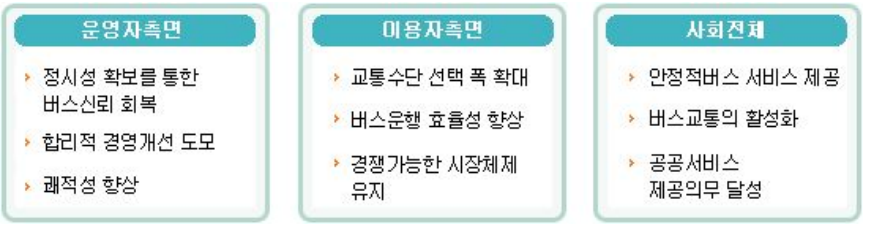
<그림 Ⅱ-8> 환승센터 건설방향

6. 운영체제 개편

1) 추진방향

과거 시내버스 운영 문제점	개편 방향
버스에 대한 이용자의 불만족 버스회사 적자 버스업체의 도산(버스산업 침체) 시의 막대한 보조금 지급 열악한 근로여건에 의한 근로자의 사기저하	버스인프라 제공과 관리 강화 업체자율선택참여, 적정보조 정책 노선 공개념의 도입을 통한 공공성 확보 임금수준 현실화 및 근로조건 개선

2) 운영체제 개편 목표



3) 준공영제(운영비/수입금)

사업자 수익 위주의 운행에서 시민 서비스 위주의 운행으로 전환을 목적으로 한다.

- 주간선 노선(19개 간선)입찰을 통해 운행업체 선정
- 간선과 지선 버스의 수입금 공동관리제 도입, 공동운수협정 체결
- 노선 및 운행방식을 시(市)가 결정하고 운행평가, 운영은 민간주도
- 버스사령실을 통한 운행관리 및 평가체계 구축

운영체계 개편 전	운영체계 개편 후
운송수입금 개별업체 수입 - 탑승객 수에 따른 수입구조 - 적자노선 폐지 업체 간 과다경쟁으로 서비스 저하 비수익노선 운행기피	운송수입금 공동관리 - 운행실적(대*km)에 따른 수입구조 - 수입금 적자 분 발생 시 재정보조 서비스 경쟁체제로 전환 시민수요에 의한 노선•운영방식 결정

- 업체수입 : 요금수입에 의존 -> 총 운영비
- 산정방식 : 대당 평균 비용 -> 노선별 대-km 운행비용
- 운영비 구성

<표 Ⅱ-5> 준공영제 운영비 구성

구분	항목
고정비	급여, 퇴직급여, 복리후생비, 차량보험료, 차량감가삼각비, 차고지비, 기타차량유지비, 기타관리비
변동비	연료비, 타이어비, 정비비
적정이윤	고정비의 10% 이하
운행성과에 비례하는 변동비와 고정 투입되는 고정비로 지급 적정이윤은 운행에 대한 지속적인 서비스수준 확보를 위해 지급 예비차량은 고정 투입되는 고정비만을 지급	

7. 첨단교통카드

서울시의 T-money카드는 기존 메모리카드와는 달리 CPU(Central Processing Unit)가 탑재되어 자체 연산이 가능한 비접촉식 스마트카드이다. 새롭게 도입된 대중교통카드는 다음과 같은 특징을 가진다.

1) 서비스 향상

- 하나의 카드로 대중교통 이용 편리
- 충전소 확대 및 인터넷 충전장치 개발로 충전이 용이
- 편의점을 통한 환불서비스 제공과 카드의 보안성 향상
- 고객 서비스 창구 일원화를 통한 서비스 질 향상

2) 가격 할인

- 합리적인 요금 지불 및 환승할인을 통한 교통비용 절감
- T-마일리지 서비스[Smart T-money 전용서비스]

3) 운영의 효율성

- 교통데이터 분석을 통한 효율적 정책수립 가능
- 대중교통 서비스의 만족도 제고와 대중교통 수익금의 투명화

4) 공익성

- 공익 우선의 의사결정 및 대중교통 발전기금 확보
- ITS등 첨단 교통 인프라 구축 확보

5) 국가 경제적인 측면

- 교통카드 시스템 통합으로 중복운영에 따른 사회적 낭비 제거
- 스마트카드 보급 증가와 소액결제수단으로 동전대체 효과

8. 합리적인 요금체계 (2007년 4월 1일 이전)

1) 개편방향

대중교통 수단 간 환승시 마다 요금을 별도로 부과하는 기존 수단별 독립요금 체계를 개선하여 교통수단의 환승 횟수에 상관없이 탑승하는 거리에 비례하여 요금이 부과되는 대중교통 통합요금제를 도입하였다.

도입된 요금제는 환승 요금을 무료 또는 대폭 할인하고, 지하철 시내 구간의 구역 요금 제도를 시외 구간과 같은 거리비례제로 일원화함으로써 합리적인 대중교통 요금체계를 지향하고 있다.

2) 추진내용

(1) 대중교통 통합요금제

대중교통 통합요금제는 기본거리구간(10km)에는 기본요금만 부과하고, 기본거리 이상 통행시에는 매 추가거리(5km)마다 추가요금을 부과한다. 최대 요금부과 액수는 이용한 교통수단의 기본요금의 합 이상으로 부과되지 않는다. 통합요금제는 대중교통 승하차시 교통카드 단말기에 접촉하여 시행한다.

<표 Ⅱ-6> 대중교통 통합요금제 적용

환승요금	환승할인 혜택적용	환승할인 혜택 미적용
기본운임 10km까지 기본요금(환승무료) 추가운임10km초과 시 매5km마다100원 가산	간선, 지선, 순환, 마을버스 및 지하철 이용 선 교통수단 하차 후 30분 이내 환승 4회 환승까지(최고5회 탑승)	현금 사용, 광역버스 이용 경기도소속버스이용 선 교통수단 하차 후 30분 이후 환승

(2) 지하철 요금체계

개편 전 지하철의 요금 구조는 서울 시내 구간 요금 체계와 시외 구간 요금 체계가 다르다. 시내는 구역제(7개 구역 구분)로 시내를 1구간(2개 구역 내 통행)은 기본요금, 2구간(3개 구역 이상 통행)에서는 100원을 추가하고 있으며, 시외에서는 10km에 기본요금, 그 이후는 매 5km마다 추가요금이 징수된다.

구역요금제에서는 동일거리를 이용해도 요금이 다른 경우, 이용거리가 다르더라도 요금이 동일한 경우, 단거리 통행요금이 장거리 통행요금보다 요금이 많이 부과되는 경우 등 불합히란 사례가 발생함에도 기술적 제약으로 구역제 요금 제도를 개선하지 못했으나, 교통 카드와 승차권 시스템의 기술적 지원이 가능해져 시내 구간도 시외 구간과 동일하게 통행 거리에 따라 요금이 부과되는 합리적인 거리 비례제로 일원화 하는 방안을 마련되었다.

초기 통합요금제는 전체 이용 구간에 대해 기본 거리 12km, 추가 거리 단위 6km로 통일하고 42km 초과 시에는 추가요금을 부과하는 거리 단위를 12km로 확대하여 요금이 경감될 수 있도록 하였다. 2007년 4월 1일 이후부터는 기본거리 10km에 추가거리 5km로 적용하고 있다.

(3) 버스 요금 체계

단일버스 통행만으로 이동이 가능한 경우 균일제를 유지하고 시외구간까지 운행하는 기존 도시형버스의 경우도 추가거리 요금제를 폐지하여 균일제로 일원화함으로써 시외구간까지 통행하는 이용자의 요금부담을 경감하였다.

<표 Ⅱ-7> 버스요금 체계

기존	현행	종류	교통카드기준			현금 (현행)	비고
			종전	조정 (2004.7)	현행 (2007.4)		
도시형 (순환형)	파랑버스 (간선노선) 초록버스 (지선노선)	일반인	650원	800원	900원	1,000원	
		청소년	490원	640원	720원	1,000원	
		초등생	300원	400원	450원	450원	
마을버스	초록버스 (마을버스)	일반인	400원	500원	600원	700원	
		청소년	350원	400원	480원	550원	
		초등생	200원	250원	300원	300원	
고급좌석	빨강버스 (광역노선)	일반인	1,300원	1,400원	1,700원	1,800원	환승할인 없음
		청소년	1,100원	1,120원	1,360원	1,800원	
		초등생	1,000원	1,000원	1,200원	1,200원	

제2절 수도권 대중교통시스템 통합

1. 수도권 버스 · 전철 환승요금 폐지

1) 현황 및 목적

수도권 버스·전철 요금체계가 상이하고 환승 할인 정책이 적용되지 않는 노선이 존재하여 불편을 겪고 있는 이용자가 존재하고 있다.

<표 Ⅱ-8> 수도권 대중교통 요금체계 현황

수도권 대중교통	요금체계
경기버스	단독통행(단일요금/시계외구간제), 환승통행(정액할인)
서울버스 · 전철	단독통행-단일요금(버스), 거리비례제(전철, 12/6km), 환승통행-통합거리비례제(10/5km)
인천버스 · 전철	단독통행-단일요금, 환승통행-무료(버스간), 정액할인(인천버스전철 간)

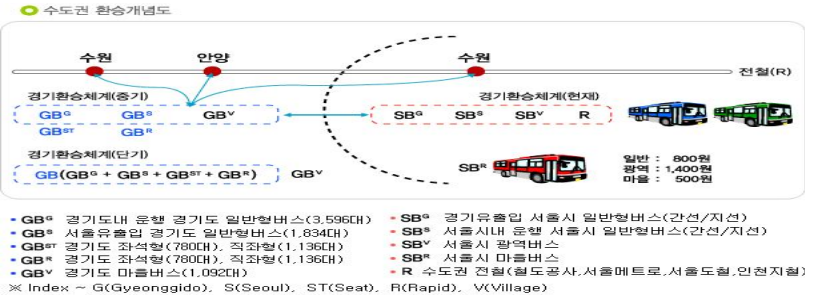
수도권 통합대중교통요금제 시행은 대중교통 이용자의 불편 감소 및 요금부담 경감을 목적으로 추진되었다.

2) 연도별 추진계획

2007년 7월부터 경기도버스와 서울버스-전철 간 통합거리비례 요금제가 시행되고 있다.

<표 Ⅱ-9> 연도별 추진계획

구분	추진계획
1단계	•2006~2007년 상반기: 시내버스 요금체계 개편 및 요금조정 •단독요금: 거리비례제 근간(대중교통종합계획 용역 결과 활용) •환승요금: 도내 시내버스 간 정액할인 유지(수도권 요금 일원화 전) •요금수준: 환승할인 확대 및 공영제 시행을 고려하여 결정 •통합거리비례제 도입을 위한 준비사항(공동용역, 수입금공동관리 등) 이행
2단계	•2007년 하반기 이후: 수도권 시내버스 요금체계 일원화 시행 •환승요금: 경기버스(일반, 마을)⇔서울버스(간/지선, 마을)•전철 간 통합거리비례제 시행



<그림 Ⅱ-9> 수도권 환승 개념도

3) 기대효과

수도권 버스·전철 요금체계 일원화 및 환승할인 연계체계 확립을 통한 대중교통 이용 편의 증진으로 대중교통의 이용 활성화를 도모한다.

서울·경기 버스 간 환승할인 시행으로 경기도민의 대중교통 요금 부담을 경감시키는 효과가 발생한다.

2. 광역 심야버스 운행시간 연장 및 노선 다변화

1) 현황

- 운행현황 : 13개 시·군 20개 노선
- 수원~사당, 용인~광화문, 고양~서울역, 남양주~잠실, 부천~영등포 등

2) 연도별 노선확대 현황

- 9개 노선('02년)→13개('04년)→18개('05년)→20개('06년 상반기)
- '05년도 18개 노선에서 심야시간대 50만명 이용
- 심야운행 노선의 확대로 심야시간대에 안전하고 저렴한 대중교통서비스를 제공하여 이용자의 교통편의 증진 필요

3) 연도별 추진계획

- 심야운행버스 운행 확대: 20개 노선→30개 노선
- 기존 심야버스 노선 중 심야 이용자수가 운송원가대비 30%이상인 노선은 심야운행 증회

<표 Ⅱ-10> 연도별 추진계획

구분	계	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년 이후
목표량	30	22(+2)	24(+2)	26(+2)	28(+2)	30(+2)

4) 기대효과

수도권 교통문제의 조기 해결로 수도권 주민에게 교통의 편익을 제공한다.

3. 수도권 통합 요금제

1) 개념

대중교통 수단 이용 시 최대 5회 환승까지 환승은 무료이고 총 이동한 거리만큼만 요금을 부과하는 방식이 통합거리비례제이다.

경기도는 이러한 통합거리비례제를 서울시와 연계하여 수도권을 통행하는 일반시내버스, 마을버스, 전철 등 전체 대중교통수단으로 확대함으로서 수도권 통합요금제가 정착되고 있다.

2) 수도권 통합요금제도의 효과

수도권 통합요금제도의 도입으로 첫째, 수도권 내 모든 대중교통 이용자들의 환승 부담이 사라지게 되고 둘째, 대중교통 이용자들의 요금 부담이 줄고 셋째, 환승할인을 위해 서울버스와 경기버스를 구분할 필요가 없게 된다.

3) 요금적용대상

<표 Ⅱ-11> 요금적용 대상

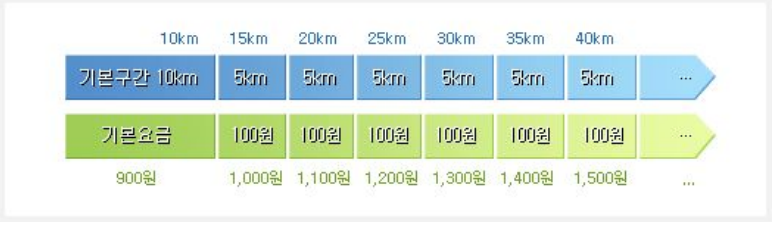
구 분		통합거리비례제	정액할인
경기	시내일반버스	○	X
	마을버스	○	X
	시내좌석/직행좌석버스	X	○
서울	간선/지선/순환버스	○	X
	마을버스	○	X
	광역버스	X	X
지하철		○	X

4) 요금적용방식

- 기본요금 : 거리비례제를 기본으로 적용하나 단일요금을 희망하는 노선은 기본요금제로 운영한다. (10km 이내 : 기본요금, 10~40km : 매 5km마다 100원씩 추가, 40km 초과 : 100원) 즉 40km 초과 시는 거리에 관계없이 100원만 부담하고 더 이상의 요금증가는 없다. 따라서 교통카드를 이용하는 성인 기준 단독요금의 최대 값은 1600원이다.

- 환승요금 : 거리비례제를 적용한다. (10km 이내 : 기본요금, 10km 초과 : 매 5km마다 100원씩 추가)

  좌석형 버스(직행, 좌석버스)는 기존과 마찬가지로 경기도내 시내버스와 환승 시 '정액환승할인'이 유지된다. (정액할인금액: 성인 400원, 청소년 300원 어린이 150원)



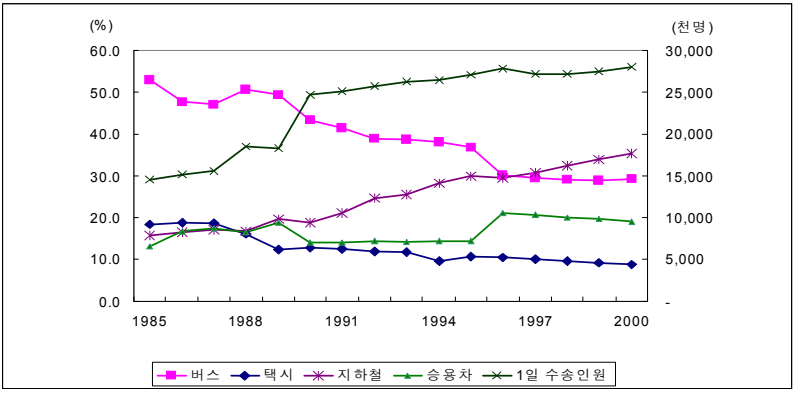
<그림 Ⅱ-10> 요금적용 방식

제3절 서울시 대중교통 여건변화

1. 대중교통체계 개편에 따른 통행실태변화

대중교통체계개편 전 서울시의 일일 통행량은 1990년 즈음에 급격하게 증가하였고 그 후로도 2000년까지 꾸준히 증가하여 2000년 현재에는 30,000천 통행에 근접하게 되었다.

지하철 수단분담 율은 꾸준한 증가를 보여 40%를 바라보는 반면에 버스의 수단분담 율은 85년의 55%에서 30%수준으로 급격히 감소한 경향을 보인다.



<그림 Ⅱ-11> 서울시 수단분담율 변화추이

자료 : 서울특별시, 서울통계연보

수도권 총통행량의 변화를 살펴보면 대중교통체계개편이전 서울시의 내부통행은 3.2% 감소하였고 (서울-시외)통행과 (시외-시외)통행은 각각 41.6%와 33.1% 증가하였다.

통행패턴이 서울내부통행에 비해 유출입(서울-시외) 및 시외간 통행이 증가하므로 통행패턴이 수도권으로 전이되었음을 간접적으로 파악할 수 있고 그 기능을 지하철-전철 수단이 주로 담당한 것으로 예측된다.

<표 Ⅱ-12> 수도권 총통행량 변화

구 분	1996년 (통행/일)	비율(%)	2002년 (통행/일)	비율(%)	증감율(%)
서울내부 (서울-서울)	21,610,485	52.2	20,914,466	43.8	-3.2
서울유출입 (서울-시외)	6,189,075	14.9	8,765,810	18.3	41.6
서울시 관련(계)	27,799,560	67.1	29,680,276	62.1	6.7
서울제외수도권 (시외-시외)	13,609,281	32.9	18,109,450	37.9	33.1
총계	41,408,841	100.0	47,789,726	100.0	15.4

자료: 한국교통연구원, 수도권 지하철 정기권 도입방안, 2004.12

대중교통 체계 개편 후 대중교통 이용객의 통행패턴은 다양하게 변화하였으나 <그림 Ⅱ-12>에서와 같이 전년(2003)대비 대중교통 이용객이 증가한 것을 확인할 수 있으며 특히 버스통행의 증가가 두드러짐을 확인 할 수 있다.

또한 <그림 Ⅱ-13>와 같이 대중교통 체계 개편 후 환승통행은 꾸준히 증가하였으며 2004년 11월 현재 환승통행비율은 22.5%에 달한다.

환승은 후 수단 탑승을 기준으로 하였다. 즉 환승 시 하차수단이 아닌 탑승수단의 집계이다. 따라서 승객의 환승패턴이 철도+버스 시스템에서 다양하게 나타날 것으로 예상할 수 있다.

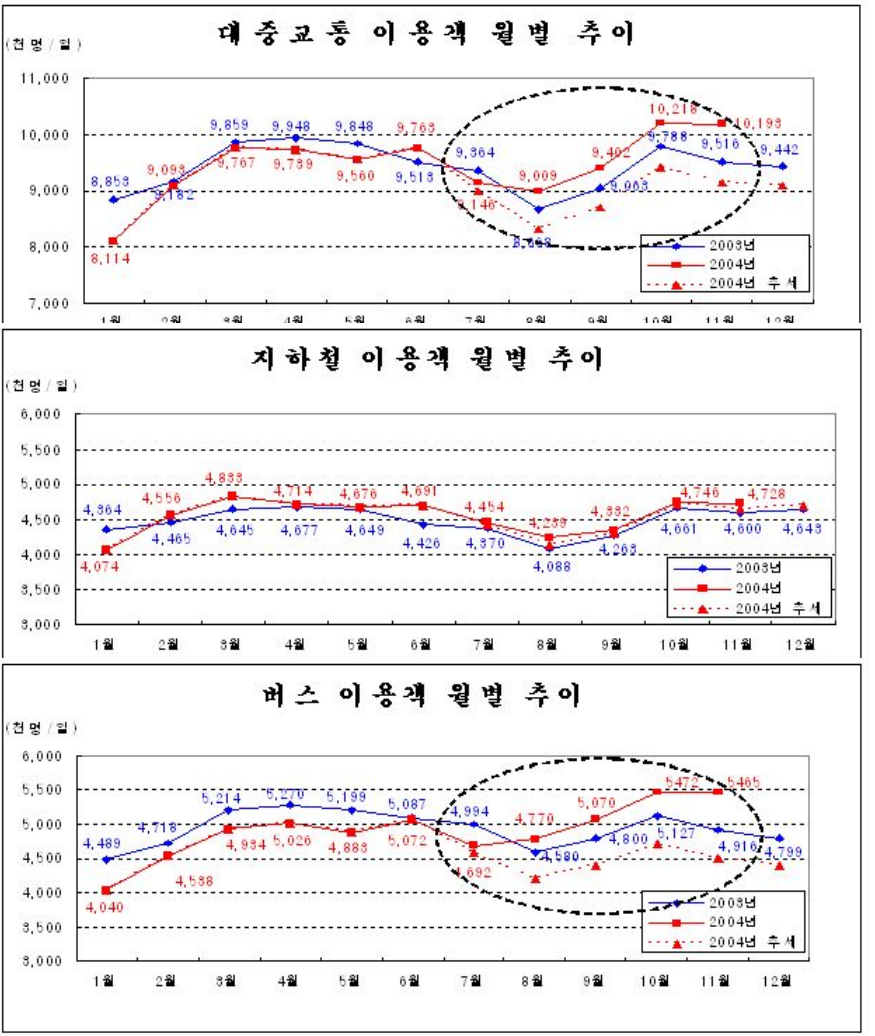
<표 Ⅱ-13>은 1995년과 2004년 지하철-전철의 호선 간 환승통행변화를 나타낸 것이며 호선 간 환승통행량은 4,175(천통행/일)에서 5,784(천통행/일)로 약 1.4배가 증가하였다.

<표 Ⅱ-13> 1995년-2004년 도시철도 호선간 환승통행량 변화

도시철도 호선간 환승통행 총량(천통행/일)		증가율((b-a)/*100)
1995년(a)	2004년(b)	
4,175	5,784	38.5%

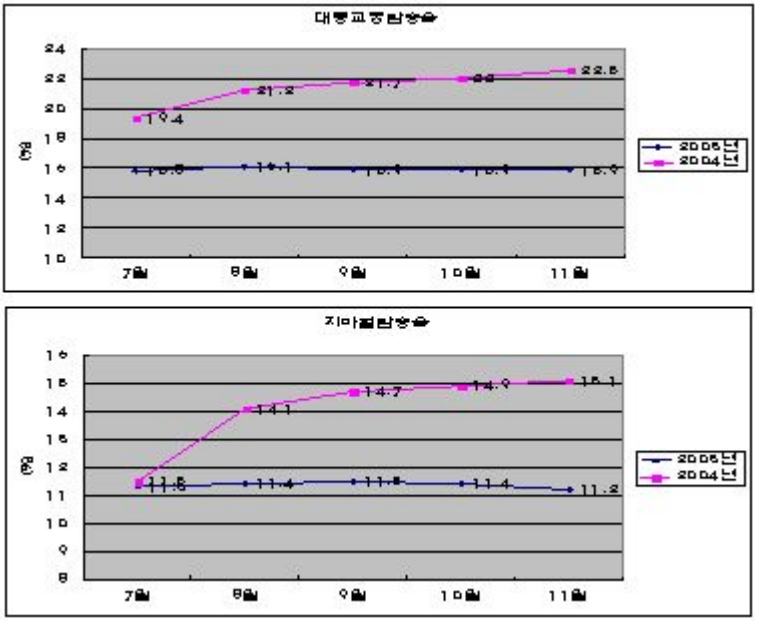
자료: 김찬성, 수도권2기 지하철 개통에 따른 지하철 통행패턴변화, 철도학회, 2005

환승통행량이 증가한 주된 원인은 도시철도 노선의 증가와 도시철도의 수단 분담율의 증가에서 원인을 찾을 수 있다.



<그림 Ⅱ-12> 대중교통 체계 개편 후 대중교통 이용객 추이

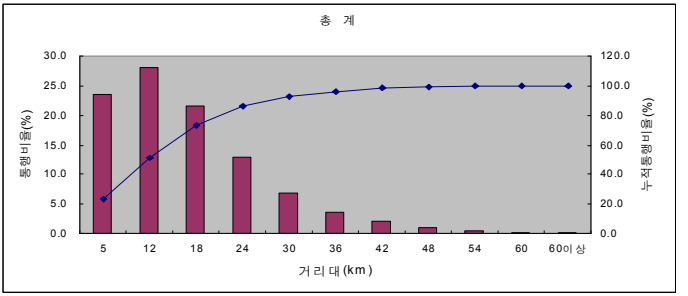
자료: 서울시 보도자료(2004.12.18)



<그림 Ⅱ-13> 대중교통 환승율 추이

자료: 서울시 보도자료(2004.12.18)

체계개편 후의 통행거리대별 통행비율은 <그림 Ⅱ-14>와 같다. 95% 이상이 30km 거리 대 내에 있으며 5~12km 구간의 통행이 가장 많은 것으로 확인할 수 있다.



<그림 Ⅱ-14> 거리대별 통행비율

자료: 한국교통연구원, 수도권 지하철 정기권 도입방안, 2004.12

전체적으로 요약해 보면, 도시의 규모가 증가함에 따라 승객의 통행범위는 서울에서 수도권으로 전이되었고 대중교통체계개편 이전까지 철도수단이 이 같은 지역 간 통행을 담당해왔다.

대중교통체계개편 후 대중교통수단을 이용한 통행량은 증가하였으며 무료환승 요금정책에 따라 대중교통 수단간 환승율도 증가하였고 특히 철도수단의 경우 호선의 증가와 수단분담율의 증가로 과거 10년간 도시철도 호선 간 환승통행이 38.5%정도 증가한 것을 확인할 수 있다.

추가적으로 도시철도에서의 통행행태는 주로 30km 이내에서 이루어지는 것으로 확인할 수 있었으며 이는 거리대별 환승통행분석 등으로 사용할 수 있다.

2. 철도건설계획

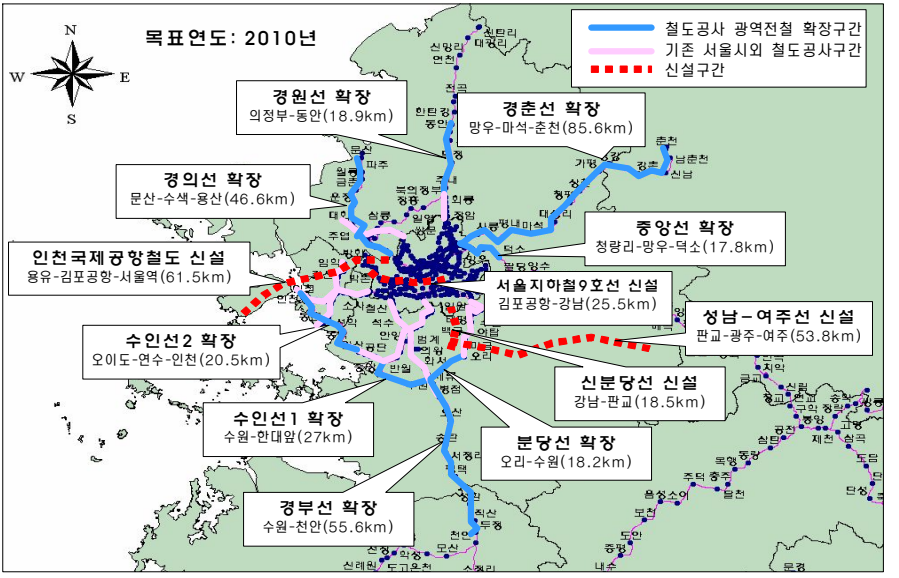
장래의 철도 네트워크는 대규모 확장과 세분화가 동시에 이루어 질 것으로 예상되며 현재 수도권 도시철도의 추가노선계획이나 진행상황을 고려할 때 그 기능에 따라 크게 광역철도망과 경전철망으로 나눌 수 있다.

광역철도망은 지역간 통행을 목적으로 하며 대규모 장거리 수송기능을 담당하고 있으며 추가적으로 계획될 경전철망은 단거리 수송기능을 담당할 뿐 만 아니라 광역철도망의 피더(feeder) 기능을 한다.

1) 광역철도망 건설계획

광역철도망의 계획은 2010년을 목표연도로 하고 있으며 계획 또는 시공단계에 있는 노선을 대상으로 총12개 중 4개의 신설노선과 8개의 확장노선으로 구분하였다.

이 광역철도가 완성될 경우 총 연장은 449.5km 증가하며 운영주체는 기존 4개(서울지하철공사, 서울도시철도공사, 한국철도공사, 인천지하철공사)외에 3개의 개별 민자 노선이 추가되어 총 7개의 운영주체가 나타나게 된다.



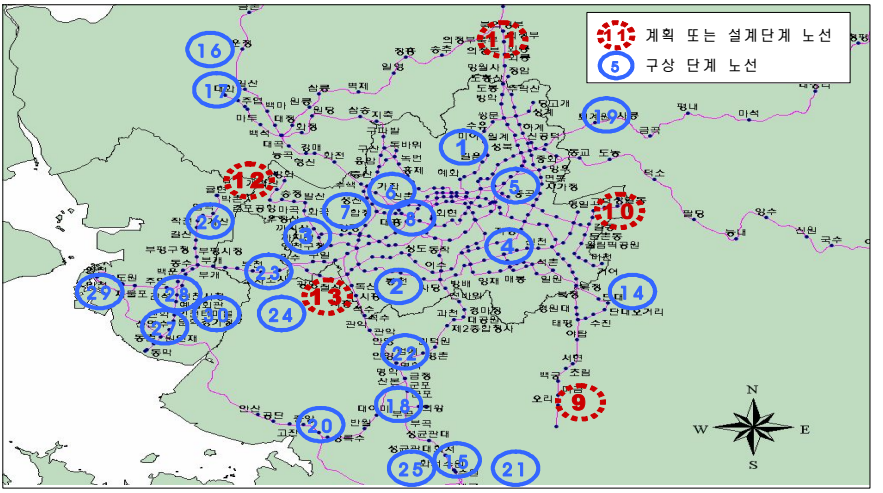
<그림 Ⅱ-15> 수도권 광역철도 신설 또는 확장계획

<표 Ⅱ-14> 광역철도망 계획

구분	노선 명	개통 시기	운영자	연장
신설	지하철9호선	1단계 2007년 2단계 추후 착공	민자사업자	38km
	인천국제공항 철도	1단계 2005년	(주)인천국제공항철도	61.5km
	신분당선	1차 2009년 2차 2011년 3차 2015년	신분당선주식회사	27.3km
확장	경원선	2006년	한국철도공사	22.3km
	경의선	1차 2007년 2차 2009년	한국철도공사	48.6km
	수인선	1차 2008년 2,3차 2010년	한국철도공사	47.5km
	경부선	2005년 운행중	한국철도공사	55.6km
	분당선	2008년	한국철도공사	18km
	중앙선	2006년	한국철도공사	18km
	경춘선	2009년	한국철도공사	85.6km

2) 수도권 경전철노선 건설계획

수도권에서 경전철을 운행 중인 사례는 없으나 관련계획은 30건(총 연장: 377.4km)에 달하며 현재 계획 또는 설계[1] 단계의 노선은 5(연장: 67.4km)개에 이른다.



<그림 Ⅱ-16> 수도권 경전철노선 건설계획

계획 중인 경전철의 운영주체는 대부분 민자 사업자가 될 것으로 예상되며 모든 경전철은 feeder-line 기능으로 trunk-line인 수도권 광역철도 역을 환승역으로 하고 경기서부경전철을 제외한 대부분의 노선이 20km 내외의 단거리 통행 위주로 구성되어있다.

1) 각 노선은 구상, 계획·설계·시공 단계로 나뉜다.(미래철도DB, www.frdb.wo.to)

<표 Ⅱ-15> 수도권 경전철노선 건설계획

구분	노선	거리 (km)	구간(호선*)	지자체	주체
1	미아삼양선	10.7	우이동유원지-신설동(1,2)	서울시	민자사업자
2	난곡선	2.8	신대방역(2)-난향초등학교	서울시	
3	신월-당산	12.6	화곡로입구-서부화물TR-당산(2)	서울시	민자사업자
4	강남모노레일	14.4	학여울(3)-신사, 학여울-안세병원사거리	서울시	말레이시아 앰트랜스
5	월계청량선	19.0	청량리(1)-사가정(7)	서울시	
6	은평-여의도	6.0	은평 신사동-신촌-여의도	서울시	
7	화곡-수색	7.0	화곡-수색	서울시	
8	여의도모노레일	8.7	국회의사당,KBS별관[1안]/당산(2)-신길-당산(2)(2안)	서울시	
9	용인경전철	18.5	구갈(분당선 연장)-전대(에버랜드)	경기도	봄바르디어 컨소시엄
10	하남경전철	7.8	상일동(5)-하남 창우동	경기도	㈜ 하남경전철
11	의정부경전철	10.8	민락-회룡(국철)-장암	경기도	민자사업자
12	김포경전철	20.0	김포공항(5)-김포 신도시	경기도	
13	광명경전철	10.4	철산역(7)-광명(경부고속)-관악역(1)	경기도	고려개발 컨소시엄
14	성남경전철	20.7	산성(8)-상대원공단, 운중동-금곡동	경기도	
15	수원경전철	21.0	세류(국철)-월드컵경기장-성대(국철)	경기도	민자사업자
16	운정경전철	11.6	운정(국철)-출판문화단지	경기도	민자사업자
17	고양경전철	10.5	고양농수산물유통센터-(국철 일산선)-KINTEX-호수공원	경기도	
18	의왕경전철	9.4	산본(국철)-부곡	경기도	
19	남양주경전철	7.0	구리-사릉(경춘선)	경기도	
20	안산경전철	21.6	안산시외버스TR-예술인아파트	경기도	
21	평택경전철	15.0	평택시 진위-현화지구	경기도	
22	안양경전철	17.4	광명(경부고속)-인덕원-산본(국철)	경기도	
23	부천경전철	11.5	소사구 소사동-소사(국철)-오정구 고강동	경기도	
24	시흥경전철	7.9	신천동-정왕동	경기도	
25	경기서부경전철	38.0	수원(국철)-화응방조제-수원(국철)	경기도	
26	계산-경서	8.5	계산-경서	인천시	
27	대우타운-연수	5.0	대우타운-연수	인천시	
28	인천경전철	10.0	인천대공원-문학경기장	인천시	
29	인천경전철 (월미도)	5.9	신포동-월미도	인천시	
30	인천대공원-소래	7.8	인천대공원-소래포구	인천시	민자사업자

*호선: 국철(경부선, 경인선, 경원선, 일산선, 과천선, 안산선, 분당선):한국철도공사, 1~4:서울지하철공사, 5~8:서울도시철도공사

자료: 미래철도 DB(www.frdb.wo.to)

제Ⅲ장 기존 대중교통 평가체계

제1절 대중교통 평가지표 고찰

제2절 대중교통 평가모형 고찰

제3절 시사점

제Ⅲ장 기존 대중교통 평가체계

제1절 대중교통 평가지표 고찰

1. 국내 대중교통 평가지표 연구

본 절은 대중교통 노선신설 또는 정책을 위해 제시된 기존의 대중교통 평가체계를 검토한다.

1) 서울시 시내버스 노선조정 방안 연구 (1994)

서울시 버스노선체계개편을 위해 다양한 정책목표를 설정하고 이에 맞는 노선평가기준을 제시하였으며 대표적으로는 노선거리 및 운행시간, 지하철경합 거리 및 비율, 굴곡영향계수, 과소노선지표, 과밀노선지표 등이 있다.

2) 시내버스노선의 합리적 조정방안(1995)

2기 지하철 개통에 따른 시내버스 노선체계 개편을 위하여 노선운행거리·운행시간, 지하철경합비율, 지하철 연계 역 수, 배차간격, 차내 혼잡도 등의 지표의 활용방안을 제시하였다.

3) 제2기 지하철 전면개통에 따른 시내버스 노선체계 개편구상 (2000)

제2기 지하철의 전면 개통 후 이에 따른 대중교통체계변화를 예측하고 효과적인 버스노선체계 구축방안을 제시하기 위한 기준으로 신속성(인당 통행시간), 쾌적성(승객 수/좌석 수), 편리성(제공노선 수 및 환승횟수), 수익성(승객 수)의 기준을 활용하였다.

4) 지속가능한 이동성 연구(2002)

전국 각 도시의 대중교통 서비스 수준을 비교할 수 있는 대중교통 평가지표 및 평가 매뉴얼을 개발하였으며 연구결과 중 대중교통과 관련한 지표는 다음과 같다.

- 시설규모 : 연간 운행 km / 도시거주민수
- 시설능력 : 연간 좌석 km / 도시거주민수
- 시설밀도 : 대중교통노선의 연장 / 지역의 면적
- 운행속도 : 버스운행속도 (실제운행거리/운행시간)
- 운행간격 : 버스운행간격 (기준운행간격: 실제운행간격)
- 접근성 : 설문조사를 통한 차내, 차외시간 조사
- 환승성 : 설문조사를 통한 평균환승시간 / 총통행시간
- 정보제공수준 : 정보안내 제공가능수 / 정보안내 제공필요수
- 운행빈도 : 대중교통의 연간 운행 km / 대중교통운행지역면적
- 운행시간 : 서비스 종료시간-서비스 개시시간

5) 시내버스노선체계 평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용(2003)

도시내 전체 버스노선체계의 평가를 위한 기준 및 정량적 지표의 설정, 그리고 이를 이용한 평가사례를 제시 하였다.

평가기준은 버스이용의 편의성, 운행생산성, 그리고 사회적 비용의 최소화라는 3가지 목표에 근거한 접근성, 승차안락성, 환승률, 노선직결도, 운행생산성, 형평성 그리고 차량소요대수의 7개 기준으로 설정하였다.

(1) 버스이용자 관점

- 접근성 : 버스서비스에 대한 이용자그룹의 접근정도로서 각 쥰별 버스정류장 수를 대지면적 또는 인구로 나눈 정류장밀도의 평균치

- 승차 안락성 : 버스탑승객의 차내 안락도로서 노선별 평균 재차율의 전 노선 평균치
- 환승률 : 총 탑승에 대한 환승탑승 수로서, 환승통행÷총수단통행

(2) 버스 운영자 관점

- 노선 직결도 : 노선의 기종점간 직결 정도로서, 전 노선평균 굴곡도의 역수
- 운행 생산성 : 노선규모 대비 통행실적(통행자수)으로서, 총통행자수÷총 노선 거리

(3) 사회적 관점

- 형평성 : 각 교통존별 버스노선수의 고른 분포정도로서, 각 쟌 경유 인구대비 버스노선수의 표준편차
- 차량소요대수 : 최저서비스수준 하에서 노선체계가 필요로 하는 최저소요차량대수로서, 일정 서비스수준(배차간격 및 운행속도)에서 각 노선별 소요차량의 합

6) 서울시 대중교통체계개편 (2004)

서울시는 지·간선 노선체계, 중앙버스전용차로, 요금체계개편 등 버스체계개편하였다. 다음은 버스노선체계개편에 활용된 대표적인 지표이다.

(1) 노선중복도

버스노선간의 중복은 동일한 버스노선에 다른 노선이 운행되는 것을 의미하는 것으로서 중복지수로 중복정도를 파악한다.

중복도가 1.0이라는 것은 노선의 기점에서부터 종점까지 전체 구간에서 노선을 공유하는 다른 노선이 하나도 없다는 것을 의미한다.

$$\text{산정식 : } P_r = \frac{\sum_{l=1}^{n}(A_{rl} \times b_l)}{\sum_{l=1}^{n} A_{rl}}$$

여기서 P_r : r 노선의 중복도

A_{rl} : r 노선의 총 연장 (r 노선이 통과하는 구간의 길이)

b_l : l 구간을 통과하는 총 노선수

n : r 노선의 총 통과구간 수

(2) 지하철과의 경합도

지하철과의 경합도는 버스의 운행거리 대비 지하철노선과의 경합거리 비율로서 지하철노선 반경 100m이내 운행하는 버스 노선을 대상으로 산정한다.

(3) 굴곡도 및 교차로에서의 회전

노선의 기종점을 연결하는 최단거리 연계도로망을 고려하여 직선거리대 운행거리 비율을 굴곡도로 선정한다. 또한 버스유형별 기능을 고려하여 교통권역을 3개 이상 운행하는 노선 중 노선의 중간부분이 굴곡인 노선을 굴곡노선으로 선정한다.(단, 기종점 부근이 굴곡 및 도로 구조상 굴곡은 제외함.)

버스운행구간 중 교차로는 가장 큰 지체요인으로 작용하므로 노선의 기점에서 종점까지 가장 적은 수의 교차로를 통과할 때 가장 빠르게 수송 가능하다.

(4) 시가화면적 및 유출통행당 정류소

시가화면적 및 유출통행당 버스정류소 수를 이용하여 해당지역에서 버스정

류소까지의 접근성을 평가할 수 있다.

그 외 버스이용자, 운영자, 관리자 모든 측면에서 계량화가 가능한 평가항목을 설정하고 이를 통합화하여 평가한다.

<표 Ⅲ-1> 평가지표 설정

구 분	평가지표
이용자측면	·신속성(1인당 통행시간) ·접근성(시가화 면적대비 대중교통역세권면적) ·편리성(환승회수, 제공노선수)
운영자측면	·경영효율(총운행수입/총운행비용)
관리자측면	·대중교통이용자 수요증가분(승용차로부터의 전환율) ·주요 가로소통상태변화(승용차, 버스속도변화) ·통행시간감소에 따른 시간가치 ·에너지비용절감 효과 ·환경오염비용 감소효과

7) 대중교통망 이동성 지표(2005)

복합대중교통망에서의 대중교통 이동성지표 및 서비스제공 분석 지표를 제안하였다. 또한 이렇게 제안된 지표를 통해 서울시 여건에 적합한 이동선 분석 지표를 선정하고 활용 가능성을 검증하였다.

8) 세계 주요도시의 대중교통 경쟁력 비교(2006)

대중교통 경쟁력을 평가할 수 있는 지표를 선정하고 선정된 평가지표를 토대로 대중교통 경쟁력 수준을 평가하였다. 사용된 평가 지료는 면적당 버스노선연장, 인당 버스운행거리, GDP 대비 대중교통 투자비율 등이 있다.

2. 국외 대중교통 이동성 관련 지표

1) Transit Capacity and Quality of Service Manual (2001)

대중교통용량과 서비스질에 관한 연구로서, 서비스질(Quality of service)에 대하여 “이용자 관점에서 대중교통 서비스에 대해 전체적으로 측정 또는 인지되는 운영성과(performance)”로 정의하고 지표들을 제안하고 있다.

서비스 질에 대해 구분한 5가지(이용가능성, 서비스 모니터링, 통행시간, 안전, 유지보수)중 가장 중요하며 정량화가 가능하다고 판단한 이용가능성과 편의성(Comfort and Convenience, 서비스모니터링과 통행시간)에 대하여 평가지표를 설정하였다.

대중교통 서비스 질은 크게 이용가능성(Availability)과 서비스 질로 나뉘며 이중 대표적인 이동성과 관련된 지표로는 통행속도, 승용차와 대중교통의 통행시간 비율, 신뢰도 계수 등이 있다.

이중 대중교통의 편의성에 미치는 요소들은 다음과 같다.

- 승객량 (Passenger Loads)
- 정류장에서의 승객시설의 종류 (passenger amenity)
- 대중교통서비스의 신뢰성 (reliability): 이용자가 통행시간에 대한 정확성과 불규칙한 서비스에 대하여 이용자가 인정할만한 수준이어야 함
- 통행시간(travel time) : 대중교통자체의 door-to-door 통행시간 또는 다른 수단과의 비교
- 비용(cost) : 다른 수단과 비교한 비용
- 환승필요 여부 (transfers)
- 시설자체의 외형과 안락성 (appearance and comfort)

<표 Ⅲ-2> 제시된 대중교통 서비스 측정지표

분류 (Category)	정류소 (Transit Stop)	노선 (Route Segment)	시스템 (System)
이용가능성 (Availability)	운행빈도 (Frequency)	서비스 시간 (Hours of Service)	서비스 지역 (Service Coverage)
편의성 (Comfort & Convenience)	승객량 (Passenger Loads)	신뢰도 (Reliability)	대중교통/승용차 통행시간 (Transit/Auto travel time)

2) A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement System (2001)

대중교통과 관련한 성과지표를 활용하고자하는 대중교통 시스템 관리자를 위한 지표선택 가이드로서 이용자 지향 및 지역의 문제에 초점을 맞추어 성과지표를 제시 하였다.

(1) 통행시간을 고려한 대중교통 접근도 지표

기종점간의 door-to-door 통행을 평가하는 인덱스형태의 지표로서 지역간 서비스 형평성 비교, 교통수단간의 직접비교, 대안 시나리오의 비교가 존재한다.

산출식 : $$\frac{\text{Time by Bus}}{0.5(\text{Time by Car} + \text{Time by Bus})}$$

- 영향 요소 : 통행시간과 비용 (버스, 승용차에 대한), service coverage, 차량빈도, 서비스 시간
- 필요자료 : 버스, 승용차 별 기종점간의 거리 및 통행속도, 보행거리, 보행시간, 대기시간, 요금, 운행비용, 평균차량 재차율

(2) 변동계수(c_v)

대중교통 차량간의 시간간격(배차간격)의 규칙성(Evenness)을 의미하는 것으로서 실제 배차시간의 분산(headway deviation)을 평균 스케쥴 배차시간으로 나눈 계수로서 정의된다.

분석시간 또는 기간 동안 같은 스케쥴 배차시간이 동일한 경우에 사용가능하다.

- 지표의 형태 : service regularity, headway adherence, headway regularity index, wait assessment, headway ratio, headway deviation

● 영향요소 : 교통혼잡, 정류소 수, 승객량, 스케쥴 배차시간 정확성 등

● 필요자료 : 현장조사를 통한 배차간격 자료

(3) Run Time Ratio

계획된 주행시간과 실제 주행시간의 비율로서 신호교차로가 많고 다른 지체요인을 포함하는 장거리 노선에 대해 유용하다.

● 주요 영향요소 : 도로 혼잡, 승하차시간, 노선의 특징 (신호교차로의 수 등)

(4) 이동성 (Mobility)

기종점간의 통행 용이의 정도를 의미하는 것으로서 접근성과 구분하기 어려운 점이 있으나 이동성지표의 경우는 기종점간 통행시간을 강조한 반면 접근성지표는 도달할 수 있는 기종점의 수에 초점을 맞춘 것이다.

<표 Ⅲ-3> 이동성 지표

▪ 기종점간 통행시간	▪ 도로 서비스수준 또는 v/c 비율
▪ 평균통행속도 또는 통행시간	▪ 축이동성지표 (corridor mobility index)
▪ 혼잡 수준별 통행한 차량-mile (VMT)	▪ 통행율지수
▪ 혼잡으로 인한 지체 또는 손실시간	▪ 신뢰도지수(reliability factor)
▪ 상대 지체율 (실제통행율당 지체율)	▪ 혼잡가중지수(congestion burden index)
▪ 지체율 (수락할 수 있는 통행율당 지체율)	▪ 교통선택율

● 영향요소 : 용량, v/c 비율, 혼잡수준, 신호운영, 접근성

● 필요 자료 : 기종점별 통행시간, 속도, VMT 자료 등

(5) 지역 연결성 (Community Cohesion) :

주거지역과 활동지역간의 직선거리와 대중교통노선의 거리로서 표현되는 이

동성관련 지표이다.

- 지표의 형태 : 지역의 연결수준, 주거지역과 활동지역간의 직선거리와 대중교통노선의 거리

(6) **통행시간 변동계수**(Travel Time Variability)

- 기종점간 또는 특정링크상의 통행의 평균시간의 변동치

(7) **대중교통/승용차 통행시간의 차이** (transit/auto travel time difference)

- 승용차와 대중교통에 의한 통행시간의 차이

(8) **신뢰도 계수** (Reliability Factor)

- 평균보다 높은 통행시간을 갖는 통행의 비율

(9) **굴곡도** (Route Directness)

- 직선거리와 노선의 비율

(10) **환승이 필요한 통행의 비율**

기종점간 필요한 환승수를 제한하는 것은 통행시간과 지체를 감소시키고 대중교통에 대한 편의성을 증진시킬 수 있는 방법으로 단순한 환승의 수를 측정하는 것에서 벗어나 시스템 전체에 대한 평가가 가능하다.

- 영향요소 : 기종점간 연결성, 기종점간 수요, 인구밀도, 정류소 또는 역의 위치

(11) 지체

- 이상적인 상황과 실제상황 간의 통행시간 차이

(12) 상대 지체율 (Relative Delay Rate)

- 수용할 수 있는 통행율로 지체율을 나눈 값으로 혼잡의 영향 측정

(13) 통행률 지표 (Travel Rate Index)

첨두시간 동안 혼잡으로 인한 추가적인 통행시간을 나타낸 지표로서 첨두시간 통행률을 비첨두시간 통행률로 나눈 값이다. (여기서, 통행률은 단위거리당 통행시간을 의미함.)

$$\mathrm{TRI} = \frac{\left(\frac{Freeway\ Travel\ Rate/FreewayFlowRate}{Freeway\ Freeflow\ Rate} \times Freeway\ Peak\ Period\ VMT\right)}{\mathrm{Freeway\ Peak\ Period\ VMT} + \mathrm{Pr}\in .\ Arterial\ Street\ Peak\ Period\ VMT}$$

$$+ \frac{\left(\frac{\mathrm{Pr}\in .\ Arterial\ Street\ Travel\ Rate}{\mathrm{Pr}\in .\ Arterial\ Street\ Freeflow\ Rate} \times \mathrm{Freeway\ Peak\ Period\ VMT}\right)}{\mathrm{Freeway\ Peak\ Period\ VMT} + \mathrm{Pr}\in .\ \mathrm{Arterial\ Street\ Peak\ Period\ VMT}}$$

여기서, $VMT = \sum_{i=1}^{m}[AADT \times l_i]$

l = length of segment

i = 도로 각 구간

3) Florida's Mobility Performance Measures Program (2000)

플로리다에서 운영되고 있는 Florida's Mobility Performance Measures Program는 다음과 같은 의문에 대한 해답을 찾기 위한 지표설정에서 비롯된다.

- 사람과 물자(goods)에 대한 수송서비스를 어떻게 향상시킬 것인가
- 교통에 대한 투자로 무엇을 얻을 것인가

- 가능한 효율적으로 교통에 투자하고 있는가

이를 위하여 플로리다 교통국에서는 2020 Florida Transportation Plan을 기반으로 이에 부합하는 이동성 지표를 선정하여 사용하고 있다. 이 계획은 안전성, 시스템 관리, 경제적 경쟁력, 삶의 질 향상을 목표로 하고 있으며, 플로리다 이동성 성과지표 프로그램(Florida's Mobility Performance Program)은 다음과 같은 원칙에 의해 지표를 개발·활용하고 있다.

- 과정은 정책 지향적이며 데이터 수집이 가능해야 함.
- 지표는 시스템에 대한 이용자의 경험을 반영해야함.
- 다수단(multimodal)을 고려해야함.
- 일반 대중에 이해가 쉬워야 함.
- 장래 예측에 유용한 지표이어야 함.

위의 원칙에 의한 대중교통과 도로교통망에 대한 이동성 지표를 살펴보면 <표 Ⅲ-4>와 같다.

<표 Ⅲ-4> 대중교통 이동성 평가지표 프로그램 (Mobility Performance Measures for Metropolitan Transit Systems)

이동성 차원 (Dimension of Mobility)	이동성 평가지표 (Mobility Performance Measure)	정의
통행량 (Quantity of Travel)	승차율 (Ridership)	총 승객통행량 (Total passenger trips)
통행의 질 (Quality of Travel)	승용차/대중교통 통행시간 비율	Door-to-Door trip time
	신뢰도 (Reliability)	정시성 (On-time Performance)
접근성 (Accessibility)	Coverage	% person minutes served
	운행빈도 (Frequency)	시간당 버스대수
	Span	서비스 시간 (Hours of service per day)
이용율 (Utilization)	Load Factor	% seats occupied

<표 Ⅲ-5> 도로망에 대한 이동성 평가지표

이동성 차원 (Dimension of Mobility)	이동성 평가지표 (Mobility Performance Measure)	Florida Intrastate Highway System Corridors	Metropolitan Highway System	정의
통행량 (Quantity of Travel)	Person miles traveled	●	●	AADT*length*vehicle occupancy
	Truck miles traveled	●	●	AADT*length*%trucks
	Vehicle miles traveled	●	●	AADT*length
	Persons trips		●	Total person trips
통행의 질 (Quality of Travel)	Average speed	●		Average speed2 weighted by PMT
	Delay	●	●	Average delay
	Average travel time	●		Distance/speed2
	Average trip time		●	Door-to-door trip travel time
	Reliability	●	●	% of travel times that are acceptable
	Maneuverability	●		Vehicles per hour per lane
접근성 (Accessibility)	Connectivity to intermodal facilities	●	●	% within 5 miles (1mile for metropolitan)
	Dwelling unit proximity	●	●	% within 5 miles (1mile for metropolitan)
	Employment proximity	●	●	% within 5 miles (1mile for metropolitan)
	Industrial/warehouse facility proximity			% miles with bike lane/shoulder coverage
	% miles bicycle accommodations		●	% miles with sidewalk coverage
	% miles pedestrian accommodations		●	% miles with sidewalk coverage
이용율 (Utilization)	% system heavily congested	●	●	% miles at LOS E or F
	% travel heavily congested	●	●	% daily VMT at LOS E or F
	Vehicles per lane mile	●	●	AADT*length/lane miles
	Duration of congestion	●	●	Lane-mile-hours at LOS E or F

4) CTA(Chicago Transit Authority) Service Standards (2001)

CTA는 미국내 두 번째로 큰 대중교통시스템을 운영하는 기구로서, 시카고와 40여개 주변 지역을 대상으로 약 152개 노선, 노선길이 2,273mile을 서비스하고 있다.

downtown으로의 접근과 전 서비스지역에 대한 광범위한 지역서비스제공을 위해 설계된 통합대중교통시스템을 운영하고 있으며 이들이 제공하는 대중교통 서비스의 형태는 버스, 급행전철, 준대중교통서비스, 이벤트 발생시 제공하는 서비스 등 다양하다.

새로운 서비스, 서비스 확장, 서비스감소 등의 이용자 수요에 맞는 의사결정을 위한 수단으로 Service Standards라는 가이드를 제시하여 활용하고 있다. Service Standards는 1990년 발간된 이후 변화하는 승객들의 경향에 맞추어 보정되어왔다.

제시하는 지표로는 coverage, 서비스시간대, 서비스빈도, 고객흐름과 최소생산성이다.

(1) Service Coverage

대부분의 시간에 1/2마일(800m)의 도보가 가능하도록 서비스제공지역을 설정하기 한 것으로서 다음과 같이 기준을 마련하고 있다.

<표 Ⅲ-6> 버스격자시스템에서의 가이드라인 (Guideline for Bus Grid System)

시간		노선간 거리(mile)	일반적인 보행거리(mile)
주중첨두	고밀도	1/2	1/4
	저밀도	1	1/2
주중 낮/저녁		1	1/2
주말 또는 공휴일		1	1/2
야간		2	1

(2) Span of Service

Span of Service는 서비스가 제공되는 시간 그리고 대중교통이 운영되는 최소시간대를 의미하는 것으로서 CTA에서는 주요 노선(key routes)와 지원 노선(support routes)을 지정하여 대중교통 서비스 시간을 설정하되 지원 노선의 경우는 수요에 대응하여 유동적으로 운영하고 있다.

(3) Frequency of Service

서비스 빈도는 승객수요에 적합한 충분한 수의 차량을 제공하는 것을 의미

하는 것으로 이는 수요, 특히 첨두시 가장 혼잡한 지점에서의 이용자 수에 대응하는 배차간격을 의미한다.

(4) Passenger Flow

가장 혼잡한 지점에서 대중교통 수단의 승객수로 정의되는 passenger flow에 의해 버스 또는 철도 서비스가 제공된다. 이는 위에서 언급한 service frequency와 가장 밀접하게 관련이 있다. 즉 가장 혼잡한 지점에서 버스 대당 60명의 계획용량이 혼잡시간동안 계획버스 빈도로 사용된다.

<표 Ⅲ-7> Passenger Flow 적용기준

교통수단	Passenger Flow / 30분	배차간격	차량당 평균이용객수	차량길이
버스	300~360	5분	50~60	-
철도	3840~4680	4.5분	75~90	8량
철도	3510~4050	4분	75~90	6량

(5) Minimum Productivity

버스의 경우 배차간격이 30분일 때 버스 한시간당 승객 30명을 최소로 하는 기준이다. 이는 주중, 주말, 공휴일 등으로 구분하여 주기적으로 리포트되고 있다.

제2절 대중교통 평가 모형 고찰

현재 대중교통 평가는 대중교통 평가 지표나 공급 위주의 평가를 제외하고는 대부분 해당 대중교통 노선의 교통 계획 상용 프로그램을 활용하여 수요를 예측하여 이루어진다. 따라서 본 절에서는 대중교통 통행배정 모형의 전반적인 내용과 현재 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 교통 계획 관련 상용 프로그램인 EMME/2와 TransCAD를 활용한 대중교통 평가(대중교통 통행배정)의 한계를 검토한다.

1. 대중교통 통행배정모형

대중교통 통행배정모형은 크게 용량을 고려하지 않는 대중교통 통행배정모형과 용량을 고려하는 대중교통 통행배정모형으로 구분된다.

1) 용량을 고려하지 않는 대중교통 통행배정모형

용량을 고려하지 않는 대중교통 통행배정모형은 크게 전량배정모형, 확률적 통행배정모형, 최적전략에 의한 통행배정모형 등이 있다. 이들 모형은 대부분 대중교통 이용자가 많은 경우 차량의 용량초과로 발생하는 혼잡에 따른 통행자들의 통행비용 증가를 설명하지 못한다.

(1) 전량 통행배정모형

전량 통행배정모형은 결정적 통행배정모형의 하나로 가장 초보적인 단계의 기법이며 '대중교통 이용자가 출발지에서 목적지까지 가기 위해서 언제나 최소

통행비용을 갖는 노선을 선택한다.'는 가정을 기반으로 한다.

즉, 임의의 기종점쌍을 통행하는 통행량 전부를 그 기종점과 연결된 최단 경로에 배정하는 것이다. 이 기법은 기점과 종점 사이의 통행량이 작고 두 지점을 연결하는 경로의 수가 적으며 이들 통행비용이 서로 크게 차이가 날 때에만 적용이 가능하므로 현실적이지 못한 단점이 있다. 이 모형은 대중교통 노선의 용량이 무한하다는 비현실적인 가정을 전제로 한다.

(2) 확률적 통행배정모형

'개별 통행자가 링크의 통행비용을 서로 다른 방식으로 인지한다.'라는 가정을 전제로 통행 배정을 한다. 기종점을 연결하는 각각의 경로를 사용할 확률을 수학적인 모형에 의하여 계산한 후 이를 이용하여 통행을 배정한다.

(3) 최적전략 통행배정모형

최적전략(Optimal Strategy) 통행배정모형은 Spiess-Florian(1989)[2]에 의해 제안된 모형으로 대중교통 이용자는 목적지까지 도착하기 위하여 경로 선택 방법을 다양하게 설정할 수 있는데 이러한 경로 선택 방법들의 집합을 전략(Strategy)이라고 정의하였다.

Spiess-Florian(1989)은 전략을 수학적으로 모형화 할 수 있도록 승객이 통행 중에 얻을 수 있는 정보는 대기하고 있는 정류장에서 다음에 도착하는 노선이 무엇인가에 대한 정보 외에 없다고 가정하였다.

위와 같은 가정 하에서 수립될 수 있는 다수의 전략 중에 통행자의 평균통행시간을 최소화해주는 전략을 Spiess-Florian은 최적전략(Optimal Strategy)이라 하고 모든 통행은 이 전략에 따라 이루어진다는 최적전략(Optimal Strategy)

2) Spiess,H. and Florian, M., "Optimal Strategies : A new assignment model for transit networks",Transportation Research B,Vol.23,pp. 83-102, 1989.

에 의한 통행배정모형을 개발하였다.

2) 용량을 고려한 대중교통 통행배정모형

용량을 고려하지 않는 대중교통 통행배정모형은 비현실적인 통행량이 배정될 수 있다. 따라서 좀 더 현실적인 모형으로 용량을 고려하는 통행배정모형의 구축에 대한 검토가 필요하다.

(1) 대중교통 균형통행배정모형

De Cea-Fernandez(1993)[3]은 대중교통의 배정 시 차량의 용량을 고려한 대중교통 균형 통행배정모형을 제시하였다. 차량 용량제약으로 인한 정류장에서의 지체를 표현하기 위해 대중교통 네트워크를 환승이 발생하는 정류장과 이들을 연결하는 경로구간으로 재구성하였다.

(2) 최적전략 기반 대중교통 균형통행배정모형

대중교통 통행배정모형에서 혼잡을 고려하기 위하여 Spiess(1993)[4]가 제시한 방법으로 기존의 최적전략 개념을 기본으로 대중교통 균형통행배정을 구축한 것이다.

즉 대중교통 통행비용함수를 개별차량 통행배정모형에서 사용되는 링크통행비용함수와 유사한 형태의 함수로 구성하여 대중교통의 통행비용이 더 이상 상수가 아닌 링크(노선구간) 통행량에 따라 연속적으로 증가하게 구성한 것이다.

---

3) De Cea J. and J. E. Fernandez, "Transit Assignment for Congested Public Transport System : An Equilibrium Model", Transportation Science Vol. 27, No. 2, pp. 133-147, 1993.

4) Spiess, H., "Transit Equilibrium Assignment Based on Optimal Strategies : An Implementation in EMME/2", EMME/2 Support Center, 1993.

Spiess는 대중교통의 통행비용이 통행량에 따라 증가하는 것은 차량 내부가 혼잡해짐에 따라 느끼는 불편함이 증가하는 것으로 해석하고 이를 일반화 비용의 증가로 표현하였다.

3) 대중교통 통행배정 모형의 특징

대중교통의 경우 개별 차량과는 상이한 특성을 가지고 있어 대중교통을 대상으로 통행배정모형을 구축할 경우에는 개별차량에 대한 접근방법과는 다른 방법으로 접근하여야 한다.

개별 차량과는 다른 대중교통의 대표적인 특징은 아래와 같다.

- 대중교통은 일정한 노선(Line)을 가지고 운행함
- 대중교통은 일정한 운행계획(Schedule)에 의해 운행됨
- 대중교통의 통행시간은 개별차량과 다르게 여러 요소로 구성됨
  - 기종점에서의 접근시간
  - 정류장에서의 대기시간
  - 수단간 또는 노선간 환승시간
  - 차내통행시간
- 대중교통은 개별차량과는 다른 요금이 존재함
- 대중교통은 같은 경로(Route)를 운행하는 노선(Line)이 여러 개 존재함

2. EMME/2와 TransCAD 대중교통 통행배정 모형

현재 대다수의 대중교통 평가는 상용 프로그램인 EMME/2와 TransCAD를 기반으로 이루어지기 때문에 본 장에서는 EMME/2와 TransCAD에 내재된 대중교통 통행배정 모형에 관해 언급한다.

1) EMME/2 대중교통 통행배정 모형

교통계획 소프트웨어인 EMME/2에는 최적전략에 의한 통행배정기법이 내재되어 있다. 최적전략에 의한 통행배정기법은 최적전략(Optimal Strategy)이라는 개념을 도입해 출발지에서 목적지까지의 평균통행시간을 최소화시키는 통행배정기법으로 Spiess-Florian은 이러한 전략을 수학적으로 모형화 하였다.

최적전략에 의한 통행이 이루어지는 과정은 다음과 같다.

- 단계 0: 출발노드를 NODE로 설정
- 단계 1: NODE에서 이용 가능한 노선에 속하는 차량 중에서 먼저 도착하는 차량에 승차
- 단계 2: 주어진 최적전략에 따라 미리 정해진 노드(정류장)에서 하차
- 단계 3: 목적지에 도착하지 못한 경우, 현재의 노드를 NODE로 설정하고 단계 1로 돌아가고 목적지에 도착한 경우 통행을 완결

(1) EMME/2 대중교통 통행배정 모형의 문제점

대중교통 통행배정모형으로 최적전략에 의한 통행배정기법만 내재되어 있는 관계로 대중교통 통행배정 시 최적전략에 의한 통행배정기법의 한계점이 존재한다. 즉, 환승비용을 고려하지 못하여 노선 간 환승이 많이 발생하는 경로를 최단경로로 선택할 가능성이 존재하며 배차간격만을 기준으로 노선선택 확률을 계산한다는 단점이 있다.

2) TransCAD 대중교통 통행배정 모형

TransCAD는 여섯 개 모듈의 대중교통 통행 배정 방법을 제공하게 되며 그 중에는 세 개의 핵심 방법이 있고 다른 프로그램으로부터 결과물을 받아오는 기능을 가진 세 가지 방법이 있다.

- 전량 통행배정모형
- Pathfinder

● 확률적 균형통행배정모형

전량 통행배정 방식은 모든 통행자들을 하나의 최적의 기점과 종점으로 배정하는 방식으로 Pathfinder는 TRANPLAN과 EMME/2에서 사용되는 일반적인 방법이다.

확률적 균형통행배정모형은 노선의 용량과 관련된 확률적인 다중노선 방법으로 대중교통 노선 배정에 있어서 노선의 선택은 대안 노선, 통행시간, 탑승대기시간, 환승 횟수, 서비스 신뢰성 등에 따라 달라지며 대기시간과 환승 시간은 보통 배차 간격의 1/2로 계산한다.

(1) The PATHFINDER Method

Pathfinder method는 Caliper에서 TRANPLAN과 최적전략 방법을 일반화하기 위해 개발하였다. Pathfinder의 개발로 인해 후에 중요하게 다뤄질 도형들이 추가될 수 있으며 최적 노선을 찾기 위한 노선 환승이나 요금도 다룰 수가 있게 되었다.

Pathfinder method의 중요한 특징 중의 하나는 요금이 최적노선을 결정하는데 영향을 미친다는 것인데 시간을 재정적인 가치로 환산하여 계산을 하는 것이다. 요금을 이용한다는 것은 요금이 노선과 수단을 선택하는데 있어서 매우 큰 영향을 미치기 때문에 매우 중요하다.

(2) TransCAD 대중교통 통행배정 모형의 문제점

전량 통행배정모형은 일반적으로 넓은 도시지역에는 적합하지 않고 용량을 고려하지 않는다는 단점이 있는 반면 Pathfinder는 사용하기 편리하고 계산이 빠르며 적용하기가 간단하다. 확률적 균형통행배정모형은 다소 복잡하나 대중교통의 이용 특성을 보다 양호하게 재현할 수 있다.

TransCAD에 내재되어 있는 대중교통 통행배정의 한계는 최근 수도권에서

수행되고 있는 통합거리비례 요금제를 반영할 수 없다. 통합거리비례 요금제는 링크비용의 합인 경로비용과는 다른 비가산성(Non-Additive) 통행함수를 가정으로 성립되어야 한다. 이들 모형은 이러한 문제를 해결할 수 있는 내용이 존재하지 않는다. 따라서 근본적으로 모형의 구조를 경로기반으로 전환하거나 다른 통행배정모형을 구축할 필요가 있다.

제3절 시사점

1. 국내 · 외 평가지표 고찰에 대한 시사점

국내 · 외 대중교통 평가연구를 정리하면 다음과 같다.

<표 Ⅲ-8> 국내 연구 사례

연구 사례	연구 내용 및 평가 지표
서울시 시내버스노선 조정 방안 연구 (서울시정개발연구원,1994)	서울시 버스의 합리적인 노선체계 구축방안 마련 노선거리, 운행시간, 지하철 경합 비율, 과소밀 노선 지표 외 다수
시내버스노선의 합리적 조정 방안 (서울시정개발연구원,1995)	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)	제2기 지하철 개통에 따른 대중교통체계 변화 예측 및 대중교통 서비스 제고 방법론 구축 신속성, 쾌적성, 편리성, 수익성
지속가능한 이동성 연구 (국토연구원, 2002)	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)	도시 내 전체 버스노선체계의 평가를 위한 기준 및 정량적 지표의 설정 접근성, 환승률, 승차안락성, 형평성 외 다수
대중교통망 이동성 지표 개발 (노현수 외, 2005)	복합대중교통망에서의 대중교통 이동성 지표 및 서비스제공 분석 지표 제안 이동성, 접근성
세계주요도시의 대중교통경쟁력 비교 (김동준 외, 2006)	대중교통경쟁력 지표 선정 및 대중교통 경쟁력 수준 평가 면적당 버스노선 연장, 인당 버스 운행거리, GDP 대비 대중교통투자 비율 외

<표 Ⅲ-9> 해외 연구 사례

연구 사례	연구 내용 및 평가 지표
Transit Capacity and Quality of Service Manual (TRB, 2001)	대중교통용량과 서비스 질에 관한 연구 승객량, 신뢰성, 통행시간, 환승필요 여부 외
A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement system (TRB, 2001)	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)	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)	새로운 서비스, 서비스 확장, 서비스감소 등의 이용자 수요에 맞는 의사결정을 위한 수단 서비스 범위, 서비스 빈도, 최소 생산성, 서비스 시간

국내 및 국외 대중교통 평가 관련 기존 연구에서는 정확한 전수화 실측 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 실측 자료를 얻을 수 있다. 따라서 이를 기반으로 기존 연구의 한계점인 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.

2. 평가모형 고찰에 대한 시사점

EMME/2와 TransCAD에 내재되어 있는 대중교통 통행배정 모형은 링크를 기반(Link-Based)으로 하고 있으나 이런 링크기반 모형의 경우 요금이 포함된 버스카드 자료와 같이 개인의 목적통행이 수단통행으로 연결되는 경우 통행행태 특성을 설명하지 못하는 단점을 지니고 있다. 또한 기존 대중교통 통행배정 모형의 경우 환승을 포함한 여러 통행 수단(Multi-Modal)을 설명하는데 한계점을 지니고 있다.

현실 상황에서 대중교통 이용자의 경우 단순히 버스 혹은 철도만을 이용하는 것이 아니라 승용차에서 버스 혹은 버스에서 철도로 수단 간 환승을 통해 통행을 하므로 대중교통 통행배정 모형이 이를 반영할 수 있어야 한다.

또한 환승 요금을 고려하는 대중교통 통행배정 모형이 필요하다. 기존 모형들 중 요금이 최적노선을 결정하는데 영향을 미치는 모형은 있었으나 이는 환승 요금을 설명하는데 여러 한계점을 지니고 있다.

따라서 이런 단점을 극복할 수 있는 개인 경로 기반(Path-Based)의 대중교통 평가 모형이 필요하다고 판단되며 수단 간 환승 요금과 수단 간 상이한 요금체계를 고려할 수 있는 대중교통 통행에 대한 평가 틀의 구축이 필요하다고 판단된다.

제Ⅳ장 대중교통 평가모형 개발

제1절 대중교통 평가지표 및 모형의 상
제2절 지역 간 대중교통 서비스 평가 방안
제3절 통합 대중교통 평가 모형

제Ⅳ장 대중교통 평가모형 개발

제1절 평가 지표 및 모형의 상

1. 평가 지표의 상

개인의 통행을 추적할 수 있는 대중교통카드 활용 평가체계를 구축하면 전수화 자료가 이용가능하고 비용이 저렴하다. 대중교통 카드 정보를 기존 교통망 자료(네트워크 또는 GIS 자료)와 함께 활용하여 얻을 수 있는 자료는 <표 Ⅳ-1>과 같다.

<표 Ⅳ-1> 교통카드자료에서 획득 가능한 지표 및 획득방법

평가지표	비 고
평균통행속도	정류장의 좌표를 통해 거리산출 가능
환승횟수	환승통행 카운트
대기시간	전 통행의 하차시간과 후 통행의 승차시간 차이
승용차대비 통행시간	총 통행시간 산정
승차요금	기본요금 + 환승요금
혼잡도	전수조사가 가능하기 때문에 노선별/차량별 탑승인원 산정
정류장 접근시간	대중교통망 구축 후 지역별 접근시간 산정

본 연구에서는 지역 간 대중교통서비스의 평가체계를 대중교통 서비스 기준 또는 비교를 통하여 구축하는 것으로 다음 <그림 Ⅳ-1>과 같다.

<그림 Ⅳ-1> 지역 간 서비스 평가 지표

<그림 Ⅳ-1>은 대중교통 이용에 대한 지역 간 평가기준으로 '이동성', '형평성', '접근성'을 들고 있으며 이들은 서로 연관되어 있고 대중교통 카드 자료로부터 도출 가능하다.

예를 들면, A-B 지역과 C-D 지역 간의 지표를 비교할 때 A-B 지역이 C-D 지역과 비교하여 평균 통행속도가 매우 낮으면 A-B 지역의 이동성은 떨어지고, 이는 형평성 차원에서도 격차가 존재할 수 있음을 나타낸다.

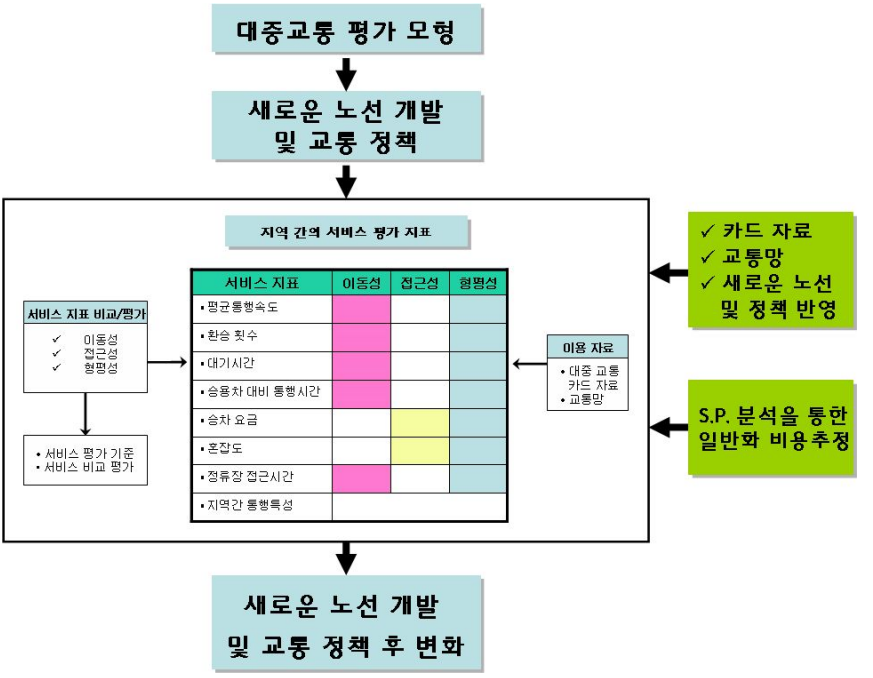
2. 평가 모형의 상

통합대중교통망에서 대중교통 이용카드는 이용노선에 대한 통행궤적 자료의 구축이 가능하며 이는 통행수단의 연계 이용 자료의 구축이 포함된 것이다.

기존의 EMME/2와 TransCAD에서는 링크 기반으로 모형을 적용하기 때문에 수단의 경로 궤적을 추적할 수가 없어 버스 카드 자료가 제시하는 지표를 반영하기에는 한계점이 존재한다.

본 연구에서 제시하는 평가모형은 기본적으로 경로기반으로 구축되어 연계수단의 이용에 의해 나타나는 궤적의 추적이 가능하며 다양한 계층의 목적 통

행에 대해서 계층화 할 수 있으므로 새로운 노선 개발 및 교통 정책에 대하여 통행행태 변화에 따른 분석이 가능하다.



<그림 Ⅳ-2> 대중교통 평가모형의 상

<그림 Ⅳ-2>에서는 <그림 Ⅳ-1>의 평가지표를 모형을 통하여 계산할 수 있음을 보여주며 전/후 모형 비교를 통하여 정책개선 여부를 거시적/미시적으로 분석이 가능한 모형으로 구축된다.

제2절 지역 간 서비스 평가 방안

1. 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.

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 비용 면에서도 저렴하다.

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

<표 Ⅳ-2> 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 Ⅳ-3>과 같다.

<표 Ⅳ-4>는 대중교통 카드자료 10번에 해당하는 것으로 교통수단 ID별 버스유형을 나타낸다.

<표 Ⅳ-3> 대중교통 카드 자료

	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
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 Ⅳ-4> 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) 수집 가능한 교통 지표

대중교통 카드로부터 수집 가능한 교통 지표는 <표 Ⅳ-5>와 같다.

<표 Ⅳ-5> 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 통행쌍

자료: 대중교통정책수립을 위한 교통카드자료 활용방안, 한국교통연구원, 2006

(3) 대중교통 카드 자료의 예

대중교통 카드 자료의 내용과 실제 예는 <표 Ⅳ-6>에 나타나 있고 이에 대한 내용은 <표 Ⅳ-7>에 나타나 있다.

<표 Ⅳ-6> 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	11110035	111002900	111749773	01	20061029133633	0007769	20061029145245	0009528	1	0	200
13	7	20061029191243	005	120	0	11110315	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 Ⅳ-7> 대중교통 카드 자료 내용

	ID	수단	승차정류장	승차시각	하차정류장	도착시각	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

2. 대중교통 카드 자료를 활용한 O/D

대중교통 카드 자료를 활용하면 전수화된 O/D를 구축할 수 있게 된다. 이는 시간대별, 요일별, 월별, 연도별 등에 따른 O/D 및 첨두시간, 비첨두시간, 평일, 주말, 휴일 등 다양한 시간 및 목적에 맞는 O/D의 생성이 가능함을 의미한다.

기존의 가구통행실태 조사를 통한 O/D 구축은 직접 조사에 따른 인력 및 비용의 문제, 전수화 조사가 아닌 표본 조사에 따른 문제, 설문 조사가 지니고 있는 태생적 문제, 특정 날짜와 특정 시간대의 조사에 따른 문제 등을 내재해 있었다. 따라서 이에 대한 정확성에 대한 문제가 항상 제기되어 왔고 활용에서도 여러 가지 한계가 있었던 것이 사실이다. 하지만 대중교통 카드 자료를 통해 O/D를 구축하게 되면 기존의 행정동 기반의 O/D에서 보다 정확하고 경제적인 O/D를 구축할 수 있게 된다.

또한 그 활용에 있어서도 교통카드에 입력되는 다양한 정도로 인해 분석자의 주관에 따라 수단별 O/D, 특정 지역이나 노선의 O/D, 개인 특성의 O/D 등 다양한 형태의 전수화된 O/D의 구축이 가능하다.

<표 Ⅳ-8> 대중교통 카드자료의 O/D 특성

장점	내용
정확성	정류장 기반 O/D 구축 가능, 전수화 가능
경제성	RF카드에 의한 간접조사로 구축 가능
활용성	분석가 주관에 따라 다양한 형태의 O/D 구축 가능
확장성	대중교통 카드 보급에 따른 전국 단위 O/D 구축 가능
신뢰성	첨단 기술의 카드리더기를 통한 자료 구축 가능

3. 대중교통 서비스 평가 지표 구축

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 제안한다. 또한 범지역적으로 사용 가능한 지점 대 지점(point-to- point ; 노드, 역)의 개별 서비스 평가 지표를 제안함과 동시에 지역 대 지역(area-to-area ; 동, 구, 특정지역)의 지역 서비스 평가 지표를 제안한다.

1) 도출 가능 지표

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

<표 Ⅳ-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 모형 화를 위해 사용된 표식은 다음과 같다.

m : 이용 수단

n : 이용 노선

k : 이용 노선상의 환승 지점

$U_{i,j}^{m}$: m수단을 이용한 i지점에서 j지점까지의 통행 속도

$T_{i,j}^{m}$: m수단을 이용한 i지점에서 j지점까지의 통행 시간

$D_{i,j}^{m}$: m수단을 이용한 i지점에서 j지점까지의 통행 거리

$UT_{i,j,k}^{n}$: i지점에서 j지점까지의 n노선상의 k지점에서의 승차시간

$DT_{i,j,k}^{n}$: i지점에서 j지점까지의 n노선상의 k지점에서의 하차시간

$WT_{i,j}^{n}$: i지점에서 j지점까지의 n노선상의 총 환승 시간

$TWT_{i,j}$: i지점에서 j지점까지의 모든 노선상의 총 환승 시간

$AWT_{i,j}$: i지점에서 j지점까지의 모든 노선상의 평균 환승 시간

$S_{i,j}$: i지점에서 j지점까지의 통행 표본수

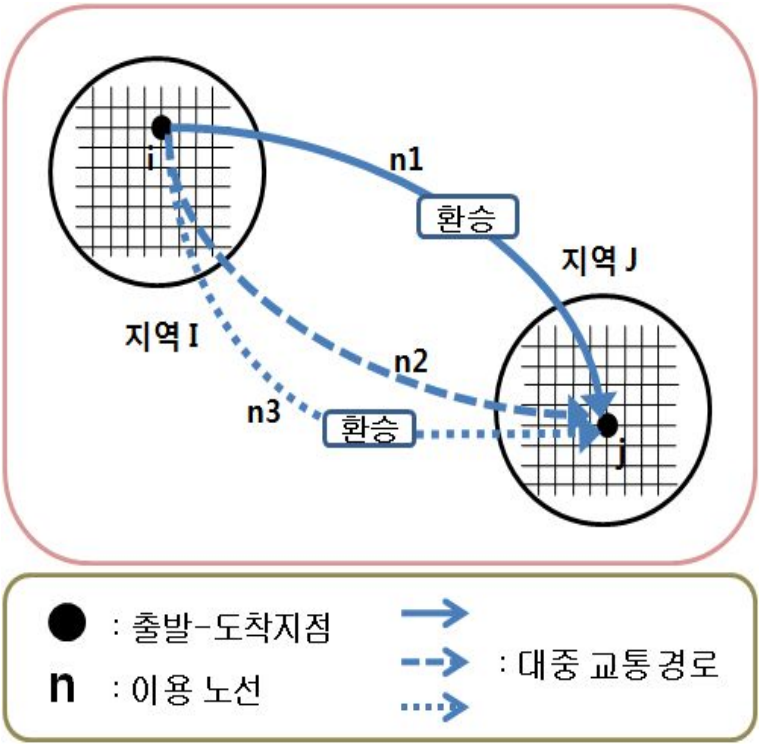
$U_{I,J}^{m}$: m수단을 이용한 I지역에서 J지역까지의 통행 속도

$T_{I,J}^{m}$: m수단을 이용한 I지역에서 J지역까지의 통행 시간

$D_{I,J}^{m}$: m수단을 이용한 I지역에서 J지역까지의 통행 거리

3) 개별 서비스 평가 지표

본 연구에서 개별 서비스 평가 지표 중 대중교통 카드로부터 직접적으로 도출하지 못하는 개별 서비스 평가 지표에 대한 산출식을 제안한다.



<그림 Ⅳ-3> 지역 간 개별 서비스 평가 지표

(1) 평균 통행속도

본 연구에서 적용할 지표 중 평균 통행속도 산출을 위한 수식은 식 (4-1)과 같다.

$$U_{i,j}^{m}=\frac{D_{i,j}^{m}}{T_{i,j}^{m}} \qquad \text{식 (4-1)}$$

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 (4-2), 식 (4-3), 식 (4-4)와 같다.

$$WT_{i,j}^{n}=\sum_{k}(UT_{i,j,k}^{n}-DT_{i,j,k}^{n}) \quad \text{식 (4-2)}$$

$$TWT_{i,j}=\sum_{k}WT_{i,j}^{n} \quad \text{식 (4-3)}$$

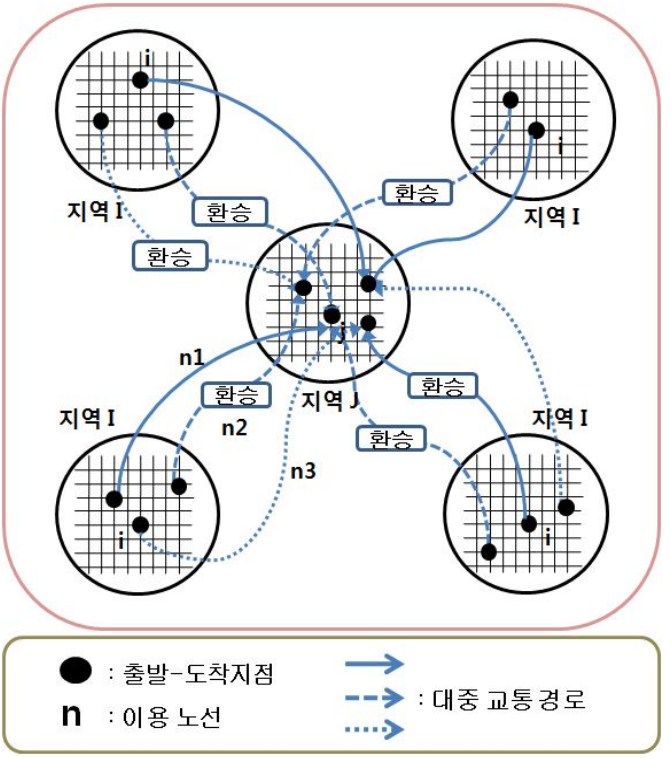
$$AWT_{i,j}=\frac{TWT_{i,j}}{S_{i,j}} \quad \text{식 (4-4)}$$

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

또한 평균 환승 시간은 총 환승 시간을 대중교통 카드로부터 획득된 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 평가를 위해 활용될 수 있으며 이는 해당 지역의 접근성, 형평성 및 이동성의 수치화를 위해 적용이 가능하다.



<그림 Ⅳ-4> 지역 간 지역 서비스 평가 지표

(1) 평균 통행속도

지역 간 대중교통 서비스 평가를 위해 지역 단위의 대중교통 평균 통행속도를 평가 지표로 활용한다.

$$U_{I,J}^{m}=\frac{\sum_{i}\sum_{j}D_{i,j}^{m}}{\sum_{i}\sum_{j}T_{i,j}^{m}} \qquad \forall i,j;\ i\in I, j\in J \qquad \text{식 (4-5)}$$

지역 간 평균통행속도는 두 지역 간(I, J)을 이동하는 모든 노선의 총 이동시간과 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 (4-6) 식 (4-7)과 같다.

$$TWT_{I,J}=\sum_{i}\sum_{j}TWT_{i,j} \qquad \forall i,j;\ i\in I, j\in J \qquad \text{식 (4-6)}$$

$$AWT_{I,J}=\frac{TWT_{I,J}}{S_{I,J}} \qquad \forall i,j;\ i\in I, j\in J \qquad \text{식 (4-7)}$$

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.

4. 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 제안한다.

1) 구축방법론

대중교통 서비스 평가 체계 구축을 위한 네트워크는 자료의 특성상 버스와 지하철만을 대상으로 하며 이에 대한 구축 과정은 <그림 Ⅳ-5>와 같다.

<그림 Ⅳ-5> 정류장 기반 네트워크 구축 방법

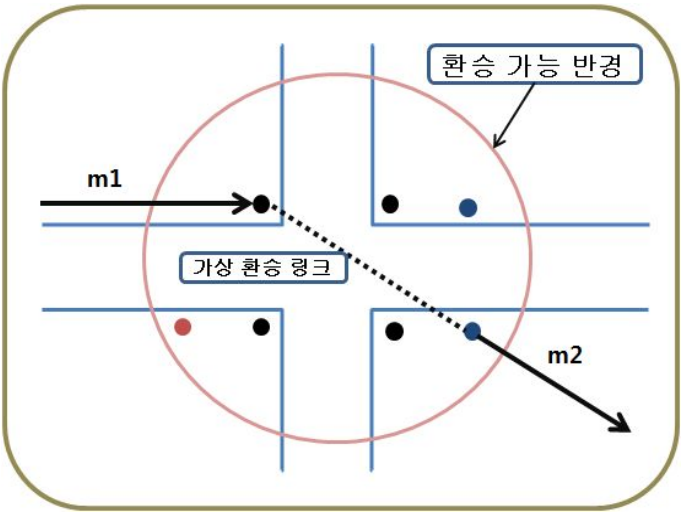
기존 버스 및 지하철 정류장의 좌표는 경위도체계로 되어 있기 때문에 이를 거리계산이 가능한 TM(Transverse Mercator) 좌표로 변환할 필요성이 있다. TM좌표로 변환된 정류장 좌표로 노드를 구축하고 프로그래밍 기법을 활용하여 가상으로 링크와 환승체계를 구축한다. 이렇게 구성된 네트워크상에 대중교통 노선자료를 활용하여 대중교통 경로를 구축한다.

2) 가상 링크 및 환승 체계 구축

본 연구에서 제안한 대중교통 서비스 평가를 위한 네트워크 구축 방법의 핵심은 가상 링크 및 환승 체계 구축에 있다. 이러한 방법으로 버스 및 지하철 정류장 좌표를 이용하여 정류장 간에 가상링크를 구성할 수 있다. 모든 과정은 Network 프로그래밍 기법으로 적용이 가능하다.

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.

개념적인 도식화는 <그림 Ⅳ-6>과 같다.

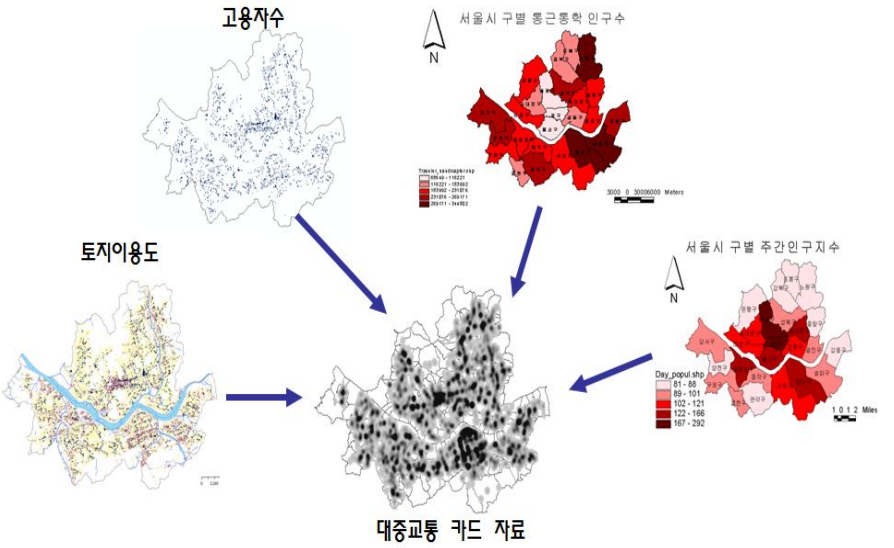


<그림 Ⅳ-6> 가상 링크 및 환승 체계

3) 지리정보시스템과의 연계

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

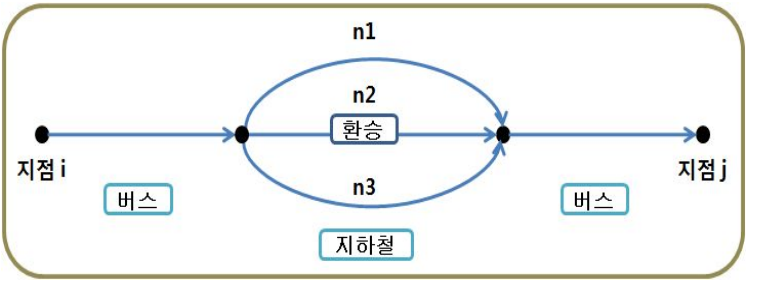
GIS를 활용하게 되면 토지이용이나 지역별 인구수 및 고용자수와 같은 다양한 사회·경제적 지표를 정류장 기반 네트워크와 함께 활용할 수 있게 된다. 따라서 수도권 통합요금제 실시 후 달라진 통행자들의 패턴 분석 등이 가능하게 된다.



<그림 Ⅳ-7> 대중교통 카드자료와 GIS의 연계

5. 지하철 행태 모형

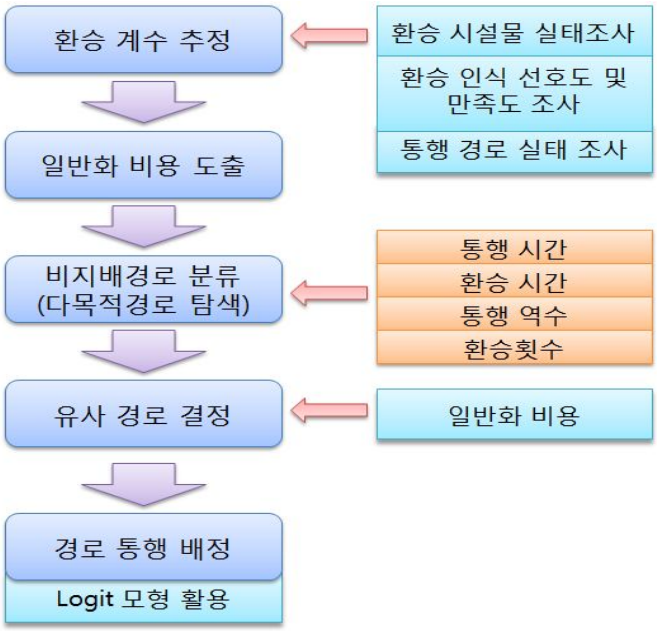
대중교통 카드 이용 자료는 지하철 이용 자료를 포함하기는 하지만 지하철 통행 중 발생하는 이용 경로 및 지하철 내부 환승에 대한 자료는 용이하지 않다. 따라서 지하철 내부 환승과 이용 경로에 대한 자료를 얻기 위해서는 가상의 경로를 구축하는 방안이 강구되어야 한다.



<그림 Ⅳ-8> 지하철 통행 경로

1) 구축방법론

본 연구에서는 지하철 행태 모형에 대한 개략적인 상(像)은 <그림 Ⅳ-9>와 같다.



<그림 Ⅳ-9> 지하철 행태 모형 구축 방법

지하철 경로 구축을 위한 지하철 행태 모형은 크게 비지배경로 분류를 통한 다목적 경로(Multi Objective Path)를 탐색하는 것으로 요약할 수 있다. 고려되는 다목적으로는 통행시간, 환승시간, 통행역수, 환승횟수 등을 들 수 있다. 도출된 다목적 경로를 SP(Stated Preference) 조사를 통해 얻어진 지하철 통행 일반화 비용을 바탕으로 유사 경로가 결정된다. 도출된 유사통행경로에 Logit 모형을 기반으로 경로 통행 배정이 된다.

제3절 통합 대중교통 평가모형

1. 개요

통합 대중교통 평가 및 분석을 수행하기 위해서 본 절은 크게 두 가지의 대중교통 평가 모형을 제안한다. 먼저 통행시간, 환승시간, 통행역수 등과 같은 다목적을 동시에 고려하면서 개개인의 선택 가능한 경로를 도출할 수 있는 비지배경로(Non Dominated Path)를 포함한 유사통행경로(Similar Path) 결정 방법을 제안한다. 두 번째는 링크기반 통행배정 모형의 단점을 극복할 수 있는 경로기반의 통행배정 모형이다. 국내에서는 대중교통 평가와 분석을 링크기반의 통행배정 모형에 의존한 연구와 분석이 주를 이루고 있으나 실제 개개인은 경로기반으로 통행을 하고 현재는 대중교통 카드로부터 경로기반의 자료 또한 구축 가능하다. 본 절에서 제안하는 경로기반 통행 배정 모형은 대중교통 평가 및 분석에 크게 활용 가능하다고 판단된다.

2. 일반화 비용

유사통행경로 결정 방법과 경로기반 통행배정 모형 모두 일반화 비용이 산출되었다는 것을 전제로 한다. 이는 개개인이 통행 경로를 선택할 때 통행시간, 환승시간, 통행역수, 환승횟수 등과 같은 제약 요소를 각각 생각하는 것이 아니라 종합적으로 고려하여 통행 경로를 결정하기 때문이다. 따라서 어느 노선(경로)이 다른 노선보다 통행 선호도가 높다면 선택된 노선(경로)은 비선택된 노선보다 양질의 서비스를 제공함을 의미한다. 결국 통행 배정 모형을 통한 대중교통 평가 및 분석은 주어진 경로를 상대적으로 비교할 수 있는 여러 제약 요소를 포함한 통일화된 일반화 비용(Generalized Cost)이 필요하게 된다.

한국개발연구원(2004)에서는 도로부문의 통행배정을 위한 일반화비용을 식(4-8)과 같이 표현하였다.

$$T = T_0[1+\alpha(V/C)^{\beta}] + \text{구간거리} \times \text{가중치} \qquad \text{식 (4-8)}$$

여기서

T : 링크통행시간(일반화 비용, 분)

T_0 : 링크 자유통행시간(시간비용, 분)

V : 링크 교통량(pcu/시)

C : 링크 용량(pcu)

α, β : 파라미터

가중치 : 통행요금/km)/[차종별 시간가치]

일반화 비용을 시간가치의 개념으로 생각해 볼 수도 있는데 시간가치(value of time: VOT)란 대중교통 이용자가 해당 경로를 이용할 때 단위시간에 대하여 느끼는 심리적인 희생감을 금전적으로 환산한 것으로 통행시간을 단축시키기 위해 지불할 수 있는 WTP(willingness to pay)와 동일한 개념이다. 일반적으로 시간가치 산정은 한계임금률법(marginal wage rate method)와 한계대체율법(marginal rate substitution)을 들 수 있다.

한계임금률법은 임금수준에 의해 통행시간이 단축되는 만큼 생산성이 향상되는 정도를 측정하는 방법으로 한국개발연구원(2004)에서는 2003년 기준으로 업무통행 시간가치를 승용차 운전자의 경우 13,257원/인 · 시간, 버스운전자가 9,325원/인 · 시간, 트럭운전자가 11,670원으로 제시되었다. 한계대체율법은 대중교통 이용자가 통행시간 1시간을 단축시키기 위해 기꺼이 지불할 용의가 있는 금액을 추정하는 방법으로 효용함수식이 식 (4-9)와 같이 추정되었다면

$$V = \alpha Time + \beta Cost \qquad \text{식 (4-9)}$$

여기서

V : 결정적 효용
$Time$: 통행시간
$Cost$: 통행비용
α, β : 파라미터

통행시간에 대한 화폐가치는 다음 식(1)과 같이 한계효용(marginal cost)의 비로 계산된다.

$$\text{단위시간당화폐가치} = \frac{\frac{\partial V}{\partial Time}}{\frac{\partial V}{\partial Cost}} = \frac{\alpha}{\beta} \qquad \text{식 (4-10)}$$

정헌영 · 김정주(2000)는 차외시간의 가치가 차내시간의 가치보다 현저히 높다고 하였으며 설문조사를 통한 분석에서 차외시간가치를 2,695원/시간(마을버스)와 2,718원/시간(시내버스)으로, 차내시간가치를 1,723원/시간(마을버스), 1,738원/시간(시내버스)로 제시하였다. 윤혁렬(2000)은 차외시간이 차내시간에 비해 불확실하고 비생산적임에 따라 차외시간이 더 많은 영향을 미친다고 하였다.

3. 유사통행경로 결정 방법

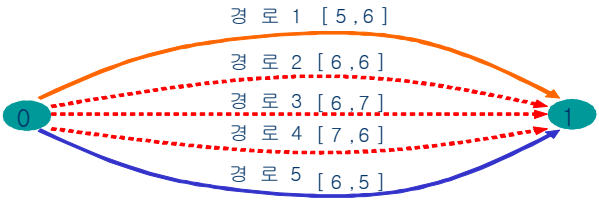
1) 비지배경로(Non-Dominated Path)

대중교통 평가 및 분석을 위해 제안할 유사통행경로 결정 방법에서 다목적을 고려하기 위해서는 비지배경로라는 개념을 도입한다. 비지배경로에 대한 정의는 다음과 같다.

- 정의 1 : 두 경로 $P_1(t), P_2(t)$가 시간 종속적 가능 경로 집합에 있고, n개 속성값 $(u_1, u_2, \cdots, u_i, \cdots, u_n)$에서 어떤 i개별속성 ($\mu_i \in u_i$)에 대하여 $P_1(t), P_2(t)$의 개별속성 $\mu^i_{P_1(t)}, \mu^i_{P_2(t)}$이

$\mu^{i}_{P_1(t)} \leq \mu^{i}_{P_2(t)}$가 모든 속성(i=1,2,3,…,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 Ⅳ-10> 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.

2) 유사통행경로

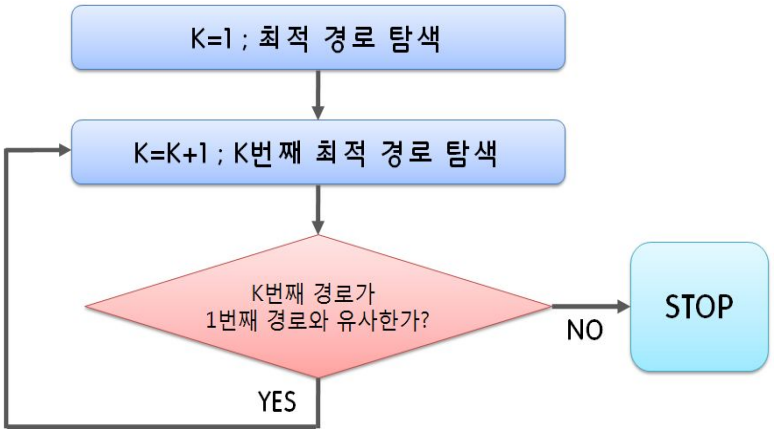
대중교통 승객은 자신이 통행하는 경로에 대해 몇 가지 대안 경로를 가지고 있다. 환승역이 존재하기 때문에 서울시 대중교통 통행은 단일경로로 통행행태를 표현할 수 없다. 이를 해결하기 위해서는 대등한 서비스를 제공하는 다수의 유사통행경로를 파악 한다. 실제 사례 연구를 실시해보면 최적 경로의 일반화비용 대비 10%이내에 들어오는 유사통행경로쌍은 전체 O/D쌍의 40% 수준에 해

당하며 이들 유사통행경로들은 기관 간의 서비스 기여도에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 유사통행경로를 결정하기 위해서 우선 결정기준을 제시해야 하며 그 기준에 따른 유사통행경로 탐색 방법이 추가로 필요하다.

3) 유사통행경로의 결정방안

유사통행경로를 결정하는 기준으로 일반화비용을 사용한다. 경로의 일반화비용은 환승에 대한 불편도 개념이 적용되어 있어 특정 개인이 경로를 선택하는 합리적인 기준이 될 수 있다. 여기서 유사한지의 여부는 통행거리분포에 따라 몇 가지 변수가 포함될 수 있으나 본 연구는 최적경로의 일반화비용 대비 다른 경로의 일반화비용 차이가 몇 %내에 포함되는 경로로 나타낼 수 있다. 이는 개인이 느끼는 불편도를 고려하여 결정한 최적경로에 비해 어느 정도까지 통행대안 경로로 선택할 지의 여부로 보면 될 것이다. 예를 들면 일반화비용이 70분이 최적경로에 10% 이내에 포함하는 경로를 유사통행경로로 본다면 일반화 비용이 77분 이내인 모든 경로가 유사통행경로가 된다.

유사통행경로를 탐색하는 알고리즘은 <그림 Ⅳ-11>과 같다.



<그림 Ⅳ-11> 유사통행경로 결정방안 프로세스

일반화비용이 가장 작은 최적경로를 탐색한 후 설정된 유사통행경로 결정범위(예를 들어 10%)에 부합하면 다음경로의 탐색을 시작하고 그렇지 않으면 종료하는 과정을 이행한다.

여기서 유사통행경로 결정기준을 일반화 비용대비 비율(%)로 결정하는 이유는 통행비용인지특성을 고려하기 위해서이다.

단거리통행에서 5분의 차이는 경로선택 시 주요하게 작용할 수 있으나 장거리통행에서 5분의 차이는 경로선택의 주요요소가 되지 않을 수 있다.

즉 통행자는 단거리 통행에 대해서는 통행시간에 민감하게 반응하고 장거리통행에 대해서는 덜 민감하게 반응한다고 할 수 있다.

따라서 유사통행경로 결정기준을 일반화 비용대비 비율로 설정하여 본 연구는 단거리노선에서는 통행시간에 민감하게 반응하고 장거리통행에 대해서는 덜 민감하게 반응하게 하여 통행자의 통행시간 인지특성을 반영하였다.

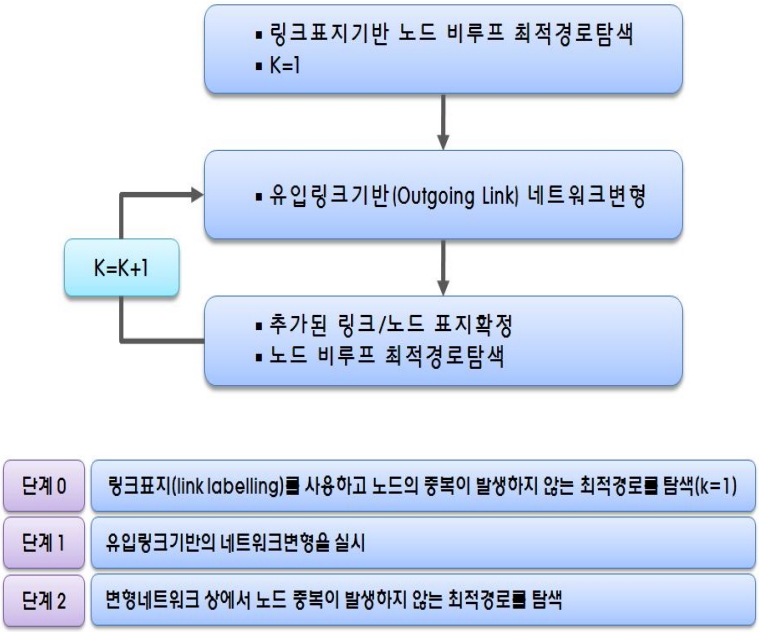
4) 유사통행경로 탐색기법

유사통행경로를 탐색하는 프로세스에 본 연구는 링크기반 노드 비루프 다수경로 탐색알고리즘을 적용하였다.

(1) 탐색알고리즘

탐색알고리즘은 <그림 Ⅳ-12>와 같다.

탐색된 경로가 유사통행경로 결정범위(예, 10%)를 만족하면 단계 1로 간다. 그렇지 않으면 경로를 저장하고 종료한다.



<그림 Ⅳ-12>유사통행경로 탐색 알고리즘

4. 경로기반 통행배정 모형

본 절에서는 통합 대중교통 평가모형으로 적합한 경로 기반 통행 배정 모형을 제안한다. 본 연구에서 제안하는 통행 배정 모형은 선험적(Heuristic)이지만 구현이 용이하고 안정적인 해를 도출하는 것으로 알려진 Column Generation 알고리즘을 적용하여 다수단, 다계층을 고려한 경로기반의 통행배정을 통해 대중교통 평가가 가능한 모형을 제안하도록 한다.

먼저 본 연구에서 제안하는 평가 모형을 서울시 통합대중교통 분석에 활용하기 위하여 본 모형에서는 비대칭 통행함수를 포함하는 다수의 통행수단 및 통행계층의 균형문제로 확대한다. 여기서 비대칭 통행함수는 다수단(Multi Mode)에서 다계층(Link Interaction)이 동시에 고려되도록 구성할 수 있으나 본

연구에서는 다수단과 다계층을 동일한 개념으로 본다. 분석기법으로 개별O/D쌍을 연결하는 경로로 구축된 부분교통망의 균형해법을 추구하는 방안을 적용하며(Xu et al, 2006), Xu(2006)가 제시한 알고리즘은 단일수단과 대칭(Symmetric) 통행비용함수에 대하여 적용하였으나 근사적인 선형탐색(Linear Approximation)을 유도하는 과정에서 Jacobian행렬에 대한 비대칭제약이 없다는 점에 착안하여 보다 비대칭통행비용함수에 적용되는 방안으로 알고리즘을 제안한다. 편의상 사용된 표식은 Xu et al(2006)가 적용한 방법을 사용한다.

1) 모형

복합교통망 G 에 N 개의 O/D쌍과 M (승용차, 대중교통)개의 교통 수단이 존재한다고 정의하며 이때 개별 O/D쌍은 $w = 1, 2, \Lambda, N$ 으로 나타내며, 교통수단은 $m = 1, 2, \Lambda, M$ 으로 나타내며, d_w^m 은 w 번째 O/D쌍에서 m 수단의 고정된 교통 수요를 나타낸다.

제안된 알고리즘의 k 번째 반복수행과정에서, $P_w^{m^k}$ 를 생성된 경로집합 ($\left|P_w^{m^k}\right|$ 개)으로 $P^{m^k} = U_{w=1}^{N} P_w^{m^k}$ 이고 G^{m^k} 를 P^{m^k} 의 모든 경로에 의해 확장된 부분교통망(Partial Network)이라고 하면 경로 통행량벡터 $f_w^{m^k} = \left[f_{w_1}^{m^k} \; f_{w_2}^{m^k} \; \Lambda \; f_{w_{\left|P_w^{m^k}\right|}}^{m^k} \right]^T$ 와 요소 $f_{w_p}^{m^k}$ 는 경로 p 의 교통량 $\left(p \in P_w^{m^k}\right)$ 이다. 따라서 다음 식과 같이 계산된다.

$$d_w^m = \sum_{p1}^{\left|P_w^{m^k}\right|} f_w^{m^k}, \quad w=1,2,\Lambda,N; \quad m=1,2,\Lambda,M$$

w 와 m 에 대하여 생성된 경로에 대하여 $L \times \left|P_w^{m^k}\right|$ 의 링크 경로발생행렬

(link path incidence matrix) $A_w^{m^k}$ 를 구축한다. (여기서 L은 G의 링크 수임)

$A^{m^k} = \left[A_1^{m^k} \Lambda \; A_w^{m^k} \Lambda \; A_N^{m^k} \right]$, 이 경우 $A_w^{m^k}$ 는 w 와 m 에서 도출된 링크 경로행렬이다. x^{m^k} 를 m 의 링크통행량 벡터(L*1)이라고 하면 링크 $l(l = 1, 2, \Lambda\ , L)$ 상의 m 수단 통행량을 $x_l^{m^k}$ 이면 $x^{m^k} = A^{m^k} \cdot f^{m^k}$

이 경우 $f^{m^k} = \left[\Lambda \; f_{w_1}^{m^k} \; f_{w_2}^{m^k} \; \Lambda \; f_{w_{\left|P_w^{m^k}\right|}}^{m^k} \; \Lambda \right]^T$

통행비용을 계산하기 위해서, 링크 l 에서 m 수단 k 번째 통행비용을 $\tilde{C}_l^{m^k}$ 라 정의하고, $\tilde{C}_l^{m^k}$ 집합 $\tilde{C}^{m^k} CR^L$ (L차원)의 원소로 한다. 이때 $\tilde{C}_l^{m^k}$ 는 연속적으로 미분가능한 함수 $g_l^m(\cdot)$ 에 대하여 x^k 를 통하여 계산된다.

$$\tilde{C}_l^{m^k} = g_l^m(x^k), \quad l = 1, 2, \Lambda\ , L; \quad m = 1, 2, \Lambda\ , M$$

$$x^k = \sum_m x^{m^k} \qquad g_l = \sum_m g_l^m(x^k)$$

$L \times L$ 의 비대칭 Jacobian 행렬 $J^k = \left[\frac{\partial g_i}{\partial x_j^k} \right]$ 이 양정(positive definite)으로 구축되었다고 가정한다.

$c_w^{m^k} = \left[c_{w_1}^{m^k} \; c_{w_2}^{m^k} \Lambda \; c_{w_{\left|P_w^{m^k}\right|}}^{m^k} \right]^T$ 를 경로비용벡터라고 하면 $c_{w_p}^{m^k}$ 는 w O/D 상에서 m 수단에 의해 구성된 경로 p의 사용자 비용(user cost)이다. 이때 다음과 같고,

$$p=1,2,\Lambda,\left|P_w^{m^k}\right|,\quad w=1,2,\Lambda,N;\quad m=1,2,\Lambda,M$$

따라서 다음 식이 계산된다.

$$C_w^{m^k}=(A_w^{m^k})^T\tilde{C}^{m^k},\quad w=1,2,\Lambda,N;\quad m=1,2,\Lambda,M$$

개별 O/D w에 대하여 경로 $p\in P_w^{m^k}$ 에 대한 수단 m 의 균형조건은 다음과 같다.

$$C_{w_p}^{m^k}-\lambda_w^{m^k}\begin{cases}=0 & if\ f_{w_p}^{m^k}>0\\ \geq 0 & if\ f_{w_p}^{m^k}=0\end{cases},\quad p=1,2,\Lambda,\left|P_w^{m^k}\right|;$$

$$w=1,2,\Lambda,N;\quad m=1,2,\Lambda,M$$

이 경우 $\lambda_w^{m^k}$ 는 인식변수(indicator, Variable1)로서 O/D 쌍 w 의 수단 m 의 최적통행비용을 나타내며 교통망이 균형 상태에 도달하기 전에는 알려져 있지 않는다. 위의 균형조건은 "주어진 O/D쌍 w에서 교통수단m을 이용하여 도착지(D)까지 사용된 통행비용은 최소통행비용이다"는 Wordrop의 가정을 복수의 교통수단으로 확장한 것을 의미한다.

2) 알고리즘

교통망의 균형 상태를 도출하기 위한 알고리즘의 개략적인 진행과정은 크게 다음의 3단계 관정으로 요약된다.

- 단계 1 : 복합교통망 G 에서 O/D쌍 w 와 m 수단의 최적경로 $P_w^{m^k}$ 를 탐색하여 새로운 경로이면 추가
- 단계 2 : 부분 복합수단교통망 G^{m^k} 의 균형 상태를 도출

• 단계 3 : G^{m^k} 가 균형 상태에 도달한 후 경로 집합 P^{m^k} 에서 통행량이 0 인 경로는 삭제

이 과정은 추가되거나 삭제되는 경로가 없을 때까지 알고리즘은 3단계 수행 과정을 반복한다.

단계2의 경로 집합 P^{m^k} 에 의해 확장된 G^{m^k} 의 균형을 도출에 대하여 살펴보면, G^{m^k} 에서 사용된 경로 $P_w^{m^k}$, $w = 1, 2, \Lambda\ , N$, $m = 1, 2, \Lambda\ , M$ 에 대해 할당된 수요의 평균을 배정하면 균형점이 오차범위 내에 도달할 때까지 재배정 과정(reassignment process)을 수행하는 방안이다.

재배정과정에서 특정 w, m 에 대하여 경로 비용 $C_w^{m^k} = [C_{w_1}^{m^k}\ C_{w_2}^{m^k} \Lambda\ C_{w\left|P_w^{m^k}\right|}^{m^k}]^T$ 를 계산하고 다음 식에 의해 평균통행비용(average user cost)을 계산한다.

$$\lambda_w^{m^k} = \frac{1}{\left|P_w^{m^k}\right|} \sum_{p=1}^{\left|P_w^{m^k}\right|} C_{w_p}^{m^k}$$

경로 간에 재배정되는 교통량의 차이벡터, $\delta \bar{C}_w^{m^k} = [\bar{\lambda}_w^{m^k} - C_{w_1}^{m^k}\ \ \bar{\lambda}_w^{m^k} - C_{w_2}^{m^k} \Lambda\ \bar{\lambda}_w^{m^k} - C_{w\left|P_w^{m^k}\right|}^{m^k}]^T$ 를 계산하는 위해서는 재배정과정에서 사용자비용이 $\bar{\lambda}_w^{m^k}$ 보다 큰 경로의 통행량을 $\bar{\lambda}_w^{m^k}$ 보다 적은 방향으로 배정량의 차이를 전환한다.

$\delta_w^{m^k}$ 를 경로통행량의 변화량(adjustment) 집합으로 다음과 같이 정의하면

$$\delta_w^{m^k} = \{\delta f_w^{m^k} = [\delta f_{w_1}^{m^k}\ \delta f_{w_2}^{m^k} \Lambda\ \delta f_{w\left|P_w^{m^k}\right|}^{m^k}]^T \left| \sum_{p=1}^{P_w^{m^k}} \delta f_{w_p}^k = 0, \right.$$

$\delta f_{w_p}^{m^k} + f_{w_p}^{m^k} \geq 0 \quad \forall_p \}$ 를 구하는 문제는 경로 $p \in P_w^{m^k}$ 의 통행비용 $C_{w_p}^{m^k}$

가 근사적으로 $\overline{\lambda}_w^{m^k}$ 와 동일하도록 탐색가능한 $\delta f_w^{m^k}$ 를 구하는 것이다. 따라서 O/D w 의 수단 m 의 경로 통행비용이 국부적인 균형상태(local Equilibration)에 도달하게 된다.

이때 국부적인 균형점에 도달하기 위해서 다음의 최적화 문제 해법 도출이 필요하다.

$$\min_{\delta f_w^{m^k}} \left\| (A_w^{m^k})^T J^k A_w^{m^k} \delta f_w^{m^k} - \delta \overline{C}_w^{m^k|k} \right\|$$

이 경우 $\|\bullet\|$는 Euclidean Norm $(A_w^{m^k})^T J^k \overline{A}_w^{m^k}$ 은 양정이므로 해를 구하기 위해 다양한 방안이 적용될 수 있다.

본 연구에서는 LU 분해법(LU Decomposition)을 적용하여 $\delta f_w^{m^k}$ 의 해를 도출했다. 따라서 경로통행량은 다음 식과 같다..

$$f_{w_p}^{m^k} = f_{w_p}^{m^k} + \delta f_{w_p}^{m^k}, \ \forall P \in P_w^{m^k}$$

이 과정에서와 같이 w O/D쌍의 m 수단으로 연결하는 새로운 경로의 통행량이 도출되면 링크통행벡터 x^{m^k}, x^k 링크비용벡터 $\widetilde{C}^{m^k}, \widetilde{C}^k$, Jacobian 행렬 J^k 가 계산되며 다음 O/D쌍으로 동일한 계산을 수행한다. 이때 G^{m^k} 가 균형상태 도달 후 P^{m^k} 에서 통행량이 없는 경로는 탈락시킨다. 이 재배정과정은 다음을 수렴조건을 만족할 때까지 계속된다.

$$\sum_{w=1}^{N} \sum_{m=1}^{M} \sum_{p=1}^{\left|P_w^{m^k}\right|} \left| \delta f_{w_p}^{m^k} \right| \Big/ d_w < \varepsilon; \quad \varepsilon \text{ 은 오차항}$$

수렴조건이 만족하는 상황에 대하여 새로 추가된 경로 P^{m^k} 의 포함여부와 연계시키는 과정에 대한 설명으로서 우선 전체교통망 G 에 대하여 w O/D쌍과 m 수단으로 도착하는 최적통행경로를 탐색함. 탐색된 최정경로의 비용이 기존최적경로 비용 $\lambda_w^{m^k}$ 와 비교하여 작으면 $P_w^{m^k}$ 에 포함시키고 ($w=1,2,\Lambda\ ,N;\quad m=1,2,\Lambda\ ,M$) 추가되는 경로가 존재하지 않으면, 교통망의 전체균형에 도달했음을 나타낸다.

3) 알고리즘의 이슈

(1) 다수단과 다계층의 동시고려

다수단에서 다계층을 고려하는 균형문제로 확장하기 위해서는 다음의 조건을 만족하는 균형 상태를 국부적으로 도출하여 전체 균형 해에 접근하는 방안이 위 절과 동일하게 시도된다.

$$C_{w_p}^{m_j^k}-\lambda_w^{m_j}\begin{cases}=0 & if\ f_{w_p}^{m_k^k}>0\\ \geq 0 & if\ f_{w_p}^{m_j^k}=0\end{cases},\quad p=1,2,\Lambda\ ,\left|P_w^{m_j^k}\right|;$$

$$w=1,2,\Lambda\ ,N;\quad m=1,2,\Lambda\ ,M$$

여기서 교통망 G 에 포함된 j 는 계층수를 나타낸다.

(2) Jacobian 행렬의 구축방법

Jacobian행렬의 계산은 동일링크에서 다수의 교통수단이 존재하여 개별수단의 통행함수에 상호영향을 미치는 상황에 대한 반영이 요구된다.

다른 링크의 교통량 영향발생은 ∂x_j^k 의 편미분 $J^k=\left[\frac{\partial g_i}{\partial x_j^k}\right]$에 그대로 반영

이 가능하여 $L \times L$ 행렬로 구축되기 용이하다. 그러나 동일링크에서 다수교통수단을 고려하는 일반적인 방법은 링크를 통과하는 개별 수단을 교통망의 링크처럼 고려하는 방안이다.

이 경우 J^k 는 ($LM \times LM$)의 확장된 행렬로 표현된다. 따라서 링크 경로발생행렬 $A_w^{m^k}$ 는 $(LM \times 1)$ 로 계산 되어야 한다.

(3) 환승과 교차지점에서 링크통행함수의 고려

사례연구에서 나타나겠지만 본 연구에서 는 환승에서 발생하는 저항을 상수항으로 처리하였다. 따라서 Jacobian행렬을 구축하는 과정에서 소거되므로 행렬에는 링크통행변화특성만 고려되어도 해의 수렴에는 문제가 없다. 하지만 환승과 교차지점이 통행함수로서 정의되는 경우 링크에서 발생하는 모든 회전특성이 반영되도록 Jacobian행렬을 구축해야한다.

(4) 모형의 검증

본 연구에서 제시된 경로기반 통행배정모형의 검증은 부록1에 제시되어 있다.

제Ⅴ장 사례 연구

제1절 정류장 간 O/D 구축

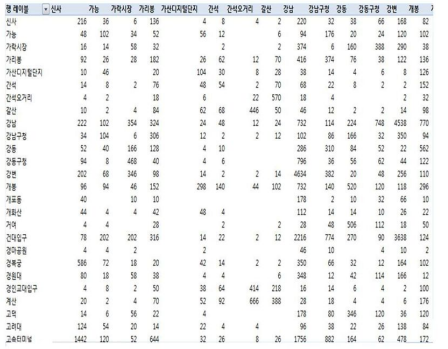
제2절 지역 간 서비스 평가

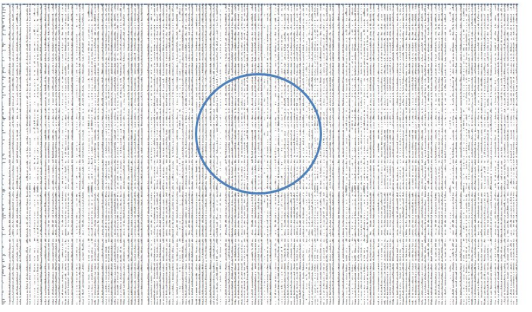
제3절 대중교통 평가모형 적용

제4절 수도권 철도 운영기관 간 수입금 정산 사례

제1절 정류장 간 O/D 구축

대중교통 카드 자료로부터 정류장 간 O/D를 구축할 수 있다. 대중교통 카드 자료는 시간대 별, 정류장 ID별 및 이용 수단 별로 통행 자료를 추출할 수 있으며 다음은 대중교통 카드 자료로부터 지하철 역간 O/D를 구축한 모습이다.





<그림 Ⅴ-1> 지하철 역간 O/D

<표 Ⅴ-1> 지하철 역간 O/D

	신사	가능	가락시장	가리봉	가산디지털단지	간석	간석오거리	갈산	강남	강남구청	강동	…
신사	216	36	6	136	4	8	4	2	220	32	38	…
가능	48	102	34	52	56	12	0	6	94	176	20	…
가락시장	16	14	58	32	0	2	0	2	374	6	160	…
가리봉	92	26	28	182	26	62	12	70	416	374	76	…
가산디지털단지	10	46	0	20	104	30	8	28	38	14	4	…
간석	14	8	2	76	48	54	2	70	68	22	8	…
간석오러기	4	2	0	18	6	0	22	570	18	4	0	…
갈산	10	2	4	84	62	68	446	50	46	12	2	…
강남	222	102	354	324	24	48	12	24	732	114	224	…
강남구청	34	104	6	306	12	2	2	12	102	86	166	…
강동	52	40	166	128	4	10	0	0	286	310	84	…
강동구청	94	8	468	40	4	6	0	0	796	36	56	…
강변	202	68	346	98	14	2	2	14	4634	382	20	…
개봉	96	94	46	152	298	140	44	102	732	140	520	…
개포동	40	0	10	10	0	0	0	0	178	2	10	…
개화산	44	4	4	42	48	4	0	0	112	14	14	…
거여	4	4	0	28	0	2	0	2	28	48	506	…
건대입구	78	202	202	316	14	22	2	12	2216	774	270	…
경마공원	4	4	2	0	2	0	0	0	46	10	0	…
경복궁	586	72	18	20	42	14	2	2	350	66	32	…
경원대	80	18	58	38	4	4	0	6	348	12	42	…
경인교대입구	4	8	2	50	38	64	414	218	16	14	6	…
계산	20	2	4	70	52	92	666	388	28	18	4	…
고덕	14	6	56	22	4	0	0	0	178	80	346	…
고려대	124	54	20	14	22	4	4	0	96	38	22	…
고속터미널	1442	120	52	644	32	26	8	26	1756	882	164	…
고잔	34	18	4	56	158	4	0	8	242	62	0	…
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

제2절 지역 간 서비스 평가

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

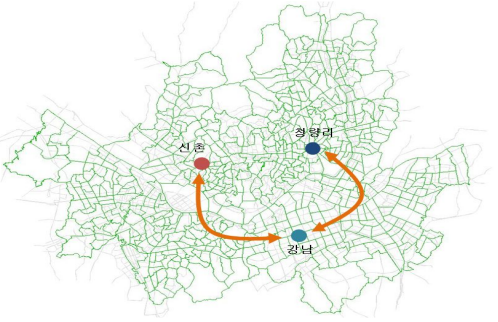
본 사례 연구는 평가 체계 중 개략적인 상(像)을 제안했던 지하철 행태 모형을 제외한 대중교통 서비스 평가 지표와 정류장 기반 네트워크 구축을 위주로 실시한다.

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 이용한다.

사례 분석을 위해 유동 인구가 많으며 통행 대중교통 노선이 비교적 많고 거리대가 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 선정한다.



<그림 Ⅴ-2> 대상 지역

2) 서비스 평가 지표

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

(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 Ⅴ-2>와 같다.

<표 Ⅴ-2> 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 나타났으며 평균 요금 또한 버스가 약 81원 정도 적게 발생되는 것으로 나타났다. 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 요

금 측면에서는 버스의 서비스가 지하철의 서비스보다 비교적 우수하다고 판단할 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 Ⅴ-3> 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 나타났다. 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.

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.

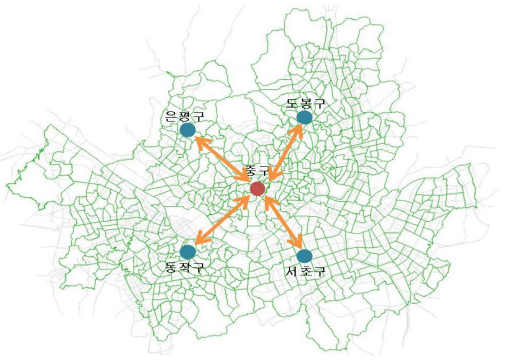
2. 지역 서비스 평가 지표

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 Ⅴ-4> 대상 지역

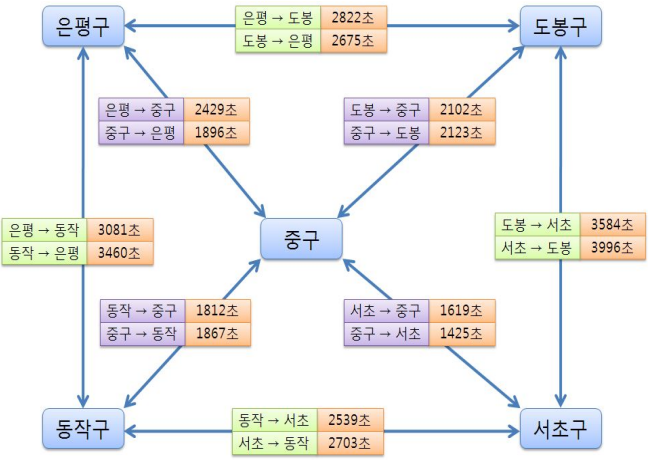
행정구	행정동
은평구	불광1동
	불광2동
	불광3동
도봉구	수유1동
	수유5동
	미아3동
중구	을지로3,4,5가동
	명동
동작구	대방동
	상도1동
	상도2동
	상도3동
서초구	서초1동
	서초2동
	서초4동



<그림 Ⅴ-3> 대상 지역

2) 서비스 평가 지표

대중교통 카드 자료 중 2006년 10월 31일 분석 대상 지역 간의 평균 통행 시간(전일)은 <그림 Ⅴ-4>와 같다.



<그림 Ⅴ-4> 분석 지역 평균 통행 시간

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

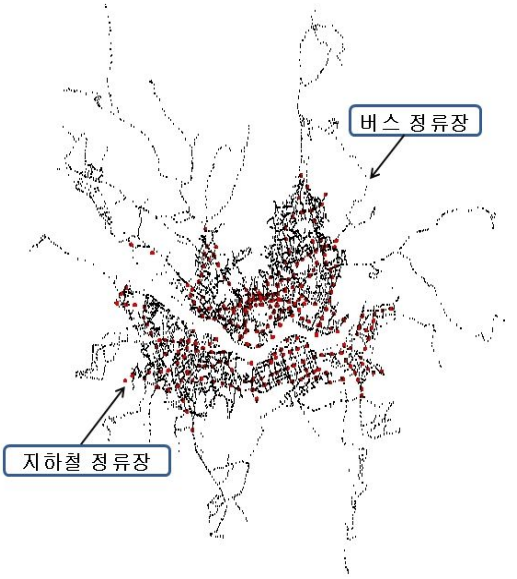
3. 정류장 기반 네트워크 구축

1) 분석 방법 및 대상 지역

앞서 제안한 정류장 기반 네트워크 구축 방법론을 토대로 정류장 위치좌표 및 대중교통 노선자료를 기반으로 하는 대중교통네트워크를 구축한다. 지리정보시스템(GIS)과의 연계 가능성을 알아보기 위해 ArcInfo 프로그램을 활용하여 행정동 및 도로시설물과 같은 사회·경제적 지표를 반영해보도록 한다. 분석 대상은 현재 수도권의 정류장 위치 좌표의 확보가 용이하므로 수도권으로 한정한다.

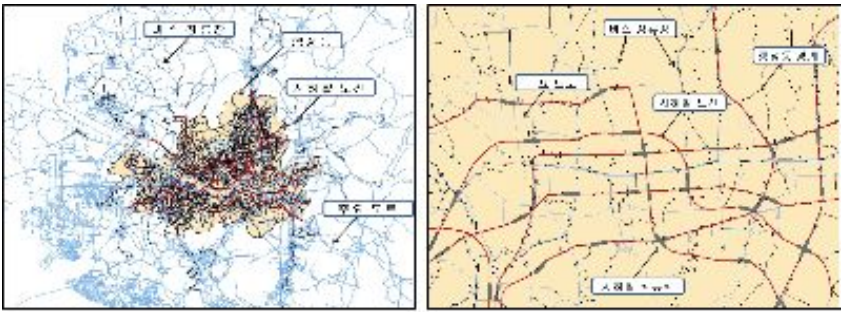
2) 정류장 기반 네트워크

제안한 네트워크 구축방법에 따라 정류장 좌표를 도식화하면 <그림 Ⅴ-5>와 같다.



<그림 Ⅴ-5> 버스 및 지하철 정류장

지리정보체계를 활용을 위해 행정동, 주요 도로 및 지하철 노선과 함께 네트워크를 구축하면 <그림 Ⅴ-6>과 같다.



<그림 Ⅴ-6> 정류장 기반 네트워크

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

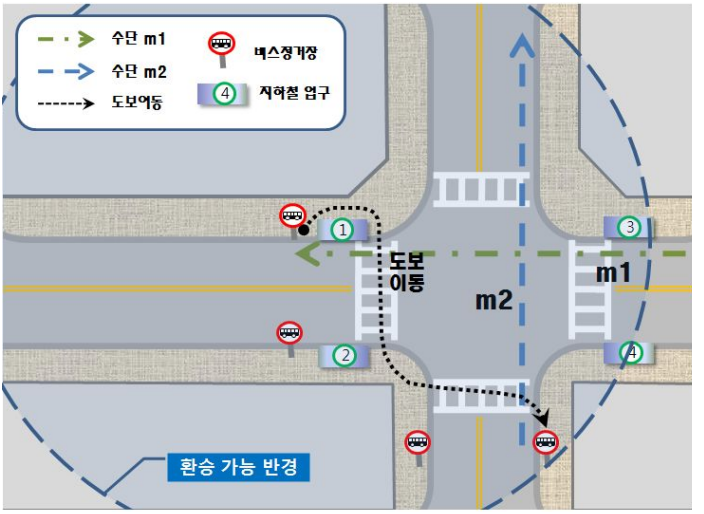
3) 단절된 링크의 연결방안

대중교통망 구축 시 가장 고려해야 할 사항은 수단간 환승에 대한 처리이다. 기존에 네트워크를 구축하는 방법을 살펴보면 단일수단에 대한 네트워크만으로 구성하거나 복합수단일 경우 모든 환승경로에 대한 링크를 일일이 연결하여 구축해야 하는 어려움이 있다. 연결된 환승링크의 경우에도 링크가 제대로 연결되었는지에 대한 모니터링이 불가능할 뿐만 아니라 네트워크 변화 시 이에 대한 즉각적인 네트워크 수정이 어려운 게 현실이다. 대중교통의 특성상 단일 정류장에서의 환승이 이루어지는 것이 아니고 도보를 통해 복수의 정류장에서 환승이 이루어지므로 이에 대한 처리가 실질적으로 불가능 하였다.

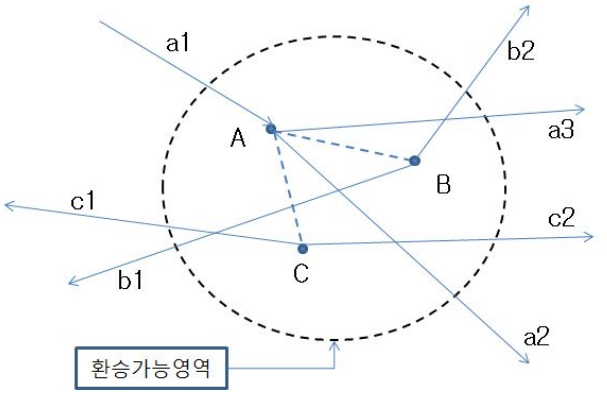
본 연구에서는 이러한 환승처리상의 문제점들을 해결하기 위해 프로그래밍 기법을 통해 정류장의 좌표 거리를 계산하여 일정거리에 있는 노드들을 연결시켜주는 가상링크 및 환승체계 구축에 대해 제안한다.

컴퓨터 프로그래밍 기법을 활용한 가상링크 및 환승체계 구축방법은 버스 및 지하철 정류장 좌표를 이용하여 각 정류장 간 가상링크를 구성하고 이렇게 구성된 노드와 가상링크를 기반으로 수단간 환승이 이루어지는 정류장 및 일정거리(예: 500m) 이내의 정류장을 환승가능지역으로 표현하여 가상 환승체계를 구축하는 방식이다.

이를 그림으로 나타내면 <그림 Ⅴ-7>, <그림 Ⅴ-8>과 같다.



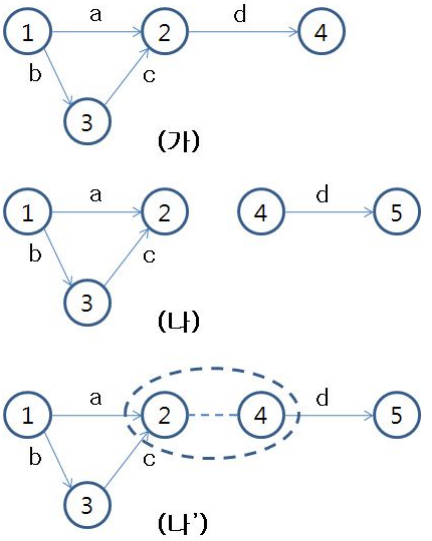
<그림 Ⅴ-7> 가상링크 및 환승체계



<그림 Ⅴ-8> 가상링크 및 환승체계

<그림 Ⅴ-8>은 유입링크 a1을 통해 유입된 통행이 환승가능 영역내의 유출링크 집합 {a2, a3, b1, b2, c1, c2} 내에서 환승을 통해 유출되는 경우를 나타낸다. 이때 A, B, C는 노드 즉 정류장이 되고 환승은 동일노드(A) 또는 다른 노드(B, C)에서 가능하게 된다.

환승가능영역내의 노드와 노드 간의 연결은 가상 즉 실제 상황 속에서는 도보로 연결되어지며 이런 가상링크는 컴퓨터 프로그래밍의 데이터 구조에 입력함으로써 간단하게 환승네트워크를 구축할 수 있게 된다.

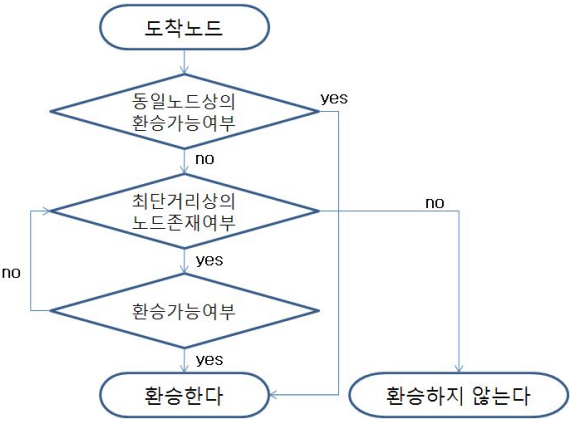


<그림 Ⅴ-9> 단절된 링크 연결

<그림 Ⅴ-9>의 (가)는 일반적인 네트워크에서의 노드와 링크를 나타낸 것이고, (나)는 단절된 네트워크를 나타낸 것이다.

(나)와 같은 네트워크의 경우 일반적인 네트워크의 개념상으로는 두 개의 네트워크가 별도로 존재하게 되므로 실제노드 ①에서 노드 ⑤까지 이동경로가 존재하더라도 기존 알고리즘으로 풀지 못했다.

본 연구에서는 이러한 단절된 링크를 (나')와 같이 환승가능영역내에 있는 노드들을 가상링크로 연결하여 일반적인 경로탐색알고리즘 구현이 가능해지도록 하였다. 이때 단절된 링크는 다음과 같은 알고리즘에 의해 컴퓨터 프로그래밍 상에서 계산된 좌표거리를 통해 가상링크를 탐색하여 연결된다.



<그림 Ⅴ-10> 단절된 링크에서의 환승

이러한 가상링크를 통해 환승체계를 구축할 경우 대중교통 네트워크에 직접적으로 연결되어 있지 않더라도 현실에서 일반적으로 발생할 수 있는 복수의 정류장에서의 수단간 환승에 대한 고려를 할 수 있을 뿐만 아니라, 기존에 일일이 환승링크를 연결하지 않더라도 환승처리를 할 수 있기 때문에 환승링크 연결에 따른 어려움 및 불확실성을 줄일 수 있게 된다.

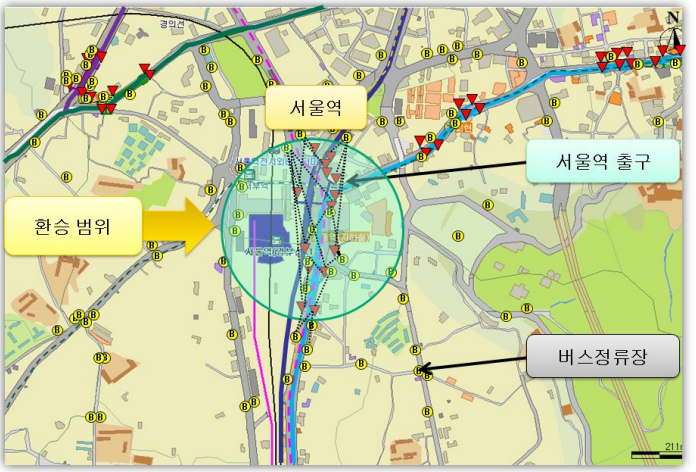
<그림 Ⅴ-11>은 실제 서울역 주변의 버스정류장과 지하철역을 나타낸 것이다. 서울역 주변에는 2개의 지하철노선과 79개의 버스운행노선이 운영되며 지하철역 출구 14개와 버스정류장 25개가 존재하는 거대한 환승 망을 갖추고 있다.

이러한 물리적인 요소 외에도 대중교통 통합요금제를 시행한 이루 수단간 환승요금이 추가로 발생되지 않아서 대중교통의 수단간 환승비율이 높아져가고 있는 상황이다.

서울역의 경우를 보더라도 실제 승객은 버스를 타고 와서 지하철로 환승하기도 하고 버스를 타고 버스로 환승하기도 한다. 이때 승객들은 동일 정류장에서 뿐만 아니라 다른 정류장으로 이동하여 환승을 하고 있다.

서울역의 경우처럼 복잡한 환승네트워크를 구축하기 위해서는 일일이 노드

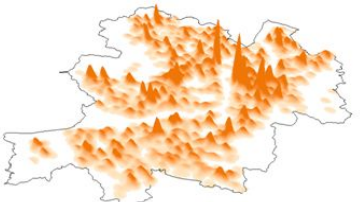
간 환승링크를 추가로 연결해야하는 어려움이 발생하게 된다. 이러한 복잡한 환승체계를 컴퓨터 프로그래밍 기법을 활용하여 가상링크 및 환승체계로 구축하게 되면 별도의 수작업 없이도 간편하게 환승네트워크를 구성할 수 있게 된다.



<그림 Ⅴ-11> 서울역 주변 가상 환승링크 표현

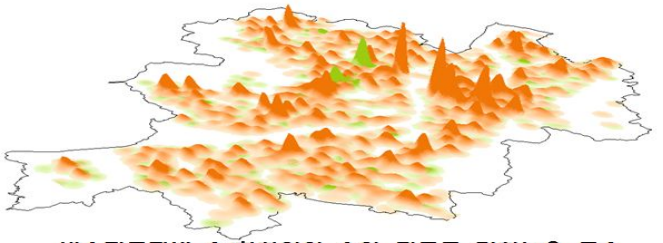
4. 지리정보시스템과의 연계

대중교통 카드 자료와 지리정보시스템을 연계하면 대중교통 카드 이용자의 통행 패턴의 분석이 시각적으로 용이해지고 통행 행태의 원인을 사회·경제적 지표를 통해 판단할 수가 있다. 즉, 2차 분석 자료로 사용될 수 있다. 다음은 서울시의 특정시간대에 버스정류장별 승하차인원 수의 밀도를 시각적으로 구현한 모습이다.



버스정류장별 하차인원수의 밀도

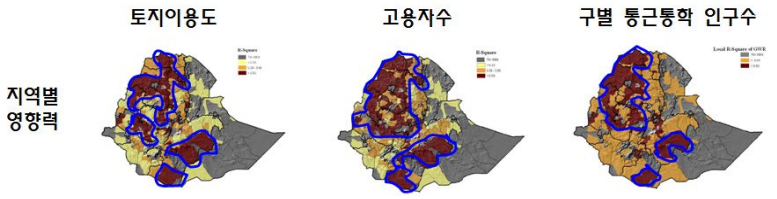
버스정류장별 승차인원수의 밀도



버스정류장별 승/하차인원 수의 밀도를 겹쳐놓은 모습

<그림 Ⅴ-12> 버스정류장별 승하차인원수의 밀도

지리정보시스템을 활용하면 변수별로 통행 행태에 대한 지역별 영향력을 시각화하여 볼 수 있다. 서울시를 대상으로 토지이용도, 고용자수, 구별 통근통학 인구수의 버스 하차인원에 대한 지역별 영향력을 시각화하여 보았다.

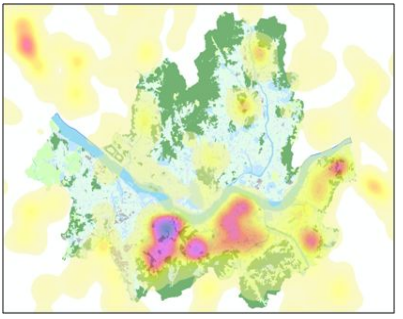


<그림 Ⅴ-13> 변수별 버스 하차인원에 대한 지역별 영향력

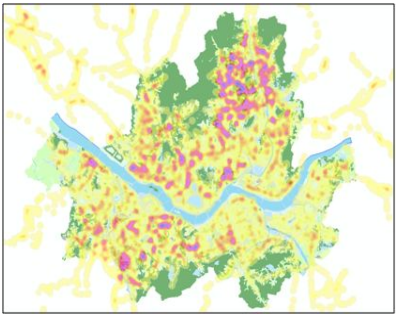
위의 <그림 Ⅴ-12>의 결과를 보면 고용자수가 많은 지역에 구별 통근통학 인구수가 많고 버스 하차인원수가 많은 것을 알 수 있다. 이는 고용자수가 많은 곳에 버스 하차인원수가 많다고 일반적이 견해에 부합하는 결과라고 하겠다.

또한 지리정보시스템과 연계하면 오전, 오후, 퇴근 후와 같은 특정 시간대의

각 시간대별 실제 사람들의 지역별 체류 공간밀도를 시각적으로 표현할 수 있고 이를 통한 지리정보차원의 다양한 분석이 가능하다. <그림 Ⅴ-14>과 <그림 Ⅴ-15>는 특정 시간대의 서울시 지역별 체류 공간 밀도를 간략히 사례 연구를 실시한 예이다.



<그림 Ⅴ-14> 전체적인 경향



<그림 Ⅴ-15> 국지적인 경향

위의 그림에서 지리정보시스템을 활용한 시각화를 통해 특정 시간대의 지역별 체류 공간 밀도를 알 수 있다. 이는 체류 공간 밀도가 높은 곳이 대중교통 이용 승객이 많고 경제 활동이 많은 곳을 의미함을 알 수 있다.

제3절 대중교통 평가모형 적용

1. 일반화 비용

대중교통 서비스 개선이 대중교통 이용자의 통행 수단 및 경로 선택에 영향을 준다는 사실을 바탕으로 대중교통 수단 및 경로 선택 모형의 개발 및 통행시간과 요금을 동일한 기준에서 고려할 수 있는 일반화 비용이 필요하다. 본 절에서는 통합 대중교통망에서의 통행 배정에 활용 가능한 일반화 비용(Generalized Cost) 추정 모형을 선호의식(Stated Preference) 조사 및 현시선호(Revealed Preference) 조사를 기반으로 제시하고 지하철 통행 일반화 비용 모형을 추가적으로 제시한다. 여기서 현시선호(Revealed Preference) 조사를 기반으로 한 통합 대중교통 일반화 비용은 그 연구의 복잡함으로 인해 방법론과 간단한 예시를 제시하는 방향으로 한정하고 구체적인 일반화 비용 모형 추정은 향후 연구 과제로 추진 한다.

1) 선호의식(SP) 조사 기반 통합 대중교통 일반화 비용

(1) 일반화비용 모형 산정

기존 연구에서는 환승시간을 하나의 개념으로 보고 환승시간 파라미터를 추정하고 있으나 본 연구에서는 환승에 대한 일반화비용 모형 추정에 있어 환승시간을 환승접근시간과 환승대기시간으로 세분화한다. 먼저 대중교통 이용에 있어 첫 번째 수단에서 하차하여 다음 수단을 이용하기 위해 도보 이동을 하는 환승 접근시간과 두 번째 수단을 탑승하기 위한 대기시간으로 구분하고 각각에 대한 가중치(β)를 주었다. 또한 환승횟수에 대한 이용자의 행태를 설명하기 위해 환승횟수에 대한 계수(α)를 적용한다.

$$C = IVTT + \alpha(\beta_1 \text{환승접근} + \beta_2 \text{환승대기}) \qquad \text{식 (5-1)}$$

여기서,

C: 일반화비용
$IVTT$: 차내시간
α: 환승 횟수에 대한 계수
β_1, β_2: 환승접근 및 환승대기시간에 대한 가중치

(2) 선호의식(Stated Preference) 조사

환승계수 추정을 위해 SP조사(대중교통 이용자 설문)를 실시하였다.

설문은 총 11개 문항으로 구성되며 크게는 환승시간에 대한 가중치에 대한 질문과 환승횟수에 대한 인식조사로 구분된다.

환승시간에 대한 가중치에 대한 질문은 환승 접근시간과 환승 대기시간을 통행시간(차내 시간)으로 환산하였을 경우에 대한 직접적인 답변을 요구하였다. 환승횟수에 대한 인식조사는 단거리통행(30분미만), 중거리 통행(1시간미만), 장거리 통행(1시간 이상)으로 구분하여 단거리 통행 시 환승1회, 중거리 통행 시 환승2회, 장거리 통행 시 환승 3회로 분류하여 설문하였다.

(3) 설문 결과 및 분석

환승시간에 대한 질문에 대하여 응답자는 환승 접근시간 1분을 통행시간(차내 시간)으로 환산할 경우 평균 4.475분(β_1)으로, 환승 대기시간 1분은 통행시간 3.71분(β_2)의 가치로 계산되는 것으로 응답하였다.

조사 결과 대중교통 이용자는 차내 시간과 비교하여 환승시간에 가치를 크다고 느끼고 있으며, 환승시간 중 환승접근시간을 환승 대기시간보다 비중이 크게 인식하는 경향이 있는 것으로 나타났다.

환승횟수에 대한 설문 결과 환승 1회 하는 경우 환승횟수를 줄이기 위해서는 통행시간 12분을, 2회 하는 경우 환승횟수를 줄이기 위해서는 17분, 3회 하

는 경우 환승횟수를 줄이기 위해서는 18분을 증가시킬 의향이 있는 것으로 조사되었다. (예 : 환승을 1회할 경우 총 통행시간(차내 시간+환승시간)이 30분이 걸린다면, 환승을 하지 않을 경우 통행시간(차내 시간)이 42분이 소요되더라고 환승을 하지 않고 이용하는 것으로 조사됨)

이러한 조사결과를 토대로 환승접근시간 5분, 환승대기시간 3분이 걸린다는 가정 하에서 환승횟수에 대한 계수(α)를 추정하였다.

앞서 설명한 일반화 비용 모형의 변수 중 일반화 비용 및 차내 시간은 조사된 값으로 차내 시간을 좌변으로 이항시키면 일반화비용 모형은 절편이 0인 회귀식과 동일한 형태로 변형된다. 따라서 계수의 추정은 최소자승법에 의한 회귀분석을 이용하였으며, 계수에 대한 통계적 검증을 수행하였다.

분석 결과, 단거리 통행 시 α =0.537, 중거리 통행 시 α =1.179, 장거리 통행 시 α =1.888로 추정되었으며 각각의 계수에 대한 통계적 유의성은 다음과 같다.

<표 Ⅴ-5> 분석 결과

구분	계수 값(α)	표본수	결정계수	유의한 F	P-값
환승1회	0.537	20	0.864	2.06 E-9	1.13 E-9
환승2회	1.179	20	0.954	1.04 E-13	3.44 E-14
환승3회	1.888	20	0.923	1.15 E-11	4.87 E-12

<표 Ⅴ-6> 일반화비용

통행 거리	일반화 비용
단거리 통행	$C = IVTT + 0.537(4.475 * 환승접근 + 3.71 * 환승대기)$
중거리 통행	$C = IVTT + 1.179(4.475 * 환승접근 + 3.71 * 환승대기)$
장거리 통행	$C = IVTT + 1.888(4.475 * 환승접근 + 3.71 * 환승대기)$

2) 현시선호(PR) 조사 기반 통합 대중교통 일반화 비용

(1) 일반화 비용 모형

본 절에서는 대중교통 카드 자료(RP)를 기반으로 기존 현시선호(RP) 조사 기반 일반화 비용 모형 추정 연구의 한계점을 개선한 모형의 정립 방법론에 관해 언급한다.

이를 위해 첫째, 2007년 7월 수도권 통합환승요금할인제 시행이후 달라진 통행자 패턴의 반영을 위해 2007년 11월 11일부터 17일까지 일주일의 대중교통 카드 자료를 활용한다.

둘째, 대중교통 카드 자료는 지하철 통행 정보를 포함하고는 있지만 지하철 간의 환승 정보는 알 수 없다. 이에 기존 다른 연구에서는 이를 보완하고자 지하철 내 모든 통행을 최단경로 통행이라고 가정하였지만, 본 연구에서는 신성일 외(2005)가 제안한 유사탐색 경로 알고리즘을 활용하여 실제 지하철 간 통행 행태를 추정한다.

셋째, 대중교통 통행을 구성하는 요소는 정류장까지의 접근시간, 정류장에서의 대기시간, 교통수단을 통한 차내시간, 교통수단 간 환승시간(환승대기시간과 환승접근시간) 및 통행 요금 등으로 구성된다. 본 연구에서는 이 중 대중교통 카드 자료를 통해 구축 가능한 차내시간, 환승시간, 환승횟수, 통행요금을 일반화 비용 모형의 구성요소로 선정한다.

$$GeneralizedCost_{ij} = \alpha_k + \beta \times inT^{ij} + \gamma \times trT^{ij} + \delta \times trCNT^{ij} + \varepsilon \times COST^{ij} \qquad \text{식 (5-2)}$$

여기서,

k : 선택 대안 경로($1, 2, 3, \cdots, 14$)

inT^{ij} : 출발지 i에서 도착지 j까지 차내시간

trT^{ij} : 출발지 i에서 도착지 j까지 환승시간

$trCNT^{ij}$: 출발지 i에서 도착지 j까지 환승횟수

$COST^{ij}$ 출발지 i에서 도착지 j까지 통행비용

$\alpha_k, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$ 일반화 비용 추정 파라미터

(2) 선택 대안 경로 구성

본 연구에서는 대중교통 이용자의 선택 가능한 경로를 환승횟수 및 이용 수단을 기준으로 총 14개의 선택 대안을 설정하였다. 여기서 선택 대안 경로는 환승횟수가 2회 이내인 경로로 제한한다.[5)]

<표 Ⅴ-7> 선택 대안 경로

선택 대안	환승횟수	이용경로	이용수단
1	0	버스	버스
2		철도	철도
3	1	버스-버스	버스
4		철도-철도	철도
5		버스-철도	버스
6		철도-버스	철도
7	2	버스-버스-버스	버스
8		버스-버스-철도	버스 철도
9		버스-철도-버스	
10		철도-버스-버스	
11		버스-철도-철도	
12		철도-버스-철도	
13		철도-철도-버스	
14		철도-철도-철도	철도

(3) 일반화 비용 모형 계수 추정 및 검증

대중교통 카드 자료 분석을 통해 추출된 통행 자료를 제한된 독립변수의 계산과 분석 전문 프로그램인 LIMDEP 8.0을 활용하여 모형의 계수를 추정한다.

모형 계수 추정 후 추정된 모형이 실제 관측된 자료를 얼마나 잘 설명하는지 검증할 필요가 있다. 본 연구의 방법론에서는 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation Method)을 통해 ρ^2(Likelihood Ratio Index)와 $\overline{\rho^2}$(Adjusted Likelihood Ratio Index)를 추정하여 모형의 적합도를 검증한다. ρ^2

5) 박경철 외(2004)는 서울시 200개 기종점쌍에 대한 통행자료 분석 결과 통행자 98.5%의 환승횟수가 2회 이내임을 확인했다.

와 $\overline{\rho^2}$의 추정식은 식 (5-3), (5-4)와 같다.

$$\rho^2 = 1 - \frac{L(\hat{\beta})}{L(0)} \qquad \text{식 (5-3)}$$

$$\overline{\rho^2} = 1 - \frac{L(\hat{\beta}) - K}{L(0)} \qquad \text{식 (5-4)}$$

여기서,

$L(0)$: 모든 계수의 값이 0일 때의 로그우도함수 값
$L(\hat{\beta})$: 로그우도함수의 최대치에서의 로그우도함수 값
K : 효용함수에서 사용되는 설명변수 개수

최우추정법에 의한 ρ^2와 $\overline{\rho^2}$는 0과 1사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 좋은 적합도를 나타낸다고 볼 수 있다. 일반적으로 ρ^2의 값이 0.2와 0.4사이의 값을 가지면 모형의 적합도가 좋다고 평가할 수 있다.

(4) 통행 구성요소별 가치 산정

추정된 모형을 바탕으로 서울시 대중교통 이용자들의 각 통행 구성요소별 시간 가치를 추정한다. 통행시간가치를 산정하는 대표적 방법에는 한계임금율법과 한계대체율법이 있다. 이중 한계대체율법은 가장 많이 이용되고 있는 통행시간가치 산정방법으로 이용 가능한 두 개 이상의 교통수단에 대해 각 수단의 통행시간과 통행 요금 및 기타 선택조건 등을 비교하여, 이용자가 실제로 선택한 통행수단에 대한 개별행태를 추정하여 시간가치를 찾는 방법이다.

$$MRS = -\frac{dc}{ct} = \frac{\partial V/\partial t}{\partial V/\partial c} \qquad \text{식 (5-5)}$$

여기서,

$\partial V/\partial t$: 통행시간에 대한 한계효용
$\partial V/\partial c$: 통행비용에 대한 한계효용

본 연구의 방법론에서는 총통행요금 대비 통행 구성요소별 시간가치를 아래 식 (5-6)과 같이 산정하도록 한다.

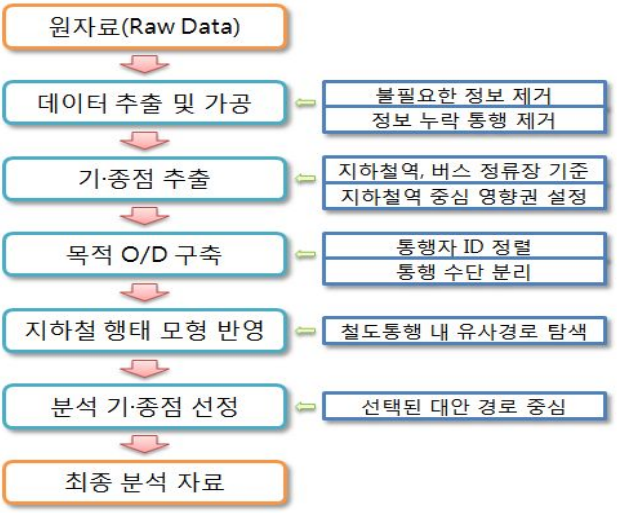
$$\text{통행 구성요소별 시간가치(원/시간)} = \frac{\text{통행구성요소 파라미터}}{\text{총통행비용 파라미터}} \times 3600 \qquad \text{식 (5-6)}$$

(5) 대중교통 카드 자료 분석 방법론

① 기본 방향

대중교통 카드 자료의 원자료(Raw Data)는 개개인의 통행정보를 포함하고는 있지만, 이를 일반화 비용 모형 추정에 활용하기 위해서는 별도의 복잡한 자료의 가공 및 분석 작업을 진행해야할 필요가 있다.

본 연구에서 일반화 비용 모형 추정을 위한 대중교통 카드 자료 분석 개요는 <그림 Ⅴ-16>과 같다.



<그림 Ⅴ-16> 대중교통 카드 자료 분석

② 데이터 추출 및 가공

대중교통 카드 일일 자료만 해도 대략 80~100MB 20개의 압축 파일로 구성되며 총 일일 자료는 약 2GB에 해당하는 대용량 자료이다. 따라서 자료의 분석 속도 증가 및 자료 처리의 용이성을 위해 분석에 사용되지 않는 숫자 및 년, 월, 일 등을 삭제함으로써 자료의 용량을 절반 가까이 감소시킬 수 있다.

본 연구에서의 분석대상이 서울시 시내버스와 수도권 철도인 관계로 선택 대안이 광역버스와 마을버스인 경로는 삭제한다. 다음과 같이 분석에 필요한 정보가 누락된 통행 역시 삭제한다.

- 하차 미태그 통행
- 통행 요금 누락 통행
- 이전 환승 정보가 누락된 통행

실제 대중교통 카드 자료를 추출하면 대략 일일 평균 1,200만 통행 정도가 된다. 이를 용량 감소를 위해 데이터를 가공하면 대략 1.2GB 정도의 크기가 된다.

용량이 감소된 파일을 분석에 필요한 정보가 누락된 통행을 삭제하게 되면 최종적으로 일일 평균 약 700만 통행이 추출된다.

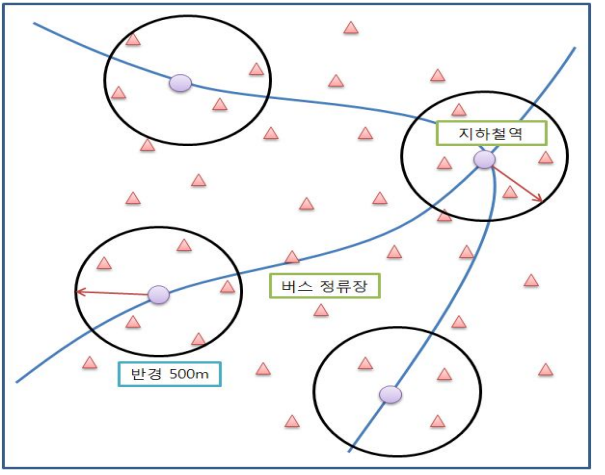
<표 Ⅴ-8> Data 가공 전·후 모습

가공 전 (1일 2.2G Byte)
2605n3R5rWsLwYZeeHDmpNqAAyNnh2I=20071117075419 011 115 0 11110063 111007100 111707938 01 20071117071845 0008435 20071117081828 0009199 1 900 0
가공 후 (1일 1.2G Byte)
n3R5rWsLwYZeeHDmpNqAAyNnh2I=075419 011 115 0 11110063 111007100 111707938 01 071845 8435 081828 9199 1 900 0

③ 기·종점 추출

일반화 비용 모형 추정을 위해서는 기·종점 쌍 간 선택 대안 경로를 추출해야 한다. 이를 위해 316개의 수도권 철도 정류장 및 24,207개의 서울시 시내버스(지간선 노선 중복 허용) 정류장 중 마을버스와 시티투어버스 정류장을 제외한 정류장들만 기종점 정보로 활용한다.

각각의 철도 및 버스 정류장을 모두 기·종점 자료로 활용할 경우 추출된 자료가 방대해지고 선택 대안 경로의 추출이 용이하지 않는 것을 감안하여 지하철역을 중심으로 그룹화(Grouping) 작업을 실시한다.



<그림 Ⅴ-17> 지하철역 중심 그룹화 작업

이 때 그룹화 작업의 영향권은 반경 500m로 설정하도록 한다. 이는 지하철역을 중심으로 반경 500m 내에서는 일반적으로 도보로 접근 가능하다는 가정에 따른 것이다.

그룹화 작업의 영향권 설정 시 본 연구에서는 계산의 용이성과 정확성을 위해 버스 정류장 자료에 포함되어 있는 위치좌표를 활용한다. 수도권 철도 정류장 위치좌표의 경우 배포된 자료의 정확성과 정밀성이 상대적으로 떨어진다고 판단되어 직접 구축한다.

<그림 Ⅴ-18> 수도권 철도역 위치좌표 구축

<표 Ⅴ-9> 정류장 위치 좌표

구분	정류장 ID	교통 수단명	경도	위도	x_tm	y_tm
시내버스	8986	지선	127.0014600	37.5256400	200060.71503	447046.47020
시내버스	8965	지선	126.9990400	37.5282300	199846.80727	447333.93819
시내버스	8928	지선	126.9965000	37.5305400	199622.30534	447590.33553
시내버스	9126	간선	126.8755700	37.4895600	188927.05957	443049.60657
시내버스	9158	간선	126.8764900	37.4859200	189007.88117	442645.49875
시내버스	9167	간선	126.8767400	37.4848200	189029.82845	442523.38179
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
지하철	1907	1호선	-	-	204038.42000	469867.95000
지하철	2818	8호선	-	-	210429.95000	443380.44000
지하철	2748	7호선	-	-	189609.84000	442051.59000
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

위치좌표를 활용하여 그룹화 작업을 실시하면 총 6,889개의 버스 정류장이 영향권에 포함되며 이를 통한 평균 일일 통행수는 대략 200만 건이 된다. <표 Ⅴ-10>은 그룹화 작업을 실시하여 철도역 별 해당 버스정류장을 추출한 모습이다.

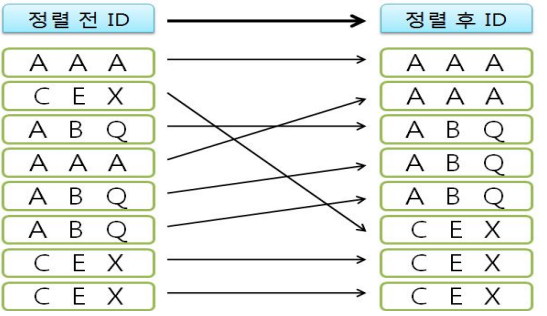
<표 Ⅴ-10> 그룹화 작업 예시

지하철역 ID	버스정류장 수	버스정류장 ID
150	117	정류장ID_00=8681 정류장ID_01=8682 정류장ID_02=13104 ⋮
151	100	정류장ID_00=8725 정류장ID_01=8743 정류장ID_02=8743 ⋮
⋮	⋮	⋮
2821	33	정류장ID_00=12058 정류장ID_01=13960 정류장ID_02=12058 ⋮

④ 목적 O/D 구축

대중교통 카드 자료는 시간의 흐름에 따라 다수의 사용자가 기록되기 때문에 특정인의 통행이 끝나기 이전에 다른 사람의 정보가 먼저 수록된다. 따라서 선택 대안 경로를 파악하기 위해서는 개개인에게 부여된 일일 ID를 기준으로 <그림 Ⅴ-19>와 같이 ID 정렬(Sorting)을 실시한 후 본 연구에서 필요로 하는 통행 정보를 포함한 실제 목적 O/D를 구축한다.

<그림 Ⅴ-19>는 ID 정렬(Sorting) 과정을 나타낸다.



<그림 Ⅴ-19> ID 정렬(Sorting) 과정

목적 O/D 구축을 위해서 먼저 개개인에게 부여된 일일 ID를 기준으로 <표 Ⅴ-11>과 같이 정렬(Soring)을 실시한다.

<표 Ⅴ-11> ID 정렬 예시

+++kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs= 112250 58 120 0 11110290 111000400 111745429 1 93805 7403 112504 7387 1 900 0 +++kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs= 112803 58 200 1 0 211200000 0 1 0 2514 120821 2534 1 0 300
통행인 : +++kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs= 목적통행 : 1통행 수단통행 : 2통행 (버스 + 철도) 이용 수단 : 버스(120), 철도(200) 환승 횟수 : 1회 환승 시간 : 2분 59초 총 요금 : 버스 900원 + 철도 300원 = 총 1200원

ID 정렬(Sorting)을 한 후 이를 본 연구에서 필요로 하는 통행 정보를 포함한 실제 목적 O/D를 <표 Ⅴ-12>와 같이 구축한다.

<표 Ⅴ-12> 목적 O/D 예시

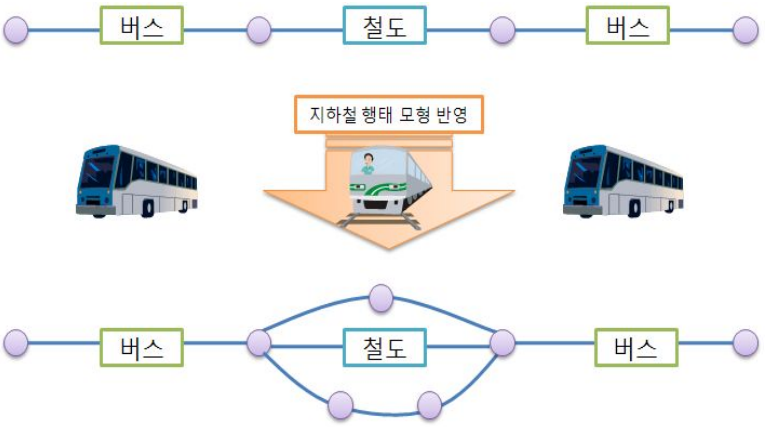
2718 317 2757 85 1000 4 1018 317 1 18 0 0 1018 317 0 0
통행시간 : 2757(초) 환승시간 : 85(초) 통행요금 : 1000(원) 환승 횟수 : 1회

이러한 작업을 거쳐 일일 평균 약 130만 건의 목적 O/D가 구축되었다.

⑤ 지하철 행태 모형 반영

실제 목적 O/D를 구축하게 되면 대중교통 카드 자료의 특성상 철도 내 환승 통행 정보가 포함되어 있지 않다. 따라서 앞서 언급했던 대로 신성일 외(2005)가 제안한 다수경로(유사경로) 탐색 알고리즘을 통해 철도가 포함된 통행

의 철도 내 통행정보(환승횟수, 환승시간, 차내시간, 통행요금)를 산출한다. 다수경로(유사경로) 탐색 알고리즘을 적용하여 철도 내 통행 경로를 산출한 결과는 <그림 Ⅴ-20>과 같이 도식화 된다.

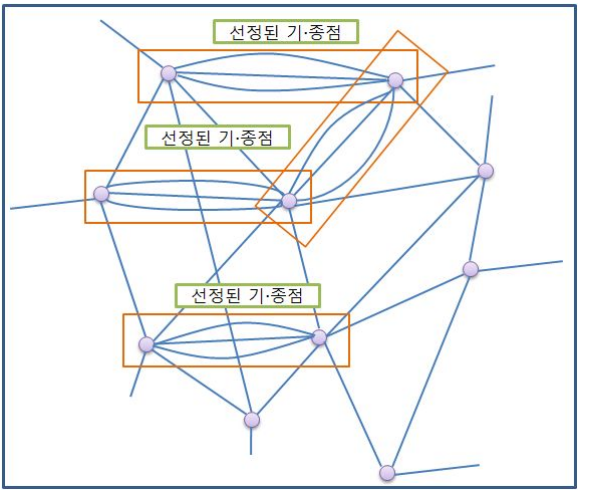


<그림 Ⅴ-20> 지하철 행태 모형 반영

대중교통 카드 자료에서의 제공된 철도 통행 정보를 지하철 형태 모형을 반영함으로써 실제 통행자의 경로 정보를 파악할 수 있다.

⑥ 분석 기·종점 선정

통행요소관련 변수 가치 추정을 위해서는 같은 기·종점을 통행하는 다수의 경로가 존재해야 한다. 수도권 철도역을 중심으로 추출된 각 기·종점의 선택 대안 경로수를 분석하여 기·종점 간 선택 대안 수가 <그림 Ⅴ-21>과 같이 최소한 3개 이상인 기·종점만을 선정하여 일주일간의 통행 자료를 추출한다.



<그림 Ⅴ-21> 선정된 분석 기·종점

본 연구의 분석에 필요한 최소 대안 경로수가 3개 이상 존재하는 기·종점쌍을 총 114개 선정하였다. 선정된 기·종점쌍을 기준으로 일주일의 대중교통 카드 자료를 분석한 결과 총 53,498 건의 목적 O/D가 산출되었다.

<표 Ⅴ-13> 선택 대안 경로 자료 수

선택 대안	이용경로	추출 자료 수
1	버스	16,736
2	철도	26,583
3	버스-버스	2,353
4	철도-철도	3,377
5	버스-철도	773
6	철도-버스	993
7	버스-버스-버스	226
8	버스-버스-철도	21
9	버스-철도-버스	72
10	철도-버스-버스	34
11	버스-철도-철도	225
12	철도-버스-철도	47
13	철도-철도-버스	200
14	철도-철도-철도	1,042

2) 지하철 통행 일반화 비용

(1) 일반화비용 추정 모형

지하철 이용자들이 경로를 선택할 때 느끼는 여러 변수들의 영향을 계량화하기 위해 다음과 같은 과정을 수행하였다.

- 소비자 수요이론에 근거한 개별행태모형을 적용
- 통행자가 경로를 선택할 때 차내통행시간, 환승역수, 환승시간 등의 요인의 부담을 계량화
- 선택대안과 선택되지 않은 대안은 각각 다음과 같이 준비
- 출발역과 도착역이 주어졌을때 차내통행시간은 표정속도를 고려하여 산정하고, 환승시간은 도보로 걸어서 환승한 시간(평균 7분)과 대기시간(2분)을 합한 9분으로 가정
- k-경로 탐색기법을 적용하여 대안 경로 3개를 작성하고 실제의 Revealed Preference조사 자료에서 통행자가 선정한 결과들과 비교하여 선택되지 않은 경우는 '0'으로 적용하고, 여행자가 선택한 경로는 '1'을 적용
- 아래와 같은 효용식을 설정하고 모형의 파라미터를 추정

$$U_i = V_i + \varepsilon_i$$

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{n=1} \exp V_j} \quad \text{(대안 i를 선택할 확률)}$$

$$V_i = \beta_1 \text{차내통행시간}_i + \beta_2 \text{환승역수}_i + \beta_3 \text{환승시간}_i$$

여기서,

U_i : 측정불가능한 확률적 효용함수

V_i : 측정가능한 효용 함수

ε_i : 측정불가능한 에러항

(2) 환승의 일반화 비용추정사례

관련 선행연구들의 연구결과를 정리해 보면 다음과 같다.

<표 Ⅴ-14> 환승의 부담정도를 계량화한 선행연구들과의 비교(파라메터의 결과)

구분	차내시간	환승시간	환승횟수	비교
본연구	-0.521	-0.614	-5.525	지하철
양창화·손의영	-0.184	-0.303	-1.881	지하철
조남건	-0.020	-0.035	-0.268	지하철
김현 외	-0.254	-	-3.270	업무통행
McFadden	-0.026	-0.054	-0.105	업무통행
CTPS	-0.043	-0.099	-0.315	경전철

<표 Ⅴ-15> 환승 부담정도를 계량화한 선행연구들과의 비교(차내통행시간을 기준)

구분	차내시간	환승시간	환승횟수	비교
본연구	1	1.18	10.60	지하철
양창화·손의영	1	1.65	10.22	지하철
조남건	1	1.75	13.40	지하철
김현 외	1	-	12.87	업무통행
McFadden	1	2.08	4.04	업무통행
CTPS	1	2.30	7.33	경전철

선행연구들의 연구결과를 정리해 보면 다음과 같으며, 선행 연구결과 비교하여 모형의 적합성을 살펴볼 때 rho-sq값이 0.875로 매우 높아 예측력이 우수하다고 판단된다.

<표 Ⅴ-16> 모형의 추정결과

구 분	모형구분	
	환승시간 모형	환승역수 모형
경유한 역의 수	-0.5210** (0.1714)	-0.5210** (0.1715)
환승시간	-0.6140** (0.1184)	
환승한 역의 수		-5.5259** (1.0562)
관측치 개수 수렴전 og-likelihood 수렴후 og-likelihood	112 -123.04 -15.38	112 -123.04 -15.38
rho-sq	0.875	0.875

주 : 1. a( )안의 값은 추정계수의 표준오차이며, *, **는 각각 유의수준 5%와 1%에서 통계적으로 유의함을 의미함

(3) 경로선택모형의 적용 예시

도시철도공사 관할 답십리역에서 출발하여 철도공사 관할 대화역에 도착한 승객이 이용 가능한 경로는 아래와 같이 세가지 대안이 있을 경우 실제로 이용한 경로는 첫 번째 대안이다.

<표 Ⅴ-17> 선택 대안

번호	선택 여부	총통행 시간	환승 역수	환승 시간	경유 역수	통행 거리	환승역
2	1	67.6	1	9	28	39.5	종로3가
3	0	71.4	2	18	29	40.2	동대문운동장, 충무로
4	0	71.6	2	18	28	38.9	왕십리, 을지로3가

각각의 경로들이 가지는 확률은 아래와 같이 계산된다.

$V_i = \beta_1$경유역수 $_i + \beta_2$환승시간i

첫 번째 경로의 효용식 = -0.5210×28-0.6140×9 = -20.114

두 번째 경로의 효용식 = -0.5210×29-0.6140×18 = -26.161

세 번째 경로의 효용식 = -0.5210×28-0.6140×18 = -25.640

$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{n=1} \exp V_j}$ (대안 i를 선택할 확률)을 이용하여 개별 확률을 계산하면,

$P_{첫번째}$ =(exp(-20.114)/(exp(-20.114)+exp(-26.161)+exp(-25.640)))= 0.99369

$P_{두번째}$ =(exp(-26.161)/(exp(-20.114)+exp(-26.161)+exp(-25.640)))= 0.00235

$P_{세번째}$ =(exp(-25.64)/(exp(-20.114)+exp(-26.161)+exp(-25.640)))= 0.00396

종로3가를 경유하는 첫 번째 경로가 선택될 확률은 99.369%이고, 동대문운동장과 충무로를 경유하는 두 번째 경로는 0.235% 그리고 세 번째 경로는 0.396%로 구성된다. 결론적으로 대부분의 통행자들은 답십리(5호선)에서 대화역(철도공사)까지 통행경로는 종로3가까지는 도시철도공사의 구간을 이용하고, 종로3가에서 환승하여 구파발까지는 지하철공사구간을 이용하고 나머지는 철도공사구간을 이용하는 것으로 나타난다.

2. 유사 통행 경로 방안 검증

앞서 SP 조사를 통해 구축된 지하철 통행 일반화 비용을 토대로 유사 통행 경로 방안을 검증한다.

유사 통행 경로 방안 검증은 알고리즘에 의한 역간 경로의 유사경로 중 비지배 경로로 나타난 경로가 SP조사를 통한 실제 대중교통 이용자의 통행경로와 일치 하는지에 대한 분석을 수행하였다.

SP조사를 통해 2,919개의 지하철 통행경로에 대한 실태를 조사·분석 한 결과 1회 이상 환승의 경우 2,913개, 2회 이상은 360개, 3회 이상은 20개로 나타났다.

조사 결과는 다음과 같다.

<표 Ⅴ-18> 환승역에서 조사된 통행 경로

조사 역명	설문ID	면접원	조사 일자	조사 시간대	연번	출발역	환승역	환승역2	환승역3	도착역	연령	성별
종로 3가 (319)	1	34	26	1	14	2543	319	-	-	1958	64	1
	1	34	26	1	19	2554	319	-	-	312	56	1
	1	34	26	1	1	2548	319	-	-	1951	50	1
	1	34	26	1	4	2533	319	-	-	326	48	1
	1	34	26	1	28	245	319	-	-	1955	40	1
	1	34	26	1	5	2518	319	-	-	326	36	1
	1	34	26	1	13	2543	319	-	-	310	35	1
	1	34	26	1	9	2520	319	-	-	321	30	1
	1	34	26	1	10	2522	319	-	-	321	24	1
	1	34	26	1	11	2556	319	-	-	318	20	1

조사된 통행경로를 토대로 알고리즘을 통한 유사경로 및 비지배 경로를 선정한 결과는 다음과 같다.

<표 Ⅴ-19> 알고리즘에 의한 유사경로 및 비지배 경로

경로		총통행시간	환승역수	환승시간	역수	거리	비지배경로	환승역1	환승역2	환승역3
답십리(2543) → 대화(1958)	0th	67.6	1	9	28	39.5	(*)	종로3가		
	1th	71.4	2	18	29	40.2	( )	동대문운동장	충무로	
	2th	71.6	2	18	28	38.9	( )	왕십리	을지로3가	
상일동(2554) → 불광(312)	0th	55.4	1	9	27	28.2	(*)	종로3가		
	1th	59.2	2	18	28	28.9	( )	동대문운동장	충무로	
	2th	59.4	2	18	27	27.6	( )	왕십리	을지로3가	
천호(2548) → 원당(1951)	0th	62.9	1	9	26	34.2	(*)	종로3가		
	1th	66.7	2	18	27	34.9	( )	동대문운동장	충무로	
	2th	66.9	2	18	26	33.6	( )	왕십리	을지로3가	
서대문(2533) → 압구정(326)	0th	20.3	1	9	10	8.9	(*)	종로3가		
	1th	24.7	2	18	10	9.6	( )	청구	약수	
	2th	26.3	2	18	11	10.8	( )	동대문운동장	충무로	
신답(245) → 마두(1955)	0th	62.5	2	18	23	33.6	(*)	종로3가		
	1th	62.5	2	18	23	33.6	( )	신설동	종로3가	
	2th	70.1	3	27	25	35.2	( )	신설동	동대문	충무로
화곡(2518) → 압구정(326)	0th	47.1	1	9	25	23.5	(*)	종로3가		
	1th	51	2	18	23	22.3	(*)	공덕	약수	
	2th	51.3	2	18	23	22.7	( )	영등포구청	을지로3가	
답십리(2543) → 구파발(310)	0th	37.9	1	9	18	18.8	(*)	종로3가		
	1th	41.7	2	18	19	19.5	( )	동대문운동장	충무로	
	2th	41.9	2	18	18	18.2	( )	왕십리	을지로3가	
신정(2520) → 충무로(321)	0th	33.1	1	9	18	15.7	(*)	종로3가		
	1th	36	1	9	19	17.6	(*)	동대문운동장		
	2th	37.4	2	18	16	14.9	(*)	영등포구청	을지로3가	
오목교(2522) → 충무로(321)	0th	30	1	9	16	14	(*)	종로3가		
	1th	32.9	1	9	17	15.9	(*)	동대문운동장		
	2th	34.3	2	18	14	13.2	(*)	영등포구청	을지로3가	
올림픽공원(2556) → 안국(318)	0th	38.5	1	9	18	18.7	(*)	종로3가		
	1th	42.3	2	18	19	19.4	( )	동대문운동장	충무로	
	2th	42.5	2	18	18	18.1	( )	왕십리	을지로3가	

설문에 의해 조사된 2,919개의 통행경로 중 10개의 샘플을 분석한 결과 모든 경로에서 알고리즘에 의한 유사통행경로 중 비지배 경로가 실제 경로와 동일한 것으로 나타나 유사통행경로 방안이 실제 통행행태를 반영하는 것으로 판단된다.

RF카드자료를 이용하여 구축된 지하철 역간 통행수요를 기반으로 통행배정을 배정하는 것은 계획의 합리적인 투자평가를 결정하기 위한 필수과정이다. 위에서 구축된 일반화비용을 적용하여 <표 Ⅴ-20>과 같이 본 연구에서 제시하는 유사경로기반의 통행배정모형을 활용한 RF카드기반 일일이용객수를 구간별로 추정하였다.

입력자료는 지하철 네트워크, 역노드, 실제자료를 바탕으로 구축된 환승이동시간 및 환승대기시간(도착빈도/2)을 적용하였다. 통행배정방법은 위에서 설명한 바와 같이 먼저, 개인별 통행을 추적하여 총 136,590개의 역간 OD쌍을 계산하였고 배정방법은 비지배경로를 포함한 최대 3개의 유사경로를 탐색하여 탐색된 경로에 비율대로 OD쌍을 배정하는 방안을 적용하였다.

일반적으로 알려진 Logit모형을 적용하지 않은 이유는 이미 일반화비용을 구축하는 과정에서 유사경로에 확률적인 속성이 포함된 것으로 간주하였다.

<표 Ⅴ-20> RF카드 통행배정결과

출발역	도착역	운영기관	일일이용객수
가능	의정부	91	13153.0
의정부	회룡	91	26917.0
의정부	가능	91	10487.0
회룡	망월사	91	38271.0
회룡	의정부	91	24878.0
망월사	도봉산	91	44600.0
망월사	회룡	91	34187.0
도봉산	도봉	91	61921.0
도봉산	망월사	91	40766.0
도봉산	수락산	7	35369.0
도봉산	장암	7	301.0
도봉	방학	91	64236.7
도봉	도봉산	91	56811.3
방학	창동	91	68805.3
방학	도봉	91	58752.0
창동	방학	91	62662.7

제4절 수도권 철도 운영기관 간 수입금 정산 사례

도시철도가 가지고 있는 쾌적성, 편리성 그리고 정시성의 장점은 도시철도의 등장 이후 그 이용률을 어느 수준까지 꾸준히 증가시켜왔다. 이에 따라 지자체를 비롯한 수도권은 지하철의 새로운 도입을 포함한 도시철도의 연장을 점차 증가시켜왔으며, 수도권의 경우 2008년 현재 총 4개의 운영 기관이 총 17개 노선을 운영 중에 있다. 이러한 도시철도의 장점은 2004년 서울시 통합 대중교통 개편과 2007년 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후 편리성과 연계성 측면에서 더욱 더 부각되고 있다.

하지만 이러한 대중교통 통합요금제의 시행은 그 동안 지하철·전철 운영기관 간의 수입금 정산 문제를 버스와 지하철·전철 문제로까지 확대시켜 좀 더 정확하고 복잡한 정산 방식의 필요성을 불러일으켰다.

이에 본 사례연구에서는 수도권 통합 환승할인요금제 시행 이후 대중교통 운영기관 간 수입금 정산 문제를 다루도록 한다. 특히, 대중교통체계 개편 이후 본격적으로 도입된 대중교통 카드(RF Card) 자료를 적극 활용하여 수도권 도시철도 운영기관 간 연락운임 정산에 관한 방법론을 제시하도록 한다.

1. 대중교통체계 개편 후 수입금 정산 원칙

1) 기본 정산 원칙

대중교통 수단간 환승 시 전체 이용거리에 따라 총 부과된 통합 운임은 이용 교통수단별 기본운임비율로 정산한다. 단, 전철 이용거리가 기본운임구간(10km)을 초과한 경우에는 전철 단독 이용 시의 추가운임을 전철 운영기관에 우선 귀속하고, 나머지 금액은 당해 수단의 기본운임 비율로 정산 배분한다.

$$\text{당해수단의 정산금} = \text{운임부과액} \times \frac{\text{당해수단의 기본요금}}{\text{각 수단기본운임의 합}}$$

2) 수단 간 정산 배분 예시

<표 Ⅴ-21> 정산배분 예시(2개 수단 이용 시)

구 분	시내버스(4㎞)		지하철 or 버스(5㎞)		총 계 (9㎞)
	승차	하차	승차	하차	
요금부과(원)	900	0	0	0	900
정산금액(원)	900×{900/(900+900)}=450		900×{900/(900+900)}=450		900

구 분	시내버스(8㎞)		지하철(9㎞)		총 계 (17㎞)
	승차	하차	승차	하차	
요금부과(원)	900	0	0	200	1,100
정산금액(원)	1100×{900/(900+900)}=550		1100×{900/(900+900)}=550		1,100

<표 Ⅴ-22> 정산배분 예시(3개 수단 이용 시)

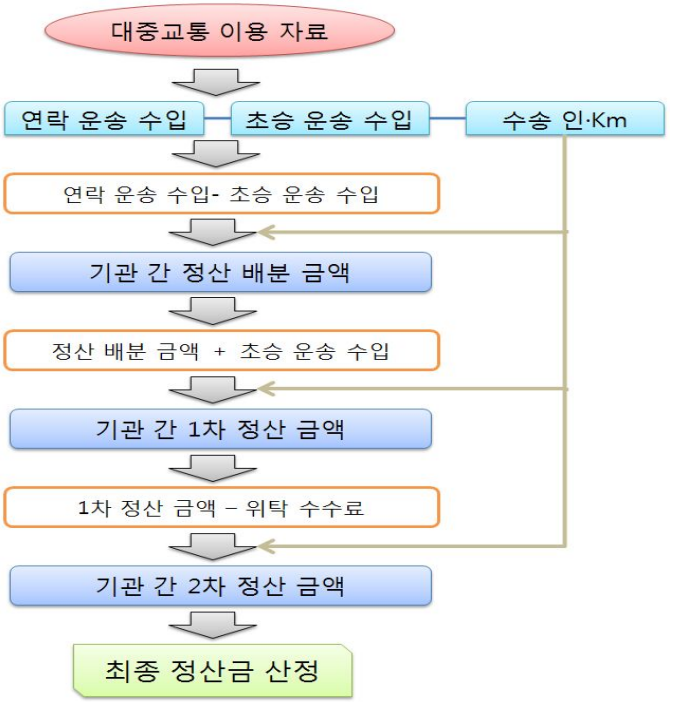
구 분	시내버스(7㎞)		지하철(10㎞)		마을버스(4㎞)		총 계 (21㎞)
	승차	하차	승차	하차	승차	하차	
요금부과(액)	900	0	0	200	0	100	1,200
정산금액(원)	1200×{900/(900+900+600)}=450		1200×{900/(900+900+600)}=450		1200×{600/(900+900+600)}=300		1,200

3) 철도 운영기관 간 연락운임 정산

기본적으로 철도에서의 기관 간 운임정산은 자선구간 운임정산과 연락구간 운임정산으로 구분된다. 자선구간의 경우 자 기관의 노선만을 이용하기 때문에 모든 수입금은 자 기관에 귀속되어야 하지만 두 개 이상의 기관이 운영하는 역을 이용(예, 중앙선 옥수역(철도공사)을 이용하기 위해 3호선 옥수역(서울메트로)을 이용하는 경우)할 경우 해당 기관에 전체 요금의 10%를 수수료로 지불해야 한다. 이는 연락구간 운임 정산에서도 마찬가지로 적용된다.

여기서 자선구간의 경우 하나의 기관이 운영하는 노선을 이용하기 때문에

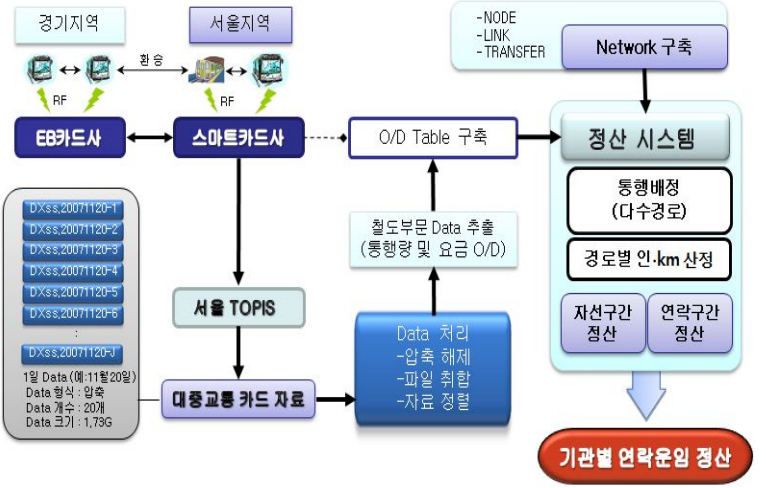
수수료를 제외한 금액을 하나의 이용노선 운영기관이 갖게 되지만, 연락구간의 경우 이용노선 운영기관이 다수이기 때문에 <그림 Ⅴ-22>와 같은 정산 절차를 거치게 된다.



<그림 Ⅴ-22> 철도 운영기관 간 연락운임 정산 과정

2. 수도권 도시철도 수입금 정산 방법론

본 사례에서 제안하는 수도권 도시철도 수입금 정산 방법론은 크게 대중교통 카드(RF Card) 자료의 활용과 운영기관 간 연락운임 정산 알고리즘 제안으로 나눌 수 있다. 대중교통 카드(RF Card)로부터 구축된 O/D를 토대로 본 연구에서 제안하는 수입금 정산 알고리즘을 활용하여 자선구간을 포함한 기관별 연락구간 운임 정산을 하게 된다.



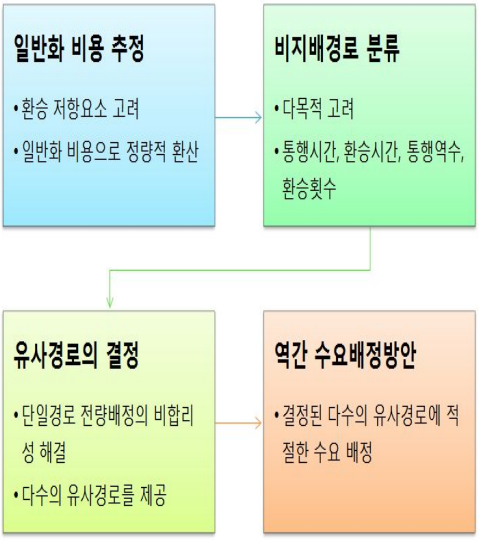
<그림 Ⅴ-23> 본 사례에서의 수도권 도시철도 수입금 정산 과정

3. 수도권 도시철도 수입금 정산 알고리즘

수도권 도시철도 수입금 정산을 위해서는 우선 통행자의 정확한 경로추적이 필요하다. 이에 본 연구에서는 승객이 이용 가능한 다수의 경로를 일반화 비용을 통해 탐색하고, 승객에게 대등한 서비스를 제공하는 다수의 유사경로에 통행량을 배분하는 신성일 외(2005)가 제안한 도시철도 수입금 정산 모형을 활용하도록 한다.

신성일 외(2005)가 제안한 모형에 통행시간, 환승시간, 통행역수, 환승횟수

의 다목적을 고려하여 비지배경로를 분류한 후 유사 경로를 결정하는 모형으로 발전시켜 기존의 정산모형에서 가장 문제시 되던 단일경로 배정방식의 한계를 극복하도록 한다. 이는 다수의 경로에 통행량을 배분함으로써 유사한 노선을 보유하고 있는 기관은 단일경로에 의한 정산 시 손해를 보는 불합리함을 극복함과 동시에 현실 모사성을 좀 더 향상시켰다고 볼 수 있다.



<그림 Ⅴ-24> 수입금 정산 알고리즘의 방향

4. 수도권 철도 운영기관 간 수입금 정산

1) O/D 추출

4장에서 제시된 대중교통 카드(RF Card) 자료 가공 및 O/D 구축 방법론을 토대로 2007년 11월 대중교통 카드(RF Card) 자료로부터 실제 수도권 도시철도를 이용한 O/D를 산출하면 <표 Ⅴ-23>, <표 Ⅴ-24>와 같다.

<표 Ⅴ-23> 대중교통 카드로부터 O/D 분석 예시1

+++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdq5y0= 131448 37 120 0 11110171 111001500 111706500 1 125510 8525 132526 8742 1 900 0 +++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdq5y0= 132924 37 200 1 0 211200000 0 1 0 2534 134809 2539 1 0 0
통행인 : +++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdq5y0= 목적통행 : 1통행 수단통행 : 2통행 (버스 + 철도) 이용 수단 : 버스(120), 철도(200) 총 요금 : 버스 900원 + 철도 0원 = 총 900원

추출된 O/D의 내용을 살펴보면 통행인은 총 900을 지불하고 버스와 도시철도를 이용했다. 도시철도 이용 시 추가요금을 지불하지 않았기 때문에 도시철도 O/D만을 추출할 경우 철도 요금이 0원으로 기록되어 요금정산이 불가능하다. 따라서 대중교통 수단 간 수입금 정산방식에 따라 총 요금인 900월을 버스와 철도의 기본요금 비율로 배정한 결과, 철도 이용 시 450원의 요금을 지불한 것으로 분석된다.

즉, 통행자 "+++FFt1AY/yWTmbqoUeu2gdq5y0="은 '2534(광화문)'역에서 출발하여 "2539(신금호)" 역에 도착하고 기본요금으로 450원을 지불한 것으로 해석할 수 있다.

<표 Ⅴ-24> 대중교통 카드로부터 O/D 분석 예시2

+++kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs= 112250 58 120 0 11110290 111000400 111745429 1 93805 7403 112504 7387 1 900 0 +++kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs= 112803 58 200 1 0 211200000 0 1 0 2514 120821 2534 1 0 300
통행인 : +++kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs= 목적통행 : 1통행 수단통행 : 2통행 (버스 + 철도) 이용 수단 : 버스(120), 철도(200) 총 요금 : 버스 900원 + 철도 300원 = 총 1200원

<표 Ⅴ-23>의 동일한 방식으로 통행 O/D를 산출하면, 통행인 "kAVQrAVltNmHoiM6RA7Kj3qs=" 는 도시철도로 "2514(송정)"역에서 출발하여 "2534 (광화문)"역에 도착하고, 총 요금 300원을 지불하였다. 위와 같은 절차를 통해 수도권 도시철도의 O/D(통행량, 요금)가 구축되며, <표 Ⅴ-25>는 이에 대

한 예시이다.

<표 Ⅴ-25> 수도권 도시철도 O/D 예시

출발역	도착역	통행인원	총수입금	기본요금
1204	2555	1.4	1571.4	1285.7
1204	2556	0.7	720.0	505.7
1204	2557	0.1	171.4	128.6
1204	2558	0.6	685.7	514.3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

현재 (주)한국스마트카드사에서는 수집된 대중교통 카드(RF Card) 자료를 바탕으로 버스-철도 간 1차 수입금 정산 후 각 운영기관(철도4개 기관 및 각 버스회사)에 수입금을 입금하고 있다. 여기서 철도부문 수입금은 연락구간 정산 및 위탁수수료가 고려되지 않은 금액으로 본 연구의 수도권 도시철도 O/D요금과 동일한 개념이다.

따라서 본 연구에서의 O/D 추출과정의 정확성 검증을 위해 일정기간(2007년 11월 11일~17일) 동안의 (주)한국스마트카드사에서 철도 운영기관에 지급한 수입금과 본 연구에서 도출된 철도부문의 O/D(수입금)을 비교·분석하였다. 그 결과 일별 0.12~0.23%의 오차율을 보였다.

<표 Ⅴ-26> 실제 수입금 및 분석 값 비교

구 분	실제 통행일	분석 값(천원)	실제 값(천원)	오차(%)
DXSS_20071114	11월11일	2,839,159	2,845,629	0.23
DXSS_20071115	11월12일	4,660,564	4,668,202	0.16
DXSS_20071116	11월13일	4,689,281	4,698,608	0.20
DXSS_20071117	11월14일	4,772,949	4,781,864	0.19
DXSS_20071118	11월15일	4,738,918	4,747,679	0.18
DXSS_20071119	11월16일	4,857,364	4,866,517	0.19
DXSS_20071120	11월17일	3,977,144	3,981,941	0.12

이러한 오차율은 ㈜한국스마트카드사는 대중교통 카드에서 발생할 수 있는 오검지 자료 및 수집되지 않는 하차 시 미태그 통행에 대해서는 매월 1회 총합산하여 기관별 배분하고 있으나 본 연구에서는 이러한 오검지 자료를 고려

하지 않았기 때문에 발생하는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서의 O/D(통행량, 요금) 구축과정은 정확하다고 판단할 수 있다.

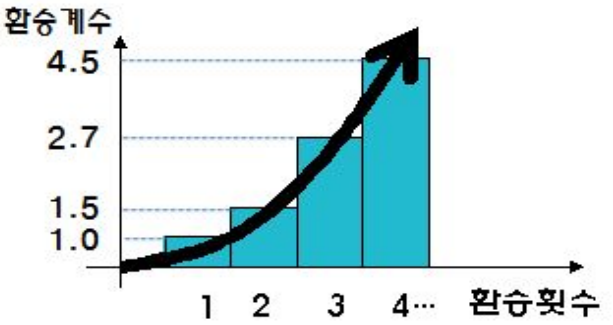
2) 일반화 비용 파라메터 정산

(1) 환승 계수 추정(α_{ab}^{k})

5장 3절에서 제시된 방법론을 토대로 일반화 비용 추정에 사용될 환승 계수를 경험적으로 추정하면 <표 Ⅴ-27>와 <그림 Ⅴ-25>와 같다.

<표 Ⅴ-27> 최적 환승 계수

환승횟수	0	1	2	3	4	5
환승계수(α_{ab}^{k})	0.0	1.0	1.5	2.7	4.5	5.5



<그림 Ⅴ-25> 최적 환승 계수

(2) 환승 도보시간 조사(T_{ab}^{k})

일반화 비용 추정을 위한 환승 도보시간 조사의 결과는 <표 Ⅴ-28>과 같다.

<표 Ⅴ-28> 환승 도보시간 조사 예

No.	역이름	환승노선		환승방향		이동시간	
						시간(분)	시간(초)
1	가산 디지털 단지	7	1	장암	의정부	3	10
				장암	인천(수원)	3	33
				온수	의정부	3	6
				온수	인천(수원)	3	26
		1	7	의정부	장암	2	58
				의정부	온수	3	1
				인천(수원)	장암	3	25
				인천(수원)	온수	3	21
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

<표 Ⅴ-28>은 가산디지털단지역에서 조사한 자료 결과로써, 7호선 장암역 방면에서 1호선 의정부역 방면으로 환승을 할 경우 3분 10초가 소요된다는 것을 알 수 있다. 이러한 방법으로 55개 환승역에 대해서 모든 환승 방향별 조사를 실시하였으며, 조사된 자료를 도시철도 수입금 정산 알고리즘에 활용하기 위해 환승 통행 자료로 구성하면 <표 Ⅴ-29>와 같다.

<표 Ⅴ-29> 환승 통행 자료

F_node	Transfer	T_node	Time
도봉	도봉산	장암	1.12
도봉	도봉산	수락산	1.00
망월사	도봉산	장암	1.43
망월사	도봉산	수락산	1.18
장암	도봉산	도봉	1.32
수락산	도봉산	도봉	0.97
⋮	⋮	⋮	⋮

(3) 노선별 배차간격 산정(H_b)

노선별 배차간격 산정을 위한 시간대별/기관별 통행량은 <표 Ⅴ-30>과 같다.

<표 Ⅴ-30> 시간대별/기관별 통행량

시간대	서울메트로 출발	서울도시철도 출발	철도공사 출발	인천지하철 출발
00시대:	1,294	91	8	17
05시대:	361	74	30	84
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
12시대:	3,104	456	113	283
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
전체	93,005	17,301	3,036	7,223
피크시	28,328	6,752	1,085	3,175
비율	30.46%	39.03%	35.74%	43.96%

<표 Ⅴ-31> 첨두 비율을 고려한 배차간격 가중평균

노선		첨두시 배차간격	비첨두시 배차간격	첨두 비율	배차간격 가중평균	비고
서울 메트로	1	3	4	0.3046	3.70	강남
	2	2.5	5.5	0.3046	4.59	
	3	3	6	0.3046	5.09	
	4	2.5	5	0.3046	4.24	
도시 철도	5	2.5	6	0.3903	4.63	강남구청
	6	4	8	0.3903	6.44	
	7	2.5	6	0.3903	4.63	
	8	4.5	8	0.3903	6.63	
철도 공사	경부	6	7	0.3574	6.64	한남
	경인	2.7	5	0.3574	4.18	
	경원	6	7.5	0.3574	6.96	
	중앙	9.2	15.9	0.3574	13.51	
	안산 과천	5	6.7	0.3574	6.09	
	분당	4	6.9	0.3574	5.86	
	일산	6	8.6	0.3574	7.67	
인천 지하철	인천	5.25	9.25	0.4396	7.49	부평시장

자료 : 서울메트로 수송계획(서울메트로, 2007)

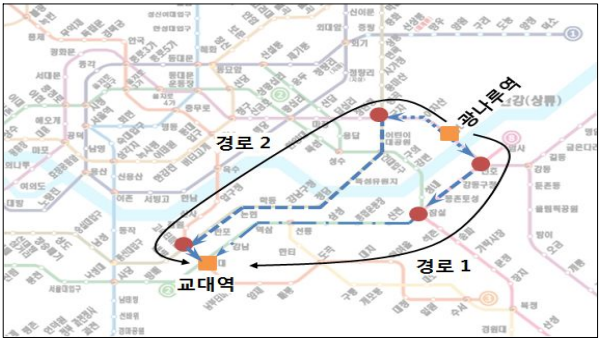
3) 수입금 정산

(1) 다수경로(유사경로) 탐색

수도권 도시철도 역 중에서 임의의 역을 선정하여 본 연구에서 제안한 수입

금 정산 방안을 적용하도록 한다.

임의의 역은 환승이 포함된 경로를 가지는 광나루역(2547)과 교대역(330)으로 선정하였으며, 다수경로(유사경로) 탐색 결과는 <그림 Ⅴ-26>, <표 Ⅴ-32>와 같다.



<그림 Ⅴ-26> 탐색된 다수경로

<표 Ⅴ-32> 다수경로(유사경로) 탐색 결과

경로	비용 (분)	선택 확률(%)	통행량 (인)	이용노선 운영기관	통행 경로	이용 Km	인·Km
1th	26.3	51.6	0.98	도시철도	광나루-천호	2.0	1.960
				도시철도	천호-잠실	3.3	3.234
				서울메트로	잠실-교대	7.9	7.742
2th	27.0	48.4	0.92	도시철도	광나루-군자	2.5	2.300
				도시철도	군자-고속터미널	9.7	8.924
				서울메트로	고속터미널-교대	1.6	1.472

(2) 탐색된 다수경로(유사경로) 검증

본 연구에서 제안한 다수경로(유사경로) 탐색 알고리즘을 통해 탐색된 2007년 11월 한 달간 수도권 도시철도 이용자의 모든 유사경로를 실제 설문조사를 통해 검증하였다.

그 결과 실제 도시철도 이용자의 통행경로(800개) 중 726개의 경로(90.75%)가 본 연구에서 제시한 알고리즘에 의해 탐색되었으며 54개 경로(6.75%)에 대해

서는 비현실적인 경로(불가능한 경로 응답, 최단경로와 비교하여 터무니없는 경로 선택 등)를 선택하여 실질적인 오차율은 2.50%로 알고리즘이 현실을 잘 반영한다고 할 수 있다.

(3) 수입금 정산 결과

수도권 도시철도 전체 역을 대상으로 분석을 수행할 경우 수도권 도시철도 운영기관의 일일 수입금 및 상호 정산금액이 상세히 도출되기 때문에 운영기관의 수입금 노출에 대한 문제점이 발생될 수 있다. 따라서 본 연구의 사례분석에서는 각 기관별 출발 인원의 상위 10개 역을 대상으로 수입금 정산 사례 분석을 수행하였다.

<표 Ⅴ-33> 기관별 분석대상 역

서울메트로	한국철도공사	서울도시철도	인천지하철
222 강남	1711 성균관대	2518 화곡	3126 인천터미널
214 강변	1713 수원	2519 까치산	3116 작전
216 잠실	1716 병점	2521 목동	3131 동막
219 삼성	1804 부천	2522 오목교	3123 간석오거리
226 사당	1805 송내	2527 여의도	3120 부평
221 역삼	1806 부평	2534 광화문	3119 부평시장
228 서울대입구	1808 동암	2722 상봉	3132 동막
232 구로디지털	1809 주안	2747 남구로	3114 계산
220 선릉	1855 서현	2748 가산디지털	3117 갈산
230 대림	1859 오리	2750 광명사거리	3130 원인재

<표 Ⅴ-34> 기관 간 정산 금액

(단위 : 원/일)

기관 간 정산 금액	받을 금액	서울메트로	한국철도공사	서울도시철도	인천지하철
지급금액	0	−344,497	−434,234	854,644	−75,914
서울메트로	344,497	0	−149,119	492,135	1,481
한국철도공사	434,234	149,119	0	362,584	−77,469
서울도시철도	−854,644	−492,135	−362,584	0	75
인천지하철	75,914	−1,481	77,469	−75	0

선택된 각 기관별 역의 O/D를 구축한 후, 본 연구에서 제안한 수입금 정산 방법론을 적용하면 <표 Ⅴ-34>와 같은 기관 간 정산 금액 결과가 도출된다. 정산 결과 서울메트로는 일일 344,497원, 한국철도공사의 경우 일일 434,234원, 인천지하철공사의 경우 일일 75,914원을 타 기관으로부터 정산 받아야 한다. 그러나 서울도시철도공사의 경우 인천지하철공사로부터 일일 75원을 받지만, 서울메트로에 일일 492,134원, 한국철도공사에 일일 362,584원 정산금을 주어야 한다.

본 사례 연구 결과에서 보듯이 본 연구에서 제안한 수입금 정산 방안을 통해 각 기관별 수입금 정산 금액을 정확히 도출할 수 있음을 알 수 있다. 이를 실제 수도권 도시철도 모든 역을 대상으로 실시한다면, 각 운영기관 별 수입금 정산 금액을 산출할 수 있을 것으로 판단한다.

제Ⅵ장 결론 및 정책 제안

제1절 결 론

제2절 정책 제안

제Ⅵ장 결론 및 정책 제안

제1절 결론

본 연구는 서울시 대중교통 개편 이후 대중교통 서비스 평가에 활용될 수 있는 방안 및 대중교통 평가 모형을 제안하였다. 이렇게 제안된 방안은 실시간적으로 제공되는 대중교통카드 자료를 충분히 활용하여 대중교통 서비스를 평가할 수 있도록 제안하였다.

구체적으로 평가지표는 지역 간 대중교통 서비스의 수준 판단 및 비교가 가능하도록 구성하였으며, 기존의 행정동 기반 O/D와 네트워크를 대중교통 서비스 평가가 가능하도록 정류장 기반 네트워크로 구성하는 새로운 방안을 제안하였다. 이는 향후 지리정보시스템과의 연계를 통해 토지이용이나 지역별 인구수와 같은 다양한 사회·경제적 지표를 대중교통 평가에 반영할 수 있다고 판단된다.

본 연구에서 제안한 대중교통 평가모형은 기존의 여러 한계점을 지니고 있었던 링크기반의 대중교통 평가모형을 대중교통 평가가 실질적으로 가능하도록, 이용된 통행경로의 수단연결 궤적이 추적이 가능한 경로기반의 대중교통 평가모형으로 제안하였다. 이렇게 제안된 경로기반 대중교통 평가모형을 다양한 대중교통 계층과 수단에 대한 평가가 가능하도록 목적통행을 수단분담과 통행배정이 동시에 계산될 수 있도록 구성하였다. 이는 향후 전개될 통합 대중교통 시대에 적합하며, 대중교통카드 자료와 더불어 대중교통 서비스 평가에 크게 기여할 것으로 판단된다.

제2절 정책 제안

향후 수도권뿐만이 아니라 전국 단위의 대중교통 카드의 단일화 및 통일화 작업이 시행될 예정이다. 이는 결국 전국 단위의 개인 대중교통 이용 정보의 습득 및 대중교통 평가가 가능함을 의미한다. 이런 상황 속에서 본 연구를 시작으로 국가 단위의 교통 수요 예측 및 대중교통 평가 모형에 관한 연구 및 개발이 절실하다고 하겠다.

또한, 본 연구에서 제안한 정류장 기반 네트워크, 경로 기반 통행 배정 모형 및 대중교통 카드 자료를 지리정보체계와 결합하여 환승 센터 입지 선정 및 대중교통 노선 효율성 평가에 관한 연구가 필요하다고 하겠다.

본 연구에서 구축한 복합대중교통망에 근거하여 지역간 대중교통의 이동성, 접근성, 형평성 평가가 가능해졌으므로, 제시된 평가체계는 대중교통의 사각지대의 판단, 대중교통노선의 신설 및 폐지, 신교통수단의 도입, 수요관리를 위한 대중교통정책수행을 위한평가모형으로 활용될 필요가 있다.

참 고 문 헌

참고문헌

김동준·김혜자·장원재·성현곤, 『세계주요도시의 대중교통 경쟁력 비교』, 대한교통학회지, 제24권 제4호, 2006.

강승모·권용석·박창호, 『Gonjugate Gradient 법을 이용한 경로기반 통행배정 알고리즘의 구축』, 대한교통학회 제18권 제5호, 2000.

국토연구원, 『지속가능한 이동성 연구』, 2002.

권용석, 『고속도로 통행요금체계 결정을 위한 수요관리방안 연구』, 대한교통학회지, 제21권 제3호, 2003.

노현수·도철웅·김원근·조종석·신성일, 『대중교통망 이동성지표 개발(네트워크 분석을 중심으로)』, 대한교통학회지, 제23권 제8호, 2005.

서울시정개발연구원, 『서울시 시내버스 노선조정 방안 연구』, 1994.

서울시정개발연구원, 『시내버스노선의 합리적 조정방안』, 1995.

서울시정개발연구원, 『제2기 지하철 전면개통에 따른 시내버스 노선체계 개편 구상』, 2000.

서울시정개발연구원, 『도로교통망의 이동성 분석지표 개발』, 2003.

신성일, 『교통망에 적합한 K 비루프 경로 탐색 알고리즘』, 대한교통학회지, 제22권 제6호, 대한교통학회, pp.121~131, 2004.

신성일·노현수·조종석, 『수도권 도시철도 수입금 정산 분석 모형』, 대한교통학회지, 제23권 제5호, 2005.

이상용·박경아, 『시내버스노선체계 평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용』, 대한교통학회지, 제21권 제4호, 2003.

안형준, 『정류장 기반 대중교통 O/D 및 네트워크 구축과 활용방안에 관한 연

구』, 서울대학교, 석사학위논문.

조종석, 『환승과 운행시간스케줄을 고려한 통합교통망의 동적 K경로탐색알고리즘』, 서울대 박사학위논문, 2006.

한국교통연구원, 『대중교통정책수립을 위한 교통카드자료 활용방안』, 2006.

한국운수사업연구원, 『교통카드 전국호완시스템 도입에 관한 연구』, 2005

A. Chen, D. H. Lee, and R. Jayakrishnan, 『Computational Study of State-of-the-art Path-Based Traffic Assignment Algorithms』, Mathematics and Computers in Simulation 59, pp 509~518, 2002.

Chicago Transit Authority, 『CTA(Chicago Transit Authority) Service Standards』, 2001.

D. H. Lee, Y. Nie, and A. Chen, 『A Conjugate Gradient Projection Algorithm for the Traffic Assignment Problem』, Mathematical and Computer Modelling 37, 2003.

Florida DOT, 『Florida's Mobility Performance Measures System』, 2000.

TRB, 『A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement System』, TCRP Report 88, 2001.

H. K. Lo, C. Y. Yip, and Q. K. Wan, 『Modeling Transfers and Nonlinear Fare Structure in Multi-Modal Network』, Transportation Research B, 33 (5), pp 149~170, 2003.

M. H. Xu, W. H. K. Lam, H. Shao, and G. F. Luan, 『A Heuristic Algorithm for Network Equilibration』, Applied Mathematics and Computation 174, pp 430~446, 2006.

TRB, 『Transit Capacity and Quality of Service Manual』, TCRP Report 100, 2001.

T. Leventhal, G. Nemhauser, and L. Trotter Jr, 『A Column Generation Algorithm for Optimal Traffic Assignment』, Transportation Science 7, pp 168~176, 1973.

부 록

부록1. 경로기반 통행배정모형 검증

부록2. 탐색경로 검증 설문내용 및 결과

부록1. 경로기반 통행배정 모형 검증

1. 통행시간 함수 가정

연구에서 적용되는 통합교통망의 통행시간 함수에 대한 가정은 다음과 같다.

- 도로상의 승용차와 버스의 통행은 종속적 통행함수관계이나, 통행우선권이 큰 궤도상의 지하철 통행은 독립된 통행시간함수
- 대중교통 수단 간의 환승은 환승이동과 환승대기비용으로서 상수 적용
- 대중교통요금은 통합거리비례제를 기반으로 시간비용으로 환산된 수치를 적용(조종석,2006)
- 대중교통 내 혼잡은 편의상 지하철에 한정

개별경로의 통행시간은 다음 식과 같다.

$$C_p^m = \sum_a C_a^m(X) \cdot \delta_{ap}^m + \sum_a \sum_b \Delta_{ab}^{mn} \cdot \delta_{abp}^{mn} + F_p$$

여기서

X : 링크통행량 벡터

C_p^m : 수단 m 의 경로 p 의 통행시간

$C_a^m(\bullet)$: 수단 m 의 링크 a 의 통행시간 함수

Δ_{ab}^m : 수단 m 의 환승(이동+대기) 시간

F_p : 시간가치로 환산된 경로 p 의 요금(분)

δ_{ap}^m : 수단 m 이 경로 p 에 존재하는 링크 a 의 포함여부(0,1)

δ_{abp}^{mn} : 수단 m 에서 수단 n 으로 환승이 발생하는 경우(링크 a 에서 링크 b 로) 환승 $a,b(m,n)$ 의 포함여부(0,1)

개별수단의 링크통행시간 함수는 혼잡과 차내 용량을 고려하여 BPR 함수를 변형하여 적용하였다.

$$C_a^{\text{승용차}} = T_a^{\text{승용차}}(1 + 0.15(\frac{\alpha_1 \cdot X_a^{\text{승용차}} + \alpha_2 \cdot X_a^{\text{버스}}}{Cap_a^{(\text{버스+지하철})}})^4)$$

$$C_a^{\text{버스}} = T_a^{\text{버스}}(1 + 0.15(\frac{\alpha_1 \cdot X_a^{\text{승용차}} + \alpha_2 \cdot X_a^{\text{버스}}}{Cap_a^{(\text{버스+지하철})}})^4)$$

$$C_a^{\text{지하철}} = TT_a^{\text{지하철}} + \beta_1(\frac{X_a^{\text{지하철}}}{CCap_a^{(\text{지하철})}})^4$$

여기서

$\alpha_1, \alpha_2, \beta_1$: 각각 파라메타 (1, 2, 0, 5)

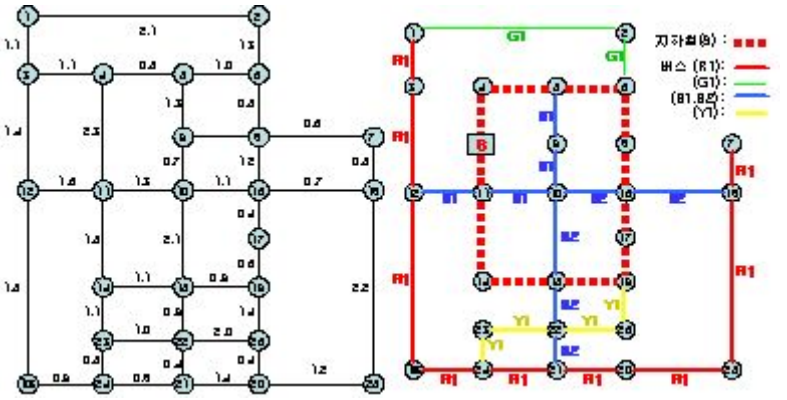
T_a^m : m 수단의 링크 a 자유통행시간(분)

TT_a^m : m 수단의 링크 a 통행시간(거리/표정속도)(분)

Cap_a^m : m 수단의 링크 a 용량

$CCap_a^m$: m 수단의 내부용량

본 연구에서 적용된 통합교통망은 버스, 지하철, 승용차수단으로 구성되었으며 링크 146개 노드 26개로 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 승용차 및 대중교통 네트워크

2. 모형의 검증

3가지 사례를 통해 알고리즘을 검증한다. 우선 다계층통행배정 결과를 통해 알고리즘의 동등성(Equivalence)을 살펴보고, 승용차와 대중교통수요를 분리하는 경우와 통합하는 경우를 통하여 현실적용에 대한 가능성을 검토한다.

1) 다 계층(수단) 통행배정 결과

총4개 O/D쌍 (1→10, 3→18, 4→15, 5→25)에 대하여 승용차교통망을 대상으로 알고리즘을 수행한 결과에서 5→25에 5000 통행이 3개의 통행계층에 각각 1000, 2000, 2000이 배정된 결과는 <표 1>와 같다. 계층1은 3개, 계층2는 5개, 계층3은 5개의 경로가 각각 생성되었으며, 계층별로 경로의 통행비용은 같다. 따라서 균형모형의 균형조건이 만족됨을 알 수 있다.

<표 1> 다 계층 통행배정 결과

O→/D	계층	통행량	비용	경 로
5→25	1	691.0	30.7	5→ 6→ 8→ 7→18→25
		215.1	30.7	5→ 9→10→16→18→25
		93.9	30.7	5→ 6→ 8→16→17→19→26→20→25
	2	767.1	20.5	5→ 6→ 8→ 7→18→25
		89.0	20.5	5→ 9→10→16→17→19→26→20→25

<수렴조건: 0.0001>

2) 승용차와 대중교통수요의 분리적용: 다 수단

<표 2> 승용차와 대중교통수요의 분리적용: 다 수단결과

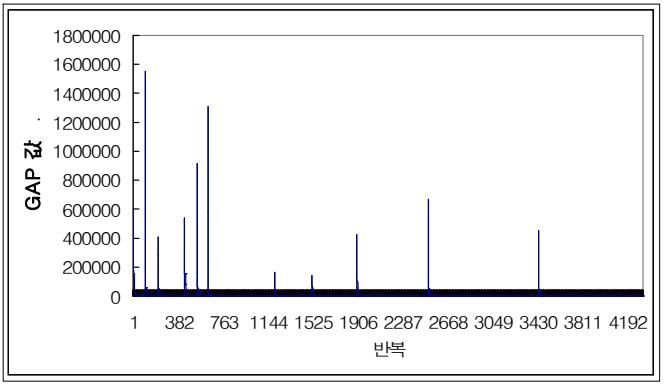
O→D	수단	경로 통행량	비용	요금(100원)			환승 시간 (분)	거리 (Km)	경로
				기본	환승	할증			
1→26 (3개)	승용차 (2500)	2500.0	16.3	0	0	0	0.0	8.4	1-C→3-C→12-C→13-C→24-C→21-C→20-C→26
	대중교통 (2500)	2222.9	59.9	6	2	1	16.5	7.5	1-G1→2-G1→6-S→8-S→16-S→17-S→19-Y1→26
		277.1	59.9	6	0	0	10.0	10.2	1-R1→3-R1→12-R1→13-R1→24-Y1→23-Y1→22->Y1→26
4→18 (2개)	승용차 (2500)	2500.0	12.5	0	0	0	0.0	5.4	4-C->11-C->10-C->16-C->18
	대중교통 (2500)	2500.0	34.1	8	0	0	10.0	3.9	4-S-> 5-S-> 6-S->S->16-BB2->18
12→6 (5개)	승용차 (2500)	1107.7	35.7	0	0	0	0.0	4.0	2-C-> 3-C-> 4-C-> 5-C-> 6
		962.2	35.7	0	0	0	0.0	5.9	2-C-> 3-C-> 1-C-> 2-C-> 6
		122.9	35.7	0	0	0	0.0	6.5	2-C->11-C->10-C-> 9-C-> 8-C->6
		307.2	35.7	0	0	0	0.0	5.9	2-C->11-C->10-C-> 9-C-> 5-C->6
	대중교통 (2500)	2500.0	44.0	6	2	1	6.5	5.4	2-BB1->11-S-> 4-S-> 5-S-> 6
24→8 (5개)	승용차 (2500)	1003.1	26.6	0	0	0	0.0	6.7	4-C->21-C->20-C->25-C->18-C->7-C-> 8
		1301.8	26.6	0	0	0	0.0	7.9	4-C->23-C->14-C->15-C->10-C->9-C-> 8
		195.2	26.6	0	0	0	0.0	7.5	4-C->23-C->14-C->11-C->10-C->9-C-> 8
	대중교통 (2500)	1079.2	82.5	6	2	1	6.5	7.1	4-BY1->23-BY1->22-BY1->26-BY1->19-S->17-S->16-S->8
		1420.8	82.5	6	2	1	16.5	5.2	4-BR1->21-BB2->22-BB2->15-S->19-S->17-S->16-S->8
25→1 (3개)	승용차 (2500)	235.4	47.9	0	0	0	0.0	7.2	5-C->18-C->7-C->8-C->6-C->2-C->1
		2264.6	47.9	0	0	0	0.0	9.7	5-C->18-C->7-C->8-C->9-C->5-C->4-C->3-C->1
	대중교통 (2500)	2500.0	110.1	6	0	0	0.0	8.3	5-BR1->20-BR1->21-BR1->24-BR1->13-BR1->12-BR1-> 3-BR1->1
22→2 (4개)	승용차 (2500)	744.9	51.3	0	0	0	0.0	8.2	2-C->21-C->24-C->13-C->12-C->3-C-> 1-C->2
		1059.9	51.3	0	0	0	0.0	8.1	2-C->21-C->20-C->25-C->18-C->7-C-> 8-C-> 6-C->2

승용차와 대중교통의 수단별 통행량을 분승용차와 대중교통이 상호 영향을 미치는 교통망에서 수요배정 중 가장 일반적인 방법은 승용차와 대중교통의 수단별 통행량을 분리해서 적용하는 방안이다. 이와 유사한 상황에 대하여 서울시의 통합대중교통망에 대한 활용성을 검증하기 위하여 알고리즘을 적용하였다. <그림 1>의 통합교통망의 15개의 O/D쌍에 대하여 승용차는 2500, 버스와 지하철로 구성된 대중교통에 2500을 각각 배분하였다. <표 2>는 배정결과에서 1→26의 O/D쌍에 대한 결과를 중심으로 도출한 것이다. 총 3개의 경로가 생성되었으며(승용차1, 대중교통2) 2개의 대중교통경로의 통행시간은 같다. 대중교통의

첫 번째 이용경로를 보면, 버스와 지하철을 포함한 환승통행과 2번째는 버스와 버스의 환승통행이 발생했다. 버스의 환승이 이루어진 경우 기본요금으로 만 통행했고, 지하철수단이 이용되는 경우 환승요금과 함께 할증요금도 함께 부과된 것을 파악할 수 있다.

<수렴조건: 0.0001>

비대칭통행비용함수에 대한 제안된 알고리즘의 수렴성을 검증하기 위하여 수렴조건 0.00001을 적용하여 반복회수에 따른 Gap 값을 도출하였다. <그림 2>와 같이 Gap 값은 0으로 거의 수렴하는 것으로 나타나고 있으며, 10개의 지점에서 수치가 급격하게 증가하는 것으로 나타난다. 이러한 현상은 경로의 수가 증가함에 따라 계산된 경로교통량을 적용하지 않고 각각의 경로에 평균적인 통행량을 다시 배정하여 경로의 통행시간이 동일하게 계산되도록 재배정 과정에서 나타나는 현상이다.



<그림 2> Gap Value 와 알고리즘반복 (4332)

3) 승용차와 대중교통수요의 통합적용: 수단분담-통행배정

대중교통의 효용이 어느 정도 증진하면, 승용차의 수요가 대중교통으로 이전되는가에 대한 평가는 대중교통을 육성하기 위하여 시행되는 정책의 효과를 평가하는데 결정적인 역할을 한다. 이러한 상황을 재현하기 위해서는 승용차와 대

중교통의 수요를 통합하여 효용에 따라 통행수단을 선택하도록 해야 한다.

이러한 경우 일반적으로 승용차와 대중교통의 효용이 동일하다는 판단에 의해 통행배정이 결정되기 때문에 수단분담과 함께 통행배정이 동시에 이루어지게 된다.

총 15개 O/D쌍에 대하여 승용차와 대중교통의 통합수요를 적용하여 각각 통행비용에 따라 수단분담과 통행배정이 이루어지도록 하며, 특히 대중교통의 환승시설 및 여건에 대한 개선을 수단분담과 통행배정 상에 반영하기 위하여 2개의 시나리오 (Nothing, Do)를 구분하여 수행하였다. <표 3>, <표 4>의 결과에서 1→26의 5000 통행이 승용차와 대중교통을 선택하여 통행하는 행태를 나타내고 있다. 환승시설을 개선하는 경우 승용차 통행이 대중교통수단으로 전환되고 있음을 알 수 있다.

<표 3> 시나리오1: Nothing

O→D	수단	경로 통행량	비용	요금(100원)			환승시간(분)	거리 (Km)	경로
				기본	환승	할증			
1→26 (4개)	대중교통	221.5	42.6	6	0	0	10.0	8.4	1-R1→3-R1→12-R1→13-R1→24-Y1→23-Y1→22-Y1→26
		2039.6	42.6	6	2	1	16.5	7.5	1-G1→2-G1→6-S→8-S→16-S→17-S→19-Y1→26
	승용차	426.4	42.6	0	0	0	0	10.2	1-C→3-C→4-C→11-C→14-C→15-C→22-C→21-C→20-C→26
		2312.4	42.6	0	0	0	0	7.5	1-C→3-C→12-C→13-C→24-C→21-C→20-C→26
4→18 (2개)	대중교통	4864.7	42.2	8	0	0	10	3.9	4-S->5-S->6-S->8-S->16-BB2->18
		135.3	42.2	8	0	1	10	7.5	4-S->11-S->14-S->15-S->19-S->17-S->16-BB2->18
12→6 (1개)	대중교통	5000	52.8	6	2	1	6.5	5.4	2-BB1->11-S->4-S->5-S->6
24→8 (3개)	대중교통	3431.4	79.8	6	2	1	6.5	7.1	4-BY1->23-BY1->22-BY1->26-BY1->19-S->17-S->16-S->8
		660.7	79.8	6	2	1	16.5	5.2	4-BR1->21-BB2->22-BB2->15-S->19-S->17-S->16-S->8
	승용차	907.9	79.8	0	0	0	0	7.9	4-C->23-C->14-C->15-C->10-C->9-C->8
25→1 (2개)	대중교통	4935.6	108.5	6	0	0	0	8.3	5-BR1->20-BR1->21-BR1->24-BR1->13-BR1->12-BR1-> 3-BR1->1
		64.4	108.5	6	2	1	26.5	8	5-BR1->18-BB2->16-S->8-S->6-BG1-2-BG1->1
22→2 (2개)	대중교통	407.8	101.4	6	0	0	20	8.5	2-BY1->23-BY1->24-BR1->13-BR1->12-BR1-> 3-BR1-> 1-BG1->2
		4592.2	101.4	6	2	1	16.5	5.8	2-BB2->15-S->19-S->17-S->16-S->8-S->6-BG1->2
23→4 (1개)	승용차	5000	98.1	0	0	0	0	4.9	3-C->14-C->11-C-> 4
26→9 (2개)	승용차	2164.2	74.1	0	0	0	0	8	6-C->22-C->23-C->14-C->15-C->10-C->9
	대중교통	2835.8	74.1	6	2	1	16.5	6.9	6-BY1->19-S->15-S->14-S->11-BB1->10-BB1->9
13→10 (3개)	대중교통	1752.3	64.6	6	0	0	10	5.1	3-BR1->24-BR1->21-BB2->22-BB2->15-BB2->10
		295.3	64.6	6	0	0	10	4.4	3-BR1->12-BB1->11-BB1->10
	승용차	452.4	64.6	0	0	0	0	5.7	3-C->24-C->23-C->14-C->15-C->10
20→10 (2개)	대중교통	2451.1	62.2	6	0	0	10	5.2	0-BR1->25-BR1->18-BB2->16-BB2->10
	승용차	48.9	62.2	0	0	0	0	7.7	0-C->26-C->22-C->23-C->14-C->15-C->10
8→22 (1개)	승용차	2500	86.9	0	0	0	0	4	8-C->16-C->17-C->19-C->15-C>22
18→14 (1개)	승용차	2500	42.1	0	0	0	0	3.7	8-C->16-C->17-C->19-C->15-C->14
9→13 (1개)	승용차	2500	23.4	0	0	0	0	5.1	9-C->10-C->11-C->12-C->13
20→4 (4개)	대중교통	675.6	83.2	6	2	2	16.5	10.9	0-BR1->25-BR1->18-BB2->16-S->17-S->19-S->15-S->14-S->11-S->4
		1558	83.2	6	2	1	16.5	7.3	0-BR1->25-BR1->18-BB2->16-S->8-S->6-S-> 5-S->4
	승용차	249.2	83.1	0	0	0	0	10.2	0-C->26-C->22-C->23-C->14-C->15-C->10-C-> 9-C-> 5-C->4
	대중교통	17.2	83.2	6	2	1	16.5	7.6	0-BR1->21-BB2->22-BB2->15-S->14-S->11-S->4
7→1 (1개)	승용차	2500.0	135.8	0	0	0	0.0	4.5	7-C->8-C->6-C->2-C->1

<버스환승시간: 5분, 버스대기시간: 5분>

<표 4> 시나리오2: Do: 버스의 환승시간과 배차간격축소

O→D	수단	경로 통행량	비용	요금(100원)			환승시간(분)	거리 (Km)	경로
				기본	환승	할증			
1→26 (3개)	대중교통	1931	42.4	6	0	0	3.5	8.4	1-BR1->3-BR1->12-BR1->13-BR1->24-BY1->23-BY1->22-BY1->26
		2805	42.3	6	2	1	10	7.5	1-BG1->2-BG1->6-S->8-S->16-S->17-S->19-BY1->26
	승용차	264	42.3	0	0	0	0	10.2	1-C->3-C->4-C->11-C->14-C->15-C->22-C->21-C->20-C->26
4→18 (3개)	대중교통	3880.2	33.5	8	0	0	3.5	3.9	4-S->5-S->6-S->8-S->16-BB2->18
		1007.5	33.5	8	0	0	7	4.3	4-S->5-BB1->9-BB1->10-BB2->16-BB2->18
		112.3	33.5	8	0	1	7	5.4	4-S->11-BB1->10-BB2->16-BB2->18
12→6 (1개)	대중교통	5000	50.9	6	2	1	6.5	5.4	12-BB1->11-S-> 4-S-> 5-S->6
24→8 (3개)	승용차	2774.3	70	0	0	0	0	6.7	24-C->21-C->20-C->25-C->18-C-> 7-C->8
	대중교통	656.1	70	6	2	1	10	5.2	24-BR1->21-BB2->22-BB2->15-S->19-S->17-S->16-S->8
		1569.6	70	6	2	1	6.5	7.1	24-BY1->23-BY1->22-BY1->26-BY1->19-S->17-S->16-S->8
25→1 (3개)	대중교통	4278.1	11.7	6	0	0	0	8.3	25-BR1->20-BR1->21-BR1->24-BR1->13-BR1->12-BR1-> 3-BR1->1
		30.8	11.7	6	2	1	13.5	8.0	25-BR1->18-BB2->16-S->8-S->6-BG1->2-BG1->1
		691	11.7	6	0	0	10.5	9.4	25-BR1->18-BB2->16-BB2->10-BB1->11-BB1->12-BR1->3-BR1->1
22→2 (2개)	대중교통	953.8	5.2	6	0	0	7	8.5	22-BY1->23-BY1->24-BR1->13-BR1->12-BR1->3-BR1-> 1-BG1->2
		4046.2	5.1	6	2	1	10	5.8	22-BB2->15-S->19-S->17-S->16-S->8-S->6-BG1->2
23→4 (1개)	승용차	5000	45.7	0	0	0	0	4.9	23-C->14-C->11-C->4
26→9 (3개)	대중교통	666	62.9	6	0	0	7	5.7	26-BY1->22-BB2->15-BB2->10-BB1->9
		1729.8	62.9	6	2	0	13.5	4.2	26-BY1->19-S->17-S->16-BB2->10-BB1->9
		2604.2	63	6	2	1	10	6.9	26-BY1->19-S->15-S->14-S->11-BB1->10-BB1->9
13→10 (3개)	승용차	1145.4	55.5	0	0	0	0	5.7	13-C->24-C->23-C->14-C->15-C->10
	대중교통	271.6	55.5	6	0	0	3.5	4.4	13-BR1->12-BB1->11-BB1->10
		1082.9	55.5	6	0	0	3.5	5.1	13-BR1->24-BR1->21-BB2->22-BB2->15-BB2->10
20→10 (2개)	대중교통	443.3	54.1	6	0	0	3.5	5.2	20-BR1->25-BR1->18-BB2->16-BB2->10
	승용차	2056.7	54	0	0	0	0	7.7	20-C->26-C->22-C->23-C->14-C->15-C->10
8→22 (1개)	승용차	2500	66	0	0	0	0	4.0	8-C->16-C->17-C->19-C->15-C->22
18→14 (1개)	승용차	2500	60.4	0	0	0	0	3.7	18-C->16-C->17-C->19-C->15-C->14
9→13 (1개)	대중교통	2500	32.2	6	0	0	3.5	5.1	9-BB1->10-BB1->11-BB1->12-BR1->13
20→4 (4개)	대중교통	531.4	74.9	6	2	1	10	7.6	20-BR1->21-BB2->22-BB2->15-S->14-S->11-S->4
	승용차	205.6	74.9	0	0	0	0	8.7	20-C->25-C->18-C->7-C->8-C->9-C->5-C->4
	대중교통	1347.6	74.9	6	2	1	10	7.3	20-BR1->25-BR1->18-BB2->16-S->8-S->6-S->5-S->4
		415.4	74.9	6	2	2	10	10.9	20-BR1->25-BR1->18-BB2->16-S->17-S->19-S->15-S->14-S->11-S->4
7→1 (1개)	대중교통	2500	97.6	6	2	1	13.5	6.3	7-BR1->18-BB2->16-S->8-S->6-BG1->2-BG1->1

< 버스환승시간: 5분, 버스대기시간: 5분>

부록2. 탐색경로 검증 설문내용 및 결과

1. 설문 내용

통계법 13조(비밀의 보호)에 의거 본 조사에서 개인의 비밀에 속하는 사항은 엄격히 보호됩니다.	ID				

수도권 전철과 지하철 통행 경로 조사

안녕하십니까?

서울시 산하 연구기관인 저희 (재)서울시정개발연구원에서는 수도권 전철과 지하철 이용 실태 및 통행 경로를 조사하고 있습니다. 본 조사는 전철과 지하철 이용자의 권익 합리적인 통행 경로를 추정하고, 소비자의 권익 보호 방안을 마련하고자 진행하는 것입니다.

이 조사에는 맞고 틀리는 답이 없으며, 귀하의 의견을 성의있게 말씀해 주시면 됩니다. 귀하께서 응답해주신 설문 응답 내용은 통계집계 이외의 어떤 목적으로도 사용되지 않음을 약속드립니다. 바쁘시더라도, 잠시만 시간을 내어 응답해주시면 저희 연구에 큰 도움이 되겠습니다.

2007년 11월

(재)서울시정개발연구원

도시교통부 연구위원 : 신성일 박사 올림

(전화 : 2149-1099)

[응답자 특성]

▣ 성명		▣ 연락처 (휴대폰)	
▣ 주소			
▣ E-mail			
▣ 면접 일시	년 월 일		
▣ 면접원 성명			

[응답자 선정 질문]

선문1. 귀하께서는 직장인이십니까?

1. 직장인 2. 비직장인 ⇒ 면접중단

선문2. 성별?

1. 남자 2. 여자

선문3. 귀하의 연령은 만으로 몇 세입니까? 만_____세

1. 20대 연령 2. 30대 연령 3. 40대 연령 4. 50대 연령 5. 기타 연령 ⇒ 면접 중단

선문4. 귀하께서는 출퇴근시 주로 어떤 교통 수단을 이용하십니까?

1. 지하철(전철)
2. 자가용 승용차
3. 기타 교통 수단 ⇒ 면접중단

선문5. 귀하께서는 현재 어느 지역에 살고 계십니까?

1. 서울 _____구 _____동 또는
2. 경기 _____시(군) _____동(면) ⇒ 수도권이 아닌 경우 면접 중단

선문5-1. 귀하의 출근하시는 직장은 어느 지역에 있습니까?

1. 서울 _____구 _____동 또는
2. 경기 _____시(군) _____동(면) ⇒ 도심/외곽 퀴터 확인

선문6. 귀하께서는 최근 1년내 집을 이사한 경험이 있으십니까?

1. 있다 2. 없다 ⇒ 문7로 넘어가세요

선문6-1. 그럼, 현재 거주지 직전 거주하던 곳의 주소는 어떻게 됩니까?

1. 서울 _____구 _____동 또는
2. 경기 _____시(군) _____동(면)

선문6-2. 그럼, 이사한 이유는 무엇입니까?

1. 결혼[이혼]으로 인해 2. 회사 이전으로 인해
3. 이직으로 인해 4. 주택을 새로 구입해서
5. 살던 주택 팔고 전세나 월세로 이사 6.기타(구체적으로: _____)

선문7. 귀하께서는 최근 1년내 이직하거나 직장의 주소(위치) 변경, 전근 등으로 다른 지역으로 직장을 이동한 경험이 있으십니까?

1. 있다 2. 없다 ⇒ 문8로 넘어가세요

선문7-1. 그럼, 현재 직장 위치 직전의 직장 위치에 대한 주소는 어떻게 됩니까?

1. 서울 _____구 _____동 또는
2. 경기 _____시(군) _____동(면)

선문7-2. 귀하께서는 최근 1년내 직장을 다른 지역으로 이동하게 된 이유는 무엇입니까?

1. 다른 직장으로 이직 2. 직장의 주소 변경(직장의 이사) 3. 전근
4. 기타(구체적으로:_____)

선문8. 귀하께서는 최근 1년내 결혼, 분가, 출산, 입양, 사망 등으로 인해 가족 구성원이 변화되었습니까?

같이 살고 있던 3촌 이내의 가족 기준으로 말씀해 주십시오.

1. 증가됨 ⇒ _____명에서 _____명으로 증가됨
2. 감소됨 ⇒ _____명에서 _____명으로 감소됨
3. 변화 없음 ⇒ 문1로 넘어가세요

선문8-1. 최근 1년 내 귀하의 가족 구성원이 변화된 이유는 무엇입니까?

1. 본인의 결혼
2. 자녀의 출산
3. 분가(결혼 이외)
4. 자녀의 결혼
5. 자녀의 입양
6. 합가
7. 본인의 출산
8. 가족 구성원의 사망
9. 기타(구체적으로:_____)

출퇴근 통행 실태

문1. 귀하께서는 지난해 출퇴근 시 주로 이용한 교통 수단은 무엇입니까?

1. 지하철(전철)
2. 자가용 승용차
3. 버스
4. 기타(_____)

(선문4의 현재 주이용 교통수단과 다른 경우만)

문2. 현재 주로 이용하는 교통 수단과 다른 데, 어떤 이유로 주이용 교통수단을 바꾸셨습니까?

1. 직장 이동/회사 이전
2. 거주지 이동
3. 자가용 구입
4. 지하철역 신설
5. 버스 노선 변화
6. 기타(구체적으로: _____)

[10%(5/20) / 20%(10/40) / 30%(15/60) 등을 로테이션 제시]

문3. 현재 출근 시 주이용 교통수단(선문4의 응답)의 통행시간 _____% 증가된다면 다른 교통 수단으로 바꾸실 의향은 어느 정도 있으십니까?

1. 있음 ⇒ 문3-1에서 2배 비율 제시
2. 없음 ⇒ 문3-1에서 1/2배 비율 제시
3. 대체 교통 수단이 없음 ⇒ 문4로 넘어가세요

[문3에서 제세된 비율의 1/2 또는 2배 비율 제시]

문3-1. 현재 출근 시 주이용 교통수단(선문4의 응답)의 통행시간 _____% 증가된다면 다른 교통 수단으로 바꾸실 의향은 어느 정도 있으십니까?

1. 있음
2. 없음
3. 대체 교통 수단이 없음

[10%(5/20) / 20%(10/40) / 30%(15/60) 등을 로테이션 제시]

문4. 현재 출근 시 주이용 교통수단(선문4의 응답)의 통행비용 _____% 증가된다면 다른 교통 수단으로 바꾸실 의향은 어느 정도 있으십니까?

1. 있음 ⇒ 문4-1에서 2배 비율 제시
2. 없음 ⇒ 문4-1에서 1/2배 비율 제시
3. 대체 교통 수단이 없음 ⇒ 문5로 넘어가세요

[문4에서 제세된 비율의 1/2 또는 2배 비율 제시]

문4-1. 현재 출근 시 주이용 교통수단(선문4의 응답)의 통행시간 _____% 증가된다면 다른 교통 수단으로 바꾸실 의향은 어느 정도 있으십니까?

1. 있음　　2. 없음　　3. 대체 교통 수단이 없음

[문3 ~ 문4-1에서 어느 한 문항에서라도 1번에 응답한 경우만]

문5. 그럼, 출근시 주 이용 교통 수단을 다른 교통 수단으로 바꿀 경우, 어떤 교통 수단으로 바꾸실 것 같습니까?

1. 지하철(전철)　2. 자가용 승용차　3. 버스　4. 기타(_____)

[지하철 노선표 제시]

문6. 만일, 지하철/전철로 출근하신다면(할 때), 어떤 역을 거쳐서 통행하시겠습니까(하십니까)?

(1) 출발역 : _____역 ⇒

(2-1) 환승역1 : _____ ⇒ (3) 도착역 : _____

(2-2) 환승역2 : _____　9. 지하철/전철 이용 불가능

(2-3) 환승역3 : _____

문6-1. 그럼, 말씀하신 지하철/전철 이용 경로 이외의 다른 지하철/전철 경로를 이용하신다면(할 때), 어떤 역을 거쳐서 통행하시겠습니까(하십니까)? 출발역, 환승역, 도착역 중 1개라도 다른 이용 가능한 통행 경로를 말씀해 주십시오.

(1) 출발역 : _____역 ⇒

(2-1) 환승역1 : _____ ⇒ (3) 도착역 : _____

(2-2) 환승역2 : _____　9. 없음

(2-3) 환승역3 : _____

문7. 귀하께서 지하철/전철 이용시 말씀해 주신 경로(문5의 응답 경로와 문5-1의 응답경로) 2가지를 비교하여 문5를 1순위 경로로 말씀해 주셨는데, 1순위 경로(문5의 경로)를 우선시 하는 이유는 무엇입니까? 경로를 선택할 때 중요하게 고려하는 항목을 순서대로 말씀해 주십시오.

1. 지하철/전철 내에 탑승한 통행 시간의 최소화　(_____)
2. 지하철/전철을 갈아타기 위한 환승 시간의 최소화　(_____)
3. 지하철/전철 탑승 시간 및 환승 시간을 합한 총 통행시간의 최소화 (_____)
4. 경유하는 지하철/전철 역의 개수의 최소화　(_____)
5. 지하철/전철의 배차 간격이 짧음　(_____)
6. 역에 에스컬레이터가 있음　(_____)
7. 통행하는 지하철/전철 경로에 있는 환승역 개수　(_____)

인구 통계적 질문

배문1. 귀댁에 보유하고 계신 자가용 승용차는 몇 대가 있습니까?

1. 없다
2. 있다 : _____대 보유

배문2. 귀하의 직업은 무엇입니까?

1. 자영업　2. 생산/영업직　3. 사무관리/전문직

4. 교사/공무원　　5. 기타(_____)

배문3. 귀하의 월평균 소득(개인소득)은 어느 정도입니까? 세공공제 전 금액으로 말씀해주십시오.

1. 149만원 이하　　2. 150~199만원　　3. 200~249만원　　4. 250~299만원
5. 300~349만원　　6. 350~399만원　　7. 400~449만원　　8. 450~ 499만원
9. 500~549만원　　10. 550~599만원　　11. 600만원 이상

- 끝까지 응답해 주셔서 대단히 감사합니다. -

2. 설문 결과

□ 본 조사는 다중 경로별 수요 및 환승 등의 불편 항목을 조사하여 계량화 하고, 다중 경로별 환승 등의 불편도에 따라 경로를 변경하는지에 대한 파악을 통하여 불편 항목별 수준에 따른 수요의 변화를 계량화하며, 환승 영향 요소를 통해 환승에 대한 일반화 비용 추정함.

□ 본 조사의 목적을 달성하기 위하여 지하철 환승자 및 일반 지하철 이용자를 대상으로 출구조사 및 개인면접조사를 실시하였는 바, 추출된 결과는 다음과 같음.

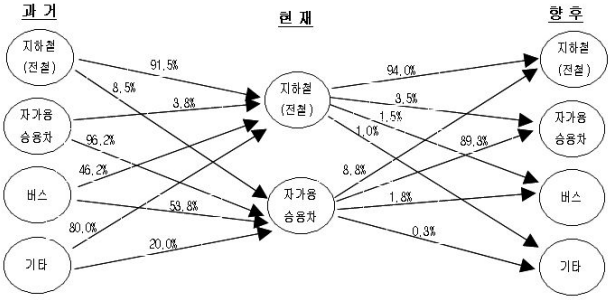
□ 첫째, 최근1년 내 거주지를 이전한 경험은 전반적으로 11.5%로 비교적 높게 나타나고 있는 가운데, 거주지 이전 경험이 이 있는 자 중에 56.8%가 직장 이동 경험이 있는 것으로 나타났으며, 거주지 이전 이유로는 회사 이전이 6.5%로 나타나, 거주지 이동은 직장 이동과 관계가 있는 것으로 나타남.

□ 둘째, 거주지 이전 패턴은 현재 도심 거주자가 과거 부도심에 거주한 비율이 높으며, 현재 부도심 거주자는 이전에 도심에 거주한 비중이 높은 것으로 나타나 도심과 부도심의 이동 패턴이 순환되고 있음을 알 수 있음.

□ 셋째, 최근 1년 내 직장 이동 경험은 전체적으로 4.6% 정도로 나타났으며, 이동 이유는 이직이 54.1%로 가장 높게 나타났고, 다음으로 직장 주소 변경이 35.1%, 전근이 10.8% 순으로 나타났고, 이동 패턴은 도심에서는 부도심으로, 부도심에서는 도심으로 이동하는 비중이 약간 더 높게 나타남.

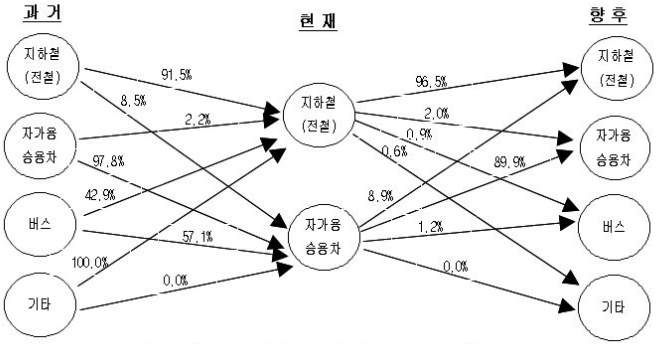
□ 넷째, 본 조사 응답자의 교통 수단 이용 패턴은 아래 그림과 같음.

즉, 과거에서 현재로는 자가용 승용차 이용자의 충성도가 지하철(전철) 보다 높게 나타났데 비해, 향후에는 지하철(전철) 이용자의 충성도가 자가용 승용차 이용자의 충성도보다 높게 나타남.

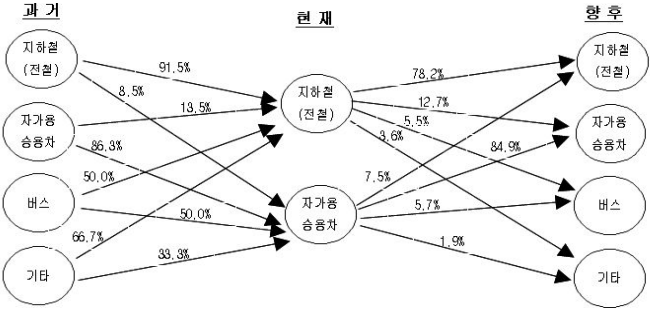


<그림 1> 교통 수단 이용에 대한 변화 패턴[전체]

□ 다섯째, 집 이사 또는 직장 이전 경험이 있는 경우 교통 수단 이용 패턴이 크게 변하지 않는 것으로 나타났으며, 특히 지하철(전철) 이용자의 충성도는 상당히 높은 것으로 나타남. 향후의 교통 수단 이용 패턴도 역시 자가용 승용차 이용자의 충성도가 지하철(전철) 이용자의 충성도보다 높게 나타났으며, 자가용 승용차 이용자가 지하철(전철)로 이동하는 경향이 다소 두드러짐.



<그림 2> 교통 수단 이용에 대한 변화 패턴[이사 및 직장 이전 비경험자]



<그림 3> 교통 수단 이용에 대한 변화 패턴[이사 또는 직장 이전 경험자]

□ 여섯째, 지하철 통행 경로 선택에 대한 로짓 모형 추정 결과, 지하철(전철) 주 이용자에서는 모형의 적합도가 만족스러운 경향으로 나타난 반면에 자가용 승용차 주 이용자의 경우는 모형의 적합도가 만족스럽지 못한 것으로 나타나, 지하철(전철) 주 이용자의 지하철 통행 경로 선택 패턴이 일관성이 있으며, 자가용 승용차 주 이용자의 지하철(전철) 통행 경로에 대한 선택 패턴이 일정하지 않음을 알 수 있음.

□ 일곱째, 지하철(전철) 주 이용자의 지하철 통행 경로 선택에 대한 로짓 분석 결과, 통행 역수, 환승역 수, 환승 소요 시간 등의 계수가 음으로 나타나, 통행역 수, 환승역 수 및 환승 소요 시간 등이 증가하면 효용이 감소됨을 보여 주고 있으며, 특히 통행역 수 증가에 따른 효용이 가장 크게 감소하고, 다음으로 환승 소요 시간 증가에 따른 효용이 크게 감소하는 것으로 나타남.

영문요약(Abstract)

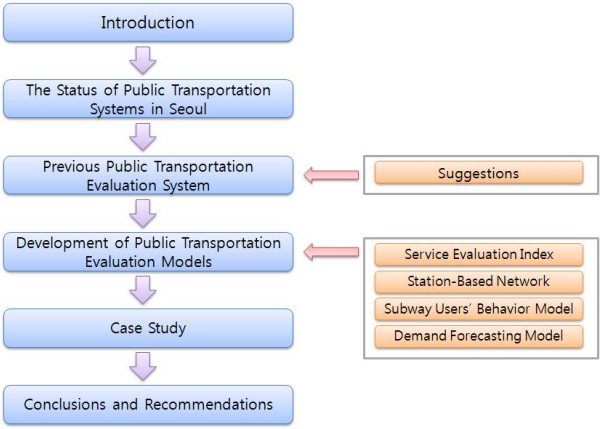
Integrated Transit Service Evaluation Methodologies Using Transportation Card Data

Project Number	**SDI 2007-R-09**
Research Staff	**Seongil Shin (in Charge)**
	Yongchan Cho
	Changju Lee

Seoul Metropolitan Government carried out the full-scale organization of public transportation systems in two thousand four. This organization included median bus lane system, integrated distance-based fare system and free transfer system between transportation modes. This new public transportation systems require epoch-making payment system instead of previous payment methods naturally. In result, public transportation card system called smart card was introduced in earnest.

Public transportation card includes the information of individual trip, transfer and used means that can not be collected before. Moreover, this characteristic of smart card system may contribute to evaluate mass transit service among transportation means and regions.

This research proposes the methodologies of public transportation service evaluation among regions-based-on public transportation card data. Suggested methodologies consists of mass transit service evaluation index, evaluation methods among regions and integrated mass transit evaluation models. Specifically evaluation index is divided into station-based(point-to-point) index and area based(area-to-area) index. Evaluation methods include station-based intermodal network building, the linkage of geographic information system and subway users' behavior model. In addition, similar path algorithm based on k-shortest path algorithm and path-based trip assignment model are proposed in this research. In order to verify the suggested methodology, case studies are performed in the end.

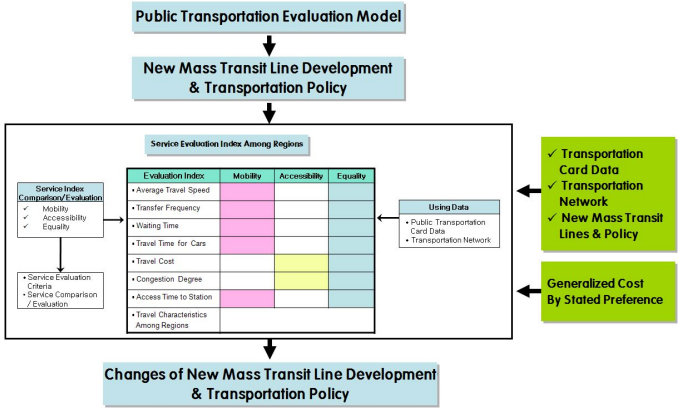


Ⅰ. Development of Public Transportation Evaluation Models

1. The Conception of Public Transportation Evaluation Index and Models

Travelers' trace can be built by public transportation card data and this information have used modes and transfer data.

Evaluation models in this research are based on travelers' paths so users' paths from various classes can be traced including used modes. Therefore, proposed models are able to analyze the effects of new transportation lines and policies.



2. Methodology of Public Transportation Service Evaluation Among Regions

1) Public Transportation Service Evaluation Index

(1) Notations

m : Using mode
n : Using path
k : Transfer node of using path
$U_{i,j}^{m}$: Travel speed using m mode from i node to j node
$T_{i,j}^{m}$: Travel time using m mode from i node to j node
$D_{i,j}^{m}$: Travel distance using m mode from i node to j node
$UT_{i,j,k}^{n}$: Getting on time at k node of n path from i node to j node
$DT_{i,j,k}^{n}$: Getting off time at k node of n path from i node to j node
$WT_{i,j}^{n}$: Total transfer time of n path from i node to j node
$TWT_{i,j}$: Total transfer time of all paths from i node to j node
$AWT_{i,j}$: Average transfer time of all paths from i node to j node
$S_{i,j}$: Travel sample number from i node to j node
$U_{I,J}^{m}$: Travel speed using m mode from I area to J area
$T_{I,J}^{m}$: Travel time using m mode from I area to J area
$D_{I,J}^{m}$: Travel distance using m mode from I area to J area

(2) Station-Based Service Evaluation Index(Point-to-Point)

① Average Travel Speed

$$U_{i,j}^{m}=\frac{D_{i,j}^{m}}{T_{i,j}^{m}}$$

② Transfer Time

$$WT_{i,j}^{n}=\sum_{k}(UT_{i,j,k}^{n}-DT_{i,j,k}^{n})$$

$$TWT_{i,j}=\sum_{k}WT_{i,j}^{n}$$

$$AWT_{i,j}=\frac{TWT_{i,j}}{S_{i,j}}$$

(3) Area-Based Service Evaluation Index(Area-to-Area)

① Average Travel Speed

$$U_{I,J}^{m}=\frac{\sum_{i}\sum_{j}D_{i,j}^{m}}{\sum_{i}\sum_{j}T_{i,j}^{m}} \qquad \forall i,j;\ i\in I, j\in J$$

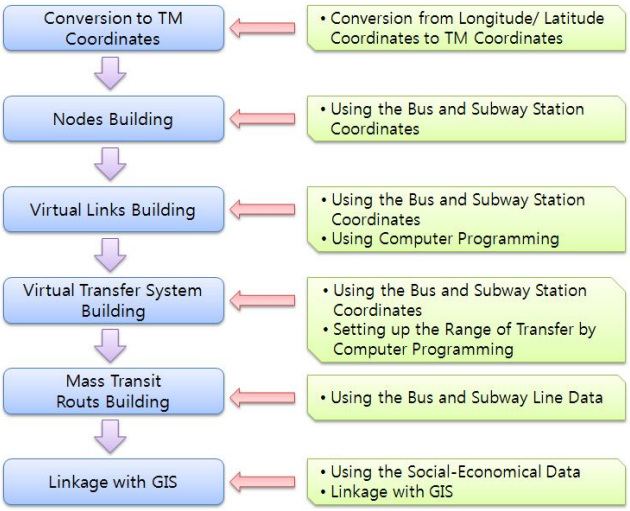
② Transfer Time

$$TWT_{I,J}=\sum_{i}\sum_{j}TWT_{i,j} \qquad \forall i,j;\ i\in I, j\in J$$

$$AWT_{I,J}=\frac{TWT_{I,I}}{S_{I,J}} \qquad \forall i,j;\ i\in I, j\in J$$

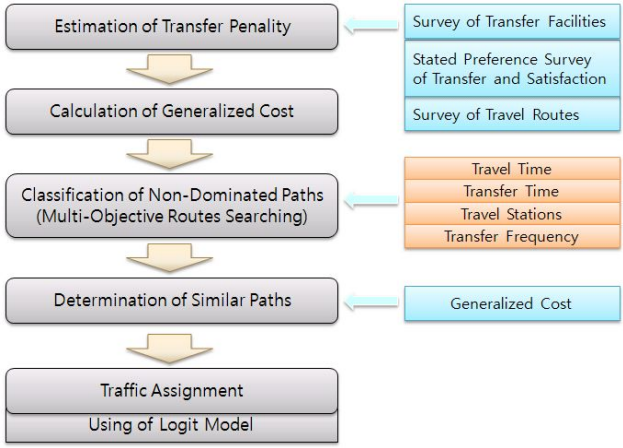
2) The Establishment of Station-Based Intermodal Network

Previous census ODs and transportation network have some limitation when analyzing public transportation systems. Consequently, station-based intermodal network methodology using station location coordinates and mass transit line data is proposed to overcome former limitation in this section.



3) Subway Users' Behavior Model

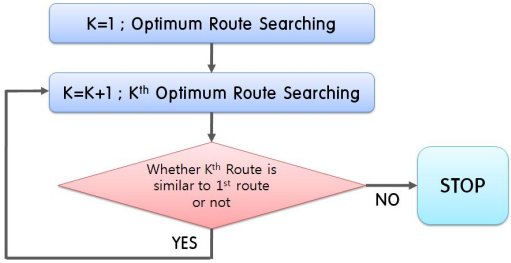
Public transportation card data have subway travel information but there are not in-vehicle travel information such as transfer and used routes information. Thus, travelers' virtual paths should be built in order to get the in-vehicle travel information of subway.



3. Integrated Public Transportation Evaluation Models

1) Similar Path Determination Algorithm

Mass transit users have several alternative routes when they travel. Therefore, to express their exact travel behaviors, it is required to know several similar paths that offer equal service level. In this research, generalized cost is used for determining similar paths and proposed similar path determination algorithm is based on the k-shortest path algorithm.



2) Path-Based Trip Assignment Model

An algorithm being suitable for path-based trip assignment models is suggested and proposed algorithm can also contribute to make full use of public transportation card data. For this, column generation algorithm known to draw the stable solution is adopted. This algorithm uses the methodology that is to take local approximate equilibrium from partial network and expand local approximate equilibrium to global equilibrium. Process of suggested algorithm is summarized to three steps for calculating equilibrium solution in a network.

- Step 1 : Search the optimum path $P_w^{m^k}$ of m mode and OD pair w in multimodal network G. If new path is searched, add to a path set.
- Step 2 : Draw the equilibrium condition of partial multimodal network G^{m^k}.
- Step 3 : Delete the path set P^{m^k} that traffic volume is zero after G^{m^k} reaches equilibrium condition.

Ⅱ. Conclusions and Recommendations

1. Conclusions

This research develops the public transportation evaluation models that can be used mass transit service appraisal with public transportation card data. Specifically public transportation evaluation index and models are proposed and methodology of mass transit service evaluation among regions is also offered. Besides, integrated public transportation evaluation models such as similar path determination algorithm and path-based trip assignment model are suggested.

2. Recommendations

Public transportation card is going to be used on a national scale and simplification and unification procedure of smart card is going to be performed. This means that national-scale individual travel information can be collected and mass transit service evaluation is possible. In this situation, the research and development of national-scale traffic demand forecasting and mass transit service evaluation models are required.

Besides, the researches about transfer center location and effectiveness analysis of public transportation lines are needed using station-based network, path-based trip assignment models and geographic information system with smart card data.

Finally the research and development of nationwide transportation analysis model that can evaluate all the transportation lines and service including passenger cars, taxis and mass transit in a multimodal transportation network are necessary.

Table of Contents

Summary and Policy Recommendations

Chapter 1 Introduction

1. Research Background and Purpose
2. Research Scope and Process

Chapter 2 The Status of Public Transportation Systems in Seoul

1. The Reformation of Public Transportation Systems in Seoul
2. Public Transportation Transfer System in the Greater Seoul
3. The Change of Public Transportation Circumstance in Seoul

Chapter 3 Previous Public Transportation Evaluation System

1. The Consideration of Public Transportation Evaluation Index
2. The Consideration of Public Transportation Evaluation Models
3. Suggestions

Chapter 4 Development of Public Transportation Evaluation Models

1. The Conception of Public Transportation Evaluation Index and Models
2. Methodology of Public Transportation Service Evaluation Among Regions
3. Integrated Public Transportation Evaluation Models

Chapter 5 Case Study

1. Establishment of Origin and Destination Data Between Stations
2. Evaluation of Public Transportation Service Among Regions
3. Application of Public Transportation Evaluation Models

Chapter 6 Conclusions and Recommendations

1. Conclusions
2. Recommendations

References

Appendix

시정연 2007-R-09

교통카드 Data를 활용한
대중교통 평가체계 구축 방안

발 행 인 정 문 건

발 행 일 2007 년 12 월 31 일

발 행 처 서울시정개발연구원

137-071 서울시 서초구 서초동 391번지

전화 (02)2149-1099 팩스 (02)2149-1120

값 10,000원 ISBN 978-89-8052-513-3-93530

본 출판물의 판권은 서울시정개발연구원에 속합니다.