

대중교통 이동성 분석지표 개발

신성일

시 정 연
2004-R-07

대중교통 이동성 분석지표 개발

Mobility Index of the Public Transportation in the Seoul Metropolis

2004



서울시정개발연구원
Seoul Development Institute

연구진

연구책임	신 성 일 • 도시교통연구부 부연구위원
연구원	김 경 환 • 도시교통연구부 연구원
	노 현 수 • 도시교통연구부 연구원

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

요약 및 정책건의

I. 연구의 개요

1. 연구의 배경 및 목적

- 도시지역에서 대중교통 서비스는 출퇴근을 비롯한 각종 쇼핑, 여가시간의 활용에 필요한 이동 서비스를 제공하고 있으며, 편리한 대중교통 서비스 제공 여부에 따라 그 지역의 삶의 질을 좌우하는 중요한 요소로까지 인식되고 있다. 즉, 원하는 시간 안에, 원하는 곳까지 서비스 할 수 있는 이동성을 확보해 주는 것은 시민들의 기본적인 생활권을 보장하는 것이라 할 수 있다. 그러나, 서울시의 대중교통 여건을 살펴보면, 수도권 광역화에 따른 광역버스의 증가, 상습적인 교통정체로 인한 통행시간의 증가 및 정시성 미확보 등으로 시민들에게 기본적으로 제공되어야 할 이동성이 보장되고 있지 못하고 있는 것이 현실이다.
- 이러한 여건 속에서 그간 서울시에서는 각종 TSM 사업 및 교통운영개선사업들을 시행하였으며, 최근에는 버스노선체계를 비롯하여 중앙버스전용차로제를 중심으로 한 운영체계개편 등 대중교통체계에 대한 적극적인 개편을 시행하거나 계획하고 있다. 이들 다양한 개선노력들이 진행되면서, 분석기법은 다양화되고 전문화되고 있다. 그러나 현재까지는 도로교통망에 대한 개선효과를 측정하고 대안을 선정하는 것을 위주로 하여왔다. 지하철과 버스의 대중교통 노선망과 도로교통망에서 수단내 또는 수단간 환승문제 등이 발생하면서 향후에는 복합교통망차원에서 개선효과를 분석할 수 있는, 보다 거시적인 분석지표의 필요성이 증대되었다.
- 본 연구에서는 국내외 대중교통의 이동성 지표와 관련한 연구 동향과 활용 사례 등을 조사, 연구하여, 서울시 여건에 적합한 이동성 분석지표를 개발하고, 활용 가능성을 검증하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구의 내용

- 대중교통 이동성 지표 개발에 앞서, 이동성의 개념을 정립하고, 대중교통의 특성을 고려하여 복합교통망에서 대중교통 이동성의 개념 및 전제조건에 대하여 살펴보았다. 추가적으로 지표가 가져야할 특성에 대하여 살펴보았다(제2장). 본 연구의 대중교통 이동성지표 적용을 위하여, 현재까지의 서울시 대중교통 여건의 변화와 국내·외 이동성 지표의 활용정도를 알아보았다(제3장).
- 위에서 언급한 사항들을 고려하고, 서울시의 대중교통체계의 여건변화를 반영한 대중교통 이동성지표 세 가지를 제시하고, 도보, 승용차, 지하철, 버스 수단을 모두 고려한 통합교통망에 지표계산을 위한 알고리즘을 도출하였다(제4장). 개발된 이동성 지표는 서울시의 특정지역을 대상으로 하였으며, 세 가지 지표의 특성을 고려한 지역간 분석 및 활용방안을 제시하였다(제5장).

II. 주요 연구결과

- 본 연구에서 제안하는 지표의 특성과 그에 따른 시사점은 <표>와 같다. 지표는 세 가지로서 개인교통수단에 대해 대중교통시설의 이동성 제공여부판단(지표 1), 출발지에서 도착지까지 승용차대비 접근성을 포함한 대중교통이동성 제공여부판단(지표 2), 개인교통수단 대비 다양한 대중교통노선 서비스제공여부판단(지표 3)을 기준으로 하였다.

<표> 지표의 특성과 시사점

지표	지표의 특성	시사점
1	대중교통시설 자체가 양호한 이동성을 제공 하는가?	대중교통 시설의 이동성
2	대중교통은 이용할 만한가?	접근성을 포함한 대중교통 이동성 (접근성+이동성)
3	대중교통은 다양한 노선서비스를 제공하는 가?	다양한 노선 서비스 제공

- 지표의 기본상은 네트워크분석 중심의 점대점(point-to-point;노드, 역)의 개별지표를 기반으로 지역지표(area-to-area;동, 구, 특정지역)로 확장시켰다. 개별지표는 지역 I에서 지역 J까지 대중교통 서비스가 제공될 때, i역(또는 출발지점)에서 j역까지의 대중교통의 이동성(통행시간)이 승용차의 이동성(통행시간)에 비해 얼마만큼의 경쟁력이 있는가를 나타낼 수 있다.

$$M_{ij} = \frac{PTM_{ij}}{CM_{ij}}, \quad M_{ij} = \frac{PTM_{ij}}{CM_{ij}} = \frac{S_{ij}(T_{ij}) + W_{ij}}{CM_{ij}}$$

여기서,

M_{ij} : i에서 j까지의 이동성 지표

PTM_{ij} : i에서 j까지 대중교통 이동성

CM_{ij} : i에서 j까지 승용차 이동성

$S_{ij}(T_{ij})$: 대중교통 통행시간(환승시간)

W_{ij} : 대중교통 접근시간(도보 등)

- 이를 지역범위로 확장하여, 지역 I에서 지역 J까지의 승용차 대비 대중교통의 평균적인 이동성을 제시할 수 있다.

$$M_{IJ} = \frac{\sum_i \sum_j \frac{PTM_{ij}}{CM_{ij}}}{\sum_i \sum_j 1} \quad \forall i, j; i \in I, j \in J$$

여기서,

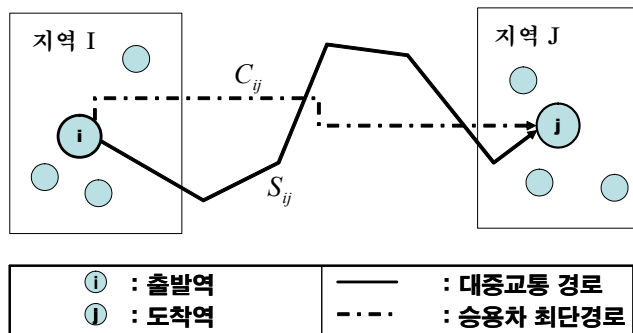
M_{IJ} : 지역 I에서 지역 J까지의 이동성지표

$\sum_i \sum_j 1$: i와 j가 연결되어있으면 1

- 지표의 기본상을 이용한 본 연구에서 제시하는 세 가지 지표는 다음과 같다.

■ 지표 1

- 대중교통노선의 이동성은 대중교통 노선망의 효율성, 노선추가 여부 등의 결정에 유용하게 활용될 수 있으므로 우선적으로 지역의 연결성을 고려한 노선망 자체의 평가하는데 지표를 활용한다. <그림>에서 나타나듯이 지표1은 두 지역에 존재하는 대중교통시설인 역-역, 또는 정류장-정류장, 역-정류장간의 대중교통망의 이동성에 초점을 맞추었다.



<그림> 지표 1의 도식화

- 이에 대한 개별지표와 지역지표는 아래와 같다

- 개별지표

$$M_{ij} = \frac{S_{ij}(T_{ij})}{C_{ij}}$$

- 지역지표

$$M_U = \frac{\sum_i \sum_j \frac{S_{ij}(T_{ij})}{C_{ij}}}{\sum_i \sum_j 1}$$

여기서,

M_{ij} : i에서 j까지의 이동성 지표

M_{IJ} : 지역 I에서 지역 J까지의 이동성지표

$S_{ij}(T_{ij})$: 대중교통 통행시간(환승시간)

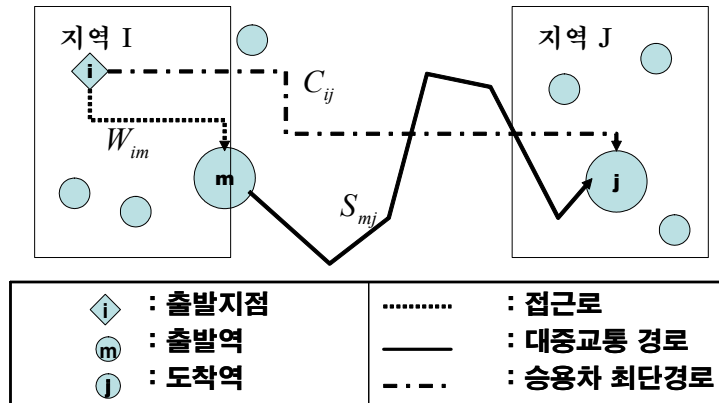
C_{ij} : i에서 j까지의 승용차 통행시간

$\sum_i \sum_j 1$: i와 j가 연결되어있으면 1

- 이 지표를 활용하면 대중교통망의 추가노선 개발 또는 노선 폐지시, 이로 인하여 발생하는 대중교통시설의 이동성에 얼마만큼 영향을 받았는지에 대한 평가가 가능하다. 또한 지역에 제공되고 있는 대중교통 이동성의 질을 파악하여, 간접적으로 지역의 이동성을 평가할 수 있다. 여기서 각 모형식의 값이 작을수록 이동성이 좋으며, 승용차에 대비하여 경쟁력이 있다고 할 수 있다.

■ 지표 2

- 대중교통을 이용하여 목적지까지 가기 위해서 이용자는 대중교통 서비스가 제공되는 곳, 즉 <그림>과 같이 역 또는 정류소까지의 접근시간을 필요로 하며, 이후 대중교통이 도착할 때까지의 대기시간이 소요된다. 대중교통 이용자의 통행특성으로 출발지점에서 가장 가까운 역이나 정류장을 이용할 수 있다는 것을 고려하여 출발역은 지역 내에 포함하지 않을 수 있다.
- 이는 대중교통의 특성이자 승용차와 달리 대비한 대중교통이용으로 인해 더해지는 추가의 소요시간이라 할 수 있다. 즉, 접근시간을 고려해야 실질적으로 이용자 관점에서 대중교통 시스템의 이동성을 평가할 수 있다.



<그림> 지표 2의 도식화

- 이에 대한 개별지표와 지역지표는 아래와 같다.
- 개별지표

$$M_{ij} = \frac{W_{im} + S_{mj}(T_{mj})}{C_{ij}}$$

- 지역지표

$$M_U = \frac{\sum_i \sum_j \frac{W_{im} + S_{mj}(T_{mj})}{C_{ij}}}{\sum_i \sum_j 1}$$

여기서,

M_{ij} : i에서 j까지의 이동성 지표

M_U : 지역 I에서 지역 J까지의 이동성지표

$S_{mj}(T_{mj})$: m에서 j까지 대중교통 통행시간(환승시간)

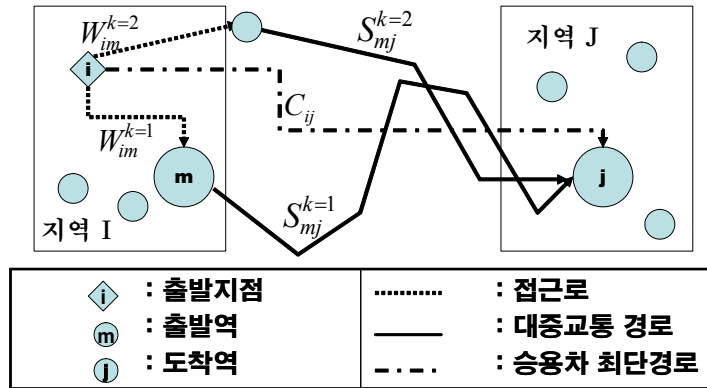
W_{im} : i에서 m까지 대중교통 접근시간(도보 등)

$\sum_i \sum_j 1$: i와 j가 연결되어있으면 1

- 위의 개념을 구현하기 위해서는 도로교통망(승용차), 대중교통망(버스, 지하철) 자체에 대한 통행시간과 대중교통을 이용함으로써 발생하는 추가의 소요시간인 보행접근시간, 대기시간을 고려해야 한다.
- 대중교통시설의 이동성의 개념을 확장하여 door-to-door의 통행에서 나타나는 접근시간까지도 포함한 것으로 승용차의 이동성과 비교할 뿐만 아니라 분석대상 지역의 대중교통 이동성까지도 정량적으로 제시할 수 있다.
- 수치가 작을수록 이동성이 좋으며, 승용차에 대비하여 경쟁력이 있다고 할 수 있다.

■ 지표 3

- 대중교통 이용자에게 제공되는 서비스는 지하철, 버스 등의 단일 수단에 의한 것 뿐 만 아니라 여러 개의 노선을 통해 다양한 서비스경로가 제공되기도 한다.
- 즉, 대중교통 이용자는 다양한 노선에 대해 선택의 폭이 넓어 지는데, 이용자가 취할 수 있는 서비스경로(또는 노선)의 수는 이동성과 직접적으로 관련이 있다.
- 이용자가 정류소 또는 지하철역까지 접근하는데 필요한 시간과 정류장에서 최종목적지까지 환승을 포함한 다양한 서비스경로의 통행시간을 대중교통노선으로 나타낼 수 있는 지표의 개발이 필요하다.
- <그림>은 지표 3을 도식화한 것으로, 위의 지표2와 비교하여 <그림>은 다수의 서비스 경로를 고려한다는 것이다. 즉 $k=1$ 인 경로(최단통행경로)는 지표2에서 제시된 최단경로와 동일하나, 출발역은 출발지점에서 가장 가까운 역으로 지역 내에 포함되지 않을 수 있다.



<그림> 지표 3의 도식화

○ 이에 대한 개별지표와 지역지표는 아래와 같다.

- 개별지표

$$M_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_k [C_{ij} - (P_{ij}^k - C_{ij})]}$$

$$P_{ij}^k = W_{im}^k + S_{mj}^k (T_{mj}^k)$$

- 지역지표

$$M_{IJ} = \frac{\sum_i \sum_j \frac{C_{ij}}{\sum_k [C_{ij} - (P_{ij}^k - C_{ij})]}}{\sum_i \sum_j 1}$$

여기서,

k : 1부터 k까지의 순차적인 순서를 나타내는 정수

M_{ij} : i에서 j까지의 이동성 지표

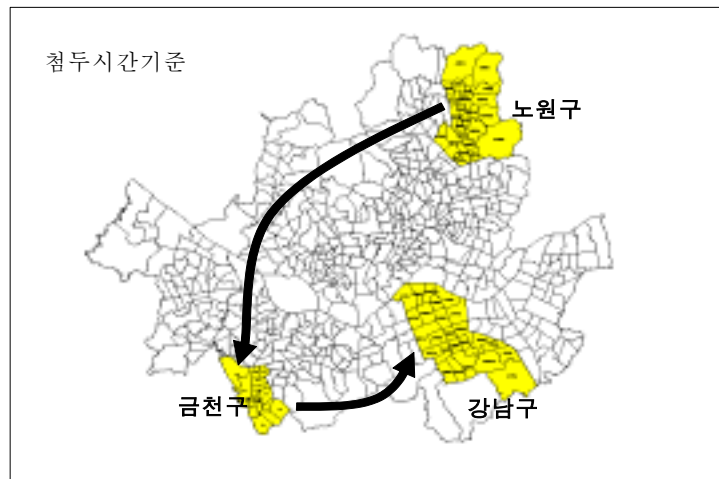
M_{IJ} : 지역 I에서 지역 J까지의 이동성지표

$S_{mj}^k(T_{mj}^k)$: m에서 j까지 k번째 대중교통 통행시간(환승시간)

W_{im}^k : i에서 m까지 k번째 대중교통 접근시간(도보 등)

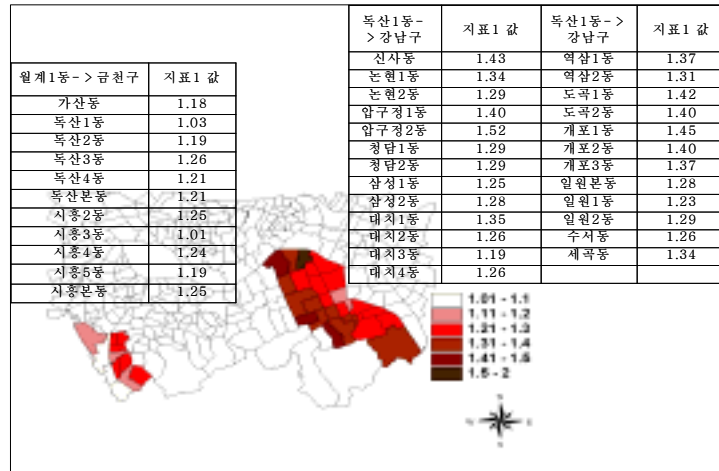
$\sum_i \sum_j 1$: i와 j가 연결되어있으면 1

- 이용자가 선택할 수 있는 대중교통의 다양한 서비스경로를 지표로 활용함으로써, 실제 이용자가 통행하는 다양한 행태적 특성 및 기회를 나타낼 수 있다. 즉, 모든 사람이 통행에 있어 다양한 서비스노선이 제공됨으로써 확보될 수 있는 이동성을 기여도 측면에서 측정한다.
- 이용자가 선택할 수 있는 노선 또는 경로의 수가 많다는 것은 그만큼 이동성의 기반이 양호하다고 할 수 있다. 지표 3의 값은 지표 1과 지표 2와 비슷한 형태의 비교방안의 적용을 위하여, 기본적인 지표인 (대중교통 통행시간/승용차 통행시간)을 대중교통의 통행시간 기여도 형태로 변형하여 적용하였다. 제안된 세 지표를 이용하여 사례를 분석한 결과는 다음과 같다.
- 대상지역은 노원구 월계 1동→금천구, 금천구 독산 1동→강남구를 대상으로 하였고, 오 전침두를 가정하여 이동성 지표를 적용하였다. 본 연구의 분석은 두 지역의 지점-대-지점의 분석뿐만 아니라, 동-동, 구-구, 동-구 분석까지 가능하다. 본 요약에서는 동-구의 지표결과를 간략하게 소개한다. 보다 자세한 내용은 본문에 제시되어있다.



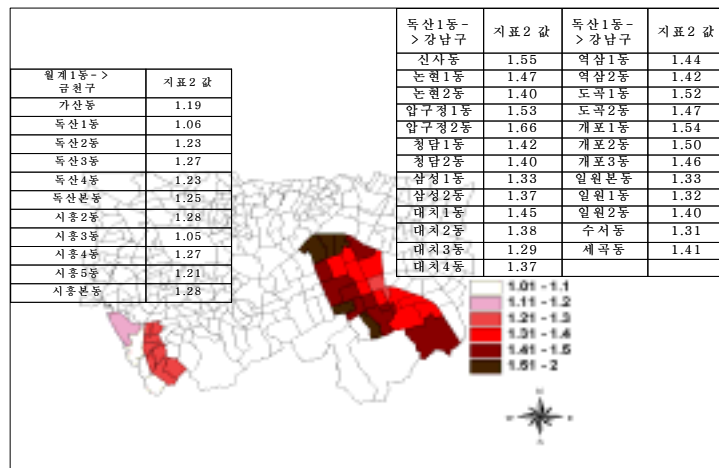
<그림> 대상지역

- 지표 1에 대한 결과는 <그림>과 같다. 월계 1동→금천구 지표 평균은 1.18이고, 독산 1동→강남구 지표 평균은 1.33이다. 지표수치를 고려해 볼 때, [월계 1동→금천구]가 [독산 1동→강남구]에 비해 대중교통 시설간 양호한 이동성을 제공하고 있다.



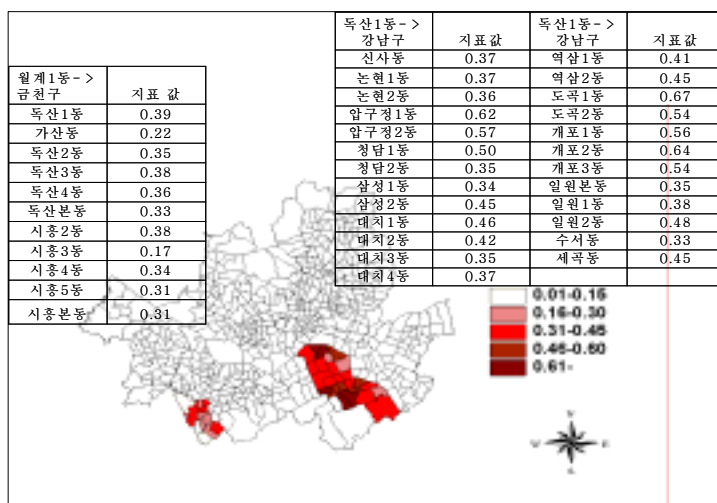
<그림> 지표 1의 결과

- 지표 2에 대한 결과는 <그림>과 같다. 월계 1동→금천구 지표 평균은 1.21이고, 독산 1동→강남구 지표 평균은 1.43이었다. 결과로 볼 때, [월계 1동→금천구]가 [독산 1동→강남구]보다 접근성을 포함한 이동성 측면에서 양호하다는 것을 확인할 수 있다.



<그림> 지표 2의 결과

- 지표 3에 대한 결과는 <그림>과 같다. 월계 1동→금천구 지표 평균은 0.32이고, 독산 1동→강남구 지표 평균은 0.45이었다. 이를 고려할 때, [월계 1동→금천구]가 [독산 1동→강남구]보다 승용차 통행시간에 경쟁력 있는 서비스노선의 기반이 보다 우수하다는 것을 알 수 있다.



<그림> 지표 3의 결과

III. 정책건의

■ 대중교통체계개편과 관점의 변화에 따른 지표의 활용

- 최근 서울시의 대중교통체계개편에 의해 기존의 대중교통체계를 진단하고 정책의 평가를 위한 기존의 지표에 대한 보완이 필요하다. 특히 준공영제 실시, 노선의 시간선제 도입, 중앙버스전용차로제 시행 등의 체계변화와 도시의 지속가능한 발전을 위한 대중교통중심으로의 관점변화는 대중교통체계가 기존의 개별노선 또는 지역의 평가차원 보다는 지역간의 대중교통균형 또는 전체적인 대중교통체계로의 발전을 평가하고 진단할 수 있는 지표로서 활용에 대한 요구가 필요하다.

- 본 연구에서 제시한 3가지 지표는 지역간에 대중교통의 기반을 개별시설로 평가할 수 있을 뿐만 아니라 지역의 접근성을 포함한 대중교통균형기반 또는 대중교통서비스의 지원기반 정도에 대한 평가를 위한 활용성이 존재한다.
- 제공된 지표의 활용방안으로는 지역간의 균형적인 대중교통체계 구축을 위한 활용, 노선신설 및 폐지 등 관련사업 추진 시 근거자료로 활용되며, 대중교통 이용증진을 위한 정책판단기준을 제시하는데 근거로서 적용이 가능하다.

■ 대중교통투자모형으로의 활용

- 지역간의 대중교통의 이용성을 측정하기 위해서 본 연구에서 제안하는 지표는 지역간 대중교통이동성이 승용차대비의 절대기준으로서 평가되어야 한다는 개념을 기본으로 하고 있다.
 - 이 개념은 전체의 도로망에서 개별지점 간 또는 지역 간의 승용차 대비 대중교통이동성인 굴곡도 개념을 확장한 것으로 지역간의 대중교통이동성에 대한 절대적인 기준도 포함하고 있다.
 - 따라서 지역의 개별노선지표와 지역지표의 개념을 대중교통이동성 증진방안을 모색하는 것으로 지역의 대중교통이동성 균형발전을 위한 활용성으로 확대가 요구되며, 그러한 활용에 대한 예는 다음의 3가지로 요약될 수 있다.
- 대중교통의 이동성을 증진시키는 전략 : 승용차이동성을 고정시키고 대중교통 투자 및 효율성증진
 - 승용차의 이동성을 감소시키는 전략 : 대중교통시설을 고정시키고 수요 및 교통류 관리차원에서 승용차이동성을 감소시키는 정책
 - 노선투자 시 대상지역에 미치는 영향을 분석하여 최대의 대중교통이동성을 보장하는 방안으로의 투자유도

■ 수요를 고려한 대중교통평가모형

- 본 연구는 특히 네트워크 차원의 분석지표에만 한정하였으나, 지역간의 교통수요의 특성이 용이하게 모형에 적용될 수 있다. 특히 지표3의 경우 수요의 총량을 알면 현재 대중교통서비스로 공급 가능한 용량에 대한 제시가 가능하므로, 기존의 수요-공급 교통정책의 평가에 대한 활용이 가능하다.

■ 대중교통 단기모니터링과 네트워크분석의 통합운영

- 대중교통정책에 대한 평가에 대해서 본 연구에서 제시하는 지표는 대중교통체계의 전체적인 발전방향을 나타낸다고 볼 수 있다. 최근 BIS 및 BMS의 운영, 카드시스템의 도입 등에 의해 대중교통의 단기적인 변화를 보여주는 자료의 구축이 매우 용이하다.
- 따라서 이러한 자료를 본 연구에서 제시하는 지표와의 통합운영을 통해 보다 바람직한 대중교통운영체계의 확립이 가능하다.

목 차

제I장 연구의 개요	3
제1절 연구의 배경	3
제2절 연구의 목적	4
제3절 연구의 범위 및 방법	4
제II장 대중교통 이동성의 개념 정립과 지표의 조건	7
제1절 이동성 개념정립과 대중교통 특성	7
1. 이동성의 개념정립	7
2. 대중교통 특성과 이동성	8
3. 복합교통망에서의 대중교통 이동성	9
제2절 대중교통 이동성 분석지표의 필요성	11
제3절 대중교통 이동성 분석지표의 조건과 형태	12
1. 기본조건	12
2. 추가조건	13
3. 지표의 수와 형태	14
제III장 서울시 대중교통 여건과 국내·외 지표 활용	19
제1절 서울시 대중교통 현황 및 여건변화	19
제2절 국내 대중교통 이동성 관련 지표	22
1. 시내버스노선체계평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용(2003)	22
2. 지속가능한 이동성 연구(2002)	23
3. 서울시 대중교통체계개편 (2004)	24
4. 기타 연구	26
제3절 국외 대중교통 이동성 관련 지표	27
1. Transit Capacity and Quality of Service Manual (2001)	27
2. A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement System (2001) ·	28
3. Florida's Mobility Performance Measures Program (2000)	32
4. CTA(Chicago Transit Authority) Service Standards (2001)	34
제4절 서울시 자료수집수준과 정보제공	36
1. 서울시 자료수집 수준	36
2. 대중교통 정보제공	38
제5절 시사점	39

제IV장 서울시 여건에 부합하는 분석지표개발	43
제1절 서울시 대중교통체계 여건변화의 반영	43
1. 버스운영체계 준공영제 실시	43
2. 버스체계의 지·간선체계 도입	44
3. 통합거리비례요금제의 도입	44
4. 대중교통지향적 개발관점의 조성	44
제2절 분석지표의 개발	45
1. 분석지표의 개발방향	45
2. 분석지표의 기본 상(像)	46
3. 지표 1 : 대중교통시설 간의 이동성 분석지표	48
4. 지표 2 : 접근성을 포함한 대중교통이동성 분석지표	50
5. 지표 3 : 대중교통 서비스제공수준 분석지표	54
제3절 복합교통망 구축방안	59
1. 네트워크분석기법	59
제4절 복합교통망 분석알고리즘	61
1. 표식(notation)	61
2. 복합교통망에서 최적경로탐색알고리즘	63
3. 복합교통망에서 서비스경로탐색 알고리즘	64
4. 알고리즘의 예제	67
제V장 사례연구 및 활용방안	71
제1절 복합교통망 구축 및 활용	71
제2절 대중교통 노선망의 이동성 지표 사례연구	76
제3절 지표를 활용한 대중교통 노선 투자모형	102
1. 대중교통 이동성 증진방안(I→J)	102
2. 대중교통 이동성분석지표의 활용 (예)	103
제VI장 결론 및 정책건의	107
제1절 결 론	107
제2절 정책건의	108

■ 참고문헌

표 목 차

<표 3-1> 평가지표 설정	25
<표 3-2> 제시된 대중교통 서비스 측정지표 (Transit Capacity and Quality of Service)	28
<표 3-3> 대중교통 이동성 평가지표 프로그램 (Mobility Performance Measures for Metropolitan Transit Systems) ·	33
<표 3-4> 도로망에 대한 이동성 평가지표 (Mobility Performance Measures for Highways)	33
<표 3-5> 버스격자시스템에서의 가이드라인 (Guideline for Bus Grid System) ·	34
<표 3-6> Passenger Flow 적용기준	35
<표 3-7> 서울시 자료수집현황	36
<표 3-8> 수집목적별 세부정보	37
<표 4-1> 지표 1의 예제 결과	50
<표 4-2> 지표 2의 예제 결과	53
<표 4-3> 지표 3의 예제 결과 1	57
<표 4-4> 지표 3의 예제 결과 2	58
<표 4-5> 서비스 경로 탐색결과(k=3 까지만 적용, Overlapping Penalty 0.8) ·	68
<표 5-1> 활용된 네트워크의 자료구조	72
<표 5-2> 모형구축에 적용된 평균통행속도	74
<표 5-3> 모형에서의 대중교통특성 고려방법	74
<표 5-4> 월계 1동→독산 1동 승용차대비 대중교통 경로속성(지표 1) ·	78
<표 5-5> 월계 1동→독산 1동 지표 1의 결과	79
<표 5-6> 월계 1동→독산 1동 승용차대비 대중교통 경로속성(지표 2) ·	80
<표 5-7> 월계 1동→독산 1동 지표 2의 결과	80
<표 5-8> 월계 1동→독산 1동 승용차대비 대중교통 경로속성(지표 3) ·	81
<표 5-9> 월계 1동→독산 1동 지표3의 결과	81

그 립 목 차

<그림 1-1> 연구의 방법	4
<그림 2-1> 혼잡의 구성요소	8
<그림 2-2> 대중교통 특성과 이동성	9
<그림 2-3> 대중교통의 이용가능성	10
<그림 3-1> 서울시 수단분담율 변화추이	20
<그림 3-2> 수도권 교통수단분담율	20
<그림 3-3> 승용차-버스 통행속도 비교	21
<그림 3-4> 자료수집 범위	37
<그림 3-5> 대중교통 정보제공사례 (수도권 대중교통이용정보시스템) ...	38
<그림 3-6> 서울시 대중교통 정보제공 사례	38
<그림 4-1> 분석지표의 기본개념도	46
<그림 4-2> 지표 1의 도식화	48
<그림 4-3> 지표 1의 예	49
<그림 4-4> 지표 2의 도식화	51
<그림 4-5> 지표 2의 예제	53
<그림 4-6> 지표 3의 도식화	55
<그림 4-7> 지표 3의 예제	57
<그림 4-8> 표지방법	59
<그림 4-9> 통합교통망의 표현	60
<그림 4-10> 알고리즘 적용 예	67
<그림 5-1> 복합교통망 구축범위	72
<그림 5-2> 복합교통망에서의 환승통행행태	75
<그림 5-3> 사례연구 대상지역	77
<그림 5-4> 월계 1동→독산 1동 승용차 대중교통 경로	78
<그림 5-5> 사례연구 2의 대상지역	82
<그림 5-6> 대상지역 A와 B의 지표 1의 결과	83
<그림 5-7> 대상지역 B의 지표 1의 값	84
<그림 5-8> 대상지역 A의 거리 및 속도 굴곡도(지표 1)	84

<그림 5-9> 대상지역 A의 지하철역 및 버스노선도	85
<그림 5-10> 대상지역 B의 지표 1의 값	86
<그림 5-11> 대상지역 B의 거리 및 속도 굴곡도(지표 1)	87
<그림 5-12> 대상지역 B의 지하철역 및 버스노선도	88
<그림 5-13> 대상지역 B의 지하철의 이동성	88
<그림 5-14> 대상지역 A와 B의 지표 2의 결과	89
<그림 5-15> 대상지역 A의 지표 2의 값	91
<그림 5-16> 대상지역 A의 지표변화율	91
<그림 5-17> 대상지역 A의 거리 및 속도굴곡도(지표 2)	92
<그림 5-18> 대상지역 B의 지표 2의 값	92
<그림 5-19> 대상지역 A의 지표변화율	93
<그림 5-20> 대상지역 B의 거리 및 속도굴곡도(지표 2)	94
<그림 5-21> 대상지역 A와 B의 지표 3의 결과	95
<그림 5-22> 대상지역 A의 지표 3의 값	96
<그림 5-23> 대상지역 A의 거리, 속도 및 시간굴곡도	97
<그림 5-24> 대상지역 A의 경쟁력있는 다수경로	98
<그림 5-25> 대상지역 B의 지표 3의 값	99
<그림 5-26> 대상지역 B의 거리, 속도 및 시간굴곡도	100
<그림 5-27> 대상지역 B의 경쟁력있는 다수경로	101

第 I 章 연구의 개요

제 1 절 연구의 배경

제 2 절 연구의 목적

제 3 절 연구의 범위 및 방법

제I장 연구의 개요

제1절 연구의 배경

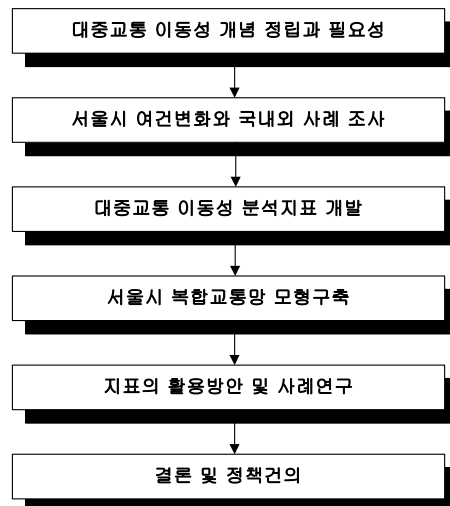
- 도시지역에서 대중교통 서비스는 출퇴근을 비롯한 각종 쇼핑, 여가시간의 활용에 필요한 이동 서비스를 제공하고 있으며, 편리한 대중교통 서비스 제공 여부에 따라 그 지역의 삶의 질을 좌우하는 중요한 요소로까지 인식되고 있다. 즉, 원하는 시간 안에, 원하는 곳까지 서비스 할 수 있는 이동성을 확보해 주는 것은 시민들의 기본적인 생활권을 보장하는 것이라 할 수 있다.
- 그러나 서울시의 대중교통 여건을 살펴보면, 수도권 광역화에 따른 광역버스의 증가, 상습적인 교통정체로 인한 통행시간의 증가 및 정시성 미확보 등으로 시민들에게 기본적으로 제공되어야 할 이동성이 보장되고 있지 못하고 있는 것이 현실이다.
- 이러한 여건 속에서 그간 서울시에서는 각종 TSM 사업 및 교통운영개선사업을 시행하였으며, 최근에는 버스노선체계를 비롯하여 중앙버스전용차로제를 중심으로 한 운영체계개편 등 대중교통체계에 대한 적극적인 개편을 시행하거나 계획하고 있다.
- 이같은 다양한 개선노력이 진행되면서, 분석기법은 다양화되고 전문화되고 있다. 그러나 현재까지는 도로교통망에 대한 개선효과를 측정하고 대안을 선정하는 것을 위주로 하여왔다. 지하철과 버스의 대중교통 노선망과 도로교통망에서 수단내 또는 수단간 환승문제 등이 발생하면서, 향후에는 복합교통망차원에서 개선효과를 분석할 수 있는 거시적인 분석지표의 필요성이 증대되었다.
- 또한, 버스안내시스템/버스관리시스템(BIS/BMS)등의 ITS 사업으로 대중교통에 대한 자료수집수준은 계속적으로 증가될 것으로 기대되고 있기 때문에, 각종 지표를 통하여 과학적인 분석을 할 수 있는 여건이 형성되고 있다.

제2절 연구의 목적

- 본 연구에서는 국내·외 대중교통의 이동성 지표와 관련한 연구 동향과 활용 사례 등을 조사, 연구하여, 서울시 여건에 적합한 이동성 분석지표를 개발하고, 활용 가능성을 검증하는 것을 목적으로 한다.
- 또한 서울시 교통망을 승용차, 버스, 지하철, 도보 등으로 구성된 복합교통망으로 구현하고, 지표를 활용할 수 있는 방안을 모형을 구축하여 모색하여 대중교통의 이동성 수준을 가늠할 수 있는 척도를 제시한다.

제3절 연구의 범위 및 방법

- 지표개발을 위하여 우선 대중교통에 있어서 이동성에 대한 개념을 재정립하고, 지표가 갖추어야할 조건들에 대하여 검토한다.
- 다음으로 지표개발을 위하여 서울시 대중교통의 여건변화로 인하여 어떠한 지표가 요구되고 있는지를 살펴보고, 국내외에서 활용하고 있는 이동성 지표들에 대하여 조사한다. 서울시에서 활용가능한 대중교통 이동성 지표를 선정하고, 이를 적용할 수 있는 복합교통망 모형을 구축하여 지표의 활용방안을 모색한다.
- 또한, 네트워크 분석차원으로 한정하며, 수요에 대한 측면은 향후 활용방안으로 언급한다.



<그림 1-1> 연구의 방법

第 II 章 대중교통 이동성의 개념 정립과 지표의 조건

제 1 절 이동성의 개념정립과 대중교통 특성

제 2 절 대중교통 이동성 분석지표의 필요성

제 3 절 대중교통 이동성 분석지표의 조건과 형태

제II장 대중교통 이동성의 개념 정립과 지표의 조건

- 본 장은 대중교통이동성의 개념을 정립하기 위해 일반이동성 개념과 함께 대중교통이동성에 영향을 미치는 요인들에 대하여 살펴본다.

제1절 이동성 개념정립과 대중교통 특성

1. 이동성의 개념정립

(1) 이동성 (Mobility)

- 이동성(mobility)은 최종 목적지까지 합리적인 비용, 시간 그리고 수단을 통하여 도달 할 수 있는 능력이라 할 수 있다.
- 대표적으로 통행시간(travel time) 또는 혼잡 등으로 인해 추가적으로 소요되는 지체(delay) 등이 있다.

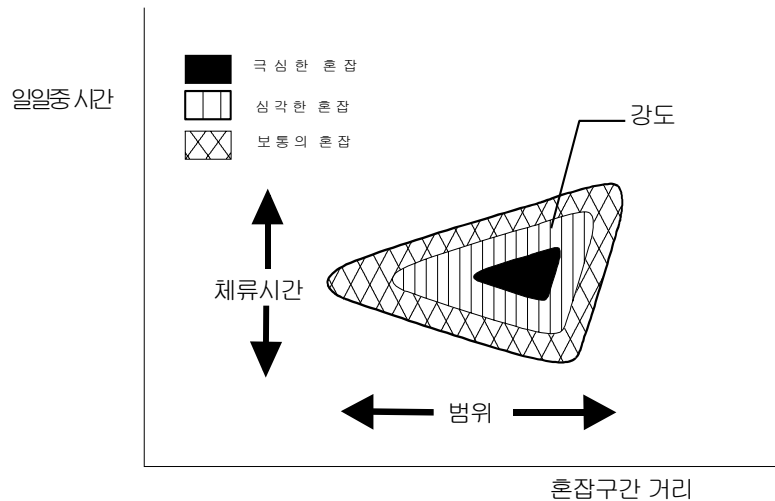
(2) 접근성 (Accessibility)

- 접근성(accessibility)은 최종목적까지 ‘도달하기 쉬움(ease of reaching)’을 말하며, 결절점(node)과 경로(link)로 구성되어있는 교통망이 어느 지점에서 다른 지점까지 얼마나 연결성이 좋은지를 나타낸다.
- 속도나 통행시간이 좋다는 것은 그만큼 이동성이 높으며, 결과적으로 접근성도 좋다는 의미한다. 그러나 접근성과 이동성은 반드시 비례관계로 보는 것은 아니며, 교통망의 연결성이 좋다하더라도 그 구간의 혼잡 등으로 통행시간이 많이 소요되는 경우 이동성은 낮다고 할 수 있다.

(3) 혼잡 (Congestion)

- 교통망에서 혼잡상태로 인한 통행시간의 증가는 이동성이 떨어지는 것을 의미한다.
- 개념적으로 정상적인 자유흐름(free-flow)의 통행상태에서 소요되는 통행시간과, 교통흐름의 지체상태에서 소요되는 통행시간을 비교했을 때 나타나는 통행시간이나 지체의 증가분으로 설명될 수 있다.

- 혼잡을 측정할 경우에는 혼잡을 시간으로 표현한 혼잡의 지속시간(duration), 공간적으로 표현한 혼잡구간의 길이(extent), 혼잡의 심각성을 나타내는 혼잡강도(intensity), 그리고 이들 세 가지 요소에 대한 변동을 나타내는 신뢰성(reliability)의 개념이 적용된다.



자료 : NCHRP Report 398, Quantifying Congestion

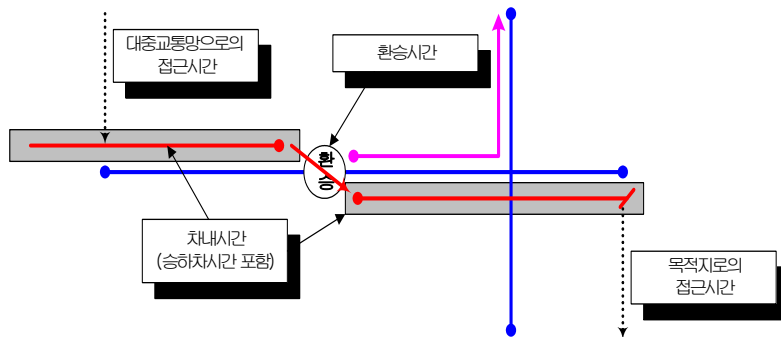
<그림 2-1> 혼잡의 구성요소

2. 대중교통 특성과 이동성

- 교통망에서 이동성은 혼잡과 밀접한 관련이 있으며¹⁾ 본 절에서는 대중교통 이동성을 진단함에 있어 필요한 대중교통의 특성들에 대하여 고찰한다.
- 버스를 비롯한 대중교통의 이동성은 다음과 이유로 도로교통망에서의 이동성과 차이점을 갖는다고 할 수 있다.

1) 도로교통망의 이동성 분석지표 개발연구(서울시정개발연구원, 2003)에서 이동성의 개념을 정립한바 있음.

- ① 대중교통 노선상의 역 또는 정류장을 기반으로 노선망이 형성됨.
 - ② 고정된 노선, 교통시스템으로의 접근 (walking time) 또는 최종 목적지까지의 접근, 통행자의 이용시간 (대기시간, 승하차시간) 의 특성을 가짐.
 - ③ 대중교통은 지하철, 버스 등의 다수단이므로 버스 또는 지하철만을 이용하는 경우 뿐 아니라 버스-버스, 버스-지하철, 지하철-지하철의 환승가능성을 갖고 있음.
- 따라서 대중교통에 있어 이동성은 교통시설의 혼잡뿐만 아니라, 대중교통망이 갖는 특성과 대중교통이용 정류소까지의 접근을 위한 이동성, 환승을 포함하여 해당 정류소에서 최종 목적지까지의 이동성을 종합적으로 고려해야한다.



<그림 2-2> 대중교통 특성과 이동성

3. 복합교통망에서의 대중교통 이동성

1) 대중교통 이동성의 전제조건

- 승용차의 경우 이용자의 의지 또는 도로여건 등에 따라 그 이용 유무가 결정되지만, 대중교통 이용에 대해서는 대중교통 서비스의 이동성 제공유무 이전에 해당 서비스를 이용가능 해야한다.
- 따라서 대중교통 이동성은 다음과 같은 조건들이 전제되어야하며, 이동성지표는 이들을 어떤 식으로든 표현할 수 있는 지표이어야 한다.

(1) 대중교통이 통행의 기점, 종점 근처에 서비스를 제공해야함.

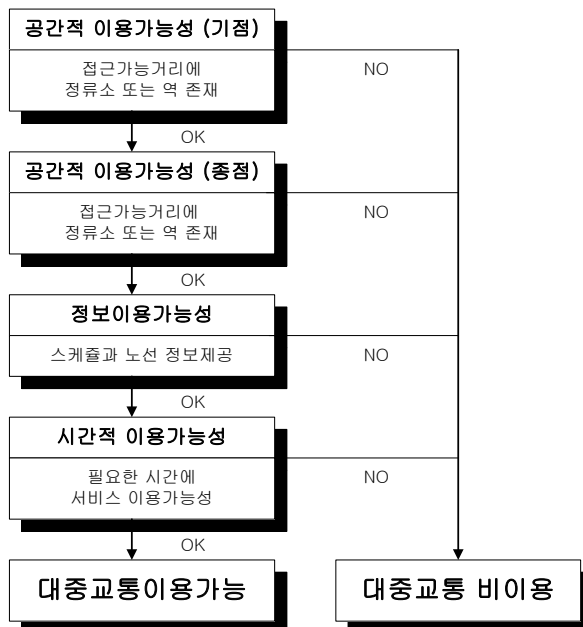
- 출발지 부근에서 대중교통을 이용할 수 있는 정류장 또는 지하철역이 도보, 자전거 등으로 접근이 가능한 거리에 위치해야한다.
- 서울시의 경우 간선버스, 지선버스, 마을버스 등의 체계로 이용되고 있어, 사실상 거의 대부분의 지역이 대중교통서비스 이용이 가능하다고 할 수 있다.

(2) 이용가능한 시간과 장소에 대한 정보제공

- 이용자가 원하는 곳에 갈 수 있는 노선과 시간대 또는 환승필요여부, 요금 등에 대하여 숙지된 상태여야만 대중교통이 이용가능한 교통수단의 하나로써 인식될 수 있다.

(3) 충분한 용량 제공

- 대중교통이 정류장 정차시 차량 용량을 넘어서 있다면, 대중교통 이용가능성을 저해하는 요인이라 할 수 있다.



<그림 2-3> 대중교통의 이용가능성

2) 복합교통망에서의 대중교통 이동성

- 복합교통망이란, 버스노선과 지하철 노선을 포함하는 대중교통망과 도보, 승용차 등의 일반도로교통망을 포함하는 교통망이다.
- 특히, 대중교통에서 환승은 지하철-지하철, 버스-버스의 동일수단간 뿐만 아니라, 승용차-지하철, 승용차-버스, 지하철-버스 등의 서로 다른 수단간에도 빈번하게 발생하며, 교통혼잡으로 인해 발생하는 것 이외에 추가적인 지체를 유발하게 하여 대중교통이동성에 영향을 미치는 중요한 변수로서 고려된다.

제2절 대중교통 이동성 분석지표의 필요성

- 대중교통 이동성이 얼마나 잘 공급되어있는가는 개별 통행자들의 교통수단 선택(지하철, 버스, 승용차)에 있어 매우 중요한 요소라 할 수 있다.
- 이용자가 선택할 수 있는 대안 노선의 지역적 편차, 교통혼잡의 증가로 인한 통행시간의 증가, 정시성 미확보로 인한 대중교통에 대한 신뢰감소는 대중교통, 특히 버스의 수요감소로 이어진다. 따라서 어느 정도의 대중교통서비스가 이동성을 확보하고 있는지를 정량적으로 측정할 수 있는 지표를 개발하여 대중교통의 경쟁력을 확보하는 방안을 강구해야한다.
- 또한, 현안 문제로 부각되고 있는 대중교통체계개편은 대중교통 노선 자체에 대한 개선뿐 아니라, 운영체계, 요금체계 등 다양한 측면에서 진행되고 있어, 개선사업후의 모니터링과 대중교통 노선의 이동성 뿐 아니라, 지역의 대중교통 이동성 확보수준까지도 종합적으로 고려할 수 있는 지표가 시급하다고 할 수 있다.

제3절 대중교통 이동성 분석지표의 조건과 형태

1. 기본조건

1) 명료성 및 간편성 (Clarity and Simplicity)

- 평가지표는 현상에 대한 표현, 분석, 해석에 있어 간단하고 명료해야한다.
- 정의가 가능하고 정량적이어야 하며 전문적인 확실성이 있어야한다.
- 전문가 또는 비전문가들이 해당 지표를 이해할 수 있어야 한다.

2) 설명력 및 예측능력 (Descriptive and predictive ability)

- 현재 상태, 특히 교통류 상태변화를 설명할 수 있어야 한다.
- 문제점을 파악하고 향후 변화를 예측 할 수 있어야 한다.
- 교통류 상태 변화를 반영해야한다.

3) 분석능력 (Analysis capability)

- 쉽게 계산할 수 있고 현장에서 수집된 자료로 계산이 가능해야한다.
- 결과분석이 용이하고, 지속적으로 결과를 획득할 수 있어야 한다.
- 지표측정을 위한 기법이 존재해야한다.

4) 정확성 및 정밀성 (Accuracy and precision)

- 예측기법의 정확성 수준이 수용가능 해야한다.
- 가정에 대한 변화에 민감해야한다.
- 측정의 정확성은 교통계획에 적용 또는 운영분석과 일치해야한다.

5) 유연성 (Flexibility)

- 다 수단에 적용 가능해야하며, 다양한 스케일로 의미를 전달해야한다.

2. 추가조건

1) 경쟁 교통수단과의 비교가능

- 대중교통 이동성 분석지표는 사업의 모니터링 뿐 아니라, 대중교통 수단이 갖고 있는 경쟁력을 측정할 수 있는 지표로서의 의미도 가지고 있다.
- 특히, 버스의 경우는 승용차와 함께 도로교통망을 이용한다는 점에서 버스우선처리 기법 등의 도입 시 승용차와의 비교를 통하여 대중교통의 경쟁력을 파악할 뿐 아니라, 어느 정도의 유인력을 갖고 있는지를 간접적으로 파악할 수 있어야 한다.

2) 대중교통의 특성을 고려해야함.

- 대중교통은 각 정류장이 있고, 이용자는 정류소까지 가야하고, 최종 정류장에서 최종목적지까지 또 다시 접근해야 한다. 뿐만 아니라 정류장에서는 대중교통 노선을 기다려야하고, 경우에 따라서는 환승이 필요하기도 하다.
- 이러한 대중교통에서의 통행은 도로교통망의 그것에 비해 복잡하게 나타나기 때문에 이를 적절하게 고려하여 나타낼 수 있는 지표여야 한다.

3) 복합교통망에서 적용 가능해야함.

- 정해진 노선을 갖고 있다는 대중교통의 속성상, 대중교통 노선망 자체가 갖는 이동성 확보 여부는 중요한 의미를 가진다.
- 더구나 대표적인 대중교통수단인 버스와 지하철은 상호간의 보완 또는 경쟁적인 관계를 갖고 있어, 이용자들의 환승 등 수단간의 관계를 고려하는 것은 이동성 분석지표를 개발하는데 고려할 필수 요건이다.

- 또한, 대중교통 서비스가 제공되는 지역에 대한 이동성 평가가 가능하며, 해당 지역의 삶의 질을 평가하는 요소일 뿐 아니라, 대중교통 추가 노선이 개발되어야 하는가의 문제에 대한 정책적 판단의 근거가 될 수 있어야 한다.

4) 교통여건의 변화에 대한 표현이 가능해야함.

- 대중교통 자체의 개선뿐만 아니라, 각종 도로교통개선사업후의 대중교통의 효율적인 이동성 확보는 대량의 사람을 이동시킬 수 있어, 이에 대한 개선사업의 효율성을 측정하는 중요한 요건이다.

5) 자료획득이 가능해야함.

- 각종 교통자료는 측정이 가능하나, 현 시점에서 충분한 자료가 확보되기 어려워 사용이 불가능할 수 있다.
- 특히, 광범위한 도로교통망의 분석을 위해서는 자료의 확보가 매우 중요하다.

3. 지표의 수와 형태

- 위에서 열거한 지표의 조건을 만족시키기 위하여 각 해당 지표는 여러 가지 형태와 수로 나타낼 수 있다.

1) 개별 지표 (Individual Measures)

- 개별지표는 승차율(ridership), 운행빈도 (frequency) 등과 같이 하나의 측정치로 나타내며, 계산이 용이하고 설명이 간편한 장점이 있다.
- 그러나, 개별 지표를 나타낼 수 있는 것은 한계가 있으며, 다양한 분석을 위해 때로는 많은 수의 지표들이 필요하다.
- 결국, 개별지표로써 나타내는 것은 분석자로 하여금 개별지표의 조합 또는 비율로써 사용하는 것이 보다 의미있는 정보를 제공한다.

2) 비율 (Ratios)

- 좌석당 승객수(Passenger per Seat), 면적당 정류소 등과 같이 개별적인 값을 다른 값과 비교함으로써 지표를 제시할 수 있다.
- 개별측정값에 의한 것보다 계산이나 설명이 어렵지 않기 때문에 많이 이용된다.

3) 인덱스 형태 (Indexes)

- 복잡하거나 다양한 측정치가 있을 경우 각각에 대해 가중치를 부여하거나 회귀 분석 등을 통해 일반화시켜 제시할 수 있다.

4) 서비스 수준 (Levels of Service)

- 각 지표의 범위를 정하여 A~F의 형태로 의미를 전달함으로써, 의사결정자에게 친숙할 뿐 아니라, 지표를 통해 개선의 정도를 쉽게 알아볼 수 있다.

第Ⅲ章 서울시 대중교통 여건과 국내·외 지표활용

- 제 1 절 서울시 대중교통 현황 및 여건변화
- 제 2 절 국내 대중교통 이동성 관련 지표
- 제 3 절 국외 대중교통 이동성 관련 지표
- 제 4 절 서울시 자료수집수준과 정보제공
- 제 5 절 시 사 점

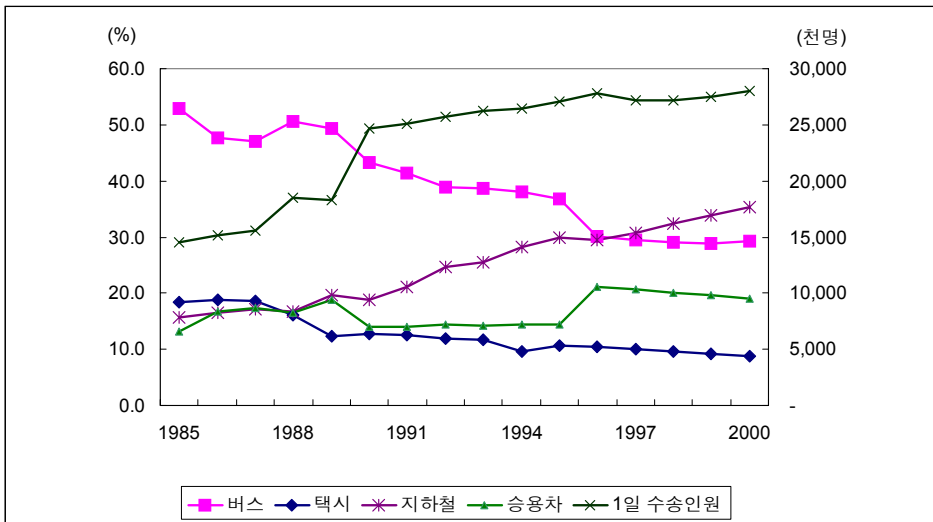
제III장 서울시 대중교통 여건과 국내·외 지표활용

- 본 장에서는 최근 변화하고 있는 서울시 대중교통체계에 대한 현황 및 여건변화 등을 살펴보고, 대중교통 이동성과 관련한 국내외 연구 및 사례 등을 조사하였다.
- 국내외에서 도로교통망에 대한 이동성 관련 연구와 사례는 도로교통망의 이동성분석지표²⁾에서 살펴본바 있으며, 본 연구에서는 대중교통 이동성에 관련된 연구에 초점을 맞추어 조사하였다.
- 대중교통의 이동성에 관련된 국내 연구 사례는 많지 않다. 그 이유는 대중교통의 속성상 대중교통 이용자 및 운영자, 사회적 관점 등에서 평가하는 경우가 많기 때문이다.
- 본 연구에서는 국내·외 사례를 조사함에 있어, 국내 사례는 대중교통노선 등의 평가시에 활용한 지표 사례를 중심으로 조사하고, 국외 사례는 대중교통의 서비스 측정과 관련한 연구와 사례를 조사하여, 이에 대한 서울시 적용가능여부에 대한 검토를 통하여 시사점을 고찰함으로써, 지표개발에 참고하고자 하였다.

제1절 서울시 대중교통 현황 및 여건변화

- 서울시에서 대중교통은 수송능력 측면에서 큰 역할을 하고 있으나, 교통혼잡의 과증과 이로 인한 도로교통망에서의 버스서비스 악화로 인하여 버스의 수송분담율은 계속적으로 저하되고 있다.
- 반면, 배차간격이 일정하여 정시성이 어느 정도 확보된다고 할 수 있는 지하철의 경우 수송분담율이 매년 증가하는 것으로 조사되었다. 그러나 서울시 지하철의 경우 일부 구간에서 과다한 수요로 인하여 출퇴근시에는 상당한 혼잡을 겪고 있는 것이 현실이다.

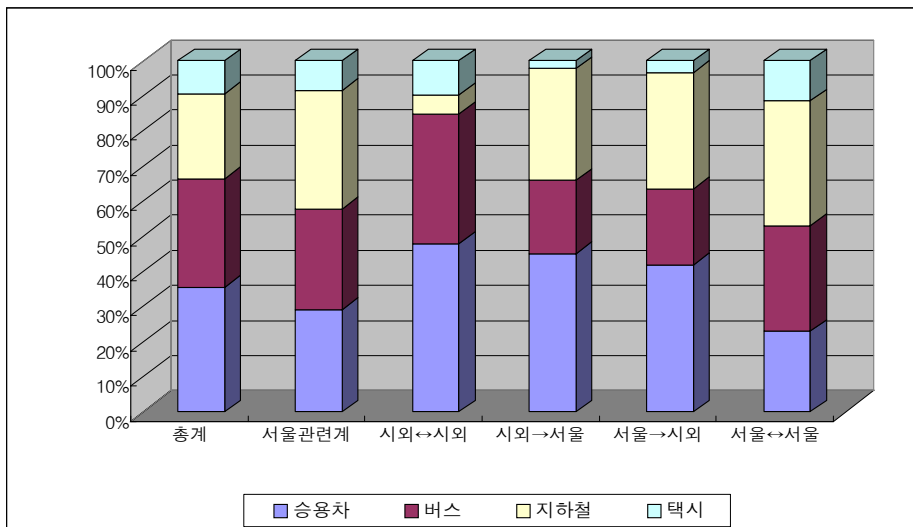
2) 서울시정개발연구원, 도로교통망의 이동성 분석지표 개발, 2003



자료 : 서울특별시, 서울통계연보

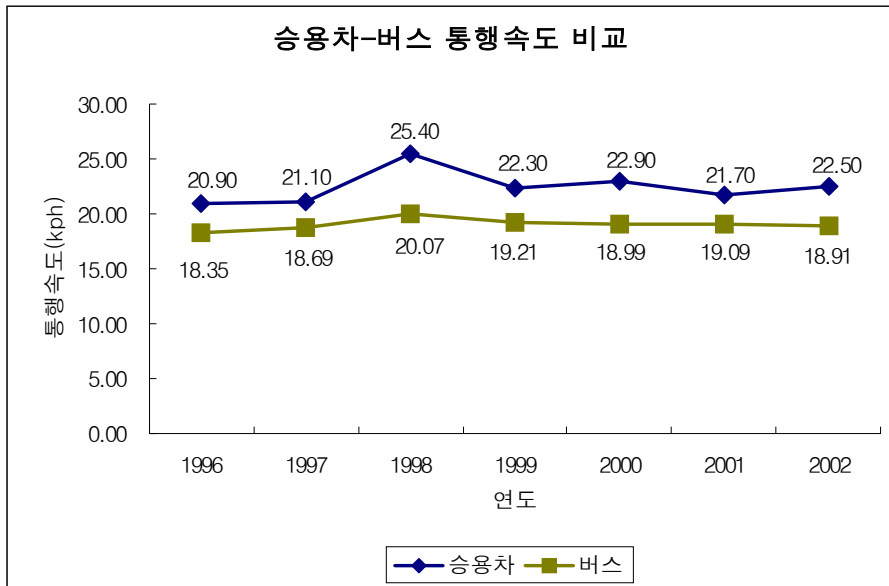
<그림 3-1> 서울시 수단분담율 변화추이

- 또한, 서울↔시외간 통행에서 버스의 수송분담율을 저하는 두드러진다.



<그림 3-2> 수도권 교통수단분담율

- 그간 각종 TSM, ITS 사업등으로 교통운영여건은 상당히 진전되었으나 버스의 통행속도는 승용차에 비해 약 2~3kph 의 차이가 나는 것으로 조사된바 있다. 버스의 경우 승하차를 위한 정차시간 및 환승시간을 고려할 때, 실질적으로 이용자가 느끼는 통행시간은 승용차에 비해 경쟁력이 떨어지는 것을 알 수 있다.



자료 : 서울특별시 교통국, 서울시 차량통행속도, 2002년

<그림 3-3> 승용차-버스 통행속도 비교

- 또한, 교통수송능력의 효율화 측면에서 실시한 가로변 버스전용차로의 경우 21.6km/h(2001년)에서 18.95km/h(2002년)로 12.3% 감소한 반면, 일반구간은 17.8km/h(2001년)에서 18.89km/h(2002년)으로 버스전용차로 버스의 속도와 크게 차이를 보이지 않는 것으로 조사된바 있다.
- 그러나, 최근의 대중교통체계의 개편에 의한 중앙버스전용차로제의 실시, 노선 체계개편 등을 통한 굴곡노선의 직선화 등으로 향후 대중교통, 특히 버스의 이동성은 급격히 향상될 것으로 예상된다.

제2절 국내 대중교통 이동성 관련 지표

1. 시내버스노선체계평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용(2003)

- 도시내 전체 버스노선체계의 평가를 위한 기준 및 정량적 지표의 설정 그리고 이를 이용한 평가사례를 제시하였다.
- 평가기준은 버스이용의 편의성, 운행생산성, 그리고 사회적 비용의 최소화라는 3가지 목표에 입각하여 접근성, 승차안락성, 환승률, 노선직결도, 운행생산성, 형평성 그리고 차량소요대수의 7개 기준으로 설정하였다.

(1) 버스이용자 관점

- 접근성 : 버스서비스에 대한 이용자그룹의 접근정도로써, 각 존별 버스정류장수를 대지면적 또는 인구로 나눈 정류장밀도의 평균치
- 승차 안락성 : 버스탑승객의 차내안락도로써, 노선별 평균 재차율의 전 노선 평균치
- 환승률 : 총탑승에 대한 환승탑승 수로서, $\text{환승통행} \div \text{총수단통행}$

(2) 버스 운영자 관점

- 노선 직결도 : 노선의 기종점간 직결 정도로서, 전 노선평균 굴곡도의 역수
- 운행 생산성 : 노선규모 대비 통행실적(통행자수)으로서, $\text{총통행자수} \div \text{총노선거리}$

(3) 사회적 관점

- 형평성 : 각 교통존별 버스노선수의 고른 분포정도로써, 각 존 경유 인구대비 버스노선수의 표준편차
- 차량소요대수 : 최저서비스수준하에서 노선체계가 필요로 하는 최저소요차량대수로서, 일정 서비스수준(배차간격 및 운행속도)에서 각 노선별 소요차량의 합

2. 지속가능한 이동성 연구(2002)

- 전국 각 도시의 대중교통 서비스 수준을 비교할 수 있는 대중교통 평가지표 및 평가 매뉴얼을 개발하였으며, 연구결과 중 대중교통과 관련한 이동성 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

3. 서울시 대중교통체계개편 (2004)

- 서울시는 지·간선 노선체계, 중앙버스전용차로, 요금체계개편 등 버스체계 개편하였으며, 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.

- 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 100m 이내 운행하는 버스 노선을 대상으로 산정한다.

(3) 굴곡도 및 교차로에서의 회전

- 노선의 기종점을 연결하는 최단거리 연계도로망을 고려하여 직선거리대 운행거리 비율을 굴곡도로 선정하였다. 또한 버스유형별 기능을 고려하여 교통권역을

3개 이상 운행하는 노선 중 노선의 중간부분이 굴곡인 노선을 굴곡노선으로 선정하였다. (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 수송가능하다.

(4) 시가화면적 및 유출통행당 정류소

- 시가화면적 및 유출통행당 버스정류소 수를 이용하여 해당지역에서 버스정류소까지의 접근성을 평가할 수 있다.
- 그 외 버스이용자 및 운영자, 관리자 모든 측면에서 계량화가 가능한 평가항목을 설정하고 이를 통합화하여 평가하였다.

<표 3-1> 평가지표 설정

구 분	평가지표
이용자측면	<ul style="list-style-type: none"> · 신속성(1인당 통행시간) · 접근성(시가화 면적대비 대중교통역세권면적) · 편리성(환승회수, 제공노선수)
운영자측면	<ul style="list-style-type: none"> · 경영효율(총운행수입/총운행비용)
관리자측면	<ul style="list-style-type: none"> · 대중교통이용자 수요증가분(승용차로부터의 전환율) · 주요 가로소통상태변화(승용차, 버스속도변화) · 통행시간감소에 따른 시간가치 · 에너지비용절감 효과 · 환경오염비용 감소효과

4. 기타 연구

1) 서울시 시내버스 노선조정 방안 연구 (1994)

- 서울시 버스노선체계개편을 위해 여러 가지 정책목표를 설정하고 이에 맞는 노선평가기준을 제시하였으며 대표적으로 노선거리 및 운행시간, 지하철경합 거리 및 비율, 골목영향계수, 과소노선지표, 과밀노선지표 등이 있다.

2) 시내버스노선의 합리적 조정방안(1995)

- 2기 지하철 개통에 따른 시내버스 노선체계의 개편을 위하여 노선운행거리·운행시간, 지하철경합비율, 지하철 연계역 수, 배차간격, 차내혼잡도 등의 지표를 활용하여 방안을 제시하였다.

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

- 제2기 지하철의 전면 개통후 이에 따른 대중교통체계변화를 예측하고 효과적인 버스노선체계 구축방안을 제시하기 위한 기준으로, 신속성(인당 통행시간), 쾌적성(승객수/좌석수), 편리성(제공노선수 및 환승횟수), 수익성(승객수)의 기준을 활용하였다.

제3절 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 이중 가장 중요하며, 정량화가 가능하다고 판단한 이용가능성과 편의성(Comfort and Convenience, 서비스모니터링과 통행시간)에 대하여 평가지표를 설정하였다.
- 즉, 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.
 - ① 승객량 (Passenger Loads)
 - ② 정류장에서의 승객시설의 종류 (passenger amenity)
 - ③ 대중교통서비스의 신뢰성 (reliability) : 이용자가 통행시간에 대한 정확성과 불규칙한 서비스에 대하여 이용자가 인정할만한 수준이어야함.
 - ④ 통행시간(travel time) : 대중교통자체의 door-to-door 통행시간 또는 다른 수단과의 비교
 - ⑤ 비용(cost) : 다른수단과 비교한 비용
 - ⑥ 환승필요 여부 (transfers)
 - ⑦ 시설자체의 외형과 안락성 (appearance and comfort)

<표 3-2> 제시된 대중교통 서비스 측정지표(Transit Capacity and Quality of Service)

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, 지역의 문제에 초점을 맞추어 성과지표를 제시하였다.
- 본 연구에서는 이중 이동성과 관련한 지표를 중심으로 살펴보았다.

(1) 통행시간을 고려한 대중교통 접근도지표

- 기종점간의 door-to-door 통행을 평가하는 인덱스형태의 지표로서 지역간 서비스 형평성 비교, 교통수단간의 직접비교, 대안 시나리오를 비교한다.
- 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 스케줄 배차시간으로 나눈 계수로서 정의된다.

- 분석시간 또는 기간 동안 같은 스케줄 배차시간이 동일한 경우에 사용가능하다.
- 지표의 형태 : service regularity, headway adherence, headway regularity index, wait assessment, headway ratio, headway deviation
- 영향요소 : 교통혼잡, 정류소 수, 승객량, 스케줄 배차시간의 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 통행시간에 초점을 맞춘 것인 반면, 접근성 지표는 도달할 수 있는 기종점의 수에 초점을 맞춘 것이다.

▪ 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 직선 거리와 대중교통노선의 거리로서 표현되는 이동성관련 지표이다.
- 지표의 형태 : 지역의 연결수준, 주거지역과 활동지역간의 직선 거리와 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 실제상황간의 통행시간 차이

(12) 상대 지체율 (Relative Delay Rate)

- 수용할 수 있는 통행율로 지체율을 나눈값으로 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.)

$$TRI = \frac{\left(\frac{\text{Freeway Travel Rate} / \text{Freeway Flow Rate}}{\text{Freeway Freeflow Rate}} \times \text{Freeway Peak Period VMT} \right)}{\text{Freeway Peak Period VMT} + \text{Prin. Arterial Street Peak Period VMT}} + \frac{\left(\frac{\text{Prin. Arterial Street Travel Rate}}{\text{Prin. Arterial Street Freeflow Rate}} \times \text{Freeway Peak Period VMT} \right)}{\text{Freeway Peak Period VMT} + \text{Prin. Arterial Street Peak Period VMT}}$$

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

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 비롯되었다.
 - 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 Plan 아래 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 기초하여 지표를 개발, 활용하고 있다.
 - ① 과정은 정책지향적이며 데이터 수집이 가능해야 함.
 - ② 지표는 시스템에 대한 이용자의 경험을 반영해야함.
 - ③ 다수단(multimodal)을 고려해야함.
 - ④ 일반 대중에 이해가 쉬워야 함.
 - ⑤ 장래 예측에 유용한 지표이어야 함.
- 위의 원칙에 의한 대중교통과 도로교통망에 대한 이동성 지표를 살펴보면 다음 표와 같다.

<표 3-3> 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 3-4> 도로망에 대한 이동성 평가지표 (Mobility Performance Measures for Highways)

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 speed ² weighted by PMT
	Delay	●	●	Average delay
	Average travel time	●		Distance/speed ²
	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 자국내 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 있다. 이들이 제공하는 대중교통서비스의 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 3-5> 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 최소 시간대를 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 의미하는 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 한대당 60명의 계획용량이 혼잡시간동안 계획버스빈도로 사용된다.

<표 3-6> 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, 공휴일등으로 구분하여 주기적으로 리포트되고 있다.

제4절 서울시 자료수집수준과 정보제공

- 지표설정에 있어 우선적으로 선결되어야하는 것이 자료수집이다. 따라서, 본 절에서는 서울시 자료수집수준을 살펴보고, 향후 어떤 자료를 활용할 수 있는지를 파악한다.

1. 서울시 자료수집 수준

1) 서울시 자료수집현황

- 대표적으로 차량통행속도와 교통량 조사를 실시하고 있으나 이들 조사결과로는 실제 각종 사업들의 정책수립 및 전략수립에는 큰 도움을 주지 못하고 있는 실정이다. 특히, 버스와 관련해서는 일부 노선에 대한 속도조사를 하는 수준이다.

<표 3-7> 서울시 자료수집현황

	서울시 차량통행속도조사	서울시 교통량 조사
조사개관	- 교통행정 및 정책의 기초자료로 활용하기 위하여 시행중	- 도로의 계획 및 설계, 도로운영 등에 활용하기 위하여 시행중
수행주체	- 서울특별시 교통관리실	- 서울지방경찰청 (교통개선기획실)
조사기간 및 시간	- 승용차 : 2001. 6. 13(수)~19(화) 06:00 ~22:00 (16시간) - 버스 : 2001.6.12(화)~13(수) 오전 07:30~10:30 낮 11:00~14:00 오후 18:00~21:00	- 2001.1~12(토, 일요일 포함) - 24시간 1주일 단위
조사방법	- 승용차 : 구간속도검지방식 - 버스 : 조사원이 탑승 직접 조사	- 차량검지기(Loop), 교통량측정기(Marksman)을 이용한 기계식 조사
조사지점 및 구간	- 승용차 : 서울특별시도 전체 및 서울시 연결도로 (총연장 : 1,218km) - 노선버스 : 23개 노선 (299.32km)	- 대상 : 총 103개지점 · 도심 : 22개소 · 시경계 : 35개소 · 한강교량 : 15개소 · 주요간선 : 31개소

자료 : 2001년도 서울시 차량통행속도, 서울특별시
2001년도 서울시 교통량조사자료, 서울지방경찰청

2) 향후 계획

- 서울시에서는 버스종합사령실을 운영할 계획에 있으며 이와 관련하여 버스운영과 관련한 방대한 자료들을 수집할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서, 이를 적절히 활용할 수 있는 지표를 설정하는 것이 중요하다.
- 서울시 버스종합사령실 구축의 자료수집범위는 서울시 전역간선도로를 경유하는 버스노선을 대상으로 계획하고 있다.



<그림 3-4> 자료수집 범위

<표 3-8> 수집목적별 세부정보

정보종류	세부정보
버스위치정보	· 버스위치
버스운행정보	· 일정주기별 버스위치, 속도 · 버스의 지점속도
정류장서비스정보	· 정류장 출발/도착시각 · 정류장 서비스 시각
돌발상황정보	· 돌발상황 발생위치 · 돌발상황 유형코드
운행위반정보	· 운행위반위치 · 과속, 급감속, 급제동, 개폐문 시각, 급차선변경, 노선임의 변경, 고의지연운행여부
기기상태 정보	· GPS수신기, 무선모뎀, 속도센서, 정류장자동안내방송기기, 운전자 MMI 이상

2. 대중교통 정보제공

- 국내에서의 대중교통 이동성 정보제공은 건설교통부, 서울시, 민간업체 등에서 다양하게 이루어지고 있으며, 정보제공 수준 역시 다양하다.
- 정부차원에서 제공되고 있는 수도권 대중교통이용정보시스템³⁾ 이동성은 기종 점간에 대하여 환승을 포함한 각 수단별 최단경로 및 소요시간, 거리 등과 함께 대안 노선을 제공하고 있다.



<그림 3-5> 대중교통 정보제공사례 (수도권 대중교통이용정보시스템)

- 서울에서 제공하는 있는 대중교통 이동성 정보⁴⁾는 기종점간 이용가능한 수단, 즉 버스만 이용, 지하철만 이용, 버스와 지하철 이용으로 구분하여 대안 경로와 함께 통행시간을 제공하고 있다.



<그림 3-6> 서울시 대중교통 정보제공 사례

3) <http://www.algoga.go.kr>

4) <http://bus.seoul.go.kr>

제5절 시사점

- 국내외를 막론하고 이동성지표에 대한 연구는 도로교통을 중심으로 이루어져왔으며, 그 이유는 도로교통의 이동성 지표가 대중교통(특히 버스)이동성에 대해서도 도로망을 공유하는 부분에 대하여 유사한 해석이 가능하기 때문인 것으로 판단된다.
- 국내 대중교통의 이동성 관련 연구는 개별대중교통노선 또는 개별지역의 대중교통의 서비스기반에 측정에 국한된 연구가 대다수이며, 이는 대중교통을 바라보는 관점이 대중교통체계 전체가 아닌 개별노선의 사업성평가 또는 개별지역의 대중교통노선투입의 합리성확보 등 제한된 필요성에 기인하기 때문인 것으로 판단된다.
- 국외 대중교통이동성에 관련된 연구는, 대중교통이 상호 연관성과 이에 따른 수단간 환승과 대기시간, 대중교통으로의 접근성 등 이동성으로 고려해야 할 변수가 도로교통이동성에 비하여 매우 다양하기 때문에, 다양한 분석기법이 개발된 최근 수년부터 대중교통이동성에 대한 연구가 본격적으로 시도되고 있는 것으로 파악되고 있다.
- 그러나 현재까지 국내의 여건과 유사하게 개별대중교통노선 및 개별지역에 제한된 차원에 머무르고 있으며, 대중교통을 전체적인 관점에서 평가하는 측면의 연구는 아직 미진한 것으로 파악되고 있다.
- 따라서 현재 진행되고 있는 대중교통체계 개편이나 대중교통 지향적 개발을 판단하기에는 기존에 제시된 대중교통이동성 지표로는 한계가 존재하며, 다른 차원의 대중교통이동성 지표에 대한 연구가 필요하다.

第 IV 章 서울시 여건에 부합하는 분석지표개발

제 1 절 서울시 대중교통체계 여건변화의 반영

제 2 절 분석지표의 개발

제 3 절 복합교통망 구축방안

제 4 절 복합교통망 분석알고리즘

제IV장 서울시 여건에 부합하는 분석지표개발

- 본 장에서는 서울시 대중교통체계개편에 따른 정책평가에 적합한 대중교통이동성분석지표를 제안하고 제안된 지표의 컴퓨터 프로그램 계산을 위한 네트워크 분석기법 및 알고리즘을 개발 검토한다.

제1절 서울시 대중교통체계 여건변화의 반영

- 서울시는 올해 7월 버스체계개편을 시행하였다. 버스체계개편의 중심 내용은 서울시의 승용차이용에 의한 교통혼잡문제의 해결과 대중교통지향적인 교통체계를 구축하기 위하여, 준공영제의 도입, 시간선체계의 도입, 통합거리비례요금제 도입, 중앙버스전용차로제의 추진 등이 있다.
- 서울시의 대중교통체계개편 정책을 포함하여 평가가 가능하도록 이들 정책과 관련하여 대중교통이동성 지표가 갖추어야 할 부가적인 조건들에 대하여 분석한다.

1. 버스운영체계 준공영제 실시

- 버스운영체계에 대한 준공영제의 특징은 서울시가 버스노선을 관리하며 버스업자는 버스운영권을 한시적으로 운영한다는 개념으로, 버스업자운영에서 발생하는 손실에 대해서는 시가 최소운영비용을 부담한다는 것이다. 이 정책으로 기존의 개별사업자의 노선경쟁에서 발생하는 노선집중현상을 완화하고 대중교통사각지대에 대해서는 특별하게 대중교통서비스를 공급하기 위한 정책의 기반이 조성되었다.
- 준공영제의 도입은 대중교통의 공공성을 고려하여 대중교통 이용자에게 서비스를 보다 균형 있게 제공할 수 있다는 데 의의가 있다. 따라서 대중교통이동성 지표가 준공영제 도입의의를 반영하기 위해서는 시스템차원에서 균형적인 대중교통서비스가 제공되는지에 대한 평가가 가능해야 한다.

2. 버스체계의 지·간선체계 도입

- 중앙버스전용차로제와 함께 지간선체계의 도입은 대중교통의 속도를 증진시키고 노선의 굴곡을 줄여 실제적인 대중교통의 통행시간을 단축시키는데 기여함으로써 대중교통의 이용자의 이동성은 크게 향상되었을 것으로 기대되고 있다.
- 대중교통이동성은 이와 같이 서울시의 대중교통의 노선체계와 대중교통시설의 개편이 지역간 대중교통 이용자측면에서 이동성에 얼마나 많은 영향을 미쳤는지 평가할 수 있는 지표가 될 수 있어야 한다.

3. 통합거리비례요금제의 도입

- 통합거리비례요금제에 따른 합리적인 요금부과정책을 수행하기 위해 서울시는 버스와 지하철의 대중교통수단을 통합한 요금체계를 적용하였다. 사용자는 대중교통을 이용 할 때 단일수단의 요금체계보다 통행수단의 상호의존성에 대한 정책적 의미를 중시하게 되었다.
- 대중교통수단의 통합적인 구축으로 대중교통이동성지표도 이와 같은 통합교통망에 적용 가능한 지표로서 설명되도록 제시되어야 하며, 기존의 단일교통망 위주로 제시되었던 한계점을 극복하는 네트워크 분석방법의 적용이 필요하다.

4. 대중교통지향적 개발관점의 조성

- 과거 승용차 위주의 교통정책으로 도시는 교통체증과 증가되는 차량으로 도심 환경의 황폐화 등에 의한 생존권 위협을 방어하기 위한 정책이 절실했다. 최근 도시가 지속적으로 생존과 성장이 가능한 장으로 유지되도록 도시의 지속가능성을 확보하기 위한 대중교통지향 정책(Transit-Oriented Policy) 교통정책 및 행정의 핵심적인 사상으로 자리잡아가고 있다.
- 대중교통이동성 지표는 이러한 지속가능 대중교통정책을 지원하고 평가하기 위하여 도시민이 대중교통수단 이용을 유도하는 정책과 유도하지 못하는 이유에 대해서 올바른 평가가 이루어 질 수 있도록 반영되는 것이 요구된다.

제2절 분석지표의 개발

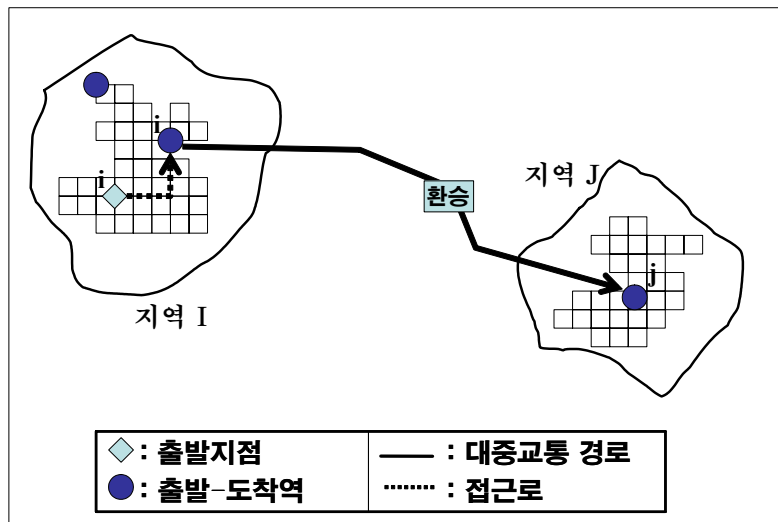
1. 분석지표의 개발방향

- 본 연구는 기존의 국내외 사례연구를 통하여 지표의 개발방향을 설정하기보다는 사례연구를 참조하고 현재 진행되고 있는 대중교통개편 및 우선정책을 평가할 수 있는 대중교통이동성분석지표를 개발한다.
- 이를 위해 우선 다음의 질문인 “두 A와 B지역을 통행하기 위하여 승용차를 이용하지 않고 왜 대중교통을 이용하는 가?”에 대한 해답에서 지표의 개발방향을 설정할 수 있다고 판단된다.
- 대중교통의 이용동기를 묻는 질문에 가장 적절한 대답은 “A와 B의 대중교통이 승용차에 비하여 통행비용(통행시간을 포함)에서 경쟁력이 있기 때문”이라고 대답하는 것이 가장 합리적인 해답이라고 본 연구에서는 단정한다.
- 위해 해답으로 지역 간 대중교통이용은 승용차 통행비용에 대해 대중교통수단을 이용하는 경우에도 어느 정도 경쟁력을 확보해야 함을 나타내며, 따라서 가장 기본적인 지표의 접근방법은 기존에 국내외 사례연구에서도 제시되었던 통행시간 굴곡도인 “승용차통행시간대비 대중교통통행시간”이다.
- 위의 접근방법이 제공하는 분석지표로서의 장점은 지역 간에 존재하는 격차에 대하여 모든 대중교통수단을 이용하는 동기를 승용차의 이용과 비교하는 절대적 평가기준을 제공한다는 것이다.
- 위의 승용차이용에 대한 비교의 절대적 평가기준을 통하여 제시된 대중교통이동성 분석지표로서 지역에 대한 대중교통서비스의 균형적 배분에 여부에 대한 평가, 대중교통체계개편에 의한 대중교통이동성의 증진여부의 평가, 대중교통서비스 개선을 위한 노선의 신설, 폐지, 변경 등에 대한 평가가 가능하도록 지표가 확장되도록 한다.
- 본 연구에서는 대중교통의 이동성을 승용차와 비교한다는 전제 하에 3가지 지표가 복합대중교통망에 다각적인 분석으로 활용되도록 한다. 여기서 3가지 분석

지표는 1) 두 지역 간에 존재하는 대중교통시설에 대한 이동성 평가, 2) 두 지역 간에 대중교통시설까지의 접근성을 포함한 이동성 평가, 3) 두 지역 간의 대중교통서비스제공수준을 평가에 활용될 수 있도록 한다.

2. 분석지표의 기본 상(像)

- 따라서 본 연구에서 제안하는 지표는 지점 대 지점(point-to-point;노드, 역)의 개별지표를 기반으로 지역지표(area-to-area;동, 구, 특정지역)까지 확장되며, 위에서 설명하였듯이 대중교통이동성 분석지표의 기본적인 상은 통행시간 굴곡도이다. (<그림 4-1>).



<그림 4-1> 분석지표의 기본개념도

- 개별지표는 지역 I에서 지역 J까지 대중교통 서비스가 제공될 때, i역(또는 출발 지점)에서 j역까지의 대중교통의 이동성(통행시간)이 승용차의 이동성(통행시간)에 얼마만큼의 경쟁력을 가지는가를 나타낼 수 있다.

$$M_{ij} = \frac{PTM_{ij}}{CM_{ij}}, \quad M_{ij} = \frac{PTM_{ij}}{CM_{ij}} = \frac{S_{ij}(T_{ij}) + W_{ij}}{CM_{ij}}$$

여기서,

M_{ij} : i에서 j까지의 이동성 지표

PTM_{ij} : i에서 j까지 대중교통 이동성

CM_{ij} : i에서 j까지 승용차 이동성

$S_{ij}(T_{ij})$: 대중교통 통행시간(환승시간)

W_{ij} : 대중교통 접근시간(도보 등)

- 이를 지역범위로 확장하여, coverage 개념⁵⁾을 적용하면, 지역 I에서 지역 J까지의 승용차 대비 대중교통의 경쟁력을 지점과 지점의 연결을 평균화된 개념으로 제시할 수 있다.

$$M_{IJ} = \frac{\sum_i \sum_j \frac{PTM_{ij}}{CM_{ij}}}{\sum_i \sum_j 1} \quad \forall i, j; i \in I, j \in J$$

여기서,

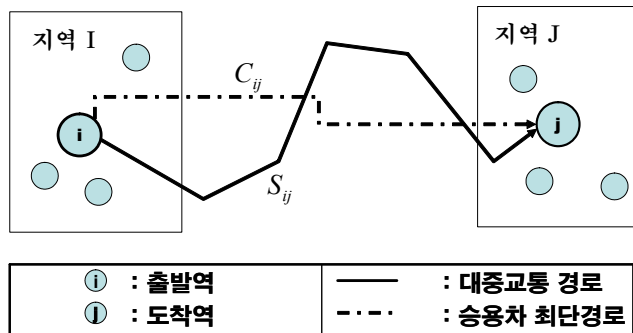
M_{IJ} : 지역 I에서 지역 J까지의 이동성지표

$\sum_i \sum_j 1$: i와 j가 연결되어있으면 1

5) coverage개념은 단위면적당 시설물 등의 점유면적 또는 수이다. 본 연구에서는 지역 간 역 또는 출발지점 쌍(pair)으로 나타내었다.

3. 지표 1 : 대중교통시설 간의 이동성 분석지표

- 지표1은 대중교통시설 간의 이동성을 의미하는 것으로 두 대중교통시설 간의 승용차의 최단통행시간 대비 대중교통의 최단통행시간으로 나타난다.
- 이 지표는 대중교통시설 간(예를 들면, 역과 역)에 이동성 비교를 통하여 대중교통노선의 효율성을 진단하고, 두 지점간의 연결노선의 추가여부 등의 결정에 활용될 수 있다.
- <그림 4-2>처럼 역-역, 또는 정류장-정류장, 역-정류장간의 대중교통시설 간의 연결에 근거한 지표1에 대하여 나타내고 있다.



<그림 4-2> 지표 1의 도식화

- 지표1의 개별지표와 지역지표는 다음과 같다:

- 개별지표

$$M_{ij} = \frac{S_{ij}(T_{ij})}{C_{ij}}$$

- 지역지표

$$M_{IJ} = \frac{\sum_i \sum_j \frac{S_{ij}(T_{ij})}{C_{ij}}}{\sum_i \sum_j 1}$$

여기서,

M_{ij} : i에서 j까지의 이동성 지표

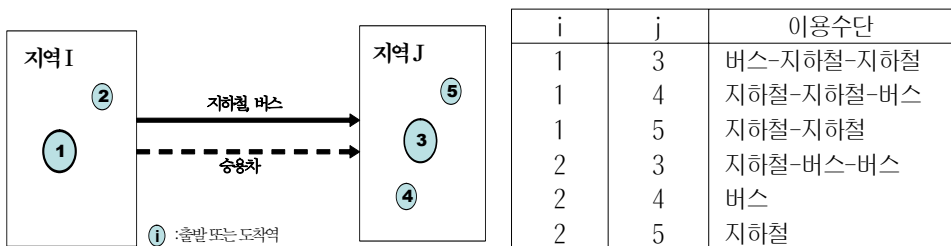
M_{IJ} : 지역 I에서 지역 J까지의 이동성지표

$S_{ij}(T_{ij})$: 대중교통 통행시간(환승시간)

C_{ij} : i에서 j까지의 승용차 통행시간

$\sum_i \sum_j 1$: i와 j가 연결되어있으면 1

- 지표1은 대중교통망의 추가노선의 개발 또는 노선폐지로 인하여 발생하는 대중교통망의 이동성 또는 연결성의 저하 정도를 파악할 수 있으며, 또한 지역 간에 존재하는 대중교통시설의 이동성을 통하여 간접적으로 두 지역의 이동성을 평가하기 위하여 활용된다.
- 지표1의 수치는 1에 근접할수록 승용차의 이동성에 근접하며, 작을수록 이동성이 양호하다고 해석되며, 특히 1보다 작으면 승용차에 대비하여 대중교통시설의 경쟁력이 있다고 할 수 있다.
- 예로서, <그림4-3>에서 두 지역I와 J에서, I지역에는 2개의 대중교통시설이, J지역에는 3개의 대중교통시설이 존재하며, 최단경로탐색으로 산출된 각 역간 이용수단이 <그림4-3>의 우측에 나타나 있다.
- 여기서 i, j는 대중교통시설, 즉 출발역(또는 정류장)과 도착역(또는 정류장)이고, 버스로 환승할 경우에는 7분, 지하철로 환승할 경우에는 3분의 추가시간이 필요하다고 가정하자.



<그림 4-3> 지표 1의 예

- 지역I에서 지역J까지의 대중교통시설을 기준으로 한 대안노선은 총 6개이고, 각 노선에 대한 수단별 최단통행시간과 이에 대한 지표1의 값은 <표4-1>과 같다.

<표 4-1> 지표 1의 예제 결과

지역 I	지역 J	통행시간(분)				개별지표	지역지표
		승용차	대중교통				
i	j		총	환승	차내통행		
1	3	18	30	10	20	1.67	1.44
1	4	21	33	10	23	1.57	
1	5	17	28	3	25	1.65	
2	3	24	38	14	24	1.58	
2	4	21	25	0	25	1.19	
2	5	20	20	0	20	1.00	

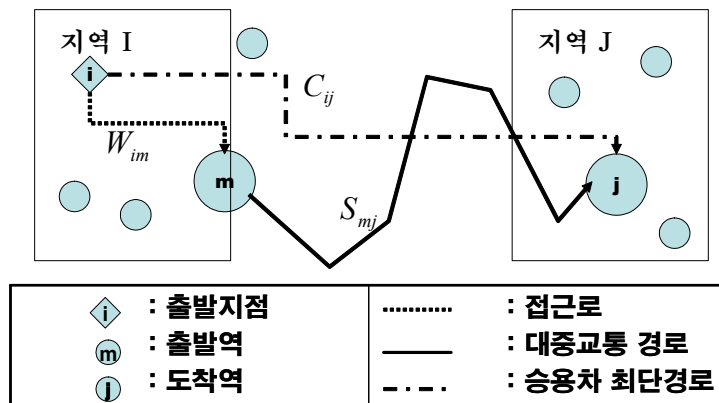
- 개별지표 값을 살펴보면, 지역I에 지역J로 대중교통을 이용하여 통행하면 1역(또는 정류장)에서 3역(또는 정류장)까지의 이동성이 가장 낮은 수치를 보인다. 그리고 2역에서 5역까지는 1.00의 지표 값으로 승용차의 통행시간과 거의 동등한 대중교통시설 이동성이 제공된다.
- 지역지표의 수치는 1.44⁶⁾로서 총 6개 연결노선에 대한 평균값이다. 이 값은 지역I에서 지역J까지 대중교통시설에 대한 승용차대비 경쟁력을 의미하며, 대중교통을 이용할 경우 두 지역 간에 승용차대비 평균 44%의 추가적인 통행시간이 필요함을 의미한다.

4. 지표 2 : 접근성을 포함한 대중교통이동성 분석지표

- 지표2은 출발지에서 대중교통시설까지의 접근성(접근통행시간)을 포함한 이동성을 의미하는 것으로 두 지점 간의 승용차의 최단통행시간 대비 대중교통의 최단통행시간으로 나타난다.

6) $1.44 = (1.67 + 1.57 + 1.65 + 1.58 + 1.19 + 1.00) / 6$

- 대중교통을 이용하여 목적지까지 도달하기 위해서 이용자는 대중교통서비스가 제공되는 장소, 즉 <그림4-4>에서 지하철 역 또는 버스 정류소까지의 거리를 통행하기 위한 보행시간이 필요하며, 이후 대중교통수단이 도착할 때까지의 대기시간이 소요된다.
- 대중교통시설에 접근하기 위해 소요되는 통행시간은 승용차와 달리 대중교통을 이용하기 때문에 추가적으로 발생하는 통행시간이다. 이와 같이 대중교통을 이용함으로써 발생하는 통행시간을 고려하면, 접근성까지도 포함된 이용자 관점에서의 실제적인 대중교통이동성의 평가가 가능하다.
- <그림4-4>에서 대중교통 이용자가 I지역의 출발지점에서 가장 인접된 역이나 정류장에 접근하여 J지역에 최단통행시간으로 통행하는 것을 나타내고 있다.
- I지역에 이용할 만한 대중교통시설이 존재하지 않는 경우를 생각한다면, 출발역은 지역 I내에 포함되지 않을 수 있으므로, 지표2로서 지역에 존재하는 대중교통시설의 Coverage개념도 측정할 수 있다.



<그림 4-4> 지표 2의 도식화

○ 지표2의 개별지표와 지역지표는 다음과 같다

- 개별지표

$$M_{ij} = \frac{W_{im} + S_{mj}(T_{mj})}{C_{ij}}$$

- 지역지표

$$M_{IJ} = \frac{\sum_i \sum_j \frac{W_{im} + S_{mj}(T_{mj})}{C_{ij}}}{\sum_i \sum_j 1}$$

여기서,

M_{ij} : i에서 j까지의 이동성 지표

M_{IJ} : 지역 I에서 지역 J까지의 이동성지표

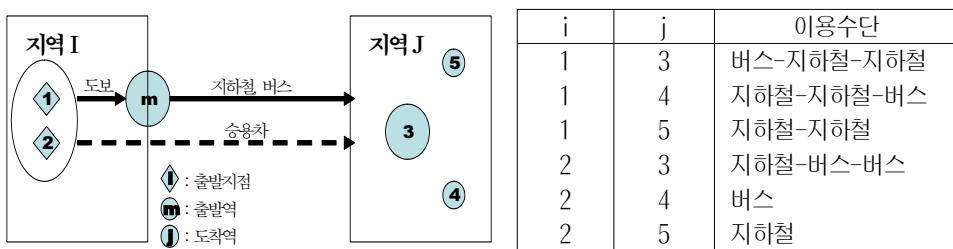
$S_{mj}(T_{mj})$: m에서 j까지 대중교통 통행시간(환승시간)

W_{im} : i에서 m까지 대중교통 접근시간(도보 등)

$\sum_i \sum_j 1$: i와 j가 연결되어있으면 1

- 지표2를 구현하기 위해서는 도로교통망의 승용차 통행시간과, 대중교통망(버스, 지하철) 자체에 대한 In-Vehicle 통행시간과 대중교통시설에 접근함으로써 발생하는 Out-Vehicle통행시간의 부분인 접근보행시간, 접근대기시간이 고려되어야 한다.
- 지표2는 대중교통시설의 이동성인 지표1의 개념을 확장하여 door-to-door 통행을 나타내기 위해 대중교통이용에 소요되는 최단통행시간을 승용차의 최단통행시간과 비교한 것으로서, 전술했듯이 Coverage개념을 확장하여 지역의 대중교통시설 기반에 대한 평가도 가능하다.

- 지표2는 값이 작을수록 접근성을 포함한 대중교통이동성이 양호함을 나타내며, 수요관리(Traffic Demand Management)를 위한 교통정책은 지표2가 1에 근접되도록 노력하는데 있다.
- 지표2의 예로서, <그림4-5>의 두 지역I와 J에서, 지역I에는 출발가능한 지점(노드)가 2개 존재하고, J지역에는 대중교통 역(또는 정류장)이 3개 존재한다. 최단경로탐색으로 산출된 출발지-도착역간 이용수단이 <그림4-5>의 우측에 나타나 있다.
- 여기서 i는 출발이 가능한 지점(네트워크에서는 일반노드로서 역 또는 정류장 포함한 일반노드)으로 정의되고, m, j는 대중교통시설로 출발역(또는 정류장)과 도착역(또는 정류장)이다. 두 지역을 통행하기 위한 환승시간으로 버스 7분, 지하철 환승은 3분의 추가적인 접근통행시간이 소요된다.



<그림 4-5> 지표 2의 예제

- 지역I에서 지역J까지의 출발지-도착역을 기준으로 나타난 대안노선은 총 6개이고, 각 노선의 수단별 최단통행시간과 지표2의 수치는 <표4-2>와 같다.

<표 4-2> 지표 2의 예제 결과

지역 I	지역 J	통행시간(분)					개별지표	지역지표
		승용차	대중교통					
			총	차내통행	환승	접근		
i	j							
1	3	19	35	10	20	5	1.84	1.67
1	4	23	41	10	23	8	1.78	
1	5	20	31	3	25	3	1.55	
2	3	24	40	14	24	2	1.67	
2	4	20	35	0	25	10	1.75	
2	5	25	35	0	20	15	1.40	

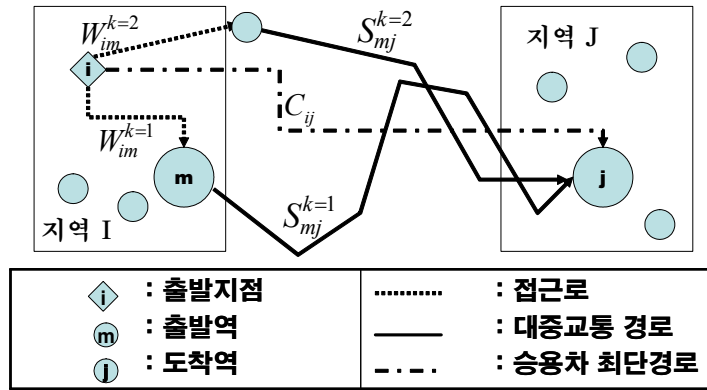
- 개별지표의 수치는 지역I에 지역J로 대중교통을 이용하여 통행하는 경우 출발지1에서 역3(또는 정류장)까지의 이동성이 가장 낮으며(1.84), 출발지 2에서 역5까지는 이동성지표는 1.40로 가장 높다. 1.40은 대중교통을 이용할 경우 승용차에 대해 접근시간(15)를 포함하여 40%의 추가시간이 소요되는 것을 의미한다.
- 지역지표의 수치는 개별지표의 평균값으로 1.67⁷⁾이며, 두 지역 간을 대중교통을 이용할 경우 평균적으로 접근통행시간을 포함하여 승용차대비 67%의 추가적인 통행시간이 필요함을 의미한다.
- 지표1의 결과(<표4-1>)와 비교할 경우 지역I에서 지역 J까지의 지역지표는 0.23 정도의 차이를 보이고 있어, 지표1과의 비교를 통한 접근통행시간에 대한 평가가 가능하다.
- 지역 K가 추가적으로 포함된다고 가정하자. 지역I에서 지역J까지의 (지표2-지표1)이 0.23이 되고, 지역I에서 지역K까지의 (지표2-지표1)이 0.60이 되므로, 지역I에서 지역K까지의 대중교통시설까지의 접근성이 지역I에서 지역J까지의 접근성에 비해 상대적으로 떨어진다는 것으로 해석된다.

5. 지표 3 : 대중교통 서비스제공수준 분석지표

- 지표3은 출발지에서 대중교통시설까지의 대중교통서비스가 제공되는 다수의 대중교통노선의 최소통행시간들을 최소통행시간에 대한 기여도로 환산하여 승용차의 최단통행시간과 비교한 것이다.
- 지표3에서는 출발지와 대중교통시설간에 제공되는 대중교통서비스가 얼마나 다양한가를 나타낸 것으로, 서비스의 다양성이 두 지역 간의 대중교통이동성과 대중교통기반으로 재 해석된 것이다.
- 대중교통 이용자에게 지하철, 버스 등의 단일 수단에 의해서 뿐 만 아니라 다수의 대중교통노선을 통해 노선 서비스가 제공되므로, 이처럼 이용자가 선택할 수 있는 서비스경로(또는 노선)의 다양성은 이동성의 제공수준과 직접적인 관련이 있다.

7) $1.67 = (1.84 + 1.78 + 1.55 + 1.67 + 1.75 + 1.40) / 6$

- <그림 4-6>은 지표3을 도식화한 예이며, 위의 지표2의 예인 <그림4-4>와 상이한 점은 지표2에 비하여 두 지점간을 연결하는 다수의 경로를 고려한다는 것이다. 즉 k=1인 경로(최단통행경로)는 지표2에서 제시된 최단경로와 동일하다.



<그림 4-6> 지표 3의 도식화

- 지표3의 개별지표와 지역지표는 아래와 같다.

- 개별지표

$$M_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_k [C_{ij} - (P_{ij}^k - C_{ij})]}$$

$$P_{ij}^k = W_{im}^k + S_{mj}^k (T_{mj}^k)$$

- 지역지표

$$M_{IJ} = \frac{\sum_i \sum_j \frac{C_{ij}}{\sum_k [C_{ij} - (P_{ij}^k - C_{ij})]}}{\sum_i \sum_j 1}$$

여기서,

k : 1부터 k 까지의 순차적인 순서를 나타내는 정수

M_{ij} : i 에서 j 까지의 이동성 지표

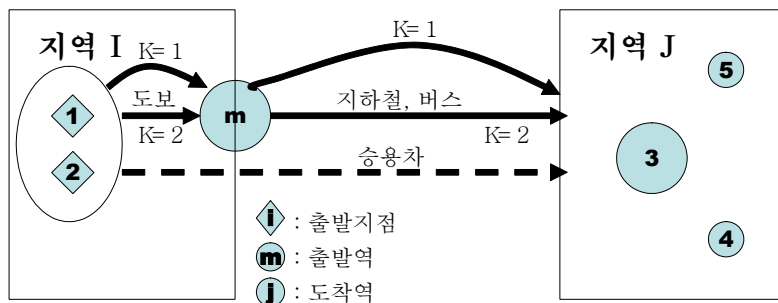
M_{IJ} : 지역 I 에서 지역 J 까지의 이동성지표

$S_{mj}^k(T_{mj}^k)$: m 에서 j 까지 k 번째 대중교통 통행시간(환승시간)

W_{im}^k : i 에서 m 까지 k 번째 대중교통 접근시간(도보 등)

$\sum_i \sum_j 1$: i 와 j 가 연결되어있으면 1

- 지표3은 이용자가 선택할 수 있는 노선 또는 경로의 수가 많다는 것은 이동성 제공 여건이 양호하며, 개별지표와 지역지표의 값은 0에 근접할수록 양호하다.
- <그림4-7>은 각 출발지에서 도착역까지 가능한 노선의 수가 모두 2개($k=2$)라고 가정하고 이용수단은 아래와 같다. 지표2와 동일하게 지하철로의 환승은 3분, 버스로의 환승은 7분의 추가시간이 소요된다.
- 지표2와 동일하게 i 는 출발 가능한 노드(일반노드로서 역 또는 정류장을 포함개념)이며, m, j 는 대중교통 시설, 즉 출발역(또는 정류장)과 도착역(또는 정류장)이다.



i	j	k	이용수단
1	3	1	버스-지하철-지하철
		2	지하철-버스
1	4	1	지하철-지하철-버스
		2	버스-버스
1	5	1	지하철-지하철
		2	지하철-버스
2	3	1	지하철-버스-버스
		2	지하철-버스-버스
2	4	1	버스
		2	버스-지하철
2	5	1	지하철
		2	지하철

<그림 4-7> 지표 3의 예제

- 지역I에서 지역J까지의 출발지-도착역을 기준으로 한 총 노선은 6개이고, 연결경로 ($k=2$)를 고려하면, 총 12개의 노선이 존재한다. 각 대안경로에 대한 수단별 최단통행시간과 지표3의 값은 <표4-3>와 같다.
- 출발지1 에서 도착역3까지의 다양한 대중교통 서비스 제공수준이 가장 낮고, 출발지2에서 도착역5까지의 서비스 제공수준이 가장 높은 것으로 나타났다.

<표 4-3> 지표 3의 예제 결과 1

지역 I	지역 J	대안경로 수 (k)	통행시간(분)					개별 지표	지역 지표
			승용차	대중교통					
				총	환승	차내통행	접근		
i	j								
1	3	1	19	35	10	20	5	6.33	2.69
		2	19	40	7	25	8		
1	4	1	23	41	10	23	8	2.88	
		2	23	43	14	22	7		
1	5	1	20	31	3	25	3	1.54	
		2	20	36	7	20	9		
2	3	1	24	40	14	24	2	2.18	
		2	24	45	14	26	5		
2	4	1	20	35	0	25	10	2.22	
		2	20	36	3	25	8		
2	5	1	25	35	0	20	15	0.96	
		2	25	39	0	19	20		

- 지표3에서 두 지점의 다수의 노선을 고려하는 것이나 이용자의 통행시간기여도 측면에서 고려할 때, 대중교통통행시간이 승용차에 비하여 매우 높은 노선의 기여한다고 볼 수 없는 경우가 존재한다. 본 연구에서 대중교통노선의 통행시간이 승용차 통행시간에 2배 이상인 경우에 대해서는 제외하도록 하였는데 이는 지역 간에 통행특성에 따라 다르므로 후속조치가 필요하다. 이러한 예는 출발지1에서 도착역3까지의 개별지표의 수치가 6.33의 높은 경우에 해당된다.
- 대중교통노선의 통행시간이 승용차 통행시간에 2배 이상인 경우는 <표4-4>에서 출발지1에서 도착역3까지의 개별지표의 분모($C_{ij} - (P_{ij}^k - C_{ij})$)가 2번째 경로(k=2)의 경우 음수가 되는데, 이는 통행시간비율(대중교통 통행시간/승용차 통행시간)이 2.00을 넘어서기 때문이다. 따라서, 출발지1에서 도착역3까지의 서비스 제공수준에 기여하는 노선경로는 2개가 아니라 1개임을 나타낸다.

<표 4-4> 지표 3의 예제 결과 2

지역 I	지역 J	대안경로 수 (k)	통행시간비	$C_{ij} - (P_{ij}^k - C_{ij})$
i	j			
1	3	1	1.84	3
		2	2.11	-2
1	4	1	1.78	5
		2	1.87	3
1	5	1	1.55	9
		2	1.80	4
2	3	1	1.67	8
		2	1.88	3
2	4	1	1.75	5
		2	1.80	4
2	5	1	1.40	15
		2	1.56	11

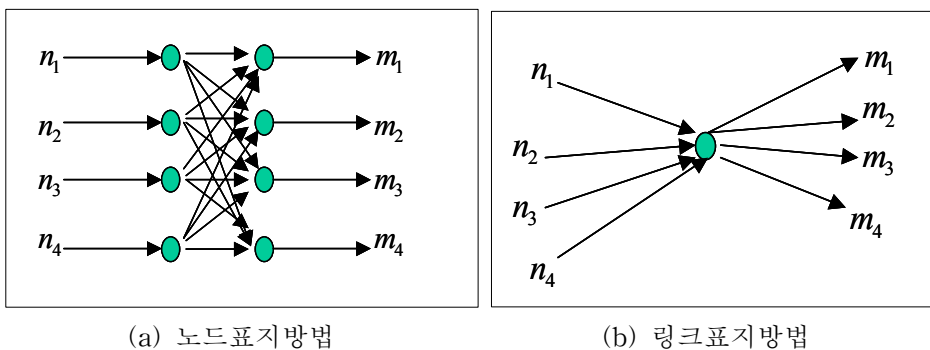
제3절 복합교통망 구축방안

1. 네트워크분석기법

- 본 연구는 승용차, 도보, 버스, 지하철로 구성된 복합교통망에 대한 분석을 위주로 진행한다. 본 절에서는 복합교통망 구축에 필요한 기법에 대하여 설명한다.

1) 환승지점의 표현

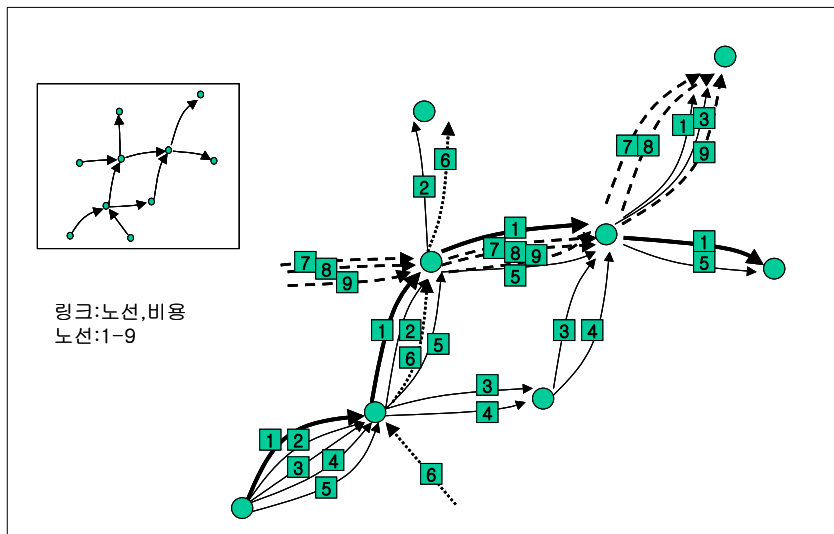
- 환승지점은 이용자가 수단을 변경하는 장소로 대중교통의 환승에는 접근시간과 대기시간이 소요되므로 환승에 대한 고려는 복합교통망 분석을 위해 필요하다.
- 본 연구에서는 복합교통망의 환승지점을 표현하기 위하여 노드에서 네트워크의 확장이 필요하지 않으면서 환승에서 발생하는 페널티(접근 및 대기시간)를 반영할 수 있는 “링크표지(link labeling)”기법 적용하였다. <그림4-8>은 “노드표지(node labeling)”와 “링크표지”로 환승지점을 표현한 것으로 각각의 수단 n_i , m_i 에 대하여 “링크표지”는 수단 간의 가상링크(Dummy Link)를 연결하지 않고 단일지점으로 나타난다.



<그림4-8> 표지방법

2) 복합교통망의 구축: 링크-수단 확장개념

- 복합교통망에서 단일 링크에 다수의 교통수단의 통행이 일반적이다. 본 연구에서는 단일링크에 통행하는 다수의 교통수단은 각 수단을 링크로 표현하는 링크-수단 확장개념을 적용하였다.
- <그림4-9>에서는 10개의 노드와 10개의 링크 및 9개의 노선으로 구축된 복합교통망을 링크-수단 확장기법으로 표현한 것이다.
- 링크를 수단으로 확장하면 링크의 속성에 이미 수단의 특성이 존재하므로 기존에 제시된 단일수단 네트워크분석기법으로 복합교통망에 대한 분석이 가능하다.



<그림 4-9> 통합교통망의 표현

제4절 복합교통망 분석알고리즘

- 본 연구에서 제시하는 3가지 지표를 계산하기 위해서, 승용차는 두 지점간 최소 통행시간 경로탐색과 대중교통은 도보, 버스, 지하철 간 복합수단의 선택을 고려한 최적경로 및 다수의 서비스 경로(노선)탐색이 필요하다.
- 본 절은 최소통행시간경로탐색과 다수의 서비스노선탐색에 대하여 언급한다.

1. 표식(notation)

- 두 탐색 알고리즘에 사용된 표식은 다음과 같다:

K : 최대 탐색경로 수.

p, q, k : 1부터 K 번째까지의 경로 중 개별경로를 나타내는 경로지수.

r, s, i, j : 노드, 특히 r, s 는 각각 출발지와 도착지.

a, b, e : 링크, 특히 e 는 시작노드가 출발지(r)인 링크.

n, m : 통행수단.

L : 링크집합.

Q : 탐색링크집합.

N : 노드집합.

M : 탐색노드집합.

Ξ : 네트워크 상에 포함되어 있는 통행수단집합

$\Gamma_a^+ (\Gamma_a^-)$: 링크 a 의 도착노드(출발노드)가 시작노드(도착노드)인 링크집합.

$\Gamma_r^+ (\Gamma_r^-)$: 출발지 r 이 시작노드(도착노드)인 링크집합.

c_a, c_{ij} : 링크 a (i, j) 의 거리(Km).

$c_{a,m}$: 링크 a 를 수단 m 으로 주행 시 통행비용.

d_{ab} : 링크 a 에서 b 로 통행 시 페널티.

p, k : 1부터 K 까지의 순서, 즉 $p, k = 1, \Lambda, K$.

d_{ab}^{mn} : 링크 a 를 m 수단으로 통행중 링크 b 에서 n 수단으로 환승 시 환승통행시간

π_k^{ri} : 출발지 r 에서 노드 i 까지 k 번째 최소통행시간

$\boldsymbol{\pi}^{ri}$: 출발지 r 에서 노드 i 까지의 K 개의 최소통행시간벡터

$$\boldsymbol{\pi}^{ri} = \{\pi_1^{ri}, \pi_2^{ri}, \Lambda, \pi_K^{ri}\}$$

π_k^{ra} : 출발지 r 에서 링크 a 의 도착지점까지의 k 번째 최소통행시간

$\boldsymbol{\pi}^{ra}$: 출발지 r 에서 링크 a 의 도착지점의 K 개의 최소통행시간벡터

$$\boldsymbol{\pi}^{ra} = \{\pi_1^{ra}, \pi_2^{ra}, \Lambda, \pi_K^{ra}\}$$

D_k^{ra} : 출발지 r 에서 링크 a 의 도착지점까지 경로 k 의 주행거리(Km).

\mathbf{D}^{ra} : 출발지 r 에서 링크 a 의 도착지점까지의 K 개의 주행거리벡터

$$\mathbf{D}^{ra} = \{D_1^{ra}, D_2^{ra}, \Lambda, D_K^{ra}\}$$

T_k^{ra} : 출발지 r 에서 링크 a 의 도착지점까지 경로 k 의 환승횟수

\mathbf{T}^{ra} : 출발지 r 에서 링크 a 의 도착지점까지의 K 개의 환승횟수벡터

$$\mathbf{T}^{ra} = \{T_1^{ra}, T_2^{ra}, \Lambda, T_K^{ra}\}$$

L^Ξ : 링크-수단 확장네트워크에서의 링크집합.

N^Ξ : 링크-수단 확장네트워크에서의 노드집합.

$G(L^\Xi, N^\Xi)$: L^Ξ, N^Ξ 로 구성된 교통망

$\Gamma_a^{\Xi+}(\Gamma_a^{\Xi-})$: $G(L^\Xi, N^\Xi)$ 에서 a 의 도착(출발노드)가 시작(도착노드)인 링크집합.

$\Gamma_r^{\Xi+}(\Gamma_r^{\Xi-})$: $G(L^\Xi, N^\Xi)$ 에서 출발지 r 이 시작(도착노드)인 링크집합.

2. 복합교통망에서 최적경로탐색알고리즘

- 지표1은 단일수단(승용차)의 최적경로탐색이, 지표2는 도보, 버스, 승용차로 구성된 복합교통망에서 최적경로탐색의 요구된다. 복합교통망은 단일수단 교통망의 일반화에 해당되므로 복합교통망에서의 최적경로탐색 알고리즘의 수행으로 지표1과 지표2에 적용이 가능하다.
- 복합교통망에서 최적통행시간경로에 대하여 환승지점에서 네트워크의 확장이 필요하지 않도록 링크표지로 구성된 최적식(Optimality)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\pi_n^{rb} &= \min\{\pi_m^{ra} + d_{ab}^{mn} + c_b^n, \forall a \in \Gamma_b^-, \forall m \in \Xi\}, \forall b \in L \setminus \Gamma_r^+; \forall n \in \Xi \\ \pi_n^{re} &= c_e^n, \forall e \in \Gamma_r^+; \forall n \in \Xi\end{aligned}$$

여기서 π_n^{rb} : 출발지 r 에서 링크 b 까지 수단 n 을 이용하여 도달한 최소통행시간

- 위의 최적식은 링크에 수단이 포함되어 있으므로 본 연구에서 제안한 링크-수단 확장기법을 적용하여 수단에 대한 고려가 필요하지 않은 최적식으로 구성하면 다음과 같다.

$$\pi^{rb} = \min \left\{ \pi^{ra} + d_{ab} + c_b, \forall a \in \Gamma_b^{\Xi-} \right\}, r; \forall b \in L^{\Xi} \setminus \Gamma_r^{\Xi+}$$

$$\pi^{re} = \min \left\{ c_e \right\}, r; \forall e \in \Gamma_r^{\Xi+}$$

여기서 π^{rb} : 출발지 r 에서 링크 b 까지 최소통행시간

- 링크표지기법과 링크-수단확장기법을 적용하여 최소경로탐색 알고리즘은 수단이 존재하지 않는 일반적인 알려진 링크기반 최적경로탐색 알고리즘을 수행하여 최소시간경로의 탐색이 가능하다. 링크표지확정에 근거한 최적경로알고리즘 (Dijkstra, 1959; Kerby & Potts, 1972; Oliver & Potts, 1972; Lee, 2004)은 다음과 같다.

Step 1 : 초기화

$$\pi^{ra} = \infty$$

$$\pi^{ra} = c_a$$

$$Q = Q \cup \{a\}$$

Step 2 : 다음탐색링크결정

$$\text{If : } Q = \emptyset : \pi^{ri} = \min \left\{ \pi^{ra}, \forall a \in B_i \right\}$$

종료

$$\text{Else : } \min \left\{ \pi^{ra}, \forall a \in Q \right\} \text{을 만족하는 } a \text{의 선정;}$$

$$Q = Q - \{a\}$$

Step 3 : 다음링크($a \rightarrow b$)로 확장

$$\text{If : } \pi^{ra} + d_{ab} + c_b < \pi^{rb} : \pi^{rb} = \pi^{ra} + d_{ab} + c_b ;$$

$$Q = Q \cup \{b\} ;$$

Go to Step 2;

$$\text{Else : Go To Step 2;}$$

3. 복합교통망에서 서비스경로탐색 알고리즘

- 다수의 노선서비스 경로를 탐색하는 알고리즘은 지표3을 계산하기 위한 것이다.
- 일반적으로 다수의 수단이 존재하는 복합교통망에서 다수의 경로를 탐색하는 최적식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
\pi_n^{rb} &= \mathcal{G}\left\{\min_K \left\{ \Pi_{mn}^{rab}, \forall a \in \Gamma_b^-, \forall m \in \Xi \right\}\right\}, \forall b \in L \setminus \Gamma_r^+; \forall n \in \Xi \\
\pi_n^{re} &= [c_e^n, \infty, \Lambda, \infty]^T, e \in \Gamma_r^+; \forall n \in \Xi \\
\Pi_{mn}^{rab} &= [\Pi_{mn1}^{rab}, \Pi_{mn2}^{rab}, \Lambda, \Pi_{mnK}^{rab}]^T \\
\Pi_{mnk}^{rab} &= \pi_{mk}^{ra} + d_{ab}^{mn} + c_b^n
\end{aligned}$$

여기서 π_n^{rb} : 출발지 r 에서 링크 b 의 도착지점까지 수단 n 을 이용하여 통행한 K 개의 순차적인 비용을 원소로 하는 통행비용벡터

$$\pi_n^{rb} = [\pi_{n1}^{rb}, \pi_{n2}^{rb}, \Lambda, \pi_{nK}^{rb}]^T$$

- 위의 최적식에는 다수의 수단이 포함되어 있으므로 링크-수단확장기법을 적용하여 단일수단으로 표현된 다수경로탐색 최적식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
\pi^{rb} &= \mathcal{G}\left\{\min_K \left\{ \Pi^{rab}, \forall a \in \Gamma_b^{\Xi-} \right\}\right\}, \forall b \in L^{\Xi} \setminus \Gamma_r^{\Xi+} \\
\pi^{re} &= [c_e, \infty, \Lambda, \infty]^T, \forall e \in \Gamma_r^{\Xi+} \\
\Pi^{rab} &= [\Pi_1^{rab}, \Pi_2^{rab}, \Lambda, \Pi_K^{rab}]^T \\
\Pi_k^{rab} &= \pi_k^{ra} + d_{ab} + c_b
\end{aligned}$$

이 경우 π^{rb} : 출발지 r 에서 링크 b 의 도착지점까지 K 개의 순차적인 비용을 갖는 경로비용벡터 $\pi^{ra} = [\pi_1^{ra}, \pi_2^{ra}, \Lambda, \pi_K^{ra}]^T$

- 링크표지기법과 링크-수단확장기법을 적용하여 다수경로경로탐색 알고리즘은 수단이 존재하지 않는 일반적인 알려진 링크기반 최적경로탐색 알고리즘을 수행하여 최소시간경로의 탐색이 가능하다. 링크표지갱신에 근거한 최적경로알고리즘(Shier, 1979; Ziliascopolos, 1997; Lee, 2004)은 다음과 같다.

Step 1 : 초기화

$$\begin{aligned}\pi^{ra} &= \{\infty, \infty, \Lambda, \infty\}, \forall a \in L^{\Xi} \\ Q &= \{\} \\ \mathbf{D}^{re} &= \{D_e, 0, \Lambda, 0\}, \forall e \in \Gamma_r^{\Xi+} \\ \mathbf{T}^{re} &= \{T_e, 0, \Lambda, 0\}, \forall e \in \Gamma_r^{\Xi+} \\ \pi^{re} &= \{c_e, \infty, \Lambda, \infty\}, \forall e \in \Gamma_r^{\Xi-} \\ Q &= Q \cup \{e\}, \forall e \in \Gamma_r^{\Xi+}\end{aligned}$$

Step 2 : 다음탐색링크결정

$$\begin{aligned}\text{If } (Q = \{\}): \pi^{ri} &= \mathcal{G}\{\min_{\mathbf{K}}\{\pi^{ra}, \forall a \in \Gamma_i^{\Xi-}\}\}, \forall i \in N^{\Xi} \\ \mathbf{D}^{ri} &= \mathcal{G}\{\text{same}_{\mathbf{K}}\{\pi^{ra}, \forall a \in \Gamma_i^{\Xi-}\}\}, \forall i \in N^{\Xi} \\ \mathbf{T}^{ri} &= \mathcal{G}\{\text{same}_{\mathbf{K}}\{\pi^{ra}, \forall a \in \Gamma_i^{\Xi-}\}\}, \forall i \in N^{\Xi} \\ &\text{Stop} \\ \text{Else} : a &= \xi\{\min_{\mathbf{K}}\{\pi^{ra}, \forall a \in Q\}\} \\ Q &= Q - \{a\}, \forall a \in Q\end{aligned}$$

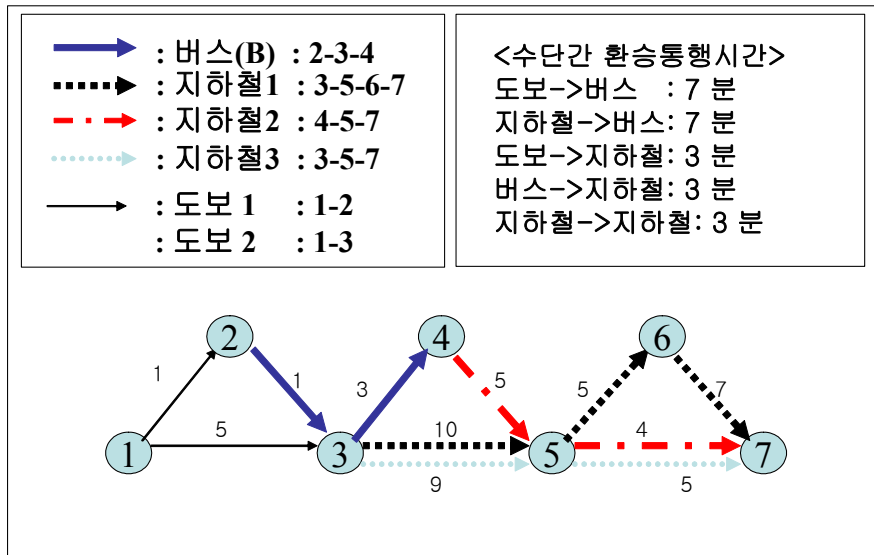
Step 3 : 다음링크($a \rightarrow b$)로 확장

$$\begin{aligned}\pi^{rb} &= \mathcal{G}\{\min_{\mathbf{K}}\{\Pi_k^{rab}, \forall k\}\}, \forall b \in \Gamma_a^{\Xi+} \\ \mathbf{D}^{rb} &= \mathcal{G}\{\text{same}_{\mathbf{K}}\{D_k^{rab}, \forall k\}\}, \forall b \in \Gamma_a^{\Xi+} \\ \mathbf{T}^{rb} &= \mathcal{G}\{\text{same}_{\mathbf{K}}\{T_k^{rab}, \forall k\}\}, \forall b \in \Gamma_a^{\Xi+} \\ &\text{Goto Step 2}\end{aligned}$$

- 다수경로탐색 알고리즘을 본 연구의 서비스 노선탐색에 직접 적용하기에는 알고리즘의 특성상 무리가 존재한다. 일반적으로 다수경로는 이미 탐색된 링크나 경로도 포함될 수 있다는 가정을 기반으로 하나, 서비스 노선을 탐색하는 경우에는 이미 탐색된 노선은 포함되지 않아야 한다.
- 따라서 본 연구에서는 다수경로에서 이미 탐색된 서비스경로는 탐색에서 제외하는 기법을 위에서 제시된 알고리즘에 포함하였다. 이와 관련된 연구는 탐색된 경로에 포함되는 링크에는 Overlapping Penalty를 부과하는 방안이 대표적인 바(Park, 1996; Lim, 2004), 본 연구는 이와 관련연구의 내용을 포함하여 다수경로탐색에서 발생하는 서비스노선의 중복문제를 보완하였다. 이와 관련된 내용은 Overlapping Penalty를 포함하는 아래의 예제를 통하여 설명한다.

4. 알고리즘의 예제

- 위의 알고리즘을 이해하기 용이하게 <그림 4-10>의 간단한 네트워크로서 이해한다.



<그림 4-10> 알고리즘 적용 예

- <그림 4-10>의 네트워크는 총 12개의 링크와 7개의 노드로 구성되었고, 버스(B) 1개 노선, 지하철(S) 3개 노선, 역까지의 도보(W)가 2개 존재하는 통합교통망이다. 각 링크 위의 숫자는 통행시간 및 통행거리를 나타낸다.
- 출발지는 1번 노드이고 도착지는 7번 노드이다. 그리고 대중교통 수단을 이용하기 위해서는 2번 노드와 3번 노드만 가능하다. 환승은 2, 3, 4, 5번 노드에서 가능하다.
- 경로중복에 대한 Overlapping Penalty는 다수경로를 탐색시 설정한 중복수준만큼 허용하며, 다음경로 탐색시 설정된 중복수준을 넘지 않는 경로 만 탐색되도록 한 것이다.
- 예를 들어, Overlapping Penalty를 80%(0.8)라 가정하면, 탐색된 링크통행시간에 80%만큼 Overlapping Penalty 1.25를 곱하여, 이 탐색된 링크로 다시 통행할 경우, 1.25배의 통행시간이 소요된다.

- <그림 4-10> 네트워크에 대한 3번째 탐색된 노선경로를 예시하면 <표 4-5>와 같다. 첫 번째 경로는 4개의 경로 중 가장 긴 통행거리를 갖지만, 환승횟수(또는 환승시간)이 적어 가장 빠른 경로로 제시되었다.
- <표 4-5>에서 실제 탐색된 경로는 (a)이다. 4번째 경로의 경우 총통행시간이 3번째 경로보다 빠르지만, 1번째 경로와 비슷한 경로로 탐색되어(경로페널티가 적용되어), (b)처럼 3번째 경로통행시간보다 오히려 느린 경로로 인식되어 서비스경로에는 포함되지 않을 수 있다.

<표 4-5> 서비스 경로 탐색결과(k=3 까지만 적용, Overlapping Penalty 0.8)

(a) 경로페널티가 부과되어 탐색된 경로 (b에 근거한 경로탐색)

경로 순서 (k)	통행시간(분)				통행 거리 (km)	환승 횟수 (회)	경로 목적지←수단←출발지
	총통행 시간	접근 시간	환승 시간	운행 시간			
1	22	5	3	14	19	1	7←S3←5←S3←3←W2←1
2	24	1	10	13	14	2	7←S2←5←S2←4←B←3←B←2←W1←1
3	25	5	6	14	19	2	7←S2←5←S1←3←W2←1
4	24	1	10	13	14	2	7←S2←5←S3←3←W2←1

(b) 경로페널티가 초과되어 나타난 통행비용

경로 순서 (k)	통행시간(분)				통행 거리 (km)	환승 횟수 (회)	경로 목적지←수단←출발지
	총통행 시간	접근 시간	환승 시간	운행 시간			
1	22	5	3	14	19	1	7←S3←5←S3←3←W2←1
2	24	1	10	13	14	2	7←S2←5←S2←4←B←3←B←2←W1←1
3	26	5	6	15	19	2	7←S2←5←S1←3←W2←1
4	26.25	5	6	15.25	18	2	7←S2←5←S3←3←W2←1

第 V 章 사례연구 및 활용방안

제 1 절 복합교통망 구축 및 활용

제 2 절 대중교통 노선망의 이동성 지표 사례연구

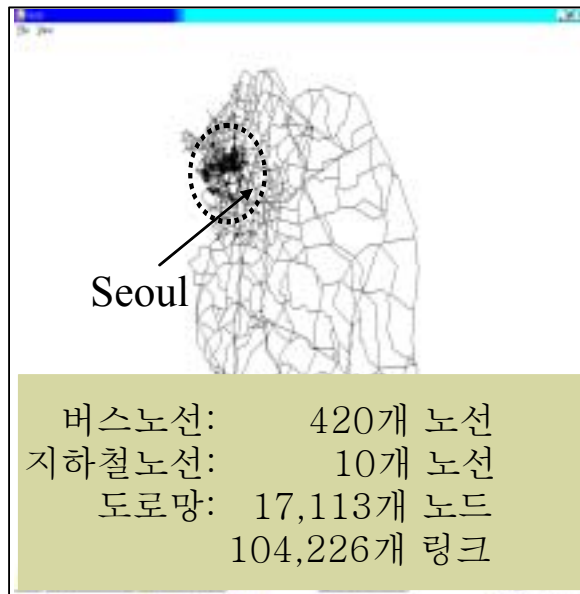
제 3 절 지표를 활용한 대중교통 노선 투자모형

제V장 사례연구 및 활용방안

- 본 장에서는 사례연구를 통해 본 연구에서 제시된 3개의 지표가 어떻게 대중교통정책에 활용될 수 있는가에 대하여 검토한다.

제1절 복합교통망 구축 및 활용

- 적용된 복합교통망은 서울시와 수도권 지역까지 포괄하는 버스, 지하철, 승용차, 도보, 환승 등도 포함하는 복합교통망으로 구축되었다.
- 본 연구에 적용된 네트워크는 2002년을 기준으로 센서스 조사를 위해 이미 구축되었던 emme/2 네트워크자료에 서울시의 420여개의 버스노선을 포함한 네트워크이다.
- emme/2 네트워크자료는 총 17,113개의 노드와 42,183개의 링크로 구성되어있으며 교차로에서 발생하는 회전금지와 회전방향까지 자세하게 구축되어 있으며, 노드번호정보를 통하여 노드가 위치하는 시, 구, 동까지도 구분이 가능하도록 별도의 정보도 포함되어 있다.
- 본 연구에서 적용한 링크-수단확장기법에 의하여 링크를 통과하는 버스 420개 노선을 개별링크로 처리한 결과 총 링크개수가 104,226까지 확장되었다. 지하철 10개 노선지하철은 이미 단일링크로 구축되어 있기 때문에 별도의 링크-수단확장이 요구되지 않는다.



<그림 5-1> 복합교통망 구축범위

- 아래의 <표 5-1>은 출발 및 도착노드가 각각 104223과 144001인 링크가 5개의 버스노선 1134, 1135, 1147, 1221, 1224이 통과하는 링크로 확장되어 총 6개의 링크로 분리되어 있음을 볼 수 있다. 이때 기존의 emme/2 링크는 승용차(a)와 도보(p)로만 통행이 가능하도록 재정의 된다.
- 노드에서 발생하는 회전정보는 기존의 emme/2 자료구조를 그대로 적용하였다.

<표 5-1> 활용된 네트워크의 자료구조

emme/2	링크특성							
		출발노드	도착노드	통행거리	통행수단	기타속성		
기존	a	104223	144001	0.22	apbuclmr	50	2.0	9 1320
확장	a	104223	144001	0.22	ap	50	2.0	9 1320
	a	104223	144001	0.22	b+1134+G	50	2.0	9 1320
	a	104223	144001	0.22	b+1135+G	50	2.0	9 1320
	a	104223	144001	0.22	b+1147+G	50	2.0	9 1320
	a	104223	144001	0.22	b+1221+G	50	2.0	9 1320
	a	104223	144001	0.22	b+1224+G	50	2.0	9 1320

- 본 연구에서 구축된 복합교통망은 매우 복잡한 통행행태를 표현하고 있다. 특히 매우 많은 다수의 수단이 존재하므로 발생하는 통행시간과 교차로나 정류장의 통행행태에 대한 면밀한 고려가 요구된다.

1) 통행시간의 가정

- 각 이동성 지표의 측정단위는 통행시간을 기반으로 하나, 필요에 따라서는 통행 거리, 통행속도 등도 이동성의 설명에 포함한다.
- 통행시간은 링크거리를 각 수단의 통행속도로 나눈 값으로, 승용차와 대중교통(지하철과 버스)의 통행속도를 각각 다르게 적용하여, 각 수단의 링크통행시간을 산출할 수 있다.
- 본 연구에서는 가상적으로 오전첨두시간(7:00-9:00)을 대상으로 하였으나, 통행시간은 시간대와 장소별로 매우 상이하므로 보다 정확한 예측을 위해서는 시간대와 장소별로 정확한 통행속도의 측정자료가 요구된다.
- 통행시간은 일반적으로 도로의 위계 또는 구분에 따른 버스, 지하철, 승용차, 도보의 평균통행속도로 환산되므로 본 연구에서는 <표 5-2>와 같이 설정하였다.
- <표 5-2>의 가상적으로 본 연구에서 적용한 수단통행속도를 나타내는 것으로, 버스수단의 통행속도는 2002년 기준으로 적용되었기 때문에 최근 서울시에서 추진하고 있는 “버스중앙전용차로제”는 고려대상에서 제외하였으나, emme2링크자료와 버스노선자료의 재 입력을 통하여 버스의 속도를 보정함으로서 고려가 가능하다.

<표 5-2> 모형구축에 적용된 평균통행속도

링크구분	수단의 통행속도(Km/h)			
	버스	승용차	도보	지하철
고속도로	35	35	4	-
간선도로	30	30	4	-
보조간선도로	15	15	4	-
일반도로	10	15	4	-
램프	10	10	4	-
국도	15	10	4	-
지방도	15	15	4	-
시군도	15	15	4	-
환승 또는 도보	-	-	4	-
지하철, 철도	-	-	-	30

2) 환승통행시간

- 승용차의 경우 출발지에서 탑승하여 도착지점까지 계속 주행하므로 In-Vehicle 통행시간만 존재한다.
- 그러나 대중교통은 아래 <표 5-3>과 같이, 출발지에서 대중교통 역까지 접근하는 접근시간(Access Time), 탑승하고자 하는 차량이 도착할 때까지 대기시간(Waiting Time), 목적지까지 차내시간(In-Vehicle Time), 다른 대중교통수단으로 환승시 환승이동시간(Transfer Time) 및 환승대기시간(Transfer Waiting Time), 목적지까지의 접근시간(Access Time)으로 복잡하게 구분된다.

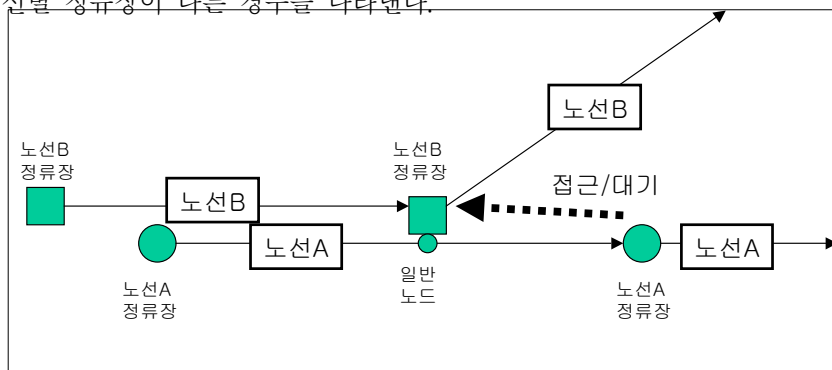
<표 5-3> 모형에서의 대중교통특성 고려방법

대중교통		승용차
시간구분	이용수단	
접근시간	도보	차내통행시간
대기시간	대기페널티	
환승이동시간	도보	
환승대기시간	환승페널티	
차내통행시간	대중교통	

- 도보와 차내통행시간은 수단의 구분에 따른 통행속도에 의해 산정이 가능하나, 대중교통 이용시 노드에서 발생하는 대기시간과 환승대기시간은 통행속도로 산정할 수 없다.
- 본 연구에서는 대기시간과 환승대기시간을 각각 대기페널티와 환승페널티로 구분하였으나, 대기페널티와 환승페널티를 하나의 (대기+환승)페널티로 구성하였다.
- 대기나 환승은 대중교통의 배차간격에 의해 영향을 받기 때문에 대기시간과 환승대기시간을 하나의 값으로 제시할 수 있다. 본 연구에서는 버스 (대기+환승)페널티는 7분, 지하철 (대기+환승)페널티는 3분으로 가정하였다.
- 일반적인 대중교통통행은 이러한 대기시간이 통행행태에 크게 영향을 미치므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요하나, 본 연구에서는 일반적으로 가정할 수 있는 값으로 한정하였다.

3) 환승통행행태

- 버스와 지하철은 개별 노선에 포함된 노드에 모두 정차하지 않는다. 즉 정류장을 통과하는 모든 노선이 그 정류장에 모두 정차하지 않는다는 것이다. 따라서 어떤 대중교통노선에서 하차하여 다른 대중교통노선으로 승차하기 위해서는 다음을 고려해야 한다.
- <그림 5-2>는 동일한 링크 상에 노선 A와 노선 B가 공동으로 존재하나 각 노선별 정류장이 다른 경우를 나타낸다.



<그림 5-2> 복합교통망에서의 환승통행행태

- 이와 같이 동일 링크의 대중교통 노선에서 역간 승하차가 일치하지 않는 경우, 도보로서 접근할 수 있도록 구축하였다.
- 위의 예를 기반으로 승용차 통행시간과 대중교통 통행시간을 최적경로알고리즘 내에서 고려하기 위해, 출발지에서 접근하여 두 개의 링크로 확장하여 탐색하는 최적식을 재 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \pi^{rb} &= \min \left\{ \pi^{ra} + d_{ab1} + d_{ab2} + d_{ab3} \Lambda + c_b, \forall a \in \Gamma_b^{\Xi-}, r; \forall b \in L^{\Xi} \setminus \Gamma_r^{\Xi+} \right\} \\ \pi^{re} &= \min \left\{ c_e \right\}, r; \forall e \in \Gamma_r^{\Xi+} \end{aligned}$$

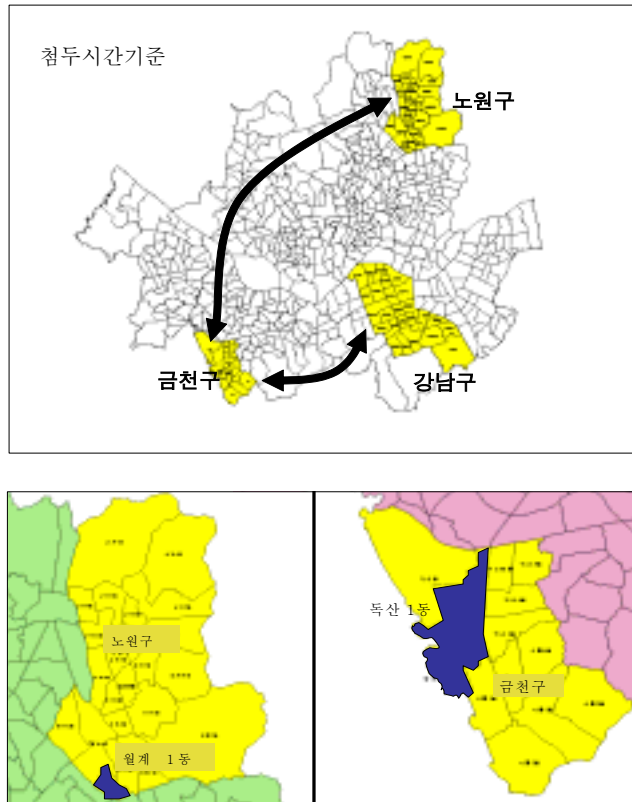
여기서 π^{rb} : 출발지 r 에서 링크 b 까지 최소통행시간

- 제4장의 모형과는 달리 위에서 검토한 예를 적용하기 위하여 $d_{ab1} + d_{ab2} + d_{ab3} \Lambda$ 는 접근시간, 대기시간, 환승이동시간(도보), 환승대기시간(대기+환승 페널티)에 모두 적용할 수 있도록 구성된다.

제2절 대중교통 노선망의 이동성 지표 사례연구

- 이동성 지표의 사례 연구는 두 가지로 구분하였다: 1) 개별지표를 도출하는 방향과 2) 개별지표를 지역 간에 비교하는 방법을 제시한다.
- 첫 번째 사례연구는 개별지표를 도출하는 내용이다. 서울시내의 특정 동간을 대상으로 하여, 본 연구에서 제시하는 대중교통 이동성 지표 1, 2, 3을 도출하는 과정에 대해 상세히 살펴본다.
- 두 번째 사례연구는 도출된 지표를 지역 간에 비교, 분석하는 방법에 초점을 맞춘다. 특정 동간분석에서 동→구의 분석으로 확장하여 대중교통 이동성 지표 1, 2, 3를 적용한 결과를 비교, 분석한다.

- 대상지역은 <그림 5-3>과 같이 서울시의 노원구, 금천구, 강남구 3개 구이다. 첫 번째 사례연구를 위한 대상지역은 노원구의 월계 1동에서 금천구의 독산 1동으로 하고, 두 번째 사례연구는 월계 1동에서 금천구, 독산 1동에서 강남구를 대상으로 한다.



<그림 5-3> 사례연구 대상지역

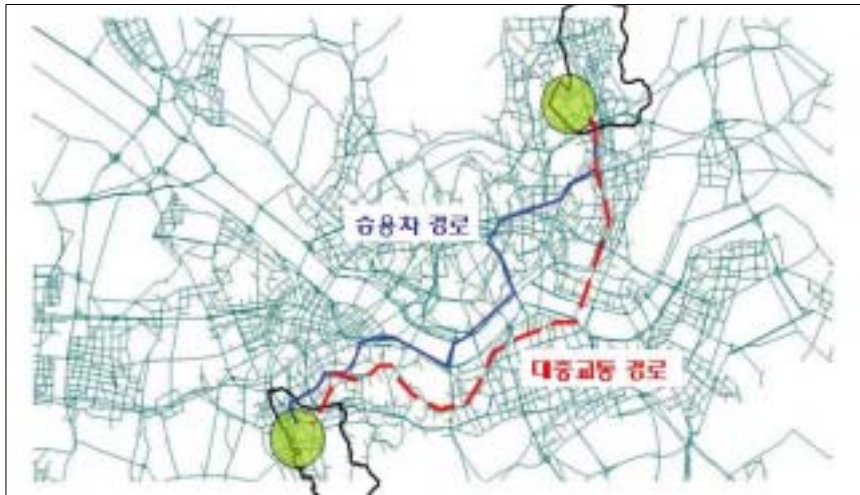
1) 사례연구 1

- 대상지역은 노원구 월계 1동에서 금천구 독산 1동으로 한다.

(1) 지표 1

- 노원구 월계 1동에 이용가능한 역 또는 정류장은 3개이고, 노원구에서 출발하여 금천구에 도착가능한 역 또는 정류장은 5개이다. 따라서 월계 1동에서 독산 1동 까지 이용 가능한 노선은 총 11개이다.

- 월계 1동에서 독산 1동까지 가는 승용차 경로와 대중교통 경로의 예시는 <그림 5-4>와 같다. <그림 5-4>는 총 노선 11개 중 승용차, 대중교통경로를 하나만 보인 것이다.



<그림 5-4> 월계 1동→독산 1동 승용차 대중교통 경로

- 위의 <그림 5-4>와 같은 구간, 수단별 평균통행거리, 평균통행속도, 평균통행시간과 대중교통의 평균환승횟수는 <표 5-4>와 같다.

<표 5-4> 월계 1동→독산 1동 승용차대비 대중교통 경로속성(지표 1)

출발지	도착지	승용차			대중교통			
		통행거리 (km)	통행시간 (hr)	통행속도 (km/h)	통행거리 (km)	통행시간 (hr)	통행속도 (km/h)	환승횟수 (회)
월계1동	독산1동	33.34	1.20	28.37	30.55	1.23	24.45	1.50

- 승용차 및 대중교통의 통행시간(평균통행시간)은 <표 5-2>에서 제시된 각 링크의 위계 및 구분에 따른 통행속도를 기준으로 적용하여 산출하였다.

- 승용차의 평균통행거리에 비해 대중교통 평균통행거리는 2.79km 정도 짧은 것으로 나타났다. 평균통행속도는 승용차가 3.92km/h 정도 빠른 것으로 나타났다. 그러나 평균통행시간에서는 대중교통 평균통행시간이 승용차 평균통행시간에 비해 0.03시간(1.8분) 정도 낮은 것을 확인할 수 있다.
- 이 통행시간을 기준으로 월계 1동에서 독산 1동까지의 지역간 지표 1의 값과 거리굴곡도(대중교통통행거리/승용차통행거리), 속도굴곡도(승용차통행속도/대중교통통행속도)는 <표 5-5>에서 확인할 수 있다.⁸⁾

<표 5-5> 월계 1동→독산 1동 지표 1의 결과

출발지	도착지	거리굴곡도	속도굴곡도	지표 1
월계1동	독산1동	0.92	1.16	1.03

- 월계 1동에서 독산 1동까지의 지표 1의 값은 1.03으로 대중교통시설에 대한 승용차대비 대중교통이동성이 승용차에 근접함을 확인할 수 있다. <표5-5>에서는 대중교통시설간의 실제통행거리가 승용차통행거리에 비해 짧기 때문인 것으로 파악된다.

(2) 지표 2

- 노원구 월계 1동에 일반노드(역 또는 정류장 제외)는 9개이고, 노원구에서 출발하여 금천구에 도착가능한 역 또는 정류장은 20개이다. 따라서 월계 1동에서 독산 1동까지 이용 가능한 노선은 총 13개이다.
- 출발지점-도착역에 대한 수단별 평균통행거리, 평균통행속도, 평균통행시간과 대중교통시설까지의 접근거리, 접근통행시간, 대중교통의 평균환승횟수는 <표 5-6>과 같다.

8) 거리굴곡도, 속도굴곡도, 지표의 값이 모두 작을수록 좋게 나타내기 위해 거리굴곡도는 대중교통통행거리/승용차통행거리로 하였고, 속도굴곡도는 승용차통행속도/대중교통통행속도로 제시하였다.

<표 5-6> 월계 1동→독산 1동 승용차대비 대중교통 경로속성(지표 2)

출발지	도착지	승용차			대중교통					
		통행 거리 (km)	통행 시간 (hr)	통행 속도 (km/h)	통행 거리 (km)	접근 거리 (km)	통행 시간 (hr)	접근 시간 (hr)	통행 속도 (km/h)	환승 횟수 (회)
월계1동	독산1동	33.29	1.20	28.31	30.47	0.21	1.23	0.04	23.86	0.92

- 승용차 및 대중교통의 통행시간(평균통행시간)은 <표 5-2>에서 제시된 각 링크의 위계 및 구분에 따른 통행속도를 기준을 적용하여 산출하였다.
- 승용차의 평균통행거리에 비해 대중교통 평균통행거리는 2.6km 정도 짧은 것으로 나타났다. 평균통행속도는 승용차가 4.45km/h 정도 빠른 것으로 나타났다. 그러나 평균통행시간에서는 대중교통 평균통행시간이 승용차 평균통행시간에 비해 0.07시간(통행시간+접근시간)(4.2분)정도 늦은 것을 확인할 수 있다.
- 환승횟수를 지표1의 환승횟수와 비교해 보면, 1.5회에서 0.92회로 줄어든 것을 알 수 있다. 이와 같은 원인은 통행시간을 감소시키기 위해(또는 대기+환승페널티를 줄이기 위해) 환승횟수가 적은 통행경로를 이용하는 이용자의 행태가 반영되었기 때문이다.
- 통행시간을 기준으로 월계 1동에서 독산 1동까지의 지역간 지표 2의 값과 거리굴곡도(대중교통통행거리/승용차통행거리), 속도굴곡도(승용차통행속도/대중교통통행속도)는 <표 5-7>에서 확인된다.

<표 5-7> 월계 1동→독산 1동 지표 2의 결과

출발지	도착지	거리굴곡도	속도굴곡도	지표 2
월계1동	독산1동	0.92	1.18	1.06

- 월계 1동에서 독산 1동까지의 지역간 지표 2의 값은 1.06으로 지표 1의 값과 비교해 볼 때, 큰 차이가 발생하지 않았다. 이는 대중교통 시설까지의 통행시간(또는 통행거리)이 전체 통행시간(또는 통행거리)에서 차지하는 비율이 작기 때문인 것으로 판단된다.
- 만약 지표 1의 값과 지표 2의 값이 차이가 큰 경우에는 해당 지역간 통행에서는 대중교통시설까지의 접근성이 떨어진다고 예상할 수 있다.

(3) 지표 3

- 지표 3은 다수의 서비스경로가 제공되는 것을 전제로 한다. 또한 제공된 다수의 경로중 가장 빠른 경로(k=1)는 지표 2의 경로와 동일하다.
- 본 연구에서는 제공되는 다수의 서비스경로는 승용차 통행시간의 2배 미만인 경로로 한정한다. 따라서 본 연구에는 대중교통 이용자는 여러 대안노선 중 승용차 통행시간에 2배 이상 소요되는 노선은 선택하지 않는다는 가정을 내포하게 된다. 관련 내용을 지표3의 수식에 포함하기 위해서는 적절한 파라메타를 도입하는 것이 필요하다.
- 지표 3의 계산을 위해서, 각 지역의 대표노드⁹⁾를 2~3개로 제한하여 선정하였다. 이러한 접근방법은 지역의 대표성이 고려되는 지점에 대한 분석으로도 대중교통 정책에 대한 평가가 가능함을 보여주는 예로서 고려될 수 있다.
- <표5-8>와 같이 대중교통과 승용차의 통행거리의 차이는 약 2km로 승용차 통행거리가 짧고, 통행속도의 차는 약 6km/h로 승용차 속도가 빠르다. 그리고 통행시간의 차는 0.53시간(32분)으로 승용차가 다소 빠르다.

<표 5-8> 월계 1동→독산 1동 승용차대비 대중교통 경로속성(지표 3)

기점	종점	승용차			대중교통					
		통행 거리 (km)	통행 시간 (hr)	통행 속도 (km/h)	통행 거리 (km)	접근 거리 (km)	통행 시간 (hr)	접근 시간 (min)	통행 속도 (km/h)	지하철 노선수
월계1동	독산1동	24.40	1.09	22.28	26.23	0.07	1.60	0.02	16.24	1

- 월계1동에서 독산1동으로 통행하는 거리굴곡도, 속도굴곡도, 시간굴곡도(대중교통 통행시간/승용차 통행시간)를 통하여 지표3을 확대하면 <표 5-9>와 같다.

<표 5-9> 월계 1동→독산 1동 지표3의 결과

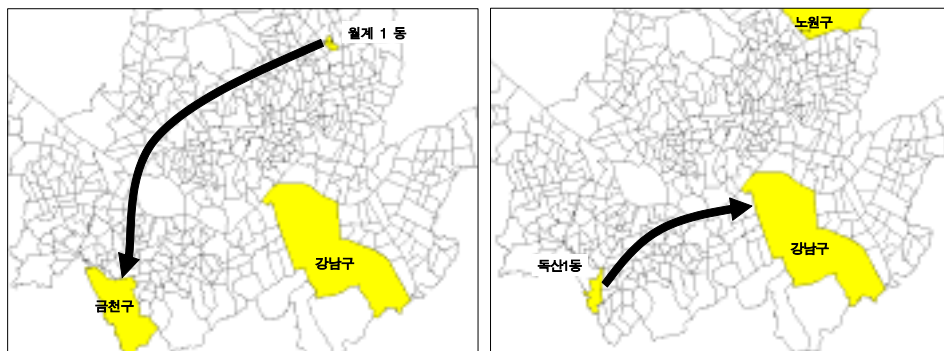
출발지	도착지	거리굴곡도	속도굴곡도	시간굴곡도	지표 3
월계1동	독산1동	1.07	1.37	1.48	0.39

9) 각 지역의 특성을 고려하여 위상적으로(topological) 중심이 되는 각 수단의 대표노드이다. 즉 대상지역의 모든 노드를 고려하지 않고, 선택된 대표노드로 대체하는 것을 말한다.

- 월계 1동에서 독산 1동으로 두 지역 간의 대중교통이동성을 지표 3으로 측정한 값은 0.39이다. 이 값은 다양한 서비스제공 노선의 통행시간이 기여도 측면에서 반영된 것이므로 지표 1과 2와 같이 절대적 기준(값 자체)으로 평가하기에는 보다 다양한 해석이 존재하므로, 약간의 상대적인 비교가 적합한 경우가 존재한다.
- 지표3은 두 지역 간의 대중교통 노선서비스에 대한 수치를 나타내는 것이므로, 만약 두 지역 간(월계 1동→독산 1동)의 지표3의 수치가 타 두 지역 간에 수치보다 높으면, 전자가 후자보다 더욱 다양한 대중교통 서비스기반이 존재한다고 할 수 있다.

2) 사례연구 2

- 사례연구 2에서는 사례연구 1의 (동-동) 대상지역을 (동-구)로 확대하여 지역 간의 비교분석을 통해 집중적으로 다룬다.
- 대상지역은 <그림 5-5>와 같이 월계 1동→금천구, 독산 1동→강남구로 하였다. 이후부터, 전자를 대상지역 A(월계 1동→금천구)이라 하고, 후자를 대상지역 B(독산 1동→강남구)이라 한다.

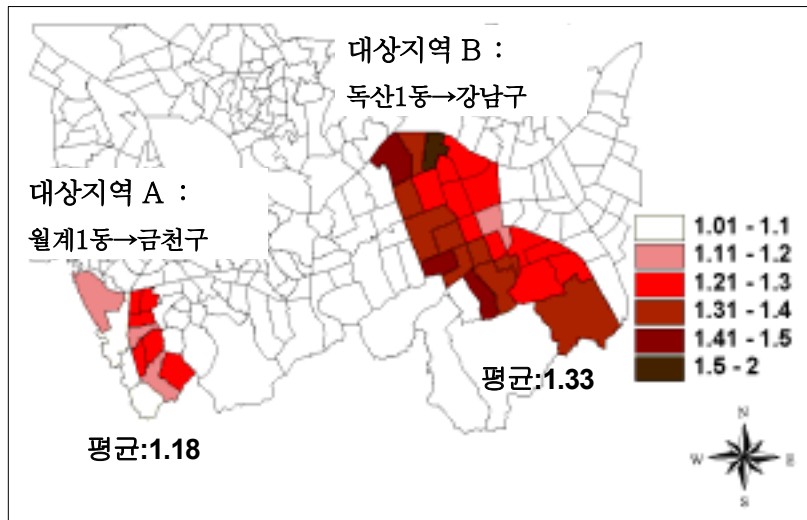


(a) 대상지역 A(월계1동→금천구) (b)대상지역 B(독산1동→강남구)

<그림 5-5> 사례연구 2의 대상지역

(1) 지표 1

- 대상지역 A와 B에 대한 지표 1의 결과는 <그림 5-6>과 같다. 대상지역 A는 지표 값이 1.18로 산출되었고, 대상지역 B는 1.33으로 계산되었다.

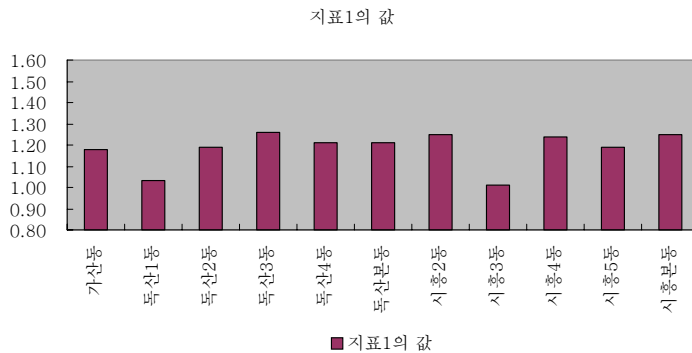


<그림 5-6> 대상지역 A와 B의 지표 1의 결과

- 대상지역 A의 경우, 승용차에 비해 이동성이 1.18배만큼 되는 대중교통시설이 갖추어져 있다고 유추가 가능하다. 즉 월계 1동에서 금천구로 대중교통시설을 이용할 경우 평균적으로 승용차의 1.18배 정도의 통행시간으로 도달 가능하다는 것이다.
- 대상지역 A의 평균 지표수치가 1.13이고, 대상지역 B는 1.33이므로, 대상지역 A는 대상지역 B보다 양호한 대중교통시설의 접근성을 제공한다는 판단이 가능하다.
- 대상지역 A의 승용차 평균통행시간은 1.19시간(약 72분)이고, 대중교통의 평균 최단통행시간은 1.4시간(약 84분)으로, 대중교통이용시 약 12분 정도 많이 소요된다. 또한 대상지역 B의 승용차 평균최단통행시간은 0.92시간(약 54분)이고, 대중교통평균최단통행시간은 1.22시간(약 73분)으로 대중교통을 이용할 경우 19분 정도 느리다.
- 대상지역 A, B를 고려하여 분석하면 다음과 같다:

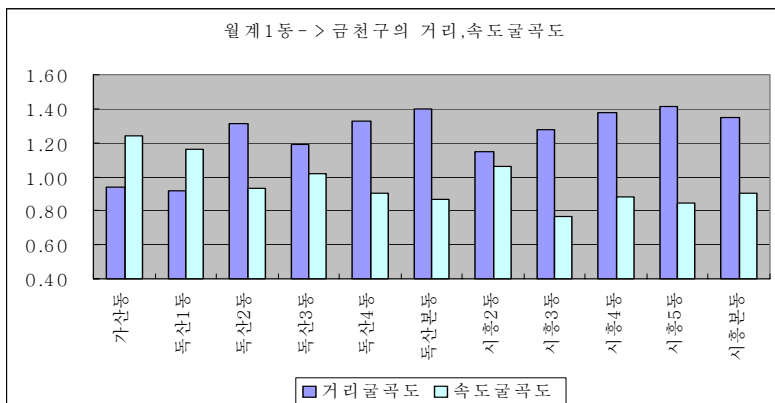
[대상지역 A]

- 대상지역 A의 각 동까지의 지표 1에 대한 결과는 <그림5-7>과 같이 지표의 수치는 1.01에서 1.26까지의 범위에 존재한다.
- 타 동에 비해 상대적으로 양호한 지표수치를 보이는 지역은 시흥3동, 독산1동으로 각각 1.01과 1.03으로 계산되어 승용차와 유사한 수준의 이동성을 제공한다. <그림5-7>에서 이동성이 가장 열악한 지역이 독산3동, 시흥2동, 4동으로 각각 1.26, 1.25, 1.24의 지표의 수치임을 보여준다.



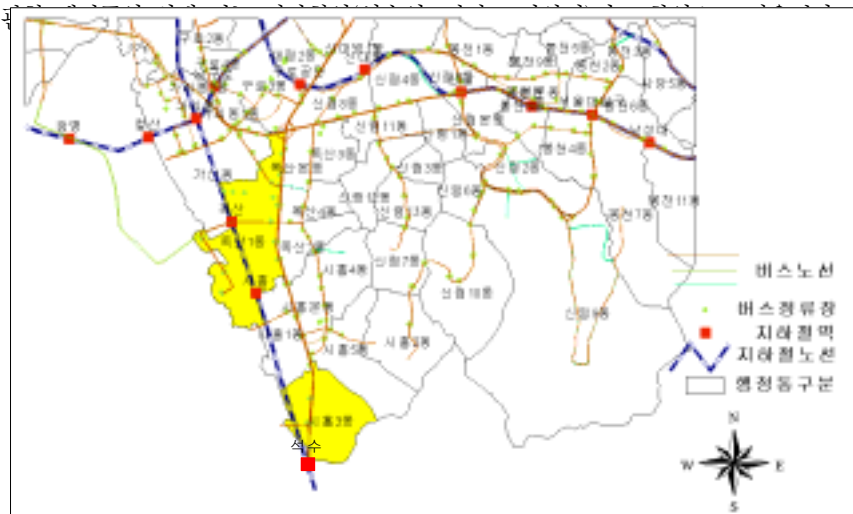
<그림 5-7> 대상지역 B의 지표 1의 값

- 위와 같은 대상지역 A의 상세하게 분석하기 위해, 동-동 거리 및 속도굴곡도는 <그림 5-8>과 같다.



<그림 5-8> 대상지역 A의 거리 및 속도 굴곡도(지표 1)

- 통행시간 굴곡도와 동일하게 거리 및 속도굴곡도는 모두 값이 가질수록 양호하다. 거리굴곡도가 1.24이고, 속도굴곡도가 0.96인 두 지표를 비교하면, 승용차에 비해 장거리를 빠른 속도로 통행하였다는 해석과, 또한 두 지역간의 대중교통시설 이동성이 승용차에 비하여 효율적이라는 해석이 가능하다.
- 양호한 지표수치를 보이는 독산1동과 시흥3동의 경우로서, 독산1동은 거리굴곡도가 1.0이하(0.92)의 수치를 보이므로, 승용차 경로에 비해 짧은 대중교통 통행거리를 주행한다. 속도굴곡도는 1.16로서 승용차에 비해 속도가 많이 저하되지 않는다는 것이 확인된다.
- 시흥3동은 거리굴곡도는 높고(1.28), 속도굴곡도는 낮다(0.77). 즉 이동경로의 거리는 승용차에 비해 장거리이나, 통행속도는 매우 높다는 것을 확인할 수 있다.
- 지표값이 가장 열악한 독산3동을 보면, 거리굴곡도는 1.19이고, 속도굴곡도는 1.02이다. 거리와 속도 모두 절대적 기준에서는 열악한 것은 아니지만, 대상지역의 다른 동과 비교하면, 상대적으로 이동성이 낮은 것을 확인할 수 있다.
- <그림 5-9>를 보면, 독산 1동과 시흥 3동의 지표의 결과 값이 가장 양호한 이유를 확인할 수 있다. 독산 1동과 시흥 3동은 모두 접근 가능한 지하철역이 존재한다. 특히 시흥 3동은

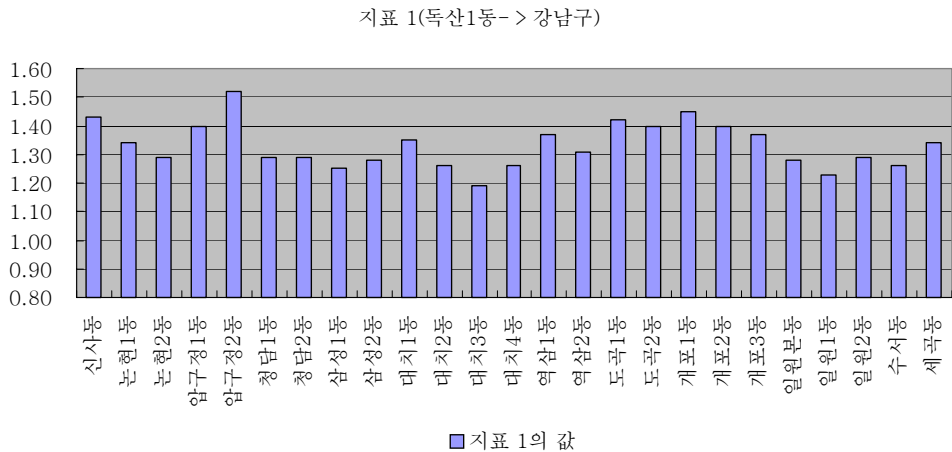


<그림 5-9> 대상지역 A의 지하철역 및 버스노선도

- 본 연구에서 적용한 지하철의 통행속도는 30kph(<표5-2>)로 높으며, 수단간 대기+환승 패널티가 3분으로 버스의 7분에 비해 상대적으로 적게 소요되는 것을 고려한다면, 지하철역이 있는 해당지역의 대중교통시설의 이동성지표가 양호하다는 것은 당연한 결과이다.

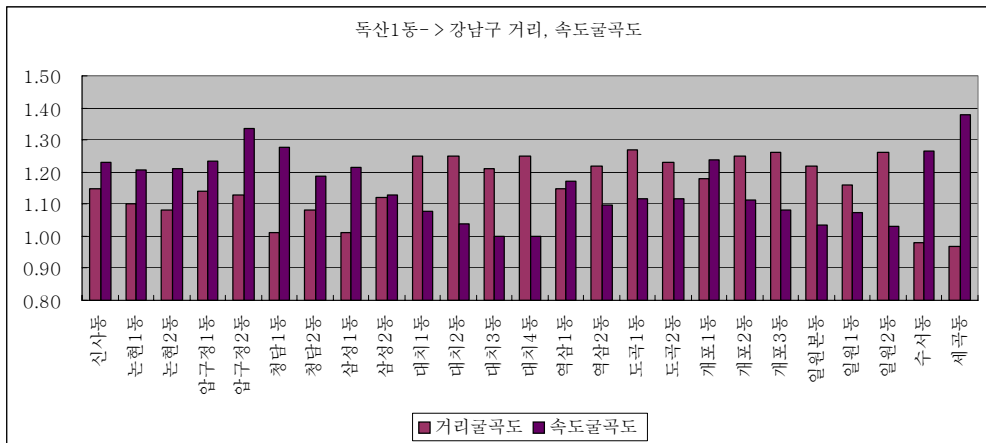
[대상지역 B]

- 대상지역 B의 각 동까지의 지표1에 대한 결과는 <그림5-10>과 같다. 지표 값의 범위는 1.19~1.52수준이다.
- 다른 동에 비해 상대적으로 양호한 지표수치를 나타내는 지역은 대치3동, 일원1동으로 각각 1.19과 1.23이다. 상대적으로 이동성이 열악한 지역은 압구정 2동(1.52), 개포1동(1.45), 신사동(1.43)으로 나타난다.



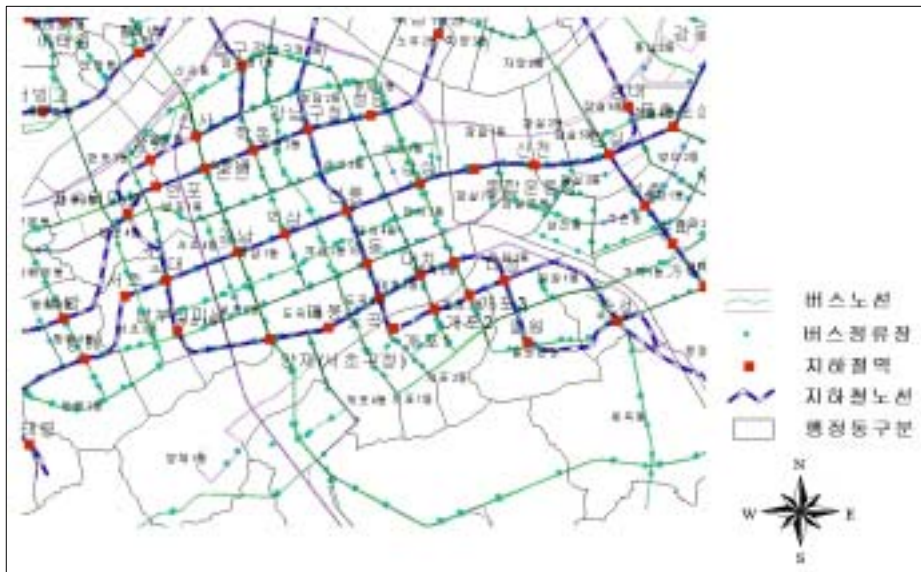
<그림 5-10> 대상지역 B의 지표 1의 값

- 우선 위와 같은 대상지역 B의 분석을 위한, 동-동의 거리 및 속도굴곡도는 <그림5-11>과 같다.



<그림 5-11> 대상지역 B의 거리 및 속도 굴곡도(지표 1)

- 대상지역 B의 평균거리굴곡도는 1.16이고, 속도굴곡도는 1.15이다. 대상지역 B가 대상지역 A에 비해 대중교통 이동성이 열악한 주된 이유는 대중교통 노선의 통행거리가 장거리이며, 대중교통 노선의 통행속도도 다소 떨어지기 때문인 것으로 파악된다.
- <그림 5-11>는 신사동~삼성2동, 역삼1동, 개포1동, 수서동, 세곡동은 강남구 내에서 대중교통의 통행속도가 저하되는 지역임이 확인되고, 반대로 대치1동~도곡 2동, 개포 2동~일원 2동은 대중교통 통행거리가 승용차에 비해 상대적으로 장거리인 지역임을 확인할 수 있다.
- 강남구에서 지표값이 양호한 지역은 대치3동으로써, 거리굴곡도는 1.21이고, 속도굴곡도는 1.0이다. 거리굴곡도는 승용차에 비해 강남구의 평균값에도 못 미치지만, 대중교통의 통행속도는 승용차와 동일한 수준으로 유지된다는 것을 확인할 수 있다.
- 강남구에서 지표값이 가장 열악한 지역은 압구정 2동으로써, 거리굴곡도는 1.13이고, 속도굴곡도는 1.34이다. 즉 대중교통 통행거리보다는 대중교통통행속도가 현저하게 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있다.
- 대상지역 B의 이동성이 대상지역 A에 비해 전체적으로 낮은 이유는 <그림 5-12>로 유추가 가능하다.



<그림 5-12> 대상지역 B의 지하철역 및 버스노선도

- 대상지역 B의 강남구는 <그림 5-12>에서 보는 바와 같이 지하철역과 많은 버스정류장을 위치하고 있다. 그러나 아래의 <그림 5-13>을 보면, 지하철노선이 이용 시 독산1동에서 강남구로 대중교통을 이용하여 통행하기 위해서는 환승과 우회가 발생한다.

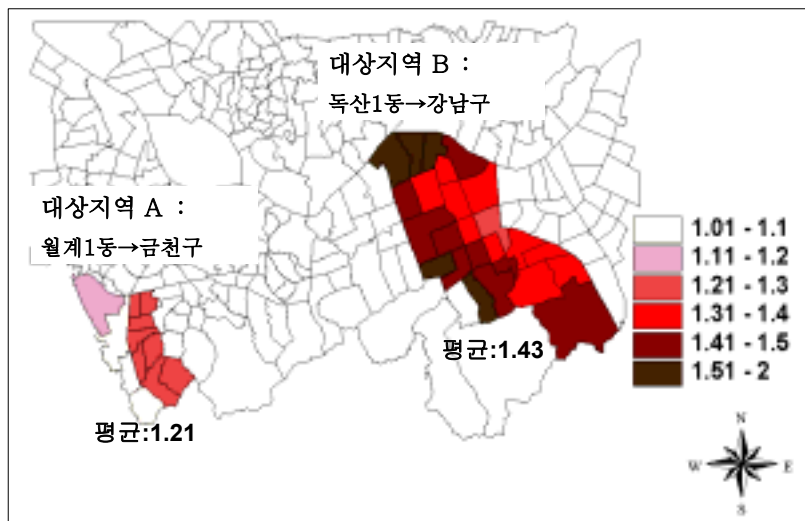


<그림 5-13> 대상지역 B의 지하철의 이동성

- 이는 지하철 수단은 대상지역 B에서 양호한 통행수단으로 이용되기 어려우며, 대안노선이 그 결과로 버스가 주요대중교통 수단으로 사용될 수 있다는 해석이 가능하다. 독산1동에서 강남구 전체지역으로 이동성이 떨어지는 주된 이유로는 대상지역의 우회와 이로 인한 환승(평균 2.18회)의 증가로 볼 수 있다.
- 대상지역 B의 통행에서 우회가 발생하는 이유는 독산1동과 강남구 사이에 지형적으로 관악산을 사이에 두고 있기 때문인 것으로 파악된다.

(2) 지표 2

- 지표 2는 각 출발지역의 대중교통시설 노드(역 또는 정류장)가 아닌 모든 노드에서 대중교통시설 노드까지의 접근까지 포함한다. 따라서 지표1과 통합하여 비교할 경우 출발 지역의 대중교통 시설까지의 접근(도보통행)성 정도를 상세하게 파악할 수 있다.
- 대상지역은 지표 1에서 사용한 것과 같은 동일한 지역을 동일한 지역구분(대상 지역 A, B)으로 사용한다.
- 대상지역 A와 B에 대한 지표 2의 결과는 <그림 5-14>에서 확인할 수 있다.



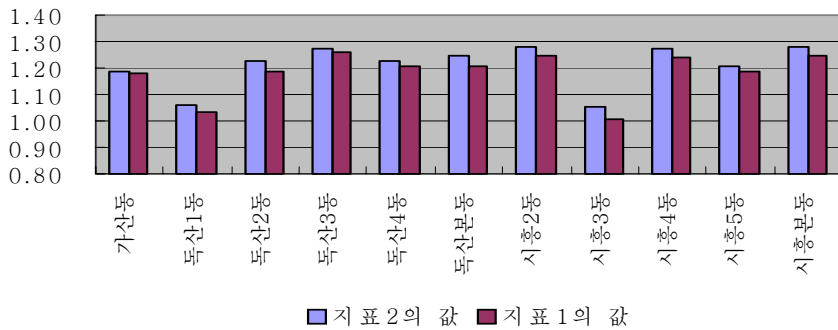
<그림 5-14> 대상지역 A와 B의 지표 2의 결과

- 대상지역 A, B의 지표 2의 결과는 각 1.21과 1.43이다. 지표 1의 결과(1.18, 1.33)와 비교하면, 대상지역 B의 접근성이 열악한 것으로 나타난다.
- 대상지역 A의 경우 1.21의 지표 2의 값은 승용차 통행시간대비 대중교통 통행시간이 1.21배 높은 것으로, 지표 1과 비교할 때, 지표값의 차이는 0.03으로 출발지역(월계 1동)의 접근성이 상당히 양호하다는 것을 알 수 있다. 즉 총 대중교통 통행시간 중 약 3%의 도보통행이 대중교통 시설까지의 접근을 위해 이루어진다고 할 수 있다.
- 대상지역 B의 지표 2의 값은 1.43으로, 지표 1과 비교할 경우 0.1정도의 차이가 발생한다. 대상지역 A에 비해 대중교통 시설까지의 접근성이 좋지 않은 것을 확인할 수 있고, 총 대중교통 통행시간 중 약 10%정도가 도보통행이 대중교통 시설까지의 접근에 사용된다는 것을 알 수 있다.
- 여기서 고려해야할 사항으로 전체 통행시간에 따라 대중교통시설까지의 접근 통행시간의 비중이 달라질 수 있다는 것이다. 즉 통행시간이 장시간 소요되는 지역은 접근시간이 어느 정도 높더라도 지표수치의 변화가 덜 민감한 반면, 통행시간이 짧은 지역에서는 접근시간에 상당히 민감할 수 있다는 것이므로, 지표를 이용한 정책평가 시 주관적으로 또는 상대적으로 고려해야 하는 부분이다.
- 대상지역 A, B를 각각 나누어 분석하면 다음과 같다:

[대상지역 A]

- 대상지역 A의 지표2의 수치는 <그림 5-15>과 같으며, 대중교통시설까지의 접근성을 함께 고려하기 위하여 지표 1의 수치도 제시하였다.
- 대상지역 A의 지표2의 값은 지표1의 수치와 비교해 볼 때, 큰 차이를 보이지 않았다. 이 것은 위에서 언급한 것처럼, 대중교통을 이용한 전체통행시간에서 대중교통시설까지 접근하는데 걸리는 통행시간(이하 접근통행시간)의 비율이 적다는 것을 의미한다.

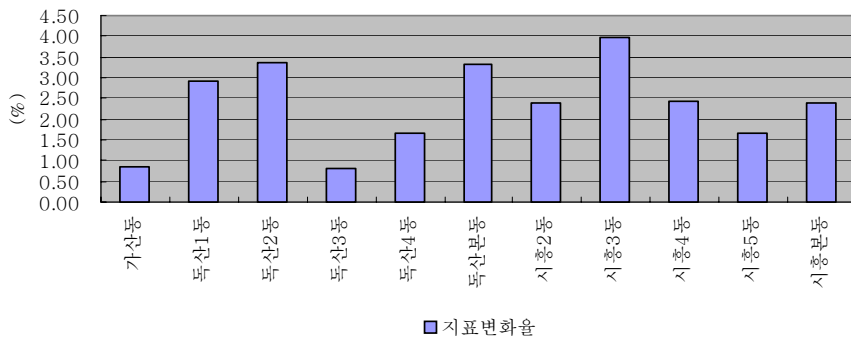
지 표 2(월 계 1 동 - > 금 천 구)



<그림 5-15> 대상지역 A의 지표 2의 값

- 그림에도 불구하고, 지표 값의 차이를 구분하기 위해서 전체 대중교통통행시간에서 접근통행시간의 비율인 지표변화율¹⁰⁾은 <그림5-16>과 같이 전체 4% 이내의 나타났으며, 독산 1동, 2동, 본동, 시흥 3동에서 비교적 큰 변화를 보였다.

지표변화율(월계1동->금천구)

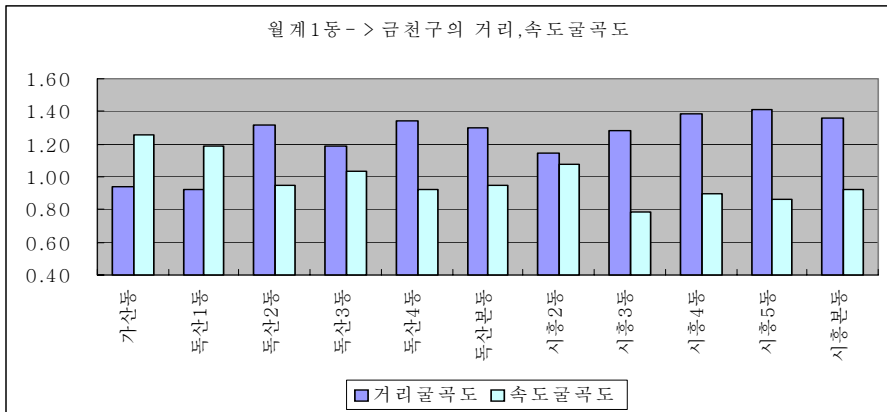


<그림 5-16> 대상지역 A의 지표변화율

- 지표변화율이 가장 크게 나타나는 지역은 시흥 3동으로써 4%정도이다. 즉 월계 1동에서 금천구의 시흥 3동으로 대중교통을 이용하여 가기 위해서는 전체 통행시간중 4%의 통행시간을 월계 1동에서 해당 대중교통시설까지 가는데 소요된다고 설명할 수 있다.

10) 지표변화율(%)= {(지표 2의 값-지표 1의 값)/지표 1의 값}×100

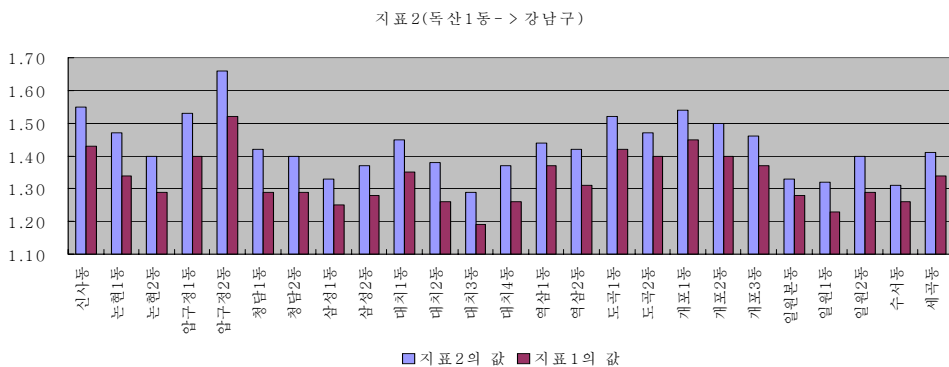
- 대상지역 A의 거리 및 속도굴곡도는 <그림5-17>과 같다. 각 굴곡도의 값은 지표 1의 값과 거의 같다. 이는 접근통행거리 및 속도가 전체 통행거리 및 속도에 미치는 영향이 매우 작다는 것을 확인할 수 있다.



<그림 5-17> 대상지역 A의 거리 및 속도굴곡도(지표 2)

[대상지역 B]

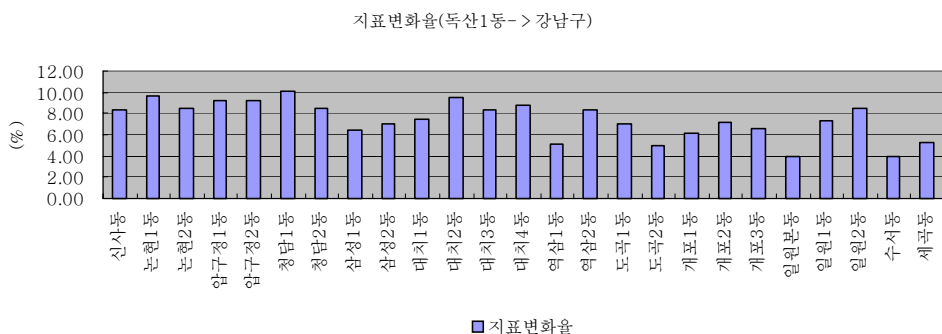
- 대상지역 B의 지표 2의 값은 <그림 5-18>과 같다.



<그림 5-18> 대상지역 B의 지표 2의 값

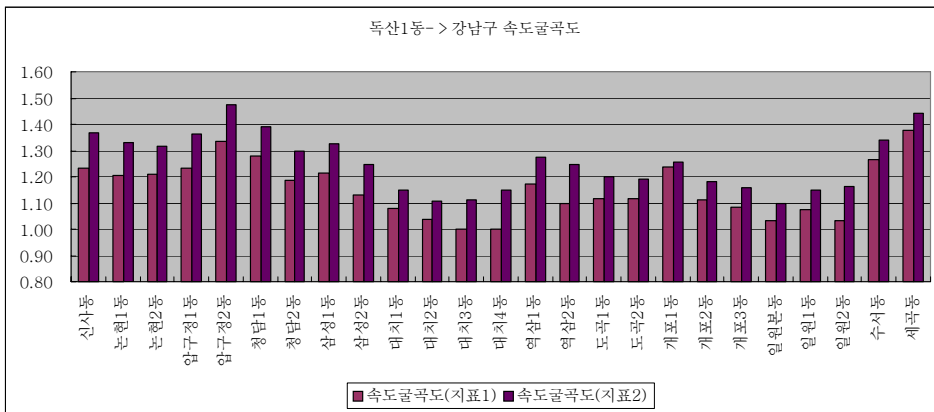
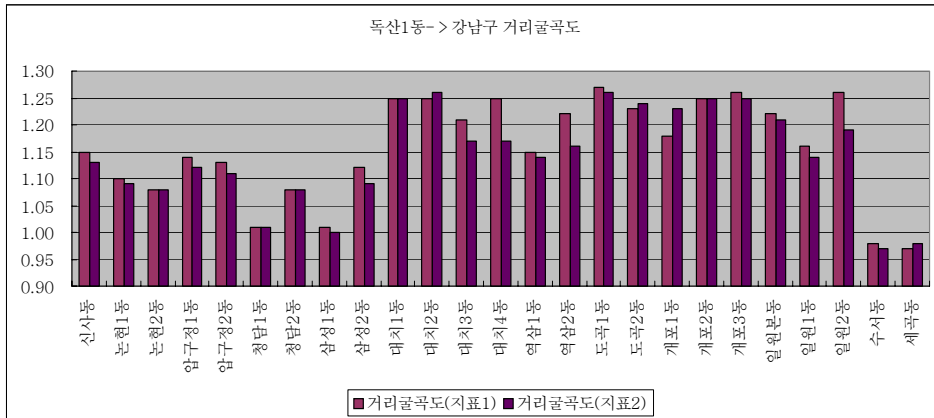
- 대상지역 B도 대상지역 A와 유사하게, 지표 2의 값이 지표 1의 값과 비교하여 높게 나타난다. 지표 2의 수치가 대상지역에서 상대적으로 큰 지역은(1.5를 상회하는 행정동)은 압구정 1,2동, 도곡 1동, 개포 1, 2동으로 나타났으며, 이들 행정동은 지표1과 유사한 패턴을 보이고 있다.

- 특히 압구정 2동은 지표값이 1.66으로 대상지역 중 가장 높았으며, 이는 승용차 통행시간이 0.77시간(46.2분)이고, 대중교통 통행시간은 1.27시간(76.2분)으로 통행시간이 30분 차이를 나타낸다.
- 지표 2의 값이 지표 1에 대한 차이를 좀더 자세히 살펴보기 위해 지표변화율을 적용하면, <그림 5-19>와 같다.



<그림 5-19> 대상지역 A의 지표변화율

- 지표변화율이 가장 높은 동은 청담 1동(10.08%) 이었다. 이는 대상지역 B의 청담 1동까지 대중교통을 이용하여 통행할 경우, 접근통행시간이 전체 통행시간의 10%를 차지한다고 해석된다.
- 대상지역 B의 거리 및 속도굴곡도는 <그림 5-20>과 같다. 대상지역 A와는 달리 거리굴곡도는 행정동별로 많은 차이를 보이고 있다. 특히 거리굴곡도가 낮아 지는(좋아지는) 지역이 다수 발견되었다.

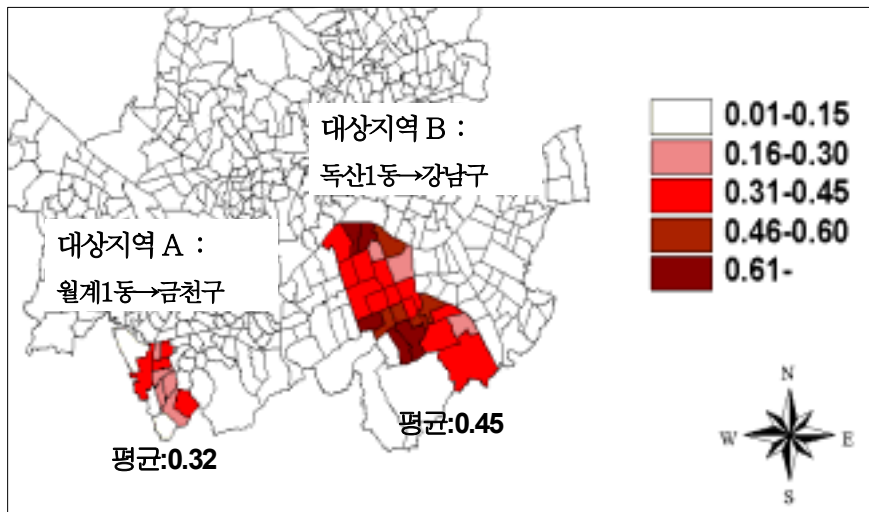


<그림 5-20> 대상지역 B의 거리 및 속도굴곡도(지표 2)

- 이와 같은 거리굴곡도가 낮은 이유는 대상지역 B의 출발지역주변의 대중교통 시설을 이용하여 도착지역(강남구)으로 통행한다고 유추가 가능하다. 다시 말하면, 독산 1동에 있는 지하철역이나, 버스정류장을 이용하기보다는 독산 1동 이외의 주변지역의 지하철역이나 버스정류장을 이용한다고 생각된다.
- 그러나 속도굴곡도는 강남구의 모든 도착지역에 대해 높아졌다. 이는 대중교통 통행시간을 단축하기 위해서, 대중교통 시설까지의 도보통행의 비율이 커진 것으로 설명된다.

(3) 지표 3

- 지표3은 지역의 모든 지점에서 도착지역의 역 또는 정류장의 대중교통시설까지 승용차 통행시간에 비교하여 서비스기여도가 있는 대중교통노선의 수와 각 노선의 통행시간에 의해 결정된다. 지표3은 서비스에 기여도가 높은 노선의 수가 많을수록 0에 근접하는 수치를 갖도록 설계되었다.
- 본 연구에서 서비스기여도가 있는 대안노선을 승용차 통행시간의 2배가 상회하지 않는 노선으로 한정하였다.
- 출발지역에서 모든 노드를 대상으로 하고 도착지에서는 대중교통시설로 한정한다는 개념은 지표2와 동일하게 적용된다. 본 연구에서는 편의상 두 지역에 존재하는 대표지점을 2~3개 정도로 한정하였다.
- 대상지역 A와 B에 지표 3을 적용해 본 결과는 <그림 5-21>과 같다.



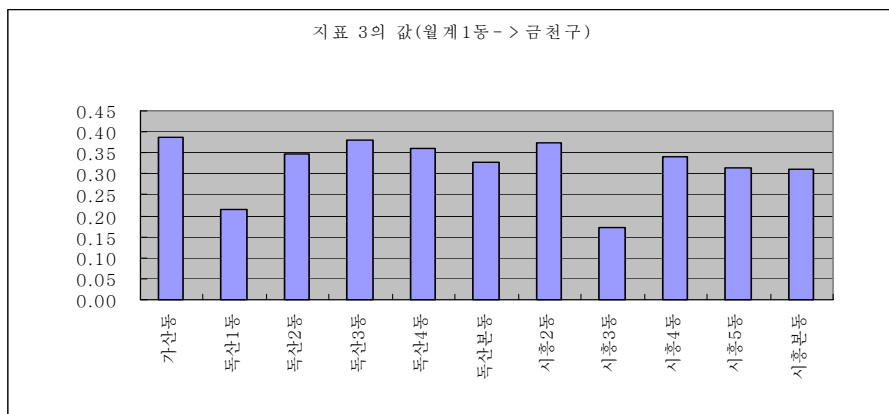
<그림 5-21> 대상지역 A와 B의 지표 3의 결과

- 대상지역 A의 지표 3의 값은 0.32이고, 대상지역 B의 지표 3의 값은 0.45이다. 대상지역 A가 대상지역 B에 비해 경쟁력 있는 서비스기반이 양호한 것으로 확인되었다.

- ‘서비스기반이 양호하다는 개념’에는 주의가 필요하다. 예를 들어, 서비스기반이 양호한 대안노선이 1개 있는 경우와 서비스기반은 낮지만 다수의 서비스노선이 존재하는 경우는 전자와 후자의 비교에 따라 해석이 달라질 수 있다. 즉 상황에 따라 전자와 서비스기반이 양호하거나 후자가 양호할 수 있다는 해석이 존재한다. 이에 대해서는 약간의 주관적인 판단이 존재하므로, 정책결정 시에 파라메타를 통하여 고려해야 할 수 있을 것으로 판단된다.
- 대상지역 A와 B를 각각 분리하여 분석하면 다음과 같다:

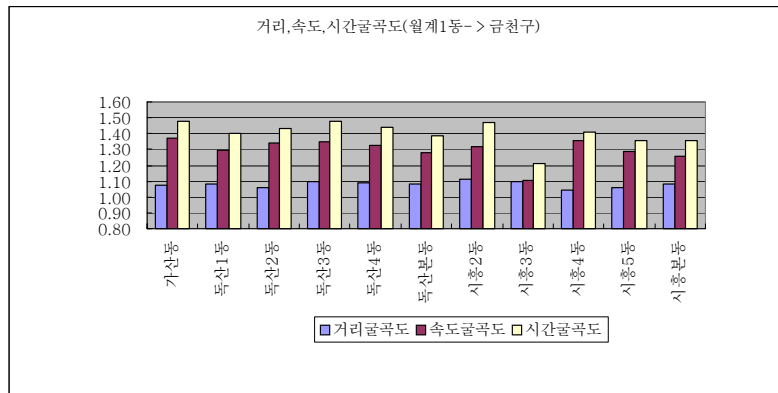
[대상지역 A]

- 대상지역 A의 지표 3의 값은 <그림5-22>와 같다. 대상지역 A의 지표3의 값은 지표1, 2처럼, 독산1동과, 시흥3동에 보다 서비스기반이 양호한 것으로 분석되었다.



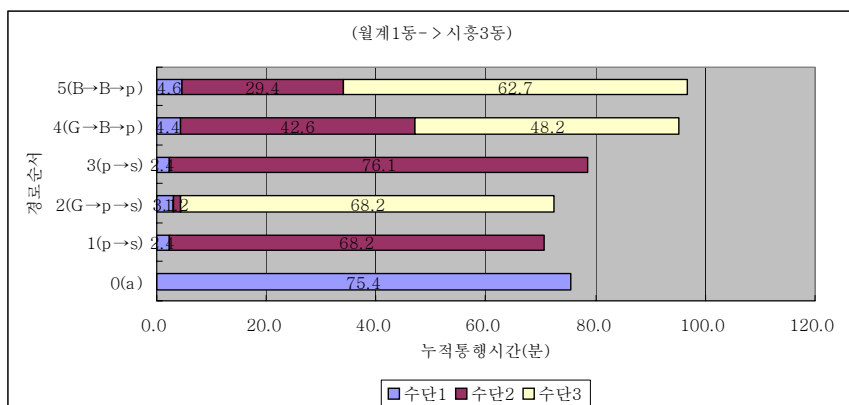
<그림 5-22> 대상지역 A의 지표 3의 값

- 독산 1동은 0.22, 시흥 3동은 0.17의 지표수치를 각각 나타내는데, <그림 5-23>을 살펴보면, 시흥 3동의 경우 거리, 속도, 시간굴곡도가 모두 두드러지게 양호한 것으로 나타난다. 그러나, 독산 1동은 타 행정동에 비해 두드러진 차이는 보이지 않는다.

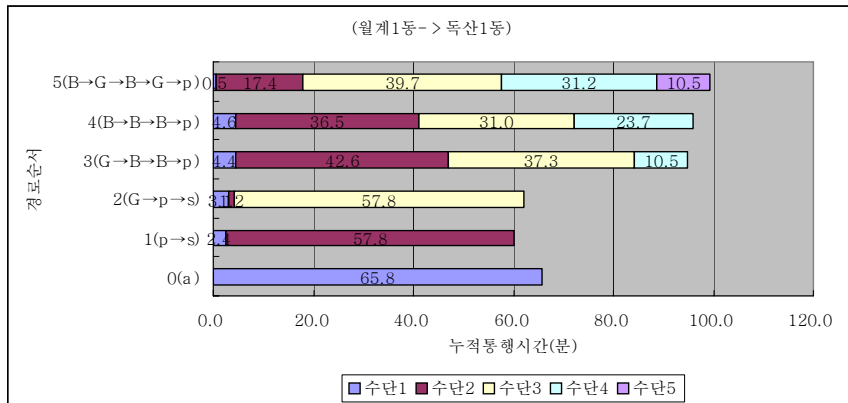


<그림 5-23> 대상지역 A의 거리, 속도 및 시간굴곡도

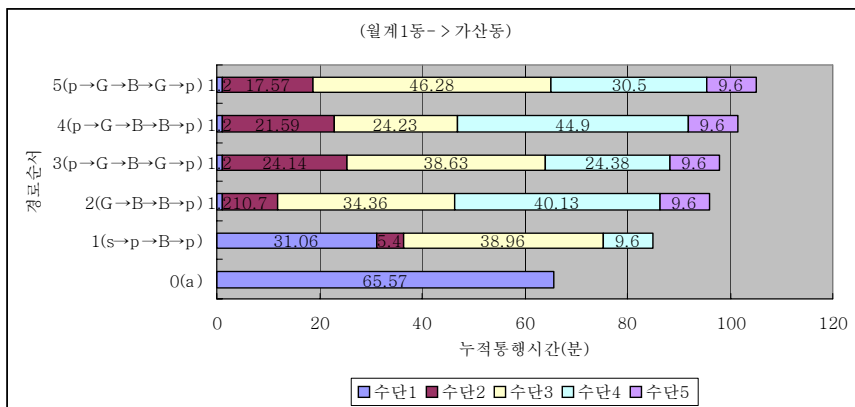
- 이는 승용차대비 이동성이 높은 대중교통노선이 다수 존재할수록 지표3의 수치가 낮아지는데 기인한다. (승용차 통행시간의 2배 이내)의 서비스노선을 5개를 나타낸 <그림 5-24>를 통하여 자세하게 설명이 가능하다.
- <그림 5-24> 총6개 경로에 대한 궤적이 나타나 있는데, 1~5까지는 대중교통노선이며, 0은 승용차를 이용한 경로이다. 수단에 대한 구분으로서 p(pedestrian;도보), G(green bus), B(blue bus), R(red bus), s(subway)로 각각 구분하였다. 그리고 각 막대에 표시된 수치는 수단을 이용하여 통행한 통행시간(분)으로 (환승+대기)시간이 포함되어있다.



(a) 월계 1동 → 시흥 3동



(b) 월계 1동 → 독산 1동



(c) 월계 1동 → 가산동

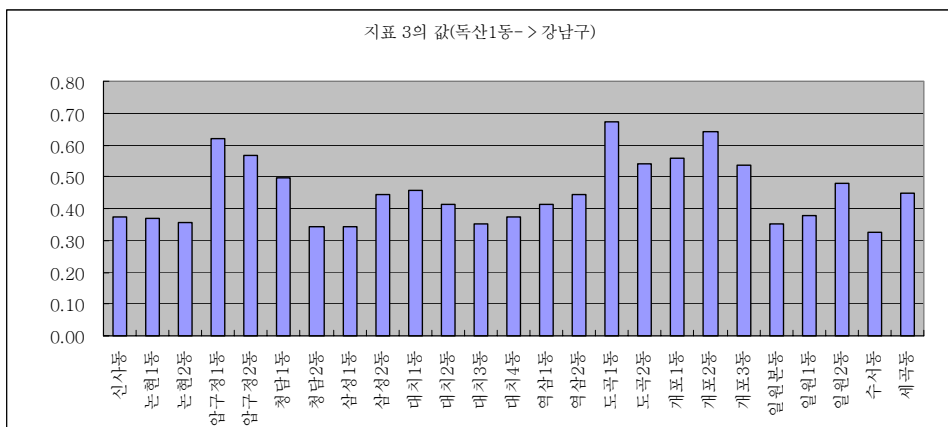
<그림 5-24> 대상지역 A의 경쟁력있는 다수경로

- 우선 (a), (b)를 보면, 시흥 3동과 독산 1동까지 승용차보다 우수한 대중교통 경로가 각각 2개 존재하고, 이 경로들은 모두 지하철 통행수단으로 나타났다.
- 그러나 (a)의 3번째 경로의 경우, 승용차 통행시간에 근접하였으나, (b)의 경우는 승용차 통행시간에 비해 차이가 많이 열악한 것으로 확인되었다.
- 지표 3의 값이 가장 열악한 가산동의 경우(<그림 5-24>(c)), 우선적으로 이용하는 대중교통수단이 버스수단에 의존되어 있음을 알 수 있으며, 승용차보다 우수한 대중교통이동성을 나타내는 노선경로는 존재하지 않는 것으로 확인되었다.

- 결과적으로 보면 대상지역 A에서는 서비스 수준이 높은 대중교통수단(지하철)을 이용하기 쉬운 독산 1동과 시흥 3동이 양호한 지표수치를 나타낸 것으로 확인되었다. 이는 대상지역 A의 출발지역(월계 1동)에서 지하철을 이용하여 접근하기 용이하다는 이유 때문인 것으로 설명된다. 또한 대상지역 A와 같은 장거리 통행에서는 이동성제공수준이 양호하고 정시성이 뛰어나 지하철과 같은 대중교통수단이 경쟁력있는 대안수단이 된다는 것을 확인할 수 있었다.

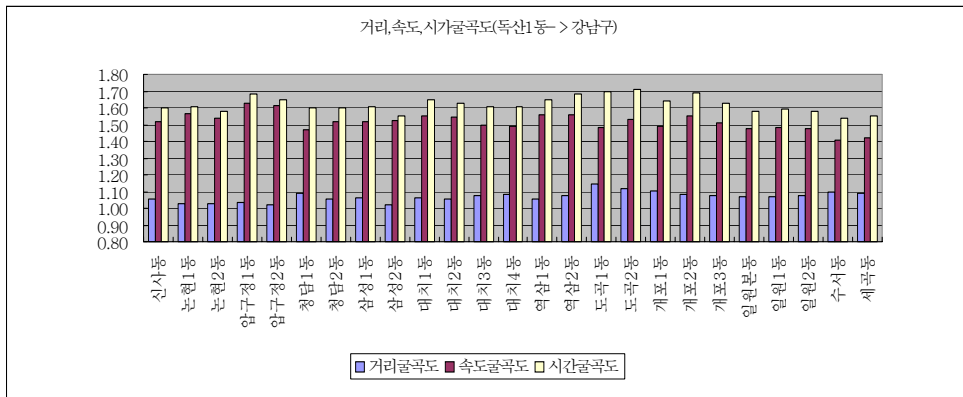
[대상지역 B]

- 대상지역 B의 지표 3의 수치는 <그림 5-25>와 같다. 가장 양호한 지표수치를 나타내는 지역은 삼성 1동으로 0.34이며, 가장 열악한 지표수치는 도곡 1동으로 0.67로 나타났다.



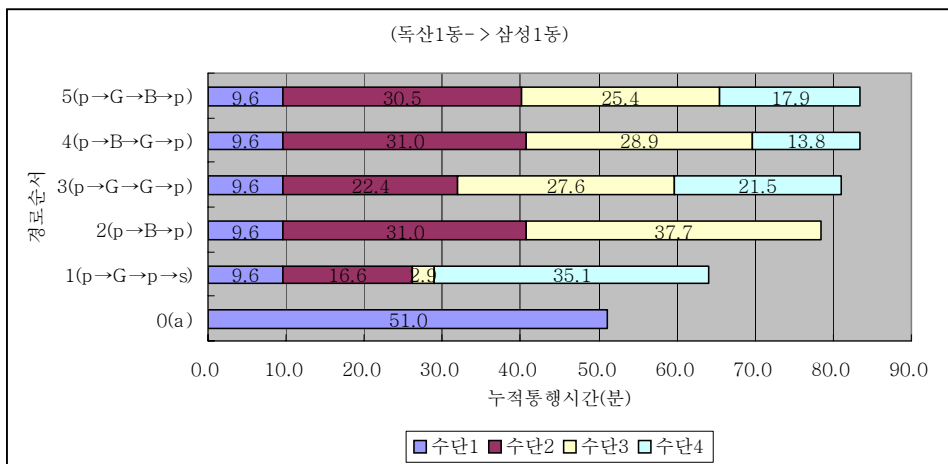
<그림 5-25>대상지역 B의 지표 3의 값

- 지표3에 대한 각 지역의 거리, 속도 및 시간 굴곡도는 <그림5-26>과 같다. 대상지역 B에서는 대상지역 A와 달리 두드러진 굴곡도 차이를 보이는 지역을 존재하지 않았다.

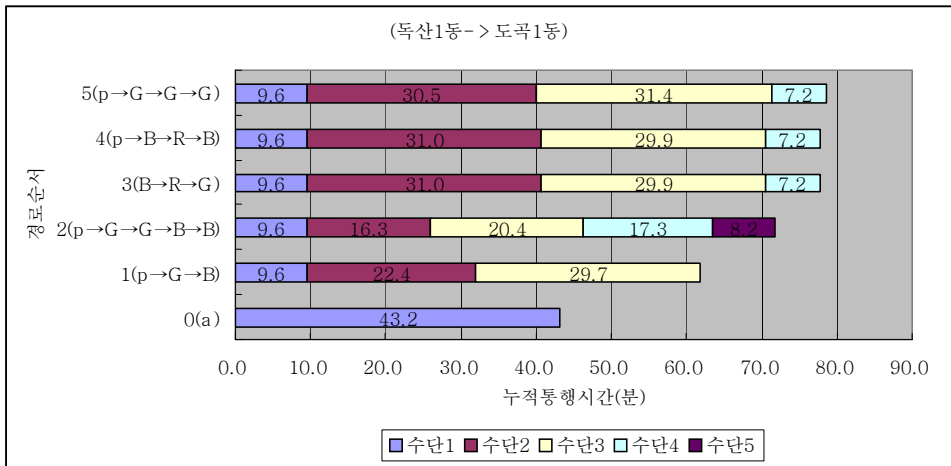


<그림 5-26> 대상지역 B의 거리, 속도 및 시간골곡도

- <그림 5-27>를 통하여 좀더 상세한 분석을 시도하였다. <그림 5-27>은 지표수치가 가장 양호한 삼성 1동과 가장 열악한 도곡 1동을 비교한 것이다.



(a) 독산 1동 → 삼성 1동



(a) 독산 1동 → 도곡 1동

<그림 5-27> 대상지역 B의 경쟁력있는 다수경로

- <그림 5-27> 총 6개의 경로로 구성되어 있으며, 0은 승용차를 이용하여 통행한 경로이고, 1~5는 대중교통노선에 따른 경로를 나타낸다. 각 수단으로서 p(pedestrian;도보), G(green bus), B(blue bus), R(red bus), s(subway)로 구분된다. 각 막대에 표시된 수치는 통행시간(분)이며, (환승+대기)시간이 포함되어있다.
- (a), (b) 모두 승용차보다 우수한 대중교통 대안경로는 존재하지 않았으며, 모두 주요 통행수단이 버스로 나타났다.
- (a)와 (b)의 승용차 통행시간 차이가 8분 정도인 것을 고려할 때, 대중교통노선의 경로도 비슷한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. (a)의 경우 가장 빠른 대중교통 경로 1이 승용차에 비해 약 13분 정도가 느렸으며, (b)의 경우는 약 19분 정도가 느린 것을 확인할 수 있다.
- 경로 2부터 (a)는 27분, 30분, 32분, 32분 차이를 나타내고, (b)는 29분, 35분, 35분, 36분의 차이를 나타내었다. 즉 대상지역 B에서 지표 값이 가장 큰 두 지역에서의 실제적인 통행시간의 차이는 크지 않은 것으로 확인되었다.
- 결과적으로, 대상지역 B의 주된 대중교통 수단은 버스 인 것으로 확인되었다. 이와 같은 이유는, 지표 1, 2에서 살펴본 바와 같이, 지형적인 원인(관악산)으로 인하여 금천구에서 강남구까지 굴곡도가 낮은 통행이 발생할 수 없기 때문에 지하철 수단이 버스수단에 비해 경쟁력이 떨어지는 것으로 파악되나, 시간대 별로 속도를 가정한 결과이므로 이에 대해 단정적으로 결론을 내리기에는 다소 무리가 존재한다.

제3절 지표를 활용한 대중교통 노선 투자모형

- 제안된 개별지표와 지역지표를 통합하여 대중교통의 이동성 향상을 위한 정책 평가 모형으로서 이용되는 방안에 대하여 본 절에서 설명한다.

1. 대중교통 이동성 증진방안(I→J)

- 두 지역 I와 J에 대하여 대중교통의 이동성을 증진하는 것은 결과적으로 승용차의 이용을 억제하고 대중교통으로 수요를 전환하는 효과를 생성시킨다.
- 본 연구에서 제시한 대중교통이동성분석지표의 기본식인 승용차통행시간 대비 대중교통통행시간은 이미 지역 간의 이동성 증진을 위한 모형이 구축되어 있다.
- 대중교통이동성분석지표 기본식에서 M_I 를 낮추는 방안은 이용자에게 양호한 대중교통이동성을 제공하는 방법이 될 수 있으므로, 이는 두 가지 경우로서 해석이 가능하다.
- 첫 째는 M_I 를 낮추기 위하여 승용차이동성(CM_I 고정)은 현 상태로 유지하면서, 대중교통의 시설투자 및 정책을 확대하여 대중교통이동성을 증진시키는 방안으로 노선의 신설 및 접근성 향상을 위한 투자 등이 이에 해당된다.
- 두 번째는 M_I 를 낮추기 위하여 대중교통이동성(PTM_I 고정)을 현 상태로 유지하면서, 승용차의 이동성을 저하시키는 방안으로 수요관리를 통한 승용차 이용을 억제하는 방안이 이에 해당된다.

$$M_I = \frac{PTM_I}{CM_I} \left(M_J = \frac{PTM_J}{CM_J} \right)$$

- 또한 대중교통의 노선투자의 경우 대상지역 전체에 미치는 영향을 분석하여 최대의 대중교통이동성을 보장하는 방안으로 투자유도가 가능하다.

- 본 투자모형의 경우 대중교통노선은 대장지역의 전체 이동성이 향상되는 방안에서는 노선의 중복도 허용되는 모형의 유연성이 존재한다. 기존의 대중교통이 동성 관련 연구에서는 이러한 노선의 중복도 및 경쟁도가 노선을 신설하거나 폐지하는 기준으로 적용되기도 하였다.

$$\min Z = \sum_I \sum_J [a_1 I_{IJ}^1 + a_2 I_{IJ}^2 + a_3 I_{IJ}^3]$$

a_1, a_2, a_3 : 가중치

I_{IJ}^1 : 지표1

I_{IJ}^2 : 지표2

I_{IJ}^3 : 지표3

2. 대중교통 이동성분석지표의 활용 (예)

- 본 연구에서 제시되는 지표를 활용하여 대중교통의 정책에 대한 판단 및 평가에 대해서는 다양한 아래의 사례를 통하여 설명이 가능하다.
- 지표 1이 매우 큰 경우
 - 대중교통시설 간 지선연결체계 투자고려
- 지표 2가 매우 큰 경우
 - 접근성 향상을 위한 시설투자
 - 노선투자를 통한 접근성 및 이동성 향상
- 지표 3이 매우 큰 경우
 - 대중교통의 서비스지원이 낮음
 - 우선 대중교통투자지역으로 선정
- 지표 1은 1에 근접하나 지표2가 높은 경우.
 - 대중교통시설 자체는 승용차 대비 원활한 이동성을 제공하나, 대중교통시설까지의 접근성이 떨어짐.

- 지표1, 2는 1에 근접하나 지표3이 높은 경우.
 - 대중교통시설의 이동성과 시설까지의 접근성도 양호하나, 지역이 하나의 단일 대중교통대안에 의존하는 경향이 높음.
- 지표 2는 타 지역에 비하여 좋으나 1은 상당히 떨어진다.
 - 지역의 대중교통은 다른 지역의 대중교통시설에 의하여 지원되는 정도가 높음.
- 관악구-종로구의 지표 3은 낮으나 강남구-종로구의 지표 3은 높다.
 - 관악구의 대중교통서비스 기반이 강남구에 비하여 열악함.
- 종로구-종로구의 지표3은 높으나 강남구-종로구의 지표3은 낮다.
 - 종로구-종로구 대중교통서비스 기반이 강남구-종로구에 비하여 열악함.
- 경기도 주요거점 지역과 지표3을 비교하여 본 결과 평균적으로 금천구 지역이 매우 높은 것으로 파악됨.
 - 금천구 지역을 우선 광역대중교통시설지원을 위한 투자지역으로 선정.

第 VI 章 결론 및 정책건의

제 1 절 결 론

제 2 절 정책건의

제VI장 결론 및 정책건의

제1절 결 론

- 서울시는 최근 버스노선체계를 비롯하여 중앙버스전용차로제를 중심으로 운영 체계 및 노선체계 등 대중교통체계에 대한 적극적인 개편을 시행하거나 계획하고 있다. 즉, 교통체계에 대한 인식이 대중교통중심으로 전환되고 있는 것이다.
- 이러한 대중교통 중심으로의 인식전환에 따른 각종 개선사업에 있어 보다 고도화되고 전문적인 분석방법은 필수적인 요소이며, 도로교통망, 버스노선, 지하철노선 등 복합적인 교통망에 대한 세밀한 분석까지도 요구받게 되었다.
- 본 연구에서는 최근의 대중교통체계의 개편과 맞물려 복합대중교통망의 분석에 적합한 다음의 3가지 대중교통이동성 분석지표를 개별지표와 지역지표로 나누어 제안하였다.

① 대중교통시설의 이동성지표

② 접근성을 포함한 대중교통이동성지표

③ 대중교통 서비스제공수준 분석지표

- 제안된 지표분석을 위해 본 연구에서는 복합교통망 분석에 활용 가능한 최적통행시간경로 탐색 뿐 만 아니라 이동성의 서비스수준분석을 위한 서비스경로탐색알고리즘을 개발하였다.
- 본 연구에서 제안된 지표와 분석방법은 향후 전개될 대중교통중심의 패러다임 변화에 따른 지역 간의 균형있는 대중교통체계구축과 대중교통노선의 신설 및 폐지 등의 대중교통관련사업의 추진, 대중교통이용증진을 위한 정책판단을 위한 평가방안으로서 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

제2절 정책건의

■ 대중교통체계개편과 관점의 변화에 따른 지표의 활용

- 기존의 대중교통체계를 진단하고 정책의 평가를 위한 지표는 개별노선 또는 지역의 대중교통기반의 잠재성에 대한 측면이 우세했다.
- 최근 서울시의 대중교통체계개편에 의해 기존의 대중교통체계를 진단하고 정책의 평가를 위한 지표에 대한 보완이 필요하다. 특히 준공영제 실시, 노선의 기간선제 도입, 중앙버스전용차로제 시행 등의 체계변화와 도시의 지속가능한 발전을 위한 대중교통중심으로의 관점변화는 대중교통체계가 기존의 개별노선 또는 지역의 평가차원 보다는 지역간의 대중교통균형 또는 전체적인 대중교통체계로의 발전을 평가하고 진단할 수 있는 지표로서 활용에 대한 요구가 필요하다.
- 본 연구에서 제시한 3가지 지표는 지역간에 대중교통의 기반을 개별시설로 평가할 수 있을 뿐만 아니라, 지역의 접근성을 포함한 대중교통균형기반 또는 대중교통서비스의 지원기반 정도에 대한 평가를 위한 활용성이 존재한다.
- 제공된 지표의 활용방안으로는 지역간의 균형적인 대중교통체계 구축을 위한 활용, 노선신설 및 폐지 등 관련사업 추진 시 근거자료로 활용되며, 대중교통 이용증진을 위한 정책판단기준을 제시하는데 근거로서 적용이 가능하다.

■ 대중교통투자모형으로의 활용

- 지역간의 대중교통의 이용성을 측정하기 위해서 본 연구에서 제안하는 지표는 지역간 대중교통이동성이 승용차대비의 절대기준으로서 평가되어야 한다는 개념을 기본으로 하고 있다.
- 이 개념은 전체의 도로망에서 개별지점 간 또는 지역 간의 승용차 대비 대중교통이동성인 굴곡도 개념을 확장한 것으로 지역간의 대중교통이동성에 대한 절대적인 기준도 포함하고 있다.

- 따라서 지역의 개별노선지표와 지역지표의 개념을 대중교통이동성 증진방안을 모색하는 것으로 지역의 대중교통이동성 균형발전을 위한 활용성으로 확대가 요구되며, 그러한 활용에 대한 예는 다음의 3가지로 요약될 수 있다.

- 대중교통의 이동성을 증진시키는 전략 : 승용차이동성을 고정시키고 대중교통 투자 및 효율성증진
- 승용차의 이동성을 감소시키는 전략 : 대중교통시설을 고정시키고 수요 및 교통류 관리차원에서 승용차이동성을 감소시키는 정책
- 노선투자 시 대상지역에 미치는 영향을 분석하여 최대의 대중교통이동성을 보장하는 방안으로의 투자유도

■ 수요를 고려한 대중교통평가모형

- 본 연구는 특히 네트워크 차원의 분석지표에만 한정하였으나, 지역간의 교통수요의 특성이 용이하게 모형에 적용될 수 있다. 특히 지표3의 경우 수요의 총량을 알면 현재 대중교통서비스로 공급 가능한 용량에 대한 제시가 가능하므로, 기존의 수요-공급 교통정책의 평가에 대한 활용이 가능하다.

■ 대중교통 단기모니터링과 네트워크분석의 통합운영

- 대중교통정책에 대한 평가에 대해서 본 연구에서 제시하는 지표는 대중교통체계의 전체적인 발전방향을 나타낸다고 볼 수 있다. 최근 BIS 및 BMS의 운영, 카드시스템의 도입 등에 의해 대중교통의 단기적인 변화를 보여주는 자료의 구축이 매우 용이하다.
- 따라서 이러한 자료를 본 연구에서 제시하는 지표와의 통합운영을 통해 보다 바람직한 대중교통운영체계의 확립이 가능하다.

참 고 문 헌

1. 서울시정개발연구원, 「서울시 시내버스 노선조정 방안 연구」, 1994.
2. 서울시정개발연구원, 「시내버스노선의 합리적 조정방안」, 1995.
3. 서울시정개발연구원, 「제2기 지하철 전면개통에 따른 시내버스 노선체계 개편구상」, 2000.
4. 국토계획, 「도시 버스교통 평가지표의 개발과 종합화방법에 관한 연구」, 2000.
5. 서울시정개발연구원, 「도로교통망의 이동성 분석지표 개발」, 2003.
6. 국토연구원, 「지속가능한 이동성 연구」, 2002.
7. 서울시정개발연구원, 「지표로 본 서울변천 - 주요 통계와 동향」, 2003.
8. 이상용, 박경아, “시내버스노선체계 평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용”, 「대한교통학회지」 제21권 제4호, 2003.
9. 임용택, “일반가로망에서 교통정보제공을 위한 n-path 알고리즘의 개발”, 「대한교통학회지」 제22권 제4호, 2004.
10. 신성일, “교통망에 적합한 K 비루프 경로 탐색 알고리즘”, 「대한교통학회지」 제22권 제6호, 2004.
11. 장인성, “서비스시간 제약이 존재하는 도시부 복합교통망을 위한 링크기반의 최단경로탐색 알고리즘”, 「대한교통학회지」, 제18권 6호, 2000.
12. 노정현, 남궁성, “도시가로망에 적합한 최단경로탐색 기법의 개발”, 「대한국토 도시계획학회지 국토계획」 제30권 제5호, 1995.
13. 이미영 외, “링크표지갱신 다수경로탐색 알고리즘”, 「대한교통학회지」, 제22권 제2호, 2004.
14. 이미영 외, “거리비례제 요금부과에 따른 최소요금경로탐색”, 「대한교통학회지」, 제22권 제2호, 2004.
15. Chicago Transit Authority, 「CTA(Chicago Transit Authority) Service Standards」, 2001.

16. Florida DOT, 「*Florida's Mobility Performance Measures System*」, 2000.
17. Lomax T, Shawn T, Shunk G, 「*Quantifying Congestion : Final Report*」, NCHRP Report 398, Vol. 1, 1997.
18. Lomax T, Shawn T, Shunk G, 「*Quantifying Congestion : User's Guide*」, NCHRP Report 398, Vol. 2, 1997.
19. Potts R.B. and Oliver R.M., 「*Flows in Transportation Networks*」, Academic Press, 1972
20. TRB, 「*A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement System*」, TCRP Report 88, 2001.
21. TRB, 「*Transit Capacity and Quality of Service Manual*」, TCRP Report 100, 2001.
22. Azevedo J. A., Costa M. E. O. S., Madeira J.J.E.R.S., and Martins E.Q.V., 「*An Algorithm from the Ranking of Shortest Paths*」, European Journal of Operational Research, Vol. 69, 1993.
23. Bellman R. and Kalaba R., 「*On Kth Best Policies*」, 「J. SIAM」 8, 1968.
24. Dijkstra E. W., 「*A Note of Two Problems in Connected with Graphs*」 「Numerical Mathematics」 I, 1959.
25. Kirby R. F. and Potts R. B., 「*The Minimum Route Problem for Networks with Turn Penalties and Prohibitions*」, 「Transportation Research」 3, 1969.
26. Lee M., 「*Transportation Network Models and Algorithms Considering Directional Delay and Prohibition for Intersection Movement*」, Ph.D. Thesis, University of Wisconsin Madison. 2004.
27. Martins E.Q.V., 「*An Algorithm for Ranking Paths that May Contain Cycles*」, 「European Journal of Operational Research」, Vol. 18, 1984.
28. Moore E. F., 「*The Shortest Path through A Maze*」, 「Proc. Int. Conf. on the Theory of Switching」, Harvard Univ., Cambridge, MA. 1957.

29. Park, D. J., “*Multiple Path Based Vehicle Routing in Dynamic and Stochastic Transportation Networks*”, Ph.D. Thesis, Texas A&M University, 1998.
30. Pollack M., “*The Kth Best Route Through A Network*”, 「Operations Research」, Vol. 9, 1961.
31. Shier R. D., “*On Algorithms from Finding the k Shortest Paths in a Network*”, 「Networks」, Vol. 9, 1979.
32. Yang H.H. and Chen Y.L., “*Finding K Shortest Looping Paths in A Traffic Light Network*”, 「Computer & Operations Research」, 2003.
33. Yen J.Y., “*Finding the K shortest Loopless Paths in a Network*”, 「Management Science」, Vol.17, 1971.
34. <http://www.algoga.go.kr>
35. <http://bus.seoul.go.kr>

Mobility Index of the Public Transportation in the Seoul Metropolis

<u>Project Number</u>	<u>SDI 04-R-07</u>
<u>Research Staff</u>	<u>Seong-II Shin (in Charge)</u> <u>Kyung-Hwan, Kim</u> <u>Hyun Soo, Noh</u>

Public transportation systems aim at moving people/citizens to their destination in quick, ease and less-costly manner. As the scale of cities is expanded, the role of public transportation increases in terms of travel time and thereby the mobility of public transportation is considered to be more important. Recently the effort for renovating the bus system in the Seoul metropolis has been vigorously performed for the purpose of improving the mobility of public transportation. The terminologies such as the semi-public operation system, the distance-based fare system, the median bus lane, and the trunk-feeder system are by-products generated by this renovation. Under these diverse systematic efforts it is expected that the mobility of public transportation is gradually improved in a steady pace.

The analytical approaches, nevertheless, to identify the mobility of public transportation itself have not been widely stressed in Korea as well as other foreign countries. The only popular approaches regarding the mobility of public transportation in Metropolitan areas have been proposed in terms of each separate purpose and/or project unit to measure uncertain service level of public transportation and/or facilities infrastructure of individual regions, not to mention in a national-scaled project and/or region. Consequently, those separate efforts may put decision-makers neither to right understanding nor to reasonable decision on the public

transportation status. In addition, since there exist so diverse measurement criteria that it can be barely sure of them to get to the point on the status and evaluation result of the public transportation policies and strategies. To make thing worse it sometimes becomes the main reason for misguiding them onto wrong directions.

This report addresses the necessity of both microscopic and macroscopic mobility indices of public transportation for inter-regional analysis purpose, which are applicable for both policy and decision makers and experts in the public transportation field. Although many indices have been proposed as candidates so far, the ratio of transit mode travel time to auto mode travel time between two regions considering inter-modality of transportation networks, which consist of car, bus, subway, pedestrian modes etc, is recommended as the fundamental criteria to take detail into consideration all the necessary conditions of the public transportation of the Seoul metropolis. The ratio index usage is then doubled and expanded into three separately indices with the same basic property and applied for the purpose of analyzing inter-regional public transportation policies, strategies, and evaluations. With real case studies based on inter-modal transportation network data of the Seoul metropolitan area, the proposed indices have been applied to confirm if they are working better in the field to maintain the usefulness and the original assumptions.

The result is proven to be quite promising, and the integrated and mixed usage of the indices also turn out to be very meaningful for easy understanding and identifying evaluation status of public transportation system of inter-modal public transportation network. To apply these network-based indices in the field of policy-making and operational level, these indices may need to be integrated with short-term-monitoring-based indices in order to set up policy guideline for improving the mobility of public transportation modes. This report concludes that the proposed indices can play an important role to lead the recent renovation wave of public transportation system to the right direction.

Summary and Policy Recommendations

Chapter 1 Introduction

1. Background
2. Purpose
3. Scope and Method

Chapter 2 Mobility Index of the Public Transportation and Its Requirements

1. Definitions and Characteristics of the Public Transportation
2. Necessities of Mobility Index of the Public Transportation
3. Requirements and Types

Chapter 3 Status of Public Transportation In Seoul and Application of Mobility Indices in Korea and Other Countries

1. Status Change of Public Transportation in Seoul
2. Overview in Korea
3. Overview in Other Countries
4. Data Acquisition Level and Information Provision
5. Suggestions

Chapter 4 Development of Mobility Index of the Public Transportation

1. Renovation of Public Transportation System
2. Development of Mobility Index

3. Construction of Intermodal Transportation Network
4. Algorithms for Network Analysis

Chapter 5 Case Studies and Applications

1. Intermodal Transportation Network Model
2. Case Studies of Proposed Index
3. Public Transportation Investment Models Using Proposed Indices

Chapter 6 Conclusions and Policy Recommendations

1. Conclusions
2. Policy Recommendations

• References

시정언
2004-R-07

대중교통 이동성 분석지표 개발

발 행 인 백 용 호

발 행 일 2004년 12월 31일

발 행 처 서울시정개발연구원

137-071 서울시 서초구 서초동 391번지

전화: (02)2149-1090 팩스: (02)2149-1120

값 9,000원

ISBN 89-8052-365-3-93530

본 출판물의 판권은 서울시정개발연구원에 속합니다.