

■ 論 文 ■

수도권 대중교통체계 개편 전·후 지하철 이용자의 접근성 변화 모형구축

Modeling Subway Accessibility in Seoul Public Transport System Reform

김 찬 성

(한국교통연구원 책임연구원)

성 흥 모

(한국교통연구원 위촉연구원)

신 성 일

(서울시정개발연구원 연구위원)

목 차

- | | |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <p>II. 문헌 연구</p> <p> 1. 접근성 지표의 활용영역</p> <p> 2. 접근성 지표의 추정방법</p> <p> 3. 문헌 연구와 본 연구와의 관련성</p> <p>III. 모형의 설정 및 추정 방법</p> <p> 1. 접근성 지표 추정 방법론</p> <p> 2. 공간상호작용 모형</p> <p>IV. 분석 자료</p> | <p>1. 기본 자료</p> <p>2. 분석자료의 특성</p> <p>V. 추정결과 및 해석</p> <p> 1. 대중교통 체계 개편 전·후의 승객수 변화</p> <p> 2. 대중교통 체계 개편 전·후의 접근성 지표의 변화</p> <p> 3. 공간상호작용 모형의 결과</p> <p>VI. 결론</p> <p> 참고문헌</p> |
|---|--|

Key Words : 대중교통체계 개편, 접근성, 공간상호작용, 통행배분, 지하철

요 약

대중교통의 서비스 개선은 접근성이 개선되어 대중교통 이용자의 수요를 늘리는 중요한 역할로 작용한다. 본 연구는 서울시가 최근 2004년 7월 대대적으로 실시한 대중교통체계 개편 후 지하철이용자의 접근성 변화를 설명하기 위한 것이다. 첫번째 연구목적은 공간상호작용 개념을 포함하는 한센형 접근성 지표를 지하철-버스간 환승할인 전후의 자료로부터 추정하고 비교설명한다. 두번째 연구목적은 개편 전·후의 접근성 지표가 단기의 교통과 토지이용간의 관계를 설명하는 통행배분모형에 어떠한 역할을 하는지를 해석하는 것이다. 분석에 사용한 비접촉식 카드승차권과 접촉식 승차권 자료는 2004년 5월의 하루 평균 지하철 기종점자료와 서비스 변화가 발생한 2004년 8-9월의 하루 평균 지하철 기종점자료이다. 결론적으로 비접촉식 카드 이용자의 접근성이 향상되어 대중교통개편의 수혜자가 된 것으로 나타났으며, 그 효과는 서울지역에 넓게 분포된 것으로 나타났다. 통행배분모형연구에서 접근성 지표의 역할은 중요한 것으로 나타났으며, 기존 모형에서 접근성 지표의 변수가 생략되면, 추정된 모형의 파라미터들이 편기(bias)된다는 것을 발견하였다. 그리고, 접근성 지표의 생략으로 인한 통행배분모형의 예측력 저하 원인을 규명하는 노력이 시도되었다.

Various urban transport policies have an effect on urban transit riderships and accessibility. This study reports variations of metropolitan subway travel patterns affected by an enormous change in bus routes and transfer discount fare policy between subway and bus mode conducted by Seoul city in July 1st of 2004. In an effort to see the difference between the before and the after policies, two data sets are prepared. Firstly, on a daily basis, an origin-destination trip table of May of 2004 is used. Secondly, on a daily basis, an origin-destination trip table of August-September of 2004 is used as a counter measure. Even if seasonal variation was not considered, Seoul metropolitan area have experienced increasing riderships and accessibility. Finally, the effects of accessibility in spatial interaction model by rail service changes such as random shocks were scrutinized and interpreted in detail.

I. 서론

우리는 흔히 어느 지역, 특정 시설(공항, 역, 병원, 관공서, 학교 등)에 도달하고자 할 때 접근성이 좋은지 나쁜지를 이야기 한다. 또한 어떠한 교통수단을 이용할 때 접근성이 용이한지를 평가한 후 효용이 높은 교통수단을 선택하는 경향이 있다. 공항과 지역간 철도역의 접근성은 매우 낮은 것으로 인식하고 있으며, 도시내 대중교통의 접근성은 공항이나 지역간 철도역보다 높으며, 승용차의 접근성은 상대적으로 높다고 인식하는 경향이 있다. 이와 같이 우리는 일상생활에서 접근성이라는 단어를 자주 사용한다.

여기서, 접근성 개념이란 "교통서비스와 시설에 접근할 수 있는 용이함"으로 정의되며, 공간지리학 분야에서 폭넓게 사용되기도 하며, 김광식(1987)은 지리학, 교통공학, 교통계획 그리고 도시계획 분야에서 사용된 연구들을 종합·정리하여 소개한 바 있다. 그러나, 본 연구에서 다루는 접근성 개념은 Hansen(1959)이 정의한 공간적 상호작용을 고려하는 개념에 한정하며, 접근성 지표는 그 크기를 수치화하여 표현한 것이다.

여러 가지 교통정책들이 대중교통의 접근성을 높이는데 중요한 역할을 한다. 대표적으로는 새로운 서비스 공급, 대중교통 노선체계 개선, 요금할인정책, 토지이용의 변화정책 등이다. 서울시는 최근 2004년 7월 대대적으로 대중교통체계를 개편하였다. 핵심적인 내용은 기존의 지하철과 버스 수단간 경쟁체계에서 버스회사를 준공영화하여 지하철과 버스간 노선경쟁을 줄이고, 버스전용차선 실시 및 버스와 지하철간 환승할인 정책을 시도하였다. 또한 2004년 7월 15일은 지하철을 주로 이용하는 서울 시민에게 혜택이 주어지는 정기권제도를 부활하였다. 이와 같이 대중교통의 서비스개선은 대중교통이용자의 수요를 늘리며 접근성을 향상시키는 중요한 역할로 작용하였을 것이다.

본 연구는 두 가지의 연구목적을 가지고 있다. 첫째, 대중교통개편 전후의 수도권 전철과 지하철의 역간 기종점자료를 이용하여 승객의 접근성 지표 변화를 추정 한 후 그 지표를 직접적으로 비교하는 것이다. 둘째, 서울시에서 추진한 대중교통체계의 개편은 단기에 걸쳐 교통과 토지이용관계에 상당한 변화를 주었을 가능성이 높다. 그러므로 개편 전후의 접근성 지표변화가 교통과 토지이용관계를 설명하는 모형의 하나인 공간상호작용 모형(Spatial interaction model)에 어떠한 역할을

하였는지 해석하는 것은 중요한 연구목적이 될 수 있을 것이다.

본 논문의 구성은 제2장에서 공간상호작용을 포함하는 접근성 지표 연구와 관련된 기존연구들이 소개되며, 제3장에서는 사용된 모형구조에 대하여 다루며, 제4장에서는 사용된 자료의 상세히 언급된다. 제5장은 모형의 추정결과를 보고하고, 제6장은 연구내용을 요약 정리한다.

II. 문헌연구

1. 접근성 지표의 활용 영역

공간상호작용을 고려한 접근성 지표가 교통정책 연구에서 활용되는 영역을 크게 4가지로 구분하여 설명하고자 한다. 첫째, 추정된 지표 자체에 의미를 부여하는 영역, 둘째, 교통수요예측 모형에 접근성 지표를 포함하여 예측력을 높이는 영역, 셋째, 통행자의 통행행태를 설명할 때, 그리고 마지막으로 경제학적 평가 시 활용하는 영역이다.

접근성 지표를 수식으로 표현할 때 아래와 같은 두 가지 수식이 일반적으로 사용된다. 여기서, i, j 는 존을 의미하며, S 는 존의 특성(인구, 고용, 연상면적 등)을 나타내는 벡터이며, $V(X, S)$ 는 효용함수로서 i 와 j 간 통행특성을 설명해주는 변수인 X (시간, 거리, 사회경제변수)와 S 는 존의 특성을 고려하여 추정된 함수이다. 식(1)이 많은 연구자들이 사용해온 집계형 모형결과이고, β 는 거리조락 파라미터이다(distance decay parameter). 식(2)는 비집계형 모형으로 추정된 결과이며, 개념적으로 잘 정의된 log sum지표를 의미한다(Ben-Akiva et al. 1985).

$$A_i = \sum_j S_j \exp(\beta d_{ij}) \quad (1)$$

$$A_i = \ln \sum_j \exp(V(X, S)) \quad (2)$$

1) 지표 자체에 의미를 부여하는 방법

접근성 지표 자체에 의미를 부여하는 연구는 오랜 역사를 가지고 있다. 가장 기본적인 연구의 목적은 교통시설 및 토지이용의 변화 전후를 설명할 때 주로 사용하는 경향이 있다. 최초로 이러한 분석을 도입한 연

구자는 Hansen(1959)으로서 토지개발 또는 도로의 건설로 인하여 접근성 지표가 권역간 어떠한 변화를 주는지를 파악하여 정책적으로 활용될 수 있는 사례를 소개하였다. 많은 연구자들이 이러한 이론적 실증적인 연구를 수행해왔고, 최근 미국 텍사스 오스틴 대학에서는 각종 저널에서 사용된 접근성 지표·추정법 및 적용 사례 등을 정리한 보고서를 발행한 바 있다(Bhat et al., 2000). Rietveld et al.(1998)는 교통부문의 사회간접자본의 투자가 지역경제와 접근성 변화에 미친 영향을 유럽지역의 도시내 및 도시간 자료를 이용하여 체계적으로 보고한 바 있다.

접근성 지표 개념의 확장은 1970~1980년대 적용된 집계형(Aggregate) 교통모형 패러다임에서 1990년대 이후 비집계형(Disaggregate) 교통모형으로 전환되고 있는 것처럼 접근성 지표에서도 이러한 연구방향으로 전환하고 있다. 즉, 개인의 통행정보(Travel diary)를 이용하여 기존의 통행기반(Trip based) 접근성에서 활동 중심(Activity based)의 접근성으로 확장되고 있다. 활동중심의 접근성은 통행자가 어느 곳에서 어떤 통행을 만들고, 시간을 어떻게 소비하는지를 표현하는 것이다(Dong et al., 2006).

우리나라에서도 접근성 지표에 대하여 많은 연구가 수행되어 왔고, 특히, 조남건(2003)은 고속철도 개통 전후의 접근성 지표를 추정하여 국토공간구조의 변화를 설명한 바 있다.

2) 교통수요예측에 포함하는 방법

접근성 지표가 교통수요예측 모형에 포함되어 모형의 설명력을 높이는데 활용될 수 있다. 통행발생, 통행배분 및 수단선택단계에 포함될 수 있으며, 1.2절에서는 통행발생과 통행배분에 대하여 설명하고, 1.3절에서는 수단선택에 대하여 설명하고자 한다.

먼저, 통행발생의 경우 통행발생량을 종속변수로 하고, 인구, 고용자수 및 접근성 지표 등을 독립변수로 하여 회귀모형을 추정하는 것이다. 이론적으로는 훌륭하나 Ortuzar et al.(1994)는 통행발생 모형에서 접근성 지표를 수용하는 것은 기대하지 않은 부호가 추정될 가능성이 있어 어렵다고 지적한바 있다. 그럼에도 불구하고 Purvis(1998)는 캘리포니아 지역의 횡단면 자료를 이용하여 모형을 추정한 바 있으며, 연구자들은 이러한 접근법을 유발수요(Induced demand)를 설명하는 모형으로 해석하고 있다(Yao et al., 2005).

두 번째는 통행배분모형에 접근성 지표를 포함하여 모형의 예측력을 높이는 것이다. 전통적으로 통행배분모형에서 존간 통행량은 유입 및 유출되는 존의 크기에 비례하고 거리의 제곱에 반비례하는 것으로 간주해왔다. 그러나, 이러한 모형상의 제한적인 가정은 존들의 크기가 공간상에 분포되어 있는 특징을 반영하지 못한다는 문제점이 있다. 도시지리학자 Fotheringham(1983; 1986)와 Borgers et al.(1987)은 인구이동 자료를 이용하여 공간적 배치를 고려해야만 통행배분모형의 예측력이 향상된다는 것을 경험적으로 증명하였고, 교통연구 분야에서는 상대적으로 늦게 적용되었다(Bhat et al., 1998; 김찬성 등, 2003; Kim et al., 2005).

3) 통행행태(Travel behavior) 연구에 활용하는 방법

통행행태연구에 접근성 지표를 사용하는 방법은 저널에서 매우 일반적이다. 주로 계량경제학적 접근방법을 이용하여 접근성 지표를 포함하는 토지이용과 관련된 독립변수가 통행시간, 통행거리, 통행빈도, 교통수단선택, 자동차 보유대수, 직주근접(Job-housing balance) 등에 어떻게 얼마만큼 영향을 주는지를 분석하는 것이다.

교통정책적 측면에서 중요한 이유는 교통과 토지이용관계에 내포되어 있는 중요한 가설때문일 것이다. 즉, 하나의 지역 내에 있는 토지이용의 공간적 분포가 그 지역에 사는 사람들의 통행행태에 영향을 준다는 것이다. 이러한 가설에 포함된 정책적 이슈 중의 하나는 도시설계에 의한 통행패턴(Travel by design)의 변화를 유도하는 것이 가능한가에 대한 것이다(Boarnet et al., 2001). 즉 토지이용이 통행행태에 많은 영향을 준다면, 자동차 중심의 도시, 대중교통 중심의 도시, 고밀도 도시개발 등과 같은 인위적인 도시개발로 사람의 통행행태의 변화를 어느 정도 유도가 가능하다는 것이다. 따라서, 구미에서는 이러한 가설을 검증하기 위한 많은 연구 노력을 해왔다.

교통 정책적 해석뿐만 아니라 계량경제학적 측면에서도 접근성 지표의 포함은 중요하다. 즉, 접근성 지표가 중요한 변수로 작용하는 이유는 통행자가 어느 곳에 살고, 어느 곳에서 일하는지의 정보로부터 주변 교통 환경을 설명해주는 중요한 역할을 하기 때문이다. Levinson(1998)은 직장(Job)의 접근성이 좋은 지역에 사는 사람과 주택의 접근성이 좋은 곳에서 일하는 사람은 출근 시간이 짧은 것으로 설명된다고 주장한다. 사는 곳을 기

준으로 집의 접근성 및 직장의 접근성을 추정하는 반면, 일하는 곳을 기준으로 집의 접근성 및 직장의 접근성을 추정하여 4가지의 접근성과 출근통행시간과의 상호관계를 설명하였다. 이와같이, 통행행태를 설명하는 모형에서 접근성 변수가 생략되면 계량경제모형의 생략된 변수의 문제를 유발하여 기 추정된 파라미터들의 영향이 과도/과소하게 될 우려가 있다고 지적한다(Cervero, 2002). 그는 교통수단 선택모형에서 통행시간과 통행비용만 포함하고, 접근성 지표와 같은 토지이용변수가 생략되면, 통행시간과 통행비용의 영향이 과도하게 영향을 주는 것으로 해석될 우려가 있다고 한다.

4) 경제학적 평가에 활용하는 방법

접근성 지표가 경제학적 평가에 이용되는 연구는 개념적으로는 잘 정리되어 있지만, 실제로 적용된 사례는 많지 않다. 통상 교통투자로 인한 편익산정 시에 투자전의 접근성 지표와 투자 후의 접근성 지표를 추정함으로써 두 총량적 값의 차이가 소비자 잉여라고 가정하여 편익으로 간주하고 있다(Neuberger, 1971). 그러나, 둘간의 차이를 설명할 때 화폐의 단위가 모호하여 경제학적 평가에 직접적으로 사용되지 않으며, 보상변화(Compensating variation)의 개념을 활용하여 평가한다. Niemeier(1997)의 연구가 이러한 연구의 대표적인 사례이며, 도착지선택(Destination choice)모형 추정에서 통행비용을 소득으로 나눈 변수의 파라미터를 활용하여 교통수단과 공간의 경제학적 가치를 해석한 바 있다. Waddell(2002)는 기존 존재계의 개념에서 탈피하여 150미터×150미터 크기의 Parcel 기반으로 기존 교통과 토지이용모형의 확장을 시도하였고, 접근성 지표를 노동시장, 주택시장, 토지개발업자, 토지이용 변화, 교통량 변화간의 관계를 설명할 때 사용하였다.

2. 접근성 지표의 추정방법

지표를 추정하는 방법은 연구자에 따라 다르지만 크게 세 가지로 설명이 가능하다. 가장 간단한 방법은 전통적인 중력모형의 개념을 활용하는 것이다. 즉, 도착지 특성 변수로는 존의 인구나 고용자수를 사용하고, 저항함수로는 거리의 제곱에 반비례하는 개념을 활용하는 것이다.

두 번째는 다항로짓 모형을 추정하여 도착지 특성변수와 거리변수의 파라미터를 추정하는 것이다. 여기서,

종속변수는 통행자가 속한 존이며, 독립변수는 통행시간, 통행비용 및 사회경제지표, 토지이용 변수 등이다. 다항로짓모형 추정에서 중요한 점은 대안의 수가 너무나 많다는 것이다. 일반적으로 교통수요모형에서 채택하고 있는 분석단위는 존이며, 도시의 크기에 따라 다르지만, 500~2000개 정도 되며, 교통수단은 3~5개로서 최소 1500~10000개의 대안이 존재하므로 표본추출과 같은 기법을 적용하여 모형을 추정해왔다. Daly(1981), Niemeier (1997), Bhat et al.(1998), Kitamura et al.(1998), Portland Metro(1998), 김찬성 등 (2003), Limanond et al.(2004), Kim et al. (2005), Yao et al.(2005) 은 이러한 방법을 적용하였다. 실증 연구들에서 통상 10~20개 정도가 대안 집합으로 고려되었는데, Nerella et al.(2004)의 연구는 표본추출에 의한 10~20개 대안의 고려가 통계학적으로 효율적인 추정이며 파라미터들이 Bias되지 않는다고 보고하고 있다.

마지막 방법은 가설문조사를 이용하는 경우에 한정하여 사용할 수 있는 방법이다. 매 5키로미터 마다 통행빈도를 산정한 후 비율로 환산하여 이를 종속변수로 가정하고, 통행시간 및 사회경제 변수 등을 독립변수로 가정하여 회귀분석을 시행하는 것이다. Levinson (1998) 등은 이러한 방법을 적용하였다.

3. 문헌 연구와 본 연구와의 관련성(Relevance)

본 연구에서는 두 가지의 용도로 활용한다. 첫째, 접근성 지표 자체의 의미를 살펴본다. 개편 전후의 접근성 지표를 추정하여 비교분석한다. 둘째, 접근성 지표가 공간 상호작용 모형에 어떠한 역할을 하는지 살펴보기 위하여 개편 전후의 모형을 추정하고 해석해 본다. 기존 연구와 다른 본 연구의 해석을 시도한다. 따라서 1.1절 그리고 1.2절과 주로 관련이 있고, 1.3절과 관련해서 본 연구는 다항로짓 모형을 채택하였다.

III. 모형의 설정 및 추정 방법

1. 접근성 지표 추정 방법론

본 연구에서 접근성 지표를 추정하기 위하여 Location Choice Modeling을 수행한다. 이 방법은 회귀분석법 중에서 종속변수가 이산형일 경우에 적합한 Discrete

Choice Analysis에 의한 분석방법이다. 현실적으로 두 가지 문제를 해결해야만 모형을 추정할 수 있다. 첫째, 모형적용 시 다수의 Choice 대안이 존재하므로 대안을 줄일 수 있는 방법은 앞의 문헌연구에서 기술한 방법이 채택되었다.

둘째, 접근성 지표를 계산하기 위하여 채택한 자료는 하루평균 수도권 지하철의 통행량이 약 600만통행이므로 전체를 나열하여 모형을 추정하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서, 가구설문 조사가 모집단 중 일부를 표본 추출하여 교통수요를 추정하는 것처럼, 본 연구에서도 전체 모집단 중 약 4,000개를 표본 추출하여 모형의 파라미터를 추정하고 해석을 시도하였다. 앞의 대안 추출과 표본추출과정은 난수 생성기를 이용하여 수행하였다. 접근성 지표를 추정하기 위해 식(4)를 이용하여 β 파라미터를 추정하였고, 앞의 식(1)을 지표산정 시 사용하였다. 본 연구에서 사용한 S 는 각 지하철 역에 도착한 승객수로 정의한다.

$$U_{ij} = V_{ij} + \epsilon \tag{3}$$

$$V_{ij} = \beta d_{ij} \tag{4}$$

2. 공간상호작용 모형

앞의 문헌 연구에서 통행배분모형이 존의 공간적 특성을 고려하지 못하면 모형의 예측력이 저하된다고 설명하였다. 본 절에서는 개편 전후의 모형을 추정하여 접근성 지표의 역할을 조사한다. 이를 위하여 식(5)와 식(6)을 이용한다.

$$P_j = \frac{\exp(V_{ij})}{\sum_{i=1}^I \exp(V_{ij})} \tag{5}$$

$$V_{ij} = \beta d_{ij} + \ln(S_j^{\gamma}) + \ln(A_j^{\eta}) \tag{6}$$

IV. 분석 자료

1. 기본 자료

대중교통운영분야에서 승객의 승하차 자료는 중요한 역할을 한다. Strathman et al.(2002) 및 Kimpel et al.(2003) 등은 버스의 정지 위치를 GPS(Global Positioning System)장비로부터 수신하고, 버스내부

에 장착된 승하차 카운팅 정보를 읽어 버스 노선의 서비스 평가와 스케줄링 향상에 기여를 하였다. 그들이 사용한 자료는 정차 지점간 기종점 정보가 아닌 단지 승하차 정보만을 이용한 것이었다.

반면, 본 연구는 운영기관의 공동전산망에서 생성되는 기점과 종점의 모집단 자료이다. 이러한 모집단 자료는 대중교통운영시 수입금 계산, 승객의 혼잡도 추정 등에 중요한 역할을 하고 있다(한국교통연구원, 1995; 한국교통연구원, 2004; 신성일 등, 2005). 뿐만 아니라 중력모형의 예측력 평가 시 활용된 바 있다(김찬성 등, 2003; Kim et al. 2005).

1) 개편 전의 자료

수도권 지하철과 전철운영기관인 서울시 지하철공사, 도시철도공사, 한국철도공사(과거 철도청) 및 인천시 지하철공사는 공동전산망을 구축하여 승객의 승하차 인원파악 뿐만 아니라 각각의 승객에 대하여 출발지 및 도착지를 파악할 수 있는 시스템을 1990년대부터 구축하였고 지금까지 계속해서 운영해오고 있다.

본 연구에서 사용한 서울시 대중교통체계 개편전의 자료는 서울시 지하철공사에서 입수하였으며, 2004년 5월 자료를 하루 평균으로 환산하여 사용하였다.

2) 개편 후의 자료

서울시 대중교통체계 개편 후의 자료는 자료를 취급하는 기관과 승차권의 종류에 따라 다소 자료의 형식이 복잡하다. 자료를 취급하는 기관과 내용을 상세히 설명해보면, 기존의 MS(Magnetic Stripe, 접촉식 승차권) 승차권에 대해서는 지하철운영기관이 취급하고, RF(Radio Frequency, 비접촉식 승차권) 승차권에 대해서는 한국스마트 카드사가 취급하게 되었다. 그리고 2004년 7월 15일 이후 실시되는 정기권의 경우는 기점과 종점이 기록되지 않고 단지 역별 승차인원과 하차인원만이 지하철 운영기관을 통해 입수가 가능하다.

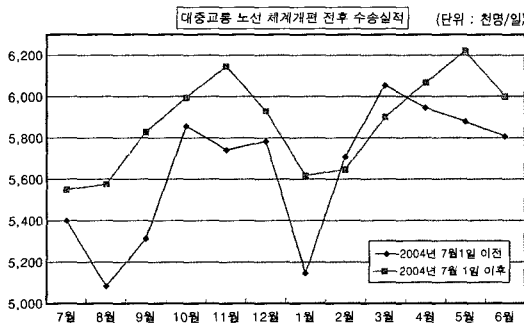
세부적으로 자료를 취합하는 과정은 다음과 같이 요약된다. 먼저, 서울시 지하철공사에서 8월과 9월 MS를 이용하는 승객의 기종점 자료를 입수하였으며, 같은 기간동안의 정기권 승하차인원 자료를 한국철도공사, 지하철공사 및 도시철도공사로부터 입수하였다. 마지막으로 2004년 8.15~9.14일 동안의 하루평균 승객수를 한국스마트 카드사로부터 입수하였다. 한국스마트 카드사의

자료는 선불과 후불의 자료를 포함하는 것이다. 그러나, 2004년 8월 및 9월의 서울시내 정기권 대상 역별 승차차 자료는 기종점 정보를 포함하고 있지 않기 때문에 2004년 8월 및 9월(1일 평균)의 발생·도착량을 기준으로 2004년 5월 정기권 대상역간 기종점 통행분포를 가지고 통행배분 모형 중 Fratar법을 이용하여 서울시내 정기권 이용자의 기종점 통행표를 추정하였다. 보다 상세한 추정과정은 한국교통연구원(2004)에 수록되어 있다. 앞서 설명한 세가지 자료를 취합함(Pooled data)으로서 지하철 승객의 모집단이 계산된다.

2. 분석자료의 특성

1) 승객수 변화

개편 전·후의 승객수요의 변화를 비교를 위하여 몇 가지 지표들을 제시한다. 가장 먼저 필요한 지표는 지하철 승객의 월별 수송실적이다. 본 연구의 자료가 2004년 7월 1일 이전 자료와 2004년 7월 1일 이후 자료를 비교하고 있으므로, 지하철 승객의 월별 수송실적을 투영함으로써 수요변화의 정도를 가늠해 볼 수 있을 것이다. <그림 1>에서 보느냐와 같이 개편 이전과 이후 모두 월중 5월, 11-12월의 수요가 비교적 높은 것을 알 수 있다. 1-2월 및 8-9월은 학생들의 방학 및 직장인의 휴가 등으로 보다 낮은 통행실적을 보여주고 있다. 개편 이전과 이후의 전반적인 실적을 살펴 보면 개편 이후 수송실적이 전반적으로 일 평균 23만명의 통행이 증가하였다. 개편 후 대중교통 승객수가 전반적으로 증가하였으나, 2월과 3월의 경우 개편 후에 감소하는 경향을 보였는데, 이는 전년과 비교 했을시 휴일 수가 많아, 대중교통 이용객수가 감소했을 것이라 판단되어진다. 그러므로, 이러한 계절적인 특성자료를 본



<그림 1> 대중교통 노선 체계 개편 전·후 월별 일평균 승객수 변화

연구에서 서울시 대중교통개편으로 인해 지하철의 수요가 어떻게 얼마만큼 변화가 있었는가?를 설명하기 위해 활용할 수 있다. 앞에서 언급한 것 처럼, 개편 전후의 수요증가는 하루평균 23만명(수도권 전체 통행량을 기준으로) 증가된 것으로 분석되었다. 계절적인 변동을 투영하면 훨씬 더 많을 것으로 추정되고, 승차권 종류에서 기존 MS승차권이용자들이 버스와 지하철간의 환승할인을 위해 RF(교통카드)카드 이용자로 전환되었음을 알 수 있다.

이중 2004년 1년 실적 중에서 5월과 8월, 9월의 개편 전·후의 서울시내와 외의 통행량 변화를 보다 구체적으로 살펴보기로 한다. 이는 <표 1>과 <표 2>를 이용하여 설명가능하다. 버스노선개편과 지하철-버스간 요금할인 정책은 서울시내 수요패턴에 상당한 영향을 주었음을 발견할 수 있다. 서울시내는 개편 전·후 하루평균 25만명(개편전 서울시 기반 통행량의 6%)의 수요증가를 가져온 반면, 서울 시계 외는 12만8천명의 수요 감소가 있었다. 계절적인 변동을 고려해 보면, 서울 시계외의 수요가 감소한 것이 아니라 변화가 없다고 보아야 옳을 것이다. 수요변화의 핵심은 승차권이며, 수도권 전역을 기준으로 RF카드를 이용하는 비율이 개편 전에 62.7%에서 69.0% 증가하였음을 알 수 있다. 정기권 이용자가 4.7%로서 RF카드를 이용하는 고객으로 포함하였다. RF카드 이용자로 상당수의 전환은 서울시내 구간이 개편 후에 버스와 지하철간에 환승할인 요금혜택이 주어 지므로 승객 수 증가에 중요한 역할을 하였음을 발견할 수 있다. 평균 6% 증가량을 수도권 전역에 버스와 지하철 환승이 이루어진다는 가정을 적용하면 개편 전 서울시계의 수요에서 10만명이 증가할 것으로 예측할 수 있다. 수도권 전역에 환승할인 제도가 시행되면 계절적 추

<표 1> 개편 전의 통행량(통행/일)

승차권 종류	수도권 전체		서울시 기반		서울시계 외	
	통행량	비율	통행량	비율	통행량	비율
MS	2,159,591.7	37.3	1,421,523.7	34.0	738,068.0	45.9
RF	3,624,845.3	62.7	2,754,745.7	66.0	870,099.6	54.1
총계	5,784,437.0	100.0	4,176,269.4	100.0	1,608,167.6	100.0

<표 2> 개편 후의 통행량(통행/일)

승차권 종류	수도권 전체		서울시 기반		서울시계 외	
	통행량	비율	통행량	비율	통행량	비율
MS	1,829,847.6	31.0	1,325,495.7	29.9	504,351.9	34.1
RF	4,077,112.3	69.0	3,101,260.4	70.1	975,851.9	65.9
총계	5,906,959.9	100.0	4,426,756.1	100.0	1,480,203.8	100.0

이를 고려하지 않아도 약 35만명(기존 25만, 추가 10만)의 승객이 증가한 것으로 예측된다.

2) 통행패턴변화

본 연구에서 개편 전·후 기종점 자료를 분석하기 위하여 도시철도에 적합한 네트워크를 구축하였다. 사용한 네트워크는 도시철도의 각 역을 노드로 간주하고 개통된 노드간에는 링크로 구분하였다. 통상적인 교통계획의 존재 개념과는 달리 각 역이 존으로 간주한다. 1인당 평균통행거리 등을 산정하기 위해서 앞의 구축된 네트워크를 이용하여 도시철도의 이용자가 최단경로를 이용한다는 가정하에 인·키로를 계산하였다. 승객의 이용경로 추정 시 환승의 부담을 처리하는 것이 중요하므로 일반적인 환승은 보통의 링크보다 3배의 부담을 느끼도록 하였고, 배차간격이 적은 이촌~청량리 구간은 7배의 부담을 주었다. 보다 정확한 관련 정보와 알고리즘은 한국교통연구원(1995)에서 자세히 설명되어 있다.

〈표 3〉에서 처럼 분석기간 동안 서울시내에서 영업하고 있는 서울 지하철공사와 도시철도공사의 자선구간에서 승객수가 현저히 증가하였고, 연락수송의 승객수는 비슷한 수치를 보여주었다. 여기서 연락 수송이라 함은 지하철 이용자가 지하철 운영기관간 환승을 한 통행을 말한다. 평균통행거리에서는 전반적으로 환승할인율로 인하여 약간 감소하였는데, 연락수송과 관련된 통행거리의 감소가 두드러진다.

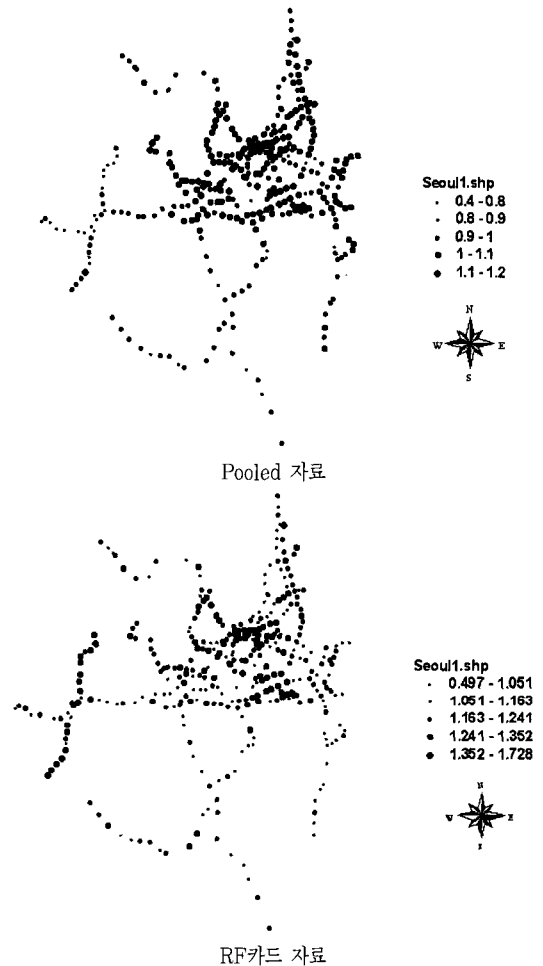
〈표 3〉 1인당 평균통행거리 및 승객수 변화

구분	1인당 평균 통행거리 (키로미터)		하루평균 승객수 (천인)	
	2004.5	2004.8~9	2004.5	2004.8~9
서울지하철공사 자선	9.5	9.4	1,617	1,766
한국철도공사 자선	12.2	12.1	684	630
서울도시철도공사 자선	8.9	8.9	748	807
인천지하철공사 자선	7.0	7.0	100	88
자선구간	9.8	9.7	3,149	3,292
연락구간	19.2	18.9	2,635	2,613
총계	14.0	13.8	5,784	5,907

V. 추정결과 및 해석

1. 대중교통 체계 개편 전·후의 승객수 변화

대중교통 개편 전후의 승객수 변화를 〈그림 2〉로 정



〈그림 2〉 개편 후 대비 개편 전의 역별 도착량 비교 (8-9월 승객수/5월 승객수)

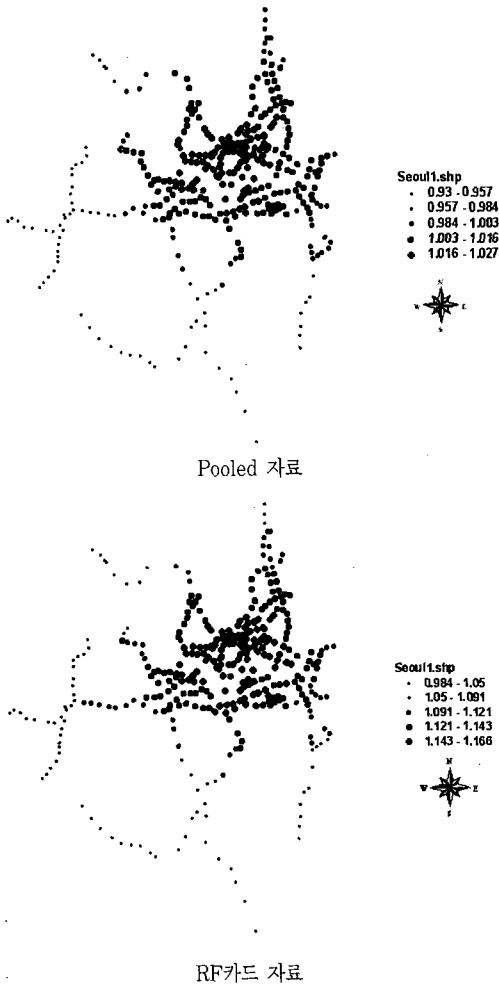
리하였다. 〈그림 2〉에서 왼쪽은 RF와 MS 승차권이용자가 각 역에 도착한 승객수에 대하여 개편 전후 효과를 비교한 것이고, 오른쪽은 RF승차권만을 대상으로 정리한 것이다. 두 그림에서 Pooled자료에서는 서울지역의 통행량이 상당히 증가한 것으로 나타났으며, RF카드를 이용한 통행의 경우는 서울 중심부, 강남지역 그리고 인천시 지하철 1호선의 증가가 두드러진 것으로 나타났다.

2. 대중교통 체계 개편 전·후의 접근성 지표의 변화

대중교통 개편 전후의 접근성 지표의 변화를 〈그림 3〉으로 나타내었다. 〈그림 3〉의 왼쪽 그림은 RF와 MS 승차권이용자의 접근성 지표에 대하여 개편 전후 효과를 비교한 것이고, 오른쪽 그림은 RF승차권만을 대상으로

정리한 것이다. 두 그림에서 개편 후의 접근성 변화의 패턴은 유사하지만, RF의 경우는 통행량 증가로 값의 차이가 현저히 증가한 것으로 나타났다(〈그림 3〉 오른쪽). 서울시의 대중교통 개편에 의한 서비스 수혜자는 RF카드를 이용하는 통행자임을 증명해주고 있다.

은 거리변수만 고려한 것이고, 모형 2는 접근성 지표만 고려한 것이다. 반면, 모형 3은 전통적인 중력모형의 형태이고, 모형 4가 접근성을 고려한 추정결과이다. 각각의 표에



〈그림 3〉 개편 후 대비 개편 전의 역별 접근성 지표 비교 (8-9월 접근성/5월 접근성)

3. 공간 상호작용 모형의 결과

대중교통 개편 전후의 접근성 지표의 변화를 고려하여 추정된 모형은 〈표 4~7〉로 나타내었다. 〈표 4~5〉은 개편 전후의 Pooled 자료를 이용한 모형결과이고, 〈표 6~7〉은 RF카드 자료를 이용하여 추정한 결과이다. 각각의 표는 4가지의 모형을 포함하고 있는데, 모형 1

〈표 4〉 개편 전 Pooled 자료를 이용한 모형추정결과

모형	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
distance	-0.078 (-40.62)		-0.074 (-36.35)	-0.084 (-40.24)
ln(S)			0.921 (38.16)	1.026 (39.99)
ln(접근성)		0.315 (9.13)		-0.851 (-18.81)
L(0)	-9210.34	-9210.34	-9210.34	-9210.34
L(c)	-8180.08	-9165.48	-7166.19	-6994.05

()는 t-값을 나타냄

〈표 5〉 개편 후 Pooled 자료를 이용한 모형추정결과

모형	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
distance	-0.080 (-40.79)		-0.075 (-36.01)	-0.086 (-40.06)
ln(S)			0.885 (37.67)	1.004 (39.75)
ln(접근성)		0.411 (11.91)		-0.864 (-18.82)
L(0)	-9210.34	-9210.34	-9210.34	-9210.34
L(c)	-8154.30	-9131.73	-7180.97	-7009.09

()는 t-값을 나타냄

〈표 6〉 개편 전 RF카드 자료를 이용한 모형추정결과

모형	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
distance	-0.076 (-38.70)		-0.069 (-32.40)	-0.079 (-36.55)
ln(S)			0.896 (38.75)	1.015 (40.67)
ln(접근성)		0.552 (14.86)		-0.832 (-17.05)
L(0)	-9210.34	-9210.34	-9210.34	-9210.34
L(c)	-8275.03	-9083.24	-7238.86	-7098.55

()는 t-값을 나타냄

〈표 7〉 개편 후 RF카드 자료를 이용한 모형추정결과

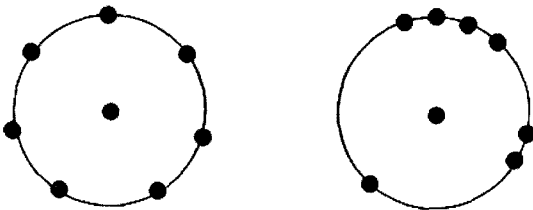
모형	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
distance	-0.081 (-40.00)		-0.075 (-34.16)	-0.086 (-38.14)
ln(S)			0.887 (38.83)	1.013 (40.74)
ln(접근성)		0.568 (15.93)		-0.826 (-17.45)
L(0)	-9210.34	-9210.34	-9210.34	-9210.34
L(c)	-8184.87	-9062.05	-7146.68	-6999.80

()는 t-값을 나타냄

서 모형 4의 예측력이 타 모형들보다 우수한 것으로 나타나 접근성 지표의 역할이 중요하다는 것을 보여주었다.

여기서, 한가지 흥미로운 사실은 모형 2에서 접근성 단독으로 모형을 추정할 결과에서 파라미터가(+)값으로 나타나 우리의 직관(Intuition)과 일치한 반면, 모형 4에서는(-)값을 나타내었다. 이는 변수 S와 접근성간 상당히 높은 상관성(Highly correlated) 때문에 발생한 것이다. 이 경우 다중공선성의 문제가 나쁜 것은 아니며, 오히려 모형의 예측력에 중요한 역할을 하고 있는 것이다.

파라미터의 해석을 위해 아래와 같은 그림을 고려해 보자. 큰 동심원에 8개의 존이 배열되고 있고, 중앙에 위치한 존에서 통행자가 있고 가고자 하는 목적지를 선택하고자 할 때, 접근성 지표 변수의 파라미터가(-)이면, Fotheringham(1983; 1986)의 표현에 따르면 존들의 배열이 그림의 오른쪽과 같이 경쟁구조를 형성하여 존들이 밀집된 곳보다 반대쪽을 선택할 확률이 높다고 해석하고 있다. Bhat et al.(1998)은 쇼핑통행의 경우 통행자가 존들이 모여 있는 곳을 선택하여 교통혼잡을 느끼는 것보다 흩어져 있는 곳을 선택하여 교통혼잡이 덜한 곳을 선택하는 경향이 있다고 해석하고 있다.



〈그림 4〉 Two Spatial Arrangements of Traffic Analysis Zones

자료: Fotheringham(1983), p.1121.

그러나, 앞의 해석은 정확하지 않다. 다음과 같은 해석이 더 명확할 것이다. 가령, 대부분의 도시는 도시중심부에 가까울수록 고용과 인구의 밀도가 높고, 중심부에서 멀어질수록 존의 물리적인 크기는 증가해도 인구와 고용의 크기가 작아지는 경향이 있다. 기존의 중력모형 형태인 모형 3과 접근성 지표가 포함된 모형 4에서 접근성 지표의(-)역할은 접근성 지표가 작은 존으로 배분량을 증가시켜 주는 역할을 하고 있다는 점이다. 이는 역설적으로 모형 3의 모형은 고용과 인구가 밀집된 도시중심부 중심의 통행량을 과도하게 추정한다는 문제점을 가지고 있는 것이다. 이러한 해석이 더 정확하지 않은가?

통행 저항 함수와 관련해서 개편 전·후의 모형결과를 비교해보면, 개편 후에 RF카드를 이용한 통행패턴이 단거리 통행이 개편 전보다 많아졌다는 사실이다. 거리조각함수의 절대 값을 비교해보면, 개편 후의 값이 더 크다는 사실 때문이다. 반면, Pooled자료에서는 큰 차이가 발생하지 않았다. 접근성과 관련하여, 모형의 예측력에는 중요한 역할을 하지만 개편 전후 모형결과 간에는 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

결론적으로 공간상호작용의 모형추정결과 도시내의 운임체계가 바뀌어도 모형의 파라미터에는 큰 영향을 주지 않은 것으로 나타났다. 이러한 점은 흔히 도시에서 시간이 경과하여도 도시의 출퇴근 시간이 일정하다는 주장과 일치하는 것이다(Zahavi, 1982; Levinson et al., 1994; Levinson, 1998).

VI. 결론

다양한 대중교통정책이 대중교통의 접근성 변화에 영향을 준다. 본 연구는 2004년 7월 1일 서울시가 대대적으로 시행한 버스노선개편과 교통수단간 환승할인 정책이 수도권 지하철 이용자의 접근성에 미치는 영향을 분석하는 것이었다. 분석에 사용한 자료는 2004년 5월의 하루 평균 지하철 기종점자료와 서비스 변화가 발생한 2004년 8~9월의 하루평균 지하철 기종점자료였다. 결론적으로 계절적인 변동을 고려하지 않는다고 하더라도 하루평균 25만명의 추가수요가 발생하였고, RF카드 이용자의 접근성이 향상되어 대중교통개편의 수혜자가 된 것으로 나타났다. 그 효과는 서울지역에 넓게 분포된 것으로 나타났다.

통행배분에 접근성 지표의 역할은 중요하였으며, 기존 모형에서 접근성 지표의 변수가 생략되면, 기존에 추정된 모형의 파라미터들이 bias된다는 것을 지적하였다. 접근성 지표가 생략되면 고용과 인구가 밀집된 지역의 통행량을 과도하게 추정한다는 사실을 강조하였다. 그러나, 개편 전후의 모형비교에서 접근성 지표 뿐만 아니라 도착량 및 거리변수의 파라미터들의 변화는 작아 모형에 주는 영향은 적은 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 김광식(1987) 접근성의 개념과 측정치, 대한교통학회지, 제5권 제1호, 대한교통학회, pp.33~46.

2. 김찬성 · 이재림 · 백병성(2003) 집계형과 비집계형 중력모형의 실증분석을 통한 예측력 비교연구, 교통정책연구지, 한국교통연구원.
3. 신성일 · 이종규(2005) 대중교통체계 개편에 따른 서울시 도시철도 수입금 정산모형개발, 서울시정개발연구원.
4. 조남건(2003), 고속철도가 국토공간구조에 미치는 영향에 관한 국제세미나, 국토개발연구원.
5. 한국교통연구원(1995) 수도권 전철과 지하철의 운임제도 개선 및 연락운임 정산방안.
6. 한국교통연구원(2004) 수도권 지하철 정기권 도입방안.
7. Ben-Akiva, M., & Lerman, S. R.(1985). Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. Cambridge, MA: MIT Press.
8. Bhat, C., A. Govindarajan, & V. Pulugurta(1998) Disaggregate attraction-end choice modeling: Formulation and empirical analysis, Transportation Research Record 1645, pp.60~68.
9. Bhat, C., S. Handy, K. Kockelman, H. Mahmassani, Q. Chen & L. Weston(2000) Urban accessibility index: Literature review, Technical Report, University of Texas at Austin.
10. Boarnet, M. & R. Crane(2001) Travel by design: The influence of the urban form on travel, Oxford university press.
11. Borgers, A., & Timmermans, H.(1987). Choice model specification, substitution and spatial structure effects. Regional Science and Urban Economics, 17, pp.29~47.
12. Cervero, R.(2002) Built environments and mode choice: toward a normative framework, Transport Research Part D, pp.265~284.
13. Daly, A(1982) Estimation Choice Models Containing Attraction Variables, Transportation Research B, Vol. 16B, pp.5~14.
14. Dong, X., M. Ben-Akiva, J. Bowman & J. Walker(2006) Moving from trip-based to activity-based accessibility, Transportation Research A, Vol. 40, pp.163~180.
15. Fotheringham, A. S.(1983) A new set of spatial interaction models: the theory of competing destinations, Environment and Planning A, pp.15~36.
16. Fotheringham, A. S.(1986) Some theoretical aspects of destination choice and their relevance to production constrained gravity models, Environment and Planning A, pp.1121~1132.
17. Hansen, W. G.(1959) How accessibility shapes land use, Journal of the American Institute of Planners, pp.73~76.
18. Kim, C. S. & J. Bhiromkae(2005) A Comparison Study of Aggregate and Disaggregate Trip Distribution Modeling, Paper presented at the 2005 ITS World Congress. California: San Francisco.
19. Kimpel, T., J. Strathman, D. Griffin, S. Callas, and R. Gerhart(2003) Automatic Passenger Counter Evaluation: Implications for National Transit Database Reporting, Transportation Research Record 1835, pp.93~100
20. Kitamura, R., Chen, C., & Narayanan, R.(1998). Traveler destination Choice behavior: effects of time of day, activity duration and home location. Transportation Research Record, 1645, pp.76~81.
21. Levinson, D., & Kumar, A.(1994) The rational locator: Why travel times have remained stable. Journal of the American Planning Association, 60, pp.319~332.
22. Levinson, D.(1998) Accessibility and the journey to work, Journal of Transport Geography, pp.11~21.
23. Limanond, T. & D. Niemeier(2004) Effect of land use on decisions of shopping tour generation: A case study of three traditional neighborhoods in WA, Transportation 31, pp.153~181.
24. McFadden, D.(1978) Modelling the Choice of Residential Location. In Karlquist, L. Lundquist, F. Snickars and J.W. Weibull(eds), Spatial Interaction Theory and Planning Models. North-Holland, Amsterdam.
25. Nerella, S., & Bhat, C.(2004). A numerical

- analysis of the effect of sampling of alternatives in discrete choice models. Paper presented at the 2004 Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.
26. Neuberger, H.(1971) User benefit in the evaluation of transport and land use plans, *Journal of Transport Economics and Policy*, pp.52~75.
 27. Niemeier, D.(1997) Accessibility: An evaluation using consumer welfare, *Transportation*, pp.377~396.
 28. Ortuzar, J. & L. Willumson(1994) *Modeling transport*, Wiley & Sons Inc.
 29. Portland Metro(1998) *Technical Specifications for the March 1998 Travel Demand Model*. Oregon: Portland.
 30. Purvis, C. L.(1998) *Incorporating Land Use and Accessibility Variables in Travel Demand Models*. Paper presented at the ASCE Specialty Conference on Transportation, Land Use, and Air Quality. Oregon: Portland.
 31. Rietveld, P. & F. Bruinsma(1998) *Is transport infrastructure effective? - Transport infrastructure and accessibility: Impacts on the space economy*, Springer
 32. Strathman, J., K. Dueker, T. Kimpel, R. Gerhart, and S. Callas(2002) *Evaluation of Transit Operations: Data Applications of Tri-Met's Automated Bus Dispatching System*, *Transportation*, 29, pp.321~345.
 33. Waddell, P.(2002) *UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning*, *Journal of the American Planning Association*, Vol. 68, No. 3, pp.297~314.
 34. Yao, E. & T. Morikawa(2005) *A study of an integrated intercity travel demand model*, *Transportation Research A*, Vol. 39, pp.367~381.
 35. Zahavi, Y. & A. Talvitie(1982) *Regularities in travel time and money expenditures*, *Transportation Research Record* 750, pp.13~19.

✉ 주 작 성 자 : 김찬성
 ✉ 논문투고일 : 2005. 10. 29
 ✉ 논문심사일 : 2005. 11. 30 (1차)
 2005. 12. 15 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2005. 12. 15
 ✉ 반론접수기한 : 2006. 4. 30