

대도시권 대중교통 사각지대 통행자들의 수단선택 모형 개발

- 급행버스 노선 도입에 따른 선호의식 조사를 중심으로 -

A Study of Mode Choice Analysis of Blind Spot Areas for
Public Transportation in Four Metropolitan Cities

김황배*

Kim, Hwang Bae

Abstract

This study selected blind spot areas for public transportation in four metropolitan cities including Busan, Daegu, Gwangju, and Daejeon. Then this study developed a nested logit model and analyzed the changes of mode choice behaviors after adopting rapid transit system using stated preference(SP) survey. As the study results, blind spot areas have more potential public transportation demand and tendency to shift to public transportation from autos than built-up areas. This study results can be utilized to evaluate demand changes for new rapid transit system in a circular expressway and an arterial highway connecting CBD and surrounding areas. The study results also can be utilized to analyze the potential public transportation demand in the surrounding areas.

Keywords : blind spot area, nested logit model, latent demand, service area of public transportation, stated preference survey

요 지

본 연구는 부산, 대구, 광주, 대전 등 4개 대도시권역을 대상으로 대중교통서비스가 열악한 대중교통사각지역을 선정한 후 이들 지역간을 운행하는 새로운 급행대중교통수단 도입 시 기성 시가지내 통행자들과 수단선택 행태가 어떻게 다른지를 분석하기위해 SP 조사(stated preference survey)를 통한 수단선택 행태변화에 대해 네스티드 로짓모형을 구축하여 분석하였다. 연구결과 대중교통사각지대는 잠재 대중교통수요가 많아 기성시가지에 비해 자가용통행으로부터 새로운 대중교통수단으로 전환하는 통행전환 비율이 매우 높은 것으로 분석되었다. 이러한 연구결과는 향후 대도시권 외곽 순환도로 혹은 외곽지역에서 도심지역으로 연결되는 간선도로를 활용한 새로운 급행 대중교통체계 도입시 수요변화 평가와 외곽지역의 대중교통 잠재수요 분석에도 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 대중교통사각지대, 네스티드 로짓모형, 대중교통 서비스 권역, 잠재수요 SP(stated preference survey)조사

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

부산, 대구, 광주, 대전 등 4대 도시권은 외곽지역에 신도시, 산업단지 등 대규모 개발계획이 진행되어 도시권역의 외연이 계속 확장되고 있다. 도시권 확장에 따른 광역교통시설 및 수단의 정비도 이들 개발 축과 권역 중심 도시를 연결하는 방사선 축에 집중되어 왔다. 그 결과 신도시 개발 축으로부터 이격된 이들 대도시권 외곽지역은 도로, 철도 등 교통시설 정비가 낙후되어 있고 대중교통노선체계도 교통수요가 밀집된 중심도시와 신 개발지역축에 집중되어 있다. 따라서 외곽지역과 외곽지역간은 대중교통 노선의 공급 및 운행빈도가 낮고, 노선 간 연계체계도 제대로 구축되어 있지 않아 이들 지역 통행자들의 대중교통 이동성이 제약받고 있다.

본 연구에서는 부산, 대구, 광주, 대전 등 4개 광역 대도시권내 상존하는 대중교통이동성 사각지대를 선정하고 이들 지역에서 권역 중심도시 혹은 외곽 수요 밀집지역을 연결하는 급행 대중교통수단을 새로이 운행 할 경우 개별 통행자들의 수단선택 행태가 어떻게 변화되는지와 이들 지역의 통행행태가 대중교통수단이 잘 정비되어 있는 기존 도시지역

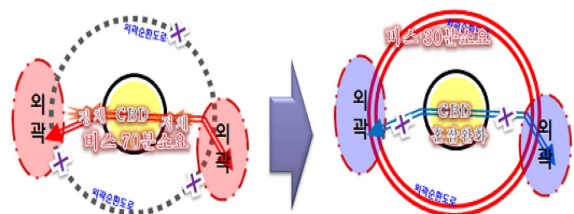


그림 1. 대도시권 외곽 대중교통 현황 및 개선

*정회원 · 남서울대학교 GIS공학과 교수 및 첨단교통환경연구소 소장 (E-mail : hbkim@nsu.ac.kr)

과의 수단선택행태와 어떻게 차이가 있는지를 분석하기 위해 SP조사를 통한 수단선택 행태변화를 조사 분석하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법론

1.2.1 기존 연구 검토

대중교통 사각지대 통행자들의 수단선택에 관한 기존연구는 다음과 같다.

하태준(2002)은 호남고속철도의 등장으로 변화하는 통행자의 수단선택모형을 알아보기 위하여 SP선호의식조사를 실시하고 고속철도, 철도, 고속버스, 항공 수단에 대하여 접근시간, 대기시간, 승차시간, 승차비용 등 4개의 교통서비스를 변수로 설정하여 고속철도 도입에 따른 교통수단선택 및 수단 전환율을 비교 분석하였다.

정헌영(2004)은 지하철 이용활성화를 위한 환승체계의 정책대안을 평가하기 위해 부산지하철 이용자를 대상으로 SP 조사를 기반으로 버스와 지하철간의 환승요금 할인과 차내/외시간 단축 시 수단선택 변화와 수요의 탄력성에 대해 분석하였다.

김익기(2005)는 부산·울산권 가구통행실태조사 자료를 활용하여 네스티드 모형 기반 수단선택모형을 구축하였다. 수단 대안은 승용차, 버스, 택시, 전철 4개이며 총 통행시간, 총 통행비용은 설명변수로 성별, 가구소득, 나이는 더미변수로 사용하였다.

김채만(2009)은 수도권을 대상으로 외곽지역간 통행자의 증가와 대중교통이용의 불편함을 인식하고 이를 해결하기 위하여 외곽순환고속도로를 순환하는 순환버스 도입 시 순환버스 이용자들의 수단선택 행태변화에 대해 경기도에서 조사한 가구통행실태 자료를 이용하여 분석하였다.

1.2.2 기존 연구의 한계점

선행연구들에서 조사된 개인 통행행태기반 수단선택 모형은 대중교통체계가 잘 정비되어 있는 기성 시가지내 통행자들의 수단선택행태를 기반으로 하고 있어 대중교통수단의 공급이나 운행여건이 열악한 대도시권 외곽지역(대중교통이용 사각지대)의 통행행태 및 수단선택 행태를 분석하는데는 어려움이 있다. 대도시권 외곽지역은 기존 중심 도시권에 비해 소득수준과 선택대상 수단의 한계성, 대중교통수단 환승횟수의 크기 등에서 상이한 특성을 가지고 있기 때문에 이들 지역의 특성을 감안한 통행행태 및 새로운 급행 대중교통수단 운행에 따른 수단선택의 변화 분석은 이들 지역의 통행자들의 특성을 감안한 통행행태 조사 및 분석이 필요 할 것으로 판단된다.

1.2.3 연구의 범위

본 연구는 4대 도시권을 대상으로 대중교통사각지대 선정 방법론(김황배 등, 2011)을 적용하여 선정된 대중교통사각지대를 공간적 범위로 설정하여 대중교통 사각지대내 거주하는 통행자들을 대상으로 대중교통 사각지대 간 연계 급행버스노선체계 도입에 대한 SP선호(stated preference: 명시선호) 조사를 시행하여 통행자 특성별 수단선택 행태를 분석하였다. 본 연구에서 적용한 수단 선택 로짓모형 중 비관련 대안 독립성의 약점을 보완하기 위하여 네스티드 로짓모형을 사용하였다.

2. 대중교통사각지대 개념 및 모형정립

2.1 대중교통사각지대 선정

김황배 외(대한토목학회지, 대중교통 이동성과 잠재수요를 이용한 도시 내 지역 간 직결노선버스 기종점 선정에 관한 연구, 2011)은 대중교통 사각지대란 최저 대중교통 서비스가 제공되지 않는 지역 또는 구간으로 서비스 권역, 배차간격, 운행시간 3가지 지표를 이용하여 평가척도를 설정하고 이러한 평가척도가 일정 수준 이하인 지역을 대중교통사각지역으로 정의하고 있다.

위 논문에서 제시한 대중교통 사각지대 평가기준을 적용하여 4대 도시권의 대중교통사각지대를 평가한 결과 각 도시권별 대중교통사각지대는 그림 2~5와 같이 선정되었다.

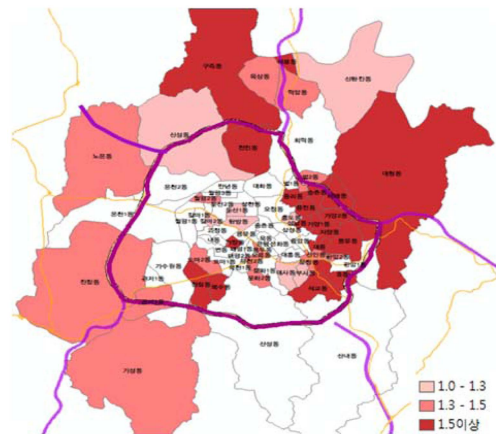


그림 2. 대전광역시 이동성 사각지대

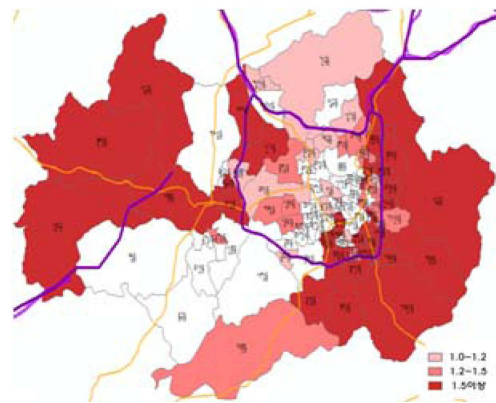


그림 3. 광주광역시 이동성 사각지대

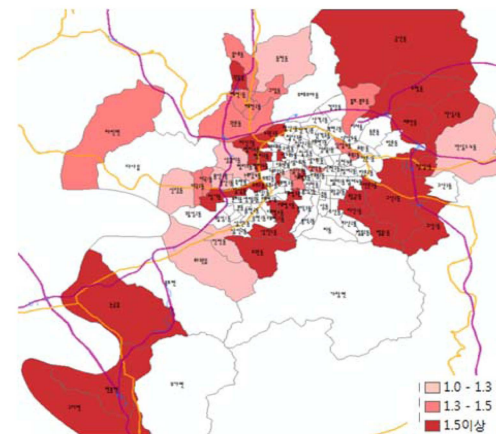


그림 4. 대구광역시 이동성 사각지대

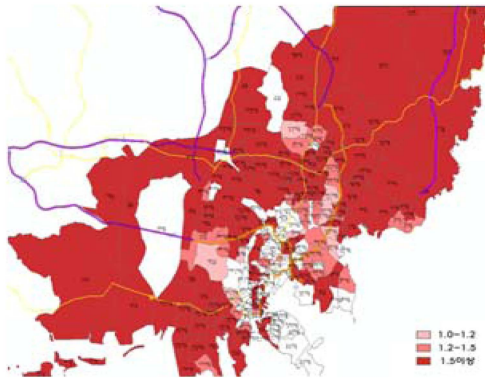


그림 5. 부산광역시 이동성 사각지대

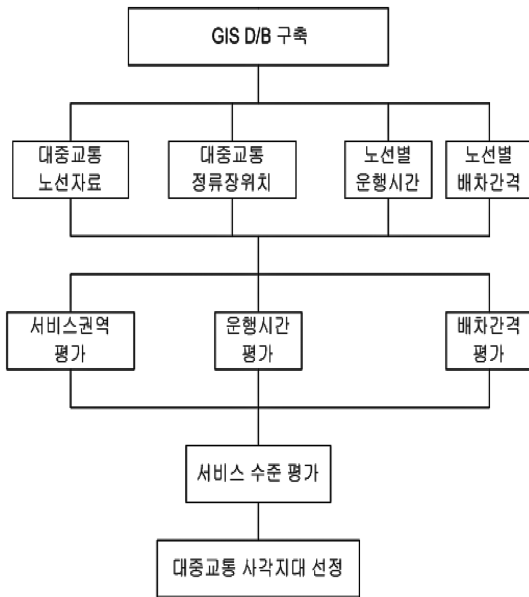


그림 6. 대중교통 사각지대 평가방법

2.2 수단 선택 모형 정립

대도시권 대중교통 사각지대 통행자들의 수단선택 모형을 정립하기 위한 고려 요소는 다음과 같다. 첫째, 대중교통사 각 지역 통행자들의 교통수단 선택행태를 가장 잘 설명 할 수 있는 변수의 선정과 효용함수의 형태에 대한 결정이 중요하다. 둘째, 현재 대중교통사각지대에 서비스 되고 있지 않는 급행 버스체계 운영 시 이들 지역 통행자들의 수단선택을 반영하기 위한 조사방법의 정립이 필요하다. 셋째, 모형 구축에 있어 일반적인 수단선택모형에서 나타날 수 있는 비관련 대안의 독립성 속성이 위배될 경우 각 수단별 추정된 모수 값의 편기 문제를 해소 할 수 있는 모형의 구축이 필요하다. 본 연구는 수단선택 모형에서 나타날 수 있는 문제들을 해결하기 위해 기존 교통수단과 새로운 교통수단에 대한 수단별 총통행시간과 총통행비용에 대한 대안을 실험계획법에 의해 설계하고 통행자들이 각자의 효용에 따라 대안을 선택하는 SP 조사 방법 수행하였다. 수단선택 모형은 네스티드 로짓모형을 적용하였다. 네스티드 로짓모형은 다항로짓모형에서 비관련대안의 독립성 속성이 위배될 경우, 비관련대안의 독립성 속성 가정의 위배 문제를 해결할 수 있는 모형으로 오차 항이 상관되어 있는 대안들을 묶음으로 오차 항의 공유효과를 상쇄시킴써 네스티드 로짓모형의 선택확률은 한계 선택확률과 조건부선택확률은 곱으로 표현된다.

$$P_n(ij) = P_n(j|i) \cdot P_n(i) \quad (1)$$

여기서 $P_n(j|i)$: i 가 결정된 상황에서 j 가 선택될 조건부확률
 $P_n(i)$: i 가 선택될 한계확률

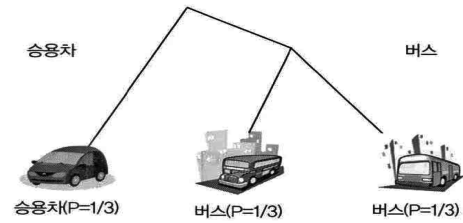


그림 7. 네스티드 로짓모형 구조

모형의 정산은 선택된 j 와 선택되지 않은 j 에 관한 표본 관측치의 자료를 이용해서 조건부 확률함수 $P_n(j|i)$ 의 모수를 추정하고 $P_n(j|i)$ 은 미지의 모수 벡터 β 를 포함한다.

$$P_n(j|i) = \frac{e^{\beta X_{ij}}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta X_{ij}}} \quad (2)$$

X_{ij} : 대안(i, j)를 위한 설명변수의 벡터
 β : 파라미터

모수의 벡터 β 가 추정되고 나면 식 (3)과 같이 각각의 i 에 대하여 포괄값 I_i 가 계산되며, 포괄값 I_i 는 어떤 하나의 주어진 대안 i 에 속하는 대안 j 의 최대효용의 기대값이며 포괄값 I_i 의 파라미터인 $(1-\sigma)$ 는 0과 1사이에서 있어야 네스티드 로짓모형이 유효하다.

$$I_i = \log \sum_{j=1}^J e^{\beta X_{ij}} \quad (3)$$

네스티드 로짓모형에 의해 어떤 하나의 대안(i)를 선택할 한계 확률함수 $P_n(i)$ 는 식 (4)와 같이 추정된다.

$$P_n(i) = \frac{a^{aY_k + (1-\sigma)I_k}}{\sum_{k=1}^J e^{aY_k + (1-\sigma)I_k}} \quad (4)$$

Y_k : 대안 i 를 위한 설명변수의 벡터
 $a, (1-\sigma)$: 파라미터

3. 모형의 적용 및 분석

3.1 기초자료 조사 및 결과분석

3.1.1 기초자료 조사개요

앞에서 선정된 4대 도시권별 대중교통사각지역에 거주하는 시민들을 대상으로 1:1 면담 조사를 실시하였다. 수단선택에 대한 설문은 선택대안별 설명변수의 변화에 대한 실험계획법에 의해 설계한 가상 상황에서 응답자가 선호하는 수단을 선택하는 SP조사를 채택하여 승용차, 버스, 지하철, 급행버스 등의 교통수단에 대하여 비용, 총통행시간, 차내시간, 차외시간의 조건을 선택하도록 표 1과 같이 설계하였다.

설문조사의 내용은 응답자의 개인특성조사와 응답자의 평소 이용행태조사, 새로운 대중교통수단인 급행버스 도입 시

표 1. SP 설문조사 설계 예시

조건1	비용	총 통행 시간	통행시간	
			차내 시간	차외 시간
1	승용차	2000원	20분	0분
2	버스	1000원	45분	10분
3	지하철	1000원	40분	15분
4	급행버스	1500원	35분	15분
조건2	비용	총 통행 시간	통행시간	
			차내시간	차외시간
1	승용차	2000원	20분	0분
2	버스	1400원	45분	20분
3	지하철	1000원	40분	15분
4	급행버스	1500원	35분	15분

표 2. 조사 개요

구분	주요내용
조사일시	2010년 11월 - 2011년 1월
조사대상	대중교통 사각지대에 선정된 지역에 거주하는 시민들
조사방법	조사원과 응답자의 1:1 인터뷰 방식
조사내용	개인특성조사 이용자의 이용행태 조사 급행버스 도입 시 수단선택 조사 급행버스 도입 시 이용여부 조사
회수 설문지	1,734부

자료 : 2010, 4대 광역도시 현장조사

수단별 통행 비용과 시간에 따른 수단선택행태를 조사 하였다.

3.1.2 기초자료 조사 분석

위의 조사 자료를 기반으로 대도시권 대중교통사각지역 내 이용자 통행실태 조사를 분석 한 결과 업무통행이 38.6%, 출퇴근 통학통행이 28.0%, 쇼핑 및 여가활동 통행이 13.9% 순으로 나타났다. 통행수단 분포는 승용차 40.3%, 버스 35.1%, 도시철도 7.2%로 나타났다. 시 종점 간 총통행시간은 20~40분이 43.0%, 41분~60분 28.5%, 60분 이상 8.6%로 나타났다.

3.2 대중교통사각지대 수단선택모형 분석

앞에서 정립한 네스티드 로짓모형을 버스(일반버스, 급행버스(신규) 승용차, 지하철, 2계층 구조로 그림 8과 같이 구성하였다.

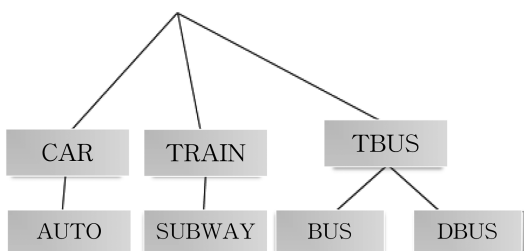


그림 8. 본 연구의 네스티드 로짓모형의 구조

모형의 효용함수식은 식 (5)와 같이 구성하였다.

$$V_i = -a_i - \alpha \times TCOST_i - \beta \times TTIME_i \quad (5)$$

V_i : 수단 i 의 효용

a_i : 수단 i 의 상수

$TCOST_i$: 수단 i 의 총통행비용

$TTIME_i$: 수단 i 의 총통행시간

α, β : 계수값

수단별 수단선택 확률은 식 (6)~(9)와 같이 적용하였다.

$$P(auto) = \frac{\exp(V_{auto})}{\exp(V_{tbus}) + \exp(V_{subway}) + \exp(V_{auto})} \quad (6)$$

$$P(subway) = \frac{\exp(V_{subway})}{\exp(V_{tbus}) + \exp(V_{subway}) + \exp(V_{auto})} \quad (7)$$

$$P(bus) = P(bus|tbus) \cdot P(tbus) = \frac{\exp(V_{bus})}{\exp(V_{bus}) + \exp(V_{dbus})} \cdot \frac{\exp(V_{tbus})}{\exp(V_{tbus}) + \exp(V_{subway}) + \exp(V_{auto})} \quad (8)$$

$$P(dbus) = P(dbus|tbus) \cdot P(tbus) = \frac{\exp(V_{dbus})}{\exp(V_{bus}) + \exp(V_{dbus})} \cdot \frac{\exp(V_{tbus})}{\exp(V_{tbus}) + \exp(V_{subway}) + \exp(V_{auto})} \quad (9)$$

네스티드 로짓모형의 정산은 최우도법(maximum likelihood method)을 사용하는 nlogit v.4.0 프로그램을 사용하였다.

```

nlogit ; LHS = CHOICE
; RHS = Bus, Subway, Dbus, Tcost, Ttime
; CHOICES = auto, bus, subway, dbus
; tree=car(auto), tbus(bus,dbus), train(subway)
; Ivset: (car,train)=[1]; crosstab$

* car와 train은 각각의 대안이 한가지이므로 logsum
parameter (mu) = 1로 고정한다.
  
```

표 3. 변수설명

변수	변수설명
SUBWAY	지하철
BUS	일반버스
DBUS	급행버스
TCOST(원)	총통행비용
TTIME(분)	총통행시간

모형정산 결과는 표 4에 나타난 것과 같이 4대 도시권 모두 적합도를 나타내는 ρ^2 값은 0.23-0.32로 추정되어 모형의 적합도 인정 범위인 0.2-0.4 범위 안에 있어 적합한 것으로 평가 되었다. 또한, 4대 도시권의 설명변수인 시간과 비용에 대한 효용값은 - 부호로 추정되어 적정하며 이들 설명 변수값에 대한 t값은 99% 신뢰구간에서 유효한 것으로

표 4. 네스티드 로짓모형 정산결과

구분	변수	계수	t-통계량	ρ^2
부산광역시	SUBWAY	-3.1588	-9.37	0.294
	BUS	-5.4944	-1.066	
	DBUS	-6.0650	-1.114	
	TCOST(10원)	-0.0002	-7.899	
	TTIME(분)	-0.0288	-2.733	
대전광역시	SUBWAY	-3.0986	-12.224	0.2526
	BUS	-3.2981	-1.187	
	DBUS	-5.0018	-9.07	
	TCOST(10원)	-0.0003	-5.897	
	TTIME(분)	-0.0495	-5.847	
대구광역시	SUBWAY	-2.781	-8.891	0.3149
	BUS	-3.5106	-3.814	
	DBUS	-4.5171	-5.444	
	TCOST(10원)	-0.0002	-19.901	
	TTIME(분)	-0.027	-4.832	
광주광역시	SUBWAY	-2.6449	-17.44	0.2372
	BUS	-5.1235	-4.935	
	DBUS	-5.8481	-11.999	
	TCOST(10원)	-0.0003	-12.118	
	TTIME(분)	-0.0451	-8.496	

분석되었다.

또한 통행자들이 수단선택 시 통행시간에 대한 통행비용의 한계 대체성으로 표현되는 시간가치가 부산시는 1,440원, 대전시는 1,650원, 대구시는 1,350원, 광주시는 1,500원으로 나타났다. 이러한 시간가치는 4대도시 수단선택모형의 시간가치 평균 9,000원(부산·울산 9,528원 대구 9,746원, 광주 9,584원, 대전 9,327원) 보다 낮게 나타났다. 이러한 결과는 사각지대 통행자들의 소득수준이 대도시 지역 통행자 보다 낮고 통행시간에 대한 비용의 Trade off도 상대적으로 낮기 때문이라 판단된다.

4. 결론 및 연구과제

본 연구는 대중교통의 공급운행 빈도가 낮고, 노선의 서비스가 제약되어 대중교통최소서비스가 제한되어 있는 4대 광

역 도시권 내 대중교통 사각지대 통행자들을 대상으로 중심 지역과 직결되는 급행 대중교통수단이 운행 될 경우 수단선택 행태 변화에 대해 SP 조사를 통한 분석을 수행하였다. 연구 결과 다음과 같은 사실을 밝힐 수 있었다.

4개 광역도시권 대중교통 사각지대 통행자들은 공히 설명 변수인 통행시간에 대한 효용이 통행비용에 대한 효용보다 민감한 것으로 분석되었다. 이는 이들 지역에는 현재 대중교통이용 운행빈도가 낮고 운행노선이 적어 잦은 환승과 1회 운행시간이 많이 소요되기 때문에 통행시간을 단축하는 급행 대중교통수단에 대한 욕구가 높다. 따라서 대도시권내 중심지까지 직결 운행하는 급행 대중교통수단이 운행되어 목적지까지 통행시간 단축시 기성시가지 통행자 보다 대중교통수단으로 수단 전환율이 높을 수 있다는 것을 반영한 결과라 판단된다.

본 연구결과는 사각지대 통행자들의 새로운 대중교통수단 도입에 대한 현시선택(SP)조사를 기반으로 하였기 때문에 실제 수단선택 행태와 차이가 있을 수 있다. 따라서 향후 4대 대도시권에 이러한 급행대중교통서비스 제공시 실제통행자의 수단선택 결과와 비교분석 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 “2011년 남서울대학교 연구년 기간” 지원한 연구지원비에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 김행배 외(2011) GIS를 이용한 시내버스와 도시철도 공급서비스 수준 측면의 대중교통 사각지대 분석에 관한 연구, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제31권 제3D호.
- 김채만(2009) **외곽순환고속도로를 이용한 지역간 버스노선체계 구축방안**, 경기개발연구원.
- 김익기, 김강수, 김형철(2005) 부산광역시권 교통수단선택모형의 정립과 모수추정에 관한 연구, **대한교통학회 논문집**, 대한교통학회, 제23권 제3호.
- 정헌영, 최치국(2004) 지하철 이용 활성화를 위한 환승체계의 정책대안 평가, **대한교통학회 논문집**, 대한교통학회, 제22권 제2호
- 하태준, 박제진, 이상하(2002) 고속철도 도입에 따른 교통수단선택모형 추정 및 수단전환율의 비교, **대한국토도시계획학회 논문집**, 대한국토도시계획학회, 제37권 제6호.

(접수일: 2012.6.21/심사일: 2012.7.5/심사완료일: 2012.7.13)