

분석대상 규모에 따른 수단분담모형의 추정과 적용에 관한 연구

Development and Application of the Mode Choice Models According to Zone Sizes

김 주 영

(서울시립대학교 박사과정)

김 도 경

(서울시립대학교 교수)

이 승 재

(서울시립대학교 교수)

전 장 우

(서울시립대학교 석사과정)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구분석 방법론
 - II. 자료 구축 및 보완
 - 1. 자료구축
 - 2. 비선택 교통수단의 통행시간 산정
 - III. 최적모형의 설정 및 계수추정
 - 1. 대안모형의 설정
 - 2. 모형 분석결과
 - IV. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 수단분담모형, 효용함수, 파라미터, 가구통행실태조사, 로짓모형

Mode Choice Model, Utility Function, Parameter, Household Travel Survey, Logit Model

요 약

수단선택모형은 신설중이거나 계획중인 새로운 교통수단의 수요를 추정하기 위하여 필수적인 요소이다. 현재 교통수요분석 시 수단분담모형구축을 위해 지역별로 공통된 효용함수의 파라미터를 사용하고 있으며, 이로 인해 수단선택 행태 예측시 오류가 발생하는 경우가 존재한다.

권역별 자료를 집계하여 공통된 파라미터를 사용함으로써 발생하는 문제점은 다음과 같다. 수단선택모형으로 인한 수단전환 효과를 측정하기 위하여 집계모형(aggregate model)을 사용할 경우 분석권역에 따라 수단분담모형에서는 통행시간이나 통행비용에 대한 계수의 분포가 다름(분석권역별로 서로 다른 모집단 분포를 하고 있음)에도 불구하고 하나의 파라미터로 모집단을 설명하고자 할 경우 모집단을 적절히 설명하지 못하게 된다. 따라서 통행비용 및 통행시간과 같은 정책변수의 변화에 민감하게 반응하지 못하는 경우가 발생한다. 특히 수단선택 모형에 사용되는 로짓모형과 같이 비선형함수의 경우에 집합화 자료를 사용함으로써 집합화에 의한 오차(aggregation error) 또한 문제가 된다.

본 논문의 목적은 수단선택 행태에 영향을 미치는 지역적 특성을 고려하고, 지역단위별로 공통된 파라미터를 사용하면서 나타나는 집합화 오차를 줄일 수 있도록 분석대상 규모(zone size)별 수단분담모형 파라미터값을 추정하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 2006년 가구통행실태조사 자료를 이용하여 각 분석단위(zone)의 수단별 파라미터를 추정하였다. 추정된 결과의 경우 파라미터값의 부호와 한계대체율에 의한 시간가치가 상식적으로 적당함을 판단하고, 통계적으로 적합한지에 대하여 검증을 실시하였다. 또한 구축된 모형의 실제 사례에 적용가능성을 보기 위하여 서울지하철 9호선의 개통 전·후를 비교하여 현실에서 관측된 수단분담을 변화와 모형상의 예측치를 비교하여 정확성 및 신뢰성을 검토하였다.

Mode choice model is an essential element for estimating the demand of new means of transportation in the planning stage as well as in the establishment phase. In general, current demand analysis model developed for the mode choice analysis applies common parameters of utility function in each region which causes inaccuracy in forecasting mode choice behavior.

Several critical problems from using common parameters are: a common parameter set can not reflect different distribution of coefficient for travel time and travel cost by different population. Consequently, the resulting model fails to accurately explain policy variables such as travel time and travel cost. In particular, the nonlinear logit model applied to aggregation data is vulnerable to the aggregation error.

The purpose of this paper is to consider the regional characteristics by adopting the parameters fitted to each area, so as to reduce prediction errors and enhance accuracy of the resulting mode choice model. In order to estimate parameter of each area, this study used Household Travel Survey Data of Metropolitan Transportation Authority. For the verification of the model, the value of time by marginal rate of substitution is evaluated and statistical test for resulting coefficients is also carried out. In order to crosscheck the applicability and reliability of the model, changes in mode choice are analyzed when Seoul subway line 9 is newly opened and the results are compared with those from the existing model developed without considering the regional characteristics.

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(한국연구재단-2011-0009581).

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

수단선택모형은 교통 수요 분석 및 예측을 위해 필수적인 모형이다. 수단선택모형으로는 여러 모형이 적용될 수 있지만, 현재 가장 널리 사용되고 있는 모형으로는 개별행태 모형 중 로짓모형이 범용적으로 사용되고 있다. 로짓모형은 효용함수에 포함되는 독립변수가 단위에 제약을 받지 않고 사용될 수 있으며, 통행자의 속성, 교통수단이 제공하는 서비스의 속성 및 통행 목적 등 통행 자체의 속성을 자유롭게 효용함수에 포함시킴으로써 통행자의 현실적 선택행태를 설명할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

신설중이거나 계획 중인 새로운 교통수단의 수요를 추정하는 경우 사업대상지역 내 주민들을 대상으로 한 설문조사결과(Revealed Preference, RP)를 기초로 하거나, 선호의식(Stated Preference, SP) 기법에 의한 설문조사를 이용하여 수단선택모형의 파라미터 값을 추정하고 있다. 잘 설계된 SP조사에 의거한 수단분담률 일지라도 실제적인 통행자의 경험에 의한 것이 아니라 가상적 상황에서 응답한 결과로 그 정확도에는 의문에 여지가 있다.(진교남, 1997) 따라서 보다 정확한 수단분담률 산정을 위해서는 실제 시장에서의 경험에 기초한 통행자의 수단선택행태에 대한 자료를 기반으로 수단분담 파라미터 추정이 필요하다. 이러한 측면에서 존기반의 집합자료(zone-based aggregate data)가 아닌 개인통행별 자료(disaggregate data)가 상대적으로 통행특성을 잘 표현할 수 있다.(김익기, 2005)

수단선택 행태 예측에 대한 오류가 발생하는 가장 큰 가능성이 있는 원인으로 실제 통행행태가 통행비용이나 시간 외에 다른 요인의 지배를 크게 받고 있다고 할 수 있다. 대중교통이용률을 높이기 위한 교통정책은 개인과 가구의 특성을 변화시키는 것이 아니라 결국은 지역의 특성을 변화시키고 이를 통해 개인의 통행수단 선택에 변화를 주려고 하는 것이다. 따라서 적절한 교통정책 수립을 위해서는 개인 및 가구의 특성 외에 지역특성과 같은 다양한 변수의 고려가 필수적으로 요구된다.(손봉수, 2007)

교통수단 선택모형의 정립을 위한 가장 중요한 단계는 통행자들의 교통수단 선택행태를 가장 잘 설명할 수 있는 변수를 선정하는 단계이다. 그러나 통행자의 수단

선택행위를 설명하기 위해 모든 변수를 고려하기에는 변수선정의 적정성 판단 등으로 인하여 시간과 비용 측면에서 조사의 한계성이 분명히 존재한다. 따라서 본 연구에서는 기존 가구통행실태조사 자료를 활용하여 실무에서 쉽게 분석가능하고, 통행자의 수단선택에 많은 영향을 미치는 통행시간과 통행비용의 변수만을 고려할 수 있으면서, 지역특성을 고려할 수 있도록 분석대상 규모를 세분화하여 수단선택모형을 구축하는 것을 연구의 목적으로 한다.

특히 분석대상 규모를 세분화하려는 이유로는 분석단위별로 지역적 특성에 따라 교통수단에 대한 수단 선택 행위의 특성이 각기 다른 것이 주된 이유이다. 예를 들어 같은 서울지역이더라도 강남구와 동대문구의 통행수단 선택행태에는 분명한 차이가 존재할 것이다. 이는 통행시간, 거리 외에도 지역적 특성과 개인 및 가구의 특성에 의해 수단선택이 이루어지고 있음을 의미한다. 다음으로 같은 지역내(zone)에서도 통행의 기종점에 따라 수단선택 행위의 결과는 다르다. 왜냐하면 대중교통 서비스 수준과 소득수준, 접근가능성 등 무수히 많은 요인에 의하여 수단선택 행태는 같은 통행시간, 비용을 갖는 지역일지라도 분명히 다르게 나타날 것이다.

이외에 수단분담모형 적용상의 문제점은 수단선택모형을 적용하기 위한 파라미터의 경우 권역별로 공통된 파라미터를 사용하고 있는 것이다. 실제 교통수요 분석상에서 수단분담모형을 적용하기 위하여 서울시의 경우와 경기도의 경우 공통된 파라미터를 사용하고 있는 실정이다.

권역별 자료를 집계하여 공통된 파라미터를 사용함으로써 발생하는 문제점으로는 수단선택모형으로 인한 수단선택 효과를 측정하기 위하여 집계모형(aggregate model)을 사용할 경우 분석권역에 따라 수단분담모형에서는 통행시간이나 통행비용에 대한 계수의 분포가 다름(분석권역별로 서로 다른 모집단 분포를 하고 있음)에도 불구하고 하나의 분포파라메타(계수)로 모집단을 설명하고자 할 경우 모집단을 적절히 설명하지 못하게 된다. 따라서 통행비용 및 통행시간과 같은 정책변수의 변화에 민감하게 반응하지 못하는 경우가 발생한다.(Rodier and Johnston, 1997, Ben-Akiva and Lerman, 1987). 특히 수단선택 모형에 사용되는 로짓모형과 같이 비선형함수의 경우에 집합화자료를 사용함으로써 집합화에 의한 오차(aggregation error) 또한 문제가 된다.(Ben-Akiva and Lerman,

1987)

본 연구에서는 수단선택 행태를 결정짓는 지역적 특성을 고려하고, 지역단위별로 공통된 파라미터를 사용하면서 나타나는 집합화 오차를 줄일 수 있도록 분석대상 규모(zone size)별 수단분담모형 파라미터값을 추정하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 2006년 가구통행실태조사 자료를 이용하여 각 분석단위(zone)의 수단별 파라미터를 추정하였다. 추정된 결과의 경우 파라미터값의 부호와 한계대체율에 의한 시간가치가 상식적으로 적정함을 판단하고, 통계적으로 적합함에 대하여 검증 실시하였다. 또한 구축된 모형의 실제 사례에 적용가능성을 보기 위하여 서울지하철 9호선의 개통 전·후를 비교하여 현실에서 관측된 수단분담율 변화와 모형상의 예측치를 비교하여 정확성 및 신뢰성을 검증하는 것도 중요한 연구의 목적이다. 최종적으로 이와 같이 검증된 모형을 이용하여 향후 교통수요 분석시 수단선택 변화 예측의 기본모형으로 활용하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서는 연구 분석방법론으로써 로짓모형의 이론과 통계검증방법, 정확성 측정 방법에 대해 설명하고, 2장에서는 가구통행 실태조사 자료를 구축하고 보완하는 방법에 대해 설명하고, 3장에서는 최적모형을 설정하기 위하여 각 분석단위별 수단분담모형 계수를 추정하고 구축된 모형의 정확도에 대한 검증 및 분석을 수행하고, 마지막 장에서는 본 연구의 결론을 제시한다.

2. 연구분석 방법론

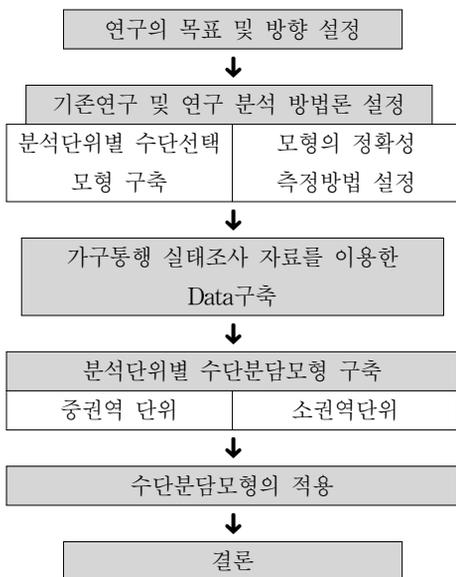
교통수요분석시 신규수단의 도입에 따른 수단전환량을 분석하기 위해 로짓모형을 사용하는 것이 일반적이다. 로짓모형은 효용함수로 특정수단을 선택할 확률을 구하게 되는데 본 연구에서는 로짓모형을 기본 모형으로 하여 분석을 수행한다.

$$P(K) = \frac{e^{U_K}}{\sum_i^n e^{U_i}} \quad (1)$$

여기서, U_K : 수단 K 의 효용
 U_i : 수단 i 의 효용
 n : 수단의 수

효용함수의 경우 선택자의 사회경제적인 특성과 선택대안의 속성으로 정의되며, 이러한 대안의 효용은 관측가능한 효용(결정적 효용)과 관측 불가능한 효용(확률적 효용)으로 구성되어 있음을 가정하게 된다. (Ben-Akiva and Lerman 1987) 일반적으로 효용함수는 수송수단별 통행 및 접근시간, 수송수단별 운임, 그리고 수단별 특성을 표현하는 더미를 고려하여 추정하되, 사용변수 및 원단위는 모형 구축시 적용했던 가정들과 일관성 있게 적용해야 한다. 효용함수의 경우 교통수단이 제공하는 서비스의 속성 및 통행자의 속성을 자유롭게 효용함수에 포함시킴으로써 통행자의 현실적 선택행태를 설명할 수 있다는 장점을 가지고 있다 (김익기, 1998). 최근 수단선택시 고려되지 않은 요인에 대해 고려하기 위하여 로짓모형의 적용시 독립변수를 다양화하여 수행한 연구가 활발히 진행되고 있다.

김성희(2001)는 통근목적 중심의 대중교통으로의 보행거리가 교통수단선택에 미치는 영향을 분석하였다. 송미령(1998)은 통근자의 통근행태가 영향을 미치는 요인을 분석한 결과, 직장의 위치가 저소득층이나 여성의 통근에 영향력이 있으며 교통수단의 선택에도 큰 영향을 미침을 확인하였다. 전명진(1997)은 서울의 통근 통행수단을 중심으로 토지이용패턴과 교통수단 선택간의 관계를 분석하였다. 이처럼 독립변수를 모형안에 포함시키기 위해서는 조사단계에서부터 철저히 고려하여 조사를 수행하고 모형의 모수 값 추정과정에서 통계적으로 의미가 있고 부호가 논리적이어야 한다. 그러나 통행수단 선택시 고려되어야 할 요소는 통행시간과 비용이외에 세부적으로 다양한 변수들이 존



〈그림 1〉 연구수행절차

재하며 이들을 모두 조사하여 모형을 구축하기에는 현실적으로 쉽지가 않다.

따라서 본 연구에서는 분석단위별 통행수단이 갖는 특성을 표현하기 위하여 분석대상 규모에 따른 통행시간과 비용을 이용하여 수단분담모형 파라미터를 추정하고, 모형의 세분화를 통하여 집합화 오차를 줄이고자 한다. 일반적으로 집합화오차를 줄이기 위한 모형의 세분화방안은 수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구(2009)에서와 같이 통행목적별(가정기반 수단선택 모형, 비가정기반 수단선택모형) 모형 구축 및 계수를 추정하여 가중 네스티드 로짓모형을 구축하는 방법이 존재한다. 그러나 본 논문에서는 이러한 목적별 분류에 따른 모형 구축이 아닌, 배포된 수단OD를 토대로 모형을 세분화하여 오차를 줄이기 위하여 분석 규모(Zone)의 세분화에 따른 모형의 적합성을 고찰하고자한다. 분석대상의 크기에 따라 분석의 정확도를 측정 한 연구로는 MAUP(Modifiable areal unit problems)에 대한 연구가 있다. 대표적인 연구로 Kockelman(1997)의 경우 도시부 분석대상의 상대적 크기에 따른 수단선택 및 통행강도에 대한 연구를 수행하였고, Krizek(2003)의 경우 분석대상 크기에 따라 통행강도 및 통행전환 행태에 대한 연구를 수행하였다. 기존 연구의 경우 분석대상의 크기가 작아짐에 따라 비집계된 자료로 모형 구축 및 분석을 수행하였을 때 더욱 수단분담행태가 현실과 부합하는 결론을 나타냈다.

본 논문에서는 이러한 집합화오차를 최소화하고, 고려되지 않은 수단의 특성을 포함할 수 있도록 분석단위별 통행수단이 갖는 특성을 표현하기 위하여 분석단위(zone)의 수단별 파라미터를 추정하고자한다. 가구통행실태조사(2006)자료의 통행자료를 활용하여 서울시 구단위별 통행자료를 분석하여 수단선택 파라미터를 추정한다. 모형의 정산을 위해 Limdep 프로그램을 이용하였다. 정산결과 모형의 적합도가 높고 개별 변수의 계수부호와 t 통계값이 유의하다 할지라도 모형의 적합성 및 현실적용에 대한 최종적 판정은 시간계수를 비용계수로 나눈 값인 VOT(value of time,)가 사회적으로 통용되는 수치인지, 모형을 현실에 적용시킨 결과가 실측과 유사한 결과를 가져오는지 검증해야 한다.(Ben-Akiva et al) 그리고 MAUP 의하여 분석단위(zone size)별로 수단분담 파라미터를 추정 한 값과 분석단위의 크기에 따라 모형값과 실측치의 비교를 통해 상대적으로 의미있는 결과를 나타내는 값을 찾고자 한다.

II. 자료 구축 및 보완

1. 자료 구축

분석시 사용한 데이터는 2006년 수도권교통본부에서 실시한 가구통행실태조사 자료이며, 이 중 서울시의 525개 행정동, 25개 구단위의 자료를 대상으로 데이터 구축을 수행하였다.

본 연구에서는 서울시 25개구 자료를 바탕으로 출발지 기준으로 데이터를 구축하였으며 통행단(기종점)이 모두 중권역 또는 소권역 내에 위치한 경우(즉, 해당권의 내부통행)는 고려하지 않았다. 내부존에서의 이동거리 및 통행시간은 아주 가까운 거리의 운행을 포함하고 있어 분석대상의 수단별 평균속도 산출에 현실적인 값을 제공하기 어려워 Data Cleaning 작업에서 제외하였다.

자료정리 작업내용은 다음과 같다. 먼저 서울시만의 자료를 기준으로 하였으며, 수도권지역에서의 통행 자료는 제외하였다. 조사된 총 14개의 수단 중 본 분석에 사용한 수단은 승용차, 버스(통근·통학+일반+좌석+고속+마을버스), 지하철·철도, 택시 등으로 단순화하여 분석하였다. 조사된 자료에서 제외한 수단은 도보, 오토바이, 자전거, 기타 등이다.

수단선택모형을 위해 조사된 항목 중에서 일반적으로 응답자의 응답한계성, 조사비용·시간의 한계 등에 의해 모든 자료를 조사하지 못하는 것이 일반적이다. 수단선택모형 구축시 필요한 데이터를 구축하기 위해 일부 자료의 변경 혹은 추정이 필요하다. 구체적인 방법으로는 먼저 유효자료를 획득하기 위한 자료의 검증이 필요하다. 본 연구에서는 응답자의 자료 입력과정에서의 오류, 데이터 입력 작업에서의 오류 및 논리적 검증을 통해 불합리한 값 등에 대한 수정 및 제거 작업을 수행하였다. 첫째로 통행시간이 4시간 이상이거나 5분 미만인 자료는 비정상적인 통행 혹은 오류에 의한 부적절한 값이라 판단하여 제거하였다.

개별행태 모형으로 수단선택 모형 구축을 위해서는 선택된 통행수단 뿐만 아니라 대안수단의 개별 자료가 있어야 한다. 그러나 본 연구에서 사용된 자료는 대안수단에 대한 정보가 없기 때문에 다음의 과정을 통하여 분석변수들에 대한 자료를 구축하였다.

2. 비선택 교통수단의 통행시간 산정

조사자료에서 선택수단외의 대안수단의 차내시간 (IVTT)을 추정하기 위해 식(2)를 사용하였고, 차외시간(OVTT)은 식(3)를 적용하여 추정하였다.

$$\text{차내시간 (IVTT)} = \frac{(\text{총거리} - \text{수단차외거리}) \times 60}{\text{수단속도}} \text{ (분)} \quad (2)$$

$$\text{차외시간 (OVTT)} = (2 \times \text{접근시간} + \text{수단대기시간}) \times 60 \text{ (분)} \quad (3)$$

이때 각 수단별 수단차외거리의 경우 조사자료의 각 분석단위별 차외시간에 대한 항목을 수단별로 추출하여 평균치를 산정하여 적용하였다. 그리고 대안수단의 각수단별 평균속도는 <표 1>과 같다.

<표 1> 각수단별 평균속도

구분	승용차	버스	지하철	택시
속도	24 kph	19.6 kph	30 kph	24 kph

주 : 서울특별시 교통정보센터(<http://topis.seoul.go.kr>)

3. 비선택 교통수단의 통행비용 산정

각 수단별 통행비용을 산정하기 위해 다음과 같은 가정을 하였다. 우선 승용차의 경우 실제 통행수단을 결정하는데 있어서 직접적인 영향을 주는 비용은 통행별 직접적불비용(Out-of-pocket cost)이기 때문에 이에 속하는 유류비와 주차비용만을 고려하였다. 승용차의 유류비용은 산술식에 의해 결정되며 단위 유류비용은 가구통행실태조사 조사시점과 동일한 시점인 2006년 10월의 가격을 적용하였다.

- 유류비 = 차내거리×연비×km당유류가격
- 연비 : 9.42km/ℓ
- km당 유류가격 : 1,582원/km

한편 주차료의 경우 선택수단에 관계없이 모든 통행에 대하여 주차장 급지는 2급지(10분당 500원) 요금을 적용하였으며, 주차장 평균 이용시간(97분)과 회전율(2.66회)은 「주차원단위 수요분석 등 연구」(건교부, 2006)에서 제시하는 업무 용도지역의 원단위를 적용하여 4,850원/대·일의 요금을 적용하였다.

나머지 교통수단 중 버스의 경우 900원으로 지하철의 요금은 10km 이내는 900원으로, 10km 이상은

5km마다 100원을 추가적으로 적용하였다. 택시의 경우에는 기본요금 2km 이내 2400원, 144m 당 100원, 시간요금으로 15kph이하 주행시 35초당 100원 추가하여 요금을 설정하였다.

III. 최적모형의 설정 및 계수추정

1. 대안모형의 설정

교통수단 선택모형의 정립을 위해 본 연구에서 목적적인 집합화오차를 줄이고, 수단선택시 고려되지 않은 요인에 대한 전반적인 고려가 가능한 모형을 정립하고자, 다음과 같은 사항에 대하여 모형 구축을 시도 분석하였다.

먼저 총통행시간과 총통행비용은 일반적 변수(generic variable)로 적용하였고, 대안특정상수(mode specific constant)의 경우 Ben-Akiva (1985)가 설명한 것과 같이 n개의 수단에서 n-1개 이하의 대안특정상수를 선택모형에 사용하였다.

모든 대안의 효용함수에서 동일한 설명변수에 대해서 동일한 값의 계수를 적용하는 것을 대안일반변수라 하고, 이와 다르게 대안별로 다른 값의 계수를 적용하는 경우를 대안특성변수를 사용한 모형이라고 할 수 있다. 본 논문의 경우는, 선택된 수단을 통해 비선택 수단의 통행시간, 비용이 산출되었으므로 수단 선택자에 대한 수단 효용 정도를 명확하게 파악하기 어려운 점을 고려하여 대안일반변수를 사용하여 모형을 구축하였다.

다음으로 본 연구의 목적에 해당하는 수단선택 행태를 결정짓는 요인에 대한 고려를 하기 위해 기존의 연구에서 사회경제적변수를 독립변수로 포함하는 방법으로 선행연구가 진행되었으나, 본 논문에서는 포함되지 않은 모든 변수를 고려하는 것이 현실적으로 불가능하기 때문에 고려되지 않은 수단의 특성이 갖는 분석단위의 지역적 특성을 포함하여 고려되지 않은 변수들을 종합적으로 고려할 수 있도록 사회경제변수를 포함하지 않고 분석지역단위의 크기별로 모형을 각각 구축하였다. 분석지역단위 설정 시나리오는 <표 2>과 같다.

이러한 분석시나리오에 따라 추정된 계수의 적합성 및 적절성을 검토하기 위한 방법인 한계대체율에 의한 시간가치 분석과, 통계적 적절성을 검토하였고, 모형의 실제 교통시스템에 적용가능성을 판단하기 위하여 9호선 개통전후에 대하여 모형적용을 통하여 가장 현실적 현상을 잘 설명하는 교통수단 선택모형을 분석하였다.

〈표 2〉 시나리오 설정 결과

구분	분석크기	설명	비고
모형1	중권역 단위	서울지역을 중권역 분석단위로 나누어 분석	5개권역 : 서울도심, 동남, 동북, 서남, 서북
모형2	소권역 단위	서울지역을 소권역 분석단위로 나누어 분석	25개권역 : 25개 구단위

2. 모형추정 결과

1) 모형1

서울지역을 5개 권역으로 나누어 중권역 단위로 분석한 결과는 〈표 3〉과 같다.

첫째, 통행시간과 비용 모두 (-)의 부호를 가지고 있어 상식적인 방향과 일치하여 논리적인 결과라 판단된다. 권역별로 살펴보면 서울 서남부의 한계대체율에 의한 시간가치산정결과 12,322원으로 산출되었고, 서울동남권의 경우 9,751원으로 산출되었다. 이는 수도권지역의 평균 승용차 통행 시간가치를 고려하였을 때 상식적인 측면에서 크게 벗어나지 않음을 알 수 있다.

둘째로, t-통계치를 살펴보면 서울서남권의 버스 대안특성상수를 제외한 모든 변수의 t 값이 2의 값보다 커서 매우 높은 통계적 유의성을 보이고 있어 모든 계수값이 0과 다를 확률은 매우 높다고 해석할 수 있다. 이것은 모든 설명변수가 모형에 포함되어 통행자의 교

〈표 3〉 모형1 계수추정(중권역단위)

구분	서울서남 파라메타			서울동남 파라메타		
	추정치	t 값	표준 오차	추정치	t 값	표준 오차
통행시간(분) Time, α	-0.041	-5.838	0.007	-0.025	-3.928	0.006
통행비용(원) Cost, β	-0.0001 9964	-4.423	0.000	-0.0001 5383	-3.429	0.000
버스 대안특성상수	-0.567	-0.852	0.173	-0.255	-3.286	0.299
지하철 대안특성상수	-1.203	-7.313	0.164	-0.805	-2.790	0.289
택시 대안특성상수	-1.971	-10.230	0.193	-2.114	-5.335	0.396
Number of observation	1,536			1,609		
L(0)	-1,917.197			-2,081.360		
L(c)	-1,738.675			-1,827.398		
L(β)	-1,366.600			-1,418.060		
$\rho^2(0)$	0.287			0.319		
$\rho^2(c)$	0.214			0.224		

통수단 선택행태를 설명하는데 통계적으로 중요한 변수라는 것을 의미하기도 하는 것이다.

모형1의 전반적인 수단선택행태의 설명력을 판단하기 위해 ρ^2 값을 사용할 수 있다. 모형 전체의 적합도(goodness of fit)는 ρ^2 값이 서남권의 경우 0.21358, 동남권의 경우 0.22380로 나타났다. 상수를 포함한 모든 계수값이 0일 때의 우도함수(Log-likelihood function) 값을 기준으로 계산한 $\rho^2(C)$ 값이 0.2~0.4 사이의 값만 가져도 추정된 모형이 아주 좋은 적합도를 가지는 것으로 평가(김강수, 2006)할 수 있어, 모형의 적합도가 높은 것으로 평가할 수 있다.

2) 모형2

좀 더 설명력이 높은 교통수단선택 모형을 구축하기 위해 모형1보다 분석단위를 세분화하여 서울시 25개 구별로 수단선택 모형을 구축하였다.

서울시 25개구 가운데 서울지하철 9호선이 직접 경유하는 강서구, 영등포구, 동작구, 서초구를 선택하여 모형화하였으며 모형 구축을 위해 사용된 각 구별 통행 비용 및 시간은 〈표 4〉와 같다. 강서구의 경우 평균통행시간이 가장 작게 나타났으며 업무지구가 밀집한 영등포구에서 평균통행비용이 가장 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 직접적인 영향권으로 선정한 4개 구에 대한 평균 통행 시간은 43.31분이었으며, 평균 통행 비용은 1669.75원/통행이 산출되었다.

모형2의 분석결과는 〈표 5〉와 같으며 세부적인 내용을 살펴보면 강서구의 시간가치는 11,479원, 영등포구 14,066원, 동작구 9,155원, 서초구 13,889원으로 현실에 부합하는 값으로 도출되었다. 일반적으로 출근통행이 주를 이루며 업무지구가 형성되어 있는 영등포구의 가장 높은 시간가치를 반영하고 있다. 또한, 통행시간과 비용 모두 모형1과 마찬가지로 (-)의 부호를 가지고 있고, t-통계치의 값이 2보다 커서 통계적으로 유의성이 있는 것으로 나타났다.

〈표 4〉 모형에 사용된 데이터 통계값

구분	평균 통행 시간	평균 통행 비용
강서구	35.78 분	1,623 원
영등포구	42.71 분	1,744 원
동작구	43.74 분	1,607 원
서초구	51.02 분	1,705 원

〈표 5〉 모형2 계수추정(소권역단위)

구분	강서구 파라메타			영등포구 파라메타			동작구 파라메타			서초구 파라메타		
	추정치	t 값	표준오차	추정치	t 값	표준오차	추정치	t 값	표준오차	추정치	t 값	표준오차
통행시간(분) Time, α	-0.02847	-2.695	0.01056	-0.02986	-2.537	0.01177	-0.02935	-2.260	0.02329	-0.03744	-2.382	0.01572
통행비용(원) Cost, β	-0.00014 881	-2.349	0.00111	-0.00012 737	-2.182	0.00007	-0.00019236	-2.053	0.00009	-0.00016 174	-2.512	0.00011
버스 대안특성상수	-0.659	-1.872	-0.464	-2.292	-0.932	-2.293	-0.563	-1.940	0.173	-0.255	-3.286	0.299
지하철 대안특성상수	-1.523	-4.081	-0.985	-3.015	-1.958	-4.997	-1.210	-3.534	0.164	-0.805	-2.790	0.289
택시 대안특성상수	-2.801	-7.599	-2.287	-4.778	-2.234	-5.537	-1.668	-3.750	0.193	-2.114	-5.335	0.396
Number of observation	398			500			250			419		
L(0)	-484.609			-623.424			-279.852			-534.321		
L(c)	-422.544			-559.017			-248.345			-487.143		
L(β)	-324.514			-440.505			-193.709			-373.639		
$\rho^2(0)$	0.330			0.293			0.308			0.301		
$\rho^2(c)$	0.232			0.212			0.220			0.233		

모형2의 전체 적합도는 ρ^2 값이 0.2이상으로 나타났으며, 모형1에 비하여 다소 높은 값을 나타내며 모형1과 마찬가지로 아주 좋은 적합도를 가지는 것으로 평가할 수 있다. 그리고 $\rho^2(0)$ 의 값이 $\rho^2(C)$ 보다는 커 모형1과 마찬가지로 모형 설명력 중에 많은 부분이 상수값에 의해 설명되고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 이유는 수단선택에 영향을 미치는 독립변수가 시간, 비용이외에도 지역적 특성이 결부된 값이 있으며 이와 같이 고려되지 않은 독립변수가 각 수단의 대안특성상수에 의해 설명되고 있으므로 해석할 수 있다.

3) 기존모형과의 비교

본 논문에서 구축한 지역별 모형에 대하여 기 구축된 전체 수도권에 대한 모형을 비교분석하였다. 전체 수도권에 대한 기 구축된 모형은 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제5판, KDI)에서 제시하는 모형을 기준으로 제시하며 값은 〈표 6〉와 같다.

수도권 전체에 대한 기구축된 모형에서, 통행시간과 비용에 대한 파라미터 값의 절대값이 본 논문에서 구축한 파라미터 값보다 다소 크게 도출되어 있으며, 두 계수를 이용해 산출 가능한 시간가치는 14,048원으로 본 논문에서 구축한 모형2의 평균 시간가치인 12,147원보다 다소 높은 것으로 분석되었다.

실질적인 수도권 수단 이용자들의 시간가치를 명확하게 확정하기 곤란하므로 시간가치를 통한 모형의 우월성을 제시하기는 어려움이 존재한다. 따라서, 연구의 공간적 범위에 해당하는 지역의 통행배정결과를 도출

〈표 6〉 전체 수도권 모형 및 광역권 파라미터 값

구분	통행시간	통행비용
수도권	-0.39896	-0.01704
부산울산	-0.02073	-0.00013
대구	-0.02028	-0.00012
광주	-0.04616	-0.00029
대전	-0.05069	-0.00033
전주	-0.05134	-0.00033

주 : 계수 단위는 분, 원 (수도권은 10분, 100원)

하여 시간, 비용에 따른 전체 수도권 모형의 수단분담율과 본 논문에서 구축한 수단 분담율을 실제 분담율과 비교하여 모형의 우월성을 반증하였다.

〈표 3〉에서 제시하는 모형과 〈표 5〉에서 제시하는 모형의 계수의 경우, 분석에 사용된 모집단의 분포가 상이하므로 직접적인 비교가 불가능하다. 하지만 모형별로 제시되는 통행시간, 비용 계수의 경우 수단선택행태의 민감성 비교는 가능하다. 즉, 모형의 주요 변수인 통행시간과 통행비용의 파라미터 계수의 크기가 클수록 해당 변수의 민감도가 크다고 할 수 있다.

출퇴근 통행과 같이 통행비용보다는 시간에 민감한 통행이 많은 영등포구, 서초구는 통행 시간 파라미터의 계수가 크게 산출되었다. 유사하게 서초구가 포함되어 있는 서울 서남의 경우 통행시간 파라미터가 크게 산출되어 수단선택행위에 있어 보다 민감하게 반응한다고 할 수 있다.

또한, 서울시 평균 재정 자립도를 기준으로 상위 지역으로 분류된 서초구, 영등포구는 통행시간에 대한 민감도가 크게 나타났으며 중위권에 분류된 동작구, 강서구는 통행비용에 대한 민감도가 크게 나타났다. 모형1

의 결과 또한 주로 상위권에 위치한 서울서남의 경우가 통행시간 계수가 크게 나타나 수단선택에 있어서 통행시간의 민감도가 큰 지역임을 알 수 있다.

4) 수단분담모형의 적용

지금까지는 통행자들의 교통수단선택 행태자료로써 수단선택모형 구축결과를 제시하였다. 여기서 모형의 실제 교통시스템에 적용가능성을 판단하기 위하여 2006년 가구통행실태조사 이후에 서울시에 개통된 대규모 대중교통 수단인 지하철 9호선 개통으로 인한 수단분담률 전후 비교를 실시하였다.

〈표 7〉에서 기술하고 있는 지하철 9호선의 개통 전후 수단분담율의 경우, 공인된 기관에서 배포한(수도권교통본부의 배포 O/D) 자료를 바탕으로 산출하였다. 즉, 지하철 9호선 개통 전후에 배포된 자료의 수단 O/D를 통하여 분석권역에 해당하는 존의 수단분담율을 산출하였다.

즉, 실측조사자료(가구통행실태조사)를 바탕으로 구축한 자료의 수단 O/D를 그대로 반영하였으므로 시행 전후 수단분담율을 실측 분담율이라고 가정하였다. 실측된 자료의 전수화를 통해 구축한 배포자료이지만, 현재 수준에서 가장 실측자료에 가까운 수준의 자료이며 공신력 자료이다. 따라서 배포된 자료를 이용하여 교통수요예측프로그램(EMME2)에 적용하게 되므로 배포된 자료의 특성(O/D에서 도출한 수단분담율)을 가장 잘 구현하는 모형이 보다 나은 모형이라고 할 수 있다.

지하철 9호선의 개통에 따른 수단분담률 변화를 예측하기 위하여 공간적인 범위를 강서구 및 영등포구, 동작구, 서초구로 한정하였고 9호선 개통전후의 통행량 및 분담률을 산출하였다. 기존모형의 경우는 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제5판)」에서 제시하는 전체 수도권지역의 수단분담모형 〈표 6〉을 적용한 결과이다.

산출 과정은 수도권 교통본부에서 배포한 공인된 O/D 및 네트워크를 기준으로 공간적 범위에 해당하는 지역 내 통행에 대한 시간 및 비용 Matrix를 존별로 산출하였다. 동일한 Matrix를 기준으로 기존모형, 모형1, 모형2가 제시하는 상이한 효용 함수(파라미터 값)에 적용하여 Incremental logit model에 의한 수단 분담율을 산출하였다.

시행전, 후의 경우는 실제 수단 분담율이며, 이를 기존

〈표 7〉 모형 적용결과 (단위: 천통행/일, %)

구분	승용차	버스	지하철	택시	합계
시행전	2,676	3,032	2,033	671	8,413
	31.8%	36.0%	24.2%	8.0%	100.0%
시행후	2,603	2,940	2,195	673	8,413
	31.0%	35.0%	26.1%	8.0%	100.0%
기존 모형	2,652	2,934	2,149	677	8,413
	31.5%	34.9%	25.5%	8.0%	100.0%
모형1	2,562	2,891	2,248	704	8,413
	30.5%	34.4%	26.7%	8.4%	100.0%
모형2	2,617	2,951	2,214	673	8,413
	31.1%	35.1%	26.3%	8.0%	100.0%

모형, 모형1, 모형2를 사용하였을 경우와 비교분석하였다.

서울지하철 9호선이 경유하는 지역인 직접영향권(강서구, 영등포구, 동작구, 서초구)의 경우 개통전의 지하철 수단의 분담률은 약 24.2%로 관측되었다. 9호선 개통후의 지하철의 수단분담률의 관측치는 26.1%으로 지하철 개통으로 인하여 직접영향권의 직승하차가 증가하여 약 1.9%의 수단분담률이 증가하였다.

본 논문에서 구축한 수단분담모형을 적용한 결과를 살펴보면, 모형1의 경우 26.7%, 모형2의 경우 26.3%로 분석되었다. 즉 9호선 개통으로 인하여 직접영향권내 지하철 수단분담률 변화가 실제 관측치의 경우 약 1.9%를 보였지만, 본 연구에서 구축한 모형1과 모형2의 경우 각각 2.6%, 2.2%의 수단전환을 보이는 것으로 분석되었다. 기존 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제5판)」에서는 수도권지역을 공통된 파라미터로 적용하기 때문에 본 논문에서 분석하는 분석단위를 대권역 단위로 볼 수 있다. 이를 감안할 때 분석 단위크기가 기존 연구와 같은 대권역 단위일 때 1.4%의 수단분담률 변화를 보이는 것으로 나타났다.

본 논문에서 제시한 중권역, 소권역 단위로 구축한 수단분담모형을 적용한 분석결과를 살펴보면 분석단위가 가장 작은 소권역 단위 분석의 결과인 모형2의 경우 실측 수단분담률과 가장 비슷한 결과를 보여 실제 적용 가능성이 높은 것으로 판단할 수 있다. 또한 분석지역 단위가 세분화될수록 모형 적용시 현재 교통선택행위를 잘 표현하고 있음을 알 수 있다.

본 논문에서 구축한 모형의 우월성(기구축되어 있는 수도권 전체 효용함수 모형 대비)을 강조하기 위하여 효용함수에서 산출 가능한 시간가치, 함수 적용을 통해 산출가능한 수단분담율을 기준으로 하였다. 하지만 시

간가치의 경우, 수도권 전체에 대한 평균값을 제시하여야 하며, 이는 수도권 수단 이용자들의 시간가치를 명확하게 확정하기 어려운 단점이 존재한다. 따라서, 동일한 기준에서 기존모형과 구축한 모형을 적용하여 실제 수단분담율과 비교하는 것으로 모형의 우월성을 반증하였다. 이는 통행수단 선택시 MAUP(Modifiable areal unit problems)에 대한 연구의 일부분으로써 분석대상이 세분화 될수록 통행전환 행태가 더 잘 설명될 수 있다는 Kockelman(1997)과 Krizek (2003)의 연구결과와 같은 의미에서 해석할 수 있다.

IV. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 지역단위별로 공통된 파라미터를 사용하면서 나타나는 집합화 오차를 줄이는 방법을 고찰하였으며 수단선택시 고려되지 않은 지역적 특성에 대해 고려하기 위하여 분석단위(zone size)별 수단분담 모형 파라미터값을 추정하였다. 현재 수단선택모형을 적용하기 위한 파라미터의 경우 지역별로 공통된 파라미터 값을 사용하고 있고, 이의 경우 집계모형(aggregate model) 사용에 따라 분석권역의 평균값에 의존하게 되므로 개별 자료의 정책변수의 변화에 민감하게 반응하지 못하게 되는 문제가 있었다.

현재 진행된 연구의 경우 수단선택시 고려되지 않은 요인을 수단선택모형에 포함시키기 위하여 로짓모형 적용시 독립변수를 다양화한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 본 연구에서는 이와 같은 통행수단 선택시 고려되어야 할 요소는 통행시간과 비용이외에 세부적으로 다양한 변수들이 존재하며 이들을 모두 조사하여 모형을 구축하는 것이 현실적으로 불가능하다는 면에서, 지역별로 세분화한 수단분담 모형 파라미터를 추정하여 수단선택행위에 영향을 끼치는 지역별 특성을 세분화된 파라미터로 고려하고자 하였다.

수단선택모형 구축을 위해 2006년 수도권교통본부에서 실시한 가구통행실태조사 자료를 활용하였으며, 추정된 파라미터 값 및 모형의 경우 의미 있는 결과를 도출하였다. 본 연구에서 추정한 모형의 경우 통계적인 측면이나 행태적인 측면에서 대체적으로 타당한 결과로 분석되었으며, 분석단위를 세분화 하였을 경우 모형의 적용가능성이 높은 것으로 분석되었다. 즉 중권역단위의 분석보다 소권역단위로 수단분담모형을 구축하였을 때 실제 수단선택 행태와 가장 비슷한 결과를 보이

는 것으로 나타났다. 분석지역단위가 세분화될수록 모형 적용시 현재 교통선택행위를 잘 표현되는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구의 모형 추정결과로부터 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있다. 첫째 통행자의 수단선택에 영향을 미치는 요소는 통행시간과 통행비용이 주를 이루지만, 그 외에도 사회경제적인 변수들과 지역적인 특성이 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 특히 교통정책은 개인과 가구의 특성을 변화시키는 것이 아니라 결국은 지역의 특성을 변화시키고 이를 통해 개인의 통행수단선택에 변화를 준다. 적절한 교통정책의 정확한 효과측정을 위해서는 개인 및 가구의 특성뿐만 아니라 지역특성과 같은 다양한 변수의 고려가 필수적으로 요구된다. 따라서 수단선택에 영향을 주는 변수들에 대한 조사와 분석이 필요할 것이며 본 분석에서는 고려되지 않은 독립변수를 분석단위(zone) 별 각 수단의 대안특성상수에 의해 설명하고자 하였다.

둘째 수단선택에 영향을 미치는 변수는 분석단위에 따라 수단선택 및 통행 전환행태에 영향을 끼치는 것을 알 수 있다. 이는 MAUP(Modifiable areal unit problems) 문제와 같은 맥락에서 이해할 수 있는데, 수단선택모형으로 인한 수단전환 효과를 측정하기 위하여 집계모형(aggregate model)을 사용할 경우 분석권역에 따른 평균값에 의존하게 되므로 서로 다른 모집단 분포를 설명하기에는 어려움이 있으며, 개별자료의 수단전환 행태가 반영되지 못하는 것으로 판단된다.

본 연구에서는 이러한 MAUP에 대한 연구의 일환으로 분석단위별 수단선택 모형을 구축하여 집합화에 따른 오차를 최소화하기 위한 연구를 수행하였다. 본 논문은 중권역 단위와 소권역 단위에 해당하는 모형을 구축하여 그 적합도 및 적용성을 비교하고자 하는 것뿐 아니라, 통행주체인 개인 및 가구에 보다 적합한(가까운) 분석단위를 설정하자는데 학술적 의의를 두고 있다. 즉, 기존의 수단분담을 산출에 MAUP 문제를 적용하여 보다 실제에 가까운 결과를 도출함으로써 MAUP 문제를 분석하였다고 생각된다. 현재 교통수요 추정 및 교통분석 모형에서 기존의 존기반 모형을 벗어나 통행주체인 개별 활동에 관심이 집중되는 학술적 방향에서 의의가 있다고 생각된다.

향후 연구과제의 경우 다음과 같다. 본 연구에서는 분석단위를 세분화하여 같은 지역의 사람은 비슷한 통행선택 행태를 가진다는 가정하에 수단분담모형을 구

축하였다. 그러나 수단선택은 개개인마다 다른 특성을 가지며 개인 및 가구의 사회 경제적 변수는 비집계적인 값으로 같은 지역마다 오차를 가질 수밖에 없다. 그리고 본 연구에서 가정한 지역별 특성을 반영하는 것은 존별로 집계된 자료이기 때문에 지역별 특성을 아무리 세분화하여 고려하더라도 결국은 집단의 값을 사용하게 됨으로써 분석의 위계를 일치시키기는 어려울 것이다. 분석결과 본 연구의 착안점과 마찬가지로 분석단위가 세분화될수록 수단분담모형의 현실부합성이 높아지는 것을 알 수 있었으며, 향후 분석지역을 더욱 세분화하여 역세권별 모형을 구축하여 통행자 지역특성을 고려할 수 있는 방안이 필요하다고 판단된다. 그리고 적절한 분석단위의 크기를 찾기 위하여 통행행태와 공간적인 요소간의 상호 연관관계에 대한 연구를 수행하여 가장 최적의 지역단위를 결정짓는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 소권역 단위로 수단선택 뿐만 아니라 다른 교통 수요 예측단계에서도 함께 수행하는 경우보다 현실적인 수요 예측이 이루어 질 수 있을 것이라고 판단된다. 기존의 수요예측 모형은 모두 일정 분석범위로 이루어진 존에 기반한 분석 모형이므로 본 논문에서 제시하는 분석단위 세분화는 수요예측모형의 나아갈 방향을 제시한다고 할 수 있다.

참고문헌

1. 건설교통부(2006), 주차원단위 수요분석 연구, 연구보고서.
2. 김강수 외(2006), SP 조사설계 및 분석방법론, 보성각.
3. 김성희 · 이창무 · 안건혁(2001), 대중교통으로의 보행거리가 통행수단선택에 미치는 영향, 대한국토계획학회지 국토계획, 제36권 제7호, 대한국토·도시계획학회, pp.297~307.
4. 황기연·김익기·이우철(1998), 교통수요관리정책의 효과분석을 위한 다항로짓모형의 적용 (서울시 사례), 대한교통학회지, 제6권 제4호, 대한교통학회, pp.53~63.
5. 김익기·한근수·방형준(2006), 신교통수단 건설사업에 있어 환승을 반영한 교통수요 예측기법, 대한교통학회지, 제24권 제3호, 대한교통학회, pp. 197~205.
6. 서울특별시 교통정보센터(<http://topis.seoul.go.kr>).

7. 송미령(1998), 도시공간구조와 통근통행에 관한 연구, 박사학위논문.
8. 수도권교통본부(2007), 2006 수도권 가구통행실태조사, 연구보고서.
9. 진교남(1997), 교통수단선택모형의 추정에 이용되는 선호의식 자료의 유효성에 관한 연구, 박사학위논문.
10. 한국개발연구원(2008), 도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구, 연구보고서.
11. Ben-Akiva, M. and Lerman, S. R.(1987), Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts
12. CERVERO, R. and KOCKELMAN, K. M. (1997), Travel demand and the three Ds: density, diversity and design, Transportation Research D, 2, pp.199~219.
13. Ming Zhang and Nishant Kukadia(2005), "Metrics of Urban Form and the Modifiable Areal Unit Problem", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.1902, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp.71~79.
14. Rodier and Johnston, C.J. Rodier and R.A. Johnston(1997), Travel, emissions, and welfare effects of travel demand management measures, Transportation Research Record 1598, pp.18~24.

✉ 주 작 성 자 : 김주영
 ✉ 교 신 저 자 : 김주영
 ✉ 논문투고일 : 2011. 1. 17
 ✉ 논문심사일 : 2011. 3. 7 (1차)
 2011. 9. 8 (2차)
 2011. 10. 24 (3차)
 2011. 11. 14 (4차)
 ✉ 심사판정일 : 2011. 11. 14
 ✉ 반론접수기한 : 2012. 4. 30
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필