

■ 論 文 ■

대중교통 통행배정을 위한 일반화비용 추정

An Estimation of Generalized Cost for Transit Assignment

손 상 훈

(경기개발연구원 교통정책연구부 연구원)

최 기 주

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

유 정 훈

(아주대학교 환경건설교통공학부 조교수)

목 차

- I. 서론
 - II. 문헌고찰
 - 1. 이론적 고찰
 - 2. 기존연구 검토
 - 3. 한계점 도출
 - III. 일반화비용 모형개발
 - 1. 모형정립
 - 2. 선호도 조사
 - 3. 모형정산 및 통계검정
 - 4. 결과분석
 - IV. 일반화비용 모형적용
 - 1. 모형적용
 - 2. 결과분석
 - V. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 대중교통 통행배정, 경로선택, 일반화비용, 선호도조사, 균질성 검정
Transit Assignment, Route Choice, Generalized Cost, SP Survey, Taste Variation Test

요 약

본 연구는 대중교통 통행배정을 위한 수단 및 경로선택의 기준으로서 도보시간, 대기시간(환승대기시간 포함), 차내시간, 환승시간(환승도보시간), 요금 및 각 요소별 가중치로 구성된 일반화비용 모형을 제시하였다. 모형의 정산을 위해 현실상황에 직면하도록 설계된 선호도 조사를 실시하여 자료를 수집/분석 하였으며, 한계대체율 및 임금율법을 적용하여 일반화비용 모형의 각 변수별 가중치를 도출하였다. 그 결과 서울시내간 통행의 경우 차내시간 대비 도보시간의 가중치는 1.507, 대기시간은 1.749, 환승시간은 1.474, 요금은 1.476이며, 서울경기간의 경우, 각각 1.827, 1.967, 1.015, 0.857로 도출되었다. 통계검정 결과 두 모형간에는 차이가 있는 것으로 나타났으며, 각 변수는 유의미 한 것으로 나타났다. 이 결과를 활용, 서울시 대중교통체계 개편 이후의 통행지표를 거시적·정량적으로 분석한 결과 서울시내간, 서울경기간 평균총통행시간은 30.23분, 63.29분으로 나타났으며, 일반화비용은 각각 2,510원, 3,880원으로 추정되었다.

This paper addressed the issue of a generalized cost model for transit assignment. The model composed of walk time, waiting time (including transfer waiting time), line-haul time, transfer walk time, and fare. The weights of each component were supposed to be calculated using the stated preference (SP) data, which were collected prudently in order to reflect reality. The marginal rate of substitution and wage rate were applied to calculate the weights. The results showed that the weight of walking time per in-vehicle travel time (IVTT) was 1.507, the weight of waiting time (per IVTT) was 1.749, that of transfer time (per IVTT) was 1.474, and that of fare (per IVTT) was 1.476 for trips between inner-city areas in Seoul. Weights for each component were identified as 1.871, 1.967, 1.015, and 0.857, respectively, for trips between Seoul and Gyeonggi. Statistical significance existed between two cases and each variable was also statistically significant. Transit assignment using the relative weights estimated in this study was implemented to analyze the travel index in a macroscopic and quantitative basis. The results showed that average total travel times were 30.23 minutes and 63.29 minutes and average generalized costs were 2,510 won and 3,880 won for trips between inner-city areas in Seoul and between Seoul and Gyeonggi, respectively.

I. 서론

교통혼잡, 교통사고, 환경오염의 3대 교통문제 해결을 위한 방안으로서 대중교통에 대한 관심과 투자가 증대되고 있다. 대중교통 서비스 개선을 통한 이용률 확대를 목표로, 2004년 7월 서울시는 중앙 버스전용차로제 운영, 버스노선 조정, 간선/지선버스 구분, 통합요금제 도입을 골자로 대대적인 버스체계개편을 추진하였으며, 중앙정부에서는 대규모 출퇴근 통행을 처리하기 위해 분당선, 신분당선 등 서울시와 수도권 대도시를 연결하는 광역철도사업을 활발하게 진행하고 있다. 또한 지자체는 자체적으로 대중교통 수단분담을 통한 교통체증 해소를 목적으로 도시철도(경전철) 도입을 적극적으로 검토하고 있는 상황이다.

이러한 대중교통중심 정책의 추진은 그와 관련한 대중교통 분석 수요, 즉 통합요금제 시행에 따른 수입금 정산, 도시철도(경전철) 수요추정 및 타당성 분석, BRT (Bus Rapid Transit) 효과분석과 같이 대중교통 이용자의 통행수단 및 경로선택 예측이 핵심요소로서 포함되는 실무의 수적 규모를 증가시킬 것으로 예상됨에 따라 통행수단 및 경로선택에 대한 연구가 요구되며, 이는 대중교통 통행배정을 위한 선행연구로서 또한 중요하다고 판단된다.

따라서 본 논문에서는 대중교통체계 개편 및 대중교통 서비스의 개선이 대중교통 이용자의 통행수단 및 경로선택에 영향을 주고 있다는 사실¹⁾을 기반으로 대중교통 이용자의 통행수단 및 경로선택에 영향을 미치는 요소를 파악하여 통행수단 및 경로선택 모형을 개발하고자 하며, 이를 대중교통 통행배정의 기준으로 활용하기 위해 통행시간과 요금 등을 동일한 기준에서 고려할 수 있는 일반화비용(generalized cost)으로서 제시하고자 한다. 또한 본 모형을 적용, 교통수요분석을 실시하여 서울시 대중교통체계 개편 이후의 수도권 대중교통 이용자의 통행지표를 거시적·정량적으로 도출하고자 한다.

이를 위해 2장에서는 이론적 고찰과 기존연구 검토를 실시하여 통행수단 및 경로선택 구성요소에 대한 아이디어를 얻으며, 3장에서는 통행수단 및 경로선택 일반화비용 모형을 정립하고, 모형추정을 위한 조사, 정산, 통계적 검정을 수행하고자 한다. 4장에서는 추정된 모형을

수도권 대중교통 시스템에 적용시켜 서울시 대중교통체계 개편 이후의 통행지표를 도출한다. 5장에서는 연구결과를 정리하며 향후 과제를 제시하고자 한다.

II. 문헌고찰

1. 이론적 고찰

1) 일반화 비용

일반적으로 경제학에서는 통행수단 선택 시, 이용 가능한 통행수단 중에서 통행에 소요되는 전체비용이 가장 적은 통행수단을 선택하며, 여기서 비용은 식(1)과 같이 통행비용(out-of-pocket-money), 통행시간(travel time), 시간가치(value of time: VOT)로 구성된다.

$$G_{ii} = C_i + VOT \cdot T_i \quad (1)$$

여기서, G_{ii} : 교통수단 i 의 일반화비용(원)

C_i : 교통수단 i 의 통행비용(원)

VOT : 시간당 통행시간 가치(원/분)

T_i : 출발지 목적지간 수단 i 의 통행시간(분)

통행비용의 경우 승용차는 유류비·주차비를 의미하며, 대중교통은 요금 등의 현금비용을 의미한다. 통행시간은 출발지와 목적지간 소요되는 수단별 총 통행시간을 의미하며, 시간가치는 개인의 소득을 시간단위로 환산한 것으로 시간(분)과 비용(원)을 동일 단위로 통일하기 위해 사용한다.

도로망 분석 시 통행시간과 비용을 일반화 비용으로 단일화하여 적용하고 있는데, 이는 이용자균형 통행배정(user equilibrium traffic assignment) 수행 시 변수가 시간과 비용으로 이원화됨에 따른 최적해 산출의 어려움을 극복하기 위한 방법이며, 통행자의 다양한 통행조건을 고려할 수 있는 장점이 있다.

2) 시간가치

시간가치를 추정하는 방법은 임금률법과 한계대체율

1) 카드 이용자를 대상으로 서울시 대중교통체계 개편 전후인 2004년, 2005년 4월에 대하여 각각 복수수단 이용패턴을 비교분석한 결과, 전체 이용자 대비 복수수단 이용자는 시행 전 15.8%에서 시행 후 23.5%로 증가함.(서울시 대중교통요금체계 개편사업의 추진내용 및 시행효과, 교통기술과 정책, 2005.6)

법으로 구성되는데, 임금률법은 업무통행에 대하여 통행 시간이 절약되면 그 시간만큼 생산활동을 증대시킬 수 있다는 개념으로부터 출발하여 이용 수단·경로에 의해 발생하는 통행시간의 차이를 통행자의 임금수준과 관련 지은 것이다. 현재 예비타당성조사 지침에서 제시된 업무통행시간가치는 2003년을 기준으로 승용차 운전자의 경우 13,257(원/인·시간), 버스 운전자, 트럭 운전자의 경우 9,325(원/인·시간), 11,670(원/인·시간)이다. 비업무통행 시간가치는 일반적으로 업무통행 시간가치의 1/3을 사용하고 있는데, 2003년 기준 승용차의 비업무통행 시간가치는 4,335(원/인·시간), 버스, 열차의 비업무통행 시간가치는 각각 2,160(원/인·시간), 2,682(원/인·시간)으로 제시하고 있다.

한계대체율법은 통행자가 통행시간 1시간을 절약하기 위해 현재 교통수단보다 빠른 수단을 이용할 경우 지불 가능한 추가금액을 추정하는 방법이다. 승용차와 대중교통간 선택 시, 추가비용을 주고 승용차를 선택하여 시간을 단축한 경우의 통행시간 가치는 통행자가 지불하는 추가금액보다 크다고 판단할 수 있다. 이러한 원리를 이용하여 통행시간과 통행비용의 한계대체율(marginal rate of substitution: MRS)을 통해 시간가치를 계산한다. 승용차의 효용함수가 식(2)와 같이 추정되었다면,

$$V_a = \alpha Time_a + \beta Cbst_a \quad (2)$$

여기서, V_a : 승용차의 결정적 효용
 $Time_a$: 승용차 통행시간
 $Cbst_a$: 승용차 통행비용
 α, β : 파라미터

위 모형에서 승용차 통행시간의 화폐가치는 식(3)과 같이 한계효용(marginal utility)의 비로 계산된다.

$$\frac{\text{승용차의 단위시간당 통행시간가치}}{\text{통행시간가치}} = \frac{\frac{\partial V_a}{\partial Time_a}}{\frac{\partial V_a}{\partial Cbst_a}} = \frac{\alpha}{\beta} \quad (3)$$

임금률법과 한계대체율을 이용하여 Beesley(1975)와 Quarmby(1967) 등은 소득계층에 관계없이 통근통

행의 차내시간 가치는 시간당 임금의 약 20~50% 정도, 대중교통 통행자의 도보 및 대기시간의 가치는 차내시간의 약 2~3배인 것으로 제시하였다.

3) 확률선택모형(probabilistic choice model)

확률선택모형은 개별 의사결정주체들의 선택행위이론에 근거를 두고 McFadden(1981)에 의해 개발되고 체계화된 모형으로서, 모든 의사결정주체는 선택 가능한 모든 대안들 중에서 가장 바람직하고 매력적인 대안을 선택한다는 사실을 기반을 두고 있다. 여기서 매력 정도는 대안의 특성을 의미하는 효용함수(utility function)로 나타낼 수 있으며, 개별 의사결정주체는 주어진 선택 대안 중 효용을 극대화시키기 위해서 효용함수 값이 가장 큰 대안을 선택한다.

효용함수는 식(4)와 같이 결정적(deterministic) 효용과 확률적(random) 효용의 합으로 나타낼 수 있는데 결정적 효용은 교통수단 선택에 영향을 주는 통행시간, 통행비용, 통행자의 사회경제적 특성과 같이 관측 가능한 효용을 말하며 확률적 효용은 안락감, 쾌적함, 안정성 등 관측할 수 없는 효용을 의미한다.

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (4)$$

여기서, U_{in} : 개인 n 의 수단 i 총 효용
 V_{in} : 개인 n 의 수단 i 결정적 효용
 ε_{in} : 개인 n 의 수단 i 확률적 효용

로짓모형은 확률적효용 ε_{in} 과 ε_{jn} 이 Weibull 분포²⁾를 가지면서 동시에 두 효용이 독립적이고 동일하게 분포(independently and identically distributed: IID)되어 있다고 가정하며, 식(5)의 모형을 갖는다.

$$P_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^J \exp[-(V_i - V_j)]} = \frac{\exp V_i}{\sum_{j=1}^J \exp V_j} \quad (5)$$

로짓모형은 선형확률모형이 가지는 이론적인 약점(확률 분포의 모양이 확률효용이론의 원리에 어긋남)과 프로빗 모형이 가지는 계산상의 어려움(확률적 효용이 정

2) 정규분포와 유사한 형태를 갖고 있으며 평균이 0.575, 분산이 1.622인 분포임.

구분포임을 가정함에 따라 발생하는 여러 번에 걸친 정규밀도함수의 적분계산)을 극복하는 모형으로서 현재 널리 이용되고 있다.

4) 대중교통 통행배정

Spieß & Florian(1989)은 대중교통 통행이 다음과 같이 구성되어 있음을 제시하였다.

- 출발지에서 정류장까지 접근(access)
- 대기(waiting)
- 승차(riding)
- 하차(alighting)
- 환승(walking between two transit stops)
- 정류장에서 목적지까지 이동(egress)

대기를 제외한 나머지 요소는 시간 혹은 비용으로서 쉽게 정량화된다. 하지만 대기는 정류장에 가장 먼저 도착하는 노선(차량)을 기다리는 시간에 대한 통계적 분포를 도입할 경우에만 정량화가 가능하다. Spiess & Florian(1989)은 대기시간은 통행자가 대기하고 있는 정류장에 도착하는 노선들의 통합배차간격(combined frequency)에 의해 결정되는 것으로 보았으며, 예를 들어 노선 A, B가 경유하는 노드의 경우 대기시간은 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{대기시간} = \frac{\text{wait time factor}}{1/\text{headway}_A + 1/\text{headway}_B} \quad (6)$$

식(6)에서 wait time factor는 대기시간에 대한 인지 차이 혹은 대중교통 노선의 도착시간에 따른 배분 차이를 의미하는 계수로서 사용된다. wait time factor 0.5는 일정한 간격으로 도착하는 대중교통 서비스를 의미하며, 불규칙한 서비스의 경우 큰 값을 사용하고, 차량 도착시간과 승객 도착시간이 일치하는 경우 낮은 값을 사용한다. 즉 승객이 대중교통 시간대이בל을 알고 있거나, 환승 운영이 잘 되는 경우를 나타낸다.

2. 기존연구 검토

1) 대중교통 통행경로선택 관련 연구

양창화, 손의영(2000)은 환승을 통행저항으로 인식

하고 환승이 경로선택에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보기 위해 서울시 전철 이용자를 대상으로 선호도 조사를 실시하였고, 조사결과를 경로선택 모형을 구축하여 연령별, 통행목적별로 차내시간, 환승시간, 환승횟수, 에스컬레이터 설치유무가 전철 이용시 경로선택에 미치는 영향을 분석하였다. 출근 및 등교를 대상으로 모형정산 결과 환승시간은 차내시간을 기준으로 1.70분, 환승횟수는 10.22분, 에스컬레이터 설치유무는 2.00분에 해당하는 것으로 연구되었다.

이경재(2004)는 차내시간, 환승시간, 환승횟수와 같은 경로특성 변수뿐만 아니라 환승역의 특성 변수인 수평이동거리, 상향계단수, 하향계단수, 에스컬레이터 시간도 전철의 경로선택에 영향을 미치는 것으로 가정하여 모형을 구축하였다. 연구결과 환승시간은 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 환승횟수는 차내시간을 기준으로 9.85분, 수평이동거리 100m는 1.20분, 상향계단 100개는 8.66분, 하향계단 100개는 5.97분, 에스컬레이터 1분은 2.33분에 해당하는 것으로 나타나, 두 연구 모두 환승횟수가 상당히 큰 제약으로 작용하고 있음을 의미한다.

2) 대중교통 수단선택 관련 연구

김현, 오세창, 최기주(1999)는 수단 선택에 영향을 주는 변수로서 수단별 비용(요금), 도보시간, 대기시간, 총통행시간, 환승횟수 및 사회경제적 변수를 고려하였고, 수도권 통행실태조사 자료를 활용하여 모형을 정산하고, 수단별 통행시간가치를 산정한 결과, 버스를 이용한 통근+통학 목적 통행의 시간가치는 638원, 지하철을 이용한 통근+통학 목적의 경우 1,083원으로 제시하였다.

윤혁렬(2000)은 차내시간에 비해 차외시간이 불확실, 비생산적임에 따라 차외시간이 더 많은 가치를 가지는 것으로 제시하였으며, 통행비용 함수를 추정하기 위해 대중교통 수단선택 모형을 구축한 결과, 차외시간(접근시간+대기시간), 차내시간, 통행요금, 환승시간이 수단선택에 영향을 주는 요소라고 언급하였다. 가정기반 업무통행 응답자 결과를 이용하여 수단선택 모형을 정산한 결과, 차내시간 대비 차외시간이 1.54분, 환승시간이 5.81분으로 분석되었다. 여기서 환승시간은 환승접근시간, 대기시간, 환승패널티를 모두 포함하고 있는 것으로 가정하였다.

Liu, Pendyala, Polzin(1997)은 대중교통과 승용차의 차내시간 차이, 차외시간(도보+대기) 차이, 통행비용 차이, 환승횟수 차이가 통행수단 선택에 영향을 주는 것으로 판단하였다. 미국 뉴욕, 뉴저지를 대상으로 자료수집 및 분석결과 차외시간은 차내시간 1.69분에 해당하는 것으로 나타났으며, 환승횟수는 8.00분에 해당하는 것으로 나타났다.

3) 대중교통 통행 구성요소 관련 연구

Mily(2003)는 교통수요분석 상용 소프트웨어 중 하나인 EMME/2에서 대중교통 통행배정 시 파라미터 정산이 휴리스틱하게 이루어지고 있음을 개선하고자 유전자알고리즘(genetic algorithm)을 활용하여 대중교통 통행배정에 영향을 주는 구성요소 및 구성요소별 가중치인 boarding time, boarding time weight, wait time factor, wait time weight, auxiliary time weight 값을 찾을 수 있는 프로그램을 작성하였다. 캐나다 토론토를 대상으로 본 프로그램을 적용한 결과, boarding time은 2.6분 boarding time weight는 2.6, wait time factor는 0.49, wait time weight는 1.4, auxiliary time weight는 1.0으로 도출되었다.

윤혁렬(2000)은 환승이 도보시간과 대기시간으로 구성되어 있으며, 이러한 정량적인 속성 외에도 환승에 따른 불편함 등을 의미하는 환승패널티의 고려여부에 따라 환승의 가치가 변화할 것이라 언급하였다

3. 한계점 도출

이전 연구에서는 주로 전철에 대한 경로선택 모형이 구축되었다. 하지만 서울시 대중교통체계 개편이 이루어짐에 따라 간선·지선버스 운영, 환승에 따른 추가비용이 사라졌으며, 지속적인 환승환경 개선 등 복수수단을 이용할 수 있는 환경이 조성되고 있다고 판단되는 바, 수단선택 모형 보다는 전철과 버스를 포괄하는 경로선택 모형을 구축하는 것이 더욱 타당하다고 생각된다.

기존연구에서 환승은 환승대기시간과 환승도보시간을 포함하고 있다. 하지만 환승대기시간이 불확실성, 불안감 등의 심리적인 요소를 포함하고 있으며 배차시간으로부터 확률적으로 추정해야함에 반해, 환승도보시간은 통근, 통학 목적 통행인 경우 일정하다고 볼 수 있으며, 출

발지에서 출발역 또는 정류장 사이에서 일어나는 도보에 비해 이동시 매우 혼잡한 환경을 경험하게 되므로 양자는 이질적인 특성을 가진다. 따라서 이를 모형의 변수로서 활용하기 위해서는 구분할 필요가 있다.

III. 일반화비용 모형개발

1. 모형정립

대중교통 통행수단 및 경로선택의 기준이 되는 일반화비용 모형을 추정하고 이를 기반으로 대중교통 통행배정을 수행하기 위해서는 다음과 같은 가정이 필요하다. 첫째, 대중교통 통행비용(시간)은 도보시간, 대기시간, 차내시간, 환승시간, 요금으로 구성되는 일반화비용으로 나타낼 수 있다. 환승시간은 환승에 소요되는 도보시간만을 의미하며, 환승대기시간은 대기시간에 포함된다. 둘째, 대기시간은 확률적인 개념으로서 배차간격(headway)이 일정하다는 가정 하에 배차간격의 1/2을 대기시간으로 적용한다. 셋째, 통행지는 출발지와 목적지간 일반화비용이 적게 소요되는 수단과 경로를 선택한다. 넷째, 시간가치는 개인의 직업, 소득수준에 따라서 차이가 있으나 거시적인 분석을 위해 예비타당성조사 지침에 제시된 임금률법에 의한 비업무통행 시간가치 2,298(원/시간)을 적용한다³⁾. 다섯째, 분석의 범위를 침투시간 통근, 통학 목적의 통행으로 한정한다. 이와 같은 가정으로부터 일반화비용 모형을 식(7)과 같이 정립하였다.

$$Generalized\ Cost\ (time)_{ij} \tag{7}$$

$$= w_1 * Walk\ Time_{ij} + w_2 * Wait\ Time_{ij} + w_3 * IVTT_{ij} + w_4 * Transfer\ Time_{ij} + \frac{w_5}{VOT} * Fare_{ij}$$

- Walk Time_{ij} : 기종점간 도보시간
- Wait Time_{ij} : 기종점간 대기시간
- IVTT_{ij} : 기종점간 차내시간
- Transfer Time_{ij} : 기종점간 환승시간(=환승이동시간)
- Fare_{ij} : 기종점간 통행요금
- VOT : 통행목적별 시간가치
- w_i : 구성요소별 가중치(i = 1, 2, 3, 4, 5)

3) 2003년 비업무통행시간가치 2,160(원/시간)에 2005년 소비자물가지수를 적용함.

2. 선호도 조사

1) 조사개요

앞서 정립된 일반화비용 모형에서 구성요소별 가중치는 가구통행실태조사 자료와 같이 기 구축된 자료를 활용하는 방법과 설문조사를 통해 필요한 자료를 수집하는 방법을 적용할 수 있다. 본 논문에서는 수도권 가구통행 실태조사가 서울시 대중교통체계개편 이전에 이루어져 개편으로 인한 통행수단 및 경로선택 변화양상을 파악할 수 없는 한계가 존재하기 때문에 가상적인 상황을 개인에게 부여하고, 답변된 개인의 통행수단 및 경로선택(선호) 자료를 이용하여 모형의 정산이 가능한 선호도 조사(stated preference: SP)를 실시하였다.

선호도 조사는 통계적인 실험계획법을 통해 가상적인 시나리오를 구축하고 그 가상적인 시나리오를 개인에게 제공하여 개인의 선호를 찾는 일련의 기법으로 정의되며, 교통분야에서는 통행수단 및 통행경로 선택에 많이 활용되고 있다. 선호도 조사의 장점으로는 실험상황에 대한 통제가 가능하기 때문에 관심의 대상이 되는 변수로 구성된 설문을 할 수 있으며, 현존하지 않는 대안 혹은 상황을 제시할 수 있다는 점을 들 수 있다. 실험계획법을 이용하여 변수간 존재하는 상관관계를 제거할 수 있으며, 한 사람으로부터 다수의 자료를 획득할 수 있으므로 조사비용 절감 및 조사의 효율성을 확보할 수 있는 장점이 있다.

선호도 조사의 단점으로는 실제 통행행태와 잠재적인 통행수요간 차이 발생을 들 수 있는데, 이를 극복하기 위해 McFadden(1987)은 조사를 통해 얻어지는 선호와 통행자 의도가 실제로 관측되어지는 통행자 행태와 직접적인 연관을 가질 수 있도록 조사가 설계되어야 하고 수집된 선호도 자료를 이용하여 실제 행위를 예측할 수 있는 분석방법의 개발이 필요하다고 하였으며, 선호도 자료의 유용성이 검증되기 위해서는 이 자료를 이용하여 예측된 결과와 실제 행위와의 비교작업이 요구된다고 하였다. 또한 Wardman(1987)도 선호도 조사의 한계를 극복하기 위해서는 제시되어지는 선호도 조사의 가상적인 상황이 현실 상황과 비슷하도록 설계되어야 한다고 언급하였다.

2) 조사설계

조사설계는 <표 1>의 과정으로 수행되었으며, 질문은 <표 2>와 같이 fractional factorial design에 근거하

<표 1> 조사설계 과정 및 내용

과정	설계내용
조사표본	•첨두시간대 통근, 통학 목적의 서울시 대중교통 환승 통행자
선호표현	•선택(Binary Choice)
선택상황	•경로선택 상황제시 수단간 편익은 없는 것으로 가정
선택대안	•2개(현재 이용경로, 대안경로)
속성변수	•도보시간, 대기시간, 차내시간, 환승시간(환승도보시간), 요금
수준	•경계시간 가치를 고려하여 속성변수별 평균값에서 임의의 비율만큼 가감하여 3수준으로 설정
실험계획법	•5변수, 3수준에 대한 fractional factorial design으로부터 16개 질문을 생성한 후 최종적으로 12개 추출

주 : 속성변수별 평균값은 예비조사를 통해 도보시간 15분, 대기 6분, 차내 40분, 환승 6분, 요금 1,000원으로 산정됨.

<표 2> 5변수·3수준의 fractional factorial design

질문#	도보 시간	대기 시간	차내 시간	환승 시간	요금	채택 여부
1	0	0	0	0	0	X
2	0	1	1	2	1	O
3	0	2	2	1	1	O
4	0	1	1	1	2	O
5	1	0	1	1	1	X
6	1	1	0	1	2	O
7	1	2	1	2	0	O
8	1	1	2	0	1	O
9	2	0	2	2	2	O
10	2	1	1	0	1	O
11	2	2	0	1	1	O
12	2	1	1	1	0	O
13	1	0	1	1	1	X
14	1	1	2	1	0	O
15	1	2	1	0	2	O
16	1	1	0	2	1	X

자료 : Guide to Forecasting Travel Demand with Direct Utility Assessment. US DOT, 1982

<표 3> 설문지 구성 및 내용

구분	내용
I	기초자료 조사 •응답자 성별, 연령 등 주요 통행목적 파악
II	대중교통 이용실태 조사 •환승여부, 환승수단, 출발역, 환승역, 도착역, 경로선택이유, 현재경로 만족 여부 등 현재 환승행태 파악
III	통행시간/요금조사 •응답자의 현재 이용 경로에 대한 통행시간(도보, 대기, 차내, 환승) 및 요금에 대한 질문 및 정보수집
IV	경로선택 조사 •직교배열표에 의해 생성된 12개의 질문으로서, 현재경로와 대안경로 간 선택여부를 질문함

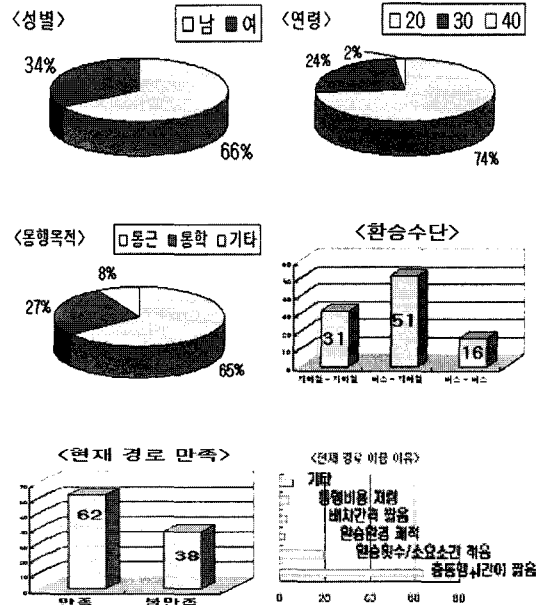
여 5개의 변수 중 2개 이상의 변수에 대하여 수준 변경이 가능한 12개의 유형을 추출하였다. 설문지는 선호도 조사를 포함하여 4개 부분으로 구성되었으며 부분별 조사내용은 <표 3>과 같다. 설문지 구성에서는 앞서 언급된 통행자 행태와 직접적인 연관을 가지며, 가상적인 상황이 현실상황과 비슷하게 제시될 수 있도록 응답자의 현재통행에 대한 답변을 기초로 각 속성변수값을 가감하여 대안경로를 생성하는 방법을 도입하였다.

3) 조사실시

설문은 2006년 5월 20일에서 6월 8일까지 실시되었으며, 서울시에 회사, 학교 혹은 집이 있으며, 통근/통학 목적 통행 시 1회 이상 환승하는 통행자를 대상으로 Email을 통해 송부한 조사양식 excel 파일을 작성후 회신받는 방식으로 진행하였다

4) 결과분석

유효 설문지는 총 100개가 회신되었고, 기초자료 분석결과 회신자의 성별은 남자가 66%, 여자가 34%이다. 연령 분포는 20대가 74%, 30대와 40대가 26%이며, 통행목적별로는 통근이 65%, 통학이 27%로 나타났다. 이 비율은 통계청 인구주택총조사에서 집계된 대중교통이용자 연령대 및 통행목적 분포와 비교해도 큰 무리가 없는 것으로 판단되었다. 대중교통 이용실태조사 분석결과 환승수단으로는 버스-지하철간 환승이 가장 많



<그림 2> 설문결과

<표 4> 응답자의 평균 통행시간 및 요금

(단위: 분, 100원)

구분	도보 시간	대기 시간	차내 시간	환승 시간	요금
전체	13.1	9.8	38.4	4.9	13.0
서울시내간	13.5	8.8	32.6	4.8	9.6
서울경기간	12.3	12.6	55.3	5.1	22.9

은 51%를 나타냈고, 지하철-지하철간 환승이 31%, 버스-버스간 환승이 16%로 조사되었다. 현재경로에 대한 만족은 62%이며, 현재 통행경로를 이용 이유에 대한 질문의 65%가 현재 경로의 총통행시간이 짧기 때문이라고 응답하였다.

통행시간/요금조사에 대한 응답을 전체, 서울시내간 통행, 서울경기간 통행으로 구분하여 대중교통 통행 구성 요소별로 평균한 결과 <표 4>와 같이 전체 응답자의 도보 시간 평균은 13.1분, 대기시간 9.8분, 차내시간 38.4분, 환승시간 4.9분, 요금은 1,300원인 것으로 나타났다.

3. 모형정산 및 통계검정

1) 모형정산 개요

회신된 100개의 자료를 필터링하여 총 951개의 선호도 자료를 구축하였다. 이중 694개는 서울시내간 통행,

III. 통행시간 및 요금조사
가능한 구성적으로 답변해 주시면 감사하겠습니다. (예: '도보시간 12분'처럼 상세하게)

III-1 어디서부터 출발하여 목적지까지 도착하는데 걸리는 시간은 얼마입니까? 분
(출발시간)

III-2 역 - 출발역(상류역)까지 걸리는 시간은 몇 분입니까? 분
(도보시간)

III-3 출발역(상류역)에서 중간 대기하는 시간은 몇 분입니까? 분
(대기시간)

구분	도보(분)	대기(분)	차내(분)	환승(분)	요금(원)
현재경로	27	12	10	5	1000

IV. 경로선택조사

'도보, 대기, 차내이동, 환승 경로의 여섯속도'를 고려하면서, 다음 조건이 부여되었을 경우 경로 변경의 이유는 무엇이었는지 표시하십시오.

구분	도보(분)	대기(분)	차내(분)	환승(분)	요금(원)	선택
IV-2 현재경로	27	12	10	5	1000	
대안경로	17	20	12	5	1000	

<그림 1> 선호도조사 excel 조사지 예시

257개는 서울경기간 통행으로 집계되었으며 LimDep⁴⁾을 이용, 전체, 서울시내간, 서울경기간 통행에 대하여 식(7)의 일반화비용 모형에서 VOT를 제외한 경로선택 모형을 정산하였다.

2) 모형정산 결과

모형정산 결과는 <표 5>와 같다. 전체, 서울시내간, 서울경기간으로 구분된 각 모형별 $\bar{\rho}^2$ 값이 모두 0.2 이상으로 나타남에 따라 모형별 타당성이 확보된 것으로 판단된다. 또한 각 계수별 t-통계량이 95% 유의수준에서 모두 유의한 것으로 나타나 지역에 상관없이 모든 변수가 통행경로선택에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 또한 동일 변수의 전체, 서울시내간, 서울경기간 계수값에 대하여 paired-t 검정을 실시한 결과 요금을 제외한 나머지 변수에 대해서는 계수값의 차이가 없는 것으로 나타나 도로, 대기, 차내, 환승시간에 대한 인지정도는 지역에 상관없이 동일한 것으로 나타났다.

<표 5> 모형정산 결과

구분	도보 시간	대기 시간	차내 시간	환승 시간	요금	
전체	계수	-0.2484	-0.2980	-0.1627	-0.2229	-0.0046
	t-통계값	-8.834	-10.875	-9.431	-4.802	-10.599
	$\mathcal{L}(\hat{\beta})$	-503.1868		$\bar{\rho}^2$	0.232	
	$\mathcal{L}(0)$	-659.1830		N	951	
서울 시내 간	계수	-0.2775	-0.3221	-0.1842	-0.2715	-0.0071
	t-통계값	-8.030	-9.441	-6.952	-4.691	-9.588
	$\mathcal{L}(\hat{\beta})$	-362.4791		$\bar{\rho}^2$	0.241	
	$\mathcal{L}(0)$	-481.0041		N	694	
서울 경기 간	계수	-0.2703	-0.2940	-0.1540	-0.1947	-0.0033
	t-통계값	-4.207	-5.595	-6.125	-1.987	-6.022
	$\mathcal{L}(\hat{\beta})$	-128.0815		$\bar{\rho}^2$	0.267	
	$\mathcal{L}(0)$	-178.1388		N	257	

3) 통계검정

전체, 서울시내간, 서울경기간으로 시장분할(market segment)된 모형간 유의성과 수집된 선호도 조사 자료의 균일성 여부를 통계적으로 판단하였다.

(1) taste variation 검정

소집단으로 구분된 자료로부터 구축된 모형과 전체

표본을 이용하여 추정된 모형의 통계적 유의성을 검정하기 위한 가설은 식(8)과 같고, β^g 는 시장분할된 소집단 g 를 위한 계수의 벡터이다.

$$\text{귀무가설} : H_0 : \beta^{\text{전체}} = \beta^{\text{서울시내간}} = \beta^{\text{서울경기간}} \quad (8)$$

$$\text{대립가설} : H_1 : \text{모든 } \beta^g \text{가 동일한 것은 아니다.}$$

가설 검정을 위한 검정통계량은 χ^2 -통계량이며 식(9)와 같이 계산된다.

$$\chi^2 = -2[L_N(\hat{\beta}) - \sum_{g=1}^G L_{N_g}(\hat{\beta}^g)] \quad (9)$$

$L_N(\hat{\beta})$: 전체자료를 이용할 경우의 로그우도함수의 최대치에서 로그우도함수의 값

$L_{N_g}(\hat{\beta}^g)$: 시장분할된 소집단의 표본자료를 이용할 경우의 최대치에서 로그우도함수의 값

이렇게 계산된 통계량을 우도비 검정통계량(likelihood ratio test statistic)이라 하며, 여기서 자유도는 식(10)과 같다.

$$\text{자유도} = \sum_{g=1}^G K_g - K \quad (10)$$

K_g : 소집단 g 를 위한 추정 계수의 수(상수포함)

K : 전체자료에서 추정된 모형의 계수의 수(상수포함)

전체 자료를 서울시내간과 서울경기간 통행으로 구분하여 각각에 대하여 추정한 결과는 <표 6>과 같으며, 우도비 검정통계량과 자유도 10에서 χ^2 -통계량은 각각 25.25, 18.31로 계산되었다.

앞서 구한 두 값을 비교하면 식(11)과 같이 우도비

<표 6> 우도비 검정통계량과 χ^2 -통계량 비교

구분	$\mathcal{L}(\hat{\beta})$	χ^2	$\chi^2_{10, 0.05}$	자유도
전체	-503.1868	25.25	18.31	10
서울시내간	-362.4791			
서울경기간	-128.0815			

4) LimDep은 계량통계 소프트웨어로서 정성적인 변수 및 제한된 설명변수와 같은 비선형모형의 매개변수를 추정 가능함

검정통계량이 더 크므로 귀무가설을 기각하게 되고, 따라서 전체/서울시내간/서울경기간으로 구분하여 정산된 모형 상호간에는 차이가 있음을 통계적으로 판단할 수 있다.

$$\chi^2 = 25.25 > \chi_{10, 0.05}^2 = 18.31 \quad (11)$$

(2) 자료의 균질성 검정

자료의 균질성 검정은 수집된 자료의 불편성을 판단하기 위하여 자료를 두 그룹으로 랜덤하게 시장분할하여 분할된 자료를 통해 구축된 모형과 전체 자료로부터 구축된 모형간에 차이가 없음을 통계적으로 증명하는 방법이다. 귀무가설과 대립가설은 식(12)와 같이 수립된다.

$$\text{귀무가설: } H_0: \beta^{\text{전체}} = \beta^{\text{rand1}} = \beta^{\text{rand2}} \quad (12)$$

$$\text{대립가설: } H_1: \text{모든 } \beta^g \text{가 동일한 것은 아니다.}$$

여기서 β^g 는 시장분할된 소집단 g 를 위한 계수의 벡터이며, 가설 검정을 위해 쓰이는 우도비 검정통계량은 $\chi^2 = -2[L_N(\hat{\beta}) - \sum_{g=1}^G L_{N_g}(\hat{\beta}^g)]$ 이며, 자유도 10에서의 χ^2 -통계량($\chi_{10, 0.05}^2$)과 비교하여 유의성을 판단한다.

서울시내간, 서울경기간 각각에 대하여 시장분할 후

〈표 7〉 자료의 균질성 검정 결과 ($\chi_{10, 0.05}^2 = 18.31$)

구분	자료수	$\ell(\beta)$	χ^2	기각여부	
서울 시내 간	1	362	-193.4872	6.736	X
		327	-165.6239		
	2	670	-172.0162	3.101	X
		718	-188.9124		
	3	704	-188.5018	10.477	X
		684	-168.7386		
	4	656	-169.8520	1.545	X
		732	-191.8547		
	5	680	-185.3532	4.610	X
		708	-174.8210		
서울 경기 간	1	260	-67.8888	5.069	X
		254	-57.6584		
	2	290	-73.2523	2.656	X
		224	-53.5010		
	3	238	-58.3301	4.477	X
		276	-67.5131		
	4	258	-66.7232	1.689	X
		256	-60.5140		
	5	256	-59.2893	8.140	X
		258	-64.7225		

자료의 균질성 검정을 5회 실시한 결과는 〈표 7〉과 같으며, 어느 경우에 있어서도 귀무가설을 기각하지 못하므로 자료의 균질성이 확보된 것으로 판단할 수 있다. 이 검정은 선호도 조사로부터 수집된 자료의 타당성을 통계적으로 판단할 수 있는 방법으로 사료된다.

4. 결과분석

한계대체율법을 적용하여 각 변수의 시간가치를 〈표 8〉과 같이 산정하였다. 시간가치의 크기는 대기시간, 도보시간, 환승시간, 차내시간 순으로 나타났다. 대기시간에 환승대기시간이 포함됨에 따라 대기시간의 시간가치가 가장 높게 도출된 것으로 판단되며, 이 결과를 통해 대중교통 이용자는 대기시간의 확실적인 속성을 비중있게 고려하는 것으로 판단된다. 환승에 소요되는 도보시간을 의미하는 변수인 환승시간은 에스컬레이터, 무빙워크 등 환승편의시설이 지속적으로 증가하고 있으며, 대중교통체계개편에 따라 환승이 필요한 통행조건이 조성됨에 따라 도보시간보다 그 가치가 낮게 도출된 것으로 판단된다. 차내시간가치는 2,100(원/시간)으로, 예비타당성조사 지침에서 제시하고 있는 비업무통행 시간가치와 유사한 것으로 나타났다.

한계대체율법을 적용하여 각 변수를 차내시간으로 환산하고, 단위가 다른 요금에 대하여 임금을법에서 제시하고 있는 비업무통행시간가치를 적용하면 〈표 9〉와 같이 각 변수별 상대적 가중치를 도출할 수 있다. 도보시간은 차내시간의 1.5~1.7배, 대기시간은 1.7~1.9배, 환승시간은 환승패널티와 환승대기시간이 고려되지 않은 경우, 차내시간의 1.2 ~1.5배 정도로 분석되었다. 요금

〈표 8〉 대중교통 통행구성요소별 시간가치 (단위: 원/시간)

구분	도보시간	대기시간	차내시간	환승시간
전체	3,240	3,887	2,122	2,907
서울시내간	2,345	2,722	1,557	2,294
서울경기간	4,915	5,345	2,800	3,540

〈표 9〉 대중교통 통행구성요소별 상대적 가중치

구분	도보시간	대기시간	차내시간	환승시간	요금
전체	1.527	1.832	1.000	1.370	1.083
서울시내간	1.507	1.749	1.000	1.474	1.476
서울경기간	1.755	1.909	1.000	1.264	0.821

의 경우 통행수단 및 통행경로 선택 시 단거리 통행이 장거리 통행의 경우보다 요금이 더 중요한 요소로 고려되는 것으로 나타났다.

IV. 일반화비용 모형적용

1. 모형적용

1) 분석개요 및 전제

앞서 구축한 대중교통 통행 구성요소별 상대적 가치를 식(7)의 일반화비용 모형의 계수 값으로 적용하여 서울시 대중교통체계 개편이후의 통행지표를 거시적 관점에서 정량적으로 도출한다.

분석의 공간적 범위는 서울시, 인천시, 경기도를 포함하는 수도권 전지역, 시간적 범위는 2006년이며, 특히 첨두시간대 통근·통학목적 통행을 대상으로 분석을 실시한다. 분석은 GIS기능이 탑재되어있으며, 4단계 수요예측을 수행할 수 있는 소프트웨어인 TransCAD 4.7을 활용한다. 분석 자료는 서울시정개발연구원에서 공표한 2006년 자료로서, 네트워크는 17,200개의 노드, 23,009개의 링크 외 720개의 대중교통 노선으로 구성되어 있으며, 기종점자료는 1,141개 존으로 구분되며 전체통행은 <표 10>과 같이 구분된다. 기종점자료의 첨두집중률은 서울시 지하철 월별·시간대별 이용객수로부터 집계된 11%를 적용하였다.

<표 10> 수도권 기종점자료 구분 (단위: 백만통행/일)

구분	전체	서울내부간	서울경기간	서울외부간
승용차	16.9	4.9	3.2	8.9
택시	3.4	1.5	0.3	1.6
버스	15.4	6.4	2.1	6.9
전철	7.3	4.9	1.7	0.8
기타	3.0	1.0	0.5	1.5
계	46.1	18.7	7.7	19.7

주: 전철은 환승 미포함 자료임.

3) 대중교통 통행배정

대중교통 통행배정 시, 환승도보링크와 거리요금제에 대한 반영에 제약이 있음을 먼저 밝혀둔다. 접근/하차도보링크와 환승도보링크를 포함하는 walking 가중치를 산정하기 위해 <표 4>에서 조사된 도보시간과 환승시간

비율을 적용하였고, 거리별 요금은 평균요금을 계산하여 입력하였다. 대중교통 통행배정 적용 가중치는 <표 11>과 같이 보정하여 사용하였다. 통행배정은 버스·전철 통합네트워크를 대상으로 실시하였으며, 통행배정 모형은 optimal strategies 방법에서 고려할 수 없었던 요금을 포함한 일반화비용에 의해 통행배정이 가능한 pathfinder 방법을 사용하였다.

<표 11> 대중교통 통행배정 적용 가중치

구분	walking	waiting	IVTT	fare
기존연구	2.608	1.540	1.000	0.532
서울시내간	1.499	1.749	1.000	1.476
서울경기간	1.615	1.909	1.000	0.821

2. 결과분석

대중교통체계 개편 이후의 서울시내간, 서울경기간 통행지표 분석결과는 <표 12>와 같다. 분석결과 환승도보시간을 포함한 평균 도보시간은 서울시내간 11.16분, 서울경기간 16.08분, 평균 대기시간은 서울시내간 3.96분, 서울경기간 5.28분, 평균차내시간은 서울시내간 15.12분, 서울경기간 41.93분이 소요되어 평균 총통행시간은 서울시내간 30.23분, 서울경기간 63.29분으로 나타났다. 이 결과는 환승/미환승 통행자를 모두 고려하여 도출한 평균소요시간으로서, 이를 고려하여 <표 4>의 설문응답자 평균 통행시간과 비교한다면 비슷한 양상을

<표 12> 대중교통체계 개편 이후 통행지표 분석결과 (단위: 원, 분, km)

통행지표	개편이후	
	서울시내간	서울경기간
Generalized Cost	2.510	3.880
In-Vehicle Travel Time	15.12	41.93
Wait Time	3.96	5.28
Initial Wait Time	2.20	2.05
Transfer Wait Time	1.75	3.23
Walk Time	11.16	16.08
Transfer Walk Time	0.04	0.82
Access Walk Time	5.64	7.48
Egress Walk Time	5.48	7.79
In-Vehicle Distance	7.59	21.80
Total Travel Distance	8.33	22.87
Total Travel Time	30.23	63.29

보이는 것으로 판단된다. 요금을 포함한 일반화비용의 경우 각각 2,510원, 3,880원으로 도출되었다.

V. 결론 및 향후과제

대중교통체계의 변화는 통행수단 및 경로선택을 결정하는 요소와 요소별 인지정도에 영향을 줄 것이라는 전제하에 일반화비용 모형을 구축하여 통행수단 및 경로선택 결정요소와 가중치를 도출하였다. 문헌조사를 통해 도보시간, 대기시간, 차내시간, 환승시간, 요금을 결정요소로서 선택하였으며, 선호도 조사 및 통계검정 실시 결과, 대기시간, 도보시간, 환승시간, 요금, 차내시간의 순서로 중요성을 가지는 것으로 나타났다. 또한 서울시내 간과 서울경기간 통행에 대하여 분석한 결과 서울시내간 통행과 서울경기간 통행은 모두 대기시간과 도보시간, 환승시간은 차내시간보다 더 중요하게 고려되고 있는 것으로 나타났으나, 요금의 경우는 비교적 단거리 통행인 서울시내간 통행에서만 더 중요하게 고려되는 것으로 나타났다. 이를 적용하여 수도권을 대상으로 대중교통 통행배정을 실시한 결과 서울시내간 통행의 평균통행시간은 30.23분, 서울경기간 통행의 평균통행시간은 63.29분인 것으로 추정되었으며, 일반화비용은 각각 2,510원, 3,880원으로 도출되었다. 본 연구는 대중교통 분석에 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 통행자들이 대기시간을 중요하게 생각하고 있는 바, 대중교통 정시성 확보, 정류장 대기환경 개선 등과 같은 방안이 요구됨을 알 수 있다. 향후 이용자 중심의 대중교통계획을 수립/추진하기 위해서는 보다 정확한 예측이 필요하므로 기존 알고리즘을 보완하는 노력이 필요하다. 또한 본 연구에서 수행한 통근·통학 목적 통행의 일반화비용 정산뿐만 아니라 연령대별, 통행목적별, 시간대별, 통행거리별 등 여러 유형별로 일반화비용 모형을 구축한다면 보다 정확한 대중교통 분석의 기초자료가 될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 김 현·오세창·최기주(1999), "통행목적별 수단별 통행시간가치도출 및 유의성 검증", 대한교통학회지, 제17권 제1호, 대한교통학회, pp.113~129.
2. 양창화·손의영(2000), "서서울시 지하철 이용객의 환승 관련 변수의 가치 추정 (선호의식(SP) 및

- 현시선호(RP) 분석을 이용)", 대한교통학회지, 제18권 제4호, 대한교통학회, pp.19~30.
3. 윤혁렬(2000), "용량을 고려한 대중교통 통행배정 모형 구축에 관한 연구", 서울대학교 대학원.
4. 이경재(2004), "환승역사의 동선체계를 고려한 환승 패널티 추정: 서울시 지하철 사례", 서울대학교 대학원, pp.17~34.
5. 이종운(2005), "서울시 대중교통요금체계개편사업의 추진내용 및 시행효과", 교통기술과 정책 제2권 제2호, 대한교통학회, pp.127~141.
6. Beesly, M. E.(1975), "The Value of Time Spent in Travelling: Some New Evidence", *Economica*, pp.174~175, reprinted in Beesly, M. E., *Urban Transport: Studies in Economic Policy*, Butterworths, London, 1975.
7. Ben-Akiva, M. and Lerman, D.(1985), "Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand", MIT Press.
8. Kocur, G., Alder, T., Hyman, W. and Aunet, B.(1982), *Guide to Forecasting Travel Demand with Direct Utility Assessment*, US DOT, Urban Mass Transportation Administration, Report UMTA-NH-11-001-82-1, Washington DC.
9. Liu, R., Pendyala, R., and Polzin, S.(1997), "Assessment of Intermodal Transfer Penalties Using Stated Preference Data", *Transportation Research Record* 1607, pp.74~80.
10. McFadden, D. and Manski, C.(1981), "Alternative Estimators and Sample Designs for Discrete Choice Analysis", MIT Press.
11. McFadden, D.(1987), "The Choice Theory Approach to Marketing Research", *Marketing Science*, Vol. 5, pp.275~297.
12. Mily, P.(2003), "Calibration of The Aggregate Transit Assignment Model of EMME/2 Using Genetic Algorithm", University of Toronto.
13. Spiess, H. and Florian, M.(1989), "Optimal Strategies: A New Assignment Model For Transit Networks", *Transportation Research B*, Vol. 23B, No 2, pp.83~102.
14. Caliper Cooperation(2005), "Travel Demand Modeling with TransCAD 4.7".

15. Quarmby, E. A.(1967), "Choice of Travel Mode for the Journey to Work", Journal of Transport Economics and Policy, pp.273~314.
16. Wardman, M.(1987), "An Evaluation of the Use of Stated Preference and Transfer Price Data in Forecasting the Demand for Travel", Ph.D. thesis, University of Leeds.

✻ 주 작성 자 : 손상훈
✻ 교 신 저 자 : 손상훈
✻ 논문투고일 : 2006. 10. 28
✻ 논문심사일 : 2007. 2. 1 (1차)
2007. 2. 16 (2차)
✻ 심사판정일 : 2007. 2. 16
✻ 반론접수기한 : 2007. 8. 31