

■ 論 文 ■

신교통수단 건설사업에 있어 환승을 반영한 교통수요 예측기법

Suggesting a Demand Forecasting Technique Explicitly Considering Transfers
in Light Rail Transit Project Analysis

김 익 기

(한양대학교 교통공학과 교수)

한 근 수

(한양대학교 교통공학과 박사과정)

방 형 준

(한양대학교 교통공학과 석사과정)

목 차

- I. 서론
 - II. 기존 분석기법의 문제점
 - III. 환승수요 반영한 수요분석방법의 제안
 - IV. 단계별 세부 수요예측 방법
 - 1. 통행수요분석을 위한 기초자료 구축
 - 2. 노선구간 내 통행의 수요분석
 - 3. 노선구간 내-외부 통행의 수요분석
 - 4. 노선구간 통과 통행의 수요분석
 - 5. 신교통수단의 총 수요예측
 - V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 버스-신교통수단 간 환승, 신교통수단 수요분석, 다수단체계하의 시간편익, 교통수단선택모형, 대중교통 노선배정

요 약

본 연구에서는 복합대중교통체계 하에서 환승을 명확하게 반영하면서 신교통수단의 수요를 분석할 수 있는 분석 기법을 제안하였다. 제안된 분석방법은 통행특성별로 그룹을 나누어 각 그룹별로 별도의 적합한 교통수요모형을 적용함으로써 좀 더 현실적인 교통수요분석이 가능하도록 하였다. 구체적으로 신교통수단만 이용하는 통행수요(신교통수단 노선구간 내 통행), 신교통수단을 이용하여 출발하거나 도착하는 통행수요(신교통수단 노선구간 내-외부 통행), 신교통수단의 노선을 통과하는 통행수요(신교통수단 노선구간 통과 통행)로 구분하여 통행의 특성별로 적합한 교통수요분석방법을 별도로 적용할 것을 제안하였다. 또한 본 연구에서는 신교통수단 정책과 같이 승용차에서 대중교통으로의 수단 전환이 가능한 정책 분석에서 사업 시행시와 사업 미시행시 간의 수단별 O/D 값에 차이가 있을 때에도 동일한 지표에 의해 일관된 정책평가 결과를 제시할 수 있는 통행시간 편익산출 방법도 제안하였다.

The study suggested a demand forecasting method which explicitly reflects transfer between various transport modes especially related light rail transit project with multi-modal transit system. The suggested method classifies several groups depending on characteristic of trips and applies different demand model for each group to explain travel pattern more realistically. More specifically, the trips was classified by trips within the LRT route, trips between inside and outside of the LRT route, and through trips via the LRT route. The study also suggested a evaluation measurement of time saving due to the LRT construction, which are consistent along with the do-case and the do-nothing-case even though some mode shift could be happen after introducing the LRT.

I. 서론

도시의 규모에 따라 다양한 교통수단 중 가장 효과적인 교통수단이 도시마다 다를 수가 있으므로 각 지방 정부는 교통수요 규모에 따라 적합한 교통수단을 계획하고 건설하는 것이 필요할 것이다. 우리나라의 여러 지방자치단체에서는 신교통수단이라는 개념으로 다양한 규모의 궤도교통수단의 도입을 실험적으로 도입할 계획을 가지고 있다. 이와 같은 신교통수단의 건설계획에서 노선 및 차량과 운영시스템 결정을 위해서 교통수요 예측은 필수적인 분석 과정이다.

신교통수단에 대한 예비타당성분석, 민자 사업 계획 분석 및 재정계획 분석 등에서 적용하고 있는 기존의 교통수요 분석방법은 환승에 대한 명확한 분석이 수반되어 있지 못하다. 즉 환승을 포함한 복합적인 대중교통수단을 이용하고 있는 통행을 주 교통수단으로 대표시켜 단순화한 후에 로짓 모형에 의한 수단선택 행태분석이 이루어지는 경우가 대부분이다. 기존 분석방법과 같이 신교통수단을 포함한 전철 네트워크에 독립적으로 대중교통 노선배정분석을 하는 경우 전철과 신교통수단 간의 환승은 반영하며 신교통수단의 수요를 분석할 수가 있다. 하지만 버스를 포함한 복합 대중교통체계에서는 기존 분석방법으로는 버스와 신교통수단 간의 환승을 명료하게 반영한 수요분석을 할 수가 없다. 대도시 도심에 신교통수단이 건설될 경우 신교통수단으로만 통행하는 수요 외에도 한번 이상의 환승을 통해 신교통수단을 이용하는 환승 수요의 규모도 클 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 복합대중교통체계 하에서 환승을 명확하게 반영하면서 신교통수단의 수요를 분석할 수 있는 분석기법을 제안하고자 한다. 또한 통행특성별로 그룹을 나누어 각 그룹별로 별도의 적합한 교통수요 모형을 적용함으로써 좀 더 현실적인 수요예측이 가능한 방법을 제안하고자 한다. 즉 신교통수단만 이용하는 통행수요(신교통수단 노선구간 내 통행), 신교통수단을 이용하여 출발하거나 도착하는 통행수요(신교통수단 노선구간 내-외부 통행), 신교통수단의 노선을 통과하는 통행수요(신교통수단 노선구간 통과 통행)로 구분하여 통행의 특성별로 적합한 교통수요분석방법을 별도로 적용할 것을 제안하였다. 또한 본 연구에서는 신교통수단 정책과 같이 승용차에서 대중교통으로의 수단 전환이 가능한 정책 분석에서 사업 시행시와 사업 미시행시 간의 수단별 O/D 값에 차이가 있을 때에도 동일한 지표

에 의해 일관된 정책평가 결과를 제시할 수 있는 통행 시간 편익산출 방법도 제안하였다. 본 연구에서 제안된 분석기법은 신교통수단에만 국한된 것은 아니고, 궤도 교통수단과 버스 등의 일반적 복합 대중교통체계에 모두 적용이 가능하며, 특히 환승수요를 분석과정에서 명확하게 반영하면서 분석하고자 할 때 적합한 분석방법 일 것이다. 하지만 본 연구에서는 신교통수단의 경우를 예제로 설명하였다.

II. 기존 분석기법의 문제점

신교통수단에 대한 통행수요분석을 수행할 때 크게 2가지 논점에 대해 관심을 가져야 할 것이다. 그 하나는 기존에 없는 교통수단에 대한 통행자들의 통행 행태가 알려져 있지 않기 때문에 새로운 교통수단에 대한 행태분석 및 예측을 어떻게 분석할 것인가에 대한 문제이다. 두 번째는 신교통수단과 같은 궤도교통수단의 경우 버스와 같은 도로대중교통수단과의 복합 대중교통망에서의 종합적 수요분석을 어떻게 할 것인가에 대한 문제이다. 이와 같은 문제를 합리적으로 분석에 반영하고자 하는 방법에 대해 학계와 실무에서 신중히 논의가 되어 왔다.

첫 번째 논점에 대한 기존의 연구는 대부분이 SP(선호의식, Stated Preferences) 조사에 의한 선택모형의 정산과 수단분담모형의 추정에 국한되어 왔다. 정병두는 '선호의식 및 전환데이터를 이용한 경전철의 전환수요비교 연구'(정병두, 2002)에서 SP조사 자료를 활용하여 통행시간과 통행비용, 각 수단별 더미변수를 이용하여 수요분담모형을 정산하고 신교통수단의 수요를 예측하였다. 또한 박병호 외 2인은 '청주시 경량전철 도입을 가정한 수단선택 모형의 개발 및 LRT의 효과 분석'(박병호 외, 2003)에서 역시 SP조사 자료를 활용하여 신교통수단의 수요를 추정하되 통행시간을 차내시간과 차외시간으로 구분하여 모형을 설정하였다. 박상명 외는 '호남고속전철 이용자의 환승 교통수단선택 행태분석'(박상명 외, 2005)의 연구에서 SP조사 자료를 활용하여 고속전철에서 환승하는 교통수단 선택 모형을 정립하여 환승수요를 예측하려는 시도를 하였다. 하지만 이와 같은 연구는 첫 번째 논점인 비실현화된 교통수단에 대한 통행행태문제에 초점을 두고 두 번째 논점인 환승에 대한 문제에 대해서는 고려하고 있지 못하다. 기존 연구에서는 실현되지 않은 교통수단에 대

한 수요예측과 함께 대중교통 수단 간의 환승을 고려한 복합 대중교통 네트워크상에서의 수요예측이 가능한 체계화된 분석기법을 아직 제시하고 있지 못하고 있다. 따라서 실무에서는 각 사업별로 분석자의 주장에 따른 분석기법이 적용되고 있다.

두 번째 논점인 복합대중교통체계에서 환승을 명확히 반영한 교통수요분석은 다양한 대중교통 수단을 포함하고 있는 복합 대중교통망에 대중교통 노선배정을 수행함으로써 네트워크 분석에서 교통수단 간의 환승을 자연스럽게 반영할 수 있는 방법이 있다. 하지만 이와 같이 복합 대중교통망을 분석함으로써 수단 간의 환승 수요를 명확하게 분석한 실무적 연구는 국내에서 현재까지 없었던 것으로 본 연구진은 알고 있다. 이것은 궤도교통수단과 버스 노선이 함께 포함된 대중교통망의 경우 너무 복잡하게 되어 전산분석에 어려움이 있어 궤도교통수단과 버스를 각각의 별도 네트워크로 구분하여 독립적으로 분석하고 있다.

신교통수단과 관련된 기존의 실무적 분석연구에서는 일반적으로 목적통행 당 주 교통수단 하나만 할당하여 단순화시킨 후에 교통수단 분담률을 분석하는 방법을 사용하고 있다. 이와 같이 구한 대중교통수단별로 이용 분담률을 이용하여 구한 신교통수단을 포함한 궤도교통수단의 수단 O/D와 네트워크를 활용하여 대중교통 노선배정(transit assignment) 분석을 수행하고 있는 것이 기존의 보편적 분석방법이다. 따라서 기존분석 방법으로는 궤도교통수단 간의 환승만을 반영한 수요예측은 가능하지만, 버스와 궤도교통수단이 함께 있는 복합 대중교통체계 하에서의 환승을 정확히 반영하는 분석은 가능하지가 않다. 따라서 이와 같은 기존 분석기법으로는 현실적인 환승수요를 제대로 분석하지 못하고 있으므로 대도시권의 신교통수단 건설계획에 대한 분석방법으로는 적합하지가 않다.

한국개발연구원의 '에비타당성 평가 지침'(한국개발연구원, 2004)에 의하면 도로사업의 경우 사업에 의한 승용차(버스)의 통행시간 단축으로 승용차(버스)의 수요증가 효과는 매우 미미하다고 가정하고 수요변화의 효과는 무시하고 분석한다는 전제가 내포하는 분석방법을 제시하고 있다. 하지만 대중교통 관련 교통개선 사업의 경우는 그와 같은 전제로 분석할 경우 교통수단 전환에 따른 효과를 반영할 수 없어 정책의 주요 핵심 내용에 대한 분석이 이루어지지 않는 문제점이 있게 된다. 따라서 신교통수단과 같이 기존 대중교통 체계에서

의 수단전환수요 뿐 아니라 승용차, 택시로부터의 수단 전환수요 증대가 중요한 정책 목표인 경우에는 사업 시행시와 사업미시행시가 동일하게 교통수단별 O/D가 고정되었다는 가정의 분석은 적합하지가 않다. 또한 한국개발연구원의 지침에 따르면 도로사업의 경우 승용차 통행자의 시간가치와 버스 통행자의 시간가치를 다르게 적용토록 하고 있다. 이 지침과 같이 각 교통수단별 O/D가 고정시키고 수단별로 독립적으로 분석할 경우에는 수단별로 같은 총량의 기준으로 분석하므로 문제가 되지 않는다. 하지만 대중교통 사업과 같이 교통수단간의 수요전환이 발생하는 사업의 경우 교통수단별 수요총량에 차이가 생기므로 문제가 발생하게 된다. 즉 신교통수단 사업으로 인해 승용차 통행자가 신교통수단으로 수단전환을 하였을 경우 동일한 통행자임에도 불구하고 시간가치가 변화한다는 의미가 되는데 이와 같은 가정은 비논리적인 것으로 보인다. 즉 기존 실무적 분석연구에서는 사업에 의한 교통수단별 O/D 통행량 변화에 따른 통행시간 편익의 일관성 있는 평가를 할 수 있는 지표 기준을 제시하지 못하고 있다. 그 결과 분석자에 따라 분석 기준을 다르게 적용하여 편익 산출함에 따라 분석 결과에 대한 신뢰성에 문제점이 있게 된다. 따라서 본 연구에서는 사업 시행 시와 사업미시행시의 통행시간에 대해 일관성 있는 평가가 가능한 지표를 제안하였다.

III. 환승수요 반영한 수요분석방법의 제안

신교통수단과 같은 대중교통 사업에 관한 수요 분석을 하기 위해서는 사업에 따른 교통수단 전환수요를 현실적으로 반영할 수 있는 교통수단별 O/D를 재추정하는 과정이 필요하게 된다. 사업 시행시의 전환된 교통수단별 O/D를 추정하기 위해 로짓모형과 같은 선택모형을 이용하여 수단 분담률을 추정하는 것이 일반적이다. 이와 같은 수단선택모형을 적용할 경우에는 통행의 행태가 유사한 집단끼리 묶어서 별도 모형을 적용하는 시장분할(Market Segment) 분석을 하여 예측 능력을 향상시키고 있다. 본 연구에서 교통수요예측의 정확성을 향상시키기 위해 두 가지 시장분할을 고려하였다. 첫 번째 시장분할은 통행목적과 통행자 특성에 따른 구분이다. 즉 통행목적별로는 기정기반출퇴근 통행, 기정기반기타통행, 비기정기반 통행으로 구분하였고, 통행자 속성별로는 선택통행자(choice rider), 대중교통 의존

통행자(transit captive rider), 그리고 통행자의 성별, 소득수준 및 나이에 따라 구분하여 고려하였다. 각 시장구분에 해당하는 통행 및 통행자에 대해 각각 다른 로짓모형의 효용함수식과 다른 파라미터 값을 적용하여 오류의 가능성을 줄이도록 시도하였다. 일반적으로는 기존 실무분석 연구에서는 시간 및 비용의 제약으로 인하여 시장분할과정을 거치지 않는 경우가 많았다.

두 번째 시장분할은 신교통수단의 이용 가능성이 있는 통행 중에 신교통수단을 탈 경우 출발지점과 도착지점이 신교통수단 노선구간 내에 있는가 혹은 없는가에 따라 통행을 세 가지로 구분하였다.

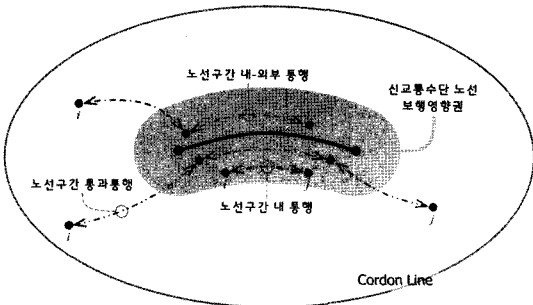
첫째, '노선구간 내 통행'은 신교통수단 노선구간의 내에 출발점과 도착점 모두가 있어 신교통수단을 이용하여 직접 연결될 수 있는 O/D 통행을 의미한다. 이 통행은 출발점에서 도착점까지 환승 없이 신교통수단으로 이동이 가능하다. 둘째, '노선구간 내-외부 통행'은 신교통수단 노선구간에 출발점 또는 도착점 중 하나만이 위치하여 신교통수단을 이용하기 위해서는 1회의 환승이 필요한 O/D 통행을 의미한다. 셋째, '노선구간 통과 통행'은 도착점과 출발점이 모두가 신교통수단 사업노선 지역 밖에 위치한 O/D 통행을 의미한다. 이와 같은 통행은 2번의 환승을 통해 신교통수단 구간을 통과하는 통행이다. <그림 1>은 이 세 가지 통행구분의 개념을 간략하게 도식화하여 표현한 것이다.

노선구간 내 통행의 경우 승용차 및 택시와 같은 개별 교통수단에서 혹은 버스와 같은 다른 경쟁 대중교통수단에서 신교통수단으로 수단 전환이 용이한 특성을 갖는 통행이다. 그러므로 본 연구에서는 서울시정개발연구원의 교통수단선택 예측모형을 이용하여 사업시행 후의 교통수단별 분담률을 분석할 것을 제안하였다. 노선구간 내-외부 통행의 경우는 신교통수단을 이용하기 위해서는 1회의 환승이 꼭 필요한 통행으로 노선구간 내에 있는

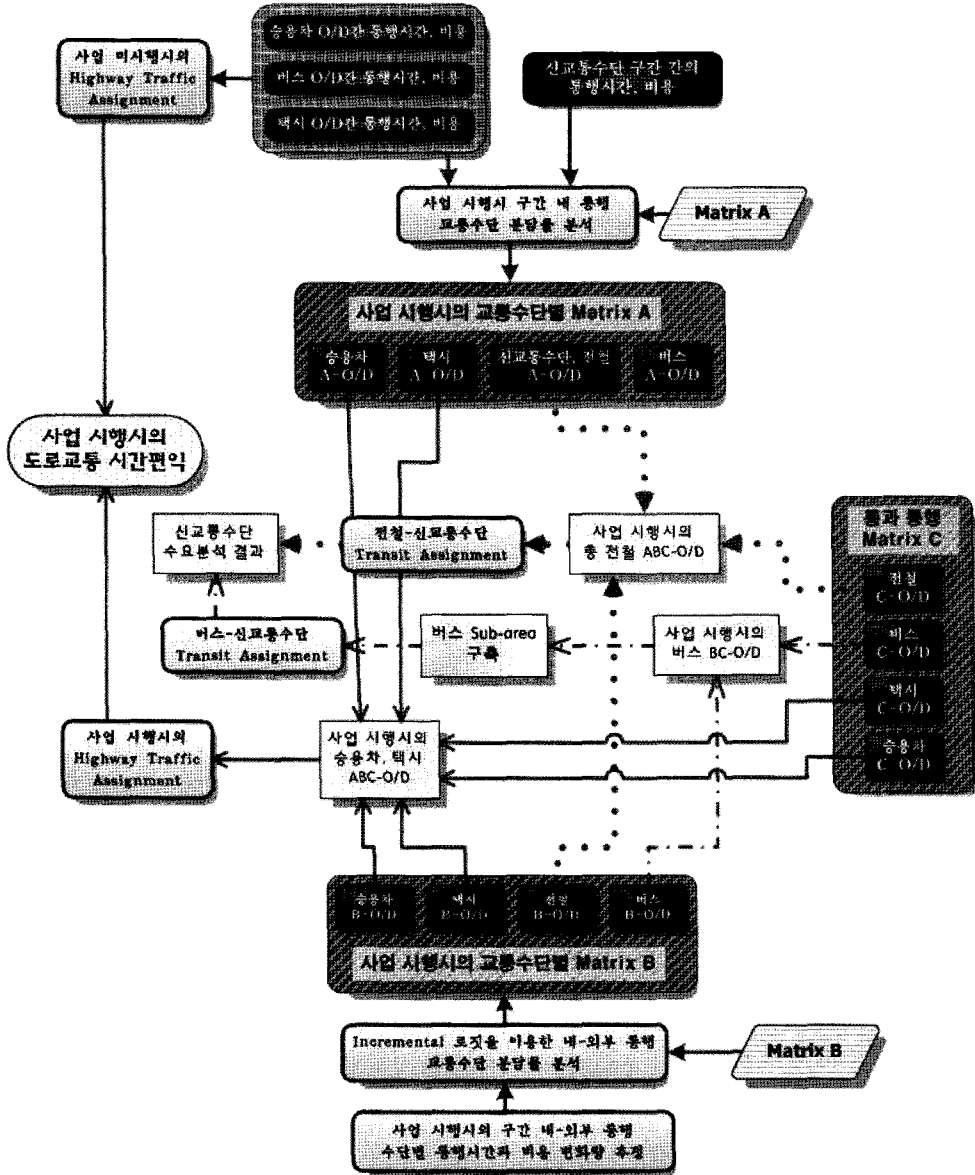
존과 외부에 있는 존 간의 조합 수만큼 많은 수를 분석해야하는 부담이 있다. 1회의 환승이 있어 약간의 환승 불편성은 있더라도 승용차, 택시 및 버스에서 수단전환이 발생 가능한 통행이라고 고려된다. 본 연구에서는 입력자료 계산의 편리성과 분담률 분석의 단순성 확보하기 위해 신교통수단에 의한 속성 변화부분만 고려하는 incremental 로짓모형의 활용을 제안하였다. 노선구간 통과 통행의 경우는 신교통수단 노선을 통과하는 통행으로써 2회 환승을 하여야 하는 통행이다. 그래서 본 연구에서는 2회 이상의 환승을 감수하면서까지 승용차, 택시로부터 신교통수단의 대중교통 노선으로 수단 전환하는 통행은 없다고 가정하고 분석할 것을 제안하였다. 이것은 분석의 단순성을 확보하기위해 제안한 것이며 또한 현실적 통행패턴과도 논리적으로 크게 차이가 나지 않을 것으로 판단하고 제안한 방법이다. 즉 대중교통 네트워크 향상에 의한 노선 전환만을 고려하고 분석할 것을 제안하였다.

최종적인 대중교통 수단별 수요분석 결과는 노선구간 내 통행, 노선구간 내-외부 통행 그리고 노선구간 통과 통행의 분담률 분석결과와의 합계로써 얻어진 대중교통 수단별 총 O/D를 입력 자료로 대중교통 노선배정을 수행함으로써 얻어지게 된다. 그 분석 결과로써 대중교통 수단별의 각 노선 구간별 승객 수, 각 역사에서의 승차와 하차 승객 수, 수단 간 환승 승객 수 등을 얻을 수 있게 된다. 이때 원칙적으로는 모든 대중교통수단을 포함하는 통합된 대중교통 네트워크에 대중교통 노선배정을 수행하는 것이 바람직 할 것이다. 하지만 수도권과 같은 지역의 경우 버스 네트워크가 대단히 방대하여 통합 대중교통망을 가지고 분석하는데 프로그램의 제약 등 분석의 부담이 지나치게 크다는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 버스와 신교통수단의 네트워크와 궤도교통수단과 신교통수단의 네트워크를 각각 독립적으로 분리할 것을 제안하였다. 즉 네트워크가 방대하고 복잡한 버스 네트워크분석에 대해서는 신교통수단에 의해 노선변경이 발생할 수 있는 영향권만을 잘라서 분석하는 Sub-area 분석 기법을 제안하였다. 반면에 비교적 노선체계가 복잡하지 않은 궤도교통수단에 대해서는 전 연구대상지역에 대해 모두 분석하여도 분석상 부담이 크지 않으므로 신교통수단 노선을 포함한 전체 궤도교통수단 네트워크를 일시에 분석하는 방법을 제안하였다. <그림 2>는 이상에서 설명한 전체적 교통수요 분석방법의 개념에 의한 분석 흐름도를 간략하게 도식화하여 표현한 것이다.



<그림 1> 출발지·도착지 위치에 따른 통행구분



〈그림 2〉 제한된 교통수요 분석방법의 흐름도

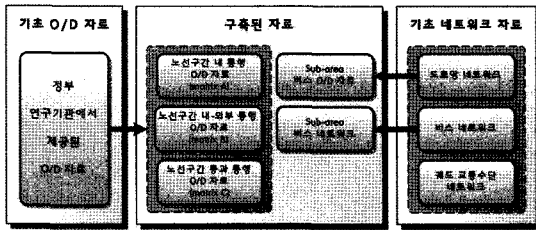
IV. 단계별 세부 수요예측 방법

1. 통행수요분석을 위한 기초자료 구축

본 연구에서 제안한 신교통수단 통행수요 예측을 위해서는 기존의 교통수요 분석에 필요한 기초 자료와 함께 추가적 자료가 필요하다. 추가적으로 필요한 자료는 노선구간 내 통행에 대한 O/D, 노선구간 내-외부 통행의 O/D, 노선구간 통과 통행의 O/D 그리고 버스노선

의 Sub-area 네트워크와 그 Sub-area의 버스 O/D 자료가 필요하다. 버스 자료의 경우는 복잡한 버스노선 네트워크를 분석 오류를 최소화하면서도 분석을 단순화하는 Sub-area 분석을 하기위해 필요한 자료이다. 〈그림 3〉은 이상에서 설명한 제안된 분석기법에 필요한 입력 자료의 구축과정을 요약 도식화한 것이다.

노선구간 내 보행권 안의 지역에 대해 교통존을 세분화하여 적은 규모의 교통존을 설정 구축하였다. 이 권역 안에 포함된 교통존 간의 통행을 본 연구에서는 '노선구



〈그림 3〉 제안된 기법을 위한 입력자료 구축

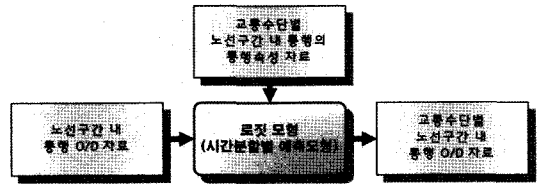
간 내 통행'으로 규명하고, 기준년도와 예측년도의 교통수단별 O/D를 구축하였으며, 이와 같이 구축된 O/D를 Matrix A라고 하였다. '노선구간 내-외부 통행'에 대해 별도의 수요분석을 수행하기 위해 노선구간 권역 내의 교통존과 그 외부에 위치한 교통존간의 O/D 통행량 자료가 필요하며, 이렇게 구축한 O/D를 본 연구에서는 Matrix B라고 하였다. '노선구간 통과 통행'을 분석하기 위해 노선권역 밖의 교통존에서 노선권역 밖의 교통존으로 이동하는 O/D 통행 자료가 필요하며, 이 자료를 Matrix C라고 불렀다.

버스노선 네트워크의 Sub-area 자료 구축은 현재 EMME/2 및 TransCAD 등의 상용 교통수요 전산프로그램에서는 대중교통 노선배정 분석을 통한 Sub-area O/D를 구축하는 기능이 없어 실무분석 상 어려움에 봉착하게 된다. 따라서 본 연구에서는 자료구축을 용이하게 하기 위해서 수단선택 분석결과의 버스 O/D 자료만을 이용하여 도로 네트워크에 사용자 균형 노선배정분석 결과를 이용하여 Sub-area O/D를 구축하였다. 이와 같은 분석은 기존에 개발된 상용 프로그램의 기능을 활용하여 구축이 가능하다. 이와 같은 방법은 버스 O/D자료만을 이용하여 노선배정하게 되므로 대략적으로 최단 경로를 따라 통행이 배정되어 버스의 실제 노선과 유사하게 추정될 것이라는 전제가 내포된 분석방법이라 할 수 있다.

2. 노선구간 내 통행의 수요분석

환승 없이 신교통수단으로만 통행이 완료되는 통행수요를 분석하기 위해 Matrix A의 O/D 쌍에 대해 교통수단 선택모형인 로짓모형을 이용하여 승용차, 택시, 버스, 전철 및 신교통수단 의 교통수단 분담률을 분석하였다. 〈그림 4〉는 노선구간 내 통행의 수요분석 방법을 간략하게 도식화한 것이다.

수도권 분석의 경우에는 서울시에서 2004년 11월



〈그림 4〉 노선구간 내 통행의 수요분석

에 발간한 서울시정개발연구원 연구보고서 '서울시 장래교통수요예측 및 대응방안연구' (서울특별시, 2004)에서 제시된 교통수단선택모형을 활용하여 통행목적별로는 가정기반통근통행과 가정기반기타통행 그리고 비가정기반 통행으로 시장분할을 하여 별도의 모형을 적용할 수 있다. 다만 서울시정개발연구원에서 구축한 교통수단선택모형에서 각 시장분할에 대한 선택모형의 효용함수의 대안특성상수가 모든 교통수단에 대해 다 적용되어 있어 일반적 로짓모형의 효용함수 형태와는 차이가 있다. 즉 기준이 되는 특정 하나의 교통수단에 대한 대안특성상수는 0으로 놓고 나머지 교통수단에 대한 대안특성상수 값은 기준 교통수단에 대한 상대적 값을 일반적으로 적용하고 있다. 하지만 서울시정개발연구원에서는 최종모형을 총 집합적 차원의 관측 교통수단별 분담률과 일치시킬 수 있도록 대안특성상수를 수정하기 위해 기준이 되는 교통수단 대안특성상수의 값도 함께 변경시키면서 정산하게 되어 모든 대안특성상수가 각각의 값을 갖게 되었다. 기준이 되는 교통수단의 대안특성상수 값만큼을 모든 교통수단의 대안특성상수 값에서 빼어도 예측 결과에는 아무 영향을 주지 않으므로 위의 모형 그대로 변형시키지 않고 적용하여도 수단분담률 예측에는 문제는 없게 된다. 즉 각 교통수단의 대안특성상수의 상대적 값 차이가 동일하다면 로짓모형 특성 상 동일한 분담비율로 추정하므로 서울시정개발연구원에서 최종 정산한 위의 모형을 그대로 적용하여도 상관이 없다고 생각한다.

교통수단선택의 효용함수에 포함된 통행시간의 값하는 방법은 Highway Network assignment 분석한 결과에서 얻어진 교통존 간 통행시간을 승용차 통행시간으로 사용하는 방법이 가장 보편적으로 사용하는 방법이다. 하지만 분석자에 따라서는 관측 값과 같이 합리적인 다른 방법을 통해 승용차 혹은 택시 그리고 버스의 통행시간을 추정하여 입력 자료로 활용할 수는 있을 것이다. 통행자의 속성에 따른 시장분할의 규모는 센서스 자료 및 기타 정부발표 자료를 기초로 구축하는

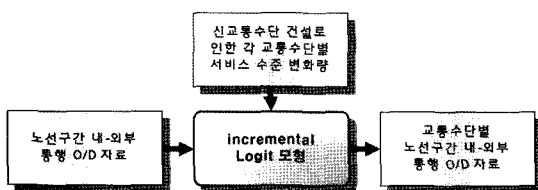
것이 바람직할 것이다. 신교통수단의 경우는 실현되지 않은 교통수단으로 관측 자료가 없다. 따라서 신교통수단에 대한 효용함수식을 적합하게 구할 수가 없으므로 현재로서는 기존의 전철의 속성과 유사하다는 전제 하에 전철의 효용함수식을 적용하여 신교통수단의 분담률을 추정 분석할 수 있다.

3. 노선구간 내-외부 통행의 수요분석

신교통수단 건설에 따른 승용차 및 택시에서 대중교통으로의 수단전환 수요를 분석하기 위해서는 로짓모형과 같은 교통수단선택모형을 적용하여야 한다. 그럴 경우 Matrix B에 있는 모든 O/D 쌍별로 교통수단별 통행시간 및 요금 등과 같은 속성 자료가 필요하게 된다. 하지만 수도권 자료와 같이 교통준의 규모와 네트워크 규모가 방대할 경우 이와 같은 자료를 구축하는 것은 매우 시간과 경비가 많이 드는 작업이다. 따라서 본 연구에서는 노선구간 내-외부 통행에 대해서는 incremental 로짓모형 (Pivot point analysis)을 적용함으로써 입력 기초자료 구축과 분석이 간편하도록 하는 방법을 제안하였다. <그림 5>는 이상에서 설명한 노선구간 내-외부 통행의 수요분석 방법을 요약 도식화한 것이다. 이와 같은 incremental 로짓모형 분석 방법을 통행시간과 통행비용 만을 효용함수에 포함시키고 분석하는 예제를 가지고 설명하고자 한다. 일단 신교통수단의 건설로 인한 전철과 버스의 효용 증대를 아래의 수식과 같이 구할 수 있다. 즉 전철 서비스 효용 변화량은 아래의 식과 같이 구하고, $\Delta U_{전} = \beta_1(\Delta \text{통행시간}_{전}) + \beta_2(\Delta \text{통행비용}_{전})$ 버스 서비스 효용 변화량은 통행비용의 변화가 없다고 가정하고 아래의 식과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta U_{버} = \beta_1(\Delta \text{통행시간}_{버})$$

위에서와 같이 구한 효용함수의 변화량을 이용하여 아래의 Incremental 로짓모형을 적용하여 신교통수단



<그림 5> 노선구간 내-외부 통행의 수요분석

건설에 따른 버스와 전철의 분담률 및 승용차와 택시의 새로운 분담률을 계산할 수가 있다.

$$P_{승}^{예측} : \frac{P_{승}}{P_{승} + P_{택} + P_{버} \exp(\Delta U_{버}) + P_{전} \exp(\Delta U_{전})}$$

$$P_{택}^{예측} : \frac{P_{택}}{P_{승} + P_{택} + P_{버} \exp(\Delta U_{버}) + P_{전} \exp(\Delta U_{전})}$$

$$P_{버}^{예측} : \frac{P_{버} \exp(\Delta U_{버})}{P_{승} + P_{택} + P_{버} \exp(\Delta U_{버}) + P_{전} \exp(\Delta U_{전})}$$

$$P_{전}^{예측} : \frac{P_{전} \exp(\Delta U_{전})}{P_{승} + P_{택} + P_{버} \exp(\Delta U_{버}) + P_{전} \exp(\Delta U_{전})}$$

여기서,

$P_m^{예측}$: 교통수단 m의 예측 수단 분담비율

P_m : 교통수단 m의 사업 전 수단 분담비율

위의 식을 이용하여 신교통수단 건설 시의 예측 수단별 O/D를 추정할 수가 있다.

4. 노선구간 통과 통행의 수요분석

신교통수단 노선구간 통과통행은 최소한 2회 이상의 환승을 포함하는 통행이다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 통행환경에서는 승용차 이용자가 신교통수단이 건설된다 할지라도 대중교통으로는 전환하지 않는다고 가정한 단순한 방법을 노선구간 통과통행의 분석에 사용할 것을 제안하였다. 다만 대중교통 이용자가 신교통수단의 건설로 대중교통 네트워크의 연결성 향상과 서비스 수준의 향상으로 노선전환 및 대중교통 수단간 수단전환에 따른 신교통수단 수요 증가효과만 발생한다고 가정하고 분석하였다. 따라서 노선구간 내 통행과 내-외부 통행과는 달리 통과통행의 경우는 신교통수단 건설에 따른 변화된 교통수단별 O/D를 교통수단선택모형에 의해 새로이 구축할 필요가 없다.

5. 신교통수단의 총 수요예측

앞 단계에서 노선구간 내 통행, 노선구간 내-외부 통행 그리고 노선구간 통과 통행의 시장분할을 통해서 각각 별도의 수요분석기법을 다르게 적용하여 수단별 O/D 통행량이 산출된다. 이와 같은 분석 결과를 이용하여 버스-신교통수단이 함께 코딩된 네트워크와 전철-

신교통수단이 함께 코딩된 네트워크에 각각 별도로 해당 수단 O/D 통행을 대중교통 노선배정 함으로써 버스-신교통수단 간 환승 또는 전철-신교통수단 간 환승을 명확하게 반영한 신교통수단의 수요를 추정할 수 있게 된다. 즉 버스-신교통수단 네트워크에서 환승을 반영한 신교통수단의 수요 분석은 아래와 같은 단계를 거쳐 추정된다.

단계 1 : $OD_{BC}^{비} = OD_B^{비} + OD_C^{비}$ 으로 Matrix B와 C를 합하여 버스의 Matrix BC O/D 자료를 구축한다. 그리고 도로 네트워크에 사용자 균형 노선배정을 수행하여 버스 sub-area 네트워크에 대응하는 버스 sub-area O/D를 구축한다.

단계 2 : 구축된 버스 sub-area O/D와 버스-신교통수단 Sub-area 네트워크를 이용하여 대중교통 노선배정을 수행함으로써 버스-신교통수단 상호 간 환승을 명확하게 반영한 신교통수단의 수요를 추정한다.

단계 3 : 대중교통 노선배정분석 결과인 신교통수단의 수요를 아래와 같이 정의한다.

- $F_{seg}^{비}$: 버스연계체계에서 신교통수단 구간 seg의 승객 수
- $L_s^{비}$: 버스연계체계에서 신교통수단 역 s의 승차 승객 수
- $X_s^{비}$: 버스연계체계에서 신교통수단 역 s의 하차 승객 수

전철-신교통수단 네트워크에서 환승을 반영한 신교통수단의 수요분석 방법은 아래의 단계와 같다.

단계 1 : $OD_{ABC}^{전} = OD_A^{전} + OD_B^{전} + OD_C^{전}$ 의 계산을 통해 전철의 Matrix ABC O/D자료를 구축한다.

단계 2 : 구축된 ABC 총 O/D와 전철-신교통수단 네트워크를 이용하여 대중교통 노선배정을 수행하여 신교통수단의 수요를 추정한다.

단계 3 : 대중교통 노선배정분석 결과를 이용하여 신교통수단의 수요를 아래와 같이 정의한다.

- $F_{seg}^{전}$: 전철연계체계에서 신교통수단 구간 seg의 승객 수
- $L_s^{전}$: 전철연계체계에서 신교통수단 역 s의 승차 승객 수

$X_s^{전}$: 전철연계체계에서 신교통수단 역 s의 하차 승객 수

신교통수단 총 수요는 아래와 같이 계산된다.

$$F_{seg} = F_{seg}^{비} + F_{seg}^{전} \quad \forall seg$$

$$L_s = L_s^{비} + L_s^{전} \quad \forall s$$

$$X_s = X_s^{비} + X_s^{전} \quad \forall s$$

이상에서 제시한 교통수요분석 방법을 적용할 경우 이용 교통수단의 전환을 분석에서 반영함에 따라 사업 시행시와 사업 미시행시 간의 수단별 O/D 값에 차이가 있게 된다. 따라서 사업 시행에 따라 이용 교통수단의 전환이 발생하더라도 동일하게 일관된 평가지표가 적용되어야 분석결과에 왜곡이 없을 것이다. 그래서 본 연구에서는 각 교통수단별 인당 시간가치를 동일하게 일치시킴으로서 사업 시행시와 사업 미시행시의 단위시간당 적용 통행시간 기준을 동일하게 일치시켜 분석할 것을 제안하였다. 이와 같은 개념을 적용하면 하루 평균의 총 통행시간의 금전적 가치는 아래의 수식과 같이 계산이 된다.

$$V = \sum_{ijmp} T_{ijm} \times VOT_p \times Q_{ijmp}$$

여기서,

- V : 시스템 안에서 총 통행시간의 금전적 가치
- T_{ijm} : i에서 j로 가는 O/D 쌍 간의 m 수단의 통행시간
- VOT_p : 통행목적 p의 인당 단위시간당 시간가치
- Q_{ijmp} : m수단으로 i에서 j로 가는 통행목적 p의 O/D 통행량(인/통행)

V. 결론

대중교통 수단 간의 환승을 고려한 복합대중교통망에 대한 수요예측 기법이 현재까지 명확하게 정착되어 있지 못하다. 따라서 본 연구에서는 현실에서 취득 가능한 기초자료의 제약 속에서 환승을 명확하게 반영할 수 있는 수요예측 기법을 제안하였다. 본 연구에서 제

안한 환승을 반영한 교통수요분석 방법의 핵심적 내용은 다음과 같다.

첫째로는 교통수요분석의 정확성을 향상시키기 위해 통행목적 및 통행자의 속성을 유사한 통행패턴을 갖는 그룹으로 계층을 나누어 별도의 교통수단선택 모형을 적용하는 방법을 적용한 것이다.

둘째로는 노선구간 내 통행, 노선구간 내-외부 통행 그리고 노선구간 통과 통행의 통행특성별로 O/D를 구분하여 별도의 분석방법을 적용하여 신교통수단의 수요를 추정하는 방법을 제안한 것이다. 즉 환승 횟수의 정도에 따라 신교통수단 건설에 따른 승용차에서 대중교통으로의 수단전환 효과가 다를 것으로 보고 현실적 분석 결과를 얻기 위해 시장분할 분석 방법을 제안한 것이다.

세 번째로는 버스-신교통수단 간의 환승을 명확하게 반영하면서 신교통수단의 수요를 분석하는 방법을 제안한 것이다. 즉 기존의 분석방법에서는 일반적으로 신교통수단을 전철 네트워크로만 포함시켜 수요를 추정하였으나 이와 같은 분석방법은 버스에서의 환승되는 수요를 고려하지 못하는 단점이 있었다. 이를 보완하기 위하여 본 연구에서는 버스-신교통수단 네트워크를 구축하여 대중교통 노선배정 분석을 수행함으로써 전철-신교통수단과 더불어 버스-신교통수단 네트워크에서의 환승 수요를 명확하게 분석할 수 있는 방법을 제안한 것이다.

네 번째로는 방대한 버스 네트워크 분석을 가능한 정확성은 유지하며 분석 상의 단순성을 유지하기 위한 Sub-area 분석을 제안하여 입력자료 및 분석규모의 부담을 축소시키는 방안을 제시한 것이다.

다섯 번째로는 사업 시행에 따라 이용 교통수단의 전환이 발생하더라도 동일하게 일관된 평가지표가 적용될 수 있도록 각 교통수단별 인당 시간가치를 동일하게 일치시켜서 통행시간 절약에 따른 편익 산출 방안을 제안한 것이다.

본 연구에서 제안된 환승을 반영한 신교통수단 수요 예측 방법을 더욱 현실성 있게 분석하기 위해서는 더욱 정교한 교통수단선택 모형의 설명변수와 계수 값에 대한 실험적 연구가 필요하다. 또한 대중교통 노선배정 모형 상에서 접근시간, 대기시간 및 환승 penalty의 일반 통행시간에 대한 가중치 등과 같은 통행자 행태와 관련된 기초적 연구가 이루어져야 할 것이다. 제시된 방법론은 버스-전철-버스와 같이 여러 교통수단 간의 여러 횟수의 환승을 포함하는 통행에 대해서는 구체적으로 분석이 이루어지지 못한다는 한계성은 갖고 있다. 이것은 분석의 단순성을 위해 간략화 하는 과정에서 발생한 한계성으로 앞으로 극복되어야 할 과제라고 생각된다. 그리고 본 연구에서 제안한 분석기법에 의한 사례연구에 대한 분석은 실행되었으나 본 글에서의 서술은 생략하고 방법론 서술에만 초점을 두었다.

참고문헌

1. 정병두(2002), 선호의식 및 전환가격데이터를 이용한 경전철의 전환수요비교 연구, 대한토목학회지, 제22권, 대한토목학회.
2. 박병호 외(2003), 청주시 경량전철(LRT) 도입을 가정한 수단선택 모형의 개발 및 LRT의 효과분석, 건설기술연구소논문집, 제22권 제1호.
3. 박상명 외(2005), 호남고속전철 이용자의 환승교통수단선택 행태분석 -전북권역을 중심으로-, 대한토목학회지, 제25권, 대한토목학회.
4. 한국개발연구원(2004), 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제4판).
5. 서울특별시(2004), 서울시 장래교통수요예측 및 대응방안연구.

✉ 주 작 성 자 : 김익기

✉ 교 신 저 자 : 김익기

✉ 논문투고일 : 2006. 2. 25

✉ 논문심사일 : 2006. 4. 21 (1차)

2006. 4. 24 (2차)

✉ 심사판정일 : 2006. 4. 24

✉ 반론접수기한 : 2006. 9. 30