

철도수송수요 예측시스템 제안

Railroad Travel Demand Estimation System Suggestion

민재홍
Min, Jae-Hong

ABSTRACT

It is very difficult to find optimal train operation plan when analyzing the economic investment using traditional railroad travel demand estimation method. Train operation plan depends on travel demand and vice versa. To solve this problem, this study suggests a demand estimation method to address an optimal train operation scheme with the modal split using initial train operation plan and trip assignment.

1. 서론

철도수송수요는 교통계획분야에서 오랜 연구결과인 교통수요예측모형을 이용하여 예측하는 것이 일반적이다. 그러나, 도시내 교통수단으로서가 아닌 지역간 수단으로써의 철도 수송수요는 일반적인 교통수요예측모형을 사용할 경우 비정기 운행열차의 운행패턴을 적절히 표현하기 어렵고, 이에 따라 일부 구간에서 용량을 산정하기 어려운 문제가 있다. 또한 운행패턴을 변화시키고자 하는 경우에는 운행패턴에 따라 용량이 변화하고 운행주기가 변화함에 따라 대기시간이 변화하여 다시 수요에 영향을 미치게 되는 반복순환의 과정이 필요하게 된다.

본 연구에서는 기존의 교통수요예측모형에 운행패턴의 변화를 수용하여 수요변화를 파악할 수 있는 철도수송수요예측시스템을 제안하고자 한다.

2. 교통수요 예측과정

교통계획 분야는 오래전부터 4단계 추정모형을 발전시켜 왔고 현재 대부분의 교통수요예측과정은 이 4단계 추정모형에 의해 이루어지고 있다. 4단계 추정모형은 통행발생(trip generation), 통행배분(trip distribution), 수단선택(modal split), 통행배정(trip assignment) 등 4단계의 과정을 거쳐 통행수요를 예측하는 것으로서 이론적인 방법은 다음과 같다.

□ 통행발생

크게 여객통행과 화물통행으로 구분하여 통행목적과 유통과정별로 추정하게 된다. 그리고 통행분류는 통행단모형(Trip-End Modelling)에 의하여 통행발생(Trip Generation)과 통행유입(Trip Attraction)으로 구분되는데 여기서 모형정립을 위한 분석방법으로는 유사집단분석(Category Analysis)방법과 회귀분석(Regression Analysis)방법의 두 가지가 널리 활용되고 있다.

통행발생모형의 목적은 어느 지역의 예측할 수 있는 특성들과 이 지역을 시발점이나 종착점으로 하

* 한국철도기술연구원, 주임연구원, 정회원

는 통행수의 수리적 상호관계를 결정하는 것으로서 이 과정에서 사용되는 존의 특성은 보통 인구, 고용, 소득과 여러 경제변수들을 포함하게 되는데 일반적인 통행발생모형 구축과정을 약술하면 다음과 같다.

통행발생 모형 구축과정

1. 분석대상 지역의 현재 경제적 특성과 통행을 발생시키는 요인들에 관한 자료 수집
 2. 통행발생 요인과 여러 독립변수들 사이의 관계 규명
 3. 설명력이 높은 독립변수 선택
 4. 통행발생모형 결정
 5. 기준년도의 조건하에 각 존에서 발생하는 통행량 예측
 6. 모형이 예측한 통행수와 실제 기준년도의 통행수를 비교하여 모형의 신뢰도 점검
-

□ 통행배분 모형

통행배분단계에서 다루어지는 주요 과제는 연구대상지역의 각 교통구역에서 기점이 되는 통행량을 그 지역의 교통구역에 종점이 되는 주어진 통행량과 관계를 맺어주는 것으로 지금까지 개발된 예측을 위한 기법으로는 크게 기존의 통행형태를 연장하여 외삽법에 의해 추정되는 유사기법(Analogue Method)과 통행집단의 통행결정과정 및 습성을 파악하여 통행분포를 추정하는 종합적 배분기법(Synthetic Method)으로 대별된다.

외삽법에 의해 추정되는 유사기법은 성장인자에 의한 분배방법이라고도 하며 통상 기준년도의 O/D 표를 이용하여 각 교통구역별 발생량 증가율을 예측, 서로 곱하여 장래 O/D표를 만드는 방법으로 이러한 범주에 속하는 모형으로는 성장인자의 적용형태에 따라 균일성장인자모형(Uniform Growth Factor Method), 평균성장율모형(Average Growth Factor Model), 프라타모형(Fratar Model) 및 디트로이트모형(Detroit Model) 등이 있다.

반면에 기준년도의 O/D패턴과 교통저항합수 사이의 관계식을 도출하고 장래 교통시설 수준을 별도로 예측하여 여기에 기준년도의 관계식을 적용함으로써 장래 O/D패턴을 결정하는 종합적 분배기법의 범주에 속하는 모형으로는 기회모형(Opportunity Model), 중력식모형(Gravity Model) 및 엔트로피 극대화모형(Entropy Maximizing Model) 등이 있다.

이 두 방법은 각각 장단점을 갖고 있는데 성장요인방법은 현재 통행패턴과 유사한 미래 O/D를 예측하는 경향이 있으며 중력식모형은 교통망의 변화에 민감한 편으로 조그만 교통망의 변화에도 심한 통행패턴의 변화를 초래할 수 있다.

□ 수단분담 모형

수단선택단계는 존i에서 출발하여 존j까지 가는 통행량이 각각 무엇을 타고 갈 것인가를 결정하는 것으로 선호도 조사에 의한 방법을 주로 사용한다.

개인이 대안(교통수단)을 선택하는 것에 대한 선호도는 그 대안을 선택하였을 경우 통행자가 느끼는 편익의 정도를 계산하여야 하지만 대부분의 분석에서는 편익 대신 특정대안이 가지고 있는 일반화된 통합비용(통행시간, 통행비용)을 조사하여 이를 상대적으로 비교하는 방법을 취하게 되는데 주로 전환곡선을 이용하는 방법과 Probit분석기법, Logit분석기법을 사용한다.

전환곡선법은 각 교통수단별로 그것이 선택될 확률을 다른 교통수단과의 통행시간비(比) 등으로 설명함에 있어서 특정사항(통행자의 소득수준, 통행단의 종류, 대상지역) 등을 Key factor로 하여 별개의 곡선을 선정하여 이를 통해 수단별 분담률을 즉각적으로 구해내는 방법이다. 이와 같은 전환곡선법은 도시개발이 안정화 추세에 도달해 있고 인구가동 및 사회경제적 변화가 비교적 적은 지역에서 주로 사용된다.

Logit모형 및 Probit모형은 비연속적 확률선택이론을 그 근간으로 하고 있다. 확률선택이론은 각 개인이 주어진 선택대안들 중에서 어떤 하나의 대안을 선택함에 있어서 자신의 선택행위를 통하여 총효용(total utility)을 극대화한다는 가정에 근거하고 있으며, Logit모형 및 Probit모형은 확률함수의 결합형태에 따라 구분된다. Logit모형은 대안들간의 대체성과 관련한 모형의 융통성에서는 약점을 갖지만 모형의 단순성과 계산의 편리성 면에서 우수하고 결과의 해석이 용이한 장점을 갖고 있다.

□ 통행배정 모형

교통수요예측의 마지막 단계인 통행배분은 존간의 통행량을 네트워크에 배정하여 각각의 네트워크에 부하되는 통행량 규모를 구하는 과정으로서, 도로의 경우 통행배정모형은 기종점별·수단별 통행량을 현재 도로망에 부하시켜 대안별·구간별 통행량을 추정하는 모형을 말한다.

통행배정의 목적은 1) 모형에 의한 교통량과 현재 실제의 교통량과의 비교를 통한 네트워크의 문제점 파악, 2) 추정된 장래 존간 통행량을 기존 교통망에 부하시켜 봄으로써 기존 교통체계의 장래 문제점 검토, 3) 교통시설 사업의 우선순위 검토, 4) 교통시설사업 대안의 평가 등을 들 수 있다.

통행배정 모형으로 많이 사용되는 기법으로는 최소비용 경로에 전량을 배분하는 All-or-Nothing 배분기법과 확률론적 입장에 기초한 확률배분기법(Stochastic Assignment), 다중경로배분법(Multi-path Assignment) 및 평형배분기법(Equilibrium Assignment) 등이 있다.

평형배분기법의 이론은 그 배경을 크게 시스템 전체의 통행비용이 최소가 되도록 가로망 통행량을 추정하는 체계최적이론(System Optimal)과 최소비용원리와 동일비용원리를 기초로 하고 경제학의 평형이론에 입각한 사용자 평형이론(User Equilibrium)으로 대별되는데 각각의 수학적 모형구조는 다음과 같다.

체계최적이론에 입각한 평형배정기법	사용자 평형이론에 입각한 평형배정기법
$\text{Min} \sum_a C_a(X_a)$ $\text{s.t. } X_a = \sum_i \sum_j \sum_r \delta_{ar} f_r, \sum_r f_r = T_{ij}, f_r \geq 0$	$\text{Min} \sum_a \int_0^{X_a} C_a(x) dx$ $\text{s.t. } X_a = \sum_i \sum_j \sum_r \delta_{ar} f_r, \sum_r f_r = T_{ij}, f_r \geq 0$
<p>여기서 C_a : 도로구간 a에서 발생하는 통행비용 X_a : 도로구간 a의 통행량 $\delta_{ar} = 1$: 도로구간 a가 노선 r상에 있을 때, 0:그의 T_{ij} : 기점 i에서 종점 j까지의 총통행분포량</p>	

3. 철도수송수요 예측시 문제점

철도수송수요는 앞서 살펴본 4단계 추정법을 따라 이루어지는 것이 통상적이다. 4단계 추정법을 단계별로 진행하면 최종적인 수요와 통행량을 알 수 있는데 이 중 수단분담은 전체 총 통행수요에서 철도에 해당하는 부분을 나누는 매우 중요한 과정이다. 수단분담 모형으로 많이 사용되는 로짓모형은

사용자 선호를 각 수단의 효용함수의 형태로 나타내고 이에 대한 계수값들을 조사를 통해 알아내는 방법이다. 이 모형의 추정치가 완료되면 네트워크상의 수단별 존간 통행시간과 비용을 고려한 일반화비용을 추정하여 이를 토대로 존간 통행량을 수단별로 분리하게 되는 것이다.

이 때 승용차와 같은 개인교통수단은 차의 대기시간이 없기 때문에 문제가 되지 않으나, 대중교통인 철도의 경우에는 네트워크상의 통행시간을 추정할 때 열차운행계획이 필수적으로 고려되어야 한다. 다시 말해 열차운행계획이 이루어지지 않고서는 수단분담을 할 수 없게 된다. 반면 열차운행계획은 제한된 열차를 가지고 수요를 고려하여 수요가 많은 노선에 좀 더 많은 열차를 투입하여 전체 수입을 극대화하고 보다 많은 통행량을 소화하도록 하는 것이 열차운행계획 수립의 기본적인 목적이므로 열차운행계획 수립시에 수요가 필요하게 된다. 이렇게 수요와 열차운행계획은 상호간에 영향을 미치는 요소이기 때문에 동시에 이것을 최적화하기는 현실적으로 어렵다.

이를 해결하기 위해 알려진 일반적인 방법은 몇 가지 열차운행계획에 대한 시나리오를 가지고 대안을 평가하는 방법이다. 하지만 철도노선망이 복잡하면 열차운행계획에 대한 시나리오의 수가 급격히 증가하기 때문에 적절한 시나리오를 만들어 내는 것조차 어렵게 된다.

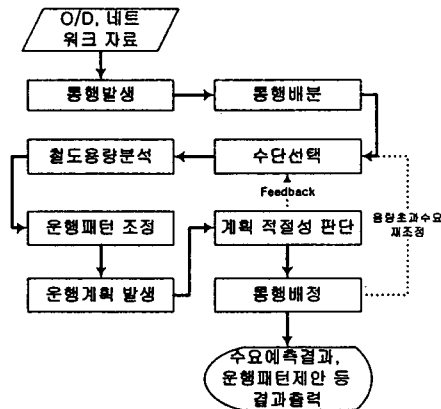
4. 철도수송수요 예측시스템의 제안

위와 같은 문제를 해결하기 위해서는 다음과 같은 두 가지 방법이 있을 수 있다.

하나는 철도노선 형태를 몇 가지로 분류하여 각 분류마다 가능한 열차운행패턴을 주어 이를 조합하여 열차운행계획을 만들어 내는 모형을 수단분담모형 전에 수행하여 이를 토대로 추정된 통행시간 일반화비용을 이용하여 각 시나리오별 수요를 추정하는 방법이다. 이 방법은 소규모 철도망에서는 유용히 사용될 수 있으며, 열차운행패턴을 분류하는 방법론적인 타당성이 확보되어야 한다.

다른 하나는 철도운영 시뮬레이터와 연결하여 주어진 철도망과 열차계약조건을 가지고 최대의 수요를 발생시킬 수 있는 열차운행계획을 발생시키는 방법이다. 그러나 열차운행계획의 최적화 문제는 유럽과 같이 철도망이 발달한 나라에서 오랫동안 연구되어 왔으나, 최적해를 찾아내는 데에는 한계가 있어 일부 직관적 방법을 병행하여 풀어내는 실정이다. 이러한 열차운행계획을 찾아내는 모형은 유럽 지역에서 많은 연구가 이루어져 왔으며, 최근에는 하노버 대학의 Nemo 시스템이 가장 근사한 모형이라고 할 수 있다.

철도수송수요예측 시스템은 위의 두 가지 방법이 모두 타당하다고 할 수 있으나 보다 정밀한 방법은 열차운행계획의 평가를 병행할 수 있는 두 번째 방법이 더 적절할 것이다. 이를 도식화하면 다음과 같은 형태가 될 수 있다.



본 연구의 제안은 기본적으로 교통계획의 4단계 추정모형을 따르면서 수단선택시 기본 열차운행계획을 이용하여 통행시간을 추정하고, 이를 이용해 수단분담을 수행한다. 수단분담이 이루어진 수요를 최적화하기 위한 열차운행계획을 생성해 내며 열차운행계획이 적절하다면 이를 이용하여 최종적인 통행배정을 수행하는 일련의 과정으로 이루어져 있다. 또한 열차운행계획의 생성으로 철도노선용량이 변화하게 되고, 이 용량을 초과하는 수요는 타 수단으로 재배정되는 과정도 위에서 같이 고려해야 한다.

본 연구의 위와 같은 제안은 수리적 모형을 이용하여 검증해야 하므로 앞으로 이에 대한 지속적인 연구가 필요하며 향후 시스템 소프트웨어로 개발되어야 그 실용성이 보장될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 노정현, 「교통계획」, 1999
2. Bernd Sewczyk/Michael Kettner, "Network Evaluation Model NEMO", WCRR2001