

철도수송수요 예측시스템의 해외 모형 비교분석 연구

A Comparative Analysis of Oversea's Forecasting Models of the Railway Passenger Demand

이훈기* 고용석** 민재홍***
Lee, Hun-Ki Ko, Yong-Seok Min, Jae-Hong

ABSTRACT

Effort has been given to improve demand forecast methodology of rail system since it can have great impact on project evaluation of rail system investment. However most of demand forecast softwares developed in western countries where concerns have been provided mostly to private transport and they should be updated in order to reflect our country's situation accurately.

Therefore, this paper aims, especially focusing on rail system, to do comparison analysis of oversea's passenger demand forecast softwares and provide some ideas to develop the updated demand forecast system which enables to reflect our country's situation accurately.

Main conclusions are that we will need to have well described model for real situation. So we will have to study for these aspects for travel demand forecasting system and develop the package architecture.

1. 서론

수요예측결과는 철도투자시설의 계획수립이나 사업평가에 큰 영향을 주기 때문에 수요예측의 정확성을 제고하기 위한 노력이 꾸준히 이루어지고 있다. 특히 철도분야에 대한 민간투자자본의 참여가 확대되면서 이러한 요구는 더욱 높아지고 있다.

이러한 요구에도 불구하고 철도나 버스와 같은 대중교통에 대한 수요예측방법론은 개별차량의 수요예측방법론에 비해 다양한 연구가 진행되지 않은 것이 현실이다. 그 원인은 수요예측방법론이 승용차 중심의 구미나라에서 개발되었기 때문에 대중교통에 대한 배려가 미비하다는 점과 개별차량과는 달리 계산과정이 복잡하다는 점을 들 수 있다. 우리나라에서는 구미에서 개발된 상용 소프트웨어를 들어와 대중교통 수요예측에 활용하고 있는데 우리나라의 상황을 반영하기에는 몇 가지 문제점이 있을 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 철도수송수요예측에 초점을 맞추어 수요예측을 위한 상용 소프트웨어의 해외모형을 검토하고 철도수송수요예측에 있어서의 장단점을 분석하고 우리나라의 상황을 반영한 철도수송수요예측을 위한 시스템 개발에의 시사점을 도출하는데 목적이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이론적 측면에서 대중교통 수요예측방법을 정리하고 3장에서는 대중교통 수요예측방법의 이론에 기초하여 현재 상용화되고 있는 수요예측 소프트웨어의 특징과 장단점을 비교 분석하고, 이에 기초하여 우리나라의 상황에 맞는 철도수송수요예측의 시스템 개발 방향성을 제시한다. 4장에서는 연구결과를 정리하며 향후연구과제를 제시한다.

* 국토연구원 책임연구원, 비회원

** 국토연구원 연구원, 비회원

*** 한국철도기술연구원 주임연구원, 비회원

2. 철도수송수요예측 방법의 이론적 고찰

전통적인 교통수요예측방법인 4단계 모형의 각 단계별로 승용차와 대중교통을 비교하면 통행발생, 통행분포, 수단분담의 과정에서는 거의 차이가 없다. 그러나 승용차와 다른 대중교통의 여러 특성으로 말미암아 마지막 통행배정의 단계에서는 둘간의 차이가 분명하다. 이에 본 연구에서는 수송수요예측 중 대중교통의 통행배정을 중심으로 서술하고자 한다.

1) 개요

서론에서 지적하였듯이 철도 등 대중교통은 교통계획 분야에서 중요한 부분을 차지하며 승용차와는 상이한 특성을 가지고 있다. 그러므로 대중교통을 대상으로 하는 통행배정모형을 구축할 경우에는 승용차에 대한 접근방법과는 다른 방법을 접근하여야 한다. 이를 위해 먼저 승용차와는 상이한 대중교통의 특성에 대한 파악이 중요하다. 대표적인 특성으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 철도 등의 대중교통은 일정한 노선(line)을 가지고 운행한다.
- ② 대중교통은 일정한 운행계획(schedule)에 의해 운행된다.
- ③ 대중교통의 통행시간은 승용차와 다르게 여러 요소(가령, 대기시간, 환승시간 등)로 구성된다.
- ④ 대중교통은 승용차와는 다르게 요금이 존재한다.
- ⑤ 대중교통은 같은 경로(route)를 운행하는 노선(line)이 여러개 존재한다.

현재 흔히 사용되고 있는 대중교통 통행배정모형을 혼잡고려 여부에 따라 구분하면 다음과 같다. (여기서 말하는 대중교통의 경우 혼잡이란 승용차 혼잡의 개념과는 달리 도로상의 혼잡을 의미하지 않고 차량용량의 제약에 의한 차내 혼잡을 의미한다.)

<표 1> 혼잡 고려여부에 따른 대중교통 통행배정모형

혼잡 비고려	전량통행배정모형, 다중경로통행배정모형, 최적전략통행배정모형
혼잡 고려	대중교통균형통행배정모형, 최적전략기반대중교통균형배정모형

2) 각 통행배정모형의 특징

전량통행배정모형은 결정적 통행배정모형의 하나로 가장 초보적인 단계의 기법이며 “대중교통 이용자가 출발지에서 목적지까지 가기위해서 언제나 최소통행비용을 갖는 노선을 선택한다”는 가정을 기반으로 한다. 이 기법은 통행량이 작고, 기종점간의 경로의 수가 적으며 통행비용이 서로 크게 차이가 날때등 비현실적인 단점이 있으며 노선의 용량을 무한대로 가정하는 등의 비현실적 가정을 전제로 한다.

다중경로 통행배정모형중 하나인 Dial 모형은 합리적 경로(reasonable path)라는 개념을 도입, 경로탐색의 현실적 적용이 용이한 모형이다.

최적전략(Optimal Strategy) 통행배정모형은 Spiess-Florian(1989)에 의해 제안된 모형이다. 대중교통이용자는 목적지까지 도착하기 위하여 경로선택방법을 다양하게 설정할 수 있는데 이러한 경로선택방법들의 집합을 전략(strategy)라고 정의하였다. 이러한 다수의 전략가운데 통행자의 평균통행시간(expected travel time)을 최소화해주는 전략을 최적전략(Optimal Strategy)이라 하고 모든 통행은 이 전략에 따라 이루어진다는 최적전략에 의한 통행배정모형을 개발하였다.

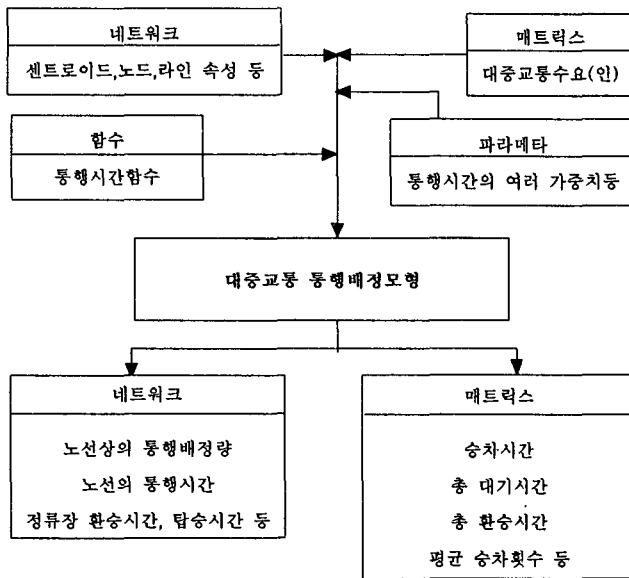
통행량이 증가함에 따라 혼잡을 고려하지 않은 모형은 현실을 제대로 반영하지 못하는 지적에 따라 혼잡을 고려하는 모형이 개발되었다. De Cea-Fernandez(1993)은 차량의 용량을 고려한 균형배정모형을 제시하였는데 대중교통네트워크를 환승발생 정류장과 이를 연결하는 경로구간으로 재구성하여 지체를 표현하였다. 또한 최적전략기반 대중교통 균형통행배정모형은 통행비용함수를 통행량에 따라 연속적으로 증가하게 함수로 구성하였다. 즉 통행량이 증가하는 것은 차량내부가 혼잡해짐에 따라 불편함(discomfort)이 증가하는 것으로 해석하고 이를 일반화비용의 증가로 표현하였다.

3. 철도수송수요예측 패키지 비교분석

수요예측을 위한 상용 패키지는 다양한 종류가 존재한다. 하지만 각 나라의 교통상황을 고려할 때, 북미형, 유럽형, 아시아형으로 분류할 수 있다. 북미형 패키지로는 캐나다에서 개발된 EMME2와 미국에서 개발된 TRANPLAN을 들 수 있고, 유럽형 패키지로는 영국에서 개발된 SATURN과 독일에서 개발된 NEMO를 들 수 있다. 아시아형 패키지는 일본에서 개발된 STRADA를 들 수 있다. 본 연구에서는 우리나라에서의 활용도와 교통상황의 유사성을 고려하여 EMME2와 STRADA를 중심으로 상용 패키지의 특징을 개관하고 우리나라의 현실을 반영하기 위한 수요예측시스템의 개발과제를 정리한다.

1) EMME/2

EMME/2는 균형모형(Equilibrium Model)과 다중교통수단(Multi-Modal)의 합성어이며, 캐나다 몬트리얼 대학교 INRO Consultant가 공동 개발한 종합적인 교통계획 패키지로서 교통수요 4단계 전과정을 프로그램내에서 수행할 수 있다. 이 프로그램은 현재 우리나라에서 TRANPLAN과 함께 가장 많이 사용되는 패키지이다. 특히 EMME/2는 그래픽 기능이 뛰어난 것으로 평가받고 있으며 또한 편집 기능이 우수하다. 그러므로 네트워크의 수정 및 결과의 분석이 용이하다. 아울러 매크로 언어의 지원으로 배치작업이 가능하고 매트릭스 및 네트워크 계산(calculation)등 기능을 사용하여 사용자가 원하는



<그림 1> 대중교통 통행배정모형(EMME/2)의 입출력 자료 구조

하는 다양한 형태의 모형 및 알고리즘 들이 적용될 수 있다. EMME/2의 가장 큰 특징중에 하나는 함수편집기(function editor) 모듈을 제공하고 있다는 것이다. 그러므로 통행배분시 링크의 통행시간 및 비용을 계산하는 링크성능함수(link performance function)를 자유로이 설정할 수 있다. EMME/2는 각 모듈별로 그 기능과 역할을 부여하고 있으며 대중교통과 관련된 자료입력 모듈에서는 차량의 속도, 접근모드, 차량제한(좌석용량, 총용량 등), 네트워크의 세그먼트 구성등에 관한 사항을 정의하고 있다. 또한 transit time function에서 통행시간과 관련된 여러 인자등을 정의하여 이를 입력자료로 활용하고 있다. EMME/2에서의 대중교통통행배정의 기법은 크게 최적전략기반의 다중경로 통행배정모형과 결정적 통행배정모형의 2가지로 구분된다. 최적전략기반 다중경로 통행배정모형은 대기시간에 따라 이용자가 선택하는 경로는 다수가 발생되고, 이 중 통행시간을 최소화하는 전략이 최적전략이 되고 이 전략에 따라 모든 통행이 이루어진다는 전제하에 개발된 모형이다.

한편 결정적 통행배정모형은 각 통행자가 완전한 운행시간표를 가지고 있고 이 운행시간표에 따라 출발지를 떠난다는 가정하에 총통행시간을 최소화하는 경로 선택을 전제로 구성된 모형이다.

2) STRADA

STRADA(System for TRAFFIC Demand Analysis)는 교통수요예측을 위해 JICA(Japan International Cooperation Agency)에서 개발된 소프트웨어로 교통계획분야의 전통적인 수요예측방법인 4단계 추정방법을 지원하고 있다. 수요예측을 위한 입출력 데이터는 텍스트 파일로 구성되어 있기 때문에 타 소프트웨어와의 호환성이 높다. STRADA는 전부 23개의 모듈로 구성되어 있으며 이 중 4

개의 모듈이 대중교통 통행배정과 연관되어 있다.

STRADA에서는 대중교통 통행배정을 위한 일반화비용을 도보시간, 대기시간, 승하차시간, 요금, 승차시간, 환승시간, 차내혼잡도의 총비용으로 정의하고 있다. 이중 차내혼잡도는 통행배정후에 얻어지기 때문에 차내혼잡도를 제외한 일반화비용으로 경로탐색을 시행하며 최단경로는 물론 사용자가 지정하는 범위(최단경로의 일반화비용에 대한 비율)내에 포함되는 경로를 기억하여 통행배정에 이용한다. STRADA에서는 이러한 경로를 이용가능 경로(feasible path)로 정의하고 있다.

통행배정은 크게 3단계로 나누어 시행된다(<그림 2> 참조). 1단계는 대중교통 데이터 편집(Transit Line Reader)과정으로 교통네트워크 데이터와 대중교통 라인 데이터(Transit Line Data)를 읽어들이며 두 데이터의 이상여부를 확인하고 문제가 없을 경우에는 경로탐색에 필요한 중간파일을 생성하고 1단계를 종료한다. 2단계는 경로탐색과정으로 모든 기종점간의 경로를 탐색하여 사용자가 지정하는 일반화비용의 범위내에 존재하는 모든 이용가능 경로(feasible path)를 중간파일로 생성한다. 앞에서 설명한 바와 같이 경로탐색과정에서는 차내혼잡도 비용은 고려하지 않는다. 3단계는 분할배정법에 의해 2단계에서 생성된 이용가능경로에 통행량을 배정한다. 분할의 크기와 횟수는 사용자가 임의로 지정할 수 있으며, 단계별 분할배정을 종료할 때마다 차내혼잡도를 포함한 일반화비용을 재계산하고 이 일반화비용을 이용하여 이용가능경로에 통행을 배정한다.

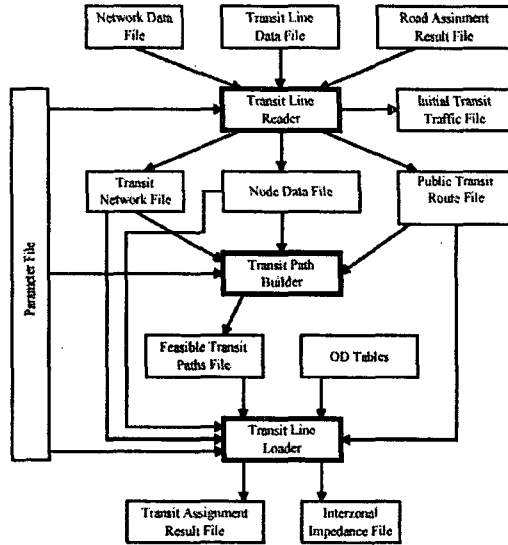
3) 패키지 비교분석

앞서 살펴본 2개의 패키지의 특성을 비교하면 다음 <표 2>와 같이 정리할 수 있다.

<표 2> 상용 패키지의 비교분석

구분	EMME/2	STRADA
통행배정방법	최적전략기반 다중경로 통행배정(전략배정법) 결정적 통행배정	전략통행배정 분할통행배정 확률+분할통행배정
용량제약	고려안함	부분적으로 고려함
일반화비용	대기시간, 접근시간, 차내시간, 요금, 환승시간	도보시간, 대기시간, 승하차시간, 요금, 승차시간, 환승시간, 차내혼잡도
통행패턴의 변화	고려안함	부분적으로 고려함

통행배정방법에서 EMME2는 일반적으로 노드에서의 대기시간을 고려한 최적전략기반에 역점을 둔 전략통행배정을 적용하고 있으며, STRADA는 기종점간의 이용가능경로를 추출하고 이 경로들간의 차내혼잡도를 포함한 일반화비용을 반영하여 분할통행배정을 적용하고 있다. EMME2에서 전략통행배정을 표준으로 설정하고 있는 것은 구미나라의 경우 대중교통망이 복잡하지 않아 전략통행배정으



<그림 2> STRADA 대중교통 통행배정 구조

로도 현실에 가까운 수요예측치를 추정할 수 있기 때문인 것으로 사료된다. 반면 STRADA는 확률통행배정을 감안한 분할통행배정을 채택하고 있는데 이는 일본에서 운행되고 있는 대중교통수단이 다양하고 대중교통망이 복잡하여 차내혼잡도에 따른 이용경로의 변화과정을 반영하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

용량제약의 경우, 통행배정방법에서도 언급하였지만 STRADA에서는 대중교통 라인별 용량을 설정하고 이용수요가 증가하면 차내혼잡도 비용이 증가하는 것으로 가정하고 이를 일반화비용에 반영하여 이용가능경로에 배정되는 통행량을 결정하고 있다. 동경도시권의 철도망을 대상으로 한 실증적 분석결과에서도 차내혼잡도가 철도경로를 선택하는 중요한 인자인 것이 보고 되고 있다. 반면 EMME2는 용량제약요인을 고려하지 않고 있다. 이는 구미나라에서는 통행수요가 용량을 초과하는 경우는 극히 드물기 때문인 것으로 사료된다. 단 대중교통을 이용하는 수요가 증가하면 이에 따라 노드에서의 대기시간이 증가하여 이로 인한 최단경로의 변화과정은 고려하고 있다.

일반화비용의 경우에는 EMME2나 STRADA 모두 대기시간, 접근시간, 환승시간, 요금을 일반화비용 산정을 위한 공통변수로 이용하고 있으나, STRADA는 별도로 차내혼잡도 비용을 고려하고 있다는 점은 특이할 만 하다.

4. 결론 및 향후과제

지금까지 철도등의 대중교통 통행배정모형의 이론적 고찰을 살펴보았다. 대중교통은 승용차와는 네트워크의 구성, 일반화비용의 구성 및 통행특성의 반영등에 있어 다른 특성을 보였으며 용량제약의 고려여부에 따라 통행배정모형간의 약간의 상이한 면을 가지고 있다. 이러한 이론적 기반하에 대표적 교통수요분석 패키지인 EMME/2와 STRADA의 특성을 살펴보고 그 모형은 일반화비용을 구성하는 요소와 통행배정방법등에서 약간의 차이를 보이고 있다. 대중교통의 수요가 점점 증가하여 대중교통의 용량을 초과하는 수요가 발생하거나 다양한 운행패턴의 변화를 고려해야 하는 상황이 빈번해지고 있는 요즘 이러한 현실을 반영하기에는 두 모형 모두 이를 고려하지 못하거나 제한적으로 고려하는 등 일부 문제점으로 지적할 수 있다. 용량 초과의 고려문제는 대개의 모형이 승용차 중심의 구미에서 개발된 모형으로 우리나라의 상황과는 다른 점에서 기인한다고 판단된다.

한편 우리나라는 현재 철도운영의 민간부문 확대, 철도로의 승용차수요 전환, 고속철도의 도입 등 다양한 운행패턴의 변화 및 운행전략의 적용이 예상된다. 이러한 때에 이를 고려할 수 있는 모형의 개발로 정확한 철도수송수요를 예측하고 적절한 통행배정기법을 개발하여 운행계획 및 경영전략 수립에 도움을 줄 수 있는 모형이 필요하다 하겠다.

참고문헌

1. 이신해, "대중교통 통행배정모형 개발 및 통행량 기반 대중교통 기중점통행량 추정", 서울대학교 박사학위논문, 2002
2. Ortuzar J.D. & Willumsen L.G. "Modelling Transport", 1994
3. Spiss H. & Florian M. "Optimal Strategies:A new assignment model for transit networks", TRB vol. 23., 1989
4. EMME/2 user's manual, INRO consultants Inc, 1999