

용량모수 평가체계

Systematic Parameter Analysis for Line Capacity

김동희*, 홍순흠**, 이원순***, 조민영****

Kim, Dong-Hee Hong, Sun-Heum Lee, Weon-Soon Cho, Min-Young

Abstract

Railway system is consisted of resources such as rail-line, signalling system, and railcars. It is necessary to efficiently utilize these limited and expensive resources as much as possible up to given line capacity. So far, we treat the line capacity as the criteria for evaluating investment alternatives or for restricting train frequencies, and this criteria is calculated statical and experimental numerical formula. But, line capacity has special attribute that changes dynamically according to operational conditions, so there is a need of new line capacity estimation system. In this paper, we present systematic line capacity analysis model. The proposed model has three main components ; TPS(train performance simulator), PES(parameter evaluation simulator), LCS(line capacity simulator).

1. 서 론

철도시스템은 선로, 신호, 열차 등의 고가의 인프라 및 열차자원으로 구성되어 있으며, 선로용량은 투자계획이나 수송계획을 위한 분석에 있어서 매우 중요한 역할을 수행한다. 따라서, 정확한 선로용량의 산출 및 평가를 위해 이를 효율적으로 지원할 수 있는 체계(system)의 도입은 필수적이다.

현재까지 국내에서 사용하고 있는 선로용량 산정방법은 1945년 일본인 야마기시 데루오가 제시한 용량 산정법에 기반을 두고 있으나, 경험식에 기반한 산술계산 방식의 한계로 인하여 UIC방법과 같은 다른 방법의 적용을 시도한바 있다. 그러나 여전히 동적인 특성을 고려하지 못하고 일률적인 산정 및 평가기법으로 선구별 특성을 반영하지 못하는 한계를 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 따라서 한국 실정에 적합하면서 동적인 용량특성을 반영할 수 있는 선로용량산정 및 평가기술의 개발은 중요한 의미를 가지고 있다.

최근의 연구에서는 지금까지의 선로용량 계산법의 문제점을 지적하고 새로운 실험방식의 선로용량 산정체계를 제시하여 대표적인 구간들에 대하여 적용한 바 있다. 그러나 사용된 모수(파라미터)체계 및 각

* 한국철도기술연구원, 운영·정보시스템연구그룹, 선임연구원, kdh777@krii.re.kr

** 한국철도기술연구원, 운영·정보시스템연구그룹, 책임연구원, shong@krii.re.kr

*** 철도청, 고속철도본부 수송과, lws2000@mail.korail.go.kr

**** 철도청, 고속철도본부 수송과, chomy@mail.korail.go.kr

모수별 적용 값들에 대해 기존사례 및 연구결과가 그대로 적용되었으며 국내실정에 적합한 모수들의 적정 수준에 대한 분석도 필요하다.

본 연구에서는 선로용량 분석을 체계적으로 지원할 수 있는 용량분석 체계를 제시하고자 한다. 제시된 용량분석체계는 열차성능시뮬레이터(TPS), 모수평가시뮬레이션(PES), 선로용량시뮬레이션(LCS)와 같은 단계로 구성된다. 본 논문에서는 우선 선로용량의 기본개념을 정립하고 기존의 용량산정방법을 살펴본다. 다음으로 체계적 선로용량분석 모델을 제시하고 각 단계별 모형을 설명하게 될 것이다.

2. 선로용량의 개념

1) 철도수송능력과 선로용량

철도수송시스템(railway transit system)에서 용량(capacity)은 고객서비스 능력의 매우 중요한 측정도구이다. TCRP(transit cooperative research program)에서 일반적으로 사용하고 있는 철도수송능력(railway transit capacity)은 "동일 선로에서 동일 방향으로 시간당 수송할 수 있는 편도 최대 승객수"와 같이 정의되고 있다.

수송능력은 열차용량(train capacity)과 선로용량(line capacity)으로 구성되며, 열차용량은 다시 열차당 객차수(number of cars in train)와 객차당 승객수(passengers per car)로 구분된다. 선로용량은 다음의 식과 같이 운행시격(headway)으로 구성되며, 운행시격은 다시 안전시격(safety separation time)과 정차시분(dwell time), 그리고 운영여유시분(operating margin)으로 구성된다.

$$\text{선로용량} = \frac{\text{용량계산시간}}{\text{운행시격}} = \frac{\text{용량계산시간}}{\text{안전시격} + \text{정차시간} + \text{운영여유}}$$

여기에서 안전시격이란 선행열차와 후속열차간의 시간간격을 나타낸 것으로 선구 전체에 걸쳐서 적용하고 그 최소치를 최소안전시격이라 한다. 선로용량의 최대화는 안전시격 및 정차시간의 최소화를 의미한다. 최소안전시격의 거리적 개념은 후속열차의 주행속도로 선행열차까지 필요한 제동거리와 최소한의 안전여유거리를 합한 값으로 볼 수 있다.

2) 선로용량 산출법

① 야마기시 방식

야마기시 방식은 용량계산 단위시간 중에서 선로이용율에 해당되는 시간만을 대상으로 열차를 최대한 설정하는 개념으로 선로용량을 산정하며, 선로이용율에는 선로유지보수 시간 이외에 각종 여유시간들이 포함된다.

i) 단선구간의 선로용량

$$N = \frac{1440 \times f}{T + C}$$

단, T = 역간 평균운행시분(분)

C = 폐색취급시분(분)

통표방식-2분 30초

기계연동-2분

자동·연동 폐색-1분 30초

f = 선로이용률, 통상 0.5~0.75

ii) 복선구간의 선로용량(다중 열차운행)

$$N = \frac{1440}{hV' + (r+u+1)\sum V} \times f$$

단, N = 편도선로용량(열차수/1일)

h = 고속열차 상호간의 운전시격(분)

r = 정차장에 도착한 저속열차와 후속 고속열차간에 필요한 최소운전시격(분)

u = 정차장을 출발한 고속열차와 후속 저속열차간에 필요한 최소운전시격(분)

V = 고속열차운행비

= 고속열차회수/전 체열차회수

V' = 저속열차운행비

= 저속열차회수/전 체열차회수

② UIC 방식

세계철도연맹에서 유럽 각국의 국가간 연결철도망의 개발 및 평가에 있어 동일성을 피하기 위하여 개발된 방법으로 서로 소속이 다른 철도노선 혹은 국제간 연결철도망에 대한 용량의 비교를 위한 보편적인 방법으로 제시되고 있다. 용량계산은 선구내의 애로구간에 해당되는 단위구간을 기반으로 계산하며 선구의 대표 용량값으로 사용된다. 선구의 용량계산식은 다음과 같다.

$$C = \frac{T}{t_{fm} + t_r + t_{zu}} \text{ (회/주기)}$$

단, C = 선구의 용량(열차운행회수), T = 용량계산주기(1일 또는 1시간을 분으로 표시)

t_{fm} = 최소 열차차두시간의 평균값(분), t_{zu} = 추가시분(분) = 0.25 · 구간수

t_r = 여유시분(분) = 0.67 · t_{fm} (단, 시간용량 계산시 0.33 사용)

3. 체계적 선로용량 추정체계

선로용량을 산정하는 것은 열차운전계획상 효율적으로 운행할 수 있는 최적(최대)의 열차횟수의 결정과 열차가 운행되고 있는 선로의 애로구간을 판단하고 수송력의 증강에 필요한 투자우선순위를 결정한다는 두 가지 목적을 가지고 있다. 선로용량에 변화를 줄 수 있는 영향인자들로서는 각종 제한속도, 역간거리 및 구내배선, 시설유지보수시간 등과 같은 시설적 제한요인과 기관차성능, 열차종별 최고속도 등과 같은 차량적 제한요인, 열차비율, 순서 및 배열, 운전취급순서, 여유시간 등과 같은 운영 제한요인, 그리고 신호현시방식이나 폐색방식과 같은 신호방식요인이 있다. 이

러한 요인의 변화는 직접 혹은 간접적으로 선로용량에 영향을 미치게 되며, 용량분석에는 이들이 충분히 고려되어야 한다.

본 연구에서는 선로용량 분석을 체계적으로 지원할 수 있는 용량분석 체계를 제시한다. 제시된 체계는 3가지 주요 하위구성 단계(모듈)로 구성되어 있으며, 그림 1에 전체 개념 및 흐름이 제시되어 있다.

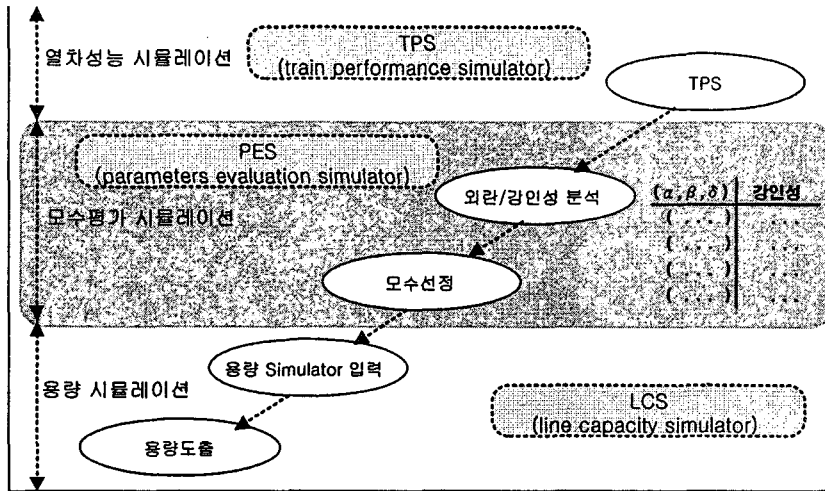


그림 1 선로용량 분석체계

제시된 선로용량 분석체계는 열차성능 시뮬레이션(TPS), 모수평가 시뮬레이션(PES), 그리고 선로용량 시뮬레이션(LCS)으로 구성되어 있다. 이들 각 단계별로 독립성을 유지할 수 있으며, 입출력 자료를 매개체로 각 단계가 연결되어 수행된다. 3가지 하위 모듈(단계)별 개념 및 기능은 다음과 같다.

1) 열차성능 시뮬레이션(train performance simulation)

열차성능 시뮬레이션은 주로 트랙(선로)과 열차의 동적 특성을 추출하는 것이 목적으로, 일반적으로 최소주행시간에 대한 표준을 결정하고, 구간속도조정의 영향을 평가하고, 연료소모를 예측하고, 신호시스템 성능에 따른 제동거리를 체크하기 위해서 사용된다. 이 유형의 시뮬레이션 연구들에서는 주로 열차의 경제적 설계에 초점이 맞추어져 있으며, 기관차와 차량선택에 대한 의사결정 요소를 제공하게 된다.

본 연구에서 제시된 선로용량 분석체계에서 첫단계인 열차성능 시뮬레이션은 시설, 차량, 신

호, 운영 특성을 고려한 구간별, 열차종별 성능데이터(TPS Data)를 열차운동방정식에 의하여 상세하게 계산하게 된다. 이들 결과의 대표적 표현방법으로는 그림2와 같은 주행곡선 및 주행시간 그래프가 있다. 이렇게 산출된 열차성능 데이터는 두 번째 단계인 모수평가 시뮬레이션에서 기본 입력데이터로 사용된다.

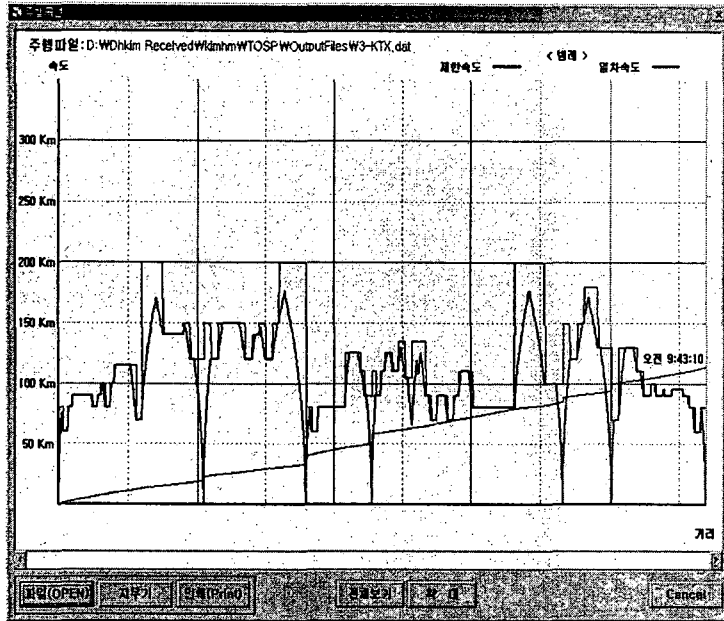


그림 2 주행곡선 및 주행시간 그래프의 예

2) 모수평가 시뮬레이션(parameter evaluation simulation)

모수평가 시뮬레이션 단계에서는 열차성능 시뮬레이션에서 산출된 열차별 성능데이터를 기반으로 하여 열차설정에 필요한 최소한의 시간, 즉 표준시간을 산출하고 여기에 여유시간을 반영하여 가상적인 열차설정을 하게 된다. 이 때 여유시간을 반영하는 체계는 세 번째 단계인 선로용량 시뮬레이션에서 사용될 모수체계를 그대로 적용하며, 본 연구에서는 잠정적으로 α (선로 불가용시간), β (주행시간 여유율), δ (구간수조정 여유율)를 선정하였다. 이렇게 작성 열차다이아(스케줄)를 대상으로 통상적인 범위 이내의 외란에 대한 다이아의 강인성 실험을 수행하고, 그 결과로서 파급지연시간, 파급열차수/역수 등과 같은 강인성 척도치들을 추출하게 된다. 그림 3에서는 이러한 과정을 설명하고 있다.

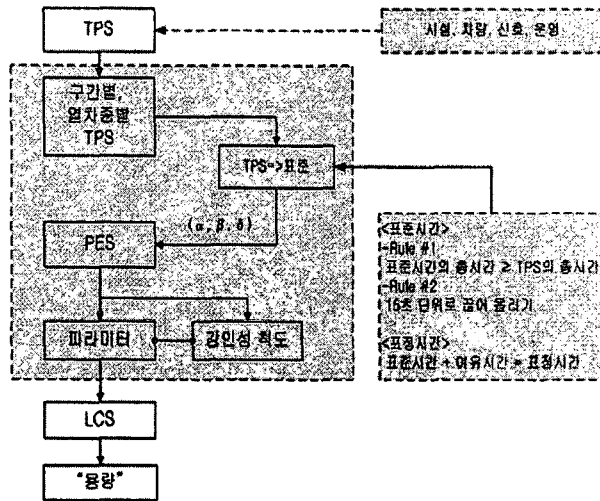


그림 3 모수평가 시뮬레이션의 체계

위와 같이 외란에 대한 강인성 실험을 여러 가지 실험모수에 대한 설정 시나리오(여유시간 시나리오)에 대하여 반복적으로 수행하여 결과치를 산출한다. 그림 4에서와 같이 분석자는 이러한 강인성 결과데이터를 기반으로 적정수준의 여유시간에 해당되는 실험모수를 선정할 수 있게 된다.

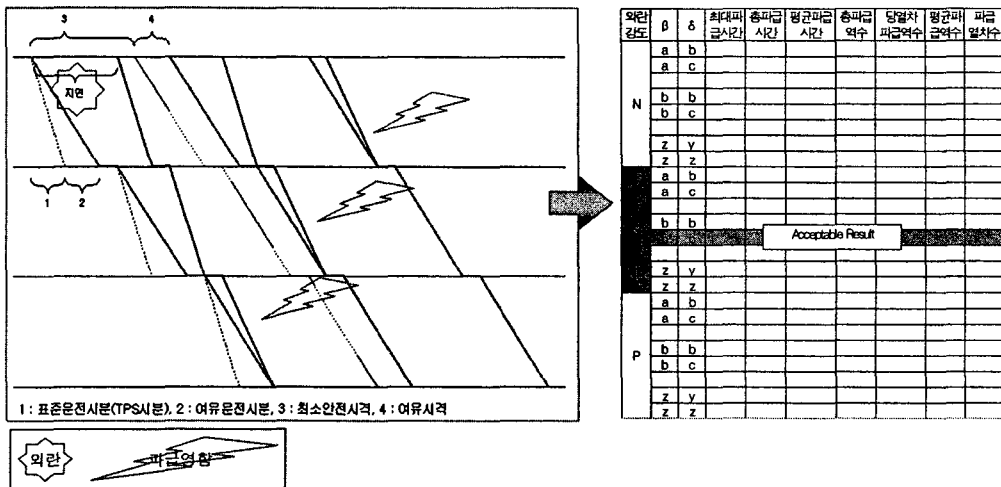


그림 4 강인성 실험의 개념

위와 같은 체계에서 강인성 실험을 위한 열차다이나를 정상다이나라 하고 외란 발생 후 그 파급영향이 반영된 다이나를 회복다이나라 할 때, 타당한 정상다이나 및 회복다이나를 작성하는

것 또한 심도있게 연구되어야 할 주제가 될 것이다. 본 연구에서는 전체적인 선로용량 분석체계에 초점을 맞추고 있으므로 이 부분에 있어서는 간단하면서 고속으로 수행할 수 있는 선입선출법에 의한 방법을 권장한다.

3) 선로용량 시뮬레이션(line capacity simulation)

선로용량 시뮬레이션은 기존의 용량산출법들의 단점을 보완하고자 한국철도기술연구원에서 제안된 방법으로서, 대상 선구내의 단위구간을 대상으로 하여 열차혼합패턴을 고려한 확률실험에 의한 일종의 시뮬레이션에 의한 선로용량 추정방식이다. 이 방식은 대상구간의 특성과 운행패턴을 만족하도록 열차를 확률적으로 생성시켜서 열차순서를 실제로 구성하게 된다. 이때 열차의 성능 및 구간특성 뿐만 아니라 실제 운용상황에 필요한 여유시간을 실험모수에 의하여 반영하여 N개의 결과치를 도출한다. 여기에서 사용되는 실험모수는 두 번째 단계인 모수평가 시뮬레이션에서 사용된 실험모수와 동일하다. 이렇게 산출된 N개의 결과치는 각각이 열차회수에 해당되며, 이들에 대한 통계분석결과를 대상 선구의 용량특성으로 설명하게 된다. 구체적인 내용은 참고문헌을 참고하기 바란다.

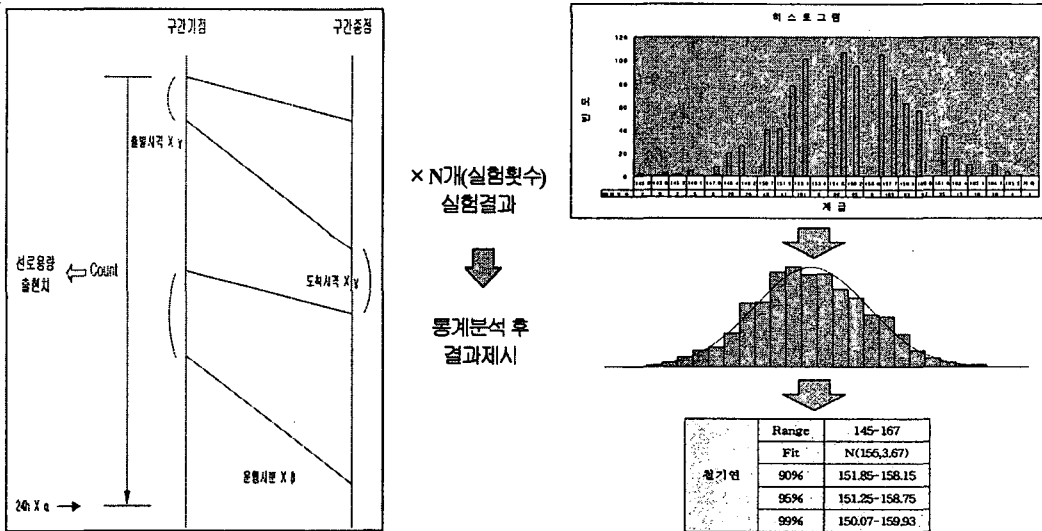


그림 5. 실험의 개념 및 결과도출

4. 결론

기존의 선로용량 산출방식인 야마기시 및 UIC 방식은 선로용량의 동적특성을 반영하지 못하고 있으며 이의 개선을 위한 실험에 의한 용량산정체계(선로용량 시뮬레이션 ; LCS)가 한국철도

기술연구원에서 제시된 바 있다. 선로용량 시뮬레이션에서는 각종 운영여유를 반영하기 위한 여유 모수들이 사용되고 있으며, 이들의 사용에 있어 적정수준에 대한 판단기준에 미흡하였다.

본 연구에서는 위에서 언급한 적정모수를 분석하기 위한 체계적 선로용량 분석체계를 제시하였다. 제시된 용량분석체계는 열차성능 시뮬레이션(TPS), 모수평가 시뮬레이션(PES), 선로용량 시뮬레이션(LCS)와 같이 모두 3단계(모듈)로 구성되어 있으며, 각 단계의 모형별 개념과 절차를 개략적으로 소개하였다.

추후 과제로는 실제 데이터를 활용하여 제시된 체계의 적용함으로서 그 타당성을 검증/제시하여야 하며, 이러한 개별적인 시뮬레이터의 상세 설계를 통해 철도시스템의 영향인자들을 직접적으로 반영하여 선로용량을 도출할 수 있는 통합 시뮬레이터의 원형(prototype)개발을 들 수 있다.

참 고 문 헌

- 1.김동희, 김성호, "철도시스템 개선을 위한 용량분석에 관한 연구", 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2003
- 2.김동희, 홍순흠, 김봉선, "철도선로의 용량추정체계", 안전경영과학회지, 제4권 제3호, 2002.
- 3.김동희, 홍순흠, 류상환, "다중열차 시뮬레이션 프로그램 개발", 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, 2002
- 4.서정호, 철도선로용량의 증대방안-이론과 현실에의 적용-, 인하대학교 교통대학원 석사학위논문, 1999
- 5.Bergmark, R., "Railroad capacity and traffic analysis using SIMON", Computers in Railway V, Vol.1., 1996
- 6.Fransoo, J. C. and Bertrand, J. W. M., "An aggregate capacity estimation model for the evaluation of railroad passing constructions", Transportation Research Part A 34, 2000
- 7.Parkinson, T. and Fisher, I., "Rail Transit Capacity", TCRP Report 13, Transportation Research Board, 1996
- 8.TCRP Web Document 6, "Transit Capacity and Quality of Service Manual", 1999