

철도선로용량 계산을 위한 모수 평가모형 개발

- Development of Parameter Evaluation Model for Calculating Railroad Line Capacity -

이 병 권 *, 김 학 식 *, 이 창 호 ✽, 김 봉 선 *, 김 동 희 **

Abstract

Railroad line capacity is influenced by quantitative and qualitative factors which is applied by parameter to calculate it. But these parameters have been used experiential value without analyzing its reasonability or appropriate level. In this paper, we introduce the concept of robustness to quantify parameter and evaluate robustness of it. For this purpose, we develop parameter evaluation simulator and present it. If this simulator is utilized, we can find the parameter having appropriate robustness and it will be applied to calculate more reasonable and systematic railroad line capacity.

1. 서 론

선로용량이란 일반적으로 임의의 일정한 선로구간에서 1일 동안 일방향으로(편도) 운행 가능한 최대 열차횟수를 의미하며, 이는 투자우선순위의 결정에 있어 주요한 지표로 사용되어진다 [1]. 선로용량은 차량조건, 신호조건, 선로조건, 운영조건에 의해 가변적으로 결정되어지고 용량 산정 방법마다 차이는 있지만, 각 조건별 정성적인 인자들은 모수(parameter)로 표현하여 적용하고 있다[2]. 그러나 이러한 모수값은 그 타당성이나 적정수준의 분석없이 경험적인 수치를 사용하고 있는 실정이다[1][4].

현재까지 국내에서 도입하고 있거나 적용을 시도한 바 있는 선로용량 계산방법으로는 철도청에서 공식적으로 사용하고 있는 야마기치 방식과 세계철도연맹에서 개발하여 장려하고 있는 UIC 방식, 그리고 최근 한국철도기술연구원에서 개발하여 그 실용성이 검증된 실험에 의한 방식으로 나눌 수 있다[4][5]. 본 연구에서는 실험에 의한 방식을 용량산정 체계로 수용하고 이에 사용되는 모수를 분석하여, 구간별 적정 수준의 모수값을 평가할 수 있도록 지원해 주는 모수 평가 시뮬레이터(parameter evaluation simulator)를 개발하여 제시하고자 한다. 또한 개발한 모수 평가 시뮬레이터를 활용하여 가상의 시나리오를 설정하고 구간별 적정수준의 모수 평가를 수행하여 그 결과를 제시하고자 한다.

* 인하대학교 산업공학과

** 한국철도기술연구원 운영정보시스템연구팀

2. 모수 평가 시뮬레이터 설계

2.1.1 강인성(robustness)

열차는 운행스케줄에 따라 운행되며 정시 출발·도착을 원칙으로 한다. 그러나 열차운행상 사고나 외란의 위험은 항상 존재하며 이러한 외란이 발생하였을 때 파급효과를 최소화시키기 위한 대안이 필요하다. 이러한 이유로 열차운행스케줄을 수립할 때에는 강인성이 적용된다. 열차스케줄의 강인성(robustness)이란, 외란이 발생한 후 그 영향이 전체 운행스케줄에 파급되는 정도를 의미하는 것으로, 파급효과가 크냐 작으냐에 따라 강인성의 좋고 나쁨을 판단한다. 즉, 강인성이 좋다는 것은 특정한 외란이 발생하여도 전체 운행스케줄에 파급되는 영향이 작다는 뜻으로 해석할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 강인성의 개념을 도입하여 모수별 적정수준을 판별하는 기준으로서 활용하고자 한다. 모수 판별체계로서는 먼저, 특정한 외란을 발생시켜 그 외란에 대해 모수값을 변화시켜주며 각 모수별 강인성을 측정한다. 이렇게 나열된 모수값 중에서 적절한 강인성을 갖는 모수를 선정하여 용량계산시 사용한다면, 보다 타당한 모수값을 사용한 선로용량으로 그 실용성이 검증될 것이다.

외란 강도	α	δ	최대 파급시간	총 파급시간	전체열차 파급시간	지연열차 파급시간	총 파급역수	달 열차 파급역수	전체열차 파급역수	지연열차 파급역수	파급 열차수
N	a1	b1									
	a2	b2									
	a3	b3									
P	a1	b1									
	a2	b2	Acceptable Robustness								
	a3	b3									
Q	a2	b1									
	a2	b2									
	a3	b3									

<그림 2-1> 모수별 강인성 평가

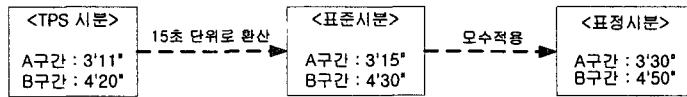
2.1.2 시스템 구성

본 시스템은 강인성을 이용한 구간별 모수의 적정수준을 평가하기 위한 목적으로 개발되었으며, 다음과 같은 4가지의 모듈로 구성되어진다.

1) 표준 및 표정시분 변환 모듈

본 연구에서 이용한 열차성능시뮬레이터(TPS)의 결과치인 열차성능데이터는 그 자체로는 사용될 수 없는 이상적인 수치로서, 기관사 숙련도 및 열차운행 최소단위 등을 적용하여 1차적인 사정이 필요하다. 이로부터 얻어지는 결과가 표준시분이며, 이러한 표준시분에 열차스케줄의 강인성을 고려하여 여유시분이 추가된 결과를 표정시분으로 정의된다.

본 시스템에서는 열차성능데이터를 15초 단위로 끊어올림으로서 표준시분으로 사정하고, 이에 모수를 적용하여 표정시분으로의 환산하는 시격변환의 정식화 모델을 수립하였다.



<그림 2-2> 표준 및 표정시분으로의 변환

2) 정상운행 모듈

정상운행 모듈은 열차가 정상적으로 운행되었을 경우의 열차운행스케줄을 정의하는 것으로, 열차운행은 표정시분을 기반으로 하고 열차간 간격은 운행시격에 기반하여 다이어를 작성하게 된다. 정상운행스케줄은 강인성 측정의 기준으로 사용된다.

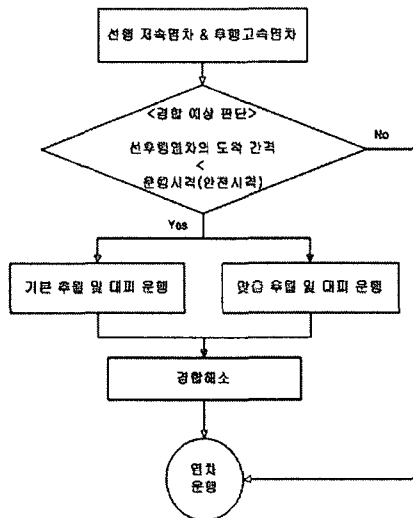
3) 회복운행 모듈

외란이 발생한 후에는 열차운행은 정상스케줄로의 회복을 하여야 하며, 이는 적정 서비스 수준을 유지하기 위해 필수적이다. 회복운행은 외란이 발생한 당 열차부터 적용되어야 하며, 최단 시간내에 정상스케줄로 회복이 되어야 한다.

이러한 특성을 지니는 회복운행에서 열차는 표준시분을 기반으로 운행되어야 하며, 열차간 간격은 안전시격에 기반한다. 물론, 회복된 이후에는 표정시분과 운행시격을 기반으로 하는 정상운행이 수행된다.

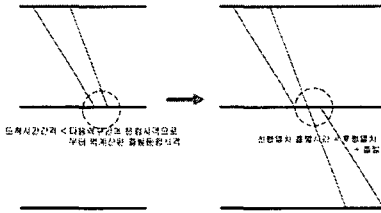
4) 추월 및 대피운행 모듈

열차운행은 열차종별, 구간별로 주행시분과 운행시격의 차이가 존재한다. 따라서 경합의 발생은 필연적이며 이러한 경합이 예상될 경우 경합해소를 위한 방안이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 경합의 해소를 위해 열차간 추월 및 대피운행의 규칙을 정립하여 모수 평가 시뮬레이터에 적용시키고자 한다.

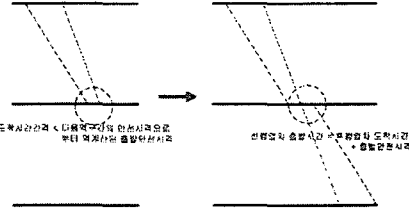


<그림 2-3> 경합발생과 해소

추월 및 대피운행은 기본 추월 및 대피운행(이하 기본운행)과 맞춤 추월 및 대피운행(이하 맞춤운행)으로 세분화 도리수 있으며 각각은 정상운행 모듈과 회복운행 모듈에서 선택적으로 적용될 수 있도록 설계하였다. 다음 <그림 2-4>와 <그림 2-6>은 기본운행의 다이어 모형을 나타낸 것이다.

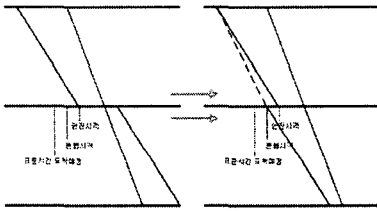


<그림 2-4> 정상운행시 기본운행

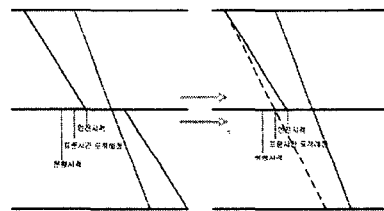


<그림 2-5> 회복운행시 기본운행

다음 <그림 2-6>, <그림 2-7>은 정상운행에서의 맞춤운행 다이어를 나타낸 것이다.

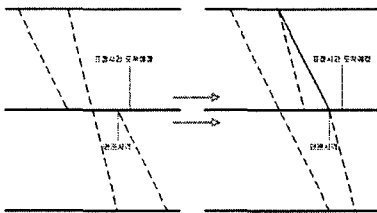


<그림 2-6> 운행시각 확보

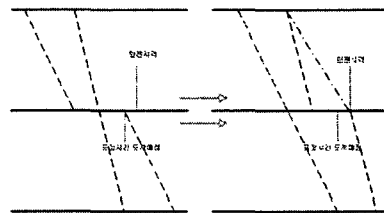


<그림 2-7> 안전시각 확보

또한, <그림 2-8>, <그림 2-9>는 회복운행에서의 맞춤운행 다이어를 나타낸 것이다.



<그림 2-8> 안전시각 확보



<그림 2-9> 안전시각 확보 (감속)

3. 모수 평가를 위한 시나리오 분석

모수 평가 시뮬레이터에 적용되는 입력조건들은 선로용량계산에 영향을 주는 요소들로 구성되어 있고, 이러한 요소들의 조합은 강인성 분석을 위한 시나리오 설정이 가능하다. 실험은 경부선 중에서 재조정된 선구단위(서울~부곡)로 선별하여 실시한다. 또한 모수는 β 는 1.02~1.06의 범위를 사용하였고, δ 는 0.10~0.25의 범위로 적용하였다. 각 시나리오별 설정은 다음과 같다.

- 시나리오1 - 추월 및 대피운행의 방법으로는 기본운행을 적용하고 평균정차시분은 20초를

설정하였다.

- 시나리오2 - 추월 및 대피운행의 방법으로는 맞춤형운행을 적용하고 평균정차시분은 20초를 설정하였다.
- 시나리오3 - 추월 및 대피운행의 방법으로는 기본운행을 적용하고 평균정차시분은 10초를 설정하였다.
- 시나리오4 - 추월 및 대피운행의 방법으로는 맞춤형운행을 적용하고 평균정차시분은 10초를 설정하였다.

다음 <표 3-1>는 각 시나리오별 실험결과를 정리한 것이다.

<표 3-1> 시나리오별 강인성 비교·분석

강인성척도		최대 파급시간	총 파급시간	전체열차 평균 파급시간	지연열차 평균 파급시간	총 파급역수	당열차 파급역수	전체열차 평균 파급역수	지연열차 평균 파급역수	파급 열차수
영향인자										
시나 리오 1	$\beta=1.02$ $\delta=0.25$	3분	8.9분	0.3분	4.5분	4개	2개	1개	2개	2대
	$\beta=1.04$ $\delta=0.25$	3분	4분	0.2분	2분	2개	1개	1개	1개	2대
시나 리오 2	$\beta=1.02$ $\delta=0.25$	8분	53.9분	2.7분	7.7분	22개	6개	2개	4개	7대
	$\beta=1.04$ $\delta=0.25$	3분	3.9분	0.2분	0.8분	5개	1개	1개	1개	5대
시나 리오 3	$\beta=1.02$ $\delta=0.25$	3분	8.9분	0.4분	4.5분	4개	2개	1개	2개	2대
	$\beta=1.04$ $\delta=0.25$	3분	8.8분	0.4분	4.4분	4개	2개	1개	2개	2대
시나 리오 4	$\beta=1.02$ $\delta=0.25$	14분	55분	2.8분	7.9분	20개	7개 이상	1개	3개	7대
	$\beta=1.04$ $\delta=0.25$	14분	53.4분	2.7분	7.6분	19개	6개	1개	3개	7대

4. 결 론

선로용량 계산시 사용하는 모수는 선로용량에 영향을 끼치는 인자들 중에서 정성적 인자를 표현하는 수단으로 활용된다. 그러나 이러한 모수는 그 타당성이나 적정수준의 분석 없이 경험치에 의존하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 모수의 정량화를 위해 강인성 개념을 도입하여 그 측정 척도를 정립하였고, 모수 평가 시뮬레이터를 개발하여 구간별 적정수준의 모수 평가가 가능하도록 제시하였다. 본 모수 평가 모형을 활용하여 적정수준의 강인성을 가지는 모수를 선로용량 계산에 적용한다면 더욱 타당하고 체계적인 선로용량을 결정할 수 있을 것으로 기대된다.

추후 연구과제로는 본 연구에서 제시된 모수 평가 시뮬레이터가 경부선과 같은 복선구간만을 대상으로 하므로 장항선과 같은 단선구간에도 적용 가능하도록 시스템의 확장이 필요하며, 추월 및 대피운행의 방법론에 있어 그 최적성의 검토가 수행되어야 할 것이다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 김동희, 홍순흠, 김봉선, “철도선로의 용량추정체계”, 안전경영과학회지, 제4권 제3호, 2002
- [2] 김연규, 박인기, “철도운영체계 개선을 통한 수송능력 증대방안”, 교통개발연구원 연구보고서, 1997
- [3] 서정호, “철도선로용량의 증대방안 - 이론과 현실에의 적용”, 인하대학교 교통대학원 석사학위논문, 1999
- [4] 한국철도기술연구원, “기존간선과 고속선의 수요분담과 선로용량 할당시스템 개발”, 철도청 연구보고서, 2002
- [5] 한국철도기술연구원, “선로용량 계산 시뮬레이션 프로그램 개발”, 한국철도기술연구원 연구보고서, 2003
- [6] Kittelson & Associates, Inc., “Transit Capacity and Quality of Service Manual”, Transit Cooperative Research Program Web Document 6, 1999
- [7] Parkinson, T. and Fisher, I., “Rail Transit Capacity”, Transit Cooperative Research Program Report 13, 1996