

선로용량 계산 통합프로그램 및 민감도분석체계 개발

-Development on the Integrated System of PES and LCS and Sensitivity Analysis for Line Capacity-

임 찬 식*, 김 한 신*, 이 창 호*, 김 봉 선*, 김 동 희**, 홍 슌 흠**

Abstract

A purpose of this research is building a Parameter Evaluation Simulation(PES) program which is present proper parameter value to calculate line capacity.

This research performs a detailed simulation and a analysis of it using PES and it is developed on the basis of Line Capacity Simulation model. Chosen simulation sectors are that happened a big change of a line capacity because of joining a high speed train(KTX). Moreover this research performs a sensitivity analysis when basic data are changed.

1. 연구목적

본 연구의 최종 목표는 적합한 모수 추정 기법을 마련하고, 모수의 적정수준을 분석하여 제시할 수 있는 모수적합 및 평가분석을 수행하기 위한 시뮬레이션 모형 즉, 모수적합시뮬레이션 프로그램(PES, Parameter Evaluation Simulator)을 제시하는 것이다. 본 연구에서는 개발된 선로용량 모수적합 시뮬레이션 모형을 기초로 프로그램을 개발하고 이를 이용하여 고속열차가 포함된 선구의 상세 시뮬레이션을 수행하고 결과를 분석한다. 또한 LCS와의 통합체계를 구축하기 위한 통합인터페이스를 구현한다.

2. 연구내용 및 범위

본 연구는 “선로용량 계산 시뮬레이션 프로그램 개발”로서 1)통합프로그램을 이용한 파라미터 적합성 분석 및 수정·보완, 2) 선로용량상세 시뮬레이션 수행과 3)선로용량 민감도분석으로 구성되어 있으며, 세부 연구 내용은 다음과 같다.

* 인하대학교 산업공학과

** 한국철도기술연구원

- 1) 통합프로그램을 이용한 파라미터 적합성 분석 및 수정 · 보완
 - 통합프로그램을 이용한 모수적합 실험 수행 및 분석
 - 실험수행을 통한 통합프로그램의 수정 · 보완
- 2) 선로용량 상세 시뮬레이션 수행
 - 선구별 선로용량 상세 시뮬레이션 수행
- 3) 선로용량 민감도분석
 - 열차 구성비율과 열차속도 향상에 따른 용량변화 분석

3. 주요 연구결과

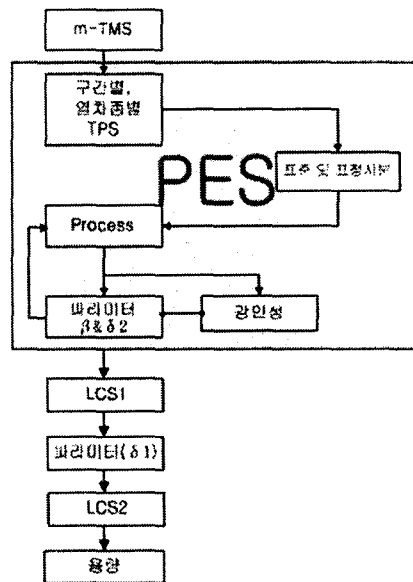
3.1. 선로용량 산정 통합모델 수정 및 보완

지금까지 개발된 모수적합 시뮬레이션의 다이어그램은 선구를 중심으로 하므로, 추월/대피와 구간 확장의 영향을 시격에 반영하기 위한 모수인 구간 수 조정 여유율(δ)이 이미 포함된 상태이다. 그러므로 구간 수 조정 여유율(δ)로만 사용된 δ는 구간 수 조정 여유율과 운행시격 여유율로 분리될 필요가 있다.

3.2. 개선된 선로용량 산정체계

LCS와 PES의 연동을 통해 모수를 재분석하고 선정된 선구별로 적합한 모수를 구할 수 있도록 새로운 개념을 제시한다.

[그림 1]은 선로용량분석 보완모델이다.



[그림 1] 선로용량분석 보완모델

선로용량 산정 시뮬레이션의 수정된 개념을 바탕으로 다음과 같은 방식으로 모수를 산정한다.

3.2.1. 주행시간 여유모수(β)의 산정

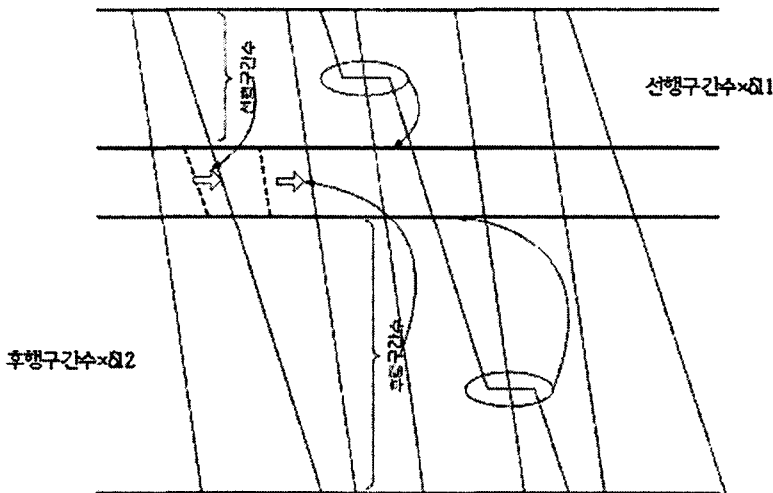
선구를 대상으로 범위의 β 값을 주어 각 열차종별 운행시간을 산출한 후 외란의 강인성 분석을 통하여 적절한 β 값을 산출한다.

3.2.2. 운행시격 여유모수(δ_2)의 산정

개선된 PES의 경우 이미 구간 수 조정 여유율 δ_1 이 적용된 상태이므로 강인성 분석을 통해 외란의 회복률이 가장 좋은 δ 가 바로 δ_2 이다.

3.2.3. 구간 수 조정 여유모수(δ_1)의 산정

PES에서 구한 β 를 사용하여 LCS로 단위구간의 한계용량을 산출한다. 산출된 단위구간의 한계용량은, 구간 수 조정 여유율이 이미 포함된 PES에서의 한계용량보다 크므로 LCS와 PES의 한계용량이 비슷해지는 모수 δ_1 을 산출하게 된다. 기존의 구간 수 조정 여유율로 적용되었던 δ 는 PES에서 강인성 분석을 통해 산출한 값인 운행시격 여유율(δ_2)과 구간 수 조정 여유율(δ_1)로 나뉘게 되며 δ_1 역시 선행 구간에 의해 영향을 받는 δ_{11} 과 후행 구간에 의해 영향을 받는 δ_{12} 로 나뉘게 된다. [그림 2]는 δ_1 분리에 대한 개념도이다.



[그림 2] δ_1 의 분리 개념도

3.3. 모수적합 시뮬레이터의 수정 및 보완

3.3.1. 모수적합 시뮬레이터의 수정 및 보완

표 1은 기존의 모수적합 시뮬레이터와 현재의 시뮬레이터를 비교한 표이다.

[표 2] 모수적합 시뮬레이터의 비교표

수정내용	기존의 시뮬레이터	보완된 시뮬레이터
통합열차운행스케줄	반영 않음	반영
정차 가능 역	모든 역 정차 가능 역으로 설정	정차 가능 역을 설정
첫 역 출발시간의 결정	불필요한 지연 있음	불필요한 지연 없음
인터페이스	불편	편리함
LCS와 PES의 연동 체계	미 구축	일부 구축

3.3.2. 통합열차운행스케줄 반영

- 표준 및 표정시간의 결정
 - 통합 운영 스케줄을 기준으로 표준시간을 결정.
 - 표정시간은 아래 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{표정시간} = (\text{표준시간} + \text{평균정차시간}) \times \beta$$

- 열차 발생방식의 결정
 - 통합운영스케줄의 열차순서를 이용하여 열차를 생성하는 방식과 사용자가 입력한 열차비율에 의해서 열차를 생성하는 방식으로 수정하였다.
- 정차 역의 설정
 - 정차하는 역과 정차하지 않는 역으로 역을 구분
 - 경부선에서 무궁화 열차의 정차 역을 기준으로 정차 역을 설정
- 첫 역 출발시간의 결정
 - 기존의 시뮬레이터에서는 모든 열차를 운행시격만 확보 후 발생시킨다. 보완된 시뮬레이터에서의 열차발생 방식은 이런 문제점을 개선하여 정차 역에서 추월/대피를 고려하여 시격을 확보하는 방식이다.
 - 구간의 수에 따라 지연되는 부분을 합하여 첫 역에서 출발시간을 늦춤.
 - 정차 역과 정차 역 사이의 선행열차와 후행열차의 출발·도착시격을 고려하여 열차를 발생한다.

3.3.3. 인터페이스의 수정

- 외란설정 방식
 - 기존의 시뮬레이터에서는 정상다이나를 작성하기 전에 외란을 설정한다. 보완된 시

- 물레이터에서는 이를 개선하여 정상다이나를 기준으로 하여 외란을 부여하는 방식으로 수정하였다.
- 다이어의 수정
 - 의사결정자가 다이어를 기준으로 의사결정할 수 있도록 다이어작성 부분을 수정하였다.

3.3.4. LCS와 PES의 연동체계구축

- 앞에서 언급한 바와 같이 구간 수 조정 여유율(δ_1)을 구하기 위해서는 먼저 구한 주행시간 여유율(β) 및 운행시격 여유율(δ_2)를 활용하여 단위구간의 평균도착시격 및 평균출발시격을 구하고 LCS실험과 연계하여 구간 수 조정 여유율 (δ_1)을 구한다.
- 평균출발시격과 평균도착시격을 구하고 아래 제시된 공식을 이용하여 선행 구간 수 조정 여유율(δ_{11})와 후행 구간 수 조정 여유율(δ_{12})를 구할 수 있다.

$$\text{LCS 평균출발시격} + \text{선행 구간 수} \times \delta_{11} = \text{PES 평균출발시격}$$

$$\text{LCS 평균도착시격} + \text{후행 구간 수} \times \delta_{12} = \text{PES 평균도착시격}$$

3.4. 선로용량 상세 시뮬레이션 수행 및 분석

3.4.1. 모수적합도 분석과 선로용량 산정에 적용한 3가지 시나리오이다.

- 서울시흥(단위구간: 노량진-영등포)의 모수적합도 분석과 선로용량을 산정
- 조차장육천(단위구간: 조차장-대전)의 모수적합도 분석과 선로용량을 산정
- 신동동대구(단위구간: 대구-동대구)의 모수적합도 분석과 선로용량을 산정

3.4.2. 각각의 시나리오에 대해 수행순서는 아래와 같다.

- 주행시간 여유율(β)의 산정
- 운행시격 여유율(δ_2)의 산정
- 단위구간의 평균 출발·평균도착시격의 산정
- 구간 수 조정 여유율 (δ_{11} 과 δ_{12})의 산정
- 선구별 선로용량의 산출

3.4.3. 서울-시흥구간에서 PES 및 LCS로 구한 모수값과 선로용량이다.

[표 3] 연동실험수행을 위해 필요한 모수

선 구	모 수			
	Schedule 발생		Random 발생	
서울-시흥	$\beta=1.05$	$\delta_2=0.00$	$\beta=1.05$	$\delta_2=0.00$

[표 4] 연동실험수행을 위해 필요한 구간기초자료

선구별 단위구간	열차종	표준속도 (초)	표준속도 (분)	평균 출발, 도착시각	구간 수	구간거리(km)	궤도절연 거리 (m)	신호기 평균거리 (m)
노량진- 영등포	고속	142	2.37	Schedule	4	3.3	53	600
	새마을	198	3.3	출발 : 6.12 도착 : 6.58				
	무궁화	198	3.3	Random				
	화물	210	3.5	출발 : 6.08 도착 : 6.85				

3.4.4. LCS1 수행결과

- 서울-시흥구간의 δ_{11} 과 δ_{12}
 - $\delta_{11} = 1.12$
 - $\delta_{12} = 2.18$

3.4.5. 선구별 선로용량의 산출 (LCS2수행결과)

[표 5] 선구별 선로용량

선 구	Schedule 발생					Random 발생				
	β	δ_2	δ_{11}	δ_{12}	선로용량	β	δ_2	δ_{11}	δ_{12}	선로용량
서울-시흥	1.05	0	1.10	2.10	175	1.06	0	1.07	2.35	175
조차장-옥천	1.06	0.10	0	1.16	154	1.06	0	0	1.40	149
신동-동대구	1.06	0	2.03	0	152	1.07	0	2.09	0	149

3.5. 선로용량 민감도 분석

선구의 선로용량을 증대하기 위해서는 각 열차들의 속도를 향상시키거나 저속열차의 선구 내 비율을 감소시키는 등의 방법을 사용할 수 있다. 민감도 분석에서는 선구 내의 선로용량을 증대시킬 수 있는 방안을 탐색하기 위한 시나리오를 설정하고 시나리오별 분석을 실시하였다.

3.5.1. 열차비율 변화

고속열차가 기존선 구간에 합류하면서, 여객의 상당부분을 고속열차가 담당할 수 있게 되었다. 이는 구간 내의 평균 운행시간을 감소시킬 수 있으며, 이에 따라 기존보다 선로용량을 증대할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 고속열차를 기존 대비 10% 더 운행할 때의 선로용량을 분석하였다.

[표 6] 서울-시흥 구간 연동실험결과

열차발생방식	β	δ_2	평균출발시격	평균도착시격	δ_{11}	δ_{12}	선로용량
기존결과							
Random	1.06	0	6.08	6.85	1.07	2.35	175대
비율조정결과 (고속열차 10%증가)							
Random	1.06	0	5.78	6.3	0.99	1.98	183대

3.5.2. 열차종의 변화

종래의 새마을 열차와 무궁화 열차는 고속열차의 영향으로 선구 내의 비율이 변하게 되었는데, 본 연구에서는 무궁화 열차가 담당하던 여객수송을 새마을 열차로 대체하였을 때의 실험을 수행하여 선로용량에 미치는 영향을 분석하였다.

[표 7] 서울-시흥 구간 연동실험결과

열차발생방식	β	δ_2	평균출발시격	평균도착시격	δ_{11}	δ_{12}	선로용량
기존결과							
Schedule	1.05	0	6.12	6.58	1.10	2.10	175대
Random	1.06	0	6.08	6.85	1.07	2.35	175대
열차종의 변화결과 (새마을이 무궁화 대체)							
Schedule	1.05	0	5.97	6.53	1.11	2.00	178대
Random	1.06	0	5.85	6.95	1.04	2.40	171대

3.5.3. 열차속도의 향상

열차비율과 열차종의 변화는 기존선에서 운행되는 열차들의 운행시간의 단축을 가져온다. 그러나 이 요인들은 운영측면에서의 효과를 분석한 것이며, 기존 열차들의 성능향상으로 인해 전체적인 속도향상이 이루어지는 경우, 종래의 비율을 유지하면서도 선구의 선로용량은 증대될 수 있을 것이다. 열차속도의 향상 실험의 경우 선구에서 운행되는 모든 열차의 운행 속도를 10%와 20% 향상했을 때의 각각의 결과를 분석하였다.

[표 8] 서울-시흥 구간 연동실험결과

열차발생방식	β	δ_2	평균출발시격	평균도착시격	δ_{11}	δ_{12}	선로용량
기존결과							
Schedule	1.05	0	6.12	6.58	1.10	2.10	175대
Random	1.06	0	6.08	6.85	1.07	2.35	175대
열차속도 10% 향상							
Schedule	1.05	0	5.85	6.18	0.94	1.70	183대
Random	1.06	0	5.58	6.4	0.82	1.90	182대
열차속도 20% 향상							
Schedule	1.05	0	5.58	5.83	0.83	1.38	193대
Random	1.06	0	5.05	5.83	0.57	1.34	199대

선로용량 상세 시뮬레이션 수행 및 분석과 같이 서울-시흥, 조차장-옥천과 신동-동대구를 대상으로 실험을 수행하였다.

4. 결 론

기존선 구간에 KTX가 합류하면서 선구의 재정립이 필요하게 되었다. 재정립된 선구 내에 운행되는 열차종과 열차속도가 변하게 되면서, 선로용량을 다시 구할 필요가 생겼으며, 선로용량 산정에 필요한 모수 역시 수정할 필요가 있다. 본 연구는 선구에 대한 적합한 모수 추정 기법을 마련하고 이를 이용하여 모수의 적정수준을 분석하여 제시할 수 있는 모수적합 및 평가분석을 수행하기 위한 시뮬레이션 모형 즉, 모수적합시뮬레이션 프로그램(PES, Parameter Evaluation Simulator)을 제시하였으며, 개선된 선로용량 산정체계를 기준으로 하여 서울-시흥, 조차장-옥천, 신동-동대구 선구의 모수적합 상세 시뮬레이션을 수행하였고, 열차 운행의 신호체계의 개선과 기존열차들의 성능향상이 이루어질 때의 변화를 예상하여 각 선구별 구간기초자료의 변화에 따른 민감도 분석을 실시하였다.

[참 고 문 헌]

1. 김동희, 김성호, 2003, “철도시스템 개선을 위한 용량분석에 관한 연구”, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집
2. 김동희, 홍순흠, 2003, “특이구조를 갖는 선로구간의 용량분석에 관한 연구”, 대한산업공학회 춘계학술대회 논문집
3. 김동희, 홍순흠, 김봉선, 2002, “철도선로의 용량추정체계”, 안전경영과학회지, 제4권 제3호
4. 김동희, 홍순흠, 류상환, 2002, 다중열차 시뮬레이션 프로그램 개발, 대한산업공학회 추계학술대회 논문집
5. 서정호, 1999, 철도선로용량의 증대방안-이론과 현실에의 적용, 인하대학교 교통대학원 석사학위논문
6. 이병권, 김학식, 이창호, 김봉선, 김동희, 2003, “철도선로용량 계산을 위한 모수 평가모형 개발”, 안전경영과학회 추계학술대회
7. 이창호, 김봉선, 김학식, 이병권, 2003, “선로용량 산정을 위한 모수적합 시뮬레이션”, 대한산업공학회 추계학술대회 논문집
8. 이창호, 김봉선, 김학식, 이병권, 김동희, 홍순흠, 2003, “철도선로용량 계산을 위한 강인성 분석모형에 관한 연구”, IE Interfaces Vol.16. Special Ed., 대한산업공학회
9. 김경민, 이명진, 2002, “Access를 이용한)Database이론과 SQL실습”, 영지닷컴
10. 김태석, 박수현, 권순각, 2001, “Visual Basic 6.0 프로그래밍”, 다성출판사