

# 철도운영 시뮬레이션 S/W-Railsys



노 학 래 한국철도기술연구원  
책임연구원  
(hlrho@krri.re.kr)

## 1 서론

철도시스템의 광범위한 개량은 많은 비용을 필요로 하며, 이는 또한 앞으로 몇십년 동안의 철도 운영 기반을 미리 결정하는 것이다. 인프라 개량 유무에 관계없이 철도운영 상의 변화가 예기치 못한 문제를 야기 시킨다면 이는 운영의 유연성(flexibility)과 신뢰성(reliability)에 부정적 영향을 미치게 된다. 철도운영 시뮬레이션 기법의 도움을 받는다면, 많은 비용을 들여 실험을 해보거나 열차시각표를 실제 운용하여 그 효용성을 따져보기 이전에, 철도 인프라 구조의 변화 또는 운영 프로그램의 변화가 어떠한 결과를 가져오는지에 대해 미리 가늠해 볼 수 있게 된다.

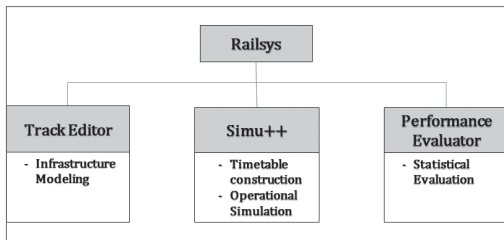
독일 브라운슈바이크(Braunschweig) 공대의 철도건설운영연구소(Institute of Railway Construction & Operation, IVE)는 철도운영 시뮬레이션 평가에 오랜 경험을 보유하고 있으며, 1970년대 시뮬레이션 시스템인 Simu를 처음 개발하였다. 독일연방철도는 인프라의 구조변경 또는 운영 대안을 실행하기에 앞서 대안평가나 결과를 예측하는데 이 시스템을 활용하였다.

Simu에서 upgrade된 *Railsys*에는 실행대안별 시뮬레이션 결과의 정확도를 높이고, 대안별 영향력 평가 등 다양한 기능이 탑재되어 있다. 본 글에서는 *Railsys*를 활용한 철도운영 시뮬레이션의 특징(feature)과 결과물에 대해 설명될 것이다.

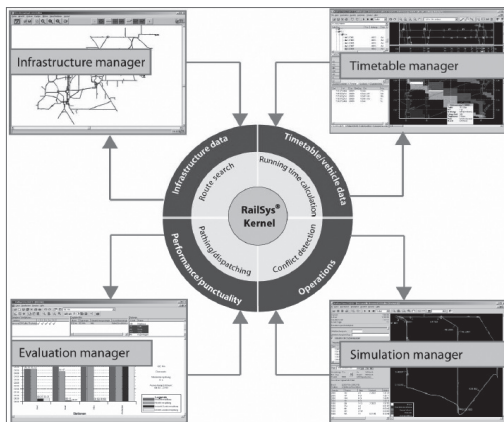
## 2 *Railsys* 열차운영 시뮬레이션

*Railsys* 프로그램 시스템은 주어진 네트워크 상에서 철도운영을 정확하고 쉽게 시뮬레이션할 수 있는 S/W 기능을 제공하며, 표준 PC 환경

에서 구동 가능하다. 데이터 구조를 단순화(lean data structure)한 최적 관리체계를 구축하기 위해 트랙 편집(track layout editing), 열차시각표 작성(timetable construction), 운영 시뮬레이션(operational simulation), 통계평가(statistical evaluation) 모듈이 한 시스템 내에 통합되어 있다.



[그림 1] Components of Railsys



[그림 2] Operational Simulation Tool Railsys

## 2.1 인프라 입력 및 수정

입력 자료의 상세 수집 정도는 운영 시뮬레이션 성과물의 정확도에 영향을 미치게 된다. 따라서 상세 수준(level of detailization)의 정도는 인프라(infrastructure), 신호시스템(signaling system), 철도운영 프로세스(railway operation process)와 관련된 모든 요소를 설명하여야 한다.

열차시각표 작성의 기초는 인프라가 된다.인프라

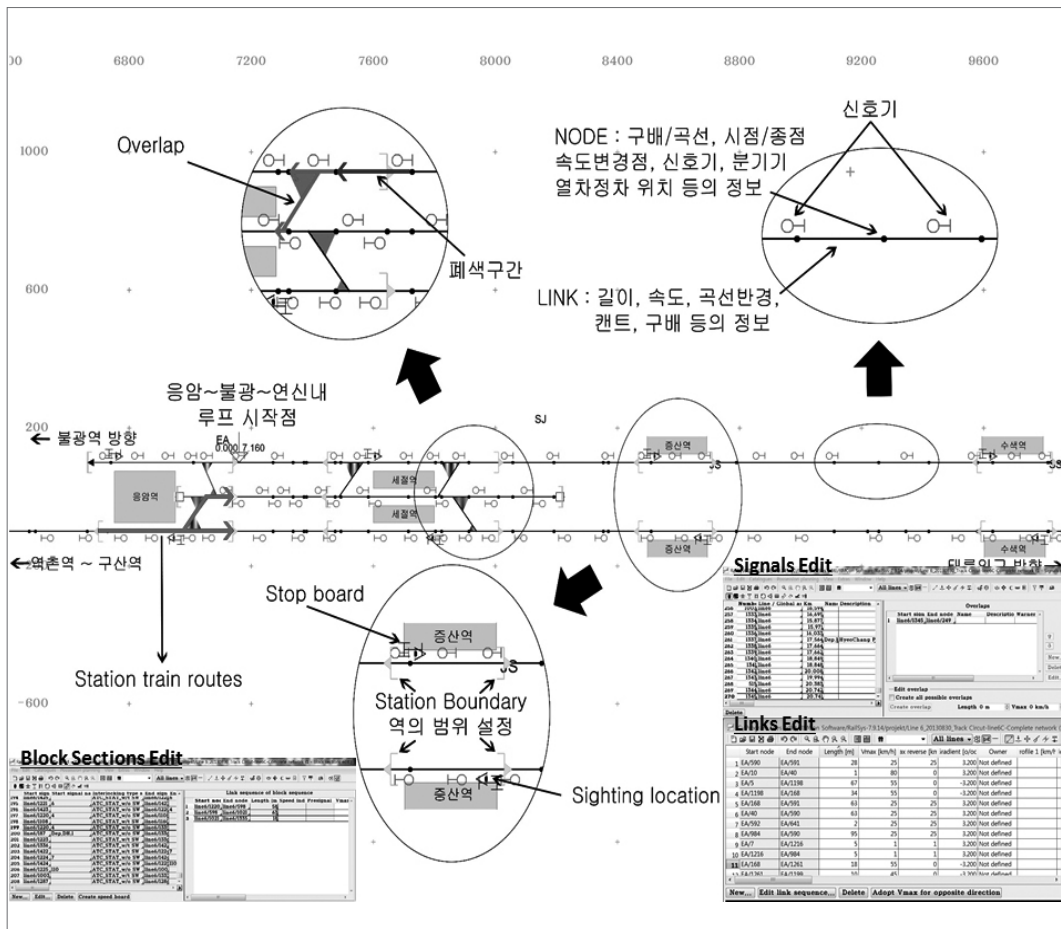
모형화의 요소에는 분기기, 신호기, 정거장, 정차위치, 속도지시기, 플랫폼 및 구내선로 등이 포함된다. 이들 요소에는 길이, 최대허용속도, 신호 현시, 좌표 등 다양한 정보가 저장되며, <그림 3>에서 보는 것과 같은 그림편집기(graphical editor)를 통하여 입력/수정 가능하다. 상이한 자료형식(data format)은 자료변환 인터페이스 기능을 통하여 가져오기(import)가 가능하며, 독일 철도(DB)의 인프라 및 열차시각표 자료는 이러한 기능을 통하여 데이터 변환이 가능하다.

## 2.2 열차시각표 작성

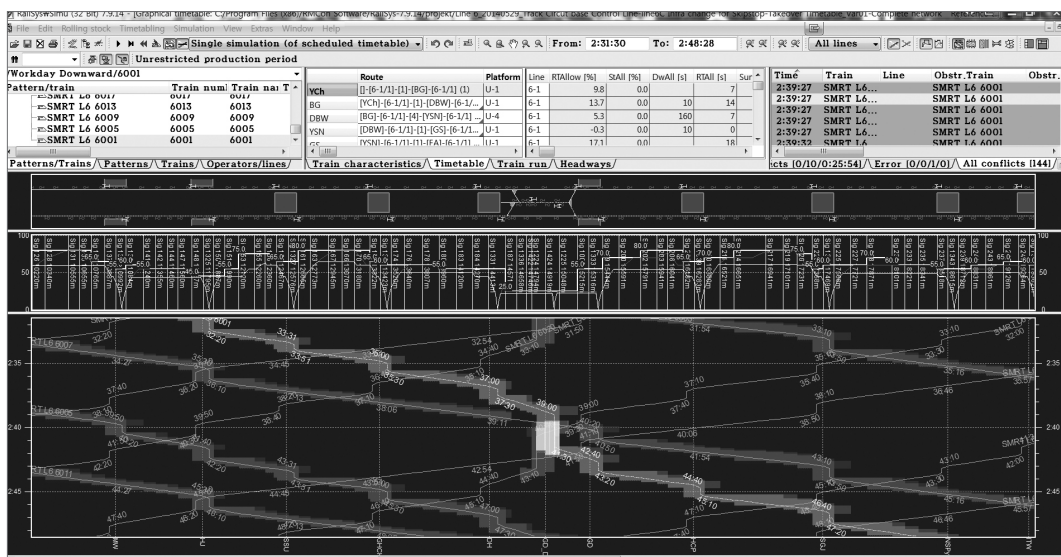
Railsys에서는 열차 운전선도(timetable graph) 창에서 열차시각표의 작성 및 편집이 가능하다. 모든 열차의 주행(train run) 상황은 내부에 탑재된 운전시간 산정 프로그램인 Dynamis를 활용하여 계산된다. 이러한 과정에서 개별 열차 주행경로 상의 모든 폐색구간에 대한 점유시간(occupation times)이 계산된다. 개별 열차위치와 연관되어 폐색점유시간 자료는 다른 열차와의 간섭(conflicts)을 검지하는데 이용된다.

운전시간과 간섭은 열차시각표가 수정될 때마다 계산되며, 수정과정에서 발생한 간섭상황은 별도의 창에 표시된다. 여기에는 간섭에 관련된 열차번호, 간섭의 종류 및 간섭의 크기 등이 포함된다.<<그림 4> 참조

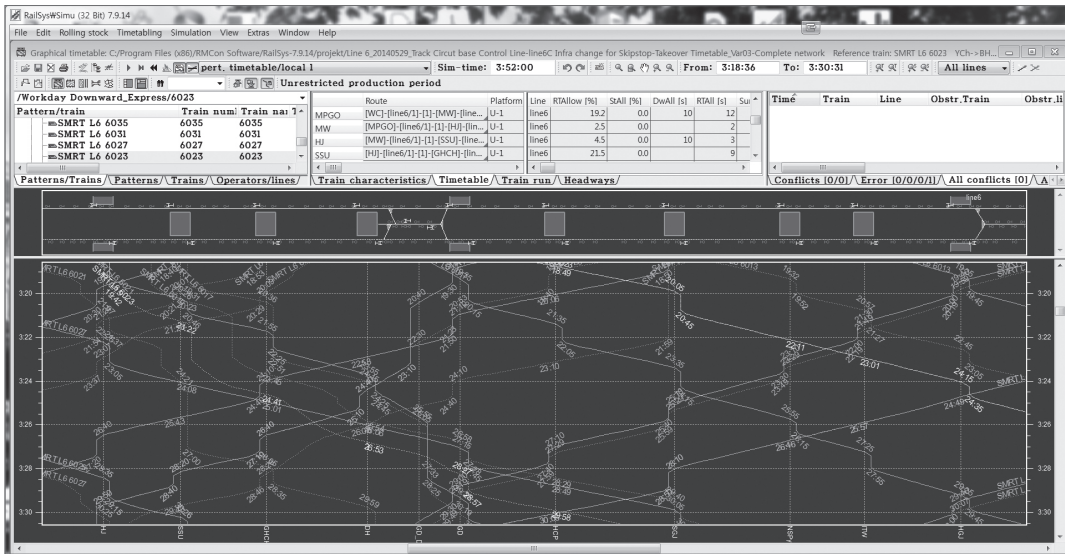
Drag & drop에 의해 열차주행 경로를 움직이거나 구내 주행트랙을 변경함으로써 간섭 없는 열차시각표(conflict free timetable)가 생성될 수 있다. 따라서 Railsys의 열차시각표 작성기능은 계획가가 대규모 네트워크(complex network) 상에서 열차시각표를 쉽게 작성/개선하는 작업을 할 수 있게 한다.



[그림 3] Infrastructure example from the track editor



[그림 4] Conflict detection within the timetable construction



[그림 5] Timetable for a simulation with disruptions (normal line: plan, dotted line: simulation)

## 2.3 다중 시뮬레이션

열차시각표 작성 기능 이외에 다중 시뮬레이션 (multiple simulation)이 Railsys의 핵심기능 중의 하나이다. (<그림 5> 참조) 계획된 열차시각표의 안정성(stability)을 검토(check)하기 위해 운행일별로 차이가 나는 일정 수 이상의 열차시각표(예를 들어 50개)가 생성되며, 이들 시각표에는 무작위로 발생된 지연(disruptions) 상황이 덧붙여진다. 즉, 지연이 정거장 정차위치 또는 네트워크의 임의의 지점에서 각각의 열차주행에 할당되는 것이다.

다중 열차 시뮬레이션은 이러한 열차시각표들을 기반으로 하여 이루어진다. 내부에 탑재된 운전정리 알고리즘(dispatching algorithm)은 열차사령이 이례상황에서 열차 흐름을 제어하기 위해 취하는 조치들을 시뮬레이션 한다. 열차운행에 혼란이 발생했을 때 그 혼란에 의해 직접적으로 발생한 지연 또는 혼란을 일으킨 열차에 의해 2차적으로 발생한 간접 지연을 감소시키기 위해

서는 주행시간 또는 정차시간에 포함된 완충시간(buffer time)이 사용된다.

## 2.4 계획된 열차시각표의 성능 평가

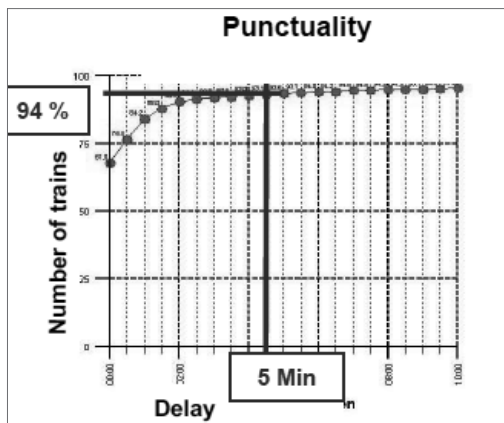
앞에서의 시뮬레이션 결과들은 성능평가 모듈 (Performance Evaluator)에서 종합되어 통계적 평가를 받게 된다. 통계적 평가지표로는 노선(또는 열차종류, 정거장)별 평균 지체, 열차종류 및 정거장별 지연 분포, 노선별 또는 열차종류별 지연의 공간적/시간적 전개정도 및 평균 운전시간 등이 제시된다.

열차시각표의 안정성은 다음과 같은 경우 만족도를 충족시키지 못한다고 판단된다.

- 해당 열차종의 지연 정도가 미리 규정한 한계 값을 초과하였을 때
- 지연된 열차가 열차 운행 중 그 지연을 회복하지 못하고, 네트워크상의 다른 열차에게 그 지연을 전파하는 경우 등

<그림 6>은 계획된 열차시각표 대안의 시뮬레이션 결과에 따른 특정 정거장에서의 지연 분포를

보여준다. 즉, 이 정거장을 통과/정차하는 94% 열차는 5분 이하의 지연으로 운행된다는 것을 시뮬레이션이 보여주는 것이다.



[그림 6] Distribution of delay at a Station

### 3 맺음말

열차운영 S/W *Railsys*는 철도 인프라의 건설 또는 운영계획을 실행하기에 앞서 그 효과를 측정하여 실행대안의 평가를 가능케 한다. 독일철도 및 지방철도 회사에서는 다양한 열차운영 프로그

램을 사전 검증하고 최적의 실행대안을 찾기 위해 *Railsys*를 활용하기도 한다.

*Railsys*의 운영 시뮬레이션 기능은 철도 인프라 또는 운영 담당자(또는 계획가)가 제안된 인프라의 변경이 기존 네트워크 운영에 미치는 영향을 평가하는데 활용할 수 있을 것이다. 또한 새로운 열차 서비스 도입의 성공여부를 추정하는 도구로도 활용될 수 있다. 왜냐하면 철도 운영자에게 이러한 정보는 사업의 실행여부를 결정짓는 핵심 정보이기 때문이다.

특정 정거장에서 당해열차의 지연정도가 열차 운영의 질(operational quality)을 나타내는 가장 중요한 지표로 제시되며, 평균 운전시간, 열차운행 혼란상황 발생 후 지연회복 시간, 2개 정거장 사이에서 지연의 증가 정도 등도 운영의 질을 평가하는 지표로 제시될 수 있다. PC 환경에서 쉽게 취급할 수 있다는 점과 다양한 분석 기능을 제공함으로써 *Railsys*는 철도계획 단계의 복잡 다양한 작업을 효과적으로 처리하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.



#### 참고문헌

1. R. Rudolph, (2000), "Operational Simulation Of Light Rail Systems", Proceedings of the European Transport Conference 2000, Volume P440, pp. 167-178, Cambridge, UK
2. 한국철도기술연구원(2013), "지속가능한 철도계획·운영 통합기반기술 구축", KRRRI 연구 2013-023 기반형 녹색교통물류시스템 실용화 연구
3. IVE(2008), "Overview: IVE & Railsys" (2008 Railsys Workshop at KRRRI), 한국철도기술연구원 철도시스템운영연구팀 내부자료
4. T. Siefer, A. Radtke, (2006), "Evaluation of Delay Propagation", Proceedings of WCRR 2006, Montreal, Canada