

# 열차운영 시뮬레이션과 관련 프로그램 (SW) 현황



김경민 한국철도기술연구원  
철도시스템운영연구팀  
선임연구원  
(kmmkim@krri.re.kr)

열차운영 시뮬레이션 소프트웨어(SW)는 시각표에 대한 열차운영 가능성 분석 혹은 지연 발생에 의한 영향 등을 예측하는데 사용할 수 있다.

## 1 열차운영 시뮬레이션

시뮬레이션은 프로세스(process)나 시스템(system)을 현실과 가능한 유사하게 모사하는 것이다. 따라서 시뮬레이션은 현실에서 의사결정하기 전 여러 시나리오를 작성하고 각 시나리오를 평가하는데 사용된다. 이를 열차운영에 적용하면 서로 다른 시각표에 대한 열차운영 가능성 분석 혹은 지연 발생에 의한 영향 등을 예측하는데 사용할 수 있다.

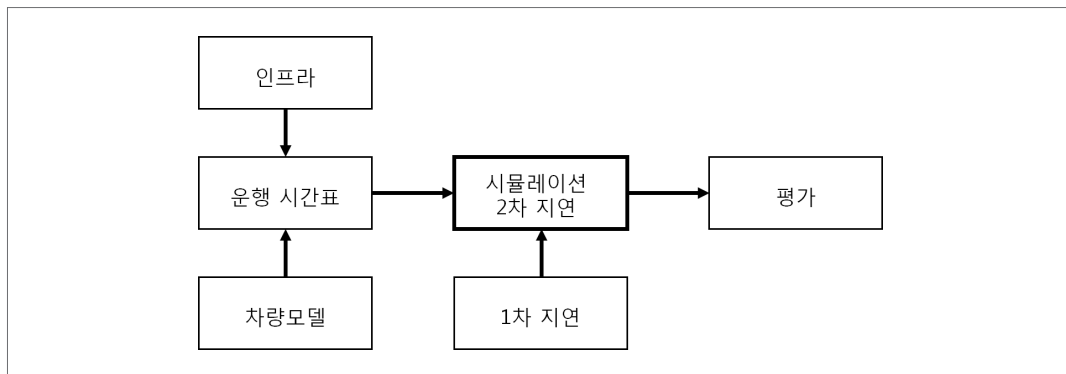
시뮬레이션 결과, 운영상의 요구사항을 충족시키지 못한다면 시각표를 변경하여 새로운 시뮬레이션을 수행한다. 뿐만 아니라, 시뮬레이션을 통해 인프라 확장과 차량의 성능 개선 효과를 분석할 수 있다.

도시 및 광역 철도의 경우 신안산선, 수인선과 같이 신규 건설되는 노선의 경우 급행열차와 일반열차의 혼합 운영을 고려하고 있으며 고속 및 일반철도의 경우에도 네트워크의 확장 및 다수 운영자의 경쟁체계 도입이 예정되어 있으므로 열차운영계획 문제의 복잡성은 증가될 것이다. 따라서, 열차운영계획 수립 시 시뮬레이션 분석에 대한 소요는 점차 증대될 것으로 보인다.

### 1.1 열차운영 시뮬레이션의 요소

열차 운영 시뮬레이션은 목표로 하는 효과에 따라 거시적(macroscopic) 또는 미시적(microscopic) 모델로 구분 한다. 열차운영 시뮬레이션의 주요 요소는 그림 1(Hans, 2015)과 같다.

첫 번째 요소는 인프라로 일반적으로 미시적 모델은 노드-링크 시스템으로 구성되어 있으며 선로전환기, 신호, 속도, 구매 및 곡선 등과 같은 실제 인프라의 모든 필요한 특성과 파라미터를 포함시킬 수 있다. 배선 또한 매우 정밀하게 설정할 수



[그림 1] 열차운영 시뮬레이션 요소

있다. 거시적 모델은 미시적 모델에 비해 데이터를 집합화해서 사용한다. 예를 들면, 정거장을 취급 용량에 관한 특성을 가지고 있는 단일 노드로 정의하고 하나의 링크에 여러 개의 선로, 평균 속도 등에 관한 정보를 포함시킨다.

대형 철도망의 미시적 시뮬레이션 모델은 인프라 데이터 구축 작업에 많은 시간과 노력이 소요되지만 매우 정확한 분석 결과를 얻을 가능성이 있다. 거시적 모델은 훨씬 적은 데이터를 필요로 하나 열차 간의 상호작용 효과를 정확하게 반영할 수 없다. 이것이 중요한 이유는 많은 시뮬레이션의 목적은 주로 열차 간의 상호작용으로 인한 (연쇄효과) 2차 지연을 예측하는 것이기 때문이다. 그러나 거시적 모델은 고도의 정밀한 분석을 필요로 하지 않는 장기계획(long term traffic planning)과 전략적 계획(strategic planning)에 사용할 수 있다. 또한, 거시적 시뮬레이션은 미시적 시뮬레이션에 비해 수행시간이 빠른 장점을 가진다.

열차운영 시뮬레이션의 두 번째로 요소는 가속도와 제동 특성을 포함한 차량의 성능 속성이다. 일반적으로, 차량 성능 속성에는 기관차나 차량편성에 대한 견인력 곡선, 저항 계수 및 가감속도 성능을 포함한다. 일반적으로 열차운영 시뮬레이션

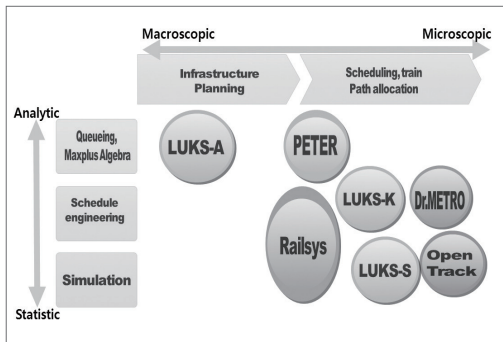
모델에서는 제동 성능을 일정한 제동비로 모델화한다.

인프라 데이터의 입력과 차량 성능 특성이 결정되면 시뮬레이션의 세 번째 주요 요소인 시각표(timetable)를 작성할 수 있다. 시각표는 철도 네트워크에서 열차의 출발지와 도착지, 이동경로(route), 정차역의 도착 및 출발시간 뿐만 아니라 예정된 정차시간과 진로를 포함한다. 그리고 인프라에 대한 열차 간의 점유 경합을 체크한다. 만약 열차에 지연(delay) 및 외란(disturbance)이 발생하지 않는 경우 즉, 열차 시각표에 따라 모든 열차가 운행되는 것을 가정하였을 때, 열차간 경합이 없는 시각표를 실현 가능한 운영 시각표라고 한다.

마지막 요소는 1차 지연이다. 실제 열차 운행 시에는 승객의 승하차 시간 증가로 인한 정차시간 증가, 기상조건 혹은 선로조건 악화로 인한 운행 시간 증가 등 여러 가지 이유로 1차 지연이 발생한다. 그리고 이러한 지연은 이후 많은 열차에 연쇄적으로 지연(2차 지연)을 발생시키게 된다. 이를 모사하기 위하여 열차운영 시뮬레이션에는 미리 가정한 지연 분포에 따라 여러 위치에 있는 열차에 확률적으로 지연을 발생시키는 기능을 포함하고 있다.

## 2 열차운영 시뮬레이션 SW

열차운영 시뮬레이션 소프트웨어(SW)는 사용 목적에 따라 인프라 설계와 같이 장기적 계획을 다루는 거시적 모델과 스케줄링과 같이 미시적 모델로 구분할 수 있다. 또한, SW에 적용하고 있는 방법론의 형태에 따라 해석적(analytic) 모델과 확률적(statistic) 모델로도 구분하고 있다.



[그림 2] 기존 열차운영 시뮬레이션 SW

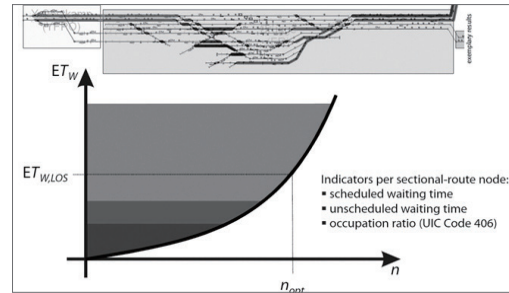
[그림 2]는 기존 열차운영 시뮬레이션 SW를 목적 및 방법론에 따라 구분한 것이다. Railsys 등 많은 SW들이 시뮬레이션기반의 스케줄링을 목적으로 개발되어 있다. 하지만, 장기적 계획 작성을 목적으로 해석적 방법을 사용하는 프로그램은 상대적으로 부족한 것이 현실이다.

### 2.1 주요 SW 소개

#### (1) LUKS

RWTH Aachen대학에서 1996년에 개발을 시작해서 2008년부터 VIA-Con에서 상용화한 SW로 기능에 따라 인프라 설계 및 평가(infrastructure planning)를 수행하는 LUKS-A, 시각표(timetable)를 작성하는 LUKS-K, 작성된 시각표에 대해서 압축(compression)을 통해 용량을 분석하는 LUKS-C, 마지막으로 시뮬레이션

을 수행하는 LUKS-S로 구분되어 있다. 현재 DB-Netz의 스케줄링 시스템 RUT-K는 LUKS-K를 모태로 하여 DB-System에서 개발을 완료하였다.

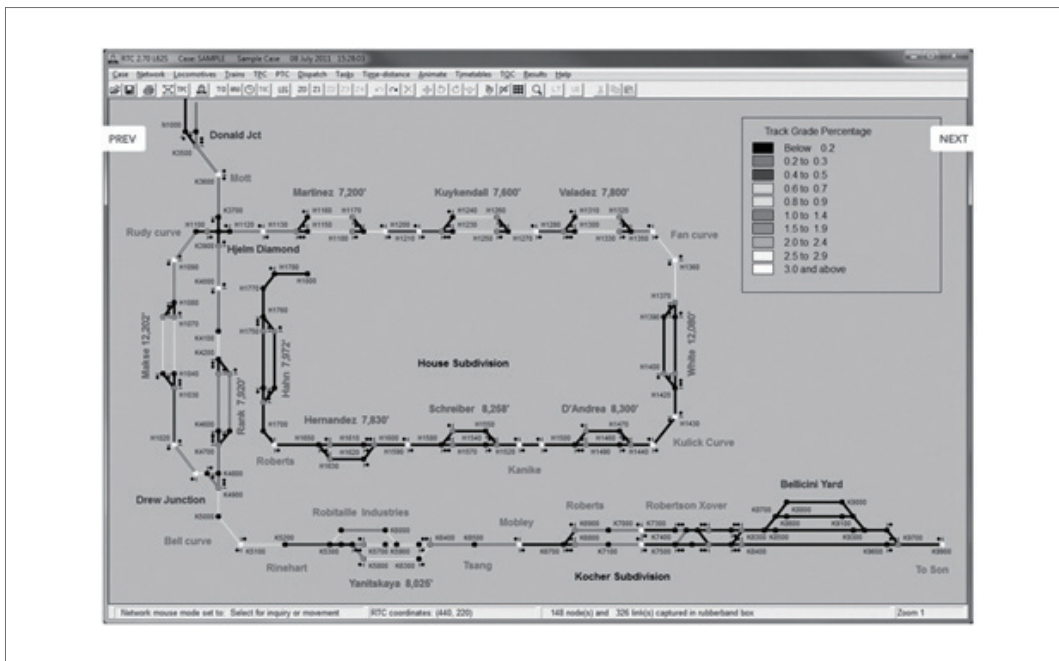


[그림 3] LUKS-S 화면

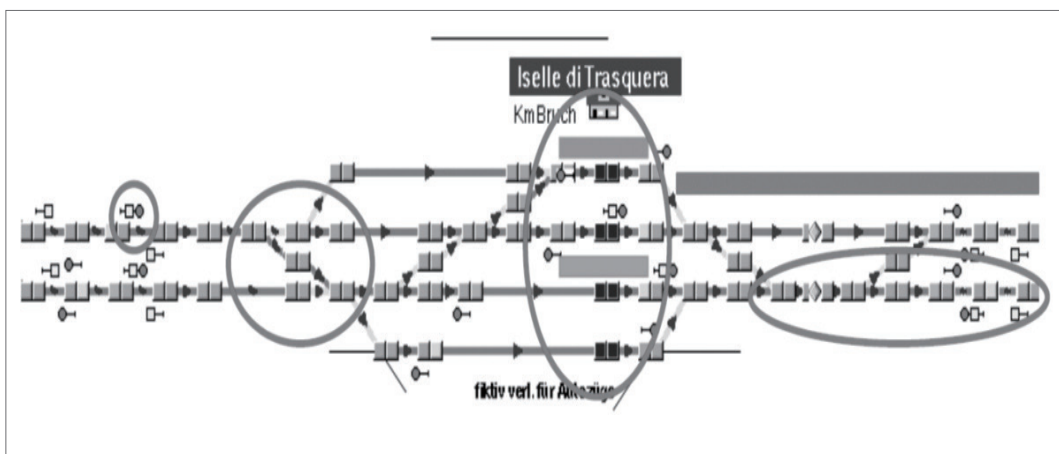
VIA-Con의 다른 SW로 OnTime은 LUKS가 제한된 서브네트워크(sub-network)에서 미시적인 분석만 가능한 한계를 극복하여 대규모 네트워크에서 시각표의 강건성(robustness)을 분석하는 것이 주요기능이다. 또한, OpenTimeTable(OTT)은 LUKS와 OnTime이 과거와 현재의 시각표에 대한 분석이라면 OTT는 과거 시각표로부터의 분석을 통한 열차운행가능성 및 열차지연을 고려한 향후 시각표를 제시하는 것이 주요기능이다.

#### (2) Rail Traffic Controller(RTC)

Berkeley Simulation Software (BSS)에서 개발한 지하철에 특화된 시뮬레이션 SW로 미국 철도산업계를 중심으로 사용되며 다른 SW와 달리 시각표를 기반으로 하지 않는다는 특징이 있다. 즉, 열차의 운행 시격(frequency)정도만 입력한다. Sogin et al.(2011)은 RTC를 사용하여 단선에서 화물열차와 여객열차 비율에 따라서 변화하는 용량변화를 분석하였다.



[그림 4] RTC 화면



[그림 5] OpenTrack 화면

### (3) OpenTrack

스위스 ETH Zurich에서 개발하고, 스위스 소재 OpenTrack Railway Technology에서 판매하고 있는 SW이다. Kantamaa et al.(2013)은 OpenTrack을 사용하여 거점역의 용량을 증대시키는 방안을 수립하는 연구를 수행하였다.

### (4) SimMETRO

Koutsopoulos and Wang(2007)이 개발한 지하철에 특화된 시뮬레이션 SW로 상용화 되지는 않았다. Red Line of the Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA)에 대해서 열차제어방식에 따라 열차운행 효율 차이를 Case-study하였다.

### (5) Railsys

RailSys는 독일 하노버 대학교 소속 Railway Group(IVE)에서 개발하고 이후 브라운스크바이크 대학교에서도 개발한 SW로 상업적 부분은 철도 경영 컨설턴트(RMCon)에서 담당하고 있다.

## 3 시사점 및 맺음말

지금까지 소개한 대부분의 열차운영 시뮬레이션 소프트웨어는 약 20년에 걸쳐 오랜 시간동안 개발 되었다. 예를 들어, 아헨공대에서 개발한 LUKS의 경우 Computer-aided software tool for timetable construction(Brunger et al, 1996)를 시작으로 개발되었고 2008년부

터 Private Company인 VIA Consulting & Development GmbH를 설립하여 독자적으로 관련 SW개발을 진행하고 있다.

이처럼 열차운영 시뮬레이션 SW는 단기간에 개발하여 성과를 내기에 어려운 분야이다. 특히, 상대적으로 철도시장이 규모가 작은 국내에서의 개발은 더더욱 힘들 것으로 판단된다. 따라서, 단기적으로는 기존 SW를 국내실정에 맞게 커스터마이징하여 활용하고 장기적으로는 인프라설계 검증 분야와 같이 기존 SW가 제공하지 못하는 기능에 대한 원천 기술을 대학 및 연구소에서 개발해 이를 바탕으로 관련 SW업체가 지속적으로 유지보수 및 추가 개발을 하는 것이 바람직할 것으로 보인다.



### 참고문헌

1. Hans Sipilä(2015), "Simulation of rail traffic-Methods for timetable construction, delay modeling and infrastructure evaluation," KTH Royal Institute of Technology, PhD Thesis.
2. M. Abril et al.(2007), "An assessment of railway capacity," Transportation Research Part E 44, pp. 774-806.
3. A. Gille, M. Klemenz, T. Siefer(2008), "Applying multiscaling analysis to detect capacity resources in railway networks," Computers in Railways XI: Proceedings of Comprail 2008, WIT Press, Toledo, Spain.
4. H. Koutsopoulos, Z. Wang(2007), "Simulation of urban rail operations: application framework," Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 84-91.
5. V.M. Kantamaa, H. Mäenpää, J.P. Pitkänen(2013), "Simulation as a planning tool for Helsinki railway station yard layout," Report Signal + Draht 10, 55-60.
6. Sogin et al. (2011), "Simulating the effects of higher speed passenger trains in single-track freight networks," Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, Phoenix, USA.
7. O. Brunger(1996), "Konzeption einer Rechnerunterstützung für die Feinkonstruktion von Eisenbahnfahrplänen," RWTH Aachen, PhD Thesis.
8. <http://www.via-con.de/en>
9. <http://www.berkeleysimulation.com>
10. <http://www.rmcon.de/>
11. <http://www.opentrack.ch/>