

열차운용 시뮬레이션을 위한 신호시스템 모델링

Signalling System Modelling for Train Operation Simulation

최규형*
Choi, Kyu-Hyoung

구세완*
Gu, Se-Wan

ABSTRACT

This paper presents a modelling of railway facilities and signalling system based on object-oriented software development technique to simulate multi-train movements on the complex railway network. Block and interlocking functions of signalling system is modelled using Node-Link model of railway network and signal control logic, which can be used to set the train routes and control the train movement. A brief explanation of class design about these model is provided.

1. 서론

열차운용 시뮬레이션은 주어진 시각표에 따라 신호체계를 준수하면서 열차의 주행성능 및 선로조건에 따라 철도망에서 주행하는 다수의 열차들의 운용상태를 컴퓨터상에서 시뮬레이션하는 것으로서, 선로의 구성과 열차운행 시격간의 적절한 관계를 찾아내어 고품질의 철도 서비스를 창출하기 위한 선로투자계획 및 열차운용계획 수립을 지원하는 것을 주목적으로 한다. 즉, 주어진 선로조건하에서 최적의 운송효율을 얻기 위한 열차운용계획 수립 및 열차나 선로 사고시의 열차 지연상황 파악과 그에 대한 대책수립과 같은 열차운용계획분야는 물론이고, 미리 정해지거나 예측 가능한 운송수요 및 열차성능에 대해서 선로조건에 적합한 여부를 검토하여 신선건설 및 기존선로 증설계획 수립과 같은 시설투자계획분야 및 신기술도입에 따른 효과 분석등과 같은 여러 분야에 폭 넓게 적용되는 것을 전제로 한다.

열차운용상황을 시뮬레이션하기 위한 모델링기법으로서 역간 표준운전시분 데이터를 이용하여 열차다이아 선도상에서 열차의 총체적 움직임을 시뮬레이션하는 거시 모델링(Macroscopic Modelling)과, 열차성능제한 및 선로조건등으로부터 열차들의 움직임을 실시간으로 계산하는 미시 모델링(Microscopic Modelling)기법이 사용된다[1]. 일반적으로 열차다이아 자동 작성 프로그램에서는 보다 효율적으로 열차다이아를 작성하기 위하여 거시 모델링을 사용하고 있으나, 열차운용시뮬레이션 프로그램에서는 신호시스템의 특성 및 다른 열차와의 상호간섭에 의한 영향등을 포함하여 정밀하게 열차운용상황을 시뮬레이션하기 위하여 미시 모델링을 사용한다. 이에 따라, 각 열차가 일정 선로 구간을 주행하는데 따른 시각별 위치, 속도, 전력 소비등 열차의 제반 주행성능에 대한 시뮬레이션은 물론, 신호시스템과 연계하여 열차상호간의 영향까지도 고려한 시뮬레이션을 행할 수 있어야 하므로, 열차주행성능에 대한 모델링과 더불어 선로시설 및 신호시스템에 대한 구체적

* 한국철도기술연구원 연구원, 정회원

인 모델링이 수반되어야 한다. 본 논문에서는, 객체지향 소프트웨어 개발 기법을 응용하여 철도선로 시설에 포함되는 선로 및 역, 신호설비에 대한 모델링 기법을 제안함으로써, 보다 효율적인 열차운용 시뮬레이션 프로그램 개발을 위한 토대를 마련하고자 한다.

2. 열차운용 시뮬레이션

열차운행 시뮬레이션 프로그램이 기본적으로 갖춰야 할 기능들을 구현하기 위해서는, 일반적으로 그림1 및 표1에 나타난 프로그램 구성 및 입출력 사양을 가져야 한다.

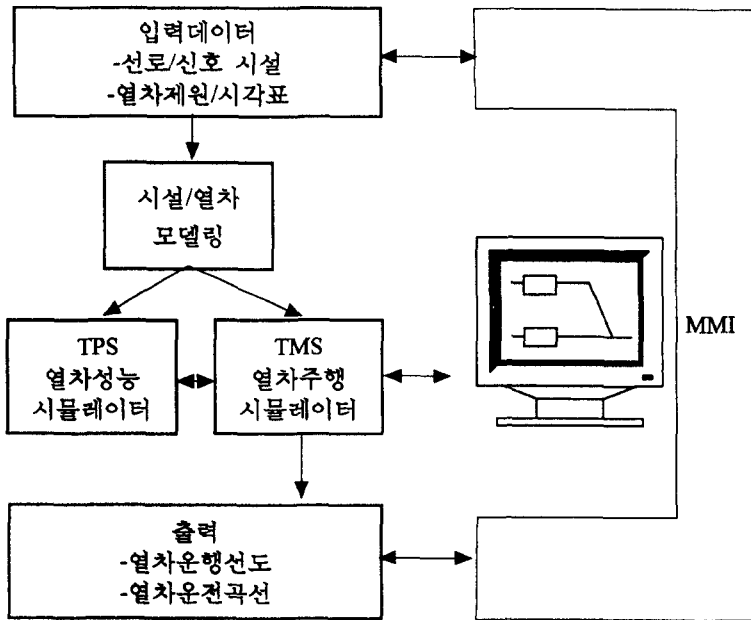


그림 1. 열차운용 시뮬레이션 프로그램 구성

표 1 열차운행 시뮬레이터의 입·출력 사양

| 입 력 | 출 력 |
|---|--|
| 1. 선로 시설 데이터 - 선로망 구조 - 플랫폼 위치/정차지점 - 신호기, 폐색구간의 위치 및 길이, 신호기 제어 로직 - 전철기 위치 및 기능 - 선로의 구배, 곡선, 제한속도, 궤도등급 2. 열차 데이터 - 열차 가감속성능 - 제동성능 - 열차중량, 길이, 최대속도, 하중요소 3. 열차운영계획 - 열차 운행 시간표 - 열차진행 경로 | 1. 열차 다이어 2. 시각표 3. 열차운전곡선 4. 주행 경로 5. 신호기 동작 이력 6. 전철기 동작 이력 7. 시뮬레이션 진행중 열차주행상황 표시 그래픽화면 |

2.1 열차성능 시뮬레이터

TPS(Train Performance Simulator)라고 불리어 지는 것으로서, 선로의 곡선, 구배, 제한최고속도 등의 주어진 선로조건과 가감속/제동특성과 같은 열차성능 데이터로부터 미분방정식으로 표현되는 열차성능 계산식을 이용하여 운전곡선으로 표시되는 열차주행특성을 계산한다.

2.2 열차주행 시뮬레이터

TMS(Train Movement Simulator)는 다수의 열차가 운용되고 있는 선로상에서 열차 상호간 간섭에 의하여 신호현시상태가 바뀌고 열차진행경로가 변화되는 상황에서 열차의 주행상황을 시뮬레이션 하는 프로그램으로써 열차운용 시뮬레이션의 핵심을 이루고 있는 부분들이다. TMS의 입력으로는 신호측면, 열차계획과 배치등을 포괄하는 열차 망의 구성상태와 TPS로부터 출력되는 상세 프로파일들이 요구된다. 시뮬레이션의 기본 기능은 신호상태를 준수하며 선로 위를 주행하는 다수의 열차들의 움직임을 컴퓨터상에서 모사하는 것으로써 다음과 같은 기능이 포함된다.

① 신호기 동작상황 시뮬레이션

열차들의 위치와 신호시스템 고유의 제어 로직에 의한 신호기 동작상황 시뮬레이션

② 열차의 열차주행속도 계산

전방 신호기 상태에 따른 선로구간별 주행속도 제한치를 고려하여 TPS를 이용하여 열차들의 주행 속도를 계산한다.

③ 진로 설정

주어진 열차운용계획에 따라 열차들이 진행할 루트를 설정하고, 전철기나 궤도, 신호기 고장과 같은 사고 발생시 열차들의 진행 루트를 조정할 수 있게 한다.

④ 경합처리

플랫폼이나 특정선로구간에 복수의 열차가 동시에 진입하려고 하여 열차간에 경합이 발생할 경우, 우선 순위를 정하여 열차들의 진행 순서를 설정한다. 우선 순위를 정하는 방법은 사령자 지정에 의한 수동방식과 프로그램 지원의 자동방식에 의한 시간표 순서 방식, 선입 선출 방식, 총지연시간 최소화방식등이 있다. 각 열차의 진행 루트나 운행지연 결과는 TMS의 중요한 출력이 된다.

2.3 MMI(Man-Machine Interface)

시뮬레이션 진행 상황의 용이한 파악 및 효과적인 사용자와의 인터페이스를 위하여 동영상을 사용한 VIS(Visual Interactive Simulation) 기법이 보편화되고 있다. 방대한 량의 데이터 만을 출력하는 종래의 시뮬레이션에서는 특정상황이 발생하였음에도 불구하고 막대한 출력데이터에 묻혀 의사결정자가 이를 간과할 가능성이 있는 반면, VIS에서는 실시간 화상출력에 의해 이상 상황의 발생을 용이하게 검지할 수 있고 시뮬레이션 진행중 여러 가지 파라미터를 변경시켜 봄으로써 모델의 유효성을 검증할 수 있다는 장점이 있다. 열차운용 시뮬레이션 프로그램에서는 열차 위치, 속도 및 진행할 루트를 그래픽 표시(animation)하고 관련 정보를 제공함으로써, 열차운용상황을 한 눈에 파악할 수 있게 하고, 열차간 상호 간섭 패턴 및 열차지연상황을 확인할 수 있게 한다.

3. 철도시설 모델링

철도망을 구성하는 설비는 궤도와 역과 같은 선로설비와 신호설비로 나눌 수 있다. 열차운용 시뮬레이션을 위해서는 이와 같은 설비에 대하여 열차주행과 연계하여 열차위치 및 경로를 지정하고 신호기를 정확하게 동작시키기 위한 상세한 모델링이 요구된다.

3.1 철도망 모델링

그림 2는 본고에서 제안하는 철도망의 모델링 과정을 나타낸 것으로, 다음 3단계에 걸쳐 계층

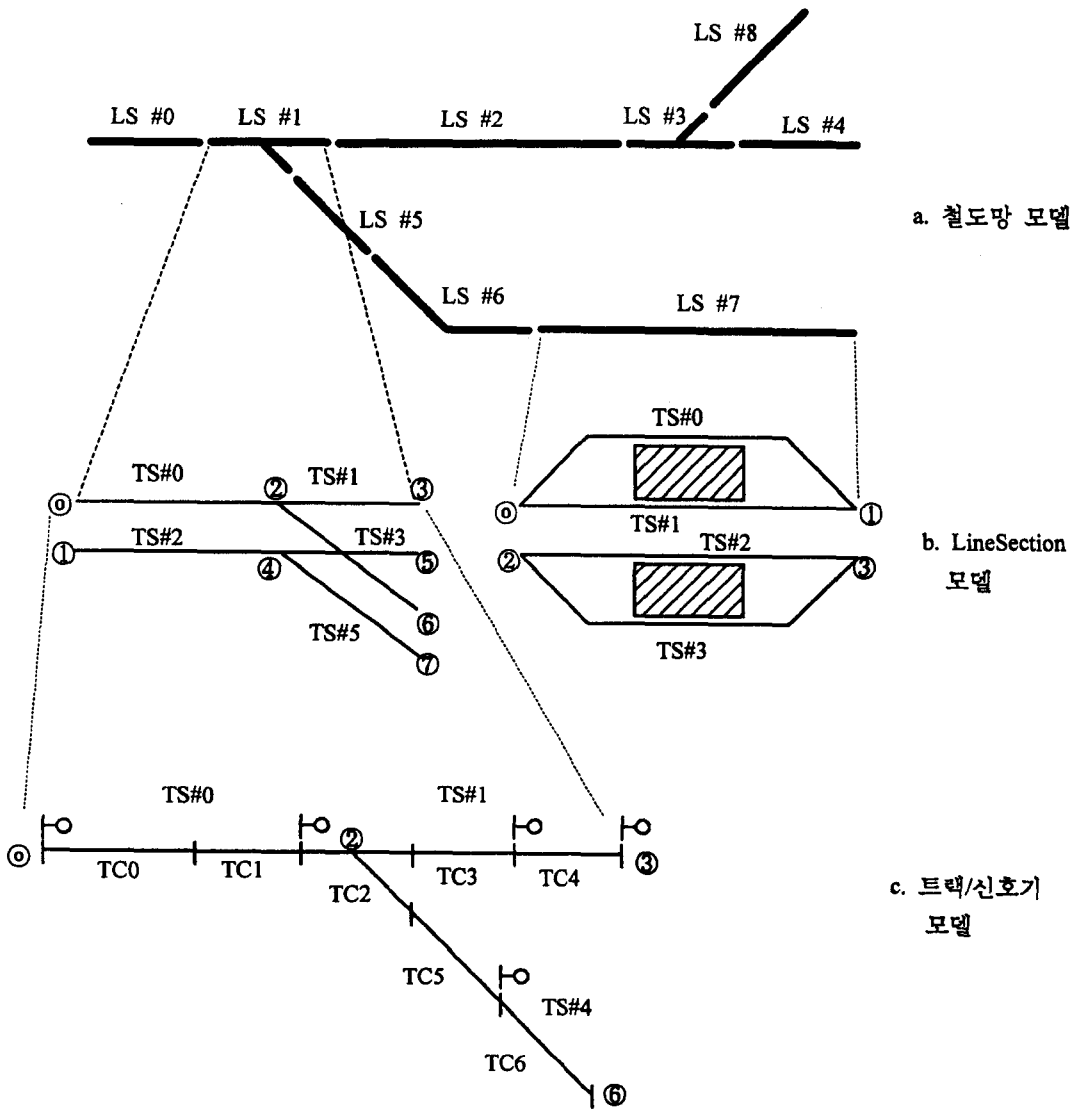


그림 2. 철도망 모델링

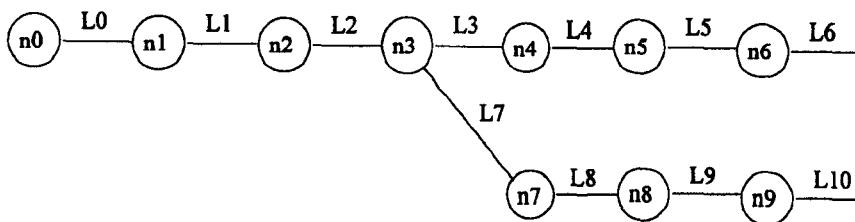


그림 3. Node-Link 모델링

구조로 철도망을 구성한다.

- ① 철도망을 Line Section들의 접속상태를 나타내는 그래프 구조로 모델링한다. 여기서, Line Section은 철도망을 구성하는 선로 구간으로써, 역이나 선로구간 또는 이들의 조합으로 구성한다.
- ② 각 Line Section을 Node와 Link간의 그래프 구조를 나타내는 Node-Link 모델로 구성한다. 여기서, Node는 진로전환기와 같은 교차점을 나타내고, Link는 교차점간의 track section을 나타내는데, 각 Node와 Link 전체에 대하여 일련번호를 부여하고 Node와 Link간의 접속관계를 지정함으로써 Line Section 구조를 모델링한다. 이와 같은 Node-Link모델을 통해서 열차의 진행경로를 임의적으로 설정하고 변경할 수 있다.
- ③ 최하위 레벨의 모델링에서는, 각 Node와 Link를 신호기, 진로전환기, 폐색구간, 궤도회로, 폐색신호기, 연동장치와 같은 보다 상세한 장치단위로 구분하여 그림 3.에 보이는 것처럼 확장된 Node-Link 구조로 모델링한다.

이상과 같은 철도망 모델은 철도시스템의 구성단위를 특성별로 분류하여 정형화함으로써 추상화에 따른 클래스화가 용이하며, 더욱이 철도시스템의 특정 구간을 나타내는 클래스를 하위 클래스를 이용하여 정의함으로써 하위 클래스는 상위 클래스의 특성을 상속받을 수 있는등 객체지향의 소프트웨어 개발기법에 적합하다는 장점이 있다.

그림4는 객체지향형 설계 도구인 RATIONAL ROSE C++로 작성한 Class Diagram으로써, 주요 클래스는 다음과 같다.

(1) Node Class

선로망 구조에서의 절점에 해당하는 클래스으로써, 분기점이나 시발/종착역에서의 시발/종착점등으로 구성되며 전 선로를 통하여 일련번호를 부여하고 실제 위치 데이터를 갖도록 한다.

(2) TrackSection Class

철도망 구조에서 Node와 Node를 연결하는 Link에 해당하는 클래스으로써, 전선로를 통하여 일련번호를 부여하고 접속되는 양쪽 Node의 인식번호를 포함하여 선로망을 구성하도록 하며, Track Section에 포함하는 궤도회로 경계점(Track Circuit Point)의 수에 따라 궤도회로를 구성하는 Segment의 집합으로 구성된다. 또한 선로 구배, 곡선, 최고제한속도 데이터를 포함하게 하여 열차주행 시뮬레이션에 사용할 수 있게 한다.

(3) TrackCircuitPoint Class

궤도회로간의 경계점을 나타내기 위한 것으로써 고유의 일련번호와 위치좌표 데이터를 부여하며, Node 클래스로부터 상속받는다..

(4) Segment Class

Track Section 및 Track Circuit등의 Link를 구성하는 가장 하위의 선로요소 단위로써 고유의 일련번호를 부여하며, segment 양쪽의 Track Circuit Point를 갖고 있어 Node-Link 모델링을 구성한다. 철도망을 그래픽 화면으로 표시하기 위한 기본 단위로 이용한다.

(5) Rail Data, Curve, Gradient, SpeedLimit Class

선로 구간별 곡선반경, 구배, 최고제한속도 데이터를 포함한다.

(6) LineSection Class

철도망을 구성하는 역이나 역간선로와 같은 단위 선로 구조를 모델링하는 것으로써, Node와 TrackSection의 Node-Link 모델에 의한 그래프 구조 및 이를 확장한 TrackCircuitPoint와 Segment의 Node-Link 그래프 구조로 모델링된다.

(7) Line Class

대상 선로 전체를 나타내는 클래스으로써 Line Section의 집합으로 구성되며, 열차성능 시뮬레이션 및 열차주행 시뮬레이터에서 사용할 수 있도록 한다.

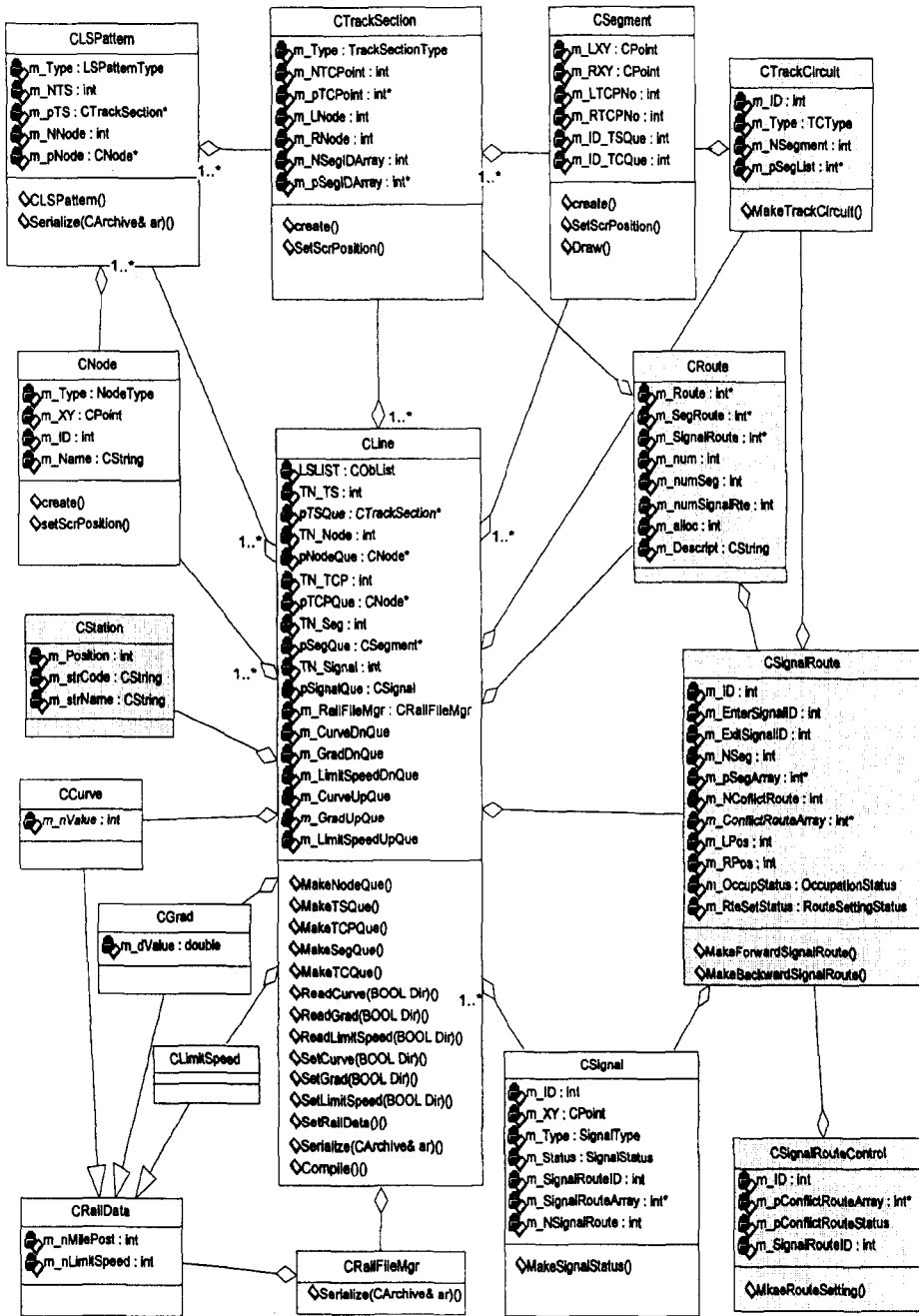


그림 4. 철도망 모델의 Class Diagram

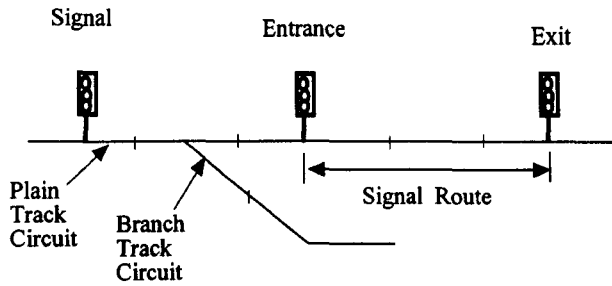


그림 5. 신호시스템의 구성 요소

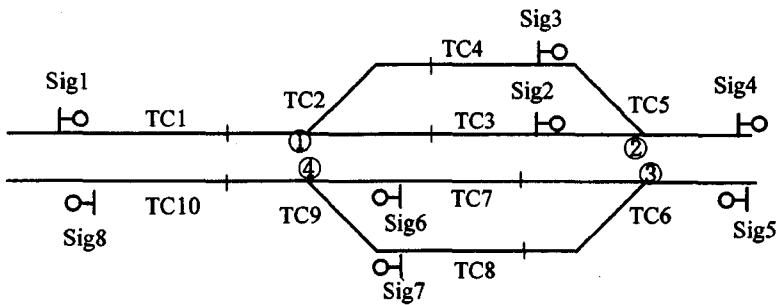


그림 6. 열차진행경로 설정

표 2 Signal Route

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------|---------|---------|---|---|
| Enter Signal ID | 1 | 1 | 2 | 3 |
| Exit Signal ID | 2 | 3 | 4 | 4 |
| 선로전환기 | ① | ① | ② | ② |
| Track Circuit | 1, 2, 3 | 1, 2, 4 | 5 | 5 |
| 경합 Signal Route | 2 | 1 | 4 | 3 |

3.2 신호시스템 모델링

네트워크 구조의 철도선로상에 다수의 열차가 운용되고 있는 상황에서, 열차들의 진행위치에 따른 신호기 현시상태 및 열차의 주행속도와 진로를 시뮬레이션하기 위하여 철도망 모델링을 근거로 하여 다음과 같은 클래스들의 조합으로 신호시스템을 모델링한다.

(1) Track Circuit Class

열차가 궤도회로를 점유할 경우 관련된 Signal Object가 그 현시상태를 정정할 수 있도록 하기 위한 것으로, 철도망에서의 Segment Class들의 조합으로 모델링한다. Track Circuit은 분기기가 포함되는 구간에서의 Branch Track Circuit과 그렇지 않은 경우의 Plain Track Circuit으로 구분하여 모델링한다.

(2) Signal Class

폐색신호기의 경우 신호기 현시 색상을 변경함으로써 접근하는 열차의 속도를 지시하고, 방향

신호기에 대해서는 그 신호기로부터 열차가 진행할 수 있는 복수개의 루트중 하나를 선택하는 기능을 구현하기 위한 것으로써, 신호기 조작과 관련된 Track Circuit 개체 번호와 그 신호기로부터 진행할 수 있는 Signal Route 개체 번호를 갖고 있다.

(3) Signal Route Class

그림4에 보이는 것처럼, 어떤 신호기의 전면에서 열차가 진행할 수 있는 다음 신호기까지의 진로구간으로써 Track Circuit들의 집합으로 구성되며 열차의 진행 루트를 구성하는 기본 단위로 사용한다. Signal Route는 진입 및 퇴출 Signal 객체 번호, 경유하는 Track Circuit 개체번호, 경합 Signal Route 객체 번호등으로 구성되는데, 그림 5의 선로 구조에서의 Signal Route 설정 사례를 표 2에 보인다.

(4) Route Class

열차가 출발역에서 도착역까지 진행하는 전체 루트를 설정하기 위한 것으로써, Signal Route들의 Queue로 정의하며, 사용자의 편의를 위하여 GUI(Graphic User Interface)를 통해서 입력하도록 한다.

(5) Signal Route Control Class

신호연동장치를 모의하여 시뮬레이션 진행중에 각 열차들이 진행하여 점유할 수 있는 진행 루트를 설정하기 위한 것으로써, 시뮬레이션 파라미터로 지정한 수만큼의 Signal Route 객체들의 Queue로 구성한다. 복수의 열차가 특정 선로구간을 동시에 점유하려고 하여 경합이 발생할 경우에는, 주어진 경합처리 원칙에 따라 우선 순위가 높은 열차들부터 진행루트를 확보하도록 하여 열차들의 진행 순서를 제어한다.

4. 결 론

철도 시스템은 복잡한 구조를 갖는 궤도와 신호 시스템, 그리고 열차들의 주행성능, 운전 스케줄등이 복잡하게 작용하는 복합거대시스템이라고 할 수 있다. 이러한 철도 시스템에서의 열차운용 상황을 정확하게 시뮬레이션하기 위해서는 열차들의 주행특성 모델링에 앞서, 우선 철도망 구조 및 신호시스템등의 기간시설에 대한 정밀한 모델링이 필수적이라고 할 수 있다. 본고에서 제안한 모델은 철도망을 계층구조로 분해하여 추상화를 통한 정형화가 용이한 객체지향형 구조로 설계하였으며, 객체지향형 모델의 장점인 프로그램 개발 생산성 향상 및 유지보수 효율 향상은 물론 철도 시설과 관련된 막대한 량의 입력데이터를 데이터베이스화하여 효율적으로 관리할 수 있다는 장점이 있다. 향후, 개발된 철도망 모델을 이용하여 객체지향형 소프트웨어 개발기법을 활용한 열차운용 시뮬레이션 프로그램 개발을 추진할 계획이다.

참 고 문 헌

1. M. ASuka, "A Simulation Model for Rail Traffic using Microscopic and Macroscopic Models", Computers in Railway : Railway Technology and Environment, 1996, pp.287-296
2. P. Giger, "A Data Concept for Simulation of Railway Networks", Computers in Railway Management, 1987, pp.67-76
3. S. Okumura, "Railway Network Simulation System Based on Object-Oriented Technology", Computers in RailwaysIII Voll:Management, 1992, pp.557-568
4. T. Liden, "The new train traffic simulation program developed for banverket and its design", Computers in RailwaysIII Voll:Management, 1992, pp533-544
5. 平尾裕司, "列車制御シミュレーション", 鐵道と電氣技術, 1996.6