

# 철도 전자연동장치의 고신뢰화를 위한 실시간 전문가 시스템

論文

48A - 11 - 14

## A Real-Time Expert System for the High Reliability of Railway Electronic Interlocking System

高銳錫\* · 崔仁順\*\* · 權容勳\*\*\*

(Yun-Seok Ko · Inn-Sun Choi · Yong-Hoon Kwon)

**Abstract** - This paper develops an real-time expert system for the electronic interlocking system. it obtains the higher safety by determining the railway interlocking strategy in order to prevent trains from colliding, and derailing in the viewpoint of veteran expert, considering the situation of station in real-time. The expert system determines the real-time interlocking strategy by confirming the interlocking relationships among signal facilities based on the interlocking knowledge base from input information such as signal, points, and it is implemented as the rule-based system in order to represented accurately and effectively the interlocking relationships. Especially in case of emergency the function which determines the rational route coordinating with IIKBAG on the workstation is designed in order to minimize the spreading effect. It is implemented in C computer language for the purpose of the implementation of the inference engine using the dynamic memory allocation technique, the build and interface of the station structure database. And, the validity of the built expert system is proved by simulating the diversity cases which may occur in the real system for the typical station model.

**Key Words** : Railway Electronic Interlocking System, IIKBAG(Intelligent Interlocking Knowledge Base Generator)  
RTES(Real-Time Expert System)

### 1. 서 론

철도 시스템은 산업발전에 중요한 역할을 담당하는 대규모 운송수단이기 때문에 고속, 고밀도 운전을 통한 운송의 효율화가 추진되고 있다. 그러나, 이러한 운전패턴은 엄청난 사고피해가 우려되는 열차추돌이나 탈선사고를 가져올 수 있기 때문에 열차운행 간격이나 진로를 제어하여 열차운행의 안전도를 확보할 수 있는 신호보안시스템이 도입되어 운용되고 있다.[1-2] 신호보안시스템은 선로상의 열차운행상황을 중앙에서 집중 감시 제어하는 열차집중제어장치(CTC)와 역구내에서의 열차운행을 제어하는 연동장치로 구성되는데, 연동장치는 역구내에서의 연속적인 열차 도착, 출발 및 입환작업 과정에서 빈번한 조작으로 인한 진로 조작자의 실수로 전철기나 신호기가 잘못 조작되어도 열차운행의 안전도를 확보하여 주는 역할을 한다. 연동장치로는 전철기와 신호기 등 신호보안설비들 간을 계전논리를 이용하여 상호 관계시켜 열차운행을 제어하고 동시에 설비고장시 안전측 동작원리에 의해 동작하게 함으로써 높은 안전도를 확보할 수 있는 계전연동장치가 널리 이용되고 있는데 표준화, 연동검사, 안정성, 확장성 및 보수유지 측면에서 제기되는 문제들

을 극복하기 위해 점차 전자연동장치로 대체되고 있다.[3-4] 전자연동장치는 프로그램에 의해서 연동논리가 구현됨으로써 확장성, 보수유지의 편리성을 가짐은 물론, 입출력 데이터들이 컴퓨터에 의해 감시제어 되므로 데이터 처리의 전산화, 신호설비 데이터의 분석을 통한 예방점검 및 신속한 고장설비 확인 그리고 열차운행계획 및 운영의 최적화가 가능하다.[5-6] 전자연동장치는 컴퓨터에 의해서 연동논리가 구현되므로 계전연동장치 이상의 안전도가 확보되도록 하기 위해 안전도 고도화를 위한 연구가 활발히 추진되고 있는데, 문헌 [7-11]은 매트릭스법, 결선도법 등 수개의 연동 논리 구현 기법등이 제안된다. 그러나, 최근들어 소프트웨어의 설계, 보수유지가 편리하며 확장성과 고도의 전문가 레벨에서 연동논리를 구현함으로써 안전도의 고도화가 가능한 전문가 시스템 적용 연구가 새롭게 시도되고 있다. 따라서, 참고문헌 [14]에서는 다양한 구조의 역 모델로 부터 전자연동장치상의 실시간 연동 지식베이스를 자동 생성할 수 있는 연동지식 자동생성 전문가 시스템(IIKBAG)이 제안되었다. 본 연구에서는 IIKBAG로부터 생성되는 연동 지식베이스를 근거로 신호설비들간에 연동규칙을 적용함으로써 확장성과 안정성을 제고할 수 있는 전문가 시스템, RTES가 설계, 구현된다. RTES는 소프트웨어 설계의 단순화를 통한 신뢰도 제고를 위해 규칙기반 시스템으로 설계되며, 궤도회로, 전철기, 신호기등의 입력정보로부터 IIKBAG에서 제공되는 지식베이스를 탐색하여 연동전략을 결정하도록 설계된다. 또한, 제어실패시나 비상시 IIKBAG로 하여금 궤도구조 연결성을 탐색하여 전문가 수준에서 새로운 진로를 자동 결정, 역무

\* 正會員 : 南서울大 電子情報通信工學部 助教授 · 工博

\*\* 正會員 : 쓰리아이(주) 技術研究所 研究員

\*\*\* 正會員 : 光云大 工大 制御計測共學科 碩士課程

接受日字 : 1999年 3月 18日

最終完了 : 1999年 9月 30日

원이 당황하지 않고 신속하고 안전하게 연동업무를 처리할 수 있도록 지원함으로써 연동처리의 고신뢰화를 보장할 수 있도록 설계한다.

## 2. 신호설비와 연동규칙

역은 열차의 진입, 출발 통과는 물론 입환작업시 열차운행이 효과적으로 이루어질 수 있도록 각 방면으로 주 분선과 수개의 부 본선으로 구성된다. 그리고, 열차운행시 안전도가 확보될 수 있도록 케도회로, 전철기, 신호기 등과 같은 신호설비들이 설치되는데, 케도회로는 전기적인 계전기 접점상태에 의해 열차의 점유위치를 확인하기 위해 케도구간상에, 전철기는 열차운행의 방향을 제어하기 위해 분기점에 설치된다. 그리고, 신호기는 해당진로에 대한 열차운행이나 속도제어를 위해 진로 끝에 설치된다. 그럼 1은 대표적인 역의 구성을 보인다.[14] 연동장치는 이들 신호설비들 상호간을 서로 관계시켜 열차가 항상 안전하게 운행되도록 하는 장치로써 전자연동장치는 이러한 연동관계를 컴퓨터를 이용하여 구현하게 된다.

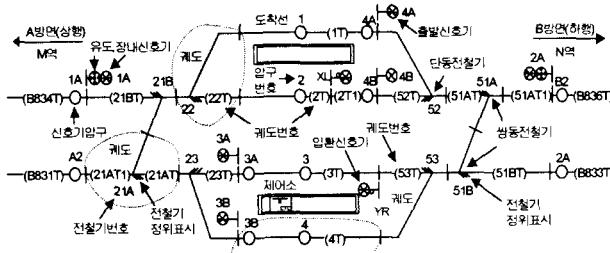


그림 1 대표적인 역 모델

Fig. 1 The typical station model

연동장치가 연동규칙을 적용하는 과정은 열차진입과 출발과정을 통해 설명될 수 있다. 열차집중제어장치(CTC)나 연동장치(IS: Interlocking System)의 진로 취급자는 케도회로 감시를 통해 열차가 적당한 외방구간에 접근하면 압구(1A,1)를 눌러 진행열차의 도착선 1T에 대한 진입허가를 요청한다. 이때, 연동장치는 쇄정관계 SF={21B(정위), 22(반위), 52(반위)}에 근거하여 신호설비들에 쇄정규칙을 적용, 21B를 정위로, 22와 52를 반위로 쇄정함으로써 진입진로와 과주방호구간을 구성하고 도착선 1T에 대해 대향진로가 구성되지 않도록 하며 동시에, 진로에 영향을 줄 수 있는 진로 외의 전철기도 안전한 방향으로 전환, 쇄정함으로써 진입열차가 안전하게 진입할 수 있도록 한다. 이때, 전철기 전환시 철사쇄정 관계에 있는 케도회로에 철사쇄정 규칙을 적용하여 열차나 차량이 존재하지 않는 경우에만 전철기 방향전환이 이루어지도록 한다. 이 과정이 끝나면, 연동장치는 진로 {1A,1}에 대한 신호제어 관계 PT={21BT, 22T, 1T}에 근거하여 신호제어 규칙을 적용, 케도구간들 21BT, 22T, 1T상에 다른 열차 또는 차량이 없는가를 확인한 후, 존재하면 장내신호기 1A가 정지신호를, 그렇지 않은 경우 1A가 진행신호를 현시하도록 해, 진로상에서 열차추돌이 발생하지 않도록 한다. 그림에서  $\otimes$ 는 4현시의 신호기를 나타낸다. 따라서, 일

단, 진행신호에 의해 열차가 장내 신호기 1A의 내방으로 진입하면 21BT, 22T, 1T상에 열차가 존재하므로 현시는 자동적으로 정지를 현시한다. 일단, 열차가 신호기 내방으로 진입하여 신호기가 적색을 현시하면 진로조작자는 압구 {1A,2}를 눌러 진로를 정위로 복위하게 되는데, 이때, 연동장치는 열차 이동중에 전철기의 방향이 전환되면 새로운 진로가 구성되어 열차추돌이나 탈선사고가 우려되기 때문에 진로쇄정 관계 PP={21BT, 22T}에 있는 신호설비들에 진로쇄정 규칙을 적용하여 열차가 케도구간 21BT, 22T를 점유한 후에 순차적으로 전철기 21, 22를 해정하고 최종적으로 열차가 완전히 도착선에 도착하면 대향진로를 해정함으로써 열차운행의 안전도를 확보하게 된다. 특히, 신호기를 정위로 복위할 때 전자연동장치는 접근쇄정 관계에 준하여 접근쇄정 규칙을 적용하게 된다. 즉, 접근쇄정 관계가 AT={B834T(90)}로 표시된다면 열차가 케도 B834T에 접근하는 순간부터 90초 이후에나 신호복위나 진로변경이 가능하도록 함으로써 열차추돌이나 탈선사고를 방지하게 된다. 역내에 정차한 열차가 출발하여 역외로 진출하려는 경우 진로 조작자는 압구 {4A,B2}를 눌러 진로를 반위로 구성하게 된다. 이때, 연동장치는 쇄정관계 SF={52(반위), 51A(정위)}에 근거하여 신호설비들에 쇄정규칙을 적용, 출발 신호기 4A에 대한 대향진로가 취해지지 않도록 쇄정하며, 52를 반위로, 51A를 정위로 쇄정함으로써 안전한 출발진로를 구성한다. 다음, 신호설비 쇄정이 끝나면 진로 {4A,B2}에 대한 신호제어 관계 PT={52T, 51AT, 51AT1, B836T}에 근거하여 신호제어 규칙을 적용, 케도구간들 52T, 51AT, 51AT1 그리고 B836T상에 임의의 열차 또는 차량이 없는가를 확인하게 되는데 만약, 열차가 존재하지 않으면, 출발신호기 4A로 하여금 진행을 현시하도록 하여 열차의 진출을 허가한다. 반면에 만약, 케도 52T, 51AT, 51AT1 그리고 B836T상에 열차나 차량이 존재하여 열차진출 후 사고의 우려가 있는 경우는 출발 신호기 4A는 적색을 현시함으로써 출발을 불허하게 된다. 일단, 출발현시에 의해 열차가 진출하면 압구 {4B,B2}를 눌러 신호기를 정위로 복위시킨다. 이때, 연동장치는 진로쇄정 관계 PP={52T, 51AT1}에 있는 신호설비들에 진로쇄정 규칙을 적용하여 열차가 케도회로 52T, 51AT를 통과할 때까지 전철기들을 쇄정하며, 각 케도회로를 벗어날 때마다 순차적으로 그 케도회로내의 전철기를 해정하게 된다. 그리고, 열차가 케도회로 51AT1를 통과해 역구내를 완전히 빠져나가게 되면 대향진로를 해정한다. 신호기 정위복위시 열차속도가 비교적 저속이므로 접근쇄정 관계 AT={51AT1(30)}에 근거하여 접근쇄정 규칙을 적용, 신호현시 후 30초 이후에 진로변경이 이루어지도록 함으로써 열차운행이 안전하게 이루어지도록 한다. 이와같이 열차의 진입/출발시 연동장치는 연동관계에 있는 신호설비들에 연동규칙을 적용함으로써 열차운행의 안전도를 확보하게된다. 따라서, 열차운행의 안전도는 연동관계에 있는 신호설비들에 연동규칙을 적용하는 문제와 하드웨어적인 쇄정을 소프트웨어적으로 구현하는 문제를 얼마나 정확하고 엄격하게 하느냐에 좌우된다. 일반적으로, 연동논리는 전문가 그룹의 설계, 운영경험에 근거한 규칙들의 형태로 표시되기 때문에 규칙기반 시스템에 근거한 전문가 시스템이 정교한 연동 지식표현 및 보수유지의 편리성으로 보다 높은 신뢰도를 얻을 수 있다는 측면에서 바람직하다.

### 3. 전문가 시스템 설계

전자연동 전문가 시스템은 IIKBAG[14]와 RTES 구성된다. DB는 그래프 이론에 의해서 표시되는 역 구조 데이터 즉, 궤도 데이터, 전철기 데이터, 신호기 데이터 그리고 압구 데이터 등을 포함한다. IIKBAG는 역 DB로부터 메모리에 역 연결성 모델을 저장한 다음, 동적으로 궤도 연결성을 추적하면서 연동규칙과 휴리스틱 규칙에 근거하여 실시간 전문가 시스템의 연동전략으로 사용될 연동 지식베이스를 자동으로 생성한다. LCP는 진로구간 입력과 경보 메시지를 표시하며, LMP는 IS와의 통신을 통해 역 구조를 바탕으로 하여 전철기 방향, 열차 궤도점유상태, 신호현시, 진로를 표시하며 동시에 제어실폐나 궤도회로 이상시 이상진로를 표시하고 IIKBAG의 논리적 추론기능을 이용하여 새로운 대응 진로를 제시한다. 그림 2는 전문가 시스템의 구성과 상호관계를 보인다.[14]

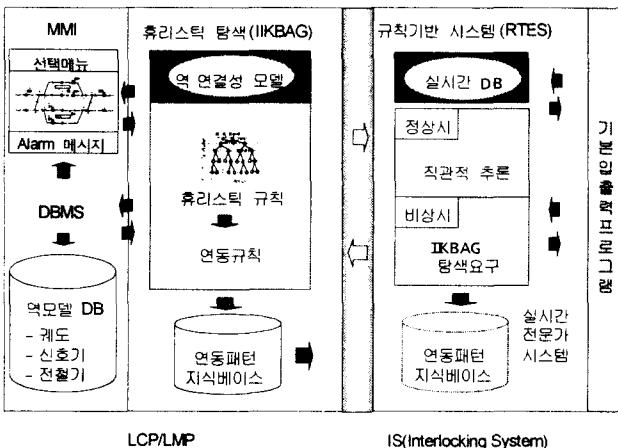


그림 2 전문가 시스템 구조

Fig. 2 The structure of the expert system

IS상에 설치되는 전문가 시스템은 실시간 DB, 연동 지식베이스 그리고 추론기관으로 설계된다. IS상의 전문가 시스템은 LCP를 통해 진로설정 요구가 들어오면 신호설비들을 확인하여 직관적 추론전략에 근거하여 연동전략을 수립한다. 즉, 신호설비 제어전략을 수립하게 되는데, 전철기 방향 전환, 신호현시 제어등을 포함한다. 실제로, 계전연동은 계전기 결선 구조를 이용하여 쇄정을 실행, 안전도를 확보하나 전자연동에서는 소프트웨어적으로 쇄정을 구현하기 때문에 정교한 설계와 다중 검증절차가 요구된다. 전자연동은 계전연동에서 구현되는 다양한 연동규칙들을 프로그램으로 구현하는 것이기 때문에 규칙기반 시스템으로 구현하는 것이 연동규칙을 정확하고 효율적으로 표시할 수 있다는 측면에서 바람직하다.

#### 3.1 실시간 데이터베이스

전자연동장치의 실시간 데이터베이스는 진로, 전철기, 신호기 그리고 궤도회로 등 4개의 테이블로 구성되는 설비 테이

블들로 구성된다. 각 테이블에서 쇄정(Lock)상태는 쇄정 또는 해제(Unlock) 상태를 표시한다. 특히, 쇄정 실행 프로세스 ID는 쇄정명령을 내린 프로세스와 해제명령을 내리는 프로세스가 동일한지를 확인하여 동일한 경우에 대해서만 신호기나 전철기의 해정이 이루어지도록 함으로써 시스템의 안전도를 확보한다. 그리고, failure 상태는 제어후 응답결과가 제어불능 상태로 판명되는 경우 제어불가능 상태를 나타내기 위해서 작성된다. 진로 테이블에서 프로세스 상태는 해당진로에 대한 작업이 처리중인지의 여부를 표시한다. 따라서, 진로에 대한 허가요청시 해당진로에 대한 상태가 쇄정상태이거나 처리중인 경우 해당진로에 대한 처리가 중지된다. 궤도테이블의 과거 점유시간은 해당궤도에 가장 최근에 점유한 시간을 기록함으로써 이상시 차량추적 프로그램에 의해서 차량의 위치를 확인하는데 사용되도록 작성된다. 전철기 테이블에서 쇄정/해정 절차는 앞에 설명된바와 같으며, 방향은 정위나 반위를 표시한다. 그리고 시간쇄정을 표시하기 위해 시간쇄정타이머가 표시된다. 끝으로, 신호기 테이블에는 신호기가 정지를 현시한 후부터 설정된 시간만큼 타이머가 작동되도록 하여, 설정시간 이내에는 해당진로의 전철기가 절환되는 것을 방지, 안전도가 확보되도록 접근쇄정 타이머가 추가된다.

#### 3.2 연동 지식베이스

연동 지식베이스는 전문가 시스템의 연동추론 전략에 의해서 효과적으로 처리될 수 있도록 진로별로 쇄정, 철사쇄정, 신호제어, 진로쇄정 그리고 접근쇄정란으로 구분하여 설계된다. 쇄정란은 설비타입, 설비번호, ID, 그리고 전철기 방향, 타입, 특성으로 설계되며, 철사쇄정과 신호제어란은 궤도번호와 ID로 구성된다. 진로쇄정란은 궤도번호, ID 타입, 시간 쇄정을 포함하며, 접근/보류 쇄정란 궤도번호, ID, 그리고 접근/보류 쇄정시간으로 설계된다.

#### 4. 연동추론절차

실시간 전문가 시스템은 실시간 DB, 진로예비처리, 연동 프로세스들로 구성되는데 특히, 연동 프로세스는 동시처리가 가능하도록 분산 수에 근거하여 수개의 프로세스들로 설계된다. 진로예비처리 프로세스는 항상 MMI로부터 진로가 입력되기를 기다리다가 진로가 입력되면 실시간 DB로부터 진로를 검색하여 해당진로에 상응하는 프로세스가 그림 3에 보인 연동처리 절차를 수행하게 된다.

#### 4.1 연동규칙

RTES는 IIKBAG와는 달리 역의 연결성을 요구하지 않도록 정확하고 단순한 구조의 규칙 기반 시스템으로 구현하여 신뢰도를 높인다. 규칙기반 시스템의 연동규칙들을 설명하기 위해 다음 표기법이 도입된다. 역의 궤도 T는 궤도구간들의 집합이므로  $T = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_n\} = \{LT_1, LT_2, LT_3, \dots, LT_n\}$ 로 표시된다. 여기서,  $T_i$ 는 i번째 궤도구간을,  $LT_i$ 는 i번째 진로구간을 나타낸다. 진로구간은 압구와 압구사이의 궤도구간들의 집합이므로  $LT_i = \{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ 으로 표시하며, 열차의 위치

에 따라 접근구간, 방호구간, 대향구간 또는 진로외 구간중의 하나일 수 있는데, 구별을 위해 각각 ALT<sub>i</sub>, PLT<sub>i</sub>, CLT<sub>i</sub>로 표시한다. 실시간 전문가 시스템은 열차의 위치를 확인하기 위해 임의의 진로구간 LT<sub>i</sub>에 대한 열차점유 상태를 확인하게 되는데, 이때, 열차위치 감시타입 TM<sub>i</sub>는 궤도회로를 가지는 경우 "Auto"로, 그렇지 않은 경우 "Manual"로 표시한다. 그리고, 감시결과는 진로구간 열차점유상태를 가지는 궤도구간들의 집합 OT와 비점유 궤도구간들의 집합 NOT으로 구분할 수 있으므로 LT<sub>i</sub>={OT<sub>i</sub>,NOT<sub>i</sub>}로 표시한다. 대표적인 연동규칙들은 다음과 같다.

RULE 1] 만약 해당진로가 고장이 없고 해정상태이면 진로설정을 허가한다. 이 규칙은 고장진로거나 쇄정진로인 경우 진로설정을 중지함으로써 안전도나 처리 효율성을 높인다.

RULE 2] 만약 해당진로 신호기가 해정상태이고 정지현시이면 진로설정을 허가한다. 이 규칙은 해당신호기의 쇄정상태를 검사, 해정상태인 경우에만 진로설정을 허가함으로써 안전도를 개선한다.

RULE 3] 만약, 해당진로의 접근쇄정시간 AcTime≠0이면 진로설정을 불허한다. 이 규칙은 진로에 대한 접근쇄정이 해정된 후 즉, 열차가 진행현시 후 아직 접근궤도에 진입하지 않았거나, 접근궤도에 진입한 상태에서 진행현시가 나지않아 접근쇄정/보류쇄정이 걸리지 않은 상태 일 때에만 새로운 진로설정을 허가하여 진로변경에 의한 열차사고를 방지한다.

RULE 4] 만약, 해당진로에 대한 대향진로 신호기가 해정상태이고 정지현시이면 신호기를 쇄정한다. 이 규칙은 대향진로가 존재하는 경우 대향진로 신호기가 해정상태이고 정지현시인 경우에만 진로설정을 허가하여 대향진로가 구성되는 것을 방지함으로써 열차운행의 안전도를 확보한다.

RULE 5] 만약, 방호구간내에 열차가 존재하면 진로설정을 불허한다. 이 규칙은 해당진로가 비점유상태인 경우에만 진로설정을 허가, 열차추돌을 방지하기 위한 규칙이다.

RULE 6] 만약, 전철기가 일반쇄정이나 시간쇄정(Time Lock) 상태인 경우 전철기 쇄정을 불허한다. 이 규칙은 일반쇄정에 걸려있지 않은 전철기에 대해서만 전철기 쇄정을 허가하여 진로구성을 위한 전철기 방향전환을 허가함으로써 임의의 전철기 전환에 의한 사고를 방지한다. 또한, 유효길이가 부족하여 도착선이 전철기를 포함하는 경우 열차가 출발할 수 있는 충분한 시간 후에 전철기를 해정함으로써 열차운행의 안전성이 확보되도록 한다.

RULE 7] 만약, 전철기가 정상상태, 자동조작 타입이며 해당 궤도에 열차가 없는 경우에 전철기 전환을 허가한다. 이 규칙은 고장이 없고 전자연동장치에 의해서 제어되는 전철기에 대해서만 전철기 전환을 허가함으로써 수동작업중인 전철기의 오조작으로 인한 열차사고를 방지하고, 해당궤도에 열차가 존재하지 않는 경우에만 전철기 전환을 허가하여 탈선이나 추돌사고를 방지한다.

RULE 8] 만약, 전철기 전환시간(약 5~7초)내에 전철기 방향전환에 실패하면 전철기 고장으로 간주한다. 이 규칙은 전철기 조작명령 후 전환시간이 경과한 후에도 전철기 방향전환이 이루어지지 않은 경우 고장으로 간주하여 진로설정 작업을 중지함으로써 사고를 방지하며 동시에, 전문가 시스템으로

하여금 논리적 추론을 시도, 새로운 진로를 설정하게 한다. RULE 9] 만약, 신호기 제어에 실패하면 MMI로 하여금 신호기 고장을 표시하고 진로설정은 계속한다. 이 규칙은 신호기 고장시 방호구간에 대한 전철기 전환/쇄정은 계속하여 열차 진입 조건을 만족시킴으로써 과급효과를 최소화한다. 이때, 신호기는 안전측 동작원리에 의해 고장시 정지신호를 현시함으로써 열차로 하여금 경계상태에서 진입을 허용한다.

RULE 10] 만약, TM="Auto", AOT<sub>i</sub>≠{}, ST="DRIVE"이면 접근쇄정시간 AcTime을 설정한다. 이 규칙은 궤도회로감시를 통해 열차가 접근궤도로내에 진입한 상태에서 신호기가 진행을 현시하거나, 진행현시인 상태에서 열차가 접근궤도구간으로 진입하는 경우 접근쇄정시간 AcTime을 설정하여 이 시간만큼 새로운 진로를 지연함으로써 열차운행중에 전철기 전환에 의한 열차추돌/탈선을 방지하기 위한 규칙이다.

RULE 11] 만약, TM="Auto", POT<sub>i</sub>≠{}이면 정지신호를 현시한다. 이 규칙은 궤도회로감시를 통해 열차가 접근궤도로를 경유하여 신호기 내방 궤도구간으로 진입하기 시작하면 정지신호를 현시함으로써 후속열차의 진입을 막는 규칙이다.

RULE 12] 만약, 열차가 정해진 단계대로 추적되지 않는 경우 RULE 13]을 구동시킨다. 이 규칙은 궤도회로 고장이나 기타원인으로 열차추적 실패시 RULE 13]을 통해 정확한 열차위치를 확인하기 위한 규칙이다.

RULE 13] 만약, 실시간 위치패턴과 동일한 패턴이 발견되면 동일한 패턴을 열차위치 패턴으로 한다. 이 규칙은 열차추적 실패시 실시간 패턴과 가능한 모든 패턴을 비교하여 동일한 목표패턴을 확인, 열차점유위치를 확인하여 열차추적을 계속하기 위한 규칙이다.

RULE 14] 만약, 열차추적에 성공하고 StTime이 경과한 후 열차위치=Step<sub>end</sub>이면 열차정지로 간주한다. 이 규칙은 정확한 열차추적에 의해 열차가 도착선에 도착한후 StTime후에도 열차위치가 최종위치 Step<sub>end</sub>와 동일한 지의 여부를 확인하여 열차의 정지여부를 확인하기 위한 규칙이다.

RULE 15] 만약, 열차위치가 Step<sub>end</sub>-DT와 동일하면 방호구간을 완전히 벗어난 것으로 간주한다. 이 규칙은 진로의 유효장이 부족하여 열차가 방호구간을 완전히 벗어나지 못하고 열차 끝이 궤도 DT에 남는 경우에도 열차가 방호구간을 완전히 벗어난 것으로 간주하여 대향진로 신호기 CS를 해정하기 위한 규칙이다.

RULE 16] 만약, FS가 정지현시이면 신호기를 해정한다. 이 규칙은 열차가 신호기 내방 궤도구간으로 진입한 상태에서 신호정자가 복위되도록 허용함으로써 열차사고를 방지한다.

RULE 17] 만약, 전철기가 시간쇄정이 요구되면 시간쇄정(Time Lock)의 시소분을 설정한다. 이 규칙은 유효길이가 부족하여 도착선이 전철기를 포함하는 경우 열차가 출발할 수 있는 충분한 시간 후에 전철기가 해정되도록 함으로써 열차운행의 안전성을 확보하기 위한 규칙이다.

#### 4.2 연동추론절차

전문가 시스템의 추론절차는 그림 4에 보인다. 전문가 시

스템은 MMI에 의해 진로설정 요구가 들어오면 RULE 1-2]에 의해 해당진로의 이상이나 쇄정상태를 확인한 후 진로설정이 가능하면 RULE 3]에 의해 접근쇄정상태를 검사한다.

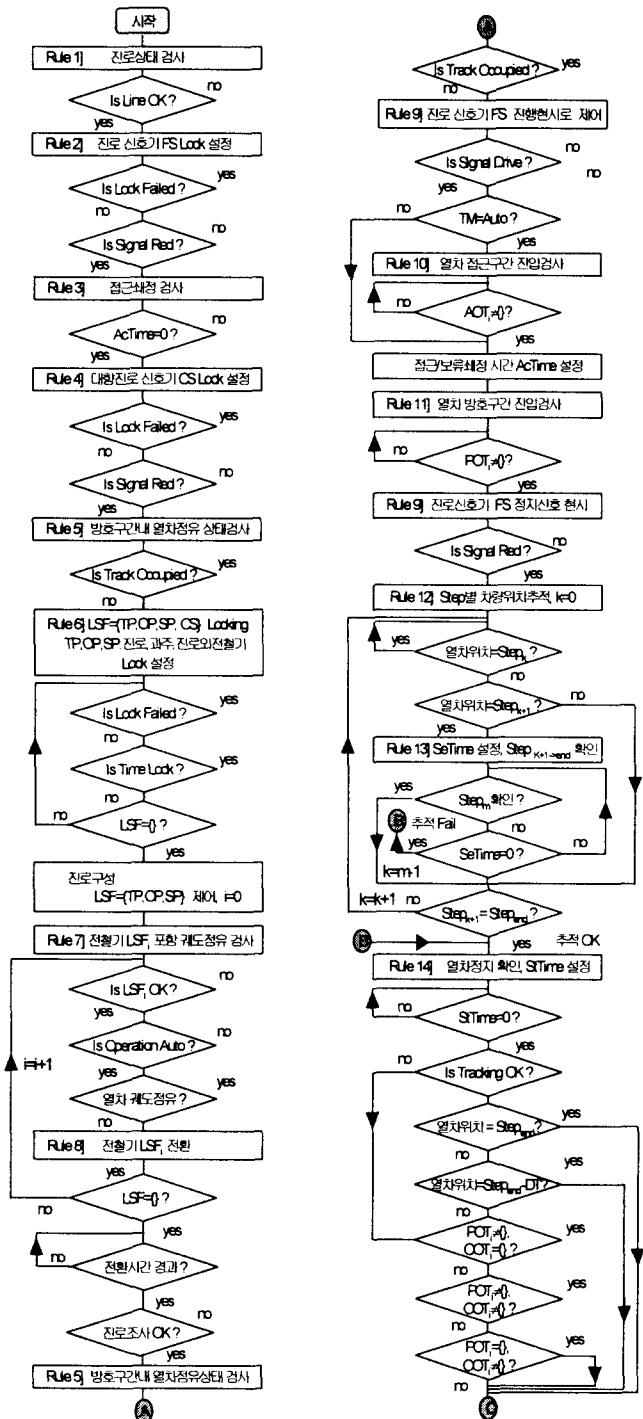


그림 3 연동처리 절차

Fig. 3 The interlocking procedure

만약, 접근쇄정이 걸려있지 않으면 RULE 4]에 의해 해당진로에 대한 대향진로 신호기를 쇄정, 다른 프로세스에 의해 처리되지 않도록 한다. 다음, RULE 5]에 근거하여 방호구간

내 열차점유상태를 확인하여 열차가 존재하지 않으면 RULE 6]에 의해 해당진로에 대한 진로상 전철기, 과주구간 전철기, 그리고 진로외의 진입의 우려가 있는 진로상의 전철기들을 확인하여 다른 프로세스에 의해 처리될 수 없도록 쇄정한다. 그리고, 쇄정된 전철기들에 대해 RULE 7-8]에 의해 전철기 방향을 전환하여 진로를 열차진입이나 출발을 위한 안전한 방향으로 구성한다. 다음, RULE 5]에 의해 다시 열차점유상태를 감시하여 진로가 구성된 방호구간내에 열차가 존재하지 않으면 RULE 9]의 정의에 따라 장내/출발 신호기를 진행현시로 제어하여 열차 진입이나 출발을 허가함으로써 최종적으로 진로가 설정되게 한다. 일단 RULE 1-9]에 의해 열차의 진입/출발을 위한 진로설정이 끝나면 궤도회로를 통해 열차의 위치를 확인하면서 열차가 접근구간내에 존재하거나 진입함으로써 RULE 10]을 만족하게 되면 접근제정 시간을 설정하여 진로취급자가 열차 진입중에 진로변경을 할 수 없도록 한다. 다음, 열차가 접근구간을 거쳐서 장내/출발신호기의 내방구간으로 진입함으로써 RULE 11]을 만족하면 진로신호기를 RULE 9]에 근거, 정지신호로 현시하여 후속열차가 진로에 진입하는 것을 방지한다. 동시에 RULE 12]에 의해 열차추적을 계속하여 열차위치가 최종위치 Step<sub>end</sub>에 도달했는지의 여부를 확인한 후 RULE 14]로 간다. 여기서, Step<sub>end</sub>는 열차진입의 경우 도착선의 정지위치를 그리고 출발인 경우 방호구간에 대한 열차진출 위치를 나타낸다. 그러나, 만약, 궤도회로의 고장이나 신호오류로 열차위치가 불확실해지는 경우 RULE 13]에 의해 열차위치 패턴이 가능한 모든 패턴중에서 동일한 패턴을 보일 때 까지 반복적인 열차추적 작업을 벌여 동일한 패턴이 확인되면 그 패턴을 열차위치 패턴으로 하여 다시 RULE 12]에 근거하여 열차위치 추적을 계속한다. 반면에, 허용된 시간 SeTime내에 열차추적에 실패하는 경우 열차추적을 실패로 설정하고 RULE 14]로 가서 열차정지여부를 확인한다. 다음, RULE 14]에 의해 진입열차인 경우 열차의 정지여부를 확인하여 그 위치에 따라 대응하는 전략을 수립하게 되는데, 정확하게 도착/진출한 경우 RULE 15-16]에 의해 진로와 대향진로 신호기, 그리고 과주구간이나 기타의 전철기를 해제한다. 그러나, 이때, 도착선의 유효길이가 부족하여 시간제정이 요구되는 경우 RULE 17]에 의해 전철기에 대한 시간제정을 설정한다. 이와같이 연동규칙 RULE 1-17]에 의해 열차의 진입이나 출발시 열차운행의 안전도가 확보될 수 있는데, 그림 3에서 ④ 이후의 다른 흐름은 단순화를 위해 생략하였다.

## 5. 시뮬레이션 결과

전문가 시스템은 규칙기반 시스템으로 IIKBAG로부터 생성된 연동 지식베이스에 근거를 두어 신호설비들의 상호 연쇄관계를 실현시킨다. 이때, 연동 지식베이스가 정확하다면, 열차운행의 안전도는 전문가 시스템의 연동처리의 정확성에 좌우된다. 따라서, 여기에서는 제안된 전문가 시스템의 연동처리에 대한 정확성을 검증하기 위해서 그림 4의 모델역에 대해서 다양한 시나리오를 모의한다. 그림 4의 역에서는 상행선 4개 진로와 하행선 4개 진로를 포함하여 총 8개의 정규진로가 존재하는데, 여기서는 그중 4개의 진로 (1A,1), (4A,B2), (2A,4), (3B,A2)에 대한 성능 검증결과를 보인다. 성능검증은

각각의 진로에 대해 쇄정, 철사쇄정, 신호제어, 진로쇄정 그리고 접근쇄정 역역에서 발생할 수 있는 다양한 시나리오들에 대해 실시한다.

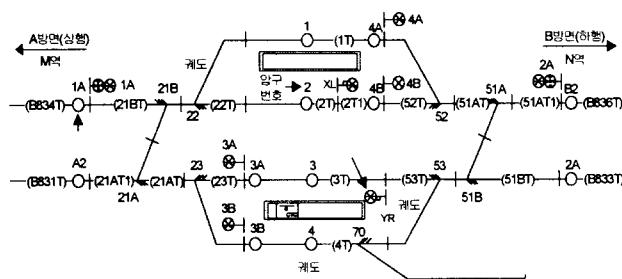


그림 4 성능검증을 위한 역 모델

Fig. 4 Model station to prove the performance

표 1 진로 {1A,1}, {4A,B2}에 대한 성능검증 결과

Table 1 Proof results for the routes {1A,1}, {4A,B2}

검증 진로	검증 내용	경우 #	Lock 신호설비	열차점유 궤도구간	Failure 전철기	접근쇄정 Timer	전문가시스템 추론결과
{1A,1}	쇄정	1				0	쇄정OK
		2		21BT,22T		x	쇄정Fail
		3	21			x	쇄정Fail
		4			52	x	쇄정Fail
	철사 쇄정	5		22T			22 Fail
		6		52T			52 Fail
		7		1T			22,52 OK
	신호 제어	8		B834T			GREEN
		9		22T,1T			RED
		10		1T			RED
	진로 쇄정	11		21BT			21,22쇄정
		12		22T			21,22쇄정
		13		1T			21,22해정
	접근 쇄정	14		B834T		90	진로Fail
		15		B834T		0	진로OK
{4A,B2}	쇄정	1				0	쇄정OK
		2		52T		x	쇄정Fail
		3	51			x	쇄정Fail
		4			52	x	쇄정Fail
	철사 쇄정	5		52T			52 Fail
		6		51AT			51 Fail
		7		B836T			22,52 OK
	신호 제어	8		1T			GREEN
		9		52T			RED
		10		52T,51AT			RED
	진로 쇄정	11		B836T			YELLOW
		12		52T			52,51쇄정
		13		51AT,51AT1			52,51쇄정
	접근 쇄정	14		B836T			52,51해정
		15		B836T		90	진로Fail
	16			B836T		0	진로OK

먼저, 쇄정영역에서는 쇄정대상 신호설비들이 모두 정상이고 아직 다른진로에 의해서 쇄정되지 않았을 때 정확히 쇄정

에 성공하는지의 여부와 쇄정대상 전철기나 신호기가 이미 쇄정상태이거나 고장인 경우 또는 열차가 궤도를 점유하는 경우 정확하게 쇄정에 실패하는지의 여부를 검증한다.

표 2 진로 {1A,1}, {4A,B2}에 대한 성능검증 결과

Table 2 Proof results of for the routes{2A,4},{3B,A2}

검증 진로	검증 내용	경우 #	Lock 신호설비	열차점유 궤도구간	Failure 전철기	접근쇄정 Timer	전문가시스템 추론결과
{2A,4}	쇄정	1					0 쇄정OK
		2			51BT,53T		x 쇄정Fail
		3	70				x 쇄정Fail
		4				23,70	x 쇄정Fail
	철사 쇄정	5		51T			51 Fail
		6		53T			53 Fail
		7		4T			51,53 OK
	신호 제어	8		B833T			GREEN
		9		53T,4T			RED
		10		4T			RED
	진로 쇄정	11		51BT			51,53쇄정
		12		53T			51,53쇄정
	13			4T			51,53해정
	접근 쇄정	14		B833T		90	진로Fail
		15		B833T		0	진로OK
{3B,A2}	쇄정	1				0	쇄정OK
		2			23T		x 쇄정Fail
		3	21				x 쇄정Fail
		4				23	x 쇄정Fail
	철사 쇄정	5		23T			23 Fail
		6		21AT			21 Fail
		7		B831T			23,21 OK
	신호 제어	8		4T			GREEN
		9		23T			RED
		10		23T,21AT			RED
	진로 쇄정	11		B831T			YELLOW
		12		23T			23,21쇄정
		13		23T,21AT1			23,21쇄정
	접근 쇄정	14		B831T			23,21해정
		15		B831T		90	진로Fail
	16			B831T		0	진로OK

철사쇄정 영역에서는 쇄정관계에 있는 궤도회로를 열차가 점유하는 경우 정확히 철사쇄정 규칙에 근거하여 쇄정에 실패하는지의 여부를 점검한다. 반면에, 신호제어 영역에서는 방호구간내에 열차가 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우를 정확하게 인식하여 신호제어 규칙을 실현하는지를 검증하며, 진로쇄정 영역에서는 열차가 궤도를 점유한 다음 도착선에 도착하거나 외방으로 진출한 다음 정확하게 전철기들을 해제하는지를 확인한다. 끝으로, 접근쇄정 영역에서는 접근궤도에 열차가 존재하고 접근쇄정 타이머가 동작하고 있을 때 진로설정을 계속하는지 또는 정확하게 진로설정을 중지하는지의 여부를 검증한다. 표 1은 진로 {1A,1}, {4A,B2}에 대한 성능검증결과를 보이며, 표 2는 진로 {2A,4}, {3B,A2}에 대한 성능검증결과를 보인다. 전문가 시스템은 표 1, 2에서 보인바와 같이 4개 진로에 있어서 각각의 시나리오 영역에서 발생

할 수 있는 다양한 시나리오들에 대해 정확한 추론결과를 보임으로써 그 유효성을 입증하였다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 전자연동장치의 연동처리 지원을 위한 전문가 시스템 RTES를 설계, 구현하였다. 전문가 시스템은 실시간 환경에서 안전도 확보와 복잡한 연동규칙들을 효과적으로 처리하기 위해 규칙기반 시스템으로 설계하였다. 또한, 신호설비들의 동적변화를 효과적으로 표시하기 위해 실시간 DB를 4개의 설비 테이블로 구성하였으며, 각 신호설비들간의 연쇄관계를 표시하기 위해 연동 지식 베이스를 설계하였다. 연동지식베이스는 효율성을 높이기 위해 IIKBAG로부터 생성되는 연동지식과 호환성을 가지도록 설계하였다. 계전연동의 쇄정 또는 연쇄관계를 효과적으로 처리하기 위해 각 진로나 신호설비 테이블에 쇄정/해정 필드가 설계된다. 특히, 각 테이블에 쇄정/해정 필드와 함께 쇄정 실행 프로세스 ID를 설계하여 다른 프로세스로 하여금 해정이 이루어지지 않도록 함으로써 안전도가 확보되도록 하였다. 그리고, 신호기나 전철기 그리고 케도회로 고장을 포함하는 비상시에는 IIKBAG를 근거로 휴리스틱 탐색법에 의해서 최선의 새로운 경로를 확인하여 시스템 운영자에게 제공하게 함으로써 사고 과정효과를 최소화 할 수 있도록 하였다. 끝으로, 대표적인 전철역을 모델링하여 다양한 진로에 대한 다양한 시나리오를 모의하였다. 전문가 시스템은 수개의 진로설정 모의결과에서 정확하게 동작하여 열차운행의 안전도를 확보할 수 있는 연동처리 결과를 보임으로써 그 유효성을 입증하였다.

본 논문은 한국과학재단 98핵심전문연구(과제번호 : 981-0910-043-2) 연구비의 지원을 받아 수행된 논문임

## 참 고 문 헌

- [1] “철도신호발전사”, 신호보안협회, 1980.
- [2] E.J. Phillips Jr., “Railroad Operation and Railway Signaling”, Simmons-Boardman Publishing, N.Y., 1953.
- [3] 市川, “繼傳連動装置と電子連動装置”, 鐵研速報, 1958.
- [4] 전자연동장치 I, II, 서울특별시 도시철도공사, 1995.
- [5] 秋田 雄志, 奥村 幾正, 川久和雄, “電子連動装置の開発”, 鐵研速報, 1980.
- [6] 奥村 幾正, “電子連動装置”, 鐵道と電氣技術, Vol.4, 1983.
- [7] A.H. Cribbens, “Solid-State Interlocking(SSI) : An Integrated Electronic Signalling System For Mainline Railways”, IEE Proc. Vol. 134, pp 148 ~ 158, MAY, 1987.
- [8] C.R. Brown, R.D.Hollands, D.Barton, “Continuous automatic train control and safety system using

microprocessors”, in Proc. Int'l Conf. Electric Railway Systems for a New Century, London UK, 1987.

- [9] H. Yoshimura, S. Yoshikoshi, “Railway Signal”, JAS, Toyko, p 9-1~21, 1983.
- [10] 森川 後紀, “決選入力方式による新しい電子連動装置(K-5形)”, (株)京三製作所.
- [11] 渡邊 俊勝, “これたは 知つておきたい電子連動装置”, 信号保安 (日), Vol.44, Vol.45, 1989~1990.
- [12] K. M. Hansen, “Modelling Railway Interlocking systems”, 연구보고, November 6, 1995.
- [13] K. M. Formalising Railway Interlocking Systems”, 연구보고, July 25, 1994.
- [14] 고윤석, 김종선, “인공지능기법을 이용한 철도전자연동장치의 연동지식베이스 자동구축 S/W 개발”, 전기학회 논문지, Vol. 48A, No. 6, pp. 800~806, Jun. 1999.

## 저 자 소 개

### 고 윤 석(高 銳 锡)



1984년 광운대 공대 전기공학과 졸업  
1986년 동대학원 전기공학과 졸업(석사)  
1996년 동대학원 전기공학과 졸업(공박)  
1986년-1996년 한국전기연구소 선임연구원  
1996년-1997년 포스코경영연구소 연구원  
1997년-현재 남서울 대학교 전자공학과 조교수

Tel : (0417) 580-2115

### 최 인 순(崔 仁 順)



1997년 광운대학교 제어계측공학과 졸업  
1999년 8월 동대학원 제어계측공학과  
졸업(석사)  
1999년 8월-현재 쓰리아이(주) 기술연구소  
연구원

### 권 용 훈(權 容 勳)



1998년 광운대학교 제어계측공학과 졸업  
1998년-현재 동대학원 제어계측공학과  
석사과정