

# 인공지능기법에 근거한 철도 전자연동장치의 연동 지식베이스 자동구축 S/W 개발

論 文

48A-6-18

## Software Development for Auto-Generation of Interlocking Knowledgebase Using Artificial Intelligence Approach

高 銳 錫\* · 金 宗 宣\*\*

(Yun-Seok Ko\* · Jong-Sun Kim\*\*)

**Abstract** - This paper proposes IKBAG(Intelligent Interlocking Knowledge Base Generator) which can build automatically the interlocking knowledge base utilized as the real-time interlocking strategy of the electronic interlocking system in order to enhance it's reliability and expansion. The IKBAG consists of the inference engine and the knowledge base. The former has an auto-learning function which searches all the train routes for the given station model based on heuristic search technique while dynamically searching the model, and then generates automatically the interlocking patterns obtained from the interlocking relations of signal facilities on the routes. The latter is designed as the structure which the real-time expert system embedded on IS(Interlocking System) can use directly in order to enhance the reliability and accuracy. The IKBAG is implemented in C computer language for the purpose of the build and interface of the station structure database. And, a typical station model is simulated to prove the validity of the proposed IKBAG.

**Key Words** : Railway Interlocking System, Artificial Intelligence, Interlocking Knowledge Base Generator

### 1. 서 론

최근, 운송효율의 증대와 경쟁력 제고를 위한 열차의 고속, 고밀도 운행은 열차추돌이나 탈선 등과 같은 대형사고를 초래할 수 있기 때문에, 철도 사업자들은 최대의 안전도하에서 효율적인 열차운행이 보장될 수 있도록 신호보안 문제에 많은 투자와 노력을 기울이고 있다.[1-2] 특히, 역 구내에서는 열차의 도착, 출발 및 입환 작업등이 연속적으로 이루어져 진로구성을 위한 전철기 전환과 신호기 조작이 빈번히 이루어짐으로써, 진로 조작자의 과실로 열차사고가 발생할 우려가 높다. 따라서, 조작자의 실수로 전철기나 신호기가 잘못 조작되어도 연쇄기능에 의해 열차운행의 안전도를 확보할 수 있는 연동장치가 도입되어 운용되고 있다. 60년대 이후부터 전철기 및 궤도회로 계전기들을 신호 계전기와 상호 연동시켜 열차운행을 제어함은 물론 설비고장시 안전측으로 동작하도록 함으로써 높은 안전도를 확보할 수 있는 계전연동장치가 널리 이용되고 있는데, 연동논리를 계전회로결선으로 구현함으로써 표준화, 연동검사, 안정성, 확장성 및 보수유지 측면에서 해결하기 어려운 문제점들이 제기되고 있다.[3-4] 따라서, 철도사업자들은 컴퓨터로 하여금 연동처리를 하도록 함으로

써 데이터 처리의 전산화, 신호설비 데이터의 분석을 통한 예방점검 및 신속한 고장설비 확인, 유지보수의 편리성, 컴퓨터 통신기술을 이용한 열차운행계획 및 운영의 최적화가 가능한 전자연동장치의 도입을 추진하고 있다.[5-6] 그러나, 전자연동장치는 컴퓨터 프로그램에 의해서 구현되기 때문에 계전연동장치 이상의 안전도가 확보되도록 설계되어야만 한다. 따라서, 전자연동장치의 안전도 고도화를 위한 연구가 활발히 이루어지고 있는데, 특히, 하드웨어 설계분야에서는 TMR 구조, Dual Duplex 구조[7-9] 등 고도의 결함허용 시스템 구조가 활발히 연구되고 있다. 반면에, 소프트웨어 설계분야에서는 매트릭스법, 결선도법[10-11] 등 기존의 수개의 방법 대신에 소프트웨어의 설계, 보수유지가 편리하며 확장성과 고도의 전문가 레벨에서 연동논리를 설계함으로써 안전도의 고도화가 가능한 전문가 시스템 적용연구가 새롭게 시도되고 있다. 특히, 역구조로부터 연동도표를 자동구축하고 이를 실시간 처리부와 연계함으로써 연동전략의 효율성을 기하고자 하는 연구에 많은 관심이 집중되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 인공지능기법에 근거함으로써 확장성, 보수유지의 편리성은 물론 전자연동장치의 안전도 고도화에 기여할 수 있는 지능형 연동지식 자동 구축 소프트웨어(IKBAG)를 제안한다. IKBAG는 추론부와 연동 지식베이스로 구성되는데, 추론부는 주어진 역 모델의 동적탐색하에서 휴리스틱 규칙들의 우선순위에 따라 모든 진로를 탐색함은 물론 각 진로들에 대해 진로상 신호설비들간의 연쇄관계를 확인하여 연동패턴들을 자동 생성하는 연동지식 자동생성기능을 가진다. 연동 지식베이스는 전자연동장치에 상주하는 실시간 전문가 시스템이 직접적으

\* 正 會 員 : 南서울大 電子情報通信工學部 助教授 · 工博

\*\* 正 會 員 : 光云大 工大 制御計測工學科 碩士課程

接受日字 : 1999년 2월 3일

最終完了 : 1999년 5월 14일

로 활용할 수 있는 구조로 설계됨으로써 연동도표 입력과정에서 발생할 수 있는 오류를 배제, 연동장치의 정확성과 신뢰성을 높인다. 다음, 실시간 전문가 시스템의 신호설비 제어 실패시 이러한 휴리스틱 탐색법을 이용하여 신속하게 전문가의 수준에서 새로운 진로를 신속하게 추정, 진로 조작자에게 제시함으로써 안전도를 고도화를 기할 수 있도록 설계된다. IKBAG는 기존 환경과의 인터페이스가 편리하며 이식성이 좋은 C언어로 구현하며, 비교적 복잡한 모델역에 대하여 그 성능을 검증함으로써 유용성을 입증한다.

2. 연동 개념

철도 시스템은 선로와 역들로 구성되며, 역은 열차진입이나 통과 그리고 입환작업이 효율적으로 이루어 질 수 있도록 주 본선과 수개의 부분선으로 이루어진다. 각 선로는 마디선(점선부)으로 구분되는 수개의 궤도구간들에 의해 네트워크로 구성되는데, 각 궤도구간에는 열차의 점유위치를 확인하기 위해 열차가 해당궤도를 점유하면 "off" 상태를, 반면에 비점유하면 "on" 상태를 나타내는 궤도 계전기를 포함하는 궤도 회로가 설치된다. 선로의 분기점에는 열차의 진행방향을 제어하기 위한 전철기가, 그리고 궤도구간과 궤도구간 사이에는 열차의 진행이나 속도를 제어하기 위해 신호기가 설치된다. 그림 1은 역의 구성을 설명하기 위해 도입된 대표적인 역 모델을 보인다.

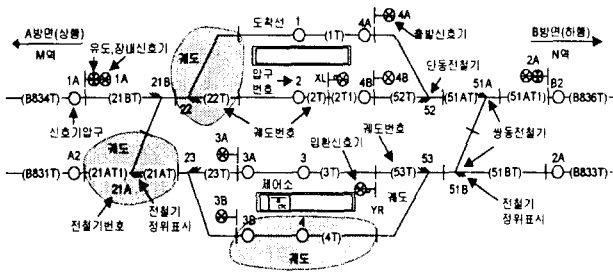


그림 1 대표적인 역 모델  
Fig. 1 The typical station model

일반적으로, 진로조작자는 역내에 열차진입이나 출발, 통과 또는 입환작업시에 열차추돌이나 탈선사고 없이 안전하게 열차가 운행되도록 신호기와 전철기를 조작하여 진로를 재구성해야 하는데, 선로구성이 복잡하고 빈번한 열차운행으로 조작자의 과실로 인한 대형사고가 발생할 수 있다. 연동장치는 이러한 과실의 경우에도 연쇄관계에 있는 신호설비들에 정확하게 연동규칙을 적용, 신호설비들이 항상 안전한 방향으로 동작하도록 함으로써 설정된 진로에 대한 열차운행의 안전도를 확보하게 한다. 일반적으로, 역의 경우는 다수개의 운행진로가 존재하므로, 모든 진로들에 대해 신호설비들간의 연쇄관계를 정확히 정의하고, 연쇄관계에 있는 신호설비들에 연동규칙을 엄격히 적용, 임의의 진로설정에 대한 안전성을 얻을 수 있다. 신호설비들간의 연쇄관계는 기본적으로 쇄정, 철사쇄정, 신호제어, 진로쇄정, 접근쇄정/보류쇄정으로 표시된다. 여기서, 진로는 압구와 압구사이의 구간으로 정의한다

먼저, 열차집중제어장치나 연동장치의 진로 취급자는 궤도

회로를 통해 열차위치를 감시하면서 임의의 열차가 M역에서 본 역으로 진입하기 위해 장내 신호기 1A를 기준으로 접근궤도구간에 접근하면 압구 (1A,1)을 눌러 진행열차의 도착선 1T에 대한 진입진로를 설정하게 된다. 일단, 진로가 요청되면 먼저, "쇄정" 관계가 정의되어야 한다. 이 관계는 동일진로와 대향진로 신호기 SS, CS를 진로가 구성되지 않도록 쇄정하며, 진로상의 전철기 TP와 과주방호구간상의 전철기 OP를 진로가 구성되도록 쇄정한다. 또한, 진로와 진입선로상의 전철기 SP를 진로가 구성되지 않도록 전환 쇄정함으로써 열차 이동중에 동일진로나 대향진로 구성으로 인한 열차사고나 신호기나 전철기 조작으로 인한 열차사고의 위험으로부터 열차운행의 안전도를 확보한다. 따라서, 해당진로에 대한 쇄정관계는 SF=(TP,OP,SP,SS,CS)로 표시될 수 있는데, 진로 {1A,1}의 경우 {21B(정위), 22(반위), 52(반위)}로 표시된다. 이 관계는 진로상의 전철기 21B를 정위로, 22를 반위로 전환쇄정하여 장내신호기 1A와 도착선 1T까지의 진로를 구성하고 과주방호구간상의 전철기 52를 반위로 전환쇄정하여 도착선에 도착하는 열차가 과주하는 경우에도 열차운행의 안전도가 얻어질 수 있도록 한다. 이때, 전철기 방향전환시에는 철사쇄정 관계가 정의된다. 철사쇄정 관계는 전철기가 속하는 궤도회로상에 차량이 존재하는 경우 전철기 전환이 이루어지지 않도록 하는 전철기와 궤도회로간의 쇄정관계로써, 전철기 22에 대한 철사쇄정 관계는 22T로 표시된다. 다음, 열차점유상태를 근거로 신호제어 관계가 적용된다. 장내 신호기 1A와 도착선까지의 궤도구간들의 집합 PT의 구성요소들 상에 다른 열차 또는 차량이 없는가를 확인한 후 만약, 열차가 존재하면 장내신호기 1A는 정지신호를 현시해 운행열차로 하여금 정지하도록 하며, 그렇지 않은 경우 1A로 하여금 진행신호를 현시하도록 한다. 그림에서 ⊗는 4현시의 신호기를 나타낸다. 일단, 진행신호에 의해 열차가 장내 신호기 1A의 내방으로 진입하면 열차가 내방에 존재하므로 현시는 자동적으로 적색이 되는데, 이와같이 방호구간내의 열차점유상태에 의해 신호현시를 제어하여 열차추돌의 위험으로부터 열차운행의 안전도를 확보하는 관계를 "신호제어"라 한다. 진로 {1A,1}에 대한 신호제어 관계는 PT=(21BT, 22T, 1T)로 표시된다. 신호제어 후, 진로취급자는 압구 {1A,2}를 눌러 진로를 정위로 복위하게 되는데 이때, "진로쇄정" 규칙이 적용된다. 신호 취급자는 열차이동중에 전철기의 방향이 전환되면 새로운 진로가 구성되어 열차추돌이나 탈선사고가 있을 수 있기 때문에 열차나 차량에 의해 도착선을 제외한 방호구간내의 궤도구간들의 집합 OT의 각 궤도회로들을 완전히 벗어날때까지 전철기들은 쇄정된다. 그리고 열차가 OT의 각 궤도회로를 벗어날 때마다 그 궤도회로 내의 전철기들이 순차적으로 해제되며, 열차가 도착선에 완전히 도착하면 대향진로 CS가 해제되는데, 이와같이 궤도회로에 대한 열차점유 후 해제절차를 "진로쇄정"이라 한다. 진로 {1A,1}에 대한 진로쇄정 관계는 PP=(21BT, 22T)로 표시되며 궤도회로 21BT, 22T들을 벗어날 때 순차적으로 전철기 21, 22호가 해제됨을 의미한다. 끝으로, 진입진로를 취한 후 시간계획에 근거하거나 진로조작자의 실수로 장내 신호기 1A를 정위로 하는 경우에는 접근쇄정 관계 {AT,(AcTime)}에 근거하여 열차운행의 안전도를 확보한다. 즉, 열차가 접근구간 AT에 접근하면 AcTime 만큼 시간이 지난후에나 진로변경이 가능하도록 함으로써 열차이동 중 전

철기 전환이나 진로변경에 의한 열차추돌이나 탈선사고를 방지하게 된다. 단, 출발점에 궤도회로가 존재하지 않아 차량유무를 확인할 수 없을 때는 보류쇄정 관계에 의해 접근구간에 항상 차량이 존재하는 것으로 인식하고 AcTime 만큼 시간이 지연된 후에 신호기가 복귀되도록 한다. 진로 (1A,1)에 대한 접근쇄정 관계는 {B834T(90초)}로 표시되는 반면, 진로 {4A,B2}에 대한 접근쇄정 관계는 {1T(30초)}로 표시되는데, 출발신호기 4A를 반위로 하는 출발진로의 경우에는 열차속도가 저속이기 때문에 30초로 설정된다.

이와같이, 해당진로에 대해 쇄정, 철사쇄정, 신호제어, 진로쇄정, 접근쇄정 관계를 정확하게 정의한다면 해당진로에 대한 열차운행의 안전도가 얻어질 수 있는데, 만약, 이러한 연동관계를 역내의 모든 진로들에 대해 정확하게 정의한다면 역내에서의 열차운행의 안전도가 확보될 수 있다. 따라서, 진로 조작자들은 역내의 모든 진로들에 대한 연동관계를 도표화한 연동도표를 관리하고 있는데, 전자연동장치의 경우는 이러한 연동관계를 컴퓨터 프로그램을 이용하여 실시간 시스템에 적용하는 문제이기 때문에 주어진 역에 대한 연동관계의 정확한 표시는 전자연동장치의 신뢰도를 고도화하는데 결정적인 역할을 하게 된다. 따라서, 연동관계는 숙련된 전문가 그룹에 의해서 설계되는데, 역마다 그 구조와 규모가 다르고 대규모 역의 경우 진로의 수가 폭발적으로 증가함으로써 전문가 그룹이라 할지라도 엄청난 시간비용과 노력이 요구되며, 검토과정에서 누락과 오류를 발생시킬 수 있다. 이러한 경우 전문가 시스템의 휴리스틱 탐색전략은 주어진 역의 모든 진로들을 자동으로 탐색하여 전문가들의 경험과 연동규칙을 적용함으로써 모든 진로들에 대한 연동관계를 신속하고 정확하게 지식베이스로 구축함으로써 전자연동장치의 안전도를 고도화할 수 있음은 물론 높은 확장성을 가질 수 있다.

### 3. 역 모델링

역 모델링은 고정 데이터 구조 모델링과 동적 데이터 구조 모델링으로 분류된다. 역은 일단 궤도들이 설치되면 특별한 이유가 없는 한 변경되지 않는다. 따라서, 역 구조(topology) 모델링은 고정 데이터 구조 모델링으로 간주되며, 역의 구성요소인 궤도구간, 전철기(points), 교차선로(crossings), 그리고 신호기들에 근거한 고정 데이터 구조로 표시될 수 있다

레일은 유니크 한 ID를 가지는 수개의 궤도구간으로 표시되는데, 이들의 연결성에 의해 다양한 열차운행경로가 구성되기 때문에, 다양한 구조의 역에 대한 연동 지식베이스를 자동으로 구축하기 위해서는 이러한 연결성이 정확하고 신속하게 추적될 수 있도록 모델링되어야 한다. 그래프 이론은 궤도구간을 노드로, 궤도구간 상호간의 연결성을 브랜치로 표시함으로써 궤도구간의 연결성을 효과적으로 모델링 할 수 있다. 그림 2는 그림 1의 모델역을 그래프 이론을 이용하여 모델링한 그림이다. 그림 2에서 ○는 노드를, 선분은 브랜치를 표시한다. 노드번호는 역 모델링을 일반화하기 위해 궤도구간의 고유 ID 대신 부여된 고유번호로써, 노드 1은 그림 1의 고유ID "B834T"에 대응한다. 따라서, 역에 대한 궤도구조는  $T=(T_{1,2}, T_{2,1}, T_{2,3}, T_{3,2}, T_{2,10}, \dots, T_{15,16})$ 로 표시할 수 있는데,  $T_i$ 는 궤도

구간 I를,  $T_{i,j}$ 는  $(T_i, T_j)$ 로 궤도구간 i와 궤도구간 j의 연결성을 나타낸다. 브랜치의 방향은 하나의 궤도구간에서 다른 궤도구간으로 통하는 열차운행의 방향을 표시한다. ●는 하나의 궤도회로가 2개이상의 궤도회로와 연결되며 전철기에 의해서 제어되는 분기점을 표시한다.

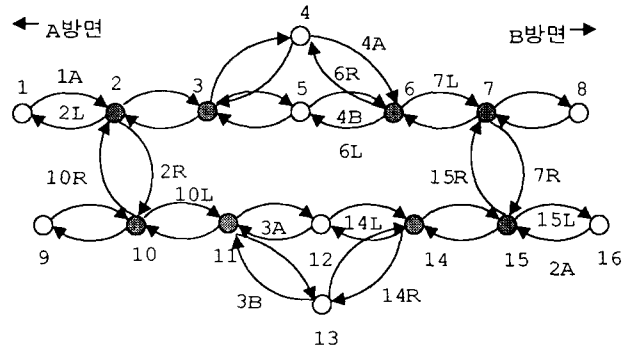


그림 2 그래프 이론을 이용한 역 모델  
Fig. 2 Station modelling using graph theory

분기점은 주선로와 2개의 분기선로들이 연결되므로, 주선로를 기준으로 왼쪽 분기선로를 L로, 오른쪽 분기선로를 R로 표시한다. 따라서, 분기점 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15에 대해서 2L, 3L, 6L, 7L, 10L, 11L, 14L, 15L은 왼쪽 분기선로, 2R, 3R, 6R, 7R, 10R, 11R, 14R, 15R은 오른쪽 분기선로를 표시하게 되는데 이들 분기선로는 전철기의 상태를 제어함으로써 얻어질 수 있다. 즉, 궤도 연결성  $\{T_2, T_3\}$ ,  $\{T_7, T_{15}\}$ 이 얻어지기 위해서는 전철기의 상태가  $\{2L\}$ ,  $\{15R, 7R\}$ 로 제어되어야 하는데, 이 관계는  $T_{2,3} \rightarrow \{P_2 \rightarrow L\}$ ,  $T_{7,15} \rightarrow \{P_7 \rightarrow R, P_{15} \rightarrow R\}$ 로 표시할 수 있다. 신호기는 열차의 속도제어를 위해 도입되는데, 신호현시가 하나의 열차운행 방향에서만 볼 수 있기 때문에 브랜치 방향과 함께 나타냄으로써 신호현시 방향과 위치를 표시한다. 즉, 1A, 4A, 4B는 B방면 열차운행을 위한 신호기이며, 2A, 3A, 3B는 A방면 열차운행을 위한 신호기를 표시한다. 이러한 신호기 데이터는  $S=\{T_{1,2} \rightarrow 1A, T_{4,6} \rightarrow 4A, \dots\}$ 로 표시하는데,  $T_{1,2} \rightarrow 1A$ 는 궤도구간  $T_1$ 에서 궤도구간  $T_2$ 로의 열차운행이 신호기 1A에 의해서 제어됨을 의미한다. 일반적으로, 궤도구간내에서 열차가 어느위치에 존재하는지를 확인하는 것은 불가능하며 단지, 각 궤도구간내에 열차의 존재 여부를 확인하는 것만이 가능하기 때문에, 신호기는 궤도구간 분리점에 표시된다. 압구는 두 궤도구간 사이에 설치되며 양방향성을 가지기 때문에  $T_{1,2} \leftarrow \rightarrow 1$ 로 표시하는데, 이것은 궤도구간  $T_1$ 과  $T_2$ 사이 압구 1이 있음을 의미한다. 반면에, 궤도구간, 신호기, 전철기 그리고 열차 등은 그 상태가 상황에 따라 동적으로 변화하기 때문에, 동적 모델링에 속한다. 먼저, 궤도구간은 해당 궤도구간에 대한 점유상태가 수시로 변화하므로 해당궤도를 어느 기차가 점유하고 있는지를 나타내야 한다. 따라서,  $T_i \rightarrow \{Train_j \rightarrow \{정규입환}\}$ 로 표기하는데, 궤도구간 i는 열차 j에 의해 점유되며, 열차타입은 정규열차이거나 입환열차임을 의미한다. 다음, 신호기 상태는 열차의 정지나 진행속도를 나타내야 하므로  $1A \rightarrow \{정지/진행현시\}$ 로 표시한다. 전철기 상태는 전철기 방향이나 조작타입을 표시해야 하므로  $P_2 \rightarrow \{L/R, \{수동/연동}\}$ 으로 표시되는데, 전철기 2의

반향은 L(좌방)이거나 R(우방)일 수 있으며, 조작은 수작업이나 연동조작으로 이루어짐을 의미한다.

4. 추론구조 설계

본 연구에서 제안하는 PKBAG는 그림 3에 보인바와 같이, 역 모델 DB로부터 데이터를 검색, 메모리에 역 모델링 기법에 따라 데이터 구조를 구축한 다음, 휴리스틱 탐색기법을 이용하여 실시간 전문가 시스템의 연동전략으로 활용될 수 있는 연동 지식베이스를 자동 생성하는 기능을 가진다. 따라서, 그래프 이론에 의해서 표시되는 역 연결성을 동적으로 탐사하면서 지식베이스를 신속하고 정확하게 구축할 수 있도록 인공지능 기법을 이용하는 추론구조로 설계한다. 특히, 휴리스틱 탐색법은 지식베이스내의 진로 우선순위를 결정하기 위해 채택되는데, 이 탐색전략은 역 구조를 동적으로 탐색하면서 휴리스틱 규칙(Heuristic Rule : HR)에 근거하여 진로의 우선순위를 결정, 진로의 중요성이나 사용빈도가 높은 진로를 우선 선택함으로써 효율적인 지식베이스를 구축하게 된다.

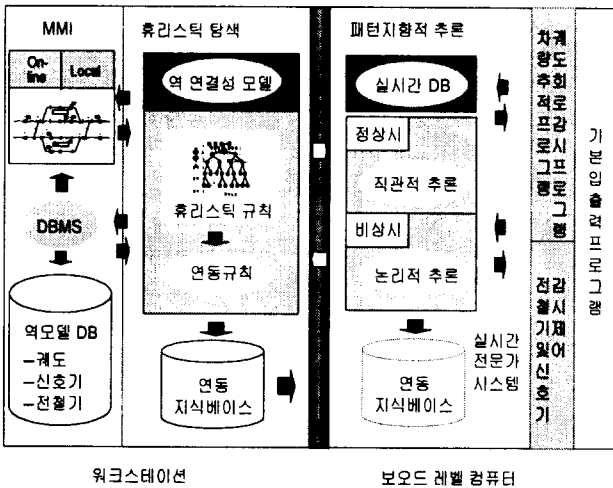


그림 3 전자연동 전문가 시스템 구조  
Fig. 3 Electronic interlocking expert system

휴리스틱 탐색법에 의한 연동 지식베이스 결정 문제는 초기노드로부터 출발하여 진로를 탐색하는 데이터 구동방식의 탐색트리 구조로 표시할 수 있다. 역은 일반적으로 그림 1에 보인바와 같이 복선구조를 가지나 단선구조도 존재하며 대규모 역이나 제철소와 같은 특수한 경우에는 진출입 선로의 구조가 복잡하게 구성되기 때문에, 다중 선로들에 대한 탐색이 가능하도록 탐색트리가 작성되어야 한다.

4.1 탐색트리 구조

탐색트리는 노드와 분기로 표시되는데, 역 모델링의 경우와는 달리 노드는 진로의 시작점이나 끝을 나타내는 압구나 분기를 발생시키는 전철기를 의미하며, 브랜치는 탐색되는 전철기 방향이 결정된 후의 역 구조를 의미한다. 그림 4는

탐색트리의 구조를 보이는데, 고딕원은 압구노드를, 점선원은 전철기 노드를 표시한다. 추론과정은 초기노드로부터 시작한다. PKBAG는 모든 진출입 선로들의 최외방 궤도구간으로부터 탐색을 시작해서 진로압구들을 확인하여 깊이 1에 노드를 확장한다. 동시에, 탐색경로상에서 발견하는 궤도구간 정보  $AT_{0 \rightarrow 1,k}$ 와 신호기 정보, 휴리스틱 규칙에 근거한 휴리스틱 비용정보  $HC_{0 \rightarrow 1,k}$ 를 저장한다.  $AT_{i \rightarrow j,k}$ 와  $HC_{i \rightarrow j,k}$ 는 각각 깊이 i에서 j까지의 k번째 경로상에서 탐사되는 궤도구간들의 집합과 휴리스틱 비용을 나타낸다. 그림 1의 경우 1, 8, 9, 16이 최외방 궤도구간에 해당하므로 깊이 1은 4개의 노드들로 확장된다.  $AT_{0 \rightarrow 1,k}$ 는 신호기들의 외방 궤도구간이므로 접근구간에 해당한다. 일단, 휴리스틱 비용에 근거한 우선순위에 따라 탐사가 순차적으로 이루어지는데,  $N_{1,3}$ 에 대한 브랜치 탐사비용이 최소이므로  $N_{1,3}$ 에 대한 궤도구간의 연결성을 탐색하면서 전철기를 만나는 경우 상태에 따라 2개의 분기가 가능하므로 이진 트리에 대해 궤도구간 정보  $PT_{1 \rightarrow 2,k}$ 와 신호기 정보, 휴리스틱 비용정보  $HC_{1 \rightarrow 2,k}$ 를 구한 다음, 깊이 2에  $N_{2,5}$ ,  $N_{2,6}$ 를 발생시킨다. 여기서,  $N_{ij}$ 는 깊이 i의 j번째 노드이다. 그리고 이 과정은 휴리스틱 평가에 의한 탐색 우선순위에 따라 목표노드 즉 압구를 확인할 때까지 계속되며, 만약,  $N_{m,7}$ 이 압구라면 이때,  $PT_{1 \rightarrow m,7}$ 는 신호기들의 내방 궤도구간에 해당하므로 방호구간상의 궤도구간들의 집합으로 볼 수 있다.

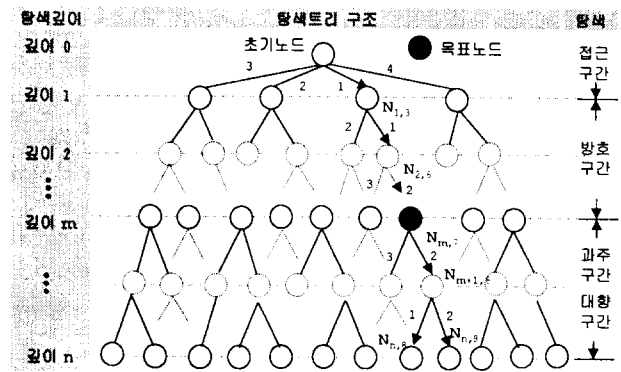


그림 4 탐색트리 구조  
Fig. 4 The structure of search tree

따라서, 노드  $N_{1,3}$ 에서 노드  $N_{m,7}$ 에 이르는 경로가 하나의 진로구간이 된다. 다음, 해당진로에 대한 대향구간과 과주방호구간을 확인한다. 휴리스틱 비용 평가결과  $N_{m,1,8}$ 에 대한 브랜치 비용이 최소이므로 노드  $N_{m+1,8}$ 에 대해 궤도구간의 연결성을 탐색하면서 궤도구간들의 정보  $OT_{m+1 \rightarrow m+2,k}$ 와 전철기 정보, 휴리스틱 비용정보  $HC_{m+1 \rightarrow m+2,k}$ 를 저장하고 모든 압구를 확인하여 깊이  $m+2$ 로 노드를 확장한다. 이 과정은 새로운 압구노드를 만날때까지 반복되며, 만약,  $N_{n,8}$ 이 압구노드이면  $N_{m,7}$ 에서  $N_{n,8}$ 에 이르는 경로는 대향구간이거나 과주방호구간이다. 그리고, 이때 저장되는 정보  $OT_{m \rightarrow n,k}$ 는 과주방호구간이나 대향구간 궤도정보가 된다. 만약, 대향구간이면 백트래킹을 시도하여 새로운 압구노드를 확인하는데, 이때 확인되는 노드  $N_{n,9}$ 에까지의 경로가 과주방호구간이다. 그리고, 초기노드에서 과주방호구간을 확인하는 과정까지의 탐색과정에서

얻어진 궤도정보,  $AT_{0 \rightarrow 1,k}$ ,  $PT_{1 \rightarrow m,7}$ ,  $OT_{m \rightarrow n,k}$ , 신호기 정보, 전철기 정보에 대해 해당진로 운행시 안전도가 얻어질 수 있도록 연동규칙을 순차적으로 적용함으로써 하나의 진로에 대한 완전한 연동패턴을 작성, 지식베이스에 생성시킨다. 다음, 백트래킹을 시도하여 출발진로에 대한 연동패턴을 발생시키게 되는데 이때,  $PT_{1 \rightarrow 2,k}$ 는 방호구간이 아니라 접근구간이 된다. 이 작업이 완료되면 전철기 방향을 달리했을때 구성되는 진로를 탐색하여 해당진로에 대한 연동패턴을 연속적으로 발생하게 되며, 이러한 과정을 통해 최종적으로 연동 지식베이스가 작성된다. 그러나, 탐색과정에서 제약조건을 위배하는 트리가 발견되면 탐색을 중단하고 다음 트리를 탐색한다. 그림에서 ○는 탐색노드를, ●는 목표노드를 나타낸다. 이와같이, 진로를 탐색하는 과정에서 휴리스틱 규칙을 적용하여 우선순위에 따라 지식베이스에 순차적으로 저장되게 함으로써 지식베이스 탐색의 효율성을 확보하게 된다. 추론과정에서 적용되는 연동규칙은 채정, 철사채정, 신호제어, 진로채정, 그리고 접근채정 규칙등을 포함한다.

#### 4.2 휴리스틱 규칙(Heuristic Rule : HR)

탐색과정에서 탐색트리의 우선순위를 결정하기 위한 휴리스틱 규칙들은 진로 취급자들의 경험이나 진로운영 회수, 조작 전철기 수, 진로 이용계획등을 고려한 평가지표로부터 얻어진다.

HR 1] 열차운행 빈도가 높은 운행진로를 우선선택한다. 가장 자주 이용되는 진로를 우선선택하여 지식베이스의 상위에 저장함으로써 탐색시간을 최소화할 수 있다. 이규칙에 의해 정규 상행선이나 하행선 방향의 진로가 우선선택된다. 그림 2에서 1번노드나 16번 노드에 해당하는 진로가 우선선택된다.

HR 2] 전철기 조작회수가 작은 선로를 우선 선택한다. 가급적이면 전철기 조작회수가 작은 선로를 진로로 선택함으로써 진로확보를 위한 노력을 최소화할 수 있으며 특히, 조작실패에 대한 위험을 최소화할 수 있다.

HR 3] 열차가 점유하지 않은 선로를 우선선택한다. 열차가 점유하지 않은 진로를 우선선택함으로써 열차간 충돌의 위험성을 줄일 수 있다. 이 문제는 실시간 연동프로그램에서 제어실패로 논리적 추론을 요구할 때 새로운 대안진로를 선택하는 과정에서 유효하게 이용될 수 있다.

HR 4] 선로이용여유가 가장 큰 선로를 우선선택한다. 선로운영계획에 근거하여 여유가 가장 큰 선로를 우선선택함으로써 열차운행시 안전도를 최대화할 수 있다. 이 문제는 실시간 연동프로그램에서 제어실패로 논리적 추론을 요구할 때 새로운 대안진로를 선택하는 과정에서 유효하게 이용될 수 있다.

#### 4.3 제약조건

전철기 포함 궤도구간에서 브랜치와 브랜치의 경로는 허용되지 않는다. 그림 2에서 "L", "R" 표시가 브랜치들을 의미하는데 이 제약조건을 적용하면, 궤도연결성  $\{T_3, T_2, T_{10}\}$ ,  $\{T_9, T_{10}, T_2\}$ ,  $\{T_8, T_7, T_{15}\}$ ,  $\{T_{14}, T_{15}, T_7\}$  등 수개의 경로는 탐

색트리 확장에 실패하게 되는데 이것은 구조적으로 열차운행이 불가능하기 때문이다.

#### 4.4 지식베이스 설계

연동 지식베이스는 HR의 우선순위에 따라 순서화된 연동패턴들의 그룹으로 구성되는데, 각각의 연동패턴은 해당진로에 대한 채정, 철사채정, 신호제어, 진로채정, 접근채정 관계를 표시하기 위해 KB(FN,TN,FID,TID,FS,SF,PD,PT,OT,AT)로 표시된다. 여기서, FN, TN은 진로의 시작, 방면 명칭을, FID, TID는 진로압구 ID를 표시하며 FS는 진로 신호기를, PD는 철사채정 리스트를 나타낸다.

### 5. 추론전략 구현

추론구조 설계에서 제안된 문제해결전략에 대한 구체적인 흐름도는 그림 5에 보이는데, 이들에 대한 단계적인 문제해결 절차는 다음과 같다.

단계 1] 먼저, IKBAG는 DB로부터 메모리에 역 구조 데이터를 구축한 다음 이벤트를 감시, 발생시 단계 2]를 수행한다. 단계 2] 최외방 궤도회로구간들로부터 궤도구간 연결성을 추적하여 압구들을 탐색하여 집합  $SPB=(N_{1,1}, N_{1,2}, \dots, N_{1,i})$ 를 구성한다. 그리고 HR 1]에 의해 SPB를 재정렬하여  $SPB^*$ 를 얻음으로써 가급적, 열차운행의 빈도가 높은 진로가 우선탐색되도록 함으로써 탐색의 효율성을 높인다. 다음, 압구노드를 탐색하기까지 연결성 추적에서 얻어진 궤도정보  $AT_{0 \rightarrow 1,i}$ 를 접근 궤도구간으로 정하고  $i=0$ 로 설정한 다음 단계 3]을 시작한다.

단계 3] 압구노드  $N_{1,i}$ 에 대해 진로를 탐색하게 된다. 먼저,  $m=j=0$ 로 설정한 다음, 진로에 대한 신호기를 탐색하여  $S_j$ 로 하고 새로운 압구 집합  $EBP={}$ 로 설정하고 방호궤도구간 집합  $PT_j={}$ , 전철기 집합  $PRT_j={}$ 로 설정한 다음 단계 4]로 간다.

단계 4] 노드를 탐색하면서 궤도구간 데이터는  $PT_j$ 에 추가한다. 그리고 탐사노드가 전철기이면 전철기 ID를  $PRT_j$ 에 추가하고  $m=m+1$ 로 한 다음, 단계 4]를 계속한다. 반면에, 압구노드이면 압구노드 ID를 EPB에 추가하고, 휴리스틱 비용 HC를 계산한 다음  $j=j+1$ 로 하고 단계 4]를 반복하며 더 이상 압구노드가 존재하지 않으면 단계 5]로 간다.

단계 5] 휴리스틱 규칙 HR 2-4]에 근거하여 EPB를 재정렬하여 우선순위에 따라 재구성된  $EPB^*=(N_{m,1}, N_{m,2}, \dots, N_{m,k})$ 를 얻는다.  $k=0$ 로 설정한 다음 단계 6]으로 간다.

단계 6] 압구노드  $N_{m,k}$ 에 대한 과주 방호구간을 탐색하여 과주방호구간에 대한 궤도구간 정보 OT를 결정한다. 그리고 전철기 집합 ORT를 구성하고 단계 7]을 한다.

단계 7] 압구노드  $N_{m,k}$ 에 대한 대향구간을 확인하여 신호기 정보  $S_n$ 를 결정하고 대향궤도집합 CT, 전철기 집합 CRT를 구성한다. 그리고 단계 8]을 계속한다.

단계 8] 단계 1-7]에서 얻어진 정보에 연동규칙을 적용하여 지식베이스에 지식패턴을 발생시킨다. 그리고, 압구노드  $N_{1,i}$

에 대한 탐사진로가 존재하여  $EPB^* \neq \{\}$ 이면  $k=k+1$ 로 정하고 단계 6]으로 간다. 반면에 모든 진로가 탐사되어 노드집합  $EPB^* = \{\}$ 이면 SPB의 존재여부를 확인한다. 만약,  $SPB \neq \{\}$ 이면  $i=i+1$ 로 한 다음 단계 3]으로 간다. 반면에, 모든 SPB에 대한 탐사가 이루어져  $SPB = \{\}$ 이면 탐사를 종료한다.

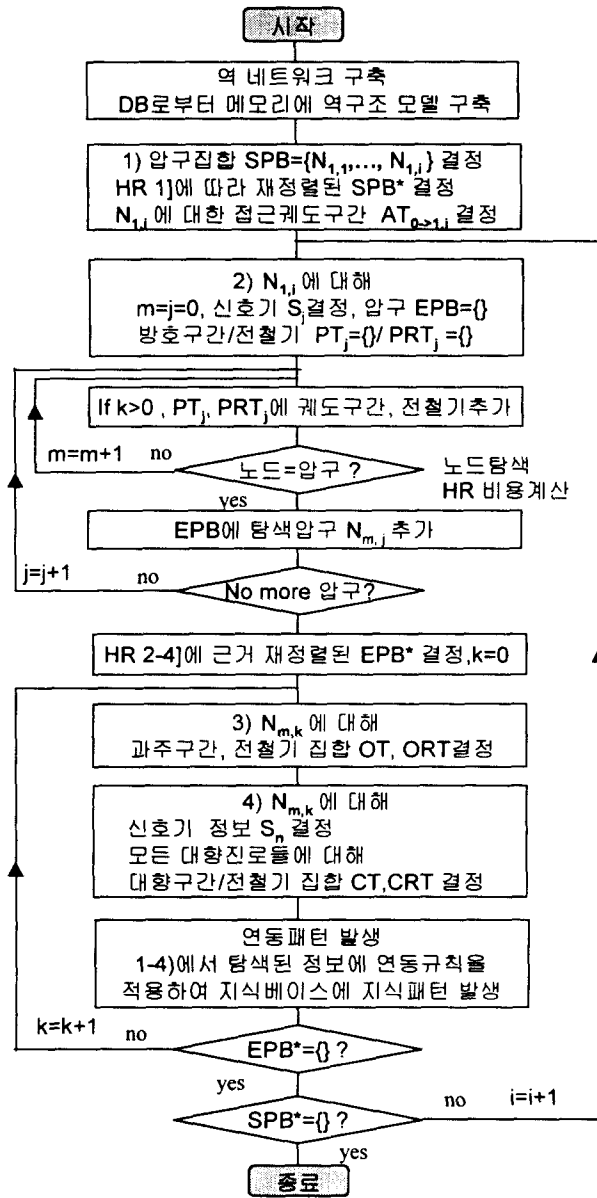


그림 5 문제해결 전략  
Fig. 5 Problem-Solving Strategy

그러나, 이 절차는 그림 1에서 진로깊이 1에 해당하는 진로 {1A,1}, {1A,2}에 대한 일반화된 탐색과정을 보인다. 따라서, 진로깊이 2에 해당하는 진로 {1,2A}, {2,2A}에 대한 연동규칙 적용 및 연동패턴 발생과정은 노드  $N_{m,k}$ 에 대해 단계 3]에서 단계 8]을 반복적으로 적용하면 된다.

6. 시뮬레이션 결과

본 연구에서, IKBAG는 역 구조에 대한 진로탐색능력과 각 진로에 대한 신호설비들간의 정확한 연쇄관계의 추론능력을 검증하기 위해서 도시철도 시스템의 한 역에 대해서 그 성능을 검증한다 그림 6은 시뮬레이션을 위한 역의 구조를 보인다.

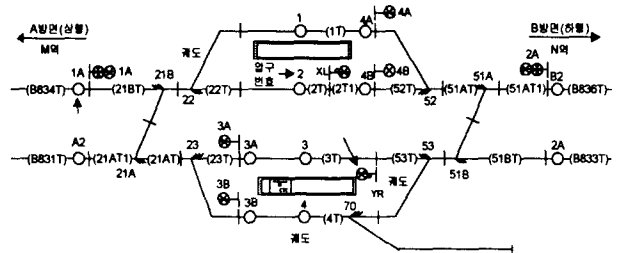


그림 7 시뮬레이션을 위한 역 모델  
Fig. 7 Model Station for simulation

IKKBAG는 그림 7에 대해서 추론한 진로들 중 정규진로 8개에 대해서만 그 결과를 보인다. 표 1은 추론된 진로 테이블을 보이며, 표 2는 IKBAG의 연동지식 자동 생성기능에 의해서 생성된 각 진로들에 대한 연동패턴으로 구성되는 연동 지식베이스를 보인다.

표 1 진로 테이블  
Table 1 Railway routes table

진로 #	출발압구 #	도착압구#	출발압구ID	도착압구ID
1	1A	1	1	2
2	1A	2	1	3
3	4A	B2	4	6
4	4B	B2	5	6
5	2A	3	7	8
6	2A	4	7	9
7	3A	A2	10	12
8	3B	A2	11	12

추론결과에서 FS는 진로 신호기로서 장내신호기, 출발신호기 또는 입환신호기 일 수 있다. 각 진로에 대해 SF는 쇄정, PD는 철사쇄정, PT는 신호제어, OT는 진로쇄정 그리고 AT는 접근쇄정 관계를 보인다. P#, T#는 각각 전철기나 제도구간 번호로써 실제 메모리상의 신호설비 번호를 나타낸다. 설비타입에서, P는 전철기를, S는 신호기를 나타내며, G는 일반 쇄정을 N은 정위, R은 반위를 나타낸다. 추론결과에서 IKBAG는 주어진 역의 모든 정규 진로들에 대한 연동패턴들을 신속하고 정확하게 추론하였음을 확인하였다. 또한, 모든 연동패턴상의 신호설비 번호(#)들이 실시간 DB에서 직접 이용될 수 있도록 설계됨으로써 실시간 연동 S/W의 연동지식베이스로 효과적으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

7. 결론

본 연구에서는 전자연동장치의 확장성과 신뢰성 제고를 위해 전자연동장치의 실시간 연동전략으로 활용될 수 있는 연동 지식베이스의 자동 구축 전략(IKBAG)을 개발하였다.

IKBAG는 역의 구조나 규모에 관계없이 주어진 역 모델에 대해 휴리스틱 탐색법에 근거하여 모든 진로를 탐색함은 물론 각 진로에 대해 연동규칙을 적용하면서 역 모델을 동적으로 탐색하여 연동패턴들을 자동생성하는 연동지식 자동생성 기능을 가진다.

표 1 전문가 시스템에 의해 생성된 연동 지식베이스  
Table 1 Interlocking knowledge base from IKBAGS

진로 #	FS		SF				PD				PT		OT		
	#	ID	설비 단입	P #	ID	방 향	T #	ID	T #	ID	T #	ID	T #	ID	타입
1	1	1A	P	1	21	N	1	21BT	2	21AT	1	21BT	1	21BT	
			P	2	22	N	3	22T			3	22T	3	22T	
			P	3	52	N	4	52T			9	2T			2T1
			P	4	51	N	5	51AT	6	51BT	10	2T1			
2	3	4B	P	3	52	N	4	52T			4	52T	4	52T	
			P	4	51	N	5	51AT	6	51BT	5	51AT	5	51AT	
											11	51AT1	11	51AT1	
											12	B836T			
3	1	1A	P	1	21	N	1	21BT	2	21AT	1	21BT	1	21BT	
			P	2	22	R	3	22T			3	22T	3	22T	
			P	3	52	R	4	52T			7	1T			
			P	4	51	N	5	51AT	6	51BT					
4	2	4A	P	3	52	R	4	52T			4	52T	4	52T	
			P	4	51	N	5	51AT	6	51BT	5	51AT	5	51AT	
											11	51AT1	11	51AT1	
											12	B836T			
5	4	2A	P	5	51	N	6	51BT	5	51AT	6	51BT	6	51BT	
			P	6	53	R	13	53T			13	53T	13	53T	
			P	7	23	N	14	23T			16	3T			
			P	8	21	N	15	21AT	1	21BT					
6	5	3A	P	7	23	N	14	23T			14	23T	14	23T	
			P	8	21	N	15	21AT	1	21BT	15	21AT	15	21AT	
											19	21AT1	19	21AT1	
											20	B831T			
7	4	2A	P	5	51	N	6	51BT	5	51AT	6	51BT	6	51BT	
			P	6	53	R	13	53T			13	53T	13	53T	
			P	9	70	N	18	4T			18	4T			
			P	7	23	R	14	23T							
8	6	3B	P	7	23	R	14	23T			14	23T	14	23T	
			P	8	21	N	15	21AT	1	21BT	15	21AT	15	21AT	
											19	21AT1	19	21AT1	
											20	B831T			

연동 지식베이스는 전자연동장치에 상주하는 실시간 전문가 시스템이 직접적으로 활용할 수 있는 구조로 설계됨으로써 연동도표 입력과정에서 발생할 수 있는 오류를 배제, 연동장치의 정확성과 신뢰성을 높일 수 있도록 설계하였다. 또한, 실시간 전문가 시스템이 신호설비 제어 실패시 휴리스틱 탐색법에 근거하여 신속하게 전문가의 수준에서 새로운 진로를 추정, 진로 조작자에게 제시함으로써 안전도의 고도화를 기할 수 있도록 하였다. IKBAG는 도시철도의 대표적인 모델역에 대하여 그 성능이 검증되었다. 성능검증에서 IKBAG는 주어진 역의 모든 진로에 대한 연동관계를 정확히 표시하는 연동 지식베이스를 작성함으로써 그 유효성이 입증되었다.

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, "繼傳連動藏置 と 電子連動藏置", 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, "電子連動藏置の 開發", 鐵研速報, 1980.  
 [6] 奥村 幾正, "電子連動裝置", 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", JASI, 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藏置(K-5形)", (株)京三製作所.  
 [11] 渡邊 俊勝, "これは 知っておきたい電子連動藏置", 信號保安(日), Vol.44, Vol45, 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.

저 자 소 개



고 윤 석(高 銳 錫)  
 1984년 광운대 공대 전기공학과 졸업.  
 1986년 동대학원 전기공학과 졸업(석사).  
 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박).  
 1986년~1996년 한국전기연구소 선임연구원.  
 1996년~1997년 포스코경영연구소 연구위원.  
 1997년~현재 남서울 대학교 전자공학과 조교수.



김 종 선(金 宗 宣)  
 1998년 남서울대학교 전자공학과 졸업.  
 1998년~현재 광운대학교 대학원 제어계측 공학과 석사과정.