

자동생성되는 연동도표에 근거한 지능형 전자연동 시스템 설계

論 文

51D-3-3

Design of an Intelligent Interlocking System Based on Automatically Generated Interlocking Table

高 鈞 錫*
(Yun-Seok Ko)

Abstract - In this paper, we propose an expert system for electronic interlocking which enhances the safety, efficiency and expanability of the existing system by designing real-time interlocking control based on the interlocking table automatically generated using artificial intelligence approach. The expert system consists of two parts; an interlocking table generation part and a real-time interlocking control part. The former generates automatically the interlocking relationship of all possible routes by searching dynamically the station topology which is obtained from station database. On the other hand, the latter controls the status of station facilities in real-time by applying the generated interlocking relationship to the signal facilities such as signal devices, points, track circuits for a given route. The expert system is implemented in C language which is suitable to implement the interlocking table generation part using the dynamic memory allocation technique. Finally, the effectiveness of the expert system is proved by simulating for the typical station model.

Key Words : Interlocking System, Interlocking Table, Intelligent System, Railway System, Expert System

1. 서 론

열차는 승객이나 화물을 출발지에서 목적지로 수송하기 위해서 역에 진입, 출발하거나, 정차없이 통과 또는 필요에 따라 기관차와 화차를 연결하기 위해 복잡한 입환작업을 하게 된다. 이때, 열차가 역내에서 탈선이나 충돌없이 안전하게 운행하기 위해서는 역내 신호설비들을 신속하고 정확하게 제어해야 하는데 열차간 운행간격이 좁아지고 운행횟수가 증가함으로써 조작자의 과실 등으로 인한 열차사고의 가능성은 더욱 더 높아지고 있다[1-2].

따라서 철도 사업자들은 역내 열차운행의 안전도를 확보하기 위해 연동장치를 도입, 운영하고 있는데 주로 계전연동장치가 주류를 이루고 있다. 계전연동장치는 계전기의 전기적 접점관계를 이용함으로써 고속처리가 가능하고 고장시 안전측 동작원리에 의해 높은 안전도를 확보할 수 있다. 그러나 엄청난 수의 계전기들을 이용하여 신호설비들간의 연쇄관계를 실현함으로써 대규모의 설치공간과 높은 보수유지비용, 확장성과 유연성의 부족, 신속한 고장확인 어려움 등 문제점을 보이고 있다. 이러한 단점들을 극복하기 위한 많은 노력이 있었는데 그 중 대표적인 것이 전자연동장치이다[4-6,9]. 전자연동장치는 신호설비들간의 연동논리를 컴퓨터 프로그램을 이용하여 구현하는 방법론에 근거를 두는데 지금까지 매트릭스법, 결선도법 등 수개의 연동논리 구

현 기법들이 제안되었다[2,3,7,8]. 그러나 이들은 계전기들간의 결선관계로부터 연동관계를 구현하기 때문에 결선관계 입력에 많은 시간과 오류가 포함될 수 있으며 또한 구조 변경시 데이터 변경에 많은 시간 비용이 요구됨으로써 확장성과 유지관리에 상당한 문제를 가지고 있다. 따라서 최근들어 객체지향 프로그래밍[11], 인공지능 기법[12], ROOM 기법[13]등 데이터 표시, 유지관리의 효율성 제고가 가능한 소프트웨어 적용연구에 많은 노력이 기울여지고 있다. 그러나 이들 방법들[11-12]은 확인된 연동도표와 실시간 연동 처리 과정이 상호 독립적이기 때문에 복잡하고 다양한 역 구조에 대해 정확하고 신속한 연동논리의 구현을 어렵게 하며 연동논리 설계시 엄청난 노력을 요구하고 있어 효율성을 저하시키고 있다.

따라서, 본 연구에서는 휴리스틱 탐색전략을 이용하여 자동 생성되는 연동도표를 근거로 실시간 연동관계를 구축하고[12], 그 연동관계를 규칙기반 시스템에 적용하여 실시간으로 신호설비들을 제어하도록 함으로써 보다 높은 안전성과 효율성 그리고 확장성을 얻을 수 있는 지능형 전자연동 시스템을 제안한다. 제안된 전문가 시스템은 연동도표 생성부와 실시간 제어부로 구성되는데 연동도표 생성부는 역 DB로부터 얻어지는 궤도 연결성 데이터로부터 역의 구조를 탐색하여 진로들에 대한 연동도표를 자동 생성하도록 설계되며, 실시간 제어부는 역 DB와 생성된 연동도표에 근거하여 실시간 진로별 연동환경을 구축하고 진로 취급자로부터 진로요청이 있는 경우 연동규칙에 근거하여 실시간 데이터로부터 신호설비들을 제어하도록 설계된다. 지능형 전자연동 시스템은 C언어로 구현된다. 그리고 유용성과 신뢰성을 검증하기 위해서 대표적인 역 모델에 대해서 다양한 시나리

* 正 會 員 : 남서울大學 電子情報通信工學部 助教授 · 工博
接受日字 : 2001年 3月 29日
最終完了 : 2002年 1月 10日

오가 모의되며 그 중 수개의 시나리오가 설명된다.

2. 전자연동 소프트웨어 구조 설계

그림 1은 대표적인 역모델과 전자연동장치의 구조를 보인다. 철도역은 전기적으로 절연되는 수개의 궤도로 구성된다. 그리고 이들 궤도상에는 열차의 위치를 확인할 수 있도록 궤도회로가 설치되는데 궤도계전기로 하여금 열차가 점유하면 낙하상태를, 반면에 열차가 비점유하면 강상상태를 보이도록 구성된다. 그리고 압구(원)와 압구사이내의 궤도회로 구간을 진로로 정의하며 압구위치에 해당하는 궤도와 궤도사이에는 해당진로에 대한 열차진행이나 속도를 제어하기 위해 신호기가 설치된다. 그리고 선로와 선로의 분기점에 열차의 진행방향을 제어하기 위해 선로전환기가 설치된다. 그림 1의 모델 역은 총 28개의 정규진로들을 포함한다.

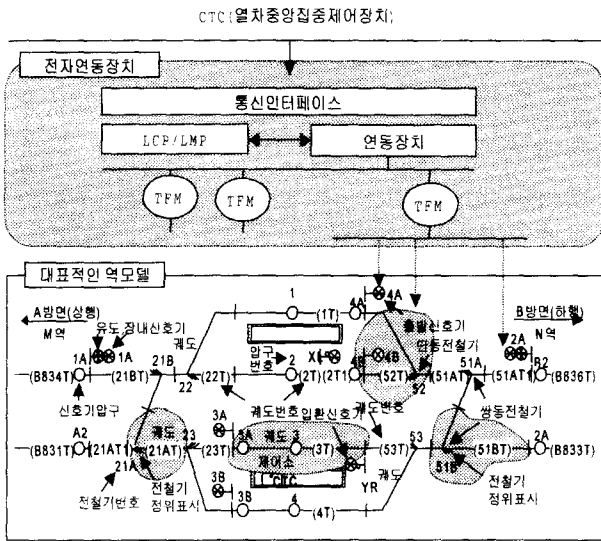


그림 1 전자연동 시스템 구조
Fig. 1 Structure of electronic interlocking system

따라서 임의의 열차가 이들 28개의 진로들을 안전하게 진입, 통과, 출발할 수 있도록 하기 위해서는 역내에 설치되는 신호기, 전철기 그리고 궤도회로 등의 신호설비들이 열차충돌이나 탈선이 이루어지지 않도록 제어되어야 한다. 연동도표는 바로 이러한 목적을 달성하기 위해 모든 진로들에 대해 신호기와 신호기, 신호기와 전철기, 궤도회로와 전철기간에 만족해야 하는 필요충분조건을 정확하게 도표로 표시한 것이다. 따라서 열차운행의 안전도를 확보하기 위해서는 정확한 연동도표의 작성이 필요한데 진로수가 증가하는 경우 전문가라 할지라도 신속하고 정확한 연동도표의 작성은 어렵다. 전자연동장치는 바로 이 연동도표상에 기재된 연쇄관계를 프로그램으로 구현한 연동 소프트웨어에 의해서 현장 신호설비들을 연쇄, 제어함으로써 열차운행의 안전도를 확보하는 장치이다.

그림 1은 열차 집중 제어장치(CTC), 전자연동장치 그리고 신호설비들간의 관계를 보인다. 전자연동장치는 진로취급자가 진로를 입력하는 진로입력장치(LCP:Local Control Panel), 열차위치는 물론 각 진로들에 대한 신호설비들의 상태를 실

시간으로 표시하는 진로상태표시장치(LMP : Local Mimic Panel), 연동관계 및 실시간 진로제어전략이 프로그램으로 구현되는 연동장치 (IS:Interlocking System), 그리고 연동장치와 궤도변 신호설비들간의 통신중계장치 (TM:Trackside Modules)로 구성된다. IS는 온라인/로컬 기능 설정을 통해 IS가 온라인 기능하에서 CTC로부터 원방제어되거나 로컬기능하에서 역내의 LCP에 의해 운영될 수 있도록 한다. 전자연동장치는 궤도 계전기 정보로부터 정확한 열차위치를 상시 감시, LMP를 통해 표시한다. 만약 CTC나 역내의 진로취급자가 LCP를 통해 압구나 버튼을 클릭하여 임의의 열차가 역내의 임의의 진로로 운행할 수 있도록 해당진로에 대한 운행허가를 요청하면 연동장치는 연동도표에 정의된 대로 열차의 위치 즉 궤도점유상태에 따라 접근채정, 설비채정, 신호제어, 진로채정등 연동논리를 순차적으로 적용, 신호기와 전철기들의 상태를 실시간으로 제어하도록 함으로써 열차 충돌이나 탈선을 방지하여 열차운행이 안전하게 이루어질 수 있도록 한다. 이들 연동논리는 3.2의 연동제어관계에서 자세히 정의된다. 따라서 열차운행의 안정성과 효율성을 제고하기 위해서는 주어진 역에 대한 연동도표를 정확하고 효율적으로 작성하며 작성된 연동전략에 따라 실시간으로 신호설비들간의 정확한 연동관계를 실현할 수 있는 연동 소프트웨어의 구현이 요구된다.

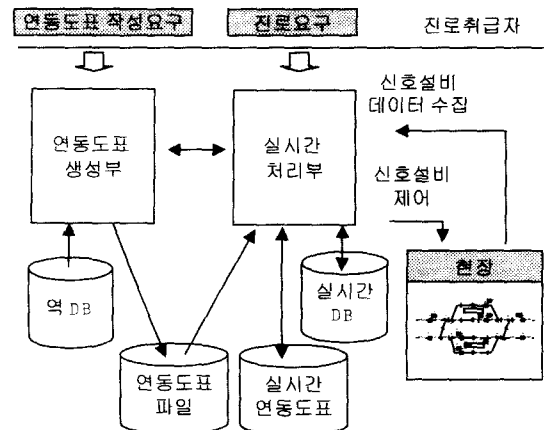


그림 2 연동 소프트웨어의 구조 설계
Fig. 2 Structure of interlocking software

그림 2는 이러한 목적을 달성하기 위해 연동기능의 효율적 지원을 위해 제안된 지능형 연동 소프트웨어 구조를 보인다. 지능형 연동 소프트웨어는 연동도표의 자동생성과 실시간 연동처리가 통합된 구조로 설계된다. 먼저 진로 취급자의 요청에 따라 인공지능기법에 근거하여 각 진로들에 대한 연동도표가 자동 생성된다. 그리고 자동 생성된 연동도표로부터 실시간 연동도표와 실시간 DB를 구축한 다음 열차의 진입, 통과 또는 출발을 위해 진로 취급자의 진로허용 요청이 있을 경우 신호연동을 처리하는 실시간 처리부로 설계된다. 이때 실시간 처리부는 연동규칙에 근거, 연쇄관계에 있는 신호설비들의 상태를 현장으로부터 수집하여 열차운행의 안전도가 확보되도록 신호설비들을 실시간으로 제어한다.

3. 연동도표 자동구축

주어진 역에 대한 연동도표 생성과정은 크게 2가지 과정으로 이루어진다. 첫번째는 그래프 이론으로 표시된 역 D/B로부터 구축되는 데이터 모델을 주어진 제약조건 규칙을 만족하는 범위내에서 동적으로 탐사하면서 가능한 진로들을 탐색하는 진로탐색과정이다. 그리고 두번째는 탐색과정에서 얻어지는 각 진로들에 대해 연동규칙을 적용하여 신호설비들간에 연동관계를 정의하는 과정이다.

3.1 진로탐색

진로탐색 과정은 탐색트리에 근거한다. 탐색트리는 노드와 브랜치로 구성되는데 노드는 압구를 그리고 브랜치는 궤도 연결성을 표시한다. 그림 3은 탐색트리의 구조를 설명한다. N_{ij} 는 깊이 i 의 j 번째 노드를 표시한다. 먼저, 전문가 시스템은 초기노드에서 주어진 역 모델에 대해 가능한 최 외방노드를 탐색하여 출발 압구를 탐색하게 되는데, 그림 1의 경우 4개의 궤도 (B831T, B833T, B834T, B836T)가 존재하므로 깊이 1은 4개의 하위노드들로 확장된다.

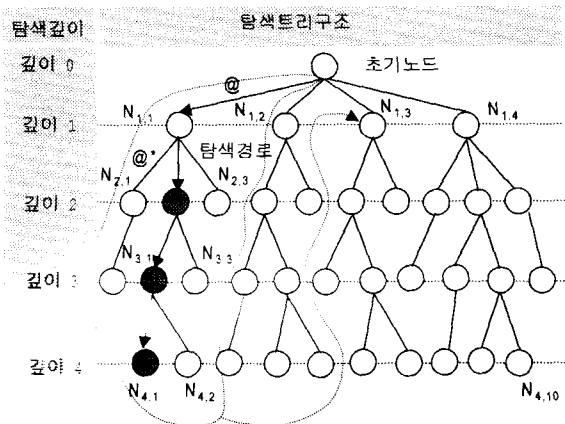


그림 3 탐색트리 구조
Fig. 3 The structure of search tree

이때, 탐색과정에서 휴리스틱 비용 @를 산정하며, 규칙 HR 1]에 근거하여 그 우선순위를 결정한다. 만약 첫 번째 노드 $N_{1,1}$ 이 최소비용을 가지는 경우 $N_{1,1}$ 이 출발압구로써 우선 선택된다. 다음 출발압구 $N_{1,1}$ 으로부터 궤도 연결성을 탐색, 가능한 모든 진로들에 대한 도착노드를 탐색하게 되며 이 과정에서 해당진로에 대한 신호기, 전철기, 궤도회로 등 신호설비 정보를 확인하며, 휴리스틱 비용 @*을 산정한다. 역 모델의 특성상 하나의 출발압구에 대해 다수개의 진로가 존재할 수 있으므로, 수개의 도착노드로 확장될 수 있는데, 이들 중 실제로 제약조건 규칙 CR 1]를 만족하는 노드들에 대해서만 확장 가능하다. 그림 2에서는 3개가 존재하나 여기에서는 일반적으로 정의하기 위해 3개의 도착노드가 존재하며 이들 모두가 CR 1]를 만족하는 것으로 가정하여 노드 $\{N_{2,1}, N_{2,2}, N_{2,3}\}$ 로 확장 표시한다. 다음, 3개의 노드 $\{N_{2,1}, N_{2,2}, N_{2,3}\}$ 에 대한 휴리스틱 비용 @*을 HR 2]에 근거하여 평가함으로써 그 탐색 우선순위를 결정한다. 만약, $N_{2,2}$

가 최소비용을 가지는 경우 $N_{2,2}$ 를 도착압구로 하는 진로가 가장 우선 탐색된다. 그리고, $N_{2,2}$ 상의 출발노드 $N_{2,2}$ *를 얻은 다음, 궤도 연결성을 추적하여 CR 1]를 만족하는 가능한 진로들에 대한 도착노드를 결정한다. 그림 3에서는 2개의 탐색노드들 $\{N_{3,1}, N_{3,2}\}$ 로 확장한다. 이 과정에서 다시 해당진로에 대한 신호기, 전철기, 궤도회로 등 신호설비 정보를 확인하며, 휴리스틱 비용 @*을 산정하여 HR 2]에 근거하여 탐색 우선순위를 결정하게 되는데, $N_{3,1}$ 이 우선순위를 가지는 것으로 가정되므로, $N_{3,1}$ 상의 출발노드 $N_{3,1}$ *를 얻은 다음 다시 CR 1]를 만족하는 가능한 진로들에 대한 도착노드들 $\{N_{4,1}, N_{4,2}\}$ 를 확인하여 깊이 4에 노드를 확장하게 된다. 그림에서는 2개의 도착압구들이 존재하는 것으로 가정되며 휴리스틱 비용 @*의 평가과정을 통해 $N_{4,1}$ 이 우선순위를 가지게 된다. 이러한 과정은 다음 우선순위 $N_{4,2}$ 에 대해 반복되며 점선으로 표시된 모든 노드들에 대한 탐색과정이 완료되면 다음 우선순위인 $N_{1,3}$ 에 대해 동일한 과정을 반복, 모든 노드들에 대한 탐색이 완료되면 탐색을 종료하게 된다. 탐색이 완료되면, 탐색과정에서 얻어진 모든 진로들에 대해 앞 절에서 설명된 접근채정, 설비채정, 신호제어 그리고 진로채정 관계에 준하여 연동패턴을 작성, 실시간 처리부에서 직접 접근할 수 있는 구조로 생성함으로써 연동 테이블을 자동 구축할 수 있다. 주어진 역 모델의 탐색트리 탐색과정에서 탐색트리의 우선순위를 결정하기 위한 휴리스틱 규칙들과 궤도 연결성은 가 지나 실제로 열차운행이 불가능한 진로에 대해, 탐색을 방지하기 위한 규칙들은 다음과 같다. 여기서 CR(Constraints Rule)은 제약조건이며 HR (Heuristic Rule)은 탐색경로 설정을 위한 휴리스틱 규칙이다.

CR 1] 분기선에서 분기선으로 탐색되는 진로는 탐색을 중단한다. 그림 1의 역 모델에서 21BT에서 21AT에 대한 진로는 분기선에서 분기선이므로 열차운행이 불가능하다. 이 제약조건은 열차운행이 불가능한 진로를 탐색에서 제거함으로써 열차운행의 안정도를 제고한다.

HR 1] 본선 진입선이 우선선택된다. 임의의 진로는 양방향으로 접근할 수 있는데, 열차운행이 자주 이루어지는 접근방향에 대한 진로들이 우선적으로 탐색되도록 함으로써 연동 전략 수립시간을 최소화하여 안전성과 효율성을 제고한다.

HR 2] 선로 전환기 조작횟수가 가장 작은 진로를 우선선택한다. 이 규칙은 열차에 대한 진로를 구성하기 위해 조작되어야 할 선로 전환기 수가 작은 진로를 우선선택함으로써 선로전환기 오동작으로 인한 열차사고의 가능성을 최소화한다.

3.2 연동제어관계 정의

전문가 시스템은 탐색과정에서 얻어지는 진로들에 대해 다음의 연동규칙을 적용하여 대응하는 연동관계를 정의하게 된다. 추론과정에서 정의되는 채정관계가 진로 $\{A,1\}$ 에 근거하여 설명된다. 여기서 IR(Interlocking Rule)은 신호설비들을 위한 연동규칙들이다.

IR 1] 접근채정 관계가 정의된다. 이 규칙은 열차가 접근구간에 접근하는 경우 일정시간이 지난후에나 진로변경이 가능하도록 함으로써 열차운행 중 전철기 전환이나 진로변경에 의한 열차추돌이나 탈선사고를 방지하기 위한 규칙이다. 진

로 {1A,1}에 대해 {B834T(90초)}로 정의된다.

IR 2] 설비쇄정 관계가 정의된다. 이 관계는 진입진로와 과주 방호구간이 구성되도록 하는 반면 대항진로와 진로의 진입선로가 구성되지 않도록 신호기와 전철기 관계를 정의함으로써 열차추돌의 위험을 방지하기 위한 규칙이다. 따라서 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.

IR 3] 철사쇄정관계가 정의된다. 이 관계는 전철기가 속하는 궤도회로상에 차량이 존재하는 경우 전철기 전환이 이루어지지 않도록 하는 전철기와 궤도회로간의 쇄정관계로서 전철기 22에 대한 철사쇄정 관계는 22T로 표시된다.

IR 4] 신호제어 관계가 정의된다. 신호제어 관계는 방호구간내의 열차점유 상태에 의해 신호현시를 제어하여 열차추돌의 위험으로부터 열차운행의 안전도를 확보하기 위한 쇄정관계를 말한다. 진로 {1A,1}에 대한 신호제어 관계는 PT={21BT, 22T, 1T}로 표시된다.

IR 5] 진로쇄정 관계가 정의된다. 이 관계는 궤도회로에 대한 열차점유 후 해정철차를 말한다. 진로 {1A,1}에 대한 진로쇄정 관계는 PP={21BT, 22T}로 표시되며 궤도회로 21BT, 22T들을 벗어날 때 순차적으로 전철기 21, 22호가 해정됨을 의미한다.

4. 실시간 연동제어 전략

전문가 시스템의 실시간 연동 제어부는 진로설정 요구시 해당 진로에 대한 고장, 쇄정, 처리상태를 확인하여 이상이 없는 경우 기 구축된 실시간 데이터 베이스와 연동 테이블에 연동논리를 적용하여 단계별로 연쇄관계에 있는 신호설비들을 확인, 쇄정 또는 해정을 실현한다. 실시간 데이터 베이스는 아래와 같이 설계된다.

4.1 실시간 데이터베이스

실시간 데이터베이스는 크게 신호설비 테이블과 연동 테이블로 구성된다.

그림 4 진로 및 설비테이블
Fig. 4 Route and facility table

신호설비 테이블은 진로 테이블과 설비 테이블로 구성되는데 설비 테이블은 신호기, 전철기 그리고 궤도 테이블로 구성된다. 그림 4는 실시간 데이터베이스내의 진로 및 설비 테이블을 보인다. 각 테이블에서 "쇄정(Lock)상태"는 쇄정/해정상태를, "쇄정 실행 프로세스 ID"는 쇄정명령을 내린 프로세스 ID를, 그리고, "failure 상태"는 제어응답으로부터 제어불가능 상태를 표시한다. 진로 테이블에서 "프로세스 상태"는 해당진로에 대한 작업상태를 표시한다. 그리고 궤도테이블의 과거 점유시간은 해당궤도에 가장 최근에 점유한 시간을 기록함으로써 이상시 차량추적 프로그램에 의해서 차량의 위치를 확인하는데 사용되도록 작성된다. 전철기 테이블에서 "쇄정/해정"은 진로 전환기의 제어가능 여부, 방향은 정위나 반위, 그리고 타이머는 시간쇄정을 표시한다. 신호기 테이블에는 신호기가 정지를 현시한 후부터 설정된 시간만큼 타이머가 작동되도록 하여, 설정시간 이내에는 해당진로의 전철기가 절환되는 것을 방지함으로써 안전도가 확보되도록 접근쇄정 타이머가 추가된다.

4.2 실시간 연동 테이블

연동 테이블은 진로별로 설계되며 각 진로에 대해 설비 쇄정, 철사 쇄정, 신호제어 그리고 접근쇄정란이 설계된다.

그림 5 연동 테이블
Fig. 5 Interlocking Table

설비쇄정은 전철기 쇄정이나 신호기 쇄정을 포함한다. 따라서, "설비"는 설비 타입을 의미한다. "설비 # "는 신호기나 전철기 번호, "ID"는 신호기나 전철기의 ID, 그리고 "방향"과 "타입"은 전철기의 경우에 대해서 정위/반위, 단독/쌍동을 표시한다. 철사쇄정에서 "궤도#"와 "ID"는 설비쇄정에서 정의된 선로 전환기의 경우에 대한 궤도번호와 궤도ID를 나타내며 신호제어의 "궤도#"와 "ID"는 방호구간내의 궤도번호와 궤도 ID, 진로쇄정의 "궤도#"와 "ID"는 진로구간내의 궤도번호와 궤도 ID, 그리고 접근/보류 쇄정의 "궤도#"와 "AcTime"는 접근 궤도번호와 접근쇄정 시간을 나타낸다. 그림 5는 연동 테이블을 보인다.

4.3 실시간 연동제어 전략

지능형 실시간 연동 소프트웨어는 연동도표 자동생성기능에 의해서 생성된 연동도표와 역 D/B로부터 실시간 연동환

경을 구축한 다음 진로 취급자로부터의 진로요청에 대비한다. 그리고 진로요청이 있는 경우 해당진로에 대해 구축된 실시간 연동도표에 근거하여 신호설비들을 확인, 연동규칙 IR1-IR5를 적용함으로써 열차운행의 안전도를 확보하게 된다. 실시간 연동 제어 전략은 다음과 같다.

[단계 1] 진로 취급자는 열차가 일정구간에 접근하면 LCP/LMP를 이용하여 운행열차에 적절한 진로를 설정한다.

[단계 2] 연동장치는 LCP/LMP로부터 설정된 압구번호와 진로 테이블을 비교하여 진로번호를 확인한 후 단계 3]으로 간다. 단계 3]-단계 10]은 연동장치에 의해서 실행된다.

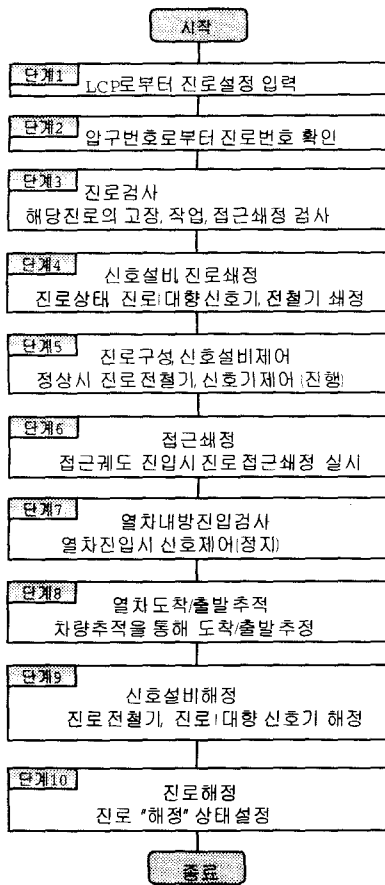


그림 6 실시간 연동처리 전략
Fig. 6 Real time interlocking strategy

[단계 3] 진로를 검사한다. 해당 진로가 고장이나 작업중인지를 확인한 후 이상이 없으면 접근설정 관계에 근거하여 접근설정 여부를 확인한다. 만약 접근 설정중이면 진로설정을 취소하나 그렇지 않은 경우 단계 4]를 계속한다.

[단계 4] 신호설비/진로 설정을 실행한다. 해당진로를 “처리중” 상태로 설정한 후 설비설정 관계에 의해 진로, 대향 신호기를 설정하고 동시에 철사설정 관계에 의해 진로상의 전철기들을 설정하여 다른 프로세스나 신호 취급자의 부주의로 인해 진로설정중에 새로운 진로설정이나 설비 조작이 이루어지지 않도록 한다. 이 단계가 완료되면 단계 5]로 간다.

[단계 5] 진로구성/신호제어를 실행한다. 진로상에 열차나 차량이 존재하지 않아 신호제어, 철사설정 규칙을 만족하는

경우 선로 전환기를 전환하여 진로구성을 완료한 후 신호제어 규칙에 근거하여 진로 신호기를 진행으로 현시하여 열차가 신호기 내방으로 진입하는 것을 허가한다.

[단계 6] 접근설정을 실행한다. 해당진로에 대한 설비설정과 진로구성이 완료되면 열차가 접근제도에 진입하는 지를 감시하여 진입하면 접근설정을 설정하여 진로취급자의 잘못이나 다른 진로요구에 의해 진로변경이 이루어지지 않도록 한다. 이 단계가 완료되면 단계 7]로 가서 열차가 신호기 내방으로 진입하는 것을 감시한다.

[단계 7] 열차내방진입을 감시한다. 열차가 신호기 내방으로 진입하면 즉시 진로 신호기를 정지신호로 현시, 후속차량이 진로에 진입하는 것을 불허한다.

[단계 8] 연동장치는 열차 도착/출발을 확인한다. 차량추적을 계속하여 차량이 도착선에 정확하게 도착하거나 외방으로 완전히 출발하는 지를 확인하여 완료되면 단계 9]로 간다.

[단계 9] 도착선에 도착하거나 외방으로 벗어나 접근설정이 해제되면 진로내의 전철기들을 해제한 다음 진로, 대향 신호기들을 해제하여 새로운 진로설정이 가능하도록 한 다음 단계 10]으로 간다.

[단계 10] 해당진로에 대해 “비처리중” 상태를 설정하여 진로를 해제하고 연동처리작업을 종료한다.

5. 시뮬레이션 결과

제안된 전문가 시스템은 인공지능기법을 이용하여 연동테이블을 자동 구축하고 구축된 연동테이블을 이용하여 신호설비들간의 연동관계를 확인, 실시간 연동처리전략을 수립하므로 전문가 시스템의 성능을 검증하기 위해서는 연동 테이블의 자동구축 결과와 실시간 연동처리 결과의 정확도가 정확히 검증되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 전문가 시스템의 연동 테이블 자동구축 기능과 실시간 처리기능을 검증하기 위해 윈도우즈 NT를 운영체제로 하는 2대의 펜티엄 III 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션 시스템을 구축하였다. 그림 7은 시뮬레이션을 위한 환경을 설명한다.

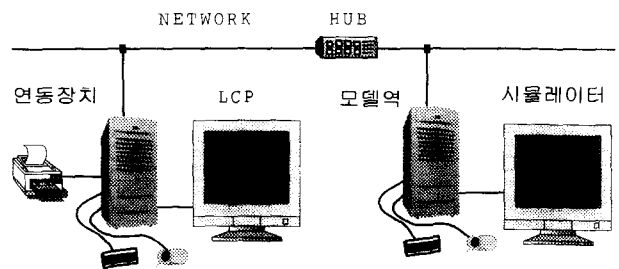


그림 7 시뮬레이션 시스템
Fig. 7 Simulation system

LCP는 진로 취급자가 역에서 발생할 수 있는 다양한 진로 시나리오들이 연동장치에 입력되도록 한다. 일단 LCP에 의해 연동장치에 진로제어 명령이 입력되면 연동장치에서는 입력명령에 따라 모델역 상황을 고려하여 연동처리전략을 수립, 모델역 신호설비 제어를 시뮬레이터에 명한다. 시뮬레이터는 모델역의 신호기, 전철기, 궤도점유 상태를 가지며 연동장치

로부터의 명령에 따라 제어된 상태로 변경된다. 그리고 그 결과를 연동장치로 보내준다. 또한 임의적인 시나리오 설정이 가능하도록 신호기, 전철기, 궤도점유 상태를 임의적으로 변경할 수 있도록 한다.

5.1 연동 테이블 검증

제안된 전문가 시스템에 대해 먼저 연동도표의 자동생성 능력이 검증된다. 본 연구에서는 시뮬레이션을 위해 그림 8은 통합 전문가 시스템의 성능검증을 위해 도입된 역 모델에 대한 LCP이다. 전문가 시스템은 역 모델의 연결성에 근거하여 총 28개의 진로들에 대한 연동패턴을 자동으로 생성하였는데 그 중 정규진로들에 대한 연동관계는 표 1에 보인다.

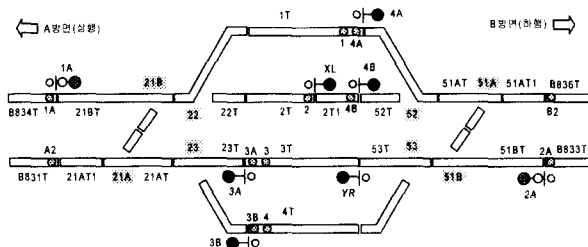


그림 8 모델역에 대한 LCP
Fig. 8 LCP for model station

그림에서 ○는 압구이며 진로는 압구와 압구사이로 정의된다. 그림 9는 도입된 역 모델에 대해 전문가 시스템에 의해서 추론된 탐색트리틀을 보인다. 전문가 시스템은 접근구간 B831T, B833T, B834T, B836T로부터 탐색을 출발하여 출발 압구를 탐색한다. 이때 접근구간 B831T, B833T, B834T, B836T는 HR 1]에 의해 B834T, B833T, B836T, B831T로 재정렬되어 1A, 2A, B2, A2순으로 재정렬된 압구노드들을 연계된다. 다음 1A에 대해 궤도탐색을 계속하여 도착압구 1, 2, A2, 3A, 3B를 탐색하게 된다.

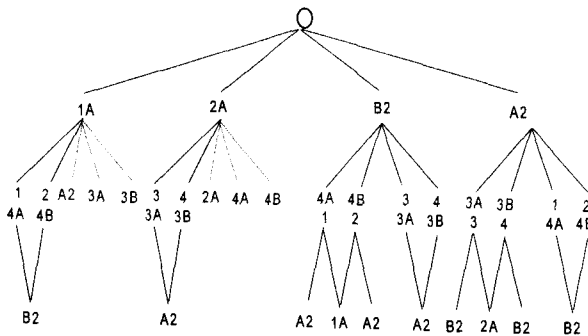


그림 9 주어진 역 모델에 대한 탐색트리
Fig. 9 Search tree for the given station model

이때 노드 1이 주 진로이므로 HR 1,2]에 의해 1,2로 재정렬된다. 그리고 3개의 노드들 A2, 3A, 3B는 급격한 각 때문에 CR 1]에 의해 열차의 진행이 불가능한 진로이므로 탐색후보에서 제외되며 점선으로 표시된다. 따라서 궤도 B834T

를 접근궤도로 하는 진로 {1A, 1}이 얻어진다. 그리고 탐색과정에서 얻어지는 신호설비정보들에 의해 설비채정, 철사채정, 신호제어, 진로채정, 접근채정 규칙들 IR 1-5]를 적용하여 연동패턴을 작성한다. 다음, 더 이상의 진로가 존재하지 않으므로 역 추적하여 도착압구 2를 탐색 진로 {1A, 2}를 얻게된다. 그리고 이러한 과정은 반복되어 가능한 모든 진로들이 탐색되어 표 1의 전자연동 도표를 생성하게 된다. 추론결과에서 FS는 진로 신호기로서 장내신호기, 출발신호기 또는 입환신호기 일 수 있다. 각 진로에 대해 SF는 설비채정, PD는 철사채정, PT는 신호제어, OT는 진로채정 그리고 AT는 접근채정 관계를 보인다. P#, T#는 각각 전철기나 궤도구간 번호로서 실제 메모리상의 신호설비 번호를 나타낸다. 설비타입에서, P는 전철기를, S는 신호기를 나타내며, G는 일반채정을 N은 정위, R은 반위를 나타낸다. 표 2는 4개의 진로에 대해 정확하게 연동관계를 정의함으로써 전문가 시스템이 정확한 연동도표 추론능력을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

표 1 생성된 연동 테이블
Table 1 The generated interlocking table

진로 #	FS ID	SF				PD				PT		OT		AT		Ac Tt.
		설비 ID	채정	타입	번호	철사 ID	채정	타입	번호	신호기 ID	채정	타입	번호	접근구간 ID	채정	
1 1 1A	P	1 21	N	G1	21BT	2 21AT	1 21BT	3 22T	3 22T	1 21BT	1 21BT	G	8	B834T	90	
		2 22	R	G3	22T	3 52N	G4	52T	7 1T	3 22T	3 22T	G	8	B834T	90	
		3 52	R	G4	52T	4 51N	G5	51AT	6 51BT	9 2T	3 22T	G	8	B834T	90	
		4 51	N	G5	51AT	6 51BT	10 2T1	4 52T	4 52T	4 52T	4 52T	G	7	1T	30	
2 1 1A	P	1 21	N	G1	21BT	2 21AT	1 21BT	3 22T	3 22T	1 21BT	1 21BT	G	8	B834T	90	
		2 22	R	G3	22T	3 52N	G4	52T	9 2T	3 22T	3 22T	G	8	B834T	90	
		3 52	R	G4	52T	4 51N	G5	51AT	6 51BT	11 51AT1	11 51AT1	G	7	1T	30	
		4 51	N	G5	51AT	6 51BT	12 B836T	4 52T	4 52T	4 52T	4 52T	G	9	2T	30	
3 2 4A	P	3 52	R	G4	52T	4 51N	G5	51AT	6 51BT	4 52T	4 52T	G	9	2T	30	
		4 51	N	G5	51AT	6 51BT	11 51AT1	11 51AT1	4 52T	4 52T	G	9	2T	30		
		4 52	R	G4	52T	5 51AT	5 51AT	11 51AT1	11 51AT1	4 52T	4 52T	G	9	2T	30	
		5 51	N	G5	51AT	6 51BT	12 B836T	5 51AT	5 51AT	4 52T	4 52T	G	9	2T	30	
4 3 4B	P	3 52	R	G4	52T	4 51N	G5	51AT	6 51BT	4 52T	4 52T	G	9	2T	30	
		4 51	N	G5	51AT	6 51BT	11 51AT1	11 51AT1	4 52T	4 52T	G	9	2T	30		
		4 52	R	G4	52T	5 51AT	5 51AT	11 51AT1	11 51AT1	4 52T	4 52T	G	9	2T	30	
		5 51	N	G5	51AT	6 51BT	12 B836T	5 51AT	5 51AT	4 52T	4 52T	G	9	2T	30	
5 4 2A	P	5 51	N	G6	51BT	5 51AT	6 51BT	6 51BT	6 51BT	6 51BT	G	17	B833T	90		
		6 53	N	G13	53T	7 23N	G14	23T	13 53T	13 53T	G	17	B833T	90		
		7 23	R	G14	23T	8 21N	G15	21AT	16 3T	13 53T	13 53T	G	17	B833T	90	
		8 21	N	G15	21AT	1 21BT	6 51BT	6 51BT	6 51BT	6 51BT	6 51BT	G	17	B833T	90	
6 4 2A	P	5 51	N	G6	51BT	5 51AT	6 51BT	6 51BT	6 51BT	6 51BT	G	17	B833T	90		
		6 53	R	G13	53T	7 23N	G14	23T	13 53T	13 53T	G	17	B833T	90		
		7 23	R	G14	23T	8 21N	G15	21AT	18 4T	13 53T	13 53T	G	17	B833T	90	
		8 21	N	G15	21AT	1 21BT	6 51BT	6 51BT	6 51BT	6 51BT	6 51BT	G	17	B833T	90	
7 5 3A	P	7 23	R	G14	23T	8 21N	G15	21AT	14 23T	14 23T	G	16	3T	30		
		8 21	N	G15	21AT	1 21BT	15 21AT	15 21AT	14 23T	14 23T	G	16	3T	30		
8 6 3B	P	7 23	R	G14	23T	8 21N	G15	21AT	14 23T	14 23T	G	16	3T	30		
		8 21	N	G15	21AT	1 21BT	15 21AT	15 21AT	14 23T	14 23T	G	16	3T	30		
		14 23	T	G14	23T	15 21AT	15 21AT	19 21AT1	19 21AT1	14 23T	14 23T	G	16	3T	30	
		15 21	AT	G15	21AT	1 21BT	19 21AT1	19 21AT1	19 21AT1	14 23T	14 23T	G	16	3T	30	

5.2 실시간 연동처리 전략 검증

실시간 연동처리 전략의 유효성을 검증하기 위해서 정규진로들에 대해 다양한 시나리오가 모의되었다. 시나리오 검증절차는 시뮬레이터를 이용하여 검증 시나리오를 설정한 후 진로요청을 하여 실시간 연동제어의 결과가 검증되도록 하였다. 본 연구에서는 표 1에 보인 관계에 근거하여 다양한 경우들을 모의하였으나 추론한 결과들 중 실제 정규열차의 진출입 운행과 관련된 경우들에 대해서만 그 결과를 정리하여

표 2에 보인다. 검증 시나리오는 정상시와 비상시의 경우를 모의하였으며 비상시의 경우는 궤도점유, 전철기 고장, 접근 쇄정시간을 설정하여 실시간 제어부가 열차운행의 안전도를 확보하기 위해 연동제어규칙들에 근거하여 정확하게 신호설비들을 제어하는지를 검증한다. 따라서 전문가 시스템은 정상시의 경우 당연히 진로설정이 성공적으로 수행되어야 하며, 그 외의 경우에 대해서는 반드시 철사쇄정, 신호쇄정, 진로쇄정 등 연동논리에 근거하여 열차운행의 안정성이 확보되도록 "실패"가 추론돼야만 한다. 표2에서 첫번째의 경우는 진로취급자가 진로(1A,1)를 요청하였을 때 열차가 B834T에 접근하는 상황에서 접근쇄정이 해정상태(0)이고 진입구간내에 열차가 존재하지 않으며 모든 신호설비들이 정상상태이므로 신호기는 통과(GREEN)상태로 제어되어 진로설정에 성공하게 된다. 반면에 두번째의 경우는 21BT, 22T에 열차가 존재하므로 열차추돌이나 탈선을 방지하기 위해 설비쇄정에 의해 진로설정에 실패하며 신호기는 정지상태(RED)를 유지한다.

표 2 4개진로에 대한 실시간 처리능력 검증
Table 2 Verification of real-time interlocking strategy

진행방향	진로압구	검증시나리오			신호기	진로설정	검증된 쇄정원칙
		열차 점유궤도	제어실패 전철기	접근쇄정			
하행도착	{1A, 1}	B834T		0	GREEN	성공	접근쇄정
		21BT, 22T			RED	실패	철사쇄정
			22		RED	실패	설비쇄정
		22T			RED	실패	철사쇄정
			21		RED	실패	설비쇄정
		B834T		45	RED	실패	접근쇄정
하행출발	{4A, B2}	B834T, 22T		0	RED	실패	신호제어
		B836T		0	GREEN	성공	접근쇄정
		52T, 51AT			RED	실패	철사쇄정
			52		RED	실패	설비쇄정
		52T			RED	실패	철사쇄정
			51		RED	실패	설비쇄정
상행도착	{2A, 4}	B836T		45	RED	실패	접근쇄정
		B836T, 52T		0	RED	실패	신호제어
		B833T		0	GREEN	성공	접근쇄정
		51BT, 53T			RED	실패	철사쇄정
			53		RED	실패	설비쇄정
		53T			RED	실패	철사쇄정
상행출발	{3B, A2}		51		RED	실패	설비쇄정
		B833T		90	RED	실패	접근쇄정
		B833T, 53T		0	RED	실패	신호제어
		B831T		0	GREEN	성공	접근쇄정
		23T, 21AT			RED	실패	철사쇄정
			23		RED	실패	설비쇄정
상행출발	{3B, A2}	23T			RED	실패	철사쇄정
			21		RED	실패	설비쇄정
		B831T		90	RED	실패	접근쇄정
		B831T, 23T		0	RED	실패	신호제어

나머지 경우에 대해서 전문가 시스템은 정상시의 경우에는 실시간 연동 제어부가 정확하게 진로제어에 "성공"결과를 보이며, 그 외의 경우에는 모두 "실패" 결과를 보임으로써 해당 진로들에 대한 열차 점유위치나 선로 전환기 고장유무, 접근

쇄정 상황에 따라 정확하게 쇄정원칙을 적용하여 신호설비들을 안전측으로 제어하였음을 확인할 수 있다. 따라서 제안된 전문가 시스템에 의해서 생성되는 연동도표의 정확성과 연동논리가 각 진로들에 대한 신호설비들간의 연쇄관계를 안전측으로 동작하도록 정확하게 설계되었음을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 휴리스틱 탐색전략(Best-First Search Method)을 이용하여 자동 생성되는 연동도표를 근거로 실시간 연동관계를 구축하고, 그 연동관계를 규칙기반 시스템에 적용 하여 실시간으로 신호설비들을 제어하도록 함으로써 보다 높은 안전성과 효율성 그리고 확장성을 얻을 수 있는 전자연동 전문가 시스템을 설계, 구현하였다. 전문가 시스템은 연동도표 탐색부와 실시간 연동 제어부로 설계되었다. 연동도표 탐색부는 역 DB로부터 얻어지는 궤도 연결성 데이터로부터 역의 구조를 동적으로 탐색하여 가능한 모든 진로들에 대한 연동관계를 자동 생성하도록 하였다. 그리고 실시간 제어부는 자동 생성된 연동 테이블과 역 DB에 근거하여 실시간 연동환경을 구축하고 시스템 운영자로부터 주어지는 입력진로들과 이들에 대한 실시간 데이터들에 구축된 연동관계를 적용, 신호설비들을 실시간으로 제어할 수 있도록 하였다. 전문가 시스템은 대표적인 역 모델에 대한 수개의 시나리오에 대해 정확한 추론결과를 보임으로써 제안된 전문가 시스템의 정확성과 유용성을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] "철도신호발전사", 신호보안협회, 1980.
- [2] 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.
- [3] 奥村 幾正, "電子連動裝置", 鐵道 と 電氣技術, Vol.4, 1983.
- [4] A.H. Cribbens, "Solid-State Interlocking(SSI) : An Integrated Electronic Signalling System For Mainline Railways", IEE Proc. Vol. 134. pp 148 ~ 158, MAY, 1987.
- [5] 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.
- [6] H. Yoshimura, S. Yoshikoshi, "Railway Signal", JASI, Toyko, p 9-1~21, 1983.
- [7] 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.
- [8] 渡邊 俊勝, "これたは 知つておきたきたい電子連動藏置", 信號保安 (日), Vol.44, Vol45, 1989~1990.
- [9] K. M. Hansen, "Modelling Railway Interlocking systems", Research Report, November 6, 1995.
- [10] K. M. Formalising Railway Interlocking Systems", Research Report, July 25, 1994.
- [11] 이재호, 이병일, 박영수, 이재훈, 이기서, "객체지향기법을 이용한 전자연동 소프트웨어 설계에 관한 연구", 한국철도

- 학회 춘계학술대회 발표논문집, 2000 5.
- [12] 고윤석, 김종선, "인공지능기법에 근거한 철도 전자연동장치
의 연동 지식베이스 자동 구축 S/W 개발", 대한전기학회
하계학술대회 발표 논문집, 1999 7.
- [13] 김종선, 유지윤, "실시간 컴퓨터 제어를 위한 ROOM 기
법의 적용에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술발표대회
논문집, pp. 2687-2689, 2001 7.

저 자 소 개



고 윤 석(高 鈞 錫)

1984년 2월 광운대 전기공학과 졸업. 1986
년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업
(석사). 1996년 2월 광운대 대학원 전기공
학과 졸업(박사). 1986년 3월~1996년 3월
한국전기연구소 선임연구원. 1996년 4월
1997년 2월 포스코 경영연구소 연구위원.
1997년 3월~현재 남서울대학교 전자정보통신공학부 조
교수.