

# 휴리스틱 탐색기법에 근거한 철도입환진로의 자동결정전략 설계

論 文

52D-5-4

## Strategies for the Automatic Decision of Railway Shunting Routes Based on the Heuristic Search Method

高 鈞 錫\*  
(Yun-Seok Ko)

**Abstract** -This paper proposes an expert system which can determine automatically the shunting routes corresponding to the given shunting works by considering totally the train operating environments in the station. The expert system proposes the multiple shunting routes with priority of selection based on heuristic search strategy. Accordingly, system operator can select a shunting route with the safety and efficiency among the those shunting routes. The expert system consists of a main inference engine and a sub inference engine. The main inference engine determines the shunting routes with selection priority using the segment routes obtained from the sub inference engine. The heuristic rules are extracted from operating knowledges of the veteran route operator and station topology. It is implemented in C computer language for the purpose of the implementation of the inference engine using the dynamic memory allocation technique. And, the validity of the built expert system is proved by a test case for the model station.

**Key Words** : Interlocking System, Heuristic Search Method, Railway System, Railway Shunting Routes

### 1. 서 론

철도는 물류수송의 중추적인 역할을 담당함으로써 국가산업발전의 견인차 역할을 해왔다. 그러나 최근 철도물류의 급속한 증가로 그 역할을 다하지 못하고 있으며 남북화해시대에 경원선, 경의선을 통해 물류의 중국, 소련, 유럽으로의 수송요구가 폭발적으로 증대되는 시점에서 철도 수송능력의 증대 및 운송효율의 제고는 매우 중대한 문제가 되고 있다.

따라서 철도사업자들은 열차운행의 안전도를 고도화하면서 철도수송능력 및 운송효율을 증대할 수 있는 시스템 구축에 많은 노력을 집중하고 있는데 연동장치는 그 일환으로 역내에 도입되어 운영되는 대표적인 신호보안장치중의 하나이다. 연동장치는 고속, 고밀도 운전하에서 역내의 진로상의 신호설비들을 안전한 방식으로 쇄정 및 해제하며 진로 취급자의 잘못된 조작에도 안전측으로 동작하도록 함으로써 열차운행의 안전도를 확보한다. 연동장치로는 주로 계전기 결선조직에 의해서 연동논리를 구현하는 계전 연동장치가 주류를 이루었는데 최근 연동논리를 프로그램으로 구현함으로써 설치공간과 보수비용을 최소화하고 신속한 고장확인 그리고 신설 및 변경시 유연성과 확장성 등을 확보할 수 있는 전자연동장치로 급속히 대체되고 있는 실정이다.[2-10,11-13]

지금까지 연동논리를 프로그램으로 구현하는 방법론에 대해 연구결과들이 발표되었는데, [2-10]에서는 계전기 결선입력 방법 및 수개의 방법론에 근거한 연동논리 구현방법이 제

안된다. [11]에서는 인공지능기법에 근거한 연동도표 자동구축 방안이 제안되며 [12]에서는 연동규칙에 근거하여 실시간 연동처리를 지원하는 전문가 시스템이 제안된다. 그리고 [13]에서는 자동생성되는 연동도표에 근거한 실시간 연동전략이 제안되는데, 이들[11-13]은 모두 열차의 정규진로(진입, 출발, 통과)를 위한 연동논리 구현 문제로 제한된다. 그러나 역내업무는 이러한 정규작업외에 물류수송을 위해 역내의 화차 및 대차를 연결, 분리하는 입환작업이 있다. 입환작업은 철도물류가 급속히 증대되는 상황에서 그 작업량이 엄청나게 증가할 것으로 예상되기 때문에 운송효율의 증대를 위해 전자연동장치에 부여되어야 할 매우 중요한 업무이다. 하지만 입환진로 자동결정은 고속, 고밀도 운전으로 열차운행 횟수가 크게 증대되는 상황에서 열차운행의 안전도를 확보하면서 작업시간을 최소화할 수 있는 진로를 결정해야 하기 때문에 매우 어려운 문제이다. 특히 대규모 역의 신설, 변경의 경우에 가능한 입환작업과 대응하는 입환진로들이 폭발적으로 증가하기 때문에 전문 설계자라 할지라도 많은 시간과 노력을 요구하는 것은 물론 치명적인 오류를 포함할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 역내의 열차운행환경을 종합적으로 고려하여 입환진로들을 결정함으로써 안전도 및 작업시간 측면에서 최적의 입환진로를 결정할 수 있는 전문가 시스템을 제안한다. 전문가 시스템은 휴리스틱 탐색전략에 근거하여 가능한 입환작업들에 대해 우선순위를 가지는 입환진로들을 결정한다. 전문가 시스템은 주 추론기관과 부 추론기관으로 구성되는데 주 추론기관은 부 추론기관으로부터 제공되는 진로구간들을 이용하여 휴리스틱 평가 비용에 근거하여 우선순위를 가지는 입환진로들을 결정한다. 입환진로의 우선순위를 결정하기 위한 휴리스틱들은 역내의 궤도구조와 수련된 진로 취급자의 운영지식등으로부터 얻어진다. 전문가 시스템은 C

\* 正 會 員 : 남서울大學 電子情報通信工學部 副教授 · 工博  
接受日字 : 2002年 6月 17日  
最終完了 : 2003年 3月 10日

언어로 구현되며 간단한 역 모델에 대해서 시험 입환작업을 모의함으로써 제안된 전략의 유용성과 신뢰성을 검증한다.

### 2. 철도입환작업논리

입환작업은 물류수송을 위해 역내에서 화차와 대차를 연결, 분리하는 작업이다. 입환작업은 정규열차가 진입, 출발하거나 통과하는 시간을 피하거나 입환을 위해 예비된 진로들을 고려해 충분히 안전성이 확보되도록 결정되어야 한다. 그림 1은 입환작업을 설명하기 위해 도입된 모델역이다.

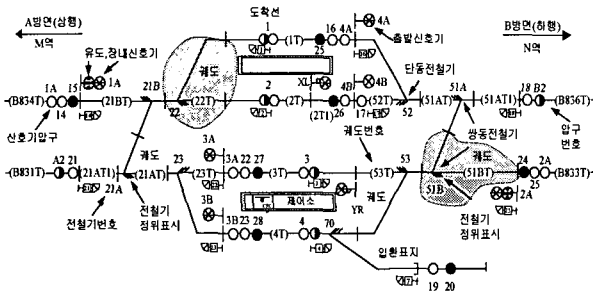


그림 1 입환진로들을 포함하는 역 모델  
Fig. 1 The station model with the shunting routes

철도역에는 열차의 진출입을 위해 수개의 진입선과 출발선이 설치된다. 그리고 진입된 열차의 정차를 위해 수개의 도착선이 설치되며 화차나 객차의 입환을 위해 별도의 선로들이 예비된다. 각 선로는 압구와 압구로 표시되는 수개의 진로구간으로 구성되는데 ○는 정규진로 압구이거나 입환진로의 출발압구이며 ●는 입환진로 도착압구, ⊙는 정규진로와 입환진로 겸용 도착압구이다. 따라서 정규진로 설정을 위해서는 진로구간에 해당되는 압구 {○, ⊙}들이 조작되어야 하는 반면, 입환진로 설정을 위해서는 압구 {○, ●} 또는 {○, ⊙}가 조작되어야 한다. 각 진로구간은 수개의 궤도구간으로 구성되며 각 궤도구간에는 궤도회로가 설치되는데, 궤도회로 상태가 off이면 열차가 궤도상에 있음을 나타내는 점유상태, on이면 비점유상태를 표시한다. 그리고 열차의 진출입과 입환작업을 자유로이 하기 위해 진로를 재구성할 수 있도록 선로 전환지점에 선로 전환기가 설치된다. 선로 전환기는 정규진로나 입환진로 요청시 선로 전환기가 포함되는 궤도구간에 대한 열차점유상태를 고려하여 비 점유이면 동작하여 진로를 구성하게 된다. 만약 점유시 동작하게 되면 열차탈선 사고를 가져올 수 있다. 또한 열차운행의 속도를 제어하기 위해 신호기가 설치되는데 정규진로를 위한 진로 신호기와 입환작업을 위한 입환 신호기로 구분된다. 입환 신호기 또는 입환표지는 입환작업만을 위한 신호기로서 입환작업시 진로 취급자에 의해 입환진로 설정을 위한 압구들 {○, ●} 또는 {○, ⊙}가 조작되었을 때 해당 진로구간의 궤도회로부터 제공되는 열차 점유상태를 고려하여 정지(적색) 또는 진행(녹색) 신호를 현시하게 된다. ⊕는 진로신호기, ⊖는 입환표지를 나타낸다.

연구 [11-13]에서는 전자연동장치를 위한 정규진로 자동생

성 및 실시간 제어 구현문제를 다루었다. 정규진로 제어는 출발, 도착과 같은 개별 진로구간에 대한 신호설비 제어문제인 반면, 입환작업은 수개의 연속된 진로구간을 제어하는 문제이다. 예를들면 정규진로는 압구 1A와 1을 눌러 진로구간 (1A,1)을 구성할 수 있다. 그러나 입환작업의 경우는 기관차 위치, 화차 및 객차의 위치에 따라 다양한 경우가 발생한다. 예를들어 기관차가 궤도1의 위치에 있고 대차가 궤도4의 위치에 있는 경우 기관차가 궤도4의 위치로 이동되어야 한다. 먼저 진로 취급자가 진로구간 (16,B2)에 대한 진로설정을 연동장치에 명령한다. 연동장치는 궤도들 52T, 51AT, 51AT1에 대한 궤도회로를 통해 진로상의 열차점유상태를 확인한 후 열차가 존재하지 않으면 선로 전환기에 전환명령을 내린다. 먼저 선로 전환기 52가 궤도 52의 열차 점유상태를 고려하여 비점유이면 정위로 제어되고 다음 선로전환기 51A는 궤도 51AT가 비점유이면 정위로 전환되어 진로를 구성하게 된다. 진로구성 작업이 성공적으로 이루어지면 연동장치는 궤도들 52T, 51AT, 51AT1에 열차존재를 확인한 후 비점유이면 입환 신호기 16의 현시상태를 적색에서 녹색으로 설정한다. 기관사는 입환 신호기 16의 진행현시를 확인하고 열차를 운행하여 궤도 B836T의 외방으로 진행한다. 다음 열차가 진행하면 입환 신호기 16은 열차운행의 안전도를 확보하기 위해 정지상태를 현시함으로써 다른 열차가 진입하는 것을 방지한다. 그리고 완전히 외방으로 진행하면 진로 취급자는 다시 진로구간 (18,4)에 대한 진로설정 명령을 연동장치에 명령한다. 연동장치는 궤도회로 51AT1, 51AT, 51BT, 53T를 통해 진로상의 열차점유상태를 확인한 후 열차가 존재하지 않으면 선로 전환기 51, 53에 전환명령을 내린다. 선로 전환기 51, 53은 열차점유 상태가 비점유이면 선로를 전환하여 진로를 구성한다. 진로구성 후 연동장치는 다시 궤도회로들 51AT1, 51AT, 51BT, 53T의 열차점유상태를 확인한 후 비점유이면 입환 신호기 18의 현시상태를 적색에서 녹색으로 설정한다. 기관사는 입환 신호기 18의 진행현시를 확인하고 열차를 운행하여 궤도 4T로 진입하게 된다. 이 예는 주어진 입환작업을 위해 입환진로 압구 1과 4가 입력되어야 하며 연속된 두개의 진로구간들 {16,B2}, {18,4}가 열차의 진행상황에 따라 순차적으로 설정되어야 함을 보인다. 이와같이 입환작업은 연속된 수개의 진로구간으로 구성되기 때문에 순차적으로 각 진로구간에 대해 연동장치의 연쇄기능을 이용하여 진로를 구성함으로써 최종적으로 입환진로를 구성하게 된다.

그러나 고속, 고밀도 운전이 추구되는 상황에서 열차운행의 횟수는 크게 증가하게 된다. 또한 대규모 역의 경우 다수개의 진출입 선로들이 존재함으로써 대응하는 입환진로들이 폭발적으로 증가하게 된다. 이러한 상황에서 진로 취급자가 열차운행의 안전도를 극대화하면서 입환작업 시간을 최소화할 수 있는 최적의 입환진로를 결정하는 문제는 현실적으로 매우 어렵다.

특히 선택된 입환진로가 고장인 경우 진로 취급자가 당황하지 않고 안전한 대체진로를 신속하게 결정하는 문제는 더욱 더 어렵다. 이 문제는 열차운행 계획, 궤도구조, 신호설비 고장이력 등을 포함하는 휴리스틱 탐색전략에 근거하여 진로를 탐색한 다음 휴리스틱 평가비용에 따라 우선순위를 가지는 입환진로를 제공함으로써 해결될 수 있다. 입환작업이 주어지면 전문가 시스템은 이 우선순위에 근거하여 입환진로를



먼저, 주 추론기관은 MMI로부터 입력되는 기관차 진행방향의 출발압구를 확인하는데 이것은 초기노드( $N_0$ )로 표시된다. 다음, 부추론기관에 초기노드 정보를 제공하여 초기노드로부터 진행할 수 있는 도착압구들을 확인한다. 그림 4에서는 출발압구(초기노드)로부터 진행할 수 있는 진로들에 대한 도착압구들이 첫 번째 깊이의 4개의 노드들  $N_{11}$ ,  $N_{12}$ ,  $N_{13}$ ,  $N_{14}$ 임을 보인다. 주 추론기관은 이들 4개의 노드들에 대한 탐색비용 @를 탐색하여 재정렬한다. 만약 @에 근거하여 우선순위가  $N_{11}$ ,  $N_{12}$ ,  $N_{13}$ ,  $N_{14}$ 라면 주 추론기관은 부 추론기관에 먼저 최소비용의 노드  $N_{11}$ 을 출발압구로 제공한다. 따라서 주 추론기관은 부 추론기관으로부터  $N_{11}$ 의 다음 깊이에 탐색되어야 할 노드들로  $N_{21}$ ,  $N_{22}$ 를 얻는다. 이때  $N_{22}$ 가 기관차의 목적노드라면  $N_{22}$ 가 입환진로의 도착압구가 되므로 초기노드에서 도착노드까지의 경로가 입환진로가 된다. 즉 2개의 진로구간으로 구성되는 하나의 입환진로  $\{(N_0, N_{11}), (N_{11}, N_{23})\}$ 가 결정된다. 이 입환진로는 너비반복탐색법에 근거하기 때문에 가능한 해들 중에서 가장 낮은 깊이의 해가 되므로 최단 진로구간의 입환전략이 된다. 다음 부 추론기관에 노드  $N_{12}$ 를 출발압구로 제공하여  $N_{12}$ 의 다음 깊이에 탐색되어야 할 노드들로  $N_{23}$ ,  $N_{24}$ 를 얻는다. 그림에서  $N_{22}$ 가 또 다른 하나의 최종 도착노드로 가정되므로 초기노드에서 도착노드까지의 경로  $\{(N_0, N_{12}), (N_{12}, N_{34})\}$ 가 또 다른 하나의 입환진로가 된다. 이들은 각각 휴리스틱 비용이 평가되며 휴리스틱 비용 @에 의해 노드들이 재정렬된다. 그리고  $N_{13}$ ,  $N_{14}$ 를 순차적으로 부 추론기관에 제공하여 다음 깊이에서 탐색되어야 할 노드정보를 얻는다. 이 과정을 통해 깊이 2의 노드정보를 확인하게 된다. 전문가 시스템은 재정렬된 깊이 2의 노드들에 대해 이 과정을 반복함으로써 가능한 모든 입환전략들을 확인하게 된다. 이 탐색과정에서 깊이 4의  $N_{45}$ 가 또 다른 목적노드이기 때문에 새로운 입환진로  $\{(N_0, N_{12}), (N_{12}, N_{23}), (N_{23}, N_{34}), (N_{34}, N_{45})\}$  있는데 이 입환진로는 4개의 진로구간으로 구성됨을 알 수 있다. 이와같이 주 추론기관은 너비반복탐색법에 근거하여 낮은 깊이의 노드들을 우선 탐색함으로써 메모리 관리 측면에서는 깊이우선탐색에 비해 다소 비 효율적이지만 작업구간 수가 적은 최단 입환진로들을 우선선택한다. 최단진로는 진로구간 취급수가 적기 때문에 작업시간이 최소화될 수 있다.

3.2 부 추론기관

부 추론기관에서는 임의의 한 출발압구로부터 궤도연결성을 추적함으로써 가능한 모든 도착압구를 탐색, 가능한 구간진로들을 탐색하게 된다. 그림 5는 깊이 우선 탐색법으로 설계되는 부 추론기관의 구조를 보이는데, 노드는 궤도를, 브랜치는 궤도연결성을 의미한다. 먼저, 주 추론기관으로부터 초기노드에 관한 정보를 제공받는데, 초기노드는 출발압구가 존재하는 궤도에 해당한다. 부 추론기관은 이 초기노드로부터 깊이 1의 첫 번째 노드  $N_{11}$ 을 탐색하게 되는데, 만약, 도착압구를 발견하게 되면,  $N_{11}$ 은 목적노드가 되며 초기노드에서 목적노드까지의 경로가 구간진로가 되지만, 도착압구가 존재하지 않기 때문에  $N_{11}$ 으로부터 다음 깊이인 깊이 2의  $N_{21}$ 을 탐색하게 된다. 그리고, 노드  $N_{21}$ 에서 도착압구 탐색에 실패하게 되어 깊이 3의 첫 번째 노드  $N_{31}$ 을 탐색하게 되며 이 노드에서 도착압구를 발견하게 되므로 노드  $N_{31}$ 이 목적노드

가 된다. 그리고, 초기노드에서 목적노드에 이르는 경로가 구간진로가 된다. 부 추론기관은 다음 목적노드를 위해, 다음 노드를 탐색하게 된다. 일반적으로 깊이우선탐색법은 동일깊이의 두 번째 노드인  $N_{32}$ 를 탐색하게 되는데, 부 추론기관은 일단, 역추적을 통해 깊이 1의  $N_{11}$ 로 복귀하게 된다.

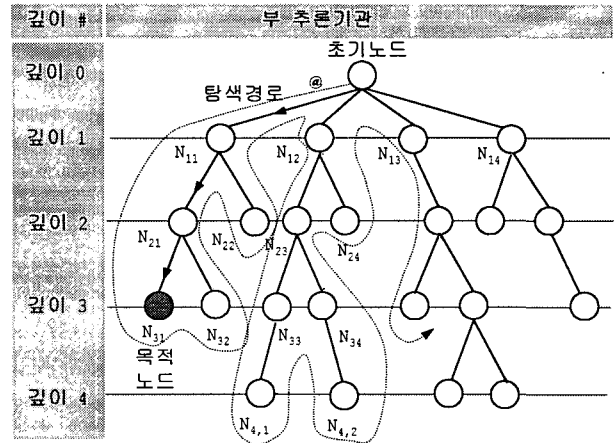


그림 5 부 추론기관의 구조  
Fig. 5 The structure of sub inference engine

그리고 탐색된 경로를 다시 탐색, 기 탐색된 정보를 수집하다가 첫 번째 목적노드와 동일한 깊이의 두 번째 노드인  $N_{32}$ 를 만나게 되면 정상적인 탐색을 시작하게 되는데 목적노드가 아니므로 탐색에 실패하게 된다. 따라서, 깊이 2의 두 번째 노드인  $N_{32}$ 로 역추적하게 되는데, 모든 탐색에 실패하므로 결국, 깊이 1의 두 번째 노드인  $N_{12}$ 를 탐색하게 된다. 그리고, 깊이 우선으로 탐색을 계속하여  $N_{41}$ 에서 목적노드를 만나게 되어 구간진로 탐색에 성공하게 된다. 그리고 다시 첫 번째 깊이의 두 번째 노드인  $N_{12}$ 로 복귀하여 기 탐색경로를 다시 추적하여  $N_{42}$ 에서 목적노드 탐색에 성공하게 되며 이 과정은 모든 노드에 적용되어 초기노드로부터 가능한 모든 구간진로들을 탐색하게 된다. 이와같이 부 추론기관은 깊이우선에서 탐색성공시 매번 초기노드로 복귀하여 깊이탐색을 반복하는 다소 변경된 깊이우선탐색구조를 가진다.

3.3 휴리스틱 규칙

전문가 시스템이 입환작업의 안전성과 효율성을 확보하기 위해 각 노드에 대해 평가하는 휴리스틱 규칙들은 HR 1-4]와 같이 열차운행 허용시간, 진로취급수, 전철기 조작회수, 진로구간 고장이력 등을 포함한다.

HR 1] 목적노드(도착노드)가 우선선택된다. 이 규칙은 너비반복탐색하에서 목적노드를 우선 선택함으로써 가급적 취급해야 할 진로수가 적은 입환진로를 우선선택하기 위한 규칙이다. 이 규칙은 전철기나 신호설비들의 조작회수를 줄여 작업시간을 최소화하고 열차운행의 안전성과 효율성을 확보하기 위한 규칙이다.

HR 2]  $\min(TIME_i | i \in TRACK(N_k, N_{k+1}))$ 가 최대인 진로를 우선선택한다. 이 규칙은 진로구간 여유시간이 최대인 진로를 우선 선택함으로써 가급적 열차운행의 안전도를 확보하

기 위한 규칙이다. 여기서  $TRACK(N_k, N_{k+1})$ 은 출발압구노드  $N_k$ 부터 도착압구노드  $N_{k+1}$ 까지의 진로구간상에 순차적으로 연결되는 궤도구간들의 집합이며,  $TIME_i$ 는  $i$ 번째 궤도  $T_i$ 의 점유예정시간-현재시간을 표시한다.

HR 3)  $\min\{NUMBER\ OF\ i\ | i \in POINT(N_k, N_{k+1})\}$ 을 우선선택한다. 이 규칙은 열차 운행을 위한 진로설정시 전철기 조작회수가 최소인 진로를 우선선택함으로써 신호설비 조작 시간을 줄이고 열차운행의 안전성과 효율성을 얻기 위한 규칙이다. 여기서  $POINT(N_k, N_{k+1})$ 는 출발압구노드  $N_k$ 부터 도착압구노드  $N_{k+1}$ 까지의 진로구간상에 순차적으로 포함되는 선로 전환기들의 집합이다.

HR 4)  $\min\{RFAULT\}$  이것은 진로사고율이 최소인 진로구간을 우선선택함으로써 입환작업의 지연을 미연에 방지하기 위한 규칙이다. 여기서  $RFAULT$ 는 진로구간사고율이다.

CT 1] 출발노드와 동일궤도상의 도착노드는 선택에서 제외한다. 이 제약조건은 출발노드에 대해 입환진로가 구성될 수 없는 도착노드가 선택되는 것을 방지하기 위한 규칙이다.

CT 2] 이미 탐사된 진로구간은 선택에서 제외한다. 이 제약조건은 궤도연결성 추적시 반복탐색을 방지함으로써 추론의 안전성을 확보하고 실현 불가능한 전략 수립의 가능성을 줄이기 위한 규칙이다.

CT 3] 전철기 포함 궤도구간에서 브랜치와 브랜치의 경로는 허용되지 않는다. 이 규칙은 열차가 실제적으로 운행할 수 없는 구간에 대한 탐색을 제한하기 위한 규칙이다. 여기서, 전철기 정위를 스템, 반위를 브랜치로 표시한다.

#### 4. 문제해결 전략

전문가 시스템은 역 DB로부터 실시간 DB에 궤도 연결성에 근거한 역 구조모델을 구축한 상태에서 진로 취급자로부터 입환진로 요구가 있게되면 다음과 같이 수개의 단계를 거쳐 입환전략을 수립하게 된다.

단계 1] 진로 취급자가 기관차, 대차의 위치를 확인하여 입력한 출발/도착압구 정보로부터 기관차 점유위치에서 출발이 가능한 출발압구 노드집합  $SPB_x = (N_{xy})$  결정한다. 초기노드인 경우  $SPB$ 는 하나의 노드만을 포함한다. 여기서  $x, y, j, k, m$ 을 0으로 설정하고  $SRS = \{\}$ ,  $T_j = \{\}$ 로 한다.  $N_{xy}$ 는 깊이  $x$ 의  $y$ 번째 압구노드임을 의미하는데 초기노드이므로  $x=0$ 로 설정된다.  $j, k$ 는 궤도의 깊이와 너비를, 그리고  $SRS, T_j = \{\}$ 는 입환진로 집합과  $j$ 번째 깊이의 궤도에 연결되는 궤도들의 집합이다. 다음 단계 2를 실행한다. 출발노드  $N_{xy}$ 로부터 초기 궤도정보  $M_{jk}$ 를 제공한다.

단계 2] 추론기관으로부터 궤도노드  $M_{jk}$ 가 제공되면 해당 노드로부터 궤도연결성을 탐색하여 탐색트리를 하위깊이의 궤도노드 집합  $T_j = (M_{j+1k})$ 로 확장한다. 따라서, 깊이  $j$ 의  $k$ 번째 노드로부터 다음 깊이  $j+1$ 의 궤도노드  $T_j = (M_{j+1k})$ 로 확장된다. 이때, 부 추론기관에서는 각각의 확장노드에 대해서 휴리스틱 비용평가에 필요한 정보를 탐색, 저장한다. 여기서,  $M_{jk}$ 는 깊이  $j$ 의  $k$ 번째 궤도노드임을 의미한다.

단계 3] 확장된 노드  $M_{j+1k}$ 에 대해서 구간진로의 압구노드를 포함하는지 판별된다. 만약, 도착PB(압구)를 포함하지 않으면 깊이  $j=j+1$ 로 설정한 다음, 단계 2를 실행한다. 반면에 압구노드를 포함하면 그 도착압구노드를 다음깊이의 출발압

구노드  $N_{x+1,m+1}$ 로 하여 진로구간 압구노드 집합  $TPB_{xy}$ 에 추가하여  $TPB_{xy} = (TPB_{xy} | N_{x+1,m+1})$ 를 얻는다. 그리고 휴리스틱 비용 @에 의해 노드들이 재정렬된 다음, 단계 4로 가서 궤도노드집합  $T_j = \{\}$ 인지가 확인된다.

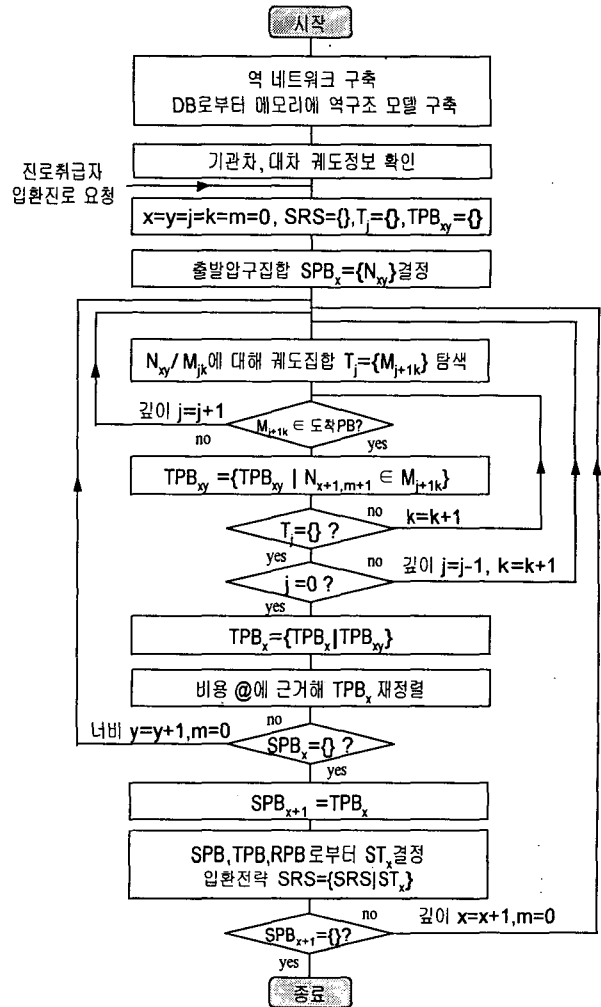


그림 6 문제해결 전략  
Fig. 6 The strategy of the problem-solving

단계 4] 만약,  $T_j = \{\}$ 이면  $k=k+1$ 로 설정한 다음, 단계 3으로 가서 같은 깊이의 다음 노드에 대해서 도착 PB여부가 검사된다. 반면에  $T_j = \{\}$ 이면, 단계 5로 가서 초기노드인지가 확인된다.

단계 5] 만약,  $j \neq 0$ 이면 초기노드가 아니므로  $j=j-1, k=k+1$ 로 설정한 다음, 단계 3으로 가서 상위깊이의 다음 노드를 역 추적하게 된다. 반면에  $j=0$ , 즉 부 추론기관의 현재 추론깊이가 0이면 더이상 출발노드내에서 탐사되어야 할 노드가 존재하지 않으므로 지금까지 탐사된 노드집합  $TPB_{xy}$ 를 깊이  $x$ 의 진로구간 도착노드집합  $TPB_x$ 에 추가하여  $TPB_x = (TPB_x | TPB_{xy})$ 를 얻는다. 다음  $SPB_x = \{\}$ 인지가 확인된다. 만약  $SPB_x = \{\}$ 이면 다음 출발노드  $N_{xy+1}$ 에 대한 궤도정보를 가지고 단계 2로 간다. 반면에  $SPB_x = \{\}$ 이면 도착노드집합  $TPB_x$ 를 다음 깊이의 새로운 출발노드들의 집합  $SPB_{x+1}$ 로 설정한다. 그리고

TPB<sub>x</sub>로부터 진로취급자가 입력한 도착압구 RPB와 동일한 압구를 가지는 노드들을 확인하여 SPB, TPB, RPB로부터 입환진로들을 결정, 입환진로 집합에 추가하여 SRS={SRS|ST<sub>x</sub>}를 얻는다. 다음 단계 6으로 간다.

단계 6] SPB<sub>x+1</sub>(=)인지를 검증한다. 만약 SPB<sub>x+1</sub>(=)이면, 단계 2로가서 N<sub>x+1,y</sub>에 대해서 탐색을 계속하고 그렇지 않으면 탐색을 종료한다. 여기서 y=0로 설정된다.

5. 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 진로 취급자가 기관차와 대차의 위치에 따라 출발압구와 도착압구를 지정하면 인공지능기법을 이용하여 기관차와 대차간의 합리적인 입환진로를 결정하는 입환진로 결정 전략이 제안되었다. 따라서, 제안된 전략의 유용성을 검증하기 위해서는 주어진 문제에 대한 전문가 시스템의 추론내용을 검증해 보는 것이 바람직하다. 그림 7은 입환전략의 정확성을 검증하기 위해서 도입된 소규모의 역으로서 임의적으로 다양한 입환진로가 설계되었다. 각 입환 진로구간들에 대해 사고율과 허용시간은 동일하게 0.1과 90분으로 설정하였다.

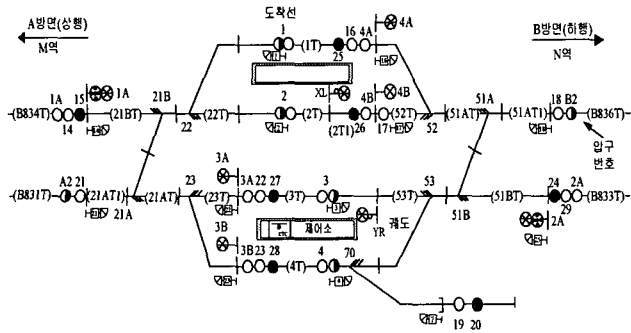


그림 7 시뮬레이션을 위한 역 모델  
Fig. 7 Model station to simulate the performance

시뮬레이션 예는 도착선 1T에 있는 기관차를 이동시켜 도착선 4T에 존재하는 대차와 연결시키는 입환작업이다. 이 작업에도 많은 경로가 가능하나 2개의 경우에 대해서 모의를 시도한다. 먼저 진로 취급자가 입환작업을 (16,4)로 결정하는 경우이다. 전문가 시스템의 주 추론기관은 출발압구 16에 대한 진로구간 도착압구를 부 추론기관에 요청한다. 부 추론기관은 궤도연결성을 추적하여 CR 3]에 의해 노드들 B2, 26, 24, 3, 4로부터 열차운행이 가능한 진로구간 압구노드 {B2}를 확인, 주 추론기관에 제공하며 주 추론기관은 진로구간 {16,B2}를 얻는다. 그리고 B2가 목적노드가 아니므로 18을 출발압구로 하여 부추론기관에 제공한다. 다시 부 추론기관은 CR 1-3]에 의해 가능한 확장노드 {26, 3, 4}를 얻는다. 이들은 휴리스틱 규칙 HR 1-4]에 의해 {4, 3, 26}을 재정렬하게 되는데 노드 4가 진로 취급자에 의해서 입력되는 입환진로 도착압구와 일치하므로 첫 번째 노드 4가 목적노드가 된다. 따라서 주 추론기관은 초기노드에서 목적노드까지의 탐색경

로로부터 첫 번째 입환전략 [{16, B2}, {18, 4}]를 얻게된다. 그림 8은 전문가 시스템의 추론내용을 보인다. 그림에서 점선으로 표시된 부분은 제약조건 CT 1-3]에 의해 탐색이 중단되는 경로를 보인다.

다음 전문가 시스템은 두 번째 우선순위의 노드 3을 탐색한다. 이때 3이 목적노드가 아니므로 노드 3을 주 추론기관에 제공하며 주 추론기관은 22를 출발압구로하여 부 추론기관으로부터 CR 1-3]에 의해 진로구간 {22, A2}를 얻는다. 그리고 다시 노드 26을 부 추론기관에 제공하여 HR 1-4]에 의해 {A2, 15}를 얻는다. 이 과정이 완료되면 주 추론기관은 각각 진로구간들 {21,2}, {21,27}을 얻는다. 그러나 노드 2와 27이 목적노드가 아니므로 {17,B2}와 {3,24},{3,B2}로 확장된다. 그리고 다시 {18,4}와 {29,4}, {18,4}를 얻는다. 이때 이들 진로들의 도착노드는 모두 목적노드이므로 새로운 입환진로들 3개가 추가로 얻어진다. 따라서 두번째 입환진로의 경우는 탐색경로로부터 [{16, B2}, {18, 3}, {22, A2}, {21, 2}, {17,B2}, {18,4}]와 같이 얻을 수 있다. 반면에 입환작업 (1,4)에 대한 첫번째 추론결과는 {1,A2}, {21,27}, {3,24}, {29,4}이고 두번째 추론결과는 {1,A2}, {21,27}, {3,B2}, {18,4}임을 알 수 있다.

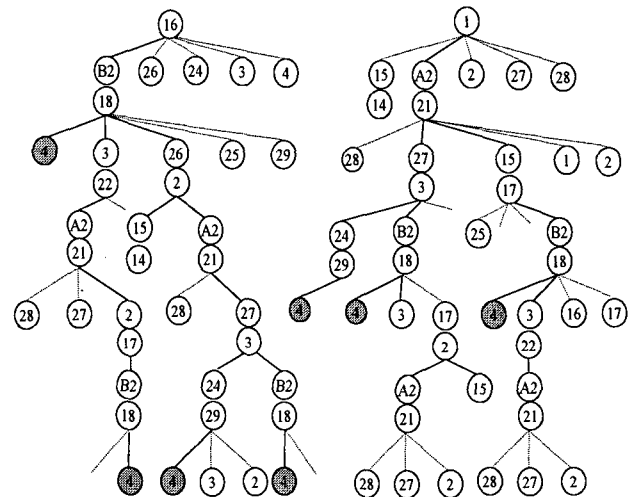


그림 8 경우 1, 2에 대한 전문가 시스템 추론결과  
Fig. 8 The inference results for case1 and case2

전문가 시스템은 이러한 과정을 거쳐서 가능한 모든 가능한 입환전략들을 탐색하게 된다. 그림 8은 경우 1과 경우 2에 대한 전문가 시스템의 추론결과를 보인다. 표 1은 30개의 경우들에 대한 시뮬레이션 결과들을 보인다. 입환작업은 출발압구와 도착압구로 표시된다. 표1의 시뮬레이션 결과는 전문가 시스템이 CR 1-3]에 의해 궤도의 연결성을 정확히 추정하면서 휴리스틱 규칙 HR 1-4]에 근거하여 가능한 모든 입환진로들에 대한 합리적인 입환전략을 수립함을 보인다. 따라서 추론결과를 통해 제안된 입환진로 자동 결정 전문가 시스템의 유용성을 확인할 수 있다.

표 1 시뮬레이션 결과  
Table 1 Simulation results

#	입환작업		입환전략			
	출발 입구	도착 입구				
1	16	4	{16,B2}	{18, 4}		
2	1	4	{ 1 ,A2}	{21,27}	{3,24}	{29,4}
3	16	3	{16,B2}	{18, 3}		
4	17	3	{17,B2}	{18, 3}		
5	17	4	{17,B2}	{18, 4}		
6	22	1	{22,A2}	{21, 1}		
7	22	2	{22,A2}	{21, 2}		
8	23	1	{23,A2}	{21, 1}		
9	23	2	{23,A2}	{21, 2}		
10	19	1	{19, 4}	{23,A2}	{21, 1}	
11	19	2	{19, 4}	{23,A2}	{21, 2}	
12	19	3	{19, 4}	{ 4,24}	{25, 3}	
13	19	4	{19, 4}			
14	16	1	{16,B2}	{18, 3}	{22,A2}	{21, 1}
15	16	2	{16,B2}	{18, 3}	{22,A2}	{21, 2}
16	17	1	{17,B2}	{18, 3}	{22,A2}	{21, 1}
17	17	2	{17,B2}	{18, 3}	{22,A2}	{21, 2}
18	22	3	{22,A2}	{21, 2}	{17,B2}	{18, 3}
19	22	4	{22,A2}	{21, 2}	{17,B2}	{18, 4}
20	23	3	{23,A2}	{21, 2}	{17,B2}	{18, 3}
21	23	4	{23,A2}	{21, 2}	{17,B2}	{18, 4}
22	14	24	{14, 1}	{16,B2}	{18, 3}	{25, 3}
23	14	B2	{14, 2}	{17,B2}		
24	25	15	{25, 3}	{22,A2}	{21, 2}	{14, 2}
25	25	A2	{25, 3}	{22,A2}		
26	18	A2	{18,3}	{22,A2}		
27	18	14	{18, 3}	{22,A2}	{21, 2}	{14, 2}
28	21	B2	{21, 2}	{17,B2}		
29	21	24	{21, 2}	{17,B2}	{18, 3}	{25, 3}
30	2	28	{ 2,A2}	{21,28}		

6. 결 론

본 연구에서는 휴리스틱 탐색전략을 이용, 역의 열차운행 환경을 종합적으로 고려하여 입환작업의 효율성과 안전성을 제고할 수 있는 입환진로 자동결정 전략을 제안하였다. 전문가 시스템은 주 추론기관과 부 추론기관으로 구성되는데 주 추론기관은 부 추론기관으로부터 제공되는 임의의 진로구간들을 이용하여 입환진로들을 결정한다. 이때 가능한 입환작업들에 대한 입환진로들은 휴리스틱 평가비용에 근거한 우선순위를 가지도록 추론되며 차순위를 가지는 입환진로들은 비상시 입환진로로 활용될 수 있도록 함으로써 비상시에도 진로 취급자가 당황하지 않고 입환진로를 결정할 수 있도록 설계하였다. 입환진로의 우선순위를 결정하고 입환진로 탐색을 위한 탐색공간을 줄이기 위한 휴리스틱 규칙들은 역내의 궤도구조와 숙련된 진로 취급자로부터 얻어졌다. 시뮬레이션 결과는 합리적인 입환전략을 제안하며 특히 소모적 탐색에 대해 정확한 추론결과를 보임으로써 추론기관 설계의 유효성을 입증하였다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 남서울대학교 교내 연구비의 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] "철도신호발전사", 신호보안협회, 1980.
- [2] 市川, "繼傳連動藏置 と 電子連動藏置", 鐵研速報, 1958.
- [3] 전자연동장치 I, II, 서울특별시 도시철도공사, 1995.
- [4] 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.
- [5] 奥村 幾正, "電子連動裝置", 鐵道 と 電氣技術, Vol.4, 1983.
- [6] A.H. Cribbens, "Solid-State Interlocking(SSI) : An Integrated Electronic Signalling System For Mainline Railways", IEE Proc. Vol. 134. pp.148~158, MAY, 1987.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 渡邊 俊勝, "これは 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.
- [10] 전자연동장치 EBLock 매뉴얼, ADTranz
- [11] 고윤석, 김종선, "인공지능기법을 이용한 철도 연동 지식베이스의 자동구축 S/W 개발", 대한전기학회 논문지 48A권 6호, pp 800-806, 1999년 6월.
- [12] 고윤석, 최인순, 권용훈, "철도 전자연동장치의 고신뢰화를 위한 실시간 전문가 시스템", 대한전기학회 논문지 48A권 11호, pp 1457-1464, 1999년 11월.
- [13] 고윤석, "자동생성되는 연동도표에 근거한 지능형 전자연동 시스템 설계", 대한전기학회 논문지 51D권 10호, pp 100-107, 2002년 3월.

저 자 소개



고 윤 석(高 鈞 錫)

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