

인공지능기법에 근거한 철도 전자연동장치의 연동 지식베이스 자동구축 S/W 개발

고윤석\* · 김종선\*\*  
 남서울대학교 전자공학과\* · 광운대학교 제어계측공학과

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

Yun-Seok Ko\* · Jong-Sun Kim\*\*  
 Namseoul University\* · KwangWoon University\*\*

**Abstract** - 본 연구에서는 전자연동장치의 확장성과 신뢰성 제고를 위해 전자연동장치의 실시간 연동전략으로 활용될 수 있는 연동 지식베이스를 자동 생성, 구축할 수 있는 지능형 연동지식베이스 자동 구축 소프트웨어(IKBAGS)를 개발한다. IKBAGS의 추론부는 주어진 역 모델의 동적탐색하에서 휴리스틱 규칙들의 우선순위에 따라 모든 진로를 탐색함은 물론 각 진로들에 대해 진로상 신호설비들간의 연쇄관계를 확인하여 연동패턴들을 자동생성하는 연동지식 자동생성기를 가진다. 지식베이스는 전자연동장치상의 실시간 전문가 시스템이 직접적으로 활용할 수 있는 구조로 설계됨으로써 연동도표 입력과정에서 발생할 수 있는 오류를 배제, 연동장치의 정확성과 신뢰성을 높인다.

따라서, 본 연구에서는 인공지능기법에 근거함으로써 확장성, 보수유지의 편리성은 물론 전자연동장치의 안전도 고도화에 기여할 수 있는 연동지식 자동구축 소프트웨어(IKBAGS)가 개발된다.

2. 연동 개념

철도 시스템은 선로와 역들로 구성되며, 역은 열차진입이나 통과 그리고 입환작업이 효율적으로 이루어질 수 있도록 주 본선과 수개의 부분선으로 이루어진다. 그림 1은 역의 구성을 설명하기 위해 도입된 대표적인 역 모델을 보인다.

1. 서 론

최근, 운송효율의 증대와 경쟁력 제고를 위한 열차의 고속, 고밀도 운행은 열차추돌이나 탈선 등과 같은 대형 사고를 초래할 수 있기 때문에, 철도 사업자들은 최대의 안전도하에서 효율적인 열차운행이 보장될 수 있도록 신조호안 문제에 많은 노력을 기울이고 있다.[1-2]

특히, 역 구내에서는 열차의 도착, 출발 및 입환 작업등이 연속적으로 이루어져 진로구성을 위한 전철기 조작과 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 함으로써 데이터 처리의 전산화, 신호설비 데이터의 분석을 통한 예방정검 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 설계되어야 한다. 따라서, 전자연동장치의 안전도 고도화를 위한 연구가 활발히 이루어지고 있는데, 특히, 하드웨어 설계분야에서는 TMR 구조, Dual Duplex 구조[7-9] 등 고도의 결합허용 시스템 구조가 활발히 연구되고 있다. 반면에, 소프트웨어 설계분야에서는 매크로틱스법, 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.

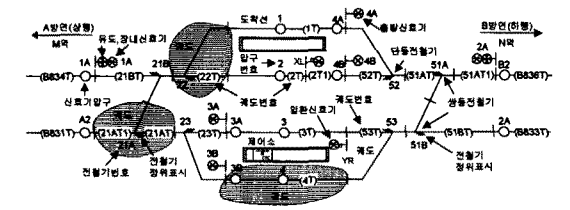


그림 1 대표적인 역 모델  
 Fig. 1 The typical station model

일반적으로, 진로조작자는 역내에 열차진입이나 출발, 통과 또는 입환작업시에 열차추돌이나 탈선사고 없이 안전하게 열차가 운행되도록 신호기와 전철기를 조작하여 진로를 재 구성해야 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 운행 진로가 존재하는데, 각각의 진로에 대해 채정, 철사채정, 신호제어, 진로채정, 접근채정 관계를 정확하게 정의한다면 역내에서의 모든 진로들에 대한 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 신뢰도 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), crossings, 그리고 신호기들에 근거한 고정 데이터 구조로 표시될 수 있다. 그림 2는 그림 1의 모델역을 그래프 이론을 이용하여 모델링한 그림이다.

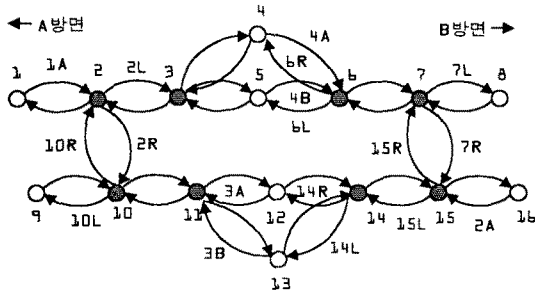


그림 2 그래프 이론을 이용한 역 모델링  
Fig. 2 Station modelling using graph representation

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.

### 4. 추론구조 설계

본 연구에서 제안하는 전문가 시스템은 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.

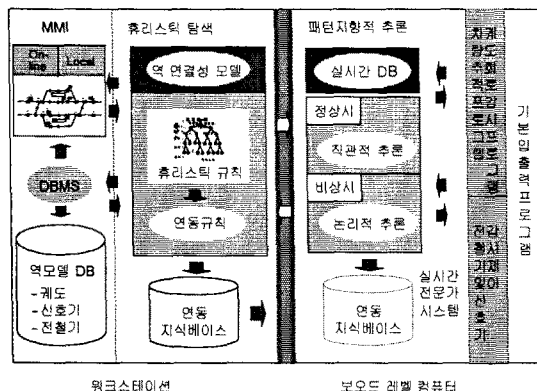


그림 3 전자연동 전문가 시스템 구조  
Fig. 3 Electronic interlocking expert system

연동 지식베이스 결정 문제는 초기노드로부터 출발하여 진로를 탐색하는 데이터 구동방식의 탐색트리 구조로 표시할 수 있다.

### 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, 고딕 원은 압구노드를, 점선원은 전철기 노드를 표시한다.

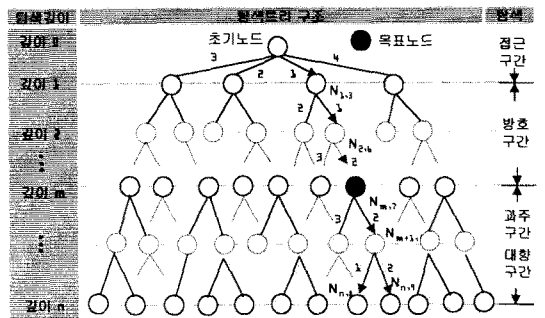


그림 4 탐색트리 구조  
Fig. 4 The structure of search tree

그림에서 ○는 탐색노드를, ●는 목표노드를 나타낸다. 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)

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 선로로 진로로 선택함으로써 진로확보를 위한 노력을 최소화할 수 있으며 특히, 조작실패에 대한 위험을 최소화할 수 있다.

### 5. 추론전략 구현

추론구조 설계에서 제안된 전문가 시스템의 문제해결 전략에 대한 구체적인 흐름도는 그림 5에 보이는데, 이들에 대한 단계적인 문제해결절차는 다음과 같다.

### 6. 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 전문가 시스템의 역 구조에 대한 진로탐색능력과 각 진로에 대한 신호설비들간의 정확한 연쇄관계의 추론능력을 검증하기 위해서 도시철도 시스템의 한 역에 대해서 그 성능을 검증한다. 전문가 시스템이 그림 1에 대해서 추론한 진로들 중 정규진로 8개에 대해서만 그 결과를 보인다. 표 1은 전문가 시스템의 연동지식 자동 생성기능에 의해서 생성된 각 진로들에 대

한 연동패턴으로 구성되는 연동 지식베이스를 보인다.

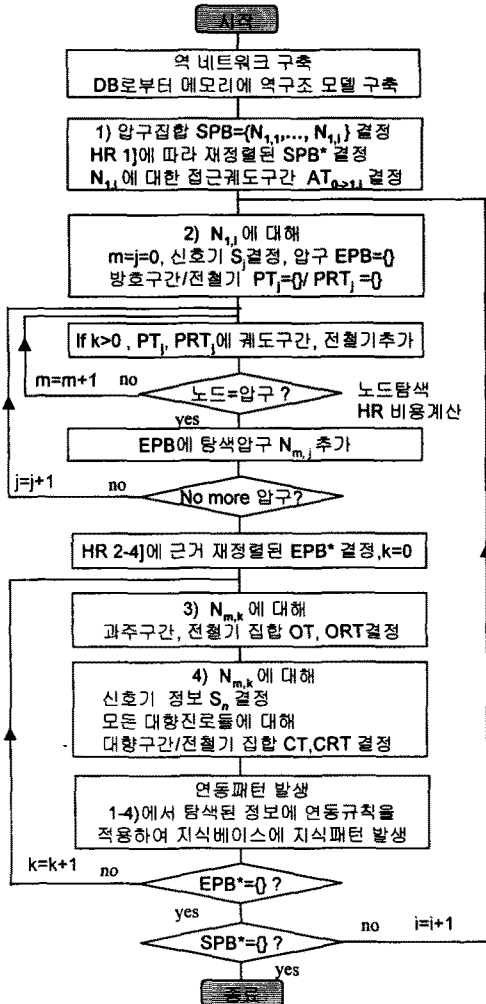


그림 5 문제해결 전략  
Fig. 5 Problem-Solving Strategy

추론결과에서 전문가 시스템은 주어진 역의 모든 정규 진로들에 대한 연동패턴들을 정확하게 추론하였음을 확인하였다. 또한, 실시간 DB에서 직접 이용할 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 생성 전략을 개발하였다. IKBAGS는 역의 구조에 관계없이 주어진 역 모델에 대해 휴리스틱 탐색법에 근거하여 모든 진로를 탐색하는 물론 각 진로에 대해 연동규칙을 적용하면서 역 모델을 동적으로 탐색하여 연동패턴들을 자동생성하는 연동지식 자동생성기능을 가진다. 전문가 시스템은 도시철도의 대표적인 모델역에 대하여 그 성능이 검증되었다. 성능검증에서 전문가 시스템은 주어진 역의 모든 진로에 대한 연동관계를 정확히 표시하는 연동 지식베이스를 작성함으로써 그 유효성이 입증되었다.

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

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

### [참고문헌]

- [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, 川又和雄, "電子連動藏置의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.