

전자연동장치의 실시간 연동처리전략 수립 지원을 위한 전문가 시스템

고윤석* · 송준일* · 최인순** · 권용훈** · 이기서**
 남서울대학교 전자공학과* · 광운대학교 제어계측공학과**

A Real-Time Expert System for Railway Electronic Interlocking System

Yun-Seok Ko* · Joon-il Song* · Inn-Soon Choi** · Yong-Hoon Kwon** · Kee-Seo Lee**
 Namseoul University* · KwangWoon University**

Abstract - 본 연구에서는 고도의 전문가 수준에서 역구내 상황을 고려하여 실시간 전자연동처리전략을 수립함으로써 열차운행을 안전하고 정확하게 제어, 열차충돌이나 탈선 등의 사고를 사전에 방지함으로써 보다 높은 안전도가 보장될 수 있도록 지원하는 전문가 시스템이 제안된다. 전문가 시스템은 열차의 역구내 운행시 신호기, 전철기, 궤도회로 등의 입력정보로부터 연동 지식베이스에 근거하여 신호설비들간의 연쇄관계를 확인, 실시간 연동전략을 수립하며, 연동규칙을 정확하고 효과적으로 표시할 수 있도록 규칙기반 시스템으로 구현된다. 특히, 제어실패시 논리적 추론기능과 협조하여 합리적인 진로를 제시함으로써 비상시 역무원이 당황하지 않고 신속하고 안전하게 연동업무를 처리할 수 있도록 한다.

1. 서 론

신호보안시스템은 선로상의 열차운행상황을 중앙에서 집중 감시제어하는 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 신호보안설비들간을 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 문제들을 극복하기 위해 점차 전자연동장치로 대체되고 있다. [3-4] 전자연동장치는 프로그램에 의해서 연동논리가 구현됨으로써 확장성, 유지보수의 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, 그중 문헌 [7-9]에서는 Dual Duplex 등 하드웨어의 안전도를 고도화하기 위한 결합허용 시스템이 제안되며, 문헌 [10-11]은 매트릭스법, 결선도법 등 수개의 연동 논리 구현 기법등이 제안된다. 특히, 문헌 [12]에서는 다양한 구조의 역 모델로부터 전자연동장치상의 실시간 연동 지식베이스를 자동 생성할 수 있는 지능형 연동지식 자동생성 소프트웨어(IKBAGS)가 제안된다.

본 연구에서는 문헌 [12]의 IKBAGS로부터 생성되는 연동 지식베이스를 근거로 실시간 연동처리를 지원함으로써 확장성과 안정도를 제고할 수 있는 통합형 실시간 전문가 시스템(RTES)이 제안된다. 제안되는 전문가 시스템은 소프트웨어 설계의 단순화를 통한 신뢰도 제고

를 위해 규칙기반 시스템으로 설계되며, 궤도회로, 전철기, 신호기등의 디지털 입력정보로부터 IKBAGS에서 제공되는 지식 베이스를 탐색하여 연동전략을 결정하도록 설계된다. 또한, 제어실패시나 비상시 IKBAGS로 하여금 궤도구조 연결성을 탐색하여 전문가 수준에서 새로운 진로를 자동 결정, 역무원이 당황하지 않고 신속하고 안전하게 연동업무를 처리할 수 있도록 지원함으로써 연동처리의 고신뢰화를 보장할 수 있도록 설계한다.

2. 신호설비와 연동논리

전자연동장치는 LCP/LMP, FEPOL, 연동장치 IS (Interlocking System), TM(Trackside Modules)으로 구성된다. IS는 연동논리를 프로그램으로 구현하는 연동 장치로 시스템의 신뢰도를 보장하기 위해서 Dual Duplex 구조등으로 구성된다. [14]

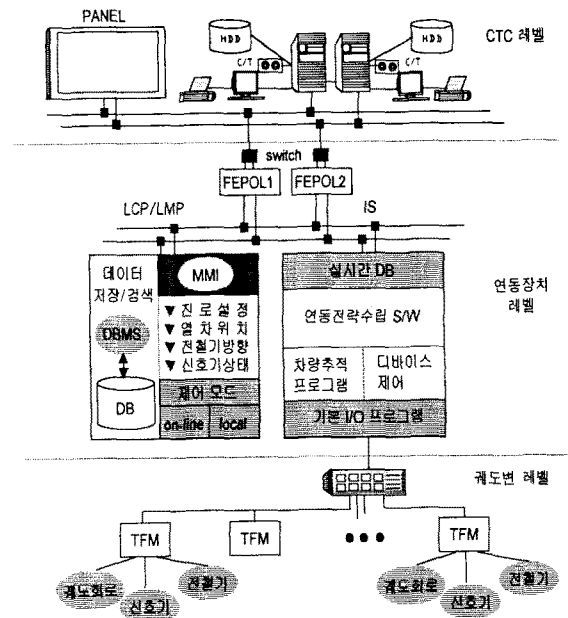


그림 1 전자연동장치의 구성
 Fig. 1 Composition of the electronic interlocking system

LCP/LMP는 진로를 입력하고 열차위치는 물론 전철기나 신호기의 상태를 실시간으로 표시한다. 또한, 온라인/로컬 기능 설정을 통해 IS가 온라인 기능하에서 CTC로부터 원방제어되거나 로컬기능하에서 역내의 LCP에 의해 운영될 수 있도록 한다. I/O 프로그램은 계전기 상태감시나 제어를 통해 신호설비를 감시, 제어하는 기본 프로그램이다. 차량추적 프로그램은 궤도이상이나 궤도회로 고장등으로 인해 불확실성을 포함할 수

있는 궤도계전기 정보로부터 정확한 열차위치를 추정한다. 연동장치는 열차의 진입/출발시 연동관계에 있는 신호설비들에 채정, 철사채정, 신호제어, 진로채정, 접근채정 등 연동규칙을 적용함으로써 열차운행의 안전도를 확보하게된다. 따라서, 열차운행의 안전도는 연동관계에 있는 신호설비들에 연동규칙을 적용하는 문제와 하드웨어적인 채정을 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 IKBAGS(14)와 RTEs 구성된다. DB는 그래프 이론에 의해서 표시되는 역 구조 데이터 즉, 궤도 데이터, 전철기 데이터, 신호기 데이터 그리고 압구 데이터등을 포함한다.

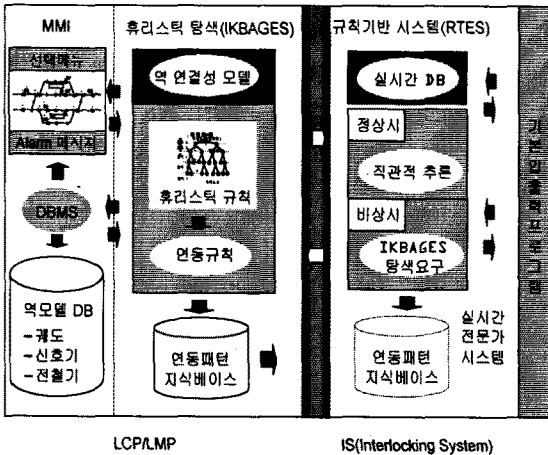


그림 2 전문가 시스템 구조
Fig. 2 The Composition of the expert system

3.1 연동규칙

RTEs는 워크스테이션 레벨과는 달리 역의 연결성을 요구하지 않도록 정확하고 단순한 구조의 규칙기반 시스템으로 구현하여 신뢰도를 높인다. 대표적인 연동규칙은 다음과 같다.

- RULE 1) 만약 해당진로가 고장이 없고 해당상태이면 진로설정을 허가한다.
- RULE 4) 만약, 해당진로에 대한 대향진로 신호기가 해당상태이고 정지현상이면 진로설정을 허가한다.
- RULE 5) 만약, 방호구간내에 열차가 존재하면 진로설정을 불허한다.
- RULE 7) 만약, 전철기가 정상상태, 자동조작 타입이며 해당궤도에 열차가 없는 경우에 전철기 전환을 허가한다.
- RULE 10) 만약, 열차가 접근궤도회로내에 진입하여 있는 상태에서 신호기가 진행을 현시하거나, 진행현시인 상태에서 열차가 접근궤도구간으로 진입하는 경우 접근채정을 설정한다.
- RULE 11) 만약, 열차가 신호기 내방 궤도구간으로 진

입하기 시작하면 정지신호를 현시한다.
RULE 12) 만약, 열차가 정해진 단계대로 추적되지 않는 경우 RULE 13)을 구동시킨다.
RULE 13) 만약, 실시간 위치패턴과 동일한 패턴이 발견되면 동일한 패턴을 열차위치 패턴으로 한다.

3.2 연동추론절차

실시간 전문가 시스템은 실시간 DB, 진로예비처리, 연동 프로세스들로 구성되는데 특히, 연동 프로세스는 동시처리가 가능하도록 본선 수에 근거하여 수개의 프로세스들로 설계된다. 진로예비처리 프로세스는 항상 MMI로부터 진로가 입력되기를 기다리다가 진로가 입력되면 실시간 DB로부터 진로를 검색하여 해당진로에 사용하는 프로세스를 실행시킨다. 이때, 프로세스는 그림 3에 보인바와 같이, 해당진로에 대한 열차점유상태나 대향진로 구성여부를 검사하여 연동규칙을 만족할 때 진로를 허가하며, 열차가 접근구간에 도달하면 접근채정을 실시하고, 열차진입으로부터 출발에 이르기까지 해당진로에 연동처리 절차를 순차적으로 적용함으로써 열차운행의 안전성을 확보한다.

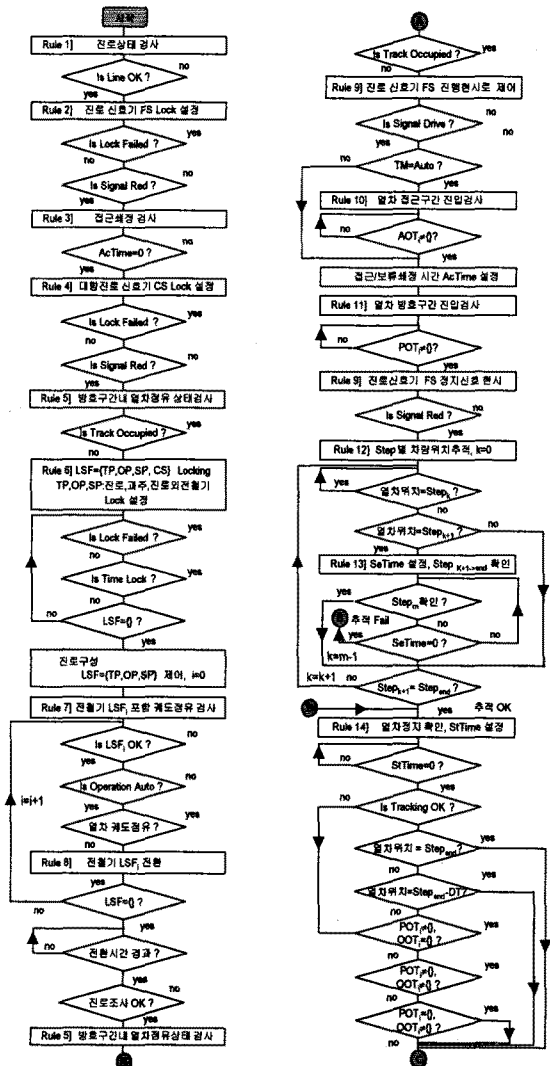


그림 3 연동처리 절차
Fig. 3 Interlocking Procedure

4. 시뮬레이션 결과

전문가 시스템은 규칙기반 시스템으로 IKBAGS로부터 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 시나리오가 모의된다.

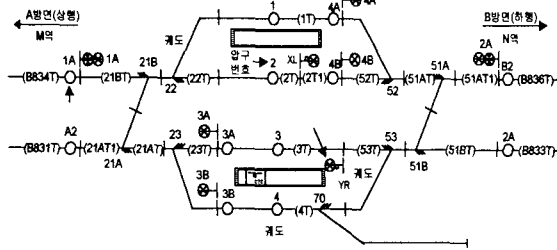


그림 4 성능검증을 위한 역 모델
Fig. 4 Model Station to prove the performance

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 영역에서 발생할 수 있는 다양한 시나리오들에 대해 실시한다. 먼저, 쇄정영역에서는 쇄정대상 신호설비들이 모두 정상이고 아직 다른진로에 의해서 쇄정되지 않았을 때 정확히 쇄정에 성공하는지의 여부와 쇄정대상 전철기나 신호기가 이미 쇄정상태이거나 고장인 경우 또는 열차가 궤도를 점유하는 경우 정확하게 쇄정에 실패하는지의 여부를 검증한다. 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 검증한다.

5. 결론

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 IKBAGS로부터 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. 전문가 시스템은 수개의 진로설정 모의결과에서 정확하게 동작하여 열차운행의 안전도를 확보할 수 있는 연동처리 결과를 보임으로써 그 유용성을 입증하였다.

표 1 진로 {1A,1}, {4A,B2}에 대한 성능검증 결과
Table 1 Proof results of validation for {1A,1}, {4A,B2}

진로	검증 내용	#	Lock 신호설비	열차정유 궤도구간	Failure 전철기	접근쇄정 Timer	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,51AT 1			52,51쇄정	
	접근 쇄정	14		B836T			52,51해정	
		15		B836T			90	진로Fail
	16		B836T			0	진로OK	

(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, 川久和雄, "電子連動藏置의 開發", 鐵研速報, 1980.
- [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.