

열차집중제어장치와 전자연동장치간 정보전송을 위한 통신 프로토콜 구조 연구

황종규, 이재호
한국철도기술연구원 철도신호통신연구팀

A Study on Communication Protocol for Interface between CTC and EIS Equipm

Jong-Gyu Hwang, Jae-Ho Lee
Korea Railroad Research Institute(KRRI)

Abstract - According to the computerization of railway signalling equipments, the need of communication protocol for interface between these equipments is increasing. In this paper the research results on communication protocol structure for interface between LDTS(Local Data Transmission System) and EIS(Electronic Interlocking System) is represented.

1. 서 론

철도 신호제어장치들은 각자 고유의 기능을 수행하면서 각 장치간 통신링크를 통하여 하나의 신호제어시스템을 구성하고 있다. 이러한 신호제어장치들이 기존에는 대부분 기계적 또는 계전기 로직에 의해 그 고유의 기능을 수행하여 왔으나, 최근 들어 각 장치별로 전자화된 장치들로 대체되어가고 있다. 이처럼 신호제어장치들이 전자화 되어감에 따라 각 장치간 인터페이스를 위한 링크가 디지털 통신채널을 통하고 있으며, 이러한 각 장치간 인터페이스를 위한 통신채널에 대한 중요성이 점차 증대되고 있다.

이에 따라 이러한 철도신호제어장치들간의 인터페이스를 위한 신뢰성을 갖는 통신 프로토콜의 필요성이 점점 증대되고 있다. 본 연구에서는 이러한 신호설비들의 전자화 추세에 따라 제기되는 통신 프로토콜 구조에 대한 연구를 수행하였으며, 특히 철도청에서 사용되는 철도신호장치들 중 전자연동장치(EIS)와 역정보전송장치(LDTS) 사이의 통신 프로토콜의 구조에 대한 연구를 하였다[1][2].

이를 위해 두 장치 사이의 인터페이스를 위해 적용되고 있는 기존의 프로토콜들을 분석하였으며, 또한 국내의 유사한 프로토콜들의 기술분석 및 운영기관과 제작사의 요구사항을 분석하였다. 그리고 철도신호용으로 적합한 프로토콜의 설계를 위해 데이터링크 프로토콜의 성능 분석 및 평가를 위한 시뮬레이션 툴을 설계하였으며, 이러한 결과들을 바탕으로 철도신호용에 적합한 통신프로토콜을 설계하였다. 본 논문에서는 이러한 설계된 철도신호용 통신 프로토콜을 설명하고자 한다.

2. LDTS EIS간 통신 프로토콜 분석

전자연동장치(EIS)는 선로변 신호기기에 위치하면서 안전한 진로의 확보를 위한 연동처리 등을 담당하며, 현장의 선로전환기, 신호기 제어 등의 기능을 수행한다. 또한 역정보전송장치(LDTS)는 전자연동장치와 마찬가지로 선로변 신호기기에 위치하면서 현장의 전자연동장치와 중앙의 열차집중제어장치(CTC : Centralized Traffic Control)와의 정보교환을 위한 통신장치이다. 즉 LDTS는 CTC로부터 현장 신호설비들에 대한 제어명령을 전송 받아 연동장치로 전송하게 되고, 반대로 현장

신호설비들의 상태를 LDTS를 통해 중앙의 CTC로 전송하게 된다.

이에 따라 LDTS와 EIS사이의 링크는 CTC로부터 제어명령을 EIS로 전송하고, EIS가 가지고 있는 현장 신호장치들의 상태정보를 중앙의 CTC로 전송하는데 사용된다. 따라서 이 두 설비 사이의 통신채널은 신호설비들의 제어 및 감시에 있어서 매우 중요한 링크이다.

현재 철도청 신호제어장치에서 이 링크에 사용되고 있는 프로토콜은 크게 구분해서 두 가지 종류가 사용되고 있다. 그 중 하나는 중앙선 일부구간에 적용되는 문자단위로 전송하는 방식이고, 다른 하나는 대부분의 철도현장에서 사용되고 있는 방식으로 기존의 계전 연동장치에서 사용하던 방식을 그대로 적용한 방식이다. 본 논문에서는 전자를 'A Type' 이라 하고, 후자를 'B Type'라 명명하여 이 이후에 이 명칭을 사용한다. 현재 철도청에서 사용하고 있는 두 가지 Type에 대한 분석을 하였다.

2.1 'A Type' 프로토콜

'A Type' 프로토콜은 통신 시 LDTS가 마스터이고 EIS는 슬레이브 역할을 한다. 즉, 제어정보 또는 표시정보에 상관없이 통신을 시작할 경우는 항상 LDTS에서 통신 시작을 의미하는 'STX' 제어 메시지를 전송함으로써 통신을 시작하도록 하고 있다. 이러한 방식은 'B Type'도 같은 방식을 사용하고 있다.

그림 1은 LDTS와 EIS 사이의 통신 순서를 나타낸 것이다. 즉, EIS로 'STX'를 전송하면, EIS에서는 'DLE' 또는 'NAK'로 응답하게 된다. 이러한 과정을 거쳐 두 장치 사이의 통신 시작을 알리고, 그 다음 10 바이트로 구성된 헤더메시지를 전송하고 수신측에서 BCC 에러검사를 하여 이상이 없으면 'DLE'를 송신측으로 전송한다.

이 헤더메시지의 종류에 따라 제어정보, 열번정보 및 표시정보 요구 등 EIS로 전송하는 메시지의 내용을 구분하도록 하고 있다. 그리고 LDTS로 'STX'를 전송하여 통신 시작을 알리고 이에 따른 응답으로 'DLE' 신호를 받으면 EIS에서는 표시정보를 LDTS로 전송하게 된다. 이 표시정보를 수신 받은 LDTS에서는 BCC 에러검사를 한 후 EIS로 'DLE' 메시지를 전송함으로써 표시정보를 전송하는 통신이 마무리 되게 된다.

이처럼 이 A Type의 통신 프로토콜은 전송 메시지 프레임의 단위로 메시지를 전송하는 방식이 아닌, 제어문자를 전송하여 이에 응답

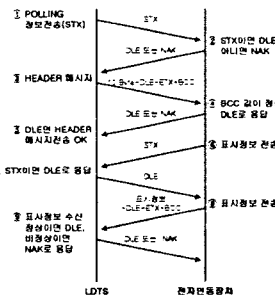


그림 1. 표시정보의 업데이트

을 확인함으로써 통신채널 설정을 하고 그 후 필요정보를 전송하는 방식으로, 일반적인 정형의 프레임 단위의 정보전송방식과 달리 각 문자별로 각 장치별 응답함으로써 효율성의 문제가 발생할 수 있다.

2.2 'B Type' 프로토콜

현재 철도청에서 사용하고 있는 LDTS와 EIS 사이의 프로토콜은 앞에서 설명한 'A Type'이 일부 사용되고 있고, 대부분의 EIS와 LDTS 사이의 통신 프로토콜은 이 'B Type'이 적용되고 있다. 이 프로토콜은 EIS와 LDTS 사이의 인터페이스를 위해 사용되고 있지만 실제로는 기존의 계전연동장치용 EIS로 교체하면서 비용의 최소화 차원에서 선택한 기형의 통신 프로토콜이다. 즉, 기존의 계전연동장치를 사용하는 경우는 계전연동장치기 계전기 로직 결선에 의해 연동로직을 구성하고 있으므로 다른 컴퓨터화된 신호장치와의 디지털통신 자체가 불가능하다. 이에 따라 LDTS에서는 계전연동장치의 계전기 접점 제어를 위해 여러 장의 I/O 보드를 멀티드롭하는 통신방식을 사용하였다. 이 상태에서 계전연동장치가 EIS로 교체되면서 기존의 계전연동장치와 인터페이스 방식을 그대로 사용하면서 이 B Type의 프로토콜이 사용되게 되었다.

Flag	Bit0	7	6	7	4	3	2	1	0
1	Destination Type Number			Destination ID Number					
0	Source Type Number			Source ID Number					
0	Long/Short Bit		Long : Message Type, Bit 0 ~ 6 Short : Message Type, Bit 0 ~ 6						
0	Long : Length of Message(including bytes 1~4) Short : Termination Checksum								
0	Long : Data Bytes 1 ... N								

그림 3. 메시지 프레임 포맷(CPU ⇒ EIS)

즉, 아직도 LDTS에서는 EIS와의 디지털 통신을 하면서도 EIS를 I/O 보드로 인식하여 계전연동장치에서와 같이 각 I/O 보드별로 멀티드롭 방식을 사용하여 각각 할당된 주소로 통신을 하고 있다. 이에 따라 그림 2와 같이 메시지 헤더에 멀티드롭 형태의 필드가 남아있지만, 실제로는 LDTS와 EIS 사이는 점대점 통신이므로 이러한 필드는 필드 없는 필드이다. 또한 이 프로토콜에서는 각 메시지는 메시지의 처음 바이트를 나타내기 위해 메시지의 처음 바이트를 제외하는 모든 바이트의 9th 비트는 '0'으로 설정하는 9th를 한 바이트로 구성하고 있다. 이러한 방식은 이들 신호설비들에 적용한 프로세서가 이러한 바이트 구성을 지원하기 때문에 가능한 방식이며, 다른 CPU를 사용할 경우에는 적용이 불가능한 방식이다.

3. 철도신호용 통신 프로토콜 구조

일반적으로 제어장치간 정보전송을 위해서 적용되는 매우 다양한 통신 프로토콜들이 존재한다. 이들 대부분의 프로토콜들은 ISO(International Organization for Standards)에서 제시한 OSI(Open System Interconnection) 참조모델을 기준으로 하여 각 계층별로 정의되어 사용되고 있다. 이러한 OSI 참조모델은 실제 적용 시에는 7 계층 모두가 적용되지 않고 시스템의 필요에 따라 일부 계층들만 정의하여 프로토콜을 설계하여 사용된다[5][6]. 철도 신호장치간의 통신방식들은 대부분 점대점 방식이므로 네트워크 연결시 필요한 상위계층은 적용되지 않고 물리계층과 데이터링크 계층만 적용되어진다. 따라서 본 연구에서는 이러한 하위계층, 특히 프로토콜의 성능에 영향을 미치는 데이터링크 프로토콜의 각 방식들에 대한 비교분석을 통하여 철도신호용에 적합한 프로토콜 구조를 연구하였다[1][2].

3.1 데이터링크 프로토콜 성능 분석 틀 설계

철도 신호장치간 통신 프로토콜의 구조를 연구함에 있어서 우선적으로 고려되어야 할 메트릭이 철도 신호장치간

정보전송에 적절한 지연시간, 에러율, 처리율 등일 것이다. 일반적으로 지연시간은 물리적인 전송속도에 주로 영향을 받으며, 전송 메시지의 구조나 데이터 링크 프로토콜의 흐름제어방식이나 에러제어방법들에 따라 복합적으로 영향을 받는다. 즉 지연시간에 영향을 미치는 가장 큰 인자는 물리적인 전송속도이지만 데이터링크 프로토콜에 따라 달라지게 된다[3][4].

에러율 역시 주어진 물리적인 환경에 영향을 받지만, 프로토콜의 구조에 따라 상당히 성능의 차이점을 나타낸다. 즉, 에러검출 방법에 따라, 검출된 에러비트들을 어떠한 방법으로 정할 것인지 또는 에러가 검출되면 해당 프레임을 재전송하여 에러율을 높일 것인지 등에 따라 달라지게 된다. 이러한 에러제어방법은 또한 전체의 처리율에도 영향을 미치게 된다. 이러한 철도신호용에 적합한 프로토콜의 설계를 위한 앞에서 언급한 데이터링크 프로토콜의 성능 비교분석을 위한 시뮬레이션 틀을 개발하였으며, 이를 이용하여 철도신호용에 적합한 프로토콜 구조를 도출하였다.

데이터링크 프로토콜 시뮬레이션을 수행하기 위하여 그림 4와 같은 Matlab을 이용한 통신시스템을 설계하였다. 전체 구성은 데이터 시그널링 방식 및 AWGN(Additive White Gaussian Noise)를 파라미터로 하여 BER을 계산하는 BER 계산 시뮬링 블록, BER과 프레임 크기로부터 프레임 에러율을 계산하는 프레임 에러 계산 시뮬링 블록, ARQ 방식들에 의거하여 데이터 레이트와 각종 채널 파라미터들로부터 링크의 사용효율을 구하는 ARQ와 Link Utilization 계산 시뮬링 블록, 시뮬레이션 결과 디스플레이 및 분석을 위한 디스플레이 블록 등으로 이루어져, 여러 파라미터 조건 하에서 데이터 링크 제어 성능을 시뮬레이션할 수 있도록 하였다. 본 시뮬레이션 틀에서 구현되는 ARQ 방식은 Stop-And-Wait(SAW) ARQ, Go-Back-N(GBN) ARQ와 Selective-Reject(SR) ARQ로서, 그림 4의 ARQ and Link Utilization Calculation 블록에서 계산되어진다.

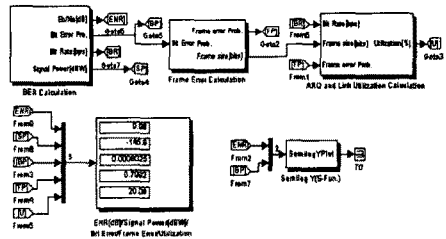


그림 4. 데이터링크 성능분석 시뮬레이션 구성도

이 설계된 틀을 이용하여 다양한 데이터링크 프로토콜들의 성능분석을 수행하였으며, 이를 통해 철도신호용에 적합한 데이터 링크 프로토콜과 전송 메시지 프레임 구조를 도출하였다.

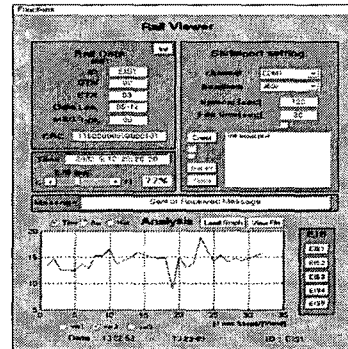


그림 5. 설계한 틀을 이용한 시뮬레이션

■ - 채널 접속 : RS 422 표준

3.2 철도신호용 통신프로토콜 구조

본 연구에서는 데이터링크 프로토콜의 여러 방법들과 프로토콜 성능 메트릭들 사이의 상호 연관성, 실제 운용되고 있는 장치사이의 인터페이스 항목 등의 분석을 통해 다음과 같은 프로토콜 구조를 도출하였다.

- 링크 구성 : 전이중(Full Duplex) 비동기 시리얼 링크
- 에러검출 : 메시지 전송도중의 에러검출을 위해서 에러검출 코드를 추가하였으며, 추가된 코드는 CRC-16 코드(CRC-16: $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$)
- 메시지 프레임 구조

STX	Data Length	Sequence No.	Message Type	Data	CRC	ETX
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	N byte	2 byte	1 byte

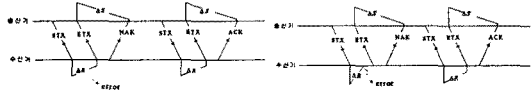
- 흐름제어 일반

- 가) 시스템의 초기화 시에는 LDTS에 의해 메시지 전송이 시작되게 된다. EIS는 LDTS로부터의 폴링 메시지에 대한 응답을 함으로서 통신을 시작한다.
- 나) LDTS로부터 EIS가 메시지를 수신 받으면 에러검출 코드에 의해 에러검출이 된 경우와 메시지 시퀀스 에러가 검출될 경우 NAK를 응답하고, 정상일 경우는 ACK 응답을 LDTS로 전송한다.
- 다) 송신측에서 전송하는 메시지 프레임의 끝(ETX)이 전송되면 바로 타이머(ΔS)를 동작시킨다. 또한 수신측에서도 수신 메시지 프레임의 시작(STX)이 전송되면 타이머(ΔR)를 동작시켜 메시지가 정상적으로 수신되는지를 확인한다.
- 라) EIS에서 LDTS로부터 수신한 메시지에 대해 NAK를 응답하게 되는 경우는 다음과 같다.
 - ① 에러 검출코드(CRC 코드) 검사에서 에러가 검출된 경우
 - ② 메시지 시퀀스 번호에 에러가 발생한 경우
 - ③ ΔR이 종료되었음에도 메시지 프레임의 끝을 의미하는 ETX를 수신하지 못하는 경우

- 재 전송 제어

- 가) 송신측에서는 다음과 같은 경우에는 동일한 메시지를 재 전송하게 되며, 3회까지 재 전송 할 수 있다.
 - ① 수신측으로부터 NAK를 응답 받은 경우

Case I : CRC 코드에 의한 에러검출, Case II : 이 ΔR 종료되었음에도 EIX 시퀀스 번호 에러



[에러검출 시 NAK 전송] [ΔR 경과 시 NAK 전송]

- ② 송신측에서 메시지를 전송함과 동시에 ΔS 타이머를 동작시키고, 이 타이머 설정시간이 경과하여도 수신측으로부터 어떠한 응답이 없는 경우에 동일한 메시지를 재 전송하게 된다.

- 나) 메시지를 3번째까지 재 전송하였음에도 NAK 또는 어떠한 응답도 받지 못할 경우는 통신이상으로 판단하고 해당 메시지를 버리고, 에러처리 한다. 이 경우 LDTS는 시퀀스 번호 0x00을 갖는 폴링 메시지를 전송하여 LDTS와 EIS사이의 통신이 정상적으로 복구되는지를 확인하게 된다. ■

이와 같은 프로토콜을 구조를 바탕으로 메시지 전송 방향별로 전송 메시지들을 도출하였으며, 또한 이에 따른 각 메시지별 전송되는 메시지 프레임들 각각 정의하였다. 그림 6은 LDTS에서 EIS로 전송되는 메시지 형식과 전송 메시지 프레임의 나타낸 것이고, 그림 7은 반대로 EIS에서 LDTS로 전송되는 메시지 형식과 프레임 구조를 나타낸 것이다.

메시지 형식	설명	'Data' 필드
0x10	초기폴링 메시지	Yes
0x20	폴링 메시지	No
0x30	제어 메시지	Yes
0x40	마스터 클럭	Yes
0x50	열차번호	Yes

(a) 메시지 형식

STX	Data Length	Seq. No.	Message Type	CRC (Low)	CRC (High)	ETX
1byte	1byte	1byte	1byte	1byte	1byte	1byte

(b) 폴링 메시지 프레임 구조

그림 6. LDTS에서 EIS로의 전송 메시지 형식 및 프레임 구조

그림에서와 같이 전송되는 메시지는 LDTS에서 EIS로는 폴링 메시지, 제어 메시지, 열번 및 마스터 클럭 정보가 전송되어지고, 반대로는 업데이트 표시정보, 운용모드 전환정보 및 ACK/NAK 메시지가 전송되게 된다. 도출된 프로토콜에서는 이러한 각 메시지들의 특성에 맞게 전송 프레임의 정의를 하였다. 그 중 EIS로 상태정보 업데이트를 요

청하는 폴링 메시지 프레임 구성은 그림 6 (b)와 같고, 업데이트 표시정보 메시지 프레임 구성은 그림 7 (b)와 같다.

메시지 형식	설명	'Data' 필드
0x11	진제 업데이트 표시정보	Yes
0x21	업데이트 표시정보	Yes
0x31	운용모드 전환 정보	Yes
0x41	ACK	No
0x51	NAK	No

(a) 메시지 형식

STX	Data Length	Seq. No.	Message Type	Data	CRC (Low)	CRC (High)	ETX
1byte	1byte	1byte	1byte	n byte	1byte	1byte	1byte

(b) 폴링 메시지 프레임 구조

그림 7. EIS에서 LDTS로의 전송 메시지 형식 및 프레임 구조

이러한 도출된 메시지 형식별로 실제로 전송되는 표시 및 제어정보들이 정의되었다. 본 프로토콜에서는 이러한 두 장치간에 전송되는 표시 및 제어정보들을 정의하였다.

비트 이름	설명
0	NP 1: 경위상태, 0: 다른 상태
1	RP 1: 반위상태, 0: 다른 상태
2	LK 1: 해정상태, 0: 해정상태
3	PF 1: 고장상태, 0: 정상상태
4	MN 1: 경위로 동작중, 0: 다른 상태
5	MR 1: 반위로 동작중, 0: 다른 상태
6	CU
7	CU

그림 8. 선로전환기 표시정보 비트 구성

이때 각 제어정보 및 표시정보들의 상태는 비트단위로 구성하여 해당 비트를 설정 또는 해제함으로써 원하는 정보가 전송되도록 하였다. 한 예로 선로 전환기의 상태정보를 EIS에서 LDTS로 전송할 경우, 선로전환기의 상태는 정·반위, 해정·해정, 정상·고장, 정·반위동작 상태정보를 전송할 수 있어야 한다. 따라서 이들 각각의 상태를 하나의 비트씩 할당하여 이들의 정보에 따라 상태정보가 전송될 수 있도록 하였다. 이러한 방식으로 LDTS ↔ EIS 사이의 전송되는 표시 및 제어정보들의 각 비트할당을 하였다.

4. 결론

향후 국내 철도신호설비들이 점차 전자화 되어감에 따라 이러한 신호제어장치간 인터페이스를 위한 표준 통신 프로토콜의 필요성이 점점 증대되고 있다. 본 논문에서는 이러한 신호설비들 중, 특히 LDTS와 EIS 사이의 정보전송을 위한 통신 프로토콜 구조에 대한 연구결과를 설명하였다. 우선 기존에 사용되고 있는 프로토콜 구조를 분석하였으며, 데이터링크 프로토콜 성능 분석 틀을 설계하여 철도신호용에 적합한 통신 프로토콜 구조를 설계하였다. 그리고 철도신호설비 제작사와 철도청의 요구사항을 분석하여 이들 장치간에 인터페이스 되는 정보들을 분류하고 또한 이들 각각에 대한 전송 메시지 구조를 정의하였다. 본 연구를 통해 설계된 통신 프로토콜은 철도청에 의해 표준으로 채택되어 향후 철도신호시스템에 적용될 예정이며, 이로부터 유지보수비의 절감 및 통신 시스템을 포함한 철도신호시스템 전체의 안전성 향상이 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] '신호설비 상호간 정보전송방식 표준화', 연구보고서, 한국철도기술연구원, 2002
- [2] 황종규, 이재호, '철도신호용 통신 프로토콜을 위한 데이터링크 성능분석 틀 설계', 한국정보과학회 추계학술대회, 11, 2002.
- [3] Gerard J. Holzmann, 'Design and Validation of Computer Protocols', Prentice Hall, 1991.
- [4] UIC code 738 R : Processing and transmission of safety information(1990)
- [5] Bernard Sklar, 'Digital Communications, 2nd ed.', Prentice Hall, 2001.
- [6] William Stallings, 'Data & Computer Communications, 6th ed.', Prentice Hall, 2000.