

열차집중제어장치와 전철 SCADA 장치간 정보전송을 위한 프로토콜 구조 연구

황종규, 이재호, 윤용기
한국철도기술연구원

A Study on Communication Protocol for Interface between CTC and SCADA System

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

Abstract - 철도 신호제어장치들은 각자 고유의 기능을 수행하면서 각 장치간 통신링크를 통하여 하나의 신호제어시스템을 구성하고 있다. 특히 철도청에서 통합 CTC 시스템을 구축하면서 신호제어시스템 이외의 SCADA나 여객정보안내 시스템 등 외부설비들과의 인터페이스를 통해 기존의 열차제어 기능만을 수행하는 것에서 타 시스템과의 디지털 통신을 통한 종합적인 정보시스템으로 발전하고 있다. 이러한 CTC장치와 외부설비들간의 인터페이스는 철도정보시스템의 발달에 따라 매우 중요한 부분이 되고 있다. 또한 철도청의 주요 노선들이 전철화 되어감에 따라 SCADA 장치의 중요성이 증가하고 있으며, 전차선의 가압상태를 CTC에서 파악하는 것은 열차의 안전운행에 있어서 매우 중요하다. 이에 따라 본 논문에서는 기존의 도시철도, 경부고속철도 등의 프로토콜의 분석을 바탕으로 철도청 통합 CTC와 SCADA 장치간 통신을 위한 프로토콜 구조를 제안한다.

1. 서 론

철도 신호제어장치들은 각자 고유의 기능을 수행하면서 각 장치간 통신링크를 통하여 하나의 신호제어시스템을 구성하고 있다. 이러한 열차제어를 위한 신호제어시스템이 최근 들어 철도 선진국을 중심으로 정보통신 기술의 발달에 따라 기존의 열차제어 기능만의 수행에 더하여 다른 장치들과 인터페이스를 통한 종합적인 정보시스템으로 발전하고 있다. 국내의 경우 현재 구축 중인 철도청의 통합 CTC 시스템도 전력 SCADA 장치, 여객정보안내 시스템, 고속철도 통합정보시스템 등 외부장치들과 통신링크를 통한 인터페이스가 추진 중에 있다. 즉, 열차제어 기능을 수행하는 CTC 시스템이 이러한 외부설비들과의 인터페이스를 하는 등 각 시스템들이 서로간 인터페이스를 함으로써 철도 시스템 전체의 통합 정보시스템으로 발전하고 있다.

철도청의 주요 노선들의 전철화가 진행되어감에 따라 전차선 섹션별 가압상태를 감시하고 제어하는 전철 SCADA 장치의 중요성이 증가되고 있다. 이러한 전철화에 따라 전차선의 가압상태 정보는 열차의 안전운행을 위해 CTC 장치에서 반드시 필요한 장치이다. 또한 SCADA 장치도 섹션별 운행열차의 수 등이 전차선계에 매우 중요한 요소가 되고 있다. 이처럼 기존의 열차제어만을 위한 신호제어장치들이 전철화 등의 상황변화와 기술발전에 따라 SCADA 장치 등 외부설비와의 인터페이스 필요성이 점차 증대되고 있다[1][2].

이러한 CTC 시스템과 인터페이스가 필요한 외부설비들 중 본 논문에서는 철도청 통합 CTC장치와 SCADA 장치와의 인터페이스를 위한 프로토콜 구조를 연구하였다. 이를 위해 기존의 도시철도 시스템들과 경부고속철도 시스템의 프로토콜들을 분석하였다. 이러한 분석들을 토대로 철도청 통합 CTC와 SCADA 장치간 통신을 위한 프로토콜 구조를 연구하였다.

2. 기존 프로토콜 분석

철도청의 경우 대부분은 CTC와 전력 SCADA 장치 사이에 인터페이스가 이루어지고 있지 않지만, 현재 구축되고 있는 경부고속철도나 여러 지자체들의 도시철도 시스템의 경우는 대부분 이들 두 장치사이에 인터페이스를 하고 있다. 일반적으로 신호제어시스템인 CTC는 전력 SCADA와 인터페이스하여 SCADA로부터 전차선의 가압상태 정보를 받아 열차제어에 이용하게 되고, 반대로 CTC는 열차의 위치정보를 SCADA로 전송하여 시스템의 효율적인 운용을 위한 정보로 활용한다.

철도청의 통합 CTC 시스템과 SCADA 시스템과의 인터페이스를 위한 정보전송방식의 도출을 위해 우선적으로 각 지자체들이 운영하고 있는 도시철도 시스템과 경부고속철도 시스템에서 이들 두 장치사이에 통신 프로토콜을 조사하였다. 대부분의 시스템들이 이들 두 장치사이에 인터페이스를 위해 시리얼 통신을 사용하고 있었으며, 에러제어 방법이나 전송 메시지 프레임 포맷도 서로 다른 것으로 분석되었다. 특히, 경부고속철도에 적용된 통신방식은 전력 SCADA 장치로부터 CTC 장치로 가압정보는 전송을 하지만 반대방향으로 열차정보는 전송하지 않는 단방향 통신채널을 구성하고 있었다. 두 장치간의 전송정보의 내용도 한 프로토콜에서는 세션별 점유하고 있는 열차의 개수에 대한 정보를, 다른 프로토콜에서는 세션별 열차의 점유유무 정보만을 전송하고 있었다. 하지만 전력 SCADA 장치로부터의 가압정보 전송은 대부분 각 세션별 가압의 유무 상태정보를 전송하고 있었다.

2.1 A방식 프로토콜

다음은 지하철 시스템의 TTC(Total Train Control : 철도청의 CTC에 해당하는 장치)와 전력 SCADA 장치 사이에 적용되고 있는 프로토콜을 표 1과 같이 요약하였으며, 표 2는 이들 두 장치사이에 교환되는 메시지를 정리한 것이다.

표 1 A방식 프로토콜

물리계층	RS 422 Asynchronous
전송속도	9600 bps
에러검출	BCC
프레임 포맷 구성	STX+Function Code+Msg. No.+Data+BCC+ETX
전송코드	Link Test Msg.(C↔S) ACK/NAK(C↔S) Base Scan Request(C↔S) Train Information(C⇒S) SCADA Info(S⇒C)

표 2 A 방식 프로토콜의 교환 메시지

번호	메시지	Function Code	전송방향	Data Field
1	Link Test Message	0x85	TTC⇔SCADA	없음
	- Link Fail 시 또는 링크 초기화할 때 링크가 정상으로 복구 될 때까지 반복하여 송신한다.			
2	ACK	0x86	TTC⇔SCADA	없음
	- 모든 종류의 Data 수신 시 해당정보에 대해 오류가 발견되지 않았을 때 잘 수신하였다는 정보로 송신하며, 이때 사용하는 Msg. No.는 수신한 메시지 프레임의 번호와 동일한 번호를 사용한다.			
3	NAK	0x95	TTC⇔SCADA	없음
	- 모든 종류의 데이터 수신 시 해당정보에 대해 오류가 발견되었을 때 잘 수신하였다는 정보를 송신하며, 이때 사용하는 Msg. No.는 수신한 메시지 프레임의 번호와 동일한 번호를 사용한다.			
4	Base Scan Request	0x81	TTC⇔SCADA	없음
	- SCADA에서 요구 시 발생			
5	Train Information	0x84	TTC⇒SCADA	Train_no(2byte)+Pan_addr(1byte)
	- 각 열차의 이동상황에 따른 위치 정보를 SCADA에 송신한다 - Data Field(4 Byte) · Train_no : 열차 번호, 2 Bytes · Pan_addr : Panel Address, 2 Bytes			
6	SCADA Information	0x82	SCADA⇒TTC	Line_no(1byte)+Pan_addr(1byte)
	- 전차선 가압 정보의 상태가 변경되면 SCADA 정보를 송신한다 - Data Field(2 Byte) · Line_no : 전차선 Line 번호, 1 Bytes · Status : 전차선 가압상태(0x00/0x01), 1 Bytes			

A 방식에서는 정보전송 후 2초 이내에 응답이 없으면 정보를 재전송하도록 하고 있다. 재전송을 3회까지 수행한 후에도 응답이 없으면 Link Fail로 처리한다. 그리고 Link Fail 이후에는 주기적으로 Link Test 메시지를 전송하여 링크확립을 시도한다.

2.2 B 방식 프로토콜

B 방식의 프로토콜은 서울2기 지하철 시스템 등에 사용되는 TTC 장치와 전력 SCADA 장치 사이에 적용되고 있는 프로토콜로서, 표3과 표4는 이 프로토콜에 대한 요약과 두 장치사이에 교환되는 메시지를 정리한 것이다.

표 3 B 방식 프로토콜

물리계층	RS 232 Asynchronous
전송속도	9600 bps
에러검출	CRC-16($X^{16}+X^{15}+X^2+1$)
프레임 포맷 구성	STX+Length+Seq. No.+OP Code+Data+CRC
전송코드	ACK/NAK(C=S) Train Information(C=S) SCADA Info(S=C)

B 방식 프로토콜은 이벤트 발생 시 정보가 전송되는 A 방식과는 달리 각 시스템이 모든 상태를 상대방의 유무에 상관없이 주기적으로 상대 시스템으로 전송하는 방식을 적용하고 있다. 이러한 주기적인 정보업데이트로 인하여 A 방식에는 있던 Link Test 메시지가 B 방식에서는 필요없게 된다.

2.3 C 방식 프로토콜

C 방식의 프로토콜은 경부고속철도 시스템에 적용되는 프로토콜로서 표5처럼 SCADA 장치로부터 전차선의 가

압상태 정보를 CTC 장치가 전송받지만 하는 단방향 통신방식을 사용하고 있으며, MODBUS 프로토콜이 기존 프로토콜로 적용되고 있다.

표 4 B 방식 프로토콜 교환 메시지

번호	메시지	OP Code	전송방향	Data Field
1	ACK	0xA0	TTC⇔SCADA	없음
	- 모든 종류의 데이터 수신 시 해당정보에 대해 오류가 발견되지 않았을 때 잘 수신하였다는 정보로 송신하며, 이때 사용하는 시퀀스 번호는 수신한 메시지 프레임의 번호와 동일한 번호를 사용한다.			
2	NAK	0xA7	TTC⇔SCADA	없음
	- 모든 종류의 데이터 수신 시 해당정보에 대해 오류가 발견되었을 때 수신된 정보에 이상이 있다는 정보로 송신하며, 이때 사용하는 시퀀스 번호는 수신한 메시지 프레임의 번호와 동일한 번호를 사용한다.			
3	SCADA Information	0x5C	SCADA⇒TTC	Data[0]+Data[1]+...+Data[n]
	- 각 구간의 가압상태를 전송 - Data[n] 상태 · "0" : 해당 Section의 가압상태가 정상임을 표시 · "1" : 해당 Section의 가압상태가 비정상임을 표시			
4	Train Indication	0x5D	TTC⇒SCADA	Data[0]+Data[1]+...+Data[n]
	- 각 Section에 운행 중인 열차의 개수 - Data[n] 상태 · "0" : 해당 Section에 운행 중인 열차가 없을 경우 · "1" : 해당 Section에 운행 중인 열차가 1 개일 경우 · "N" : 해당 Section에 운행 중인 열차가 N 개일 경우			

표 5 C 방식 프로토콜

물리계층	RS 485 Asynchronous
전송속도	9600 bps
프로토콜	MODBUS 프로토콜 사용 · Master : CTC, Slave : SCADA · 정보전송방향 : 단방향(SCADA⇒CTC)
메시지 흐름제어	SCADA 시스템에서 주기적(2 sec)으로 전차선의 가압상태를 전송
적용	경부고속철도

이 MODBUS 프로토콜은 일반적으로 시스템들은 주 장치-종속장치로 인터페이스 되는 부분에 많이 사용되는 프로토콜이다. 즉, 한 장치는 언제나 주가 되고 다른 한 장치는 언제나 종속장치가 되는 기법이다. 즉, 주 장치인 CTC는 종속 장치인 SCADA로부터 전차선의 상태정보만 업데이트하게 되고 CTC의 상태정보는 전송하지 않는 단 방향 정보전송 방식이다.

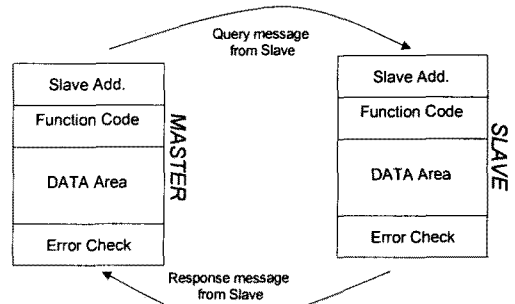


그림 1 MODBUS의 구조

3. 표준프로토콜 구조

앞 절에서 설명한 기존의 CTC와 SCADA 장치사이의 인터페이스는 기본적으로 직렬통신 방식을 사용하고 있

있으며, 또한 두 장치사이에 전송되는 메시지도 조금씩 차이가 있었다. 그리고 C방식의 경우는 SCADA에서 CTC로 정보를 제공하지만 반대방향으로는 정보를 제공하지 못하는 방식이 적용되고 있었다.

이러한 다른 시스템에 적용되고 있는 기존의 프로토콜들의 분석과 운영기관의 의견수렴 등을 거쳐 두 장치사이의 전송되어야 할 메시지를 도출하였다. 또한 인터페이스 방식은 Ethernet 기반의 네트워크에 의한 통신방식을 적용하는 것으로 하였다. 하지만 통신서버를 별도로 두고 각각에 방화벽을 설치하고 그리고 라우터를 통해 인터페이스 함으로써 CTC로 대표되는 신호시스템과 전력 SCADA 시스템과는 완전히 분리되도록 하여 네트워크에 의한 인터페이스에 있어서의 보안문제를 해결할 수 있다. CTC 시스템은 전력 SCADA 장치로부터 열차 운행에 필요한 급전구간의 상태정보를 수신하기 위해 인터페이스 되며, 불통구간 발생 시 열차운행관리에 활용하도록 하였다. 다음은 본 연구를 통해 제시한 두 장치사이의 통신 프로토콜의 구조를 간략하게 설명한 것이다.

3.1 링크구성

철도청 통신망을 경유하여 이중화 회선으로 구성되는 전력 SCADA 시스템과의 인터페이스 사양은 표 5와 같으며, 그림 2는 이들 사이의 링크 구성을 나타낸 것이다.

표 5 CTC 통신서버 ↔ 전력 SCADA간의 인터페이스 사양

항목	규격	상세사양
접속방식	LAN 접속(RJ45)	라우터 사용
전송속도	10/100 Ethernet	100 Mbps
네트워크 모델	Client-Server 모델	Server : 전력 SCADA 장치 Client : 통합사령실
통신 프로토콜	TCP/IP 프로토콜	통신프로세스 인터페이스
회선 수	2 회선	주 통신라인 및 예비 통신라인

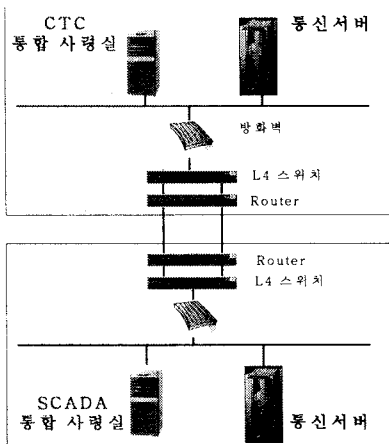


그림 2 SCADA ↔ CTC 링크 구성

3.2 데이터 패킷 구조

Ethernet을 기반으로 한 두 장치사이의 전송되는 데이터 패킷의 형태는 다음과 같은 구조를 가진다. 송수신 메시지의 에러검사를 위해서 CRC-16 코드를 사용하였으며, 또한 두 장치사이에 정보전송은 CTC나 SCADA 장치에서 상태정보가 변경될 경우마다 전송되도록 하지 않고, B 방식과 같이 모든 상태 정보를 주기적으로 전송되도록 하였다. 또한 CTC에서 SCADA 장치로 전송되

는 메시지는 열차의 점유된 전차선의 색선 정보와 열차번호를 동시에 전송되도록 하였다. 그리고 반대로는 색선별 전차선의 가압상태 정보를 CTC로 전송되도록 하였다.

Ethernet 정보	IP Header	TCP Header	장치간 송수신 데이터	Ethernet 정보
-------------	-----------	------------	-------------	-------------

그림 3 데이터 패킷 기본구조

Byte	의미	비고
1	STX	Message Header
2	CRC를 제외한 Message information 부분의 길이	
3	SEQ_NO(Sequence number)	Message Information
4	OP_CODE(Message function code)	
5	Signification Data	
·		
·		
n-1	CRC-LOW	
n	CRC-HIGH	

그림 4 송수신 데이터 필드의 구성

3. 결 론

본 논문에서는 최근 들어 인터페이스 필요성이 증대되고 있는 CTC 장치와 SCADA 장치 사이의 통신 프로토콜 구조에 대해 연구하였다. 이를 위해 기존의 여러 시스템에 적용되고 있는 프로토콜들을 분석하였으며, 또한 운영기관과 제작사의 의견수렴 등을 통해 철도청 통합 CTC와 SCADA 장치간 통신 프로토콜 구조를 제안하였다. 이 프로토콜을 기반으로 하여 이들 두 장치간의 점유한 열차번호 정보, 전차선 구간의 가압정보 등이 교환됨으로 인해 CTC에서는 보다 안전하게 열차운행 제어가 가능하게 되고, 또한 SCADA 장치에서는 열차의 운행 상태 정보를 통해 보다 효율적인 시스템의 운용이 가능해 질 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 설계한 프로토콜들은 철도신호시스템에 적용되어지므로 반드시 안전성(Safety)와 필연성(Liveness)이 검증되어야 한다. 이를 위해 향후에는 기존에 제어시스템에 적용되어오던 정형기법(Formal Method)을 프로토콜의 안전성 및 필연성 검증에 적용한 연구가 필요하다 [3].

[참 고 문 헌]

- [1] 황종규, 이종우, "한국형 고속전철용 신호시스템의 실험실 시험을 위한 통합 신호시스템", 대한전기학회 논문지, 53P 권, 1호, pp.32-39, 2004.
- [2] 철도기술연구개발사업 연구보고서, "신호설비 유지보수 효율화를 위한 정보전송방식 기술연구", 한국철도기술연구원, 2003.
- [2] 서미선, 김성운, 황종규, 이재호, "LTS로 명세화된 철도신호 제어용 프로토콜 검증 및 적합성시험", 한국철도학회 추계학술대회 논문집, 2003.