

한국형 고속전철용 통합 신호시스템의 설계 및 구축

Design and Construction of Integrated Signalling System for Next-generation High-Speed Train

황 중 규*, 이 중 우*, 조 용 기*, 류 호 중°
Jong-Gyu Hwang, Jong-Woo Lee, Yong-Gi Cho, Ho-Jung Ryu

ABSTRACT

The railway signaling system consists of several vital computerized equipments. Now the project for development of signaling system for the next-generation high-speed train is progressed according to the consortium. The developing signaling system by this project, kTCS(Korean Train Control System), is composed of kTCS-CTC, kTCS-IXL, kTCS-ATC and etc. The kTCS signaling has to be operated as a integrated system by interface between each signaling. To achieve these, communication protocols between each signaling have to be designed and message codes are defined. In this paper the configuration of integrated kTCS system and designed communication protocol is presented.

1. 서론

철도의 신호제어시스템은 철도의 선로변 및 역의 신호기기실에 위치하면서 열차의 속도제어 및 진로 제어 등을 담당하며, 특히 열차의 충돌 방지 기능을 담당하는 열차의 안전운행을 최종적으로 책임지는 바이탈 제어장치이다. 이처럼 열차의 안전운행을 위한 바이탈 기능을 수행하는 신호제어시스템의 개발을 위해서는 현장시험 이전에 실험실 수준에서 충분한 시험을 수행하여야 한다[1][4].

G7 사업으로 개발 중인 한국형 고속전철 신호제어시스템(kTCS : Korea Train Control System)은 크게 열차집중제어장치(kTCS-CTC : kTCS Centralized Traffic Control), 전자연동장치(kTCS-IXL : kTCS Interlocking), 자동열차제어장치(kTCS-ATC : kTCS Automatic Train Control) 그리고 현장설비들로 구성되어진다. 이들 각 장치들은 다른 장치와의 인터페이스를 통해 각자 고유의 기능을 수행해 전체적으로 하나의 통합된 신호제어시스템이 된다. 이 kTCS 신호시스템 개발은 장치별 시제품을 개발하여 기능시험을 수행하였으며, 현재 이들 장치간 링크를 통한 통합신호시스템을 구축하여 통합시험 중에 있다[2][3].

- * : 한국철도기술연구원
- : LG산전(주)
- : (주)대우엔지니어링

이러한 통합 신호시스템의 구축을 위해서는 각 장치간 인터페이스를 위한 통신 프로토콜들이 설계되어야 한다. 본 논문에서는 이러한 한국형 고속전철용 통합 신호시스템의 구축을 위해 설계한 주요 장치간 통신 프로토콜, 통합신호시스템의 구성 및 실험실 레벨에서 통합신호시스템의 성능시험을 위한 현장 에뮬레이션 모듈 및 시험결과를 설명한다.

2. 통합 신호시스템 구성

한국형 고속전철용 신호제어시스템(kTCS)은 열차의 속도제어를 통한 열차간의 간격제어를 위한 kTCS-ATC, 안전한 열차의 진로설정 및 확보를 위한 kTCS-IXL 그리고 전체적으로 열차의 운행 및 관리를 위한 kTCS-CTC 장치로 구성되어진다. 그림 1은 이러한 kTCS 시제품들의 구성 개요를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 열차 운행의 제어 및 감시 역할을 수행하는 kTCS-CTC 장치는 전자연동장치와 링크되어 현장 신호장치들의 제어명령을 현장으로 전송하고, 반대로 전자연동장치의 통신모듈을 통해 현장 신호장치들의 상태정보를 kTCS-CTC로 보고하게 된다. 또한 kTCS-ATC는 앞 열차의 위치 등을 바탕으로 해당 궤색구간의 목표속도 등을 계산하는 지상제어장치와 이 정보를 바탕으로 차량의 현재 운행속도와 지상으로부터의 목표제어속도 및 구배 등의

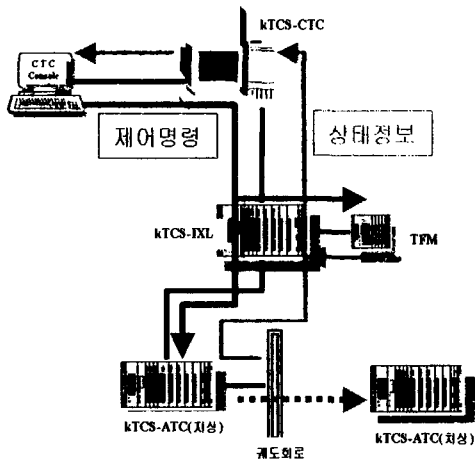


그림 1. 신호제어시스템의 기본구성 및 데이터 흐름

정보를 바탕으로 열차의 안전한 운행을 하기 위한 차상제어장치로 구성되어진다. 지상제어장치와 차상제어장치간 인터페이스는 궤도회로와 차상의 ATC 안테나를 통해 이루어지게 된다. 즉, 지상제어장치에서 궤도회로로 궤색구간의 목표속도 코드, 구배 및 목표거리 정보를 전송하게 되고 차상의 ATC 안테나에서 이 신호를 수신하여 차상제어장치로 전송하게 된다. 통합신호시스템은 이러한 실제 설치되는 환경에 따라 그대로 구성되도록 하여 현장시험 이전의 실험실 레벨에서의 성능확인 시험을 위한 통합신호시스템을 구축하도록 하였다. 이에 따라 kTCS-IXL과 kTCS-ATC 장치간 인터페이스, kTCS-CTC와 kTCS-IXL 사이의 인터페이스 등 주요장치간 인터페이스를 위한 프로토콜의 설계가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 통합신호시스템의 구축을 위해서는 이들 주요장치간의 인터페이스를 위한 통신 프로토콜의 설계를 하였으며, 이들 통신 링크를 따라 각 장치간의 인터페이스를 위한 프로토콜 코드 리스트를 도출하였다.

3. 통합신호시스템을 위한 통신 프로토콜

통합신호시스템은 앞서도 설명하였듯이 각 장치들은 각각 타 장치와의 인터페이스를 통해 각 고유의 기능을 수행하게 된다. 즉, 여러 신호제어장치들이 서로간의 인터페이스를 통해 하나의 신호제어시스템을 이루게된다. 이들 각 장치들이 통합되어 하나의 시스템이 되도록 본 연구에서는 각 장치간 링크를 위한 프로토콜을 설계하였으며, 또한 통합시험을 위한 시뮬레이션 대상을 선정하였다. 또한 선정된 시뮬레이션 대상에서 각 시스템에서 인터페이스 항목 및 프로토콜 구현을 위한 각각의 송수신을 위한 코드 리스트를 도출하였다. 본 연구를 통해 설계된 주요장치간 링크를

위한 설계된 통신 프로토콜 주요내용은 다음과 같다.

• kTCS-ATC ⇔ kTCS-IXL

- 접속방식 : RS485
- 채널정의 : Full-duplex 비동기 직렬링크
- 통신속도 : 9600 bps
- 에러검출 : CRC-16
- 메시지 프레임

STX	Data Length	Sequence No.	OP Code	Data	CRC	ETX
1 byte	2 byte	1 byte	2 byte	N byte	4 byte	1 byte

이 두 장치간 링크는 기본적으로 RS485 시리얼 접속방식을 적용하였으며, 전송 메시지의 프레임 포맷은 위와 같이 가변되는 데이터의 길이를 가진 포맷으로 하였다. 두 장치간 통신 프로토콜을 설계함에 있어서 데이터 링크 프로토콜에서 가장 중요한 요소 중의 하나는 에러제어 방법이다. 본 연구에서 설계한 프로토콜에서는 에러검지 방법을 CRC-16 코드($X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$)를 사용하였으며, 또한 다음과 같은 경우에 송신측에서 동일한 시퀀스 번호로 동일한 메시지를 수신측으로 재전송 하도록 하였으며, 3회까지 재전송한 후에도 계속 에러가 발생한 경우 통신에러 처리를 하도록 하였다.

- ① 수신된 메시지의 CRC 코드 검사결과 전송프레임에 에러가 검출될 경우 'NAK' 신호를 전송한 송신측에서 'NAK' 신호를 받을 경우 해당 프레임을 재전송
- ② 수신되는 메시지의 길이가 길어서 프레임 타임아웃 설정시간인 ΔR 이 지나도록 'ETX' 문자가 전송되지 않는 경우 'NAK' 신호를 전송하며, 이 'NAK' 신호를 송신측에서 받으면 해당 프레임을 재전송
- ③ 정상적으로 수신되어 'ACK' 신호를 전송했으나 송신측에서 'ACK' 신호를 받지 못하여 재전송 하는 경우로, 세 번까지 전송하여 송신측에서 'ACK' 신호를 받지 못하면 통신 에러로 처리

또한 두 장치간의 전송되는 제어 및 표시정보들을 정의하고 표시하기 위하여 신호설비에 대응되는 값으로 kTCS-ATC와 kTCS-IXL 사이에 전송되는 정보들을 'kTCS-ATC ⇒ kTCS-IXL Mnemonic'과 'kTCS-IXL ⇒ kTCS-ATC Mnemonic'으로 구분하여 정의하였다. 작 코드들은 맨 처음 Function을 의미하는 코드가 오고 그 다음부터 해당하는 장치들이 오고 마지막에는 각 장치들의 상태정보가 위치하도록 Mnemonic을 정의하였다.

표 1. Mnemonic List(kTCS-ATC ⇒ kTCS-IXL)

No.	Function	Function code	Devices & Status				
			1st	2nd	...	Status	ex) Mnemonic
1	Track circuit	TC	역번호	궤도회로번호		1 : Occupied 0 : Clear	TC2031C
2	Totalizer of track circuits	TTC	역번호 + 궤도회로번호	역번호 + 궤도회로번호		1 : Occupied 0 : Clear	TTC22022208A
3	Interval zones check	IZC	역번호	역번호		1 : TTC Occupied 0 : TTC Clear	IZC1620 IZC2024
...

표 2. 코드 리스트

Name	Type	Sequence	Status
TC1853A	1	1	1
TC1853B	1	2	1
TC1861A	1	3	1
TC1861A	1	4	1
TC1867	1	5	1
...			

이러한 실제 선로를 대상으로 인터페이스 할 코드 리스트를 각 장치별로 각각 도출하였으며, 이러한 도출된 코드리스트 및 설계된 프로토콜을 각 장치에 구현하여 현재 인터페이스 확인시험 중에 있다. 다음 표는 설계된 Mnemonic의 일부와 이에 따른 도출된 코드리스트 일부를 나타낸 것이다.

• kTCS-IXL ⇔ kTCS-CTC

- 접속방식 : TCP/IP protocol through Ethernet
- 통신속도 : 10 Mbps, Full Duplex
- 에러검출 : CRC-16

kTCS-CTC와 kTCS-IXL간 인터페이스는 Ethernet 네트워크를 통한 TCP/IP 프로토콜을 적용하였다. kTCS-CTC를 서버, kTCS-IXL을 클라이언트로 하는 소켓을 생성한 후 클라이언트가 접속을 요구하고 서버가 이를 수락하여 통신링크가 성립되는 방식으로 하였다.

이 두 장치 사이에서 사용되는 메시지는 2 바이트의 고정길이를 갖는 헤더와 최대 124 바이트의 가변인 메시지 정보 부분으로 구성하였으며, 메시지 헤더는 STX와 CRC를 제외한 메시지 정보의 길이 정보를 나타내도록 하였다. 모든 메시지는 DLE 메시지를 사용하지 않으며 수신측에서는 헤더부분의 길이로 판단하여 메시지를 해석하게 된다. 2 바이트로 구성되는 메시지 헤더의 구조와 실제 전송해야 할 의미 있는 메시지를 위한 구조로 다음과 같이 구성된다. 이때 'Message Information' 부분의 길이는 최대 124 바이트를 넘지 않도록 하였다. 그림 3과 같은 전송 메시지 프레임 구성에 따라 데이터 메시지가 전송되어지게 되며, 한 예로 kTCS-IXL에서 kTCS-CTC로 현장 신호장치들의 상태정보를 전송할 경우의 전송메시지 프레임 구성은 다음과 같게 된다.

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 2. 전송메시지 구성

STX	1 Byte	Signification Data					
LENGTH	1 Byte	1	2	3	...	n-1	n
SEQ_NO	1 Byte	Byte 1	Byte 2	Byte 3	...	Byte N-1	Byte N
OP_CODE	1 Byte	<ul style="list-style-type: none"> • Data[0][1] : Code ID • Data[2] : Code State • ... • Data[n-2][n-1] : Code ID • Data[n] : Code State 					
SUB_OP_CODE	1 Byte						
Signification Data	3N Byte						
CRC(Low, High)	2 Byte						

그림 3. 상태정보 전송 메시지 프레임 구성

이 데이터 프레임 중 'Signification Data' 필드는 다음과 같이 구성되어지게 된다. 현장의 신호기 상태를 나타내는 Code가 256개를 넘을 수 있으므로 2 바이트를 사용하여 코드번호를 표시하게 된다. Byte 1은 표시 코드번호의 Low Byte를 의미하고 Byte 2는 High Byte를 의미한다. 또한 Byte 3은 해당 Code의 표시 상태 값을 나타낸다.

신호설비에 대응되는 값으로 kTCS-IXL과 kTCS-CTC 사이에 전송되는 표시 및 제어정보에서 사용한다. 예를 들어 선로전환기에 대응되는 코드는 SNI, SRN, SRI, SNR 등 여러 개가 존재한다. 개별적인 코드들을 Object별로 전부 모아서 Chart를 만들고 이 Chart를 통해 각 코드들의 개별 번호를 정의한다. kTCS-CTC와 kTCS-IXL 사이에서는 이 개별 번호를 통해 자신의 코드정보

의 상태를 전송하게 된다. 표3은 본 연구에서 정의한 코드의 일부를 나타낸 것이다.

표 3. 코드 리스트(kTCS-IXL ⇒ kTCS-CTC)

No.	Code	Function	Status
1	LOC	Local Mode Indication	Local Mode : 1
2	CTC	Center Mode Indication	Center Mode : 1
3	CMR	Center Mode Request Response	Request : 1
4	SNI	Switch Normal Indication	Normal : 1
5	SRN	Switch Reverse → Normal Moving Indication	Moving : 1
6	SRI	Switch Reverse Indication	Reverse : 1

kTCS-IXL은 kTCS-CTC로 설정된 코드를 이용하여 표시정보를 전송한다. 코드는 Object(신호 설비)별로 존재하며, Object 변화 시 kTCS-IXL로부터 전송된다. 이것은 한 개의 메시지 데이터 부분에 'Code 번호 + State + Code 번호 + State' 등으로 여러 개의 코드 상태를 전송할 있다. 하지만 시스템 초기 기동 시 또는 통신 장애에서 회복 시에는 Code Chart에 정의되어 있는 순서에 의해 전체 코드의 상태 정보만을 전송하도록 하였다.

4. 통합신호시스템 구축 및 시험

앞 절에서 간략하게 설명한 주요 장치간 인터페이스를 위해 설계한 프로토콜을 바탕으로 각 시제품들간의 링크를 통한 통합신호시스템을 구축하였다. 실험실 레벨에서 통합신호시스템을 구축 및 시험하기 위해서는 현장을 에뮬레이션 하는 별도의 장치를 필요로 한다. 따라서 본 통합신호시스템에서는 다음과 같은

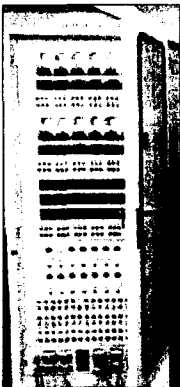


그림 4. 현장 I/O 모듈

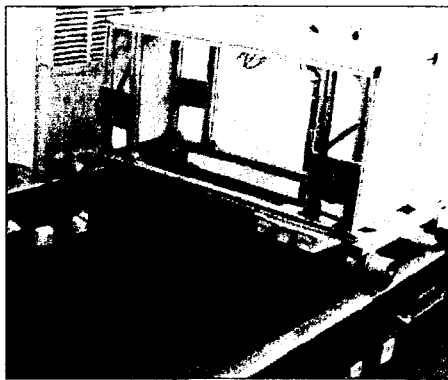


그림 5. 지상/차상 인터페이스 시험장치

두 개의 별도의 모듈이 제작되었다.

전자연동장치에서는 실제 선로전환기나 신호기 등의 제어명령을 발생시키고 또한 이들의 제어상태정보를 피드백 받는다. 하지만 실험실 레벨에서 이러한 몇 대의 선로전환기나 신호기 등 현장 신호설비들을 준비하여 시험을 할 수 없어서, 번

통합신호시스템에서는 그림 4와 같은 현장 랙을 제작하였다. 이 랙은 실제 선로전환기에 사용되는 계전기와 쌍심형 신호기 램프 및 궤도회로 계전기들로 구성되어 전자연동장치의 TFM과 인터페이스하면서 실험실 레벨에서 시험을 하면서 현장과 동일한 시험조건이 되도록 하였다.

다음으로는 궤도회로를 통해 지상과 차상 제어장치간의 정보전송이 정상적으로 인터페이스 되는지를 시험하기 위한 그림5와 같은 시험장치이다. 이 시험장치는 실제 차상 안테나가 취부되는 위치에 안테나를 설치하여 열차가 궤도회로 점유 시 지상제어장치의 제어정보가 차상 ATC로 정상적으로 수신되는지를 시험하는데 있다.

kTCS 각 시제품들과 이러한 실험실 레벨에서 통합신호시스템의 구축 및 시험을 위한 별도의

모듈들을 기본으로 하여 그림 6과 같은 통합신호시스템을 구축하였다. 이들 통합 신호시스템은 앞에서 설명한 프로토콜을 바탕으로 각 장치간 제어 및 표시정보를 전송하도록 하고 이었으며, 성공적인 통합신호시스템이 구축되었음을 시험을 통하여 확인하였다. 그림 7은 kTCS_CTC이 운용 화면으로 'CTC' 모드에서 CTC 콘솔에서 진로설정을 하고 전자연동장치에서 이 명령을 처리하여 진로설정이 되었음을 응답한 CTC콘솔 화면이다, 그림 8은 실험실에 설치되어 통합시험중인 현황을 나타낸 것이다.

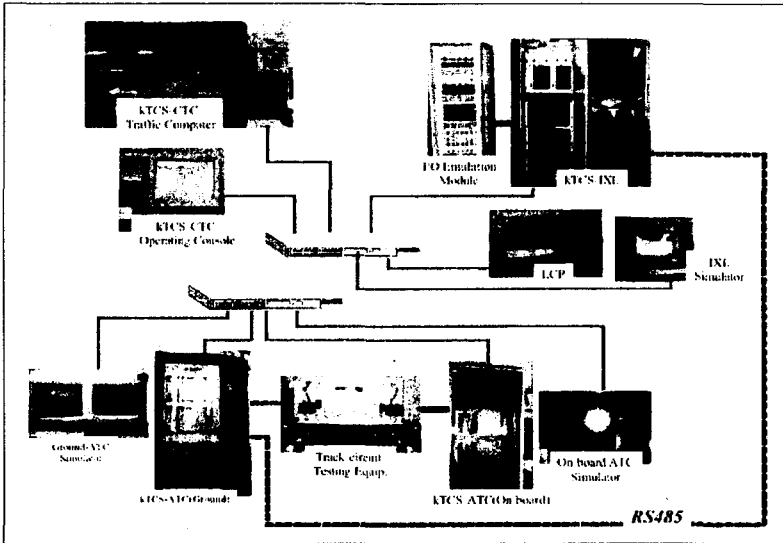


그림 6. 통합시스템의 구성

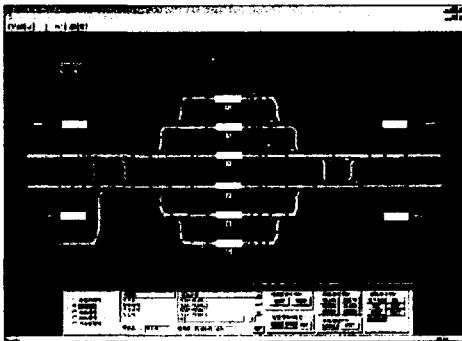


그림 7. 진로설정 화면



그림 8. 지상 통합시험 현황

[참고문헌]

1. 稱毛弘苗, et al., '次世代運轉制システムのシ室内實驗', RTRI Report Vol 5, No. 1, pp. 48-55, 1991.
2. G7 연구보고서, '전기신호시스템 엔지니어링 기술개발', 한국철도기술연구원, 2001.
3. 황종규, 이종우, '신호제어시스템 인터페이스 시험을 위한 통합 시험장치의 설계', 대한전기학회 하계학술대회, 2001.
4. <http://www.azurenet.com/>