

신호시스템을 위한 높은 신뢰성을 갖는 프로토콜 구조 연구

황종규<sup>o</sup>, 이종우, 정의진,  
한국철도기술연구원

박용진\*  
한양대학교

A Study on Reliable Protocol Structure for Railway Signalling

Jong-Gyu Hwang<sup>o</sup>, Jong-Woo Lee, Eui-Jin Joung,  
Korea Railroad Research Institute(KRRI),

Yong-Jin Park\*  
Hanyang Univ.

**Abstract** - The railway signalling systems are computerized vital equipments for safety guarantee of train running. And also it is important to prepare the reliable communication link between signalling equipments. In this paper the review of signalling communication protocol used at current railway signalling is presented and basic line for reliable protocol structure is represented. And also the direction for our further study on these is discussed.

송장치들이 전송모드에서 수신모드로 천이 하는 과정을 아주 단순하고 또 대칭적으로 이루어지도록 설계한 프로토콜로 전파지연시간이 긴 데이터 전송에 보다 적합한 프로토콜이다.

표 1. 경부고속전철 주요장치간 링크 현황

● CTC ↔ IXL	● IXL ↔ ATC
· EIA 485	· EIA 485
· 9600 bauds	· 4800 bauds
· 전이중 비동기식 데이터 링크	· 전이중 비동기식 데이터 링크
· SAAT 프로토콜	· SAAT 프로토콜
· 전송지연시간 : 최대 100ms 이내	· 전송지연시간 : 최대 100ms 이내
· 신뢰성(bit error rate) : $10^{-6}$	· 신뢰성(bit error rate) : $10^{-6}$
· 가용성 : 99 %	· 가용성 : 99 %

1. 서론

철도의 신호제어시스템은 철도의 선로변에 위치하면서 열차의 속도제어 및 진로제어 등을 담당하며, 특히 열차의 충돌 방지 기능을 담당하는 열차의 안전운행을 최종적으로 책임지는 제어장치이다. 이러한 신호제어장치들은 각자의 고유의 기능을 수행하면서 다른 제어장치들과 링크되어 하나의 신호제어시스템으로 구성되어진다.

또한 신호제어시스템이 운용되고 있는 선로변은 고온, 먼지 등 열악한 운용환경으로 인하여 제어장치들의 높은 신뢰성이 요구되어진다. 특히 제어장치간의 인터페이스를 위한 링크는 다른 어느 제어장치들보다 높은 안전성 및 신뢰성이 요구되어진다. 따라서 이들 제어장치간의 링크에 있어서 신뢰성을 확보할 수 있는 통신방식 및 프로토콜이 사용되어야 한다.

이를 위해 본 연구에서는 이들 제어장치간의 링크에 있어서 높은 신뢰성 확보를 위한 일본의 SMILENET 및 경부고속전철에 적용되고 있는 프로토콜을 분석하였다. 그리고 이를 통한 한국형 신호제어시스템(KTCS : Korea Train Control System)에 적용을 위한 프로토콜 구조에 대해 설명한다.

2. KTCS 시스템 구성

한국형 신호제어시스템(KTCS)은 크게 열차집중제어장치(KTCS-CTC : kTCS Centralized Traffic Control), 전자연동장치(KTCS-IXL : kTCS Interlocking), 자동열차제어장치(KTCS-ATC : kTCS Automatic Train Control) 그리고 현장설비들로 구성되어진다. 그림1은 이들 시제품들의 인터페이스 시험을 위한 실험실 레벨에서의 시스템 구성을 나타낸 것이며, 표 1은 경부고속전철 신호시스템의 주요장치간 링크의 현황을 나타낸 것이다.

여기서 적용된 SAAT 프로토콜은 프랑스 SNCF에서 사용하는 프랑스의 규격으로 철도의 제어장치간 인터페이스를 위한 프로토콜이다.

경부고속전철에서 이 SAAT 프로토콜이 사용된 이유는 신뢰성과 효율성을 높이기 위함이다. SAAT는 양 전

다음절에서 이 프로토콜에 대한 자세한 분석을 설명한다. 또한 경부고속전철에서는 적용되지 않았으나 최근 들어 통신 및 네트워크 기술의 발달에 따라 그림 1과 같은 제어장치들을 네트워크로 링크시키는 연구가 진행되고 있다. 하지만 이러한 네트워크에 의한 인터페이스는 바이탈한 제어장치들 사이의 링크에 적용에 있어서 전송매체의 공유에 따른 매우 위험한 상황을 초래할 수 있다. 따라서 이들 제어장치간을 네트워크로 링크시 신뢰성 확보를 위한 별도의 회선구성 및 프로토콜을 필요로 한다. 다음절에서는 이러한 네트워크에 의한 각 장치간 링크하는 시스템의 사례연구 및 SAAT 프로토콜에 대한 분석을 수행하였다.

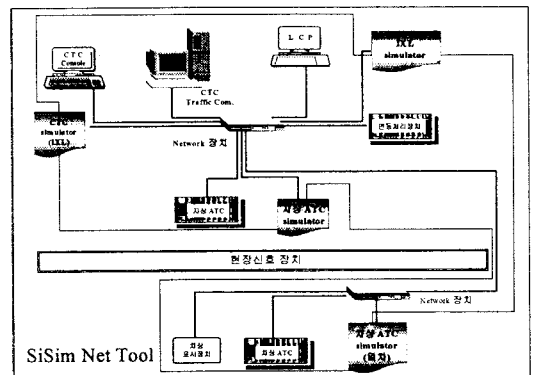


그림 1. 시스템의 구성

3. 철도신호용 통신 시스템

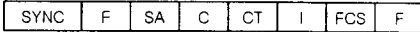
3.1 네트워크에 의한 링크

역이나 제어 사령실의 신호제어장치들은 여러 대의 신호제어장치들이 서로 유기적으로 연결되어 하나의 신호제어시스템을 구성한다. 즉, 선로변 백본망에 연결되는 노드에서부터 전자연동처리장치, 지역제어 조작반, 지상 자동제어장치, 유지보수 시스템, 지역상황판 제어기 등

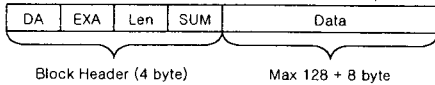
많은 장치들이 서로 인터페이스 되어진다. 이러한 각 장치간의 인터페이스에 있어서 네트워크 기술을 적용한 경우 사례가 일본의 SMILENET이다. 즉 이는 전자연동장치 하부장치들간의 인터페이스를 링 구조의 LAN으로 연결한 시스템이다. 이종의 광케이블에 의하여 접속된 각 노드에서는 자기진단과 회선 진단에 의해 회선 및 노드의 이상유무를 판단하고, 회선 및 노드의 오류 시 시스템 재구성이 가능하도록 하고 있다. 이 네트워크의 주요 특성은 다음과 같다.

- 이종의 광케이블을 이용한 루프형태의 LAN으로, 역구내의 전자환경 하라도 안정한 정보전송을 보장한다.
- 각 스테이션은 기능적으로 대등하여, 동기감시부와 같은 장치가 없기 때문에 신뢰성 향상의 병목현상이 없다.
- 회선 절단, 스테이션 전송부가 고장일 경우에도 정상적인 정보수신이 가능하다.
- 스테이션 사이의 회선이 절단되더라도 양단의 스테이션에서 좌우방향 회선(이하 L/R회선)을 단락 시키고, 우회경로의 구성을 자동적으로 행하여 전송경로를 확보한다.
- 기능이 정지한 스테이션을 자동으로 바이패스 하는 기능이 있다.
- 전송정보의 에러 유무를 송신 스테이션이 항상 검사하여 이상 검출 시 자동 재전송 기능을 수행한다.
- 정보의 중도 탈락 등에 의한 수신정보의 순서혼란 등을 수신 스테이션에서 자동적으로 보정한다.

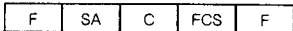
이 네트워크에 적용된 프레임은 HDLC를 기준으로 한 포맷을 사용하였고, 다음 그림과 같다.



- 정보 전송용 프레임 : 정보 전송용 프레임은 C field의 모든 bit를 0으로 한다. Information field는 block header와 data field로 구성이 된다. Information field의 구성은 다음과 같다.



- 감시 제어용 프레임 : 감시 제어용 프레임은 C field가 0 이외의 값을 가지는 프레임이다. 통과번호(CT field)와 정보 필드(Information field)가 없다. 구성은 다음 그림과 같다.



일본의 전자연동장치에 적용된 SMILENET은 네트워크 기술을 소규모제어정보 전송계에 응용한 것으로, 루프상의 전송로의 장점을 살린 각종 진단, 계의 재구성 등에 의해 높은 신뢰성을 가진 전송장치를 구성하다.

### 3.1 SAAT 프로토콜

경부고속전철에 사용되는 신호제어시스템용 통신 프로토콜인 SAAT는 Point to Point 직렬 양방향 비동기 전송 방식에 의해 정보를 전송하는 프랑스 철도신호용 프로토콜이다. 속도는 1200, 4800, 9600bps 등으로 주어지고, CTC와 FEPOL, FEPOL과 WCE, CTC와 HBS, CTC와 기존 CTC, CTC와 SCADA 등에 사용되어진다. 전송방식은 전이중 방식(Full duplex)이며, 메시지는 종류에 따라 65개 또는 255개로 표현된다. 그리고 열차와 관련된 영역에 있어서 승객에 대한 정보 및 신호설비에 대해 주어진 두 개의 전산 시스템사이의 정보 전송선로에 응용된다. 이 프로토콜에 사용되는 메시지는 다음 그림과 같이 구성이 된다.

b0는 상태 0에서 출발하기 위한 start bit이고, b1~b7은 상용부호가 들어간다. 그리고 b8에는 상용부호에 대한 parity bit이 들어가고, 마지막으로 b9에

stop bit이 들어간다.

이 SAAT 프로토콜을 사용하는 이유는 신뢰성과 효율성을 높이기 위함이다. SAAT는 양 전송 장치들이 전송 모드에서 수신 모드로 천이 하는 과정을 아주 단순화하고 또 대칭적으로 이루어지도록 설계한 프로토콜로서 전파 지연 시간이 긴 데이터 전송에 보다 적합한 프로토콜이다. 전파 지연 시간이 짧고 전송 오차가 아주 낮은 전송 선로에서는 보다 복잡한 상태 천이를 가지는 프로토콜이 흐름제어에 보다 효율적일 수 있으나 전파 지연 시간이 길 경우에는 상대적으로 원격지 전송을 하는 경우이며 그만큼 전송 선로의 영향을 많이 받아서 오차 발생 가능성도 커지기 때문에 상태 천이를 단순화하는 것이 효율적이다.

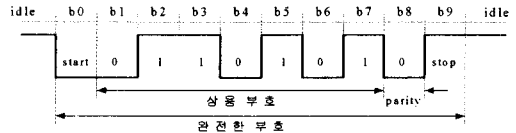


그림 2.1.1 SAAT 메시지 구성

SAAT 프로토콜이 상대적으로 단순화되어 있고 대칭성을 이루고 있는 것은 신뢰성과 효율성뿐만 아니라 인터페이스의 용이성도 제공하고 있는데 이는 그만큼 단순화되어 있기 때문에 구현이 쉽기 때문이다. 많은 신호 시스템의 인터페이스 중에서 특히 소위 핵심 신호 시스템 사이에서 이 프로토콜을 사용하고 있는 이유는 신뢰성과 단순성에 가장 큰 비중을 두고 있다고 할 수 있다.

SAAT 프로토콜에서는 최대 전파 지연 시간이 전송 효율 측면에서 많은 영향을 미치는 요소인데 이는 전송 장치들이 송신측에서는 마지막 전송 데이터를 보내고 난 후에 그리고 수신측에서는 처음의 데이터를 수신한 후에 타이머를 구동하여 수신 확인 제어 문자와 마지막 제어문자가 수신되었다는 것을 확인하여 다음의 상태로 천이하고 그렇지 못할 경우에는 time-out 에러를 발생하고 다시 대기 상태로 천이 하여 결국 전송 도중 에러가 발생하면 지연 시간만큼 기다리게 되어 효율을 저하시키게 된다. 물론 최대전파 지연 시간을 가변 하여 최적화시킬 수 있지만 회선별로 이를 해결하기 위해서는 많은 비용이 소요된다.

핵심 신호시스템 링크의 특성을 다시 정의해보면 단순화, 저속화, 저렴화, 이중화이다. 저렴화는 회선 사용 및 인터페이스용 모듈의 저 가격을 표현한 것이다. 이런 특성을 가지게 된 가장 큰 원인을 분석해 보면 우선 신뢰도를 들 수 있었다. 단순화, 저속화는 앞서 언급한 바와 같이 전화선망을 사용하는 원격 통신에서 신뢰도를 높이기 위한 방법이다. 또 인터페이스의 용이성을 제공하기도 한다. 다음으로 저렴화와 이중화는 경제성과 신뢰성사이의 균형을 맞추기 위한 것이다. 저속 전송에 따른 문제점을 해결하기 위하여 열차 보호 알고리즘에 저속 전송에 소요되는 만큼의 시간적 제한 요소를 부가하는 방법은 추가적인 설비 투자비를 줄일 수 있으며 회선이 단절되는 단점을 보강하여 이중화함으로써 신뢰성을 높이는 길을 선택하였다고 할 수 있다.

### 4. 프로토콜 구조 연구

kTCS에 적용될 신호제어장치간 링크를 위한 프로토콜을 앞 절에서 분석한 SMILENET과 SAAT의 분석 및 높은 신뢰성을 갖는 프로토콜을 위해 다음과 같은 프로토콜 구조를 설계하였다. 이 kTCS 시스템을 위한 프로토콜의 신뢰성 확보를 위해서 설계단계에서부터 정형기법(Formal Method)을 적용하여 설계를 하고 또한 이를 통한 검증을 할 예정이다. 이러한 정형기법에 의한 프로토콜의 설계 및 검증 기법의 적용에 따라 높은 신뢰성을 갖는 프로토콜이 구현될 것으로 기대된다.

임의의 프로토콜을 설명하는 프로토콜 사양은 'Service', 'Assumption', 'Vocabulary', 'Format', 'Procedure rules'의 구성 요소로 구성된다. 이 중에서 가장 중요한 것은 'Procedure rules'이다. 이 부분은 흐름제어, 에러제어 등이 정의되게 된다. 본 연구에서는 구조화된 프로토콜 구조 중에서 물리계층은 RS 485 통신을 기본으로 하고, 그 상위의 계층인 데이터 링크 계층의 구 기능인 흐름제어, 에러검출 기법 등을 주로 설명한다.

에러검출기법으로는 일반적으로 에러검출 코드의 삽입에 의해 검출하게 된다. 일반적인 방법으로 패리티 비트 삽입에 의한 방법이 사용되어지며, 이 방법을 개선한 LRC 기법이 사용되어지기도 한다. 이 LRC 기법은 SAAT 프로토콜의 에러검출에 적용되는 기법이기도 하다. 하지만 LRC 기법은 일반 패리티 비트에 의한 방법보다 효율적이기는 하지만, 본 프로토콜에서는 더 강력하고 쉽게 구현이 가능한 CRC-16비트를 삽입하여 에러를 체크하도록 설계하였다.

또 통신 프로토콜에 있어서 중요한 것이 송수신측의 데이터 전송량을 조정하는 흐름제어이다. 본 프로토콜에서는 'Stop-and-wait' 흐름제어기법을 기본으로 좀 더 효율적인 흐름제어가 되도록 하였다.

#### 4.1 데이터 프레임

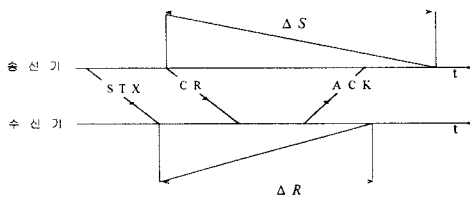
KTCS 장치 링크를 위한 데이터 프레임은 다음과 같다.

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

- STX : 메시지 프레임의 시작을 나타낸다.
- Data Length : 메시지의 길이를 나타내며, 'Sequence Number'에서 'ETX'까지 길이를 Byte 단위로 표시한다. Data Length는 최대 255 byte로 제한한다.
- Sequence No. : 의미있는 메시지를 전송한 후 타 시스템으로부터 ACK를 받으면 메시지의 완전한 전송이 종료된 것으로 간주하고, 다음 메시지는 1이 증가된 Sequence No.로 전송한다. 그러나 타 시스템으로부터 응답이 없거나 NAK를 전송 받는 경우 최대 3번까지 같은 Sequence No.를 가지고 반복하여 전송한다.
- OP Code : Message function을 분류하기 위한 코드로서, OP Code는 0x20 ~ 0x7f(Flow Control 제외)까지 각 시스템별 정의한다. Flow Control에 사용되는 OP code는 'ACK', 'NAK', 'SYNC'가 사용된다.
- Data : 실제 전송할 데이터를 의미하며 OP Code에 따라 정의되어진다. OP code가 Flow Control 영역인 경우 Data 길이는 '0'이다.
- CRC : 전송 메시지의 에러 검출을 위한 에러검출 비트(16 bit FCS)
- ETX(0x03) : 메시지 프레임의 마지막을 나타내며, 메시지 중에는 이 ETX가 포함되어서는 안된다. 통신 Driver 측에서 STX~ETX까지 데이터를 읽어들이며 메시지의 수신완료 여부를 판단한다.

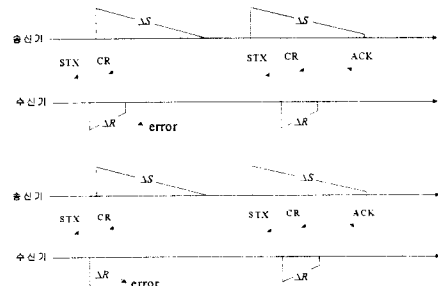
#### 4.2 Flow Control

- Stop-and-wait flow control

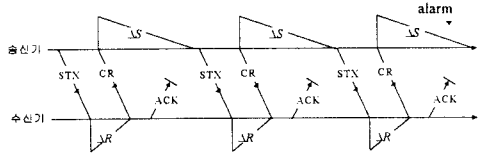


- 가장 간단한 형태로 이미 보낸 프레임에 대해 ACK

- 를 받은 후 다음 프레임을 전송
- 송신기는 수신기로부터 응답이 없으면 다음 프레임을 전송하지 못함
- 수신측에서 ACK 신호 발생 조건
  - ΔS가 종료되기 전에 CR 신호가 수신될 경우(메시지의 길이 제한조건)
  - 전송 메시지에 대한 CRC 검사결과 이상이 없을 경우
- 재전송 조건
  - 수신된 메시지의 Parity 검사결과 이상이 있을 경우 ACK 신호를 전송하지 않음으로서 ΔS 시간 후 재전송
  - 수신되는 메시지의 길이가 길어서 ΔR이 지나도록 CR 문자가 전송되지 않는 경우



- 정상적으로 수신되어 ACK 신호를 전송했으나 송신측에서 ACK 신호를 받지 못하여 재전송하는 경우로, 세 번까지 전송하여 송신측에서 ACK 신호를 받지 못하면 통신에러로 처리



#### 5. 결론

본 논문에서는 철도 신호시스템의 철도신호시스템에 적용을 위한 프로토콜의 설계방향을 설명하였다. 여기에서 설명한 내용을 바탕으로 정형기술 기법의 적용을 통해 높은 신뢰성을 갖는 철도신호용 프로토콜을 명세화할 예정이며, 또한 프로토콜 개발 자동화 기법 연구 및 검증기법 적용연구를 수행할 예정이다. 그리고 설계된 프로토콜의 시뮬레이션 및 성능시험을 수행하여, 기존의 SAAT 또는 다른 프로토콜들과의 비교분석을 수행할 예정이다.

#### [참고 문헌]

- [1] NF F72-010 'SAAT Protocol', 1996.
- [1] <http://netlib-labs.com/netlib/spin/whatispin.html>
- [2] G.J.Holzmann, 'Design and Validation of Computer Protocols', Prentice Hall, 1991.
- [3] W.Stallings, 'Data and Computers Communications', Prentice Hall, 1997.
- [4] '정보통신 프로토콜 공학', 한국전자통신연구원, 1999.