

네트워크를 이용한 철도신호제어시스템의 정보전송방식 연구

황종규, 이종우
한국철도기술연구원 철도신호통신연구원

A Study on Information Transmission for Railway Signalling using Network Technology

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

Abstract - The railway signaling 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 network technology for railway signalling is presented and reliable network technology for network is represented. And also the direction for our further study on these is discussed.

1. 서론

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

이러한 철도신호용 제어장치간의 링크는 현재 대부분 점대점 통신을 사용하고 있어 새로운 장치의 추가 시 등에 있어서 유지보수에 어려움이 있다. 최근 들어 철도 선진국을 중심으로 이러한 철도신호장치간의 링크를 네트워크로 구성하는 연구개발이 시도되고 있고, 일부는 이미 적용되어 사용되고 있다.

이에따라 본 논문에서는 이러한 철도선진국의 네트워크 적용기술을 분석하고, 또한 철도신호장치간 정보전송 방식에 네트워크 기술 적용 시 기술적인 고려사항 그리고 이의 구현을 위한 시제품을 통한 실험 예를 설명한다. 이러한 연구들을 통해 바이탈 제어시스템인 철도신호 제어시스템에 네트워크 기술 적용 가능성 등을 연구하고자 한다.

2. 보안전송 방식의 고찰

2.1 네트워크에 의한 링크

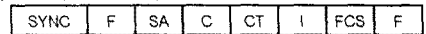
본 절에서는 네트워크에 의한 철도신호보안 장치들의 링크를 구성한 사례로 일본의 SMILENET과 대동 신호의 ATC 네트워크의 기술 분석을 하고자 한다. 우선 SMILENET의 대략적인 기술은 다음과 같다.

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 인터페이스를 SMILENET이라는 네트워크로 링크를 구성하여 현재 사용 중에 있다.

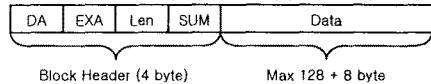
즉 이는 전자연동장치 하부장치들간의 인터페이스를

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 특징은 다음과 같다.

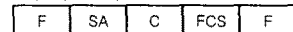
- 이종의 광케이블을 이용한 루프형태의 LAN으로, 역 구내의 전자환경 하라도 안정한 정보전송을 보장한다.
 - 각 스테이션은 기능적으로 대등하여, 동기감시부와 같은 장치가 없기 때문에 신뢰성 향상의 병목현상이 없다.
 - 회선 절단, 스테이션 전송부가 고장일 경우에도 정상적인 정보송수신이 가능하다.
 - 스테이션 사이의 회선이 절단되더라도 양단의 스테이션에서 좌우방향 회선(이하 L/R회선)을 단락 시키고, 우회경로의 구성을 자동적으로 행하여 전송경로를 확보한다.
 - 기능이 정지한 스테이션을 자동으로 바이패스 하는 기능이 있다.
 - 전송정보의 에러 유무를 수신 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.

또 다른 사례인 일본 대동신호의 ATC(자동열차제어장치)에 적용한 네트워크 기술은 SMILENET과는 달리 범용 LAN 기술을 사용하여 시스템을 개발하였다. 즉 범용 LAN의 일종인 Ethernet 100Base-FX를 사용하여 각 링크를 구성하였으며, 이 100Base-FX를 기반으로 LAN을 이중화하였고, 보통의 허브대신 스위칭 허브를 사용하였으며, 시스템에서 허용되는 시간 내에 확실하

게 전송할 수 있도록 노드수, 패킷 길이 및 패킷수를 규정하여 전송 지연 시간 등의 문제를 해결하였다. 그림 1과 2는 이러한 네트워크의 기본 구성을 나타낸 것이다. 및 이에 사용된 데이터 프레임의 구조를 나타낸 것으로, 데이터 부분의 에러 검출을 위해 CRC 코드를 사용하였고, 또한 UDP/IP 프로토콜을 사용하였다. 그 외 각 송수신층 논리부를 통해 정보전송의 안전성 확보를 위해 Fail-safe 성능을 갖도록 구성하였다.

Ethernet 정보	UDP Header	IP Header	장치간 송수신 데이터			FCS
			Seq. No	데이터	CRC	
전송부에서 작성		Fail-safe 마이크로 컴퓨터에서 작성 및 검토			전송부에서 작성	

그림 1. 데이터 포맷

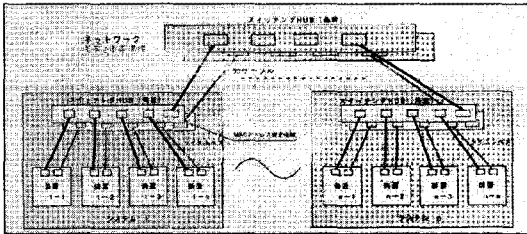


그림 2. 네트워크의 기본 구성

2.2 보안전송방식 기술 고찰

본 연구에서는 신호보안장치간 각 장치간의 링크를 위해 철도선전국의 사례 분석 등을 통해 네트워크에 의한 기술 연구를 수행하고 있다. 이러한 보안전송방식 기술 연구를 위해 다음과 같은 기본적인 관점에서 출발하였다.

- 보안전송을 가능하게 한다.
- 전송속도를 확보한다.(9600 bps 이상)
- 확장성을 고려한 방식으로 한다.
- 유지보수성을 고려한다.
- 개발기간 및 비용을 고려한다.

이러한 기본적인 요구사항을 만족하도록 하는 보안전송방식의 기술들을 위해 본 연구에서는 우선적으로 일본 대동신호에서 적용한 것처럼 Ethernet, 토큰링, ATM, FDDI 같은 LAN으로 구축 가능한 여러 방식들을 검토하였다.

항목	토큰링	FDDI	ATM	10Base-T	100Base-FX
전송속도	10Mbps	100Mbps	156Mbps	10Mbps	100Mbps
MAC	토큰링	토큰링*	ATM	CSMA-CD	CSMA-CD
토폴로지	링형	이중링형	스타형	스타형	스타형
비용	△	×	△	◎	○
개발기간	○	△	○	◎	○
확장성	○	△	○	◎	◎
상대성	△	△	○	○	◎

FDDI는 토큰을 사용하여 신뢰성이 높은 LAN을 구축하는 것으로, 비용의 측면에서 볼 때 비교적 소규모의 네트워크는 100base-FX로, 대규모 네트워크는 ATM으로 바꾸는 경향이 많다. 또한 토큰링 방식(IEEE 802.5)은 제어토큰이 필요하게 되고, 이중 링의 구성시 별도의 추가적인 장치 개발이 필요한 단점이 있다.

ATM은 속도나 장래성 등의 측면에서 고려할 수 있으나, 신호보안장치로 사용하는 것을 고려하면 현재 상황에서는 LAN으로 사용하기에는 개발기간이 길리며 비용

도 높다.

100base-FX는 범용LAN의 광케이블 방법으로 장래 고속전송에의 대응이 용이하며, 개발환경이 뛰어난 상태에 있다. 하지만 아직은 고가라는 단점이 있으나 몇 년 후 이 부분은 충분히 보완될 수 있을 것으로 추측된다.

따라서 호가장성, 유지보수성, 비용 등을 고려하여 Ethernet을 신호보안용 네트워크로 선정하였으며, 현재는 10Base-T를 바탕으로 신호시스템을 구축하여 실험하고 있으나, 향후 100base-FX를 이용한 방안도 고려하고 있다.

이처럼 범용 LAN(Ethernet)을 적용함에 있어서의 장점은 다음과 같다.

- 토폴로지가 스타형이기 때문에 회선이나 장치가 고장난 경우는 그 회선만이 고장나게 되어 네트워크 전체에는 지장이 없다.
- 스타형은 고장난 곳을 발견하기 쉬워, 네트워크 감시기능이 뛰어나다.
- 네트워크상 점유권이 없어, 네트워크의 병목현상이 없다.
- 저가로 시스템의 구성 및 유지보수에 유리하다.

다음 그림과 같이 전송부와 논리부로 나누어 Ethernet 프레임만을 전송부로 보내고, 데이터의 안전성은 Fail-safe 논리로 구성된 논리부에서 행하도록 하여, 네트워크의 안전성을 확보하도록 하였다.

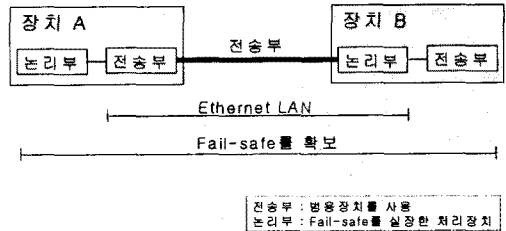


그림 3. 보안전송 구성도

2.3 안전성 확보방안

위에서 설명한 바와 같은 Ethernet을 바탕으로 네트워크를 구성하면서, 추가적인 안전성 확보를 위해 다음과 같은 방식을 사용하였다.

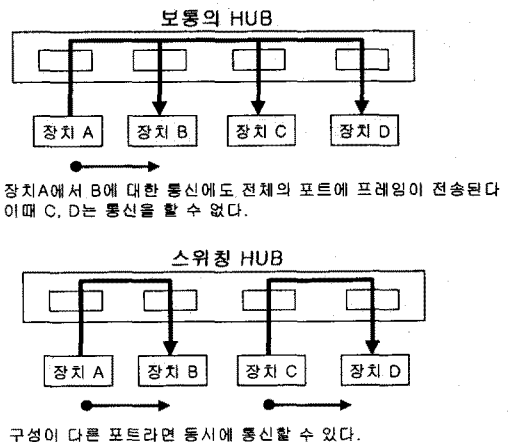


그림 4. 허브와 스위칭 허브의 차이

우선적으로 장치의 네트워크의 연결을 위해 다음 그림에서와 같이 허브 대신 스위칭 허브를 사용하였다. 즉, 보통의 허브를 사용하면 패킷의 충돌 발생 확률이 높고

이에 따라 전송 속도도 떨어지게 되지만 스위칭 허브를 사용하면 이를 줄일 수 있다.

전송 프로토콜을 TCP/IP로 하였으며, 네트워크 내의 데이터량을 가능하면 정확하게 도출하도록 하고, 시스템에서 허용되는 시간 내에 확실하게 전송할 수 있도록 검토하여 노드 수, 패킷수 등을 설정할 예정이다. 현재는 이에 대한 분석이 진행 중이다.

사용자 데이터	App. Layer
TCP	Transport Layer
IP	Network Layer
IEEE 802.3(CSMA/CD)	Data Link Layer (MAC Layer)
10Base-T/100Base-FX	Physical Layer

그림 4. 신호보안용 네트워크 프로토콜 구성

SEQ_NO(Sequence and Repetition No.)
OP_CODE(Message Function Code)
Signification Data
CRC LOW
CRC HIGH

그림 6 Message Information Data

그림 6은 Ethernet을 적용한 신호시스템의 시제품에 적용하고 있는 데이터 프레임의 나타낸 것으로 최대 124 bytes를 넘지 않도록 하였으며, 각각 필드의 역할은 다음과 같다.

- SEQ_NO : 의미 있는 Message를 전송한 후 타 System으로 부터 ACK를 받으면 Message의 완전한 전송이 종료된 것으로 간주하고 다음 Message는 1이 증가된 Sequence Number로 전송한다. 그러나 타 System으로 부터 응답이 없거나 NAK를 전송 받는 경우 최대 3번까지 같은 Sequence Number를 가지고 반복하여 전송한다.
- OP_CODE : Message function을 분류하기 위한 code이다. OP_CODE에 의해 Significant Data의 내용을 명확히 분석할 수 있다.
- Signification Data : Message에서 의미 있는 actual data를 가지고 있는 부분으로 OP_CODE에 따라 다른 구성을 가지고 있다.
- CRC : Message의 정확한 송수신을 위해 2 Bytes를 사용한다. CRC의 전송순서는 Low Byte, High Byte의 순으로 위치한다. 16 bit FCS(CCITT) : $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$ 사용하였다.

3. kTCS 시스템의 구성

한국형 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 장치들이 하나의 통합된 신호시스템이 되도록

앞절에서 설명한 각 장치간 링크를 네트워크로 구성하였다. 현재 앞 절에서 설명한 대로 10Base-T를 사용하여 링크를 구성하였으며, 100Base-FX는 향후 연구를 수행할 계획이다. 또한 설계 및 구현한 네트워크의 신뢰성 등을 계산도 계속 진행 중에 있다.

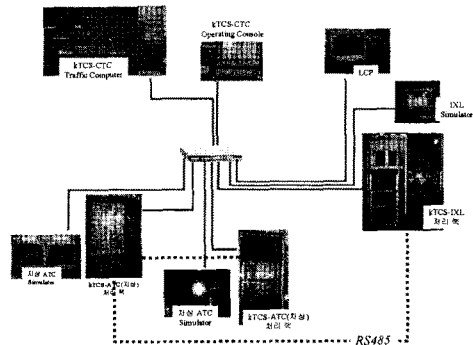


그림 7. kTCS 시스템의 구성

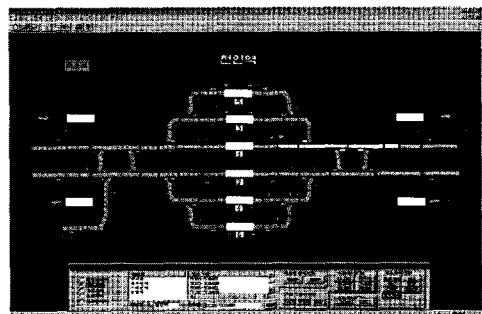


그림 8. 시험결과 예 (kTCS-CTC 진로설정화면)

4. 결론

본 논문에서는 철도 신호장치 각 장치간 링크를 위한 네트워크 기술을 연구하였다. 특히 SMILENET 등의 철도신호국의 사례 분석을 통해 kTCS 시스템에 적용을 위한 기본적인 요구사항을 도출하였다. 그리고 적용 가능한 LAN들을 조사분석하였으며, 이로부터 Ethernet을 본 연구에 적용하였다. 현재는 10Base-T를 적용하였으며, 향후 100Base-FX의 적용에 대한 연구를 진행할 예정이다. 그리고 네트워크를 적용했을 경우 추가적으로 필요한 안전성 확보기술 및 신뢰도 계산 등을 위한 추가적인 연구를 필요로 한다.

[참고 문헌]

- [1] 成山, '汎用LAN用いた保安伝送の開発', DAIDO Signal Corp. Quarterly Publication, NO. 99, 2001.
- [2] Hideo Nakamura, 'Development of Computerized Interlocking SMILENET', RTRI Report., 1986.
- [3] G.J.Holzmann, 'Design and Validation of Computer Protocols', Prentice Hall, 1991.
- [4] W. Stallings, 'Data and Computers Communications', Prentice Hall, 1997.
- [5] 황종규, 이종우, '신호시스템을 위한 높은 신뢰성을 갖는 프로토콜 구조 연구', 대한전기학회 하계학술대회, 2001.
- [6] 이종우, 황종규, 정외진, '전기신호시스템 엔지니어링 기술개발', G7 고속전철기술개발사업 연차보고서, 2001, 10.