

유도무선루프에 의한 자기부상열차 정보전송 시스템의 설계

論 文

48B - 1 - 7

Design of MAGLEV Information Transmission System by Radio Inductive Loop

安相權*, 朴錫夏**, 朴正秀***, 金種範§, 金良模§§

(Sang-Kweun Ahn · Seok-Ha Park · Jeong-Soo Park · Jong-Bum Kim · Yang-Mo Kim)

Abstract - This paper presents the information transmission between on-board and ground-site in MAGLEV. Considering safety and high speed operation and density operation, information transmission between them is necessary. Therefore it is necessary for transmission system to ensure high speed transmission, low error rate, massive information, and reliability of information. To provide above conditions, 1.1km signal line assembly was constructed and Frequency Shift Keying(FSK) modulation and Open System Interconnection(OSI) based high-level data link control(HDLC) protocol are applied. To modulate digital signal for transmission from ground-site to on-board, carrier frequency of 70khz is used and 90khz is used for transmission from on-board to ground-site. Transmission speed is 2400bps for consideration of train speed, quantity of information, and data error rate. And this paper introduces information monitoring considering user interface and presents the method for an effective data transmission in MAGLEV which is now being tested and intends to provide for an intelligent train operation system in future.

Key Words : information transmission, MAGLEV, FSK, HDLC

1. 서 론

대량수송이 가능하고 경제적이며 신속한 수송수단인 열차 시스템 중에서 미래의 교통이라 여겨지는 자기부상열차는 철도 선진국인 일본 및 독일을 중심으로 실용화 노선이 건설되고 있고 우리 나라에서는 그 시험선이 한국기계연구원에 부설되어 미래 지향적 열차시스템으로서 실용화를 위해 개발되고 있다는 중요성이 있다.

자기부상열차에서 차상↔지상간 정보전송을 위한 매체는 바퀴식 열차처럼 차륜과 궤도의 직접적인 접촉을 얻을 수 없기 때문에 무선에 의존할 수 밖에 없고[1-3], 무선에 의한 전송선로의 주류는 LCX(Leakage Coaxial Cable)[4]와 같이 밀결합에 의한 송수신이다.

본 논문에서는 자기부상 열차의 정보 송수신을 위해 차상↔지상간 무선변조방법으로 노이즈와 페이딩에 강하며 구현이 용이한 특징을 가진 FSK(Frequency Shift Keying) 변조를 채용하고자 하며, 통신 프로토콜로서 데이터 전달효과가 높고, 신뢰성 및 비트 투명성이 뛰어난 HDLC(High-level

Data Link Control)를 적용하고, 전송속도는 2400 bps로 정보 송수신 시스템을 구축하고자 한다. 정보전송매체로서는 지상에는 판 구조의 유도무선루프를 시설하고 이 위를 안테나를 띄워 송수신 하도록 실험장치를 구성하였다. 이 시스템을 이용한 정보 송수신의 검증 예로서 차상에서 검출된 속도, 위치정보로부터 지상에 전달되어 정확히 수신된 속도, 위치정보를 나타내어 모니터링 화면에 제시하는 시스템을 구현하고자 한다.

2. 시스템 개요

2.1 정보전송 시스템

지상과 차상사이의 정보전달을 위한 블록도를 그림 1에 나타내었으며 이것은 다음과 같다.

2.1.1 속도 - 위치정보 검출부

열차의 위치 및 이로부터 얻어지는 속도의 검출방법은 교차유도선에 의한 것이 채용되어 왔고, 10cm까지의高精度 위치검출이 가능하다. 이렇게 검출된 차상측 정보를 A/D 변환하여 모니터링 PC에 전달한다.

2.1.2 모니터링 PC

속도·위치정보 및 기타 운전에 필요한 정보를 차상측 HDLC 컨트롤러에 보내는 역할을 하며 반대로 지상측에서 전달된 정보를 화면에 표시하여 작업자로 하여금 모니터링 할 수 있도록 한다.

* 準 會 員 : 大田産業大 時間講師

** 正 會 員 : 忠南大 工大 電氣工學科 博士課程 修了

*** 準 會 員 : ACE Technology 研究員

§ 準 會 員 : 忠南大 工大 電氣工學科 碩士課程

§§ 正 會 員 : 忠南大 工大 電氣工學科 教授

接受日字 : 1997年 9月 1日

最終完了 : 1998年 12月 1日

2.1.3 HDLC 컨트롤러

HDLC 컨트롤러는 정보를 프레임 형식에 맞도록 재구성하여 트랜스폰더에 전송하며, 전송속도 및 데이터 에러 체크를 위한 일정형식을 갖도록 프로그램에 의해 구동된다

2.1.4 트랜스폰더(Transponder)

트랜스폰더는 신호를 무선 송수신하는 장치로서 FSK 변조기와 복조기로 구성되며 디지털 정보를 FSK신호로 변조시켜 신호선 어셈블리로 전달하고 수신측 복조기에서 이 신호를 디지털 신호로 다시 복조한다. 복조된 신호는 HDLC 컨트롤러에서 재구성되어 PC에서 모니터링한다.

2.1.5 신호선 어셈블리

신호선 어셈블리는 본 논문에서 사용되고 있는 정보전송 유도선로 외에 음성 송수신 및 위치·속도검지를 위한 유도선을 일체화한 것으로 1.1km의 시험선로 전구간에 설치된 것이며, 습기나 기타 불순물의 외부침입을 막기 위해 플라스틱으로 몰딩되어 있다.

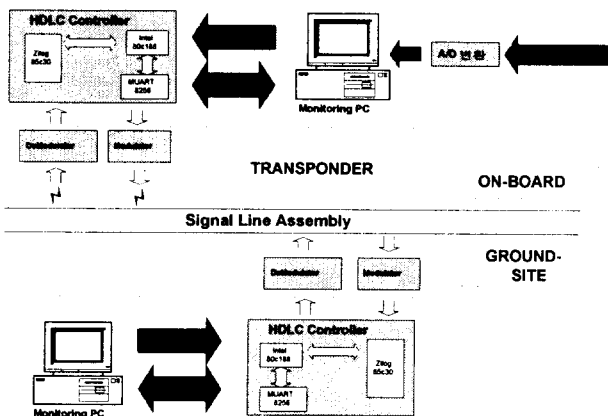
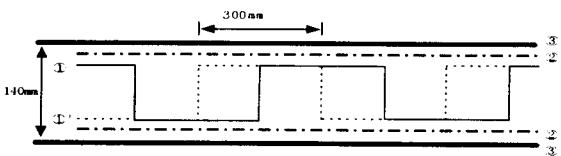


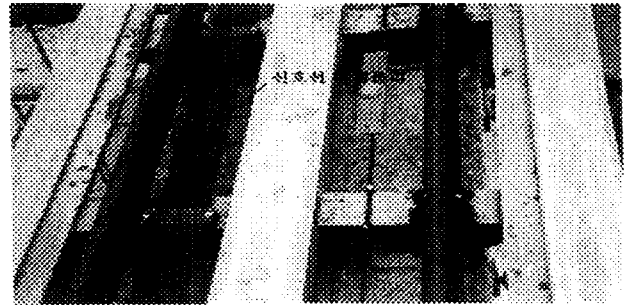
그림 1 정보전송 시스템 구성도

Fig. 1 Block diagram of information transmission system

그림 2는 신호선 어셈블리의 내부구조와 실제 부설된 모양을 나타낸 것으로, 그림2(a)의 ③-③' 직선은 본 연구에서 사용한 데이터 송수신을 위한 전송선이며 ①-①'의 직선과 점선의 교차배선은 위치 및 속도검출을 위한 교차유도선을, ②-②'의 파선은 FM 음성송수신을 위한 배선을 나타낸다. 한편 차량에 부착된 정보전송용 안테나는 몰딩하였다.



(a) 내부구조도
(a) Internal structure



(b) 자기부상열차트랙에 설치된 신호선 어셈블리
(b) Signal Assembly on Maglev track

그림 2 신호선 어셈블리 내부 구조 및 실제 실용예
Fig. 2 Internal structure of the signal line assembly and real structure

2.2 정보내용 및 전송제원

지상과 차상사이에 전달되는 정보는 자기부상열차의 운행에 필수적인 내용을 포함한다. 즉 열차의 속도와 위치, 운행 모드, 운행번호, 운행방향, 부상상태, 정위치정지, 도어개폐상태, 공기브레이크상태 등의 정보를 설정하고 각각의 정보에 전송방법을 제시하여 비트수를 설정하였다.

표 1 정보 및 전송제원

Table 1 Information and transmission specifications

정보 내용	지상 → 차상	운행번호, 진로설정, 비상정지, 출발허가
	차상 → 지상	속도, 위치, 운전모드, 정위치정지, 도어상태, 부상상태, 운행번호, 방향
지상 ↓ 차상	전문 길이	80 bit(정보 : 32 bit)
	변조 주파수	70kHz ± 2kHz (지상 → 차상)
		90kHz ± 2kHz (차상 → 지상)
	변조	FSK
	통신 프로토콜	HDLC
	전송방법	전이중 방식
	부호화	NRZI
에러 체크	CRC-16($X^{16}+X^{13}+X^2+1$)	
Transmission speed	2400 bit/s	

표 1은 자기부상열차의 운전에 필요한 정보내용 및 전송제원을 나타낸다. HDLC 프레임은 80비트로 이루어지며 일반적으로 그림 3과 같이 start 및 stop flag, control, address, CRC, information flag로 이루어지고 있으며 이중 32비트는 전송하고자 하는 정보를 내포하고 있다. 한편 부호화 방법은 NRZI(Non-return to zero-inverted)를 이용하였고, 데이터 에러 체크를 위한 방법으로는 CRC-16을 적용하였는데 이 다항식은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$G(x)=X^{16}+X^{15}+X^2+1 \quad (1)$$

Start Flag (8) (01111110)	Address (8)	Control (8)	Information (32)	CRC (16)	Stop Flag (8) (01111110)
---------------------------------	----------------	----------------	---------------------	-------------	--------------------------------

그림 3 HDLC 프레임 구성
Fig. 3 Configuration of HDLC frame

3. 비접촉 무선 데이터 송수신

자기부상열차의 트랙과 차체와의 거리는 약 11mm이지만 신호선 어셈블리와 안테나와의 거리는 상대적으로 더 클 수 있다. 본 논문에서의 전송방법은 FSK 동기 통신 방법을 이용한 전이중구조로 지상에서 차상으로의 정보전송은 반송 주파수 70 kHz으로 하였고 차상에서 지상으로의 정보전송은 90 kHz로 하였으며 주파수 편이는 ±2 kHz이다.

3.1 트랜스폰더 구성

디지털신호를 무선으로 전송시킬 수 있는 효과적인 방법으로 FSK 변조방식을 들 수 있다. 이것은 보내고자 하는 정보의 입력신호를 코드화하여, 변형된 2진신호의 1과 0에 두 반송주파수를 대응시켜 다음과 같이 전송한다.

$$S_1(t) = A \cos 2\pi(fc - \Delta f)t \quad ; \quad \text{부호 1일 때} \quad (2)$$

$$S_0(t) = A \cos 2\pi(fc + \Delta f)t \quad ; \quad \text{부호 0일 때} \quad (3)$$

FSK 방식은 전용 IC에 의해 신호를 비교적 용이하게 발생시킬 수 있으며, 비동기 복조가 가능하다는 이점을 가지고 있다. 또한 신호진폭이 일정하고, 주파수 엇갈림이나 전송로의 비선형성에 대한 응답도 양호한 특징을 가지고 있다. 그림 4는 FSK의 원리와 변조된 디지털 신호의 모습을 보이고 있는데 주파수 신호로 변조된 디지털 신호는 복조기를 거쳐 원래의 디지털 신호로 재생된다.

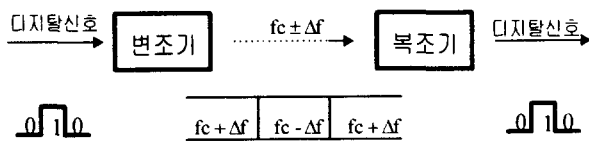


그림 4 FSK 변조 원리
Fig. 4 Principle of FSK

본 실험에서 사용된 FSK IC는 XR계 범용IC로 변조는 XR2206, 복조는 XR2211을 사용하였다.

3.2 HDLC에 의한 정보전송

3.2.1 시스템 인터페이스

그림 5는 PC와 컨트롤러의 시스템 인터페이스를 나타낸다. 기본적으로 컨트롤러는 ISA 버스의 8비트 또는 16비트 슬롯에 사용할 수 있도록 되어 있다. 인텔 마이크로프로세서 80c188을 탑재하여 호스트 컴퓨터의 다른 기능과는 독립적으로 높은 데이터 전송 수행 능력을 갖추고 있다. 그리고 1 Mbyte의 시스템 메인 메모리(00000h-FFFFFh)를 가지며 80c188 마이크로프로세서의 번지지정 범위를 확장할 수 있도록 한다. 또한 정보를 저장하기 위해 마이크로프로세서와 호스트 CPU가 액세스 할 수 있고, 응용프로그램이 상주할 수 있도록 기본 메모리의 상위 번지인 8k byte (FE000h-FFFFFh)를 할당하였다. 이 중에서 4kbyte씩 메모리가 분리되어 있어(dual port memory) 데이터 송수신에서 전이중 및 양방향 통신이 가능하도록 설계되어져 있다. 즉, 호스트측은 이 메모리 영역을 I/O포트로서 인식하고, 80c188은 메모리로서 인식하여 데이터 입출력이 가능하도록 하였다.

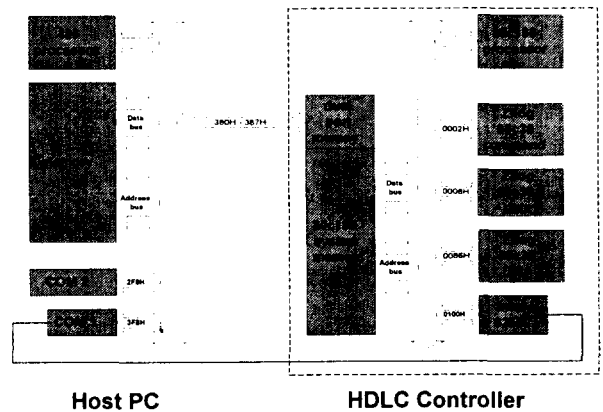


그림 5 HDLC 컨트롤러와 host PC와의 인터페이스
Fig. 5 Interface between HDLC Controller and Host PC

3.2.2 동기화

전송되는 디지털 정보의 송수신은 비트 타이밍을 맞추기 위해 사용되는 클럭을 기초로 한다. 송신단에서의 클럭은 비트의 시작과 끝을 알리기 위해 사용되며 수신단에서의 클럭은 수신되는 비트의 끝 부분과 다음에 전송되는 비트의 첫 부분을 구별하기 위해 사용된다. 그러나 송신단과 수신단에 같은 클럭 신호를 인가해 주지 않는 이상, 송신단과 수신단의 클럭속도는 일정한 클럭속도에 비해서 빨라지거나 비트간의 발생시간도 틀려지는 클럭의 어긋남이 발생하며 수신단에서의 비트의 시작 부분과 끝 부분의 검출에 오류가 발생하여 전체 수신된 디지털 데이터 정보에 치명적인 오류를 발생시킬 수 있다. 또한 송신단과 수신단의 클럭이 정확하게 일치하지 않아 똑같은 비트를 두 번 수신하거나 또는 비트의 수신을 하지 못하고 넘겨 버리는 경우가 발생할 수 있어 전달된 디지털 정보를 해석하기 위해 클럭동기는 필수적이라 할 수 있다[7].

그림 6은 송신단과 수신단이 11mm 이상 떨어져 있는 경우의 동기를 맞추기 위한 방법을 나타낸 것이다. 자기 부상 열차와 같은 부상식의 경우 지상과 차상사이의 유도무선 라

인에서 동기 신호를 위한 클럭이 필요하며 클럭을 제공하기 위해 다른 주파수를 설정하고 전송선로를 설치한다는 것은 시스템이 복잡해지고 비경제적이다. 따라서 그림 6과 같이 지상과 차상의 송·수신기가 서로 독립된 클럭에 의해서 동기를 맞추는 전송방식을 사용함으로써 동기를 맞출 수 있다.

한편 디지털 신호의 전송시 신호의 변화가 없으면 수신단에서 동기를 검출하는데 오류가 발생할 수 있다. 그러므로 같은 정보가 반복되더라도 디지털 신호의 변화가 계속 발생되어 수신단에서의 동기 클럭 검출이 용이하도록 NRZI 부호화 방식을 사용하였다.

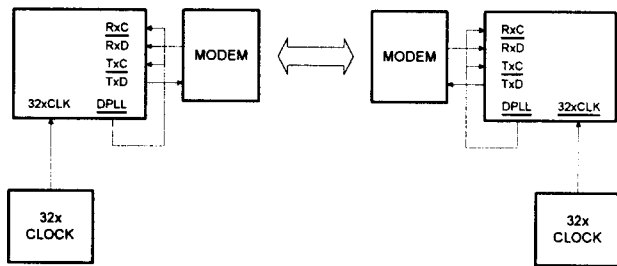


그림 6 동기 모드의 블럭도
Fig. 6 Block diagram under synchronization mode

3.2.3 에러 제어

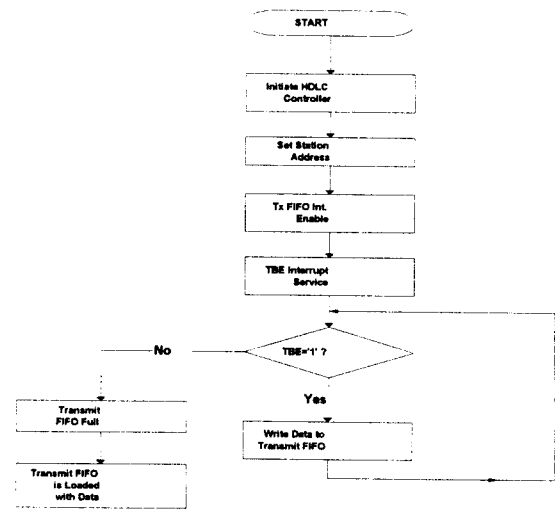
HDLC와 같은 프레임 전송에 있어서 에러 제어 기술은 중요하며 본 연구에서는 전송 에러가 발생할 경우 프레임을 복구하기 위해 Selective Repeat ARQ (automatic-repeat-request)에 의한 제어방법을 택하였다. ARQ는 HDLC와 같은 OSI(open system interconnection) 데이터 링크로부터 유도되며[8], HDLC 규약은 ARQ 프레임 동기를 유지하기 위해 비트 지향 0 비트 스타핑(zero bit stuffing)을 사용한다[9]. CRC(cyclic redundancy check)는 ARQ 프레임 및 데이터의 에러 검출을 위해 사용되며 프레임 전송 번호는 정보 프레임에 포함되고, 이 번호에 의해 전송도중 잃어버린 프레임을 확인할 때 사용하도록 하였다.

3.2.4 정보 송수신 제어

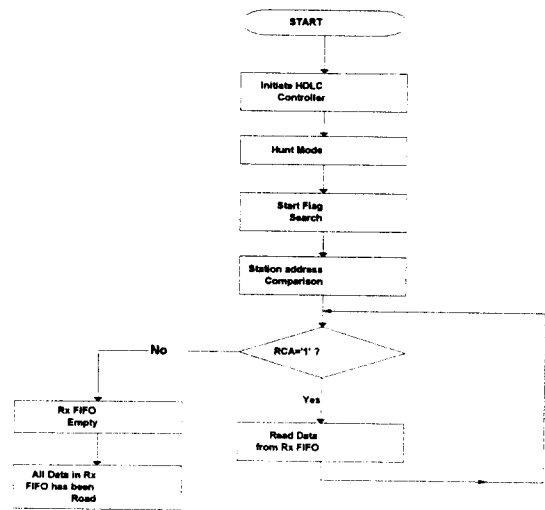
그림 7은 송·수신측의 데이터 전송 흐름을 나타낸 것으로 그림 7(a)의 경우 송신측의 전송 루틴을 표시한 것으로 우선 z85c30을 초기화하여 데이터를 전달하는데 있어 필요한 조건 등을 설정한다. 그리고 HDLC 프레임 구조중 두 번째 플래그는 어드레스부인데 이는 메인 스테이션과 로컬 스테이션과의 관계를 나타내므로 송신측에서 수신측의 Station 어드레스를 지정할 필요가 있다. 송신측의 버퍼가 비어 있는지를 확인하여, 비어 있을 경우 다음 데이터를 읽을 수 있도록 하고 비어 있지 않으면 버퍼에 다른 데이터가 들어올 때까지 기다려 다음 데이터를 읽는다. 즉 FIFO(First In First Out)가 비어 있을 때 전달 인터럽트가 발생하고 더 많은 데이터가 쓰여질 수 있음을 의미한다. 만약 그렇지 않을 경우 데이터는 쓰여질 수 없으며, 수신측 FIFO가 완전히 비

어 있을 때 TBE(transmitting buffer empty) 인터럽트가 발생한다. 마지막으로 데이터에 대한 CRC 체크를 하여 에러를 검출한다.

그림 7(b)는 수신측의 전송 루틴을 표시한 것으로 HDLC의 시작 플래그를 자동적으로 체크할 수 있도록 수신측은 항상 hunt 상태에 있어야 한다. 시작 플래그를 감지하면 다음 플래그를 자동적으로 인식하여 어드레스를 자신의 고유 어드레스와 비교하여 같으면 FIFO에 데이터를 받아들이고 틀릴 경우 다시 hunt 상태로 복귀한다. 데이터를 읽기 위해 수신 버퍼의 상태를 체크하여 데이터가 있으면 첫 번째 데이터를 읽어 들이고 다음 데이터를 읽기 위해 루프를 반복하여 프레임이 끝날 때까지 계속 진행한다. 그러나 버퍼가 계속 비어 있는 경우 데이터를 전부 읽은 것으로 인정하여 루틴을 마치게 된다.



(a) 송신 루틴
(a) Transmitting routine



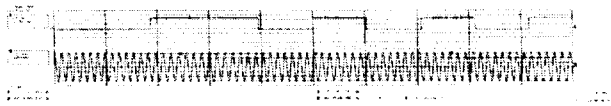
(b) 수신 루틴
(b) Receiving routine

그림 7 정보 송수신 루틴
Fig. 7 Transmitting and receiving routine

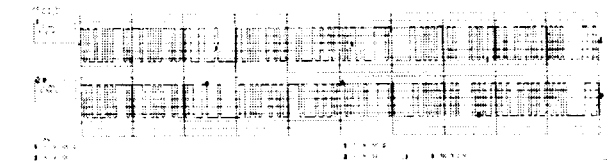
4. 실험방법 및 결과

실험은 실용화 노선에 부설된 신호선 어셈블리의 일부를 실험실에 설치하고 안테나를 제작하여 정보 송수신 체계를 구축하였다. 그림 8은 데이터가 가상적 지상과 차상 사이에 전달된 것을 나타내는 파형으로써 그림 8(a)의 경우 정보를 포함한 디지털 신호 및 70kHz의 반송 주파수를 사용하여 나타낸 FSK 변조 파형이며, 그림 8(b)는 변조전의 송신측 디지털 신호와 복조된 수신측 디지털 신호로서 신호의 왜곡이 없이 원래의 데이터 신호로 완전하게 복조할 수 있음을 보여준다.

그림 9는 본 논문에서 언급된 정보 송수신 체계를 보이기 위한 방법으로 신호선 어셈블리상의 교차 유도선에 의해 검출된 열차 속도 및 위치 정보를 모니터링 화면에 표시한 것으로, (a)는 차상에 설치된 모니터링 화면으로서 각종 정보를 한 화면에서 볼 수 있도록 구성된 것이며 (b)는 차상에서 송신된 속도, 위치 데이터를 지상의 유도선을 통해 수신한 데이터를 바탕으로 속도-위치 프로파일을 구성한 것이다. 두 개의 프로파일이 잘 일치함을 알 수 있다.

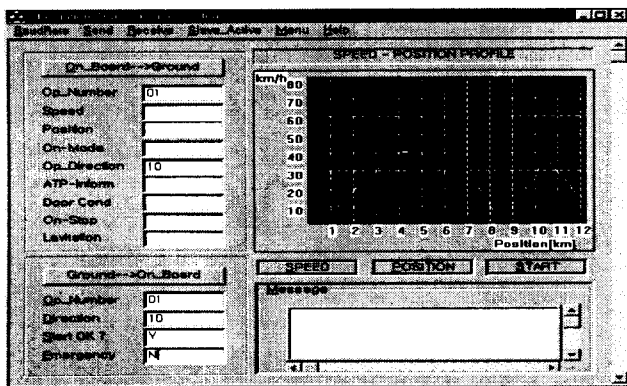


(a) 데이터 신호(↑)와 FSK 변조(↓)
(a) Data signal(↑) and FSK modulation(↓)

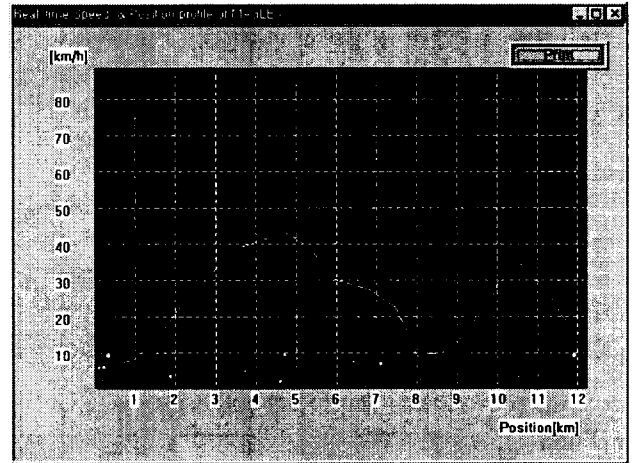


(b) 송신 데이터 신호(↑)과 수신 데이터 신호(↓)
(b) Transmitted data signal (↑) and received data signal (↓)

그림 8 프레임당 80비트로 구성된 연속 데이터 스트림
Fig. 8 Continuous data stream with 80bits/frame



(a) 차상측 모니터링 화면



(b) 지상에서의 속도-위치프로파일

그림 9 차상 및 지상의 속도-위치 실시간 데이터 송수신 화면

Fig. 9 Real time speed-position profile between on-board and ground-site

5. 결론

본 논문은 자기부상열차의 정보전송을 유도무선루프를 통해 실현시킨 시스템에 대한 결과를 기술한 것으로 이를 실현시키기 위해 차상, 지상간 무선송수신 변조방법으로 노이즈와 페이딩에 강하고 구현이 용이한 FSK방법을 채용하였고, 통신 프로토콜로서는 데이터 전달효과가 높고 신뢰성 및 비트 투명성이 뛰어난 HDLC를 적용하였다. 이 시스템은 한국기계연구원 자기부상열차의 시험선로에 부설된 1.1km 신호선 어셈블리를 이용하여 이룩하였으며 그 실증예를 효과적으로 나타내기 위하여 차상에서의 속도 및 위치정보를 지상에서 복조하여 재현시킴으로서 시스템의 적응성을 검증하였다. 이를 토대로 정확하고 신속하며 다양한 정보전달을 통해 인텔리전트 정보시스템의 기초를 마련할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 정의진, 김양모, "유도선에 의한 열차위치검지", 대한전기학회지, 제42권 9호, pp.12-19, 1993. 9.
- [2] F. Hashimoto, "Signalling System of Maglevtype HSST", MAGLEV'93, pp.411-416, 1993.
- [3] 정의진, 함상용, 김봉섭, 김양모, "회전원관형 비접촉식 열차위치검지", 대한전기학회 논문지, 제44권 3호, pp. 292-297, 1995. 3.
- [4] K. Kubota, "Train Control Systems for Super-conductive Magnetic Levitation System", 13th int. conference on magnetically levitated systems and linear drives, pp.424-430, 1993.
- [5] J.S. Park, S.K. Ahn, and Y.M. Kim, "A Digital Signal Transmission Using FSK Method in Train System", Proc., of ITC-CSCC'96, July 15-17, Vol.2, pp.792-795.

1996.

[6] Fred Halsall, Data Communication Computer Networks and Open Systems, Addison-Wesley, 1994, pp. 89-141.

[7] 강 창 언, 데이터 통신, 대영, 1995, pp.99-120.

[8] International Standards Organization, "Data Communication High-level data link control procedures Consolidation of elements of procedures", Ref. No. ISO 4335-1983(E).

[9] Mony, G. and Toplis, B, "Performance assessment of data transport alternatives for digital cellular radio", 40th IEEE-VTC, pp.336-340, 1990.



김 양 모(金良模)

1950년 3월 29일 생. 1973년 서울대 공대 공업교육(전자)과 졸업. 1975년 동 대학원 공업교육(전자)과 졸업(석사). 1986년 일본 동경대 공학부 전자공학과 졸업(공학). 1979년~현재 충남대 전기공학과 교수. 1990년 미국 버지니아테크 방문교수. 주 관심 분야는 Railway Systems, Power Electronics

저 자 소 개



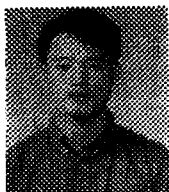
안 상 권 (安相權)

1969년 3월 15일 생. 1994년 충남대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 대전산업대학 시간강사



박 석 하 (朴錫夏)

1967년 12월 15일생. 1993년 충남대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 2월 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 주 관심 분야는 Power Electronics.



박 정 수 (朴正秀)

1969년 10월 19일 생. 1995년 충남대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). ACE Technology 연구원.



김 증 범 (金種範)

1971년 1월 30일 생. 1996년 충남대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 입학(석사과정). 주 관심분야는 RF Energy Conversion, Power Electronics.