

# 자기부상열차의 중앙제어 및 신호통신시스템 기술



손 영 수

(KIMM 장비개발실)

- '78-'82 동국대학교 전자공학과(학사)
- '82 동국대학교 대학원 전자공학과(석사)
- '93-'96 동국대학교 대학원 전자공학과(박사)
- '89~현재 한국기계연구원 선임연구원



박 찬 일

(KIMM 장비개발실)

- '70 한양대학교 전기공학과(학사)
- '72-'76 KIST 연구원
- '77~현재 한국기계연구원 책임기술원



김 양 모

(충남대학교 전기공학과)

- '69-'73 서울대학교 전자공학과(학사)
- '73-'75 서울대학교 대학원 전자공학과(석사)
- '83-'86 일본 동경대학교 대학원 전자공학과(박사)
- '79~현재 충남대학교 전기공학과 교수

## 1. 서 론

육상 대중교통수단으로서의 열차는 자동차와는 달리 정해진 궤도 위를 움직인다는 제한성 때문에 전·후 열차와의 상대적 위치를 고려, 열차충돌에 대비한 안전성 및 신뢰성의 확보가 필수적인 요소이며, 이를 위해서는 열차와 지상 간의 상호 유기적인 신호통신체계의 확립이 대단히 중요하다.

궤도차량에 있어서의 신호통신체계는 지상에서 차량의 위치 및 속도정보를 포함한 운행정보를 모니터링 하고, 필요한 통제지령을 차량에 전달하는 양방향 통신방식이어야 하며, 이를 위해 열차의 위치 및 속도를 검지하기 위한 차량 위치·속도검지장치, 정보전송선로 및 정보송수신시스템 등을 포함한다.

지금까지 개발된 바퀴식 궤도열차용 신호통신체계는 차량의 위치정보 검출에 있어 레일에 설치된 궤도회로가 차륜에 의해 단락됨으로서 위치를 검지하거나, 궤도에 일정형태의 유도선을 설치하여 차상의 안테나로부터 위치를 검지하는 방법등이 사용되고 있으며, 이러한 방법으로 검출된 차량의 위치정보를 유선 또는 무선방식에 의해 지상과 정보 송수신을 수행하고 있다.

그러나, 자기부상열차와 같은 새로운 형태의 궤도차량인 경우, 비 접촉방식으로 인해 레일과 차륜의 단락을 얻을 수 없기 때문에 궤도회로에 의한 위치검지는 고려될 수 없으며, 교차유도선(cross inductive radio line)과 안테나에 의한 위

치검지 방식을 채용하는 것이 바람직하다.<sup>[1]</sup>

본 고에서는 당 연구원에 설치되어 있는 1km 자기부상열차 시험선로에서 운행할 도시형 자기부상열차의 효과적인 운행제어를 위해 개발한 신호통신체계를 소개하고자 하며, 본 시스템을 체계적으로 보완, 발전시켜 충분한 신뢰성 검증이 이루어질 경우, 도시형 자기부상열차 실용화 노선에의 적용이 기대된다.

## 2. 신호통신 시스템의 구성

### 2.1 위치 및 속도검지기술

외국에서 개발된 자기부상열차의 위치검지방식은 모두 교차유도선 방식을 이용하고 있으며,

그 방식으로는 차상에 테 모양의 안테나를 설치하여 일정 주파수의 위치검지용 발진기 신호를 안테나를 통하여 방사(radiation)하고 지상에 설치된 6 쌍의 교차유도선에서 신호를 수신하여 발진기의 위치, 즉 열차위치를 검출하는 MLU 시스템,<sup>[2]</sup> 교차유도선에 고주파 신호를 실어 교차유도선의 교차점을 읽는 transrapid 방식,<sup>[3]</sup> 교차유도선의 넓혀진 부분과 합쳐진 부분에서의 유도전압 변화로부터 열차위치를 검출하는 HS-ST 방식<sup>[4]</sup> 등이 있다.

#### 2.1.1 유도선에 의한 위치검지 원리

그림 1)은 교차유도선과 안테나와의 관계, 각 안테나로부터 유도된 전압, 유도전압을 검파했

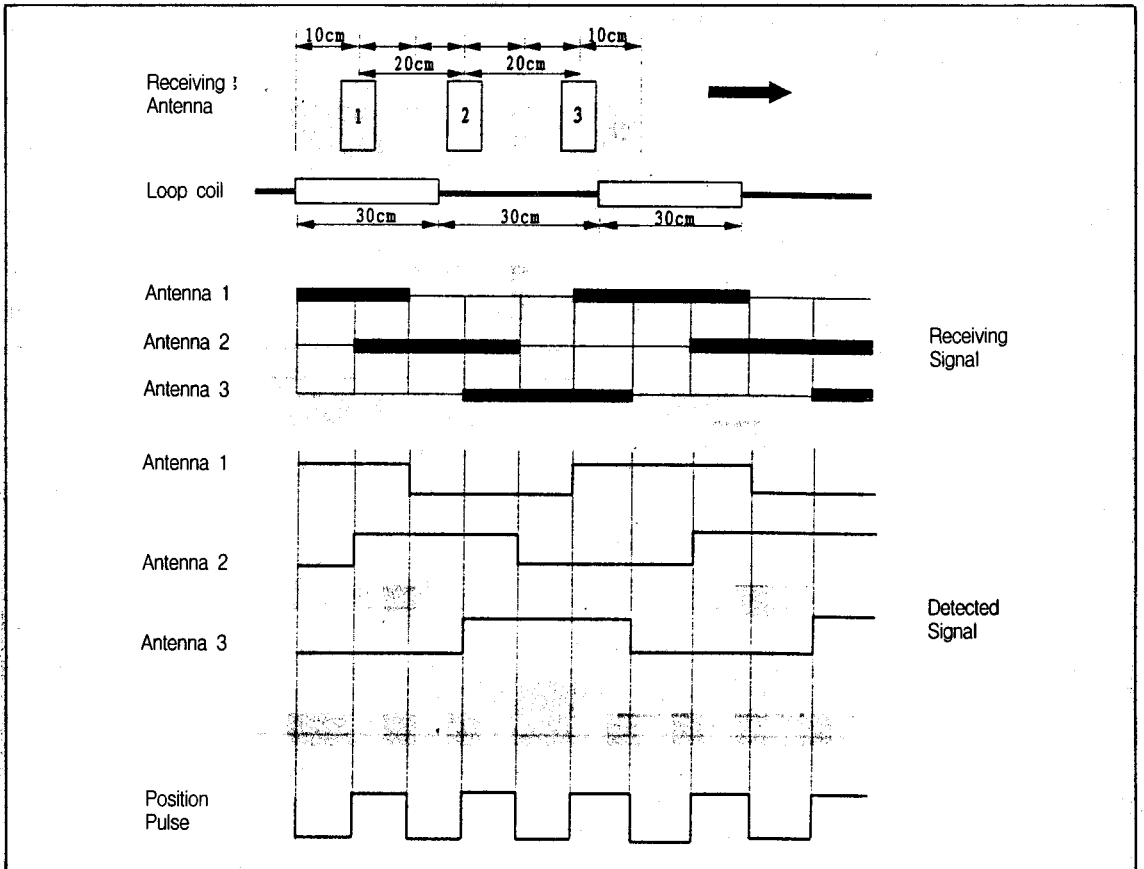


그림 1. 교차유도선에 의한 위치검출 원리

을 때의 위치펄스를 얻는 원리를 나타낸 것으로서, 본 연구에서 이용한 교차유도선에 의한 위치검지 방식은 지상에 두 선이 균등간격으로 서로 넓혀졌다 합쳐지는 형태의 교차유도선을 설치하고, 이 유도선의 한 끝에 고주파 신호를 인가하여 그 위를 안테나를 설치한 차량이 이동하면 안테나에 유도되는 고주파 신호의 진폭성분은 넓혀진 유도선 위에서는 크게 나타나고 합쳐진 부분에서는 유도전압이 서로 상쇄되어 진폭성분은 '0' 이 된다. 따라서, 안테나에 유도되는 전압의 진폭성분이 지상의 유도코일의 형태에 따라 변하므로, 이를 이용함으로써 열차의 위치에 따른 진폭신호를 얻을 수 있다. 또한, 안테나 3개를 유도코일 한 주기의 1/3 간격으로 설치하면, 각 안테나에 유도되는 전압이 서로 120°의 위상차를 갖게 되므로 이 세 개의 신호를 순차적으로 합하면 1/6 주기의 정확도로 위치검출이 가능하고 또한 각 안테나 유도신호의 전·후 관계를 파악함으로써 열차의 전·후진 상태를 알 수 있다.<sup>[5]</sup>

2.1.2 위치 및 속도검지회로 설계

교차유도선을 통해 안테나에 유도된 고주파신

호로부터 위치 및 속도를 얻는 회로의 시스템 구성도를 그림 2)에 나타내었다.

그림 2)에서와 같이 안테나 출력신호를 일정 레벨로 고주파 증폭한 후 포락선 검파과정을 거쳐 3개의 안테나로부터 검출된 신호를 일정한 구형파로 만들기 위해 슈미트트리거를 이용한 비교기로 파형을 정형하고, 정형된 3개의 구형파신호를 순차적으로 합하면 유도선 한 주기의 1/3 주기에 해당하는 구형파신호를 얻을 수 있게 된다. 결국, 펄스의 상,하강을 고려하면 약 10cm 마다의 위치검출이 가능하며, 속도신호는 위상이 다른 3개의 안테나신호를 가산하여 일종의

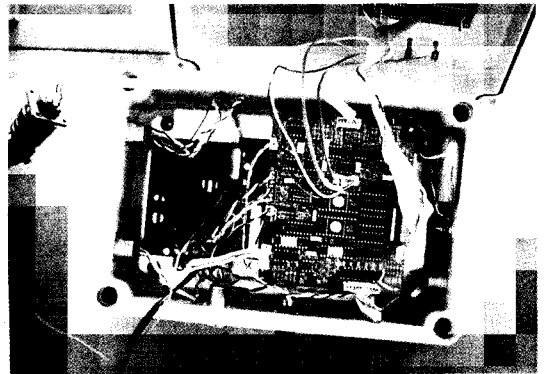


그림 3. 제작한 자기부상열차 위치·속도 검지장치

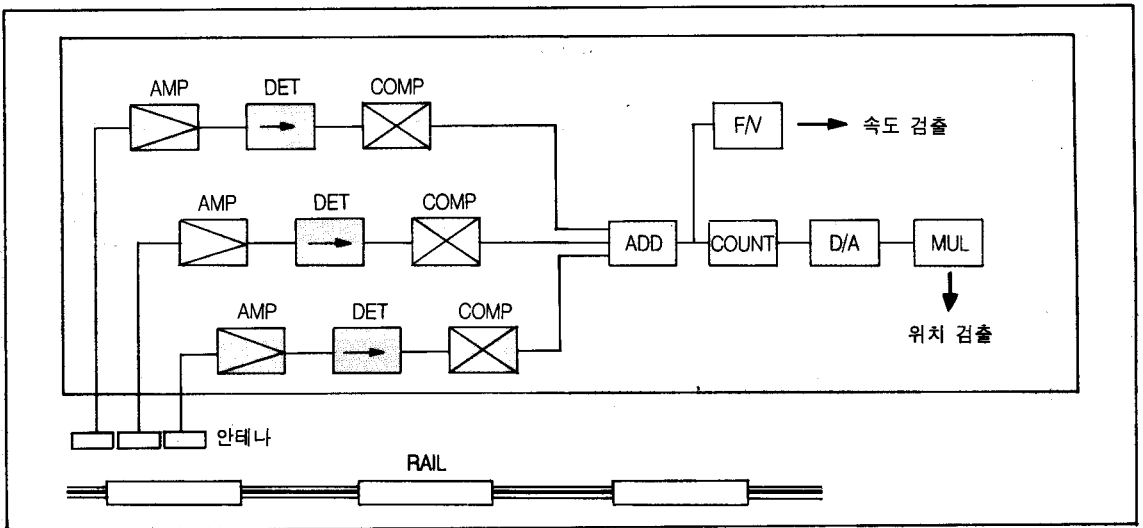


그림 2. 위치 및 속도검지회로 구성도

주파수성분인 가산기의 출력신호를 F/V (Frequency to Voltage) 변환함으로서 검출할 수 있다.

그림 3)은 실제 1km 시험선로에서 열차의 위치 및 속도검지를 위해 구성된 회로도이며, 그림 4)는 제작한 검지장치를 나타내고 있다.

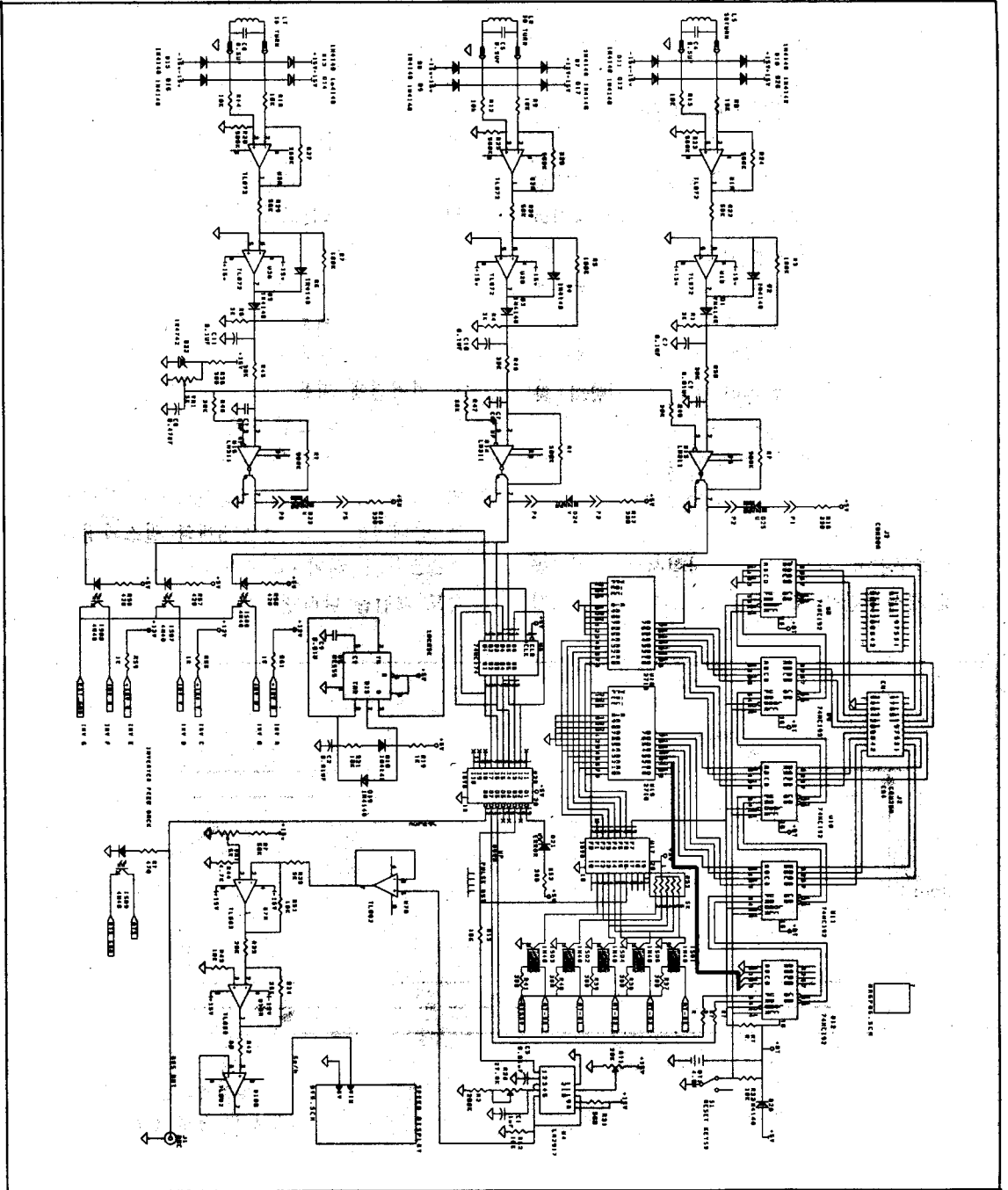


그림 4. 개발한 위치·속도 검지장치의 회로도

## 2.2 전송 선로 (패턴벨트)

자기부상열차 차상과 지상을 연결하는 전송로는 전용의 전송로가 필요함과 동시에 바퀴식 열차방식에서 사용하는 궤도회로와 동등한 신뢰성 확보가 필요하다.

자기부상방식의 신호전송로 설계에 고려되어야 할 사항으로는

- 1) 신뢰성 확보 : 신호, 통신회선의 품질 향상을 도모할 필요가 있으며, 전원설비와 PSU 에서의 잡음원에 대한 대책 필요
- 2) 기능의 독립성 : 열차 무선계, 정보 전송계 각선의 독립성 유지 필요
- 3) 공사의 간소화 : 미관을 고려하면서 경제적 전송구조 및 공기단축이 가능한 공법의 확립이 필요
- 4) 잡음억제효과 및 선간결합 손실의 극소화 등이 있다.<sup>[6]</sup>

당 연구원에 건설된 1km 시험선로는 직, 곡선 및 경사구간을 포함하고 있으며, 중앙제어실

의 스위칭장치에 의해 분기선로로 전환할 수 있게 되어 있다. 따라서, 이 시험선로에서 자기부상열차의 위치, 속도를 검출하기 위해 선로를 따라 패턴벨트를 설치하였으며, 이 패턴벨트는 위치검출을 위한 교차유도선, 정보송수신 및 음성통신을 위한 동축케이블로 구성되어 있다. 교차유도선의 한쪽은 단락되어 있으며, 다른 한 끝에는 브러쉬와 슬립링을 설치하여 고주파 신호를 인가할 수 있도록 하였으며, 안테나로부터 방사되는 유도신호가 최대가 되도록 유도선의 임피던스 정합을 이루었다. 차상에 설치되는 검출 안테나는 pick-up 코일을 이용하여 구성함으로써 차량이 곡선구간을 주행할 때, 차량의 움직임에 따라 안테나가 패턴벨트로부터 상대적으로 멀어짐에 따른 펄스검지 장애를 최소화하였다. 그림 5) 및 그림 6)은 설치된 패턴벨트의 내부 배선도 및 제작한 차상안테나를 나타낸 것이며, 그림 7) 및 8)은 시험선로에서 차량에 부착된 안테나를 통해 얻은 3개의 펄스파형과 이들 펄스로부터 위치·속도검지장치를 통해 검출된 속도 패턴을 나타낸 것이다.

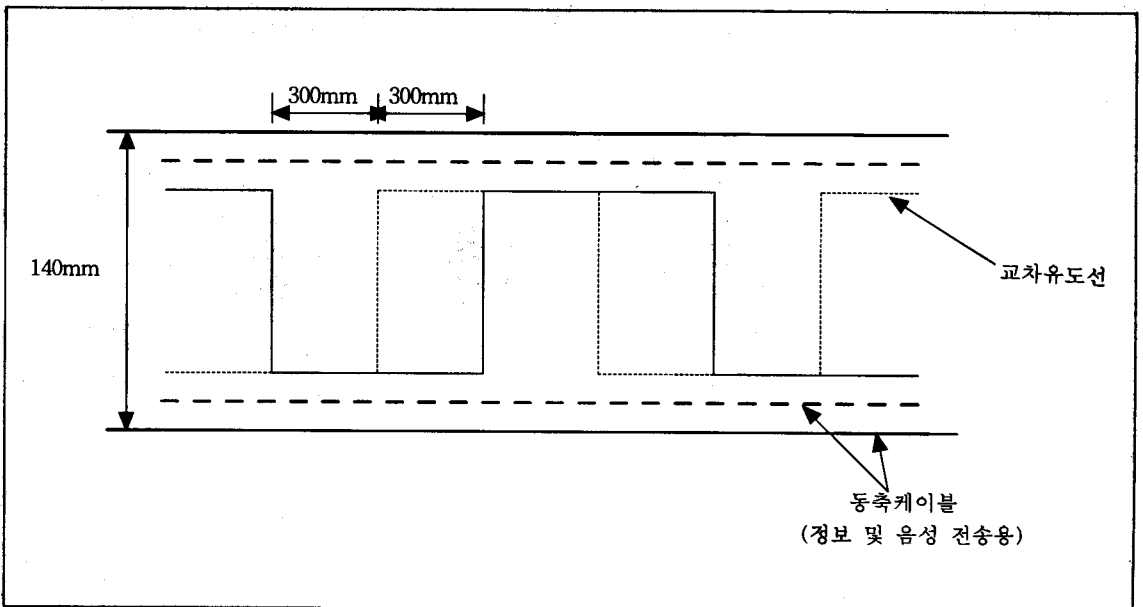


그림 5. 제작한 패턴벨트의 내부 배선도

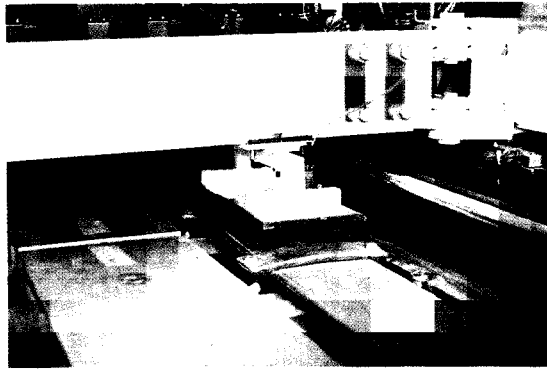


그림 6. 차량에 부착된 위치검출 안테나

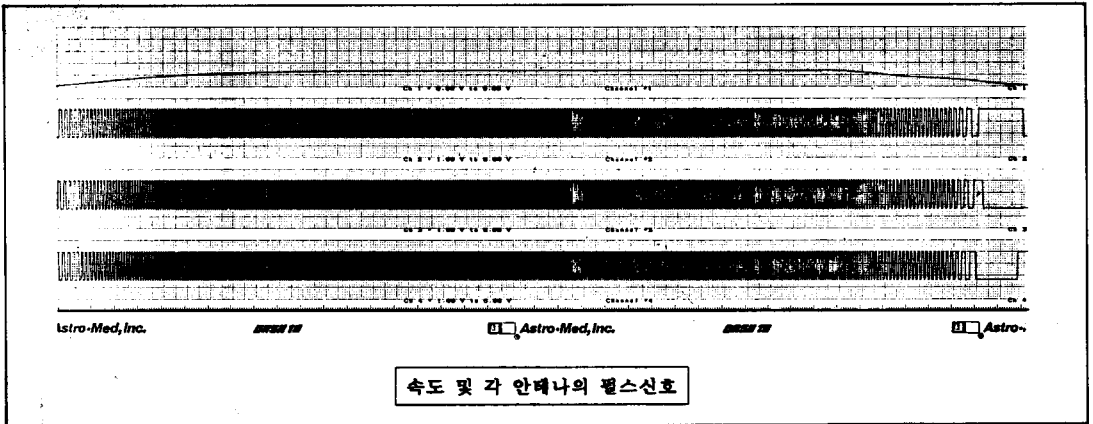


그림 7. 차상 안테나에서 검출된 펄스 파형

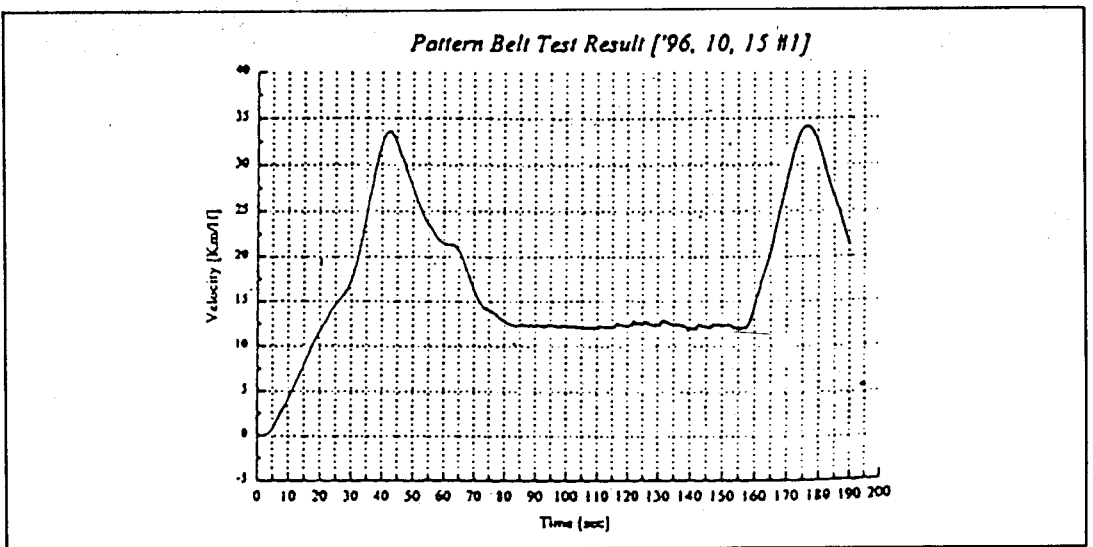


그림 8. 위치·속도 검지장치를 통해 검출된 속도 패턴

### 2.3 정보 송수신 시스템

고속으로 운행하는 자기부상열차 시스템은 특히 안전성과 신뢰성이 강조되고 있으며, 이를 위해 열차와 지상간의 양방향 정보전송체계는 대단히 중요한 요소라 할 수 있다. 외국의 자기부상열차 정보 송수신 체계를 살펴보면, 디지털 ATC에 의한 열차제어와 양방향 정보전송은 정보 전송속도와 연산처리가 실행되기 때문에 마이크로프로세서를 포함한 전자시스템이 필수적이다. 또한, 이들 시스템은 열차와 지상설비의 정보전송이 비접촉에 의한 유도무선방식에 적용이 가능한 것으로, 본 연구에서도 정보 송수신 시스템 설계에 있어 디지털 통신방식을 이용하여 차상의 운전, 제어, 감시상황을 지상에 전송하고, 지상으로부터 노선상황, 제어지령 등을 차상으로 전달하는 양방향 전송이 가능하도록 하였다.

이러한 정보전송의 중요성 때문에 고효율, 고품질, 다정보의 전송이 요구되므로 디지털화는

필수적이며, 이때 문제가 되는것이 파형의 전송으로서, 에러가 적은 정보를 상대방에게 전송하기 위해서는 가능한 한 파형이 붕괴되지 않고 또 잡음에 강한 전송방법이 필요하다. 이를 위해 디지털 정보를 교류파형으로 변환하여 전송하여야 하며 이러한 변환을 캐리어 변조 또는 변조(modulation)라 한다. 본 연구에서는 여러 변조방식중에서 고속 정보전송이 가능하고, 페이딩의 영향을 받지 않으며 잡음에 강한 FSK(Frequency Shift Keying)방식을 채택하였으며, HDLC(High Level Data Link Control) 통신 프로토콜을 이용하여 정보전송시 열차가 송수신 안테나의 접근에 따른 복수의 정보 송수신이 가능하다.<sup>[7]</sup>

#### 2.3.1 시스템 구성

1 km 시험선로를 운행할 자기부상열차의 차상, 지상간 정보 송수신 시스템의 구성을 그림 9)에 보였으며, 전송선로(패턴벨트)를 기준으로

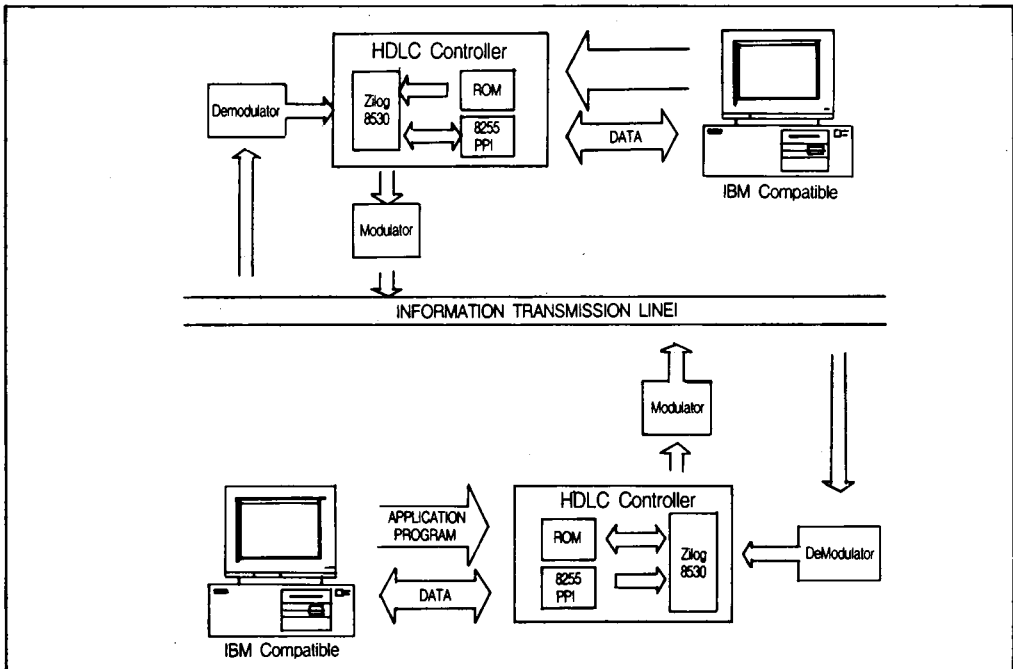


그림 9. 개발한 정보 송수신 시스템 구성도

각각의 구성이 동일함을 알 수 있다. HDLC 통신방식을 따르기 위해 전용 IC를 탑재한 HDLC controller를 사용하였으며, FSK 방식에 의한 변·복조 회로를 구성하였다. 차상으로부터의 차량운행정보 즉 차량의 절대위치 및 속도는 개발한 위치·속도 검지장치로부터의 출력을 컴퓨터로 입력하여 입출력 프로그램에 의해 HDLC controller를 통해 지상으로 전송하게 되며, 이때 통신프로그램에 의해 HDLC 패킷에 맞는 데이터 신호가 변조기에 의해 변조되고 안테나로 전송된다. 수신안테나는 이 신호를 받아 복조(demodulation)시켜 지상 컴퓨터에 차량의 운행 정보가 표시될 수 있도록 하였다.

지상으로부터 차상으로의 정보전송도 마찬가지로 과정을 갖는다.

2.3.2. 전송 제원

표 1)은 지상과 차상사이의 정보 송수신을 위한 전송제원을 나타낸 것으로서 지상과 차상사이에는 무선에 의해 데이터의 교환이 이루어진다. 전송속도는 9600bps 로 이는 비트에러율 및 변·복조부의 전송속도가 10Kbps임을 고려한 것이다.

또한, 정보전송을 위한 디지털 전문의 포맷(format)은 아래와 같다.

2.3.3 하드웨어 사양

1) FSK 변·복조 회로

FSK를 이용한 변·복조시스템의 구성은 그림.8과 같이 트랜스폰더(transponder)구조로서, 차상자와 지상자사이에 양방향 통신이 가능한 전 2중(full duplex) 통신방식을 채용하였다.

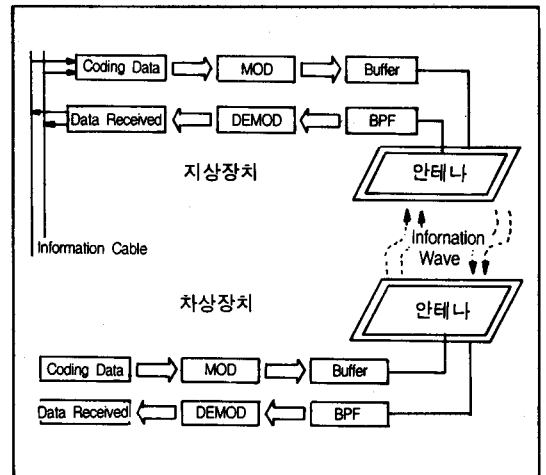


그림 10. FSK 변·복조회로 구성도

표.1 전송 제원

지상 <--> 차상	전문 길이	80bit (정보 32bit)
	변조주파수	70KHz ± 2KHz (지상-->차상)
		90KHz ± 2KHz (차상-->지상)
	변조 방식	FSK 변조
	통신 방식	HDLC
전송 속도	9600 bps	

동기부	전문내용	검정부	동기부
8bit	40bit 이상	16bit	8bit



FSK 변·복조회로는 각각 그림 11) 및 12)와 같으며, 그림 11)에서 FSK변조기로 XR-210을 사용하였고, 안테나와의 버퍼(buffer)로서 AD-

713을 사용하였으며, 차상안테나로부터 검출된 신호를 증폭기로 증폭한 후, 복조기를 이용하여 디지털 신호를 복원하였다.

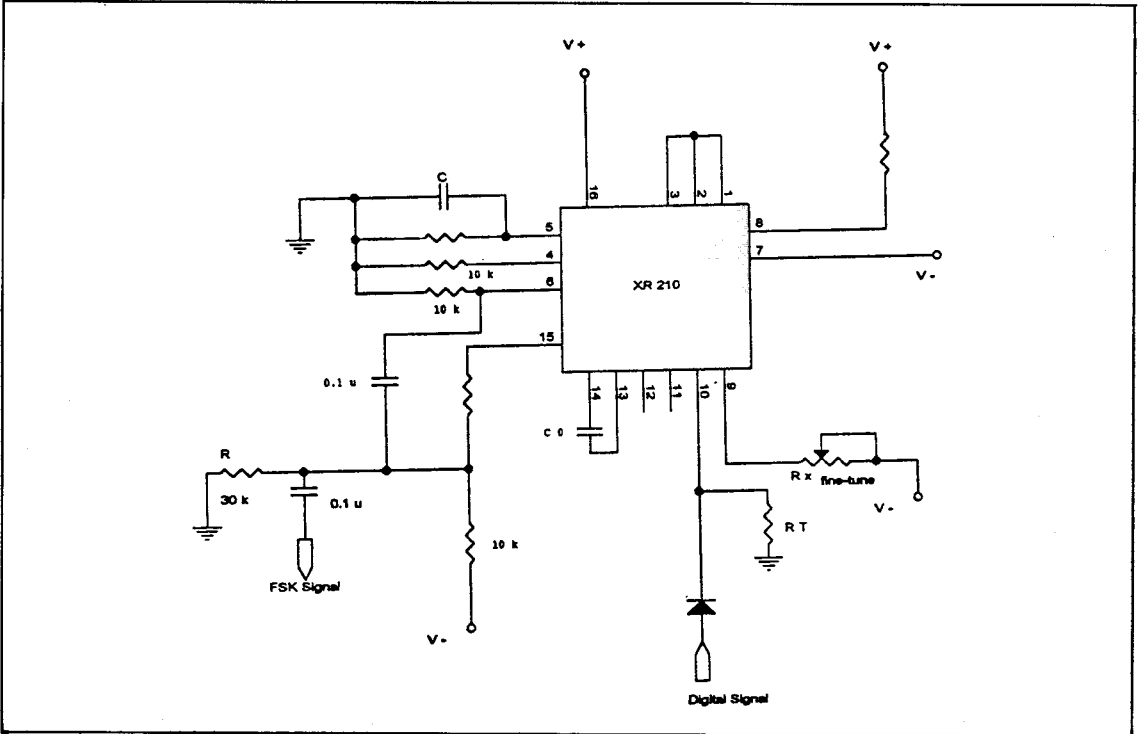


그림 11. FSK 변조기

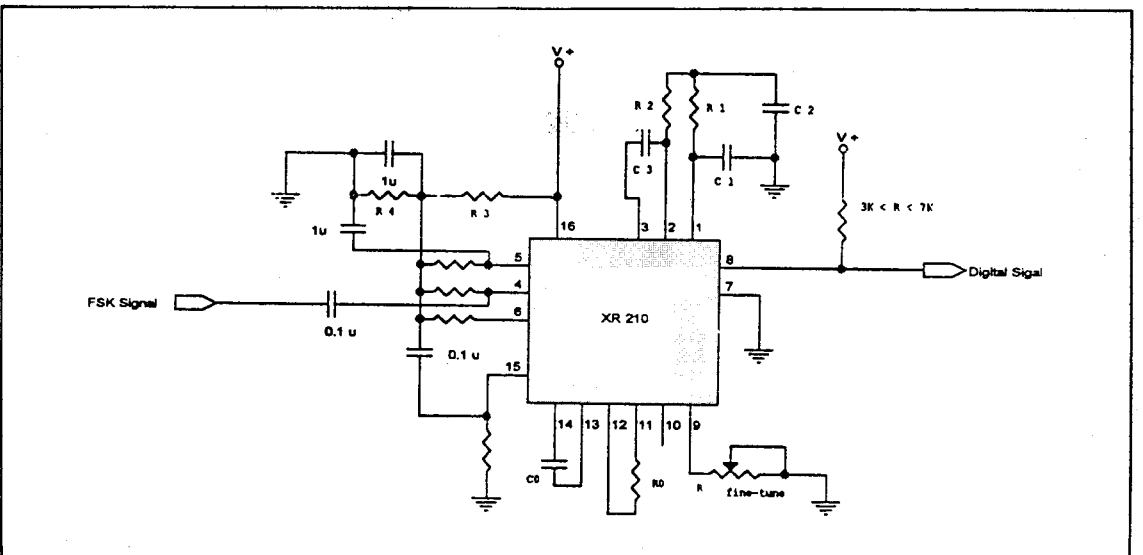


그림 12. FSK 복조기

2) HDLC Controller

본 기술에서 채택한 통신방식인 HDLC 방식은 높은 전송효율성, 신뢰성, 비트 투명성과 동기화가 쉽다는 특징 때문에 자기부상열차 또는 일반적인 열차시스템에서도 적용할 수 있는 방법이다.[8] 그림 13)은 HDLC controller의 일반적인 구성을 나타낸 것으로서 SCC(Serial Communication Controller)기능을 가진 zilog의 8530을 사용하였으며, 자체 2개의 전이중방식 채널을 가지며, HDLC 데이터 전송시 브레이크신호를 전송 및 감지할 수 있다.

본 연구에서는 컴퓨터 데이터통신을 위해 상기의 HDLC 기능을 갖는 quatech사 통신어댑터 MPI-600을 이용하였다. 이 보드는 컴퓨터의 슬롯에 장착하여 사용할 수 있으며, com 포트와 연결가능한 시리얼 단자를 가지고 있어, 컴퓨터 상에서 프로그램의 작성이 가능하다. 표 2)는 MPI-600의 주요 사양을 나타내었다.

표 2. MPI-600 주요 사양

프로세서	Intel 80188
HDLC Controller	Zilog 85230
보조통신 Controller	Intel 8256
전송로 변조방식	FSK 변조
전체 프레임 크기	72 bit
전송 속도	9600 bps

3. 중앙 모니터링 시스템

모든 궤도교통 시스템은 신호통신시스템을 이용, 중앙통제실에서 차량의 운행상황 점검 및 통제수단으로 활용하고 있으며, 외국의 transrapid나 HSST의 경우도, 시험선로구간에서의 효과적인 주행시험을 위하여 중앙통제실을 설치, 시험차량의 주행정보 모니터링 및 운행제어를 행하고 있다. 본 연구에서도 1 km 시험선로에서 자기부상열차의 주행상황을 효율적으로 관

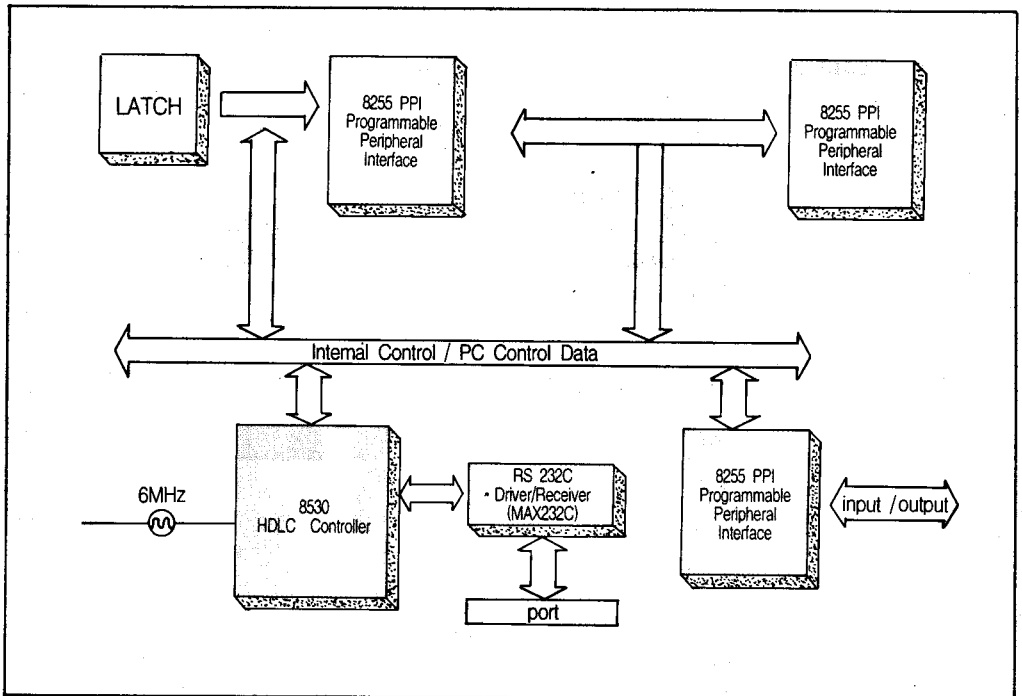


그림 13. HDLC Controller 구성도

측 및 통제하기 위해 신호통신체계의 개발과 함께 전송된 차량의 주행정보를 모니터링할 수 있는 프로토타입의 모니터링시스템을 구성하였다.

시스템의 구성은 시험선로구간에 설치된 중앙 통제실에 모니터링 콘솔을 설치하여 주행상황을 CCTV를 통해 관측하고, 시험선로의 분기장치를

원격구동할 수 있도록 하였으며, 신호통신시스템의 지상측 컴퓨터를 본 콘솔에 장착하여 전송된 차량의 위치 및 속도정보를 CRT에 표시함과 동시에 운전제어 명령을 수행할 수 있도록 하였다. 또한 CRT에서의 주행상황 표시와 함께, 1 km 시험선로에서 차량의 주행위치를 쉽게 파악

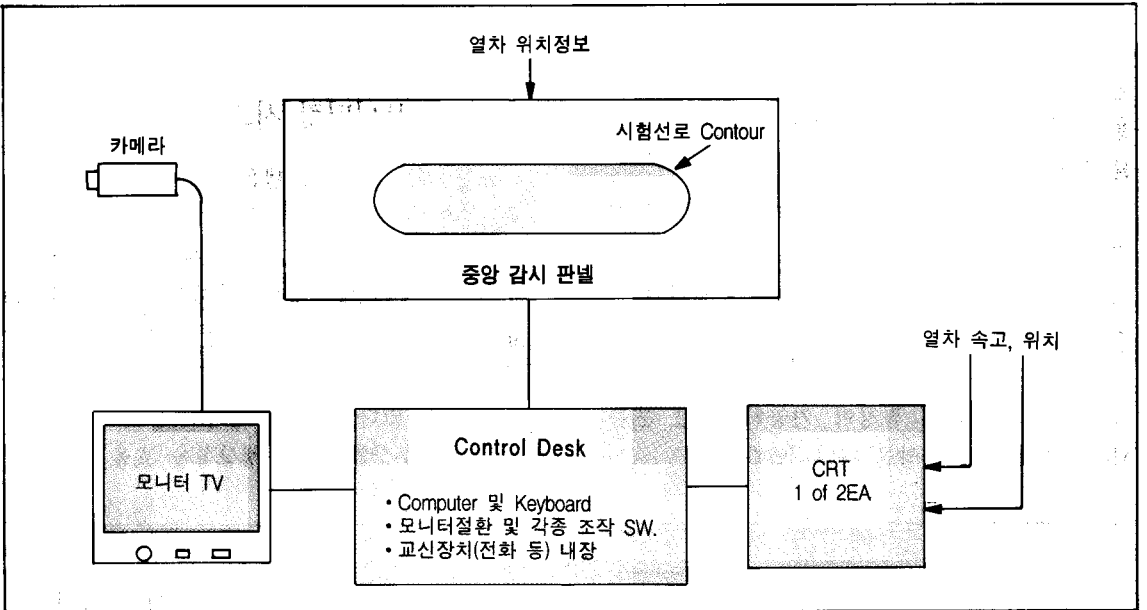


그림 14. 중앙 모니터링 시스템 구성도

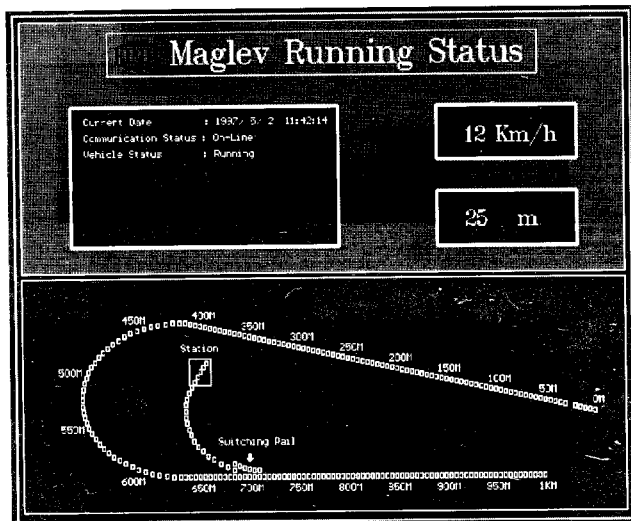


그림 15. CRT상의 주행상황 표시화면

할 수 있도록 모니터링 패널을 제작, 시험선로에서의 차량위치를 LED 점멸상태로 파악할 수 있으며, 이 LED의 구동은 지상컴퓨터로 전송된 위치 정보를 디지털 I/O를 이용하여 모니터링 패널로 전송하므로써 이루어 진다.

그림 14)는 프로토타입의 중앙 모니터링 시스템 구성도를 나타낸 것이며, 그림 15)은 CRT상의 주행상황 표시 화면구성을, 그림 16) 및 그림 17)은 제작한 중앙 모니터링 콘솔과 LED 패널을 보이고 있다.

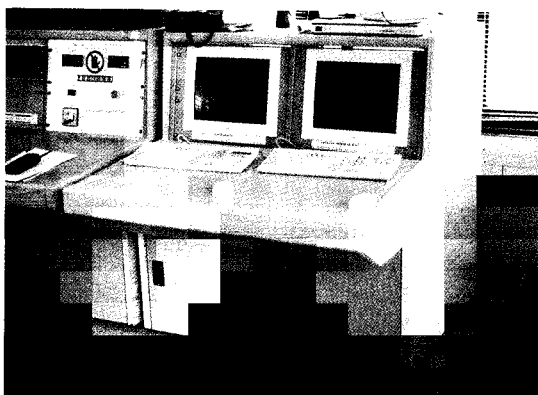


그림 16. 제작한 모니터링 콘솔



그림 17. 제작한 LED 패널

## 4. 결 론

1 km 자기부상열차 시험선로에서 운행할 시험차량의 운전제어 및 주행상황 관측을 위해 프로토타입으로 개발한 차상과 지상간의 신호통신 체계 및 모니터링 시스템에 관하여 소개하였다.

자기부상열차의 고속·고밀도 운행 뿐만아니라 차원높은 열차제어를 위해서는 안전성과 신뢰성이 확보된 신호통신체계의 개발이 필수적 요소이다. 따라서, 본 고에서 소개한 도시형 자기부상열차의 신호통신체계에 관한 기술은 자기부상열차와 같은 신 제도교통 시스템의 효율적인 운행제어에 필요한 기반기술을 확립하기 위한 최초의 시도로서, 비 접촉식 제도열차의 위치 및 속도검출, 디지털 정보전송 체계의 기본 알고리즘 확립 등은 본 연구의 성과라 할 수 있겠다.

개발된 위치 및 속도검지장치는 시험선로에서의 실험을 통하여 성능을 확인하였으며, 현재, 정보 전송시스템의 시험을 위한 하드웨어 제작이 진행중에 있다. 향후, 시험선로에서의 실험을 통하여 설계된 시스템의 성능을 확인할 계획이며, 지속적인 연구를 통하여 충분히 신호전송체계의 안전성과 신뢰성이 확립된다면 자기부상열차 실용화시 효과적인 운행제어수단으로 활용할 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 정의진, 김양모, “유도선에의한 열차위치검지”, 전기학회지, 제42권 9호, pp.12-19, 1993.9
- [2] 正田, 藤江, 加藤, 水間, 磁氣浮上鐵道の技術, ohm社, pp.165-178, 1992
- [3] K.Heinrich, R.Kretzschmar, Transrapid Maglev System, Hestra-Verlag, pp.50-58, 1989

- [4] Fumio Hashimoto, "Signal System of Maglevtype HSST", MAGLEV'93, pp.411-416, 1993
- [5] T.M.Clark, "Maglev Position Sensing and Control", MAGLEV'93, pp.322-326, 1993
- [6] 김양모, "열차위치센싱을 위한 유도무선 송수신장치 개발", 한국기계연구원 자기부상열차기술개발 국책연구사업단 위탁연구보고서, 1993.8
- [7] Fred Halsall, "Data Communication Computer Networks and Open-Systems", Addison-Wesley, 1994
- [8] J.S.Park, Y.M.Kim, "A Digital Signal Transmission Using FSK Method in Train System", Proc. ITC-CSCC'96, July, Vol.2, pp.792-795
- [9] Zilog, "Serial Communication Controller Product Specifications Databook", 1996