

# 유도무선에 의한 열차 위치검지 방식

정의진\*, 김양모\*\*

(\*충남대 공대 전기공학과 석사과정,

\*\*충남대 공대 전기공학과 교수)

## 1. 머리말

육상 대중교통 수단으로서의 열차는 자동차와 달리 궤도 위를 움직인다는 제한성 때문에 전후 열차와의 상대적 운동에 영향을 받아 충돌과 열차 상호간의 대피에 따르는 안정성 확보와 효율적 운영을 위하여 열차의 위치검지가 기본적으로 필수적인 요소라 할 수 있다.

철 바퀴식 철도의 기본적인 메카니즘이 철로 이루어진 바퀴와 레일로 구성되는 접촉식 방식으로서 일찌기 바퀴와 차축을 단락도체로 이용하는 위치검지 방식이 널리 사용되어 왔다. 이것은 일정 구간의 레일로 궤도회로(Track Circuit)를 구성하여 전류를 흘리고 이 회로를 차륜과 차축이 단락시킴으로써 궤도회로 끝에 연결된 릴레이의 여자(勵磁)를 끊어 열차의 존재 유무를 파악하는 이른바 폐색(Block)시스템이 대표적이다.

그런데 최근 프랑스와 일본에서는 고무타이어식 철도가 많이 실용화 되어 있고 자기부상열차 또한 실용화를 눈 앞에 두고 있는데 이러한 종류의 열차는 차륜과 차축의 단락을 이용한 위치검지가 불가능하기 때문에 일정간격을 유지한 채 비접촉에 의한 유도무선방식이 채용되고 있다. 그리고 독일의 ICE(Intercity Express)와 같은 일부 바퀴식 철도에서도 보다 정밀한 열차제어를 위해 유도루프에 의한 위치검지방식을 채택하고 있는 시스템이 있다.

본 해설에서는 유도무선방식에 의한 열차의 위치검지 방식에 대하여 자기부상식 철도와 바퀴식 철도로 나뉘어 이미 개발된 시스템별로 그 원리 및 방식을 설명하고 우리나라의 기술수준에 대하여 언급하기로 한다.

## 2. 자기부상식 철도

자기부상식 철도는 크게 구동방식에 따라 리니어 동기 전동기(LSM : Linear Synchronous Motor)와 리니어 유도 전동기(LiM : Linear Induction Motor)로 나뉘는데 LSM 방식의 대표적인 것으로는 일본의 MLU와 독일의 Transrapid, M-Bahn 등이 대표적이며 LIM 방식으로는 일본의 HSST, 영국 버밍검의 People Mover가 대표적이다. 여기에서 이들 시스템에 대하여 논하기로 한다.

### 2.1 LSM 방식

LSM에 의해 추진력을 얻는 시스템에서는 열차의 속도 및 위치에 따라 적절한 주파수의 전원을 공급해야 하고 지상의 전 구간엔 전력을 공급하는 것 보다는 전력공급구간을 열차길이보다 조금 긴 길이의 구간으로 분할하여 열차가 존재하고 있는 구간에만 전원을 공급하도록 하는 이른바 구분급전제어를 함으로써 전력을 효율적으로 공급한다. 따라서 LSM방식에서는 속도 및 위치의 보다 정확한 검지가 필수적이다.

2.1.1 MLU

MLU는 차상의 초전도 자석을 계자로, 지상에 부설한 추진코일을 전기자로 하여 LSM을 구성하고 있으며 초전도 자석과 지상추진코일(전기자 코일)의 동기를 취하게 된다. 그림 1은 MLU의 열차 제어시스템을 나타낸 것이다.

MLU의 유도선 위치검지방식은 차상에 일정 주파수의 위치신호용 송신기와 테 모양의 안테나를 탑재하여 고주파 신호를 발사하고 지상에서는 유도선과 위치검지장치에서 신호를 수신하여 안테나의 위치 즉, 열차위치를 검출하게 된다. 위치신호는 차상의 안테나로부터 발신되어 주행로에 따라 설치된 6쌍의 유도선에서 수신한다.

그림 2는 MLU의 위치검지의 원리를 나타낸 것으로 유도선은 일정주기(P)로 개방된 형태의 루프를 갖고, 루프의 감는 방향을 루프마다 반전시키고 있으며 유도선에서의 수신 전압은 개방된 중앙에서 최대이고 유도선이 모아진 부분에서는 0이 된다. 이와 같이  $E_{u1}$ ,  $E_{u2}$ 의 수신전압을 얻어 한쪽은 + 쪽으로, 다른 한쪽은 - 쪽으로 포락선 검파하여 더하면 정현파 모양의 신호  $E_u$ 를 얻는다.  $E_0$ 는 안테나의 크기 a,b와 유도선의 크기 q, r에 따라 결정되는 값으로 검파신호  $E_u$ 는

$$E_u = E_0 \cos \frac{2\pi x}{p} \quad (1)$$

을 얻을 수 있으며 이것은 안테나의 위치 x의 함수로 나타난다.

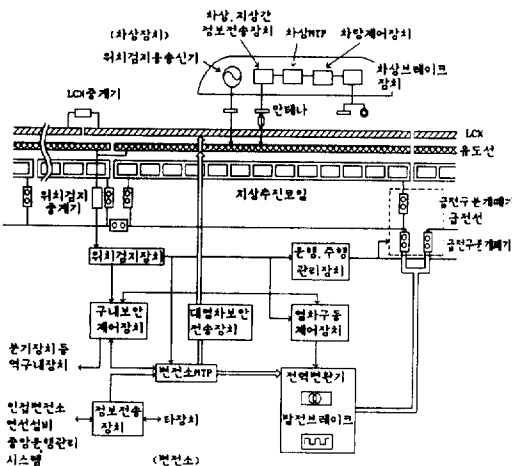
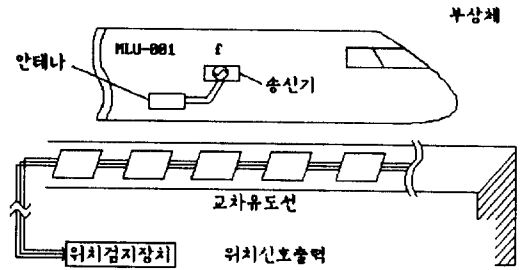
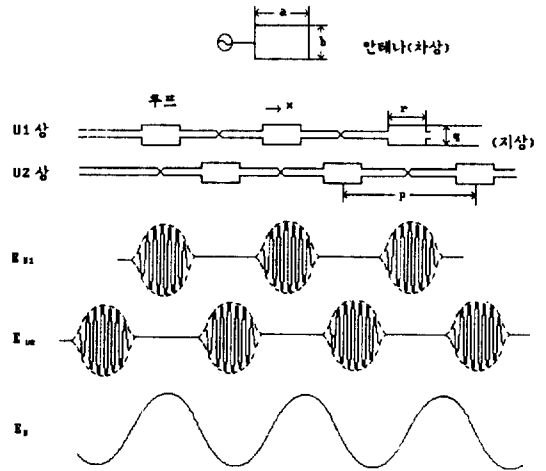


그림 1. MLU의 열차 제어시스템



(a) 고차유도선과 송신기



(b) 유도선의 구조와 수신신호

그림 2. 위치검지의 원리

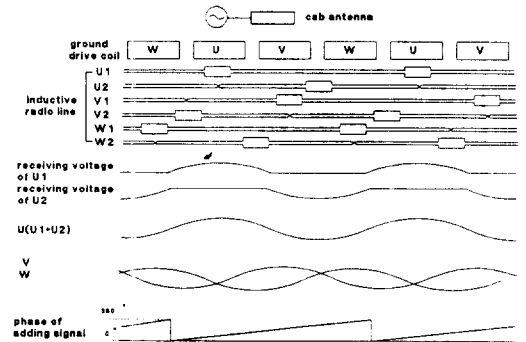


그림 3. 6쌍의 유도선과 위치신호

더욱이 유도선 U1, U2로부터 각각 P/3씩 벗어난 유도선 V1, V2 및 W1, W2의 수신 신호로부터 (1)식과 120°씩 벗어난 정현파신호  $E_u$ ,  $E_w$ 를 얻을 수 있으며 이 3상 신호의 합성 자계는 회전형 모터의 회전자계와 같이 안테나의 위치 x를 0°~360°의 위상각으로 나타낼 수 있다(그림 3 참조).

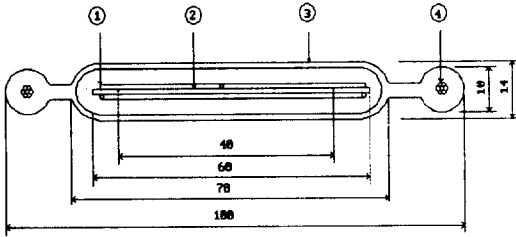


그림 4. MLU 유도선의 구조

표 1. 유도선의 규격

①	유도선	도체	0.18mm 주석도금 연동선 19연심
	절연체	재료	폴리 프로필렌
		외경	약 1.6mm
②	패턴기판	재료	FRP
		두께*폭	2mm * 60mm
③	피복	재료	폴리에틸렌
		두께	2.5mm
④	messenger wire		2mm 아연도금 동선 7연심
중량			약 1200 kg / km

표 2. 전기적 특성

항목	측정치
감쇠 정수	3.0 dB / km
특성 임피던스	300 Ω
절연 저항	10,000 MΩ · km
직류 저항	39.4 Ω / km
절연 내압	600 V

유도선을 6쌍 사용함으로써 검파 신호가 이상적 정현파가 아니고 고조파를 포함한 신호일 때 2차, 3차 고조파는 위치신호를 얻는 과정에서 상쇄되어 위치검지의 정확도를 향상시킬 수 있다. 수신된 위상신호 0°~360°가 되풀이 되는 수를 세면 유도선 코일 길이를 단위로 한 절대길이(위치)를 검지할 수 있어 이것을 급전구분제어, 운전보안제어, 운행 제어등에 이용하게 된다.

위치검지용 유도선은 그림 4와 같이 벨트 모양의 FRP에 위치검지 루프 6쌍과 차상 지상간데이터 전송용 유도선을 깔아 폴리에틸렌으로 피복하고 messenger wire를 붙인 것이다.

### 2.1.2 Transrapid

또 다른 LSM 방식으로 독일의 Transrapid는 유럽의 대도시간 고속철도시스템의 구축을 목적으로 시작된 지상 1차 리니어 동기 모터 방식의 상전도 자기부상식 철도로 TR-05가 제작된 것을 비롯, 1988년에 TR-07이 제작되어 최고속도 500km/h를 목표로 한 영업용 Prototype으로서 주행시험 및 신뢰성 검토가 이루어지고 있다. Transrapid도 MLU와 마찬가지로 늘 차량의 속도에 맞는 주파수의 전류를 흘려야 하기 때문에 열차 위치검지의 정확성이 요구된다.

Transrapid의 위치검지는 차상의 중간주파송신기와 궤도의 교차유도코일로 이루어진 INPO시스템에 의해 계산되고 1극 길이에 대하여 ±8°의 정

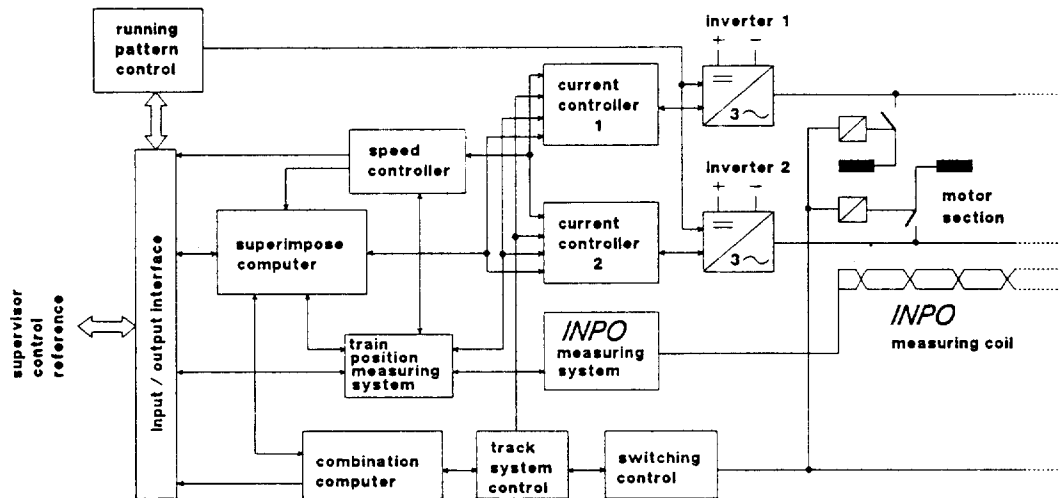


그림 5. Transrapid시스템의 계통도

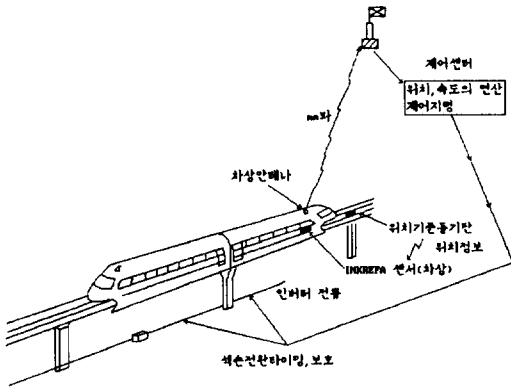


그림 6. Transrapid의 절대위치검지

확도로 계산된다.(그림 5 참조)이 위치정보에 절대 위치를 부여하는 것은 INKREFA(Incremental Vehicle Location System)라고 하는 차상의 센서와 궤도에 붙인 위치기준 돌기판 사이에서 이루어지는데 차량에 탑재된 센서가 위치정보 코드를 지닌 돌기판을 통과함으로써 차속의 변화를 검지하여 절대위치를 검출하게 된다.(그림 6 참조) TR-07의 경우 그 위치정보를 mm파에 의해 제어센터로 데이터 전송하고 센터에서는 위치 속도등을 연산, 대조하여 지상의 인버터에서 급전되는 전류의 크기, 주파수, 색슨 전환의 스위칭 시간등을 조절하는 지령을 내게 된다.

2.1.3 M-Bahn

비교적 저속인 도시내 궤도수송을 목적으로 개발된 M-Bahn의 추진은 Transrapid와 같은 LSM

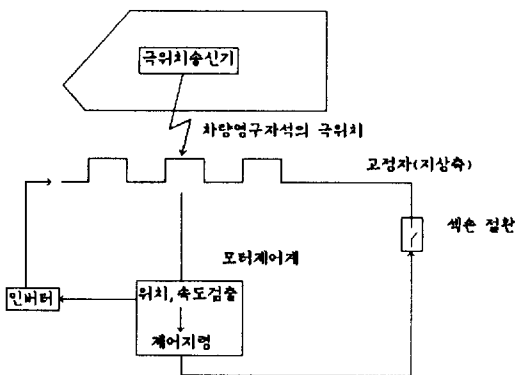


그림 7. M-Bahn의 위치검지 개념도

방식이고 열차의 위치검지는 차상의 영구자석 위치(극위치)를 알리는 극위치 송신기로부터의 신호를 지상측 리니어 모터 고정자에 유도시켜 이 전압을 모터제어계에서 검지하고 얻고 모터제어계에 의해 실속도, 거리등을 산출하여 인버터의 출력을 제어한다.

M-Bahn의 경우 수평안내륜 옆에 붙어 있는 속도발전기나 ATC안테나등 독립적으로 구성된 신호보안 설비에 의해 속도제한, 충돌방지등 각종 보안기능을 실현시킴으로써 안정성을 확보하고 있다.

2.2 LIM

회전형 유도전동기를 절단하여 펴 놓은 것이 LIM으로 LIM에서는 추진코일과 리액션 플레이트로 구성되는 구동계가 필요하다. LIM 방식으로 개발된 시스템중 대표적인 것으로는 일본의 HSST, 영국 버밍검의 People Mover 등을 들 수 있다.

2.2.1 HSST

HSST시스템은 소위 상전도 흡인방식으로 부상 안내되고 차상 1차 LIM에 의해 추진된다. HSST의 위치검지 방식으로는 궤도에 고주파 신호에 의한 거리 마크를 만들고 이것을 차상장치에서 읽어내 눈금의 증가량을 가산하여 이동거리를 구하는 방식을 택함으로써 거리, 속도정보의 보정도 쉽게 이룰 수 있는 것이 특징이다.

이 방식의 지상설비는 그림 8과 같이 고주파 송신장치와 등간격으로 넓혔다. 좁혔다한 형태의 루프선으로 구성되고 루프선은 차상장치에 대한 거리마크로서 사용한다. 차상에는 이 루프선에 결합한 테모양의 수신안테나를 갖고 있어 차량이 이동함에 따라 루프선의 넓은 부분에서는 고주파전압이 유기되지만 좁은 부분에서는 전압이 유기되지 않아 이 고주파 전압을 검출하여 정형하면 지상거리마크에 해당되는 정보를 차상장치에서 얻을 수 있다.

차상의 수신안테나에는 수신코일 3개를 설치하여 그 배치를 지상의 루프선의 1/3주기의 길이로 등간격 배치하면 1주기 길이의 이동에 대해 수신 코일로부터의 출력신호를 비교하면 1/3주기만큼 차가 있어 출력신호 상호간에 120°의 위

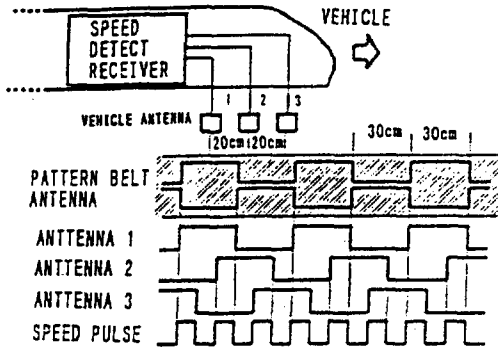


Fig. 6 Speed-detection pattern and output logic

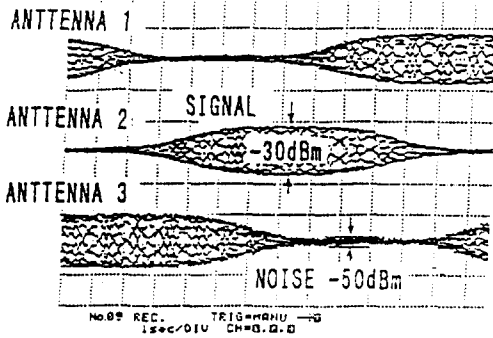


그림 8. 위치검출용 안테나와 루프회선

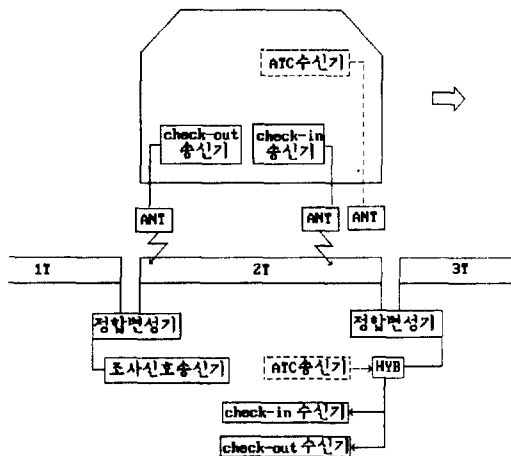


그림 9. HSST의 열차 위치검지 개념도

상차를 갖는 거리정보로서 재현되는 셈이다.

수신코일의 출력신호는 그 발생순서를 검지함으로써 차량의 실제 이동방향을 알 수 있기 때문에 후퇴검지정보의 검정신호로 사용되는데 그 출력전압의 변화점을 검출하여 논리계산을 함으로

써 1/6 주기 길이인 10cm 까지의 거리정보를 읽을 수 있다.

신호보안을 위한 열차 검지방식은 고주파에 의한 연속 검지 check-in/check-out 방식으로 폐색마다 설치된 루프회로와 열차의 전후부에 장비된 송신 안테나 사이의 정보전송에 의한 열차의 존재를 검지한다. 이 루프회로는 자동열차제어장치로 사용하는 전송로와 공용한다. 따라서 열차 검지의 단위는 폐색구간으로 되어 개별 열차의 위치 검지로서는 검지단위가 크지만 위치를 나타내는 루프선으로부터 10cm 단위의 정보를 얻기 때문에 이를 적산하면 특정 위치정보를 얻을 수 있다.

### 2.2.2 버밍검 People Mover

비밍검 공항과 국제전시장 사이 620m를 연결하는 단선 서틀시스템으로 최초로 실용화된 자기 부상식 철도로서 차체의 지지·안내는 공통의 전자석에 의한 흡인력을 이용하고 추진은 LIM에 의하고 있다.

People Mover에서의 차량의 위치검지는 차상의 데이터 링크 코일과 지상에 연속적으로 배치된 교차유도선과의 상호작용에 의하고 있으며 또한 속도검지는 레이더의 입사파와 반사파의 주파수를 검지하는 도플러 효과를 이용하고 있고, 이러한 정보를 기본으로 자동운전하고 있다.

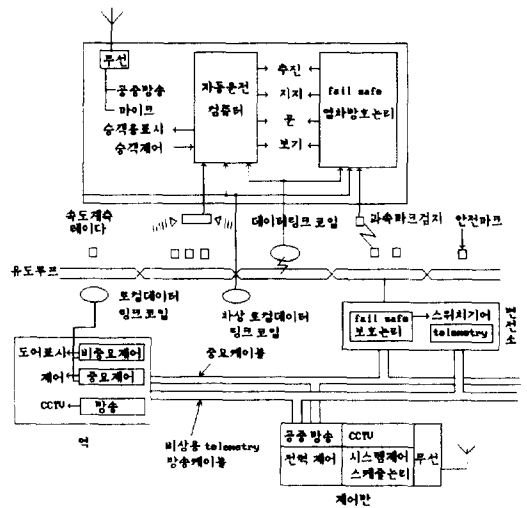


그림 10. People Mover의 차량위치검지의 개요

### 3. 바퀴식 철도

바퀴식 철도라고 하면 흔히 철 바퀴에 의한 재래 철도를 연상하는데 이러한 경우 철 바퀴와 차축으로 이루어지는 단락회로가 레일로 이루어지는 궤도 회로를 단락시킴으로써 열차검지가 가능하다. 대부분의 철 바퀴 열차에서는 이런 방법으로 열차가 검지되며 폐색(block)이라고 하는 일정 길이의 독립 구간 단위로 열차가 제어되고 있다. 그런데 바퀴식 철도 중에서도 독일의 ICE는 유도선에 의한 열차 검지와 유도선을 통한 정보교환방식을 택하고 있다.

바퀴식 철도의 또 다른 형태는 도시내 저소음공해를 목적으로 소음의 원인이 되고 있는 철 바퀴를 고무 바퀴로 대체한 이른바 신교통 시스템의 일종인 고무 타이어식 철도도 많이 실용화 되고 있다. 이런 고무 타이어식 철도에서는 재래식 철 바퀴철도와는 달리 궤도회로의 단락을 이용할 수 없기 때문에 자기부상식철도와 마찬가지로 비 접촉식 열차 검지 방식이 채택되고 있다.

본 장에서는 독일 ICE의 유도 무선방식과 일본의 고무타이어식 철도의 열차검지 방식에 대해 소개하고자 한다.

#### 3.1 독일 ICE

폐색시스템이 점제어식 차량검지 방식이라고 한다면 선로내에 교차유도선을 시설하여 차상장치에서 검지해 내는 방식을 연속 제어 차량검지 방식이라고 할 수 있는데 독일은 160km/h 이상의 열차에 대해서는 차내 신호식 LZB 시스템을 채용하도록 하였다. 그림 11에 LZB 시스템의 블럭도와 구조를 나타내었는데 차상의 안테나를 통해 열차길이, 브레이크 성능, 최고속도 등 열차에 관한 데이터와 열차위치등을 지상으로 송신하고 지상에서는 이런 데이터와 운전조건으로 부터 목표속도, 목표거리, 허용최고속도등을 계산하여 차상으로 송신한다. 송신된 데이터들은 차상 LZB 표시장치에 표시되어 승무원이 그 표시에 따라 가속, 감속제어를 할 수 있다.

그림 12는 LZB 지상설비의 개략도를 보인것으로 각 교차유도선은 100m 간격으로 교차하고 최대길이 12.7km에 달하고 있으며 차상 안테나는 100m 마다의 교차점을 지날때 수신레벨이 떨어지는 것을

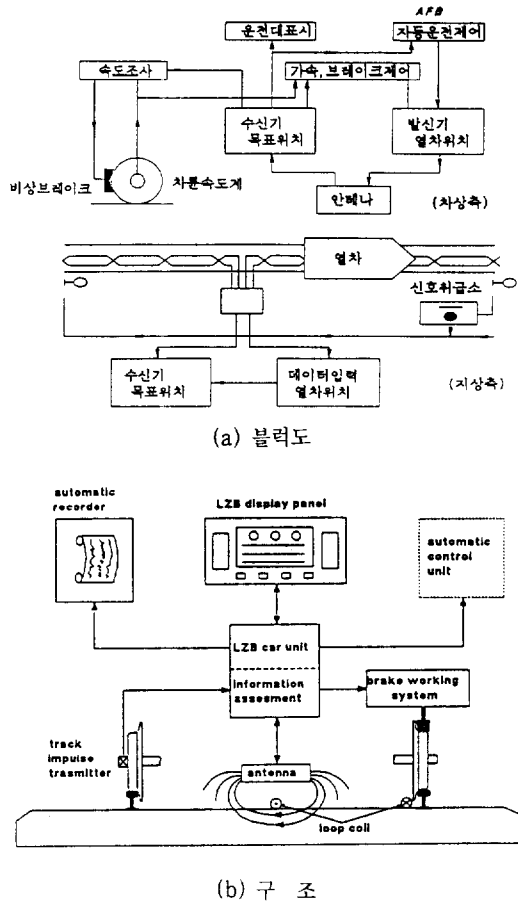


그림 11. LZB 블럭도와 구조

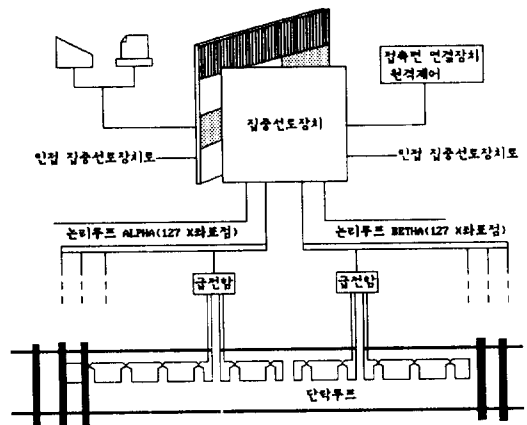


그림 12. LZB 선로측 장치

검지한다. 각 유도 루프는 feeder case에 연결되고 한 feeder case가 담당하는 것은 좌우 각각 300m

씩이며 열차가 이 유도루프를 지날때 고유하게 지정된 번호를 인식하게 된다. 유도루프는 바깥 직경 12.4mm로 중앙의 코어는 0.6mm도체 7개로 구성되어 있다.

### 3.2 고무 타이어식

고무타이어식 철도로는 일본과 프랑스의 지하철에서 많이 볼 수 있는 신호통신 시스템이라 일컫어지는 것으로 고무타이어식에서도 레일과의 단락을 이용하여 열차를 검지할 수 없기 때문에 유도무선에

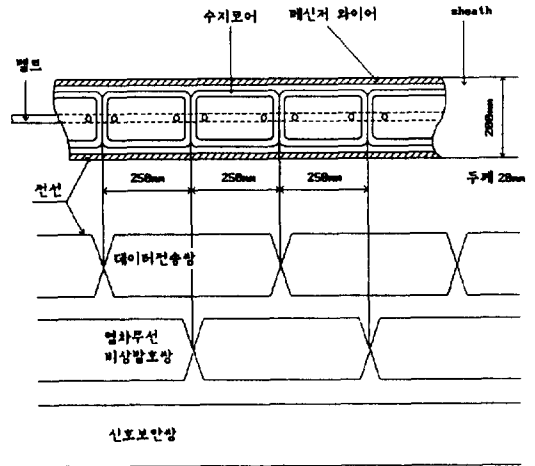


그림 15. 패턴벨트의 구조

의한 방법을 채택하게 된다. 고무타이어식 철도 중 일본 코오베(神戸)의 포트 아일랜드선의 열차위치 검지 방식을 소개한다.

열차 위치검지는 열차의 앞과 뒤에서 송신되는 check-in 및 check-out 신호를 궤도회로루프에서 연속적으로 수신하는 고주파 연속 check-in, check-out 방식으로 지상에서 수신되는 check-in 신호가 기억되고 열차가 패색구간에 진입하여 check-out 신호가 수신됨으로써 해제 된다.

그림 15는 통신용 케이블과 messenger wire를 겸비한 패턴 벨트의 구조와 크기를 보인 것이다. 이 패턴벨트는 HSST방식에서 사용하고 있는 패턴벨트와 같은 모양을 이루고 있고 이 패턴벨트는 일본에서 바퀴와 레일과의 접촉을 이용하지 못하는 철도 시스템에서 널리 사용되고 있다.

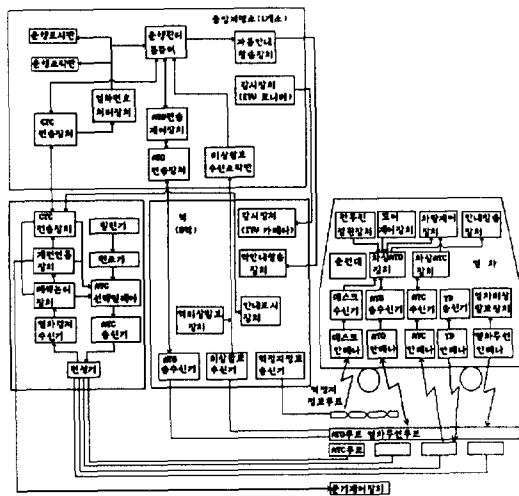


그림 13. 코오베고무타이어식 철도시스템의 계통도

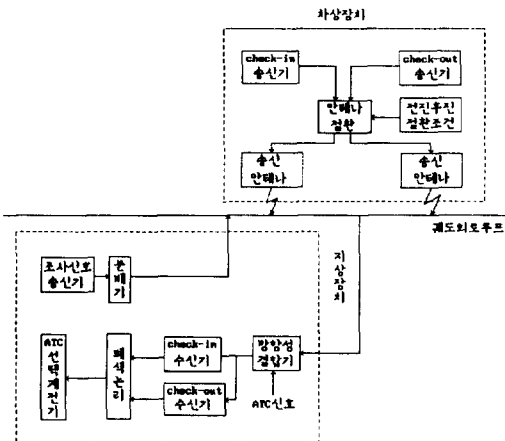


그림 14. 열차위치 검지장치

## 4. 국내기술수준

국내에 철도가 운행되기 시작한 것은 일제시대부터이기 때문에 오래되었지만 다른 산업이 급진적으로 발달되어 왔음에도 불구하고 철도산업만은 전반적으로 낙후성을 면치 못하고 있다. 특히 신호설비의 정체성은 열차운행제어의 척도가 됨에도 불구하고 철도산업중 가장 열등한 부분이라 하지 않을 수 없다. 그것은 신호설비 자체가 열차사고의 직접적인 원인이 될 가능성이 많기 때문에 이제껏 지나치게 신중하고 가량 국내에서 개발된 설비가 있더라

참 고 문 헌

도 이것을 신뢰하지 못한 것으로부터 연유된다. 따라서 시행착오적인 과정을 거칠 시간도 없이 현상 유지라고 하는 소극적 대처로부터 비롯된 것이 오늘날 기술적 낙후성을 벗어나지 못하는 원인이 되었다.

그나마 서울에 지하철이 보급되면서 철도산업에 활기를 띠게는 되었지만 아직까지도 기본적 ATC 장비조차도 부품수입-조립단계를 벗어나지 못하고 있는 것이 현실이다.

EXPO 개최를 맞이하여 자기부상열차에 대한 관심이 고조되고 있는데 국내의 자기부상철도에 대한 연구는 1988년부터 정부출연연구소를 중심으로 시작되어 활성화되었고 현재 EXPO에서 전시 운행을 계기로 본격적인 중저속형 자기부상열차의 개발에 박차를 가하고 있다. 그간 개발된 시스템으로는 현대의 EXPO 전시 모델을 비롯, 대우의 24인승 시스템, 자기부상열차사업단 시스템등이 있는데 EXPO 전시용 자기부상열차에서 센서에 의해 균일 배치된 도체를 세어 나가는 단순 시스템이 있을 뿐 그 어느 것도 교차유도선과 유도무선에 의한 정확한 위치검지 및 정보교환을 얻을 수 있는 시스템으로 개발되지 못하고 있다.

5. 맺 는 말

유도무선방식에 의한 열차의 위치검지방식에 대하여 알아 보았다. 재래식 철바퀴 철도에서는 바퀴가 레일을 단락시킴으로써 열차의 위치를 알아낼 수 있으나 자기부상식 철도나 고무타이어식 철도에서는 이런 단락회로를 얻을 수 없기 때문에 공간적으로 분리된 유도무선식에 의한 위치검지가 채택되고 있다.

유도무선방식에 의한 열차위치검지는 자기부상식이나 고무타이어식 철도에서만 이 이용되는 것이 아니라 열차의 보다 절밀한 위치정보를 얻기 위하여 철바퀴식 철도에서도 사용될 수 있는 범용적인 위치검지방식이다. 따라서 이 방식에 대한 연구가 지속되어 재래식 철도와 자기부상식 철도에서 공통으로 사용될 수 있는 신호시스템으로 개발되기를 바란다.

- [1] 正田, 藤江, 加藤, 水間, 磁氣浮上鐵道の技術, オ-ム社, 1992
- [2] 김양모역, 새로운 철도 시스템, 전파과학사, 1992
- [3] K. Heinrich and R. Kretzschmar, Transrapid Maglev System, Hestra-Verlag, 1989
- [4] D. Lubke, ICE High-tech on rails, Hestra-Verlag, 1991
- [5] T. M. Clark, "Maglev Position Sensing and Control", MAGLEV'93, pp. 322-326, 1993
- [6] Fumio Hashimoto, "Signaling System of Maglevtype HSST", MAGLEV'93, pp. 411-416, 1993
- [7] 정의진, 김양모, "유도무선에 의한 열차위치검지", 전기학회 하계 학술대회 논문집(B), pp 788-790, 1993.7



정의진(丁義鎭)

1971년 1월 9일생, 1993년 충남대 공대 전기공학과 졸업. 현재 충남대 대학원 전기공학과 석사과정



김양모(金良模)

1950년 3월 29일생, 1973년 서울대 공대 공업교육학과 졸업. 1975년 동교육대학원 공업교육(전자)학과 졸업(석사). 1986년 일본 동경대 전자공학과 졸업(공학). 1990~91년 미국 버지니아 테크 방문교수. 현재 충남대 공대 전기공학과 교수