

## 자기부상철도의 절대위치검지시스템 구조 분석 연구

신경호\*, 신덕호\*\*, 이재호\*\*\*  
 한국철도기술연구원\*, 한국철도기술연구원\*\*

### The Study on Analysis of Absolute Train Positioning System for Maglev System

Kyung-Ho Shin\*, Ducko Shin\*\*, Jae-Ho Lee\*\*\*  
 Korea Railroad Research Institute\*, Korea Railroad Research Institute\*\*, Korea Railroad Research Institute\*\*\*

**Abstract** - In the maglev system, accurate train position is essential for safe and efficient train operation. Train positioning systems in the maglev systems are different from conventional railway system because railway train has no wheels. And various train positioning principles and systems have been used in maglev systems. In this paper, we study several positioning principles and systems on adapting existing various maglev systems and analyze functional structure of absolute positioning system in ultra high speed maglev system. Then we propose development scheme on absolute positioning system for developing ultra high speed maglev system.

### 1. 서 론

자기부상철도는 자기력에 의해 차량이 부상되어 전용선로를 따라 비접촉으로 운행되는 철도시스템이다. 자기부상철도에서는 열차가 운영선로 위에 부상되어 비접촉으로 운행되기 때문에 일반 철도시스템에서 적용되고 있는 측위기술의 적용이 어렵고 현재 운영 또는 개발 중에 있는 자기부상철도에서는 다양한 비접촉 측위기술들이 개발되어 적용 중에 있다. 본 논문에서는 다양한 자기부상철도에 적용중인 다양한 측위기술 및 장치에 대하여 검토하고, 초고속자기부상철도의 절대위치검지시스템 구조를 분석하여 독자적인 초고속자기부상철도시스템의 개발 시 필요한 절대위치검지기술의 개발방향을 제안한다.

### 2. 자기부상철도의 위치검지시스템

자기부상철도는 추진방식에 따라 선형동기전동기(LSM)방식과 선형유도전동기(LIM)방식으로 구분된다. LIM방식은 주로 중저속형 자기부상철도에 적용중인 방식으로 대표적인 자기부상철도시스템으로 일본의 H SST와 우리나라의 UTM이 있다. LSM방식은 주로 초고속 자기부상열차에 적용중인 추진방식으로 대표적인 자기부상열차시스템으로 독일의 Transrapid와 일본의 MLU/MLX의 예를 들 수 있다.

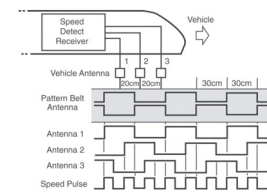
#### 2.1 중저속형 자기부상철도의 위치검지시스템

중저속형 자기부상철도는 주로 LIM 추진방식을 적용하고 있으며, 열차제어를 위한 열차위치의 차상검지방식이 주로 적용되고 있다. 또한 추가 지상설비의 연계를 통해 열차방호를 위한 위치검지설비가 보완 적용되고 있는 추세이다.

##### 2.1.1 HSST 자기부상철도

HSST의 위치검지방식은 패턴벨트방식으로 궤도에 고주파 신호에 의한 거리 표식을 만들고 이것을 열차에서 판독하여 단위 표식의 증가량을 누적하여 이동거리를 결정하는 방식을 적용하였다. 이 방식의 지상설비는 고주파 송신장치와 동일간격으로 8자형의 루프선(패턴벨트)으로 구성되어 루프선 패턴의 간격을 열차의 이동거리 측정단위로 사용한다. HSST 위치검지방식은 열차에 루프선 패턴형상과 동일한 수신안테나가 장착되어 열차가 루프선 위를 이동함에 따라 루프선과 수신안테나가 마주보는 면적이 큰 부분에서는 높은 고주파 전압이 유기되고, 면적이 작은 부분에서는 최소 전압이 유기되는 현상을 이용, 유기전압을 펄스로 변환하고 카운트하여 열차에서 열차의 이동거리를 측정하게 된다. HSST 열차의 수신안테나는 수신 안테나코일 3개를 설치하여 그 배치를 지상의 루프선의 1/3주기 길이로 등 간격 배치하고, 1주기 길이의 이동에 대해 수신 코일로부터의 출력신호를 비교하면 1/3주기만큼 간격차가 발생하여 출력 신호간의 120°위상차를 갖는 거리정보로 판별이 가능하다. 열차의 이동방향은 수신코일의 출력 순서를 감지함으로써 가능하며, 최소 이동거리검지 정밀도는 1개 루프선 길이주기의 1/6인 10cm까지의 거리정보를 판독할 수 있다. HSST는 패턴벨트방식의 위치검지방식 외에 열차방호를 위해 check-in/check-out 방식의 열차검지방식이 적용되고

있다. check-in/check-out 방식은 선로의 폐색구간마다 설치된 루프회로와 열차의 전후부에 설치된 송신안테나 사이의 정보전송을 통해 폐색구간내 열차존재를 감지하므로 열차검지단위는 폐색구간이 된다[1].



〈그림 1〉 HSST 위치검지방식

#### 2.1.2 UTM(Urban Transit Maglev) 자기부상철도

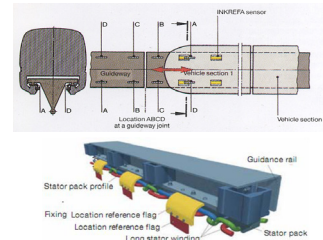
UTM-02에서는 DGPS와 도플러센서, Transponder를 적용하여 열차의 위치를 검지하며 HSST와 동일하게 열차에서 직접 열차위치와 속도의 검지가 가능하다. 도플러센서는 열차의 이동속도를 측정하고, 측정된 속도를 누적하여 이동거리를 결정한다. 또한 열차위치의 초기화와 열차위치오차의 보정을 위해서 D-GPS와 transponder가 사용되었다. transponder tag는 약 100m간격으로 선로상에 설치되어 있으며, 열차에 장착된 transponder reader가 tag의 정보를 인식하여 도플러센서에 의해 발생된 위치오차를 보정한다[2].

#### 2.2 초고속 자기부상열차의 위치검지시스템

초고속형 자기부상철도는 LSM 추진방식이 적용되고 있으며 현재 시범 운영되고 있는 Transrapid와 MLU/MLX에 적용중인 위치검지시스템의 특징은 다음과 같다.

##### 2.2.1 Transrapid

Transrapid는 지상 1차측 LSM 추진방식과 EMS 부상방식이 적용된 독일의 초고속자기부상열차시스템으로 현재 중국 상하이에 약 30km의 상용화 노선이 운영 중에 있다. TR06 및 TR07 열차모델에 적용된 위치검지시스템으로는 INPO 와 INKREFA가 있다. INPO는 선로에 교차유도루프를 설치하여 지상에서 연속적으로 열차의 위치를 검지하는 시스템으로 지상 추진제어장치와 직접적으로 인터페이스되어 있다. INPO의 위치 정밀도는 ±8(12mm)수준이다[3]. 현재 상하이 상용노선 운행열차 모델인 TR08과 최신 모델인 TR09에서는 INPO와 같은 지상위치검지방식을 적용하지 않고 있으며 INPO를 대신하는 차상기반의 새로운 위치검지기술이 적용되었다. INKREFA는 불연속 위치검지장치로서 선로하단에 특정한 비트정보가 도전성물질로 각인된 LRL(Location Reference Lug)를 설치하고, 열차가 LRL을 통과할 때 열차에 설치된 INKREFA 센서가 LRL 비트정보를 판독하는 방식으로 열차위치의 확인이 가능하다. INKREFA 센서는 차량의 전두부에 총 4개가 설치되는 여분구조를 가지며, 1개 LRL은 4bit정보를 포함하고 있어, 복수의 LRL을 그룹화하여 사용하면 기준위치정보의 확장이 가능하다. INKREFA를 통해 얻어진 위치정보는 열차방호 및 열차위치보정을 위해 이용된다[3].



〈그림 2〉 TR 절대위치검지장치

열차에서 직접 측정된 열차위치 및 속도정보는 38GHz 무선통신을 통해 지상제어설비에 전달되어 추진제어 및 운영제어를 위해 사용된다.

### 2.2.2 MLU/MLX

MLU/MLX는 지상 1차측 LSM 추진방식과 EDS 부상방식이 적용된 일본의 초고속자기부상열차시스템이다. 지상 1차측 LSM 추진방식에서는 지상에 설치된 추진장치에 의해 열차가 추진되므로 고속, 고정밀의 열차위치정보가 필요하며 MLU에서는 교차유도선기반의 열차위치검지방식이 적용되었다. MLU에서는 열차에 위치검지용 송신기를 장착하고, 선로상에 3쌍의 교차유도선을 설치하여 교차유도선에 유겨된 고주파 전압을 지상위치검지장치가 판독하여 연속적으로 열차위치를 검지한다[4]. 하지만 교차유도선에 기반한 지상위치검지장치는 2km마다 설치가 되어야 하고, 정밀한 위치검지를 위해서는 정교하게 교차유도선이 선로상에 설치되어야 하므로 설치와 유지보수에 많은 비용이 드는 단점이 있어 MLU의 후속인 MLX에서는 교차유도선을 사용하지 않고 설치 및 유지 보수 비용의 절감이 가능한 대안적인 위치검지방식이 새롭게 적용되었다. 그림 3은 MLX의 신규 위치검지시스템의 구조를 나타낸다. MLX의 신규 위치검지시스템에서는 wheel rotation sensor, wayside coil counter, EMF observer, mm-wave radio system으로 구성된다. Wheel rotation sensor는 열차하부에 위치한 wheel의 회전을 측정하는 센서이다. 조건도발식부상이 적용된 MLX는 열차의 부상을 위해서 일정속도 이상의 주행을 필요하므로 열차하부에 wheel이 적용되어 있으며, 따라서 wheel rotation sensor는 지속구간의 위치/속도검지를 위해 사용된다. EMF observer는 구동 인버터에서 측정된 EMF(Electro Motive Force)정보를 처리하여 열차의 위치를 검지하는 장치로서 중/고속구간의 위치검지에 사용된다. Wayside coil counter는 선로변에 설치된 선로변 코일(null flux cable)의 개수를 세어 위치/속도를 검지하는 장치이며 EMF observer의 고장시 백업과 wheel의 오차보정을 위해 사용된다. mm-wave radio system은 열차와 지상기지국간 무선신호의 전송지연시간차를 이용하여 열차의 위치를 검지하는 시스템으로 열차위치의 초기화와 열차 방향을 위해 사용되며, 안전성확보를 위해 다중 기준구간 무선신호를 사용한다. MLX의 신규위치검지시스템의 정밀도는  $\pm 5^{\circ}$ 수준이며, 5ms의 갱신주기를 가진다[5].

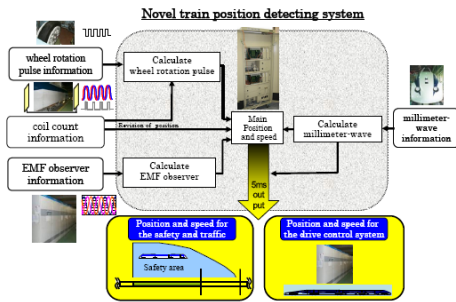


그림 3 MLX 위치검지방식

## 3. 초고속자기부상열차 절대위치검지시스템 구조 분석

### 3.1 절대위치검지시스템 구조 분석

Transrapid에서 적용중인 절대위치검지시스템인 INKREFA에 대한 구체적인 사양은 알 수 없지만 INKREFA의 동작원리를 통해 아래와 같이 절대위치검지시스템의 구조 분석이 가능하다. INKREFA는 전도성 물질로 특정비트정보가 각인된 LRL을 열차에 장착된 U형의 센서가 스캔하여 기준위치 비트정보를 판독하는 원리가 적용되어 있다. 따라서 아래 그림 4, 5의 구조와 같이 고주파 신호의 송신 및 수신부로 구성된 U형 센서 내부로 LRL이 스캔될 때 도전성 물질에 의한 고주파신호의 수신여부를 판단하여 LRL 비트정보를 판독하게 된다. U형 센서는 2가지 종류의 총 10개의 송신 및 수신부 채널쌍으로 구성되어 있다. U형 센서내 2 종류의 송수신 채널의 역할에 따라 싱글스캔방식과 연속스캔방식으로 구분할 수 있다. 싱글스캔방식은 그림 6의 스캔구조를 가진다. 즉, P1~P4의 4개 센서채널은 비트정보확인용으로 D0 채널은 비트정보확인신호 동기용으로 사용되는 방식으로 D0 채널이 도전성 물질을 만나 수신신호값이 0이 되었을 때 P1~P4 채널을 동시에 읽어들이어 LRL 비트정보를 판독하는 방식이다. 연속스캔방식은 그림 7의 스캔구조를 가지며 N1~N4의 4개 센서채널을 신호동기용으로, D1이 비트정보를 판독하는 센서채널로 이용된다. 따라서 N4, N3, N2, N1의 순서로 각 센서채널이 LRL의 도전성 물질을 만나 수신신호값의 임계값 도달했을 때 비트정보 판독용 동기신호를 발생하면, D1 채널이 순차적으로 1비트씩 LRL 비트정보를 판독하여 절대위치를 판독하게 된다. 또한, 열차의 이동방향은 스캔방식에 관계없이 각 센서채널의 LRL 인식순서를 파악하여 결정한다.

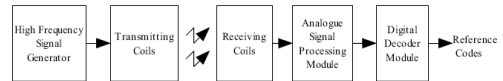


그림 4 TR 절대위치검지시스템 판독 원리

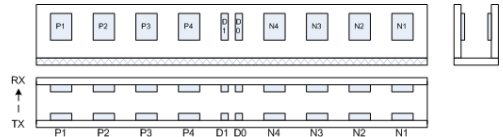


그림 5 TR 절대위치검지시스템 센서 구조

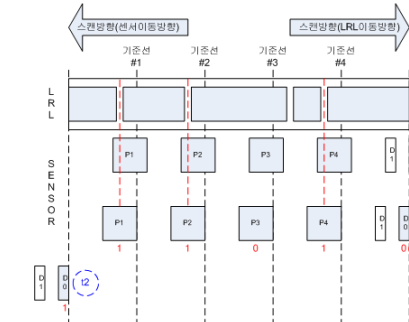


그림 6 싱글스캔 인식방식

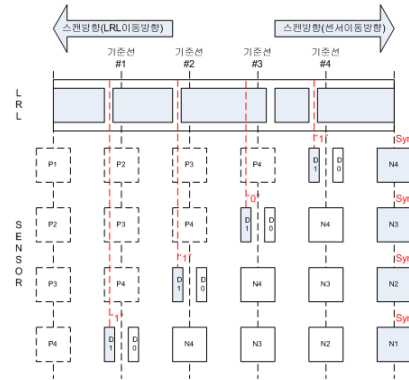


그림 7 연속스캔 인식방식

## 4. 결론

열차 위치정보는 열차제어를 위해 가장 기본이 되는 정보로서 열차 운영상의 효율성과 안전성 확보를 위해서 정확하고, 신뢰성을 가지도록 확보되어야 한다. 앞서 살펴본 바와 같이 각각의 자기부상철도시스템에는 다양한 방식의 위치검지시스템이 이용되고 있으며 각 시스템에 최적화된 방식으로 적용 중에 있다. 그중에서 절대위치검지시스템은 선로상 열차의 기준위치를 파악하여 운행열차의 현재 위치를 보정하고, 열차방향시스템에 위치정보를 제공하여 열차제어의 안전성 확보에 필수적인 시스템이라 할 수 있다. 현재 Transrapid 및 MLX에 적용된 구체적인 적용기술의 공개되지 않은 상황에서 초고속자기부상열차의 독자모델 개발을 위해서는 신속히 기술개발을 위한 활발한 투자와 연구가 필요하다. 본 논문에서는 초고속자기부상철도시스템의 절대위치검지시스템 개발을 위해 절대위치검지시스템의 구조 분석을 수행하였으며, 향후에는 연속스캔방식과 싱글스캔방식 등에 대한 시뮬레이션 검증 등을 통해 최적의 인식방식을 결정하고, 시제품 개발 및 성능평가 등의 후속 연구 추진이 필요하다.

### [참고 문헌]

- [1] 정의진 외, "유도무선에 의한 열차위치검지", 전기학회지, 제42권, 제9호, 1993
- [2] 변윤섭 외, "자기부상열차 신호시스템 검토", 철도학회학술대회, 2006
- [3] K. Heinrich, "Transrapid Maglev System", Hestra-Verlag, 1989
- [4] 이종우 외, "자기부상열차개발을 위한 연구기획 보고서", 한국철도기술연구원, 1998
- [5] Kazumasa Morishita, "Novel train position detecting system in the Yamanashi Maglev Test Line", Maglev2006, 2006