

초고속자기부상열차의 열차측위기술 개발방향 연구

신경호, 이재호, 신덕호
한국철도기술연구원

Study on the Development Scheme of Train Positioning Technology for Ultra Speed Maglev Train

Kyung Ho Shin, Jae Ho Lee, Ducko Shin
Korean Railroad Research Institute

Abstract - 자기부상열차는 자기력에 의해 차량이 부상되어 전용선로를 따라 비접촉으로 운행되는 철도운송시스템이다. 자기부상열차에서는 열차가 운영 선로위에 부상되어 비접촉으로 운행되기 때문에 일반 철도시스템에서 적용되고 있는 측위기술의 적용이 어렵다. 따라서 자기부상열차에는 다양한 측위기술들이 개발되어 적용되고 있다. 본 논문에서는 자기부상열차에 적용중인 다양한 측위기술 및 측위장치에 대하여 검토하고, 독자적인 초고속자기부상열차 개발시 필요한 열차위치검지기술의 개발방향을 제시한다.

1. 서 론

자기부상열차는 자기력에 의해 차량이 부상되어 전용선로를 따라 비접촉으로 운행되는 철도운송시스템이다. 자기부상열차에서는 열차가 운영선로위에 부상되어 비접촉으로 운행되기 때문에 일반 철도시스템에서 적용되고 있는 측위기술의 적용이 어렵고 현재 운영 또는 개발중에 있는 자기부상열차에서는 다양한 측위기술들이 개발되어 적용 중에 있다. 본 논문에서는 중저속 및 초고속 자기부상열차에 적용중인 다양한 측위기술 및 장치에 대하여 조사 분석하고 독자적인 초고속자기부상열차의 개발시 필요한 열차위치검지기술의 개발방향을 제시한다.

2. 자기부상열차별 위치검지기술

자기부상열차는 추진방식에 따라 선형동기전동기(LSM)방식과 선형유도전동기(LIM)방식으로 구분된다. LIM방식은 주로 중저속형 자기부상열차에 적용중인 방식으로 대표적인 자기부상열차시스템으로 일본의 HSST와 우리나라의 UTM이 있다. LSM방식은 주로 초고속 자기부상열차에 적용중인 추진방식으로 대표적인 자기부상열차시스템으로 독일의 Transrapid와 일본의 MLU/MLX를 들 수 있다.

2.1 HSST

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 검지함으로써 가능하며, 최소 이동거리검지 정밀도는 1개 루프선 길이주기의 1/6인 10cm까지의 거리정보를 판독할 수 있다. HSST는 패턴벨트방식의 위치검지방식 외에 열차방향을 위해 check-in/check-out 방식의 열차검지방식이 적용되고 있다. check-in/check-out 방식은 선로의 폐색 구간마다 설치된 루프회로와 열차의 전후부에 설치된 송신안테나 사이의 정보전송을 통해 폐색구간내 열차존재를 검지하므로 열차검지단위는 폐색구간이 된다[1].

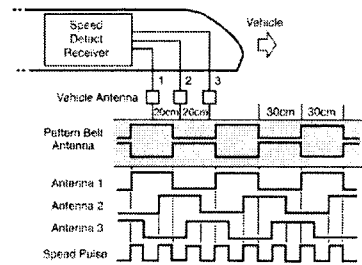


그림 1. HSST 위치검지방식(연속검지)

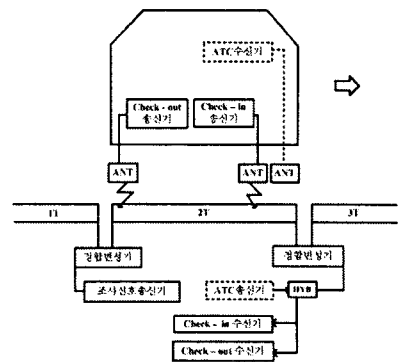


그림 2. HSST 위치검지방식(폐색검지)

2.2 UTM(Urban Transit Maglev)-02

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 100m 간격으로 선로상에 설치되어 있으며, 열차에 장착된 transponder reader가 tag의 정보를 인식하여 도플러센서에 의해 발생한 위치오차를 보정한다[2].

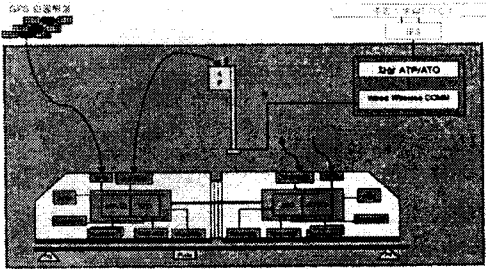


그림 3. UTM-02 위치검지장치 구성

2.3. General Atomics(GA) Urban Maglev System

GA Urban Maglev System은 미국에서 진행중인 LSM방식의 중저속형 자기부상열차시스템으로 광학레이저 인식기술과 도플러센서기반의 위치검지기술이 적용되었다[3]. 광학레이저 인식기술을 통한 위치정보는 LSM 추진제어를 위해 사용된다. GA Urban Maglev System은 지상 LSM 추진방식이 적용되어 고 정밀도의 열차 위치정보가 지상 LSM 추진제어장치에 전송되어야 한다. 따라서 지상 선로에 432mm주기의 고정패턴이 설치되고 열차에 장착된 광학레이저 센서가 패턴을 판독하여 위치를 결정하게 되며, 약 18mm (15)의 측위정밀도를 가진다. 도플러센서는 열차에 장착되는 차상 ATP(자동열차방호장치)의 일부로서 적용되며 열차방호를 위한 운행속도감시정보의 확보용으로 사용된다. 또한 추가적으로 열차위치의 초기화를 위해 DGPS가 적용되었다.

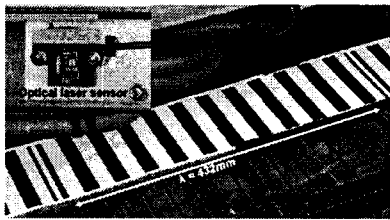


그림 4. GA 광학레이저 위치검지장치 구성

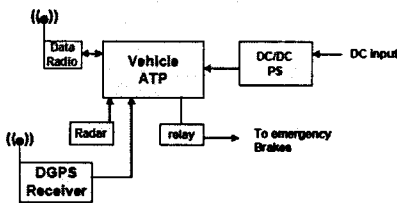


그림 5. GA 차상 ATP 구성

2.4 MLU/MLX

MLU/MLX는 지상 1차속 LSM 추진방식이 적용된 일본의 초고속자기부상열차시스템이다. 지상 1차속 LSM 추진방식에서는 지상에 설치된 추진장치에 의해 열차가 추진되므로 고속, 고정밀의 열차위치정보가 필요하다. MLU에서는 교차유도선(Cross Inductive Wire)기반의 열차위치검지방식이 적용되었다. MLU의 열차제어시스템 구조를 나타내는 그림 6과 같이 MLU에서는 열차에 위치검지용 송신기를 장착하고, 선로상에 6상의 교차유도선을 설치하여 교차유도선에 유기된 고주파 전압을 지

상위치검지장치가 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 유지보수 비용의 절감이 가능한 대안적인 위치검지방식이 새롭게 적용되었다. 그림 7은 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 회전수를 측정하는 센서이다. 초전도반발식 부상이 적용된 MLX는 열차의 부상을 위해서 일정속도(100km/h)이상의 주행이 필요하므로 열차하부에 wheel이 적용되어 있으며, wheel rotation sensor는 저속구간의 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 무선신호의 전송지연시간차를 이용하여 열차의 위치를 검지하는 시스템으로 열차위치의 초기화와 열차운영제어를 위해 사용된다. MLX의 신규위치검지시스템의 정밀도는 ±5수준이며, 5ms의 갱신주기를 가진다[5].

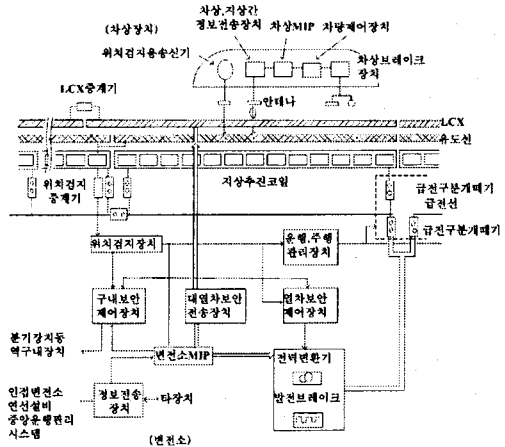


그림 6. MLU의 열차제어시스템 구조

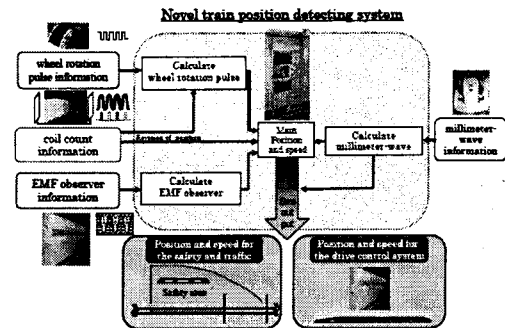


그림 7. MLX의 신규 위치검지시스템 구성

2.5 Transrapid

Transrapid도 MLX와 동일하게 지상 1차측 LSM 추진방식이 적용된 독일의 초고속자기부상열차시스템으로 현재 중국 상하이에 약 30km의 상용화 노선이 운영 중에 있다. Transrapid는 상전도흡인방식의 부상시스템이 적용되었으며, HMB2를 시작으로 TR05, TR06, TR07, TR08, TR09의 순서로 다양한 열차시스템으로 개발되어 왔다[6]. TR06 및 TR07에 적용된 위치검지방식으로는 INPO 와 INKREFA가 있다. INPO는 그림 8에서 보는바와 같이 선로에 교차유도루프를 설치하여 지상에서 연속적으로 열차의 위치를 검지하는 시스템으로 지상 추진제어장치와 직접적으로 인터페이스 되어 있다. INPO의 위치 정밀도는 ±8(12mm)수준이다[7]. INPO는 MLU에 적용된 위치검지방식과 유사한 교차유도선에 의한 열차측위방식으로 MLU에서와 동일한 문제점을 안고 있다. 따라서 상하이 상용노선 운행열차모델인 TR08과 최신 모델인 TR09에서는 INPO와 같은 지상위치검지방식을 적용하지 않고 있으며 INPO를 대신하는 차상기반의 새로운 위치검지기술이 적용되었다.

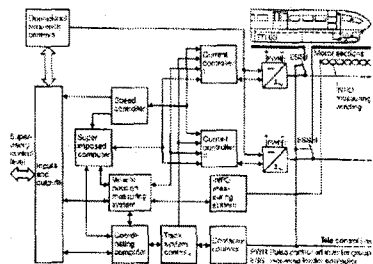


그림 8. TR06 추진제어 구성도

INKREFA는 불연속 위치검지장치로서 선로하단에 특정한 비트정보가 각인된 LRL(Location Reference Lug(Flag))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 열차 위치보정을 위해 이용된다[7]. 열차에서 직접 측정된 열차위치 및 속도정보는 38GHz 무선통신을 통해 지상제어 설비에 전달되어 추진제어 및 운영제어를 위해 사용된다.

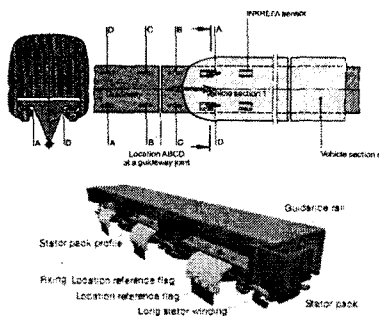


그림 9. 열차내 센서 배치 및 선로상 LRL 배치 구성

3. 초고속자기부상열차의 위치검지기술 개발방향

앞서 2절에서 살펴본바와 같이 자기부상열차시스템의 위치검지를 위해 국내외적으로 다양한 방식이 적용되어

왔다. LIM 추진방식의 중저속자기부상열차에서는 열차에서 추진제어를 하기 때문에 열차의 위치와 속도를 열차에서 직접 검지하는 방식이 적용되어 왔다. 열차의 초고속주행이 필요한 초고속자기부상열차에서는 지상 1차측 LSM 추진방식이 적용되고 있으며, LSM 추진방식의 특징상 지상의 추진장치를 통해 열차가 운행되므로 교차유도선기반의 지상 열차위치검지장치가 적용되어왔다. 하지만 모든 선로구간에 일정간격으로 정교하게 지상열차위치검지장치의 설비가 어렵고, 유지보수에 많은 비용이 소요되는 단점과 함께 최근 고속 무선정보통신기술의 발달로 인해 Transrapid와 MLX와 같은 초고속자기부상열차의 위치검지장치가 차상화되고 있는 추세이며, 각 열차시스템 특성에 최적화된 차상기반의 위치검지장치가 적용되고 있다. 또한 열차제어방식도 무선통신에 기반한 열차제어시스템으로 발전하고 있다.

따라서 초고속 자기부상열차를 위한 독자적인 위치검지기술을 개발하기 위해서는 초고속자기부상열차의 운행속도 및 부상/추진방식 등과 같은 구체적인 개발사양이 결정되어야 효율적인 기술개발이 가능하다. 또한 부상방식, 추진방식에 따라 기존 열차측위기술의 적용이 가능하거나 새로운 기술의 개발이 필요할 수 있으며, 시설 및 유지보수성을 고려하여 차상측위방식으로 적용되어야 한다. 차상측위방식이 적용되기 위해서는 반드시 신뢰성있고, 안전성이 확보된 통신기술이 전제가 되어야 하며 이것은 최근의 무선통신기술수준을 고려할 때 충분히 가능할 것으로 예상된다.

4. 결론

열차 위치 및 속도정보는 열차제어를 위해 가장 기본이 되는 정보로서 열차 운영상의 안전성과 효율성 확보를 위해서 정확하고, 신뢰성을 가지도록 확보되어야 한다. 앞서 살펴본 바와 같이 각각의 자기부상열차시스템에는 다양한 방식의 위치검지기술이 이용되고 있으며 각 시스템에 최적화된 방식으로 해당기술이 적용 중에 있다. 따라서 독자적인 초고속자기부상열차의 개발에 필수적인 위치검지기술은 열차의 운행속도, 추진방식, 부상방식 등과 같은 구체적인 개발사양이 결정되어야만 효율적인 기술개발이 가능하며 개발사양에 따라 기존기술의 적용 또는 새로운 개념의 신기술의 개발이 필요할 수 있다. 최근의 기술동향을 고려하여 차상측위방식의 기술개발이 필요하며, 초고속 무선통신기술이 적용되면 비록 열차에서 직접 열차위치를 검지하더라도 열차의 추진제어를 위해 충분히 빠른 속도로 측위정보가 전송 가능하므로 추진제어에 최소한의 영향을 줄 것으로 예상된다. 또한 아직까지 Transrapid와 MLX에 적용된 구체적인 적용기술의 공개되지 않은 상황에서 초고속자기부상열차의 독자모델 개발을 위해서는 하루빨리 기술개발을 위한 활발한 투자와 연구가 필요하다.

[참고 문헌]

- [1]정의진 외, "유도무선에 의한 열차위치검지", 전기학회지, 제42권, 제9호, 1993
- [2]변윤섭 외, "자기부상열차 신호시스템 검토", 철도학회 학술대회, 2006
- [3]Robert D. Pascoe, "COMMAND, CONTROL AND COMMUNICATIONS-AUTOMATIC TRAIN CONTROL SYSTEM", Maglev2008, 2008
- [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
- [6]http://www.transrapid.de
- [7]K. Heinrich, "Transrapid Maglev System", Hestra-Verlag, 1989