

초고속 자기부상철도용 위치검지 시스템 개발 및 적용에 관한 연구

The Study on Position Detection System Development and Application for Super Speed Maglev

이진호^{*†}, 조정민^{*}, 이창영^{*}, 한영재^{*}, 손연^{*}

Jin-Ho Lee^{*†}, Jung-Min Jo^{*}, Chang-Young Lee^{*}, Young-Jae Han^{*}, Yan Sun^{*}

Abstract For super speed maglev train with 500km/h level, the high power and efficient linear synchronous motor(LSM) as a propulsion device is used. To control the LSM, the real time position information of maglev must be detected and transmitted to the controller which provides the position-synchronized power to the LSM. The position detection performance is key factor which determines the control efficiency and it requires the precise detection during fast running and robustness against external environment. In this study, the position detection system for super speed maglev is investigated and several candidates are proposed and analyzed.

Keywords : Maglev Train, Linear Synchronous Motor, Propulsion, Position Detection

초 록 550km/h이상의 초고속 자기부상철도의 추진을 위해서는 고효율 및 대용량 추진이 가능한 선형동기전동기(LSM: Linear Synchronous Motor)가 사용되는데, LSM의 제어를 위해서는 운행 중인 열차의 위치를 실시간으로 파악하여 전력변환장치의 제어기에 제공해 주어야 위치와 동기화된 전류를 궤도 고정자에 적절히 공급할 수가 있다. 이러한 위치검지 시스템의 정확도는 열차의 추진 효율을 좌우하는 중요한 요소로서, 고속에서도 운행 중인 차량의 위치를 정밀하게 검출할 수 있어야 하고, 동시에 외부 환경에서도 장시간 사용할 수 있도록 내환경성 및 신뢰성이 확보되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 위치검지 시스템에 대한 여러 가지 안에 대해서 장단점을 검토하고 실제 적용 가능성에 대해서 분석하였다.

주요어 : 초고속자기부상열차, 선형동기전동기, 추진제어, 위치검지

1. 서 론

시속 500km 이상으로 운행하는 초고속 자기부상열차를 추진하기 위해서는 대용량 및 고속 측면에서 우수한 선형동기전동기(LSM: Linear Synchronous Motor)가 필수적이다. 선형동기전동기의 추진 제어는 고속으로 운행하는 열차의 위치를 실시간으로 검지하여 지상에 설치된 제어실로 송신해주고, 제어실의 전력변환장치에서 이러한 열차의 위치와 동기화된

† 교신저자: 한국철도기술연구원(jinholee@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원

전력을 궤도에 설치된 고정자에 공급함으로써 이루어진다. 이때 위치검지의 정확도는 열차 추진효율에 직접적인 영향을 미치는 요소로서 빠른 열차속도에서도 정밀한 위치검지가 가능해야 하고, 외부에 노출된 환경에도 장시간 사용이 가능하여야 한다. 위치검지는 절대위치검지와 상대위치검지로 나뉘어 지는데, 열차위치의 절대값을 알려주는 절대위치검지는 보통 일정한 간격으로 설치되며 누적된 상대위치오차를 리셋하는 용도로 사용 된다. 상대위치검지는 절대위치사이의 열차 위치값을 알려주는 역할을 하며 보통 360도 극간격인 자기부상열차에서 검지 정밀도가 15도 이내여야 원활한 추진제어가 가능하다. 본 연구에서는 초고속 자기부상철도용 위치검지 시스템에 대한 여러가지 안에 대해서 각각의 특성을 검토한 뒤 적용가능성에 대해서 분석하고자 하였다.

2. 위치검지 시스템 요구조건

2.1 검지 정밀도

초고속 자기부상철도에서의 위치신호 정밀도는 추력에 큰 영향을 미친다. 일반적인 선형동기전동기에서 극수를 p , 극간격을 τ , 회전자 쇄교자속을 ψ_f 이라 하고, d-q축에서의 인덕턴스와 전류를 각각 $L_d L_q i_d i_q$ 라고 하면 추력은 식 (1)과 표현된다. 이때 전력변환장치 제어기에 입력되는 위치신호가 실제 차량의 위치와 $\Delta\theta$ 만큼의 차이가 있다면 Fig. 1과 같이 선형 동기전동기의 d-q 축이 d_r-q_r 축으로 변화하게 되고 이로 인해 식 (1)의 추력은 식 (2)와 같이 저하되게 된다[1].

$$F_{thrust} = \frac{3}{2} p \frac{\pi}{\tau} [\psi_f + (L_d - L_q) i_d] i_q \quad (1)$$

$$F_{thrust} = \frac{3}{2} p \frac{\pi}{\tau} [\psi_f i \cos \Delta\theta + (L_d - L_q) i^2 \sin \Delta\theta \cos \Delta\theta] \quad (2)$$

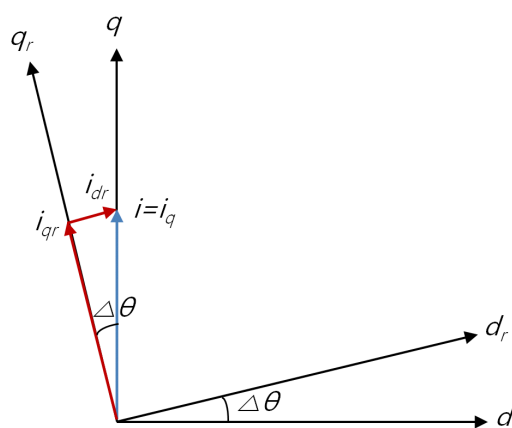


Fig. 1 Influence of position detection error

2.2 내환경성

눈, 비, 결빙, 먼지 등의 외부환경 요소가 위치검지 시스템에 미치는 영향이 최소화 되도록 해야 정밀도를 확보할 수 있고 유지보수도 용이하게 된다. 독일의 Transrapid의 경우 Fig. 2와 같이 차량에 설치된 위치검지 센서를 이용하여 궤도 LSM stator의 치차 형상을 인식하여 위치를 검출하도록 되어 있는데, 지면을 향해 있는 LSM stator의 구조상 눈, 비, 먼지 등의 영향을 최소화 할 수 있는 장점이 있다.

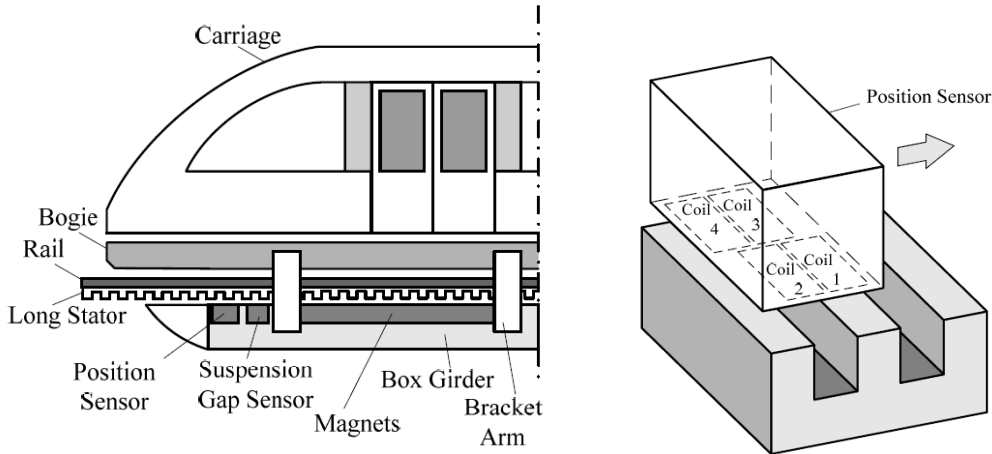


Fig. 2 Position sensor in Transrapid[2]

일본의 MLX의 경우 초기에는 위치검지용 인덕티브 와이어를 LSM 조립시 함께 삽입하여 운행중인 차량이 이를 센서로 인식하여 위치를 검출하는 방식을 사용하였다. 이 방식의 경우 LSM 조립 모듈안에 인덕티브 와이어가 위치하게 됨으로 환경 영향 차단이 매우 용이하다. 그러나 설치시 정밀한 시공이 필요하고 그에 따른 비용이 많이 소요된다는 단점때문에 나중에는 이 방식 대신에 Fig. 3과 같이 LSM의 코일을 카운트하는 방식을 채용하였다.

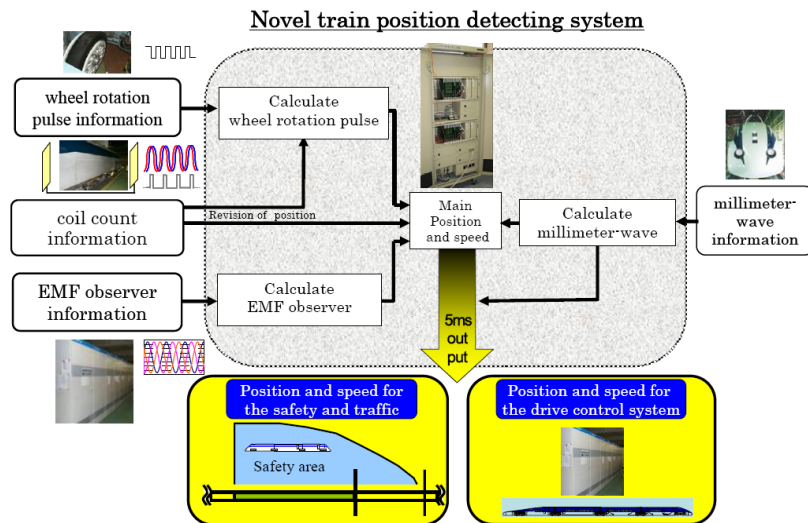


Fig. 3 Position detection system for MLX[3]

미국 GA(General Atomics)사 자기부상열차의 경우 Fig. 4와 같이 초기에는 광학방식의 위치검지 센서를 사용하였는데, 환경영향을 줄이기 위해 LSM 케이블 밑에 설치하여 눈, 비 등의 직접적인 영향은 피하도록 하였으나 먼지나 이물질이 쌓이는 경우에는 취약할 수 밖에 없는 구조였다. 향후에는 이러한 환경 영향을 줄이기 위하여 위치검지용 케이블을 설치하는 방식으로 변경 하였다.



Fig. 4 Position detection system for GA[4]

2.3 송신 주기 및 지연

자기부상열차 특성상 고속으로 달리는 열차에서 검지된 위치신호는 무선으로 열차와 멀리 떨어져 있는 지상의 제어실로 보내져야 하는데, 이 때 송신 신호 주기 및 지연에 따른 위치검지의 정확도가 저하되게 된다. 이러한 정확도 저하는 결국 식 (2)에서 살펴본 것과 같은 추력저하를 발생시키게 되므로 이에 대한 대책이 추가로 필요하게 된다.

3. 위치검지 시스템 검토

3.1 바코드 방식

바코드 시스템은 미국 GA사가 초기에 사용하였던 광학방식과 유사한 방법으로 각각의 바코드에 특정 위치 좌표가 할당되어 있어 상대위치와 절대위치를 동시에 인식이 가능하고, 간단하게 설치하여 운용이 가능하다는 장점이 있다. 본 시스템은 Fig. 5와 같이 한국 철도기술연구원에서 개발한 테스트베드의 위치검지에 사용되었는데, 1mm 분해능으로 18km/h의 속도까지의 위치검지가 가능하였다. 그러나 외부환경에 노출될 경우 바코드에 이물질이 끼어 검지 정밀도를 저하시키거나 궤도에 부착된 밴드가 궤도와 박리될 수 있는 단점이 있다.



Fig. 5 Barcode position detection system[5]

3.2 마그네틱 방식

마그네틱 방식은 Fig. 6과 같이 마그네틱 밴드를 궤도에 설치하고 차량에 부착된 센서가 이동하면서 자기량의 변화를 검출하여 위치를 검지하는 방식이다. 본 방식 역시 간단하게 구현이 가능하지만 자기부상열차의 LSM에서 발생하는 강력한 자기장이 간섭을 일으킬 수 있고, 검지 거리에 따라 신호가 약해지는 단점이 있다.

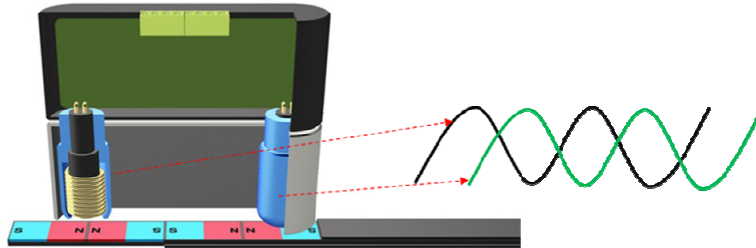


Fig. 6 Magnetic position detection system

3.3 RFID 방식

절대위치만을 검지하기 위한 방식으로 Fig. 7과 같이 RFID tag를 선로에 설치하고 reader를 차량에 설치하여 tag와 reader의 상호작용에 의해 위치값을 검출하는 방식이다. 방사형태로 수신되는 신호에서 정확한 peak 값을 검출하는 알고리즘이 필요하며 속도에 따른 수신율 저하도 극복해야 할 문제이다.

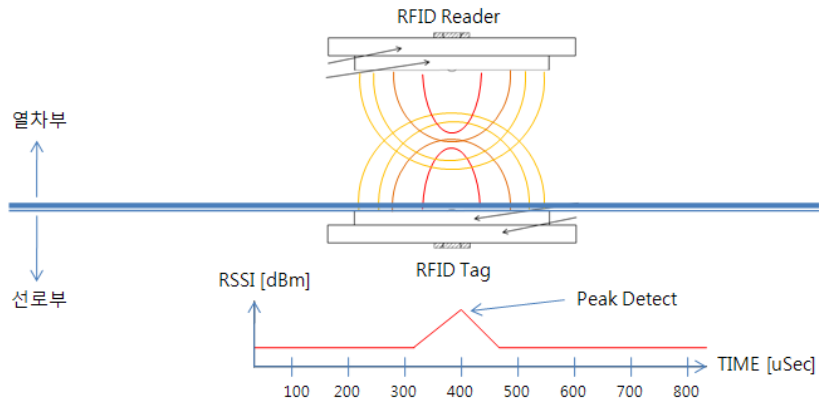


Fig. 7 RFID position detection system

3.4 Marker 방식

마커(Marker) 방식의 경우 선로에 얇은 틈(slot)이 주기적으로 가공된 band를 설치하고 차량에 설치된 레이저 리더기를 이용하여 slot의 유무에 따라 위치를 검지하는 방식이다. 본 방식은 slot의 형태 및 리더기의 개수에 따라 상대위치 및 절대위치의 검지가 가능한 방식이나, 속도에 따른 영향 및 환경영향에 따른 slot의 오염 문제 등이 존재한다.

4. 결 론

본 연구에서는 초고속 자기부상철도 추진에 있어서 중요한 역할을 하는 위치검지 시스템에 대해서 주요 특성 및 요구조건을 검토하고 몇 가지 위치검지 시스템에 대해서 장단점 및 적용 가능성에 대해서 분석하였다. 상기 분석된 결과는 향후 초고속 자기부상철도의 위치검지 시스템 개발에 활용될 예정이다.

후 기

본 연구는 국토교통부에서 시행하는 “초고속 자기부상철도 핵심기술개발” 과제로 부터 지원을 받아 수행한 연구 결과입니다.(11PRTD-B061485)

참고문헌

- [1] C. Qian, R. Wei, X. Wang, Q. Ge, Y. Li. (2011) Analysis the position signal problem propulsion system with long stator linear synchronous motor, *The 21st Int. Conf. on Magnetically Levitated System and Linear Drives*.
- [2] N. He, Z. Long, S. Xue, (2013) Modeling and optimal design of relative position detection sensor for high speed maglev train, *Sensors and Actuators A*, 189, pp. 24-32.
- [3] K. Morishita, J. Kitano, T. Maeda, (2006) Novel train position detecting system in the Yamanashi Maglev Test Line, *The 19th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives*.
- [4] US Department of Transportation, (2005) General Atomics Low Speed Maglev Technology Development Program, *Final Report*.
- [5] J. Lee, J. Jo, Y. Han, C. Lee. (2013) Development of Propulsion Testbed for Super Speed Maglev, *2013 Spring Conference of the Korean Society for Railway*.