

자기부상열차의 조향비에 따른 대차의 횡공극 최적화 방안 연구

The Optimization of the Lateral Airgap according to the Steering Ratio on the Maglev김일겸*, 하창완*[†], 임재원*, 한형석*Il-Kyeom Kim*, Chang-Wan Ha*[†], Hyeon-Seok Han*

Abstract The Maglev vehicle is composed of a lot of bogies which supports the car-body with distributed forces result from the electro-magnetic system. For this reason, the lateral motion of the bogies have to be constrained in order not to derail from the guideway when it runs on curve. The safety problem can be caused like being an electro-magnet off from the rail if the relative motions among bogies are not appropriately controlled.

The steering system is named for controlling the relative motions among bogies, and it functions as below. First, all the electro-magnets line up along the guideway when the vehicle drives on curve. Second, the guidance forces become flat because the lateral air-gaps between the electro-magnet and the rail are minimized. In this paper, the optimization of the steering system was performed with different value of steering ratio and the object function is lateral air-gaps according to the corner radius.

Keywords : magnetic levitation system, electro-magnet, steering system, vehicle dynamics

초 록 바퀴식 열차와 다르게 자기부상열차는 차량 전체 길이에 걸쳐서 자석을 분포시켜 차량을 지지하고 안내하는 구성을 갖기 때문에 다수의 대차로 구성된다. 이러한 구조로 인하여 아주 작은 곡선을 주행하게 되는 도시형 자기부상열차의 경우 대차에 붙어 있는 자석들이 레일로부터 벗어나지 않고 정렬이 되도록 대차들간의 횡방향 운동을 서로 종속 되게 만들어야 한다. 만일 대차들 간의 상대운동을 적절하게 조절하지 않으면 어느 전자석이 레일로부터 과도하게 벗어날 수 있어 안전 문제를 야기할 수 있다. 대차들 간의 상대적 운동을 조정하는 것을 조향장치라고 칭하며, 다음과 같은 기능을 갖는다. 곡선 주행 시 모든 전자석들을 가능한 한 레일에 정렬해야 하며, 정렬이 좋으면 안내력이 균일해져 특정 전자석의 과도한 횡공극이 일어날 가능성이 낮아지도록 설계해야 한다. 본 논문에서는 곡선 주행 시에 횡공극을 최소화 하는 조향비 설계를 목적으로 한다.

주요어 : 부상 제어기, 전자석, 조향장치, 차량동역학

1. 서 론

자기부상열차는 바퀴 대신에 전자석을 이용하여 선로로부터 부상하여 주행한다. 바퀴식과 달리 바퀴와 레일 사이의 물리적 접촉을 없애 저소음, 저진동 및 저분진의 장점을 갖는다. 현재 개발되어 있는 도시형 자기부상열차는 인천 노선에서 시운전 중에 있으며, 곡선 주행 동특성을 주행시험을 통해 측정하고 있다.

[†] 교신저자: 한국기계연구원(hawan@kimm.re.kr)

* 한국기계연구원 자기부상연구실

전자석을 이용하는 자기부상열차에 있어서의 핵심기술 중 하나는 전자석과 레일 사이의 간극 즉 부상공극을 일정하게 유지하는 자기부상 제어기술이다. 전자석에 인가하는 전류량을 조절하여 부상 공극을 일정하게 유지하는 자기부상 시스템은 적절한 제어기 성능이 요구된다.

본 논문의 목적은 도시형 자기부상열차의 효과적인 안내력 제어를 위해, 조향비에 따른 횡공극을 해석적으로 고찰하고 실차 시험을 통해 검증하는데 있다. 횡공극에 따른 최적 조향비를 도출하기 위해 조향시스템을 모델링하고, 전차량 동역학 모델을 구축하였다. 조향비를 1에서 3까지 변경하면서 부상레일과 대차 사이에 발생하는 횡공극을 관찰하였다.

2. 본론

2.1 차량의 구성

Fig.1 은 자기부상열차의 부상 전자석을 보여주고 있다. 실험용 차량의 부상 방식은 전자석을 이용한다. 이를 상전도 흡인식이라 부르며, 원리는 전자석과 강자성체간에 잡아당기는 힘, 즉 흡인력을 이용한다. 부상 전자석은 대차의 하부에 설치한다. 결과적으로 대차는 선로를 작은 간극으로 감싸는 구조이다.

상전도 흡인식 자기부상 제어계의 핵심은 전자석과 대응면과의 간극 즉 부상 공극을 일정하게 유지하는 것이다. 이를 위해서 부상 공극과 가속도를 계측한 후에 일정한 부상공극을 유지하기 위하여 전자석에 흐르는 전류량을 조절한다[1-3].

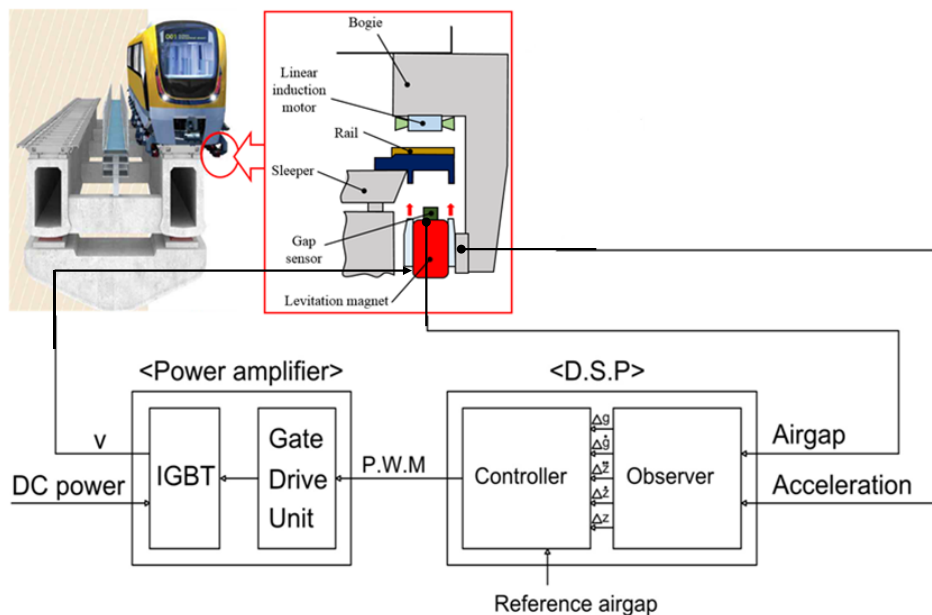


Fig. 1 Configuration of magnetic levitation control

2.2 부상제어계 모델링

부상제어계는 기본적으로 Fig. 2와 같이 RL 회로를 통해 구성되어 있다. 부상력은 전류와 공극의 함수로 나타낼 수 있으며, 테일러 전개를 통해 선형화된 일차함수로 전개가 가능하다. 식 (1)은 선형화된 부상력을 의미하며, 부상공극과 부상전류의 일차함수로 나타내었다.

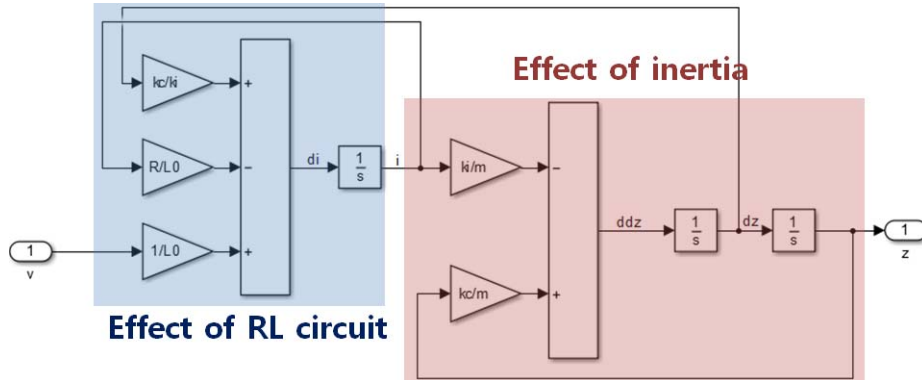


Fig. 2 Simulink model of the magnetic levitation control

$$F(i(t), c(t)) = \frac{\mu_0 N^2 A i_0^2}{4c_0^2} + \frac{\mu_0 N^2 A i_0}{2c_0^2} \Delta i(t) - \frac{\mu_0 N^2 A i_0^2}{2c_0^3} \Delta c(t) \quad (1)$$

여기서, $i(t)$: 전류, $c(t)$: 공극, μ_0 : 투자율, N : 전자석의 턴 수, A : 전자석 면적, i_0 : 공칭점 전류, c_0 : 공칭점 공극을 각각 의미한다. 아울러 전압방정식을 이용하면 전류 미분방정식을 유도할 수 있으며, Fig. 3과 같이 전자석을 이용한 1차 현가장치 모델을 구현할 수 있다.

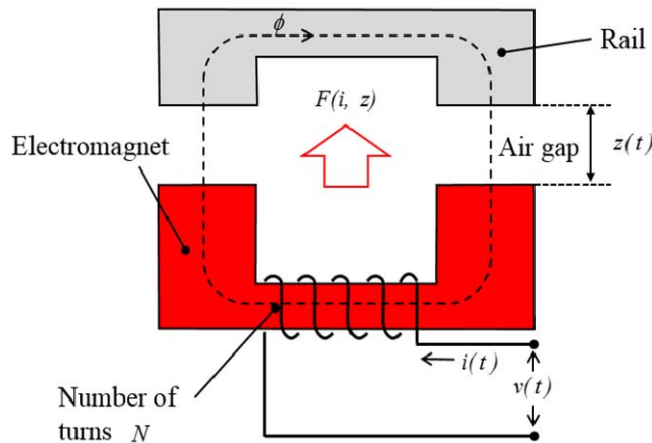


Fig. 3 Suspension of an object by an electromagnet fixed to ground

2.3 자기부상열차의 동적 시뮬레이션

최적 조향비를 산출하기 위해, 곡선반경이 125mR과 800mR의 두 가지 경우에 대해 해석을 수행하였다. 조향비는 조향링크가 연결되어 있는 대차 사이에 횡방향 스트로크 비율을 의미한다. 다관절 대차의 경우 곡선 주행 시에 대차마다 횡방향 변위가 서로 다르며, 연결된 대차의 머리부분과 꼬리부분에서 큰 변위가 발생한다. 반면에 연결된 대차의 중앙부분은 상대적으로 작은 변위가 발생하도록 설계를 하였으며, 이 비율(A/B)을 조향비로 명명하였다. Fig. 5는 다관절 대차로 이루어진 조향장치의 구조를 설명하고 있다.

곡선반경과 조향비를 독립변수로 놓고 전자석과 레일 사이의 간격을 종속변수로 하여 해석을 수행하였다. 해석결과 조향비가 2.5에 가까울수록 전자석과 부상레일 사이의 횡공극은 최소화되는 것을 확인하였다.

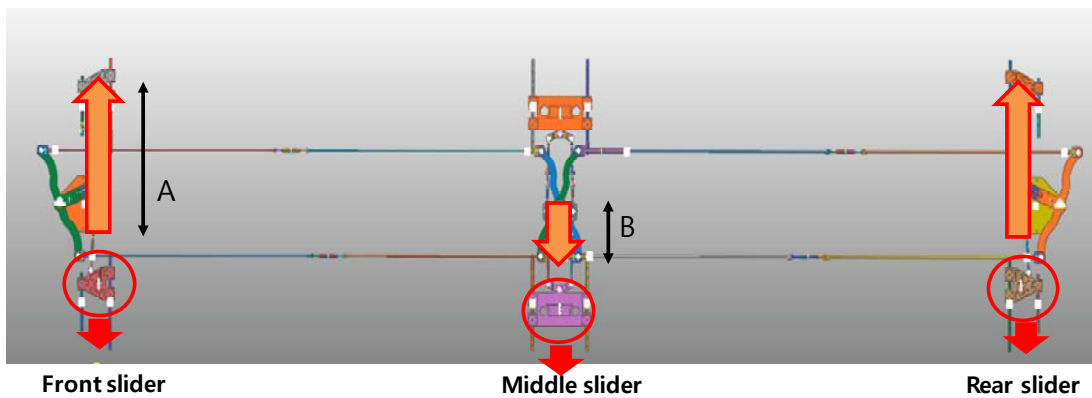


Fig. 5 Measuring the steering ratio when it drives on curve (one carbody)

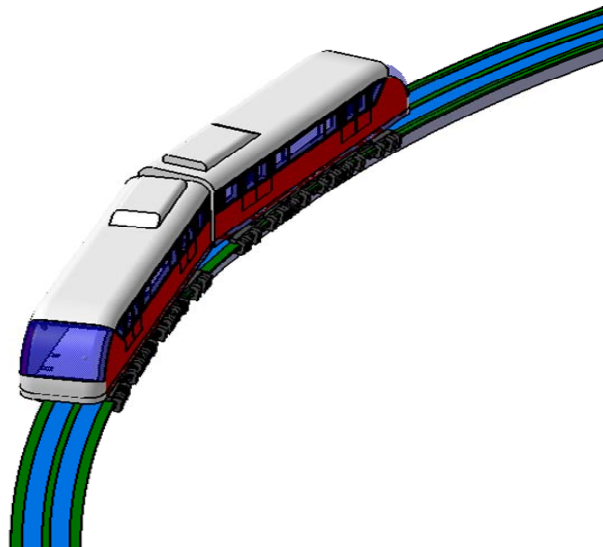


Fig. 6 Curving simulation

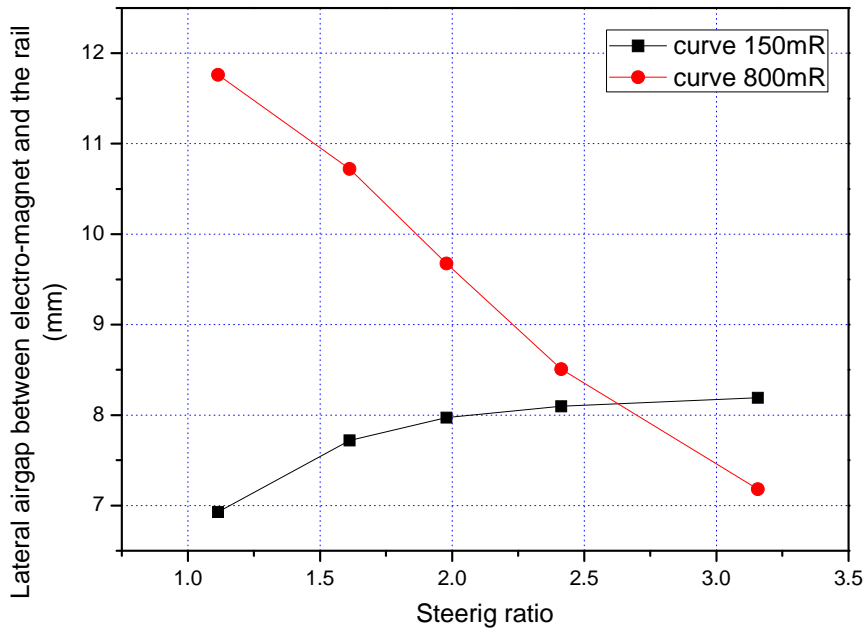


Fig. 7 Guidance air-gap according to the steering ratio

3. 결론

자기부상열차의 곡선주행 해석을 수행하기 위해서 전자석과 레일 사이에 부상 제어계를 구축하고, 조향계는 다물체 동역학 이론을 사용하여 모델링하였다. 해석 모델은 인천노선에 서 운행 중인 곡선 구간을 적용하였으며, 150mR, 800mR 에서 조향비에 따른 횡공극을 도출 하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 높은 곡률에서 조향비와 횡공극은 반비례하였다.
- (2) 낮은 곡률에서 조향비와 횡공극은 비례하였다.
- (3) 따라서 최적 조향비는 2.5:1로 산출되었다.

참고문헌

- [1] H.S. Han, B.H. Yim, N.J. Lee, et al. (2009) Effects of Guideway's Vibrational Characteristics on the Dynamics of a Maglev Vehicle, *Vehicle System Dynamics*, 47(3), pp. 309-324.
- [2] B.H. Yim, H.S. Han., J.K. Lee, et al. (2009) Curving performance simulation of an EMS-type Maglev vehicle, *Vehicle System Dynamics*, pp. 1-18.
- [3] H.S. Han, (2003) A Study on the Dynamic Modeling of a Magnetic Levitation Vehicle, *JSME International* , Vol. 46, No. 4, pp. 1497~1501.