

초정밀 자기부상 물류 이송장치를 위한 부상력 제어기

Levitation Force Controller for High Accuracy Magnetic Levitation Transport System

김민*, 김창현**†, 하창완**, 임재원**, 원문철*

Kim min*, Chang-Hyun Kim**†, Chang-Wan Ha**, Jaewon Lim*, Mooncheul Won*

Abstract Maglev system features a low vibration and low noise. So it is possible to utilize the process industries such as OLED display. The High accuracy magnetic levitation transport system of electromagnets are arranged discretely. And the electromagnets of the system are switching when the tray travels longitudinally. This structure causes a rapid change in the levitation force. In addition, the cause of roll-pitch of motion. This paper presents a strategy and an algorithm for levitation control of an over actuated high accuracy magnetic levitation transport system. The performances of the proposed control strategy and the algorithm are validated through tests.

Keywords : Magnetic levitation transport system, maglev, levitation control, levitation force controller

초 록 초정밀 자기부상 이송장치 시스템은 저진동, 저소음의 특징으로 마찰없이 고정정의 환경에서 디스플레이 공정산업 등에 활용 가능하다. 캐리어의 온도변화에 따른 유리기판 열팽창을 최소화 하기 위해 발열이 될만한 요소(부상/안내/추진시스템)들을 캐리어의 상단에 위치한 레일면에 부착한 것이 특징이다. 이 시스템은 자기부상열차와 달리 특성 전자석이 감당해야하는 부상체의 정적 하중이 부상체의 종방향 위치에 따라 달라지기 때문에 정밀한 제어가 필요하다. 본 논문에서는 부상력 제어기를 적용하여 부상력 생성 및 분배 시 발생하는 트레이의 피치 운동을 줄이고자 한다. 또한, 종방향 이동시 전자석의 켜고 꺼짐에 의해 발생하는 급격한 부상력 변화와 이로 인해 발생하는 요동을 줄이고자 한다. 이를 수행하기 위하여 해석적으로 부상력 제어기 적용에 따른 부상 안정성을 확인한다.

주요어 : 자기부상 이송장치 시스템, 부상제어, 자기부상열차, 부상력 제어기

1. 서 론

자기부상 기술은 마찰 없이 물체를 부상하여 전달할 수 있다는 장점을 갖고있어 자기부상 열차 등 다양한 분야에서 응용되고 있다[1]. Fig. 1은 초정밀 자기부상 이송장치 시스템이며 물리적인 접촉없이 디스플레이 패널을 이송할 수 있는 장치이다. 마찰이 없기 때문에 저진동, 저소음이 특징이며 대표적으로 유기발광 다이오드(OLED; Organic Light Emitting Diode)의 증착공정과 같은 고정정 환경에 활용할 수 있다[2].

† 교신저자: 한국기계연구원 자기부상연구실(chkim@kimm.re.kr)

* 충남대학교 공과대학 메카트로닉스공학과

** 한국기계연구원 자기부상연구실

2. 본 론

2.1 초정밀 자기부상 물류 이송장치의 부상 시스템

2.1.1 구조

초정밀 자기부상 이송장치는 Fig. 1과 2와 같은 구조이다. 캐리어의 열팽창을 최소화 하기 위하여 발열이 될 만한 요소(부상/안내/추진 시스템)들을 캐리어의 상단에 위치한 고정 구조물 면에 부착한 것이 특징이다. 캐리어의 크기(1300mm x 1400mm)는 5세대 유리기판 (1100mm x 1300mm)을 이송할 수 있는 사이즈로 제작되었다. 캐리어는 부상전자석과 공극 센서를 사용하여 캐리어를 제어하게 된다. Fig. 2와 같이 부상전자석과 공극 센서는 구조물에 부착되어 있으며, 좌우 7개씩 총 14개의 부상전자석에 의하여 부상하게 된다 [2].



Fig. 1 The High accuracy magnetic levitation transport system

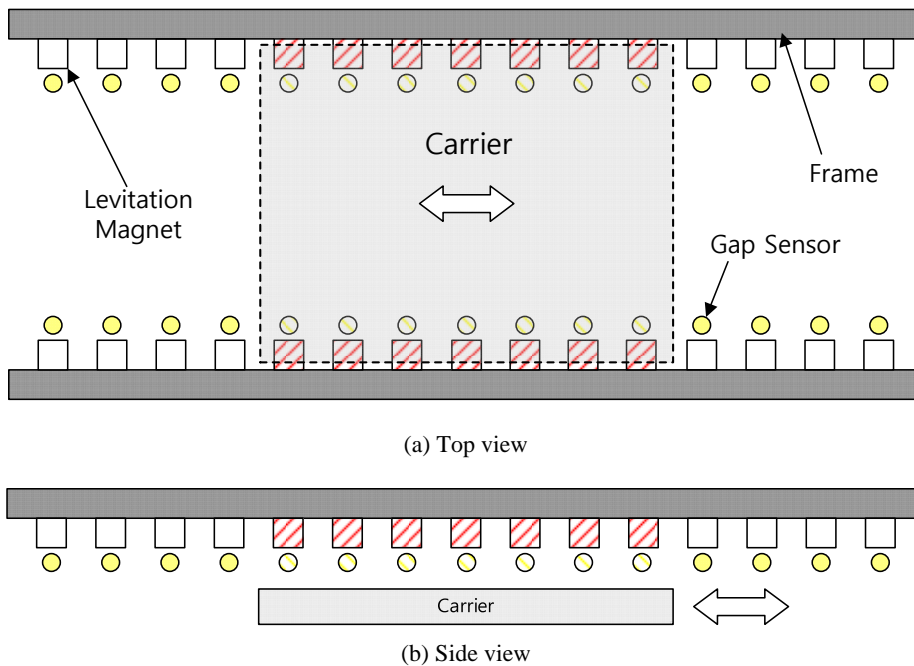


Fig. 2 Schematic diagram of the high accuracy magnetic levitation transport system

2.2 부상력 생성 제어기

2.2.1 부상력에 의한 특성

Fig. 3에 따르면 이송장치 시스템은 불연속적으로 배치된 부상전자석에 의해 캐리어의 종방향 위치에 따라 특정 전자석이 감당해야하는 정적하중이 달라진다. 또한, 종방향으로 이동시 전자석의 작동기가 ON/OFF되는 과정에서 급격한 부상력의 변화로 피치 운동과 캐리어의 요동이 발생한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 부상력 제어기를 사용하여 캐리어의 피치 운동을 제어한다.

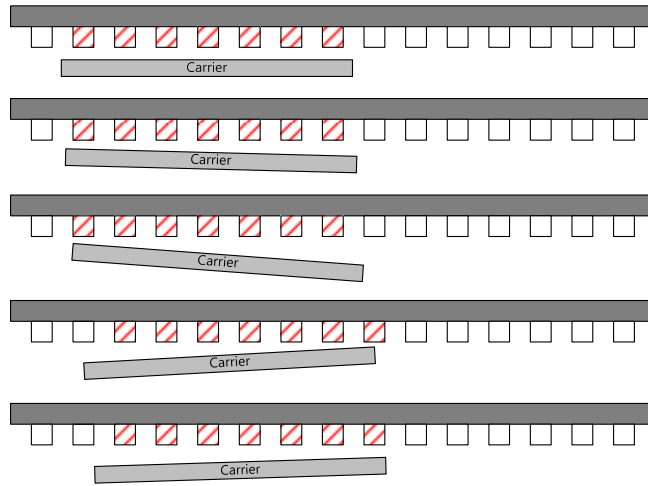


Fig. 3 Problem of propulsion for carrier

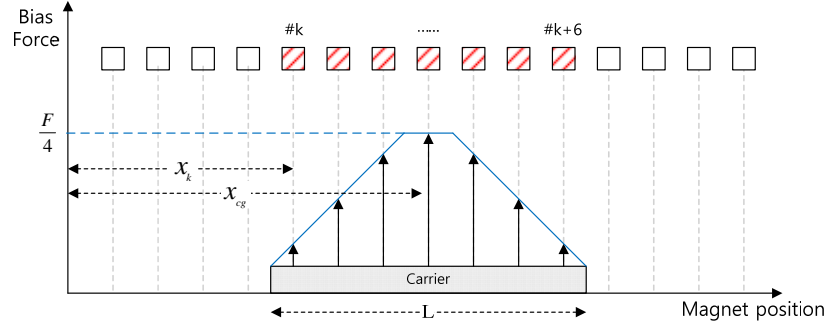
2.2.2 부상력 생성

식 (1)은 Fig. 4(a)의 식이며, 식 (2)는 Fig. 4(b)의 식이다. 이를 이용하여 각 전자석에 필요 부상력을 계산하고, 이 값을 바이어스 전류로 전환한다. 계산된 바이어스 전류를 제어기에 대입하면 부상체의 위치 변화에 따른 기울어짐과 급격한 부상력 변화를 방지할 수 있다.

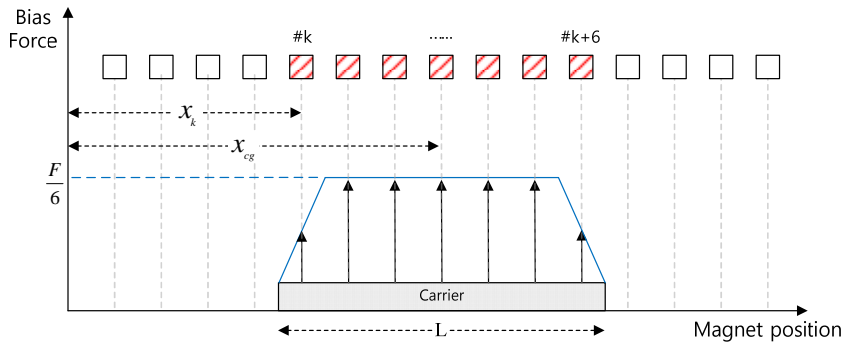
Fig. 4는 7개의 전자석이 생성할 부상력의 형태를 보여준다. (a)는 중앙부 전자석이 1개, (b)는 중앙부 전자석이 5개인 사다리꼴 형태이다. 7개의 전자석이 위치에 따라 각각 설정하는 크기의 부상력을 출력하며, 캐리어의 끝단에 갈수록 부상력이 줄어드는 형태이다. 중간 전자석의 부상력 변화는 연속적이며, 이와 같은 형태의 부상력의 캐리어의 부상 또는 스위칭 시 발생하는 피치 운동과 캐리어의 요동을 줄일 수 있다.

$$f_n = \begin{cases} \frac{F}{4} \left(1 - \frac{5}{3} \left| x_{cg} - x_k \right| \right) & \frac{1}{10} \leq \left| x_{cg} - x_k \right| \leq \frac{L}{2} \\ \frac{F}{4} & \left| x_{cg} - x_k \right| \leq \frac{1}{10} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

$$f_n = \begin{cases} \frac{F}{6} \left(1 - 5 \left| \frac{x_{cg} - x_k}{L} \right| \right) & \frac{1}{2} \leq \left| \frac{x_{cg} - x_k}{L} \right| \leq \frac{L}{2} \\ \frac{F}{6} & \left| \frac{x_{cg} - x_k}{L} \right| \leq \frac{1}{2} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$



(a) Middle magnet 1



(b) Middle magnet 5

Fig. 4 The Levitation force controller type

2.3 부상력 제어기 적용 시뮬레이션 결과

2.3.1 시뮬레이션 적용 결과

설계된 제어기 검증을 위해 시뮬레이션을 실행한다. Fig. 4처럼 중앙부 전자석의 개수를 변경하여 두 경우의 피치각, 공극, 전류 값을 비교한다. Fig. 5는 중앙부 전자석 개수에 따른 피치각 결과이며, Fig. 6은 중앙부 전자석 개수에 따른 공극 결과, Fig. 7은 전류 결과이다.

Fig. 5에 따르면 피치 각은 중앙부 전자석의 개수가 1개일 때 더 적은 처짐을 보인다. 이는 중앙부 전자석의 개수가 1개일 때 캐리어 끝단에 갈수록 줄어드는 기울기가 5개일 때 보다 완만하기 때문이다. 부상력 생성시 중앙부 전자석 개수에 따라 기울기가 달라지는데, 이 기울기가 가파를 수록 피칭의 정도가 심하며, 완만할수록 피칭의 정도가 완만하다.

Fig. 6의 공극은 중앙부 전자석의 개수가 1개 일 때 스위칭 리플 정도가 적다. 이는 피칭과 동일하게, 캐리어 끝단의 기울기로 인한 급격한 피칭이 원인이다. 캐리어가 추진하면서 발생하

는 피칭은 부상 및 공극 안정성에 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 전류 결과이다. 중앙부 전자석의 개수가 1개일 때와 5개일 때 비교하면 정상상태 전류 값은 5개일 때 더 적은 값을 보인다. 전자석 개수가 1개일 때 비교적 공극과 피칭에서는 안정적인 결과를 보였지만, 전류 값은 5개일 때 전류 값이 더 적은 것을 확인할 수 있다. 이는 발열 및 에너지 효율면에서도 영향이 있을 수 있다. 또한, 전류 값이 커질수록 온도가 높아지게 되어 캐리어의 팽창을 유발할 수 있다. 이는 부상 안정성에 영향을 끼칠 수 있다.

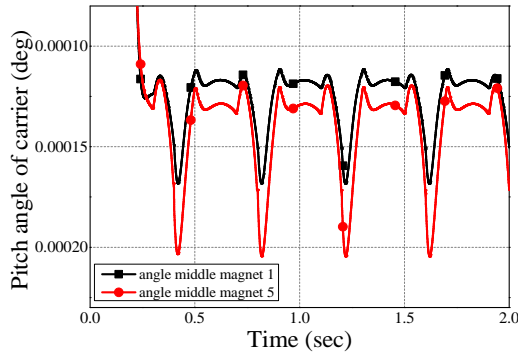
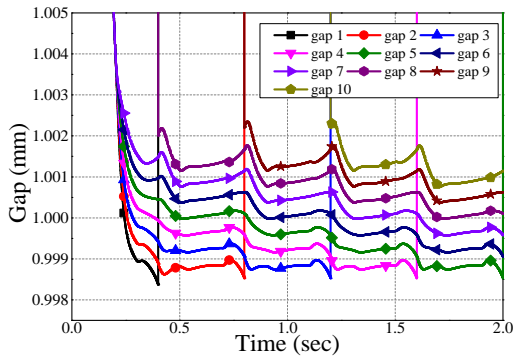
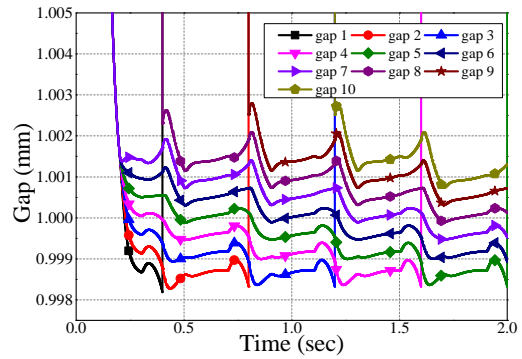


Fig. 5 Simulation results the pitch angle of carrier

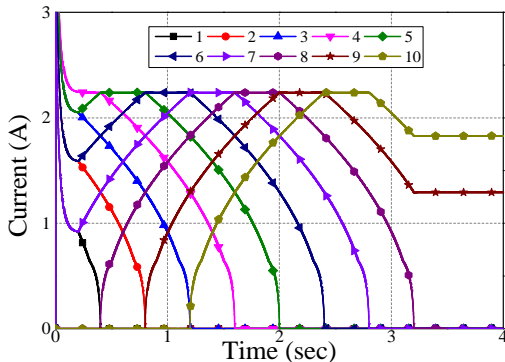


(a) Middle electromagnet 1

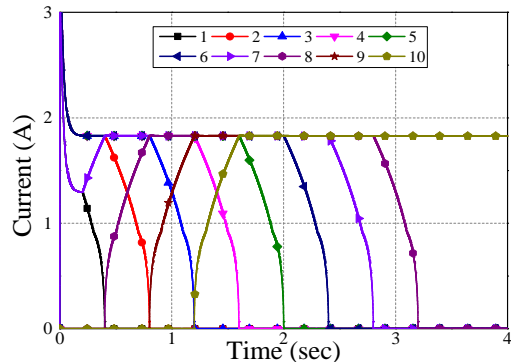


(b) Middle electromagnet 5

Fig. 6 Simulation results the tray position in Z-direction



(a) Middle electromagnet 1



(b) Middle electromagnet 5

Fig. 7 Simulation results the levitation force

Table 1 Simulation results

	Pitch angle(deg)	Gap(mm)	Current(A)
Middle magnet 1	0.57×10^{-4}	0.5	2.240
Middle magnet 5	0.85×10^{-4}	0.6	1.829

3. 결 론

본 논문은 불연속적으로 설치된 전자석에 의해 발생하는 피치운동 저감을 위한 제어전략에 관한 것이다. 캐리어의 종방향 이동 시 부드러운 작동기 전환을 위해 개별 작동기의 부상력은 중앙부 전자석 1개, 5개로 사다리꼴 형태이다. 두 가지 제어기 비교에 따라 피칭, 공극, 전류 값을 확인할 수 있다.

참고문헌

- [1] C.H. Kim, J.M. Lee, H.S. Han (2011) Development of a Maglev LCD Glass Conveyor, *Transations of the KSME A*, 47(4), pp. 581-587.
- [2] C.W. Ha, C.H. Kim, J.W. Lim (2016) Development of Levitation Control for High Accuracy Magnetic Levitation Transport System, *Journal of Institute of Control*, 22(7), pp. 1-5.