

# 자기 부상 안내 기구의 불연속 특성 보상 방법

이 상 준<sup>1)</sup> · 정 광 석<sup>2)\*</sup>

한국교통대학교 기계공학과 대학원<sup>1)</sup> · 한국교통대학교 기계공학과<sup>2)\*</sup>

## Compensation of the Discontinuous Properties of the Guide System using Magnetic Levitation

Sang Joon Lee<sup>1)</sup> · Kwang Suk Jung<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Korea National University of Transportation, Chungju, Chungbuk, 380-702, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, Chungbuk, 380-702, Korea

(Received 2013. 10. 15 / Accepted 2013. 11. 12)

**Abstract** : These days, the quality of goods is required to improve in the process of manufacturing the semiconductor through the short working hours and clean transportation. The non-contact transport device using magnetic levitation can be a solution in the manufacturing process. The non-contact transport device, using electromagnetic actuation, is the system that can actually transport them by only using attraction force from the electromagnetic source without authentic contact. Moreover, the system using electromagnetic force has a substantial number of benefits ranging from unrestricted design to unlimited expansion. Especially, the price is competitive. The non-contact transport device, using electromagnetic force, has another merits in controlling by giving the same amount of attraction force to ferromagnetic body. By controlling the currents given to coil, the operator is able to decide the direction of the transportation. In order to design the optimal system, we implemented five different things such as the presence of the links below the electromagnetic, the electromagnet changes due to coupling method, the change according to the thickness of the links below electromagnet, due to changes in between electromagnetic distance direction, and the size of the current. Through simulations and the optimum design, it seems to control easily and figure out the exact size of power. It might definitely be the non-contact transport that can sharply reduce tiny scratches and particles in the process of manufacturing the semiconductor.

**Key words** : Discontinuous reluctance(불연속 자기저항), Electromagnetic force(전자기력), Magnetic levitation(자기 부상), Vector control(벡터 제어)

### 1. 서 론

기존 롤러 등과 같은 기계적 접촉을 이용하여 물체를 이송할 때 미세 스크래치가 발생하여 불량률을 증가시키고 동시에 파티클이 발생하여 다양한 오염으로 인한 추가 세정의 필요성을 증가시킨다. 또한 기존 컨

베이어와 선형 이송시스템의 증설 및 확장의 경우 많은 비용이 발생하게 되는데, 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 자기 부상을 이용한 비접촉 이송시스템에 대하여 논하고자 한다. 비접촉 이송 시스템은 공기 부상 혹은 자기 부상으로 대별될 수 있는데 후자의 경우 흡인식 전자석에 의한 인력을 이용하는 경우 혹은 이동 자장에 의해 발생하는 유도 전류를 이용한 반발 부상 등으로 구분할 수 있다. 전자석을 이

\*Corresponding author. E-mail : ksjung@ut.ac.kr

용한 이송시스템의 경우 인덕션(Induction) 방식을 이용한 평면 스테이지의 동특성 개선1), 유도 원리를 이용한 비접촉 평면 스테이지의 동특성 향상에 관한 연구2), 대면적 비접촉 스테이지에의 구동기 적용을 위한 선형 유도기의 변형된 2축 벡터 제어기3) 등을 통해 전자석을 이용한 정밀제어 이송을 할 수 있는 방법이 모색되어 왔다. 능동 코일로 이뤄진 전자석을 이용한 흡인식 부상 이송시스템의 경우 전자석과 강자성체 간의 인력을 이용하며, 강자성체가 이동함에 따라 일정한 간격을 두고 배치된 전자석간에 파워 스위칭이 요구되는데 이로 인해 부상되어 이송되는 개체에 만곡(meandering)에 의한 진동이 발생하거나 이송판의 모서리 부분이 자기저항의 불연속적인 변화로 인해 제어기에도 불구하고 전자석에 달라붙는 현상이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 진행 방향으로 일정한 간격을 두고 배치된 부상 안내 시스템을 대상으로 개체의 이동에 관계없이 불연속적인 자기저항 변화에 따른 구동력의 불균일성을 보상할 수 있는 방법론을 제안하고 이를 상업용 자기 해석 툴인 Maxwell을 이용해서 검증하고자 한다.

## 2. 흡인식 안내 시스템의 메커니즘

흡인식 안내 시스템은 주기적으로 배치된 전자석과 강자성체인 이송판과의 인력을 이용하여 비접촉 이송을 위한 안내력을 제공하는 시스템이다.

전자석의 작동원리는 구리 코일에 전류가 흐르게 되면 Fig. 1의 파란선과 같이 자기장이 형성하게 되고 이것으로 인하여 강자성체(코어)는 자석의 성질을 띠

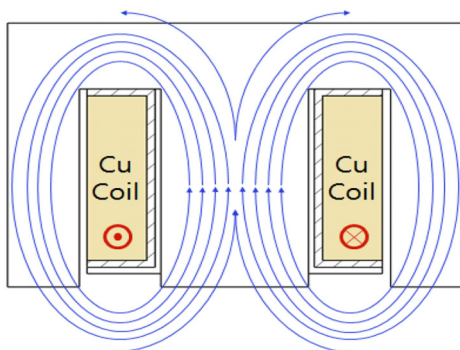


Fig. 1 The closed magnetic field for generating the electro-magnetic force

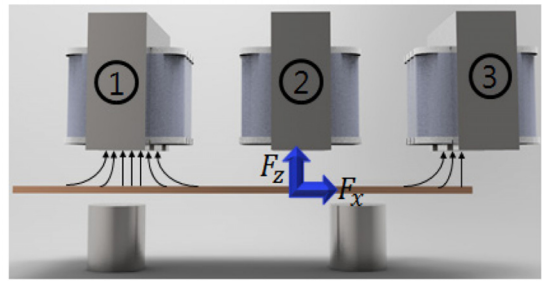


Fig. 2 Concept layout of the attractive transportation system

우게 된다. 전자석에 형성되는 극은 코일에 흐르는 전류의 방향에 따라 바뀌게 되며 Fig. 1과 같이 왼쪽에서 오른쪽으로 흐르는 경우는 강자성체의 윗부분이 N극, 아래 부분은 S극의 성질을 형성하게 된다. Fig. 2의 형상과 같은 흡인식 안내 시스템은 X축 방향에 일정 간격으로 전자석이 배치되어있으며, 이송판 하부에는 변위센서 또한 일정 간격으로 설치되어 있다. 이송판의 비접촉 이송의 원리는 전자석에 전류를 인가하면 이송판과 전자석 사이에는 인력이 발생하게 된다. 이때 발생하는  $F_z$ 의 힘에 의해 이송판은 +Z축으로 부상을 하게 된다. 그 이후 전자석간의 전류 제어에 의하여 이송판은 X축으로 이송하게 되는데 Fig. 2의 1번 전자석에 전류를 감소시키고, 3번의 전자석에 전류를 증가시키면 3번 전자석이 이송판에 작용하는 인력이 커지기 때문에 이송판은 +X축으로 이동을 하게 된다. 이러한 방식으로 이송판은 X축으로 이동시킬지 문제점이 발생하게 되는데 1번 전자석 밑의 이송판은 -Z축으로 이동을 하게 되고 3번의 전자석 밑부분의 이송판은 +Z축으로 이동을 하게 되며, 기울임이 발생하게 되는데 이러한 현상으로 인하여 이송판의 끝부분이 전자석에 부착되는 현상이 발생할 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해 첫 번째, 하드웨어적으로 전자석 바로 밑부분에 강자성체 링크를 부착하여 이송판에 평균적인 인력이 발생하도록 하였다. 두 번째로 이송판 밑부분에 설치된 변위센서와 제어 프로그램을 이용하여 시스템 제어를 실행한다. 먼저 변위센서의 출력으로 이송판의 위치상태를 파악한 후, 전자석에 인가하는 전류를 제어프로그램을 통하여 실시간으로 제어하면 이송판과 전자석 사이에 일정한 Air-Gap을 유지하면서 X축으로 이송판을 이동시킬 수 있다.

### 3. 불연속 안내력의 보상

앞서 전술한 바와 같이 전자석의 Z축 인력과 X축 이송력은 일정하게 배치된 전자석에 인가하는 전류에 의해 생성되며, 균일한 힘의 분포를 만들기 위하여 전자석의 형상 또한 지배적인 영향력을 미친다. 또한 코일에 인가하는 전류 또한 힘의 크기를 결정짓는 중요 요소로 작용하게 되는데 이처럼 힘의 연속성이나 균일성 등과 같은 정적, 동적 특성에 지배적인 영향을 미치는 변수들에 대해 전산모의실험을 통해 수행한 해석 결과를 통해 자기저항 변화로 야기되는 안내력의 불연속 특성을 보상할 수 있는 몇 가지 결과를 소개한다.

#### 3.1 코어 밀면 링크의 유무

코어로부터 이송판에 작용하는 인력이 이송판 전체에 균일하게 작용하게 하기 위한 방법으로 Fig. 4와 같이 코어 밀 부분에 링크를 추가함으로써 달라지는 인력의 크기를 실험해 보았다. 전산모의실험 결과인 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 Fig. 3의 2번 모델에는 이송판에 걸쳐지는 전자석의 수량에 따라 힘의 크기가 달라지며 고르지 못하다는 것을 알 수가 있다. 이러한 경우 이송판에 진동이 발생하거나 이송판의 끝부분이 전자석에 붙어버리는 등 문제점이 발생할 확률이 높아 제어하는 것에 어려움이 따른다. 그러나 Fig. 3의 1번 모델의 경우에는 전자석으로부터 이송판에 작용하는 힘이 고르게 작용할 뿐만 아니라 작용하는 인력의 크기도 크게 상승함을 알 수가 있다. 이 인력크기의 상승과 균일한 힘의 작용은 전자석에 인가하는 전류의 크기를 줄여줄 수 있을 뿐만 아니라 발열도 감소하게 된다.

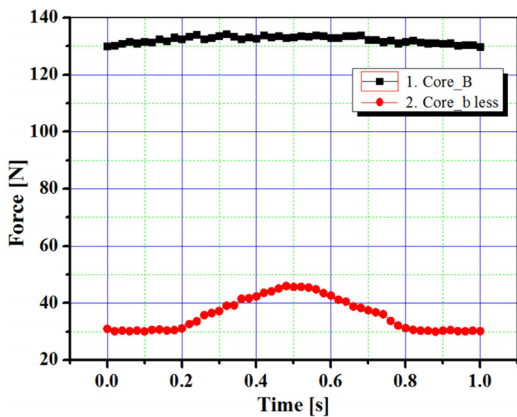


Fig. 3 Influence of the inter-link crossing the electromagnets

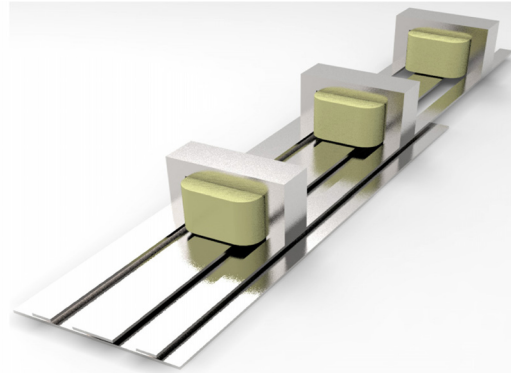


Fig. 4 Overall layout of the attractive guide system with inter-linking core structure

또한 앞서 전술한 이송판의 진동과 이송판 끝부분이 전자석에 부착되는 문제점을 완화시킬 수 있다. Z축으로 작용하는 인력의 크기가 일정하면 이송판을 부상 및 X축 이송에 큰 이점으로 작용하며 제어가 편리하다. 따라서 코어 밀 부분의 링크결합은 시스템적 큰 이점으로 작용함을 알 수 있다. Fig. 4는 코어 밀면 링크 시스템의 3D 모델링이다.

#### 3.2 전자석과 코어 밀면의 결합모양에 따른 분류

해석 대상이 되는 사례로는 코어의 밀 링크의 형상과 결합 방법에 따른 인력의 변화이고 총 3개의 형상을 실행하였으며 Fig. 6은 코어 밀면을 1개로 구성하여 일직선으로 결합을 시킨 형태이며, Fig. 5의 3번 모델은 Fig. 4의 하단부 링크를 한 개의 파트로 결합한 형

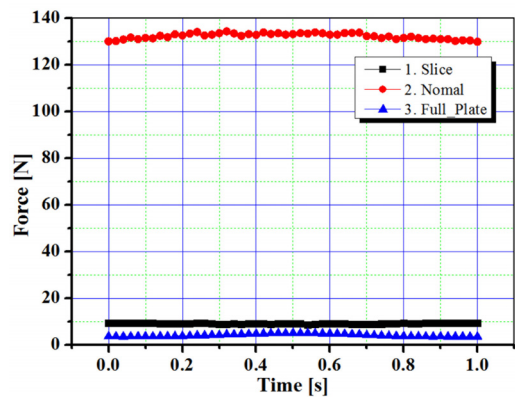


Fig. 5 Force variation according to configurations of lower core part and linking structure

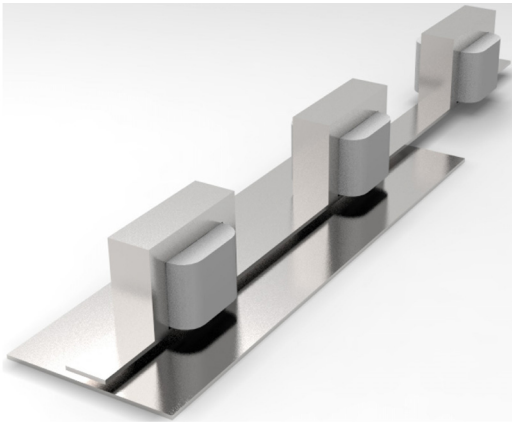


Fig. 6 The combination of an electromagnet and a link to the bottom of the core due to the shape Change

태이다. Fig. 5의 2번 모델은 Fig. 4의 형태와 같은 구조를 갖는다. 코어 밑면의 형상에 따라 자기회로가 변형하며 입력에 크게 영향을 준다. Fig. 5에서본 바와 같이 1, 3번 모델의 경우 힘이 크게 감소되었는데 이는 밑면의 링크에 자기장의 폐회로가 구성되어 밑의 이송판에 작용되는 자기장이 크게 감소되었기 때문이다. 따라서 2번 모델과 같이 설계하는 것이 가장 효율적이다.

### 3.3 코어 밑면 두께의 변화

코어 밑면 링크의 두께를 변화시켜가며 변화하는 입력의 크기에 대해 전산모의실험을 실행하였다. 이는 링크의 두께에 따라 전자석과 이송판과의 거리가 달라진다. 또한 자기장 통로가 달라짐에 따라 이송판에 작용하는 자기밀도가 변화하기 때문에 입력의 크기

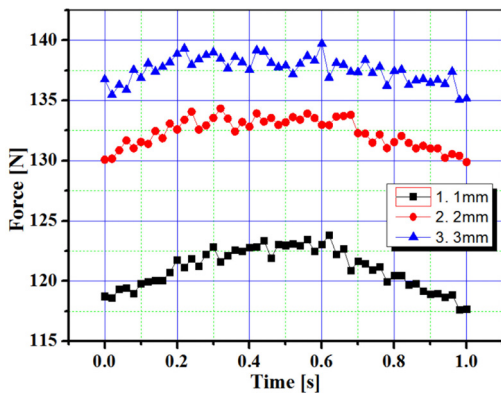


Fig. 7 Force variation according to thickness of the bottom core

가 달라지게 된다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 Fig. 7의 1번 모델에 비하여 2, 3번 모델인 경우 10N 이상 커지는 것이 보인다. 3번 모델이 2번 모델일 때보다 5N 커지는 이유는 자기장 통로가 커짐에 따라 증가한 것이다.

### 3.4 전자석간 거리에 따른 변화

본 절에서는 이웃하는 전자석 사이의 상대 거리에 따른 변화를 전산모의실험 한 결과를 논하는데 이 결과를 통해 이송판을 이송시킬 적당한 가반하중을 갖는 적절한 전자석 배치 위치를 얻기 위한 것이다. Fig. 8에서 보이는 바와 같이 모델 1번에서 사이거리가 10mm씩 증가함에 따라 다축력 모두 균일하게 증가함을 볼 수 있으며 모델 3, 4번의 경우 힘의 크기가 거의 유사함을 알 수 있다. 따라서 더 큰 가반하중을 확약할

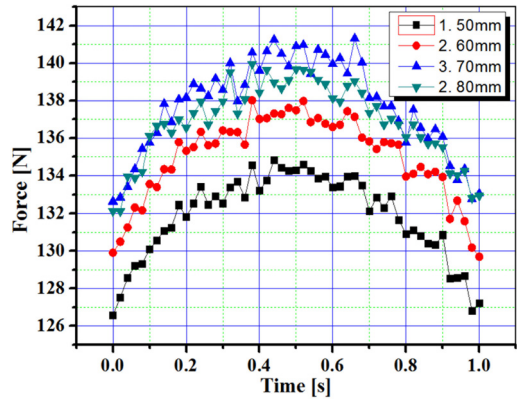


Fig. 8 Variation of three axial forces for relative distance between neighboring electromagnets

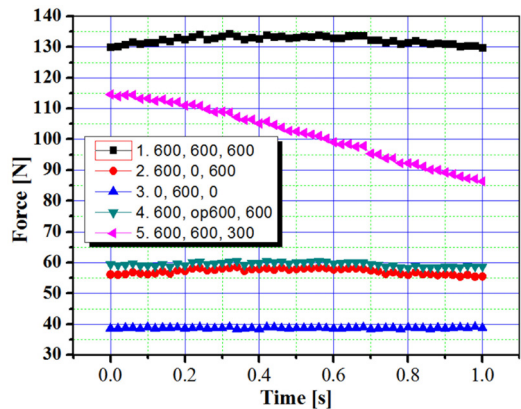


Fig. 9 Changes according to the applied current

수 있도록 전자석간의 배치 길이는 모델 3이나 4로 할 경우가 적합함을 알 수 있다.

### 3.5 전류 인가에 따른 변화

전자석에 인가하는 전류에 따른 전산모의실험 결과이며 Fig. 9의 1번, 2번, 3번의 경우에 이송판에 힘이 균일하게 작용하며 힘의 크기만 달라짐을 알 수 있다. Fig. 9의 4번의 경우 힘이 크게 떨어짐을 알 수 있는데 이는 밑의 링크를 통해 전자석간 폐회로가 구성되어 떨어지는 것이다. 마지막으로 Fig. 9의 5번의 경우 오른쪽으로 이동할수록 인력이 떨어짐을 알 수 있는데 이는 이송판을 이송하는 원리를 알아보기 위하여 실행하였다. 이처럼 이송하고 싶은 방향의 반대방향의 전자석의 인가 전류를 제어할 하면서 감소를 시키면 이송판을 원하는 방향으로 이송시킬 수 있음을 알 수 있다.

## 4. 결론

전자석을 이용한 비 접촉 자기부상 이송 시스템은 반도체 공정이 대두가 되어가는 지금 자유로운 시스템 구조로 인한 설치 및 확장, 그리고 비용적인 이점이 있다는 것에서 매우 의미 있는 주제이다. 이번 논문에서는 전자석과 이송판 사이에 작용하는 힘에 지배적인 영향을 미치는 변수들에 대해 전산모의실험을 거쳐 설계변수의 특성을 고려하고 효율적인 모델의 설계 스펙을 구하였다.

상기 결과를 통해 우선 전자석 밑 링크 유무에 따라 이송판에 작용하는 힘의 크기와 균일하게 작용하는 힘에 대한 전산모의실험을 실행하였으며 전자석 밑 링크가 있을시 더 효율적임을 알 수 있었다.

둘째 전자석 밑면 링크의 두께에 따라 변화하는 힘의 크기를 전산모의실험을 실행하였으며 자기장의 통로를 확보하여야 힘의 크기가 커짐을 알 수 있었으며 2mm가 효율적임을 알 수 있었다.

셋째 전자석간의 간격에 따라 달라지는 힘의 변화를 전산모의실험을 통해 확인하였으며 간격이 70mm 일 경우가 제일 효율적임을 알 수 있었다.

마지막으로 이송판의 X축 이송가능 여부와 인가하는 전류의 방향으로 인한 힘의 변화를 알아보기 위하여

전산모의실험을 실행하였으며 전류는 일정한 방향으로 인가하였을 시 제일 큰 인력이 발생하였으며, 인가하는 전류의 크기를 변형하는 것으로서 이송가능 여부를 확인하였다.

전산모의실험의 결과로 비접촉 이송가능 여부와 자기부상 시스템의 최적설계를 실시하였다. 실제 시스템으로 실험을 하진 못하였으나 자기부상 시스템의 가능여부를 검증할 수 있었다. 향후 과제로 실제 시스템 적용이 주요한 이슈이며, 이송판의 뒤틀림 및 기울임 없이 평형을 유지하여 이송할 수 있는 제어시스템의 구축을 모색할 것이다.

## Acknowledgement

이 논문은 2013년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임.

## References

- 1) Junk. K. S., Park. J. K., and Kim. H. J., "Improvement of Dynamic Characteristic of Large-Areal Planar Stage Using Induction Principle", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems Vol. 15, No. 7, July 2009
- 2) Shim. G. B., "Non-Contact Multi-Axial Driving System Based on The Electrodynamics", P 4~13, Chung-ju University Graduate School of Industry, 2010.
- 3) Junk. K. S., Lee S. H., "The Modified Two-Axis Vector Controller of Linear Induction Motor to Apply to the Non-contact Stage with Large Workspace", Journal of Institute of Control, Robotics and system Vol. 14, No. 4, April 2008
- 4) E. P. Furlani, "A two-dimensional analysis for the coupling of magnetic gears," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 33, no. 3, 1997, pp. 2317-2321
- 5) E. Gouda, S. Mezani, L. Baghli, and A. Rezzoug, "Comparative study between mechanical and magnetic planetary gears," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 47, no. 2, 2011, pp. 439-450
- 6) L. N. Jian, K. T. Chau, D. Zhang, J. Z. Jiang, and Z. Wang, "A magnetic-g geared outer-rotor permanent-magnet brushless machine for wind power generation," in Conf. Rec. 2007 IEEE 42nd IAS Annual Meeting Ind. Appl., Sep. 23-27, 2007, pp. 573-580.