

## 자기부상을 이용한 클린 리프터 설계

김종문\*, 강도현\*\*

한국전기연구원 계측제어연구그룹\*, Mechatronics 연구그룹

### Clean Lifter Design Using Magnetic Levitation System

Jong-Moon Kim\* and Do-Hyun Kang\*\*

Instrumentation &amp; Control Research Group\* and Mechatronics Research Group\*\*, KERI

**Abstract** - This paper presents a clean lifter design using a magnetic levitation system. Electromagnets are used as a levitation magnet attached to the clean lifter. The lateral forces are generated by the magnets so that non-contacting bearings are implemented. The clean lifter design specifications are suggested and the overall system is described.

### 1. 서 론

기존의 볼 베어링 또는 LM 가이드와 같은 기계식 베어링은 지지물을 기계적으로 지지하기 때문에 마찰 및 마모가 발생하고 소음 및 진동을 유발한다. 또한 윤활시스템이 필요해서 공기 오염으로 인한 환경 문제도 불러올 수 있다. 이와 달리 자기부상 시스템은 지지물을 비접촉으로 지지함으로써 마찰 및 마모가 없어 소음 및 진동문제가 없다는 장점이 있다. 그리고 윤활시스템이 불필요하기 때문에 친환경 시스템이라 할 수 있다. 이러한 장점을 지니고 있는 자기부상 기술은 산업 현장에서 다양하게 적용할 수 있다. 예를 들면 자기부상열차, 자기베어링, 고속 및 고속 엘리베이터 안내 시스템, 대용량 및 초고속 컴프레서, 반도체 및 LCD 공정의 클린룸 컨베이어 또는 리프터 그리고 대용량 플라이휠 에너지 저장장치 등을 들 수 있다.[1][2]

특히, 반도체 및 LCD 공정상의 리프터의 기계식 베어링에 의한 마찰, 마모 및 윤활 장치로 인한 분진 발생은 클린룸에서의 환경 문제에 결정적으로 악영향을 끼치고 있어 비접촉식 리프터 개발이 매우 시급하다고 볼 수 있는데, 삼성전자와 LG필립스LCD사의 반도체, LCD, PDP 제조 라인에 클린 리프터가 요구나 현재 리프터 레일에서 분진이 다소 발생하는 준 클린 개념의 리프터를 사용 중에 있어 비접촉 가이드 방식의 리프터 개발이 시급한 상황이다. 지금 한창 건설 중인 삼성전자의 LCD 7라인의 경우 국내외에서 제작한 준 클린 리프터가 설치되고 있으나 향후 비접촉 리프터가 개발된다면 2006년 LCD 8세대 라인에는 이를 적용할 가능성이 높다. 국내 산업에서 사용되고 있는 가이드 리프터는 기계적 접촉 방식에 의한 베어링으로 지지되는 시스템이 전부를 차지하고 있다. 이것 때문에 특히 반도체 및 LCD 공정에서 심각한 문제 일으키고 있음에도 불구하고 기술적으로 해결방법을 갖고 있지 못하는 것이 아쉽다고 볼 수 있다.

국외에서는 일본 도시바[3]에서 자기부상 방식에 의한 고속용 엘리베이터를 개발 중에 있다는 것이 논문 수준으로 발표가 되고 있지만 아직 상용화 제품이 나오지는 않고 있는 실정이다. 이 시스템은 최근에 초고속 엘리베이터의 승차감 및 유지, 보수 측면에서 자기부상에 의한 비접촉식 가이드가 경쟁력을 갖고 있다고 판단해 적극적으로 연구되고 있다.

따라서 전기연구원 연구진은 다년간 자기부상 관련 기술을 축적하였기 때문에 지금 이 자기부상 리프터를 개

발하면 국내외적으로 최고의 경쟁력을 확보할 수 있다고 사료된다. 클린 리프터, 클린룸의 자기부상 컨베이어 시스템, 고속 엘리베이터의 자기부상 안내 시스템, 모든 반도체 웨이퍼 및 LCD 제조라인에 활용할 수 있다.

이 논문의 순서는 다음과 같다. 2.1절에서는 클린 리프터 개념 설명이 있고, 2.2절과 2.3절은 각각 클린 리프터 기본 설계와 자기부상 제어시스템에 관한 결과를 보여 준다. 마지막으로 2.4절에서 결론을 맺었다.

### 2. 본 론

#### 2.1 클린 리프터 개념 설명

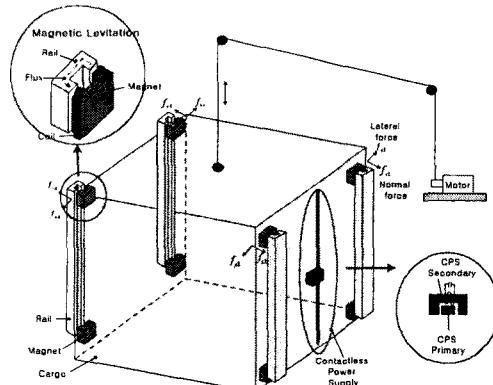


그림 1 자기부상 용용 클린 리프터 개념도

클린 리프터는 앞서 서론에서도 언급을 하였지만, 기존의 수직형 엘리베이터 또는 리프터의 접촉식 기계 베어링을 비접촉식 자기 베어링으로 대체한 것을 말한다. 그 결과 베어링과 가이드와의 기계적 접촉면이 없어져서 분진이 발생하지 않게 된다. 이것은 클린 리프터의 장점이지만 기존의 기계 베어링에 비하여 리프터 내부의 부하의 무게 불균형에 대한 강성이 작아지는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 이 무게 불균형의 크기를 계산하고, 자기 베어링의 강성 및 댐핑을 설계하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

그림 1은 자기부상 용용 클린 리프터 개념도를 보여 준다. 클린 리프터는 부하를 놓을 수 있는 캐비넷과 자기 베어링, 가이드 레일, 비접촉 전원장치 그리고 리프터를 수직 방향으로 움직여주는 모터로 이루어져 있다. 비접촉 전원장치는 외부에서 클린 리프터로 전원을 전달해주는 역할을 한다. 이 논문에서는 구동용 모터와 비접촉 전원 장치는 제외하기로 한다.

클린 리프터에 필요한 자기 베어링의 수는 캐비넷 한쪽 면에 적어도 네 개는 필요하다. 이 때 가이드 레일에서 볼 때 수직면을 z 방향이라 하고, 수평면을 y 방향이라고 할 때, 문제는 y와 z 양쪽 방향의 강성을 크게 하기가 어렵다는 것이다. 즉, 그럼 1처럼 자기 베어링의 방향을 배치하면 z 방향의 크기는 크고, y 방향의 크기는 z 방향의 약 30%에 불과하다는 것이다. 따라서 이러한 문제를 고려하는 것이 매우 중요하고, 이를 해결하기 위한 방법은 자기 베어링의 수를 늘리거나, 배치를 달리하는 것이다.

리프터의 x 방향 즉, 수직 방향의 운동은 구동용 모터에 의해 제어되므로 여기서는 y와 z 방향의 운동만 고려하면 된다. 자기 베어링의 힘의 크기는 y와 z 방향의 부하 무게 불균형의 크기이며 좌우된다. 그리고 자기 베어링의 수에 따라 한 개의 자기 베어링의 힘도 다르게 된다.

## 2.2 클린 리프터 기본 설계

앞 절에서 클린 리프터의 개념도에 대해 설명을 하였다. 이 클린 리프터를 설계하려면 전체 사양이 먼저 결정되어야 한다. 이 사양은 실제 반도체 또는 LCD 공정상의 성능과 직결되는 문제가 된다. 여기서는 클린 리프터의 사양을 다음과 같이 결정하였다.

사양	값
전체 무게	6000 kg
캐비넷 무게	3000 kg
부하 무게	3000 kg
최대 가속도	2 m/sec <sup>2</sup>
최대 속도	3 m/sec
캐비넷 크기	가로 3500mm * 세로 2000mm * 높이 2500mm

표 1 클린 리프터 사양

표 1은 개발하고자 하는 클린 리프터의 사양이다. 전체 무게는 6000 kg이 되고, 캐비넷 무게는 3000 kg, 부하의 무게는 3000 kg이다. 그리고 리프터의 최대 가속도는 2 m/sec<sup>2</sup>이고, 최대 속도는 3 m/sec이 된다.

이 중에서 제일 중요한 것은 리프터 최대 중량과 이동 속도가 된다. 그 이유는 이 두 항목이 생산 공정에서 생산 효율에 가장 크게 영향을 미치기 때문이다. 그리고 두 항목의 비중은 각각 80%와 20%로 하였다. 전체 성능을 결정적으로 좌우하는 것은 최대 중량이며, 이동 속도는 중량에 비하면 작다고 볼 수 있다. LCD 공정에서는 이미 리프터의 기준 사양이 리프터 공차시 3000kg, 최대 부하시 리프터 중량이 6000kg 정도가 되기 때문에 이 개발에서의 기술 성능은 상용화에 전혀 손색이 없다고 본다. 일반적으로 고속 엘리베이터라고 하는 것은 속도가 분당 90m에서 120m 정도, 즉 초당 1.5m에서 2m 정도가 된다. 따라서 본 개발기술의 이동 속도 3m/sec는 세계 최고 수준이라고 할 수 있다. 이 두가지 항목에 대한 평가 방법으로서 실제 리프터와 부하의 무게를 저울로 측정하고, 속도는 승강용 구동 모터의 회전 속도를 직선 속도로 환산한 값에 의해 리프터의 이동 속도를 측정한다.

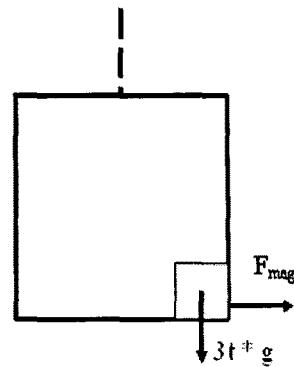


그림 2 최대 무게 불균형

그림 2는 최대 무게 불균형에 관한 그림이다. 부하의 무게가 최대 3000 kg이기 때문에 최대 무게 불균형의 크기는

$$F = 3000 \times 9.81 (N)$$

이 된다. 따라서 캐비넷의 크기가 가로 3500mm 세로 2000mm 높이 2500mm이므로

$$\begin{aligned} F_{mag} &= m_{load} \times g \times 0.5 \times b/h \\ &= 3000 \times 9.81 \times 0.5 \times 3.5 / 2.5 \\ &= 20601 (N) \end{aligned}$$

이 된다. 결국 자기 베어링 한 개의 정격 흡인력의 크기는 5150 (N)이 된다. 그리고 자기 베어링의 정격 전류는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} i_0 &= 2\delta_0 \sqrt{\frac{F_0}{\mu_0 N^2 A}} \\ &= 2 \times 0.003 \times \sqrt{\frac{5150}{4\pi \times 10^{-7} \times 400^2 \times 0.027}} \\ &= 5.84 (A) \end{aligned}$$

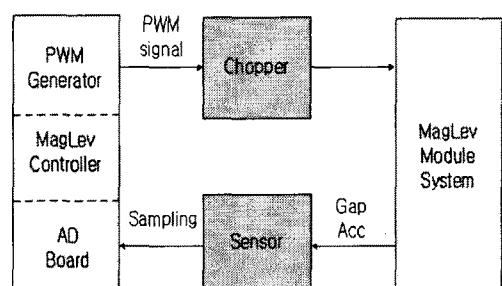


그림 3 클린 리프터 제어 시스템의 블록 다이아그램

그림 3은 클린 리프터 제어 시스템의 블록 다이아그램이다. 클린 리프터 제어 시스템은 자기 베어링, 센서, 부상 제어기, 초퍼로 이루어져 있다. 리프터에 설치되어 있

는 캡 센서와 가속도 센서로부터 오는 신호를 부상제어 기의 Analog-to-Digital 변환기로 샘플링하고, 샘플링된 신호를 이용하여 DSP CPU 프로세서에서는 부상제어 알고리즘을 수행하고, 그 결과를 PWM 파형으로 초퍼로 보내어, 제어 목적인 리프터와 레일 사이의 갭을 일정한 값으로 유지하게 한다. 그림 3에서의 각 요소는 모두 리프터에 설치가 되므로 진동에 의해 특히 유념해야 하고, 그 무게도 가급적 작게 해야 한다.

### 3. 결 론

이 논문에서는 기존의 접촉식 리프터의 분진 발생 문제를 해결하기 위한 클린 리프터 설계를 다루었다. 클린 리프터에서 제일 중요하게 고려되어야 할 무게 불균형에 따른 마그네트 설계와 이와 관련된 자기 베어링 제어 시스템에 대해서도 언급하였다.

클린 리프터는 비접촉식 베어링의 일종인 자기부상 방식을 이용하여 구현되기 때문에 동작시 베어링에서 마찰, 마모가 없기 때문에 분진을 전혀 발생하지 않는다. 하지만 수직 방향으로 빠른 속도로 움직이면서 부하의 무게 분포가 고르지 않을 경우에 이 무게 불균형이 자기 베어링에 외란으로 작용하게 된다. 따라서 클린 리프터의 성능은 부상제어기와 상전도 마그네트로 이루어진 자기 베어링의 y와 z 방향의 강성과 댐핑에 의해 결정된다. 따라서 무게 불균형, 베어링 강성 및 댐핑 상수의 의해 클린 리프터를 설계해야만 한다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] P.K. Sinha, *Electromagnetic suspension: dynamics and control*, Stevenage, U.K. Peregrinus, 1987.
- [2] Dick de Roover, *Motion control of a wafer stage*, Delft University Press, 1997.
- [3] M. Morishita, "A study of elevator car non-contact guide system with an electromagnetic suspension under zero power control," 일본 전기학회논문지, LD-01-53, pp.17-22, 1991.