

## 자기부상 클린 리프트용 마그네트 설계

김중문  
한국전기연구원 계측제어연구그룹

### Magnet Design for Maglev Clean Lift

Jong-Moon Kim  
Control and Instrumentation Research Group, Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - In this paper, an electromagnet which is used in maglev(magnetic levitation) clean lift is designed and described. The electromagnet is firstly designed by using FEM(finite element method) tool and the simulation results are presented. The nominal airgap is 5mm and the nominal current is 2A. Also, the nominal magnetic force is 200N.

From the results, we can get the electromagnet as an actuator used in maglev(magnetic levitation) clean lift for LCD process.

#### 1. 서론

LCD 및 반도체 공정용 리프트는 다층간에 화물을 운반하는 역할을 한다. 기존의 리프트는 기계식 방식 즉, 가이드롤러와 가이드레일에 의해 리프트를 지지하여 지지력이 높은 장점이 있으나, 접촉에 의한 소음, 진동 및 분진의 환경문제와 100m/min 정도의 낮은 이송속도로 인한 저효율 문제가 있다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해 클린 리프트 개발이 시급한 실정이다.

클린 리프트의 하나인 자기부상 리프트[1]는 자기력에 의한 비접촉 지지로, 마찰, 마모가 없어 소음, 진동 및 분진 등이 적고, 200m/min 이상의 이송속도가 가능해 친환경 및 고효율 시스템이라 할 수 있다.

이 논문에서는 자기부상 클린 리프트에 사용되는 마그네트의 설계 결과를 보인다. 마그네트는 영구자석이 없고 코일만 있는 형태로 구현되며, U자형이다. 자기부상 리프트에는 총 8개의 마그네트가 쓰이며, 가이드레일은 기존의 접촉식 형태와는 다르게 된다. 마그네트와 가이드레일은 자속의 포화가 일어나지 않고, 가능한 한 무게 및 부피가 작게 설계되어야 한다. 마그네트는 자기부상 리프트의 5자유도 운동을 제어해야 하며, 안내제어기, 전력변환장치 및 센서와 종합적으로 설계되어야 한다.

설계 사양으로서, 정상상태 갭은 5mm, 전류는 2A 그리고 안내력은 200N이다.

2장에서 자기부상 리프트의 마그네트 설계 개념에 대해 설명하고, 그 결과를 보였고, 3장에서 그 결론을 맺었다.

#### 2. 본론

##### 2.1 자기부상 리프트 구성

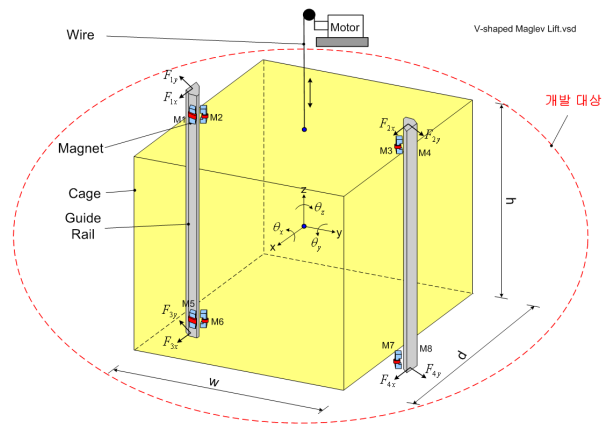
자기부상 클린 리프트는 기존의 접촉식 리프트의 단점을 보완하기 위해 자기부상 장치를 추가한 것이다. 따라서 추가된 자기부상 장치를 통하여 LCD 또는 반도체 공정에서의 소음, 진동, 분진 및 이송효율 등의 문제를 얼마나 개선시킬 수 있는지가 핵심이고, 또한 추가된 시스템 단가도 실제 적용 가능여부에 중요하게 영향을 미친다고 볼 수 있다.

그림 1은 자기부상 클린 리프트의 개념도를 보여 준다. 자기부상 리프트는 마그네트, 안내제어기, 센서, 전력변환장치, 가이드레일, 모듈 프레임, 가이드롤러, 케이지, 카운터 웨이트, 구동모터, 로프 등으로 이루어져 있다. 이 중에서 마그네트, 안내제어기, 센서, 전력변환장치, 가이드레일 및 모듈 프레임은 기존의 방식에서 추가되거나 수정된 형태로 구현된다. 가이드롤러는 비상용으로 쓰이게 되며, 정상적일 때는 마그네트와 가이드레일 사이의 안내력에 의해 리프트를 지지하게 된다.

마그네트와 가이드레일 사이의 갭은 안내제어기에 의해 제어되며, 센서는 갭 센서와 전류 센서가 쓰인다. 측정된 센서 신호는 안내제어기에 피드백되며, 안내제어기는 진동을 고려하면서 갭을 제어해야만 한다. 전력변환장치는 마그네트에 영구자석이 없는 경우 1-4상한 초퍼로 구현된다.

카운터 웨이트는 케이지, 마그네트, 모듈 프레임 및 부하의 무게를 고려해서 결정되며, 따라서 실제 리프트의 순수 무게는 수백 kg 이하로 된다. 구동모터 및 로프에 의해 리프트는 수직방향

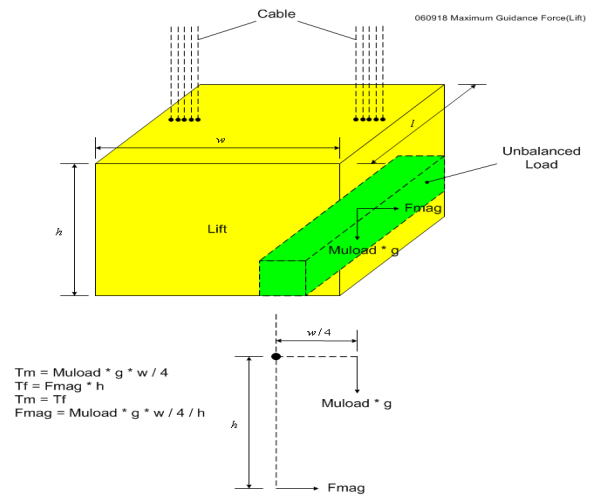
으로 이동하며, 기존의 방식을 그대로 쓸 예정이다.



<그림 1> 자기부상 클린 리프트의 개념도

##### 2.2 리프트 마그네트 설계

마그네트를 설계할 때 고려해야 할 것은 부하의 불균형 무게이며, 카운터 웨이트를 고려한 후, 실제의 무게를 계산하면 마그네트의 안내력을 결정할 수 있다. 케이지의 무게가 500kg이고, 부하의 최대무게는 800kg 일 때, 카운터 웨이트의 무게는 900kg이 된다. 따라서 카운터 웨이트를 고려한 실제 리프트의 최대무게는 400kg이 된다. 마그네트의 안내력은 이 400kg의 부하가 리프트 내에서 최대로 불균형이 발생되었다고 가정하여 결정한다. 또한, 마그네트와 가이드레일은 자속이 포화가 안 되어야 하며, 센서와 가이드롤러의 특성을 고려하여 설계한다.



$$T_m = \text{Muload} * g * w / 4$$

$$T_f = F_{mag} * h$$

$$T_m = T_f$$

$$F_{mag} = \text{Muload} * g * w / 4 / h$$

<그림 2> 리프트 부하 모델

그림 2는 리프트 부하 모델을 보여 주며, 마그네트의 안내력은 다음의 식에 의해 결정한다.

$$T_m = M_{ul} g \frac{w}{4} \quad (1)$$

$$T_f = F_{mag} h \quad (2)$$

$$T_m = T_f \quad (3)$$

여기서  $M_{ul}$ 은 부하의 불균형 무게(kg)이고,  $w$ 와  $h$ 는 각각 리프트의 폭(m)과 높이(m),  $g$ 는 중력가속도( $m/sec^2$ ),  $F_{mag}$ 는 마그네트의 안내력(N),  $T_m$ 와  $T_f$ 는 각각 부하의 불균형 무게에 의해 발생한 토크(Nm)와 마그네트에 의해 발생한 토크(Nm)이다.

식 (1)에서 같은 크기의  $M_{ul}$ 에 대해서 리프트의 폭이 크면  $T_m$ 가 크게 되고, 식 (2)에 의해 계산된 안내력  $T_f$ 과  $T_m$ 은 식 (3)처럼 같은 크기가 되어야 리프트를 지지하게 된다. 부하의 불균형 무게의 중심은 리프트의 맨 끝이 아니라 오른쪽의 가운데이기 때문에 식 (1)에서 4로 나누게 된다.

마그네트의 정격 안내력  $F_0(N)$ 은 식 (2)의 안내력  $F_{mag}$ 를 이용하여 계산하고, 마그네트 극 단면적  $A(m^2)$ 는 다음과 같이 정한다.

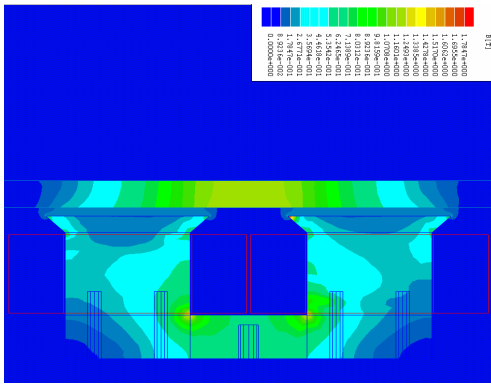
$$A = pl = F_0 \frac{\mu_0}{B_0^2} \quad (4)$$

여기서  $p$ 와  $l$ 은 각각 마그네트 자극의 폭(m)과 길이(m)이고,  $B_0$ 은 정격 갭에서의 자속밀도(T)이고,  $\mu_0$ 는 공기중의 투자율(H/m)이다.

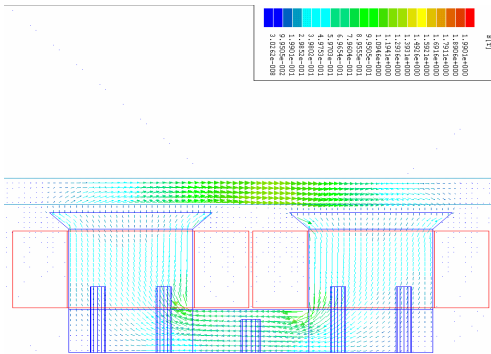
그리고 점적율과 누설계수는 각각 75%와 1.3으로 하였다.

### 2.3 리프트 마그네트 설계결과

리프트 마그네트의 설계결과로서, 자속밀도, 자속패턴, 안내력 vs. 기자력, 안내력 vs. 갭 특성을 보인다.

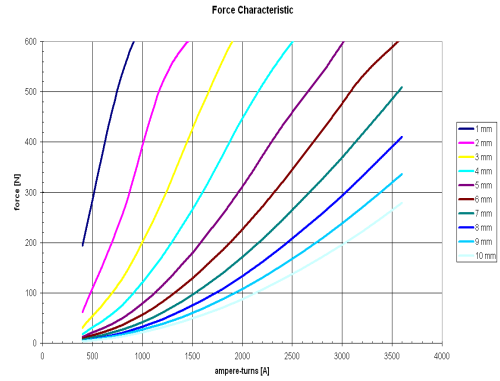


<그림 3> 자속밀도 다이어그램

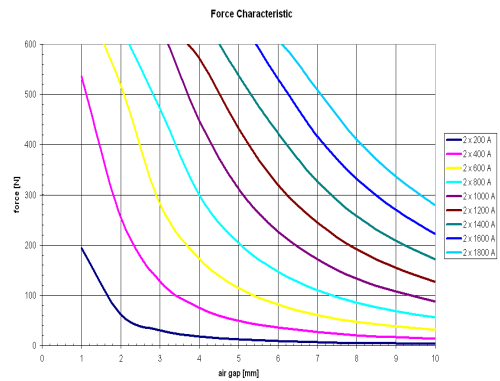


<그림 4> 자속패턴 다이어그램

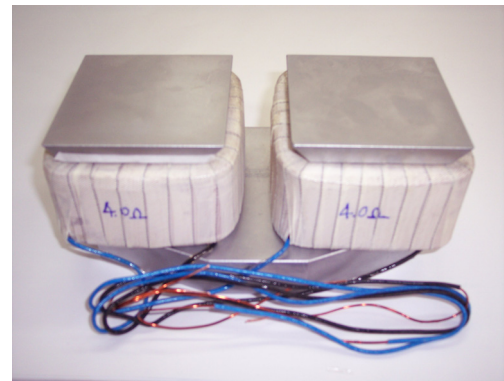
그림 3과 4는 전자장 해석 결과 중 마그네트의 자속밀도와 자속패턴 다이어그램이다. 갭에서의 자속밀도는 0.25T이고, 가이드레일의 중심부 분에서는 약 1.4T가 된다. 마그네트와 가이드레일에서 자기포화가 일어나지 않다는 것을 알 수 있다. 정상상태에서 마그네트 갭은 5mm이고, 전류는 2A이다.



<그림 5> 안내력 vs. 기자력 특성



<그림 6> 안내력 vs. 갭 특성



<그림 7> 제작된 마그네트

그림 5와 6은 각각 마그네트의 안내력 vs. 기자력과 안내력 vs. 갭 특성을 보여 준다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 안내력은 기자력의 자승에 비례하고, 갭의 자승에 반비례한다는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 3은 제작된 마그네트의 모습이다. 두 개의 코일은 각각 4A이어서 총 8A이고, 권선수는 총 800턴이다. 그리고 코일 직경은 1mm이다.

### 3. 결 론

이 논문에서는 클린 리프트의 하나인 자기부상 클린 리프트의 마그네트의 설계결과를 보였다. 마그네트 설계시 중요한 것은 안내력과 무게 및 부피를 종합적으로 동시에 고려하여 하며, 안내제어기 및 전력변환장치와도 통합하여 설계하여야 한다. 리프트에서 마그네트는 자중을 직접적으로 지지를 하지 않으므로 큰 전류를 필요하지 않고, 다만 무게의 불균형량만 고려하면 된다.

앞으로 할 일은 영구자석을 채택하여 정상상태에서 소비전력이 거의 없는 리프트를 설계하는 것이다.

### [참 고 문 헌]

[1] Mimpei Morishita, et al, "A study of Elevator Car Non-Contact Guide System with An Electromagnetic Suspension under Zero Power Control", JIEE LD-01-53, pp.17-22, 2001.