

진공챔버내에서 자기부상 캐리어에 관한 연구

A study on the magnetic levitation carrier in vacuum chamber

*윤동원¹, #최상규¹, 손영수¹, 강정식¹, 함상용¹
 *D. W. Yun¹, #S.K. Choi(skchoi@kimm.re.kr), Y.S.Son¹, J.S. Kang¹, S.Y.Ham¹
¹ 한국기계연구원 지능형 생산시스템 연구본부

Key words : Magnetic levitation, Permanent magnet

1. 서론

자기부상 시스템은 기존의 기계식 지지 시스템에 비해서 마찰이 없으므로, 고정도 구동이나, 고효율 구동을 목적으로 여러 시스템에 널리 사용되고 있다. 마찰이 없으므로 소음과 진동이 적어 정속, 고속, 고정도 운전이 가능하고, 마찰에 의한 에너지 손실이 없어 에너지 절감 효과가 있어 이에 대한 연구는 여러 방면에서 꾸준히 행해지고 있다. 특히 근래에 들어서는 IT산업의 눈부신 성장과 더불어 고정도, 청정 운전이 필요한 반도체 산업, LCD 산업 등의 진공 챔버 내에서의 구동을 위한 자기부상형 이동장치에 대한 수요가 늘어나고 있다. 자기 부상장치는 위와 같은 많은 장점이 있으나, 기계접촉식 지지 시스템에 비해서 강성이 적고, 불안정적인 특성이 있어 대중적인 사용에는 여러 제약이 따른다.

자기 부상 장치는 크게 전자석을 이용한 능동형 자기부상 장치와 영구자석의 반발력을 이용한 수동형 자기부상 장치로 나뉘어 진다. 능동형 자기 부상장치는 자기력을 생성하기 위한 액추에이터, 액추에이터와 제어대상 물체간의 거리 등을 측정하기 위한 센서 그리고 제어기 등으로 구성되어진다. 이러한 복잡한 시스템으로 인해 고가의 시스템이 되기 쉬우나, 제어 안정성이 수동식에 비해 훨씬 뛰어나 대부분의 자기 부상 장치에서 널리 사용되고 있다. 영구자석을 이용한 수동식 자기 부상시스템은 외부에서의 제어입력이 필요치 않아 에너지 절감면에서 능동형에 비해 월등히 뛰어나지만, Earnshaw와 Braunbeck의 이론 등에 의하면 물체의 모든 자유도를 영구자석만으로 부상시킨다는 것은 불가능한 일이며[1], 시스템의 안정성 또한 능동형 자기 부상장치에 비해 떨어져 널리 사용되고 있지는 못하여, 보통 능동형 자기부상장치와 함께 사용된다. 하지만, 기존의 여러 연구들을 통하여 최대한 많은 자유도를 영구자석만으로 부상하려는 연구는 꾸준히 시도되고 있다[2,3]. 본 논문에서는 진공챔버 내에서 기관을 이송하기 위한 영구자석을 이용한 캐리어의 자기 부상 장치에 관한 연구를 수행하였다.

2. 영구자석을 이용한 자기부상 캐리어

본 논문에서는 진공 챔버내에서 판상의 기관을 이송하는 자기 부상형 캐리어에 대한 영구자석의 적용성에 대해서 연구해 보았다. 판상의 캐리어의 부상은 캐리어의 단면방향으로 봤을 때, 수평방향과 수직 방향의 부상이 필요하게 된다. Fig. 1에 부상 대상이 되는 이송 캐리어의 형상을 보여주고 있다. 캐리어는 진공 챔버내에서 z축 방향으로 이송하게 되며, 부상 시스템은 캐리어의 x, y 방향의 자유도를 구속하여 부상시키고자 한다. 본 논문에서는 영구자석형 자기부상 장치의 설계를 위하여 여러 형태의 영구자석형 부상장치를 고안하고, 각각에 대하여 유한요소 해석법을 이용하여 자기부상력과 안정영역을 계산한 후, 고찰하여 적절한 영구자석형 자기부상 시스템을 제안하고자 한다.

우선 x방향의 부상을 위하여 Fig.2와 같은 3가지 형태의 자석을 구상하였다. Fig. 2(a)는 단순한 막대형 영구자석이 같은 극 끼리 마주보는 형태이며, Fig. 2(b)는 평행하게 착자된 작은 여러개의 자석이 배열된 경우이며, Fig. 2(c)는 halbach 배열을 이용하여 좌우 지지력을 얻고 있는 형태이다. 이때 세가지 경우 모두 면에 자석이 설치되는 영역은 같게 하였다. Fig. 2에서 화살표의 방향은 영구자석의 착자방향을 나타낸다.

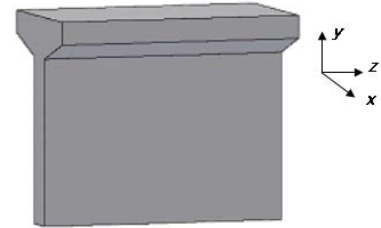


Fig. 1 Carrier

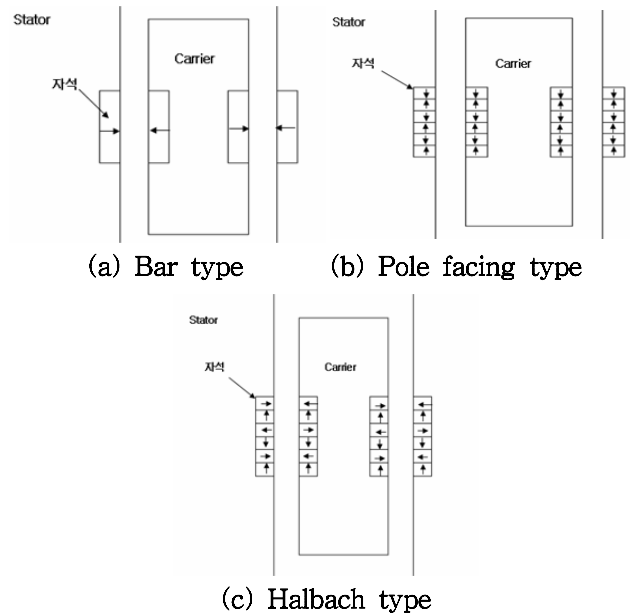
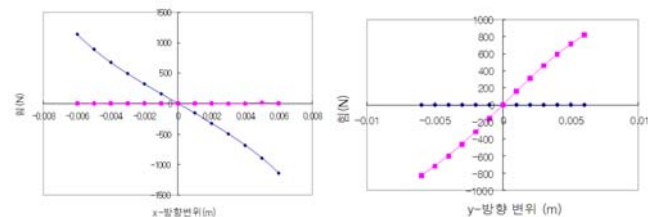


Fig. 2 Guidance magnet for horizontal direction

작업 특성을 고려하여 캐리어가 움직일 수 있는 영역은 x방향으로 -6~6mm, y 방향으로 -6~6mm라 가정하였으며, 각 영역에서 영구자석에 의한 힘을 각 모델에 대하여 해석을 수행하였다. 위와 같은 형태의 가이드팅 기구에서는 x 방향으로의 가이드팅 힘이 발생하나, y 방향의 변위에 따라 상하로 캐리어가 치우치면서 불안정해지는 힘이 발생하게 된다. 따라서, 각각의 경우에 대해서 가이드팅 힘과 치우침힘을 계산해 보았다.



(a) x 방향 가이드팅 힘 (b) y 방향 치우침 힘

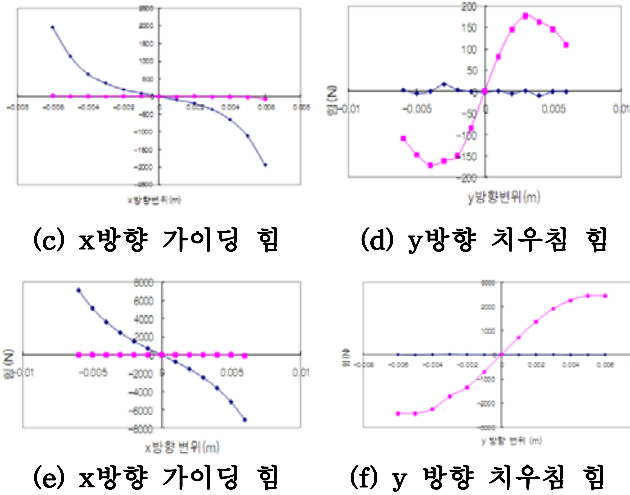


Fig. 3 Analysis results for horizontal magnets

Fig. 3에 각 영구자석에 대한 힘의 계산의 결과를 보여주고 있으며, 해석 결과, x방향 가이딩 힘은 Halbach array>pole-facing array> Bar type의 순으로써, Halbach 배열을 사용할 때 가장 큰 가이딩 힘이 발생함을 알 수 있었다. 상하 치우침력은 Halbach array>Bar type>pole-facing array의 순으로써, 역시 Halbach array가 가장 큰 치우침을 보임을 알 수 있었다. 가이딩 힘은 클수록, 치우침힘은 작을수록 바람직한 성능을 나타내므로, 위의 세가지 경우중 x 방향 가이딩 자석으로는 pole-facing array의 자석이 가장 적합함을 알 수 있었다.

다음으로 y방향의 부상 자석에 관한 해석을 수행하였다.

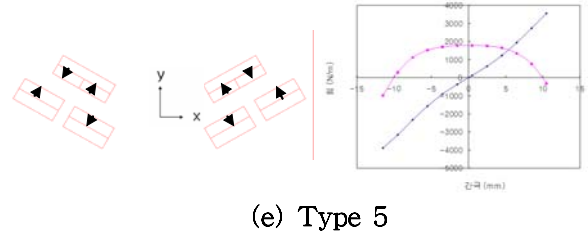


Fig. 4 Analysis results for vertical magnets
 Fig.4에 수직 방향 부상 자석에 관한 여러 경우에 관한 해석결과가 나와 있다. 해석결과, type 1과 type 3의 경우는 부상력이 일정갭 이하로 감소하게 되면, 부상력이 줄어드는 현상이 있어 부상시스템으로 부적합함을 알 있었고, type 2의 경우는 갭이 줄어들에 따라 부상력이 증가하지만, 좌우 치우침량이 2.5mm를 넘어서면 부상력보다 치우침력이 더 커지는 현상이 발생하였다. 참고문헌 [2]에서도 소개된바 있는 type 4의 경우는 최대 부상력은 90kgf/m이며, 치우침력은 5.5kgf/m로서 부상 시스템으로 적절함을 확인할 수 있었다. type 5의 경우는 x 방향 변위 -5~5mm범위에서 부상력이 약 160kgf/m로 일정한 특성을 보여주었다. x의 변위 약 5.5mm에서 부상력과 치우침력이 같아지게 된다. 이상의 해석 결과를 이용하여 실제 캐리어의 부상 시스템을 제작해 보았다.

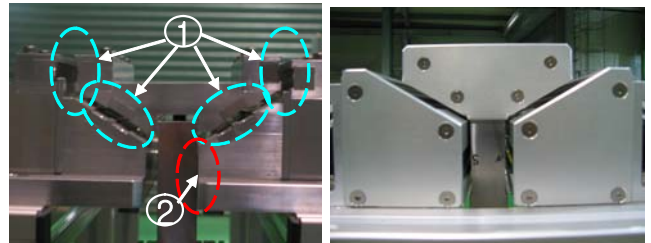
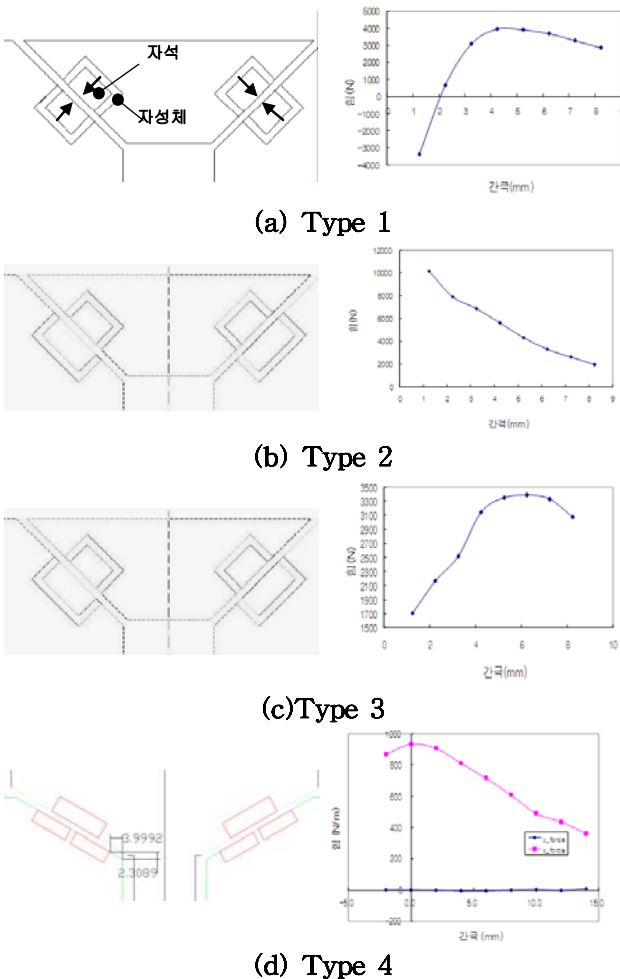


Fig. 5 test rig for magnetic levitation carrier

Fig. 5는 실제 제작된 영구자석을 이용한 자기부상 캐리어test rig를 보여주고 있다. case (1)의 경우는 pole facing 배열을 x방향 부상에, Fig. 4 (d)의 자석 배열을 y축 부상에 사용한 경우이며, case 2는 Bar type 자석을 x방향 부상에, Fig.4(e)의 자석을 y방향 부상에 사용한 경우이다. 실험결과, case 1의 경우는 경사면과 좌우측면(1)은 부상이 잘 이루어졌으나, 캐리어 하부의 한쪽(2)이 스테이터에 붙는 현상이 발생하였다. case 2의 경우는 모든면에서 부상이 이루어졌으나, 캐리어의 길이 방향으로 약간의 점접촉이 일어났으며, 부상 갭도 각 부분에서 일정하지는 않았다. 이는 프레임의 제작오차/조립오차와 강성 부족으로 인한 프레임의 변형, 그리고, 각각의 자석에서의 자속밀도의 불균일에서 기인하는 것이라 생각된다. 실험결과 case 2의 경우가 case 1의 경우보다 좀더 나은 부상특성을 보여줌을 알 수 있었다.



3. 결론

본 연구를 통하여, 진공 챔버에서의 캐리어의 이송을 위한 영구자석형 부상장치에 대한 해석을 수행하였다. 여러 종류의 부상 자석을 고안하고, 유한요소해석을 통하여 적절한 영구자석 형태를 선정하였으며, 실제 시스템을 제작하여 영구자석을 이용한 부상장치를 구현할 수 있었다.

참고문헌

1. Jayawant B.V, "Electromagnetic suspension and levitation techniques", Proceedings of the Royal Society of London, Vol. A 416, pp. 245-320, 1988
2. 최기봉, 조영근, 신시타다히코, 시모코베아키라, "영구자석에 의한 반발형 자기부상 테이블의 안정성 해석", 한국정밀공학회지 제19권 제7호, pp. 36~42, 2002
3. 강도현, 김용주, 이준각, "영구자석을 이용한 자기부상 시스템", 한국자기학회 학술연구발표회, pp.12~16, 1991