

해석적 방법을 통한 X-Y 리니어 모터의 특성해석에 관한 연구

이동엽*, 황예, 한광규, 김규탁

창원대학교 전기공학과

A study of characteristic analysis of X-Y linear motor using analysis method

Dong-Yeup Lee*, Huang rui, Kwang-Kyu Han,Gyu-Tak Kim
Department of Electrical Engineering, Changwon National University

Abstract - The effective flux of X-Y linear motor is calculated with analytical method according to the arrangement of permanent magnet. In order to reduce leakage flux due to increased effective flux, the distance of the permanent magnet is adjusted.

When the distance is 2[mm] between two magnets, the leakage flux is greatly reduced, and it is expected that if the segment of permanent magnet magnetized to x and y direction is added, the motor performance will be enhanced.

1. 서 론

X-Y 모터의 종류에는 일반 회전기와 마찬가지로 유도형, 펄스형, 동기기형 등이 있다. 이중에서 상용화되고 있는 것은 스텝모터 방식을 채용한 펄스형 X-Y 모터뿐이다. 유도형 X-Y 모터는 아직 초보적인 연구수준에 머무르고 있으며, 영구자석을 사용한 동기기형 X-Y 모터는 상용화되지 않았으나 매우 많은 연구가 진행되고 있는 수준이다.

영구자석을 이용한 X-Y 모터는 바둑판 무늬와 같은 형태로 자석의 N극과 S극을 번갈아 배치하고 코일은 X방향과 Y방향 코일을 따로 배치해서 구동되는 형태를 갖는다. 결국 X-Y 모터의 구동원리는 일반 단축용 선형모터와 같으나, 영구자석의 배열 때문에 같은 조건에서 별 수 있는 힘은 약 반으로 줄어들 수밖에 없는 단점이 있다. 또한, 이동자의 크기는 두 배가 되므로 가속도등의 성능은 더 안 좋았지게 된다. 그러므로 X-Y 모터에서 가장 기본적인 것은 얼마만큼 자속밀도를 키우는 가에 달려 있다고 해도 과언은 아니다.

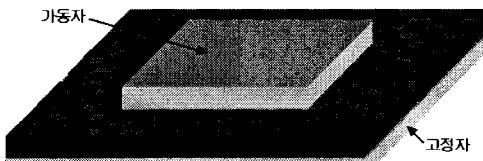
X-Y 모터용 영구자석 배열에 대해 처음으로 Asakawa에 의해 제안되어졌다. 이것은 N극과 S극을 번갈아 가면서 배치하고 코일은 XY방향으로 구동할 수 있게 구성된 것이다. 그 다음에 나타난 영구자석 배열의 형태는 자석배열을 한국은 한쪽반향으로만 한 칸씩 건너뛰어서 다른 극과는 겹치지 않게 배치된 것이고 코일은 방향별로 다른 코일을 사용하는 것이다. 그러나 자석사용량 자체가 일반적인 단축리니어모터에 비해 반밖에 되지 않아서 비효율적인 구조를 갖고 있는 것이다. 이런 단점을 보완하기 위해서 1994년에 Chitayat가 자석사용량을 기준 것에 비해 두 배로 하였다. 그러나 이것도 자석표면에서의 누설이 많은 구조상의 단점을 가지고 있었다. 그 이외에도 할바크(Halbach)자석배열을 X-Y 모터에 응용한 배열이 있다.

따라서, 본 논문에서는 영구자석을 이용한 X-Y 모터의 영구자석의 배열에 따른 모델들의 유효자속이 더 크게 나올 수 있는 영구자석배열을 새로이 제안하고 그 타당성을 검토하였다.

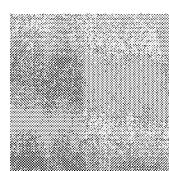
2. 본 론

2.1 해석 모델

그림 1은 쿄일부를 이동자로 하는 X-Y 모터의 일반적인 구조이다. 본 논문에서는 고정자인 영구자석 부분의 배열 및 형상 변화에 따른 자속밀도 변화에 대하여 고찰하였다.



(a) 전체 형상



(b) 가동자의 형상

그림 1. 영구자석을 이용한 X-Y 모터의 일반적인 구조

2.2 여러 가지 형태의 자석 배열

2.2.1 Asakawa 배열

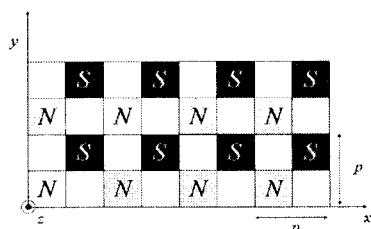


그림 2. Asakawa의 자석 배열

그림 2는 Asakawa에 의해 제안된 2차원 구동을 위한 모터의 영구자석 배열의 단면도이다. N이라고 쓰인 것은 자화방향이 지면에서 나오는 방향을 뜻하고, S라고 쓰인 것은 지면으로 들어가는 방향을 나타낸다. 빈 공간은 공기 등의 비자성체이다.

가로방향을 X, 세로방향을 Y, 지면 방향을 Z라고 하면,

각각의 X 및 Y방향 구동을 위한 코일을 동시에 사용할 수 있으려면 코일이 있는 공극에서의 자속밀도의 과형이 위의 그림과 같은 분포를 가질 수밖에 없다. 즉 X,Y 어느 쪽 방향에서 보든지 단축모터와 같이 무버가 이동하는 방향으로 N극과 S극이 번갈아 가면서 나타나는 형태가 되어야 한다. 이하 다른 형태의 자석배열도 배열 자체는 다르지만, 공극에서의 자속밀도 과형은 비슷한 형태로 나타난다.

이 배열의 단점은 단축 선형모터와 비교 시, 배열상의 특징으로 인해서 무버의 코일변에 떻는 자속이 반밖에 되지 않는다. X,Y 양쪽의 구동을 위해서는 그럴 수밖에 없으므로, 영구자석을 등급이 높은 것을 사용하는지 하여야 한다.

2.2.2 Chitaya 배열

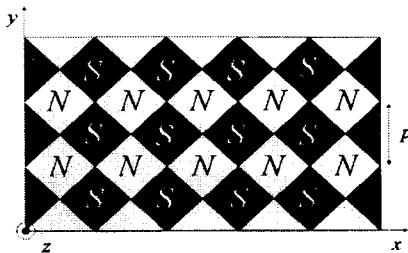


그림 3. Chitaya의 자석 배열

그림 3의 배열은 Asakawa 배열의 단점인 자석에 의한 자속이 작은 것을 보완하고자 자석의 사용량을 두배로 하여 구성한 것이다. Chitaya 배열은 자석 하나하나의 크기가 Asakawa 모델에 비해 두 배의 단면적을 가지고 있다. 그 만큼 공극 내에 있는 코일에 쇄교하는 자속을 크게 할 수 있다는 사실을 이용한 것이나, N극과 S극의 자석이 붙어 있기 때문에 자속이 코일에 쇄교하기 전에 자석 표면에서 인접한 극으로 새어버리는 단점이 있다. 그러므로 자석사용량은 두 배이어도 그 만큼의 효과는 나타나지 않는다.

2.2.3 제안 모델

본 논문에서는 먼저 가장 기본적인 형태인 단순하게 사각형 형태인 영구자석을 N극과 S극을 번갈아 가며 그림 4와 같이 배열하였다. 제안 모델은 Chitaya 배열을 45도로 회전시킨 형태이며, Chitaya 배열과 동일하다.

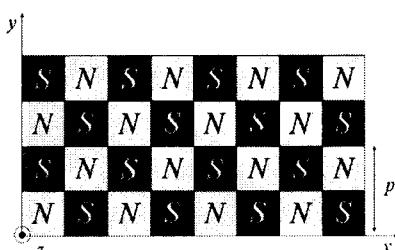


그림 4. 제안 모델

2.2.4 누설 자속 감소를 위한 자석 크기의 변화

제안 모델에서 누설 자속 성분을 줄이기 위하여 그림 5와 같이 N극과 S극 사이에 간격을 두었다. 본 논문에서는 가동자의 크기를 일정하게 고려하기 위하여 간격을 두기 위하여 영구자석의 크기를 조절하였다.

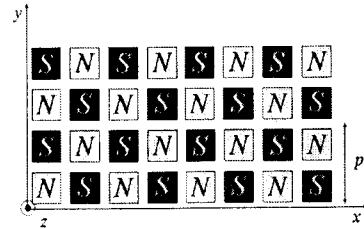


그림 5. 누설 자속을 줄이기 위한 자석의 크기변화 모델

2.3. 해석적 방법을 이용한 자속 밀도 해석

2.3.1 Asakawa 형태

본 논문에서는 해석적인 방법을 이용하여 자속 밀도를 계산하였다[1,2].

해석 모델은 그림과 동일하며 사용된 치수 및 물성치는 표 1과 같다.

표 1. 해석에 사용된 치수 및 물성치

항목	기호	단위	치수 및 물성치
잔류 자속밀도	B_r	[T]	1.2
리코일 투자율	μ_r		1.05
피치	P	[m]	0.02
자석 두께	l_m	[m]	0.01
공극 길이	l_x	[m]	0.005

자화는 Z방향 성분만 존재하고 상수라는 가정을 하면 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$\vec{M}_z = \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2}{k\pi} \frac{B_r}{\mu_0} \left[\sin(k \frac{2\pi}{P} x) + \sin(k \frac{2\pi}{P} y) \right]$$

영구자석에 의한 공극의 자계 계산시 자기스칼라펜셜 φ 를 계변수로 두면 각 영역에서 식(1), (2)와 같은 지배방정식을 유도된다. 자기스칼라펜셜을 계변수로 두게되면 영구자석의 자화분포를 그대로 이용할 수 있어 계산이 편리해진다.

$$\nabla^2 \Phi_I = 0 \quad (\text{공극 영역}) \quad (1)$$

$$\nabla^2 \Phi_H = -\frac{\nabla \cdot \vec{M}}{\mu_r} \quad (\text{영구자석 영역}) \quad (2)$$

위의 식을 경계조건을 이용하여 풀면 다음과 같이 자기 스칼라 포텐셜을 계산 할 수 있다.

$$\Phi_{Ik} = A_k [\exp(a_k z) - \exp(2a_k(l_g + l_m)) \exp(-a_k z)]$$

$$\Phi_{Hk} = B_k [\exp(a_k z) - \exp(-a_k z)]$$

여기서,

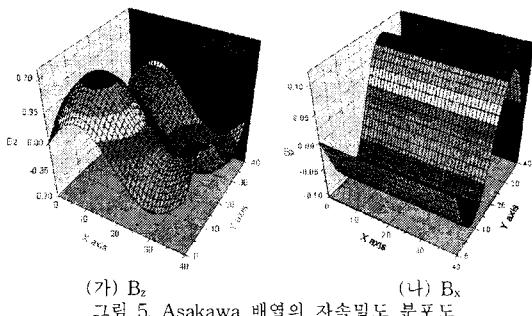
$$A_k = -\frac{1}{2} \frac{M_k}{a_k} \frac{\exp(-a_k(l_g + l_m)) \sinh(a_k l_m)}{\mu_r \sinh(a_k l_g) \cosh(a_k l_m) + \cosh(a_k l_g) \sinh(a_k l_m)},$$

$$B_k = \frac{1}{2} \frac{M_k}{a_k} \frac{\sinh(a_k l_g)}{\mu_r \sinh(a_k l_g) \cosh(a_k l_m) + \cosh(a_k l_g) \sinh(a_k l_m)},$$

$$a_k = k \frac{2\pi}{P}$$

이다.

위 식을 이용하면 각 성분의 자속 밀도를 계산 할 수 있으며 계산 결과를 그림 6에 나타내었다. B_x 성분과 B_y 성분은 동일하기 때문에 B_x 성분만 나타내었다. 그림 6에서 B_x 성분의 최대값은 0.69161[T]이고, B_y 성분은 0.1052[T]이다.



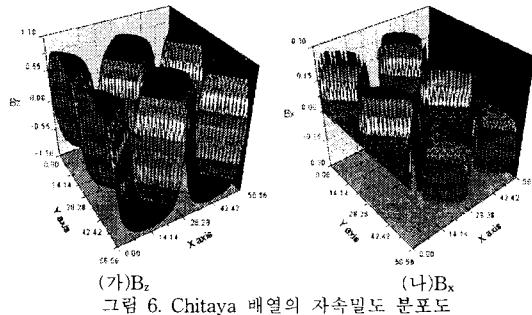
(가) B_z
(나) B_x
그림 5. Asakawa 배열의 자속밀도 분포도

2.3.2 Chitaya 형태

Chitaya 배열의 자화 M_z 는 다음 식과 같다.

$$\vec{M}_z = \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{16}{k^2 \pi^2} \frac{B_r}{\mu_0} \sin(k \frac{\pi}{P'} (x' + y')) \sin(k \frac{\pi}{P'} (y' - x'))$$

해석 방법은 Asakawa에서 풀이한 방법과 동일하며 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 알 수 있듯이 B_z 성분이 Asakawa 배열에 비하여 1.5배 증가한 1.04[T]이지만, B_x 성분은 0.287[T]로 2.73배정도 크게 증가하였다.



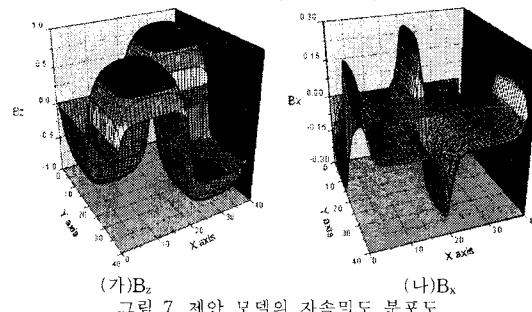
(가) B_z
(나) B_x
그림 6. Chitaya 배열의 자속밀도 분포도

2.3.3 제안 모델

제안 모델의 자화 M_z 는 다음 식과 같다.

$$\vec{M}_z = \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{16}{k^2 \pi^2} \frac{B_r}{\mu_0} \sin(k \frac{2\pi}{P} x) \sin(k \frac{2\pi}{P} y)$$

제안 모델에 대한 자속 밀도 해석 결과를 그림 7에 나타냈으며 그 결과는 Chitaya 모델의 해석 결과와 거의 동일함을 확인할 수 있었다. 약간의 오차는 해석 시 설정하는 데이터 간격의 오차라 사료된다.

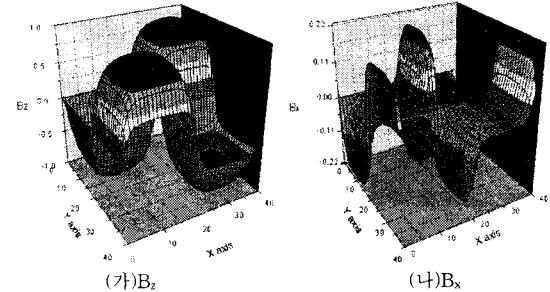


2.3.4 자석 사이간격의 조절

본 논문에서 Asakawa 배열에 비하여 2.7배정도 크

게 발생하는 누설 자속성분을 줄이기 위하여 영구자석과 영구자석 사이간격을 조절하였다. 단, 이때 가동자의 크기를 같게 하기 위하여 영구자석의 크기를 조절하였다. 자화는 다음 식과 같이 표현이 되고, 자석의 사이 간격이 1[mm]인 경우의 해석 결과를 그림 8, N극과 S극의 사이 간격에 따른 자속 밀도의 변화를 그림 9에 나타내었다.

$$\vec{M}_z = \sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{16}{k^2 \pi^2} \frac{B_r}{\mu_0} \cos(k \frac{2\pi}{P})^2 \sin(k \frac{2\pi}{P} x) \sin(k \frac{2\pi}{P} y)$$



(가) B_z
(나) B_x
그림 8. 자석 사이간격 조절 모델(1[mm]인 경우)

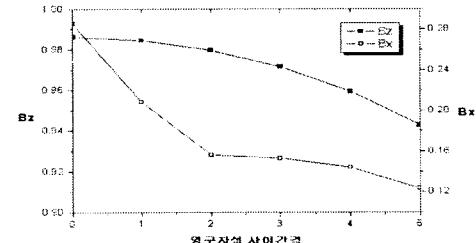


그림 9. 사이 간격에 따른 B_z , B_x 성분의 변화

그림 9에서 알 수 있듯이 사이 간격이 늘어남에 따라 B_z , B_x 성분은 각각 감소한다. 하지만, 사이 간격이 2[mm]인 경우 누설 자속분인 B_x 성분은 크게 감소하나, B_z 성분은 거의 감소하지 않았다. 따라서, 영구자석 사이의 간격을 2[mm]로 유지한다면, 누설 자속 성분을 크게 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 논문에서는 X-Y 모터의 영구자석의 배열에 따른 유효 자속을 해석적인 방법을 통하여 계산하였으며, 유효자속 성분의 증가로 인한 누설 자속성분을 줄이기 위하여 영구 자석 사이에 이격거리를 조절하였다.

이격 간격을 2[mm]로 하였을 경우 누설 자속 성분은 크게 감소하였으며, 이 모델의 빈 공간에 x, y방향으로 차자된 조각 자석을 첨가한다면 더욱 향상된 특성을 나타내리라 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김용철, 김규탁, "Slotless 영구자석형 선형 동기전동기의 고추력화를 위한 형상 설계", 대한전기학회 논문지, Vol. 52, No. 7, pp. 320-326, 2003.
- [2] Mi Yong Kim, Yong Chul Kim, and Gyu Tak Kim, "Design of Slotless Type PMLSM for High power Density Using Divided PM", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 40, No. 2, pp. 746-749, 2004.