

가동 자석형 선형 직류 전동기의 다극화에 관한 연구

정헌준*, 김 용*, 백수현*, 김필수**
 *동국대학교 전기공학과, **대림대학 자동차과

A Study on the Multipolarization of a Moving Magnet Type Linear DC Motor

H. J. Jung*, Y. Kim*, S. H. Beak*, P. S. Kim**
 Department of Electrical Engineering Dongguk University, Daerim College

Abstract - In the industrial field, the necessity for the linear motion is increasing. Because of the motion converting mechanism there exist many losses. So the application of linear machines instead of rotating machines is increasing. As compared with a mono-polar type linear DC motor, it is possible for a multi-polar type linear DC motor to have a longer stroke and more thrust with thin shape. However, there are thrust ripple on multi-polar type one. In this paper, a design to multi-polarize of the linear DC motor is discussed. In order to make a smoother thrust on multi-polar type linear DC motor, a method is proposed.

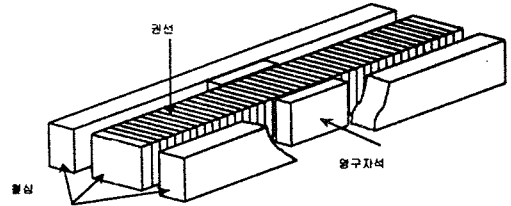


그림 1 가동 자석형 선형 직류 전동기의 구조

그림1은 단극 가동 자석형 선형 직류 전동기의 구조를 나타낸 것이다. 전동기 철심의 폭은 철심 내 자속 밀도의 최대값에 따라 결정되는데 철심 내의 자속 밀도는 전기자 권선 전류에 의한 자속 밀도와 이 전류에 의한 자계 내에 위치한 영구 자석에 의한 자속 밀도의 합이다. 전기자 권선 전류에 의한 철심 내의 자속 밀도는 권수를 N , 전류를 I 라 할 때 기자력 NI 의 영향을 받는다. 일정한 추력을 유지하면서 장 스트로크화하는 경우 NI 의 증가에 따른 철심의 포화를 방지하기 위하여 철심의 폭을 증가해야 한다.

1. 서 론

전기 에너지를 동력원으로 하는 전동기의 출력은 회전 운동이 대부분이나 선형 운동을 필요로 하는 경우가 점차 증가하고 있다. 이러한 선형 운동이 필요한 기기에 회전형 전동기를 사용할 경우에는 회전 운동을 선형 운동으로 변환하기 위한 변환 장치가 부가되어 구조가 복잡해지고 크기가 커지게 된다. 이러한 단점을 제거하기 위하여 선형 운동 변환 장치가 필요없는 선형 전동기의 필요성이 증가하고 있다[1].

선형 전동기는 선형 직류 전동기, 선형 동기 전동기, 선형 유도 전동기, 선형 펄스 전동기 등 여러 종류가 있다. 이러한 전동기 중에서 선형 직류 전동기는 가동 코일형과 가동 자석형으로 구분된다. 가동 코일형의 경우 가동부에 권선을 갖는데 이러한 형태는 가동부 권선에 전력을 공급하기 위한 전기적 연결을 필요로 하는 단점을 지닌다[2]. 가동 자석형은 가동부 권선을 영구 자석으로 대체함으로써 전력을 공급하기 위한 전기적 연결이나 브러시가 없기 때문에 브러시로 인한 유지 보수가 필요없으며 절환시에 발생하는 스파크나 브러시 손실을 제거할 수 있으며 전동기의 구조가 간단해진다. 또한 가동부에서 동손에 의한 발열이 없는 장점을 지닌다[3].

단극 가동 자석형 선형 직류 전동기를 장 스트로크화하면 단위 스트로크당 추력 대 질량 비가 작아지므로 단위 길이당 추력 대 질량 비를 크게 하면서 장 스트로크화하기 위하여 다극화하는 방법과 다극화에 따라 발생하는 추력의 리플을 감소하기 위한 방법을 제안한다. 제안 방법의 타당성을 입증하기 위하여 다극 가동 자석형 선형 직류 전동기를 제작하였다. 다극 가동 자석형 선형 직류 전동기의 해석과 설계를 위해 자기 회로법과 유한 요소법이 사용되었으며 설계한 전동기의 해석과 실험 결과를 비교·분석하였다.

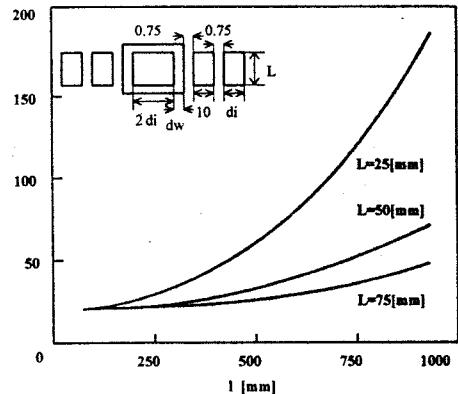


그림 2 스트로크 변화에 따른 철심 폭의 변화

그림2는 영구 자석의 폭을 10[mm], 철심과 영구 자석 사이의 공극과 권선과 영구 자석 사이의 공극을 0.75[mm], 권선의 두께를 2[mm]로 고정하고 2[N]의 추력을 유지하면서 스트로크 l 의 증가에 따른 중앙 철심의 폭 $2d_i$ 의 변화를 나타낸 것이다. 또한 자석 높이의 변화에 따른 변화도 나타내었다[4]. 따라서 장 스트로크화에 따른 전동기의 중량 증가를 줄이기 위해서는 다극화를 해야한다.

2. 본 론

2.1 가동 자석형 선형 직류 전동기

2.2 가동 자석형 선형 직류 전동기의 다극화

그림3을 참고하여 공극과 철심의 자계 분포를 해석하고 추력을 계산했다. 좌표축은 그림3과 같이 선택했다.

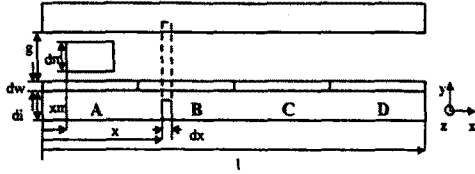


그림 3 가동 자석형 선형 직류 전동기의 모형

전류는 z방향으로 흐르고 철심 내의 mmf 강하를 무시할 수 있을 정도로 철심의 투자율이 크다고 하면 공극에서 자계는 y방향만의 성분을 갖는다.

전기자 권선 A,B,C,D에 같은 전류를 인가하고 dx의 폭을 갖는 점선으로 표시된 영역에 대하여 암페어 법칙을 적용하면 전류에 의한 공극에서 자계의 세기는 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$H_g(x) = -\frac{J_l}{g}(x - \frac{l}{2}) \quad 0 \leq x \leq l \text{ 일 경우 (1)}$$

여기서 J_l 은 여자 전류 밀도(A/m)이다.

전류에 의한 공극에서의 자속 밀도는 식(2)와 같다.

$$B_g(x) = \mu_0 H_g(x) = -\mu_0 \frac{J_l}{g}(x - \frac{l}{2}) \quad 0 \leq x \leq l \text{ 일 경우 (2)}$$

식(2)를 x에 관해 적분하여 철심을 통과하는 자속 수를 얻고 이것을 철심의 폭 d_i 로 나누어 전류에 의한 철심 내의 자속 밀도를 구하면 식(3)과 같다.

$$B_i(x) = -\mu_0 \frac{J_l}{2g d_i} x(x - l) \quad 0 \leq x \leq l \text{ 일 경우 (3)}$$

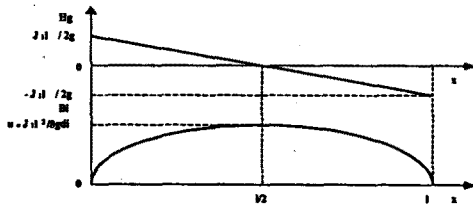


그림 4 공극에서 자계의 세기와 철심 내의 자속밀도

그림 4는 전류에 의한 공극에서 자계의 세기와 전류에 의한 철심 내의 자속 밀도를 나타낸 것이다.

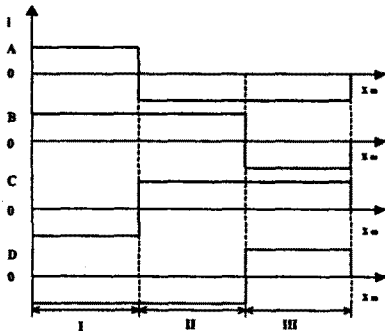


그림 5 전기자 권선 A,B,C,D의 인가전류

그림 6은 전기자 권선 A,B,C,D에 그림 5의 형태로 전류를 인가할 경우 전류에 의한 공극에서 자계의 세기와 전류에 의한 철심 내의 자속 밀도를 나타낸다.

그림 4와 그림 6에서 알 수 있듯이 전기자 권선에 그림 5의 형태로 전류를 인가함으로써 전류에 의한 철심 내의 자속 밀도를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

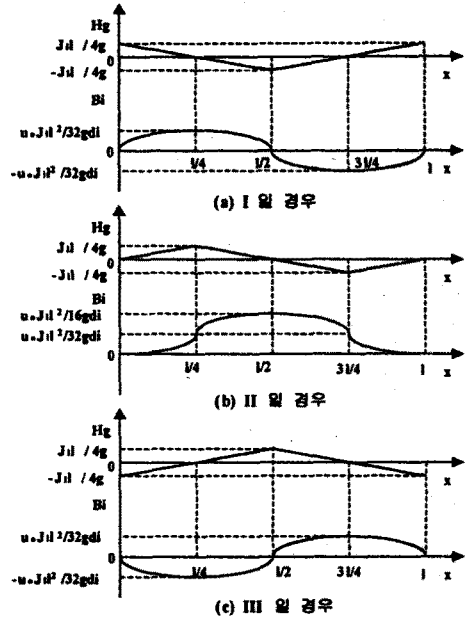


그림 6 공극 자계의 세기와 철심 내의 자속밀도

2.3 추력의 계산

전동기에 전류를 인가하지 않을 경우 영구자석 내의 자속 밀도는 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$B_{m0} = \frac{B_r}{1 + \mu_r \left[\frac{g - d_m}{d_m} + \frac{g}{d_m} \frac{l_m}{(l - l_m)} \right]} \quad (4)$$

전동기에 전류를 인가하면 공극 내에 자계가 발생하며 이 공극 내에 위치한 영구자석 내부의 자속 밀도는 식(5)와 같이 변화한다.

$$\Delta B_m(x) = kg H_g(x) \quad 0 \leq x \leq l \text{ 일 경우 (5)}$$

여기서 $k = \left[\frac{d_m}{\mu_0 \mu_r} + \frac{g - d_m}{\mu_0} \right]^{-1}$ 이다.

따라서 영구자석 내부의 자속 밀도는 식(6)과 같다.

$$B_m(x) = B_{m0} + \Delta B_m(x) \quad 0 \leq x \leq l \text{ 일 경우 (6)}$$

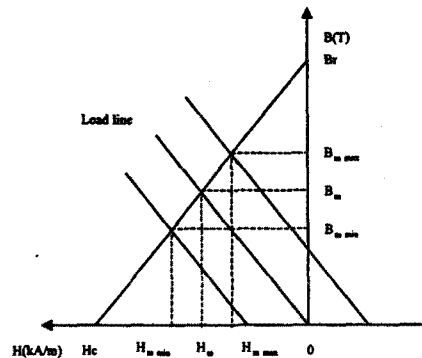


그림 7 영구 자석의 동작점

식(6)으로부터 x에 따라서 영구 자석의 동작점이 그림 7과 같이 이동하는 것을 알 수 있다.

철심 내의 mmf 강하를 무시하면 전동기의 추력식은 다음과 같다.

$$F(x_m) = 2 J_l l_m L B_m(x_m) \quad 0 \leq x_m \leq l - l_m \quad (13)$$

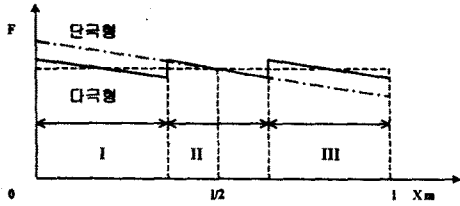


그림 8 영구 자석의 변위에 따른 추력

그림8로부터 전동기를 다극화함으로써 여자 절환시 추력의 리플이 발생하지만 장스트로크에서 비교적 일정한 추력을 얻을 수 있다.

2.4 추력의 보상

전동기를 다극화함으로써 발생하는 추력 리플의 영향을 감소시키기 위하여 그림9와 같이 전동기의 추력이 큰 곳에서는 전류를 감소시키고 추력이 작은 곳에서는 전류를 증가시켜 추력의 리플을 감소시킬 수 있다.

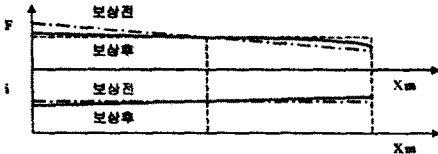


그림 9 전동기 추력의 보상

2.5 결과 및 검토

제안된 방법의 타당성을 입증하기 위하여 다극 가동 자석형 선형 직류 전동기를 제작하였다. 영구 자석은 페라이트를 선택하였으며 치수는 $25 \times 40 \times 10$ (mm)의 상용품을 선택하였다. 철심은 S45C를 선택하였다. S45C의 최대 자속 밀도는 1.58(T)이다. 동자 자속 밀도를 1.0(T)라고 하면, 이를 얻기 위한 자재의 세기는 0.9 (kA/m)이다. 이 때의 비투자율은 880이다. 전기자 권선은 피막을 포함한 직경이 0.060(cm)인 에나멜선을 선택하였다. 구리는 1 (cm²) 당 약 450(A)의 전류가 흐를 수 있으므로 선택한 코일에는 약 1(A)의 전류가 흐를 수 있다. 제작된 전동기의 사양은 표1과 같다.

표 1 제작된 전동기의 사양

항 목	기 호	수치(단위)
철심 사이의 공극	g	14(mm)
영구 자석의 폭	d_m	10(mm)
철심의 폭	d_i	10(mm)
전기자 권선의 두께	d_c	2(mm)
스트로크	l	320(mm)
각 전기자 권선의 길이	$l/4$	80(mm)
영구 자석의 길이	l_m	40(mm)
전동기의 높이	L	25(mm)
각 전기자 권선의 권수	N	500(회)

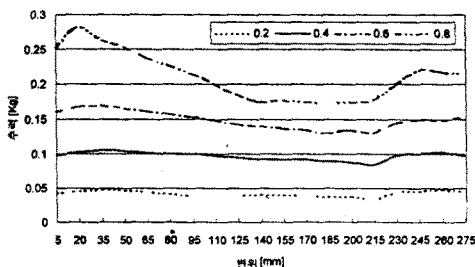


그림 10 단극형의 가동부 변위에 따른 추력

그림10은 제작된 전동기를 다극화하지 않고 전기자 권선 A,B,C,D를 직렬 접속하여 전류를 인가할 때 가동부의 변위에 따르는 추력의 변화를 나타낸 것이다. 전류가 증가함에 따라 스트로크의 중앙에서 철심의 포화가 발생하여 추력이 증가가 둔화되는 것을 알 수 있다.

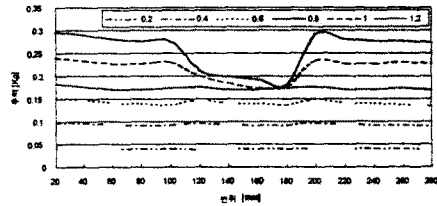


그림11 다극형의 가동부 변위에 따른 추력

그림11은 제작된 전동기를 다극화하여 전기자 권선 A,B,C,D에 그림5에 나타난 것과 같이 전류를 인가할 경우 가동부의 변위에 따르는 추력의 변화를 나타낸 것이다. 전동기를 다극화함으로써 단극형에 비하여 큰 전류에서도 철심이 포화되지 않아 큰 추력을 얻을 수 있는 것을 알 수 있다.

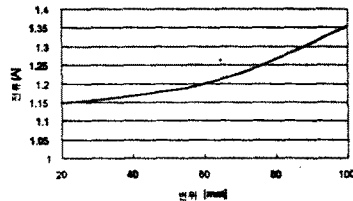


그림 12 정추력을 얻기 위한 전류

그림12는 그림11에서 전류가 1.2(A)일 경우 20-100(mm)의 구간에서 0.282(Kg)의 정추력을 얻기 위한 가동부 위치에 따른 각각의 전류값을 찾은 것이다.

3. 결 론

본 연구에서는 가동 자석형 선형 직류 전동기의 다극화 방법과 다극화 함으로써 발생하는 추력 리플을 감소시키기 위한 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 타당성을 확인하기 위하여 가동 자석형 선형 직류 전동기를 제작하여 추력을 측정하였다. 다극화함으로써 스트로크의 중앙 부분에서 철심이 포화되는 것을 막아 높은 추력을 얻을 수 있었다. 전동기에서 일정한 추력을 얻기 위한 가동부 위치에 따른 각각의 전류값을 찾았다. 가동부의 위치에 따라 찾아낸 전류를 인가하면 일정한 추력을 얻을 수 있을 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] The Magnetic Actuator Technical Commit of IEE of Japan, "Linear Motor and Their Applications," IEE of Japan, pp.6-14,1987.
- [2] Z. G. Ding, "A High Performance DC Linear Motor for Instrumentation," Proc. of the ICEM'84, Lausanne-Switzerland, pp.485-488, Sep. 1984.
- [3] D. Casadei, G. Serra, and A. Tani, "Finite Element Analysis of Brushless PM DC Linear Motor Taking the Saturation Effects into Account," IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 33, No. 5, pp.4197-4199, Sep. 1997.
- [4] L. Hond and K. H. Meyer, "A Linear DC Motor with Permanent Magnets," Philips Tech. Vol. 40, No. 11/12, pp.329-337, 1974.