

정현적 자화분포를 갖는 위치 검출용 마그네틱 센서 개발

정승호, 류세현, 권병일

한양대학교

The Development of Rotary Magnetic Position Sensor
with Sinusoidal Magnetization Density Distribution

Seung Ho Jeong, Se Hyun Rhyu, Byung Il Kwon

Hanyang University

Abstract - This paper presents the development of the magnetic position sensor for servo motor. The magnetization system is designed for the sinusoidal magnetic flux density distribution from permanent magnet using 2D finite element method and Preisach model. The magnetic position sensor is composed of the permanent magnet and two Hall elements. And the algorithm calculating the rotating position is suggested by the phase difference of outputs of Hall elements.

1. 서 론

최근에 자동화 설비를 포함한 정밀 제어용 기기의 증대는 서보모터의 수요 증가를 일으키고 있으며, 이에 따라 서보용 구동원의 핵심적 부품인 위치 검출용 센서의 고정밀, 저가화 기술 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 일반적으로 위치 검출용 센서로는 엔코더(Encoder) 및 레졸버(Resolver) 등이 사용되어지고 있으나, 정밀한 위치 검출이 가능하지만 가격이 매우 높으며 부피가 다소 큰 단점이 있어 서보모터의 소형화 및 저코스트화가 어렵다[1].

기존에는 부피를 줄이고 높은 정밀성을 갖는 센서 개발을 위하여, 착자요오크의 누설자속을 이용하여 자기드럼에 다국 착자를 하고, 극수와 일치하는 펄스를 발생시켜 그로부터 속도를 검출할 수 있는 마그네틱 엔코더가 연구되었다[2, 3]. 하지만 착자 시 서보모터의 정확성이 요구되고, 착자 시간이 다소 오래 걸리며, MR 센서 사용으로 인한 고가의 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하고자 소형 저가의 마그네틱 위치 센서를 연구하였다. 정현적 자속밀도 분포를 갖는 영구자석 착자를 위한 착자요오크를 설계하였으며[4], 제작된 착자요오크로 착자하여 얻어낸 영구자석과 홀소자를 이용하여 마그네틱 위치 센서를 설계하였다. 마그네틱 위치 센서의 시작품을 제작하여 특성을 검토하고 또한, 홀소자 출력 전압으로부터 위치를 계산할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

2. 마그네틱 위치 센서

본 논문의 연구대상 모델은 4극의 영구자석과 2개의 홀소자를 갖는 모델로, 회전 각도에 따라 위치 검출을 위하여 영구자석으로부터 발생하여 홀소자로 검출되는 자속밀도 값이 정현적인 분포를 갖는다. 또한, 각각의 홀소자 출력 전압의 위상차를 발생시켜 이로부터 회전 위치를 검출할 수 있도록 마그네틱 센서가 구성된다.

그림 1은 제작한 마그네틱 위치 센서의 구성을 보여주고 있다. 영구자석 표면에서 홀소자와의 거리만큼 떨어진 부분의 반지름 성분 자속밀도의 크기가 위치에 따라 정현적으로 분포하므로 영구자석이 회전하면서 고정된

홀소자에서 출력되는 전압이 정현적으로 나타나게 된다. 또한, 기계각 45°의 차를 두고 2개의 홀소자를 설치함으로써 출력 전압이 전기각 90°의 위상차를 발생시켜 위치 검출이 가능하도록 하였다.

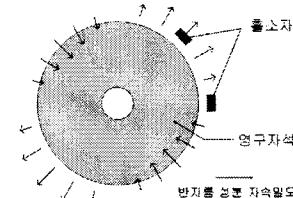


그림 1. 마그네틱 위치 센서의 구성도

3. 영구자석의 착자 시스템 설계

3.1 프라이자흐 모델을 이용한 착자 해석

시간 이산화 유한요소법과 영구자석의 허스테리시스를 해석하는 프라이자흐(Preisach) 모델을 이용하여 영구자석의 잔류 자화값을 구하고, 정자계 유한요소법을 이용하여 공기 중에서 착자된 영구자석에 의한 자속밀도를 구하였다[4]. 영구자석의 착자 해석 순서도는 그림 2와 같다.

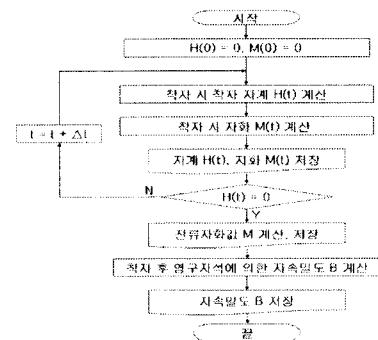


그림 2. 착자 해석 순서도

유한요소법을 이용하여 착자 시 자계의 세기 \vec{H} 을 구할 수 있고, 영구자석의 1차 전이곡선으로부터 프라이자흐 모델의 분포함수를 구할 수 있다. 이 분포함수와 자계의 세기로 식 (1)을 통하여 자화값을 구할 수 있다[5].

$$M(t) = \operatorname{dint}_{h_a \geq h_b} F(h_a, h_b) \rho(h_a, h_b) H(t) dh_a dh_b \quad (1)$$

M 은 자화값, $H(h_a, h_b)$ 는 분포함수, $\kappa(h_a, h_b)H(l)$ 은 히스테론, h_a, h_b 는 스위칭 필드를 나타낸다.

그리고 영구자석의 잔류 자화값으로 2D 유한요소법을 이용하여 공기 중에서의 영구자석에 의한 자속밀도를 계산하였다[4].

3.2 착자요오크 설계 및 실험

마그네틱 센서용 영구자석으로 잔류 자속밀도는 약 0.3 [T]이고 보자력이 약 273 [kA/m]인 저가의 등방성 Ferrite를 사용하였다. 또한, 영구자석의 풀착자를 위하여 높은 자계를 줄 수 있는 콘덴서 방전형 착자 시스템을 선택하였다.

착자요오크는 다음과 같이 설계되었다. 영구자석에 의해 홀소자로 입력되는 자속밀도가 정현파가 되도록 착자요오크의 극과 영구자석 사이의 공극을 위치에 따라 다르게 하여, 영구자석으로부터 발생하여 홀소자로 입력되는 자속밀도가 정현적으로 나타나도록 착자요오크를 설계하였다. 즉, 최소 공극인 부분에서 착자 후 영구자석에 의한 자속밀도가 최대가 되고, 공극이 커질수록 자속밀도는 작아지게 된다.

그림 4는 유한요소법 정자계 해석을 통하여 착자요오크 극의 형상에 따른 자속의 변화를 보여준다. 위치에 따라 (a) 공극이 일정한 경우, (b) 공극 변화가 작은 경우, (c) 공극 변화가 큰 경우를 나타낸다. 위치에 따라 착자요오크의 극의 형상을 (c)와 같이 할 경우, 자속이 공극이 작은 착자요오크의 극 부분에 밀집되므로 착자 후 영구자석으로부터 발생하는 반지름 성분 자속밀도가 위치에 따라 정현적으로 나타날 것을 예상할 수 있다[4].

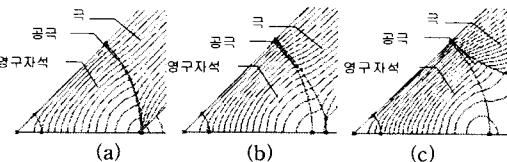


그림 4. 착자요오크 극의 형상에 따른 자속선도 (1/8모델)

이 예상을 바탕으로 유한요소법과 프라이자흐 모델을 이용한 시뮬레이션을 통하여 세부적인 착자요오크 극의 형상을 설계하였다. 그림 5는 최종적으로 설계된 착자요오크의 형상이다.

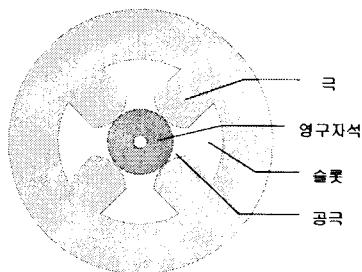


그림 5. 설계된 착자요오크

설계된 착자 시스템을 시뮬레이션 한 결과 영구자석의 위치에 따른 반지름 성분 자속밀도 분포는 그림 6과 같이 나타났다. FFT 분석결과 기본파 성분이 약 90 [%]로 정현파에 매우 가깝게 나타났다.

그림 7은 제작된 착자요오크로 영구자석을 착자한 후 위치에 따른 반지름 성분 자속밀도 분포(실선)와 정현파

(점선)를 비교한 그래프이다. 시뮬레이션 결과보다 자속밀도가 작게 나타났는데, 이것은 착자 후 영구자석에 의한 자속밀도를 2D 유한요소법으로 해석하여 축 방향 자속밀도를 고려할 수 없고 또한, 착자 시 권선 저항과 인덕턴스를 정확히 고려할 수 없기 때문에 사료된다. 또한, 착자요오크의 제작 오차와 측정 시의 오차로 인하여 주기가 전기각 180°가 되지 않아 FFT 분석결과 기본파 성분은 약 80 [%]로 나타났다.

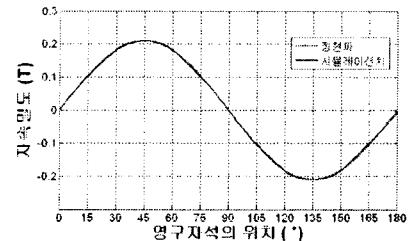


그림 6. 자속밀도 시뮬레이션 결과

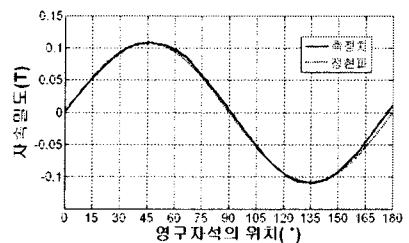


그림 7. 자속밀도 실측 결과

4. 마그네틱 센서 제작 및 실험

마그네틱 센서는 커플링을 이용하여 서보모터에 연결할 수 있도록 그림 8과 같이 설계되었다. 서보모터의 샤프트와 마그네틱 위치센서의 샤프트를 연결하여 마그네틱 위치센서 내의 정현적인 자속밀도 분포를 가지는 영구자석을 회전시킬 수 있다.

또한, 위치에 따라 정현적인 자속밀도를 발생하는 착자된 영구자석과 홀소자 2개를 사용하여 마그네틱 센서의 내부를 제작하였다.

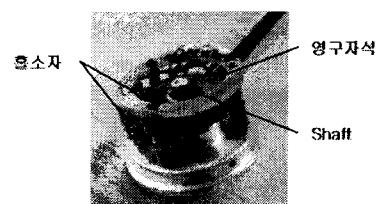


그림 8. 제작된 마그네틱 센서

그림 9는 제작된 마그네틱 센서와 서보모터를 커플링하여 측정한 마그네틱 센서의 출력 전압을, 그림 10은 그 출력 전압의 FFT 분석 결과를 나타낸다. 측정 결과 홀소자의 출력 전압이 정현파에 가깝게 나타나는 것을 알 수 있으며, 홀소자 출력 전압의 기본파 성분은 약 80 [%]로 나타났다. 고조파 필터를 이용하여 출력 전압의 고조파 성분을 제거한다면 더욱 정밀한 위치 검출이 가능할 것이다.

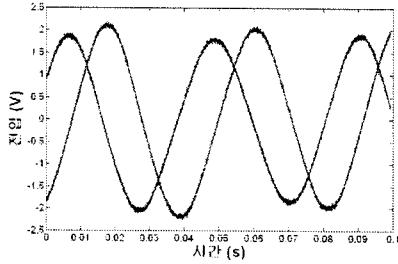


그림 9. 마그네틱 센서 출력 전압

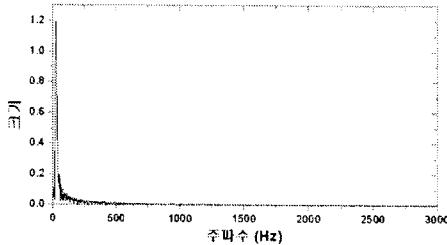


그림 10. FFT 분석 결과

5. 위치 검출 알고리즘

정현적인 홀소자의 출력 전압과 전기각 90°의 위상차를 이용하여 위치를 검출할 수 있는 알고리즘을 구상하였다.

그림 11에서 보는 바와 같이 홀소자 출력 전압의 Zero Crossing Point의 수를 기억하고, 2개의 출력 전압의 양(+), 음(-) 여부를 확인하여, 식 (3)의 위치 영역을 결정할 수 있다.

$$(k-1) \times \frac{\pi}{P} \leq \theta(t) < k \times \frac{\pi}{P} \quad (3)$$

여기서 θ 는 회전 위치, P 는 극수, k 는 1, 2, 3, ..., $2P$ 인 정수를 나타낸다.

위치 영역이 결정되면 그 영역에 따라 식 (4)를 이용하여 위치를 계산할 수 있다.

$$\theta(t) = \pm \frac{2}{P} \times \sin^{-1}\left(\frac{V(t)}{V_{\max}}\right) + \alpha \quad (4)$$

V 는 출력 전압, V_{\max} 는 출력 전압의 피크치, \pm 와 α 는 $-\frac{\pi}{2} \leq \sin^{-1}\left(\frac{V(t)}{V_{\max}}\right) \leq \frac{\pi}{2}$ 이므로 $0 \leq \theta(t) < 2\pi$ 로 대응시키기 위하여 영역에 따라 변하는 보정 값이다.

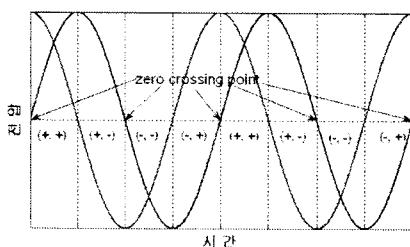


그림 11. 전기각 90°의 위상차를 갖는 정현파형

또한, 그 계산된 위치로부터 식 (5)를 이용하여 속도 ω 를 계산할 수 있고, 속도의 양(+), 음(-) 여부를 확인하여 방향을 알 수 있다.

$$\omega(t) = \frac{\Delta \theta(t)}{\Delta t} \quad (5)$$

이 알고리즘을 이용하여 위치, 속도, 방향 검출 시뮬레이션을 수행하였다. 우선 홀소자의 출력 전압이 전기각 90°의 위상차를 가진 이상적인 정현파이고, 서보모터 회전자의 생성은 없다고 가정하였다. 그림 12는 속도 및 방향의 변화에 대해서 위치, 속도 및 방향을 검출할 수 있음을 보여준다. 또한, 위치, 속도 및 방향을 검출하는데 걸리는 시간의 지연이 거의 없음을 알 수 있다.

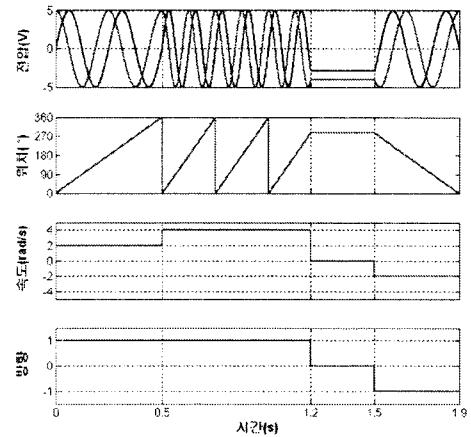


그림 12. 위치, 속도, 방향 검출 시뮬레이션 결과

6. 결 론

소형저가의 센서 개발을 위한 연구의 일환으로, 서보모터의 위치를 검출할 수 있는 마그네틱 위치센서를 설계 제작하였다. 영구자석에 의해 발생하는 반지름 성분 자속밀도가 위치에 따라 정현적으로 분포하도록 착자 시스템을 설계하고, 착자된 영구자석과 2개의 홀소자를 사용하여 마그네틱 센서를 제작하였다. 실험 결과 홀소자의 출력 전압의 기본파 성분이 약 80 [%]로 정현파에 가깝게 발생함을 알 수 있었다. 또한 이상적인 정현파로부터 회전 위치를 검출할 수 있는 알고리즘을 구상하고 시뮬레이션 함으로써 회전 위치 검출의 가능성을 보였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Jon S. Wilson, "Sensor Technology Handbook", Newnes, 2005
- [2] Yin-Jao Luo, E-Tuen Hwang, Shih Ming Huang, "Multi-pole Magnetization of High Resolution Magnetic Encoder", Electrical Electronics Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference, pp. 237-242, 1993
- [3] Y.Kikuchi, F.Nakamura, H.Wakiwaka, H.Yamada, "Consideration of Magnetization and Detection on Magnetic Rotary Encoder Using Finite Element Method", IEEE Trans. on Magnetics. Vol. 33. No. 2, pp. 2159-2162, March 1997
- [4] 정승호, 이철규, 권병일, "마그네틱 위치 센서용 영구자석의 착자 시스템 설계", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1029 1031, 2005
- [5] 홍선기, "동방성 자성재료에서의 일반화된 벡터 히스테리시스 모델링", 서울대학교, 1993