

유한요소법에 의한 수직자기기록장치의
단일자화반전기록 및 재생에 관한 고찰

이항범^o 박관수 한송엽
서울대학교 전기공학과

Consideration the Writing and Reproducing Pattern of Isolated Transition of Magnetization
in Perpendicular Magnetic Recording System by using F.E.M.

Hyang-Beom Lee Gwan-Soo Park Song-Yop Hahn
Dept. of Electrical Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

In perpendicular magnetic recording system, the magnetic recording and reproduction characteristics of isolated transition of magnetization is simulated in this paper.

The recording system which is magneto-static system is analyzed using two-dimensional finite element method and the characteristics of hysteresis of recording media is considered.

The results show that the optimizing current is exist in magnetic recording system.

1. 서론

정보의 저장 및 그 응용에 대한 연구개발은 현대사회가 정보사회로 이행됨에 따라 그 중요성이 점차 커져가고 있다. 특히, 보다 많은 정보를 보다 적은 면적에 기록할 수 있는 고밀도기록장치의 개발은 절실히 요구되고 있다. 이에 따라 자기기록분야에서는 새로운 기록매체와 기록헤드의 재료개발, 고 효율의 헤드설계에 관한 연구 및 종래의 링형헤드와 단층매체를 사용하는 수평기록방식보다 기록밀도를 높일수 있는 방식으로 풀형헤드와 2층매체를 사용하는 수직기록방식 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 널리 쓰이고 있는 자기기록장치는 기록헤드에서 발생되는 자장으로 기록매체를 자화시켜 정보를 기록, 재생시키는 방법으로서, 기록헤드와 기록매체의 자기적 특성뿐만 아니라 그 형상 및 구성방법등에 의해서 민감한 영향을 받는다. 따라서 보다 높은 밀도를 갖는 기록장치를 개발하기 위해서는 헤드와 매체의 자기적인 성질을 향상시키는 것 뿐만 아니라 이것들로 구성되는 전체 시스템의 전자기적인 해석이 필수적이다.

또한, 자기기록시스템을 수치해석하기 위해서는 히스테리시스특성의 수치모사가 이루어져야 한다. 히스테리시스

특성은 그 물리적현상의 난해함이나 그 특성의 복잡성으로 말미암아, 해석을 위한 다양한 모델들이 제시되고 있다.

히스테리시스현상을 수치모사하기 위한 방법으로서 각 자성체 입자들간의 상호작용이 고려된 입자밀도(density distribution)를 데이터로 처리하고, 입력의 변천 과정을 기억시켜 처리하는 Preisach모델^[1]이 있다. 이 모델은 각 자성체 입자들간의 상호작용이 고려된 입자밀도(density distribution)를 입력데이터로 하고 입력의 변천과정을 기억시켜 처리하는 것으로서, 처리해야할 데이터가 상대적으로 많고 그 전개과정이 복잡하며 벡터량에 대한 처리가 곤란하지만 입력의 변천과정을 기억하여 처리하기 때문에 마이너루프의 해석이 가능하고, 기록장치의 오버라이트(overwrite) 특성과 같은 복잡한 현상을 수치모사할 수 있는 가장 유용한 수단으로 간주되고 있다^[2].

본 논문에서는 풀형헤드(sing pole head)와 2층매체(double layer medium)로 구성된 수직자기기록시스템의 단일자화반전 기록과 재생에 대해서 연구하였다.

유한요소법을 사용하여 수직자기기록장치를 수치해석하였으며, 히스테리시스특성의 수치모사를 위해서는 Preisach모델을 이용하였다.

전류를 변화시켜가면서 기록을 하고, 기록된 결과를 다시 재생을 하였다. 그때의 재생전압을 살펴본 결과 자기기록과 재생에 있어서 최적의 전류값이 있다는 것을 확인하였다.

2. 유한요소 정식화

자장의 세기와 자화량에 의한 자장을 식 (1)과 같이 표현하고

$$B = \mu_0 \cdot (H + M) \quad (1)$$

자화량을 식 (2)와 같이 표현하여

$$M = \chi \cdot H + M_r \quad (2)$$

이 식을 Maxwell 방정식에 적용하면 식 (3)를 얻는다.

$$-\nu \cdot \nabla^2 \mathbf{A} = \mathbf{J} + \nu \mathbf{r} \cdot \nabla \times \mathbf{M} \quad (3)$$

2차원문제에서 유한요소정식화과정을 따라 시험함수를 이용하여 적분하고, Green정리를 적용하면 아래와 같은 식을 얻는다.

$$\iint_{\Omega} \left\{ -\nu \cdot \left(\frac{\partial \phi_i}{\partial x} \frac{\partial A_z}{\partial x} + \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \frac{\partial A_z}{\partial y} \right) + \phi_i \cdot J_z - \nu \mathbf{r} \cdot \mathbf{M}_y \frac{\partial \phi_i}{\partial x} + \nu \mathbf{r} \cdot \mathbf{M}_x \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \right\} \cdot dx \cdot dy = 0 \quad (4)$$

문제의 영역을 유한개의 요소를 나누고, 미지수를 형상 함수를 사용하여 나타내고 정리하면 그 식은 아래와 같다.

$$\sum_{e=1}^{Ne} \left[-\nu \cdot \sum_{j=1}^3 S_{ij} \cdot A_j + r_i \cdot J_z^\circ - p_i \cdot \nu \mathbf{r} \cdot \mathbf{M}_y^\circ + q_i \cdot \nu \mathbf{r} \cdot \mathbf{M}_x^\circ \right] = 0, \quad i = 1, 2, 3 \quad (5)$$

여기서,

$$S_{ij} = \iint_{e} \left(\frac{\partial \phi_i}{\partial x} \frac{\partial \phi_j}{\partial x} + \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \frac{\partial \phi_j}{\partial y} \right) \cdot dx \cdot dy$$

$$p_i = \iint_{e} \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \cdot dx \cdot dy$$

$$q_i = \iint_{e} \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \cdot dx \cdot dy$$

$$r_i = \iint_{e} \phi_i \cdot dx \cdot dy$$

위의 식은 자기벡터포텐셜 A_j 를 미지수로 하는 선형행렬 방정식이다. 그러나, 기록매체에서의 잔류자화량 M_x 와 M_y 는 자기벡터포텐셜에 대한 함수가 되므로, 위식은 잔류자화량에 대한 비선형방정식이 된다. 따라서 초기의 잔류자화량으로 시스템을 해석한 후, 계산된 자기벡터포텐셜에서 Preisach 모델을 이용하여 잔류자화량을 다시 구한다. 그런 후 다시 해석하는 것을 수렴할 때까지 반복해서 계산한다.

3. 적용모델

본 논문에서 사용한 모델은 단일 풀형헤드와 2층매체를 가지는 수직자기기록장치이다. 이 모델은 1989년에 발표된 Ashar^[3]의 논문에서 사용한 수직자기기록시스템이다. 이 장치는 실험에 사용하기 위한 모델로, 실제로 사용하는 장

치보다 5000배를 확대하였다. 이 모델의 크기는 메인폴의 두께가 4[mm], 트랙의 두께가 50[mm]이고, 기록매체의 두께는 1[mm]이며, 하층매체의 두께는 5[mm]이다. 기록매체의 재질은 바륨-페라이트(Ba-Ferrite)로 되어 있으며, 하층매체는 퍼멀로이(permalloy)로 되어있다.

헤드를 10[cm] × 10[cm] 크기로 이루어진 기록매체위를 0.5[mm] 띄운채로 움직여가면서 정보를 기록한다. 기록된 결과는 50[μm] × 50[μm]의 감지면적을 가진 홀 소자를 이용하여, 헤드와 같은 높이로 띄워서 자장을 측정함으로써 얻었다.

그림 1은 수치해석하기 위한 2차원 해석영역이다.

기록헤드와 하층매체는 상대부자율이 각각 2500, 1000의 값을 갖는 선형매질로 가정한다. 수직자기기록매체에 사용되는 바륨-페라이트나 코발트-크롬과 같은 재료는 자기이방성이 매우 강한 물질이므로 X방향(헤드가 움직이는 방향)의 자화량은 무시한다. 매체에 사용된 바륨-페라이트의 보자력은 875[Oe], 잔류자기는 1684[G]이다.

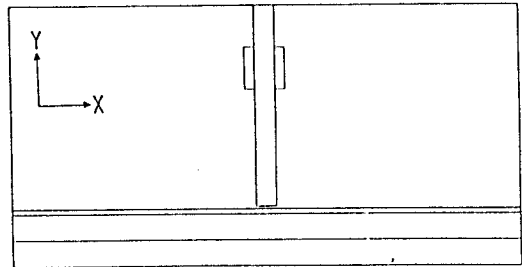


그림 1. 수직자기기록장치의 2차원 해석영역

4. 결과 및 검토

전류의 변화에 따른 단일자화 반전기록의 결과와 이 결과를 가지고 다시 재생한 경우의 결과를 보였다.

4.1 기록

전류값을 0.01[A]와 0.1[A]부터 1[A]까지 0.1[A]단위로, 그리고 2[A]로 바꾸어 가면서 단일자화반전을 시킨 후, 그 결과를 서로 비교하여 보았다.

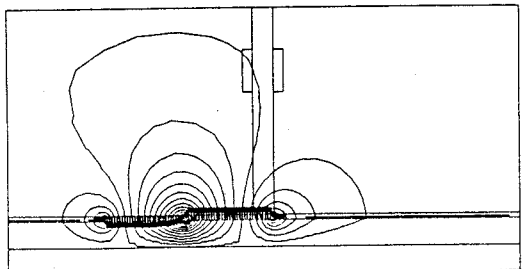


그림 2. 전류가 0.4[A]일때의 자화량과 자장분포

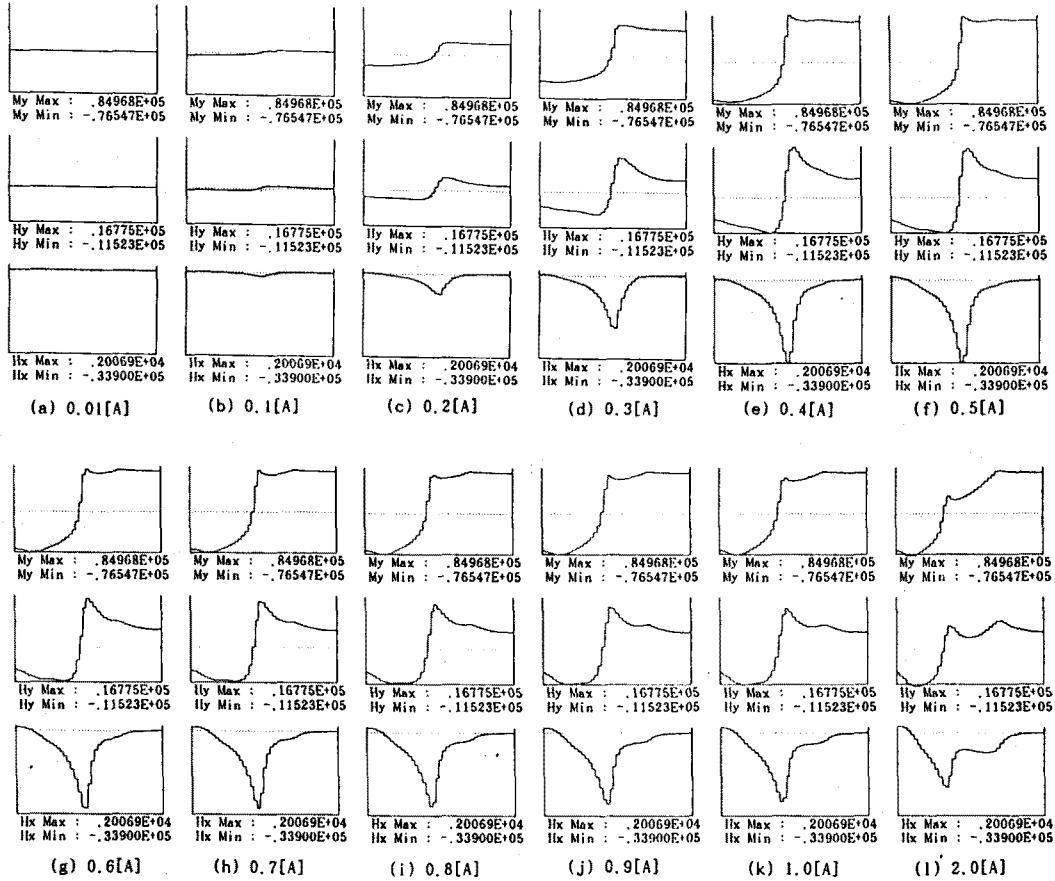


그림 3. 전류의 변화에 따른 잔류자화량과 자계의 세기의 변화 과정

그림 2 에는 기록전류를 0.4[A]로 주어 기록을 시킨 다음 기록헤드를 없앤 후의 잔류자화량에 의한 자장분포가 나타나 있다. 헤드 바로 밑 부분의 자계세기의 분포와 기록매체에서의 자화량의 분포를 기록전류별로 그림 3 에서 보여주고 있다. 기록전류의 변화에 의한 자화량의 최고값을 비교한 것이 그림 4 에 있다. 전류가 0.4[A] 이상에서 자기포화가 일어났다는 것을 알 수 있다.

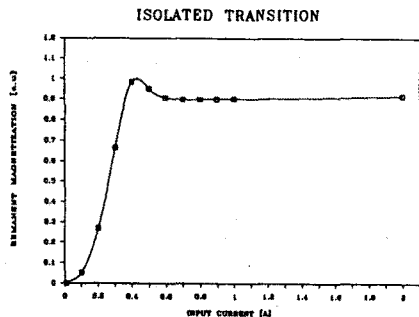


그림 4. 전류에 대한 잔류자화량의 세기

4.2 재생

단일자화반전기록에서 기록된 결과를 헤드로 다시 재생해 내면 그림 5 와 같은 전압이 헤드에 유기된다. 각각의 기록에 대해 재생을 하였을 때 그림 5 와 같은 재생전압에서 최대 전압을 비교한 것이 그림 6 에 나타나 있다.

그림 4 와 그림 6 의 두 그림 모두 0.4[A]이상에서 자기포화가 일어나고 있다는 것이 서로 비슷하다는 것을 쉽게 비교해 볼 수 있다. 여기서 우리는 기록매체와 하층매체, 기록헤드등의 물질특성과 그 구조등이 주어지면, 그 환경하에서 최대의 재생전압을 낼 수 있는 최적의 기록전류가 존재한다는 것을 알 수 있다. 본 시스템에서는 0.4[A]가 바로 그 값이다.

5. 결론

본 논문에서는 수직자기기록장치를 수치해석하기 위하여 유한요소법을 사용하였으며, Preisach모델을 이용하여 히스테리시스특성을 수치모사하였다.

이를 이방성이 강한 바륨-페라이트를 기록매체로 하고,

참고 문헌

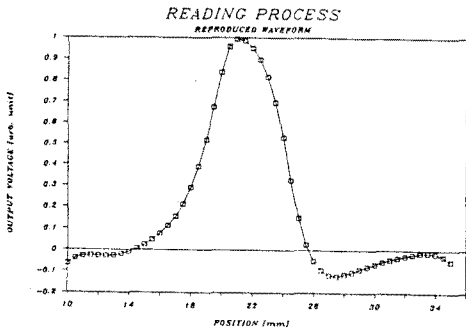


그림 5. 재생전압 파형

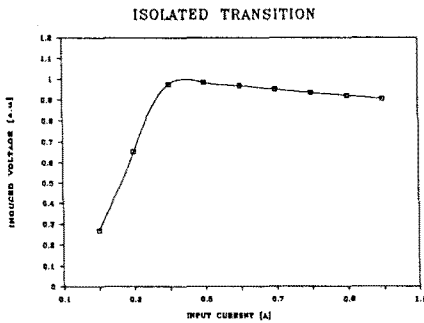


그림 6. 전류에 대한 재생전압의 파형

1. Isaak D. Mayergoz, "Mathematical Models of Hysteresis," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-22, no. 5, pp. 603-608, September 1986
2. Manoj K. Bhattacharyya, H. S. Gill and Ralph F. Simmons, "Determination of Overwrite Specification in Thin-Film Head/Disk Systems," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-25, no. 6, pp. 4479-4489, November 1989
3. K. Sueoka, F. Sai and K.G. Ashar, "2-Dimensional Observation of Recorded Magnetization Transitions in Perpendicular Recording," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-25, no. 5, pp. 4162-4164, September 1989
4. Yoshihisa Nakamura, Ikuya Tagawa and Shun-ichi Iwasaki, "Analysis of Magnetization Distribution in Double-Layered Perpendicular Magnetic Recording Medium," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-23, no. 5, pp. 2856-2858, September 1987
5. Yoshihisa Nakamura and Ikuya Tagawa, "An Analysis of Perpendicular Magnetic Recording using a Newly-Developed 2D-FEM Combined with a Medium Magnetization Model," IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-25, no. 5, pp. 4159-4161, September 1989

2층 매체와 풀형헤드를 갖는 수직자기기록시스템에 적용하였다. 전류의 값을 가변으로 하여 단일자화반전기록을 시킨 후 다시 재생하였다.

재생전압을 살펴본 결과 주어진 자기기록시스템에서 최대의 재생전압을 낼 수 있는 최적의 기록전류가 존재한다는 것을 확인하였다.