

수직자기 기록장치에서 기록밀도가 재생전압에 미치는 영향

박관수, 이항범, 한승엽

서울대학교 전기공학과

이택동, 장평우

한국 과학기술 연구원 기능금속 연구부

(1991년 9월 13일 받음)

수치해석을 이용하여 자기기록장치를 구성하는 여러 요소들이 정보의 기록 또는 재생에 미치는 영향을 해석할 수 있는 방법을 기술하고 이것을 수직자기기록장치에 적용하여 기록밀도의 변화에 따른 재생전압의 형태를 구하였다. 자기기록장치에서 정보가 기록되는 것은 기록매체의 히스테리시스현상에 기인하는 것이므로 수치해석시 히스테리시스 특성을 고려해 주어야 한다. 본 논문에서는 Preisach 모델과 유한요소법을 이용하여 히스테리시스 특성을 포함하는 자기기록장치의 기록 및 재생의 전과정을 해석할수 있는 수치해석 기법을 확립하고, 이 방법으로 자기기록장치의 여러 요소에 대한 영향을 구할수 있음을 보이기 위하여 이것을 수직자기 기록장치에 적용하여 기록밀도가 17[KFRPI]에서 254[KFRPI]까지 증가할때 기록과정에서 주어진 전류파형에 대하여 매체에 기록된 자화량을 구하고, 재생과정에서 헤드에 유기되는 전압을 구하여 기록밀도 증가에 따른 재생전압크기의 변화를 구하였다.

I. 서 론

보다많은 정보를 보다 적은 면적에 기록할 수 있는 고밀도기록장치의 개발을 위해 많은 연구들이 진행되고 있다. 그러나 기록헤드 및 기록매체, 그리고 이런것들로 이루어지는 자기기록장치의 여러 요소중에서 어떤요소가 기록밀도 증가에 어느정도의 영향을 미치는지에 대해 불확실한 경우가 있다. 수평과 수직으로 대별되는 기록방식, 헤드의 효율향상을 위한 구조, 헤드권선의 위치 및 형태, 매체와의 gap, 헤드재료의 투자율, 기록매체의 두께, $B-H$ 평면상의 보자력과 잔류자속밀도의 크기, 직각도(squareness), 초기자화곡선의 형태, 하층매체의 투자율 등과 이밖의 여러 인자들이 기록밀도에 미치는 영향을 분석하기 위해 실험과 경험에 의존하여 왔으나, 수치해석을 이용하면 보다 용이한 방법으로 여러 요소들의 영향을 구할 수 있다[1,2].

자기기록장치에서 정보가 기록, 재생되는 것은 기록매체의 히스테리시스현상에 기인하는 것이므로 자기기록장치를 수치해석하기 위해서는 히스테리시스현상을 묘사할 수 있는 기법이 필요하다. 히스테리시스특성을

수치모사할 수 있는 몇가지 방법중[3-7]. Stoner-Wohlfarth 모델과 그것을 개량한 방법은[6] 몇가지 단점으로 인하여 정밀한 계산에 한계가 있음에 비하여[12], Preisach 모델은 자기입자들간의 상호작용(interparticle interaction)이 고려되어 있으며, 자계의 세기뿐만 아니라 자계의 세기의 이력에 따라 자화량의 값이 달라지는 히스테리시스의 복잡한 특성을 가장 잘 모사할 수 있는 것으로 간주되고 있다[8-10].

수치해석기법중 유한요소법은 가장 널리 이용되고 있으며 특히 비선형문제의 해석에 다른 기법들보다 우수함이 알려져 있다[11]. 히스테리시스의 수치모사를 위해 Preisach 모델과 유한요소법을 이용할 경우 수직자기 기록장치의 자장의 실험치와 계산치가 비교적 잘 일치하였다[12].

본 논문에서는 이상의 방법들을 이용하여 자기기록장치에서 주어진 전류에 의하여 기록되는 기록과정에서부터 헤드에 전압이 유기되는 재생과정에 이르기까지의 전 과정을 보다 정밀한 해석이 가능한 Preisach 모델에 의한 히스테리시스 특성해석과 유한요소해석으로 수치해석할 수 있는 방법을 기술하고, 이것을 수직자기 기록

장치에 적용하여 17[KFRPI]부터 254[KFRPI]까지의 기록밀도에 대하여 기록과정을 수행한 후 기록된 매체 위로 헤드를 움직여 헤드코일에 유기되는 재생전압을 구하고, 기록밀도의 증가에 따른 재생전압 크기의 변화를 구하였다.

II. 수치해석 방법

정자계 해석에 있어서의 유한요소법은 주어진 전류와 자화량에 의한 자장을 계산할수 있다. 그러나 히스테리시스 특성을 갖는 자기기록장치에서는 자화량도 계산되어야 할 미지수이므로 Preisach 모델을 이용하여 자장값으로부터 자화량의 값을 구한다. 달라진 자화량에 의한 자장은 유한요소법으로 다시 구하고 그와같은 계산을 반복하여 수렴시킨다.

먼저 유한요소법을 적용하기 위한 수식을 유도한다. 자계의 세기와 자화량에 의한 자속밀도는 다음식으로 표현된다.

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

히스테리시스 현상이 있는 매질에서는 자화량과 자계의 세기에 대한 관계가 간단한 수식으로 표현되지 않으므로 미지수로 남겨둔다. 식(1)에 전류에 의하여 발생되는 자계의 세기를 표현하는 Maxwell 방정식

$$\nabla \times H = J \quad (2)$$

를 대입한 후 식(3)과 같이 정의되는 자기벡터포텐셜을 식(2)에 대입하면 식(4)를 얻는다.

$$B = \nabla \times A \quad (3)$$

$$-\nu_0 \nabla^2 A = J + \nabla \times M \quad (4)$$

여기서 ν_0 는 $1/\mu_0$, μ_0 는 진공의 투자율이다. 헤드의 두께에 비하여 폭이 크므로 폭방향의 자화량과 자화량의 변화를 무시하면 2차원문제로 간주할 수 있다. 식(4)의 2차원적 형태에 유한요소법 정식화 관정에 따라 전개하면 아래와 같은 유한요소 행렬식을 얻는다.

$$\sum_{e=1}^{NE} \left[-\nu \sum_{j=1}^3 S_{ij} A_j + r_i J_z^e - p_i M_y^e + q_i M_x^e \right] = 0, \quad (5)$$

$i = 1, 2, 3$

여기서 첨자 e는 요소를 나타내고 N_e 는 총 요소수를 나타내며, 각 계수는 아래와 같다.

$$S_{ij} = \iint_e \left[\frac{\partial \phi_i}{\partial x} \frac{\partial \phi_j}{\partial x} + \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \frac{\partial \phi_j}{\partial y} \right] dx dy$$

$$p_i = \iint_e \frac{\partial \phi_i}{\partial x} dx dy$$

$$q_i = \iint_e \frac{\partial \phi_i}{\partial y} dx dy$$

$$r_i = \iint_e \phi_i dx dy$$

식(5)에서 우변의 자화량은 자장에 따라 변하는 미지수이므로 이 식은 비선형 방정식이 된다. 자장의 값에 대한 자화량을 계산하기 위해 Preisach 모델을 도입한다.

Preisach 모델은 자성체의 히스테리시스곡선으로 부터 입자간 상호작용이 고려된 입자들의 밀도 분포함수를 구한 후 입력값의 변화에 따라 궤적을 남기는 작용점 평면상에서 이 밀도함수를 적분함으로써 출력값을 얻는 방법이다[8-10]. 입력 $u(t)$ 의 값과 그 이력에 따라 다른 값을 갖는 히스테리시스 특성의 출력은 아래와 같이 계산된다.

$$f(t) = \iint \mu(\alpha, \beta) \gamma u(t) d\alpha d\beta \quad (6)$$

여기서 $\gamma u(t)$ 는 입력값의 변화에 따라 +1 또는 -1의 값을 갖는 히스테리시스 작용자이며, $D(u_r, u_i)$ 는 밀도분포함수이다. 이와같은 방법으로 자속밀도를 입력으로 하는 자화량의 출력을 얻을 수 있다.[10]

이상과 같은 방법으로 자화량을 구하면 식(5)에 의하여 자기벡터포텐셜을 구할 수 있고 이 과정을 반복하면 주어진 전류값에 대한 기록매체의 자화량을 구할 수 있다.

자기기록장치에서는 헤드가 기록매체 위를 이동하므로 헤드의 이동에 따라 새로운 반복계산이 필요하다. 따라서 헤드의 한 위치에서 위에서 서술한 방법으로 자장과 기록매체의 자화량을 구한 후 헤드를 조금 이동시키고 위의 과정을 반복한다.

III. 적용 및 결과

앞절에서 서술한 방법을 풀형헤드와 2층매체를 가진

수직자기기록장치에 적용하여 직류전류를 흘릴 경우 자화량의 분포는 그림 1과 같다. 적용모델은 참고문헌[13]과 같으며 그림 1은 헤드의 아래부분을 확대한 것이다. 그림 1에서 자화량은 화살표로 나타나 있으며 헤드 아래 자장의 세기가 센 부분에 자화가 많이 되었음을 볼 수 있다.

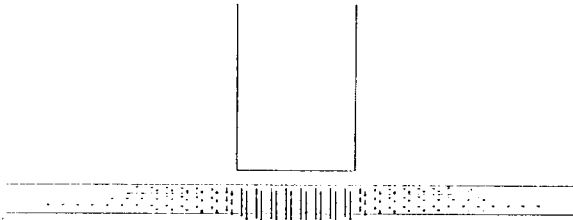


Fig. 1. Magnetization distribution obtained by a D. C. current in recording media when head is not moving. Arrow means magnetization.

기록매체를 옆으로 이동시키면서 이상과 같은 계산을 반복하고, 기록전류의 방향을 바꾼다. 기록과정이 모두 끝난후 다시 헤드를 매체위에서 이동시키면 헤드의 권선에 재생전압이 유기된다. 그림 2는 기록과정에서 헤드에 흘러주는 기록 전류의 파형과 재생전압의 파형을 기록밀도 20[KFRPI], 63.5[KFRPI], 169.3[KFRPI]에 대하여 그린 것이다. 기록전류는 크기가 일정한 구형파이며 재생전압은 재생과정에서 헤드가 이동하는 속도 및 헤드코일의 턴수에 비례하므로 상대적인 값이다.

그림 2의 기록밀도에 대하여 매체에 기록된 자화량은 그림 3과 같다. 그림 3은 재생과정을 그린 것이며, 기록밀도가 증가함에 따라 헤드를 통과하는 자속의 양은 줄어들고 이에 따라 그림 2에서와 같이 재생전압의 크기는 감소한다.

기록밀도를 17[KFRPI]에서 254[KFRPI]까지 증가시키면서 각각의 기록밀도에 대하여 위와 같은 과정을 반복한 후 재생되는 재생전압의 크기를 그리면 그림 4와 같다. 그림에서 X좌표는 기록밀도, Y좌표는 재생전압의 크기이며 양축 모두 log scale 값이다. 기록밀도가 증가함에 따라 헤드의 폭과 기록밀도의 한 주기가 일치하는 100[KFRPI]근방에서 재생전압은 감소했다가 다시 증가하는 roll-off curve를 얻을 수 있다.

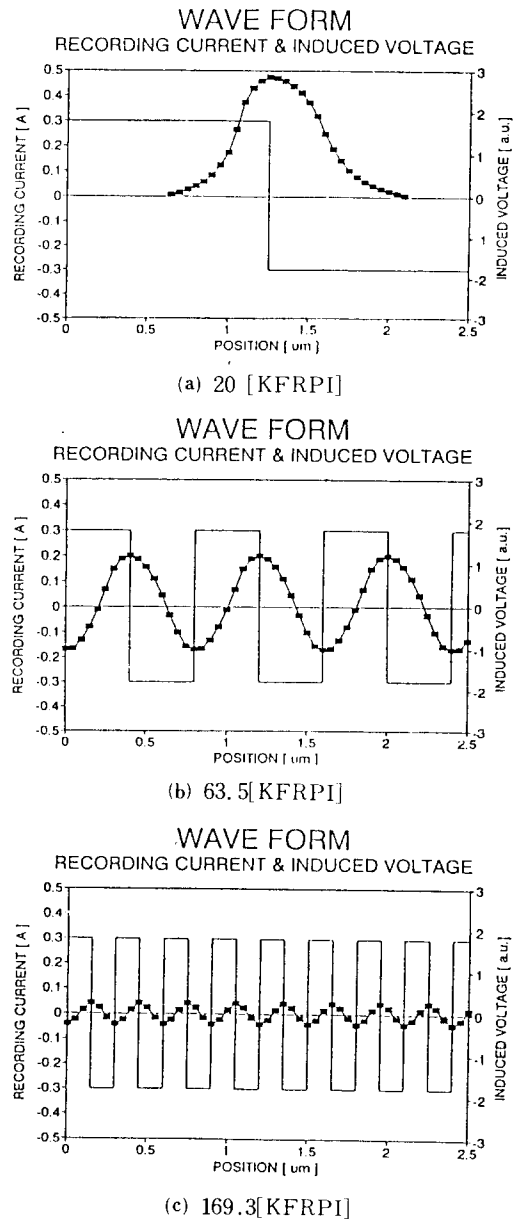
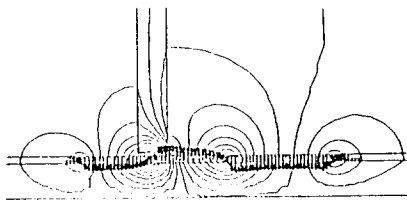


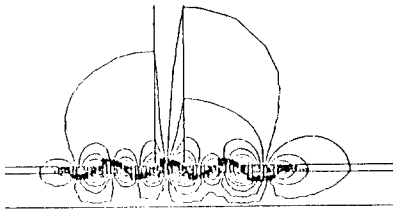
Fig. 2. Waveform of recording current and induced voltage according to increase of recording density.

IV. 결 론

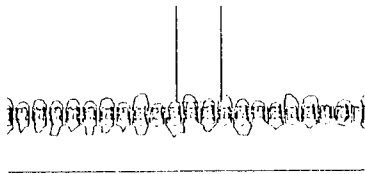
히스테리시스 현상을 보다 정밀하게 수치모사할 수 있는 Preisach 모델과 비선형문제의 해석에 유리한 유한 요소법으로 자기기록장치를 구성하는 여러 요소들의 영



(a) 20 [KFRPI]



(b) 63.5 [KFRPI]



(c) 169.3 [KFRPI]

Fig. 3. Reading process of various recording density. Pattern of recorded magnetization can be shown.

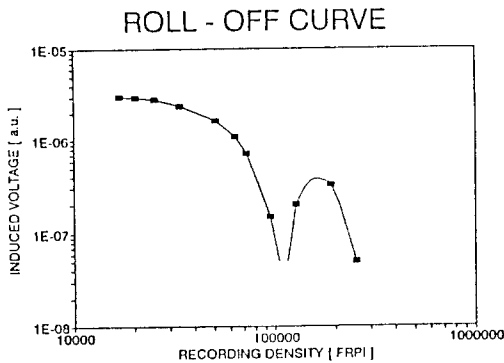


Fig. 4. Magnitude of voltage induced in head coil according to increase of recording density. Both axis are in log scale.

향을 해석할 수 있는 방법을 구현하고, 이것을 수직자기 기록장치에 적용하여 기록밀도의 증가에 따른 재생전압의 변화를 수치해석하였다. 여러가지 기록밀도에 대하여 주어진 전류파형에 대한 기록과정을 수행한 후 기록된 매체위를 이동한 헤드의 코일에 유기된 재생전압의 파형을 얻고, 기록밀도를 X축, 재생전압의 크기를 Y축으로 하는 곡선을 그려 기록밀도의 한 주기가 헤드의 폭과 일치할때 재생전압이 감소했다가 다시 증가하는 roll-off curve를 구하였다.

본 연구의 방법으로 자기기록장치의 기록과 재생과정을 수치해석해 봄으로써 자기기록 장치를 이루는 여러 요소들이 미치는 영향을 효과적으로 구할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Finn Jorgensen, The Complete Handbook of Magnetic Recording, TAB Books, PA(1988) pp. 151-189.
- [2] Marin Camras, Magnetic Recording Handbook, VAN Nortrand Reinhold Company, New York (1988) pp. 15-88.
- [3] S. S. Udpa and W. Lord, IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-21, no. 6, 2370(1985).
- [4] Y. Saito, S. Hayano, T. Yamamura and H. Saotome, IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-20, no. 5, 1965(1984).
- [5] T. R. Koehler, J. Appl. Phys. 55(6), 15., 2214(1984).
- [6] Y. Nakamura, I. Tagawa and S. Iwasaki. IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-23, no. 5, 2856(1987).
- [7] R. I. Potter and R. J. Schmulian, IEEE Trans. Mag., vol. MAG-7, no. 4, 873(1971).
- [8] R. M. Del Vecchio, R. S. Hebbert and L. J. Schwee, IEEE Trans. Mag., vol. MAG-25, no. 5, 4322(1989).
- [9] I. D. Mayergoya, IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-22, no. 5, 603(186).
- [10] M. K. Battacharyya, H. S. Gill and R. F. Simmons, IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-25, no. 6, 4479(1989).
- [11] O. C. Zienkiewicz, The Finite Element Method, McGRAW-Hill, London (1977), pp.450-526.

[12] 박관수, 이항범, 한송엽, 정현교, 이택동, 대한 전기학회 논문지 40(3), 258(1991).

[13] K. Sueoka, F. Sai and K.G. Ashar, IEEE Trans. on Mag., vol. MAG-25, no. 5, 4162(1989).

Effect of Recording Density on the Reproducing Voltage in Perpendicular Magnetic Recording System

G. S. PARK, H. B. LEE, S. Y. HAHN

Dep. of Electrical Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742

T. D. LEE, P. W. JANG

Division of Metal, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791

(Received 13 September 1991)

The method for analyzing the recording and reading process of magnetic recording system by numerical simulation is introduced, which can simulate the effect of elements of the magnetic recording system. During the whole simulation, hysteresis characteristics must be included. Preisach model and finite element method are used to construct the algorithm. From the wave of recording current, recorded pattern of magnetization in recording media is simulated in recording process, and then waveform of reading signal in head coil is obtained in reading process. To show the validity of this method, this is applied to perpendicular magnetic recording system. Waveform of recording signal and reproduced signal is obtained in several density. Pattern of reproduced voltage magnitude according to increase of recording density shows roll-off curve.