

자기 기록 시스템에서 기록 미디어의 자화에 의해 발생된 와전류에 대한 연구

원혁, 박관수  
부산대학교 전기공학과

Study of Magnetized Magnetic Recording Media Induced Eddy Current Effects on High Density Magnetic Recording System

Hyuk Won, Gwan Soo Park  
Dept. of Electrical Engineering Pusan National University

**Abstract** - 자기 기록 시스템이 더 높은 기록 밀도를 가지려면 기록 미디어에 더 작은 공간을 가지는 비트를 기록할 수 있어야 한다. 이를 가능하게 하기 위해서는 더 작은 비트를 보존 할 수 있는 고 보자력 기록 미디어와 이를 기록할 수 있는 자기 기록 헤드가 있어야 한다. 자기 기록 시스템에서 기록 밀도와 함께 중요시 되는 것이 바로 기록 속도이다. 시스템이 발전할수록 요구되는 속도 또한 높아지고 있다. 기록 속도가 빨라지려면 기록 주파수가 높아지고 기록 미디어의 회전 속도가 빨라져야 한다. 자기 기록 헤드는 자화되어 있는 고 보자력 기록 미디어 위를 빠른 속도로 직선 운동하고 있는 형태가 되고 이로 인하여 자기 기록 헤드에 와전류가 발생하게 된다. 발생하는 와전류의 형태는 기록 미디어에 자화된 형태에 따라 달라질 것이고 또한 자기 기록 미디어의 회전 속도와 와전류가 발생하는 기록 헤드의 전기전도도에 따라 변화 된다. 본 연구는 이렇게 발생된 와전류를 3차원 유한요소법을 이용하여 분석한 수 이 와전류가 기록 필드에 미치는 영향을 분석하여 제시 하였다.

1. 서 론

근래의 자기 기록 시스템의 기록 밀도는 급격히 증가하고 있다. 표 1은 근래의 자기 기록 시스템의 변화 파라미터들을 보여주고 있다. 기록 밀도의 증가와 함께 기록 방식은 수평에서 수직으로 변화 되었고 기록 미디어의 보자력은 점차로 높아지고 있다. 이와 함께 기록 속도 역시 크게 증가하는 추세이다. 기록 밀도를 높이려면 기록 미디어의 더 작은 영역에 하나의 비트를 기록하여야 한다. 이를 위해서 기록 방식은 더 작은 비트 사이즈를 기록 할 수 있는 방식인 수직 기록 방식으로 바뀌었고 기록 미디어의 보자력 역시 높아져 기록된 자화를 보존할 수 있게 되었다. 더욱 높아진 보자력 미디어의 자화를 반전 시켜 기록하기 위해서는 이를 자화 반전 시킬 수 있는 더욱 커다란 기록 필드를 발생 시켜야 한다. 기존 방식의 자기 기록 시스템으로는 이를 만족 시킬 수 있는 커다란 필드를 발생 시킬 수가 없었다. 이를 만족하는 충분한 자기 기록 필드를 발생시키기 위하여 기록 미디어 층 아래 연자성층(Soft-magnetic Under Layer, SUL)을 추가하는 방법을 사용하게 되었다. 이로 인하여 기록 미디어를 자화 반전 시켜 기록 할 수 있는 충분한 필드를 발생 시킬 수 있었다.

자기 기록 시스템에서 자기 기록 밀도만큼 중요시 요구되고 있는 것이 바로 기록 속도이다. 자기 기록 속도가 빨라지려면 자기 기록 헤드 아래서 움직이는 기록 미디어의 회전 속도가 빨라져야 하고 자기 기록 헤드에 인가 되어 지는 전류의 주파수가 높아져야 한다. 이러한 자기 기록 속도의 증가는 자기기록 시스템에서 기록 시스템에서 또 다른 문제를 발생 시키게 된다. 자기 기록 필드의 세기를 높이기 위해 추가된 연자성층과 자기 기록 헤드에 선 속도 운동으로 인하여 와전류가 발생되어지는 와전류와 기록 주파수에 의해 와전류가 발생되게 된다. 이렇게 발생된 와전류는 기록 필드에 왜곡과 감소라는 영향을 주게 된다.

이러한 와전류의 영향뿐만 아니라 기록 필드에 의해서 자화된 미디어에서 발생하는 필드 때문에 그 위를 빠르게 선 속도 운동 하는 자기 기록 헤드에도 와전류가 발생하게 될 것이고 이 역시 기록 필드에 어떠한 영향을 주게 될 것이라는 것을 예상할 수 있다. 본 논문에서는 기록 미디어에서 발생되어진 필드에 의해서 자기 기록 헤드에 발생되어지는 와전류를 삼차원 유한 요소법을 사용하여 수치 모사한 후 이를 분석하여 제시하였다.

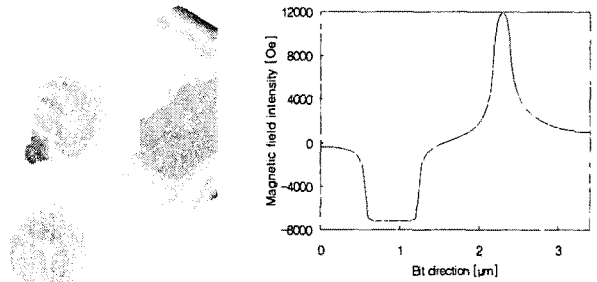
〈표 1〉 자기 기록 시스템의 파라미터

Production Launch	1Q03	1Q04	1Q05	4Q05	2006
GB/Platter(95mm)	80	120	160	240	320
Areal Density(Gb/in <sup>2</sup> )	60	90	120	180	240
<b>Magnetic Media</b>					
Magnetic Structure	Conv /SAF	SAF	SAF /Per	Per	Per
VSM Coercivity	4000~5000	4300~5300	4500~5500	5000~6000	5500~6500
<b>Recording Spec</b>					
RPM	7200	7200	7200	7200	10k
Linear Velocity	40 m/s	40 m/s	50 m/s	50 m/s	70 m/s
Recording Frequency	200 ㎐	500 ㎐	1 ㎐	2 ㎐	5 ㎐

2. 본 론

2.1 해석 모델

본 연구에 사용되어진 자기 기록 헤드는 그림 1에 보여 지는 것과 같다. 형상은 그림 1 (a)에 보여지는 것과 같은 일반적인 SPT(Single Pole Type) 헤드로 기록 밀도는 보편적인 150 Gb/in<sup>2</sup>이다. 기록 미디어의 방식은 연자성층을 추가한 형태를 사용하였다. 최적화된 파라미터로 시뮬레이션 하여 얻은 기록 필드 세기는 그림 1 (b)에 보여 지는 것과 같다. 최대 필드의 세기는 12000 Oe 정도의 세기로 강한 보자력을 가지는 차세대 미디어를 자화 반전시키기에 충분하다는 것을 알 수 있다. 최적화된 모델을 얻기 위해 사용된 파라미터들이 표 2에 기술 되어 있다.



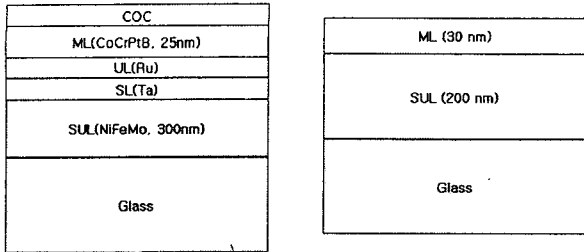
(a) 150 Gb/in<sup>2</sup> 모델 (b) 정적 상태의 자기 기록 필드  
〈그림 1〉 SUL를 사용한 자기 기록 헤드 해석 모델

〈표 2〉 해석 모델의 파라미터

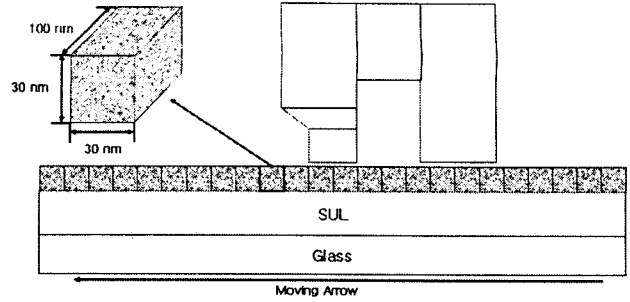
Type	Single Pole Tip Head
Pole Tip (W × H)	110 nm × 180 nm
Pole Slope	35°
Pole Length	20 ~ 80 nm
Yoke Height	3000 ~ 10000 nm
Gap Size	200 ~ 1000 nm
Current	100 mA

본 연구에서는 자화된 기록 미디어에서 발생하는 필드로 인해서 선 속도 운동하고 있는 기록 헤드에 발생되는 와전류에 대한 연구이므로 기록 미디어의 구조적인 도입이 필요하다. 연구에 사용된 기록 미디어의 형태를 간략화 하여 나타낸 것이 그림 2이다. 사용된 구조는 PMR 디스크 구조이다. 실제적인 구조는 그림 2 (a)에 나타난 것과 같다. 하지만 이를 시뮬레이션 하기 위해서는 더욱 간단한 구조를 사용 하여도 같은 결과를 얻을 수 있다. 이를 간략화 시킨 것이다. 그림 2 (b)이다. 시뮬레이션을 위해서 COC 층, UL 층, SL 층을 생략하였고 자성층의 두께는 30nm, 연자성층의 두께는 200 nm 그리고 기록 헤드와 미디어 사이의 거리는 10nm로 설정 하였다.

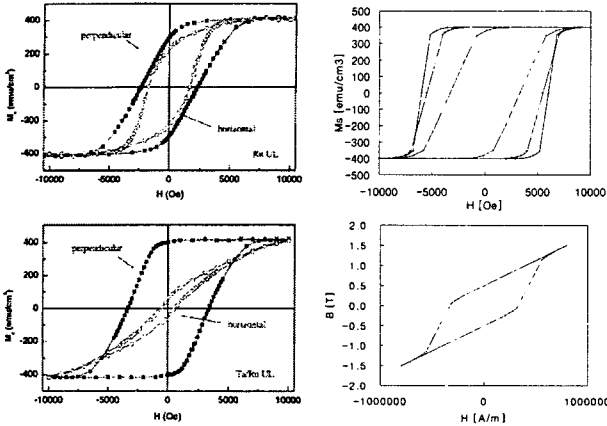
또한 자화된 자성체의 특성을 고려하기 위해서 자성체의 자기적 특성을 적용해야 한다. 본 연구에서는 그림 3에 나타난 특성의 재료들을 사용하였다. 그림 3 (a)는 일반적으로 사용되는 기록 미디어 중의 하나인 CoCrPt-type Alloy 재료의 특성을 나타낸 것이다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 3가지 특성의 재료들을 모사하여 사용하였다. 이 3가지 재료의 특성을 모사한 것이 그림 3 (b)에 나타나 있다. 각 재료들은 보자력이 3000 Oe, 5000 Oe, 5500 Oe인 재료적 특성을 지니고 있다. 자성체의 자화 상태는 정적인 상태로 최대 자화로 균일하게 자화되었다는 가정 하에 연구가 진행되었다.



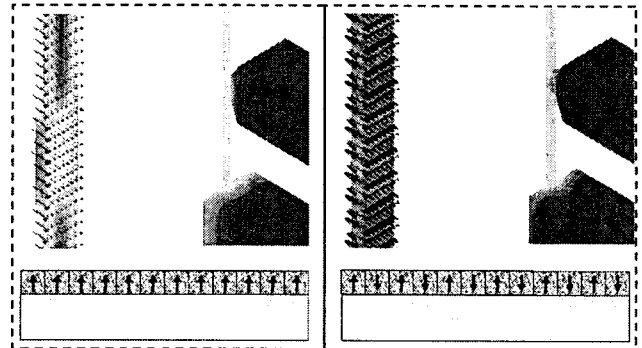
(a) PMR 디스크 구조 (b) 간략화된 디스크 구조  
 <그림 2> 자기 기록 미디어의 디스크 구조



<그림 4> 자성 재료 층의 1bit 크기



(a) CoCrPt-type Alloy (b) 모사화된 자성재료  
 <그림 3> 자성층의 자기적 특성



(a) 기록 패턴 #1 (b) 기록 패턴 #2  
 <그림 5> 미디어의 자화 기록 패턴 설정

2.2 속도에 의해서 발생하는 와전류

선 속도 운동으로 인해서 발생하는 와전류의 해석 방법은 Maxwell 방정식으로부터 유도 되어 질 수 있다.

$$\nabla \times H = J \quad (1)$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2)$$

이 식들로부터

$$J = \sigma(E + u \times B) \quad (3)$$

여기서  $\sigma$ 는 전기전도도(Conductivity)와  $u$ 는 속도(Velocity)를 각각 의미한다. 이 수식을 풀어 정리하면

$$\nabla \times \frac{1}{\mu} \times A - \nabla \cdot \frac{1}{\mu} \nabla \cdot A = \sigma(u \times \nabla \times A) - \sigma \nabla V \quad (4)$$

$$\nabla \cdot \sigma \nabla V - \sigma \nabla \cdot (u \times \nabla \times A) = 0 \quad (5)$$

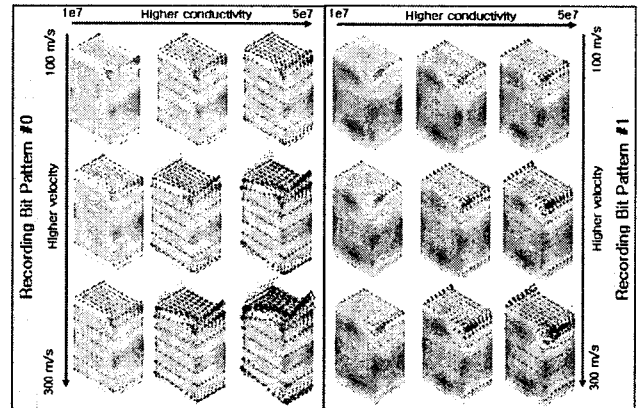
자기 기록 시스템에서 속도에 기인하여 발생하는 와전류를 해석하기 위해서는 수식 (4)와 (5)를 사용해서 해석 할 수 있다.

2.3 미디어의 자화 패턴에 따른 와전류 분포 해석

자화된 미디어에 의해서 헤드의 폴에 발생되어지는 와전류는 미디어의 자화 형태에 따라 다르게 될 것이다. 이에 대한 영향을 분석하기 위해서는 기록이 일어나는 자성 재료 층의 비트의 크기가 설정되어야 할 것이다. 본 연구에서는 앞서 설정한 기록 밀도인 150 Gb/in<sup>2</sup>의 파라미터에 맞추어 1 비트의 크기를 설정하였다. 이를 나타 낸 것이 그림 4이다. 1 비트의 사이즈는 bit 방향으로 30 nm, Track 방향으로 100 nm, 미디어의 두께는 30 nm로 설정하여 시뮬레이션 하였다. 미디어가 회전하는 방향은 그림 4의 화살표 방향이다.

미디어의 자화 패턴에 따른 와전류의 분포 특성을 위해서 본 연구에서는 크게 두 가지 분포 패턴을 설정하여 시뮬레이션 하기로 하였다. 그 두 가지 형태를 간략화 하여 나타낸 것이 그림 5이다. 첫 번째 패턴은 모든 비트가 하나의 비트로 통일 되어 있는 패턴이다. 이는 그림 5 (a)와 같이 비트를 방향에 따라 '0'과 '1'로 표현하였을 경우 모든 비트가 '0' 또는 '1'만의 상태를 가지는 경우이다. 이 경우 미디어에서 발생되어지는 필드의 크기는 많은 종류의 패턴 중에서 가장 큰 경우이다. 두 번째 패턴은 미디어의 자화 비트들이 교르게 '0'과 '1' 상태를 가지는 경우이다. 이를 표현한 것이 그림 5 (b)에 나타나 있다. 이 경우는 일반적으로 사용되는 자기 기록 시스템의 미디어가 가지는 특성의 대부분의 경우 일 것이다. 이 경우 첫 번째 패턴 보다는 미디어에서 발생되어지는 필드의 크기가 작을 것이다.

폴 밑에 발생되어지는 와전류는 미디어의 자화 패턴뿐만 아니라 미디어가 회전하는 속도에 따라서도 변화 되어 질 것이고 또한, 와전류가 발생되어지는 장소인 자기 기록 헤드의 재료적 특성인 전기 전도도에 따라서도 그 영향을 받을 것이다. 본 연구에서는 이를 고려하기 위하여 미디어의 회전 속도는 100 ~ 300 m/s로 파라미터를 변화하여 적용하였고 또한 각 경우에 따라 전기 전도도를 1e7 ~ 5e7 Ω/m를 설정하여 연구 진행 하였다.



(a) 기록 패턴 #1 (b) 기록 패턴 #2  
 <그림 6> 미디어의 발생 필드의 영향으로 기록 헤드에 발생하는 와전류

그림 6은 미디어의 발생 필드의 영향으로 기록 헤드에 발생하는 와전류의 분포를 선 운동 속도와 전기 전도도 파라미터에 따라 표현해 놓은 것이다. (a)의 미디어 패턴은 가장 큰 필드를 발생할 수 있는 경우이므로 (b)보다 큰 와전류 분포를 보인다는 것을 알 수 있다. 발생하는 와전류 패턴을 분석해 보면 선 속도 운동 방향에서 발생하는 와전류는 기록 필드를 감소시키는 방향으로 반대쪽은 증가 시키는 방향으로 증가되며 이는 기록 필드를 왜곡시킨다는 것을 알 수 있는 결과 이다. 전기 전도도와 기록 속도 그리고 영향을 주는 필드의 크기가 클수록 왜곡 현상이 심해진다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

자기 기록 미디어의 자화에 의해서 발생하는 와전류는 기록 필드를 왜곡 시킨다는 것을 알 수 있었다. 기록 필드의 왜곡 현상은 자기 기록 필드의 중요한 요소인 필드 그라디언트를 안 좋게 만든다는 것이다. 이러한 영향이 커진다면 자기 기록 시스템에서 치명적인 영향을 주게 된다. 따라서 본 연구는 자기 기록 시스템에서 매우 중요한 연구라는 것을 알 수 있다.

[참고 문헌]

[1] Dr. Michael A. Russak President & Chief Technical Officer Komag, "Media Technology : Current Status And Future Trends"  
 [2] Gwan Soo Park, Hyuk Won, K. C. Kim and J. D. Suh, IEEE Trans. Magn., vol. 40, no. 2, pp. 1033-1036, March 2004  
 [3] 원혁, 박관수, 한국 자기학회지, VOL. 16 NO. 2 pp. 149-156, April 2006  
 [4] Min Zheng, Geon Choc, Kenneth E. Johnson, Lan Gao and Sy-Hwang Liou, IEEE Trans On Magn. Vol 38, No. 5, pp. 1979-1981, September 2002