

고밀도 자기기록 시스템에서 발생하는 와전류에 의한 자기 기록 필드 영향 분석

원혁* · 박관수

전기공학과, 부산대학교, 장전2동, 부산 609-735

(2005년 12월 2일 받음, 2005년 12월 19일 최종수정본 받음)

자기 기록 시스템은 시간의 흐름에 따라 기록 밀도는 높아지고 있고 또한 기록 속도 역시 빨라지고 있다. 더욱 빠른 기록 속도의 요구 치로 인하여 자기 기록 헤드에 인가되어지는 기록 주파수 역시 높아져야 하고 또한 기록이 일어나는 기록 미디어의 회전 속도 역시 빨라져야 한다. 이와 같은 두 가지 요건은 헤드와 기록 미디어에서 와전류를 발생시키게 된다. 기록 헤드에서는 기록 주파수에 의해 발생하는 와전류가 존재한다. 그리고 기록 미디어에서는 기록 주파수에 의해 발생하는 와전류와 회전하는 미디어의 선속도에 의해 발생하는 와전류가 존재하게 된다. 본 논문에서는 비선형 3차원 유한 요소법을 이용하여 자기 기록 헤드에서 발생하는 와전류와 기록 미디어에서 발생하는 두 종류의 와전류의 분포를 분석하고 이와 같이 발생한 와전류가 자기 기록 시스템에서 자기 기록 필드에 미치는 영향에 대해서 연구하였다.

주제어 : 수직자기 기록, 와전류, 유한요소법, 연 자성 재료 층, 자기 기록 속도

I. 서 론

자기 기록 시스템은 시간의 흐름에 따라 높은 기록 밀도와 함께 빠른 기록 속도를 요구하고 있다. Table 1은 근래의 HDD의 기록 밀도와 그에 따른 기록 속도의 증가에 대한 파라미터를 나타낸 것이다. 기록 밀도가 증가 할수록 기록 속도에 관련된 파라미터 역시 증가된 다는 것을 알 수 있다[1].

자기 기록 밀도가 높아지려면 기록 할 수 있는 하나의 비트 사이즈가 작아져야 하고 작아진 비트를 보존하기 위해서는 자기 이력을 기억하고 있는 기록 미디어의 보자력이 충분히 높아야만 한다. 이렇게 높아진 보자력을 가진 기록 미디어에 재기록을 하기 위해서는 미디어의 보자력을 이길 수 있는 충분한 세기의 외부 필드가 가해져야 한다. 따라서 충분한 세기의 자기 기록 필드의 발생이 가능한 자기 기록 헤드가 필요하다. 높은 기록 밀도를 위한 더 작은 기록 비트를 만들기 위해 기록 방식은 기존의 수평 기록 방식에서 수직의 기록 방식으로 바뀌게 되었고 더 높아진 보자력을 가진 미디어에 재기록이 가능한 충분한 세기의 기록 필드를 만들기 위하여 자기 기록 헤드의 투자율(permeability)은 높아지고 기존의 기록 미디어 밑에 연 자성 재료 층(Soft Under-layer, SUL)을 추가한 형태의 기록 미디어를 사용하는 방법이 있다[2, 3].

하지만 기록 밀도의 증가와 함께 기록 속도 역시 증가하기 때문에 이로 인해서 발생하는 와전류의 효과도 무시할 수 없게 된다. HDD에서 발생하는 와전류는 기존의 기록 방식에서는 자기 기록 헤드에 인가되는 기록 주파수에 의해서 헤드의 폴 팁에 발생하는 와전류만이 존재했었다. 하지만 자기 기록

Table 1. Parameters of the magnetic densities.

Size	5.25 inch	3.5 inch	2.5 inch	1 inch	0.8 inch
Area Density	60 Gb/in ²	80 Gb/in ²	100 Gb/in ²	200 Gb/in ²	500 Gb/in ²
Rotating Speed	7,200 rpm	10k rpm	15k rpm	20k rpm	30k rpm
Linear Velocity	40 m/s	70 m/s	100 m/s	150 m/s	300 m/s
R/W Speed	0.2 Gb/s	0.5 Gb/s	1 Gb/s	2 Gb/s	5 Gb/s
Writing Frequency	0.2 GHz	0.5 GHz	1 GHz	2 GHz	5 GHz

방식이 수평에서 수직으로 바뀌고 더 큰 자기 기록 필드를 발생시키기 위해서 미디어에 높은 투자율을 가진 SUL을 추가 하게 되면서 기록 미디어에도 와전류가 발생하게 되었다. 따라서 HDD에서 발생하는 와전류는 자기 기록 헤드에서 기록 주파수에 의해 발생하는 와전류와 자기 기록 미디어에서 기록 주파수와 미디어의 회전에 의한 선속도에 의해 발생되어지는 와전류가 있다[4].

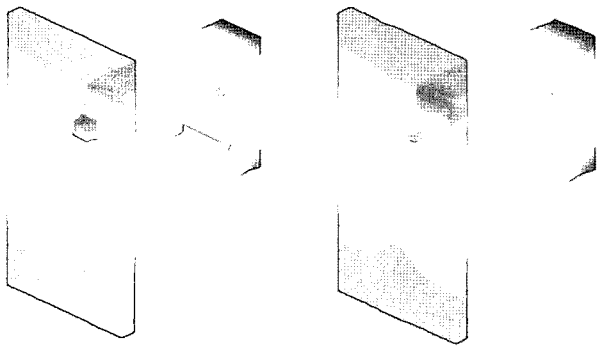
본 논문에서는 3차원 유한 요소법을 이용하여 HDD에서 발생하는 와전류를 자기 기록 헤드와 자기 기록 미디어 측면에서의 연구 한 후 이와 같은 와전류가 자기 기록 필드에 미치는 영향을 연구 제시 하였다[5, 8].

II. 수직 자기 기록 시스템의 유한 요소 해석

2.1. 해석 모델

앞서 제시 했듯이 수직 자기 기록 시스템에서 자기 기록

*Tel: (051) 510-2976, E-mail: raafil98@pusan.ac.kr



(a) 100 Gb/in² model (b) 500 Gb/in² model

Fig. 1. Magnetic field of the perpendicular recording system with pole tip head and soft under-layer.

Table 2. Size of the pole tip head.

Type	Single Pole Tip	Single Pole Tip
Area Density	100 Gb/in ²	500 Gb/in ²
Pole Tip (W×H)	221 nm×250 nm	80 nm×80 nm
Pole Slope	35°	35°
Pole Length	80 nm	80 nm
Yoke Height	3000~10000 nm	3000~10000 nm
Gap Size	200~1000 nm	200~1000 nm
Current	50 mA	50 mA

밀도는 크게 증가 하고 있다. 이러한 시스템에서 발생하는 와전류의 영향을 분석하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 1의 (a), (b)와 같은 가상 수직 자기 기록 시스템 모델을 선정했다.

Table 2는 Fig. 1의 각 모델들에 대한 파라미터를 나타내고 있다. 첫 번째 모델인 Fig. 1의 (a)는 일반적인 100 Gb/in²의 모델로 폴 팁의 면적은 221 nm×250 nm이고 (b)는 고 기록 밀도 모델로 500 Gb/in²의 기록 밀도 모델로 폴 팁의 면적은 80 nm×80 nm의 사이즈를 가지고 있다. 그리고 기록 미디어의 두께는 30 nm이고 SUL의 두께는 200 nm이며 flying height는 10 nm이다. 이 시스템에서 와전류는 자기 기록 헤드의 폴 팁과 자기 기록 미디어의 SUL에 발생 될 것이고 이것은 헤드와 SUL의 재질적 특성과 기록 주파수 그리고 미디어의 회전 속도에 의해 영향을 받을 것으로 예상 되어 진다.

2.2. 가속도에 의해 발생하는 와전류

자기 기록 시스템에서 자기 기록 필드는 큰 보자력을 가진 미디어를 재기록 할 수 있는 충분한 크기이어야 한다. 이러한 큰 자기 기록 필드를 만들기 위하여 기록 미디어에는 기록 층 아래 큰 투자율을 가진 SUL을 추가 하였는데 이것은 미디어의 회전으로 인하여 와전류를 발생하게 된다. 이러한

와전류 해석 방법은 Maxwell 방정식으로부터 유도 되어 질 수 있다.

$$\nabla \times H = J \tag{1}$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \tag{2}$$

이 식들로부터

$$J = \sigma(E + u \times B) \tag{3}$$

여기서 σ 는 전기전도도(conductivity)와 u 는 속도(Velocity)를 각각 의미한다.

$$B = \nabla \times A \tag{4}$$

$$\nabla \times \frac{1}{\mu} \nabla \times A = -\sigma \frac{\partial A}{\partial t} - \sigma \nabla V \tag{5}$$

식 (1)의 면적 적분의 퍼텐셜이 유일하지 않기 때문에 전기적 스칼라 퍼텐셜 V 가 발생하게 된다. 이에 대한 유일한 해결 방법은 식 (6)을 사용하는 쿨롱 측정법이다.

$$\nabla \cdot A = 0 \tag{6}$$

식 (5)에 집어넣어 전개하면, 다음과 같은 새로운 지배 방정식을 얻을 수 있다.

$$\nabla \times \frac{1}{\mu} \nabla \times A - \nabla \cdot \frac{1}{\mu} \nabla \cdot A + \sigma \left(\frac{\partial A}{\partial t} + \nabla V \right) = 0 \tag{7}$$

이것은 해석하기 위한 두 번째 수식 또한 필요하게 된다.

$$\nabla \cdot \sigma \nabla V + \nabla \cdot \sigma \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \tag{8}$$

수식 (3)과 (4)로부터 전류는 퍼텐셜 A 와 V 에 관계되어 있다는 것에 의해

$$J = \sigma(u \times \nabla \times A) - \sigma \nabla V \tag{9}$$

이 수식을 수식 (7)을 기반으로 해서 풀면

$$\nabla \times \frac{1}{\mu} \nabla \times A - \nabla \cdot \frac{1}{\mu} \nabla \cdot A = \sigma(u \times \nabla \times A) - \sigma \nabla V \tag{10}$$

그리고 수식 (8)로부터

$$\nabla \cdot \sigma \nabla V - \sigma \nabla \cdot (u \times \nabla \times A) = 0 \tag{11}$$

자기 기록 시스템에서 가속도에 기인하여 발생하는 와전류를 해석하기 위해서는 수식 (10)과 (11)을 사용해서 해석 할 수 있다.

2.3. 기록 주파수에 의해 발생하는 와전류

수직 자기 기록 시스템에서는 높은 도전율을 가진 재료를 사용하는 부분이 두 곳이 있다. 하나는 자기 기록 헤드이고 다른 하나는 미디어의 SUL이다. 이와 같은 부분은 기록 주파수에 의해서 와전류를 발생하게 될 것이다. 이와 같은 정상 상태의 여자 된 교류 전류 안에서의 기록 주파수에 기인한 와전류를 해석하기 위해서는 복합 퍼텐셜로 치환하여 사용하는 것이 가능하다.

$$\begin{aligned} A(t) &= A_c e^{i\omega t} \\ \Phi(t) &= \Phi_c e^{i\omega t} \\ V(t) &= V_c e^{i\omega t} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 ω 는 여자 된 교류 전류이다. 여기에 수식 (7)을 함께 도입하여 정리하게 되면

$$\nabla \times \frac{1}{\mu} \nabla \times A_c - \nabla \frac{1}{\mu} \nabla \cdot A_c + i\omega \sigma A_c + \sigma \nabla V_c = 0 \quad (13)$$

그리고 수식 (8)을 도입 정리 하게 되면

$$\nabla \cdot \sigma \nabla V_c + i\omega \sigma \nabla \cdot A_c = 0 \quad (14)$$

자기 기록 시스템에서 기록 주파수에 기인하여 발생하는 와전류를 해석하기 위해서는 수식 (13)과 (14)를 사용할 수 있다.

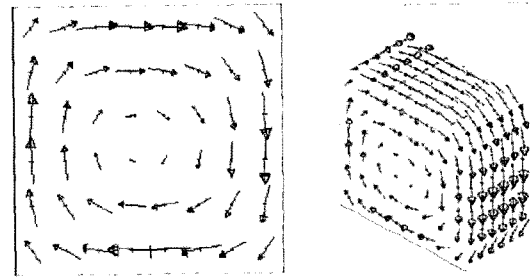
III. 수직 자기 기록 시스템에서의 와전류

수직 자기 기록 시스템에는 앞서 제시 했듯이 기록 주파수에 의해서 발생하는 와전류와 미디어의 회전 속도에 의해서 발생하는 와전류의 두 가지가 있다. 본 절에서는 전절에서 유도한 방정식을 기반으로 기록 주파수에 의해서 발생하는 와전류의 효과에 대한 연구와 미디어의 회전 속도에 의해서 발생하는 와전류의 효과에 대한 연구를 각각 진행한 후 이 두 종류의 와전류가 기록 필드에 어떤 영향을 주는 지에 대한 내용을 기술 하였다.

3.1. 기록 주파수에 의해 발생하는 와전류

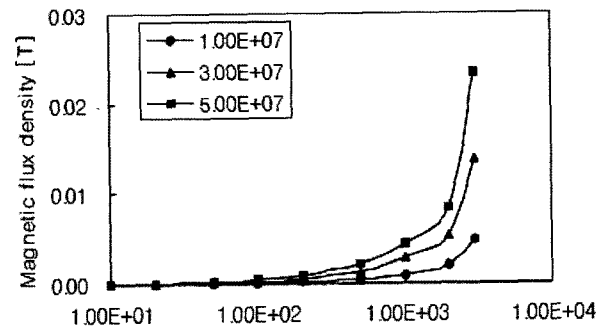
자기 기록 시스템에서 기록 밀도가 높아질수록 기록 속도 역시 빨라지고 있다. 이로 인하여 헤드에 인가되어 지는 기록 주파수 역시 높아지고 있다. 이와 같은 기록 주파수는 자기 기록 시스템에서 두 가지의 와전류를 발생 시킨다. 하나는 자기 기록 헤드에서 발생하는 와전류이고, 다른 하나는 기록 미디어의 SUL에 발생되어지는 와전류이다.

자기 기록 헤드에서 발생하는 와전류는 특히 자기 기록 헤드의 기록이 일어나는 폴 팁 부분에서의 와전류가 중요하다. Fig. 2는 자기 기록 헤드의 폴 팁 부분에서 발생하는 와전류

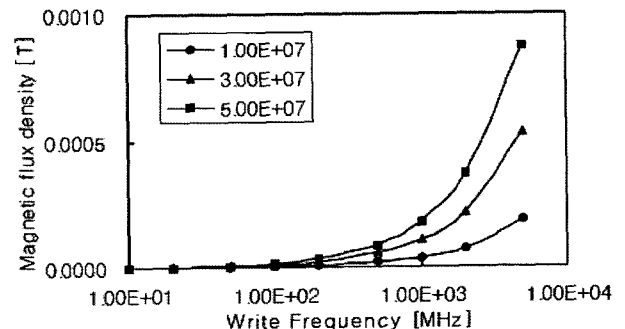


(a) Eddy current in pole tip (b) Front view of the eddy current

Fig. 2. Eddy current distribution in the pole tip of the recording head.



(a) 100 Gb/in² model



(b) 500 Gb/in² model

Fig. 3. Magnitude of the magnetic fields produced by frequency induced eddy current on the pole tip.

의 분포를 나타낸 것이다. 와전류의 분포 방향으로 보았을 때 이 와전류에서 발생하는 필드는 자기 기록 헤드에서 발생하는 필드의 반대 방향으로 작용하고 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 기록 주파수와 재료의 전기전도도에 따라 자기 기록 헤드의 폴 팁에서 발생하는 와전류에 의해 발생된 필드의 최대값을 나타낸 것이다. 앞서 기술 했듯이 이 필드는 기록 필드를 감소시키는 효과를 보인다. 와전류에 의해 발생하는 감소 필드의 패턴은 예상 할 수 있듯이 도전율이 클수록 주파수가 높아질수록 크게 증가한다는 것을 알 수 있다. 또한 5 GHz의 기록 주파수에서도 가장 큰 감소 필드의 크기가 0.025 T로 1.2 T의 자기 기록 필드에 비해서는 아주 미약한

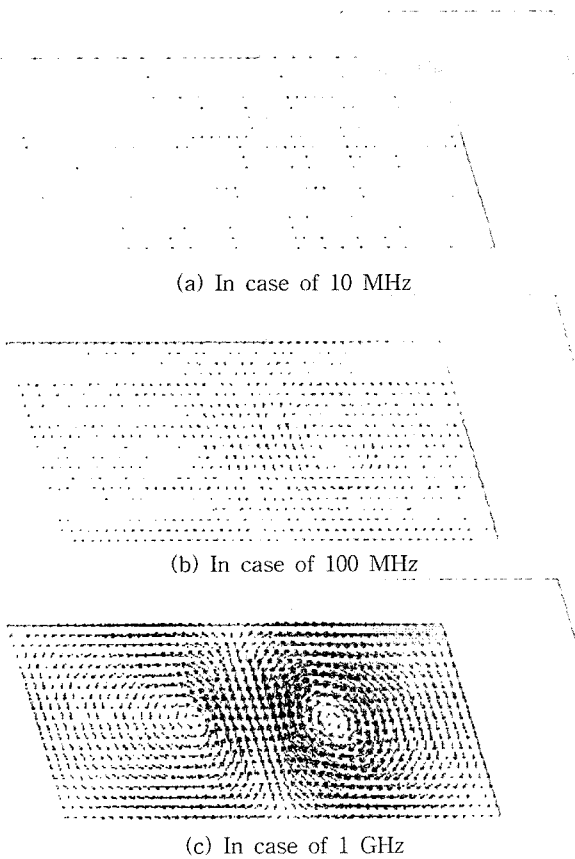


Fig. 4. Frequency induced eddy current distribution in the SUL.

크기로 거의 무시할 수 있다고 할 수 있다. 폴 팁에서 발생하는 와전류가 작은 이유는 Fig. 3의 (a)와 (b)를 비교 결과로 유추해 볼 수 있다. 기록 밀도가 높아질수록 폴 팁의 면적은 작아지고 작아진 면적은 와전류의 발생을 억제하기 때문이다. 따라서 폴 팁에 발생하는 와전류는 자기 기록 시스템의 기록 밀도가 높아질수록 억제력이 늘어난다는 것을 알 수 있다.

SUL에서 주파수에 의해서 발생하는 와전류의 분포를 나타낸 것이 Fig. 4이다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 기록 주파수가 높아짐에 따라 발생하는 와전류 역시 커진다는 것을 알 수 있다. 또한 이렇게 발생되어진 와전류는 폴 팁에서와 같이 자기 기록 필드를 감소시키는 방향으로 필드를 발생시킬 것이라는 것을 알 수 있다. 그리고 이렇게 발생된 필드의 크기는 앞서 설명한 폴 팁과는 다르게 기록 주파수의 크기가 충분히 크다면 자기 기록 필드에 영향을 줄 수 있는 크기만큼 발생하리라는 점을 예상할 수 있다. 왜냐하면 폴 팁과는 다르게 SUL의 표면적은 발생하는 와전류를 충분히 포괄할 수 있기 때문이다.

Fig. 5는 기록 주파수로 인해서 SUL에 발생하는 와전류가 발생시키는 필드를 나타낸 그래프이다. (a)와 (b)는 100 Gb/in² 시스템에서 SUL의 도전율이 1×10⁷ Ohm⁻¹/m와 5×10⁷ Ohm⁻¹/m일 경우이고 (c)와 (d)는 500 Gb/in² 시스템에서

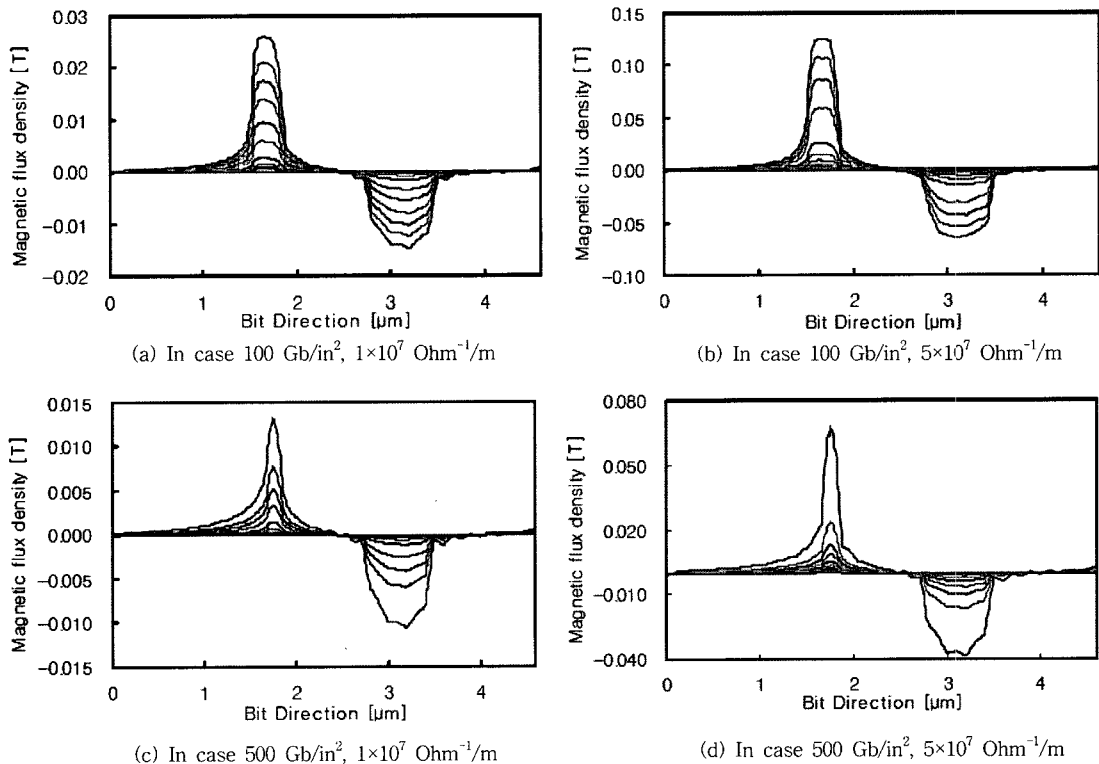


Fig. 5. Magnetic field produced by frequency induced eddy current in the recording layer.

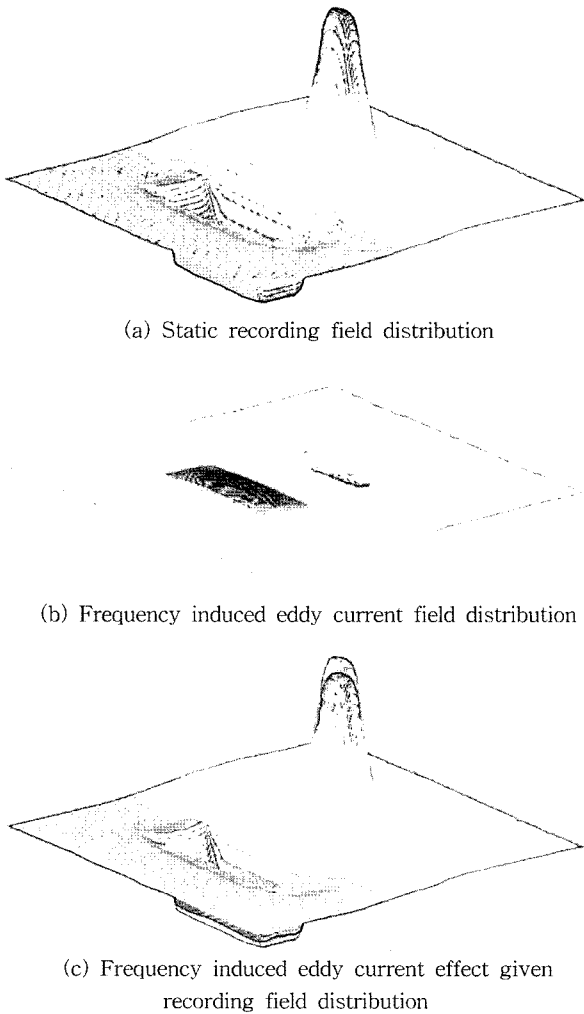


Fig. 6. Magnetic recording field distribution given frequency induced eddy current effect ($f: 5 \text{ GHz}$, $\sigma: 3 \times 10^7 \text{ Ohm}^{-1}/\text{m}$, $d: 100 \text{ Gb}/\text{in}^2$).

SUL의 도전율이 $1 \times 10^7 \text{ Ohm}^{-1}/\text{m}$ 와 $5 \times 10^7 \text{ Ohm}^{-1}/\text{m}$ 일 경우이다. 도전율이 낮은 (a)와 (c) 경우 폴 팁에 발생하는 와전류의 크기보다는 큰 편이지만 자기 기록 필드에 비해서는 비교적 작은 크기이기 때문에 무시할 수 있다. 하지만 실제 자기 기록 시스템의 도전율은 이보다 훨씬 큰 크기이기 때문에 (b)와 (d)의 결과를 중요시해야 한다. (b)와 (d)에서 알 수 있듯이 도전율의 크기가 충분하다면 폴 팁에서와 달리 와전류는 비교적 큰 크기로 발생되어지고 주파수가 높아질수록 자기 기록 필드를 감소시키는 크기는 무시할 수 없는 크기가 된다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 기록 주파수에 의해 SUL에 발생한 와전류가 자기 기록 필드에 미치는 영향을 나타낸 그림이다. (a)는 와전류 효과가 고려되지 않은 상태에서의 자기 기록 필드의 분포이고 (b)는 와전류에 의해서 발생하는 감소 필드의 분포이다. 그리고 (c)는 (a)의 자기 기록 필드에 (b)의 와전류 효과를

합성한 기록 주파수에 의해 SUL에 발생한 와전류 효과를 고려한 자기 기록 필드의 분포를 나타낸 것이다. Fig. (c)에서 알 수 있듯이 기록 주파수에서 발생한 와전류는 자기 기록 헤드에서 발생한 기록 필드를 감소시킨다는 것을 알 수 있다. Fig. (c)의 감소폭으로 보았을 경우 자기 기록 필드의 크기에 10% 정도로 기록 주파수가 더욱 높아진다면 이것은 무시할 수 없는 요소라는 것을 알 수 있다.

3.2. 미디어의 회전 속도에 의해 발생하는 와전류

자기 기록 시스템에서 자기 기록 속도를 높이려면 기록 주파수 뿐 만 아니라 미디어의 회전 속도 역시 빨라져야 한다. 이러한 회전에 의해 자기 기록 헤드는 미디어 위를 빠르게 직선 운동하는 것과 같은 상태가 된다. 이로 인하여 자기 기록 헤드로부터 나온 기록 필드는 SUL에서 와전류를 발생 시키게 된다. 이렇게 발생한 와전류는 자기 기록 필드에 특정 효과를 줄 수 있다는 점을 예상할 수 있다.

Fig. 7은 자기 기록 헤드가 미디어 위를 지나가는 가속도에 의해서 발생하는 와전류의 분포를 나타낸 것이다. 와전류의 분포로부터 헤드의 가속도가 높아짐에 따라 발생하는 와전류의 양은 크게 증가한다는 것을 알 수 있다. 분포 패턴을 분

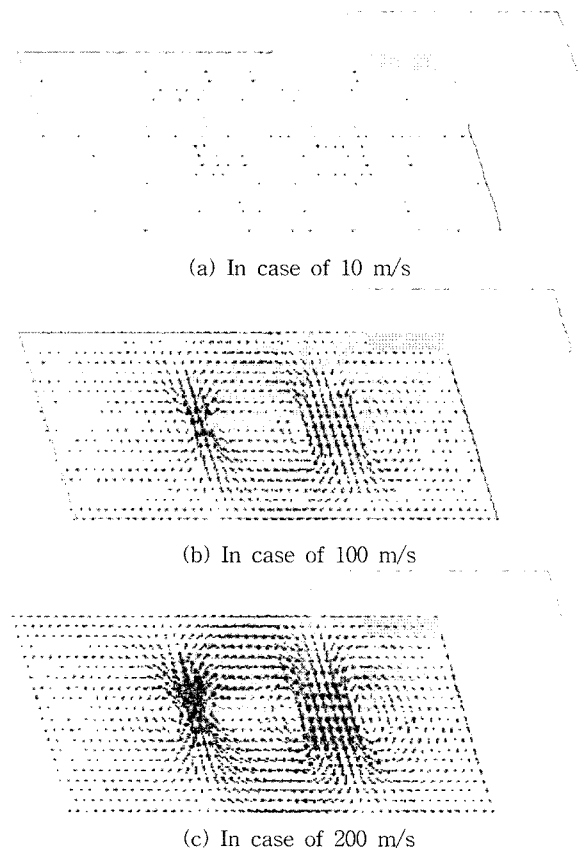


Fig. 7. Velocity induced eddy current distribution in the SUL.

석해 보면 기록 주파수에 의해서 발생하는 와전류의 분포는 단순히 자기 기록 필드를 감소시키는 형태로 분포되어 있었지만 가속도에 의해 발생하는 와전류의 분포는 이와는 다른 형태로 헤드의 진행 방향으로는 필드를 감소시키려 하고 헤드의 진행 반대 방향으로서는 증가 시키려 하는 방향으로 분포되어 있음을 알 수 있다. 이러한 와전류의 분포는 자기 기록 필드를 단순히 감소 시키는 효과가 아니라 기록 필드를 왜곡시키는 효과를 보일 것이라는 점을 예상 할 수 있다.

Fig. 8은 속도에 SUL에 발생된 와전류가 발생하는 자기 필드를 그래프로 나타낸 것이다. 기록 주파수에 의해서 발생되어진 필드의 분포는 단순히 자기 기록 필드를 감소시키는 형태를 보이는 것에 비하여 속도에 의해서 발생되어진 필드의 분포는 그래프가 맥동의 형태를 띠고 있다는 점을 알 수 있고 맥동의 진폭의 차이는 속도가 높아질수록 커진다는 것을 알 수 있다. 이로 인하여 자기 기록 필드는 특정 형태의 왜곡을 보인다는 것을 알 수 있다. 이러한 왜곡의 결과는 Fig. 9에서 확인할 수 있다. Fig. 9는 속도에 의해 발생된 와

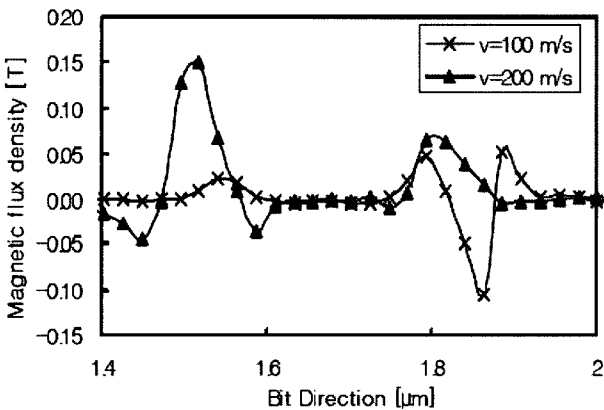


Fig. 8. Magnetic field produced by velocity induced eddy current in the recording layer.

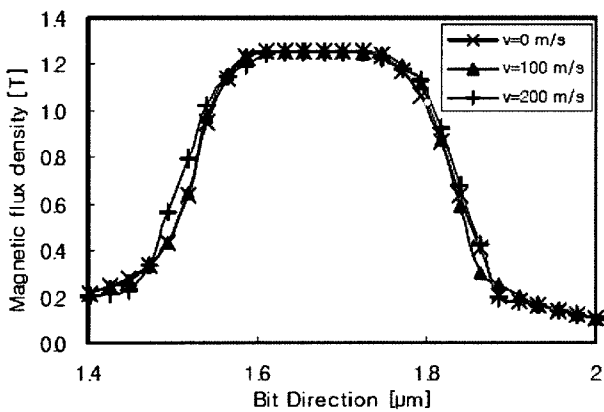
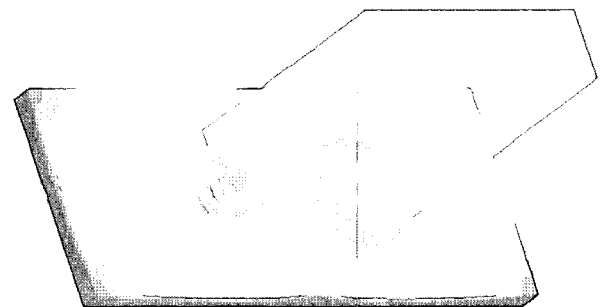


Fig. 9. Magnetic field of the recording head including velocity induced eddy current effect.

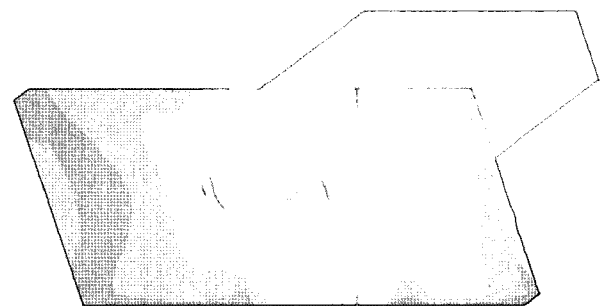
전류 효과를 자기 기록 필드에 합성하여 나타낸 것이다. 200 m/s의 속도 까지 와전류는 그 맥동 형태로 인하여 자기 기록 필드를 감소시키지 않고 왜곡만 시킨다는 것을 알 수가 있다. 하지만 Fig. 8과 9의 결과로 예상해 보았을 때 속도가 빨라질수록 왜곡의 폭은 넓어지고 속도가 더욱더 빨라지게 되면 왜곡에 의한 감소 효과도 나타날 수 있다는 것을 예상 할 수 있다.

3.3. 기록 주파수와 속도로 발생된 와전류가 자기 기록 필드에 미치는 영향 분석

요약하자면 자기 기록 필드에서 발생하는 와전류는 세 가지 존재하고 이러한 와전류는 자기 기록 시스템의 자기 기록 속도와 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있었다. 자기 기록 속도가 증가하면 기록 주파수가 증가하고 또한 자기 기록 미디어의 회전 속도의 증가에 의한 자기 기록 헤드의 선속 운동 역시 빨라지게 된다. Fig. 10은 자기 기록 시스템에서 기록 주파수와 속도에 의해 SUL에 발생되는 와전류의 분포를 나타낸 것이다. (a)는 기록 주파수에 의한 와전류 분포로 패턴을 분석하면 단순히 기록 필드를 감소시키는 형태라는 것을 알 수가 있고 (b)는 미디어의 회전 속도에 의해 발생하는 와전류의 분포로 (a)와는 다른 형태로 분포 패턴을 분석하면 맥동의 형태를 띤다는 것을 알 수가 있다. 또한 기록 주파수가 증가하게 되면 이에 따른 와전류의 증가는 단순히



(a) Frequency induced eddy current distribution



(b) Velocity induced eddy current distribution

Fig. 10. Comparison of the eddy current distribution by frequency and velocity.

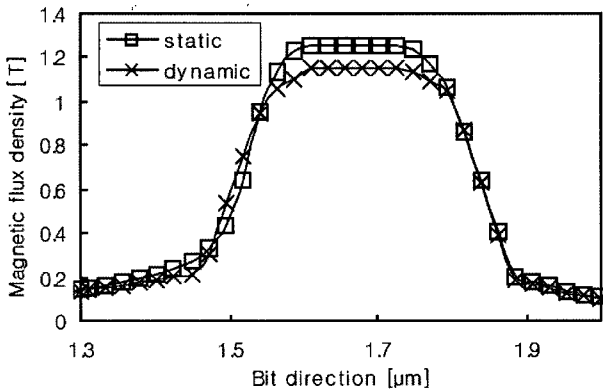


Fig. 11. Comparison the magnetic recording head field in static and dynamic state ($d : 100 \text{ Gb/in}^2$, $f : 5 \text{ GHz}$, $v : 200 \text{ m/s}$, $\sigma : 3 \times 10^7 \text{ Ohm}^{-1}/\text{m}$).

자기 기록 필드를 감소시키는 영향을 주게 되고 미디어의 회전 속도의 증가에 따른 와전류의 증가는 맥동의 형태에서 진폭의 크기와 넓이가 넓어지는 형태로 변화되고 이는 기록 필드의 왜곡 시킨다는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 자기 기록 시스템에서 와전류 효과가 고려되지 않은 자기 기록 필드와 앞서 살펴본 세 가지의 와전류 효과를 고려한 기록 필드를 비교해 놓은 것이다. 모델은 기록 밀도 100 Gb/in^2 이고 기록 주파수는 5 GHz , 자기 기록 헤드의 선 가속도는 200 m/s 그리고 자기 기록 헤드와 SUL의 도전율은 $3 \times 10^7 \text{ Ohm}^{-1}/\text{m}$ 로 설정한 것이다. 자기 기록 주파수에 의해서 발생한 자기 기록 헤드의 폴 팁에서 발생한 와전류와 SUL에서 발생한 와전류의 영향으로 자기 기록 필드의 세기는 약 12% 정도의 감소가 있었고 미디어의 회전으로 인한 자기 기록 헤드의 선 가속 운동으로 인하여 발생한 와전류의 맥동 형태로 인하여 자기 기록 필드는 왜곡된 형태를 가지게 된다.

IV. 결 론

자기 기록 시스템의 기록 밀도가 높아지려면 기록 방식은 수직으로 바뀌고 높은 보자력을 가진 미디어와 이를 재기록할 수 있는 높은 투자율을 가진 재료의 자기 기록 헤드로 이루어져야 한다. 또한 자기 기록 헤드의 자기 기록 필드를 높이기 위하여 자기 기록 미디어의 아래층에 SUL을 추가한 형태가 되어야 한다. 자기 기록 시스템의 자기 기록 밀도가 높아 짐에 따라 자기 기록 속도 역시 빨라지고 있다. 자기 기록 속도가 빨라지려면 인가되는 전류의 주파수가 높아지고 미

디어의 회전속도가 빨라져 이에 따라 자기 기록 헤드의 선 속도가 빨라지게 된다.

본 논문에서는 3차원 유한 요소법을 적용하여 고 기록 밀도의 수직 자기 기록 시스템에서 발생하는 와전류의 영향을 분석하였다. 그 결과 세 가지의 와전류 분포에 대한 영향 분석을 하였는데 첫 째로 인가되는 주파수에 의해 자기 기록 헤드의 폴 팁에 발생하는 와전류에 대한 영향을 분석하였고 두 번째로 주파수에 의해 SUL에 발생하는 와전류에 대한 영향을 분석하였다. 두 경우는 자기 기록 필드를 감소시키는 방향으로 와전류가 증가하여 자기 기록 필드를 단순히 감소시키는 영향을 주게 된다. 하지만 폴 팁의 면적은 충분히 작기 때문에 와전류의 발생을 억제하는 역할을 하게 되어 그 감소 폭이 SUL에서 발생하는 와전류에 의한 영향에 비해서 작은 편이다. 마지막 와전류는 자기 기록 헤드의 선 속 운동에 의해 SUL에 발생하는 와전류에 의한 영향이다. 이 경우 발생하는 와전류의 분포는 주파수의 경우와 달리 맥동의 형태를 가지고 있어 자기 기록 필드를 왜곡 시키는 효과를 주게 된다. 맥동의 형태는 속도가 빨라 질 수록 그 진폭의 크기의 차이와 너비가 커지게 되어 왜곡 정도는 더욱 커지게 된다. 이러한 와전류의 영향들은 자기 기록 시스템의 기록 속도가 증가할 수록 더 큰 영향을 줄 것이라는 것을 예측할 수 있다. 따라서 자기 기록 시스템에서 와전류에 대한 영향 분석은 반드시 고려되어야만 하는 중요한 연구라는 것을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] Thomas Chang, IEEE Trans. on Magn. **33**(5), 2842(1997).
- [2] Kai-Zhong Gao and H. Neal Bertram, IEEE Trans. on Mag. **38**(5), 3521(2002).
- [3] Hurley, G., Arnoldussen, T., Wood, R., Cheng, D. and Williams, M., IEEE Trans. on Magn. **35**(5), 2253(1999).
- [4] Elif Ertekin, Jenny Keyani, Asher Sinensky, Brian Thornton, and Wei Xiao, MSE 225 : Thin Films, Case Study 2 : 500 Gbit/in^2 HDD, 1 March 2002.
- [5] H. Igarashi and T. Honma, IEEE Trans. **38**(2), (2002).
- [6] B. C. Watson and A. K. Noor, Computers & Structures **58**(2), 233(1996).
- [7] Balaji Krishnapuram, Lawrence Carin, Mario A. T. Figueiredo, and Alexander J. Hartemink, IEEE Trans On Pattern Analysis and Machine Intelligence(2005).
- [8] G. S. Park, H. Won, K. C. Kim, and J. D. Suh, IEEE Trans. On Magn. **40**(2), 1033(2004).

Eddy Current Effects on the High Density Magnetic Recording System

Hyuk Won* and Gwan Soo Park

Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University, Jangjeon-dong, Geumjeong-gu, Pusan 609-735

(Received 2 December 2005, in final form 19 December 2005)

The frequency of the recording current and the rotating speed of the recording media are increase for the high densities in perpendicular magnetic recording system with high conductive pole tip head and soft magnetic under-layer. In the paper, the frequency induced eddy current and velocity induced eddy currents are analyzed by non-linear 3-dimensional finite element analysis. It it turned out that the frequency induced eddy current decreases the amplitude of the recording fields, whereas the velocity induced eddy current only distorts the distribution of the recording fields in the recording media

Key words : perpendicular recording, eddy current, FEM, soft magnetic under-layer, recording speed