2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2001.7.18-20

100Gbit/in^2 기록 밀도를 위한 HDD Write Head의 설계

원혁, 박관수
한국해양대학교 전기공학과

Design of HDD Write Head for 100Gbit/in^2 Densities

Hyuk Won And Gwan Soo Park
Dept. Electrical Engineering, Korea Maritime University

Abstract - 고 기록 밀도의 HDD를 위해서는 HDD Media의 선 기록 밀도와 트랙 밀도를 높여야 한다. 선 기록 밀도를 높이기 위해서는 HDD Write Head의 Field Gradient가 커야하고, 트랙 밀도를 높이기 위해서는 Write Head의 Aspect Ratio가 작아져야 한다. 본 연구에서는 3차원 유한 요소법을 이용하여 Write Head의 재료의 자기적 성질과 형상에 따른 고 기록 밀도용 Pole Tip Write Head를 설계하였다.

1. 서 론

1960년에 IBM 윈체스터 연구소에서 HDD가 처음 개발되었다. 이 기술은 1973년 IBM 3440 모델-14″, 104M-HDD에 최초로 사용이 되었다. 이렇게 시작되어진 HDD는 해마다 비트 밀도가 180%씩 증가하는 매우 인상적인 결과를 보여왔다. HDD의 기술 개발의 속도는 해가 지날수록 증가했고 IBM이 1997년 GMR R/W Head를 채택한 이래로 해마다 두 배씩 밀도를 증가해 왔다. 현재에 이르러서는 60Gbit/ in^2-2000. 10. 삼성종합기술원-를 저장할 수 있는 초 고밀도 정보저장장치까지 개발되었다.

고 밀도 HDD를 만들기 위한 요건으로는 Recording Media의 선 기록 밀도와 트랙 밀도를 높여야 한다. 또한 이를 읽고 쓸 수 있는 Head가 최적화 되어야 한다. 본 논문에서 목표로 잡은 100Gb/ in^2 기록 밀도를 위해서는 254ktpi의 트랙 밀도와 406kfci의 선 기록 밀도가 요구 되어진다. 이는 1bit Size가 트랙 방향으로 Margin을 포함 100nm이어야 하고 선 기록 방향으로 변이영역을 포함 60nm가 되어야 한다는 것이다. 또한 100Gb/ in^2의 고 기록 밀도를 위해서는 Recording Media의 보자력이 커져야 한다. 현재 사용되고 있는 보자력은 2000~3000 [Oe]이지만 100Gb/ in^2의 고 기록 밀도를 위해서는 4000~5000[Oe]의 보자력을 가진 Media를 사용해야 한다. 따라서 이를 Over Write 할 수 있는 크기의 Field를 가진 Head가 요구된다.

본 연구에서는 3차원 유한 요소법을 이용하여 100Gb / in^2의 고 기록 밀도를 만족하는 Pole Tip Write Head를 설계하였다.

2. 고밀도 HDD를 위한 재료의 요건

2.1 해석 모델

일반적으로 Aspect Ratio가 1:10 이상에서는 2차원 근사 해석이 큰 차이를 보이지 않는다. 하지만 HDD가 고밀도화 되어감에 따라 Aspect Ratio의 비율이 작아지게 되었다. 40Gbit/ in^2이상의 초 고밀도 HDD에서 예상되는 1:6 이하의 Aspect Ratio에서는 2D 근사 해석의 오차가 증가하여 부적합한 계산 결과 값을 얻게 된다. 따라서 40Gbit/ in^2이상의 초 고밀도 HDD에서는 3D 해석이 필연적이다. 또한 Head에 대한 3D 해석을 함으로서 Head Field와 함께 Side Track에 의한 영향도 해석이 가능하다.

Table 1. Write Head Parameters

Type	Pole Tip Head
Pole Tip	80㎚×80㎚×1㎛
Untrimmed Poles Length	3.5㎛
Untrimmed Poles Width	8㎛
Current	330mA

본 논문에서는 Write Head를 구성하는 매체의 자기적 특성에 따른 Write Field의 변화를 알아보기 위하여 그림 1과 같은 모델을 사용하였다. 일반적으로 유한 요소법에서는 좌우대칭의 모델인 경우 그 절반의 영역만을 해석해도 무관함으로 해석영역은 그림 1과 같이 하였다. 또한 매체의 구성 방법에 따른 Head의 Write Field 변화를 알아보기 위하여 그림 3에서와 같이 Write Head를 매체의 구성 방법에 따라 ①, ②, ③의 세 부분으로 나누었다.

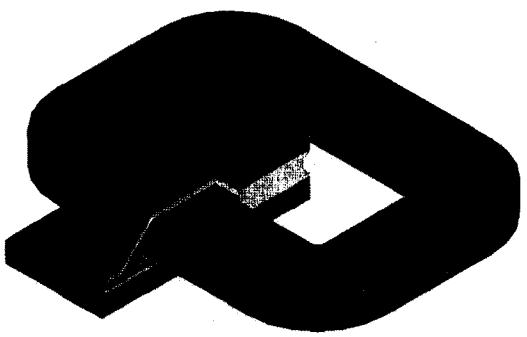

그림 1 HDD 구성 매체에 따른 특성 해석 사용된 해석 모델

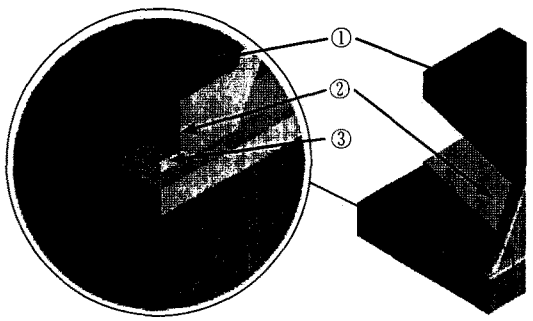

그림 2 Write Head의 매체 구성

2.2 BH Curve

Write Head를 구성하는 매체의 자기적 특성에 따른 Write Field의 변화를 알아보기 위하여 그림 3과 같은 BH커브를 사용하였다. 이는 본 연구에서 재료의 특성 중 μ_r(비투자율)과 B_S(포화자속밀도)의 변화에 따른 Write Field의 특성을 파악하여 제시함으로서 고 밀도 HDD를 만들기 위한 재료의 μ_r과 B_S의 관계를 제시하기 위함이다.

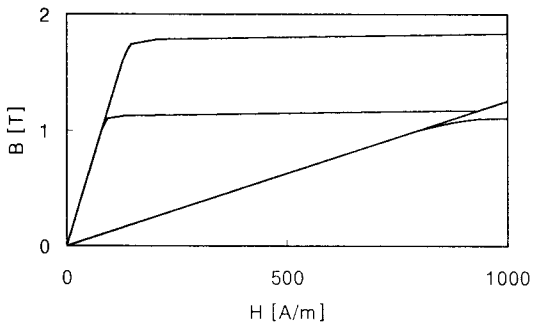

그림 3 BH Curve

2.3 Head의 구성 재료의 특성에 따른 해석 결과

그림 4~6은 Head를 구성하는 매체를 달리하면서 해석한 결과이다. 그림 2에서 첫 번째로 ①, ②, ③이 모두 같은 재료로 구성되어 있는 경우, 두 번째로 ①은 특성이 낮은 재료, ②, ③은 특성이 좋은 같은 재료로 구성한 경우 그리고 세 번째는 ①보다 ②가 ②보다 ③이 더 좋은 특성의 재료로 구성되어 있을 경우이다. 해석 결과에서 알 수 있듯이 μ_r값이 증가할수록 Field Gradient도 증가한다는 것을 알 수 있다. 또한 B_S 값이 증가할수록 Field Gradient가 증가한다는 것을 알 수 있다. 여기서 유의해서 보아야할 점은 재료의 μ_r 값보다는 B_S 값이 Field Gradient를 좋게 하는데 더 큰 영향을 준다는 것이다. 따라서 고밀도 HDD의 Head의 구성재료는 B_S 값을 높여야 한다는 결론을 얻을 수 있다.

Head를 구성하는 매체의 자기적 특성에 따른 Write Field의 변화를 비교하였을 때 B_{max}의 값은 단일 구성 재료로 구성되어 있는 경우에서 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 기록면에서의 수직 필드나 수평 필드 값은 두 개의 재료로 구성한 모델에서 가장 좋은 결과를 보였다.

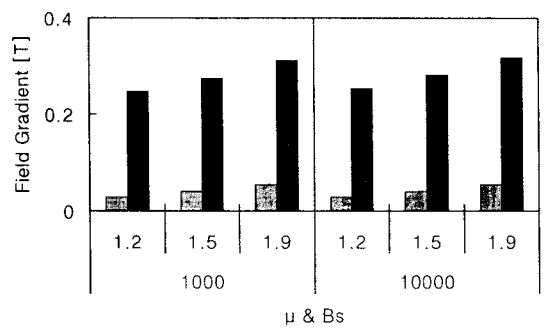

그림 4 단일 재료로 구성된 모델의 해석 결과

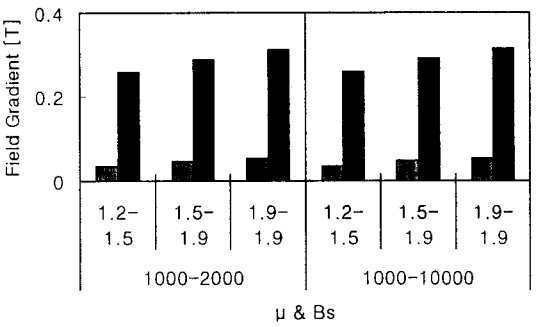

그림 5 두 개의 특성이 다른 재료로 구성된 모델의 해석 결과

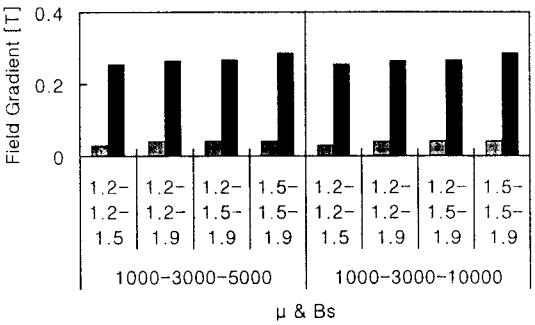

그림 6 세 개의 특성이 다른 재료로 구성된 모델의 해석 결과

3. 초 고 기록 밀도를 위한 해석 및 디자인

고밀도의 HDD를 만들기 위해서는 HDD Head를 구성하는 재료의 특성이 좋아야 하지만 디자인의 최적화가 없다면 그 모든 특성을 살릴 수 없다. 같은 특성의 재료로 구성된 Head라고 하여도 그 디자인에 따라서 Write Field의 특성이 크게 달라지게 된다.

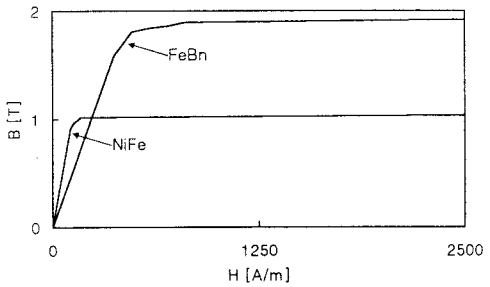

그림 7 실제 재료의 BH Curve

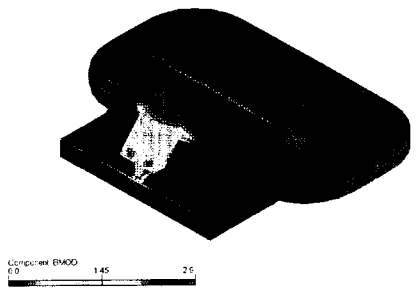

그림 8 디자인 최적화를 위한 해석 모델

HDD의 최적화 디자인을 하기 위하여 사용된 BH Curve는 그림 7과 같다. 여기서 Low B_S 특성재료로는 $Ni_{81}Fe_{19}$를 Hight B_S 특성재료로는 $Fe_{91.6}B_{2.5}N_{5.9}$를 사용하였다. 이 재료의 특성 곡선은 실재 KIST 자성박막 연구실에서 개발한 재료의 특성 곡선을 사용한 것이다.

100Gb/in^2의 초 고 기록 밀도를 위한 최적화 디자인을 하기 위하여 그림 8과 같은 해석 모델을 사용하였다. 변화를 준 파라미터들은 표 2에 나타낸 것과 같다. 일반적인 Inductive Type Head에 Pole Tip을 붙인 형태이고 최적화를 위한 파라미터 변화는 Untrimmed Pole 2의 Length, Untrimmed Pole 1의 Length, Pole Tip Length, Untrimmed Pole 2의 Width, Untrimmed Pole 1의 Width에 변화를 주었다. 또한 해석모델의 Current는 200[mA]를 주었다. 각각에 대한 파라미터를 변화시키며 얻은 최적의 결과는 표 3에 나타난 결과와 같다.

Table 2. Parameter Value For Optimum Design

Type	Pole Tip Head
Untrimmed Poles(1) Length	4 ~ 6 ㎛
Untrimmed Poles(2) Length	1 ~ 0 ㎛
Pole Tip Length	1 ~ 0.25 ㎛
Untrimmed Poles(2) Width	10 ~ 0.5 ㎛
Untrimmed Poles(1) Width	4 ~ 0.2 ㎛
Current	200mA

Table 3. Optimum Parameters

Type	Pole Tip Head
Untrimmed Poles(1) Length	6 ㎛
Untrimmed Poles(2) Length	0 ㎛
Pole Tip Length	0.25 ㎛
Untrimmed Poles(2) Width	4 ㎛
Untrimmed Poles(1) Width	1 ㎛
Current	200mA

본 연구에서 최적화 된 HDD Write Head는 기록면에서의-FH 10㎚- 수평 필드의 최고 값이 7577.01[Oe]을 나타냈고 수직 필드의 최고 값이 1325.37[Oe]를 나타냈다. 얻어진 수평 필드의 값은 100Gb/in^2에서 요구되는 기록 Media의 보자력인 4000[Oe]에서 Over Write 할 수 있는 크기가 된다. 하지만 그림 9와 10에서 나타난 바와 같이 선 기록 방향과 트랙 방향의 Size가 기록되는 보자력인 4000[Oe]에서 70nm와 190nm로 요구조건인 60nm와 100nm 보다는 큰 Size로서 이를 줄이기 위한 최적화가 다시 진행되어야 한다고 할 수 있겠다.

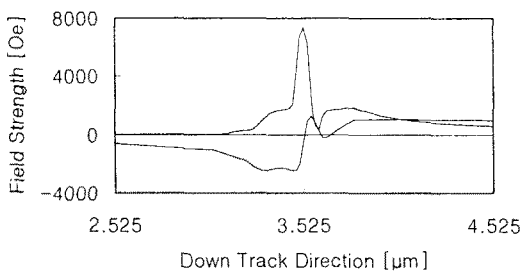

그림 9 Value of By(Longitudinal), Bx(Perpendicular), Bz(Track) of Down Track Direction

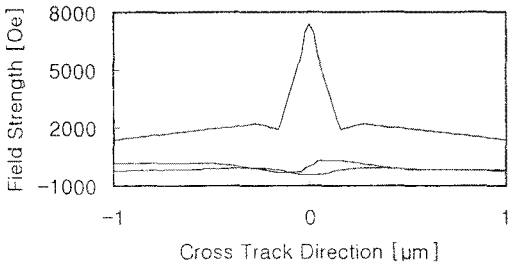

그림 10 Value of By(Longitudinal), Bx(Perpendicular), Bz(Track) of Cross Track Direction

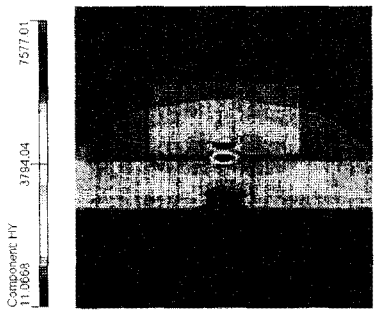

그림 11 Value of By of FH 10㎚ (2㎛×2㎛)

4. 결 론

본 연구에서는 KIST 자성 박막 연구실에서 개발한 재료인 NiFe와 FeBN의 BH 특성 곡선을 적용하여 100Gbit/in^2이상의 고 기록 밀도를 가진 HDD Write Head를 설계하였다. 본 연구에서 얻어진 결과의 정확한 기록 밀도를 계산하기 위해서는 Micro Magnetic나 Preisach Modelling을 적용하여 Writing Simulation을 적용해 보아야 한다. 차후 연구 진행시 이를 적용하여 보다 정확한 결과를 얻어야 할 것이다. 또한, 고 밀도 Write Head를 만들기 위해 필요한 요건인 High Data Rate에 관한 연구도 진행 되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] A. Moser 외 6, "Writing And Detecting Bits at 100Gbit/in^2 in Longitudinal Magnetic Recording Media", IEEE Transactions On Magnetics, Vol. 36, No. 5, 2137-2139, Seprember 2000

[2] W. P. JJayasekara 외 5, "Inductive Write Heads Using High Moment FeAlN Poles", IEEE Transaction On Magnetics, Vol. 35, No. 2, 613-618, 3. 1999.

[3] Josh Schare 외 2, "Design of 100Gbit/in^2 Perpendicular Recording Heads", Data Storage Systems Center Electrical and Computer Engineering Dept. Carnegie Mellon University, 1999.

[4] Tomas Chang, "Modeling Assessment of Side Writing Properties of a Notch Write Head", IEEE Transaction On Magnetics, Vol. 33, No. 5, 2842-2843, 10. 1997.

[5] *Richard Comerford*, "Magnetic Storage : The Medium that wouldn't die", IEEE Spectrum December, 36-43, 12. 2000.