

Ultra Low Flying 및 Contact Start Stop에서 발생하는 헤드와 디스크 인터페이스의 Temperature Rise에 관한 수치적 고찰

한국과학기술연구원 박막기술연구센터 김준현*, 신경호

Numerical Analysis for Temperature Rise of the Head/Disk Interface Incorporating Ultra Low Flying and Contact Start Stop

Thin Film Tech. Res. Center, KIST, J. H. Kim, K. H. Shin

1. 서론

자기 기록용 媒體의 높은 기록밀도를 위해 극도로 매우 좁은 헤드/디스크 간격의 슬라이드 浮上높이에서 오는 衝突 점점과 디스크의 Launching과 Landing 구역에서 접촉으로 인한 마찰에너지와 관련된 에너지 손실이 짧은 시간동안 한 곳에 집중될 때 자기층에 영향을 줄 수 있다. 따라서 최소의 磨耗가 요구되는 헤드/디스크 인터페이스(HDI)의 설계에 온도의 크기는 트라이볼로지적인 문제와 薄膜의 두께 그리고 구성에 기인한다는 또 다른 주안점을 두어왔다 [1]. 이 분야에서의 노력은 표면층에서의 물질특성과 마찰에 의한 에너지 발생과 밀접한 관계를 갖는 표면층의 열발생접촉에 많은 관심에 모아져 왔다 [2-4]. 이러한 HDI에서의 Temperature Rise에 관한 문제점근의 방법으로 슬라이드/헤드와 디스크의 표면으로써 레이저에 의한 균일 texture 처리에 있고 본 연구에서는 이러한 디스크상에 존재하는 texture가 HDI에서 열발생과 자기층에 미치는 영향을 數値模寫로 나타내기 위해 새로운 모델을 제시하고자 한다.

2. 모델 및 수치적 접근방법

HDI에서의 발생하는 열에너지의 디스크 내부로의 전이를 계산하기 위해선 Fourier 법칙의 열전도식이 사용되었다. 비열과 밀도가 압력과 온도에 크게 영향을 받지 않는다는 전제로 비 단일 물체로 이루어진 디스크 내부의 각층을 위한 내부로의 열전달을 위한 Cartesian 좌표로 씌어진 식은 다음과 같다.

$$\left[\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T \right) \right]_{i,n} = [\nabla \cdot (k \nabla T)]_{i,n} \quad (1)$$

여기서 k 는 열전도율이고 ρ 는 밀도, c_p 는 비열 그리고 i ($=1, 2, 3 \dots n$) 는 디스크를 구성하는 각층이다. 식(1)는 적절한 경계층 조건 그리고 기판에서 조성되는 레이저 텍스처링의 굴곡을 따라 형성되는 디스크 표면에서의 접촉으로 발생하는 외부 열공급의 조건을 만족하는 결과를 제공해준다.

온도분포는 비정상 상태의 관계식으로 다음의 무차원식 (2)와 같이 표현된다.

$$\left[\frac{\partial \bar{T}_i}{\partial \bar{t}} + \frac{U \partial \bar{T}_i}{\partial \bar{x}_i} - \frac{U \bar{z}_i}{\bar{h}_i} \left(\frac{\partial \bar{h}_i}{\partial \bar{x}_i} \right) \frac{\partial \bar{T}_i}{\partial \bar{z}_i} \right] = \left(\frac{k}{BU \rho c_p} \right)_i \left(\frac{\partial^2 \bar{T}_i}{\partial \bar{x}_i^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}_i}{\partial \bar{y}_i^2} \right) + \left(\frac{Bk}{U \rho c_p} \right)_i \frac{1}{h_0^2 \bar{h}_i^2} \frac{\partial^2 \bar{T}_i}{\partial \bar{z}_i^2} \quad (2)$$

여기에서 \bar{T} 는 온도, \bar{h} 는 높이, U 는 속도, B 는 너비, \bar{t} 는 시간을 나타낸다. 현 모델링을 위하여 사용되는 각층은 윤활층₄, 자기보호층₃, 자기층₂, 그리고 기판₁으로서 그 대표적인 상위층₄에서의 경계조건은 다음과 같이 표현되어진다.

$$\left(\frac{\partial \bar{T}_4}{\partial \bar{z}_4} \right)_{\bar{z}_4=1} = 0 \text{ on } (1-s_4)A_4, \quad \left(\frac{\partial \bar{T}_4}{\partial \bar{z}_4} \right)_{\bar{z}_4=1} = \bar{q} \text{ on } s_4A_4 \quad (3)$$

$$\left(\bar{k}_4 \frac{\partial \bar{T}_4}{\partial \bar{z}_4} \right)_{\bar{z}_4=0} = \left(\frac{\partial \bar{T}_3}{\partial \bar{z}_3} \right)_{\bar{z}_3=1}, \quad \left(\frac{\partial \bar{T}_4}{\partial \bar{x}_4} \right)_{\bar{x}_4=0} = \left(\frac{\partial \bar{T}_4}{\partial \bar{x}_4} \right)_{\bar{x}_4=1} = \left(\frac{\partial \bar{T}_4}{\partial \bar{y}_4} \right)_{\bar{y}_4=0} = \left(\frac{\partial \bar{T}_4}{\partial \bar{y}_4} \right)_{\bar{y}_4=L/B} = 0$$

여기에서 \bar{q} 는 Heat Flux (W/m²°C)이고 s 는 단일 범퍼면적 대비 접촉면의 비율 그리고 A 는 단일 범퍼의 면적이다. 디스크 표면상에서 텍스처링된 굴곡은 참고문헌 5에 소개되었다.

각층의 온도 분포를 위한 계산영역은 동일하게 100 X 10 X 20 이상의 mesh구조를 채택했으며, 각층에서의 온도분포를 위한 관계식(2)는 각층에 해당되는 경계조건을 가지고 Alternating Direction Implicit (ADI) 방법으로 그것이 정상 상태치에 도달할 때까지 계산을 수행 반복되었다.

3. 수치계산 결과 및 고찰

전형적인 amorphous carbon (a-C)의 자기보호층과 PFPE, Z-DOL의 윤활층 및 CoCrPt 매체 그리고 aluminosilicate 기판이 사용되었으며, 기판 표면층은 10 nm x 10 μm의 bump 크기와 60 μm의 피치로서 텍스처링되었다. 각각의 층에서 수치계산을 위한 변수로서 앞서 언급한 bump의 밀도 및 디스크 회전속도에 따른 표면층에서 열발생이 가장 큰 변수로서 헤드/슬라이드가 범퍼위로 접촉면이 플라스틱 성향의 고체변형으로 된다는 가정의 형태에서 균일한 Heat Flux가 주어질 때, 접촉면에서의 온도는 다음과 같이 구해질 수 있다

$$T = 2q(d_{bump}s/\pi U k \rho c_p)^{1/2} \quad (4)$$

여기서 q는 Heat Flux 이고 d_{bump} s는 한 범퍼위로 접촉되는 Heat Flux가 주어지는 미세한 면적으로서 이는 속도, U 그리고 물체의 물리적인 성질에 의해 좌우된다. 이에 대한 수치적 계산의 결과로서 슬라이드/헤드가 한 범퍼의 면적위에 4.76%의 접촉면을 가지고 그 위로 전달되는 다양한 Heat Flux (0.5-2 GW/m²)에 따라 자기층에서의 열전달 영향으로 발생하는 온도상승의 결과를 나타낸다. 이는 텍스처 되어진 범퍼의 크기에 크게 좌우됨을 알 수 있다. 아울러 자기보호층과 윤활층의 두께에 따른 영향을 고려하기 위해 3.2-5 nm의 윤활층 두께와 5-10 nm의 자기보호층의 두께에 따른 수치적 결과에서는 그리 큰 변화는 없었으나 표면에서 발생되어진 온도는 디스크 내부로 점차 이동함에 따라 미세하게 감소하다가 기판에 이르러서 소멸됨을 알 수 있었다. 이것은 적어도 자기보호층에서 원치 않는 큰 에너지 요인이 발생되었을 시 자기층까지는 그 영향을 충분히 받을 수 있다는 사실을 알 수 있다.

두번째로 윤활층의 존재에 따른 비교결과에서는 자기층에 끼치는 값에서 명확한 차이를 보여주었다. 이는 실제로 자기보호층에 밀착되어 있는 윤활층을 모델링하기 위해선 범퍼위에 또다른 미세한 톱니모양같은 지그재그형으로 두 층의 복합층으로 처리되어 열전도율이 병렬구조 형태에 의해서 구해졌기 때문에 그리고 접촉면적에서도 반으로 줄어드는 관계로 일반 자기보호층만이 존재했을 경우와 다른 결과를 보여주었다..

또다른 관심은 식(3)에서 나타났듯이 자기보호층 및 윤활에 의한 복합층에서의 열발생에 의미있는 tribological 관점에서 보면 자기보호층에 대한 마모와 접촉에 관한 성질의 고려와 아울러 물질의 물리적인 성질도 크게 관련되어 있다는 점이 이러한 열에너지 발생에 의미있는 변수로서 나타남을 지적해준다

4. 결론

본 연구는 디스크상의 bump의 슬라이드/헤드와의 미세 접촉면에서 발생되어지는 온도상승의 요인이 디스크 내부쪽에 미치는 영향이 고찰되었다. 여기서 제시된 모델은 기판에 Laser texture된 영향을 구현하기 위해 微細格子에 의한 FDM을 사용하여 3-D로서 bump pattern, 회전속도 그리고 bump 밀도 등의 변수들로 적용하였고, 자기 미디어의 단면 구조를 4가지층으로 일괄 구분하여 각각의 층에 대한 Modeling으로서 해석가능하게 했고, 자기보호층과 윤활보호층의 두께 및 물리적 특성들에 의한 온도 상승영향이 자기층에 전달되는 轉移性이 조사되었다.

5. 참고 문헌

- [1] Y. Li, and A. R. Kumaran, Adv. Info. Storage Syst., 3, 65 (1991)
- [2] N. H. Cook, and B. Bhushan, J. Lub. Tech., 95, 59 (1973)
- [3] H-L. Leo, and G. B. Sinclair, J. Trib., 120, 536 (1998)
- [4] K. Varadi, Z. Nader, and K. Friedrich, Wear, 200, 55 (1996)
- [5] J. H. Kim and K-H. Shin, IEEE Trans. Magn., (to be published)