

고밀도 자기기록 하드디스크를 위한 헤드와 디스크 인터페이스상의 **Texture Pattern**에 따른 수치적 고찰

한국과학기술연구원 박막기술연구센터 김준현*, 신경호

Mathematical Modeling at the Head/Disk Interface by Texture Patterns for High Density Recording Media

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

1. 서론

자기 기록용 媒體의 높은 기록밀도를 위해 좁은 헤드/디스크 간격과 낮은 슬라이드 浮上높이를 추구하는 기술적 추이에 따라 많은 연구가 최대의 신호크기와 최소의 磨耗가 요구되는 헤드/디스크 인터페이스(HDI)의 설계에 주안점을 두어왔다. 자기기록 분야에서의 노력은 과거 10년 동안 浮上높이를 200nm에서 50nm로 떨어뜨렸으며 이러한 성취는 에어베어링 설계와 tribology 분야와 연관되어 있다 [1]. 이러한 HDI 문제에 영향을 주는 요인 중 하나가 슬라이드와 디스크의 표면으로써 현재 이러한 표면에 의한 tribology문제가 제기되어 있는 실정이다. 디스크 분야는 특히 50nm 이하의 浮上높이를 주기위해 레이저 texture로 표면을 처리하고 있다 [2]. 본 연구에서는 이러한 디스크상에 존재하는 nano 크기의 texture가 HDI에서 미치는 영향을 보다 효과적이고 정확한 數值模寫로 나타내기 위해 새로운 모델을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경 및 수치적 방법

HDI에서의 에어 베어링 압력분포는 1차 slip 흐름의 효과를 고려한 비정상 상태의 압축성 Reynolds 관계식으로 다음의 무차원식(1)과 같이 표현된다 [3].

$$\frac{\partial}{\partial X} \left[\bar{h}^{-3} \bar{F}_2 \frac{\partial P}{\partial X} \right] + \frac{\partial}{\partial Y} \left[\bar{h}^{-3} \bar{F}_2 \frac{\partial P}{\partial Y} \right] = \frac{\partial}{\partial X} \left[\bar{h} \frac{\bar{F}_1}{\bar{F}_0} \right] + \frac{h_0 \bar{h}}{\bar{t}} \left\{ \int_0^1 \left(-\alpha T_0 \delta \bar{T} \right) + \frac{\mu_0 U B}{\beta h_0^2} \frac{\partial P}{\partial Z} \right\} dZ \quad (1)$$

여기에서 P 는 압력, \bar{h} 는 높이, U 는 속도, B 는 슬라이드 길이, M 은 Knudsen number, μ 는 점성, \bar{t} 는 시간을 뜻하며 그리고 熱적인 효과를 갖는 α 와 β 는 순수 공기를 매개체로 할 때에는 거의 일정치를 갖는다. 식(1)에 있어서 계수(\bar{F})는 $\bar{F}_0 = \int_0^1 \bar{h} dZ$, $\bar{F}_1 = \int_0^1 \bar{h} Z dZ$, $\bar{F}_2 = \int_0^1 \bar{h} Z^2 dZ$, $\bar{h} = 1 + 6 \frac{M}{\beta_0} \frac{dZ}{dZ}$ 로써 나타난다.

슬라이드 운동은 에어 베어링의 압력에 의한 힘과 서스펜션의 stiffness에 의한 힘의 균형에 의해 결정된다. 이러한 힘의 균형에 의한 傳位를 찾기 위한 3 自由度 pitch (θ), roll (ϕ) 그리고 lift (z)로 구성되는 운동방정식은 식(2)으로 주어진다.

$$\frac{\mu_0 U B^3}{h_{min}^2} \int_0^1 \int_0^1 \left\{ \begin{matrix} 1 \\ B(X_G - X) \\ B(Y_G - Y) \end{matrix} \right\} P dX dY - \begin{Bmatrix} F_z \\ M_\theta \\ M_\phi \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} k_z z \\ k_\theta \theta \\ k_\phi \phi \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} m \ddot{z} \\ I_\theta \ddot{\theta} \\ I_\phi \ddot{\phi} \end{Bmatrix} = 0 \quad (2)$$

여기에서 F_z 는 수직적으로 가해진 힘, k 는 suspension stiffness 그리고 I_θ , I_ϕ 는 inertia moment 이다. 표면 거칠기를 가진 디스크 표면상에서 식(1)의 높이는 다음 식(3)과 같이 슬라이드 傳位에 결정된다.

$$h = z - z_s + \theta B(X_G - X) + \phi B(Y_G - Y) \quad (3)$$

식(3)에서 X_G 와 Y_G 는 무게중심의 좌표이다. Nano 크기의 슬라이드 浮上과 디스크 표면 거칠기의 tribological 효과를 고려하기 위해서 식(3)에서 사용된 디스크상의 표면 거칠기(z_s)를 표현하기 위한 bump 형성은 半球 모양의 2-D 형태로서 표현된다. 이러한 형태의 bump는 배열이 일정하고 균일한 모양을 취하기 때문에 Fourier series를 사용한 다음식(4)으로 표현 가능하다.

$$Z_s(X, Y, \bar{r}) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\left[b_n \cos\left(\frac{2n\pi}{\sigma\bar{a}} X - n\bar{r}\right) \right] \cdot \left[b_n \cos\left(\frac{2n\pi}{\sigma\bar{a}} Y\right) \right] \right) \quad (4)$$

여기에서 bump 중심간 거리는 $\sigma\bar{a}$ 그리고 bump base 크기는 \bar{a} 이다. 계산영역에서 격자의 크기가 표면 texture의 형태를 표현 가능한 정도의 微細 구조일 때 통계적인 접근보다 직접적인 수치계산이 가능하기 때문에 보다 정확한 해답을 기대할 수 있다 [4]. 이것은 또한 FDM 방법의 접근을 용이하게 할뿐만 아니라 계산영역의 伸縮的인 격자에 쉽게 적용할 수 있다. 압력 분포를 위한 계산영역은 100 이상의 mesh 구조를 채택했으며 모든 슬라이드상의 레일부분은 격자구조에 일치되도록 하였다. 식(1)에서(4)는 에어 베어링의 압력변화와 슬라이드의 고도변화를 동시에 만족시키기 위해서 반복적인 계산을 하며, 이 결합된 계산은 적절한 初期値와 함께 시작하여 그것이 정상 상태치에 도달할 때까지 수행된다. 압력분포를 위한 Reynolds식(1)은 2단계 SOR 기법을 그리고 슬라이드 운동식(2)은 Runge Kutta 방법을 사용하였다.

3. 수치계산 결과 및 고찰

전형적인 50% 크기의 tri-pad 슬라이드가 사용되었으며, 에어 베어링은 2.032 mm 길이와 6 μm 깊이를 가진 슬라이드로서 0.0294 N의 서스펜션 荷重하에서 운행되었다. Bump base 크기는 2 μm , bump 높이는 10 nm에서 40 nm로 하였으며, bump 사이클 길이로서 4, 10, 20, 그리고 50 σ 를 채택했다. 여기서 1 σ 는 bump간 1 pitch에 해당되는 거리를 표시한다. 수치계산을 위한 변수로서 앞서 언급한 bump의 밀도 및 높이, 그리고 디스크 회전속도에 따른 슬라이드의 浮上정도를 예측하였다. Bump 높이(10-40 nm)와 일정한 bump 밀도(10 σ)에 따른 슬라이드내 다른 레일에서의 浮上거리를 예측한 결과에서 HDI에서 bump높이는 같은 차원의 헤드와 디스크 간격을 결정하는 슬라이드의 浮上정도에 중대하게 영향을 준다는 것을 알 수 있었으며 아울러 HDI에서 tribological 성능 향상을 위한 설계에 중요한 요인이 될 수 있었다. 실제로 bump 높이가 매우 낮으면 심한 마모상의 문제점을 야기시키게 된다. 따라서 상응하는 슬라이드에 따라 바람직한 부상 정도를 갖기 위해선 적절한 bump 높이의 범위 조건이 필요하다. 또한 같은 조건을 갖는 bump의 높이에 따른 슬라이드의 부상시 여기에 미치는 각각의 pitch와 roll에 의한 영향도 고려되었다. 여기서 형성되는 최소한의 pitch와 roll에 의한 증감은 슬라이드의 안쪽 레일과 바깥쪽 그리고 뒤쪽 레일에서 슬라이드의 부상에 영향을 주었다. 반구 모양의 Bump 밀도가 다른 조건에 의한 슬라이드 浮上거리의 결과는 고밀도의 경우가 저밀도의 조건보다 크게 작용이 됨을 보여주었다. 같은 bump base 크기와 밀도 그리고 높이를 갖는 상태에서 회전속도의 조건만을 달리했을 때 디스크의 회전속도의 변화는 슬라이드의 浮上거리에 영향을 주는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 에어 베어링에서 channeling 흐름에 의한 속도와 슬라이드 浮上거리에 관계되는 Couette 채적흐름에 기인된다고 본다. 또한 큰 관심은 속도에 있어서 그 변화가 디스크의 CSS 상태의 슬라이드 浮上이 의미있는 tribological 관점에서 磨耗 및 接觸力에 관련되어 있다는 점으로 지적해준다.

4. 결론

본 연구는 디스크상의 texture에 의한 파동과 tri-pad 슬라이드에 의해 이루어지는 에어 베어링의 운동 메커니즘을 해석하기 위해 微細格子에 의한 FDM을 사용하여 3-D HDI에 bump pattern, 회전속도 그리고 bump 밀도 등의 변수들을 적용 계산하였다. 그 결과 nano 크기의 HDI를 가진 디스크설계를 위하여 디스크상의 bump의 pattern에 따른 영향이 고찰되었다. 여기서 제시된 모델은 Laser bump texture의 영향을 간단한 수학적 HDI model로 해석가능하게 했고, Fourier 시리즈로써 bump 높이, bump curvature, bump base 크기, 그리고 bump 밀도로 표현되는 이들 변수관계의 적절한 설계는 nano 크기의 기술로 향하는 HDI의 tribological 문제해결을 위한 하드 디스크의 설계기술에 적용되리라 본다.

5. 참고 문헌

- [1] T. Q. Doan, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 33, p. 903, 1997
- [2] M. Staudenmann, M. J. Donovan, and D. B. Bogy, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 34, p. 1696, 1998
- [3] J. H. Kim and K. H. Shin, submitted to the *InterMag99*.
- [4] Y. Hu, and D. B. Bogy, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 33, p. 3196, 1997