

# 광디스크 드라이브 공기베어링 슬라이더의 최적설계를 위한 형상민감도 해석

오김현기\*, 장혁\*\*, 김광선\*\*\*, 임경화\*\*\*\*, 정태건\*\*\*\*\*

## Shape Sensitivity Analysis for the Optimal Design of Air Bearing Sliders of Optical Disk Drives

Hyun Ki Kim, Hyuk Jang, Kwang Sun Kim, Kyong Hwa Lim, Tae Gun Jeong

### ABSTRACT

The optical storage device has recently experienced significant improvements, especially for the aspects of high capacity and fast transfer rate. However, it is the fact that the optical storage device has the lower access time for the randomly scattered data compared to the hard disk drives. It is, therefore, necessary to develop a new type of optical storage system. In this study, we investigate the air bearing characteristics for the optical disk drives which have the swing arm actuator similarly to the hard disk drives. Considering the requirements of the optical disk drives, we parametrize the shape of the air bearing surface and investigate its sensitivity to the flying characteristics for further optimized design outputs.

### 1. 서론

컴퓨터의 대용량화, 고속화에 따라 컴퓨터용 기록 장치도 비약적으로 발전되어 왔다. 특히, 네트워크의 발달과 멀티미디어 기술의 발달로 대용량의 저립하고 빠른 기록장치에 대한 요구는 날로 커지고 있다.

기록장치는 보통 자기기록 장치와 광기록 장치로 크게 분류된다. 자기기록 장치 중 많이 사용되는 하드디스크 드라이브(hard disk drive, 이하 HDD)는 그 저장용량이 선형밀도와 트랙밀도에 의해 결정

된다. 선형밀도는 자기헤드와 디스크 사이의 간격의 영향을 받으며, 트랙밀도는 자기헤드의 위치제어 정밀도에 의해 결정된다.<sup>(1)</sup> 최근의 HDD들은 고용량을 위해 선형밀도를 극대화시키고 있다. 그 때문에 필연적으로 발생하는 슬라이더와 디스크 사이의 접촉 및 마모 문제가 중요한 문제로 부각되고 있다. 이에 비해 광디스크는 빛의 수렴을 이용하기 때문에 선형밀도를 증가시키기 위해 HDD와 같이 극단적으로 낮은 부상높이를 갖지 않아도 된다. 그리고, 위치제어를 위해 VCM(voice coil motor)와 마이크로 미러(micro mirror)의 2단 구동기(two stage actuator)를 사용하여 트랙밀도도 매우 높게 유지할 수 있다.<sup>(2)</sup> 따라서 광디스크용 슬라이더는 설계된 부상높이에서 10% 이내의 변화를 갖는 일정한 부상높이를 모든 작동영역에서 유지시켜줄 수 있는 능력이 요구되고 있다.<sup>(3)</sup>

본 논문에서는 수치 해석을 이용하여 3개의 패드

\* 건국대 대학원  
\*\* 한국기술교육대 대학원  
\*\*\* 한국기술교육대 메카트로닉스공학부  
\*\*\*\* 한국기술교육대 제어시스템공학과  
\*\*\*\*\* 건국대 기계항공공학부

를 갖는 광디스크용 슬라이더의 공기베어링 특성을 파악하고, 각각의 패드형상이 공기베어링의 특성 변화에 주는 영향을 조사하였다.

## 2. 수치해석

본 연구에 사용된 수치해석은 HDD용 슬라이더의 공기베어링 형성 특성을 연구하기 위하여 사용된 알고리즘과 동일하며, 이는 얇은 2차원 유동에 대한 레이놀즈 방정식(Reynolds equation)의 해를 구하는 형태로 되어있다.<sup>(4)</sup>

그러나 최근의 슬라이더들은 아주 낮은 부상높이(flying height)를 갖고 있기 때문에 슬라이더 아래쪽의 공기의 유동에 대해 공기의 평균 분자 운동 거리(mean free path)를 무시할 수 없게 되어 결과적으로 연속체 가정에서 출발한 레이놀즈 방정식을 통한 공기베어링 압력의 예측은 정확하지 않게 되었다. 따라서, 레이놀즈 방정식 중 포아제(Poiseuille) 유동량에 해당하는 부분은 벽면에서의 슬립조건을 적용시켜 보정하게 되어있다.<sup>(5)</sup>

또한, 요즈음의 슬라이더들은 아주 불규칙한 형상을 갖고 있기 때문에, 이러한 복잡한 형상에 대한 해석이 가능하도록 레이놀즈 방정식을 검사체적(control volume) 방법으로 재구성한 다음 그 안의 유동량을 계산하고, 이를 ADI(alternating direction implicit) 방법에 의해 1차 편미분 방정식으로 분해하여 계산하도록 되어있다.<sup>(6)</sup>

## 3. 슬라이더

광디스크용 슬라이더는 슬라이더의 상당히 큰 영역에 광 픽업을 위한 렌즈가 장착되도록 되어있다. 이 렌즈는 슬라이더의 형상에 큰 영향을 주게 되며, 또한, 렌즈에 의해 지지되는 부분이 많은 제약을 받게 된다.

Fig. 1은 본 연구에 적용한 광디스크용 슬라이더의 형상이다. 이 슬라이더는 3개의 공기베어링 패드를 갖고 있으며, 모든 패드는 정압(positive pressure)과 부압(negative pressure)을 발생시킨다. 또한, 렌즈의 장착으로 인해 슬라이더의 중앙부분을 하중점/loading position)으로 사용할 수 없기 때문

에, 서스펜션에 의한 지지는 극단적으로 앞부분에 치중하게 되어 피치각의 심각한 감소를 유발한다. 이러한 이유로 Fig. 2와 같이, 슬라이더의 뒷부분에는 공기베어링 패드를 배치하지 않아 정압의 발생을 방지하고, 앞부분의 공기베어링 패드에 의한 부압만을 받게 해서, 전체적인 슬라이더의 피치각 감소를 막고 있다.

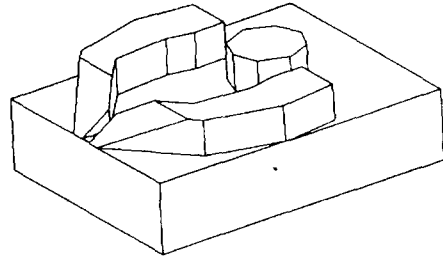


Fig. 1 Air bearing surface geometry

또한, 기존의 HDD용 부압 슬라이더와는 다르게, 슬라이더 앞부분의 중앙에 공기의 유동이 생기게 함으로써, 앞부분에 강하게 생기는 부압을 방지하여, 슬라이더 앞부분의 압력 감소를 막아 피치각이 감소되는 것을 방지하고 있다.

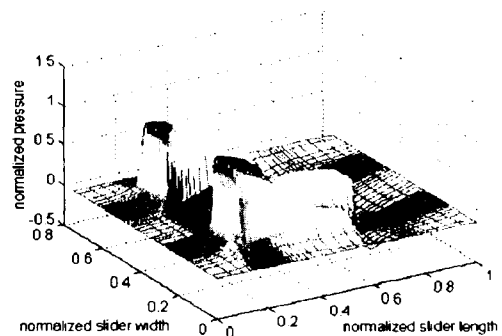


Fig. 2 Air bearing pressure profile

광디스크용 슬라이더에서 특이한 점 중 하나는 렌즈의 중심에 해당되는 부분에 렌즈를 위한 패드가 원형으로 한 개 존재한다는 것이다. 이것에 의해 정압과 부압이 동시에 발생하여 슬라이더 중간 이후 부분의 압력 발생에 큰 역할을 하고 있다. 그러나, 이 부분은 렌즈의 형태나 크기를 바꾸지

않는 한 수정을 가할 수 없는 부분이다.

## 4. 결과 및 검토

### 4.1 슬라이더의 매개변수 지정

본 연구에서는 슬라이더의 공기베어링 형상을 4개의 요소로 구분하고 그 요소들의 변화에 따른 부상특성을 조사하였다. 그 요소는 Fig. 3과 같이 하중지지점, 공기베어링 패드 사이의 간격, 부압영역의 크기, 공기베어링 패드의 출구각 등 4가지로 정하였다.

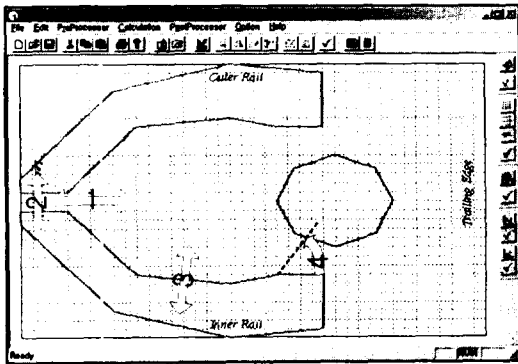


Fig. 3 Air bearing surface parameters

이렇게 4가지의 요소로 결정한 이유는 다음과 같다. 하중지지점은 전체적인 슬라이더의 부상특성 중 피치각과 부상높이를 결정하며, 공기베어링 사이의 간격은 부압영역의 발생을 조절하는 부분이고, 부압영역의 크기는 공기베어링의 전체적인 압력변화에 영향을 주게 되며, 마지막으로 공기베어링 패드의 출구각은 액츄에이터의 움직임에 따라 변하는 스큐각(skew angle)에 대응하기 위한 것이다.

### 4.2 하중지지점의 영향

광디스크용 슬라이더에는 렌즈가 장착되어 있기 때문에, 슬라이더의 대부분을 렌즈가 점유하고 있다. 따라서 슬라이더를 지지하기 위한 플렉서(flexure)는 극단적으로 한쪽으로 쏠려 있는 형태를 취할 수밖에 없으며 그에 따라 중앙에 하중지지를 받지 못하므로, 슬라이더의 특성에 큰 영향을 주게

된다.

Fig. 4는 슬라이더의 앞부분에서 하중지지를 받고 있는 형태로서 그 지지점은 슬라이더의 최전방으로부터 렌즈의 전방 일부 부분까지 가능하다.

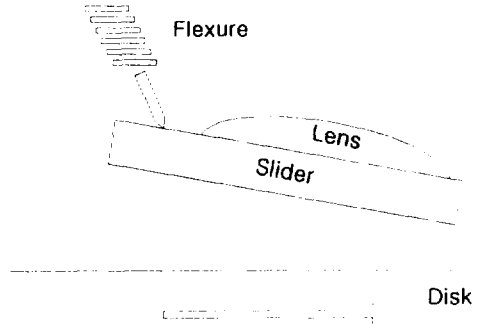


Fig. 4 Slider-suspension assembly

Fig. 5는 슬라이더의 하중지지점을 이동시켜가며 그 부상상태의 변화를 알아본 그래프이다.

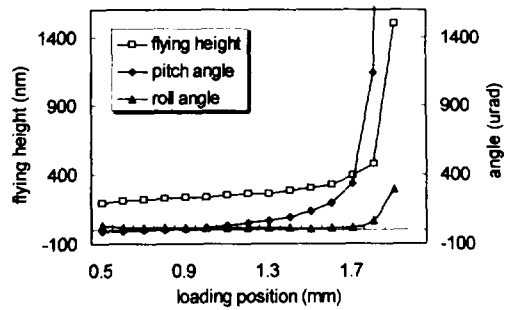


Fig. 5 Effect of loading position

그래프에서 보는 바와 같이 슬라이더의 하중지지점이 뒤로 이동함에 따라 슬라이더의 부상높이와 피치각이 증가함을 볼 수 있다. 하지만 하중 지지점이 1.7mm 지점을 지나면서 그 부상높이는 극단적으로 커짐을 알 수 있다. 그 이유는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 하중지지점이 전방으로부터 0.5mm에 위치할 때에는 정압과 부압이 생겨 낮은 함력으로 슬라이더를 부상시키지만, 하중지지점이 뒤로 이동함에 따라, 즉 Fig. 7과 같이 하중지지점이 전방으로부터 1.8mm에 위치할 때에는 슬라이더의 피치각이 매우 커져 부압이 발생하는 영역이 대부분 사라지게 되고, 그에 따라 부상높이가 급격히 증가함을 할 수 있다.

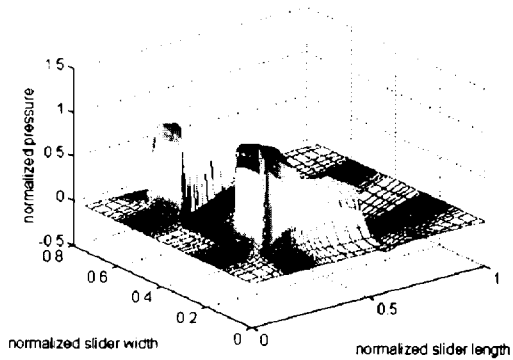


Fig. 6 Pressure profile at 0.5mm loading position

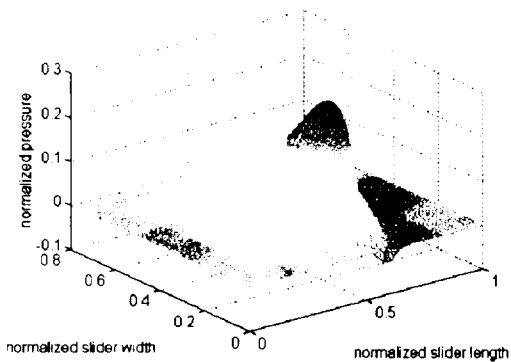


Fig. 7 Pressure profile at 1.8mm loading position

#### 4.3 공기베어링 패드 간격의 영향

공기베어링 패드 사이의 간격은 슬라이더 앞부분에서 두 패드 사이에 발생하는 부압의 크기를 감소시켜 피치각이 부압에 의해 작아지는 것을 방지하는 역할을 한다.

그러나 Fig. 8에서 보는 바와 같이 낮은 선속도에서의 영향은 전체 부압의 변화와 피치각의 변화가 맞물려서 움직이기 때문에, 그 간격의 변화가 부상높이나 피치각의 변화와 바로 대응되는 현상은 보기 힘들다. 또한, 그 부상높이의 변화량보다 다른 요소들에 의한 계산 결과들의 변화량보다 그 차가 작음을 알 수 있다. 그러나, 공기유동의 선속도가 증가하면서, 패드 간격이 커질수록 피치각이 커지면서, 부상높이가 약간씩 감소하는 것을 알 수 있

다. 그러나 역시 이 영향도 그리 크게 작용하지는 않는다.

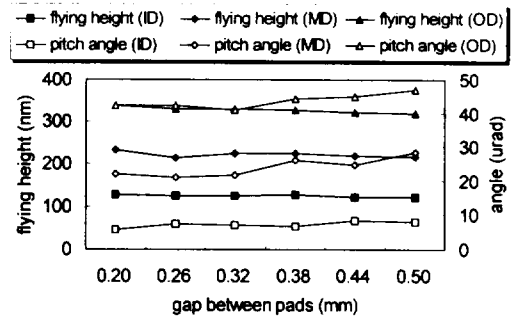


Fig. 8 Effect of gap between pads

간격의 영향이 작은 이유중의 하나는, 패드 간격이 있는 부분이 테이퍼(taper)의 앞 부분으로, 여기서 사용된 슬라이더는  $5\mu\text{m}$ 의 큰 높이를 갖고 있고,  $35\text{mrad}$ 의 테이퍼각을 갖고 있기 때문에, 그 간격이 존재하는 부분의 패드의 높이가 낮아 그 영향력이 작다.

#### 4.4 부압영역 크기의 영향

Fig. 9는 슬라이더 앞에서 1/3부분의 부압영역의 크기의 변화를 나타낸 것이다. 부압영역의 크기가 증가하면, 상대적으로 그 부분의 정압이 약해지게 되어 슬라이더를 떠받치는 힘이 작아지게 된다. 특히 이 슬라이더의 경우 공기베어링 패드가 앞의 2/3부분에만 있기 때문에 이 부분의 정압의 감소로 인해 피치각이 급격히 떨어지게 되고, 그에 따라

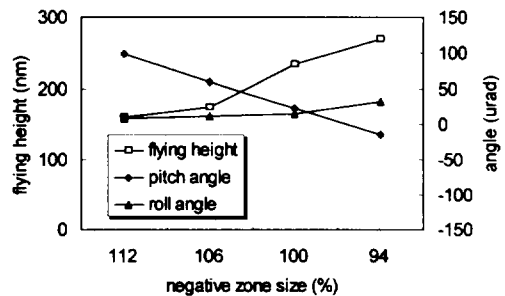


Fig. 9 Effect of size of negative zone

부상높이가 증가하는 현상을 보이고 있다.

그에 비해 롤각의 경우는 좌우 대칭형태로 부압 영역이 증가하므로, 그 변화가 상대적으로 작다.

#### 4.5 공기베어링 패드의 출구각의 영향

공기베어링 패드의 출구각은 스큐각의 영향을 민감하게 받게 된다.<sup>(7)</sup> 따라서 출구각에 따라 각각의 스큐각에 대해 부상높이와 피치각과 롤각이 변함을 알 수 있다.

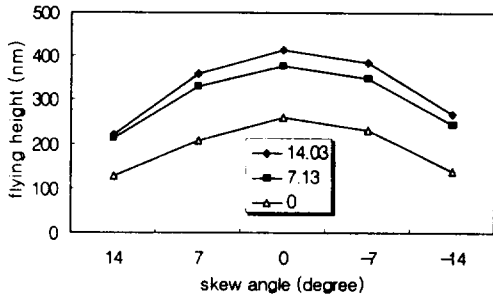


Fig. 10 Flying height deviation by skew angle

이러한 영향은 디스크의 회전 속도에 따라 다르다. Fig. 10, 11, 12 에서는 그 영향이 가장 크게 나타난 외주(outer diameter)부분에서의 부상높이, 피치각, 롤각의 변화를 보여주고 있다.

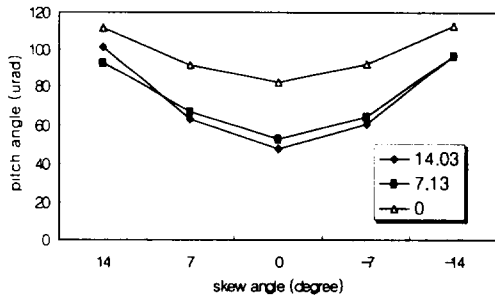


Fig. 11 Pitch angle deviation by skew angle

결과에서 볼 수 있듯이 출구각이 0° 일 때, 모든 스큐각 영역에서 부상높이 및 피치와 롤각의 변화가 작음을 알 수 있다.

그 이유는 스큐각에 대응해서 일정한 부상높이를 갖기 위한 슬라이더를 설계할 때, 출구각은 하나의 공기베어링 패드의 양면에 모두 적용을 시켜야 한

다. 그러나 여기서는 안쪽 면에서의 영향만을 고려함으로써, 한 공기베어링 패드의 안쪽 면의 출구각이 적정수준일 때 다른 하나의 공기베어링 패드는 안쪽 면과 바깥쪽 면이 모두 유동방향에 대해 적당하지 않은 방향을 취하게 된다. 따라서 스큐각의 변화에 따라 전체 슬라이더의 부상특성이 많이 변하게 되었다.

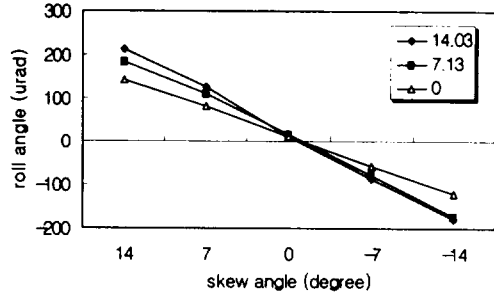


Fig. 12 Roll angle deviation by skew angle

## 5. 결론

1. 본 논문에서는 광디스크용 슬라이더 공기베어링의 특성에 대해서 연구하였다.

슬라이더 공기베어링의 형상을 하중지지점, 앞쪽 공기베어링 패드의 간격, 부압영역의 크기, 공기베어링 패드 출구각, 이렇게 4부분으로 구분하여, 각각의 요소들이 슬라이더의 부상높이와 피치각 그리고 롤각에 어떠한 영향을 주는가에 대해 보았다.

하중지지점은 부상높이와 피치각의 변화에 가장 큰 영향을 주었으며, 이와는 반대로 공기베어링 패드 사이의 간격은 가장 작은 영향을 주었다.

부압영역의 크기는 슬라이더에서 발생하는 전체적인 압력변화에도 영향을 주었다. 그러나 전체압력의 변화보다는 슬라이더의 특정부분의 부압의 변화를 유발해 피치각을 변하게 하고, 그에 따라 부상높이가 변하게 되었다.

앞부분에 있는 두 개의 공기베어링 패드가 대칭 형태를 이루고 있기 때문에 롤각의 변화는 스큐각의 영향에 대한 것을 제외하고는 큰 변화가 없었다.

2. 광디스크용 슬라이더는 피치각과 롤각의 유지보다는 일정한 부상높이를 유지시키는 것이 중요

하기 때문에, 미리 설정된 부상높이를 갖게 하기 위한 하중지지점의 위치와 부압영역의 선정에 큰 비중을 두어야 한다. 특히, 광디스크의 선속도 변화에 대처하도록 해야 한다.

그리고, 결정된 형상에서 스큐각에 따른 부상높이의 변화를 줄이기 위해, 출구각의 조절이 필요하다.

3. 여기서 검토된 슬라이더 공기베어링 형상의 민감도에 따라 추후에 진행될 최적화 과정에서의 구속조건과 형상변수의 가중치가 결정되어야 한다.

## 후기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 1999-1-304-007-3)지원으로 이루어 졌으며, 재단의 지원에 감사 드립니다.

## 참고문헌

- (1) D. K. Miu, G. M. Frees, and R. S. Gompertz, "Tracking Dynamics of Read/Write Head Suspension in High-Performance Small Form Factor Rigid Disk Drives," *ASME Journal of Vibration and Acoustics*, Vol.112, pp.33-39, 1990.
- (2) 손덕수, 심진욱, 서화일, 임경화, 이우영, "공기막의 스퀴즈 효과를 고려한 마이크로미러 설계에 관한 연구," *Journal of the Microelectronics and Packaging Society*, Vol. 7 , No. 1 , pp. 29-34, 2000.
- (3) 김수환, 신서용, 왕지남, "Fiber 광 픽업을 이용한 pivot-arm 방식의 초고속 광디스크 드라이브 연구," 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 444-448, 1995.
- (4) B. J. Hamrock, *Fundamentals of Fluid Film Lubrication*, McGraw-Hill, pp. 147-156, 1994.
- (5) O. J. Ruiz and D. B. Bogy, "A Comparison of Slider Bearing Simulations using Different Slip Models," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 25, pp. 2754-2756, 1988.
- (6) E. Cha and D. B. Bogy, "A Numerical Simulation for Static and Dynamic Simulation of Sub-ambient Pressure Shaped Rail Sliders,"

*ASME Journal of Tribology*, Vol. 117, pp. 36-46, 1995.

- (7) S. Yoneoka, M. Katayama, T. Ohwe, Y. Mizoshita, and T. Yamada, "A Negative Pressure Microhead Slider for Ultralow Spacing with Uniform Flying Height," *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 27, No. 6, pp. 5085- 5087, 1991.