

## 광디스크 드라이브 공기베어링 슬라이더의 형상민감도 해석

김현기\* · 장 혁\*\* · 김광선\*\*\* · 임경화\*\*\*

\*건국대 대학원, \*\*한국기술교육대 대학원, \*\*\*한국기술교육대

## Shape Sensitivity Analysis of Air Bearing Sliders of Optical Disk Drives

Hyun Ki Kim\*, Hyuk Jang\*\*, Kwang Sun Kim\*\*\*, and Kyong Hwa Lim\*\*\*

\*Konkuk Univ, Graduate School, \*\*KUT, Graduate School, \*\*\*KUT

**초 록:** 고성능과 고속화의 면에서 광저장장치의 관심은 상당히 높다. 그러나 하드디스크와 비교하여 광저장장치는 임의의 데이터에 대한 탐색속도가 매우 낮다. 따라서, 광저장장치에서의 새로운 형태의 연구가 필요하다. 본 연구는 하드디스크 장치와 유사한 스윙 암 구동기를 사용한 광저장장치의 공기베어링의 특성에 관해 연구하였다. 광저장장치에서 요구되어지는 최적의 슬라이더 형상을 구하기 위하여 공기베어링면의 형상변화에 따른 부상상태에 관한 민감도를 연구하였다.

**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 similar to the hard disk drives. Considering the requirements of the optical disk drives, we parameterize the shape of the air bearing surface and investigate its sensitivity to the flying characteristics for further optimized design outputs.

### 1. 서 론

컴퓨터의 대용량화, 고속화에 따라 컴퓨터용 기록장치도 비약적으로 발전되어 왔다. 특히, 네트워크의 발달과 멀티미디어 기술의 발달로 대용량의 저렴한 빠르고 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 결정된다. 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 부

상높이를 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 주로 요구되고 있다.<sup>3)</sup>

본 논문에서는 박막유동을 위한 2차원 레이놀즈 방정식을 이용한 해석기를 사용하여 3개의 공기베어링 패드를 갖는 광디스크용 슬라이더의 특성과 각각의 패드형상과 하중점이 공기베어링의 변화에 주는 영향을 조사하여, 특이한 형상을 갖는 광디스크용 슬라이더의 부상 특성을 조사하였다.

### 2. 해석기

본 연구에 사용된 해석기는 HDD용 슬라이더의 공기

베어링 형성 특성을 연구하기 위하여 사용된 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, 요즘의 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 분해 하여 계산하도록 되어있다.<sup>6)</sup>

이 해석기에 의한 공기베어링 해석은 HDD 액츄에이터 시스템의 트랙탐색 동특성 해석에 활용되었다.<sup>7)</sup>

### 3. 슬라이더

상업용으로 개발중인 광디스크용 슬라이더는 슬라이더의 상당히 큰 영역에 광 픽업을 위한 렌즈가 장착되도록 되어있다. 이 렌즈는 슬라이더의 형상에 큰 영향을 주게 되며, 또한, 렌즈에 의해 지지 되는 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 때문에, 서스펜션에 의한 지지는 극단적으로 앞부분에 치중하게 되어 피치각의 심각한 감소를 유발한다. 이러한 이유로 Fig. 2와 같이, 슬라이더의 뒷부분에는 공기베어링 패드

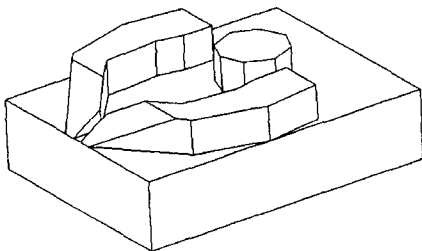


Fig. 1. Air bearing surface geometry.

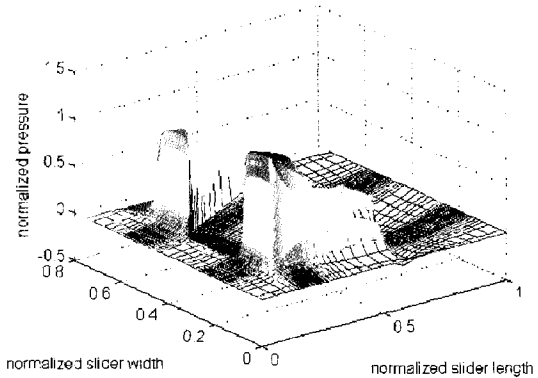


Fig. 2. Air bearing pressure profile.

를 배치하지 않아 정압의 발생을 방지하고, 앞부분의 공기베어링 패드가 중단됨에 따른 부압을 주로 받게 해서, 전체적인 슬라이더의 피치각 감소를 막고 있다.

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.

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.

따라서 본 논문에서 사용된 슬라이더는 광디스크용 슬라이더의 여러 제약 조건인 하중점이 극단적으로 앞부분에 위치해야 하는 제한과 그에 따라 필연적으로 발생하는 피치각이 작아지는 문제를 해결하기 위한 형상이다. 또한, 광디스크용 슬라이더는 데이터 전송을 위하여 렌즈를 통하는 빛을 신호로 사용하고 이신호는 돌립된 구동기를 갖고 있는 기울면에 반사되어 전달되기 때문에 슬라이더와 디스크 사이의 충돌현상만 일어나지 않는다면 피치각과 톨각의 제한은 그리 크리 않다.

### 4. 결과 및 검토

본 연구에서는 슬라이더의 공기베어링 형상을 5개의 요소로 구분하고 그 요소들의 변화에 따른 부상특성을 조사하였다. 그 요소는 Fig. 3과 같이 하중점, 공기베어링 패드 사이의 간격, 부압영역의 크기, 공기베어링 패드

의 출구각, 테이퍼의 길이 등 5가지로 정하였다.

이렇게 5가지의 요소로 결정한 이유는 다음과 같다. 하중점은 전체적인 슬라이더의 부상특성 중 피치각과 부상높이를 결정하며, 공기베어링 사이의 간격은 부압 영역의 발생을 조절하는 부분이고, 부압영역의 크기는 공기베어링의 전체적인 압력변화에 영향을 주게 되며, 공기베어링 패드의 출구각은 액추에이터의 움직임에 따라 변하는 스쿠각(skew angle)에 대응하기 위한 것이다. 마지막으로 테이퍼의 길이는 슬라이더의 앞부분에 강한 정압을 발생시켜, 피치각을 증가시킬 수 있는 주요한 요소이다.

4.1. 하중점의 영향

광디스크용 슬라이더에는 렌즈가 장착되어 있기 때문

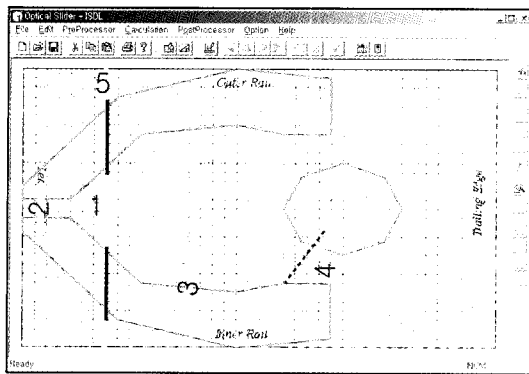


Fig. 3. Air bearing surface parameter.

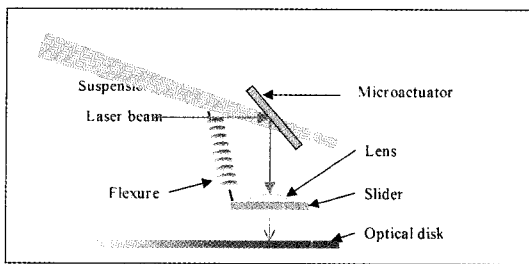


Fig. 4. Slider suspension assembly.

에, 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 슬라이더가 앞부분에서 하중지지를 받고 있는 형태로서 그 지지점은 슬라이더의 최전방으로부터 렌즈의 전방 일부 부분까지 가능하다

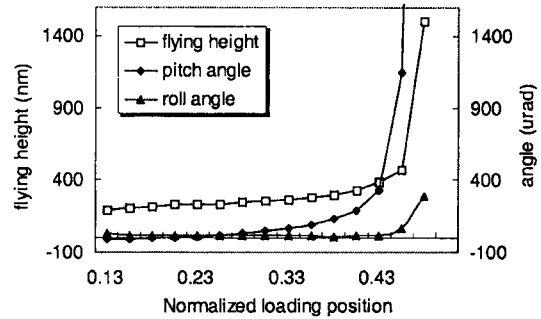


Fig. 5. Effect of loading position.

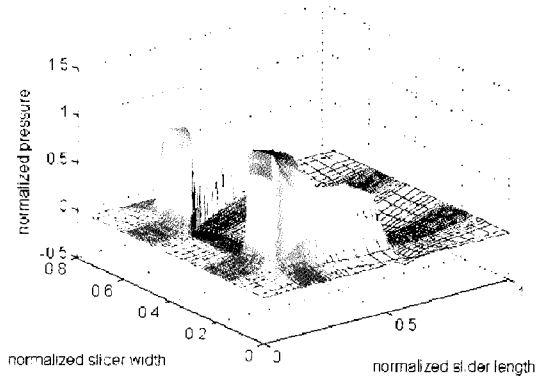


Fig. 6. Pressure profile at 0.5 mm loading position.

Fig. 5는 슬라이더의 하중점을 이동시켜가며 슬라이더 뒤 끝단 중앙부의 부상상태의 변화를 알아본 그래프이다. 그래프에서 보는 바와 같이 슬라이더의 하중점이 뒤로 이동함에 따라 슬라이더의 부상높이와 피치각이 증가함을 볼 수 있다. 하지만 하중 지지점이 1.7 mm (0.42)지점을 지나면서 그 부상높이는 극단적으로 커짐을 알 수 있다.

그 이유는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 하중점이 전방으로부터 0.5 mm (0.12)에 위치할 때에는 정압과 부압이 생겨 낮은 합력으로 슬라이더를 부상시키지만, 하중점이 뒤로 이동함에 따라, 극단적으로 높은 피치 각이 발생되어 부압영역이 사라지기 때문이다.

즉 Fig. 7과 같이 하중점이 전방으로부터 1.8mm (0.45)에 위치할 때에는 슬라이더의 피치각이 매우 커져 부압이 발생하는 영역이 대부분 사라지게 되고, 그에 따른 총 정압의 크기가 커져 부상높이가 급격히 증가함을 알 수 있다.

4.2. 공기베어링 패드 간격의 영향

공기베어링 패드 사이의 간격은 슬라이더 앞부분에서 두 패드 사이에 발생하는 부압의 크기를 감소시켜 피치

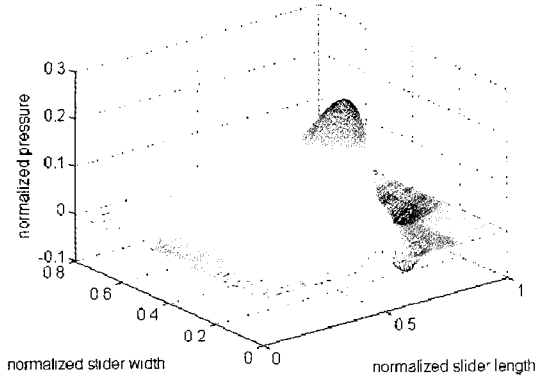


Fig. 7. Pressure profile at 1.8 mm loading position.

각이 부압에 의해 작아지는 것을 방지하는 역할을 한다.

그러나 Fig. 8에서 보는 바와 같이 12.57 m/s(ID)의 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 변화량이 다른 요소들에 의한 계산 결과들의 변화량보다 그 차가 작음을 알 수 있다. 그러나, 공기유동의 선속도가 25.13 m/s(OD)로 증가하면서, 전체적으로 유동량 증가에 따른 부상높이는 커지지만, 패드 간격이 커짐에 따라 피치각이 증가하면서, 부상높이가 약간씩 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 역시 이 영향도 그리 크게 작용하지는 않는다.

간격의 영향이 작은 이유중의 하나는, 패드 간격이 있는 부분이 테이퍼(taper)의 앞 부분으로, 여기서 사용된 슬라이더는 5 μm의 큰 높이를 갖고 있고, 35 mrad의 테이퍼각을 갖고 있기 때문에, 그 간격이 존재하는 부분의 패드의 높이가 낮아 그 영향력이 작다. 하지만, 테이퍼의 길이가 변화하게 되면 패드의 간격을 무시할 수 없게 된다.

4.3. 부압영역 크기의 영향

Fig. 9는 Fig. 3의 슬라이더 형상을 100%크기라고 했을 때 상대적인 부압영역의 크기의 변화를 나타낸 것이다. 부압영역의 크기가 증가하면, 즉, 공기베어링 패드의 폭이 줄어들면 이에 따라 발생하는 압력의 감소가 전체 공기베어링 부분 보다는 슬라이더 중앙부분의 국소압력 감소에만 영향을 주게 된다. 따라서, 이것이 슬라이더의 상당히 앞부분에 치우쳐 있는 하중점과 맞물려 작용을 해 부압영역이 크면 중앙부 압력이 낮아 피치각이 큰 상태를 유지하고, 부압영역이 작아짐에 따라 중앙부 압력이 높아져서 피치각도 급격히 작아지게 되고, 그에 따라 부상높이가 증가하는 현상을 보이고 있다.

그에 비해 롤각의 경우는 좌우 대칭형태로 부압영역

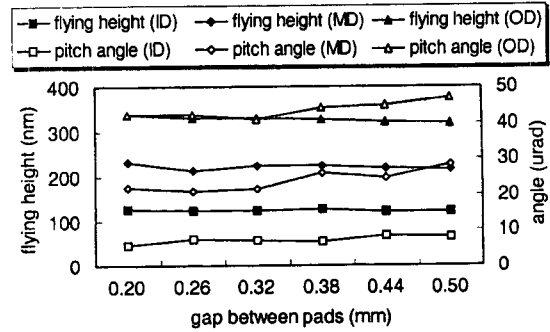


Fig. 8. Effect of gab between pads.

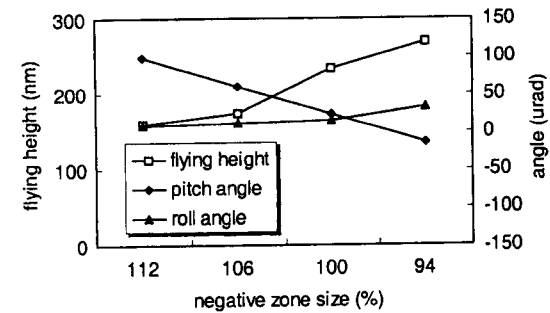


Fig. 9. Effect of size of negative zone.

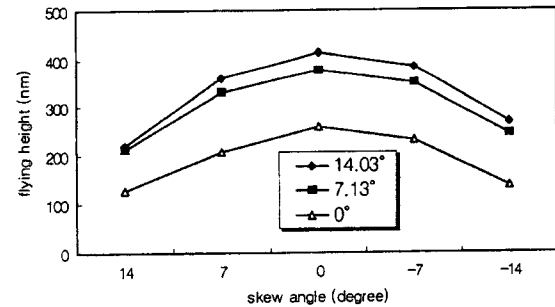


Fig. 10. Flying height deviation by skew angle.

이 증가하므로, 그 변화가 상대적으로 작다.

4.4. 공기베어링 패드의 출구각의 영향

공기베어링 패드의 출구각은 스큐각의 영향을 민감하게 받게 된다.<sup>8)</sup> 따라서 출구각에 따라 각각의 스큐각에 대해 부상높이와 피치각과 롤각이 변함을 알 수 있다.

이러한 영향은 디스크의 회전 속도에 따라 다르다. Fig. 10, 11, 12에서는 스큐각 변화에 따른 영향만을 보여주기 위해 그 효과가 가장 크게 나타난 외주(outer diameter)부분에서의 부상높이, 피치각, 롤각의 변화를 보여주고 있다.

결과에서 볼 수 있듯이 출구각이 0° 일 때, 모든 스큐각

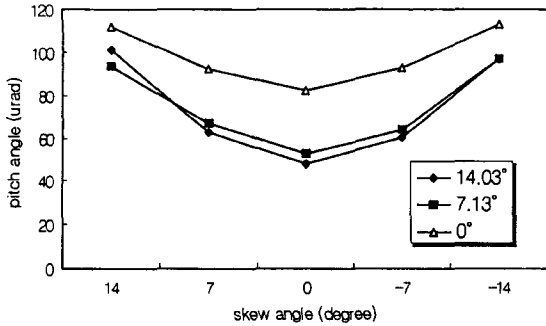


Fig. 11. Pitch angle deviation by skew angle.

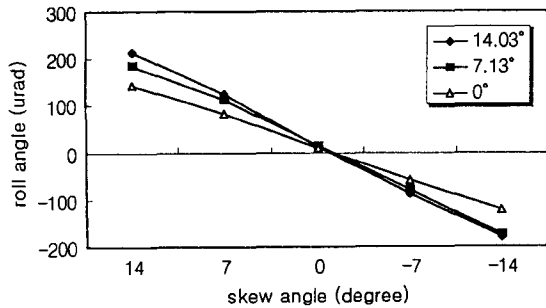


Fig. 12. Roll angle deviation by skew angle.

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 한다. 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.

4.5. 테이퍼 길이의 영향

테이퍼는 슬라이더 앞부분에 발생하는 정압의 크기와 위치에 큰 영향을 주며, 이는 슬라이더의 피치각 변화에 민감하게 반응하게 된다.

Fig. 13은 동일한 테이퍼각을 갖는 슬라이더의 테이퍼 길이의 변화에 따른 슬라이더의 부상상태 변화를 보인 것으로 테이퍼의 길이가 짧으면 상당히 앞부분에 정압이 발생하여 피치각이 크고 이에 따라 부상높이가 작다. 하지만, 테이퍼의 길이가 길어짐에 따라 정압발생 위치가 뒤로 이동하게 되고 그에 따라 피치각이 작아지면서 부상높이가 커짐을 알 수 있다. 또한, 그 변화량이 상당

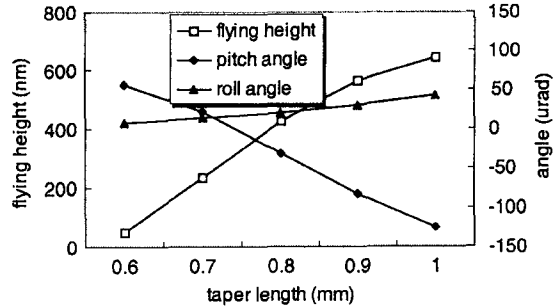


Fig. 13. Effect of taper length.

히 크다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

1. 본 논문에서는 광디스크용 슬라이더 공기베어링의 특성에 대해서 연구하였다.

슬라이더 공기베어링의 형상을 하중점, 앞쪽 공기베어링 패드의 간격, 부압영역의 크기, 공기베어링 패드 출구각, 테이퍼 길이 이렇게 5부분으로 구분하여, 각각의 요소들이 슬라이더의 부상높이와 피치각 그리고 롤각에 어떠한 영향을 주는 가에 대해 알아 보았다.

2. 부상높이의 변화는 하중점과 출구각이 증가함에 따라 같이 증가하였고, 공기베어링 패드의 간격, 테이퍼길이, 부압영역의 크기가 증가함에 따라서는 감소하였다.

3. 하중점의 변화의 경우는 피치각과 부상높이가 같이 증가하고 감소하였으나, 그 외의 형상변화에 대해서는 피치각과 부상높이가 서로 역비례하는 양상을 보여주었다.

4. 좌우 대칭형상을 갖고 있는 공기베어링 패드로 인해, 롤각의 변화량은 부상높이와 피치각의 변화량에 비해 상대적으로 작았다.

5. 형상변화의 민감도는 하중점과 테이퍼 길이의 변화가 가장 컸으며, 공기베어링 패드의 간격이 가장 작았다. 추후에 진행된 최적화 연구에서는 테이퍼의 길이가 변화함에 따라 공기베어링 패드의 간격에 의한 영향력이 생길 것으로 사료되기 때문에 이 5부분의 파라미터를 무시할 수는 없다.

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

후 기

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 스쿼즈 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 드라이버 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. 김정주, 박노열, 강태식, 정태건, "공기 베어링 효과를 고려한 HDD 서스펜션 시스템의 트랙탐색 동특성", *대학기계학회논문집 A권*, 제 25권, 제 2호, pp. 198-205, 2001
8. 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.