

# 열 보조 자기기록용 서스펜션의 PSA에 대한 분석

## Analysis of Pitch Static Attitude in Thermally Assisted Magnetic Recording Suspension

김기훈\*.이용현\*.김석환\*.이상직\*.박노철\*.박영필\*.박경수†  
Ki-Hoon Kim, Yonghyun Lee, Seokwan Kim, SangJic Lee,  
No-Cheol Park, Young-Pil Park and Kyoung-Su Park

(2009년 10월 21일 접수 ; 2010년 2월 5일 심사완료)

**Key Words** : Pitch Static Attitude(피치 정적 자세), Suspension Stiffness(서스펜션 강성), TAMR Suspension(열 보조 자기기록용 서스펜션)

### ABSTRACT

This paper presents the analysis of pitch static attitude(PSA) in thermally assisted magnetic recording(TAMR) suspension. The TAMR suspension using an optical fiber has high stiffness such as vertical, pitch and roll. Therefore, P-torque is greatly increased by the optical fiber. Also, flying height(FH) of the slider with TAMR suspension can be largely changed by PSA. In this paper, we focus on the FH by PSA of TAMR suspension. The FH is investigated using various PSA and proper PSA is proposed.

### 1. 서 론

저장해야 할 정보가 과거에 비해 더욱더 증가함에 따라 고 용량의 자기기록장치의 수요는 점점 증가하고 있으며 고 용량의 정보저장장치의 필요성이 대두되고 있다<sup>(1,2)</sup>. 따라서 저장용량을 증가시키기 위한 많은 연구들이 수행되고 있는데 특히 로드/언로드, 패턴미디어 그리고 열 보조 자기기록(thermally-assisted magnetic recording, TAMR)과 같은 기술들의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 로드/언로드 기술<sup>(4-6)</sup>은 작동상태에 있지 않을 시에는 슬라이더가 램프 위에 놓여있고, 작동 시에는 슬라이더가 미디어 위로 움직여 미디어 위에 놓이게 되는 기술을 말한다. 따라서 텍스처 구조가 없기 때문에 부상높

이를 줄여 저장용량을 증가시킬 수 있으며 램프 구조에 의해 충격에도 강한 장점이 있다. 또한, 자기 기록 용량을 증가시키기 위해서는 미디어의 그레인 크기를 줄임으로써 용량을 증가시킬 수 있는데 그레인 크기를 줄이면 초상자성 한계라고 불리는 현상이 발생하게 된다. 초상자성 한계란 미디어의 자기극성이 열 적인 불안정성으로 인해 바뀌는 현상을 말한다. 따라서 이러한 한계를 극복하기 위한 방법 중에 하나가 패턴미디어 기술이다. 패턴미디어 기술은 각각의 도메인을 서로 분리시켜 각각의 도메인이 인접한 도메인에 영향을 주지 못하도록 강제적으로 미디어의 간격을 분리하는 방법이다.

또한 보다 많은 정보를 저장하기 위한 기술로써 열 보조 자기기록기술이 크게 대두되고 있다. 열 보조 자기기록방식은 보자력이 큰 미디어를 사용하여 그 미디어에 열을 가함으로써 순간적으로 보자력을 떨구고 기록하는 방식이다. 보자력(coercive force)이란 자화된 자성체의 자화도를 0으로 만들기 위해

† 교신저자; 정회원, 연세대학교 기계공학과  
E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr  
Tel : (02)2123-4677, Fax : (02)365-8460  
\* 연세대학교 기계공학과

걸어주는 역자기장의 세기이다. 이 값은 물질에 따라 고유한 값을 가지며, 영구자석으로 사용할 물질은 이 값이 클 수록 좋다. 항 자기력이라고도 한다. 이러한 열 보조 자기기록기술은 해결해야 할 많은 기술들이 있다. 예를 들어, 열을 사용함에 따른 온도 문제, 미디어에서의 열 문제, 열에 의한 열 변형 문제 그리고 열을 내기 위한 빛의 전달 문제 등이 있다. 이 연구에서는 빛의 전달 문제에 초점을 맞추었다. 빛의 전달을 위해 많은 방법들이 연구되고 있는데 레이저 다이오드를 이용한 빛의 전달과 직접적으로 빛을 전달하는 방법 그리고 광섬유를 이용한 빛의 전달 등이 있다.

이 연구에서는 광섬유를 이용한 빛의 전달에 있어서 광섬유를 서스펜션에 부착하여 V형상을 가진 반사물체에 연결하여 빛을 전달하기 위한 열 보조 자기기록용 서스펜션을 구축한다. 이와 같은 시스템을 구성하는 이유는 기존 시스템을 큰 변형 없이 사용할 수 있으며, 기존 시스템의 평가 장비를 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 광섬유를 이용한 시스템에 대한 기계적인 해석을 수행한 연구 결과가 미흡한 실정이다.

따라서 빛의 전달을 위한 열 보조 자기기록용 서스펜션의 강성을 구하고 다양한 pitch static attitude (PSA)를 적용하여 부상높이를 기준으로 한 각각의 변수에 대한 영향을 살펴본다. 따라서 PSA에 대한 열 보조 자기기록용 서스펜션의 영향을 검토하고 적당한 PSA에 대한 제안을 한다. Fig. 1은 서스펜션을 이루고 있는 구성품과 서스펜션의 PSA를 보여준다. PSA는 로드빔과 플렉서 사이의 각으로써 보통 각도로 나타낸다. 이러한 PSA에 따라서 슬라이더의 동적인 현상이 많이 바뀌며 슬라이더의 부상성능에도 많은 변화를 가져오게 된다. 따라서 PSA에 대한 열 보조 자기기록용 서스펜션의 특성을 분석하고자 한다.

## 2. 열 보조 자기기록용 서스펜션

### 2.1 열 보조 자기기록용 서스펜션의 구성

열 보조 자기기록용 서스펜션의 구성품은 일반용 서스펜션과는 다르게 구성되어 있다. 따라서 일반용

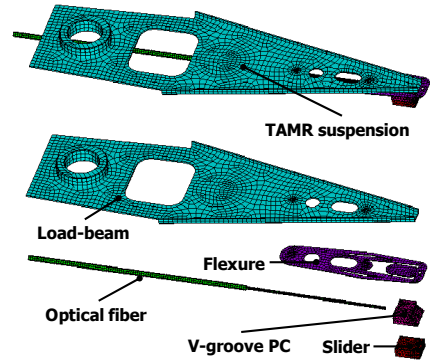


Fig. 2 Suspension components of TAMR

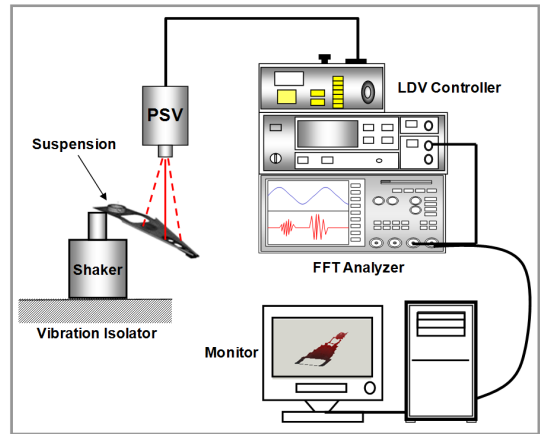


Fig. 3 Experimental setup

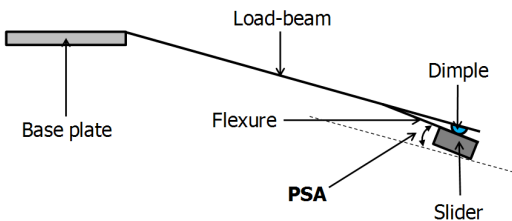


Fig. 1 PSA of suspension

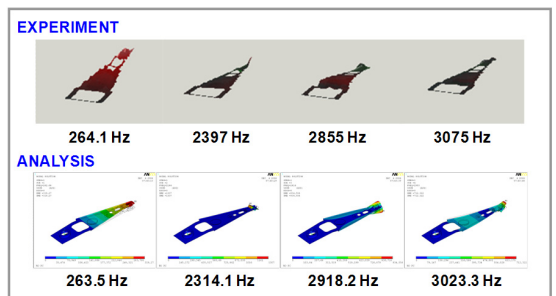


Fig. 4 Results of modal analysis

서스펜션과 열 보조 자기기록용 서스펜션은 많은 동적인 특성 등이 바뀌게 된다. Fig. 2는 열 보조 자기기록용 서스펜션을 보여준다. 열 보조 자기기록용 서스펜션은 서스펜션을 지지하기 위한 로드빔, 슬라이더의 움직임을 위한 플렉서, 슬라이더, 빛의 전달을 위한 광섬유 그리고 빛의 굴절을 위한 V형상 반사체로 구성되어 있다.

## 2.2 모드 해석 및 실험

열 보조 자기기록용 서스펜션에 대한 해석을 위해 실제 열 보조 자기기록용 서스펜션의 모델링이 매우 중요하다. 실제 사용되는 서스펜션의 모델링 및 모드 해석을 통하여 열 보조 자기기록용 서스펜션의 해석을 위한 기초를 수립한다. 먼저 일반용 서스펜션에 대한 모드 해석을 수행한 후 실제 실험과 비교하여 모델링에 대한 검증은 수행한다. 모드 해석의 순서는 다음과 같다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 가진기 위에 서스펜션을 올리고 스캐닝 진동 측정기를 이용하여 서스펜션의 모드 해석을 수행한다. 모드 해석을 수행한 실험결과와 해석결과는 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 또한 Table 1에서 보는 바와 같이 실제 서스펜션과

모델링을 통한 해석결과와 매우 유사함을 알 수 있다. 따라서 모델링에 대한 검증을 마친 후 열 보조 자기기록용 서스펜션을 모델링 한 후 해석을 수행한다.

## 2.3 다양한 열 보조 자기기록용 서스펜션

실제 광섬유를 이용한 열 보조 자기기록용 서스펜션은 많은 문제가 야기될 수 있다. 그 중에 하나가 광섬유의 고정위치에 대한 서스펜션의 동 특성에 관한 것이다. 광섬유를 이용하게 되면 광섬유의 처짐 현상으로 인해 광섬유와 미디어사이의 충돌 가능성이 증가할 수 있다. 따라서 광섬유와 열 보조 자기기록용 서스펜션 사이의 고정위치에 대한 해석을 수행한다. 우선 Fig. 5에서 보는 바와 같이 광섬유와 서스펜션 사이에 고정 점의 위치를 잡는다. 먼저 Fig. 5(a)에서 보는 바와 같이 베이스 플레이트와 V형상 반사체만을 연결한 모델, Fig. 5(b)와 (c)에서 보는 바와 같이 고정 점의 위치를 3개로 잡는다. 이와 같이 3개의 고정 점을 잡는 이유는 광섬유의 처짐 현상으로 인해 미디어와 광섬유 사이에 접촉이 발생할 수 있기 때문이다. 또한, 3개의 고정 점의 위치는 다시 슬라이더와 가까운 쪽과 먼 쪽으로 나누어 해석을 수행한다.

Table 1 Comparison experiment with analysis

|                 | Cantilever | Slider pitch mode | Slider roll mode | 1 <sup>st</sup> bending mode |
|-----------------|------------|-------------------|------------------|------------------------------|
| Experiment (Hz) | 264.1      | 2397              | 2855             | 3075                         |
| Analysis (Hz)   | 263.5      | 2314.1            | 2918.2           | 3023.3                       |
| Error (%)       | -0.23      | -3.46             | 2.21             | -1.68                        |

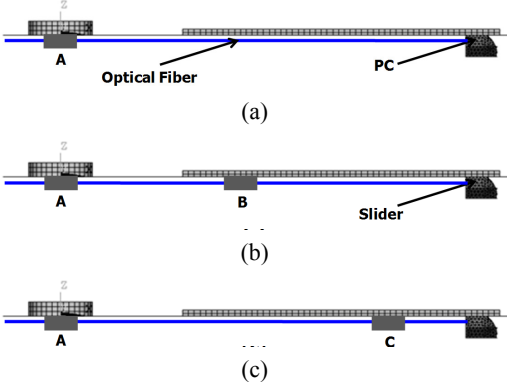


Fig. 5 Various glue positions of TAMR suspension

## 3. 열 보조 자기기록용 서스펜션의 해석 결과

### 3.1 고정 위치에 따른 강성 변화

열 보조 자기기록용 서스펜션에서 광섬유의 고정 위치에 대한 영향은 상당히 크다. 광섬유를 사용하게 되면 서스펜션의 수직, 피치 그리고 롤 방향의 강성이 모두 증가하게 된다. 이러한 강성의 변화는 슬라이더의 부상 높이에도 상당한 영향을 미치게 되는데 이러한 영향을 알기 위해 고정 점에 대한 각 열 보조 자기기록용 서스펜션의 강성을 구하게 된다. Fig. 6은 모델에 대한 각 강성의 변화율을 보여준다. 여기서 NPC는 일반용 서스펜션의 강성을 나타내며 FPC는 광섬유 없이 V형상의 반사 물체만을 부착했을 때를 나타낸다. FPCF1, FPCF2 그리고 FPCF3는 각각 Fig. 5에서의 (a), (b) 그리고 (c)를 나타낸다. Fig. 6(a)를 살펴보면 NPC와 FPC의 변화는 크게 없지만 고정 점의 위치가 슬라이더 쪽으로 다

가 갈수록 강성의 변화율이 커짐을 볼 수 있다. 또한 피치 강성과 롤 강성 역시 수직 강성의 변화율과 같은 변화를 보인다. Table 2는 각 모델에 대한 강성 값을 보여준다.

### 3.2 고정 위치에 따른 부상 높이 변화

고정 점의 위치에 따라 강성이 변화가 발생하기 때문에 그 강성에 의해서 부상높이의 변화가 발생하게 된다. 따라서 각 모델에 대한 부상높이에 대한 해석을 수행한다. 해석을 위한 슬라이더의 레일 형상(ABS)은 Fig. 7과 같다. 해석 조건은 Table 3과 같다. Table 3에서 보는 바와 같이 각 모델에 대한 해석 조건은 공통으로 적용되며 각 모델의 강성에

따른 조건만 변수로 적용하여 아래의 관계식에 의해 계산된다. 피치 토크와 롤 토크에 대한 관계식은 다음과 같다<sup>(3)</sup>. 우선 PSA가 0이면

$$P_t = -P_s \times P_a \tag{1}$$

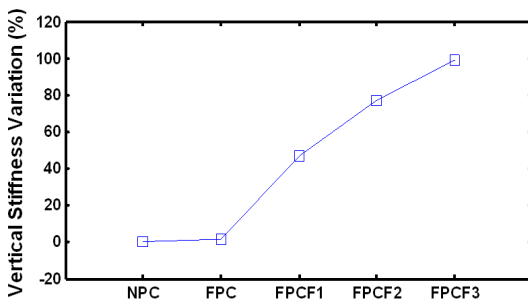
그리고 PSA가 0이 아니면

$$P_t = -P_s \times (P_a - PSA) \tag{2}$$

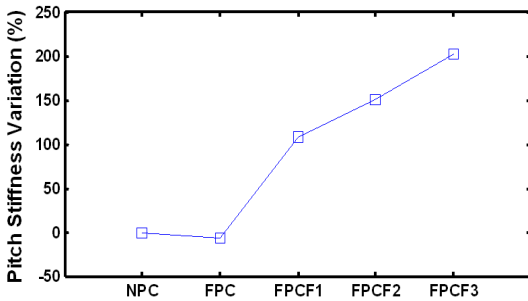
와 같이 적용된다<sup>(3)</sup>. 여기서  $P_t$ 는 피치 토크를 나타

**Table 2** Stiffness of models

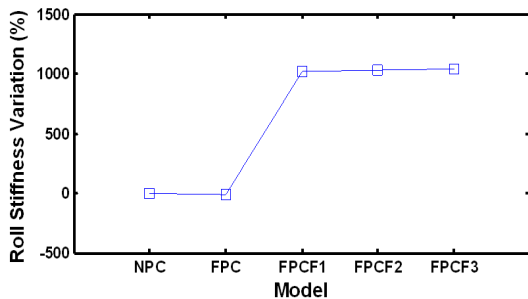
|                 | NPC      | FPC      | FPC1     | FPC2     | FPC3     |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Vertical (N/m)  | 29.55    | 30.09    | 43.40    | 52.30    | 58.80    |
| Pitch (N-m/rad) | 5.46E-05 | 5.11E-05 | 1.14E-04 | 1.37E-04 | 1.65E-04 |
| Roll (N-m/rad)  | 1.65E-04 | 1.54E-04 | 1.85E-03 | 1.86E-03 | 1.89E-03 |



(a) Variation for vertical stiffness

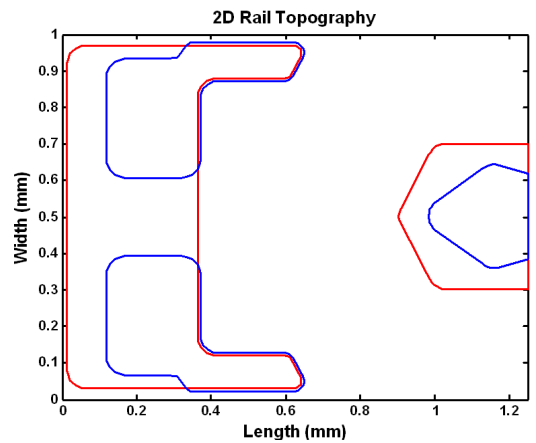


(b) Variation for pitch stiffness



(c) Variation for roll stiffness

**Fig. 6** Variation of stiffness for models



**Fig. 7** Slider ABS

**Table 3** Conditions for analysis

| Geometry          | Value |
|-------------------|-------|
| Slider length(mm) | 1.25  |
| Slider width(mm)  | 1     |
| Slider height(mm) | 0.43  |
| Crown(nm)         | 13    |
| Camber(nm)        | 0     |
| Preload(g)        | 3     |
| Radius(mm)        | 41.9  |
| Skew(deg.)        | 0     |
| RPM               | 5400  |

내며  $P_s$ 와  $P_a$ 는 각각 피치 강성과 피치 각을 의미한다. 식 (2)에서 실제의  $P_a$ 의 값은 PSA에 비해 상

당히 작기 때문에 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_t = -P_s \times PSA \quad (3)$$

따라서 각 모델에 대한 강성을 적용하여 부상특성을 살펴 보면 Fig. 8과 같다. 각 모델에 대한 부상 높이 변화율과 피치 변화율은 3%이내로 거의 비슷하다. 왜냐하면 해석 시에 적용한 PSA값을 0으로 적용하였기 때문에 식 (1)에 의해  $P_a$ 의 값이 매우 작기 때문에 피치 토크 값이 거의 같게 적용되기 때문이다.

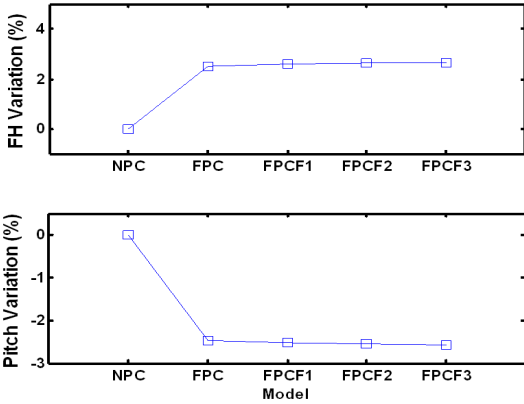
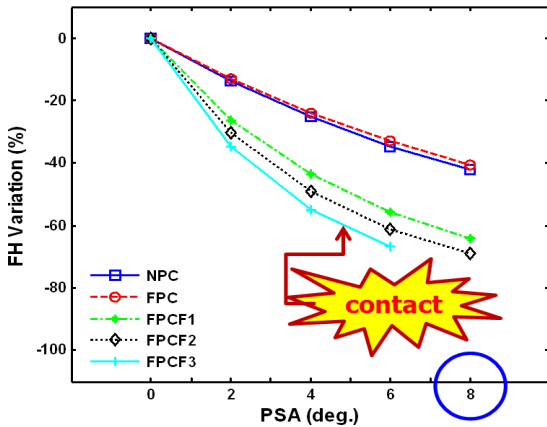
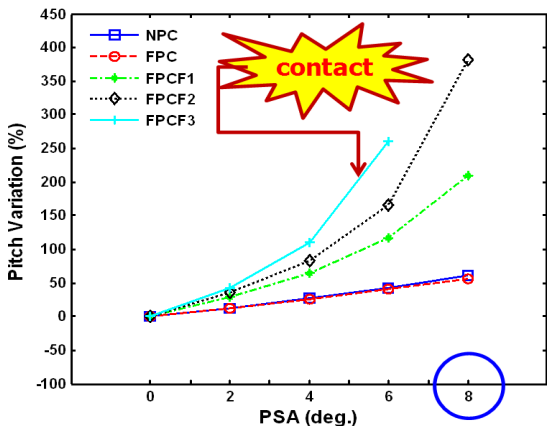


Fig. 8 Flying attitude for models



(a) Variation of flying height for PSA



(b) Variation of pitch for PSA

Fig. 9 Flying attitude for PSA

### 3.3 PSA 해석

각 모델에 PSA를 적용하여 부상 특성을 구하면 Fig. 9와 같은 결과를 얻는다. Fig. 9(a)에서 보는 바와 같이 모든 모델은 PSA가 증가할수록 부상높이가 감소한다. 왜냐하면 피치 토크가 증가하기 때문에 서스펜션의 토크를 증가시키기 때문이다. 또한 서스펜션의 강성이 증가할수록 즉, 열 보조 자기기록용 서스펜션에서 광섬유의 고정 점이 슬라이더와 가까이 위치할수록 부상 높이의 변화율이 커짐을 알 수 있다. 그리고 일반 서스펜션과 광 섬유 부착 없이 V형상 반사물체만을 부착한 모델의 차이는 거의 없다. 이는 광섬유에 의해서 서스펜션의 강성이 지배적으로 변경되는 것을 알 수 있다. 또한, Fig. 9(b)에서 보는 바와 같이 PSA가 증가할수록 피치 변화율 역시 증가함을 볼 수 있다. 피치도 마찬가지로 일반 서스펜션과 V형상 반사물체만을 부착한 모델의 차이는 거의 없다. 또한 서스펜션의 강성이 증가할수록 피치 변화율 역시 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 FPCF3의 경우에는 PSA가 8도일 때는 충돌이 나는 것을 알 수 있다. 이는 FPCF3의 경우 강성 값이 매우 크므로 PSA의 변화에 민감하게 적용되어 충돌이 발생하는 것이다. 따라서 FPCF3형태의 열 보조 자기기록용 서스펜션의 경우에는 PSA의 값을 8도 이하로 해야 안정적인 부상 성능을 낼 수 있다.

### 4. 결 론

이 연구에서는 열 보조 자기기록용 서스펜션의 강성과 다양한 PSA에 대한 연구를 하였다. 이 연구

에서는 기존 시스템을 큰 변형 없이 사용할 수 있으며, 기존 시스템의 평가장비를 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 광섬유를 사용하는 열 보조 자기기록용 서스펜션은 일반 서스펜션과 비교했을 때 강성 값이 매우 컸으며 고정점에 대한 강성의 변화율이 매우 컸다. 따라서 고정 점의 위치에 대한 해석을 수행한 결과, 고정 점의 위치가 슬라이더와 가까이 있을 때 강성이 가장 컸으며 일반 서스펜션과 V형상의 반사체만을 부착한 서스펜션과의 차이는 크지 않았다. 이는 열 보조 자기기록용 서스펜션의 강성이 광섬유에 의해 변화한다는 것을 알 수 있는 것이다. 피치 토크에 의한 관계식에 의해 피치 토크가 적용되고 적용된 피치 토크에 의해 열 보조 자기기록용 서스펜션을 사용하는 슬라이더의 부상 특성이 연구 되었다. PSA가 증가할수록 부상 높이가 감소했으며, 그 이유는 피치 토크가 증가하기 때문에 서스펜션의 토크를 증가시키기 때문이다. 또한 서스펜션의 강성이 증가할수록 부상 높이의 변화율이 커짐을 알 수 있었다. 또한 PSA가 증가할수록 피치 변화율이 증가하였으며 서스펜션의 강성이 증가할수록 피치변화율이 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 FPCF3의 경우에는 PSA가 8도일 때는 충돌이 나는 것을 알 수 있었다. 따라서 PSA의 값을 8도 이하로 해야 FPCF3의 경우에 안정한 부상 성능을 나타낼 수 있다. 차후에는 실제 시스템을 구성하여 실험적으로 이 연구를 뒷받침할 만한 연구를 수행할 것이며 보다 많은 설계변수를 도입하여 설계인자에 따른 상관관계를 분석할 것이다.

## 후 기

이 연구는 연세대학교 정보저장기기연구센터의 지원과 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로

한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. R17-2009-040-01001-0)

## 참 고 문 헌

- (1) Pan, L. and Bogy, D. B., 2009, "Heat-assisted Magnetic Recording," *Nature Photonics*, Vol. 3, pp.189~190.
- (2) Kryder, M. H., Gage, E. C., McDaniel, T. W., Challener, W. A., Rottmayer, R. E., Ju, G., Hsia, Y. T. and Erden, M. F., "Heat Assisted Magnetic Recording," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 96, No. 11, pp. 1810~1835.
- (3) Zhu, H. and Bogy, D. B., 2007, "Effects of Pitch Static Attitude and Roll Static Attitude on the Steady Performance of Air Bearing Sliders," *Journal of Tribology*, Vol. 129, pp. 689~694.
- (4) Kang, T. S., Kim, T. S. and Lee, W. C., 2003, "Optimal Design of the Suspension Stiffness in HDD for Improving the Load/unload Performance," *Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference*, pp. 898~901.
- (5) Kim, K. H., Lee, Y., Park, K. S., Park, N. C. and Park, Y. P., 2007, "Analysis of Suspension State Matrix to Improve L/UL Performance," *Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference*, pp. 1272-1275
- (6) Kim, K. H., Lee, Y., Lee, H. J., Park, N. C. and Park, Y. P., 2007, "Optimal Dimple Point of SFF HDD Suspension for Improving the Unloading Performance," *Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference*, pp. 609~612.