

# 초고밀도 광디스크 시스템용 슬라이더 부상상태 해석을 위한 Dual Solver 개발

## Development of Dual Solver to Analyze the Flying State of ODD Head Slider

\*이 상순\* · 김 광선\*

Sang-Soon Lee, Kwang-Sun Kim

**Key Words :** ODD(광디스크), Head Slider(헤드 슬라이더), Flying State(부상 상태), Dual Solver(듀얼 솔버)

### ABSTRACT

This paper deals with a method to predict the flying state of the head slider in a optical disk drive(ODD). The Dual Solver based on the Quasi-Newton method and the Newton method has been developed to simulate the steady-state flying conditions. The numerical results show the effectiveness and reliability of this new solver.

### 1. 서론

초고밀도 광디스크 시스템은 HDD(hard disk drive) 시스템과 유사하게, 정보를 읽고 쓰는 헤드, 정보를 저장하는 디스크, 그리고 헤드와 디스크 사이를 일정하게 유지하는 공기 유향막으로 구성되어 있다. 공기 유향막의 두께는 높은 신호 분해능을 얻기 위하여 작을 수록 좋으나, 지나치게 작아지는 경우 헤드와 디스크의 충돌가능성이 발생하게 되어 정보손실은 물론, 시스템의 손상을 야기시킬 수 있다. 따라서 헤드 슬라이더와 광디스크의 간격을 안정되고 효율적으로 유지하는 문제는 매우 중요하다고 볼 수 있다.

헤드 슬라이더의 부상상태에 대한 연구는 HDD분야에서 오래전부터 활발하게 진행되어 왔다. Miu와 Bogy<sup>1)</sup>는 공기 유향막에서의 압력분포를 구하기 위해 서 유한차분법을 사용하여 수정된 레이놀즈 방정식을

계산하였다. 계산 결과로 얻어진 압력분포를 운동방정식에 대입하여, 4차 Runge-Kutta법을 적용하여 슬라이더의 부상상태를 예측하였다. 그러나, 이 논문에서 적용하고 있는 수치해법은 많은 수의 반복과정을 요구하고 있어서 효율적이라고 보기 어렵다. 윤상준등<sup>2)</sup>은 슬라이더의 부상상태 해석을 효율적으로 진행하기 위해 최적화기법을 도입하였다. 그러나, 이러한 접근방법도 여전히 많은 수의 반복과정을 요구하고 있다는 점에서 개선이 요구된다고 볼 수 있다. Cha와 Bogy<sup>3)</sup>는 보다 효율적인 수치해석방법으로서 Quasi-Newton방법과 Line-Search 알고리즘을 결합한 방법을 적용하여 운동방정식에 대한 반복계산 횟수가 많이 줄어든 결과를 제시하였다. 그러나 이러한 방법도 초기 근사값이 적절하지 않으면 해에 수렴하지 못하는 단점을 보이고 있다.

본 연구의 목적은, 초고밀도 광디스크 시스템의 슬라이더 부상상태를 안정되고 효율적으로 예측하는 수치해석법을 개발하는데 있다. 현재까지 발표된 수치해석법중에서 Cha와 Bogy<sup>3)</sup>가 발표한 접근법이 가장

\* 한국기술교육대학교

효율이 좋으나, 안정성에 문제가 나타나고 있으므로, 이를 개선한 새로운 접근법을 개발하였다. 개발된 Solver를 기존의 방법들과 비교해 안정성과 효율성의 측면을 비교 분석하였다.

## 2. 압력분포 해석

슬라이더 헤드와 광디스크사이의 극소 공기 윤활막에 나타나는 압력분포는 다음과 같은 수정된 레이놀즈 방정식에 의해 해석될 수 있다.(Fig. 1 참조)

$$\sigma \frac{\partial PH}{\partial T} = \frac{\partial F}{\partial X} + \frac{\partial G}{\partial Y} \quad (1)$$

식 (1)에서

$$F = Q H^2 \frac{\partial P}{\partial X} - \Lambda_x PH \quad (2)$$

$$G = Q H^2 \frac{\partial P}{\partial Y} - \Lambda_y PH \quad (3)$$

이다. 식 (2)와 식 (3)에서,

$$\Lambda_x = -\frac{6\mu UL}{p_a h_m^2} \quad (4)$$

$$\Lambda_y = -\frac{6\mu VL}{p_a h_m^2} \quad (5)$$

이고,

$$\sigma = \frac{12\mu\omega L^2}{p_a h_m^2} \quad (6)$$

이다. 위 식에서,  $\mu$ 는 공기막의 점성을 나타내고,  $U$ 와  $V$ 는  $x$ 와  $y$ 방향으로의 슬라이딩 속도를 나타낸다.  $p_a$ 는 대기압력을,  $h_m$ 은 최소 공기막 두께를,  $L$ 은 슬라이더의 길이를, 그리고,  $\omega$ 는 디스크의 각속도를 나타내며,  $P = p/p_a$ ,  $H = h/h_m$ ,  $T = \omega t$ ,  $X = x/L$ ,  $Y = y/L$ 의 관계를 나타낸다.

위의 관계식은 다음과 같이 변환될 수 있다.<sup>3)</sup>

$$\int_{\Sigma} \sigma \frac{\partial PH}{\partial T} dA \quad (7)$$

$$= \int_{\partial\Sigma} \left\{ F^n + \frac{\partial F^n}{\partial P} (P - P^n) + \frac{\partial F^n}{\partial P_x} (P_x - P_x^n) + \frac{\partial F^n}{\partial H} (H - H^n) \right\} n_x$$

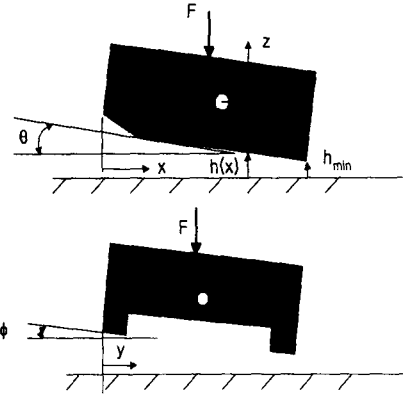


Fig.1 Pitch and roll angle of head slider.

$$+ \left[ G^n + \frac{\partial G^n}{\partial P} (P - P^n) + \frac{\partial G^n}{\partial P_y} (P_y - P_y^n) + \frac{\partial G^n}{\partial H} (H - H^n) \right] n_y \} dS$$

식(7)에서,  $\Sigma$ 는 관제역(control volume)을 나타내고,  $\partial\Sigma$ 는 관제면(boundary of control volume)을 가리키며,  $n_x$ 와  $n_y$ 는 관제면에서의 법선 단위의 방향 벡터 성분을 나타낸다. 식 (7)은 유한차분법에 의해 계산될 수 있다.

## 3. 부상상태 해석

앞장에서 기술한 수정된 레이놀즈 방정식의 계산결과로부터 압력분포 상태가 얻어진다면, 최소 공기막 두께 ( $h_{min}$ )와 자세각 ( $\theta$ ) 그리고 회전각 ( $\phi$ )를 계산할 수 있다. 이와 같은 값들은, 공기 윤활력과 피칭 및 로울링 모멘트가 각각 영이 되는 평형점의 위치를 찾으면 되는데, 다음의 식 (8), 식 (9), 그리고 식 (10)이 영이 되는 값을 찾으면 구해진다.

$$R_1 = \int (P-1)dA - F_o \quad (8)$$

$$R_2 = \frac{\int (P-1)XdA}{\int (P-1)dA} - X_{Fo} \quad (9)$$

$$R_3 = \frac{\int (P-1) Y dA}{\int (P-1) dA} - Y_{F_0} \quad (10)$$

위 식 (8)-(10)은 비선형 연립방정식을 나타낸다. Cha와 Bogy<sup>3)</sup>는 위의 비선형 연립방정식에 대하여 Quasi-Newton<sup>4)</sup>법을 Line Search 알고리즘과 결합하여 해를 구하는 방법을 제시하였다. 그러한 수치해석법은 적절한 초기값을 사용하는 경우에는 매우 효율적이지만, 초기 값이 적절하지 않을 경우에 해가 구해지지 않는 단점을 지니고 있다. 이 논문에서는 Quasi-Newton법의 장점을 살리고, 초기 값의 선택에 크게 영향을 받지 않는 Dual Solver를 개발하였다. Dual Solver는 Quasi-Newton법과 Newton법을 결합하여, 주어진 초기 값에 대해 Quasi-Newton법으로 계산하다가, 해에 수렴하지 않으면, 계산을 멈추고 Newton법으로 다시 해를 구하는 과정을 반복하는 과정을 담고 있다. Fig.2는 Dual Solver의 흐름도를 나타내고 있다.

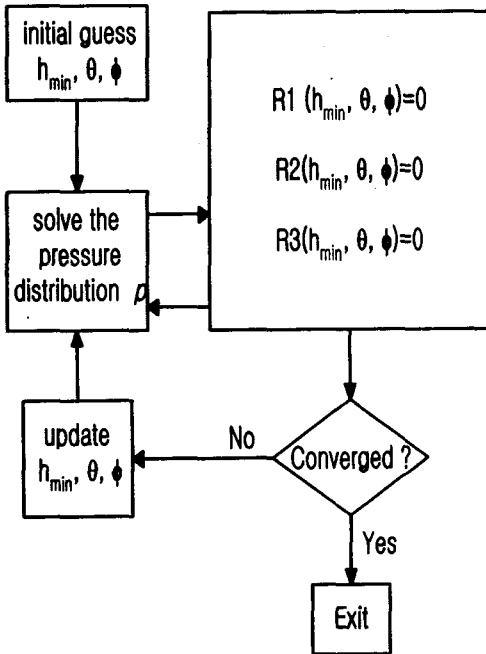


Fig. 2 Flow chart to find  $h_{\min}$ ,  $\theta$ , and  $\phi$ .

Table 1. Numerical Results

N/M \ hm	hm				
	1.0e-06	1.0e-07	1.0e-08	5.0e-09	2.5e-09
C & B	8	35	N/Sol.	N/Sol.	N/Sol.
Broyden	8	40	N/Sol.	N/Sol.	N/Sol.
Newton	N/Sol.	7	10	10	11
Steepest Des.	N/Sol.	120	180	195	240
DUAL	8	35	10	10	11

제안된 방법의 신뢰성과 효율성을 입증하기 위해서 기존에 발표된 Cha와 Bogy<sup>3)</sup>방법의 결과와 Dual Solver의 해석 결과를 Table 1에 나타내었다. Table 1은 비교 목적을 위하여, Cha와 Bogy<sup>3)</sup>방법 이외에도, Broyden법(Quasi-Newton 법), Newton법, 그리고 급경사법(Steepest Descent method)을 적용하여 해를 구한 결과를 열거하였다. 해석에 선택된 문제의 해는  $h_m = 0.579 e - 6 (m)$ ,  $\theta = 0.7108 e - 04 (rad.)$ , 그리고  $\phi = 0.247 e - 04 (rad.)$ 이다. Table 1에는, 초기 값으로서,  $h_m = 1.0 e - 06$ ,  $1.0 e - 07$ ,  $1.0 e - 08$ ,  $5.0 e - 09$ ,  $2.5 e - 09 (m)$ 를 지정한 경우에 대한 결과가 나타나 있다.

먼저, Cha와 Bogy<sup>3)</sup>방법을 사용한 경우를 살펴보면,  $h_m = 1.0 e - 06 (m)$ 를 초기값으로 사용한 경우에는 8회의 반복계산을 통해서 해가 구해졌고,  $h_m = 1.0 e - 07 (m)$ 을 초기값으로 사용한 경우에는 35회의 반복이 요구되었다. 그러나, 나머지  $h_m$ 값에 대해서는 해에 수렴하지 못하고 있다.

Broyden법을 적용한 경우에 대해서 살펴보면  $h_m = 1.0 e - 06 (m)$ 를 초기값으로 사용한 경우에는 8회의 반복계산을 통해서 해가 구해졌고,  $h_m = 1.0 e - 07 (m)$ 을 초기값으로 사용한 경우에는 40회의 반복이 요구되었다. 그러나, 나머지  $h_m$ 값

에 대해서는 Cha와 Bogy<sup>3)</sup>방법과 마찬가지로 해에 수렴하지 못하고 있다.

Newton법을 사용한 경우에는 초기 근사 값으로  $h_m = 1.0e-06(m)$ 를 지정하면 해에 수렴하지 못하고 있다. 그러나, 나머지 초기 값에 대해서는 7회에서 11회의 반복계산을 통해서 해에 수렴하는 결과를 나타내고 있다.

급경사법(Steepest Descent method)을 적용하여 해를 구하는 경우를 살펴보면, 초기 근사 값으로  $h_m = 1.0e-06(m)$ 를 지정하면 해에 수렴하지 못하고 있다. 그러나, 나머지 초기 값에 대해서는 120회에서 240회의 반복계산을 통해서 해에 수렴하는 결과를 나타내고 있다.

Dual Solver를 사용하는 경우를 살펴보면, 초기 값으로서,  $h_m = 1.0e-06, 1.0e-07, 1.0e-08, 5.0e-09, 2.5e-09(m)$ 를 지정한 경우 모두에 대해서 해에 수렴하는 결과를 보이고 있다.

위에서 살펴본 결과에 의하면, 본 논문에서 개발한 Dual Solver는 초기 근사 값에 큰 영향을 받지 않고, 효율적으로 해에 수렴하는 결과를 나타내고 있다. 따라서, Dual Solver는 초고밀도 광디스크 시스템용 슬라이더의 부상상태를 해석하는데, 효과적이고 신뢰성있는 방법이 될 수 있다고 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는, 초고밀도 광디스크 시스템용 슬라이더의 부상상태를 해석하기 위한 새로운 해석기법으로서 Dual Solver를 개발하였다. Dual Solver는 Quasi-Newton법과 Newton법의 장점을 결합한 방법으로, 초기 근사값에 큰 영향을 받지 않고 슬라이더의 부상상태를 효율적이고 신뢰성있게 예측할 수 있는 방법이 될 수 있다. 그러나, 이러한 해석기법이 보다 신뢰성있게 평가되고 사용되기 위해서는, 다양한 조건을 지닌 운동상태에 대한 검증이 필요하다고 판단된다.

#### 참고 문헌

(1) D.K Miu and D.B. Bogy, "Dynamics of Gas-Lubricated Slider Bearings in Magnetic Recording Disk Files-Part II: Numerical Simulation", ASME Journal of Tribology, 108, pp. 589-593.

- (2) 윤상준외 4, "최적화 기법을 이용한 HDD용 헤드 슬라이더의 부상상태 해석", 한국윤활학회지, 제 8권, 제 2호, pp. 30-38, 1992.
- (3) E. Cha and D.B. Bogy, "A Numerical S츠들 렉 Static and Dynamic Simulation of Subambient Pressure Shaped Rail Sliders", ASME Journal of Tribology, 117, pp. 36-46, 1995.
- (4) R.L. Burden and J.D. Faires, Numerical Analysis, 6th ed., ITP, 1997.