

Ramp Loading 피코 슬라이더의 거동 해석

김범준[†], 조광표^{*}, 임윤철^{**}

^{*}연세대학교 대학원 기계공학과

^{**}연세대학교 기계공학과

An Analysis for the Dynamics of a Pico Slider during the Ramp Loading Process

Bum-Joon Kim,[†]Kwang-Pyo Cho^{*} and Yoon-Chul Rhim^{**}

^{†*}Dept. of Mechanical Eng. Graduate School, Yonsei University

^{**}School of Mechanical Eng. Yonsei University

Abstract – Recently, load/unload(L/UL) process is applied to a computer information storage device due to its advantages such as lower power consumption, larger data zone, simpler fabrication of disk for no bumped parking zone, and rarer contact between the slider and media. An analysis of the transient motion for the slider is very important to design an air bearing surface (ABS) of the slider to secure the stable performance of the system. During the L/UL process, however, there are several issues occurred such as contact or collision between slider and media. Sometimes this will cause the system failure. In this study, the dynamics of the slider during the loading process are investigated through a numerical simulation using FEM analysis and experiment.

Key Words : Load /Unload, contact, collision, transient, ABS, HDD, numerical simulation, FEM

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

노트북, PDA 등 정보저장기기 사용의 증가에 따라 내장되는 HDD의 소형화와 높은 기록밀도화가 빠르게 발전하고 있다. 이에 따라 L/UL 방식의 HDD가 개발되었고 현재 Pico 슬라이더를 비롯해서 Femto 슬라이더까지 매우 작은 크기의 슬라이더들에 대하여 이러한 방식이 많이 적용되고 있는 실정이다. CSS (Contact Start Stop) 방식과 달리 L/UL는 디스크 외부에 슬라이더가 고정되어 있다가 작동시 ramp를 따라 슬라이더가 디스크 위로 loading되고, 비사용시 다시 고정 위치로 되돌아가는 방식으로서 landing zone이 불필요하게 되어 디스크의 기록영역을 극대화할 수 있다. 이는 노트북 등의 휴대용 기기에 매우 적합한 방법으로서 외부 충격에 강한 장점도 있다. 또한 노트북은 전력소모에 민감한 제품으로서 배터리의 소모량을 최소한으로 줄여야 하므로 HDD를 사용하지 않을 때에는 정지시켜야만 하는데 CSS 방식에서는 접촉으로 인해 슬라이더와 디스크의 손

상이 발생할 가능성이 높다. 이러한 이유로 노트북과 같은 휴대용 기기에 사용하는 HDD에서는 L/UL의 사용이 증가하게 되었다. 그러나 100~300 μm 의 높이에서 loading될 때 슬라이더의 pitching 각이 매우 큰 범위로 변하기 때문에 ABS (air bearing surface)에 의한 유체 동압 효과가 슬라이더의 loading 거동에 의한 운동량에 못 미치게 되어 슬라이더와 디스크는 충돌할 가능성이 높아진다. 이러한 충돌이 반복적으로 나타나게 되면 시스템은 불안정해지고 결함을 일으키게 된다. 본 연구에서는 실험 및 수치해석을 이용하여 Loading시의 슬라이더의 거동을 알아보고 충돌을 예측하고자 한다.

1.2 관련 연구 동향

슬라이더의 부상 높이가 점차 낮아지는 경향으로 발전함에 따라 no slip 조건을 적용하는데 어려움이 있다. 이를 해결하기 위하여 Fukui, Kaneko[1]는 선형화된 Boltzmann equation으로부터 유동인자를 계산하였는데 이 식은 온도, 압력, 속도 구배에 의한 유동을 묘사하고 있다.

Ta-Chang Fu[2]는 실험을 통해 Ramp 형상

에 따른 슬라이더의 변위 및 속도 변화를 측정하였다. 또한 Qing-Hua Zeng[3]는 수치해석을 통해 L/UL 방식 슬라이더의 일반적인 설계변수를 회전수와 ramp profile에 따라 각각 제시하였다. V. Pnnaganti[4]은 CSS 방식에서의 슬라이더와 디스크 사이의 충돌을 수치해석을 통해 계산하였으나 충돌 시 슬립이 발생하였을 때 계산되어야 할 비선형 연립 방정식을 해결하지 못하고 여러 가지 가정을 통하여 단순화 하였다.

따라서 본 연구에서는 loading 시의 슬라이더와 디스크의 접촉을 고려하여 충돌 시 Impulse-Momentum 식을 Newton-Raphson method 을 이용하여 슬라이더의 속도에 대한 해를 구하고, 8 절점의 사각요소를 적용한 FEM 및 4th-order Runge-Kutta method 를 순차적으로 계산하여 슬라이더의 거동을 해석하였다. 또한 실험을 통해 실제 슬라이더의 거동과 비교 분석하였다.

2. 수치 해석

2.1 L/UL 방식 HDD 의 개요

CSS 방식의 HDD 와 달리 L/UL 는 ramp 요소가 덧붙여져 ramp 경사각과 loading 시의 voice coil motor(VCM)의 각속도에 의해 슬라이더의 초기 높이와 속도가 결정된다. 또한 서스펜션은 초기의 굽힘 각과 서스펜션의 강성에 의해 pre-load 를 슬라이더에 가하게 된다. 이때 서스펜션의 끝부분은 L/UL 용 탭이 달려있어 load 와 unload 가 가능하도록 되어있다. 현재 음압(negative pressure) 슬라이더가 주를 이루고 있으며 시뮬레이션과 실험에 사용된 슬라이더는 피코(Pico) 슬라이더를 사용하였다.

2.2 지배방정식

본 연구는 FEM 과 Runge-Kutta, LU-decomposition, Newton-Raphson method 등을 이용하여 자체 제작된 프로그램을 사용하여 수행되었다. 프로그램은 크게 세 부분으로 나뉜다. 첫째, 레이놀즈 방정식을 이용한 FEM 해석 부분. 둘째, 운동 방정식을 이용한 Runge-Kutta 해석 부분. 마지막은, 운동량-모멘텀 방정식을 이용한 LU-decomposition 해석 부분 이다.

ABS 에 의한 압력발생의 변화로 슬라이더는 시간에 따라 거동의 변화를 보인다. 이때 슬라이더의 동적 거동 해석을 위한 비정상 상태에서의 압축성을 고려한 수정 레이놀즈 방정식을 나타내면

식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho h^3 Q \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho h^3 Q \frac{\partial p}{\partial y} \right) \\ & = 6\mu U \frac{\partial p}{\partial x} + 6\mu V \frac{\partial p}{\partial y} + 12 \frac{\partial p}{\partial t} \end{aligned} \quad (1)$$

이를 무 차원화 한 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial X} \left(PH^3 Q \frac{\partial P}{\partial X} \right) + \lambda^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(PH^3 Q \frac{\partial P}{\partial Y} \right) \\ & = \Lambda_x \frac{\partial PH}{\partial X} + \Lambda_y \frac{\partial PH}{\partial Y} + \sigma \frac{\partial PH}{\partial T} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, H 는 슬라이더와 디스크 사이의 간극, μ 는 유체의 점도, Q 는 슬립 보정을 나타내는 유동인자(Flow Factor)인데 선형화된 Boltzmann 방정식에 의거한 Fukui-Kaneko 모델을 적용한 함수를 나타낸다. 이를 수식화하면 식 (3)과 같다.

$$Q = 1 + 6.82 \frac{Kn}{PH} + 8.311 \left(\frac{Kn}{PH} \right)^2 \quad (3)$$

Kn 은 Knudsen number 를 의미하며 Λ, σ 는 각각 Bearing number 와 Squeeze number 를 나타낸다.

슬라이더 거동에서 load beam 과 flexure 의 강성을 고려하여 x y-축 거동과 yawing 모션을 제외한 z-축 거동, pitching, rolling 운동은 다음과 같이 표현할 수 있다..

$$\begin{aligned} & m \frac{d^2 z}{dt^2} + c_z \frac{dz}{dt} + k_z z + mg \\ & = \iint_A (p - p_a) dA \\ & I_p \frac{d^2 \theta_p}{dt^2} + c_p \frac{d\theta_p}{dt} + k_p \theta_p + M_p \\ & = \iint_A (p - p_a) x dA \\ & I_r \frac{d^2 \theta_r}{dt^2} + c_r \frac{d\theta_r}{dt} + k_r \theta_r + M_r \\ & = \iint_A (p - p_a) y dA \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)에서 m 은 슬라이더의 질량, g 는 중력 가속도, p_a 는 대기압, I 는 질량 관성 모멘트, c, k 는 각각 댐핑 상수와 스프링 상수를 나타낸다. Runge-Kutta 방법을 적용하여 해석하였으며 초기 조건과 FEM 에서 계산된 압력을 면적에 대해 적분한 하중과 모멘트를 위 식에 적용한다. 위 식에 사용된 상수 값은 Table 1 과 같다. 이때 상수 값은 z-direction, pitching, rolling 의 순서를 따른다.

Table 1 Pico Slider Characteristics

Type of Slider	Coeff. of Stiffness of Suspension & Flexure			Mass [mg]
Pico Slider	26.75	0.01	0.1	0.3

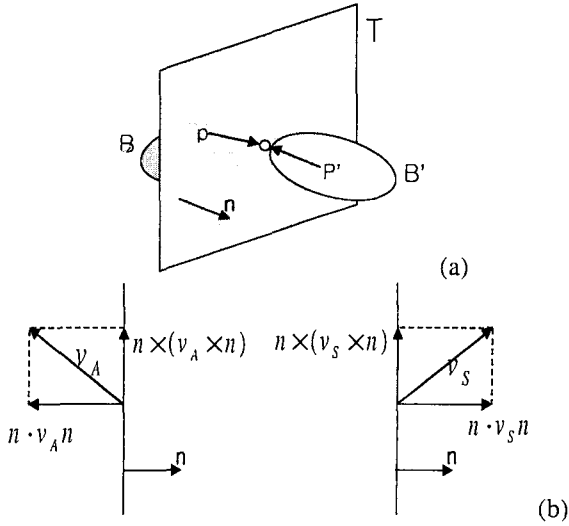


Fig. 1 Collision between two bodies (a) and components (b)

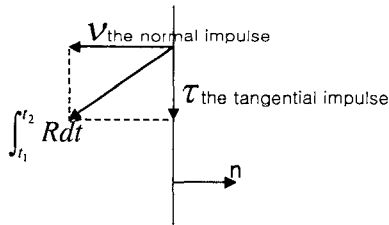


Fig. 2 Impulses during collision

L/UL 시스템에서 loading 과정은 슬라이더가 ramp 에서 분리되어 하강하다가 air bearing 에 의한 반력이 작용하면서 평형상태를 찾아간다. 이 과정에서 air bearing 에 의한 힘이 슬라이더의 pre-load 를 받쳐주지 못하게 될 때 슬라이더는 디스크와 충돌하게 된다. 이 경우 충돌된 시간 동안의 운동량-모멘텀 식을 이용하여 Δt 후의 슬라이더의 속도를 구할 수 있다. 충돌 후의 속도는 슬라이더의 반발계수 및 정지마찰계수, 운동마찰계수, 디스크의 속도에 의해 구할 수 있다.

Fig. 1 에서 n 은 T 면에 대한 법선 벡터, V_A 는 접근 속도, V_S 는 분리속도를 각각 나타낸다. 이때 반발력이 작용하는 법선 벡터 방향의 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$n \cdot v_S = -e n \cdot v_A \quad (5)$$

또한 Δt 동안에 발생된 반발력을 적분하면 운동량이 되고 이것은 Fig. 2 에서와 같이 법선 방향 성분과 접선방향 성분으로 구분된다. 이것을 물체의 운동에너지와의 관계식으로 나타내면 식 (6) 과 같다.

$$\left[\frac{\partial K}{\partial u_r} \right]_{t_2} - \left[\frac{\partial K}{\partial u_r} \right]_{t_1} = \frac{\partial V}{\partial u_r} \cdot \int_{t_1}^{t_2} R dt \quad (6)$$

충돌 후, 슬라이더의 거동은 두 가지로 생각할 수 있다. 하나는 충돌 직후 반발력에 의해 슬라이더와 디스크가 완전히 분리되는 경우이고 나머지 하나는 디스크와 슬라이더 사이에 미끄럼(slip)이 발생하여 두 물체가 접촉해있는 경우이다. 각각의 경우에 대한 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{noslip} \\ \eta \times (V_s \times \eta) &= 0 \\ \text{slip} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\left| \tau \cdot \int_{t_1}^{t_2} R dt \right| < \mu_s \left| \eta \cdot \int_{t_1}^{t_2} R dt \right|$$

식 (7)에서 slip 인 경우 연립 비선형 방정식을 계산하기 위해서 Newton-Raphson 법을 사용하였다.

2.3 유한요소해석

슬립을 고려한 압축성 레이놀즈 방정식은 압력 및 간극의 급격한 변화로 비선형 성향을 보이기 때문에 안정된 결과를 얻기 위해서 Table 2 에서와 같은 기법을 적용하였다.

Galerkin Method 를 사용한 지배방정식의 가중 잔류 식을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R(p) &= \frac{\partial}{\partial X} \left(PH^3 Q \frac{\partial P}{\partial X} \right) + \lambda^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(PH^3 Q \frac{\partial P}{\partial Y} \right) \\ &- \Lambda_x \frac{\partial PH}{\partial X} - \Lambda_y \frac{\partial PH}{\partial Y} - \sigma \frac{\partial PH}{\partial T} \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)에 형상함수(shape function)를 곱한 후 Green's theorem 을 적용하면 다음과 같다.

$$W(p) = \int_A [N]^T [-R(p)] dA \quad (9)$$

$$\begin{aligned} W(p) &= \int_A [N]^T \left[-\frac{\partial}{\partial X} \left(PH^3 Q \frac{\partial P}{\partial X} \right) - \lambda^2 \frac{\partial}{\partial Y} \left(PH^3 Q \frac{\partial P}{\partial Y} \right) \right. \\ &\left. + \Lambda_x \frac{\partial PH}{\partial X} + \Lambda_y \frac{\partial PH}{\partial Y} + \sigma \frac{\partial PH}{\partial T} \right] dA \end{aligned} \quad (10)$$

이때의 각 요소에 대한 stiffness matrix 와 force vector 는 다음과 같다.

Table 2 FEM Formulation

Type of Element	Nodes /Element	Weight Function	Time Marching	Non-linear Solver
Quadrilateral	8 nodes	Galerkin Method	Implicit Method	Newton-Raphson

$$\begin{aligned}
 [K] &= \int_A Q \frac{\partial N}{\partial X} \frac{\partial N}{\partial X} + \lambda^2 \frac{\partial N}{\partial Y} \frac{\partial N}{\partial Y} + \sigma \frac{dH}{dT} [N]^T [N] dA \\
 \{F\} &= \int_A \Lambda_x PH \frac{\partial N}{\partial X} + \Lambda_y PH \frac{\partial N}{\partial Y} dA \\
 [C] &= \int_A \sigma H [N]^T [N] dA
 \end{aligned} \tag{11}$$

[C]는 스퀴즈 항을 나타낸다. 수치적분은 9-point Gauss-Legendre 적분을 이용하였으며, 전체 대수행렬 방정식은 계산시간 및 메모리 사용을 줄이기 위해 skyline-method 를 적용하여 해를 구하였다.

식 (11)의 스퀴즈 항은 다음과 같이 근사화 될 수 있다. 이때 time marching 기법으로 유한차분법이 사용되었다.

$$\{\mathcal{R}_{T+\Delta T}\} \approx \frac{1}{\Delta T} (\{P_{T+\Delta T}\} - \{P\}) \tag{12}$$

식 (12)는 다시 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\{P_{T+\Delta T}\} = \{P_T\} + \Delta T \{f(\{P_{T+\Delta T}\}, T + \Delta T)\} \tag{13}$$

이 방법은 다음의 Newton-Raphson 법과 연계되어 최종적으로 식 (14)와 같이 나타낼 수 있으며 해석의 안정화를 위해 relaxation factor 를 1 미만으로 설정하였다.

$$[K_{nl}] \{\Delta P^i\} = \{R_{nl}\} \tag{14}$$

위 식의 각 항들은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \{R_{nl}\} &= \{\bar{R}_{T+\Delta T}\} - [\bar{K}(P_{T+\Delta T}^{i-1})] \{P_{T+\Delta T}^{i-1}\} \\
 &= \Delta T (\{F_{T+\Delta T}\} - [K(P_{T+\Delta T}^{i-1})] \{P_{T+\Delta T}^{i-1}\}) \\
 &\quad + [C] (\{P_T\} - \{P_{T+\Delta T}^{i-1}\})
 \end{aligned} \tag{15}$$

$$[K_{nl}] = [C] + \Delta T ([K(P_{T+\Delta T}^{i-1})] + [\frac{\partial K}{\partial P} \cdot P]_{T+\Delta T}^{i-1}) \tag{16}$$

위 식은 ΔP 가 설정된 수렴조건을 만족할 때까지 반복 계산된다.

2.4 해석 모델 및 방법

슬라이더의 ABS 형상은 화학적 작용을 이용하여 제작된다. 특히 음압 슬라이더는 대개 슬라이더의 중앙부분에 recess 를 두어 양압(positive pressure)과 음압이 적절하게 발생되도록 설계된

다. 이러한 음압 슬라이더는 air bearing 의 강성을 증가시키고 더 낮은 부상높이(flying height: FH)를 유도하는 역할을 한다. 해석에 사용된 슬라이더는 Fig. 3 과 같다. 슬라이더는 딥플 포인트를 통해 서스펜션으로부터 pre-load 를 받게 되고 이때의 pre-load 는 서스펜션의 강성계수와 무하중(no loaded) 상태로부터 변형된 변위에 의해 결정된다. 슬라이더의 거동을 해석하기 위해 air bearing 효과가 주요한 영향을 미치는 높이에서부터 초기조건 등을 이용하여 Runge-Kutta method 와 FEM 을 연계하여 해석한다. 이때 relaxation factor 는 FH 에 따라 0.5 에서 0.9 까지 적절한 값을 갖게 된다. 본 해석에서는 디스크의 회전수 및 loading 속도의 변화에 따른 슬라이더의 거동을 수치해석을 통하여 알아본다.

2.5 해석결과

Pico slider 를 수치 해석한 결과는 다음과 같다.

Fig. 5 에서 디스크의 회전수에 따라 FH 의 변화가 가장 크게 나타났으며 회전수가 증가할수록 loading 시 진동량이 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 변동의 가장 큰 원인은 회전수가 증가할수록 슬라이더와 디스크 사이의 유속이 빨라지게 되어 Air bearing 에 의한 압력이 증가하기 때문이며 높은 FH 에서도 pre-load 를 지탱할 수 있게 된다. 또한 시간에 따른 힘의 변화율이 크기 때문에 loading 시 많은 진동을 유발하게 된다. 그러나 0.5ms 까지의 air bearing force 의 변화는 회전수와는 관계없음이 확인되었다. LCC 의 변화는 Fig. 6 에 나타나 있다. 또한 loading 속도를 15.4mm/s, 46.2mm/s, 77.0mm/s 로 변화시켰을 때 Fig. 7 과 같이 loading 속도가 증가할수록 불안정한 거동을 나타내었다. 슬라이더가 ramp 를 따라 내려오는 구간에서 슬라이더의 진동량이 큰 폭으로 변화하였으며 air bearing 에 의한 힘의 변화율 또한 유사한 양상을 띠고 있다. 이는 air bearing 에서의 스퀴즈 효과에 의한 영향이 지배적이기 때문이라고 판단된다. Loading 속도가 빠를수록 air bearing force 역시 비례하여 증가하여서 슬라이더와 ramp 의 분리가 단시간 내에 이루어짐을 알 수 있었다. 정상 상태에서의 ABS 압력 분포는 Fig. 4 와 같다.

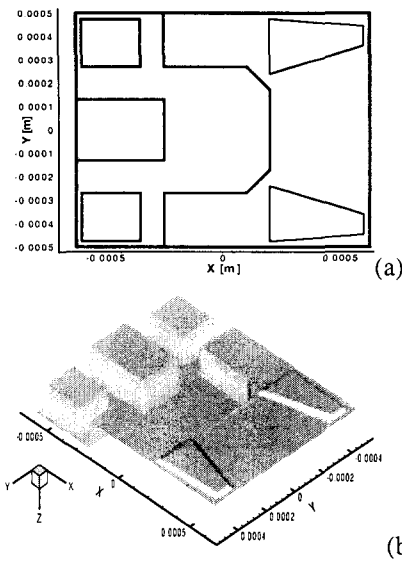


Fig. 3 Geometry of the ABS of a Pico-slider: X-Y plot (a) and X-Y-Z plot

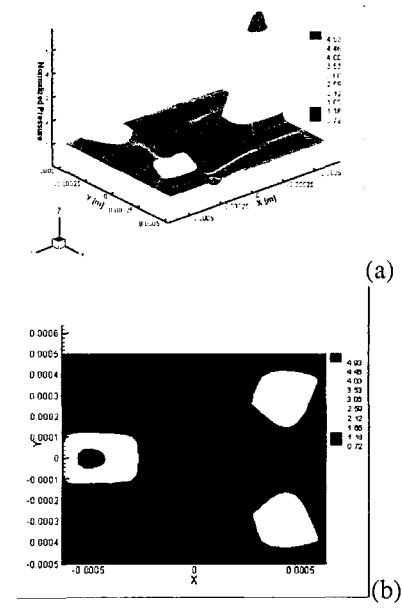


Fig. 4 Contour of pressure distribution (3000RPM): 3-D (a) and 2-D (b) plot

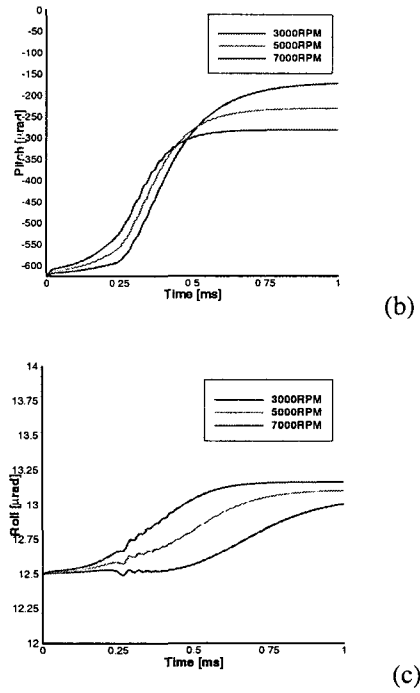
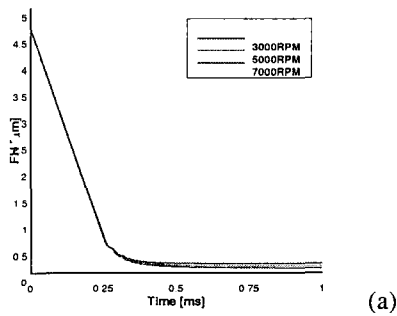
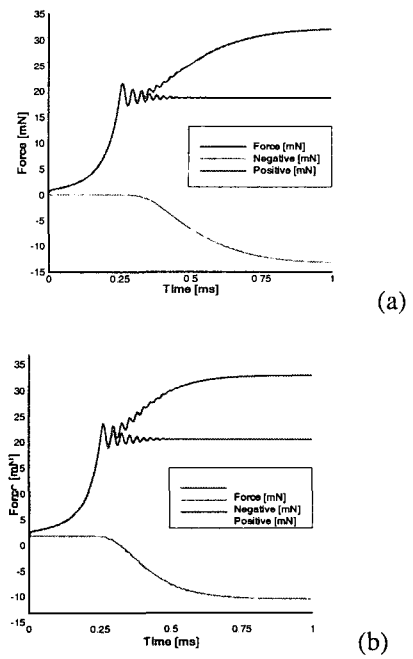
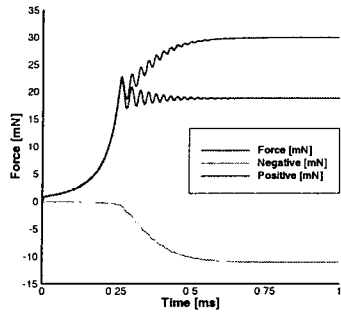
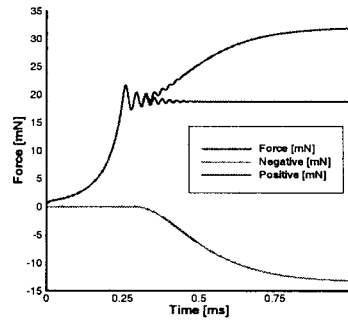


Fig. 5 Compare behavior of slider with RPM: FH (a) Pitch (b) Roll (c)



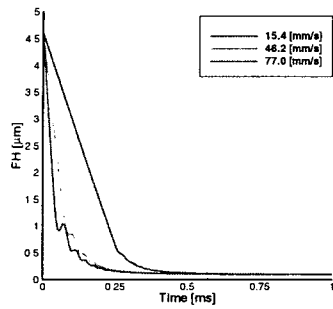


(c)

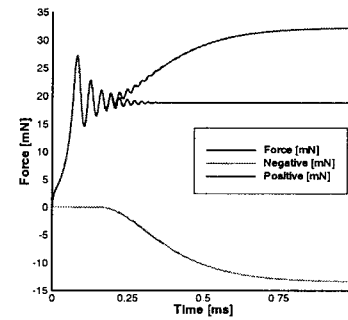


(a)

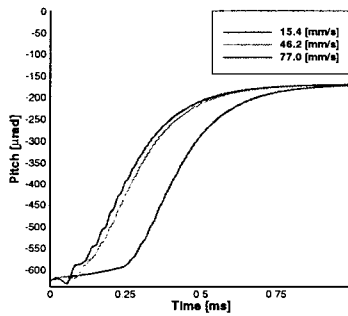
Fig. 6 Compare air bearing force with RPM:
3000RPM (a) 5000RPM (b) 7000RPM (c)



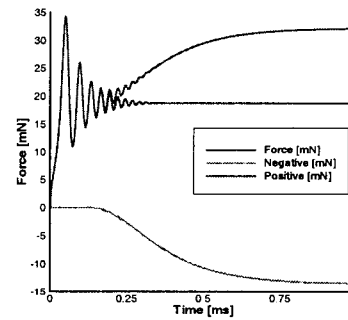
(a)



(b)

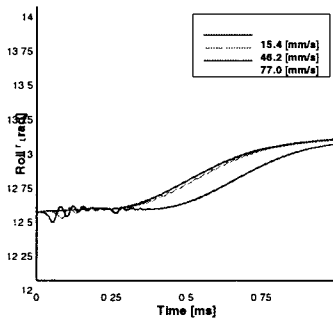


(b)



(c)

Fig. 8 Compare air bearing force with loading velocity:
15.4 mm/s (a) 46.2 mm/s (b) 77.0 mm/s (c)



(c)

Fig. 7 Compare behavior of slider with loading velocity:
FH (a) pitch angle (b) roll angle (c)

3. 실험

3.1 실험 방법

전체 실험장치의 구성을 Fig. 9, 10에 나타내었다. 실험장치는 크게 서스펜션과 ramp로 나눌 수 있다. 서스펜션은 마이크로 스테이지에 고정되어 원하는 위치와 높이로 이동이 가능하다. 3.5inch 디스크를 사용하였으며 슬라이더의 실험 조건은 Table 3에 나타나 있다. Ramp는 알루미늄 재질의 E-block을 가공하여 제작하였으며, 실제 슬라이더의 움직임과 유사한 결과를 얻기 위해 VCM을 이용하였다. Loading 속도는 각각 15mm/s, 25mm/s이며 스위치를 이용하여 방향전환을 가능하게 하였다. Ramp의 경사 각도는 약 15°이며 Fig. 11에서와 같이 수직방향으로 하강하도록

평면 가공하였다. 슬라이더의 loading 시의 거동을 측정하기 위하여 dual beam LDV(Laser Doppler Vibrometer)와 오실로스코프를 이용하였다. 사용된 LDV 는 변위와 속도를 동시에 측정 할 수 있으며 measurement beam 를 이용하여 슬라이더의 덤플 포인트를 측정 하였다. 실험은 반복 수행을 거쳐 결과에 대한 평균을 취하였다. LDV 와 오실로스코프의 설정 값들은 Table 4 에 나와있다. 디스크의 회전수는 수치해석과 마찬가지로 3,000 ~ 7,000rpm 까지 실험범위로 설정하였으며 loading 속도에 의한 영향을 비교하기 위해 VCM 에 공급되는 전압을 증가시키면서 측정하였다.

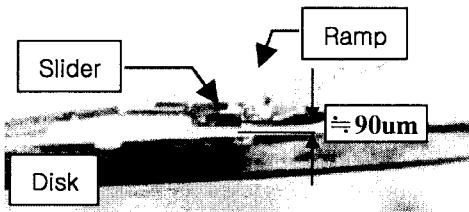


Fig. 9 State on unload

Table 3 Experimental condition values of sliders

Pre-load [mN]	Loading Height [um]	RPM [rev/min]	Vertical velocity [mm/s]
≈ 18.7	≈ 90	3000	15mm/s
		5000	25mm/s
		7000	

Table 4 Setting values of LDV & oscilloscope

	Voltage Unit [Unit/V]	Time Range	Acquisition Num. of data
LDV	20um 80um	.	.
Oscilloscope	1V / 0.5V	10ms	2.5M/s

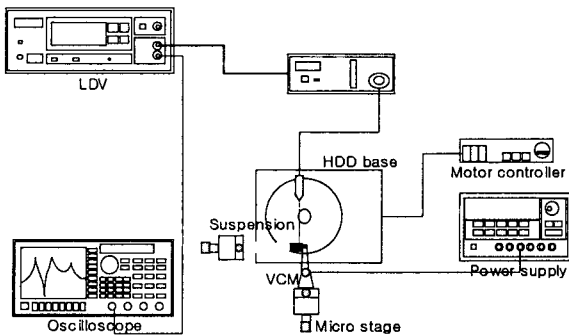


Fig. 10 Experimental setup with a L/UL mechanism

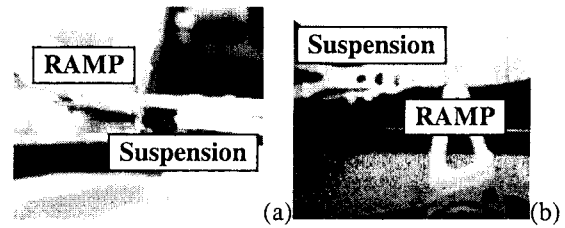


Fig. 11 Zoom in experiment set-up: side view(a) and upper view (b) of ramp and suspension

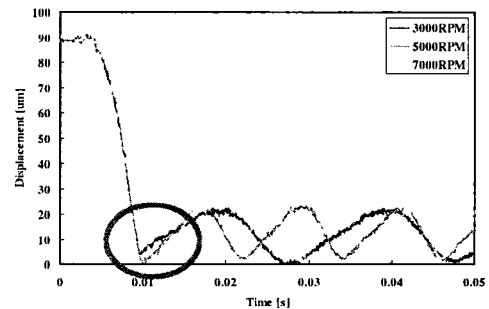
3.2 실험 결과

회전수 변화에 따른 실험결과는 Fig. 12 와 같다. 회전수가 낮을수록 Air bearing 영향이 미치기 시작하는 구간에서 진동 및 부상량이 작아지는 경향을 보인다.

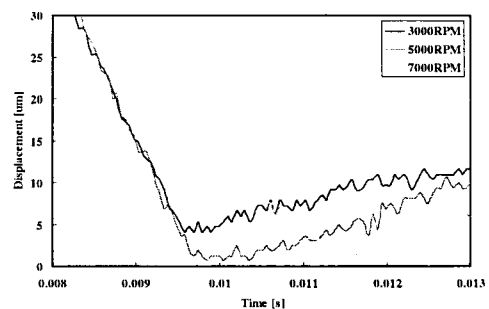
또한 RPM 이 증가할수록 Air bearing 효과가 작용하는 높이가 높아지는 것을 확인할 수 있었으며 이것은 스퀴즈 효과에 의한 영향보다 RPM 의 증가에 따른 유동속도의 증가로 LCC 에 영향을 미친 것으로 판단된다.

Loading 속도의 변화에 따른 결과는 Fig. 13 에 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 loading 속도가 증가할수록 스퀴즈 효과의 영향이 증가하게 되어 air bearing force 가 발달하는 구간에서 슬라이더의 불안정한 거동을 유발하게 된다.

이때 z-축 방향 및 pitching, rolling 방향의 거동 변화에도 진동을 유발시킬 수 있는 요인이 될 것으로 예상할 수 있다. 또한 loading 속도의 증가로 인해 디스크와의 충돌 가능성이 높아진다.



(a)



(b)

Fig. 12 Relative displacement with respect to RPM: Full scale plot (a) and zoomed plot (b)

참고 문헌

- (1) Fukui, S., Kaneko, R, JSME Paper 86-317A., 1986
- (2) Ta-Chung Fu, David B. Bogy, "Slider Vibrations Induced by Ramp-Suspension Interaction During the Ramp Loading Process," IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 30, No. 6, 1994
- (3) Qing-Hua Zeng, David B. Bogy, "Effects of Certain Design Parameters on Load/Unload Performance," IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 36, No. 1, 2000
- (4) V. Ponnaganti, T. R. Kane, "Dynamics of Head-Disk Contact/Impact in Magnetic Recording," IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 23, No. 5, 1987

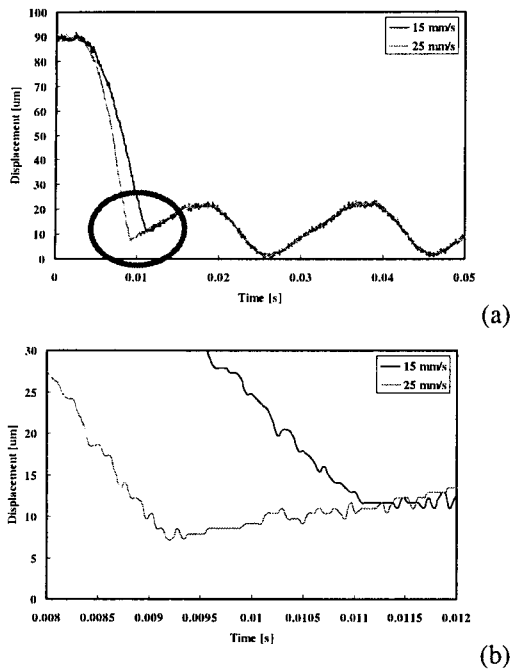


Fig. 13 Relative displacement with respect to Loading Velocity:
Full scale plot (a) and zoomed plot (b)

4. 결 론

L/UL 용 Pico slider 에 대한 3 자유도 및 충돌을 고려하여 슬라이더의 거동을 해석하였으며 수치해석 결과 및 실험 결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 디스크의 회전수가 낮을수록 FH 가 낮아지며 진동량이 감소하며 이는 실험을 통하여 검증되었다. 따라서 슬라이더의 부상 가능한 범위 내에서 회전수가 낮을수록 안정된 loading 거동을 나타낸다.
2. Ramp 형상 및 VCM 의 회전 각속도에 의해 vertical loading 속도가 결정되며 이때 속도가 빠를수록 슬라이더의 수직방향 거동 변화가 크기 때문에 충돌할 위험이 증가되며 air bearing force 에 의한 슬라이더의 거동이 불안정해 짐을 알 수 있다.