

# 초소형 HDD의 언로딩 과정에서 램프 형상에 대한 실험 연구

Experimental Study on Various Ramp Profiles during Unloading Process

이용현\*·박경수\*·박노철\*\*·양현석\*\*\*·박영필\*\*\*

Yong-Hyun Lee, Kyoung-Su Park, No-Cheol Park, Hyun-Seok Yang and Young-Pil Park

**Key Words :** Load/Unload(로드/언로드), Ramp Profile(램프 형상), Tap(탭), Slider(슬라이더), Air-bearing(공기 배어링)

## ABSTRACT

There are many benefits such as increased areal density, reduced power consumption, applied smaller size and improved shock resistance in Load/Unload(L/UL) mechanism. It has been the key technology of developing small form factor hard disk drive used in portable digital devices. The main objectives of L/UL are no slider-disk contact and faster L/UL process. For realizing those, we must consider many design parameters in L/UL systems. In this paper, we focus on the effects of ramp profile. We can investigate dynamic characteristics of suspension tap and slider on ramp during unloading process experimentally. In special, we examine the effects of vertical velocities, ramp slopes and disk vibrations. As the result of these experiments, we propose design criteria of advanced ramp profile for good unloading performance.

## 1. 서 론

정보화 시대에서 HDD의 발전 방향은 대용량화와 빠른 데이터 전송, 그리고 소형화이다. 특히 휴대폰, 디지털 카메라, MP3 등의 휴대용 디지털 기기들이 널리 사용됨에 따라 대용량의 초소형 HDD의 연구가 진행되고 있다. 최근 도시바에 의해 0.85 인치 HDD가 개발되고 휴대폰에까지 HDD의 탑재가 이루어지고 있어 초소형 HDD의 개발이 큰 이슈로 떠오르고 있다. 그런데 이러한 초소형 HDD를 개발하는데 있어 비 동작 시 충격에 강하고 낮은 소비전력을 사용하며, 슬라이더의 내구성을 증가시킬 수 있는 로드/언로드(L/UL)기술이 반드시 필요하다.[1] Bogy 와 Zeng[2]은 시뮬레이션을 이용하여 램프 형상, 슬라이더 버니쉬, 디스크 회전속도, L/UL 속도, 공기 배어링 형상 설계, 슬라이더의 초기 위치, 딥플 초기힘, 부상력 등이 L/UL 과정에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. Albrecht 와 Sai[1]는 램프에 의해 손실되는 디스크의 저장공간을 최소화하기 위하여 램프의 높이에 따른 수직방향으로의 최소한의 공차가 필요하다는 것을 보여주었다. Tambe 와 Bhushan [3]은 램프 높이에 따라 리프트 탭과 슬라이더에 작용하는 힘의 변화를 통해 램프 위에서 힘의 전달이 발생하는 구역을 설정하였다. 또한 슬라이더-디스크 충돌 실험을 통해 램프와

디스크 사이의 간격이 증가할수록 좋아진다는 것을 확인하였다.

이제까지 L/UL 성능에 영향을 미치는 각종 설계 변수들에 대해서 시뮬레이션 및 실험 등 많은 연구가 진행되어왔다.[4] L/UL의 수직속도가 램프 형상과 액츄에이터의 속도에 의해 결정되고, 특히 언로드 과정에서는 액츄에이터의 속도를 조절하기 어렵기 때문에 램프 형상이 더욱 중요하다. 그럼에도 불구하고 램프가 미치는 영향에 대해서는 간략한 언급이나 시뮬레이션에 의한 연구만이 수행되어 왔다. 이에 본 연구에서는 1 인치 HDD의 언로딩 과정에서 수직 속도에 따른 영향, 램프 각도에 의한 영향, 디스크 진동에 따른 영향을 각각 실험을 통하여 확인하고, 램프를 제작하는데 있어 제한된 조건에 부합하면서 언로딩 성능을 향상 시킬 수 있는 램프의 기준을 제시해보고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험 장치의 구성

Figure 1은 1 인치 HDD의 L/UL에서 다양한 램프 형상에 따른 탭과 슬라이더의 거동을 확인하기 위한 실험 장치이다. LDV를 이용하여 슬라이더의 거동을 측정하고, 이를 위해 1 인치 HDD 세트를 고정시키고 램프를 회전시켜 실제 시스템과 같은 L/UL 가 구현되게 구성하였다. 2 대의 LDV를 이용하여, 하나의 범은 슬라이더의 끝 단의 거동을, 다른 하나의 범은 탭의 거동을 측정한다.

### 2.2 실험 방법

- 실험 1 : 수직 속도의 영향  
동일한 램프에 대하여 램프와 디스크의 간격을

\* 연세대학교 기계공학과 대학원

E-mail : genfair@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

\*\* 연세대학교 정보저장협동과정

\*\*\* 연세대학교 기계공학과

고정시키고 디스크 진동의 위상이 최고인 점에서 언로딩을 수행한다. 19~190mm/s 내에서 5 가지 경우의 속도에 대해 언로딩 시 램프 위에서의 텁과 슬라이더의 변위를 통해 동특성을 확인한다.

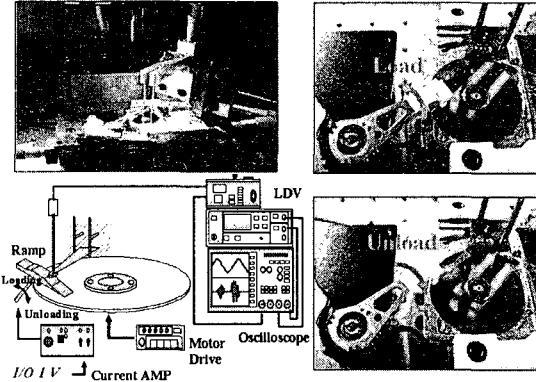


Fig.1 Experimental Setup

#### • 실험 2 : 램프 각도의 영향

언로딩 속도를 38mm/s로 고정하고 여러 가지 램프 각도에 대하여 언로딩 과정 동안 텁과 슬라이더의 변위를 측정한다. 텁과 처음 부딪히는 램프 표면의 각을  $\theta_C$ 라고 하고, 공기베어링이 사라질 때의 램프 표면의 각을  $\theta_B$ 라고 한다. 실험은 다양한  $\theta_C$ 와  $\theta_B$ , 그리고 이를 조합한 램프 각도에 대하여 수행한다.

#### • 실험 3 : 디스크 진동의 영향

동일한 램프에 대하여 램프와 디스크의 간격을 고정시키고 언로딩 속도가 19mm/s인 조건에서 figure 2와 같이 디스크의 위상이 0°, 90°, 180°, 270°에서 언로딩이 이루어지게 실험을 수행한다.

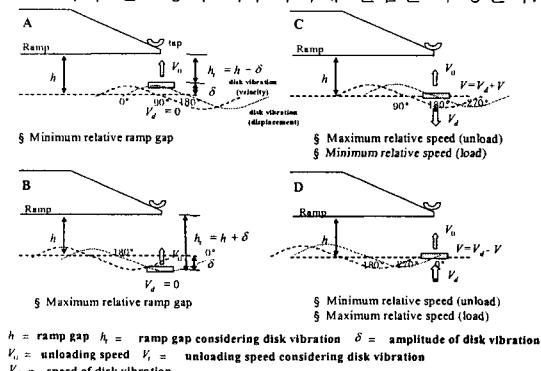


Fig.2 Phase of Disk Vibration

### 3. 실험 결과

#### 3.1 수직 속도의 영향

Figure 3와 table 1은 5 가지 경우의 다른 속도(190mm/s 그레프 생략)에 대하여 실험한 결과

로 텁과 슬라이더의 변위를 중심으로 해석한 것이다. 텁이 램프 위로 언로딩 되더라도 슬라이더는 음압에 의해 디스크 위에 일정시간 머무르게 되는데 이때의 시간차를 (1)이라 하고 슬라이더가 공기 베어링의 영향에서 벗어날 때 텁과 슬라이더 사이의 수직 변위차를 (2)라고 한다. 공기베어링이 사라지면 슬라이더는 텁의 상승 속도보다 빠르게 상승하여 딥플에 부딪힌 후 리바운드되고 이때의 슬라이더와 디스크의 변위차를 (3)이라고 한다. 특히 빠른 언로딩 속도에서 슬라이더가 공기 베어링의 영향에서 벗어나 상승할 때, 음압에 의해 리프트오프 힘이 갑자기 증가하고 부상높이는 순간적으로 감소하는데, 이를 (4)라고 한다.

Table 1에 따르면 수직 속도가 증가할수록 텁은 언로딩 된 후 빠르게 상승하는 것을 확인할 수 있고, 이때 (2)는 속도가 빠를수록 더욱 커지는 것을 알 수 있다. 수직 속도가 증가하면 음압이 증가하고 슬라이더를 디스크 위에서 분리하기 위한 리프트오프 힘이 증가하게 된다. Figure 4(a)의 관계식을 통해 리프트오프 힘을 구할 수 있고, (b)는 시뮬레이션 결과와 같은 리프트오프 힘이 보이는 것을 확인할 수 있다. 실험 결과를 통해서 우리는 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 속도가 작으면 슬라이더가 리바운드 된 후 (3)이 작아져 리바운드에 의해 슬라이더-디스크 충돌이 발생할 가능성이 커지만, 속도가 빠르면 슬라이더가 리바운드 된 양보다 슬라이더가 빠르게 상승하기 때문에 리바운딩에 의한 슬라이드-디스크 충돌은 발생하지 않는다. 반면, 속도가 빨라지면 음압이 커지고 음압에 의해 (4)가 커진다. (4)가 발생하게 되면 슬라이더의 거동은 불안정해지고 부상높이가 낮아지기 때문에 슬라이더-디스크의 충돌 가능성성이 커진다.

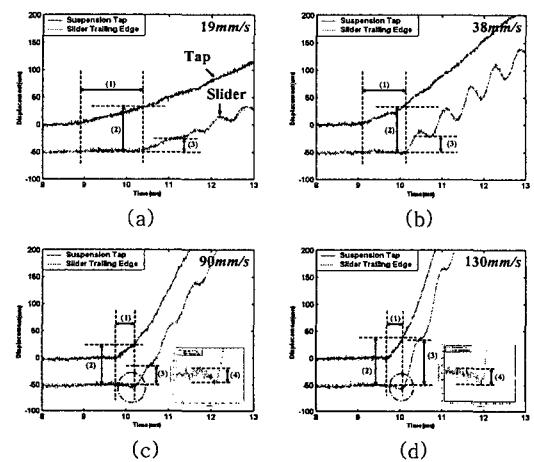


Fig.3 Effects of Vertical Velocities

Table 1. Results of Vertical Velocities

Vertical Velocity (mm/s)	19	38	90	130	190
(1) Time Gap between Tap & Slider (ms)	1.50	0.89	0.43	0.37	0.29
(2) Disp. Gap between Tap & Slider (um)	78	84	89	99	105
(3) Slider-Disk Gap after Rebound (um)	18	27	38	87	156
(4) Downward Displacement (um)	-	-	4.5	5.5	6.5

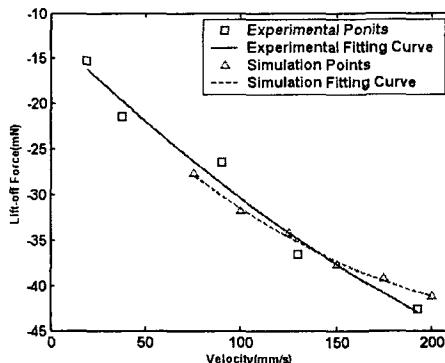
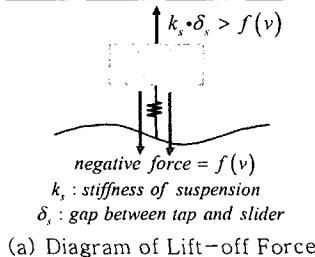


Fig.4 Lift-off Force

### 3.2 램프 각도의 영향

Figure 5 와 table 2 는 램프의 각도를 달리하여 램프 각도에 의한 수직 속도가 언로딩 성능에 미치는 영향을 알아본 실험 결과이다. A~D 는  $\theta_C$  와  $\theta_B$  가 같은 경우이고, E 와 F 는 다른 경우이다. 램프의 각이 커질수록 수직 속도는 증가하게 된다. 실험 1 에 의해 수직 속도가 증가하면 리바운딩에 의한 영향은 감소하지만 음압에 의한 리프트오프 힘은 커지게 되어 램프 각이 커질수록 공기베어링이 사라질 때 순간적으로 부상높이가 낮아지는 (4)가 커지게 된다. 실험 1 에서 38mm/s 의 언로딩 속도에서는 (4)가 발생하지 않았지만, 램프 각이 증가하면 언로딩 성능에 좋지 않은 영향을 주는 (4)가 증가한다. 또한 낮은 램프 각의 경우에도 실험 1 의 결과보다 (3)이 줄어들어 리바운딩에 의해 언로딩 성능이 감소하게 된다. 그러나 F 모델의 경우 공기베어링이 사라질 때, 11°에서 13°로 변하는데 11°로 일정한 경우보다 상승 속도가 빨라져 리바운딩에 의한 슬라이더-디스크 충돌 가능성성이 줄어들 뿐만 아니라 E 모델보다 빠른 속도임에도 불구하고, 음압에 의해 발생하는

(4)가 발생하지 않는 좋은 결과를 보이고 있다. 낮은 램프 각도에서 텁이 언로딩되어 음압에 의한 영향이 최소화되고, 공기베어링이 사라질 때 램프 각도가 커져 수직 속도가 빨라지게 되어 리바운딩의 영향 역시 감소하기 때문이다.

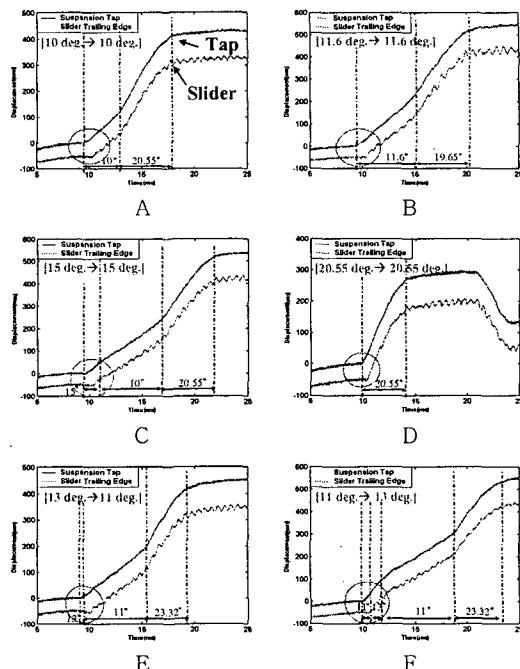


Fig.5 Effects of Various Ramp Profiles

Table 2. Results of Various Ramp Profiles

	A	B	C	D	E	F
Contact Slope(°)	10	11.6	15	20.55	13	11
Air-bearing breaking Slope(°)	10	11.6	15	20.55	11	13
Vertical Velocity (mm/s)	32	35	46	57	37	40
(1) Time Gap between Tap & Slider (ms)	0.97	0.92	0.67	0.56	0.83	0.75
(2) Disp. Gap between Tap & Slider (um)	81	82	81	82	81	80
(3) Slider-Disk Gap after Rebound (um)	16	21	25	32	22	40
(4) Downward Displacement (um)	-	-	2	3	1	-

### 3.3 디스크 진동의 영향

Figure 6 과 table 3 은 디스크 진동이 언로딩 성능에 미치는 영향에 대한 실험 결과이다. 디스크의 위상이 0°, 270°인 경우 (1)은 90°, 180°보다 큰데 이는 0°와 270°에서는 공기베어링의 영향에서 벗어날 때 디스크의 변위가 상승 중이므로 슬라이더의 디스크에 대한 상대속도가 작아지기 때문이다. 반면, 90°와 180°는 디스크의 변위가 하강하므로 상대속도는 커지게 된다. 실험을 수행한 속도는 실험 1 에서 리바운딩에 의해 슬라이더-디스크의 충돌이 발생할 가능성이 있었지만, 디스크 진동 영향에 대한 실험 결과 상대속도에 따라 상대속도가 큰 경우는 충돌 가능성성이 줄어들지만 상대속도가 작은 경우는 실험 1 의 결과보다

충돌 가능성이 더욱 커지게 된다.

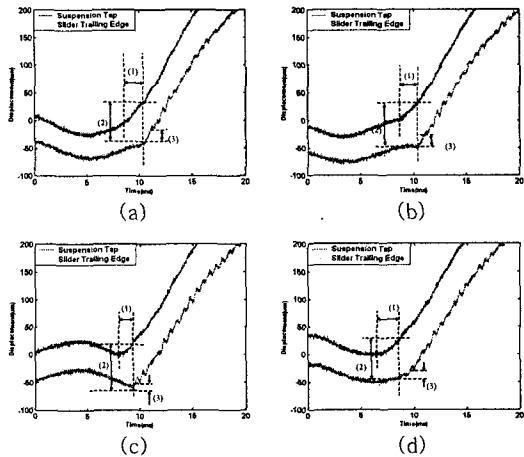


Fig.6 Effects of Disk Vibrations

Table 3. Results of Disk Vibrations

	0	90	180	270
(1) Time Gap between Tap & Slider (ms)	1.7	1.50	1.36	1.8
(2) Disp. Gap between Tap & Slider (um)	79	78	81	80
(3) Slider-Disk Gap after Rebound (um)	20	18	17	16

#### 4. 램프 설계

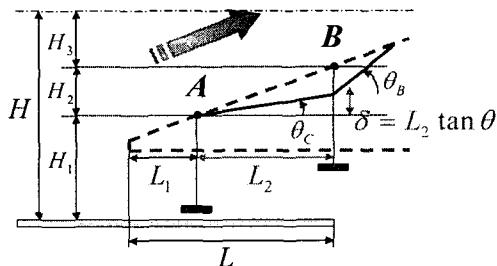


Fig.7 Design Parameters of Ramp Profile

Figure 7은 램프 설계를 위한 중요변수를 나타내고 있다. 램프 설계에 있어서 가장 중요한 두 지점은 A 와 B 이며, 그 중 A 는 텁이 램프와 만나는 위치이고, B 는 슬라이더가 공기베어링의 영향에서 벗어나는 위치이다. 초소형 HDD 를 설계하는데 있어 높이 H 와 폭 L 은 각각 제한된다. 제한범위 내에서 기존의 램프는 균일한 각도로 설계되었지만 실험 1 의 결과에 따르면 빠른 속도의 언로딩에서 좋지 않은 성능을 보이고 있다. 특히 램프 각은 제한 조건에 의해 계속 증가시키거나 감소시키기 불가능할 뿐만 아니라 실험 2 의 결과에 의하면 낮은 각에서는 리바운딩, 높은 각에서는 음압 때문에 언로딩 성능이 감소하게 된다. 실험 2 의 결과 중 F 모델이 램프의 가변각의 영향으로 안정적인 언로딩 성능을 보이는 것을 고려하

여  $\theta_C$  를 낮춰 음압의 영향을 줄이고  $\theta_B$  를 높여 리바운딩의 영향을 감소시키는 램프가 필요하다. 이러한 램프 설계 기준은

$$f_L(v_0, \theta_C) \leq k_s \cdot \delta_s(L_2, \theta_C)$$

$$f_L(v_0, \theta_C) = av + b = av_0 \sin \theta_C + b$$

$$\delta_s(L_2, \theta_C) = L_2 \tan \theta_C$$

이다. 실험에 사용한 1 인치 HDD 의 경우 리프트 오프 힘과 속도의 관계를 통해 a 는 -0.16, b 는 -13.73 로 구할 수 있다. 이를 통해 시스템이 요구하는 언로딩 속도에서 언로딩 성능을 향상시키기 위해 필요한  $L_2$  와  $\theta_C$  를 각각의 제한 범위 내에서 구함으로써 안정적인 언로딩을 가능케 하는 램프를 설계할 수 있다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 초소형 HDD 의 언로딩 성능을 좌우하는 많은 변수 중 램프의 형상에 따른 영향을 알아보기 위해 실험을 수행하였다. 수직 속도와 램프 각도, 디스크 진동의 영향을 살펴봄으로써 언로딩 속도에 따라 발생하는 리바운딩과 음압에 의해 언로딩 성능이 결정된다는 것과 이 요소들은 램프 각의 설계를 통하여 영향을 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 램프 특성을 이용하여 시스템에 요구되는 언로딩 속도에 따라 언로딩 성능을 향상 시킬 수 있는 램프 설계 방법을 제시하는 바이다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 정보저장기기 연구센터 [CISD] (R11-1997-042-11000-0)의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

#### 참고문헌

- (1) T. R. Albrecht and F. Sai, March 1999, Load/Unload Technology for Disk Drives, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 35, No. 2, pp. 857-862
- (2) D.B. Bogy and Q.H. Zeng, 2000, Design and operating conditions for reliable load/unload systems, *Tribology International* 33, pp. 357-366
- (3) N.S. Tambe and F. Sai, 2002, Effect of load/unload process on friction/stiction and durability of head-disk interface, *Microsystem Technologies* 8, pp. 409-418
- (4) Hideaki T. and Hidekazu K., July 2001, Effect of Air-Bearing Design on Slider Dynamics During Unloading Process, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 37, No. 4, pp. 1818-1820