

램프 틸트에 의한 언로드 특성 분석 Analysis of Unload Characteristics by Ramp Tilt

이용현*, 김기훈*, 김석환*, 이상직*, 박노철*, 박영필*, 박경수[†], 김철순**, 유진규***
Yonghyun Lee, Ki-Hoon Kim, Seokhwan Kim, Sangjik Lee, No-Cheol Park, Young-Pil Park,
Kyoung-Su Park, Cheol-Soon Kim and Jingyu Yoo

(2009년 8월 24일 접수; 2009년 9월 10일 심사완료; 2009년 9월 21일 게재확정)

ABSTRACT

Most hard disk drives uses load/unload technology because of benefits as like an increased areal density, a reduced power consumption and an improved shock resistance. However, ramp tilt induced by ramp manufacture and assembly causes mechanical problems such as unload fail in case of exceeding ramp tolerance. In this paper, we focus on experimental analysis for unloading characteristics affected by ramp tilt. We repeatedly perform load/unload test as 500,000 cycles for original model and ramp tilt model. This paper shows that it is possible to analyze unload characteristics through measuring scratch and wear of suspension lift-tab, ramp, suspension dimple-flexure and disk. We also identify structural relation between suspension lift-tab and ramp through scratch and wear of suspension lift-tab and ramp. As the result of measurement and analysis, we can investigate decrease of unloading performance in ramp tilt model.

Key Words : load/unload (로드/언로드), ramp tilt(램프 틸트), scratch(스크래치), wear(마모)

1. 서론

오늘날 대부분의 하드디스크드라이브(HDD)에서 사용되는 램프 로드/언로드 기술은 면밀도를 증가시키고 전력소모를 감소시키며 내충격성을 향상시키는 이점이 있지만, 램프를 통해 로드/언로드를 반복하는 구조로 인해 예기치 못한 기구적 문제점들이 발생한다. 그 중의 하나가 언로드 불량 문제로, 이는 램프의 설계나 조립 시 치우침이나 비틀림에 의해 발생할 수 있다. 언로드 불량이 발생하면, 언로드가 완전히 수행되지 못하거나, 수행되더라도 언로드 성능이 저하될 가능성이 존재한다. 슬라이더가 디스크에서 분리되지 못한 채 언로드가 수행되어, 슬라이더-디스크 충돌이 발생하거나 헤드가 손상을 입을 수도 있다. 또한, 서스펜션 리프트-탭이 램프 위로 완전히 올라가지 못해 램프 중간에서 멈춤으로써 비 동작 시 헤드가 디스크로 다시 내려올 가능성도 존재한다. 제어를 통해 이러한 언로드 불량을 막는다 하더라도 언로드 불량을 예방하기 위해 더 많은 전류와 고감도 제어기

의 설계가 필요하므로 시스템에 과부하를 줄 수도 있다. 따라서, 램프 설계 및 조립 시 치우침이나 비틀림을 고려할 수 있는 램프 오차에 대한 연구가 필요하다. 기존 연구[1]에서는 시뮬레이션을 통해 이러한 램프 허용 오차에 대한 연구를 수행하고, 역학 관계를 통해 안정적인 램프 허용 오차에 대해 제시하였다.

본 연구에서는 현재 양산되고 있는 HDD 모델에서 램프 틸트에 대한 실험적 분석을 수행하고자 한다. 실험에 사용된 HDD 모델의 경우 언로드 속도를 제어하여 일정하게 유지시키므로 서스펜션 리프트-탭이 램프에 부딪쳐 언로드가 불가능한 경우를 제외하고 언로드는 항상 수행된다. 따라서, 램프 틸트에 대한 언로드 불량보다는 언로드 특성을 살펴보는 데 적합하다. 과도한 램프 결속을 통해 램프의 치우침과 비틀림을 인위적으로 가한 후 50만 번의 로드/언로드 반복 테스트를 수행하여 램프 틸트에 의한 언로드 성능 변화를 확인하고자 한다. 서스펜션 리프트-탭과 램프, 딥플-플렉서, 디스크의 스크래치 여부 및 마모 정도를 분석하고, 램프 틸트에 의한 영향을 조사하고자 한다. 또한, 서스펜션 리프트-탭과 램프의 스크래치 방향 및 형상을 통해 리프트-탭과 램프가 맞닿는 면에 대한 구조적 분석도 수행할 것이다. 이를 통해, 램프 틸트에 대한 언로드 성능을 각 파트를 통해 검토한 후, 언로드 특성을 분석할 수 있다.

[†] 연세대학교 기계공학과
E-mail : pks6348@yonsei.ac.kr
Tel : (02) 2123-4680, Fax : (02) 365-8460

* 연세대학교 기계공학과

** 삼성전자 스토리지 사업부

*** 대림대학교 기계설계학과

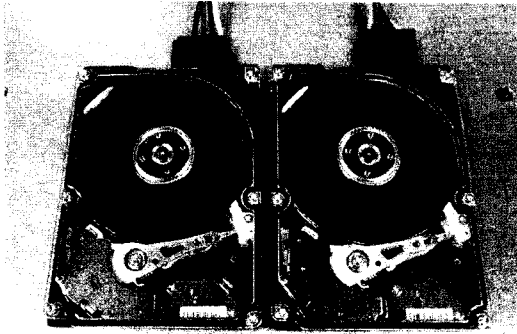
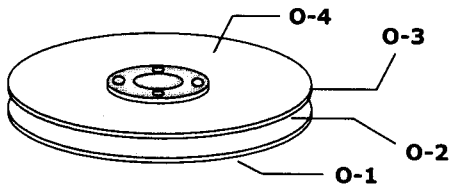
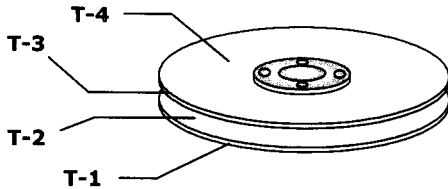


Fig. 1 램프 틸트에 대한 로드/언로드 반복 실험 세팅 (좌: 오리지널, 우: 틸트)



(a) 오리지널 모델

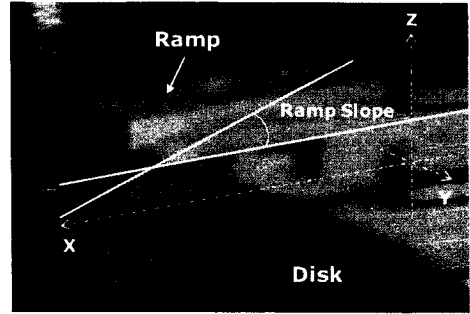


(b) 틸트 모델

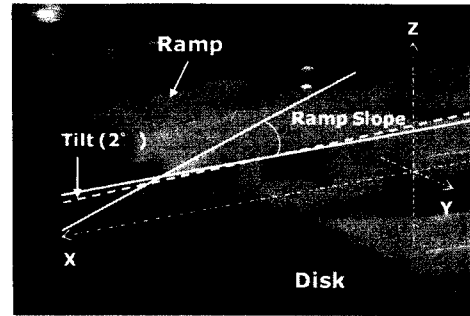
Fig. 2 디스크 면 정보 및 표시법

2. 반복 실험 조건 및 장치

램프 틸트에 대한 로드/언로드 반복 테스트를 수행하기 위해 램프 틸트가 없는 오리지널 모델과 램프의 과도 결속으로 램프 틸트를 구현한 모델을 사용한다. 두 모델은 모두 현재 양산되고 있는 모델을 로드/언로드만 반복 수행할 수 있게 조정된 모델이다. 로드의 경우 2 IPS (2 inch per second)의 속도를 유지하며, 언로드의 경우 3 IPS의 속도를 유지한다. 이는 속도가 제어되는 모델로 로드/언로드 시 항상 2 IPS와 3 IPS를 유지하며, 외란에 의해 속도가 감소할 경우 보이스-코일 모터에 전류를 가하여 손실된 속도만큼 보강하여 타겟 로드/언로드 속도를 유지한다. 그림 1 과 같이 2 개의 모델에 동일한 전원을 가한 후 로드/언로드를 약 50 만회 수행한다.



(a) 오리지널 모델



(b) 틸트 모델

Fig. 3 램프 틸트량

반복 실험 후 주사현미경(SEM)을 통해 각 파트를 측정할 때, 각 파트가 디스크의 어느 면에 해당하는지 구분하기 위해 그림 2 와 같이 디스크의 면을 표시한다. 실험에 사용한 HDD 모델은 2 개의 디스크를 갖는 모델로 오리지널 모델의 디스크는 디스크의 밀면부터 각각 O-1 부터 O-4 까지 표시하고, 틸트 모델은 디스크의 밀면부터 각각 T-1 부터 T-4 까지 표시한다.

로드/언로드 반복 실험에 사용된 오리지널 모델과 틸트 모델의 램프 각은 그림 3 과 같다. 램프 틸트는 그림에서 Y 축을 회전축으로 램프가 회전하는 것을 의미한다. 틸트가 발생하게 되면 디스크의 윗면의 램프 각은 기존의 램프 각에 틸트 각이 더해지게 되고, 디스크의 밀면의 램프 각은 기존의 램프 각보다 틸트 각만큼 작아지게 된다. 오리지널 모델의 경우, 램프 틸트가 발생하지 않았으므로 램프 각은 초기 값인 약 17° 이다. 반면 틸트 모델의 램프 각은 측정 결과 약 2° 정도 틀어져 있으므로 램프 각은 약 19° 이다. 과도 결속에 의한 틀어짐을 구현한 것이기 때문에 정확한 각도로 틀 수 없었을 뿐만 아니라, 치우침의 경우에는 얼마나 발생했는지 여부를 확인하기 어렵다. 다만, 제조 공정 중 강하게 결속할 경우 발생할 수 있는 램프 틸트 상황을 가정한 것이다.

3. 반복 실험 결과

로드/언로드 반복 실험 후 주사현미경으로 측정하여 각 파트의 스크래치와 마모 정도를 확인하였다. 로드/언로드의 특성을 확인할 수 있는 서스펜션 리프트-탭과 램프, 서스펜션 딥플-플렉서, 디스크를 살펴보았다. 특히, 스크래치와 마모 정도에 따라 언로드 성능이 변화하는 것을 확인하였으며, 디스크의 경우 언로드 성능을 판단하는 중요한 스크래치인 원형 스크래치 여부를 확인하였다.

3.1 서스펜션 리프트-탭

서스펜션 리프트-탭은 로드/언로드 시 램프에 닿는 주요 파트로 로드/언로드 시 직접적으로 많은 스크래치와 마모가 발생한다. 오리지널 모델과 틸트 모델에 대한 스크래치와 마모 정도를 측정하여 그 차이점을 비교하고, 과도 결속에 의한 틸트가 로드/언로드에 미치는 영향을 살펴보았다.

그림 4는 오리지널 모델에서 서스펜션 리프트-탭의 스크래치와 마모 정도를 나타낸 것이다. 언로드를 수행하는 방향으로 디스크 면을 따라 γ 또는 \perp 형태의 스크래치가 발생한다. 탭의 너비 방향 스크래치는 램프를 탈 때 초기에 발생하는 스크래치이며, 탭의 길이 방향 스크래치는 램프의 경사면을 지나서 평탄면을 지날 때 발생하는 스크래치이다. O-4와 O-3의 리프트-탭보다 O-2와 O-1의 리프트-탭에 많은 스크래치와 마모가 발생했다. 이는 오리지널 모델에서도 시스템 구조적으로 하단부의 디스크에 위치한 서스펜션 리프트-탭에 서스펜션 로드가 더 크다는 것을 보여준다[2].

그림 5는 틸트 모델에서 서스펜션 리프트-탭의 스크래치와 마모 정도를 나타낸 것이다. 오리지널 모델과 마찬가지로 언로드를 수행하는 방향으로 디스크 면에 따라 돌출된 γ 또는 \perp 형태의 스크래치가 발생한다. 또한, 오리지널 모델에서 시스템 구조적으로 O-4와 O-3의 리프트-탭보다 O-2와 O-1의 리프트-탭에 많은 스크래치와 마모가 발생한 것처럼 T-2과 T-1의 리프트-탭에서 T-4와 T-3의 리프트-탭보다 스크래치와 마모가 더 많이 발생하였다. 오리지널 모델과 틸트 모델의 리프트-탭을 비교하면, T-2와 T-4의 리프트-탭에서 O-2와 O-4의 리프트-탭보다 많은 스크래치와 마모가 발생하여 램프 틸트에 의해 그 정도가 심화되었다고 예상할 수 있다. 스크래치와 마모가 심하게 발생하였다는 것은 로드/언로드 시 마찰력이 더 크게 작용했다는 것을 의미하며, 마모에 의한 잔해가 HDD의 기록 및 로드/언로드 성능에 나쁜 결과를

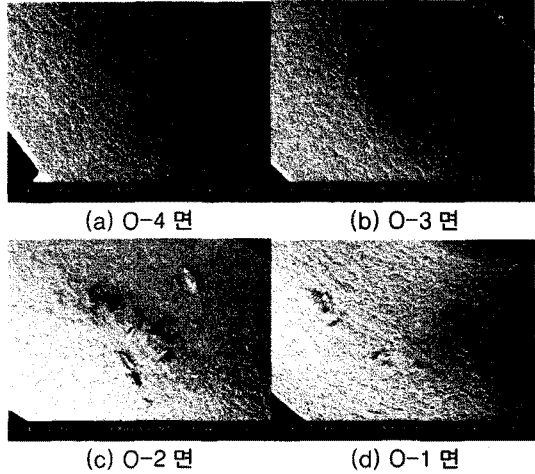


Fig. 4 오리지널 모델에서 서스펜션 리프트-탭의 스크래치 및 마모

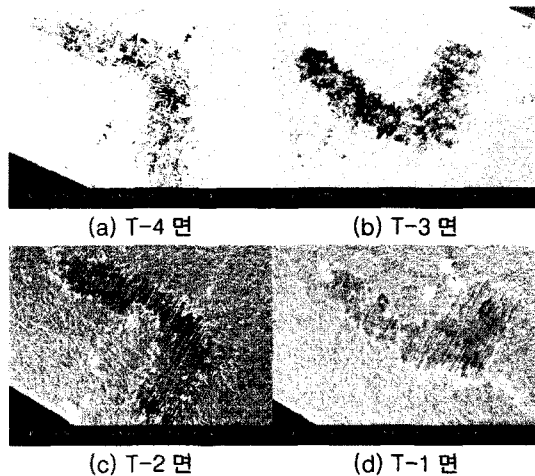


Fig. 5 틸트 모델에서 서스펜션 리프트-탭의 스크래치 및 마모

미칠 수 있다는 것을 의미한다[3]. 로드/언로드 반복 실험 결과를 통해 과도 결속에 의한 램프 틸트가 서스펜션 탭에 스크래치 및 마모를 더 많이 발생시키며, 로드/언로드 성능을 감소시킨다는 것을 알 수 있다.

3.2 램프

로드/언로드의 핵심 파트는 램프이다. 로드/언로드는 램프를 통해 이루어지며, 로드/언로드 시 서스펜션 리프트-탭은 항상 램프와 접촉하게 된다. 서스펜션의 재질은 스테인리스-스틸이지만, 램프는 플라스틱 재질이므로 대부분의 마모는 램프에

서 발생하게 된다. 앞서 서스펜션 리프트-탭에서 볼 수 있었던 마모 입자도 리프트-탭의 마모 입자보다 램프의 마모 입자가 대부분을 차지한다[4].

그림 6 과 그림 7 은 각각 오리지널 모델과 틸트 모델에서 램프의 스크래치와 마모 정도를 측정한 것이다. 램프 구조 상 안쪽에 위치한 O-2 면과 O-3 면에 해당하는 램프는 현미경으로 측정이 불가능하므로 가장 아래쪽 면인 O-1 면의 램프와 가장 위쪽 면인 O-4 면의 램프만을 측정하였다. 일반적으로 서스펜션 리프트-탭은 램프에 국부적으로 닿으므로 그림 6 과 그림 7 처럼 램프의 엣지에 스크래치와 마모가 증점적으로 발생한다. 램프 경사면에서는 서스펜션 리프트-탭의 안쪽에 닿게 되고, 앞선 서스펜션 리프트-탭의 스크래치 결과 중 탭 너비 방향의 스크래치와 맞닿게 된다. 또한, 램프의 평탄면에서는 서스펜션 리프트-탭 중심의 길이 방향 스크래치와 맞물려 스크래치 및 마모가 발생한다. 그림 6 에서 오리지널 모델의 램프의 경우, O-4 면의 램프보다 O-1 면의 램프에서 스크래치 및 마모가 더 발생하였다. 이는 앞서 기술한 것처럼 램프 틸트와 무관한 모델로 시스템 구조적으로 하단부의 서스펜션 로드가 더 크기 때문이다. 반면, 틸트 모델의 램프의 경우, 오리지널 모델의 O-4 면보다 T-4 면의 램프에 스크래치 및 마모가 더 심화된 것을 확인할 수 있다. 이는 과도 결속에 의한 램프 틸트의 영향으로 램프의 스크래치 및 마모가 증가했다고 볼 수 있다.

3.3 서스펜션 덤플 및 플렉서

그림 8 과 그림 9 는 각각 오리지널 모델과 틸트 모델에서 서스펜션의 덤플과 플렉서를 측정하는 것이다. 오리지널 모델의 경우에는 O-4 면과 O-3 면의 덤플과 플렉서를 측정하였고, 틸트 모델의 경우에는 T-2 면과 T-1 면의 덤플과 플렉서를 측정하였다. 덤플과 플렉서는 서로 맞닿아 있기 때문에 로드/언로드를 반복 수행하면 서로 접촉하고 있는 포인트에서 마모가 발생한다. 그림에서 보듯이 플렉서의 중앙 부에 덤플과 닿은 홈이 생기고, 덤플에서도 플렉서와 닿은 부분에 마모가 발생한다. 그러나, 오리지널 모델과 틸트 모델을 비교한 결과 큰 차이점을 찾을 수 없었다. 덤플과 플렉서에 존재하는 마모의 여부는 틸트 보다는 로드/언로드의 반복 수행의 결과로 예상할 수 있다. 램프 틸트에 의해 발생한 수평 충격량 차이가 덤플-플렉서의 마모 포인트에 변화를 줄 것으로 예상하였지만, 램프의 각도가 약 17°이며, 틸트는 약 2°정도에 불과하기 때문에 수직 충격량에 비해 수평

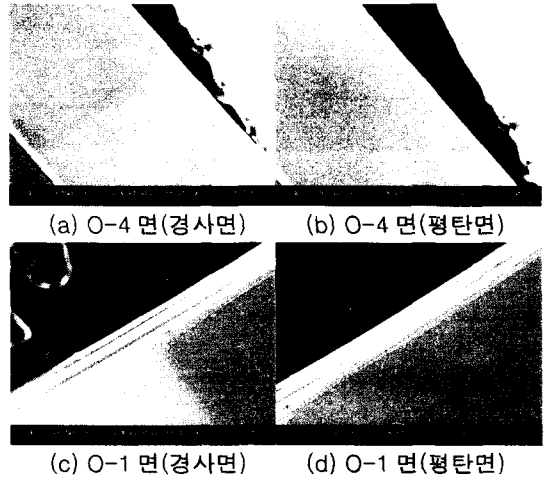


Fig. 6 오리지널 모델에서 램프의 스크래치 및 마모

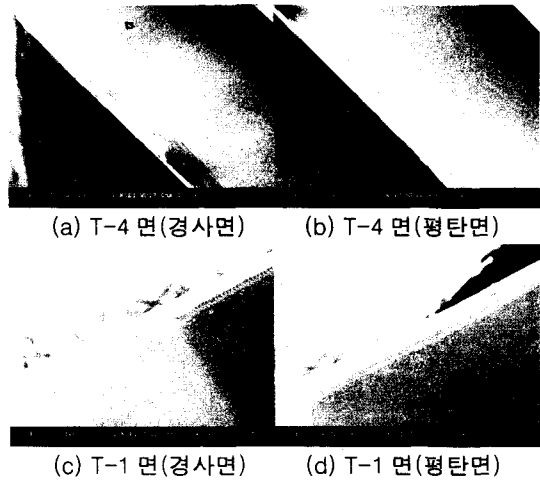


Fig. 7 틸트 모델에서 램프의 스크래치 및 마모

충격량이 매우 작아 그 영향을 확인하기 어려웠다. 30 IPS 이상의 긴급회피 상황에서는 그 차이를 발견할 수 있었겠지만, 오리지널 모델과 틸트 모델은 일반적인 로드/언로드인 2 IPS와 3 IPS에서 수행하였기 때문에 수평 속도에 의한 수평 충격량을 고려할 수 없다. 따라서, 측정 결과를 통해 램프 틸트가 서스펜션 덤플-플렉서의 스크래치 및 마모에 미치는 영향은 알 수가 없다.

3.4 디스크

로드/언로드 시 슬라이더-디스크 충돌이 발생하게 되면 디스크에 스크래치가 발생하게 된다. 특히, 램프에 닿는 순간 발생하는 슬라이더-디스크

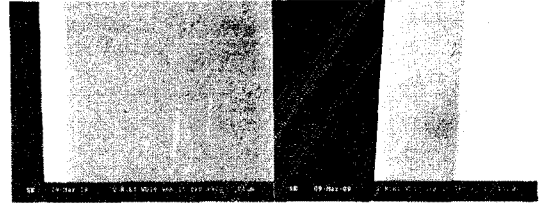


(a) O-4 면의 플렉서 (b) O-4 면의 댐플

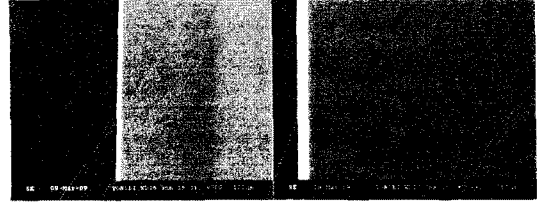


(c) O-3 면의 플렉서 (d) O-3 면의 댐플

Fig. 8 오리지널 모델에서 서스펜션 댐플-플렉서의 스크래치 및 마모

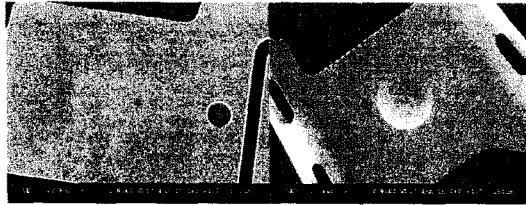


(a) O-4 면 (b) O-3 면



(c) O-2 면 (d) O-1 면

Fig. 10 오리지널 모델에서 디스크 로드/언로드 영역에서의 스크래치

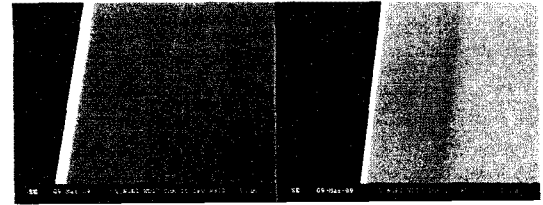


(a) T-2 면의 플렉서 (b) T-2 면의 댐플

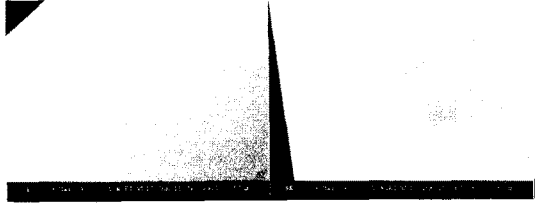


(c) T-1 면의 플렉서 (d) T-1 면의 댐플

Fig. 9 틸트 모델에서 서스펜션 댐플-플렉서의 스크래치 및 마모



(a) T-4 면 (b) T-3 면



(c) T-1 면(경사면) (d) T-1 면(평탄면)

Fig. 11 틸트 모델에서 디스크 로드/언로드 영역에서의 스크래치

충돌에 의해 발생하는 스크래치는 로드/언로드가 수행되는 비기록 영역에서 이루어지는데, 비기록 영역에서의 슬라이더-디스크 충돌은 기록 영역에 손실을 입히지는 않는다. 다만, 슬라이더-디스크 충돌에 의한 스크래치 잔해가 슬라이더의 패드에 묻게 되면 부상 성능이 감소할 수도 있다. 또한, 슬라이더-디스크 충돌이 기록/재생 헤드에 손상을 입힌다면 기록/재생에 문제가 발생하게 된다. 따라서, 디스크의 스크래치 여부는 로드/언로드 성능을 판단하는 기준이 될 수 있다[5]. 그림 10은 오리지널 모델에서 디스크 스크래치를 측정된 결과이다.

미세한 스크래치 들이 검출되었지만, 로드/언로드 시 큰 데미지를 줄 수 있는 스크래치는 전 영역에 걸쳐 측정되지 않았다. 이는 램프 틸트가 없는 오리지널 모델에서는 로드/언로드를 반복하여도 로드/언로드 성능의 감소가 발생하지 않는다는 것을 의미한다. 반면, 그림 11의 틸트 모델에서 디스크 측정 결과에서는 로드/언로드 시 큰 데미지를 받았다는 것을 의미하는 원형 스크래치가 디스크 전 영역에서 발생하였다. 이는 과도 결속에 의한 램프 틸트 및 치우침이 로드/언로드 시 슬라이더-디스크 충돌을 유발시켰다고 볼 수 있다.

3.5 요약

램프 틸트에 의한 언로드 성능의 평가를 각 파트를 통해 조사한 후 이를 정리하였다. 표 1 은 램프 틸트가 없는 오리지널 모델과 틸트 모델의 각 디스크 면의 파트에서 발생한 스크래치와 마모 정도를 정리한 것이다. (a)는 서스펜션 리프트-탭, (b)는 램프, (c)는 서스펜션 댄플 및 플렉서, (d)는 디스크를 의미한다. 표 1 에서 S 는 약한 스크래치(Soft Scratch), H 는 심한 스크래치(Hard Scratch), V.H 는 심한 스크래치(Very Hard Scratch)를 의미한다. 또한, I 는 로드/언로드에 영향을 미치지 않는 간헐적인 스크래치(Intermittent scratch)를 의미하며, R 은 로드/언로드 성능에 영향을 미치는 원형 스크래치(Rotational scratch)를 의미한다. 공란은 측정이 불가능하거나 스크래치 정도를 확인할 수 없는 경우이다. 본 요약을 통해 램프 틸트에 의해 언로드 성능에 영향을 미치는 것을 실험적으로 확인할 수 있다.

Table 1 오리지널 모델과 램프 틸트 모델에서 각 파트의 스크래치 및 마모 정도

	(a)	(b)	(c)	(d)
O-1	S	S	-	I
O-2	S	-	-	I
O-3	H	-	-	I
O-4	H	H	-	I
T-1	H	H	-	R
T-2	H	-	-	R
T-3	V.H	-	-	R
T-4	V.H	V.H	-	R

4. 결론

본 연구에서는 HDD 모델에서 램프 틸트에 대한 실험적 분석을 수행하였다. 로드/언로드를 50 만 회 반복한 후, 각 파트에 대한 현미경 측정을 통해 틸트 모델이 로드/언로드 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 서스펜션 리프트-탭과 램프의 스크래치와 마모 정도를 통해 틸트 모델에서 더 큰 스크래치와 마모가 발생한다는 것을 확인하였고, 디스크에서 로드/언로드 시 슬라이더-디스크 충돌을 입증할 수 있는 원형 스크래치 여부를 확인하였다. 실험 결과를 통해, 램프의 설계나 조립 시

발생할 수 있는 램프 틸트는 언로드 성능에 영향을 미치는 사실을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2008 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원과 BK 나노/마이크로 응용기계기술 인력양성사업단, 삼성전자의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R17-2008-040-01001-0).

참고문헌

- [1] K.H. Kim, Y. Lee, S. Kim, H. Yang, Y.P. Park, K.S. Park, J. Yoo and C.S. Kim, 2009, "Ramp Tolerance Analysis Considering Geometric Errors," IEEE Trans. Magn., vol. 45, no. 5, pp. 2284-2287.
- [2] N.S. Tambe and D. Bhushan, 2002, "Effect of load/unload process on friction/stiction and durability of head-disk interface," Microsys. Technol., vol. 8, pp. 409-418.
- [3] B. Bhushan and N.S. Tambe, 2003, "Role of Particulate Contamination on Friction and Wear and Durability of Load/Unload nad Padded Picosliders," IEEE Trans. Magn., vol. 39, no. 2, pp. 857-863.
- [4] J.R. Yaeger, 2002, "Ramp Wear and Debris From Load/Unload Lift-Tab Roughness," IEEE Trans. Magn. Vol. 38, no. 5, pp. 2126-2128.
- [5] Bo Liu and Yansheng Ma, 2003, "Visualization and Characterization of Slider-Disk Interactions in Dynamic Load/Unload Processes," IEEE Trans. Magn., vol. 39, no. 2, pp. 743-748.