

# 로드/언로드 성능향상을 위한 서스펜션 상태행렬의 해석 Analysis of Suspension State Matrix to Improve L/UL Performance

김기훈† · 이용현\* · 박경수\*\* · 박노철\*\*\* · 박영필\*

**Ki-Hoon Kim, Younhyun Lee, Kyung-Su Park, No-Cheol Park and Young-Pil Park**

**Key Words :** L/UL(로드/언로드), state matrix(상태행렬), impact force(충격힘), contact(접촉)

## ABSTRACT

The HDD (hard disk drive) using Load/Unload (L/UL) technology includes the benefits which are increased areal density, reduced power consumption and improved shock resistance than those of contact-start-stop (CSS). Dynamic L/UL has been widely used in portable hard disk drive and will become the key technology for developing the small form factor hard disk drive. Main design objectives of the L/UL mechanisms are no slider-disk contact or no media damage even with contact during L/UL, and a smooth and short load and unload process. In this paper, we focus on state matrix, pitch static attitude (PSA), roll static attitude (RSA), loading/unloading contour (LC/ULC), impact force and contact. Stability of slider is mainly determined by PSA and RSA. State matrix by PSA and RSA is also important indicator. Therefore we analyze state matrix of SFF HDD suspension through the LC/ULC.

## 1. 서 론

오늘날 정보화의 급속한 발전으로 모든 정보의 디지털화가 진행되고 있으며, 정보통신과 멀티미디어의 발달로 많은 양의 데이터를 신속하고 정확하게 전달 및 저장해야 하므로 HDD, CD-ROM, DVD 등의 디스크 미디어를 이용한 정보기록 장치가 보편화 되고 있다. 정보화 시대의 도래로 휴대용 디지털 기록, 재생 기기들이 발전하면서 사용자의 편리성을 위해 점점 소형화되고 있으며, 고용량의 정보기록 장치에 대한 요구가 증가하고 있다. HDD에 적용되는 그러한 기술 중 이러한 고용량화 및 소형화를 위한 기술중의 하나가 L/UL 기술이다. D.B. Bogy et al.[1]은 신뢰성 있는 L/UL 시스템을 위한 설계 및 작동조건에 대한 연구를 수행하였다. 좋은 언로딩 성능을 구현하기 위해서는 lift-off force를 줄여야 한다고 언급하고 있다. Lift-off force란 슬라이더가 디스크에서 떨어지기 직전의 최소의 air-bearing force를 말한다. 또한 양의 PSA가 lift-off force를 줄여 안정적인 L/UL 성능을 구현할 수 있게 한다고 하였다. J.R. Taeger[2][3]는 램프 L/UL에서 PSA와 RSA의 영향을 알아보는

연구를 실험을 통해 수행하였다. 이 연구에서 sweet spots과 footprint가 정의 되었고, 램프로딩시 PSA와 RSA에 따라서 로드 속도, 슬라이더 ABS형상에 관련하여 contact영역을 조사하였다. 또한 램프 언로딩시 PSA와 RSA에 따라서 언로드 속도, 슬라이더 ABS형상에 관련하여 contact영역을 조사하였다. 본 연구에서는 L/UL 시스템에서 실험을 통하여 구하고자 하는 값을 얻기는 매우 어렵기 때문에 시뮬레이션을 사용하게 되는데 시뮬레이션에서 필수적으로 필요한 상태행렬을 분석하고자 한다. 각 상태에서의 상태행렬을 해석하고, PSA와 RSA에 따라서 상태행렬에 변화를 주어 LC와 ULC를 구하여 물리적인 해석과 더불어 안정적인 상태행렬을 구하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 L/UL 메커니즘

HDD의 경우 저장 용량을 증가시키기 위해 부상 높이가 점점 낮아지고 있는데, 기존의 CSS(Contact Start-Stop) 타입은 랜딩 존의 텍스처 구조로 인해 부상 높이를 감소시키는데 한계가 있어 저장용량을 증가시키기 어려운 반면, L/UL 기술은 텍스처구조가 없어 부상 높이를 낮출 수 있는 이점이 있다. 휴대용 정보 저장 장치의 경우 외부 충격에 노출되기가 쉬운데, L/UL는 비 구동시 램프 위에 헤드가 정지되어 있기 때문에 외부 충격에 강하다. 또한 휴대용 기기는 전력의 소모

† 연세대학교 기계공학과 대학원

E-mail : kkhmllove@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-4677 FAX : (02)365-8460

\* 연세대학교 기계공학과

\*\* 삼성전자 스토리지 사업부

\*\*\* 연세대학교 정보저장기기 연구센터

로 최대한 줄여야 하는데 L/UL 기술은 구동 시 CSS 타입에서 발생하는 슬라이더와 디스크의 접촉력이 없기 때문에 전력 소모를 줄이는 이점이 있다. 이러한 이점들로 인해 HDD 의 고 용량화 및 소형화를 위해서 반드시 필요한 기술이라 할 수 있다. L/UL 방식은 Fig.1 처럼 비 구동 시 램프 위로 슬라이더가 언로드되어 있다가 구동 시 로드를 통해 슬라이더를 디스크 위에 위치시키는 기술로 기록면 전체를 유효하게 사용하고 부상 높이를 낮출 수 있어 저장용량을 높이는데 기여한다. 또한 비 동작 시 충격에 강하고 저 소비전력을 사용하기 때문에 휴대 가능한 하드디스크 드라이브를 만드는 데 유리하다.[7]

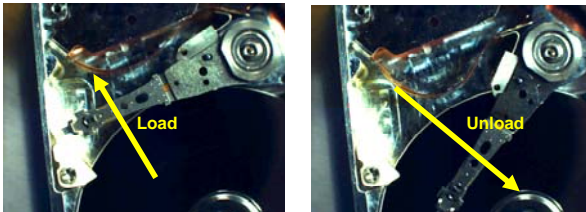


Fig.1 L/UL mechanism

## 2.2 상태행렬

L/UL 시 서스펜션의 탭과 딴플, 리미터의 접촉 조건(contact condition)에 따라 4 가지의 상태로 구분된다. 서스펜션 탭의 접촉 조건은 탭과 램프의 접촉 여부를 나타내며, 딴플의 접촉 조건은 슬라이더와 서스펜션의 접촉 여부를 나타낸다. 리미터의 접촉 조건은 슬라이더와 서스펜션의 딴플이 분리되어 있는 상태에서 일정 거리 이상 벌어지지 않게 리미터에 접촉되어 있는 상태를 일컫는다. Fig.2 는 접촉 조건에 따른 4 가지의 상태를 나타낸다. 첫 번째 상태 (state 1)는 일반적으로 슬라이더가 디스크 위에 존재하는 상태로 탭은 램프에 접촉되어 있지 않고, 딴플은 접촉되어 있으며 리미터는 접촉되어 있지 않은 상태이다. 두 번째 상태(state 2)는 디스크에서 슬라이더가 분리되지 않은 채 탭이 램프에 닿아 있는 상태로 탭은 램프에 접촉되어 있고, 딴플 역시 접촉되어 있지만 리미터는 접촉되어 있지 않은 상태이다. 세 번째 상태 (state 3)는 디스크에서 슬라이더가 분리되지 않은 채 슬라이더가 딴플과 분리되어 있는 상태로 탭은 램프에 접촉되어 있고, 딴플과 리미터 모두 접촉되어 있지 않은 상태이다. 네 번째 상태(state 4)는 디스크에서 슬라이더가 분리되는 상태로 탭은 램프에 접촉되어 있고, 딴플은 분리되어 있으며 리미터는 맞닿아 있는 상태이다.

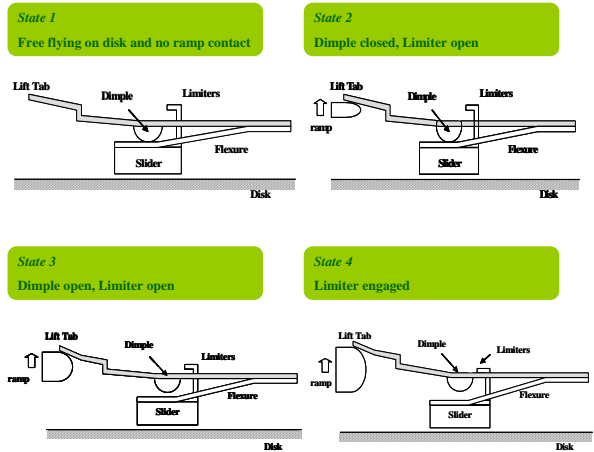


Fig.2 States

각 상태에 대한 접촉 조건은 간략하게 정리하면 Table.1 과 같다.

Table.1 Contact Conditions

State <i>i</i>	Contact Conditions at		
	Tab	Dimple	Limiter
1	No	Yes	No
2	Yes	Yes	No
3	Yes	No	No
4	Yes	No	Yes

## 2.3 로딩 윤곽선 (LC)과 언로딩 윤곽선 (ULC)

### 2.3.1 내용 및 범위

L/UL 시뮬레이터에서 PSA 와 RSA 를 변화시켜 L/UL 에 어떠한 영향이 있는지 살펴보고자 한다. 시뮬레이션을 수행하여 PSA 와 RSA 의 변화에 따른 impact force 를 조사한다. Impact force 를 통해 로드 시 안정적인 영역과 언로드 시 안정 영역을 각각 구한다. 연구를 수행할 모델의 초기 PSA 와 RSA 는 각각 1.58°와 0°이다. PSA 는 초기값 1.58°를 중심으로 0.08°에서 2.58°까지 0.5° 단위로 설정하고 RSA 는 초기값 0°를 기준으로 -1.0°에서 +1.0°까지 0.5°의 단위로 설정한다. 시뮬레이션을 위한 PSA 와 RSA 의 범위는 Table.2 에 잘 기술되어 있다.

Table.2 PSA & RSA range

PSA			RSA		
Change	Degree(°)	Radian	Change	Degree(°)	Radian
-1.5°	0.08°	0.0014	-1.0°	-1.0°	-0.0175
-1.0°	0.58°	0.0101	-0.5°	-0.5°	-0.0087
-0.5°	1.08°	0.0188	Initial	0.0°	0
Initial	1.58°	0.0276	+0.5°	+0.5°	0.0087
+0.5°	2.08°	0.0363	+1.0°	+1.0°	0.0175
+1.0°	2.58°	0.0460			

### 2.3.2 상태행렬의 적용

상태 행렬에서 변경하고자 하는 값들은 Fig.3 에서 보는 바와 같이 각각의 상태 행렬의 대각 (diagonal)값인 state  $i_{11}$ , state  $i_{22}$ , state  $i_{33}$ , state  $i_{44}$ 와 탭 에 힘을 주었을 때 슬라이더의 수직 변위와 피치 값의 변화를 나타내는 state  $i_{12}$ , state  $i_{13}$ 이다. 롤 값의 영향은 매우 미비하기 때문에 본 연구에서는 고려하지 않는다. state  $i_{12}$ 와 state  $i_{13}$ 의 대칭인 state  $i_{21}$ 과 state  $i_{31}$ 은 동일한 값으로, state  $i_{12}$ 와 state  $i_{13}$ 을 변경할 경우 state  $i_{21}$ 과 state  $i_{31}$ 도 같은 값으로 변경 해주어야 한다.

State $i_{11}$	State $i_{12}$	State $i_{13}$	State $i_{14}$
State $i_{21}$	State $i_{22}$	State $i_{23}$	State $i_{24}$
State $i_{31}$	State $i_{32}$	State $i_{33}$	State $i_{34}$
State $i_{41}$	State $i_{42}$	State $i_{43}$	State $i_{44}$

Fig.3 Application of state matrix

### 2.3.3 결과

Fig.4 는 초기 모델에 대해 PSA와 RSA의 범위에 의한 LC이다. 이는 로드 시 각 PSA와 RSA에 대한 impact force 값을 영역으로 나타낸 것이다. 초기 모델의 경우 PSA가  $0.58^\circ$ 보다 높은 범위에서는 RSA 전 범위에 대해 impact force가 0 이므로 contact이 발생하지 않는다. Fig.5 는 초기 모델에 대해 PSA와 RSA의 범위에 의한 ULC이다. 이는 언로드 시 각 PSA와 RSA에 대한 impact force 값을 영역으로 나타낸 것이다. 초기 모델의 경우 PSA가  $0.58^\circ$ 에서  $1.08^\circ$ 까지는 전 범위의 RSA에 대해 안정적이고 PSA가  $1.58^\circ$  이상에서는  $1.58^\circ$ 일 때 RSA가  $-0.5^\circ$ 인 경우와 RSA가  $0^\circ$ 인 경우만 contact이 발생하지 않는다. PSA가  $0.08^\circ$ 에서는 RSA가  $1.0^\circ$ 만 contact이 발생하지 않음을 확인할 수 있다. Fig.6 은 LC의 상태 행렬 별 경향을 나타 낸 것으로 각 상태 행렬을  $\pm 5\%$ 로 변화시켰을 때 영역의 증감을 도시한 것이다. 상태 2 에서의 행렬 값들이 영역의 변동에 영향을 끼치고, 상태 3 과 4 는 영향이 미비함을 확인할 수 있다. 상태 2 의 경우도 일정한 선형적인 관계가 형성되지 않는데, 이는 영역의 설정과 주된 목표 PSA/RSA의 차이 점을 정량적으로 정확하게 파악하기 어렵기 때문이다. LC의 경우, 상태 2 에 의해 영역의 증감을

확인하였지만 모델이 주로 형성되는 PSA와 RSA 의 영역에서 살펴본다면, 설계 공차 및 외란에 의해 변경될 수 있는 범위 내에서는 대부분 안정적 이라는 결론을 얻을 수 있다. Fig.7 은 ULC의 상태 행렬 별 경향을 나타낸 것으로 각 상태 행렬을  $\pm 5\%$ 로 변화시켰을 때 영역의 증감을 도시한 것이다. LC와 마찬가지로 상태 2 에서의 행렬 값들이 주로 영역의 변동에 영향을 끼치고, 상태 3 과 4 는 영향이 미비함을 확인할 수 있다. 상태 2 에서 state  $2_{12}$ 는 감소할수록 안정 영역이 증가하고, state  $2_{13}$ ,  $2_{22}$ ,  $2_{33}$ ,  $2_{44}$ 는 감소할수록 안정 영역 또한 감소함을 확인할 수 있다. LC에 비해 선형적인 결과를 도출할 수 있는데, 이는 ULC의 안정 영역이 LC보다 작아 상태 행렬의 변화에 더욱 민감하게 나타 낼 수 있기 때문이다. 주어진 결과를 토대로 언로드 시에 안정적인 영역을 확보하기 위해 ULC의 안정 영역을 넓힐 수 있도록 state  $2_{12}$ 를 감소시키고, state  $2_{22}$ 를 증가시키는 서스펜션 모델을 설계하는 것이 바람직하겠다.

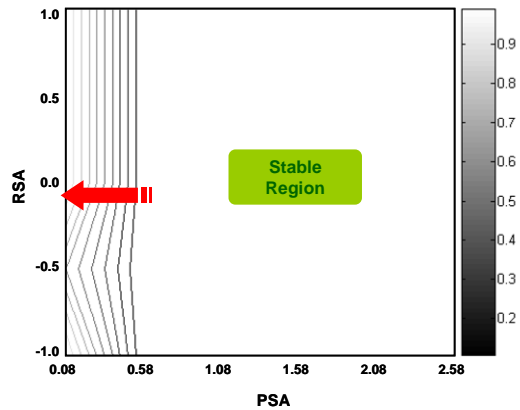


Fig.4 LC of initial model

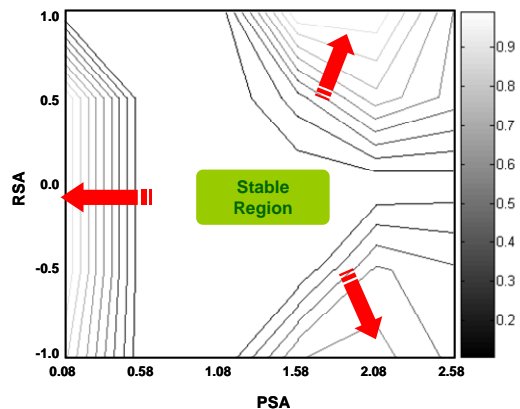


Fig.5 ULC of initial model

## 참고문헌

- (1) D.B. Bogy et al., "Design and operating conditions for reliable load/unload systems," *Tribology International* 33, pp.357-366, 2000.
- (2) J.R. Yaeger, "Ramp loading "sweet spots", *Microsystem Technologies* 8, pp.41~46, 2002.
- (3) J.R. Yaeger, "Ramp unloading "footprints", *Microsystem Technologies* 8, pp.22~26, 2002.
- (4) Q.H. Zeng et al., "Effects of Certain Design Parameters on Load/Unload Performance," *IEEE Trans. Magn.*, Vol.36, No.1, pp.140~147, 2000.
- (5) Q.H. Zeng et al., "A Simplified 4-DOF Suspension Model for Dynamic Load/Unload Simulation and Its Application," *ASME, Journal of Tribology*, Vol.122, pp.274~279, 2000.
- (6) Hideaki Tanaka et al., "Effect of Air-Bearing Design on Slider Dynamics During Unloading Process," *IEEE, Trans. Magn.*, Vol.37, No.4, pp.1818~1820, 2001
- (7) 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
- (8) M. Suk. et al., "Effect of mechanical design of the suspension on dynamic loading process," *Microsystem Technologies.*, Vol.11. No.8-10, pp.846~850

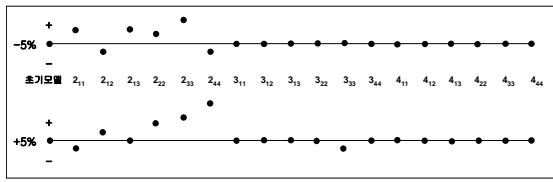


Fig.6 State matrix tendency of LC

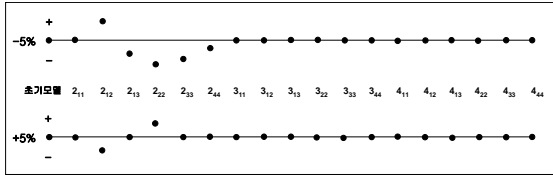


Fig.7 State matrix tendency of ULC

### 2.4 상태행렬의 물리적 해석

상태 2 를 생각해보면 디스크에서 슬라이더가 분리되지 않은 채 탭이 램프에 닿아 있는 상태로 탭은 램프에 접촉되어 있고, 딥플 역시 접촉되어 있지만 리미터는 접촉되어 있지 않은 상태이므로 슬라이더의 L/UL 시 탭이 램프와 떨어지는 순간, 혹은 부딪치는 순간 충격에 의한 슬라이더의 진동이 매우 크게 작용하기 때문에 주로 상태 2 가 민감하게 적용되는 것으로 생각된다. 상태 3 는 매우 짧은 순간 진행되기 때문에 그 값이 미비하며, 상태 4 는 리미터의 영향으로 서스펜션의 강성이 증가하므로 미비할 것으로 생각된다.

## 3. 결론

LC의 경우, 모델이 주로 형성되는 PSA와 RSA의 영역에서 살펴본다면, 설계 공차 및 외란에 의해 변경될 수 있는 범위 내에서는 대부분 안정적이라는 결론을 얻었다. 또한, ULC의 경우에는 안정 영역이 LC보다 작아 상태 행렬의 변화에 더욱 민감하게 나타낼 수 있기 때문에 언로드 시에 안정적인 영역을 확보하기 위해 state  $2_{12}$ 를 감소시키고, state  $2_{22}$ 를 증가시키는 서스펜션 모델을 설계하는 것이 바람직하겠다.

## 후 기

본 연구는 연세대학교 정보저장기기 연구센터 [CISD]와 삼성전자 스토리지 사업부의 지원을 받아 이루어졌으며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.