

진동저감을 위한 HDD용 Disk Clamp의 최적설계

Optimal Design of Disk clamp to Reduce RRO in a Hard Disk Drive

이행수* · 고정석** · 황태연** · 정우철***

Haeng Soo Lee, Jeong Seok Koh, Tae Yeon Hwang and Woo Cheol Jeong

Key Words : Disk Clamp, Stress Distribution, Clamping Force

ABSTRACT

The role of disk clamp is to fasten disks to motor and to prevent the slip of disks during operation. This paper examined the effects of the design parameters of disk clamp - thickness, contact radius and cross-sectional shape - on the clamping force and circumferential stress distribution of disk. The large stress variation in circumferential direction results in large disk waveness and will increase repeatable run-out (RRO) finally. The disk clamp-disk-disk spacer system is modeled and the FE analysis is performed by ANSYS. The disk clamp with large contact radius shows more uniform stress distribution than the one with small contact radius, and the stiffness variation around circumferential direction or the addition of the bending section can make stress distribution uniform.

1. 서 론

대용량화, 고속화되어가고 있는 HDD는 기록밀도 특히 TPI(tracks per inch)측면에서 현재 100kTPI급 제품개발이 진행중이며 이의 달성을 위하여 스피들-디스크 시스템의 진동특성제어는 필수적이다.

또한 HDD의 시장은 점차 증가하고 있는 AV시장에서의 HDD 사용에 대한 수요에 대응하기 위하여 기본적인 신뢰성의 만족뿐만 아니라 가격의 저감이 필수조건이 되었다. 물론 HDD 수요의 대부분을 차지하는 PC용 HDD에서도 현재 저가격 소용량 제품이 점차 증가하고 있다. 이를 만족하기 위하여 디스크의 한쪽 면만을 사용하거나 부품들의 제작측면에서도 기존의 가공에 의한 제작에서 SUS등의 재료를 stamping과 같은 저가의 방법으로 제작함으로써 제작단가를 낮추어가고 있는 추세이다.

일반적으로 HDD는 정보의 기록 또는 재생을 위해 고속 회전하는 디스크 상에 극히 낮은 비행 높이를 유지한 채 부상하는 헤드를 사용한다. 이 때문에 극히 작은 분진이나, 디

스크 자체 또는 조립 과정에서 야기되는 평활도 불량은 헤드 가 데이터 신호를 디스크상에 쓰거나 또는 디스크로부터 읽을 때 에러신호를 유발시키게 되므로 조립 공정상 상당한 주의를 기울여야 한다. 더욱이 스크류를 통하여 일정한 clamping force를 가하는 disk clamp의 구조에서는 스크류 체결력에 의해서 스크류가 체결되는 부위와 스크류가 체결되지 않은 부위 간에는 응력의 차이가 발생하게 된다. 이로 인해 디스크상에 waveness가 발생하게 되고 디스크의 평활도에 변형이 발생하여 회전시 진동특성에 영향을 미칠 수도 있으므로 disk clamp의 설계에 세심한 주의가 요구된다.

본 연구의 목적은 clamping force로 디스크를 고정시킬 때 디스크에 균일한 응력이 분포하도록 하여 디스크의 평활도를 향상시키는 disk clamp의 형상 파라메타의 영향을 고찰하고자 한다.

2. Disk clamp의 역할 및 영향

Disk clamp는 그림 2-1과 같이 디스크를 사용한 HDD system에서 디스크를 모터 허브에 고정시켜 디스크가 안정하게 회전할 수 있게 하는 역할을 하는 부품이다. Disk clamp가 디스크를 누르는 clamping force는 충분히 커서 충격이나 thermal shock이후에도 디스크의 미끄러짐 현상이 발생하지 않아야 하며, 또한 디스크에 작용하는 clamping force가 원주방향을 따라 일정하여 디스크면의 원주방향 응

* 삼성종합기술원 Storage Lab
E-mail : hsoolee@samsung.com
Tel : (031) 280-8046, Fax : (031) 280-6055

** 삼성종합기술원 Storage Lab

*** 삼성전자 스토리지사업부 개발팀

력분포가 균일하도록 하여 HDD spindle-disk system의 진동특성이 향상되도록 하는 성능이 요구된다.

스핀들 모터에 디스크를 장착하는 체결순서로는 그림 2-1의 HDD구성 단면도에서와 같이 모터의 허브위에 높이를 조절하기 위한 disk spacer를 위치한 다음 그 위에 디스크를 안착시키게 된다. 디스크를 모터와 고정시키기 위하여 스크류를 통해 disk clamp를 허브에 고정시키면서 disk clamp가 디스크를 고정하게 된다. 그림 2-2에 4개의 스크류를 사용하는 disk clamp의 예를 도시하였는데 8개의 스크류 hole 중에서 90° 각도로 4개의 hole에 스크류를 체결하게 된다. 이때 원주방향을 따라 스크류가 체결되는 부분과 스크류가 체결되지 않는 부분에서 디스크를 누르는 clamping force가 차이가 나게 되고 이 차이로 인한 디스크 wavenss는 디스크의 회전시 진동, 특히 inner diameter위치에서의 RRO(repeatable runout)를 크게 하는 요소가 된다.

이와 같은 disk clamp의 문제점을 해결하여 기본성능을 향상시키기 위하여 thermal fitting방식을 이용한 disk clamp[1] 또는 inner rotor방식의 모터의 경우 disk clamp의 중심에 하나의 스크류만을 사용하는 것등 여러 형태의 disk clamp가 제안되어 사용되고 있다. 이러한 disk clamp는 HDD제조회사의 제작방법, 기구적 특성과 연관되어 설계되어지고 있으므로 본 연구에서는 현재 삼성 HDD에 적용되고 있는 outer rotor motor에 맞추어 motor hub면에 스크류를 사용하여 체결하는 방식의 disk clamp에 대한 파라메타 분석을 수행하여 최적의 설계를 하고자 한다.

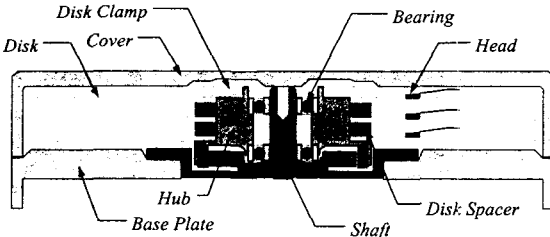


그림 2-1 Hard Disk Drive의 구성도

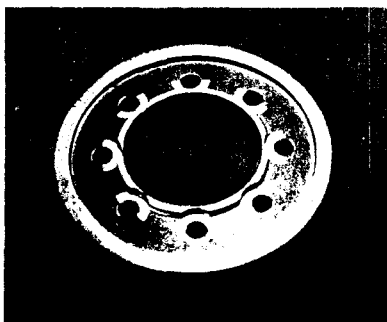


그림 2-2 Disk clamp의 평면도

3. Disk clamp의 Modeling

3.1 3차원 Modeling

그림 3-1에 3차원 수치해석모델을 도시하였다. 수치해석에는 상용프로그램인 ANSYS를 이용하였다. 모델은 하나의 disk spacer, 하나의 디스크와 disk clamp로 구성되는데 대칭을 이용하여 전체의 1/4만을 모델링한다. 디스크의 두께는 1.27mm(50mil)이고 해석시간의 단축을 위해 지름 42mm까지만 모델링하였다. disk clamp중심으로부터 스크류 hole 중심까지의 반경 R_s 는 10mm로 고정하였다. 디스크의 아래면과 spacer의 윗면, 디스크의 윗면과 disk clamp사이에는 contact element를 사용하였고 spacer의 아래면에서 높이 방향 자유도만을 구속하였다. 스크류를 통하여 disk clamp에 가해지는 힘은 전체 890N(=200lbf)로 하나의 screw hole에는 222.5N이 가해지게 된다.

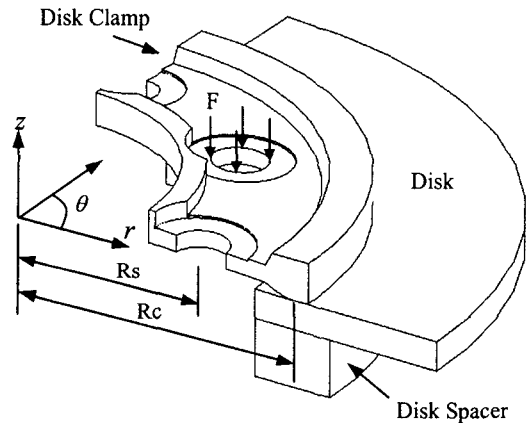


그림 3-1 3차원 Modeling

3.2 Clamping Force와 응력분포

Disk spacer 윗면의 각 node point에서의 z-방향 응력에 면적을 곱하여 디스크에 작용하는 clamping force를 계산할 수 있다. 디스크에 작용하는 응력의 원주방향 균일성을 판별하기 위해서 disk clamp와 디스크가 접촉되는 반경 R_c 를 따라 디스크 윗면의 z-방향 응력을 계산하고 그 응력의 원주방향 분포로서 균일성을 판별하며 또한 그 응력의 주파수 분석을 통하여 disk wavenss를 판별할 수 있다.

4. 설계 파라메타의 분석

그림 4-1에 접촉반경 R_c 가 14.5mm인 여러 disk clamp의 모델을 도시하였는데 그림 4-1 (a)의 model 1은 기존의 HDD

에서 사용중인 AL7075재질의 disk clamp형상이다. 그림 4-1 (b)는 stamping제작에 의해 제작단가를 낮추고자 설계한 0.8t의 SUS disk clamp이고 그림 4-1 (c)는 두께변화에 의한 특성을 보기 위한 같은 형상의 0.6t의 SUS disk clamp이다. 이러한 제품들은 원주방향으로 스크류가 체결되는 부분과 스크류가 체결되지 않는 부분에서 동일한 강성을 가지도록 설계되어 disk clamp에 스크류가 체결되었을 때 원주방향으로 동일한 힘으로 디스크를 누르지 못하고 스크류가 체결되는 부분에서 clamping force에 의해 응력집중이 일어나게 된다. 이로 인해 디스크면에서의 응력이 스크류가 체결되는 부분과 스크류가 체결되지 않은 부분에서 차이가 커지게 되는데 그림 4-1 (d)는 그림 4-1 (c)의 disk clamp의 수정모델로서 disk clamp의 원주방향으로 스크류가 체결되는 부분에서의 외주높이 H_{max} 가 스크류가 체결되지 않은 부분에서의 외주높이 H_{min} 보다 크며 또한 H_{min} 에서 H_{max} 까지 선형적으로 증가하게 하여 스크류가 체결되지 않은 부분에서의 강성을 증가시켜 원주방향으로 일정한 clamping force가 작용하게 설계한 모델[2]이다.

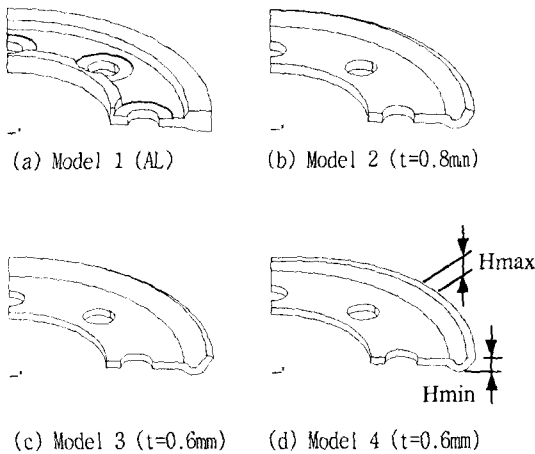


그림 4-1 Disk clamp의 model (Rc = 14.5mm)

그림 4-2에 디스크면의 반경 Rc에서의 원주방향 응력분포를 나타내었고 그 분포로부터 계산된 주파수분석을 그림 4-3에 나타내었다. 또한 표 4-1에 각 모델에 대한 응력의 최대-최소치의 차이, 디스크에 작용하는 clamping force와 disk clamp의 안쪽면에서의 z-방향 최대 변위를 비교 분석하였다. 응력의 최대치와 최소치의 차이를 비교할 때 0.8t의 SUS model의 경우가 가장 큰 차이를 보이고 또한 그 주파수분석에서도 회전체에 대한 4x성분과 8x성분이 가장 커 디스크의 waveness가 좋지 않음을 알 수 있다. 두께가 얇아지면서 응력의 분포가 균일해지며 특히 model 4의 경우 그 분포가 현저하게 좋아져 원주방향의 강성변화가 응력분포의 균일성에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

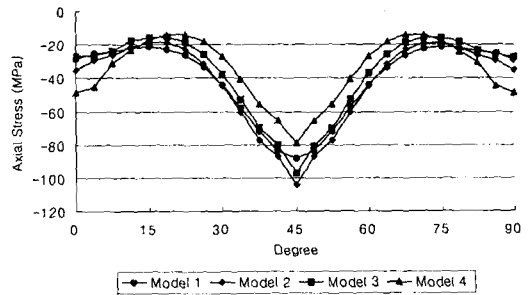


그림 4-2 Stress Distribution at Rc=14.5mm

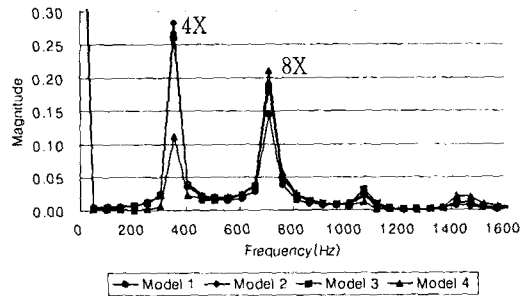


그림 4-3 Frequency Spectrum of Stress (Rc=14.5mm)

표 4-1 Clamping force와 응력분포의 비교

Model	# 1	# 2	# 3	# 4
$\sigma_{max}-\sigma_{min}$ (MPa)	67.1	85.5	81.7	65.0
Clamping Force (N)	290	294	271	261
Deflection (mm)	0.597	0.469	0.700	0.700

Clamping force를 비교할 경우 0.8t의 SUS재질을 사용한 model 2의 clamping force가 가장 크게 나왔고 두께가 얇아지면 clamping force가 현저히 줄어들음을 알 수 있다. 특히 그림 4-1 (d)의 원주방향 강성을 변화시킨 model 4의 clamping force는 크게 작아 같은 힘으로 스크류를 조였을 때 충격에 의한 disk slip의 우려가 있다.

그러나 clamping force가 동일한 경우만을 비교하여 보기 위하여 model 2의 disk clamp에서 스크류 hole에 가하는 하중을 줄여 clamping force가 model 4의 261N과 같은 값이 되게 한 경우 응력의 최대최소치의 차이는 77.6으로서 model 4의 65.0에 비하여 크게 나타나 동일한 clamping force가 가해질 경우 disk clamp의 형상에 따라 디스크 waveness가 달라짐을 알 수 있다.

Disk clamp의 설계시 또 하나의 중요한 인자는 screw position Rs와 disk clamp가 디스크와 접촉하는 위치 Rc와

의 상대적인 위치이다. Screw position과 disk clamp의 접촉위치가 멀면 멀수록 clamping force에 의한 응력집중이 분산되어 디스크를 눌러주는 힘의 분포가 원주방향으로 균등하게 해 주는 것이 가능하다. 또한 Rc가 커지면 디스크의 고정면이 넓어져 디스크의 flutter가 줄어드는 효과도 볼 수 있다. 그림 4-4 (a)는 그림 4-1 (b)의 0.8t의 SUS 모델과 동일한 형상으로 Rc만을 14.5mm에서 15.5mm로 1.0mm증가시킨 모델이다. 그리고 그림 4-4 (b)와 4-4 (c)는 disk clamp의 단면형상에 추가구배를 주어 disk clamp와 디스크가 접촉하는 지점의 응력집중을 추가구배에서 어느 정도 흡수하여 원주방향 응력을 균일하게 하고자 한 모델이다.

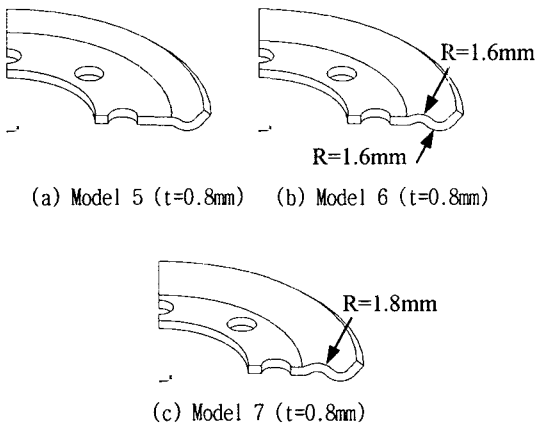


그림 4-4 Disk clamp의 model (Rc = 15.5mm)

표 4-2의 clamping force와 그림 4-5의 응력분포를 비교하여 볼 경우 clamping force의 차이는 크지 않지만 추가구배를 가진 모델의 응력분포가 그렇지 않은 모델에 비해 균일하고 또한 추가구배의 반경이 클수록 더 균일해짐을 알 수 있다.

또한 같은 형상, 같은 두께이고 접촉반경 Rc만 다른 모델인 model 2와 model 5를 비교할 때 접촉반경이 커지면 응력분포가 훨씬 균일해짐을 알 수 있다.

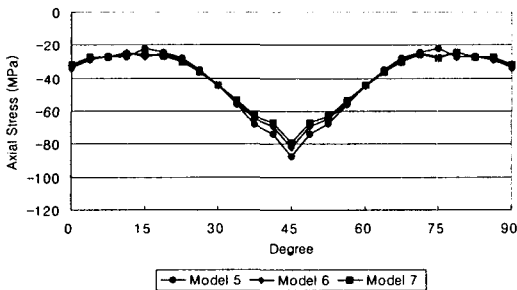


그림 4-5 Stress Distribution at Rc=15.5mm

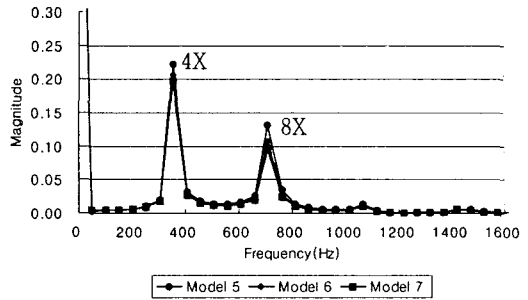


그림 4-6 Frequency Spectrum of Stress (Rc=15.5mm)

표 4-2 Clamping force와 응력분포의 비교

Model	# 5	# 6	# 7
$\sigma_{max}-\sigma_{min}$ (MPa)	65.5	57.6	54.4
Clamping Force (N)	292	288	282
Deflection (mm)	0.589	0.554	0.503

5. 결론

본 논문에서는 디스크를 spindle motor에 고정시키는 부품인 disk clamp의 형상 파라메타들이 clamping force와 응력분포의 균일성에 미치는 영향을 고찰하였다. 저가격화가 진행되고 있는 HDD에 맞추어 stamping에 의해 제작된 disk clamp의 원주방향 강성, 두께, 디스크와의 접촉위치 등의 영향을 비교하였다. 설계의 기본은 디스크와 접촉위치에서의 응력집중을 최대한 줄일 수 있도록 스크류와 접촉위치 간의 거리를 충분히 크게 하는 것과 접촉위치에 앞서 형상에 구배를 주거나 원주방향의 강성을 변화시켜 응력집중을 줄이는 것이다. 그러나 이 때 외부충격등에 의한 disk slip 현상을 방지하기 위하여 적절한 두께등을 고려하여 clamping force또한 충분하도록 설계되어야 한다.

참고 문헌

- (1) Canlas, E. Gatmaitan, Misra and Ambrish, "Shrink-fit Disk-clamp for hard Disk Drives," U.S. Patent No. 5940244, 1999.
- (2) Lindrose and A. Michael, "Disk Clamp with Contoured Peripheral Wall Height," U.S. Patent No. 5880906, 1999.