

Mobile Storage 용 초박형 Spindle Motor 의 구조적 최적화

성부현* · 김수형* · 홍순교*

Structural Optimization of Ultra Slim Spindle Motor for Mobile Storage

Bu-Hyun Sung · Soo-Hyung Kim · Soon-Kyo Hong

Key Words : mobile(모바일), spindle motor(스핀들모터), flat(박형), storage(저장장치)

Abstract

Storage drives for mobile devices, such as laptop computers or PDAs, are changing now. The data density of storage drives is becoming higher and sizes of those are becoming smaller and thinner. Spindle motors for rotating disk are also becoming smaller and thinner. But, large torque is required to reduce seek time. In this research, inner rotor type spindle motor suitable for thin thickness has been developed. Rotor and stator are optimized structurally for large torque performance with small size. Especially, high vibration and shock performances, which are essential to mobile devices, are analyzed in detail.

기호설명

- k_t : 토오크상수
- k_e : 역기전압상수
- J : 디스크의 관성모멘트
- T_D : 점성마찰부하
- T_L : 외부부하
- τ_M : 기계시정수
- ρ : 공기의 밀도
- ν : 유체의 동점성계수
- r : 전기저항
- R : 디스크의 반경

1. 서론

최근 정보저장장치는 정보화시대의 요구에 의해서 그 수요가 점점 폭발적으로 확대되어가고 있으며, 성능 또한 괄목하게 향상되어가고 있다. 정보저장장치에 있어서 근래의 기술적 요구사항은 대용량화와 이동성을 위한 소형화이다. 특히 저장장치(drive)의 소형화가 요구되는 이유는 그 저장

장치를 이용하는 디지털 비디오카메라(digital video camera)나 노트북 컴퓨터(note PC)와 같은 기기들이 이동성을 위해서 소형화의 필요성이 보다 중요해지고 있기 때문이다. 그런데 정보저장장치의 큰 부분을 차지하고 있는 디스크 저장장치(disk drive)에 있어서는 그 핵심부품인 스핀들 모터(spindle motor)에 의해서 장치의 소형화가 결정된다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 위와 같은 이유로 광디스크(optical disk) 저장장치의 소형화에 중요한 역할을 하는 스핀들 모터의 소형화와 그에 의해서 야기되는 진동충격에 대한 열악한 특성에 대해서 연구하였으며, 개발을 통하여 그 결과를 고찰하였다. 개발된 스핀들 모터는 높이 10mm 이하의 박형 디스크 저장장치에 적용가능 하도록 제작되었다. 이를 위하여 스핀들 모터를 박형으로 설계하였으며 저장장치 내에 픽업(pick-up)등의 기타부품을 위한 공간을 확보하기 위하여 스핀들 모터의 구조를 최적화 시키는데 중점을 두었다. 그리고 저소비전력, 빠른 탐색시간(seek time), 저진동 및 저소음등의 특성을 만족시키도록 전기적, 기계적인 특성을 충분히 고려하여 스핀들 모터를 설계 제작하였다. 특히 제작 후 이동성기기의 중요한 요구특성인 진동충격의 대응성에 대해서 깊게 분석하였다.

* 삼성전자 DM 연구소

2. 이론 및 설계

2.1 모터의 구성

본 연구에서 개발된 모터는 광디스크 저장장치로 사용될 것을 목적으로 하여 장수명과 가변속도 제어를 위한 브러시리스 DC 방식을 채택하였다. 또한 높은 토크를 위하여 24극 18슬롯의 구조와, 박형화에 가장 유리한 구조인 인너 회전자(inner rotor) 방식과 센서리스(sensorless)구동방식을 채택하였다. 모터의 구조를 박형화하는 것 외에도 저장장치내의 다른 부품들을 위하여 공간을 최대한 활용할 수 있도록 모터 구조를 그림 1과 같이 박형의 구조로서 최적화시켰다. 본 모터의 간략한 설계 사양을 아래 표 1에, 형상을 그림 1과 2에 나타내었다.

표 1 모터의 설계사양
Table 1 Specification of motor

정격전압	5 Volt
Pole/Slot	24/18
토크상수	0.0031 Nm/A
정격회전수	4500 rpm
모터외경	38.0 mm
모터높이	7.6 mm

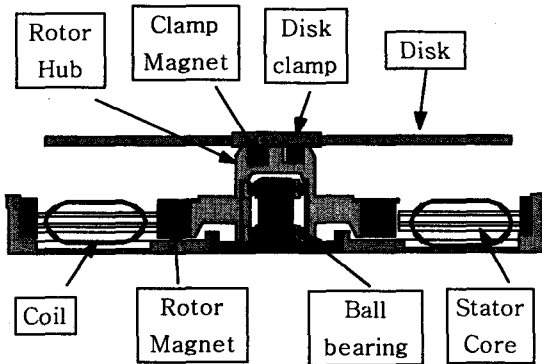


그림 1 모터의 형상
Fig.1 Schematic diagram of motor

2.2 모터의 박형화

그림 1과 2에서 알 수 있듯이 저장장치의 기판(base)을 모터의 기판으로 공용화함으로써 저장장치의 높이를 최대한 낮출 수 있도록 하였다. 디스크 크래мп는 자성체로서 크래мп 마그네트와 자기

력으로 고정된다. 광픽업(optical pick-up)의 이동을 위한 공간을 충분히 확보할 수 있도록 디스크 하부면과 코일 사이의 공간을 최대화시키기 위하여 스테이터(stator)를 박형화 시켰다. 이때 스테이터의 높이는 약 2.5mm로 박형화 되었다.

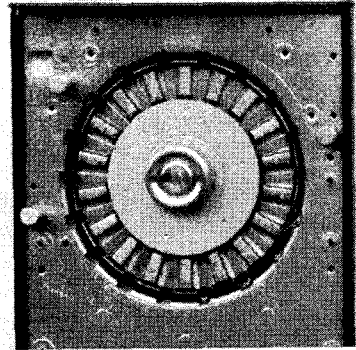


그림 2 모터의 사진
Fig.2 Photograph of motor

2.3 로터의 구조

디스크의 기록용량을 높이기 위해서는 광픽업이 디스크의 내외경 양방향으로 최대한 이동할 수 있어야 한다. 광픽업이 디스크의 내경쪽으로 이동하는 범위는 로터허브(rotor hub)의 측면까지이므로 로터허브는 외경을 최소화 시키는 것이 중요하고 높이를 박형화 시키는 것은 중요하지 않다. 대신에 로터허브는 로터의 진동특성을 향상시키기 위하여 베어링간의 거리(span)를 가능한 길게 유지시키도록 설계하였다. 그리고 디스크가 로터허브에 장착될 때, 디스크와 로터허브의 동심도를 높이는 것은 모터구동시 진동문제 외에도 소비전력 및 제어특성을 향상시키는데 있어서 매우 중요하다. 1). 저장장치를 최대한 박형화시키기 위해서는 현재에 대부분의 디스크저장장치에서 이용되고 있는, 즉 디스크를 상하로 크게 이동시킴에 의하여 동심을 맞추는 방식은 채택되지 말아야만 한다. 따라서 본 연구에서는 디스크가 크래мп 마그네트에 의하여 부착될 때 원활히 미끄러질 수 있도록 로터허브 상면의 미끄러짐 각도를 최적화 시킴에 의하여 동심도를 높일 수 있도록 하였다.

2.4 탐색시간(seek time)향상을 위한 모터의 특성설계

모터의 특성방정식은 아래식(1), (2)와 같다.

$$T = k_t I \quad (1)$$

$$T = J\alpha + T_D + T_L \approx J\alpha \quad (2)$$

식 (2)에서 T_D 는 점성마찰부하, T_L 은 외부부하이다. 본 저장장치의 디스크는 직경이 50mm 이하므로 점성마찰부하 T_D 는 무시할만하다. 또한 외부 부하는 작용하지 않으므로 T_L 은 무시된다. 따라서 위 식(1), (2)를 모터상수의 식으로 전개시키면 아래식(3)과 같다.

$$k_t I = J\alpha = J \frac{\omega_2 - \omega_1}{t} \quad (3)$$

식(3)에 의하여 토오크상수와 소비전류값을 산출하였는데, 표 1에서의 토오크상수값은 식들에 의하여 산출된 값에 마진을 포함하여 설계된 값이다. 또한 기계시정수는 아래 식(4)와 같다.

$$\tau_M = \frac{Jr}{k_t k_e} \quad (4)$$

빠른 탐색시간을 위해서는 식(4)에서의 디스크의 관성모멘트 이외에도, 베어링의 마찰 및 디스크의 점성부하를 고려하지 않을 수 없다. 여기서 디스크의 점성부하는 아래 식(5)와 같다(2)3).

$$T_D = 0.073 \rho \omega^2 R^5 \left(\frac{V}{\omega R^2} \right)^{1/5} \propto CR^{4.6} \omega^{1.8} \quad (5)$$

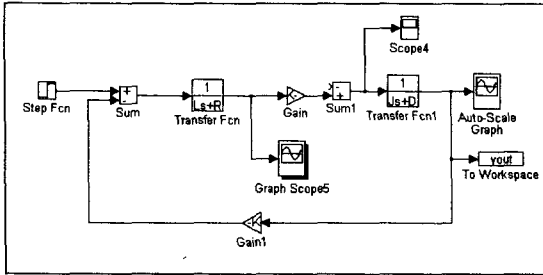


그림 3 Matlab을 이용한 DC모터의 전달함수 블록도

Fig.3 Block diagram of DC motor by matlab

즉, 디스크의 점성부하는 회전수의1.8제곱에 비례하며 디스크 반경의 4.6제곱에 비례한다. 따라서 디스크의 직경을 작게 하는 것은 소비전력을 낮추기에 유리한데, 그 이유로서는 디스크의 관성모멘트가 감소되는 것 외에도 점성부하가 디스크의 반경에 4.6제곱이라는 큰 비율로 비례하기 때문이다. 본 연구에서는

탐색시간의 성능과 관계한 모터의 성능을 설계하기 위하여 기동시간을 매트랩(matlab)을 이용하여 그림 3과 같이 블록도를 구성하여 시뮬레이션 하였다. 표 1의 모터특성과 위 식들을 이용하여 시뮬레이션 한 모터의 기동시간은 아래 그림 4와 같다. 본 드라이브의 정격회전수가 4500rpm이므로 4V 이상으로 구동시 약 0.1초 이내로 기동이 됨을 그림 4에서 알 수 있다.

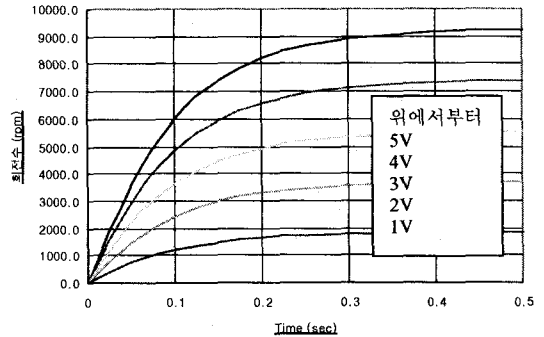


그림 4 각 입력전압에 따른 기동시간
Fig.4 Spin up time by each input voltage

3. 실험 및 결과

3.1 주요 평가결과

모터에 대한 주요 평가결과는 아래 표 2와 같다. 여기서 (R)은 모터의 반경방향울, 그리고 (A)는 모터의 축방향울 나타낸다. 소비전류가 36mA 이고 기동시간이 0.2sec로서 두 가지 성능이 매우 만족스럽게 나타나는 것으로 보아, 전자기적으로나 기계적으로 모터가 잘 설계되었음을 알 수 있다. 그리고 볼베어링에 의해서 발생하는 비반복성 떨림(NRRO : non repeatable runout) 성분과 반복성 떨림(RRO : repeatable runout) 성분에 의한 각 진동에 대한 평가도 우수한 결과를 보이고 있다.

표 2 모터의 주요 평가결과

Table 2 Important test results of motor

Items	Characteristics
Running current	36 mA
Spin Up Time	0.2 sec
NRRO	0.096 μ m(R), 0.38 μ m(A)
RRO	2.3 μ m(R), 9.2 μ m(A)

3.2 충격평가

모터에 대한 충격을 평가하기 위하여 충격실험 장치에 모터를 고정시킨 뒤, 자유낙하 시키어 그림 5의 그래프와 같이 700G/2ms로 충격을 가했다. 충격실험 후 평가한 모터의 50%에 대해서 소음 및 진동이 아래 표 3과 같이 증가되는 문제가 발생하였다.

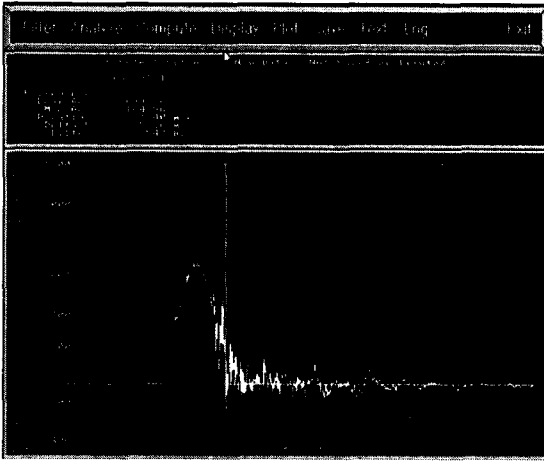


그림 5 충격 실험
Fig.5 Profile of shock test

표 3 충격실험에 의한 모터의 변화
Table 3 Change of the motor due to a shock test

	충격전	충격후
소음(dB)	44.8	64.4
NRRO(μ m)	0.33	0.50

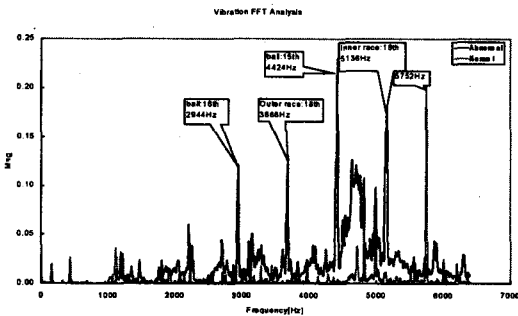


그림 6 진동의 FFT분석 결과
Fig.6 FFT analysis result of vibration

따라서 본 연구에서는 이에 대한 원인을 규명하

고자 진동특성을 분석하였는데 그 결과가 그림 6과 같이 나타났다. 그림 6에서 아래의 그래프는 정상(normal)모터이고, 위의 그래프는 충격실험 후 손상된 비정상(abnormal)모터이다. 위 그래프의 주파수중에서 2,944Hz 및 4,424Hz는 베어링의 볼(ball)과 관련된 주파수이고 3,688Hz 및 5,136Hz는 베어링의 레이스(lace)와 관련된 주파수이다. 따라서 정상모터의 그래프에서는 볼 수 없는 베어링의 주파수가 손상된 모터의 그래프에서는 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이렇게 보았을 때 700G/2ms의 충격아래에서는 모터의 베어링이 파손된다는 사실을 알 수 있었다. 베어링의 파손을 보다 확실하게 파악하고자 베어링의 내부를 현미경으로 관찰하였는데, 그 결과 아래 그림 7과 같이 인너 레이스(inner lace)에서 파손상태를 확인할 수 있었다. 그림 7에서 처럼 파손상태는 베어링의 중방향의 굽힌 자국으로써 소음악화의 원인이 되었다고 볼 수 있다.

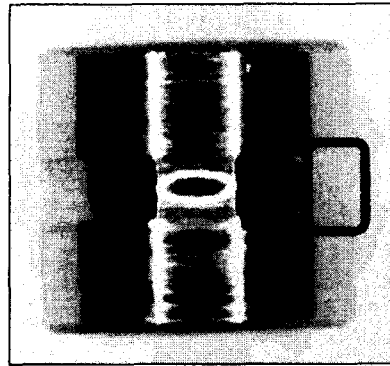


그림 7 베어링 인너 레이스의 파손부위
Fig.7 Scratch of inner lace

4. 결론

본 논문에서는 이동성기기들의 정보저장장치가

소형화됨에 의해서 요구되는 스피들모터의 소형화에 대해서 연구하였다. 이를 위하여 광디스크 저장장치에 사용될 24극 18슬롯의 구조인 인너 회전자(inner rotor) 방식의 브러시리스 DC 모터를 개발하였다. 모터는 박형화에 중점을 두고 설계되었으며 허브의 구조 및 로터방식도 박형화를 위하여 최적화되었다. 박형화 되었음에도 빠른 탐색시간이 요구되고 있으므로, 해석을 통하여 고출력 특성의 모터로 설계하였다. 제작 후 모터의 평가를 통하여 소비전류나 탐색시간 등과 같은 전기적인 특성뿐만이 아니라, 비반복성 떨림(NRRO)성분 및 반복성 떨림(RRO)성분 등과 같은 기계적인 특성도 만족스럽게 나타냄을 확인하였다. 이는 모터가 소형화 되었음에도 불구하고 전체적인 성능을 위한 설계 및 제작이 잘 되었다는 것을 말해준다고 볼 수 있는 것이다. 그러나 충격실험을 통하여 베어링이 파손되는 결과가 나타났는데, 모터의 소형화에 의해서 내구성이 약한 소형의 베어링을 사용하지 않을 수 없는 현실임을 볼 때, 이에 대한 연구가 더욱 필요하다고 본다.

참고문헌

- (1) Seiji TADA and Shigeo YANABE and Yoshihisa INOUE, "Axial Vibration of Optical Disk Spindle System", 일본기계학회논문집(C편), 62 권, 604 호, pp. 4469-4476, 1996.
- (2) Hermann Schlichting, Boundary-Layer Theory, McGraw-Hill, 7th edition, ch.5.
- (3) 성부현외 3인, "고성능 레이저프린터용 고속 스캐너모터", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 A, pp. 829-836, 2000.
- (4) "광디스크의 측정 평가기술", 일본공업기술센터, 253. 1988.