

VCM 액추에이터의 전자기력을 이용한 HDD 래치 설계

A HDD Latch Design Using Electro-magnetic Force of VCM Actuators

김 경 호*·오 동 호*¹·신 부 현**·이 승 업*²

Kyung-Ho Kim, Dong-Ho Oh, Bu-Hyun Shin and Seung-Yop Lee

(2009년 3월 11일 접수 ; 2009년 7월 22일 심사완료)

Key Words : Magnetic Latch(자석 래치), VCM Actuator(보이스 코일 모터 액추에이터), Electromagnetic Force (전자기력), Inertia Latch(관성 래치), Load/Unload(로드/언로드), Ramp(램프), Contact Start Stop (접촉 구동 방식), Hard Disk Drive(하드디스크드라이브)

ABSTRACT

Various types of latch designs for hard disk drives using load/unload mechanism have been introduced to protect undesired release motions of a voice coil motor(VCM) actuator from sudden disturbances. Recently, various inertia-type latches have been widely used because locking performance is better than that of other types of latch. However there has been a limit in the inertia type in order to guarantee perfect latch and unlatch operations because of changes in latch/unlatch conditions due to mechanical tolerance and temperature-dependent friction. In this paper, a reliable and robust magnetic latch mechanism is proposed through only simple modifications of coil and yoke shapes in order to overcome the mechanical limit of current inertia-type latches. This new magnetic latch does not have only a simple structure but it also ensures reliable operations and anti-shock performance. The operating mechanism of the proposed latch is theoretically analyzed and optimally designed using an electromagnetic simulation.

1. 서 론

최근 컴퓨터와 네트워크를 통한 정보의 양이 많아지면서 주저장장치로서 사용되는 하드디스크 드라이브(HDD)는 고기록밀도를 달성하기 위한 치열한 기술 개발이 이루어지고 있다. 현재 대부분의 HDD에서는 정지시 마그네틱 헤드가 디스크의 일정 지역에 접촉되어있는 접촉 구동(CSS; contact start stop) 방식이 사용되어왔다. 그러나 노트북, 넷

북과 같이 주로 모바일 장치에 사용되는 2.5인치 이하 크기의 HDD는 비작동시 헤드를 디스크로부터 분리하는 로드/언로드(load/unload) 방식이 사용되고 있다. 또한, 3.5인치 HDD에서도 500 GB/in² 이상의 고기록밀도를 달성하기 위해 디스크 기록 영역을 추가적으로 확보할 수 있는 로드/언로드 방식을 사용하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

로드/언로드 방식은 비작동시 충격 대응력을 증가시킬 수 있으며, 디스크와 헤드 사이의 점착과 마모를 제거할 수 있어 디스크 표면 코팅 두께를 줄일 수 있다. 또한, 헤드가 비작동시에 언로딩(unloading) 상태로 있으므로 소비 전력을 줄일 수 있고, 헤드와 디스크 표면과의 간격을 감소시킴으로 선밀도 증가를 통한 저장 용량의 증가를 이룰 수 있다. 또한, 헤드 머지 동작이 필요 없으므로 조립이 쉽다는 장점을 갖는다⁽¹⁾.

이러한 장점을 갖는 로드/언로드 방식을 구현하

*¹ 교신저자; 정희원, 충남대학교 기계공학과
E-mail : dongho@cnu.ac.kr
Tel : (042)821-6576, Fax : (042)822-5642

*² 교신저자; 정희원, 서강대학교 기계공학과
E-mail : sylee@sogang.ac.kr
Tel : (02)705-8638, Fax : (02)712-0977

* 삼성전자 반도체총괄
** 서강대학교 기계공학과

기 위해서는 드라이브가 비동작시 외부 충격에 의해 헤드가 계단형 램프를 벗어나 디스크 표면의 데이터를 손상시키는 것을 방지해야 한다. 동시에 동작시에는 헤드가 디스크 위의 데이터 영역으로 이동하는 것을 방해하지 않고 안전하게 데이터 영역으로 로딩할 수 있는 래치 시스템이 필수적으로 요구된다.

현재까지 HDD의 래치 시스템과 관련된 연구로는 유도자기 래치, 공기 유동 래치, 솔레노이드 래치(solenoid latch), 관성 래치(inertia latch) 등이 있다. 유도자기 래치의 경우는 요크(yoke)의 슬롯(slot)을 활용하여 비작동시 액추에이터를 구속하며, 작동시 액추에이터에서 발생하는 힘에 의해 언래치되는 단순 구조이지만 서보 제어가 어렵고, 초기 전력이 많이 들어가는 단점이 있다. 공기 유동 래치(air flow latch)는 비작동시 스프링 힘에 의해 VCM 액추에이터를 구속하고 작동시 디스크 회전에 의한 공기 유동에 의해 언래치되는 구조를 가졌으며, 큰 공간이 필요하다는 단점을 가진다. 솔레노이드 래치(solenoid latch)는 비작동시 스프링 힘이 액추에이터를 구속하며, 작동시 솔레노이드에 의해 발생하는 전자기력에 의해 잠금 장치를 풀어주는 구조를 가졌으며, 큰 공간이 필요하다.

관성 래치(inertia latch)는 액추에이터와 래치의 관성력의 차이를 이용하여 큰 충격과 넓은 작동 범위에 대응할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 현재 로드/언로드 방식이 채용된 HDD에서는 대부분 관성 래치가 채용되고 있다. 하지만 드라이브에 액추에이터 작동 조건과 동일한 외부 충격이나 리바운드(rebound) 충격 조건에 완벽하게 대응하는데 한계를 가진다. 따라서 관성 래치의 한계를 극복하고 예상치 못한 움직임에서 VCM 액추에이터의 작동을 돕기 위하여 여러 가지 다양한 기능을 포함하는 관성 래치 시스템이 연구되어왔다⁽²⁻⁴⁾.

이 연구에서는 기존 관성 래치의 기본 메커니즘과 관성 래치가 가지는 성능 한계에 대하여 알아본다. 그리고 VCM 액추에이터에서 발생하는 전자기력을 이용한 새로운 개념의 래치 메커니즘을 구현한다. 이를 통해 코일에 전류가 인가되었을 때, VCM 액추에이터에 의해 발생하는 전자기력을 이용하여 래치가 자동으로 언래치되어 액추에이터가 로딩되도록 한다. 그리고 전류 비인가시 래치 요크

와 VCM 액추에이터 자석에 의한 인력에 의해 항상 래치가 락킹(locking)되어 액추에이터를 언로딩 상태로 보호하도록 한다.

2. 기존 관성 래치 시스템

관성 래치의 기본 작동 메커니즘을 살펴보면, VCM 액추에이터의 관성(actuator inertia)이 래치의 관성(latch inertia) 보다 커서 외부 충격이 발생하면, VCM 액추에이터는 회전 즉, 디스크의 데이터 영역으로 이동하려는 모멘트가 발생한다. 반면, 래치의 관성은 상대적으로 VCM 액추에이터보다 작기 때문에 상호 걸림이 발생해서 래치는 VCM 액추에이터가 임의로 회전하여 상기 자기헤드가 램프를 벗어나 디스크의 기록면으로 이동되는 현상을 방지한다. 그러나 VCM 액추에이터 로딩 조건과 유사하게 원하지 않는 외부 충격과 진동이 발생되거나 VCM 액추에이터가 래치 후크와 충돌 후 관성력에 의해 재충돌되는 현상인 리바운드 충격(rebound-shock)이 발생되었을 때, 관성 래치는 액추에이터를 완전하게 락킹(locking)하는데 한계를 가진다. 따라서 관성 래치가 가지는 한계를 보완한 여러 메커니즘이 연구되었다.

삼성종합기술원(SAIT)에 의해 래치 후크(latch hook)의 끝 단에 후크를 하나 더 추가하는 다중 멈춤쇠 래치(multi-pawl latch) 개념이 연구되어 헤드가 디스크로 이탈되는 것을 효율적으로 방지하고자 하는 기술이 연구되었다⁽²⁾. 또한, Fig. 1과 같이 작은 충격에 대하여는 VCM 액추에이터의 리트랙트 핀(retract pin)이 자석에 의해 항상 인력이 작용하여 담당하고, 큰 외부 충격에 대해서는 관성 래치에 의한 관성 영역이 담당하도록 나누어 기존 관성 래치의 단점을 보완하고자 하는 연구도 진행되었다⁽³⁾.

그러나 실제 드라이브 적용시 관성 래치와 핀과의 홀 공차, 래치 후크의 형상 공차, 자석의 위치 공차 등 관성 래치와 관련된 부품들의 공차에 의한 래치 작동 조건 변화가 발생한다. 또한, 드라이브 작동 온도 변화에 의한 래치 홀의 마찰 변화에 의한 정지마찰(stiction) 현상이 발생하여 언래치되지 않는 경우도 발생한다.

따라서 위의 제안 방식은 실제 다양한 외부 충격 및 VCM 액추에이터가 후크와 충돌 후 다시 충돌

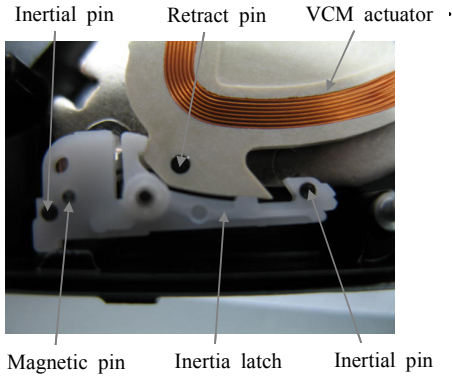


Fig. 1 Typical inertia latch structure

되는 리바운드 현상으로 인한 2중 충격에 의해 자기 헤드가 램프를 벗어나는 현상을 방지하는 역할로는 한계가 있다.

3. 마그네틱 래치 설계

3.1 구동 메커니즘

이 연구에서는 드라이브가 비작동시 다양한 외부 충격과 진동 그리고 액추에이터가 후크와 충돌 후 다시 충돌되는 리바운드로 인한 2중 충격에 의해 래치가 원하지 않게 언래치되는 문제점을 방지하고자 VCM 액추에이터의 코일과 래치의 자석에 의해 발생하는 전자기력을 이용한다. 이 방식은 VCM 액추에이터에 전류가 인가되어 로딩될 때 래치가 자동으로 열리게 되어 언래치된다. 그리고 비작동시에는 VCM 액추에이터의 자석과 래치에 부착되어 있는 요크에 의한 인력에 의해 항상 래치가 VCM 액추에이터를 락킹(locking)하게 되어 외부 충격에 대하여 드라이브를 보호한다. 따라서 기존 래치가 가지는 한계인 로딩과 락킹을 동시에 하나의 래치 시스템으로 대응할 수 있어 발생하는 문제점을 근원적으로 해결할 수 있다. 또한, 이러한 구조를 가지게 되면 VCM 오버몰드(overmold)에 리트랙트 핀과 래치 자석 볼이 필요 없게 되어 기존의 래치 구조에 비하여 구조가 간단하게 된다.

이 구동 메커니즘을 상세히 설명하면, Fig. 2와 같이 VCM 액추에이터와 VCM 자석이 있으며, VCM 자석 상하에 요크가 있어 자력을 차폐하도록 설계되어 있다. 그리고 VCM 액추에이터 코일에 전류가 인가되었을 때 래치에 전자기력을 발생하기 위해 래치

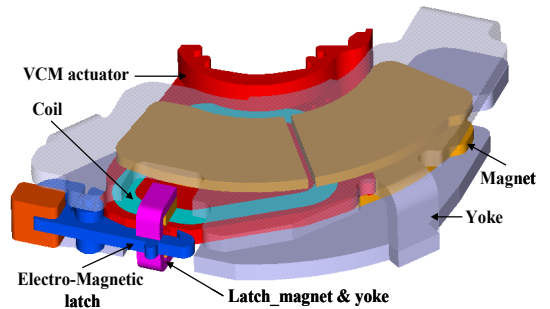


Fig. 2 Structure of the proposed magnetic latch using electro-magnetic of VCM actuator

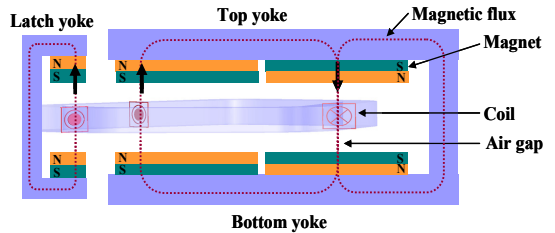


Fig. 3 Cross-sectional view of proposed electro-magnetic latch

자석과 래치 요크로 이루어진 구조를 갖는다. 또한, 래치에 코일 전류 인가시 전자기력을 발생시키기 위해 코일이 래치 쪽까지 확장되어 있다.

VCM 액추에이터가 로딩되기 위해 Fig. 3과 같이 자석의 N극과 S극이 배열되어 있으며, 코일에 시계 방향으로 전류가 인가할 때 플레밍의 왼손 법칙에 의해 VCM 액추에이터는 반시계 회전 방향으로 힘을 받게 되어 로딩하게 된다. 또한, 동시에 래치가 언래치되기 위해 Fig. 3과 같이 래치 자석의 N극과 S극이 배열되어 있으며, 코일 전류 인가시에만 코일이 받는 힘의 반작용에 의해 래치가 언래치되는 힘이 발생된다.

그러나 Fig. 3과 같이 VCM 액추에이터 코일에 전류 비인가시(언로딩시), 래치에 부착되어 있는 자석과 VCM 자석이 같은 극의 배열이 되어 척력이 작용하게 된다. 따라서 이 때 VCM 자석과 래치 자석에 의해 척력이 발생하여 래치는 항상 열리려고 한다. 동시에 래치에 부착되어 있는 요크에 의해 VCM 자석과 항상 인력이 작용하게 되어 항상 래치는 닫히려는 상태에 있다. 따라서 전류 비인가시 래치에 동시에 발생하는 인력과 척력, 두 힘의 크기를 조절하여 식 (1)과 같이 요크에 의한 인력이 크도록 설

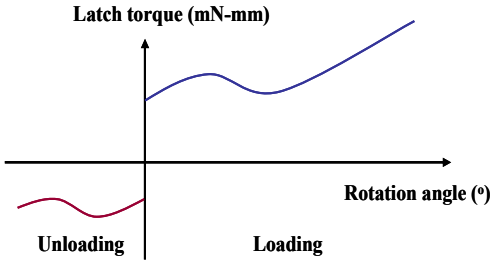


Fig. 4 Torque applied to latch in loading/unloading

계하여, 래치 요크에 의한 인력에서 래치 자석에 의한 척력을 뺀 힘만큼 래치에 힘이 작용하여 래치를 항상 락킹되도록 설계할 수 있다.

- 언로딩(unloading) 조건 : 전류 비인가시

$$T_{no_current} = T_{magnet} - T_{yoke} < 0 \quad (1)$$

- 로딩(loading) 조건 : 전류 인가시

$$T_{current} = T_{electromagnetic} + T_{magnet} - T_{yoke} > 0 \quad (2)$$

그리고 VCM 액추에이터 코일에 전류가 인가되었을 경우(로딩시), 식 (2)와 같이 VCM 코일과 래치 자석에 의해 발생하는 전자기력이 VCM 자석과 래치 자석에 의한 인력보다 더 크게 되어 래치에서 언래치하는 힘이 발생하게 되어 래치가 구속 상태에서 풀려지며 VCM 액추에이터가 로딩하게 된다.

따라서 이러한 작동 메커니즘을 VCM 액추에이터 전류 비인가시(언로딩)과 전류 인가시(로딩)시 래치에 작용하는 토크의 크기를 통해 도식적으로 나타내면 Fig. 4와 같다. 이러한 일련의 작동을 원활하게 하기 위해서는 래치 자석과 래치 요크의 크기, 두께와 VCM 자석과의 거리에 대한 최적 설계를 수행하여야 한다. 그리고 래치 작동을 위한 코일 형상 변경에 따른 액추에이터 구동을 기존 액추에이터와 비교하여 검증할 필요가 있다.

3.2 VCM 구동 토크

자석 래치를 움직임을 구현하기 위해서는 먼저 원래 VCM 코일과 다르게 Fig. 2에 보여지는 형태로 코일 부분의 형상이 바뀌는데 이러한 형상 변경이 VCM 액추에이터 구동에 영향을 주는지를 판별해야 한다. 제안한 코일 형태를 바꾼 경우와 원래의

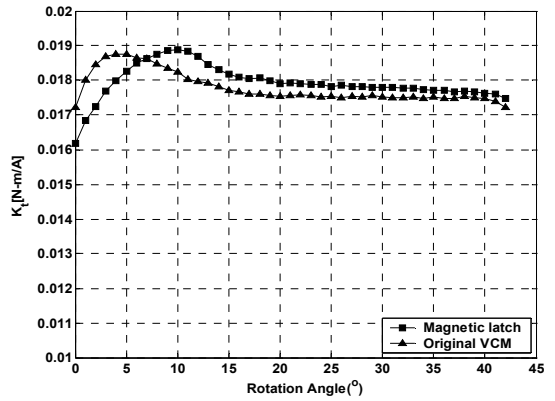


Fig. 5 Torque constant of original VCM and magnetic latch VCM

Table 1 Comparisons on the performances of VCM types

		Original VCM	Magnetic latch VCM	
K_t	Data area	Average	0.01753	0.01782
		Max.	0.01772	0.01817
		Min.	0.01722	0.01748
		Linearity (%)	1.76	1.93
Max. yoke flux [T]		2.66	2.56	

형태를 갖는 경우에 대해서 액추에이터 회전각도에 따른 코일에 가해진 단위 전류당 토크 값을 나타내는 토크 상수(torque constant, K_t) 값을 구하여 비교한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 이 연구에서는 상용 전자기 해석 툴인 J-MAG을 이용하여 전자기력 해석을 수행하였다. 상하 요크의 재질은 SPCC를 사용하였고, 자석은 희토류계 자석인 N48H(Shinetsu)를 사용하였다.

이 논문에 제안된 자석 래치의 경우, 코일 형상 변경에 의해 토크 상수 프로파일이 원래 VCM 액추에이터와 비교하여 Fig. 5와 같이 약간의 차이를 보임을 알 수 있다. 이 차이가 실제 액추에이터 구동에 영향을 주는지를 알아보기 위해 디스크의 데이터 영역인 15도에서 42도까지의 토크 상수의 최대, 최소, 평균에 대하여 원래 VCM 액추에이터와 비교하여 그 결과를 Table 1에 정리하였다.

Table 1의 결과를 통해 실제 VCM 액추에이터 구동 특성에 영향을 미치는 데이터 영역에서의 토크 상수의 경우, 원래 VCM 액추에이터의 토크 상

수 값과 비교하여 크게 벗어나지 않아 동일한 액추에이터 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

또한, 제어 측면에서의 성능을 확인하기 위해 토크 상수의 선형성(linearity)를 식 (3)과 같이 계산할 수 있다. 이 때, 기존 VCM 액추에이터에 비하여 약 0.17%의 큰 값을 갖는다. 그러나 일반적으로 선형성의 허용 오차를 4% 이내로 기준을 잡기 때문에 제어 측면에 문제가 없다. 따라서 이 연구의 자석 래치를 위해 코일 형상을 변경하는 것이 원래 VCM 액추에이터 성능에 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있다.

$$Linearity(\%) = \frac{(K_{t_Average} - K_{t_Min})}{K_{t_Average}} \times 100 \quad (3)$$

3.3 자석 래치(magnetic latch) 토크

자석 래치의 전류 비인가시(언로딩)와 전류 인가시(로딩) 조건에서 래치 및 언래치 방향으로 회전각에 따른 토크를 구하기 위해 Fig. 6과 같이 상용 해석 툴인 J-MAG을 이용하여 해석하였다. 그리고 그 결과는 Fig. 7과 8에 나타내었다.

3.1절에서 언급한 작동 메커니즘과 같이 전류가 인가되었을 때, 래치가 언래치되는 방향으로 토크가 작용함을 Fig. 7에서 확인할 수 있다. 그리고 전류 비인가시에는 래치에 작용하는 토크가 래치가 항상 닫히도록 하는 방향으로 음수 토크가 작용함을 Fig. 8의 결과로 알 수 있다.

VCM 액추에이터 로딩시 자석 래치의 언래치 조건을 살펴보면, VCM 액추에이터의 최대 450 mA를 입력 값으로 주었을 때 Table 2의 물성값과 식 (4)를 이용하여 최대 각가속도를 구하여 보면, 로딩 구간에서의 회전 각도에 따라 1.8 ~ 17 krad/s²의 값을 가진다. 반면, 자석 래치의 경우 Fig. 7과 같이 로딩 구간에서의 토크를 이용하여 각가속도를 구하여 보면 대략 130~210 krad/s²의 값을 갖는다. 따라서 VCM 액추에이터 로딩시 자석 래치가 VCM 액추에이터에 비하여 훨씬 더 빠르게 열리도록 되어 있기 때문에 VCM 액추에이터 로딩에 문제가 없음을 알 수 있다.

$$T_{latch} = I_{latch} \cdot \alpha \quad (4)$$

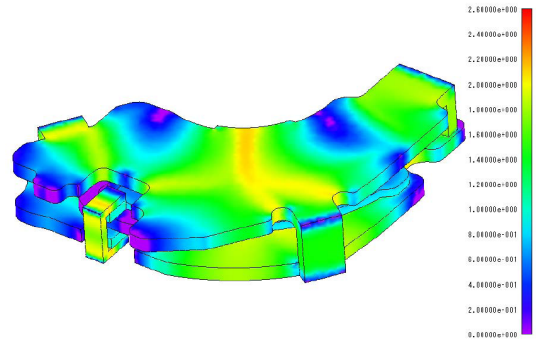


Fig. 6 Electromagnetic simulation result using J-MAG

Table 2 Properties of VCM actuator

Properties	Magnetic latch	VCM actuator
Mass (g)	0.54	3.65
Inertia (g mm ²)	1.62	491

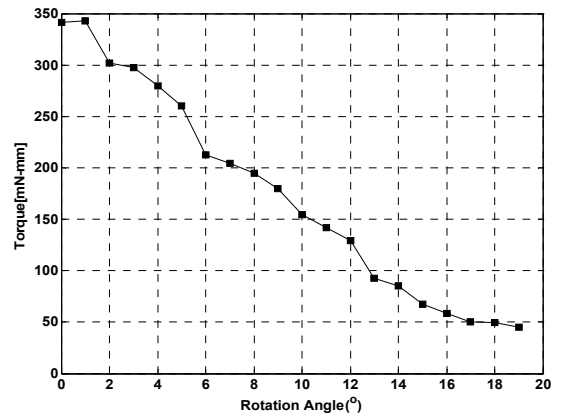


Fig. 7 Loading magnetic latch torque

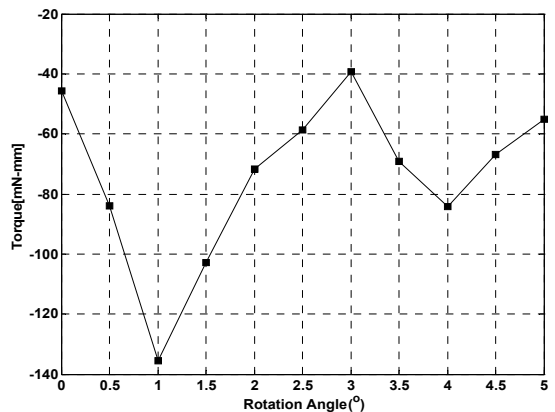


Fig. 8 Unloading magnetic latch torque

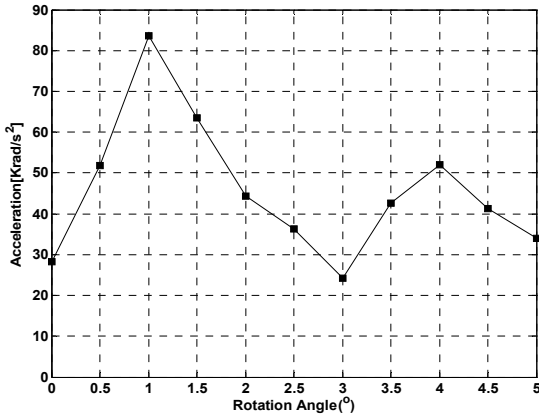


Fig. 9 Magnetic latch acceleration of unloading

3.4 Shock 성능 예측

3.1절의 작동 메커니즘과 같이 VCM 액추에이터 코일에 전류 비인가시 VCM 자석과 래치 자석에 의한 척력이 발생하고 동시에 VCM 자석과 래치 요크에 의한 인력이 발생하게 된다. 따라서 래치 요크에서 발생하는 인력(음수 토크)이 래치 자석에 의한 척력(양수 토크)보다 크게 설계되어 있어 Fig. 8 과 같이 VCM 코일에 전류가 비인가시 항상 자석 래치가 락킹(음수 토크)된다. 이로 인해 VCM 액추에이터는 자석 래치에 의해 비동작시 외부 충격과 진동에 항상 락킹되도록 설계되어 있음을 알 수 있다. 따라서 비작동시 외부 충격이 가해졌을 때 자석 래치의 충격 성능을 예측하는 것이 필요하다.

이 논문의 래치는 질량 균형(mass balance)을 회전 중심에 일치하도록 설계하여 선형 충격(linear shock)에 대응하도록 되어있으므로 회전 충격(rotary shock)에 대하여 충격 성능을 살펴보아야 한다. 일반적으로, 드라이브 규격으로 비작동시 회전 충격(non-operating rotary shock)에 의해서 20 krad/s² 이상의 각가속도를 확보하도록 요구하고 있다. 따라서 이 연구에서 설계된 자석 래치의 비작동시 회전 충격에 대한 각가속도를 구하고자 한다. Table 2의 자석 래치와 VCM 액추에이터의 물성값과 식 (4)를 이용하여 각도에 따른 각가속도를 구하면 Fig. 9와 같다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 자석 래치의 초기 위치에서 약 30 krad/s²의 각가속도 값을 가진다. 또한, 30 krad/s² 이상의 큰 충격으로 인해 자석 래치가 초기 위치를 벗어날 경우에도 래치 회전 각도에 따라 최대 80 krad/s² 이상의 각가속도 값을 갖게 되

어 큰 외부 충격에도 래치가 락킹하여 우수한 래치 성능을 보임을 확인할 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서는 VCM 액추에이터의 전자기력을 이용한 새로운 메커니즘을 가지는 자석 래치를 제안하였고, 그 성능을 전자기 해석 시뮬레이션을 통해 확인하여 기존 관성 래치의 한계를 극복하였다. 이 논문의 자석 래치는 코일에 전류 인가시 래치에 발생된 전자기력에 의해 래치가 자동으로 열리는 구조를 통해 자동 언래치되도록 한다. 또한, 드라이브 비작동시에는 래치 요크와 VCM 액추에이터 자석과의 인력에 의해 항상 락킹되어 어떠한 외부 충격에도 드라이브를 항상 보호할 수 있는 작동 메커니즘을 가진다. 따라서 기존 VCM 액추에이터의 리트랙트 핀과 래치 볼이 불필요하여 기존 관성 래치와 비교하여 간단한 구조를 가진다.

이를 위해 이 연구에서는 래치 작동에 사용될 래치 자석과 요크를 시뮬레이션을 통해 최적 설계를 구현하였다. 또한, VCM 액추에이터의 작동과 자석 래치 작동을 위한 구간으로 코일 형상을 변경하고 그에 따른 VCM 액추에이터 성능이 기존과 동일한 수준임을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 그리고 이 연구의 자석 래치는 우수한 충격 성능이 보장됨을 확인하였다.

참 고 문 헌

- (1) Kim, Y. S., Kim, K. H., Lee, S. Y., Yu, S. H. and Kim, S. K., 2004, "Inertia Latch Design for Micro Optical Disk Drives," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 14, No. 4, pp. 287~294.
- (2) Chang, J., Monajemy, R., Pham, T., Baral, D. and Byun, Y., 2005, "Pawl Latch Mechanism Design and Control for Load/unload Technology," Microsystem Technologies, Vol. 11, pp. 747~750.
- (3) Byun, Y., Kang, J., Chang, J., Sharma, V. and Lee, H. J., 2002, "Impact Rebound Type Inertia Latch for Load/unload Technology," Microsystem Technologies, Vol. 8, pp. 37~40.

(4) Albrecht, T. R. and Sai, F., "Load/Unload Technology for Disk Drives," IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 35, pp. 857~862.

(5) Kim, K. H., Hong, M. P., Kim, Y. S. and Kim, Y. J., 2008, "Automatic Latch System Using Electromagnetic Force of VCM Actuator," Samsung

Electronics Co., No. P2008-0016983.

(6) Kim, K. H., Oh, D. H., Kim, Y. S., Hong, M. P. and Kim, Y. J., 2008, "Automatic Latch System Using Electromagnetic Force of VCM Actuator," Samsung Electronics Co., Korea Patent No. P2008-0070191.