

램프 로드/언로드 하드디스크 드라이브의 역기전력을 이용한 VCM 속도제어[#]

Ramp Load/Unload Velocity Control of VCM Using BEMF in HDD

정 준[†] · 김 태 수^{*} · 강 태 식^{**} · 정 광 조^{**} · 이 철 우^{**}

Jun Jeong, TaeSoo Kim, TaeSik Kang, KwangJo Jung and ChulWoo Lee

(2005년 9월 9일 접수 : 2005년 12월 21일 심사완료)

Key Words : Velocity Control(속도 제어), BEMF(역기전력, 역기전압), Ramp(램프), Load/Unload(로드/언로드), HDD(하드디스크 드라이브)

ABSTRACT

Since most of small form-factor drives have a load/unload mechanism and the flying height of the head is getting lower as the capacity of disk drives increases, the load/unload velocity becomes one of the important factors to ensure the reliability of the load/unload mechanism. To control the load/unload velocity accurately, velocity sensing is essential. In this paper, we introduce a very practical method that acquires the load/unload velocity from the back electromotive force (BEMF) of a voice coil motor (VCM) and propose a calibration method for measuring the BEMF from a given circuit. Moreover, the effect of calibration error and temperature variation on the measurement of BEMF is shown by simulation. Then, this present method is applied to the load/unload velocity controller and is verified from the experimental result.

1. 서 론

하드디스크 드라이브(HDD)에서 load/unload(L/UL) 방식은 contact start-stop(CSS) 방식에 비해 비동작시의 내충격성, 소비전력, 헤드의 부상높이 면에서 매우 우수한 특성을 보이기 때문에, CSS방식에 비해 저장면적이 다소 감소함에도 불구하고 휴대용 HDD로 사용되는 2.5인치 이하의 HDD 대부분에 채택되고 있다.

헤드를 안정적으로 L/UL하기 위해서는 슬라이더

형상, 서스펜션, 딥플 예하중, 헤드 부상 높이, 디스크 회전속도, 램프 형상, L/UL 속도 등이 중요하다.^(1~4)

특히, 최근 HDD의 용량이 점점 높아짐에 따라 헤드의 부상 높이는 점점 낮아지게 되었고, 이에 따라 L/UL의 안정성이 과거 어느 때보다도 중요하게 되었으며, 이와 더불어 L/UL 속도도 중요하게 되었다.

L/UL HDD는 Fig.1에서와 같이 CSS 방식에는 없는 램프(ramp)를 필요로 한다. 램프의 프로파일은 헤드의 수평방향 속도에 대한 수직방향의 L/UL 속도를 결정한다. 한편, L/UL방식에 사용되는 특정 타입의 래치(latch)에서는 래치를 풀기 위한 속도도 중요하다. Fig.1에서의 HDD는 폴래치(pawl latch)를 사용하고 있으며, 이 경우에는 로딩 속도가 너무 빠를 경우 헤드가 디스크에 진입하기 전에 VCM이 래치에 걸리게 된다.

헤드가 디스크상에 위치할 때는 디스크에 기록된 서보패턴으로부터 헤드의 위치를 측정해 속도를 계산

[†] 책임저자 : 정희원, 연세대 정보저장기 연구센터
E-mail : tzerone@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

^{*} 특허청 기계금속심사국

^{**} 삼성전자 스토리지사업부

[#] 이 논문은 2004 춘계학술대회 우수발표논문으로 추천되었음.

할 수 있지만, 헤드가 서보패턴이 없는 영역, 즉 램프 영역에 있을 때는 헤드의 위치를 헤드로부터 검출할 수 없다. 물론 엔코더나 타코미터와 같은 별도의 센서를 장착하여 램프 영역에서의 헤드위치나 속도를 측정할 수 있지만, 비용과 공간 문제로 이와 같은 센서를 추가로 장착한다는 것은 불가능한 일이다. 다른 방법으로 VCM에 특정 전압이나 전류 프로파일을 가하는 방법도 생각해 볼 수 있지만, 이 방법은 헤드가 디스크로 로딩되는 순간, 또는 디스크로부터 언로딩되는 순간의 속도가 여러 원인에 의해 영향을 많이 받게 되어 속도 편차도 크고, 반복성도 떨어진다.

이러한 이유로 L/UL 방식의 HDD에서는 별도의 센서 없이 VCM의 역기전력(BEMF) 검출 회로만을 추가하여, 이를 통해 L/UL 속도제어를 한다.⁽⁵⁾ 그런데, BEMF 측정 회로에 의한 속도 검출은 속도를 간접적으로 측정하는 방법이기 때문에 구현 방식이나 보정 방법 등에 따라 정확성 면에서 큰 차이를 보일 수 있다.

이에 이 논문은 헤드의 속도를 VCM의 BEMF로 측정하는 회로를 소개하고, 이 측정 회로로부터 BEMF를 정확히 측정하기 위한 계인과 오프셋 보정 방법을 제시하며, 계인의 유한한 분해능에 의한 오차를 분석하고, 그 오차를 보정하는 방법을 제시하였다. 또한, VCM의 온도변화가 BEMF 측정에 미치는 영향을 시뮬레이션으로 검토하였다. 그리고, 제시한 BEMF 측정 방법을 2.5인치 HDD의 L/UL 속도 제어기에 적용하였으며, 그 적용 결과를 램프의 위치와 결부시켜 분석하여 이 논문에서 제시한, VCM BEMF 측정에 의한 속도제어 방법의 타당성을 검증하였다.

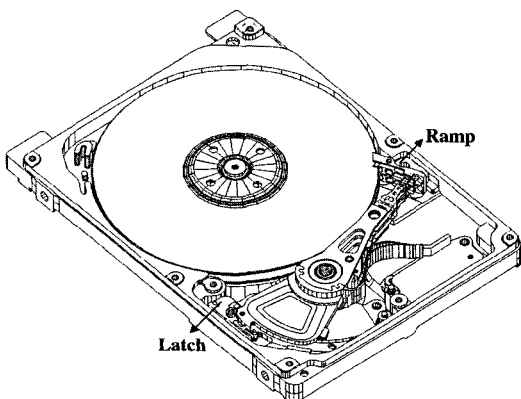


Fig. 1 HDD using a load/unload mechanism

2. 역기전력을 이용한 속도의 검출

2.1 역기전력 BEMF전압의 측정

HDD는 VCM 구동을 위해 Fig. 2에서와 같이 전류 피드백용 저항 R_S 를 VCM에 직렬로 연결한 전류앰프를 사용한다. 여기서 V_A 와 V_{SN} 은 전류앰프 출력단의 전압이며, V_{SP} 와 V_{SN} 은 각각 전류 피드백을 위한 저항양단의 전압이다.

VCM은 다른 모터와 마찬가지로 직렬로 연결된 저항과 인덕턴스로 모델링 할 수 있다. 저항 성분을 R_M , 인덕턴스 성분을 L_M , 회전속도를 ω , BEMF 전압을 V_{BEMF} , VCM 양단 전압을 V_M , VCM에 흐르는 전류를 I_M 이라 하면 Fig. 2에서의 VCM 모터방정식은 다음과 같게 된다.

$$V_M = V_A - V_{SP} = L_M \frac{dI_M}{dt} + I_M R_M + V_{BEMF} \quad (1)$$

여기서, V_{BEMF} 는 BEMF 상수 K_E 와 VCM 각속도 ω 의 곱과 같고, K_E 는 VCM 토크상수 K_T 와 같은 값으로 다음과 같은 관계가 있다.

$$V_{BEMF} = K_E \omega = K_T \omega \quad (2)$$

HDD는 digital signal processor(DSP) 칩을 이용한 디지털제어를 사용하고 있어 샘플링시간 단위로 제어 입력이 계산되고, 계산된 값이 D/A converter(DAC)로 전송되는 구조를 가지고 있다. 그리고, DAC 출력 전압에 비례한 전류가 전류앰프에 의해 VCM에 인가된다. DAC의 경우, 안정화 시간이 수 μsec 이내이며, 전류앰프의 경우는 대역폭이 수 kHz 이상 되므로, DAC 값 변경 후 수십~수백 μsec 정도의 시간이 지나면 VCM 전류는 더 이상 변하지 않고 고정된다. 즉, DAC값 변경 후에 일정시간이 지나면 전류 미분치는 0이 되어 식 (1)은 식 (3)과 같게 된다. L/UL 속도제어기는 수 kHz 이내의 샘플링시간을 사용하므로, 이와 같은 가정은 타당하다.

$$V_M = V_A - V_{SP} = I_M R_M + V_{BEMF} \quad (3)$$

이후 특별한 언급이 없는 한, BEMF 측정시의 상태는 이와 같이 전류의 변화가 없는 상태를 가정한다.

Fig. 2는 L/UL 제어시스템의 한 예다. 저항 R_S 는

전류앰프의 전류 피드백 용으로 사용되는 저항이며, DSP 칩, DAC, 전류앰프는 트랙추종서보와 탐색서보에 사용되는 것과 동일한 것이다. 단지 BEMF 전압을 측정하기 위한 회로와 A/D converter (ADC)가 추가되어 있다. 회로의 R_2 와 R_4 는 가변저항이며, 이 저항값은 DSP로 변경시킬 수 있도록 되어 있으나, DSP에 의한 변경이 필수 조건은 아니다.

Fig. 2에서 Op-앰프 A_1 과 A_2 입력단의 오프셋을 각각 V_{O1} 과 V_{O2} 라 할 때, BEMF 측정 회로의 최종 출력 V_{MEAS} 은 Op-앰프의 입력률 관계식으로부터 다음과 같은 관계식을 갖게 된다.

$$\begin{aligned}
 V_{MEAS} &= \frac{R_4}{R_3} \left[\left(R_M - \frac{R_2}{R_1} R_S \right) I_M + V_{BEMF} \right] \\
 &+ \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{R_4}{R_3} V_{O1} + \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) V_{O2} + V_{REF} \\
 &= \frac{R_4}{R_3} \left[\left(R_M - \frac{R_2}{R_1} R_S \right) I_M + V_{BEMF} \right] + V_{OFFS} \quad (4)
 \end{aligned}$$

여기서, V_{REF} 는 회로의 기준전압이며, V_{OFFS} 은 식 (5)와 같다.

$$V_{OFFS} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \frac{R_4}{R_3} V_{O1} + \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) V_{O2} + V_{REF} \quad (5)$$

만약, 가변저항 R_2 를 식 (6)과 같이 설정할 수 있다면 식 (4)는 식 (7)과 같이 간단히 표현된다.

$$R_2 = R_1 \frac{R_M}{R_S} \quad (6)$$

$$V_{MEAS} = \frac{R_4}{R_3} V_{BEMF} + V_{OFFS} \quad (7)$$

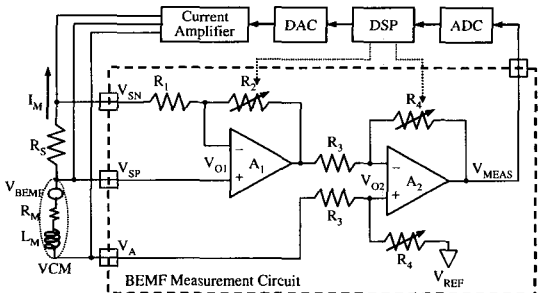


Fig. 2 L/UL servo system including a BEMF measurement circuit

R_3, R_4 는 회로에서 이미 결정된 게인값이고, K_E 도 이미 정해진 상수이므로, V_{OFFS} 만 측정이 가능하다면 식 (2)와 식 (7)을 이용해 VCM의 속도 ω 를 알아낼 수 있다. 그러나, 이러한 경우는 식 (6)과 같이 R_2 를 설정할 수 있을 때에만 가능하다. 실제로는 R_2 를 DSP에 의해 디지털 값으로 설정하기 때문에 분해능에 의한 오차가 발생하고, 설령 충분히 높은 분해능으로 R_2 를 설정할 수 있더라도 VCM 저항이 VCM 코일의 온도에 의해 변화하기 때문에 식 (6)을 만족시키는 R_2 의 설정은 단순하지가 않다. 이에 대한 자세한 설명과 해결책은 2.2와 2.3절에서 다룬다.

2.2 BEMF 측정의 보정

이 절에서는 언로딩 상태, 다시 말해, 파킹 상태에 있는 VCM을 로딩하기 위해 필요한 BEMF 측정의 보정 방법을 제시한다.

(1) R_3, R_4 의 선정

R_4/R_3 는 BEMF 전압과 앰프 오프셋의 증폭 정도를 결정하므로 ADC의 입력 범위와 2.3절에 설명되어 있는 온도 특성을 고려해서 R_3 와 R_4 를 설정한다. Fig. 2에서는 설정상의 편의를 위해 R_3 를 고정시키고 R_4 만을 DSP로 설정한다.

(2) V_{OFFS} 의 측정

V_{OFFS} 를 측정하기 위해서는 파킹 위치에 정지해 있는 VCM에 0mA가 흐르도록 DAC값을 설정한 후 V_{MEAS} 를 측정하면 된다. 일반적으로 VCM이 파킹 위치에 있을 때에는 래치의 마그네틱 힘이 작용하기 때문에, 설사 DAC 오프셋에 의해 미약한 전류가 흐르더라도 VCM은 움직이지 않는다. 이 상태에선 식 (4)에서 I_M 과 V_{BEMF} 이 모두 0이므로 ADC로 측정된 V_{MEAS} 는 V_{OFFS} 와 같게 된다.

(3) R_1, R_2 의 설정

R_2/R_1 는 R_M/R_S 와 같게 설정해야 식 (7)을 이용할 수 있다. 여기서 R_1 는 Fig. 2에서와 같이 설정상의 편의를 위해 회로적으로 고정시켜 놓고, R_2 만을 DSP로 설정한다. 먼저, 파킹된 VCM에 적당한 전류를 흘려 VCM이 크래쉬스톱(crash-stop, Fig. 1에서는 래치가 크래쉬스톱 역할을 한다.) 방향으로 힘을 가하도록 한다. 이 때 VCM은 크래쉬스톱에 부딪혀 있는 상태이므로 전류의 변화에도 움직이지 않아 V_{BEMF} 은 0이 된다. 따라서 V_{MEAS}/V_{OFFS} 의 절대값을 가장 작게 만드는 R_2 가 식 (6)을 가장 잘 만족시키는 R_2 가

된다. 여기서, V_{OFFS} 은 이미 아는 값이고 R_2 는 가변적으로 설정 가능한 값이기 때문에 몇 번의 반복 작업에 의해 찾자 하는 R_2 를 쉽게 찾아낼 수 있다. 단, V_{OFFS} 은 식 (5)에서와 같이 R_2 에 의해서도 영향을 받으므로 V_{OFFS} 과 R_2 의 편차가 원하는 범위 안으로 수렴할 때까지 V_{OFFS} 의 측정과 R_2 설정 과정을 수 차례 반복할 필요가 있다.

(4) 분해능 오차 보정

R_2 는 유한한 분해능을 갖는 값으로 설정되기 때문에 이에 따른 오차가 존재하고, 식 (6)을 만족하는 R_2 를 찾는 과정에도 측정 오차가 존재한다. 이 때의 오차는 속도 측정에 매우 많은 영향을 주기 때문에, 이 오차를 줄이는 방법으로 다음과 같이 기율기 S 를 도입한다.

$$S = \frac{R_4}{R_3} \left(R_M - \frac{R_2}{R_1} R_S \right) \quad (8)$$

식 (8)을 이용하면, 식 (4)는 다음과 같이 표현된다.

$$V_{MEAS} = SI_M + \frac{R_4}{R_3} V_{BEMF} + V_{OFFS} \quad (9)$$

VCM이 파킹상태에 있을 때는, 크래쉬스톱 방향으로 아무리 많은 전류를 가해도 VCM이 움직이지 않으므로, 적당한 전류를 크래쉬스톱 방향으로 가했을 때의 V_{MEAS} 와 0mA의 전류를 가했을 때의 V_{MEAS} 를 측정하면 식 (9)로부터 S 를 계산할 수 있게 된다.

Fig. 3은 $V_{OFFS}=0$, $V_{BMEF}=0$ 이라고 가정했을 때, 전류에 대한 기율기 S 를 도입하지 않은 경우, R_2 의 분해능에 의해 발생할 수 있는 측정 오차를 시뮬레이

션으로 계산한 결과다. 시뮬레이션에는 2.5"의 L/UL HDD가 사용되었고, 속도오차는 수평방향 헤드 선속도 오차를 의미한다. 이후 모든 속도는 수평방향에 대한 속도이다.

결과에서와 같이 전류가 많이 흐를수록 측정값의 오차는 커지게 된다. 이 경우를 예로 들면, 200 mA가 VCM에 흐르는 경우에는, VCM이 멈춰 있더라도 R_2 의 분해능에 의한 오차가 0.5 LSB(least significant bit)라면, V_{MEAS} 로 계산된 속도는 1 ips(inch per sec) 이상 틀리게 된다. Fig. 3에서 0.5 LSB는 0.0625Ω에 해당한다.

대부분의 L/UL HDD에서는 로딩시 마그네틱 래치의 큰 힘을 이겨내야 하므로 로딩시 큰 전류가 필요하고, 로딩 속도도 수 ips에 불과하므로, S 를 도입하지 않는다면 측정값에 상당히 큰 오차가 포함되어 VCM은 실제 움직이지 않으나, 속도는 설정 속도 이상으로 잘못 측정되어 VCM이 제자리에서 맴돌 수 있다. 다시 말해, 제어시스템이 불안정해져 로딩을 못할 수 있다. 속도 측정이 설정 속도보다 작게 측정되는 경우는, 매우 빠른 속도로 로딩을 해 VCM이 래치에 걸려 로딩이 실패할 수도 있고, 설사 래치에 걸리지 않고 헤드가 디스크로 로딩하더라도 헤드/디스크 안정성 면에서 문제가 발생할 수 있다.

(5) VCM 속도의 측정

앞서 설명한 설정과 측정 방법을 통해 ADC로 측정된 V_{MEAS} 는 식 (9)과 같게 되고, 식 (9)에서 S , R_3 , R_4 , V_{OFFS} 은 모두 설정하거나 측정해 놓은 값이기 때문에 I_M 만 알면 V_{MEAS} 를 통해 V_{BEMF} 를 알 수 있게 된다. 여기서, I_M 은 제어가 설정한 DAC 값에 비례한 값이기 때문에 이 또한 알 수 있는 값이다.

정리하면, V_{BEMF} 은 식 (9)를 변형한 다음의 식 (10)으로 계산되며, VCM의 속도는 식 (2)를 통해 계산된다.

$$V_{BEMF} = \frac{R_3}{R_4} (V_{MEAS} - V_{OFFS} - SI_M) \quad (10)$$

2.3 온도에 의한 영향 보정

앞서 설명한 방법에 의해 VCM의 속도를 측정함으로써, VCM의 속도제어가 가능하다. 그런데, 앞서 설명한 방법의 단점은 속도 측정에 필요한 보정값 V_{OFFS} , R_2 , S 를 오직 파킹 위치에서만 측정 또는 계

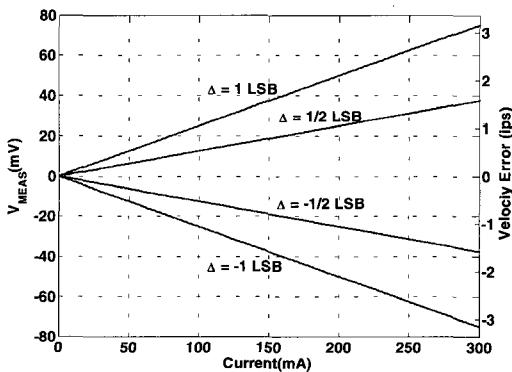


Fig. 3 BEMF measurement error due to the finite resolution of gain

산할 수 있다는 것이다. 달리 설명하면, 속도 측정에 필요한 보정값은 VCM에 전류를 인가하되 VCM이 움직이지 않는 상태로 있을 때에만 얻어낼 수 있다. 따라서, 로딩 동작을 위한 속도의 측정에는 식 (10)을 그대로 사용할 수 있다. 그러나, 헤드를 디스크 위에서 파킹 위치로 언로딩하는 경우에는, 로딩 직후 바로 언로딩을 하지 않는 경우라면, 온도의 영향으로 VCM 코일의 저항값 R_M 이 변경될 수 있어, 로딩 직전에 설정한 보정값을 식 (10)에 그대로 사용할 수 없게 된다.

VCM 코일의 저항값은 온도에 매우 민감하게 변하는 특징을 가지고 있다. VCM 코일의 경우, $T_1 (=25^\circ\text{C})$ 온도에서의 저항값이 R_{M,T_1} 이라면, T_2 온도에서의 저항값 R_{M,T_2} 는 일반적으로 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$R_{M,T_2} = R_{M,T_1} [1 + \alpha(T_2 - T_1)] \quad (11)$$

여기서, α 는 코일의 열팽창계수에 해당한다.

Fig. 4는 $\alpha = 0.004$ 인 경우에 대해, 0°C 에서 로딩한 후, VCM 코일의 온도가 20, 40, 60°C 변했을 때의 측정 오차를 Fig. 3과 같은 방법으로 시뮬레이션 한 결과다. 그림의 경우를 예로 들면, 온도 변화가 20°C 만 내려도, VCM에 흐르는 전류가 -100mA 일 때, VCM은 멈춰 있더라도 5 ips 이상으로 움직이는 것으로 잘못 측정된다. 언로딩시의 속도가 수 ips 임을 고려해 볼 때, 온도에 의한 오차는 매우 심각한 정도이다.

VCM 코일의 온도는 HDD 내부 온도에도 영향을 받지만, 탐색제어에 의한 큰 전류에 의해서 더욱 직접

적으로 영향을 받기 때문에, 코일의 온도는 HDD의 동작환경에 의해서도 영향을 많이 받는다. 또한 언로딩 동작 중, 서스펜션의 끝에 해당하는 팁탭(tip-tab)이 램프와 부딪히는 순간과 VCM이 파킹 위치의 크래쉬스톱과 부딪히는 순간에는 VCM에 많은 전류가 흐르므로 이 부분에서의 측정 오차는 더욱 크게 된다.

온도의 영향을 보정하기 위해서는 R_2 와 S 를 다시 설정해야 한다. 그런데, R_2 를 변경하는 경우는 식 (5)의 V_{OFFS} 도 변화한다. 즉, R_2 와 S 는 서로 의존적이기 때문에, ADC의 측정 범위가 문제가 되지 않는 한, 언로딩 할 때 S 만을 다시 설정하는 것이 적용면에서 더 유리하다.

한편, ID(inner diameter) 크래쉬스톱을 이용하면 2장에서 설명한 방법을 이용하여 S 를 다시 보정할 수는 있으나, VCM을 ID에 부딪히게 할 경우에는 슬라이더/디스크 인터페이스 문제가 발생할 수 있고, 또한 ID까지의 이동과 충돌에 많은 시간이 소요되므로 이 방법을 실제 HDD에 적용하기는 힘들다.

S 를 재보정하는 방법에는 여러 방법이 있겠으나, 가장 간단하면서도 비교적 정확한 방법은 탐색서보를 이용하는 것이다. 탐색서보에서는 서보패턴으로부터 헤드의 위치를 측정할 수 있기 때문에, 탐색서보 중 측정된 위치와 속도 데이터를 식 (10)과 비교해서, 그 편차를 이용해 S 를 재보정하는 것이다. 탐색서보를 이용해 S 를 재보정하는 방법은 또 하나의 논문 주제로 삼을 만큼 내용이 상당하므로, 구체적인 내용은 이 논문에서 생략한다.

3. 제어기 설계와 속도 제어 결과

3.1 제어기 설계

속도의 측정에는 식 (2)에서와 같이 VCM의 토크상수가 직접적인 영향을 끼치게 된다. 가령 계산에 사용되는 토크상수가 실제보다 큰 경우에는 BEMF에 의한 속도 측정이 실제보다 작게 되어 속도 제어시 목표속도보다 더 빠른 속도로 VCM이 움직이게 된다. 따라서 L/UL HDD에서는 디스크 기록면뿐 아니라, 파킹 위치에서의 토크상수도 중요하다. 이런 의미에서 VCM의 동특성은 실제 L/UL가 이루어지는 램프 위에서 측정함이 바람직하다. Fig. 5는 램프와 디스크를 제거한 상태에서 헤드를 원래의 램프 위치에 놓고, VCM에 정현파를 가진하

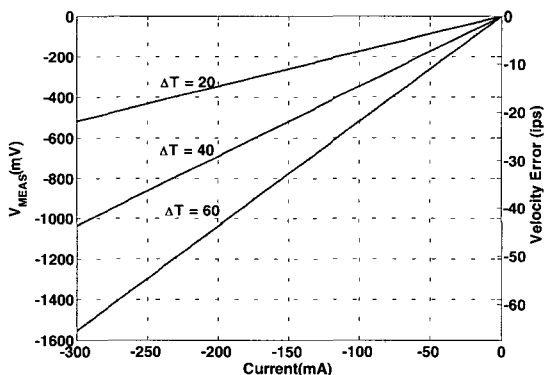


Fig. 4 BEMF measurement error due to the change of VCM coil temperature

고 이에 대한 속도 응답을 LDV(laser doppler vibrometer)로 측정한 결과다. 결과에서 저주파 영역은 피봇 베어링의 마찰 특성에 의한 것이다. 이 실험을 통해 VCM 액추에이터의 전달함수 G_P 는 액추에이터의 회전관성모멘트를 J 라 할 때, 다음과 같은 형태를 갖게 된다.

$$G_P = \frac{\Omega(s)}{I(s)} = \frac{K_T}{Js + a} \quad (12)$$

여기서, 입력은 전류 $I(s)$, 출력은 속도 $\Omega(s)$ 이며, a 는 피봇베어링의 마찰 특성에 의해 정해지는 값이다.

이처럼 VCM의 전달함수는 일반적인 DC 모터의 전달함수와 동일한 형태를 갖기 때문에 적분요소를 포함한 제어기, 즉 Lag 보상기나 PI 보상기에 의해 속도제어를 할 수 있다.

이 논문에서는 식 (13)과 같은 PI 형태의 보상기를 이용하였다. 보상기의 샘플링시간은 BEMF의 측정이 가능한 최소시간보다 길게 설정하였고, 게인 a_0 , a_1 은 외란 성분이 제어결과에 미치는 영향과 L/UL 특성을 고려해서 선정하였다.

$$G_C(z) = \frac{a_0 z + a_1}{z - 1} \quad (13)$$

필요에 따라서는 식 (13)의 제어기에 고주파의 측정 오차를 줄이기 위한 저주파통과필터나 관측기를 추가할 수도 있다. 이 논문에서는 식 (13)의 제어기만을 사용하되 로딩과 언로딩 끝부분에서 목표속도를 변경하도록 하였다.

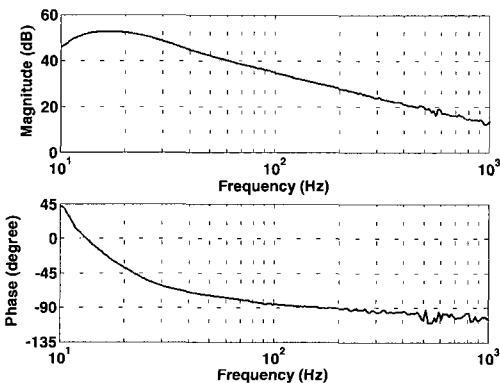


Fig. 5 Frequency response of VCM at the ramp location

3.2 실험 결과 및 고찰

Fig. 6은 헤드의 목표속도를 1.5 ips로 하여 로딩 속도를 제어한 결과이며, Fig. 7은 로딩구간의 위치를 램프와 디스크에 표시한 그림이다. ①은 파킹 위치로 여기에선 실험에 사용된 래치 특성에 의해 속력이 순간적으로 증가한다. 이후 래치의 마그네틱 힘을 이겨내며 래치를 풀어야 하므로 VCM 전류가 커진다. 래치는 ② 이전에 풀리며, 래치가 풀린 후 팁 탭이 램프의 언덕 ③을 지나게 되는데, 이 때는 서스펜션에 의한 예압이 VCM의 회전방향에 힘을 가하고, 램프의 마찰도 영향을 미치기 때문에 역시 VCM 전류가 상당히 커지게 된다. ③은 팁탭이 램프의 평편한 부분으로 진입하는 시점으로, 이 때는 서스펜션의 예압이 VCM의 회전방향에 영향을 미치지 않게 되므로, 순간적으로 속력이 증가하게 된다. 이후 헤드는 램프의 평편한 ④지점을 목표속도인 1.5 ips로 이동한 후, 진정한 의미의 L/UL이 이루어지는 ⑤~⑥ 지점을 통과한다. 이 때, ⑤ 지점에서는 서스펜션에 의한 예압이 속력이 증가하는 방향으로 다시 작용하며, 이후 헤드의 로딩이 이루어지고, ⑥에서는 슬라이더와 디스크 사이에 형성되는 음압력이 속력을 줄이는 방향으로 작용한다. 이후 헤드는 디스크

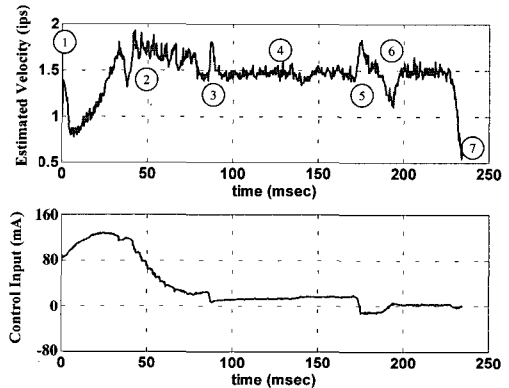


Fig. 6 Experimental results when loading

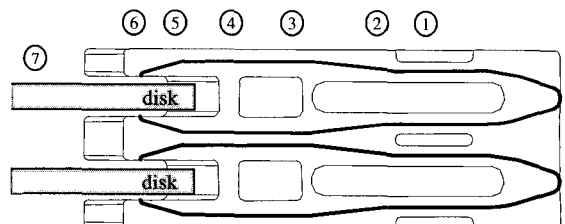


Fig. 7 Ramp profile

안쪽 방향으로 계속 이동하게 되고, DSP는 디스크의 원하는 위치까지 도달한 것을 서보패턴으로 확인한 후 목표속도를 낮추어 ⑦에서 제어권을 트랙추종서보로 넘기게 된다.

엔로딩 결과는 Fig. 8과 같다. 헤드를 엔로딩하기 위한 목표 속도는 -3.0 ips로 선정하였으며, 엔로딩을 위한 S는 탐색제어를 통해 이미 재보정되었다. ⑦에서 엔로딩을 시작해서 ⑥에서 팁탭이 램프에 부딪치게 되어 속력이 줄어들며, 램프의 경사를 넘어서는 순간, 즉 ⑤에서 서스펜션의 예압이 VCM의 회전방향으로 영향을 미치지 않게 됨에 따라 속력이 빨라진다. 이후 ④, ③, ②를 지나면서 서스펜션의 영향과 마그네틱 래치의 영향을 받아 속력이 증가했다가 램프가 크래쉬스톱 ①에 부딪히기 직전에 낮춰 놓은 목표속도에 의해 속력이 줄어들게 된다.

Fig. 6과 8의 결과는 BEMF 측정 회로와 보정법에 의해 측정된 속도 결과이므로 실제 L/UL 속도와는 다를 수 있다. 실제 L/UL 속도를 측정하기 위해서는 LDV나 고속카메라를 이용해야 하는데, 이 논문에서는 고속카메라에 의해 실제 L/UL의 속도를 확인하였다. LDV에 의한 비교결과는 참고문헌 (6)에서 찾을 수 있다.

실제로 L/UL 동작이 이루어지는 구간은 ⑤~⑥ 구간이며, 이 부분에서 L/UL 속도제어 시스템은 서스펜션 예압과 팁탭-램프 충돌에 의해 매우 큰 외란을 받게 되므로 이 부분에서의 속도 변화는 피할 수 없게 된다. 그러나, 속도제어를 하지 않는 경우, 이와 같은 속도 변화는 더욱 크게 되고, 반복성도 매우 나빠진다. 이런 의미에서 L/UL 속도제어 효과는 매우 효과적이라고 볼 수 있다.

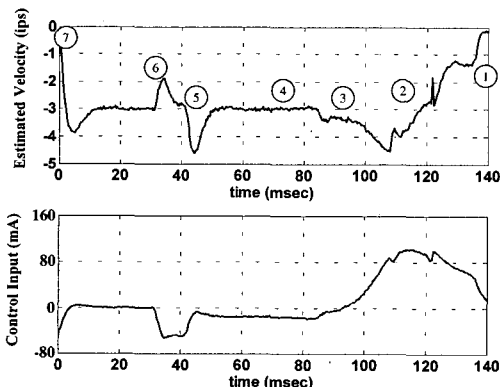


Fig. 8 Experimental results when unloading

4. 결 론

이 논문에서는 램프 로드/엔로드 HDD에 적합한 VCM의 로드/엔로드 속도 제어 방법을 제시하였다. 로드/엔로드 속도 제어가 가장 중요한 요소가 VCM 역기전력 BEMF 전압의 정확한 측정임을 보였으며, BEMF를 정확히 측정하기 위한 회로와 보정법을 제시하였다. 이 보정에는 게인과 오프셋 뿐만 아니라 게인의 유한한 분해능에 의한 오차 보정도 포함하고 있다. 또한 VCM 코일의 온도 변화가 엔로딩시 매우 큰 영향을 줄을 예시하였고, 이에 대한 보정방법도 언급하였다. 또한, 이 논문에 제시한 방법을 최신의 2.5" HDD에 적용하여, BEMF 측정에 의한 로드/엔로드 속도제어 방법이 매우 안정적이고 실용적임을 검증하였다.

참 고 문 헌

- (1) Albrecht, T. R. and Sai, F., 1999, "Load/Unload Technology for Disk Drives", IEEE Transactions on Magnetics Vol. 35, No. 2, pp. 857~862.
- (2) Zeng, Q. H. and David, B. B., 2000, "Effects of Certain Design Parameters on Load/Unload Performance", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No. 1, pp. 140~147.
- (3) Kang, T. S., Kim, D. W. and Jeong, J., 2003, "Optimization of the Head/media Interface in HDD Considering the Load/Unload Velocity Profiles", Proceedings of the KSNVE Autumn Annual Conference, pp. 902~905.
- (4) Lee, Y. H., Park, Y. S., Park, N. C., Yang, H. S. and Park, Y. P., 2005, "Load/Unload Dynamics of Slider on Ramp for Various Ramp Shapes." Transactions of the KSNVE, Vol. 15, No. 11, pp. 1248~1254.
- (5) Erno H. Klaassen, 2000, "Electromechanical Modeling of Actuator Dynamics in a Load/Unload Disk Drive", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No. 5, pp. 2238~2240.
- (6) Song, Y. C., Park, S. W., Jeong, J., Park, T. W., Yang, H. S. and Park, Y. P., 2004, "Improved Velocity Control in Ramp Load/Unload HDD", KSNVE Autumn Annual Conference, pp. 586~591.