

Ring-헤드를 갖는 수직 자기기록 시스템을 위한 비대칭 채널 모델

준회원 이주현*, 정회원 이재진**

Asymmetric channel model for a perpendicular magnetic recording system with a ring-head

Joo-Hyun Lee* Associate Member, Jae-Jin Lee* Regular Member

요 약

본 논문은 수직 자기기록 채널의 특성을 효율적으로 분석하기 위해 Ring-헤드를 갖는 수직 자기기록 방식에 적합한 비대칭의 선형 채널 모델을 제안하였다. 채널의 단일 천이 응답은 로렌쯔안 펄스의 중첩에 의해 표현될 수 있고, 임펄스 응답은 두 단일 천이 응답에 대해 비대칭 파라미터를 갖는 이중 펄스 형태로 나타낼 수 있다. 이러한 임펄스 응답은 실제 수직 자기기록 채널의 출력에 의해 조절이 가능하다. 제안한 모델을 이용한 파형 및 스펙트럼이 실제 재생 신호에 대한 것과 매우 유사함을 확인하였다.

Key Words : perpendicular magnetic recording; asymmetric channel model; ring-head.

ABSTRACT

We present an asymmetric linear channel model for a perpendicular magnetic recording with a ring-head. The single-transition and impulse responses of the channel are represented by the superposition of Lorentzian pulses, and by dipulse type of two single-transition responses with asymmetric scale parameters, respectively. The impulse response is adjusted by preamplifier outputs of a practical perpendicular recording channel. We confirmed that the simulated waveforms and their spectra of the model are in good agreement with those of the real readback signals.

1. 서론

하드디스크 드라이브(HDD)로 대변되는 자기 기록 정보저장장치는 소비자들의 지속적인 요구에 따라 제품의 소형화, 고용량화 등을 통해 마이크로 드라이브 등의 여러 가지 다양한 형

태로 변화하면서 수요가 계속 늘고 있다. HDD는 일반적인 정보저장장치 중 하나으로써, 현재까지는 대부분 수평 자기기록 (longitudinal magnetic recording) 방식을 통해 정보를 저장 및 재생한다.

이러한 수평 자기기록 시스템은 현재 초상자

* 동국대학교 전자공학과 통신 및 정보저장 연구실 (xmas@dongguk.edu), ** 동국대학교 통신 및 정보저장 연구실 (zlee@dgu.ac.kr)
논문번호 : 030347-0807, 접수일자 : 2003년 8월 7일

표 1. 헤드 및 매체 파라미터

Recording layer and medium	Single-layered perpendicular medium (CoCrNbPt, $H_c = 2500$ Oe, Squareness = 0.6)
Recording head	Modified (trimmed) ring-type head
Thickness of recording layer	50 nm
Flying height	12 nm
MR shield-to-shield spacing	150 nm

성적인 한계(superparamagnetic limit)에 도달하여 기록 밀도 증가율이 점점 줄어들고 있다[1]. 수직 자기기록 기술은 기존의 수평 자기기록의 한계를 극복하여 HDD의 대용량화, 고부가가치화 및 소형화를 가능하도록 하는 차세대 고밀도 기록 기술이다. 현재 수직 자기기록 기술은 제곱 인치 당 80기가 비트(80Gbits/in²)까지 기록이 가능하여 3.5인치 디스크 한 장에 120기가 바이트(120Gbytes)의 정보를 저장할 수 있게 되었다[2]. 이것은 수평 자기기록 기술에서 동일한 면적 당 약 20기가 비트(20Gbits/in²)의 기록이 가능한 것과 비교할 때, 상대적으로 매우 큰 용량의 기록이 가능함을 알 수 있다[3].

수직 자기기록 기술은 크게 헤드 및 기록 매체와 연관된 물리적인 기술 개발 분야와 데이터의 올바른 재생을 위한 디지털 신호처리 기술 개발 분야로 나눌 수 있다.

물리적인 측면에서 볼 때, 수직 자기기록 방식은 1) 기존의 HDD에서 사용되고 있는 Ring-헤드를 이용하여 기록하는 방식과 2) 단일-폴 형태(single-pole-type, SPT)의 헤드를 갖는 완전히 새로운 기록 방식의 두 가지로 나뉘어 연구가 진행되고 있다[4, 5]. SPT 헤드를 갖는 기록 시스템은 주로 일본에서 중점적으로 연구 결과가 발표되고 있으나, 기존의 단층 매체(single-layered medium)를 통해서 기록이 불가능하고, 복층을 갖는 매체(double-layered medium)를 이용하여 기록을 해야 하는 문제점으로 인해 경제적인 면에서 매우 큰 부담을 갖고 있다. 반면에, Ring-헤드를 갖는 수직 자기기록 시스템의 경우, 기존의 수평 자기기록 시스템에서 사용되고 있는 기술이 큰 변형 없이 쉽게 사용될 수 있는 장점이 있다[2, 6].

수직 자기기록 시스템에서는 채널 특성의 변

화로 인해 기존의 수평 자기기록 시스템에서 적용한 신호처리 기술을 그대로 적용하는 것이 불가능하므로, 보다 향상된 재생 시스템을 구현하기 위해서는 실제 채널과 유사한 형태의 채널 모델의 연구가 반드시 필요하다.

본 논문에서는 Ring-헤드를 갖는 수직 자기기록 방식에 대한 선형 채널 모델을 제안하였다. 이 모델은 채널의 비선형적인 출력 특성까지 고려하여 연구되었으며, 실제 채널의 출력 파형 및 주파수 응답과 비교하여 매우 유사한 특성을 나타냄을 입증하였다.

2. Ring-헤드를 갖는 수직 자기기록을 위한 새로운 채널 모델

Ring-헤드와 단층 매체(single-layered medium)를 갖는 수직 자기기록 방식은 현재 수평 자기기록 방식에서 가지고 있는 많은 공통된 기술을 적용할 수 있어 차세대 고용량 정보저장장치에 적용하기 위한 방법 중 하나로 각광받고 있으나, Ring-형 헤드에 의해 유기되는 재생 신호(readback signal)의 비대칭성(asymmetry)은 실제로 디지털 신호 처리를 위해 해결해야 할 문제점들 중 하나이다. 본 논문에서는 실제 재생 신호를 토대로 직접적인 채널 특성 분석이 가능하도록 비대칭적인 선형 채널 모델을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 채널 모델의 근간으로 사용된 수직 자기기록 채널의 실제 헤드와 매체에 대한 파라미터는 표 1과 같다. 제안한 모델과 실제 채널에 대한 재생 파형을 비교, 분석하기 위해 GUZIK RWA2585 측정 장비를 사용하였다. 또한, 기록을 위해 사용된 헤드는 0.33 μ m의 기록 폭(write width)과 0.3 μ m의 끝부분 두께

(top-pole thickness) 및 0.15 μ m의 기록 간격(write gap)을 갖는 변형된 Ring-헤드를 사용하였는데, 이것은 기존의 HDD에서 사용하던 Ring-헤드의 끝부분(top pole edge)을 깎아낸 형태으로써, 헤드의 자계를 보다 강하게 하는 특징을 갖고 있다.

이러한 채널의 단일 천이 응답(single transition response, $g(t)$)은 하나의 로렌저안 펄스(Lorentzian pulse)에 한 비트만큼 시간 이동을 한 반대 극성을 갖는 또 하나의 로렌저안 펄스가 서로 중첩된 형태로 표현될 수 있고, 임펄스 응답(impulse response, $h(t)$)은 두 개의 단일 천이 응답에 대한 선형 조합으로 표현될 수 있다.

로렌저안 펄스를 $x(t)$ 라 할 때(식 (1)), 단일 천이 응답 및 임펄스 응답에 대해 수식적으로는 각각 식 (2)와 (3)과 같이 표현된다.

$$x(t) = \frac{1}{1 + \left(\frac{2(t+T)}{K,T}\right)^2} \quad (1)$$

$$g(t) = -a \text{ (or } \beta)x(t+T) + x(t) \quad (2)$$

$$h(t) = g(t) - g(t-T) \\ = -ax(t+T) + (1+\beta)x(t) - x(t-T) \quad (3)$$

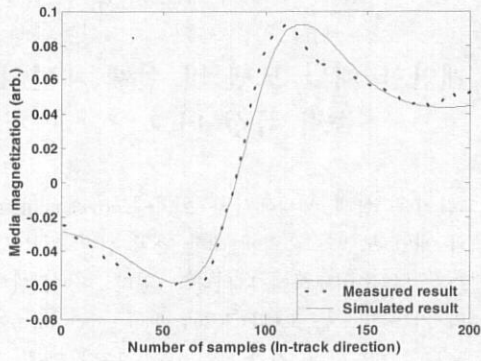
이때, T 와 K ,는 각각 채널의 심볼 주기(symbol period)와 Ring-헤드를 갖는 수직 자기기록 채널에서 심볼 한 주기 동안에 기록이 가능한 비트의 수를 나타내는 정규화된 기록 밀도(normalized recording density)를 표현하고, a 와 $\beta(0 < a \leq \beta \leq 1)$ 는 비대칭 기준 파라미터(asymmetric scale parameter)를 의미한다. 만약, a 와 β 가 1이면 채널 응답 특성은 대칭적임을 의미하고, a 와 β 의 값이 감소할수록 비대칭성은 점점 증가한다. 또한, a 와 β 의 값이 같을 경우, 채널은 DC 성분이 존재하지 않고, a 가 β 보다 작은 값을 가질 경우, 채널은 DC 영역으로 데이터를 일부 통과시키는 특성을 갖는다. 이러한 파라미터의 값은 실제 기록 시스템의 출력 특성에 의해 결정될 수 있다. 이때, 제안한 모델의 단일 천이 응답은 기존의 수평 자기기록 채널에서의 임펄스 응답과 유사한 형태으로써, 수평 자기기록 시스템을 수직 자기

기록 채널에 그대로 적용할 수 없음을 알 수 있다.

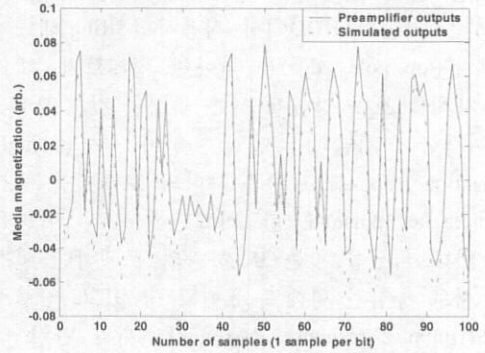
3. 제안한 채널 모델 및 실제 채널의 출력 특성 비교

그림 1은 실제 채널에서의 프리앰프(preamp) 출력과 채널 모델의 출력에 대한 단일 천이 응답 및 임펄스 응답을 비교하여 나타내고 있다. 이때, 실제 채널의 기록 밀도는 300kFCI(flux change per inch)이고, a 와 β 및 K ,은 각각 0.8, 0.9와 2.8의 값을 갖는 경우이다. K ,=2.8이라는 것은 심볼 한 주기 동안에 2.8비트의 데이터 기록이 가능함을 의미하는 것으로써, 300kFCI에서도 고밀도의 기록이 가능함을 의미한다. 또한, 그림 2는 임의의 데이터를 채널에 통과시켰을 때의 각종 잡음이 포함된 실제 출력과 제안한 모델에 대한 출력을 비트 단위로 표본화(sampling) 한 후, 파형 및 스펙트럼을 중첩시켜 나타내었다. 그림 1과 2를 통해 제안한 비대칭적인 채널 모델과 실제 채널에 대한 출력 파형과 스펙트럼이 서로 거의 일치하고, 저주파수 대역에서 데이터 성분이 일부 통과되는 형태임을 알 수 있다. 이것은 기존 HDD의 수평 자기기록 채널 응답에서 DC 성분이 존재하지 않는 특성과 구별됨을 보여준다.

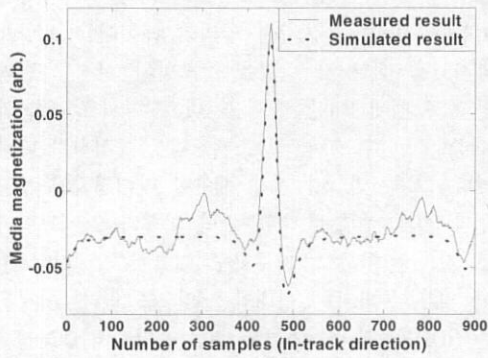
또한, 300kFCI에서는 고주파수 대역에서도 데이터 성분이 존재하고 있으나, 이것은 기록 밀도가 낮은 경우의 스펙트럼을 나타낸 것이 원인이며, 기록 밀도가 증가하면서 데이터 천이(transition)의 간격이 좁아지게 되어 인접 심볼간 간섭(intersymbol interference, ISI)이 심해짐에 따라 고주파 대역에서는 데이터 성분이 점점 줄어들게 되고, 이를 입증하기 위해 그림 3의 기록 밀도의 증가에 따른 데이터 스펙트럼 분포를 통해 확인하였다. 이것은 실제 채널의 데이터 출력에 대한 주파수 특성으로써, 10^3 개의 비트에 대한 주파수 응답에 대해 1MHz 단위로 분포도를 나타내었는데, 기록 밀도의 증가에 따라 고주파수 영역의 감쇄가 심하게 발생하는 것을 볼 수 있으나, DC 영역의 성분은 여전히 통과되고 있음을 알 수 있다. 이러한 비대칭적인 채널 모델의 활용을 통해 실제 수직 자기기록 시스템에서 신호와 잡음 특성의 직접적인 파악이 가능하게 된다.



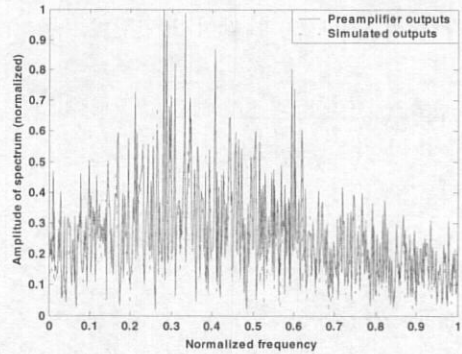
(a) 단일 천이 응답 $g(t)$



(a) 시간 영역에서의 출력 파형 비교



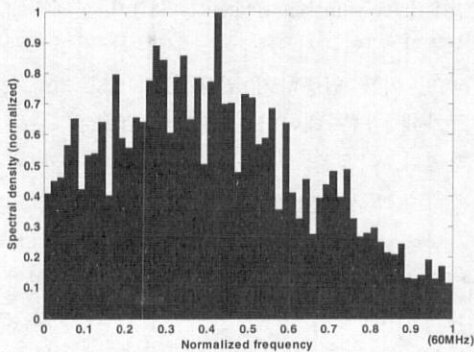
(b) 임펄스 응답 $h(t)$



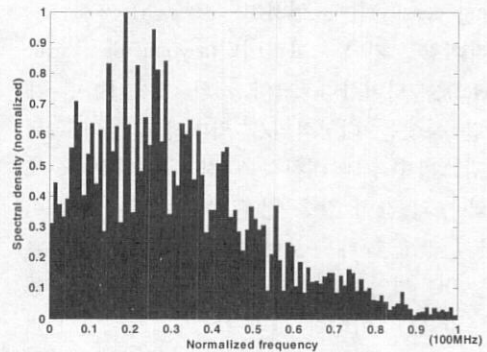
(b) 주파수 응답 비교

그림 1. 300kFCI에서의 단일 천이 응답 및 임펄스 응답 비교 ($\alpha=0.8, \beta=0.9, K_r=2.8$)

그림 2. 임의의 데이터 시퀀스에 대한 비트 단위 출력 파형 및 주파수 응답 비교 (300kFCI)



(a) 선형 밀도 = 300kFCI



(b) 선형 밀도 = 500kFCI

그림 3. 기록 밀도의 증가에 따른 데이터 스펙트럼 분포도 (10^3 비트)

4. 결론

본 논문에서는 수직 자기기록 시스템에서 효율적인 재생 시스템을 구현하기 위해 차세대 자기기록 정보저장장치로 연구되고 있는 수직 자기기록 시스템 중에서 Ring-헤드를 갖는 기록 채널에 적합한 모델을 제안하였다.

먼저 Ring-헤드를 갖는 실제 수직 자기기록 채널에 대해 매우 유사한 형태의 단일 천이 응답과 임펄스 응답을 설계하였으며, 이렇게 제안한 응답을 이용하여 임의로 발생시킨 데이터의 출력에 대한 파형 및 주파수 특성이 실제 수직 자기기록 채널을 통과한 출력과 매우 유사함을 보였다.

따라서, 본 논문에서 제안한 Ring-헤드를 갖는 수직 자기기록을 위한 비대칭적인 채널 모델을 통해 채널의 특성을 보다 효율적인 파악이 가능하게 되어 신뢰성 있는 기록 및 재생 시스템을 구현할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] R. D. Cideciyan, E. Eleftheriou and T. Mittelholzer, "Perpendicular and longitudinal recording: A signal-processing and coding perspective," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 38, no. 4, pp. 1698-1704, July 2002.

[2] (2001) The Samsung Advanced Institute of Technology reached the linear storage density of 60 gigabits per square inch: Samsung Advanced Institute of Tech. [Online]. Available : <http://www.sait.samsung.co.kr/sait/src/saitEnAward.jsp>

[3] G. F. Hughes, "Wise drives [hard disk drive]," *IEEE Spectrum*, vol. 39, pp. 37-41, Aug. 2002.

[4] Y. Hirayama, Y. Honda, T. Takeuchi and M. Futamoto, "Recording characteristics of single-layer perpendicular media using ring-shaped heads," *IEEE Trans. Magn.*, vol.

35, no. 5, pp. 2766-2768, Sept. 1999.

[5] K. Yamakawa, K. Ise, S. Takahashi and K. Ouchi, "A new single-pole head structure for high writability," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 38, no. 1, pp. 163-168, Jan. 2002.

[6] H. Ide, "A modified PRML channel for perpendicular magnetic recording," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 32, no. 5, pp. 3965-3967, Sept. 1996.

이 주 현(Joo-Hyun Lee)

준회원



2000년 2월: 동국대학교 전자공학과 학사
2002년 2월: 동국대학교 전자공학과 석사
2002년 9월~현재: 동국대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야> 통신이론, 변조코드, 검출 기법 연구

이 재 진(Jae-Jin Lee)

정회원



1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 학사
1984년 12월: U. of Michigan, Dept. of EECS 석사
1994년 12월: Georgia Tech. Sch. of ECE 박사
1995년 1월~1995년 12월:

Georgia Tech. 연구원

1995년 1월~1997년 2월: 현대전자 정보통신 연구소 책임연구원
1997년 3월~현재: 동국대학교 전자공학과 부교수

<주관심분야> 통신 이론, 기록저장 시스템