

하드 디스크 드라이브 시스템의 747 곡선 시뮬레이션

서정교 · 조순철

승실대학교 전자공학과

서울시 동작구 상도 5동 1-1, 156-743

김용수 · 박노열

삼성종합기술원 기반기술연구소 정밀기계연구실

수원우체국 사서함 111, 440-600

(1997년 3월 20일 받음, 1997년 4월 20일 최종수정본 받음)

자기헤드의 오프트랙 성능은 하드디스크 드라이브에서 트랙 피치를 결정하는데 사용되고 오프트랙 성능의 트랙 피치에 관한 함수가 747 곡선이다. 본 논문에서는 747 곡선을 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 헤드의 측면재생과 기록변수는 3차원 유한요소법을 이용한 자장해석을 이용하여 구하였고, 신호대 잡음비(signal to noise ratio : SNR) 계산을 위한 헤드의 재생신호와 잡음은 가역정리를 이용하여 구하였다. 생성된 747 곡선에 의하면, 소거밴드의 폭이 클수록 또한 유효 신호대 잡음비 SNR_{eff}이 작을 수록 오프트랙의 성능이 향상되었다. 기록된 트랙폭이 4.1 μm 인 평면 실리콘 헤드를 사용하여 시뮬레이션으로 생성된 747 곡선과 스핀 스탠드(spin stand)로 측정된 747 곡선을 비교했을 때, 두 곡선이 비슷하였으며 이로부터 본 시뮬레이션의 타당성을 입증할 수 있었다.

I. 서 론

하드 디스크 드라이브 시스템의 연구개발에서 에러율을 예측하고 트랙밀도를 결정하는 것은 대단히 중요하다. 전체 시스템 에러율을 측정하기 위해서는 에러율 응답곡선(error rate response surface : ERRS)과 TMR_{3σ}(track misregistration)을 측정해야 하고 ERRS를 측정하면 747 곡선을 측정할 수 있다. 이 ERRS는 SNR을 통하여 구하여 질 수 있다[3]. 747 곡선은 주어진 오차 한계에서 헤드의 오프트랙 성능(off-track capability : OTC)을 결정한다. 오프트랙 성능은 인접 트랙과 이전 정보 트랙의 간섭등에 의해서 결정되고, 이를 이용해서 747 곡선을 생성한다. 747 곡선을 생성하기 위해서는 재생 자장의 폭, 측면 재생 폭, 기록 트랙의 폭, 소거 밴드의 폭 등 측면재생과 기록변수를 필요로 한다[1, 2, 3].

본 연구에 사용된 헤드의 구조는 일반 박막 유도 헤드(conventional thin film inductive head)와, 인덕턴스를 줄이고 공극의 뒷면으로 나가는 자속(flux)을 줄이기 위한 평면 실리콘 헤드(planar silicon head)이다[4].

각각의 헤드에 대한 747 곡선의 변화를 시뮬레이션하며, 소거 밴드 폭과 SNR에 따른 747 곡선의 변화도 관

찰한다. 또한 스핀 스탠드로 실제 측정된 747 곡선과 시뮬레이션으로 생성된 747 곡선을 비교하여 시뮬레이션의 타당성을 검증하고자 한다.

II. 시뮬레이션 방법

오프트랙 성능을 나타내는 747 곡선은 Boeing 747 비행기의 nose profile을 닮아서 붙여진 이름이고, 747 곡선은 디스크 드라이브 시스템의 트랙피치 결정에 사용될 수 있다. 747 곡선을 생성하기 위해서는 Fig. 1에서 보인 바와 같이 재생 자장 폭(w_r), 측면 재생 폭(w_s), 기록 트랙 폭(w_t), 소거 밴드 폭(w_e) 등의 4가지 변수를 필요로 한다[5].

재생신호는 가역정리에 의해서 얻어지고 가역정리는 헤드자장과 매체 자화의 콘벌루션이므로 아래와 같이 주어질 수 있다[3, 5].

$$S(\epsilon_{wr}) = K \int M_s(y) H(y - \epsilon_{wr}) dy.$$

여기서 M_s 는 매체 자화값을 나타내고, H 는 헤드 자장이고, K 는 비례상수이며, ϵ_{wr} 은 헤드와 트랙사이의 오차이다. K 값을 구하기는 힘들기 때문에 데이터 트랙의 신호중 최대치를 S_0 라고 하고, 신호를 S_0 로 나누게 되면

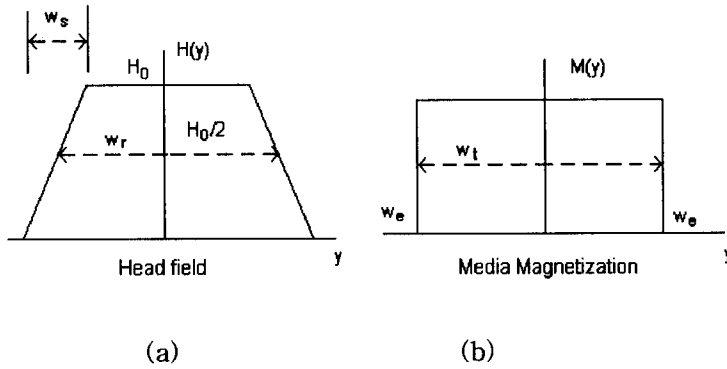


Fig. 1. Four parameters for simulation of 747 curve : (a) head field width (w_r), side reading width (w_s)
(b) data track width (w_t), erase band width (w_e).

신호는 S/S_0 로 정규화 되고, 상수 K 는 사라지게 된다. 여기서 S_0 는 데이터 신호의 최대치이므로 $\epsilon_{wr} = 0$ 일 때, 즉 헤드가 트랙의 중앙에 있을 때 재생진폭이다.

오프트랙 성능을 측정하기 위해서 우선 매체를 직류 자장을 인가해서 전 매체를 균일하게 자화시킨다. 이렇게 자화된 매체 위에 Fig. 2와 같이 두개의 이전 정보(old information) 트랙을 나란히 기록하고, 평행하게 기록된 두개의 이전정보트랙의 중앙에 데이터 트랙을 기록한다. 다시 데이터 트랙에서 일정한 트랙 피치를 두고 인접한 트랙을 기록한다. 이렇게 데이터 트랙과 이전정보트랙 그리고 인접한 트랙이 기록된 구조에서 재생헤드를 데이터 트랙의 중앙에서 인접 트랙 쪽으로 조금씩 이동시킨다. 데이터 트랙의 중앙에 있을때는 잡음 진폭의 크기는 최소가 되고, 데이터 진폭의 크기는 최대가 된다. 반면에 헤드가 이동함에 따라서 데이터 진폭의 크기는 감소하게 되고, 잡음에 의한 진폭의 크기는 증가하게 된다. 헤드가 데이터 트랙의 중앙에서 인접트랙 쪽으로 어느정도 이동했을때 데이터 진폭대 잡음 진폭비(SNR)를 구하여 요구되는 유효 신호대 잡음비(SNR_{eff})를 넘지않는 최대의 헤드 이동 거리를 오프트랙 성능으로 정의 한다[6].

747 곡선은 트랙 피치대 오프트랙 성능의 함수이다. Fig 2에서 보여진 것 처럼, 먼저 인접 트랙 1 을 기록해서 오프트랙 성능을 측정한다. 다음 트랙 1 과 조금더 가까운 위치에 트랙 2 를 기록하고, 오프트랙 성능을 측정한다. 이 과정을 되풀이 해서 각 트랙 피치에 대한 오프트랙 성능 곡선을 구할 수 있다. 트랙 3 일때 747 곡선의 최대치를 가지고, 트랙 4 일때는 트랙 피치가 클때(트랙 1)와 같은 크기를 가진다. 그 이유는 트랙 사이에 있는 이전정보트랙에서 나오는 신호가 잡음으로 작용하기 때문에, 인접트랙과 같은 영향을 미치지 때문이다.

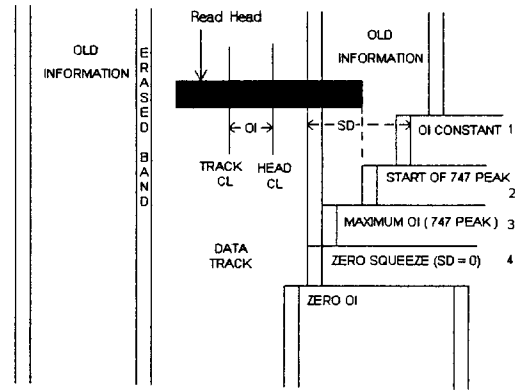


Fig. 2. Track and read head configuration for simulation of 747 curve. SD : squeeze distance, OI : old information distance, CL : center line.

본 시뮬레이션에서 헤드의 자장은 전자장 수치해석 프로그램(Maxwell)을 사용하여 구하였고, 오프트랙 성능 계산과 747 곡선 생성을 위해서 Fortran으로 프로그램을 작성하였다.

Fig. 3은 747 곡선 생성을 위한 오프트랙성능 계산 프로그램 알고리즘이다. 여기서 SNR은 신호대 잡음비이고 SNR_{eff} 는 유효 신호대 잡음비이며 본 프로그램에서는 15 dB로 설정하였다. maincount는 현재 헤드의 위치를 나타내고, mainnumber는 최대 이동 거리이다.

우선 전자장 수치해석을 통해 얻어진 자장의 값을 배열로 정의하고, 헤드가 움직이는 축 y 방향을 따라서 거리에 대한 배열을 정의한다. 기록 매체의 자화는 균일하다고 가정하여 매체의 자화값을 입력하고, 현재 헤드의 위치를 나타내는 변수 maincount를 0으로 해서 데이터

트랙의 중앙에 놓는다. 이후 트랙 폭, 소거밴드 폭, 데이터 트랙과 인접 트랙 사이의 거리, 유효 신호대 잡음비를 입력한다. 이상의 모든 변수의 입력이 끝나면 일단 데이터 트랙의 중앙(maincount = 0)에서 데이터 트랙과 헤드 자장의 콘벌루션에 의한 신호의 진폭과 인접트랙 및 이전정보 트랙에 의한 잡음의 진폭을 각각 구해서 신호대 잡음비를 계산한다. 이렇게 계산된 신호대 잡음비가 유효 신호대 잡음비 보다 크면 이 거리를 기록한다. 신호대 잡음비는 트랙의 중앙에서 가장 크고 중앙에서 벗어날 수록 작아진다. 따라서 maincount가 증가할수록 신호대 잡음비는 줄어들게 되고 어느점에서부터는 유효 신호대 잡음비보다 작아지게 된다. 이때 부터는 거리를 기록하지 않게 되어 결국 유효 신호대 잡음비 보다 큰 마지막 거리가 오프트랙 성능이 된다.

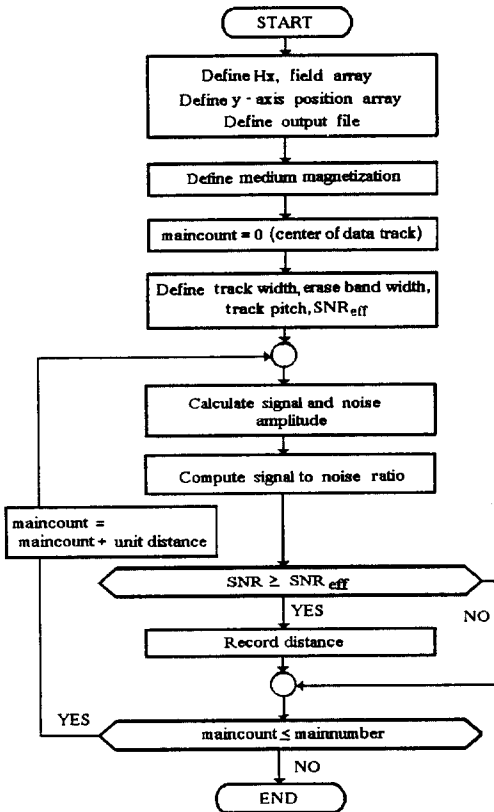


Fig. 3. Flowchart for calculation of off-track capability.

III. 결과 및 고찰

본 실험에서는 먼저 일반 박막 유도 헤드를 사용하여

747 곡선을 생성하였다. 일반 박막 유도 헤드로 기록된 트랙의 폭은 $6.8\mu\text{m}$ 로 하였고, 이 값은 기록시 높은 전류를 인가했을때, 매체의 보자력보다 큰 자장을 가지는 폭으로 결정하였다.

Fig. 4는 헤드 공극의 중앙에서 헤드표면으로부터 $0.1\mu\text{m}$, $0.15\mu\text{m}$, $0.2\mu\text{m}$ 떨어진 위치(z)의 트랙 폭 방향(y 방향)으로의 자장의 크기를 나타낸다. 공극에서 멀어질수록 자장의 크기가 감소함을 볼 수 있다. 이 그림에서 기록 매체가 $z=0.1\mu\text{m}$ 에서 $0.2\mu\text{m}$ 사이의 존재하기 때문에 $0.1\mu\text{m}$ 에서 $0.2\mu\text{m}$ 사이의 자장이 재생전압 계산시 중요한 역할을 하게 된다.

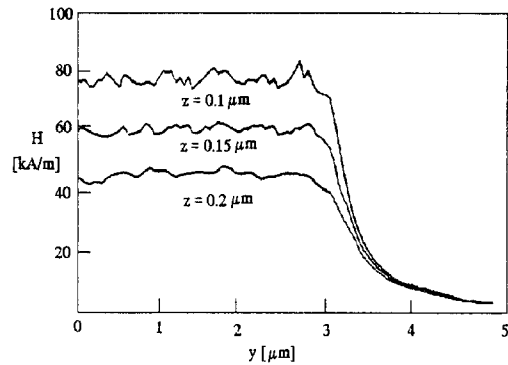


Fig. 4. Head field variation along the track width from the center of the gap. z indicates the distance from the head surface to the magnetic layer of media (i. e. magnetic spacing).

Fig. 5는 트랙 폭이 $6.8\mu\text{m}$, 소거밴드 폭이 $0.1\mu\text{m}$ 일때 전체 진폭을 최대치로 나눈 정규화된 신호 진폭과 잡음 진폭을 나타낸다. 실선은 데이터 트랙에 의한 신호 진폭이며, 트랙의 중앙에서 가장 큰 진폭을 나타낸다. 점선은 인접트랙과 이전 정보 트랙에 의한 잡음 진폭을 나타내고, 인접트랙의 중앙에서 최대치를 나타낸다. 이 그림에서 잡음 진폭의 왼쪽 봉우리가 오른쪽보다 낮은 이유는 왼쪽에는 이전정보 트랙만 존재하는 하고, 오른쪽에는 이전정보와 인접트랙이 존재하는 것으로 가정하고 시뮬레이션을 했기 때문에 데이터 트랙의 오른쪽에서의 잡음이 커지기 때문이다.

Fig. 6은 소거밴드의 폭이 $0.4\mu\text{m}$ 일때 트랙 피치를 $7.0\mu\text{m}$ 에서 $8.5\mu\text{m}$ 까지 $0.5\mu\text{m}$ 씩 증가시켰을때 신호대 잡음비의 변화를 나타낸다. 신호대 잡음비의 허용 한계(SNR_{eff})가 15 dB 이면, 데이터 트랙의 중앙인 0 에서 부터 15 dB까지의 거리가 오프트랙 성능을 표시한다.

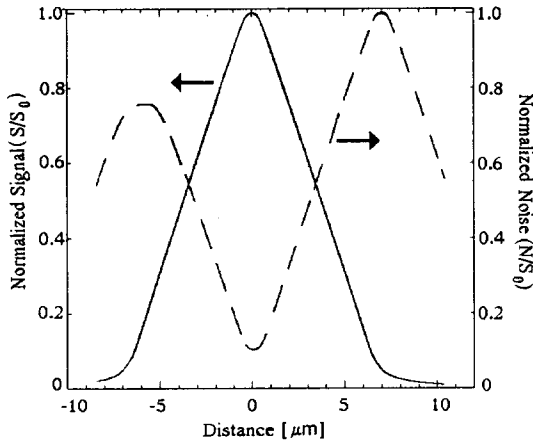


Fig. 5. Normalized amplitude of signal and noise as a function of read head position from the center of the data track (track width : $6.8\mu\text{m}$, erase band width $0.1\mu\text{m}$).

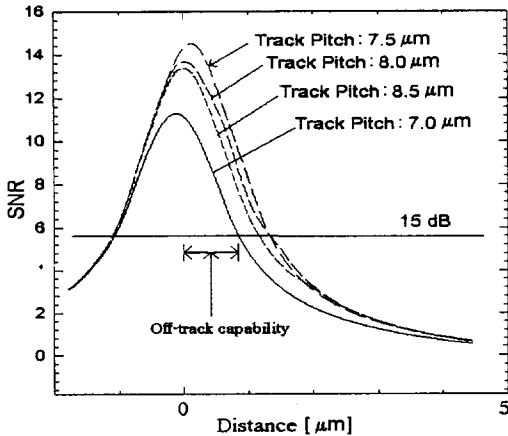


Fig. 6. Signal to noise ratio as a function of read head position from the center of the data track. Erase band width : $0.4\mu\text{m}$.

Fig. 7은 위의 오프트랙 측정 방법으로 생성된 소거밴드의 폭에 따른 747 곡선을 나타낸다. 데이터 트랙과 인접트랙이 트랙폭의 넓이와 두개의 소거밴드 폭($w_t + 2w_e$)의 트랙 피치를 가지고 기록될 때 (Fig. 2의 트랙 3의 경우) 오프트랙 성능은 최대치가 된다. 이는 앞에서 예상했던 바와 일치하며, 데이터 트랙과 인접트랙의 소거밴드가 겹쳐서 기록될 때 (트랙피치 : $w_t + w_e$)는 (Fig. 2의 트랙 4 경우) 트랙 피치가 아주 클 때 (Fig. 2의 트랙 1 경

우)와 같음도 확인 할 수 있었다.

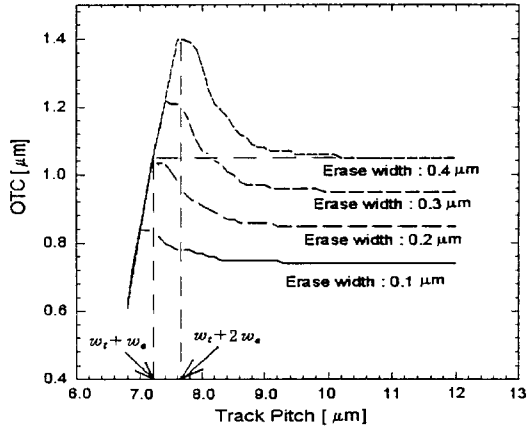


Fig. 7. Variation of 747 curves when the erase band width (w_e) changes from $0.1\mu\text{m}$ to $0.4\mu\text{m}$. Track width (w_t) is $6.8\mu\text{m}$.

Fig. 7에서 소거 밴드의 폭이 커질 수록 전체적인 오프트랙 성능이 커지고, 747 곡선의 최대치도 역시 커진다. 반면 소거 밴드 폭이 작아질 수록 최대치가 작고 봉우리도 역시 낮아지는 것도 볼 수 있다.

Fig. 8은 유효 신호대 잡음비를 13 dB, 15 dB, 17 dB로 바꾸었을때의 747 곡선의 변화를 관찰하였다. 유효 신호대 잡음의 비가 작을 수록 오프트랙 성능이 커지고 반면 클수록 오프트랙 성능이 작아진다.

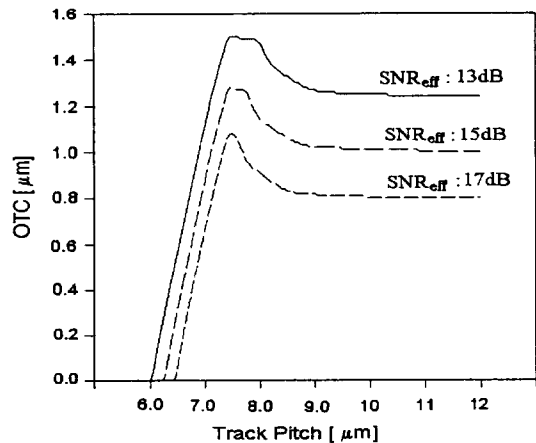


Fig. 8. Variation of 747 curves with SNR_{eff} .

Fig. 9는 평면실리콘 헤드의 소거밴드 폭에 따른 747 곡선이다. 트랙 폭이 $4.1\mu\text{m}$ 일때 소거 밴드의 폭을 $0.24\mu\text{m}$, $0.25\mu\text{m}$, $0.26\mu\text{m}$ 으로 변화시키면서 747 곡선을 계산하였다. 이 결과는 앞의 일반 박막 유도 헤드에서와 같이 소거밴드가 클수록 특성이 좋아짐을 볼 수 있다.

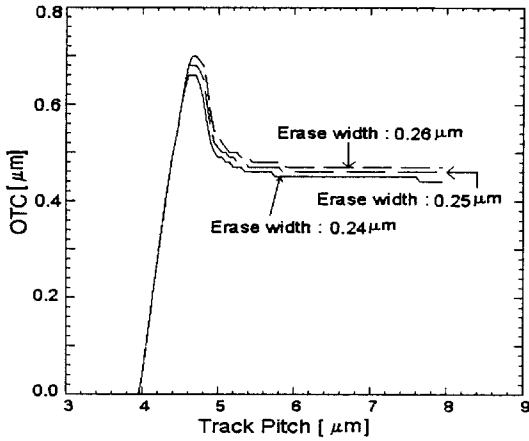


Fig. 9. Variation of 747 curves when the erase band width (w_e) changes from $0.24\mu\text{m}$ to $0.26\mu\text{m}$. Track width (w_t) is $4.1\mu\text{m}$.

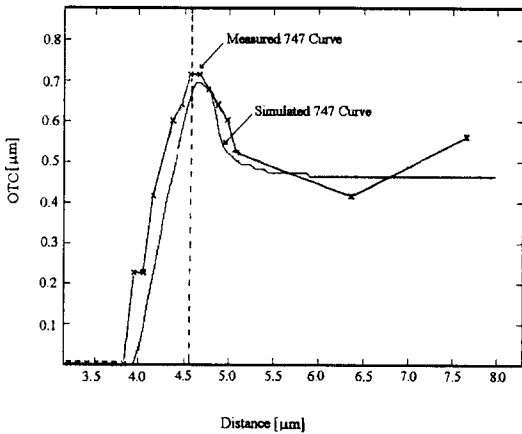


Fig. 10. 747 curve of measured and calculated.

Fig. 10은 실제 헤드 풀팁의 폭이 $3.75\mu\text{m}$ 인 평면 실리콘 헤드의 측정된 747 곡선과 시뮬레이션에 의해 생성된 747 곡선을 비교하였다. 측정에 사용된 평면실리콘 헤드의 기록된 트랙의 폭은 $4.0 \pm 1\mu\text{m}$, 소거밴드의 폭은 $0.25\mu\text{m}$, 헤드와 기록 매체 사이의 거리는 $0.05\mu\text{m}$ 이며, 이와 같은 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다. 이 그림에서 보듯이 측정에 의해 생성된 747 곡선과 시뮬레이션에 의해 생성된 747 곡선이 서로 비슷함을 볼 수 있었다.

IV. 결 론

오프트랙 성능 시뮬레이션을 위해서 Fortran을 사용해서 프로그램을 작성하였으며 이를 이용해서 트랙피치대 오프트랙 성능을 나타내는 747 곡선을 계산하였다. 생성된 747 곡선에서 소거밴드의 폭이 커짐에 따라서 또한 SNR_{eff} 가 작을수록 전체적인 오프트랙 성능이 커지고, 747 곡선의 최대치도 역시 커진다. 평면 실리콘 헤드의 측정된 747 곡선과 시뮬레이션된 747 곡선을 비교해 볼때 두 곡선이 비슷함으로 부터 본 시뮬레이션의 타당성을 입증할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] T. Iwakura, M. Aihara, H. Fukui and Y. Sugita, IEEE Trans. Magn., MAG-25, 3197 (1989).
- [2] P. Hardy and D. J. Malone, IEEE Trans. Magn., MAG-27, 5313(1991).
- [3] M. P. Veal and T. D. Howell, IEEE Trans. Magn., MAG-31, 820(1995).
- [4] J. -P. Lazzari, IEEE Tran. Magn., MAG-32, 80(1996).
- [5] C. Mee and E. Daniel, Magnetic Recording Technology, McGraw-Hill (1995).
- [6] R. A. Jenson, J. Mortelmans and R. Hauswitzer, IEEE Trans. Magn., MAG-26, 2169(1990).

The Simulation of 747 Curve for Hard Disk Drive System

Jeong-Kyo Seo and Soon-Chul Jo

Department of Electroic Engineering, Soongsil University, Seoul, 156-743, Korea

Young-Su Kim and No-Youl Park

*Precision Mechanics Lab., Samsung Advanced Technology, P. O. Box 111, Suwon,
440-600, Korea*

(Received, 20 March 1997, in final form 20 April 1997)

Off-track capability is used to determine the track pitch of hard disk drive system, and the off-track capability as a function of track pitch is called 747 curve. In this paper, 747 curves were simulated with computer. Side reading and recording parameters were obtained by magnetic field analysis using 3-D finite element method. Head read signal and noise voltages for calculation of signal to noise ratio (SNR) were obtained using reciprocity theorem. According to the 747 curves thus obtained, the off-track capability was increased as erase band width increased and as effective signal to noise ratio (SNR_{eff}) decreased. A simulated 747 curve and a measured 747 curve (using spin stand) of a planar silicon head with track width of $4.1 \mu m$ were very similar, which indicated that the simulation was carried out properly.