

# 광자기 디스크 재생신호 시뮬레이션에 관한 연구

손장우\* · 조순철

승실대학교 전자공학과  
서울시 동작구 상도5동 1-1, 156-743

이세광\*\* · 김순광

한국과학기술연구원 재료 설계 실험실  
서울시 성북구 하월곡동 39-1, 136-791

(1996년 2월 8일 받음, 1996년 7월 29일 최종수정본 받음)

광자기 디스크 드라이브의 광학계로부터 검출 신호와 잡음을 시뮬레이션하는 방법을 연구하였다. 기록된 표식과 입사되는 레이저 빔 형태를 간단한 모델을 사용하여 기술하고 각각을 이산화시켜 재생 신호의 크기와 파형을 시뮬레이션 하였다. 이렇게 시뮬레이션된 재생 신호에 Gaussian 랜덤 잡음을 부가하고 일차원 이산 FFT(Fast Fourier Transform) 알고리즘을 수행하여 신호와 잡음 스펙트럼을 추정하였다. 또한 이로부터 CNR(Carrier to Noise Ratio) 값을 구하였다.

## I. 서 론

MO(Magneto-optic ; 광자기) 효과를 이용한 표식(mark) 기록과 이러한 표식과 대응되는 신호를 검출하기 위하여 많은 연구가 계속되고 있다. 대부분 기록된 표식들은 일반적으로 타원형이 되어지는데 자구 관찰 편광 현미경으로 관찰되어질 수 있다[1]. HDD(Hard Disk Drive)와 비교하여 MODD(Magneto Optical Disk Drive)는 트랙 기록 밀도가 높고 기록 밀도는 집속 레이저 빔 직경에 의해 제한된다.

이러한 MODD 에서 고밀도와 성능개선을 위하여 단파장 레이저 다이오드의 사용, MSR(Magnetically induced Super Resolution)에 의한 표식의 기록, Kerr 효과가 높은 특성을 갖는 기록매체의 개발과 광학 헤드의 경량화가 지속적으로 연구되어지고 있다. 또한 잡음의 억제가 중요하며 잡음 원인으로는 레이저 잡음, Shot 잡음, 열 잡음 그리고 반사율 변동 잡음들이 알려져 있다[1].

디스크로부터 신호 품질 특성 평가 방법으로 스펙트럼 분석기, 시간 간격 분석기(TIA), 디지털 오실로스코프(D-SO) 등을 사용하여 파형의 스펙트럼 신호, CNR, SNR, 지터(jitter), eye pattern 등을 구하여 사용하고 있다[2].

본 연구에서는 표식과 레이저 빔 직경 크기에 따른 출력과 파형을 시뮬레이션 하였으며 랜덤 Gaussian 진폭

변동 잡음을 부가하여 스펙트럼 신호를 추정하고 이로부터 CNR을 구하였다.

## II. 본 론

### 1. 광학 재생계

자기 광학효과는 Faraday효과와 Kerr효과가 있다. Kerr효과는 자성 매질에서 빛이 반사할 때 발생되며 반사체의 자화 방향에 따라 Polar Kerr효과, Longitudinal Kerr효과, Transverse Kerr 효과의 세 가지 종류가 있다[3].

Fig. 1에서[1] 디스크로부터 반사되어진 빛은 입사된

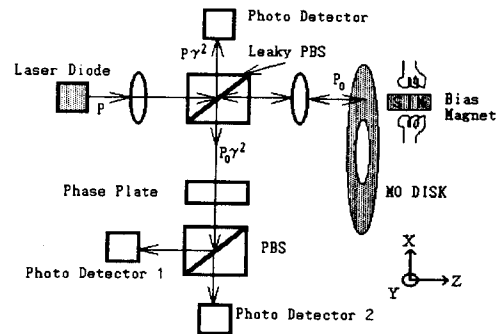


Fig. 1. Magneto-Optical readout system.

현주소 \* LG 전자, 경기도 평택시 진위면 청호리 19-1, 451-860

\*\* A.M.K. 강남구 역삼동 689-4, 대흥빌딩 5층, 135-080

X 편광과 수평한 성분과 이것에 수직인 성분으로 구성되어 있다. Leaky PBS(Polarizing Beam Splitter)는 레이저 입력 파위의  $r^2$  ( $r$ : 대략 0.4) 비율을 반사시키고 투과된 빛은 X축 선 편광과 수평 하다. 디스크로부터 반사된  $r$  비율의 선 편광 X 성분과 선 편광 Y 성분의 벡터 합이 출력되어지며 Y 성분에서 사용자 정보가 잃어지게 된다.

$\lambda/2$  또는  $\lambda/4$  phase plate를 사용하여 빔의 타원성을 조절하여 PBS와 포토다이오드 검출기로 차동 검출 모듈을 구성하여 신호를 검출한다. 차동 검출기에서 얻어지는 RMS 전압신호는

$$\langle V_{\text{signal}} \rangle \cong (R \cdot G) \cdot 2 \cdot \eta_s \langle P_0 \rangle \mathbf{r} |r_{x0}| \sqrt{R_D} \cdot \sin \theta_K \quad (1)$$

- 여기서
- $R$ : photo diode transresistance
  - $G$ : differential amplifier gain
  - $P_0$ : laser incident power
  - $\eta_s$ : photo detector sensitivity
  - $\mathbf{r}$ : Leaky polarizing beam splitter leakage reflectivity loss
  - $r_{x0}$ : reflectivity (x axis)
  - $R_D$ : reference reflectivity
  - $\theta_K$ : Kerr 회전각

### 2. 스펙트럼 추정과 분석법

스펙트럼 추정법을 매개변수(parametric) 법과 비매개변수(nonparametric) 법으로 나누어질 수 있다. 비매개변수법은 고속 Fourier 변환할 수 있는 이점이 있으나 분해능이 떨어지는 단점이 있다.

매개 변수법은 계산효율과 높은 분해능을 제공하는 이점이 있는 반면 스펙트럼을 추정하기 위한 정밀한 프로세서 모델을 만드는데 상당한 노력과 시간을 필요로 하는 단점이 있다. 가장 일반적인 매개 변수법은 신호의 autoregressive 모델의 매개 변수로부터 스펙트럼을 유도하는 것으로써 이동 평균법과 autoregressive 이동 평균법이 있다.

본 논문에서 시뮬레이션된 방법은 DFT(Discrete Fourier Transform)를 사용하여 재생 신호 스펙트럼을 추정하는 방법으로 비매개 변수법에 속한다. DFT 변화 알고리즘 속도를 빨리 하기 위하여 FFT 알고리즘을 사용한다.

N개의 표본 값을 갖는  $\{x(nT)\} = x(0), x(T), \dots, x((N-1)T)$  이 표본 간격 T로 표본화되어 있다고 가정하면 식(2)와 같이  $x(nT)$ 의 DFT값은 주파수 영역에서 복소값  $\{X(k\Omega)\} = X(0), X(\Omega), \dots, X((N-1)\Omega)$

로 정의되어 진다. 여기서  $\Omega = 2\pi / NT$ 는 제 1조화 주파수이고 N은 표본값 갯수이다.

$$X(k) = F_D[x(nT)] = \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) e^{-jk\Omega nT}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

### 3. 표식과 레이저 빔 모델

기록 표식으로 부터 반사된 출력 신호를 시뮬레이션하기 위하여 Fig. 2의 공간 분석 모델을 사용하였다. 표식의 반사율(reflectivity)을 표현하기 위하여 식(3)의 표식 방정식을 사용한다[4].

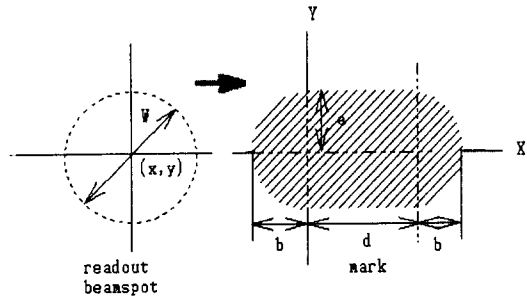


Fig. 2. Model of laser beam intensity and mark reflectivity.

$$R(X, Y) = \begin{cases} 1, & (\frac{X}{b})^2 + (\frac{Y}{a})^2 \leq 1, & X < 0 \\ 1, & -a \leq Y \leq a & 0 \leq X \leq a \\ 1, & (\frac{X-d}{b})^2 + (\frac{Y}{a})^2 \leq 1, & X > d \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

입사하는 레이저 빔 강도는 Gaussian 함수 분포를 갖는 것을 가정하고 다음과 같이 나타낸다.

$$P(X-x, Y-y) = A \cdot \exp \left[ -2 \frac{(X-x)^2 + (Y-y)^2}{(\frac{W}{2})^2} \right] \quad (4)$$

- A ; Intensity of beam center
- W ; Beam diameter

좌표 변수  $x, y$ 는 레이저 빔의 중심위치를 나타낸다. Fig. 2와 식(3), (4)를 사용하여 재생신호  $V(x, y)$ 는 다음의 이차원 Fourier 적분식으로 표현할 수 있다.

$$V(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} R(X, Y) \cdot P(X-x, Y-y) dXdY \quad (5)$$

#### 4. 이산 공간 모델

식(5)를 이용하여 실제 효율적인 시뮬레이션을 수행하기 위하여 다음의 이산적인 근사식으로 바꾼다.

$$V(p, q) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} R[m, n] \cdot P[m-p, n-q] \quad (6)$$

또한 (6)식과 대응이 되어지도록 표식과 레이저 빔을 이산화한다.

Fig. 3은 이러한 근사식을 수행하기 위해 표식과 레이저 빔이 최소 비트(bit)로 표현된 경우를 나타낸다.

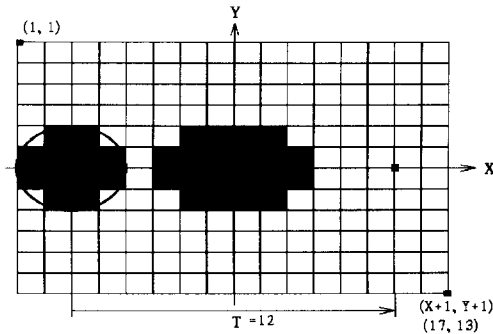


Fig. 3. Digitized mark and laser beam spot having minimum bit configuration.

이산 좌표에서 비트 수를 증가시키면 패턴의 모양을 실제 모양에 보다 근접하게 나타낼 수 있으며 따라서 재생신호를 정확하게 얻을 수 있다. 또한 빔의 중심 위치를 세밀하게 이동시켜서 트래킹 오차가 있는 출력 신호를 시뮬레이션할 수 있다.

#### 5. 시뮬레이션 방법

재생신호를 시뮬레이션 하기 위하여 식(6)을 이용하여 신호 값을 Turbo-C를 사용하여 프로그램 하였다. Fig. 3과 같이 타원 형태를 갖는 표식의 반사율과 레이저 빔의 강도를 표식의 중심과 빔의 중심을 일치시켜 컨볼루션한

다. 이때 각각의 컨볼루션 간격은 이산 신호의 표본 간격과 일치한다.

계산된 재생신호 값들로 부터 Fourier 변환하는데 Matlab Ver 4.0의 FFT 함수를 사용하였고 또한 Gaussian 잡음을 해석하기 위하여 Gaussian 잡음 발생 알고리즘을 프로그램 하였다. Fourier 변환 표본 갯수는 식(2)에서 나타낸 것과 같이 시간에 따른 표본 갯수와 같은 값을 갖는다. 총 표본 갯수는 한 개의 주기 신호가 94개의 표본 갯수를 갖고 100개의 주기신호를 고려하였으므로 9,400개이다. 잡음 진폭은 확률값이 영의 평균값을 갖는 독립 균일 분포 랜덤 변수 쌍을 Gaussian 분포 랜덤 변수 쌍으로 맵핑(mapping) 하는 Box-Muller의 알고리즘을 사용하여 얻는다[5].

Gaussian 잡음이 포함된 신호는 일차원 이산 Fourier 변환시킬 때 측정 회로계의 감쇄와 증폭을 보정하여 나타낸다. 여기서 얻은 스펙트럼은 실제 측정 스펙트럼 값과 대응되는 값이며 최대 진폭 스펙트럼 값으로 정규화 시키면 기본 주파수의 신호 스펙트럼과 잡음 스펙트럼의 차이로부터 CNR을 직독할 수 있다.

### III. 결과 및 검토

실제 시뮬레이션은 시스템의 모든 부품의 사양을 알 수 없었기 때문에 최대 신호 진폭의 크기를 1로 정규화 하여 행하였다.

레이저 빔의 파장과 집속렌즈의 NA(Numerical Aperture)의 관계에서 근사적인 레이저 빔 직경(W)을 계산하여 사용했다. 시뮬레이션에서 사용된 레이저 빔 직경은 표식폭 보다 1.25배 큰 값을 사용하여 Fig. 4의 Gaussian빔 강도 분포를 얻었다. Fig. 4는 실제 시뮬레이션에 사용된 것으로써 Gaussian 레이저 빔 최대 강도로 정규화시켜 메쉬(mesh)로 나타냈다.

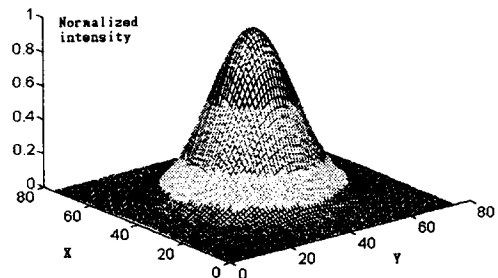


Fig. 4. Gaussian beam intensity distribution.

Fig. 5는 레이저 빔 직경 크기에 따라 재생 신호를 시뮬레이션한 것으로써 표식 폭이 빔 직경의 1.25배와 0.5배인 경우 각각 출력 파형을 나타낸다. Gaussian 레이저 빔이 반사될 때 표식에 비하여 Gaussian 레이저 빔이 무한히 작은 경우 구형파(Pulse 또는 사각파) 신호가 되며 최대 신호 진폭을 1로 정규화 하면 표식보다 큰 Gaussian 빔에서는 신호 진폭이 1보다 작아진다.

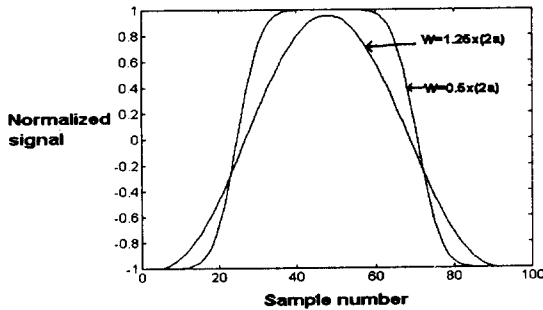
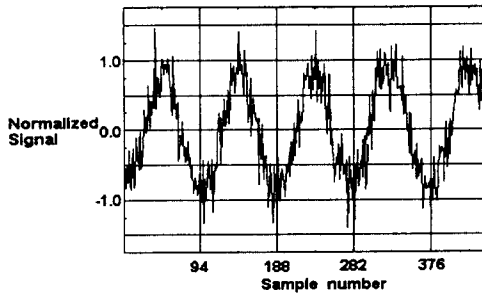
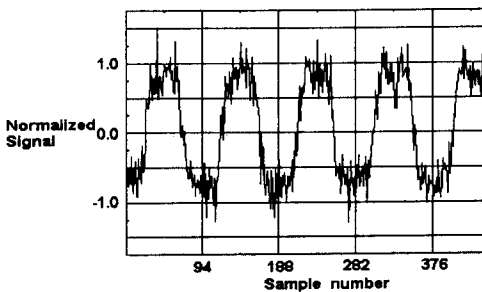


Fig. 5. Normalized signal waveform without noise.



(a)

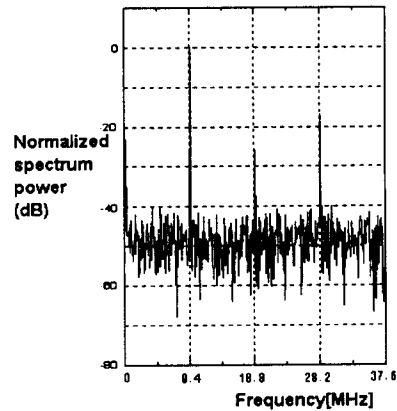


(b)

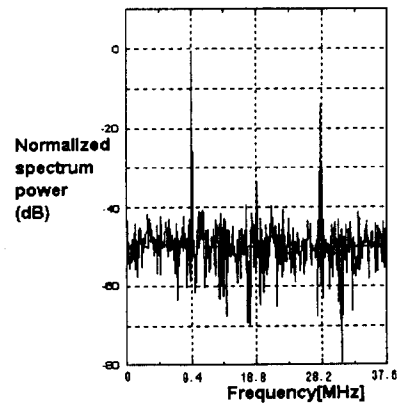
Fig. 6. Normalized readout signal waveform with Gaussian noise. (a)  $W = 0.5 \times (2a)$ , (b)  $W = 1.25 \times (2a)$

Fig. 6의 (a), (b)는 레이저 빔 직경이 각각 표식 폭의 0.5배와 1.25배인 경우 시뮬레이션된 신호에 진폭이 최대 신호 진폭의 0.25배인 Gaussian 잡음을 부가하여 출력 신호 파형을 얻었다.

Fig. 7(a), (b)는 Fig. 6(a), (b)의 출력신호를 Fourier 변환한 스펙트럼을 나타낸다. 최대 신호 진폭의 대비 0.25배의 진폭의 Gaussian 잡음을 부가하였을 때 약 50 dB의 CNR을 나타낼을 알 수 있다. 동일한 Gaussian 잡음 진폭을 부가하고 레이저 빔 직경이 표식 폭의 0.5와 1.25배 일 때 Fig. 7(a), (b)에 나타낸 것과 같이 빔 직경이 작은 경우 제 2 조화 성분과 제 3 조화 성분이 약 10 dB 크게 나타났다. 또한 Fourier 변환할 때 100개의 주기 신호(9,400개의 표본 개수)를 사용하거나 200,



(a)



(b)

Fig. 7. Normalized readout signal spectrum with Gaussian noise. (a)  $W = 0.5 \times (2a)$ , (b)  $W = 1.25 \times (2a)$

400개의 주기 신호(각각 18,800, 37,600개의 표본 개수)를 사용하거나 거의 동일한 결과를 얻었다.

Gaussian 랜덤 잡음을 부과하지 않은 경우 FFT 변환 step, 신호 주기 갯수 등에 따라서 CNR 150-750 dB를 보였는데 이는 Matlab Floating Point 실수 유효 숫자 범위에 따른 양자화 잡음 대비 Carrier 신호 진폭이다.

#### IV. 결 론

광자기 디스크 드라이브의 광학계로부터 검출 신호와 잡음을 시뮬레이션하는 방법을 연구하였다. 기록된 포식과 입사되는 레이저 빔 형태를 간단한 모델을 사용하여 기술하고 각 각을 이산화 시켜 재생 신호의 크기와 파형을 시뮬레이션하였다.

본 시뮬레이션 방법에 의한 MO 신호 스펙트럼 추정은 스펙트럼 분석기에 의한 측정값과 대응된다. 최대 신호 진폭의 0.25배의 진폭을 갖는 Gaussian 랜덤 잡음을 추가하였을 때 약 50 dB의 CNR을 나타내었다. 이러한 방법은 광자기 디스크 이외의 광 매체에서도 손쉽게 적용될 수 있으며 새로운 디스크 매체의 개발과 평가시 이용된다

면 시행 착오를 줄일 수 있으리라 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] M. Mansuripur, The Physical Principles of Magneto-Optical Recording, Cambridge University Press, (1995) pp. 293 ~ 327.
- [2] H. Miyamoto, M. Ojima, T. Toda, T. Niihara, T. Maeda, J. Saito, H. Matsumoto, T. Hosokawa and H. Akasaka, Jpn. J. Appl. Phys. **32** Part 1., No. 11B, 5457 (1993).
- [3] D. Jiles, Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, Chapman and Hall (1991) pp. 57 ~ 59.
- [4] T. Tanabe, Y. Yanaka and R. Arai, SPIE., Optical Data Storage, **1663**, 196 (1992).
- [5] P. Embree, C Language Algorithms for Digital Signal Processing, Prentice-Hall (1991) pp. 208 ~ 222.

### A Study on Simulation of Readout Signal of Magneto-Optic Disk

J. W. Son and S. C. Jo

*Dept. of Electronic Engineering, Soongsil University*

*1-1 Sangdo 5-Dong Dongjak-Ku, Seoul, 156-743 Korea*

S. K. Lee and S. K. Kim

*Materials Design Lab. KIST*

*39-1 Hawalgok Dong Sungbuk Ku, Seoul, 136-791 Korea*

(Received 8 February 1996, in final form 29 July 1996)

A method was studied which simulate signal and noise for magneto-optical disk drive system. Recorded mark patterns and incident laser beam were modeled and discretized. Using them readout waveform and amplitude were simulated. Adding Gaussian random noise to the readout signal and executing one dimensional discrete FFT (Fast Fourier Transform) algorithm, signal and noise spectrum was estimated. From the spectrum, CNR (Carrier to Noise Ratio) was obtained.