

MIG 헤드 가상 갭에 의한 재생 전압 스펙트럼 Bump의 컴퓨터 시뮬레이션

한은실 · 조순철

승실대학교 전자공학과

서울시 동작구 상도 5동 1-1, 156-743

(1994년 4월 30일 받음, 1994년 6월 7일 최종수정본 받음)

본 연구에서는 MIG 헤드의 재생 전압 스펙트럼에 나타나는 Bump들의 발생 원인을 설명하고, 이론적으로 예상된 주파수에서 Bump들의 진폭을 컴퓨터로 시뮬레이션 하였다. MIG 헤드의 센터스트와 페라이트 사이의 가상 갭(pseudo gap)이 없는 경우와 양쪽 모두 $0.02 \mu\text{m}$, $0.2 \mu\text{m}$, 인 가상 갭을 갖는 3가지 종류의 MIG 헤드들을 설정하고, 금속 분말(Metal Powder) 테이프를 사용한 것으로 가정하였다. 시뮬레이션 결과, 이론적으로 예상한 주파수에서 Bump들이 발생하였으며, Bump 진폭 또한 예상치와 거의 일치하였다.

I. 서 론

고밀도 자기 기록은 갭 길이의 감소를 요구한다. 갭이 줄어들면 내부 갭 기록 필드가 증가하기 때문이다. 하지만 작은 갭 길이를 갖는 페라이트 헤드로는 높은 보자력의 테이프를 기록할 때에 폴 팁 포화(pole tip saturation) 문제가 생긴다. 이 문제를 해결하기 위해서 페라이트 헤드 갭의 한쪽 또는 양쪽에 높은 보자력을 갖는 금속을 진공중에 증착시킨 MIG (Metal-In-Gap) 헤드가 등장하였다[1].

그러나 MIG 헤드 제작시에 페라이트 코아와 금속사이의 경계면에서 가상 갭(pseudo gap)이 존재하게 된다. 이러한 가상 갭[2]은 재생 전압 스펙트럼에 Bump를 유발시키며, 이러한 Bump들은 Jaap J. M. Ruigrok[3], H. Kobayash[4] 등에 의해 연구되었다.

Jaap J. M. Ruigrok 이 푸리에 변환을 사용하여 헤드 필드를 얻어 가역정리[5,6]를 사용, 주파수에 따른 재생 전압을 구한 반면, 본 연구에서는 2차원 유한 요소법 전장장 해석 프로그램인 Maxwell 팩키지를 이용하여 PC IBM 486 에서 헤드 필드를 구하고, 가역 정리 계산은 수치해석 전용 프로그램인 Mathematica 를 사용하여 Sun Sparc 2에서 직접 수행하였다.

II. 가역 정리를 이용한 재생 전압 계산

MIG 헤드의 재생 전압을 계산하기 위해 가역 정리를 사용하였다. 가역 정리를 사용하면 재생 전압은 식 (1)에 서처럼 테이프의 자화 패턴을 미분한 값 $dM_x(x-\bar{x})/d\bar{x}$ 과 헤드의 기록 자장 $H_x(x, y)$ 의 곱을 취해 적분

한 것으로 나타난다[6].

$$e_x = -\mu V W \int_d^{d+\delta} dy \int_{-x}^{+x} \frac{dM_x(x-\bar{x})}{d\bar{x}} \frac{H_x(x, y)}{i} dx \quad (1)$$

$$M_x = (2/\pi) M_r \arctan \frac{x}{a_x} \quad (2)$$

$$a_x = -\left(\frac{\delta}{4}\right) + \left(\frac{\delta^2}{16} + \frac{M_r \delta y}{\pi H_c}\right)^{1/2} \quad (3)$$

여기서,

M_r : 잔류 자화

a_x : 천이 길이 (transition length)

δ : 테이프 두께

W : 트랙 폭

V : 헤드-테이프 상대 속도

$H_x(x, y)$: x, y 위치에서 기록 필드의 x 성분

$\bar{x} = H \cdot t$

이다.

식 (1)에서 나타난 바와같이 테이프의 천이가 일어나는 위치와 헤드의 기록 필드가 존재하는 위치가 일치할 때만 이 재생 전압이 나타남을 알 수 있다. 이때 사용한 테이프의 자화 패턴은 식 (2)에서 처럼 arctangent 형태로써 테이프의 진행방향과 나란하고, x 성분만 있다고 가정하였다. 또한 $H_x(x, y)$ 는 x, y 위치에서의 기록 필드로써 역시 x 성분만을 고려하였다. 천이 길이는 두꺼운 필름(thick film)의 경우로 가정하였고[6], 헤드-테이프간의 거리 d

는 0인 경우를 고려하였다.

그림 1은 식 (1)에 의한 재생 전압 계산 과정을 나타낸 것이다. (a) 그림은 테이프의 자화 패턴을 가정한 것이고, (b)는 이것을 미분한 그림으로 천이가 일어나는 위치에서 영이 아닌 함수 값이 존재한다. 그림 (c)는 헤드의 기록 필드를 그린 것이며, (d)는 (b)와 (c)의 곱인 재생 전압을 나타낸다.

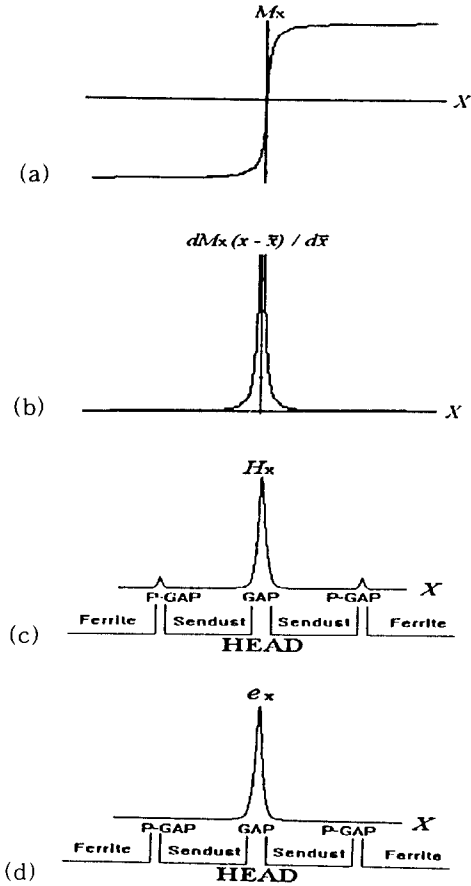
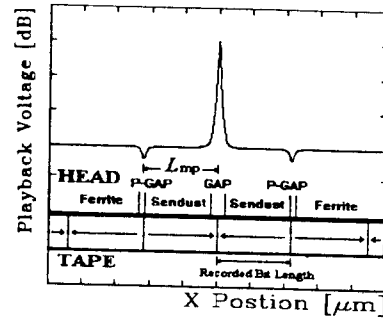


Fig. 1. Process of calculation of playback voltage by reciprocity theorem : (a) Magnetization pattern in tape (b) Differential Magnetization pattern (c) Recording field of head (d) Playback voltage.

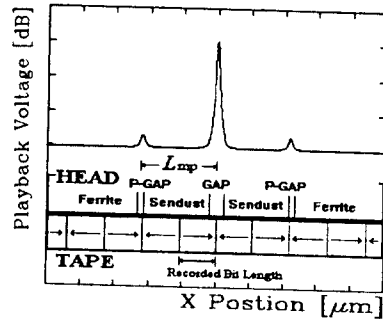
가상 갭에 의해서 Bump가 발생하는 이유는 그림 2를 이용하여 설명된다.

메인 갭과 가상 갭 중앙 사이의 거리 L_{mp} 내에 기록된 비트(recorded bit)가 (a)처럼 1, 3, 5, ... 개수로 홀수 개가 되면 메인 갭에서의 전압과 가상 갭에서의 전압 위

상이 반대가 되어 테이프의 모든 천이 위치에서의 전압의 총 합인 재생 전압이 감소한다. 그러나 (b)와 같이 L_{mp} 내에 기록된 비트가 2, 4, 6, ... 개수로 짝수개가 되면 메인 갭에서의 전압과 가상 갭에서의 전압 위상이 동상이 되어 재생 전압이 증가한다. 2개의 기록된 비트가 하나의 파장이므로 소멸 간섭(destructive interference)이 일어나는 파장과 보강 간섭(constructive interference)이 일어나는 파장은 각각 다음과 같이 나타내어 진다 [3].



(a)



(b)

Fig. 2. Playback voltage of reproduce head with pseudo gaps : (a) recorded bit length (frequency) corresponding to destructive interference (b) recorded bit length (frequency) corresponding to constructive interference.

$$\lambda_d = L_{mp} / (n - 1 / 2) \quad (4)$$

$$\lambda_c = L_{mp} / n \quad (5)$$

여기서, L_{mp} : 메인 갭 중앙과 가상 갭 중앙 사이의 거리

$n : 1, 2, 3, \dots$ 이다.

III. 시뮬레이션 방법

기록 필드를 얻기 위해 2차원 유한 요소법 프로그램인 Ansoft 사의 Maxwell 을 사용하였다. 그림 3 (a) 는 본 연구에 사용된 헤드 구조를 나타내며, 그림 3 (b) 는 유한 요소법으로 계산한 자속 밀도 B의 크기 (magnitude)의 등고선 (contour)을 메인 갭 근처에서만 나타내었다. 코아 길이는 가로, 세로 각각 1000 μm , 갭 길이는 0.4 μm , 샌더스트 두께는 각각 1.89 μm , 가상 갭 길이는 0, 0.02 μm , 0.2 μm 의 3가지 경우로 시뮬레이션 하였다. 이때 유한요소법을 적용한 계산 영역은 헤드 전체이다.

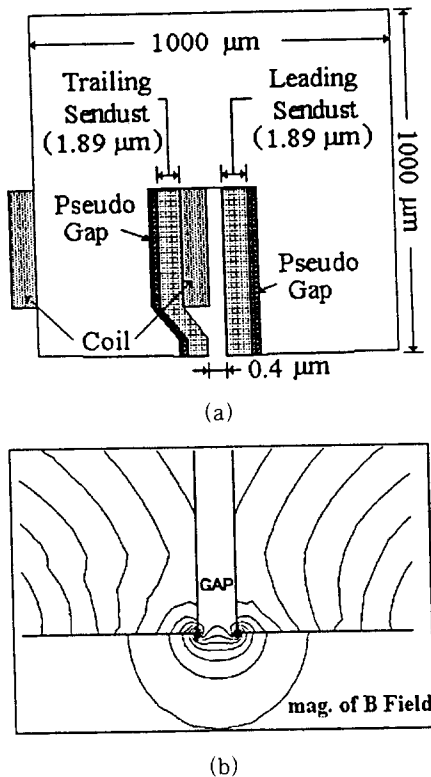


Fig. 3. Head structure used in the simulation (a), and magnitude contours of magnetic flux density B near the gap (b).

그림 4는 메인 갭 근처에서의 헤드 구조와 테이프 구조를 나타낸 것이다. 이때 사용된 테이프의 파라미터는 잔류 자화가 1110 emu/cc, 보자력 1140 Oe인 금속 분말 테이프 으로 가정하였다. 테이프의 자성층의 두께는 0.4 μm , 헤드-테이프간의 상대 속도는 3.14 m/s, 트랙폭이 25 μm , 기록 전류를 0.05 A로 설정하였다. 헤드로부터 떨어진 위치에

따라 기록 필드가 다르기 때문에 보다 정확히 재생 전압을 계산하기 위해서는 테이프의 자성층을 여러층으로 나누어 각 층에서 계산된 전압을 더하여야 한다. 하지만, 층을 많이 나눌수록 계산에 소요되는 시간이 증가하므로 계산 시간을 고려하여 테이프의 자성층을 7층으로 나누었다. 이때, 갭을 중심으로 $\pm 5 \mu\text{m}$ 이상에서는 헤드의 기록 필드가 존재하지 않기 때문에 테이프의 총 길이를 10 μm 로 설정하였고, 테이프의 길이를 1000개의 셀 (cell)로 나누어 계산하였다.

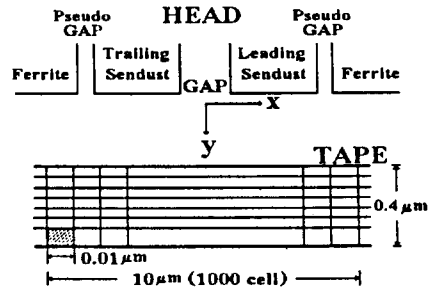


Fig. 4. Head and tape structure near gaps.

그림 5는 기록된 주파수(비트 길이)에 따른 재생 전압 계산에 사용된 프로그램의 순서도이다. 순서도에서 H_x field는 유한 요소법으로 계산된 값, X Position은 각 셀의 x 위치 값을 나타낸다.

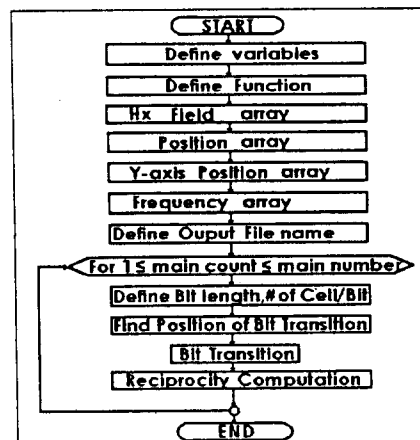
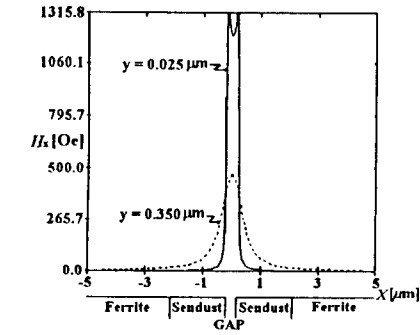


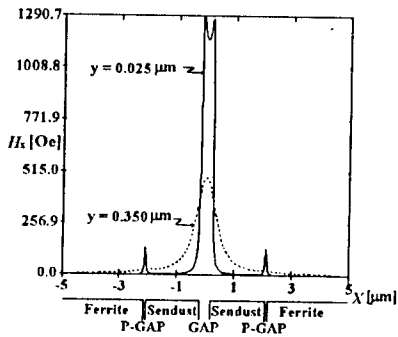
Fig. 5. Flow chart for calculation of playback voltage as a function of frequency.

IV. 결과 및 검토

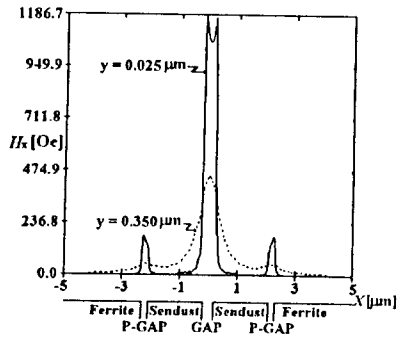
그림 6은 2차원 유한 요소법으로 계산된 헤드의 기록 필드를 나타낸 것으로, 헤드로부터 0.025 μm , 0.35 μm 떨어진 거리의 값들이다. (a)는 가상 갭이 없는 경우로 메인 갭에서만 기록 필드가 존재한다. (b)는 가상 갭이



(a)



(b)

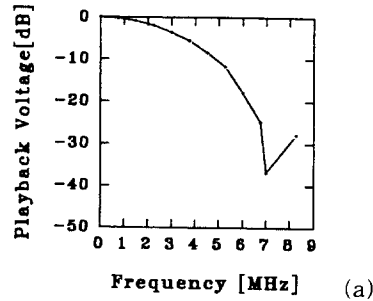


(c)

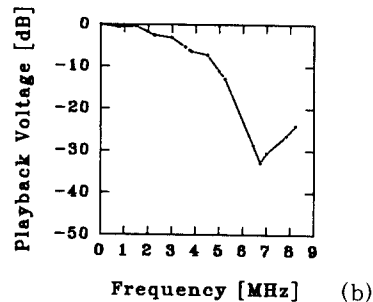
Fig. 6. HEAd field (H_x) calculated when (a) Pseudo gaps are not present, (b) pseudo gap length is 0.02 μm on each side of the main gap, and (c) Pseudo gap length is 0.2 μm on each side of the main gap.

0.02 μm 인 경우로 메인갭 뿐 아니라 가상 갭에서도 메인 갭 필드의 1/10 정도에 해당하는 기록 필드가 나타난다. (c)는 가상 갭 길이가 0.2 μm 인 경우로 역시 메인갭과 가상 갭에서 기록 필드가 나타난다. 이 경우는 메인 갭 필드의 1/6 정도의 기록 필드가 가상 갭에서 나타난다.

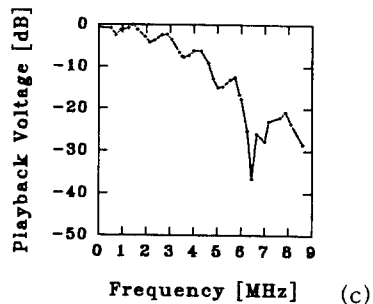
그림 7은 계산된 재생 전압으로 주파수에 따른 변화를 보여준다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 7. Playback voltage with frequency when (a) Pseudo gaps are not present, (b) pseudo gap length is 0.02 μm on each side of the main gap, and (c) Pseudo gap length is 0.2 μm on each side of the main gap.

(a)는 가상 갭이 없는 경우로 재생 전압 스펙트럼에서 bump들이 나타나지 않았다. (b)는 가상 갭 길이가 0.02 μm 인 경우로, 0.75, 2.24, 3.83, 5.23 MHz에서 bump들이 나타났다.

이것은 식 (4), (5)에서 예상된 주파수와 일치한다. 또한 각 bump의 진폭은 ± 1 dB로 예상치와 일치한다. 이것은 그림 6 (b)에서 가상 갭에서 메인 갭의 1/10 정도 기록 필드가 존재하기 때문이다. (c)는 가상 갭 길이가 $0.2 \mu\text{m}$ 인 경우로, 0.72, 2.15, 3.58, 5.0 MHz에서 bump들이 나타났다. 역시 식 (4), (5)에서 예상된 주파수와 일치한다. 또한 각 bump의 진폭은 ± 3 dB로 예상치와 일치한다. 그림 6 (c)에서 가상 갭에서 메인 갭의 1/6 정도 기록 필드가 존재하기 때문이다.

V. 결 론

본 연구에서는 가역 정리를 이용하여 주파수에 따른 재생 전압을 구하였다. 제작시에 MIG 헤드의 페라이트 코어와 금속의 경계면에 가상 갭이 존재하면, 재생시 재생 전압 스펙트럼 상에 bump들이 나타남을 확인하였다. 그 bump들이 발생한 주파수와 bump들의 진폭은 이론적으로 예상한 값과 일치하였다. 본 연구의 방법을 사용하면 MIG 헤드 뿐아니라 다양한 형태의 헤드들의 재생 전압

스펙트럼을 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] F. J. Jeffers, R. J. McClore, W. N. French, Giffith, IEEE Tran. Magn., **MAG-18**, No. 6, 1146 (1982).
- [2] K. Kajiwara, H. Hayakawa, Y. Uehara, K. Hayashi, K. Aso, T. Ishida, IEEE Tran. Magn., **MAG-24**, 2620 (1988).
- [3] Jaap J. M. Ruigrok, IEEE Tran. Magn., **MAG-18**, 872 (1984).
- [4] H. Kobayash, K. Inoue, H. Kurokawa, Y. Uehara, J. Appl. Phys. **67**(9), 4809 (1990).
- [5] W. K. Westmijze, Philips Research Reports 8, 149-183 (1953).
- [6] C. D. Mee and E. D. Daniel, *Magnetic Recording*, McGraw-Hill (1987) pp. 22~93.

Computer simulation of playback spectrum bumps due to pseudo gaps of MIG head

Eun Sil Han and Soonchul Jo

*Department of Electronic engineering, Soongsil University,
1-1 Sangdo 5-dong Dongjak-Ku Seoul, 156-743, Korea*

(Received 30 April 1994, in final form 7 June 1994)

This paper describes the occurrence of bumps in playback spectrum while reading with MIG heads. The amplitudes of the bumps in theoretically predicted frequencies are investigated by computer simulation. Three cases of MIG head structure are simulated, one without pseudo gaps, the other two with pseudo gap thicknesses of $0.02 \mu\text{m}$, and $0.2 \mu\text{m}$ on both sides of the main gap, respectively. It is assumed that metal powder tapes are used. The results show that the bumps occur at predicted frequencies and the amplitudes of the bumps agree well with predicted values.