

자화 벡터 분포를 고려한 C.P.M(Convergence Purity Magnet)의  
3차원 자계 분포 해석

이철규, 권병일, 박승찬\*, 윤태호\*\*  
한양대학교 대학원, \*동양대학교, \*\* (주)삼성전자

Analysis of 3-Dimensional Magnetic Field Distribution in C.P.M Considering  
Magnetization Vector Distribution

Chol-Gyu Lee, Byung-Il Kwon, Seung-Chan Park\*, Tae-Ho Yoon\*\*  
Graduate School of Hanyang Univ., \* Dongyang Univ., \*\* Samsung Electronics Co., Ltd.

**Abstract** - In this paper, we analyze three-dimensional magnetic field distribution of a convergence purity magnet(C.P.M) which is used for a cathode ray tube. The magnetization vector distribution of the C.P.M is obtained from the result of magnetization process analysis using the 2D F.E.M. Then the motion of electron beam passing through the inner space of the C.P.M is determined and compared with experimental result.

로 정의되며 계산방법은 식(3)과 같고 그림 2와 같이 실측곡선으로부터 얻을 수 있다.

$$E(\alpha, \beta) = \frac{1}{2} (M_1 - M_{12}) \quad (3)$$

1. 서 론

C.R.T (Cathode-Ray Tube) 모니터에서는 R(적색), G(녹색), B(청색) 전자빔이 전자총으로부터 주사되어 이것이 스크린에 도달하면 임의의 색을 형성하게 된다. 링의 형태를 갖는 C.P.M (Convergence Purity Magnet)은 이러한 전자빔의 운동을 미세 조절하여 화질을 선명하게 해주는 역할을 한다.

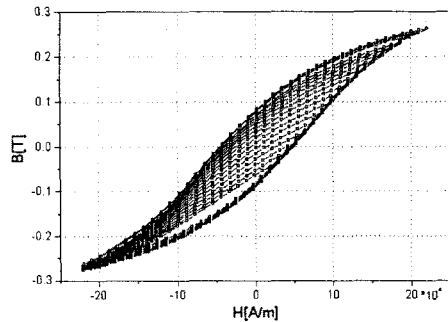


그림 1 1차전이곡선

C.P.M에 의한 자계 분포 해석을 위해서는 내부의 자화 벡터 분포를 정확히 결정하여야 한다. 영구 자석 재료의 착자 후 잔류 자화 벡터량을 구하기 위하여 재료의 히스테리시스 현상을 표현하는 프라이자흐 모델링 기법과 유한요소법을 이용하여 착자과정을 해석하는 방법이 제시된 바가 있다(1)(2).

본 논문에서는 이러한 방법을 이용하여 컬러 모니터의 C.R.T에 쓰이는 C.P.M의 자화 벡터 분포를 구한후, 2차원 정자계 해석과 3차원 정자계 해석을 통하여 각각의 자계 분포를 비교하므로써 3차원 정자계 해석의 정확성을 입증하였다.

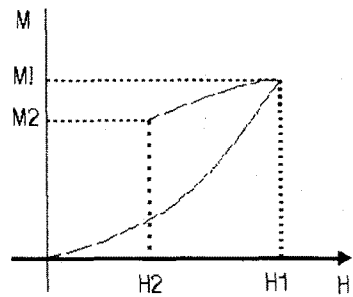


그림 2 에버렐함수값 계산방법

2. 유한 요소 해석

본 논문에서 구하려는 C.P.M의 자화벡터량은 자성재료의 히스테리시스 특성을 고려하여야 한다. 이를 위해 히스테리시스 특성을 프라이자흐가 제안한 방법으로 모델링하여 자화벡터량을 구하였다(2,3). 이 방법에서는 자성재료에 임의의 자계가 인가 될때, 자화 벡터량의 수치해석적 계산을 위하여 대상시료에 대한 그림 1과 같은 1차 전이 곡선데이터를 V.S.M(Vibrating Sample Magnetometer)을 이용하여 얻고 이로부터 에버렐함수 다이어그램으로 만들어야 한다. 히스테리시스의 프라이자흐 모델링에서 자화벡터량은 다음과 같이 표현된다.

착자 과정에 대한 유한 요소 해석은 자기벡터포텐셜을 이용한 맥스웰 방정식, 착자기 회로의 키르히호프 전압 법칙, 착자요오크에서 발생하는 와전류를 고려하여 해석한다. 자기 벡터포텐셜을 계변수로하는 지배 방정식은 다음과 같다.

$$M(t) = \int \int_{h_a \geq h_b} P(h_a, h_b) \chi(h_a, h_b) U(t) dh_a dh_b \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{\mu} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -J_0 - \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial M_x}{\partial x} - \frac{\partial M_y}{\partial y} \right) + \sigma \left( \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) \quad (4)$$

여기서,  $P(h_a, h_b)$ : 밀도분포함수  
 $\chi(h_a, h_b)$ : 히스테리시스 오퍼레이터

여기서, A : A의 z축 방향 성분값  
 $J_0$  :  $J_0$ 의 z축 방향 성분값  
 $M_x, M_y$ : x, y 축 방향으로의 자화의 세기  
 $\sigma$  : 착자요오크에서의 등가도전율  
 $\phi$  : 착자요오크에서의 전기스칼라 포텐셜

에버렐함수를 이용하여 식(1)은 적분식을 포함하지 않는 간단한 식으로 표현되며 이때 에버렐함수는

$$E(\alpha, \beta) = \int \int_{T(\alpha, \beta)} P(\alpha, \beta) da db \quad (2)$$

각 순간의 전류는 커패시터의 전하량을 시간적으로 미분한 것과 같으므로 착자기 회로의 키르히호프 전압방정식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{d\phi(t)}{dt} + (R+R_c)\frac{dQ(t)}{dt} + L_0\frac{d^2Q(t)}{dt^2} + \frac{Q(t)}{C} - \frac{Q_0}{C} = 0 \quad (5)$$

여기서,  $\phi$  : 착자요크 권선에 쇄교하는 자속,  
 $R, L_0$  : 착자기 외부 회로의 저항 및 누설 인덕턴스,  
 $R_c$  : 착자요크의 권선의 저항,  
 $Q_0$  : 커패시터의 초기 충전전하량,  
 $Q(t)$  : 커패시터 전하량.

착자요크 와전류의 연속조건식은 다음과 같다.

$$\int_{S_r} J_e dx dy = - \int_{S_r} \sigma_t \left( \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) dx dy = 0 \quad (6)$$

여기서,  $J_e$  는 착자 요크의 와전류 밀도이다.

Galerkin법을 이용하여 식(4)를 유한요소정식화하고 전압 방정식(5)와 와전류의 연속조건식(6)을 결합하면 식(7)과 같은 시스템 매트릭스를 얻는다.

$$\begin{bmatrix} K+C/\Delta t & M & G \\ Q/\Delta t & Z & 0 \\ S/\Delta t & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ Q \\ \frac{\partial \phi}{\partial z} \end{bmatrix}_{t+\Delta t} = \begin{bmatrix} A \\ Q \\ \frac{\partial \phi}{\partial z} \end{bmatrix}_t + \begin{bmatrix} P \\ V \\ 0 \end{bmatrix}_{t+\Delta t} - L \begin{bmatrix} 0 \\ Q \\ 0 \end{bmatrix}_{t-\Delta t} \quad (7)$$

위의 착자과정 유한 요소 해석부터 C.P.M의 자화벡터분포를 구하게 된다.

### 3. 해석결과

그림3은 C.P.M의 2차원 정자계해석 결과 얻은 자화벡터 분포도이다(대칭이기 때문에 1/4만 표시). 그림4는 이때 전자 빔이 지나가는 C.P.M반경 7.5mm지점의 자속밀도분포를 나타낸다. 그림5는 C.P.M 중심으로부터 반경 7.5mm지점의 자속 밀도분포를 Gauss meter로 측정된 실험치이다.

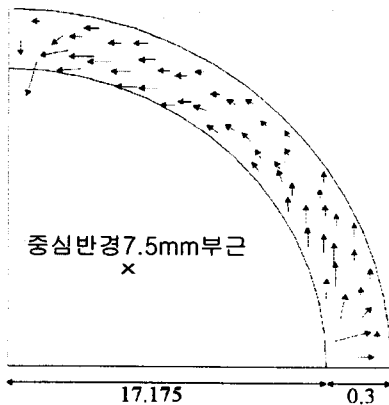


그림3 C.P.M 내부의 자화 벡터 분포

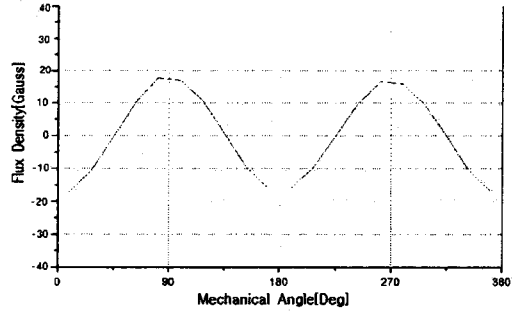


그림4 C.P.M의 중심으로부터 7.5mm 지점의 자속 밀도 분포(2차원 해석 결과)

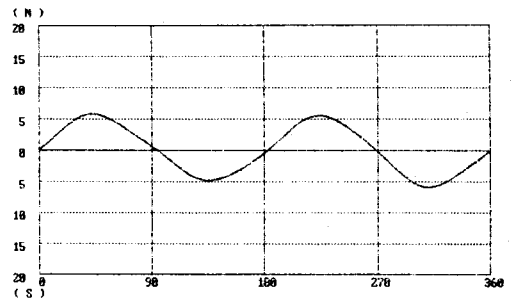


그림5 C.P.M의 중심으로부터 7.5mm 지점의 자속 밀도 분포(실험치)

그림 4, 그림 5에서 볼 수 있듯이 C.P.M의 중심으로부터 7.5mm지점(전자총으로부터 방출된 전자의 이동 경로에 해당함)의 최대자속밀도가 해석치는 17 Gauss정도, 실험치는 6 Gauss정도로 상당히 큰 오차가 있음을 알 수 있다.

그림 6은 3차원으로 정자계 해석을 했을 경우의 C.P.M전체의 자속분포를 나타내고 그림7은 4극 C.P.M의 N극부분 단면에서의 자속의 방향을, 그림8은 4극 C.P.M중심 반경 10mm안의 자속의 방향을 나타낸다. 3차원 해석시에는 그림 3에서 보인 2차원 착자과정 해석으로부터 얻은 자화벡터량을 이용하였으며, 3차원 요소내에서의 자화벡터량은 동일한 영역에 해당되는 2차원 요소들에서의 자화 벡터량을 합성하여 할당하였다.

그림9는 4극 C.P.M의 중심으로부터 7.5mm지점의 자속 밀도분포를 나타낸다.

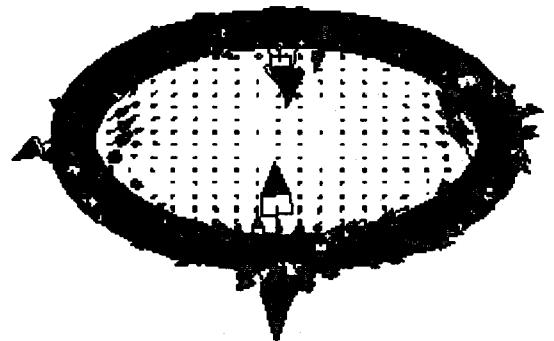


그림6 4극 C.P.M의 자속 밀도 벡터도(3차원 해석결과)

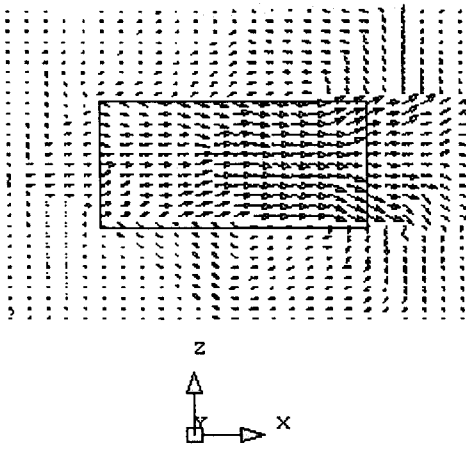


그림 7 N극 부분 단면에서의 자속방향

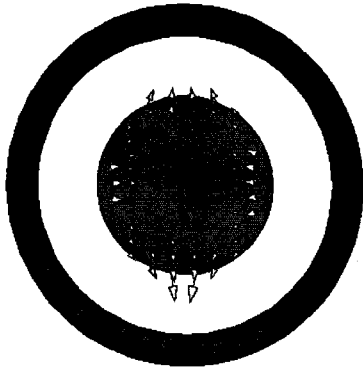


그림 8 C.P.M 중심에서 반경 10mm 이내의 자속밀도벡터

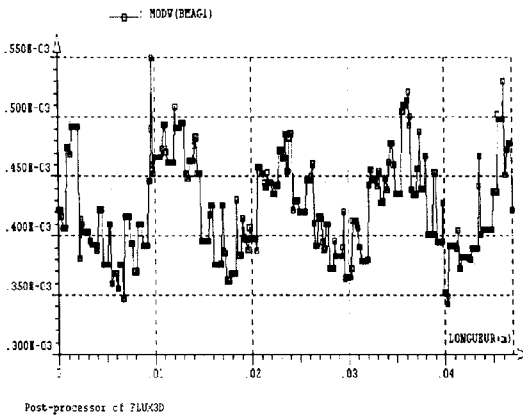
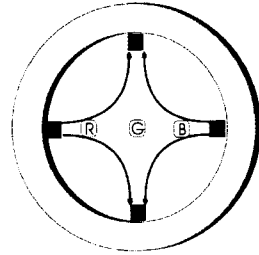


그림 9 C.P.M의 중심에서 7.5mm 자점의 자속밀도 분포

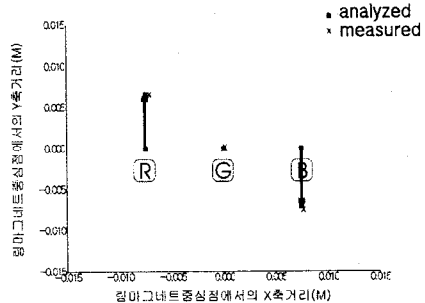
위 그림들로부터 링형태의 C.P.M 3차원 정자계 해석을 통해 극부분에서 자속의 경로가 x축, y축 방향뿐만 아니라 z축방향으로도 존재함을 알 수 있다. 따라서, 2차원 정자계 해석시 C.P.M의 중심에서 반경 7.5mm지점의 자속밀도가 실험값보다 크게 나오는 원인은 2차원 해석이 x축, y축 방향으로 향하는 자속의 경로만을 고려할 수 있기 때문이다. 그림9는 C.P.M의 중심으로부터 반경 7.5mm 지점에서의 자속 밀도

분포를 3차원 유한 요소 해석한 결과로서 자속밀도의 최대치가 5.5 Gauss가량이며, 실험치와 거의 일치하여 3차원 해석의 정확성을 입증된다. 그림 4, 5와 같이 정현파가 되지 않는 것은 그림 4, 5는 자속밀도의 법선성분의 크기만 나타낸 그림이고 그림9는 자속밀도의 법선성분과 접선성분의 크기 모두를 나타낸 그림이기 때문이다. 극부분에서의 자속밀도는 법선성분만 존재하고 그때 크기가 가장 크기 때문에 2차원과 3차원 해석시의 최대자속밀도 크기를 비교할 수 있다.

3차원 정자계 해석의 결과로 C.P.M을 통과하는 전자빔의 경로의 정확한 자속밀도를 구한 뒤 로렌쯔 힘의 방정식을 이용하여 전자빔의 C.P.M에서 모니터의 스크린에 도달할 때까지의 운동을 해석할 수 있었다. 그림10은 4극 C.P.M에 의한 전자빔의 위치변화를 해석한 결과와 실험결과를 나타낸 그림이다. 그림10(a)와 같은 4극 C.P.M내의 자계분포로 인하여 각 위치를 통과하는 R, G, B전자빔이 C.P.M을 지나 스크린에 도달할 때는 어떻게 위치가 변하는지 해석결과와 실험결과를 그림10(b)에 같이 나타내었다.이로부터 전자빔 운동해석의 정확성을 입증할 수 있었다.



(a) 4극 C.P.M내의 자속방향



(b) 전자빔의 스크린에 도달할 때의 위치변화  
그림 10 C.P.M에 의한 전자빔의 운동 해석 결과

#### 4. 결 론

본 논문에서는 C.R.T 모니터에 쓰이는 등방성 영구자석인 C.P.M의 자화벡터량을 프라이어호 모델기법을 이용한 유한요소해석으로 구하고 이를 이용하여 C.P.M의 3차원 정자계 해석을 하였다.

3차원 정자계 해석으로부터 2차원 정자계 해석에서 고려하지 못하는 C.P.M 형태로 인한 z축방향의 자계분포가 있음을 발견하였다. 또한 3차원 정자계 해석으로부터 정확한 자계분포를 구할 수 있어 C.P.M 내부를 통과하는 전자빔의 운동을 해석할 수 있었다.

#### [참고 문헌]

- [1] 홍선기, "등방성 자성재료에서의 일반화된 벡터 히스테리시스 모델링", 공학박사학위논문, 1993
- [2] 고창섭, 윤희수, 한승명, "프라이어호 모델을 이용한 커패시턴스 방전 펄스 착자기의 특성해석", 대한 전기학회 논문지, 제47권 10호, pp.1627-1634, 1998.
- [3] Issak D.Mayergoyz, "Mathematical Models of Hysteresis", IEEE Trans. on Magnetics, Vol.22, No.5, pp.603-608, 1986.