

강자성체의 자기정속을 위한 히스테리시스 모델링 기법 연구

원 희, 박관수

전기전자공학부, 부산대학교, 장전2동, 부산, 609-735

A Study of Hysteresis Modeling Method for Magnetic Stealth of Ferromagnetic Materials

Hyuk Won, Gwan Soo Park

School of Electrical Engineering, Pusan National University, San 30, Jangjeon-dong, Geumjeong-gu, Busan, 609-735

Abstract - A great deal of external magnetic variation is required to demagnetize a magnetic material. In order to analyze a demagnetization model, hysteresis is employed and the best numerical analysis technique so far, regarding hysteresis, is Preisach model. In general, Preisach model, however, bears the instability problem with respect to convergence and hence in this paper, a method adopting M-B variables is proposed to solve the problem. In addition, comparison is made between the experimental MTF equipment and the hysteresis modeling technique for the purpose of developing an effective demagnetization protocol.

1. 서 론

강자성체를 사용한 시스템이 정밀해 짐으로 인해서 외부 지구 자기장 때문에 발생된 강자성체 내부의 자화량을 줄이는 탈자 기법에 대한 연구의 중요성이 매우 높아지고 있다. 효율적인 탈자 기법 연구를 위해서는 강자성체 내부의 포화자화 현상과 히스테리시스 현상을 모두 고려한 수치 해석 기법이 요구된다. 이와 같은 강자성체의 시스템의 자기이력 현상을 가장 잘 묘사할 수 있는 기법은 Preisach 모델이다. 하지만 일반적인 Preisach 모델은 수치적인 불안정성을 가지고 있기 때문에, 빈번히 반복 계산시 수렴되지 않는 문제를 발생하게 된다[1-2].

본 논문에는 새로이 제안된 estimated M-B curve Preisach 모델링을 이용하여, 일반적인 Preisach 모델링의 수치적 불안정성을 해결하는 방법을 제안했다. 이를 이용하여 강자성체에 세밀한 탈자 해석을 진행하였고, 같은 조건의 실험 MTF 장비와의 결과를 비교·검토하여 기술하였다.

2. M-B 변수 Preisach 모델 소개

본 장에서는 먼저 일반적인 M-H 변수를 이용한 Preisach 모델에 대하여 간단히 설명한 후, 새로이 제안된 M-B 변수를 이용한 Preisach 모델링 방법을 기술하기로 한다.

2.1 M-H 변수를 이용한 Preisach 모델링

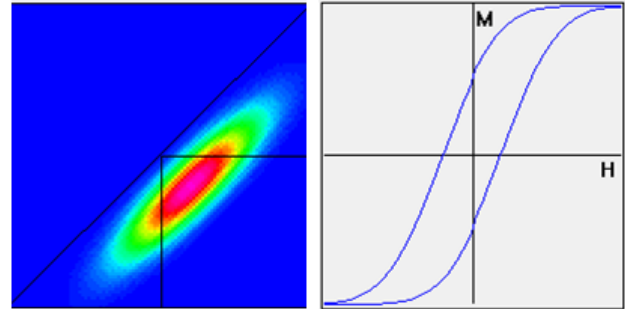
일반적인 Preisach 모델링은 M-H 변수를 사용하며, 자기입자간의 상호관계를 이용하여 Preisach 평면을 정의하여 사용한다. 밀도분포를 구하는 방법은 실측곡선으로부터 구간 제적에 따라서 그 영역의 밀도 값을 Preisach 평면에 적용하는 방법을 사용한다. 하지만 이 같은 방법으로 밀도분포를 구하는 것은 Preisach 평면의 격자가 세분화 될수록 힘들어 지게 되며, 또한 보간 하는 방법에 따라서 밀도분포가 매끄럽지 못할 경우 반복계산 시 수렴이 되지 않는 문제를 발생시킬 수 있다.

입자들의 상호작용에 따른 밀도분포는 일반적으로 Gauss 형태로 분포하므로, 본 논문에서는 Gauss 함수를 이용하여 밀도분포를 생성하는 방법을 이용한다. 그림 1의 (a)는 Gauss 함수를 이용하여 생성된 Preisach 평면이고, 그림 1의 (b)는 정의된 평면으로부터 얻어진 M-H 곡선을 나타낸 것이다.

일반적인 M-H 변수를 이용하여 자성체료가 포함된 시스템의 히스테리시스 모델링을 할 경우 입력된 자계의 세기 H에 의해서 변화되는 자화량 M의 변화가 보자력 근방에서 급격하게 변화하기 때문에 수치해석상 불안정한 요소를 가지게 되고, 이로 인해서 반복계산 시에 수렴이 되지 않는 경우들이 빈번히 발생하게 된다.

2.1.1 M-H 곡선과 M-B 곡선

C.G.S 단위계에서 포화자속 밀도 B와 자계의 세기 H, 그리고



(a) Preisach plane (b) M-H curve
<Fig. 1> Normal Preisach model with M-H Variable

자화량 M의 관계는

$$B = H + M \tag{1}$$

의 식이 성립하며, 자화량 M과 자계의 세기 H는 자화율 χ 에 의해

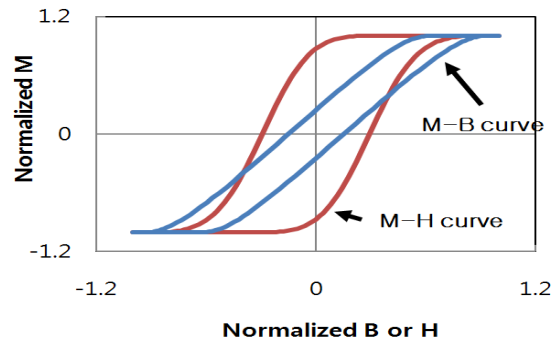
$$M = \chi H \tag{2}$$

의 관계를 가진다. 이 경우 세 변수의 조합에 따라 다음식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{M}{H} &= \chi \\ \frac{B}{H} &= 1 + \chi \\ \frac{M}{B} &= \frac{\chi}{1 + \chi} \end{aligned} \tag{3}$$

즉, χ 의 값이 무한대로 커지면 M-H 또는 B-H 변수 시스템의 응답은 무한대로 커지지만 M-B 변수 시스템에서는 응답이 1이 됨을 알 수 있다.

그림 2는 M-H를 변수로 사용할 경우의 메이저 루프와 M-B를 변수로 사용할 경우의 메이저 루프를 비교하여 표현한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 M-B 곡선은 M-H 곡선에 비해서 전 영역에서 기울기의 변화량이 적으므로, M-B 변수를 이용할 경우 해의 수렴성을 향상시킬 수 있다.

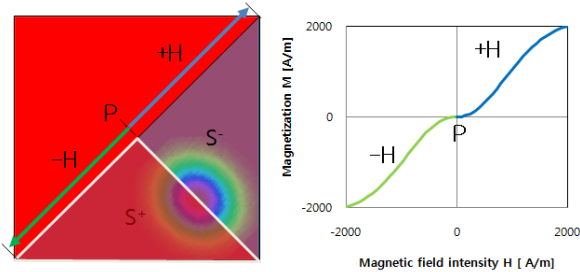


<Fig. 2> The comparison of M-H and M-B majorloops

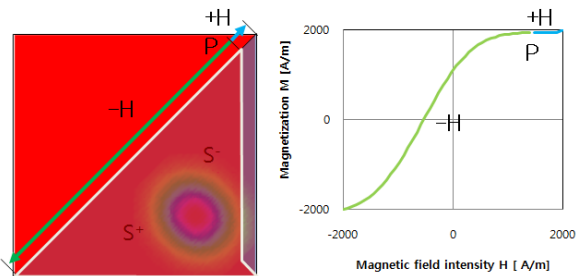
앞서 살펴본 바와 같이 M-H 변수를 M-B 변수화 할 경우 수치 계산의 안정성을 향상시킬 수 있다. 하지만 M-H 변수를 사용할 경우 입자들의

상호작용에 따른 밀도 분포는 일반적으로 Gauss 분포를 따르는 것으로 알려져 있지만 M-B 변수를 사용할 경우 전혀 다른 분포를 따르게 된다. M-B 변수를 이용할 경우 현재 가장 문제가 되는 점은 Preisach 평면의 밀도 분포를 정의하는 것이다.

M-H 밀도는 간단히 Gauss 분포를 이용하여 다양한 재료의 정확한 표현이 가능하다. 이를 M-B 밀도 분포로 변환할 수 있는 방법이 있다면 수렴성 향상 및 재료 특성에 대한 고려 문제를 모두 해결 할 수 있게 된다. 본 논문에서는 M-H 밀도를 직접적으로 M-B 밀도로 변환하는 방법을 사용하지 않고, M-H 밀도로부터 M-H 곡선을 정의한 후 이를 간단한 식 (1)을 이용하여 M-B 곡선으로 변환한 후 이를 이용해서 반복 계산하는 방법을 사용하였다



(a) Preisach plane (b) M-H curve
<Fig. 3> Initial tracing curve define



(a) Preisach plane (b) M-H curve
<Fig. 4> Next tracing curve define

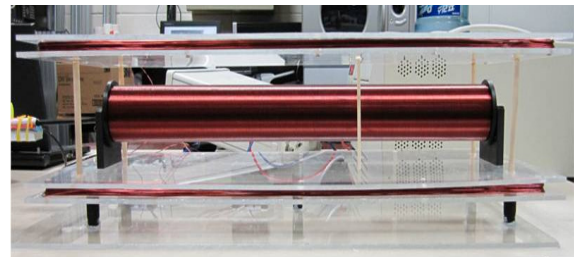
본 논문에서 제안하는 방법은 그림 3과 같은 방법이다. Preisach 모델링의 한 셀에서 반복 계산 시 사용되는 M-H 곡선은 그림 3의 (a)에서와 같이 현재 자화 포인트 P를 기점을 중심으로 외부 자계 H의 입력 증가와 감소에 따라 그림 3의 (b)와 같이 단 한 개만이 정의된다. 따라서 제적이 남지 않는 반복 계산 시 각 셀에 사용되는 M-H 곡선은 1:1로 대응되므로 반복계산 초기에 단 한번만 정의하여 사용할 수 있다. 이 방법은 히스테리시스 현상을 계산하는 셀의 수만큼의 메모리 증가와 초기 계산 시간이 요구되어지지만 반복계산 시에는 입력 자계의 세기 H에 따른 자화량 M의 변화를 정의된 곡선으로부터 신속하게 계산할 수 있게 되는 이점이 있다.

한 번의 반복 계산에서 수렴이 이루어지면 제적의 포인트 P는 그림 4의 (a)와 같이 변화하게 되고, 새로운 포인트 P를 중심으로 현재의 외부 자계 H의 입력 증가와 감소에 따른 M-H 곡선의 변화는 그림 4의 (b)와 같이 예측할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 방법을 예측 M-H 곡선 Preisach 모델(estimated M-H curve Preisach model)이라고 부른다.

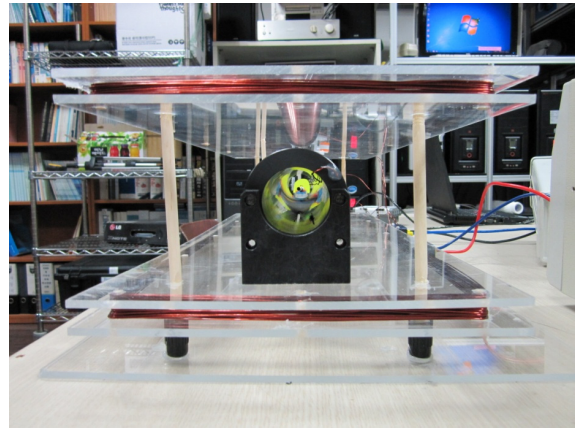
예측 M-H 곡선 Preisach 모델에서 얻어진 예측 M-H 곡선은 식 (1)에 의해서 간단히 M-B 곡선으로 변환 시키는 것이 가능하다. 따라서 이와 같은 방법을 이용한다면 M-H 변수를 생성된 Preisach 평면 밀도로부터 M-B 변수를 이용한 Preisach 모델 해석 기법에 간단히 적용할 수 있고, 수렴 문제를 해결할 수 있게 된다. 본 논문에서는 이러한 방법을 예측 M-B 곡선 Preisach 모델(estimated M-B curve Preisach model)이라고 부른다.

3. 실험 및 토의

본 연구에서는 그림 5에 나타난 실험 장비를 이용하여 탈자 실험을 하였고, 이를 탈자 시뮬레이션과 비교하였다. 탈자 실험장비에 인가되어진 전압파형은 그림 6 보여지는 것과 같이 처음에 최대 전류값을 인가한 후 스텝 마다 조금씩 줄여가는 형태의 프로토콜을 적용하였다. 탈자가 적용되는 탈자체는 SM45C 재질을 적용하였다.

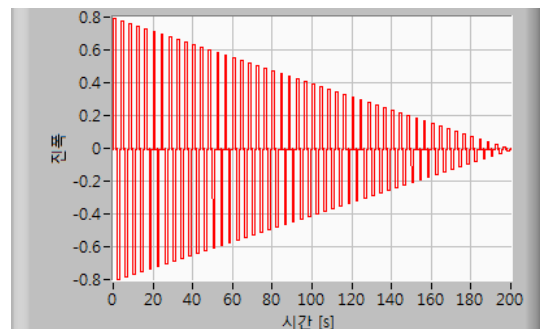


(a) Side view



(b) Front view

<Fig. 5> Lab MTF System



<Fig. 6> Analysis protocol

해석 결과를 검증하기 위하여 탈자체로부터 50 Cm 떨어진 부분에 센서 라인을 설치하고, 탈자체로부터 외부로 발생하는 자기장을 측정하여 해석 결과와 비교 검토하였다. 그 결과로 해석 결과와 일치되는 실험결과를 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 일반적인 Preisach 모델링에서 발생하는 수치적 불안정성 문제를 해결할 수 있는 새로운 M-B 변수를 이용한 해석 기법을 제안하였고, 실험 탈자 모델과 해석 결과를 비교하여 제안된 기법이 잘 일치하며, 수치적 불안정성 문제를 해결할 수 있음을 증명했다. 또한 실험을 통해 제안된 모델링 방법이 탈자 모델에 적합함을 입증하였다.

[참고 문헌]

- [1] E.Della Torre, "Numerical Micromagnetics Calculations", IEEE Trans. On Mag., Vol. MAG-15, No.5, September 1979
- [2] E.C.Stoner and E.D.Wohlfarth, "A Mechanism of Magnetic Hysteresis in Heterogeneous Alloys", IEEE Trans. on Mag., Vol.27, No.4, July 1991.