

자기히스테리시스 현상 해석을 위한 Preisach Modeler 개발

원혁, 박관수
한국해양대학교 전기공학과

Development of The Preisach Modeler for The Analysis of The Magnetic Hysteresis

Hyuk Won And Gwan Soo Park
Dept. Electrical Engineering, Korea Maritime University

Abstract - 자성체의 물성적인 성질에 바탕을 둔 Preisach 모델링은 히스테리시스 현상을 수치모사하기 위한 방법으로 널리 사용되어 왔다. 히스테리시스 곡선에서 각형비(Squareness)가 큰 경우에 Preisach 밀도가 집중되게 되면 이 근방에 수렴값이 존재할 경우 수렴이 어려워지는 문제가 있다. 본 논문에서는 Preisach 모델링을 프로그램하는데 있어서 기존에 발생했던 수렴의 문제점과 그 문제점을 해결하기 위한 보다 나은 프로그램 기법들을 제시하였다. 이 방법은 기존 모델링 기법과 유사한 메모리를 사용하면서 수렴에 있어 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

의 불안정성이 존재하기 때문이다.

본 논문에서는 Preisach 모델링을 프로그램하는데 있어서 기존에 발생했던 수렴의 문제점과 그 문제점을 해결하기 위한 보다 나은 프로그램 기법들을 제시하였다. 이 방법은 기존 모델링 기법과 유사한 메모리를 사용하면서 수렴에 있어 향상된 결과를 얻을 수 있다. 또한 Preisach 모델러 개발하는 과정에 발생하는 Tracing 모델들을 도식화하여 Programing에 반영하였다.

1. 서 론

2. 기존 Preisach Modeling의 수렴의 문제

자성체는 상자성, 반자성 그리고 강자성으로 분류되고 다시 강자성체는 연자성체와 경자성체로 세분되면서 자기적 효과가 큰 강자성체는 매우 광범위하게 응용되어 사용되고 있다. 특히 근래에 들어 자성체의 제조 기술이 발달함에 따라 매우 높은 투자율을 갖는 연자성체 또는 높은 보자력과 높은 잔류자속 밀도를 갖는 경자성체들이 개발되고 이러한 것들은 그 응용범위를 더욱 넓혀 대전력 장치에부터 매우 정밀한 기기에 이르기 까지 쓰이게 되면서, 강자성체가 포함된 전기기기의 정밀한 해석이 요구되었다.

Preisach 평면상에서 자기이력에 따라 자화량을 구하는 방법은 다음과 같다. 초기에 자성체가 모두 탈자(Demagnetize) 되었다고 할 경우 입자들은

$$f_u(0) = 1, \text{ if } U_{0 \geq 0}$$

$$f_u(0) = -1, \text{ if } U_{0 < 0}$$

강자성체가 포함된 기기를 정밀하게 해석하기 위해서는 포화현상과 히스테리시스 현상을 고려해 주어야 한다. 히스테리시스 특성은 주기성이 없는 임의의 입력에 대하여 가해지는 입력에 따라 메이저 루프와 마이너 루프를 오가는 멀티 브랜치(Multi Branch) 특성을 가지며 자기이력(Magnetic History)에 따라 자화량이 달라지는 등 매우 복잡한 성질을 지니기 때문에 이러한 특성은 간단한 수식으로 표현되지 않고 자성체의 물성적인 성질에 기반을 둔 모델링이 필요하게 된다.

와 같이 된다. Preisach 평면입자들의 작용자가 양의 값을 갖는 부분을 S^+ , 음의 값을 갖는 부분을 S^- 라 하면 초기의 탈자상태에서는 그림 2 (a)와 같은 궤적이 그려진다. 그림 2는 입력의 변동에 대한 궤적과 히스테리시스 곡선을 그린 것이다. 그림 (a)와 같이 초기 모두 탈자된 상태에 입력값이 증가하였다가 감소한 후 다시 증가하면 그림 1에서 설명한 바와같이 Preisach 평면에서 자기이력이 궤적으로 남게 되며 이때의 출력 f 는 아래와 같이 밀도분포를 적분함으로써 얻어진다.

$$f(t) = \int \int_S P(\alpha, \beta) \cdot u(t) d\alpha d\beta$$

자성체의 물성적 특성을 바탕으로 하는 모델링 방법에는 Micro Magnetics Modeling, Stoner- Wohlfarth Modeling 그리고 Preisach Modeling 등이 있다.

Preisach 모델링은 그림 3에서와 같이 유한요소법과 preisach 밀도를 이용하여 입력에 대한 출력을 구하는 알고리즘을 사용하고 있다. 기존의 Preisach 모델링은 입력으로 자계의 세기 H, 출력으로 자화량 M을 하용하여 계산이 이루어진다. 초기의 자화량을 유한 요소법을 통해 해석하여 그 결과에서 구해낸 H값을 Preisach 밀도를 이용하여 계산한 후 여기서 얻어진 자화량을 다시 유한 요소법을 통해서 구해지는 방법을 이용한다. 하지만 그림 4에서 나타난 바와 같이 Preisach 밀도에서 자계의 세기가 보자력 근방에 있게 될 경우 자계의 세기가 조금만 변해도 자화량은 큰 폭으로 변하게 된다. 보통 Preisach 평면을 100 X 100 으로 나누기에 오차의 정도는 더욱 커지게 된다. 이 경우 디넨전의 크기를 늘리는 방법이 있겠지만 이 경우 충분한 크기까지 늘린다면 아주 많은 메모리 낭비와 계산 시간이 소모가 되게 된다. 따라서 이를 해결하기 위한 다른 방안이 요구되어진다.

Preisach 모델링은 히스테리시스 현상에 대한 본질적이고 이론적인 접근을 지양하는 대신 나타나는 현상적인 양들을 데이터로 처리하는 수치기법으로서 먼저 실측곡선으로부터 각 자성체 입자들간의 상호작용과 자기입자들의 보자력의 밀도 분포(Density Distribution)를 입력 데이터로 하고, 자기이력을 고려해 주기위하여 입력의 변환과정을 기억시켜 처리하는 방법이다. 처리해야할 데이터가 상대적으로 많고, 모델링의 전개 과정이 복잡하며, 벡터량에 대한 처리가 곤란하지만, 실제 자성체의 복잡하게 변화하는 히스테리시스 특성을 가장 잘 모사할 수 있는 모델로 간주되고 있다. 이렇게 Preisach 모델링이 갖는 여러 가지 장점에도 불구하고 실제 모델에 대한 적용이 미미한 이유는 수치모사과정이 복잡하고 자성체의 실제 밀도분포를 구하는 방법이 매우 복잡하며, 구해진 밀도분포로부터 자화량을 계산할 때 반복계산시 수렴

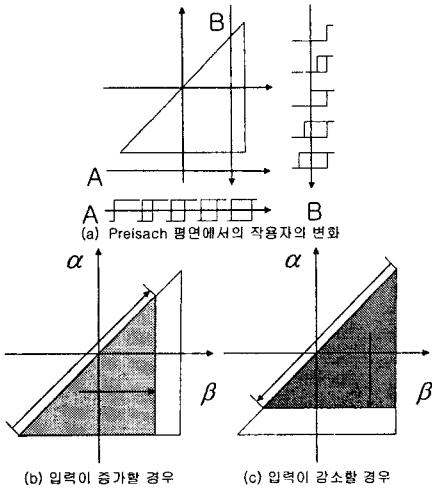


그림 1 Preisach 평면에서의 작용자의 변화와 입력 증감에 따른 제적의 이동

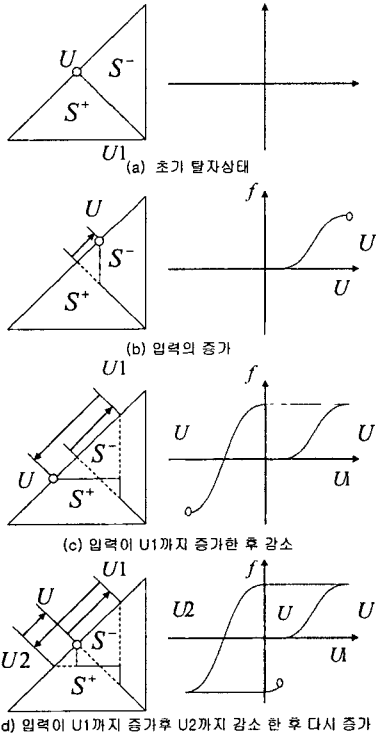


그림 2 입력값의 변동에 따른 Preisach 평면상에서의 제적과 히스테리시스 곡선

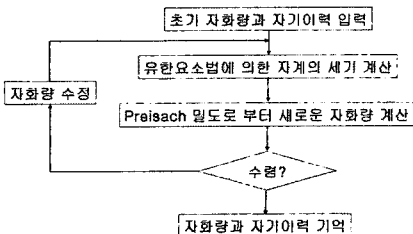


그림 3 자화량을 계산하기 위한 반복 알고리즘

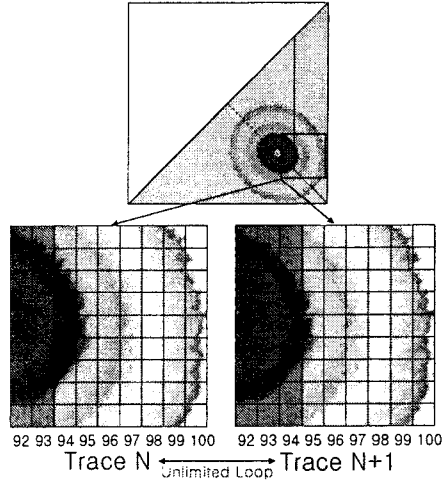


그림 4 Preisach 평면에서의 반복계산

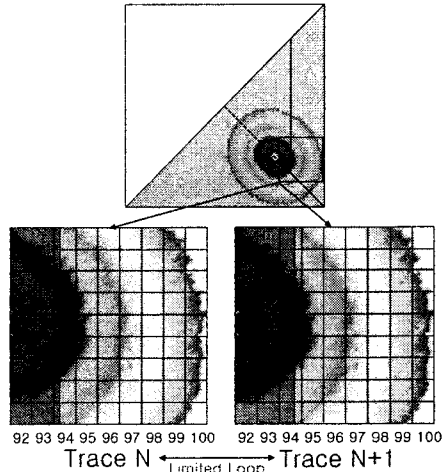


그림 5 Preisach 평면에서의 수렴

3. 더 넓은 수렴을 위한 개선된 Preisach Modeling

3.1 더 넓은 수렴 방법을 위한 개선 방안

기존의 Preisach 모델링에서 Preisach 평면 밀도의 디멘전 크기를 늘린다면 더 넓은 수렴 효과를 얻을 수 있지만 이 방법은 앞서 말한 바와 같이 많은 메모리의 요구와 계산 시간의 증가로 인하여 비효율적인 방법이 된다. 따라서 같은 크기의 데이터를 사용하여 보다 넓은 수렴 효과를 가지는 방법을 생각해 보았다. 기존 방법은 그림 4 같이 Preisach 평면의 단위에 사이값(예를 들어 93.4와 같은)을 가진다면 93보다는 크고 94보다는 작기에 FEM과 Preisach 자화 계산을 무한히 반복하여 수렴하지 않는 결과를 보여왔다. 특히 각형비가 큰 매질에서 Preisach 밀도가 한 곳에 밀집되어 있을 경우에 이러한 현상이 발생한다. 하지만 그림 5에서와 같이 Preisach 평면의 단위 간격 사이의 값만을 계산해 내는 것이 아니라 그 중간값을 계산해 낸다면 이런 문제를 해결할 수 있게 된다. 따라서 Preisach 평면 적분시 수렴값이 Preisach 단위 간격의 사이 값을 가진다면 평면의 단위 간격의 넓이를 해당 값이 주어지는 값의 비율로 환산하여 얻게 된다면 이 점을 해결할 수 있게 된다. 이 방법은 기존에 사용되어오던 것과 같은 100 x 100의 크기를 가지므로 같은 메모리의 사용하게 되는 이점도 얻을 수

있다.

하지만 이와 같은 계산법은 수치모사과정이 복잡한 Preisach 모델링을 더욱 복잡하게 만든다는 단점을 가진다. 따라서 이를 단순화 할 수 있는 방법을 고안하기로 하였다. 그 결과 Preisach 평면에서 나타날 수 있는 평면의 모양들을 단순화하여 도식화하는 방법을 사용하기로 하였다. 그 결과 그림 6과 같은 도식들을 얻어 낼 수 있었다. 도식들을 정리하자면 크게 Basic Type과 Extend Type이 있으며 초기 Basic Type들에서 Tracing이 일어나게 되면 Extend Type들이 생겨나게 된다. 이 경우들에 대한 산술식을 세워 계산하여 Preisach 모델링에 적용하였다.

3.2 한 단위 평면내에서의 Multi-Tracing

자성체의 착자와 탈자에 따른 Preisach 모델링을 모사하다 보면 위와 같이 한 단위 평면 내에 하나의 트레이싱 결과만이 생겨나지는 않게 된다. 실제 결과에서는 한 단위 평면 내에 수개의 Tracing Point를 남기게 된다. 따라서 이 경우는 위와 같은 도식에서는 표현할 수 없게 된다. 따라서 새로운 방법이 요구되어 진다. 한 단위 평면 내에서 Multi-Tracing이 생기는 경우를 위와 같은 방법으로 도식화 하면 그림 7의 상단의 세가지 경우가 있다. 또한 이 세가지 경우는 각각 초기의 입력의 증감에 따라 두가지 경우씩이 존재하게 되므로 총 6가지의 도식이 존재하게 된다. 본 논문에서는 각각의 도식에 대한 수식을 세워 이를 적용하였다.

자성체의 착자와 감자시 자기이력이 현재의 이력에 남아있는 Point들을 지우는 경우가 생긴다. 이런 경우 역시 모델링에서 표현되어야 한다. 전체적인 Preisach 평면에서 이런 현상이 고려되어야 하는 것과 같이 한 단위 평면 내부에서도 같은 현상이 고려되어야 한다. 또한 한 단위 평면 내부에서는 입력의 증감에 따라 이전에 도식화된 Basic Type이나 Extend Type으로 변환되는 경우가 있게 된다. 이 경우를 도식화 한 것이 바로 그림 7의 하단 세가지 그림이다.

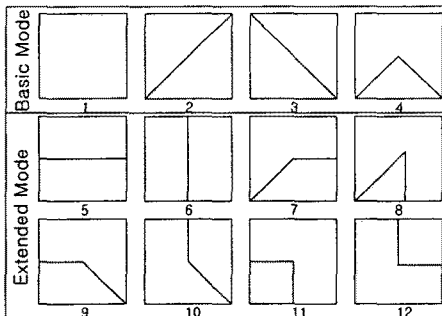


그림 6 Preisach 평면의 단위 평면을 채우는 격자 모양

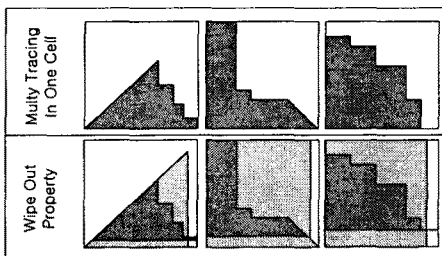
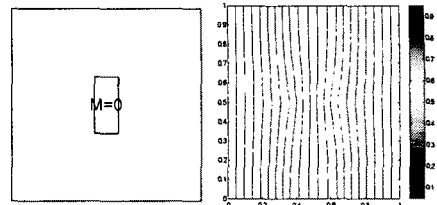
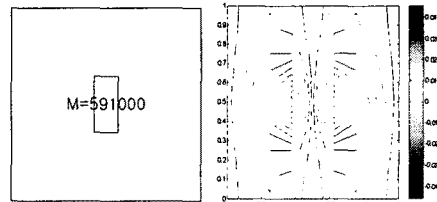


그림 7 한 단위 평면 내에서의 Multi Tracing

개선된 Preisach 모델링을 이용하여 영구자석 자화에 대한 모델링을 적용한 결과가 그림 8과 그림 9에 나타났다. 그림 8의 (a)와 같이 영구자석이 충분히 자화될때까지 외부 필드를 인가해준 후 외부필드를 제거한 후 자화된 영구자석은 (b)와 같은 자화 특성을 보이는 것을 알 수 있다. 이 경우 탈자 과정에 관한 해석은 그림 9에 나타나 있다.

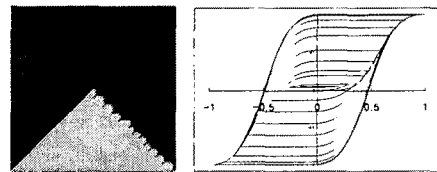


(a) 충분한 외부 필드를 인가 했을 경우



(b) 외부필드를 제거하였을 경우

그림 8 영구자석 착자 모델링 결과



(a) Tracing 추적 (b) Tracing 추적에 따른 히스테리시스 루프

그림 9 영구자석 탈자 모델링

4. 결 론

본 논문은 기존의 Scalar Preisach 모델링에서 수렴의 어려움으로 인한 문제를 해결하는 방법에 대하여 기술하였다. 이 방법을 적용한 결과, 기존의 방법과 메모리와 속도면에서는 차이점이 거의 없고, 수렴면에서는 향상된 결과를 얻을 수 있는 결과를 얻을 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] F.Preisach, Zeitschrift fuer Physik, Vol. 94, p.277, 1935.
- [2] R.M.Del Vacchio, "An Efficient Procedure for Modeling Complex Hysteresis Processes in Ferromagnetic Materials", IEEE Trans. on Mag., Vol. MAG-16, No.5, pp 809-811, September 1980.
- [3] J. A. Szpunar, D.L.Atherton and B.Szpunar, "Analysis of th Irreverible Processes of Magnetization in Steel", IEEE Trans. on Mag., Vol. MAG-23, No.5 pp 300-304, January 1987.
- [4] I.D.Mayergoyz, "mathematical Models of Hysteresis(Invited)", IEEE Trans. on Mag., Vol. MAG-22, No.5, pp 603-608, September 1986.
- [5] I.D.Mayergoyz, "Dynamic Preisach Models of Hysteresis", IEEE Trans. on Mag., Vol. 24, No.6, pp 2925-2927, November 1988.