ISSN (Print) 1598-5385
ISSN (Online) 2233-6648
≪연구논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society 23(2), 54-61 (2013) http://dx.doi.org/10.4283/JKMS.2013.23.2.054

Preisach 모델을 이용한 강자성체의 탈자기법 연구

주혜선 · 박관수*
부산대학교 전자전기공학과, 부산시 금정구 장전동 산30, 609-735

원혁
한국조선해양기자재연구원, 울산시 중구 다전로 385, 681-802

(2012년 11월 26일 받음, 2013년 4월 23일 최종수정본 받음, 2013년 4월 23일 게재확정)

강자성체는 자구들의 상호작용으로 인해 잔류 자화가 남게 되는데, 전자전기 산업 및 국방 피탐지 분야에서는 이러한 잔류 자화량을 정밀하게 0으로 만드는 탈자기법이 요구된다. 하지만 현재 수행되는 탈자기법들은 경험과 실험에 의존한 방법들로, 새로운 재료의 개발에 따른 효율적인 탈자를 위해서는 강자성체의 히스테리시스 곡선을 반영한 탈자기법이 필요하다. 본 논문에서는 자성체의 물성적인 성질을 기반으로 정립된 Preisach 모델링 기법을 이용하여 Anhysteretic Deperm, Deperm-ME, Flash-Deperm에 따른 2차원 유한요소해석을 수행하였다. 탈자 전류에 의한 자기이력궤적의 분석을 통해 강자성체의 히스테리시스 곡선과 탈자 변수의 관계를 고찰하였으며, 이로써 탈자에 효율적인 전류 감소 형태를 제시하였다.

주제어 : 탈자, 강자성체, Preisach 모델, Anhysteretic Deperm, Deperm-ME, Flash-D Deperm, 유한요소해석

I. 서 론

최근 과학기술의 비약적인 발전으로 인한 전자 및 정보 산업의 발달과 더불어 고성능의 강자성 재료 개발이 이루어지고 있다. 강자성체는 큰 보자력과 높은 투자율로 인해 전기기기의 소형화 및 고성능화를 가능하게 함으로써, 산업 전반에 널리 적용되고 있으며, 이러한 자성재료들의 전자 및 전기기기 산업시스템에 적용을 위해서는 강자성체의 착자 및 탈자 시스템의 개발 또한 이루어져야 한다[1].

또한 히스테리시스 현상을 가지는 강자성체는 국방분야에서 잠수함과 배의 재료로 적용 시 그 자기 특성이 고려되어야하는데, 함정에서 발생되는 수중 자기장을 이용한 기뢰, 어뢰, 대잠 초계기 등 다양한 무기들이 개발되어 함정 및 해군력 전체의 위협이 되고 있기 때문이다. 따라서 자기적 특성이 다른 강자성체 재료의 착자 및 탈자의 방법에 대한 연구가 필요하며[2], 특히 수중 피탐지 연구의 일환으로 함정의 선체 자기장 신호를 저감하는 효율적인 탈자기법의 연구가 절실히 요구된다.

강자성체는 자발자화를 가지는 자구들의 상호작용으로 인해서 외부적인 자기 특성을 가지므로, 이러한 강자성체의 자성체적 특성은 내부 자화량 분포에 의해서 결정된다. 따라서 강자성체를 이용한 전자 및 전기기기 산업 시스템에서, 강자성체의 내부 자화량 분포를 고려한 탈자기법이 필요하며, 이를 위해서는 강자성체의 재료적 특성을 나타내는 히스테리시스 곡선의 특성을 반영해야 한다[3, 4].

또한 강자성체의 효율적인 탈자를 위해서는 탈자 대상체의 외부 자화량이 감소되는 것보다 탈자 자기장이 시료의 내부까지 도달하도록 하는 것이 중요하므로, 탈자 대상체의 총 자화량을 줄이는 것만으로는 완전한 탈자를 시킬 수 없고 탈자 대상체를 구성하는 미소영역 전체의 잔류자화량 값을 줄이는 것이 필요하다. 이러한 탈자 결과는 탈자 전류 파형에 의해 영향을 받는데, 탈자 전류를 구성하는 총 교번전류의 개수인 Shot 수, 탈자 전류의 감쇄율, 탈자 초기 전류의 크기 및 탈자 마지막 전류의 값 등에 따라 탈자 결과의 특성이 다르다. 현재 탈자에 이루어지는 탈자기법으로는 Anhysteretic Deperm, Deperm-ME, Flash-Deperm이 있지만 이는 이미 사용중인 재료에 대하여 실험결과와 경험에 의존하여 만들어진 기법으로, 새로운 탈자 대상체의 재질적 특성을 정확히 반영하지 못하는 한계가 있다[5, 6].

따라서 본 논문에서는 효율적인 탈자를 위하여 Preisach 모델을 이용한 유한요소해석을 통해 히스테리시스 곡선과 탈자 영향을 분석함으로서 강자성체의 재료적 특성을 반영하는 탈자기법을 위한 연구를 수행하였다.

© The Korean Magnetics Society. All rights reserved.
*Corresponding author:
Tel: +82-51-510-2788, e-mail: gspark@pusan.ac.kr

II. 탈자기법의 구성 요소 및 Preisach 모델

1. 탈자기법 구성 요소

탈자기법을 구성하는 파라메타들을 Fig. 1과 같이 A. 탈자 초기 전류의 크기, B. 탈자 전류의 감소량, C. 탈자 전류 인가 시간, D. Dead time, E. 탈자 종료 전류 크기로 이루어진다.

기존의 탈자기법 연구에 따르면, A. 탈자 초기 입력 전류, B. 탈자 전류의 감소량, E. 탈자 종료 전류의 크기는 교번자계를 발생시키는 전류의 수가 같을 때 전류의 감소 비율이 작을수록 자구 도메인 수가 증가되어 탈자 성능이 향상되므로 직관적인 예측이 가능하다. 또한 C. 탈자 전류 인가시간은 강자성체를 구성하는 자구의 자화 벡터량이 외부에서 인가되는 자기장의 방향으로 회전하기에 충분한 시간인 0.1초 이상이 요구되며, 마지막으로 0의 전류값을 인가하는 D. Dead time의 유무에 따른 탈자 성능은 Dead time을 적용시 자화량 안정으로 인해 탈자 성능이 향상된다.

앞서 고려한 탈자기법의 변수들은 선형함수이므로 탈자 대상체의 실제 재료적 특성을 나타내는 히스테리시스 곡선의 특성을 반영하지 못하는 한계가 있다. 그러므로 효율적인 탈자를 위해서는 탈자 전류와 히스테리시스 곡선의 상관관계에 대한 분석이 필요하며 이를 반영한 탈자 기법의 정립이 필요하다.

2. Preisach 모델에 의한 탈자 해석

강자성체의 특성을 나타내는 히스테리시스 곡선은 비선형 특성을 가지므로 이론적 해석이 매우 어렵다. 따라서 수치해석 기법을 도입한 히스테리시스 모델링이 요구되어지는데, 자성체의 물성을 기반으로 정립된 모델링 기법으로는 미소자기 모델(Micromagnetic model), Stoner-Wolfarth 모델, Preisach 모델 등이 있다.

이 중 히스테리시스 현상에 대한 본질적이고 이론적인 접근은 지양하는 대신 현상적인 양들을 데이터로 처리하는 수치기법인 Preisach 모델은 먼저 실측곡선으로부터 각 자성체 입자들 간의 상호작용과 자기입자들의 보자력의 밀도 분포를 입력 데이터로 하고, 자기이력을 고려해 주기 위하여 입력의 변천과정을 기억시켜 처리한다. 자성체를 구성하는 자기입자 각각의 히스테리시스 특성은 Fig. 2(a)와 같이 정의된 단위 히스테리시스 작용자 f로 표현되며, Fig. 2(b)는 α와 β를 종축 및 횡축으로 하는 평면과 Preisach 평면에 입자들의 개수 즉 밀도 $P(\alpha, \beta)$를 표현한 그림이다. 또한 Fig. 3은 Preisach 평면에 단위 히스테리시스작용자의 특성별로 분포된 개념도로써 자성체를 이루고 있는 자기입자 각각의 보자력의 크기를 밀도로 나타내므로 자성체 전체의 보자력과 각형비의 크

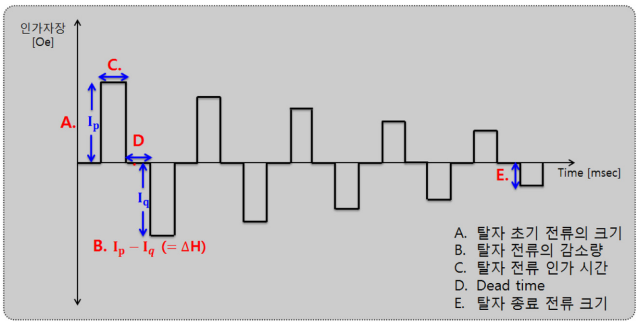


Fig. 1. (Color online) Schematic diagram of deperm protocol.

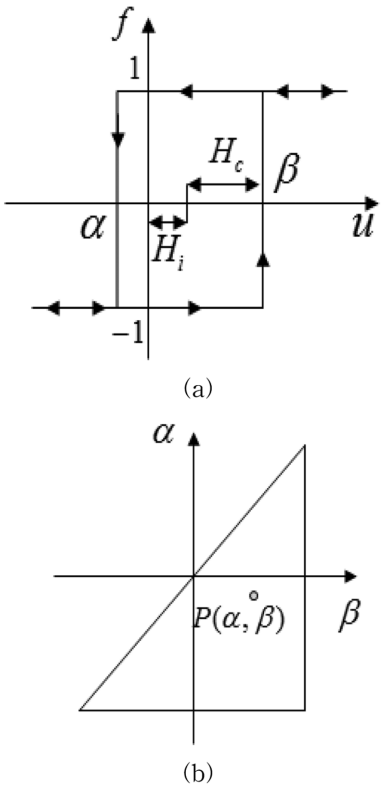


Fig. 2. Preisach modeling method. (a) Unit Preisach operator *f*, (b) Preisach plane.

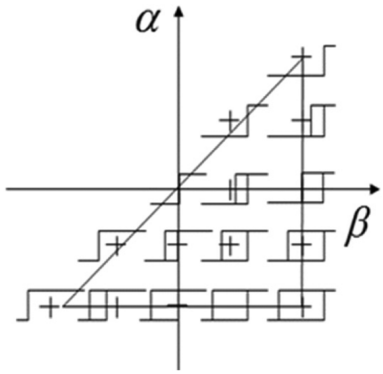


Fig. 3. Schematic diagram of density distributions on the Preisach plane.

기 및 입자들 간의 상호작용에 대한 예측이 가능하다.

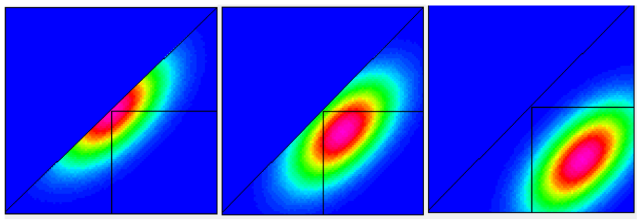
본 모델링은 자기이력곡선을 형성하는 외부 인가 전류의 증감에 따라 Preisach 평면의 보자력의 밀도를 적분하는 방법으로, 처리해야할 데이터가 상대적으로 많고 모델링의 전개 과정이 복잡하며 벡터량에 대한 처리가 곤란하지만, 실제 자성체의 복잡하게 변하는 히스테리시스 특성을 가장 잘 모사할 수 있는 모델로 간주되고 있다.

III. 탈자 변수에 따른 탈자 영향 분석

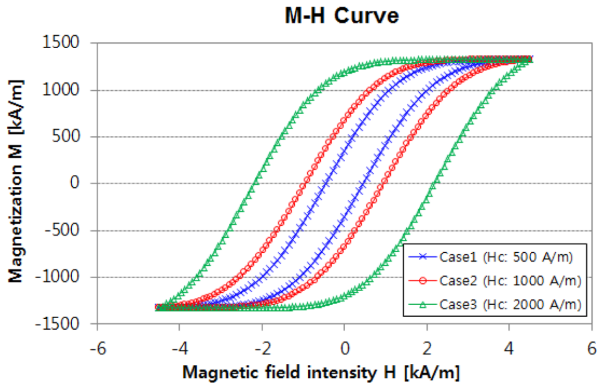
1. 보자력의 크기에 따른 탈자 영향

보자력 Hc는 강자성체의 특성을 나타내는 중요한 파라메타로서, 경자성체와 연자성체를 구별하는 요소 중 하나이다. 보자력의 크기가 다른 3가지 재질을 선정하여, Anhysteretic Deperm, Deperm-ME, Flach-D Deperm의 탈자를 수행함으로서 보자력 Hc와 탈자 프로토콜의 관계를 살펴보았다.

Fig. 4(a)와 같이 보자력 Hc의 크기를 약 500 A/m, 1000 A/m, 2000 A/m의 값을 가지도록 Preisach 평면상의 보자력의 밀도분포를 조절하였고, 그에 따른 3가지 재질의 Major M-H 곡선은 Fig. 4(b)에 나타냈다. 재질의 특성을 나타내는 히스테리시스 파라메타 값 및 해석에 적용된 탈자 기법의 세부사항은 Table 1과 같다. 각각의 재질에 대해 보자력의 8배의 착자 전류를 인가 한 후, 탈자 전류의 초기 값은 보자력의 8



(a)

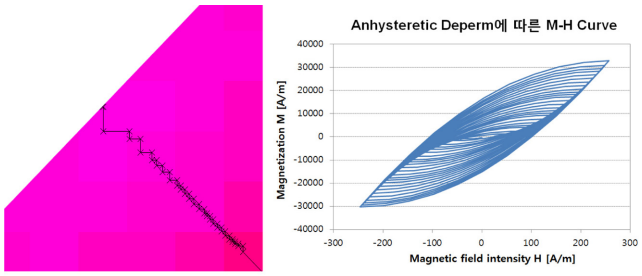


(b)

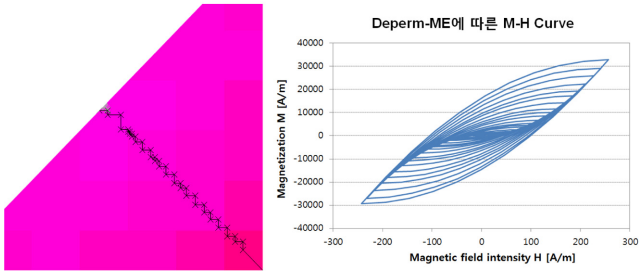
Fig. 4. (Color online) Magnetic property of deperm for analysis depending on the coercivity. (a) Preisach plane (left: Case1, middle: Case2, right: Case3). (b) M-H Curve.

Table 1. Parameters of deperm for analysis depending on the coercivity.

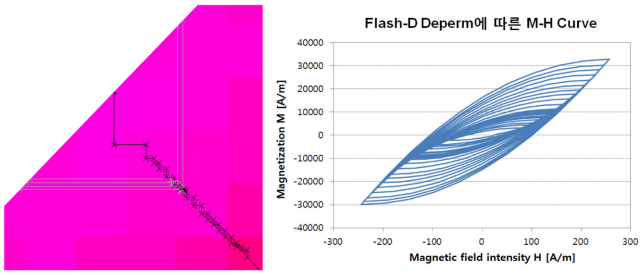
구분	Parameter	Case1	Case2	Case3
재질 특성	포화자속밀도 Bs [T]	1.67	1.67	1.67
	잔류 자속밀도 Br [T]	0.44	0.85	1.50
	잔류 자화량 Mr [A/m]	352,058	673,284	1,195,934
	보자력 Hc [A/m]	454.60	949.46	2185.32
탈자 기법 세부 사양	탈자 기법	• Anhysteretic Deperm - 감소비율: 2 % • Deperm-ME - 감소비율: $e^{-0.08x}$ • Flash-D Deperm - 감소비율_Stage1: 3 % - 감소비율_Stage2: 2.5 % - 감소비율_Stage3: 2 %		
	Shot 수	50 shot		
	초기 착자 전류값 [A]	4	8	16
	초기 탈자 전류 크기 [A]	4	8	16
	탈자 마지막 전류 크기 [A]	0.002	0.004	0.008



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. (Color online) Analysis process of deperm in Case1. (a) Anhysteretic deperm. (b) Deperm-ME. (c) Flash-D Deperm.

배로, 탈자 마지막 전류 크기는 재질에 따라 같은 값을 적용하였다.

보자력 Hc의 값을 약 500 A/m로 가지는 Case1의 경우, Fig. 5와 같은 해석과정 특성을 보였다. 이는 Preisach 평면의 보자력 밀도를 탈자 전류에 증감에 따라 적분을 하는 자기이력궤적과 그에 따른 M-H 곡선으로서, 이에 따라 Table 2의 탈자 기법에 따른 결과가 도출된다. 이는 탈자 전후의 자기장 값의 크기 비교와 탈자 전의 Bx 및 Bz의 값을 각각 1이라고 두고, 3가지 탈자 기법에 따라 감소한 Bx 및 Bz의 값을 탈자전의 값에 비해 Scale factor로 나타낸 것으로, Anhysteretic Deperm의 탈자 성능이 가장 우수했다.

또한, 보자력 Hc의 값을 약 1000 A/m로 가지는 Case2 및 약 2000 A/m의 Case3의 경우, Deperm-ME의 성능이 가장 우수하였는데, 각각의 해석 과정 및 탈자 결과는 Fig. 6~7과

Table 2. Result of deperm in Case1.

Case 1		Bx	Bz
탈자전		4.76.E-05 (1)	3.62.E-05 (1)
탈자후	• Anhysteretic Deperm	1.25.E-06 (0.0263)	8.58.E-07 (0.0180)
	• Deperm ME	1.25.E-06 (0.0263)	9.63.E-07 (0.0202)
	• Flash-D	4.86.E-06 (0.1021)	3.70.E-06 (0.0777)

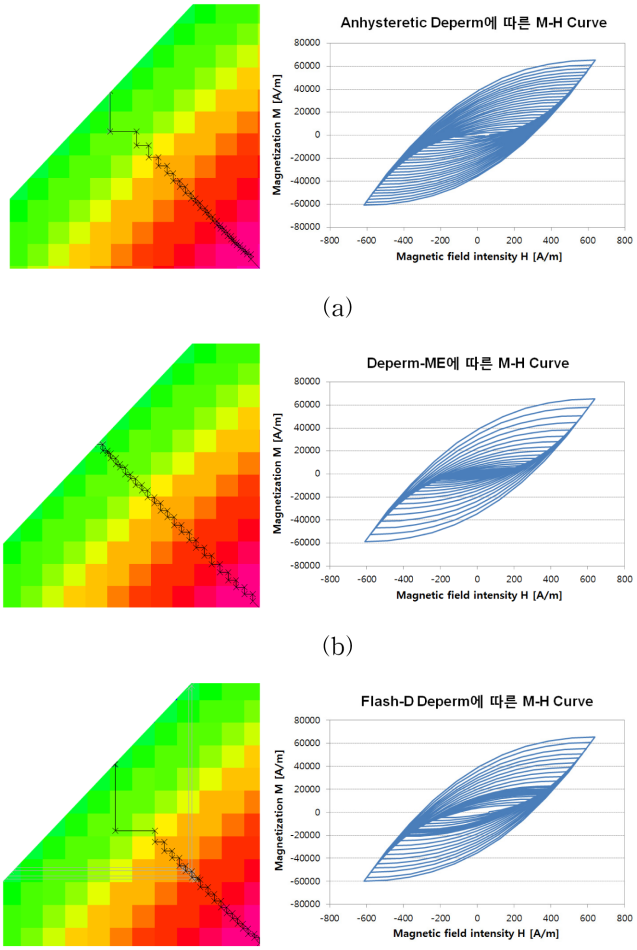


Fig. 6. (Color online) Analysis process of deperm in Case2. (a) Anhysteretic deperm. (b) Deperm-ME. (c) Flash-D Deperm.

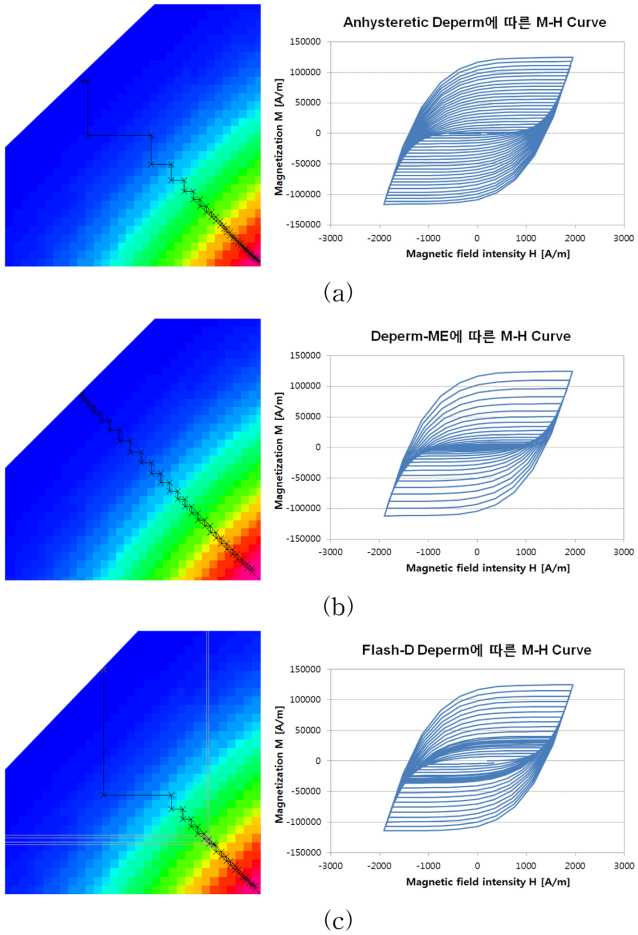


Fig. 7. (Color online) Analysis process of deperm in Case3. (a) Anhysteretic deperm. (b) Deperm-ME. (c) Flash-D Deperm.

Table 3. Result of deperm in Case2.

Case 2		Bx	Bz
탈자전		1.42.E-04 (1)	1.08.E-04 (1)
탈자후	• Anhysteretic Deperm	9.54.E-06 (0.0672)	7.21.E-06 (0.0508)
	• Deperm ME	1.68.E-06 (0.0118)	1.29.E-06 (0.0091)
	• Flash-D	2.86.E-05 (0.2014)	2.20.E-05 (0.1549)

Table 4. Result of deperm in Case3.

Case 3		Bx	Bz
탈자전		6.84.E-04 (1)	5.25.E-04 (1)
탈자후	• Anhysteretic Deperm	1.85.E-05 (0.0270)	1.43.E-05 (0.0209)
	• Deperm ME	4.20.E-06 (0.0061)	3.28.E-06 (0.0048)
	• Flash-D	1.52.E-04 (0.2222)	1.17.E-04 (0.1711)

Table 3~4에 나타내었다.

탈자 프로토콜에 따른 탈자 결과의 성능은 Preisach 평면의 자기이력궤적으로 설명된다. Anhysteretic Deperm의 경우는 선형적인 탈자 전류 감소 비율을 가지지만, Preisach 평면의 자기이력궤적은 지수함수 형태로 탈자 전류가 감소하는 Deperm-ME의 자기이력궤적보다 불균일하였다. 이는 실제 탈자 대상체에 인가되어지는 외부 자기장에 대해 고찰해보면, $H_{total} = H_{apply} + H_{demag}$과 같이 반자장 영향을 받기 때문인데, H_{total}, H_{apply} 및 H_{demag}의 관계를 Fig. 8과 Fig. 9에 도시화하였다.

Fig. 8(a)는 Case3(Hc: 2000 A/m)의 Anhysteretic Deperm에 따른 각 Shot 단계별로의 H_{total}, H_{apply} 및 H_{demag} 값을 구한 것으로, Anhysteretic Deperm의 선형적인 탈자 전류 감소 비율에 의해 H_{apply}도 선형적으로 감소하지만, 반대방향의 크기를 가지는 H_{demag} 성분으로 인해 탈자 대상체에 총 인가되는 H_{total} 값은 Fig. 8(b)와 같이 감소폭이 균일하지 않다.

반면, Fig. 9(a)는 Case3(Hc: 2000 A/m)의 Deperm-ME에 따른 결과로, 지수함수 형태로 감소하는 H_{apply}에 대해 반대방향의 크기를 가지는 H_{demag} 성분으로 인해 H_{total} 값은 Fig. 9(b)와 같으며, 그 감소폭이 Anhysteretic Deperm에 따른 H_{total}의 감소폭에 비해 더 균일함을 보였다.

따라서 Preisach 모델링 기법을 이용하여 보자력의 밀도를 적분하는 본 연구 방법에 있어서, 자기이력궤적의 균일도가 높아 적분의 오차가 적은 Deperm-ME 탈자기법의 탈자 성능

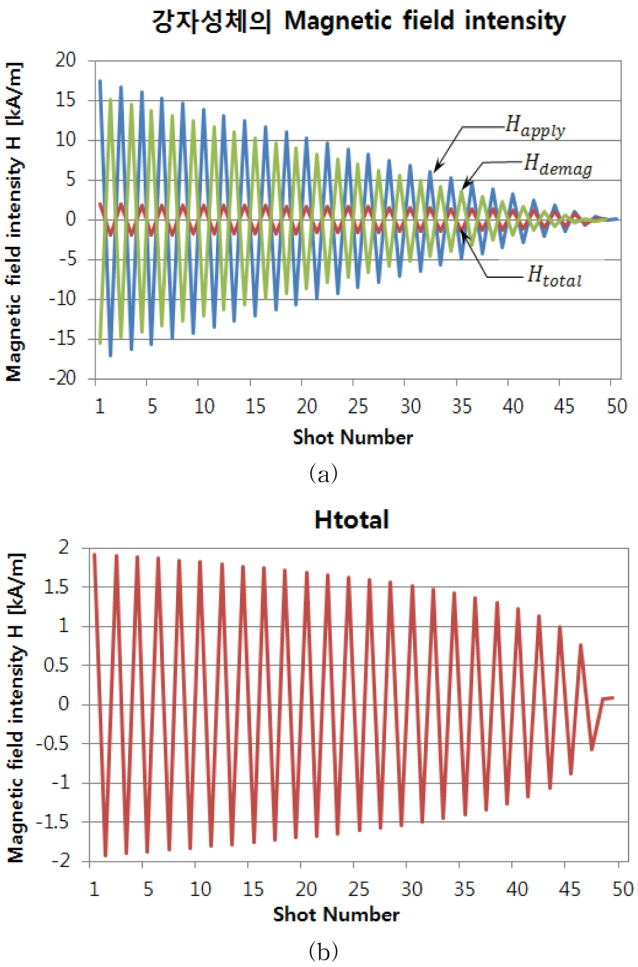


Fig. 8. (Color online) Demagnetization of Anhysteretic deperm. (a) Relations of H_{total}, H_{apply} and H_{demag}. (b) H_{total}.

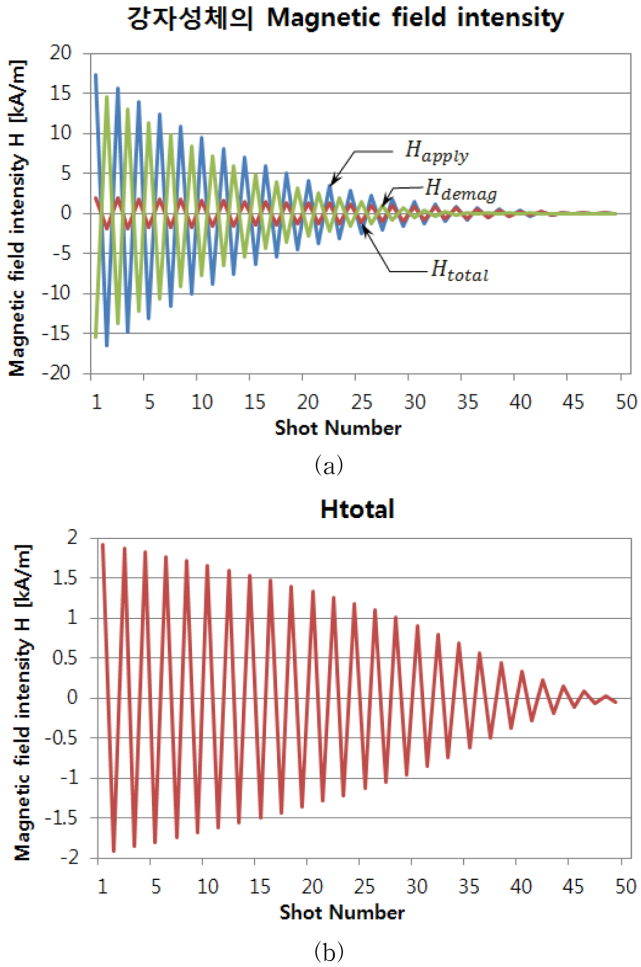


Fig. 9. (Color online) Demagnetization of Deperm-ME. (a) Relations of H_{total}, H_{apply} and H_{demag}. (b) H_{total}.

이 우수함을 보였고, 상대적으로 보자력의 크기가 작고 잔류 자화량 M_r의 크기가 작은 Case1(Hc: 500 A/m)의 경우는 반자장의 영향이 작아 Anhysteretic Deperm과 Deperm-ME 두 방법의 탈자 성능이 차이가 크지 않은 것으로 사료된다.

2. 각형비의 크기에 따른 탈자 영향

강자성체는 자기입자 크기의 균일도에 따라 히스테리시스 곡선의 각형비(Squareness ratio, S^*)의 값이 달라진다. 철가루와 같은 단자구 형태의 자기입자들은 외부 인가 자기장의 크기가 잔류자화값을 0으로 만드는 역자기장의 세기인 보자력 H_c가 되어야 자화 방향이 한꺼번에 반전되므로, 히스테리시스 곡선의 형상이 각형에 가까우며 각형비의 크기가 1에 가깝다. 반면 자기입자의 크기가 불균일한 연자성체의 경우는 외부 인가 자기장에 의해 상대적으로 작은 크기의 자기입자부터 자화벡터의 회전이 이루어지므로, 자화율 χ의 크기가 작으며 각형비 S^*의 크기가 1보다 작다. 그러므로 각형비 S^*의 크기가 다른 두 강자성체 재질을 선정하여 Anhysteretic Deperm, Deperm-ME, Flash-D Deperm의 탈자를 수행함으로서 각형비 S^*와 탈자 프로토콜의 관계를 살펴보았다.

Fig. 10(a)와 같이 자기입자의 보자력 밀도 분포의 균일도

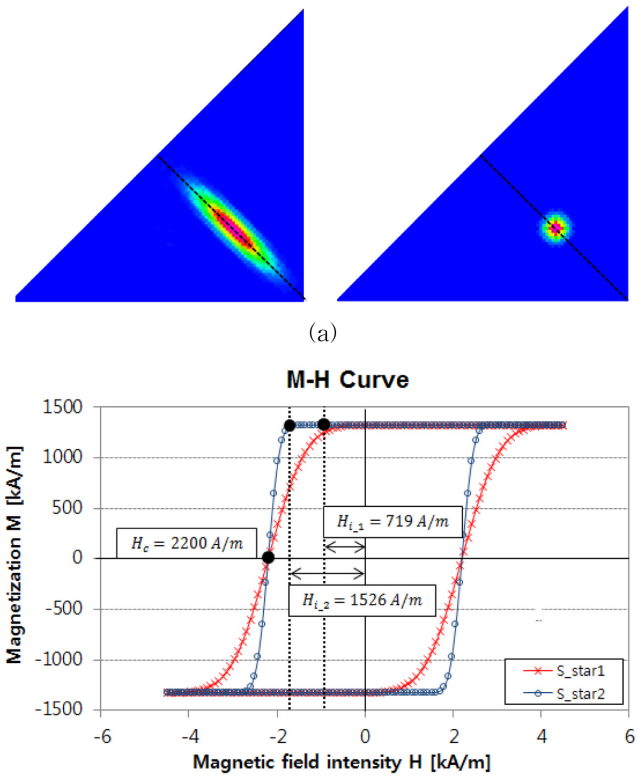


Fig. 10. (Color online) Magnetic property of deperm for analysis depending on the squareness ratio. (a) Preisach plane (left: S_star1, right: S_star2). (b) M-H Curve.

Table 5. Parameters of deperm for analysis depending on the squareness ratio.

구분	Parameter	Case1	Case2
재질 특성	포화자속밀도 Bs [T]	1.67	1.67
	잔류 자속밀도 Br [T]	1.67	1.67
	잔류 자화량 Mr [A/m]	1,326,591	1,327,218
	보자력 Hc [A/m]	2199.93	2200.10
	보자력 각형비	0.33	0.69
탈자 기법 세부 사양	탈자 기법	• Anhysteretic Deperm - 감소비율: 2 % • Deperm-ME - 감소비율: $e^{-0.08x}$ • Flash-D Deperm - 감소비율_Stage1: 3 % - 감소비율_Stage2: 2.5 % - 감소비율_Stage3: 2 %	
	Shot 수	50 shot	
	초기 착자 전류값 [A]	16	
	초기 탈자 전류 크기 [A]	16	
	탈자 마지막 전류 크기 [A]	0.008	

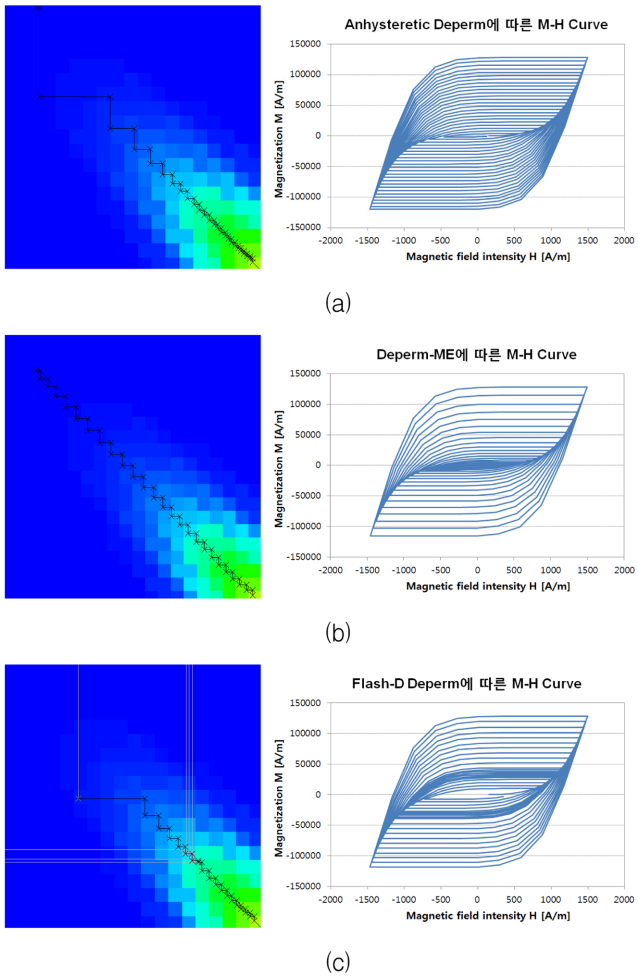


Fig. 11. (Color online) Analysis process of deperm in S_star1. (a) Anhysteretic deperm. (b) Deperm-ME. (c) Flash-D Deperm.

Table 6. Result of deperm in S_star1.

S_star1		Bx	Bz
탈자전		5.73.E-04 (1)	4.39.E-04 (1)
탈자후	• Anhysteretic Deperm	4.75.E-05 (0.0829)	3.64.E-05 (0.0829)
	• Deperm ME	1.59.E-07 (0.0003)	1.20.E-07 (0.0003)
	• Flash-D	1.61.E-04 (0.2810)	1.23.E-04 (0.2802)

Table 7. Result of deperm in S_star2.

S_star2		Bx	Bz
탈자전		6.73.E-04 (1)	5.02.E-04 (1)
탈자후	• Anhysteretic Deperm	1.41.E-05 (0.0210)	9.59.E-06 (0.0191)
	• Deperm ME	9.99.E-07 (0.0015)	7.97.E-07 (0.0016)
	• Flash-D	8.38.E-07 (0.0012)	7.30.E-07 (0.0015)

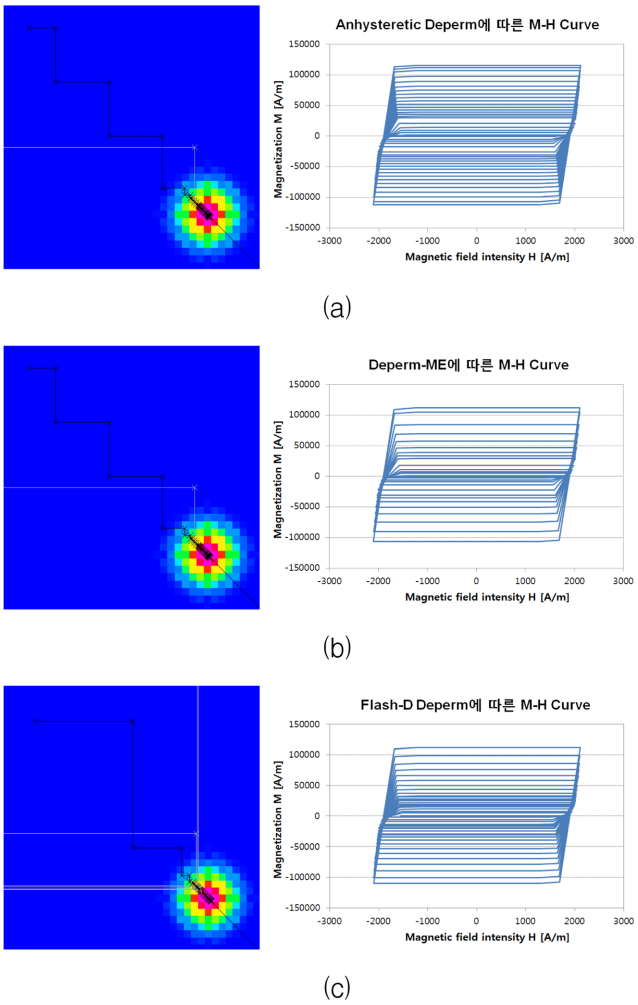


Fig. 12. (Color online) Analysis process of deperm in S_star2. (a) Anhysteretic deperm. (b) Deperm-ME. (c) Flash-D Deperm.

를 다르게 하여 두 가지 재질을 선정하였는데, S_star1 재질은 자기입자의 크기가 불균일하여 각 자기입자끼리의 상호작용이 있는 경우를 모사하였고, S_star2 재질은 단자구 형태의 경자성체 특성을 모사하였다. 각 재질 특성에 따른 M-H 곡선 및 각형비 S^*를 구하기 위한 H_c, H_i 값은 Fig. 10(b)에 나타내었다. 각형비 S^*는 H_i와 H_c의 비율로서 H_i/H_c의 크기를 가지므로 첫 번째 탈자 대상체의 재질인 S_star1의 각형비 S_1^*은 0.33의 크기를, 두 번째 재질인 S_star1의 S_2^*은 0.69의 크기를 가진다. 이외의 탈자 대상체의 재질 특성과 탈자 기법의 세부 사양은 은 Table 5에 자세히 나타내었다.

S_star1 재질의 경우, Anhysteretic Deperm, Deperm-ME, Flash-D Deperm에 따른 탈자 해석 결과는 Deperm-ME 기법의 탈자 성능이 가장 우수하였으며, Fig. 11 및 Table 6에서 해석과정 시 생성되는 자기이력궤적의 균일도 및 탈자 전후의 자기장 값의 크기 변화를 비교할 수 있다.

반면 S_star2 재질의 경우, Anhysteretic Deperm, Deperm-ME, Flash-D Deperm에 따른 탈자 해석 결과는 Flash-D Deperm이 가장 우수하였는데, 각각의 해석 과정 및 탈자 전후의 결과 비교는 Fig. 12 및 Table 7과 같다. S_star2 재질의 탈자 결과에 대한 원인은 Preisach 평면상의 보자력의 밀도 분포의 조밀함으로 설명되어지는데, Flash-D Deperm과 같이 전류를 감소시켰다가 증가시키고 다시 재 감소시키는 탈자 기법이 보자력의 밀도 분포 지점에 자기이력궤적을 보다 더 많이 남기기 때문이다.

V. 결　　론

본 논문에서는 강자성체의 재료적 특성을 반영하는 효율적인 탈자기법을 연구를 위해, 강자성체를 구성하고 있는 자기입자들의 상호작용에 따른 변수인 보자력과 각형비에 따른 탈자 해석을 수행하여 결과를 제시하였다. 비선형적 특성을 나타내는 히스테리시스 곡선을 반영한 탈자 해석을 위해 2차원 유한요소 해석을 이용한 Preisach 모델링을 이용하였으며, 보자력과 각형비의 특성이 다른 자성체 재질을 선정하였다. 그리고 Anhysteretic Deperm, Deperm-ME, Flash-D Deperm에 따른 탈자 해석을 수행하여 자성체 내부의 자화량을 계산하였으며, 탈자 전 후의 자기장 값의 크기 비교를 통해 탈자 영향에 대한 연구를 진행하였다.

그 결과, 탈자 대상체에 인가되는 자기장은 반자장의 영향으로 외부인가 자기장의 감소 비율과 상이한 감소 비율을 가

지므로, Preisach 평면상의 보자력 밀도를 적분하는 자기이력 곡선의 균일도가 달라짐을 확인하였다. 따라서 탈자기법을 구성할 때 탈자 전류 간 감쇄율은 지수함수 형태가 효율적이라는 결과를 도출하였다.

또한 각형비의 크기가 1에 가까운 경자성체의 경우, Preisach 평면상의 보자력의 밀도 분포가 조밀하기 때문에 Flash-D Deperm의 탈자 결과가 가장 우수하였으며, 이는 보자력의 밀도 분포 지점에 자기이력궤적을 보다 더 많이 남기기 때문으로 사료된다. 그러므로 향후 Flash-D Deperm를 구성하는 3개의 구간을 구성하는 탈자 전류의 증감율과 각 구간의 shot 수에 따른 탈자 영향에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

[1] B. D. Cullity, Introduction to Magnetic Materials, Addison-Wesly, Reading, MA (1972).
[2] T. M. Baynes, “Analysis of the demagnetization process and possible alternative magnetic treatments for naval vessels”, The degree of doctor of philosophy, The University of New South Wales (2002).
[3] S. S. Udpa, Y. S. Sun and W. Lord, IEEE Trans. Magn. **24**, 226 (1988).
[4] Henk M. J. Boots and Kees M. Schep, IEEE Trans. Magn. **36**, 3900 (2000).
[5] M. Enokizono, T. Todaka and M. Kumoi, J. Magn. Magn. Mater. **112**, 207 (1992).
[6] T. M. Baynes, G. J. Russell and A. Bailey, IEEE Trans. Magn. **38**, 1753 (2002).

A Study on the Deperm of Ferromagnetic Material using Preisach Model

Ju Hye Sun and Gwan Soo Park*
Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University, Jangjeon-dong, Geumjeong-gu, Busan 609-735, Korea

Hyuk Won
Korea Marine Equipment Research Institute, Dajeon-ro, Jung-gu, Ulsan 681-802, Korea

(Received 26 November 2012, Received in final form 23 April 2013, Accepted 23 April 2013)

Ferromagnetic material’s residual magnetization is remained because of the interaction between domains from external apply field, so the electrical and electronic industry and area of defense development request deperm protocol which makes the residual magnetization to 0. But the deperm protocols which are used theses days are developed by using only experience and experiment, so we have to develop deperm protocol considering hysteresis curve. In this paper, Anhysteretic Deperm, Deperm-ME, Flash-Deperm were analyzed using two dimensional finite element method and Preisach model that was formulated by property of magnetic materials. From that analysis, the relations between hysteresis curve and deperm variable are compared by analyzing the trace of Preisach plane. Also, an efficient current ratio of deperm protocol, is proposed.

Keywords : Deperm, Ferromagnetic material, Preisach model, Anhysteretic Deperm, Deperm-ME, Flash-D Deperm, FEM