직교자계가 디퍼밍성에 미치는 영향

The Influence of an Orthogonal Field on Deperming Performance

김 기 찬* 김 영 학* 신 광 호** 김 휘 석***
Ki-Chan Kim Young-Hak Kim Kwang-Ho Shin Hwi-Seok Kim
윤 관 섭*** 양 창 섭****
Kwan-Seob Yoon Chang-Sub Yang

Abstract

An orthogonal magnetic field is often used for a military vessel in the deperm process such as Flash D deperm protocol and Anhysteretic deperm protocol. The effect of the orthogonal magnetic field on a deperm performance was investigated for a sample with strain-induced magnetization and field-induced magnetization given to different direction. A 70mm wide, 110mm long and 0.25mm thick rectangular steel plate was bent to have U-shape and to generate a strong strain on the bottom region of U-shaped steel plate. Field-induced magnetization was attached by NdFeB permanent magnet. Demagnetization was performed by applying magnetic field with a step decrement from the first field(the first shot) under the action of DC bias field.

Keywords : Deperm, Orthogonal Magnetic Field, Flash-D, Anhysteretic, Demagnetization

1. 서 론

Flash D 탈자방식과 비히스테리시스 탈자방식은 직교자계를 인가한다는 공통점을 가지지만 수직자계의 인가 목적은 Flash D 탈자방식에서는 합정으로부터 일정한 수직자계를 발생시키기 위한 것이며 비히스테리시스 탈자방식에서는 탈자성능을 높이기 위함이다. 그

리고 비히스테리시스 탈자방식은 Flash D의 탈자방식에 비해 탈자과정이 단순하고 이론적인 예측이 가능하다는 장점을 가진다^[1]. 그러나 직교자계는 자성체의 투자율에 크게 영향을 미치는 것은 잘 알려져 있지만^[2,3] 직교자계의 직류바이어스 자계가 탈자성능에 미치는 영향에 대해서는 잘 알려져 있지 않다.

본 논문에서는 시편의 응력에 의한 자화성분과 착자에 의한 자화성분을 부여하여 직교자계가 탈자성능에 미치는 영향을 조사하였다. 시편은 합정의 형상과 유사하도록 철을 주성분으로 하는 판재를 이용하여 직경을 60mm로 굽혀 만든 U자형 시편이다. 철을 주성분으로 하는 선체는 자왜^[4]를 가지므로 굽힘에 의해 시편의 바닥부분에는 응력이 발생하고 이 응력방향으

† 2011년 2월 8일 접수~2011년 4월 15일 게재승인

* 부경대학교(Pukyong National University)

** 경성대학교(Kyungsung University)

*** LIG넥스원(LIGnex1)

**** 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 김영학(kimyh@pknu.ac.kr)

로 자화가 유도된다. 시편의 길이방향으로는 영구자석을 이용하여 자화를 부여하였다. 시편의 탈자정도를 알기위해 유한요소법을 이용하는 3차원 정자장 해석 프로그램을 이용하여 계산하여 해석치와 측정치를 비교하였다.

2. 실험 방법

Fig. 1은 탈자실험을 위한 실험구성을 나타낸 것이다. x 방향으로 교변자계를 인가하기 위해 솔레노이드 코일을 남-북 방향으로 배치하여 교류전류를 인가하였으며 z 방향으로 헬름홀츠 코일에 직류전류를 인가하여 직류바이어스 자계를 발생시켰다. U자형 시편은,

Fig. 1. Experimental setup for demagnetization and measurement

Fig. 2. Analysis region of FEM and U-shape sample

탈자 시에는 솔레노이드 코일 내부에 두며, 탈자 후 측정 시에는 솔레노이드 코일에서 센서의 위치까지 이동시켰다. 시편은 네오뎴(NdFeB) 영구자석을 이용하여 지자계 방향과 반대방향으로 착자 하였으며 착자와 탈자 후에 시편에서 발생하는 자계를 2축 직교플럭스게이트 센서^[5]를 이용하여 H_x 와 H_z 로 측정하였다. 센서의 측정방향은 지자계의 수평성분방향과 수직성분방향에 +가 되도록 설정하였다. 시편과 센서 사이의 거리는, H_x 측정센서의 경우 U자형 시편 바닥에서부터 33mm, H_z 측정센서는 23mm로, 시편으로부터 비교적 근거리이다. H_y 는 시편을 90° 회전시켜 H_x 측정 센서로 측정되었다. 탈자 시, 솔레노이드 코일에 인가하는 전류의 파형은 상승시간이 1초, 지속시간이 1초 하강시간 1초 지연시간이 1초인 펄스파이며 ± 0 로 교변하는 펄스파의 주기를 8초로 하였다. 솔레노이드 코일에서 발생하는 최대 자계의 크기는 1.5kA/m~10kA/m의 범위이며 펄스 수는 50개로 고정하였다. 인가자계는 +극성과 -극성으로 교변하는 3개의 최대자계를 인가한 후, 일정한 폭으로 감소되었다. 첫 번째 자계펄스의 인가방향은 시편의 착자방향과 반대인 지자계방향이며 마지막 펄스는 크기가 15A/m이며 첫 번째 펄스의 인가방향과 반대가 되도록 하였다. 헬름홀츠 코일에서 발생하는 수직 바이어스 자계는 지자계와 반대방향이며 0~56A/m 범위의 값을 가진다. 시편은 두께 0.25mm, 60mm×70mm의 아연도금강판(합석판)을 이용하여 직경이 60mm가 되도록 굽혀 만든 U자형 시편이다. 시편은 자왜^[2]를 가지므로 굽힘에 의해 시편의 바닥부분에는 응력이 발생하고 이 응력이 y 방향으로 자화를 유도한다. 지자계에 의한 시편의 유도자화로부터 발생하는 자계를 계산하기 위해 유한요소법을 이용한 3차원 정자장 해석 프로그램을 이용하였다. Fig. 2는 해석영역과 U자형 시편을 나타낸 것이다. 해석영역 내부에서는 지자계와 동일한 자계가 발생하도록 해석영역의 경계조건에 수평 및 수직 방향으로 24A/m와 31A/m를 각각 입력하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 착자상태에서 시편에서 발생하는 H_x 와 H_z 를 남-북 방향으로 ± 60 mm(시편 길이 : ± 30 mm)의 범위에서 측정한 것이다. 측정된 H_x 는 전 측정에서 +의 값을 가지며 시료의 중심부에서 최대값을 가지고, H_z

는 측정 위치에 따라 -값에서 +값으로 크게 변화하였다. 이 결과로부터 U자형 시편의 착자 상태에서는 대부분의 자기모멘트가 지자계와 반대방향으로 배열있는 것을 알 수 있다. Fig. 4는 솔레노이드 코일에 인가하는 첫 번째 자계크기에 의한 H_x 와 H_z 를 나타낸 것이다. 이 자계는 탈자 후 시편의 중심에서 측정된 것이며 0A/m는 착자상태를 나타낸다. 탈자 시에 첫 번째 펄스의 자계크기가 증가함에 따라 시편에서 발생하는 H_x 는 감소하고 5kA/m 이상에서 H_x 와 H_z 모

Fig. 3. State of magnetization of sample

Fig. 4. Variation of H_x and H_z by amplitude of first pulse

두 정상상태에 도달하였다. 이것은 첫 번째 펄스 자계의 크기에 따라 착자상태에서 배열된 자기모멘트의 분산정도를 나타내며 5kA/m 이상에서는 거의 모든 자기모멘트가 분산됨을 의미한다. 또한 5kA/m 이상의 정상상태에서 측정된 H_x 의 크기는 지자계의 수평방향 성분보다 조금 작은 값을 가진다. 이것은 시편이 가지는 자기모멘터의 방향이 착자상태와는 반대로 역전된 것을 나타내며 이 방향은 시편에는 잔류하고 있는 극히 적은 영구자화와 지자계에 의한 유도자화에 의해 결정된다. 이 실험 결과로부터 첫 번째 인가자계는

Fig. 5. Dependence of vertical bias field to H_x and H_z

시편의 착자상태의 자화의 방향과 크기에 의해 크기와 방향이 결정되어야 함을 알 수 있다. Fig. 5는 x 방향 교번자계의 첫 번째 펄스의 자계크기를 1.5, 3, 5, 10kA/m로 하고 z 방향의 수직바이어스 자계를 0~56 A/m로 변화시켜 탈자하였을 때, 시료에서 발생하는 H_x 와 H_z 를 측정한 것이다. Fig. 5 (a)에서와 같이 H_z 는 첫 번째 펄스의 자계크기가 1.5kA/m에서는 지자계보다 작은 값을 가지며 인가 자계의 크기가 증가함에 따라 음에서 양으로 변화한다. 이것은 1.5kA/m의 인가 자계에서는 충분한 탈자상태에 도달하지 못하고 탈자 후의 시편의 자화상태는 지자계에 의한 유도자화보다 더 큰 지자계 방향과 반대방향의 영구자화를 가지기 때문이다. 그러나 3kA/m와 5kA/m, 10kA/m의 자계에서는 수직자계의 크기가 증가함에 따라 지자계보다 큰 값에서부터 감소하며 감소경향도 솔레노이드 코일에서 발생하는 첫 번째 자계의 크기가 클수록 선형성이 좋아짐을 알 수 있다. 이에 비해 Fig. 5 (b)에서와 같이 H_x 는 수직자계의 크기에 거의 영향을 받지 않는다. 이 실험 결과로부터 수직바이어스 자계를 이용하여 일정성분의 수직방향의 자기모우멘트를 시편에 형성시키는 것이 가능함을 알 수 있다. Fig. 6은 x 방향의 자계의 첫 번째 펄스를 3kA/m로 하고 z 방향의 수직바이어스 자계를 0, 28, 42A/m로 하였을 때 H_y 를 측정한 것이다. 수직자계가 42A/m 일 때는 시편의 폭 방향을 따라서 H_y 는 -에서 +의 값을 가지지만 수직자

계가 28A/m 이하에서는 거의 음의 값을 가지고 시료의 중심부에서 최대치를 가진다. 이것은 시편의 탈자상태의 자기모우멘트가 수직자계가 0일 때는 응력에 의해 유도된 y 방향의 자기모우멘트를 가지지만 수직자계가 28A/m 이상이 되면 폭 방향으로 형성된 모우멘트가 다른 방향으로 분산되는 것으로 생각된다. 따라서 이 시편에서는 28A/m의 작은 z 방향의 바이어스 자계로 강한 응력에 의해 형성된 모우멘트를 효과적으로 분산시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 Fig. 5에서

Fig. 6. Component of H_y of sample

Fig. 7. Comparison of calculated value and measurement value from sample

보여진 수직자계 바이어스에 의한 Hz의 변화의 선형성에는 y 방향으로 유도된 응력에 의한 자화가 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. Fig. 7은 솔레노이드에서 발생하는 첫 번째 펄스자계의 크기를 5kA/m로 하고 수직자계를 42A/m로 하였을 때 측정된 Hx와 Hz를 FEM으로 해석한 계산치와 비교한 것이다. 이 계산은 시편이 완전히 탈자되어 지자계의 유도자화에 의해 발생하는 자계와 실제 탈자상태에서 발생하는 자계를 비교하여 시편의 탈자상태를 알기위해 수행하였다. 이 계산에서 계산치가 실험치에 가장 근접하도록 U자형 시편의 투자율을 조정하여 시편의 비투자율이 100일 때 실험치에 가장 근접하였다. Fig. 7 (a)와 (b)에서 나타난 계산치와 실험치의 차이는 시편이 가지는 약간의 영구자화성분과 측정환경의 지자계와 계산에 이용한 지자계와의 차이에 의한 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 논문에서는 Flash D와 비히스테리시스 탈자방식에서 사용하는 직교자계가 탈자 성능에 미치는 영향을 조사하였다. 그리고 시편을 함정의 형상과 유사하도록 하기 위해 아연도금강판(합석판)을 이용하여 직경이 60mm가 되도록 U자형으로 굽혀서 만들었다. 시편의 탈자상태를 알기위해 유한요소법을 이용하는 3차원 정자장 해석프로그램을 이용하여 계산한 계산치와 측정치를 비교하였다.

- (1) 교번자계의 첫 번째 펄스의 크기와 방향은 시편의 착자상태의 자화 방향과 크기에 의해 결정된다.

- (2) 수직바이어스 자계를 이용하여 일정성분의 수직 방향의 자기모우멘트를 시편에 형성시키는 것이 가능하며 응력에 의해 형성된 자기모우멘트를 효과적으로 비교적 작은 수직자계로 분산시킬 수 있다.
- (3) FEM 해석결과와 실험결과를 비교함에 의해 탈자상태를 추정 할 수 있다.

References

- [1] T. M. Baynes, G. J. Russel, and A. Bailes, "Comparison of Stepwise Demagnetization Technique", IEEE Trans. pp. 1753~1758, Magn., 2002.
- [2] H. J. de Wit, "On the Interaction between Anhyseretic Magnetization and Demagnetizing Fields in Iron Strips", J. Appl. Phys., pp. 1838~1846, 1997.
- [3] Y. Bi and D. C. Jiles, "Measurement and Modeling of Hysteresis in Magnetic Materials Under the Action of an Orthogonal Bias Field", IEEE Trans. Mang., pp. 3787~3789, 1999.
- [4] S. Chikazumi, Physics of Magnetism. New York : Wiley, p. 165, 1964.
- [5] 신광호, "아몰퍼스와이어를 이용하여 제작한 직교 플럭스게이트 센서의 출력에 미치는 구동 주파수와 여자 전류의 영향", 한국자기학회지, pp. 17~21, 2009.