자기회로기법을 통한 자기변형구동기의 자기변형량 모델링

Magnetic circuit modeling of magnetostriction in a magnetostrictive actuator

*정진홍[1], 박해정[1], 박영우[1], #노명규[1]

*J.Jeong[1], H.Park[1], Y.Park(ywpark@cnu.ac.kr)[1] , #M. Noh(mnoh@cnu.ac.kr)[1]

[1]충남대학교 메카트로닉스공학과

Key words : magnetostriction, magnetostrictive actuator, magnetic circuit, magnetostriction and Terfenol-D

1. 서론

자기변형(magnetostriction)이란 강자성재료가 자기장 내에 놓이면 재료의 자구(magnetic domain) 내에서의 자기모멘트가 자기장 방향으로 정렬하면서 물체의 크기가 변하는 현상이다. 모든 자성재료는 미세한 자기변형 특성을 지니고 있으나, Terfenol-D와 같은 재료는 매우 큰 자기변형량을 가지고 있어 구동기 등에 사용되고 있다.

자기변형 구동기를 설계하기 위해 단순하며 정확한 설계식이 필요한데, 자기회로 기법을 사용할 수 있다. 자기회로 모델의 기본 가정은 재료의 특성이 선형이어야 한다는 것이다. 자기변형 재료의 특성은 강한 비선형성을 나타내어 자기회로 방법을 적용하는데 어려움이 있다.

본 논문에서는 자기회로 모델을 비선형영역으로 확장하여 자기변형 특성을 모델링하고 자기변형량을 예측하고자 한다.

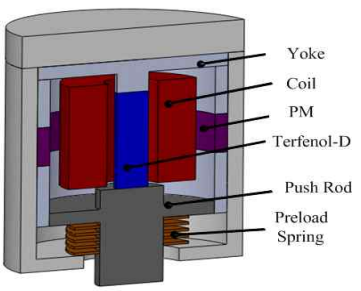

Fig. 1 Schematic view of the magnetostrictive actuator.

2. 선형 자기회로 모델

구동기의 구조를 나타내는 Fig. 1을 살펴보면, 구동기의 중앙 부분에는 원통형상의 Terfenol-D가 푸시로드와 접해있으며, 예압스프링은 Terfenol-D에 가해지는 압력을 일정하게 유지한다. 구동기 외곽에 위치한 링 형태의 영구자석에 의해 일정한 자기장을 발생하며, 이에 의해 구동기의 양방향 동작이 가능해 진다.

자기변형재료인 Terfenol-D의 경우에는 강한 비선형성을 나타낸다. 재료의 자화특성 및 자기변형 특성을 식(1)과 같이 응력의 함수와 자속밀도에 관한 선형 방정식으로 표현이 가능하다.

$$\begin{aligned} &= s\ \sigma + d \\ B &= d\sigma + \mu\ H \end{aligned} \qquad (1)$$

은 자기변형량을, H는 자계강도를, 는 자속밀도를 나타내며, 선형 자기회로 모델에서 자화강도인 S^H는 상수이며, 투자율 μ^σ도 상수이다.

자기회로 모델링을 하기 위해 자기변형재료로 제작된 Rod를 동일한 크기를 갖는 세 부분으로 나누었으며, 각 부분들은 구동기가 가동되는 동안 동일한 기자력을 가진다는 가정에 간략화를 하였다. 이전 연구에서 이 기자력을 식(2)와 같은 벡터-행렬 형태를 통해 선형화 된 자기회로 모델을 구하였다[1].

$$\boldsymbol{R}\phi = \boldsymbol{F} \qquad (2)$$

식(2)에서 구한 각 부분의 자기밀도를 식(1)에 대입하여 자기변형량을 구할 수 있으며, Fig.3과 같이 코일에 흐르는 전류 대비 자기변형 재료의 변형량을 나타낼 수 있다.

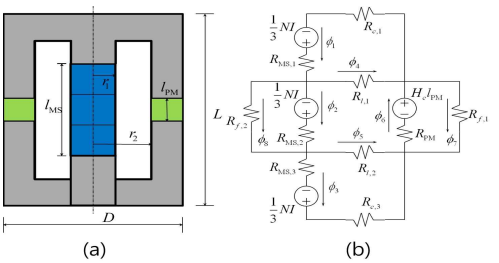

Fig. 2 Schematic view of the magnetostrictive actuator.

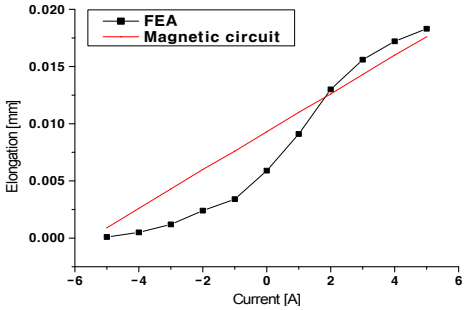

Fig. 3 Elogation of the Terfenol-D with respect to the coil current, obtained from the linear magnetic circuit model.

3. 비선형 자기회로 모델

Fig. 4는 Terfenol-D의 제조사(ETREMA, Inc., AMESIA, U.S.A.)에서 제공한 자기변형량에 대한 곡선으로, 연신율은 자기장의 세기에 관한 비선형 함수로 나타난다. 식(3)은 Fig. 4에서 주어진 곡선을 수치적으로 미분한 후 피팅을 한 결과로 얻어진 가우시안 함수이다. Fig. 5는 예압이 34.6MPa 경우의 식(3)의 그래프를 나타내고 있다.

$$= a_1 \exp\left[- \left(\frac{ - a_2}{a_3} \right)^2 \right] + a_4 \exp\left[- \left(\frac{H - a_5}{a_6} \right)^2 \right] \quad (3)$$

자기변형재료의 변형량은 Fig. 4의 값을 보간한 결과와 식(3)을 근사화한 값을 사용하여 식(2)의 비선형 방정식을 반복하여 계산하면 Fig. 6와 같은 변형량을 얻을 수 있다.

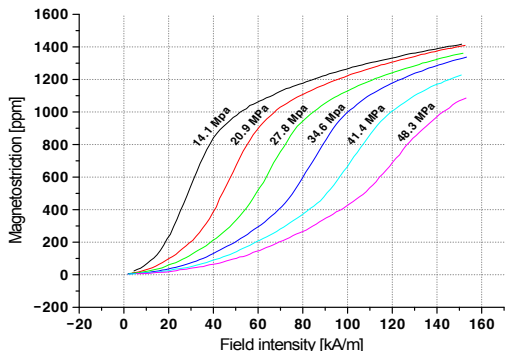

Fig. 4 Magnetization data of Terfenol-D

4. 결과

선형 자기기회로 모델의 결과인 Fig.3과 비선형 자기회로 모델의 결과인 Fig.6의 결과를 비교하면

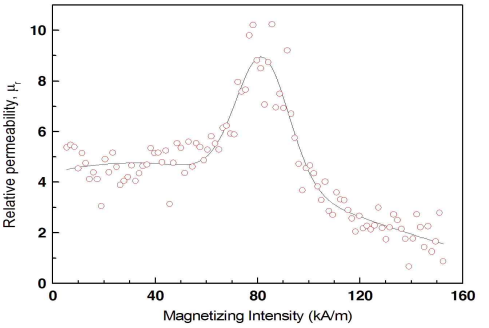

Fig. 5 The magnetization curve fo the internal stress of 34.6 MPa is numerically differentiated (circles). Then, a bi-modal Gaussian function is fitted th the circles.

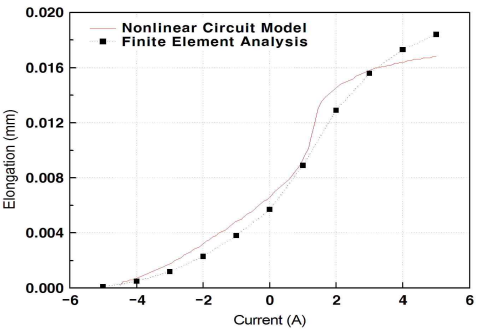

Fig. 6 Elongation predicted by the nonlinear magnetic circuit model. The results are compared with those by finite element analyses.

비선형 자기회로 모델 결과가 FEA의 결과에 더 근접한 것을 확인할 수 있다. 비선형 모델의 해석 결과는 재료 데이터의 분해능에 많은 영향을 받는다. 좀 더 세밀한 데이터가 존재하면, 식(3)의 함수의 정확성을 높여 시뮬레이션 결과를 향상시킬 수 있다.

후기

본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 진행이 되었습니다(2011-0004393).

참고문헌

1. 정진홍, 노명규, 박영우, “자왜액츄에이터의 자기회로 모델링,” 한국 정밀공학회지 2011년도 추계학술대회 논문집(상), 243-244, 2011