

프라이작 모델을 응용한 자기변형 구동기의 히스테리시스 보상 Hysteresis Compensation of Magnetostrictive Actuator Using Modified Preisach Model

*박영우¹, #임경빈¹, 정종관¹

*Y. W. Park¹, #K. B. Im(icco@nate.com)¹, J. K. Jung¹

¹ 충남대학교 BK21메카트로닉스 사업단 메카트로닉스공학과

Key words : Preisach model, Hysteresis, Magnetostrictive actuator

1. 서론

반도체 산업과 같은 최근의 가공 및 위치제어 시스템의 경향을 보면, 집적 밀도가 증가되고 제품의 크기가 작아짐에 따라 제조 공정을 위한 특성 요구 정도가 더 높아지고 있다. 특히 위치 정밀도, 응답 시간, 에너지 밀도, 수명 주기 등은 제품의 질과 생산 원가에 직접적인 영향을 미치는 요소이기 때문에 주요 관심사가 되고 있다. 하지만 기존에 널리 쓰이고 있는 기전시스템으로는 정밀제어 시스템으로의 적용에 많은 어려움이 있다. 최근에는 압전 재료(Piezoelectric material), 자기변형 재료(Magnetostrictive material)와 같은 지능 재료(Smart material)를 이용한 구동기에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 특히 자기변형 재료는 압전 재료에 비해 더 나은 성능을 보이며 위와 같은 까다로운 요구 조건을 만족시킬 수 있는 재료로 각광받고 있다.

그러나 자기변형 재료는 히스테리시스가 존재하여 실제 응용에 많은 제약을 받고 있으며, 구동기의 비선형성을 보상해 주기 위해 히스테리시스를 수학적으로 모델링할 필요성이 있다. 히스테리시스를 모델링하는 방법에는 크게 물리적 모델과 현상적 모델로 분류할 수 있다. 물리적 모델은 자기장 내에서 발생하는 자기 모멘트와 에너지와의 관계식에 의해서 히스테리시스 관계식을 유도해내고, 역 보상 과정을 거쳐 선형화 시키는 방법으로 Jiles-Atherton 모델이 대표적이다¹. 현상적 모델은 실험에 의해 얻어진 데이터를 이용하여 히스테리시스 특성을 모델링하는 방법이다. 대표적인 현상적 모델로는 프라이작 모델이 있으며 정의된 무한개 연산자의 중첩으로 복잡한 히스테리시스 특성을 모델링한다². 하지만 실제 시스템에서는 무한개의 데이터를 얻을 수 없을뿐더러 또한 무한개의 연산자를 정의할 수 없으므로 이에 따른 오차가 발생하게 된다. 본 연구는 Preisach 모델을 이산화 시스템에 적합하게 수정하여 유한개의 프라이작 연산자를 사용함으로써 발생하는 오차를 줄이고 또한 물리적 모델에 비해 갖는 단점인 연산시간을 줄이는데 목적이 있다.

2. 프라이작 모델

프라이작 모델은 무한개의 프라이작 연산자를 중첩시킴으로써 히스테리시스 특성을 표현한다.

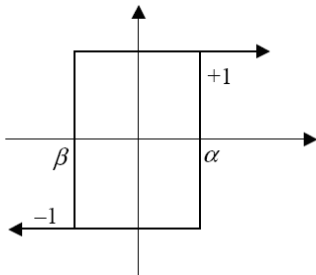


Fig. 1 Elementary Preisach hysteron $\gamma_{\alpha\beta}$

Fig. 1은 'elementary Preisach hysteron'이라 불리는 히스테리시스 특성을 갖는 기본 연산자인 $\gamma_{\alpha\beta}$ 을 나타내며, α 와 β 에서 문턱값을 취하도록 되어있는 사각형의 루프이다. 프라이작 연산자는 기본 연산자와 와 각각의 기본 연산자가 갖는 가중치 함수 $\varpi(\alpha, \beta)$ 로 구성되며 Fig. 2와 같이 표현된다.

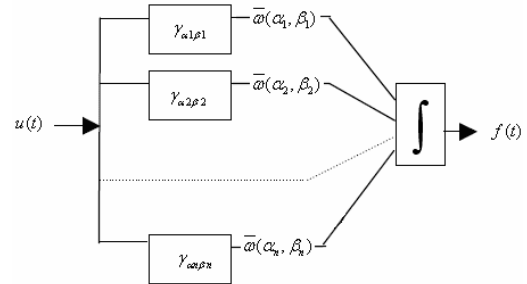


Fig. 2 Diagram of Preisach model

프라이작 연산자는 Fig. 3과 같이 입력 $u(t)$ 에 따라 $\alpha > \beta$ 인 범위 내에서 하나의 평면에 분포시킬 수 있으며, 그 평면을 프라이작 평면이라 부른다.

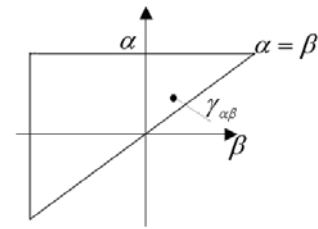


Fig. 3 The Preisach plane

3. 프라이작 모델의 변형

히스테리시스는 입력과 출력 간의 연속된 현상으로 센서와 같은 실험 장치의 한계로 인해 그 모든 특성을 데이터로 저장할 수 없다. 따라서 실제 시스템에서의 프라이작 평면은 하나의 행렬로 표현이 된다. 이것은 무한개의 프라이작 연산자가 아닌 유한개의 프라이작 연산자를 사용한다는 것을 의미하며, 그로인한 오차를 발생시킬 수밖에 없다. Fig. 4는 입력 $u(t)$ 가 $\alpha_1 - 1$ 에서 α_1 로 증가되었을 때 프라이작 모델의 출력 $f(t)$ 경로이다.

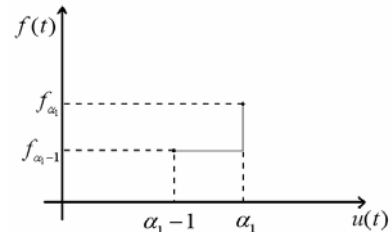


Fig. 4 The output path of Preisach model

입력 $u(t)$ 가 $\alpha_1 - 1$ 에서 α_1 로 증가되었을 때, 출력 $f(t)$ 는 이전의 출력치인 $f_{\alpha_1 - 1}$ 에서 α_1 이 문턱값인 기본연산자의 가중치 합만큼 증가하게 되어 f_{α_1} 이 되는 직각 형태의 출력 경로를 갖는다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$f_{\alpha_1} = f_{\alpha_1 - 1} + \sum_{i=1}^k \varpi(\alpha_1 + \beta_i) \quad (1)$$

하지만 실제 현상에서는 Fig. 4와 같은 직각의 출력 경로를 갖지 않으며, 따라서 $\alpha_1 - 1$ 과 α_1 사이 입력값에서의 출력값은 오차를 가질 수밖에 없다. 이렇게 유한개의 프라이작 연산자를 사용함으로써 발생하는 오차를 줄이기 위해 데이터 취득을 통하

여 이미 알고 있는 두 점의 사이에 일차함수 관계를 적용시킴으로써 오차를 줄일 수 있으며 기본 연산자는 Fig. 5와같이 변형시킬 수 있다.

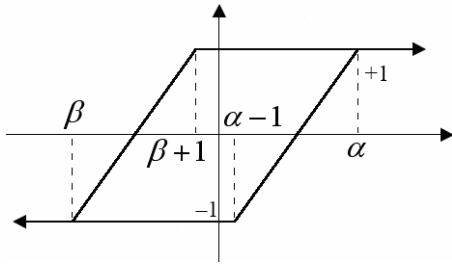


Fig. 5 Modified elementary Preisach hysteron

변형된 프라이작 모델에서의 가중치 함수는 기본 연산자의 기울기로 표현될 수 있으며, 출력 경로는 Fig. 6과같이 표현된다.

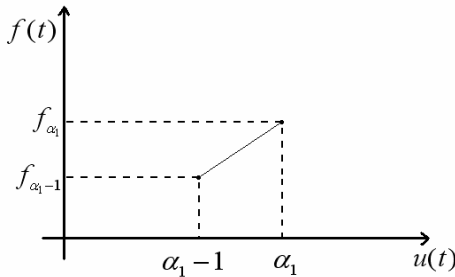


Fig. 6 The output path of modified Preisach model

입력 $u(t)$ 가 $\alpha_1 - 1$ 에서 α_1 로 증가될 때, 출력 $f(t)$ 는 (2)와 같이 수식으로 표현될 수 있다.

$$f(t) = f_{\alpha_1-1} + \left[\sum_{i=1}^k \varpi(\alpha_1 + \beta_i) \right] * [u(t) - (\alpha_1 - 1)] \quad (2)$$

4. 데이터 변환 및 히스테리시스 모델링

히스테리시스 모델링을 위해 센서를 이용하여 받은 데이터는 장비의 한계, 실험 환경 및 노이즈 등에 의하여 실제 현상과 다른 특성을 갖고 있다. 히스테리시스 특성과 맞지 않는 부분을 노이즈로 간주하고 이를 효과적으로 제거할 수 있는 필터를 설계하여 히스테리시스 모델링에 알맞게 데이터를 변환한다.³

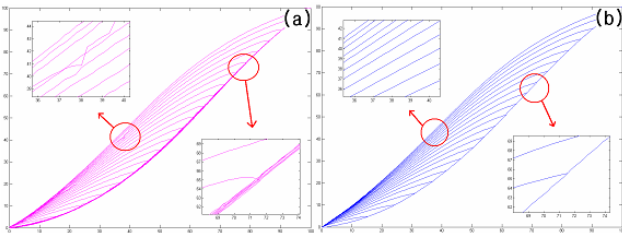


Fig. 7 (a)Raw data (b)filtered data

다음의 Fig. 8은 필터링을 한 데이터를 가지고 가중치를 구해 만든 프라이작 평면을 두 가지의 다른 각도에서 본 그림이다.

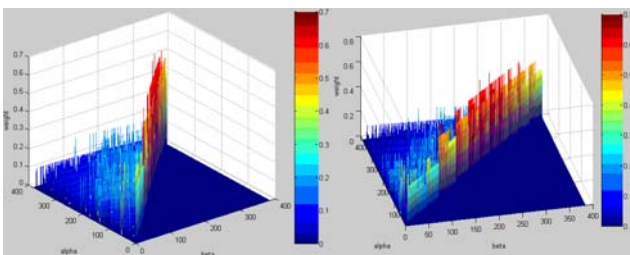


Fig. 8 Preisach plane from filtered data

고전적인 프라이작 모델과 변형된 프라이작 모델을 이용한

구동기의 가상 출력 경로는 Fig. 9와 같다.

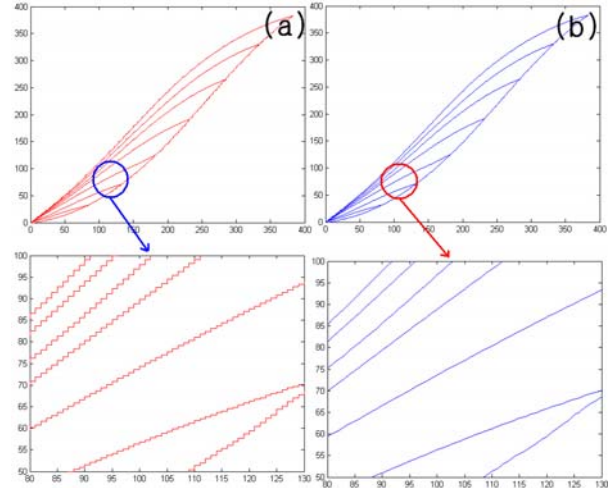


Fig. 9 (a)Classical Preisach model (b)Modified Preisach model

고전적 프라이작 모델을 이용한 구동기의 가상 출력 경로인 Fig. 9의 (a)에서는 그 경로가 직각 형태로 나타남으로써 실제와 오차를 갖게 된다. 프라이작 모델에 일차함수를 이용하여 기본 연산자를 변형시킴으로써 (b)와 같이 실제와 가까운 출력값을 얻을 수 있다.

4. 결론

자기변형 구동기의 히스테리시스를 프라이작 모델을 이용해 모델링하였다. 히스테리시스 모델링에 앞서 센서를 통해 받은 신뢰성이 떨어지는 데이터가 가진 노이즈 등의 성분 등을 제거하기 위하여 히스테리시스 특성을 고려한 디지털 필터를 설계한 뒤 데이터를 처리하였다. 고전적 프라이작 모델은 무한개의 프라이작 연산자를 중첩시킴으로써 히스테리시스를 표현하기 때문에 실제 시스템에 적용 시 오차를 갖게 된다. 이러한 고전적 프라이작 모델이 갖는 문제점을 보완하기 위하여 데이터 취득을 통해 알고 있는 두 점의 사이에 일차함수 관계를 적용시킴으로써 기본 연산자를 변형하여 유한개의 프라이작 연산자를 사용함으로써 발생하는 오차를 줄였다. 프라이작 모델을 이용해 구동기의 비선형 특성을 역보상할 때 고전적인 프라이작 모델은 높은 분해능을 내기 위해서는 그만큼 더 많은 데이터를 필요로 하며 그에 따라 프라이작 평면이 거대해지고 계산 시간이 길어지는 단점이 있다. 하지만 변형된 프라이작 모델을 적용을 하면 장치의 세팅만 바뀌춤으로써 한 번의 히스테리시스 모델링만으로도 오차는 다소 증가하지만 분해능을 계속 높일 수 있는 장점을 갖고 있다.

후기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력 양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

1. Jiles, D. C., Atherton, and D. L., "Theory of ferromagnetics hysteresis," J. Magn. Mater. 61, 48-60, 1986.
2. Tan, X., and Baras, J. S., "Modeling and control of hysteresis in magnetostrictive actuators," Automatica, 40, 1469-1480, 2004.
3. Im, K. B., Park, Y. W., and Chung, J. Y., "Identification and re-configuration of weight functions in Preisach model for nanomotion applications," ISNM2006, 108-111, 2006.