

히스테리시스 보상을 이용한 자기변형 구동기의 제어 Control of Magnetostrictive actuator Using hysteresis compensation

*정종관¹, 박영우¹, 최형욱¹

**J. K. Jung(jjk101011@nate.com)¹, Y. W. Park¹, H. W. Choi¹

¹ 충남대학교 BK21메카트로닉스 사업단 메카트로닉스공학과

Key Words : Preisach model, Hysteresis, Magnetostrictive actuator

1. 서론

자기변형 재료는 히스테리시스가 존재하여 실제 응용에 많은 제약을 받고 있으며, 구동기의 비선형성을 보상해주기 위해 히스테리시스를 수학적으로 모델링할 필요성이 있다. 본 연구는 실험에 의해 얻어진 데이터를 이용하여 히스테리시스 특성을 모델링하는 방법 대표적인 현상적 모델인 프라이작 모델을 이용하여 히스테리시스 보상을 이용한 자기변형 구동기를 제어 하였다.

본 논문에서는 자기변형 재료를 이용한 구동기의 히스테리시스 보상을 위하여 구동기의 설계 및 제작을 시작으로 고전적인 Preisach 모델을 변형하여 히스테리시스 보상을 구현하고 이를 선형 보상기에 적용하여 구동기의 제어기로서의 실제적인 이용에 대한 연구로 진행하였으며 센서를 이용한 PI제어와의 비교 실험을 통해 그 성능을 비교하였다.

2. 히스테리시스 보상을 위한 데이터 취득 및 변환

자기변형 구동기의 입출력 관계를 알아보기 위하여 자기변형 구동기의 입출력 관계를 데이터로 저장한다. 입력 범위는 -5V에서 +5V까지 총 10V의 구간을 입력을 0.1V씩 바꾸면서 출력을 측정하였다. 26개의 first order reversal 곡선을 얻어냈으며, 입력 범위 내에서 약 30 μ m의 출력 범위를 갖는다. first order reversal 곡선을 얻어내기 위한 입력값으로써, 0.2초마다 0.1V씩 변화를 주면서 총 26개의 루프를 생성하도록 만들어졌다.

실험을 통해 얻은 데이터는 바로 히스테리시스 모델링에 적용하기에는 어려움이 있다. 히스테리시스 모델링을 위해 취득한 first order reversal 곡선은 극값에서 한 점으로 수렴하지 않으며, 상승 구간에서 서로 완전히 같은 경로를 갖지 않아 하강 구간에서 서로 교차하는 경우도 발생 할 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결해주기 위해 히스테리시스 현상에 맞는 필터를 설계하여 적용함으로써 데이터를 적절히 변환할 필요가 있다[3]. Fig. 2는 디지털 필터를 이용한 히스테리시스 모델링 결과이다.

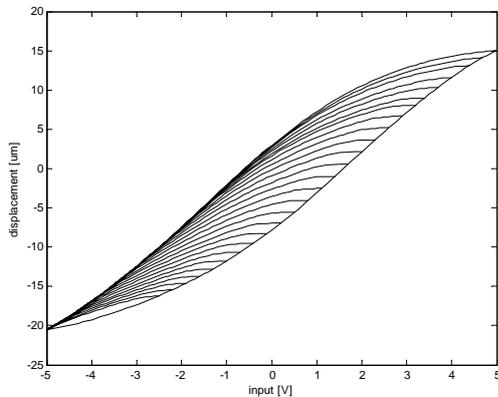


Fig. 2 Filtered data for hysteresis modeling

3. 히스테리시스 모델링

실험을 통해 얻어진 데이터를 이용하여 Preisach 모델을 완성한 뒤 입출력 관계를 시뮬레이션 해봄으로써 모델링 결과를 검토 할 수 있다. 제어 실험의 순서는 우선 아무런 제어기도 거치지 않고 Fig. 4(a)의 입력 값을 자기변형 구동기에 넣어보고 히스테리

시스 특성을 확인한 후, Preisach 모델을 이용하였을 때의 역 보상된 입력 값을 알아보고 역 보상된 입력 값이 자기변형구동기에 들어갔을 때의 변위를 측정하여 입출력 간의 선형성을 평가해 본다. 역보상 제어기를 사용했을 때와 하지 않았을 때의 자기변형 구동기의 변위를 비교를 위하여 0.5초마다 0.025V씩 -5V에서 +3.5V까지 증가하였다가 다시 -5V로 감소하는 한 주기의 동일한 단조입력에 대한 출력 결과를 알아보았다. Fig. 4(b)은 역보상기를 거치지 않고 구동기에 넣어줬을 때의 구동기 변위를 나타내며, 앞서 실험한 결과와 같이 히스테리시스 특성을 보인다. 앞서 히스테리시스 모델링을 위한 데이터 취득 실험과 마찬가지로 상승과 하강 시에 그 경로를 달리하는 히스테리시스 특성을 보였다. 다음의 Fig. 4(c)은 역보상기를 거친 입력 값이다.

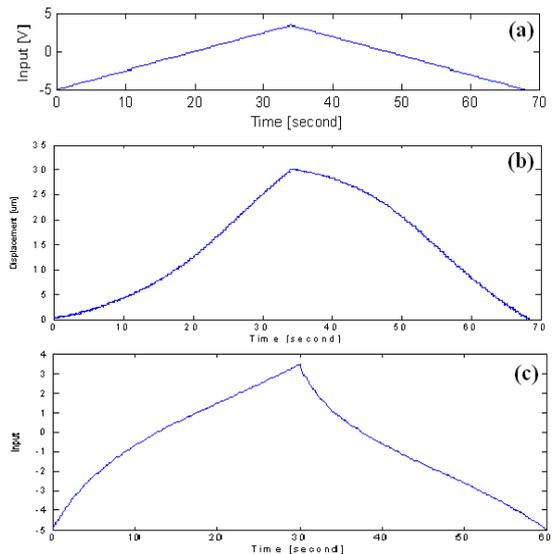


Fig. 4 Input and output for hysteresis compensation

구동기의 역보상 실험 결과를 나타내면 Fig. 5과 같다. (a)는 시간에 따른 실제 구동기에서의 변위를 나타내며 (b)는 입출력 간의 선형성을 표현한 것이다.

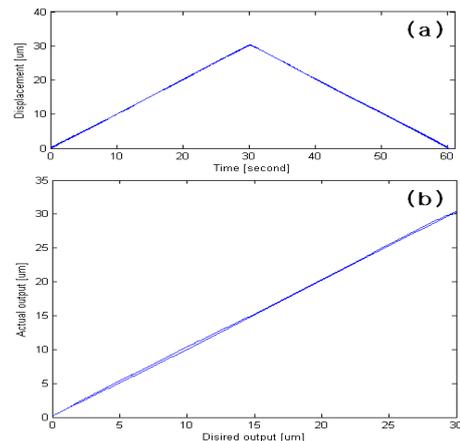


Fig. 5 Result of hysteresis compensation

4. 선형화 특성

Preisach 모델을 이용한 히스테리시스 보상 제어기의 성능 평가를 위해 대표적인 페루프 제어 방법인 PI 제어기와의 비교 실험을 하였으며 입력과 출력을 각각 u , f 라 하였을 때 block diagram 으로 나타내면 다음과 같다.

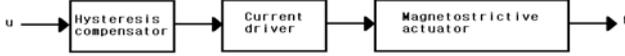


Fig. 6 Block diagram of hysteresis compensation control system

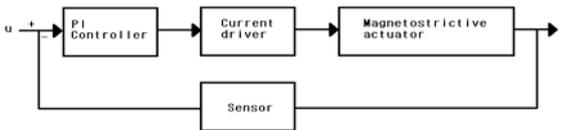


Fig. 6 Block diagram of PI control system

다음의 Fig. 7과 같은 desired 변위를 내기 위한 입력 값을 PI제어기와 Preisach 모델에 넣어 그 결과를 비교하였다. 동일조건 하에서 구동기 변위 측정을 위하여 1초마다 스텝이 변하도록 하였고, 제어입력은 0.1s마다 바뀔 수 있도록 하였다.

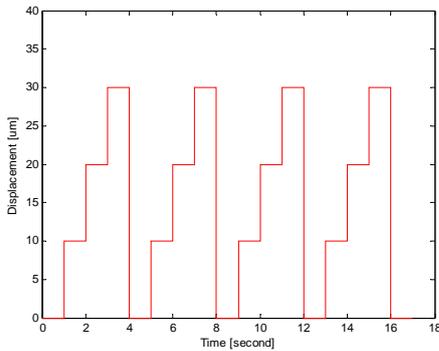


Fig. 7 Desired output displacement of magnetostrictive actuator

Fig. 8은 Preisach 모델을 이용하여 역 보상된 자기변형 구동기의 실험 결과를 나타낸다.

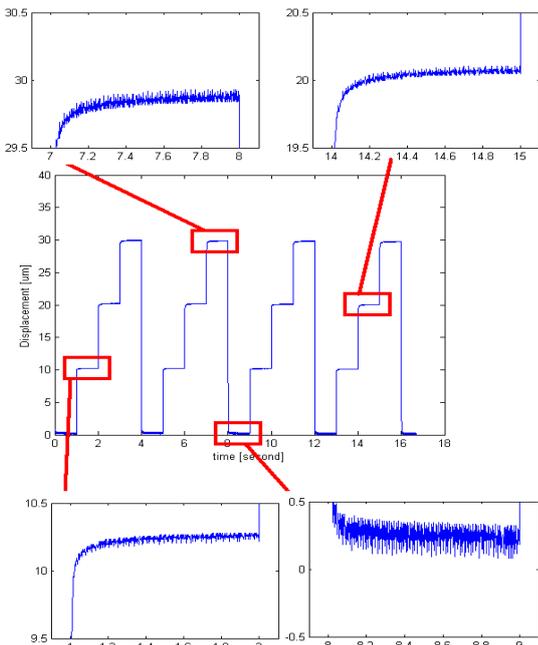


Fig. 8 Result of Inversion control

히스테리시스 모델링을 통한 제어는 PI 제어와는 달리 이득 값을 곱하지 않기 때문에 오버 슈트와 같은 현상이 발생하지 않음이 관찰되었다. Fig. 9는 자기변형 구동기의 PI 제어 결과로써, 이득 값을 바꿔줘 가면서 그 결과를 관찰 하였다.

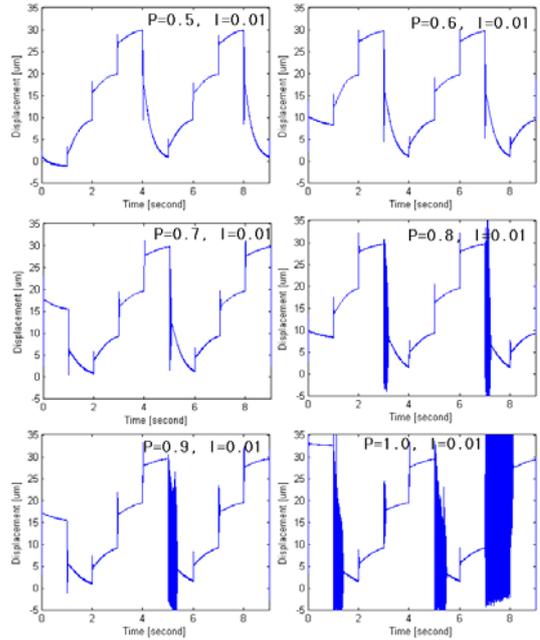


Fig. 9 Result of PI control

I 이득 값을 모두 0.01로 설정하였고, P 이득 값을 0.5에서 1까지 올림에 따른 구동기의 성능을 비교하였다. P 이득 값을 올리면 settling time은 감소하지만 오버 슈트가 발생하고 어느 순간부터는 발산되어 더 이상 제어가 되지 않음이 관찰되었다. 더 나은 제어 결과를 얻기 위해서는 더 빠른 제어 입력을 넣어줘야 한다.

결론

본 논문에서는 히스테리시스를 수학적으로 모델링하고, 이에 대한 역보상을 통해 제어기를 구성하고, 제어기의 성능 비교를 위하여 대표적인 페루프 보상기인 PI 제어기와 비교하였다.

실험을 통해 얻은 필터링 된 데이터를 이용하여, 수학적으로 모델링하고 대표적인 페루프 제어방법인 PI 제어기와의 비교 실험을 통해 성능을 확인하였다. 이 실험을 통해 얻은 결론에서 역보상 제어기의 가장 큰 장점으로는 피드백을 받아 처리할 필요가 없으므로 제어 입력 시간을 빨리 해줄 수 없는 시스템에서 매우 적합하다. 이 외에도 짧은 settling 시간, 외란에 대한 강인성 그리고 오버 슈트 없는 장점이 있다. 하지만 수학적 모델의 정확도에 따라 구동기의 정밀도가 이미 정해져 있으며, 온도변화나 시스템 노후 등의 주위 환경 변화에 따른 능동적 대처를 할 수 없는 단점이 있다.

후기

본 연구는 산업자원부와 한국 산업 기술 재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. Jiles, D. C., Atherton, and D. L., "Theory of ferromagnetics hysteresis," J. Magn. 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 nano-motion applications," ISNM2006, 108-111, 2006.