

# 모드 선택이 가능한 비접촉 회전체 진동 센서의 비가역적 특성 분석

## Analysis of irreversible magnetic properties for mode-selectable rotational vibration sensor in a noncontact manner

이호철† · 배원호\*

Ho Cheol Lee and Won Ho Bae

### 1. 서 론

회전체의 진동을 정확하게 측정하고 평가하는 일은 시스템의 이상 진단(fault diagnosis)과 동작기계 등을 위시한 산업의 각 분야에서 중요한 과제 중 하나이다. 특히 발전소의 설비 등과 같은 대형 산업기기들의 경우 예상되는 결함을 진단하기 위해서 장비의 운영을 중단하는 경우 매우 큰 경제적 손실을 감수해야 하기 때문에 회전하고 있는 상태에서 진동 신호를 측정할 수 있는 비접촉 방식의 측정 방법이 선호되거나 필수적이다.<sup>(1)</sup>

현재 회전체의 진동을 비접촉으로 측정하는데 가장 많이 채용되고 있는 방법들은 광학, 즉 빛을 이용하는 것과 용량형 센서(capacitive sensor)를<sup>(2)</sup> 이용하는 것이다. 하지만 전자계의 경우 장비 가격 측면에서 고가의 것들이 주를 이루고 있다는 점에서 후자의 경우는 측정 대상과의 기하학적 조건이 너무 엄격해서(매우 근접한 상태에서만 계측이 가능함) 실용성 측면에서 단점이 존재한다. 게다가 이 두 종류의 센서는 모두 힘을 직접 측정하는 것이 아니라 변위를 측정하는 센서이기 때문에 힘을 측정해야 하는 경우 적용하기가 곤란하다.

본 연구는 비접촉으로 회전체의 진동을 측정하는 물리적 원리로 자왜현상의 역현상인 빌라리 효과(Villari effect)를 채용한 센서에 대한 것이다.<sup>(3)</sup> 최근 발표된 연구에 의하면 역 자왜현상을 이용하여 비접촉 방식으로 회전 중인 축의 진동을 측정하는 방법은 하나의 센서에서 서로 다른 모드의 진동을 계측할 수 있는 등의 독특한 장점들을 가지고 있지만 자기적인 현상이 가지고 있는 비선형 특성과 이력현상(hysteresis)의 복잡성이란 단점도 가지고 있다.<sup>(4)</sup> 본 연구는 역자왜 현상을 실용적인 센서에서 활용하기 위해서 이러한 복잡한 현상의 근원 중 하나인 비가역적 자화성분의 영향을 평가하고 이를 비자기이력(anhysteresis)이란 개념을 이용하여 극복할 수 있음을 보였다.

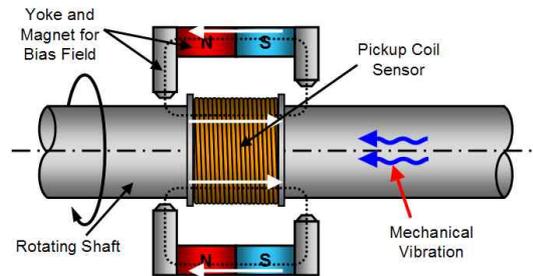


Fig.1 Schematic figure of a proposed noncontact vibration sensor configured to a longitudinal mode

### 2. 본 론

#### 2.1 비가역적 성분의 영향

Fig.1은 본 연구에서 대상으로 삼은 센서의 외관을 보여주고 있다. 센서는 축과 접촉해 있지 않은 코일 센서와 코일 센서에서 전자기유도현상이 일어나도록 해주는 바이어스용 영구자석 및 이 영구자석에 의해서 생성된 자기장의 효율적 구성을 위한 요크 등으로 구성된다.

Fig.2는 Fig.1의 센서를 이용해서 축 방향의 충격 가진을 계측한 실제 출력 신호를 보여주고 있다. 충격 가진은 작은 쇄구슬을 낙하 시키는 방법을 사용하였으며 그림에서 비슷한 모양의 신호가 반복적으로 나타나는 것은 가해진 충격 신호가 양 끝단에서 반사되면서 위상이 반전하는 것을 보여주고 있는 것이다.

한 가지 특기할 것은 신호에서 두 번째로 나타나는 유난히 진폭이 큰 신호다. 이 신호는 다른 신호에 비해서 진폭

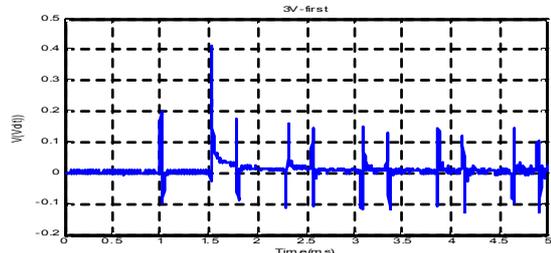


Fig.2 Measured output signal from the proposed sensor

† 교신저자 ; 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부  
E-mail : hclee21@cu.ac.kr  
Tel : (053) 850-2712, Fax : (053) 850-2710

\* 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

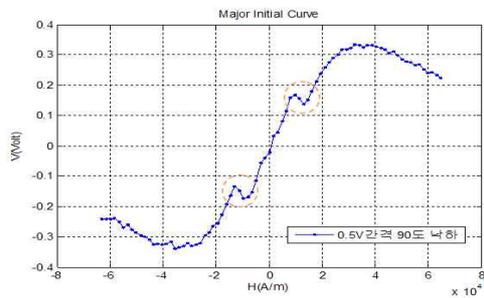


Fig.3 Variation pattern of output amplitude according to bias magnetic field

도 크지만 형상 측면에서도 원래 자왜형 센서가 가져야 할 특성을 반영하지도 못하고 있다. 또한 실험결과 이러한 현상은 전체 자화곡선 상에서 일정하게 나타나는 것이 아니라 일정한 영역에서 나타나는 것으로 확인되었다.

Fig.3은 바이어스 자기장의 크기를 축의 자기적 상태가 거의 포화상태에 이르는 영역까지 단계적으로 키워가면서 같은 충격 가진에 대한 출력의 최대 크기를 실험을 통해서 조사한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 파선으로 된 원으로 표시된 영역이 Fig.2의 비정상적인 신호가 나타나는 영역이다. 이 영역은 자왜현상 특성곡선 상에서 소위 빌라리 역전 (Villari reversal)이 일어나는 곳으로 추정된다. 빌라리 역전이란 자왜현상을 보이는 물질 중에서 유일하게 철(Fe)에서 관찰되는 현상으로 양의 자왜특성에서 음의 자왜특성으로 바뀌는 것을 말한다.

자기적 특성의 복잡성으로 인해서 이러한 현상이 왜 Fig.2에서 보이는 이상 신호를 만들어내는지에 대한 것은 밝혀내지 못했으나 이런 특성을 가지고 있다면 실용적인 센서로 사용하는 것이 불가능하다는 것은 확실하다.

## 2.2 비이력자화 곡선을 이용한 대책

Fig.2에 보인 현상은 비가역적인 현상에 의해서 나타나는 것으로 추측되며 이에 대한 몇 가지 실험적 증거는 선행 연구에서 이미 밝혀진 바 있다.<sup>(4)</sup> 자기적인 이력특성의 원인 및 모델링에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔는데 자화성분

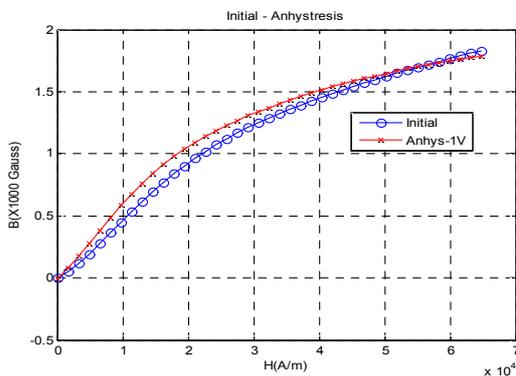


Fig.4 Comparison of initial magnetization curve and its anhysteretic curve

의 가역적 성분과 비가역적 성분을 통한 설명이 가장 설득

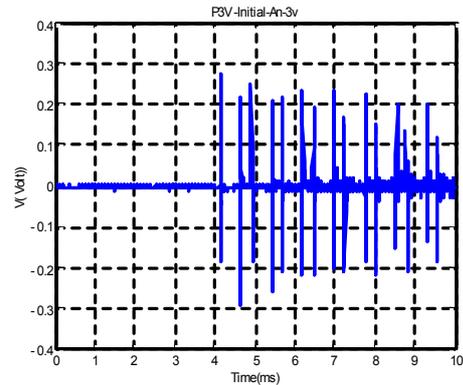


Fig.5 Sensor output on a anhysteretic curve 력을 얻고 있다.

비이력자화 곡선(anhysteretic curve)이란 일반적인 자화곡선과 달리 비가역적인 자화성분들을 제거한 자화곡선을 말하는데 어떤 자기적인 상태에 대해서 시간에 따라서 점차로 감소하여 0이 되는 가변 자기장을 외부에서 걸어줌으로써 비가역적 자화성분들을 제거한다. Fig.4는 초기 자화곡선 (initial magnetization curve)와 비이력자화곡선을 측정된 결과를 보여주고 있으며 Fig.5는 Fig.2와 같은 크기의 바이어스 자기장 조건이지만 비이력자화곡선 상에 있을 때 출력을 보여주고 있다. Fig.2에 보인 비정상적인 신호는 나타나고 있지 않음을 확인할 수 있다.

## 3. 결 론

비접촉 자왜형 센서의 비가역적 자화성분에 의해서 나타나는 바람직하지 못한 특성을 제거하기 위한 방법으로 비이력자화곡선 상에서 센서를 운용할 것을 제안하였으며 실험을 통해서 이 방법이 유용함을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- (1) Dimarogonas, A. D., 1983, "Analytic methods in rotor dynamics," Applied Science Publishers, New York
- (2) Wolffenbuttel, R. F. and Foerster, J. A., 1990, "Noncontact capacitive torque sensor for use on a rotating axle," IEEE Trans. on Instrumentations and Measurement, Vol.39, No.6, pp.1008~1013
- (3) Lee, H. C., 2008, "Mode-selectable ultrasonic wave sensor and its characteristics," Journal of Mechanical Science and Technology," Vol.22, pp.247~254
- (4) Lee, H. C., 2009, "Analysis of magnetic characteristics for a noncontact magnetostrictive sensor simultaneously measuring rotational speed and force," Trans. of KSNVE, Vol.19, No.4, pp.418~424