

# 비접촉 토오크센서의 개발(I)

손 대락\*, 임 순재\*, 김 창석\*, 남궁 석\*\*

## I. 서론

자동차 엔진, 펌프, 모우터 등과 같은 회전동력장치의 일률이나 효율을 측정 하거나 혹은, 회전동력장치를 과부하 없이 운용하고자 할 때 토오크센서를 이용한다. 이 때 사용되는 토오크센서는 대부분 strain gage와 slip ring을 이용하고 있는데, 이러한 종류의 센서들은 감지된 토오크를 회전하는 축으로 부터 외부로 그 신호를 전달하기 위해서 slip ring 이나 magnetic coupler와 같은 중간의 신호 전달장치 ( signal transmitter )를 설치하여야 한다. 이러한 신호 전달장치는 설치하기가 번거롭고 가격이 비싸며, 신호처리에 전기잡음( electrical noise )을 유기하여 측정을 어렵게 하기도 한다.

이러한 기존의 토오크센서 단점을 보완하는 새로운 방식의 비접촉 센서를 개발하였다. 개발된 센서의 원리는 비정질 합금( amorphous alloy )을 비자성의 회전축에 부착하고, 그 비정질 합금의 최대자기유도( maximum magnetic induction )의 차이를 이용한 것이다.

## II. 센서의 원리

비정질 합금이 자장( magnetic field )내에서 외부로 부터 응력을 받으면 최대자기유도 값이 변한다. 회전하는 축에 Fig.1처럼 축방향에 대하여  $\pm 45^\circ$ 로 비정질 합금을 부착하고, 그 외부에 자장을 만들어 주는 1차코일(  $N_1$  )을 감아 설치하고, 회전하는 축과 1차코일 사이에 2개의 감지코일 즉, 2차코일(  $N_2$  )을 설치한다. 만약 축이 비틀림 하중을 받으면 하나의 비정질 합금은 압축하중을 받으며, 또 다른 비정질 합금은 인장하중을 받게된다. 부착된 비정질합금은 음자왜( negative magnetostriction )의 성질을 갖고 있어 압축응력을 받을 때 인장응력을 받을 때보다 최대자기유도 값이 더 크게 나타난다. 즉, 축이 비틀림 하중을 받으면 두 비정질 합금의 최대자기유도 차이는 인가한 비틀림 하중에 비례하게 된다. 식으로 표현하면,

$$\Delta B_{max} = k\tau \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서 k는 비례상수 이며,  $\tau$ 는 인가한 또는 측정 할 토오크이다. 비례상수 k는 자화 주파수( magnetizing frequency )와 최대 자화력( maximum magnetic field strength )에 따라 변화한다.

\* : 한국표준과학연구원

\*\* : 충남대학교

이 원리를 그래프로 설명한 것이 Fig.2이다. Fig.2에서 2번 B-H 선도가 비틀림 하중을 받고 있는 회전축의 중립축에서의 최대자기유도를 나타내고 있는 것이라면, 1번 B-H 선도는 압축하중을 받고 있는 비정질 합금의 최대자기유도를 나타내는 것이 되고, 3번 B-H 선도는 인장하중을 받고 있는 비정질 합금의 최대 자기유도를 나타내는 것이 된다. 결국 비틀림 하중에 대한 두 비정질 합금의 최대 자기유도 차이를 구하면 바로 토오크 값이 되게 된다.

### III. 센서의 제작

센서의 원리에서 설명한 바와 같이 glass fiber epoxy 봉에  $\pm 45^\circ$ 로 비정질 합금을 원주를 따라 환형으로 부착하였다. 이 때 비정질 합금은 외부 응력에 민감하게 작용하도록 폭 1 mm, 길이 17 mm, 간격 1 mm로 에칭하여 순간 접촉제를 이용하여 부착하였다. glass fiber epoxy 봉을 사용한 까닭은 센서원리가 최대 자기유도의 차이를 구하는 것이므로 비정질 합금 리본을 충분히 자화시켜야 하기 때문이다. 따라서 비금속·비자성체의 탄성물질을 이용해야 되는 데, 본 연구(I)에서는 glass fiber 를 축방향에 대하여  $\pm 45^\circ$ 로 적층한 epoxy 봉을 사용하였다.

부착한 비정질 합금 리본을 자화시키기 위한 1차 코일은 직경 0.3 mm의 에나멜 동선을 길이 74 mm의 solenoid로 474회 감았으며, 최대자기유도를 감지하는 2 개의 2차 코일은 같은 동선을 폭이 15 mm되게 460회 감아 두 코일의 극성이 서로 반대되게 직렬로 연결하였다. 이는 축이 비틀림 하중을 받지 않을 때, 출력 전압을 영으로 하기 위함이다. 여기서 비정질 합금 리본이 부착된 회전축은 1차코일과 2차코일 모두에 대하여 비접촉으로 설치된다.

한편, 두 비정질 합금의 최대자기유도 차이를 전압으로 측정하기 위한 전자회로는 Fig.3과 같다. sine파와 cosine파가 출력되는 발진기에서 sine파 출력은 전압 대 전류 변환기를 거쳐 1차코일에 공급되며, cosine파 출력은 전압 비교기와 multi-vibrator를 거쳐 sample/holder에 sampling pulse로 인가시켰는데, 그 이유는 최대자기유도가 sine파의 peak점에서 얻어지므로 sample/holder는 cosine파의 zero-crossing 점에서 반드시 sampling을 하여야 하기 때문이다. 두 개의 2차코일에 유도되는 기전력의 차이는 적분기를 거쳐 적분시킨 다음 증폭시켰다. 이 때의 출력전압은 토오크와 다음의 관계로 표시된다.

$$U_o = \frac{2 k G N_2}{R C} \tau \dots\dots(2)$$

여기서 G는 증폭기의 이득이며, RC는 적분기의 시간상수( time constant )이다. 식(2)에서 알 수 있듯이 sample/holder의 출력은 회전축의 토오크에 비례하며, 비례상수는 토오크에 대하여 독립적이다. 비례상수는 주어진 자화 주파수와 최대자화력에 대하여 일정하기 때문에 비틀림 하중을 자화 주파수와 동일한 주파수로 sampling하여 측정할 수 있다.

Fig.4는 제작된 센서의 각 부를 나타낸 사진이다.

#### IV. 실험결과

개발된 비접촉 토오크 센서에 대하여 정적인 시험과 동적인 시험을 실시하였다. 정적인 시험에서는 센서의 한쪽 끝에 길이 420 mm의 직사각형( 10 mm X 50 mm ) 단면을 갖는 막대를 걸었으며, 다른 한쪽 끝은 고정시켰다. 막대 양 끝에 저울용 접시를 각각 설치하고 분동을 그 접시 위에 올려 놓는 방법으로 토오크를 센서에 인가하였다.

Fig.5에서 보듯이 최대자화전류(  $I_{max}$  )를 증가시키면서 -10 N·m부터 +10 N·m 범위에서 시험한 결과,  $I_{max}$ 가 100 mA일 때 센서 Hysteresis는 약 5%,  $I_{max}$ 가 100 mA일 때 센서 Hysteresis는 약 1%로 미만으로 나타났다. 이 때 -5 N·m이하와 +5 N·m이상의 범위에서는 비직선 현상이 나타났다. 토오크 범위를 줄이고, 0.4 N·m씩 변화시키면서 시험한 결과 센서 Hysteresis를 포함한 직선성이  $\pm 1\%$  미만으로 나타났다. 이를 그림으로 나타낸 것이 Fig.6 이다. Fig.7은 정적 시험을 하는 사진이다.

한편, Fig.8는 동적 시험을 하는 사진이다. 동적 시험의 목적은 제작된 토오크 센서의 비틀림 고유주파수를 찾기 위함이다. 10 Hz 에서 2000 Hz 까지 수직방향으로 진동을 발생하는 진동발생기에 길이 400 mm의 직사각형( 10 mm X 30 mm) 단면을 갖는 금속 막대를 토오크 센서에 연결하였다. 진동발생기에서 정현파를 10 Hz 부터 sweep하면서 일정 변위를 토오크 센서에 인가한 결과 40 Hz에서 공진현상이 나타났다. 이 때 사용된 금속 막대의 고유주파수는 400 Hz 이었다. Fig.9은 금속 막대의 Impact Test의 결과를 나타낸다.

#### V. 결과 및 고찰

비정질 합금의 최대자기유도 차이를 이용한 비접촉 토오크 센서를 개발하였다. 개발된 토오크 센서의 센서 Hysteresis를 포함한 직선성은  $\pm 1\%$ 미만으로 나타났으며, 동적 비틀림 하중을 자화 주파수( 10 kHz )와 동일하게 sampling할 수있다. 기존의 토오크 센서에 비하여 구조가 간단하고, 회전축 재료를 잘 선정하면 동특성이 우수할 것으로 생각된다. 또한 가격도 매우 저렴하게 제작할 수 있어 많은 응용이 기대된다. 특히 공구마모나 절삭상태인식같은 공작기계의 가공정 감시나 적응제어에 이용될 수 있을 것으로 생각된다. 개발된 센서의 고유주파수를 증가시킬 필요가 있다고 본다.

#### VI. 참고문헌

1. R. Boll and G. Hinz, Technischen Messen TM-52, P.189 (1985)
2. E. Brinksmeier, Sensor Magzin, May.14 (1989)
3. K. Mohri et al., IEEE MAG-23, P.2212 (1987)
4. K. Tanizaki et al., 제12회 일본응용자기학회 학술강연개요집, P.348 (1988)

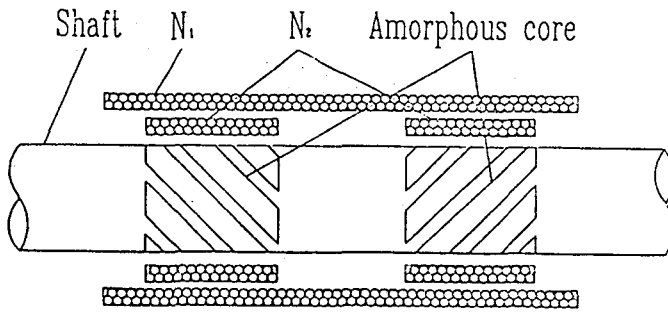


Fig.1. Schematic diagram of the torque sensor

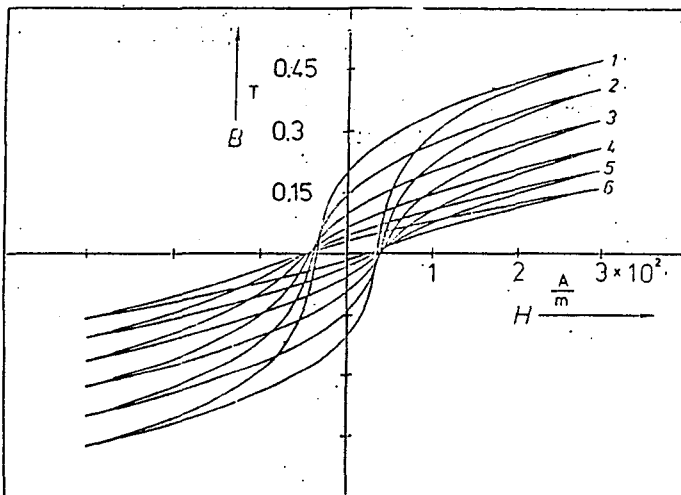


Fig.2. Maximum magnetic induction vs. magnetic field strength

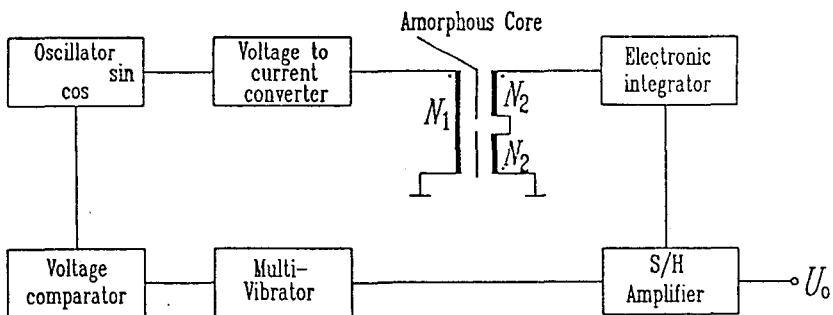


Fig.3. Block diagram of electronic circuit

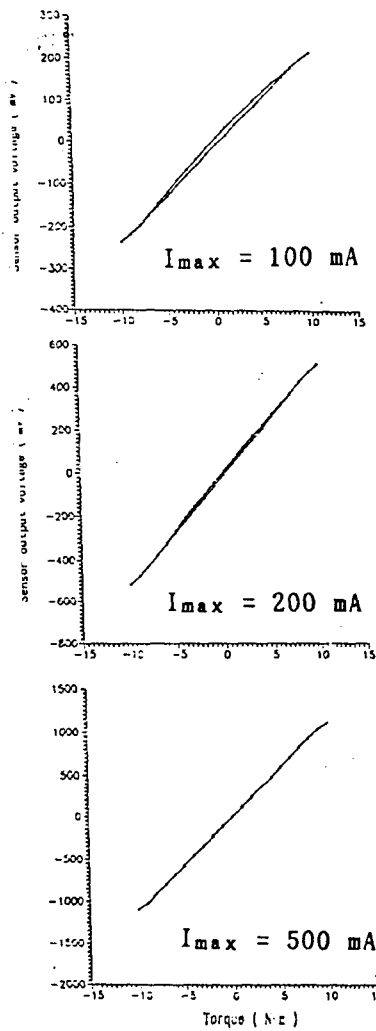


Fig. 5. Sensor output voltage vs. applied torque at different max. magnetizing current

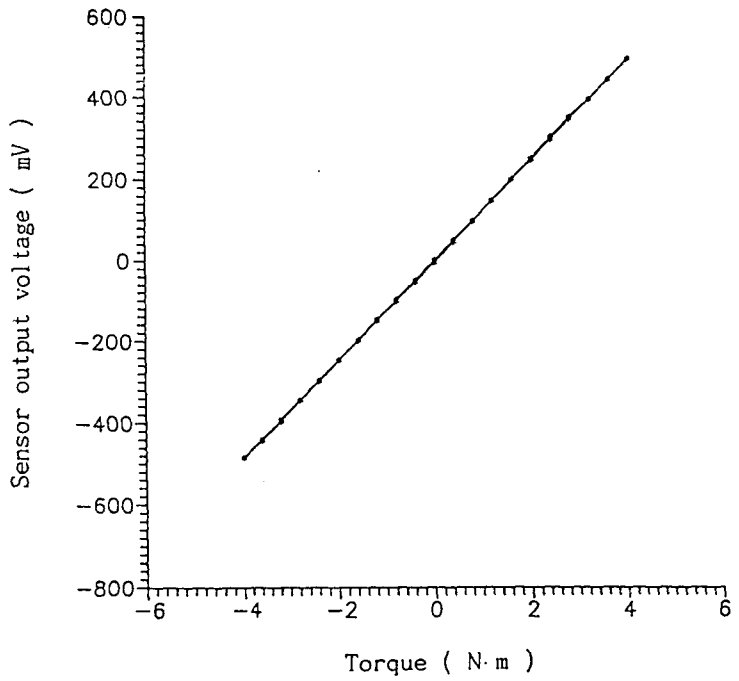


Fig. 6 Hysteresis and linearity of torque sensor at  $I_{max} = 500 \text{ mA}$

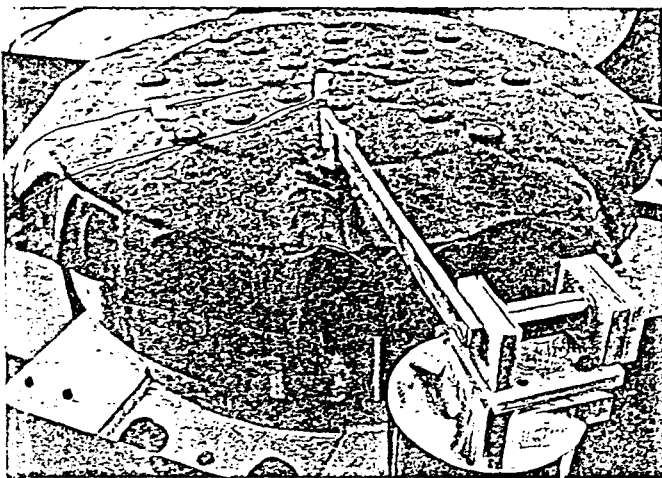


Fig. 8. Apparatus for dynamic torque test

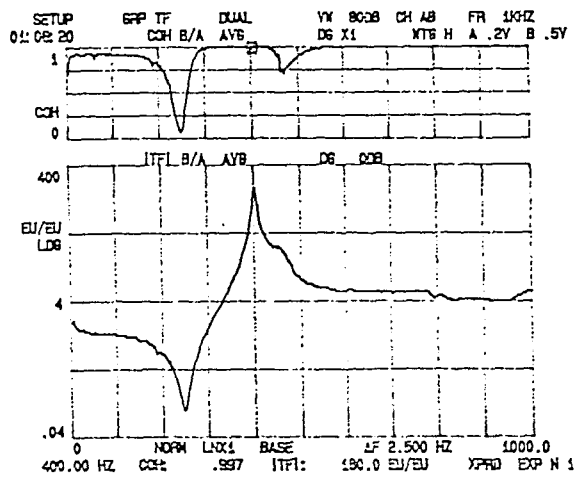


Fig. 9. Transfer function of arm used in dynamic torque test