

자기장을 이용한 비접촉 토크센서설계

송중록[†] · 조종두^{*} · 반강^{**} · 김재민^{***} · 김웅지^{****}

Zenglu Song[†], Chongdu Cho^{*} and Qiang Pan^{**} and Jaemin Kim^{***} and Woongji Kim^{****}

Key Words : wireless (무선), magnetic(자기장), torque(토크), sensor(센서)

Abstract

A wireless magnetic torque sensor is utilized to measure the torque generated in the rotating shaft in magnetic field without connecting to the shaft by any wire. In this study, a new wireless magnetic torque sensor was introduced. The structure of the sensor was explained detailed as well as its operation principle. Resulting from the torque measurement experiment results, the sensor was proven to measure the generated torque effectively. Compared with traditional contact torque sensor, the wireless one has low cost and good environment adaptation ability. Moreover, the intractable wrapping wires around the shaft are removed in this design. Hence the wireless torque sensor may be expected as a possible sensing device for many applications, such as the electric assisting rotation system in automobiles, the torque sensing system in motors, the arm rotation system in robotics and so on.

기호설명

- T : 토크, Nm
- G : 강성계수, GPa
- v : 푸아송비
- J : 극단면계수, m⁴

1. 서론

센서는 최첨단 과학기술의 산물이며, 옛날 백년의 발전이 오늘날 3년의 발전과 동일하다. 이렇게 눈부시고 비약적으로 발전하여 오면서 센서의 기능도 다양하게 발전하여왔다. 그런데 센서가족의 토크센서에 대한 연구는 늘어나고 있지만 상업상으로 광범히 활용되는 비접촉 토크센서는 매우 적다. 따라서 그에 대한 구조나 작동원리에 대한 소

개는 더욱 적다.

토크센서의 측정방식에 따라 정현식과 회전식으로 나눌수 있고 회전식도 회전 Slip ring과 비접촉식으로 분류할수 있다. 회전식의 회전축에 Slip ring 을 장착하면 기술적인 한계로 Slip ring 브러스의 마모와 노이즈에 의한 출력신호의 불안정, 정현식의 회전축에 검출장치를 설치해서는 전선이 꼬이거나 장착이 힘든 결점으로 하여⁽¹⁾ 본 연구는 비접촉 토크센서인 자기장을 이용한 비접촉 토크센서를 연구하기로 한다.

본고에서는 자기장을 이용한 비접촉 토크센서의 설계개념과 설계과정에 대하여 소개하고 자동차, 기계, 자동화 등 다양한 산업분야에 응용될수있게 설계한 자기장을 이용한 토크센서와 SET Tech. co. Ltd 사의 YDRM-20KM 형 로드셀과의 성능을 비교하여 설계의 정확성과 그의 성능이 광범위에서 사용의 가능성을 알아보기 위해서이다.

2. 자기장을 이용한 비접촉 토크센서의 설계

2.1 토크센서의 기본구조

Fig.1 은 토크센서 개발을 위한 장치도이다. 본 것과 같이 실험장치는 서보모터, 자기장을 이용한

[†] 송중록, 회원, 인하대학교 대학원 기계공학과
E-mail : songzenglu0715@hotmail.com
TEL : (032)860-7321 FAX : (032)868-1716

^{*} 회원, 인하대학교

^{**} 회원, 인하대학교 대학원 기계공학과

비접촉 토크센서, 클러치⁽²⁾⁽³⁾, 로드셀 등으로 구성되었다.

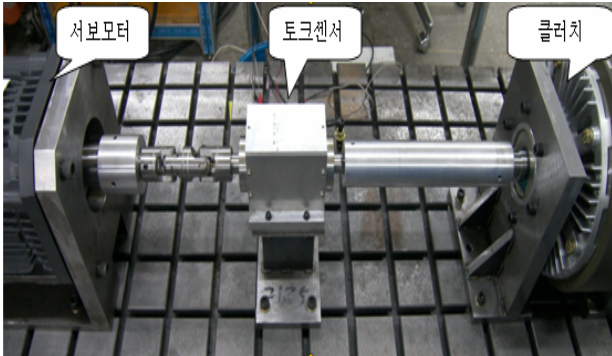


Fig. 1 The sketch of apparatus testing

개발한 토크센서의 성능을 알아보기 위하여 서보모터 동력축의 부하축에 로드셀을 장착하였다. 서보모터의 동력축에 있는 로드셀은 SET Tech. co. Ltd 사의 YDRM-20KM 을 사용하였다. 로드셀의 정격용량은 0~20Kg · f 이고 0.3% 의 오차범위를 갖고있다. 최대로 150% 까지 Over load 에 견딜수 있다. 서보모터는 앰프를 통하여 모터 동력축의 회전속도를 제어 할수 있다. 자기장을 이용한 토크센서에서 출력한 데이터신호는 A/D 컨버터를 거쳐 컴퓨터의 장착된 DAQ 보드에 입력된다. DAQ 보드에 데이터는 프로그램에서 계산된 다음 출력된다.

2.2 토크센서

자기장 감응센서는 자기장의 변화를 감지하기에 자석패드의 자성세기, 거리변화, 회전속도가 자기장센서에 영향을 준다. 토크센서의 측정원리에 의하면 자기장 센서에 감지되는 자석패드의 위치는 무 부하 상태에서 시간에 따라서 변화되지 말아야 한다. 그리고 자석패드는 자기장센서에 의하여 감지되는 대상으로서 자기장센서 감지할수 있는 정도의 자기장을 갖고 있어야 한다. 즉 너무 크거나 너무 작은 자기장 세기는 자기장센서의 성능에 영향을 준다. 그리고 자석패드와 자기장센서는 모두 외부환경의 영향을 될수록 적게 받아야 한다. 센서의 수명을 높이기 위하여 자석패드는 쉽게 자성을 잃어서는 않된다. 비접촉 토크센서를 구현하기 위한 자석패드와 자기장센서는 서로 영향을 주는 2 개의 부품이기에 선택할때 두 부품의 성능을 충분히 비교 및 고려하여야 한다. 실험실에 사용되는 자석패드는 두께가 0.5mm 이고 넓이가 2mm 이고 길이가 11mm 이고 30×40mm 크기의 자석패드장당 가격은 5000 원 정도로서 가격이 저렴하고 쉽게 구현할수 있다. 자기장 감응센서는 자기장의 변화를 감지하기에 자석패드의 자성세기, 거리변화, 회전속도가 자기장센서에 영향을 준다. 자기장 감응센서는 Honey Well 에서 생산한 HMC 2003 을

사용하였다.

Table 1 Specifications of magnetic sensor(HMC2003)

Characteristic	Min	Typ	Max	Unit
Supply Voltage	6		15	VDC
Field Range	-2		2	gauss
Output Voltage	0.5		4.5	V
Bandwidth		1		KHz
Field Sensitivity	0.98	1	1.02	V/ gauss
Resolution		40		Ugauss
Null Field Output	2.3	2.5	2.7	V

3. 측정원리

3.1 자석패드의 추적원리

회전하는 주축에 토크가 발생되었을때 미소한 변위를 측정하기 위하여 자기장을 이용한 비접촉 토크센서는 회전주축에 2 개의 고무형 자석패드를 장착하였다. 고무형 자석패드에 대응되는 위치에 자기장 감응센서를 장착하여 자석패드의 위치를 추적한다. 축이 일정한 속도로 회전할때 자석패드가 한바퀴 돌때마다 고무형 자석패드는 자기장 감응센서와 제일 가까운 위치에 한번씩 있게 되는 시각이 생기게 된다. 이때 자기장 감응센서가 감응되는 고무형 자석패드의 자성세기가 제일 크다. 2 개 고무형 자석패드를 한 직선상에 부착되었다고 가정하고 토크가 걸렸을때 자기장감응센서가 자석패드를 감응할수 있는 시간이 다르기에 자석패드사이의 상대위치를 알수있다. 두개 자기장 감응 센서에서 출력한 신호가 A/D 컴보트를 거쳐 아날로그 신호가 디지털 전압신호로 전환되어 두 자석패드의 시각적 상대차이를 알수 있다.

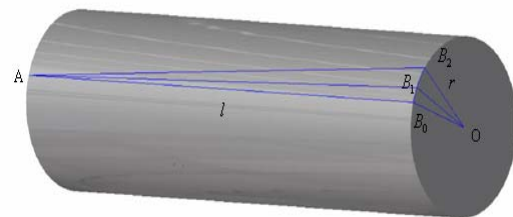


Fig. 2 Sketch of torsion

3.2 토크 측정원리

위의 Fig.2 는⁽⁴⁾ 회전하는 동력축의 단면을 확대

하여 그린 모식도이다. 보다싶이 점 A 와 점 B₀ 는 토크측정을 위하여 부착된 두개의 고무형자석 패드이다. 동력축이 회전할때 토크가 발생되면 크기에 따라 원래 위치의 B₀ 에서 나중위치의 B₁ (혹은 B₂)까지 회전하였을때 A 위치의 자석과 B₁ 위치에 있는 자석사이에 시간차가 생긴다. 즉 다시 말해서 B₀ 위치의 자석과 B₁ (혹은 B₂) 위치의 자석의 시간차 Δt₀ 라고 할수 있다. 이미 동력축의 회전속도를 알고 있을때 두 자석패드 사이의 상대적 거리는

$$d = \Delta t_0 \frac{2\pi\omega}{60} r \quad (1)$$

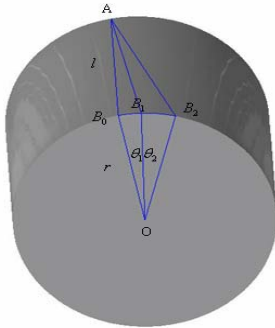


Fig. 3 Sketch of torsion

ω는 동력축 회전속도, r은 동력축의 반경.
θ₁은 토크에 의하여 축의 비틀린 각도

$$\theta_1 = \Delta t_0 \frac{2\pi\omega}{60} \frac{360^\circ}{2\pi} \quad (2)$$

동력축의 재료와 직경, 두 자석패드 사이의 거리를 알고 있을때 K의 값을 계산해볼수 있다.

$$\theta_1 = T \frac{l}{GJ} \quad (3)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (4)$$

$$J = \frac{\pi r^4}{2} \quad (5)$$

토크의 값은 아래와 같이 쓸수있다.

$$T = K\theta_1 \quad (6)$$

$$K = \frac{2\pi GJ}{360^\circ l} \quad (7)$$

K를 컴퓨터의 프로그램에 입력하여 토크를 계산해 낼수있다.

4. 실험과 결과분석

4.1 실험과정

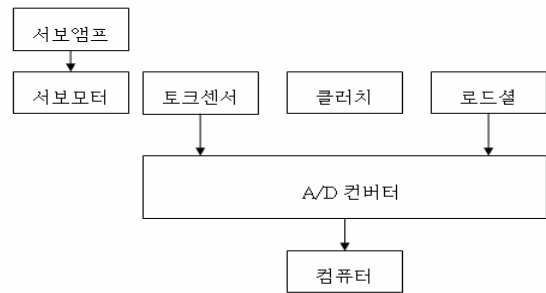


Fig. 4 The process of testing

Fig.4는 실험에 사용되는 주요 장치이다. 서보앰프로 회전속도를 제어하고 회전축에 토크가 걸렸을때 여전히 불변한 회전속도를 유지하는 작용을 한다. 토크센서에서 나오는 Data와 로드셀에서 나오는 Data는 A/D컴버터를 거쳐 아날로그 신호를 디지털 신호로 전환하고 컴퓨터에 전송된다. 컴퓨터는 프로그램을 이용하여 들어온 Data를 분석하고 우리가 수요되는 토크값으로 전화한다. 토크센서에서 나오는 Data와 로드셀에서 나오는 Data를 비교하여 토크센서의 성능을 검토할수 있다.

아래의 Fig.5는 위의 실험장치를 이용하여 얻은 두 자석패드 사이의 상대적인 시간차이다.

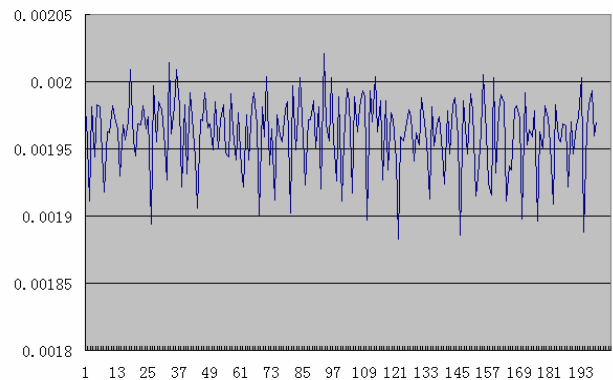


Fig. 5 The difference of relative time

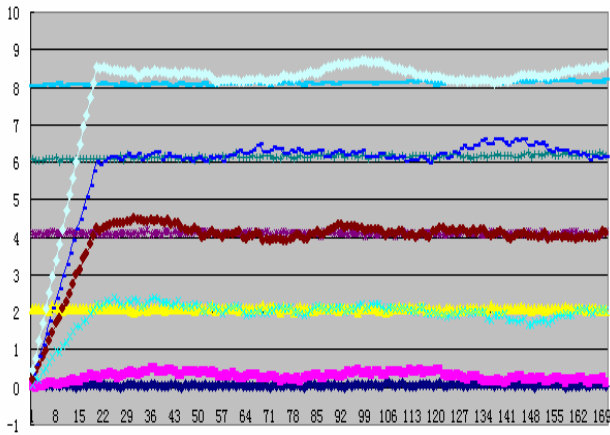


Fig. 6 The results of experiment

실험결과⁽⁴⁾는 Fig.6 와 같다. Fig.6 에서 0, 2, 4, 6, 8Kg · f 에서의 토크가 입력되었을때 출력된 그래프이다. 직선으로 된 Data 는 로드셀⁽⁶⁾에서 출력된 토크값이고 토크센서에서 출력한 Data 는 필터를 거치고 무부하상태에서 회전축에 걸리는 토크가 증가되기에 상승곡선으로 출력되고 일정한 값에 도달하였을때 일정한 범위에서 진동한다. 실험에 영향되는 요인은 아래와 같다.

1. 회전하는 동력축의 진동에 의하여 축력된 신호가 불안정.
2. 계측장비의 전원공급장치 전압의 불안정으로 인한 축력신호의 불안정.
3. 실험결과의 중복성은 아래와 같다. Fig.7에서 토크가 증가될때의 값과 토크가 감소될때의 값이 허용범위 안에서 변화된다. ⁽⁵⁾
4. 온도의 변화도 출력된 토크값에 영향을 준다.

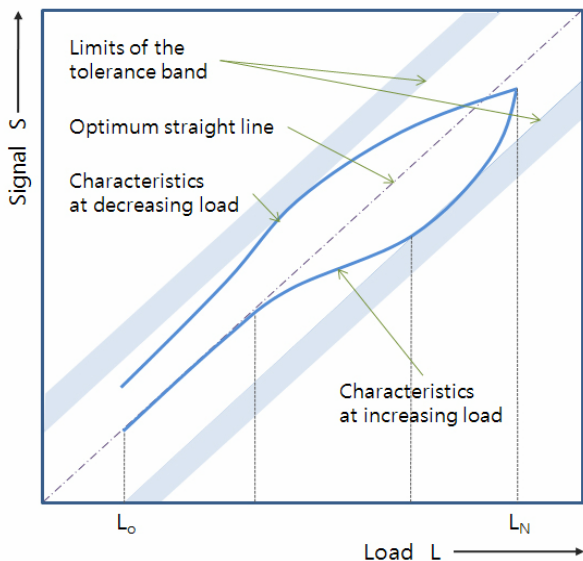


Fig. 7 Transducer output With Combination Error

5. 결론

본 장치는 현장에 적용하기 쉽고 자석패드를 축에 부착하여 토크가 생성될때 두 자석패드사이의 상대적인 시간의 차이로 토크를 출력할수 있다. 자기장을 이용한 비접촉 토크센서는 동력축을 가공할 필요가 없고, 비접촉의 형식으로 토크를 검출할수 있는 독립적으로 설계하고 개발한 장치이다. 또한 다른 직접적인 토크센서와 비교하여 좋은점이 많지만 토크센서에 적용하기에는 아직도 해결해야 할 과제가 산더미처럼 쌓여있다. 앞으로 안정성에 대한 연구가 더 필요하지만 많은 응용분야에서의 적용이 기대되어진다.

참고문헌

- (1) E.S. Lee,,2005, "Principle of Design and Performance of the Torque Sensor for a Electrical Power Steering," Transactions of KSAE, Vol. 13, No. 5, pp.121-126.
- (2) Piao.C.H.,C.D.Cho.,C.B.Kim and H.B.Beom, 2005"Study on Torque Analysis of Micro-Electromagnetic Clutch by Using the finite element Method,"Method,FEOfS2005, pp.610-615
- (3) Piao Changhao,,Cho chongdu.,Kim Myunggu and pan Qiang,2005, "Study on Torque Analysis of Micro-Electromagnetic Clutch by Using FEM,"Rrans.KIEE. Vol.54B, No. 2, pp.60-65.
- (4) S.P.Lee,,J.B.Kim,,2002, "Output characteristics and sensitivity Analysis of Capacitive Type Torque sensor," Transactions of KSAE, Vol. 26, No. 12, pp.2590-2597.
- (5) C.G.kang and J.H.Han.,1997, "Analysis of a Stewart Platform-basrd 6Axis Force-Torque Sensor Using a Linearizatin Technique," Transactions of KSME, Vol. 21, No. 4, pp.619-624.
- (6) C.W.Park,,G.S.Choi,1993, "A Study on the Single Side Strain Gauge Attached Load Cell and Temperature Compensation,"Research Report,The Institute of Industrial Technolog Kangwon Nat'l Univ.,Korea,Vol.13
- (7) JI X.W., MA X.P., ZHOU H.L., CHEN K.Y,2004, "Study on Optical Torque Sensor Used in EPS System," Instrument Technique and Sensor, 2004, No. 4, pp.1002- 184