

# 원격전송장치를 이용한 비접촉식 회전 토크 측정장치의 정확도 평가

김 갑 순\*, 주 진 원\*, 권 영 하\*\*

## Accuracy Evaluation of a Non-Contact Rotational Torque Measurement System by Using Telemeter

G. S. Kim\*, J. W. Joo\*\*, Y. H. Kwon\*\*\*

### ABSTRACT

This paper presents manufacturing and evaluation of a non-contact rotational torque measurement system which consists of torque cell, telemeter system, transmitter and receiver coil, transmitter, receiver and telemeter indicator. Static calibration test results show that the system has a maximum uncertainty of 0.5% or less. A standard calibration system for rotational torque is used to evaluate the measurement system. As a result, the maximum uncertainty for measuring rotational torque by this system is 2% or less. We may conclude that the measurement system is sufficient to measure rotational torque of shaft in industry.

**Key Words :** Strain gage (스트레인 게이지), Telemeter (원격전송장치), Characteristic Test (시험검사), Calibration Test (교정검사)

### 1. 서 론

토크 측정은 기계 구조물의 조립, 설계, 운전상태의 점검 및 안전성 평가 등 산업분야에서 성능의 향상을 위해서 필요한 측정 기술이다. 그중에서 모터, 엔진, 발전기 등을 동력 발생장치 (power generating system)에 의하여 축이 회전할 때에는 축의 회전 토크를 측정하여야 할 경우가 많이 있다. 이러한 경우에 토크셀만에 의한 정적인 토크 측정장치로는 전선의 꼬임 등으로 인하여 측정이 불가능하게 되므로 토크셀과 계측기 사이에서 신호를 주고 받을 수 있는 신호 전송장치가 필요하게 된다. 회전 토크를 높은 정밀 정확도로 측정하기 위해서는 정확하게 스트레인 게이지가 부착된

토크 감지부를 설계하여 사용하여야 할 뿐만 아니라, 감지된 토크 신호를 정확하게 전송할 수 있는 기술이 필

회전하는 축의 토크 감지부에서 발생한 신호를 전송하는 방법은 접촉식으로 입력 및 출력 신호를 전송하는 접촉식 신호 전송장치(1, 2)와 비접촉식으로 하는 비접촉식 신호 전송장치로 구분할 수 있다. 모터, 발전기, 엔진 등과 같은 동력 발생장치의 성능을 평가하기 위한 다이내모미터 (dynamometer) (3, 4)의 회전 토크 측정장치에서 주로 사용되는 접촉식 회전 토크 측정장치는 접촉상태에서 신호를 전송하므로 전송률이 매우 높으나 회전축과 일직선상에 조립해야만 하는 단점을 가지고 있다. 즉 회전축을 절단하고 접촉식 신호 전송장치인

\* 한국표준과학연구원 역학연구부.

\*\* 충북대학교 기계공학과.

\*\*\* 경희대학교 섬유공학과

슬립링 부러쉬(slip ring/brush)를 조립해야 하므로 실제의 구조물에서 회전 토크를 측정하기 위해서는 많은 제약이 따른다. 또한 회전하는 축과 슬립링 부러쉬 사이에서 발생하는 마찰력으로 인하여 측정하는 토크의 양이 작을 경우 상대적인 측정오차가 커지게 된다. 이러한 단점을 없애기 위하여 회전축의 둘레에 간단한 신호 전송장치를 부착하여 비접촉으로 신호를 전송할 수 있는 비접촉식 회전 토크 측정장치(5, 6)가 필요하게 된다.

본 연구에서는 스트레인 게이지를 이용하여 스트레인 게이지가 부착된 토크 감지부를 설계 및 제작하고 여기서 발생하는 신호를 원격전송장치(telemeter)로 전송하여 이 신호를 토크로 환산할 수 있는 비접촉식 회전 토크 측정장치를 구성하였다. 이 방법은 토크 감지부 대신 회전하는 축에 직접 스트레인 게이지를 부착하여 실제 구조물의 회전 토크 측정에 쉽게 응용할 수 있다. 개발된 비접촉식 회전 토크 측정장치는 간편하게 회전 토크를 측정할 수 있으나 실용성 있는 응용을 위해서는 정적특성과 회전특성이 평가되어야 하며 오차가 발생할 수 있는 원인을 파악하여야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 토크 감지부 및 전송장치를 포함한 시험장치의 정적인 특성을 평가하였고 실제 회전상태에서 시험장치의 종합적인 특성을 평가하였다.

## 2. 토크 감지부의 설계 및 제작

토크 감지부는 외부에 의해서 가해진 토크로 인한 기계적인 변형을 부착된 스트레인 게이지에 의하여 전기적 신호로 변환하는 역할을 한다. 토크 감지부의 형상은 여러가지가 있지만 본 측정장치에서는 실제의 회전축에 스트레인 게이지를 직접 부착하여 응용할 수 있도록 하기 위하여 Fig.1과 같이 원형단면의 감지부를 선택하였다. 원형봉에 토크 T가 가해질 때 감지부에 발생하는 전단 변형률  $\gamma$ 는 다음과 같이 구할 수 있다. (7)

$$\gamma = \frac{Tr}{GJ} \quad (1)$$

여기서 G는 재료의 전단계수이고, J는 극관성 모멘트(polar moment of inertia)이며, r은 축의 반경이다. 원형봉에 순수한 토크만이 작용될 때는 축방향이나 축에 직각인 방향으로 수직 변형률이 존재하지 않고 전단 변형률만이 존재하므로 순수전단 상태가 된다. 스트레인 게이지는 수직 변형률만을 감지하므로 축방향이나 축에

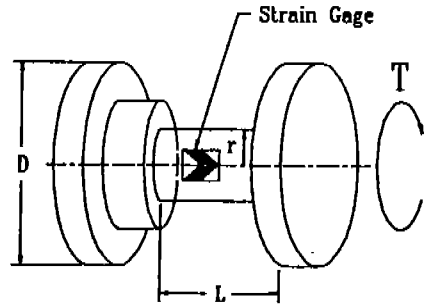


Fig.1 Cylindrical shape torque cell used in the system

직각인 방향으로 게이지를 부착시키면 토크가 작용되더라도 전기적인 신호가 거의 발생되지 않는다. 축방향을 기준으로  $\pm 45^\circ$  회전한 방향은 최대 수직변형률이 발생하게 되며 그 크기는  $\gamma/2$ 가 된다.

실제의 토크 감지부에서는  $45^\circ$ 와  $-45^\circ$  각도로 2개씩 모두 4개의 스트레인 게이지를 부착하여 인장변형률과 압축변형률이 발생되도록 하고 Fig.2와 같이 완전결선 브리지(full bridge)를 구성하였다. 그림에서  $E_i$ 는 브리지회로에 가해주는 입력전압,  $E_o$ 는 브리지회로로 부터 출력되는 출력전압,  $C_1$ 과  $C_2$ 는 압축변형률이 감지되는 스트레인 게이지,  $T_1$ 과  $T_2$ 는 인장변형률이 감지되는 스트레인 게이지를 나타내고 있다. 4개의 게이지에서 발생하는 변형률의 절대값이 같을 때 회로에 의한 정격출력(rated output : 입력전압에 대한 정적 토크에서의 출력전압)은 다음과 같이 된다. (8)

$$\frac{E_o}{E_i} = K(\epsilon_{T1} - \epsilon_{C1} + \epsilon_{T2} - \epsilon_{C2}) = K\epsilon = \frac{KT}{\pi Gr^3} \quad (2)$$

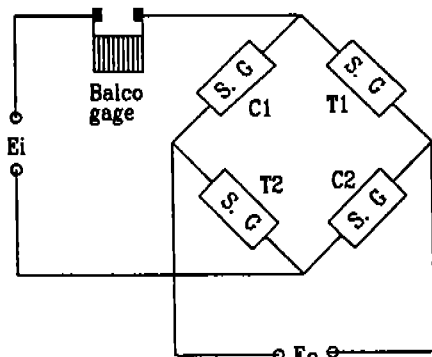


Fig.2 Bridge circuit with strain gage of the torque cell

식 (2)를 이용하면 최대 토크  $T$ 가 5 N.m인 토크 감지부의 형상을 결정할 수 있다. 사용한 감지부의 재질은 알루미늄 2024-T81이므로 전단계수  $G$ 는 27.6GPa이며, 사용한 스트레인 게이지의 게이지상수 (gage factor)  $K$ 는 2.08이다. 감지부 재료의 직선성을 유지하면서 측정 민감도를 최대로 하여 상대적인 오차를 줄이기 위하여 정격출력  $E_o/E_i$ 를 2.0 mV/V로 하고 식 (2)을 이용하여 토크 감지부의 반경을 계산한 결과 반경  $r$ 은 3.87 mm이었다. 끝효과(end effect)를 최소화 하고 스트레인 게이지의 부착이 용이하면서 굽힘변형을 최소화 시키기 위하여 감지부의 길이  $L$ 을 23 mm로 하였다.

스트레인 게이지 4개를 작은 반경의 축에 정확히 부착하기는 대단히 어려우므로 스트레인 게이지 2개가 축에  $\pm 45^\circ$  방향으로 제작된 토크 게이지 (MM-N2A-13-TO29Q-350)를 감지부에 부착하여 인장변형률과 압축변형률이 동시에 감지되도록 하였다. 스트레인 게이지 부착면의 표면 거칠기 정도는 부착상태에 영향을 미치므로 감지부를 정밀 가공한 다음 사포 #500을 사용하여 연마처리 하였다. 스트레인 게이지의 부착위치와 방향은 측정정확도에 대단히 큰 영향을 미치므로 세심한 주의를 하였다. 온도변화에 따른 출력변화를 보상하기 위하여 Fig.2와 같이 Balco 게이지를 입력단자에 직렬로 연결하였다.

### 3. 시험장치의 구성

비접촉적인 회전 토크 측정장치는 Fig.3과 같이 토크

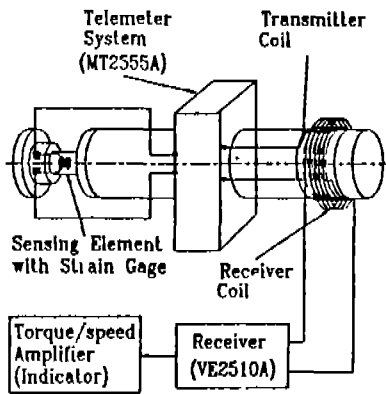


Fig.3 Schematic diagram of the non-contact rotational torque measurement system with telemeter

감지부, 원격전송장치 (telemeter system), 송신코일 (transmitter coil), 수신기, 측정기 (indicator)로 구성된다. 축이 토크를 받으면 비틀림 변형을 일으키며 이로 인하여 브리지회로에서 발생된 전압은 원격전송장치에 의하여 주파수로 변환된다. 이 주파수 신호는 송신코일과 수신코일에 의하여 측정기로 보내져서 다시 토크 신호로 환산된다.

원격전송장치는 HBM사가 제작한 MT 2555A로 전압 공급기, 전압 증폭기, V/F변환기, 주파수 변조기, 송신기 (transmitter)의 역할을 할 수 있는 전자회로장치로 구성되어 있으며, 길이 60 mm, 폭 50 mm, 두께 30 mm의 크기인 2개의 블록으로 분리되어 있어 회전축에 간단히 부착할 수 있다. 전압 공급기는 원격전송장치를 구성하고 있는 각 장치들이 작동을 하기 위하여 필요한 전력을 공급하며, 또한 토크 감지부의 브리지회로에 9V의 입력전압을 안정하게 공급하여 주는 역할을 한다. 브리지회로로부터 발생하는 20mV 이하의 전압 신호는 전압 증폭기에 의해 주파수로 변환될 수 있도록 충분히 증폭되며, 이 증폭된 신호는 V/F 변환기에 의해 AC 주파수 신호로 변환된다. 주파수 변조기는 AC 주파수 신호를 반송파 (carrier frequency)로 변조하여 송신기로 보내고, 송신기에서는 이 주파수 신호를 송신코일 (안테나)을 통하여 공중에 송신시킨다.

회전하는 축의 둘레에 설치된 송신코일과 수신코일은 원격전송장치에 의하여 발생된 주파수를 공중에서 전달하는 역할을 수행한다. 송신코일은 회전하는 축에 고정되어 있으며 수신코일은 회전하지 않도록 간격을 두고 고정되어 있어서 축이 회전하는데 방해받지 않으면서 주파수 신호를 주고 받을 수 있도록 되어 있다. 송신코일과 수신코일은 직경 2 mm의 피복된 구리선을 축방향으로 감아서 만들었으며, 송신코일은 축방향으로 20 mm의 길이가 되도록 하고 수신코일은 송신코일과 반경 방향으로 5 mm 간격을 두고 축방향으로 30 mm의 길이가 되도록 하여 송신코일의 둘레를 완전히 덮을 수 있도록 하였다.

수신부는 수신코일에 의하여 수신된 주파수 신호를 토크 지시치로 출력시키는 역할을 하며, 수신기 (HBM VE 2510A)와 측정기로 구성되어 있다. 수신기를 구성하는 증폭기에서는 수신된 신호를 충분히 증폭하고 검파기에서는 증폭된 주파수 신호중 반송파를 제거하고 신호파만을 검출하여 측정기에 보낸다. 측정기는 수신기에서 보낸 주파수를 변형하여 토크값에 상응하는 DC 전압신

호를 출력시킨다. 사용된 측정기는 HBM사에서 제작한 KMN 912.C Torque/Speed Amplifier이다.

4. 특성시험 및 결과고찰

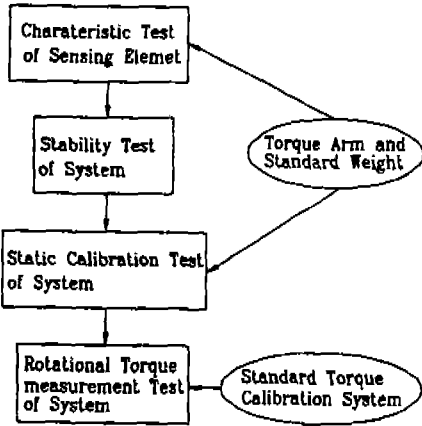


Fig.4 Block Diagram of the characteristic test

본 연구에서 개발한 비접촉식 회전 토크 측정장치의 정확도 평가를 위하여 특성시험을 하였으며 Fig. 4에 특성시험과정을 나타내었다. 특성시험은 토크 감지부의 시험검사(characteristic test), 개발된 측정장치의 영점안정도 시험(zero stability test), 교정검사(calibration test), 회전 특성시험(rotational characteristic test)으로 구분하여 수행하였다. 시험검사는 감지부 자체의 특성을 평가하기 위한 것으로 정격출력, 비직선오차, 재현도오차 등을 결정하고 영점안정도 시험은 측정장치의 전기적 안정성을 평가하기 위한 것이며 교정검사는 표준기로 사용되는 측정기를 기준으로 종합적인 특성을 평가하기 위한 것으로 평균오차, 최대오차, 분포범위 등을 결정한다. 또한 회전 특성시험은 측정장치가 실제 회전하는 상태에서 토크 측정을 위하여 사용될 때의 회전 특성을 평가하기 위하여 수행하였다. 각 특성시험의 과정과 그 결과를 다음에 자세히 기술하였다.

4.1 토크 감지부의 정적 특성시험

제작된 토크 감지부의 정밀 정확도를 평가하기 위해서 정적인 상태에서 시험검사를 하였다. 시험검사는 암의 반경 100 mm인 표준 토크암과 각각 5 N의 힘을

발생시키는 표준추를 사용하여 토크 측정기의 시험검사 절차에 따라 시행하였다. 토크 감지부의 브리지회로에 입력하는 전압은 DC 전압 공급기를 사용하여 정확하게 10 V를 인가시켰으며, 출력전압은 디지털 전압측정기를 이용하여 검출하였다. 시험은 최대 토크를 10등분하여 0.5 N.m간격으로 3회 실시하였다. 토크 감지부의 비직선성 오차, 재현도 오차는 다음식으로 부터 계산되었다.

$$X(\%) \text{ 토크에서의 기준출력} = \text{정격출력} \times \frac{X(\%)}{100} \quad (mV/V) \quad (3)$$

$$\text{편차} = X(\%) \text{에서 측정출력} - X(\%) \text{에서의 기준출력 편차} \quad (mV/V) \quad (4)$$

$$\text{비직선성오차} = \frac{\text{측정출력과 기준출력과의 최대편차}}{\text{정격출력}} \times 100(\%) \quad (5)$$

$$\text{재현도오차} = \frac{\text{평균출력과 측정출력과의 최대편차}}{\text{정격출력}} \times 100(\%) \quad (6)$$

윗식에서 정격출력은 최대 토크 5 N.m에서 측정되는 입력전압에 대한 출력전압의 비이고 측정출력은 X(%) 토크에서 측정되는 입력전압에 대한 출력전압비이며 평균출력은 X(%) 토크에서 3번 측정된 측정출력을 평균한 것으로 각각 정의된다.

시험검사 결과, 정격출력은 1.7553 mV/V, 비직선성 오차는 0.0501% FS, 재현도 오차는 0.0125% FS이었

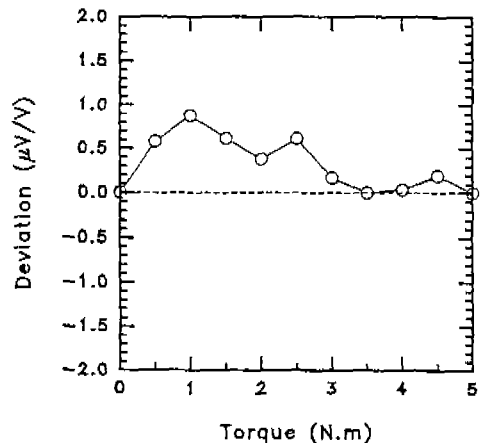


Fig.5 Characteristic curve of the torque sensing element used

다. 작은 용량(50 N.m이하)을 가지는 토크셀의 종합오차가 보통 0.1% FS임을 감안할 때 제작된 토크 감지부는 정밀 정확도가 높은 것으로 나타났다. Fig. 5는 제작된 토크 감지부의 편차를 나타낸 것이다. 최대편차는 토크 1.0 N.m에서 0.88μV/V이었고, 3.0 N.m에서 5.0 N.m 범위에서의 편차는 0.19μV/V 이하를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 토크가 증가할수록 편차는 작아져서 실제로 신뢰성을 가지고 사용되는 정격용량의 30% 이상의 토크 범위에서는 훨씬 정밀 정확도가 높은 것을 알 수 있다.

4.2 측정장치의 영점안정도 시험

회전 상태에서 장시간 회전 토크 측정시험을 하기 위해서는 측정장치가 일정한 입력전압에 대하여 안정된 출력을 나타내는지를 평가하여야 한다. 이를 위하여 정적인 상태에서 영점안정도 시험을 수행하였다. 측에 토크가 작용하지 않은 상태에서 전압 공급기를 이용하여 9 V의 입력전압을 토크 감지부의 브리지 회로에 인가시키고 측정기의 스펙을 조정하여 실제의 측정과 같이 최대 토크인 4.5 N.m가 가해졌을 때 1800 count의 지시치를 나타내도록 하였다. 토크가 가해지지 않는 상태에서 영점을 조정후 실제의 측정시험으로 충분한 2시간 동안 20분 간격으로 영점변화를 측정하였다. Fig. 6은 영점안정도 시험에 의하여 시간에 따른 측정 결과를 나타낸 것이다. 시험 시작후 40분까지는 영점변화가 없었고, 40분 이후 120분까지는 1 count(0.056% FS)가 +쪽으로 변화하여 매우 안정된 결과를 보임을 알 수 있다.

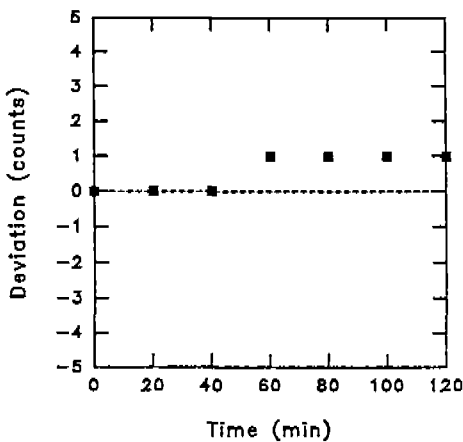


Fig. 6 Zero stability of the system

4.3 측정장치의 정적 특성시험

개발된 회전 토크 측정장치의 특성을 실제 상태에서 평가하기 위하여 앞서 안정된 조건에서 전체 시스템의 정적인 교정검사를 실시하였다. 정적인 특성시험은 토크표준 장치에 의하여 수행될 수 있으므로 정확한 실토크를 발생시킬 수 있으며 토크 감지부에서 출력된 신호를 전송하고 수신하는 과정에 대한 종합 오차를 평가할 수 있다. 또한 측정기에 지시된 출력을 토크로 환산하기 위하여 교정검사를 통하여 측정기를 조정하는 과정을 수행하여야 한다.

교정검사는 암길이가 100 mm인 표준 토크암과 표준 추를 사용하여 토크 측정기의 표준 교정절차<sup>(9)</sup>에 따라 실시되었다. 토크 감지부에 입력전압을 인가시키고 토크를 가하면 출력전압이 토크 변화에 따라 출력된다. 출력전압은 원격 측정장치에서 받아 V/F(voltage/frequency)변조하여 송신 안테나를 통하여 수신기에 보내지며, 수신된 신호는 다시 F/V 변조되어 계측기로 출력된다. 계측기에 나타나는 지시치는 최대 토크 4.5 N.m에서 1800 count가 되도록 계측기의 스펙(span)을 이용하여 조정하였다. 시험은 최대토크 4.5 N.m를 9등분하여 0.5 N.m 간격으로 3회 반복하여 실시하였다.

교정검사결과로부터 각 하중점에서 평균오차, 최대오차 분포범위는 다음과 같이 정의된 식에 의해 결정된다.

$$\text{평균오차} = \frac{\text{평균값} - \text{실토크값}}{\text{실토크값}} \times 100(\%) \quad (7)$$

$$\text{최대오차} = \frac{\text{실토크값과 가장 큰 측정값} - \text{실토크값}}{\text{실토크값}} \times 100(\%) \quad (8)$$

$$\text{분포범위} = \left| \frac{\text{평균값과 차이가 가장 큰 측정값} - \text{평균값}}{\text{평균값}} \right| \times 100(\%) \quad (6)$$

Table 1은 개발된 회전 토크 측정장치의 정적시험 교정검사 결과를 나타낸 것이다. 평균오차는 0.5 N.m와 0.1 N.m에서 최대값인 -0.5%이며, 실토크값이 증가할수록 낮은 오차를 보이고 있다. 최대오차는 0.5 N.m, 0.1 N.m 및 1.5 N.m에서 최대값인 -0.5%이며, 평균오차와 마찬가지로 실토크값이 증가할수록 낮은 오차를 보인다. 이것은 식(7)과 식(8)에서 보는 바

Table 1. Static calibration results of the system developed

| 실토크값<br>(N.m) | 기시 지시치 (N.m) |      |      |      | 평균오차<br>(%) | 최대오차<br>(%) | 분포범위<br>(%) |
|---------------|--------------|------|------|------|-------------|-------------|-------------|
|               | 1차           | 2차   | 3차   | 평균값  |             |             |             |
| 0.5           | 199          | 199  | 199  | 199  | -0.5        | -0.5        | 0.0         |
| 1.0           | 398          | 399  | 398  | 399  | -0.5        | -0.5        | 0.3         |
| 1.5           | 598          | 598  | 599  | 598  | -0.4        | -0.5        | 0.2         |
| 2.0           | 798          | 798  | 799  | 798  | -0.3        | -0.3        | 0.2         |
| 2.5           | 998          | 998  | 998  | 998  | -0.2        | -0.2        | 0.0         |
| 3.0           | 1198         | 1199 | 1198 | 1198 | -0.2        | -0.2        | 0.1         |
| 3.5           | 1398         | 1399 | 1398 | 1398 | -0.2        | -0.2        | 0.1         |
| 4.0           | 1599         | 1600 | 1600 | 1600 | 0.0         | -0.1        | 0.1         |
| 4.5           | 1800         | 1800 | 1800 | 1800 | 0.0         | 0.0         | 0.0         |

와 같이 실토크값이 증가함에 따라 오차도 따라서 증가하지 않음을 뜻한다. 분포범위는 각 하중점에서 0.3% 이하를 나타내고 있다. 측정장치의 정적 특성시험 결과, 스트레인 게이지와 원격전송장치를 이용한 비접촉식 회전 토크 측정장치의 오차는 시스템 전체의 종합 오차인 것을 감안할 때 비교적 작은 것으로 나타나서 측정장치의 정렬상태와 원격전송장치에 의한 신호전송방법에 신뢰성이 있음을 보이고 있다.

4.4 측정장치의 회전 특성시험

실제로 축이 회전하는 상태에서 원격전송장치를 이용한 비접촉식 회전 토크 측정장치 전체 시스템의 회전 특성을 평가하기 위해서 회전 토크 교정장치(10)를 기준

기로 이용하였다. 회전 토크 교정장치는 4.5 N.m 이하의 동력 발생장치 및 회전 토크 측정장치들을 교정하기 위해서 한국표준과학연구원에서 보유하고 있는 측정장치이다. 이 장치는 최대용량이 4.5 N.m이고 정밀 토크셀과 슬립링/부러쉬를 이용하여 접촉식으로 회전하는 토크를 측정하며 최대오차가 0.5%이므로 기준기급에 속하는 교정장치이다. 모터 조정기의 제어에 의하여 DC 모터가 미리 설정된 회전수로 축을 회전시킬 수 있으며, 컴퓨터에 의하여 회전 토크를 입력시키면 정밀 토크셀과 DC 발전기가 신호를 주고 받으면서 입력된 토크만큼 축에 부하를 작용시키게 된다.

Fig. 7은 본 연구에서 개발된 스트레인 게이지와 원격전송장치를 이용한 비접촉식 회전 토크 측정장치의 회전 특성을 평가하기 위해서 회전 토크 교정장치에 연결시킨 조립도를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 스트레인 게이지가 부착된 정밀 토크 감지부는 하우징안에 조립되어 있으며 원격전송장치는 축물레에 보울트에 의해 고정되어 있다. 회전 토크 교정장치에 의해 발생된 토크는 본 측정장치의 토크 감지부에 전달되며 발생한 전기신호는 원격전송장치에 의해 측정기에 전송되어 토크에 상응하는 숫자가 count로 측정 지시계에 나타나게 된다. 본 특성시험에서는 회전하는 축의 회전수를 500 rpm에서 1600 rpm까지 100 rpm 단계씩 증가시키면서 각 단계에서 교정장치에 입력한 토크값과 원격전송장치에 의한 측정기의 지시계에 나타난 토크값을 비교하였다. 각 회전수 단계에서는 기준 토크를 1 N.m에서 4.5 N.m까지 0.5 N.m 단계씩 증가시키면서 측정하였다. 측정 토크값은 측정기를 컴퓨터와 연결시켜 컴퓨터 프로그램에 의해서 1회/sec의 속도로 20회 검출한 것을

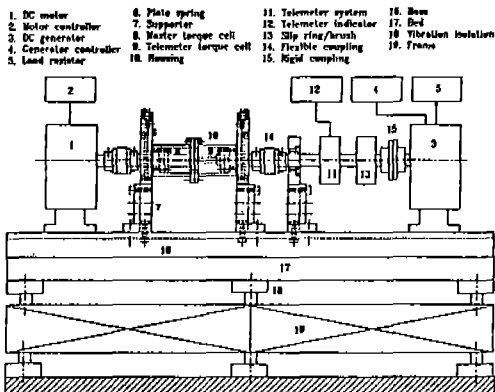


Fig.7 Drawing of rotational torque calibration system and non-contact rotational torque measurement system with telemeter

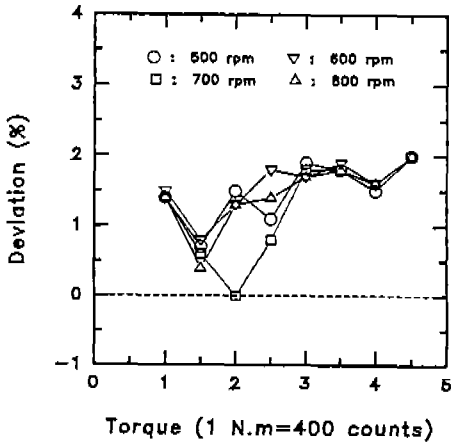


Fig. 8 Dynamic characteristic curve of the system (at 500, 600, 700, 800 rpm)

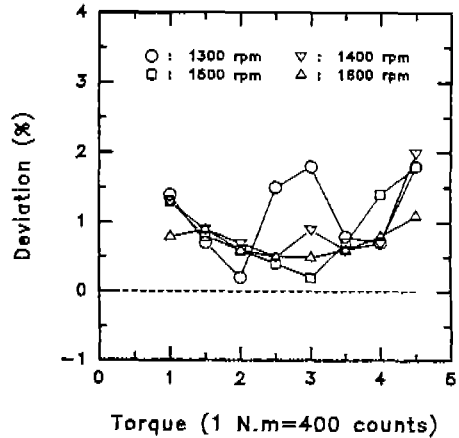


Fig. 10 Dynamic characteristic curve of the system (at 1300, 1400, 1500, 1600 rpm)

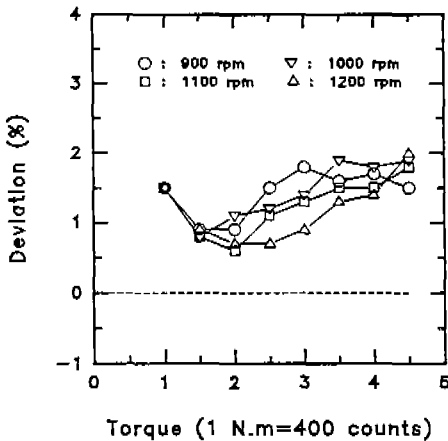


Fig. 9 Dynamic characteristic curve of the system (at 900, 1000, 1100, 1200 rpm)

평균하여 결정하였다.

Fig. 8에서 Fig. 10까지는 각 회전수 단계에서 토크 증가에 따른 회전 특성시험 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 가로축은 교정장치에서 가해진 토크를 나타내고 세로축은 측정된 토크와 기준 토크와의 차이를 정격출력 (4.5 N.m)에 대한 백분율로 표시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 측정된 토크는 기준 토크보다 항상 크게 나타났으며 전반적으로 회전수와 오차의 크기는 큰 관계가 없는 것으로 나타났으나 회전수가 1400 rpm 이상에서는 오차가 현저히 줄어들었다. 또한 일반적으로 토크가 증가할수록 오차가 커지는 현상을 볼 수 있

다. 이것은 가해진 토크가 커질수록 기준기로 사용된 회전 토크 교정장치의 출력은 큰 영향을 받지 않으나 지름이 작은 원통형축을 토크 감지부로 사용한 비접촉식 회전 토크 측정장치는 정렬상태의 완벽치 못함으로 인하여 굽힘변형이 점점 크게 발생하였기 때문에 판단된다.

본 연구에서 개발한 측정장치는 가해진 모든 회전수에서 2.0% 이하의 오차를 보이고 있다. 이와 같은 오차는 축의 굽힘진동, 추력 및 신호의 송수신 과정에서 발생하는 노이즈 등에 의해서 발생된다. 실제 회전 토크 측정에서는 5% 정도의 오차를 허용하고 있음을 감안할 때 스트레인 게이지와 원격전송장치를 이용한 비접촉식 회전 토크 측정장치는 상당히 실용성이 있음을 알 수 있다. 특히 실제로 회전하는 구조물에 토크 감지부 대신 축에 스트레인 게이지를 직접 부착하여 같은 방법으로 회전 토크를 측정할 수 있으므로 본 방법은 현장에서 쉽게 응용될 수 있다.

### 5. 결 론

스트레인 게이지와 원격전송장치를 이용하여 비접촉식 회전 토크 측정장치를 구성하고 이에 대한 특성을 평가하였다. 측정장치는 토크 감지부, 원격전송장치, 송신 및 수신코일, 수신기, 측정기로 구성하였으며 4.5 N.m까지의 토크를 측정할 수 있다. 본 시험에 사용된 토크 감지부를 특성시험한 결과, 정격출력은 1.75525 mV/V, 비직선성오차는 0.0501% FS, 재현도오차는 0.0125

% FS로 나타나서 감지부자체에서의 오차요인을 거의 없도록 하였다. 스트레인 게이지와 원격전송장치를 이용한 비접촉식 회전 토크 측정장치의 정적인 교정검사 결과, 평균오차는 -0.5% 이었고, 최대오차는 -0.5% 이었으며, 분포범위는 0.3% 이어서 측정장치의 정렬상태와 원격전송장치에 의한 신호전송방법에 신뢰성이 있음을 보여주고 있다. 또한 영점안정도 시험결과, 120분동안 1 count(0.056% FS)가 변화되어 출력특성이 매우 안정된 것으로 나타났다. 개발된 측정장치의 회전 특성시험은 회전 토크 교정장치를 기준기로 사용하였으며, 시험결과 시험된 모든 회전수에서 측정오차는 2% 이하로 나타나서 실용성이 있는 것으로 판단되었다.

이 측정장치는 기준기로 사용된 접촉식 회전 토크 교정장치보다 정밀 정확도는 떨어지지만 실제 기계의 축을 분리하지 않고 비접촉식으로 운전중의 회전 토크를 측정할 수 있으며 측정오차는 일반적인 회전 토크 측정 허용오차보다 크게 작으므로 현장에서 응용이 쉽게 이루어질 수 있는 장점이 있다.

#### 참고문헌

1. Ettelman, D. and Hoserman, M., "Methods of Measuring Torque and their Applications", ENGINEERS' DIGEST, Vol. 24, No. 5, pp. 87~90, 1963
2. Graneek, M., Wunch, H. L. and Nimmo, W. M., "Development of a Precision Dynamometer", NEL REPORT, No. 168, pp.1~3, 1959
3. LEBOW Products Torque Sensor and Dynamometer Catalog, LEBOW, No. 250C, pp.6~32, 1980
4. Szymanski, D., "Strain-gage-based torque-measuring test bench for stepping motors", Reports in Applied Measurement, Vol. 2, No. 1, pp.1~4, 1986
5. Kobayashi, A. S., HANDBOOK ON EXPERIMENTAL MECHANICS, Society for Experimental Mechanics, pp.109~110, 1987
6. 권영하등, 동적 토크 비접촉식 측정기술개발, 한국표준연구소(KSRI-91-89-TR), pp.35~47, 1991
7. Timoshenko, S. P., Mechanics of material, Tower Press, pp.72~88, 1983
8. 백중승등, 디지털 토크렌치의 설계 및 제작기술 개발(KSRI-88-51-RI), 한국표준연구소, pp.17~19, 1988
9. 토크 측정기기의 표준 교정절차, KASTO-ME-2-86, 국가교정검사기관협의회, 1983
10. 안병덕등, 동적 토크 비접촉식 측정기술 개발(KRISS-92-076-IR), 한국표준과학연구원, pp.57~91, 1992