

〈技術論文〉

회전 토크 교정장치 개발에 관한 연구

김갑순* · 권영하**

(1993년 1월 28일 접수)

Development of a Rotational Torque Calibration System

Gab Soon Kim and Young Ha Kwon

Key Words : Rotational torque(회전 토크), Master torque cell(기준 토크셀), Slip ring/brush(슬립링 브러쉬), Power generation system(동력 발생장치)

Abstract

A rotational torque calibration system is developed to measure rotational torque of power generating systems and to calibrate non-contact rotational torque measurement systems. The maximum capacity of the developed system is 4.5 N-m. It is composed of a DC motor, a DC generator, a control system, a master torque cell, a slip ring/brush set, supporters, a bed etc. The control system is characterized by the closed-loop control with differential intergrator. Rotational torque measurement test and unit response test are conducted to estimate the accuracy of the developed system. It is found that system maintain high consistency and accuracy with the maximum error of 0.25%, Therefore the developed system can be used to measure the rotational torque of power generating systems and to calibrate non-contact rotational torque measurement systems.

1. 서 론

산업사회가 발달함에 따라 자동차산업, 조선산업, 전자산업등 거의 모든 산업분야에서 사용되고 있는 엔진, 모터, 발전기등의 회전기기의 수요가 급증하고 있다. 산업기계 및 각종기기등에 부착되는 동력발생장치(power generating system: 모터, 엔진등)의 성능은 이들의 전체적인 성능을 좌우하는 중요한 지표가 되므로 정확하게 평가되어야한다. 동력 발생장치의 성능은 일률로 평가하는데, 일률은 회전축의 회전토크(rotational torque)와 회전수의 곱에 의해 결정된다.⁽¹⁾ 여기서 회전축의 회전수와 회전 토크의 측정은 일반적으로 다이내모메

터(dynamometer)를 사용하게 된다.^(1·2·3·4·5) 현재 국내 산업체에서 사용하고 있는 다이내모미터는 대부분 선진국에서 수입하여 사용하고 있으나 그 시정규모와 기술 파급효과등을 고려하여 국내개발이 요구된다.

회전 토크를 정확히 측정하기 위해서는 회전상태에서 토크를 정확히 감지하여 이 신호를 오차없이 전송할 수 있어야한다. 토크의 감지는 기계적인 변위를 전기적 신호로 변환하여주는 스트레인 게이지(strain gage)를 이용하여 만든 정밀정확도가 높은 토크셀(torque cell)이 많이 사용하고 있다⁽⁶⁾. 실제 회전하고 있는 축에서 회전 토크를 측정하기 위해 사용되는 입출력 전송장치는 축을 절단하고 축과 일직선상으로 조립해야하는 접촉식(슬립링 브러쉬: slip ring/brush)을 사용하는 것이 불가능하므로 축 위에 간단히 부착하여 사용할 수 있는 비접촉식을

*정회원, 한국표준과학연구원 역학연구부

**정회원, 경희대학교 섬유공학과

사용하여야 한다⁽⁷⁾. 비접촉식 신호 전송장치를 실제 회전 토크 측정에 사용하면 많은 오차를 수반하기 때문에 이것을 교정할 수 있는 회전 토크 교정장치가 필요하다.

본 연구의 목적은 동력 발생장치의 정확한 성능을 평가하기 위해서 필요한 회전토크 측정과 비접촉식 회전 토크 측정장치를 교정할 수 있는 회전 토크 교정장치(rotational torque calibration system) 개발에 있다. 개발된 회전 토크 교정장치는 컴퓨터 혹은 전압 조정기(voltage controller)를 사용하여 기준 토크(reference torque) 값을 설정하고, 슬립링 부러쉬(slip ring/brush)를 사용하여 정밀정확도가 높은 기준 토크셀에 입출력신호를 전송하며, 직류 전기 브레이크를 이용하여 축에 부하를 작용시킬 수 있도록 되어 있다.

2. 시험장치

2.1 회전 토크 교정장치의 구성

회전 토크 교정장치는 축이 회전하는 상태에서 축에 토크를 발생시키고 발생된 토크를 정확히 측정하는 기능이 있다. Fig. 1은 회전 토크 교정장치의 개략도를 나타낸 것이다. 회전 토크 교정장치는 CD 모터, 제어장치, 기준 토크셀, 슬립링 부러쉬,

지지대등으로 구성되어 있다.

DC 모터는 회전 토크 교정장치의 축을 회전시키기 위하여 설치되었다. DC 모터의 최대용량은 회전속도 1750 rpm 일 때 2.2 KW(3 Hp), 최대 토크는 12.5 N·m 이며, 제어방식은 단상 순브리지 방식이다. 회전속도는 DC 모터 조정기에 부착되어 있는 회전수 조정기로 조정된다. 밑바닥으로부터 전달되는 진동은 회전 토크 측정값에 오차를 유발 시킴으로, 이것을 배제하기 위하여 베드(bed)와 프레임(frame) 사이에 방진구를 설치하였다. Fig. 1에서 보는 것과 같이 기준 토크셀(master torque cell)이 조립되어 있는 하우징에 연결되는 슬립링 부러쉬와 CD 모터의 연결부분은 플렉시블커플링(flexible coupling)으로 연결되어 있다. 플렉시블 커플링을 사용한 것은 DC 발전기에서 발생하는 진동, 축의 편심 연결과 질량 불균형등으로 발생하는 굽힘 응력을 상쇄시킴으로써, 기준 토크셀에 가능한 한 순수한 부하 토크만 작용되도록 하기 위한 것이다. 사용된 플렉시블 튜브(flexible tube)의 재료는 스테인레스강이며, 크기는 두께 0.15 mm, 직경 50.8 mm, 최대굽힘각 40°이다. 기준 토크셀에 입출력신호를 전송하는 신호 전송장치는 가장 전송에러가 작은 슬립링 부러쉬를 사용하였다. 슬립링 부러쉬는 신호를 주고 받는 단자가 접촉되어 있는 접촉

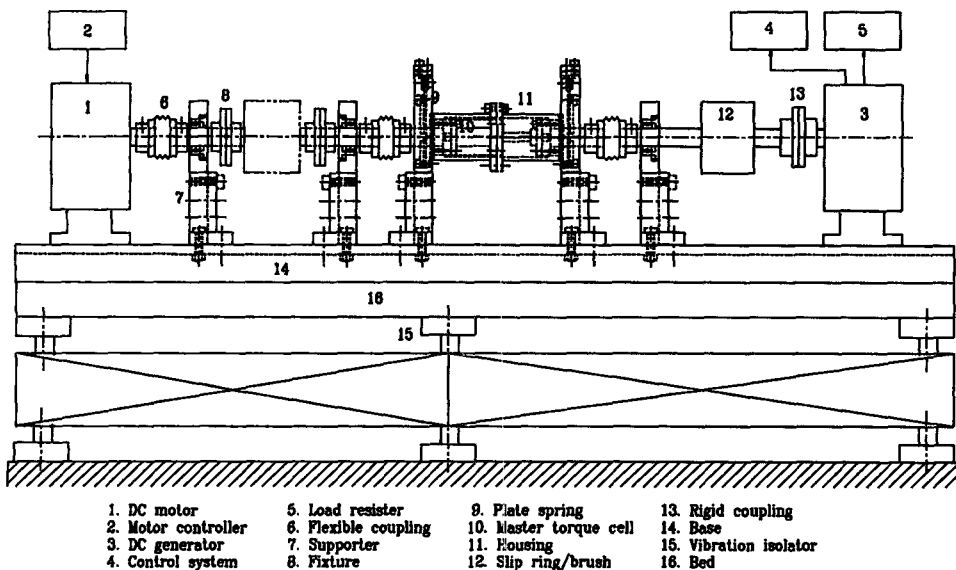


Fig. 1 Schematic diagram of the rotational torque calibration system

식 신호를 전송장치이다. 지지대와 연결되는 축은 마찰에 의해 발생하는 토크 오차를 줄이기 위하여 보울 베어링으로 조립하였다. 지지대(supporter)는 DC 모터와 DC 발전기 사이에 조립되는 부품들을 일직선상으로 조립하기 위하여 좌우 및 전후로 조정될 수 있도록 설계되었다.

2.2 제어장치와 구성

회전 토크 교정장치의 제어장치(control system)는 기준 토크값을 설정하고, 설정된 토크를 제어하여 축에 설정된 토크를 발생시키며, 축에 발생된 회전 토크를 측정하고 오차를 분석하기 위하여 설계 및 구성되었다. 제어장치(control system)는 기준 토크값을 인가하여 요구되는 제어량을 얻기 위하여 폐루프 제어계(closed loop control system)로 구성되었다. Fig. 2는 회전 토크 교정장치의 제어장치의 블럭선도를 나타낸 것이다. 제어장치는 DC 전압 조정기, 에러 증폭기(error amplifier), DC/DC 변환기, DC 발전기, 기준 토크셀, 토크셀 증폭기(torque cell amplifier), A/D와 D/A 변환기, 컴퓨터등으로 구성되어있다.

회전 토크 교정장치를 작동시키기 위해서는 기준 토크값을 설정해야한다 전압 조정기와 D/A 변환기는 기준 토크값을 설정하기 위하여 설치되었으며, 전압 조정기는 수동으로, D/A 변환기와 컴퓨터는 자동으로 기준 토크값을 설정할 때 사용되어진다. 에러 증폭기는 설정된 기준 토크값을 증폭기에 의해 40~200배 증폭하는 역할을 하며, 기준 토크값을 기준으로 측정 토크값을 비교하여 에러를 검출한다. 에러 증폭기에 포함되어있는 에러 검출기는 입력신호의 시간 적분에 비례한 출력신호를 얻을 수 있는 차동 적분기 회로로 구성되었다. 차동 적분기 회로는 에러를 검출함과 동시에 에러 증폭기에 설치되어 있는 가변저항기의 가변정도에 따라 한정된 범위내에서 신호를 증폭할 수 있다. DC/DC 변환기는 DC 발전기의 여자전류를 변화시키기 위해서 에러 증폭기로부터 인가된 동작신호를 DC 0~200 V 로 변화시키는 역할을 한다. 동력 발생장치의 성능을 평가하기 위해서는 동력 발생장치의 축이 일정한 회전속도를 유지하면서 토크를 발생시켜야 하므로 비접촉식 브레이크 장치(brake system)가 필요하다. 사용된 비접촉식 브레이크 장치는 직류 전기형(DC electric type)인 DC 발전기이다. DC 발전기는 발전기 내부에 있는 여자 전

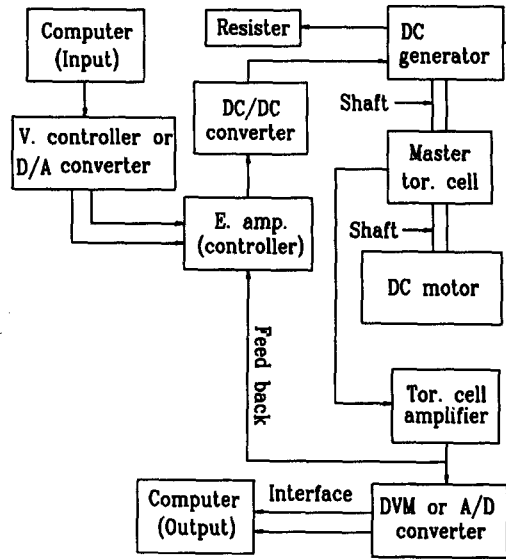


Fig. 2 Block diagram of the control system of the rotational torque calibration system

류를 변화 시키므로써, 부하 토크를 제어할 수 있어 폐루프 제어장치 구성에 적합한 것이다. 발전기의 정격출력은 2.2 KW(3 HP), 최고속도는 3300 rpm, 최대토크는 1750 rpm에서 12.5 N·m이다. DC 발전기로부터 발생하는 전기는 5Ω의 저항선 4개로 병렬회로를 구성하여 만든 1.25Ω의 부하 저항선(load resistor)으로 소모시켰다. 토크셀 증폭기는 토크셀로부터 증폭되어지는 토크값이 매우 작은 수치이므로 이것을 교정검사 때 조정된 증폭률로 증폭하는 역할을 한다.

회전 토크 교정장치의 축에서 발생하는 회전 토크는 DC 모터를 이용하여 측정치를 설정된 회전수로 회전시키고, 전압 조정기 혹은 D/A 변환기와 컴퓨터를 사용하여 기준 토크값을 설정하여 에러 증폭기와 DC/DC 변환기를 통하여 DC 발전기에 인가시키면, 인가된 전압에 따른 DC발전기의 부하에 의해 발생되어진다. 축에 발생하는 회전 토크는 축과 일직선으로 조립되어 있는 기준 토크셀에 의해 감지된다. 감지된 회전 토크값은 토크셀 증폭기에서 교정검사 때 조정된 증폭률로 증폭되어 DVM 혹은 A/D 변환기와 컴퓨터에 출력된다. 그리고 출력되는 회전 토크 측정값은 기준 토크값과 비교하여 오차를 검출하기 위하여 에러 증폭기에 보내어진다.

2.3 기준 토크셀의 설계 및 회로구성

기준 토크셀은 DC 모터와 DC 발전기 사이에 설치된 축에서 발생하는 회전 토크를 측정하는데 사용되는 것이며, 이것의 정밀정확도는 회전 토크 교정장치의 정밀정확도를 결정하는데 중요한 요인이 된다. 토크셀의 정밀정확도는 스트레인 게이지 작업뿐만 아니라 토크셀 감지부의 형태에 따라서도 다르게 된다. 토크셀의 감지부는 원형단면의 봉이나 사각단면의 봉이 오래전부터 사용되고있다. 그러나 토크셀의 용량이 60 N·m 이하에서는 원형이나 사각 단면을 갖는 봉의 감지부는 굽힘강도가 떨어지고 너무 유연하며, 주파수 응답 특성이 좋지 않아⁽⁸⁾ 기준 토크셀의 성능을 나타낼 수 없다. 그러므로 기준 토크셀은 중공 십자형(hollow cruciform) 구조의 감지부를 갖는 것으로 선택하였다. Fig. 3은 중공 십자형 감지부를 나타내고 있다. 토크셀 감지부의 변형도를 계산하기 위해 x지점에서의 굽힘변형도 ϵ_x 를 구하면 다음과 같은 식이 된다.⁽⁹⁾

$$\epsilon_x = \frac{3T(x-1)}{4rbi^2E} \quad (1)$$

여기서 T 는 토크셀에 작용되는 토크, r 은 토크셀의 중심으로부터 하중작용점까지의 반지름, b 는 보의 폭, t 는 보의 두께, E 는 감지부 재료의 종탄성계수(modulus of longitudinal elasticity)이다.

Fig. 4는 토크셀 회로구성의 개략도를 나타낸 것이다. 여기서 E_i 는 입력전압, E_o 는 출력전압, C_1 과 C_2 는 압축 변형도 측정을 위한 스트레인 게이지, T_1 과 T_2 는 인장 변형도 측정을 위한 스트레인 게이지이다. 교정장치에 사용된 기준 토크셀의 회로는 인장응력 및 압축응력을 받는 방향으로 각각 2개씩 스트레인 게이지를 축 방향으로 부착하여 4개의 스트레인 게이지로 구성하였다. 사용된 스트레인 게이지는 자체온도 보상이 되어 있으며 온도 범위 $-75 \sim 100^\circ\text{C}$ 에서 사용이 가능하다. 토크셀의 정격출력식 $E_o/E_i = K\epsilon$ 에 (1)식을 넣어서 정리하면 기준 토크셀의 감지부 크기를 결정할 수 있는 다음과 같은 식이 된다.

$$\frac{E_o}{E_i} = \frac{3KT(x-1)}{4rbi^2E} \quad (2)$$

일반적인 스트레인 게이지식 토크셀의 경우 스트레인 게이지 부착위치는 최대와 최소 스트레인이 발생하는 지점이 되어야한다. 따라서 중공십자형

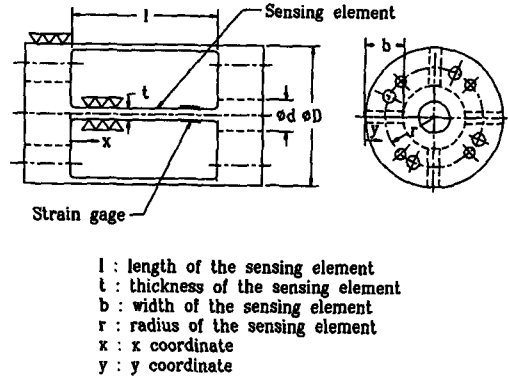


Fig. 3 Design of the master torque cell (capacity: 4.5 N·m)

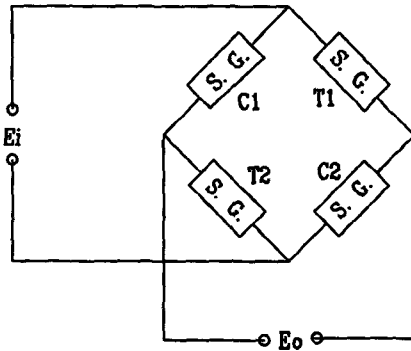


Fig. 4 Wheatstone bridge of the master torque cell

모델의 경우 스트레인 게이지 부착위치는 고정단의 상단 및 하단 즉 $x=0, y=b/2$ 지점이 된다. 그러나 스트레인 게이지는 유한한 면적을 가지고 있으므로 교정장치에 사용된 기준 토크셀의 스트레인 게이지의 부착위치는 $x=7.5 \text{ mm}, y=b/2$ 인 지점으로 하였다. 기준 토크셀의 감지부 크기를 결정하기 위하여, 토크셀의 용량은 4.5 N·m, 게이지상수는 2.13, 정격출력 E_o/E_i 는 3.0 mV/V, 길이 l 은 40 mm, 폭 b 는 10 mm, 하중작용점까지의 반지름 r 은 15 mm로 하였다. 감지부의 재료는 알루미늄 2024-T81로 선택하였다. 위의 조건들을 (2)식에 넣어서 계산한 결과, 감지부의 두께 t 는 2.52 mm이었다. 스트레인 게이지의 부착면의 표면 거칠기 정도는 스트레인 게이지의 부착강도에 영향을 미치므로, 감지부인 보는 방전 가공한 다음 사포 #500을 사용하여 연마(polishing)처리 하였다.

3. 시험방법

3.1 회전 토크 교정장치의 교정검사

회전 토크를 측정하기 위한 회전 토크 교정장치는 기준 토크셀과 토크 측정기(torque indicator)를 연결하여 정적인 상태에서 교정검사를 받아야만 한다. 그래서 기준 토크셀을 포함한 회전 토크 교정장치를 한국표준과학연구원 질량실에서 보유하고 있는 토크 표준기를 사용하여 정적인 상태에서 교정 검사하였다. Fig. 5는 회전 토크 교정장치의 개략도를 나타낸 것이다. DC 전압 조정기는 기준 토크셀에 입력전압을 공급하는 역할을 한다. 공급되는 입력전압은 슬립링 브러쉬를 통해서 인가되며, 교정검사 때 출력되는 신호도 슬립링 브러쉬를 통해서 토크셀 증폭기로 인가된다. 토크셀 증폭기는 인가되는 전압을 증폭시켜 DVM(digital voltage meter)으로 출력시키고, 이것은 다시 컴퓨터에 기록된다. 사용된 DVM의 최대 지시눈금은 3.5 digit로 1999까지 지시할 수 있는 것이다. 그러므로 회전 토크 교정장치의 교정검사는 토크가 0 N·m일 때 토크값, 0, 토크가 4.5 N·m일 때 토크값을 1,800이 되도록 제어장치의 스펠(span)을 조정하여 토크 측정기기의 표준 절차⁽¹⁰⁾에 따라 다음과 같이 실시하였다.

(1) 기준 토크셀을 토크 기준기에 장착하고 제어 장치에 부착되어있는 스펠(span)을 이용하여 무부하 상태에서 토크값을 0으로 조정한다.

(2) 토크 암(torque arm)을 토크셀에 고정하고 토크값을 0으로 조정한다.

(3) 기준 토크셀의 최대용량까지 3회 사전부하를 실시한다. 그리고 최대용량에서의 토크값을 결정한다.

(4) 토크를 가하면서 각 설정 토크에서 토크셀의 출력을 측정한다.

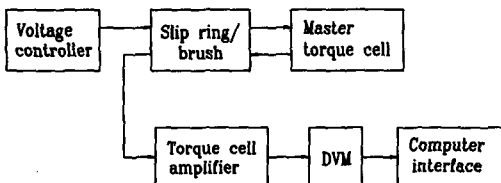


Fig. 5 Block diagram for the master torque cell calibration

(5) (4)의 과정을 2회 반복하여 실시한다.

3.2 회전 토크 교정장치의 동적 특성시험

회전 토크 교정장치는 축이 회전할 때 축에 발생하는 진동에 의한 굽힘 등을 토크 출력값이 정적인 상태와 같이 안정되게 출력되지 않는다. 따라서 회전 토크 측정시험과 단위계단입력에 대한 응답시험을 통하여 회전 토크 교정장치의 동적특성을 파악하였다.

(1) 회전 토크 측정시험

회전 토크 측정시험은 회전 토크 교정장치의 설정된 기준 토크값에 대한 측정 토크값의 정밀정확도를 평가하기 위하여 실시되었다. 측정시험은 축의 회전속도를 500 rpm에서 1600 rpm까지 100 rpm 단계로 유지시키고 최저 기준 토크값 400(1 N·m)에서, 최고 기준 토크값 1800(4.5 N·m)까지 200(0.5 N·m) 단계로 가변시키면서 실시하였다. 회전수가 500 rpm 이하에서 시험하지 못한 것은 축에 부하를 작용시키기 위해서 사용된 DC 발전기가 500 rpm 이하에서는 최대 토크(4.5 N·m)까지 부하를 작용시키지 못하기 때문이다. 축의 회전수는 DC 모터에 부착되어 있는 DC 모터 제어로 하였고, 기준 토크 설정값은 지시계에 부착되어 있는 DC 전압 조정기로 인가하였으며, 출력되는 회전 토크 측정값은 컴퓨터에 입력되어 처리되도록 하였다. 시험순서는 다음과 같이 하였다.

(1) DC 모터, DC 발전기, 부하장치를 가동상태에서 30분 이상 유지시킨다.

(2) 축이 회전하고 있는 상태에서 최대용량 4.5 N·m까지 사전부하를 3회 실시한다.

(3) DC 모터 회전수 조정기로 설정된 회전수 만큼 축의 회전수를 맞춘다.

(4) 전압 조정기 혹은 D/A 변환기를 이용하여 기준 토크값을 선형적으로 인가시키면서 회전 토크값을 측정한다.

(2) 단위계단입력에 대한 응답시험

단위계단입력(unit step input)에 대한 응답시험(response test)은 단위계단입력을 인가하고 설정된 기준 토크값과 근사치로 안정될 때까지의 시간과 출력되는 토크값의 안정성을 알아보기 위하여 실시하였다. 시험은 단위계단 토크 설정값 400(1 N·m)에서 500(1.25 N·m), 400(1 N·m)에서 600(1.5 N·m), 400(1 N·m)에서 700(1.75 N·m)을 각각 입력하고 600 rpm, 800 rpm, 1000 rpm,

1200 rpm에서 각각 실시되었다. 기준 토크 설정값은 D/A 변환기를 컴퓨터 프로그램으로 작동시켜 인가하였으며, 측정되는 회전 토크값은 3초에 1,000개의 데이터를 받아들일 수 있는 A/D 변환기에 의해 검출되어 컴퓨터로 처리되었다. 시험순서는 다음과 같이 하였다.

- (1) DC 모터, DC 발전기, 부하장치를 가동상태에서 30분 이상 유지시킨다.
- (2) 축이 회전하고 있는 상태에서 최대용량 4.5 N·m까지 사전부하를 3회 실시한다
- (3) DC 모터 회전수 조정기로 설정된 회전수 만큼 축의 회전수를 맞춘다.
- (4) D/A 변환기를 이용하여 설정된 기준 토크값을 단위계단으로 인가시키고, 출력되는 토크를 A/D 변환기를 이용하여 측정한다.

4. 결과 및 고찰

정적인상태에서 개발된 회전 토크 장치의 정밀정확도를 평가하기 위하여 교정검사 데이터를 이용하여 토크 측정기기의 교정검사 절차에 따라⁽¹⁰⁾ 평균오차(average error), 분포범위(distribution range), 최대오차(maximum error)를 분석하였다. 이들 식은 다음과 같다.

$$\text{평균오차} = \frac{\text{평균값} - \text{실토크값}}{\text{실토크값}} \times 100(\%) \quad (3)$$

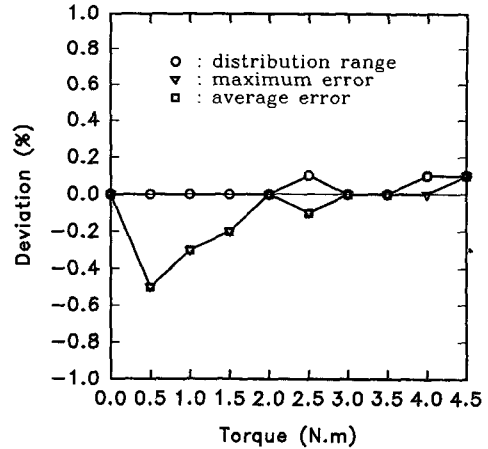


Fig. 6 Results of calibration test of the master torque cell (capacity : 4.5 N·m)

$$\begin{aligned} \text{분포범위} = & \\ & \frac{\text{평균값과의 차이가 가장큰 측정값} - \text{평균값}}{\text{평균값}} \\ & \times 100(\%) \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{최대오차} = & \\ & \frac{\text{실토크와 차이가 가장큰 측정값} - \text{실토크값}}{\text{실토크값}} \\ & \times 100(\%) \quad (5) \end{aligned}$$

여기서 평균값은 3번 측정된 측정 토크값을 평균한 값, 실토크값은 설정된 기준 토크값을 나타낸다. Fig. 6은 식(3)에서 식(5)까지에 의해 분석된 오차

Table 1 Test results of the rotational torque calibration system

torque \ rpm	1 N.m	1.5 N.m	2N.m	2.5 N.m	3 N.m	3.5 N.m	4N.m	4.5 N.m
	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
500	401	600	800	1000	1200	1400	1600	1801
600	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
700	400	600	800	1000	1200	1401	1600	1800
800	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
900	400	601	800	1000	1200	1400	1600	1800
1000	401	600	800	1000	1200	1400	1600	1801
1100	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
1200	400	600	800	1001	1200	1400	1600	1800
1300	400	600	800	1000	1200	1400	1601	1800
1400	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
1500	400	600	800	1000	1200	1401	1600	1800
1600	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1801
error (%)	0.25	0.17	0.00	0.10	0.00	0.07	0.06	0.05

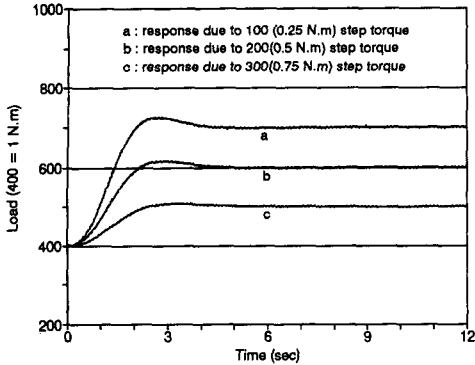


Fig. 7 Response curve of the rotational torque calibration system at 600 rpm

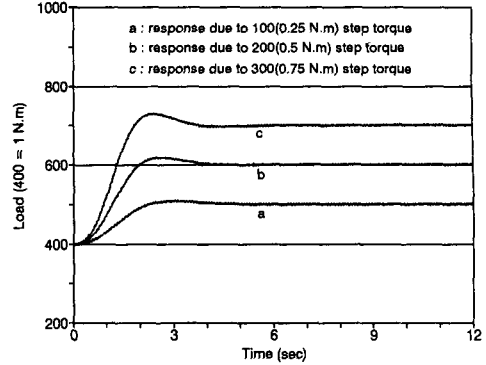


Fig. 8 Response curve of the rotational torque calibration system at 800 rpm

(평균오차, 분포범위, 최대오차)를 보이고 있다. 평균오차는 설정된 기준 토크값이 0.5 N·m 일 때 최대 0.5%이며 1.0 N·m 이상일 때는 최대 0.3% 이었다. 분포범위는 최대 0.1%이었다. 최대오차는 설정된 기준 토크값이 0.5 N·m 일 때 최대 0.5%이며 1.0 N·m 이상일 때 최대 0.3%이었다. 1.0 N·m 이상 4.5 N·m 이하의 토크범위에서 회전 토크 장치를 사용하면 더욱 정확한 회전 토크를 측정할 수 있다. 토크 측정기기의 표준절차⁽¹⁰⁾에 따르면 토크 기준기의 최대오차는 사용하고자 하는 토크 범위에서 1% 이하이어야 한다. 그런데 기준 토크셀을 포함한 회전 토크 교정장치는 최대오차가 최대 0.5%이므로 그 성능이 기준기급으로 매우 우수하다고 할 수 있다.

Table 1은 회전 토크 측정시험한 결과를 보여주고 있다. 표에서 보는 것과 같이 회전 토크 측정값은 시험한 모든 회전수와 토크범위에서 매우 안정되게 계속되었으며 최대 측정어는 토크 지시치로 1이었다. 즉 0.25%이었다. 회전 토크 측정시험 결과, 개발된 회전 토크 교정장치는 축이 회전하는 상태에서 안정되고 정확한 회전토크를 측정할 수 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 7에서 Fig. 10까지는 회전수 600 rpm, 800 rpm, 1000 rpm, 1200 rpm일 때 시간에 따른 단위계 단위력에 대한 응답을 나타낸 것이다. 그림의 출력 곡선중 가장 아래의 곡선은 회전 토크 교정장치의 회전 토크가 1 N·m(토크값 400)인 상태에서 단위계단 토크 설정값 100(0.25 N·m), 중간곡선은 단위계단 토크 설정값 200(0.5 N·m), 그리고 가장 위곡선은 단위계단 토크 설정값 300(0.75 N·m)을

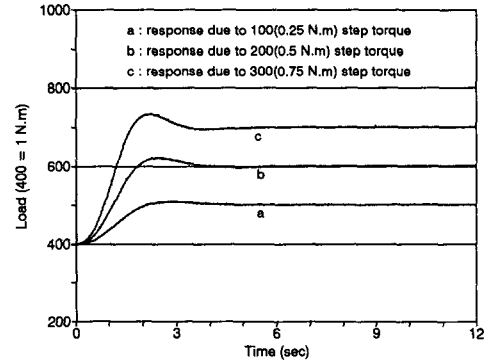


Fig. 9 Response curve of the rotational torque calibration system at 1000 rpm

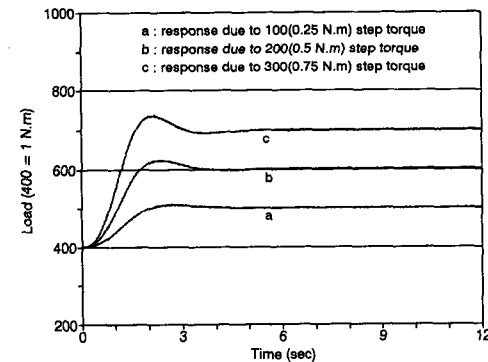


Fig. 10 Response curve of the rotational torque calibration system at 1200 rpm

각각 입력시켰을 때의 응답이다. Fig. 7에서 Fig. 10까지의 곡선을 보면 불안정 상태에서 검출되는 최대 토크 측정값은 회전수가 증가할 수록 증가하고, 안정되는 시간은 회전수가 증가하고 단위계단

토크 설정값이 클수록 많이 소요된다. 이것은 회전수와 단위계단 토크 설정값이 크면, 축에 순간적으로 큰 토크가 작용하기 때문에 오버슈트(overshooty)가 커지게 되므로 페루프 제어계에서 안정된 값으로 제어되는 시간이 길어지기 때문이다. 안정된 시간은 시험한 각각의 회전수와 단위계단 토크 설정값 300(0.75 N·m) 이하에서는 5초 이하이며, 그 이후에는 토크 측정값이 안정되게 출력됨을 알 수 있다. 그러므로 회전 토크 교정장치를 이용하여 동력 발생장치의 성능 평가를 위한 회전 토크 측정과 비접촉식 회전 토크 측정장치를 교정할 때 단위 단위계단 토크 설정값을 300(0.75 N·m) 이하로 입력시킬 경우, 설정된 기준 토크값을 인가한 다음 5초 이후에 토크값을 측정하면 안정된 값을 검출할 수 있다.

따라서 회전 토크 교정장치는 4.5 N·m 이하의 동력 발생장치의 성능 평가를 위한 회전 토크 측정과 비접촉식 회전 토크 측정장치를 높은 정밀정확도로 교정할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 최대용량 4.5 N·m인 회전 토크 교정 장치를 개발하였다. 회전 토크 교정장치는 접촉식 신호 전송장치인 슬립링 부러쉬, 전압 변화에 의해 제어되는 DC 발전기, 페루프 제어계로 회로가 구성되어 있는 제어장치, 기준 토크셀, 컴퓨터(PC)등으로 구성되어 있다.

회전 토크 교정장치는 교정검사를 실시한 결과, 최대오차가 최대 0.5%, 분포범위가 최대 0.1%, 평균오차가 최대 0.5% 나타났으므로 기준기급에 속하는 기기이다. 회전 토크 측정시험 결과, 측정오차가 최대 0.25%로 매우 우수하게 나타났으며, 단위계단입력에 대한 응답시험을 실시한 결과, 기준 토크값 300(0.75 N·m)을 단위계단으로 입력시켰을 때 5초 내에 회전 토크값이 안정하게 출력되었다. 따라서 개발된 회전 토크 교정장치는 4.5

N·m 이하의 동력 발생장치의 성능을 평가하기 위한 회전토크 측정과 비접촉식 회전 토크 측정장치를 교정하는데 사용될 수 있다.

참고문헌

- (1) LEBOW, 1980, LEBOW Products Torque Sensor and Dynamometer Catalog, LEBOW, No. 250c, pp. 6~32.
- (2) Ettlman, D. and Hoserman, M., 1963, "Methods of Measuring Torque and their Applications," ENGINEERS DIGEST, Vol. 24 No. 5, pp. 87~90.
- (3) Graneek, M., Wunch, H.L. and Nimmo, W.M., 1959, "Development of a Precision Dynamometer," NEL REPORT, NO. 168, pp. 1~3.
- (4) Szymanski, D., 1986, "Strain-gage-based Torque-Measuring Test Bench for Stepping motors," Reports in Applied Measurement, Vol. 2. No. 1, pp. 1~4.
- (5) Firth, D., 1954, "Electric Dynamometer Supported on Pneumatic Trunnions and Having Hydraulic Measurement," MERL, No. 23, pp. 1~5.
- (6) 주진원의, 1992, "소형 토크렌치 교정기의 설계 및 제작기술연구," 한국표준과학연구원 논문집, pp. 22~29.
- (7) Kobayashi, A. S., 1987, HANDBOOK ON EXPERIMENTAL MECHANICS, Society for Experimental Mechanics, pp. 109~110.
- (8) 백종승외, 1986, "하중센서의 개발," KSRI-86-25-IR, pp. 240~256.
- (9) Timoshenko, S.P., 1983, "Mechanics of material", Tower press, pp. 72~88.
- (10) 국가교정검사기관협의회, 1983, "토크 측정기기의 표준 교정절차," KASTO-ME-2-86.