Transactions of the KSNVE, 24(2) : 131~138, 2014
http://dx.doi.org/10.5050/KSNVE.2013.24.2.131

한국소음진동공학회논문집 제24권 제2호, pp. 131~138, 2014
ISSN 1598-2785(Print), ISSN 2287-5476(Online)

카메라 영상을 이용한 회전축 진동 측정 및 진원도 평가 방법

A Technique for Vibration Measurement and Roundness Assessment of Rotating-axis using Camera Image

손 기 성† · 전 형 섭* · 박 진 호** · 박 종 원***
Ki-Sung Son, Hyeong-Seop Jeon, Jin-Ho Park and Jong Won Park

(Received December 5, 2013 ; Revised January 6, 2014 ; Accepted January 16, 2014)

Key Words : Rotating-axis(회전축), Roundness(진원도), Image Processing(영상처리), Vibration(진동), Camera(카메라)

ABSTRACT

Vibration measurement of rotating shafts by installing sensors such as accelerometers or displacement sensors is costly and dangerous in some cases. As an alternative method, vibration measurement using camera images has been researched because sensor installation is not needed and displacement of a rotating shaft can be directly evaluated. This paper also suggests the enhanced technique applicable to the measurement of vibration of a large-scale rotating shaft. The concurrent methods based on camera images use marks, which are hardly applicable to rotating shafts. The proposed method measures vibration without any marks by evaluating shape errors. The working principle of the method is described and verified by a series of experiments.

Nomenclature

D : 축 중심기준 촬영거리
D_{pixel} : 픽셀 단위 지름
$F(S_1)$: 관심영역 A의 픽셀단위 변위값
$F(S_2)$: 관심영역 B의 픽셀단위 변위값
P_1 : 관심영역 A의 기준좌표
P_2 : 관심영역 B의 기준좌표
P_{size} : 단위 픽셀당 실제 사이즈 (mm)
R : 축 반지름
$S(i, j)$: 측정대상 그레이 영상
$f(A)$: 상부 측정 신호
$f(B)$: 하부 측정 신호
$f(S)$: 상·하부 형상오차의 합
$f(SA_{(t)})$: 0~180°중 t에서의 형상오차
$f(SB_{(t)})$: 180~360°중 t에서의 형상오차
h : 대상체 설계 지름
h' : 측정 지름
ΔA_t : 시간 t-1에서 t까지의 $f(A)$변화량
ΔB_t : 시간 t-1에서 t까지의 $f(B)$변화량
ΔS_{ij} : 이웃 픽셀과의 차이 값

1. 서 론

회전체의 진동 평가는 크게 가속도 센서를 사용

† Corresponding Author ; Member, SAE-AN ENGINEERING CO.
E-mail: infoson@sae-an.co.kr
Tel : +82-42-868-4868, Fax : +82-42-868-8313
* SAE-AN ENGINEERING CO.
** Korea Atomic Energy Research Institute
*** Chugnam National University

‡ Recommended by Editor Don Chool Lee

한 베어링 하우징의 진동가속도 측정과 Gap센서를 이용한 회전축의 진동변위 측정 데이터가 이용된다. 그 중 사고의 조기발견, 판단의 정도 향상 및 2차 피해 방지를 위해서는 축 진동의 계측이 베어링 하우징에서 측정된 진동가속도보다 유리하다. 따라서 회전체 진단에 있어서 축 진동 측정데이터는 매우 중요한 평가데이터가 된다. 따라서 이 논문에서는 카메라를 이용한 대형 회전축의 진동측정 방법 및 회전축의 진원도를 평가하기 위한 방법을 제안한다. 최근까지 카메라를 이용한 진동 측정에 관한 많은 연구가 진행되었다[1~5]. 하지만, 기존의 방법은 대부분 측정하고자 하는 포인트에 마커를 설치 또는 표시하여 마커의 움직임을 추적하는 방법들이며 대부분 측정 해상도가 카메라 해상도의 한계를 벗어나지 못하고 있다. 또한 회전체는 측정포인트가 회전하기 때문에 마커의 설치가 용이하지 않고 설치된 마커의 추적이 불가능하다.

이 논문에서는 회전축 진동변위 측정 분해능을 높이고 측정 속도를 빠르게 하기 위해 EEPD(expected value of edge probability distribution)방법을 사용하였다[6]. 이 방법은 카메라 영상을 이용하여 마킹 없는 대상체의 진동변위를 빠르게 측정하는 방법으로 카메라 픽셀해상도 이상의 측정해상도를 갖는다. 카메라를 이용한 방법은 촬영속도에 따라 샘플링 속도가 정해지며 일반적으로 많이 사용하는 산업용 카메라는 30 frame/sec~200 frame/sec의 촬영속도를 갖는다. 따라서 비교적 낮은 회전수를 갖는 대형 회전축의 진동변위 측정에 용이하다고 할 수 있다. 또한, 회전축의 진원도 평가를 위해 형상오차 측정 방법을 제안한다. 카메라를 이용한 형상오차 측정은 대상체의 지름과 형상을 동시에 측정하기에 용이하다. 이와 유사한 방법으로 레이저 진원도 측정기가 있다. 하지만 이 장비는 매우 고가이며 작은 부품에 국한되어 있다. 카메라를 이용할 경우 낮은 비용으로 대형 회전축에 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 회전축 진동 모의장치를 이용한 실험을 통하여 제안된 방법을 검증한다.

2. 회전축 변위 측정

EEPD 방법을 이용하여 회전축의 진동 변위를 측정하기 위해서는 카메라로 회전축의 영상 데이터를 취득한 후 측정하고자 하는 영역의 좌표를 설정한다. Fig. 1과 같이 측정영역 A, B를 설정한다. EEPD 방법을 사용하여 A, B영역 각각에 대해 대표값을 산출한다. 여기서 대표값은 픽셀단위 변위값이다. 회전축이 진원이라 했을 때 관심영역 A와 B의 대표값 사이의 거리는 일정하다. 따라서 회전축의 실측 지름값을 이용하여 픽셀단위 변위값을 mm 단위로 환산이 가능하다. 진동변위 측정 및 단위 환산 방법은 다음과 같다.

먼저, 식 (1)을 통해 2차원 영상 S의 측정위치 A와 B의 y축에 대한 편미분 ΔS_{ij}를 산출한다. 여기서 i는 측정포인트 영역의 x축 좌표값이며 j는 y축 좌표값이다.

$$\Delta S_{ij} = S(i, j+1) - S(i, j-1) \tag{1}$$

$$F(S_1) = \frac{1}{m_1}\sum_{i=0}^{m_1}\left\{ j = p\sum_{j=p_1}^{p_1+n_1}(\Delta S_{ij} \times j) / \sum_{j=p_1}^{p_1+n_1}\Delta s_{ij} \right\} \tag{2}$$

$$F(S_2) = \frac{1}{m_2}\sum_{i=0}^{m_1}\left\{ j = p\sum_{j=p_1}^{p_1+n_1}(\Delta S_{ij} \times j) / \sum_{j=p_1}^{p_1+n_1}\Delta s_{ij} \right\} \tag{3}$$

다음으로 EEPD방법인 식 (2)와 식 (3)을 통하여 측정영역 A와 B의 대표값을 산출한다. 여기서 p_1과 p_2는 A영역과 B영역의 절대좌표로부터 떨어진 거리이다. 따라서 A와 B의 대표값은 영상의 절대좌표 $S(0,0)$를 기준으로 $F(S_1)$과 $F(S_2)$만큼 떨어져 있는 실수형 에지 좌표값이 된다.

$$D_{pixel} = F(S_2) - F(S_1) \tag{4}$$

식 (4)에서 구한 D_{pixel}값은 픽셀단위의 회전축 지름이다. 회전축의 실제 지름을 픽셀단위 지름 D_{pixel}로

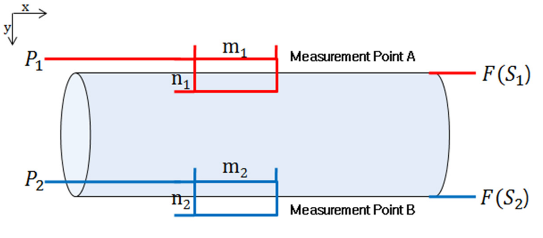

Fig. 1 measurement point A and B of object

나누어주면 단위픽셀의 사이즈를 정의할 수 있다. 하지만, Fig. 2에서 보는 바와 같이 측정 거리에 따라 Eq.(4)의 픽셀단위 회전축 지름 D_{pixel}은 측정오차를 포함하고 있다. 따라서, 회전축의 실제 지름 값을 이용하여 단위픽셀의 사이즈를 결정하면 오차가 포함된다.

실제 지름이 h라고 했을 때 회전축의 중심으로부터 D만큼 떨어진 위치에서 영상을 취득하면 h'가 측정된다. 식 (5)와 같이 h-h'의 오차를 갖는다. 오차를 구하기 위한 식을 전개해보면 식 (5)~(9)와 같다.

$$Error = h - h' \tag{5}$$

$$h = 2R \tag{6}$$

$$\cos\theta = \frac{R}{D} \tag{7}$$

$$h' = 2 \times R \sin\theta \tag{8}$$

$$Error = 2R - \left\{ 2 \times R \sin(\cos^{-1}\frac{R}{D}) \right\} \tag{9}$$

단위 픽셀의 사이즈를 결정할 때 오차 보정을 위해서는 식 (10)과 같이 h'를 이용하여 단위픽셀의 사이즈를 결정해야 한다.

$$P_{size} = \frac{h'}{D_{pixel}} \tag{10}$$

A 또는 B의 픽셀단위 진동변위 값과 단위픽셀 사이즈 P_{size}값을 곱하면 실제 mm단위의 진동변위 값이 산출된다. 위의 방법을 연속 영상에 적용하면 회전축의 진동변위 데이터를 취득할 수 있다.

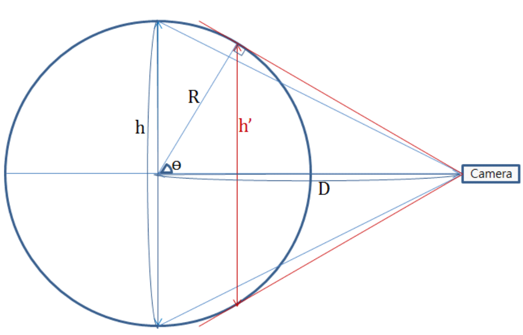

Fig. 2 Measurement error of diameter

3. 회전축 진원도 측정

회전축의 정확한 진동변위를 측정하기 위해서는 회전축의 형상오차를 알아야 한다. 회전축의 형상이 진원이 아닐 경우 진동변위 데이터는 오차가 발생하게 된다. 따라서 회전체 축의 형상을 파악하고 진동변위 측정에 임할 필요가 있다. 진원도 측정을 위해서 기존에 많은 장치들이 개발되어 있다. 하지만 대부분의 장치들이 작은 부품의 측정에 국한되어 있으며 대형 회전체 축의 진원을 평가하기 위해서는 이러한 장치로는 측정이 불가능하다. 따라서 보통은 변위 센서를 이용하여 측정하고 있지만 축을 회전시키거나 센서를 축의 외주면을 따라 이동시키는 과정에서 그 진동이 센서에 전달되는 문제점을 가지고 있다. 따라서, 이러한 단점을 보완하고자 카메라를 이용한 대형 회전축의 형상가공오차 측정방법을 제안한다.

3.1 기본이론

측정영역 상부와 하부 두 영역의 진동 변위를 측정했을 때 회전체 축이 진원이면 Fig. 3과 같이 회전체 축의 진동변위만 나타나게 되며 상부와 하부 사이의 거리는 항상 일정하게 나타나게 된다.

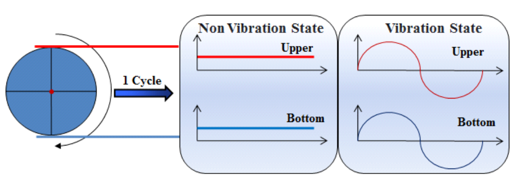

Fig. 3 Measurement of roundness with vibration

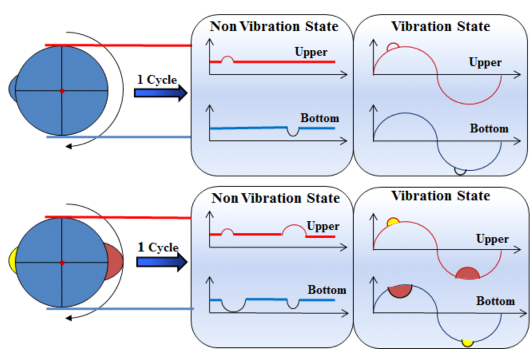

Fig. 4 Measurement of roundness with shape errors

회전체 축이 진원이 아닌 경우에는 Fig. 4와 같이 매 주기마다 형상가공에 따른 오차성분이 포함되게 된다.

따라서 형상가공오차를 포함한 진동변위신호로부터 축 진동신호를 제거하면 형상오차를 축출할 수 있다.

3.2 형상가공오차 산출 방법

형상가공오차 산출 방법의 기본이론을 살펴보면 다음과 같다.

Fig. 5와 같이 회전축의 상부와 하부로부터 1/2사이클 동안의 변위데이터를 취득한다. 상부에서 취득한 데이터를 $f(A)$라하고 하부에서 취득한 데이터를 $f(B)$라 한다.

$$f(A) = f(C) + f(S_A) \tag{11}$$

$$f(B) = f(C) + f(S_B) \tag{12}$$

식 (11)에서 보는 바와 같이 상부에서 취득한 변위데이터 $f(A)$는 회전축 중심의 변위량 $f(C)$와 형상에 의한 변위량 $f(S_A)$의 합으로 나타난다. 식 (12)의 하부에서 취득한 변위데이터 $f(B)$는 회전축 중심의 변위량 $f(C)$와 형상에 의한 변위량 $f(S_B)$의 합으로 나타난다.

$$f(S) = f(A) - f(B) = f(S_A) - f(S_B) \tag{13}$$

같은 시간에 측정된 변위 데이터 $f(A)$와 $f(B)$의 축 중심의 진동변위는 같다. 따라서, 식 (13)과 $f(A)$ 같이 에서 $f(B)$를 빼면 회전축의 형상 변위량인 $f(S_A)$-$f(S_B)$만 남게 된다. 절대좌표를 기준으로 볼 때 $f(A)$와 $f(B)$에서 축 중심의 변위는 같은 방향으로 나타나고 0~180°의 형상 $f(S_A)$와 180~360°의 형상 $f(S_B)$는 서로 반대방향으로 나타나게 된다. 따라서 식 (13)의 $f(S)$는 반 주기성분의 $f(S_A)$와 $f(S_A)$가 더해진 결과가 된다. 여기서 $f(S)$를 $f(S_A)$와 $f(S_B)$로 분리하면 한 주기 성분의 형상을 구할 수 있다. 그 분리 방법은 식 (14)~(19)와 같다.

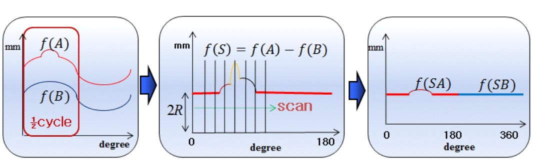

Fig. 5 Measurement of roundness by using the proposed method

$$\Delta A_t = f(A_t) - f(A_{t-1}) \tag{14}$$

$$\Delta B_t = f(B_t) - f(B_{t-1}) \tag{15}$$

식 (14), (15)의 ΔA_t와 ΔB_t는 축 진동변위가 포함된 $f(A)$와 $f(B)$를 미분한 데이터를 말한다. 시간 t에서의 $f(S)$를 $f(S_t)$라고 할 때 $f(S_t) \neq 2R$이면 형상오차가 존재하는 것으로 본다. 즉, 회전축이 진원이면 절대 좌표를 기준으로 $f(A)$-$f(B)$는 2R의 값을 갖는다.

If $f(S_t) \neq 2R$ and $(\Delta A_t - \Delta B_t)$ > measuring resolution then

$$f(S_{A(t)}) = \frac{\Delta A_t}{|\Delta A_t| + |\Delta B_t|} \times (f(S_t) - 2R) \tag{16}$$

$$f(S_{B(t)}) = \frac{\Delta B_t}{|\Delta A_t| + |\Delta B_t|} \times (f(S_t) - 2R) \tag{17}$$

식 (16), (17)과 같이 $f(S_t) \neq 2R$이고 $(\Delta A_t - \Delta B_t)$이 측정분해능(measuring resolution)보다 크면 $f(S_t)$에서 지름을 제외한 형상오차 크기를 ΔA_t과 ΔB_t 사이의 비율로 나누어 $f(S_{A(t)})$와 $f(S_{B(t)})$를 결정한다. 여기서 측정분해능은 카메라를 이용한 측정방법의 측정오차를 감안하여 결정한다.

If $f(S_t) \neq 2R$ and $(\Delta A_t - \Delta B_t)$ < measuring resolution then

$$f(S_{A(t)}) = 0 \tag{18}$$

$$f(S_{B(t)}) = 0 \tag{19}$$

식 (18), (19)와 같이 두 신호의 차이인 $f(S_t)$가 2R 이거나 측정오차 범위 내에 있을 경우에는 형상오차의 변화가 없는 것으로 본다.

4. 진동변위 측정 실험

제안된 방법의 검증을 위하여 실험용 회전체 기기를 사용하여 EEPD방법을 통한 회전체 진동 측정

성능 평가를 위한 실험을 수행하였다. 또한, 회전체 축의 진원도 측정 방법을 평가하기 위해 회전축에 임의의 형상가공오차를 추가하여 실험을 수행하였다.

4.1 실험환경

회전체 실험장비의 회전축을 200 rpm으로 회전시키고 일반적으로 많이 사용하고 있는 산업용 카메라를 이용하여 회전축의 진동을 측정하였다. Figs. 6, 7과 같이 동기화된 두 대의 카메라를 이용하여 60프레임, 640×480 해상도로 영상데이터를 취득하였으며 조명을 일정하게 유지하였다. 제안된 방법은 Visual Studio C++로 구현되었으며 S/W 구동 및 분석을 위한 컴퓨터를 사용하여 제안된 방법의 성능을 평가하였다. 회전체 실험장비의 회전축 지름은 10 mm이며 회전축의 중심으로부터 0.75 m 떨어진 위치에 카메라를 설치하고 75 mm 광학렌즈로 촬영하였다.

제안된 방법의 측정 오차를 평가하기 위하여 변위센서 데이터를 동시에 취득하였다. 변위센서 데이터는 24bit resolution, 4096 Hz/sec Sample-rate로 취득되었다. 비교적 저렴한 저해상도 카메라를 사용하여 제안된 방법의 성능을 평가함으로써 저렴한 비용으로 현장 적용 가능성을 보이고자 했다.

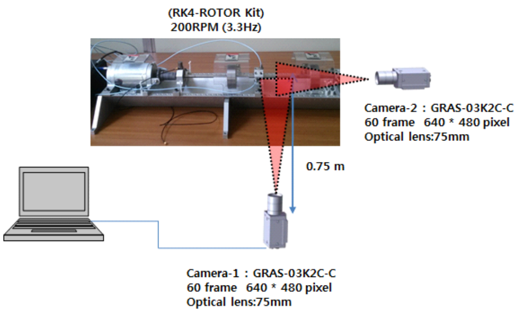

Fig. 6 Experimental setup for measuring vibration displacement

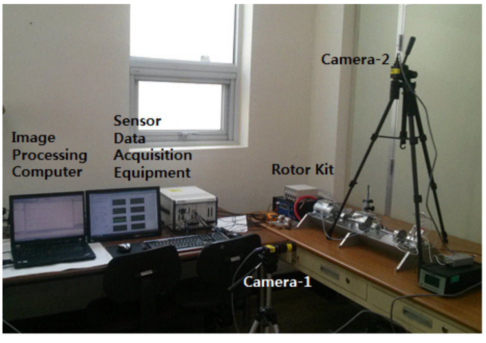

Fig. 7 Picture of experimental setup

4.2 회전축 진동변위 측정실험

EEPD방법을 통한 회전체 축의 변위 측정을 위해 Figs. 8, 9와 같이 두 대의 동기화된 카메라를 이용하여 실험용 회전체 기기의 X-axis 영상과 Y-axis 영상을 연속 취득하였다. 각각 두 개의 관심영역 A와 B를 설정하였으며 관심영역의 크기는 변위센서의 크기 이하로 설정하였으며 이때 하나의 픽셀사이즈는 0.07 mm로 나타났다.

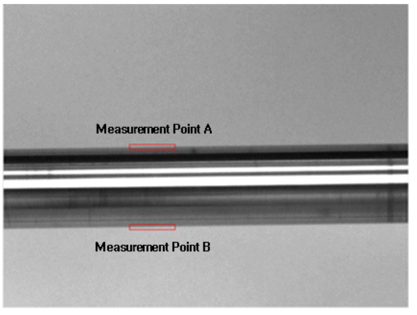

Fig. 8 X-axis image taken by camera-1

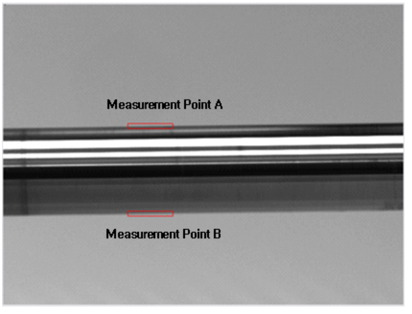

Fig. 9 Y-axis image taken by camera-2

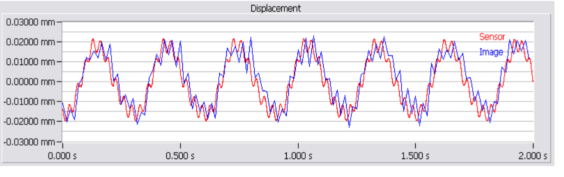

Fig. 10 Comparison of X-axis vibration displacements measured by gap sensor and EEPD method

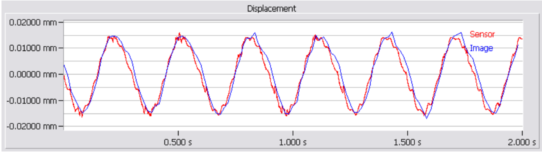

Fig. 11 Comparison of Y-axis vibration displacements measured by gap sensor and EEPD method

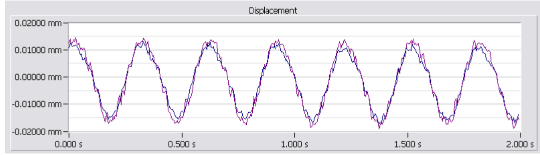

Fig. 13 Vibration displacements of rotating-axis without shape error

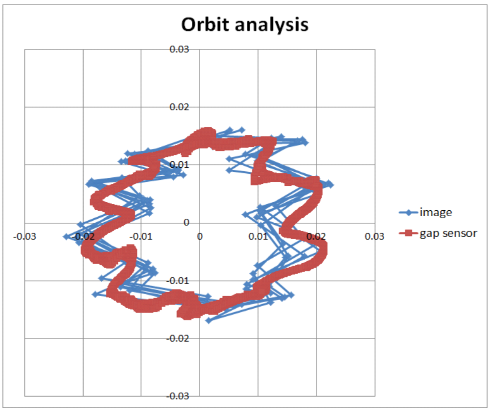

Fig. 12 Orbit analysis by gap sensor signal and EEPD method signal

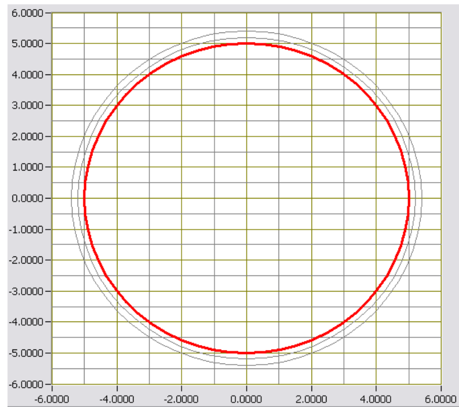

Fig. 14 Roundness of rotating-axis without shape error

Fig. 10은 X-axis 데이터로 변위센서를 통해 취득한 데이터와 EEPD방법을 통해 취득한 신호이다.

X축의 변위센서 신호 및 EEPD방법을 통해 취득한 5초간 데이터의 최대, 최소 점들 중 14포인트를 선정하여 그 평균을 계산하고 변위센서 신호와 비교하였다. 변위센서 신호의 P-P 표준편차를 보면 0.0006 mm로 나타났으며 EEPD 방법의 P-P 표준편차는 0.0008 mm로 나타났다. 변위센서 신호의 평균 P-P는 0.04 mm이며 이를 기준으로 EEPD Method의 평균 P-P를 비교해본 결과 P-P 0.041 mm로 0.001 mm의 오차를 보였으며 오차율은 0.025로 나타났다.

Fig. 11은 Y-axis 데이터로 변위센서를 통해 취득한 데이터와 EEPD방법을 통해 취득한 신호이다.

Y축에 대해서도 X축과 같은 조건으로 비교하였다. 변위센서 신호의 P-P 표준편차는 0.0009 mm로 나타났으며 EEPD 방법의 P-P 표준편차는 0.0008 mm로 나타났다. 변위센서 신호의 평균 P-P는 0.0304 mm이며 이를 기준으로 EEPD 방법의 평균 P-P를 비교해본 결과 P-P 0.0296 mm로 0.0008 mm의 오차를 보였으며 오차율은 0.0258로 나타났다.

Fig. 12는 센서 신호와 EEPD 방법을 통해 취득한 신호의 궤도 분석 그래프이다. 실험 결과 두 대의 카메라를 이용함으로써 가동중인 회전체의 변위 측정이 가능함을 확인하였다.

4.3 회전축 형상가공오차 측정실험

회전체 축의 상부와 하부 측정영역을 설정하고 각각의 측정데이터를 취득하여 비교함으로써 형상가공오차를 구하였다. Fig. 13과 Fig. 14는 진원에 가까운 10 mm 회전축을 이용하여 실험한 결과이다. Fig. 13은 상부와 하부 측정영역 신호를 보여준다. Fig. 14는 제안된 방법을 적용한 축 단면을 형상화 한 그래프이다. 이때, 카메라를 이용한 변위측정 실험결과를 감안하여 두 데이터 사이의 차이 값이 0.002 mm 이상일 경우 형상가공오차로 인정하도록 하였다.

Fig. 15와 Fig. 16은 회전축에 0.15 mm의 테이프 한장을 한쪽에 붙여 축 한쪽으로 형상가공오차가 있음을 가정하고 앞선 정상 축 실험과 같은 방법으로 실험하였다.

Fig. 15는 10 mm지름의 회전축에서의 형상가공오차를 보이며, Fig. 16은 회전축의 지름을 1/5스케일로 줄이고 형상가공오차는 1:1로 표현하였다. 회전

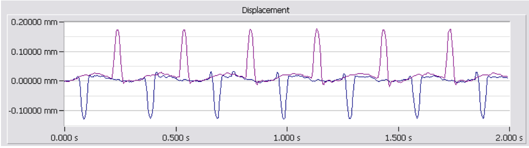

Fig. 15 Vibration displacements of rotating-axis with shape error along one direction

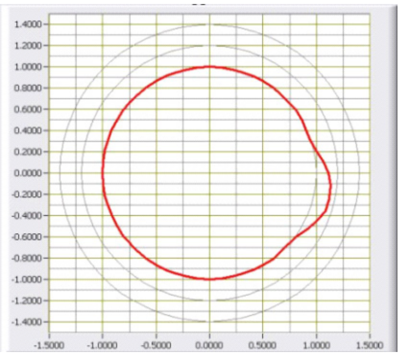

Fig. 16 Roundness of rotating-axis with shape error along one direction

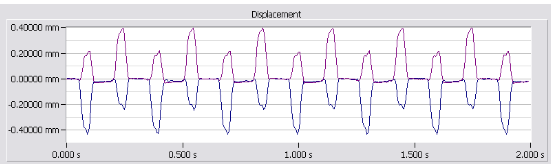

Fig. 17 Vibration displacements of rotating-axis with shape error along two directions

축 한쪽 외주 면에 약 0.15 mm의 형상가공오차가 측정됨을 확인하였다. 외주 면을 0으로 봤을 때 최소값 -0.008 mm, 최대값 0.147 mm로 나타났으며 직경법을 이용하여 진원도를 평가하면 0.155 mm로 나타났다.

Figs. 17, 18은 0.2 mm 테이프를 회전축 외주 면의 한쪽에는 2장, 대칭되는 반대쪽 외주 면에는 1장을 붙여 대칭적으로 다른 두께를 가지는 회전축 형상가공오차에 대한 실험을 수행하였다.

Fig. 17은 10 mm지름의 회전축에서의 형상가공오차를 보이며, Fig. 18은 회전축의 지름을 1/5스케일로 줄이고 형상가공오차는 1:1로 표현하였다. Fig. 18에서 보는 바와 같이 회전축 한쪽 외주면은 약 0.2 mm의 형상가공오차가 측정되고 대칭되는 반대쪽 외주 면에서 약 0.4 mm의 형상가공오차가 측정됨을 확인하였다. 외주 면을 0으로 봤을 때 최소값

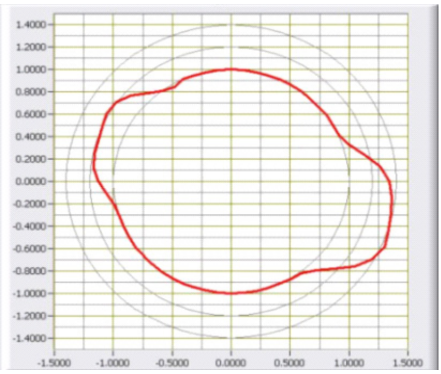

Fig. 18 Roundness of rotating-axis with shape error along two directions

-0.005 mm, 최대값 0.413 mm로 나타났으며 진원도를 평가하면 0.418 mm로 나타났다.

실험에서 회전축에 부착한 테이프의 부착형태에 따라 실험적 오차가 포함되어 있는 것을 감안했을 때 제안된 형상가공오차 측정방법을 통하여 진원도 평가가 가능함을 확인하였다.

5. 결 론

이 연구에서는 대형 회전축의 진동변위 측정을 위해 동기화된 두 대의 카메라 영상을 이용한 변위 측정 방법과 한 대의 카메라 영상을 이용한 회전축의 진원도 평가 방법을 제안하였다. 대형 회전축의 회전주기 및 변위 크기를 감안한 실험결과 카메라를 이용하여 영상 취득 시 조명을 일정하게 하고 픽셀사이즈를 0.07 mm로 촬영 할 경우 0.001 mm 이내의 측정오차를 보였으며 두 대의 카메라를 이용함으로써 회전축의 진동측정이 가능함을 확인하였다. 또한, 카메라를 이용함으로써 진원도 측정이 어려웠던 대형 회전축에 대한 진원도 측정이 가능함을 확인하였다.

상시 감시 시스템이 설치되어있지 않은 대형 회전체의 진단에 있어서 제안된 방법을 이용하면 낮은 비용으로 빠른 진단이 가능할 것으로 기대된다.

후 기

이 연구는 2014년 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP; No.20111510100050)의 지원으로 수행된 연구내용입니다.

References

(1) Lee, S. B. and Kwak, M. K., 2000, Development of Vibration Measurement Technique Using the Image Processing, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 327~329.

(2) Wahbeh, A. M., Caffrey, J. P. and Masri, S. F., 2003, A Vision-based Approach for the Direct Measurement of Displacements in Vibrating Systems, Smart Structures and Materials, Vol. 12, pp. 785~794.

(3) Kim, K. Y. and Kwak, M. K., 2005, Measurement of Large-amplitude and Low-frequency Vibrations of Structures Using the Image Processing Method, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 329~333.

(4) Jeon, H. S., Choi, Y. C. and Park, J. W., 2008, Displacement Measurement of Multi-point Using a Pattern Recognition from Video Signal, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 18, No. 12, pp. 1256~1261.

(5) Jeon, H. S., Choi, Y. C. and Park, J. W., 2009, Measurement Structural Vibration from Video Signal Using Curve Fitting, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 9, pp. 943~949.

(6) Son, K. S., Joen, H. S., Park, J. H. and Park, J. W., 2013, A Technique for Measuring Vibration Displacement using Camera Image, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23, No. 9, pp. 789~796.

Ki-Sung Son is a doctorial candidate of Department of Information Communications Engineering at chungnam national university. He is also a senior researcher at the R&D institute of SAE-AN ENGINEERING CO.