

미세부품 영상 측정시 진동에 의한 오차 보상 알고리즘 개발

표창률[#]

Development of Error Compensation Algorithm for Image based Measurement System

Chang Ryul Pyo[#]

ABSTRACT

In this paper, we studied a vibration problem that is critical and common to most precision measurement systems. For micro mechanical part measurements, results obtained from the vision-based precision measurement system may contain errors due to the vibration. In order to defeat this generic problem, for the current study, a PC based image processing technique was used first, to assess the effect of the vibration to the precision measurement and second, to develop an in-situ calibration algorithm that automatically compensate the measurement results in real time. We used a set of stereoscopic CCD cameras to acquire the images for the dimensional measurement and the reference measurement. The mapping function was obtained through the in-situ calibration to compensate the measurement results and the statistical analysis for the actual results is provided in the paper. Based on the current statistical study, it is expected to obtain high precision results for the micro measurement systems.

Key Words : Image processing technique(영상처리 기법), Micro mechanical part(초미세 부품), Vibration(진동), Least square method(최소 자승법), Curve fitting(곡선 적합)

1. 서론

현재 MEMS 부품 및 광·열 유체 부품의 산업화 발전 방향은 고성능화, 고품질화, 고효율화로 진행되고 있으며 이에 따라 기계장치의 각종 부품도 소형, 경량화로 발전되는 추세이다. 따라서 이러한 추세에 맞추어 부품업체의 구조 개편 과정에 우위를 점하기 위해서는 독자적인 설계 및 제품 생산기술 능력뿐만 아니라 초미세 부품(micro

mechanical part)의 검사능력을 확보하여야 한다. 그러나 국내에서는 이러한 부문에 대한 기술투자가 미비한 상태로 무결점, 고효율이 요구되는 검사장비 개발 기술의 확보가 시급하다. 고정밀도가 요구되는 초소형 제품의 측정검사에는 대량 생산의 관점에서 짧은 측정시간과 정확성이 요구된다. 이러한 관점에서 가장 적합한 고정도 측정 방법은 영상처리 기법을 이용하는 것이다.

따라서 본 연구에서는 고배율의 광학계를 이

... 접수일: 2003년 10월 20일; 게재승인일: 2004년 8월 13일

교신저자: 인덕대학 기계시스템전공

E-mail crpyo@induk.ac.kr Tel. (02) 950-7546

용한 영상처리 기법(image processing technique)^{1,2}을 이용한 세밀화, 고속화된 검사 장비의 개발을 기본 목표로 하여, 영상처리를 이용한 측정 검사에서 가장 문제가 되는 진동에 의한 불규칙한 측정 결과를 보정하는 방법에 대해서 연구를 수행하였다.

2. 배경 이론

2.1 기본 개념

대부분의 영상처리를 이용한 검사 시스템에서 성공여부는 검사에 필요한 영상을 얼마나 정확하게 얻어내는가에 있다고 해도 과언이 아니다. 정확한 영상을 얻는 과정은 여러 가지 요인에 의해 기인한다. 그 대표적인 것으로 진동에 의해서 발생하는 초점변화로서, 이에 따른 획득 영상의 변화를 들 수 있다. 본 연구에서는 진동에 의한 영상 변화를 분석하기 위한 대상으로 스프링 형태의 텅스텐 와이어를 사용하였다. Fig. 1 은 연구에 사용된 텅스텐 와이어의 형상으로서, 외경과 피치는 각각 $236.3\mu\text{m}$, $45.4\mu\text{m}$ 이다.

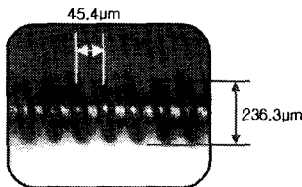


Fig. 1 Photographic view of wire

특히, 본 연구의 대상물처럼 단면 형상이 원형일 경우, 정확한 초점을 맞추어야 원하는 결과를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 와이어의 외경(두께)과 피치를 측정하고자 하기 때문에 Fig. 2 와 같이 원형 단면의 중심에 초점을 맞추어 검사하였다.

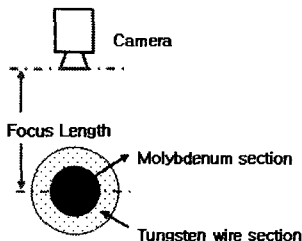


Fig. 2 Schematic view of focusing for wire section

Fig. 3 은 정확히 초점이 맞은 경우와 그렇지 못한 경우의 영상을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 고배율의 영상에서는 조금만 초점이 어긋나도 대상물의 외곽 부분이 불분명해지기 때문에 정확한 검사가 이루어지기 어렵다. Fig. 4 는 이를 좀더 명확하게 파악하기 위해서 초점거리를 0.1mm 단위로 오프셋(offset) 시켜서 영상을 획득하고 와이어의 에지(edge) 부분의 그레이 레벨(gray level)을 비교한 것이다.

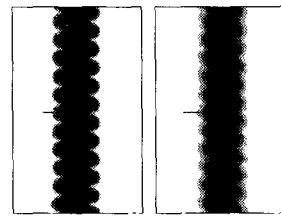


Fig. 3 Focus and non-focus image of wire

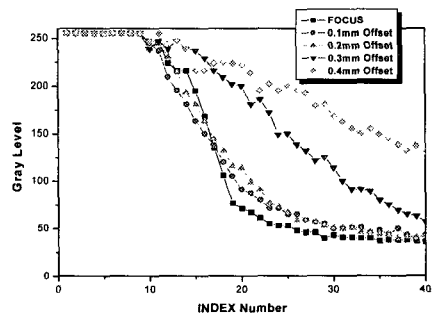


Fig. 4 Gray level in the vicinity of edge

그래프에서 알 수 있듯이 초점이 맞은 경우의 기울기 변화가 가장 뚜렷하게 나타나기 때문에 정확하게 에지를 찾을 수가 있다. 그러나 조금씩 초점이 변해감에 따라서 기울기가 완만하게 변화하여 에지를 검출하기가 점점 어려워진다.^{3,4}

2.2 에지 검출

앞에서 언급했듯이 영상처리를 이용한 검사 장비에서 가장 중요한 것은 목적에 맞는 원하는 영상을 얻는 것이다. 그러나 여러 가지 원인으로 인해서 원하는 영상을 얻지 못하는 경우가 발생하게 된다. 따라서 정확한 에지 검출을 위해서 또는 필요에 의해서 획득된 영상을 조작하게 된다. 기

본적으로 영상 향상(image enhancement) 작업은 영상 분석 과정에서 수반되는 요구 사항을 충족시키기 위해 적절히 사용될 수 있다. 본 연구에서도 좀 더 정확한 결과를 얻기 위해서 몇 가지 영상처리 알고리즘을 사용하였다. 그 중에서 사용된 배경제거 기법은 영상처리에서 일반적으로 사용되는 기법으로서 영상 분석 과정에서 큰 의미가 없는 조명의 불균형이나 정적인 배경 조각들을 제거하는데 매우 효과적이다. 또한 측정을 위한 에지 검출(edge detection)은 영상에서 가장 일반적인 특징인 경계의 부근에서 조도변화⁵ (하얀 영역에서 검은 영역으로 전환/ 검은 영역에서 하얀 영역으로 전환)를 이용하였다. 이러한 특징을 바탕으로 텅스텐 와이어의 에지 검출을 하게 된다. 기본적으로 대부분의 에지 검출 기법은 편미분 연산자 계산에 근거한다. 영상 내에서 어떤 점에서의 1 차 미분은 그 점에서의 기울기 크기를 나타낸다.^{6,7}

영상 $f(x, y)$ 의 위치 (x, y) 점에서의 기울기는 식(1)과 같은 벡터이다.

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

에지 검출에서 중요한 값은 이 벡터의 크기이며, 이는 일반적으로 간단히 기울기라고 하며, ∇f 로 표시한다. 그 크기는 식(2)로 나타낸다.

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

이 값은 ∇f 의 방향으로 단위 길이당 $f(x, y)$ 의 최대 증가율과 같다. 실제에서는 기울기를 절대 값들로 식(3)과 같이 근사화하여 많이 사용한다.

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y| \quad (3)$$

기울기 벡터의 방향 역시 중요한 양이다. $\alpha(x, y)$ 가 (x, y) 에서의 벡터 ∇f 의 방향각을 나타낸다고 하면, 벡터 해석으로부터 다음의 식을 얻을 수 있다. 여기서 각은 x 축을 기준으로 한다.

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right) \quad (4)$$

본 연구에서는 상기의 방법에 근거하여 원하는 위치에서 에지를 검출할 수 있도록 하였다. 즉, 실제 측정하고자 하는 부분에서만 에지를 검출할 수 있도록 기준 선(line)을 설정하고, 이 라인을 스캔(scan)하여 나타나는 에지만 검출할 수 있도록 하였다. 이러한 방법을 사용한 이유는 영상처리에서의 일반적인 에지 검출은 영상에 나타나 있는 모든 에지를 검출하기 때문에 실제 측정하고자 하는 데이터(검출된 에지의 영상 좌표) 이외의 불필요한 데이터가 더 많아지게 된다.^{8,9} 따라서 라인 스캔을 통해서 측정하고자 부분의 데이터만을 검출, 사용함으로써 측정의 효율성을 크게 하였다.

2.3 보정 알고리즘 개요

미세부품의 영상 측정시 진동에 의한 오차 보상 시스템은 2 대의 CCD 카메라를 사용하였다. 한 대는 측정물인 텅스텐 와이어의 상부에 설치하여 치수를 측정하고, 나머지 한대는 텅스텐 와이어의 전방에 설치하여 진동여부(와이어의 높이 변화에 따른 초점 변화)를 검사하기 위해서 설치하였다.

보정 알고리즘의 기본은 진동에 의한 와이어의 초점(높이) 변화에 따라서 실제 측정값에 어떠한 영향을 미치는가 평가하였다. 와이어가 실시간 검사를 위해서 이송장치 위에서 권선되는 과정에서 진동은 불규칙하게 발생할 수 있으나, 와이어의 초점 변화에 따른 실제 측정값의 관계가 일정한 패턴이나, 형태를 띠고 있다면 이를 통해서 진동에 따른 실제 측정값의 변화를 보정할 수 있을 것이라 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 와이어의 초점 변화에 따른 실제 측정값의 관계를 연구하였으며, 이를 바탕으로 Fig. 5와 같은 과정을 통해서 진동에 따른 영상 변화의 영향을 평가, 보정하였다. 치수 측정용 카메라에서는 와이어의 치수를 실시간으로 측정하며, 전방에 배치된 진동검사용 카메라에서 진동여부를 확인하게 된다. 진동이 발생되지 않았을 경우는 치수검사서 나온 결과가 그대로 사용되고, 만일 진동이 발생된 경우에는 검사된 치수 결과와 진동의 정도를 이용하여 보정 작업을 하게 된다.

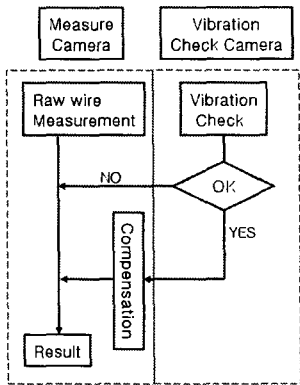


Fig. 5 Diagram of vibration compensation algorithm

2.4 보정 이론

보정 알고리즘의 기본은 앞에서 언급한 바와 같이 와이어의 초점 변화에 따른 실제 측정값의 변화를 파악하는 것이다. 연구결과 초점 변화와 측정값 사이에는 선형적으로 변하는 것을 알 수 있었으며, 이를 좀더 근사화 하기 위해서 보정식을 1 차원 곡선 적합(curve fitting)인 최소 자승법(least square method)으로 구하였다.

측정값에 대한 1 차원 곡선 적합은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y = a_0 + a_1x + e \quad (5)$$

여기서 a_0 는 절편, a_1 은 기울기, e 는 측정값과 적합 시킨 값의 오차라 한다. a_0 과 a_1 의 값을 결정하기 위해 각각의 계수에 대하여 편미분을 취하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2 \sum (y_i - a_0 - a_1x_i) \quad (6)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2 \sum [(y_i - a_0 - a_1x_i)x_i] \quad (7)$$

이런 도함수가 0 이라는 사실은 S_r 을 최소화 한다는 의미가 있다. 그러면 식은 다음과 같이 표현된다.

$$0 = \sum y_i - \sum a_0 - \sum a_1x_i \quad (8)$$

$$0 = \sum y_ix_i - \sum a_0x_i - \sum a_1x_i^2 \quad (9)$$

$\sum a_0 = na_0$ 이므로 식은 a_0, a_1 에 대한 2 원 1 차 방정식으로 주어진다.

$$na_0 + \sum x_ia_1 = \sum y_i \quad (10)$$

$$\sum x_ia_0 + \sum x_i^2a_1 = \sum x_iy_i \quad (11)$$

이것을 정규 방정식(normal equation)이라 부른다. 이 방정식을 풀면 다음과 같이 된다.

$$a_1 = \frac{n \sum x_iy_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (12)$$

이 결과를 식(10)에 대입하면

$$a_0 = \bar{y} - a_1\bar{x} \quad (13)$$

을 얻는다. 여기서 \bar{x} 과 \bar{y} 는 각기 x 의 평균 과 y 의 평균이다.

3. 검사 장비

3.1 시스템 구성

Fig. 6 은 본 연구에서 개발된 시스템의 개략도를 보여주고 있다. 와이어는 드럼에 권선된 상태로 검사 장비에 장착하게 된다. 따라서 본 검사 시스템에서는 LM 가이드(guide) 위에 와이어를 감는 장치와 이송 장치를 구성하여 일정 길이를 감아 측정을 하고 다시 미측정 부분을 감아 측정을 반복하는 구조를 가지고 있다.

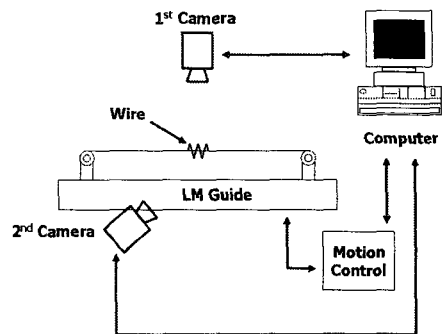


Fig. 6 Schematic view of measurement system

Fig. 6 에서 카메라 1(1ST Camera)은 초기코일의 치수 검사를 위한 고해상도의 카메라이며, 카메라 2(2nd Camera)는 진동보상을 위한 카메라로 와이어의 전방(수평방향)에 위치하게 된다. 전방에 설치된 카메라는 초기코일의 상·하 움직임을 감지하고, 여기서 나온 데이터를 이용하여 진동에 대한 영향을 보정한 결과 값을 얻게 된다.

치수검사용 카메라는 Kodak Megaplug CCD, Model ES 1.0TM 으로 1,016(H)× 1,020(V) 화소(pixel)를 가지고 있으며 전자셔터를 사용하면 초당 15 프레임을 촬영할 수 있는 실시간 디지털 화상능력을 보유하고 있다. 진동검사용 DVT SmartImage Sensor 는 640(H)× 480(V) 화소를 가지고 있다.

3.2 조명 및 이송장치

영상측정에 있어서 최상의 이미지를 얻기 위해 관심영역은 뚜렷이 나타내고 그렇지 않은 영역은 약한 배경으로 비추어 탁월한 대비(contrast)를 이루게 하여야 한다. 조명은 관심영역, 작업거리, 영상적용의 난이성을 고려해 선택되어야 한다. 본 연구에서는 고출력 단파장 스트로브를 이용한 산란형 배경조명장치(diffused back lighting, Model IDRA-6)를 이용, 외관검사를 위해서 후방 조사방식으로 설치하였다. 이 조명기법은 CCD 센서에 짧은 시간 동안 고출력 스트로브 라이트(strobe light)를 노출함으로써 와이어의 영상을 획득하는데 도움이 된다.

이송장치는 조명시스템과 카메라에 의한 영상을 얻기 전까지의 과정을 담당하는 것으로, 측정 부품의 자동정렬 및 공급이 무엇보다도 중요하다. 이송장치의 결정은 제품에 대한 특성 및 검사방법을 결정한 후 충분한 검토를 통해서 이루어져야 한다. 초기코일의 검사는 권선된 상태의 코일을 검사하게 된다. 이러한 특징을 고려 양쪽에 드럼을 설치할 수 있게 만들고 한쪽에 권선된 코일 드럼을 설치, 다른 쪽에 빈 드럼을 놓고 모터를 이용하여 권선된 코일을 일정한 장력으로 되감게 된다. Fig. 7 은 시스템의 전체 형상이다.

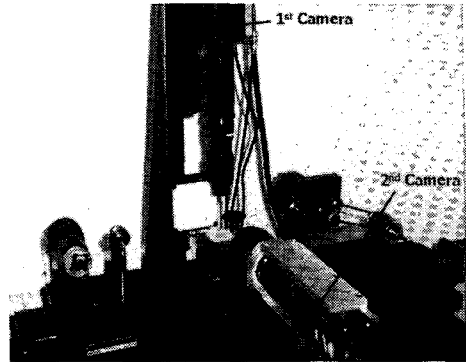


Fig. 7 Photographic view of measurement system

4. 실험 결과

4.1 진동에 따른 측정값의 변화 결과

진동에 대한 보정을 실시하기 전에 앞에서 언급한 바와 같이 높이 변화에 따른 측정값의 변화를 실험하였다. Fig. 8 과 Fig. 9 는 초점을 일치시킨 상태에서 외경과 피치의 측정결과를 나타낸 것이다. 실험의 정확성을 위해서 측정기의 구동을 정지시켜, 동일한 높이에서 50 번 반복 측정한 것이다. 측정을 통해서 나온 데이터의 범위가 매우 작지만 측정물이 와이어의 형태로 진동에 의한 높이 변화폭이 클 것으로 예상된다. 따라서 와이어의 높이를 10 단계로 인위적으로 변화시켜 각 위치에서의 평균값을 이용하여 진동에 따른 측정결과와의 관계식을 구하였다.

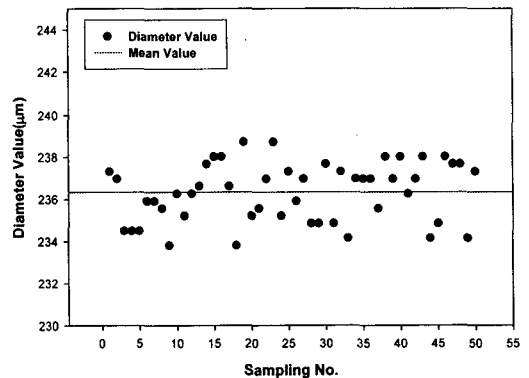


Fig. 8 Diameter value by real time measurement

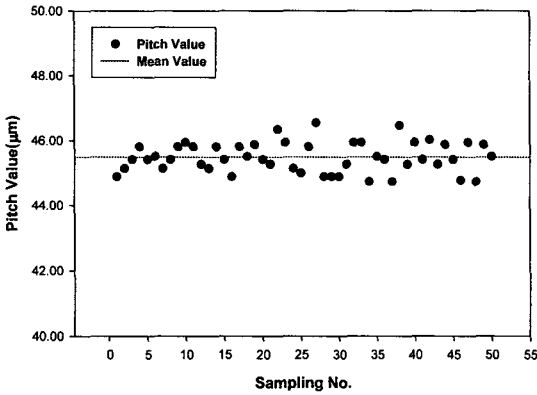


Fig. 9 Pitch value by real time measurement

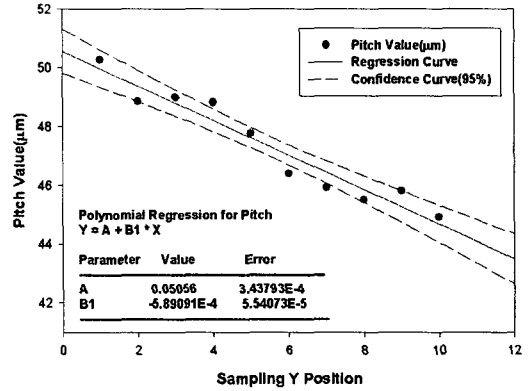


Fig. 11 Relationship between pitch and working distance due to vibration

Fig. 10 과 Fig. 11 은 외경과 피치에 대해서 높이 변화에 따른 측정값을 나타낸 것으로 이를 1차식으로 근사화한 것이다. 이렇게 근사화 된 식을 바탕으로 매 측정 때마다 전방에 설치된 카메라(2nd Camera)는 높이 변화를 체크하고, 상방에 설치된 카메라(1st Camera)는 치수 측정을 하게 된다. 따라서 동시에 치수(직경과 피치)와 높이가 측정되어 높이에 따른 치수 측정결과를 보정하게 된다.

4.2 진동 보정 후 결과

본 연구에서 개발한 진동에 의한 측정 대상물의 오차를 보상할 수 있는 시스템을 이용하여 실제 측정을 수행하였다. 측정은 와이어의 외경 및 피치가 균일하지 않을 가능성이 있기 때문에 권선을 하지 않고 정지시킨 상태에서 같은 곳을 반복해서 실시하였다. Fig. 12 와 13은 각각 외경 및 피치에 대한 결과를 나타내고 있다.

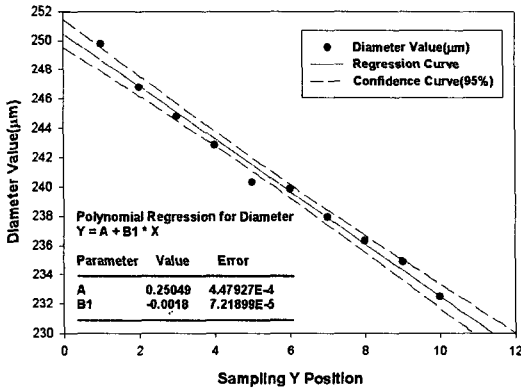


Fig. 10 Relationship between diameter and working distance due to vibration

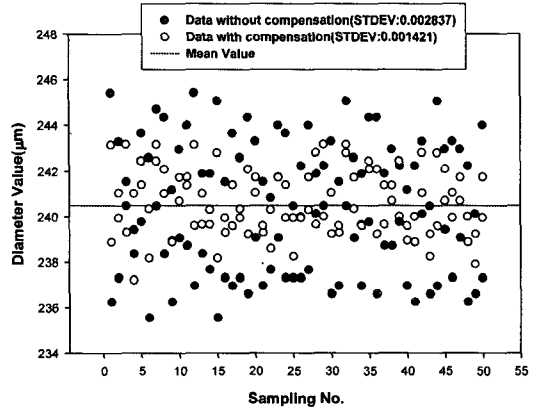


Fig. 12 Data without compensation vs. Data with compensation for diameter

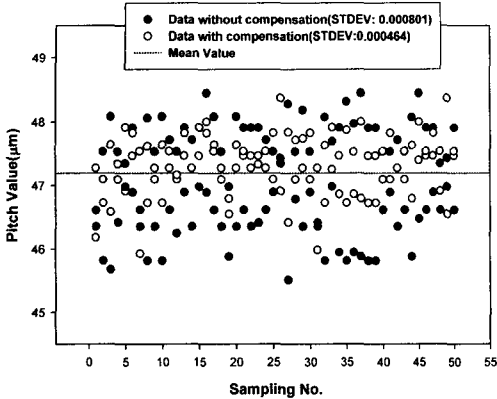


Fig. 13 Data without compensation vs. Data with compensation for pitch

그림에서와 같이 보상된 데이터가 보상하지 않은 데이터에 비해 평균값을 기준으로 분포가 적게 나타났다. 표준편차를 비교하면 보상된 데이터가 보상되지 않은 데이터와 비교해 약 50%가 개선되었다. 따라서 진동에 의한 영향을 식으로 정량화 할 수 있다면 실측데이터를 보상하여 보다 정확한 측정결과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 본 연구에서 개발한 시스템과 같이 실시간으로 데이터가 보상되면 실제 생산에 적용이 가능하여 효율성을 증대시킬 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 영상처리를 이용한 미세 부품의 측정 장비에 대한 학문적 기초를 확립하였고, 이를 기반으로 진동에 대한 영향을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 영상처리를 이용한 미세 부품의 측정에 있어서 진동은 심각한 측정 오차를 수반할 수 있다.
2. 와이어의 높이 변화(상·하 진동)와 그때 측정된 와이어의 측정 결과(지름, 피치)는 선형적인 관계가 있다.
3. 진동에 의한 영향을 실시간으로 보상할 수 있는 시스템을 개발하여 측정한 결과, 데이터의 표준편차가 약 50% 감소하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 초미세 광·열유체 마이크로부품 기술개발 사업의 세부과제로서 수행한 것이며 이에 관계자 여러분께 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌

1. Jain, R., Schunck, B. G., "Machine Vision," McGraw-Hill, 1992.
2. Baxes, A. G., "Digital Image Processing," John Wiley & Sons, pp. 13-15, 1994.
3. Jarvis, R. A., "Focus Optimization Criteria for Computer Image Processing," Microscope, Vol. 24, No. 2, pp. 163-180, 1976.
4. Krotkov, E., "Focusing," Int. J. of Comput. Vision, Vol. 1, pp. 223-237, 1987.
5. Bergholm, F., "Edge Focusing," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-9, No. 6, pp. 726-741, 1990.
6. Kim, J. Y., Oh, B. S., You, S., "The Development of Visual Inspection for Length Measurement of Injection Product Using Vision System," J. of KSPE, Vol. 14, No. 11, pp. 126-134, 1997.
7. Kim, Y. I., "Development for Automatic Thickness Measurement System by Digital Image Processing," J. of KSPE, Vol. 12, No. 6, pp. 72-79, 1995.
8. Pahk, H. J., Hwang, Y. M., "Dimensional Measurement Using the Machine Vision," J. of KSPE Vol. 18, No. 3, pp. 10-17, 2001.
9. Media Cybernetics, "Optimas : Technical Reference Manual," Media Cybernetics, pp. 344-345, 1999.