

## 광학적 기법을 이용한 회전체 인프로세스 측정에 관한 연구

소의열\*, 임영호\*\*, 유봉환\*\*

### A Study on the In-Process Measurement of Rotary Body by Optical Technique

Eui-Yeori So\*, Young-Ho Im\*\*, Bong-Hwan Ryu\*\*

#### ABSTRACT

Automatic product system is gradually increasing according to development of industrial society. On-line measurement makes a important role in view of economic and effective side in industrial product system. Synchronization system is developed to measure screw thread which is rotating. In-process measuring of rotating body have a lot of difficulties even though using various method containing high speed camera. So, now we suggest one of the new method which is not so expansive. In this study, digital value was produced through the image processing algorithm from acquired original image. As a result, we have a good agreement between measuring values calculated from image contour and measuring values acquired from profile project by means of experiment, respectively.

**Key Words** : Image Processing(영상처리), Synchronization Module(동기화 모듈), Beam Chopper(빔 초퍼), Gaussian Beam Optics(가우스 광학)

#### 1. 서 론

최근 급진적인 공작 기계의 개발과 발전으로 인해 고도의 정밀성을 갖는 고품질의 제품 가공이 요구되고 있을뿐 아니라, 생산자동화의 요구도 날이 증가하여, 무인화 제조 공정이 궁극적인 목표로 대두되고 있다<sup>(1,2)</sup>. 특히 공장 자동화와 같이 무인화 시스템의 경우에 있어서 어떠한 부품을 가공하는 일만큼 가공된 부품의 자동계측 또한 중

요한 일이라 하겠다. 이러한 경우에 가공된 부품의 형상 오차를 온라인으로 측정하기에는 많은 어려움이 따른다. 실제로 머신닝 센터와 같은 공작기계에서 가공한 공작물을 측정하기 위해서는 작업을 중단하고 측정한다든지, 혹은 작업중에 발생할수있는 여러가지 예측할 수 없는 상황에 의해 공작물에 손상을 가하는 일이 발생한다면, 이는 경제적인 측면에서 생각해 볼때 매우 비효율적인 일이라 할 수 있다. 그래서 이와 같이 공작물의 가공을 행하고 있

\* 충청전문대 기계설계과  
\*\* 숭실대 기계공학과

는 경우에 공작기계의 가동을 멈추지 않고 측정할 수 있는 방법은 광학적 기법을 이용한 비접촉식 측정방법을 예로 들 수 있다<sup>(3,4)</sup>

따라서 본 연구에서는 High-Speed 카메라와 같은 고가의 장비를 이용하지 않고서도 회전하고있는 물체를 한 프레임의 영상으로 얻어 영상처리기법을 이용하여 형상을 측정하는데 있다. 회전하는 공작물로부터 얻고자하는 동영상은 스트로보스코프의 원리를 이용하여 두물체의 회전수를 정비례하게 함으로서 보다 나은 선명한 상을 얻을 수 있는데, 본 논문에서는 발광, 수광소자를 사용한 투과형 포토인터럽터를 이용하여 피측정물인 나사의 회전수를 측정 한 후 같은 회전수가 되기위해 초퍼의 회전수를 MCU(micro controller unit)에서 제어하여 피측정물의 회전수와 초퍼의 회전수를 동기시키는 측정원리를 이용하였다. He-Ne레이저에서 나오는 레이저 광을 평행광으로 만들어 공간필터를 통과시킨후, 나이프에지에 의해 빛의 일부를 차단함으로 회절현상에 따른 중첩현상을 감소시키고, 모터에 지그를 이용하여 나사를 장착 회전시키고, 또 제작된 엔코더를 이용함으로써, 초퍼의 회전수가 나사를 장착한 모터의 회전수를 추종케하는 방법으로 회전속도를 제어하여 초퍼와 나사의 회전수가 동기될때 마이크로스코우프를 통해 CCD카메라에 상이 맺칠수 있는 측정장치를 구성하였다. 따라서 본 연구의 궁극적인 목표는 회전하는 공작물로부터의 동영상 획득을 위한 측정장치 개발과 측정 알고리즘의 정립에 있다.

## 2. 관련 이론

### 2.1 가우스 광학(Gaussian beam optics)<sup>(5,6)</sup>

대부분의 레이저 응용의 경우 렌즈나 다른 광학 소자를 이용하여 레이저 빔의 모양을 바꾸거나 변형 할 필요가 있다. 간섭성 가우스 빔은 레이저 광학에 있어서 기하 광학적 특성과 변환 특성을 규명하고 응용하는데 있어서 특히 유용하다. 레이저 가우스 광학에서는 빛을 Huygens의 원리 및 빛의 회절특성에의해 회절 대칭의 구면파로 가정하고 레이저로부터 방출되는 파면은 완전한 평면이며 레이저 빔의 횡단면의 광강도는 가우스 분포를 하는 것으로 알려져 있다. 레이저 빔의 전파 특성을 알기 위해서 빔 직경을 다음과 같이 정의한다. 레이저는 근본적으로 전자기파의 일종이므로 레이저의 전파 방향의 광축에 대해 횡단면의 전자기파 진폭이 광축상의 진폭의  $1/e$ 이 되는 위치를 빔 직경 (beam diameter)으로 정의한다. 이

위치에서의 광강도는 광축에서의 광 강도의  $1/e^2$ (13.5%)로 떨어지게 된다. Fig. 1에 광강도 분포와 빔직경의 정의 방법을 나타내었다.

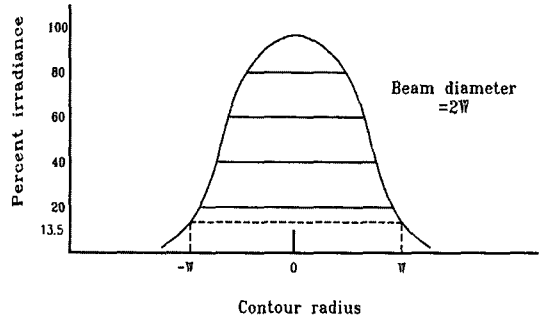


Fig. 1 Gaussian irradiance profile and beam diameter

빛이 전파하는 동안에는 빛의 퍼짐으로 설명되는 회절 현상이 동반하게 되어 완전한 평행광(parallel beam or collimated beam)을 만들기는 근본적으로 불가능하다. 레이저 빔의 퍼짐은 회절 이론에 의해 그 전파 양상을 완전하게 설명할 수 있다.

파장  $\lambda$ 인 가우스 빔이 특정 위치에서 완전한 평면 파면을 이루어 파면 반경  $R$ 이 이상적으로 무한대이고 이때의 빔 반경을  $w_0$ 라 할 때, 거리  $z$ 를 전파한 후의 레이저 빔의 파면 반경은 식(1)과 같으며,

$$R(z) = z \left[ 1 + \left( \frac{\pi w_0^2}{\lambda z} \right)^2 \right] \quad (1)$$

빔 반경은 식(2)와 같다.

$$w(z) = w_0 \left[ 1 + \left( \frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

이때의 레이저 빔의 강도 분포는 빔의 동경 거리를  $r$ 이라 할 때 (3)식

$$I(r) = I_0 e^{-\frac{2r^2}{w^2}} = \frac{2P}{\pi w^2} e^{-\frac{2r^2}{w^2}} \quad (3)$$

으로 표시되는데, 여기서  $I_0$ 는 빔 중심에서의 강도이고,  $P$ 는 빔의 전체 강도이다. 따라서 레이저 광을 스크린에 비추고 분해능이 좋은 수광소자를 직경 방향을 따라 움직이거나 CCD 카메라를 이용하여 직접 사진을 찍으면 Fig. 1과 같이 한 가운데가 가장 강하고, 직경 방향을 따라 약해지는 광 강도 분포를 가지는 가우스 분포(Gaussian distribution)를 얻는다. 또한 한번 가우스 분포로 된 레이저 빔은 특별한 모드 변환을 하지 않는 한 계속 가우스 분포를 유지하게 되는 특성을 가지고 있다. 레이저 빔을 렌즈를 이용하여 한 점에 모으면 Fig. 2와 같이 초점 위치가 잘록한 빔 형상이 되어 이 부분을 빔 웨이스트 (beam waist)라고 정의하고 그 반경은 식(2)에서  $z=0$  일 때  $w=w_0$ 에 해당한다. 이 빔 형상과 직교하는 곡면이 파면에 해당하며 빔 웨이스트에서만이 파면이 평면으로 되어 있고 그 이외에서는 구면으로 되어 있다.

쌍곡선 상의 빔의 점근선이 만드는 각  $2\theta$ 를 퍼짐각 또는 퍼짐 전각이라고 하며 레이저의 전파 거리가 대단히 큰 경우 식(2)에서

$$w(z) \cong \frac{\lambda z}{\pi w_0} \quad (4)$$

가되어 퍼짐 반각  $\theta$ 와 빔 웨이스트에서의 빔 반경  $w_0$  및 파장  $\lambda$ 사이에는 식(5)

$$\theta = \frac{w(z)}{z} = \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad (5)$$

의 관계가 있다. 빔 웨이스트를 작게 하기 위해서는 가능한 한 퍼짐 반각  $\theta$ 을 크게 하면 되고 빔의 퍼짐을 작게 하기 위해서는 가능한 한 빔 웨이스트  $w_0$ 을 크게 한다.

파장  $\lambda=632.8\text{nm}$ 의 He-Ne레이저(적등색)의 경우 식(6)과 같이

$$\theta \cong \frac{0.2}{w_0} (\text{mrad}) \quad (6)$$

된다. Fig. 3에서와 같이 일반적으로 렌즈의 초점거리를  $f$ 라하고, 입사빔의 반지름 (spot size)을  $w$ 라 하면

$$w = f\theta \quad (7)$$

이므로

$$\pi w_0 w = f\lambda \quad (8)$$

의 관계가 성립되어 입사빔의 직경과 파장이 주어지면 광학계의 렌즈 선택시 어떠한 초점거리의 렌즈를 선택할지 알 수 있다.

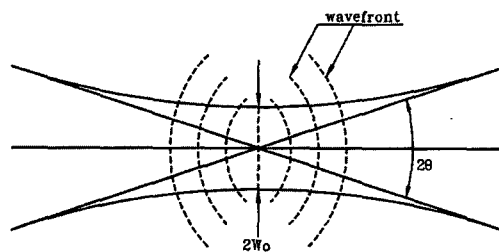


Fig. 2 Beam waist and divergence

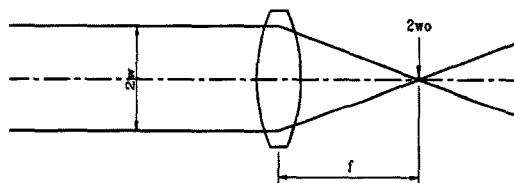


Fig. 3 The relation of laser beam and lens

## 2.2 영상처리 알고리즘

### (1) 히스토그램 평활화(histogram equalization)

영상을 CCD 카메라로부터 표본화(sampling)하고 영상 보드(image board)에서 정량화(quantization)하면 각 화소에 대한 명암도 값으로 나타내게 된다. 이러한 명암도의 빈도수(frequency)를 나타낸 그림을 히스토그램이라 한다. 또한 영상을 강조하기 위한 기법의 형태로는 단순한 확대·축소의 기법에서 더욱 진보된 히스토그램 균일화와 히스토그램 특정 분포화(histogram specification)까지 그 범위를 지을 수가 있는데, 명암도(brightness)의 확대·축소는 영상의 명암도와 명암차(contrast)를 증가시키고 더불어 영상에서 최대, 최소의 명암도를 찾아서 선형적으로 확대·축소함으로써 동적 범위의 영상 시스템 사용을 가능하게 한다. 이런 기법을 보통 오토 스텔링(autoscaling)이라 한다. 히스토그램 균일화

는 영상의 명암도와 명암차(contrast)를 증가시키기 위하여 화소의 명암도를 균일하게 재분배하는 기법이며, 히스토그램의 특정 분포화는 원영상의 히스토그램을 새롭게 분포시킨 히스토그램으로 수정함으로써 밝은 영상은 어둡게, 어두운 영상은 밝게 해주는 기법이다. 이상과 같이 설명한 명암도 확대·축소 작업과 히스토그램 기법은 영상의 전체에 걸쳐서 적용하던가 혹은 국소적으로 각 화소에 적용한다.

본 연구에서 적용한 영상 처리 기법에 하나인 히스토그램 균일화에 대한 이론적 배경은 다음과 같다. 히스토그램의 피크(peak) 부분이 어느 한 쪽에 집중적으로 분포할 경우에는 영상이 너무 어둡거나 밝아서 식별이 어렵게 된다. 이런 경우 빈도수가 전체적으로 고르게 분포하도록 해서 보다 선명한 영상을 얻게 할 수 있는데, 이것을 히스토그램 균일화라 하며, 다음과 같이 설명할 수 있다.

명암도  $r$ 의 범위를 0에서 1까지 2개조(binary)로 정하면  $r=0$ 일 때 검정색 화소가 되고,  $r=1$ 일 때 백색 화소가 된다. 이 명암도  $r$ 에 대한 변환 함수를  $T$ 라 하면 변환된 명암도  $S$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$S = T(r) \tag{9}$$

(9)식에서 명암도 변환은 다음 조건을 만족하여야 한다.

- (i)  $0 \leq r \leq 1$ 에 대하여  $T(r)$ 은 단일하고 단조 증가한다.
- (ii)  $0 \leq r \leq 1$ 에 대하여  $0 \leq T(r) \leq 1$ 이다.

이와 같은 변환의 역변환도 성립되며 위와 같은 조건을 만족한다.

확률 이론으로부터  $P_r(r)$ 과  $T(r)$ 을 알고  $T^{-1}(s)$ 가 위의 조건 (i)을 만족한다면 변환된 그레이 레벨(gray level)의 확률 밀도 함수(probability density function)  $P_s(s)$ 는 식 (10)와 같다.

$$P_s(s) = [P_r(r) \frac{dr}{ds}]_r = T^{-1}(s) \tag{10}$$

또한, 확률 밀도 함수의 누적 도수 함수는 다음과 같다.

$$\int_0^r P_r(w)dw = f(r) \tag{11}$$

식(11)은 위의 (i)(ii)조건을 만족하기 때문에 변환 함수로 사용할 수가 있다. 그러나 명암도는 이산치(dis-

crete)이므로  $r_k (k=0,1,2, \dots)$ 라 하면 확률 밀도 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_k(r_k) = \frac{n_k}{n}, \quad 0 \leq r_k \leq 1 \tag{12}$$

식 (12)의 도수 누적은 다음과 같다.

$$S_k(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}$$

식 (11)에 대한 이산화 형태는 다음과 같고

$$S_k(r_k) = T(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k P_r(r_j) \tag{13}$$

식 (13)를 히스토그램 균일화에 적용할 수 있다.

(2) 라플라시안 오퍼레이터(Laplacian Operator)<sup>(7,8)</sup>

영상으로부터 어떤 특정한 정보를 얻기 위하여 에지를 검출해 낼 필요가 있다. 이러한 처리를 에지 검출이라 하는데, 이런 에지 검출 방법의 하나로 라플라시안이 있다.

2차원  $f(x,y)$ 의 라플라시안은 다음과 같이 2차 도함수로 정의된다.

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \tag{14}$$

식 (14)을 디지털 형태로 나타내면

$$\nabla^2 f = 4z_5 - (z_2 + z_4 + z_6 + z_8) \tag{15}$$

이 된다. 여기서  $z$ 는 명암도를 나타낸다.

식 (15)에서 보는 바와 같이 라플라시안은 계수가 양수인 중심 화소의 계수가 음수인 바깥쪽 화소들과 서로 관련시키는 것이다. 이와 같은 과정에 의해 화소가 에지의 어두운 곳에 있는지, 밝은 쪽에 있는지를 검출하는 2차적인 역할을 하게 된다.

라플라시안의 좀더 일반적인 사용은 제로 크로스링(zero-

crossing)특성을 사용한 에지의 위치를 찾아내는데 있다. 이 개념은 2차원 가우스(Gauss)함수의 라플라시안으로 영상을 컨볼루션(convolution)하는 데 기초를 두며, 가우시안함수  $h(x,y)$ 는 다음 식(16)과 같다.

$$h(x,y) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (16)$$

여기서,  $\sigma$ 는 표준 편차이다.  $r^2 = x^2 + y^2$ 이라 놓고 위의 식(16)을  $h$ 에 대하여 라플라시안하면 식(17)와 같다.

$$\nabla^2 h = \left(\frac{r^2 - \sigma^2}{\sigma^4}\right) \exp\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (17)$$

라플라시안 영상은 식(16)과 주어진 영상을 컨볼루션(convolution)하여 얻을 수가 있다. 결과적으로 이웃하는 화소에서의 컨볼루션 값이 서로 부호가 다르면 영점을 통과하는 것으로 간주하여 에지를 인식하게 하는 것이다.

### 2.3 공간 필터링(Spatial filtering)<sup>(9,10)</sup>

광학 소자의 표면에 있는 오염 물질에 의해 산란된 레이저 빛은 상면(image plane)에서 직접적인 레이저 빛과 상관하여 간섭 무늬를 형성할 수 있다. 이러한 원하지 않는 간섭 무늬들은 정밀 측정이나 이미지 프로세싱에 있어서 광학적 정보를 추출 할 때 원래의 정보를 심각하게 교란시키는 노이즈(noise)로 작용하게 된다.

공간 필터링(spatial filtering)은 이상적인 가우스 분포를 가지는 레이저 빔을 유지하는 가장 간단한 방법이다. 정상적인 레이저 빛과 서로 다른 경로를 전파하여 온산란 빛은 광학계의 초평면(focal plane)의 서로 다른 위치에 상을 형성하게 된다. 따라서 정상 레이저 빛의 초점에 매우 작은 개구(aperture or pinhole)를 설치함으로써 레이저 빛이 이 개구를 통과하여 전파할 때 산란된 빛은 차단할 수 있다. 이때 개구를 통과한 레이저 빛은 이상에 가까운 원뿔 모양의 깨끗한 빔이 되어 다른 광학 소자를 이용하여 평행광을 만들거나 다시 집적(focusing)하여 이용한다.

정렬(alignment)과 완전한 공간 필터링을 보장하기 위하여 개구의 직경을 초점에서의 빔 웨이스트의 2배가되게 하는 것이 광강도의 손실을 막고 노이즈를 제거하는데 적당하다.

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 실험장치 설계

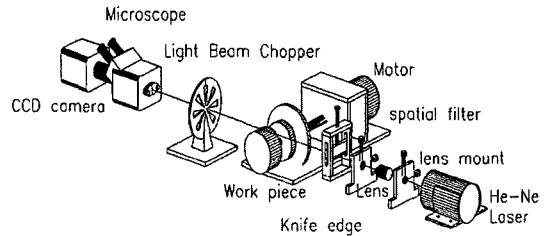


Fig. 4 Schematic diagram of optics for dynamic image

본 연구에서는 광학적 비접촉식 형상 측정을 위해 영상 처리기법을 이용한 방법으로서, 광학테이블상에 설계 제작한 고배율의 광학계를 구성하여 기존의 영상처리 알고리즘을 적용시켜서 회전하는 물체의 형상을 측정하는데 그 목적을 두며, 아울러 동적상태에서 회전하는 나사의 형상을 정지화된 영상으로 얻기 위해 빔 초퍼(beam chopper)를 이용한 영상획득 시스템을 구성하였다. 따라서 회전하고 있는 나사의 형상을 측정하기 위하여 스트로보스코프(stroboscope)의 원리를 이용하였다.

장착된 시험편을 회전시키는 마스터모터(master motor)와 꼭 같은 회전수로 회전하도록 슬라브 모터(slave motor)를 동기시키고, 30mW의 He-Ne 레이저를 광원으로 사용하였으며, He-Ne 레이저에서 주사된 빔(beam)은 40배의 렌즈(lens)를 통과시켜 빔을 확장(expand)시켰다.

양질의 광을 얻기 위하여 공간필터(spatial filter)를 통과 시키고, 이 확장된 빔은 공간 필터를 통과한 다음 다시 40배의 배율 렌즈를 통과시킴으로 균일하게 확장된 빔이 나사표면에 주사되도록 하였다. 또한 광원으로 주사시킨 빔이 시험편에 비취질 때 회절 현상에 의해 빛의 중첩이 발생하게 되므로, 이러한 현상을 감소시키기 위해 나이프에지<sup>10)</sup>를 사용한 지그(jig)를 정밀하게 설계 제작하였다. 그리고 시험편을 가운데 두고 CCD 카메라로 주사한 레이저를 반대편에 설치하여 시험편의 음영이 형성 되도록 하였다. 본 실험을 위하여 제작한 동영상 획득 장치의 구성은 Fig. 4와 같다.

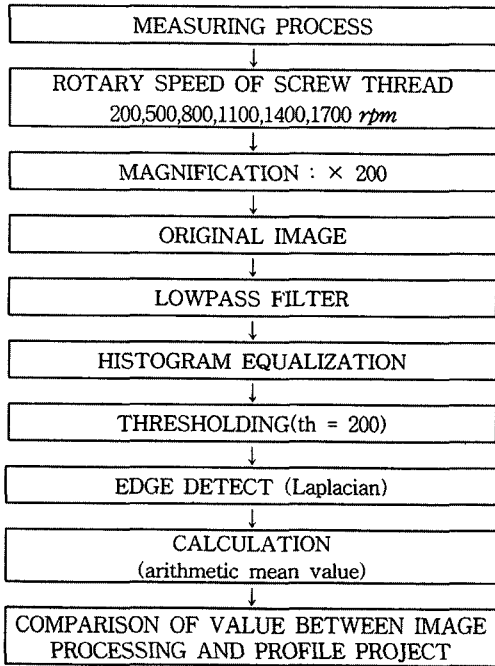


Fig. 5 Image processing of screw thread

### 3.2 실험 방법

본 연구에서의 실험방법은 영상처리 알고리즘<sup>2)</sup>을 적용하여 획득된 영상을 처리하고 계산하였다. 또한 이와 같은 실험에서 얻어진 결과 값과 나사산의 형상을 형상투영기로 측정된 값과 비교하였다.

본 실험을 위해 설계제한된 동기화 시스템을 이용하여 나사를 장착한 모터의 회전수를 각각 200, 500, 800, 1100, 1400, 1700rpm으로 변화시켜 배율 200배의 영상을 획득하였다. 이와 같이 얻어진 영상을 Fig. 5와 같은 방법으로 처리하였다.

### 4. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 회전체를 멈추지 않고 바로 측정할 수 있는 알고리즘을 제안하고, 스트로보스코프의 원리를 이용하여 공작기계의 rpm을 추적하는 초퍼를 측정물의 회전수와 동기시켜 정지화 된 상을 얻을 수 있는 계측장치 개발과 이미지프로세싱을 통하여 영상정보를 정량적인 값으로 얻는 알고리즘을 제안 하였다.

#### (1) 동기화 모듈(synchronizing module)

마스터 모터(master motor)와 슬래브 모터(slave motor)의 속도 동기화를 위한 시스템 구성도는 Fig. 6과 같다.

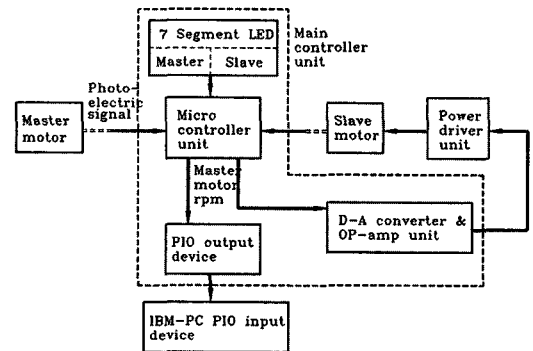


Fig. 6 System schematic diagram of synchronization

Fig. 6의 시스템에서 주요 구성 부분으로는 마스터 모터 및 슬래브 모터이고 두 모터의 속도 동기화의 계산에 이용되는 MCU와 계산된 디지털량을 아날로그량으로 변화시켜 주고 증폭시켜 주는 D/A 변환기, OP-amp unit 그리고 슬래브 모터를 구동시킬 수 있는 신호로 증폭시켜 주는 동력 구동 장치 (power driver unit) 등으로 구성된다.

한편, 마스터 모터와 슬래브 모터의 속도 동기화 과정을 설명하면 다음과 같다. 먼저 마스터 모터의 속도 설정 및 슬래브 모터의 추종 기준 속도는 MCU의 외부 인터럽터로 입력되며, 포토인터럽터를 통하여 속도가 설정된다. 이 경우 외부 인터럽터는 내부 타이머와 연관되어 외부 인터럽터의 간격이 타이머로 측정된다. 이때 시간은 1분당 회전수를 기준으로 식 (18)을 이용하여 환산된다. 식 (18)을 이용하여 마스터 모터와 슬래브 모터의 속도가 동시에 측정된다.

$$A = 60 / T \quad (18)$$

여기서, A: rpm, T: time/pulse이다. 설정된 속도는 7 세그먼트 LED를 통하여 숫자로 표시되며, 슬래브 모터의 추종 상태를 확인할 수 있다. 본 연구의 경우 마스터 모터의 설정 속도는 300 ~ 2000 rpm으로 선정하였으며, 슬래브

모터는 약 800rpm에서 추종을 시작하도록 하였다. 예를 들면 마스터 모터의 설정 속도가 1200rpm일 경우 슬래브 모터는 800 rpm을 기준으로 MCU가 마스터 모터의 속도와 비교하고 제어 신호를 D/A 변환기로 보내면 디지털량은 아날로그량으로 변환된다. 이 신호는 OP-amp를 거쳐서 전류 신호가 전압 신호로 변환 증폭되고, 동력 구동 장치의 전력용 트랜지스터로 보내지게 되며, 최종적으로 슬래브 모터의 구동원으로 동작되어 속도를 마스터 모터에 가까워지도록 추종하게 된다. 이러한 과정이 짧은 시간 동안에 수시로 반복되어 최종적으로 마스터 모터의 속도와 슬래브 모터의 속도는 같아지게 되어 동기하게 된다.

(2) 회전체의 나사산 높이 측정

회전하고 있는 나사의 형상을 측정하기 위해 제작한 시스템으로부터 얻고자하는 동영상(가공물이 회전하는 상태의 영상)은 나사를 정지 (rpm이 0인 경우)상태에 있을 때와 200, 500, 800, 1100, 1400, 1700rpm로 회전시켰을 때의 7단계의 변화를 주어 회전하는 나사를 정지화 시킨 상으로 획득할 수가 있었다. 이와 같이 획득된 영상은 Fig. 7와 같으며 영상처리기법을 이용하여 처리하였다. 그 처리 과정은 노이즈 제거를 위해 저역통과필터 (lowpass filter)를 사용하였으며 히스토그램 평활화 (histogram equalization)으로 강도값을 극대화하였고, 쓰레숄딩과 Laplacian처리를 실시함으로써 나사산의 윤곽선을 추출할 수 있었다. 각 처리 과정의 영상은 Fig. 8와 같다. 이 영상은 7단계의 회전수 중에서 800rpm으로 회전하는 나사를 동기 시켜 잡은 영상이다.

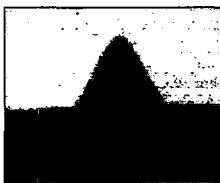


Fig. 7 Acquired image (800 rpm)

또한 Fig. 9에서 보는 바와 같이 ㉔의 영상은 나사를 정지시킨 상태에서 획득한 영상이다. Fig. 9의 영상 ㉔, ㉕, ㉖는 초퍼의 동기 신호 발생 없이 바로 CCD카메라에서 받아들인 영상이며 초퍼로 동기 시킨 영상은 ㉔', ㉕', ㉖'와 같다. 그림에서 각 영상을 관찰해 보면 영상 ㉔, ㉕, ㉖

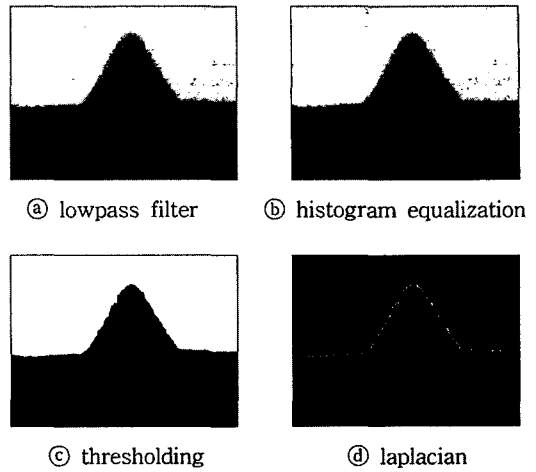
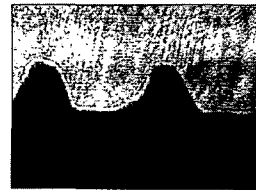


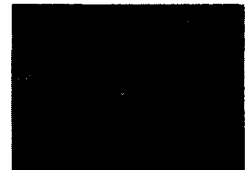
Fig. 8 Processing image of screw thread



㉔ static



㉕ 200 rpm



㉕' 200 rpm



㉖ 500 rpm



㉖' 500 rpm



㉗ 800 rpm



㉗' 800 rpm

Fig. 9 Comparison with normal image and chopper used

의 경우 나사산이 회전하고 있는 순간에 초퍼의 동기 없이 CCD 카메라에서 받아들여진 것인데, 이때의 영상은 흐리고 흐트러진 듯한 나사 모양으로 나타나는데 그 이유는 CCD 카메라의 노출 시간 동안에 영상이 받아 들여질 때 나사산의 잔상이 카메라에 같이 들어오게 되기 때문이다. 그러나 ㉑, ㉒, ㉓ 영상의 경우는 초퍼를 이용하여 동기 시킴으로 정지된 영상이 카메라에 잡히게 되므로, 정지 상태의 영상 ㉔와 비교해 보더라도 나사산의 윤곽이 잘 드러나고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 내용과 방법을 바탕으로 나사산의 높이를 측정하기 위하여 선정한 하나의 나사산에만 초점을 맞추어 각기 다른 회전수로 변화시켜서 받아들인 영상들을 표시하면 Fig. 10과 같다.

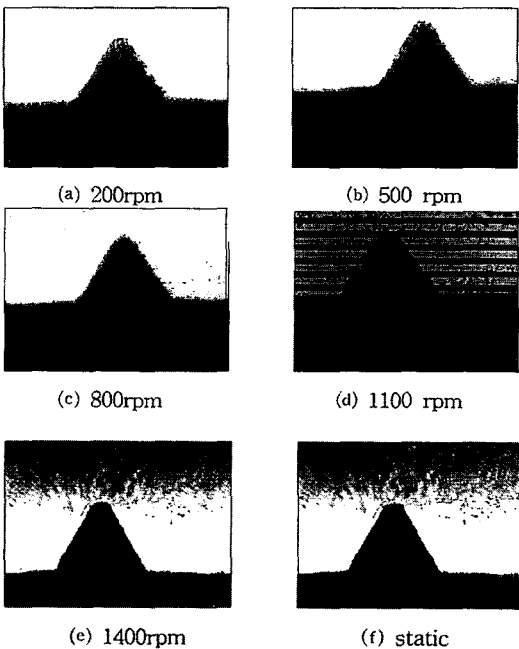


Fig. 10 Comparison image of various rotary speed

Fig. 10의 영상에서 측정된 값은 Table 1에 나타난 환산계수를 적용함으로써 정량적인 값으로 환산할 수 있으며, 형상 투영기에서 측정된 결과를 비교하면 Table 2과 같다.

Table 1 The value of conversion with mm per pixel

axis	x200	
	0.5mm	1 pixel
x Axis	209	0.00239
y Axis	258	0.00194

Table 2 The comparison between image value and measuring device value

rpm	(μpit : mm)						
	0	200	500	800	1100	1400	1700
Image value	0.30353	0.32265	0.31309	0.32382	0.31548	0.31711	0.33938
Profile projector	0.30019	0.30019	0.30019	0.30019	0.30019	0.30019	0.30019

Table 2의 결과를 보면 본 실험에서 활용한 이미지 프로세싱 방법으로 측정된 나사 높이와 투영기로 측정된 나사 높이 값에 있어, 실험을 위하여 선정한 회전수별로 비교 도시하면 Fig. 11과 같다.

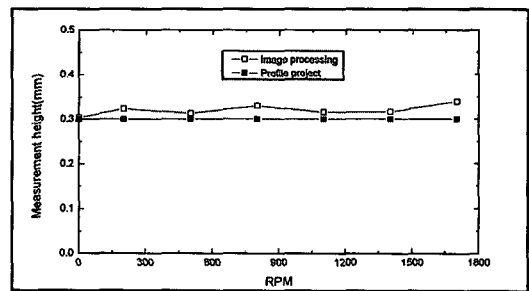


Fig. 11 The comparison between image value and profile project value

그림에서 알 수 있듯이 선정한 회전수(rpm)로 회전시킨 상태에서 영상 처리를 한 결과를 보면 비교적 신뢰성이 높으며 안정됨을 알 수가 있다.

### 5. 결 론

회전 상태의 시편을 측정하기 위하여 스트로보스코프의 원리를 이용하여 마스터 모터와 엔코더방식을 적용함으로써 같은 회전수로 회전하도록 제작된 슬래브 모터를 동



기 시키고, 30mW의 He-Ne 레이저를 주사한 후 공간 필터링하였고, 회절 현상에 따른 중첩 현상을 줄이기 위해 나이프 에지를 제작하여 빛을 절단하였다. 또한 측정하고자 하는 나사를 6단계의 속도로 회전시켜 포토인터럽터에서 회전수를 카운트하여 MCU에서 비교 제어하여 동기시키므로서 동영상을 정영상으로 획득하고 기존에 정영상 과정에서 행했던 저역통과필터, 히스토그램 평활화, 쓰레숄딩과 Laplacian 처리를 하여 나사산의 높이를 구할수 있었고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시편을 회전시키는 마스터모터와 초퍼를 회전시키는 슬레브모터를 동기시키는 알고리즘을 개발하여 동영상을 정영상으로 획득하였다.
2. 본 연구에서 개발한 시스템으로 회전 상태에서 인프로세스 측정이 가능하게 되었으며, 회전하는 물체나 회전공구 등의 관측에 매우 유용하리라 생각된다.
3. 본 시스템은 약간의 채터나 진동 등에 거의 영향을 받지 않고 측정이 가능하다.
4. 시편과 초퍼가 일단 동기되면 회전수 변화에 따른 측정값은 거의 영향을 받지 않는다.

### 참 고 문 헌

1. B.W.Niebel, A.B.Draper and R.A.Wysk, "Modern Manufacturing Process Engineering", 1989.
2. E.P.Degarmo, J.T.Black and R.A.Kohser, "Material and Processes in Manufacturing", 1988.
3. 河野嗣男, "非接觸インプロセス計測と應用", 機械の研究, 44卷 10號, 1990, pp.334~400.
4. 佐藤壽芳, 大堀眞敬, "走査電子顯微鏡(SEM)による表面あらさ測定の研究", 日本機械學會論文集 (C編), 51卷469號, 昭60-9, pp.2381~2388.
5. E.G.Steward, "Fourier Optics", John Wiley & Sons, 1983.
6. S.A.Self, "Focusing of Spherical Gaussian Beams", Appl. Optics, Vol.22, No.5, 1983, pp.655.
7. V.Berzins, "Accuracy of Laplacian Edge Detectors", Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol.27, 1984, pp.195~210.
8. S.R.Guner, "Edge Detection by Compass Gradient Masks", Computer Graphics and Image Processing, Vol.6, 1977, pp.492~501.
9. T.Yamashita and H.Nakashima, "Measuring Longitudinal Displacement using Laser Beam Diffraction Change Near the Focal Point" Rev. sci. Instrum., Vol.64, No.8, August, 1993, pp.2245~2249.
10. D.Wehti and C.R.Carme, "Physical Limitations of Optical Defocusing Techniques", Wear, Vol.109, 1986, pp.287~295.
11. 소의열, "이미지 프로세싱을 이용한 가공면의 표면 거칠기 측정에 관한 연구", 한국정밀공학회 논문집 제11권 5호, 1994
12. 소의열, 사승운, 김주연, 유봉환, "선삭가공에서 이미지프로세싱을 이용한 표면거칠기 측정 개발에 관한 연구", 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 1994
13. Robert J.Schalkoff, "Digital Image Processing and Computer Vision", John Wiley & Sons, Inc., 1989.