論文 한국정밀공학회지 제 11 권 제 5 호 1994. 10
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 11. No 5. October. 1994.

이미지프로세싱을 이용한 가공면의 표면거칠기 측정에 관한 연구

소의열*, 임영호**

A study on the cutting surface roughness measurement by image processing

Eui-Yearl So, Ho-young Im

Abstract

Many of non-contact measuring systems are used to estimate surface characteristics owing to their advantages of high speed and undamaged test. In this paper, a new measuring system is proposed to acquire image from CCD camera through back light illumination. Lowpass filter is very useful in view of noise removal and optimum binary image can be made through histogram equalization which is one of the histogram technique to maximize brightness intensity between workpiece and background. Laplacian operator is used to detect workpiece edge from binary image. In case of image treatment applying Laplacian operator, surface roughness is calculated by introducing conversion coefficient for coordinate of pixel which edge is composed of.

In summary, the work is concerned with the development of a new technique for roughness measurement by the image processing in turning.

Key Word : Histogram Equalization, Laplacian Operator, Surface Roughness, Diffraction, Lowpass Filter, Back Lighting, Computer Vision, Edge Detection

1. 서 론

최근 공작기계의 초정밀, 고성능화의 개발로 인해 보다 나은 정밀한 가공이 행해지고 있으며, 이러한 가공물의 평가에 있어 표면은 제품의 가치를 평가하는데 매우 중요한 척도(parameter)가 되고 있다.

특히 가공면의 표면거칠기의 측정은 부가가치 및 생산성향상을 위한 인프로세스(in-process)방법이나 온라인(on-line)측정의 형태로 이루어져야 한다. 현재 표면거칠

* 충청전문대학 기계설계
** 숭실대학교 기계설계

기 측정방법에는 크게 촉침식(profile stylus method)과 광학식(optical method)으로 분류되는데[1], 전자의 경우 신뢰도에 있어서는 장점이 있으나 접촉식이기 때문에 아주 정밀한 표면에는 접촉응력에 따른 측정흔적이 남으며, 인프로세스 측정이나 온라인 측정에는 적합하지 않아 후자의 광학식 방법을 이용한 측정방법이 시도되고 있다. 광학적 방법이란 빛을 주사시켰을 때 발생되는 반사, 간섭, 산란, 회절, 스펙트럼현상 등을 이용하여 표면거칠기를 측정하는 방법으로서 광학적인 지식이 요구된다.

표면형상 및 표면거칠기의 측정을 위해 많은 광학적인 방법이 시도되었는데 M. shiraishi는 이중레이져빔(double laser beam)을 주사한 후 포토다이오드(photo diode)를 이용하여 표면을 측정하였다. 이때 치수(dimension)와 표면거칠기(roughness)를 동시에 제어하기 위한 시스템을 개발하였고, 또한 flat bite tool을 이용하여 정밀도를 향상시켰다.[2][3] 한편 D.G. Janson과 임 동열 등은 광산란법을 이용한 표면을 평가하였고[4][5], M. Sato는 전자주사현미경(SEM)을 이용한 표면측정에서 높은 정밀도를 얻어냈다.[6], 그리고 D. Spurgeon과 R.A.C. Slater는 광섬유변환기(fiber optic transducer)를 이용하여 표면거칠기를 측정한 다음 선삭에서 표면거칠기의 변화를 감지, 이송(feed)을 변화시키는 적응제어(adaptive control)를 통해 정밀도의 향상을 모색하였다.[7]

본 연구에서는 선삭 가공면의 후광조명을 이용한 새로운 표면거칠기 측정방법을 제안하며, CCD 카메라에서 잡은 영상을 해석하는 새로운 알고리즘을 개발한 후 이 알고리즘을 이용하여 정량적인 값을 얻어 실제 축침식 표면거칠기 측정기에서 구한 값과 비교하고, 또한 피드(feed)변화에 따른 이론적인 거칠기 값과도 비교함으로서 비접촉 측정방법인 광학식 방법에 대한 이미지 프로세싱(image processing)기법의 적용예를 제시하였다.

Ⅱ 관련이론

2.1 후광조명(Back Lighting)

컴퓨터 비젼(computer vision)에서 조명(light)은 입력데이타에 직접적으로 영향을 미치는 인자이기 때문에 영상을 받아들일 때 가장 중요한 변수로 작용한다. 따라서 컴퓨터 비젼시스템(computer vision system)에서는 신뢰할 수 있는 입력데이타를 얻기 위한 시스템(system)구성시 적합한 조명방식(lighting method)을 고려하여야만 한다.

조명방법에는 크게 반사조명(front lighting), 후광조명(back lighting), 구조조명(structure lighting), 스트로보 조명(strobo lighting)으로 분류할 수 있는데[8], 본 연구를 수행하기 위한 최적조명방법으로 후광조명법을 들 수 있으며 Fig. 1에서 보는 바와 같이 광원(light source)과 카메라(camera)사이에 물체(object)가 존재할 경우를 말한다. 이 후광조명은 원공의 위치와 파괴를 감지해내는 공업적인 응용에 가장 적합한 방법으로 물체와 배경(background)사이에 현저한 명암차(contrast)를 생성시킬 수 있는 장점이 있다.

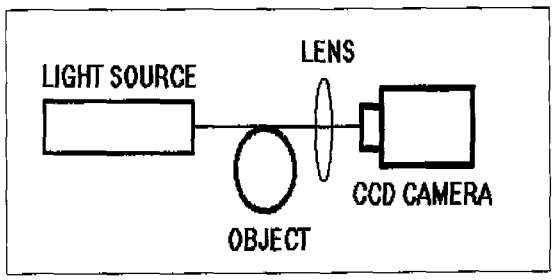

Fig. 1 Back light system.

2.2 저역 통과 필터 (Lowpass Filter)

CCD(charge coupled device) 카메라를 통해서 획득한 원영상(original image)으로부터 정확한 정보를 얻기위해 광학계에서 발생하는 잡음(noise)을 제거하거나 영상처리에 불필요한 고주파(high frequency)성분을 차단하여 잡음을 감소시킬 필요가 있다.

공간영역(spatial domain)에서 잡음을 감소시키는 대표적인 방법으로 저역통과 공간필터(lowpass spatial filtering)를 들 수 있는데 이는 임의의 화소(pixel)의 명암도(brightness)를 주변화소(neighborhood pixel)의 명암도 산술평균값으로 대체시킴으로서 잡음이 되는 값들을 평활화(smoothing)하는 기법을 말하며 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

원 영상(original image)에 대하여 마스크(mask)를 대응시킬때 응답(response)은 $R = z_1\omega_1 + z_2\omega_2 + \cdots + Z_9\omega_9$이 된다.

응답 R을 원영상의 화소 값에 대체시키는 방법을 저역통과 필터(lowpass filter)라 하며 이외에도 정해진 크기의 화소들을 크기순으로 배열하여 중간값을 취하는

메디안(median)과 같은 방법도 있다.

Z_1	Z_2	Z_3
Z_4	Z_5	Z_6
Z_7	Z_8	Z_9

Original image

ω_1	ω_2	ω_3
ω_4	ω_5	ω_6
ω_7	ω_8	ω_8

Mask

Fig. 2 Kenel mask.

Ⅲ 실험장치 및 방법

3.1 지그제작

광원으로 주사된 빔이 시험편에 비춰질 때 회절현상에 의한 빛의 중첩이 발생되므로 이러한 현상을 감소시키기 위해 정밀하게 가공된 지그(jig)를 제작하였다. 지그의 재질은 탄소공구강을 선정하였으며, 지그의 기준이 되는 한면을 경면가공하기위해 연삭 후 입도 1200의 페이퍼로 정마한 후 입도 2400 페이퍼로 마무리 작업을 하여 Fig. 3과 같은 형상치수로 제작하였다. 그면의 표면거칠기는 0.1㎛이하가 되도록 제작하였다.

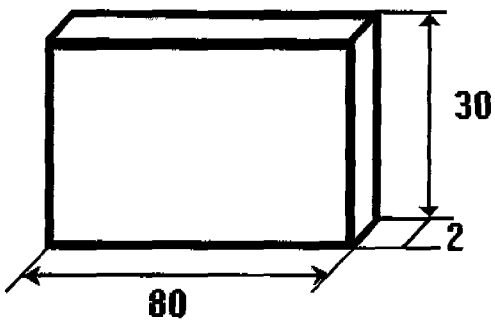

Fig. 3 Worked jig for experiment

3.2 시험편 제작

Fig. 4는 측정하고자하는 표면거칠기의 시험편을 나타낸 것으로서 CNC선반에서 절삭속도 110m/min, 절삭깊이 0.28㎜로 선정하고 가공면의 표면거칠기 형성에 영향이 큰 이송량을 각각 0.7㎜/rev, 0.6㎜/rev, 0.5㎜/rev, 0.4㎜/rev, 0.3㎜/rev, 0.2㎜/rev으로 적용시켜서 시험편의 가공면을 제작하였다.

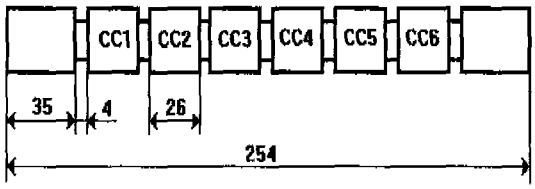

Fig. 4 Workpiece with feed variation

3.3 광학계 구성

선정된 조건으로 가공된 시험편 가공면의 표면거칠기 측정을 위하여 광학테이블(optical table)위에 Fig. 5와 같이 광학 측정 시스템을 구성하였다. 30mW의He-Ne 레이저를 광원으로 사용하였으며, He-Ne 레이저에서 주사된 빔(beam)은 40배의 렌즈(lens)를 통과해서 빔을 확장(expand)시킨다. 이 확장된 빔은 공간필터(spatial filter)를 통과한 다음 다시 40배의 배율 렌즈를 통과함으로서 균일하게 확장된 빔을 시험편의 표면에 주사할 수 있도록 하였다. 또한 본 연구에서 고안한 방법인 잘 정마(polishing)한 지그(jig)를 활용하여 시험편의 표면에 발생하는 빛의 회절(diffraction)을 절감시키는 효과를 누렸으며 정밀도를 높이기 위해 배율이 높은 현미경(microscope: ×100, ×200)을 이용하여 영상을 확대하여 CCD 카메라가 영상을 획득할 수 있도록 제작하였다.

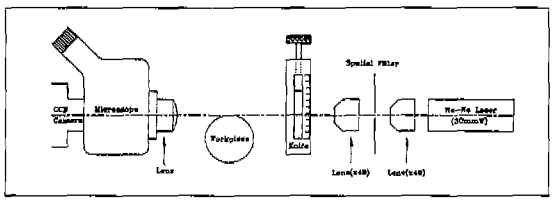

Fig. 5 Schematic diagram of experimental equipment.

3.4 실험방법

실험은 선정된 이송량의 변화에 따른 절삭조건에 의한 선삭가공의 시험편 가공면의 표면거칠기 측정을 위해 조건에 따라 각각 두가지 배율(×100, ×200)로 영상을 획득하여 측정 계산 하였으며, Fig. 6과 같은 방법에 의해 처리하였다. 이와 같이 처리된 결과를 촉침식 표면거칠기 측정기로 측정한 값과 비교하였으며, 또 이론적으로 해석한 결과치와도 비교하였다.

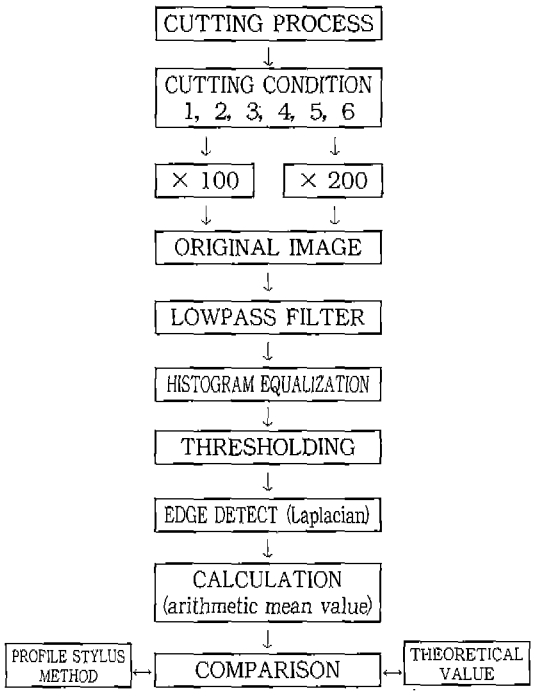

Fig. 6 Image processing of surface roughness measurement.

Ⅳ 영상처리 알고리즘

4.1 Histogram Equalization

영상을 CCD카메라로부터 표본화(sampling)하고 이미지 보드(image board) 에서 정량화(quantization)하면 각 화소에 대한 명암도 값으로 나타내게 된다. 이러한 명암도의 빈도수(frequency)를 나타낸 그림을 히스토그램(histogram)이라 한다.

또한 영상을 강조하기위한 기법의 형태는 단순한 확대/축소의 기법으로부터 더 진보된 히스토그램 균일화와 히스토그램 특정분포화(histogram specification)까지로 범위를 지을 수 있는데, 명암도(brightness)확대/축소는 영상의 명암도(brightness)와 명암차(contrast)를 증가시킴과 더불어 영상에서 최대, 최소의 명암도를 찾아서 선형적으로 확대/축소함으로써 동적범위의 영상 시스템 사용을 가능하게 한다. 이런 기법을 보통 오토스켈링(autoscaling)이라 한다[9].

히스토그램 균일화(histogram equalization)는 영상의 명암도(brightness)와 명암차(contrast)를 증가시키기 위하여 화소(pixel)의 명암도를 균일하게 재분배하는 기법이며, 히스토그램의 특정분포화는 원 영상의 히스토그램을 새롭게 분포된 히스토그램으로 수정함으로서 밝은 영상은 어둡게 어두운 영상은 밝게 해주는 기법이다. 이상에서 설명한 명암도 확대/축소 작업과 히스토그램기법은 영상의 전체에 걸쳐 혹은 국소적으로 각 화소에 적용한다.

본 연구에서 적용한 영상처리기법에 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 빈도수(frequency)를 전체적으로 고르게 분포하도록 해서 보다 선명한 영상을 얻게 할 수 있는데, 이것을 히스토그램 균일화라 하며 Fig. 7와 같이 나타낼 수 있고, 다음과 같이 설명할 수 있다.

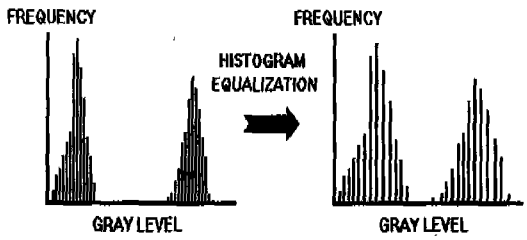

Fig. 7 Histogram equalization

명암도 r의 범위를 0 에서 1까지 2개조(binary)로 정하면 r=0 일 때 검정색 화소가 되고, r=1일 때 백색 화소가 된다. 이 명암도 r에 대한 변환함수를 T라 하면 변환된 명암도 S는 다음과 같이 정의된다.

$$S = T(r) \qquad (1)$$

위의 (1)식에서 명암도 변환은 다음 조건을 만족 하여야 한다.

(i) $0 \le r \le 1$에 대하여 $T(r)$은 단일하며 단조증가한다.

(ii) $0 \le r \le 1$에 대하여 $0 \le T(r) \le 1$이다.

위 변환의 역변환도 성립하며 위와 같은 조건을 만족한다.

확률이론으로부터 $P_r(r)$과 $T(r)$을 알고 $T^{-1}(s)$가 위의 조건 (i)을 만족한다면 변환된 그레이레벨(gray level)의 확률밀도함수(probability density function) $P_s(s)$는 (2)식과 같다.

$$P_s(s) = \left[P_r(r) \frac{dr}{ds} \right]_{r=T_{(s)}^{-1}} \qquad (2)$$

또, 확률 밀도 함수의 누적도수함수는 다음과 같다.

$$\int_0^r P_r(w)dw = f(r) \quad (3)$$

식 (3)은 위의 (i)(ii)조건을 만족하기 때문에 변환 함수로 사용할 수 있다. 그러나 명암도는 이산치(discrete)이므로 r_k($k = 0,1,2 \cdots$)라 하면 확률밀도함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_k(r_k) = \frac{n_k}{n}, \quad 0 \le r_k \le 1 \quad (4)$$

식 (4)의 도수 누적은 다음과 같다.

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

식 (3)에 대한 이산화 형태는 다음과 같다.

$$S_k(r_k) = T(r_k) = \sum_{j=0}^{k} \frac{n_k}{n} = \sum_{j=0}^{k} P_r(r_j) \quad (5)$$

식 (5)를 히스토그램 균일화에 적용할 수 있다.

4.2 Laplacian Operator

영상으로부터 어떤 특정한 정보를 얻기 위하여 윤곽선을 검출해 낼 필요가 있다. 이러한 처리를 윤곽선 검출(edge detection)이라 하는데, 이런 윤곽선 검출 방법의 하나로 라플라시안(Laplacian)이 있다[10].

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

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (6)$$

식(6)을 디지탈 형태로 나타내면

$$\nabla^2 f = 4z_5 - (z_2 + z_4 + z_6 + z_8) \quad (7)$$

이 된다. 여기서 z는 명암도를 나타낸다. 식(7)을 마스크(mask)로 표현하면 아래그림과 같다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 라플라시안(Laplacian)은 계수가 양수인 중심 화소의 계수가 음수인 바깥쪽 화소들을 서로 관련시키는 것이다. 이와 같은 과정에 의해 화소가 윤곽선의 어두운 곳에 있는지, 밝은 쪽에 있는지를 검출하는 2차적인 역할을 한다.

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

Fig. 8 Laplacian mask

라플라시안(Laplacian)의 좀 더 일반적인 사용은 제로크로싱(zero-crossings)특성을 사용한 윤곽선의 위치를 찾아내는데 있다. 이 개념은 2차원 가우스(Gauss)함수의 라플라시안(Laplacian)으로 영상을 컨볼루션(convolution)하는 데 기초를 두고 있다.

$$h(x,y) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (8)$$

여기서, σ는 표준 편차이다.

$r^2 = x^2 + y^2$이라 놓고 위의 식(9)을 h에 대하여 라플라시안(Laplacian)하면 식(9)와 같다.

$$\nabla^2 h = \left(\frac{r^2 - \sigma^2}{\sigma^4}\right) \exp\left(\frac{-r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (9)$$

라플라시안(Laplacian)영상은 식(9)와 주어진 영상을 컨볼루션(convolution)하여 얻을 수 있다. 결과적으로 이웃하는 화소에서의 convolution 값이 서로 부호가 다르면 영점을 통과하는 것으로 간주하고 윤곽선을 인식하는 것이다.

Ⅴ 고 찰

5.1 영상처리(Image process)

각 절삭조건에 의해 선삭한 시험편의 가공면 표면에 대한 영상을 획득하는데 있어서 본 연구에서 구성한 광학계에 설치한 경면지그를 이용하여 빛의 회절현상에의한 중첩이 발생하여 영상이 흐려지게 되는 현상을 감소시키므로서 Fig. 9과 같은 원 영상을 획득할 수 있었다. Fig. 9의 영상은 절삭조건 1의 영상이며 이에대한 화소분포를 나타내는 히스토그램은 Fig. 10과 같다.

Fig. 9 Original image

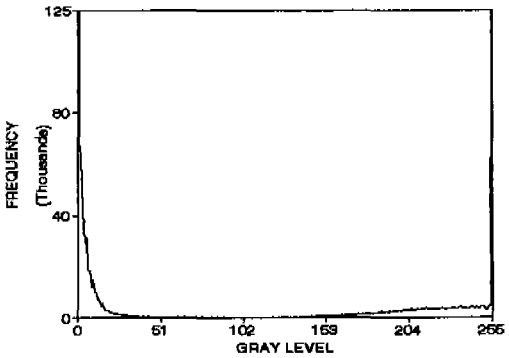

Fig. 10 Histogram of original image

Fig. 9의 원영상에 저역통과 필터(lowpass filter) 처리로 잡음(noise)을 제거한 후 시험편과 배경사이의 존재하는 경계들이 가지는 화소(pixel)값, 즉 강도(intensity)를 극대화 시키기 위해 히스토그램 균일화(histogram equalization)을 한 결과 Fig. 11와 같은 영상을 얻을 수 있었으며 Fig. 12는 히스토그램 균일화로 화소들 사이의 강도를 극대화시킨 Fig. 11의 히스토그램을 나타낸 것이다.

이러한 과정을 거친 후 시험편과 배경사이 경계선 검출을 용이하게 하기 위해 이진영상(binary image)으로 만들어 내는 작업이 절대적으로 필요하다 하겠다. 이진영상을 구성하는데는 쓰레쉬홀딩(thresholding)값이 필요하다. 또한 각 절삭조건에따라 만들어진 시편의 영상에 있어서도 각기 다른 영상정보를 가짐으로 그 조건에따른 쓰레쉬홀딩(thresholding)값 또한 다르게 된다. 그러므로 각 영상에 대한 쓰레쉬홀딩값은 Table 2와 같이 결정되었다. 그리고 나타낸 각 쓰레쉬홀딩값에서 가장 상을 선명하게 구분해주기 때문에 이들 값을 기준으로 하여 이진영상으로 변환하였다.

Fig. 11 Histogram equalization image

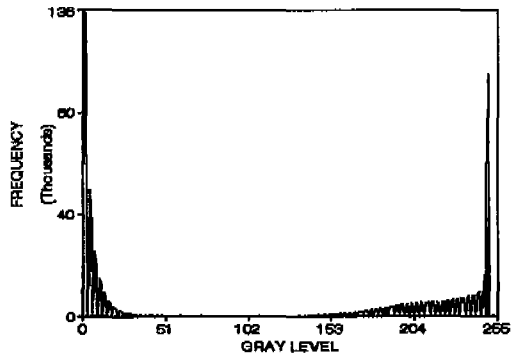

Fig. 12 Histogram with histogram equalization image

Table 2. Thresholding Value

Cutting Condition	1	2	3	4	5	6
Threshhoding Value	190	190	200	200	205	205

이 영상에 대하여 라플라시안 연산자(Laplacian operator)를 이용한 경계선검출은 다음과 같은 과정을

통해서 얻어진 (13)식을 이용하여 Fig. 8의 3×3의 마스크를 생성할 수 있다.

라플라시안 마스크를 Fig. 13과 같이 놓으면 식(6)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$E_{i-1,j+1}$	$E_{i,j+1}$	$E_{i+1,j+1}$
$E_{i-1,j}$	$E_{i,j}$	$E_{i+1,j}$
$E_{i-1,j-1}$	$E_{i,j-1}$	$E_{i+1,j-1}$

Fig. 13 Kernel mask

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} \approx \frac{1}{\varepsilon^2}(E_{i-1,j} - 2E_{i,j} + E_{i+1,j}) \tag{11}$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial y^2} \approx \frac{1}{\varepsilon^2}(E_{i,j-1} - 2E_{i,j} + E_{i,j+1}) \tag{12}$$

여기서 ε : 화소중심간의 공간

식(11)과 식(12)를 식(6)에 대입하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} \approx \frac{4}{\varepsilon^2}\left(\frac{1}{4}(E_{i-1,j} + E_{i,j-1} + E_{i+1,j} + E_{i,j+1}) - E_{i,j}\right) \tag{13}$$

식(13)을 이진영상에 대해 적용하여 화소간의 2차 미분치를 이용함으로서 Fig. 14과 같은 영상을 얻을 수 있었다.

Fig. 14의 영상에서 경계들은 실제 시험편에서 관찰되는 에지들을 나타내는 것으로서 에지들이 구성하고 있는 화소값들의 위치가 거칠기 정도를 나타낸다 할 수 있다.

위 경계들이 구성하는 화소(pixel)들의 위치값에 영상획득시 이용된 광학계의 환산계수(conversion)을 고려하여 줌으로서 정량화시킨 표면거칠기 값으로 나타낼 수 있다.

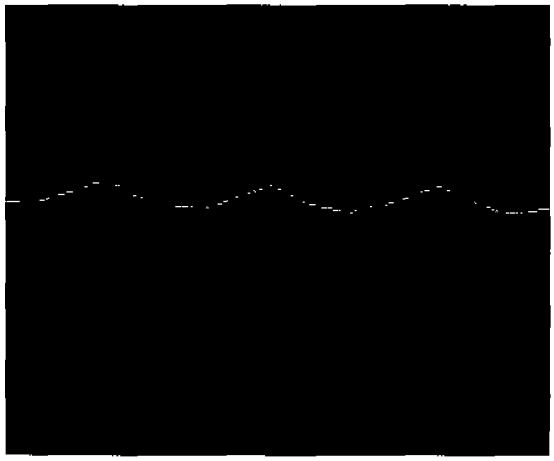

Fig. 14 Edge detection image

5.2 영상처리를 이용한 표면거칠기 측정결과

측정한 표면 거칠기 값은 중심선 표면거칠기 Ra값과 cut off의 최대거칠기 Rtm값에 대해 구하였고 이들값은 Fig. 14의 영상에서 화소(pixel)들이 가지는 강도(intensity)값을 취한것이 아니라 시험편의 경계선(edge)을 구성하는 화소들이 위치한 좌표값에대한 산술평균(Arithmetic mean)과 각 cut off범위에서 peak to velly를 구하여 cut-off수로 나눈 값으로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_a = \frac{1}{\ell}\int_0^{\ell} | y(x) | dx \tag{10}$$

$$R_{tm} = \frac{Ry_1 + Ry_2 + Ry_3 + \cdots + Ry_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} R_{yj} \tag{11}$$

$$R_{yj} = (\max - \min)j$$

$$j = 1, 2, 3, 4 \ldots n$$

Fig. 14의 영상에서와 같이 절삭과정을 거친 각 단계에 대하여 영상처리를 행하였으며 이 영상처리의 결과에 대해 Table 2의 환산계수를 적용함으로서 중심선 표면거칠기 Ra와 cut off의 최대거칠기 Rtm을 구할 수 있었다. 그리고 실제 촉침식(stylus method) 표면거칠기로 측정기에서 측정한 결과와 이론적 계산결과와도 비교하였다.

Fig. 15와 Fig. 16은 배율 100배에 대한 중심선 표면거칠기 Ra와 cut off의 최대거칠기 Rtm을 촉침식

(profile stylus method) 표면 거칠기 측정기로 측정한 결과값과 비교한 결과이다.

Table 2 The value of conversion with mm/per pixel

axis	×100배		×200배	
	1mm	1pixel	0.5mm	1pixel
x Axis	211	0.00474	209	0.00239
y Axis	267	0.00375	258	0.00194

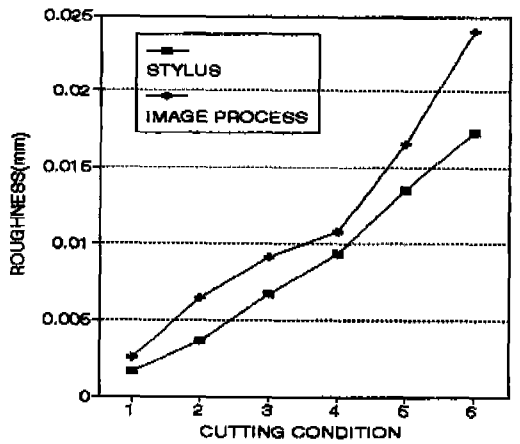

Fig. 15 Roughness value with cutting condition variation

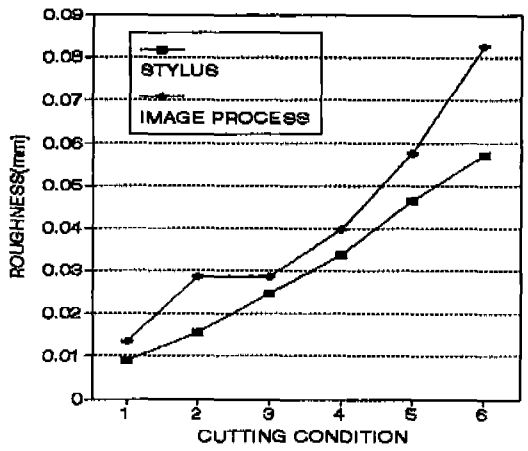

Fig. 16 Roughness value with cutting condition variation (R_{tm})

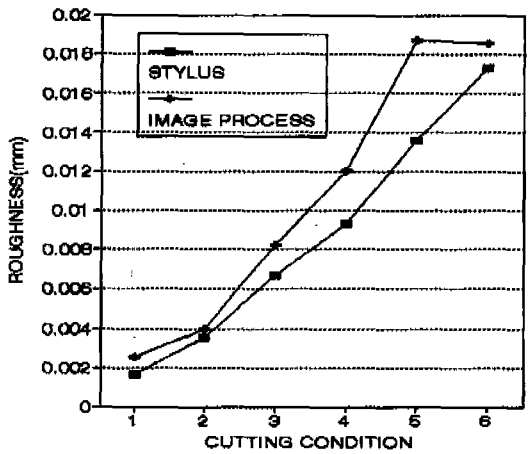

Fig. 17 Roughness value with cutting condition variation (R_a)

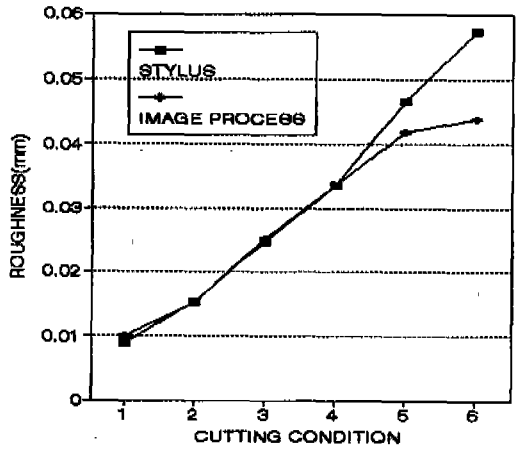

Fig. 18 Roughness value with cutting condition variation (R_{tm})

Fig. 17와 Fig. 18는 배율 200배에 대한 중심선 표면거칠기 Ra와 cut off의 최대거칠기 Rtm을 촉침식 (stylus method) 표면 거칠기 측정기로 측정한 결과값과 비교한 결과이다.

Fig. 19와 Fig. 20는 배율 100배와 200배에 대한 cut off의 최대거칠기 Rtm을 이론적 거칠기와 비교한 결과값이다.

Fig. 21은 본 연구에서 이용한 이미지 프로세싱 방

법으로 Fig. 14의 영상을 측정한 표면거칠기를 나타내는 그래프이다.

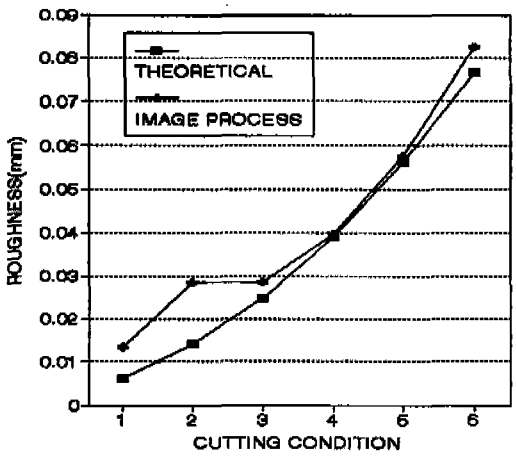

Fig. 19 Roughness value with cutting condition variation (Rtm)

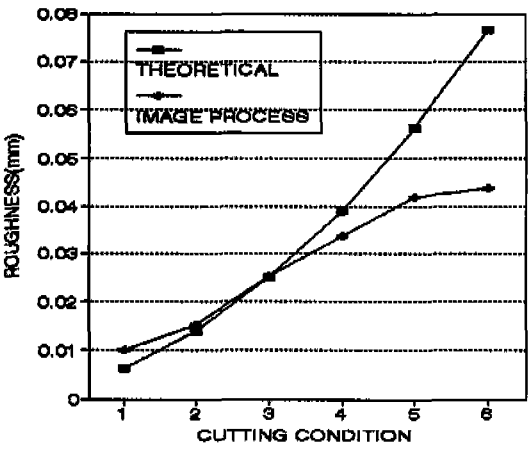

Fig. 20 Roughness value with cutting condition variation (Rtm)

Ⅵ 결 론

레이저 빔을 시험편에 주사하고 후광조명방법을 이용하여 CCD 카메라로 잡은 영상을 저역통과 필터(lowpass filter)를 통과시키고 히스토그램 균일화를 수행한 후 스레쉬홀딩(thresholding)을 함으로서 이진영상(binary image)을 얻었으며 라플라시안 연산자

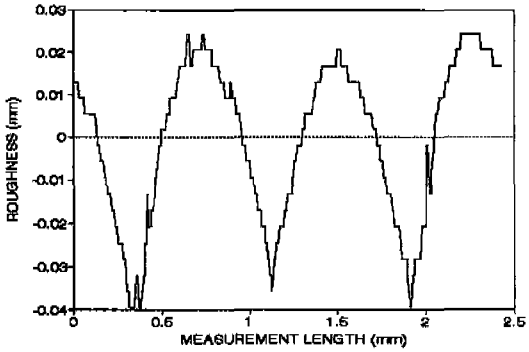

Fig. 21 Diagram of surface roughness

(Laplacian operator)를 이용하여 시험편의 에지(edge)를 추출하였다. 그리고 추출된 에지를 구성하는 화소(pixel)의 좌표값을 읽으므로서 표면거칠기를 산출할 수 있었다.

본 연구에 적용한 디지탈 이미지 프로세싱 방법으로 표면 거칠기를 측정한 경우와 기존의 촉침식 표면거칠기 측정기로 측정한 값 및 이론적 계산치와 비교하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 정마(polishing)된 지그를 제작함으로서 광원(light source:He-Ne Laser)에서 나오는 빔에 의해 발생되는 회절현상으로 인한 빛의 중첩을 막아줌으로서 선명한 상을 얻을 수 있었다.
2. 저역통과 필터를 사용함으로서 잡음(noise)을 제거할 수 있었고, 히스토그램 균일화로 시험편과 배경사이의 강도(intensity)를 극대화 함으로서 표면의 거칠기를 형성하는 시험편의 경계선의 정보손실을 최소화하였다.
3. 후광조명(back lighting)을 이용한 영상처리 방법이 비접촉식 표면 거칠기 측정에 적용될 수 있는 새로운 방법을 제시하였다.
4. 디지탈 이미지 프로세싱 방법으로 표면 거칠기를 측정한 결과와 기존의 촉침식 표면 거칠기 측정기로 측정한 값 및 이론적 계산결과와는 서로 유사한 경향을 나타내었다.

후 기

본 연구는 1994년 충청전문대학 연구비 지원하에 수행 되었음.

REFERENCE

1. 박준호 "정밀측정 시스템 공학" 야정문화사, P263.
2. M. Shiraishi, "In-process measurement of surface roughness in turning by laser", ASME Journal of Engineering for industry, Vol. 103, 1981, pp. 203-209.
3. M. Shiraishi and S. Sato, "Dimensional and surface roughness control in a turning operation". ASME, Vol, 112, 1990, pp. 78-83.
4. Janson. D. G., Rourbe. J. M., Bell. A. C., "High-speed surface roughness measurement.", Transactions of the ASME, Vol. 106, February, 1984, pp. 34-39.
5. 임동열 "정밀가공표면의 광학적 비접촉식 인프로세스 표면 평가", 한국과학기술원 박사학위논문, 1991.
6. H. Sato and H. O-Hori., "Surface roughness measurement using scanning electron microscope with digital processing.", Transactions of the ASME, Vol. 109, May, 1987, pp. 106-111
7. D. Spurgeon and R. A. C. Slater, "In-process indication of surface roughness using a fibre-optics transducer" proc. of 15th Int. MTDR, pp. 339-347.
8. Louis J. Galbiati Jr., "Machine vision and digital image processing fundament-als", Prentice-Hall, 1990, pp. 18-53.
9. Harley R. Myler and Arthur R. Weeks, "Computer Imaging Recipes in C", Prentice Hall, 1993.
10. R. C. Gonzalez and P. Wintz, "Digital image processing", Addison-Wesley, 3rd, 1992.