

통계적 방법을 이용한 니켈도금 표면거칠기의 텍스처 해석

공재항*, 사승윤*, 유봉환**
(1999년 7월 29일 접수)

Texture Analysis of Nickel Plating Surface Roughness Using Statistical Method

Jae Hyang Kong, Seung Yoon Sa and
Bong Hwan Ryu

Key Words: Texture Information(텍스처정보), Position Operator(위치연산자), Intensity Gradient(광강도차), Quantization(양자화), Co-occurrence Matrix(동시발생행렬)

Abstract

There have been many developments in super precision working technique and working method up to now. But, it is very difficult to evaluate working surface accurately without the technicians experience and judgement. Surface roughness tester using stylus was used to measure surface condition generally. But this method is not so desirable because of damage on test piece caused by contact between the workpiece and the stylus sensor. As a result, non-contact method was known as a good way to carry out this process without damage. However, this is a difficult one among the various measuring methods. So we are trying to suggest a new method using texture analysis through image processing to get a surface information in worked test piece. Co-occurrence matrix using difference of gray levels between a pixel and its neighboring one was used to study behavior of surface roughness and to acquire data for analysis. Standard specimen was adapted to verify this research. We suggest texture information method in order to evaluate surface state for the best measurement system.

1. 서론

최근 전자산업의 발전에 따른 공작기계의 기능 향상은 초정밀가공 기술에 대한 관심을 증가시켰다. 특히 연삭과 같이 수 μm 의 정밀도가 요구되는 가공의 경우 가공기술에 대한 연구와 표면품위에 대한 연구가 병행되어야 한다.

그러나 종래에는 가공정도를 숙련된 기술자의 경험에 의한 판단에 의존하는 실정이었으며, 주로 촉침식 표면거칠기 값이 사용되어 왔다. 이러한 방법은 제품의 측정 흔적이 남는다든지 온라인 감시에 적용이 어렵다는 문제점을 가지고 있어 비접촉에 의한 방법들이 많이 연구되고 있다. 여러 가지 비접촉방법 중 컴퓨터비전을 이용한 방법은 여러분야에서 시도되었으며, 많은 성과를 가져왔다. 그러나 이러한 방법으로 제품의 표면 상태를 측정하는 연구는 많지 않다.

특히 비전시스템을 이용한 가공표면의 관찰은 주변환경에 대한 민감한 반응과 관찰영역이 좁아진다는 단점으로 실시간 계측에는 많은 어려움이

* 숭실대학교 대학원

** 회원, 숭실대학교

E-mail : bhryu@engineer.soongsil.ac.kr

TEL : (02)820-0170 FAX : (02)820-0668

따른다. 컴퓨터비전을 이용한 표면측정의 연구로는 이미 가공된 표면에 발생한 균열(crack), 흠(defect) 등을 검출하는 연구가 있었으며, 또한 Ramamoorthy 등은 연삭, 밀링, 세이퍼가공에 의해 얻어진 가공표면을 영상처리 방법 중의 하나인 텍스처(texture)해석 기법을 사용하여 가공표면의 특징을 분류하였다.^(1,2) 그러나 이 연구에서는 동일한 가공방법으로 같은 형태의 텍스처를 가진 가공물의 경우 거칠기의 변화를 알아내기에는 미흡한 점이 있다. 본래 영상처리에서 텍스처란 물체의 구조 혹은 그들의 결합관계를 나타내는 물체표면의 조직구조를 의미하는 것으로 뚜렷한 윤곽이나 형상보다는 복잡한 구조를 가지는 영상의 특징추출에 적용했던 방법이다.⁽³⁾ 그러므로 기계가공에 의한 표면은 복잡한 텍스처를 형성하기 때문에 표면의 특징을 잘 나타낼 수 있는 해석기법이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 영상처리기법 중의 하나인 텍스처 해석을 이용하여 표면거칠기 변화에 따른 텍스처 정보를 추출하고 이들 변화에 따른 경향을 분석하여 온라인 측정에 적용할 수 있는 토대를 구축하고자 한다.

2. 텍스처 해석

텍스처는 상호 관련된 요소들로 구성되어 있는 물체표면의 조직구조를 의미하는 것으로 영상내의 부드러움(smoothness), 거침(coarseness), 규칙성(regularity)등과 같은 특징을 나타낸다. 텍스처 해석방법은 통계적 방법, 텍스처의 최소단위인 부 텍스처(sub-texture)의 규칙성이나 배열에 관심을 가지는 구조적 방법과 스펙트럼 해석이 대표적인 방법이다.

이들 중 통계적방법은 서로 이웃한 픽셀들 사이의 광강도차(intensity gradient)의 빈도수를 이용하는 방법이다. 따라서 영상에서 대응 픽셀간의 명암대비를 조사하므로써 명암대비가 큰 경우의 영상은 광강도차가 큰 픽셀쌍(pixel pair)의 발생 빈도가 크게 나타나며, 대응 픽셀간 명암대비가 작은 경우의 영상에서는 픽셀쌍의 발생빈도는 적게된다. 또한 이들 위치에 따른 광 강도의 차를 나타내기 위해 사용되는 위치연산자(position operator) P 는 방향 θ 와 각 방향에서 픽셀간의 거리 d 의 함수로써 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned}
 P(i, j, d, 0^\circ) &= No. \{ ((k, l), (m, n)) \in (L_H \times L_V), \\
 &\quad m-k=d, n-l=0, I(k, l)=i, \\
 &\quad I(m, n)=j \} \\
 P(i, j, d, 45^\circ) &= No. \{ ((k, l), (m, n)) \in (L_H \times L_V), \\
 &\quad m-k=d, n-l=d, I(k, l)=i, \\
 &\quad I(m, n)=j \} \\
 P(i, j, d, 90^\circ) &= No. \{ ((k, l), (m, n)) \in (L_H \times L_V), \\
 &\quad m-k=0, n-l=d, I(k, l)=i, \\
 &\quad I(m, n)=j \} \\
 P(i, j, d, 135^\circ) &= No. \{ ((k, l), (m, n)) \in (L_H \times L_V), \\
 &\quad m-k=-d, n-l=d, I(k, l)=i, \\
 &\quad I(m, n)=j \}
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서, $(L_H \times L_V)$ 는 영상 크기이며, $(k, l), (m, n)$ 은 픽셀쌍의 좌표를 나타낸다. 또한 I 는 영상의 임의의 위치에서의 픽셀의 광 강도 값이며, $No.$ 는 발생 빈도수를 나타낸다.

연산자에 의해 각 방향에 대한 픽셀간의 강도 차에 따른 빈도수를 계산하여 다음과 같은 행렬(difference matrix) D_θ 를 구한다.

$$D_\theta = \begin{bmatrix} C_{00} & C_{01} & \dots & C_{0(n-1)} \\ C_{10} & C_{11} & \dots & C_{1(n-1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{(n-1)0} & \dots & \dots & C_{(n-1)(n-1)} \end{bmatrix} \tag{2}$$

여기서, c_{ij} 는 그레이 레벨(gray level) i 를 가지는 픽셀에서 위치연산자에 의해 거리 d 만큼 떨어진 위치에서 그레이레벨 j 를 가지는 픽셀쌍의 빈도수를 나타내는 $n \times n$ 행렬요소이다. n 은 영상의 그레이 레벨로서 256그레이의 경우에는 256×256 행렬이 된다. 그러나 본 연구에서는 계산의 효율성을 고려하여 64×64 행렬을 사용하였다. 64×64 행렬을 구성하기 위해서는 256그레이의 원 영상으로부터 64그레이의 영상으로 다시 양자화(quantization) 한다. 양자화 된 영상으로부터 Fig. 1과 같이 위치연산자 P 를 이용하여 (2)식의 행렬요소를 확률 변수화한 다음과 같은 동시발생행렬(co-occurrence matrix)을 구할 수 있다.

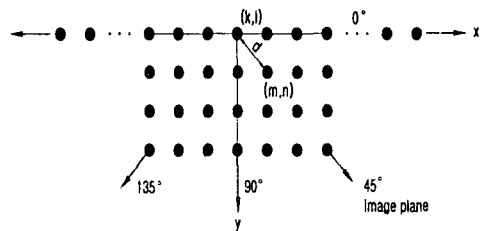


Fig. 1 Geometry for measurement of intensity gradient

$$G = \begin{bmatrix} g_{00} & g_{01} & \cdots & g_{0(k-1)} \\ g_{10} & g_{11} & \cdots & g_{1(k-1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{(k-1)0} & \cdots & \cdots & g_{(k-1)(k-1)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)의 행렬요소 g_{ij} 는 식 (2)의 행렬요소를 전체 발생빈도수의 총합으로 나눈 값이며, 다음과 같다.

$$g_{ij} = \frac{c_{ij}}{N} \quad (4)$$

여기서 N 은 $(n-1) \times (n-1)$ 이다.

이와 같이 구한 식 (3)의 행렬로부터 다음과 같은 텍스처 정보를 구할 수 있다.

(1) 최대확률(maximum probability)

$$G_{Max} = \max(g_{ij}) \quad (5)$$

영상의 그레이 레벨의 분포에 대한 위치연산자 P 의 응답성(response)을 나타낸다.

(2) 에너지(energy)

$$G_E = \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{k-1} (i-j)^2 g_{ij} \quad (6)$$

이 값은 행렬의 요소들이 분포되어 있는 정도를 나타내며 영상에서 명암도 대비를 측정하는데 이용할 수 있다. 그러므로 높은 명암대비를 갖는 영상에서는 큰 값을 나타내며, 행렬의 g_{ij} 의 가장 높은 값이 주대각선 주위에 있을 때 가장 적게 나타난다.

(3) 역 편차 모멘트(inverse difference moment)

$$G_I = \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{k-1} \frac{g_{ij}}{(i-j)^2} \quad (7)$$

에너지에 반대되는 값으로 높은 명암도를 갖는 영상에서 가장 적은 값을 나타낸다.

(4) 자기상관(auto-correlation)

$$G_A = \frac{\left\{ \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{k-1} (ij g_{ij}) - \overline{m_i} \overline{m_j} \right\}}{\sigma_i \sigma_j} \quad (8)$$

여기서 $\overline{m_i}$, $\overline{m_j}$ 와 σ_i , σ_j 는 그레이레벨 i 와 j 의 변화에 따른 각각의 평균과 분산이다. 따라서 식 (7)의 분자는 공분산(covariance)을 나타낸다. 그러므로 이 값은 영상에서 그레이레벨간의 종속성을 나타낸다. 규칙적인 패턴과 적은 노이즈를 가지는 영상에서는 큰 값을 가진다.

(5) 엔트로피(entropy)

$$G_{EN} = - \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{k-1} g_{ij} \log_2 g_{ij} \quad (9)$$

g_{ij} 가 모두 같을 때 가장 큰 값을 가지며, 0에서 $\log_2 k$ 범위를 가지는 값으로서 영상내의 픽셀의 그레이레벨 분포의 랜덤(random)한 정도를 나타낸다.

(6) 동질성(uniformity)

$$G_U = \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{k-1} g_{ij}^2 \quad (10)$$

텍스처 패턴의 동질성을 측정하는데 이용된다. 동질의 텍스처 패턴에 대해서는 행렬의 요소들이 0이 아닌 값을 갖는다. 그러나 동질성이 작은 텍스처에 대해서는 작은 값을 가지는 요소들이 많다. 따라서 동질 텍스처는 큰 값을 가지며, 행렬의 요소 g_{ij} 가 모두 같을 때 가장 적다.

3. 실험

3.1 실험장치

가공표면의 영상획득 및 텍스처 해석을 위하여 Fig. 2와 같이 실험장치를 구성하였다. 관찰대상은 비교용 표면거칠기 표준시편을 선정하였고 시편의 재질은 Ni이며, 이들의 표면을 관찰하기 위해 대물렌즈($\times 25$)를 사용하여 CCD카메라로 영상을 획득할 수 있도록 하였다. 획득된 영상은 DT3155 영상처리보드를 통하여 한 프레임(frame)의 영상을 저장하여, PC에서 처리하도록 구성하였다. 영상획득시 표준시편의 표면은 고 배율로 확대되므로 초점의 위치를 정확하게 맞추기 위하여 미소이송장치(coarse and fine)로 최적의 초점을 맞출 수 있도록 하였으며, 이때 광원으로는 할로겐 램프를 사용하였다.

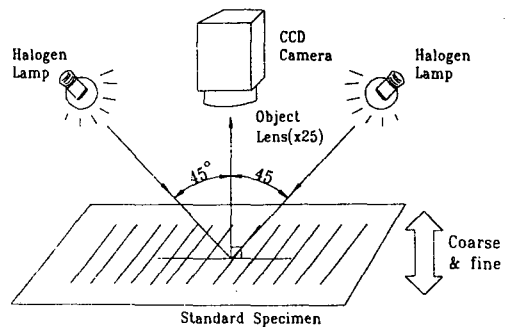


Fig. 2 Schematic diagram of image acquisition system

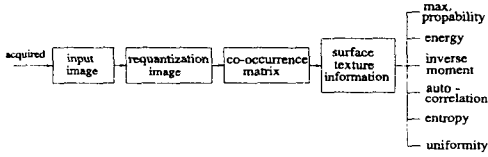


Fig. 3 Structure of the texture analysis

3.2 실험방법

영상으로 획득하고자 하는 대상은 비교용 표면 거칠기 표준시편의 연삭가공면으로서 재질은 니켈이며, 0.8, 1.6, 3.2, 6.5, 12, 25 μ m로 여섯단계로 되어 있다. 이러한 표준시편의 표면영상의 텍스처 해석을 위하여 획득된 영상으로부터 먼저 처리해야 하는 것은 256그레이 영상에서 64그레이 영상으로 다시 양자화시키는 것이다. 따라서 64 그레이 영상으로부터 동시발생행렬을 구한다.

이때 동시발생행렬을 계산하기 위한 적합한 위치연산자 선정을 위해 0.8 μ m와 25 μ m 두 표면에 대해 텍스처 파라미터의 변수인 방향 θ 와 거리 d 의 변화를 계산한다. 이때의 방향 θ 는 계산의 효율성을 고려하여 0°, 45°, 90°, 135°의 네방향에 대하여 고려하였으며, 텍스처 파라미터들이 각방향에 대한 d 의 변화를 관찰하기위해 100픽셀까지로 제한하여 계산하였다. Fig. 3은 본 연구에서 수행한 텍스처 해석과정을 나타내는 흐름도이다. 또한 결정된 위치연산자를 적용하여 계산한 동시발생행렬로부터 2절에 나타난 텍스처 정보를 추출하며, 이들 정보를 6가지의 거칠기에 대하여 모두 적용하므로써 거칠기변화에 따른 텍스처 정보의 경향을 알아보고자 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 선정된 위치연산자의 특성

위치연산자의 선정을 위해 비교용 표면거칠기 표준시편으로부터 Fig. 4와 같이 표준시편의 거칠기에 따라 6개의 영상을 획득했다. 이들 영상을 관찰해보면 거칠기 값이 적은 표면일수록 빛이 반사되는 부분이 적다는 것을 알 수 있으며, 표면의 거친정도가 증가할수록 부분적으로 빛을 반사시키는 부분이 많아지는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 부분들이 텍스처 해석에서 표면의 거친정도를 나타내 줄 수 있는 중요한 요인으로 작용하게 된다.

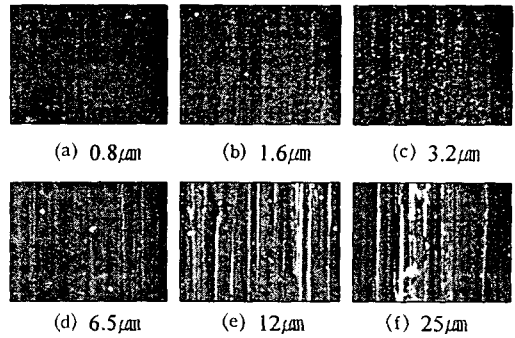


Fig. 4 Standard specimen image

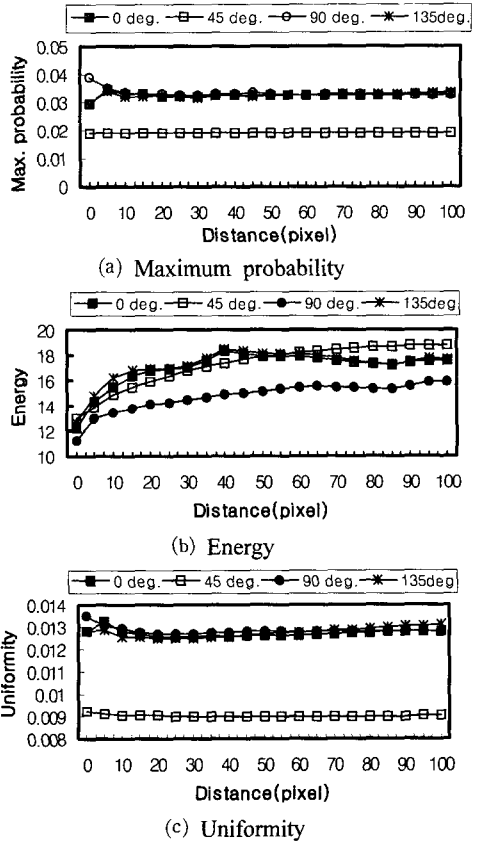


Fig. 5 Texture information according to distance variation (0.8 μ m)

Fig. 5와 Fig. 6은 0.8, 25 μ m 표면에 대하여 거리 d 의 변화에 따른 6가지의 텍스처 파라미터의 추이를 나타낸 것이다. Fig. 5(a)와 Fig. 6(a)는 거리에 다른 최대확률값을 나타낸 그래프으로써 0°를 제외한 나머지 3방향에 대한 값의 차이가 거의 없으며, 거리 d 가 20픽셀 이후부터는 값의 변화가 거의 없음을 나타내고 있다.

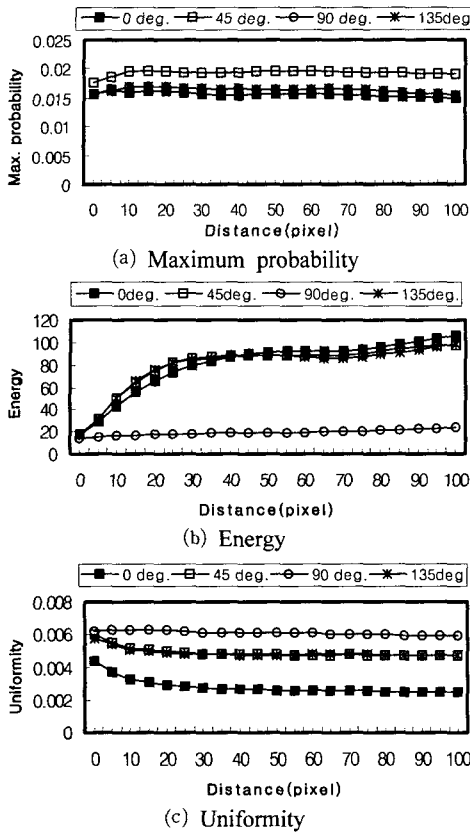


Fig. 6 Texture information according to distance variation (25µm)

Fig. 5(b)와 Fig. 6(b)는 전체적으로 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 50픽셀 이후부터는 큰 변화를 나타내지 못하였다. 또한 90° 인 경우 가장 작은 값으로 변화가 완만하게 나타나는데 이는 가공방향과 같은 방향으로 주기적 패턴이나 그레이 레벨 값의 변화가 적은 방향이다.

Fig. 5(c)와 Fig. 6(c)는 동질성을 나타내는 것으로 일정한 값을 나타내는데 이 경우에도 거리에 관계없이 일정한 값을 나타냈으며 나머지 파라미터도 같은 경향을 나타낸다.⁽⁴⁾ 따라서 네 방향에 대한 거리의 변화에 따른 여섯 개의 텍스처 파라미터는 거리변화의 영향보다는 방향에 대한 영향이 더 크게 작용함을 알 수 있었으며, 방향에 따른 동질성은 0.8s의 경우 거리에 관계없이 0° 방향에서 가장 적은 값을 나타냈다. 이는 가공방향에 대한 직각방향의 광 강도 변화가 크다고 할 수 있으며, 실제표면의 변화정도도 크다고 할 수 있다. 따라서 나머지 세 방향의 값이 0° 보다 큰

값을 나타내는 것은 0° 의 방향으로 구성된 표면의 거칠기 변화가 큰 것으로 해석된다. 한편 25s의 경우 동질성은 0° 가 가장 작은 값으로 나타나며, 다른 세 방향과 비교하여 큰 차이를 나타낸다. 따라서 이 경우에 0° 방향이 텍스처 해석에 가장 많은 영향을 미친 방향이라 판단된다.

동질성의 경우 거리의 변화에 따라 일정한 값을 나타내는데 이는 거리변화에 관계없이 텍스처 정보를 가장 잘 반영할 수 있으며, 일부 영역만으로도 전체영상을 나타내는 것이 가능하다.

이외에도 상관관계, 엔트로피, 역 편차모멘트의 경우도 거리 보다는 방향에 대한 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 픽셀간 방향은 가공방향에 수직인 방향으로 픽셀을 대응시켰을 때가 각 특징값의 가공면 텍스처 경향을 잘 나타내 주었다.⁽⁴⁾

4.2 표면거칠기 표준시편의 텍스처 특징

Fig. 7은 Fig. 4의 영상들로부터 위치연산자 P 를 방향 0° , 거리 $d=1(pixel)$ 로 선정하여 계산한 동시발생행렬을 나타낸 것이다. 표면거칠기 값이 0.8µm인 표면의 경우에는 각각의 관련된 그레이 레벨 값의 확률밀도가 그래프의 중앙부에 밀집되어 있는 것을 알 수 있다. 그리고 거칠기가 가장 큰 25µm인 경우에는 영상에서 밝은 빛을 가지는 부분들이 많이 관찰되므로 그레이 레벨간의 큰 광강도차를 나타내는 픽셀쌍이 증가했음을 알 수 있으며, 따라서 거칠기가 증가할수록 넓게 분포하는 경향을 나타낸다. 그러나 Fig. 7의 그래프로는 표면상태의 대략적인 관찰은 가능하나 정량적인 해석은 어렵다고 볼 수 있다. 따라서 텍스처 정보를 구하기 위해 2절에서 정의한 6개의 파라미터들을 계산하였으며, 이들의 관계를 각각 거칠기에 따라 나누어서 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 8(a)는 각 영상에서 구해진 동시발생행렬의 최대확률을 나타낸 것으로 대체적으로 거친 표면으로 갈수록 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 표면거칠기 값이 작은 표면에서는 픽셀간의 그레이 레벨 차가 적어 큰 최대확률값과 좁은 분포를 이루며, 큰 거칠기 값을 가지는 경우는 그레이 레벨의 차이가 크므로 거친 표면일수록 영상의 각 위치에서 그레이 레벨의 차이가 불규칙하게 발생하기 때문에 상대적으로 확률의 최대값은 작아지고 분포는 넓어지게 되는 것이다.

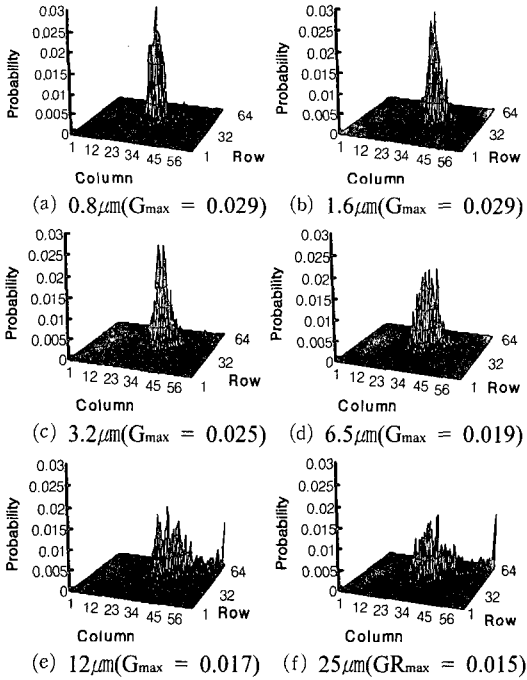
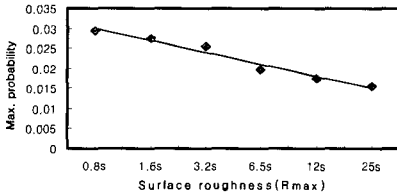


Fig. 7 3-D plot of co-occurrence matrix

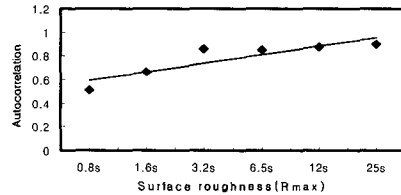
Fig. 8(b)는 텍스처의 에너지를 나타낸 것으로 거칠기 값이 작은 표면의 경우는 거칠기 값이 큰 표면보다 영상의 명암도 대비가 적다고 볼 수 있다. 그러므로 그래프에서 보는 바와 같이 거친 표면의 영상일수록 그 값이 증가하는 경향을 나타낸다.

Fig. 8(c)는 에너지의 반대되는 값으로 명암도가 높은 거친 표면의 영상에서는 작은 값이 되고 표면이 고른 영상에서는 큰 값을 갖게된다. 그러나 실험결과 그래프에서 보는 바와 같이 뚜렷한 경향을 나타내지 못했다.

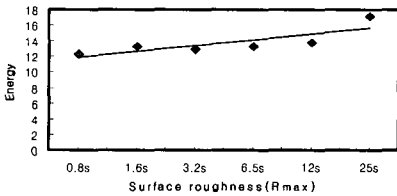
Fig. 8(d)는 상관관계를 나타낸 그래프로써 그레이레벨간의 종속성을 나타낸다. 즉 규칙적인 영상에서 큰 값을 갖게 된다. 그러므로 거친 영상의 경우는 일정하지는 않지만 텍스처 모양의 반복되는 형태를 관찰할 수 있는데 고른 표면으로 갈수록 이러한 반복성이 적게 관찰된다. 따라서 거친 표면의 영상일수록 이 값은 증가한다는 것을 알 수 있다.



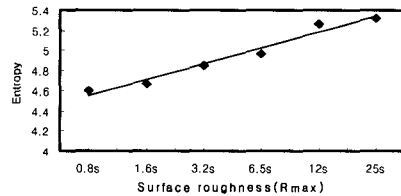
(a) Maximum probability



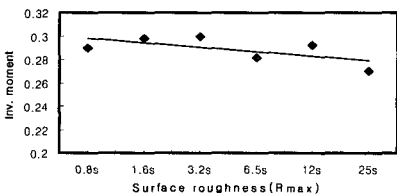
(d) Autocorrelation



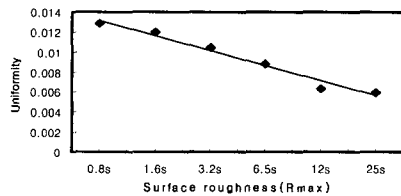
(b) Energy



(e) Entropy



(c) Inverse difference moment



(f) Uniformity

Fig. 8 Variation of texture information

Fig. 8(e)는 엔트로피 값으로 영상의 그레이 레벨의 랜덤함을 나타낸다. 그래프에서 보는 바와 같이 거친 표면일수록 그 값이 증가하는 경향을 나타내는데 이는 Fig. 6의 동시발생행렬의 그래프와 관련된 것으로서 발생 확률분포가 넓을수록 엔트로피 값은 커지게 되며, 따라서 고른 표면일수록 이러한 값은 감소하는 경향을 나타낸다.

Fig. 8(f)는 텍스처의 동질성으로서 패턴 성분들간의 관계를 나타낸다. 고른 표면일수록 패턴의 동질성은 강하며 거친 표면일수록 동질성은 약하여 그 값이 감소하는 경향을 나타낸다.

4.3 고찰

비교용 표면거칠기 표준시편의 텍스처 해석을 위해 확률적 방법을 이용하였으며, 거칠기변화에 따른 동시발생행렬을 구하였다. 또한 동시발생행렬 계산을 위해 위치연산자 P 는 방향과 거리를 고려하여 선정하였으며, 거리 $d=1$ (pixel), 방향 0° 로 선정하였다. 그 결과 가공표면이 거칠수록 확률밀도가 넓게 분포되는 경향을 나타냈다. 이때 분포위치는 영상의 밝기정도를 나타내는 것이며, 따라서 확률밀도의 분포정도로 표면의 상태를 나타낼 수 있었고 정량적 해석을 위하여 동시발생행렬의 확률변수들을 이용한 텍스처정보를 계산하였다. 또한 거칠기변화에 따른 경향을 조사한 결과 역모멘트를 제외한 에너지, 상관관계, 엔트로피 모두 증가하는 경향을 나타냈으며, 최대확률, 동질성은 감소하는 경향을 나타냈다. 아울러 이러한 파라미터들을 이용한 가공표면의 상태를 비교 분석할 수 있었다. 그러나 공작기계를 이용한 가공물의 경우 표면의 정도를 나타내기 위해서는 여러 가지의 가공조건에 의한 변수들을 고려한 값으로 표현될 수 있어야 하며, 반복실험에 의한 신뢰도 및 영상 획득시의 일정한 조건만 유지한다면 가능할 것이다.

5. 결론

본 연구는 표면거칠기에 따른 가공표면을 영상

처리방법을 이용하여 텍스처 해석을 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 통계적 방법을 이용한 텍스처 해석에서 동시발생행렬의 계산을 위해 적용하는 위치연산자는 픽셀간의 거리보다는 방향에 많은 영향을 받는다.

(2) 표준시편의 텍스처 해석을 위해 이웃한 픽셀간의 광강도차를 나타내는 확률변수의 동시발생행렬은 거칠기변화에 따라 확률밀도가 넓게 분포되는 경향을 잘 나타냈으며, 동시발생행렬로부터 계산된 여섯가지의 텍스처 특징은 최대확률과 엔트로피, 동질성이 가장 거칠기변화에 따른 표면상태를 잘 나타내었다.

(3) 에너지와 자기상관의 경우도 거칠기변화에 따른 경향을 잘 나타냈으나, 역 편차 모우멘트만은 경향을 나타내지 못하였다.

참고문헌

- (1) Beyerer, J. and León, F. P., 1997, "Detection of Defect in Groove Textures of Honed Surface," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 37, No. 3, pp.371~389.
- (2) Ramana, K. V. and Ramamoorthy, B., 1996, "Statistical Methods to Compare the Textures of Machined Surface," *Pattern Recognition*, Vol. 29, No.9, pp.1447~1459.
- (3) Haralick, R. M., 1979, "Statistical and Structural Approach to Texture," *Proc. IEEE*, 67, pp.786~804.
- (4) 사승윤, 이명재, 김광래, 유봉환, 1998, "광강도변화를 이용한 가공면 영상의 텍스처 특징 분석," 한국공작기계학회, 제7권, 제6호, pp. 49~56.
- (5) 사승윤, 유봉환, 1998, "영상처리를 이용한 가공면의 텍스처 해석," 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 702~707.
- (6) Pratt, W. K., 1991, *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons, NewYork.