

가공면 거칠기와 영상배율에 따른 텍스쳐 해석

사승윤*(승실대원), 김광래, 이원평(인덕대학), 유봉환(승실대)

Texture Analysis According to Machined Surface and Image Magnification

S. Y. Sa (Soongsil Univ.),

K. L. Kim, W. P. Lee (Induck Institute of Technology).

B. H. Ryu (Soongsil Univ.)

Abstract

Surface roughness is one of the most important parameters to estimate quality of products. As this reason, so many studies were carried out through various attempts that were contact or non-contact using computer vision. Even though these efforts, there were few good results in this research. However, texture analysis is making a important role to solve these problems in various fields including universe, aviation, living thing and fibers.

In this study, texture parameter was obtained by means of position operator according to variation of angle direction and distance. As a result, it was found that surface texture was more effected by direction than distance.

Key Words : Texture Analysis(텍스쳐 해석), Quantization(정량화), Intensity Gradient(광강 도차), Cooccurrence Matrix(동시발생행렬), Pixel pair(대응픽셀쌍)

1. 서 론

연삭가공은 제품의 정밀도 향상 및 품위를 결정짓는 마무리가공으로 금속 절삭가공 중에서도 높은 정밀도를 가지는 가공이다. 따라서 연삭가공에서의 표면거칠기는 가공의 정도를 나타내 줄 수 있는 정량적인 수치로 사용되며, 제품의 정밀도를 좌우하는 요소로 반드시 관계되는 사항이다. 특히 생산기술의 발달에 따른 생산성 향상으로 제품의 부가가치를 위해 가공완료후 시행되던 표면거칠기 측정에 인프로세스나 온라인 측정을 요구하게 되었다⁽¹⁾.

인프로세스 측정은 가공중에 이뤄지는 측정으로 일반적인 경우와 비교하여 측정원리와 구조에서 설계상 많은 제약을 받으나 생산성향상에 큰 장점을 지닌다. 따라서 비접촉측정에 대한 많은 연구가 행하였으며, 광학을 이용한 방법들이 제시되었다⁽²⁾. 그러나 이들 방법은 구조상의 특징으로 온라인 측정에는 많은 제약을 받는다.

따라서 영상을 이용한 연구가 시도되었으며, 이들은 대체적으로 제품의 표면으로부터 거칠기값을 계산하는 연구보다는 가공면에 발생한 결함이나 가공의 방향성에 대한 연구가 최근 들어 주를 이루었다⁽³⁾. 이들은 각기 특정 대상에만 국한되는 유연성의 부족을 가지고 있어 영상으로부터 물체의 기하학적 형태를 해석하기보다는 영상을 구성하는 명암도 변화를 이용한 텍스쳐 해석(texture analysis)을 이용하는 방법이 제시되었다⁽⁴⁾.

특히 기계가공면은 가공조건에 따라서 다양한 형태의 가공면이 생성된다. 가공면은 기계공학에서 표면거칠기라는 값을 이용하여 가공정밀도와 관계된다. 이러한 가공면의 비접촉측정을 위한 영상처리방법은 가공환경을 고려할 때 많은 어려움이 존재한다. 특히 비접촉방법 중 영상을 이용하는 경우 많은 데이터와 처리시간을 필요로 하기 때문에 간단한 측정시스템과 빠른 측정방법을 요구한다.

본 연구에서는 가공면 영상의 텍스쳐 해석을 위하여 표면거칠기 표준시험편을 대상으로 거칠기 분류를 시도한다. 이때 가공면 영상에 텍스쳐 해석을 적용하였으며, 변수로 작용할 수 있는 광원의 밝기와 영상을 확대하기 위하여 사용된 렌즈배율의 변화에 따른 영상의 통계적 특성을 조사한다. 그러므로 텍스쳐 해석에 따른 렌즈배율과 광원의 조건에 따른 영향을 분석한다. 또한 가공면의 거칠기 분류

를 위해 원영상으로부터 동시발생행렬의 계산에 적용되는 변수인 대응픽셀간 방향과 거리의 영향을 분석한다. 따라서 가공면의 표면품위에 대한 새로운 연구방향을 제시하고자 한다.

2. 통계적방법에 의한 텍스쳐 해석

통계적 방법은 동시발생행렬이 주로 이용되었으며, 이 방법은 2차 통계적 특성을 사용하여 분류하는 방법으로 서로 이웃한 픽셀들 사이의 광강도차(intensity gradient)의 빈도수를 조사함으로써 정량화할 수 있다. 동시발생행렬을 이용하는 방법은 크게 GLDM(gray level difference method)과 GLRLM(gray level run-length method), SGLDM(spatial gray level difference method)등이 있다. 이중 SGLDM이 가장 우수하며, GLRLM은 잡음에 영향을 받는다. 그러나 이를 방법은 특징값을 추출하기 위한 많은 계산시간과 기억용량이 필요하다는 점과 설정영역의 크기에 따라서 결과가 달라지는 특징을 가지고 있다^[6]. 따라서 동시발생행렬을 이용한 텍스쳐 해석 방법은 영상 또는 영역내의 명암도 히스토그램의 모멘트들을 사용한다.

디지털 영상의 밝기를 나타내는 랜덤변수를 z 라고 하고 $p(z)$, $i = 1, 2, \dots, L$ 을 이에 대응되는 히스토그램이라 하자. 여기서, L 은 영상의 명암도이다. 따라서 평균에 대한 z 의 n 차 모멘트는 다음과 같다.

$$\mu_n(z) = \sum_{i=0}^L (z_i - \mu)^n p(z_i) \quad (1)$$

여기서 μ 는 z 의 평균이다.

2차 모멘트는 분산으로써 $\sigma^2(z)$ 로 표기하며, 텍스쳐의 서술에 있어서 특히 중요하며, 이는 상대적인 부드러움의 서술자를 정립시킬 수 있는 명암도 대비의 척도가 되며 다음과 같다.

$$\mu_2(z) = \sum_{i=0}^L (z_i - \mu)^2 p(z_i) = \sigma^2(z) \quad (2)$$

3차 모멘트는 히스토그램의 비대칭성(asymmetric) 또는 왜도(skewness)를 나타낼 수 있다. 히스토그램 $p(x)$ 의 평탄의 비율로 첨도(kurtosis)인 4차 모멘트 그리고 5차 또는 그 이상의 차수를 가지는 모멘트는 히스토그램의 형태를 쉽게 관련지

을 수 없으나 텍스쳐 내용에 대한 양적인 구별을 가능케 한다. 그러나 이들 1차 통계 히스토그램의 사용은 텍스쳐정보에 서로 다른 각 픽셀간에 대한 상대적 위치에 관한 정보는 가지고 있지 않다. 따라서 광강도 분포뿐만 아니라 광강도 값이 거의 같거나 거의 동등한 픽셀들간의 위치를 고려해 주어야 한다.

따라서 영상 내에서 고려되는 두 픽셀간의 광강도 차이를 이용하여 관련된 픽셀쌍(pixel pair)의 빈도수를 계산한다. 그러므로 거친표면의 텍스쳐 영상에서는 광강도의 차이가 큰 픽셀쌍의 빈도수가 많을 것이고, 부드러운 표면의 텍스쳐 영상에서는 광강도의 차이가 적은 픽셀쌍의 빈도수가 상대적으로 많이 발생한다. 그러나 이들 페셀쌍의 빈도수는 영상의 텍스쳐 구성에 따라서 많은 변화를 가질 수 있다. 즉, 영상에서 명암대비가 큰 경우에 광강도차가 큰 픽셀쌍의 발생빈도가 크게 나타나도 고려된 픽셀간의 거리와 방향에 따라서 많은 차이를 발생시킨다. 따라서 이들 위치에 따른 광강도의 차를 나타내기 위해 위치연산자의 일반적 형태는 방향과 각 방향에 대하여 픽셀간의 거리의 합수로써 정의한다. 그러므로 이들 빈도수를 계산하여 동시발생행렬을 계산하며, 다음과 같은 텍스쳐 특징을 계산한다. 동시발생행렬의 행렬요소 g_{ij} 는 각 빈도수 c_{ij} 를 전체 발생빈도수의 총합으로 나눈 값으로서 다음과 같다.

$$g_{ij} = \frac{c_{ij}}{N} \quad (3)$$

여기서 N 은 $(n-1) \times (n-1)$ 이다.

(1) 텍스쳐 모멘트(moment)

$$G_M = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (i-j)^2 g_{ij} \quad (4)$$

(2) 텍스쳐 역모멘트(inverse diff. moment)

$$G_I = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \frac{g_{ij}}{(i-j)^2} \quad (5)$$

(3) 텍스쳐 자기상관(auto-correlation)

$$G_A = \frac{\left\{ \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (ijg_{ij}) - \bar{m}_i \bar{m}_j \right\}}{\sigma_I \sigma_J} \quad (6)$$

여기서, \bar{m}_i , \bar{m}_j 와 σ_I , σ_J 는 명암도 값 i 와 j 의 변화에 따른 각각의 평균과 분산이다.

(4) 텍스쳐 엔트로피(entropy)

$$G_{EN} = - \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{k-1} g_{ij} \log_2 g_{ij} \quad (7)$$

(5) 텍스쳐 단조성(uniformity)

$$G_U = \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{k-1} g_{ij}^2 \quad (8)$$

(6) 텍스쳐 동질성(homogeneity)

$$G_H = \sum_i \sum_j \frac{g_{ij}}{[1 + (i-j)^2]} \quad (9)$$

3. 실험

3.1 실험장치

가공면의 영상획득 및 텍스쳐 해석을 위한 실험장치는 Fig. 1과 같이 구성하였다. 관찰대상은 비교용 표면거칠기 표준시험편을 선정하였고, 이들의 표면을 관찰하기 위해 대물렌즈($\times 4, \times 10, \times 25$)를 사용하여 CCD카메라로 영상을 획득할 수 있도록 하였다. 획득된 영상은 DT3155 영상처리보드를 통하여 1프레임의 영상을 저장하여 PC에서 처리하도록 구성하였다. 광원으로는 가변형 할로겐 램프를 사용하여 광원의 밝기를 조절할 수 있도록 하였으며, 미소이송장치로 최적의 초점을 맞출 수 있도록 하였다.

3.2 실험방법

비교용 표면거칠기 표준시험편의 연삭가공면으로부터 $0.8\mu\text{m}, 1.6\mu\text{m}, 3.2\mu\text{m}, 6.3\mu\text{m}, 12.5\mu\text{m}, 25\mu\text{m}$ 의 6 가지 거칠기 값을 대상으로 선정하였다. 이때 영상의 획득조건은 광원의 영향을 고려하기 위하여 각 배율마다 다섯 단계로 나누어서 측정하였다.

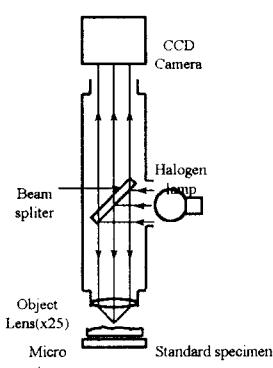


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

또한 표준시험편의 표면영상의 텍스쳐 해석을 위하여 획득된 256그레이 영상을 64그레이 영상으로 정량화(quantization)하였으며, 영상전체에 대하여 동시발생행렬 구합으로써 6가지의 텍스쳐 특징을 추출한다. 이때 광원의 밝기는 육안으로 변화를 알 수 있는 선에서 선정하였고 다섯 단계의 밝기로 영상을 획득하였다.

4. 실험결과

4.1 렌즈배율에 따른 영상의 분산 변화

Fig. 2 ~ Fig. 4는 광원의 밝기 변화에 따른 비교용 표면거칠기 표준시험편의 영상을 렌즈 배율에 따라서 나타낸 것이다. Fig. 2는 가장 작은 배율인 4배의 렌즈를 사용한 경우로 광원의 밝기 변화에 따라서 획득한 영상이다. Fig. 3의 경우는 배율 10배의 렌즈를 사용한 경우로서 Fig. 2의 경우보다는 가공면의 요철이 좀 더 상세하게 나타났다. 그리고 Fig. 4의 경우는 배율25배의 렌즈를 사용한 경우로 앞서 나타낸 영상보다는 좀더 상세하게 나타나며, 또한 조명의 밝기의 변화가 작은 폭으로 변화함에도 반사특성의 변화가 크게 나타난다. 이들 밝기변화에 따른 영상에서의 특징은 표면이 거칠어질수록 주변 픽셀간의 명암대비가 뚜렷해지는 특성을 관찰할 수 있다. 또한 광원의 밝기가 밝아질수록 거친 표면이 고운 표면보다 부분적으로 반사되는 특성이 두드러진다. 따라서 이러한 특성이 가공면의 거칠기 정도를 나타내 줄 수 있는 정보로 이용될 수 있다. 렌즈배율에 따른 광강도 변화를 조사하기 위한 각 조건은 다음과 같이 설정하였다.

첫 번째로 렌즈의 배율은 $\times 4, \times 10, \times 25$ 세 가지로 설정하였다. 그 이상의 배율에서는 표면을 좀더 확대하여 자세히 볼 수 있다는 장점이 있으나, 반면에 초점심도(depth of field)가 짧아 영상을 획득할 때마다 미소한 변화에도 초점위치의 변화에 따른 상의 흐려짐으로 일정한 위치에서의 영상획득이 어렵다고 할 수 있다. 또한 관찰영역이 좁아진다는 단점으로 인해 전체 가공면에 대한 극히 일부의 정보만이 해석에 고려되므로 신뢰성 확보에 문제가 있다고 하겠다. 둘째로 조명의 조건은 각 배율마다 다섯 단계로 나누어서 측정하였다.

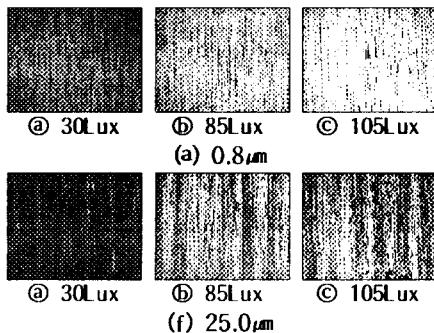


Fig. 2 Sample image of standard specimen(magnification; $\times 4$)

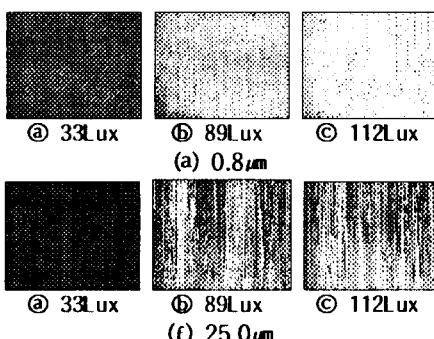


Fig. 3 Sample image of standard specimen(magnification; $\times 10$)

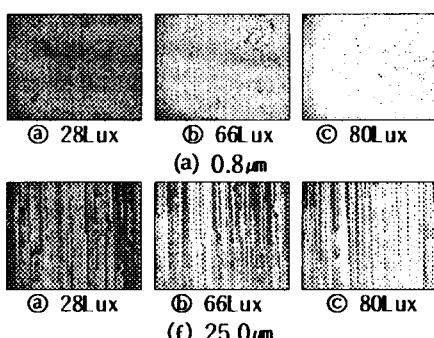


Fig. 4 Sample image of standard specimen(magnification; $\times 25$)

이때 설정한 다섯 단계의 기준은 육안으로 가장 빛이 적게 비취지는 경우를 시작으로 빛의 반사정도가 가장 큰 경우까지 다섯 단계로 나누어 영상을 획득하였다. 이들 다섯 단계의 구분은 조도계를 이용하여 측정하였으며, 그 조도값에 따라서 구분하였다. Fig. 5(a)~(c) 까지는 광원의 변화에 대하여 선정한 배율에 따른 여섯 개의 표준시험편에 대한 가공면 영상의 분산을 나타내는 그래프이다.

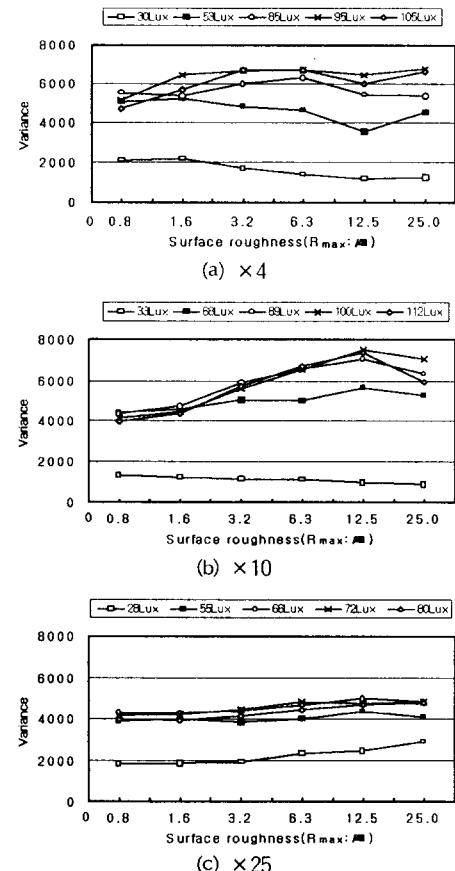


Fig. 5 Variance according to variation of magnification

일반적으로 광원이 가공면에 비취질 때 표면의 상태가 고운 경우와 거친 경우를 비교해보면 표면이 고운 경우는 입사광에 대한 반사광의 산란정도가 적어 영상의 명암도 범위가 좁은 대역으로 형성되므로 적은 분산을 가지며, 거친 가공면의 경우는 산란이 많이 일어나 넓은 대역으로 분포하게 되어 큰 분산을 나타낸다. 이는 Ramarmothy의 연구 결과와도 잘 일치하는 것으로 가공면에 빛이 주사될 때 이상적인 평면이라면 주사된 입사광 모두가 반사되어 적은 분산을 가진다. 그러나 가공면에 요철의 정도가 심한 경우는 빛의 산란으로 인하여 큰 분산을 가진다.⁽⁶⁾

따라서 본 연구의 실험결과를 예측해보면 $0.8\mu m$ 보다는 $25\mu m$ 가 더 큰 분산을 가져야한다. 그러나

Fig. 5(a)는 배율 4배의 렌즈를 이용한 경우로서 광원이 30Lux의 경우 거칠기가 거칠어질수록 분산의 감소를 나타내는데 이는 영상에 분포되어 있는 명암도 값이 작아 전체적으로 어둡기 때문에 경향이 나타내는 의미는 없다고 할 수 있다. 그리고 53, 85Lux의 경우는 어떤 증가의 경향을 나타내지 못했으며, 95 Lux는 근사적으로 증가하는 추세를 나타냈다. 또한 105Lux의 경우도 뚜렷한 경향을 나타내지 못하였으며, 광원의 밝기가 너무 밝아 정상적으로 획득된 영상이라 볼 수 없다. Fig. 5(b)는 렌즈배율을 10배로 높이고 이에 따른 적합한 광원의 조건을 다섯 단계로 나누어 실험한 결과이다. 여기서는 33Lux의 경우를 제외하고는 대체적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 각 밝기에 따른 분산에서 표면거칠기 $25\mu\text{m}$ 표면의 경우는 감소되는 경향을 나타냈다. Fig. 5(c)는 배율 25배의 경우로 28Lux와 80Lux일 경우가 가장 이상적으로 잘 나타내고 있으며, 전체적으로 앞의 경우와는 달리 대체적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 앞의 두 경우와 달리 25배의 경우가 잘 나타내주는 이유는 렌즈배율의 선정에 따른 결과라 할 수 있겠다. 앞의 두 경우 영상의 확대에 따른 픽셀의 분해능이 4배의 경우는 $3.8\mu\text{m}/\text{pixel}$, 10배의 경우는 $1.5\mu\text{m}/\text{pixel}$ 인데 반하여 25배의 경우는 $0.5\mu\text{m}/\text{pixel}$ 의 분해능을 나타낸다.

이는 가장 고운 표면의 표면거칠기를 고려해볼 때 거칠기 값이 최대거칠기로 $0.8\mu\text{m}$ 이하이므로 적어도 이것보다는 낮은 분해능을 가져야 만이 거칠기 값이 작은 표면에서 발생하는 빛의 반사특성을 잘 나타낼 수 있을 것이라 판단된다.

4.2 방향변화에 따른 대응 픽셀 간의 특성

영상으로부터 동시발생행렬을 계산할 때 고려해야 할 사항은 픽셀간 대응거리와 방향이다. 픽셀간 대응거리는 선행연구에 나타낸바와 같이 명확하게 거리변화에 무관하다고 할 수는 없지만, 대체적으로 여섯 가지의 텍스쳐 특징들에 미치는 영향이 크지 않다고 할 수 있다⁽⁷⁾.

따라서 이들의 대응픽셀간의 거리변화가 각 방향에 대하여 어떠한 경향을 가지는지에 대하여 조사하였다. 여기서 고려한 대응픽셀의 방향은 0° , 45° , 90° , 135° 로 네 방향에 대하여 계산하였으며,

이때의 픽셀간 대응거리는 1픽셀부터 100픽셀까지 변화시켜 계산하였다.

연삭가공에 따른 가공면의 표면거칠기 형성과정을 고려할 때 가공방향과 가공방향에 수직한 방향을 비교해보면 연삭입자가 지나간 가공방향에 수직한 방향의 거칠기가 큰 값을 가진다. 또한 표면거칠기 측정에서도 특별한 지시가 없는 한 가공방향에 수직한 방향으로 측정한 값을 사용한다. 따라서 가공방향의 수직한 방향인 0° 방향이 다른 세 방향에 비하여 큰 거칠기를 나타낼 수 있는 텍스쳐 특징을 가져야 한다.

Fig. 6~Fig. 9는 표면거칠기 값이 가장 작은 $0.8\mu\text{m}$ 과 큰 $25\mu\text{m}$ 의 표면에 대하여 여섯 가지의 텍스쳐 특징 중 가장 텍스쳐특성을 잘 나타낸 텍스쳐 모멘트와 텍스쳐 단조성에 대한 그래프를 대응픽셀의 방향변화에 따라서 구한 결과이다.

Fig. 6은 $0.8\mu\text{m}$ 표면의 텍스쳐 모멘트 값을 네 방향에 대하여 대응거리의 변화에 따른 경향을 나타냈다. 이 경우 30픽셀정도까지는 0° 방향이 큰 값을 나타냈으며, 45° , 135° , 90° 의 순서로 나타났다. 대응픽셀의 방향이 0° 인 경우는 가공방향에 수직한 방향으로 다른 세 방향에 비하여 큰 거칠기 값을 가진다. 따라서 텍스쳐 모멘트도 가장 큰 값을 나타냈으며, 90° 방향은 가공방향과 같은 방향으로써 네 방향의 값 중 가장 작은 값을 나타냈다.

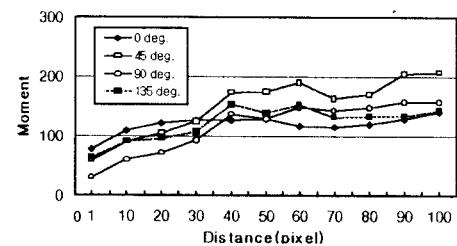


Fig. 6 Variation of texture moment according to direction($0.8\mu\text{m}$)

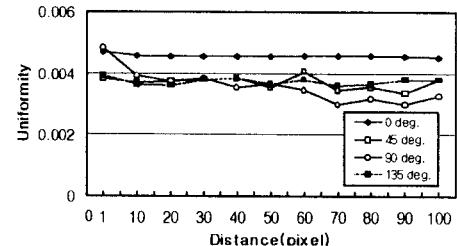


Fig. 7 Variation of texture uniformity according to direction($0.8\mu\text{m}$)

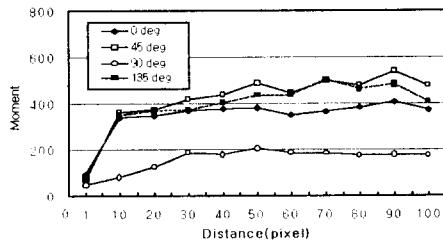


Fig. 8 Variation of texture moment according to direction ($25\mu\text{m}$)

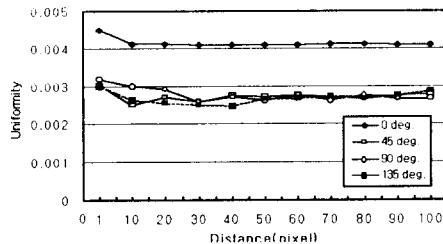


Fig. 9 Variation of texture uniformity according to direction ($25\mu\text{m}$)

따라서 연삭가공의 특성을 고려해 볼 때 가공면의 거칠기를 형성하는 방향은 가공방향에 수직한 방향으로써 가공방향에 수직한 방향이 큰 거칠기값을 가지며 텍스처 모멘트는 이러한 가공에 대한 정보를 잘 나타내 준다고 할 수 있다.

Fig. 7은 텍스처 단조성에 대한 값으로써 명암도 변화가 적은 경우에 작은 값을 나타내고 큰 경우에는 큰 값을 갖는다. 또한 7픽셀 이후에 0° 방향이 90° 방향보다 큰 값을 나타냈다.

Fig. 8은 $25\mu\text{m}$ 의 표준시험편의 표면에서 대응픽셀의 네 방향과 대응거리에 대한 모멘트 값으로 10픽셀 이후부터는 45° , 135° 방향에서 큰 값을 갖는 것으로 나타났다. 그리고 0° , 90° 의 경우는 0° 방향이 더 큰 값을 나타냈다. 이것은 $25\mu\text{m}$ 의 표면이 $0.8\mu\text{m}$ 의 표면보다 그 만큼 더 거친다는 것을 나타낸다.

Fig. 9의 경우는 $0.8\mu\text{m}$ 의 경우와 같은 경향을 나타냈으며 대응픽셀거리의 증가에 따른 값들의 변화가 작게 나타났다. 또한 거칠기값이 큰 0° 방향이 다른 세방향에 대하여 뚜렷한 경향을 나타냈다.

5. 결 론

가공면 영상의 텍스처 해석을 위하여 표준시험편

의 여섯 단계의 가공면을 대상으로 가공면 영상의 광원과 사용렌즈의 배율관계를 조사하였으며, 이들이 영향 렌즈배율 변화 및 광원의 세기에 따른 분산의 변화를 조사하였다. 분산변화에 따른 실험결과는 배율 25배와 광원 80Lux일 때 경향을 잘 나타내었다.

또한 텍스처 해석을 위하여 원영상에 대한 양자화 영상은 64그레이스케일을 사용하였다. 동시발생 행렬로부터 계산된 텍스처 특징들은 텍스처 해석을 위해서 고려되는 많은 파라미터 중에서 광원의 밝기나 영상의 확대관계 보다는 대응픽셀간의 방향과 거리의 선정에 더 많은 관계를 가진다고 할 수 있다. 따라서 가공면 표면거칠기의 변화를 가장 잘 나타낸 텍스처 특징은 단조성이 가공방향에 대한 가공면정보를 가장 잘 나타냈다.

참고문헌

1. T. Matsuo, M. Touge and K. Iwasaki, "In-Process Measurement of Progressive Variation of Grinding Characteristics in Constant-Load Heavy Grinding," *Annals of the CIRP*, Vol. 42, No. 1, pp. 401~404, 1993.
2. I. Sherrington and E. H. Smith, "Modern Measurement Techniques in Surface Metrology PartII : Optical Instruments," *Wear*, Vol. 125, pp. 289~308, 1988.
3. Beyerer, J. and Leon, F. P., "Detection of defect in groove textures of honed surface," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 37, No. 3, pp. 371~389, 1997.
4. J. Beyerer and F. P. Lein, "Detection of Defects in Groove Textures of Honed Surfaces," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 37, No. 3, pp. 371~389, 1997
5. Conners, R. and Harlow, C., "A theoretical comparison of texture algorithms," *IEEE Trans. PAMI*, PAMI-2, pp. 204~222, 1980.
6. Ramana, K. V. and Ramamoorthy, B., "Statistical methods to compare the textures of machined surface," *Pattern Recognition* Vol. 29, No.9, pp.1447~1459, 1996.
7. 사승윤, 이명재, 김광래, 유봉환, "광 강도변화를 이용한 가공면 영상의 텍스처 특징 분석," 한국공작기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 316~322, 1998.