

<기술논문>

연삭에서 비전시스템을 이용한 절삭날 면적률의 측정

유은이* · 사승윤* · 유봉환**

(1997년 3월 5일 접수)

Measurement of Cutting Edge Ratio Using Vision System in Grinding

E. I. Yu, S. Y. Sa and B. H. Ryu

Key Words : Grinding Wheel(연삭숫돌), Cutting Edge Ratio(절삭날 면적률), Dressing(드레싱), Computer Vision(컴퓨터비전), Automatic Thresholding(자동 이진화)

Abstract

Morden industrial society pursues unmanned system and automation of manufacturing process. Abreast with this tendensy, production of goods which requires advaned accuracy is increasing as well. According to this, the work sensing time of dressing by monitoring and diagnosing the condition of grinding, which is the representative way in accurate manufacturing, is an important work to prevent serious damages which affect grinding process or products by wearing grinding wheel. Computer vision sytem was composed, so that grinding wheel surface was acquired by CCD camera and the change of cutting edge ratio was measured. Then we used automatic thresholding technique from histogram as a way of dividing grinding cutting edge from grinding surface. As a result, we are trying to approach unmanned system and automation by deciding more accurate time of dressing and by visualizing behavior of grinding wheel by making use of computer vision.

1. 서 론

현대 산업사회는 점차로 제조공정의 무인화, 자동화를 추구해 가고 있으며, 이러한 추세에 발맞추어 고도의 정밀도를 요구하는 제품의 생산도 늘어가고 있는 실정이다. 정밀가공방법들은 주로 입자에 의한 가공이며, 그 대표적인 가공은 연삭가공으로 근래에 그 사용범위가 확대되고 있다.

연삭가공은 선반이나 밀링 등의 경우와 달리 절삭날의 확실한 모양을 알 수 없으며, 그 크기도 매우 작아서, 주로 숙련된 작업자의 경험에 의존하여 그 이상상태를 판단해 왔다. 연삭의 이상상태에는 연삭 채터(chatter), 숫돌표면의 마멸 및 파괴(break-

age), 칩(chip) 부착에 의한 눈막힘/loading)현상 등이 있다. 그 중 마멸이나 눈막힘현상은 제품의 정밀도를 저하시키고, 연삭 버어닝(burning)이나 연삭 균열(crack)까지도 초래하여 제품에 심각한 피해를 입힐 수도 있고, 연삭기 자체에 무리한 부하를 주어 작업이 위험하게 될 수도 있다. 그러므로 연삭에 있어서 이 두가지 현상은 연삭능력을 좌우하는 중요한 특성이라 할 수 있다. 이와 같은 현상을 방지하기 위하여, 숫돌의 표면상태를 시간의 경과에 따라 감시하고 진단하여 알맞은 드레싱(dressing) 시기를 인지하는 작업은 정밀가공에 있어서 중요한 작업이라고 할 수 있다.

연삭상태를 감시하는 기술이 최근 들어 활발하게 연구되고 있는데, 그 방법에는 연삭력의 변화를 이용한 방법, 가공물의 표면거칠기의 변화를 이용한 방법, 칩의 모양과 크기의 변화를 이용한 방법, 음

*회원, 숭실대학교 대학원 기계공학과

**회원, 숭실대학교 기계공학과

압의 주파수를 이용한 방법, 연삭열을 측정하는 방법 등이 있다.^(1~3) 그러나 앞에서 언급한 대부분의 감시시스템은 주변환경에 매우 민감하며, 그 정량적 해석이 어려울 뿐만 아니라 경제성 또한 떨어지기 때문에 실제 생산현장에 응용할 수 있는 기술로 정립되기는 어려운 실정이다.

이와 같은 문제점에 대한 해결책에 좀 더 접근할 수 있는 방법으로 컴퓨터비전시스템(computer vision system)을 이용한 방법들이 제안되었다.^(4,5) 이러한 비전시스템은 주변환경을 인간의 눈과 같이 인지하고 판단할 뿐만 아니라 정량적인 해석이 가능하여 물체와 접촉하지 않고도 정확하게 실시간(real time)으로 측정할 수 있으며, 알고리즘의 변화에 따라 융통성있게 적용할 수가 있다. 이러한 이점으로 인해 이 방법을 연삭에 적용하는 움직임이 활발하게 진행되고 있다.

Tsuwa는 연삭숫돌의 표면을 현미경으로 획득하여 그 거동을 관찰하여 시각적인 효과를 얻고자 하였고, Usui는 숫돌입자의 영상을 획득하여, 그 절삭날의 형태를 패턴인식(pattern recognition) 기법에 적용하여 입자의 파괴를 감지해 내고자 하였다. 그 후 Rajmohan은 칩크기와 공작물의 표면거칠기와의 관계를 정립하고, 칩크기와 연삭열과의 관계, 그리고 시간에 따른 칩의 발산영역의 광 강도(intensity) 변화를 CCD 카메라로 획득하는 시도를 하였다.^(6,7)

그러므로 본 연구의 목적은 컴퓨터 비전시스템을 이용하여 연삭의 수행과정을 가시화하고 좀 더 정확하고 정량적인 마모량을 검출할 수 있는 알고리즘을 개발하여 실제 작업현장에서도 활용 가능하게 하는 것이라고 할 수 있으며, 또한 앞으로의 무인화·자동화에도 더욱 접근하는 데에 있다.

2. 관련 이론

2.1 연삭가공에 있어서 숫돌의 거동과 수명

연삭가공에 있어서 그 입자의 거동을 살펴보면, 입자의 마멸(wear), 파괴(breakage), 탈락(digout), 생성(newly appeared), 부분파괴(partial breakage)의 과정이 반복되면서 일어나며, 이 과정이 진행되면서 서서히 그 수명이 다하게 된다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 A작업면에서 B작업면까지 가공이 진행되면서 (a)번의 마멸은 입자가 서서히 깎여나가는 현상이며, (b)번의 파괴는 입

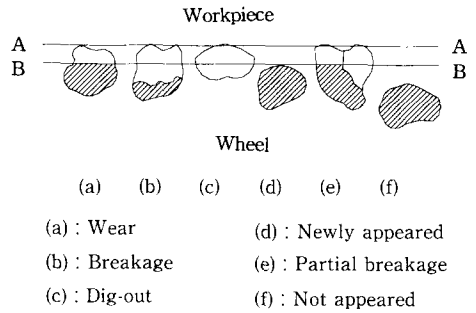


Fig. 1 Changing aspects of cutting edges

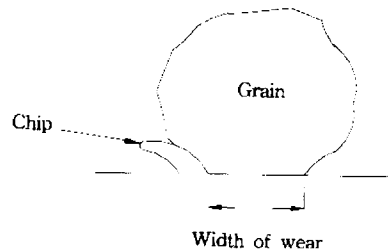


Fig. 2 Grinding with work grain

자의 일부분이 떨어져 나가는 현상이고, (c)번의 탈락은 가공에 참여하지 못하고 본드재료로부터 떨어져 나가는 현상이며, (d)번의 생성은 본드재 아래에 숨어있던 입자가 가공이 진행되면서 서서히 나타나 연삭에 참여하는 것이며, (e)번의 부분파괴는 입자의 일부분은 떨어져 나가고, 일부분은 마멸되는 현상이다.

일반적인 연삭에 있어서 연삭숫돌이 절삭성을 잃는 데에는 마멸이나 눈막힘의 두가지 현상으로 대별할 수가 있는데, 이 현상으로 인해서 버어닝, 균열, 채터 등의 여러가지 이상상태를 유발하게 되는 것이다. 이러한 마멸과 눈막힘현상은 연삭숫돌의 절삭날 분포를 조사함으로써 판단할 수가 있는데, 이 분포를 조사하는 방법에는 연속 절삭날 간격을 조사하는 방법, 절삭날 면적률을 이용하는 방법, 연삭비를 이용하는 방법 등이 있다.

이중 절삭날 면적을 이용한 방법은 다음과 같다.

연삭숫돌 입자의 절삭날끝은 연삭이 진행될수록 Fig. 2에서와 같이 점차 평탄하게 마모하여 이 면적이 숫돌 작업면적에 대하여 점차 증가하다가 어느 일정한 지점에 이르면 그 변화율이 완만해지고, 그 이후 점차 감소하게 된다. 여기서, 그 증가가 멈추고 감소가 시작되는 지점에 도달하면 연삭저항이 급증하여 연삭버어닝이나 채터를 유발하게 되어

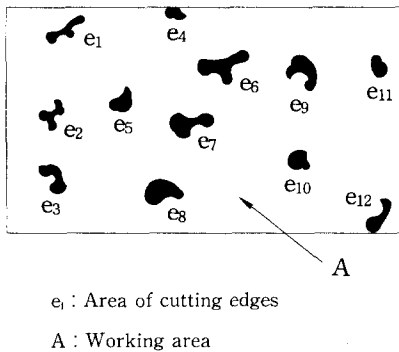


Fig. 3 Cutting edge area of working surface

연삭을 계속 수행할 수 없게 된다. 그래서 숫돌 성능에 대한 척도로서 절삭날 면적률이 사용된다. 즉, Fig. 3과 같은 숫돌 작업면 전개도에 있어서 작업가능한 일정한 면적 A에 대해서 그 면적내에 있는 절삭날 마모면적 e_1, e_2, \dots, e_n 의 총합, $\sum e_n$ 의 비로서 절삭날 면적률 α 를 정의한다.

$$\alpha = \frac{\sum e_n}{A} \quad (1)$$

이 값의 대소는 연삭숫돌의 절삭날 마모의 정도를 나타내는 것으로 연삭숫돌의 수명과 깊은 관계가 있다.

숫돌의 절삭날 면적률은 시간의 경과와 더불어 서서히 변화하는데, 이 증가량이 점차 완만해지면서 결국 일정하게 되는 점을 숫돌의 수명으로 한다.

2.2 쓰레쉬홀딩기법

영상으로부터 어떤 정보를 얻기 위하여 영상을 배경부분과 물체부분으로 분리해야 할 필요가 있다. 이렇게 영상을 두 영역으로 분리하는 작업을 쓰레쉬홀딩(threshoding)이라 한다.

이상적인 경우에, 영상의 히스토그램(histogram)은 배경과 물체로 표현되는 두 부분의 피크 사이에 깊고 날카로운 골을 가지고 있다. 이러한 경우 이 골의 가장 낮은 부분을 쓰레쉬홀딩 지점으로 선정한다. 그러나, 대부분의 일반적인 영상에서는 잡음(noise)때문에 히스토그램의 골이 평평하거나 넓게 펼쳐지는 등, 불분명해지기 때문에 가장 낮은 부분을 찾기가 매우 어렵다. 그러므로, 최적의 쓰레쉬홀딩 지점을 찾기 위하여 다음과 같은 방법을 사용하였다.

이 방법은 0차와 1차의 누적모멘트를 사용하여 최적의 쓰레쉬홀딩 지점을 찾아내는 방법으로, 간단할 뿐만 아니라 다중 쓰레쉬홀딩 지점의 선정으로도 확장이 가능하다.

L개의 명암도(gray level)로 표현된 영상에서, 명암도 i에서의 픽셀(pixel)의 수를 n_i 라 하면 모든 픽셀의 수 N은 $N = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_L$ 로 표기할 수 있다. 그러므로 명암도의 히스토그램은 다음과 같은 확률분포로 나타내어진다.

$$p_i = n_i/N, \quad p_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^L p_i = 1 \quad (2)$$

여기서 영상내의 픽셀들이 두 영역으로 나뉘어진다고 가정하고 그 두 영역을 물체와 배경이라 하고, 각각을 C_0, C_1 이라 하면, C_0 는 $[1, \dots, k]$ 의 명암도로 나타내어지고, C_1 은 $[k+1, \dots, L]$ 의 명암도를 가지고 있다. 이 두 영역에 대한 명암도의 확률분포 ω_0, ω_1 과 평균 μ_0, μ_1 을 각각 나타내 보면 다음과 같다.

$$\omega_0 = \sum_{i=1}^k p_i = \omega(k) \quad (3)$$

$$\omega_1 = \sum_{i=k+1}^L p_i = 1 - \omega(k) \quad (4)$$

$$\mu_0 = \sum_{i=1}^k i p_i / \omega_0 = \mu(k) / \omega(k) \quad (5)$$

$$\mu_1 = \sum_{i=k+1}^L i p_i / \omega_1 = \frac{\mu_T - \mu(k)}{1 - \omega(k)} \quad (6)$$

여기서,

$$\omega(k) = \sum_{i=1}^k p_i$$

$$\mu(k) = \sum_{i=1}^k i p_i$$

$$\mu_T = \mu(L) = \sum_{i=1}^L i p_i$$

이며, 이것은 각각 k 명암도에서의 0차와 1차 누적모멘트와 원영상에서의 명암도의 전체 평균을 나타낸다. 여기서, 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\omega_0 \mu_0 + \omega_1 \mu_1 = \mu_T, \quad \omega_0 + \omega_1 = 1 \quad (7)$$

다시 각 영역의 분산을 구해 보면 다음과 같이 표현되며, 이것은 2차 누적모멘트를 의미한다.

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=1}^k (i - \mu_0)^2 p_i / \omega_0 \quad (8)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 p_i / \omega_1 \quad (9)$$

쓰레쉬홀딩 지점을 k 로 정한 영상이 좋은지를 평가하기 위해서 다음과 같은 구별조건을 사용하였다.

$$\lambda = \sigma_B^2 / \sigma_W^2, \quad \kappa = \sigma_T^2 / \sigma_W^2, \quad \eta = \sigma_B^2 / \sigma_T^2 \quad (10)$$

여기서,

$$\sigma_W^2 = \omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2 \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \sigma_B^2 &= \omega_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 \\ &= \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^L (i - \mu_T)^2 p_i \quad (13)$$

가 된다.

즉, σ_W^2 은 물체를 이루고 있는 영역 내부의 분산과 배경을 이루고 있는 영역 내부의 분산의 합을 의미하여, σ_B^2 은 물체와 배경 사이에 분산을 나타낸다. 그리고, σ_T^2 은 전체 영상의 명암도에 대한 분산을 나타낸다. 여기서 최적의 쓰레쉬홀딩 지점 k 는 식 (10)이 최대가 되는 점이 된다. 결국 영역 내부에서의 분산은 최소가 되고, 영역끼리의 분산은 최대가 되는 지점을 찾는 것이다. 식 (10)중 가장 간단한 식은 η 를 구하는 것이다. σ_T^2 는 고정된 값이므로 결국 σ_B^2 값만을 구해서 이 값이 최대가 되는 k 를 찾으면 되기 때문이다.

$$\eta(k) = \sigma_B^2(k) / \sigma_T^2 \quad (14)$$

$$\sigma_B^2 = \frac{[\mu_T \omega(k) - \mu(k)]^2}{\omega(k)[1 - \omega(k)]} \quad (15)$$

여기서, 최적의 쓰레쉬홀딩 지점 k^* 는

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{i=k \& L} \sigma_B^2(k) \quad (16)$$

으로 정의될 수가 있다.⁽⁸⁾

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

Fig. 4는 미세한 연삭숫돌의 표면영상을 획득하기 위하여 구성한 시스템을 도시한 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 WA80KmV 숫돌을 광학 테이블 위에 고정시킨 후, 숫돌의 중심축과 수직으로 CCD 카메라를 설치하여 숫돌의 표면을 획득할 수 있도록 한다. 이 때, 숫돌표면의 법선방향과 일치하도록 CCD 카메라를 고정시켜서, 전체 화면에서 고른 초점분포를 갖도록 한다.

또한, 카메라와 렌즈의 사이에 최대길이가 183 mm

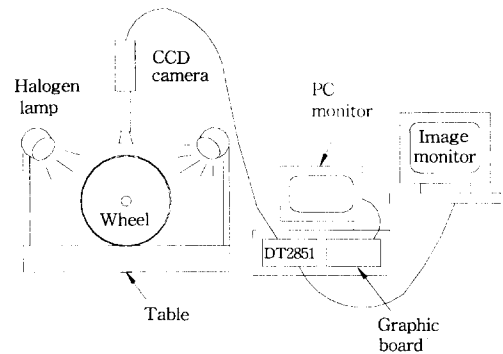


Fig. 4 Schematic diagram of image acquisition system

인 경통을 제작하여 설치함으로써 고배율의 영상을 낮은 배율의 렌즈로도 얻을 수 있도록 한다. 이 때, 배율은 표준자의 영상을 받아서 그 픽셀수와 의 비례식을 이용하여 찾아낸다.

경통의 길이가 길어짐에 따라, 초점거리가 매우 짧아지기 때문에 CCD 카메라로 빛의 전송량이 작아진다. 그러므로, 일반 자연광이나 형광등보다 조명의 강도가 강한 할로겐-램프(halogen lamp)를 채택하여 숫돌의 양쪽에서 비추도록 한다. 조명의 각도는 두 조명을 연결한 선으로부터 서로 반대방향으로 약 15°씩 회전시켜서 한곳으로만 조명이 집중되는 현상을 상쇄시킬 수 있도록 한다.

연삭숫돌은 WA계의 WA80KmV(180 mm×31.75 mm×13 mm)를 사용하였고, 주축속도는 1922 m/min으로 하였다.

여기에 사용된 시험편은 가로×세로×높이가 302 mm 32.5 mm×25 mm의 크기로 열처리된 하지 않은 탄소강 SM45C이다.

본 실험에서 사용된 실험기기의 사양은 Table 1에 나타내었다.

3.2 실험방법

본 연구에서는 숫돌표면의 입자가 가공이 진행됨에 따라 어떻게 변화하는지 알아보기 위하여 새로 드레싱을 한 WA80KmV인 숫돌입자의 영상을 앞에서 기술한 시스템으로 획득하고 가로×세로×높이가 302 mm×32.5 mm×25 mm인 SM45C 시험편을 측정식 표면거칠기 측정기(surface roughness tester)로 임의의 5곳을 측정하여 그 중심선 평균 거칠기와 최대높이 거칠기의 평균값을 취하여 이 값을 기준으로 하여 변화율을 살펴본다. KGS-550M

Table 1 Specification of experimental equipments

Items	Description and specification
Grinding machine	KGS-550M
	Spindle speed : 1922 m/min
	Wheel size : 180 mm × 31.75 mm × 13 mm
Wheel	WA80KmV
CCD camera	Model : 1K-536
	Power : AC 100V +10% 50/60Hz
	Pickup device : 682H 492V
	Image size : 6.55 mm (H) × 4.87 mm (V)
	Signal standard : NTSC
Image board	Scanning rate : 2:1 interlace
	Model : DT-2851 60 Hz (data translation)
	Geometry resolution : 512 480
	Frame grabber speed : 1/30 sec.

성형연삭기로 휠의 원주속도 1922 m/min, 테이블 이송속도 2.5 m/s, 연삭깊이 10 μ m로 새 숫돌을 5회 가공하고, 그 숫돌표면의 임의의 10곳의 영상을 획득하여 각각의 영상마다의 입자에 해당하는 흰 픽셀의 수를 세어서 절삭날 면적률을 산출하여 그 평균값을 구한다. 이렇게 숫돌입자의 임의의 몇 곳을 측정하게 되면 어떤 일정한 지점만을 지정하여 그 영상을 받는 것보다 훨씬 간편한 시스템으로 영상을 획득할 수가 있고, 숫돌을 정지시키지 않고도 영상의 획득이 가능하도록 할 수가 있다. 이렇게 5회 가공한 시험편 역시 표면거칠기를 임의의 5곳에 대하여 측정하여 최대높이 거칠기와 중심선 평균 거칠기를 구하여 그 평균값의 변화율을 구하고 그 변화율과 면적률과의 관계를 비교해 본다. 이러한 작업을 같은 절삭조건과 같은 숫돌을 가지고 5회의 가공이 끝날 때마다 반복하며, 가공이 진행됨에 따른 절삭날 면적률과 표면거칠기 변화의 경향을 살펴본다.

3.3 측정알고리즘

Fig. 5는 절삭날 면적률을 측정하기 위한 알고리즘을 나타내는 흐름도이다.

앞서 언급한 영상획득장치는 경통의 길이를 늘리면서 영상을 확대했기 때문에 촛점거리가 매우 짧

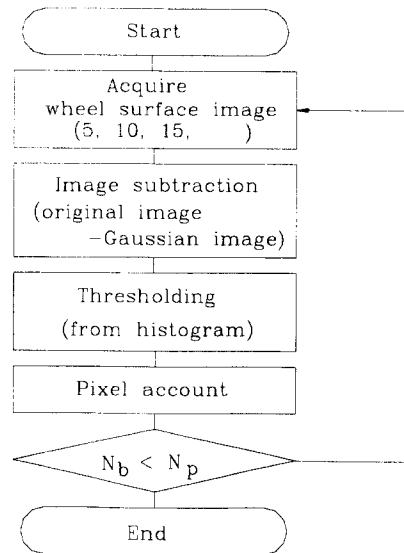


Fig. 5 Flowchart showing measurement process of wheel wear

아지게 된다. 이렇게 촛점거리가 짧아지고, 경통의 길이가 길어지게 되면 할로겐-램프의 조명을 사용하여 광량을 조절하여도 고른 조명분포를 얻기는 힘들다. 최대한 램프의 각도를 조정하여 빛의 상쇄 효과로 최상의 조명분포를 얻도록 하여도 중앙에 빛이 집중되는 현상을 완전히 제거할 수는 없다.

이러한 현상이 발생하게 되는 원인은 경통길이가 길어져서 경통 내부의 반사가 일정하지 못하게 되는 데에 있다. 이러한 집중현상이 발생한 경우, 앞에서 언급한 자동 쓰레쉬홀딩기법(thresholding technique)을 사용하면 가운데 집중된 빛과 바깥쪽의 빛이 적게 들어간 부분으로 이진화가 이루어진다. 이러한 현상을 막기 위하여 영상의 중심에 집중된 빛의 강도를 낮춰서 본래의 입자들이 잘 나타나도록 해야 할 필요가 있다. 이러한 처리를 위하여 이차원 가우시안분포를 이루고 있는 영상을 임의로 제작하여 원 영상에서 가우시안영상(Gaussian image)을 빼는 작업을 하여 집중현상을 많이 완화시킬 수가 있었다. 이차원 가우시안분포를 가지는 영상을 제작하기 위해서, 식 (17)을 적용하여 명암도의 분포를 Fig. 6와 같이 만들었다.

$$f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^2} \cdot \exp\left[-\frac{(x-\mu_x)^2 + (y-\mu_y)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (17)$$

획득된 영상마다 항상 일정한 밝기의 집중이 발생하지는 않는다. 이 경우 가우시안영상의 중앙 부분의 빛의 강도를 조절하여 알맞은 영상을 획득할 수 있어야 하는데, 이러한 점을 보완하기 위해서, 위 식의 분산의 값을 선택할 수 있도록 하여 중앙의 빛의 강도와 집중현상이 일어난 범위를 조절할 수 있도록 하였다.

이렇게 얻은 영상을 이용하여 앞에서 언급한 영상의 히스토그램으로부터 얻은 누적모멘트를 이용한 쓰레쉬홀딩기법을 적용하여 이진화영상을 만든다. 이 때 영상의 흰부분(명암도가 255인 부분)이 연삭입자가 된다. 그러므로, 전체 픽셀에 대한 흰부분의 픽셀의 비를 계산하면 이것이 절삭날 면적률이 된다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 가우시안영상의 처리결과

Fig. 7과 Fig. 8은 각각 새 숫돌과 마멸이 되었다고 판단되는 숫돌의 표면을 아무런 영상처리도 하지 않은, 처음 획득했을 때의 상태 그대로의 영상이다.

이 영상에서 앞서 언급한 Fig. 6의 가우시안영상을 빼 주면 Fig. 9, Fig. 10과 같이 가운데 부분의 집중된 빛이 많이 줄어들면서 전체적으로 하얗게

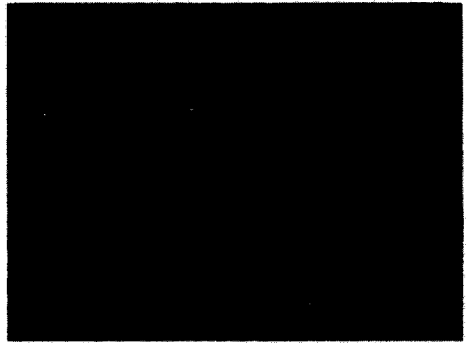


Fig. 6 The image of Gaussian distribution



Fig. 7 Original image before grinding

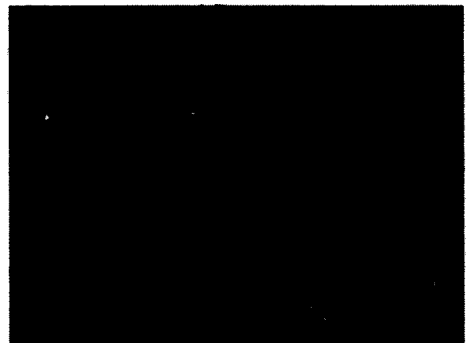


Fig. 8 Original image of worn wheel

빛나던 잡음이 많이 사라지고, 콘트라스트(contrast)는 다소 낮아져서 영상의 평활화(smoothing) 효과를 볼 수가 있다.

4.2 이진화영상의 처리결과

실제로 숫돌의 절삭날 면적률을 계산하기 위해서는 영상을 이진화처리를 하여 연삭에 참여하는 숫돌의 입자와 그외 부분과를 나누어야 한다. Fig.



Fig. 9 Gaussian processed image before grinding

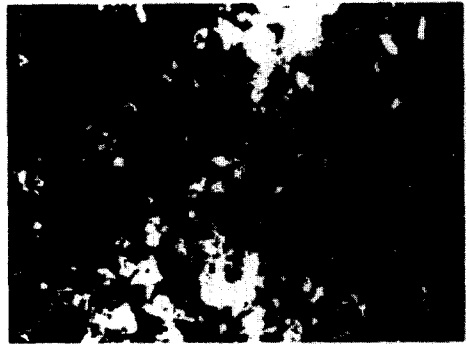


Fig. 12 Thresholding image of wheel at 5 times grinding

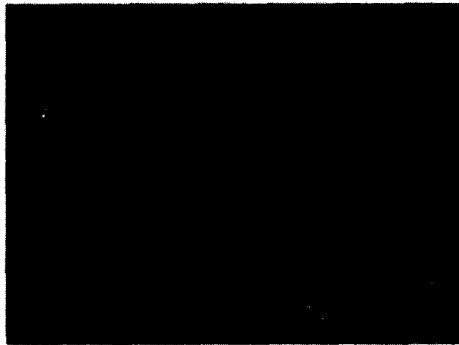


Fig. 10 Gaussian processed image of worn wheel

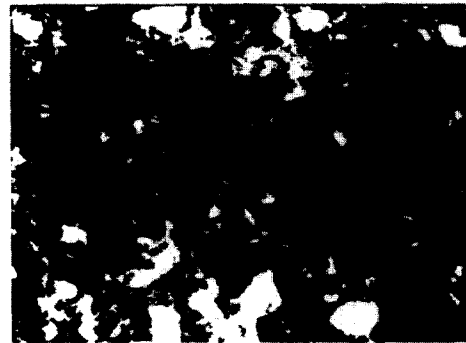


Fig. 13 Thresholding image of wheel at 10 times grinding



Fig. 11 Thresholding image of wheel before grinding

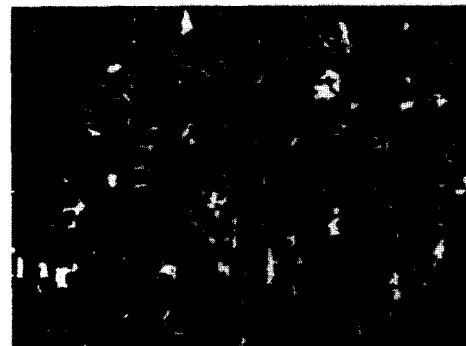


Fig. 14 Thresholding image of wheel at 20 times grinding

11은 가공을 하기 전의 숫돌의 영상을 이진화처리한 것이다. 또한, Fig. 12부터 Fig. 15는 각각 5회, 10회, 20회, 30회 가공 후의 숫돌표면의 이진화영상(thresholding image)이다.

Fig. 11부터 Fig. 15까지의 변화를 살펴보면, 영상에서 명암도가 255인 흰색의 픽셀수가 점차 증가하다가 마멸현상이 보이는 20회 가공시부터는 그 추세가 감소하는 경향을 나타내는 것을 볼 수가 있

다. 이러한 현상은 처음에는 절삭날의 마모가 증가하면서 절삭날의 면적이 점점 증가하나 점차 눈막힘과 함께 가공에 참가하는 절삭날이 줄어들게 되었다는 것을 의미한다. 실제로 그 값을 알아보면, 새 숫돌의 경우에 명암도가 255인 픽셀의 수는 34 897개이며, 전체 면적에 대한 비율은 약 14.19%

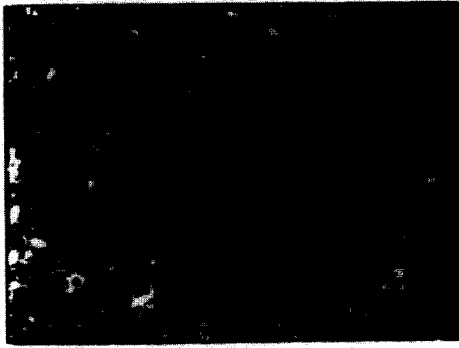


Fig. 15 Thresholding image of worn wheel at 20 times grinding

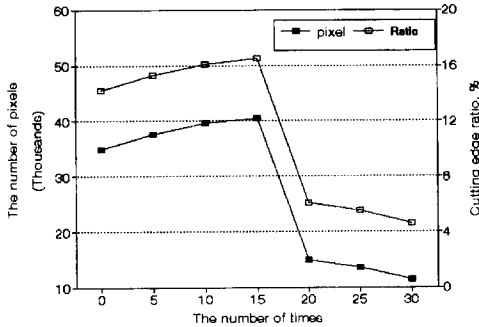


Fig. 16 Variation of white pixel and cutting edge ratio

를 차지하고 있는 것을 알 수가 있다. 또한, 5회 가공한 숫돌의 경우 그 픽셀의 수가 증가하여 37619개, 15.3%를 나타내다가 마멸현상이 일어나는 20회 가공한 숫돌의 경우에는 명암도 255인 픽셀의 수가 14921, 6.07%로 감소하였고, 30회의 가공을 마치고 거의 마모가 다 된 숫돌의 픽셀의 수는 11416, 4.65%로 감소하였다. 이러한 결과를 나타내면, 다음의 Fig. 16과 같다.

4.3 표면거칠기 측정결과

Fig. 17은 중심선 평균 거칠기가 $3.10 \mu\text{m}$ 이고 최대높이 거칠기가 $9.9 \mu\text{m}$ 인 표준시편의 표면거칠기의 형상을 기록계로 받은 것이다.

이와 비교하여 Fig. 18부터 Fig. 22까지는 각각 초기 가공하지 않은 상태의 새 숫돌과 5번 가공시, 10번 가공시, 20번 가공시 마지막으로 30번 가공시의 표면거칠기를 나타내고 있다.

가공전 측정된 공작물의 중심선 평균 거칠기는 $8.21 \mu\text{m}$ 였는데, 5회 가공시 $0.84 \mu\text{m}$, 10회 가공시

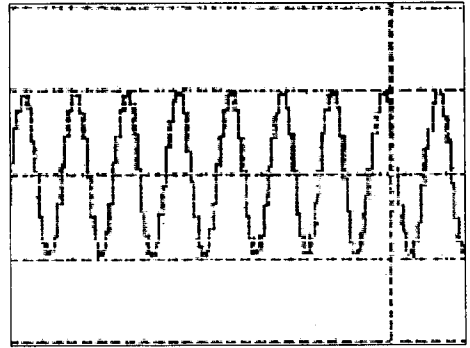


Fig. 17 Profile of standard specimen ($9.9 \mu\text{m}$)

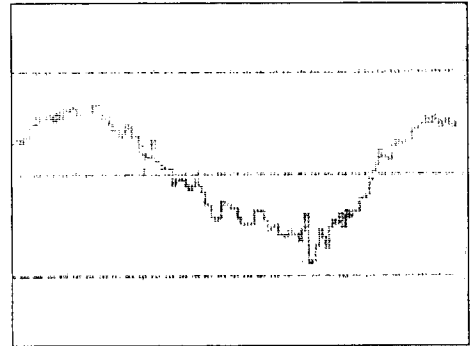


Fig. 18 Profile of workpiece at before grinding ($8.21 \mu\text{m}$)

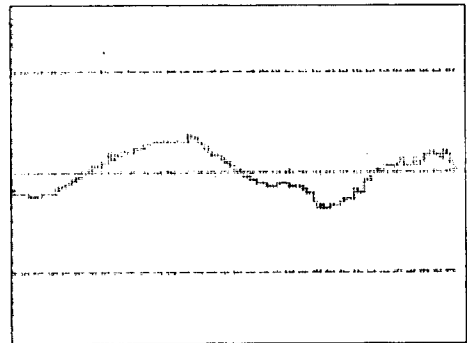


Fig. 19 Profile of workpiece at 5 times grinding ($0.84 \mu\text{m}$)

$0.30 \mu\text{m}$ 로 점차 향상되었다. 그러나, 20번 가공 시에는 $1.15 \mu\text{m}$ 로 점차 나빠지기 시작하여 30회에서는 $4.84 \mu\text{m}$ 로 더욱 심하게 나빠지는 것을 알 수가 있다. 이는 20회부터 연삭숫돌의 마멸로 인하여 가공에 점차 장애가 일어남을 알 수가 있다. Fig. 23은 위와 같이 가공이 진행됨에 따른 가공물

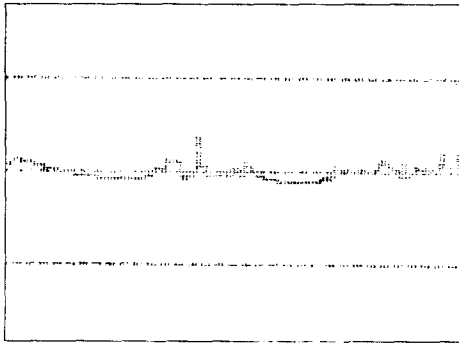


Fig. 20 Profile of workpiece at 10 times grinding (0.30 μm)

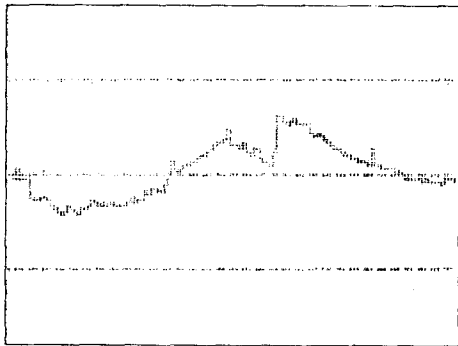


Fig. 21 Profile of workpiece at 20 times grinding (1.15 μm)

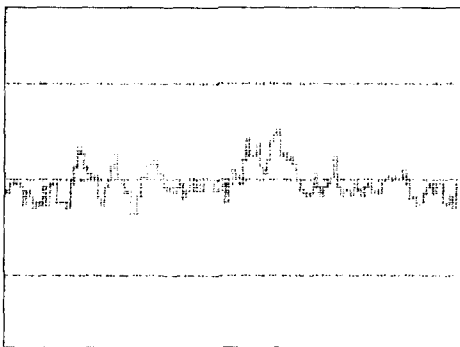


Fig. 22 Profile of workpiece at 30 times grinding (4.84 μm)

의 표면거칠기 변화를 나타내고 있다.

Fig. 24는 절삭날 면적률과 표면거칠기 사이의 관계를 나타내고 있다. 두 변화량 모두 20회 가공에서 변화의 판도가 바뀌게 되는 것을 볼 수가 있다.

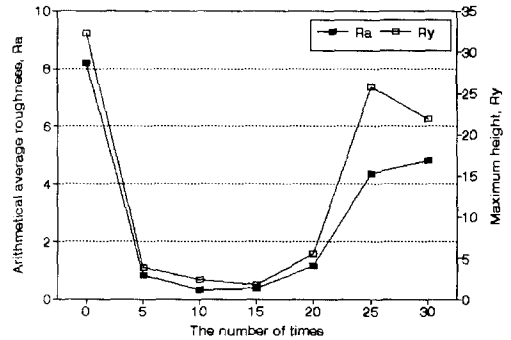


Fig. 23 Variation of surface roughness

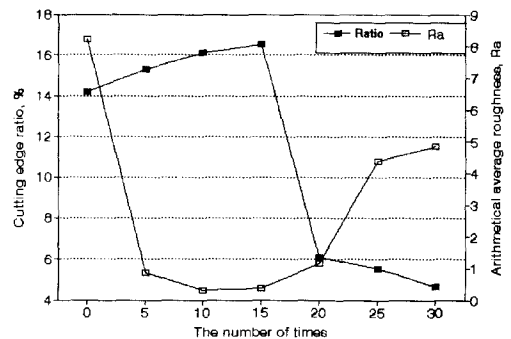


Fig. 24 Relation between cutting edge ratio and roughness

4.4 고찰

본 연구에서 얻고자 한 것은 경제적이고, 효율적인 방법으로 공구의 마모를 측정하여 앞으로의 온라인 검출에 적용 가능하도록 하자는데 있다. 본 논문에서는 값비싼 고배율의 렌즈대신에 경통의 길이를 늘려서 원하는 배율을 얻을 수 있었다. 그러나 경통이 길어진 것으로 인한 빛의 집중현상이 발생하였다. 이러한 현상은 초점거리가 짧아진 것에 따른 고르지 못한 조명분포와 길어진 경통 내부에서의 빛의 반사에 따라 발생한 것으로 보인다. 이로 인한 빛의 집중현상은 조명의 각도조절과 간단한 기법인 가우시안처리를 이용하여 제거시키면서 동시에 평활화의 효과도 얻어 산화철의 반사 등으로 인한 잡음도 어느 정도 줄일 수 있도록 하였다. 또한 히스토그램을 이용한 쓰레쉬홀딩 지점의 선정 방법을 사용하기 때문에 적용변수가 0차와 1차 누적모멘트로 매우 적어 자동 이진화영상을 빠르고 효율적으로 만들어 정량적인 절삭날의 비율을 얻을 수가 있었다. 이러한 방법의 적용으로 간단한 시스템으로 빠른 시간내에 연삭숫돌의 마멸경향을 검출

해 내는 문제를 해결하였다.

또한 절삭날 분포율의 측정시 일정한 부분만을 측정하지 않고 임의로 10곳을 선정하여 평균하여 구하였음에도 불구하고 그 경향이 잘 나타나는 것을 알 수가 있었다. 이것은 앞으로의 온라인 검출에 대한 적용 가능성을 제시하였다.

그러나, 아직까지 건식연삭에만 적용이 가능해서 습식연삭에 적용할 수 있는 방법이 없다는 문제점과, 고열로 인하여 연삭숫돌에 응착하는 가공물의 산화철을 영상처리기법으로 어떻게 제거하는냐 하는 문제점이 발생하였다.

5. 결 론

본 연구는 컴퓨터비전시스템을 이용하여 연삭의 절삭날 면적률을 측정, 그 드레싱 시기를 판정하기 위한 것이며, 온라인 기술에의 기초가 되는 단계로 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 절삭날의 면적률을 측정할 수 있는 컴퓨터 비전시스템을 구성하였으며, 면적률의 변화성향을 분석하여 그 드레싱 시기를 판단할 수 있었다.

(2) 히스토그램을 이용한 누적모멘트를 구하여 최적의 쓰레쉬홀딩 지점을 자동으로 구할 수 있었다.

(3) 임의의 지점을 여러군데 측정하여 그 평균을 구함으로써, 스트로브 조명 등을 이용하여 한 회전당 몇번의 영상획득으로 온라인상태에서 절삭날 면적률을 구하여 그 평균값으로 마모의 정도를 파악할 수 있는 가능성을 제시하였다.

(4) 고열로 인하여 연삭숫돌에 응착하는 공작물을 구별할 수 있는 영상처리기법의 개발이 필요하다.

in Grinding," *Transaction of the ASME*, pp. 463~470.

- (2) Rubenstein, C., 1972, "The Mechanics of Grinding," *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 12, pp. 127~139.
- (3) 윤문철, 1990, "연삭과정의 ARMA 모델링과 시스템 진단에 관한 연구," 공학박사학위논문 서울대학교, 서울.
- (4) Rajmohan, B. and Radhakarishan, V., 1994, "On the Possibility of Process Monitoring in Grinding by Spark Intensity Measurements," *Transaction of ASME*, Vol. 116, pp. 124~129.
- (5) Nakazono, H., Yasui, H., Kurusu M. and Hosokawa, A., 1990, "Studies on Dressing of the Resin-Bond CBN Grinding Wheel(1st Report)," *Bull. Japan Soc. of Prec. Engg.*, Vol. 24, No. 1, pp. 51~56.
- (6) Tsuwa, H., 1964, "An Investigation of Grinding Wheel Cutting Edges," *Trans. of ASME*, pp. 371~382.
- (7) Usui, E., Obikawa, T. and Hagiwara, S., 1988, "Study on Edge Fracture of Abrasive Grain during Grinding with Applying the Theory of Marcov Process," *Bull. Japan Soc. of Prec. Engg.*, Vol. 22, No. 2, pp. 95~101.
- (8) Otsu, N., 1979, "A Thresholding Selection Method from Graylevel Histogram," *IEEE. Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-9, No. 1, pp. 62~66.
- (9) 송준엽, 박화영, Nobushige Sawai, 1993, "선삭용 자동 공구수명 실험시스템 개발," 대한기계학회논문집, 제17권, 제3호, pp. 605~612

참고문헌

- (1) Eiss, N. S., 1967, "Fracture of Abrasive Grain