

화상의 블럭처리기법을 이용한 공구마멸 측정기술

이 상 조*, 조 창 연**, 이 종 항***

Tool Wear Monitoring with Vision System by Block Processing

Sang-Jo Lee*, Chang-Yeon Cho**, Jong-Hang Lee***

ABSTRACT

It is well known that the interest on the on-line sensing of tool wear is growing more and more with the aim of controlling machine tools productivity from the point of view of quality. This paper describes the sensing of the amount of flank wear with vision system. To obtain a proper image He-Ne laser generator is used as the lighting source and obtained image is processed with block processing algorithm and morphological image processing method. By means of this system it is possible to evaluate the parameters of tool wear. Experimental tests performed with this system on an NC lathe have shown good performances here described and discussed.

Key Words : Tool Wear Monitoring, Vision System, Block Processing

1. 서 론

기계가공에 있어서 생산성 및 가공 정밀도를 향상 시키기 위하여 최근에는 NC공작기계를 중심으로 한 기계가공 시스템의 자동화를 위한 연구가 진행되고 있다 (7). 그리고, 이러한 생산성 및 가공 정밀도의 향상을 위해서는 공구의 이상상태를 검출하기 위한 감시기술이 필요하다.

공구의 이상상태에는 공구마멸, 채터, 구성인선, 공구 손상 등이 있으며 이들중 채터, 구성인선, 공구손상 등은 공구 동력계, AE센서, 전류계, 가속도계 등을 이용하여 간접적으로 비교적 용이하게 검출할 수 있다. 그러나 가공 정밀도를 떨어뜨리고 심한 경우에는 채터나 공구손상의 원인이 되어 생산성을 저하시키는 주원인이 되는 공구마멸의 경우에는 직접적이고 정량적인 측정이

어렵다. 공구 현미경을 이용하여 측정할 수 있으나, 이 경우에는 공구를 공작기계로부터 분리하여 측정한 후에 다시 부착해야만 하므로 반드시 작업자가 필요하고, 시간이 소요되며, 재장착시 공구와 공작물의 상대위치의 변화로 인한 정밀도의 저하를 초래하는 단점이 있다.

이러한 단점을 해결하기 위하여 비전 시스템을 도입하여 카메라와 컴퓨터를 이용하여 공구를 공작기계로부터 분리하지 않은 상태에서 마멸량을 정량적으로 측정하는 것이 본 연구의 목적이다. 본 연구에서는 마멸 중에서도 플랭크 마멸에 대하여 비전 시스템을 이용하여 측정함으로써 공구의 교환시기를 판단할 수 있는 알고리즘과 시스템을 개발하였다.

2. 공구마멸

* 연세대학교 기계공학과(정회원)

** 연세대학교 원 기계공학과(정회원)

*** 생산기술연구원

공구마멸은 마멸의 발생위치와 형태에 따라서 플랭크 마멸, 크레이터 마멸, 코너부 마멸로 분류할 수 있다. 이러한 마멸이 진행됨에 따라서 절삭 저항, 소음, 공구 진동이 증가하여 제품의 치수 정밀도 및 가공 표면의 표면 거칠기가 악화된다(8, 9). 따라서 공구의 마멸을 측정하여 공구 수명을 판정할 수 있는 기준이 필요하다. 공구 수명은 공구의 마멸량 자체에 기준을 두어 판정하는 직접적인 방법과 가공면의 상태 또는 가공물의 치수 변화 및 절삭저항의 증가율 등을 측정하여 판정하는 간접적인 방법이 있다. 그러나 신뢰성 등의 문제는 직접

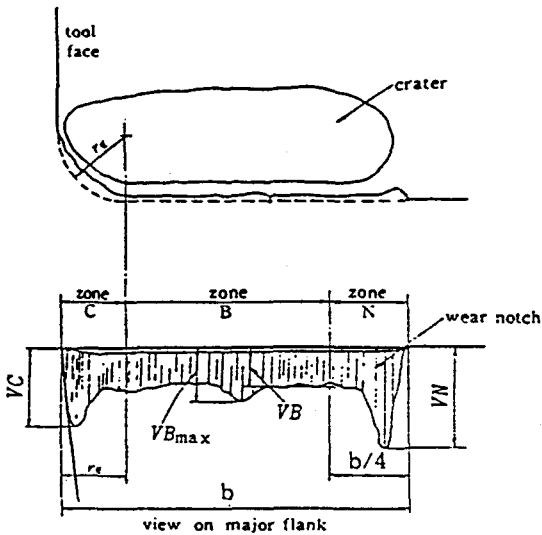


Fig. 1 Flank wear of tool

적인 측정방법을 이용할 때에 확실히 해결될 수 있다.

초경 공구에 대한 ISO(International Standard Organization)의 공구 마멸 판정기준은 다음과 같다.

플랭크 마멸 { 마멸폭 균일시 : $VB = 0.3(\text{mm})$
 { 마멸폭 불균일시 : $VB_{\text{max}} = 0.6(\text{mm})$

3. 화상획득을 위한 시스템

3.1 조명장치

비전 시스템은 획득한 화상의 각 화소의 밝기(gray level)로부터 모든 정보를 얻어내므로 조명이 가장 중요한 변수로 작용한다. 본 연구에서는 조명을 가해주면 마멸부위가 상대적으로 반사량이 많아서 밝게 나타나는 것을 이용하여 마멸이 발생하지 않은 부분과 구분하는

방법을 이용하였다.

정확한 정보를 얻어내기 위하여 빛의 산란이 적고 직진성이 좋은 레이저를 광원으로 사용하며, 자연광과 같은 효과를 얻기 위하여 Fig. 2와 같이 2대의 레이저를 서로 마주보는 방향에서 비추어주도록 하였다. 이렇게 함으로써 하나의 조명을 사용함으로써 요철부에 그림자가 생기는 현상을 최소화시켰다.

그러나 공구가 공작기계에 부착되어 있는 부분은 공간이 협소하여 크기가 큰 레이저 헤드를 직접 근접시킬 수 없으므로, 레이저 헤드는 떨어진 곳에 설치하고 광케이블을 이용하여 조명을 전송하여 좁은 공간에서의 이동을 쉽게 하였다.

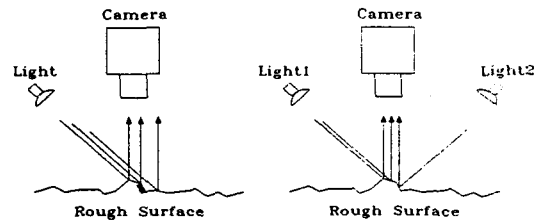


Fig. 2 Difference of image due to the number of lights

3.2 카메라부

화상 획득을 위한 카메라는 크기가 작고 수명이 반영구적인 CCD(Charge Coupled Device) 카메라를 사용하였다. 측정하려는 마멸량은 일반적으로 1mm 이하의 매우 작은 크기이므로 이를 화상처리하기 위해서는 화상을 확대할 필요성이 있다. 일반적으로 많이 사용하는 확대렌즈는 그 크기가 너무 크므로 크기가 작으며 초점거리를 바꾸어서 화상을 크게 보이게 하는 확장튜브(extension tube kit)를 사용하였다.

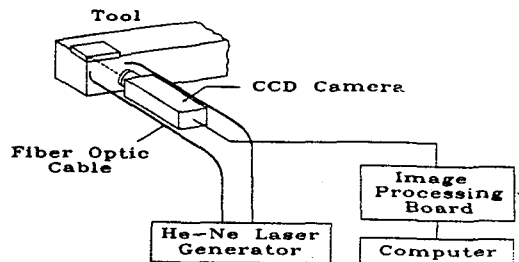


Fig. 3 Schematic illustration of vision sensing system

그리고 마모면에 부착된 불순물을 제거하기 위하여 카메라 옆에 노즐을 붙여서 화상을 얻기 직전에 공압으로 불순물을 제거하는 방법을 사용하였다.

4. 공구마멸 측정을 위한 화상처리 이론

4.1 이진 화상의 생성

화상처리장치에서 받아들인 화상은 8bit의 명암차이를 나타낼 수 있으므로 0에서 255까지 256개의 밝기로 보여진다. 이러한 화상을 어떠한 값을 기준으로 양분하여 어두운 부분은 0의 값을, 밝은 부분은 1의 값을 가지도록 만든 화상을 이진 화상이라고 한다. 본 연구의 경우에는 마멸부위가 밝은 부분이고 그 이외의 부분이 어두우므로 마멸부와 그 이외의 부분을 구분하는 것이 이 단계에 해당한다고 할 수 있을 것이다.

일반적인 경우에는 히스토그램을 분석하여 적당한 밝기를 경계치로 설정하면 화상의 분할이 가능하지만 본 연구와 같이 명암차이가 크지 않을 경우에는 정확한 경계치의 설정이 어렵다. 그러므로 블럭처리에 의한 화상의 분할방법을 이용하여 화상을 적절히 배경과 마멸로 분리하였다⁽⁵⁾. 화상을 분할해서 이진화상으로 만드는 알고리즘은 다음과 같다.

여기에서 A, B의 값은 물체의 선명도를 결정하는 요인으로 조도가 세어지면 A, B의 차이를 크게하고, 약해지면 작게한다. C는 일반적으로 0.5 이하의 값을 택하고 주변의 명도차에 따라 바꾼다. 또한, D, E의 값은 1보다 조금 작은 값을 택한다. 최적의 블럭처리 계수들은 주위환경에 따라 조금씩 변할 수 있으나 레이저 조명이 상대적으로 강하기 때문에 한번 결정되면 별다른 수정없이 사용될 수 있다.

- 단계① : 전체 화상의 평균을 이용한 화상의 분할
 화소값 < 전체화상의 평균 × A이면 배경
 화소값 > 전체화상의 평균 × B이면 마멸
- 단계② : (블럭의 평균 - 주변의 평균) / (블럭평균의 최대값 - 최소값) × C이면 다음 과정에 따라 처리한다.
 화소값 < 주변블럭의 평균이면 배경 아니면 마멸
- 단계③ : 주변블럭의 평균 > 블럭의 평균이면 다음 과정에 따라 처리한다.
 화소값 < 블럭의 평균 + (주변블럭의 평균 - 블럭의 평균) × D이면 배경 아니면 마멸

단계④ : 주변블럭의 평균 < 블럭의 평균이면 다음 과정에 따라 처리한다.

화소값 < 블럭의 평균 - (주변블럭의 평균 - 블럭의 평균) × E이면 배경 아니면 마멸

이 알고리즘에서 단계 ①의 과정은 배경 또는 마멸의 선명도를 높이는 과정이고, 단계 ②를 이용해 처리된다는 것은 처리중인 블럭이 주변의 블럭과 밝기가 비슷한 부분이라는 것을 의미한다. 또한 단계 ③에서 처리된다는 것은 주변의 밝기가 밝으며 처리중인 블럭의 밝기는 어둡다는 것을 의미한다. 그러므로 이런 경우는 처리중인 블럭이 배경일 확률이 높으며 그에 따라 임계값을 높여 배경이 될 가능성을 높여야 한다. 마찬가지로 단계 ④는 임계값을 낮추어 마멸이 될 가능성을 높이는 과정이다. 이러한 과정들을 그림으로 표현하면 다음과 같다.

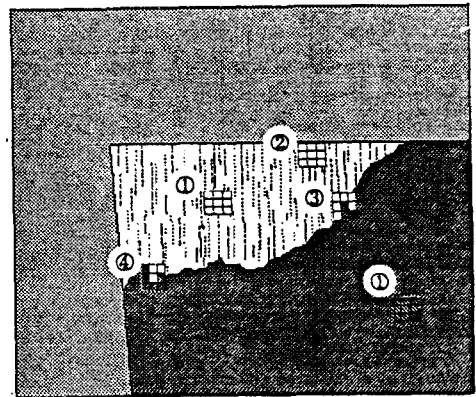


Fig. 4 Block processing processes

4.2 화상의 노이즈 제거

조명이 적절하지 못한 경우나 마멸이 불균일한 경우, 이물질이 부착되었을 경우에는 이진화상을 만들었을 때에 노이즈가 발생한다. 화상에서의 노이즈란 이와같은 원인으로 인하여 발생하는 마멸부 내의 어두운 부분이나 마멸부 외부의 밝은 부분을 말하는 것이다. 본 연구에서는 이러한 노이즈를 제거하기 위하여 형태학적인 화상처리 기법(morphological image processing)을 이용하였다. 이 기법은 하나의 화소와 이웃하는 화소들과의 관계를 이용하여 면적을 확대(dilation) 또는 축소(erosion)하는 방법이다^(1, 2).

노이즈의 제거를 위한 mask의 크기와 양은 다음과

같다. 여기서 $F(x, y)$ 는 원래 화소값을, $G(x, y)$ 는 mask를 씌워서 재정의한 화소값을 의미한다.

$$\text{mask} (H(i,j))$$

a	b	c	
d	G	e	=
f	g	h	

1	2	1
2	0	2
1	2	1

$F(x-1,y-1)$	$F(x-1,y)$	$F(x-1,y+1)$
$F(x,y-1)$	$F(x,y)$	$F(x,y+1)$
$F(x+1,y-1)$	$F(x+1,y)$	$F(x+1,y+1)$

$$G(x, y) = F(x, y) \oplus H(i, j) \quad 1 \leq i, j \leq 3$$

$$= F(x-1, y-1) + F(x+1, y-1)$$

$$+ F(x-1, y) + F(x+1, y)$$

$$+ 2(F(x, y-1) + F(x, y+1))$$

$$+ F(x+1, y) + F(x-1, Y)$$

$$G(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } G(x, y) > Th \\ 0 & \text{if } G(x, y) \leq Th \end{cases}$$

여기서 Th 는 노이즈의 제거를 위한 경계선 값으로, Th 의 값이 7~12이면 화상의 어두운 부분이 확대되고, 1~6이면 어두운 부분이 축소된다. 그러므로 축소와 확대를 적절히 반복하면 이진화상의 노이즈를 제거할 수 있다.

4.3 마멸량 검출

노이즈를 제거한 화상에서 1의 값을 갖는 화소는 마멸부위를 나타낸다. 마멸량을 계산하기 위하여 먼저, 위에서부터 한 행씩 아래로 조사하여 마멸의 상단부와 하단부를 구한다. 그리고 좌측에서부터 한 열씩 우측으로 조사를 하여 절삭깊이를 구한다.

일반적으로 마멸화상은 상단부가 어둡게 나오므로 이로 인한 마멸량의 축소를 방지하기 위하여 마멸의 상단부와 하단부의 간격으로 최대 마멸폭을 구한다. 평균 마멸폭은 전체 마멸 화소수를 절삭깊이로 나누어서 구한다.

4.4 환산

화상처리의 과정을 거쳐서 얻은 마멸량은 화소수의 단위로 산출되므로 판정기준인 mm단위로 환산하기 위한 정확한 환산계수(mm/pixel)의 결정이 필요하다.

이러한 환산계수는 화상획득시의 렌즈와 물체와의 거리, 확대율 등에 따라서 그 값이 항상 바뀌게 되는데, 본 연구에서 실험을 행할 때에 설정한 거리와 확대율에서의 환산계수의 값은 다음과 같다.

$$X_{cal} = 0.021 \text{ mm/pixel (수직방향)}$$

$$Y_{cal} = 0.018 \text{ mm/pixel (수평방향)}$$

이러한 환산계수는 또한 수직과 수평방향의 분해능을 의미한다. 분해능의 향상은 확대율을 높이고 거리를 가까이하면 가능하지만, 더욱 근접시킬 경우에는 조명을 전송하는 광케이블이 설치되는 공간이 문제가 되어서 위와같은 분해능을 가지도록 설정하였다.

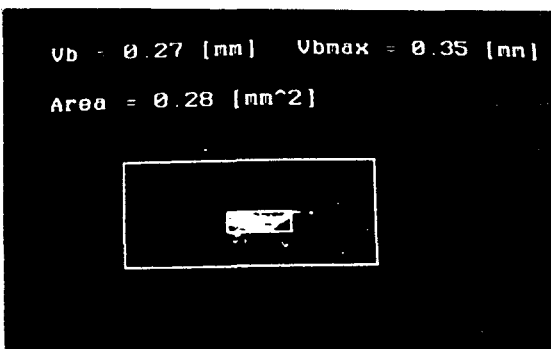
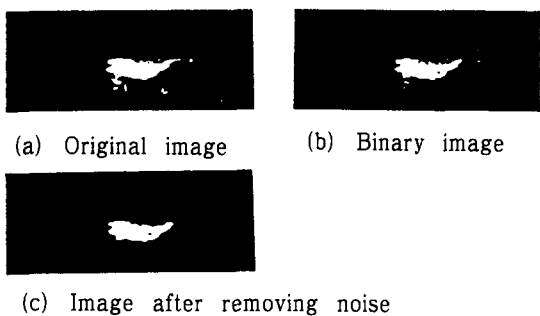
5. 실험 및 결과

본 실험은 CNC선반 가공중 일정시간 간격으로 절삭작업을 중단시키고 공구를 측정위치로 이동시킨 후, PUMA형 로봇의 말단부(end effector 부위)에 조명장치와 일체로 이루어진 카메라를 부착시켜 공구에 근접시켜서 화상을 촬영하여 마멸량을 검출하도록 행하여졌다.

그 결과는 Fig. 5~Fig. 9과 같으며, 이들중 (a)는 원화상을, (b)는 이진화상을, (c)는 노이즈를 제거한 화상을 나타내며 이들은 화상을 처리한 부분만을 확대하여 나타낸 것이다. (d)는 화상처리 결과를 나타내며 그 속의 작은 window는 계산된 마멸부위를 의미한다.

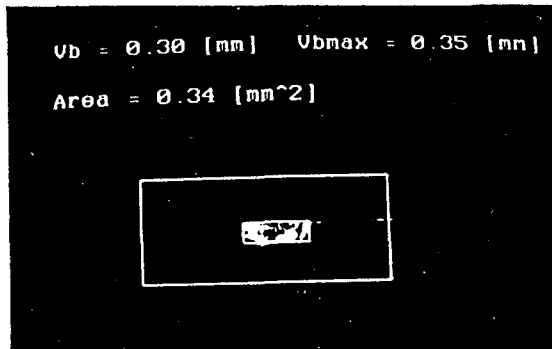
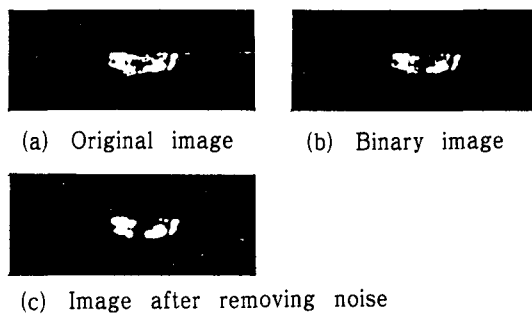
원화상들을 보면 시편 #1, #2, #5는 마멸이 진행중인 상태임을 알 수 있고, #3, #4는 마멸판정기준을 넘어선 공구임을 알 수 있다. 이진화상을 구성하기 위한 블럭처리 계수 A, B, C, D, E는 환경에 따라서 변화할 수 있는 값이지만 반복적인 실험을 거쳐서 A=2.7, B=3.5, C=0.1, D=0.95 E=0.95라는 값을 얻었다. 이진화상의 결과에는 노이즈 부분과 마멸 하단부에 노이즈가 많지만 이를 제거한 결과에서는 거의 나타나지 않고 있다.

Table 1에서는 현미경으로 직접 관측한 결과와 화상처리에 의하여 구한 마멸폭을 비교하여 나타내었다. 실험을 행한 5개의 시편에 대하여 전체적으로 5% 내외의 오차를 가지는 결과를 얻을 수 있었고 마멸폭이 현미경



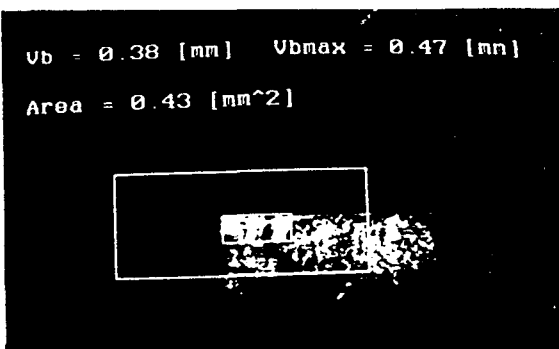
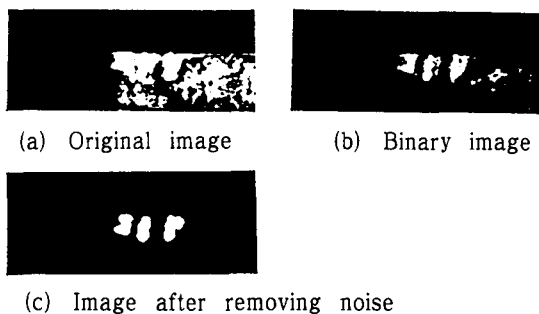
(d) Image processing result

Fig.5 Tested tool #1



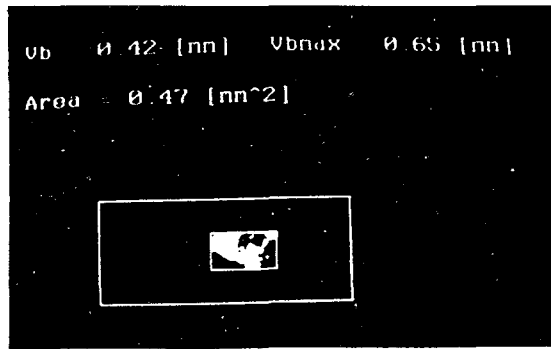
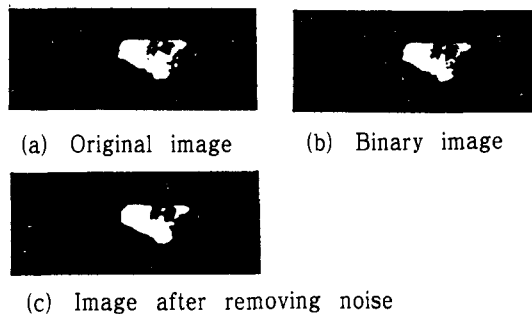
(d) Image processing result

Fig.6 Tested tool #2



(d) Image processing result

Fig.7 Tested tool #3



(d) Image processing result

Fig.8 Tested tool #4

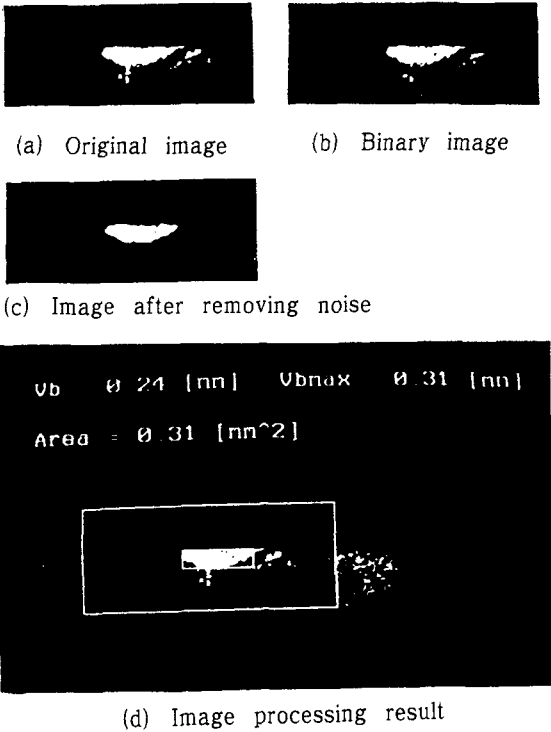


Fig.9 Tested tool #5

Table 1. Comparison of wear width measured by microscope and vision system

시편	마멸폭	현미경	화상처리	오차
#1	평균 마멸폭(VB)	0.28 mm	0.27 mm	3.57%
	최대 마멸폭(VB _{max})	0.36 mm	0.35 mm	2.78%
#2	평균 마멸폭(VB)	0.32 mm	0.30 mm	6.25%
	최대 마멸폭(VB _{max})	0.36 mm	0.35 mm	2.78%
#3	평균 마멸폭(VB)	0.39 mm	0.38 mm	2.56%
	최대 마멸폭(VB _{max})	0.47 mm	0.47 mm	0.00%
#4	평균 마멸폭(VB)	0.48 mm	0.42 mm	12.50%
	최대 마멸폭(VB _{max})	0.65 mm	0.65 mm	0.00%
#5	평균 마멸폭(VB)	0.24 mm	0.24 mm	0.00%
	최대 마멸폭(VB _{max})	0.31 mm	0.31 mm	0.00%

으로 측정된 경우 보다 약간씩 적게 나타남을 알 수 있다. 카메라의 분해능이 약 0.02mm임을 감안하면 실험을 행한 확대율에서는 거의 오차가 없는 좋은 결과를 얻었음을 알 수 있다. 그리고 상대적으로 최대마멸폭의 오차가 평균마멸폭의 오차보다 적게 나타났다.

6. 결 론

본 연구는 자동절삭 시스템의 하나로 공구 마멸을 자동으로 검출하기 위한 것으로, 공구의 마멸부분에 빛을 쏘면 상대적으로 밝게 나타나는 것을 이용하여 비전 시스템으로 마멸량을 검출하였다. 양호한 화상을 얻기 위하여 레이저 조명장치 두대를 사용하여 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 이진화상의 구성시에 기존의 일반적인 히스토그램 분석방법 대신 블러처리 기법을 이용함으로써 명암 차이가 크지 않은 화상에서도 효과적으로 이진화상을 구성할 수 있다.
2. 노이즈 부분과 마멸 하단부에 많이 발생하는 노이즈는 형태학적인 화상처리 기법을 이용하여 처리함으로써 제거할 수 있다.
3. 화상처리에 의한 마멸량의 계산 결과에서 최대 마멸량은 공구현미경으로 측정한 결과와 거의 일치하나, 평균 마멸량은 약간의 오차가 있다.

참고문헌

1. Rafael C. Gonzalez and Paul Wintz, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1987
2. William K. Pratt, Digital Image Processing, John Wiley & Sons Inc., 1991
3. K. S. Fu and R. C. Gonzalez and C. S. G. Lee, Robotics : Control, Sensing, Vision and Intelligence, McGraw-Hill Book Company, 1987
4. Shi-Kuo Chang, Principles of Pictorial Information Systems Design, Prentice-Hall International Inc., 1989
5. 이명구, "피부 반응 검사의 자동화를 위한 영상처리 알고리즘에 관한 연구", 연세대학교 대학원 석사학위논문, 1989
6. 남궁재찬 편저, 화상공학의 기초, 기전연구소, 1989
7. 한국기계연구소 연구보고서, "절삭 가공정보의 계측 기술 개발", 1991
8. 이용성, 절삭 및 연삭이론, 동명사, 1986
9. 서남섭, 기계공학법, 동명사, 1988