

선삭에서 컴퓨터비전을 이용한 플랭크 마모 측정에 관한 연구

김 영 일*, 유 봉 환**

A study on the measurement of flank wear by computer vision in turning

Young-Il Kim*, Bong-Hwan Ryu**

ABSTRACT

A new digital image processing method for measuring of the flank wear of cutting tool is presented. The method is based on computer vision technology in which the tool is illuminated by two halogen lamps and the wear zone is visualized using a CCD camera. The image is converted into digital pixel and processed to detect the wearland width. As a conclusion, it has been proved that the average wearland area and maximum peak values of the flank wear width can be monitored effectively to a measuring resolution of 0.01mm.

Key Words : Computer Vision, Dynamic Threshold, Histogram Technique, Edge Detedtion, Flank Wear, CCD Camera, Line Fitting Method, ISO, Lighting Illumination

1. 서 론

컴퓨터비전(Computer Vision)은 영상(Image)의 표현, 설명 또는 인식을 위하여 입력된 영상을 조사(Examine)하는 서술적(Descriptive) 과정이라 할 수 있는데 입력된 영상에 원하는 물체(Object)의 존재여부를 조사하는 가장 간단한 비전시스템(Vision System)으로부터 마치 인간(Human)이 직접 보면서 주어진 영상(Image)을 서술하는 것처럼 영상을 표현 내지 인식하는 아주 복잡한 비전시스템(Vision System)을 생각할 수 있다. (1)

또 컴퓨터비전시스템(Computer Vision System)은 영상에서 특징을 추출하여 기호군을 형성하고 최종적으로 영상을 인식 또는 표현하는데, 본 연구에서는 영상 처리(Image Processing)의 전처리과정인 특징점 추출 방법을 기존의 방법과 다른 새로운 영상처리기법을 개발

하여 절삭공구 여유면마모(Flank Wear)측정에 적용하고자 한다.

2. 쓰레쉬홀딩 기법(Thresholding Technique)

CCD Camera로부터 얻어진 공구 형상의 영상에서 대상물의 특징을 추출하거나 인식할 경우, 원화상의 여러가지 그레이 레벨(Gray Level)을 이용하기 보다는 경계인식 및 패턴추출을 용이하게 하고 연산시간을 최소화 하기위해 물체(Objective)와 배경(Backgroun)을 분리하는 쓰레쉬홀딩값을 설정하여 256 Gray Level의 영상을 2 Level의 2진화상으로 만들어 사용하게 된다.

쓰레쉬홀딩(Thresholding)은 원 화상정보에서 각 영역들을 분할(Segmentation)하기 위한 과정으로 물체(Objective)와 배경(Background)의 그레이 레벨차(Gray Level Difference)를 증가시킴으로써 이 목적을

* 국립 공업 기술원(정회원)

** 숭실대학교 기계공학과(정회원)

달성할 수 있다. 이렇게 함으로써 물체와 배경을 구분하는 경계선을 개선(Enhancement)하는 효과를 얻을 수 있다. 이런 쓰레쉬홀딩값은 히스토그램(Histogram)으로 부터 얻을 수 있는데 이 히스토그램의 구성은 다음과 같이 정의할 수 있다.

2.1 히스토그램의 구성

Histogram이란 주어진 화상 정보에서 각 화소(Pixels)와 각 화소가 갖는 그레이레벨(Gray Level)과의 관계를 그래프로 표현한 것으로 총 그레이레벨수를 L로 표현하고 i에서의 화소수를 ni로 나타내면 화소의 총 수는 $N = n_1 + n_2 + \dots + n_L$ 가 되고 이 Gray Level Histogram은 확률분포(Probability Distribution)로 간주하여 아래의 수식으로 나타낼 수 있다.

$$P_i = n_i / N, P_i > 0, \sum_{i=1}^L P_i = 1 \quad (1)$$

2.2 쓰레쉬 홀딩 순서(Thresholding Orders)

물체(Objective)와 배경(Background)을 구분하기 위한 쓰레쉬홀딩의 순서는 기본적으로 다음과 같은 알고리즘에 의해 수행된다.

- Step 1. 영역내 Histogram H(i)를 구한다.
- Step 2. 경계값(Threshold Value : T)을 구한다.
- Step 3. T를 기준으로 2차화 한다.

$$g(i, j) = \begin{cases} 255 : f(i, j) \geq T \\ 0 : f(i, j) < T \end{cases} \quad (2)$$

여기서, $f(i, j)$ = 좌표(i, j)의 입력화상 Pixel Value
 $g(i, j)$ = 좌표(i, j)의 출력화상 Pixel Value

3. 플랭크마모(Flank Wear) 및 공구수명 판정기준

일반적으로 공구의 마멸은 공구의 경사면에 발생하는 경사면마모(Crater Wear)와 측면의 여유면마모(Flank Wear)가 공구수명판정(Tool Wear Criteria)을 하는데 주로 사용되고 있다.

본 연구에 적용된 여유면마모(Flank Wear)의 전형적 형태를 나타내면 Fig.1과 같다.

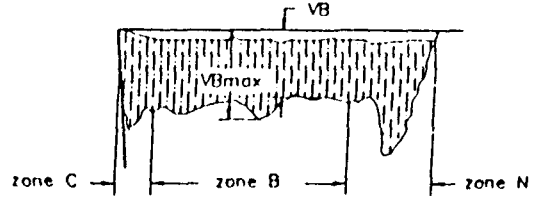


Fig.1 Typical profile of flank wear

ISO(International Organization for Standardization)에서는 Fig.1에서의 Zone C와 Zone N는 그 마모가 불규칙적이고 상대적인 변화가 적고 측정이 용이한 B구역을 공구수명 판정(Tool Wear Criteria)부위로 사용되고 있다. ISO가 추천하는 공구수명 판정기준은 Zone B가 균일하게 마모된 경우 $VB_{ave} \geq 0.3mm$ 이고, 불균일한 경우 $VB_{max} \geq 0.6mm$ 로 나타내고 있다.

4. 측정장치 설계

본 측정장치의 형상 인식 원리도는 Fig.2, 측정장치 사진은 Fig.3, 전체 시스템 구성도는 Fig.4에 도시되어 있으며, 전체 시스템은 할로겐램프(Halogen Lamp)부, 광선 입사부 및 상 확대부, 영상신호 처리부(Image Signal Processing), 화상인식용 소프트웨어등으로 구성된다.

조명방식에는 측정대상물이 광원과 카메라사이에 놓인 후광법(Back Lighting Method)과 5~500 μsec 정도 지속하는 짧은 펄스(Pulse)의 고감도 빛을 비추는 스트로브법(Strobe Lighting Method)이 있으나 온라인 센싱(On Line Sensing)이 가능하도록 일체형 제작에 용이한 반사조명법(Front Lighting Method)을 채택했다.⁽³⁾

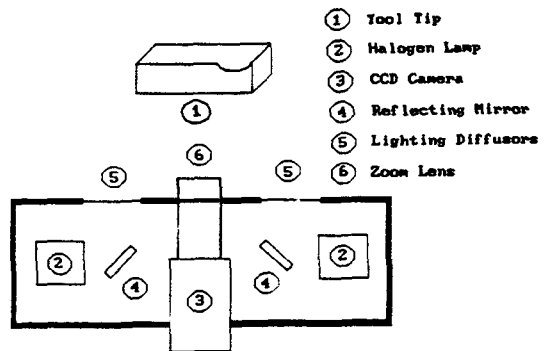


Fig.2 Front lighting method for flank wear measuring

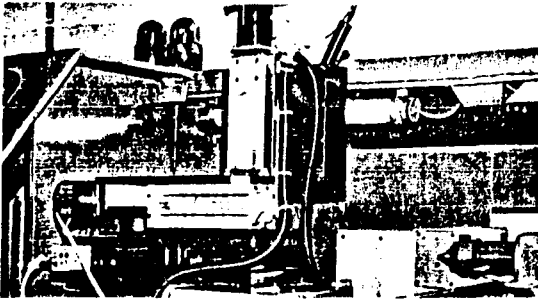


Fig. 3 Apparatus built for optical flank wear

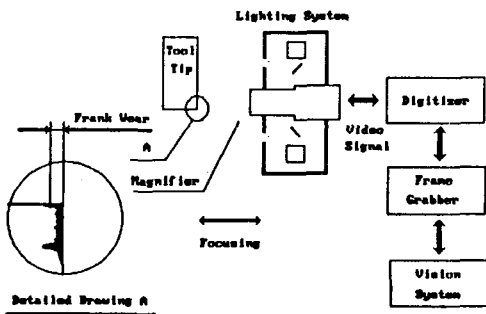


Fig. 4 Schematic diagram of optical flank wear measuring system

디지털(Digital) 영상입력장치로 표현할 수 있는 프레임 그래버(Frame Grabber)는 CCD Camera로 잡은 영상을 원하는 영상으로 가공하거나 필요한 정보를 추출해 내기 위한 장치로 표현할 수 있다. 먼저 CCD Camera로부터 입력되는 아날로그신호(Analog Signal)을 디지털신호(Digital Signal)로 변환한 후 컴퓨터에 보내어지는데 이때 프레임(Frame) 단위로 데이터(Data)가 전송된다. (4)

5. 영상처리기법

쓰레쉬홀딩(Threshold)은 영상분할(Image Segmentation)에 있어 가장 중요한 방법인데 쓰레쉬홀딩 기법에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다. (5) (6) (7)

쓰레쉬홀딩기법(Threshold Technique)을 크게 분류하면 그로벌 쓰레쉬홀딩(Global Thresholding), 로칼 쓰레쉬홀딩(Local Thresholding), 다이내믹 쓰레쉬홀딩(Dynamic Thresholding)으로 나눌수 있다. (8) 따라서 본 연구에서 개발한 다이내믹 쓰레쉬홀딩 알고리즘은 Fig. 5와 같다.

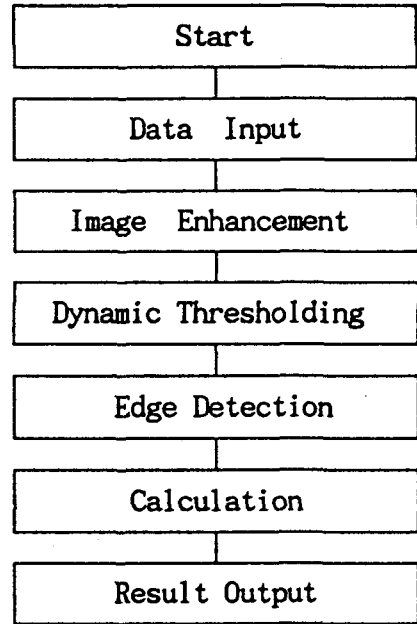


Fig. 5 Image processing algorithm of flank wear detection

5.1 영상개선(Image Enhancement)

영상개선(image Enhancement)에는 윤곽선강조(Edge Enhancement)와 해상도개선(Resolution Enhancement)등으로 나눌 수 있다. 영상의 특성성분을 강조함으로써 대상물 인식을 편하게 하는데 주목적이 있다.

5.2 다이내믹 쓰레쉬홀딩법 (Dynamic Thresholding Method)

다이내믹 쓰레쉬홀딩은 다음과 같은 절차에 따라 본 연구에 적용되었는데 그 알고리즘을 나타내면 Fig. 6과 같다. 즉 ① 먼저 전영역의 히스토그램을 조사한다. ② Pixel Matrix에서 열(Column) 방향으로 검색(Scanning)하여 상면기준선(Up Baseline)을 설정하고 나머지 3면(Down, Left, Right)에 대해서도 유사하게 열과 행 방향으로 검색하여 전체의 기준 상자(Base Box)를 완성한다. ③ 기준상자 영역내의 노이즈를 제거한다. ④ 기준상자의 영역내에서 좌측상면으로부터 우측으로 검색하여 마모된 에지(Worn Edge)를 검출한다. ⑤ 절삭공구의 마모량을 정량적(VB_{max} , VB_{mean} , Wearland Area)으로 계산한다.

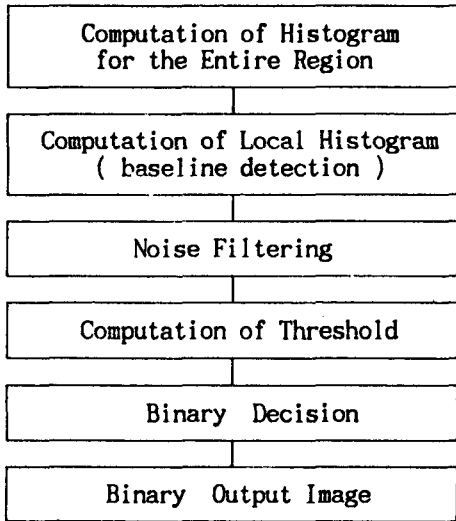


Fig.6 Flow chart of the computer program

5.3 경계선 검출법

경계선은 영상정보에서 특정한 크기의 불연속적인 부분으로서 영상의 전체적인 패턴을 나타낸다. 경계선을 강조하기 위해 실질적으로 사용되는 기법에는 라플라시안 경계선 강조(Laplacian Edge Enhancement)와 변위와 차이를 이용한 경계선 강조(Shift and Dif-

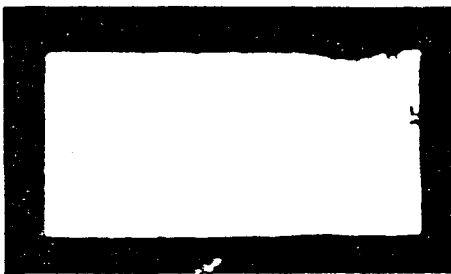
ference Edge Enhancement) 등이 있는데, 본 연구에서는 변위와 그레이 레벨(Gray Level) 차이를 이용한 경계선 강조(Shift and Gray Level Difference Edge Enhancement)로서 다이내믹 쓰레쉬홀딩 기법을 통해 설정된 기준선(Baseline) 아래 부분의 경계선을 검출했다.

6. 결과 및 고찰

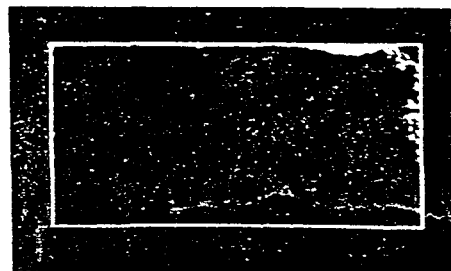
6.1 플랭크마모 계산

설계 제작한 Computer Vision System을 사용하여 영상신호를 얻어내고, 이들 영상처리 기법을 통한 단계별 처리를 Control Monitor에서 출력한 결과는 Fig.7과 같다.

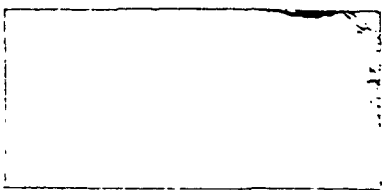
한편, 구성 시스템의 신뢰성 정도 및 재현성을 조사하기 위해 Table.1과 같은 절삭조건으로 절삭실험을 실시하여 절삭작업중의 마모진행에 따른 새롭게 개발한 후 측정 시스템과 공구 현미경(Tool Microscope)을 통하여 육안으로 측정한 결과를 비교, 분석한 데이터는 Table.2와 같고 또 이 결과를 그래프로 나타내면 Fig.8과 같은데 최대 측정오차가 3.7% 이내의 신뢰성 있는 결과로 나타났으며 이 시스템을 이용하여 공구 마모를 측정할 경우 작업자와 관계되는 개인오차가 제거되며, 신속한 측정이 가능해질 것이다.



(a) Original Image



(b) Enhancement Image



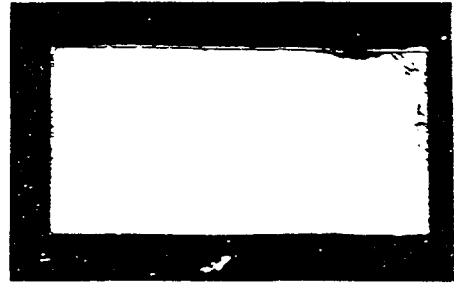
(c) Inverse Enhancement Image



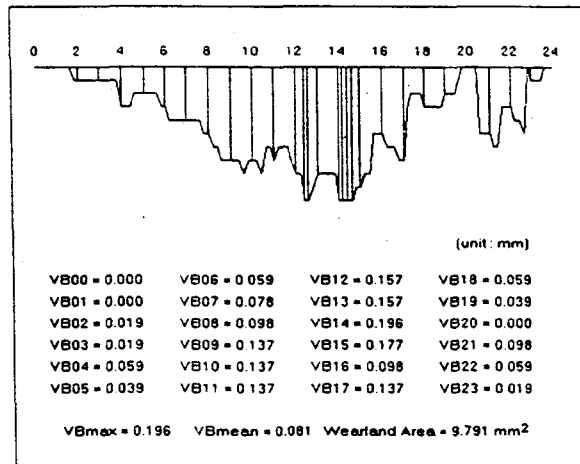
(d) Dynamic Thresholding Image



(e) Inverse Dynamic Thresholding Image



(f) Merge Image



(g) Calculated Flank Wear

Fig.7 Results of calculated flank wear

Table 1. Parameters of cutting condition

Cutting Condition	
Feed, f	0.22 mm/rev
Depth of cut, d	1.5 mm
Cutting speed, v	180 m/min
Type, CNGA	120408
Corner radius, r	0.8 mm
Insert tip	coated cemented carbides (Tic/TiCN/TiN)
Tip material	P15-P30 (KT300)

Table 2. Flank wear measurement datas of the tool microscope vs. newly developed method.

Cutting Time (min)	Flank Wear (VB : μm)		Error (%)
	Tool Microscope	Newly Developed Method	
0	0	0	0
10	101	98	-3.0
20	108	111	2.8
30	121	124	2.5
40	142	138	-2.9
60	154	158	2.6
70	189	196	3.7

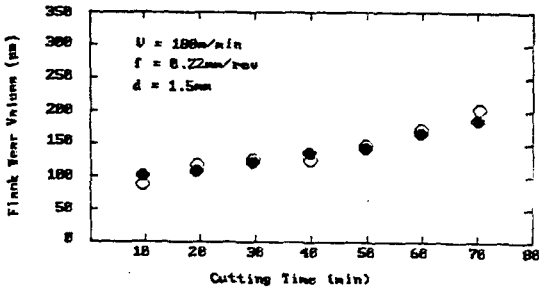


Fig.8 VB values comparison of the tool microscope vs. newly developed method. (○: New method, ●: Microscope)

6.2 Calibration

공구마모 영상처리에 있어 마모폭 측정량은 화소 (Picture Element) 수의 단위로 산출되므로 마모패턴의 절대치를 구하기 위해서는 정밀 정확한 Calibration Factor (mm/pixel) 의 결정이 매우 중요하다. 따라서 분해능 (Aspect Ratio) 은 수직방향과 수평방향으로 버어 니어 캘리퍼스를 개발한 시스템하에 놓은후 이를 수치화 하고, 수치화된 영상으로 부터 각 방향의 평행직선 사 이의 화소수를 세어 다음과 같은 결과를 얻었다.

- x(수평방향 분해능) = 0.0134 mm/pixel
- y(수직방향 분해능) = 0.0103 mm/pixel
- x방향의 불확실성 (Uncertainty) = 1.0×10^{-4} mm
- y방향의 불확실성 (Uncertainty) = 8.0×10^{-5} mm

6.3 조명역할(Role of Illumination)

CCD Camera를 이용한 반사조명(Front Lighting) 측정 시스템의 설계에 있어 조명의 역할은 영상정보 입력과 해석에 영향을 미치는 인자이며, 조명의 위치 및 각도가 부정확한 경우에는 거짓 공구마모 영상 및 데이

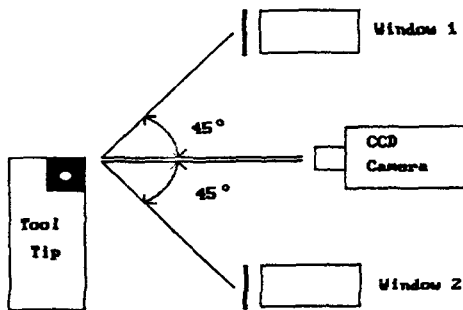


Fig.9 Schematic diagram of illuminant set-up

타를 얻게 된다. 따라서 본 연구에서 설계된 조명장치는 많은 예비 실험을 통한 최적조명 상태인 45°를 갖는 위치에서 주사시킨 시스템으로 설계되어 있다. 또한 Diffusor효과를 낼 수 있도록 윈도우를 설계했다.

본 시스템을 도식적으로 나타내면 Fig.9와 같다.

7. 결 론

본 연구에서는 비 접촉식 방법인 CCD 카메라로 화상(Image)을 얻었으며 플랭크 마모량을 정량적으로 분석할 수 있는 새로운 영상처리 기법을 개발하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 새로운 영상처리 기법인 변형 다이내믹 쓰레쉬홀딩 (Deformed Dynamic Thresholding)을 개발하여 플랭크 마모량을 정량적으로 계산하였다.
- 2) 반사 조명법(Front Lighting Method)을 채택하여 광학계를 일체형으로 구성할 수 있었다.
- 3) 본 시스템의 정밀도는 1/100 mm로서 작업자와 관계되는 개인 오차를 줄이고 신속 정확한 측정이 가능하였다.
- 4) 최적 조명상태인 45°에서의 조명주사가 가장 좋은 화상대비로 나타냈으며 또한 Diffusor 효과를 낼 수 있도록 윈도우를 설계했다.
- 5) 향후 본 연구의 방향은 절삭공구의 비접촉 감시기술을 개발하고 최종적으로는 무인화 공장에 필요한 Quasi-Real Time 계측기술로 발전시키는데 있다.

참고문헌

1. J. S. Weszka, R. N. Nagel and A. Rosenfeld, "A threshold selection technique", IEEE Trans. Comput., C-23, pp.1322~1326, 1974.
2. V. C. Venkatesh and M. Satchithanandam, "A discussion on tool life criteria total failure causes", Annals of the CIRP, Vol. 29/1/1980.
3. J. Louis, Jr. Galbiati, "Machine vision and digital image processing fundamentals" Prentice-Hall International, Inc., 1990.
4. J. U. Jeon and S. W. Kim, "Optical flank wear monitoring of cutting tool by image

- processing", wear, 127, pp.207~217, 1988.
5. F. Giusti, M. Santochi and G. Tantussi, "A flexible tool wear sensor for NC lathe", Annals of the CIRP, Vol. 33, pp.229~232, 1984.
 6. H. Pamashina, S. Okumura and H. Kumamoto, "Automatic detection of wear and chipping of cutting tools by image processing techniques", Int. J. Prod. res., Vol. 28, No. 4, pp.647~660, 1990.
 7. H. Dominic Cowey "Measuring the human heart with a real-time computing system", Data Processing magazine, 12, 27~32, 1970.
 8. C. K. Chow and T. Kaneko, "Automatic boundary detection of the left ventricle from cineangiograms", Computers and Biomedical Research 5, pp.388~419, 1972.