

〈論 文〉

# 컴퓨터 비전 및 패턴인식기법을 이용한 공구상태 판정시스템 개발

권오달\* · 양민양\*\*

(1992년 4월 14일 접수)

## Tool Condition Monitoring Technique Using Computer Vision and Pattern Recognition

Oh Dal Kwon and Min Yang Yang

**Key Words :** Image Processing (영상처리), Pattern Recognition (패턴인식), Tool Wear and Fracture Detection (공구마멸 및 파손감지)

### Abstract

In unmanned machining, one of the most essential issue is the tool management system which includes controlling, identification, presetting and monitoring of cutting tools. Especially the monitoring of tool wear and fracture may be the heart of the system. In this study a computer vision based tool monitoring system is developed. Also an algorithm which can determine the tool condition using this system is presented. In order to enhance practical adaptability the vision system through which two modes of images are taken is located over the rake face of a tool insert. And they are analysed quantitatively and qualitatively with image processing technique. In fact the morphologies of tool fracture or wear are occurred so variously that it is difficult to predict them. For the purpose of this problem the pattern recognition is introduced to classify the modes of the tool such as fracture, crater, chipping and flank wear. The experimental results performed in the CNC turning machine have proved the effectiveness of the proposed system.

### 1. 서 론

최근 기계가공 분야에서는 제품의 정밀도와 생산성을 향상시키기 위한 자동화기술이 급진적인 발전을 이루고 있다. 또한 제품의 형태가 다양화되면서 생산시스템의 유연성(flexibility)을 요구하고 있으며, 이에 따르는 제품의 설계기술 및 가공기술의 유연성이 필요하다. 특히 공장자동화 및 무인화 공장을 실현하기 위해 가장 기본적이고 중요한 것은

시스템의 감시(monitoring)기술이며, 그 요소기술로서 기계가공 공정중에 발생하는 공구마멸 및 파손의 실시간(real time) 검출기법의 필요성이 크게 강조되고 있다.

공구상태의 감지는, 무인가공시 공구파손이 제품의 불량발생 및 비가공시간(down time)의 증가 요인 되므로 이를 신속하게 검출하는 데 필요로 하며, 가공중 공구의 마멸이 가공오차를 발생시키는 직접적인 원인이 되므로 정밀가공을 위하여 마멸량을 측정하는데 있어서도 매우 중요하다고 할 수 있다. 또한 무인가공에서 중요한 인자중의 하나는 공구 교환시기를 자동적으로 결정하는 문제이며, 공

\*정회원, 한국과학기술원 정밀공학과 대학원

\*\*정회원, 한국과학기술원 정밀공학과

공구의 점진적 마멸 또는 파손에 의한 공구수명을 예측 판정하는 것은 제품의 질을 향상시키고 공구의 경제적인 사용 및 생산성 향상을 가능하게 한다.

한편, 공구상태에 관한 정보는 공구의 구매 및 재연마, 그리고 공구 프리셋터(presetter)를 이용한 공구설치위치(setting position)의 정확한 입력 등의 공구관리에 있어서 매우 중요하다. 이러한 공구관리 시스템은 고가의 공작기계를 효율적으로 사용할 뿐만 아니라 불필요한 잉여공구의 재고를 줄여주기 때문에 현장에서 많이 요구되고 있으며, 또한 개발중에 있다.

앞서 설명한 외에도 여러 필요성에 따라 공구의 상태를 정량적, 정성적으로 측정하는 방법이 많은 사람들에 의해 연구되어 오고 있으며 일부는 현장에서 이용되고 있으나 아직 신뢰도가 높지 못한 관계로 적용제어나 무인가공에 적용하기에 아직은 요원하다.

지금까지의 측정방법은 크게 직접식과 간접식으로 나눌 수 있다. 간접식 측정방법은 절삭력 또는 동력검출방법, 온도검출방법, 음향해석방법 등이 있으며, 직접식 측정방법은 광학식측정법, 접촉저항식 측정법, 방사능검출방법 등이 연구되고 있다.<sup>(1)</sup>

이중에서 광학식방법은 공구의 형상을 직접 관찰할 수 있기 때문에 정확하고 신뢰성이 높으며, 특히 최근에 영상처리기술 및 센서기술의 발달로 이 방법을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(2-7)</sup> Y. Maeda<sup>(8)</sup> 등은 공구의 2차원 영상을 이용하여 플랭크 마멸을 측정했으며, 슬릿빔 slit beam)을 이용하여 크레이터마멸을 측정하였다. 또한 K. Matsushima<sup>(9)</sup> 등은 공구의 플랭크 마멸 형상을 패턴인식기법을 이용하여 분류함으로써 원하지 않는 형상이 나타났을 때 적절한 조치를 취할 수 있는 인식표를 구축하였다. 그러나 위와 같은 방법들은 주로 공구의 마멸을 판정함으로써 파손에 대한 정보가 부족하여 넓은 의미에서 공구의 이상상태를 감지한다고 할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 공구의 파손 및 마멸량을 검출할 수 있는 시스템을 구축하고자 하였다. CCD(charge coupled device) 카메라를 통해 공구형상의 영상을 얻고 이를 PC로 분석하는 영상처리 기법과, 여기서 계산된 정보를 이용하여 패턴인식 기법으로 공구의 상태를 판정하는 알고리즘을 개발하였다.

## 2. 공구파손 형태 및 영상처리

공구의 마멸은 공구의 경사면에 발생하는 크레이터 마멸, 공구의 여유면에 발생하는 플랭크 마멸, 칩의 바깥부분이 미끄러져 나가면서 경사면에 발생하는 칩 노치와 같은 일차 홈 마멸, 그리고 공구 노즈부분과 부 절삭날면의 산화현상에 의한 이차 홈 마멸 등으로 구분할 수 있다.<sup>(10,11)</sup> 본 연구에서는 마멸에 의한 공구파손의 요인으로서 플랭크 마멸과 크레이터 마멸을 고려했다. ISO에서 추천하는 공구수명 판정기준은 플랭크 마멸의 경우  $VB_{avg}=0.3\text{ mm}$ ,  $VB_{max}=0.6\text{ mm}$ , 크레이터 마멸인 경우  $KT=0.06+0.3f$ ( $f$ 는 이송속도)이다. 또한 크레이터 지수(crater index) KI를 도입하였다. 여기서  $KI=KT/KM$ ( $KM$ ; 절삭날에서 크레이터 중심까지의 거리)이다.<sup>(10)</sup>

카메라를 이용하여 공구의 영상을 얻을 때 크게 두가지의 정보를 얻을 수 있는 데, 첫째는 공구경사면의 정보, 즉 파손, 크레이터 마멸, 칩핑 등의 형상(morphology)이며, 둘째는 공구측면의 정보, 즉 주 절삭날(major cutting edge)과 노즈(nose) 및 부 절삭날(minor cutting edge) 등의 공구 절삭날이 손실된 크기이다. 이 모든 정보를 정확하게 얻기 위해서는 다축조정이 가능한 카메라장치와 특수한 조명장치가 필요하다. 그러나 본 실험에서는 장치의 단순화, 측정의 용이함, 및 카메라 좌표변환에 의한 오차를 없애기 위해 공구의 밑면에 수직인 축과 카메라의 영상면(image plane)에 수직인 축을 일치시켜 고정하였다. 그리고 공구의 영상을 두가지의 조명조건하에서 얻었다. 즉 공구의 측면 정보를 얻기 위해서 공구의 절삭날 부분이 잘 나타나도록 명암대비(contrast)를 높이는 것이 좋고 이를 위해 역광(backlighting)방법이 효과적이다. (Fig. 9(a)) 또한 공구의 경사면 정보를 얻기 위해서는 공구의 절삭날에 수직인 상면에 조명하여 영상을 얻을 수 있다. (Fig. 9(b))

카메라에서 입력된 영상은 여러 원인에 의해 잡음(noise)을 포함하게 되는 데 이를 제거하기 위한 방법의 일환으로 3×3 주변 평균방법(neighborhood averaging) 및 5×5 median filtering<sup>(13)</sup>을 사용하였다. 그런다음 이진영상(binary image)을 얻기 위하여 최적 쓰레숄딩(optimal thresholding)<sup>(14)</sup>을 하였다. 각 영상에 대하여 히스토그램(histogram)

을 구하면, No.1 영상의 경우 공구와 배경의 두가지 밝기등급 형태로 나타나므로 최적 쓰레슬딩이 가능하다. 그러나 No.2 영상의 경우 공구의 파손 또는 크레이터 마멸 부위가 가장 밝은 값을 가지며 공구의 경사면이 다음의 밝기 값을 갖고 배경이 가장 어두운 값을 가지고 있기 때문에 최적 쓰레슬딩 값을 선정하기가 어렵다. 이를 위해 명암대비조정 방법(contrast manipulation)<sup>(13)</sup>중의 하나인 가우스 오차함수(Gaussian error function)를 사용하여 공구경사면의 밝기등급 값을 배경에 가깝게 하고 공구파손 부위의 밝기등급 값을 더 밝게 하도록 컨트라스트를 수정함으로써 두가지 밝기등급 형태의 영상을 만들 수 있었다. 쓰레슬딩된 이진영상의 에지(edge)를 추출하는 방법으로 Sobel operators<sup>(15)</sup>를 이용하였으며, 이때 기억장소를 줄이기 위해 경계가 되는 화소만을 입력시켰다. 영상에서 에지와 같은 특징점을 추출하고 나면 그 추출된 경계가 불완전한 연결을 이루고 있음을 알 수 있다. 따라서 이 경계점을 연결(linking)하는 작업이 필요하다. 연결작업은 경계점을 따라가다가 연결되지 않은 점이 나타났을 때 그 점과 다음점을 연결시키는 방법이다. 이 방법은 연결되지 않은 점에서 이전의 방향 벡터를 고려하여 window의 크기를 증가시키면서 다음 연결점을 찾고 직선으로 연결시킨다.

Fig. 8과 같은 공구에 대한 형상을(Fig. 9) 얻고 다음 장들에서 소개될 일련의 처리를 통하여 Fig. 12와 같은 최종 형태를 얻게 된다.

### 3. 절삭날 모델과 플랭크 마멸 계산

공구의 측면정보 즉 절삭날의 손실량은 기하학적 형상을 고려하여 계산이 가능하다. 본 연구에서 사용한 공구각은 Fig. 1과 같고, Fig. 2에는 공구의 경사면이 기준면에(XYZ-좌표에서 XY평면) 투영된 2차원 영상을 보여주고 있다. 그림의 XY평면은 공구의 밀면과 평행한 면이고 Y-방향은 이송방향과 일치하며 Z-방향은 공구의 절삭방향(cutting direction)<sup>(11)</sup>과 일치한다. 선삭공구에서 절삭날은 주 절삭날, 부 절삭날 및 노즈로 나눌 수 있고, 노즈가 일정하게 가공되어 있는 공구의 경우에 절삭날을 두직선과 거기에 접하는 원호로 표현할 수 있다. 여기서 가상의 능선(virtual ridge)-노즈가 영(zero)인 경우에 주 여유면(major flank)과 부 여유면(minor flank)이 만나는 선-을 도입하면 공구

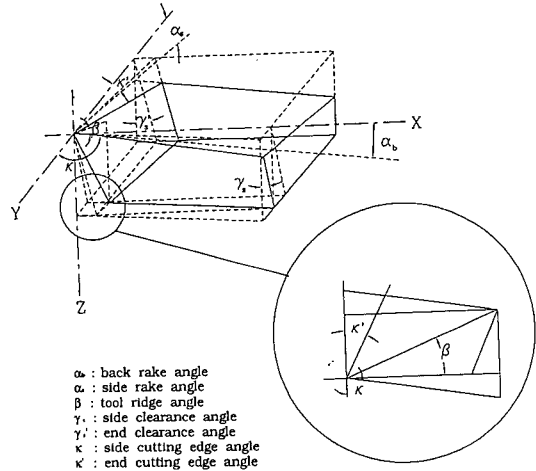
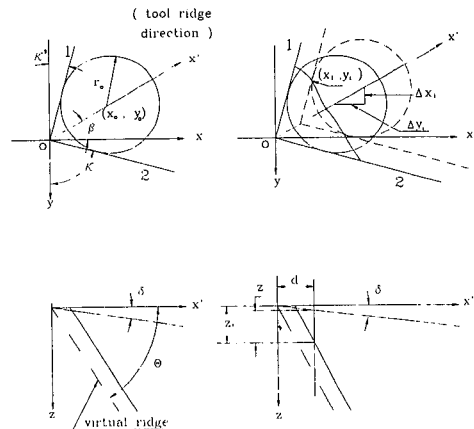


Fig. 1 Geometrical description of tool angles



(a) new tool model (b) worn tool model

Fig. 2 Tool rake face projected on the reference plane

의 마멸을 해석하는 데 편리하다. 일반적으로 공구가 마멸되는 면은 절삭방향과 거의 평행하게 발생한다는 점을 고려하면, 플랭크 마멸면은 Z축과 평행을 이룬다. 또한 XY평면상에서 마멸이 진전되어지는 방향은 공구능선방향(tool ridge direction)과 평행하게 진전됨을 알 수 있다. 즉 Fig. 2(b)에서 임의의 마멸된 점  $(x, y)$ 를 보면, Z축 방향으로 마멸된 거리는  $Z_i$ 이고, XY평면상에서 새공구(new tool)의 절삭날과 마멸된 점을 잇는 선분은 공구능선방향과 평행하며 그 길이는 d이다. 그림에서 점선으로 표시된 절삭날은  $Z_i$ 점에서 새 공구의 경사면과 평행하게 절단한 면을 기준면(XY평면)에 투

영한 형태이다.

Fig. 2에서 XY-평면상에서  $\Delta x_i, \Delta y_i$ 만큼 평행이 동된 공구 절삭날의 방정식은 Z-방향의 값을 포함하는 두직선 1, 2와 여기에 접하는 원의 방정식으로 표현할 수 있고 다음과 같다.

원의 방정식

$$(x - (x_0 + \Delta x_i))^2 + (y - (y_0 + \Delta y_i))^2 = r_0^2 \quad (1)$$

직선 1의 방정식

$$(y - \Delta y_i) = -\cot k' (x - \Delta x_i) \quad (2)$$

직선 2의 방정식

$$(y - \Delta y_i) = \cot k (x - \Delta x_i) \quad (3)$$

where,  $\Delta x_i = Z_i \cot \theta \cos \beta$

$$\Delta y_i = Z_i \cot \theta \sin \beta$$

앞의 식으로부터 마멸된 점  $(x_i, y_i)$ 의  $Z_i$  값을 구할 수 있다. 여기에는 마멸된 점이  $Z_i$  위치에서 공구의 인선에 접하기 위해 다음과 같은 구속조건식을 만족해야 한다.

(1) 부 절삭날면의 마멸은 직선 1과 원의 접점인  $(y_i)_1, (x_i)_1$ 에 대해

$$x_i > (x_i)_1, y_i < (y_i)_1 \quad (4)$$

where,  $(x_i)_1 = \Delta x_i x_0 \sin^2 k' - y_0 \sin k' \cos k'$

$$(y_i)_1 = \Delta y_i + x_0 \sin k' \cos k' + y_0 \cos^2 k'$$

(2) 주 절삭날면의 마멸은 직선 2와 원의 접점인  $(y_i)_2, (x_i)_2$ 에 대해

$$x_i > (x_i)_2, y_i < (y_i)_2 \quad (5)$$

where,  $(x_i)_2 = \Delta x_i x_0 \sin^2 k' - y_0 \sin k' \cos k'$

$$(y_i)_2 = \Delta y_i + x_0 \sin k' \cos k' + y_0 \cos^2 k'$$

(3) 노즈의 마멸은 직선 1, 2와 원의 접점과의 관계에서

$$x_i < (x_i)_2, y_i > (y_i)_1 \quad (6)$$

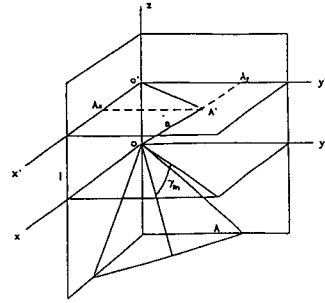
(4) 플랭크 마멸은 인서트(insert)의 두께를 넘을 수 없다.

$$Z_i \leq ZT, \quad (7)$$

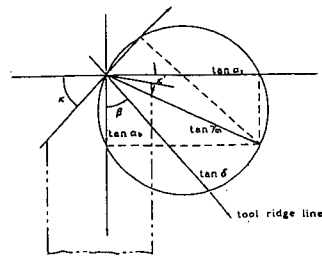
where,  $ZT = \text{Insert의 두께}$

여기서 공구능선각(tool ridge direction angle)  $\beta$ 는 Fig. 1의 기하학적 형상을 고려하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\tan \beta = \frac{\tan \gamma_s - \tan \gamma_s' \cot k}{\tan \gamma_s' + \tan \gamma_s \tan k'} \quad (8)$$



(a)



(b)

Fig. 3 The vector angles relating to tool face

또한 기준면과 가상능선(virtual ridge) 사이의 각  $\theta$ 는 Fig. 2(a)에서

$$\tan \theta =$$

$$\frac{1}{\sqrt{(\tan \gamma_s' + \tan \gamma_s \tan k')^2 + (\tan \gamma_s - \tan \gamma_s' \cot k)^2}} \quad (9)$$

공구경사면의 임의의 점에서 경사각은 Fig. 3(a)에서 볼 수 있듯이 o-x-y평면에서  $\gamma_m$ 의 각으로 기울어져 있는 평면 A에 대하여 원점 O를 지나는 법선을 그릴 수 있고, 이 법선이 o-x-y평면에서 단위길이만큼 떨어진 o'-x'-y'평면을 통과하는 점 A'를 알 수 있다. 그러면 벡터  $O'A' = \tan \gamma_m$ 이고 같은 방법으로 뒷면경사각(back rake angle)  $\alpha_b$ 와 옆면경사각(side rake angle)  $\alpha_s$ 에 대해 수행하고  $\gamma_m$ 을 최대경사각이라 한다면 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다. <sup>(12)</sup>

$$O'A' = \tan \gamma_m = \tan \alpha_b + \tan \alpha_s \quad (10)$$

$$|O'A'| = \tan \gamma_m = \sqrt{\tan^2 \alpha_b + \tan^2 \alpha_s} \quad (11)$$

또한 공구능선방향(tool ridge direction)을 따르는 경사각  $\delta$ 는 Fig. 2(b)에서

$$\tan \delta = \tan \alpha_b \cos \beta + \tan \alpha_s \sin \beta \quad (12)$$

와 같다.

따라서 플랭크 마멸량  $Z$ 는 (Fig. 2)

$$Z = Z_i - d \tan \delta, \text{ where } d = (\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2)^{1/2} \quad (13)$$

### 4. 패턴인식기법

일반적으로 다차원 입력변수이고 결정론적(deterministic)인 해석이 곤란한 경우에 대하여 신경회로망(neural network) 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다. 패턴인식기법(pattern recognition)은 이런 분야의 하나로 미리 주어진 정보와 자료에 따라서 미지의 입력을 분류하는 기술이다. 여러 신경회로망 모델중에 다층 퍼셉트론(multi-perceptron)이 학습모델(learning model)로서 각광을 받고 있으며, Rumelhart, Hinton 등에 의해 보완된 GDR (generalized delta rule)이 대표적으로 많이 쓰이고 있는 알고리즘이다.<sup>(16)</sup>

Fig. 4에 계층적 구조를 갖는 회로망을 보여주고 있다. 본 연구에서는 입력변수로 공구경사면과 측면의 정보를 이용하였으며, activation function으로는 일반적으로 단조증가 함수를 사용하는 데 학습이나 형상추출에 용이한 시그모이드 함수(sigmoid function)를 사용하였다. 또한 node를 연결하는 결합강도 혹은 가중치(weights)의 계산은 Rumelhart 등이 제안한 다음의 식을 사용하였다.

$$\Delta w_{ji}(n+1) = \eta (\delta_j o_i) + \alpha \Delta w_{ji}(n) \quad (14)$$

where,  $\Delta w_{ji}(n+1)$  :  $n+1$ 번째 결합계수 변화량

$\Delta w_{ji}(n)$  :  $n$ 번째 결합계수 변화량

$\eta$  : learning rate

$\alpha$  : momentum rate

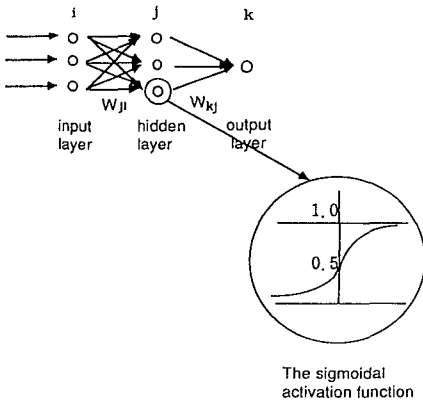


Fig. 4 Schematic description of neural network

본 알고리즘은 학습패턴을 입력하여 출력되는 값과 원하는 목표(target) 값과의 차이(error)를 역방향으로 전파(back propagation)함으로써 gradient-based 최적화 방식으로 오차를 최소화 할 수 있는 가중치를 결정하는 것이다. 이런 과정을 학습(learning)이라고 하며, 학습이 끝난 알고리즘을 통해 미지의 패턴을 분류할 수 있게 된다.

### 5. 실험 및 결과분석

#### 5.1 실험방법

Table 1에서 본 연구에서 사용한 실험장치 사양과, Fig. 5에 그 도식도 및 Fig. 6에 실험장치 사진을 보여주고 있다. 공구가 어느 작업을 수행한 후 일정한 측정장소로 보내져서 측정을 마치고 다시 가공을 계속하도록 하였으며 측정할 시 공구에 묻은 불순물을 떨어내기 위해 압축공기를 사용하였다. 적절한 절삭조건하에서 플랭크 마멸, 크레이터 마멸 및 파손형태의 공구(insert)를 만들었으며 여기서 공구는 칩브레이커(chip breaker)가 없는 것

Table 1 Experimental equipment specifications

Microscope	: EMZ-2
Camera	: CCD video camera module(512×480) SONY XC-77
Digitizer	: Frame grabber (256 gray level)
Monitor	: 12" (W&B)
NC turning machine	: FANUC SYSTEM 6T
Illuminance	: Halogen lamp (50 W)

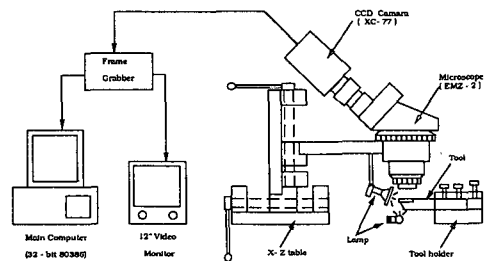


Fig. 5 Schematic diagram of experimental equipment

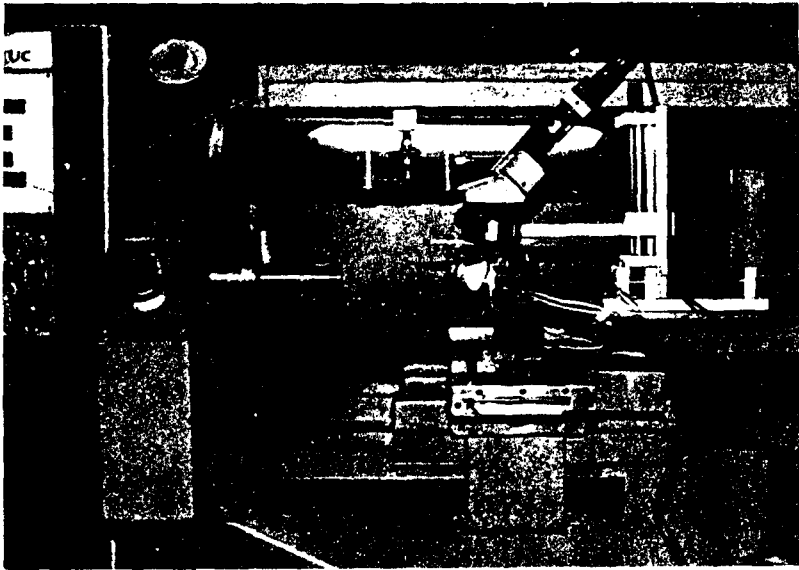


Fig. 6 The photograph of experimental equipment

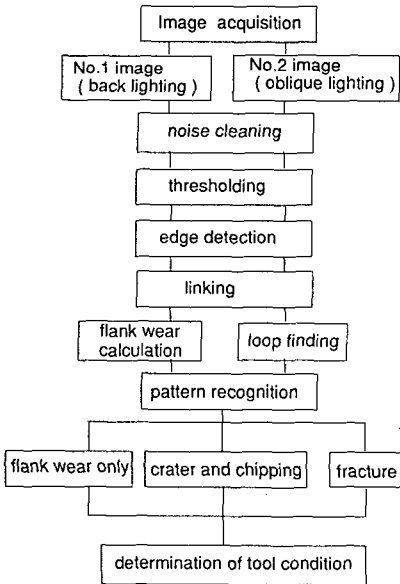


Fig. 7 Algorithm of determination of tool condition

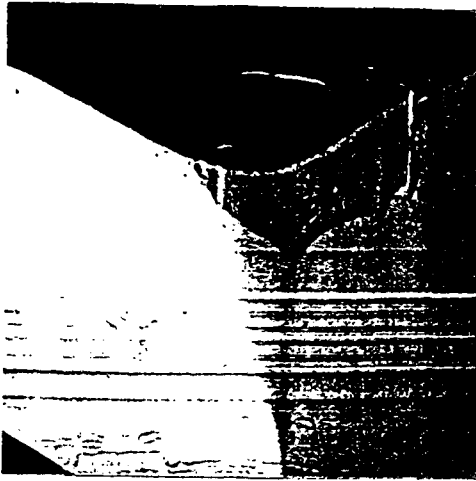
으로 사용하였다. 이렇게 측정된 영상은 프레임 레버(frame grabber)를 통해 256 밝기등급 값으로 컴퓨터에 입력된다. 이때 현미경으로 확대할 수 있는 공구의 크기는 카메라의 시야범위에 따라 좌우된다. 확대율은 알고 있는 직경을 가진 보정 바(calibration bar)의 영상을 이용하여 계산한 직경값과 실제 값을 비교함으로써 구할 수 있다. 사용

한 카메라의 한 화소의 크기는  $17\mu\text{m} \times 13\mu\text{m}$ 이다. 예를들어 확대율이 2.8인 경우 분해능은  $x$ 방향 길이  $CX=6.07\mu\text{M}/\text{pixel}$ ,  $y$ 방향 길이  $CY=4.64\mu\text{m}/\text{pixel}$ 이다.

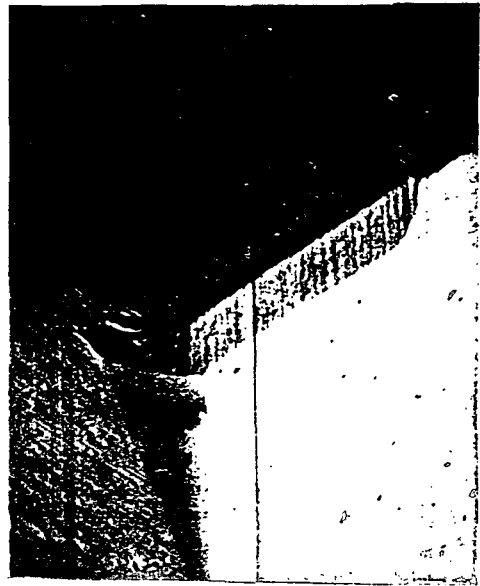
공구의 영상을 얻는 것로부터 공구의 이상상태를 감지하는 것까지의 알고리즘은 Fig.7과 같다. 먼저 공구의 영상을 얻고 일련의 영상처리를 통해 공구의 특징점을 추출한다. 이 특징점들로부터 공구경사면과 측면의 정보를 계산하고 이들 정보로부

Table 2 Learning pattern for GDR

minor edge	corner	major edge	loop	target
0	0	0	1	0.1
0	1	1	1	0.1
0	1	0	1	0.1
0	0	0	0	0.5
0	1	1	0	0.5
0	1	0	0	0.5
1	1	1	0	0.5
1	0	0	1	0.9
1	1	0	1	0.9
1	1	1	1	0.9



(a) flank wear(35x)



(b) crater wear(40x)



(c) fracture (35x)

Fig. 8 Scanning electron micrograph of the tool

터 패턴인식기법을 이용하여 공구의 이상상태를 판정하게 된다.

(1) 공구의 경사면 정보 계산

No.2 영상으로부터 영상처리를 통해 공구경사면에 발생하는 루프의 유무를 판정한다. 만약 루프가 있을 경우 면적을 계산하여 칩핑과 크레이터 마멸

의 구별-이 값은 여러번의 실험에 의하여 경험치를 선정함-에 사용한다. 또한 이송 속도가 주어지면 KT를 구할 수 있고 크레이터 마멸의 면적 중심을 구하여 KI(crater index)를 계산한다.

(2) 플랭크 마멸량 계산

No.1 영상으로부터 영상처리를 통해 공구 절삭

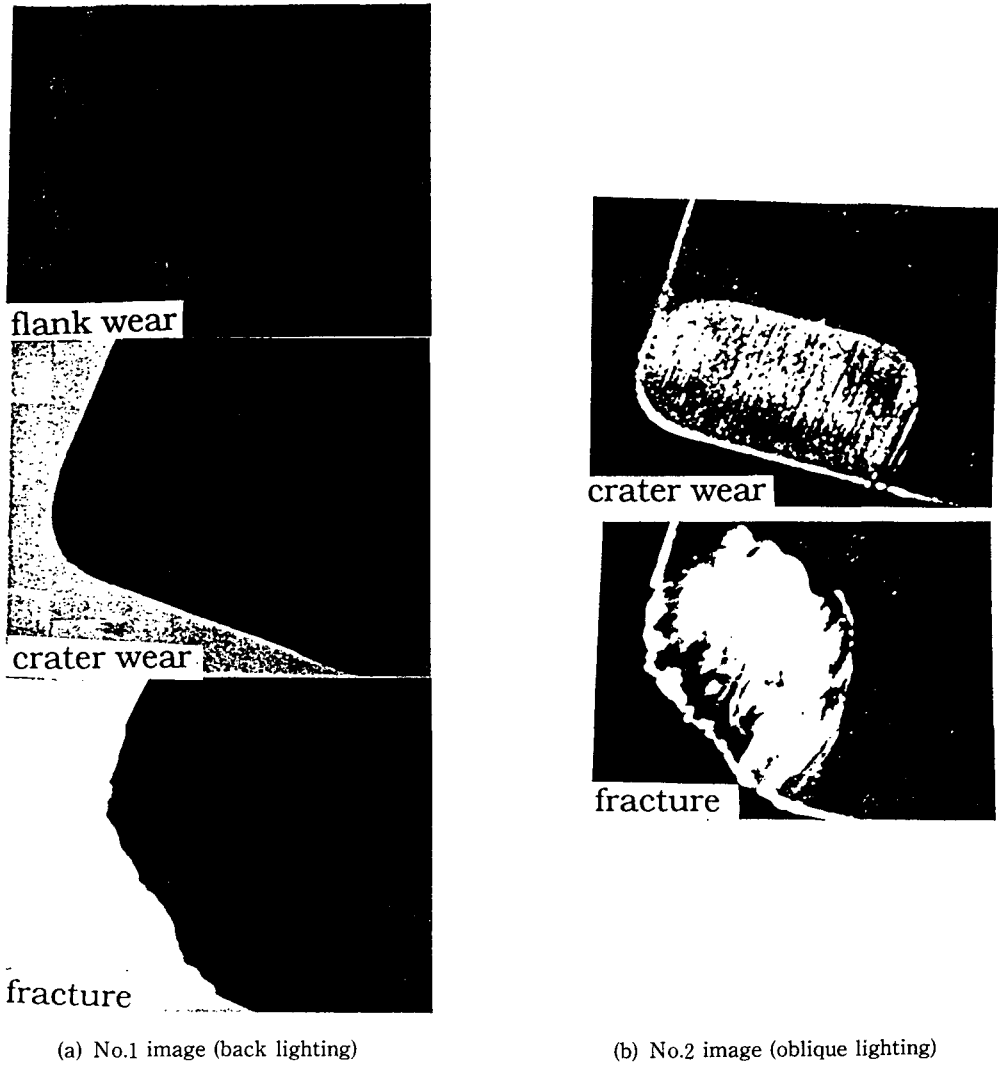


Fig. 9 Original image of worn tools

날의 에지를 얻을 수 있으며, 마멸되지 않은 인선에서, 최소자승법(least square method)에 의하여, 마멸 전의 절삭날을 창생하고 두 절삭날 사이에 주어진 반경의 노즈를 추가하면 마멸 전의 공구 형상을 재현할 수 있다. 그런 다음 주어진 공구각을 입력하고 3장에서 언급한 알고리즘에 의해 플랭크 마멸을 계산한다.

(3) 플랭크, 크레이터 마멸 및 파손검출

공구파손을 검출하는 작업은 그 파손현상이 다양하여 어떤 기준을 세울 수 없기 때문에 패턴인식기법을 도입하여 이를 구분해 보고자 하였다.

공구경사면의 영상에서 플랭크 마멸과 그 외의

것(크레이터 마멸, 칩핑, 파손)과의 차이점은, 크레이터 마멸과 파손은 공구경사면에 어떤 형상의 루프를 형성하는 반면 플랭크 마멸은 루프가 없다는 것을 알 수 있다. 또한 크레이터 마멸과 파손의 차이점은 크레이터 마멸의 경우는 일반적으로 예측할 수 있는 플랭크 마멸을 동반하지만 파손의 경우는 불규칙한 절삭날의 파손을 동반하게 되며 일반적으로 그 값이 플랭크 마멸량 보다 크다.

이와같은 특성을 고려하여 GDR을 적용하는 데 Table 2와 같은 학습패턴을 사용하였다. 여기서 처음 3가지 입력변수는 절삭날면의 손실을 플랭크 마멸 계산 방법에 의하여 계산하고 정규화



(normalize)한 값이다. 즉

$$0 \leq \max\left(\frac{VB}{0.3}, \frac{VB_{\max}}{0.6}\right) \leq 1 \quad (15)$$

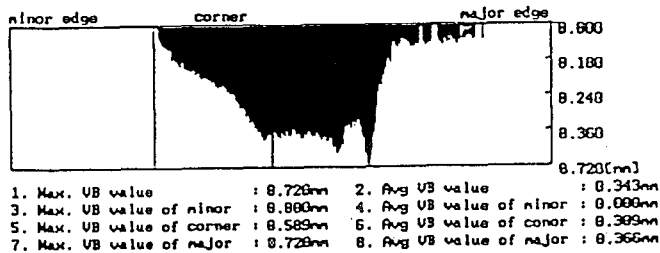
또한 네번째 변수는 공구경사면에 루프가 있으면 1의 값을, 없으면 0의 값을 갖게된다. 구분하고자 하는 목표(target) 패턴으로는 크레이터 마멸일때 0.1, 플랭크 마멸일때 0.5, 파손일때 0.9의 값을 갖도록 분류하였다. 여기서 시그모이드 함수의 특성에 따라 출력값이 0 또는 1일때 무한대 값을 갖으므로 0.1에서 0.9 사이의 값을 갖도록 하였다.

### 5.2 결과분석

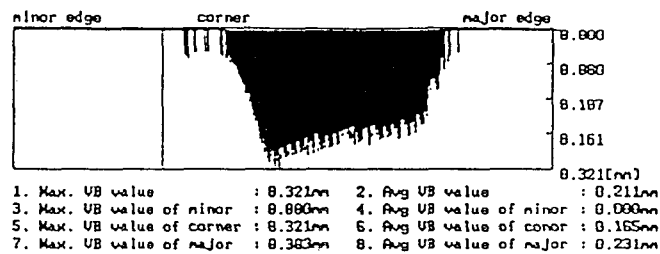
#### (1) 공구의 경사면 정보 계산

Fig. 10에 공구의 여유면 방향에서 본 절삭날의 손실량을 사상(mapping)하였다. 그림에서 사각형의 깊이는 마멸량을 나타내며 제일 하단은 그 공구

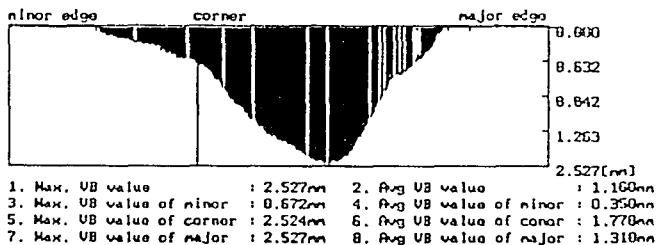
의 최대 마멸량이다. Table 3에는 계산에 의한 절삭날의 손실량과 광학현미경으로 측정된 공구의 실제 손실량과의 비교를 보여주고 있다. 이 표에서 손실량의 최대값만을 비교하였는데 이는 플랭크 마멸의 경우 광학현미경으로 평균마멸된 폭을 정확히 측정하는 것은 오차를 수반하게 되며, 또한 파손의 경우에 평균 값이 의미가 없기 때문에 최대손실량만으로 비교하였다. 플랭크 마멸이나 크레이터 마멸의 경우 절삭날의 손실이 마멸에 의해서만 발생하므로 계산된 값의 오차는 매우 작게 나타나고 있으며 파손이 발생했을 경우에 절삭날의 손실량은 파단면의 방향이 절삭방향과 거의 무관하게 발생하므로 약간의 오차가 발생하고 있다. 절삭날의 손실된 형태를 실제의 모습으로 보여주기 위하여 Fig. 11에 AUTO CAD에서 3차원 묘사를 수행하였다. 이는 Fig. 8의 SEM 사진과도 잘 일치하고 있음



(a) in the case flank wear only



(b) in the case of crater wear

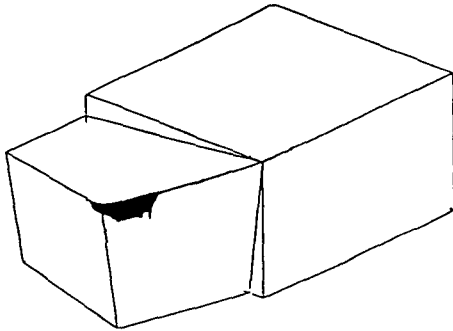


(c) in the case of fracture

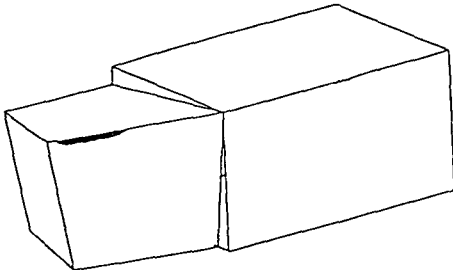
Fig. 10 The mapping for the loss of flank face

**Table 3** Comparison between calculated values and actual ones of the amount of the loss of flank face

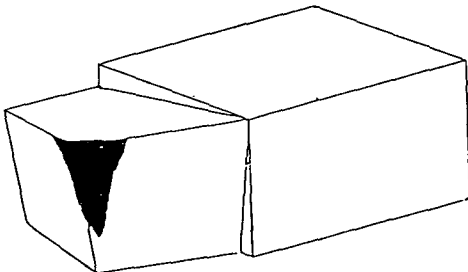
		calculated value	actual value
EXP1 (flank)	Max.	0.720 mm	0.71 mm
	Ave.	0.343 mm	
EXP2 (crater)	Max.	0.321 mm	0.33 mm
	Ave.	0.211 mm	
EXP3 (fracture)	Max.	2.527 mm	2.78 mm
	Ave.	1.160 mm	



(a) in the case flank wear only

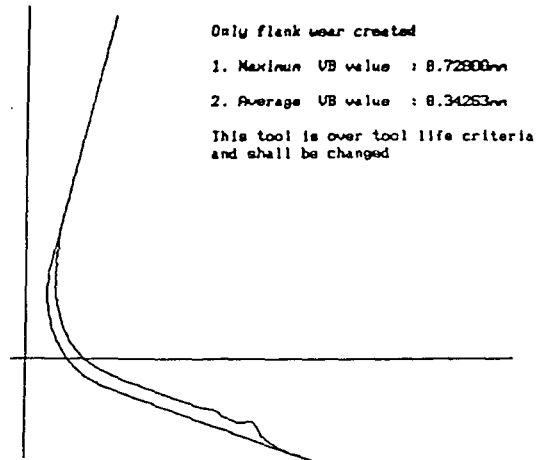


(b) in the case of crater wear

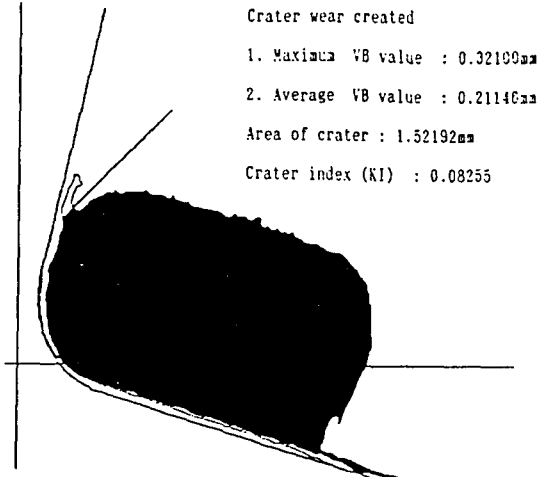


(c) in the case of fracture

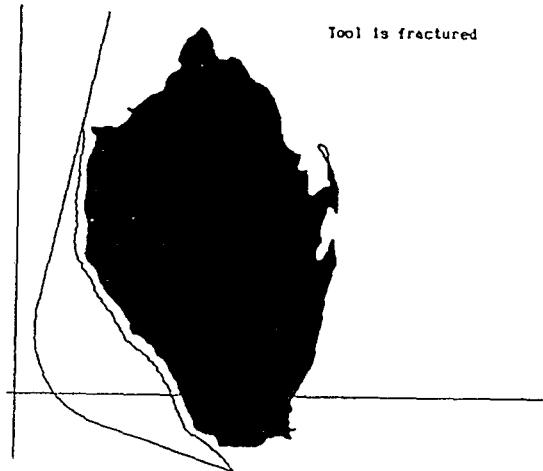
**Fig. 11** The 3-D graphics of the loss of flank face



(a) flank wear



(b) crater wear



(c) fracture

**Fig. 12** Tool condition determination by pattern recognition

보여주고 있다.

(2) 플랭크, 크레이터 마멸 및 파손 검출

Fig. 12에 패턴인식으로 판정한 결과를 보여주고 있다. 주어진 현재의 10가지 학습패턴을 가지고 유사한 다른 패턴을 잘 분류하고 있음을 알 수 있다. 만약 현재의 패턴으로 구분할 수 없는 형상이 나타날 경우, 그 패턴을 학습패턴으로 하여 재학습을 한 후 인식이 가능하므로 불규칙적인 여러가지 형상을 구분할 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 CCD 카메라로 공구의 화상을 얻고 이를 영상처리기법 및 패턴인식기법을 이용하여 공구상태를 판정할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 공작기계에 측정장치를 설치하여 inter-process로 공구의 상태를 측정하였고 파손, 크레이터 마멸, 칩핑 및 플랭크 마멸의 정성적 구분이 가능하였다.

(2) 공구 상면에서 얻은 2차원 영상으로부터 3차원 플랭크 마멸량의 기하학적 해석은 플랭크나 크레이터에서와 같이 일정한 형태의 플랭크 마멸이 발생하는 경우에 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

(3) 패턴인식기법을 도입하여 공구형상을 구분하는 방법은 학습패턴을 학습시킨후 현재의 10가지 패턴과 그와 유사한 패턴에 대하여 잘 인식하고 있다.

## 참고문헌

(1) Li Dan and J.Mathew, 1990, "Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning-A Review," Int.J.Mach.Tools Manufact. vol.30, No. 4, pp. 579~598.

(2) 허경희, 1991, "컴퓨터비전을 이용한 공구마모의 측정과 공구파손의 검출에 관한 연구", 한국과학기술원 생산공학과 석사학위 논문.

(3) Jeon J.U. and Kim S.W. 1988, "Optical flank Wear Monitoring of Cutting Tools by Image Processing," Wear, 127, pp. 207~217.

(4) Giusti F., Santochi M. and G. Tantussi, 1987, "On-line Sensing of Flank and Crater Wear of Cutting Tools," Annals of CIRP, Vol.36, pp. 41~44.

(5) Pedersen K.J., 1990, "Wear Measurement of

Cutting Tools by Computer Vision," Int.J. MTD, Vol.30, No.1, pp. 131~139.

(6) Yamashina, H., Okumura, S., Hosoe, K., Okamura K., 1989, "Development of Non-Contact Monitoring Equipment for Detecting Tool Failures by Optical Measurement Including Auto-Focusing Mechanism," J. of the JSPE, Vol.55, No.8, pp. 1403~1408.

(7) Yamashina, H., Okumura, S. and Kumaoto H., "Automatic Detection of Wear and Chipping Tools by Image Processing Techniques," Int.J. Prod.Res., Vol.28, No.4, pp. 647~660.

(8) Maeda, Y., Uchida, H. and Yamamoto, A., 1989, "Measurement of the Geometric Features of a Cutting Tool Edge with the Aid of a Digital Image Processing Technique," Precision Engineering, Vol.11, No.3, pp. 165~171.

(9) Matsushima, K., Kawabata, T. and Sata, T., 1979, "Recognition and Control of the Morphology of Tool Failures," Annals of the CIRP, Vol.28/1 pp.43~47.

(10) Venkatesh, V.C. and Satchithanandam, M., 1980, "A Discussion on Tool Life Criteria Total Failure Causes," Annals of the CIRP, Vol, 29/1 pp. 19~22.

(11) Boothroyd, G., 1975, "Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools," McGraw-Hill pp. 108~124, 167~184.

(12) Shi Han-Min, 1982, "A New Method for Analysing and Calculating Angles on Cutting Tools," Int.J.Mach.Tool.Des.Res., Vol.22, No.3, pp. 177~196.

(13) William, K. Pratt, 1991, "Digital Image Processing," John Wiley & Sons 2nd ed. pp. 261~320.

(14) Otsu, N., 1979, "A Threshold Selection Method from Gray Level Histograms," IEEE Trans, System Man Cybernet.9, pp. 62~66.

(15) Rafael, C. Gonzalez and Paul Wintz, 1987, "Digital Image Processing," Addison-Wesley, 2nd ed., pp. 331~388.

(16) Yoh-Han Pao, 1989, "Adaptive Pattern Recognition and Neural networks," Addison-Wesley, pp. 113~140.