

다인공구의 파손검출에 관한 연구

최 영 규,* 유 봉 환**

A Study on the Fracture Detection of Multi-Point-Tool

Young Kyu, Choi* Bong Hwan, Ryu**

ABSTRACT

In modern industry the requirement of automation of manufacturing process increases so that unmanned system has been popular as an ultimate goal of modern manufacturing process. In unmanned manufacturing process the tool fracture is a very serious problem because it results in the damage of workpieces and can stop the operation of whole manufacturing system.

In this study, image processing technique is used to detect the fracture of insert tip of face milling using multi-point-tool. In order to acquire the image information of fracture shape of rotating insert tip, we set up the optical system using a light beam chopper. In this system we can reduce the image degradation generated from stopped image of rotating insert tip using image restoration technique. We calculated the mean square error to diagnose the condition of tool fracture, and determined the criteria of tool fracture using experimental and statistical method.

From the results of this study we've developed non-contact detection technique of tool fracture using image processing method and proposed the fracture direction of automation and unmanned system considering the optimal time of tool change milling.

Key words : Multi-Point-Tool(다인공구), Image Restoration(영상복원), Mean Square Error(최소자승오차), Light Beam Chopper

1. 서 론

현대산업사회는 제조공정의 자동화와 조직화에 대한 요구가 날로 증가하고 있으며, 무인화 시스템이 제조공

정의 궁극적인 목표로서 대두되기 시작했다. 시스템 작동시 접촉하지 않고 인식하기 위해 정확하고 효과적인 감지(sensing)기술의 개발과 시스템 작동시의 정확성 및 생산품의 품질을 확고히 해야 한다는데 초점을 맞추

* 숭실대학교 대학원

** 숭실대학교

고 있다. 이러한 측면에서 볼 때 공구의 파손은 공작물의 손상(damage)과 직접적인 관계가 있으며, 이러한 손상은 공작기계에서 발생하는 다른 문제들과 전체 제조시스템에서 다른 예측을 할 수 없는 문제들의 발생으로 인하여 공구파손문제를 무인화 제조공정에 적용하기는 많은 어려움이 따른다. 따라서 최근 공구파손 검출 문제는 많은 관심의 대상이 되고 있으며, 꾸준한 연구가 진행되고 있으나, 공구파손 검출은 종래의 공구마모의 검출기술과 비교하여 볼 때 이 분야의 연구가 다소 미진하다고 볼 수 있다. 마찬가지로 공구파손의 예측기술 또한 공구마모의 예측기술보다 훨씬 뒤떨어져 있다. 공구파손의 검출 및 예측기술이 어려운 근본적인 이유는 공구마모는 다소 판단할 수 있는 상황에서 마모가 점진적으로 일어나는데 비해 공구파손은 통계적 현상을 바탕으로 갑작스럽게 발생하기 때문이다. 그래서 최근 이 분야에 대한 최첨단의 공구파손검출 특히 예측기술에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며,^{(4)~(6)} 앞서 기술한 문제점들을 해결하기 위한 방법으로 컴퓨터비전 시스템(computer vision system)을 이용한 방법들이 시도되었다.^{(6)~(7)}

그러므로 본 연구에서는 물리광학과 전자공학 그리고 소프트웨어 공학에서 개발된 연구를 토대로하여 기계공학에 접목시킴으로써 실제 작업현장에 적용가능한 알고리즘을 개발하며, 기존의 파손검출과는 달리 회전하는 공구를 스피드 카메라와 같은 고가의 장비를 사용하지 않고 물리학적 방법을 이용하여 영상을 획득하고, 획득된 영상의 처리를 거쳐 공구의 상태를 감시함으로써 온라인(on-line) 계측을 가능케 하는 것이다. 그러나 밀링과 같이 공구가 회전하는 경우에 이를 컴퓨터비전 시스템을 이용하여 영상을 획득하기에는 많은 동적인 문제를 가지고 있다. 물론 이 경우의 영상은 정확히 공구의 회전수와 정지상을 잡기위해 사용되는 초퍼(chopper)의 회전수가 일치한 경우를 전제로 하지만 정지된 영상과 비교하여 똑같은 정보를 갖지는 않는다. 따라서 본 연구에서는 다인공구를 사용하는 정면밀링에서 인서트 팁의 파손을 검출하는 기법 개발을 위해 이미지 프로세싱 기법을 토대로 앞서 언급한 문제점을 해결하기 위해 영상복원(image restoration)을 이용한 비접촉식 검출 기법을 개발하고 공구교환시기 등을 인지하여 무인화 및 자동화에 대한 방향을 제시하는데 있다.

2. 영상복원(Image Restoration)^{(8) (9)}

영상복원(Image restoration)의 궁극적인 목적은 영상강조(image enhancement)와 마찬가지로 영상을 개선하는데 있다. 그러나 이들 두가지 방법의 차이는 영상개선이 인간시각체계(human visual system)의 정신물리학적 측면의 장점을 가지기 위해 영상을 다루는 발전적처리라 정의한다면, 영상복원은 역처리(inverse process)나 왜곡모델(degradation model) 등을 이용하여 원영상(original image)으로 복구하는 것이다. 영상복원 기법중에 등속도운동(uniform linear motion)에 의해 흐려진 영상의 경우를 고려한다.

영상 $f(x, y)$ 가 평면운동에서 얻어졌고, $x_0(t)$ 와 $y_0(t)$ 는 각각 x, y 방향에서의 운동의 시간변수라 하고, 기록된 어떤 매개체(필름)의 어떤 한 점에서 총 노출은 조리개가 열리고 닫히는 시간 간격 동안에 대해 일시적인 노출의 총합으로서 얻어진다. 조리개의 개폐가 일시적으로 이루어지고 광학적 영상처리가 영상운동의 영향을 전혀 받지 않는다고 가정한다.

만약 T 가 총노출의 지속시간이라 하면 그것은 다음과 같다.

$$g(x, y) = \int_0^T f[x - x_0(t), y - y_0(t)] dt \quad (2.1)$$

여기서 $g(x, y)$ 는 blurred영상이다.

식(2.1)을 Fourier변환하여 정리하면 식(2.2)와 같다.

$$G(u, v) = F(u, v) \int_0^T \exp\{-j2\pi[ux_0(t) + vy_0(t)]\} dt \quad (2.2)$$

식(2.2)는 $F(u, v)$ 가 t 에 의존한다는 사실로부터 다음과 같은 형태로 표현된다.

$$G(u, v) = H(u, v) F(u, v)$$

여기서

$$H(u, v) = \int_0^T \exp\{-j2\pi[ux_0(t) + vy_0(t)]\} dt \quad (2.3)$$

만일 $x_0(t)$ 와 $y_0(t)$ 에 대한 운동(motion)변수의 특성을 알고 있다면 전달함수(transfer function) $H(u, v)$ 는 식(2.3)으로부터 직접적으로 알 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 $x_0 = at/T$ 의 비율로 x 방향에서만 등속도 운동을 한다면, $t = T$ 일때 영상의 총 이동거리는 a 가 되며 $y_0(t) = 0$ 이기 때문에 식(2.3)는 다음과 같다.

$$H(u, v) = \frac{T}{\pi ua} \sin(\pi ua) e^{-j\pi ua} \quad (2.4)$$

식(2.3)에서 H 는 임의 정수 n 에 대해 $u=n/a$ 로 나타내며, u 값이 0이 되는 경우가 발생하기 때문에 영상 $f(x,y)$ 가 $0 \leq x \leq L$ 의 구간밖에서 0 혹은 알고 있는 값을 가질때 식(2.4)에서 나타난 문제점은 피할 수 있고, 영상은 이 구간에서 $g(x,y)$ 의 정보를 재구성 할 수 있으며, $\tau=x-at/T$ 를 대입하면 다음과 같다.

$$g(t) = \int_0^T f[x-x_0(t)]dt = \int_0^T f[x-\frac{at}{T}]dt$$

$$= \int_{x-a}^x f(\tau)d\tau \quad 0 \leq x \leq L \quad (2.5)$$

그러므로 x 에 대해 미분하면 다음과 같이 쓸 수 있다 (using Liebnitz's rule).

$$g'(x) = f(x) - f(x-a) \quad 0 \leq x \leq L \quad \text{or}$$

$$f(x) = g'(x) + f(x-a) \quad 0 \leq x \leq L \quad (2.6)$$

여기서 영상의 폭을 L 이라하고, 영상에서 물체가 임의의 노출시간 T 동안에 임의의 정수 K 에 대해 움직인 거리를 a 라 하면 $L=Ka$ 가 되며, 변수 x 는 $x=z+ma$ 이고, z 는 $[0,a]$ 구간에서 값을 가지며, m 은 (x/a) 의 정수부분이다.

식(2.6)에 위의 조건을 대입하면 다음과 같다.

$$f(z+ma) = g'(z+ma) + f[z+(m-1)a] \quad (2.7)$$

그리고 다음에 노출되는 동안 $0 \leq z < a$ 범위내에서 움직이는 영상의 부분을 $\varphi(z)$ 라 하고 다음과 같이 나타낸다.

$$\varphi(z) = f(z-a) \quad 0 \leq z < a \quad (2.8)$$

식(2.7)은 $\varphi(z)$ 의 각 항에 대해 각각 풀 수 있다. 그러므로

$$f(z+ma) = \sum_{k=0}^m g'(z+ka) + \varphi(z) \quad (2.9)$$

이 되며, $x=z+ma$ 일때 식(2.9)은 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$f(x) = \sum_{k=0}^m g'(z-ka) + \varphi(x-ma) \quad 0 \leq x \leq L \quad (2.10)$$

따라서 $g(x)$ 는 이미 알고있기 때문에 $\varphi(x)$ 를 구하는 것으로 축소시킬 수 있다.

blur된 영상으로 부터 이 함수를 직접적으로 평가하

기 위한 방법중의 하나는 다음과 같은 방법이다. 첫번째로 0부터 L 까지의 x 의 변수와 같이 0부터 $K-1$ 까지의 m 의 범위가 같다는데 주의해야한다.

φ 의 독립변수는 $(x-ma)$ 이고, 항상 $0 \leq x-ma \leq a$ 에 있으며 φ 는 $0 \leq x \leq L$ 범위에 대한 $f(x)$ 를 평가하는 동안 K 을 반복하며 다음과 같이 정의 한다.

$$\hat{f}(x) = \sum_{j=0}^m g'(x-ja) \quad (2.11)$$

식(2.11)을 다시쓰면

$$\varphi(x-ma) = f(x) - \hat{f}(x) \quad (2.12)$$

여기서 $ka \leq x \leq (k+1)a$ 대해 식(2.12)의 양변을 평가하고, $k=0, 1, \dots, k-1$ 까지의 결과를 추가하면 다음과 같이 된다.

$$K\varphi(x) = \sum_{k=0}^{K-1} f(x+ka) - \sum_{k=0}^{K-1} \hat{f}(x+ka) \quad 0 \leq x < a \quad (2.13)$$

여기서 $0 \leq x < a$ 이기 때문에 $m=0$ 이다. 전체를 K 로 나누면 다음과 같이 된다.

$$\varphi(x) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} f(x+ka) - \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \hat{f}(x+ka)$$

$$\varphi(x) \approx A - \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \hat{f}(x+ka) \quad 0 \leq x < a$$

$$\varphi(x-ma) \approx A - \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \hat{f}(x+ka-ma) \quad 0 \leq x < L$$

\hat{f} 에 대해 식(5.4-28)를 대입하면

$$\varphi(x-ma) \approx A - \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{j=0}^K g'(x+ka-ma-ja)$$

$$\approx A - \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{j=0}^K g'[x-ma+(k-j)a]$$

된다.

따라서 식(2.12)와 식(2.13)으로 부터 최종결과식을 얻을 수 있으며 다음과 같다.

$$f(x) \approx A - \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{j=0}^K g'[x-ma+(k-j)a] + \sum_{j=0}^m g'(x-ja)$$

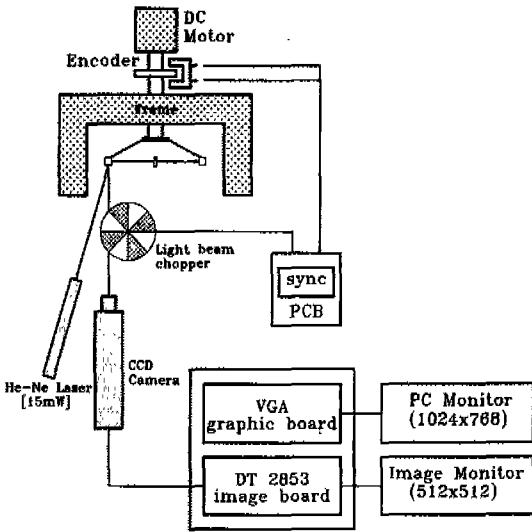


Fig. 3.1 Schematic diagram of image acquisition system

3. 실험장치 및 방법

3-1 실험장치

Fig. 3.1은 회전하는 밀링절삭용 인서트팁(insert tip;SEKN 1504 AFN-)의 동영상을 얻기위해 광학테이블(optical table)위에 설치한 전체 시스템 구성도이다.

Fig. 3.1에서 보는 바와 같이 광학테이블 위에 프레임(flame)을 설치한 후 인서트팁을 장착할 수 있는 공구홀더(tool holder)를 제작하여 프레임 상단에 장착하였다. 공구홀더는 십자형(+)으로 제작하여 90도 간격으로 4방향에서 인서트팁을 끼운후 나사로 고정할 수 있도록 하였다. 이는 모터회전시 균형을 이루어 안정된 회전수로 회전하기 위함이다. 프레임 상단에 고정된 공구홀더의 4개의 인서트팁중 임의의 인서트팁과 일직 선상에 CCD카메라를 설치하고 이와 30도 간격으로 이루어 He-Ne laser(15 mW)를 설치하여 광원으로 사용하였다. 그리고 He-Ne laser의 균일한 빔(beam)을 주사하기 위해 He-Ne laser앞에 렌즈($\times 10$)를 통과시켜 빔을 확대시킨 후 공간필터링을 하기위해 공간필터(special filter;50 μ m)를 통과시킴으로써 깨끗한 빔을 인서트팁 표면에 주사할 수 있었다. 또한 인서트팁을 장착한 공구홀더를 회전시키기 위해 소형 DC모터를 사용하였고 이 모터에 photodiode를 이용하여 만든 엔

코더를 사용함으로써 모터의 회전수를 읽어들이어 chopper의 모터를 공구홀더의 모터와 같은 회전수로 회전시켜줌으로서 영상을 동기시킬 수 있도록 제작하였다.

3-2 실험방법

본 연구의 실험은 밀링 절삭용 인서트팁의 파손현상을 영상처리기법을 이용하여 검출하기위해 사용하지 않은 팁(type1)과 절삭속도 150(mm/min), 이송속도 87(mm/min), 절삭깊이 0.2(mm)로 피삭재 STD11을 50분간 절삭하여 얻은 파손된 팁(type2)으로 2가지 유형의 인서트팁을 선정하였다. 이들 절삭조건하에서 얻어진 인서트팁에 대해 3.1절에서 구성한 시스템을 이용하여 영상을 받아들여지게 된다. 광학테이블에 설치한 프레임에 부착된 공구홀더에 사용하지 않은 인서트팁(type1) 4개를 끼운 후 각각 600, 900, 1200, 1500rpm으로 회전시켜 각 회전수에 따라 1분 간격으로 30프레임(frame)의 영상을 받아들인다. 그리고 마지막 31번째의 영상은 type2의 인서트팁으로 교체하여 각 rpm 대별로 영상을 획득한다. 이러한 경우에 31프레임의 영상에 대해서 처음부터 30프레임까지는 파손된 팁의 영상이 아니기 때문에 파손된 팁으로 인식해서는 안된다. 그리고 마지막 31번째의 영상은 파손된 팁(type2)으로서 이 때의 영상은 파손된 팁으로 인식해야 한다는 것을 실험을 통하여 입증하고자 한다.

3-3 공구파손 판정 알고리즘

Fig. 3.2은 본 연구에 적용된 공구파손 판정알고리즘을 나타내는 흐름도이다. 먼저 앞서 언급한 실험장치로 얻어진 영상은 임의의 위치에서 라인프로파일(line profile)을 조사하며, 정지시 영상의 라인프로파일과 비교하여 영상에서 대상물(object)이 어느정도 이동(shift)되었는 지를 화소(pixel)의 갯수로 판정하여 Fig. 3.3의 영상복원 알고리즘에 의해 원영상으로 복원시킨다. 복원된 영상은 초기에 정해놓은 기준영상과의 MSE(mean square error)값을 계산하며 이 계산결과가 바로 앞의 영상에서 구한 MSE의 평균과 표준편차의 합을 넘지 않는다면 이는 파손으로 간주하지 않는다. 그러므로 계속해서 영상을 받아들이며 앞의 과정을 반복하게 되는데 만일 파손된 공구의 영상이 입력되었다면 이때의 MSE값은 앞의 영상의 MSE값은 앞의 영상의 MSE 값보다 큰 값을 가질 것이다. 이때의 값이 바로 이전 영상의 MSE평균값과 표준편차의 합보다 크

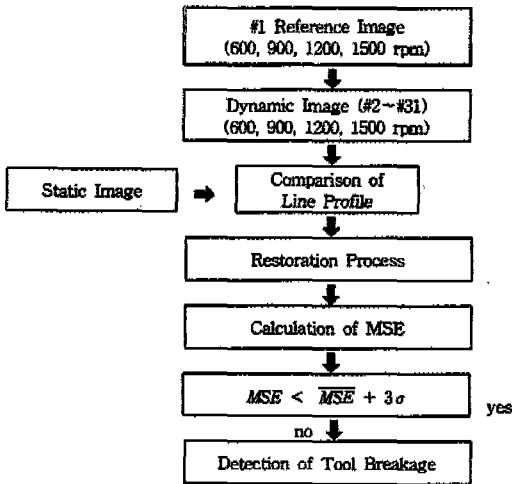


Fig. 3.2 Flow chart showing detecting process of tool breakage

다면 이는 파손된 영상으로 간주되어 공구의 파손을 검출하게 되는 것이다.

본 연구에서 공구파손 판정알고리즘으로 사용한 MSE값은 다음과 같이 설명할 수 있다. 일반적으로 영상처리 분야에서 영상의 정보를 판단할 수 있는 방법으로 객관적인 판단(objective fidelity criteria)과 주관적인 판단(subjective fidelity criteria)로 나눌 수 있다. 정보의 손실정도가 원 영상과 입력영상의 함수로서 나타낼 수 있을 때 이것은 객관적인 판단에 기초한다고 말한다. 이러한 경우에 이용할 수 있는 방법인 MSE(mean square error)는 기준영상(reference image)을 $f_R(x,y)$ 라 하고 $f_I(x,y)$ 를 입력영상(input image)이라 하면, 임의의 영상좌표(image coordinate) (x,y) 의 값에 대해 다음과 같이 설명할 수 있다.

기준영상 $f_R(x,y)$ 와 $f_I(x,y)$ 사이의 MSE는 $M \times N$ 영상에 대하여 총오차의 제곱을 평균한 것과 같으며 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$MSE = \frac{1}{MN} \left\{ \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f_I(x,y) - f_R(x,y)]^2 \right\}$$

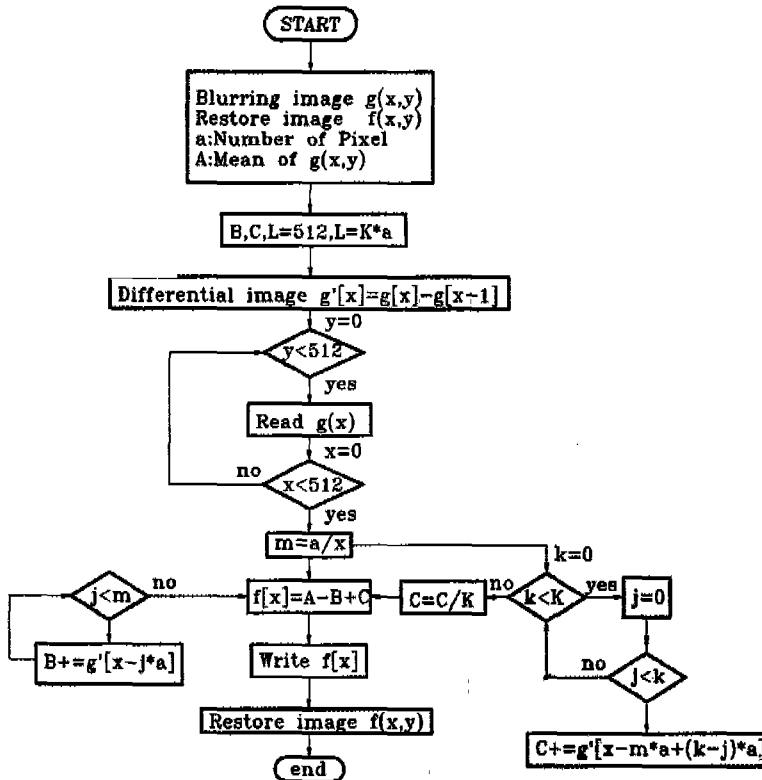


Fig. 3.3 Flow chart for image restoration process

4. 실험 결과 및 고찰

4-1 영상복원 결과

Fig. 4.1은 파손되지 않은 인서트팁(type1)의 저아지영상과 영상좌표(image coordinates) [0,100]에서 [512,100]까지의 라인프로파일(line profile)을 나타낸 것이며, 파손된공구(type2)의 정영상과 Fig. 4-1의 영상과 같은 위치를 지나는 라인프로파일을 나타낸 것은 Fig. 4.2와 같다.

Fig. 4.1에서 보는바와 같이 정지된 영상의 에지(edge)는 밝게 반사되어 나타나며, 라인프로파일에서 그 부분이 선명하게 드러나 높은 강도(intensity)값을 가지고 있음을 알 수 있다.

그러나 본 연구에서와 같이 등속도로 회전하는 인서트 팁의 영상은 식(2.1)에서 의미하는 바와 같이 아주 짧은 시간의 영상들을 모두 합한 영상이되어 마치

시간별로 여러장의 영상을 겹쳐 놓은 것처럼 보인다. 따라서 이때의 영상은 정지영상보다 흐리게 보이며, 에지와 같이 물체의 윤곽을 형성하는 부분들은 특히 더 흐리게 보인다. 이것은 그 영상에서 픽셀(pixel)의 강도값이 낮아진 것이 아니라 전체적으로 영상의 콘트라스트(contrast)가 낮아지는 것으로 해석될 수 있다.

Fig. 4.3은 속도 600rpm으로 회전하는 마도되지 않은 인서트 팁을 초파와 동기시켜 찍은 영상인데 이를 복원할 결과 Fig. 4.4와 같은 영상으로 복원하였다. Fig. 4.3에서의 라인프로파일과 Fig. 4.1의 라인프로파일을 비교함으로써 실제 동영상에서 영상을 획득하는 순간에 에지를 구성하는 픽셀(pixel)성분이 x축을 기준으로 어느정도의 양만큼 이동하였는지를 알 수 있게 된다. 따라서 이동한 픽셀 갯수만큼 반대방향으로 영상의 픽셀 값을 옮겨줌으로써 영상을 복원할 수 있게 된다.

앞서 설명한 바와 같이 실제 밀링공구는 회전운동을

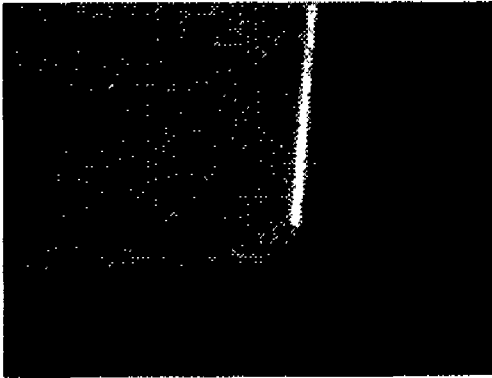


Fig. 4.1 Static image and line profile of sharp tool tip(type 1)

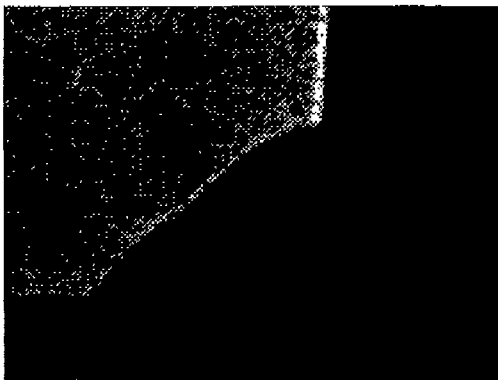


Fig. 4.2 Static image and line profile of broken tool tip(type 2)

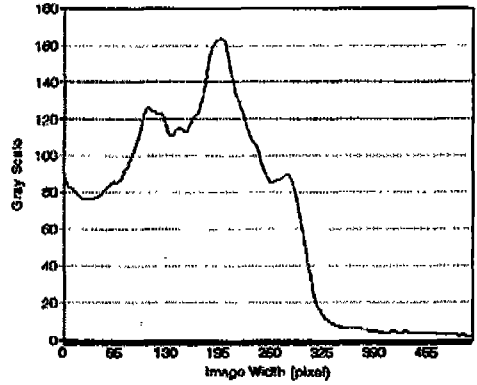
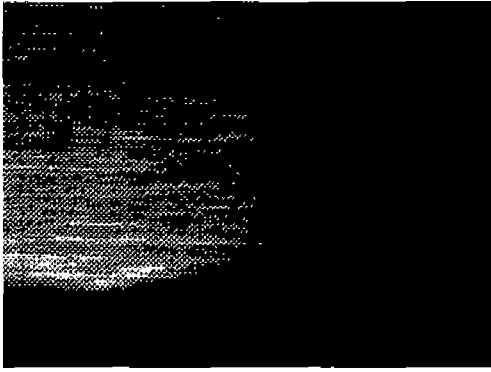


Fig. 4.3 Dynamic image and line profile of sharp tool tip(600 rpm)

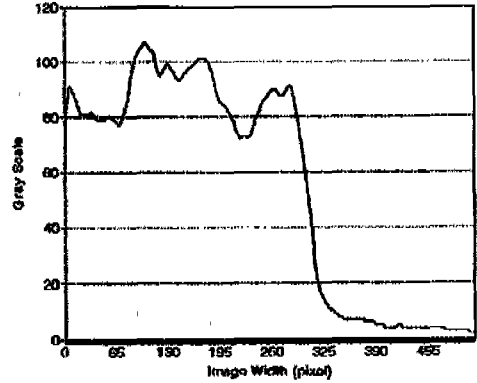
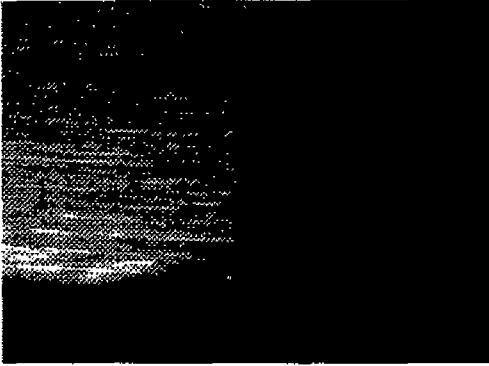


Fig. 4.4 Restoration image and line profile of sharp tool tip(600 rpm)

하며, 회전하는 인서트팁을 한 프레임(frame)의 영상으로 획득할 경우 영상은 화면에서 상하 좌우 그리고 앞뒤로 움직이게 되므로 이때 고려해야 할 요소들이 많이 존재한다. 그러나 만일 영상을 확대하여 인서트팁의 필요한 부분만을 관찰한다면 이는 등속도 운동으로 가정할 수 있으며, 영상에 고려할 수 있는 요소(factor)는 x방향 성분만을 고려해주면 된다. 그러므로 2장의 알고리즘을 이용한 복원이 가능하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 설계한 광학계의 배율은 45배로 정하였다.

Fig. 4.5는 파손된 인서트팁을 600rpm으로 회전시켜 얻은 영상과 라인프로파일을 나타낸 영상이며 Fig. 4.6은 Fig. 4.5의 영상을 복원한 결과영상과 라인프로파일을 나타낸 것이다.

4.2 MSE에 의한 공구 파손 판정

본 연구에서 공구파손의 판정기준으로 MSE(mean square error)값을 평가하였다. MSE값은 단순히 두 영상에서 각각 대응되는 픽셀의 강도값의 차를 자승하여 전체 갯수로 나눈 값으로서 영상이 서로 흡사하다면 적은 값을 가질 것이며 그렇지 않고 서로 다른 영상에 대하여 MSE값을 구한다면 큰 값을 가지게 된다. 그러므로 3.2절의 실험방법에 의해서 첫번째 받아들인 영상을 기준영상으로 하여 그 다음 1분후에 입력되는 영상과 MSE값을 구하고, 2번째 영상의 표준편차를 계산한다. 그 다음 1분후 입력되는 3번째 영상은 기준영상과 MSE값을 계산하고, 2번째 영상에서의 MSE값과 MSE의 평균값을 구한후, 3번째 영상의 표준편차를 계산한다. 그리고 4번째 영상 또한 기준영상과의 MSE값을 구하며, 3번째 영상에서의 MSE값과 MSE의 평균

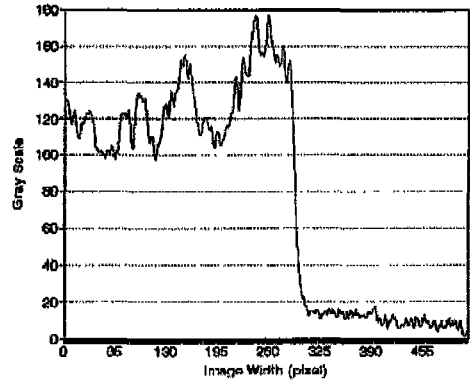
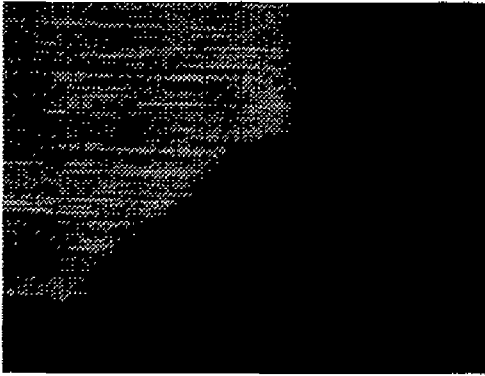


Fig. 4.5 Dynamic image and line profile of broken tool tip(600 rpm)

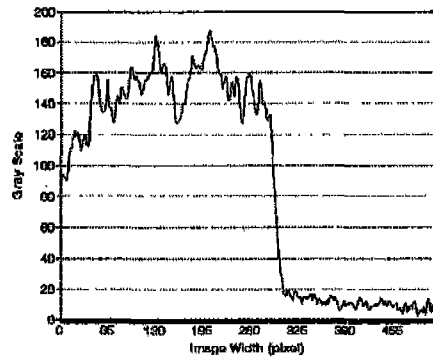


Fig. 4.6 Restoration image and line profile of broken tool tip(600 rpm)

값을 구하고, 4번째 영상의 표준편차를 구한후 이 때의 MSE값이 3번째 영상에서 구한 MSE의 평균값과 표준편차의 합과 비교하여 4번째 영상의 MSE값이 더 크면 이 때의 영상은 기준영상과 지금까지 입력된 영상과 전혀 관계가 없는 다른 영상으로 간주할 수 있다. 따라서 이와같이 판정기준을 정하는 근본적인 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다. 확률이론에서 일반적으로 많은 현상들의 확률분포가 정규분포(normal distribution)로 표현될 수 있으며, 연속확률분포 중에서도 가장 자주 이용되는 분포이며 통계적추론에서 중추적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 그러므로 30프레임의 입력영상의 MSE값이 정규분포의 형태를 따른다면 MSE의 평균으로부터 1배의 표준편차일 경우의 확률은 약 68%, 2배의 표준편차일 경우에는 약 95%이며, 3배일 경우에는 약 99% 확률을 가진다. 이론상 정규분포의 정규곡선은 무한히 뻗어 있지만 실질적으로 거의 ± 3 배의 표준편차 범위에 있으므로 정규분포의 중심으로부터 ± 3

배의 표준편차까지만 정규곡선의 가치를 제공하는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 입력영상의 MSE값이 MSE의 평균값과 3배의 표준편차를 더한 값보다 클 때를 공구가 파손된 영상이라고 인식하도록 정할 수 있다. 이러한 기준은 단순히 이론상에만 근거하여 정한 것이 아니다. Fig. 4.7에서 보는 바와 같이 이 그래프는 MSE값이 MSE의 평균값과 몇배의 표준편차보다 클 때 공구의 파손을 검출할 수 있는가를 알기위함이며, 본 실험에서 적용한 공구파손의 판정기준의 민감도를 나타내는 것이기도 하다. 첫번째 영상에서부터 30번째 영상까지 이 중의 첫번째와 두번째 영상은 초기 단계이므로 아무런 의미를 부여하지 못한다. 그러므로 나머지 29개의 영상이 실제로 사용되는데 첫번째 영상에서 28번째 영상까지는 모두가 같은 파손되지 않은 인서트팁의 영상이므로 이때의 MSE값은 판단기준을 넘지 않을 것이라고 가정할 수 있다. 따라서 MSE값의 평균과 1배의 표준편차값을 기준으로 하였을 경우 그래

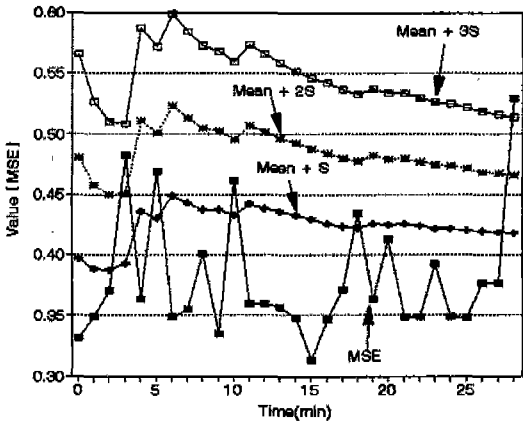


Fig. 4.7 Preliminary test result for finding proper standard deviation

프로에서 3번째, 5번째, 10번째, 18번째의 영상이 판단 기준을 넘어서는 것으로 나타나지만 2배의 표준편차를 판단기준으로 하였을 경우에는 3번째 영상이 기준을 초과함으로써 이 때도 역시 판정기준은 되지 못한다. 그러나 3배의 표준편차일 경우에는 마지막 파손된 영상인 28번째 영상만이 판정기준을 넘어서는 것으로 나타났으므로 MSE의 평균값과 3배의 표준편차를 판정기준으로 정하였다.

Fig. 4.8~Fig. 4.12까지의 영상은 인서어트팁의 rpm변화에 따른 영상의 MSE값인 용한한 판정을 타나낸 그래프이다. 이 경우도 판단기준은 MSE값과 3배의 표준편차값의 합보다 입력영상의 MSE값이 클 경우를 공구의 파손으로 간주하였다. Fig. 4.8의 경우는 정지상태인 인서어트팁의 영상에 대하여 구한 값들 이므로

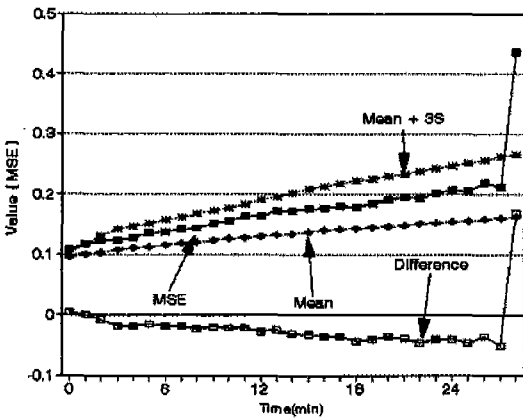


Fig. 4.8 Variation of MSE with input image(static)

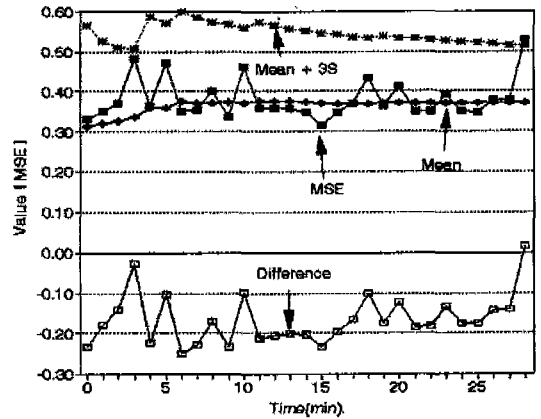


Fig. 4.10 Variation of MSE with input image(900 rpm)

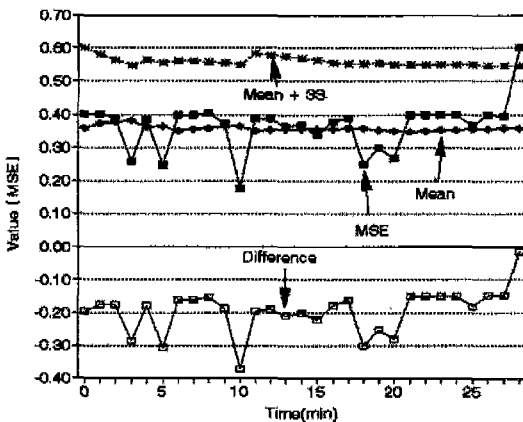


Fig. 4.9 Variation of MSE with input image(600 rpm)

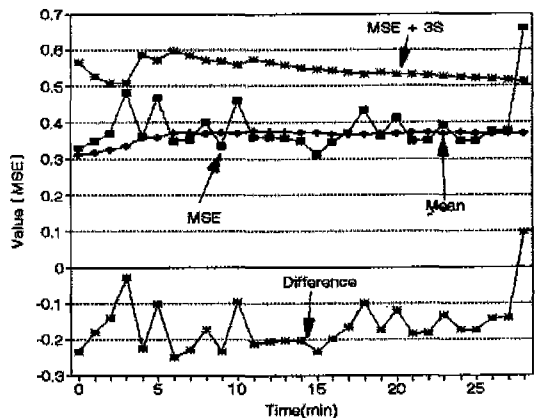


Fig. 4.11 Variation of MSE with input image(1200 rpm)

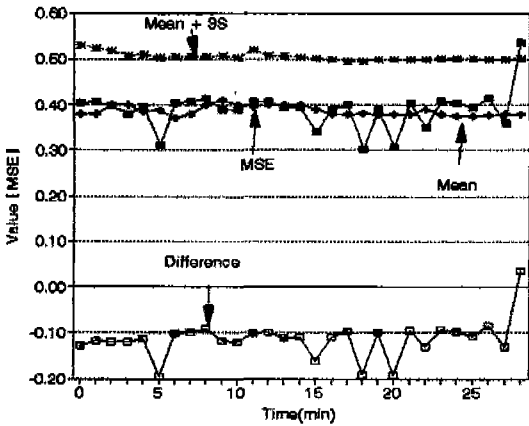


Fig. 4.12 Variation of MSE with input image(1500 rpm)

MSE값들이 매우 안정되어 있음을 알 수 있다.

그러나 Fig. 4.9~Fig. 4.12까지의 동영상의 경우는 첫째 MSE값의 분포가 분규칙하게 나타나는 현상을 관찰할 수 있다. 그 이유는 똑같은 영상이라 하더라도 영상 획득과정에서 많은 동적 영향을 받는다고 판단한다.

4-3 실험 결과

본 연구에서 설계제작한 영상획득장치를 이용하여 회전하고 있는 인서어트팁을 초퍼를 이용하여 정지된 영상으로 얻을 수 있었다. 이론상으로는 인서어트팁을 회전시키는 모터와 초퍼의 모터가 정확히 같은 속도 또는 정수배의 회전을 한다면 정지된 상태의 영상으로 보이게 된다. 그러나 실제로 영상을 획득하여 분석한 결과 정지 상태에서 찍은 영상과 시각적인 측면에서 다르게 나타났다. 이러한 사실은 모터의 회전수가 서로갈 때 정지된 영상을 얻을 수 있다는 것이지 정지상태의 영상과 똑같은 영상을 얻을 수 있다는 것은 아니다. 그리고 이 영상의 라인프로파일을 이용하여 픽셀들이 좌우로 어느 정도로 이동하였는지를 알 수 있었고 2장의 영상복원을 이용하여 이러한 문제점을 줄일 수 있었다. 그리고 회전하고 있는 인서어트팁의 파손여부를 관찰하는데 있어서 인서어트팁의 파손이 발생 할 시 빠르고 정확한 검출을 위해 영상간의 MSE값을 구하여 적용하였고 1프레임의 입력영상에 대해 계산시간이 1.7초가 소요되었다. 또한 공구파손의 판정기준을 세우기 위해 통계적 방법을 적용하였다. 기준영상과 입력영상으로부터 구한 MSE값이 어느 정도 범위를 벗어났을 때를 파손으로 판정할 것인

지에 대하여 실험하였고, 아울러 이 값들의 민감도를 실험해 봄으로서 $\pm 3S$ 범위로 정하였다.

4-4 고 찰

본 연구는 영상처리기법을 이용하여 공구의 파손을 온 라인(on-line)으로 검출하는데 그 목적이 있다. 영상처리기법을 이용하여 공구의 파손을 검출하기 위해서 회전하는 공구를 어떠한 방법으로 얻어낼 것인가가 첫째 문제점으로 돌출된다. 이러한 문제는 초퍼를 사용함으로써 해결하였다. 그 다음으로는 공구의 영상을 처리하는데 있어서 공구의 특징을 찾아낸다든지 혹은 공구의 에지를 검출하여 판단하는 방법 등을 생각해 볼 수 있다. 그러나 이 경우에는 영상처리과정에 소요되는 많은 계산시간을 필요로 할 수도 있다. 그러므로 빠른시간내에 공구의 파손을 검출하기 위해 두 영상간의 강도값의 차이의 정도를 나타내는 MSE값을 계산함으로써 공구파손 검출에 적용할 수 있었다. 그리고 영상간의 MSE값을 계산하는데 있어서 동영상의 획득시 발생하는 픽셀값의 이동현상은 많은 오차를 가져옴으로써 영상복원기법을 이용하여 문제점을 감소시켰다. 또한 기존의 공구파손 검출 방법들은 선반과 같이 단인 공구를 사용하는 경우에 마모나 파손을 검출 하였으며, 다인공구를 사용하는 밀링가공의 경우에는 하나의 공구에 대해서만 적용하여 검출하였다. 그러나 본 연구에서 제시한 방법은 회전하는 공구를 감시할 수 있으며, 또한 밀링커터에 몇개의 인서어트팁이 장착되더라도 장착된 팁 모두 감시가 가능하며 아울러 파손도 검출할 수 있다.

본 논문에서 공구파손의 판정기준으로 MSE를 이용하여 공구의 파손을 검출하였으나 실제 파손은 마모가 진전된다 어느 순간에 갑자기 일어나게 되는데 본 연구의 알고리즘으로는 마모상태를 판단하는데는 조금은 미흡함이 있다. 그 이유는 MSE값을 기준으로 판정할 때 먼저 선행된 값과의 평균값이 계속해서 누적되기 때문에 판정기준을 넘지 못하는 현상이 나타난다. 그러나 이러한 문제점은 많은 절삭실험을 통하여 얻어진 팁들의 정보를 데이터베이스화 한다면 마모와 파손 모두를 검출할 수 있는 판정기준을 정할 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 연구는 영상처리기법을 이용한 실시간 공구 파손 검출을 위한 기초적인 연구단계로서 실제 작업 현장이

아닌 실험실에서 수행되었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 회전하고 있는 정면밀링커터의 인서어트 팁을 초퍼를 이용함으로써 정지된 영상으로 획득할 수 있는 광학계를 구성하였다.

(2) 회전하는 인서어트팁으로부터 획득한 정영상을 영상복원 알고리즘을 이용함으로써 흐려지는 현상을 줄일 수 있었다.

(3) 공구의 파손검출을 위해 기준영상과 입력영상간의 MSE값을 적용하여 검출하였고, 이때의 기준은 입력영상의 MSE값이 이전 영상의 MSE의 평균값과 3배의 표준편차의 합보다 큰 경우에 공구파손을 검출할 수 있음을 실험을 통하여 알 수 있었다.

(4) 광학 테이블상의 실험결과를 통하여 실제 공작기계에 적용할 수 있는 토대를 마련하였다.

참고문헌

1. J. Tlustý and G. Andrews, "A Critical Review of Sensors for Unmanned Machining", Annals of the CIRP, V32/2/1983, pp.563-572, 1983.
2. F. Giusti and H. Santoch, "Development of a Fiber Optic Sensor for In-Process Measurement of Tool Wear", Proc of 20th M.T.D.R conf pp.351-360, 1979.
3. K. Matsushina and P. Bertok and T. Sata, "In-Process Detection of Tool Breakage of Monitoring the Spindle Motor Cur-

rent of a Machine Tool", Measurement and control for Batch Manufacturing, Phoenix, Arizona, pp.14-19, 1982.

4. K.Iwata and T.Horiwaki, "An Application of Acoustic Emission Measurement to In-process Sensing of Tool Wear" Annals of the CIRP Vol.25/1, pp.21-26, 1977.
5. N. Cook, "Tool Wear Sensor", Wear, Vol.62, pp.49-57, 1980.
6. Y. Maeda and H. Uchida and A. Yamamoto, "Estimation of Wear land Width of Cutting Tool flank with the Aid of Digital Image Processing Technique", Bull. Japan Soc. of Prec. Ergr, Vol.21, No.3, Sep. pp.211-213, 1987.
7. R. Gonzalez and R. Safabakhsh, "Computer vision Techniques for Introductory Application", computer, Vol.15, No.12, 1982.
8. M. Sondhi "Image Restoration: The Removal of Spatially Invariant Degrations", IEEE Proc., Vol.60. July, pp.842-853, 1972.
9. H. Andrews, "Digital image Restoration: Survey", IEEE Computer, Vol.7, May, pp.36-45, 1974.
10. R. Gonzalez and R. Wood, "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1992.