

영상 처리에 의한 연삭면 너비 계속

◦김 선 일*, 박 중 구**, 박 찬 용***

* 거제 전문대학교 전자과, ** 한국창업투자주식회사, *** 한국생산성본부

Automatic Measurement of Blade Width using Image Processing Techniques

S. I. KIM*, J. K. PARK**, C. W. BAHK***

*Geoje Junior College, ** Korea Investemnt Corporation, *** Korea Productivity Center

ABSTRACT

In the blade grinding process, Blade image is captured. It is captured in the environment with vibration, using monochrome CCD camera with high speed electronic shutter. The image is preprocessed using LoG filter and zero crossing. We used Hough transformation to detect straight lines from the preprocessed image.

From the equations of detected lines, we calculated width between lines caused by grinders.

This paper proposes automatic measurement of blade width to automate the process control of blade grinding line.

1. 서론

중소형급 컴퓨터를 잘 활용하면 저렴한 비용으로 생산 라인의 자동화를 도모할 수 있으며 결과적으로 작업의 효율성, 편의성을 부여하고 원가 절감에 기여할 수 있다.

화장도 연마 공정은 소음과 진동이 심한 열악한 환경이므로 자동화가 절실히 요구되는 공정이다.

화장도를 자세히 살펴보면 그림 1 과 같이 아래, 위 양날로 되어 있으며 각 날은 양면으로 연마되어 있다. 또한 각 면은 3 단계의 연마 공정으로 이루어지며 따라서 기울기가 서로 다른 3 개의 면으로 나뉘어져 있다. 각 3 면은 입자 크기가 각기 다른 연마석에 의해 연삭되는데 먼저 거친 입자 연마석에 의해 1 단 가공을 함으로써 날을 세우기 위한 기초

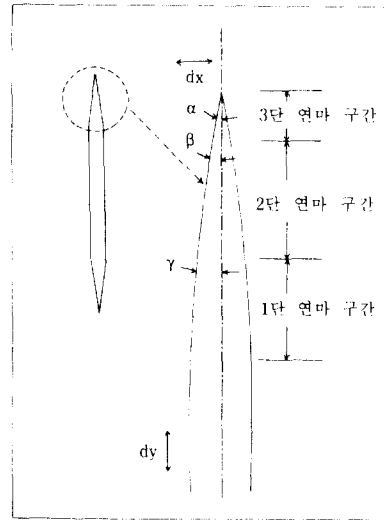


그림 1. 화장도의 연삭면 구성 형태
Fig. 1. Structure of Blade

작업을 하고 조금 고운 입자의 연마석으로 2 단 가공을 하여 날 세우기 기초 작업을 마무리 하며 입자가 가늘고 고운 3 단 연마석으로 3 단 가공을 하여 끝날을 부드럽고 매끈하게 세운다. 각 단의 연마석은 입자 크기 뿐만 아니라 연마각도 서로 달라서 가공된 면도날은 그림 1 과 같이 서로 다른 기울기를 가지는 3 개의 면으로 구성되게 된다. 연마 공정의 진행에 따라 화장도가 가공되고 자연적으로 연마석의 마모가 발생한다. 연삭이 끝난 후의 연삭면의 너비와 기울기는 허용 오차 범위를 넘지 말아야 한다. 연마석은 원형으로 생겼으며 회전 전에 의해 연삭되는데 마모에 의해 반경이 줄어들게 되어 연삭면의 너비가 변화하게 되고 이를 보정해 주지 않으면 불량품이 생산되게 된다. 따라서 연삭된 화장도의 상태를 수시로 점검하여 연마석의 마모 정도에 따른 보정 작업을 해 줌으로써 불량품의 생산을 방지하여야 한다. 현재의 연삭

보정 작업은 숙련된 작업자가 수시로 건본을 틀어서 현미경으로 육안 검사하여 연마석의 마모 정도를 추정하고 연마석 전후진 조작 단추를 눌러 연마석을 전후진 시킴으로써 이루어진다. 본 연구에서는 생산 라인 자동화의 전단계로서 육안 검사 부분을 자동화하는 장치 및 알고리즘을 구현하였으며 이에 대해 서술하고자 한다.

2. 시스템 구성

전체 시스템은 그림 2 와 같이 현미경, 카메라, 모니터, 영상 처리 장치, 컴퓨터, Actuator Interface, Junction Box, 반자동식 제어반 및 Photo Sensor 로 구성된다. 현장에는 회전 연마석이 고속 회전하므로 상당한 양의 진동이 발생된다. 따라서 1/60 초 주사율을 가지는 일반 CCTV 카메라로는 깨끗한 영상을 얻을 수 없다. 최근에 IC 기술의 발달로 수천분의 1 초 까지의 전자 셔터 기능을 갖는 CCD 가 개발되고 또한 상용화 되었다. 본 연구에서는 일본 NEC 의 TI-50ES Monochrome CCD 카메라를 사용하여 1/1000 초에서 깨끗한 영상을 얻을 수 있었다. 그러나 화장도가 움직일 때에는 깨끗한 영상을 얻을 수 없었으며 가공이 끝난 화장도를 날개로 분리하기 위해 잠시 정지할 때를 Photo Sensor로 감지하여 외부 Trigger 신호로 사용함으로써 정지시의 화상을 진동의 영향을 배제한 가운데 입력시킬 수 있었다. 카메라를 통하여 입력된 데이터는 영상 처리 S/W 에 의해 분석, 처리되어 결국에 연삭면의 너비 변화가 계산된다. 너비 변화에 따른 적절한 제어 신호가 제어반에 명령을 내려 연마석의 위치가 수정된다.

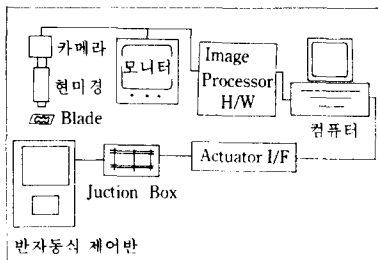


그림 2. 시스템 구성도
Fig. 2. Block Diagram of the System

3. 영상 처리

화장도의 연삭면은 3 면으로 구성되며 4 개의 경계선이 존재한다. 각 연삭면은 거칠기 및 기울기가 서로 틀리므로 연삭면을 비추는 조명의 각도를 잘 조정하면 그림 3 과 같은 영상을 얻을 수 있다. 그림 3 의 제일 좌측은 배경이며 그 다음면은 곱게 연삭되어 빛의 정반사가 일어나고 반사광이 카메라의 시계를 벗어나게 되어 검은 색으로 보인다. 다음 두면은 거칠게 연삭되어 빛의 난반사가 일어나는데 각 면의 거칠기가 다르므로 전체적인 명암에 차이가 나게 된다. 오른쪽면은 연삭되지 않은 면이다. 명암차에 따라 경계선이 뚜렷하게 나타나는데 이를 분석하여 경계선을 자동으로 찾아내기 위해 먼저 경계점들을 검출하고 이로부터 경계선에 해당하는 직선을 찾아내고자 한다.

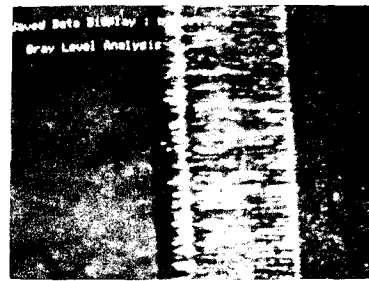


그림 3. 연도날의 영상
Fig. 3. Blade Image

3.1 경계선 검출

영상 데이터를 이용하여 물건을 인식하거나 필요한 정보를 얻어 내기 위해서는 먼저 경계선 검출이 필요하다. 검출된 경계선은 데이터의 양을 줄여줄 뿐만 아니라 특징점을 찾아내는 데에도 유효하게 쓰인다. 이를 위해서 Gradient 연산자와 이차 미분 연산자들을 쓸 수 있는데 Gradient 연산자는 대개 경계선이 두껍게 나오므로 세선화 과정을 거쳐야 하는 번거로움이 있으며 정확성에도 문제가 있다. 반면에 이차 미분 연산자는 경계선에서 영점 통과(Zero-Crossing)가 일어난다. 즉 계산된 값들이 양수에서 음수, 또는 음수에서 양수로 변하는 지점이 나타나는데 이 부분이 경계선에 해당된다.

그림 4의 계단 함수를 미분하면 그림 5와 같은 함수를 얻으며 한번 더 미분하면 그림 6과 같은 함수를 얻을 수 있는데 이 함수의 부호 변화 부분이 경계선이다.

Marr 와 Hildreth 에 따르면 ∇G 가 이차 미분 연산자로 가장 적합하다.^{1),2)} ∇ 은 Laplacian 연산자이며 G 는 이차 Gauss 함수

$$G(x,y) = \exp(-(x^2+y^2)/2\pi\sigma^2) \text{ ————— (1)}$$

이다. 따라서 는 Laplacian of Gaussian Mask 로

$$\nabla G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^4} (2 - ((x^2+y^2)/\sigma^2)) \exp(-(x^2+y^2)/2\sigma^2) \text{ —(2)}$$

로 나타내어지며 약자로 LoG 로 불리운다. σ 는 Gauss 함수의 공간 상수(Space Constant)이며 $W=2\sqrt{2}\sigma$ 로 정의하고 LoG 의 폭 $S=3W$ 로 하면 대부분의 에너지가 이 영역에 남아 있게 되어 에너지 손실이 거의 없게 된다.³⁾ 그림 7에 이 관계가 잘 나타나 있다. 실제로 그림 8과 같은 계단 함수에 LoG 연산자를 적용시켰을 때 응답 결과가 그림 9와 같이 나타난다. LoG 연산자의 폭 S 는 분석하고자 하는 영상 데이터의 특성에

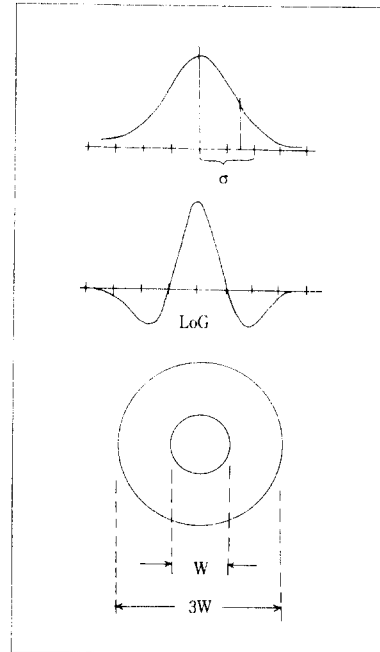


그림 7. LoG 와 관련된 변수들
Fig. 7. LoG related Variables

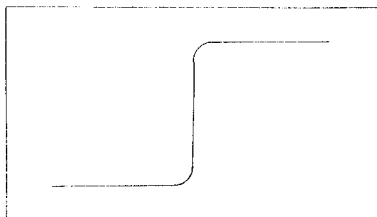


그림 4. 계단 함수
Fig. 4. Step Function

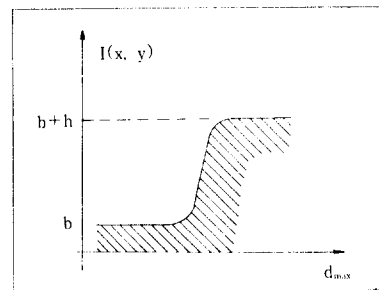


그림 8. 계단 함수 데이터
Fig. 8. Step Function Data

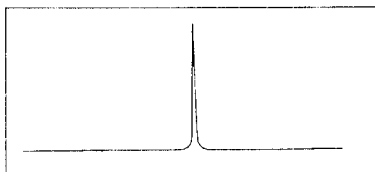


그림 5. 계단 함수의 일차 미분
Fig. 5. 1'st Derivative of Step Function

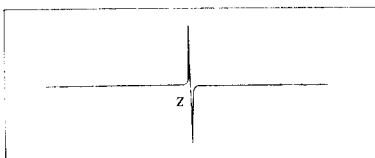


그림 6. 계단 함수의 이차 미분
Fig. 6. 2'nd Derivative of Step Function

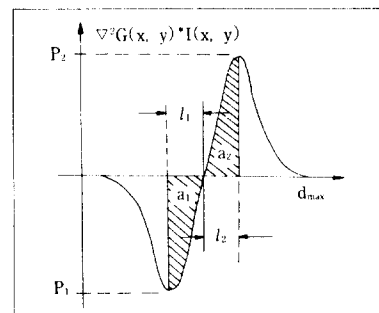


그림 9. LoG 연산자에 대한 계단 함수의 응답 결과
Fig. 9. Response of Step Function for LoG Operator

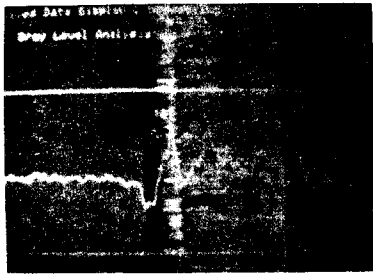


그림 10. 농담치 분석
Fig. 10. Gray Level Analysis

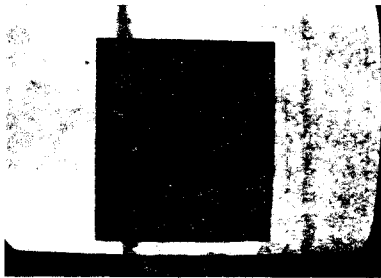


그림 12. LoG 연산 및 영점 통과
Fig. 12. LoG Operation and Zero Crossing

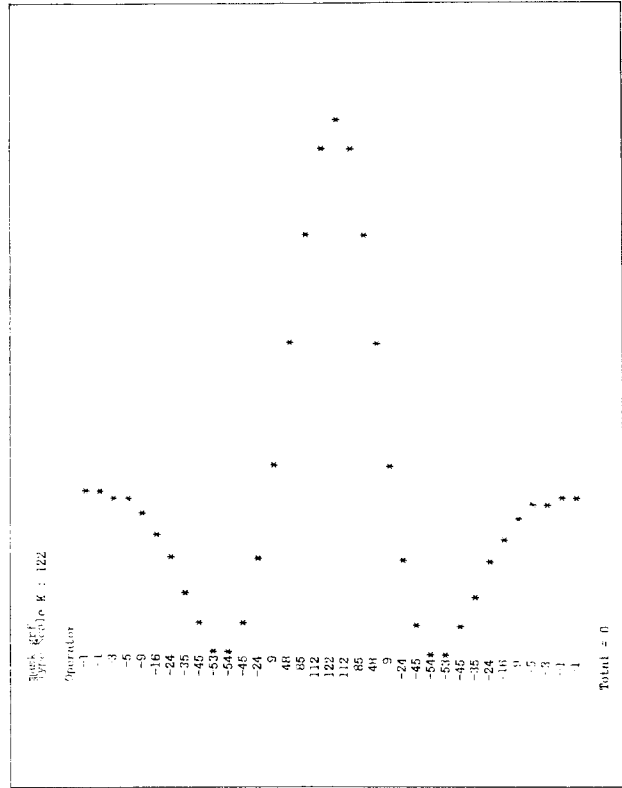


그림 11. 설계된 LoG Mask
Fig. 11. Designed LoG Mask

따라 결정된다. 영상 데이터의 검출하고자 하는 부분의 폭과 S의 크기에 따라 부정확한 경계선이 검출될 수 있으므로 S는 영상 데이터의 특성에 따라 적절히 정해 주어야 한다. 그림 10은 확장도 영상 데이터 중 수평으로 임의의 한 줄을 선택하여 농담치를 나타낸 것이다. 확장도에서 검출하고자 하는 직선은 수직에 가까운 상태이며 일방향성이므로 이차원 LoG를 쓰지 않고 단순하며 계산 시간이 절약되는 일차원 LoG를 사용하였다.

그림 11은 최대값을 972로 잡고 S=35로 하여 설계된 일차원 디지털(Digital) LoG Mask이다. 그림 12는 설계된 LoG Mask를 그림 3과 같은 영상 데이터에 적용하여 영점 통과 시킨 결과이다. Mask를 띄워 계산된 결과 중 흰점으로 나타난 부분이 영점 통과 부분이다.

3.2 직선 검출

LoG 연산자를 이용하여 영점 통과가 일어나는 부분은 농담치가 큰 값을 넣고 그렇지 않은 부분에는 0을 넣어 그림 12와 같은 영상을 얻을 수 있었다. 여기에 존재하는 수 많은

점들로부터 잡음과 구별하여 경계선에 해당하는 부분의 직선을 찾아야 한다. 임의의 데이터로부터 직선을 찾아 내기 위해서 사용되는 방법 중에 Hough 변환이 있다. Hough 변환은 데이터 공간에서 변수 공간으로의 Mapping이다.

직선의 방정식은

$$y = mx + c \quad (3)$$

로 나타내어진다.

(x,y)는 영상 데이터 공간상의 좌표이며 (m,c)는 각각 직선의 기울기와 y축과의 교점에 해당된다.

(3)식을 다시 쓰면

$$c = -xm + y \quad (4)$$

로써 (m,c)공간에서 기울기가 -x이고 c축과의 교점이 y인 직선이다. 그림 13의 직선상의 점들의 좌표 (x,y)에 대해 (m,c)공간상에 그림 14와 같이 직선들이 존재하며 이 중 가장 많은 직선이 교차하는 곳의 m과 c값이 그림 13의 직선의 기울기 및 y축 교점에 해당된다.

한편 (4)식에서는 m=∞ 되는 수직선을 찾아 내기 곤란하

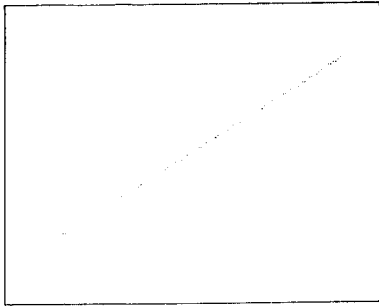


그림 13. (x,y) 공간상의 직선
Fig. 13. Dotted Line in (x,y) Space

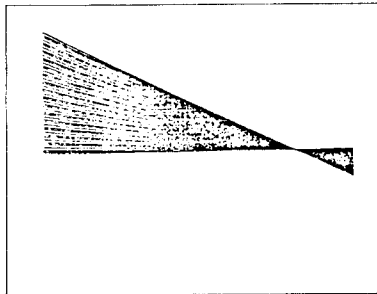


그림 14. (m,c) 공간상의 직선들로 Mapping 된 (x,y) 공간상의 직선
Fig. 14. Lines mapped to (m,c) Space from (x,y) Space

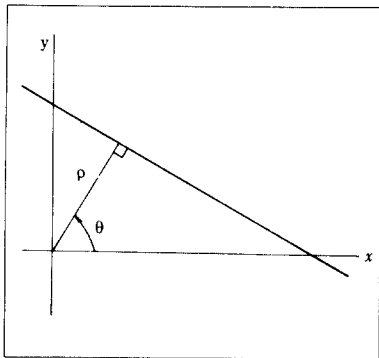


그림 15. 직선과 법선 벡터
Fig. 15. Line and Normal Vector

계 된다. 따라서 원점에서 직선에 이르는 법선 벡터의 방정식

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad \text{--- (5)}$$

를 사용하여 (x,y) 공간을 ρ, θ 공간으로 Mapping 하면 수직, 수평선에 관계없이 (ρ, θ) 를 구할 수 있다. 그림 15 에서 보듯 ρ 는 원점에서 직선까지의 수직선 길이이며 θ 는 이 수직선이 x 축과 이루는 각도이다. 영상 데이터 상의 각 점의 위치는 (ρ, θ) 공간에서 정현 곡선으로 나타나고 같은 직선 위

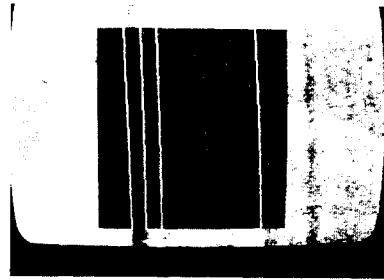


그림 16. Hough 변환으로 검출한 직선
Fig. 16. Detected Lines with Hough Transformation

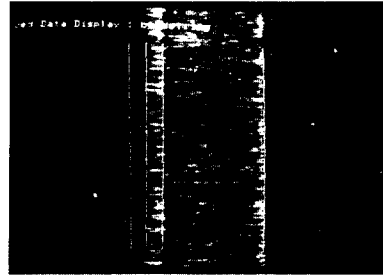


그림 17. 검출된 직선과 확장도 영상과의 대비
Fig. 17. Contrast with Blade Image and Detected Lines

의 점들은 (ρ, θ) 영역에서 반드시 한 점을 공통으로 통과하게 된다.

그림 12 의 LoG 연산 및 영점 통과 결과에 Hough 변환을 적용시켜 구한 직선이 그림 16 에 나타나 있다. 그림 17 에는 검출된 직선과 확장도 영상을 대비시켜 검출된 직선의 정확성을 검증하였다.

4. 결론

연마 공정 자동화를 위해 확장도의 연삭면 너비를 자동으로 계속하는 시스템을 구현하였다.

확장도 연삭면의 너비 변화는 연마석의 마모와 길이 관련 되어 있고 이에 따라 연마석의 전 후진 거리가 결정된다. 연마석은 한쪽 면의 가공을 위해 3 개가 존재하고 한 연마석의 마모가 다른 면에도 영향을 미치므로 연마석의 위치 보정은 그리 간단치 않다.

본 연구는 연마석을 자동 보정하기 위한 전 단계로서 영상 처리 방식에 의해 확장도의 연삭면 너비를 측정하였다. 본

연구 결과에 따라 자동으로 연마석의 마모량에 따른 화장도

너비 변화를 보정해 주기 위해서는

- 1) 숙련공의 감각적인 Know-How의 자동 획득 및 정량화를 위한 인공 지능형 모델링
- 2) 정확한 데이터 베이스 구축
- 3) 인간의 사고 방식을 모방한 최신 제어 기술
(신경회로망, Fuzzy 제어 등)

의 방법이 고려되어야 하고 이에 덧붙여 생산 설비상의 제 문제점도 보완하여야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] David Marr, "VISION", W. H. Freeman and Company, U.S.A., 1982
- [2] D. Marr and E. Hildreth, "Theory of edge detection", Proc. R. Soc. London, B 207, 187-217, 1980
- [3] Andres Huertas and Gerard Medioni, "Detection of Intensity Changes with Subpixel Accuracy Using Laplacian-Gaussian Masks", IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., Vol PAMI-8, No. 5, pp.651-664, Sep. 1986.
- [4] R. O. Duda and P. E. Hart, "Use of Hough Transformation To Detect Lines and Curve in Pictures", Communications of the ACM, Vol. 15, No. 1, pp.11-15, Jan. 1972.
- [5] 김선일, 박종구, 박찬용, "연마석 자동 조절 장치 개발", 한국기계연구소, Nov. 1988.