

## 화상처리를 이용한 브러시 연삭공구의 인식

신관수\* · 유송민\*\*

(\*시립인천전문대학, \*\*경희대학교 기계·산업시스템공학부)

### Image processing of brush grinding system

Shin, Kwan Soo\* · Yoo, Song Min\*\*

(\*Incheon City College, \*\*Kyung Hee University of Mechanical and Industrial System Engineering)

#### ABSTRACT

In this study, a vision system with image processing method have been introduced to find the deflection of brush filaments. Several preprocessing methods including Scale-space filter with various threshold levels have been applied. In order to evaluate the deflection of the filaments, deformed filaments have been assessed using the processed profile

Key Words : Vision system(화상시스템)  
Scale-space filter

#### 1. 서론

생산 기술의 급속한 발전과 원가절감을 위한 생산공정 자동화의 일반적인 추세에 따른 정밀 부품의 수요가 급격히 증가하게 되고 이에 따라 마무리 공정의 중요성은 점차 큰 영향 요소로 부각되고 있다. 이에 따라 버(bur) 제거를 위한 많은 연구와 새로운 공정 및 설비를 위한 노력이 증가되고 있다.

디지털 화상처리는 1960년대부터 연구, 개발 되기 시작하였고 초기에는 고가의 하드웨어와 소프트웨어 때문에 일부계층에서만 사용할 수 있었으나, 기술의 진보, 하드웨어의 성능 향상 및 가격하락, 컴퓨터의 대중화 등에 의하여 화상장비가 보편화되고 이를 바탕으로 디지털 화상처리가 실용화 단계에 들어가게 되었다. 그 중에서도 공

장 자동화 분야에서는 시각 시스템을 사용하여 자동화된 품질검사와 생산과정을 모니터링한다. 이 품질검사와 모니터링을 위해서는 정확한 데이터의 측정(Calibration)과 처리가 필요하다.

본 연구에서는 버(bur) 제거에 사용되는 브러시 연삭 공구의 형태를 화상처리를 이용해 분석하고자 측정시스템의 구성과 실험 및 자료처리 방법, 화상처리를 통한 공구의 변화특성 인식 등을 단일 필라멘트, 복수 필라멘트, 필라멘트 군으로 나누어 실험을 행하여 화상처리시스템의 브러시 공구 인식에 대한 고찰을 해보았다.

#### 2. 이론적 배경

##### 2.1 비전시스템

비전시스템(Vision System)은 획득한 화상데이터가 제조공정을 제어할 수 있도록 처리하는 산업기술이다. 이를 생산라인에 적용시킬 경우 검사능률의 향상과 산업재해의 방지, 검사의 균일화 및 기업이미지의 향상 등에 큰 효과를 가진다. 전체적으로 이미지 획득부, 이미지 처리부, 이미지 출력부로 나누어 진다. (Fig.1)

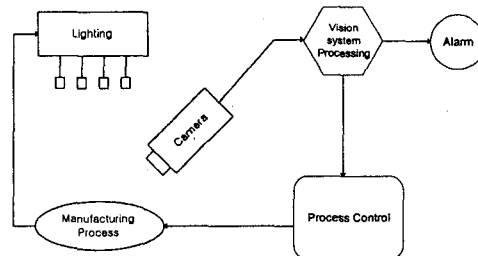


Fig. 1 Vision system diagram

## 2. 2 임계치처리

임계치처리(Thresholding)에서는 화소의 명도 값이 임계치를 넘는 경우에는 원래 값을 유지하고 임계치보다 작으면 0의 값을 갖도록 하였다<sup>[6]</sup>.

$$f(x, y) = \begin{cases} f(x, y) & ; f(x, y) \geq Threshold \\ 0 & ; f(x, y) < Threshold \end{cases}$$

이때  $f(x, y)$ 는  $x, y$ 에 해당하는 좌표의 명도값을 의미한다.

## 2. 3 Scale-space filter

스케일값의 변화에 따른 영교차점의 특징을 보면, 일반적으로 가우스(Gaussian)함수의 스케일 값을 크게 함에 따라 평활화 효과가 커지게 되므로 잡음이나 에지의 특성이 약한 점들은 제거되고 특성이 강한 에지만을 구할 수 있다. 따라서 스케일 값이 크면 클수록 보다 강한 특성의 에지를 구할 수 있으나 평활화 효과 또한 커지게 되어 추출된 에지의 위치가 원 영상에서 물체들의 실제 경계위치와는 다르게 편이 되므로 오차가 발생하게 된다.

이러한 각 스케일의 값과 영교차 에지와와의 관계를 나타낸 것이 Witkin에 의해 제안된 스케일 스페이스 필터(scale space filtering)이다.

Witkin은 연속신호  $f(x)$ 에 대해  $f(x)$ 의 scale space image를 구하기 위한 식을 아래와 같이 정의하였다.

$$F(x, \sigma) = f(x) * G(x, \sigma) \\ = \int_{-\infty}^{\infty} f(u) \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}} du$$

이 함수는  $(x, \sigma)$  평면상의 표면을 정의하는데  $G(x, \sigma)$ 는 평균이 0 이고 표준편차가  $\sigma$ 인 Gaussian 함수이다. 그러므로  $F(x, \sigma)$ 는 각  $\sigma$ 값에 대해 스케일 공간상  $(x, \sigma)$ 상에서  $f(x)$ 의 Gaussian 평활화된 형태를 나타낸다. 스케일값이 커짐에 따라 영교차 점들 중 edge 특성이 약한 부분들의 영교차점들은 사라지고 강한 edge 특성을 갖는 점들만이 존재하게 된다.

## 3. 실험장치의 구성 및 방법

## 3.1 화상처리 장치 구성

가공공정에 사용된 공구의 형상측정을 위한 가장 효과적인 방법으로 용도에 따라 상이하나, 접촉에 의한 속도저하 및 손상 등의 영향을 최소화하기 위하여 일반적으로 비접촉식 측정방식(non-contact measurement)을 선호한다. 이 중에서도 최근에 자동화검사용으로 널리 사용되고 있는 화상처리 시스템을 사용하였으며 이 시스템의 하드웨어 구성은 Table 1과 같다. 처리속도를 향상시키기 위하여 최소한의 자료를 사용하도록 하였으며 물체의 인식을 위하여 형상자료만이 필요하므로 칼라를 배제한 흑백의 정보만을 처리하도록 하였다.

Table 1 Image processing devices

Classification	Device
Input	CCD Camera (BW-279ED)
Processing	Digital image processing board (DT2867-LC) IBM compatible PC(Pentium-133Mhz)
Output	Monitor, Printer

CCD 카메라로 찍은 화상은 영상처리보드(image grabber)에 의해  $640 \times 480$ 크기의 자료파일형태로 저장되며, PC에서 이를 아스키(ASCII)형태로 변환·처리하여 결과를 PC용 모니터에 출력한다(Fig. 2). 초기에 추출되는 자료의 유형으로 자료처리에 용이하도록 비압축된 형태인 TIFF(tagged image file format) 또는 BMP(Bitmap)의 파일형태가 사용되었다.

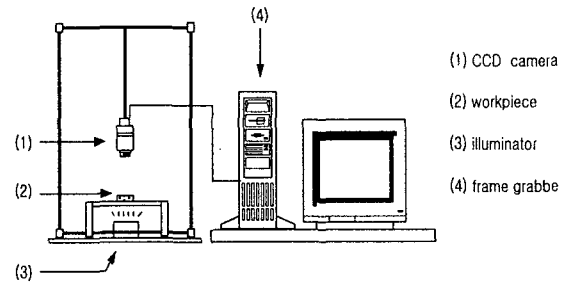


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

## 3.2 공구의 변화 특성 인식 방법

본 연구에 사용된 브러시는 단일 필라멘트를 조합하여 재구성된 필라멘트군(group)을 여러 개 배치한 것으로서 각각의 필라멘트군이 적절하게

배열되어 상호 유기적으로 작용한다. 따라서 공구의 특성은 단일 필라멘트군의 특성으로 표현될 수 있으며 이러한 군의 특성을 파악하기 위하여 다음과 같은 순서로 특성을 분석한다.

- 1) 단일필라멘트(single filament) : 한 개의 필라멘트로서 브러시공구의 최소단위를 의미한다.
- 2) 복수필라멘트(multiple filament) : 여러개의 필라멘트가 충분한 간격으로 배열된 것으로 단일 필라멘트인식을 위한 신호처리보다는 복잡한 알고리즘을 필요로 한다.
- 3) 필라멘트군(filament group) : 다수의 필라멘트가 조밀한 간격으로 평면상에 배열된 것으로서 필라멘트공구를 구성하기 이전의 단계의 상태인 밀집배열된 형태를 나타낸다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 단일 필라멘트의 인식

브러시를 구성하는 단일 필라멘트를 화상처리 시스템으로 측정하였다. Figs. 3와 4은 각각 변형되기 전과 변형된 후의 필라멘트형상을 화상처리 장치를 통하여 얻은 것이다. Figs. 3와 4에서와 같이 필라멘트는 가공의 효과를 증대시키기 위하여 자체적으로 파형(waviness)을 지니고 있으나 이러한 파형의 기본형태는 가공 중에 크게 변화하지 않는다. 가공 중에는 필라멘트의 길이방향(longitudinal direction)에 대하여 선단부가 횡방향(lateral direction)에서 작용하는 굽힘 변형하중에 의하여 변화하는 것으로 관찰되었다. 따라서 각 필라멘트는 Fig. 4에서와 같은 변형을 일으키는 것으로 나타났다.

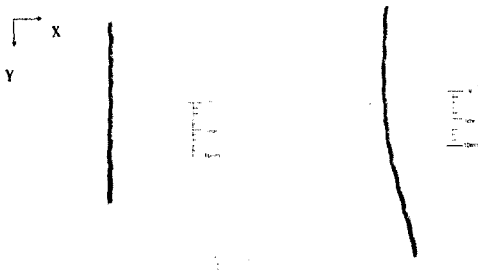


Fig. 3 Undeformed single filament image

Fig. 4 Deformed single filament image

Fig. 3에서 가로방향(horizontal direction)으로 형성된 검사선(scanning line)을 따라서 각 화소에

서 측정된 광도를 확인하며 이때 매 검사 선마다 필라멘트가 처음 나타나는 지점의 광도가 급격히 저하한다. Fig. 5은 Fig. 3의 변형되지 않은 필라멘트가 가로방향의 검사선(Fig. 7-4에서 X방향)에 대하여 지나는 각 화소의 광도를 나타낸다. Fig. 3에서 Y축 방향으로 100, 200 및 300번째의 검사선에 대한 광도의 변화 경향을 나타낸 것으로 광도의 수치는 X축 방향으로 약 300번째부터 급격히 저하하여 흑백수준(gray level)기준으로 255이었던 수치가 110정도까지 낮아짐을 알 수 있다.

Fig. 6은 변형된 필라멘트를 동일한 검사선으로 확인한 것으로 필라멘트가 점점 X축 방향으로 변형되므로 에지가 측정되는 지점이 점점 증가하였다. 즉 100번째 검사선 에서는 처음의 에지가 약 280번째에서 감지되었으나 300번째의 검사선 에서는 약 300번째에서 감지되어 약 20개의 화소차이를 나타내었다. 200번째는 100번째와 유사하여 아직 필라멘트가 이 지점에서는 변형되지 않은 것을 나타내고 있다. Fig. 6도 Fig. 5와 동일하게 각 광도에 편차를 적용시켜 시각화를 부각시켰다.

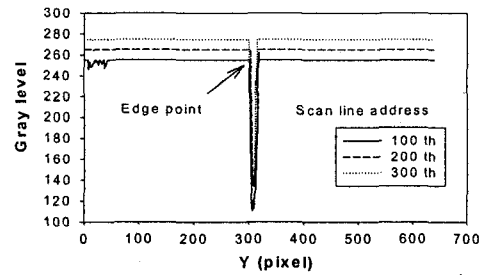


Fig. 5 Gray level along scanned lines for single undeformed filament

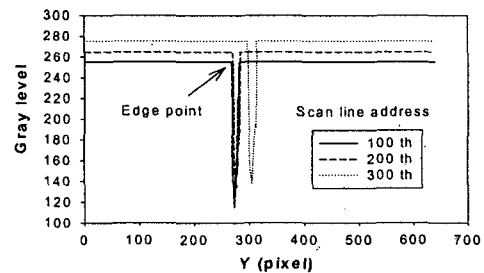


Fig. 6 Gray level along scanned lines for single deformed filament

산출된 각 검사선의 에지의 위치에 의하여 전체 필라멘트의 형상을 복원하였다. Fig. 7은 Fig. 5에서 확인된 에지에 의하여 구성된 필라멘트의 형상으로 원래의 필라멘트가 지니는 파형을 명확하게 표시하고 있으며 보간(curve fitting)에 의하여 전체적인 형상은 변형되지 않은 직선으로 나타남을 알 수 있다. 유사하게 Fig. 8는 Fig. 6에 의한 것으로서 변형된 형태를 명확하게 나타내고 있다

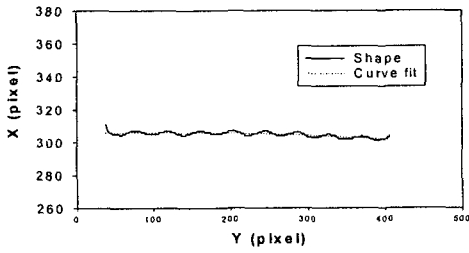


Fig. 7 Processed filament image (undeformed)

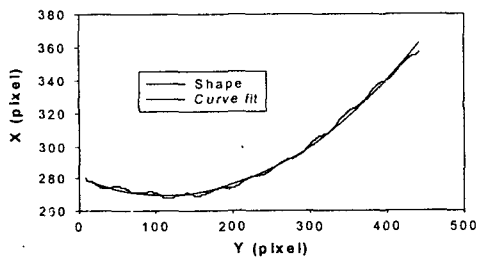


Fig. 8 Processed filament image (deformed)

#### 4.2 복수 필라멘트의 인식

Figs. 9과 10은 각각 여러 개의 필라멘트를 변형 전과 변형 후에 기준면상에 등간격으로 배열한 후 화상처리를 통하여 형상을 획득하였다.

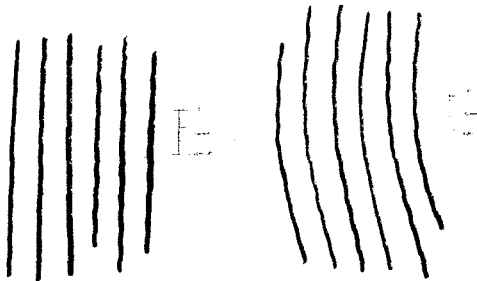


Fig. 9 Undeformed multiple filament image  
Fig. 10 Deformed multiple filament image

Fig. 11는 여러개의 변형전 필라멘트를 각 검사선에 대하여 나타낸 광도의 분포도이다. 여기서 각 검사선 별로 검출되는 에지의 위치가 유사한 것을 알 수 있다. 즉 100번째 검사선에서는 각 에지가 150, 220, 280, 360, 410 및 480번째에 나타나서 각 필라멘트가 감지되는 점을 표시하였으며 다시 170, 240, 300, 380, 430 및 500에서 광도가 증가하여 필라멘트의 감지영역이 약 20화소정도임을 알 수 있다. 각 감지선 별 확인되는 에지의 위치가 유사하여 필라멘트가 변형되지 않은 것을 알 수 있다. Fig. 12은 변형된 여러개의 필라멘트를 일정한 간격으로 배열한 것의 화상을 100번, 250번 및 400번째의 검사선에 대하여 나타낸 광도를 나타낸 것이다. 변형형상을 파악하기 위하여 검사선의 간격을 넓게 하였다. 100번째와 250번째의 검사선을 따라서는 각 필라멘트의 에지가 130, 200, 270, 330, 420 및 475번째에 나타났으나 400번째에서는 에지가 X방향에 150, 220, 290, 350, 440 및 495번째에서 관찰되어 필라멘트가 변형됨을 알 수 있다.

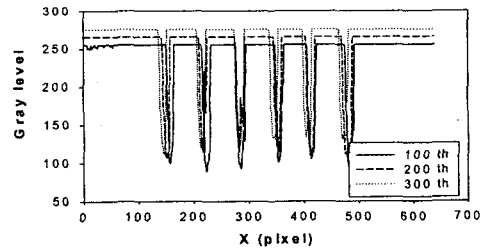


Fig. 11 Gray level along scanned lines for multiple filaments(undeformed)

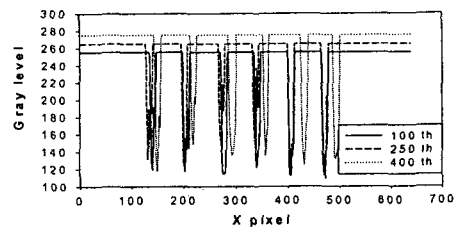


Fig. 12 Gray level along scanned lines for multiple filaments(deformed)

Fig. 13는 Fig. 11에서 나타난 여러 개의 변형되지 않은 필라멘트에서 산출된 에지를 근거로 복원된 형상을 나타내고 있다.

Fig. 14은 Fig. 12에서 나타난 여러 개의 변형된 필라멘트에 대한 검사선에서 추출된 에지를 이용하여 복원된 필라멘트의 배열을 나타내고 있다.

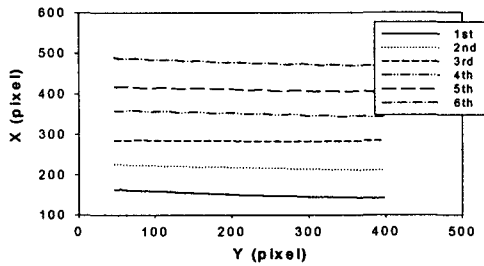


Fig. 13 Processed filament image (undeformed)

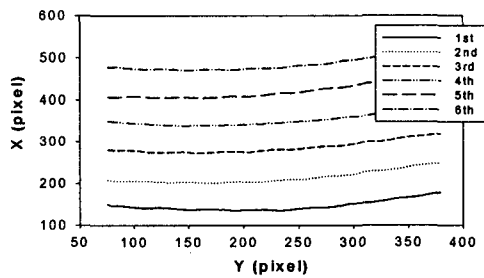


Fig. 14 Processed filament image (deformed)

### 4.3 필라멘트 군

필라멘트간에 어느 정도의 간격을 유지시킨 경우에는 각 필라멘트가 존재하는 화소를 확인할 수 있으나 필라멘트가 인접하거나 겹치는 경우에는 각각의 위치를 확인하기가 어렵게 된다. 실제적으로 공구를 구성하는 필라멘트가 인접하여 가공 중에 상호 유기적으로 작용을 하기 때문에 공구의 형상 및 거동을 정확하게 표현하기 위해서는 각각의 필라멘트의 거동보다는 여러 개의 단일 필라멘트로 구성된 필라멘트 군집의 특성을 파악할 필요가 있다.

Fig. 15와 16은 실제 공구의 특성을 파악하기 이전 단계로서 단일 필라멘트를 기준면에 펼쳐서 배열한 것으로서 각 필라멘트의 구별이 비교적 명

확하나 조명에 따라 부분적으로 불명확하거나 겹쳐보이는 현상을 나타내고 있다. 따라서 각 필라멘트의 거동을 미시적(microscopic)으로 분석하기 보다는 전체의 필라멘트가 이루는 공구의 거동을 거시적(macroscopic)으로 파악하는 것이 좀 더 용이하다.



Fig. 15 Filament group (undeformed)

Fig. 16 Filament group (deformed)

Fig. 17은 Fig 15에 대하여 각 검사 선을 따라 산출한 화소별 광도를 표시한 것이다. 그림에서와 같이 각 필라멘트군의 시작과 끝은 구별할 수 있으나 필라멘트군내에 단일 필라멘트를 구별하기는 용이하지 않다. 따라서 전체의 필라멘트 군이 차지하는 지점을 파악하는 것이 용이하다. 검사선의 위치와 관계없이 필라멘트 군은 130번째에서 시작하여 530번째 정도에서 끝나는 것으로 나타났다.

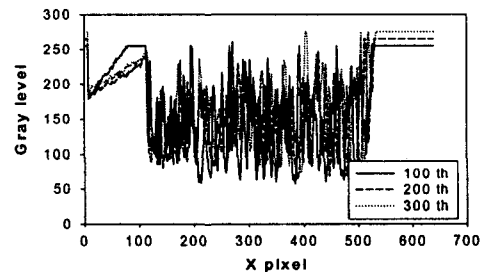


Fig. 17 Gray level along scanned lines for filaments group(undeformed)

Fig. 18은 Fig 16에 대하여 각 검사 선을 따라 산출한 화소별 광도를 표시한 것이다. 그림에서도 각 필라멘트군의 시작과 끝은 구별할 수 있으나 필라멘트군내에 단일 필라멘트를 구별하기가 용이하지 않다. 전술한 바와 같이 필라멘트군의 시작지점과 끝점을 분석한다. 100번째의 검사선에서는 필라멘트 군이 X축 방향으로 130번째의 화소에서 시작하

여 550번째에서 종료되어 약 420개의 화소에 걸쳐 나타나는 것으로 산출되었다. 200번째와 300번째의 검사선에서는 150번 및 180번째에서 시작하여 570번 및 600번째에서 종료하는 것으로 나타났다.

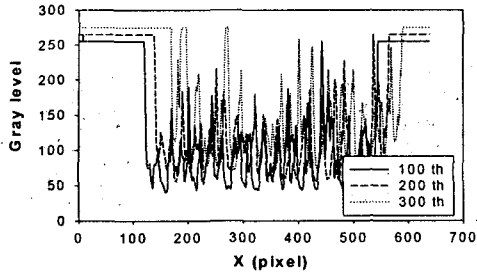


Fig. 18 Gray level along scanned lines for filaments group(deformed)

Fig. 19는 Fig. 17의 결과를 표시한 것으로서 필라멘트 군이 존재하는 첫째 에지(좌측 에지)와 마지막 에지(우측 에지)의 화소위치 및 이들의 평균치를 나타내고 있다. 양 끝의 에지 또는 이들의 평균 에지를 나타내는 화소의 X축에서의 위치가 일정함을 나타내고 있고 전체 필라멘트군의 형상에 변형이 없음을 추정할 수 있다. Fig. 20은 전체 필라멘트군의 변형이 있음을 나타내고 있다.

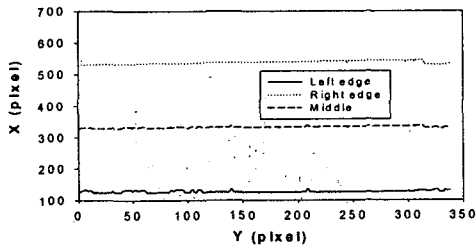


Fig. 19 Processed filament image (undeformed)

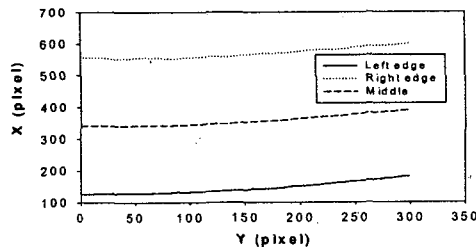


Fig. 20 Processed filament image (deformed)

## 5. 결과

버를 제거하기 위한 브러시 공구의 각 가공 공정에 따른 브러시공구의 변형을 측정하기 위하여 공구를 구성하는 요소를 단일 필라멘트, 복수 필라멘트, 필라멘트군의 단계로 분류하였으며 분류기준에 따라 복잡해지는 공구 및 구성 품의 형상에서 에지 검출을 위한 자료처리 알고리즘을 개선 발전시켰다. 공구의 변형특성을 파악하기 위하여 구성요소가 공간에서 차지하는 경계 면인 에지를 정의하였으며 이러한 에지의 검출위치, 제원 등에 따라 변형형태를 산출하였다.

본 연구에서 얻은 자료를 발전시켜 버 제거 가공 공정 상태에 따른 브러시의 힘을 화상처리 시스템을 이용하여 검출함으로써 가공공정을 모니터링 할 수 있는 시스템을 구축하는 것이 향후 연구 과제이다.

## 6. 참고문헌

1. Taniguchi, N., Current Status in, and Future trends of Ultrprecision machining and Ultrafine materials Processing, Annals of CIRP, 32/2, pp573-582, 1983
2. 이용숙, 이재경, Suto, T., A Simulation System for the Establishment of Grinding Operation Standard, JSPE, 54/12, pp81-86, 1988
3. 김승준, "신경망 및 화상처리를 이용한 유연성 디스크 연삭공정과 버(burr) 분석에 관한 연구", 석사학위 논문, 2000
4. Aertbelien, E. and Brussel, H. V.(1999), An Observation Model and Segmentation Algorithm for Skill Acquisition of a Deburring Task, Proc. of the 1999 IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intell. Mechatronics, 635-640. 1999
5. Bone, G. M., Elbestawi M.A., Lingarkar, R. and Liu, L. (1991) Force Control for Robotic Deburring, Trans. of ASME, J. of Dynamic, System, Measurement and Control, 133, 395-400, 1991
6. 박동삼, "Burr의 In-process 계측에 관한 연구", 한국정밀공학회 96년도 춘계학술논문집, pp.242~246, 1996.