

직접관찰법에 의한 드레싱 시기 검출 시스템

김성렬*(부산대원 지능기계공학과), 김선호(한국기계연구원),
황진동(부산대원 지능기계공학과), 안중환(부산대 기계공학부)

Dressing Chance Detecting System by the Direct Observation

S. R. Kim* (Dept. Mecha. & Intel. Eng. PNU), S. H. Kim(KIMM),
J. D. Hwang((Dept. Mecha. & Intel. Eng. PNU), J. H. Ahn(Mecha. Eng. Dept. PNU)

ABSTRACT

Grinding which is the final finishing step in the machining processes plays an important role for precision manufacturing because it directly affect the product quality. Since the ground surface is affected by the states of grains and voids on the grinding wheel surface, the wheel should be dressed before the machined surface deteriorates over a quality limit. This paper describes a systematic approach to decide a proper dressing chance. A fabricated eddy current sensor and CCD camera are used to measure the loading on the working wheel surface and to visualize the wheel surface states respectively. The dressing chance can be properly decided through the relation between the variation of the thresholding image of the wheel and the machined surface roughness as the variation of the eddy current sensor output is greater than the detected value previously.

Key Words : Grinding Wheel(연삭숫돌), Wheel Loading(눈막힘), Dressing Chance(드레싱시기), CCD Camera
Eddy Current Sensor(와전류센서), thresholding image(이진영상)

1. 서론

연삭작업의 품질은 최종제품의 품질에 직접 영향을 주기 때문에 정밀가공품을 제작하는 공정에서는 가장 관리가 어려운 공정이다. 이러한 이유로 생산성을 향상시키거나 품질을 보증하기 위한 다양한 측정방법들이 연삭공정마다 설치되어 운용되고 있으나 드레싱과 같은 컨디셔닝 공정에는 적용된 측정장치가 거의 없는 실정이다.

연삭가공에 있어서 숫돌입자의 마멸이나 눈막힘(Loading)현상은 제품의 정밀도를 저하시키고 연삭 버어닝(Burning)이나 연삭균열까지도 초래하여 제품에 심각한 피해를 줄 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 숫돌의 표면상태를 감시하고 진단하여 적절한 시기에 드레싱을 수행하는 것은 정밀가공에 있어서 중요한 기술이다.

연삭숫돌면의 상태를 검출하기 위한 기술이 최근에 들어 활발하게 연구되고 있는데, 간접적인 방법으로는 연삭가공시 발생하는 불꽃의 색변화로부

터 숫돌의 상태를 추정하는 방법, AE 신호의 에너지값의 변화를 이용해 숫돌면의 눈막힘량을 추정하는 방법, 연삭력의 변화를 이용하는 방법 등이 있으나 주변환경에 매우 민감하고 연삭기의 구조, 센서의 설치위치 등에 영향을 받기 쉬웠다.^(1,2) 이와 같은 문제점에 대한 해결책으로 직접적인 방법들이 제안되었고, 이러한 방법에는 레이저의 반사강도(Intensity)를 이용한 방법, 광반사를 이용해 숫돌입자의 마멸면적이나 입자면의 현상을 관찰하는 방법, 자기장치를 통해 눈막힘량을 측정하는 방법 등이 있으며, 최근에는 비전시스템을 이용한 화상처리 방법을 연삭에 적용하는 움직임이 활발하게 진행되고 있다.⁽³⁻⁵⁾

본 연구는 적절한 드레싱 시기를 위해 와전류 센서를 숫돌주위에 설치하여 숫돌면의 눈막힘량을 비접촉식으로 직접 측정함으로써 숫돌의 상태를 검출하였고, CCD 카메라를 연삭기에 부착하여 숫돌의 표면상태를 직접 관찰함으로써 숫돌상태를 좀더 정확하고, 정량적으로 검출할 수 있는 시스템과 영상

처리 알고리즘을 개발하여 실제 작업현장에 적용하는데 있다.

2. 시스템 구성

2.1 슷들의 드레싱 시기

입자, 기공, 결합제로 구성된 슷들의 수명은 입자의 마멸(Glazing), 칩의 부착으로 인한 눈막힘에 의한 기공 역할의 저하, 연삭 버어닝 그리고 결합력의 약화에 의한 입자 탈락에 크게 의존한다. 올바른 연삭조건에 의해 정상적인 연삭이 진행되는 경우, 슷들은 재생작용에 의해 눈막힘이나 마멸이 발생되어 연삭저항이 크게 작용하는 입자는 떨어져 나가고 새로운 입자가 가공을 담당하게 된다. 이러한 눈막힘 현상 등에 의한 비정상 슷돌영역이 증가되거나 슷들의 전체 면적으로 확대되면, 입자탈락이 가속화되어 슷들은 정상적인 연삭을 수행할 수 없게 된다. 이렇게 재생작용이 중지되는 적정한 시점을 선택하여 드레싱을 수행하여야 새로운 슷돌 작업면을 창성할 수 있으므로 원하는 공작물의 치수 정밀도 및 표면정도를 얻을 수 있다.

2.2 와전류 센서를 이용한 눈막힘 측정

와전류 센서는 전자유도에 의해 피검출물체의 표면에 와전류를 발생시켜, 센서 코일의 전력의 손실분을 전압에 의해 검출하여 피측정물의 상태(거리, 재질 등)를 측정하기 위한 센서이다.

본 연구에서는 금속의 재질측정이 가능한 와전류 센서의 특성을 이용해 슷돌면에 연삭칩이 들어 붙어 연삭성을 저하시키는 원인이 되는 눈막힘을 측정하고자 한다.

Fig. 1 은 와전류 센서를 이용하여 슷들의 눈막힘을 측정하는 개념을 나타낸 것이다. 눈막힘에 의해 슷들의 기공에 박힌 금속량을 측정하기 위한 와전류 센서는 고주파 발진회로와 코일로 구성된다. 고주파 발진회로에 의해 형성된 자속 ϕ_1 내에 금속 물체가 있으면 물체의 표면에 등가 인덕턴스와 등가 저항이 형성되고 역기전력이 발생한다. 역기전력

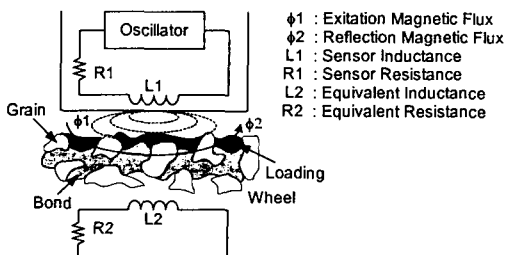


Fig. 1 Concept of wheel loading measurement by eddy current sensor

을 e , 그리고 자속을 ϕ 라 하면 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$e = -\frac{d\phi}{dt}$$

여기서 e 가 음의 값을 갖는 의미는 음의 방향으로 역자속이 발생하여 센서측 코일의 전력 손실을 발생시킨다는 것을 의미한다. 이러한 원리에 의해 슷돌 표면위에는 ϕ_1 과 반대방향으로 자속 ϕ_2 가 발생해 발진회로측의 전력손실로 되어 발진회로의 진폭전압의 변화로 나타난다.

Fig. 2 는 연삭스틀의 눈막힘 현상을 측정하기 위하여 제작한 와전류 센서 및 신호처리장치 사진이다. Fig. 3 은 제작한 센서를 가지고 성능평가를 한 것으로 $5\mu\text{m}$ 변화에서도 거의 직선성을 가짐을 알 수 있다. Fig. 4 는 연삭에서 발생하는 칩량에 따른 와전류의 변화를 보여주는데 칩이 0.01g 미만에서는 미소한 변화를 보이다가 0.01g 이상에서는 칩량에 따라 거의 직선적으로 변화하는 것을 알 수 있다. 칩이 0.01g 미만에서 미소한 변화를 보이는 것은 칩량이 측정면적에 비해 너무 적고 칩에서 와전류가 거의 생기지 않기 때문이다. 일반적으로 와전류 센서의 출력은 금속물체에 가까이 접근할수록 감소하지만, 본 연구에서 연삭시 발생된 칩을 측정할 결과는 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 칩이 연삭가공 중 자화되어 발생된 현상이라고 생각된다. 따라서 슷돌표면에 발생하는 자속은 눈막힘량에 비례하

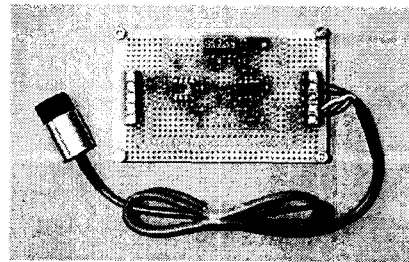


Fig. 2 Photography of the fabricated eddy current sensor and signal processing unit

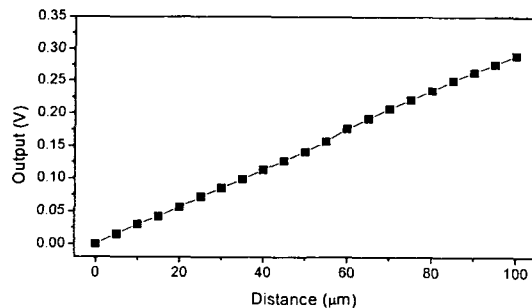


Fig. 3 Performance test of the fabricated eddy current sensor

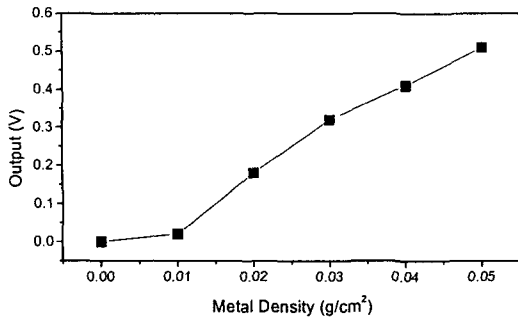


Fig. 4 Output of eddy current sensor against metal density

기 때문에 자속과 관련된 발전회로의 변화를 이용해 슷들의 눈막힘량의 측정이 가능하다.

2.3 CCD 카메라를 이용한 슷표면 검사

Fig. 5 는 드레싱 시점을 검출하기 위한 알고리즘 및 본 연구에서 개발한 프로그램 화면이다.

그림에서 보듯이 와전류 센서에 의해 측정된 눈막힘량은 미리 실험을 통해 설정된 값(ϵ_1)보다 작은 경우에는 계속해서 눈막힘량을 측정하고 ϵ_1 보다 큰 경우에만 영상처리장치로 넘어간다.

일반적으로 연삭에서 슷들의 마멸과 눈막힘 현상은 연삭스들의 절삭날 분포를 측정함으로써 판단할 수 있는데, 본 연구에서는 절삭날 분포를 측정하기 위하여 칼라 CCD 카메라를 통해 획득된 영상을 Gray Scale 로 변환하고 경계값(threshold)을 이용하여 검은색(명암도 0)과 흰색(명암도 255)의 두가지 색으로 영상데이터를 취한 후 흰색의 pixel 수를 계산했다. 그리고 CCD 카메라로부터 획득된 영상(640x480)의 Pixel 수에 대한 흰색의 Pixel 수의 비율 계산하여 절삭날 분포로 사용하였다.

$$a = \frac{\sum ei}{A}$$

여기서 a 은 절삭날 면적률을 나타내며, $\sum ei$ 는 획득된 영상의 전체면적 A 에서 흰색의 Pixel 이 차지하는 면적의 총합을 나타낸다.

경계값의 설정에 있어서 조명의 영향을 무시할 수 없지만, 본 연구에서 사용된 CCD 카메라(HD-M)는 주위 광의 영향을 최소화 시키고 일정한 조명을 비추기 위해 백색 발광 다이오드를 사용하였으며 항상 일정한 거리와 각도에서 조명이 비출수 있도록 카메라 옆에 부착되어 있다.

Fig. 6 은 본 연구에서 개발한 영상처리 알고리즘에 의해 획득된 슷표면 영상이다. Fig. 6(a)는 슷들을 드레싱 한 후 획득된 영상과 경계값 처리한 후의 이진화영상을 보여주고 있으며, Fig. 6(b)는 연삭중에 획득된 영상을 나타내고 있다.

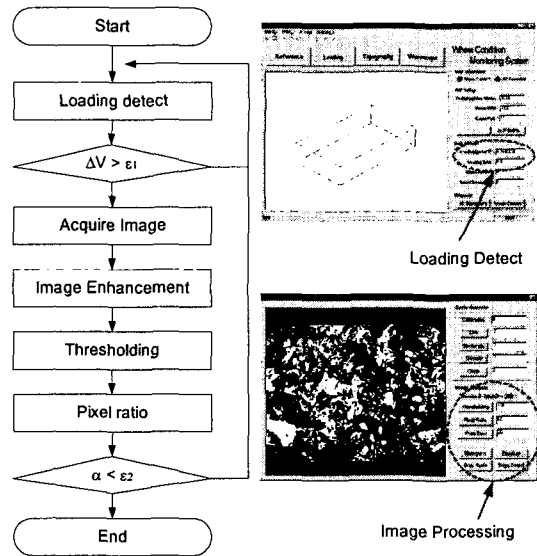
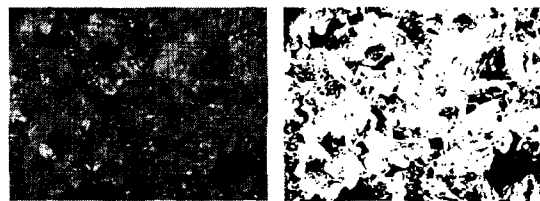
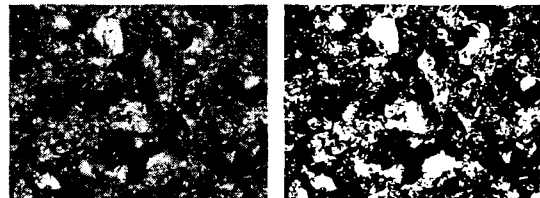


Fig. 5 Flowchart and developed image processing program



(a) Wheel after dressing



(b) Wheel after grinding (cutting depth 3mm)

Fig. 6 Photography and thresholding image of wheel surface

3. 실험조건 및 방법

본 연구에서는 슷들의 마멸 및 눈막힘 현상을 측정하기 위하여 Table 1 과 같은 조건으로 실험을 하였다. 가공조건으로는 주축의 속도를 1800rpm 으로 일정하게 유지하고, 공작물의 이송속도를 4m/min 으로 하였으며, 절입깊이는 30 μ m 으로 10 회 반복 가공한 후 다시 30 μ m 씩 절입을 주어 가공하였다. Table 2 는 본 연구에 사용된 CCD 카메라의 사양을 나타낸다 Fig. 7 은 연삭스들의 마멸 및 눈막힘 현상을 측정하기 위하여 구성한 시스템을 도시한 것이다. 그림에서 보듯이 연삭가공시에 와전류

Table 1 Grinding conditions for the experiments

Cylindrical grinding	Condition
Grinding Machine	SKG-500 (made by KOREA)
Workpiece	SM45C (HRC 60) (ϕ 58 x 120)
Grinding wheel	WA80K7V
Wheel speed	1,800 rpm
Table speed	4m/min
Cutting depth	30 μ m

Table 2 Specification of CCD Camera

Model	HM-D (made by JAPAN)
Image Element	1/4" CCD Camera
Number of Pixel	350,000
Magnification	40x ~ 140x Zoom (at 14" monitor display)
Image Size	6mm x 4.5mm (at 40x)
Illumination	LED White lamp
Image Card	USB cable

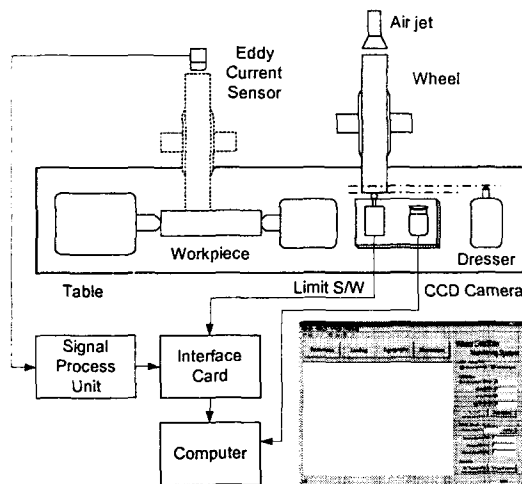


Fig. 7 Schematic diagram of the measuring system for detecting dressing chance

센서를 통하여 인프로세서로 슷돌의 눈막힘 현상을 측정하고 와전류 센서로부터의 출력이 미리 설정된 값보다 큰 경우에는 가공을 멈춘 후, CCD 카메라가 있는 곳으로 슷돌을 이동시킨 후 영상처리를 수행한다.

와전류 센서로부터 검출된 미소한 신호는 개발한 신호처리장치를 거쳐 증폭 및 전파 정류되어 DC 로 변환되고 A/D 변환을 위한 인터페이스 카드 (PCL-812PG)를 통해 컴퓨터로 전달된다. Limit S/W 는 CCD 카메라가 영상을 획득할 때마다 일정한 거리에서 측정이 가능하도록 기준거리 검출용으로 사

용하였고, 인터페이스 카드의 Digital Input 단자를 통해 컴퓨터에 전달되도록 하였다. Air jet 은 CCD 카메라로 슷돌의 표면영상을 정확히 관찰하기 위해서 가공중 발생된 슷돌입자의 분진 및 칩가루 등의 불순물을 제거하기 위해 측정 전에 분사하였다. 본 연구에 사용된 CCD 카메라는 USB(Universal Serial Bus) 통신을 사용함으로써 영상처리속도가 빠르고 측정을 위한 공간의 제약이 적으며 컴퓨터와 바로 접속할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서 개발된 프로그램은 와전류 센서에 의해 슷돌의 기공에 부착된 칩을 계산하고 CCD 카메라에서 획득된 영상정보를 처리할 수 있다.

4. 실험 결과 및 고찰

일반적으로 연삭수명은 슷돌의 눈막힘 현상과 마멸로 인해 더 이상 요구하는 치수정밀도와 표면조도를 유지할 수 없어 재 드레싱할 때까지의 시간으로 한다. Fig. 8 은 절입깊이를 30 μ m 씩 가공하면서 와전류 센서에 의해 획득된 신호와 표면거칠기 사이의 관계를 나타낸다. 그림에서 보듯이 와전류의 경우, 가공초기에서의 센서출력이 급격히 증가하는 것은 슷돌입자 사이에 칩이 들어붙기 시작하면서 슷돌표면에 와전류가 발생하였기 때문이다. 가공이 진행될수록 슷돌입자의 마멸 및 탈락에 의해 큰 기공들이 발생하며, 기공에 부착된 칩은 가공이 진행될수록 계속 증가하여 눈막힘 현상을 가져오며 와전류도 함께 증가한다. 그림에서 와전류는 누적 절입깊이가 3mm 이 되는 지점에서 다소 증가하다가 4.5mm 이후부터는 감소하는 경향을 보이고 있는데 이것은 슷돌입자의 탈락으로 인해 기공사이에 낀 칩들도 함께 떨어져 나갔기 때문이다.

공작물의 표면거칠기는 초기 가공횟수가 증가할수록 감소하다가 누적 절입깊이가 3mm 되는 지점부터 증가하기 시작하여 4.5mm 이 되는 지점에서 급격한 변화를 보인다. 이것은 초기 연삭가공에서 슷돌입자의 절삭날이 마멸되어 슷돌입자와 공작물

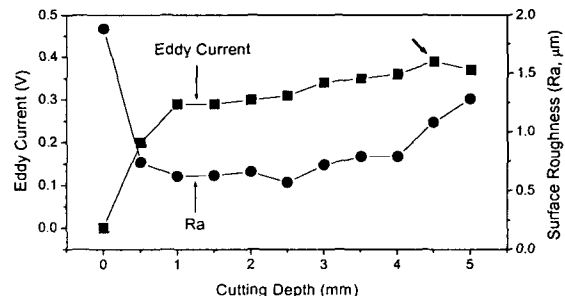


Fig. 8 Relation between eddy current and surface roughness

표면과의 접촉면적이 넓어져 좋아졌지만, 연삭횟수가 증가할수록 슷들의 마멸 및 눈막힘에 의해 슷돌입자와 공작물사이의 연삭력이 증가하여 슷돌입자가 불규칙한 재생작용을 일으켰기 때문이다. 위의 결과로부터 와전류 센서에 의한 눈막힘 측정으로부터 공작물의 표면상태를 파악할 수 있기 때문에 적절한 드레싱 시점의 검출이 가능하리라 본다. Fig. 9는 슷돌표면의 영상을 이진화처리한 것이고, Fig. 10은 절삭날 면적률과 표면거칠기와의 관계를 나타낸다. 그림에서 초기 절입깊이가 0.5mm 일때 절삭날 면적률이 낮은 것은 슷들의 마멸에 의해 절삭날 면적이 증가한 것보다는 슷돌입자사이의 기공에 침

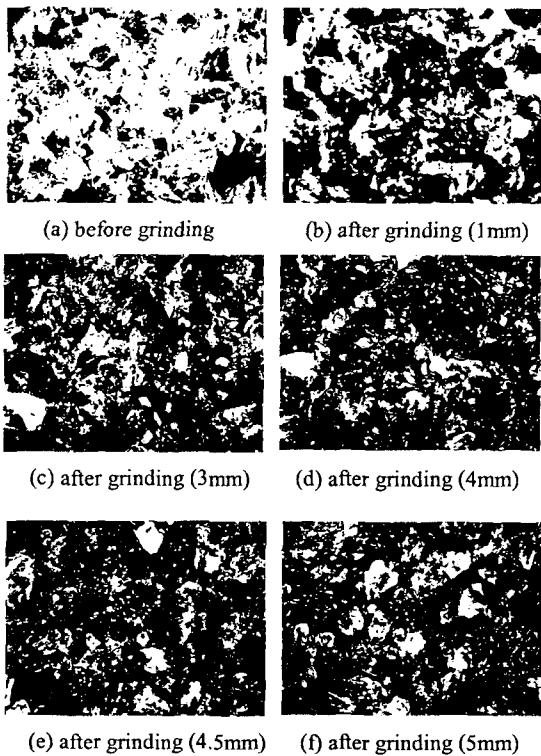


Fig. 9 Thresholding image of wheel surface

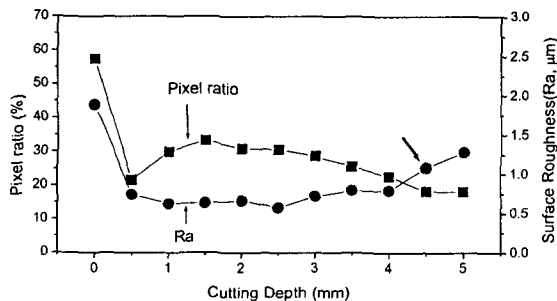


Fig. 10 Relation between cutting edge ratio and surface roughness

이 들어 붙어 나타난 현상이라 볼 수 있다.

Fig. 9 와 Fig 10 에서 이진화처리된 영상과 절삭날 면적률 변화를 보면 명암도가 255 인 흰색의 픽셀수가 점차 증가하다가 절삭깊이 1.5mm 이후부터는 그 추세가 감소하는 경향을 보이며 4.5mm 이후부터 거의 변화가 적음을 알 수 있다. 이것은 슷돌입자의 마멸이 증가하면서 절삭날의 면적이 점점 증가하다가 점차 눈막힘과 함께 슷돌입자의 불규칙한 탈락에 의해 가공에 참여하는 절삭날이 줄면서 나타난 현상이다.

이러한 결과들로부터 슷들의 드레싱 시기는 와전류의 증감변화가 발생하는 시점과 CCD 카메라로부터 획득한 영상의 절삭날 면적률의 변화가 일정한 시점에 의해 판단할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 와전류 센서 및 CCD 카메라를 이용하여 연삭스틀을 직접 관찰하면서 드레싱 시기를 검출하기 위한 시스템을 개발하고자 하였다.

1) 슷들의 눈막힘 현상을 인프로세스로 측정하기 위해 와전류 센서 및 신호처리장치를 개발하였다.

2) 슷들의 마멸 및 눈막힘 현상을 직접 관찰하기 위해 USB 통신을 채택한 CCD 카메라를 사용하였으며, 카메라로부터 획득된 정보를 처리할 수 있는 영상처리 프로그램을 개발하였다.

3) 직접관찰방법에 의한 시스템을 개발하여 실용적으로 응용하기 위한 실험을 수행하였다.

참고문헌

1. Dornfeld, D. and Cai, H. G. I, "An Investigation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission," J. of JSPE. Vol.49, No.9, pp.1257-1262, 1983
2. 三好隆志, "パワースペクトルパターンを用いた砥石作業面性状のインプロセス測定システムの開発," 精密機械, Vol.49, No.10, pp.1429-1432, 1983
3. 小尾誠, 辰巳洋二, 佐田登志夫, "研削加工における砥石目づまりのインプロセス測定," 精密機械 Vol.39, No.10, pp.86-91, 1973
4. Tsuwa, H., Oblickawa, "An Investigation of Grinding Wheel Cutting Edges," Trans. of ASME, pp.371-382, 1964
5. 유은이, 사승운, 유봉환, "연삭에서 비전시스템을 이용한 절삭날 면적률의 측정," 대한기계학회 논문집, 제 20 권, 제 9 호, pp.1531-1540, 1997