

명암도 작용 길이에 따른 연삭 슷돌면의 이상 현상 분류

유은이*, 김광래†

(논문접수일 2003. 11. 25, 심사완료일 2004. 1. 16)

Extraordinary State Classification of Grinding Wheel Surface Based on Gray-level Run Lengths

Eun-Yi Yu*, Kwang-Lae Kim[†]

Abstract

The grinding process plays a key role which decides the quality of a product finally. But the grinding process is very irregular, so it is very difficult to analyse the process accurately. Therefore it is very important in the aspect of precision and automation to reduce the idle time and to decide the proper dressing time by watching. In this study, we choose the method which can be observed directly by using of computer vision and then apply pattern classification technique to the method of measuring the wheel surface. Pattern classification technique is proper to analyse complicated surface image. We observe the change of the wheel surface by using of the gray level run lengths which are representative in this technique.

Key Words : Grinding Wheel(연삭 슷돌), Computer Vision(컴퓨터 비전), Gray-level Run Lengths(명암도 작용길이)

1. 서론

최근 기계가공 분야는 점차 정밀화, 자동화에 대한 요구가 증가되고 있다. 또한, 정밀 가공분야에서 가장 광범위하게 쓰이고 있는 것은 연삭 가공이다. 따라서, 연삭 가공에 대한 관심은 점차 높아지고 있는 현실이다.

연삭 가공은 일반 절삭 가공과는 달리 불규칙적인 여러 개의 날이 동시에 절삭에 참여하고, 단순한 마멸(glazing)

현상 이외에 눈막힘/loading)이나 버닝(burning) 등의 이상 현상이 나타나기 때문에 연삭 공정을 해석하고 적절한 드레싱 시기를 판단하는 일은 매우 어려운 일이다.

현재 많은 절삭작업들이 무인화, 자동화에 근접하고 있지만 연삭 분야에서는 아직까지 미비한 원인은 바로 여기에 있다.

지금까지의 연삭 가공에서 연삭 슷돌의 드레싱 시기는 대부분 숙련된 작업자의 경험에 의하여 불규칙하게 결정

* (주)정우이엔지 (euniyu@jungwooeng.com)
주소: 150-801 서울시 영등포구 당산동 1가 307
† 인덕대학 기계시스템학과

되었다. 그러나, 이것은 소모되는 연삭 슷돌의 양과 비가공 시간의 손실을 생각할 때 매우 비합리적인 일이다. 적절한 드레싱 시기를 판단하기 위한 연삭 특성에 관한 연구가 연삭력, AE신호, 연삭열, 가공시 발생하는 불꽃의 형태와 크기, 가공물의 표면 거칠기, 칩의 형태 해석 등 여러 방면에서 계속되고 있다^(1~3).

그러나, 이러한 연구들은 주변 환경에 민감하며, 연삭의 간접적인 파라미터들을 이용하였다는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 연삭 슷돌면에 대하여 컴퓨터 비전 시스템을 이용하여 직접 관찰하는 방법을 채택하였으며, 연삭 슷돌면의 이상 상태 중에서 마멸과 눈막힘을 판별하는 데 중점을 두었다.

연삭 슷돌면의 변화를 표현하는 알고리즘으로는 패턴 분류법 중 통계적 방법에 해당하는 명암도 작용 길이(gray-level run length)를 이용하였다. 이 방법은 연삭 슷돌면과 같이 불규칙적인 면을 표현하고 해석하는 데 적절한 방법이다.

연삭 가공의 경우 연삭 슷돌면의 일부분이라도 마멸이나 눈막힘이 발생하게 되면 직접적으로 공작물의 가공면에 영향을 미치게 된다. 그러므로, 본 연구에서는 이러한 이상 현상을 판단할 수 있는 기준을 정립하여 연삭 공정의 자동화와 무인화에 더욱 근접할 수 있는 토대를 마련하는 데 그 목적이 있다.

2. 명암도 작용 길이

패턴 분류법이란 영상의 표면에 포함하고 있는 성질을 어떤 양적인 값으로 표현하여 그 특징들을 분류하는 것이다. 즉, 영상의 부드러움(smoothness), 거칠기(coarseness), 규칙성(regularity)과 같은 성질을 측정하여 표면의 특징을 찾아내는 것이다.

패턴 분류법에는 통계적 방법, 구조적인 방법, 스펙트럼 분석의 세 가지 접근 방법이 있다. 통계적 방법은 표면 결의 부드러움, 거칠기, 입자 모양 등을 판별하는데 사용되고, 구조적인 방법은 기본적 영상의 배열을 다룰 때 사용되며, 스펙트럼 분석은 영상의 전체적인 주기성을 찾을 때 사용된다.

본 연구에서는 연삭 슷돌 표면이라는 매우 불규칙적인 표면을 측정 대상으로 선정하였으므로, 패턴의 통계적 접근 방법을 적용하였다.

통계적 접근 방법에는 여러 가지가 있으나, 그 중 대표적인 방법이 영상의 명암도 작용 길이로부터 정보를 추출하는 것이다. 명암도 작용 길이란, 같은 명암도 값을 가진 픽셀이

연속적으로 나타나는 길이를 의미한다. 이 값은 길이와 명암도에 대한 2차원 행렬로 나타내어진다. 즉, 2차원 행렬의 요소 $p(i, j)$ 는 작용길이 j 와 명암도 i 가 나타나는 수를 의미한다. 명암도 작용 길이에 따른 영상의 특징 추출 값으로 많이 쓰이는 것은 SRE(short run emphasis), LRE(long run emphasis), LGRE(low gray level run emphasis), HGRE(high gray level run emphasis)가 있으며, 그 식은 다음과 같다.

$$SRE = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{p(i, j)/s}{j^2} = \sum_{j=1}^N \frac{\kappa(j)/s}{j^2} \quad (1)$$

$$LRE = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N j^2 p(i, j)/s = \sum_{j=1}^N \kappa(j)j^2/s \quad (2)$$

$$LGRE = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{p(i, j)/s}{i^2} = \sum_{i=1}^M \frac{g(i)/s}{i^2} \quad (3)$$

$$HGRE = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N i^2 p(i, j)/s = \sum_{i=1}^M i^2 g(i)/s \quad (4)$$

여기서, $p(i, j)$ 는 작용 길이 행렬의 요소이고, M은 명암도의 개수, N은 가장 긴 작용길이, s는 영상에서 작용하는 명암도 길이의 총합이다.

또한, $\kappa(j)$ 와 $g(i)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\kappa(j) = \sum_{i=1}^M p(i, j) \quad (5)$$

$$g(i) = \sum_{j=1}^N p(i, j) \quad (6)$$

위의 식 (1)과 (2)는 $\kappa(j)$ 값만을 사용하여 특징 값을 추출하며, 식 (3)과 (4)는 $g(i)$ 값만을 사용하여 값을 계산한다. 그러므로, 명암도 변화에 따른 작용 길이 정보와 길이 변화에 따른 명암도 정보를 모두 얻어내기 위해서는 위의 네 가지 값을 모두 사용하여야만 한다.

본 연구에서는 명암도 총 단계인 M은 256, 최대거리 N은 512로 설정하여 위의 4가지 값을 모두 계산하였다⁽⁴⁾.

3. 실험

3.1 실험 장치

연삭 슷돌 표면의 영상을 획득하기 위하여 Fig. 1과 같은 시스템을 구성하였다.

연삭 슷돌 표면이 테이블에 연결된 카메라 이동장치와 수직이 될 수 있도록 지그로 고정시키고, 슷돌의 표면 법선 방향과 일치하도록 CCD 카메라를 설치하였다. 광원으로는 광섬유를 사용하여 균일한 조도를 유지할 수 있도록 하였

광섬유를 사용하여 균일한 조도를 유지할 수 있도록 하였고, 획득된 영상은 DT3155 영상처리 보드를 통하여 PC에서 처리하도록 구성하였다.

연삭 작업은 범용 평면 연삭기에서 건식으로 수행되었으며 연삭 스톨은 WA80L7V를 사용하였다. 가공재는 SM45C를 선정하였으며, 가로×세로의 크기는 290×65mm로 하였다.

3.2 실험 방법

연삭 가공은 가공 속도를 1922m/min, 테이블 이송 속도 15m/min, 절삭깊이 10 μ m로 선정하여 수행하였다. 연삭 공정에서 주축속도가 빠를수록, 테이블의 이송속도가 느릴수록, 절입량이 많을수록 연삭 스톨의 마멸이 많이 나타나는 경향이 있다. 눈막힘 현상은 위의 조건에 가공재가 연하고 휠의 결합도가 강할수록 잘 발생한다. 본 연구의 연삭 조건에서 테이블의 이송속도는 매우 느리게 설정하여 단시간에 마멸과 눈막힘을 볼 수 있도록 하였다. 영상의 획득은 공작물을 5회 가공할 때마다 inter-process로 획득하였으며, 그

때의 배율은 3 μ m/pixel($\times 10$ 의 대물 렌즈)로 하였다. 또한 연삭 스톨 표면의 마멸 정도가 서로 다르므로 한 스톨 표면의 임의 5곳을 선택하여 새 스톨부터 5회 가공 때마다 각각 5개의 영상을 획득하도록 하였다. 따라서 25회 가공 후에는 모두 25개의 영상을 획득하였다. 이렇게 획득된 영상은 위의 4가지 정보를 이용하여 측정, 분석하였다.

Fig. 2는 카메라 렌즈가 연삭에 참여하는 입자에 초점이 맞은 상태를 나타내며, 가공이 진행될수록 초기 영상과 비교하여 초점이 달라지므로 광각도의 대비가 변화하게 됨을 나타내었다.

4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 3과 Fig. 4는 각각 5회 가공한 연삭 스톨과 25회 가공한 연삭 스톨 표면의 영상이다. Fig. 3의 경우, 거의 마멸이 일어나지 않았고, 상당히 많은 날카로운 절삭 입자들이 보이고 있다. 반면 Fig. 4의 25회 가공한 스톨면은 입자가

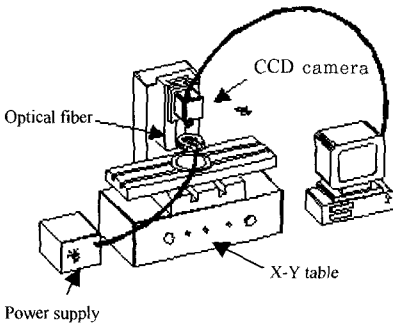


Fig. 1 Schematic diagram of image acquisition system

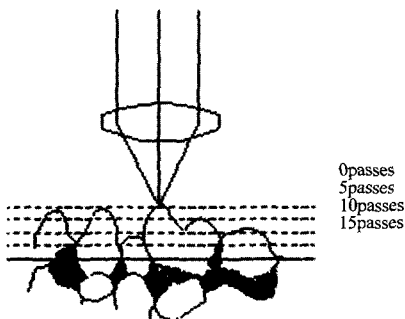


Fig. 2 Grinding wheel surface

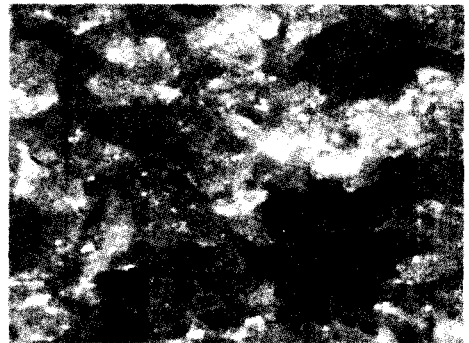


Fig. 3 Wheel surface image at 5 times grinding

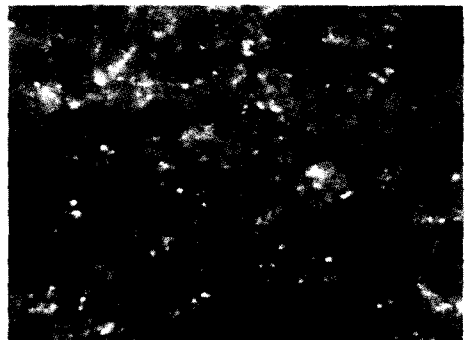


Fig. 4 Wheel surface image at 25 times grinding

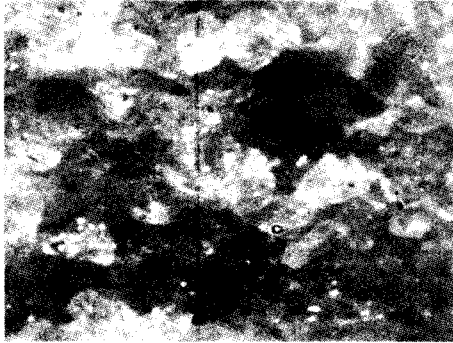


Fig. 5 Wheel Surface with max. LRE & SRE at 5 times grinding

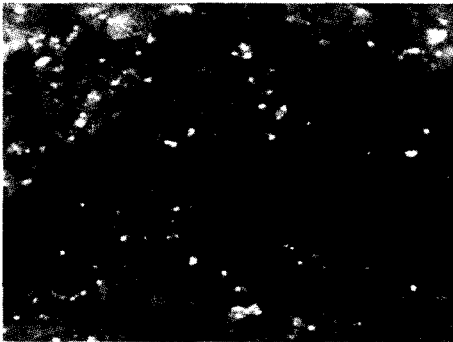


Fig. 6 Wheel surface with max. LGRE at 15 times grinding

상당히 무디어져 평평한 마멸랜드가 발생하였으며, 입자들 사이에 눈막힘이 발생하여 입자들과 그 밖의 부분과의 높이 차가 거의 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. 또한 입자들 위에서 작게 빛나는 부분이 있는데, 이것은 공작물의 주성분인 Fe 성분의 점착 때문인 것으로 보인다.

Fig. 5의 경우는 5회 가공한 10가지 영상 중 LRE값과 SRE값이 특별히 크게 나온 영상인데, 이 경우 입자의 끝이 다른 부위에 비하여 날카롭고 특히 결합제와의 높이 차가 상당히 많이 나는 것을 알 수 있다. 따라서, 연삭에 거의 참여하지 않은 부분이라 할 수 있다.

Fig. 6은 15회 가공한 중 LGRE값이 25회 가공한 경우만큼 크게 나온 영상이다. 마멸랜드가 넓은 편이고, 눈막힘이 발생하여 입자가 많이 묻힌 상태이며, 짐계 버닝이 생겨난 부분이 나타나고 있다.

Fig. 7부터 Fig.10까지는 숫돌면 다섯곳의 명암도 작용길이 값을 각각 가공 회수에 따라 표기하였다. LGRE 값은 낮

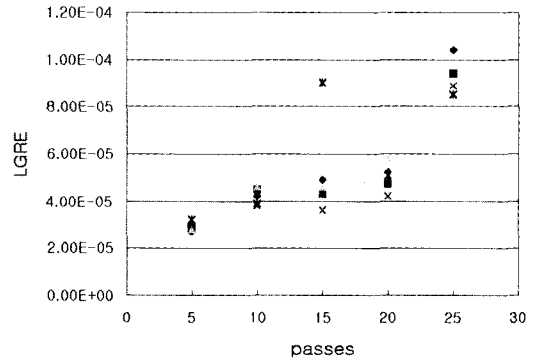


Fig. 7 Relationship between LGRE and grinding times

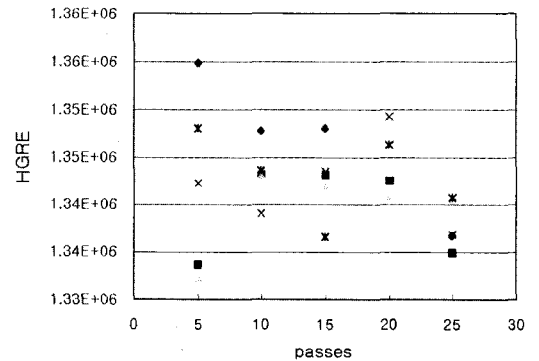


Fig. 8 Relationship between HGRE and grinding times

은 명암도의 작용 길이가 길어질수록 큰 값을 나타내므로, 가공 횟수가 증가함에 따라 점차 값이 커지는 것을 알 수 있다. 그러나, 높은 명암도의 영향을 나타내는 HGRE값은 모드값을 취하면 점차 감소하는 경향이지만, 대체적으로 상당히 산포도가 큰 것을 알 수 있다. 이것은 마멸이 발생하지 않은 부분과 마찬가지로, 공작물의 점착이 많이 일어난 부분이 밝게 나타나기 때문인 것으로 보인다. 명암도의 높낮이에 관계없이 작용 길이의 길이만으로 영상의 특징을 표현하는 LRE와 SRE는 모두 감소하는 경향을 나타내었다. 여기서, LRE값은 같은 명암도 작용길이가 길게 나타나는 부분이 많아질수록 커진다. 반면 SRE는 명암도 작용길이가 짧게 나타나는 부분이 많아질수록 커진다. 따라서, 가공이 진행됨에 따라 마멸랜드가 넓어지지만 입자 위의 중간에 점착된 공작물의 재질 때문에 LRE는 약간 감소하게 되며, 마멸이 발생하면서 입자 끝이 짧게 빛나는 부분이 감소하므로 SRE 역시 감소한다는 것을 알 수 있다.

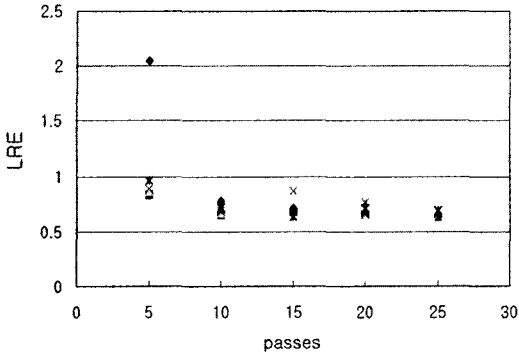


Fig. 9 Relationship between LRE and grinding times

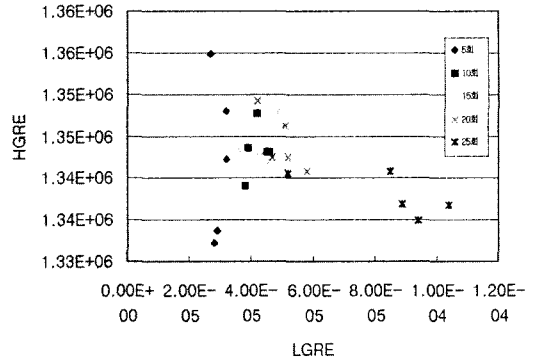


Fig. 11 Relationship between LGRE and HGRE

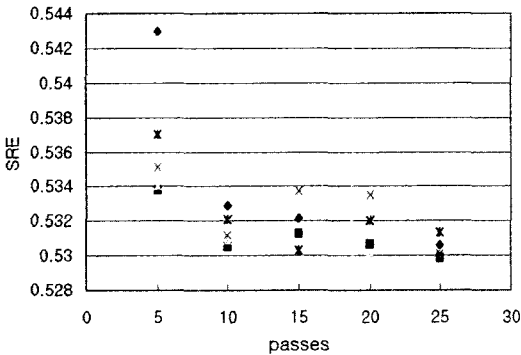


Fig. 10 Relationship between SRE and grinding times

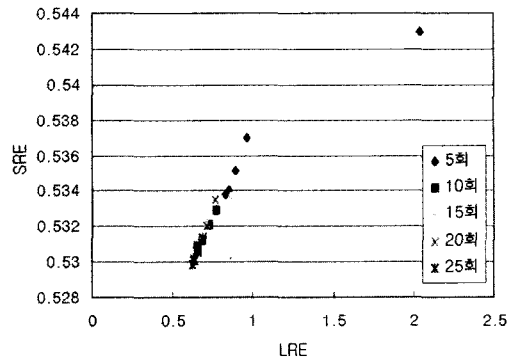


Fig. 12 Relationship between LRE and SRE

Fig. 11에서는 LGRE와 HGRE의 관계를 나타내었다. 두 값의 분포는 상관관계가 없이 매우 큰 분포를 가지지만, 그 데이터는 크게 두 부분으로 나뉘어져 있는 것을 볼 수 있다. 오른쪽에 떨어져 있는 부분은 25회의 가공을 했을 때와 15회 중 눈막힘이 일어났을 때의 영상들이다. 또한, 확실하게 분리가 되어 있지는 않지만, 5회 가공한 슛돌면의 영상이 가장 왼쪽 부분을 차지하고 있다. 중앙부는 점차 마멸이 발생하고 있는 부분이라 할 수 있다.

Fig. 12은 LRE와 SRE의 관계를 나타내고 있다. 이 경우 마멸이 된 경우나 눈막힘이 일어난 경우가 구별이 되지 않지만, 마멸이 일어나지 않은 새 슛돌면의 영상은 확실하게 구분이 되고 있다.

Fig. 13는 LGRE와 LRE의 관계를 나타내고 있다. 이 그래프는 크게 세 부분으로 확실하게 구분되는 것을 볼 수 있다. 왼쪽 위의 데이터들은 25회 가공했을 때와 15회의 눈막힘이 발생한 경우이며, 오른쪽 아래의 데이터는 새 슛돌면

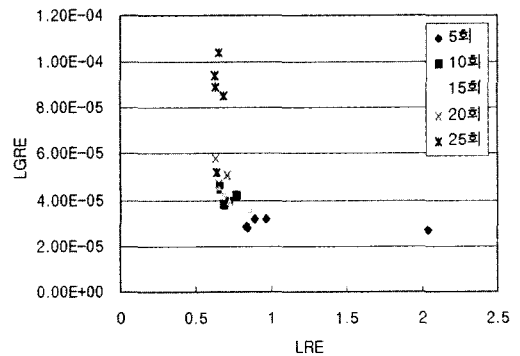


Fig. 13 Relationship between LGRE and LRE

의 영상을 나타낸다. 또한 중간부분의 데이터들은 왼쪽 위로 갈수록 마멸이 많이 진행되었다고 볼 수 있다. 이와 같이, LGRE와 LRE와의 관계에서 눈막힘 뿐만 아니라 마멸 경향까지 좀 더 자세한 분류가 되었음을 알 수 있다.

이와 같은 결과로부터, 컴퓨터 비전 시스템을 이용하여 연삭 슷돌면의 거동을 관찰할 수 있었으며, 명암도 작용 길이를 이용하여 마멸과 눈막힘의 분류를 할 수 있었다. 연삭 가공에서 나타나는 다른 파라미터들과 위의 기법과의 관계를 정립한다면 가공 중 발생할 수 있는 상황들을 예측할 수 있는 기초가 될 수 있을 것이다. 또한, 앞으로 연삭에서의 자동화에 좀 더 접근할 수 있는 발판을 마련할 수 있으리라 생각된다.

5. 결론

본 연구는 컴퓨터 비전 시스템을 이용하여 연삭 슷돌면의 영상을 획득하여 패턴 분류법 중 통계적 방법인 명암도 작용길이를 그 거동을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 마멸이 진행될수록 LGRE 값은 점차 증가하는 경향을 나타내었으며, 눈막힘이 발생한 슷돌의 경우, 급격히 상승하는 것을 알 수 있었다.
- (2) HGRE 값은 산포도가 매우 큰 편이므로, 마멸 경향을 파악하는 데는 어려움이 있었으나, 마멸 진행에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.
- (3) LRE와 SRE는 마멸의 진행과 함께 감소하는 경향을 나타내었다.
- (4) HGRE, LGRE의 관계로부터 눈막힘이 발생한 경우의 영상을 분류해 낼 수 있었다.
- (5) LGRE와 LRE의 관계로부터 새 슷돌면의 영상과 마멸 경향에 따른 영상을 분류할 수 있었다.

후 기

본 논문은 인덕대학 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- (1) Dornfeld, D., and Cai, H. G., 1984, "An Investigation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission", *Trans. of ASME*, Vol. 106, pp. 28~33.
- (2) Eiss, N. S., 1967, "Fracture of Abrasive Grain in Grinding", *Transaction of the ASME*, pp. 463~470.
- (3) Rajmohan, B., and Radhakrishnan, V., 1994, "On the Possibility of Process Monitoring in Grinding by Spark Intensity Measurements", *Transaction of ASME*, Vol. 116, pp. 124~129.
- (4) Chu, A., Sehgal, C. M., and Greenleaf, J. F., 1990, "Use of Gray Value Distribution of Run Lengths for Texture Analysis", *Pattern Recognition*, Vol. 11, No. 6, pp. 415~419.
- (5) Rubenstein, C., 1972, "The Mechanics of Grinding", *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 12, pp. 127~139.
- (6) Gong, J. H., Yu, E. Y., Lee, K. S., So, E. Y., Ryu, B. H., and Lim, H. S., 2002, "Wear Characteristic of Diamond Wheel according to Bond in Ceramic Grinding", *Trans. of KSMTE*, Vol. 11, No. 4, pp. 75~81.
- (7) Sa, S. Y., Yu, E. Y., and Ryu, B. H., 1999, "The Behavior of Grinding Wheel Wear Using Spectrum Analysis", *Trans. of KSMTE*, Vol. 8, No. 5, pp. 20~24.
- (8) Gonzalea, R. C., and Wintz, P., 1977, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc.