

화상처리시스템을 이용한 유연성 연삭 디스크의 변형분석

배진한, 유송민

경희대학교 기계·산업시스템 공학부

Analysis of Flexible Grinding Disk Deflection using Image Processing

Jin Han Bae, Song Min Yoo

Kyunghee University of Mechanical and Industrial System Engineering

ABSTRACT

The working surface of a flexible grinding disk was characterized by means of an image processing, in which a picture of a disk surface was taken by the CCD camera and analyzed with the personal computer. As process conditions, depth of cut was changed to be 2 and 4 mm. From the captured image circles marked on the disk was regenerated using the edges detected with scale space filtering. In order to correlate the level of deformation to the distortion of the circles, intervals between each circle have been analyzed. Notable correlation has been observed between the intervals and the process conditions.

Key Words : Flexible Grinding Disk(유연성연삭디스크), Image Processing(화상처리), CCD(Charge Coupled Device)

1. 서론

공장의 생산 현장에서 화상 처리 시스템(image processing system)은 자동화된 검사와 공정(process) 감시에 이용된다. 이들 시스템은 생산 공정의 정밀도와 안정성을 향상시키면서 작업자의 수를 줄인다.

화상처리는 획득된 영상데이터가 제조 공정을 제어할 수 있도록 처리하는 산업기술중의 하나이며, 이는 공장 자동화의 검사와 조립 라인, 형상

및 결함 검사, 비파괴 검사, 산업용 로봇(robot) 등 최근 들어 광범위하게 사용되기 시작하였다. 초기에 검사와 조립을 위해서 사용되기 시작하여 가장 많이 사용된 분야가 전기 기관의 인쇄회로(PCB) 결함검사 기계였으며, 최근에는 일반산업분야에서도 널리 사용되어 기계산업분야와 관련된 생산분야에서는 최근에 제품의 정밀도 및 각종 생산성을 향상시키기 위한 계측 및 제어분야에 자동화 기술이 빠른 속도로 전파되고 있다.

곡면 변형의 측정⁽¹⁾⁽²⁾은 유연성디스크를 이용한 연삭뿐 아니라 단조나 압축, 고분자화합물이나 초소성 재료의 중공성형법(blow molding)등 다른 분야에서도 중요한 의미를 가진다. 곡면의 변형 분포를 측정하는 기술⁽³⁾은 지난 수십 년간 판재성형 분야를 연구하는 수많은 학자와 기술자들에 의하여 고안·개선되어 왔으며, 최근에 컴퓨터 화상처리(image processing) 기술을 이용하여 3차원 곡면에 대한 데이터를 자동적으로 얻는 방법이 소개되고 있다. 그러나 그 대부분의 연구는 변형을 측정 작업의 자동화 정도와 측정결과의 정확도 등에서 개선의 여지가 많은 실정이다.

본 연구에서는 2차원 흑백화상을 기반으로 일반적으로 사용되고 있는 CCD(charge coupled device) 카메라를 통하여 유연성디스크를 이용한 연삭가공에서 화상자료를 얻어내어 처리함으로써 가공량에 따른 디스크의 변형 정도의 상관관계를 측정하였다.

2. 이론적 배경

2.1 디지털 화상처리

화상을 컴퓨터로 처리할 때 화상자체가 컴퓨터로 이해될 수 있는 형태로 되어야 한다. 두 개의 좌표축 x, y 및 농도값의 연속값으로 주어지는 화상을 아날로그 화상이라 한다. 이에 반해 x, y 축을 등 간격으로 나누어 각 교점에 있어서 이산적인 위치의 농도만을 대상으로 한 화상을 표본화 화상(sampling image)이라고 하고, 화상의 농도값을 이산적인 농도 값으로 표현한 것을 양자화 화상(quantization image)이라고 한다.

이와같이 표본화하고 양자화한 화상을 디지털 화상(digital image)이라고 한다. 연속영상 $f(x,y)$ 를 등간격으로 샘플링하여 $N \times N$ 배열의 형태로 정량화시킨다면 Fig. 1과 같은 매트릭스가 될 것이다.

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f(N-1,1) & f(N-1,1) & \cdots & f(N-1,M-1) \end{bmatrix}$$

Fig. 1 Matrix array of image

이 매트릭스를 일반적으로 디지털 화상이라고 부르고, 그 배열원을 화상원(picture element) 또는 픽셀(pixel)이라 부른다.

영상화면을 x,y 축의 2차원위에 나타내면, 임의의 지점에서의 픽셀의 좌표는 (x, y) 로 표현된다. 여기서 x 와 y 는 정수이다. 픽셀 (x,y) 에서의 광강도는 대응하는 지점의 영상의 밝기의 정도를 의미하며, 픽셀 (x, y) 에서의 광강도를 $f(x,y)$ 로 표시한다. $f(x,y)$ 는 0 - 255까지의 계조도(gray level)로 나타낸다.

2.2 Scale-Space Filtering

스케일값의 변화에 따른 영교차점의 특징을 보면, 일반적으로 가우스(gaussian)함수의 스케일값을 크게 함에 따라 평활화 효과가 커지게 되므로 잡음이나 에지(edge)의 특징이 약한 점들은 제거되고 특징이 강한 에지만을 구할 수 있다. 따라서 스케일 값이 크면 클수록 보다 강한 특징의 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 스케일스페이스 필터(Scale space filtering)⁽⁷⁾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, σ) 평면상의 표면을 정의하는데 $G(x, \sigma)$ 는 평균이 0이고 표준편차가 σ 인 Gaussian 함수이다. 그러므로 $F(x, \sigma)$ 는 각 σ 값에 대해 스케일 공간상 (x, σ) 상에서 $f(x)$ 의 Gaussian 평활화된 형태를 나타낸다. 스케일값이 커짐에 따라 영 교차 점들 중 에지 특성이 약한 부분들의 영 교차점들은 사라지고 강한 에지 특성을 갖는 점들만이 존재하게 된다.

2.3 원의 중심

유연성디스크를 이용한 연삭 가공시 디스크의 중심점 이동을 측정하기 위한 방법으로는 다음과 같다.

Fig. 2과 같이 3점 $P_0(x_0, y_0), P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2)$ 로 구성되는 원에서의 두 직선 Y_{01}, Y_{02} 에서의 수직선 Y_{01}', Y_{02}' 을 구하면 다음과 같이 되고,

$$Y_{01}' - \frac{y_0 + y_1}{2} = -\frac{x_1 - x_0}{y_1 - y_0} \left(X_{01} - \frac{x_0 + x_1}{2} \right)$$

$$Y_{02}' - \frac{y_1 + y_2}{2} = -\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \left(X_{12} - \frac{x_1 + x_2}{2} \right)$$

이 두 직선은 기하학적으로 3점으로 이루어지는 원의 중심 (X_c, Y_c) 을 지나게 된다.

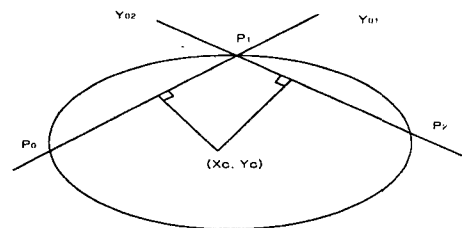


Fig. 2 Three points circle construction

3. 실험장치의 구성 및 방법

본 연구에 사용된 실험 장치는 입력장치인 mono CCD camera, 영상 처리장치가 들어있는 image board, 처리 결과를 화면에 나타내는 출력 모니터, 조명장치, IBM PC 등으로 이루어져 있다. 연삭에 사용한 시편은 탄소강(SC41)을 사용하였고 유연성디스크로는 디스크형 연삭재(3M flexible grinding disk)를 사용하였으며 연삭재 표면에 4mm 간격으로 7개의 원을 그려 넣었으며 같은 거리에서 30°와 60° 방향에서 촬영하였으며, 절삭 깊이는 2mm, 4mm로 8회씩 가공 하였다.

Fig. 3은 촬영도를 나타낸 것이다.

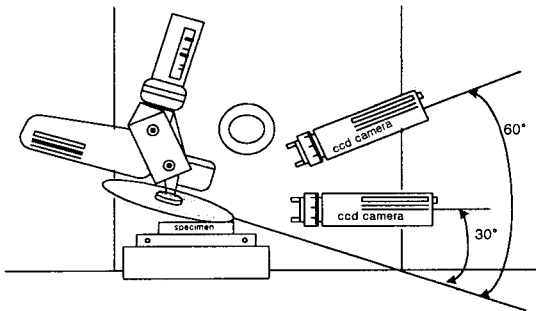


Fig. 3 Measurement system diagram

무가공 상태와 가공중의 디스크 변형 상태를 측정하기 위해 가공 전, 후의 화상자료를 취득한 후 필터로 처리하여 라인 검출이 용이하도록 한 후 형상을 검출하고 기울기 자료를 추출하여 에지부를 검출하였다.

실험 장치와 디스크의 형상은 Fig. 4, 5와 같다.

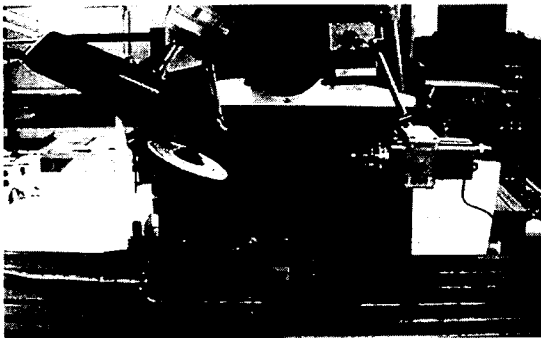


Fig. 4 Grinding process diagram

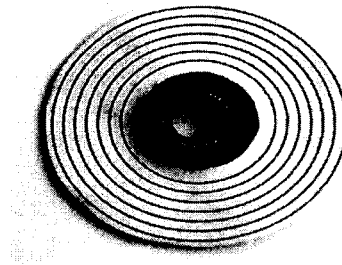


Fig. 5 Original image of disk with circles

4. 실험결과 및 고찰

4.1 중앙선 검출

시편과 직접 접촉되는 유연성디스크의 중심선을 검출하여 30°와 60°에서의 디스크의 변형상태를 라인별로 검출하였다.

Fig. 6은 디스크와 CCD카메라의 각도가 30°에서 무가공시와 절삭깊이가 각각 2mm, 4mm로 8회씩 반복 측정하였고, 이를 평균하여 선을 검출한 그림이고 Fig. 8은 60°의 각도에서 동일한 과정으로 선을 검출한 결과이다.

Fig. 7와 Fig. 9는 30°와 60°의 각도에서 각 라인별로 픽셀(pixel)의 간격을 도시한 그래프이다.

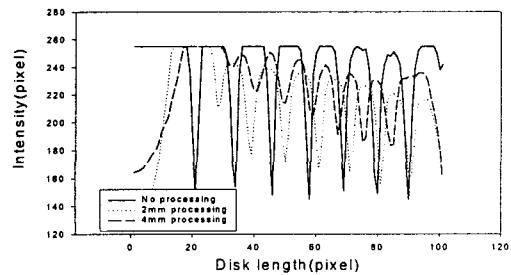


Fig. 6 Detect of the center line at angle 30

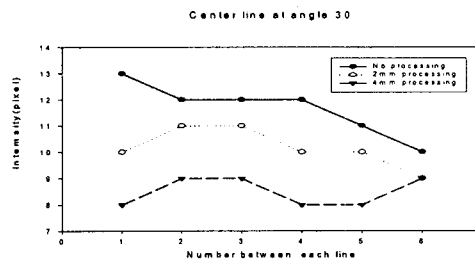


Fig. 7 Distance between each line

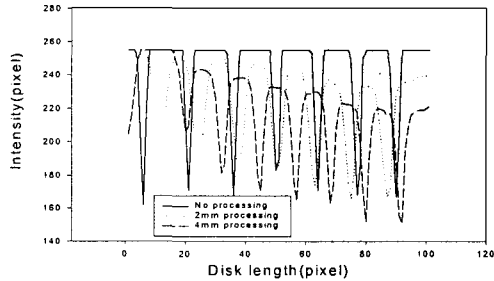


Fig. 8 Detect of the center line at angle 60

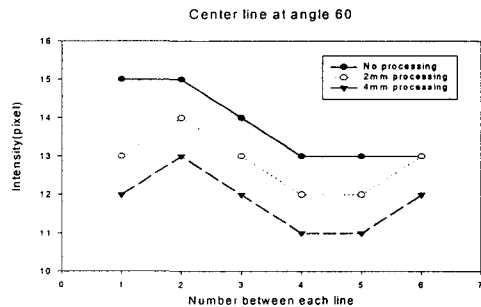


Fig. 9 Distance between each line

Fig. 7와 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 디스크와 시편의 접촉부분인 디스크의 외각 라인인 첫 번째와 두번째 라인사이에서 많은 휨으로 인하여 라인간의 간격이 가장 적게 나타나다가 점차 선형적으로 줄어들며 마지막 라인에서는 가공전과 거의 같은 간격으로 나타나 디스크의 중심부분으로부터 가장자리까지의 휨의 변형정도를 측정할 수 있었다.

Fig. 10은 디스크 중앙부분의 초기점으로 부터 무가공시와 2mm, 4mm 가공시의 각 포인트까지의 거리를 첫 번째 라인부터 마지막 라인까지한 그래프에 도식한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 30° 에서 촬영시 60° 에서 촬영한 것보다 픽셀의 크기는 크지 않지만 가공하지 않을시와 2mm, 4mm 가공시의 차이가 등간격으로 확인할 수 있었으며, 60° 의 촬영에서는 무가공시와 가공상태에서의 차이는 크나 2mm가공과 4mm의 가공차이는 30° 의 촬영보다는 작은 간격으로 나타난 것을 볼 수 있다.

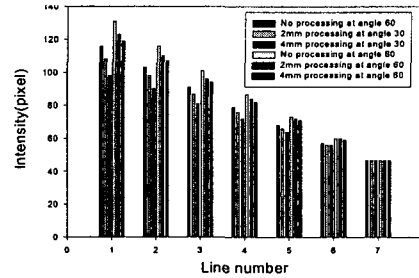


Fig. 10 Distance from initial point to each processing line

4.2 일반선 검출

중앙선만을 검출하는 것은 시편과의 접촉부분의 가공으로 인한 압축정도는 쉽게 볼 수 있었으나 전체적인 디스크의 변형을 알 수 없었기에 중앙부분을 기준으로 일정 픽셀만큼의 좌, 우로 5라인씩 직선으로 11라인을 검출하여 전체적인 디스크의 변형정도를 파악할 수 있었다.

Fig. 11은 30° 에서 디스크의 가장 바깥선의 가공하지 않을 때와 2mm, 4mm 가공시 선을 검출한 것이며, Fig. 12는 60° 에서 동일방법으로 디스크 가장 바깥 선을 검출한 것이고 Fig. 15 과 Fig. 16은 디스크의 가장 안쪽 라인중 가장 좌측과 우측 검출 라인의 전체적인 가공상태를 도시한 것이다.

Fig. 11은 시편과 접촉라인 검출에서 보았듯이 30° 에서의 촬영과 60° 에서의 촬영에서의 차이를 볼 수 있으며 Fig. 13~16에서 나온 결과를 분석해보면 디스크가 가공되기 전 부분인 오른쪽부분의 안쪽라인 검출에서 보듯이 다른 부분에서의 차이에서 나오는 것과는 달리 무가공 상태와 2mm 가공, 4mm 가공상태의 선 검출이 반대가 되는 현상을 볼 수 있었다. 이는 시편 연삭 가공으로 인해 디스크의 변형이 30° 에서는 5번째 라인부터, 60° 에서는 4번째 라인부터 점차 반대로 검출되는 것을 볼 수 있다. 이는 시편의 연삭으로 인해 디스크 형상중 시편이 지나가기 전, 안쪽부분의 변형을 파악할 수 있다.

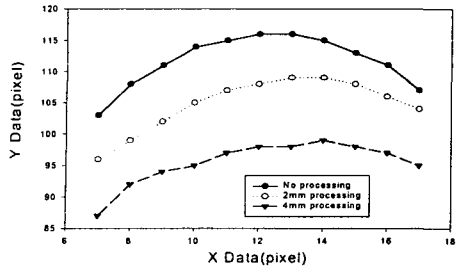


Fig. 11 First line detect at angle 30

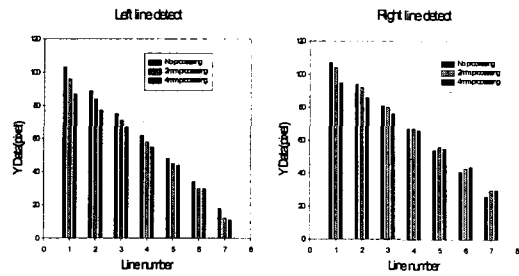


Fig. 15 Left and Right line detect at angle 30

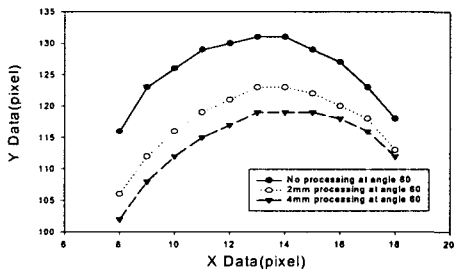


Fig. 12 First line detect at angle 60

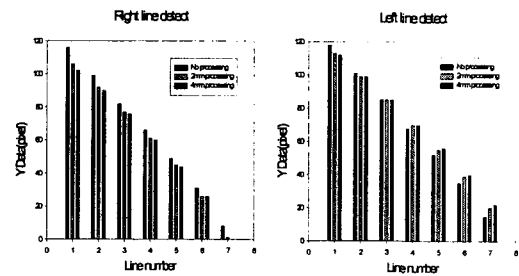


Fig. 16 Left and Right line detect at angle 60

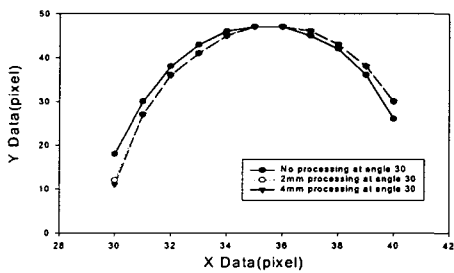


Fig. 13 Last line detect at angle 30

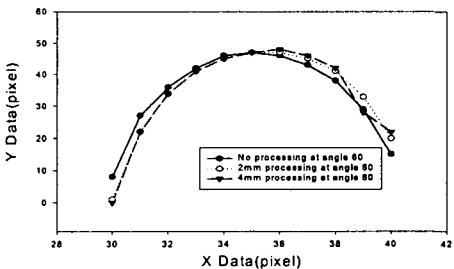


Fig. 14 Last line detect at angle 60

4.3 디스크 중심의 변화

시편을 연삭 가공함에 따른 그라인더의 디스크 중심점의 이동을 구함으로서 가공에 따른 힘의 중심이동을 추정할 수 있을 것이다.

Fig. 17은 무가공시의 중심과 2mm 가공과 4mm 가공했을 때의 가장 바깥라인의 중심을 구하여 중심점의 이동을 파악해 본 것으로서 그림에서와 같이 중심점은 가공되는 반대방향과 뒤쪽으로 이동하는 것을 알 수 있었으며 Fig. 18에서는 디스크의 가장 안쪽라인에서의 중심점을 살펴본 것으로서 중심점이 가공되는 반대방향으로 이동하는 것은 바깥라인과 같지만 중심점의 위치가 디스크의 앞쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다. 이는 전체라인 검출에서 보았듯이 가공에 따른 디스크의 변형상태가 가공되는 반대편의 동심원의 안쪽부분의 변형상태를 파악할 수 있었으며, 60°에서보다는 30°에서의 동심원 중심을 구하는데 있어서 더욱더 뚜렷한 변화를 알아낼 수 있었다.

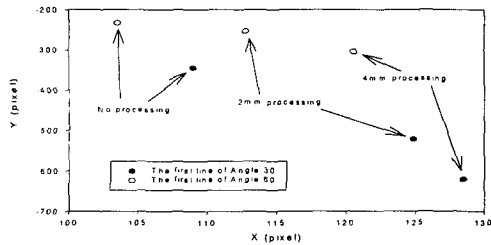


Fig. 17 Center point at first detect line

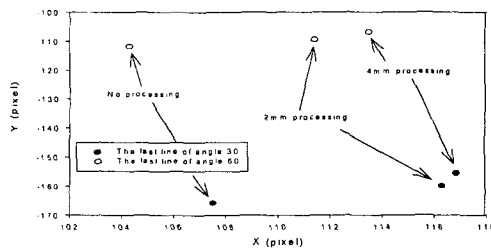


Fig. 18 Center point at last detect line

5. 결론

본 연구에서는 디스크 연삭 공정에서 가공에 따른 디스크의 휨과 변형상태를 디스크 전체적으로 2차원 화상처리를 이용해 파악함으로써 다음과 같은 과정으로 가공상태에 따른 유연성디스크의 변형관계를 알아 내었다.

- (1) 시편과의 접촉선을 상태별로 파악함으로써 0°에서의 촬영과 60°에서의 촬영에서 나타나는 차이점을 알 수 있었으며, 무가공 상태와 2mm 가공과, 4mm 가공시의 디스크의 압축 변형을 뚜렷이 살펴볼 수 있었다.
- (2) 전체적인 라인을 검출해봄으로써 디스크의 전체적인 변형을 파악할 수 있었다. 시편 가공 전·후로 또한 디스크의 안쪽과 바깥쪽의 변형을 살펴봄으로써 가공으로 인한 변형의 윤곽을 알 수 있었다.
- (3) (2)에서의 디스크 바깥라인과 안쪽 선을 기준으로 디스크의 중심점 이동 상태를 검출함으로써 시편이 지나간 디스크의 가공전 면과, 후면의 변형을 알 수 있었다.

이러한 과정으로 얻은 결과를 바탕으로 디스크 연삭 공정 과정에서의 비전시스템(vision system)

을 설계, 적용하는데 있어서 공정을 해석할 수 있는 자료를 구축하였다.

향후 과제로는 곡면변형률 데이터를 얻는 과정을 자동화하고, 표면상의 3점을 인식하는 2대의 카메라 장치로부터 한 영역의 변형률 분포를 3차원으로 측정할 수 있도록 알고리즘을 구축하겠다.

6. 참고문헌

1. Akira Hosokawa, Heiji Yasui, Yukihisa Kanao and Kaoru Sato "Characterization of the Grinding Wheel Surface by Means of Image Processing" 精密工學會誌, Vol.62, No. 9, pp. 1297-1301, 1996
2. J. H. Vogel and D. Lee, "An Automated Two-view Method for Determining Strain Distributions on Deformed Surfaces", J. of Materials Shaping Technology, Vol. 6, No. 4, pp. 205-216, 1989
3. 김종호, Nay Niels, "이미지 프로세싱에 의한 금속 박판 인장실험에서의 변형도 분포", 한국정밀공학회지, 9권 2호, pp. 101-106, 1992
4. 양민양, 유진규, "컴퓨터비전을 이용한 자유곡면의 CAM시스템에 관한 연구" 대한기계학회논문집, 14권 4호, pp. 850-856, 1990
5. M. Barata Marques, R. Baptista, and S. Antunes, "Implementation of a Computer Based Image System for Grid Measurement", Proc. 17th IDDRG Biennial congress, Advanced sheet Metal Forming Technology, pp. 352-359, 1992
6. Z. Tan, L. Melin, and C. Magnusson, "Measuring Square Grid in Sheet Metal Strain Analysis by Image Processing Technique", Proc. 17th IDDRG Biennial Congress, Advanced Sheet Metal Forming Technology, pp. 344-351, 1992
7. 신관수, 유송민, "Scale-space filtering 과 curve fit을 이용한 자전거 크랭크 화상검사시스템 개발", 한국산업기술학회지, 1권, 1999