

# 산란광을 이용한 표면 거칠기측정에 관한 연구

## The Study on the Surface Roughness Measurement by Using Scattered Lights

장 효 석\*, 임 한 석(부산대 대학원), 정 해 도(부산대학교), 안 중 환(부산대학교)  
Hyoseog Kang, Han-Seok Lim, Hae-Do Jung, Jung-Hwan Ahn

### ABSTRACT

To evaluate the surface integrity of machined products such as die, the surface roughness measurement is being much used. Especially, for machining automation and promotion of productivity, the surface roughness measurement technique changes from separate measuring system after machining process to the on-the-machine measurement.

This study is on the surface roughness measurement by using scattered lights for on-the-machine measurement. This system is designed with a simple optical construction. And experiments are implemented with standard roughness specimen to obtain the parameters which are specularly reflected region parameter and diffusely reflected region parameter.

To determine the surface roughness quickly, neural network is used. And this system gives the possibility to apply to the various production processes.

Key Words : surface roughness measurement, scattered lights, on-the-machine measurement

#### 1. 서 론

최근, CAD/CAM의 진전으로 다양한 업종에서 제품개발 등에 제품 형상을 정의한 3차원 도면정보를 NC코드화하고 이것을 이용하여 NC가공을 수행하고 있다. 그리고 제품의 생산도 소비자의 다양한 구매욕구를 충족시키기위하여 소품종 대량생산에서 다품종 소량생산으로 진전되어가고 있다. 이러한 다품종 소량생산의 추세에 맞추어 황삭, 정삭, 연삭 등 일련의 작업을 한 대의 기계에서 작업하려는 복합가공화 와 가공방법에 있어서도 밀링가공후 동일 기계에서 연마를 함께 수행하는 방법이 등장하고 있다.

그리고 기계가공 생산시스템에서 대량생산라인의 경우에는 측정 및 검사공정을 별도로 두고 있으나, 금형과 같은 다품종소량 생산품의 경우에는 이러한 방식이 적합하지 않다. 이러한 경우에는 유연성이 높은 3차원 좌표측정기(CMM)를 설치하여 운용하고 있으나 운용비용이 많이 들고 관리하기가 쉽지 않으며 SetUp 및 측정시간이 길어져 비경제적일 수가 있다. 또한 3차원 측정기의 한정된 크기 때문에 대형가공물이라든지 탈착이 어려운 생산품의 경우에는 마땅한 측정 방법이 없는 실정이다.

이러한 측정 대상으로는 형상 측정과 거칠기 측정이 있는데, 이 중 표면 상태의 품위를 평가하는 표

면 거칠기의 측정은 보편적으로 촉침식을 이용하고 있으며 아직까지 촉침식이 표준적인 방법으로 인정되고 있다. 이 방법은 정확한 측정을 가능하게 하고 측정표면의 단면곡선을 재현할 수 있다는 장점이 있기는 하지만 촉침이 측정표면을 횡단하므로 연속적이고 빠른 측정을 요하는 경우에는 부적당하다. 또한 측정 가공물의 재질이 연할 경우 가공물 표면에 촉침의 자국이 생겨 정밀가공물 표면에 흠집을 남기고 기상 또는 가공중 측정에 부적합하다는 단점을 가지고 있다.

가공 자동화와 생산성 향상을 위해 기상 측정 및 가공중 측정이 필요하나, 작업여건상 접촉방식의 측정이 곤란하므로 기존의 대표적인 표면 거칠기 측정 장치인 촉침의 사용이 곤란하다. 따라서 기상 측정 및 가공중 측정을 위해서 측정방법은 비접촉식이고 열악한 주변여건에 대해 강건하게 설계되어야한다. 또한 측정과정이 가공시간을 지연시키는 것은 바람직하지 않으므로 측정시간이 많이 소요되는 방법 역시 적용이 곤란하다. 이와 같은 점들을 극복할 수 있는 가장 근접된 해결방법이 광산란법이라고 평가되고 있다.

이러한 광산란법에는 정반사광, 난반사광, 산란각 분포, T.I.S.(Total Integrated Scatter), 그리고 산란광속을 이용하는 방법이 있다. 이 중 본 연구에서는

측정면으로부터 산란한 광을 실험적으로 정반사영역과 난반사영역(이 영역을 앞으로 각각 정반사광/난반사광이라고 부르기로 한다.)으로 나누어 이 2가지를 매개변수로 하였고, 거칠기의 평가는 비교용 표준시편으로 학습된 신경회로망을 이용하였다.

## 2. 산란광을 이용한 실험장치의 구성 및 실험

### 2.1 측정 원리

일반적으로 연삭면은 가우스분포를 가진다고 가정할 수 있으므로 가우스분포를 가지는 표면의 광산란 현상에 대한 일반적 해를 제안한 Beckmann의 해가 유용하게 사용되고 있다. 이러한 일반해의 정반사광에 대해서는 간략하게 식 1과 같고,

$$I_s \cong \exp \left[ - \left( \frac{4\pi R_q \cos \theta_1}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (1)$$

거친표면에 대해서는 임의의 수광각에서의 산란패턴이 고려되는데 그 산란패턴은 주로 표면형상의 기술키 분포에 의해 특징지어진다. 이때 거칠기는 식 2와 같다.

$$R_q = T \tan(\sigma_s / \sqrt{2}) / 2 \quad (2)$$

본 연구에서는 측정표면의 거칠기가 증가할수록 정반사광과 일부의 난반사광을 받아들이는 정반사영역과 대부분의 난반사광을 받아들이는 난반사영역의 광강도 변화를 매개변수로 거칠기를 측정하였다.

### 2.2 실험장치의 구성

전체 실험장치의 구성은 그림 1과 같이 PC, 측정부, XY 테이블, Image Grabber 등으로 구성되었다.

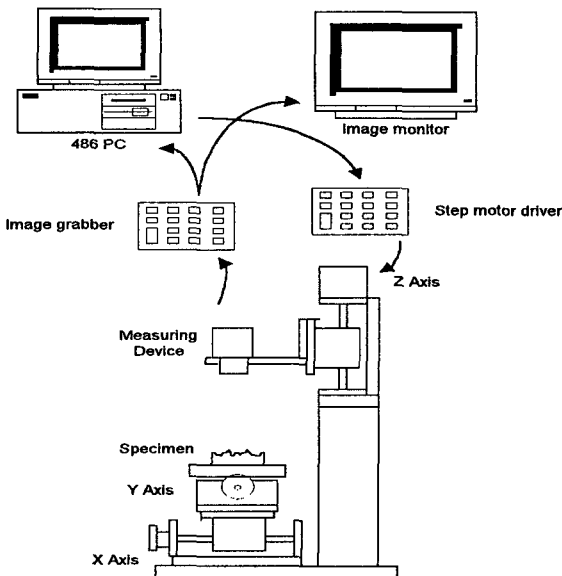


그림 1 전체 측정 실험장치의 구성도

### 2.2.1 측정 장치의 구성

기상 측정을 하기 위해서는 주위의 변동에 강건해야 하므로 표면위치변동에 따른 반사광과 수광렌즈의 중심편차 ( $= 2h \sin \theta_i$ )의 영향을 줄이기 위해 측정장치를 구성하였다. 즉 그림 2와같이 측정표면에 수직으로 즉, 입사각을  $0^\circ$  로하는 실험장치를 구성하였고, 실험에 사용된 CCD 카메라의 해상도는  $512 \times 475$ 이며 픽셀당  $128(=2^7)$  그레이 레벨이다. 그리고, 레이저 다이오드는 일반 CD 플레이어의 광픽업용으로 사용되는 것으로 파장은  $640\text{nm}$ , 출력은  $3\text{mW}$ 이다. 그런데 이와같은 레이저다이오드는 레이저 발진을 개시하는 임계전류나 광출력의 편차가 있기 때문에 일정한 전류를 흘려도 일정한 광출력을 얻을 수 없고 온도에 따른 광출력의 변동이 있다. 따라서 본연구에서는 다이오드의 광출력을 일정하게 하도록 APC(Automatic Power Control)을 이용하였다.

이 방법은 레이저 다이오드의 접합면에서 발생된 빛이 다이오드의 전방향과 후방향으로 방사되는데 이때 후방향으로 방사되는 빛을 레이저 다이오드 배면에 함께 설치되어있는 모니터 다이오드로 검출하여 광출력을 제어하는 방법이다.

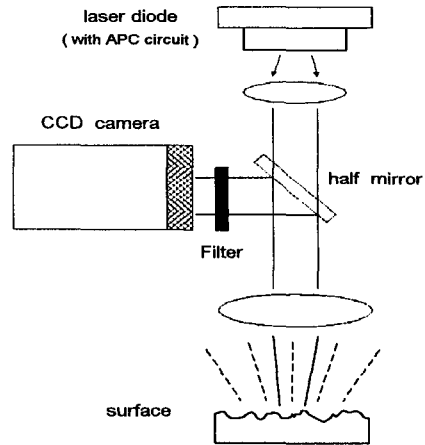


그림 2 광산란현상을 이용한 측정장치

### 2.2.2 실험 방법

거칠기 측정을 위한 본 연구에서의 실험장치는 그림 3과같이 크게 하드웨어적인 부분과 소프트웨어적인 부분으로 나누어질 수 있는데 차후 머시닝센터와같은 공작기계에 적용하기 위한 것이다.

우선 측정장치의 Z축의 수동조작을 하는 동시에 화상모니터를 보면서 측정시편의 조정으로 측정장치와 측정면과의 수직을 맞춘다.

다음 Z축을 구동하여 측정장치와 측정면 사이의 높이맞춤을 행한다. 높이맞춤을 행할때 CCD 카메라로부터의 화상데이터는 Image Grabber를 이용하여 PC로 읽어들이는데 이때 읽어들이는 화상은 높이맞춤을 하는데 이용된다.

높이맞춤 후에는 CCD 카메라로 받아들인 화상을 실험적으로 정반사영역과 난반사영역으로 나누어 이 두가지를 측정 매개변수로 한다. 그리고 거칠기의 판별은 비교용 표준시편으로 획득된 측정 매개변수의 데이터로 학습한 신경회로망을 이용하여 측정대상물의 거칠기를 구하게 된다.

진 시편의 임의의 한 점에 대해 30회 높이 맞춤시의 광강도의 변화를 나타내었다. 여러 출발점에 대해 거의 일정한 광강도를 가진 높이맞춤이 수행된 것을 알 수 있다.

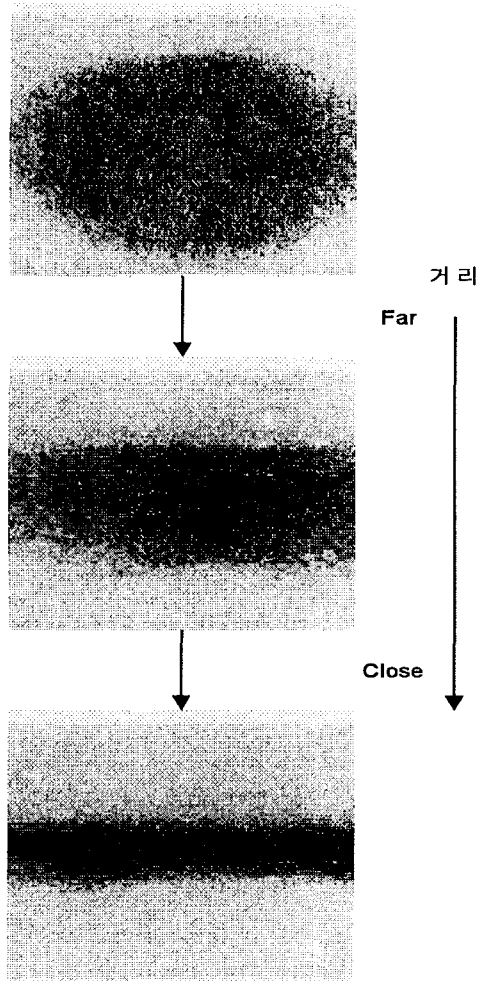


사진 1 높이에 따른 화상의 변화

● : specularly reflected region    ● : diffusely reflected region

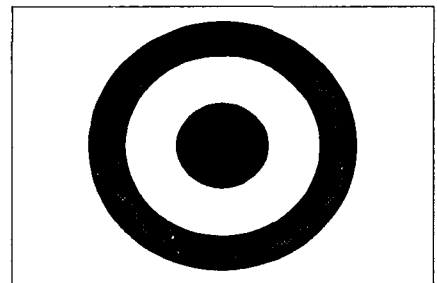


그림 4. 측정을 위한 정반사 및 난반사 영역

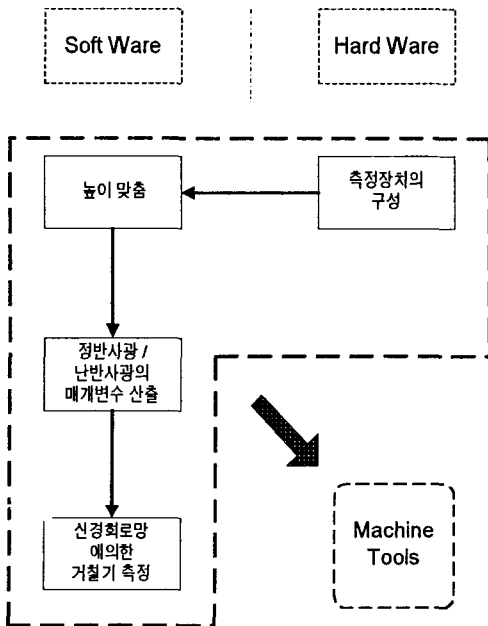


그림 3. 본 연구의 개요

### 2.3 거칠기 측정을 위한 매개변수의 산출

#### 2.3.1 템플레이트를 이용한 높이 맞춤

거칠기측정을 위해서는 다양한 거칠기의 측정면에 대하여 각각 일정거리를 유지할 필요가 있다. 여기서 CCD 카메라로부터 읽어들이는 높이에 따른 화상의 변화를 보면 사진 1과 같은데, 실험적으로 그림 4와 같이 정반사영역과 난반사영역으로 나누었다. (본 논문에서는 이러한 영역을 템플레이트라고 부른다.) 이러한 영역중에서 정반사영역의 광강도는 높이에 따라 그림 5와 같은 변화를 보인다. 따라서 Z축의 이송량을 점차로 작게하면서 상·하 교대로 이송하며 높이맞춤을 한다. 이 때 Z축의 이송량을 최대 4mm에서 최소 0.1mm로 하였다. 그림 6은 여러 거칠기를 가

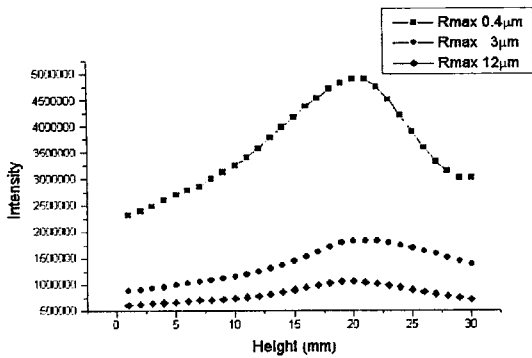


그림 5. 높이에따른 화상의 광강도의 변화

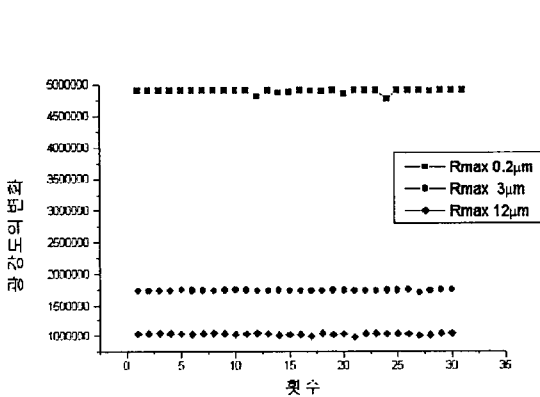


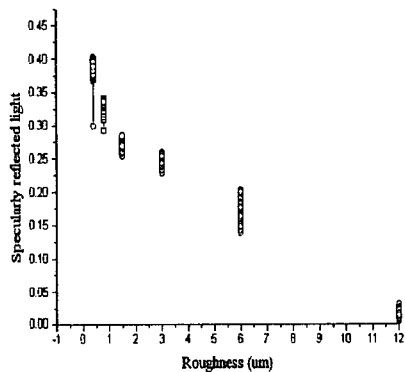
그림 6. 한점에대한 높이 맞춤의 변화

### 2.2.2 매개변수의 산출

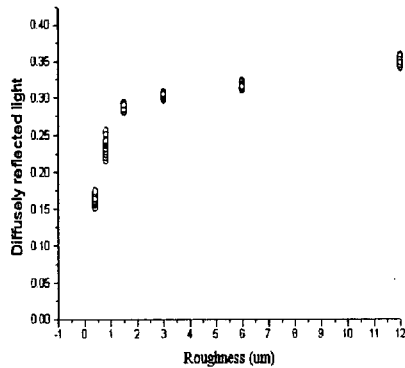
거칠기 측정을 위한 높이맞춤이 끝난 후에는 매개변수 산출을 위해 앞의 그림 4와같은 템플릿을 이용하였다. 반사된 산란광의 화상에서 산란영역의 설정은 실험적으로 정반사광은 반경이 80픽셀인 원의 영역으로하고 난반사광은 반경이 150픽셀인 원과 200픽셀인 원의 사이영역으로 하였다. 이 때 정반사 영역내의 광강도는 픽셀당 그레이값이 64이상인 값으로 하였다. 그리고 측정대상의 표면상태에따른 반시율의 영향을 받지 않도록 매개변수는 전체화상 즉, 반경이 200픽셀인 원 전체강도의 정반사 영역과 난반사 영역에대한 각각의 비로 하였다. 이러한 조건하에서 비교용 표면거칠기 표준시편에 대하여 측정실험을 하였다. 이 표준시편의 규격은 일본 규격인 JIS B 0659 시편이고, 이때 사용한 시편의 거칠기는  $R_{max}$ 로 각각 0.2, 0.4, 0.8, 1.5, 3.0, 6.0, 12.0 $\mu m$ 로 총7가지이다. 이 중 0.2 ~ 0.8 $\mu m$ 의 시편은 래핑가공면의 시편이고, 1.5 ~ 12.0 $\mu m$ 의 시편은 연삭가공면

의 시편이다.

그림 7. (a)(b)는 거칠기의 변화에따른 정반사 매개변수와 난반사 매개변수의 변화를 나타낸 것이다. 각각의 거칠기 시편마다 측정점을 바꾸어가며 100회씩 측정을 하였다. 매개변수값의 주 변동요인으로는 사용된 시편 표면의 굴곡때문이라고 생각된다. 그러나 표면거칠기가 거칠어질수록 정반사광의 매개변수값은 작아지고, 난반사광의 매개변수값은 커지는 경향을 잘 보이고 있다. 그리고 이 두가지 매개변수를 입력으로하고 거칠기를 출력으로하는 신경회로망에 적용하였다.



(a)



(b)

그림 7. 거칠기에따른 매개변수의 변화

### 2.4 신경회로망에의한 거칠기 측정

본 연구에 적용된 신경회로망의 학습방식은 감독형 학습방법(supervised learning)이고 학습법은 학습율과 수렴성이 좋은 오차역전파(Back Propagation

)를 이용하였다.

신경회로망의 구조를 보면 계층형 구조로 3개의 층 즉, 입력층(input layer), 은닉층(hidden layer), 출력층(out layer)로 구성되었다. 입력층(input layer)은 3개의 노드로 2개는 산란광의 매개변수이고 나머지 하나는 -1을 입력하여 각 뉴런의 바이어스를 주는 역할을 한다. 은닉층(hidden layer)은 두 개의 층으로 구성되며 노드 수는 각각 70개, 3개이며 신경회로망 내부의 정보를 정리하는 역할을 한다. 출력층(output layer)은 하나의 노드로 구성되어 처리가 일어난 후의 값 즉, 거칠기 값을 출력하도록 하였다. 그리고 각각의 노드의 출력은 -1에서 +1사이의 값을 출력하는 시그모이드 함수(sigmoid function)를 사용하고 출력노드만 선형출력 함수를 사용하였다.

그리고 학습시간의 단축을 위해 모멘트법을 이용하여 학습을 시킨후 거칠기측정에 적용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 실험내용

거칠기 측정을 일반화시키기위하여  $R_{max}$ 가 각각 0.2, 0.4, 0.8, 1.5, 3.0, 6.0, 12.0, 25.0 $\mu\text{m}$ 인 비교용 표준시편의 특정영역을 (日)Mitutoyo의 SV-400 거칠기 측정기를 이용하여 거칠기  $R_a$ 를 측정하였다. 따라서 그 값을 교시데이터로하고, 거칠기  $R_a$ 를 측정 한 영역의 정반사/난반사 매개변수를 구하여 신경회로망으로 학습시켰다. 이 때 학습한 신경회로망의 학습조건은 학습을 0.005, 모멘트 계수 0.02이고, 전체 시스템 오차는 0.001로 하였다. 그리고 학습된 가중치들은 별도의 파일로 저장하여 실제 거칠기 측정 시에 이용된다.

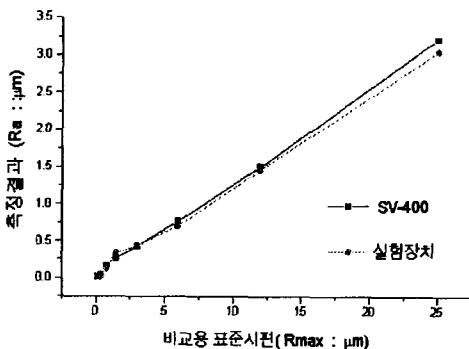


그림 8 표준시편의 측정결과

#### 3.2 측정 결과 및 고찰

그림 8은 학습데이터와 그 학습데이터를 획득한 비교용 표준시편의 측정결과이다. 그림과 같이  $R_a$  0.02에서 3.2 $\mu\text{m}$ 까지의 비교적 넓은 영역의 거칠기의 측정이 가능하였다. 최대오차는  $R_{max}$  25 $\mu\text{m}$  ( $R_a$  약 3.2 $\mu\text{m}$ )인 시편에서 약 0.17 $\mu\text{m}$ , 최소오차는  $R_{max}$  0.2 $\mu\text{m}$  ( $R_a$  약 0.02 $\mu\text{m}$ )인 시편에서 약 0.004 $\mu\text{m}$ 으로 비교적 양호한 결과값이 나왔다. 이러한 오차의 주원인은 측정부와 측정면과의 수직으로 맞추는 세팅오차라고 생각된다.

#### 4. 결론

1. 정반사영역과 난반사영역 2가지를 매개변수로서 하여 폭넓은 거칠기의 측정이 가능하였다.
2. 측정장치의 구조에서 입사각의 크기를 0으로하여 표면위치변동에 따른 반사광과 수광렌즈의 중심편차 ( $= 2h \sin \theta_i$ )의 영향을 줄였다.
3. 촉침식 거칠기 측정기(SV 400)와 비교할 때 양호한 결과를 얻을 수 있었다.
4. 다른 거칠기 측정 파라메터( $R_q$ ,  $R_z$  등)에대한 측정이 가능하리라 기대된다.

#### 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터의 지원에 의해 수행되었음.

#### 참고문헌

- [1] 홍성욱 외, "기상측정을 위한 광학적 표면 거칠기 측정센서 개발", 한국정밀공학회지, 제11권, 제6호, 1994.
- [2] 홍성욱 외, "산란광속측정에 의한 연삭가공 표면 거칠기 측정방법", 한국정밀공학회지, 제12권, 제4호, 1995.
- [3] I. Sherrington, E. H. Smith, "Modern Measurement Techniques In Surface Metrology: Part II; Optical Instruments", Wear, 125, 1988
- [4] Brian Griffiths, Russell Middleton, Bruce Wilkie, "Three-Dimensional Surface Measurement Using Light Scattering", Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol. 35, 1995