

이미지 프로세싱을 이용한 표면거칠기 인프로세스 측정에 관한 연구

소의열*

A Study on the In-process Measurement of Surface Roughness by Image processing

Eui-Yeori, So*

Abstract

A measuring system is developed to acquire static image from rotary state through CCD camera in back light illumination by synchronizing chopper to workpiece. In image processing of acquired image, lowpass filter is very useful in view of noise removal, and optimum binary image can be made through histogram equalization which is one of the histogram technique to maximize brightness intensity between workpiece and background. After image treatment applying Laplacian operator, surface roughness is calculated by introducing conversion coefficient of pixel which edge is composed of.

Key Words : Surface roughness(표면거칠기), Laplacian operator(라플라시안 연산자), Chopper(초퍼), Histogram equalization (히스토그램 평활화)

1. 서론

최근 고정밀 고성능화된 공작 기계로 가공물을 원하는 형상과 품질로 가공하기 위해서는 가공물의 상태에 따라 적절한 공구의 형태로 신속 정확하게 대처하여야 한다. 생산 라인의 자동화에 따른 생산성의 향상과 무인화의 추구는 현대 사회에서 필수적인 요소 중의 하나로 볼 수 있다⁽¹⁻⁵⁾. 기계 가공에 있어 가공 제품의 신뢰성을 향상시키고 또한 절삭 작업 진행 중에서 측정된 계측량을 체계화시켜 이 데이터가 활용될 수만 있다면 제품 관리나 생산 시스

템을 극대화시키고 자동화를 희망하는 생산기술에서 보다 높은 절삭 가공정보의 활용이 이루어 질 것으로 본다. 최근 반도체 및 컴퓨터 기술의 발달과 더불어 산업 현장에서는 각종 산업정보를 실시간으로 처리할 수 있는 하드웨어와 소프트웨어의 개발이 활발하게 진행되고 있다⁽⁶⁻⁸⁾.

가공면의 표면 거칠기 측정은 크게 두 가지로 대별할 수 있는데 그중 하나는 촉침을 이용한 접촉식 방법이고, 다른 하나는 비접촉식 방법이다. 기존의 접촉식 측정 방법은 신뢰성은 크지만 실시간 측정이 어렵고 또한 측정할 표면을 손상시키는 단점이 있다. 그러나 후자의 경우는

* 충청대학 기계설계과(sey22@ok.ac.kr)

측정할 표면을 손상시키는 일 없이 측정은 가능하지만 일반적으로 시스템 구성이 복잡하고 어려우며, 주변환경에 따른 잡음 등 외적인 인자에 영향을 많이 받는 것이 단점으로 되어 있다.

본 연구에서는 후광조명을 이용하여 가공물이 회전하고 있는 상태에서 포토 인터럽터(photo interrupter)를 이용하여 시험편의 회전수를 감지한 후 초퍼(chopper)의 회전수를 M.C.U.(Micro Controller Unit)에서 제어하여 가공물과 초퍼의 회전수를 동기시킴으로써, CCD 카메라를 이용하여 정지화 된 영상을 얻을 수 있는 방법을 개발하였다. 이렇게 해서 얻어진 영상으로부터 잡음을 제거하기 위해 저역 통과 필터를 이용하여 잡음의 영향을 감소 시켰다. 이때 필터링을 한 영상은 배경과 가공물 사이의 강도(intensity)값이 떨어지게 됨으로 가공물과 배경사이의 강도 값을 증가시키기 위해 히스토그램 평활화(histogram equalization)를 함으로서 영상 내에서의 에지 검출(edge detection)이 용이하도록 하였다. 또한 에지 검출에 있어서는 2차 미분치를 이용함으로써 가공물의 표면형상을 구성하는 영상을 만들었고, 이 영상을 해석하여 정량적인 값을 산출하고, 실제 접촉식 표면 거칠기 측정기에서 얻은 표면거칠기 값과 비교하였으며, 또한 이론적인 표면 거칠기 값을 각각 비교함으로써 표면거칠기를 가공중에 측정이 가능한 실시간 계측에 활용할 수 있는 측정기법을 마련하고자 하였다.

2. 관련이론

2.1 최대 높이 거칠기

Fig. 1에서와 같이 기준길이 내에서의 거칠기 곡선의 최저점으로부터 최고점까지 높이를 최대 높이 R_{max} 라 한다⁹⁾. 즉, $R_{max} = R_p + R_v$ (여기서, R_p : 거칠기 곡선의 단면에서 최대 산의 높이, R_v : 거칠기 곡선의 단면도에서 최

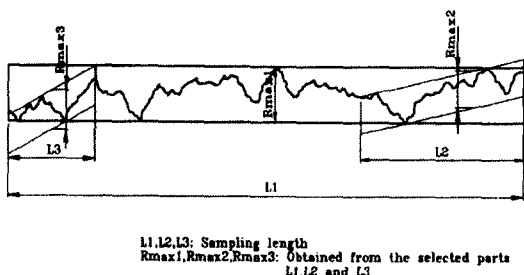


Fig. 1 Maximum height of the profile

Table 1 Standard length at maximum height

scale of maximum height		standard length (mm)
above	below	
	0.8 μm	0.25
0.8 μm	0.6 μm	0.8
6.3 μm	25 μm	0.5
25 μm	100 μm	8

대 골 깊이)의 식이 성립하며, R_{max} 를 구할 때는 중심선을 규정에 의해 결정하지 않고 임의의 기준선을 선정해서 구할 수가 있기 때문에 R_{max} 는 비교적 많이 쓰이는 파라미터이다. 단위는 μm 로 표시하며, Table 1에 R_{max} 를 구할 때의, 기준 길이에 대한 표준 값을 나타내고 있다. 그러나 여러 가지 새로운 고정밀 측정 방법이 도입되고, 고품질의 제품요구가 증가함에 따라 실제로 측정에서의 기준길이는 Table 1의 값을 훨씬 초과시켜서 측정되는 경우가 많다.

2.2 중심선 평균 거칠기

Fig. 2와 같이 R_a 는 중심선(거칠기 곡선의 단면도에서 산을 형성하는 부분의 넓이의 총합과 골을 형성하는 부분의 넓이의 총합이 같은선)평균거칠기를 나타내며 CLA (Center Line Average), AA (Arithmetic Average)로도 표기된다.

R_a 는 한 기준 길이 내의 산의 높이와 골의 깊이를 기준선을 중심으로 평균하여 얻어지는 값인데 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_0^n |y_i|$$

$$= \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \tag{1}$$

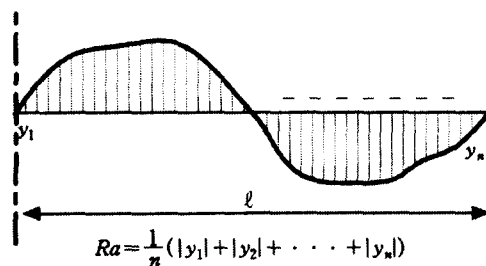


Fig. 2 Center line average of the profile

여기서, n 은 기준길이내의 측정점의 총수이며, y_i 는 측정값이다.

2.3 재검급 평균높이

중심선(center line)에서 단면 곡선까지의 높이를 y_1, y_2, \dots, y_n 이라 하면 다음과 같다.

$$RMS = \sqrt{\frac{y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2}{n}} \quad (2)$$

2.4 영상 처리 시스템의 기본 구성

영상 처리 시스템은 Fig. 3에서와 같이 입력된 영상을 표본화, 정량화 하여 그 특성에 알맞는 처리를 거쳐 출력부에 나타나게 된다. 이러한 각 처리 과정은 다음과 같이 설명할 수 있다⁽¹⁰⁾.

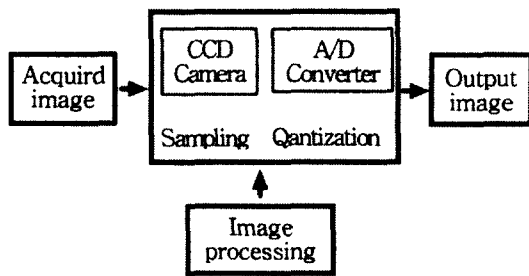


Fig. 3 Digital image processing

(1) 획득 영상(acquired image)

영상을 획득하기 위해서 시스템에 알맞는 광학계를 구성하는 것이 중요하다. 이러한 광학계에서는 특히 광원이 큰 영향을 미치는데, 자연광이 가장 좋은 광원이거나 이는 지속적이지 못하고, 분포가 고르지 못하며, 응용이 어려우므로 사용할 수 없다. 따라서 보통 많이 쓰이는 광원으로는 할로겐 램프가 있으나, 최근에는 레이저의 사용도 점차 증가하고 있다. 이 레이저의 장점은 회절 한계까지 광점을 작게 할 수 있으며 분해능을 향상시킬 수도 있고 또한, 휘도를 높게 농담의 변조 주파수를 수 MHz 이상으로 높일 수 있으므로 주사속도도 대폭적으로 개선할 수가 있다.

(2) 표본화와 정량화

구성된 광학계를 이용하여 CCD 카메라를 통해 얻어지는 영상은 제일 먼저 표본화를 거치는데 표본화란 반사광을 CCD 카메라로 검출하여 전기신호로 바꾸는 것을 의미하며, 이것을 다시 A/D 변환기에 의하여 디지털화 하는 것을 정량화라 한다. 즉, 영상을 2차원 변수 $f(x, y)$ 로 표시한다면, 공간좌표 (x, y) 는 표본화라 할 수 있고, 그 점에서의 농도, 투과율 등의 특성치를 나타내는 f 를 정량화라 할 수 있다⁽¹¹⁾.

3. 실험 장치 및 시편 제작

3.1 동영상 획득 장치

커터와 같은 회전하는 공구를 사용하는 밀링 가공에서나 가공물을 회전시키는 선반 가공 등에서 회전하는 물체를 정지시키지 않고, 가공면의 상태나 기타 절삭성에 미치는 인자 등에 대한 측정이 가능하다면, 보다 경제적이고 능률적인 정밀가공이 된다. 본 실험에서는 회전하고 있는 가공물의 표면상태를 측정하기 위하여 스트로보스코프(stroboscope)의 원리를 이용하였다. 장착된 시험편을 회전시키는 마스터모터(master motor)와 같은 회전수로 회전하도록 슬라브 모터(slave motor)를 동기시키고, 시험편 표면에 He-Ne 레이저를 주사하였다. 이때 양질의 광을 얻기 위하여 공간 필터를 통과시키고, 또한 회절현상을 감소시키기 위하여 설계 제작한 나이프 에지로 빛을 절단하였다. 그리고 시편을 가운데 두고 CCD 카메라를 빛을 주사하는 레이저의 반대편에 설치하여 시편의 음영이 형성되도록 하였다. 본 실험을 위하여 제작한 동영상 획득 장치의 구성은 Fig. 4와 같다.

(1) 모터 구동 장치

본 실험에서 사용된 모터는 전압 9V에서 작동되는 대만제 모터를 사용하였으며 슬릿에 대칭으로 홈을 가공하여 무게의 평형을 맞추었다. 한쪽 홈에는 테이프를 부착시켜 시험편을 장착한 모터의 슬릿이 1회전할 때마다 한번씩 투과형 포토 인터럽터에서 신호를 감지하고 MCU에서 초퍼 구동 모터가 동기되도록 계속 비교하였으며 마스터 모터의 회전속도와 같아질 때까지 추종할 수 있도록 어셈블러(assembler)로 프로그램 하였다. Fig. 5는 시험편과 초퍼의 설치를 위하여 설계 제작한 각 부품의 형상 치수를 나타내고 있다

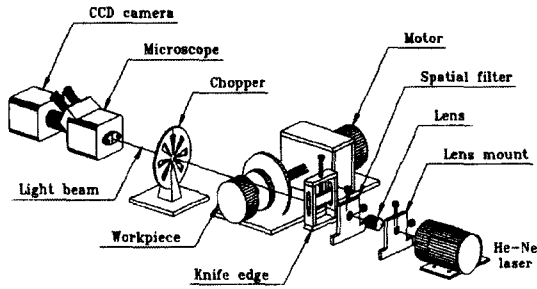


Fig. 4 Schematic diagram of optics for dynamic image

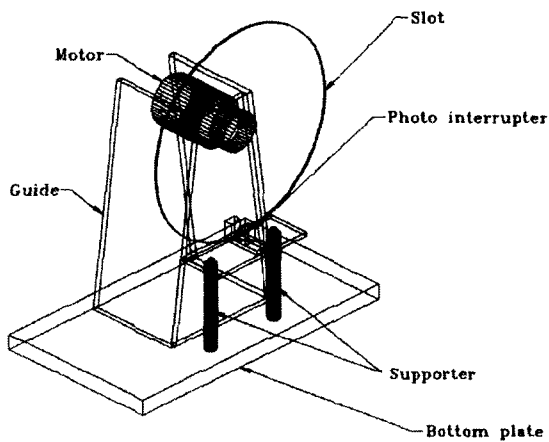


Fig. 5 Assembly drawing of rotary equipment

(2) 시험편 홀더 제작

STS 304재를 Fig. 6의 공구를 이용하여, 선정된 절삭조건으로 가공한 시험편의 가공면 표면 거칠기를 측정하기 위해 모터 축에 고정할 수 있는 홀더는 Fig. 7에서와 같이 직경 2.3mm의 구멍을 뚫어 모터 축에 끼운 다음 90° 위상으로 4곳에 탭 작업을 하여 볼트로 고정시켰다.

이때 측정할 시험편을 자유롭게 교체할 수 있도록 반대편 축에 9mm의 구멍을 뚫어 탭핑한 다음 플랜지와 시험편 및 와셔 등으로 일체화하여 바깥쪽에서 나사를 조이면 엔코더 슬릿과 시험편이 동시에 조여질 수 있도록 설계 제작하였다.

3.2 실험 방법

실험은 두 가지 경우로 선정하였는데, 첫째는 측정할

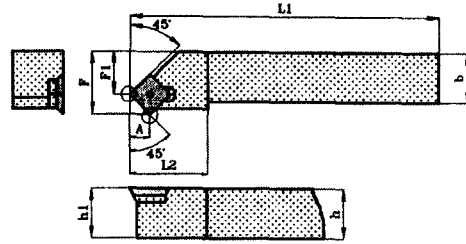


Fig. 6 Tool holder and tip

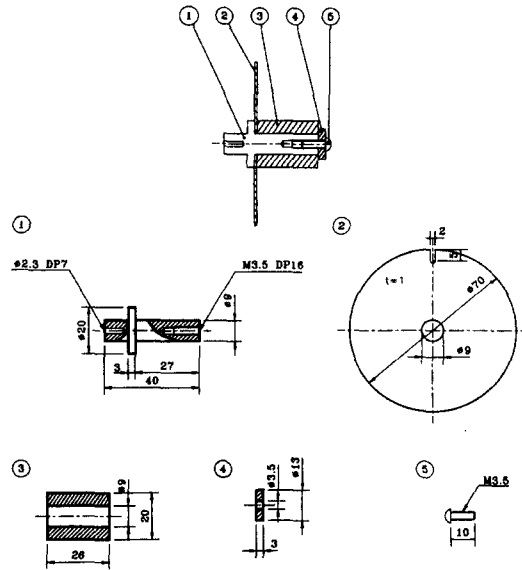


Fig. 7 Testpiece holder and encoder slot

시험편을 회전시키지 않고 가공면의 표면 거칠기를 측정하는 실험으로, 측정할 시험편을 광학 테이블 위에 고정시켜서 영상을 획득하였다. 이와 같은 정지상태의 실험을 위한 시험편은 절삭속도와 절삭깊이를 일정하게 선정하고, 이송량을 6단계로 변화시킨 절삭조건으로 가공한 가공면의 표면 거칠기를 측정할 때, 조건에 따라 각각 200배의 배율로 영상을 획득하고, Fig. 8과 같은 알고리즘을 적용하여 획득된 영상을 처리하고 계산하였다. 또한 이와 같은 실험에서 얻어진 결과와 같은 시험편을 축척식 표면 거칠기 측정기로 측정된 값과 비교하였고, 이론적 표면 거칠기식으로 계산한 결과 값과도 비교하였다.

둘째로는 본 실험을 위해 설계 제작한 동기화 시스템을 이용하여 절삭속도를 900rpm, 절삭깊이를 0.2mm로 선정

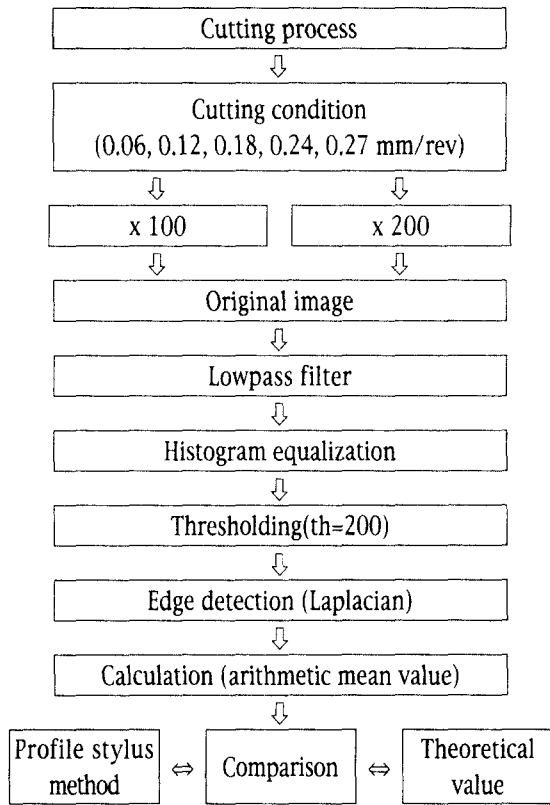


Fig. 8 Image processing of surface roughness measurement.

하고 이송량을 각각 0.06, 0.12, 0.18, 0.24, 0.27mm/rev으로 변화시킨 절삭조건에 의해 제작한 시험편에 대하여 각각 300, 600, 900, 1200, 1500rpm으로 회전수를 변화시켜 배율 200배의 영상을 획득하였다. 이와 같이 얻어진 영상을 Fig. 8과 같은 방법으로 처리하여 결과를 얻었으며, 여기에서 얻어진 값은 축척식 표면 거칠기 측정기로 측정된 값과 이론적으로 해석한 표면 거칠기 식으로 계산한 결과와 비교하였다.

4. 동영상에서의 표면 거칠기 측정

4.1 개요

기존의 축척식 표면 거칠기 측정기로 측정하는 방법은 반드시 접촉을 하여야 하므로 회전하는 가공물의 표면을 계측한다는 것은 사실상 불가능하다. 그러므로 이와 같은 측정기를 활용할 때는 측정하고자 하는 가공물을 정지시

키고 계측기에 설치하던가 혹은 측정기를 가공물로 옮겨 놓고 측정하는 것이 일반적인 방법이다.

따라서 본 논문에서는 회전하는 가공물을 정지시키지 않고 가공면의 표면을 절삭한 후 바로 측정할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 스트로보스코프의 원리를 이용하여 공작 기계의 주축 회전수를 추적하는 초퍼를 측정할 대상물의 회전수와 동기시켜 정지화 된 상을 얻게 한 후, 영상 처리 기법을 활용하여 영상 정보를 정량적인 값으로 얻고자 한다.

4.2 동기화모듈(synchronizing module)

마스터 모터와 슬래브 모터의 속도 동기화를 위한 시스템 구성도는 Fig. 9와 같다. Fig. 9의 시스템에서 주요 구성 부분으로는 마스터 모터 및 슬래브 모터이고 두 모터의 속도 동기화의 계산에 이용되는 M.C.U.와 계산된 디지털량을 아날로그량으로 변화시켜 주고 증폭시켜 주는 D/A 변환기, OP-amp unit 그리고 슬래브 모터를 구동시킬 수 있는 신호로 증폭시켜 주는 동력 구동 장치 (power driver unit) 등으로 구성된다. 한편, 마스터 모터와 슬래브 모터의 속도 동기화 과정을 설명하면 다음과 같다. 먼저 마스터 모터의 속도 설정 및 슬래브 모터의 추종 기준 속도는 M.C.U.의 외부 인터럽터로 입력되며, 포토인터럽터를 통하여 속도가 설정된다.

이 경우 외부 인터럽터는 내부 타이머와 연관되어 외부 인터럽터의 간격이 타이머로 측정이 된다. 이때 시간은 1분당 회전수를 기준으로 식 (3)을 이용하여 환산된다. 식 (3)을 이용하여 마스터 모터와 슬래브 모터의 속도가 동시에 측정된다.

$$A = 60 / T \tag{3}$$

여기서, A : rpm, T : time/pulse

설정된 속도는 7 세그먼트 LED를 통하여 숫자로 표시되며, 슬래브 모터의 추종 상태를 확인할 수 있다. 본 연구의 경우 마스터 모터의 설정 속도는 300 ~ 2000rpm으로 선정하였으며, 슬래브 모터는 약 800rpm에서 추종을 시작하도록 하였다. 이 신호는 OP-amp를 거쳐서 전류 신호가 전압 신호로 변환 증폭되고, 동력 구동 장치의 전력용 트랜지스터로 보내지게 되며, 최종적으로 슬래브 모터의 구동원으로 동작되어 속도를 마스터 모터에 가까워지도록 추종하게 된다. 이러한 과정이 짧은 시간 동안에 수시로 반복되어 최종적으로 마스터 모터의 속도와 슬래브 모터

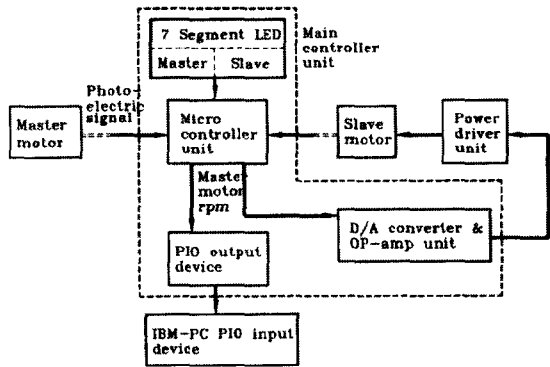


Fig. 9 System schematic diagram of synchronization

의 속도는 같아지게 되어 동기하게 된다.

4.3 동영상에서의 표면 거칠기의 측정

STS 304 재료를 노즈반경이 0.4mm인 KT 200 초경 합금 공구를 이용하여 절삭깊이를 0.2mm, 회전수를 900rpm 선정하고 이송량을 각각 0.06, 0.12, 0.18, 0.24, 0.27mm/rev으로 변화시켜서 시험편을 제작하고, 각 시험편의 가공면을 본 실험을 위해 설계 제작한 실험 장치의 CCD 카메라에서 동영상을 획득하고 이를 영상 처리 기법으로 처리하여 얻은 표면 거칠기 값과, 공구의 노즈 반경과 이송량에 따른 이론 표면 거칠기 식으로 산출한 표면 거칠기 값과, 측정식 거칠기 측정기로 측정한 표면 거칠기 값의 결과를 이송량 변화에 따른 변화 관계로 도시하면 Fig. 10, Fig. 11과 같다.

Fig. 10, Fig. 11은 절삭 깊이를 0.2mm, 회전수를 각각 900rpm, 1200rpm으로 선정하고 이송량을 0.06, 0.12, 0.18, 0.24, 0.27mm/rev으로 각각 변화시켰을 때의 시험편의 가공 면을 측정식 거칠기 측정기로 측정한 최대 높이 표면 거칠기 및 이론적 표면 거칠기 식으로 계산한 최대 높이 표면 거칠기와, 시험편을 회전시켜서 CCD 카메라로 동영상을 획득하고 영상 처리 방법을 적용시켜 측정한 최대 높이 표면 거칠기 값을 동영상 획득에서 적용시킨 각각 300, 600, 900, 1200, 1500rpm별로 이송량 변화에 따른 표면 거칠기의 변화 관계를 도시한 그림이다.

그림에서와 같이 선정된 각 회전수를 적용시킨 후 동영상 처리를 통하여 최대 높이 거칠기 값을 측정식 거칠기 측정기로 측정된 값과 이론 거칠기 식으로 계산한 값보다 일률적으로 차이를 갖는 약간 큰 값을 형성하고 있으나,

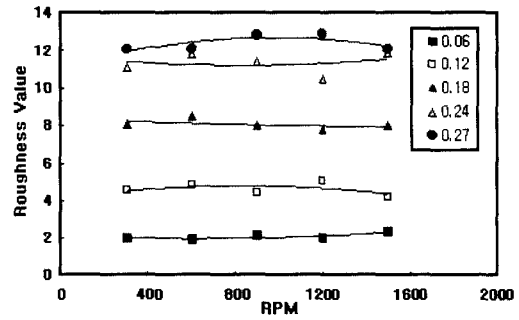


Fig. 10 Surface roughness value(R_{max}) for various feed rates

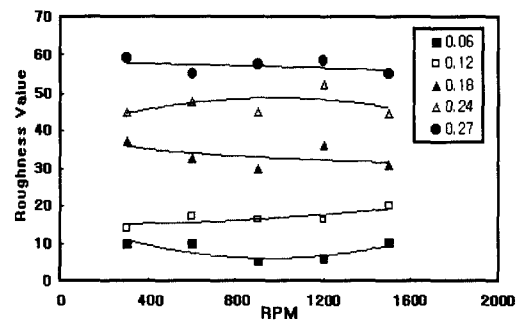


Fig. 11 Surface roughness value(R_{max}) for various feed rates

이송량 변화에 따른 표면 거칠기의 변화 경향은 같은 양상을 나타내고 있다.

Fig. 12는 정지상태의 영상과 300rpm으로 회전할 때 동기시켜 얻은 영상을 나타낸 것이며, Fig. 13에 각각의 rpm 대별로 동기시킨 영상을 나타내었다. 그리고 Fig. 14~Fig. 17은 300rpm대의 영상을 영상처리 알고리즘을 이용하여 처리한 영상이다.

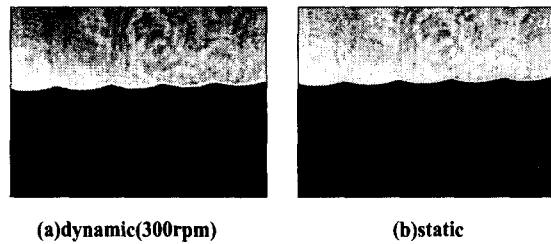


Fig. 12 Comparison between dynamic image and static image (feed : 0.24mm/rev)

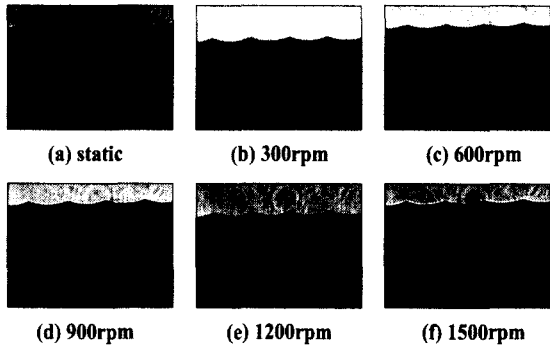


Fig. 13 acquired image for various speeds (feed : 0.12 mm/rev)

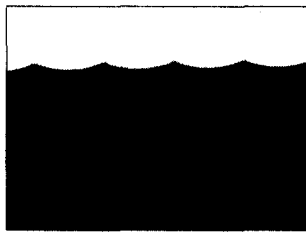


Fig. 14 Aquired image (300 rpm)

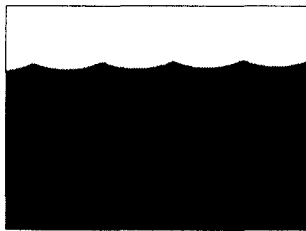


Fig. 15 Lowpass filtering image

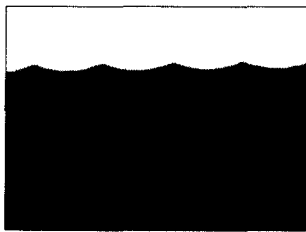


Fig. 16 Equalization image

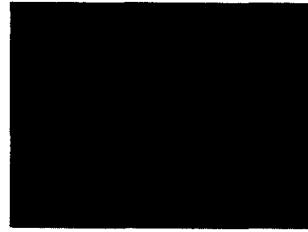


Fig. 17 Edge detection image

본 실험에서 얻어진 표면 거칠기의 차이는 영상 처리 과정에서의 픽셀의 크기에 따른 오차와 회전체의 미소 편심에 따른 오차의 영향에서 온 결과로 볼 수가 있다. 이와 같은 오차 요인을 완전하게 보완한다면 회전하고 있는 가공물의 표면을 영상 처리 방법에 의해 인프로세스 측정이 가능할 것으로 사료된다.

5. 결 론

선정한 절삭조건으로 가공한 시험편을 회전시킨 상태에서 표면 거칠기를 측정하기 위하여 스트로보스코프의 원리를 이용하여 시편을 회전시키는 마스터 모터와 엔코더 방식을 적용시켜서 같은 회전수로 회전하도록 제작된 슬래브 모터를 동기케 하고, 30mW의 He-Ne 레이저를 주사하였다. 이때 렌즈의 오염 등에 의한 잡음을 제거하기 위하여 공간 필터를 사용하였고, 회절 현상에 나타나는 빛의 중첩 현상을 줄이기 위해 나이프 에지를 설계 제작하여 빛을 절단하였다. 또한 시험편을 레이저 광원과 CCD 카메라 사이에 두어서 시편의 음영에서 얻어지는 후광 조명을 이용하였으며, CCD 카메라 앞에 현미경을 장치하여 원영상을 200배 확대시킨 정지화 된 영상을 얻을 수가 있었다.

이와 같이 획득한 동영상상을 영상 처리 과정을 적용시켜 저역 통과 필터, 히스토그램 평활화, 쓰레숄딩 과 라플라시안 처리를 거쳐 나사산의 높이를 정확하게 이미지 프로세싱으로 구할 수 있음을 확인하였다.

다음으로 공구인선의 노즈 반경이 0.4mm인 KT 200 초경합금 공구로 STS 304재를 절삭깊이 0.2mm, 회전수 900rpm으로 선정하고 이송량을 각각 0.06, 0.12, 0.18, 0.24 그리고 0.27mm/rev으로 변화시켜서 가공한 시험편을 각각 300, 600, 900, 1200, 1500rpm으로 회전시킨 상태에서 가공 면의 가공표면을 동영상상으로 획득하고 이미지 프로세싱 기법을 적용하여 표면거칠기의 정량적인 값을

구하였다.

이와 같이 구한 표면거칠기와 이론거칠기식으로 계산한 값과 측정식 거칠기 측정기로 측정된 표면 거칠기를 비교하고, 그 결과를 정리 요약하면 다음과 같다.

- (1) 시험편을 회전시키는 마스터 모터와 초퍼를 회전시키는 슬래브 모터를 동기 시키는 알고리즘을 개발하여 동영상과 정영상과 같이 획득할 수가 있었다.
- (2) 본 연구를 위해 개발한 시스템으로 실제 작업 과정과 같은 회전 상태에서 인프로세스 측정이 가능함을 확인 할 수가 있었다.
- (3) 본 연구를 통하여 회전하는 물체도 정지 상을 획득할 수 있었으므로 회전하는 물체나 회전 공구 등의 관측이나 고찰 등에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.
- (4) 본 시스템을 적용한 측정에서는 채터나 진동 등에 영향을 받지 않은 것으로 계속된다.
- (5) 시편과 초퍼가 일단 동기되면 측정물의 회전수 변화에서 오는 표면 거칠기의 측정에는 거의 영향을 받지 않는다.

후 기

본 연구는 충청대학 연구비지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) S.Vajpayee, "Analytical Study of Surface Roughness in Turning", WEAR, Vol.70, 1981, pp. 165~175.
- (2) K.Masuda, "Some Observations of the Surface Roughness of Mild Steel Finished by Turning" JSME, Vol.13, No.57, 1970, pp. 462~473.
- (3) J.Wallbank, "Surface Generated in Single -point Turning", Vol.56, 1979, pp. 391~407.
- (4) T.Sata, "Analysis of Surface Roughness Generation in Turning Operation and its Applications", CIRP, vol. 34, No.1, 1985, pp. 473~476
- (5) T.Tsukizoe, T.Hisakado and M.Hasegawa, "On the Generating Mechanism of Surface Roughness", JSME, Vol.16, No.92, feb. 1973.
- (6) S.K.Dontanselt and G.W.Fisher, "Factors Affecting

Surface Roughness in Finish Turn- ing of Gray Cast Iron", Adv. Materials & Manufacturing Process, Vol.3, No.4, 1988, pp. 689~725.

- (7) J.F.Kables and W.P.Koster, "Surface Finish and Surface Integrity", Metals Handbook, Ninth Edition, Vol.16, 1989, pp. 19~36
- (8) 김광래, "홀로그래픽 간섭법을 이용한 진동 모드의 계측에 관한", 한국공작기계학회 논문지, 제9권, 제3호, 2000, pp. 130~135.
- (9) P.H.Nowforth, J.Jelinek and Z.P.Jin, "An Appropriate Representation for Early Vision", Pattern Recognition, Vol.5, No.2, 1987, pp. 175~182.
- (10) S. Thomas, "Image Processing", Proceeding of the IEEE, Vol.59, No.11, November, 1971, pp.1586~1609.
- (11) R.C.Gonzalez and R. Safabakhsh, "Computer Vision Techniques for Industrial Application", Computer, Vol15, No.12, 1982.
- (12) R.C.Gonzalez, R.E.Wood and W.T.Swain, "Digital Image Processing: An Introduction", Digital Design, Vol.16, No.4, 1986.