

광섬유 센서를 이용한 휴대용 비접촉 표면거칠기 측정기 개발 Development of the Surface Roughness Measurement Device in Non contact using Optical Fiber Sensor

*정형영¹, 이현석¹, 곽양양¹, #홍준희²

*H. Y. Jeong¹, H. S. Lee¹, Y. Y. Guo¹, #J. H. Hong³ (hongjh@cnu.ac.kr)

¹충남대학교 기계공학과, ²충남대학교 BK21 메카트로닉스 사업단

Key words : Optical fiber, Surface Roughness, Non Contact, Concentric type

1. 서론

표면거칠기 측정은 정밀부품의 정상적인 기능 수행여부에 대하여 중요한 역할을 하고, 고성능 고부가가치 제품에 필요한 정밀 부품에 대한 표면의 정밀성 보증을 위해 반드시 필요하다. 특히 표면거칠기는 값에 따라서 기계적 접촉이나 구동요소의 마모, 표면의 강성 및 제품의 품질과 두 표면 사이의 미소간격 유지 등에 영향을 미치는 척도로 사용된다. 현재는 일반적으로 다이아몬드 촉침 장치로 된 측정기와 레이저를 이용한 비접촉 측정장비가 현장에서 널리 사용되고 있다. 다이아몬드 측정장비는 측정 속도가 일반적으로 느리고 공작물의 표면에 흠집으로 인한 측정오차가 발생한다. 또한 공작물의 형태 등에도 측정에 따른 많은 문제점이 따르고 있는 실정이다.¹ 레이저를 이용한 비접촉 측정 장치는 공작물의 표면에 흠이 없이 레이저 반사광을 이용하여 공작물의 표면거칠기를 측정하기 때문에 수mm까지도 측정을 할 수 있으나 가격이 고가이다.

실시간 측정이 가능한 인프로세스(In-process)계측으로², 급속히 진전되고 있는 FMS, CIM 등에 이용되어, 무인자동화의 정밀사업에 사용하기 위해서는 비접촉 및 고속 측정이 가능하고 간단히 설치할 수 있는 저가형, 소형 측정 장비가 필요하다.

2. 광섬유센서의 변위측정 원리

급속 가공면으로부터의 반사광에는 정반사외에 가공면 표면 거칠기에 의해 발생하는 확산 반사광이 있다. 가공면 표면 거칠기가 작게 되면 확산 반사광은 작게 되고 완전한 경면으로부터의 반사광은 정반사만이 되고 그의 측정 대상체의 재질에 따라 정해지는 반사율로 광택이 표현되게 된다. 단일모드 광섬유로부터 조사된 표면에서 거리에 따라 반사되는 광의 조도곡선은 Fig. 1 과 같이 사다리꼴 형태로 나타낼 수 있으며 이 때 반사광은 입사 광량과 반사면의 표면 거칠기에 큰 영향을 받는다.^{3,4}

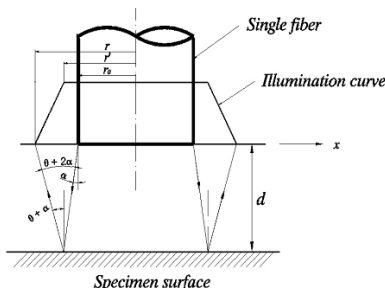


Fig. 1 Illumination curve of single fiber

Fig. 1 에서 반사면으로부터의 반사광 조도 I_o 는 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$I_o = \frac{3\rho r^2}{r^2 + rr' + r'^2} E_0 \quad (1)$$

여기서, r' 와 r 은 식 (2) 및 식 (3)와 같다.

$$r' = r_o + d \tan \alpha \quad (2)$$

$$r = r' + d \tan(\alpha + \theta) \quad (3)$$

열림각 α 로 입사한 광선은 시편에서 $2\alpha + \theta$ 의 각도로 반사하므로 식 (3)에서 거리 d 를 일정하게 하면 표면거칠기에 따라 변하는 반사 한계각 θ 의 변화에 따라 r 및 r' 값이 결정되므로 식 (1)의 반사광 조도가 결정된다. 여기서 열림각 α 는 광섬유에 따라 정해지는 일정한 값이고, 거리 d 또한 일정하게 유지시키면 표면의 거칠기에 따라 변하는 θ 만이 변수로 남게 되므로 θ 에 따른 표면의 반사광 조도를 구할 수 있으며 따라서 θ 와 반사광 조도 I_o 를 일대일 대응시킴으로써 표면조도를 구할 수 있다.

3. 실험장치 설계 및 제작

3.1 센서 프로브의 설계 및 제작

우선 측정 거리를 어느 정도 일정하게 하면 가장 좋은 센싱 출력을 얻을 수 있는지를 실험하였다. 그 결과 7mm에서 가장 좋은 출력을 얻었으므로 측정 거리를 7mm로 선정하였다. 광섬유 변위센서는 Fig. 2와 같은 동심형으로 중앙에 투광부로 외경이 125 μ m인 단일모드(Single Mode)광섬유를 사용하고 투광부 주위를 360° 둘러싼 외경 0.25mm의 수광부 광섬유 19개로 구성된 형태이다.

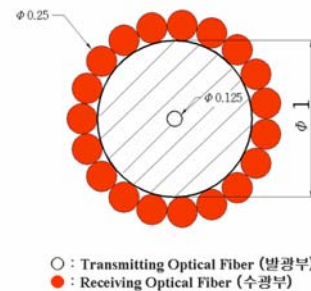


Fig. 2 Section of optical fiber sensor

또한 광섬유 센서의 취약점인 진동문제를 최소화하고, 측정대상물이 센서 단면에 수직하게 빛이 조사되도록 보조 치구와 일정한 간격으로 변위를 유지할 수 있도록 Fig. 2 와 같이 프로브 제작을 하였다.

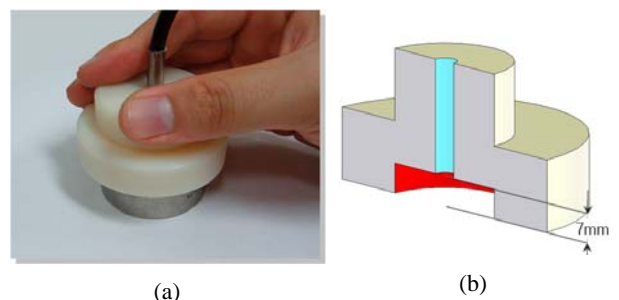


Fig.3 The sensor probe which is planned

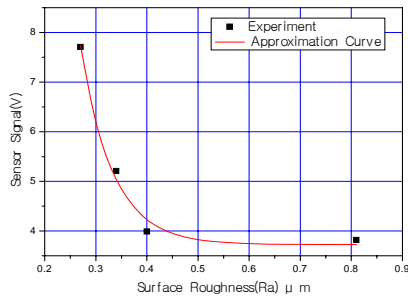
3.2 표면거칠기 시편제작

표면거칠기 시편 재료로는 일반적으로 절삭에 많이 사용되고 있는 고탄소강(SM45C), 스테인리스 강(STS303), 알루미늄(AL6061)을 사용하였다. 평면의 표면거칠기 측정용 목적으로 하고 공구가 $\phi 100\text{mm}$ 인 3날 cutter를 사용하여 밀링가공을 한 시편을 제작하였다. 또한 절삭깊이는 0.5mm, 이송속도는 일정하게 유지하면서 절삭속도를 변경하여 4가지 조건으로 하였다. 시편의 표면 조도데이터는 한국기초과학지원연구원(K.B.S.I)의 비접촉 3차원표면형상측정기(WYKO NT-2000 장비를 이용하여 측정하고 검증 데이터로 하였다.

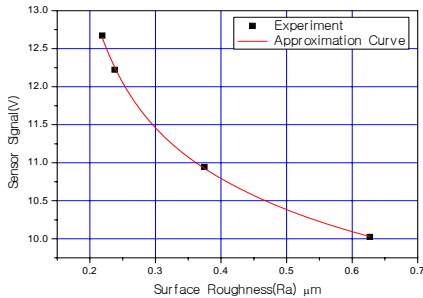
4. 표면조도와 센서 출력의 상관관계

표면조도는 일반적으로 이송방향으로 평가되어진다. 가공면의 거칠기에 영향을 미치는 인자로서 가공속도, 이송, 절삭깊이, 절삭공구의 재질 및 공구선단의 노즈(nose)형태와 그의 여러 인자가 있으며 가공면의 거칠기를 측정하는 방법에는 원주방향으로 하는 방법과 이송방향으로 측정하는 방법이 있는데, 본 실험에서는 이송방향의 Ra값에 관하여 측정하고자 한다.

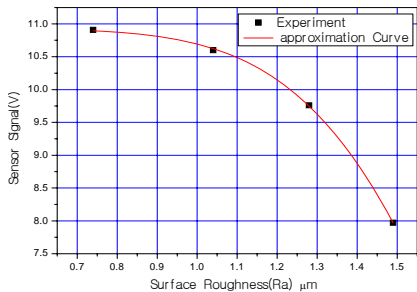
x축은 Ra로 한국기초과학지원연구원(K.B.S.I)의 3차원 표면형상을, y축은 광섬유 센서의 출력값(V)이다.



(a) SM45C



(b) STS303



(c) Al6061

Fig. 4 The approximation curve

Fig. 4 에서 4개의 점은 앞에서 3개의 시편에 대해 광섬유 변위센서로 측정된 결과를 나타낸 것이다. 3가지 시편 가운데 SM45C와 STS303에서는 Hiraguchi⁵ 등이 주장한 것처럼 지수함수적으로 나타나는 특징을 보였지만, Al 6061의 경우는 가우시안 분포로 나타나는 특징을 보이고 있다. 이러한 특징을 근사식으로 표현한 식은 다음과 같다.

$$x = -0.063 \ln(-0.013 + 0.003y) \quad (a)$$

$$x = -0.172 \ln(-0.965 + 0.099y) \quad (b)$$

$$x = 1.557 + (2 \times -9.752/\pi) \times [0.955/\{4 \times (y - 12.179)^2 + 0.955^2\}] \quad (c)$$

y : 광섬유센서의 출력값(V)

x : 표면거칠기 측정값(Ra; μm)

근사표면조도식을 검증하기 위하여 시편의 표면조도와 다른 3가지 재료를 임의 가공하여 시험하였다.

본 연구에서 제작한 광프로브를 이용하여 측정된 표면조도 값을 한국기초과학지원연구원(K.B.S.I)에서 3차원 표면형상측정기를 이용하여 구한 표면조도 값과 비교하여 Table 1에서 나타내었다. 오차가 소수점 둘째자리이하로 본 연구에서 실제 제작한 센서로 측정된 표면조도 식이 충분히 유효한 것을 알 수 있다.

Table 1 comparison data of surface roughness

unit : μm	X_m	X_s	error
SM45C	0.29	0.27	0.02
	0.39	0.34	0.05
	0.40	0.47	0.07
STS303	0.26	0.33	0.07
	0.59	0.49	0.10
	0.62	0.57	0.05
AL6061	1.29	1.23	0.06
	1.16	1.15	0.01
	1.17	1.24	0.07

X_m : The data measured by optical fiber sensor

X_s : Measured values by WYKO-NT2000 surface roughness

5. 결론

본 연구는 취급이 간단한 광섬유센서를 이용한 휴대용 비접촉 표면거칠기 측정기를 개발하고 실험 검증한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 고탄소강(SM45C), 스테인리스(STS303) 및 알루미늄(AL60Type)에 의한 표면조도와 센서출력 전압과의 근사식을 유도하여 재료에 따른 표면조도와 센서출력의 상관관계로부터 근사 표면조도식을 얻어내었다.
- (2) 임의 가공된 시료를 통한 표면조도 측정을 통해 근사표면조도식이 유효함을 보였고 실제 제작한 광섬유센서의 유용성 또한 입증하였다.

본 연구에서는 실제 제작한 광섬유 센서를 이용한 휴대용 표면거칠기 측정의 가능성을 파악하였으나 앞으로 보다 광범위한 실험조건을 통해 더욱 광범위한 측정이 가능하도록 할 필요가 있다.

참고문헌

1. Han, B.S. Lee, S.Y., "A Study of the Roughness Measurement in Non contact using Laser", Hanbat Univ. a collection of learned papers Vol.9 No.2, 1992.
2. Yoriaki Inoue, "광섬유에 의한 연삭 마무리면 거칠기의 In-Process 측정", 일본기계학회논문집 Vol.47, No.424, 1987
3. 박찬규., "A study on the high resolution optical fiber displacement sensor for magnetic bearing control", 충남대학교 석사학위 논문. Master, 2005.
4. 김동훈., "Sensor Engineering", 태훈출판사, pp. 305~307, 2001
5. Hiraguchi, "절삭 마무리면 거칠기의 In-Process 측정에 관한 연구", 일본기계학회논문집 Vol.43, No.374, 1983