

◆ 특집 ◆ 직선·회전모터 구동 이송·회전체 연구 III

표면거칠기측정에 대한 측정불확도 추정방법

Verification on the Measurement Uncertainty for Surface Roughness

김창순^{1,✉}, 박민원²
Chang Soon Kim^{1,✉} and Min Won Park²

¹ 창원대학교 클러스터사업단 (K-MEM R&D Cluster, Changwon National Univ.)

² 창원대학교 전기공학과 (Department of Electrical Engineering, Changwon National Univ.)

✉ Corresponding author: cluster3@changwon.ac.kr, Tel: 055-213-2893

Manuscript received: 2010.2.17 / Revised: 2010.3.4 / Accepted: 2010.3.5

Evaluation of uncertainty is an ongoing process that can consume time and resources. It can also require the service of someone who is familiar with data analysis techniques. Therefore, it is important for laboratory personnel who are approaching uncertainty analysis for the first time to be aware of the resources required. International inclination of measurement filed to guarantee the traceability and confidence of measurement results discards the error concept and instead analyzes the measurement uncertainty. In this paper, we analyzed the elements of measurement uncertainty on surface roughness test which are the important things in mechanical parts test. Repeat the test by 3 men, the measurement uncertainty could be calculated.

Key Words: Surface Roughness (표면거칠기), Measurement Uncertainty (측정불확도), Cochran Q Test (코크란 검정), Grubbs Test (그럽스 검정)

기호설명

R = average value of the surface roughness parameter

R_a = arithmetical mean deviation of the profile

R_z = ten point height of irregularities

λ = cut-off value

C = statistics

V_{max} = maximum variance

V_{total} = minimum variance

X = measured quantity

v_{eff} = effective degrees of freedom

u_a = type A standard uncertainty

u_b = type B standard uncertainty

u_c = combined standard uncertainty

c_i = index of the sensitivity of dispersion

1. 서론

21 세기의 생산자가 고부가가치의 제품을 부가가치를 높이기 위해서는 보다 정밀하고 소비자에게 신뢰를 줄 수 있는 정보가 필요하다. 모든 측정값에는 오차(error)가 존재하며, 이러한 오차로 인한 불확도를 평가하지 않고서는 측정의 참값을 알 수 없다. 국제표준협회(ISO)에서는 측정불확도 표현지침을 표준으로 시험분야에서 이루어지는 모든 측정에는 측정불확도의 결과를 반드시 포함시켜야 하고 있다.

이것을 위해서 정밀한 측정기술 및 여러 가지 통계적 기법이 사용되며, 이것을 위한 결과값은 한국기술표준원에서 운영하는 한국인정기구(KOLAS : Korea Laboratory Accreditation Scheme)의 인정제도는

여러 가지 신뢰성 요구에 대하여 “정부조직법” 및 “지식경제부와 그 소속기관직제령”에 근거하여 교정, 시험, 검사를 하고 있다.¹

본 연구에서는 창원대학교 산학협력단에서 추진중인 KOLAS 시험인정 항목 중 표면거칠기 및 금속재료 인장시험에 대한 측정불확도 분석을 수행하고자 한다.

2. 개요

2.1 표면거칠기의 개요

제품의 길이나 형상을 측정하거나 또는 그 오차를 나타내는 것도 중요하지만 제품표면의 거칠기 크기는 하나의 가공기계에서 가공하였다 하더라도 마치 제품의 지문과 같아서, 마지막 생산공정 단계에서 측정하므로 제품에 대하여 가장 민감하게 영향을 받게 되는 것이 표면거칠기(surface roughness)이다. 표면거칠기의 측정은 제품의 규격 통제에 있어서 중요한 수단 중의 하나이며, 용도에 적합한 거칠기의 크기는 기계적 성능과 수명을 연장하기 위해서 매우 중요한 요인이다.

표면 거칠기의 측정 목적 중 거칠기 값의 크기 정도가 Table 1 과 같은 기능에 영향을 끼치게 된다.²

Table 1 Function and application of surface roughness

Function	Application
Wear resistance	Gear, shaft
Friction resistance	CAM, clutch
Contact electrical resistance	Switching, connector
Abrasive resistance	Machine tool guide way
Tight fit	Shaft, bearing
High precision rotation	Bearing

2.1.1 10 점 평균 거칠기

거칠기 곡선의 10 점 평균 거칠기(ten point height of irregularities)는 R_z 로 표기하며, 거칠기 곡선에서 샘플링한 기준 길이 내에서 5 번째까지의 고점의 합과 5 번째까지의 저점의 합에 대한 평균값이며, 기준이 되는 거칠기 곡선의 peak 값 합의 평균값과, 가장 저점의 5 번째까지의 평균값이다, 기준이 되는 평균선은 위상보상형저역필터(phase-compensation-type low-pass filter)로 소정의 파장보다 긴 굴곡 성분을 제거한 후 구한다.

2.1.2 산술 평균 거칠기

거칠기의 높이 방향에 특성에 따른 파라미터로 거칠기 곡선의 산술 평균 거칠기(arithmetical mean deviation of the profile)는 R_a 로 표기하며, 기준 길이 1 내의 절대값의 산술평균으로, 평균선 기준으로 거칠기의 궤적을 나타내며 절대값의 적분한 값이 궤적의 면적을 나타낸다. 이것을 수식으로 나타내면 식 (1)과 같으며, 많은 거칠기 매개 변수들 가운데에서 가장 안정적인 파라미터이다.^{6,7}

$$R_a = \frac{1}{l} \int |y_i| dx \tag{1}$$

여기서 y_i 는 평균선을 기준으로 거칠기 곡선이 그리는 궤적의 면적을 나타낸다. 컷오프값은 산술평균거칠기에 따라 결정하고, 기준길이는 컷오프값의 5 배값을 취하게 되며, 평균거칠기 기준길이와 컷오프값은 Table 2 와 같다.⁵

Table 2 Cut-off value and standard length for R_a

R_a	Cut-off(λ ,mm)	Length(l,mm)
0.006~0.02	0.08	0.4
0.02~0.1	0.25	1.25
0.1~2.0	0.8	4
2.0~10.0	2.5	12.5
10.0~80.0	8	40

2.2 표준시편

표면 거칠기 표준시편에는 크게 다섯가지 형식으로 분류하는데 축침식 기기의 수직 형상 요소를 교정하기 위한 깊이 측정 표준, 축침의 상태를 교정하기 위한 축침 상태 측정 표준, 통상 거칠기 수직 방향 요소를 교정하기 위한 간격 측정 표준, 비교용 시편으로 사용되는 거칠기 측정 표준 그리고 형상 좌표 측정 표준 등 Table 3 과 같이 다섯가지의 형태로 분류된다.^{2,8}

Table 3 Kind of surface roughness standards

Type	Name
A	Depth measurement standard
B	Tip condition measurement standard
C	Spacing measurement standard
D	Roughness measurement standard
E	Profile coordinate measurement standard

본 시험에 적용될 시편(Fig. 1)은 D 형 시편으로 통상적으로 C 형 시편보다 높이 방향의 불균일성이 심해 Fig. 2 과 같이 측정하고자 한다. 또한 이 시편은 재질이 스틸이므로 굽힘과 부식에 의한 비정상적인 값을 나타낼 수 있으므로 비교용 시편으로 이용된다. 또 각 위치의 높이 편차가 존재하므로 휨이 존재하는 영역은 사용을 피하여야 한다.⁹

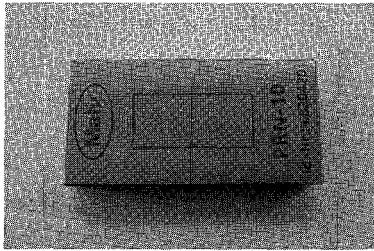


Fig. 1 Measured standard specimen, PRN-10

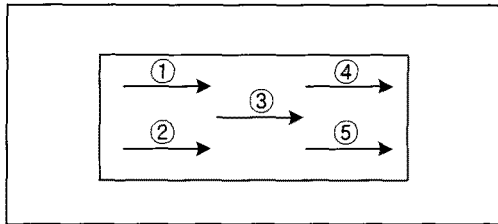


Fig. 2 Measurement method of calibration standard PRN- 10 for R_a , R_z .

2.3 측정불확도 및 통계기법

2.3.1 측정불확도

불확도는 ISO 가이드에 의하면 충분하게 타당성이 있는 이유에 의해 측정량에 영향을 미칠 수 있는 값들의 분포를 특성화한 파라미터를 의미한다. 이 개념은 많은 변화가 있었는데 1984 년까지의 불확도의 개념은 측정량의 추정값이 가질 수 있는 오차의 한계를 의미하였고, 측정량의 참값이 속해 있는 추정값을(1985~1992), 측정결과에 관련하여 측정량을 합리적으로 추정한 값의 분산특성을 나타내는 파라미터(1993~2004)에 이어 현재는 사용한 정보를 바탕으로 측정값의 분산을 나타내는 파라미터를 의미하게 되었다.

불확도를 분석하는 GUM(guided to the expression of uncertainty in Measurement)³ 을 고려하여 방법은 Fig. 3 의 절차로 요약할 수 있다. 측정불확도 요인

은 측정표준, 시편, 측정장비, 측정방법, 환경, 시험자, 기타 불확도 인자 등이 있으며, 기준 절차는 측정불확도를 구하기 위하여 동종의 샘플을 준비하고(Step 2), 인증표준물질(certified reference material)의 불확도를 구하여, 비교물질과 인증표준물질을 비교한다(Step 3). 표준 물질이 사용되는 장비의 계산오차 및 기준물질의 불확도 및 장비 정밀도를 고려한다(Step 4). 사용자간 불확도, 분석물질으로의 간섭, 장비의 파라미터 세팅 등을 고려하여 분석한다(Step 5). 그리하여 통계학을 이용하여 평균화 작업 및 round 함수 및 trunc 함수를 사용하여 얻어진 데이터를 구한다(Step 6). 그 후 신뢰구간을 구하고 불확도를 추정하며(Step 7), 결과값을 표현하게 된다(Step 8).

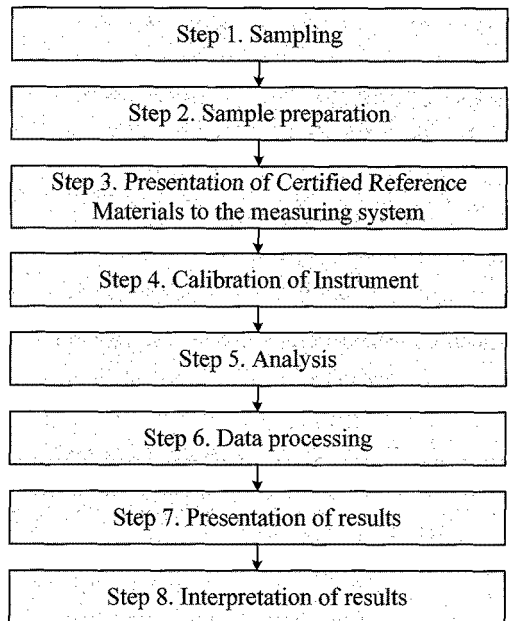


Fig. 3 Uncertainty in analysis process

측정불확도는 반복측정에 의한 결과물 통계적으로 처리한 A 형 불확도와 시험장소간, 시험자간 등 선택적으로 측정된 자료에 의한 B 형 불확도로 구분된다. 합성표준불확도는 A 형 불확도와 여러 B 형 불확도를 합친 것으로 식 (2)와 같은 형태로 나타내어진다.

$$u_c = \sqrt{(u_a^2 + u_{b1}^2 + u_{b2}^2 + \dots)} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
 v_{eff} &= \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{v_i}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{[c_i \times u(x_i)]^4}{v_i}} \\
 &= \frac{u_T^4(y)}{\frac{u_a^4(y)}{v_a} + \frac{u_b^4(y)}{v_b} + \frac{u_c^4(y)}{v_c}}
 \end{aligned} \tag{3}$$

식 (3)과 같이 Welch-satterthwaite 공식을 이용하여 유효자유도를 추정하며, 자유도(degrees of freedom)는 통계적 추정시 표본자료 중 모집단에 대한 정보를 주는 독립적인 자료를 의미하며 합성 표준불확도의 불확도척도를 나타낸다. c_i 는 감응계수(index of the sensitivity of dispersion)를 가리킨다. 유효자유도 추정값과 요구되는 신뢰수준에 해당하는 포함인자(coverage factor) k 값을 t 분포표로부터 구하게 된다.

본 시험에서 할 항목으로는 공업 제품의 표면 거칠기를 나타내는 파라미터인 산술 평균 거칠기 (R_a), 최대높이(R_y), 10 점 평균거칠기(R_z) 따른 표면 거칠기 측정에 대해 제품의 가하학적인 형상을 평가하고, 표면조직 파라미터를 산정하는데 적용한다.

2.3.2 통계기법

속련도 시험결과를 평가하는 기법은 여러 가지가 있지만, 일반적으로 사용하는 방법으로는 X-chart, Youden plot 및 KOLAS 에서는 Robust test 가 있으며, 이번 시험에서의 통계 처리는 Robust test 및 Cochran 검정, Grubbs 검정, McNemar 검정법 등을 이용하였다.

McNemar 검정은 이항검정(binomial test)의 특별한 경우로 두 개의 표본(paired sample)에서 얻은 두 가지의 예를 비교하는 비모수 검정법이다.

Cochran Q 검정은 McNemar 검정을 세 집단 이상으로 확장한 시험에서 집단 간 빈도나 비율의 짝지은 쌍이 차이가 있는지를 검정하는 데 적용하는 기법이다.⁴

3. 시험 및 결과

3.1 사용장비 및 성능

본 시험에 사용되는 장비(Fig. 4)는 Optacom 사의 측정기구로서 분해능 1~200 μm , 진동 반법위 0.1 로 교정결과 B 형 측정불확도는 0.028 μm 이다.

사용한 측정의 규격은 33mm, 다이아몬드 타입으로 0.50 mm/s 로 측정하였다.

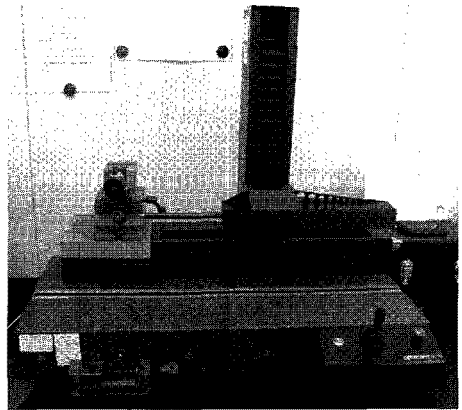


Fig. 4 Surface roughness measurement instrument

3.2 시험자간 검정

시험자간 비교시험시 3 명의 시험자가 5 회 시험하는 수치를 이용하였고 측정된 값은 Table 4 와 같다

Table 4 Results of measured data

No.	A	B	C	Total
1	2.68	2.63	2.61	-
2	2.67	2.61	2.62	-
3	2.66	2.60	2.64	-
4	2.65	2.65	2.61	-
5	2.62	2.64	2.63	-
Summation	13.28	13.13	13.11	39.52
Average	2.626	2.626	2.622	7.904
Variance	0.001	0.000	0.000	0.001
Standard deviation	0.023	0.021	0.013	-

3.2.1 Cochran 검정

각 시험자간 정밀도 및 일치성을 Cochran 검정으로 구하게 되면 가장 큰 대표분산값은 0.00053 이며, 각 시험자의 분산 합계는 0.00113 이 되나 Table 4 에서는 소수점 세자리에서 반올림하여 기록하였다.

$$C = \frac{V_{max}}{V_{total}} \tag{4}$$

식 (4) 에 의해 통계량 C 는 0.552 이다.

Cochran 의 통계량 값이 99 % 신뢰수준에서, 0.552<0.942 이며, 95% 신뢰수준에서 0.871 을 나타내었다. 그러므로 신뢰수준 99% 및 95%에서 각 시험자간 최대값 결과값의 분산에 차이가 없으며 또한 데이터의 정밀도의 차이가 없다고 판단되고, 등분산이라고 판단된다.

3.2.2 Grubbs 검정

각 시험자간 평균값을 Grubbs 방법으로 검정하게 되면 총 평균에서 가장 떨어진 데이터 평균은 2.626, 각 시험자평균에 대한 평균은 2.635, 총 평균의 분산은 0.00035 이다.

$$T = \frac{\bar{X}_{\max} - \bar{X}}{\sqrt{V}} \quad (5)$$

식 (5)에 의해 T=1.148 이다.

각 시험자간 평균을 Grubbs 방법으로 검정시 Grubbs 의 통계량의 유의수준 0.01 에서 1.148 의 기각한계값을 가지고, 유의수준 0.05 에서 1.155 으로 기각한계값을 나타내므로 각 시험자간의 평균값은 신뢰수준 95% 및 99%에서 이상치라고 판단되는 평균값이 없음을 알 수 있다.

3.2.3 최대값 및 최대값 검정

$$T_{\max,i} = \frac{\bar{X}_{\max,i} - \bar{X}_i}{\sqrt{V_i}} \quad (i=1,2,3) \quad (6)$$

$$T_{\min,i} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_{\min,i}}{\sqrt{V_i}} \quad (i=1,2,3) \quad (7)$$

식 (6)에 의해 최대값 검정에 의한 통계량은 $T_{\max,1}=1.042, T_{\max,2}=1.157, T_{\max,3}=1.381$ 이고, 식 (7)에 의한 최소값 검정에 의한 통계량은 $T_{\min,1}=1.564, T_{\min,2}=1.254, T_{\min,3}=0.920$ 이다. 각 시험자간 측정 데이터에 대한 최대값 검정시 검정 통계량 값이 99% 신뢰수준에서 1.672 이하면 유의수준 0.01 에서 해당 시험자 간의 반복 측정한 데이터 중 이상치 데이터가 없다.

3.3 측정불확도

10 회 반복측정에 의한 A 형 표준불확도 및 자유도는 Table 5 와 같으며, 측정기 교정시 B 형 표준불확도는 0.14 μm (k=2)로 분해능에 의한 표준불확도는 0.029 μm 이다. 이것에 대한 식 (2)에 의해 합성표준불확도를 구하면 $u_c = 0.089 \mu\text{m}$ 가 된다.

Table 5 A-type standard uncertainty

	Average	Standard uncertainty	Degree of freedom
$R_a(\mu\text{m})$	2.4	0.05	9

식 (3)에 의해 유효자유도를 추정하면 124 의 유효자유도를 구할 수 있으며 불확도 총괄표는 Table 6 과 같다.

Table 6 Combined standard uncertainty

	Type	Standard uncertainty	Probability distribution
u_a	A	0.046	t-distribution
u_{b1}	B	0.070	Normal distribution
u_{b2}	B	0.029	Rectangular distribution
u_c		0.089	

t-분포표에서 유효자유도 124 에 대한 확장불확도는 신뢰수준 약 95%에서 k 값이 2.00 이므로 0.177 이 되며, 측정불확도를 포함한 측정값은 2.4 $\pm 0.2 \mu\text{m}$ 이 된다.

4. 결론

본 논문에서는 KOLAS 평가시 표면거칠기 특성 시험중 시험자간 비교시험 및 측정불확도를 구하는 방법에 대해 기술하였다.

시험에 대하여 다섯 포인트를 측정하였으나, 더 자세한 자료를 얻기 위해서는 9 개의 포인트를 산출하는 것이 보다 합리적으로 보인다. 또한 A 형 측정불확도의 경우, 많은 반복 시험일수록 보다 정확하고 신뢰성있는 결과값을 얻을 수 있으나, 시험여건상 10 회외 측정만을 고려하여 계산되었다.

후 기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업 (RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Korea Laboratory Accreditation Scheme, <http://www.kolas.go.kr>.
2. Noh, H., "Development of an Evaluation Method for Standard Surface Roughness Specimens," A Master's Thesis, Industrial Engineering, Hanyang University, 2008.
3. Park, S., "Experimental Epidemiolog Statistics for Veterinary Science," EPUBLIC, pp. 203-206, 297-306, 531-536, 2007.
4. Korea Testing & Research Institute, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement," 2008.
5. KS B ISO 0161, "Surface roughness - Definitions and designation," 2004.
6. KS B ISO 0162, "Surface roughness - Part 1: Surface and its parameters," 2004.
7. KS B ISO 4287, "Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters," 2003.
8. KS B ISO 4288, "Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture : Profile method - Rules and procedures for the assessment of surface texture," 2003.
9. Mahr, <http://www.mahr.com>.