

직교배열법에 의한 선삭가공시 표면거칠기 평가

배병중, 박태준(경북대 대학원),
양승한, 이영문(경북대 기계공학부), 김희술(영남대 기계공학부)

Surface roughness evaluation in turning by an orthogonal array method

B. J. Bae, T. J. Park(Graduate School, Kyungpook National Univ.),
S. Yang, Y. M. Lee(Kyungpook National Univ.), H. S. Kim(Yeungnam Univ.)

ABSTRACT

The object of this paper is to evaluate the surface roughness using the experimental equation of surface roughness, which is developed in turning by an orthogonal array method. $L_9(3^4)$ orthogonal array method, one of fractional factorial design has been used to study effects of main cutting parameters such as cutting speed, feed rate and depth of cut, on the surface roughness. And the analysis of variance (ANOVA)-test has been used to check the significance of cutting parameters. Using the result of ANOVA-test, the experimental equation of surface roughness, which consists of only significant cutting parameter - feed rate, has been developed. The coefficient of determination of this equation is 0.962.

Key Words : surface roughness(표면거칠기), orthogonal array method(직교배열법), turning(선삭), fractional factorial design(일부실시법), design of experiments(실험계획법), analysis of variance(분산분석, ANOVA)

1. 서론

현대산업이 고도화됨에 따라 기계가공제품에 대한 높은 정밀도와 제품표면의 높은 품위를 요구하고 있다. 또한 제품표면의 품위는 표면거칠기에 의해 평가된다. 이에 표면거칠기가 중요한 인자로 인식되고 있으며 이에 대한 연구가 행해지고 있다. 일반적으로 절삭속도, 이송, 절삭깊이에 의해 제품가공결과가 달라지는 것으로 알려져 있다. 따라서 이들 상호-표면거칠기와 절삭속도, 이송, 절삭깊이 간의 관계에 대한 연구가 많이 이루어져 왔다^[1-3]. 하지만 이러한 기존의 연구들은 대부분 한번에 하나의 인자만을 변화시켜 실험함으로써 많은 실험량이 요구되어 왔다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 대두된 방법이 실험횟수를 줄일 수 있는 실험계획법을 이용한 연구이다. Wu^[6]는 처음으로 공구수명연구에 실험계획법의 하나인 반응표면법을 이용하였으며, 이후 몇몇 연구자들^[7-9]이 표면거칠기 평가시 실험계획법을 이용하였다. 이들은 대부분 2ⁿ 요인계획법을 이

용하여 실험을 행하였으며, 실험식은 1 차식으로 하였다. 하지만 이들이 밝힌 바와 같이 2ⁿ 요인계획법에 의한 1 차 회귀식은 부정확하며 이를 보완하기 위해 추가실험을 하여 2 차식으로 나타내었다. 이렇게 함으로써 실험계획법을 사용함에도 불구하고 실험의 횟수는 크게 줄어들지는 않게 되었다. 또한 ANOVA 검정에서 유의하지 않은 것으로 나타난 인자들 역시 회귀식에 포함하여 실험식을 작성하였다.

따라서 본 논문에서는 3ⁿ 일부실시법의 하나인 $L_9(3^4)$ 직교배열법과 ANOVA 검정을 통해 실험횟수를 줄이고 유의한 인자만을 이용한 2 차의 회귀식을 개발하여 표면거칠기를 평가하였다.

2. 이론적 배경

2.1 표면거칠기

모든 표면은 제조방법과 무관하게 고유한 특징들을 가지고 있으며, 이 특징을 표면조직(surface texture), 표면정도(surface finish) 혹은 표면거칠기(surface roughness)라고 한다. 표면거칠기를 나타내기

위하여 일반적으로 가장 널리 사용되는 것은 산술 평균(arithmetic mean value) R_a 이다. R_a 는 AA (arithmetic average) 또는 CLA (center-line average, 중심선 평균)로도 표시한다. 거칠기 곡선의 형태가 Fig. 1 와 같은 경우에 대해 R_a 는 다음과 같이 정의 된다.

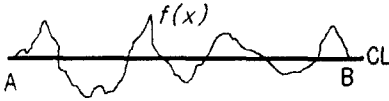


Fig. 1 Profile of surface roughness

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x)| dx \quad (1)$$

Fig. 1 에서 기준선 AB 의 위치는 이 선의 윗부분 면적들과 아래부분 면적들의 합이 같아지도록 정해진다.

2.2 직교배열법

실험계획법(design of experiments)이란 실험에 대한 계획방법을 의미하는 것으로, 해결하고자 하는 문제에 대하여 실험을 어떻게 행하고, 데이터를 어떻게 취하며, 어떠한 통계적 방법으로 데이터를 분석하면 최소의 실험횟수로 최대의 정보를 얻을 수 있는가를 계획하는 것이라고 정의할 수 있다. 따라서 하나의 실험계획법을 만들었다고 하는 것은 해결하고자 하는 문제에 대하여 인자를 선정하고, 실험방법을 택하였으며, 실험순서를 정하고, 실험 후 얻어지는 데이터에 대한 최적분석방법을 선택하였다는 의미이다. 실험계획법에서 많이 사용되는 데이터의 분석방법으로는 분산분석(analysis of variance, ANOVA), 상관분석(correlation analysis), 회귀분석(regression analysis)등이 있다.

3^{요인} 요인계획법(factorial design)이란 n 개의 인자에 대해 각각의 인자의 수준(level)을 3 가지로 -0, 1, 2 또는 -1, 0, 1 으로 나타낸다-하여 실험을 수행하며 실험결과를 이용하여 각 인자의 유의성을 판정하는 방식을 말한다. 4 가지 인자의 모든 효과를 구하려면 실험의 크기를 3⁴=81 회로 하여 인자들의 주효과(main effect)와 교호작용(interaction)을 구해야 한다. 하지만 교호작용의 경우 무시할 수 있는 경우가 많으며 이러한 경우 사용되는 것이 일부실시법(fractional factorial design, 부분요인계획법)이다. 직교배열법은 일부실시법의 한 종류로서, L₉(3⁴)는 3 수준계의 직교배열표(Tables of orthogonal arrays)의 하나

로 table 2 와 같다. L₉(3⁴)의 경우 만약 교호작용과 오차가 무시되면 9 회의 실험에서 4 인자까지 배치가 가능하다.

Table 2 L₉(3⁴) orthogonal array

	A	B	C	D
1	-1	-1	-1	-1
2	-1	0	0	0
3	-1	1	1	1
4	0	-1	0	1
5	0	0	1	-1
6	0	1	-1	0
7	1	-1	1	0
8	1	0	-1	1
9	1	1	0	-1

기존의 연구결과^[7-9]에 의하면 절삭결과에 대한 절삭속도, 절삭깊이, 이송의 교호작용은 무시할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 직교배열법의 하나인 L₉(3⁴)를 사용하여 해석하였다.

3. 실험

3.1 실험조건

직교배열법에 의한 선삭가공시 표면거칠기를 평가하기 위해 다음과 같은 실험을 행하였다.

절삭실험은 범용선반을 이용하였으며, 절삭공구로는 CNMG120408 인서트를 사용하였으며, 공구홀더로는 PCLNR2525M12 를 사용하였다. 피삭재로는 기계구조용 탄소강인 SM45C 를 사용하였다.

실험조건은 table 3 에 나타낸 것과 같이 각각의 인자(절삭속도, 절삭깊이, 이송)당 3 가지 수준으로 하였다. 또한 실험에 의한 오차를 줄이기 위해 실험순서는 랜덤하게 하였다.

Table 3 Cutting conditions

Cutting parameter	1	2	3
Cutting speed, V (m/min)	100	150	200
Feed rate, F (mm/rev)	0.10	0.20	0.30
Depth of cut, D(mm)	1.0	1.5	2.0

표면거칠기 측정기는 Mitutoyo 의 SurfTest-502 를 사용하였으며, 구체적인 사양은 table 4 에 나타내었다. 컷오프(cut-off) 값은 0.8mm 또는 2.5mm 로 하여 측정하였으며, 측정범위(measuring range)는 80 μ m 로 하였다.

Table 4 Specifications of Surftest-502

Measuring range	8μm	80μm	600μm
Resolution	0.001μm	0.01μm	0.1μm

3.2 실험결과

Table 5 The result of surface roughness measurement

	V	F	D	R _a (μm)
1	100	0.10	1.0	0.87
2	100	0.20	1.5	1.31
3	100	0.30	2.0	3.03
4	150	0.10	2.0	0.68
5	150	0.20	1.0	1.40
6	150	0.30	1.5	2.38
7	200	0.10	1.5	0.72
8	200	0.20	2.0	1.31
9	200	0.30	1.0	2.84

Table 5 는 실험후 피삭재의 표면거칠기를 측정 한 결과를 나타낸 것이다. 측정값은 임의로 정한 5 곳의 표면거칠기값을 측정하여 그 값들을 평균하여 이용하였다.

Table 6 Analysis of variance (ANOVA) – Test

Factor	D.F	Sum of square	Mean square	F ₀	Prob>F ₀
V	2	0.094022	0.047011	1.62	0.3822
F	2	6.301756	3.150878	108.36	0.0091
D	2	0.096689	0.048345	1.66	0.3756
Error	2	0.058156	0.029078		
Total	8				

Table 6 은 실험결과를 이용하여 ANOVA 검정을 한 것이다. Table 6 에 나타낸 것과 같이 검정결과를 보면 이송에만 유의한 것으로 나타났다. 따라서 회귀분석에 의한 실험식 작성시 이송만을 이용한다.

회귀분석시 직교성을 유지하기 위해 이송값을 통계적 코딩(statistical coding)값(f₁, f₂)으로 변화시켰다. 변화식은 식(2), (3)과 같다.

$$f_1 = \frac{Feed\ rate - 0.2}{0.1} \quad (2)$$

$$f_2 = \left(\frac{Feed\ rate - 0.2}{0.1} \right)^2 \quad (3)$$

통계적 코딩값으로 변경된 이송값을 이용하여

회귀분석에 의해 실험식을 구하면 식 (4)와 같이 된다. 이 식의 결정계수(coefficient of determination), R² 값을 구해보면 0.962 로 높은 정도를 나타내고 있다.

$$R_a(\mu m) = 1.3400 + 0.9967f_1 + 0.4133f_2 \quad (4)$$

식(4)를 이송값으로 변화시키면 식(5)와 같이 된다.

$$R_a(\mu m) = 0.999998 - 6.56665F + 41.3333F^2 \quad (5)$$

Fig 2 는 실험결과와 실험식을 동시에 나타낸 것이다. 그림에 나타난 것과 같이 실험결과와 실험식이 잘 일치하였다.

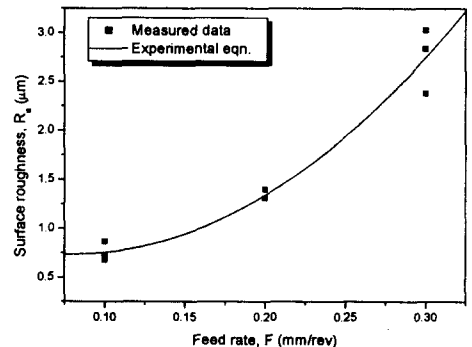


Fig. 2 Graph of measured data with experimental eqn.

4. 결론

선삭시 절삭조건에 따른 표면거칠기를 평가하기 위해 직교배열법을 이용하였다. 이를 통해 실험회수를 줄일 수 있었다.

ANOVA 검정결과 R_a는 이송에만 영향을 받음을 알 수 있었다. 이는 이론식과 일치하는 것으로 본 연구의 타당성을 알 수 있다.

이송만을 이용하여 회귀분석을 통해 표면거칠기 평가를 위한 2 차의 실험식을 작성하였다. 이 실험식의 R² 값은 0.962 로 매우 높은 정도를 나타내고 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목격기초연구(1999-2-304-003-3)지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자

여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. N. Boubekri, M. H. Schneider and S. Asfour, "Effects of Some Machining Variables in Lathe Facing using a Profilometer to Measure Surface Roughness," *Quality Engineering*, 5(2), pp.243-253, 1992.
2. W. Grzesik, "A Revised Model for Predicting Surface Roughness in Turning," *Wear*, Vol. 194, No. 1, pp.143-148, 1996.
3. M. Thomas, Y. Beauchamp, "Effect of Tool Vibrations on Surface Roughness during Lathe Dry Turning Process," *Comput. Ind. Eng.* Vol. 31, No. 3, pp.637-644, 1996.
4. E. Capello and P. Davoli, "Residual Stresses and Surface Roughness in Turning," *J. eng. Mater. Technol*, Vol. 121, No. 3 pp.346-351, 1999.
5. Y. Beauchamp, M. Tomas, J. Masounave and A. . Youssef, "The Effect Investigation of Lathe Dry Turning Operation Variables on Surface Roughness," Technical report. ÉTS, Montréal(Canada), 1993
6. S. M. Wu, "Tool Life Testing by Response Surface Methodology, Part I & Part II," *J. Eng. Ind.*, pp.105-116, 1964.
7. L. A. Choudhury, M. A. el-Baradle, "Surface Roughness Prediction in the Turning of High-Strength Steel by Factorial Design of Experiments," *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 67, pp.55-61, 1997.
8. Y. Beauchamp, M. Tomas, J. Masounave and A. . Youssef, "Investigation of Cutting Parameter Effects on Surface Roughness in Lathe Boring Operation by Use of a Full Factorial Design," *Computers ind. Eng.* Vol. 31, No. 3/4, pp. 645-651, 1996.
9. W. H. Yang and Y. S. Tarn, "Design Optimization of Cutting Parameters for Turning Operations based on the Taguchi Method," *J. of Material Processing Technology*, Vol. 84, pp.122-129, 1998.