

회귀분석을 이용한 Al 합금의 표면거칠기에 미치는 엔드밀 가공조건의 상관관계 추정

이상재*, 배효준⁺, 박흥식⁺⁺, 전태욱⁺⁺
(논문접수일 2003. 5. 22, 심사완료일 2003. 7. 24)

Presumption for Mutual Relation of the End-Milling Condition on Surface Roughness of Al Alloy by Regression Analysis

S. J. Lee*, H. J. Bae⁺, H. S. Park⁺⁺, T. O. Jun⁺⁺

Abstract

End-milling have been used widely in industrial system because it is effective to a material manufacturing with various shape. Recently the end-milling processing is needed the high-precise technique with good surface roughness and rapid time in precision machine part and electronic part. The optimum surface roughness has an effect on end-milling condition such as, cutting direction, spindle speed, feed rate and depth of cut, etc. Therefore this study was carried out to presume for mutual relation of end-milling condition to get the optimum surface roughness by regression analysis. The results shown that coefficient of determination(R^2) of regression equation has a fine reliability of 87.5% and regression equation of surface rough is made by regression analysis.

Key Words : End-Milling(엔드밀), Surface Roughness(표면거칠기), Analysis of Variation(분산분석), Regression Analysis(회귀분석), Feed Rate(이송속도)

1. 서론

최근 각종 정밀기계의 부품이나 전자기기 등에 비중이 작고 내식성이 양호할 뿐만 아니라 합금방법에 따라 내마

멸성이 뛰어난 알루미늄 합금의 사용이 날로 증가하고 있다. 이러한 알루미늄 합금을 소재로 한 기계부품 및 전자부품의 가공은 다양한 형상의 가공에 유용한 엔드밀 가공이 주를 이루고 있다. 엔드밀은 일반적으로 고속도강이나 초경

* 주저자, 동아대학교 기계산업시스템공학부 대학원 (lsj7700@hanmail.net)

주소: 604-714 부산시 사하구 하단2동 840번지

+ 동아대학교 기계산업시스템공학부 대학원

++ 동아대학교 기계산업시스템공학부

을 사용하고 있지만 각종 코팅을 행하여 사용하는 경우도 있다. 일반적으로 엔드밀에 의한 가공은 공구손상과 가공정도에 영향을 미치는 가공조건으로는 절삭속도, 이송속도 및 절삭깊이 등이 있으며, 가공조건에 따른 공구수명 연장을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다^(1,2).

현재까지 엔드밀 가공시 최적의 가공조건의 선정을 위하여 공구동력계를 이용한 절삭력 측정과 공구형상 설계에 관한 연구는 활발히 진행되고 있으나⁽³⁾, 가공조건에 유의한 영향을 미치는 인자들에 대한 정량적인 데이터를 제시하고 있지 못하고 있는 실정이다. 따라서 이러한 최적의 가공조건을 어떻게 선정하는가에 따라 가공시에 공구손상과 가공물의 정도에 많은 영향을 주게 된다. 특히 알루미늄 합금의 가공에 있어서 절삭저항은 그다지 크지 않으나 저속에서는 칩이 생성이 경작형이 되고 구상인선(built-up edge)이 많이 발생하며, 절삭깊이가 증가하면 표면층의 변화 양상이 매우 복잡하게 되는 문제점을 내포하고 있으며⁽⁴⁻⁶⁾ 부적절한 가공조건 선정으로 인하여 공구의 이상마멸과 피삭재에 대한 후처리 공정을 수반하게 됨으로서 생산성, 경제성에 커다란 영향을 미치게 된다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 알루미늄 합금의 가공은 표면정도의 향상을 위하여 고속주축을 탑재한 고속가공기⁽⁷⁻⁹⁾를 이용하여 가공하고 있다. 고속가공기에 의한 엔드밀 가공에서의 표면거칠기에 영향을 미치는 인자는 절삭속도가 절삭깊이와 이송에 비하여 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있지만 이들 절삭조건이 표면거칠기에 어느 정도의 영향을 미치는가에 대한 정량적인 상관관계에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정에 있다. 이처럼 각 절삭조건이 엔드밀 가공시 표면거칠기에 미치는 영향을 정량적으로 분석이 가능하게 되면 최적의 표면정도를 얻을 수 있는 절삭조건 선정이 가능하게 될 것으로 생각된다.

이처럼 최적의 표면정도를 얻기 위한 절삭조건 선정의 제서를 위해서는 각 절삭조건 변화에 따른 실험은 많은 시간과 비용이 소요되므로 최소의 실험으로도 각 절삭조건들의 상관관계를 제시하기 위하여 최근 다양한 분야에 널리 사용되고 있는 회귀분석^(10,11)의 도입이 필요로 하게 된다. 회귀분석은 다양한 절삭조건에 대한 절삭인자들의 상호관계를 수학적 모형을 수립할 수 있는 장점을 가지고 있으므로 엔드밀 가공시 표면거칠기에 미치는 절삭조건들의 상호관계를 추정할 수 있으리라 예상된다.

따라서 본 연구는 회귀분석을 이용하여 알루미늄 합금의 엔드밀 가공시 표면거칠기에 미치는 가공조건들의 정량적인 상호관계를 추정하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에 사용한 머시닝센터는 현대 AJV18 수직형 머시닝 센터로서 주축의 회전수는 최고 10,000rpm, 공구 이송속도는 1,000mm/min이다. Fig. 1에는 주축 스피들의 공구장착한 머시닝 센터의 개요도를 나타내었다.

본 실험에 사용한 절삭공구는 코팅처리된 $\phi 10$ 의 초경 엔드밀을 사용하였다. 그리고 실험에 사용한 재료는 알루미늄 합금을 사용하였으며, 알루미늄의 화학적 성질은 Table 1에, 기계적 성질은 Table 2에 나타내었다. 실험을 위한 시험편의 치수는 35×25×25mm 로 일정하게 가공하여 사용하였으며, 절삭깊이를 일정하게 하기 위하여 평면도가 0.01mm 이하가 되도록 평면 연마하였다. 엔드밀의 평면가공에서 가공방향은 시험편의 가로방향 35mm를 기준으로 전식 평면 가공하였다.

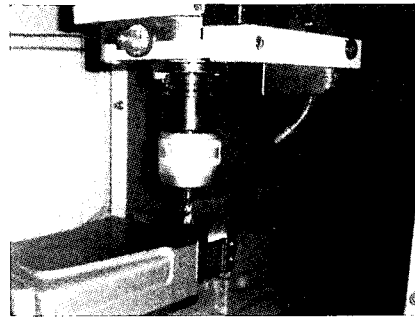


Fig. 1 Schematic of vertical machining center

Table 1 Chemical compositions Al 7075

Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ti
5.6	2.5	1.6	0.5	0.4	0.3	0.23	0.2

Table 2 Mechanical properties of alloy Al 7075

Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)
531	462	6

2.2 실험계획법의 적용

실험계획법에 의한 실험순서는 Fig 2와 같다. 여러 가지 통계적 방법으로 가공조건에 따른 표면 거칠기에 대한 통계적 분석을 통하여 최소의 실험횟수로 최적의 가공조건에 대

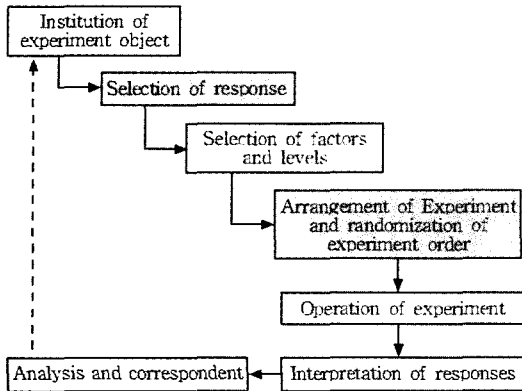


Fig. 2 Flow chart for experiment design

Table 3 Experimental conditions

Factor	Level		
	1	2	3
Spindle speed(rpm)	2,000	4,000	6,000
Feed rate(mm/min)	300	600	900
depth of cut(mm)	0.05	0.10	0.15

한 정보를 얻을 수 있는 것이 실험계획법이라 할 수 있다.

우선 엔드밀 가공에 있어서 특성치라 할 수 있는 표면거칠기에 가장 많은 영향을 미치는 절삭조건 또는 가공인자를 선정해야 한다. 따라서 엔드밀 가공에 있어서 표면거칠기에 미치는 가공인자로는 주축의 회전수, 이송속도, 절삭깊이, 공구종류 등 여러 가지 인자(factor)들이 있다⁽¹²⁾. 본 실험에서의 엔드밀 가공에 있어서는 정삭가공에 대한 주축의 회전수, 이송속도, 절삭깊이를 인자로 선정하였고, 실험에 사용된 머시닝센터의 가공 범위 내에서 각 인자는 Table 3과 같이 3수준(lever)으로 하였으며, 삼원배치법(three-way factorial design)을 이용하여 실험계획을 수립하여 실험을 실시하였다.

그리고 각 조건에 따른 실험 완료 후 절삭조건에 따른 가공면의 표면거칠기 Ra를 측정하였으며, 이것을 특성치로 설정하고 어느 가공인자가 특성치에 가장 많은 영향을 미치는지를 분산분석을 통하여 분석하고 각 인자들간의 함수적 관련성을 규명하고 수학적 모형을 추정하기 위하여 중회귀분석을 실시하였다.

2.3 분산분석

요인 설계는 모든 인자간의 수준이 조합에서 실험이 이루어지는 실험이며, 가공인자들이 특성치에 줄 수 있는 영향

을 동시적인 연구를 가능하게 해 준다. 실험을 수행할 때, 동시에 여러 가공인자 수준들을 변화시키는 것은 한 번에 하나의 인자 수준을 변화시키는 것에 비해 시간과 비용 면에서 효율적일 뿐만 아니라, 인자들간의 상호작용에 대한 연구도 가능하게 해 준다. 먼저 각 인자에 대한 일원배치에 의한 개별표준편차를 이용하여 신뢰구간에 대한 분석과 삼원배치법에 의한 분산분석(ANOVA)⁽¹³⁻¹⁵⁾을 통하여 각 인자에 대한 주 효과를 분석하고자 한다. 분산분석은 특성치의 산포를 제곱합으로 나타내고 이를 평면 엔드밀의 가공조건과 관련된 인자마다의 제곱합으로 분해하여 오차에 비해 특히 영향을 주는 인자가 무엇인가를 찾아내는 분석방법이라고 할 수 있다.

2.4 중회귀분석

어떤 종속변수(반응변수)의 변화는 두 개 이상의 독립변수(설명변수)에 의하여 영향을 받으며, 독립변수 k 를 여러 개 잘 선택하여 이들의 함수로서 종속변수의 변화하는 특성을 설명할 수 있을 경우에 단순회귀에 비하여 보다 정도 좋은 예측을 할 수 있다. 본 연구에서 중회귀분석은 AI 합금의 평면 엔드밀 가공에 있어서 표면거칠기를 종속변수로 잡고 여기에 영향을 주고 있는 독립변수(주축의 회전수, 공구이송속도, 절삭깊이)를 선택하여 독립변수와 종속변수간의 관련성을 규명하려는 통계적 분석방법으로, 이를 이용하여 가공인자간의 정량적인 함수관계⁽¹⁶⁾를 파악하고자 한다. 이처럼 종속변수 y 와 n 개의 독립변수 x_1, x_2, \dots, x_n 에 대하여 i 번째 종속변수 y_i 는 다음과 같다.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \epsilon_i \quad (1)$$

여기서 각 인자에 대한 관찰점 $i = 1, 2, \dots, n$ 이며, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ 는 미지의 모수이다. 그리고 ϵ_i 는 오차값이며, 관찰점을 벡터로 표시하면

$$y_i = (1, x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}) \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} + \epsilon_i$$

이며, n 개의 관찰점을 동시에 나타내기 위한 행렬표현식은 다음과 같다.

$$y = X\beta + \epsilon \quad (2)$$

여기서

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \cdots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \cdots & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \cdots & x_{kn} \end{bmatrix}$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

이다.

그리고 최소제곱법에 의하여 최소화시키려는 오차제곱의 합을 행렬을 사용하여 표현하면

$$S = \varepsilon' \varepsilon = (y - X\beta)'(y - X\beta)$$

$$= y'y - 2\beta'X'y + \beta'X'X\beta$$

가 되며, 이를 β 로 미분하여 0으로 두면 다음의 결과를 얻을 수 있으며, 여기서 $\hat{\beta}$ 은 β 의 최소제곱추정값의 벡터로서 $\hat{\beta} = (\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k)$ 을 의미한다.

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y \quad (4)$$

따라서

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum x_{1i} & \sum x_{2i} & \cdots & \sum x_{ki} \\ \sum x_{1i} & \sum x_{1i}^2 & \sum x_{1i}x_{2i} & \cdots & \sum x_{1i}x_{ki} \\ \sum x_{2i} & \sum x_{1i}x_{2i} & \sum x_{2i}^2 & \cdots & \sum x_{2i}x_{ki} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum x_{ki} & \sum x_{1i}x_{ki} & \sum x_{2i}x_{ki} & \cdots & \sum x_{ki}^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_{1i}y_i \\ \sum x_{2i}y_i \\ \vdots \\ \sum x_{ki}y_i \end{bmatrix}$$

이 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ 의 최소제곱추정값들이 된다.

회귀분석을 통한 회귀선은 그 적합성을 검정하기 위하여

Table 4 ANOVA for multiple linear regression model

Factor	S	ϕ	V	F_0	P
Regression	SSR	k	MSR	MSR/MSE	P_R
Residual Error	SSE	n-k-1	MSE	-	-
Total	SST	n-1	-	-	-

where

$$SSR(\text{Regression sum of squares}) = \hat{\beta}'X'y - n(\bar{y})^2$$

$$SSE(\text{Residual sum of squares}) : y'y - \hat{\beta}'X'y$$

$$SST(\text{Total sum of squares}) = y'y - n(\bar{y})^2$$

$$MSR(\text{Regression mean square}) : SST/k$$

$$MSE(\text{Residual mean square}) : SSE/(n-k-1)$$

분산분석의 작성이 필요하다. 여기서 추정된 회귀방정식의 정도를 측정하는 방법으로 많이 사용되는 측도(measure)는 Table 4와 같으며 F_0 의 값이 크면 클수록 회귀방정식의 정도가 좋다고 말할 수 있다. 그리고 회귀방정식의 정도를 측정하는 방법으로 사용되는 것은 결정계수(coefficient of determination)로서 R^2 으로 나타내고

$$R^2 = SSR/SST \quad (5)$$

이 값이 1에 가까울수록 높은 정도를 갖는다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 가공인자와 주효과

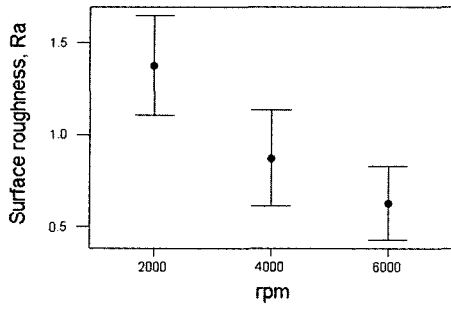
Fig. 3은 엔드밀 가공조건에 따른 특성치인 표면거칠기에 대한 각 인자의 수준별 평균과 95%신뢰구간을 나타내고 있으며 중심 경향성과 데이터의 변동성을 동시에 나타내고 있다. 그림에서 엔드밀의 가공인자인 주축의 회전수와 이송속도의 수준간의 차이는 크게 나타나고 있지만 절삭깊이에 따른 수준간의 차이는 적다는 것을 볼 수 있다. 이것은 AI 합금의 엔드밀 가공에 있어서 가공인자인 주축회전수의 수준이 증가할수록 또한 이송속도의 수준이 감소할수록 피삭재의 표면거칠기는 양호해진다는 것을 의미한다.

그리고 가공조건에서 이송속도 수준보다 주축회전수 수준의 영향이 보다 크다고 할 수 있지만 절삭깊이의 수준변화에 따른 영향은 크지 않다는 것을 나타내 주고 있다.

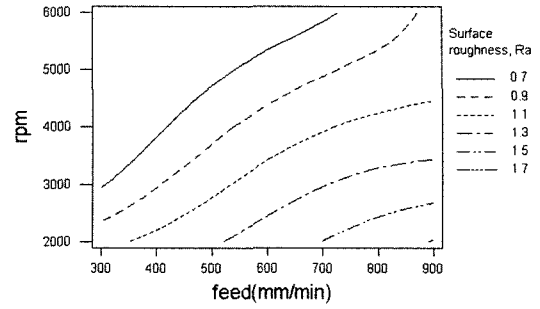
Table 5는 가공인자에 대한 표면거칠기의 분산분석 결과를 나타내고 있으며, P값의 검정 결과 엔드밀 가공에서의 주축회전수와 이송속도는 표면거칠기에 많은 영향을 미치

Table 5 ANOVA of surface roughness for experiment condition

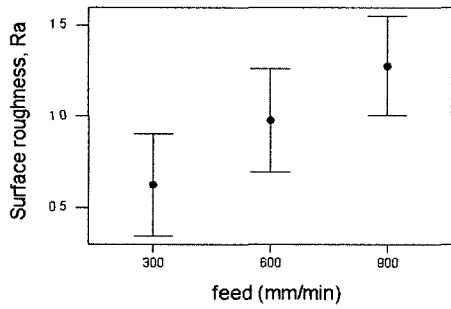
Factor	S	ϕ	V	F_0	P
rpm	2.63282	2	1.31641	65.45	0.000
feed	1.93168	2	0.96584	48.02	0.000
depth of cut	0.04676	2	0.02338	1.16	0.360
rpm × feed	0.08714	4	0.02179	1.08	0.426
rpm × depth	0.15921	4	0.03980	1.98	0.191
feed × depth	0.07424	4	0.01856	0.92	0.496
error	0.16091	8	0.02011	-	-
total	5.09277	26	-	-	-



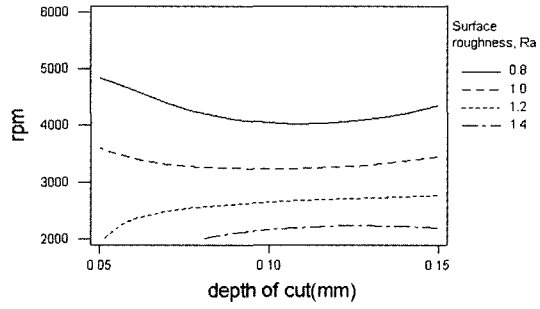
(a)



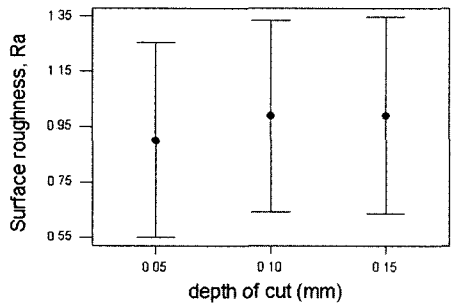
(a)



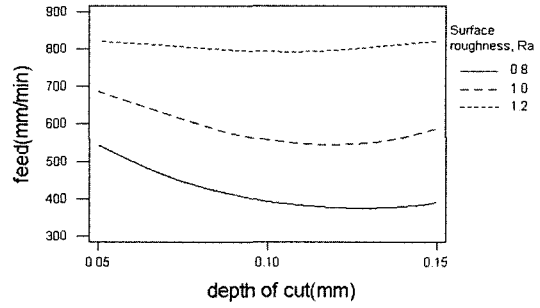
(b)



(b)



(c)



(c)

Fig. 3 Interval plot for surface roughness(Ra) of working condition

Fig. 4 Contour plot of surface roughness on working factors

고 있고 절삭깊이와 각 인자간의 상호작용에 대한 영향은 크지 않다는 것을 알 수 있다. 이것은 초경 엔드밀로 Al 합금을 절삭시 공구날 1개당 절삭체적에 있어서 반지름 방향 절삭깊이의 변화가 축방향 절삭깊이에 비해 표면거칠기에 많은 영향을 미치고 있다고 생각된다.

Fig. 4는 가공인자들의 수준 변화에 따른 표면거칠기의 분포상태를 등고선도로 나타낸 것이다. 그림에서 (a)주축회전수와 이송속도, (b)주축회전수와 절삭깊이 그리고 (c)이송속도와 절삭깊이에 대한 표면거칠기를 나타내고 있다.

(a)의 그림에서 주축회전수가 증가함에 따라 이송속도도 비례적으로 증가함으로써 표면거칠기는 향상되는 것을 알 수 있으며, (b)와 (c)에서 표면거칠기는 절삭깊이의 변화에 따른 영향이 미소하여 무시할 수 있을 정도라고 생각된다. 그리고 주축회전수는 6000rpm 이상에서, 이송속도는 300 mm/min 이하에서 보다 안정적인 표면거칠기를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 5는 엔드밀 가공에 있어서 가공인자의 각 수준에 따른 표면거칠기의 평균값을 나타내고 있으며, 본 실험에서

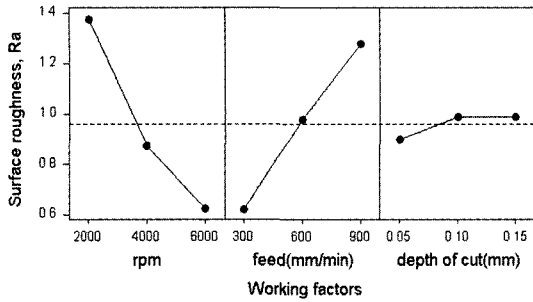


Fig. 5 Variation of surface roughness with working factors

설정된 가공인자와 각 수준에 있어서 주축회전수는 증가할 수록, 이송속도는 감소할수록 표면거칠기가 양호하다는 것을 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서 AI 합금의 엔드밀 가공을 위하여 설정한 가공조건 중에서 주축회전수는 6000 rpm, 이송속도는 300mm/min가 최적 가공조건이라고 생각된다.

3.2 수학적 모형 추정

전술한 식 (1), (2), (3) 및 (4)로부터 추정된 $Ra(\mu m)$ 의 회귀방정식은 x_1 을 주축회전수(rpm), x_2 를 공구이송속도(mm/min), x_3 를 절삭깊이(mm)라 할 때 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Ra = 0.967 - 0.000188x_1 + 0.00109x_2 + 0.889x_3 \quad (6)$$

이 추정된 회귀방정식으로부터 표면거칠기는 주축회전수 (x_1)가 증가함에 감소하는 경향을 나타내고, 이송속도(x_2)와 절삭깊이(x_3)가 증가함에 따라 증가한다는 것을 알 수 있다.

그리고 분산분석과 회귀분석을 통한 독립변수의 선택에 있어서 엔드밀 가공시 표면거칠기는 절삭깊이에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 생각된다.

Table 6은 중회귀의 분산분석을 나타낸 것으로 이것을 통하여 추정된 회귀방정식의 정도를 측정할 수 있다. 또한 결정계수 R^2 를 통하여 총 변동 중에서 회귀선에 의하여 설명되는 변동이 차지하는 비율을 나타낼 수 있다. 엔드밀 가

Table 6 ANOVA of Multiple linear regression model for factor

Factor	S	ψ	V	F0	P
Regression	4.4941	3	1.4980	57.56	0.000
Residual Error	0.5986	23	0.0260	-	-
Total	5.0928	26	-	-	-

공에 있어서 추정된 회귀방정식 (6)은 P-검정에서 유의하다고 할 수 있으며 결정계수 R^2 은 식 (5)에 의하여 88.2%의 정도를 나타내고, MSE가 0.026으로 데이터의 산포가 작으므로 신뢰성이 양호하다고 생각된다.

따라서 엔드밀 가공에 있어서의 가공인자, 즉 주축회전수, 이송속도 및 절삭깊이의 변화에 따른 표면거칠기는 회귀방정식으로 나타낼 수 있으며, 이 결과를 적용하게 되면 가공조건 변화에 따른 표면거칠기에 대한 예측과 안정적인 가공조건 선정이 가능할 것으로 생각된다.

4. 결론

초경 엔드밀을 이용한 AI 합금의 평면 엔드밀 가공에 있어서의 가공인자에 대한 가공면의 표면거칠기를 고려한 최적 가공조건을 실험계획법에 의한 분산분석과 회귀분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실험계획법을 통한 엔드밀 가공에 있어서 많은 영향을 미치고 있는 가공인자에 대한 통계적 분석이 가능하였다.
- (2) 분산분석을 통하여 엔드밀 가공시 표면거칠기는 주축회전수, 이송속도가 많은 영향을 미치는 가공인자이다.
- (3) 회귀분석을 통하여 엔드밀의 가공에 따른 표면거칠기의 회귀방정식을 구축하였다.
- (4) 가공인자에 대한 표면거칠기는 회귀방정식의 결정계수 R^2 값이 88.2%로 엔드밀 가공에서 양호한 신뢰성을 가진다.

참고 문헌

- (1) Sakuma, K., Taguchi, K. and Kinjo, S., 1978, "Study on Deep Hole Drilling with Solid Boring Tools, The Effect of Tool Material on the Cutting Performance", *Trans. of JSME*, Vol. 21, No. 153, pp. 532 ~ 539.
- (2) Youn, J. W., Lee, K. Y., Lee, S. C. and Choi, J. G., 2001, "Detection of Tool Wear Using Force Measurement in Turning", *Trans. of KSMTE*, Vol. 10, No 1, pp. 1 ~ 9.
- (3) Ikawa, N., Shimada, S., Tanaka, H. and Ohmori, G., 1991, "An Atomistic Analysis of Nanometric Chip Removal as Affected by Tool-work Interaction in Diamond Turning", *Annals of CIRP*, Vol. 40, Jan., pp. 551 ~ 554.

- (4) Henriksen, E. K., 1994, "Chip Breaking - A Study of Three Dimensional Chop Flow", *ASME Trans.*, Vol. 9, pp. 53 ~ 59.
- (5) Kaldor, S., Ber, A. and Lenz, E., 1979, "On the Mechanism of Chip Breaking", *ASME Trans.*, Vol. 101, pp. 241 ~ 247.
- (6) Nakamura, S., 1996, "High-Speed Spindles for Machine Tools", *J. of JSPE*. Vol. 30, No. 4, pp. 291 ~ 294.
- (7) Dewes, R. C., Apinwall, D. K. and Wise, M. L. H., 1995, "High Speed Machining Cutting Tools and Machine Requirements", *Proceedings of the 31st Int. MATADOR Conf. Manchester, UK*, pp. 455 ~ 461.
- (8) Draper, N. R. and Smith, H., 1966, *Applied Regression Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 28 ~ 45.
- (9) Seber, G. A. F., 1977, *Linear Regression Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 35 ~ 89.
- (10) Bechhofer, R. E. and Dunnett, C.W., 1988, "Percentage Points of Multivariate Student t Distributions", *Selected Tables in Mathematical Studies, AMSP, R. I.*, Vol. 11, pp. 78 ~ 110.
- (11) Brown, M. B. and Forsythe, A. B., 1974, "Order Statistics and Their Uses in Testing and Estimation", *J. of ASA*, Vol. 69, pp. 364 ~ 367.
- (12) Harter, H. L., 1970, *Order Statistics and Their Uses in Testing and Estimation*, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., Vol. 1.
- (13) Hayter, A. J., 1984, "A Proof of the Conjecture that the Tukey-Kramer Multiple Comparisons Procedure is Conservative", *Annals of Statistics*, Vol. 12, pp. 61 ~ 75.
- (14) Park, S. H., 2002, *Modern design of experiment*, Minyung Co.