

직교배열법에 의한 칩절단특성 예측

이영문, 양승한(경북대 기계공학부), 권오진*(경북대 대학원 기계공학과)

Pridiction of chip breakability by an orthogonal array method

Y. M. Lee, S. H. Hang(Mech. Eng. school, KNU), O. J Kwon(Graduate student, Mech. Eng. Dept., KNU)

ABSTRACT

The purpose of this paper is to evaluate the chip breakability during turning using the experimental equation, which is developed by an orthogonal array method. The chip breaking index(C_B), non-dimensional parameter is used in the evaluation of chip breakability. The analysis of variance(ANOVA)-test has been used to check the significance of cutting parameters. And using the result of ANOVA-test, the experimental equation of chip breakability, which consists of significant cutting parameters, has been developed.

Key Words : Chip breaking index(칩절단지수), Orthogonal array method(직교배열법), Analysis of variance(분산분석)

1. 서론

최근 절삭공정의 무인화 추대로 인하여 절삭시 생성되는 칩의 효율적 처리는 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 고속절삭시 생성되는 연속형 칩은 처리자체의 어려움이 있을 뿐만 아니라 절삭가공표면을 손상시키며, 공작기계자체 또는 공작물에 영적 정상적인 절삭작업을 방해하기 때문에 원활한 절삭가공이 이루어지기 위해서는 적절한 칩의 제어가 이루어져야 한다.

칩의 제어는 일차적으로 칩의 절단성에 의존하며, 칩의 절단성은 공작물의 재질과 칩의 크기 및 형상에 따라 달라진다.

Nakayama⁽¹⁾는 칩표면의 변형률이 칩재료의 파단 변형률에 달했을 때 칩의 절단이 이루어진다는 전제하에, 칩의 절단 여부를 결정하는 요소로서 공작물재질, 칩두께 및 칩굴곡반경을 제시하였다.

최근 이등⁽²⁾은 칩절단특성 평가를 위한 파라미터로서 절단칩의 두께와 길이의 비로 주어지는 칩절단지수, C_B 를 제시하였으며, 칩의 파잉제어 여부에 대한 한계 설정을 위하여 칩형상 및 비절삭에너지에 대한 고찰을 행하였다.

기존의 절삭에 관한 연구들은 대부분 한번에 하

나의 인자만을 변화시켜 실험함으로써 많은 실험량이 요구되어 왔다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 대두된 방법이 실험횟수를 줄일 수 있는 실험계획법을 이용한 연구이다.⁽³⁾

본 논문에서는 3ⁿ 일부실시법의 하나인 $L_9(3^1)$ 직교배열법과 ANOVA 검정을 통해 실험횟수를 줄이고, 2차의 회귀식을 개발하여 선삭가공시 칩절단특성을 예측하였다.

2. 이론적 배경

2.1 칩절단지수, C_B

본 연구에서는 칩의 절단특성을 평가하기 위해서 칩절단지수, C_B ⁽²⁾를 도입하였다.

Fig 1 (b)에서 보는 바와 같이 칩의 절단이 이루어지는 순간 피삭체가 칩에 작용하는 반력을 F , 절단지점까지의 수직거리를 A_m 이라 하면 칩절단 굽힘모멘트 $M=A_m F$ 이다. 모멘트 암, A_m 이 절단 칩의 길이 l_c 에 비례하고 ($A_m = k l_c$), 두께 t_c , 폭 b_c 인 칩에 작용하는 반력 F 가 칩의 단면적에 비례한다고 가정하면 칩절단 굽힘모멘트, M 은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$M = A_m F$$

$$= k l_c b_c t_c F_u \quad (1)$$

여기서, A_m : 모멘트 압(mm).
 F : 칩에 작용하는 반력(N).
 F_u : 칩단면 단위면적당 작용하는 반력(N/mm^2).
 k : 비례상수 ($0 < k < 1$)

이다

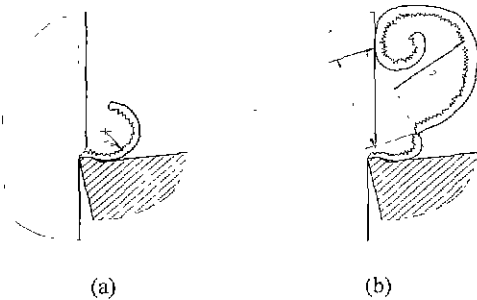


Fig.1 Chip curl radius (a)before chip breaking. (b) after chip breaking

한편, 칩의 파단응력을 $\sigma_f(N/mm^2)$ 라 하면, 칩 절단 굽힘모멘트 M 은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$M = \frac{\sigma_f b_c t_c^2}{6} \quad (2)$$

식(1), 식(2)를 등치시킨 후, 측정가능한 값과 불가능한 값을 분리하여 정리하면 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_B = \frac{6 k F_u}{\sigma_f} = \frac{t_c}{l_c} \quad (3)$$

식(3)에서 보는 바와 같이 칩절단지수, C_B 는 기존의 칩절단 한계조건을 결정하는 인자 중 결정하기 곤란한 칩굽힘반경과 절삭깊이에 따라 달라지는 칩의 폭이 배제되었으며, 측정 가능한 절단칩 두께, t_c 와 길이, l_c 에 의해 결정되는 무차원 파라미터이다.

2.2 직교배열법

3° 요인계획법이란 n 개의 인자에 대해 각각의 인자의 수준(level)을 3가지로 0, 1, 2 또는 -1, 0, 1로 나타내고, 실험을 수행하여 각 인자의 유의성

(significance)을 판정하는 방식을 말한다. 4가지 인자의 모든 효과를 구하려면 실험의 크기를 $3^4=81$ 회로 하여 인자들의 주효과(main effect)와 교호작용(interaction)을 구해야 한다 하지만 교호작용의 경우 무시할 수 있는 경우가 많으며 이러한 경우에 사용되는 것이 일부실시법이다. 일부실시법은 무시할 수 있는 효과를 배제하고 실험함으로써 같은 인자수의 요인계획법에 비해 실험의 회수를 줄일 수 있다 직교배열법은 일부실시법의 한 종류로서, $L_9(3^4)$ 는 3수준계의 직교배열표(tables of orthogonal arrays)의 하나로 table 1과 같다 $L_9(3^4)$ 의 경우 만약 교호작용과 오차가 무시되면 9회의 실험에서 4인자까지 배치가 가능하다

Table 1 $L_9(3^4)$ 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

3. 절삭실험

절삭실험은 선반에서 외경선삭을 행함으로써 3차원 절삭이 이루어지도록 하였다

3.1 절삭시편 및 절삭공구

실험에 사용한 절삭시편은 외경이 65mm, 길이가 200mm인 탄소강(SM45C)봉을 사용하였으며, 절삭공구로는 홈형 칩포머(groove type chip former)가 성형되어 있는 국내T사의 TPMP160308인서트를 사용하였으며, 공구홀더로는 CTGPR2525M16을 사용하였다.

3.2 절삭실험조건

절삭깊이 0.8, 1.6 및 2.4mm에 대하여 절삭속도는 80, 140 및 200m/min인 조건으로 절삭실험을 행하였다.

절삭실험에서 사용한 선반의 규격과 절삭조건은 Table 2에 나타낸 바와 같다

Table 2 Lathe and cutting test conditions

Lathe	
Spindle speed (rpm)	23~1200
Feed rate (mm/rev)	0.049~1.381
Power (HP)	10
Cutting test conditions	
Cutting speed (m/min)	80,140,200
Feed rate (mm/rev)	0.098, 0.197, 0.296, 0.394, 0.493
Depth of cut (mm)	0.8, 1.6, 2.4

4. 실험결과 및 고찰

4.1 칩두께

Fig.2는 절삭조건에 따른 칩두께의 변화를 이송에 따라 나타낸 것이다 칩의 두께는 모든 절삭조건에서 이송이 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 양상을 나타내고 있다.

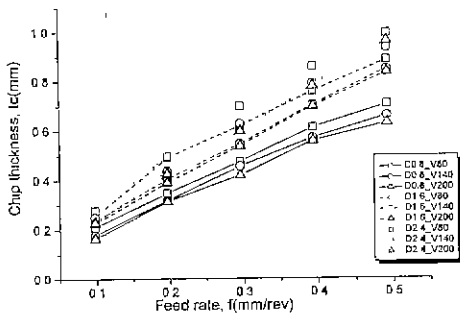


Fig 2 Relationship between Chip thickness, l_c and Feed rate, f

4.2 절단칩의 길이

이송이 커짐에 따라 칩은 연속형에서 불연속형(절단)칩으로 생성되며 칩이 절단되는 주기도 짧아지는 경향을 나타낸다.

칩의 절단정도를 나타낼 수 있는 파라미터 중 비교적 정확하게 측정할 수 있는 것은 칩의 두께, 폭 및 무게이다

절단칩의 길이, l_c 는 측정된 칩의 두께, 폭 및 무게로부터 식(4)에 의해 구할 수 있다.

$$l_c = \frac{w_c}{\rho t_c b_c} \quad (4)$$

여기서, ρ weight density.

t_c chip thickness.

b_c chip width,

w_c chip weight 이다

Fig.3은 절단칩이 생성된 경우 이송에 따른 칩길이의 변화를 나타낸 것이다. 절단된 칩의 길이는 이송이 증가함에 따라 급격히 감소하다가 일정해지는 경향을 나타낸다

하지만 DOC가 0.8mm일 경우에는 감소하였다가 다시 증가하고 있다 이것은 횡향굴곡(side curling)에 의해 칩의 길이가 길어지기 때문이다.

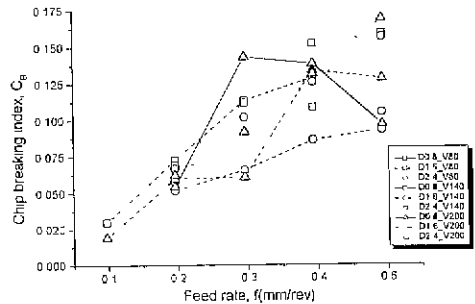


Fig 3 Relationship between Chip length, l_c and Feed rate, f

4.3 칩절단지수, C_b

Table 3은 실험결과를 이용하여 ANOVA⁽⁴⁾ 검정을 한 것이다.

Table 3 Analysis of variance(ANOVA)-Test

Factor	D F	Sum of square	Mean square	F Value	Pr.>F
Model	11	0.09949	0.00904	53.565	0.0001
Error	28	0.00473	0.00017		
Total	39	0.10421			

회귀분석시 직교성을 유지하기 위해 통계적 코딩(statistical coding)값으로 bin화시켰다 변환식은 다음과 같다.

$$f_1 = \frac{\text{Feedrate} - 0.296}{0.0985} \quad (5)$$

$$f_2 = \left(\frac{\text{Feedrate} - 0.296}{0.0985} \right)^2 \quad (6)$$

$$v_1 = \frac{\text{Cuttingspeed} - 140}{60} \quad (7)$$

$$v_2 = \left(\frac{\text{Cuttingspeed} - 140}{60} \right)^2 \quad (8)$$

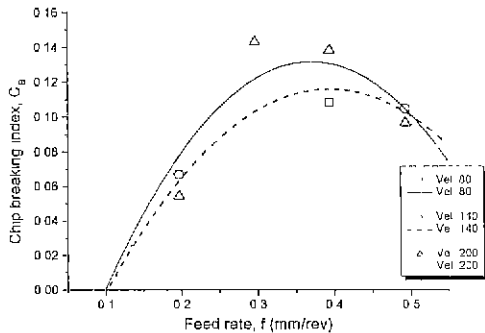
$$d_1 = \frac{\text{DOC} - 1.6}{0.8} \quad (9)$$

$$d_2 = \left(\frac{\text{DOC} - 1.6}{0.8} \right)^2 \quad (10)$$

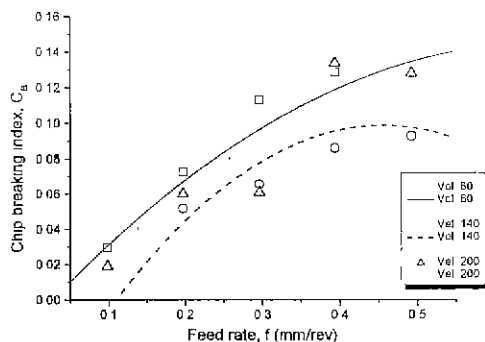
회귀분석에 의해 실험식을 구하면 식(11)와 같이 되며, 이식의 결정계수(coefficient of determination), R^2 값을 구해보면 0.9546로 높은 정도를 나타내고 있다

$$C_B = 0.077647 - 0.004867 d_1 - 0.002793 v_1 + 0.020423 d_2 + 0.015968 v_2 + 0.025944 f_1 + 0.006689 f_1 d_1 + 0.006963 f_1 d_2 - 0.008010 f_2 + 0.005153 f_2 d_1 + 0.004576 f_2 v_2 - 0.008809 f_2 v_2 d_2 \quad (11)$$

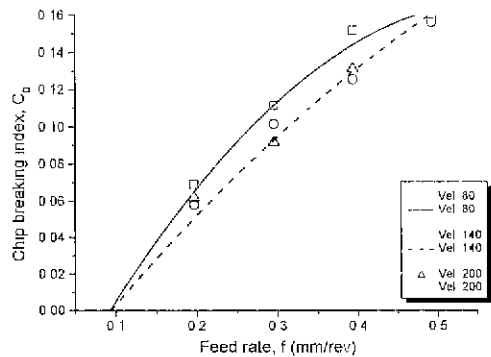
Fig 4 (a), (b), (c)는 실험결과와 실험식을 동시에 나타낸 것이다.



(a)



(b)



(c)

Fig 4 Measured data with experimental eqn of chip breakin index vs feed rate (a) DOC - 0.8mm (b) DOC - 1.6mm (c) DOC - 2.4mm

Fig 4에서 이송이 증가함에 따라 C_b 의 값이 증가하다가 다시 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 칩이 횡향굴곡으로 인해 칩단칩의 길이가 다시 증가함에 따라 칩절단지수가 감소하는 것이다

5. 결론

칩의 절단특성을 나타내는 무차원 파라미터인 칩절단지수를 직교배열법을 이용하여 2차의 실험식으로 나타낼 수 있었으며, 이 실험식의 R^2 값은 0.9546로 높은 정도를 나타내고 있다. 또한 직교배열법을 이용하여 실험회수를 줄일 수 있었다.

본 연구 결과 칩절단지수에 가장 큰 영향을 미치는 인자로는 이송, 절삭깊이, 절삭속도 순으로 나타난다.

참고문헌

- 1 Nakayama, K, "A Study of the Chip Breaker." Trans. of JSME, Vol 5, pp. 142-150, 1962.
2. 이영문, 최원식, 장승일, 허인호 "칩절단지수에 의한 칩절단특성 평가," 대한기계학회논문집 A 권, 제22권, 제11호, pp. 1989-1997, 1998.
3. S M. Wu, "Tool Life Testing by Response Surface Methodology, Part I & II," J. Eng. Ind. pp. 105-116, 1964.
4. D. C. Montgomery, "Introduction to statistical quality control," John Wiley & Sons, Inc, 1996.