

SM45C의 선삭가공시 비절삭에너지 특성평가

이영문, 양승한(경북대학교 기계공학부), 최봉환*(경북대학교 대학원 기계공학과)

Assessment of specific cutting energy characteristics during turning SM45C steel

Y. M. Lee, S. H. Yang(Mech. Eng. School, KNU), B. H. Choi(Graduate Student, Mech. Eng. Dept. KNU)

ABSTRACT

The purpose of this paper is to evaluate the specific cutting energy characteristics during turning SM45C steel. Using the orthogonal array method the specific cutting energy has been predicted. And the significance of the equation is checked by ANOVA test. Predicted values of specific cutting energy are well coincide with the measured ones. When the feed rate becomes larger than 0.5mm/rev, predicted specific cutting energy increases.

Key Words Specific cutting energy(비절삭에너지), Orthogonal array method(직교배열법), Size effect(치수효과)

1. 서론

절삭과정은 그 본질에 있어 칩 생성과정이며, 대부분의 금속절삭시 칩 생성은 전단역이라 불리우는 극히 한정된 영역에서 매우 좁은 간격을 두고 잇달아 일어나는 집중된 전단소성변형에 의해 이루어지고 생성된 칩은 공구경사면과 심한 마찰을 일으키면서 외부로 배출된다 따라서 절삭성 평가에 있어 가장 기초적인 문제는 전단소성변형거동과 칩-공구경사면의 마찰거동에 미치는 절삭조건, 피삭제와 공구의 재질 및 형상 등 절삭입력조건에 영향을 미치는 것이다⁽¹⁾ 한편 효율적인 절삭을 위해서는 광범위한 절삭조건 범위에서의 절삭실험을 통한 절삭성 평가가 이루어져야 한다 절삭성 평가를 위하여 가장 일반적으로 채택되는 파라미터는 비절삭에너지(specific cutting energy)이다.

지금까지 이루어진 대부분의 연구에서는 절삭실험시 여러 가지 절삭입력조건 중 한번에 한 조건만을 변화시켜 실험함으로써 많은 실험량이 요구되어 왔다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 대두된 방법이 실험횟수를 줄이면서 통계적인 방법을 사용할 수 있는 실험계획법(design of experiments)을 이용하는 것이다.⁽²⁾

본 논문에서는 기계 부품 소재로 널리 사용되고 있는 기계구조용강 SM45C의 절삭특성 평가의 일환으로 3⁴일부실시법의 하나인 L₉(3⁴)직교배열법(orthogonal array method)과 ANOVA검정⁽³⁾을 통해 실험횟수를 줄이고 유의한 인자만을 이용한 2차의 회귀식을 개발하여 상기 강들의 비절삭에너지 특성을 예측하고 실험결과와 비교 하였다.

2. 절삭실험

절삭실험은 외경선삭에서 절삭속도, 이송속도 및 절삭유 사용량을 변화시켜 가면서 실시하였다.

피삭제는 기계 부품 소재로 널리 사용되고 있는 기계구조용강인 SM45C를 사용하였다. Table 1에는 SM45C의 화학적 조성을 나타내었다.

Table 1 Chemical composition(wt%) of SM45C

| C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Fe |
|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|------|
| 0.427 | 0.218 | 0.679 | 0.011 | 0.010 | - | - | Bal. |

절삭공구로는 TPMS 160308 인서트를 사용하였으며, 공구홀더로는 CTGPR2525M16을 사용하였다. 절삭실험에 사용한 공작기계 및 실험조건은 Table 2에 나타낸 바와 같다.

Table 2 Machine tool and cutting test conditions

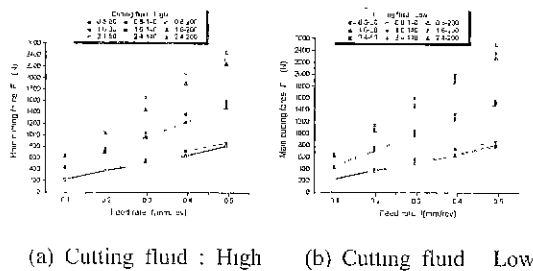
| | | |
|-------------------------|--|--|
| 1. Lathe | | |
| RPM | 23 ~ 1200 (12steps) | |
| Lead | 0.045 ~ 1.381 (10steps) | |
| Power | 10HP | |
| 2. Cutting Conditions | | |
| Cutting speed | 80, 140, 200 m/min | |
| Depth of cut (DOC) | 0.8, 1.6, 2.4 mm | |
| Feed rate | 0.098, 0.197, 0.296, 0.394, 0.493 mm/rev | |
| Cutting Fluid | High(2 l/min) Low(0.5 l/min), None | |
| Insert | | |
| Insert | TPMR 160308 | |
| Nose radius | 0.8 mm | |
| Side cutting edge angle | -1° | |
| Back rake angle | 0° | |
| Side rake angle | 6° | |
| Tool holder | | |
| Tool holder | CJGPR2525M16 | |

외경선삭시 주분력(Main cutting force, F_y)를 측정하기 위하여 공구동력계(Kistler, 9257A)에서 나오는 절삭력 신호를 전하증폭기(Kistler, 5807A) 및 A/D변환기(Data Translation, DT3831-G)를 통하여 PC에서 신호분석기능을 갖고 있는 소프트웨어 패키지(Global Lab)를 사용하여 분석하였다.

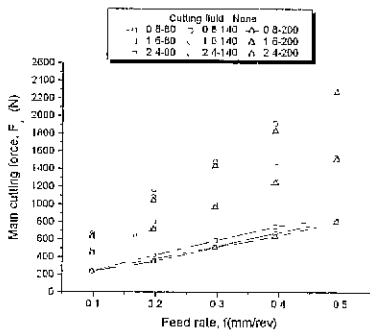
3. 실험결과 및 고찰

3.1 절삭력 F_y

Fig 1은 이송에 따른 주분력(Main cutting force, F_y)를 절삭유 사용유무에 따라 나타낸 것이다



(a) Cutting fluid : High (b) Cutting fluid : Low



(c) Cutting fluid : None

Fig. 1 Main cutting force, F_y (N) vs feed rate, f (mm/rev) with cutting fluid of (a)2 l/min, (b)0.5 l/min, (c)none

3.2 비절삭에너지

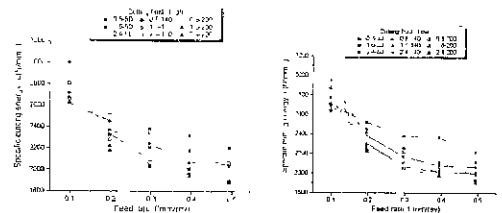
절삭입력조건에 따른 절삭성능의 종합적 평가를 위해서 가장 일반적으로 채택되는 파라미터는 비절삭에너지이다.

절삭특성을 나타내는 가장 일반적인 인자인 단위 체적당 소요되는 절삭에너지, 즉 비절삭에너지는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다

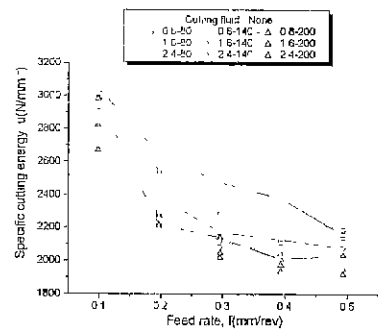
$$u = \frac{F_y V}{fdV} = \frac{F_y}{fd} \quad (1)$$

여기서 F_y 는 주분력(main cutting force, N), V 는 절삭속도(cutting speed, m/min), f 는 이송속도(feedrate, mm/rev), d 는 절삭깊이(depth of cut, mm)이다.

Fig 2는 절삭실험을 통하여 구한 비절삭에너지(specific cutting energy)를 이송에 따른 비절삭에너지를 절삭유의 사용유무에 따라 나타낸 것이다.



(a) Cutting fluid : High (b) Cutting fluid : Low



(c) Cutting fluid : None

Fig. 2 Specific cutting energy, u (N/mm³) vs. feed rate, f (mm/rev) with cutting fluid of (a)2 l/min, (b)0.5 l/min, (c)none

Fig. 2에서 보는 바와 같이 비절삭에너지 u 는 이송이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 실험결과는 절삭에서의 치수효과⁽⁴⁾를 나타내는 것으로 판단된다.

3.3 직교배열법

3개의 절삭인자인 절삭속도 V , 이송속도 f 및 절삭깊이 d 에 대한 회귀분석을 행하여 실험식을 구하였다. 실험식은 중선형회귀분석(multiple linear regression model) 모델식을 이용하였다.

중회귀분석(multiple regression analysis)시 적교성을 유지하기 위해 인자들은 통계적 코딩(statistical coding)값으로 변환하였다. 변환식은 다음과 같다.

$$v_1 = \frac{V - 140}{60} \quad (2)$$

$$v_2 = \left(\frac{f - 0.1975}{0.1975} \right)^2 \quad (3)$$

$$f_1 = \frac{F - 0.2955}{0.1975} \quad (4)$$

$$f_2 = \left(\frac{F - 0.2955}{0.1975} \right)^2 \quad (5)$$

$$d_1 = \frac{D - 1.6}{0.8} \quad (6)$$

$$d_2 = \left(\frac{D - 1.6}{0.8} \right)^2 \quad (7)$$

변환된 통계적 코딩값들을 이용하여 중선형회귀모형을 만들면 식(8)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Specific cutting energy} = & 2151.76386 - 79.56057 \times d_1 - 431.49028 \times f_1 \\ & + 284.57222 \times f_2 - 131.53935 \times v_1 + 44.37444 \times v_2 \\ & - 42.31105 \times d_1 f_1 - 61.93732 \times d_2 f_2 v_1 \end{aligned} \quad (8)$$

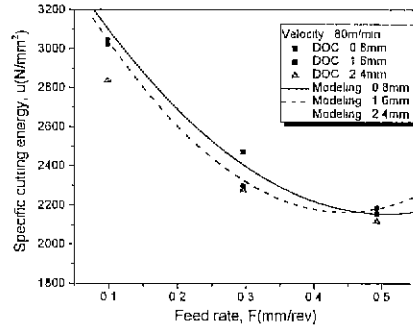
Table. 3은 실험결과를 이용하여 분산분석(analysis of variance, ANOVA) 검정한 결과를 나타낸 것이다.

Table. 3 Analysis of variance(ANOVA)-test

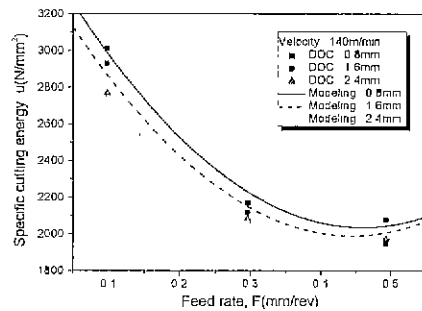
| | Variable | Partial R-Square | Model R-Square | F value | Pr > F |
|---|----------|------------------|----------------|---------|---------|
| 1 | F1 | 0.7925 | 0.9073 | 95.51 | <0.0001 |
| 2 | F2 | 0.1148 | 0.9073 | 29.72 | <0.0001 |
| 3 | V1 | 0.0460 | 0.9533 | 22.67 | <0.0001 |
| 4 | D1 | 0.0269 | 0.9802 | 29.90 | <0.0001 |
| 5 | D1F1 | 0.0269 | 0.9853 | 7.24 | 0.0137 |
| 6 | D2F2V1 | 0.0051 | 0.9893 | 7.54 | 0.0125 |
| 7 | V2 | 0.0040 | 0.9921 | 6.72 | 0.0179 |

회귀방정식의 정도(precision)를 측정하는 방법으로 많이 사용되는 것은 R-Square이다. Table. 3에서 보듯이 99.21%로 회귀방정식의 정도가 매우 크다고 할 수 있다.

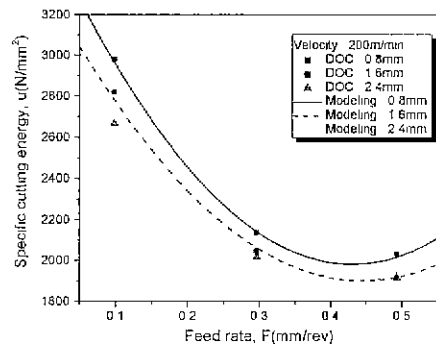
Fig. 3는 앞에서 구한 식(8)을 이용하여 feed에 따른 비절삭에너지를 예측한 것이다.



(a) Cutting speed : 80 m/min



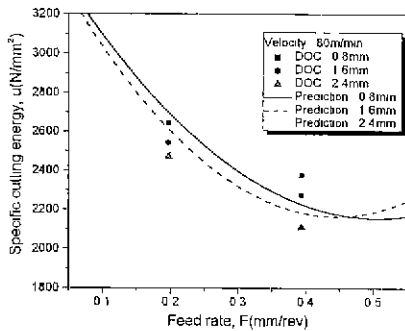
(b) Cutting speed : 140 m/min



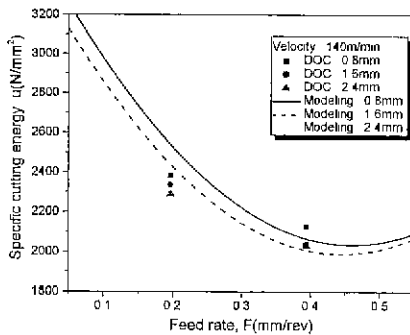
(c) Cutting speed : 200 m/min

Fig. 3 Predicted specific cutting energy, u (N/mm²) vs. feedrate, f (mm/rev) with cutting speed(m/min) of (a)80 m/min, (b)140 m/min, (c)200 m/min

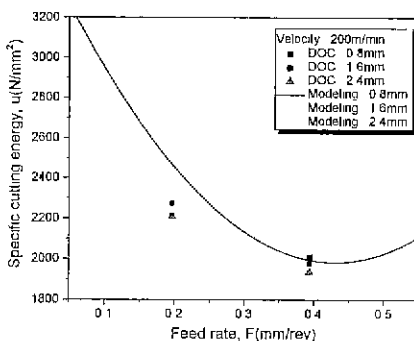
Fig 4는 측정된 비절삭에너지와 예측된 비절삭에너지를 비교한 것이다.



(a) Cutting speed : 80 m/min



(b) Cutting speed : 140 m/min



(c) Cutting speed 200 m/min

Fig 4 Measured and Predicted specific cutting energy, $u(N/mm^2)$ vs feedrate, $f(mm/rev)$ with cutting speed(m/min) of (a)80 m/min, (b)140 m/min, (c)200 m/min

Fig. 4에서 보는 바와 같이 직교배열법에 의해 예측된 비절삭에너지값은 대체적으로 실험결과와 잘

일치하고 있다

양자 모두 이송속도가 증가함에 따라 비절삭에너지는 지수함수적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다.

그러나 예측 비절삭에너지의 경우 이송속도가 비교적 큰 영역인 0.4~0.5mm/rev에서 최소값을 나타낸 후 이송의 증가와 더불어 비절삭에너지가 증대하는 경향을 나타내고 있다 이러한 예측결과는 Fig. 2에 나타난 실험결과 분석에 의해 예측된 것이지만, 실험 결과상에는 나타나지 않았다 이러한 결과는 칩이 과대하게 제어될 때 추가적으로 에너지가 소비되기 때문으로 추정된다.⁽⁵⁾

4. 결론

본 논문에서는 실험을 행하여 비절삭에너지 u 의 절삭특성 평가 하였으며 직교배열법을 이용하여 비절삭에너지를 예측하였다

비절삭에너지는 이송이 증가함에 따라 치수효과에 의해서 지수함수적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다.

직교배열법에 의해 예측된 비절삭에너지값은 대체적으로 실험결과와 잘 일치하고 있다.

예측 비절삭에너지의 경우 이송속도가 비교적 큰 영역인 0.4~0.5mm/rev에서 최소값을 나타낸 후 이송의 증가와 더불어 비절삭에너지가 증대하는 경향을 나타내고 있다.

참고문헌

- 1 Zorev, N N, "Interrelationship Between Shear Processes Occurring Along Tool Face and on Shear Plane in Metal Cutting," Pro Inter. Res. Prod Conf., Carnegie Inst of Tech., pp. 42-49, 1963.
2. S. M. Wu. "Tool Life Testing by Response Surface Methodology. Part I & Part II," J. Eng. Ind., pp.105-116, 1964
- 3 D. C. Montgomery, "Introduction to statistical quality control ." John Wiley & Sons, Inc. 1996.
4. W. R. Baker, E. R. Marshall, M. C. Shaw. "The Size Effect in Metal Cutting," TRANS. ASME, Vol. 74, pp. 61~72, 1952
5. 이영문, 최원식, 서석원, "절삭조건과 공구 형상 인자로 구성된 무차원 파라미터에 의한 절삭성능 및 칩절단 특성평가(I)," 한국정밀공학회지, 제11권, 제6호, pp.179~184, 1994.