

〈論 文〉

공구마멸에 따른 절삭력의 RMS 특성

권용기* · 오석형** · 김동현***

(1992년 12월 8일 접수)

The RMS Characteristics of Cutting Force Depending on the Tool Wear

Yong-Ki Kwon, Seok-Hyung Oh and Dong-Hyun Kim

Key Words: Flank Wear(여유면 마멸), RMS(Root-mean-square), Slenderness Ratio(細長比), Tool Wear(공구마멸), Cutting Force(절삭력)

Abstract

With the use of the NC machine tool, the unmanned production system has been growing recently in the manufacturing field. Thus there are problems with monitoring adequate tool fracture during the cutting process efficiently. This study was planned and carried out to discover a way of monitoring tool condition in ON-LINE systems during the cutting process. The acquisition of data in cutting force and tool wear has been made in the section examined, to extract the RMS value of the cutting force as specific factors in the cutting process. The fluctuation of the cutting force in accordance with tool wear has been analysed by using experimental data as the RMS characteristics. From the results, it has been shown that the fluctuation of the RMS values for the cutting force has a close relation to flank wear.

1. 서 론

근래 생산가공분야에서는 수치제어 또는 전용공작기계가 채용되면서 CIM 시스템이 구축되고, 나아가 생산시스템의 무인화, FA 시스템화를 이룩하기 위한 목표로 급속하게 진전되고 있다.

한편 이러한 노력이 활발하게 전개되고 있지만 공구재료의 질적인 향상이 뒤지고 있는 관계로 인하여 이 분야의 연구에는 다소간의 어려움이 존재하는 것이 현실이다. 더구나 근래 산업의 여러 분야에서 각광을 받고 있는 신소재는 절삭가공의 측면에서 볼 때 난삭재로 분류되고 있으며, 가공물의 재질이 난삭성을 초래하므로 공구마멸이 신속하게

진행되므로써 절삭인은 이상 손상이 발생하거나 정상마멸이 급격히 확대되어 공구수명이 매우 불안정하게 되면서 이들로 인해 가공표면의 정밀도에 심대한 영향을 미치는 결과로 나타나고 있다.

따라서 난삭재를 능률적으로 절삭가공하기 위하여 공구마멸의 요인을 파악하는 것이 중요하지만, 절삭공구의 신뢰성을 유지하도록 절삭 중 공구의 손상에 대한 현상파악을 집중 검토하는 것은 중요한 과제라 하겠다. 기계가공의 무인화가 급속하게 확대됨에 따라 공구손상의 검출에 대한 효과적 처리를 위해 적극적인 개발이 진행되어 오고 있으며 관련 연구도 다수 발표되고 있다.

이러한 공구마멸의 검출에 관한 연구는 절삭실험을 통한 마멸량의 측정에 의한 공구수명을 판정^(1,2) 또는 예측⁽³⁾하는 직접적인 방법과 절삭과정중에 발생하는 절삭력,^(4,5) AE(acoustic emission),^(6,7) 절삭온도⁽⁸⁾ 등에 의한 간접적인 방법의 연구가 진행

*정회원, 전주공업전문대학 기계과

**정회원, 군산대학교 기관학과

***정회원, 원광대학교 기계공학과

되고 있다. 최근에는 AE 신호의 주파수 대역, 진폭으로 부터 공구파손, 마멸 등의 검출에 대한 연구와 image processing에 의해 공구마멸량의 상태를 감지하는 방법의 연구가 보고되고 있다. 한편 Y. Ito⁽⁹⁾는 절삭력의 동적성분에 대해 스펙트럼 해석을 하므로써 공구마멸을 효과적으로 검출할 수 있다고 보고한 바 있다.

그러나 이러한 공구손상 검출기법에 있어서 일부 효과적인 방법으로 인정은 되고 있지만, 공구의 수명예측에 의한 방법은 이상마멸을 알아내기가 어렵고, 간접적인 방법의 경우 비교적 정확한 마멸상태를 파악할 수도 있으나, 검출의 신뢰성이 낮으며 장치의 구성 등에 있어서 복잡성과 가격이 고가이고 신호처리의 어려움 때문에 널리 활용되기에는 아직 다소간의 문제를 가지고 있다고 본다.

본 연구에서는 일반적인 절삭력 측정장치에서도 검출 가능한 절삭력의 RMS(root mean square) 특성값들을 공구마멸량과의 관계로 검토하였다. 즉, 플랭크 마멸과 절삭력과의 상관성으로 실험결과를 파악하고자 하며, 이들 특성을 집중 검토하여 공구마멸 검출기법으로서 활용성 여부를 평가하고자 한다.

2. 실험 Data의 RMS해석

열·유체의 실험에서 발생하는 데이터는 거의 random한 상태이기 때문에 통계처리를 통해 데이터를 해석하는 것이 일반화되고 있는데, 여기서 이용하고 있는 인자들은 Mean값, RMS값, Skewness값, Flatness값들이며 이 값들이 동특성의 해석에 활용되고 있다.

절삭실험에서도 데이터가 일부분야에서는 random한 상태로 특성을 나타내지만 DC성분으로 처리하고 있는 것이 보편화된 경향이다. 특히 절삭기구 해석에서 중요한 위치를 점유하고 있는 절삭력의 특성은 실험으로 부터 얻어진 데이터를 DC성분으로 처리하여 상태량을 파악하고 있으므로 인해 이들에 대한 변동 특성을 정확하게 파악한다는 것은 어려운 실정이다. 그러나 실제 절삭과정 중 칩이 발생하는 전단역, 칩·공구·공작물 사이의 마찰작용 등에 의해 절삭인선 부위에는 정상마멸이 발생하는 것은 피할 수 없고, 또한 이러한 공구마멸이 진전되고 있는 상태에 따라 절삭력은 당연히 심하게 변동되는 특성으로 나타나게 되므로 실험 데이

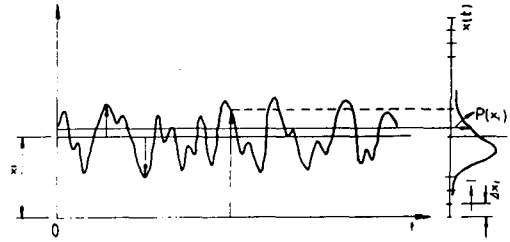


Fig. 1 Description of one-dimensional probability density distribution

터를 동적 특성으로 해석하는 것은 필수적이라 판단된다.

따라서 본 연구에서는 난삭재인 SUS 304 절삭시 공구마멸이 특히 격렬하게 진전될 것이므로 이러한 공구마멸 진전상태에 따르는 절삭력의 변동 특성을 파악 및 규명하기 위해 RMS 특성을 이용하였다.

다음은 RMS 특성 해석을 하기 위해 적용한 이론이다. Fig. 1과 같이 절삭력의 변화폭을 임의의 미소구간으로 나누었을 때 시간에 대한 확률은 총 측정시간 T 동안에 각 구간의 힘의 변화와 Δx_i 사이에 발생된 시간의 합을 Tx_i 라 할 때 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Prob}[x_i < x(t) < x_i + \Delta x_i] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{T x_i}{T} \quad (1)$$

따라서 확률밀도함수 $p(x_i)$ 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$p(x_i) = \lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \frac{\text{Prob}[x_i < x(t) < x_i + \Delta x_i]}{\Delta x_i} = \lim_{\Delta x_i \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta x_i} \left[\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{T x_i}{T} \right] \quad (2)$$

일정구간 내에서 절삭력의 빈도수(r)에 대한 확률은 식(3), 확률밀도는 식(4)와 같으며, 식(3)은 각 인자의 값에 대한 순간값을 나타내고 있다.

$$P(x_i) = p(x_i) \Delta x_i = \frac{r_i}{N} \quad (3)$$

$$p(x_i) = \frac{P(x_i)}{\Delta x_i} = \frac{r_i}{\Delta x_i \cdot N} \quad (4)$$

(단, $N = \sum_{i=1}^n \Delta r_i$, N : sampling number, n : class number)

평균, 표준편차 및 RMS는 다음과 같이 정의된다.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n r_i \cdot x_i = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot p(x) \cdot dx \quad (5)$$

$$\sigma_x = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n r_i \cdot (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} = \left[\int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^2 \cdot p(x) \cdot dx \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$p(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma_x^2} \right] \quad (7)$$

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n r_i \cdot x_i^2} \quad (8)$$

3. 실험장치 및 방법

본 실험에서 절삭성을 검토하기 위해 사용한 피삭재는 오스테나이트계 스테인리스강 SUS 304(Φ 80×500 mm)이다. 고속정밀선반을 사용하여 길이방향 절삭을 행하였으며 심압대 축의 공작물 치구는 베어링센터로 지지하여 회전을 원활하게 하였고, 절삭깊이를 같은 절삭조건 상태에서 일정하게 유지되도록 공구대 타단에 다이얼게이지(Div. 0.001 mm)를 설치하여 절삭깊이 값을 장입하면서 연속, 전식절삭을 하였다. 절삭속도의 변화는 주축계 속도변환기구가 기어식이므로 주축 회전수를 변화시키면서 봉재 직경 감소율에 따르는 절삭속도 범위가 5% 이내로 되도록 유지하였다. 또한, 주절인각은 90°를 유지시켰으며 공구는 고정구에 설치하여 유효경사각을 -20°~20° 범위내에서 임의 조절할 수 있도록 하였다. 절삭공구는 P20 초경합금 T.A 공구를 사용하였고 공구 기하학적형상은 Table 1, 데이터처리 시스템의 제원은 Table 2와 같으며 측

Table 1 Specification of tool

Grade	P20
Standard	TPGN 160304 ASA 321
Tool holder	CTGPR 2525
Side rake angle, α	6°
Back rake angle, λ	0°
End relief angle, γ	6°
Side relief angle, β	11°
End cutting edge angle, K _m	5°
Side cutting edge angle, K _r	0°
Nose radius, R _n	0.4 mm

정장치의 구성은 Fig. 2와 같이 하였다.

공구면에 발생하는 마멸량 측정은 실제 현미경으로 1차 확인을 하면서 마멸의 진전상태를 파악한 후, 공구현미경과 profile projector에서 측정하였다. 이때 플랭크 마멸의 폭(V_B)은 ISO의 단인공구 마멸기준에 따라 0.3 mm로 수명한계를 정하였다.

또한 절삭력의 데이터처리를 행하기 위한 프로그램은 실험의 절삭조건을 입력할 수 있는 menu unit,

Table 2 Experimental apparatus

(1) Tool dynamometer

- * Kistler instrument type : 9257 A
- * Maximum load : 5000 N
- * Resolution : <0.01 N

(2) Charge amplifier

- * Kistler instrument type : 5001
- * Measurement of a range : ±0.1~500,000 pc
- * Resolution : ±1%

(3) Tool makers microscope

- * Model : Nikon
- * Magnification : X 50

(4) A/D converter : ADC 574A

- * 12 bits
- * 16 channel
- * Conversion time : 15 μ sec
- * Measurement of a range : ±5V, ±10 V

(5) Profile projector

- * Model : Mitutoyo PJ 303

(6) Stylus digital dial gauge tester

- * Model : salvac D-25
- * Minimum measuring range : 0.0001 mm

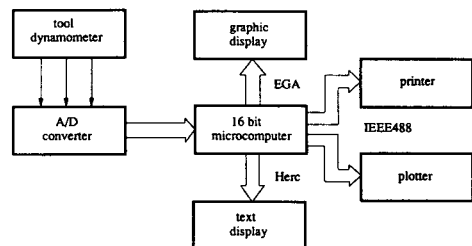


Fig. 2 Block diagram of data acquisition

data acquisition 을 행하기 위한 unit, 계산 unit, 두 화면(graphic과 text) 출력을 하기위한 출력unit 및 data plotting을 위한 plotter unit, 자료의 저장 등을 위한 file manager unit 등 4부분으로 구성하였으며 각 부분을 모듈화하여 Turbo Assembler와 Turbo Pascal을 이용하여 작성하였다.

절삭된 가공면은 가공경화로 인한 가공변질층이 존재하므로 각 실험조건으로 절삭하면서 데이터를 받은 후에는 0.1mm 깊이로 전절삭을 행하였다.

이때 각각 얻어지는 데이터량은 8.02초를 구간으로 32768개씩 받아서 CRT상에서 순간순간의 값들을 그래프로 출력시킬 수 있도록 하였으므로 이들 데이터에 대한 안정성 확인을 위한 검정이 가능하였다. 절삭 3분력은 각각 max, mean, min, RMS 특성치로 통계 처리하여 출력되도록 하였다.

마멸실험을 진행하는 동안 공구 동력계로 부터 얻어진 절삭 3분력 및 RMS 값은 PC상에 저장하였으므로 절삭과정 실시간에도 마멸에 따른 절삭력의 변동치는 RMS 응답특성으로 처리할 수 있었다. 선삭실험시 back lash 특성때문에 절삭깊이를 장입할 때 마다 힘의 측정 값들이 약간씩 달라지므로, 실험오차를 줄이기 위해 RMS 값을 무차원화(RMS/cutting force)시켰으며 이를 RMS 특성치라 명명하여 공구마멸과 관련지어 비교분석하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 공구마멸 특성

본 선삭실험에서 SUS 304 가공시 발생된 칩의 형태를 실제 현미경을 통해 관찰하면서 발생 형태에 따른 절삭성 파악을 하여본 바, 대체로 톱니형 칩이 생성되는 특징으로 나타남을 살펴볼 수 있었다. Fig. 3은 특징적으로 나타난 톱니형 칩을 SEM으로 촬영한 것이다. 여기서 난삭재료 가공시 특징으로 나타나는 톱니형 형상으로 칩이 생성된 것을 볼 수 있는데 SUS 304도 이러한 범주의 난삭재료로 취급하면서 절삭성을 고려하는 것이 타당함을 파악해 볼 수 있다.

Fig. 4는 칩 단면적($A=이송 \times 절삭깊이 ; 0.09 \times 0.4 \text{ mm}^2$)을 일정하게 유지하면서 절삭할 때 절삭속도의 변화가 플랭크 마멸에 미치는 영향을 평가하기 위하여 저, 중, 고속의 절삭조건을 취하여 실험한 내용이다. 여기서 나타난 특징으로 부터 절삭속도를 120 m/min 이상의 그룹과 70 m/min의 경

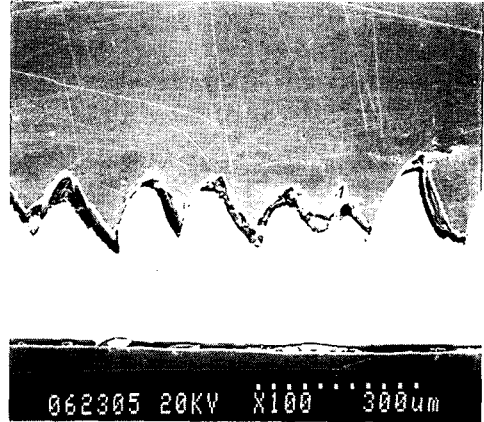


Fig. 3 Photomicrograph of a chip shape pattern in work material SUS 304

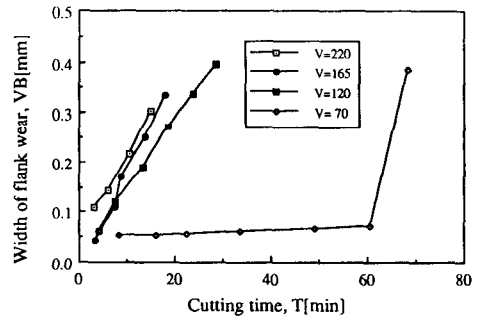


Fig. 4 The relation between width of flank wear and cutting time ($A=0.09 \times 0.4 \text{ mm}^2$)

우로 나누어 보았다. 절삭속도가 120 m/min 이상의 경우로 증가하게 되면서 플랭크 마멸로 인한 공구마멸은 급격하게 진전되어 가는 것으로 나타나고 있다. 칩단면적이 작은 경절삭의 경우이지만서도 절삭속도가 165 m/min 이상에서는 특히, 크레이터의 심화로 인한 마멸현상이 두드러지는 것을 확인할 수 있었다. 절삭속도가 증가함에 따라 절삭온도는 급격한 상승을 하게 되고 이로인해 절삭열은 공구인선에 근접한 부위에 축적되면서 짧은 시간 내에 절삭인을 산화 손상시키는 상태로 나타남을 볼 수 있는데, 이는 SUS304 가공시 주된 난삭성으로 간주할 수 있었다. 반면 절삭속도가 70 m/min으로 낮아진 경우는 절삭속도가 마멸에 별다른 영향을 미치지 않고 있다. 절삭시간이 60분 경과된 이후에 급격히 수명한계에 도달한 것은 저속조건에서 그루브의 성장으로 인하여 공작물과 접촉되고 있는 플

랭크 면이 상대적으로 좁아짐에 따라 절삭과정 중 마찰작용으로 플랭크 면의 마멸폭은 급격하게 성장하기 때문이다.

그러나 실험의 검토 대상이 공구마멸의 증대에 따르는 절삭력의 변동특성을 검토하기 위해 실험계획된 것으로써 이러한 정상마멸 중 크레이터 또는 그루브 마멸의 과정에서는 절삭력의 변동이 별 특정을 보이지 않는 반면, 플랭크 마멸 폭이 성장하는 경우에는 절삭력은 신호상 특성이 나타나고 있음이 검토되었다. 따라서 정상마멸 중 플랭크 마멸에 대한 특성 요인만을 절삭력과의 상호관계로 집중 검토하여 데이터 해석에 이용하였다.

Fig. 5는 절삭속도를 220 m/min으로 일정하게 유지하면서 절삭할 때 세장비($G=d/f$; slenderness ratio)의 변화가 플랭크 마멸에 미치는 영향을 파악하기 위하여 도식한 내용이다. 세장비를 3가지로 변화시키면서 실험을 하였는데 여기서는 세장비의 조건을 각각 $G=3:1(0.7/0.25)$, $G=5:1(0.9/0.19)$, $G=10:1(1.3/0.13)$ 로 하였다. 세장비가 각각 3:1, 5:1에서는 플랭크 마멸이 급속하게 진행되고 있다. 즉, 절삭이 시작되어 1~3분 이내에 공구는 수명한계에 도달하고 있으며 이러한 상태로는 안정된 절삭을 유지하기는 어렵다. 그러나 같은 단면적의 경우라 해도 세장비가 10:1로 커지면서 공구수명은 2배~6배 정도 연장되는 결과로 나타나고 있다. 여기서 세장비의 변화는 공구수명과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있으며, 공구수명의 면에서는 칩 단면적이 같은 경우라 해도 절삭성을 개선할 수 있는 효과적인 절삭조건이 존재하는 것을 확

인하였다. 즉, 공구수명을 기준으로하여 절삭조건을 선정하는 경우 칩 단면적은 정방형보다 세장비를 크게 취하는 장방형 쪽으로 절삭조건을 선정하는 것이 유리하다고 본다.

4.2 절삭력의 RMS 특성

Figs. 6, 7은 절삭속도를 220 m/min, 절삭깊이 0.7 mm, 이송은 0.09 mm/rev를 유지하며 절삭할 때 플랭크 마멸에 따르는 주분력 RMS특성치와 이송분력 RMS특성치를 나타낸 그림들이다. Fig. 6은 절삭이 개시된 초기에 마멸은 상당히 빠르게 진전을 하여 절삭시간 3분만에 마멸폭은 0.11 mm에 이르고 있으며, 이 때 주분력 RMS특성치는 0.046으로 나타나고 있다. 절삭시간 7.5분에서는 마멸폭이 대략 0.17 mm까지 진전되고 있는데 이 구간에

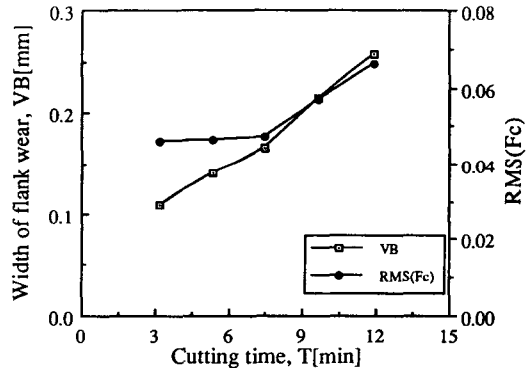


Fig. 6 The relation between RMS(Fc) and cutting time ($V=220$ m/min, $f=0.09$ mm/rev, $d=0.7$ mm)

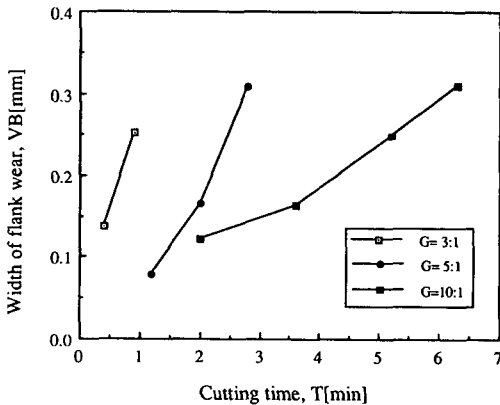


Fig. 5 The relation between width of flank wear and cutting time ($V=220$ m/min)

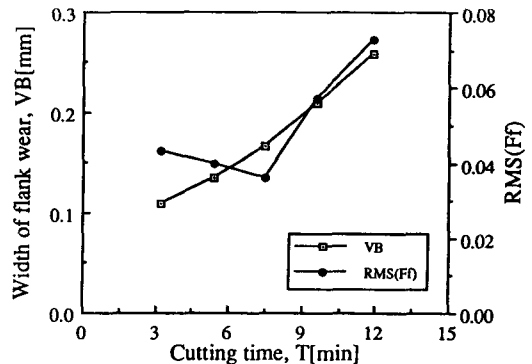


Fig. 7 The relation between RMS(Ff) and cutting time ($V=220$ m/min, $f=0.09$ mm/rev, $d=0.7$ mm)

서 RMS특성치는 0.047이 되며 마멸폭은 증가되고 있지만, RMS특성치는 거의 일정한 값을 유지하고 있다. 그러나 마멸폭이 0.17~0.26 mm로 증가되어 가면서부터 주분력 RMS특성치는 특징적으로 급격하게 상승되어 V_B 가 0.26 mm에 다다른 경우 RMS특성치는 0.066이 되고 있다. 이 구간 RMS특성치의 변동은 주목할 만한 특징을 나타내는 데이터라고 본다. Fig. 7에서는 절삭이 시작된 3분만에 마멸폭은 0.11 mm에 이르고 있으며, 이때 이송분력 RMS특성치는 0.043으로 나타나고 있다. 절삭시간 7.5분에서는 마멸폭이 대략 0.17 mm까지 진전되고 있는데 이 구간에서 RMS특성치는 0.036이 되며 마멸폭은 증가되고 있지만서도 이송분력 RMS특성치는 오히려 절삭 초기보다 감소되는 현상을 보이고 있다. 그러나 마멸폭이 0.17~0.26 mm로 증가되어 가면서부터 이송분력 RMS특성치는 급격하게 상승되는데 V_B 가 0.26 mm에 다다른 경우 RMS특성치는 0.073이 되어 초기 이송분력 RMS특성치보다 2배 이상 증가된 값으로 나타남을 볼 수 있다.

이들 두 그림에서 플랭크 마멸 진전에 따른 RMS특성치의 변동 특성이 잘 나타나고 있음을 특징적으로 볼 수 있다. 절삭인이 손상되지 않은 절삭초기에도 소성가공이므로 미소값의 절삭력 변동은 있지만, 플랭크 마멸 폭이 작은 경우 절삭력의 변동은 작게 나타나고 있다. 그러나 절삭시간이 경과함에 따라 마멸 폭은 증대되고 절삭력 변동은 커진다. 결과적으로 이는 마멸이 어느 한계치 범위에 도달하면서 RMS특성치가 급격하게 증가되는 양상으로 나타나는 원인이라고 볼 수 있겠다. 이러한 경향은 계속하여 제시되는 실험결과들에서도 유사한 양상으로 나타나고 있다.

Fig. 8은 절삭속도 220 m/min, 절삭깊이 1.2 mm, 이송은 0.05 mm/rev의 조건으로 절삭할 때 플랭크 마멸과 이송분력 RMS특성치와 상관관계를 나타낸 그림이다. 절삭시간 3.2분에서 V_B 는 0.108 mm가 되며 절삭시간 T 가 7분인 경우 V_B 는 0.14 mm로 진전된 것과 비교할 때 이 구간에서 RMS특성치는 0.04를 나타내다가 오히려 0.03으로 약간 감소하고 있는 것을 볼 수 있다. 절삭시간 T 가 16분이 경과된 지점에서 V_B 값은 0.24 mm로서 증가되고 있지만 이 구간의 RMS 특성치는 초기 상태를 대체로 유지하고 있다. 그러나 이후부터 마멸 폭이 증대하여 0.301 mm로 수명한계에 도달할 때 까지

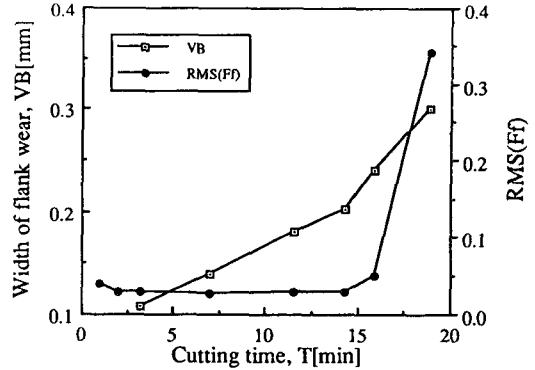


Fig. 8 The relation between RMS(Ff) and cutting time ($V=220$ m/min, $f=0.05$ mm/rev, $d=1.2$ mm)

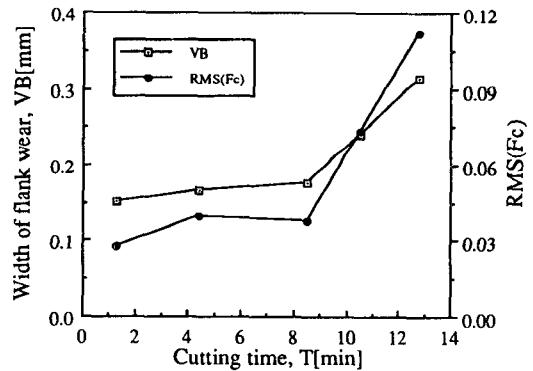


Fig. 9 The relation between RMS(Fc) and cutting time ($V=220$ m/min, $f=0.09$ mm/rev, $d=1.2$ mm)

의 RMS 변동을 살펴보면 0.34까지 증대함으로써 대략 11배 정도의 변동 폭을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이 그림의 특징을 살펴보면 플랭크 마멸 폭이 0.2 mm 정도에 이르면서 이송분력 RMS특성치는 두드러지게 변동되는 양상으로 나타남을 파악해 볼 수 있다.

Figs. 9, 10은 절삭속도 220 m/min, 절삭깊이 1.2 mm, 이송은 0.09 mm/rev를 유지하면서 절삭할 때 플랭크 마멸과 주분력 RMS특성치, 이송분력 RMS특성치와의 상관관계를 나타낸 그림들이다. 본 그림들에서도 앞에서 검토된 RMS 특성과 유사하게 RMS특성치는 특징적으로 변동되는 결과로 나타나고 있다. Fig. 10은 절삭 초기 마멸 폭은 0.15 mm로 크게 나타나지만 절삭시간 9분 정도까지 완만한 증가를 하고 있다. 이 때 주분력 RMS

특성치는 0.028에서 증가하다가 0.040에 도달하면서 부터 약간 감소하는 경향으로 나타나고 있다. 마멸 폭이 0.18 mm를 넘어 수명한계인 0.3 mm에 도달하는 구간에서 RMS 값도 큰 폭의 변화를 보이는데, 이 때의 RMS특성치는 0.037~0.112에 달한다. 이는 변동개시 후 3배의 증가를 보인 것이다. Fig. 10은 플랭크 마멸이 서서히 증가하고 있는 구간인, 절삭개시 후 9분까지는 이송분력 RMS 특성치 0.030에서 부터 서서히 증가하여 0.040 정도에 이르다가 다시 감소하여 0.038에 이른다. 마멸폭이 0.18 mm를 넘어 0.32 mm에 도달하는 구간에서는 RMS특성치는 크게 변동되고 있다. 0.038에서 부터 급상승하여 0.170에 도달하는데, 이는 변동초기보다 대략 4.5배의 증가를 보인 것이다.

Figs. 11, 12는 절삭속도 165 m/min, 절삭깊이 1.2 mm, 이송은 0.09 mm/rev로 유지하면서 절삭할 때 플랭크 마멸과 주분력 RMS특성치, 이송분력 RMS특성치를 관련시켜 제시한 그림인데 지금까지 검토된 일련의 RMS 특성보다 플랭크 마멸이 작게 형성된 상태에서 RMS특성치가 변동되는 특성을 보이는 내용이다. Fig. 11의 경우 대체로 마멸폭이 0.1 mm에 도달하기 까지의 구간에서는 주분력 RMS특성치는 0.04 정도로 절삭초기보다 약간 감소하는 경향으로 나타나고 있다. 마멸폭이 0.1 mm를 넘어서면서 0.23 mm까지는 급격하게 증가하고 있는데, 이와 같은 양상으로 주분력 RMS 특성도 이 구간에서 역시 크게 변동되는 양상으로 나타나고 있다. 마멸 폭이 0.23 mm를 넘어서서 절삭 개시 후 23분이 된 시점의 마멸폭은 0.25 mm로

서서히 증가하게 되는 구간이 되는데, 이 때의 RMS특성치는 전(前)구간의 경우와 비슷하게 급격한 증가를 나타내며 0.180까지 도달하고 있음을 볼 수 있다. 이는 변동초기보다 4.5배의 증가를 보인 것이다. 한편 Fig. 12도 유사하게 경향을 보이고 있는데, 플랭크 마멸이 0.1 mm까지 도달할 때는 이송분력 RMS특성치는 0.04에서 0.03으로 약간 감소하고 있다. 이때 부터 마멸 폭이 0.23 mm로 급증하는 구간에서 RMS특성치도 급격하게 증가를 한다. 마멸 폭이 0.25 mm까지 도달하는 구간에서는 마멸이 완만하게 증가하는 것과는 달리 RMS의 변동은 크게 나타나 0.175에 이르고 있으며, 이 때는 대략 6배의 증가를 한 것이다.

이러한 RMS변동 특성은 정상마멸로 분류되고 있는 플랭크 마멸 특성에서 잘 나타나는 것을 실험

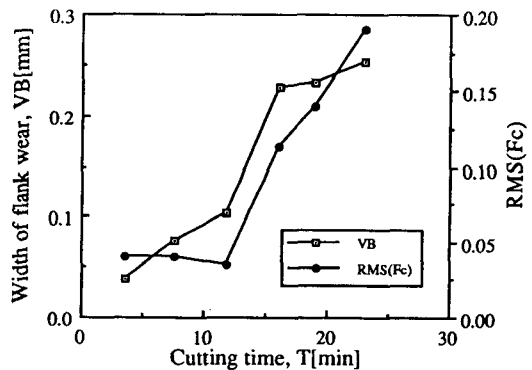


Fig. 11 The relation between RMS(Fc) and cutting time (V=165 m/min, f=0.09 mm/rev, d=1.2 mm)

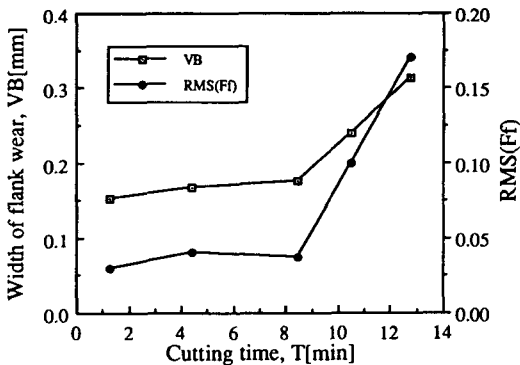


Fig. 10 The relation between RMS(Ff) and cutting time (V=220 m/min, f=0.09 mm/rev, d=1.2 mm)

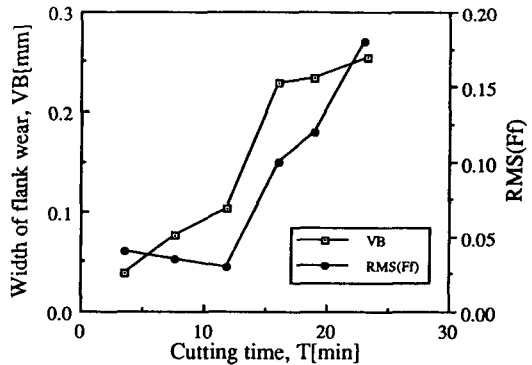


Fig. 12 The relation between RMS(Ff) and cutting time (V=165 m/min, f=0.09 mm/rev, d=1.2 mm)

과정을 통하여 고찰할 수 있었다. 이것은 플랭크 마멸이 진전되어감에 따라 절삭날 부근의 측여유면 상에서 피삭재와 선접촉을 이루며 절삭작용을 하고 있던 주절삭인이 공구마멸이 진행되어감에 따라 면 접촉으로 변환되어 가면서 절삭력이 증가하게 되고, 이 과정에서 RMS특성치는 두드러진 특징으로 나타나는 현상이 실험결과로부터 파악되었다. 이들 내용으로부터 RMS특성치를 공구마멸 분포 값들과의 관계로 관련지어 볼 때, 대체로 플랭크 마멸이 0.15 mm로 도달되면서 부터 RMS특성치는 큰 폭으로 변동되기 시작하는 특징으로 나타남을 알 수 있다. 마멸 폭을 0.15~0.25 mm 정도의 값과 RMS 특성과 관련시켜 보면 주분력 RMS특성치는 0.04~0.20의 범위로 분포되며, 이송분력 RMS특성치는 0.03~0.20의 범위로 비교적 한정된 범위 내에서 변동 특성으로 나타나는 것을 고찰해 볼 수 있다. 주분력 RMS 특성이나 이송분력 RMS 특성은 대체로 유사한 양상으로 출력되는 것으로 파악되었으나, 데이터의 안정성 측면에서 주분력 RMS 특성이 다소 양호하였다.

본 실험에서 검토한 플랭크 마멸은 수명단계 이전에서 정량적으로 특징적인 신호처리가 가능함을 확인한 바, 이는 공구마멸 진전상태를 파악하기 위한 수단으로 절삭력의 RMS 특성을 적용하는 것이 가능함을 제시하는 것이라고 본다. 다만, 여기서 검토된 플랭크 마멸에 따른 RMS 변동 특성이 특정한 범위 내에 존재하지 않으므로 대표값으로 제안 할 수 없는 문제점은 다소 있다. 그러나 원래 절삭력은 칩 단면적과 피삭재료의 변화에 따라서 달라지므로 특성값이 각각 달라지는 것은 피할 수 없다고 생각된다. RMS 변동값을 공구 손상의 검출에 이용할 수 있는 특성 요인은 파악되었으므로, 이들 특성을 정량화하기 위한 방법으로, 폭 넓고 다양한 조건으로 상호관계를 정립하는 것이 필요하다고 본다. 각 절삭조건에 따르는 비절삭력 값이 구축되었던 바와 같이 이들 관계도 다양한 실험과정을 통하여 정량화될 수 있다고 생각된다. 따라서 각 조건에 따르는 공구마멸-RMS특성치가 정립되면 ON-LINE 일반화를 하기 위한 검출기법에 절삭력의 RMS특성치를 적용할 수 있음을 이상의 내용이 보여준다고 할 수 있겠다.

즉, 공구마멸에 따른 절삭력 RMS 변동한계를 설정하게 되면 이를 활용함으로써 일반적인 절삭력 측정장비를 이용하여도 최적 공구교환시기의 검출

에 대한 실시간처리를 가능하게 할 수 있는 효과적인 수단이 될 수 있음을 제안한다.

4. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 난삭재로 분류되고 있는 오스테나이트계 SUS 304를 절삭하면서 공구마멸에 따른 절삭력의 변동 특성을 절삭과정 실시간 데이터처리를 하여, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) SUS 304 절삭시 발생하는 정상마멸 중 절삭조건을 경절삭으로 취할 경우 절삭력의 동적 변동은 플랭크 마멸의 진전과 밀접한 관련을 가진다.

(2) 플랭크 마멸 폭은 0.15~0.25 mm 정도의 값과 절삭력의 RMS 특성과 관련시킬 수 있으며, 이때 RMS특성치는 0.04~0.20의 범위로 분포되었다. 실험결과 주분력 RMS 특성이나 이송분력 RMS 특성은 대체로 유사한 양상으로 출력되는 것으로 파악되었다.

(3) 공구마멸 진전에 대한 RMS특성치의 변동은 특징적으로 나타나고 있는데, 이는 공구마멸에 대한 절삭력 RMS 특성으로 규정지을 수 있다고 본다. 따라서 공구 마멸상태를 감지하기 위해 RMS 특성을 ON-LINE Process에 적용할 경우, 효과적인 계측방법이 될 수 있음을 제안한다.

참고문헌

- (1) Nakayama, K., 1988, Machining Characteristics of Hard Materials, *Annals of the CIRP*, Vol. 37-1, pp. 89~92.
- (2) Ueda, N. and Matsuo, T., 1980, Influence of Saw-Toothed Chip Formation on Tool Wear, *Proc. 4th Inter. Conf. Prod. Engr.*, pp. 512~517.
- (3) E. Usui., 1987, Study on Analytical Prediction of Cutting Tool Life-Characteristic Equation of Flank Wear-JSPE, Vol. 53-9, pp. 1414~1419.
- (4) Masuda, M. and Torii, M., 1987, The Influence of Cutting Force on Boundary Failure of Cutting Tool, *JSPE*, Vol. 53-10, pp. 1596~1601.
- (5) Yoram Koren and Tsu-ren Ko, 1989, Cutting Force Model for Tool Wear Estimation, *Trans of the North American Manufacturing of ASME*, pp. 166~169.
- (6) Yada, M. and Mizuno, M., 1989, Study on

- Friction and Wear Utilizing Acoustic Emission-Relation between Friction and Wear Mode and Acoustic Emission Signals-JSPE, Vol. 55-4, pp. 673~678.
- (7) Moriwaki, T. 1980, Detection for Cutting Tool Fracture by Acoustic Emission Measurement, Annals of the CIRP Vol. 29-1 pp. 35~39.
- (8) Barrow, G. 1973, A Review of Experimental and Theoretical Techniques for Assessing Cutting Temperatures, Annals of the CIRP Vol. 22-2, pp. 203~211.
- (9) Lay, G. J., saito, Y. and Ito, Y. 1984, Detection of Tool Wear by Dynamic Component of Cutting Force, JSPE, Vol. 50-7, pp. 1117~1122.