

절삭력의 동적 성분을 이용한 플랭크마모의 평가(I)

권 옹 기*, 오 석 형**, 유 기 현***, 서 남 섭***

Flank Wear Estimation Using Dynamic Cutting Force(I)

Yong-Ki Kwon*, Seok-Hyung Oh**, Ki-Hyun Yu***, Nam-Seob Seo***

ABSTRACT

The in-process detection of the tool wear is one of the most important technologies in completely automatic operation of machine tool. In this research, using the tools having flank wear, the dynamic component of cutting forces is considered to be available for identifying the cutting process. In order to investigate this relation in detail, the cutting forces in turning of workpiece made of aluminum were measured by dynamometer of piezoelectric type, and the dynamic components of cutting forces were analyzed. The frequency analysis, probability density analysis and RMS analysis of the dynamic components were carried out independently. Through the experiments, the characteristics of the tool system have a large effect on the dynamic component of cutting forces. As a result, it is shown that the dynamic cutting force was able to detect flank wear accurately.

Key Words: Cutting Force(절삭력), Flank Wear(플랭크마모), Detection Factor(검출인자), Frequency Analysis(주파수분석)

1. 서론

패턴 인식기술의 필요성이 최근 산업분야에서 특히 강조되고 있는 것은 생산공정 중에서 가공, 검사, 반송조립 등과 같은 많은 작업자가 종사하고 있는 작업공정에서 인력의 절약 및 제품정밀도의 향상, 제품의 다양화 등에 대응하기 위해 자동화에 대해 적극적인 자세를 갖게 된 결과라고 본다. 더불어 최근의 마이크로컴퓨터와 시각센서 등 각종의 센서들이 성능 면에서 향상되고 가격의 저하가 급속히 진행되어, 종래에는 가격이 비싸서 도입할 수 없었던 패턴 인식장비를 쉽게 구할 수 있게 되었다는 점이다.

한편, 절삭가공 분야는 이러한 시대적 요구에 민감하게 대응하며 성장하고 있으므로 적절한 생산 자동화는 당연한 과제가 되고 있으며, 종래 작업자가 눈으로 보며 검사를 하던 노력으로부터 자동화를 시도하는 실시간 처리용 패턴 인식기술의 경향도 현저하게 진보될 것으로 본다.

그러나 이러한 실시간 검출의 자동화를 하기 위해서는 절삭과정 중 발생하는 신호인자를 적절하게 제어할 수 있도록, 실제 가공에 있어서 각종오차의 원인이 파악되어야 하고 관련되는 제어인자의 효과를 면밀히 검토하는 것이 필요하다.

In-process상의 정보 중 공구마모 정보는 가공치수에

* 전주공업전문대학
** 군산대학교 기계공학부
*** 전북대학교 기계공학부

직접적인 영향을 미치므로 정밀가공을 하는데 매우 중요한 인자가 된다고 일부 연구는 보고하였다⁽¹⁾⁽²⁾. 또한 공구가 과도한 마모상태에서는 절삭상태를 악화시키므로 무인화공장을 가동하는 데에는 공구상태 인식이 프로세서 진단 시스템에서 중요한 역할을 한다고 본다⁽³⁾⁽⁴⁾.

직접 In-process 측정방식 중 공구마모 감지방식은 전기저항⁽⁵⁾, 복사측정⁽⁶⁾과 광학스캐닝⁽⁷⁾ 등이 있는데 전기저항 및 복사측정기술은 특별한 준비를 필요로 하며 복사측정기술은 방사능의 위험에 노출될 수 있다. 근래에는 비교적 절삭과정의 자동화 검출기법에 적용이 무난하다고 보는, 절삭력신호⁽⁸⁾⁽⁹⁾나 AE신호⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾의 모델링을 통하여 공구마모의 평가에 적용하고 관리하는 기법이 심도 있게 연구되고 있다.

본 실험에서는 선삭가공시 초경합금 공구의 마모에 따르는 발생신호를 특징인자로 하여 절삭력의 동적 신호인자의 효과를 실험 결과로서 평가해 본 후, 실험수준을 제시해 보며 이로부터 In-process 관리에 적용 가능한 제어인자를 제안해 보고자 한다.

2. 절삭상태의 감시 정보

고도로 자동화된 가공시스템에서는 사소한 트러블이 시스템 전체에 밀접한 영향을 미친다. 따라서 신뢰성이 높은 가공기술과 지원기술이 요구된다. 절삭가공 지원기술의 하나인 절삭상태 감지기술은 공구절손 등의 트러블을 예지하기 위해서 혹은 트러블에 의한 피해를 최소한으로 억제하기 위해서 도입이 되고 있다. 기계가공에서 제품치수와 거칠기에 영향을 미치는 가공조건은 다수 있으나 이것들 중에는 공정설계상 선택하여야 할 가공조건과 가공공정에 있어서 직접 관리할 수 있는 가공조건으로 나눌 수 있다.

On-Line 관리하에서의 가공조건은 생산현장에서의 관리항목으로 가공기계를 직접 조작하여 제품을 제어하는 가공조건이며 또한 목적특성에 대해 직접 조작하는 것이 여기서의 가공조건이라고 본다. 이러한 관리하에서의 가공조건이 실험에서는 신호인자가 되는 것이다. 동특성에서는 신호인자의 선정이 중요한 의미를 지니므로 이것을 적절하게 관리하지 않으면 결과 값은 실제의 현상과 차이를 가지게 될 수밖에 없다.

그림 1은 절삭과정의 다양한 조건 인자로부터 검출 및 제어인자를 특성화하는 내용을 나타낸 것이다.

현재 절삭상태 감시정보는 공구 교환명령이나 공작기

계의 정지 명령에 일부 이용되고 있다. 그러나 이는 절삭상태를 항시 감시하고 있음에도 불구하고 이상상태라고 인식되었을 때, 혹은 이상이 예지 되었을 때로 국한되는 정도의 초보단계에 머무르고 있다. 그래서 정상상태의 감시정보를 더 유효하게 이용하고, 절삭가공을 효율적으로 진행하기 위해서는 보다 확실하게 조건수준 및 신호인자를 인식하며 오차를 감안하여 최적 판별이 될 수 있도록 제어인자는 관리되어야 한다.

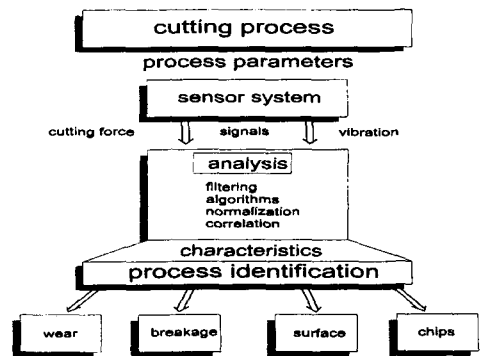


Fig. 1 Monitoring and optimization of cutting process.

3. 동적 절삭력을 고려한 수학적 모델

공작기계는 구조적으로 한정된 강성과 감쇠와 질량을 가질 수밖에 없고 특히 요구되는 생산성과 정밀도를 위하여 수행되는 고속, 강력 절삭 하에서는 동적으로 불안정해지며 절삭과정에서 진동을 유발한다. 따라서 해석은 변동절삭력을 발생하는 동적 절삭과정만을 수학적인 모델로 구성하여 절삭과정의 동적 안정성을 평가해 본다. 그러나 진동특성에 대한 측정은 검출기와 해석장치의 제약 때문에 제한된 주파수 영역에서만 가능하다고 볼 수 있다. 여기서는 그림 2와 같이 선반 공구대에 상용의 공구

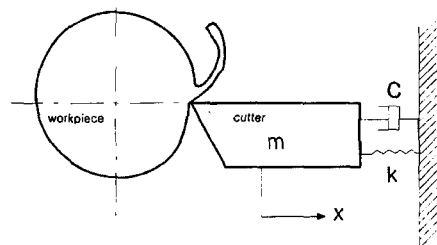


Fig. 2 Equivalent system for the conventional tool dynamometer.

동력계와 가속도계를 부착한 상태에서 절삭시 발생하는 절삭과정으로 해석한다.

모델의 운동방정식은

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (1)$$

여기서 m 은 질량, c 는 감쇠계수, k 는 스프링상수이다. 또한 $F(t)$ 는 절삭과정에서의 절삭력 변동을 나타낸다. 공구에 절삭력 $F(t)$ 가 작용하면 운동방정식은 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$m\ddot{x} + kx = F(t) \quad (2)$$

여기서의 진동은 가진력이 계의 운동매개변수인 변위와 속도, 가속도의 함수이기 때문에 운동자체가 가진력을 발생시키는 자력진동이다. 그러므로 가속도계가 조합된 공구동력계의 경우는 그림 3과 같이 등가 계에 의해 2자유도 진동계로 나타낼 수 있다. 공구에 작용하는 절삭력은 단순조화진동 주기 상에서 공구동력계로 부터 나오는 신호가 복합되는 상태로 가정할 수 있으며 그 운동방정식과 해는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

그림 3의 등가 계에서 운동 특성을 미분방정식으로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2 x_2 = F_0 \sin \omega t \\ m_2 \ddot{x}_2 - k_2(x_1 - x_2) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

여기서 x_1 및 x_2 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

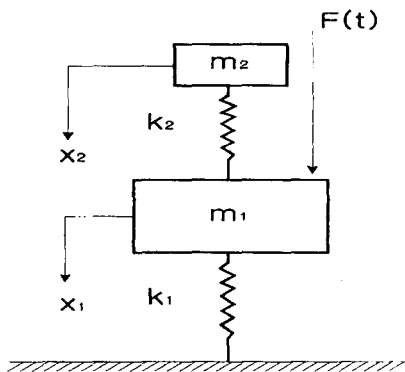


Fig. 3 Equivalent systems for the accelerometer combined conventional tool dynamometer.

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{F_0}{m_1} C \left[-\frac{v_2^2 - p_1^2}{v_2^2} D \sin p_1 t \right. \\ &\quad \left. + \frac{v_2^2 - p_2^2}{v_2^2} E \sin p_2 t + \frac{1}{\omega^2} \left(1 - \frac{\omega_2^2}{V_2^2} \right) \sin \omega t \right] \\ x_2 &= \frac{F_0}{m_1} C \left[-D \sin p_1 t + E \sin p_2 t + \frac{1}{\omega^2} \sin \omega t \right] \\ C &= \frac{1}{\left[1 - (p_1/\omega)^2 \right] \left[(\omega/v_2)^2 - (p_2/v_2)^2 \right]} \\ D &= \frac{1}{\omega} \frac{(\omega^2 - p_2^2)}{p_1 (p_1^2 - p_2^2)} \quad E = \frac{1}{\omega} \frac{(\omega^2 - p_1^2)}{p_2 (p_1^2 - p_2^2)} \\ v^2 &= k_2 / m_2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

여기서 P_1 과 P_2 는 계의 고유진동수($P_2 > P_1$)이고, ω 는 채터주파수, m_1 과 m_2 는 등가질량, k_1 과 k_2 는 등가스프링상수가 되며 아래첨자 1과 2는 각각 공구와 가속도계 축을 나타낸다.

4. 실험 방법

실험에서 공작물은 선반의 주축에 설치된 척에 외팔보 상태로, 매 시편마다 일정한 체결력으로 설치하였다. 실험에 사용한 피삭재료는 6061-T6 알루미늄 봉재로서 직경 50 mm 길이 350 mm 시편이다. 공구동력계는 Kistler 9257B type 이며 가속도계는 Kistler 808 K1 type 감도 99.6 mv/g을 사용하였다. 사용된 공구는 TPGN ASA321이며 인선반경 0° 유효경사각 6° 주철인 각 0°의 기하학을 가진다. 시편이 알루미늄 재료이므로 실험시간의 단축을 위해 공구 텃은 공구연삭기에서 임의로 3가지 플랭크마모 (0.2, 0.4, 0.7 mm)를 가공하여 초경공구용 연삭숫돌과 다이아몬드 연삭숫돌로 연삭 처리한 후 실험에 임하였다. 실험조건은 세장비를 각각 G= 20:1, 10:1, 5:1, 3:1의 4종류로 변화시키면서 각각 10회 중복 실험을 행하였다.

절삭중 절삭저항의 주분력과 이송분력을 선반의 공구대 대신에 고정장치를 이용하여 설치한 압전형 공구동력계에서 검출하고, 얻어진 신호는 Charge Amp.와 Filter를 거쳐 컴퓨터에 저장되었다. 그 후 신호를 재생하여 Spectrum analyzer Signal processor와 컴퓨터 상에서 Matlab 프로그램과 통계처리 전용 프로그램을 이용하여 절삭저항에 대한 동적 성분을 해석하였다. 그림 4는

이들의 블록 다이어그램을 나타낸다.

데이터 포인트는 4초를 간격으로 초당 20000개를 받아 저장하고 분석에 이용하였다.

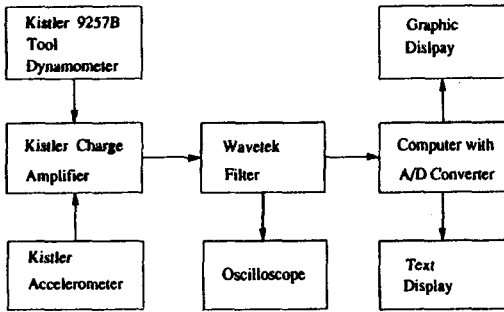


Fig. 4 Block diagram of data acquisition.

다만 데이터의 안정성을 확보하기 위하여 1차로 오실로스코프 상에 출력되는 신호의 파형을 육안으로 분석 확인하면서 안정된 상태의 데이터만을 선택하여 저장하였다. 실험계획에 따라 각각의 실험마다 채집되는 데이터 샘플링은 5개씩 취하였고, 전체 실험을 10회 실시하였으므로 각 실험 조건별 취한 데이터 샘플링의 총량은 50개의 데이터 파일이 되며 이러한 중복 실험을 거쳐 데이터를 검증하였다.

5. 실험 결과 및 고찰

5.1 마모에 따르는 동적 성분의 주파수분석

실험에서는 절삭저항의 주분력과 이송분력을 받았는데 전 실험과정에서 검토해 볼 때 이송분력이 동적 신호측면에서 보다 안정되었으므로 이송분력의 데이터만 이용하여 실험결과를 비교 검토해 보기로 한다. 이들 데이터 중 동적인 요인에 의해 변동되는 데이터를 여러 가지 방법으로 적절하게 분리 및 분석해 보았다.

그림 5의 (a) ~ (d)는 절삭속도 140 m/min, 절입량 0.7 mm, 이송량 0.07 mm/rev인 세장비 G= 10:1의 같은 절삭조건을 취하며 각각 플랭크마모량이 new, 0.2 mm, 0.4 mm, 0.7mm의 공구를 사용하여 절삭했을 때 얻어진 데이터를 스펙트럼 분석해 본 내용을 나타내었다.

이들은 절삭저항의 이송분력에 대한 동적 성분을 주파수 분석한 결과이다. 신호는 주파수영역 10 kHz까지 분석한 내용인데 (a) ~ (d)까지 공히 2그룹으로 스펙트럼

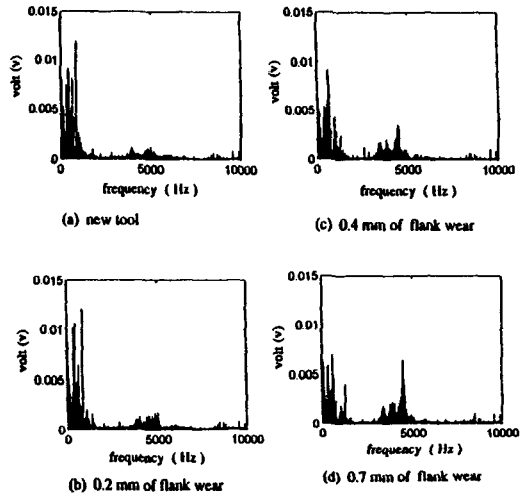


Fig. 5 Change of vibration spectra dependent on different wear modes ($v=140\text{m/min}$, $f=0.07\text{ mm/rev}$, $d=0.7\text{mm}$, $G=10:1$).

진폭의 형상이 서로 다르게 최대치를 형성하고 있다. 2 kHz 이하에서 형성된 스펙트럼은 칩의 파단 등 절삭과정으로부터 나타난 결과이다. 5 kHz대에서 형성된 것들은 공구마모값의 변동에 따라 특성을 나타낸 고유진동수에 해당되는 결과들이다. 본 연구에서 의도한 내용이 절삭과정 실시간 플랭크마모로 기인하는 동적신호의 처리를 지표로 하여 분석하고자 의도하였으므로 new tip을 가공에 의하여 플랭크마모만 준 상태로 절삭 실험하였다. 그러므로 이 과정의 스펙트럼에는 플랭크마모의 영향밖에 없다고 간주해도 무방하다. 여기서는 신호대 잡음의 영역을 검토해 보고 플랭크마모로 인한 동적 신호의 고유진동수만을 파악하여 특성 값에 접근해 보았다. (c)와 (d)에서 5 kHz 스펙트럼의 peak치가 다른 그림과 비교해 보면 크게 나타나고 있는데, 이는 공구마모값이 0.4 mm 이상을 넘어서면서 확실하게 구분되는 점이라고 본다.

이 그림들에서 보는 바와 같이 공구가 마모되어 가면 일정한 주파수 대역에서 절삭저항과 관련되는 동적인 성분의 영향으로 변동 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이러한 주파수성분을 이용하여 동적 거동에 대해 정성적인 분석이 가능함을 알 수 있다.

5.2 마모에 따르는 동적 성분의 확률밀도 분석

그림 6(a)는 절삭속도 140 m/min, 절입량 0.7 mm, 이송량 0.07 mm/rev인 세장비 G= 10:1의 절삭조건을 취하며 플랭크마모가 없는 새 바이트, 또 마모값이

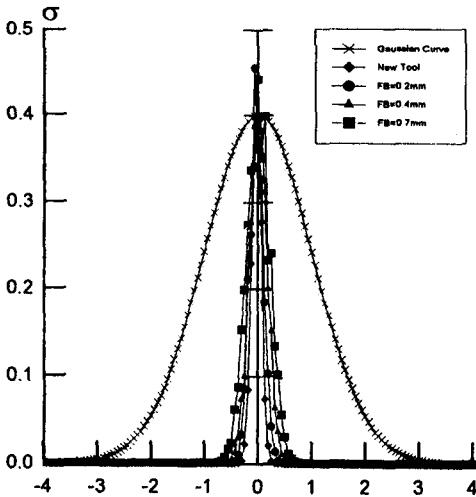


Fig. 6(a) The Gaussian distribution for dynamic forces (G=10:1).

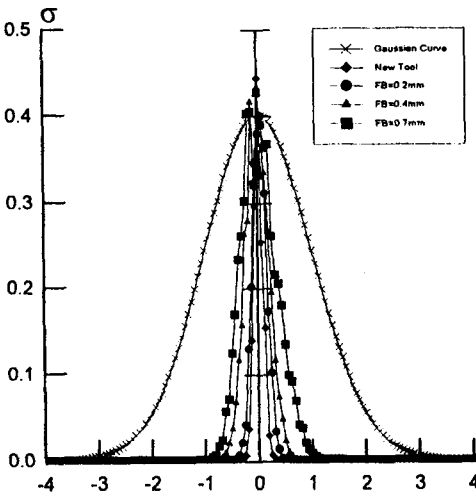


Fig. 6(b) The Gaussian distribution for dynamic forces (G=20:1).

0.2 mm, 0.4 mm, 0.7 mm인 4가지 종류의 바이트 팁으로 교체해 가면서 실험하여 얻은 데이터를 일차원 확률밀도 함수로 구해 본 내용이다. 또한 그림 6(b)는 그림 3(ε)와 같은 조건 중 세장비가 다르게 변화시킨 것이다. 즉, 절입량 1.0 mm, 이송량 0.05 mm/rev인 세장비 G= 20:1의 절삭조건을 취하며 실험한 내용을 일차원 확률밀도곡선 그래프로 나타낸 것이다.

절삭저항의 동적 변동이 크기 때문에 공구마모량이 같은 경우에는 flatness는 세장비가 큰 경우에 크게 나타

나는 것을 두 그림을 통해 확인해 볼 수 있다. 이들 그림에 나타난 바와 같이 세장비가 같은 조건하에서는 마모가 없는 공구보다는 공구의 마모가 진전되어감에 따라 flatness가 낮아지는 경향을 보이고 있다. 그러나 skewness의 경우는 마모와 무관하게 나타나고 있다. 따라서 이러한 특징을 보다 적절하게 관리한다면 In-process기법에 적용할 공구마모의 검출인자로서 flatness의 활용 가능성도 충분히 있다고 본다.

5.3 절삭저항의 동적 성분에 의한 RMS 분석

그림 7은 절삭속도 140 m/min에서 세장비를 20:1 ~ 3:1까지 4가지로 변화시켰을 때 절삭력의 변화추이를 검토하기 위해서 나타낸 그림이다. 이 그림에서는 플랭크마모 값이 커짐에 따라 절삭력의 이송분력이 증가되는 경향으로 나타나고 있다.

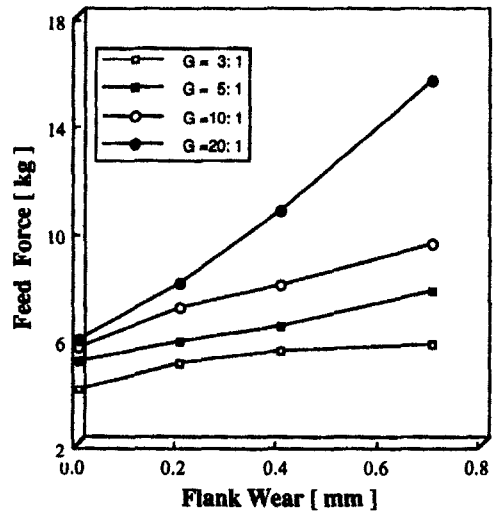


Fig. 7 The relation between feed force and flank wear under 4 types of slenderness ratio.

그러나 이 경우는 상호관계가 비교적 잘 일치되는 것을 데이터의 비교를 위해 제시한 내용이고, 플랭크마모값의 증가에 대하여 절삭력이 비례관계를 이루는 것만은 아니라는 것이 실험을 통하여 확인되었다. 즉 절삭력의 변화 값을 공구마모와의 상관관계로 일치시키는 데에는 다소 문제를 포함한다고 볼 수 있다. 따라서 확실하게 신뢰성을 보장할 수 있는 공구마모의 검출인자를 찾는 것이 필요하다.

본 절에서는 데이터가 광범위하면서도 절삭가공의 특성 상 일부 random하게 얻어지는 점에 비중을 두어, 이들 데이터를 통계처리하여 절삭저항의 동적 성분으로부터 RMS값을 추출하여 절삭과정의 동특성을 구해보았다.

그림 8(a)는 절삭속도 140 m/min, 절입량 0.7 mm, 이송량 0.07 mm/rev인 세장비 G= 10:1의 절삭조건을 취하며 플랭크마모가 없는 새 바이트와 마모값이 0.2 mm, 0.4 mm, 0.7 mm인 4가지 종류의 바이트 팁을 교체해 가면서 실험한 내용을 플랭크마모와 이송분력 및 RMS비로 나타내었다.

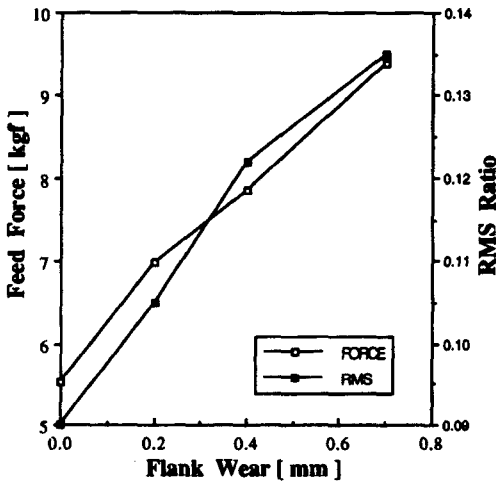


Fig. 8(a) The relation between feed force, RMS ratio and flank wear ($v=140$ m/min, $f=0.07$ mm/rev, $d=0.7$ mm, $G=10:1$).

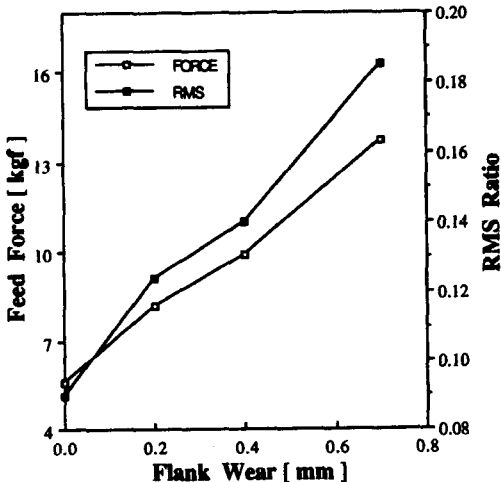


Fig. 8(b) The relation between feed force, RMS ratio and flank wear ($v=140$ m/min, $f=0.05$ mm/rev, $d=1.0$ mm, $G=20:1$).

또한 그림 8(b)는 절삭속도 140 m/min, 절입량 1.0 mm, 이송량 0.05 mm/rev인 세장비 G= 20:1의 절삭 조건을 취하며 플랭크마모가 없는 새 바이트와 마모값이 0.2 mm, 0.4 mm, 0.7 mm인 4가지 종류의 바이트 팁을 교체해 가면서 실험한 내용을 플랭크마모와 이송분력 및 RMS비로 나타내었다. 이들 데이터는 통계처리를 하여 RMS비로 정리한 후 공구마모와 어떤 상관관계를 가지는지를 평가해 보기 위해서 검토된 내용이다.

두 그림에서 공통적으로 볼 수 있는 바와 같이 공구가 마모되어 가는 것과 RMS비가 이에 따라 증가하는 것은 뚜렷하게 나타나는 경향이다. 또한 이송분력의 증가도 거의 비슷한 양상을 보이고 있다. 다만 실험에서 데이터의 안정성과 이들 결과값에 대한 조정의 용이성을 가공조건마다 구하고 이들의 지표를 비교 분석하여 새로운 특성값으로 추출하기 위한 보다 광범위한 실험들이 추후 요구되고 있다.

일부 연구⁽⁸⁾는 마모 값의 측정을 위해 In-process 기법에 여기서 특징을 보이는 절삭저항을 검출인자로 사용하여 좋은 결과를 보이는 것으로 보고한 바도 있지만, 이는 실험실적 가공으로서 실험조건외의 제어가 비교적 용이하기 때문이다. 실 가공에서는 각종 오차의 원인이 발생하기 때문에 조건 수준에 대한 절삭력의 증가 효과를 적절하게 판단하기는 어렵다고 본다. 따라서 이와 같은 각종 오차를 고려하여 현장에 잘 적용되도록 하기 위해서는 제어인자와 신호인자의 효과를 면밀히 검토하는 것이 보다 현실적이다.

본 연구 결과에서 검토한 바로는 공구마모에 대한 절삭저항의 증가량을 활용하는 것보다는 절삭저항의 동적 성질이 반영된 RMS값을 이용하는 것이 보다 확실하게 검출인자로서 이용가치가 있다고 본다. 이유는 절삭저항의 경우 절삭조건이나 피삭재료 등의 요인에 의해 다양한 변화 양상으로 나타난다. 그러나 절삭과정의 특성상 공구마모가 크게 성장하면서 절삭저항의 동적 성질은 다양한 조건과 관계없이 특징이 나타나므로 정성분석을 통하여 이들의 특성 값만 적절하게 활용하면 안정된 검출인자로 활용 가능하다고 보기 때문이다.

6. 결론

본 연구에서는 절삭저항의 동적 성분을 이용하여 공구마모 검출을 할 수 있는 효과적인 방법을 찾아 보고자 동적 성분내 대한 주파수분석 및 확률밀도 분석과 통계처리

를 통한 RMS 분석을 해본 바, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 공구마모로 인해 발생하는 5 kHz 대역의 고유진동수에 대응하는 주파수 영역의 동적 성분은 공구마모 검출에 유용한 정보가 될 수 있음이 확인되었다.

(2) 본 연구에서 적절한 신호처리를 실시하여 얻은 절삭저항의 동적 성분을 확률밀도 분석에 활용해 본 결과, flatness는 공구마모 검출인자로 활용해 볼 수 있음이 확인되었다.

(3) 동적 성분의 통계처리를 통하여 구한 RMS값은 정상분석 자료로 활용하여 특성 값만 추출할 경우 공구마모의 검출인자로 활용할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Jetly S., "Measuring Cutting Tool Wear On-line, Some Practical Considerations", *Manufacturing Engineering*, pp. 55 - 60, July 1984.
2. Grzesik W., "Recognition of Chip Forms by means of Dynamic Force Spectrum Analysis", *Proceedings of the 13th Int. MATA-DOR Conference*, pp. 163 - 167, 1993.
3. Ko T.R. and Koren Y., "Cutting Force Model for Tool Wear Estimation", *Transactions of NAMRI/SME*, pp. 166 - 169, 1989.
4. Shi T. and Ramalingam S., "Real-Time Flank Wear Sensing", *ASME Conference Paper*, pp. 157 - 170, Nov. 1990.
5. Uehara K., "New Attempts for Short Time Tool Life Testing", *Annals of the CIRP*, Vol. 22/1, pp. 23 - 24, 1973.
6. Cook N.H. and Subarmanian K., "Micro-isotope Tool Wear Sensor", *Annals of the CIRP*, Vol. 27, pp. 73 - 78, 1978.
7. Brodmann R., "An Optical Instrument for Measuring the Surface Roughness in Production Control", *Annals of the CIRP*, Vol. 33/1, pp. 403 - 406, 1984.
8. Koren Y., Ko T.R., Ulsoy A.G. and Danai K., "Flank Wear Estimation Under Varying Cutting Conditions", *ASME Journal of Dynamic Systems, measurement, and Control*, Vol. 113, pp. 300 - 307, Jun. 1991.
9. Danai K., Nair R. and Malkin S., "An improved Model for Force Transients in Turning", *ASME Journal of Engineering for Industry*, Vol. 114, pp. 400 - 403, Nov. 1992.
10. Somasundaram S. and Raman S., "Acoustic Emission Studies While Machining with Coated Tools", *Trans of NAMRI/SME*, Vol. X XI, pp. 83 - 94, 1993.
11. Liu J.J. and Dornfeld D.A., "Monitoring of Micromachining Process using Acoustic Emission", *Trans of NAMRI/SME* Vol. X X, pp. 189 - 195, 1992.