

절삭시 발생하는 공구마멸의 예측 및 파괴의 검출에 관한 연구

김 영 태*, 고 정 한*, 박 철 우**, 이 상 조*

Prediction and Detection of Tool Wear and Fracture in Machining

Young-Tae Kim*, Jeong-Han Ko*, Cheol-Woo Park**, Sang-Jo Lee*

ABSTRACT

In this paper, main target is to select parameters for prediction of tool wear and detection of tool fracture. The research about choosing parameter for prediction of tool wear is done by using force ratios. Also current sensor, tool-dynamometer, and accelerometer are used for researching detection method of tool fracture. Experiment is done using Taguchi's method in medium machining conditions. Parameter which is best for prediction of tool wear and detection of tool fracture by deviation analysis is selected. In this paper, tool wear means flank wear.

Key Words : Force ratio(절삭분력비), Flank wear(플랭크마멸), Tool fracture detection(공구파괴검출), Taguchi's experimental method(다구치 실험 계획법)

1. 서 론

컴퓨터의 급속한 발전으로 CAD / CAM / CAE의 결합이 이루어지고 있으며 여러 대의 CNC 공작 기계를 하나로 묶어 운용하는 FMS(flexible manufacturing system), 또는 공작 기계를 메인 컴퓨터로 직접 제어하는 DNC 시스템이 생산 현장에서 널리 이용되고 있다. 특히 외국에서는 이러한 시스템에 공구 관리 및 생산 관리 시스템을 접목시킨 CIM에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 무인화 공정과 생산성 향상을 달성함에 있어서 공구마멸과 공구파괴와 같은 상태 모니터링은 필수 불가결한 요소이다.

현재 공구상태모니터링에 대한 기술은 생산자동화 및 제품의 신뢰성 향상을 위해 공구동력계나 AE센서, 전류 센서 등을 이용하여 공구마멸과 공구파괴 모니터링에 관한 연구가 국내 및 세계적으로 활발히 연구되고 있다. 먼저 국내의 연구사례를 살펴보면 이송모터 전류를 이용한 절삭력의 간접측정과 이를 통한 공구상태의 감시에 대한 연구를 통해 밀링공구파괴 검출 모델링을 세웠으며 이를 통한 공구파괴 검출 파라미터를 선정하였다.⁽¹⁾ 또 채터진동의 인프로세스 감시를 위한 복합계측 시스템에 관한 연구⁽²⁾로 모니터링의 신뢰성을 높이는 방법에 대한 연구결과가 발표되었으며 선삭공정을 위한 지능형 실시간 공구 감시 시스템에 관한 연구⁽³⁾, 그리고 복합계측시스템을 이

* 연세대학교 기계공학과
 ** LG산전 안양연구소

용한 공구이상 검출⁽⁴⁾ 등의 연구가 진행되어 왔다.

해외에서는 절삭력센서를 이용하여 Koenig⁽⁵⁾가, AE센서는 Moriwaki⁽⁶⁾ 와 Dornfeld⁽⁷⁾, 그리고 스피들 모터 전류를 이용한 Matsushima⁽⁸⁾의 연구 등이 있다. 여기서 Dornfeld⁽⁹⁾ 등은 이송속도, 절삭력, 절깊임이 등의 인자들과 AE신호와의 관계를 해석하여 공구파괴를 검출하는 방법을 연구하였다. 본 연구에서는 절삭력 변동에 의해 유발되는 이송축 피드백 전류신호의 변화를 측정하여 공구상태 모니터링에 응용하였다. 또한 단일 센서로서 신뢰성이 떨어지는 단점을 보완하기 위해 공구동력계, 가속도계 신호를 이용하여 공구상태 모니터링에 대한 연구를 하였다. 가속도계의 경우 마멸과 파괴시의 공구에서의 가속도 변화를 보기 위해 주파수 분석을 행하고 분석한 주파수 값을 적분하여 에너지의 변화를 확인해 보았다. 실험 횟수를 줄이기 위해 다구찌 실험계획법을⁽¹⁰⁾ 도입하여 각 조건 등의 교호작용을 확인한 다음 81가지 실험조건을 9가지로 줄여 공구마멸 및 공구파괴 실험을 행하였으며 실험 후에는 분산분석을 행하였다.

2. 본 론

2.1 절삭분력비와 절삭증분비⁽¹¹⁾

실험에서 공구마멸과 공구파괴 예측 및 검출인자로 사용된 절삭분력비와 절삭증분비는 (1), (2)와 같이 정의된다. 특히 식 (1)에 나와있는 절삭분력비는 일반적으로 공구마멸을 예측하기 위한 입력변수로서 우수한 특성을 갖는 것으로 알려져 있다.⁽¹¹⁾ 그러나 아직까지 파괴의 경우에 대해서는 절삭분력비가 적용되지 않았으므로 본 논문에서는 파괴시 절삭분력비의 경향을 살펴보고 더 나아가 분산분석⁽¹²⁾을 통해 절삭증분비와 절삭분력비를 비교하여 그중 가장 적절한 인자를 제시하고자 한다.

$$F_{ratio1} = \frac{F_f}{F_t}, \quad F_{ratio2} = \frac{F_r}{F_t}, \quad F_{ratio3} = \frac{\sqrt{F_f^2 + F_r^2}}{F_t} \quad (1)$$

$$F_{fraction1} = \frac{F_t}{F_{tinitial}}, \quad F_{fraction2} = \frac{F_f}{F_{finitial}}, \quad F_{fraction3} = \frac{F_r}{F_{rinitial}} \quad (2)$$

여기서 F_t 는 주분력, F_f 는 이송분력, F_r 은 배분력을 나타낸다.

2.2 데이터 처리에 사용된 식

① 이동평균

$$\bar{X}_t = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} X_{t-j} = \sum_{j=0}^{N-1} \frac{1}{N} X_{t-j} \quad (3)$$

여기서, N 은 이동평균하고자 하는 데이터 개수를 의미하고 X 는 측정된 데이터 값이다. 실험에서 구한 전류신호 데이터를 이동평균을 이용하여 처리하였다. 이는 전류신호가 일정한 DC값을 가지지 않고 정류파 형태를 가지고 변화하므로 이를 DC값과 같은 일정한 값으로 환산하기 위하여 행하였다. 이동평균은 30개의 데이터들을 변화시켜 가면서 행하였다.

② 편 차

$$D_i = \frac{(X_i - m)^2}{m^2} \quad (4)$$

여기서, m 은 표본평균들의 평균이다. X 는 측정된 데이터 값이다. 위의 식(2.2)에 의해 처리된 신호값은 0과 1 사이에 거의 대부분 존재하게 된다. 이는 절삭시 마멸에 의한 영향으로 처음 표본된 평균값보다 약간 증가하기는 하지만 거의 0 값 근처에 존재하게 된다. 그러나 파괴시에 신호는 갑작스럽게 크게 변하기 때문에 그 값은 1까지 상승할 수 있다. 이와 같은 처리를 이용할 경우 신호값을 디지털화하여 0일 때는 정상상태, 일정한 값 이상일때는 공구파괴라는 결론을 내릴 수 있다.

3. 실험

3.1 실험 장치

아래 Fig. 1은 실험장치도를 보여주고 있다. 실험은 대우 Pan20 NC선반으로 행하였으며 이때 사용된 센서는 공구동력계, 전류센서, 가속도계 등이다. 공구동력계로는 절삭력을 측정하여 공구마멸과 공구파괴 신호분석을 행하며 전류센서의 경우 절삭력 신호와 비교하여 본다. 가속도계의 경우 공작물과 공구와의 절삭시 주파수 분석을 행한다.

Fig 2에서는 플랭크마멸 측정에 사용한 비전시스템과 그 측정결과를 보여주고 있다. 비전시스템에서는 CCD카메라와 현미경을 이용하여 플랭크마멸만을 측정한다.

공구동력계 신호는 주분력과 이송분력, 배분력 세가지

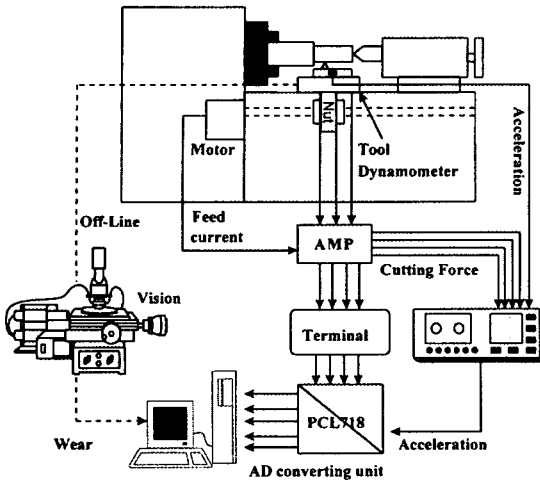
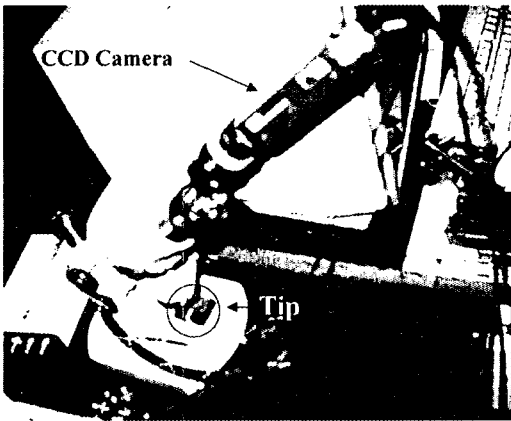
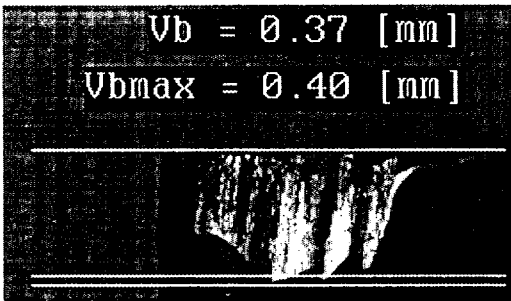


Fig. 1 Schematic of experimental setup



(a) Vision system



(b) Measurement result of vision system

Fi g. 2 Vision system

를 측정하고 전류센서는 z방향 이송모터의 전류를 측정한다. 가속도계는 공구동력계 윗부분에 설치되어 절삭력 변동으로 인한 공구홀더의 진동을 측정한다. 공구동력계로는 주분력과 이송분력, 그리고 배분력을 측정하게 되며 공구가 파괴될 때 절삭력의 변화 패턴을 파악하며 이 절삭력을 기초로 공구파괴시 다른 센서신호에 대한 신뢰성을 주고자 한다. 또한 이 값으로 공구마멸 예측을 위한 변수로 절삭분력비와 절삭증분비를 구한다. Table 1은 NC 선반과 전류센서의 사양들을 보여주고 있다.

Table 1 Specifications of NC lathe and hall sensor

PAN20 NC LATHE		Hall Sensor(LA-25NP)	
Z-Axis D.C Servo Motor	1.1 kw	Nominal Current	25 A
Spindle D.C Motor	15 kw	Response Time at 90% I _p	≤ 1 μs
Z-Axis LBU	0.001 mm/pulse	Bandwidth	DC to 150kHz(-1dB)

3.2 실험 방법

실험조건은 아래의 Table 2와 같은 절삭속도, 절삭깊이, 이송속도에 대하여 행하였으며 공구는 일반적으로 가장 많이 사용되는 사각형, 마름모형의 두가지 형상을 채택하였다. 공작물은 직경 85mm에 길이가 450mm이며 공작물 재질은 SM45C이다. 실험에 사용된 팁은 주철가 공용 팁으로 코팅되지 않은 SNMG20종류의 KTK20재질이 사용되었다. 공구홀더는 사각팁의 경우에 외경선삭용 B형 SSBCL/L로 옆날각(approach angle)과 앞날각(end cutting edge angle)이 각각 15°이다. 절입각(entering angle)은 75°이다. 마름모팁의 경우에는 절입각이 95°이다. 팁의 선단반경은 모두다 r=0.4mm이며 전주형의 칩브레이크를 가지고 있다.

위의 표를 이용하여 실험계획표를 만든 결과를 Table 3에서 보여주고 있다. Table 3처럼 표준 배열표를 만들기 위해 A인자의 2수준은 가수준법을 사용하여 사각팁을 2수준에 다시 넣어 작성하였다.

Table 2 Machining conditions used for experiments

Factor	0	1	2
Tip shape(A)	사각팁	마름모팁	사각팁
Cutting speed(B)	180	220	260
Depth of Cut(C)	1.5	2.0	2.5
Feedrate(D)	0.2	0.3	0.4

Table 3 Table of orthogonal array $L_9(3^4)$ made by using machining conditions of Table 2

No. of experiment		A	B	C	D
Ex1	Ex2				
2	4	0	0	0	0
5	7	0	1	1	1
1	9	0	2	2	2
3	1	1	0	1	2
6	8	1	1	2	0
4	6	1	2	0	1
7	2	2	0	2	1
8	5	2	1	0	2
9	3	2	2	1	0

공구파괴의 경우는 위의 표에 의해 반복실험을 하였으며 공구마멸은 반복실험 없이 Table 2의 Ex 1.에서 얻은 실험값만으로 분산분석을 행하였다. 각 실험에서는 약 2회-3회정도 외주절삭을 행한후 반복적으로 공구마멸을 측정한다. 동시에 절삭력 신호와 가속도 신호는 계속해서 샘플링주파수 200Hz로 PCL718 AD카드를 통해 컴퓨터에 저장된다. 그리고 0.3mm 이상 플랭크마멸이 진전되면 그때부터는 공구상면에 약 0.2mm 깊이의 슬롯을 내어 공구파괴실험을 행하며 이후부터는 공구마멸을 측정하지 않는다. 공구마멸 측정은 Off-line으로 하며 비전시스템을 이용하여 플랭크마멸만을 측정한다. 그리고 가속도 신호는 높은 주파수 성분의 분석을 필요로 하므로 테이프 레코더에 저장한 다음 실험이 끝난 후 샘플링주파수 5000Hz로 AD카드를 통해 수집한 후에 주파수 분석을 행한다.

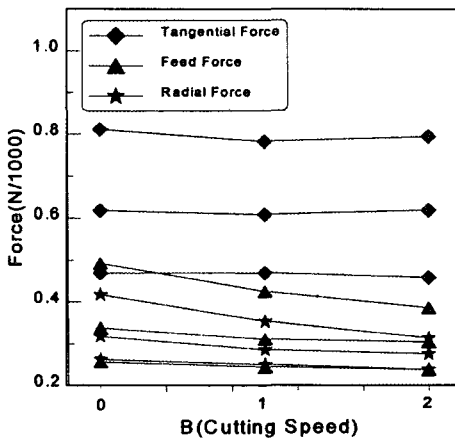


Fig. 3 The result of interaction experiment of cutting speed and cutting depth(B×C)

3.3 교호작용에 관한 실험

직교표의 타당성을 확인하고 무엇보다 수준으로 잡은 절삭조건 간격의 타당성을 보기 위해 교호작용 실험을 하였다. 교호작용 실험결과 절삭조건인 절삭속도(B), 절삭깊이(C), 이송속도(D)는 서로 독립적인 인자들임을 알 수 있다. 또한 절삭속도와 절삭깊이, 그리고 이송속도와 절삭깊이는 실험조건에서 선정해준 변화폭에 따라 절삭력의 변화가 거의 균일한 변화를 보이므로 절삭조건 변화폭이 절삭력에 균등하게 영향을 주고 있다고 말할 수 있다. 아래는 교호작용 실험결과 중의 하나를 보여주고 있다. 따라서 중절삭시의 각 절삭조건을 Table 2와 같은 변화폭으로 잡은 것이 타당성을 가짐을 볼 수 있다.

4. 실험 결과

4.1 공구마멸과 절삭증분비 및 절삭분력비와의 관계

Fig 4는 시간에 따라서 직교배열표로 작성한 9개의 절삭조건에 따른 팁의 플랭크마멸을 보여주고 있다. 실험 2번을 제외한 나머지 팁들은 모두 100분 이내에 마멸이 0.5mm 이상으로 진전되었다.

Fig. 5는 직교배열표에서 각각 첫 번째와 네 번째 팁의 경우에서 절삭증분비와 절삭분력비를 공구마멸과의 관계를 그린 그래프이다. Fig. 5a는 절삭시간에 따른 절삭증분비의 변화를 보여주고 있다. 절삭시간이 변화함에 따라서 주분력과 이송분력, 배분력 모두 점진적으로 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 절삭력의 경우에 절삭조건 변화 없이 절삭력이 증가한다는 것은 곧 증가원인이 주로 공구

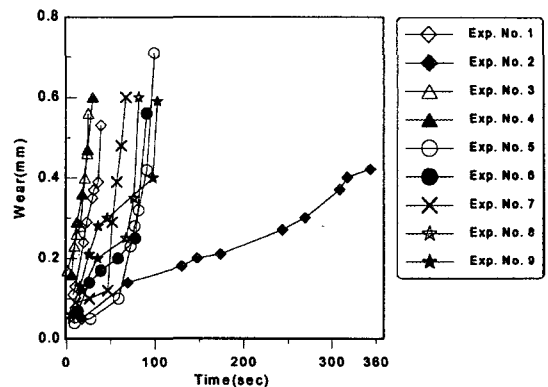
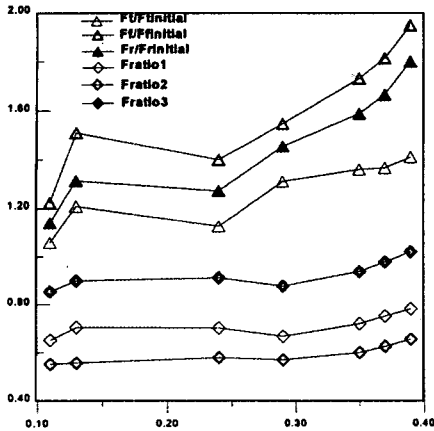
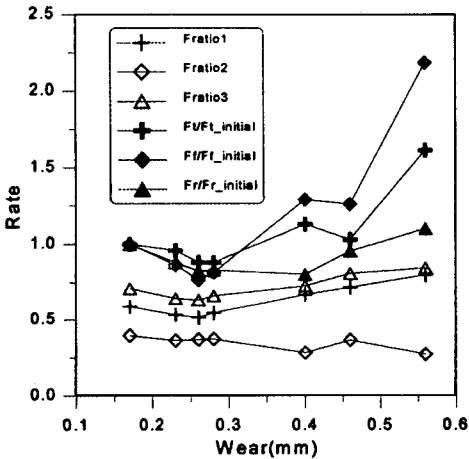


Fig. 4 Wear of insert tip used for first experiment



(a) $V=260\text{m/min}$, $d=2.5\text{mm}$, $f=0.4\text{mm/rev}$



(b) $V=260\text{m/min}$, $d=1.5\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$

Fig. 5 Relations of force ratios and force incremental ratios and tool wear at tip 1, 4

마멸에 의한 것이라는 결론을 얻어낼 수가 있다. Fig. 5b에서 볼 때 절삭증분비가 공구마멸에 대해 더 민감하다는 것을 알 수 있다. 그럼에서 보면 절삭분력비의 변화는 공구마멸에 따라 아주 작은 값으로 변화하는 반면에 절삭증분비의 경우는 절삭분력비에 비해서 상대적으로 크게 변화하고 있다. 또 실험결과에 의하면 이송분력증분비와 배분력증분비가 주분력증분비보다 공구마멸에 민감한 반응을 보임을 알 수 있다. 한편 Force ratio2의 경우에는 Fig. 5a와 Fig. 5b를 비교해 볼 때 그 값이 증가 또는 감소하는 경향성을 가지므로 공구마멸 예측 인자로 쓰기엔 부적합함을 알 수 있다. 여기서 주분력의 경우에 크레이

터 마멸에 의해서 영향을 받는다. 그러나 마멸을 다룰 때 크레이터 마멸보다는 플랭크마멸을 말하므로 이송분력과 배분력쪽의 영향이 크다는 것은 플랭크마멸에 의한 영향이 바로 절삭력의 변동으로 나타난다는 것을 말한다.

4.2 공구마멸 데이터의 분산분석

이번 절에서는 초기 절삭에 대한 절삭분력비와 절삭증분비의 변화값을 SN분석하여 어떤 변수가 공구마멸에 유의한 영향을 가지고 있는지 살펴본다. 여기서 한가지 짚고 넘어갈 것은 절삭분력비와 절삭증분비는 절삭조건에 되도록 영향을 받지 않아야 한다는 것이다. 여기서 일반적으로 절삭분력비 1과 3이 절삭조건에 둔감하다는 결론이 나와 있다. 절삭증분비는 상식적으로 생각해도 알 수 있듯이 절삭조건에 전혀 무관하다. 이는 항상 그 시작점에서 절삭증분비는 1에서 시작하기 때문이다. 그러므로 만약 공구 마멸에 따라 절삭분력비보다 절삭증분비 값이 더욱 크게 변화한다면 공구마멸 변수로서 절삭증분비가 절삭분력비보다 더 좋다는 결론을 얻을 수 있다. 분산분석은 이와같은 결론을 수학적으로 얻고자 실시하였다.

Table 4는 공구가 표 맨 우측의 마멸값에 이르렀을 때 처음 절삭 중에 나온 절삭분력비와 절삭증분비의 값에 대한 마멸이 발생하였을 때 값의 비를 보여주고 있다. 이 값을 가지고 분산분석을 하는 이유는 절삭증분비의 경우 절삭력값 자체는 절삭조건에 변하지 않으므로 절삭분력비에 대해 좋다고 말할 수 있다. 그러나 마멸이 되었을 때 그 값의 변화량이 절삭조건에 의해 영향을 받지 않는다면 그것은 더욱 좋은 마멸 입력변수라고 말할 수 있다. 또한 분산분석을 통해 일반평균변동값의 변화를 보면 마멸이 되었을 때 값의 변화가 얼마나 큰지도 확인해 볼 수 있다.

Table 4 The change rate of force ratios and force incremental ratios at wear quantity

No. of experiment	A	B	C	D	Differential Quantities						Wear
					Fr1	Fr2	Fr3	Fv1	Fv2	Fv3	
2	0	0	0	0	1.22	1.12	1.18	0.9	1.13	1.04	0.37
6	0	1	1	1	1.02	1.18	1.05	1.31	1.33	1.54	0.56
1	0	2	2	2	1.41	1.35	1.39	1.28	1.8	1.69	0.39
3	1	0	1	2	0.86	1.20	1.06	1.43	1.23	1.70	0.37
5	1	1	2	0	1.14	1.42	1.29	1.88	2.14	2.67	0.42
4	1	2	0	1	1.10	1.16	1.14	1.46	1.61	1.69	0.36
7	2	0	2	1	1.30	1.56	1.47	1.54	2.1	2.39	0.39
8	2	1	0	2	1.12	1.10	1.11	1.28	1.29	1.27	0.35
9	2	2	1	0	1.12	1.08	1.11	1.25	1.40	1.35	0.33

이 값이 크다는 것은 곧 마멸에 의한 영향을 크게 받는다는 것을 뜻한다. 특히나 절삭중분비의 경우는 절삭시 다른 외란이 들어갈 확률이 적으므로 이 값은 모두가 공구마멸에 의한 변화라 생각할 수 있다. 결과를 보면 일반평균변동이 매우 유의함을 알 수 있다. 이는 변화율이 목표치로부터 많이 벗어나 있다는 이야기이다. 즉 마멸에 따라 절삭분력비가 큰 값의 변화를 가진다고 말할 수 있다. 또 절삭깊이가 다른 공구형상이나 절삭속도, 이송속도 등에 비해 절삭분력비에 유의한 영향을 주고 있음을 볼 수 있다. 또한 99% F점정($F(4,3,0.01)=28.7$)을 통해서 확인해 보면 Force ratio1은 어느 절삭조건에 의해서도 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. Force ratio2의 경우에도 Force ratio1과 비슷하나 99%신뢰도로 F점정의 결과 절삭깊이에 의해 Force ratio2는 변한다. 따라서 이 값은 절삭깊이에 의해 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 계속해서 절삭분력비3 ~ 절삭중분비3까지의 계산을 보면 모두가 절삭깊이에 영향을 받으며 F점정에 의해 모든 조건에 대해서 유의하지 않음을 확인하였다. 위의 결과를 정리하여 보면 다음 Table 5와 같은 결과를 얻을 수 있다.

Table 5 The result of variance analysis for force ratios and force incremental ratios

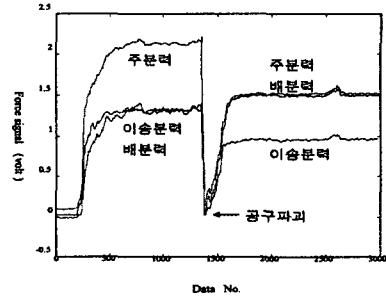
Factor	Fr1	Fr2	Fr3	Ff1	Ff2	Ff3
A(Tip shape)	○	○	○	○	○	○
B(Cutting speed)	○	○	○	○	○	○
C(Depth of cut)	○	×	○	○	○	○
D(Feedrate)	○	○	○	○	○	○

○ : 영향받지 않음 × : 영향 있음

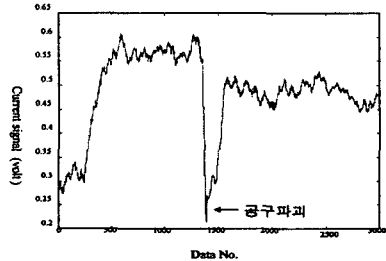
이상에서 Fig. 5와 Table 5를 통해 절삭분력비와 중분비 모두 Force ratio2를 제외하고 마멸 예측변수로 좋다는 결론이 나왔으며 절삭중분비와 절삭분력비를 비교할 때 Fig. 6을 통해 절삭분력비보다는 절삭중분비 값이 훨씬 좋은 공구마멸 예측인자로 쓰일 수 있음을 확인하였다. 이는 절삭분력비보다 절삭중분비가 공구마멸에 의한 영향을 크게 받으면서 동시에 절삭조건에 대해서는 크게 영향을 받지 않는다는 것을 의미한다. 배분력의 경우에는 마멸에 대한 절삭변화폭이 제일 크지만 절삭조건에 있어서 공구형상에도 유의하므로 이 값은 이송분력중분비보다 낫다고 말할 수 없다.

4.3 공구파괴 신호 데이터

Fig. 6, Fig. 7은 공구 파괴시 절삭력 데이터와 전류신호 값을 보여준다.



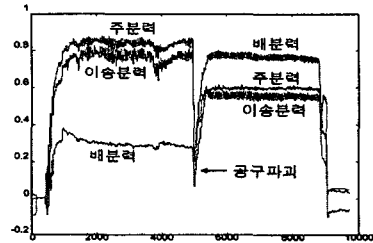
(a) Force data



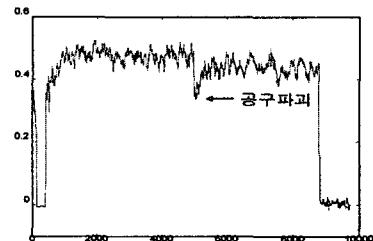
(b) Current data

(V=260m/min, d=2.5mm, f=0.4mm/rev)

Fig. 6 Mean average value of force data and current data at tool fracture (V=260m/min, d=2.5mm, f=0.4mm/rev)



(a) Force data



(b) Current data

(V=180m/min, d=2.5mm, f=0.3mm/rev)

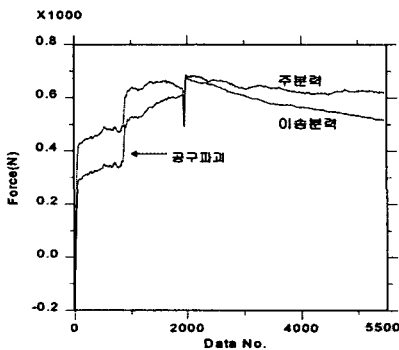
Fig. 7 Mean average value of force data and current data at tool fracture (V=180m/min, d=2.5mm, f=0.3mm/rev)

Fig. 6의 파괴양상을 보면 파괴당시에 절삭력이 상당히 크게 감소하고 그후에 다시 절삭이 이루어지면서 절삭력이 다시 증가한다. 그러나 이후의 절삭력은 공구파괴전 절삭력보다 작은 값을 가지는 것을 볼 수 있다. Fig. 7은 공구가 파괴된 후에 절삭력이 아주 크게 상승한 경우를 보여 주고 있다. Fig. 7에서 절삭력이 증가하는 것은 공구가 파손된 후에 아주 무디어진 날이 절삭을 행하므로 절삭력이 증가한 것이라 생각한다. 전류신호의 경우 각각의 실험결과를 보면 알수 있듯이 전류신호와 절삭력 데이터가 동일한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 그러므로 절삭력을 측정하지 않고도 간접적으로 절삭력의 변동을 예측할 수 있으며 공구파괴검출에 이용할 수 있다. 그러나 칩핑의 경우 그 변화폭이 파괴때 보다는 작기 때문에 검출이 어려운 것이 사실이다. 실제로 칩핑이 일어난 후에도 절삭력이 순간적으로 큰 값으로 변화하지 않고 단지 계속적으로 증가하므로 편차개념을 이용하여 검출하기 힘들다. 따라서 이에 대한 검출방법은 편차법이 아닌 절삭분력비와 절삭증분비를 이용하여 공구마멸을 예측하는 시스템을 이용하면 마멸의 일종이라고 볼 수 있는 공구의 칩핑을 검출해 낼 수 있을 것이다.

4.4 슬롯을 내지 않은 절삭에서의 공구파괴 신호

4.3절에서는 슬롯을 낸 경우 파괴신호에 대해 살펴 보았다. 그러나 슬롯으로 인한 파괴신호가 실제 파괴시와 다르지 않을까 하는 의문을 가질수 있다. 따라서 슬롯을 내지 않은 경우의 파괴실험을 통해서 슬롯을 낸 경우와 내지 않은 경우의 파괴신호를 비교하여 본다.

Fig 8은 슬롯을 내지 않고 공구파괴 실험을 행하였을 때의 파괴시 신호를 보여주고 있다. 절삭력값은 주분력과



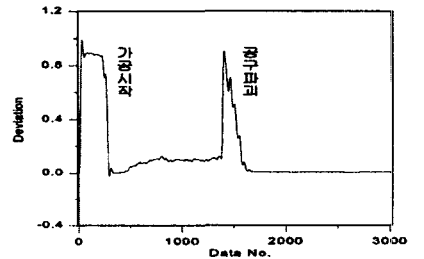
(V=900rpm, d=1.5mm, f=150mm/min)

Fig. 8 Fracture signal of Tip which has no slot

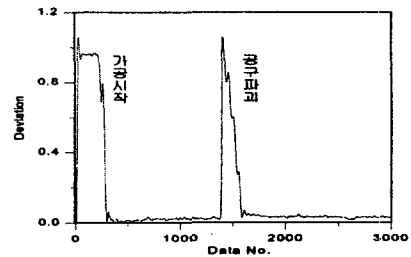
이송분력값만을 보여주고 있다. 이것을 통해 볼 때 절삭력이 파괴 후에 증가하거나 감소하는 것은 어떤 정형화된 현상이 아니라 공구파괴될 때의 파괴정도와 밀접한 관련이 있다고 생각해 볼 수 있다. 즉 텃 선단부의 파괴가 많을 경우 절삭력이 감소하게 되고 만약 그 파괴정도가 적을 경우에는 감소하게 된다.

4.5 편차처리된 공구 파괴 신호

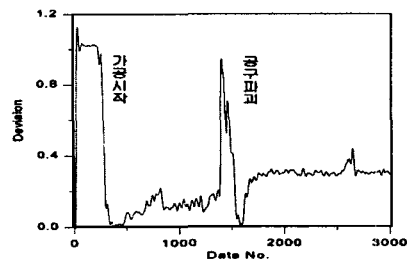
다음 4.5절에서는 슬롯을 낸 경우와 그렇지 않고 절삭을 한 경우에 대해서 공구파괴시의 편차개념을 도입하여 처리한 결과들을 보여주고 있다. 이 편차개념은 공구가 파괴될 때 순간적으로 절삭력이 변동되는 원리를 이용하



(a) Tangential force



(b) Feed force



(c) Radial force

Fig. 9 The result of deviation analysis of Tip which has a slot (V=260m/min, d=2.5mm, f=0.4mm/rev)

여 그 변화폭을 통해 공구파괴를 검출할 수 있는 방법이다. 식 (4)에 의해 처리된 신호값은 0과 1 사이에 거의 대부분 존재하게 된다. Fig. 9는 실험데이터를 위의 식 (4)로 처리한 결과이다. 그림은 차례대로 주분력, 이송분력, 배분력을 보여주고 있다. 주분력의 신호값이 파파이의외의 신호가 없으며 절삭과정 중 이송분력이나 배분력은 잡음이 생기는 경우가 있다. 따라서 명확한 파파시점을 검출하기 위해서는 세가지 신호 모두를 조합하여 체크하므로 파파괴를 검출할 때 신뢰성을 높여 줄 수 있다. 위의 식 (4)를 이용한 방식으로 파파데이터를 처리할 경우 처음 절삭을 시작할 때와 절삭이 끝날 때를 제외하고는 절삭 시의 데이터들은 거의 0에 가깝다. 또 파파 전의 값들이 0에서 약간 위로 Shift 되어 있는 경우를 주분력과 배분력에서 볼 수 있는데 이는 공구마멸에 의한 영향성분으로 볼 수 있다. 따라서 절삭중에 공구마멸의 영향을 배제하기 위해서 한 번 절삭이 끝난 후에 바로 그 다음 절삭에 들어갈 때 공구파괴 판단을 위한 비교평균값으로 그전 절삭시의 값을 사용하면 공구마멸의 영향인자를 배제하고 순수히 공구가 파파될 때의 신호값을 추출해 낼 수가 있게 된다.

Fig. 10은 공구파괴시 절삭분력비와 절삭중분비의 변화를 보여주고 있다. 공구파괴후 절삭분력비와 절삭중분비의 값은 증가 또는 감소하였다. 즉 증가든 감소든 파파 후 신호의 양상은 모두 변화함을 알 수 있고 이를 통한 공구파괴의 검출이 가능함을 확인할 수 있다. 특히 주목해 볼 것은 공구마멸 데이터와 마찬가지로 절삭분력비의 경우는 그 값의 변화가 절삭중분비에 비하여 아주 크지 않다는 점이다. 즉 절삭중분비가 공구마멸의 경우보다도 월

등하게 크게 변화하는 것을 볼 수 있다. 이 변화의 폭이 크다는 것은 곧 공구파괴의 경우에 그 값이 민감하게 반응한다는 것을 말하며 곧 신호대 잡음비에서 잡음에 비해 신호가 크다는 것을 의미한다.

4.6 가속도 신호 분석

주파수 분석은 가공상태의 주파수가 3000Hz이상을 넘는 경우가 없으므로 2500Hz까지만 분석하여 보았다. 실제 데이터는 5000Hz로 샘플링 하였다. 주파수 분석결과 절삭시의 주파수의 변화를 통해 마멸의 영향을 찾기가 어려움을 알 수 있다. 따라서 주파수 성분을 적분한 값을 사용한다. Fig. 11은 일정 시간마다 주파수 성분을 모두 적분하여 에너지 방식으로 표시한 것이다. 이 결과를 보면 공구가 마멸될수록 주파수적분값이 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 그렇게 증가하다가 공구가 파파되면 그 값은 작은 값을 계속해서 유지하는 것을 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 마멸 예측 입력변수로 이용되어온 절삭분력비와 거기에 절삭중분비를 더하여 공구마멸 예측 및 공구파괴 검출 인자를 선정하는 연구를 행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 그래프와 분산분석을 통하여 공구마멸 예측 인자로서 Force ratio1과 Force ratio3이 우수하며 또 절삭분력비와 절삭중분비를 비교할 때 절삭중분비가 더욱 공구마멸에 민감하게 반응하며 그 중에서도 이송분력의 증가를 이용한 이송분력중분비가 마멸에 따른 값의 변화가 크므로 공구마멸을 예측하기 위한 인자로서 우수하다는 결론을 내릴 수 있었다.

2. 공구파괴 검출 방법으로서 편차라는 개념을 도입하여 공구파괴시 순간적인 절삭력의 변화와 전류신호의 변화를 검출할 수 있음을 보였다. 또한 이 방법을 사용할 경우 이상이 없는 경우는 0, 파파시는 1이라는 이진화 방식을 통하여 여러 센서신호를 조합하여 신뢰성 높은 공구검출을 할 수 있음을 보였다. 또한 슬롯을 낸 경우의 파파실험과 슬롯을 내지 않은 경우의 파파실험을 비교하여 실험의 실제성을 높였다.

3. 가속도 신호를 분석한 결과 가속도 신호 자체만으로는 공구마멸과 공구파괴시를 예측하거나 검출할 수 없지만 주파수에 따라 적분한 주파수에너지비를 가지고 공구마멸이 발전하면서 파파된 후까지를 분석해 본 결과 일반적으로 공구마멸이 발전하면서 에너지 값도 증가하였으며 공구파괴 후 에너지값이 떨어지는 경향성을 보였다.

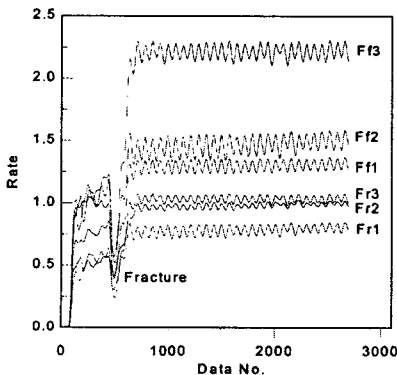


Fig. 10 The incremental rate of force ratios and force incremental ratios at tool fracture (V=180m/min, d=1.5mm, f=0.2mm/rev)

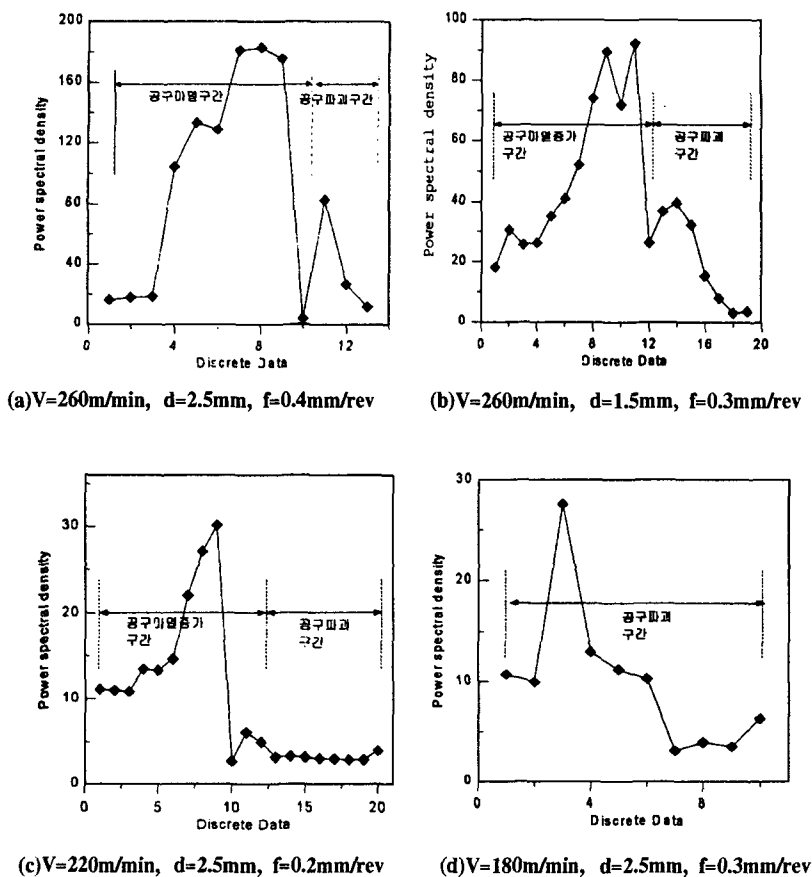


Fig. 11 The change of frequency integral value until tool fracture

6. 참고 문헌

1. 김태용, 최덕기, 주종남, 김종원, "이송모터 전류감지를 통한 절삭력의 간접측정과 절삭공정 감시 및 제어에의 응용," 한국정밀공학회지, 제13권, 제2호, pp. 133-145, 1996.
2. 김정석, 강명창, 박철, "채터진동의 인프로세스 감시를 위한 실시간 복합계측 시스템(1)," 한국정밀공학회지, 제12권, 제10호, pp. 50-56, 1995.
3. 최기홍, 최기상, "선삭공정을 위한 지능형 실시간 공구 감시 시스템에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제9권, 제4호, pp. 22-35, 1992.
4. 이재중, 박화영, "복합계측시스템을 이용한 공구이상 검출," 한국정밀공학회지, 제10권, 제2호, pp. 95-103, 1993.
5. W. Koenig, W. Kluft, and R. Froehlich, "Automated Detection of Tool-Breakage in Turning," *Industrie-Anzeiger*, Vol. 100, No. 28, pp. 62-63, 1978.
6. T. Moriwaki, "Detection for Tool Fracture by Acoustic Emission Measurement," *Analysis of CIRP*, Vol. 29, No. 1, pp. 35-40, 1980.
7. M. S. Lan, and D. A. Dornfeld, "In-Process Tool Fracture Detection," *ASME Journal of Engineering for Industry*, Vol. 108, pp. 191-197, 1986.
8. K. Matushima, P. Bertok, and T. Sata, "In-Process Detection of Tool Breakage by the

- Spindle Motor Current of a Machine Tool," Measurement and Control for Batch Manufacturing, ASME, pp. 145-154, 1982.
9. E. N. Diei, and D. A. Dornfeld, "A Mode of Tool Fracture Generated Acoustic Emission During Machining," Journal of Engineering Industry, Vol.109, pp. 227-232, 1987.
 10. J. H. Lee, D. E. Kim, S. J. Lee, "Application of Neural to Flank Wear Prediction," Mechanical Systems and Signal Processing, pp. 265-276, 1996.
 11. 하재훈, 이종항, 이상조, "직교좌표를 이용한 공구 마멸 예측용 최적 입력변수 선정," 한국정밀공학회 춘계학술대회 초록집, 1994.
 12. 박성현, 다구찌 방법을 중심으로 한 응용실험계획법, 영지문화사, pp. 199-200, 1993.