

엔드밀링 가공시 절삭력 신호와 공구마모에 대한 실험적 연구
An Experimental Study on Cutting Force Signal
and Tool Wear in End Milling

박철기 장동규, 오성훈 양균의, 김태영
(이리직업전문학교)(전북대 대학원) (전북대)

Abstract

In-process monitoring of cutting conditions and tool wear is important for improving productivity. This paper is concerned with on-line monitoring of tool wear and cutting force in end milling operation. The experimental study deals with the relations between flank wear and cutting force signal.

Tool wear is detected by monitoring of cutting signal. A monitoring procedure is shown in this paper. The influence of flank wear on cutting signal activity was examined. The results are presented in the form of graphs.

The analysis of the cutting signal and flank wear curves provides useful indicators of unacceptable wear development in the tool.

Keyword : End milling(엔드밀 가공), Cutting Force Monitoring(절삭력 모니터링), Tool wear(공구마모), Tool Fracture(공구파단)

1. 서론

엔드밀가공은 CNC밀링 머신에서 금형을 가공하는데 많이 이용된다. 이러한 엔드밀 가공시 공구의 마모 및 파단과 같은 이상상태는 금형의 정밀도와 생산성을 저하시키므로 이러한 공구의 이상상태를 감지하기 위하여 여러 가지 방법들이 제시되었다. 이러한 방법들은 크게 직접적인 방법과 간접적인 방법으로 나누어진다.

직접적인 방법은 공구상태를 직접 감지 및 측정하는 방법으로서 광학센서, 전기저항센서, 공기압 센서등을 이용한다. 간접적인 방법은 공구의 상태에 따라 변화하는 절삭력^(1,2), 절삭온도⁽³⁾, 공구진동⁽⁴⁾, 음향방출(Acoustic Emission, AE)신호 측정⁽⁵⁾등을 측정하는 방법이다.

밀링공구의 파손현상을 검출하기 위해 많은 연구가 있어왔다. Dornfield는 절삭인자들과 AE신호와의 관계를 해석함으로써 공구파손을 검출⁽⁵⁾하고자 하였고 Matsushima등은 주축모터의 전류량의 감지를 통한 절삭력 측정을 이용하여 검출을 시도하였다.⁽⁶⁾ Iwata and Moriwaki는 금속절삭시 공구 flank wear와 AE신호의 특성에 관계된 실험⁽⁷⁾을 행하였고 서울대학에서는 AE신호를 밀링공구감지 시스템의 트리거로 사용하고 내장형 센서를 이용하여 절삭력을 측정하는 방법을 제시⁽⁸⁾하였고 POSCO연구소와 전북대학에서는 밀링공구파손에서 생기는 절삭력과 AE신호의 변화량을 상호 보완적으로 사용하여 공구파손을 감지하는 방법을 제시하였다.⁽⁹⁾

본 연구는 평엔드밀의 절삭가공시 절삭력을 모니터링하고 절삭력에 대하여 절삭패턴으로 분류하여 공구의 날당 최대값과 날당 절삭평균량을 계산하고 날당 최대값과 날당 절삭평균량의 변화를 해석하는 절삭력 해석알고리즘을 통하여 공구의 파단을 쉽게 검출할 수 있는 공구 파단 감지 및 검출시스템을 개발하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 시편 및 공구

본 실험에서 사용된 절삭가공 재료는 다양하게 사용되는 오스트나이트계 스테인레스강 SUS 304를 사용하였다. SUS 304시편은 정면 밀링커터를 이용하여 18mm × 75mm × 120mm의 치수로 제작하였다.

본 실험에서 사용된 엔드밀 절삭공구는 (주)양지원 ϕ 10코발트 8%, 2날 표준 엔드밀(SKH 59, M42, C2ORS - 100T)을 사용하였다.

공구파단 검출을 위하여 방전가공기를 이용하여 공구날의 특정 위치에 slot을 가공하였다. 전극으로는 2mm두께의 동판을 사용하였다. 방전가공 조건은 방전전류의 값이 2A, 방전펄스폭이 4 μ sec, 방전 우지시간 10 μ sec, 점프시간 8 μ sec, 방전대기시간 25 μ sec로 설정하여 가공하였다.

Fig. 1은 엔드밀 공구의 방전가공 위치 및 방전가공 후 엔드밀 공구의 형상을 나타낸다.

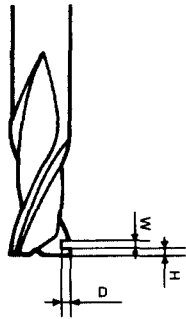


Fig. 1 The slotted end mill

여기서, $W=0.2\sim 0.25\text{mm}$, $H=0.5\sim 0.55\text{mm}$, $D=0.95\sim 1.00\text{mm}$ 이다.

2.2 실험장치의 구성

주축 회전수, 테이블의 이송속도 및 End mill절삭공구의 절삭깊이를 정확하고 정밀하게 변화시킬 수 있는 CNC milling machine을 절삭 실험을 위하여 사용하였으며, End mill절삭 program의 NC data전송을 위하여 IBM PC와 RS 232C통신 포트를 사용하였다. 시편과 공구동력계의 견고한 고정을 위하여 지그를 제작하였으며, 지그와 시편의 밀착도를 높이기 위하여 지그

의 시험편 고정면은 평행도 및 평면도 1/100mm 이내로 연삭가공 하였다. 지그와 공구동력계의 고정은 M8×1.25 bolt 9개로 고정하였고, 이 지그에 SUS 304시편을 M6×1.0 8개의 bolt로 고정시켰다. 시편과 지그의 합체를 공구동력계에 고정하여 CNC milling machine의 베드위에 수평하게 고정하였다. Fig. 2는 실험장치의 전체구성의 개략도이고 Fig. 3은 시편의 부착과 공구동력계를 부착한 그림이다.

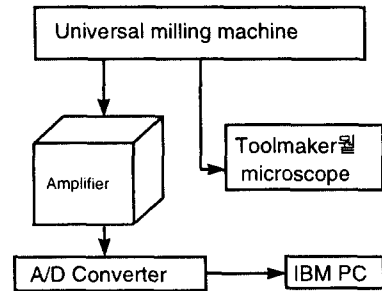


Fig. 2 Arrangement of cutting test

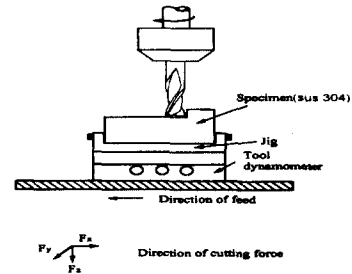


Fig. 3 Specimen clamping and direction of cutting

엔드밀의 형상촬영시 절삭공구의 칩탈로 인한 고정위치의 정확성 및 절삭깊이의 신뢰도를 유지하기 위하여 ϕ 10 collect안쪽 위치에 ARC welding bead를 형성하여 End mill이 일정한 위치에 고정토록 하였다. 엔드밀링 공구상태를 확인하기 위하여 공구 현미경이 사용되었다. 절삭력의 측정에는 공구 동력계(dynamometer, KISTLER 9257A)를 사용하였으며, 공구동력계에서 나온 절삭력 신호를 증폭하기 위하여 증폭기(charge amplifier, KISTLER 5001)를 사용하였다. 절삭시 발생하는

절삭력 데이터는 A/D converter를 통하여 PC에 저장되었다.

2.3 실험방법

일단 시편을 pre-cutting한 후 절삭조건하에서 실험하였을 때, 한번의 절삭행정이 끝나고 나서, IBM PC에서 절삭력 해석 알고리즘 program을 수행하여 얻어진 절삭력의 평균값과 최대값을 계산한다. 이때, 각각의 날에 대하여 최대값을 구하고 또한 날당 절삭평균량을 구하였다. 이때 나타난 날의 최대값과 날당 절삭평균량에 대하여 각각에 대해 비율을 구하여 그 비율이 급격한 변화가 있으면 그 부위를 파단으로 판단되고 그 때의 공구사진을 실체현미경으로 사진촬영하였다.

3. 엔드밀 절삭시 절삭력 특성

엔드밀링은 공구의 회전과 피삭재의 이송으로 인하여 반경방향의 절삭두께가 변하고, 절입과 이탈을 반복적으로 수행하는 절삭기구상 단속 절삭이라고 할 수 있다. 절삭날이 피삭재로 절입할 때 충격과 이탈할 때 급격한 에너지의 변화를 가져오기 때문에 절삭력은 절삭시간에 따라 변동하게 된다. 공구가 정상절삭일 경우는 Fig. 4와 같은 시간 변화에 따라 일정하게 주기적인 유형을 보여준다.

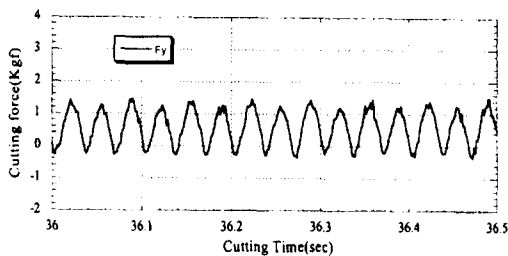


Fig. 4 The relation between cutting force and cutting time in normal cutting

그러나, 공구가 피삭재에 절입하여 일정한 칩 두께를 절삭하고 있을 때 한 날에서 공구의 파단이 발생되었을 경우 Fig. 5와 같이 파단된 날과 정상적인 날에서 각각의 날이 절삭하는 절삭면적의 변화에 파형이 변화하게 된다. 즉, 한 날의 공구마모로 인하여 절삭하지 못한 절삭면적만큼 뒤

따라오는 날의 절삭면적은 증가하게 된다.

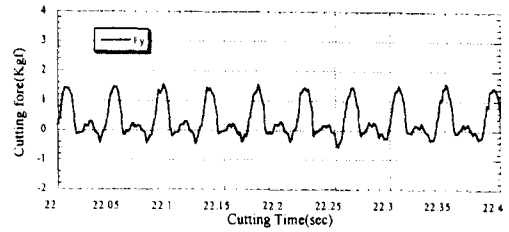


Fig. 5 The relation between cutting force and cutting time in tool fracture

4. 절삭력 해석 프로그램

본 연구에서 개발한 절삭력을 해석하는 프로그램은 Fig. 6에 나타난 것처럼 크게 5개의 부분으로 나누어진다.

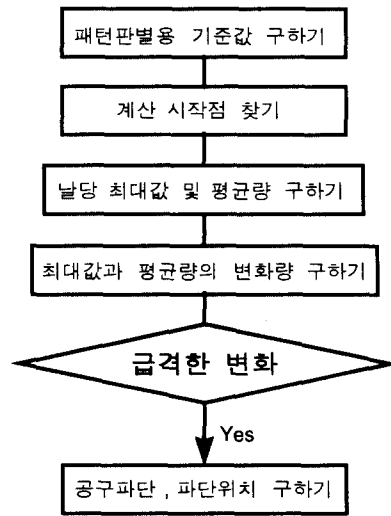


Fig. 6 The structure of force analyzing program

각각의 부분에 대하여 설명을 하면 먼저 패턴판별용 기준값을 구하는 Get_Average()함수는 전체 절삭력의 평균값과 패턴을 만들기 위한 기준값을 찾는 부분으로 나뉘어져 있다. 찾아진 기준값을 가지고 날당 최대값 및 평균량을 구하는 Calculate()함수는 초기 Air cut상태부분을 무시하고 실제 계산을 해야하는 시점을 구하는 함수

If_Start()함수를 포함하여 한 날에 대한 절삭력 중에서 최대값과 날당 절삭평균량을 구하는 함수이다. 날당 최대값과 절삭평균량에 대하여 그 변화율을 구하는 Analyze()함수는 Calculate()함수에서 구한 최대값과 날당 절삭평균량에 대하여 변화율을 구해 공구의 파단을 검출하는 부분으로 공구가 파단될 경우 변화율의 폭이 0.5이상으로 된다. 그러므로, 변화율의 폭이 0.5이상이면 그 부분을 공구 파단점으로 검출하고 파단시간을 구해낸다.

샘플링 주파수와 주축 회전속도를 알면 한 날이 회전되었을 경우에 얻어지는 데이터의 개수는 다음의 식으로 구하여 진다.

$$N = \frac{10 \times Freq}{RPM}$$

여기서, Freq : 샘플링 주파수

RPM : 주축 회전 속도

실제 절삭이 이루어지는 시점을 찾게 되면 위의 식에서 구한 데이터의 개수만큼 일정간격으로 나누어 Calculate()함수를 수행하게 된다.

다음은 Calculate()함수 부분이다.

procedure Calculate()

Begin

Set_Start = FALSE;

while(화일이 끝날 때까지)

Begin

for(i=1;i<=N;i++)

Begin

// 패턴을 찾는다

cx = Find_Check(x,avg_Fx)

cy = Find_Check(y,avg_Fy)

if(!Set_Start)

시작위치를 찾는다

Set_Start = TRUE

if(Set_Start)

// 시작위치에서 절삭평균량을 더한다

fx=If_Start()

최대값을 찾는다.

날당절삭평균량을 구한다.

End // end of for

End // end of while

End. // Calculate()함수 끝

Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9는 개발된 프로그램을 수행하여 절삭력 해석을 한 결과이다. Fig. 7은 파단된 날의 절삭력의 변화를 보여주고 있으며 Fig. 8은 파단되지 않은 날의 절삭력의 변화를 나타낸 것이다. 파단되지 않은 날은 파단된 날의 부분까지 절삭하게 되어 절삭력이 증가됨을 알 수 있다. Fig. 9는 파단된 날의 절삭력의 변화비율을 나타낸 것이다. 샘플링 시간 51.189sec에서 비율의 변화가 0.5이상 급격하게 변화하였고 그 부위에서 파단이 발생하였다.

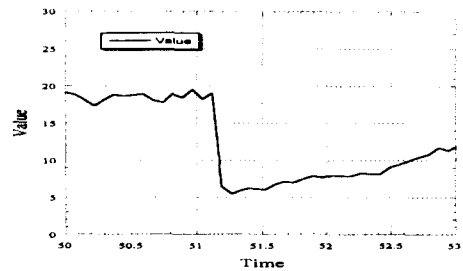


Fig. 7 The change of force value in fracture cutter

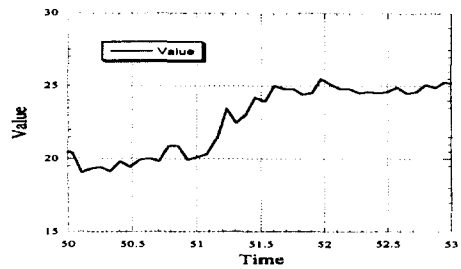


Fig. 8 The change of force value in normal cutter

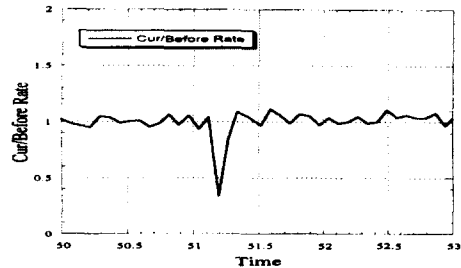


Fig. 9 The change of force rate in fracture cutter

Fig. 10의 (a)는 정상적인 날이고 (b)는 파단된 절삭날을 보여주고 있다.



(a) normal (b) fracture

Fig. 10 The shape of cutter

5. 결론

평엔드밀을 가지고 엔드밀가공시 절삭력을 모니터링하고 본 연구에서 PC기반에서 C언어를 이용하여 개발한 해석프로그램을 수행한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

공구파단을 검출하는데 있어서 검출인자로 날당 최대값과 날당 절삭평균량을 구해 그 변화율을 사용하여 수행한 결과 공구의 파단에 대해 그 변화율의 폭이 큰 값으로 변화하게 되어 그 변화위치를 검출할 수 있었고 또한 공구의 파단을 쉽게 검출할 수 있었다.

현재 적절한 마모기준을 선정하여 절삭력의 해석으로 공구의 파단뿐만 아니라 공구마모에 대해서도 검출할 수 있는 프로그램을 개발중에 있다.

6. 참고문헌

1. J. H. Tarn & M. Tomizuka, "On-line Monitoring of Tool and Cutting Conditions in Milling", ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 111, Aug. 1989, pp.206-212
2. Y. Altintas & I. Yellowley, "In-process Detection of Tool Failure in Milling Using

Cutting Force Models", ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 111, Feb. 1989, pp.149-157

3. Crowel, L. V., "Cutting Temperature vs Tool wear", Annals of the CIRP, Vol. 2, No. 1, 1975, pp.73-76

4. R. Rahman, "In-process Detection of chatter Threshold", ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 110, Feb. 1988, pp.44-50

5. Dornfield, D. A., Lan, M. S., "In-process Tool Fracture Detection", ASME Journal of Engineering Materials and Technology, Vol. 106, 1984, pp.111-118

6. Matsushima, K., Bertok, P. and Sata, T., "In-process Detection of Tool Breakage by Monitoring Spindle Motor Current of a Machine Tool", Measurement and Control for Batch Manufacturing, The Winter Annual Meeting of ASME, Phoenix, Arizona, Nov.13-19, 1982, pp.14-19

7. Iwata, Moriwaki, "An Application of Acoustic Emission Measurement to In-process Sensing of Tool Wear", Annal of the CIRP, Vol. 25, No. 1, 1977, pp.21-26

8. 최덕기, 박동삼, 주종남, 이장무, "내장형 절삭력센서와 AE센서를 이용한 인-프로세스 공구파괴 검출에 관한 연구", 한국정밀공학회지, '93춘계학술발표대회 초록집, pp.344-348

9. 서재형, 김성일, 김태형, "정밀 밀링 가공시 발생하는 공구파손 검출에 관한 실험적 연구", 한국정밀공학회지, 제 12권, 제 13호, 1995, pp.92-100