경사 위치에 따른 볼엔드밀 절삭특성에 관한 연구

A Study on the Cutting Characteristics Ball- End Milling of Position Angle

*유익수[1], #조병무[1], 이동주[1], 이성훼[1], 박희창[1], 강정식[1], 차영민[1]

*I. S. Yoo[1], #B. M. Cho(cbmoo@cnu.ac.kr)[1] , D. J. Lee[1], S. H. Lee[1], H. C. Park[1], J.S. Kang[1], Y.M. Cha[1]

[1] 충남대학교 대학원, [1]충남대학교 기계공학부 [1]한국기계연구원 지능형생산시스템 연구본부

Key words : Ball Endmill, Tool deflection, Machining error, geometric accuracy

1. 서론

최근 복잡하고 다양한 기하학적 형상을 필요로 하는 금형산업은 CAM 소프트웨어의 개발과 CNC공작기계의 발달로 더욱 부각되고 있다. 금형가공은 대부분 볼엔드밀 공구에 의한 가공으로 이루어지며 점점 고정도화 및 고속화되는 추세이다. 볼엔드밀 가공은 곡면의 형상, 크기 및 정밀도에 따른 적합한 가공조건이 요구되며 공구의 선단부분이 반구형태로 효과적인 가공조건의 선정이 어렵다. 이러한 가공상의 복합성에 기인하여 정확한 절삭조건 예측이 어렵게 되며 결국 공정 설계자의 시행착오적인 경험에 의존하게 된다. 또한 곡면 형상에 따른 적절한 가공조건의 선정의 어려움은 가공 중에 공구파손, 휨 및 과부하 등의 요인으로 가공물의 표면거칠기, 형상정밀도 저하를 가져오게 된다.[1]

엔드밀 가공에서 공구 변형에 의한 가공오차 연구는 초기 Kline등[2]은 평엔드밀에서 공구변형과 런아웃이 가공정밀도에 미치는 영향과 가공오차 예측모델을 개발되었고, 최적의 절삭조건을 선정하기 위해서는 각인자와 수준에 따른 실험은 많은 시간과 비용이 소요되므로 현식적 어려움이 있음으로 현재 다양한 분야에 적용되고 있는 실험계획법의 도입이 필요하게된다.[3]

따라서 본 연구에서는 볼엔드밀을 사용하여 반 실린더 형상의 곡면 가공조건을 실험계획법에 의해 이송속도와 절삭깊이의 변화를 선정 실험 하고, 실험계획법의 통계적인 방법으로 분석하여 제한적이지만 공구변형에 의한 가공오차를 줄이는 적절한 공구경로와 절삭조건 선정 방법을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

볼 엔드밀에 의한 곡면 가공시 절삭 조건에 따른 형상 특성을 실험하기 위한 전체적인 실험 장치를 Fig. 1에 나타내었다.

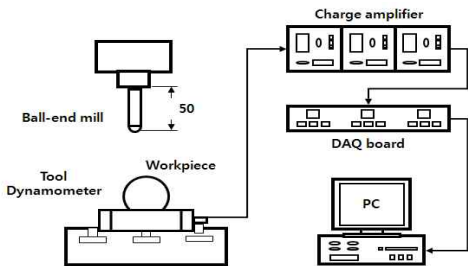


Fig. 1 Photograph of experimental

실험가공은 수직형 머시닝센터(대우ACE-V600)에서 수행되었고, 절삭시 발생되는 절삭력의 측정은 Kistler사의 3채널 압전형 공구동력계(Type 9257A)를 이용하여 절삭력을 측정하였다. 측정된 절삭력 신호는 용량형 앰프(Kistler Type 5019B)를 통해 증폭시키고, 데이터획득장치(DAQ Board, SignalCalc Mobilyzer U2)에서 A/D변환하여 1.3khz로 샘플링 하여 PC에 저장되어 처리하였다.

실험에 사용된 재료는 플라스틱사출, 프레스금형제작에 일반적으로 많이 사용하는 STD11(∅40mm)을 사용하였고, 외경은 정확성을 높이기 위하여 3㎛ 이하의 공차로 연삭하였다.

절삭공구는 직경 10mm의 2날 초경 볼엔드밀로 헬릭스각 30°를 사용하였고 공구의 행오버(Hang over)는 50mm로 설치하였다.

공구의 런아웃은 분해능 1㎛의 인디케이터를 이용하여 주축이 150rpm으로 무부하상태로 저속회전시에 10㎛로 측정되었다.

절삭조건은 공구제작사의 추천 조건을 근간으로 선정하였고, 절삭유제를 사용하여 습식으로 수행하였다. Fig. 2는 가공형상과 공구경로를 보여주고 있다.

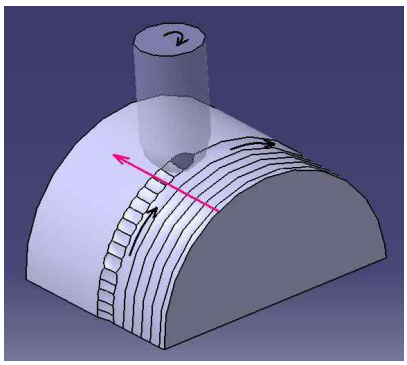


Fig. 2 Machining shape and tool path

가공된 시편은 형상측정을 위하여 3차원 좌표측정기(덕인,Top-665C)로 측정하였다. 측정은 10°에서 170°까지 81Point를 원 자동측정에 의해 2°간격으로 측정하였다.

2.2 실험계획법

여러 가지 통계적 방법으로 가공조건에 따른 오차 에 대한 통계적 분석을 통하여 최소의 실험횟수로 최적의 가공조건에 대한 정보를 얻을 수 있는 것이 실험계획법이라 할 수 있다. 우선 엔드밀 가공에 있어서 특성치라 할 수 있는 가공오차에 가장 많은 영향을 미치는 절삭조건 또는 가공인자를 선정해야 한다. 따라서 볼 엔드밀 가공에 있어서 가공오차에 미치는 인자로는 주축의 회전수, 이송속도, 절삭깊이 등 여러 가지 인자(factor)들이 있다.[4]

본 실험에서의 볼 엔드밀 가공에 있어서는 주축의 회전수, 이송속도, 절삭깊이를 인자로 선정하였고, 실험을 확대시키지 않고도 실험에 많은 인자를 넣을 수 있는 부분요인배치법의 일부인 직교배열법 $L_9(3^4)$을 사용했으며 각 인자는 Table 2와 같이 3수준(level)으로 하였으며, Table 3에 직교표를 나타내었다. 실험순서 및 요인배열은 직교표에 따라 실험계획을 수립, 절삭특성에 관한 실험을 실시하였다.

Table 2 Experimental conditions

Factor	Level		
	1	2	3
Spindle speed(rpm)	1000	2000	3000
Feed rate(mm/min)	100	150	200
Depth of cut(mm)	0.5	0.75	1.0

Table 2. $L_9(3^4)$ orthogonal array

No	RPM	Feed rate (mm/min)	Depth of Cut (mm)
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

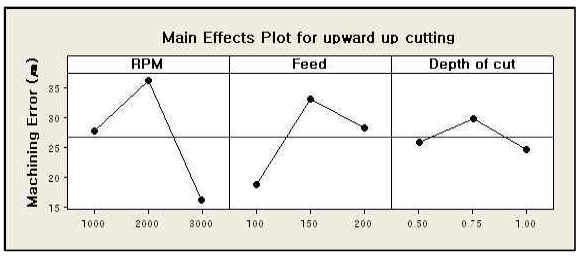
3. 실험결과 및 고찰

3.1 절삭인자에 따른 오차 분석

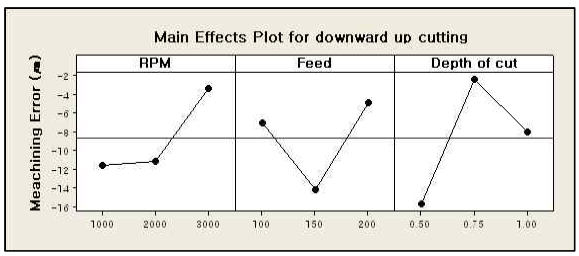
본 연구에서는 실험계획법으로 절삭실험을 행하여 3차원 측정기에 의해 오차를 얻었다. Fig. 3은 가공오차를 실험계획법의 요인배치법을 이용하여 구한 주 효과 그래프이다. 주 효과는 각 인자의 수준을 효과적으로 파악할 수 있고, 최적의 절삭조건을 구할 수 있다.

(a) 그래프는 상방향 상향절삭 그래프로 주축회전수 3000RPM, 이송속도 100mm/min, 절삭깊이 0.5mm일 때 최적의 절삭조건이 나왔다. 그러나 절삭 깊이는 최적절삭조건의 영향에 작게 미치는 것으로 나타났다.

(b) 그래프는 하방향 상향절삭 그래프로 주축회전수 3000RPM, 이송속도 200mm/min, 절삭깊이 0.75mm일 때 최적의 절삭조건이 나왔다.



(a) upward up cutting



(b) Downward up cutting

Fig. 3 Main Effects plot for Factorial design

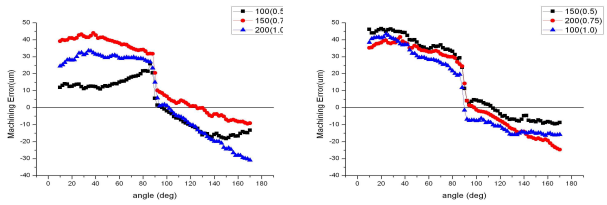
3.2 경사위치에 따른 가공오차 분석

Fig. 4 는 가공물의 곡면 램핑(ramping) 가공시 각각의 회전수, 이송속도, 절삭깊이에 대하여 실험 조건별로 실험후 3차원좌표 측정기(CMM)로 측정 후 오차를 그래프로 나타내었다.

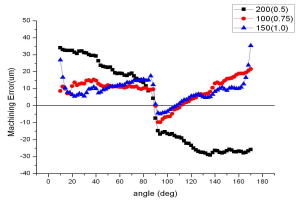
(a) 1000rpm의 경우 상방향 절삭에서는 절삭깊이와 이송속도의 변화에 따라 미절삭 오차가 최대 45㎛ 일어났고, 하방향 절삭에서는 과절삭이 각인자 별로 15㎛ 편차를 보이며 오차가 최대 30㎛일어났다.

(b) 2000rpm의 경우 상방향 절삭에서는 절삭깊이와 이송속도의 변화에 따라 미절삭 오차가 최대 50㎛ 일어났고, 하방향 절삭에서는 과절삭 오차가 최대 25㎛ 일어났다. 그러나 1000rpm과 다르게 상방향 절삭과 하방향 절삭에서 10㎛정도의 일정한 오차를 보였다.

(C) 3000rpm의 경우 이송속도 200mm/min, 절삭깊이 0.5mm에서 상방향은 미절삭이 하방향은 과절삭이 나타났다. 나머지 절삭조건에서는 모두 최대오차20㎛의 미절삭이 나타났다.



(a) Spindle speed 1000 rpm (b) Spindle speed 2000 rpm



(c) Spindle speed 3000 rpm

Fig. 4 Characteristics of tool path varing spindle speed

4. 결론

본 연구에서는 ∅10 초경 볼 엔드밀을 이용한 금형강 가공에 있어서 반 실린더형상의 경사각 변화에 따른 절삭특성을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 주축회전수 2000RPM이 이송속도와 절삭깊이의 변화에 10㎛정도의 차이를 보이며 10°부분에서 40㎛정도의 미절삭이 일어나고 170° 부근에서 15㎛정도의 과절삭이 일어남을 확인했다.
2. 상방향 절삭은 미절삭이 하방향 절삭은 과절삭이 일어나며 주축의 회전수에 따라 변하는 것을 알 수 있었다.
3. 상방향 절삭과 하방향 절삭 변화가 이루어지는 90°부분에서 오차의 변동폭이 가장 큰것을 나타났다.
4. 직교표와 요인배치법의 분석을 이용하여 최적 절삭조건 유추가 가능함을 확인하였다.

참고문헌

(1) Wang, D. H., Park, H. C., "Tool Deflection and Geometric Accuracy to the Change of Inclination Position Angle during Machining Sculptured Surface," Trans. of KSMTE, Vol.10 No.4, 2001. 8, pp. 55 ~ 64

(2) W. A. Kline, R. E. DeVor and J. R. Lindberg, "The Prediction of Cutting Forces in End Milling with Application to Cornering Cuts", Int. J. of Mach. Tool Des. and Res., Vol. 22, pp.7～22, 1982.

(3) Lee,S.J., Bae, H. J., S대, Y. B, Park, H. S., and Jun, T. O."Application of Design of Experiment Optimum Working Condition in Flat End-Milling" Trans. of KSMPE, Vol. 2, No. 3, pp.20~25, 2003.9.

(4) Park, H. S., LEE, S. J., Bae, H. J., Jin, D. K., and Kim, Y. H., "Quantitative Analysis and Mathematical Model for Spindle Vibration of the End-Milling by Design of Experiment", Trans. of KSMPE, Vol.3 No. 4, pp.37～4, 2004.12