

## 절삭속도 일정제어를 통한 자유곡면의 가공기술

김경균<sup>\*</sup>(부산대 대학원), 강명창<sup>\*\*\*</sup>, 이득우<sup>\*\*\*</sup>,  
정용호<sup>\*\*\*</sup>, 김정석<sup>\*\*\*</sup>(부산대 기계공학부)

### Machining Technology of Free Form Surface using Controlled of Cutting Speed

K. K. Kim<sup>\*</sup>(Grad., PNU), M. C. Kang<sup>\*\*\*</sup>, D. U. Lee<sup>\*\*\*</sup>,  
Y. H. Jeong<sup>\*\*\*</sup>, J. S. Kim<sup>\*\*\*</sup>(Mech. Eng. School., PNU)

#### ABSTRACT

The factors which can improve tool life in machining are consisted of tool geometries, tool materials, coating methods, cutting environments, cutting conditions and so on. Cutting speed in cutting conditions is one of the important factors which can directly influence on the tool life. This paper deals the machinability which is concerned about the cutting direction and the tilt angle of free form surface in hot die steel(STD 11). The NC datum were analysed and the effective tool diameters were calculated according to the change of tilt angle the program which can continue the cutting speed with the change of spindle revolution is developed.

**Key Words :** Free Form Surface (자유곡면), Effective Tool Diameter (유효 공구직경), Controlled of Cutting Speed (절삭속도 일정제어), Cutting Condition (절삭조건),

#### 1. 서론

고속 가공 기술은 1921년 독일의 살로몬(Carl J. Saloman)에 의해 착안된 이래로 현재까지 많은 기술적인 발전을 하게 되었다. 하지만, 절삭속도가 임계속도 이상으로 증가될 때 절삭온도가 감소한다는 살로몬의 이론은 오늘날 수많은 연구자들에 의해 신빙성이 없는 것으로 판명되고 있다. 즉, 절삭속도가 증가함에 따라서 절삭온도는 고온으로 상승하여 공구수명이 저하되는 것으로 보고되고 있다.[1~3]

그러나 절삭온도의 고온화 및 공구수명 단축에도 불구하고 고속가공에 관심을 가지는 것은 절삭속도 증가에 의한 생산성 향상 및 가공정밀도 향상과 표면 거칠기 향상 등의 효과를 얻고자 하기 때문이다.

이러한 이유로 고속가공에 대한 정의는 부품의 정밀도나 질을 떨어뜨리지 않는 가운데서 높은 재료 제거율을 가지는 절삭속도와 이송속도로 가공하는 것으로 하기도 한다. 그리고 고속가공의 기준을 수치적으로 정의하면 절삭속도 측면에서는 열처리강의 경우 150~250m/min, 일반강의 경우 350~400 m/min 비철금속의 경우 1000m/min 이다. 주축회전속도

측면에서는 대략 15,000~20,000rpm 이상으로 간주한다. 절삭속도는 공구에 산화 및 확산 마멸을 발생시켜 공구마멸에 영향을 주는 아주 중요한 인자중의 하나이다. 그러므로 열처리 강외의 경우 절삭속도 150~250m/min의 범위를 벗어나는 경우에는 공구마멸이 급격히 진전된다. 그리고 공작물과 절삭속도는 서로 상대적인 관계에 있으므로 공작물 재종에 따른 적절한 절삭속도 선정이 무엇보다 중요하다. 하지만, 최근 기계산업의 발달로 금형 현장에서는 고경도 소재에 자유곡면 형상 가공이 증가되고 있다. 자유곡면의 정삭 및 마무리 공정은 볼 엔드밀 공구로써 대체한다. 자유곡면가공시 볼 엔드밀은 공구의 기하학적 형상특성으로 인하여 동일한 주축회전수에서도 절삭속도가 변화된다. 이러한 절삭속도 변화는 공구의 수명단축 및 제품의 가공정밀도 영향을 미치므로 현재 많은 사람들이 볼 엔드밀 가공 특성에 대한 연구를 활발히 하고 있다.[4~6]

본 논문에서는 볼 엔드밀 공구와 공작물 기울기 변화에 따른 최대 유효공구직경을 계산하여서 주축회전수를 변화시켜 일정한 절삭속도로 가공하기 위한 프로그램을 개발하고자 한다.

## 2. 실험 내용 및 방법

### 2.1 절삭속도 일정제어 기법

볼 엔드밀 가공에서 공구와 공작물 기울기 변화에 따른 실제 유효직경을 구하는 방법을 Fig. 1에 나타내었다.

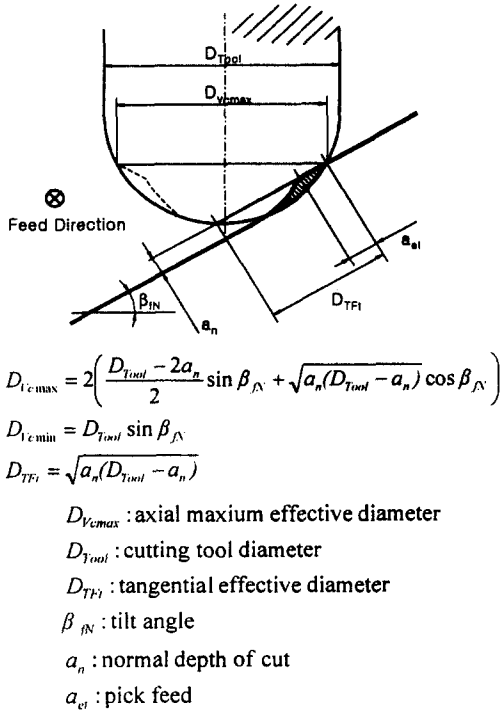


Fig. 1 Effective diameters of ball end mill according to title angle

절삭속도 일정제어를 하기 위해서는 Fig. 1에서처럼 실제 유효 공구직경을 구하여 유효 직경에 따라 주축회전수를 변화시킨다. 그리고 절삭속도 일정제어 기법의 순서도를 Fig. 2에 나타내었다. 기존의 CAD/CAM에서 생성된 NC 데이터를 역 후처리(Reverse Post Process) 과정을 통하여 가공영역을 선정 한 뒤 Z-map 데이터를 이용하여 절삭 시뮬레이션을 실시한다. 절삭 시뮬레이션을 통하여 공구의 절삭영역을 구한 뒤 실제 유효직경을 계산한다. 그리고 실제 유효직경에 따라 주축회전수를 가변시키는 NC 코드를 수정한 뒤 최종적으로 가공한다. 여기서 역 후처리 과정을 Fig. 3에 나타내었다. 일반적으로 NC 데이터의 출력은 모델링 데이터부터 CL 데이터를 생성한 뒤 NC 코드를 산출하는 후처리(Post Process) 과정을 거친다. 하지만, 절삭속도 일정제어를 하기 위해서는 반대로 기존의 NC 데이터에서 CL 데이터로 변환하여 공구 위치점을 찾는 과정이 필요

하다. 이러한 과정을 역 후처리과정이라 한다.

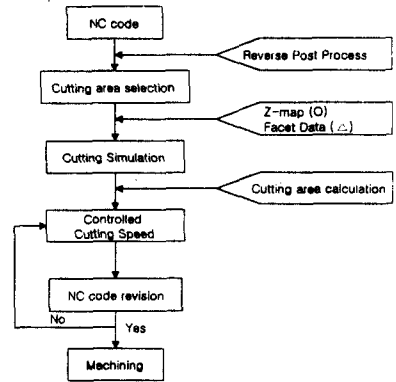


Fig. 2 Flow chart of continue control cutting speed

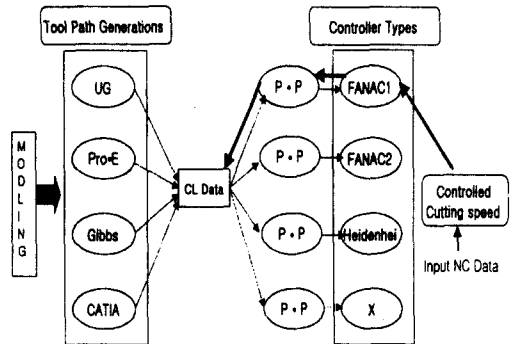


Fig. 3 Block diagram of reverse post process

### 2.2 실험 방법

본 실험에서는 U.G(Uni-Graphic)를 이용하여 구형상 제품을 Fig. 4에 나타낸 것처럼 모델링 하고, NC 데이터를 산출하였다. 공작기계는 최대 20,000 rpm 까지 가능한 수직형 고속가공기를 사용하였으며, 실험조건은 Tabel 1과 같다. 세분력 절삭력은 공구 동력계(kistler 9257B)를 이용하였다. 원활한 신호 획득을 위해서 주축회전수를 6,000rpm 으로 하여 절삭주파수를 낮추어 실험하였다. 공구 마멸과 칩 형상은 CCD 카메라를 사용하여 측정하였다.

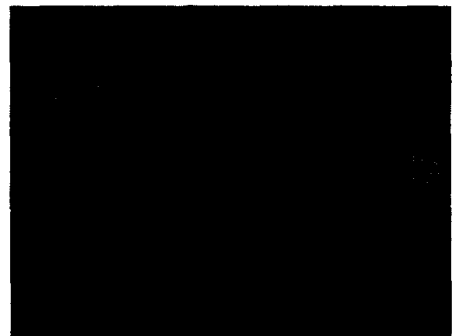


Fig. 4 Modelling of hemisphere type

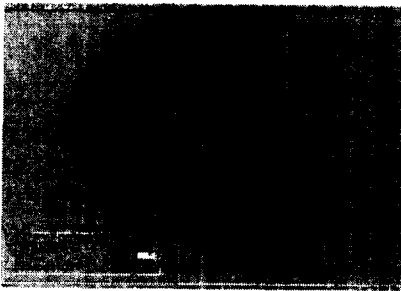
Table 1 Cutting Conditions

Workpiece	STD 61(HRc52)
Spindle revolution (rpm)	10,000 (6,000)
Feed rate (mm/min)	3200
Depth of cut (mm)	0.2
Pick feed (mm/rev)	0.2
Tool (OSG, T120)	φ 10 - 2 teeth

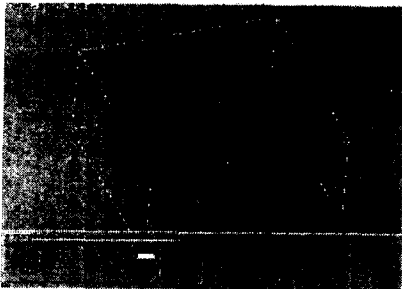
### 3. 실험 결과

#### 3.1 공구경로에 따른 NC 데이터 생성

모델링 정보로부터 NC 데이터를 산출할 때는 동일한 절삭조건에서도 공구경로에 따라서 서로 다른 크기의 NC 데이터를 생성하게 된다. 공구경로는 가공트러블을 발생시킬 수 아주 중요한 요소로서 최적의 공구경로 선정이 필요하다. U.G 를 사용하여 등고선 가공시 생성할 수 있는 2가지 형태의 NC 데이터를 개발된 절삭속도 일정제어 프로그램에서 실행시킨 예를 Fig. 5에 나타내었다. (a)는 아아크(Arc) 형태로 공구가 진입하고 빠지는 방법이며, (b)는 일반적인 등고선 가공 형태이다. 그림에서 보듯이 (a)와 (b) 모두 완전한 원호보간이 아니고 부분적인 원호보간만 되는 문제점이 있다.



(a) tool path type A

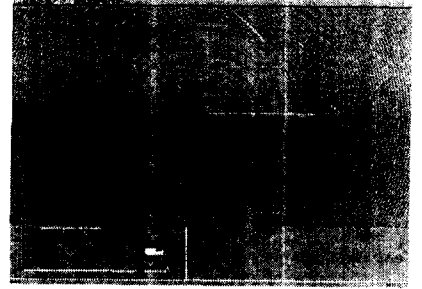


(b) tool path type B

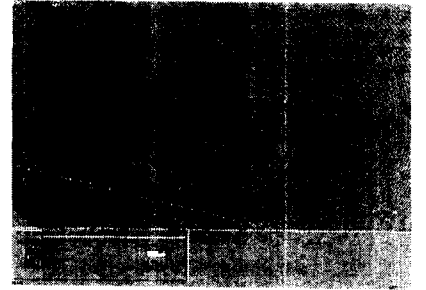
Fig. 5 Comparison of tool path in type A and B

Fig. 6은 개발된 절삭속도 일정제어 프로그램에

서 Fig. 5 (b)의 공구경로를 좀더 확대해서 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 (a)는 G02 코드에 의한 완전한 원호보간이 아니라 직선보간인 G01 코드도 사용됨을 알 수가 있다. 그리고 (b)에서도 불필요한 직선보간 G01 이 사용됨을 알 수가 있다.

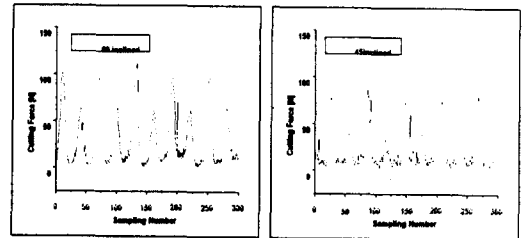


(a) G02 code



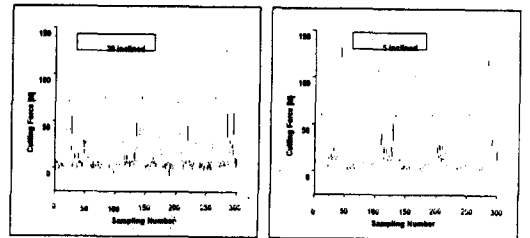
(b) G01 code

Fig. 6 Comparison of G code on tool path in type B



(a) 60° inclined

(b) 45° inclined



(c) 30° inclined

(d) 5° inclined

Fig. 7 Comparison of cutting force according to tilt angle

Fig. 7은 반구형상(hemisphere)을 가공할 때 공작

물 기울기에 따른 이송방향과 반경방향 절삭력의 절대값 합력을 구하여 나타난 절삭력 파형이다. 공작물 기울기가 45° 와 30° 에서는 공구 정점부위에서 절삭되는 5° 보다 절삭력이 작게 작용한다. 그리고 공작물 기울기에 따른 칩 형상을 Fig. 8 에 나타내었다. 칩 모양은 공작물기울기에 따라서 다양한 형태로 생성되며, 절삭력 크기와 비슷하게 45° 와 30° 에서 작은 칩이 생성된다. 5° 에서는 공구정점부위에서 하향과 상향절삭이 동시에 작용하므로 칩 중간부분이 잘린 모습을 나타낸다.

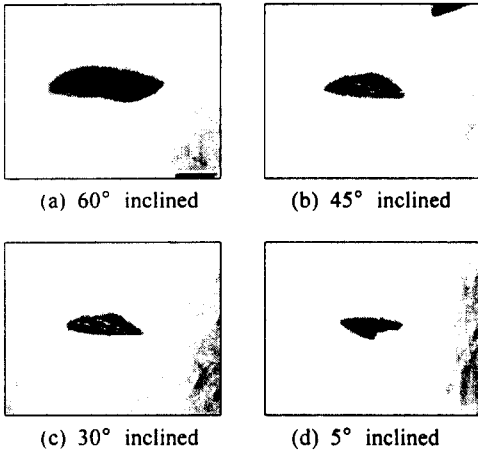


Fig. 8 Comparison of chip form according to tilt angle

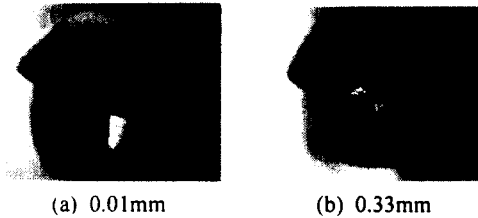


Fig. 9 Photograph of tool wear according to cutting length

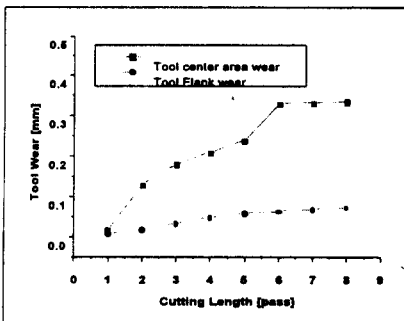


Fig. 10 Comparison of tool wear according to cutting length

절삭길이에 따른 공구마멸 사진은 Fig. 9에 나타내었으며, 공구 마멸 패턴은 Fig. 10에 나타내었다. 공구마멸 패턴을 살펴보면 절삭길이가 증가함에 따라서 공구 중심부위에서만 마멸이 발생하며, 공구 외각 부위에서는 마멸이 거의 진행되지 않는다. 따라서 볼 엔드밀 공구는 공구 중심부위를 최대한 피하는 가공방법이 필요하다.

#### 4. 결론

열처리 금형강(STD 11, HRC52)의 반구형상 가공 특성을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 모델링 데이터로부터 생성된 NC 코드는 원호 보간 구간 내에 직선 보간이 들어가거나 원호구간을 여러 개로 분할하는 오류를 포함하고 있다. 그러므로 절삭속도 일정제어를 실행하기 전에 NC 코드의 수정이 필요하다. 그리고 공구의 회전 런 아웃은 공구 한 날당 절삭력 차이를 야기 시키며, 본 실험에서는 약 2배의 절삭력 차이가 난다. 공구 마멸은 공구의 외각부위 보단 중심 부위에서 공구 마멸이 급진전됨을 알았다.

#### 후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터(ERC/NSDM)를 통한 한국과학재단 우수 연구센터 지원금에 의한 것입니다.

#### 참고문헌

- Schulz H., Moriwaki T., "High speed machining". Annals of the CIRP, Vol. 41/2, pp. 637-643, 1992.
- R.C. Dewes, D.K. Aspinwall, "A review of ultra high speed milling of hardened steels", Journal of Materials Processing Technology, pp. 1-17, 1997.
- '98 NC 공작기계 기술세미나", 한국기계연구원, 1998.
- F. Abrari, M.A. Elbestawi, A.D. Spence, "On the dynamics of ball end milling: modeling of cutting forces and stability analysis", Journal of MTM, Vol. 38, No. 3, pp. 215~237, 1998
- Y. Altintas, P. Lee, "Mechanics and dynamics of ball end milling", Transactions of the ASME, Vol. 120, pp. 684~692, 1998
- P. Lee, Y. Altintas, "Prediction of ball-end milling forces from orthogonal cutting data", Journal of MTM, Vol. 36, No. 9, pp. 1059~1072, 1996