

## AL7075의 고속가공특성 평가

### A Study on the Evaluation on High-speed Machining Characteristics of AL7075

이종현\*, 이동주\*\*, 이용숙\*\*\*, 신보성\*\*\*

J. H. Lee\*, D. S. Lee\*\*, E. S. Lee\*\*\*, B. S. Shin\*\*\*

\* 충남대학교 대학원, \*\* 충남대학교 기계공학과

\*\*\* 한국 기계 연구원 정밀가공그룹

#### Abstract

High-speed machining is one of the most effective technologies to improve productivity. Because of the high speed and high feedrate, high-speed machining can give great advantages for the machining of dies and molds. To perform efficient high-speed machining, evaluation of high speed machinability must be studied preferentially and it can be identified by investigation of cutting force. To measure cutting force in high-speed machining, dynamometer has to have high natural frequency.

In this paper, The dynamometer which has high natural frequency used to measure the cutting force in various cutting conditions.

High-speed machining characteristics are evaluated by the cutting force, FFT analysis of the cutting force and chip formation.

**Key Words** : High-speed machining (고속가공), Cutting force(절삭력), Natural frequency(고유진동수), Machinability(가공성), Dynamometer(공구 동력계)

#### 1. 서론

최근 공작기계 강성 및 성능의 향상, 고속절삭용 공구의 발전, 금형 업계의 생산성과 정밀성 향

상의 요구로 고속가공기술이 적용되고 있다.<sup>1)</sup>

알루미늄 합금 등의 소재를 가공 시 주축회전수가 높은 절삭속도에서 가공이 행해지고 있으나, 연구의 초기단계라 고속단속절삭을 대상으로 한 절삭현상의 메커니즘이 아직 명확히 규명되지 않았다. 고속가공을 원활히 수행하기 위해서는 고속가공의 평가기술이 우선적으로 확립되어야 하는데, 이를 위해 가공현상을 반영하는 센서 측정기술이 요구된다. 그 방안으로 신호대 잡음비(S/N ratio)가 상대적으로 높은 공구 동력계를 통한 절삭력 측정 기법이 가장 적합하다. 또한 주축회전수가 높아지게 되면 올바른 절삭력 측정을 위해 측정계의 고유진동수가 높아야 할 필요가 있다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 AL7075의 고속 가공시 고 응답성의 공구 동력계를 이용하여 회전수 및 이송량의 증가에 따른 절삭력, 주파수 분석, 칩 형상을 조사하여 가공특성을 분석하고자 한다.

#### 2. 실험 장치 및 방법

##### 2.1 실험 장치

Fig. 1에는 본 연구를 위해 제작된 고속 가공기와 일반적인 사양을 Table 1에 나타내었다.

공구는 초경 평 엔드밀(2날,  $\phi 6$ , fraisa)을 사용하였으며, 공작물은 알루미늄 7075이고 성분조성 및 기계적 특성을 Table 2에 나타내었다.

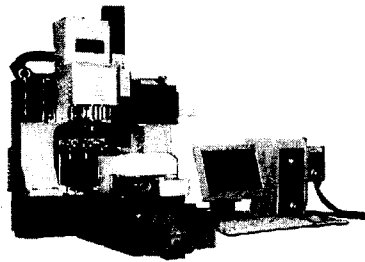


Fig. 1 High-speed machine

Table 1 The specifications of high-speed machine

Max. Spindle Speed	60,000 RPM
Max. Feed Rate	15,000 mm/min
Controller	PC-NC(Win2000), PMAC

Table 2 The details of workpiece Al-7075

Composition					
Zn	Mg	Si	Cr	Cu	Al
5.5%	2.5%	0.3%	0.2%	1.5%	remainder
Mechanical properties					
Tensile strength, Ultimate		220 MPa			
Tensile strength, Yield		95 MPa			
Elongation, break		17 %			
Modulus of elasticity		72 GPa			
Poissons ratio		0.33			

## 2.2 실험 방법

본 실험은 최대 주축 회전수 60,000 RPM인 고속 가공기에서 평 엔드밀을 이용하여 사이드 밀링 방식으로 건식 하향 절삭하여 주축 회전수와 이송속도의 변화에 따라 수행하였다.

Fig. 2는 실험장치의 구성도를 보여주고 있다.

절삭력 측정을 위해 공구 동력계를 공작물 밑 부분에 설치하여 오실로스코프를 통해 절삭력 신호를 획득하였고, 공작물의 형상은 공구 동력계에서 측정 가능한 크기에 준하여 선정하였다.

각각의 절삭조건에서 배출되는 칩은 광학 현미경으로 모두 같은 배율로 촬영하였다. Fig. 3은 가공 방법과 공작물의 형상을 보여주고 있다.

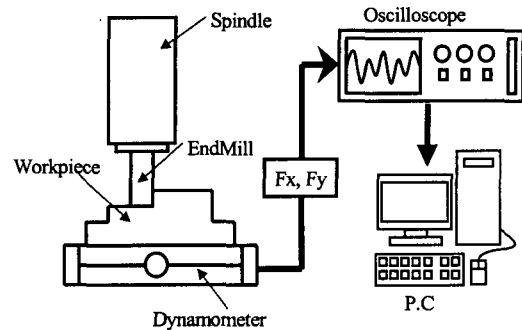


Fig. 2 Experimental Set-up

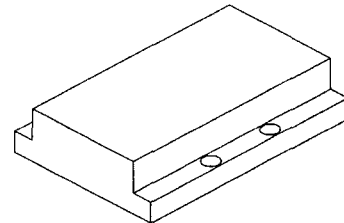


Fig. 3 Workpiece

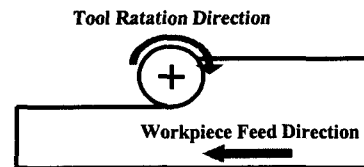


Fig. 4 Down Milling

Table 3은 각 실험에 대한 실험 조건을 나타내고 있다.

Table 3 Cutting Conditions

Cutting Speed (m/min)	Feed Rate (mm/min)	Depth of Cut (mm)	Width of Cut (mm)
376.8	3,000	0.6	4.8
565.2	6,000		
753.6	9,000		
942	9,000		

### 3. 결과 및 고찰

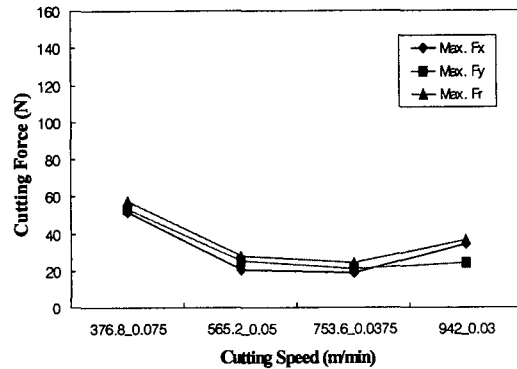
#### 3.1 절삭속도의 변화에 따른 절삭성 실험

이송속도 증가에 따른 이송방향( $F_y$ )과 반경방향( $F_x$ )의 최대 절삭력과 최대 합성 절삭력 ( $F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$ )을 Fig. 5에 나타내었다.

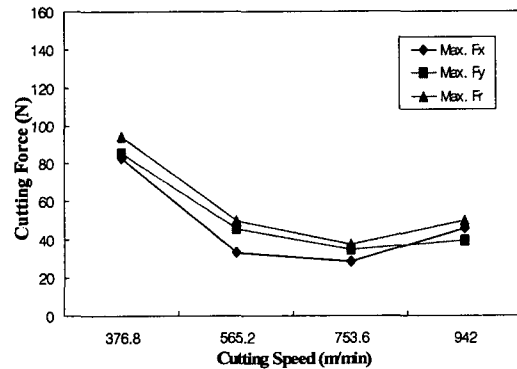
Fig. 5의 (a), (b), (c)를 비교해 보면 이송속도가 증가 할수록 같은 절삭 속도에 대해 최대 절삭력이 증가한다.

(a), (b), (c) 각각의 이송속도에 대해 절삭속도가 증가함에 따라 최대 절삭력이 절삭속도 753.6 m/min 까지 감소하는 경향이 나타나며, 절삭속도 942 m/min에서 최대 절삭력이 증가하는 경향을 볼 수 있다. 대체적으로 이송방향( $F_y$ )가 반경방향( $F_x$ )보다 높게 나타나는데 비해 절삭속도 942 m/min에서는 반경방향( $F_x$ )가 이송방향( $F_y$ )보다 높게 나타나는 것을 볼 수 있다.

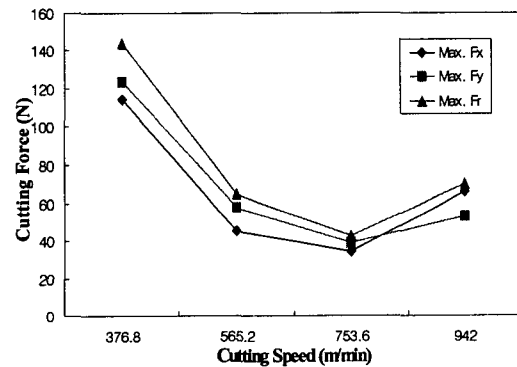
$F = f_z \times Z \times N$ 의 관계식에 의해  $Z = 2$ , 세 개의  $F(3000, 6000, 9000)$ mm/min으로 고정되어 있고,  $N(\text{RPM})$ 이 증가 할수록  $f_z$ (날당 이송량)이 감소하게 된다. 따라서 절삭속도가 증가함에 따라 법선방향의 비 절삭저항이 증가하고, 반대로 접선방향의 비 절삭저항은 감소하기 때문인 것으로 생각된다. 배분력의 증가는 직접적으로 가공면의 파형도(Waviness)에 영향을 주게 되고, 런아웃도 관계되므로 스핀들이 50,000RPM 회전하면서 공구의 떨림 등으로 chatter 진동(Chatter Vibration)과 같은 가공의 불안이 유발하여 반경방향( $F_x$ )이 이송방향( $F_y$ )보다 커진다고 판단되고, 고속가공에서 공구의 설계나 절삭 조건의 선정 시 배분력의 조정이 중요한 요소가 될 것으로 여겨진다.



(a) 3,000 mm/min



(b) 6,000 mm/min



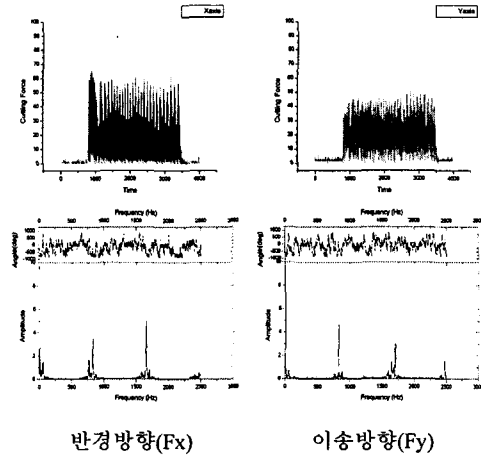
(c) 9,000 mm/min

Fig. 5 Variation of Max. Cutting Force

### 3.2 이송속도 변화에 따른 절삭성 평가실험

5,000 RPM에서의 이송속도 증가에 대한 절삭력의 파형과 그 주파수 값을 Fig. 6에 나타내었다.

절삭력을 주파수 분석한 결과 이송속도 절삭 주파수에서 833Hz, 1,666Hz, 2,500Hz성분이 주를 이루지만, 이송속도가 증가 할 수록 833Hz, 1,666Hz, 2,500Hz성분 주위의 주파수 성분들이 발생하고, 이송속도 9,000mm/min일 때에는 그 주파수 성분들이 급격한 증가를 가져온다. 이는 과도한 이송속도로 인해 공구의 날당 이송량이 증가하면서 절삭력도 증가 할 뿐만 아니라, 공구의 채터링을 유발시키기 때문이다.



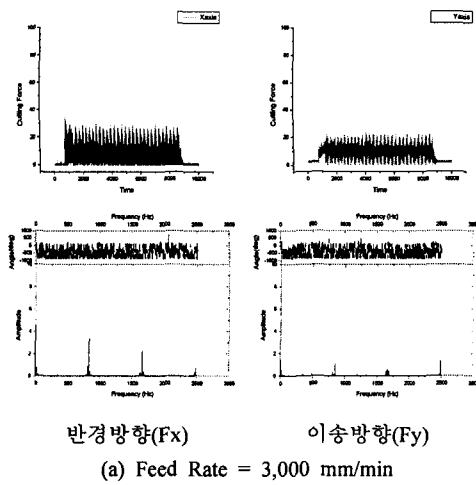
(c) Feed Rate = 9,000 mm/min  
Fig. 6 Cutting Force Signal and FFT analysis According to Feed Rate

### 3.3 절삭속도에 따른 칩 형상

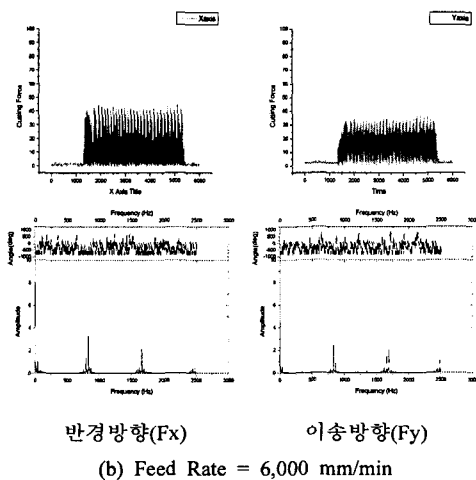
이송속도 증가에 따른 칩 형상을 Fig. 7에 나타내었다.

칩 형상 Fig. 7에서 (a), (b), (c)를 비교해 보면 절삭 속도 376.8m/min 및 565.2m/min에서는 이송속도가 증가하면서 날당 이송량의 증가로 인해 칩의 끝 부분이 톱날 형상의 불안정한 칩이 발생하는 것을 볼 수 있다.

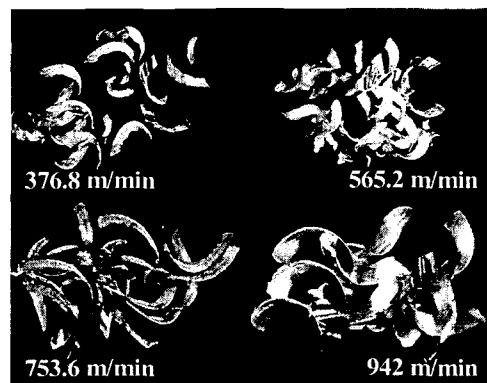
같은 이송속도에서 절삭 속도가 증가 할 수록 칩의 길이가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 나선모양의 비틀림 형상이 증가한다.



(a) Feed Rate = 3,000 mm/min



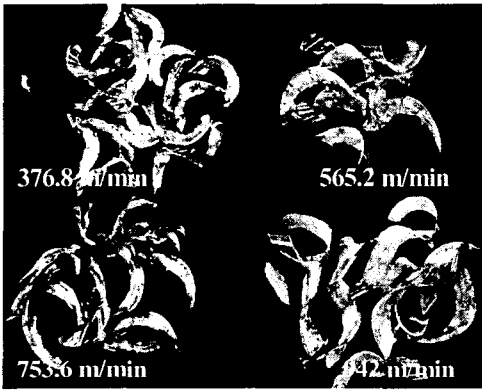
(b) Feed Rate = 6,000 mm/min



(a) 3,000 mm/min



(b) 6,000 mm/min



(c) 9,000 mm/min

Fig. 7 Variation of Chip Formation

#### 4. 결론

평 엔드밀을 사용하여 알루미늄7075를 고속가공 중 고 응답성 공구동력계로 절삭력을 획득하고, 칩 형상을 연구한 결과 고속가공특성에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고응답의 3축 공구동력계를 이용하여 엔드밀 가공시 50,000RPM 까지 단속 절삭력을 획득 하였다.
2. 3,000mm/min, 6,000mm/min, 9,000mm/min 이송속도가 증가 할 수록 같은 절삭 속도에 대해 최대 절삭력이 증가한다.
3. 3,000mm/min, 6,000mm/min, 9,000mm/min 각각의 이송속도에 대해 절삭속도가 증가함에 따라 절삭력이 절삭속도 753.6 m/min 까지는 감소한

다.

4. 50,000RPM에서 절삭력을 FFT 분석한 결과 이송속도증가로 인하여 833Hz, 1,666Hz, 2,500Hz의 주파수 성분이 급격한 증가를 가져온다.
5. 376.8m/min 및 565.2m/min 절삭속도에서 9,000mm/min의 이송속도에서 톱날형의 불안정한 칩이 발생했다.
6. 같은 이송속도에서 절삭 속도가 증가 할 수록 칩의 길이가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 나선 모양의 비틀림 형상이 증가한다.

#### 참고문헌

1. 김동은, 이기용, 강명창, 이득우, 김정석 "고속가공시 공구마멸에 따른 가공변질층 특성," 대한기계학회 추계학술대회, pp. 1089-1093, 1999.
2. 강명창, 김정석, 이득우, 이기용, 김정훈 "고속가공에서 가공성 평가를 위한 3축 공구동력계 개발," 한국정밀공학회지, 제16권, pp. 11-18, 1999.
2. 김석원, 박희범, 이득우, 김정석 "Inconel718의 고속가공특성 평가," 한국정밀공학회 추계학술대회, pp. 182-185, 1998.
3. 손창수, 강명창, 김정석, 이득우 "볼 엔드밀의 고속가공에서 가공능률을 고려한 가공조건의 선정," 한국정밀공학회 추계학술대회, pp. 965-969, 1997.
4. 허현, 이기용, 정용호, 이득우, 김정석, "금형강의 고속가공시 공구상태의 감시," 한국정밀공학회 추계학술대회, pp. 131-134, 1997.
5. Yuan Ning, M.Rahman, Y.S. Wong "Investigation of chip formation in high speed end milling," Journal of Materials Process Technology, Vol. 113, 360-367, 2001.
7. J.P. Urbanski, P.Koshy, R.C. Dewes, D.K. Aspinwall, "High speed machining of moulds and dies for net shape manufacture," Materials and Design, Vol. 21, 395-402, 2000.
8. P. Fallbohmer, C.A. Rodriguez, T. Ozel, T. Altan, "High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing," Journal of Materials Process Technology, Vol. 98, 104-115, 2000.