

## 엔드밀을 이용한 알루미늄 측벽 형상의 고속가공 특성

이우영, 최성주(한국기술교육대학교 기계공학부), 김흥배, 손일복\*(한국기술교육대학교 대학원)

### The Characteristics of High-Speed Machining of Aluminum Wall Using End-Mill

Woo Young Lee, Seong Joo Choi (Dept. of Mech. Eng., KUT), Heung Bae Kim,\* Il-BOK Son (Graduate School, KUT)

#### ABSTRACT

The term 'High Speed Machining' has been used for many years to describe end milling with small diameter tools at high rotational speeds, typically 10,000 - 100,000 rpm. The process was applied in the aerospace industry for the machining of light alloys, notably aluminium. In recent year, however, the mold and die industry has begun to use the technology for the production of components, including those manufactured from hardened tool steels. And the end mill is an important tool in the milling process. A typical examples for the end mill is the milling of pocket and slot in which a lot of material is removed from the workpiece. Therefore the proper selection of cutting parameter for end milling is one of the important factors affecting the cutting cost. The one of the advantages of HSM is cutting thin-walled part of light alloy like Al(thickness about 0.1mm). In this paper, firstly, we study characteristics of HSM, and then, we choose the optimal parameters(cutting forces) to cut thin-walled Al part by experiment.

**Key Words :** High-speed machining(HSM, 고속가공), Cutting force (절삭력), Thin-walled part(박벽), End-mill(엔드밀), Tool Dynamometer(공구 동력계)

#### 1. 서론

최근 가공기술의 발달로 제품에 대한 생산성 향상 및 고정밀도의 요구가 급증되어 외국에서 뿐만 아니라 국내에서도 고속가공에 관한 연구가 성행되고 있다. 이러한 고속가공의 연구는 머시닝센터 주축의 고속화와 이송속도의 고속화를 가능케 했는데 이러한 연구는 알루미늄 합금등의 일부 경금속을 대상으로는 급격히 보급되고 있다. 최근에는 난삭제에도 이러한 연구가 진행되어지고 있다.

공작기계의 고속화로 인하여 난삭재 및 절삭이 어려운 형상에 대한 가공 기술이 점점더 발달하고 있는데, 고속가공의 특징중의 하나인 박벽 형상(thin-walled part)가공은 기존의 주축 회전속도가 10,000rpm이하인 공작기계에서는 박벽형상(두께: 0.1mm이하, 높이 30mm이상)을 가공하는 데는 많은 어려움이 뒤따랐다. 일반적으로 고속가공에서 절삭속도의 증가에 따라 절삭력은 감소하는 경향을 보이는 것으로 보고 되고 있다.

또한, 가공에 있어서 엔드밀 가공은 거대한 항공기 제조업에서 작은 공구와 다이 제작에 이르기 까지 많은 산업에 널리 응용되고 있는데, 그 이유는 슬롯(Slot), 포켓(Pocket), 표면가공(Surface machining) 등 다양한 형상의 황삭 및 정삭가공에 유용하기 때문이다. 고속가공은 그 특성으로 인하여 경량화를 필요로하는 항공산업에서 알루미늄 가공에 그 응용의 비중이 높아지고 있으며, 특히 항공기의 동체 및 날개 부분은 알루미늄 합금으로 많은 경량화를 위하여 많은 수의 얇은 리브(Rib)로 이루어져 있다. 이 리브의 두께는 수백-0.1mm 까지 다양하게 존재하는데, 0.5 이하의 두께를 가지는 리브의 경우 일반적인 공작기계로는 그 형상을 제작할 수가 없다.

이번 연구에서는 고속가공의 박벽(thin-walled) 형상을 가공하는 방법을 연구하기 위하여 엔드밀을 이용한 고속가공 특성을 우선 적으로 시행하고자 한다. 1차적으로 절삭력(cutting force)을 2차적으로는 런-아웃(run-out), 채터(Chatter), 진동 특성(vibration)를 측정하여 박벽 가공을 위한 파라미터를 선정하고.

이를 토대로 다양한 공구 형상(날 수, 경사각 등)을 이용한 측벽가공 특성을 파악하여 높이 30mm 이상, 두께 0.3mm 이하인 박벽 가공에 대한 연구를 단계적으로 수행하고자 한다.

우선, 이 논문에서는 엔드밀을 이용하여 절삭력을 측정하여 가공 특성을 파악하고, 박벽을 가공하기 위한 최적의 가공 변수를 찾하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

이번 연구에 사용한 고속가공기(Roeders사, Germany)의 일반 사양은 Table 1과 같다.

사양 항목	수 치
Max. Spindle Speed	42,000 rpm
Max. Feed Rate	30,000 mm/min
Max. Acceleration	2.0G

Table 1. The Specification of HSM

절삭력을 측정하기 위한 실험장치의 구성은 Fig. 1과 Fig 2에 나타나 있다. 특히 공구 동력계의 고유 진동수를 높이기 위하여 피삭재는 가능한 질량을 감소시켰으며, 공구동력계는 압전효과를 이용한 압전식 3분력 변환기를 사용하여 가해진 힘은 전하증폭기를 통해 전압으로 변환된 뒤 A/D 보드에서 LabVIEW를 이용하여 데이터를 획득하였다.

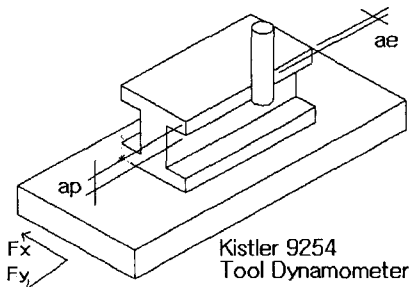


Fig. 1 Diagram of Tool Dynamometer and Workpiece

Table 2에는 실험에 사용된 장치 및 피삭재에 대한 리스트가 나타나 있다.

### 2.1 실험 조건 및 방법

공구는 솔리드 엔드밀(Jabro Tools Co. Germany)에 TiCN 코팅 처리를 한 직경 12mm에 날

수 4인 공구를 사용하였으며 건식 가공을 하였다. 또한 비틀림각은 15°인 공구를 사용하였다. Table 3에는 실험에 사용한 절삭 조건을 나타내었다.

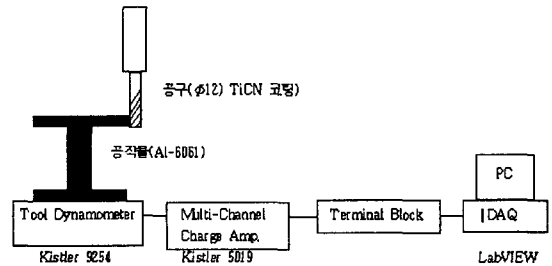


Fig. 2 Diagram of Experimental System

피삭재	Al6061
공구 동력계	Kistler사, type:9254
전하증폭기(Amplifier)	Kistler사, type:5019
A/D 보드	DAQ-MIO-16E (NI, Co.)

Table 2 Construction of Experiment for Cutting force

Fig. 1에서 알루미늄 시편이 T'형상을 하고 있는 것은, 엔드밀을 사용한 절삭가공 시 x,y,z의 3축 절삭력을 발생하나, 이번 실험에서는 박벽 형상의 가공을 전제로 하고있으므로 z축 절삭력을 제외한 x,y 2축의 절삭력만을 사용하여 그 경향을 파악하였기 때문이다.

RPM (rev/min)	Feed/tooth (mm/tooth)	Axial depth (mm)	Radial depth (mm)
100-37500	0.01	5mm, 10mm	1mm, 2mm
	0.02		
	0.03		
	0.04		
	0.05		

Table 3 Experimental Cutting Conditions

## 3. 실험결과 및 고찰

실험을 위하여 LabVIEW를 이용하여 고속가공에서 절삭력을 측정할 수 있도록 모니터링 시스템을 구성하였으며, Fig. 3은 절삭력을 측정할 수 화면을 나타내고 있다. 컴퓨터에서의 신호는 전압값인 V를 측정하는데, 신호 증폭기 설정시 1V는 25N으로 설정 하였으므로 신호값에 25N을 곱하면 실제 절삭력을 얻을 수 있다.

Fig. 4는 실제 절삭력 파형을 시간에 대한 그래프로 나타낸 것이다.

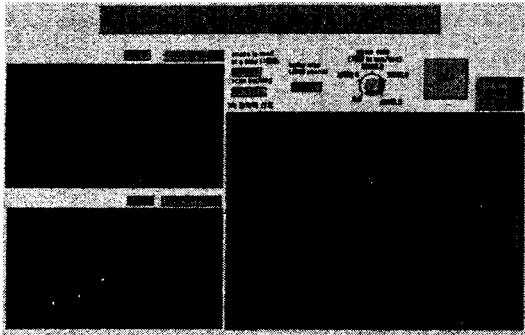


Fig. 3 Front panel of monitoring system

### 3.1 절삭속도의 변화에 따른 가공 특성

이번 실험에서 최대 50 m/min - 1500 m/min까지의 절삭속도에서 상향, 하향 각각에 대해 X, Y 절삭력을 측정하였다. 절삭속도가 증가할수록 절삭력은 감소하는 경향을 보였다. 반경방향 절삭깊이, 축방향 절삭깊이 그리고 날당이송이 같은 경우, 일반적으로 상향절삭의 이송방향 힘이 제일 크게 나타났다.

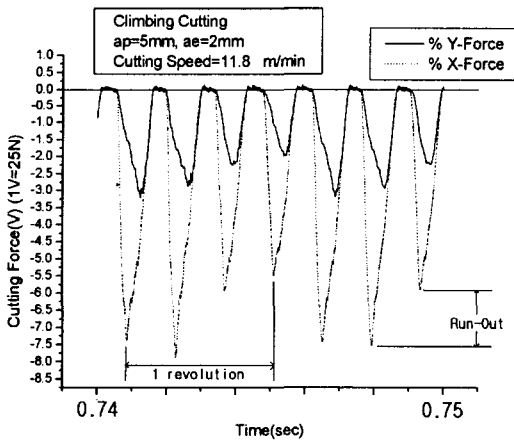


Fig. 4 Characteristics of X, Y Force Signal

### 3.2 상향절삭과 하향 절삭에 따른 특성

상향절삭과 하향절삭의 경우 상향절삭이 하향절삭보다 더 큰 절삭력을 나타냈다. 상향 절삭의 경우 절삭 속도의 증가에 따라 칩 배출이 원활하지 않아 가공 면이 매우 불량하였다. 이것은 고속에서 알루미늄의 가공에 의한 구성인선의 발생에 그 원인이 있다고 판단되며, 비틀림각(15°)이 너무 작은 공구를 사용하여 생긴 영향도 있으리라 판단된다.

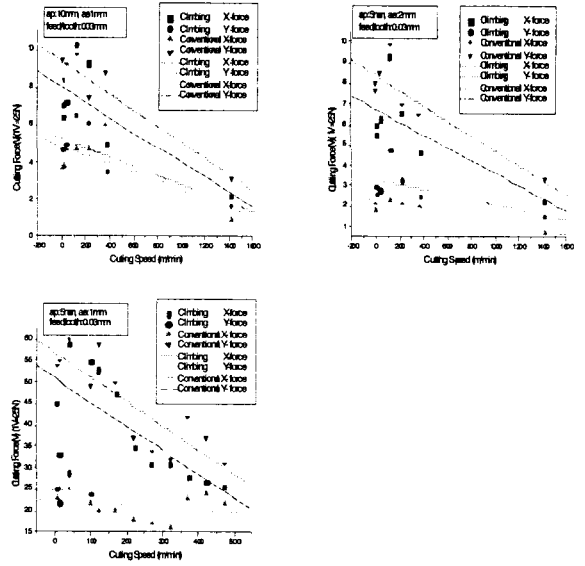


Fig. 5 Characteristics of Cutting Force (feed/tooth=0.03)

### 3.3 이송방향 힘(Y)과 반경방향 힘의 특성

#### 3.3 이송방향 힘(Y)과 반경방향 힘(X)의 특성

이송방향 힘과 반경방향 힘의 경우 반경방향의 힘이 크게 작용하는데, 이것은 반경방향의 절입깊이에 따라 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

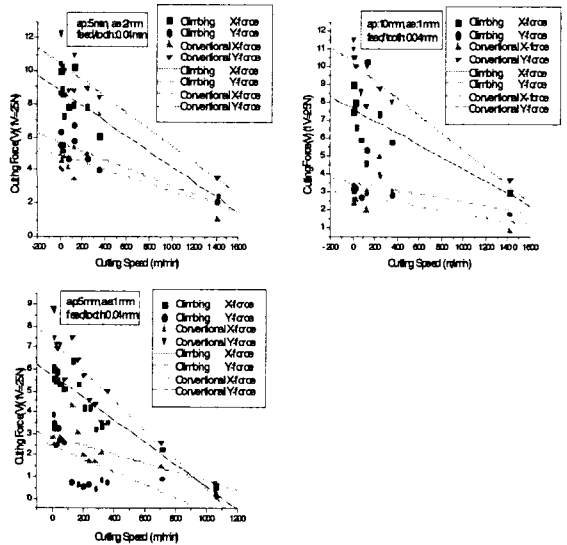


Fig. 6 Characteristics of Cutting Force (feed/tooth=0.04)

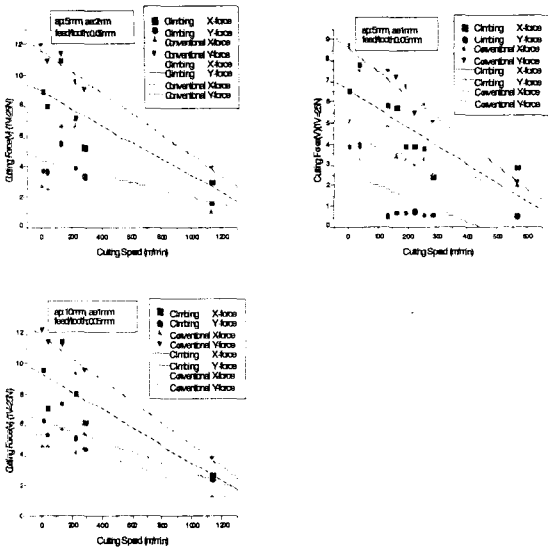


Fig. 7 Characteristics of Cutting Force (feed/tooth=0.05)

### 3.4 날당이송의 변화에 따른 가공특성

이번 실험에서는 0.01mm/tooth - 0.05mm/tooth 까지의 날당 이송량을 변화를 주어서 실험을 하였다. 날당이송의 경우에도 절삭속도의 증가에 따라 모두 감소하는 경향을 보였는데, 초기에 날당이송이 큰 경우에 날당이송이 작은 경우보다 큰 절삭력을 나타내지만, 절삭속도가 증가하면 날당이송이 작은 경우가 날당이송이 큰 경우보다 절삭력이 크게 나타났다. 이것은 절삭속도의 증가에 따른 절삭력의 감소율이 다르다는 것을 의미한다. 이것은 그래프에서 확실하게 확인할 수 있으며 상향, 하향 또는 반경방향의 절삭깊이, 축 방향 절삭깊이 그리고 이송방향 힘(Y-Force), 반경방향 힘(X-Force)의 변화에 따라 힘이 반전되는 구간이 다양하게 나타났다. 하향절삭보다 상향 절삭이 더 큰 절삭 속도에서 반전의 경향을 보였으며, 상향에서는 일반적으로 이송방향의 힘(Y-Force)이 반경방향 힘(X-Force) 보다 더 큰 절삭속도에서 반전하는 경향을 나타내었으나, 하향의 경우에는 반전 영역이 같거나 이송방향 힘이 더 작은 절삭속도에서 반전의 경향을 나타냈다.

### 3.5 Axial depth의 변화에 따른 가공특성

축 방향 절삭깊이의 증가에 모든 절삭력은 증가하는 경향을 나타냈으며, 반경방향의 힘보다 이송방향의 힘이 더 크게 증가하는 경향을 나타내었다. 또 하향절삭보다 상향절삭이 축방향 절삭깊이의 증

가에 따라 더 큰 절삭력 증가 경향을 나타냈다.

### 3.6 Radial depth의 변화에 따른 가공 특성

이송방향 절삭깊이의 증가에 모든 절삭력은 증가하는 경향을 나타냈으며, 이송방향의 힘 보다 반경방향의 힘이 더 크게 증가하는 경향을 나타내었다. 또 하향절삭보다 상향절삭이 축방향 절삭깊이의 증가에 따라 더 크게 절삭력이 증가하는 경향을 나타냈다.

## 5 결론

이번 연구는 엔드밀을 이용한 Thin-wall 가공을 위하여 엔드밀을 이용하여 다양한 가공 변수를 변경하여 그 가공 특성을 파악하였으며, 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 절삭력은 절삭속도의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타낸다.
2. 상향절삭과 하향절삭의 경우 상향절삭이 하향절삭보다 더 큰 절삭력을 나타냈다.
3. 상향 절삭의 경우 절삭 속도의 증가에 따라 칩배출이 원활하지 않아 가공 면이 매우 불량하였다.(구성인선의 영향, 작은 비틀림각의 영향)
4. 날당이송의 경우에도 절삭속도의 증가에 따라 모두 감소하는 경향을 보였는데, 초기에 날당이송이 큰 경우에 날당이송이 작은 경우보다 큰 절삭력을 나타내지만, 절삭속도가 증가하면 날당이송이 작은 경우가 날당이송이 큰 경우보다 절삭력이 크게 나타났다.
5. 절삭력의 반전은 상향,하향 또는 반경방향의 절삭깊이, 축 방향 절삭깊이 그리고 이송방향 힘(Y-Force), 반경방향 힘(X-Force)의 변화에 따라 힘이 반전되는 구간이 다양하게 나타났다.
6. 하향절삭보다 상향 절삭이 더 큰 절삭 속도에서 반전의 경향을 보였으며, 상향에서는 일반적으로 이송방향의 힘(Y-Force)이 반경방향 힘(X-Force) 보다 더 큰 절삭속도에서 반전하는 경향을 나타내었으나, 하향의 경우에는 반전 영역이 같거나 이송방향 힘이 더 작은 절삭속도에서 반전의 경향을 나타냈다.
7. 박벽가공의 경우 가장 적은 반경방향 절삭력이 생기는 최고의 절삭속도에서 하향으로 절삭을 수행하는 것이 바람직하다.

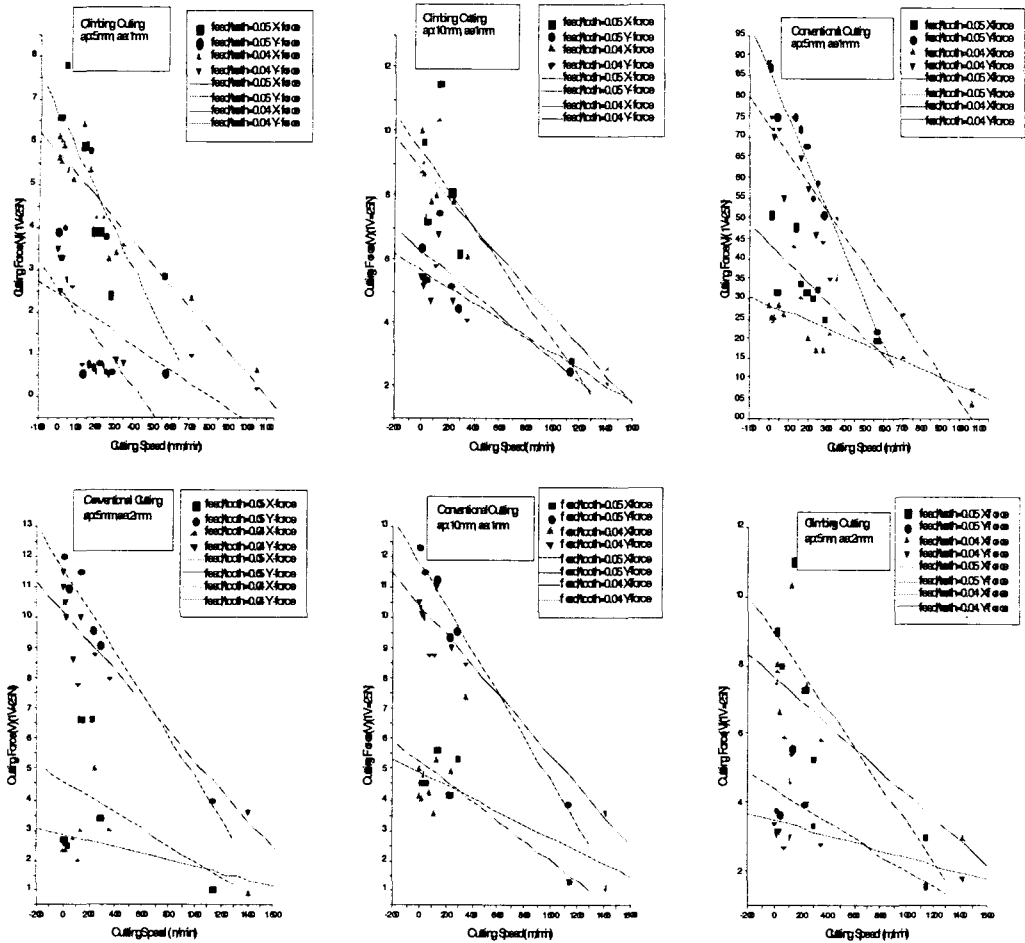


Fig. 8 Characteristics of Cutting Force according to feed/tooth

참고문헌

1. T. Moriwaki, "High-Speed Machining", CIRP, Vol.41, 1992
2. H. Schut, "High-Speed milling of Dies and Moulds-Cutting Condition and Technology", CIRP, Vol.44 1995
3. Nam-Sub Seo, Metal Cutting Theory, Dong myoung sa, Korea, 1985
4. Young-Ha Yum, The Cutting Theory of Machine Tool, Dong myoung sa, Korea, 1992
5. D.G Flom, R. Komanduri and M. Lee, High Speed Machining of Metals, Annual Review of

Materials Science, Vol.4, 1984, p.231

6. R.I. King and R.I. Vaughn, A Synoptic Review of High Speed Machining from Salomon to the Present, Proc. of ASME, High Speed Machining Conf, PED 12, 1984, 2