

고속가공을 이용한 자동차부품 시작 금형 가공

이종현*, 이동주**, 신보성***, 최두선***, 이응숙***, 이득우****, 김석원*****

The Prototypal Molds Making for Car Parts using High Speed Machining

J. H. Lee*, D. S. Lee**,
B. S. Shin***, D. S. Choi***, E. S. Lee***,
D. W****. Lee, S. W. Kim*****

* 충남대학교 대학원, ** 충남대학교 기계공학과
*** 한국 기계 연구원 정밀가공그룹
**** 부산대학교 기계공학과, ***** 부산대학교 대학원

Abstract

Recently, to be satisfied the consumer's demand th life cycle and the lead time of product is to be shorted. So it is important to reduce the time and cost in manufacturing prototypal mold. These days, in order to reduce the lead time and cost high speed machining is highlighted. In the paper, using the high speed machining and aluminum-7075, the fundamental experiment is implemented in the change of cutting force, machining time, surface characteristic according to the tool path. And then the prototypal mold of the automatic knob is machined.

Key Words : High speed machining (고속가공), prototypal mold (시작금형), Automatic Knob (자동 변속기 손잡이)

1. 서론

다양화되는 소비자의 요구에 대응하기 위해 공업제품의 개발 사이클이 빨라지고 제품개발의 기간단축에 대한 요구가 높아지고 있다.¹⁾ 특히, 제품 개발에 가장 큰 비중을 차지하는 시작품 모형 제작과 시작 금형 제작에 드는 비용과 시간을 단축시키지 않으면 안되게 되었으며, 이를 위해 고속가공은 생산시간과 비용의 절감 측면에서 월등한 경쟁력을 가지고 있어 주목을 받고 있다.²⁾

국내에서도 자동차 부품의 복잡한 3차원 금형의 제작을 위해서 경제성 및 생산성을 극대화시킬 수 있는 고속가공기술의 필요성이 대두되고 있는 실정이다.³⁾ 최근 고속가공으로 시작품 또는 시작

금형을 만드는 경우, 새로운 시도로 쾌속가공을 위한 고속가공 전용 복합재료의 개발이 연구되어 쾌삭성 뿐만 아니라 시작금형에 충분한 강도를 가지는 에폭시가 복합재료의 기지로 사용되었다.²⁾

본 연구에서는 현재 알루미늄 합금 중 최고의 강도를 가지고있는 알루미늄 - 7075을 사용하여 공구경로에 따른 고속가공의 절삭력의 변화, 가공 시간, 표면특성 등에 관하여 기초실험을 수행하고, 이를 바탕으로 자동차 부품인 자동 변속기 Knob의 시작 금형을 가공하였다.

2. 실험 장치

Fig. 1 에는 본 논문에서 수행한 MIKRON UCP710 고속 머시닝 센터(부산대학교 ERC / NSDM 보유장비)를 나타내었다.

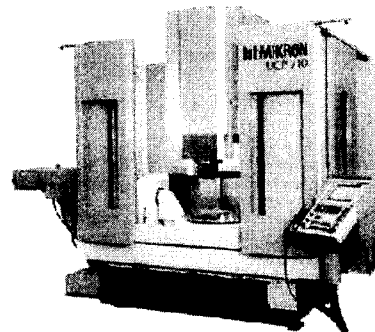


Fig. 1 High-speed machining center

Table 1에서 MIKRON 머시닝 센터의 일반적인 사양을 나타내었다. 절삭력 측정을 위해 공구동력계는 Kistler사 Model 9257A 모델(2.3kHz Natural frequency)을 사용하였다. 가공물의 표면특성을 조사하기 위해 모니터 내장형 광학식 현미경은 KEYENCE사 VH-6000을 사용하였다.

Table 1 The specification of HSM

Max spindle	42,000 rpm
Max. feed rate	30 m/min
Tool holder	HSK
Envelope	710 × 550 × 550

3. 실험 방법

Fig. 2에는 본 연구의 흐름을 보여주고 있다. 시작급형을 가공하기전 SolidWorks를 이용하여 공구 경로에 따른 절삭력을 측정하기 위한 4가지 공구 경로를 이용해 생성하고, 절삭력을 측정을 하여 분석하였다. 그리고 SolidWorks를 이용하여 자동차 오토매틱 손잡이 Knob 급형의 3D 모델링후 EdgeCAM에서 공구 경로에 대한 절삭력을 고려하여 여러 종류의 공구 경로와 공구에 대한 회전수, 날당 이송, 절입깊이 등을 결정한 후 이에 따른 NC DATA를 출력한다. 최적의 NC Code를 이용하여 컴퓨터와 100Mbps 네트워크로 연결된 고속 머시닝센터에 전송하였다. 공구는 TiAlN 코팅된 초경 엔드밀, 공작물에 사용된 재료는 현재 나와있는 알루미늄 중 최고의 강도를 가지며 강공기 용재에 사용되는 알루미늄 - 7075를 사용하여 가공 실험을 수행하였다. Table 2에는 공작물의 주요성분을 나타내었고, Table 3에는 실험에 사용된 고속 가공용 초경공구의 사양을 나타낸다.

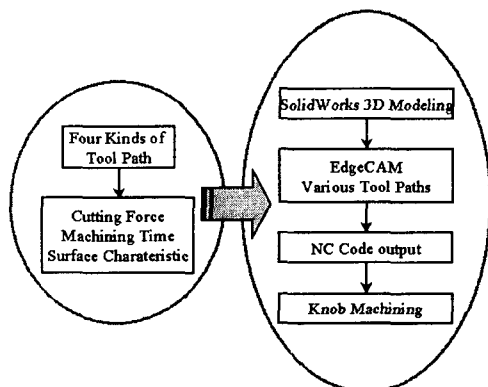


Fig. 2 Flow chart of experiment

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, MPa			220		
Tensile strength, Yield, MPa			95		
Elongation %, break			17		
Modulus of elasticity, GPa			72		
Poissons ratio			0.33		

Table 3 The specifications of the ball endmill

Shank diameter	10 mm
Radius diameter	5 mm
Tool length	50 mm
Flute length	30 mm
Number of flutes	2
Helix angle	30°

본 연구에서 수행한 고속머시닝센터에서는 가공 중 절삭유를 사용하지 않고 환경 친화적인 Mist를 공급하여 수행하였다. Table 4에서는 Mist (High performance lubricant for minimal lubrication)의 사양을 보여주고 있다.

Table 4 Mist specification

Name	UniLuB 9107
Usage	High speed cutting(HSC), Al, Alloys, Plastic, etc.
Application & handling	Undiluted for micro-film coating acc.to safety data sheet (TS3030)
Toxic class	Free contains : non-ironic

4. 기초 실험

4.1 실험 방법 및 조건

본 실험은 고속머시닝센터에서 절삭력 측정을 위해 공구동력계(Kistler사 Model 9257A)를 공작물 밑 부분에 설치하여 절삭력을 측정하였고, 공구는 초경 볼 엔드밀, 공작물은 알루미늄 7075를 사용하였다. 공작물의 형상은 공구동력계에서 측정 가

능한 크기에 준하여 선정하였다. Fig. 3은 공구동력계 장치 구성도이다.

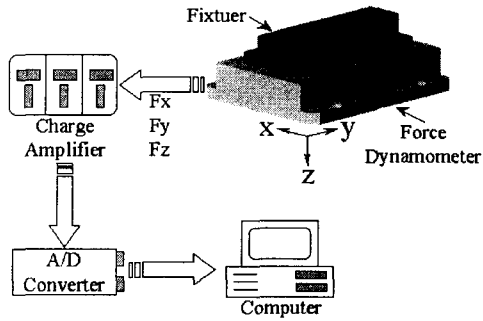


Fig. 3 Dynamometer setup

Fig. 4는 절삭력을 측정하기 위한 사각 및 원형 그루부(Groove) 형상을 보여준다.

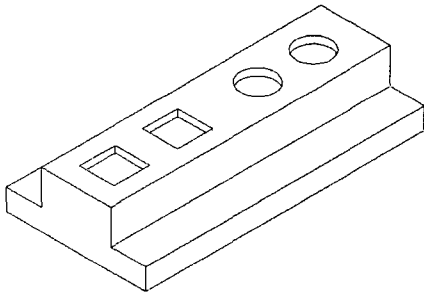


Fig. 4 3D Model for cutting force

φ10mm의 고속가공용으로 TiAlN 코팅된 초경 솔리드 볼 엔드밀을 이용하여 가공하였고, Table 5에서는 절삭력을 측정하기 위한 절삭조건을 나타낸다.

Table 5 Cutting conditions for cutting force

Spindle speed (rpm)	23000
Feed rate (mm/min)	3500
Cutting speed (m/min)	72.2
Feed/tooth (mm/tooth)	0.038
Radial depth of cut (mm)	1
Axial depth of cut (mm)	0.1

4.2 기초실험 실험 결과 및 고찰

Fig. 5은 절삭력 측정을 위한 4가지의 공구경로를 나타낸다.

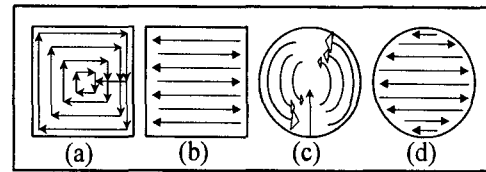


Fig. 5 Tool paths for cutting force

평면(1 Layer)에 대한 공구경로의 특성을 알아보기 위해 X, Y, Z의 절삭력을 측정하였다. Fig. 5의 (a)와 (c)를 절삭력 X, Y, Z 축 합력의 결과로서 Fig. 6에 나타낸 것이다. Z축으로 진입하면서 절삭력이 커지고 형상의 가운데로 가공을 하면서 절삭력이 작아지는 것을 볼 수 있다. 이것은 형상의 중심부로 갈수록 이동거리가 짧아지므로 충분한 가감속을 하지 못해 이송속도가 줄어들게 되고, 따라서 절삭력이 감소하는 것으로 사료된다.

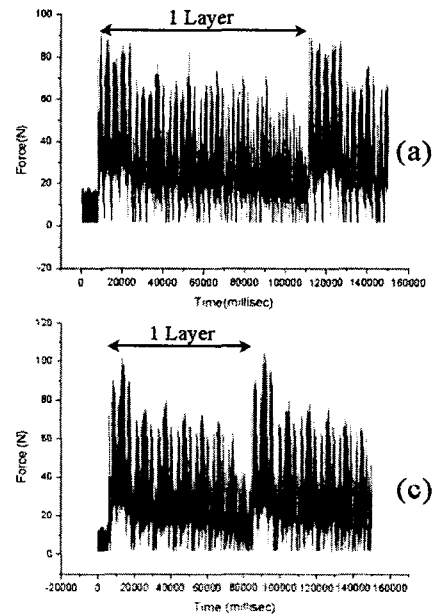


Fig. 6 Cutting force of (a) and (c)

Fig. 5의 (b)와 (d)의 절삭력을 측정된 X, Y, Z 축의 합력의 결과를 Fig. 7에 나타낸 것으로, Z축으로 공구가 진입하면서 절삭력이 커지고 공구경로가 X축으로 피크피드 가공을 하면서 Y축으로

지그재그(Zig-Zag)로 가공 할 때 절삭력이 고르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 Y축의 같은 길이를 같은 이송속도로 가감속을 하는 것을 알 수 있다.

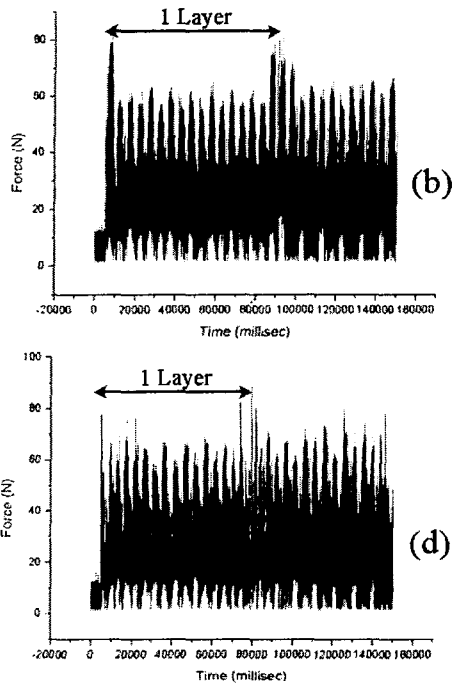


Fig. 7 Cutting force of (b) and (d)

Fig. 8은 (a), (b), (c), (d)의 최대 절삭력과 평균 절삭력을 나타낸 것이다. 여기서 같은 형상을 가공 경로에 따른 등고선 가공과 지그재그(Zig-Zag) 가공을 비교 했을 때 등고선 가공에서 최대 절삭력과 평균 절삭력이 높다는 것을 알 수 있다.

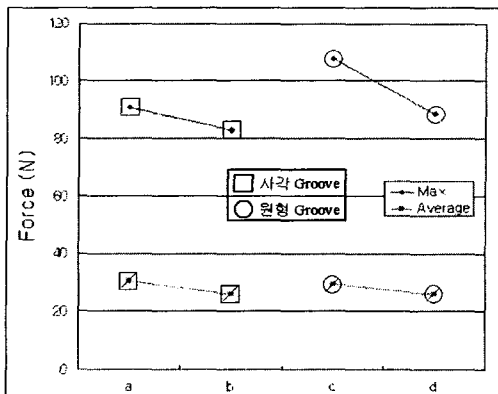


Fig. 9는 (a), (b), (c), (d)의 가공시간을 나타내었다. 같은 형상을 같은 가공 조건에서 등고선 가공과 지그재그(Zig-Zag) 가공을 했을 때 지그재그(Zig-Zag) 가공이 가공시간이 작게 나오는 것을 알 수 있다.

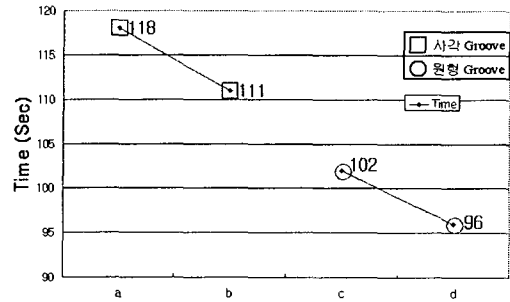


Fig. 9 Comparison of machining time

Fig. 9는 절삭력을 측정하기 위한 형상의 가공된 모습과 절삭표면의 현미경 사진을 나타내고 있다. 현미경 사진에서 (a)와 (c)는 안쪽으로 들어갈수록 날 당 이송속도가 작다는 것을 알 수 있고, (b)와 (d)는 날 당 이송속도가 같다는 것을 볼 수 있다. 이것 또한 가감속에 따른 문제라고 볼 수 있다.

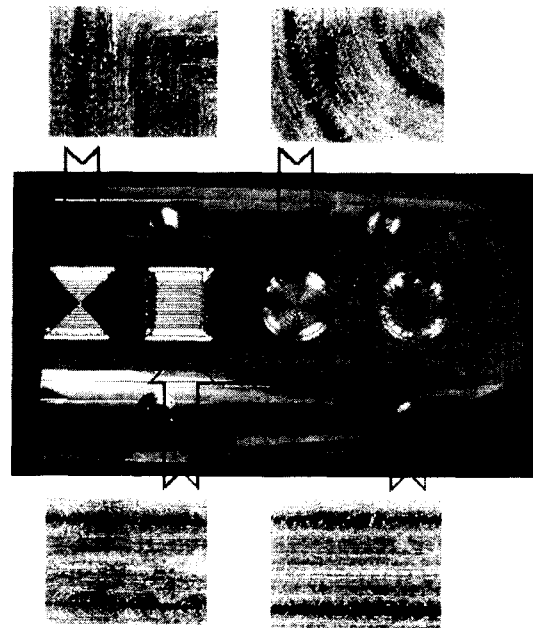


Fig. 9 Photograph of cutting force model

5. Knob 시작 금형의 고속가공

5.1 실험방법 및 조건

SolidWorks를 이용하여 Knob의 형상을 Fig. 10과 같이 3차원 모델링 하였다.

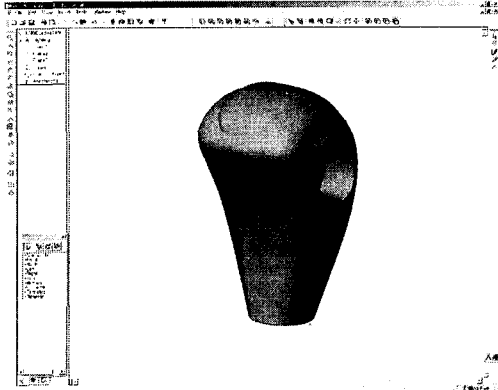


Fig. 10 3D modeling of knob

Knob의 가공경로를 황삭, 중삭, 정삭의 순서로 선정하였다. Fig. 11에는 각각의 가공경로를 보여 주고 있다. $\phi 10$ 평 엔드밀을 이용하여 Knob의 형상을 황삭가공을 한 후 $\phi 8$ 볼 엔드밀로 중삭가공을 하고, 정삭을 $\phi 6$ 볼 엔드밀을 이용하여 가공하였다.

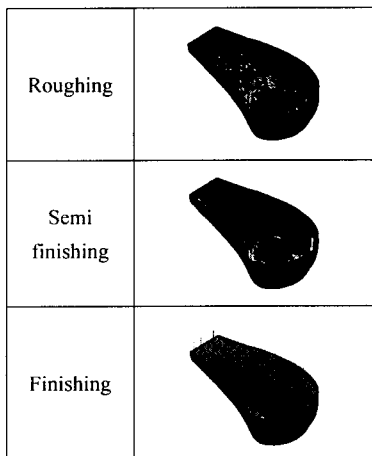


Fig. 11 Tool paths knob

Fig. 11에서의 가공경로를 가공하기 위한 조건으로 Table 6에 준하여 Table 7의 가공조건을 선정하였으며, 절입량의 경우 공구 직경의 1/10, 피드

피드는 공구 직경의 1/2로 하였다.

Table 6 Cutting condition equation

Cutting speed (m/min)	$V = \frac{\pi \times D \times N}{1000}$	V = 절삭속도 (m/min) $\pi = 3.14$ (원주율) D = 공구직경 (mm) N = 회전수 (rpm)
Feed rate (mm/min)	$F = f \times Z \times N$	F = 분당이송(mm/min) f = 날당이송(mm/rev) Z = 날수 N = 회전수 (rpm)

Table 7 Cutting Conditions

	Tool	RPM	Feed rate (mm/min)
Roughing	Flat $\phi 10$	7000	1400
Semi finishing	Ball $\phi 8$	10000	2000
Finishing	Ball $\phi 6$	15000	3000

5.2 시작 금형 결과 및 고찰

정삭 가공에서의 공구경로 선정에서 등고선 또는 지그재그(Zig-Zag) 가공 하나의 가공경로를 사용하여 가공 할 수 있다. 하지만 등고선 가공에서는 곡면의 곡률이 완만한 부분에서 Z축 절입량에 대해 경로간 간격이 커지는 현상이 있다. 지그재그(Zig-Zag) 가공에서는 X, Y 평면상에서 공구 경로 끝에 원호의 형상이 있으면 경로간 간격에 의해 잔삭이 남는다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 X, Y 평면상에서 원호의 형상이 있거나, 곡률이 큰 부분에서는 등고선 가공을 곡률이 완만한 부분에서는 절삭력이 고르고 가공시간이 빠른 지그재그(Zig-Zag)가공을 사용하여 복잡한 공구경로를 생성한후 Knob의 시작금형을 가공하여 총 83분 걸렸다. Table 8은 공구별 가공시간을 나타낸다.

Table 8 Machining time

		Time
Roughing	Flat $\phi 10$	10
Semi finishing	Ball $\phi 8$	3
Finishing	Ball $\phi 6$	70
Total		83 min

Fig. 12는 Knob의 금형을 가공한 후 각 부위의 형상에 대하여 표면정도 현미경촬영을 한 것이다. 전체적인 표면정도에는 이상이 없는 수준이지만, ㉓, ㉔, ㉕의 표면정도에서 ㉔부분에서 표면 형상이 나쁜 것을 볼 수 있는데 이것은 등고선 가공에서 Z축으로 진입하는 부분에서 나타나는 현상이다.

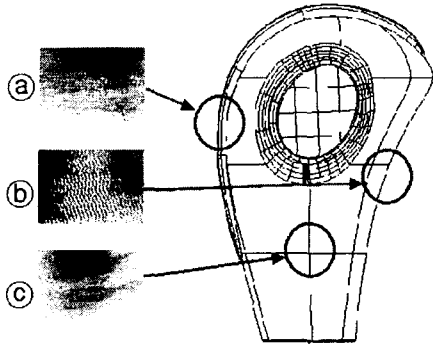


Fig. 12 Machined shape of knob

이상의 연구를 통해 얻어진 Knob 금형의 형상을 Fig. 13에 나타내었다.

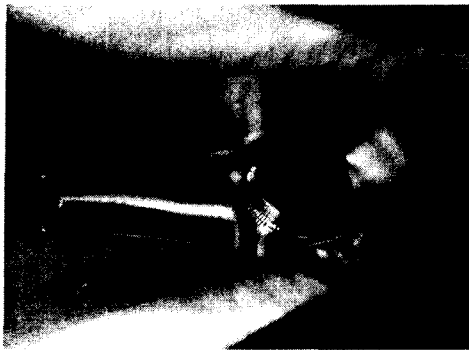


Fig. 13 Photo of knob

6. 결론

본 연구에서는 고속가공에서 기초실험으로서 2개의 형상에 따른 2개의 공구경로에 대한 절삭력, 시간, 표면 형상을 고찰 한 후 Knob의 시작금형을 가공한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기초실험을 통해 절삭력 측정과 표면 형상을 관찰함으로써 고속 가공기 자체의 급격한 가감속을 피해야 하며, 이를 관찰함으로써 표면의 정밀

도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

2. 기초실험의 절삭력 및 가공시간 비교를 통하여 지그재그(Zig-Zag)가공경로의 경우가 등고선 가공의 경우보다 절삭력과 가공시간이 적음을 알 수 있었다.

3. Knob 시작 금형가공의 경우 등고선과 지그재그(Zig-Zag) 가공의 복합화로 가공 후 사상 또는 후 가공의 시간을 감소시켜주는 효과를 얻을 수 있다.

참고문헌

- [1] 신보성, 최두선, 이운숙, 이동주, 이종현, "절삭가공에 의한 금속 패속 시작품 제작기술," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 759~762
- [2] 다카하시 이찌로, "금형제작에 있어서의 고속 절삭의 동향과 초고속 절삭의 가능성," 프레스&형기술, 2000.7.
- [3] 류상길, "시작금형의 고속가공의 위한 복합재료 개발에 관한 연구," 한국과학기술원 학위논문, 2000.
- [4] 임유엽, 김정석, 강명창, 이득우, 정유희 "고속가공을 통한 커넥팅 로드용 금형 가공," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp.926~929, 2000.
- [5] 이우영, 최성주, 김홍배, "조각 금형을 위한 3차원 Relief 데이터의 초고속가공," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 946~950, 2000.
- [6] 김석원, 박희범, 이득우, 김정석 "Inconel718의 고속가공특성 평가," 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 182~185, 1998.
- [7] 류시형, 이해성, 김민태, 최덕기, 주종남 "금형강의 고속가공시 표면특성 및 형상정밀도 해석," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 120~125, 1998.
- [8] 김정훈, 김경수, 강명창, 이득우, 김정석, 배영한 이수원, "초경엔드밀에 의한 회주철(GC250)의 고속가공 특성(I)," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 147~150
- [9] 김성윤, "불엔드밀을 사용한 자유 곡면 형상 가공에서의 동적 특성 해석," 서울대학교 대학원 기계설계학과 공학박사논문, 1995.
- [10] P.Fallböhmer, "High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing," Journal of Materials Processing Technology 98, pp.104~115, 2000
- [11] T.Nakagawa, "High-Speed Milling for Die and Mold Making," Proc. of AFDM'99, pp.11~18, 1999.