

CNC선반 C축 Turn-mill 가공에 있어서 절삭공구형상이 표면 거칠기에 미치는 영향

이순관*^{*,#}

*한국폴리텍대학 원주캠퍼스 컴퓨터응용기계과

The Effect of Surface Roughness on Cutting Tool Shape in CNC Lathe C-Axis Turn-mill Machining

Soon-kwan Lee^{*,#}

*Department of Computer Applied Mechanical, Wonju Campus of Korea Polytechnic

(Received 31 May 2017; received in revised form 23 July 2017; accepted 4 August 2017)

ABSTRACT

Since the aircraft parts industry is a high-value-added industry, mass production order production, and the hundreds of thousands. Therefore, parts produced However, since these parts require high reliability and stability, a high degree of precision is required. In Korea, there on the roughness of the machined surface in cutting process. However, research on the surface roughness characteristic obtained by which is widely used for aircraft parts is still insufficient in Korea. The purpose of this study is to investigate the effect of turning tool rotation speed and X axis feed rate on the surface roughness of cutting tools in CNC lathes during cutting of aluminum alloy 7075.

Key Words : CNC Lathe(CNC선반), C-axis milling(C축 밀링), Aluminum Alloy 7075(알루미늄 합금 7075)

1. 서 론

국내 항공우주산업은 KEP 사업수행으로 선진수준의 능력을 보유하고 있으나 시험 및 인증에 관한 측면에서는 아직 초보적인 단계이다. 최근 KTX-2 개발사업이 성공적으로 수행되었고, 건국이래 최대 군수사업인 KFX사업이 성공적으로 진행될 경우 21세기 한국형 전투기 개발뿐만 아니라 수출국으로

부상할 것으로 예상된다.

항공기산업의 지속적인 발달로 인해 관련된 다양한 형상의 부품생산의 요구에 따라 엔드밀 절삭이 많이 이루어지고 있는데, 이 들의 부품가공에 사용되고 있는 엔드밀 절삭가공은 생산성 향상, 원가절감 등의 요구조건을 만족시키면서, 가공표면의 정밀성을 추구하는 고품위 가공기술이 가능하며, 중요성이 한층 대두되고 있다.

항공기 부품산업은 고부가가치산업으로 대량생산이 아니고 생산량이 제한되는 소량의 주문생산 규모이면서 부품의 종류도 수십만 가지로 많기 때문에 기존 CNC선반의 X, Z축에 C축을 부가한 복합

Corresponding Author : lsg00@kopo.ac.kr

Tel: +82-33-741-7055, Fax: +82-33-741-7059

가공기로 생산되는 부품이 증가하고 있다. 그런데 이러한 부품은 고도의 신뢰성과 안정성이 요구되기 때문에 부품가공 시에 고도의 정밀성이 요구된다.

국내에서는 절삭가공에 있어서 가공면의 거칠기에 관한 연구^{1~6)}는 많지만, 아직까지 항공기 부품에 널리 사용되고 있는 알루미늄 합금의 CNC선반 C축 밀링가공에서 얻어지는 표면 거칠기 특성에 대한 연구가 국내에서는 아직 미진한 상태이다.

본 연구에서는 최근 항공기 부품에 많이 사용되고 있는 알루미늄 합금 7075의 절삭가공에 있어서 CNC선반의 Turn-mill회전수와 X축 이송속도를 파라미터로 하여 가공물의 표면 거칠기에 미치는 절삭공구의 영향을 조사하는 것이 목적이다.

2. 절삭실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험은 알루미늄 합금 7075의 CNC선반 Turn-mill 절삭에서 절삭공구의 형상을 평면, 라운드 및 볼 엔드밀($\phi 10$ mm)을 사용하여 절삭된 가공물의 표면 거칠기 및 형상을 고찰하였는데, 실험에 사용된 CNC선반은 국내 D사에서 제작한 것으로 C축에 밀링기능이 장착이 되어있어 기존 X, Z축 및 C축을 가공할 수 있다. Turn-mill 회전속도는 5000 rpm, X축 이송 속도는 30 m/min으로 CNC선반을 제어하는 컨트롤러는 Fanuc 0i-TD를 사용하고 주요 제원은 Table 1에 나타내고 있다.

절삭실험에 사용된 국내 T사 제작의 $\phi 10$ mm, 날각도 30°, 4날 절삭공구는 TiAN으로 코팅된 초경합금 평면 엔드밀(HES 4100T TT9030), 라운드 엔드밀(HES 4100T-R3 TT9030) 및 볼엔드밀(HES 4100T-R6 TT9030)로 라운드 엔드밀은 초경합금 평면 엔드밀의 모서리에 R3 mm로 연삭한 라운드 엔드밀로 Fig. 1과 Tables 2, 3 및 4에 엔드밀의 형상과 제원을 나타내고 있다.

본 실험에 사용된 알루미늄 합금 7075는 알루미늄 합금 7000계열로 기계적 성질이 대단히 우수한 구조용 경량소재로 기존 항공기 주재료인 2000계열보다 매우 높은 강도를 가지고 있으며, 현재 알루미늄

Table 1 The specification of CNC lathe machine

Item		Specification
Type		Lynx220LM
Spindle bore diameter (mm)		90
Travel distance	X axis (mm)	175
	Z axis (mm)	330
	C axis (deg.)	360
Max. spindle speed	Main spindle (rpm)	6,000
	Turn-mill spindle (rpm)	5,000
Max. feed rate	X axis (m/min)	24
	Z axis (m/min)	36
Cutting axis		X, Z, C
No. of tool station (st)		24
Controller		Fanuc 0i-TD

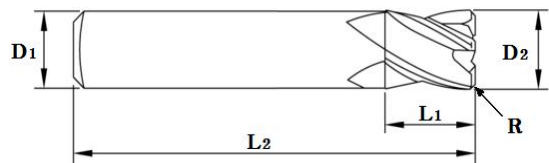


Fig. 1 Shape of endmill

Table 2 Dimensions of flat endmill

D_1 (mm)	D_2 (mm)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	R(mm)
10	10	40	88	0

Table 3 Dimensions of round endmill

D_1 (mm)	D_2 (mm)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	R(mm)
10	10	40	88	3

Table 4 Dimensions of ball endmill

D_1 (mm)	D_2 (mm)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	R(mm)
10	10	40	88	5

미늄 합금 중 최고의 강도를 유지하고 있어 항공기 용 고강도 및 내식성 재료로 사용되고 있다

시험편의 크기는 $\phi 50$ mm, 길이 110 mm로 기계 톱에서 절단한 후 시험편의 높이를 동일하게 하기 위해 CNC선반 C축 밀링에서 가공하여 사용하였다. 시험편의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 5, 6에 나타내고 있다.

절삭가공시 시험편과 공구냉각에 적용된 수용성 절삭유는 국내 K사의 알루미늄용으로 본 연구에서는 물을 혼합하지 않은 100%의 원액을 사용하였고, 각각의 물성 값은 Table 7, 8에 나타내고 있다.

2.2 실험방법

Table 9에는 절삭조건을 나타내고 있는데, Turn mill 회전수를 2,000에서 3,800 rpm까지 2,000 rpm 간격으로, 절삭공구 형상을 평면, 라운드 및 볼, 절삭속도를 나타내는 시험편 회전속도는 1.91, 2.16, 2.4 및 2.68 rev/min에서 절삭 깊이는 1 mm로 4가지 절삭공구에 따라 총 72 조건의 절삭실험을 데이터로 나타내어 고찰했다.

Fig. 2는 CNC선반의 C축과 Turn mill로 시험편절삭을 나타낸 것으로 $\phi 50$ mm 시험편을 유압척에 견고하게 고정하여 실험의 조건에 의해 절삭실험을 실시하였다.

Table 5 Chemical composition of aluminum alloy 7075 (wt%)

Zn	Cu	Mg	Fe	Si	Cr	Mn	Ti	Al
6.1	2.0	0.8	0.5	0.4	0.35	0.2	0.2	balance

Table 6 Mechanical properties of aluminum alloy 7075

Tensile strength, Ultimate (MPa)	570
Tensile strength, Yield (MPa)	505
Elongation, Break (%)	9
Elasticity modulus (GPa)	7.2
Shear strength (N/mm ²)	151.9

Table 7 Chemical composition of soluble cutting water

Properties	CAS No.	Value (%)
Deionized water	7732-18-5	20 ~ 30
Mineral oil	64742-65-0	5 ~ 20
Carboxylic acid	142-22-0	5 ~ 15
Alkanolamine	693-23-2	20 ~ 30
Fatty amide	102-71-6	5 ~ 15
PEG oleate	68155-20-4	4 ~ 10

Table 8 Physical properties of soluble cutting water

Test items	Test method	Value
Specific gravity @15/4°C	ASTM D1298	1.0002
Color	ASTM D1500	Bluish green
Surface tension (dyne/cm)	KS M 2525	35.4
Non-volatile content (%)	KS M 2525	53.6
Ph (3.3% solution)	KS M 0011	9.19
Foaming	KS M 2525	0.0
Corrosion	KS M 2525	Pass

Table 9 Cutting conditions

Cooling method	Soluble cutting oil
Turn-mill rotational speed (rpm)	2000, 2400, 2800, 3200, 3600, 4000
Piece rotation speed (rev/min)	1.9, 2.16, 2.4, 2.68
Endmill shape	Flat, round, ball
Endmill diameter (mm)	10
Depth of cut (mm)	1
Workpiece diameter (mm)	50
Cutting load (%)	100

Table 10은 조도측정기의 주요제원을, Fig. 3는 표면 거칠기의 정확한 측정을 위해 수준기로 수평을 맞춘 후에 절삭공구 진행방향의 직각 방향으로 측정과정을 나타내고 있다. 측정기의 컷오프 값은 0.8 mm로, 기준길이는 컷오프 값의 5배인 4 mm로, 범위 값은 25 μm 로 설정하였으며 가공된 시험편을 알코올로 세척한 후 측정테이블 위에 올려놓고 절삭방향으로 이송장치를 작동하여 측정하였다.

증폭기 및 기록기로부터 최대높이(Ry), 10점 평균 거칠기(Rz), 중심선 평균 거칠기(Ra)를 측정한다.

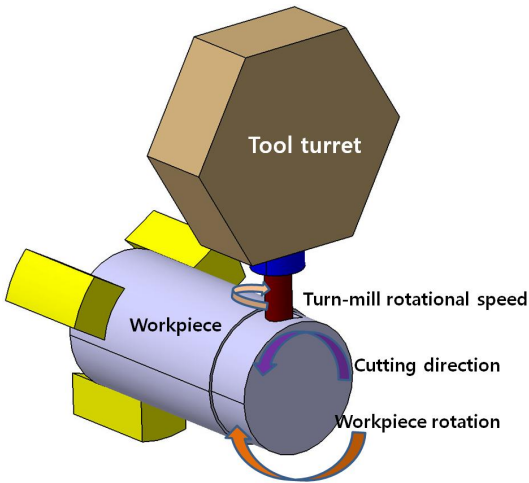


Fig. 2 Cutting process of workpiece by CNC lathe C-axis and turn-mill rotational speed

Table 10 Specification of surface roughness measuring instrument

Item	Specification
Model	Mitutoyo SURF-TEST SV-414
Limit indication (μm , Ry)	600
Cut-off value (mm)	0.08 ~ 8
Basic range (mm)	0.25 ~ 8
Stylus force (N)	0.00392
Driving speed (mm/s)	0.02 ~ 1.2
Tip radius (μm)	5

다음, 그 중에서 중심선 평균 거칠기 값을 선정하여 3회 측정된 평균값을 데이터로 사용하였다.

Table 11은 광학현미경과 주요제원을 나타내고 있다. 절삭가공 후 시험편 가공 표면의 형상을 관찰하기 위해 광학현미경에 부착된 CCD 카메라로 표면 형상을 컴퓨터의 측정프로그램(XT-Measure)에 의해 이미지로 저장하여 관찰하였다.

그리고 각 시험편의 표면 형상은 대물렌즈 10배율, 대안렌즈 10배율 총 100배율로 측정하여 관찰하였다.

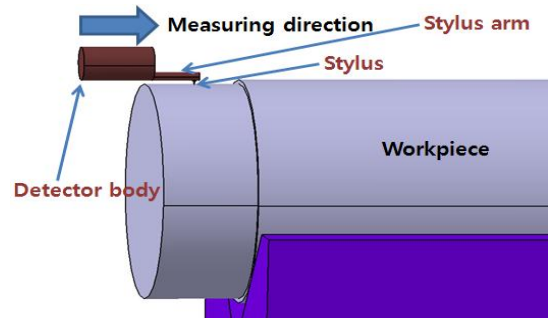


Fig. 3 Surface roughness measuring of workpiece

Table 11 Specifications of optical microscope

Item	Specifications
Model	Mitutoyo TF-510F
Travel of X and Y table (mm)	50, 50
Digital X, Y counter resolution (mm)	0.001, 0.005
Measuring accuracy (μm , @20°C)	3 + 0.02L (L = measuring length: mm)
Focusing distance (mm)	150
Surface illuminator lamp (No.)	2
Eyepiece magnification	$\times 10$, $\times 15$, $\times 20$
Objective lens magnification	$\times 1$, $\times 3$, $\times 5$, $\times 10$, $\times 20$, $\times 50$, $\times 100$
Resolution of magnification (μm)	9.2($\times 1$), 3.9($\times 3$), 2.5($\times 5$), 1.5($\times 10$), 0.7($\times 20$), 0.5($\times 50$), 0.7($\times 100$)

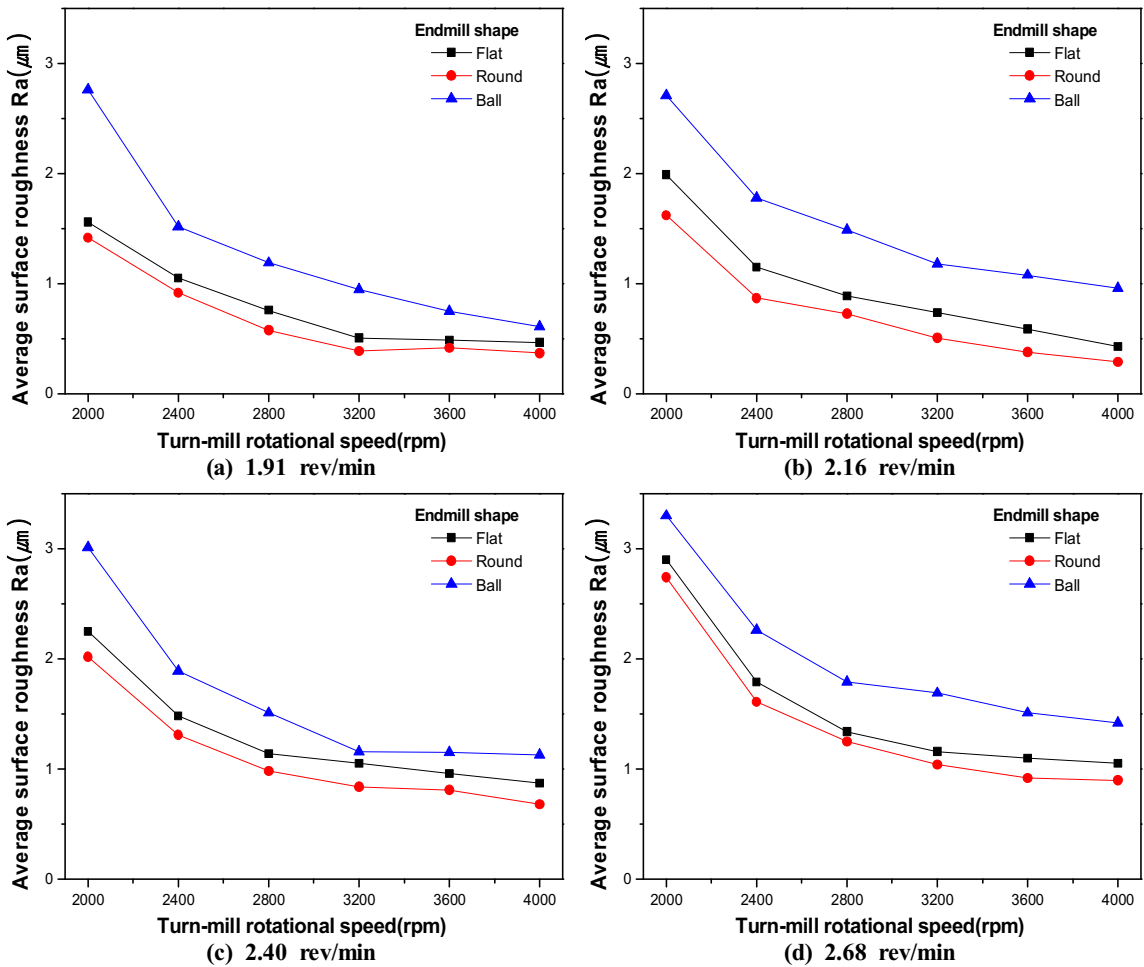


Fig. 4 Effect of turn-mill rotational speed on average surface roughness as a parameter of endmill shape at workpiece rotation speed

3. 실험결과 및 고찰

3.1 표면 거칠기 특성

Fig. 4는 절삭공구를 평면, 라운드 및 볼 엔드밀로 절삭시킬 경우에 대해 Turn mill 회전수 2,000 rpm에서 4,000 rpm까지 400 rpm 간격으로 변화시키고, 시험편 회전속도를 1.9 rev/min, 2.16 rev/min, 2.4 rev/min 및 2.68 rev/min로 회전시켰을 때 절삭 후 시험편 표면의 중심선 표면 거칠기를 나타내고 있다. 즉 CNC선반의 C축인 Turn mill은 회전하고 X, Z축은 고정되면서 시험편 중심으로 회전시켜

가공하기 때문에 가공표면은 원호 가공이 이루어진다.

그림에서 Turn mill 회전수가 2,000 rpm에서 4,000 rpm으로 증가할수록 표면 거칠기는 감소하는 반면 시험편 회전속도가 1.91 rev/min에서 2.68 rev/min으로 증가할수록 표면 거칠기는 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 회전수가 증가하고 시험편 회전수가 감소하면 엔드밀의 날당 절삭량이 감소하게 되고 공구 휨 현상과 진동이 감소하기 때문이다. 이러한 현상은 이전 CNC밀링 절삭연구^{17~19}와 동일하였다.

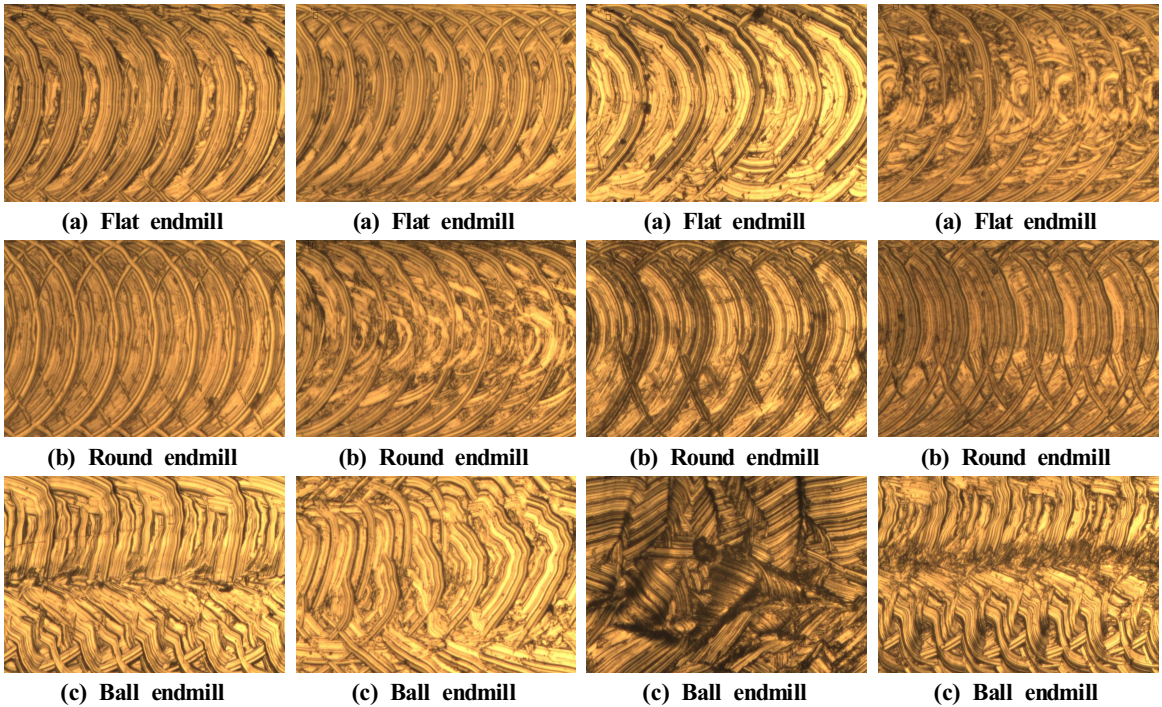


Fig. 5 Optical micrographs surface: turn-mill rotational speed 3200 rpm, piece rotation speed 1.91 rev/min at aluminum alloy 7075(x100)
 Fig. 6 Optical micrographs surface: turn-mill rotational speed 3200 rpm, piece rotation speed 2.16 rev/min at aluminum alloy 7075(x100)
 Fig. 7 Optical micrographs surface: turn-mill rotational speed 3200 rpm, piece rotation speed 2.40 rev/min at aluminum alloy 7075(x100)
 Fig. 8 Optical micrographs surface: turn-mill rotational speed 3200 rpm, piece rotation speed 2.68 rev/min at aluminum alloy 7075(x100)

본 실험의 조건에서 라운드, 평면, 볼 엔드밀 순으로 라운드 엔드밀이 가장 낮은 표면 거칠기를 보여주고 있다. 이것은 엔드밀 절삭은 엔드밀 측면부분을 이용하여 형상가공이 이루어지고 엔드밀이 시험편과 접촉면적이 넓어지면 상대적으로 엔드밀의 절삭량이 감소하여 절삭력이 높아져 라운드, 평면, 볼 엔드밀 순으로 표면 거칠기가 낮을 것으로 판단한다. 하지만 본 실험에서는 볼 엔드밀가공 중 시험편 중심으로 시험편이 회전하면서 원호가공이 진행되기 때문에 가공 중 진동이 다른 공구에 비해 많이 발생되어 표면 거칠기가 가장 높게 나타났다.

3.2 가공표면 특성

Fig. 5, 6, 7 및 8은 절삭공구를 평면, 라운드 및 볼 엔드밀로 절삭시킬 경우에 대해 Turn mill 회전

수 3,000 일 때, 시험편 회전속도를 1.9 rev/min, 2.16 rev/min, 2.4 rev/min 및 2.68 rev/min로 회전시켜 절삭 후 시험편 표면을 나타내고 있다.

Fig. 5, 6, 7 및 8의 (a)와 (b)은 평면 및 라운드 엔드밀의 표면을 나타내고 있는데 시험편의 회전수가 1.9 rev/min에서 2.4 rev/min로 증가할수록 평면과 라운드 엔드밀의 절삭 결 간격이 넓어지는 것을 보여주고 있다. 또한 평면 엔드밀과 비교하여 라운드 엔드밀의 표면에 생성된 결의 개수가 상대적으로 적고 결의 윤곽도 뚜렷하지 않아 표면 거칠기 산의 높이가 낮아 표면 거칠기도 낮아지는 것을 알 수 있다. 이것은 평면엔드밀에 비해 라운드 엔드밀의 바닥의 접촉면적이 40%로 적기 때문에 절삭 중 발생하는 칩의 배출이 평면 엔드밀과 비교하여 라운드 엔드밀이 더 원활하게 이루어지는 것을 판단

된다.

Fig. 5, 6, 7 및 8의 (c)는 볼 엔드밀의 표면을 나타내고 있는데 시험편의 회전수가 1.9 rev/min에서 2.4 rev/min로 증가할수록 중심부분 바람개비무늬의 결이 불규칙적이고 크게 나타난 것을 보여주고 있다. 이것은 이전 표면 거칠기 특성에서 기술한 것과 같이 원호가공에 따른 공구 진동과 휨 현상의 발생하여 정상적인 절삭이 이루어지지 않았기 때문이다.

4. 결 론

본 연구는 알루미늄 7075의 CNC선반 Turn-mill 가공시 절삭공구형상, Turn mill 회전수, 시험편 회전수에 따른 가공물 표면 거칠기 변화에 미치는 영향을 비교하여 다음과 같은 주요한 결과를 얻었다.

1. Turn mil 회전수가 증가할수록 표면 거칠기는 감소하였지만 시험편 회전수가 증가할수록 표면 거칠기는 증가하였다.
2. 본 실험의 조건에서 라운드, 평면, 볼 엔드밀 순으로 라운드 엔드밀의 표면 거칠기가 가장 낮게 나타났다.
3. 평면 및 라운드 엔드밀은 시험편의 회전수가 증가하면 절삭 결 간격이 넓어졌으며, 평면 엔드밀과 비교하여 라운드 엔드밀의 표면에 생성된 결의 개수가 상대적으로 적었다.
4. 볼 엔드밀은 시험편의 회전수가 증가할수록 진동 및 휨 현상에 따른 공구 중심부분의 바람개비무늬가 불규칙적이고 크게 나타났다.

REFERENCES

1. Lee, S. J., Park, W. K., Lee, S. T., Lee, W. Y. and Ha, M. K., "Characteristics of Heat Generation in Time of High-speed Machining Using Infrared Thermal Imaging Camera," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineer, Vol. 2, No. 3, pp. 26 ~ 33, 2003.
2. Lee, S. J., "A Study on Evaluation of Tool

Performance and Novel Grinding Wheel Development for High Speed Milling," Dr. Degree Paper, Pukyong National University, pp. 25 ~ 26. 2007.

3. Bae, J. C., Hwang, I. O., Kang, I. S., Kim, J. S. and Kang, M. C., "Environmentally Conscious High Speed Machining Characteristics of Aluminum Alloys (AC4C.1)," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 3, No. 1, pp. 22 ~ 27, 2004.
4. Shin, K. S. "Effect of Surface Roughness on Cutting Conditions in CNC lathe C-Axis Milling Arc Cutting," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 4, pp. 99 ~ 105. 2014.
5. Kim, C. Y., Lee, H. C. "A Study on the Surface Roughness Characteristics of Al 5052 in Machining Center Processing," Proceedings of the KSMPE Spring Conference 2017, pp. 214. 2017
6. Kwon, D. K., Kim, H. K., Kang, S. W., "A Study of the effectives for Surface Roughness by cutting angle and cutting fluid," Proceedings of the KSMPE Autumn Conference 2016, pp. 52 2016
7. Park, H. Y., Bae, M. W., Jung, H., Kang, M. S., "Effect of Cooling Method on Surface Roughness in High-speed Machining," 2010 KSAE Annual Conference and Exhibition, pp.2679 ~ 2684, 2010.
8. Park, H. Y., Bae, M. W. and Jung, H., "Effect of Cutting Depth on Surface Roughness of Al Alloy 7075 in High-speed Machining," 2011 KSAE Annual Conference and Exhibition, pp.2442 ~ 2446, 2011.
9. Bae, M. W., Park, H. Y. and Jung, H., "A Study on the Optimal Cutting Depth upon Surface Roughness of Al Alloy 7075 in High-speed Machining," Transactions of the KSAE, Vol.21, No.5, pp.74 ~ 78, 2010.