

## 백색광간섭계를 이용한 금형용 강재 구멍가공면의 조도 측정

### Roughness Measurement of Hole Processing Surface for Mold Steel Using White Light Interferometer

이승철\*, 김경석\*\*†

Seung-Chul Lee\* and Kyeong-Suk Kim\*\*†

**초 록** 본 실험에서는 NIMAX재료를 3차원 측정기 및 백색광간섭계를 이용, 진원도 측정과 표면조도 측정을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 절삭특성은 재료의 경도가 큰 관계로 2F의 조건보다 4F의 조건에서 낮게 나타났으며, 주축 회전수 및 공구 이송이 낮을수록 양호하게 나타났다. 3차원 측정기를 통한 진원도 측정은 절삭분력과 같은 4F 조건에서 양호하게 나타났으며, 주축회전수 1,700 rpm, 공구이송속도 85 mm/min의 조건에서 진원도는 양호한 결과를 보였다. 가공면의 표면거칠기는 2F 조건보다 4F의 조건에서 양호하게 나타났으며, 주축회전수 1,700 rpm, 공구이송속도 55 mm/min의 조건에서  $Ra$  0.4025  $\mu m$  값을 보였다.

**주요용어:** 진원도, 3차원 측정기, 백색광간섭계, 표면거칠기

**Abstract** In this study, NIMAX material has been processed using the three-dimensional measuring instrument and white light interferometer. they were tested to roundness and surface roughness and results are as follows: As for a cutting characteristic, it indicated that F4 showed a lower result than 2F showed due to the high hardness of the material and showed a good result when spindle rotation speed and tool feed were low. As for the measurement of roundness through 3-Dimensional measuring machine, it indicated that 4F showed a good result like the condition of cutting component and that roundness showed a good result when spindle rotation speed of 1,700 rpm and tool feed speed of 85 mm/min were applied. As for the surface roughness of processing surface, Surface roughness showed better 4F than 2F and conditions of spindle rotation speed 1,700 rpm, tool feed rate 55 mm/min showed good results in the  $Ra$  0.4025  $\mu m$ .

**Keywords:** 3-Dimensional Measuring Machine, White Light Interferometer, Surface Roughness

#### 1. 서 론

고경도 재료가 많이 쓰이는 사출금형 가공에서는 가공과 같이 정밀측정기술이 중요시 되고 있으며, 제품 형상이 복잡하고, 상·하형의 가공정밀도에 따라서 제품의 표면정밀도가 결정된다 [1,2].

본 실험에서는 3차원 측정기를 이용한 가공홀의 진원도 및 3백색광간섭계를 활용한 표면거칠기를 측정 분석하여 사출금형재료의 정밀도 향상 및 측정 방법 개선을 통해 생산성 향상 및 제품품위를 높이고자 한다.

#### 2. 실험장치 및 실험방법

##### 2.1. 실험장치

본 실험에서 보링가공실험은 최고 주축회전속도가 24,000 rpm까지 가능한 YASDA사의 수직형 지그보링머신을 이용하여 실시하였으며, 절삭력 측정은 압전형 공구동력계 (9257b)로부터 미세한 전압을 안정적으로 증폭하기 위하여 멀티채널 엠프리파이어 (5019b)를 사용하였으며, 보링가공실험에 앞서  $\phi 8.5$  mm 홀 가공 및 Fig. 1과 같이 공

[접수일: 2012. 10. 16, 수정일: 2013. 1. 16, 게재확정일: 2013. 1. 18] \*조선대학교 선박해양기계과, \*\*조선대학교 기계설계공학과, † Corresponding Author: Department of Mechanical Design Eng., Chosun University, 375 Seosukdong, Dong-Gu, Gwangju 501-759, Korea (E-mail: gsckim@chosun.ac.kr)

구 동력계에 부착할 수 있도록 선가공하여 실험을 실시하였다. Table 1에 실험에 사용한 측정장비의 제원을 나타내었다.

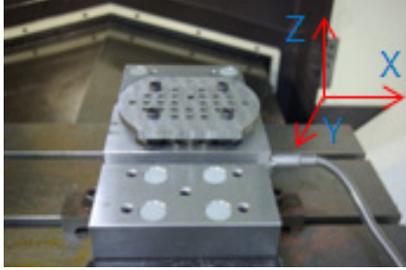


Fig. 1 Installation of tool dynamometer and material processing

Table 1 Specifications of experimental apparatus

Apparatus Name	Manufacturer	Model
Multichannel Charge Amplifier	Kistler	5019b
Tool Dynamometer	Kistler	9257b
A/D Converter	National Instrument	DAQ-6024Q
3-Dimensional measuring machine	Carl Zeiss	Prismo7 HTG-VAST



Fig. 2 3D precise shape measurement

Table 2 Machine specifications

Specification	Unit	Standard
Scanner Stroke	$\mu\text{m}$	200
Sample Stage		X,Y,Z, Tip/Tit
Objective Mounting		Single Mount Adapter
Stage Stroke	mm	x 150 mm, Y 100 mm, Z 30 mm
Scan Speed	$5\mu\text{m}/\text{sec}$	Up to 5
Scanner Stroke		Lens : x2.5 x5 x10 x20 x50

보링 가공후 진원도 측정은 Carl Zeiss사의 3차원 측정기를 활용하여 진원도 측정을 하였으며, 백색광간섭계를 사용하여, 진원도 및 표면거칠기를 측정하였다. Fig. 2과 Table 2에 측정에 사용한 백색광간섭계를 제원을 나타내었다.

## 2.2. 가공재료

실험에 사용된 NIMAX 재료는 스웨덴 ASSAB에서 생산한 프리하든강 (pre-harden steel) 종류로 생산 시 단조공정을 거친 합금강의 명칭이며 첨가 원소 및 금속 종류와 양에 따라 명칭은 부여되지만 단조공정을 거친 강재들의 총칭이다 [3]. 프리하든강은 단조공정을 거치기 때문에 조직이 조밀하여 가공면의 조도가 좋으며(금형에서 보편적으로 경면용에 사용), 금형강으로서 출고될 때 강재가 갖추어야 할 경도를 갖는 의미로 프리하든강이라는 용어로 사용하고 있다. 특히 실험에 사용한 NIMAX재료는 프리하든강 종류 중 조직의 치밀성, 가공면의 조도, 내부식성이 좋아 사출금형이 받는 압축응력, 캐비티 내부에 발생하는 반복 인장응력에 견디는 성질이 좋아 모든 사이즈의 인젝션 몰드, 압출다이, 프레스블레이크다이, 다이캐스팅다이 홀드 등 폭 넓게 사용한다 [4,5].

Table 3 Mechanical properties of NIMAX

material	T.S, Rm (MPa)	Y.S Rp 0.2 (MPa)	C.S Rc0.2 (MPa)	E A5 (%)	H (HB)
NIMAX (ASSAB)	1265	785	1,000	11	375

Table 4 Chemical compositions of NIMAX

Workpiece material	Chemical compositions(%)					
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni
NIMAX (ASSAB)	0.1	0.3	2.5	3.0	0.3	1.0

Table 5 Physical data of NIMAX

Temperature	20 $^{\circ}\text{C}$	200 $^{\circ}\text{C}$
Density Kg/m $^3$	7,900	-
Modulus of elasticity MPa	205,000	-
Coefficient of thermal expansion Perc $^{\circ}\text{C}$ from 20 $^{\circ}\text{C}$	-	$12.4 \times 10^{-6}$
Thermal conductivity W/m $^{\circ}\text{C}$	-	26
Specific heat J/kg $^{\circ}\text{C}$	460	-

재료의 경도는 HB 375이며, 재료의 두께는 10 mm, 공구동력계에 설치하기 위해 선가공하여 본 실험을 실시하였다. Table 3에 NIMAX재료의 화학적 성분, Table 4에 기계적 특성 및 Table 5에 물리적 특성을 나타내었다.

### 2.3. 절삭공구

실험에 사용한 절삭공구는 일본 유니온 사에서 만든 스퀘어 형태의 초경엔드밀로 C-CES  $\phi 6$  mm이며, 정밀 보링 가공 실험에서는 공구날수가 2060(2F), 4060(4F) 2가지 타입의 공구를 사용하여 공구날수에 따른 보링가공특성을 분석하였으며, Table 6에 실험에 사용한 공구의 재원을 나타내었다.

### 2.4. 실험방법

본 실험은 슈퍼드릴로 1차 가공하고 지그보링 머신을 이용하여  $\phi 8.5$  mm의 드릴로 2차 가공 한 후, 3차 가공에서  $\phi 6$  mm 엔드밀을 사용하여  $\phi 8.7$  mm 정밀보링가공을 실시하였다.

가공 조건은 사출금형업체에서 피삭재와 유사한 재료의 절삭조건을 고려하여 각각 3단계로 변화시켜 절삭조건에 따른 가공 특성을 알아보았다. 각각의 보링가공 실험조건에 대한 절삭력 변동성분은 압전형 공구동력계를 사용하여 측정하였으며, 이때 공구동력계로부터 측정된 절삭력 성분은 증폭기를 사용하여 아날로그 신호를 A/D 변화기를 통해 디지털화 하여 노트북 컴퓨터에서 데이터를 받아 들였으며, 컴퓨터에 전송된 신호는 절삭력 소프트웨어를 이용하여 분석하였다.

실험에 사용된 공구동력계는 스케일을 1Vekd 200N으로 하였고, 표준 저대역 필터(standard low pass filter)를 사용하여 트랜스듀서에 의하여 생성된 전하 신호에 있어 케이블 잡음이 겹쳐서 나타나는 것을 해소하였다. 증폭된 전하는 A/D 변환기를 통하여 아날로그 신호에서 디지털 신호로 바뀌주고 컴퓨터에서 디지털 신호를 받아들이는 방식으로 하였다.

보링가공 시 절삭유 및 냉각 방식은 재료의 경도가 HB 375인 관계로 극 점사 냉각 방식인 M.Q.L 장치를 사용하여 실험을 하였으며, Table 7에 보링가공 실험 조건을 나타내었다.

Table 6 Specification of end mill

Model Number	Outsid Diameter	Lenght of Cut	Overall Length	Shank Diameter	Number of Teeth
2060	6	13	50	6	2(2F)
4060	6	13	60	6	4(4F)

Table 7 Cutting conditions

Tool diameter (mm)	Number of flutes	Spindle speed (rpm)	Feed rate (mm/min)
6	2, 4	1,300	55
			70
			85
		1,500	55
			70
			85
		1,700	55
			70
			85

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 절삭분력

Fig. 3은 주축의 회전속도 1,300 rpm, 공구이송 속도 55 mm/min의 동일 조건에서 보링가공을 하였을 때 엔드밀 절삭날수에 따른 절삭분력을 나타낸 것이다. 2날의 엔드밀에 비해 4날의 엔드밀에서 약 8N 적게 절삭력이 걸리는 것을 알 수 있다. 2날의 경우 정상적인 절삭이 이루어지지 못하기 때문에 큰 힘이 발생하는 것으로 사료된다.

Fig. 4-6은 지그보링머신 주축회전수 변화와 절삭날수 변화에 따른 절삭분력을 나타낸 것이다. 모든 조건에서 주축의 회전속도 1,300 rpm의 조건에서 양호한 절삭분력값을 나타내었으며, 2날의 절삭공구에 비해 4날의 절삭공구에서 절삭분력(Fx, Fy, Fz)의 차가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 2날의 절삭공구에서는 4날 엔드밀에 비해 모든 주축회전수에 커 큰 힘을 받는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 공구의 이송속도와 엔드밀 날수 변화에 따른 절삭분력을 나타낸 것이다. 절삭날수 모든 조건에서 공구의 이송속도 55 mm/min의 조건에서 양호한 결과를 보였으며, 공구의 이송속도가 빠를수록 절삭분력은 상승하는 것을 알 수 있었다. 또한 2F의 조건에서는 절삭부하가 많이 걸

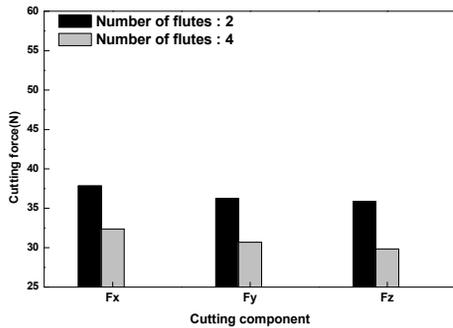


Fig. 3 Effect of number of cutter teeth on cutting force (1,300 rpm, 55 mm/min)

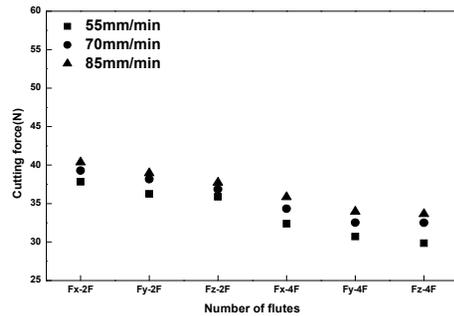


Fig. 7 Cutting forces according to feed rate (1,300 rpm)

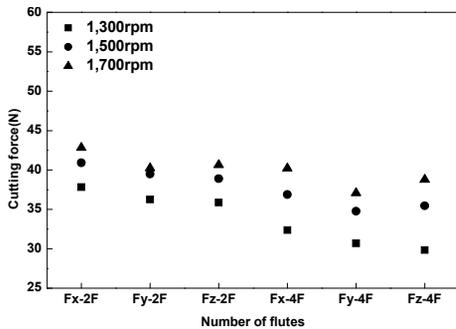


Fig. 4 Cutting forces according to spindle rotation speed (55 mm/min)

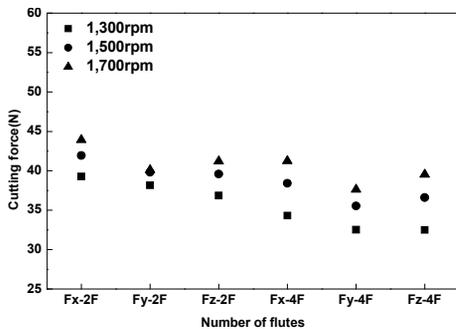


Fig. 5 Cutting forces according to spindle rotation speed (70 mm/min)

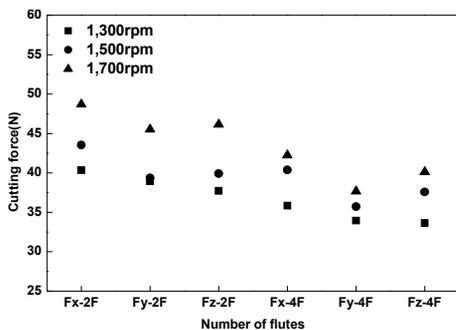


Fig. 6 Cutting forces according to spindle rotation speed (80 mm/min)

리는 관계로 Fx 및 Fz 방향의 절삭분력이 높게 나타나고, F4의 조건에서는 Fx 방향의 분력이 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

### 3.2. 진원도 측정

정밀도를 요구하는 현재의 금형은 과거 측정방법인 마이크로미터, 버니어캘리퍼스 등 그외 기타 측정기의 측정 한계와 금형의 대형화로 측정 오차가 있으나, 현재는 3차원 측정기의 보급과 측정기술 향상으로 복합측정 및 시간을 단축시킬 수 있다.

기존의 진원도 측정은 수동 다이얼 인디케이터 혹은 전기 마이크로미터나 진원도 검사기와 진원도만을 위한 특수한 장비를 이용하거나, 한 개 이상의 센서를 이용하여 물체와 센서 사이의 거리를 그래프로 나타내는 방법 등을 사용하였다. 그러나 진원도검사기(직경법, 3점법, 반경법)와 같은 장비는  $\mu\text{m}$  단위의 정밀도를 가지는 반면에 측정 시간이 오래 걸린다는 단점을 가지고 있다. 또한 다이얼 인디케이터와 같은 장비는 가격이 저가의 장비에 속하나 사람의 수작업에 의존할 수밖에 없고 정밀도가 부족하다 [6-8]. 본 실험에서 사용한 진원도 측정 방법은 3차원 측정기를 사용, 가공직경  $\phi 8.7 \text{ mm}$ 의 지름을 100포인트 이상 측정, 데이터를 받아들여 프로그램화로 빠른 시간 안에 정확한 값을 측정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 측정 공차 정밀도가  $0.5 \mu\text{m}$ 로 정확한 진원도를 측정할 수 있으며, 기존 원형 형태가 아닌 재료의 형상도 측정할 수 있는 장점을 가지고 있다.

Fig. 8은 3차원 측정기를 통해 진원도를 측정 한 결과를 나타낸 것이다. 기존의 진원도 측정기

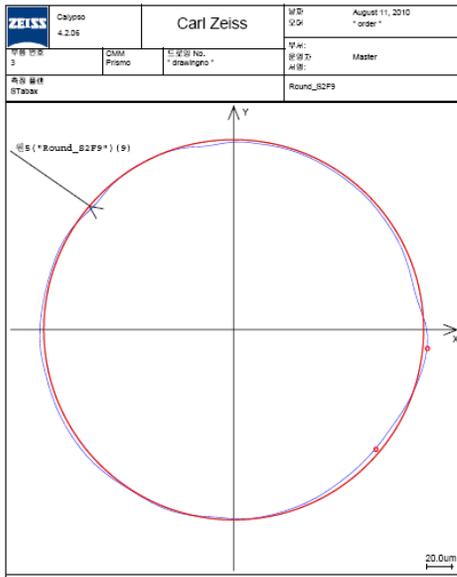


Fig. 8 Roundness measurement image (3-Dimensional measuring machine)

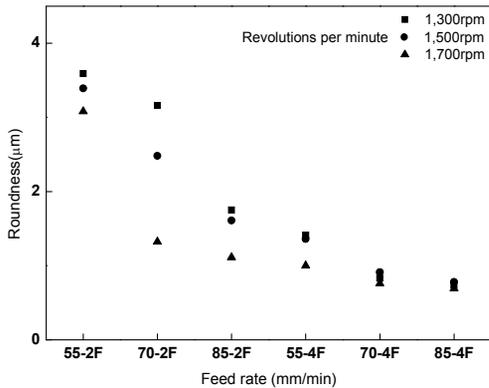


Fig. 9 Roundness measurement

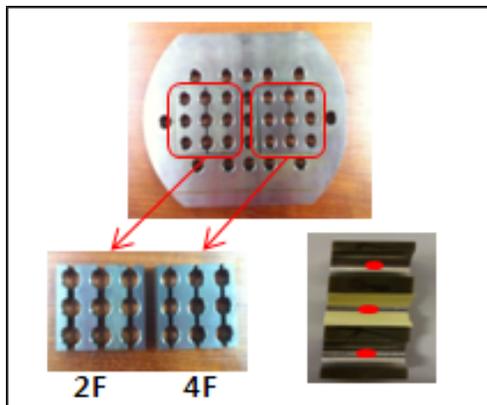


Fig. 10 Surface roughness material

를 사용해 측정 결과와 같이 이미지 형상을 확인할 수 있으며, 측정의 정확성을 위해 360° 이상 회전 380°까지 측정하였다. Fig. 9는  $\phi 6$  mm 엔드밀을 이용하여  $\phi 8.7$  mm로 주축회전수 및 공구이송속도 변화에 따른 진원도 측정 결과를 나타낸 결과이며, 2날의 엔드밀에 비해 4날의 엔드밀에서 진원도는 양호하게 나타났고, 주축회전수 1,700 rpm, 공구이송속도 85 mm/min의 조건에서 진원도는 양호한 결과를 보였다.

엔드밀 공구날수 2F 조건은 절삭분력에서 주축회전수가 낮은 조건에서 양호한 결과를 보인 반면 진원도는 주축회전수가 높은 조건에서 양호한 결과를 보였고, 공구이송속도가 낮은 조건에서 양호한 진원도 값을 보였다. 엔드밀 공구날수가 4F 조건에서는 주축회전수가 낮고 공구의 이송속도가 낮은 조건에서 절삭분력이 양호한 조건을 보였으나 보링가공의 진원도는 주축회전수가 크고 공구이송속도가 빠른 조건에서 양호한 진원도 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 4F의 공구가 2F의 공구보다 이송속도를 두 배로 할 수 있으므로 높은 생산성 및 좋은 표면을 얻을 수 있는 것을 알 수 있다. 그러므로 정삭 홀가공 시 날의 수를 증가시킴으로 고정도의 홀 가공면과 높은 생산성을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

### 3.3. 표면거칠기 분석

금형에서 표면거칠기는 진원도와 같이 금형 상·하형의 조립과정 및 제품 표면정밀도와 밀접한 관계를 가지고 있다. 표면조도는 사용한 공작기계 종류에 따라 형태가 달라지며, 같은 공작기계를 사용했을 경우에도 기계마모, 절삭공구 조건, 표면성분, 절삭방법, 작업자의 습관, 환경조건 등에 따라 달라지나 최종적으로는 공구와 가공물과의 상대운동을 거쳐 절삭가공이 이루어지고 그 결과로 가공물의 형상과 면이 이루어진다고 볼 수 있다[9]. 본 실험에서 사용한 표면조도 측정기는 백색광간섭계(SIS-1000)를 이용하여 절단후 측정하여 3-D 이미지를 얻을 수 있었다. 정밀가공한 가공소재를 표면거칠기 측정을 위해 Fig. 10과 같이 열적변화를 최소화 할 수 있는 와이어 컷을 이용, 절단 가공중심부에 종이를 부착 빛의 난반사를 배제시킨 상태에서 측정하였으며, Fig. 11은 백색광간섭계를 측정 이미지로 도시화 하였다.

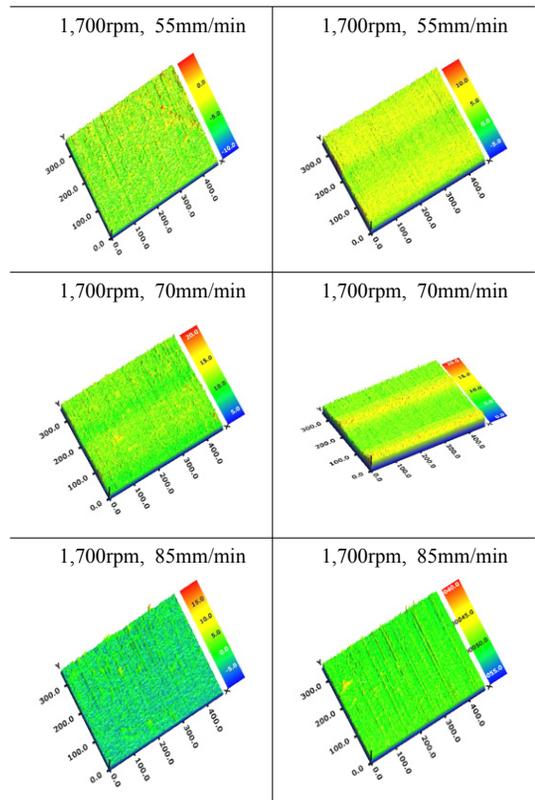
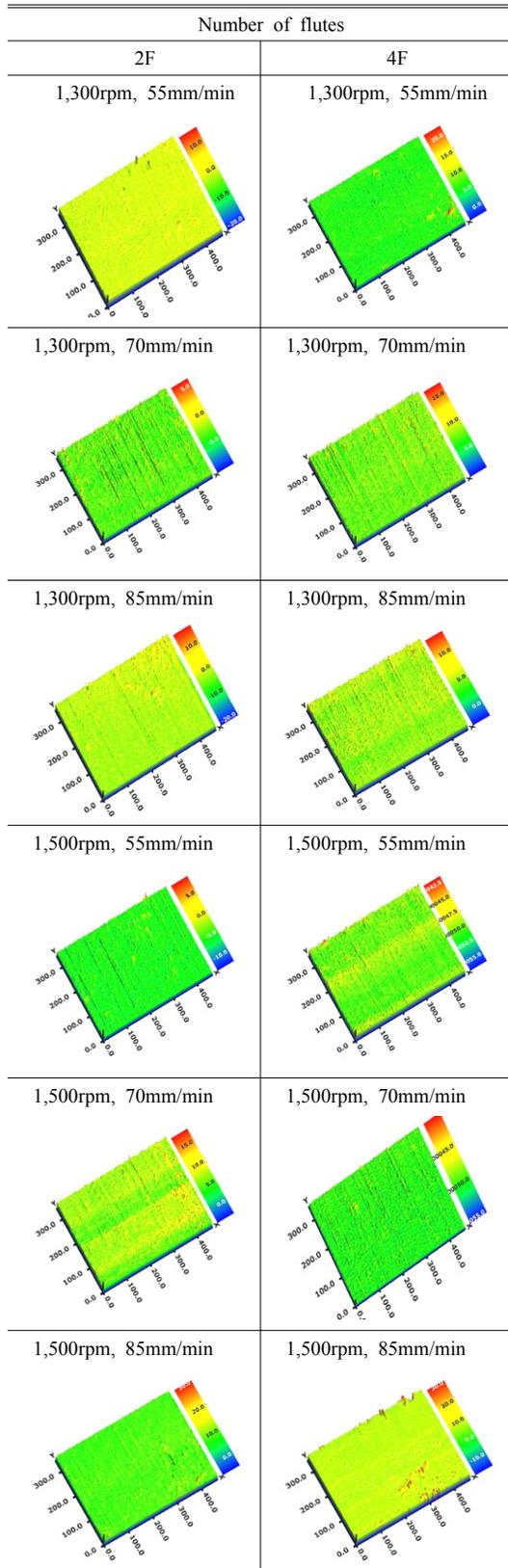


Fig. 11 3D images of surface roughness

Fig. 12는 절삭날수 2F의 조건에서 백색광간섭계를 이용한 가공면의 3D 형상 표면거칠기를 나타낸 결과이며, Fig. 13은 공구 절삭날수 4F의 조건에서 가공중심부 표면거칠기를 측정된 결과로 절삭날수 2F보다 4F에서 가공면의 표면거칠기는 양호하게 나타나는 것을 알 수 있었다.

실험 조건에서 주축회전수가 작고, 이송속도가 올라갈수록 공구 진행에 따른 과부하로 가공면의 표면이 거칠어지는 것을 알 수 있다.

주축회전수 1,700 rpm 조건에서 양호한 결과를 보였으며 공구의 이송속도가 70 mm/min 이상의 조건에서는 표면거칠기 값이 증가하는 것으로 나타났다. 공구의 회전수 증가에 따른 영향은 절삭날수에 상관없이 1,500 rpm 이상의 조건에서는 높게 나타났다. 절삭날수 4F의 조건에서는 공구회전수 변화에 따른 표면거칠기 값은 큰 변화를 보이지 않았으며, 공구이송속도 증가에 따른 표면거칠기 품위는 영향을 받았고, 회전수 1,700 rpm, 공구이송속도 55 mm/min의 조건에서  $Ra$  0.403  $\mu\text{m}$ 로 가장 양호한 값을 보였다.

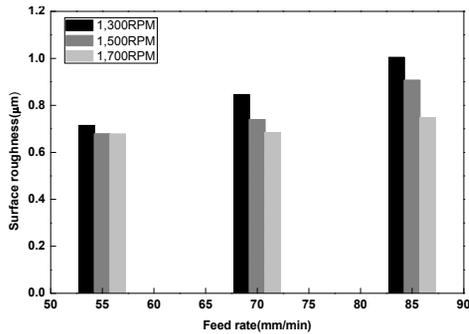


Fig. 12 Results of surface roughness according to feed rate (2F)

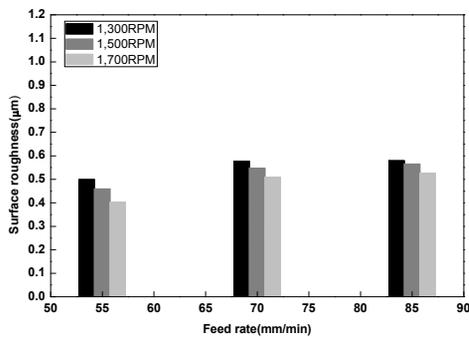


Fig. 13 Results of surface roughness according to feed rate (4F)

#### 4. 결론

본 실험에서는 사출금형재료인 프리하든 금형강(HB 375)의 정밀가공을 통해 공구 절삭날수에 따른 진원도 측정 및 백색광간섭계를 이용한 전단면의 표면거칠기 측정을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

프리하든 금형강인 NIMAX 재료의 절삭특성은 재료의 경도가 큰 관계로 2F의 조건보다 4F의 조건에서 낮게 나타났으며, 주축 회전수 및 공구 이송이 낮을수록 양호하게 나타났다. 3차원 측정기를 통한 진원도 측정은 절삭분력과 같은 4F 조건에서 양호하게 나타났으며, 주축회전수 1,700 rpm, 공구이송속도 85 mm/min의 조건에서 진원도는 양호한 결과를 보였다. 백색광간섭계를 이용한 가공면의 표면거칠기는 2F 조건보다 4F의 조건에서 양호하게 나타났으며, 공구 이송속도가 높을수록 거칠게 나타났다. 주축회전수 1,700 rpm, 공구이송속도 55 mm/min의 조건에서  $Ra$  0.4025  $\mu m$  양호한 조건을 보였다.

#### 후 기

본 연구는 2011학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] K. S. Kim, K. S. Kim, H. C. Jung, H. C. Chang and S. W. Jung, "Roughness measurement of fracture crack surface of CT specimen under the load variation," *Spring Conference Proceeding of the KSME*, pp. 527-531 (2009)
- [2] K. S. Kim, H. C. Chang, K. S. Kim, C. J. Park and H. C. Chang, "Surface roughness of fracture CT specimen broken by fatigue crack growth and the moments," *Journal of the KSMT*, Vol. 19, No. 4 (2010)
- [3] T. Moriwaki, "High speed machining," *Journal of the CIRP*, Vol. 41 (1992)
- [4] [http://www.assab-korea.com/english/2523\\_ENG\\_HTML.htm](http://www.assab-korea.com/english/2523_ENG_HTML.htm) ASAB Steels(korea)Co. Ltd., "Plastic moulding," 21.05 (2012)
- [5] S. C. Lee, "A study on the machinability of plastic mould steel using AlTiN coated tool," Ph.D Thesis, Chosun Univ. pp. 63-64 (2010)
- [6] H. W. Moon, "Development of automatic measurement method of concentricity and roundness using image processing technique," M. S. Thesis, Dankook Univ. pp. 2-3 (2001)
- [7] S. L. Oh, G. J. Lee and J. K. Kim, "A study on evaluation of roundness characteristics about precise machined parts," *Proceedings of the KSMT Spring conference*, pp. 209-215 (2005)
- [8] M. C. Yoon, B. T. Kim and D. H. Chin, "Roundness modelling by fractal interpolation," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 15, No. 3, pp. 67-72 (2006)
- [9] K. N. Kim, "Components analysis of surface roughness in turning process by frequency analysis," *Journal of the KSNT*, Vol. 16, No. 3 PP. 184-191 (1996)