

# 미세가공기 개발을 통한 무산소동의 표면거칠기 특성

## A study on Characteristics of surface roughness of oxygen-free copper by Development of micromachine

\*홍권희<sup>1</sup>, #김건희<sup>2</sup>, 양순철<sup>2</sup>, 김효식<sup>2</sup>, 이선규<sup>2</sup>, 국명호<sup>2</sup>, 복민갑<sup>1</sup>, 김홍택<sup>1</sup>, 양형렬<sup>1</sup>, 김명상<sup>3</sup>, 원종호<sup>3</sup>  
 \*K. H. Hong<sup>1</sup>, #G. H. Kim(kgh@kbsi..re.kr)<sup>2</sup>, S. C. Yang<sup>2</sup>, H. S. Kim<sup>2</sup>, S. G. Lee<sup>2</sup>, M. H. Kook<sup>2</sup>, M. G. Bok<sup>1</sup>, H. T. Kim<sup>1</sup>,  
 H. L. Yang<sup>1</sup>, M. S. Kim<sup>3</sup>, J. H. Won<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>핵융합연구소, <sup>2</sup>한국기초과학지원연구원, <sup>3</sup>충남대학교 기계공학부

Key words : Design of experiment, Oxygen-free copper, Surface roughness

### 1. 서론

오늘날 현대 산업사회 첨단제품의 발전을 주도하고 있는 반도체 및 정보통신을 포함한 제반 첨단산업은 하드웨어 면에서 초정밀이라는 기술적 특성을 공공기반으로 하고 있다.<sup>1-2)</sup> 그러므로 초정밀기계부품의 가공은 고 부가가치 기술로서 매우 중요하게 인식되고 있으며, 특히 이러한 제품을 생산하기 위해서 초정밀 가공법 및 가공기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>3-4)</sup>

국내에서는 1990년 초부터 초정밀 절삭 가공 분야에 관심을 갖기 시작하여 최근에는 초정밀 가공 기술에 대한 기초 연구와 함께 그 응용 기술이나 가공 시스템에 관한 연구 개발이 활발해지고 있다.<sup>5-6)</sup>

본 논문은 소형 미세 가공기를 활용한 실제 절삭 실험 및 결과에 대하여 다루고 있다. 소형 2축 미세가공의 제작 정밀도 평가를 목적으로 최적 절삭조건을 찾기 위하여 실험계획법(Design of experiment, DOE)<sup>7)</sup>을 적용하였으며, 미세가공에 주로 사용되고 있는 비철금속인 무산소동을 절삭하여 표면거칠기의 최적 조건을 파악하고자 한다.

### 2. 실험장치 및 방법

#### 2.1 실험 장치

본장에서는 전자현미경에 조립되는 소형 부품과 핵융합연구 장치의 진단용 반사경을 가공하기 위하여 개발된 미소 부품 가공 전용의 소형 공작기계에 관해서 설명하도록 한다. Fig. 1은 소형 2축 미세가공기가 설치된 상태를 보여주고 있다.



Fig. 1 Miniature 2 axis micromachine

미세 가공기의 주요 사항은 다음과 같다. 주축 스피ndl은 BLDC (brushless DC)모터에 의해 회전되며, 300 ~ 3000 RPM으로 운전 가능하다. 그리고 스테이지는 스텝 모터에 의해 이동되며, 최대 30 × 30 mm로 이송가능하며, Z축은 수동으로 40 mm를 더 이송할 수 있다. 미세 가공의 가장 중요한 부분인 스테이지의 이송 정밀도는 0.025 μm이며, 각각 X, Z축 방향으로 스테이지는 0.2~20mm/min의 속도로 이동 가능하다.

표면 거칠기 측정 장비로는 비 접촉식 표면형상 측정기 WYKO 사의 NT2000을 사용하였다. 측정기는 Fig. 2에서 보여주고 있으며, 자동 포커싱 타입으로 세로방향 분해능은 0.1 nm 이다.



Fig. 2 Photograph of measuring instrument (NT2000)

#### 2.2 실험 방법

본 실험에서는 미세가공 조건에 따른 표면거칠기 정도의 데이터를 분석하여 최소의 실험으로 최적의 절삭 조건을 찾기 위하여 실험계획법을 사용하였다. 미세절삭가공에 있어서 특정치인 표면거칠기에 영향을 주는 인자는 주축의 회전수(RPM), 공구의 이송속도(Feed), 재료의 절삭깊이(Cutting of depth)로 예측할 수 있다. 그리고 각각의 인자들을 4수준으로 하여 변화에 따른 표면거칠기를 통계적인 기법을 사용하여 정량적으로 분석하여 2축 소형 미세절삭가공에 미치는 영향을 분석하며, 각각의 인자에 관하여 최적 절삭조건을 찾는 것을 목적으로 실험을 진행하였다.

Table 1. Experimental conditions

| Item               | Cutting condition      |
|--------------------|------------------------|
| Work piece         | Oxygen-free copper     |
| Tool type          | Single crystal diamond |
| Tool radius (mm)   | 0.5                    |
| R.P.M (m/min)      | 600, 900, 1200, 1600   |
| Feed rate (mm/min) | 2, 5, 10, 15           |
| Depth of cut (μm)  | 3, 6, 9                |

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 무산소동의 주효과에 의한 표면거칠기 영향

Fig. 3은 표면거칠기 측정값에 대한 주효과의 크기를 비교하기 위하여 분산분석을 실시하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 중심부의 수평선은 총 평균을 나타내며, 각 점들은 각 수준에서의 평균값을 뜻한다.

소형 2축 미세가공기의 절삭 실험결과를 실험계획법으로 주축 회전수, 이송속도, 절삭깊이의 주요 인자에 대한 주효과를 나타낸다. 표면 거칠기에 영향을 미치는 인자의 크기는 주축의 회전수가 가장 큰 영향을 미치고 있으며, 공구 이송속도, 절삭깊이의 크기로 영향을 미치고 있는 것을 그래프로 판단 할 수 있다. 실험결과 주축의 회전수는 900 rpm, 공구 이송속도는 2 mm/min ~ 5 mm/min 절삭 깊이는 표면 거칠기값의 변화에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다.

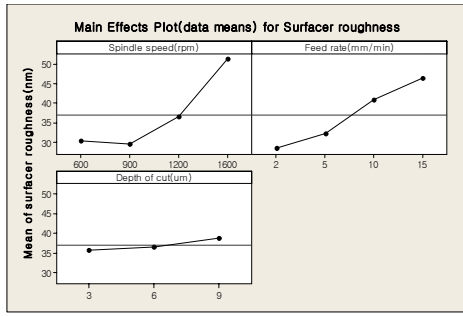


Fig. 3 Main effects plot for surface roughness

소형 2축 미세가공기의 절삭조건에서 표면 거칠기값에 가장 큰 영향을 주는 인자는 주축 회전수이며, 주축회전수의 변화에 따라 표면 거칠기값이 가장 많이 변화하는 것을 확인하게 알 수가 있다.

3.2 무산소동의 상호작용에 의한 표면 거칠기 영향

(1) 주축회전수와 이송속도의 변화에 의한 표면 거칠기

Fig. 4는 무산소동의 절삭 이송속도와 주축회전의 요인간 상호작용에 의하여 표면 거칠기에 미치는 영향을 그래프로 나타내었다. 주축 회전수를 동일하게 하고 절삭 이송속도가 변화하는 경우, 무산소동은 주축회전수 600 rpm에서 표면 거칠기값이 Ra 24 nm를 나타내고 있고 900 rpm에서 표면 거칠기값이 약간 줄어드는 경향을 나타내고 있으며, 900 rpm 보다 높은 회전수에서 표면 거칠기값이 크게 증가하고 있는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 표면 거칠기 측정기인 NT2000으로 무산소동의 표면 거칠기를 측정한 결과이다.

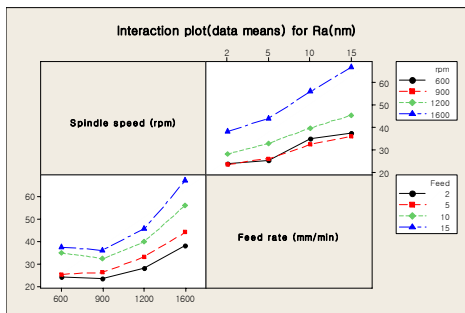


Fig. 4 Surface roughness versus rpm and feed rate

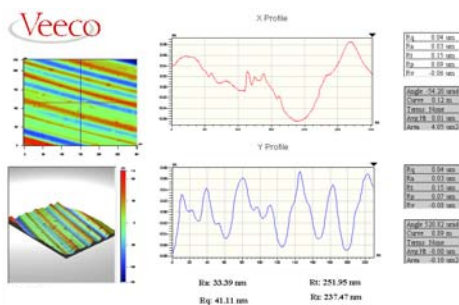


Fig. 5 Dimensional shape of the surface roughness for machined surface of oxygen-free copper

(2) 이송속도와 절삭 깊이 변화에 의한 표면 거칠기

Fig. 6은 이송속도와 절삭 깊이의 요인간의 상호 작용에 의하여 표면 거칠기에 미치는 영향을 그래프로 하였다. 이송속도를 동일하게 하고 절삭 깊이가 변화하는 경우, 이송속도가 5 mm/min와 10 mm/min일 때 절삭 깊이가 3 μm ~ 6 μm에서는 표면 거칠기 값은 감소하며, 절삭 깊이가 6 μm ~ 9 μm일 때 표면 거칠기 값이

증가하고 있다. 이러한 실험 결과는 이송방향의 표면 거칠기는 인선반경과 공작물의 1회전당 이송량의 관계에 의하여 기학적으로 결정되는 수식 1과 같이 이론적 표면 거칠기와 유사한 경향을 나타내고 있다.

$$Ra = \frac{f}{8R} \tag{1}$$

정량적인 실제 가공면의 거칠기는 불확정인자인 진동이나 동적현상, 공기형상에 따른 러빙 특성 등에 의하여 영향을 받아 소성변형에 의해 실제의 표면 거칠기는 예측치 보다 크게 나타나게 된다.

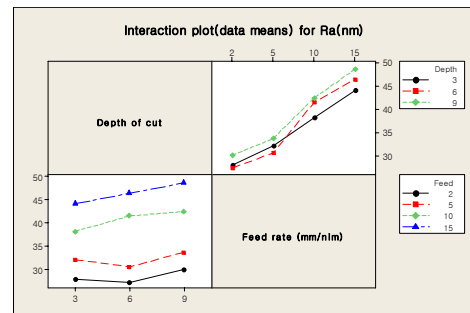


Fig. 6 Surface roughness versus feed and depth of cut

4. 결론

본 연구에서는 실험계획법을 이용한 비철금속인 무산소동을 사용하여 소형 2축 미세가공기를 이용한 미세가공 절삭 실험을 수행하여 주축회전수, 이송속도, 절삭 깊이의 변화에 따른 절삭력과 표면 거칠기의 변화를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. 소형 2축 미세가공기의 최적절삭조건은 주축의 회전수 900 rpm 영역, 이송속도 2 mm/min ~ 5 mm/min 영역, 절삭 깊이는 미소한 영향을 미치지만 2 μm ~ 6 μm 영역으로 표면 거칠기값 Ra 21 nm로 가장 작은 값으로 최적 절삭 조건임을 확인 하였다.
2. 소형 2축 미세가공의 절삭특성에서 표면 거칠기값에 영향을 미치는 주효과는 주축 회전수에 의한 영향이 가장 크며, 이송속도, 절삭 깊이의 순서로 영향을 미치고 있는 것을 확인하였다.

참고문헌

1. P. McKeown, "Manufacturing - how small can we go? The challenge and opportunities of the nanometer age", The British Association Lecture, 1996.
2. 이응숙, "초미세 공정 및 장비 기술의 국가 기술 로드맵." 韓國精密工學會誌, 제20卷, 제12號, pp. 19~24, 2003.
3. Akira Kinai, "Development of ultra-precision machine tools with high-stiffness," JSPE, Vol. 61, No.12, pp. 1671-1676, 1995.
4. Leung T. T., Lee W. B., Lu X. M., "Diamond turning of silicon substeates in ductile-regime", Journal of Materials Processing Technology 73, pp.42-48, 1998
5. 김정두, "천원 다이아몬드 인선형태에 의한 Al 합금의 경면절삭에 관한 연구." 大韓機械學會論文集, 제14卷, 제6號, pp. 1515~1522, 1990.
6. 이경호, 윤영식, 이상조, "다결정 다이아몬드 공구를 사용한 Al-Si 합금의 선삭과정에서 절삭특성에 미치는 Si함량의 영향." 韓國精密工學會誌, 제12卷, 제6號, pp. 20~26, 1995.
7. 박성현, "현대 실험계획법", 도서출판 민영사, 2006.