

# 초정밀 가공기를 이용한 근접초소형 광시야각 광학계 기술 개발

김명상\*, 양순철\*, 김효식\*, 김건희#

## Ultra Precision Machining Technology Development of Subminiature Optics of Proximity and Wide Field of View

M. S. Kim\*, S. C. Yang\*, H. S. Kim\*, G. H. Kim#

### ABSTRACT

Due to improve form accuracy and surface roughness of a aspheric lens core that is made of Ni, the study is carried out on localization about a Subminiature Optics of Proximity and Wide Field of View. The required form accuracy P-V 0.2  $\mu\text{m}$  and surface roughness is Ra 10 nm. The design of experiment(DOE) is adopted to find a optimal cutting conditions which are spindle speed, depth of cut, feedrate. Finally, the effects of this study are replacing importation and strengthening competitiveness through the localization of the Subminiature Optics of Proximity and Wide Field of View.

**Key Words :** DTM(다이아몬드 터닝머신), Wide field of view(광시야각), Capsule endoscopy(캡슐내시경), form accuracy(형상정밀도), Surface Roughness(표면거칠기)

### 1. 서 론

오늘날 고도의 경제 성장과 산업 기술의 발달로 인하여 새로운 첨단 제품 발전을 주도하고 있는 반도체 및 정보통신 등 새로운 기술 분야에서 초정밀 가공 분야에 대한 기술 의존도가 높아지고 있고, 적용 분야 또한 널리 확대되고 있다.<sup>1)</sup>

특히 현재 초정밀 가공 기술은 캡고터의 비구면 렌즈, CDP 디택트 렌즈, 프로젝션 TV 렌즈, 액정 P/J TV 프레즈넬(fresnel)렌즈 등의 소형 전자부품의 금형

가공 및 생산에 직접 이용되고 있다. 그러나 상대적으로 짧은 연구 역사로 인하여 세계적인 연구결과에 비하여 국내에서의 초정밀 절삭가공의 연구는 초기 단계라 할 수 있다. 따라서 초정밀 가공기술의 발전을 위해서는 측정기술의 개발과 동시에 가공에의 적용을 통한 초정밀 기술의 개발이 필요한 연구 과제이다.<sup>2),3),4),5)</sup>

21세기의 우리나라의 국가 경쟁력을 볼 때 근접초소형 광시야각 광학계의 초정밀 가공 기술은 현재 선진국에서는 그 중요성과 부가가치가 매우 높은 주력 산업으로 부상하고 있지만, 국내에서는 초정밀 가공을 위한 가공기술의 개발과 초정밀 측정 기술개발이 이원화되어 개발됨에 따라 초정밀 가공과 측정기술

\* 한국기초과학지원연구원

# 교신저자 : 한국기초과학지원연구원

E-mail : kgh@kbsi.re.kr

의 발전 속도가 선진국에 비하여 크게 떨어지고 있는 실정이다. 따라서 초정밀 가공기술의 발전을 위해서는 측정기술의 개발과 동시에 가공에의 적용을 통한 초정밀 기술의 개발이 절실히 요구된다.

현재 기존 유선형 투입 내시경의 경우 소화기 내부를 관찰하기 위해서 진단 대상 부위에 따라 필연적으로 사람의 입 또는 항문을 통해 삽입되어야 한다. 이는 피시술자에게 고통과 공포 및 수치심은 물론, 내시경이 장벽을 따라 지나가면서 발생할 수 있는 상처나 천공에 대한 가능성, 그리고 청결, 위생 등의 문제를 유발하였다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 고통 없이 소화관 진단이 가능한 캡슐내시경 개발이 추진되고 있다.

그러나 현재 사용 중인 캡슐내시경은 위장 등 넓은 소화관 진단에서 좁은 시야각과 얇은 초점심도로 인하여 상용화 가능한 진단율을 보이지 못하고 있으며, 이로 인하여 국내에서 연간 천만 건 이상 발생하는 위장 및 대장 내시경의 진단시장에 진입하지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 근접초소형 광시야각 광학계 부품의 국산화 일환으로 무전해 Ni 도금 비구면 금형코어의 초정밀가공 정밀도 향상을 목적으로 다음과 같은 연구를 수행하였다. 근접초소형 광시야각 광학부품에서 요구하는 금형코어의 가공에 있어서 주축 회전수, 절삭 깊이, 이송속도에 대한 초정밀가공 최적 절삭조건을 찾기 위하여 실험계획법(Design of experiment, DOE)<sup>6)</sup>을 적용하였으며, 초정밀 가공기술을 바탕으로 근접초소형 광시야각 광학계의 국산화를 위한 초소형 금형코어를 개발하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 사용된 초정밀 가공기는 RTH사의 Nanoform 600 다이아몬드 터닝머신(DTM)이다. 다이아몬드 터닝머신은 안내면의 위치 결정정도는 0.25  $\mu\text{m}/300\text{mm}$ , 분해능은 1.25nm의 성능을 가지고 있으며, 선삭의 경우 최대  $\varnothing 600\text{mm}$ , 연삭의 경우  $\varnothing 300\text{mm}$ 까지 가공이 가능하다. Fig. 1은 초정밀 가공 시스템을 나타낸다.

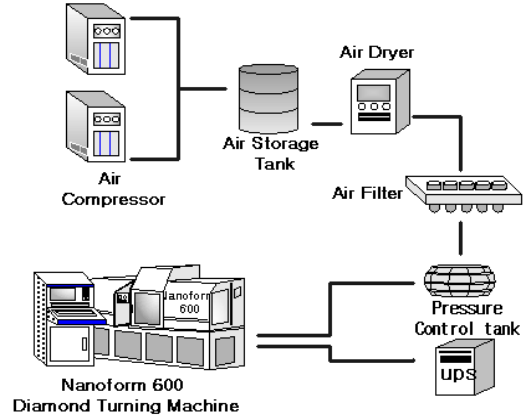


Fig. 1 The system of ultra precision lathe



Fig. 2 Photograph of measuring instrument (NT2000)



Fig. 3 Photograph of measuring instrument (Form Talysurf Series2)

초정밀 가공실은 온도 20±1℃, 습도 30±5%, Clean Room class 10,000인 항온항습의 크린룸이며, 장비의 진동방지를 위한 독립지반구조로써 장비 하부는 3 Point Air Bag으로 지지된다.

표면 거칠기 측정장비는 Fig. 2 비접촉식 표면형상 측정기 WYKO사의 NT 2000을 사용하였으며 측정기의 측정범위는 최대 100 mm×100 mm 이며, 분해능은 0.1 nm이고 Auto Focusing 타입이다. 비구면 형상 측정은 Fig. 3 접촉식 측정기인 Form Talysurf Series2를 이용하였다.

## 2.2 실험방법 및 조건

실험을 실시한 후에 데이터의 형태로 얻어지는 결과 값 즉 특성치(characteristic value)에 대해서, 이에 영향을 미치고 있는 원인이 어떻게 관계되어 있는가를 이론적으로 또는 경험적으로 명백히 알아내기는 매우 힘들다. 왜냐하면 일반적으로 특성치에 영향을 미치는 원인이 다양하고, 공작물, 실험장치, 숙련도 등의 차이에서 오는 산포가 있고, 환경조건의 변동, 표본오차(sampling error) 등에 의하여서도 영향을 받기 때문이다. 실험에 있어서 측정 데이터에 산포를 준다고 생각되는 많은 원인들 중에서 실험에서 조절 가능한 원인을 인자라고 부른다. 실험을 하기 위한 인자의 특정한 조건을 인자의 수준(level)이라고 한다.

실험계획법이란 주어진 실험에 대한 실험 방법을 의미하는 것으로, 어떠한 통계적 방법으로 데이터를 분석하면 최소의 실험회수에서 최대의 정보를 얻을 수 있는가를 계획하는 것이라고 정의할 수 있다. 따라서 실험계획법을 세웠다는 것은 해결하고자 하는 문제에 대하여 인자를 선정하고, 실험방법 및 실험순서를 정하고 실험 후에 얻어지는 데이터에 대한 최적의 분석방법을 선택하였다는 의미이다. 실험계획법에서 많이 이용되는 데이터의 분석방법으로는 분산분석, 상관분석, 회귀분석 등이 있다.

실험에 사용된 분석방법은 분산분석으로 실험에서 얻은 특성치의 산포를 제곱 합으로 나타내고 이 제곱 합을 실험과 관련된 인자 별의 제곱 합으로 분해하여 오차에 비해 특히 큰 영향을 주는 인자가 무엇인가를 찾아내는 분석방법이다. 각 인자의 제곱 합을 그 인자의 자유도로 나누면 그 인자의 제곱평균이 되며 오차분산에 비하여 얼마나 큰가를 검토하게 된다. 따라

서 분산분석이란 특성치의 산포를 인자 별로 분해하여 어느 인자가 큰 산포를 나타내고 있는가를 규명하는 방법이라 할 수 있다.

무전해 Ni 도금 비구면 금형코어의 초정밀 최적가공 조건을 찾기 위하여 절삭속도, 절삭 깊이와 이송 속도에 대한 표면 거칠기를 측정하여 최적 초정밀 가공조건을 찾았으며, 가공조건은 Table 1과 같다. 실험은 Fig. 4와 같이 단결정 Diamond 공구로 Ø40 mm, 두께 10 mm 의 Al 6061-T651 시편을 제작 후 가공 부분에 무전해 Ni 도금을 한 후 단면절삭방법으로 실험을 실시하였고, 가공 후 절삭 조건에 따른 표면 거칠기는 NT2000으로 중심선 평균 거칠기(Ra)를 측정하였다. 그리고 각각의 인자들을 4수준으로 각각의 조건 변화에 따른 표면거칠기를 통계적인 기법을 사용하여 정량적으로 분석하였다. 최적절삭 조건을 이용하여 무전해 Ni 도금 비구면 금형코어를 제작하였으며, 직경 Ø1.03mm , Ø1.98mm의 비구면 형상을 측정하기 위하여 Form Talysurf Series2를 사용하였다.

Table 1 Experimental conditions

Material	Ni
Cutting speed (m/min)	120, 140, 175, 195
Feed rate (mm/min)	2, 4, 6, 8
Depth of cut (μm)	2, 4, 6, 8
Vacuum pressure	-20kgf/cm <sup>2</sup>
Nose radius (mm)	0.2
Cutting fluid	Air + EDM oil

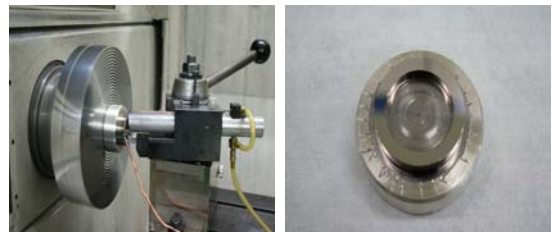


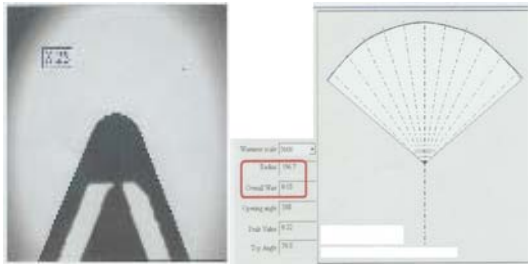
Fig. 4 Workpiece of cutting sample (Ni)

Fig. 5는 실험에서 사용된 공구는 천연다이아몬드 바이트로서 바이트 날 끝 모양이 원통형이며 노우즈 반경 R0.2 mm를 사용하여 실험하였다.

Fig. 5 (a)는 실험에 사용된 천연다이아몬드 바이트 형상을 보여주며, Fig. 5 (b)는 노이즈 반경 0.2 mm 다이아몬드 바이트를 측정결과 노이즈 반경은 0.197 mm 이고 Waviness는 0.08  $\mu\text{m}$ 이다. 이에 요구되는 Waviness는 0.1  $\mu\text{m}$ 이하 이므로 공구를 사용하기에 적합한 것으로 판단되었다.



(a) Geometry of Diamond tool



(b) Tool nose radius 0.2mm

Fig. 5 Diamond tool

### 3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 6는 단결정 다이아몬드 바이트를 사용하여 무전해 Ni 도금을 이송속도, 절삭깊이, 절삭속도 변화에 따른 표면 거칠기 측정값에 대한 주효과의 크기를 비교하기 위하여 분산분석을 실시하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 중심부의 수평선은 총 평균을 나타내며, 각 점들은 각 수준에서의 평균값을 뜻한다.

무전해 Ni 도금에 대한 초정밀 절삭 실험결과에 대하여 실험계획법인 분산분석을 이용하여 주축 회전수, 이송속도, 절삭깊이의 주요 인자에 대한 주효과를 나타낸다. 표면 거칠기에 영향을 미치는 인자는 이송속도가 가장 큰 영향을 미치고 있는 것을 그래프로 판단할 수 있다. Fig. 7은 실험결과 주축의 회전수는 195 m/min, 공구 이송속도는 2 mm/min, 절삭깊이는 2  $\mu\text{m}$  일 때 양호한 표면거칠기 Ra 0.77nm를 얻

을 수 있었다.

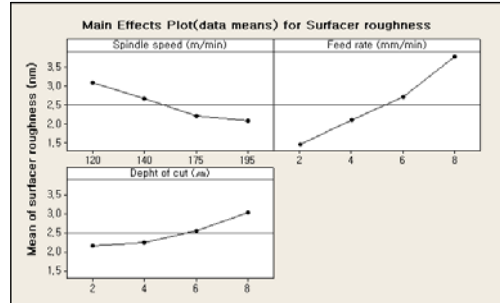


Fig. 6 Main effects plot for surface roughness

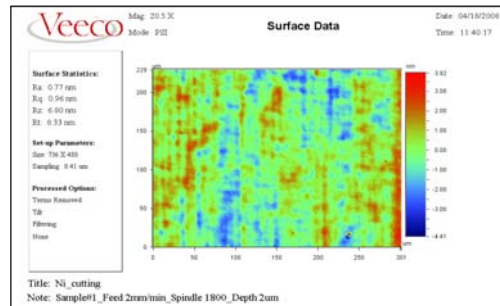


Fig. 7 Surface measurement of Ni sample by NT 2000

### 4. 무전해 Ni 도금 비구면 금형코어 초정밀가공

초정밀 금형을 제작하기 위하여 사용된 코어재질은 단조된 Statvax 재질을 사용하였다. 모재 내에 함유되어 있는 불순물을 제거하기 위하여 선반에서 모재 표피로부터 3 mm 두께를 제거하고, 표면 위에 NC 선반을 이용하여 정밀형상 가공을 한 후 무전해 Ni 도금량은 약 100  $\mu\text{m}$  로 하였으며, 도금 후 진공열처리를 하여 경도 값 HRc 48~68 을 얻을 수 있었다. 사용공구로는 도금 전 가공에는 CBN Bite를 사용하여 제품에서 요구되는 최적의 곡률반경 값으로 가공하였으며, 황삭 가공조건을 절삭깊이 0.02 $\mu\text{m}$ 로 주축 회전속도 1200rpm, 이송속도 15mm/min으로 범용선반으로 가공한 절삭표면이 나타나지 않을 때까지 가공한다. 그리고 중간다듬질은 절삭깊이 0.01 $\mu\text{m}$ 로 주축

회전속도 1200rpm, 이송속도 10mm/min로 하고, 정삭은 절삭깊이 0.001 $\mu$ m로 주축회전속도 1200rpm, 이송속도 3mm/min로 가공 완료하였다.

Fig. 9은 Ni 도금 후에 천연다이아몬드 Bite를 사용하여 실험을 통해 얻어진 최적 절삭조건을 통하여 Fig. 10 무전해 Ni 도금 비구면 금형코어를 제작하였다.

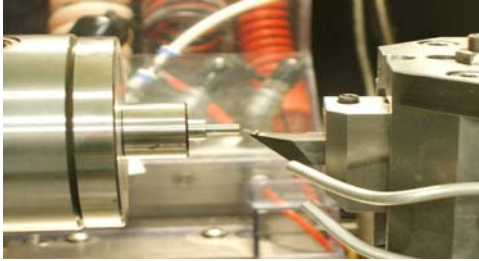


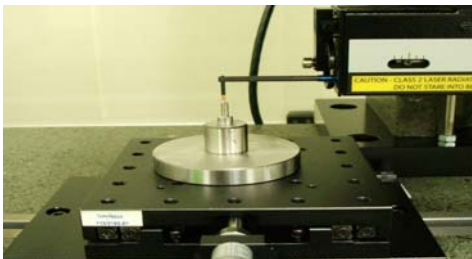
Fig. 9 Machining lens core by SPDTM



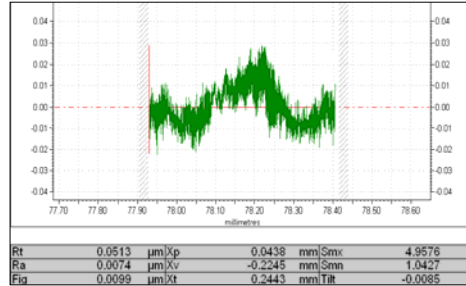
Fig. 10 Aspheric lens core

Fig. 11은 가공 완료 후 비구면 형상이므로 (a) Form Talysurf Series2를 이용하여 측정 결과로 (b) Lens1에서는 비구면 Rt 값 0.0513  $\mu$ m, (c) Lens2에서는 비구면 Rt 값 0.1081  $\mu$ m를 얻을 수 있었다.

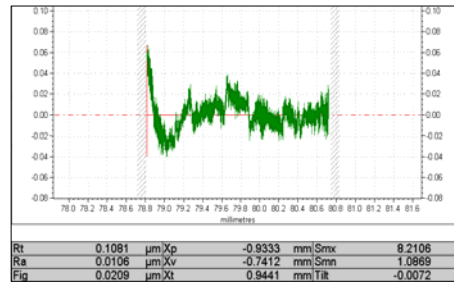
Fig. 12의 (a)는 개발한 캡슐내시경 사진을 나타내며, (b)는 실제 영상화면을 나타낸다.



(a) Measurement of a workpiece



(b) Measure surface of Lens 1

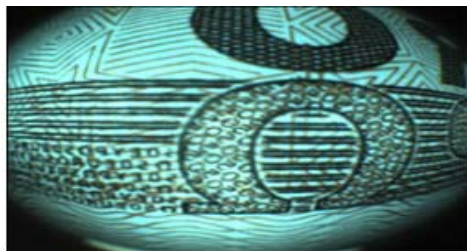


(c) Measure surface of Lens 2

Fig. 11 Measure of aspheric lens core by form talysurf series2



(a) Capsule endoscopy



(b) Capsule endoscopy an image

Fig. 12 Photograph of the Capsule endoscopy image

## 5. 결 론

무전해 Ni 도금 비구면 금형코어에 사용되는 무전해 Ni 도금의 초정밀가공 특성을 파악하기 위하여 Nanoform 600 다이아몬드 터닝머신에서 천연다이아몬드 공구를 사용하였으며, 실험계획법인 분산분석을 이용하여 절삭속도, 이송속도, 및 절삭깊이의 초정밀 절삭 조건에 따른 표면 거칠기에 따른 표면 형상정밀도를 측정하였다. 이러한 무전해 Ni 도금의 초정밀 가공특성을 바탕으로 근접초소형 광시야각 광학계에 사용되는 비구면 렌즈의 금형코어를 초정밀 가공하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 무전해 Ni 도금의 절삭 특성에서 표면 거칠기값에 영향을 미치는 주효과는 이송속도에 의한 영향이 가장 크며, 주축회전수, 절삭 깊이의 순서로 영향을 미치고 있는것을 확인하였다.

2. 무전해 Ni 도금의 최적절삭조건은 절삭속도 195 m/min, 절삭 깊이 2  $\mu\text{m}$ , 이송속도 2 mm/min 일 때 Ra 0.77 nm의 표면 거칠기 결과를 얻을 수 있었다.

3. 무전해 Ni 도금 비구면 금형코어를 최적 절삭조건으로 가공한 결과 Lens1 Rt 값 0.0513  $\mu\text{m}$ , Lens2 Rt 값 0.1081  $\mu\text{m}$ 를 얻을 수 있었다.

## 참고문헌

1. Sugano, T., Ihara, Y., Nnkatsu, Y. and Shinohara, A., "Diamond Turning of an Aluminum Alloy for Mirror," Annals of the CIRP, Vol. 36, No. 1, pp. 17~20, 1987.
2. 김정두, "천연 다이아몬드 인선형태에 의한 Al합금의 경면절삭에 관한 연구," 大韓機械學會論文集, 제14卷, 제6號, pp. 1515~1522, 1990.
3. 이경호, 윤영식, 이상조, "다결정 다이아몬드 공구를 사용한 Al-Si합금의 선삭과정에서 절삭특성에 미치는 Si함량의 영향." 韓國精密工學會誌, 제12卷, 제6號, pp. 20~26, 1995.
4. 김건희, 김주환, 박원규, 원중호 "The Characteristics of SIL Lens Machining Using Diamond Turning Machine," 한국기계가공학회지, 2권/1호, pp. 63~68,

2003.

5. 김건희, 양순철, 박요창 "A study on the characteristics on ultra precision machining of Al6061-T651", 한국기계가공학회지, 4권/1호, pp. 43~48, 2005.
6. 박성현, "현대 실험계획법", 圖書出版 민영사, pp. 1~2, 7~8, 2006.