

## 효율적인 버 형상 측정방법 개발

김원섭\*, 고성림#

### Development of Effective Measurement Method for Burr Geometry

Won-Sub Kim\*, Sung-Lim Ko#

#### ABSTRACT

Triangulation method, conoscopic holography method and interferometry method are analyzed for effective measurement of micro burr geometry, which is formed in micro drilling. To select proper sensor, the cross section of a cylinder with 0.5mm diameter is measured and the result shows that conoscopic holography method is effective for measuring highly inclined surface in cylinder. Burrs with 1.0mm and 30 $\mu$ m height are measured by three suggested methods. As a result, the conoscopic holography method is proved to be most proper in measuring burr geometry. Burr measurement system is developed, which consists of conoscopic laser sensor, X-Y table, controller and burr measurement program. Burrs can be measured automatically and the result is displayed in 3D shape

**Key Words** : Burr Measurement (버 측정), Triangulation method (삼각법), Conoscopic holography (코노스코픽 홀로그래피), Interferometry method (간섭법)

#### 1. 서론

현재의 생산 분야에 있어 기계가공은 정밀, 소형화 되고, 이에 따른 가공물의 정밀도는 매우 중요한 요소이다. 버는 전단 또는 절삭 가공 시 소성변형에 의해 생기는 원하지 않는 부분으로 가공물의 정밀도에 큰 영향을 미친다. 이러한 버를 효율적으로 제거 하기 위해서는, 적절한 제거 방법을 알아야 하고, 적절한 제거 방법을 알기 위해서는 정확한 버의 측정이 이루어 져야 한다. 절삭 가공 중에 발생하는 버의 형상은 매우 불규칙하고 대부분의 경우 날카로운 형상을 지니고 있으며 높

이는 가공조건에 따라서 매우 다양하다. 특히, 여러 절삭 가공 중에 가장 많이 사용되는 드릴 가공에 의해 생기는 버는 매우 작고, 날카롭기 때문에, 버의 정확한 형상측정이 어렵고, 제거 방법을 선정하기 힘들다.

버의 형상 측정은 방법에 따라 비접촉식과 접촉식으로 나뉜다. 하지만, 접촉식 측정 방법으로 하이트 게이지를 사용할 경우에는, 얇고 연성인 버의 변형을 가져오기 때문에 적합하지 않다. 이것으로 인하여, 미세한 버의 측정을 위하여 비접촉식 측정방법을 이용한다.<sup>1</sup>

비접촉식 측정 방식에는 레이저를 광원으로

.. 2002년 12월 13일 접수  
\* 건국대학교 대학원 기계설계학과  
# 교신저자, 건국대학교 기계설계학과  
Email : slko@konnuk.ac.kr, Tel : (02) 450-3465

이용한 광삼각법, conoscopic holography method, 백색광을 광원으로 사용한 간섭법(interferometry method) 등 여러가지 방법이 있다.<sup>2</sup> 미소 드릴링시 발생한 버의 경우, 매우 얇은 두께를 가지고 있고, 날카롭기 때문에, 모든 비접촉식 측정방법으로 정확한 측정이 가능한 것은 아니다. 특히, 간섭계를 이용하는 측정장치에서는 매우 좁은 간섭무늬 영역으로 측정 데이터를 얻기가 힘들다. 또한 레이저를 이용한 측정에서는 빔 스폿의 크기(beam spot size)와 에지 부분에서의 난반사가 측정에 큰 영향을 미친다. 따라서, 미소 드릴링 버를 측정하기 위해서는 날카로운 에지 부분을 측정하기 위한 적절한 빔 스폿의 크기를 갖고 측정영역에 제약이 따르지 않아야 한다.

본 연구에서는 버의 형상 측정을 위한 적정 센서와 방법을 선택하기 위해 비접촉 측정방식인 광삼각법, Conoscopic holography method, interferometry method 를 이용해 드릴링 버를 측정하고, 측정에서 얻은 자료를 이용해 버의 형상을 3 차원으로 나타내고, 분석할 수 있는 버 측정 프로그램을 Visual C++의 MFC 로 개발하였다. 또한, 스텝 모터를 이용한 X-Y table 에 Sensor 를 부착하여 버 전용 측정 시스템을 windows 환경에서 작동 가능 하도록 구현하였다.

## 2. Optic Sensor 의 특성

본 실험에서는 드릴링 버의 날카로운 에지를 측정하기 위한 방법으로 레이저를 이용한 광삼각법, 백색광을 이용한 interferometry method, 레이저를 이용한 conoscopic holography method 를 사용했다. 버의 크기 및 정밀도에 따라서 레이저 시스템의 사양, 즉 측정 방법이 선택되어야 한다.

### 2.1 레이저를 이용한 광삼각법

레이저를 광원으로 이용한 광삼각법은 Keyence 사의 LK031 센서를 사용했다. 레이저빔의 스폿의 크기는 30  $\mu\text{m}$  이며 측정 범위는  $\pm 5\text{mm}$  이다(Table 1). Fig. 1 에서 보듯이 반도체 소자에서 발진된 레이저는 투광렌즈를 거쳐 CCD 에 집광하게 된다. 이때, 측정 대상 물체의 높이 차에 의해 빛의 반사각이 변하게 되고, CCD 에 맺히는 빛의 위치도 달라지게 된다. CCD 상에서 beam 의 spot 이 이동한 량을 검출한 것이 변위로 측정된다.

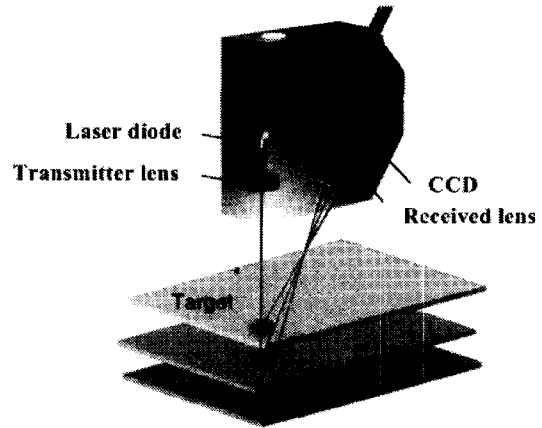


Fig. 1 The principle of laser triangulation method<sup>3</sup>

### 2.2 백색광을 이용한 Interferometry method

백색광을 광원으로 이용하고, 광 축방향 (측정물의 높이 방향)으로 스캐닝을 하여 측정을 한다. 간섭을 일으키는 두개의 간섭광 중 하나는 고정되어 있는 기준 거울에서 반사 되고, 다른 하나는 측정물의 표면에서 반사 된다. 그리고 측정물을 nm 수준으로 미세하게 움직이면서 간섭 신호를 관찰하면 초기에는 간섭 신호가 없지만, 측정물에서 반사된 빛이 기준면에서 반사된 빛과 경로차가 0 이 되는 지점에서 가장 강한 간섭 신호가 발생한다. 이 때의 구동 위치값이 기준거울에 대한 측정점의 상대 높이값이 된다.<sup>4,5</sup> 본 실험에서는 Fig. 2 에 나타난 Intekplus 사의 Accura 를 사용했다.

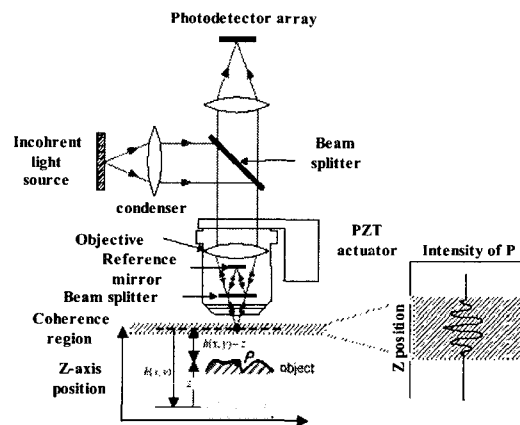


Fig. 2 The principle of white-light scanning interferometry method<sup>4</sup>

### 2.3 레이저를 이용한 Conoscopic holography method

전통적인 홀로그래피에서 간섭 무늬는 가간섭광(coherent light)을 사용하여, 기준면에서 반사된 빔(reference beam)과 물체에서 반사된 빔(object beam)의 광경로 차에 의해서 형성된다. 이 두개의 빔은 같은 속도로 진행하지만, 서로 다른 경로를 지난다. 하지만, conoscopic holography에서는 reference beam과 object beam을 복굴절체(birefringent medium)를 통과하는 하나의 빔의 요소인 정상광선(ordinary)과 이상광선(extra-ordinary)으로 대체하고, 이 빔은 자연적으로 가간섭광이 되어 홀로그램을 만들 수 있게 한다. 이것은 측정 시스템의 안정성 문제를 해결할 수 있고, 가간섭 광원이 아닌 광원으로도 홀로그램을 만들 수 있게 한다.<sup>6,7</sup>

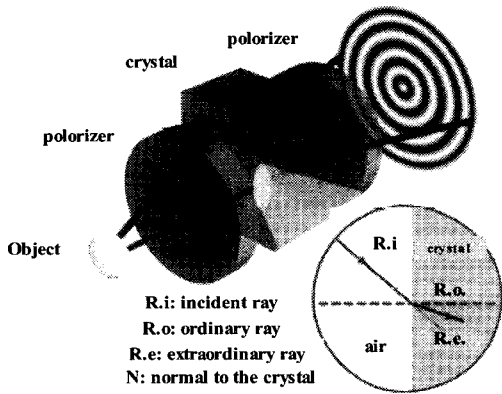


Fig. 3 Schematic illustration of conoscopic module

Conoscopic module은 두개의 원형 편광기와 그 사이에 단축성 물질인 크리스탈, 그리고 CCD로 이루어져 있음을 Fig. 3으로부터 알 수 있다. 첫 번째 편광기에서는 반사되어 온 빛을 서로 수직하는 두개의 요소로 나누고, 선택 투과 시킨다. 투과된 빛은 단축 크리스탈에서 서로 다른 속도로, 즉 서로 굴절하는 정도가 틀린 빛으로 진행하게 된다. 두 번째 편광기에서는 서로 다르게 굴절된 정상광선과 이상광선을 합쳐준다. 그리고 굴절의 변화에 따른 속도변화가 두 광선의 위상차이를 만들고, 간섭무늬가 나타나 CCD에 기록된다. CCD에 기록된 동심원형태의 간섭무늬는 간섭주기에 따른 동심원의 반경을 측정함으로써 측정 대상의 높이

값을 계산한다.<sup>7</sup>

Conoscopic holography에서는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 대물렌즈(objective lens)를 측정대상 물체의 크기에 따라서 다양하게 선택할 수 있다. 본 실험에서는 초점거리가 16mm, 25mm인 렌즈를 사용했고, Optimet사의 Conoprobe sensor를 사용했다. 실험에 사용된 각 센서의 사양은 Table 1에 나와 있다.

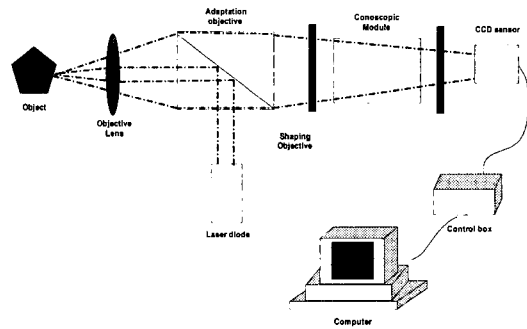


Fig. 4 Measurement system of conoscopic holography

Table 1 Specifications of Sensors

Sensor	Spot size	Range
Kyence LK031 (Triangulation method)	30 $\mu$ m	+/- 5mm
Accura (Interferometry method)	-	Tens of $\mu$ m
Conoprobe 25mm (Conoscopic holography)	22 $\mu$ m	1.8mm
Conoprobe 16mm (Conoscopic holography)	8 $\mu$ m	0.5mm

### 3. 측정 실험 및 결과 분석

#### 3.1 직경 0.5mm 원통을 이용한 측정성능 비교

드릴 버의 경우 버의 높이가 측정방향에 따라 다르고, 기울기 변화가 매우 크기 때문에, 버의 측정에 앞서 직경 0.5mm인 원통을 측정하여 기울기의 변화에 따른 각 측정 방법의 측정성능을 비교했다. Fig. 5에서 각 센서를 이용한 0.5mm 직경의 원통을 측정한 결과를 관찰할 수 있다. 굵은 실선으로 표시된 0.5mm 직경의 원통 형상을 기준으로 하여 각 센서에 의한 측정 결과를 표시하였다. 광삼각법을 이용한 Keyence sensor의 경우 실린더 측

면에서의 빛의 난반사로 인해 반사된 빛이 수광부인 CCD 에 도달하지 못하는 것을 알 수 있다. Fig. 5 에서 보는 바와 같이 경사도가 큰 부분에서는 Keyence 센서의 경우 측정이 되지 않음을 알 수 있다. 이것은 Fig. 6 에서와 같은 난반사에 의해서 수광부 CCD 에 반사광이 도달하지 못함을 알 수 있다. 반면에, conoscopic holography 를 이용한 conoprobe 센서의 경우에는 실린더의 측면과 같이 기울기가 급한 면에서도 안정적으로 측정 data 를 얻을 수 있었다. Accura 의 경우 0.25mm 가 측정 범위를 벗어나기 때문에 실험에서 제외했다.

이상의 결과로부터 날카로운 버 형상과 같이 급한 경사면을 측정하기에는 conoscopic holography 가 가장 적합한 방법임을 알 수 있다.

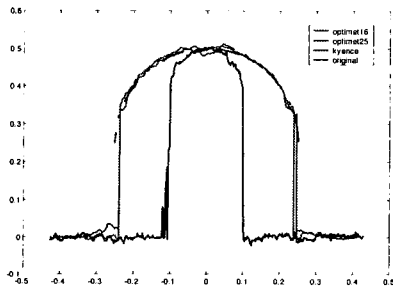


Fig. 5 Comparison of the measurement performance for the cylinder of 0.5mm diameter

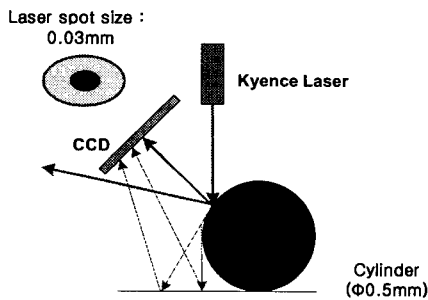


Fig. 6 The illustration of measurement for the cylinder using Keyence sensor

### 3.2 드릴 버의 2 차원 측정결과

센서에 따른 측정 가능 범위의 다양한 크기의 드릴 버를 분류 측정했다. 먼저, 1mm 가 넘는 큰 버의 경우 25mm 대물 렌즈를 사용한 conoprobe 와

광삼각법의 keyence sensor 를 이용해 측정한 결과가 Fig. 7 에 나타나 있다. 높이가 1mm 가 넘는 큰 드릴 버의 경우 광삼각법을 이용한 keyence sensor 는 기울기가 급하게 변하는 부분에서의 data 손실로 정확한 버의 위치 및 높이를 알아낼 수가 없었다. 하지만, conoscopic holography 를 사용한 conoprobe 센서는 안정적으로 측정 data 를 얻을 수 있다.

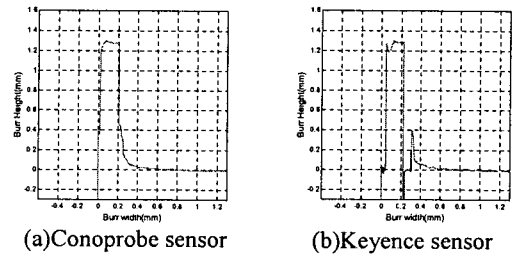


Fig. 7 Drilling burr measured by Conoprobe and Keyence sensor for large burr

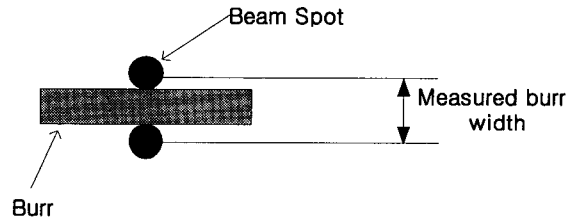


Fig. 8 The schematic illustration of widening effect of burr width according to the beam spot size

미소 버(본 실험에서는 높이 30 $\mu$ m 이하의 버)의 경우, 빔 스폿 사이즈와 측정방법에 따른 측정 결과 차이는 버의 높이 보다는 버의 폭에 더 많은 영향을 미쳤다. 이것은 광삼각법을 이용한 Keyence sensor 경우, 빔 스폿 (beam spot)은 반사되어 CCD 에 분산된 형태로 맺히고, CCD 는 광량의 peak 값을 찾도록 되어있지만, 실제로는 버의 변형이 시작되는 부분부터 빔 스폿이 높이 변화에 따른 반사각의 변화를 일으키고, 빔 스폿이 완전히 버의 변형 부분을 지날 때까지 반사각 변화가 일어나 Fig. 8, Fig. 9(a)처럼 버가 실제보다 두껍게 측정되는 것으로 보인다. Fig. 9(a)에서 Keyence 센서에 의해서 측정된 버의 폭은 약 0.2mm 를 나타내는 반면, Conoprobe 센서에 의하여 측정된 버의 폭은 Fig. 10 에서 약 0.1mm 를 나타냄을 관찰할 수

있다.

백색광을 사용한 Interferometry 방식의 Accura는 매우 얇은 버의 에지(edge) 부분에서의 간섭무늬를 얻을 수 없기 때문에 에지 부분에서 data 획득이 힘들어 끝부분에서 data가 유실됨을 Fig. 9로부터 볼 수 있다. 반면에 conoscopic holography의 Conoprobe는 Fig. 10에서 버의 측정 결과를 잘 보여준다. Fig. 9와 Fig. 10의 결과로부터 conoscopic holography 방법에 의한 측정이 미소버 측정에 적합함을 알 수 있다.

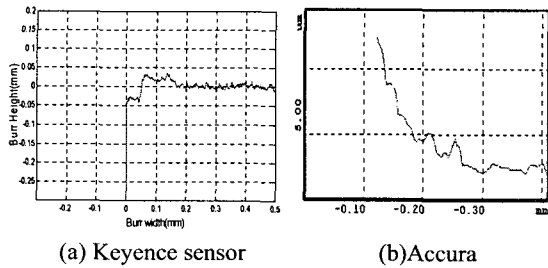


Fig. 9 Drilling burr measured by keyence and accura

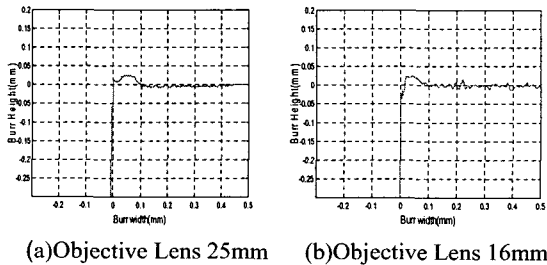


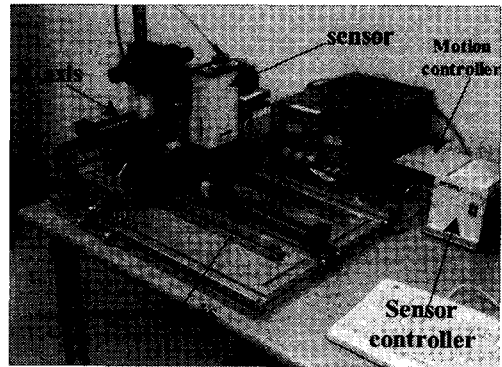
Fig. 10 Drilling burr measured by Conoprobe for small burr

#### 4. Burr Measurement System 개발

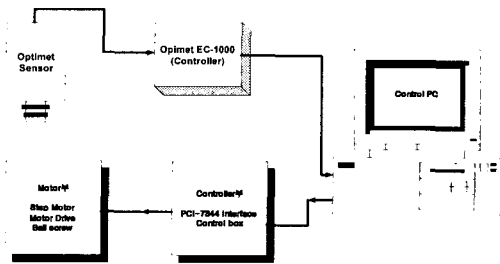
버 측정 시스템은 Fig. 11과 Fig. 12에서와 같이 센서와 X-Y table, 센서와 모터 구동을 위한 컨트롤러와 컴퓨터로 이루어져 있다. Conoscopic holography 방법에 의해 버 형상의 2차원 및 3차원 측정을 위하여 step motor를 이용해 XY table을 구성하고, X-Y 방향으로의 scanning을 통해 측정 대상의 형상 raw data를 획득하고 3D 및 2D의 버 형상을 나타내기 위한 프로그램을 개발하였다. Step motor의 제어와 구동, 그리고 Conoprobe 센서의 제

어와 측정은 Visual C++를 이용해 개발했고, Burr 형상 display 프로그램은 MFC 기반의 Measurement Studio를 이용해 프로그래밍했다. Step Motor를 제어하기 위한 controller로는 Ni사의 Ni-7344를 사용했다.

#### 4.1 드릴 버의 3차원 측정 시스템 개발



(a) Over view of burr measurement system



(b) Layout of measurement system

Fig. 11 Photograph and layout of burr measurement system

Conoprobe 센서는 모터의 동작에 따른 Encoder 신호를 사용해 센서 컨트롤러 내부에서 측정 펄스를 만든다. 하지만, 본 실험에서 제작한 X-Y stage 및 측정 장비는 시간에 따른 강제 펄스를 만들어 측정한다. Conoprobe 센서는 물체의 높이 값만을 측정할 수 있기 때문에, 3차원 형상을 만들기 위한 X, Y 값들은 측정시의 모터 구동 위치가 X, Y 좌표값으로 사용된다. 획득한 자료(z data)를 이용해 버의 3차원 형상을 나타내었다. 측정 데이터는 텍스트 형태의 파일로 저장되어 면을 생성하기 위한 Z 축의 좌표값으로 사용된다. 3D 버 형상의 출력을 위해 프로그램 상에서는 필터링을

통해 측정 범위 이상의 데이터가 나오거나, 노이즈비(Signal/Noise ratio)값이 45%이하의 값이면 난반사로 인한 에러 값으로 간주한다. 이상의 버 측정용 프로그램의 흐름도가 Fig. 12 에 잘 나타나 있다.

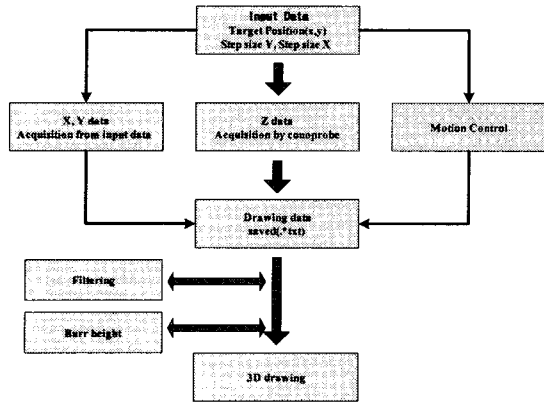


Fig. 12 Structure of burr measurement program

#### 4.2 드릴 버의 3 차원 측정 실험

드릴링 버의 3 차원 측정을 위해 1 열씩 차례대로 스캐닝되는 측정구간을 정했다. Fig. 13 에서 스캔영역 1 일 때 측정되고, 스캔구간 2 일 때 원래의 위치로 돌아와 스캔영역 3 일 때 다음 측정 영역으로 움직이는 구조이다.

Conoscopic holography 방법에 의한 버의 3 차원 측정을 통하여 자료를 획득하고 Fig.14 와 같은 3D 형상을 만들었다. Conoprobe 센서와 25mm objective lens, 그리고 위치 정밀도가 1 $\mu$ m 인 stage 를 사용하였다. 측정을 위한 scan 간격은 Fig. 13 에서와 같이 0.05mm 이며 각 scan 에서의 측정 간격은 0.002mm

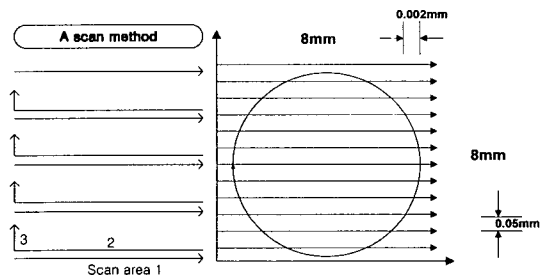


Fig. 13 Schematic diagram of scanning track for automatic burr measurement

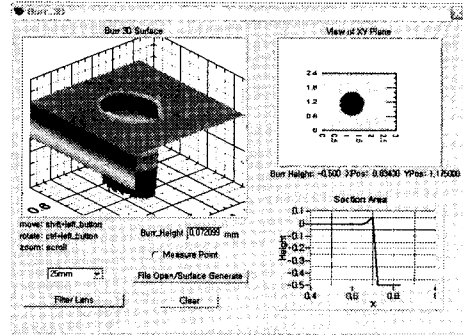


Fig. 14 3D display of drilling burr measured by Conoprobe

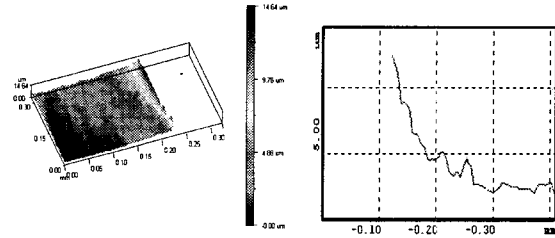


Fig. 15 3D display of drilling burr measured by Accura

이다. 이 값은 주어진 이송속도와 sampling 에 의해서 결정된다. 본 프로그램은 3D 형상 측정과 전시가 가능하면 특정 단면에서의 2D 버 형상 측정을 위한 기능도 있다. Fig. 14 에서 오른쪽 위에 버의 3D 표시방법의 XY 평면에 나타난 2D 표시를 나타내었다. 지정한 단면에서의 형상이 하단에 나타나 있다.

Accura 로 측정할 때에는 넓은 면적을 측정할 수 없기 때문에, 드릴 버의 일부분만 측정할 수 있다. 하지만, 에지 부분에서의 간섭무늬를 찾을 수 없기 때문에, Fig. 15 에서 같이 에지 부분에서의 data 유실로 정확한 측정이 어렵다. 따라서, 버의 일부분과 전체 형상을 측정하기 위해서는 빛의 난반사에 강하고 안정적인 측정법인 Conoscopic holography 가 적합하다.

#### 4. 결론

일반적인 버형상의 특징인 날카로운 에지 부분을 측정할 수 있는 새로운 방법으로 conoscopic holography 방식을 측정성능 비교를 통하여 선정하

였다. 버의 측정에 영향을 미치는 또 다른 요소인 빔 스폿 사이즈(*beam spot size*)는 버의 두께보다 작아야 하는데, *conoscopic holography*의 경우, 대물렌즈에 따라 빔(*beam*)의 스폿 사이즈(*spot size*)를 조정할 수 있는 장점이 있어 크기에 따른 정확한 측정이 가능하다. 25mm 초점거리의 대물렌즈를 사용할 경우 1.8mm 이하의 버높이 측정이 가능하며 빔스폿의 크기에 의하여 최대 약 30  $\mu\text{m}$  이상의 버높이가 측정가능하다.

*Conoscopic* 센서와 *XY table* 그리고 구동 제어기와 버 측정 전용 프로그램으로 이루어진 버 측정 시스템을 구현하였다. 본 연구에서 제작한 버 측정 시스템의 장점은 기존의 개별적인 버의 수동 측정과 출력 방법을 하나의 자동화된 시스템으로 통합한 점에 있다고 하겠다. 따라서, 현재 시스템을 *closed loop* 제어를 통해 측정을 한다면 보다 우수한 측정 성능을 기대할 수 있고, *database* 를 추가해 버의 효율적 관리도 가능하다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부의 2001 국가지정 연구실 사업(NRL) 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

1. Ko, Sung-Lim, "Development of Burr Measurement System using Laser and It's Application," Proceedings of 6th Int. Conference on Precision Surface Finishing and Deburring Technology, St.Petersburg, Russia, pp. 101-123, Sep. 5-7, 2000.
2. Hecht, "Optics," Addison-wesley.
3. Keyence Sensors Catalog .
4. Intek Plus Accura manual .
5. Choi, E. B., "Measurement of 3D Micro Geometry using Moire Topography," Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), PhD. Dissertation, 1998.
6. Lonardo, P. M., Lucca, D. A. and Chiffre, L. De, "Emerging Trend n Surface Metrology," Annals of the CIRP, Vol. 51, 2002. 2.
7. Sirat, G.Y., "Conoscopic holography," SPIE, Vol. 523 Application of holography, 1985.