한국정밀공학회지 제 21 권 제 8 호 (2004 년 8 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 8, August 2004.

Conoscopic Holography 를 이용한 3D Burr 측정기술 개발

박상욱*, 고성림#

Development of 3D Burr Measurement Technique using Conoscopic Holography

Sang-Wook Park*, Sung-Lim Ko#

ABSTRACT

For the burrs formed in machining are irregular and very sharp in shape, it is usually very difficult to measure burr accurately. It was proved that micro burr geometry can be measured imprecision by the Conoprobe sensor using conoscopic holography method. We developed 3D burr measurement system using this sensor. The system is composed of Conoprobe sensor, XY table, controller and 3D measurement program. Some measurements using the developed system are conducted for the burrs formed in micro drilling and piercing. Specific software for burr measurement includes several function, calculation of burr volume, average burr height. Burs formed on a curved surface were compensated and measured successfully using the basic surface compensation function.

Key Words : Burr measurement (버 측정), Conoscopic holography (코노스코픽 홀로그래피), Compensation of burr geometry(버 형상 보정)

1. 서론

Burr 는 전단 또는 절삭가공 시 소성변형에 의해 생기는 원하지 않는 부분으로 가공물의 정밀도에 큰 영향을 미친다.[1] 이러한 버를 효율적으로 제거하기 위해서는 적절한 제거 방법을 알아야 하고, 이를 위해서는 버의 정확한 측정이 선행되어야 한다. 하지만 매우 작고 날카로운 버는 정확한 형상 측정이 어렵기 때문에 보다 효과적인 측정기술 개발이 필요하다.

형상 측정은 방법에 따라 비접촉식과 접촉식으로 나뉜다. 하지만, 접촉식 측정 방법으로 하이트 게이지를 사용할 경우 버의 변형을 초래할 수 있으므로 이러한 측정법은 미소 버 측정에는 바람직하지 않다. 따라서 이러한 버를 측정하기 위해서는 비접촉식 측정방법이 주로 사용되는데 [2] 그 측정 방법에는 레이저를 광원으로 이용한 광삼각법, Conoscopic holography method 와 백색광을 이용한 간섭법(interferometry method) 등 여러 가지 방법들이 있다.[3] 이 중 날카로운 에지의 측정에 있어 가장 효과적인 것은 Conoscopic holography method 로[4] 이 방법은 비가간섭성광을 사용하고 또

접수일: 2003 년 10 월 20 일; 게재승인일: 2004 년 5 월 7 일
* 건국대학교 기계설계학과
# 교신저자: 건국대학교 기계설계학과
E-mail : slko@konkuk.ac.kr Tel. (02) 450-3465

한 랜즈 교환만을 통해 Laser spot size 를 수 μm 까지 줄일 수 있다.[5] 이와 같은 특징은 버의 에지 부분에서도 난반사가 잘 일어나지 않게 하기 때문에 정밀한 측정을 가능하게 해준다. 따라서 이러한 장점을 가진 Conoprobe 센서를 이용한 버 측정 시스템 개발이 필요한 것이다.

개발된 버 측정시스템은 제어와 해석을 위한 컴퓨터, XY table 그리고 측정 센서로 구성된다. XY table 의 구동을 위해 스텝모터를 사용하였고, 제어프로그램과 버 해석프로그램은 Visual C++의 MFC 로 개발하였다.

본 연구에서는 Conoprobe 센서의 특징과 개발된 측정시스템의 개요를 밝히고, 실제 버의 측정 예를 통해, 본 시스템의 유용성과 특징을 설명하였다. 또한 마이크로 버의 측정 예로서 보다 효율적인 미소 버 측정 방법을 제시하였다.

2. Conoscopic holography 의 특성

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 두 개의 빔은 같은 속도로 진행하지만, 서로 다른 경로를 지난다. 하지만, Conoscopic holography 에서는 reference beam 과 object beam 을 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 측정시스템의 안정성 문제를 해결할 수 있고, 가간섭 광원이 아닌 광원으로도 홀로그램을 만들 수 있게 한다.

Conoscopic module 은 두 개의 원형 편광기와 그 사이에 단축성 물질인 크리스탈, 그리고 CCD 로 이루어져 있음을 Fig.1 로 부터 알 수 있다. 첫 번째 편광기에서는 반사되어 온 빛을 서로 수직하는 두 개의 요소로 나누고, 선택하여 투과 시킨다. 투과된 빛은 단축 크리스탈에서 서로 다른 속도로, 즉 서로 굴절하는 정도가 다른 빛으로 진행하게 된다. 두 번째 편광기에서는 서로 다르게 굴절된 정상광선과 이상광선을 합쳐준다. 그리고 굴절의 변화에 따른 속도변화가 두 광선의 위상차이를 만들고, 간섭무늬가 나타나 CCD 에 기록된다. CCD 에 기록된 동심원형태의 간섭무늬는 간섭주기에 따른 동심원의 반경을 측정함으로써 측정 대상의 높이를 계산한다.[6,7]

Conoscopic holography 는 빛의 간섭무늬를 만들어 측정하는 방식으로, 투사하는 광선과 반사되어 돌아오는 원뿔형의 광선이 동축(coaxial)이고, 매우 정밀하기 때문에, 에지(edge)를 측정하기에 적합하다. 버 측정에 영향을 미치는 또 다른 요소인 beam spot size 는 버의 두께보다 작아야 하는데, conoscopic holography 의 경우, 대물렌즈에 따라 beam 의 spot size 를 조정할 수 있는 장점이 있어 크기에 따른 정확한 측정이 가능하다. 본 실험에서는 초점거리가 16mm, 25mm 인 렌즈를 사용했고, Optimet 사의 Conoprobe 센서를 이용했다. 실험에 사용된 각 센서의 사양은 Table 1 에 나열하였다.

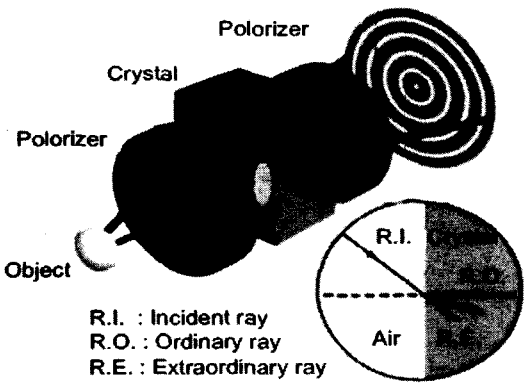

Fig. 1 Schematic Illustration of Conoscopic Module[5]

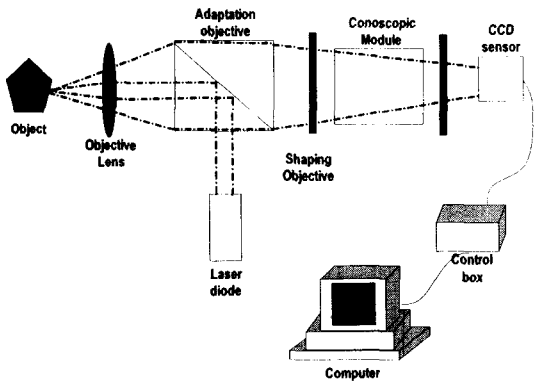

Fig. 2 Measurement System Using Conoscopic Holography

Table 1 Specification of Sensors [5]

Sensor		Spot size	Working range	Absolute accuracy
Standard	25mm	22μm	1.8mm	<3μm
	16mm	11μm	0.6mm	<2μm
High Definition	25mm	6μm	0.65mm	<1m
	16mm	3.5m	0.20mm	<0.5μm

3. Burr Measurement System 개발

버 측정 시스템은 Conoprobe 센서, XY table, 그리고 센서와 모터 구동을 위한 컨트롤러 및 퍼스널 컴퓨터로 구성된다. 버의 2D 및 3D 형상 측정을 위해 step motor 를 이용한 XY table 을 구성하고, X 방향 scanning 으로 측정 대상의 형상 raw data 를 획득하여 2D 및 3D 의 버 형상을 구현 및 해석하기 위한 프로그램을 개발하였다. 프로그램 구조는 Fig.3 과 같다.

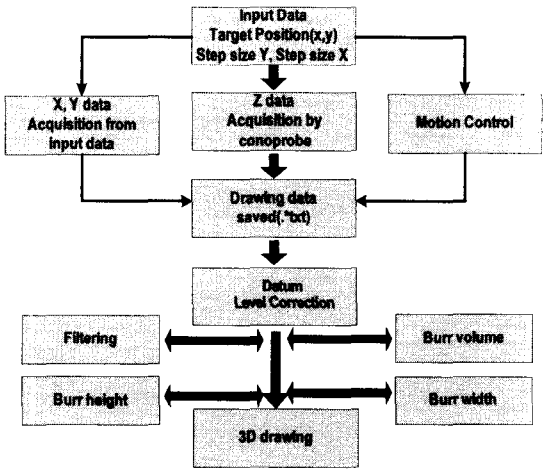

Fig. 3 Structure of Burr measurement Program

3.1 Sensor 구동 System 개발

Fig.4 와 Fig.5 는 개발된 측정 시스템의 하드웨어이다. XY table 의 제어와 Conoprobe 센서 제어 프로그램은 Visual C++로 개발했고 또한 모터의 제어를 위한 Motion Controller 로 NI-7344 board 를 사용했다.

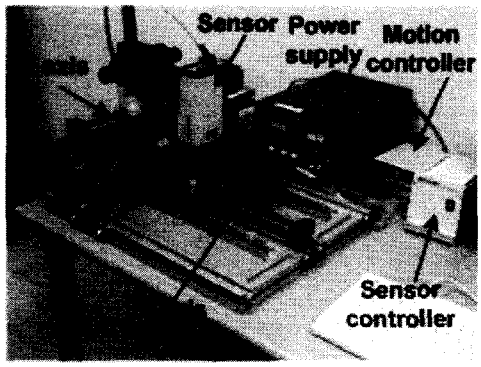

Fig. 4 Over View of Burr Measurement System

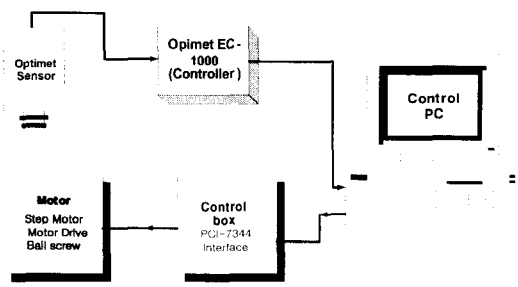

Fig. 5 Layout of Measurement System

Fig. 6 에서와 같이 scanning 은 X 방향으로 이루어지며 다시 제자리로 돌아와 임의로 주어진 Y 방향의 step 만큼 이동 후, 다시 X 방향으로 scanning 을 하게 된다.

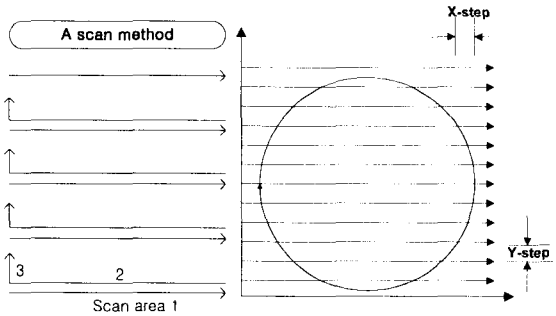

Fig. 6 Schematic Diagram of Scanning Track for Automatic Burr Measurement

Fig.7 은 시스템을 제어할 수 있는 다이얼로그로 이 창을 통해 측정 범위와 속도를 결정할 수 있다. X-step 은 측정거리와 속도에 따라 자동으로 결정되며 Y-step 은 임의로 조절할 수 있다.

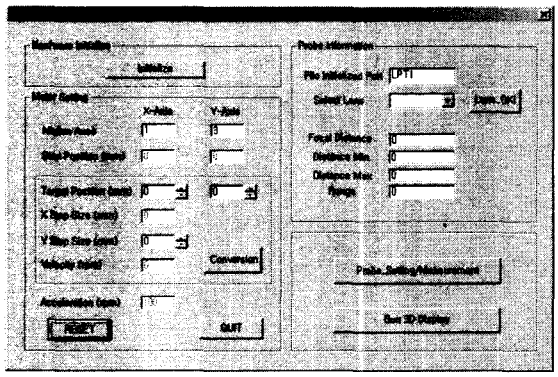

Fig. 7 Main Window of Burr Measurement System

4. 3D 버 형상 측정용 프로그램 개발

버 형상 측정용 프로그램은 Visual C++로 제작하였다. scanning 을 통해 얻어진 높이값을 배열하여 3D 와 2D 형상을 얻고, 형상측정과 분석이 동시에 이뤄질 수 있도록 하였다. 특히 기준면 보정기능을 부여하여 경사면이나 곡면 위에 생성된 버의 측정도 획기적으로 할 수 있게 되었다. 개발된 프로그램은 Fig.8 에서 볼 수 있다.

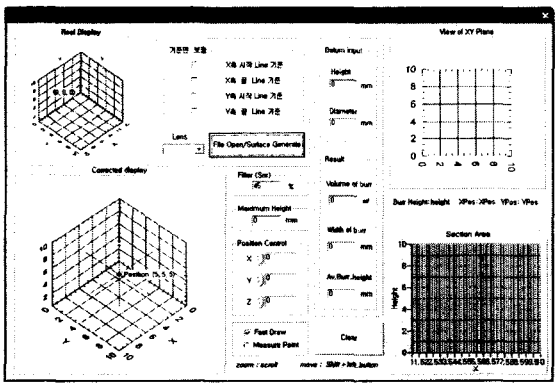

Fig. 8 3D Display Window of Burr Measurement System

4.1 기준면 보정기능

기존의 측정법으로는 경사면의 버나 곡면상의 버는 그 측정이 까다로웠다. 이는 기준면이 수평면이 아닌 이유로 Fig.9 와 같이 버의 하단부와 상단부의 높이를 일일이 빼줘야 하는 번거로움을 수반하기 때문이다. 이러한 문제는 Fig.10 에서 보는 바와 같이 기준면을 평면으로 보정하면 쉽게 해결할 수 있게 된다.

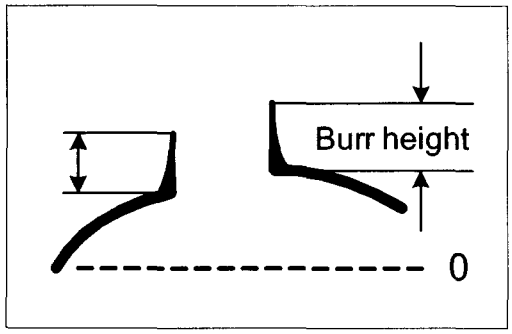

Fig. 9 Schematic Diagram of a Burr on Curved Surface without Correction

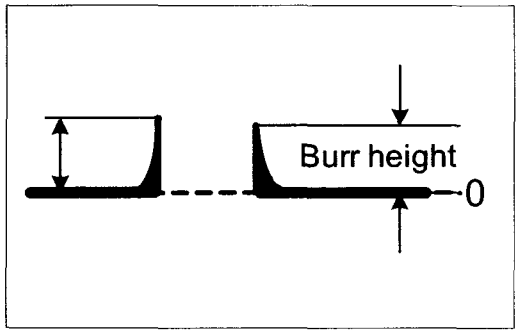

Fig. 10 Schematic Diagram of a Burr on Curved Surface with Correction

보정은 측정된 면의 네 변을 기준으로 이뤄지며 각각의 변은 한 개만 선택될 수도 있고 동시에 여러 변이 선택되어 보정이 수행될 수도 있다. 보통의 경사면과 같이 한쪽 방향으로만 보정이 필요한 경우는 기준으로 한 변 만을 선택하고 구면과 같은 곡면은 두 변을 기준으로 선택함으로써 보정이 이루어 진다. Fig.11 은 원통의 옆면에 생성된

버를 측정하고 보정한 예로써 좌측상단에 있는 작은 viewer 가 실제로 측정된 버의 모습이고 좌측하단에서 볼 수 있는 것이 기준면 보정이 이루어진 버의 모습이다. Fig.12 에서는 구면에 생성된 버를 보정한 예가 나와 있다. 마찬가지로 구면인 기준면이 수평면으로 보정된 것을 확인할 수 있을 것이다.

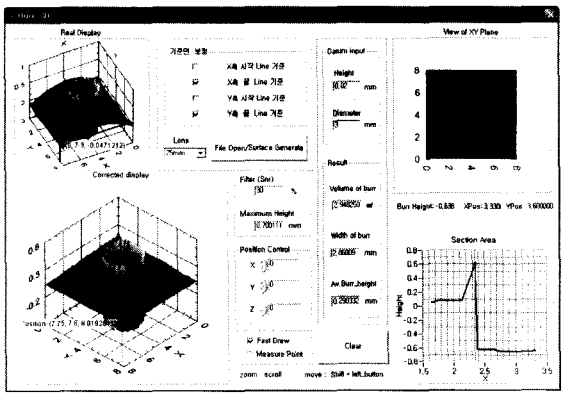

Fig. 11 Correction of a Burr on Cylinder Side Surface

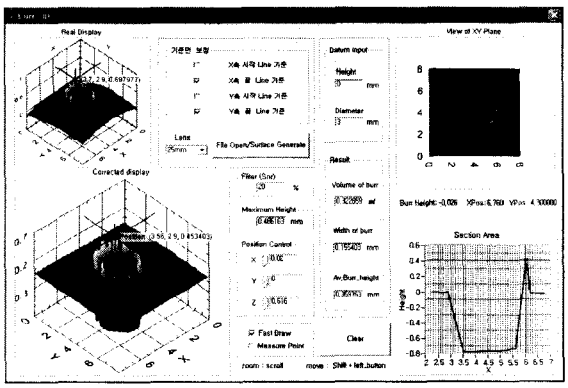

Fig. 12 Correction of a Burr on Spherical Surface

4.2 기타 측정 및 형상 해석기능

측정 및 형상해석을 위한 기능으로 우선 각각의 포인트의 높이 데이터를 비교하여 버의 가장 높은 높이를 구할 수 있도록 하였다. 그 다음으로 좌측하단의 3D 그래프에서는 커서를 이동시켜 원하는 부분의 버 높이를 실시간으로 측정할 수 있다. 또한 일정 기준면 높이와 드릴링 구멍직경의 입력으로 버의 volume 과 두께, 그리고 평균 높이가 자동으로 계산되도록 하였다. 우측의 2D 창을 통해서도 각 좌표의 높이를 측정할 수 있으며 마우스의 이동을 통해 그 아래에 있는 그래프 창에서는 버의 단면 형상이 표현되도록 하였다.

개발된 측정시스템의 장점은 버 형상 측정을 보다 효율적으로 할 수 있다는 것이며, 측정프로그램 안에서 버 측정데이터를 관리함으로써 버 형성 최소화를 위한 가공 조건과 효율적인 버 제거 작업을 위한 데이터베이스 구축에 도움이 된다는 것이다. 이를 위해 향후 측정 데이터를 DB 화하는 작업이 병행될 것이다.

5. 버 측정 실험

개발된 측정시스템으로 미소 버를 측정하고 그 결과를 분석하였다. 또한, 보다 정밀한 측정을 위해 초정밀 테이블인 CMM(Coordinate Measuring Machine)에 Conoprobe 센서를 부착하여 2D 단면 형상을 측정하여 그 결과를 나타내었다.

5.1 미소 드릴링 버 형상 측정

Fig.13 에 있는 실제 드릴링 버를 개발된 측정시스템으로 측정하였다. 시편은 ø 3 과 ø 1 드릴링 작업으로 1mm 이하의 버가 생성되도록 직접 제작하였다.

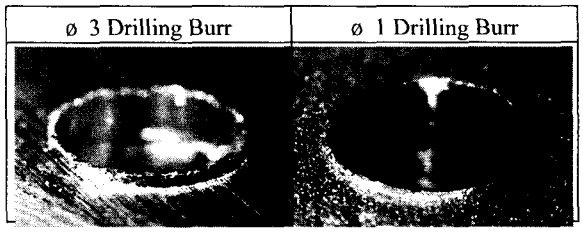

Fig. 13 Burrs in Drilling

먼저 Fig.14 는 ø 3 드릴링 버를 측정한 결과이다. Y 축 방향으로 기준면 보정을 한 번 수행하여 얻은 버의 형상 정보는 그림에서 보는 바와 같이 최고 높이는 0.323mm 이고, 해석을 통해 얻은 버의 volume 및 두께 그리고 평균 높이는 각각 0.382mm^3, 0.229mm, 0.252mm 이다.

다음으로 ø 1 드릴링 버를 측정한 결과가 Fig. 15 에 나와 있다. 측정된 버의 형상 정보는 최고 높이가 0.129mm 이고, 해석을 통해 얻은 버의 volume 및 두께 그리고 평균 높이는 각각 0.008mm^3, 0.057mm, 0.058mm 이다. 3D 그래프상의 버 형상이 실제 버와 차이가 있는 것은 Z 축의 눈금당 크기가 X, Y 축에 비해 매우 작기 때문에 버 높이가 크게 보이는 것으로 실제로 측정해 보면 그 높이는 매우 작음을 알 수 있다.

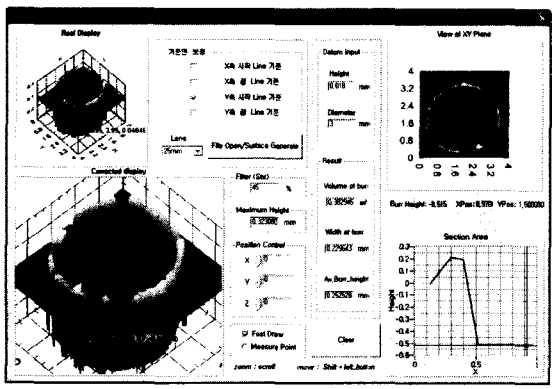

Fig. 14 Measurement of Burr in Drilling ø3 Hole

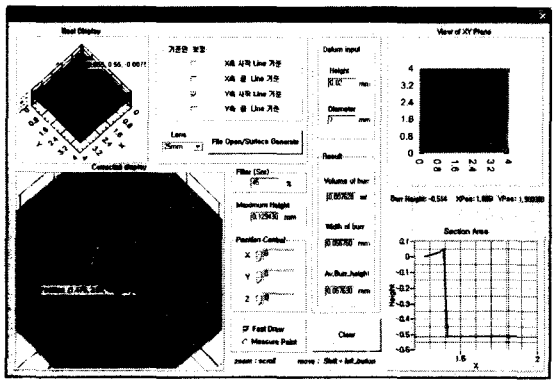

Fig. 15 Measurement of Burr in Drilling ø1 Hole

5.2 High Definition Conoprobe 센서를 이용한 micro 버 형상 측정

20μm 이하의 미소 버도 Conoprobe 센서로는 정확하게 측정되었다. 보다 정밀한 측정을 위해 standard 형이 아닌 High Definition Conoprobe 센서를 사용하였고 측정 시편은 전자총과 ø0.5 드릴링 버로 그 높이가 수 μm 단위의 매우 작은 버이다. Fig.16 에서 그 실제 모습을 볼 수 있을 것이다. 우선 전자총의 경우 개발된 측정시스템으로 측정한 결과가 Fig.17 에 나와 있다. 확대해서 보면 가운데에 버와 비슷한 돌출부가 있다는 것은 알 수 있으나 그것의 높이는 진동으로 인해 생긴 옆면의 돌출부의 높이(20μm 이내)와 비교할 때 신뢰하기는 힘든 결과이다. 이것은 Conoprobe 센서의 측정 능력 문제가 아닌, XY table 의 진동으로 인한 것이므로 만약 저진동의 고성능 XY table 을 사용한다면 20μm 이하의 버도 신뢰성 있는 측정이 가능할 것이다. 이를 증명하기 위해 Fig.18 에서와 같이 초정밀 table 인 CMM 에 Conoprobe 센서를 부착하여 버의 높이를 측정하였고 그 결과를 Fig.19 에 나타내었다. 측정된 버의 높이는 11.3μm 로 확인되었다. 비교를 위해 Fig.20 에서 볼 수 있듯이 전자현미경으로 촬영하였고, 이를 통해 그 결과의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

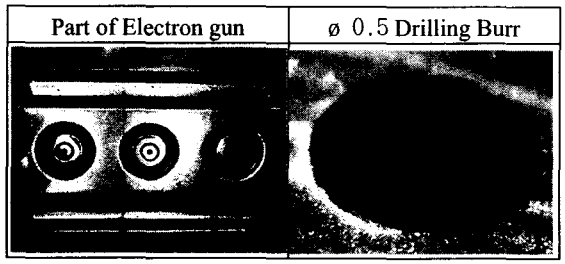

Fig. 16 Examples of Micro Burrs

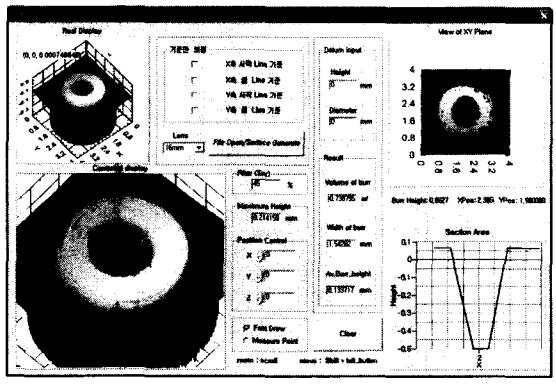

Fig. 17 Burr of Electron Gun Measured by Developed Measurement System

Fig. 18 Burr Measurement System for a Part of Electron Gun Measured by CMM (Coordinate Measuring Machine)

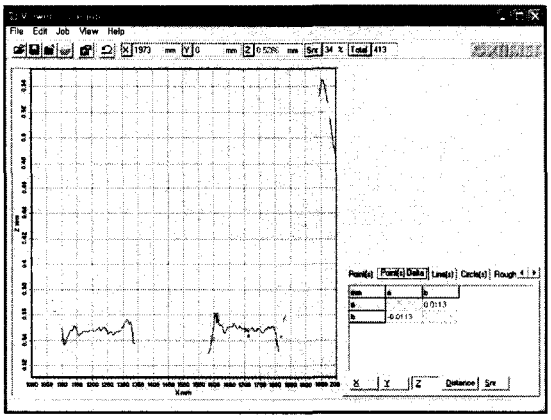

Fig. 19 Result of Burr Measurement in a Part of Electron Gun

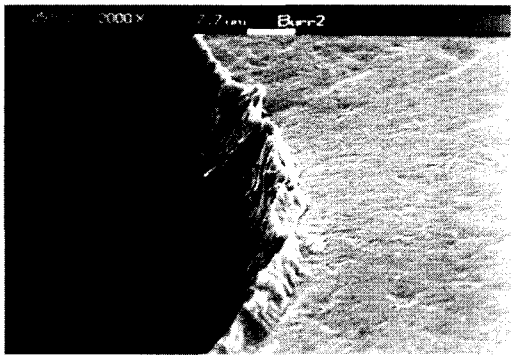

Fig. 20 SEM Picture of Burr in a Part of Electron Gun

다음으로 10μm 이하의 버를 갖는 ø 0.5 드릴링 버를 측정하였다. 개발된 측정시스템으로 측정한 결과 진동으로 인한 문제로 정확한 측정은 이뤄지진 못했다. 따라서 그 결과를 나타내는 것은 의미가 없기 때문에 생략하였다. 대신에 전자총의 경우와 마찬가지로 CMM 에 Conoprobe 센서를 부착하여 버의 한 section 높이만을 측정하였고 그 결과를 Fig.21 에 도시하였고 그 높이는 7.7μm 로 확인되었다. 이 결과는 기존의 다른 측정법으로 측정하기 힘든 마이크로 버도 Conoprobe 센서를 사용하면 쉽게 측정할 수 있음을 알게 해준다. 하지만, 버의 형상은 굴곡이 있기 때문에 이 높이가 버의 완전한 높이라고 말할 수는 없다. 따라서 실제 버의 높이를 정확히 알기 위해서는 버의 여러 곳을 scanning 해야 하는 불편함이 존재한다. 그러나 이러한 문제점은 현재 개발된 시스템의 XY table 정도 향상으로 곧 해결될 수 있을 것이다.

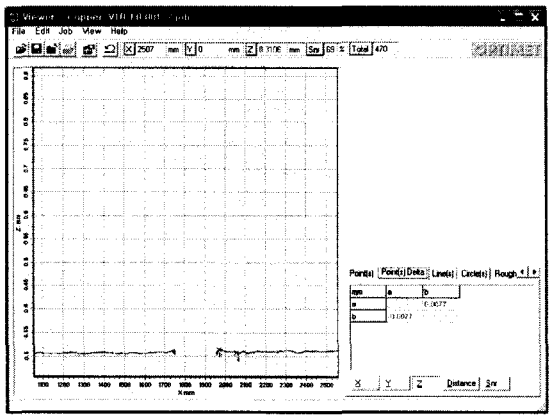

Fig. 21 Result of Burr Measurement in ø0.5 Drilling

6. 결론

Conoscopic holography 방식의 측정은 laser spot size 가 매우 작고, 난반사가 잘 일어나지 않기 때문에 기존의 다른 측정법에 비해 날카로운 에지(edge)부분도 정밀하게 측정할 수 있는 장점이 있다. 따라서 우리는 이러한 특성을 살려 효율적인 버 측정 시스템을 개발하였다. 버의 형상을 3D 로 표현하여 측정을 위한 접근성을 보다 향상 시켰고, 기준면 보정기능으로 경사면이나 곡면 위의 버도

그 측정이 가능하게 되었다. 또한 측정된 좌표값을 해석하여 버의 볼륨은 물론 두께와 평균높이가 계산되도록 하였고 이를 통해 얻어진 데이터는 디버링(deburring)작업과 버의 형상 분류를 통한 효율적 드릴링 가공기술 개발에 도움이 될 것이다. 또한 여기에 적용된 기술은 버 측정뿐만 아니라 다른 가공물 측정에도 적용 가능할 것으로 보인다. 현재 개발된 시스템에서 XY table 고유의 진동에 의한 문제로 마이크로 버의 측정에는 한계가 있으나 고정밀 table 인 CMM 에서의 실험 결과 마이크로 버의 측정도 완벽히 수행될 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서, 현재의 측정 시스템에서 XY table 에 의한 진동문제만 해결된다면 보다 효율적이고 정밀한 측정시스템이 될 수 있을 것이다. 향후 이러한 보완 작업들이 지속적으로 수행될 것이다.

후 기

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

참고문헌

1. Lee, Sang-Heon, Lee, Seoung-hwan, "Optimization of Cutting Parameters for Burr Minimization," Journal of the KSPE, Vol.18, pp.130, 2001.
2. Ko, Sung-Lim, "Development of Burr Measurement System using Laser and It's Application," Proceedings of 6thInt. Conference on Precision Surface Finishing and Deburring Technology, St.Petersburg, Russia, Sep. 5-7, 2000, pp. 101-123.
3. Hecht, E., *Optics*, Addison-wesley.
4. Kim, Won-sub, Ko, Sung-Lim, "Development of Effective Measurement Method for Burr Geometry," Journal of KSPE, Vol .20/6/2003, table appeared.
5. Conoprobe Sensor Catalog.
6. Lonardo, P. M., Lucca, D. A. and Chiffre, L. De, "Emerging Trend in Surface Metrology," Annals of the CIRP, Vol. 51/2/2002, pp. 701-717.
7. Schwenke, H., Neuschaefer-Rube, U., Pfeifer, T.(2), Kunzmann, H.(1), "Optical Methods for Dimensional Metrology in Production Engineering," Annals of the CIRP, Vol. 51/2/2002, pp. 685-696.