

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

Generally, for the burrs formed in machining are irregular and very sharp in shape, it is usually very difficult to measure burr accurately. But, it is proved that precision measurement for micro burr using the conoprobe sensor by conoscopic holography method is possible. We developed 3D burr measurement system using this sensor. The system is composed of Conoscopic laser Sensor, X-Y table, controller and 3D measurement program. Some measurements using the developed system are applied to burrs formed in micro drilling and piercing.

Key Words : Burr Measurement (버 측정), Coherent light(가간섭광), Conoscopic holography (코노스코픽 홀로그래피), Interferometry method (간섭법), Laser spot size(레이저 스폿 크기)

1. 서론

Burr 는 전단 또는 절삭가공 시 소성변형에 의해 생기는 원하지 않는 부분으로 가공물의 정밀도에 큰 영향을 미친다. 이러한 버를 효율적으로 제거하기 위해서는 적절한 제거 방법을 알아야 하고, 이를 알기 위해서는 버의 정확한 측정이 선행되어야 한다. 하지만 버는 매우 작고 날카롭기 때문에 정확한 형상 측정이 어렵다. 따라서 보다 효율적인 측정기술 개발이 필요한 것이다.

형상 측정은 방법에 따라 비접촉식과 접촉식으로 나뉜다. 하지만, 접촉식 측정 방법으로 하이트 게이지를 사용할 경우 얇고 연성인 버의 변형을 가져오기 때문에 이러한 측정법은 미소한 버

측정에는 바람직하지 않다. 따라서 미소 버를 측정하기 위해서는 비접촉식 측정 방법이 주로 사용되는데¹ 이러한 측정 방법에는 레이저를 광원으로 이용한 광삼각법, Conoscopic holography method 와 백색광을 이용한 간섭법(interferometry method) 등 여러 가지 방법들이 있다.² 이 중 버 측정에 있어 가장 효율적인 것은 Conoscopic holography method 로³ 이 방법은 비가간섭성광을 사용하고 또한 렌즈 교환만을 통해 Laser spot size 를 수 μm 까지 줄일 수 있다.⁴ 이러한 특징은 미소버 측정 시 가장 큰 제약 요소인 에지 부분에서의 난반사와 매우 얇은 버 두께로부터 구속 받지 않게 하여 정밀한 측정이 이뤄질 수 있도록 해준다. 따라서 이러한 장점을 가진 Conoscopic 센서를 이용한 버

2003년 5월 12일 접수
* 건국대학교 대학원 기계설계학과
교신저자, 건국대학교 기계설계학과
Email slko@konkuk.ac.kr Tel. (02) 450-3465

측정시스템 개발에 타당성이 있는 것이다. 보다 효율적이고 정밀한 측정을 위해 XY_table 을 제작하고 여기에 센서를 달아 구동할 수 있는 제어프로그램과 버 측정 전용해석프로그램을 Visual C++의 MFC 로 개발하였다..

본 연구에서는 Conoscopic 센서의 특징과 개발된 시스템의 유용성을 설명하고 실제로 측정된 버를 3D 로 표현하여 그 형상을 분석하였다. 또한 마이크로 버의 측정 예로서 보다 효율적인 미소 버 측정방법을 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 측정 시스템의 안정성 문제를 해결할 수 있고, 가간섭 광원이 아닌 광원으로 홀로그램을 만들 수 있게 한다.^{5,6}

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 수직하

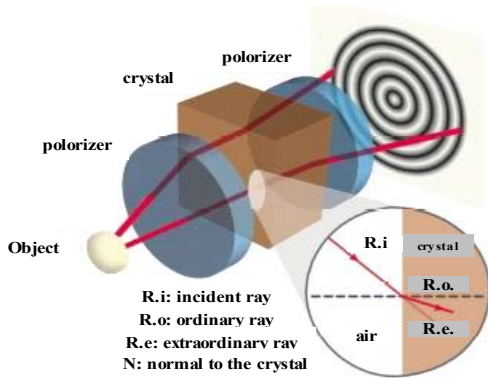


Fig. 1 Schematic Illustration of Conoscopic Module⁶

는 두 개의 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 CCD 에 기록된다. CCD 에 기록된 동심원형태의 간섭무늬는 간섭주기에 따른 동심원의 반경을 측정함으로써 측정 대상의 높이를 계산한다.⁶

Conoscopic holography 에서는 Fig.2 에서 보는 바와 같이 대물렌즈를 측정대상 물체의 크기에 따라서 다양하게 선택할 수 있고, 비가간섭성광을 사용하여 난반사가 잘 일어나지 않으므로 날카로운 에지 부분 측정도 가능하다. 본 실험에서는 초점거리가 16mm, 25mm 인 렌즈를 사용했고, Optimet사의 Conoprobe Sensor 를 사용했다. 실험에 사용된 각 센서의 사양은 Table1 에 나와있다.

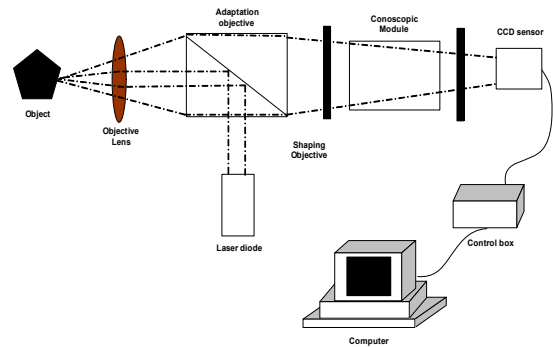


Fig. 2 Measurement System of Conoscopic Holography

Table 1 Specification of Sensors⁴

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

3. Burr Measurement System 개발

버 측정 시스템은 센서와 X-Y table, 센서와 모터 구동을 위한 컨트롤러와 컴퓨터로 이루어져 있다. 버 형상의 2 차원 및 3 차원 측정을 위하여 step motor 를 이용한 XY table 을 구성하고, X-Y 방향으로의 scanning 으로 측정 대상의 형상 raw data 를 획득하고 3D 및 2D 의 버 형상을 구현하고 해석하기 위한 프로그램을 개발하였다. 전체적인 프로그램 구조는 Fig.3 과 같다.

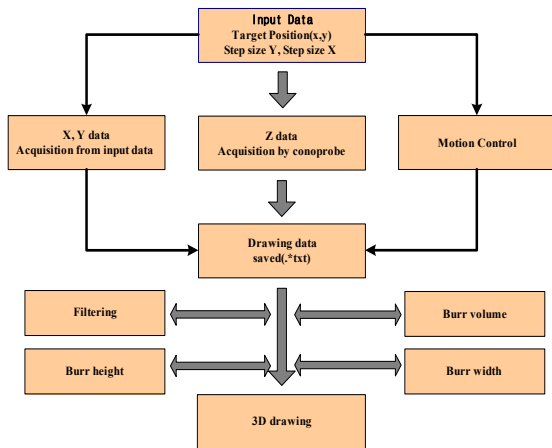


Fig. 3 Structure of Burr measurement Program

3.1 Sensor 구동 System 개발

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

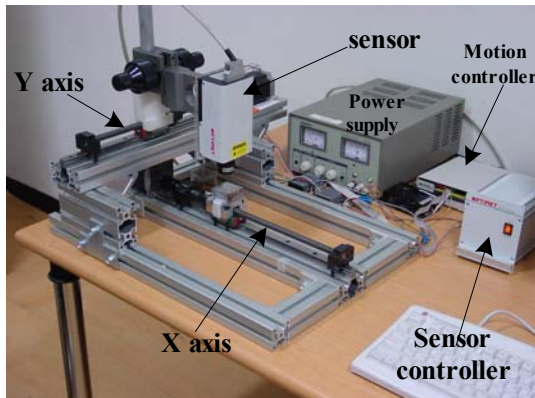


Fig. 4 Over View of Burr Measurement System

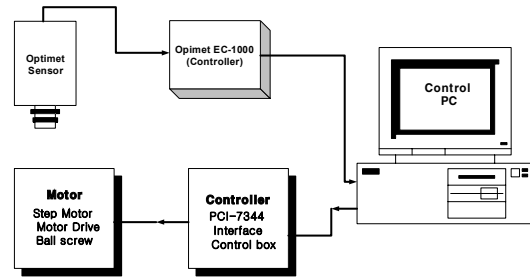


Fig. 5 Layout of Measurement System

Fig. 6 에서와 같이 센싱은 1 초 동안 X 방향으로 800 번 이루어지며 다시 제자리로 돌아와 임의로 주어진 Y 축 방향의 step 만큼 이동 후에 다시 센싱을 하게 된다.

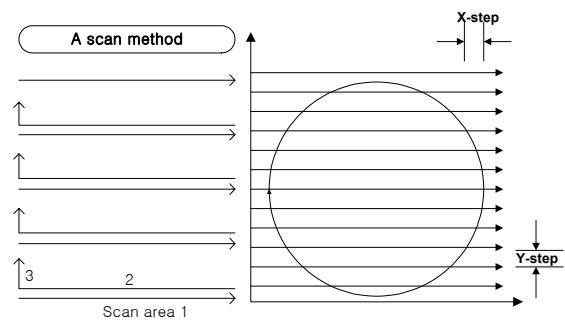


Fig. 6 Schematic Diagram of Scanning Track for Automatic Burr Measurement

Fig.7 은 시스템을 제어할 수 있는 다이얼로그로 이 창을 통해 측정 범위와 각축의 scanning 간격을 결정 할 수 있다. X-step 은 거리에 따라 자동으로 결정되며 Y-step 은 임의로 주어질 수 있다.

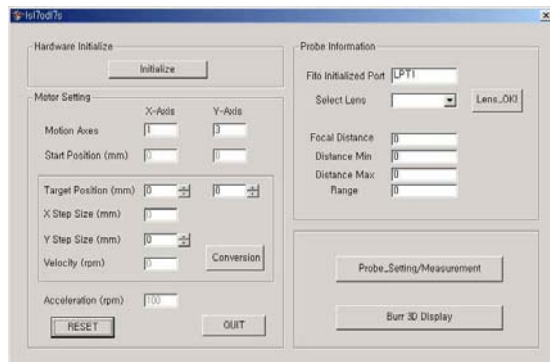


Fig. 7 Main Window of Burr Measurement System

3.2 3D 버 형상 측정용 프로그램 개발

Burr 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. 그 기능을 자세히 설명하기 위해 측정창을 Fig.8 에 나타내었다.

그 기능으로 우선 각각의 포인트의 높이 데이터를 비교하여 가장 큰 버의 높이를 구할 수 있도록 하였다. 그 다음으로 좌측의 3D 그래프에서는 커서를 이동시켜 직접 눈으로 확인하면서 알고 싶은 부분의 버 높이를 측정할 수 있으며, 가운데에 있는 입력창에 X, Y, Z 좌표를 입력하면 정확한 위치의 커서 이동이 가능하다. 또한 그 아래의 입력창으로는 일정 높이값과 드릴링 구멍직경의 입력의 입력으로 그 기준면 이상의 높이값들을 계산하여 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 그래프창에 단면 형상이 표현된다. 이 창에서는 버의 높이와 두께측정이 가능하며 앞에서 계산을 통해 구한 버 두께와 실제 측정된 값과의 비교가 가능하다.

개발된 측정 시스템의 장점은 버 형상 측정을 보다 효율적으로 할 수 있다는 것이며, 측정프로그램 안에서 버 측정 데이터를 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.

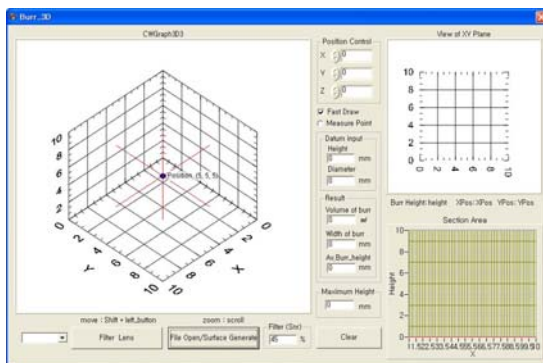


Fig. 8 3D Display Window of Burr Measurement System

4. 버 측정 실험

우리가 개발한 측정 시스템으로 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.

4.1 미소 드릴링 버 형상 측정

Fig.9 에 있는 실제 드릴링 버를 개발된 측정 시스템으로 측정하였다. 시편은 드릴링 작업으로 버가 1mm 이하가 되도록 직접 제작 하였다. 측정 결과의 비교를 위해 다른 측정은 따로 수행하지 않았다.

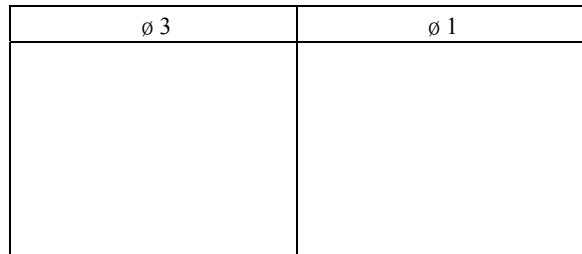


Fig. 9 Burrs in Drilling

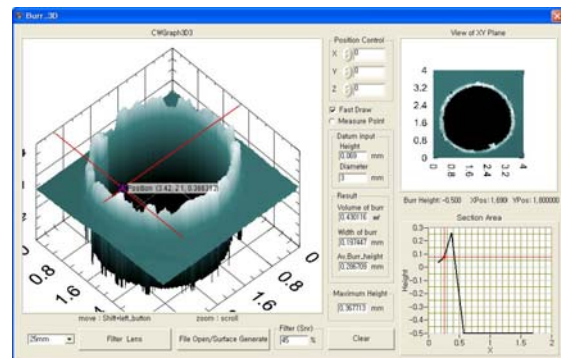
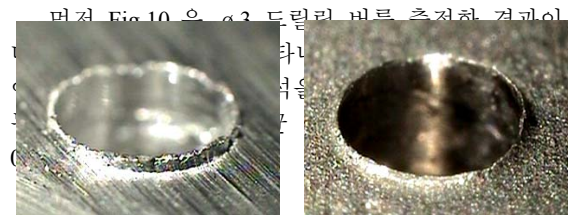


Fig. 10 Measurement of Burr in Drilling ø 3 Hole

다음으로 $\phi 1$ 드릴링 버를 측정한 결과가 Fig. 11 에 나와 있다. 측정결과에서 3D 그래프의 형상이 실제 버와 차이가 있는 것은 Z 축의 한 눈금당 크기가 X, Y 축에 비해서 매우 작기 때문에 높이차가 크게 보이나 실제로 측정해 보면 그 높이차는 매우 작음을 알 수 있다.

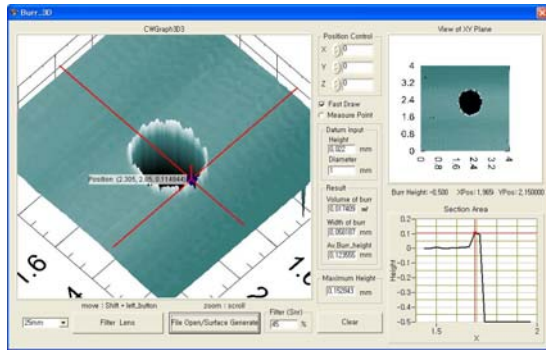


Fig. 11 Measurement of Burr in Drilling $\phi 1$ Hole

4.2 High Definition Conoprobe Sensor 를 이용한 micro 버 형상 측정

20 μm 이하의 미소 버도 Conoprobe Sensor 로는 정확하게 측정되었다. 보다 정밀한 측정을 위해 Standard 형이 아닌 High Definition Conoprobe Sensor 를 사용하였고 측정시편은 전자총과 $\phi 0.5$ 드릴링 버로 그 높이가 수 μm 단위의 매우 작은 버이다. Fig.12 에서 그 실제 모습을 볼 수 있을 것이다.

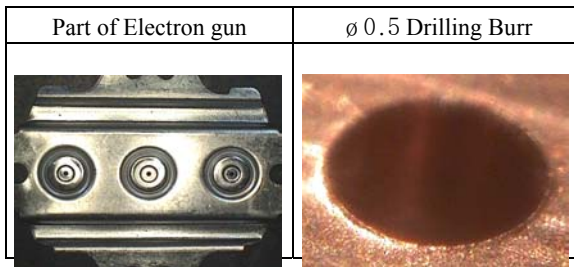


Fig. 12 Examples of Micro Burrs

우선 전자총의 경우 개발된 측정 시스템으로 측정된 결과가 Fig.13 에 나와있다. 확대해서 보면 가운데에 버와 비슷한 돌출부가 있다는 것은 알 수 있으나 그것의 높이는 진동으로 인해 생긴 옆면의 돌출부의 높이(20 μm 이내)와 비교할 때 신뢰

하기는 힘든 결과이다. 이것은 Conoprobe Sensor 의 측정능력의 문제가 아닌 구동되는 XY table 의 진동으로 인한 문제이므로 만약 저 진동의 고성능 XY table 을 사용한다면 마이크로 버의 측정도 가능할 것이다. 이를 증명하기 위해 Fig.14 에서 보듯이 정밀 table 인 CMM 에 Conoprobe Sensor 를 부착하여 버의 높이를 측정하였고 그 결과가 Fig.15 에서와 같이 11.3 μm 로 확인되었다. 비교를 위해 Fig.16 에서 볼 수 있듯이 전자 현미경 촬영을 하였고 이를 통해 결과의 신뢰도를 확인할 수 있을 것이다.

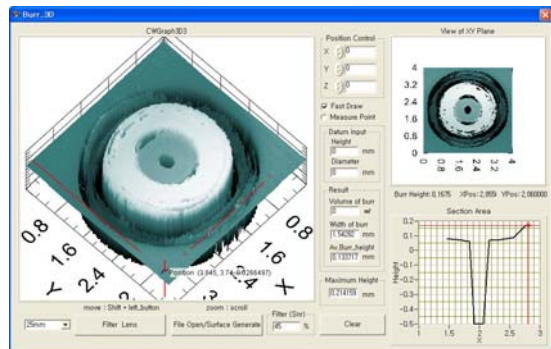


Fig. 13 Burr of Electron Gun Measured by Developed Measurement System



Fig. 14 Burr of Electron Gun Measured by CMM (Coordinate Measuring Machine)

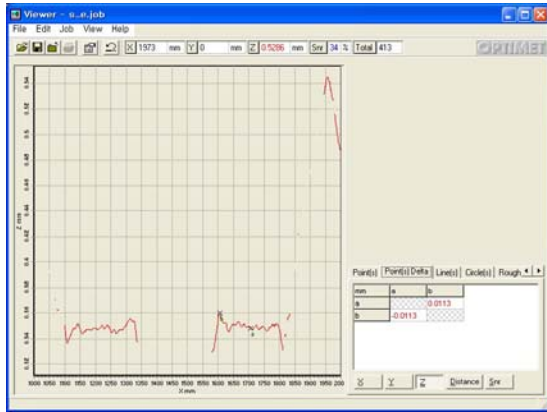


Fig. 15 Result of Electron Gun Measurement

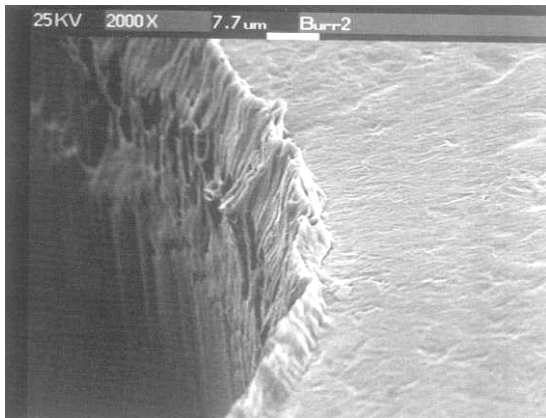


Fig. 16 Electron Microscope Photograph of Electron Gun

다음으로 10 μ m 이하의 버를 갖는 ϕ 0.5 드릴링 버를 측정하였다. 개발된 시스템으로 측정한 결과 진동으로 인한 문제로 정확한 측정이 이뤄지진 않았다. 따라서 그 결과를 나타내는 것은 의미가 없기 때문에 생략하였다. 대신에 전자총의 경우와 마찬가지로 CMM 에 Conoprobe Sensor 를 부착하여 한 line 의 높이만을 측정하였고 그 결과를 Fig.17 에 나타내었는데 높이가 7.7 μ m 로 확인되었다. 이 결과는 기존의 다른 측정법으로 측정하기 힘든 마이크로 버도 Conoprobe Sensor 를 사용하면 쉽게 측정할 수 있음을 알게 해 준다. 하지만, 버의 형상은 굴곡이 있기 때문에 이 높이가 버의 완전한 높이라고 말할 수는 없다. 따라서 실제 버의 높이를 정확히 알기 위해서는 버의 여러 곳을 스캔해야 하는 불편함이 존재한다. 그러나 이러한 문제

점은 현재 개발된 시스템의 XY table 정도 향상으로 곧 해결 될 것이다.

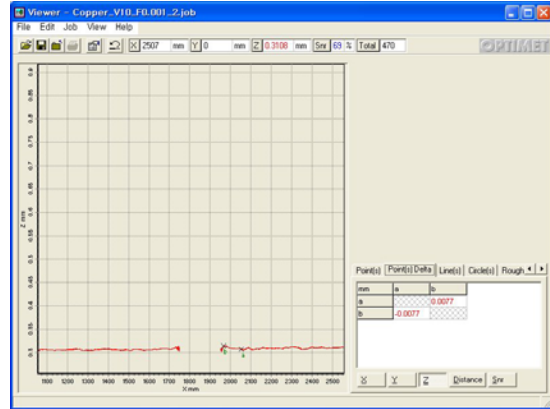


Fig. 17 Result of ϕ 0.5 Drilling Burr

5. 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 효과적인 버 측정 시스템을 개발하였다. 버의 형상을 3D 로 표현하여 측정을 위한 접근성을 보다 향상 시켰고, 측정된 좌표값을 해석하여 버의 볼륨은 물론 두께와 평균높이가 계산되도록 하였다. 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 확인 할 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. Sung-Lim Ko, "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, Sep. 5-7, 2000, pp101-123.
2. Hecht, "Optics," Addison-wesley.
3. Won-sub Kim, Sung-Lim Ko, "Development of Effective Measurement Method for Burr Geometry," Journal of KSPE, Vol .20/6/2003 to be appeared.
4. Conoprobe Sensor Catalog.
5. P. M. Lonardo, D. A. Lucca, and L. De Chiffre, "Emerging Trend n Surface Metrology," Annals of the CIRP Vol. 51/2/2002
6. Sirat, G.Y., "Conoscopic holography," SPIE vol.523 Application of holography, 1985