

다이아몬드 공구를 이용한 Ni 도금층의 정밀미세가공 시 절삭성

김선아*, 박동삼⁺

(논문접수일 2009. 10. 14, 심사완료일 2009. 11. 18)

Machinability in Micro-precision Machining of Ni-Plated Layer by Diamond Tool

Seon Ah Kim*, Dong Sam Park⁺

Abstract

Recently, expansion of micro-technology parts requires micro-precision machining technology. Micro-groove machining is important to fabricate micro-grating lens and many micro-parts such as microscope lens, fluidic graphite channel etc. Conventional groove fabrication methods such as etching and lithography have some problems in efficiency and surface integrity. But, mechanical micromachining methods using single crystal diamond tools can reduce these problems in chemical process. For this reason, microfabrication methods are expected to be very efficient, and widely studied. This study deals with machinability in micro-precision V-grooves machining of nickel plated layer using non-rotational single crystal diamond tool and 3-axis micro stages. Micro V-groove shape, chip formation and tool wear were investigated for the analysis of machinability of Ni plated layer.

Key Words : Micro-precision V-grooves(미세정밀 V 홈), Ni plated layer(니켈 도금층), Diamond tool(다이아몬드 공구), Tool wear(공구마멸)

1. 서론

최근 랩온어칩(lab-on-a-chip), 형상기억합금의 스텐트(stent), 연료전지에 사용되는 유체 흑연 채널(fluidic graphite channel), 소형 액추에이터 및 센서, 의료장치 등의 첨단 기술 부품에 적용되면서 큰 주목을 받고 있는 초정밀 소형 부품은 표면 대 부피비가 매우 크기 때문에 점유 면적이 적고 전력소모

가 낮으며 열전달 특성이 매우 높다는 등의 특성을 지니고 있어 항공우주, 생의학, 전자학, 환경, 통신 및 자동차 등과 같은 다양한 산업분야에서 그 수 크게 증가 하고 있다.

특히, LCD용 도광판 등의 광 응용 제품을 중심으로 다양한 형태의 미세패턴이 식각되는 경우가 많으며 이러한 미세 패턴의 크기 및 정밀도는 제품의 기능향상을 목적으로 더욱 작아지고 적용면적은 보다 대면적으로 변해가는 경향을 보

* 인천대학교 기계공학과 대학원

+ 교신저자, 인천대학교 기계공학과 (dspark@incheon.ac.kr)
주소: 406-840 인천시 연수구 송도동 12-1

이고 있다. 그에 따라 보다 정밀하고 보다 정교한 가공의 수행이 필요하게 되었으며, 그 형상도 기존의 단순한 형태에서 벗어나 비대칭면, 곡면 등을 가지는 복잡한 형태를 보이고 있다.

미세부품을 제작하는 일반적인 방법은 대량 배치생산을 위해 화학공정 및 건식공정으로 실리콘 재료가 식각되는 반도체 처리기법에 기초하고 있다. 그러나, 이러한 제품설계 경향의 변화는 기존의 반도체 공정을 응용하는 에칭 등의 공정을 이용한 정밀 미세형상의 구현을 매우 어렵게 만들었으며, 원하는 형상을 자유롭게 직접 기계가공 할 수 있는 미세 기계가공 기술과 더불어 미세패턴을 빠르고 정확하게 가공할 수 있는 절삭가공 고속화의 필요성을 대두시키기에 이르렀다.

한편, 미세기계가공(micro-mechanical machining)은 크기가 수 마이크로미터에서 수 밀리미터인 특징 형상을 갖는 소형장치와 마이크로-메소 스케일의 부품, 마이크로 기어나 의료용품 등과 같이 크기가 매우 작고 3차원적인 형상을 가진 미세부품을 제작하기 위한 또 다른 방법으로 절삭가공이 큰 관심을 받고 있다.^(1,2)

미세형상, 특히 미세 홈의 가공을 수행해 낼 수 있는 가공기⁽³⁻⁵⁾의 개발과 더불어 선행적으로 미세 홈 가공의 절삭특성 및 가공성 등의 평가가 진행되어져 왔으나⁽⁶⁻⁸⁾ 보다 적극적인 연구가 필요하다. 이러한 절삭가공은 도전 과제 및 제한을 가지고 있는데, 단순한 축적 감소로는 미세 절삭현상을 모델링 할 수 없다. 채터와 공구마멸의 모니터링 전략 등은 거시적 절삭공정과 미세절삭 공정에서 유사한 경향을 보이기도 하나 많은 경우 거시적 지식을 직접적으로 축소하여 미세영역에 적용하는 것은 성공적이지 못하다.^(9,10) 따라서, 미세가공은 마이크로 스케일에서 정밀도와 생산성을 유지하기 위해 칩(chip)형성과정, 공구마멸, 절삭저항, 취급, 조립, 재료 특성 등에 관한 광범위한 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 현재 LCD도광판의 무인쇄 사출용 금형의 소재로 사용되고 있는 무전해 니켈 도금층에 일정한 V홈 패턴의 형상을 미세절삭방식으로 가공하기 위하여, 독자적으로 설계 제작한 셰이핑(shaping)방식의 스테이지와 단결정 다이아몬드 공구를 이용하여 절삭가공 시 절삭성을 평가하기 위하여 절삭거리에 따른 V홈 패턴의 정밀도 변화와 절삭칩의 형상변화 및 다이아몬드 공구의 마멸 특성 규명하고자 하였다.

2. 실험방법 및 조건

2.1 실험장치의 구성

본 실험에 사용된 미세가공기와 실험장치의 구성도를

Fig. 1에 나타내었다.

본 시스템은 자체적으로 설계, 제작되었으며 밀링기계와 비슷한 구성을 하고 있다. Z축은 상, 하 이송으로 절삭깊이를 결정하고 X, Y축 위에 장착되어 있는 베드 위에 고정되어 이송되면서 절삭이 이루어지는 방식으로 가공이 이루어지게 된다. X, Y, Z축은 미국의 N사의 Ball Screw방식으로 작동되며 각 축은 DC Motor를 사용하여 엔코더 신호를 피드백 하여 위치를 제어하는 방식이다.

절삭시간 경과에 따른 공구마멸 진행 특성을 분석하기 위하여 보조적으로 공구동력계와 AE 센서를 이용하여 절삭력과 AE신호를 측정하였다. Fig. 2는 실험시편과 공구동력계 및 AE센서의 셋업을 나타낸 것이다.

2.2 절삭공구 및 시편

천연 다이아몬드 공구는 벽개성이라는 단점과 결정면에 따라 강도의 차이가 현저하여 마멸의 정도가 다르기 때문에 공구제작 시에는 세심한 주의를 필요로 한다. Fig. 3은 본 실험에서 사용되는 단결정 다이아몬드 공구의 사진으로 경

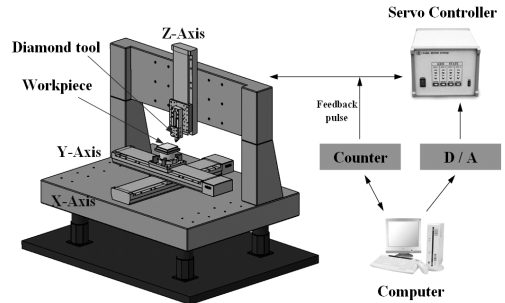


Fig. 1 Schematic diagram of experimental set-up

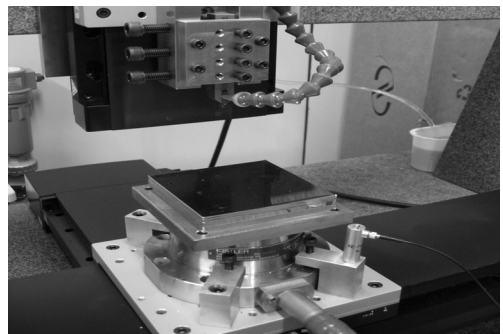


Fig. 2 Photograph of experimental set up

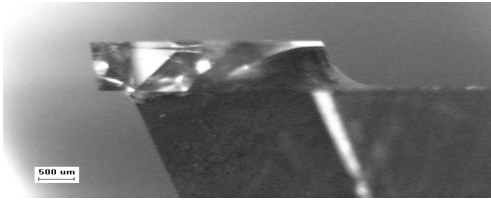


Fig. 3 Photographs of V-Diamond tool

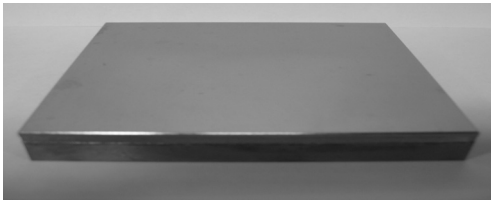


Fig. 4 Photograph of nickel plated Workpiece

사각 0°, 여유각은 5°이며 국내 다이아몬드 공구 제작사에 의뢰하여 제작하였다.

가공 시편은 Fig. 4와 같이 SM45C로 성형한 후 무전해 니켈도금으로 약 200 μ m의 도금층을 형성시켰다. 시편에 미세 V홈을 가공하므로 도금이 완성된 시편에 대하여 표면거칠기를 측정하였으며, 측정은 WYCO NT-1000을 사용하였으며, 시편의 초기 표면거칠기 Ra값은 0.150 μ m으로 나타나 비교적 양호한 도금표면을 얻었음을 알 수 있었다.

2.3 실험방법

시편을 Micro-stages의 베드상에 설치된 공구동력계에 고정시킨 후 뒷면에 대한 예비가공을 위하여 평면가공용 다이아몬드 공구로 피치 3 μ m, X축의 이송속도 125m/min으로 세이핑 방식의 경면가공을 실시하였다.

그 후 V홈 가공용 다이아몬드 공구를 사용하여 가공깊이 4 μ m, V홈 피치 7 μ m, X축 이송속도, 즉 절삭속도 125m/min로 하여 V홈을 연속적으로 증첩하여 가공하였으며 최종 가공단면이 “W”의 형상이 되도록 하였다.

공구마멸의 측정은 WYCO NT-1000을 이용하여 최초 가공거리 1.43km 간격으로 4회 측정하였다. V홈 패턴과 절삭 칩의 형태는 최초 가공거리 1.43km에서 측정된 후 최종적으로 5.72km까지 1.43km 간격으로 4회 측정하였다.

V홈 패턴의 전체적인 2차원적 형상분석을 위하여 공구현미경(KH100 High scope)을 사용하였으며, 절삭칩 형태의 경우 전체적인 형상은 공구현미경으로, 미세형상은 SEM을

Table 1 Cutting conditions

Workpiece	Electroless nickelplating
Diamond tool	V-cut(90°) type
Cutting oil	Dry Cutting
Depth of cut	4 μ m
Pitch of V-groove	7 μ m
Cutting speed	125m/min

이용하여 관찰하였다. V홈의 폭과 깊이, 3차원 형상분석 및 가공면의 표면을 측정하기 위하여 WYCO-NT-1000을 사용하였다.

가공시편의 형상 측정시 측정 정밀도 및 정확성을 높이기 위하여 항온항습실(온도 20 \pm 0.1°, 습도 36%)에서 각 5회 이상 측정하였으며 가공영역에 속하는 100mm \times 100mm의 시편의 전면을 측정하였다.

Table 1은 본 실험의 절삭조건을 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 절삭거리에 따른 V홈 패턴의 형상

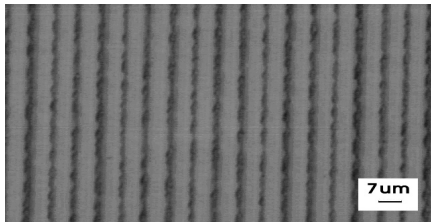
V홈을 가공하면서 가공거리 1.43km마다 즉, 1개의 시편에 대한 가공이 끝날 때마다 공구현미경을 사용하여 관측한 V홈 패턴의 형상을 Fig. 5에 나타내었다.

가공된 V홈을 보면 전체적으로 예리한 모서리를 갖지는 않는데 이는 연속적으로 V홈이 가공되면서 다이아몬드 공구가 V홈의 측면에 작용하는 절삭력에 기인하여 V홈에 미소한 변형이 발생함과 아울러 V홈 사이의 모서리 부에 버(burr)가 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

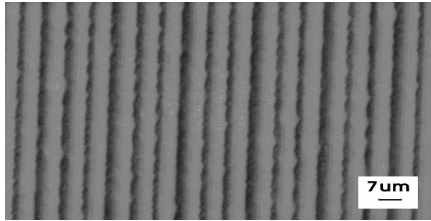
한편, Fig. 5에서 도금층의 표면은 가공거리 증가 할수록 절삭면의 변화보다는 가공피치 사이의 피치 산의 끝부분이 깨어지는 현상이 발생하였고 이는 가공거리가 증가할수록 파손의 부위가 확산됨을 확인할 수 있었다.

3.2 절삭거리에 따른 칩의 형상

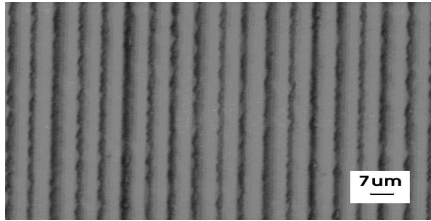
4 μ m의 일정 절삭깊이로 V 홈을 가공시 나타나는 칩의 형상을 공구현미경(왼쪽)과 SEM(오른쪽)으로 관찰한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 전반적으로 볼 때 발생하는 칩의 단면 형상은 전형적인 삼각형이며 연속형 칩이 발생됨을 알 수 있었다. 또한, 칩의 전면은 평면을 유지하고 있으나 뒷면에는 모든 경우 주름이 일정하게 잡힌 형태로 나타났다.



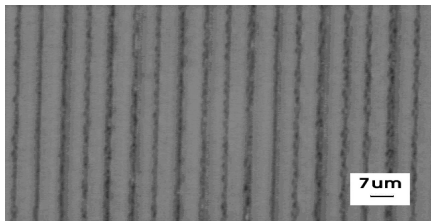
(a) Cutting length 1.43km



(b) Cutting length 2.86km



(c) Cutting length 4.29km



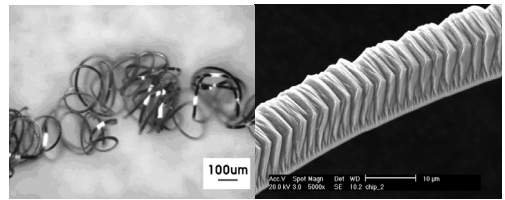
(d) Cutting length 5.72km

Fig. 5 V groove patterns vs cutting length(x250)

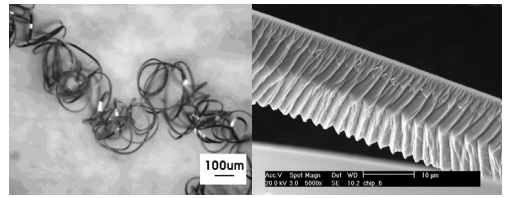
또한, 가공거리 증가에 따라 나타나는 칩의 형상을 비교하면 전반적으로 큰 차이가 나타나지는 않고 있는데 이는 절삭 깊이와 절삭속도가 일정하기 때문이다. 그러나, 공구의 마모 발생으로 인해 칩의 생성의 영향의 경향을 본 결과 공구의 여유면의 크레이터마모의 성장으로 인하여 칩은 연속형 칩의 곡률반경이 점층적으로 작아지는 형상이 발생됨을 알 수 있었다.

3.3 절삭거리에 따른 공구마멸 현상

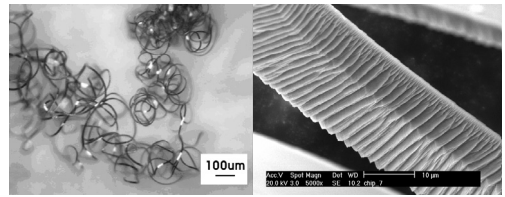
미세가공의 성질상 공구 마멸 실험 시작전의 공구상태에 대한 분석도 매우 중요하며 WYCO NT-1000을 이용하여



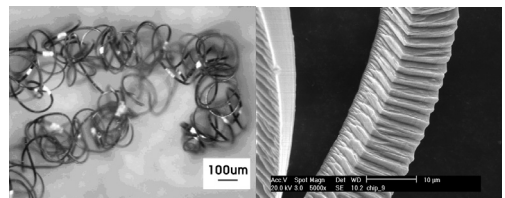
(a) Cutting length 1.43km



(b) Cutting length 2.86km



(c) Cutting length 4.29km



(d) Cutting length 5.72km

Fig. 6 Chip formation vs cutting length (left: toolmaker's microscope(x250), right : SEM)

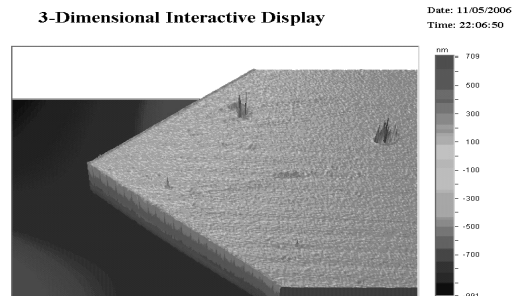


Fig. 7 Original state of V type diamond tool

공구상태를 촬영한 결과 Fig. 7과 같이 나타났다.

이 그림으로부터 실험 전의 다이아몬드 공구팁의 경사면

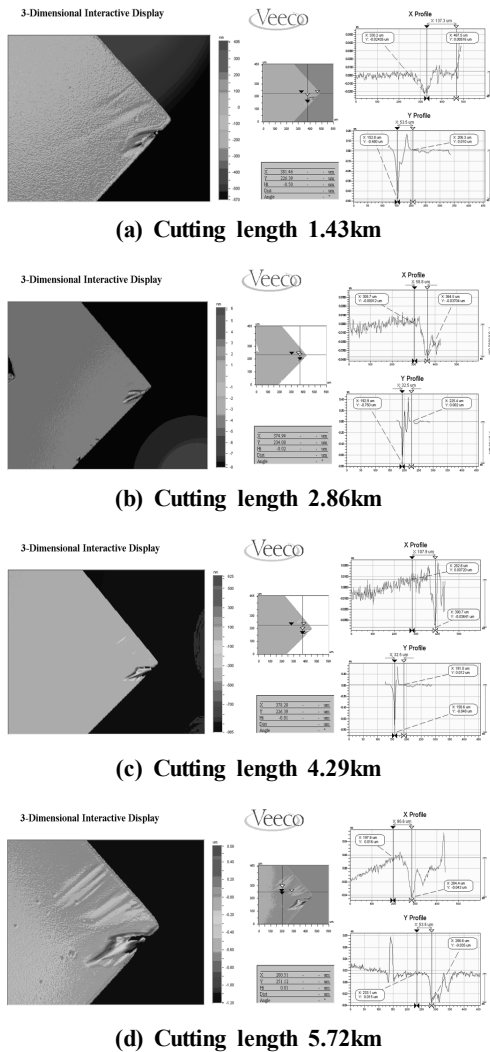


Fig. 8 3D shape and 2D profile of diamond tool

은 미세한 먼지 이외는 공구연마 과정에서 발생될 수 있는 칩핑(chipping)이나 미세 크랙이 전혀 없는 양호한 상태의 공구입을 확인할 수 있었다.

V홈을 연속적으로 1.43km의 거리까지 가공했을 때 공구의 형상 사진을 Fig. 8(a)에 나타내었다.

이 그림에서 알 수 있듯이 공구 팁의 하단 절삭날 부근에 크랙이 발생하였으며, 상단부 경사면에서는 크레이터 마멸의 흔적이 나타나고 있다. 크랙의 발생위치를 분석한 결과 연속적인 V홈 가공시 “W”자 형상의 피치의 “산” 부근으로 나타났다. 이후 1.43km마다의 측정 결과를 Fig. 8(b)~(d)에

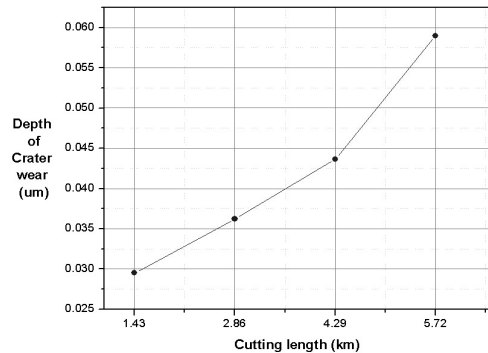


Fig. 9 The relationship between crater wear depth and cutting length

나타내었는데 크레이터 마멸의 폭과 깊이 및 발생위치가 점점 커지고 있는 것을 알 수 있다. 한편, 공구현미경으로 공구 여유면을 관측한 결과 여유면에서의 플랭크 마멸은 발생하지 않았는데 미세 V홈을 가공시 마멸은 주로 경사면에서 발생한 다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 9는 절삭거리와 크레이터 마멸의 깊이와의 관계를 종합적으로 나타낸 것으로 초기에는 마멸의 깊이가 절삭거리와 거의 비례관계에 있으나 가공길이가 길어질수록 크레이터 마멸의 증가율이 더 커지는 것으로 나타나고 있다.

4. 결론

본 연구는 독자적으로 설계, 제작된 셰이퍼 타입의 미세가공기를 사용하여 도광판 금형 코어나 광학부품의 사출 성형용 금형 소재로 널리 사용되고 있는 무전해 니켈 도금층에 대한 미세 V홈 패턴의 절삭시 가공단면과 절삭칩의 형태 및 단결정 다이아몬드 공구의 마멸특성을 조사한 결과다음과 같은 결론을 얻었다.

미세 V홈 패턴의 절삭시 가공된 V홈을 보면 전체적으로 절삭력과 버 때문에 예리한 모서리를 갖는 정확한 패턴의 가공은 어렵다는 것을 알 수 있었다.

가공 실험 중 배출된 칩의 형상은 연속형칩의 성격을 띠고 있으며 스프링과 같은 헬릭스 형상으로 연속적으로 배출되었으나 크레이터마모로 인하여 칩의 곡률 반경이 점점 줄어드는 현상으로 공구마모의 진행을 확인할 수 있었다.

한편, 다이아몬드 공구를 사용한 미세 V-절삭을 통하여 가공거리에 따라서 마모의 발생은 절삭된 칩과 공구의 경사면의 마찰로 인한 크레이터 마모가 발생되었고 절삭거리가

증가함에 따라서 크레이터 마모의 깊이가 증가하는 경향을 관찰 할 수 있었다. 여유면의 플랭크 마모는 거의 발생되지 않았다. 또한, 경사면에 나타나는 크랙의 발생 위치를 분석한 결과 연속적인 V홈 가공시 “W”자의 단면형상 피치의 “산” 부근으로 나타났다.

후 기

본 연구는 2007년도 인천대학교 자체연구 지원사업 연구비 지원에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) Park, D. S., Kang, D. K., Kim, J. K., Soung, E. J. and Han, J. Y., 2006, “Machining and Crack Characteristics of the Glass Cap for OELD by Powder Blasting,” *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 15, pp. 51~58.
- (2) Davies, M. A., Evans, C. J., Patterson, S. R., Vohra, R. and Bergner, B. C., 2003, “Application of precision diamond machining to the manufacture of micro-photonics components,” *Proc. of SPIE*, Vol. 5183, Lithographic and Micromachining Techniques for Optical Component, Fabrication II.
- (3) Jang, S. M., Cho, M. W., Cho, W. S. and Park, D. S., 2003, “Analysis of Cutting Parameters for Si₃N₄-hBN Machinable Ceramics Using Tungsten Carbide Tool,” *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 12, No. 6, pp. 36~43.
- (4) Jin, q. q., Soung, E. J., Han, J. Y., Park, D. S. and Yoo, W. S., 2006, “A Study on the Predictive Modeling of Material Removal and Surface Roughness in Powder Blasting of Glass by Design of Experiments,” *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 15, No. 2, pp. 66~72.
- (5) Kim, S. C. and Lee, J. W., 1997, “Machining of WC-Co alloys with diamond tool,” *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 6, pp. 102~111.
- (6) Park, D. S. and Yun, D. J., 2007, “An Experimental Study on the Fabrication of Glass-based Acceleration Sensor Body Using Micropowder Blasting Method,” *Sensors*, Vol. 7, No. 5, pp. 697~707.
- (7) Jang, H. S., Cho, M. W., and Park, D. S., 2008, “Micro Dot Patterning on the Light Guide Panel Using Powder Blasting,” *Sensors*, Vol. 8, No. 2, pp. 877~885.
- (8) Jang, H. S., Cho, M. W., and Park, D. S., 2008, “Micro Fluidic Channel Machining on Fused Silica Glass Using Powder Blasting,” *Sensors*, Vol. 8, No. 2, pp. 700~710.
- (9) Yan, J., Katsuo, S., and Jun'ichi, T., 2003, “Some observations on the wear of diamond tools in ultra-precision cutting of single-crystal silicon,” *Wear*, Vol. 255, pp. 1380~1387.
- (10) Choi, I. H. and Kim, J. D., 1999, “Development of monitoring system on the diamond tool wear,” *International Journal of Machine tools & Manufacture*, Vol. 39, pp. 505~515.