

32" 대면적 V-형상 미세 패턴을 위한 초정밀 가공기술 개발

Development of Ultra-Precision Machining Technology for V-Shape Micropatterns with 32" Large Surface Area

이성근¹, 김현철^{2,✉}
Sung Gun Lee¹ and Hyun Chul Kim^{2,✉}

¹ 삼성전자 (Samsung Electronics)

² 고안전 차량 핵심기술 연구소, 인제대학교 기계자동차공학부 (School of Mechanical & Automotive Engineering, Inje Univ.)

✉ Corresponding author: mechkhc@inje.ac.kr, Tel: 055-320-3988

Manuscript received: 2010.6.10 / Revised: 2010.9.29 / Accepted: 2010.12.13

High-accuracy micropatterns such as V-shaped microgrooves are increasingly in demand for various engineering areas. And the technical trend goes for large surface areas in precision machining technology. So micropatterns with large surface areas are expected to play an increasingly important role in today's manufacturing technology. In this study, we focused on developing machining technologies. First, a machine vision system for precise tool setting is developed. Second, an on-machine measurement (OMM) system for large-area measurement is implemented. And also software for tool path generation and simulation is developed. With these technologies we fabricated large-surface micropatterns in an electroless nickel-plated workpiece with single-crystal diamond tools and a 32-in, 675mm×450mm mold with tens of V-and pyramid-shaped micropatterns.

Key Words: Ultra Precision Machining (초정밀 가공), Micropattern (미세 패턴), Machining Process (가공 공정), Large Surface Area (대면적)

1. 서론

최근 매년 급격히 성장하고 있는 디스플레이, 광학기기, 통신부품, 태양광발전, 연료전지 분야에 Fig. 1 과 같은 미세 패턴이 조밀하게 분포된 부품들이 다양한 형태로 사용되면서 그에 따른 마이크로 또는 나노 크기의 형상 제조 공정의 필요성이 크게 부각되고 있다. 현재, 이러한 미세 형상 부품들은 주로 마이크로 성형공정에 의해서 제조되고 있으며, 이러한 미세구조를 갖는 부품들은 주로 미세 방전가공^{1,2} 이나 LIGA 같은 마이크로 전자 에칭 가공공정³⁻⁵ 에 의해 2 와 1/2 차원의 형태로 제조되게 된다. 이 가공방법은 동일 부품의 형상

자체를 대량 가공하는 경우에는 큰 장점을 갖고 있으나, 공정상 에칭등의 부대 공정을 고려하면 제조공정 전체의 측면에서는 비경제적인 면이 많다. 또한 비교적 작은 수량의 다양한 부품을 가공하는 경우에는 고가의 마스크를 각각 사전에 제작해야 하는 어려움이 있으며, 또한 가공 가능한 가공물 크기 및 표면조도 면에서 제약이 있다.^{6,7}

이러한 제약을 극복하기 위한 방법으로서 미소 공구를 이용한 미세 형상 가공기술로 초정밀 미세 형상 금형을 가공하고 이 금형으로 사출 혹은 압축 성형하여 미소부품이나 광학용 기능성 표면을 제조하는 기술⁸ 이 매우 경제적이면서 다용도로 활용될 수 있는 기술로서 관심의 대상이 되고 있

다. 미세 형상에 제조를 위한 기계가공 방법은 상대적으로 다양한 형상을 여러 가지 재료에 대해서 유연하게 제조할 수 있다는 장점을 가지고 있을 뿐 아니라 수 내지 수십 나노의 높은 표면조도를 확보 할 수 있어 광학부품이나 디스플레이 제품에 들어가는 미세 패턴의 제작에 최적이라 할 수 있다. 기계가공을 이용한 미세 패턴 가공에 주로 사용되어지는 단결정 다이아몬드 공구를 이용하여 절삭 가공한 미세 패턴들이 적용된 제품들은 도광판/광학필름 등 디스플레이 광학부품, 3 차원 프로젝터 렌즈와 같은 초정밀 비구면 광학부품, 디지털기/스크린렌즈 등의 의료/정밀기기용 초정밀 금형 및 부품, 연료전지분리판/에너지 셀 등의 에너지 산업 초정밀부품 등 Fig. 1 과 같은 제품들을 포함하여 첨단기술의 많은 제품들에 활용되고 있다. 이를 위해서는 원하는 정밀도와 표면조도를 갖는 미세한 형상에 대한 금형을 가공할 수 있는 초정밀 미세 패턴 가공기술이 필수적이다. 또한 초정밀 가공이 필요한 제품들의 기술개발방향이 대면적화 되면서 넓은 면적에 균일한 미세 패턴을 가공할 수 있는 기술의 개발이 절실히 요구되고 있다. 그러나, 지금까지 발표된 연구결과⁹⁻¹¹ 들은 수 인치의 면적에 미세 패턴을 가공하는데 주요한 두었으며 10 인치 이상의 넓은 면적에 균일한 미세 패턴을 가공한 사례는 거의 드물 뿐 아니라, 30 인치 이상의 BLU 부품 금형의 가공기술은 거의 발표된 바가 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 단결정 다이아몬드 공구를 사용하여 STAVAX 표면에 무전해 니켈 도금을 한 금형재료를 사용하여 32 인치, 675mm×450mm, 면적에 균일한 V-groove 형상을 가공할 수 있는 기술을 개발하였고, 이를 적용하여 대면적 미세 패턴 금형을 제작하였다.

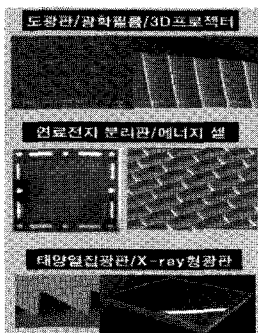


Fig. 1 Micropatterns in various products

2. 대면적 미세 패턴 가공 기술

대면적 미세 형상가공은 일반적인 미세형상 가공에 비해 가공시간이 매우 길며 공구 마모 및 동작기계의 열 변형 등 다양한 원인으로 전 면적에 균일한 가공정밀도를 확보하기가 쉽지 않다. 가공 중 발생하는 열에 의한 Z 축의 열 변위는 중요한 에러 요인으로 오래 가공 시간으로 인해 절삭 깊이의 차이를 발생시킨다. 또한 일반적인 미세 패턴에서 크게 부각되지 않았던 작은 정밀도 차이가 넓은 면적에서는 중요한 인자로 작용하므로 체계적인 가공 프로세스와 각 프로세스에서 정밀도 확보를 위한 기술 개발이 선행되어야 한다. Fig. 2 는 본 논문에서 제안하는 가공 절차와 필요한 기술들을 보여주고 있으며, 대면적 가공 기술의 확보를 위해서 반드시 필요한 기반 기술이라고 하겠다.

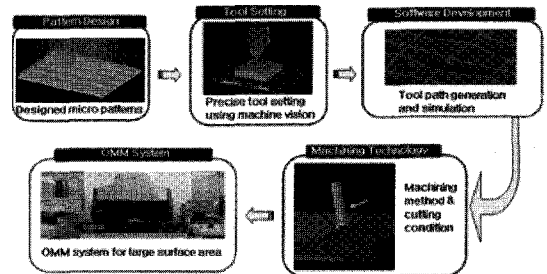


Fig. 2 Precision machining process

2.1 공구 셋팅 시스템

미크론 이하의 정밀도를 요하는 현재의 미세 패턴 가공에서 셋팅 정밀도는 대부분 동작기계 자체의 정밀도에 의지하여 셋팅 에러의 여부를 많이 고려하지 않거나 생각하는 경우가 많다. 또한, 공구 셋팅 과정이 대부분 수작업으로 이루어지거나 작업자의 눈과 귀를 통한 작업이 이루어지므로 번거롭고 그 정밀도에 있어서도 정량화 되지 않은 작업자의 감각에 의지하고 있다. 또한 고 배율의 현미경을 이용하여 영상을 확대하여 보기 때문에 심도가 매우 낮아 정확한 초점 확보를 기대하기 힘들고, 확대 영상에서 거리 등 기하학적인 정보를 획득하기 위한 노력이 부족하며 작업자마다 정밀도 차이가 생기는 문제점을 안고 있다. 따라서 일관성 있는 제품의 품질을 기대하기가 힘들고, 미소한 셋팅 오차가 대면적화 되면서 큰 오차로

발생하므로 이를 해결할 수 있는 근본적인 해결책이 필요하다. 이를 위해서 본 연구에서는 머신비전을 이용하여 셋팅 에러를 최소화 할 수 있는 광학적 공구 측정 시스템(Optical Tool Measuring System)을 구현하였다. 전체적인 시스템의 구성은 Fig. 3 과 같으며, 이를 위해서 본 연구에서는 영상 획득, 초점 확보, 이진화, 윤곽선 획득 후 거리 및 각도 측정을 할 수 있는 알고리즘을 개발하고 광학적 공구 측정 시스템(Optical Tool Measuring System)을 구축하여 셋팅 오차를 최소화 하였다.

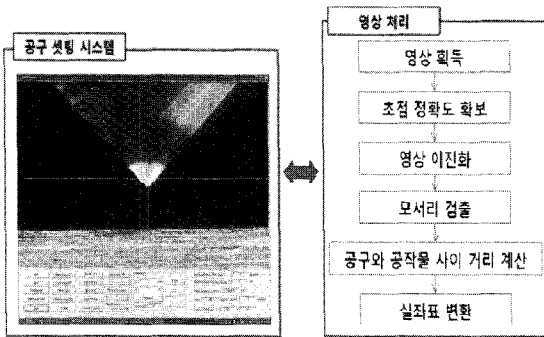


Fig. 3 Optical tool measuring system

2.1.1 영상 획득 및 초점 정확도 확보

본 공구 셋팅 시스템에서는 Keyence 의 x1500 광학배율을 갖는 현미경을 사용하였고, 이미지 획득을 위해서 Matrox 사의 프레임그래버(frame grabber)를 사용하였다. 정밀한 공구의 셋팅을 위해서는 이와 같이 고배율의 현미경을 사용하여 영상을 획득해야 하며, 이렇게 얻어진 영상들은 현미경의 낮은 심도로 인해서 초점을 정확하게 맞추기가 어렵다. 부정확한 초점값은 영상에서 얻어진 기하학적인 데이터들에 에러 요인으로 작용하게 되는 문제가 있고, 사람마다 다른 초점 위치는 정밀도의 일관성을 기대하기가 어렵게 된다. 이를 해결하고자 영상의 상태를 평가하여 화면에 수치화된 데이터를 보여줌으로써 작업자가 현 영상의 선명도를 객관적인 값으로 평가하여 작업자 간의 편차 문제를 해소할 수 있도록 하였다. Fig. 4 는 구현된 시스템을 보여주었고, 초점값(focus indicator)이라는 곳에서 현재 영상의 수치화된 데이터를 보여줌으로써 객관적인 초점의 위치를 선정하여 얻어진 영상정보의 기하학적인 데이터에 일관성을 유지하도록 하였다.

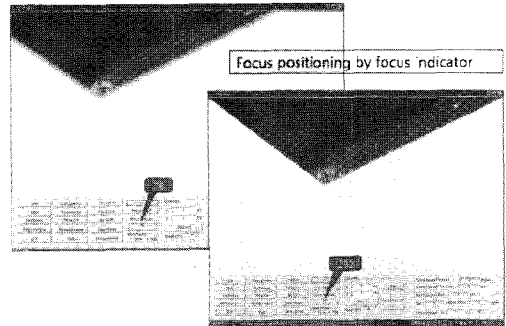


Fig. 4 Image capture and focus positioning

2.1.2 영상 모서리(Edge) 검출

연구에서 수행하고자 하는 공구의 정밀 셋팅을 위한 영상 처리 시스템은 에지 검출을 기본으로 하고 있다. 에지의 검출 방법은 그 동안 영상처리 분야에서 많은 연구가 이루어져 왔다. 그 만큼 에지의 정확한 검출은 머신 비전시스템의 정밀도에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 에지의 효과적 검출을 위해서는 특정 밝기 값(threshold)을 기준으로 하여 2 개의 값으로 변환할 수 있는 이진화 처리가 선행되어야 한다. 본 연구에서 효율적인 이진화를 위한 전처리 과정, 이진화 및 에지의 검출을 위해 Matrox 사의 영상처리 라이브러리(library)를 활용하였다.

영상의 에지는 픽셀의 그레이스케일(gray scale)의 차이로 나타나게 된다. 그러나, 에지의 경계에서 그레이스케일의 분포를 쉽게 구분할 수 없다. 왜냐하면 모서리부분의 영상을 확대하여 보면 모서리 경계부위는 명확한 픽셀들의 경계로 나타나는 것이 아니기 때문이다. 경계를 찾아내는 방법으로는 그레이스케일 기울기 연산자에 의한 에지 검출, 라플라시안(Laplacian) 연산자에 의한 에지 검출, 휴변환(Hough transformation)에 의한 에지 검출

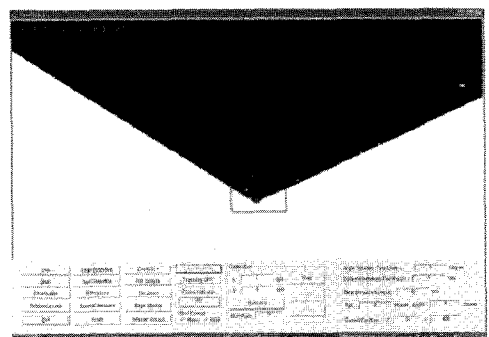


Fig. 5 Binarization and edge detection

등 다양한 방법들이 연구되어 왔지만, 본 연구에서는 X, Y 방향의 기울기 벡터크기를 구하여 그 값이 가장 큰 지점을 모서리점으로 정의하는 방법을 사용하여 에지를 검출하였다. Fig. 5 는 제안된 방법으로 얻은 모서리와 공구의 끝점을 보여준다.

2.1.3 거리 측정 및 시스템 성능 평가

앞에서 제안된 방법들을 이용하여 최종 구현된 공구 측정 시스템은 Fig. 6 과 같다. 구현된 시스템에서 선택된 에지들 사이의 기하학적인 정보들은 각 픽셀간 거리를 이용하여 실제 거리로 환산하면 얻을 수 있다. Fig. 6 은 공구와 공작물 사이의 거리 측정 결과를 보여주고 있으며, 거리 이외에 각도 및 기울기 등 다양한 기하학적인 정보를 쉽게 얻을 수 있다.

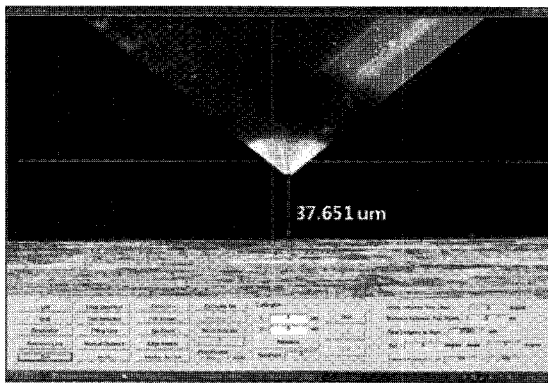


Fig. 6 Optical tool measuring system

구현된 시스템의 정확도를 확인하기 위해서 구현된 시스템을 이용하여 공구를 셋팅하고 임의의 깊이로 가공한 후 3 점에 대해 가공 깊이를 측정하여 시스템의 성능을 평가하였다. Table 1 은 임의의 깊이로 가공된 3 점의 성능 평가 결과를 보여준다. 평균 셋팅 오차가 0.16um 로 기존의 작업자들에 의해서 발생하는 평균 0.5um 의 셋팅 오차를 크게 개선하였음을 확인하였고, 작업자의 경험을 배제하고 쉽고 정확한 셋팅 및 공구의 상태를 검증할 수 있음을 확인하였다.

Table 1 Evaluation of optical tool measuring system

	#1	#2	#3
Target depth (um)	4.17	4.52	4.89
Measured depth (um)	4.40	4.68	4.98
Setting Error (um)	0.23	0.16	0.09

2.2 공구경로 생성 및 검증 S/W 개발

미세 패턴 가공은 많은 시간이 필요로 하는 공정으로 정확한 공구경로 생성과 생성된 공구경로가 원하는 형상을 가공 할 수 있는지를 가공 전 검증하는 과정은 굉장히 중요하다. 일반적인 범용 가공에서는 CAD/CAM S/W 를 이용하여 설계 형상을 가공하기 위한 공구경로를 생성하고 검증하는 일련의 과정이 일반적임에도 불구하고 미세 패턴 가공의 경우는 이를 지원하는 S/W 가 전무하여 작업자가 손으로 계산하여 경로를 생성하고 있다. 이로 인해 원하지 않은 패턴 형상 가공이나 공구 파손이 빈번하게 발생하며, 특히 대면적 가공의 경우는 수일에 걸쳐 가공이 이루어지므로 잘못된 경로는 비용과 시간 면에서 치명적인 결과를 초래할 수 있어 이를 해결하기 위한 노력이 반드시 필요하다. 하여 본 연구에서는 설계 패턴을 가공할 수 있는 공구경로를 자동으로 생성해 주고, 실 가공 전 생성된 경로의 검증을 위한 S/W 를 개발하여 가공 시 발생 할 수 있는 에러를 최소화 하였다. 개발 된 S/W 는 기존의 CAD 커널을 활용하기 위해서 Rhino3d 3.0 기반에 OpenNurbs 라이브러리를 활용하여 plug-in 타입으로 Visual C++을 이용하여 개발하였고, NC code 를 읽어 들이거나 피삭재와 공구를 기하학적으로 정의 함으로서 경로를 생성하도록 구성하였다. 또한 검증을 위해서 B-rep 함수로 정의된 공구와 피삭재의 충돌 알고리즘을 구현하여 개발하였으며, 주요기능은 다음과 같다.

- 1) 피삭재 정의
- 2) 공구 정의
- 3) 공구경로 생성
- 4) 시뮬레이터

2.2.1 피삭재 정의

피삭재는 Fig. 7 과 같이 각각 2 개의 point 를 연결하여 4 개의 line 을 생성하고 이들 line 을 연결하여 하나의 surface 를 정의하였다. 이렇게 정의된 surface 를 Y 축 방향으로 확장하여 피삭재를 Solid 형식으로 정의하였다.

2.2.2 공구 정의

피삭재는 공구도 피삭재와 마찬가지로 피삭재를 구성하는 point 를 정의한 후 이들 point 를 연결하여 line 을 정의하고 이들 line 을 연결하여 surface 를 정의한다. 다시 이 surface 를 확장하여

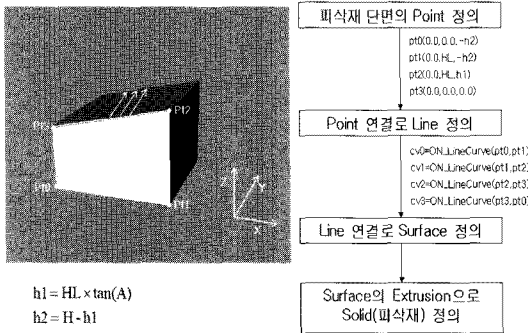


Fig. 7 Workpiece setting

solid 를 정의하여 공구를 정의한다. 하지만 공구에서도 피삭재와 마찬가지로 각각의 point 값을 입력하는 것이 아니라 작업자가 측정 및 입력하기 편리한 값을 사용하여 point 를 정의한다. 공구길이(L), 공구두께, 1 번 폭과 각, 2 번 폭과 각 등 6 개의 변수를 통해 공구를 정의한다. 여기서 1 번 폭과 각, 2 번 폭과 각은 Fig. 8 과 같이 공구 끝날을 기준으로 좌측부분을 1 번, 우측부분을 2 번으로 설정한다. 이는 공구가 좌우대칭이 아니라 한쪽으로 치우친 형상을 가지는 경우도 있기 때문에 다양한 공구의 형상을 설정하기 위해 위와 같이 여러 변수를 사용하여 공구를 정의한다.

대면적 패턴 가공에는 공구를 회전하면서 가공하는 경우가 있으므로, 이런 경우의 공구 설정을 위하여 공구의 형상뿐만 아니라 그 공구의 회전을 가정하여 Fig. 8 과 같이 회전된 후의 공구 형상을 정의하도록 하였다.

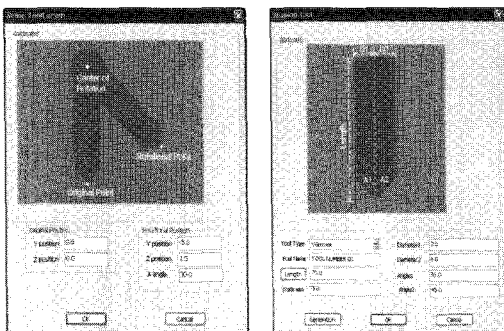


Fig. 8 Tool setting

2.2.3 공구경로 생성

공구경로는 기본적으로 Fig. 9 와 같이 공구가 처음 위치하고 있는 공구 대기 위치(Start Position

(Y axis)), 가공이 시작되는 X 좌표와 Z 좌표, X 방향의 안전거리(Safe X), Z 방향의 안전거리(Safe Z) 및 이송속도등을 통해 설정하게 되어 있고, 이 외에도 작업자가 미리 설정해 둔 좌표값 및 NC Code 를 통하여도 생성되도록 하였다.

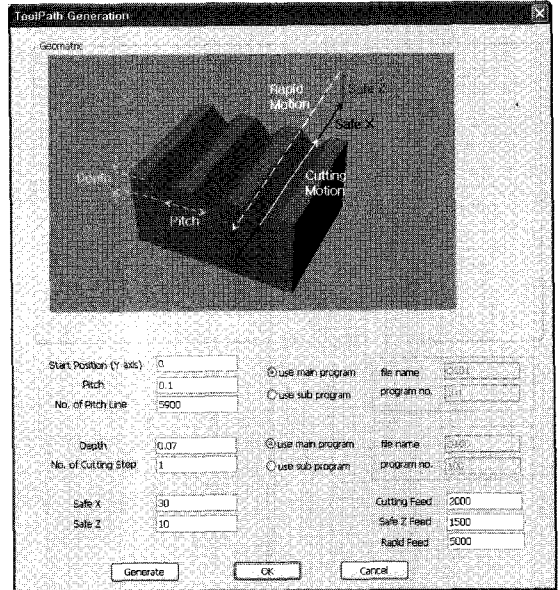


Fig. 9 Tool path generation

2.2.4 시뮬레이터

생성된 공구경로를 통해 가공 결과를 시뮬레이션 할 수 있는 시뮬레이터를 구현하였다. 시뮬레이션을 위해 제일 처음에 공구의 단면을 surface 형태로 정의한다. 공구를 정의한 다음에는 피삭재의 solid 를 정의한다. 그리고 생성된 공구 경로를 읽어 들인 다음에 이를 이용하여 공구 단면을 돌출시킨다. 실제 가공 결과는 공구가 피삭재 위를 지나간 다음의 형상이므로 공구 단면을 돌출시킨 형상과의 교차 부분을 제거한 부분이라고 할 수 있다. 그러므로 이를 연산하기 위해서 공구 단면을 돌출시켜 공구의 solid 를 다시 생성하고 이 solid 와 피삭재의 solid 의 교차 지점을 Boolean 연산을 통해 추출한다. 이러한 연산을 통해 추출되는 공구와 피삭재의 교차지점을 제거하고 이를 토대로 가공 후의 가공면을 재생성한다. 이러한 과정을 거쳐서 공구 경로를 통해 가공 후의 모습을 Fig. 10 과 같이 시뮬레이션 할 수 있다.

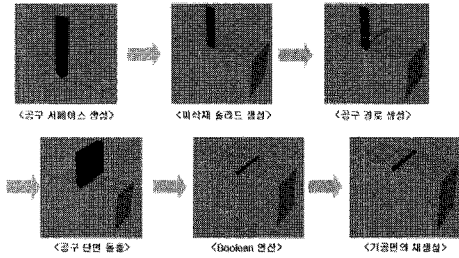


Fig. 10 Tool path simulation

Fig. 11 은 실제로 대면적의 피삭재 위에 공구 경로에 따라 가공을 실시한 모습을 시뮬레이션 한 결과를 표현한 것이다. 대면적 패턴 가공은 피삭재의 크기에 비해 가공량이 적고 반복적인 가공이 많아 눈으로 식별하기 쉽지 않다. 그러므로 공구 경로에서 관심 있는 일부분만을 선정하여 그 부분만을 시뮬레이션 하는 기능의 수행도 가능하다. 아래 그림을 통해 가공 후의 가공면을 3 차원 그래픽을 통해 확인할 수 있다.

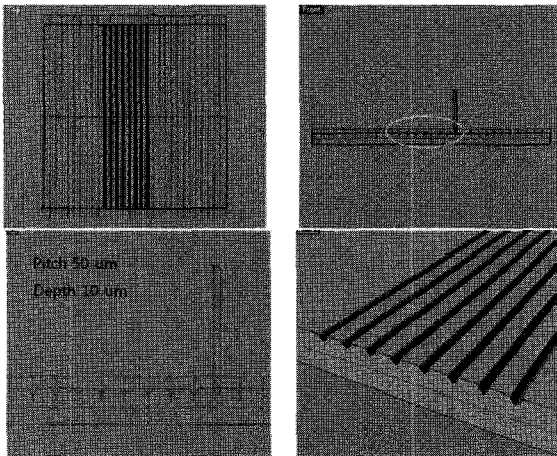


Fig. 11 Tool path generation and simulation software

2.3 가공 방법 및 조건

32” 사이즈의 코어를 가공하기 위해서는 수십 시간의 가공시간이 소요되므로 가공 중 공구의 마모 및 파손을 방지하고, 안정적인 가공이 이루어질 수 있는 가공기술의 확보가 필수적이다. 장시간 가공 시 발생하는 일반적인 열변형을 방지하기 위해서 장비의 가공 시간에 따른 Z 축 변위를 측정하여 안정적인 가공이 이루어질 수 있도록 장비의 예열 시간을 확보하였다. 또한 셰이핑(shaping) 가공과 플라이 컷(fly-cut) 가공을 Fig. 12 와 같이

수행하여 가공 성능을 평가하였다. 플라이 컷의 경우 공구의 회전으로 인한 진동 및 에러 등으로 정밀도 면에서 셰이핑 가공에 비해 좋지 않음을 확인하였다. 마지막으로 공구의 마모를 최소화 할 수 있는 가공조건을 선정하기 위해서 샘플 코어에 다양한 조건으로 가공 테스트를 하고 최종 가공 조건을 선정하였다.

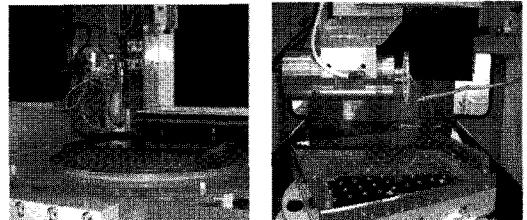


Fig. 12 Shaping vs. fly-cutting

2.4 측정 시스템 구축

가공 후 가공형상의 정밀도를 측정하기 위해서는 마이크론 이하의 분해능을 갖는 측정장비가 필수적이다. 하지만, 현재 나노급의 분해능을 갖는 현미경의 경우 일부 상용화 제품으로 나와 있지만, 32”사이즈 코어를 측정할 수 있는 시스템은 전무한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 상용으로 나와 있는 Keyence 의 Violet Laser 를 이용한 VK-9700K 의 헤드 부분을 분리하여 장비에 별도의 지그(jig)를 제작하여 부착하였다. 사용한 현미경은 1 nm 분해능과 3000 배율을 갖는 공초점 현미경으로 진동에 매우 민감하게 반응하여 강 구조물로 다양한 진동 해석을 통하여 지그를 설계 제작하였다. 이를 바탕으로 구축된 기상 계측 측정 시스템은 Fig. 13 과 같다.

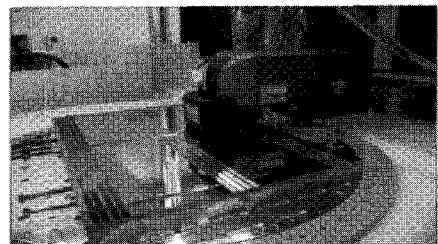


Fig. 13 OMM system

3. 실험장치 및 가공결과

본 연구에서는 제안된 기술들을 적용하여 32”

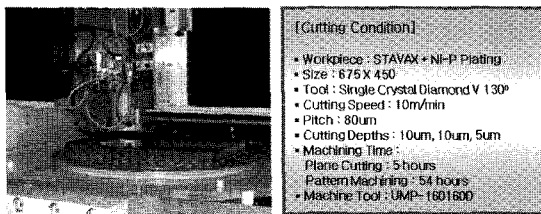
금형에 V-형상의 미세 패턴을 가공하였다. 사용한 장비는 Table 2 와 같은 사양을 갖는 도시바 (Toshiba) UMP-160160D 모델을 활용하였다.

Table 2 Specification of UMP-160160D

Main specifications		UMP-160160D
Table	Working surface (mm)	1550 × 1550
	C1 axis equipped (mm)	φ800
Travel	X (mm)	1600
	Y (mm)	1600
	Z (mm)	150
Maximum feed rate		X: 15000 mm/min, Y: 9000 mm/min, Z: 3000 mm/min
Programming resolution		X, Y, Z: 0.001 μm, A, C: 0.00001°

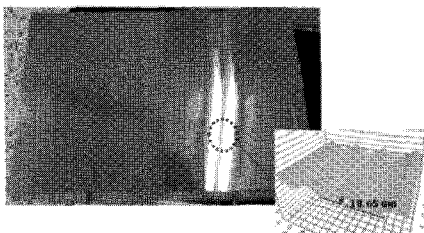
언급한 대면적 가공기술을 적용하여 공구의 셋팅, 공구경로 생성 및 검증 후 샘플 테스트를 통해 확보한 가공 방법 및 가공조건을 이용하였다. 가공 조건은 Fig. 14 에 보여지는 것과 같이 130 도 단결정 다이아몬드 공구를 사용하여 80um 피치로 가공을 하였으며, 가공 깊이는 황삭 10um, 중삭 10um, 정삭 5um 로 3 번에 걸쳐 가공을 하였고, 가공 속도는 10m/min 으로 가공하였다.

Fig. 14 의 가공 코어에서 오른쪽 반은 프리즘 패턴을 가공한 결과이며, 왼쪽 반은 교차해서 프



(a) Machine tool

(b) Machining condition

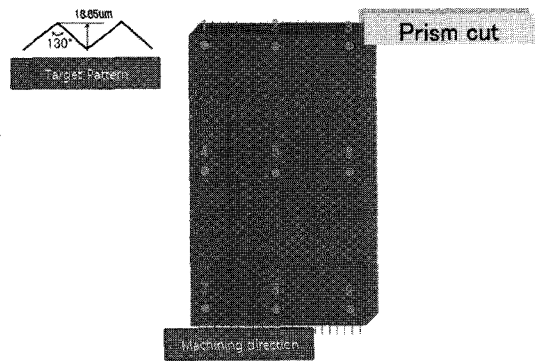


(c) Machining results

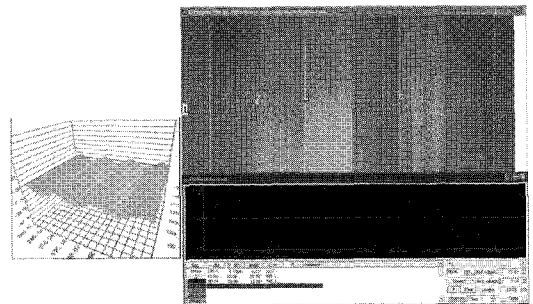
Fig. 14 Machining results

리즘 패턴을 가공하여 최종적으로 피라미드 패턴을 가공한 결과이다.

전 가공 영역에서 가공 패턴의 정밀도를 측정하기 위해서 본 연구에서 개발한 기상계측 시스템을 이용하여 Fig. 15(a)와 같이 9 개 지점의 가공 결과를 측정하고 설계치(18.65 um)와의 오차를 평가하였다. Fig. 15(b)는 1 번 측정점에 대한 측정 결과를 보여주며, 이와 같이 9 개 측정점에 대한 측정



(a) Target pattern and measuring points



(b) Measuring result of point 1

Measuring Points	Target Data	Measured Date	Machining Error
1	18.65	18.86	0.21
2	18.65	18.96	0.31
3	18.65	18.71	0.06
4	18.65	18.80	0.15
5	18.65	18.71	0.06
6	18.65	18.68	0.03
7	18.65	19.01	0.36
8	18.65	18.87	0.22
9	18.65	18.67	0.02

(c) Measured data

Fig. 15 Measured data

을 하고 그 결과는 Fig. 15(c)에 표로 나타내었다. 평가 결과 평균 0.2 μ m 이하의 형상정밀도를 확보할 수 있었고, 6 시그마기법을 이용하여 결과의 타당성을 확인해 보면 가공 결과의 수준이 3 시그마 이상임을 확인할 수 있다. 또한, 일반적인 광학 패턴의 형상 정밀도 요구수준이 05. μ m 이므로 본 연구에서 구축한 가공 기술을 활용하면 2 배 이상 정밀한 패턴 가공이 관련 기술 확보를 통하여 대면적에도 가능함을 확인하였다.

4. 결론

본 연구를 통하여 대면적 코어에 정밀한 미세 패턴 가공을 할 수 있도록 머신 비전 시스템, 기상 계측 시스템, 공구 경로 생성 및 검증 S/W 를 구축하였으며, 공구 셋팅 기술, 가공 조건 선정 기술 등 관련 기술들을 개발하여 대면적 가공기술을 확보하였다.

이를 이용하여 32" 사이즈(675mmx450mm) 코어에 평균 0.2 μ m 이하의 형상정밀도를 갖는 미세 패턴을 가공함으로써 본 기술들의 타당성 및 대면적 미세 패턴 가공 기술이 확보될 수 있음을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2009-0066078, 2009-0071821).

참고문헌

1. Heeren, P., Reynaerts, D., Brussel, H., Van Beuret, C., Larsson, O. and Bertholds, A., "Microstructuring of silicon by electro-discharge machining(EDM)-part II:applications," Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 61, No. 1-3, pp. 379-386, 1997.
2. Li, Y., Guo, M., Zhou, Z. and Hu, M., "Micro electro discharge machine with an inchworm type of micro feed mechanism," Precision Engineering, Vol. 26, No. 1, pp. 7-14, 2002.
3. Malek, C. K. and Saile, V., "Applications of LIGA technology to precision manufacturing of high-aspect-ratio micro-components and -systems: a review," Microelectronics Journal, Vol. 35, No. 2, pp. 131-143, 2004.
4. Kang, S. W. and Yang, H., "Improvement of thickness uniformity in nickel electroforming for the LIGA process," International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 40, No. 7, pp. 1065-1072, 2000.
5. Bertsch, A., Lorenz, H. and Renaud, P., "3D microfabrication by combining microstereolithography and thick resist UV lithography," Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 73, No. 1-2, pp.14-23, 1999.
6. Rahman, M. A., Rahman, M., Kumar, A. S. and Lim, H. S., "CNC microturning: an application to miniaturization," International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 45, No. 6, pp. 631-639, 2005.
7. Lim, H. S., Kumar, A. S. and Rahman, M., "Improvement of Form Accuracy in Hybrid Machining of Microstructures," Journal of Electronic Materials, Vol. 31, No. 10, pp. 1032-1038, 2002.
8. Lee, B. K., Kim, D. S. and Kwon, T. H., "Replication of microlens arrays by injection molding," Microsystem Technologies : Sensors, Actuators, Systems Integration, Vol. 10, No. 6-7, pp. 531-535, 2004.
9. Sawada, K., Kawai, T., Takeuchi, Y. and Sata, T., "Development of ultraprecision micro grooving," JSME International Journal, Vol. 43, No. 1, pp. 170-176, 2000.
10. Rezaur Rahman, K. M., Rahman, M., Neo, K. S., Sawa, M. and Maeda, Y., "Microgrooving on electroless nickel plated materials using a single crystal diamond tool," Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 27, No. 9-10, pp. 911-917, 2006.
11. Ghosh, A., Neo, K. S., Yoshikawa, T., Tan, C. H. and Rahman, M., "Performance evaluation of diamond tools for micro cutting of V-groove on electroless nickel plated die materials," Proceedings of the 7th Euspen International Conference, pp. 135-138, 2007.