

초정밀가공 기술을 이용한 광학 마이크로패턴의 광 반사 효과에 관한 연구

유춘근*, 윤철용⁺, 현동훈⁺⁺

(논문접수일 2009. 09. 07, 심사완료일 2009. 11. 26)

Research on Light Reflection Effect of the Optical Micro Pattern Using Ultra-Precision Technology

Yoo Chun-kun*, Yoon Chul-yong⁺, Hyun Dong-hun⁺⁺

Abstract

Because the Ultra-Precision Technology increase its competitiveness in the field of the design, precision of processing technology, confidence and fixation degree are major considerations. According to Pattern shapes using these processing technologies, Light Reflection has influence on the sense of sight about human being. Based on background of these studies, we draw a plan about a round workpiece using a 3D design program and analyze the effect on Light Reflection changing a pattern angle and a source of light through SPEOS program in this research. We make Pattern form as V-Shape, and compare the area distributed by Light Reflection by classifying angle into 4 and analyze changes according to a source of light. In order to measure and evaluate the data from simulation analysis we has manufactured Diamond Tool and has processed Pattern precision using a Ultra-Precision Machine. Based on the result of this study, we forecast that the field of design will achieve rapid growth due to Ultra-Precision Technology in the world market.

Key Words : ultra-precision(초정밀가공), optical micro pattern(미세광학패턴), light energy(빛에너지), light reflection(광 반사)

1. 서론

최근 IT업계에서는 첨단 기능 위주로 경쟁력에서 디자인

경쟁력으로 바뀌어가고 있다. 초정밀 가공기술은 1900년 이후 가공정도가 급속히 향상되어, 1960대에 가공정도가 0.1 μm 에 도달하였다. 그 후의 각종의 초정밀 가공기의 개발에

* 한국산업기술대학교 광나노공학과
+ 한국산업기술대학교 나노광공학과
++ 교신저자, 한국산업기술대학교 나노광공학과 (hdh@kpu.ac.kr)
주소: 429-793 경기도 시흥시 정왕동 2121 429-793

의해, 가공정도가 0.01 μm 에 육박하고 있다⁽¹⁾. 이 초정밀가공을 통한 미세패턴은 다양한 로고, 키, 버튼 등의 문양 및 컬러를 변화시켜 시선을 끌 수 있는 광학패턴기술 개발이 금속 디자인 개발의 급부상하고 있다. 하지만 현재 나와 있는 기술은 시행착오 방법에 의한 소모적 개발 방식을 채택하고 있다. 미세 광학 패턴은 1997년 이후 제품의 광택표면의 적절한 조합으로 디자인성능 분야에 크게 기여하고 있으나, 최근 소재의 환경적인 문제로 축소되고 있는 시점에 있고, 앞으로 기능보다는 디자인 추세이다. 본 논문에서는 미세패턴을 가공하기 위한 정밀화와 신뢰성, 고정도를 필요시 하고 있는 초정밀 가공법을 선택하였다. 초정밀 가공은 특별한 조건이 만족되는 때에만 실현되는 최고의 정도를 추구하는 가공법이다. 특별한 조건은 매우 예리한 공구에 의해, 매우 피삭성이 좋은 공작물 표면에 매우 정도가 높은 공작기계의 운동을 전사하는 것이 가능하면 비로소 초정밀 가공이 가능해진다⁽¹⁾.

이와 같이 동심형 스핀 패턴을 광학적 효과가 탁월한 설계로 나노 기술을 실현시켜 소재의 각각 다른 패턴의 형상을 주어 실제 시각효과와 촉각에 의한 디자인 효과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 기술적인 면에서 큰 성과를 가져올 것이다. 소재에 미세 광학 패턴을 V형상과 다양한 각도를 주어 실제처럼 시각적 효과를 얻기 위한 3D CAD 설계와 프랑스 OPTIS사에서 제작한 광학설계 프로그램인 SPEOS 2009 SP2를 이용한 시뮬레이션으로 다양한 결과를 얻고자 한다^(2,3). 이러한 SPEOS 2009 SP2 시뮬레이션 결과를 기본으로 실제 제품으로 제작을 했을 경우 어떤 현상들을 일어나는지에 대해서도 알아보았다⁽⁵⁾.

2. 3D 모델 설계

미세광학패턴(Optical Micro Pattern Technology)⁽²⁾이 적용되는 위치에 따라 여러 가지 다른 광학적 특성이 요구되어

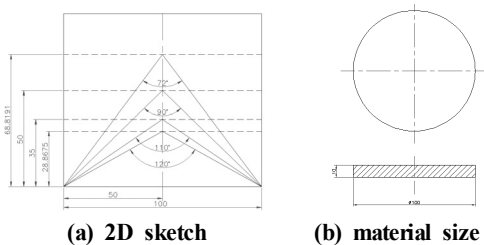


Fig. 1 Modeling

지고 있다. 또한 가공 방법에 따라 광 반사 현상이 다르게 나타난다. 패턴 형상에 따라 V형, U형 등을 3D 설계를 하였고, Fig. 1(a)에서 V형의 경우에 패턴의 각도를 72°, 90°, 110°, 120°로 나누어 SolidWorks 2009 프로그램으로 설계 하였고, 광 반사 현상을 비교하기 위해서 Fig. 1(b)에서 간격 100 μm 기준으로 하였다. Fig. 2는 모델링을 사실적으로 표현하기 위해 SolidWorks 2009의 PhotoView 360으로 3D 렌더링 시뮬레이션 결과를 그림으로 나타낸 것이다⁽⁵⁾.

Table 1에 모델 사양을 정리하여 표시하였다.

3. V 패턴의 각도의 따른 광 반사 시뮬레이션과 초정밀 가공 결과

3.1 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 빛이 들어오는 점을 점광원과 면광원으로 하였다. 빛은 태양으로부터 오기 때문에 광원이 그 이상으로 작거나 또는 거리가 먼 경우에는 한 점으로 보이기 때문에

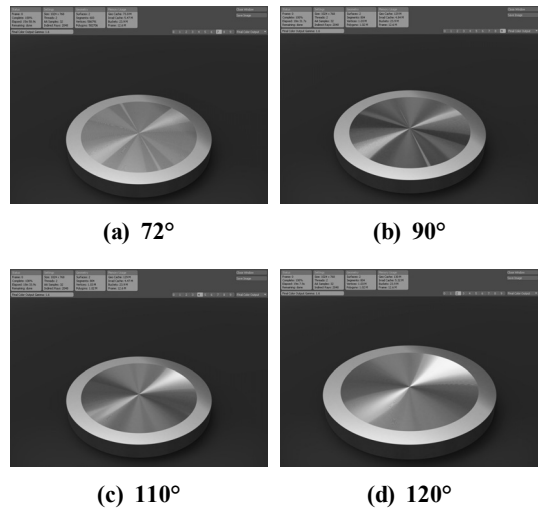


Fig. 2 3D Rendering simulation

Table 1 Fiction Condition

Angle	Pitch	Pattern size	aterial
72°	100 μm	Ø100	Brass
90°	100 μm	Ø100	Brass
110°	100 μm	Ø100	Brass
120°	100 μm	Ø100	Brass

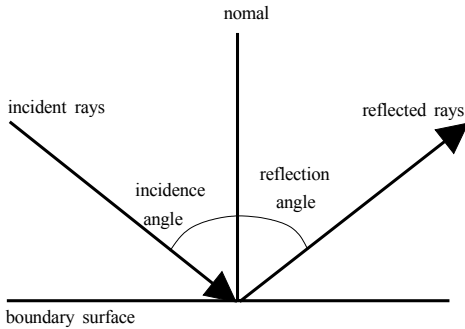


Fig. 3 Quality of light

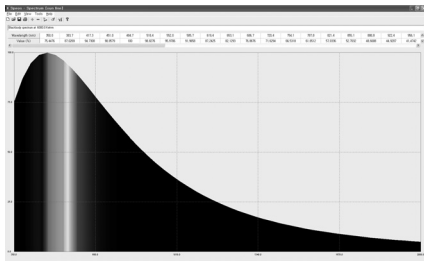


Fig. 4 Source of Light

점광원, 그 이상보다 크거나 또는 거리가 가까울 경우에는 면광원이 된다. 이번 연구에서의 SPEOS 2009 SP2의 시뮬레이션 조건 중 사람과 가공물의 거리가 1,000mm 거리의 짧은 거리이기 때문에 면광원으로 보아야 한다. 시뮬레이션 분석 통해 광원에 따른 변화와 패턴 각도에 따른 변화가 있는지 비교해 보았다. 또, 환경적 요건과 소재의 특성을 무시한다고 가정하였을 때의 조건을 가지고 시뮬레이션을 하였다.

Fig. 3은 패턴의 각도에 따라 입사각과 반사각의 법칙에 의해서 시뮬레이션을 통해 광원에서 나간 빛이 패턴 각도에 의해서 어떠한 형태로 광 반사가 되는지 광학 소프트웨어인 SPEOS 2009 SP2를 이용하여 결과를 얻을 수가 있다. Fig. 4는 이번에 연구해야 할 빛의 성질에 대해서 간략하게 그림으로 나타내었다.

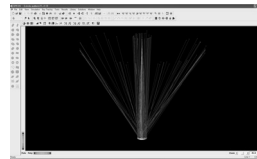
3.1.1 점광원 시뮬레이션

시뮬레이션하기 전에도 비교대상이 필요하기 때문에 조건을 제시하였다. 점광원 높이를 1,000mm하고, 광 반사 상태를 쉽게 구별하기 위해서 Ray수를 100개로 설정하여 예측하였다. 시뮬레이션 조건은 Table 2에 나타내었다.

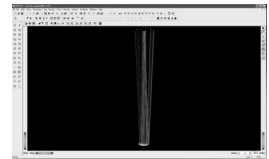
Fig. 5(a), (c), (d)는 보는 바와 같이 직광성과 광이 옆으

Table 2 Simulation Condition

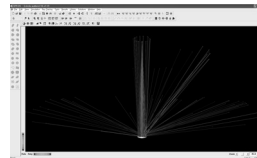
Angle	Ray simulation(EA)	Source distance(mm)
72°	100	1,000
90°	100	1,000
110°	100	1,000
120°	100	1,000



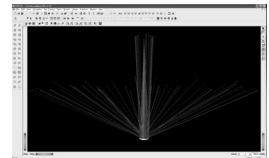
(a) 72°



(b) 90°



(c) 110°



(d) 120°

Fig. 5 Point beam of the pattern angle

로 고르게 산란되는 것을 볼 수가 있었다. 예를 들어 실내에 쓰일 경우에는 (a), (c), (d)의 패턴각도를 적용이 용이할 수 있고, 실외에 쓰일 경우에 (b)의 패턴각도가 직광성에 가까운 광선도를 띄기 때문에 용이 할 수 있다⁽⁵⁾.

3.1.2 면광원 시뮬레이션

면광원 높이를 1,000mm하고, 광 반사 상태를 쉽게 구별하기 위해서 Ray수를 100개로 설정하여 예측하였다. 시뮬레이션 조건은 Table 3에 나타내었다.

Fig. 6은 면광원으로 패턴의 각도에 따라 입사각과 반사각의 법칙에 의해서 시뮬레이션을 통해 광원에서 나간 빛이

Table 3 Simulation Condition

Angle	Ray simulation(EA)	Source distance(mm)
72°	100	1,000
90°	100	1,000
110°	100	1,000
120°	100	1,000

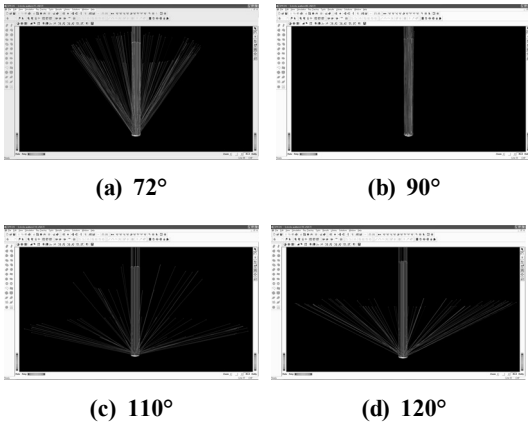


Fig. 6 Surface beam of the pattern angle

패턴 각도에 의해서 어떠한 형태로 광 반사가 되는지 알아보았다. (b)는 직광성을 띠고 있지만 다른 (c), (d)에서는 그림에서 보는 바와 같이 멀리 퍼지는 광선도를 볼 수 있었다. 시각적인 광 반사 특성을 활용하기 위해서는 (c)가 가장 적합할 것으로 사료된다.

3.2 시뮬레이션 분석

소프트웨어를 통한 분석하기에 앞서 패턴 각도에 의해서 반사되는 반사각이 광 반사가 되는 빛에너지 분포를 더 세밀하게 보았다. 태양빛은 눈에 보이지 않지만 수많은 빛들이 들어오기 때문에 분석하기에 앞서서 소프트웨어를 셋팅 하였다. 신뢰성을 가지는 Data 얻는데 지장이 없는 시뮬레이션 조건 중 Ray수를 100,000,000개로 설정하여 분석을 하였다.

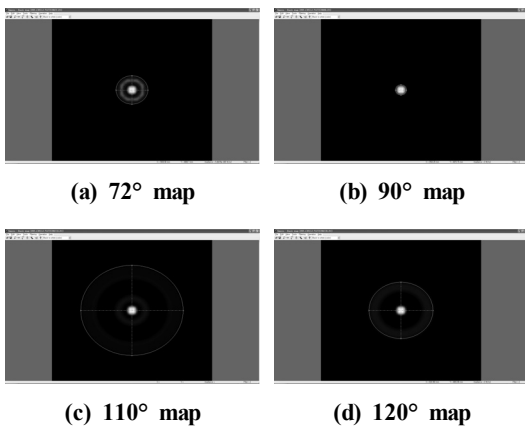


Fig. 7 Point beam of pattern distribution map

3.2.1 점광원 광 반사 분포도

Fig. 7은 입사한 광이 패턴 각도에 의해서 반사되는 반사각이 광 반사가 되는 빛에너지 분포를 보고자 한 것이다. 그림은 면적당 에너지를 나타내고 있으며, Fig. 3의 입사각과 반사각에 의한 법칙에 의하여 90°(350mm×350mm)에서 특히 빛에너지가 집중됨을 볼 수 있었다. 72°(1,000mm×1,000mm), 110°(3,200mm×3,200mm), 120°(2,000mm×2,000mm)는 가운데로 집중이 되는 빛이 고루 퍼지는 것을 볼 수가 있다⁽⁵⁾.

3.2.2 면광원 광 반사 분포도

Fig. 8은 면광원이 패턴 각도에 의해서 반사되는 반사각이 광 반사가 되는 빛에너지 분포를 보고자 한 것이다. 면광원에서 Fig. 3의 법칙에 의해 90°(400mm×400mm)에서 특히 빛에너지가 가운데로 집중됨을 볼 수 있었으며, 앞 절의 점광원에서와 같이 72°(1,000mm×1,000mm), 110°(2,900mm×2,900mm), 120°(1,900mm×1,900mm)에서는 빛이 고루 퍼지는 것을 알 수가 있다.

3.2.3 점광원 시뮬레이션 광 반사 분포도표

Fig. 9는 점광원을 패턴각도에 대한 단면으로 잘랐을 때의 빛에너지 분포도를 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 7에서와 같이 90°에서 빛에너지가 가운데로 집중됨을 알 수 있었다. 72°, 110°, 120°는 빛에너지가 넓게 퍼지는 면적분포를 볼 수가 있었다. 면적분포는 1,000mm~3,200mm로 나타났다. 90°에 비해 중심에너지가 약한 것을 볼 수가 있지만 거의 동일한 빛에너지로 분포가 되는 것 또한 볼 수가 있다⁽⁵⁾.

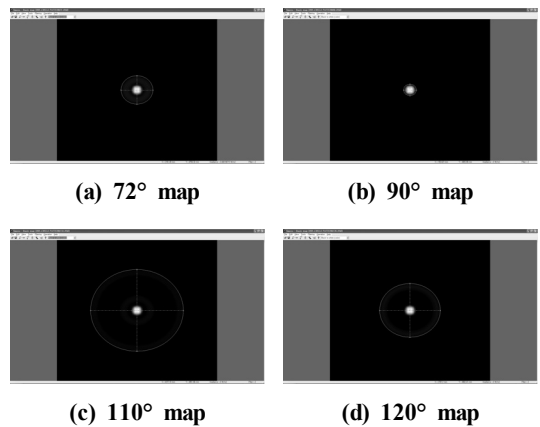
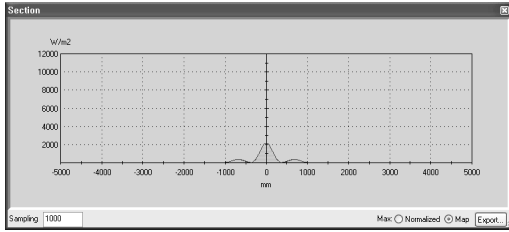
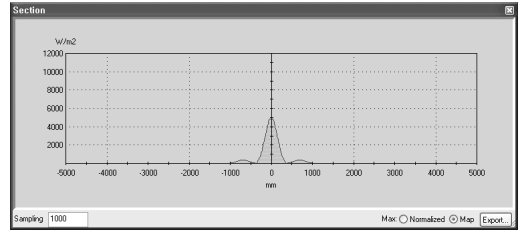


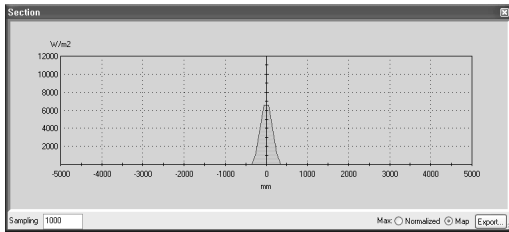
Fig. 8 Surface beam of pattern distribution map



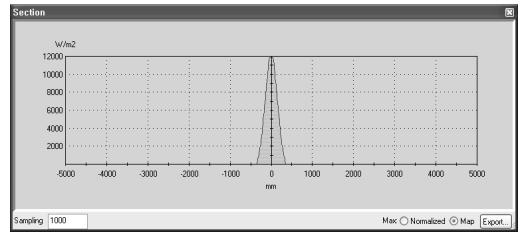
(a) 72° graph



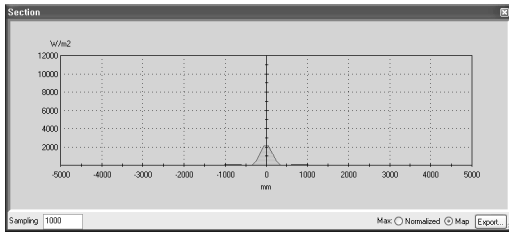
(a) 72° graph



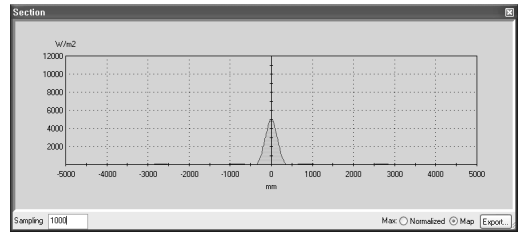
(b) 90° graph



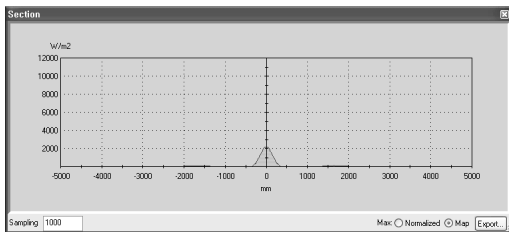
(b) 90° graph



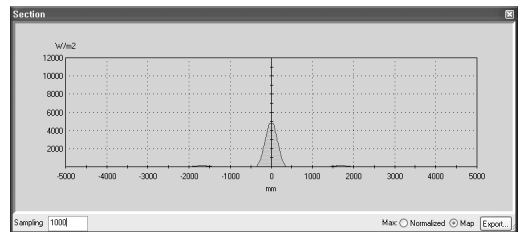
(c) 110° graph



(c) 110° graph



(d) 120° graph



(d) 120° graph

Fig. 9 Point beam of pattern distribution graph

Fig. 10 Surface beam of pattern distribution graph

3.2.4 면광원 시뮬레이션 광 반사 분포도표

Fig. 10은 면광원을 패턴각도에 대한 단면으로 잘랐을 때의 빛에너지 분포도를 그래프로 나타낸 것이다.

점광원과 면광원의 차이를 그래프로 살펴보면, 점광원으로 시뮬레이션 하였을 때 빛에너지는 중심과 멀리 퍼지는 광선이 고루 나타내고 있지만, 면광원은 한 면의 크기에서 수직으로 빛이 들어왔을 때 멀리 보다는 중심 에너지가 점광

원보다 강한 것을 그래프를 통해 볼 수가 있다. 72°, 110°, 120°에 면적분포는 반경 1,000mm~2,900mm를 나타내고 있으며, 90°는 직광성 때문에 효과를 못 보는 것으로 나타내었다. 즉, 90°는 점광원이나 면광원으로 시뮬레이션 결과를 통해 효과를 크게 나타내지 못하여 시각적 효과에 효력을 못 할 것으로 예측이 된다.

3.3 초정밀가공 및 평가

3.3.1 공구설계 및 제작

Fig. 11은 Fig. 1의 (a)도면과 같은 형태로 다이아몬드공구를 설계하여 제작하였다. V형 패턴의 각도에 따라서 4가

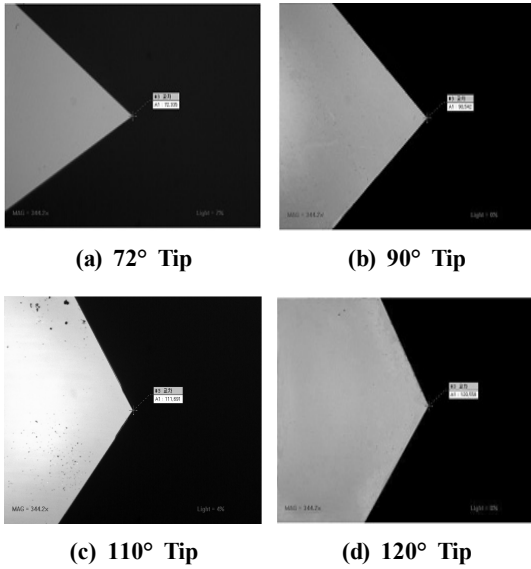


Fig. 11 Angle of diamond tool

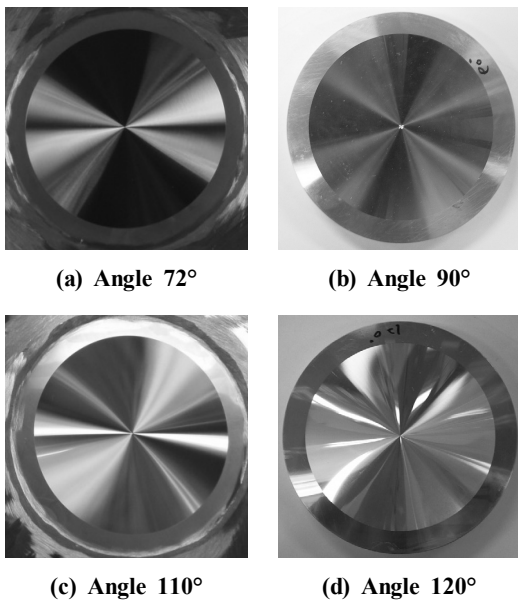


Fig. 12 Processed goods

지로 공구를 설계하였고, 이 공구로 패턴을 가공하였다.

3.3.2 초정밀가공 시 고려사항

초정밀 가공을 이용해 패턴 가공을 할 때의 기술적인 부분을 고려해야 한다. 가공하기 전 소재 특성에 맞는 가공방법을 선택하고, 공구를 제작하여 선택하였다. 우선 소재의 특성에 따라 가공함에 있어서 발생하는 칩을 원활하게 제거하는 방안과 가공할 때 공구 이동 속도의 정도에 따른 공구 날 끝에 깨짐이 덜하도록 하는 방안을 찾는 것을 고려하였다^(4,6).

위와 같은 고려사항을 토대로 본 연구에서 가공방법은 초정밀 천연 다이아몬드공구를 이용한 DTM(Diamond Turning Machine)을 사용하여 형상을 가공하였다.

3.3.3 패턴가공 및 측정

Fig. 12는 초정밀가공기를 이용하여 패턴각도에 따라 가공한 가공물 사진을 나타낸다. Fig. 12에서 보듯이 72°나 90°보다 110°와 120°에서 빛의 산란효과가 잘 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 13은 가공물의 가공 상태를 측정하기 위한 3차원 비접촉 형상 측정기(Keyence)이다.

Fig. 14는 Fig.12의 가공물을 Keyence 측정기를 이용하여 가공 상태를 측정하여 보았다. Fig. 14의 (a), (c), (e), (g)는 각각 72°, 90°, 110°, 120°로 가공된 데이터의 상태를 측정한 것이며, (b), (d), (f), (h)는 각각의 선거칠기 값을 측정한 것이다. 측정데이터를 살펴보면 처음 설계한 값에 유사한 형상으로 깊이, 거리로 가공되었다. 선거칠기 부분을 살펴보면 110°의 가공면 산 부분에 약간의 버(burr)가 발생하였으나 대체적으로 가공은 잘 되었다. 각각의 표면정도의 측정값을 살펴보면 90nm, 80nm, 190nm, 40nm로 가공되어 아주



Fig. 13 Keyence

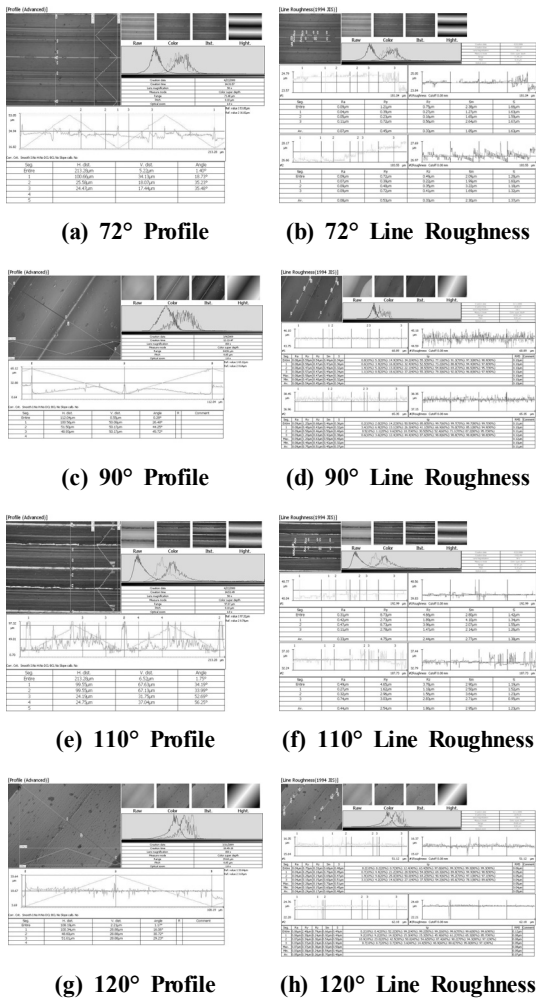


Fig. 14 Measurement data of processed goods

우수한 상태로 가공되었음을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 점광원과 면광원에 대한 시뮬레이션 결과를 비교 분석을 하였다. 여러 가지 각도의 3차원 설계 기술을 확보할 수가 있었으며, 시뮬레이션 한 결과를 검증하기 위하여 초정밀 가공기를 이용한 실제 가공물을 제작하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 각도 및 깊이, 넓이에 따라서 광 반사가 다양하게 나타

나도록 설계를 하였다.

- (2) 육안으로 볼 수 있는 광 반사 효과에 대해 소프트웨어 프로그램을 통해 직접 태양빛과 같은 빛으로 시뮬레이션 하여 여러 각도에 따라 광 반사가 되는 것을 보았고 이를 비교하였다.
- (3) 본 논문에서 SPEOS 2009 SP2의 시뮬레이션 결과 및 직접 가공 결과를 통해서 110°로 가공하였을 때 광 반사 효과가 우수함을 알 수 있었다.
- (4) 미세광학패턴의 광 반사에 의해서 딱딱한 이미지에서 편안함과 부드러움을 가져다주는 제품으로 자연친화적 느낌을 제공으로 신뢰성 평가 기술을 확보 할 수가 있었다.
- (5) 초정밀 가공에 의한 가공물의 표면정도가 100nm이하 이어야 광 반사 효과를 얻을 수 있음을 알 수가 있었다.

앞으로 V형뿐만 아니라 U형, □형, 패턴의 피치에 따라 설계하는 등 다양한 패턴 형태뿐만 아니라 다른 가공방법과 다이아몬드공구를 개발하는데 조금 더 많은 연구가 필요하다. 또한, 여러 방법으로의 설계와 여러 소프트웨어 프로그램을 이용하여 보다 많은 데이터를 확보하고 더욱 신뢰성이 있는 기술을 확보하는 것이 필요하다. 이러한 기술을 확보하고 경쟁력을 키워 국내에 상용화가 되면 세계시장을 선도할 수 있는 입지를 갖추게 되고, 디스플레이 시장 속에서 급속한 성장을 할 것으로 전망이 된다.

후 기

이 논문은 중소기업기술연구회사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

- (1) Won, J. H., 2003, "Ultra-precision currently and future," *Korea Society of Machine Tool Engineers Autumn Conference*, Vol. 12, No. 1, pp. 13~24.
- (2) Lee, J. M., Le Duy., Kim, S. J., Lee, S. W., and Je, T. J., 2009, "Development of Micro Pattern Cutting Simulation Software," *Transactions of the KSME A Section*, Vol. 33, No. 3, pp. 218~223.
- (3) Kim, B. H. and Choi, B. K., 2001, "Technical Issues in Pattern Machining," *Society of CAD/CAM Engineers a collection of learned papers*, Vol. 6, No. 4, pp. 263~270.
- (4) Song, C. K., Park, C. H., Hwang, J. H., and Kim,

- B. S., 2005, "Element Technology of the Ultra-Precision Machine Tools for Machining the Large Surface Micro Features," *Korea Society for Precision Engineering Autumn Conference*, pp. 86~93.
- (5) Yoon, C. Y., Hyun, D. H., and Yoo, K. S., 2009, Research on light scattering simulation of the optical micro pattern, *Korea Society of Machine Tool Engineers Autumn Conference*, pp. 374~376.
- (6) Cheung C. F. and Lee, W. B., *Surface Generation in Ultra-Precision Diamond Turning: Modelling and Practices*, Professional Engineering Publishing Limited, London.