

솔레노이드 전압변화에 따른 사각뿔 구조체의 크기변화 경향 분석에 관한 연구

문승환^{1,2} · 정지영^{1,3} · 한준세¹ · 최두선¹ · 최성대² · 전은채⁴ · 제태진[†]

한국기계연구원 나노공정연구실^{1,†} · 금오공과대학교 기계시스템공학과²

과학연합대학원대학교 나노메카트로닉스과³ · 울산대학교 첨단소재공학부⁴

A study on size variation of quadrangular pyramid structure according to input voltage of solenoid indentation system

Seung Hwan Moon^{1,2} · Ji-Young Jeong^{1,3} · Jun-Se Han¹ · Doo-Sun Choi¹

· Sung-Dae Choi² · Eun-chae Jeon⁴ · Tae-Jin Je[†]

Department of Nano Manufacturing Technology, Korea Institute of Machinery & Materials^{1,†}

Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology²

Department of Nano Mechatronics, University of Science and Technology³

School of Materials Science and Engineering, University of Ulsan⁴

(Received December 13, 2019 / Revised December 28, 2019 / Accepted December 31, 2019)

Abstract: The light diffusion component spreads the light from one point evenly over a large area. Various types of light diffusion parts such as films and lenses are applied in the high-tech industries such as LCD display devices, lighting devices, and solar energy generation. Among these, a diffuser sheet (Diffuser Sheet) has a function to uniformly distribute the light, and various studies have been conducted to improve its function. The shape of the conventional light diffusion pattern is mainly made of a dot or hemispherical shape. In this study, a rectangular cone-shaped structure having a light diffusion function and an advantage of controlling the angle of refraction of light was fabricated by using a solenoid indentation process. The change in shape of the indentation structure was analyzed.

Key Words: Indentation Machining, Input Voltage, Quadrangular Structure, Solenoid Indentation System

1. 서 론

광학산 부품은 한 점으로부터 나오는 광을 넓은 면적에 고르게 퍼트리는 기능을 한다. LCD 디스플레이 장치, 조명 장치, 태양광에너지 발전 등의 최첨단산업분야에서 필름, 렌즈 등의 다양한 형태의 광학산 부품이 적용되고 있다¹⁾. 현재 LCD 디스플레이에 가장 많이 적용되고 있으며, Fig. 1은 LCD의 핵심 부품인 BLU(Back Light Unit) 장치에 광학산 필름시트가 적용된 모습을 보여주고 있다. 이를 중화산필름(Diffuser Sheet)은 광을 균일하게 분포시켜

주는 기능을 하며, 이것의 기능을 향상시키기 위해 서 다양한 연구가 진행되고 있다²⁻³⁾. 기존의 광학산용 패턴의 형상은 주로 도트(Dot) 또는 반구 형상으로 만들어졌다. 본 연구에서는 광학산 기능을 가지며, 빛의 굴절각 제어가 가능한 장점을 갖는 사각뿔 형상의 구조체를 솔레노이드 압입공정 방법을 이용하여 제조하고자 하였으며⁴⁻⁵⁾, 패턴 형상 변화에 큰 영향을 미치는 인자인 솔레노이드의 전압 변화에 따른 압입 구조체의 형상 변화를 분석하고자 하였다.

2. 솔레노이드 압입가공 공정

압입 가공이란 재료의 특성을 파악하는 재료시험

1, † 교신저자: 한국기계연구원 나노공정연구실
E-mail: jtj@kimm.re.kr

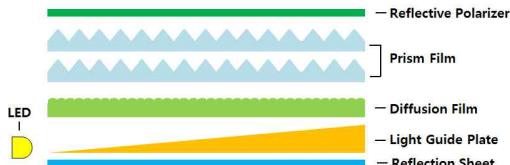


Fig. 1 Example of light diffusion film in back light unit of liquid crystal display device.

법과 같이 압입자로 재료의 표면을 눌러서 압입자의 형상을 재료의 표면에 전사하는 소성가공이다⁶⁾. 이러한 압입가공의 장점은 일반적인 절삭가공에서 쉽게 제조할 수 없는 불규칙적, 비연속적 구조체를 가공 할 수 있는 장점이 있다. 압입가공으로 다수의 구조체를 가공하기 위해서는 압입자의 빠른 동작이 구현 되어야한다. 이러한 동작은 전기에너지를 받아 자기에너지로 변환하여 직선 및 회전 운동을 구현 하는 솔레노이드를 적용하여 가능하다. Fig. 2는 솔레노이드 장치를 이용한 압입가공의 간단한 원리를 나타낸 것이다. 솔레노이드에 전압이 가해지면 장착 된 공구가 하방으로 나아가 공작물에 공구형상을 전사하는 구조이다. 이에 따라 인가되는 전압에 따라 패턴의 크기가 달라질 수 있다. 또한, 솔레노이드의 구동 속도에 따라 패턴의 형성 속도가 좌우된다. 본 장치에서는 초당 20회의 솔레노이드 작동이 가능하므로 이를 이용하여 많은 패턴을 단시간에 형성할 수 있는 장점이 있다.

3. 실험장치 및 방법

본 연구에서 압입 구조체를 제조하기 위해 사용한 솔레노이드 압입 실험 장치의 구성 모습은 Fig. 3과 같으며, 주요사양은 Table 1과 같다. 실험 장비는 X, Y, Z 스테이지의 이송 정밀도가 1 μm 이며, Z축에는 최대 허용전압 6V의 솔레노이드가 장착되어 있고, 그 하단에는 다이아몬드 압입자가 부착되어 있다. 솔레노이드는 Power Supply에서 가하는 전압에 따라서 일정거리 만큼 압입자를 빠르게 이송시킨다. 가공소재의 하단부에는 공구동력계를 설치하여 압입 구조체를 생성할 때 실시간으로 발생되는 압력을 측정할 수 있도록 하였다. 공구동력계는 Kistler사의 9256C 모델을 사용하였으며, 최대 250N 까지의 하중측정이 가능하다. 압입 구조체를 제조하기 위한 공구는 대면각 136도의 사각뿔 형상의 단결정 다이아몬드 재질 공구이다. 압입 구조체 제조

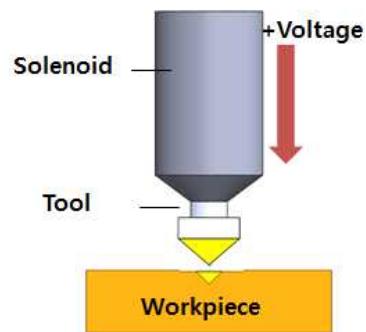


Fig. 2 Principle of the indentation machining using solenoid

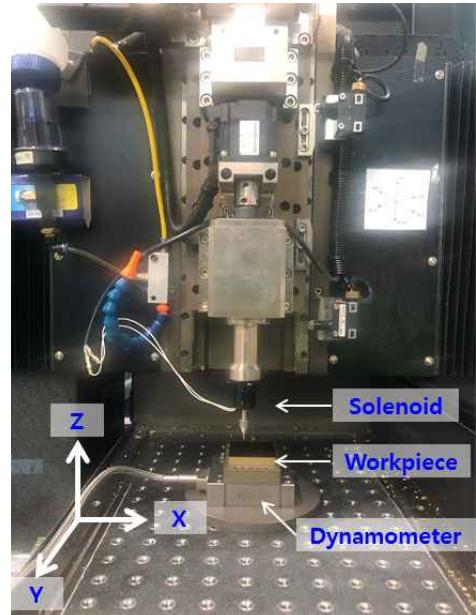


Fig. 3 Indentation machining system set-up

Table 1 Specifications of indentation machining system

Items		Specifications
X, Y, Z axis	Resolution	0.001 mm
A axis	Resolution	0.01°
Max. feed	X	30 mm/s
	Y	20 mm/s
	Z	5 mm/s
Solenoid	Maximum Voltage	6V
Power Supply	Input Voltage	30V
Dynamometer	Kistler (9256C)	250 N
DAQ	Sample Rate	1000 KHz

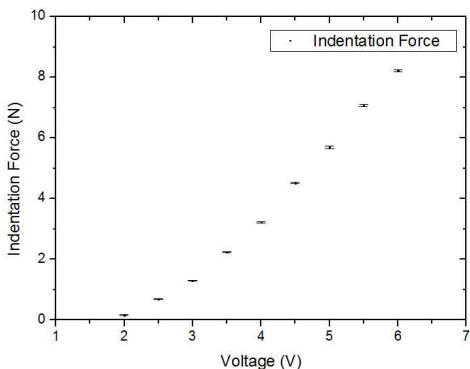


Fig. 4 Variation of indentation force according to increased input voltage

Table 2 Structure size of quadrangular pyramid according to variation of input voltage [unit : μm]

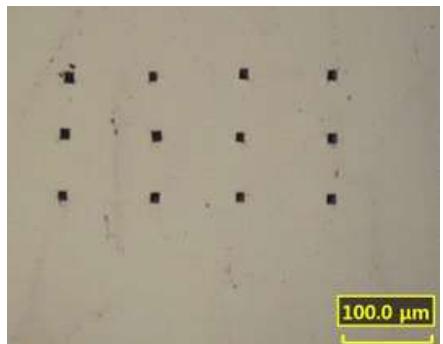
Voltage (V) Subject	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
1	15.7	28.3	39.2	54.1	65.3	79.5	89.1	98.1	105.8
2	16.2	27.5	40.5	55.1	66.8	80.4	87.3	96.7	104.8
3	14.2	28.4	38.5	56.5	64.5	77.9	86.0	95.6	103.4
...
12	15.4	27.6	41.6	55.0	65.4	77.3	88.9	93.9	106.2
Avg.	15.3	27.6	40.4	55.3	65.5	78.7	87.2	96.9	104.7
Stdev.	1.00	1.20	1.83	1.40	1.26	1.68	1.94	2.09	1.43

를 위해 사용된 소재로는 64 황동소재가 사용되었다. 전압 증가에 따른 압입력을 분석하기 위한 실험을 진행하였고, 가공 조건은 솔레노이드 최대 허용 전압을 고려하여 2V에서 6V까지 0.5V 단위로 증가하여 분석을 진행하였다. 전압과 압입력의 관계를 세밀하게 분석하기 위하여 동일 조건으로 12회씩 압입 가공을 진행하였다.

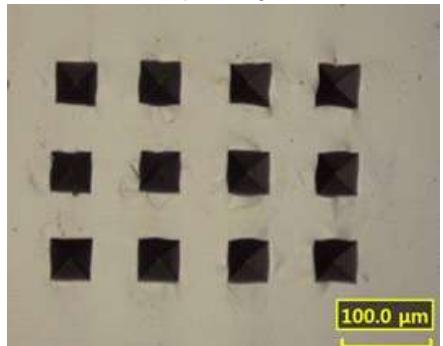
4. 실험결과 및 분석

4.1. 인가전압과 압입력 관계

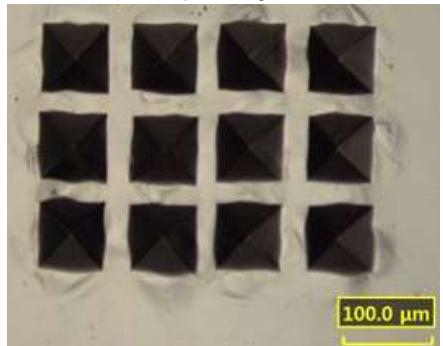
Fig. 4는 솔레노이드에 가해진 인가전압과 이 때 공구가 공작물을 누르는 압력을 동력계로 측정한 그래프이다. 인가전압을 2~6V까지 증가시켜 실험한 결과 압입력은 최대 8N 이상으로 증대되는 것을 확인하였다. 이러한 실험 결과는 솔레노이드의 인가전압을 증가시키면 공작물에 작용하는 압입력도 증가하는 형태로서, 인가전압을 증가시키면서 구조체의 크기를 조정할 수 있음을 보여준다.



(a) Input voltage 2V



(b) Input voltage 4V



(c) Input voltage 6V

Fig. 5 Indentation machining results at 2V, 4V, 6V of input voltage

4.2. 인가전압과 구조체 크기 관계

Table 2는 솔레노이드 인가전압을 2V에서 6V까지 변화시키며 압입 가공된 구조체의 대각선 길이를 측정한 결과를 정리한 표이다. 가공된 사각뿔 구조체의 크기는 전압이 증가됨에 따라 약 15 μm 에서 104 μm 까지의 사각뿔 구조체의 크기가 커졌으며, Fig. 5는 인가전압 2V, 4V, 6V에서 공작물에 압입가공된 사각뿔 구조체를 보여준다. 각각의 인가전압 조건에서 12회씩 반복하여 가공한 결과 사각뿔 구

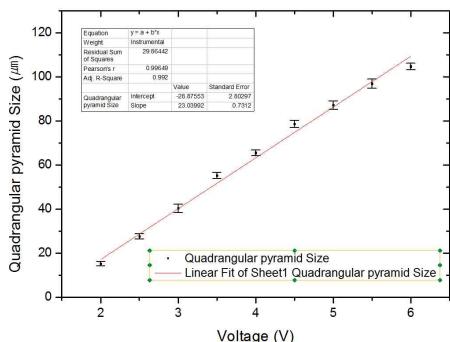


Fig. 6 Linear fitting results of structure size of quadrangular pyramid machined by varying input voltage

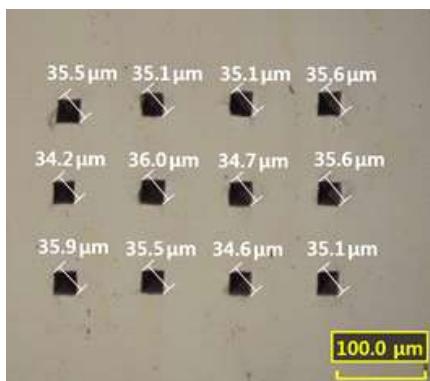


Fig. 7 Indentation machining result of quadrangular pyramid by controlled input voltage

조체 크기의 표준편차가 인가전압 2V에서 1.0, 4V에서 1.26, 인가전압 6V에서 1.43으로 균일한 구조체의 제조가 가능함을 확인하였다.

Fig. 6은 가공조건에 따른 구조체의 크기를 선형 회귀분석(Linear Regression Analysis)한 결과이며, 인가전압에 따라 구조체의 크기변화가 선형적인 특성을 보였다. 측정된 구조체 크기 변화의 분포 특성을 알 수 있는 결정계수(R^2)는 약 0.996이다. R^2 이 1일 때 100 % 선형특성을 나타내기 때문에 인가전압 증가에 따른 구조체의 크기 변화는 선형적인 증가 특성을 가짐을 확인하였다⁷⁾. 따라서 선형회귀분석 결과를 기반으로 인가 전압을 제어하면 사각뿔 구조체의 크기를 정밀하게 제어하여 가공 할 수 있다. Fig. 7은 위 결과를 기반으로 35 μm의 사각뿔 구조체를 제조하기 위하여 인가전압 2.8V를 적용하여 가공한 결과를 보여준다. 가공된 결과 사각뿔 구조체의 평균 크기는 35.2 μm으로 형상오차 0.2 μm의 매우 정밀한 구조체를 제조하였다.

5. 결론

본 연구에서는 솔레노이드 압입장치를 이용하여 사각뿔 형상의 구조체를 제조하기 위해 인가전압 증가량에 따른 구조체의 형상변화에 대한 분석을 수행하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 압입력은 솔레노이드의 인가전압 증가에 따라 최대 8N까지 증가하였으며, 압입력 증가경향에 따라 구조체의 크기도 예측 가능함을 확인하였다.

2) 같은 전압으로 반복하여 압입가공 하였을 때 비교적 균일한 구조체 제조가 가능함을 확인하였다.

3) 인가전압의 변화에 따른 구조체의 크기변화를 회귀분석한 결과 결정계수 0.996의 높은 선형특성을 보임을 확인하였다.

4) 분석결과를 기반으로 인가전압 2.8V를 통하여 35um크기의 사각뿔 구조체를 형상오차 0.2um 내에서 정밀하게 제조하였다. 따라서 상기 결과들을 바탕으로 솔레노이드를 이용한 압입가공에서 인가전압의 제어에 따라 구조체의 크기를 제어하여 가공할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- 1) H-P D. Shieh, Y-P Huang, K-W Chien, "Micro-Optics for Liquid Crystal Displays Applications," Journal of Display Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 62-76, 2005.
- 2) Jeon, E. c., Lee, J. R., Choi, D. H., Choi, H. J., Je, T. J., Micro-machining and Optical Characterization of Randomly Distribute Micro-Lens Array. Euspen, Proceedings of the 16th International Conference of the Euspen Society for Precision Engineering and Nano technology, Vol. 16, pp. 507-508, 2016.
- 3) Moon, S. H., Lee, J. R., Jeong, J. Y., Lee, K. M., Je, T. J., Jeon, E. c., "Design of Random Patterns with Square Pyramid Shape," KSMPE Spring conference, pp.209-209, 2017.
- 4) Jeon, E. c., Je, T. J., Hwang, K. H., "A Study on Design of High Luminance Hybrid LED Package and Ultra-fine Machining of Optical Pattern," Transactions of Materials Processing, Vol. 19, No. 8, pp.474-479, 2010.
- 5) Lee, J.R., Jeon, E. C., Je, T. J., Woo, S. W., Choi D. S., Yu, Y. E., Kim, H., "Fabrication and analysis of optical micro-pyramid array-patterns,"

Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No 4, pp.7-12, 2014.

- 6) Jeon, E. c., Lee, J. R., Choi, D. H., Choi, H. J., Je, T. J., "A New Application of Dynamic Indentation: Indentation Machining Technology," Experimental Mechanics, Vol. 57, No. 7, pp.1127-1133, 2017.
- 7) Seber, G. A. F. and Lee, A. J. "Linear Regression Analysis," Second Edition, A JOHN WILEY&SONS, Inc., Hoboken, New Jersey, 2012.

저자 소개

문승환(Seung Hwan Moon)

[정회원]



- 2017년 8월: 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부(공학학사)
- 2020년 2월: 금오공과대학교 기계시스템공학과(공학석사예정)

< 관심분야 >

초정밀 기계가공, 금형 및 광학부품가공, 기계요소설계

정지영(Ji-Young Jeong)

[정회원]



- 2015년 2월: 한국기술교육대학교 기계공학부(공학학사)
- 2015년 9월: 과학연합대학교대학원 나노메카트로닉스(공학박사과정)

< 관심분야 >

초정밀 기계가공, 금형 및 광학부품가공, 사출 및 프레스성형

한준세(Jun-Sae Han)

[정회원]



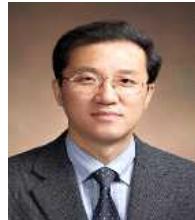
- 2017년 2월: 포항공과대학교 기계공학과(공학박사)
- 2017년 3월~2018년 11월: 삼성전자 TP 센터, 책임연구원
- 2018년 11월~현재: 한국기계연구원 나노융합기계연구본부, 선임연구원

< 관심분야 >

분말사출성형 및 금형가공, 융복합 가공기술

최두선(Doo-Sun Choi)

[정회원]



- 1989년 ~ 1990년: (주)LIG 네스원, 연구원
- 2002년 2월: 연세대학교 기계공학과(공학박사)
- 1990년~현재: 한국기계연구원 나노융합기계연구본부, 책임연구원

< 관심분야 >

나노/마이크로 패턴 가공 및 성형기술, 초정밀 3D 금속 하이브리드 프린팅시스템 기술

최성대(Seong-Dae Choi)

[정회원]



- 1990년 ~ 1995년: (주)현대 모비스, 주임 연구원
- 1999년 3월: 동경도립대학 기계공학과(공학박사)
- 2000년~현재: 금오공과대학교 기계시스템공학과, 교수

< 관심분야 >

기계요소설계, 파괴피로공학, 공작기계설계

전은채(Eun-chae Jeon)

[정회원]



- 2005년 8월: 서울대학교 재료공학부(공학박사)
- 2005년 9월~2008년 1월: 삼성전자 LCD총괄, 책임연구원
- 2008년 2월~2018년 2월: 한국기계연구원, 책임연구원
- 2018년 3월~현재: 울산대학교 첨단소재공학부, 조교수

< 관심분야 >

초정밀 기계가공, 미소재료 기계적특성 평가

제태진(Tae-Jin Je)

[정회원]



- 2004년 8월: 금오공과대학교 기계설계공학과(공학박사)
- 1982년 8월~현재: 한국기계연구원 나노융합기계연구본부, 책임연구원

< 관심분야 >

초정밀 기계가공, 금형 및 광학부품가공, 사출 및 프레스성형