

|||||||
論 文
|||||||

쾌속조형 듀라폼 성형체에서의 배치각 변화에 따른 주얼리구조모형의 형상요소변화

주영철 · 송오성*†

Jewelry Model Cast Elements Evolution with Alignment Angle in DuraForm Rapid Prototyping

Youngcheol Joo and Ohsung Song†

Abstract

We fabricated test samples containing various shape elements and surface roughness checking points for the jewelry cast master patterns by employing the 3D computer aided design (CAD), selective laser sintering (SLS) rapid prototype (RP) with the DuraForm powders. We varied the alignment angle from 0° to 10° at a given layer thickness of 0.08 and 0.1mm, respectively, in RP operation. Dimensions of the shape elements as well as values of surface roughness are characterized by an optical microscope and a contact-scanning profilometer. Surface roughness values of the top and vertical face increased as the alignment angle increased, while the other roughness values and shape elements variation were not depending on the alignment angle. The resolution of the shape realization was enhanced as the layer thickness became smaller. The minimum diameter of the hole, common in jewelry design, was 1.2 mm, and the shrinkage became 12% at the 1.6 mm-diameter hole. Our results implied that we face down the proposed design elements with 0° alignment angle, and consider the shrinkage effect of each shape element in DuraForm RP jewelry modeling.

(Received August 30, 2001)

Key words : Cast Element, Jewelry, Rapid Prototyping, Roughness, Selective Laser Sintering, DuraForm

1. 서 론

쾌속조형기(Rapid Prototyping)가 국내에 보급된지 10여년이 지난 지금 SLA (Stereolithography Apparatus), SLS(Selective Laser Sintering), FDM(Fused Deposition Modeling), 3D Printing 등 다양한 방식의 쾌속조형기가 보급되면서 보급대수와 활용건수에 있어서 괄목할 만한 성장을 이루었다. 그러나 대부분의 활용도가 자동차나 전자부품 등 제조업 분야에서 3D CAD로 설계된 부품의 형상을 확인하는 용도로 사용되는데 그치고 있다. 형상확인용 이외의 활용은 쾌속조형기로 제작한 원형에 왁스를 침투시켜 왁스형을 만들고 로스트왁스 주조법을 이용하여 금속의 제품을 만드는 방법도 조심스럽게 국내 산업계에서 시도되고 있다. 제조

업 이외에는 의료분야와 디자인 산업분야에서 쾌속조형기의 도입을 시도하고 있다[1-3].

주얼리 분야에서 현재 초기에 도입된 왁스분사형의 3D Printing 쾌속조형기는 단품원본 제조용으로 기존의 SLS형 쾌속조형기에 비해 다량의 원본제조시 약 1/10 정도의 생산성 밖에 되지않아 실제 주얼리 제조에 도입되기 힘든 단점이 있었다. 이러한 단점을 극복하기 위해 SLS형 쾌속조형기 제품을 이용하여 은으로 주조된 주얼리 마스터패턴을 만들고 이 마스터패턴을 이용하여 다량의 왁스형을 만들어 최종 귀금속 제품을 주조하는 방법이 본 연구진에 의해 최근에 성공적으로 상용화 된 바 있다. 본 연구진은 이에 한발 더 나아가서 소비자의 맞춤형디자인의 백금제(platinum) 주얼리를 왁스패턴 없이 SLS쾌속조형기로 제작한 패턴으로부터

순천향대학교 기계공학과(Department of Mechanical Engineering, Soonchunhyang University)
*서울시립대학교 재료공학과(Department of Materials Science and Engineering, The University of Seoul)
†E-mail: songos@uoscc.uos.ac.kr

직접 주조하는 방법을 시도하고 있다.

주얼리 제품 제조를 위한 통상의 세공공정(metal craft)에서는 이제까지는 보석에 맞는 디자인 시안을 준비하고 이를 정밀하게 수공으로 초(wax)를 깎아 패턴을 만드는 공정을 진행하는 패턴작업을 진행하여 왔다. 이후 이 왁스패턴을 석고 플라스크를 이용하여 금속패턴(통상 은)을 제작하고 이를 마스터패턴으로 사용하여 대량의 주조용 틀을 제작하고 로스트왁스 주조법을 써서 틀을 만들고 스톤을 합체하여 최종 주얼리 제품을 완성하는 복잡한 단계를 거치게 된다[4]. 이러한 공정은 현재까지 모두 수공에 의한 작업으로 이루어져 왔으나, 최근의 패턴 기술자의 노령화와 고가 주얼리 마스터패턴 제작의 수요증가로 한계를 드러내고 있다.

따라서 곧 30% 이상의 수요증가가 예상되는 백금을 비롯한 고가 주얼리 등의 생산성 확보를 위해서는 기존의 수공패턴 작업이 아닌 상기 제안된 고생산성이 보장된 캐속조형기를 활용한 패턴자동화가 도입되어야 하고, 백금과 같은 고가주얼리의 제조시 후처리 손실을 최소화 하기 위해서는 특히 캐속조형기로 제작된 모형(master pattern, model)의 표면조도 개선과 정밀도 향상에 대한 연구가 필수적이다.

이러한 배경에서 본 연구는 아직 도입초기인 듀라폼 분말로 소형 마스터패턴을 만드는 경우를 상정하여 주얼리산업의 적용가능성을 확인할 수 있는 기초연구를 수행하였다.

본 연구에서는 백금을 금속부로 한 고가 주얼리 제품을 제작하기 위해 SLS 방식의 캐속조형기를 채용하고 듀라폼(DuraForm) 분말로 성형하는 공정을 상정하고, 주얼리 제작에 쓰이는 여러 가지 요소를 포함한 시편을 제작하였다. 주조상태의 최종후처리 공정을 간단하게 하기 위해 듀라폼 분말로 시편 패턴제작시, 높이방향 적층두께(layer thickness)를 0.08에서 0.1 mm로 각각 고정시키고, 각 조건에서의 배치각(alignment angle)을 0°에서 10°로 변화시키며 제작하면서 각 형상의 배치각에 따른 변화와 표면조도를 확인하여 최적 패턴 성형공정을 제안하였다.

2. 실험방법

2.1 시편의 설계

주얼리는 곡면뿐만 아니라 여러가지 모양과 크기의 구멍과 뾰족한 돌출부분 등 다양한 형상으로 구성되어

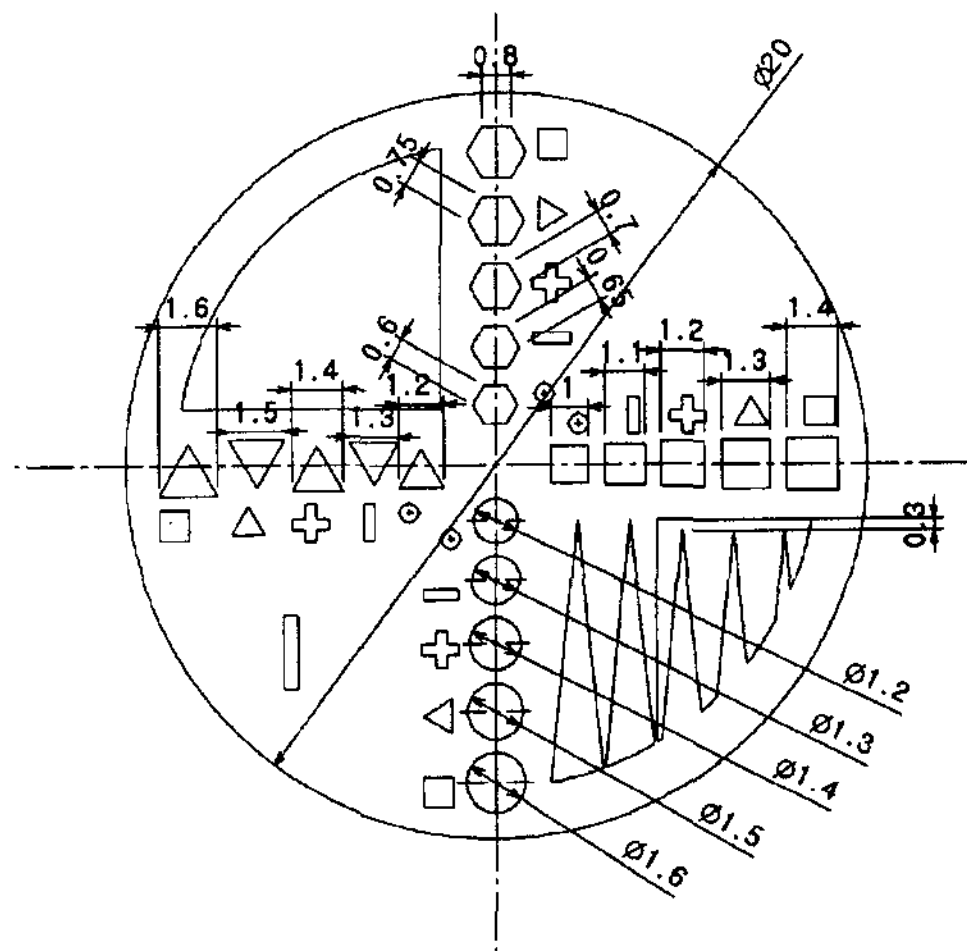


Fig. 1. Design of the test sample.

있다. 이와 같은 다양한 형상의 제작 가능성 정도를 파악하기 위해 3D CAD 프로그램인 CATIA를 사용하여 Fig. 1과 같이 다양한 형상이 구현된 지름 20 mm 두께 3 mm의 시편을 설계하였다. 시편의 표면조도를 확인하기 위해 1사분면과 3사분면을 평면 그대로 남겨 두었으며 3사분면에는 시편의 고유번호를 표시하였다. 구멍의 표현가능 한계를 보기 위해 시편의 중앙에서 방사형으로 원형, 육각형, 사각형, 삼각형의 구멍을 지름을 1.2 mm에서 1.6 mm까지 변경시켜가며 설계하였다. 원형구멍은 주얼리에서 가장 많이 쓰이는 요소이므로 마스터패턴으로서 구현 가능한 최대크기를 알 수 있도록 배치하였고, 정육각형, 정사각형, 정삼각형의 요소들은 각각 둔각, 직각, 예각의 요소들의 꼭지점의 구현정밀도를 확인하기 위해 고려하였다.

돌출 부분의 구현가능 한도를 확인하기 위해 4사분면에 뾰족한 삼각형을 설계하였으며, 주조시 용탕의 주입거리 및 주조능을 확인하기 위해 크기별로 배치하였다. 수직평면의 표면조도를 확인하기 위해 2사분면에 수직평면을 설계하였다.

2.2 캐속조형기의 운용

정밀성이 우수하고 다양한 재질의 분말을 이용하는 SLS 방식을 채택한 Sinterstation 2500 plus(미 DTM사)를 이용하여 시편을 제작하였다. SLS 방식은 분말 형태의 재료를 이용하므로 성형체 적층시 단면의 일부 분이 성형체의 모체에서 떨어져 있는 오버행이나 아일랜드가 발생할 때 미소결 분말이 자체적으로 지지해

주므로 다른 방식과는 달리 지지대를 형성하지 않아도 된다는 장점이 있으므로 형상이 복잡한 주얼리의 제작에 다른 방식에 비하여 유리한 점이 있다. 또한 성형체가 분말의 소결체이므로 입자 사이에 약간의 공극이 있어서 구조시 모형으로 사용하기 편리하다는 장점도 있다[5,6].

SLS 방식의 쾌속조형기 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 먼저 제작에 사용되는 분말을 분말 카트리지에 넣고 제작공간 내부를 질소로 충전시키면서 152°C~158°C의 분위기를 만든다. 원하는 제품을 적층시킬 빌드챔버 위에서 25W CO₂ 레이저가 제품의 단면정보에 따라 빌드챔버의 분말에 지름 50 μm의 레이저빔을 조사하면 분말은 레이저에 광반응을 해 딱딱하게 소결된다. 한 층이 소결된 후 빌드챔버가 일정한 높이만큼 내려가면 롤러가 분말 카트리지에서 분말을 밀고 지나가면서 빌드챔버 위에 새로운 분말의 층을 형성한다. 이 층에 다시 레이저가 다음 단면의 형상을 조사하여 소결하는 방식으로 한층씩 쌓아 나가면서 원하는 형상을 적층하여 제작한다. 제작이 끝난 후 열변형을 막기 위해 제품이 상온으로 식을때까지 기다린 후에 레이저 조사를 받아 소결된 부분에서 주변의 분말을 털어내는

후처리를 하면 원하는 제품을 얻을 수 있다. 털어낸 분말은 다시 사용이 가능하다.

쾌속조형기로로 제작할 제품의 단면적이 너무 넓으면 한 층을 제작한 후 다음 단면의 분말을 롤러로 공급할 때 단면에 재료가 공급되지 못하는 부분이 발생할 수 있다. 때문에 통상 제품의 경우에는 장축을 수평면에서 약 5° 정도 기울여서 배치하는 배치각을 두어 너무 넓은 단면적이 발생치 않도록 운용하고 있다[6]. 그러나 대부분의 주얼리들은 크기가 작기 때문에 위와 같이 분말이 단면에 공급되지 않을 염려는 상대적으로 적으므로 주얼리에 적당한 최적의 배치각을 찾을 필요가 있다. 또한 적층두께는 성형체의 제작비와 직접적인 연관을 갖는 중요한 변수로서, 적층두께가 클수록 층수가 작아져서 제작시간과 제작비가 줄어들지만 정밀한 형상을 얻지 못한다. 일반적으로는 0.1 mm의 적층두께가 널리 사용되고 있지만 주얼리 원본 제작에 맞는 최적의 적층두께를 찾아야 할 필요가 있다.

SLS 방식의 쾌속조형기는 다양한 재질을 지원하지만 특히 듀라폼이 국내에서 소모되는 SLS 분말의 주종을 이룬다. Table 1에 나타낸 바와 같이 폴리아마이드계의 폴리머분말인 듀라폼은 분말체의 기계적 특성이 우수하며 190°C 이하의 낮은 용점을 가지고 있어[7] 최종 성형체에서 직접 백금과 같은 고융점 주얼리를 위한 마스터패턴으로서 석고플라스크 작업이후에 열에너지를 주어 선택적인 제거가 용이하여 주얼리 원본작업에 유리한 장점이 있다. 특히 평균 구형분말의 입경이 54 μm로서 섬세한 표면처리가 요구되는 주얼리 제품의 마스터패턴 작업에 표면정밀도를 우수하게 구현할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 상기 주얼리에 적합하고 범용적인 듀라폼분말을 채용하고, DTM사의 SLS쾌속조형기를 사용하여 상기 완성된 3차원 CAD데이터를 쾌속조형시의 분위기온도 156°C, 레이저 파워 10.0 W, 적층두께 0.08 mm와 0.1 mm, 배치각 0°에서 10°까지 2°씩 변

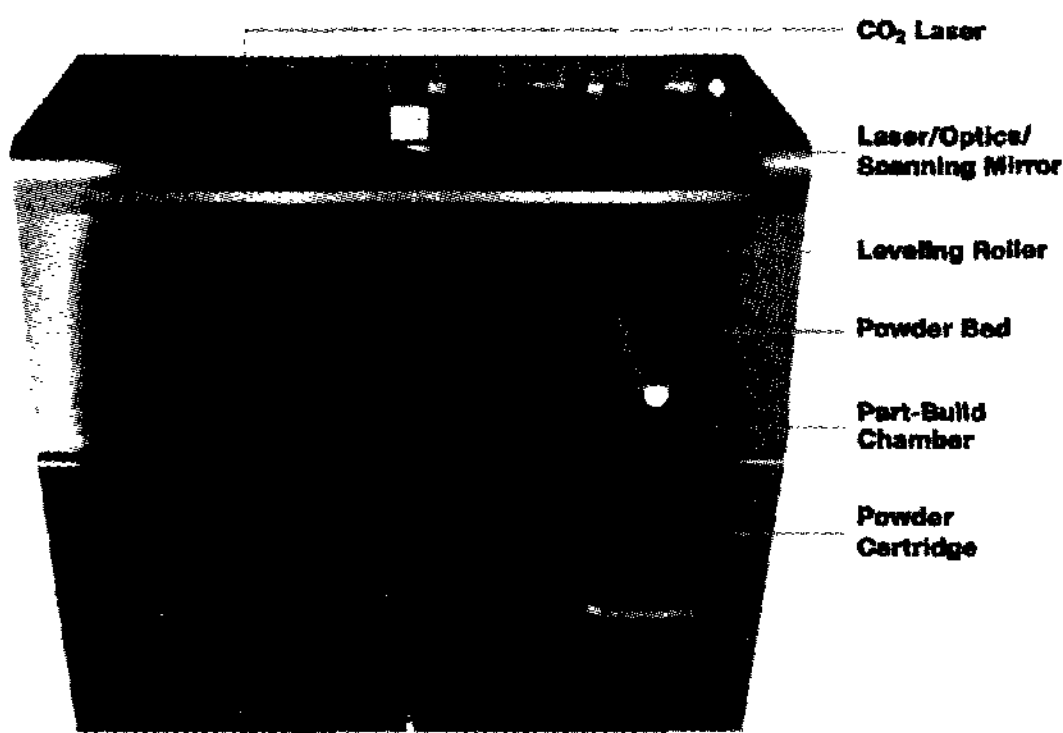


Fig. 2. Schematic illustration of a SLS Rapid Prototype (Sinterstation 2500 plus, DTM)

Table 1. Properties of DuraForm Polyamide powder and part

Powder Property	Value	Part Property (SLS processed)	Value
MSDS	DuraForm Polyamide	Tensile Strength at Yield	43 MPa
Specific Gravity, 20°C	0.97	Tensile Modulus	1517 MPa
Powder Density, Tap	0.59 g/cm ³	Tensile Elongation at Break	8%
Average Particle Size	58 microns	Impact Strength(Notched Izod)	216 J/m
Particle Size Range, 90%	25 to 92 microns	Surface Finish, Ra(upper facing)	8.5 μm
Melting Point	184°C	Chemical Resistance	Alkalines, hydrocarbons, fuels and solvents

화시키며 시편을 제작하였다.

2.3 여러 가지 형상요소의 분석과 표면조도 분석

캐속조형기로 여러 설계요소가 포함되어 배치각을 달리하며 제작된 시편의 여러요소를 실제 설계와 최종 구현된 상태를 확인하기 위해 모든 설계요소들을 30배의 광학현미경으로 촬영하여 각 요소의 크기를 측정하였다. 광학현미경은 Nikon사의 금속현미경으로 디지털 카메라가 내장되어 파일로 각 요소의 형상을 저장하고 최종인쇄물을 확인하여 정확한 측정을 수행하였다.

표면조도는 Mahr사의 접촉스타일러스식 표면조도기를 활용하여 5 mm의 주사범위의 표면조도를 측정하였고 최종적으로 제작된 각 성형시편의 상면과 하부면을 각각 측정하여 각 면의 평균조도를 결정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 표면조도

백금과 같은 고가주얼리는 최종제품의 표면처리를 연마에 의해 제거하는데 표면조도의 증가는 고가백금재료의 손실이 그만큼 크다는 의미이므로 표면조도의 증가는 적극적으로 억제되어야 한다. Fig. 3에 0.08 mm의 적층두께로 제작한 시편의 윗면과 하부면의 표면조도 측정결과를 배치각에 따라 나타내었다. 시편의 윗면은 배치각이 커질수록 조도가 커졌다. 이는 한 층의 두께가 유한하기 때문에 경사면에서 한 층과 다음 층이 계단식으로 표현되기 때문이며, 기울기가 클수록 표면조도가 커지는 것은 기울기가 클수록 계단의 숫자가

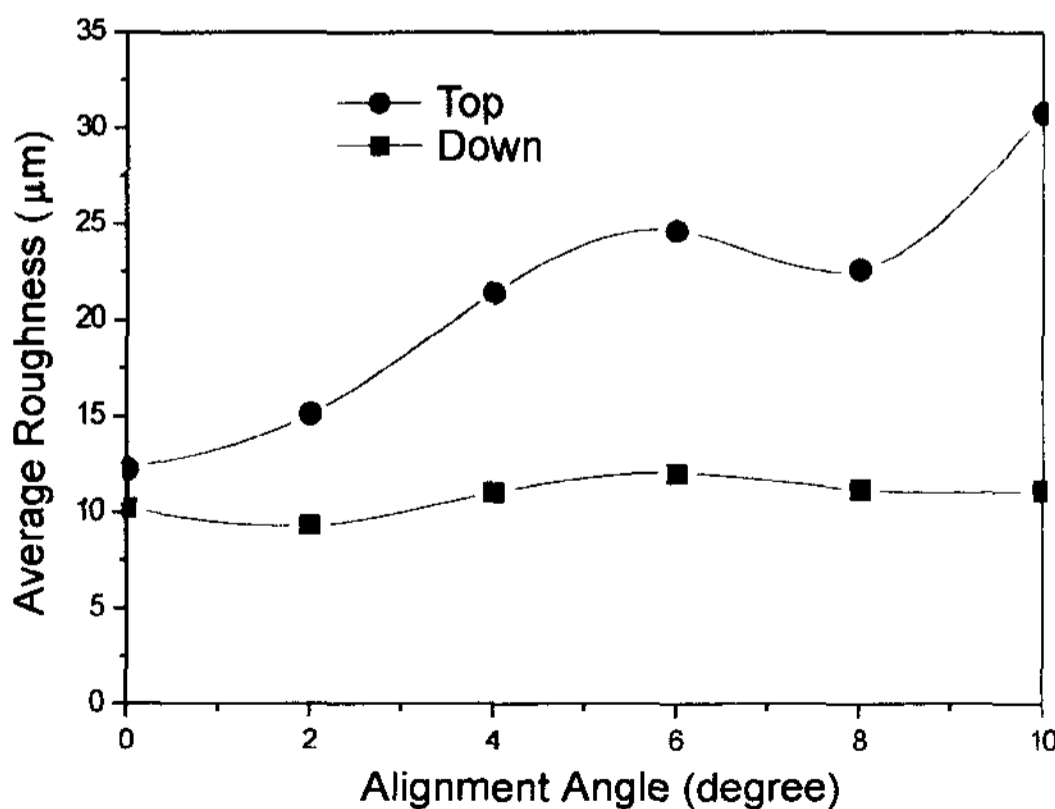


Fig. 3. Surface roughness of the top face and the down face with the alignment angle.

많아지기 때문이다. 반면에 아래면은 경사도에 관계없이 거의 일정한 표면조도를 나타내고 있다. 레이저가 표면층에 조사될 때 에너지가 아래층에도 영향을 미쳐서 위층과 아래층이 하나의 덩어리로 굳게 한다. 시편의 아래면은 밑을 향한 계단을 형성하고 있으므로 계단과 계단 사이의 분말이 레이저 에너지에 의해서 굳게 되어 위면과는 달리 계단이 뚜렷이 나타나지 않는 매끄러운 형상을 나타내는 것으로 사료된다.

3.2 구멍의 크기 한계

구멍의 표현한계를 알아보기 위해서 지름 1.2 mm~1.6 mm의 원형 구멍을 포함한 다양한 모양과 크기의 구멍을 시편에 제작하여 배치각에 따른 효과를 관찰하였다. 적층두께 0.08 mm로 제작한 시편에서 각 설계치수 요소의 측정결과를 Fig. 4에 나타내었다. 원형구멍에서는 12%~25%의 지름오차가 났으며 구멍의 크기가 작을수록 설계한 구멍 크기와 실제 구멍 크기의 차이가 크게 나타났다. 구멍의 모양에 따라서는 원형이 가장 설계치와 실제 구멍의 크기의 오차가 작았으며 육각형과 사각형이 그 다음이고 삼각형은 가장 큰 오차를 나타내었다. 이는 같은 크기의 구멍이라도 예각쪽으로 갈수록 표현이 어려운 것을 나타내고 있다.

시편의 기울기와 구멍의 정밀도와는 큰 관계가 나타나지 않았다. 따라서 성형패턴 표면에 나타나있는 구멍들은 크기가 어느 정도 이상만 되면 배치각에 관계없이 원하는 모양을 얻을 수 있었다.

적층두께 0.1 mm의 시편에서는 0.08 mm의 시편에 비해서 0~20%정도 더 큰 오차를 보였으며 구멍의 크기가 작을수록 오차의 크기는 커졌다. 또한 배치각에 따라 구멍의 크기가 커졌다 작아졌다 하는 편차가 0.08 mm 시편에 비해서 심하게 나타났다.

3.3 뾰족한 돌출부분의 표현

주얼리에 나타나는 뾰족한 돌출부분의 표현한계를 알아보기 위해 각도 12°의 뾰족한 삼각형을 시편에 제작하였다. 삼각형의 끝부분과 윗면과의 간격은 3 mm로 설계되었지만 실제로 제작된 시편은 삼각형이 무디어 질 것이므로 간격이 이보다는 크게 표현되었다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 측정 결과 0.08 mm 두께로 적층한 시편이 0.1 mm로 적층한 적층한 시편보다 간격의 오차가 적었다. 이는 적층두께가 적을수록 정밀한 표현이 가능하기 때문이다. 경사각에 따른 정밀도는 두

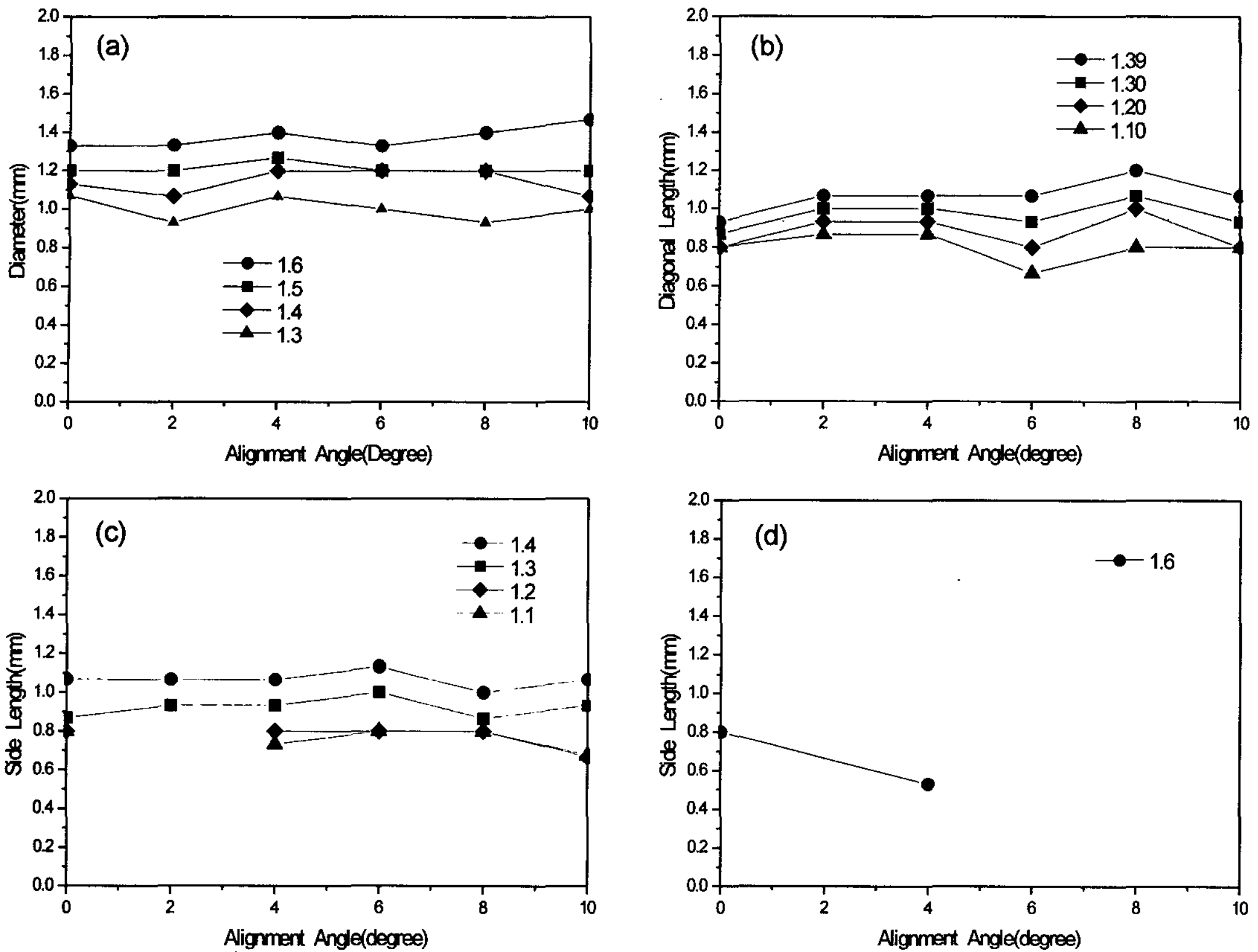


Fig. 4. Measured values of various design size of elements; (a) circle, (b) hexagon, (c) square, and (d) triangle with 0.08 mm layer thickness.

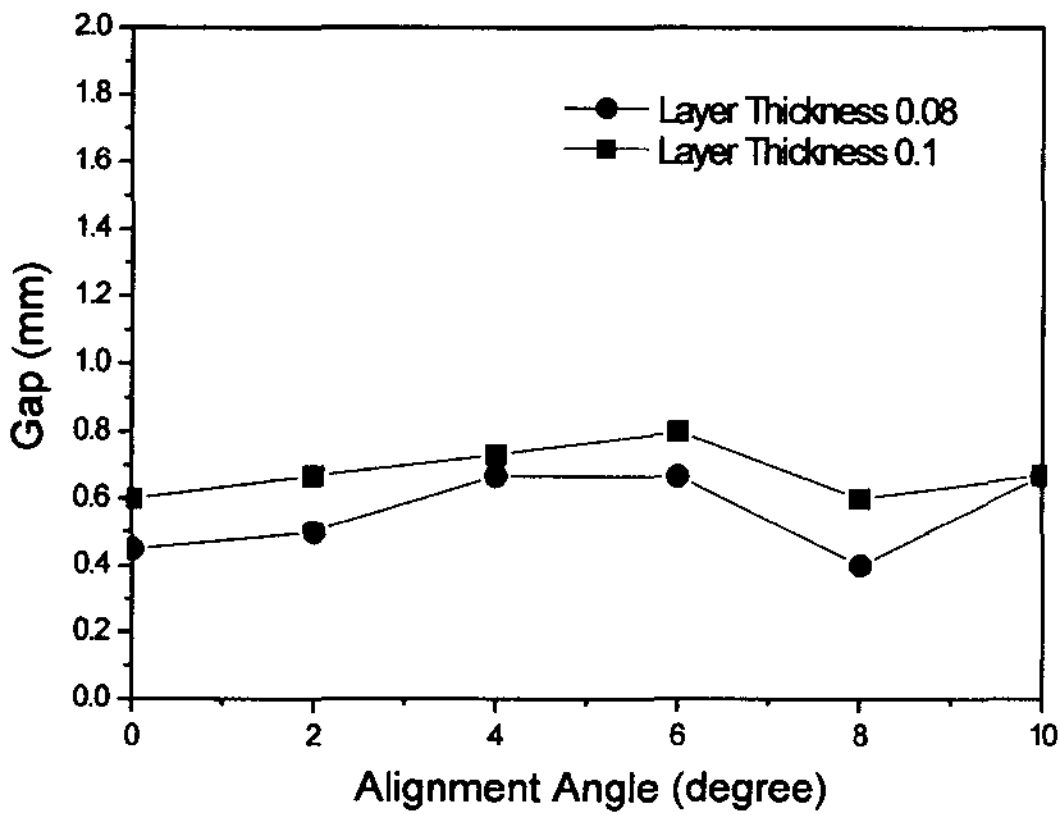


Fig. 5. Plot of sharp edge gap versus alignment angle with layer thickness of 0.08 and 0.1 mm.

러한 경향은 나타내지 않으나 0°에서 2가지 적층 두께의 경우 모두 제일 작은 간격오차를 나타내었다. 따라서 돌출부분도 특별한 사유가 없는 한 배치각을 0°로

하는 것이 바람직하였다.

3.4 수직평면의 표면조도

Fig. 6에 수직평면의 표면조도를 나타내었다. 1개의 층으로 이루어진 수평면의 표면조도와 비교하여 여러 층이 겹쳐서 이루어진 수직면은 표면조도가 약 30배 증가를 보였다. 0.08 mm의 적층두께에서는 수직표면조도가 배치각의 증가에 따라 증가하는 경향을 보이고, 0.1 mm 적층두께에서는 배치각에 따른 큰 변화가 없었으나 궁극적으로 0°의 배치각에서 가장 정밀한 수직표면조도를 얻을 수 있었다.

3.5 주얼리에의 응용

브로치나 머리핀, 목걸이 등 대부분의 주얼리는 몸쪽을 향하거나 고정구에 부착되는 평평한 안쪽면과 디자인이 가공되어 외부로 드러나는 곡면부, 구멍, 돌출부로 이루어진 바깥면으로 구성된 3차원 형상을 하고

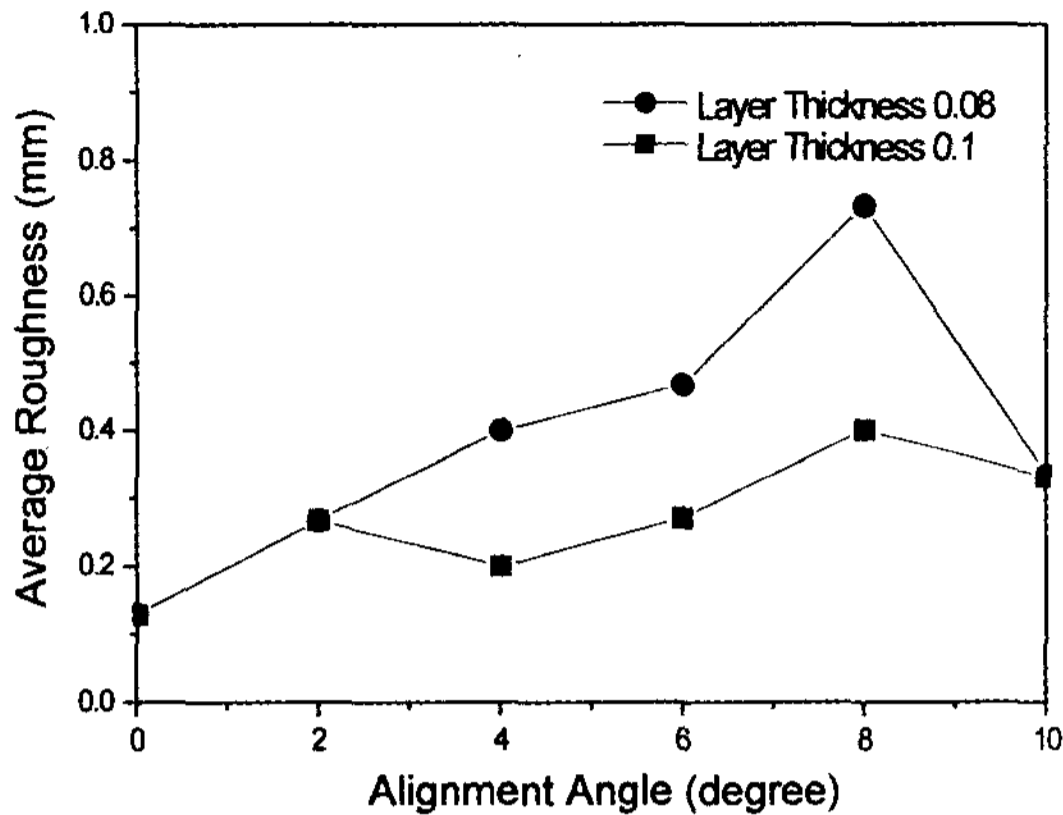


Fig. 6. Plot of vertical face roughness versus alignment angle with layer thickness of 0.08 and 0.1 mm.

있다. 위의 실험결과 쾌속조형기로 원본 제작시 위면보다 아래면이 표면조도가 더 좋고 배치각에 영향을 받지 않으므로 디자인이 표현된 주얼리의 바깥면을 아래로 향하게 해서 쾌속조형기 원형을 만들면 더 좋은 형상을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

또한 적층두께는 제작시간 혹은 제작비와 연관되어 있으나 대부분의 주얼리가 소형이므로 고정적으로 소요되는 준비시간과 후처리 시간을 포함하면 전체 제작시간의 차이는 크지 않다. 따라서 적층두께를 장비가 낼 수 있는 최대 성능의 얇은 두께로 쌓아가면서 주얼리용 성형체를 제작하면 제작비의 증가에 비해서 더 큰 정밀도의 향상을 가져 올 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

주얼리 마스터패턴 제작용으로 SLS 방식 쾌속조형기의 듀라폼 재료를 이용하기 위해 여러 가지 제작조건에 따른 정밀도를 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 쾌속조형기 제작 시편의 표면조도는 윗면보다 아래면이 좋다. 따라서 목적하는 주얼리의 디자인 표현면을 아래로 향하게 배치하고 성형하는 것이 유리하다.

2) 주얼리 마스터패턴의 제작에서는 일반적으로 알려진 바와는 달리 제품의 배치각이 클수록 표면조도, 측면조도, 구멍의 표현능력 등이 악화되므로 0°의 배치각이 유리하다.

3) 원형, 육각형, 사각형, 삼각형 등 주얼리에서 많이 쓰이는 요소는 성형체에서 예각으로 갈수록, 그리고 구멍의 크기가 작을수록 실제 디자인과 오차가 커졌다. 디자인 요소의 최소구현크기가 1.2 mm였고, 목적하는 크기가 1.6 mm의 소형 원형구멍에서는 약 12%의 지름오차가 있었다.

4) 적층두께의 차이에 의한 정밀도는 0.08 mm의 적층두께가 0.1 mm의 적층두께보다 좋은 결과를 나타내었으므로 장비가 허용하는 한 적층두께를 작게 하는 것이 유리하다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-2-30400-006-3) 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] D. Y. Yang and H. K. Shon, "Mechanism and Characteristics of Rapid Prototyping Process," *Journal of the KSME*, Vol. 39, No. 9 (1999) 28.
- [2] K. H. Lee, S. B. Shon, T. H. Seok, and J. H. Ryu, "The Applications of Rapid Prototyping Technology to the Medical Engineering," *Journal of the KSME*, Vol. 39, No. 9 (1999) 41.
- [3] H. D. Jung, "Development of Aluminum Shoes Mold by Rapid Prototyping Process," *Journal of the KSME*, Vol. 39, No. 9 (1999) 45.
- [4] Jinks McGrath, "Encyclopedia of jewelry-making technique, pp.22-27. Yekyung Publishing Co., (2001).
- [5] C. K. Chua, K. F. Leong, "Rapid Prototyping: Principles & Applications in Manufacturing" Singapore, John Wiley & Sons (1997).
- [6] "The Sinterstation System Reference Guide," DCN:8002-00021-001, DTM (2000).
- [7] "The Sinterstation System, Guide to Materials: DuraForm Polyamide," DCN:8001-10014, DTM (1997).