

주얼리용 마스터패턴의 쾌속제작에 관한 연구

주영철* · 이창훈* · 송오성**

A Study on the Rapid Manufacturing for Jewelry Master Patterns

Youngcheol Joo*, Changhoon Lee* and Ohsung Song**

요 약 주얼리 제조 공정중 마스터패턴 제조 공정은 전체 제조원가의 20%를 차지하기 때문에 매우 중요한 공정이다. 지금까지는 수작업으로 왁스 패턴을 제작하고 이를 이용하여 석고형을 만들고 석고형으로 마스터 패턴을 제작하는 복잡한 공정을 거쳐 제작하였다. 본 연구는 쾌속조형기를 이용하여 듀라폼 재질의 몰드를 만들고 저융점합금을 이용하여 마스터패턴을 직접 제작하는 새로운 공정을 개발하였다. 듀라폼의 용융점이 190°C 이므로 용융점 70°C의 Pb-Sn-Bi-Cd 계의 저융점 합금을 주물재료로 이용하여 마스터패턴을 제작하였다.

Abstract The master pattern manufacturing process is one of the most important processes in jewelry industry because the process takes 20% of total jewelry manufacturing costs. The previous jewelry manufacturing process has many steps of "rough design → detailed drawing → wax pattern manufacturing → lime soda flask mold manufacturing → silver master pattern manufacturing → mass production of wax pattern → investment casting process → final jewelry product." A novel process that reduces processing steps by using a rapid prototyping system (RP) has been suggested. The process is "3D CAD design → DuraForm mold manufacturing by RP → manufacturing master pattern by low melting alloy → mass production of wax pattern → investment casting process → final jewelry product." Molds are made with DuraForm powder, of which melting temperature is 190°C, by a selective laser sintering type RP. An alloy of Pb-Sn-Bi-Cd, of which melting temperature is 70°C, is casted in the DuraForm molds. Spheres and rings of diameter 20 mm are made by this process. The dimension deformation rate is less than 2%, and the post processing of the castings is convenient. The casting made by the suggested process can be used as a master pattern of jewelry products.

Key Words : Jewelry, Low melting alloy, Master pattern, Mold, Rapid prototyping

1. 서 론

주얼리 제품은 일반적으로 귀금속과 보석을 채용한 장신구 제품을 통칭하여 다품종 소량생산을 통하여 매우 큰 부가가치 창출이 가능한 장점이 있다. 특히 혼수예물용 문화적 수요 때문에 매년 3.5조원 이상의 거대시장을 형성하는 특징이 있어 기존 공정에 비해 원가절감 및 개발기간의 단축에 따른 신기술이 개발될 경우 더욱 큰 부가가치 창출이 가능하다[1]. 이러한 배경에서 주얼리 제품의 디자인 개발을 포함한 마스터패턴의 제작까지의 공정은 통상 최종 제품가격의 20%정도를 차지하므로 전체 주얼리 시장을 고려하여 이미 500억원

이상의 시장이 형성되었다고 판단된다.

기존의 주얼리 제품 중 특히 귀금속 주얼리 제품의 일반 공정은 우선 디자이너가 2차원적인 디자인 시안을 작성하고 이를 정밀도면에 옮기게 된다. 이를 바탕으로 숙련된 기술자가 왁스로 3차원 가공을 하고 이를 석고플라스크를 이용하여 은으로 마스터패턴을 제작한다. 은으로 제작하는 이유는 후속 왁스의 대량복제 작업중 마모에 견딜 수 있는 견고한 기계적 물성을 가지고 있으며 경제성, 표면가공성, 내식성을 고려하여 여러 가지 이점이 있기 때문이다. 이 마스터패턴을 이용하여 고무틀을 사용하여 같은 모양새의 음각을 제작하고 이를 이용하여 용융왁스를 주입하여 대량의 왁스물드를 제작하게 된다. 이를 이용하여 1배치(batch)에 통상 150~400개 정도의 최종제품을 제작하는 복잡한 공정을 거친다[2, 3].

이러한 여러 공정 중 특히 주얼리 정밀도면을 기초로

*순천향대학교 기계공학과

**서울시립대학교 신소재공학과

Tel: 041-530-1551

왁스가공하고 온 마스터패턴을 가공하는 공정이 핵심가공공정으로 20년 이상 숙련된 전문가가 통상 72시간 이상의 작업시간을 소요하여 진행하는데 최근 이 분야의 전문가의 수요가 급증하고 급여도 가장 많은 것으로 알려져 있다. 그러나 최근의 전문숙련기술자의 노령화 및 3D분야의 기피현상으로 이 공정의 작업비와 작업시간은 계속 상승하는 추세여서 최종제품의 가격상승을 유발하기도 한다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 연구진은 이미 3차원 CAD와 SLS형 폐속조형기를 사용하여 상기 왁스공정을 대체함으로써[1] 기존의 작업시간을 대폭 줄이면서 듀라폼 성형체를 직접 마스터패턴으로 사용가능함을 보고한 바 있다.

기타 여러 가지 방식의 폐속조형기를 이용하여 인베스트먼트 주조법을 이용한 정밀주조물을 제작하는 방법에 대한 연구가 국내외에서 많이 진행되고 있으나[4-6] 모두 여러번의 음각몰드와 양각패턴의 제작과정을 거쳐서 최종제품을 만드는 번거로운 방식이며 제품의 정밀도 측면에서 주얼리 산업에 적용하기에는 어려움이 있었다.

마스터패턴 제작을 위한 몰드의 물성으로는 치수변형이 작아야 하며, 주입물과의 계면반응이 적어야하며, 최종적인 금속패턴이 제작되면 선택적으로 제거가 용이하여야 한다. 한편 저렴한 비용으로 제작이 가능하여야 한다. 듀라폼을 사용한 몰드는 주영철 등[1]에 의하면 이러한 요건을 만족하는 것으로 보고된 바 있다.

본 연구에서는 기존의 공정을 더욱 단순화시키기 위해서, 표면가공이 용이하면서 고무틀의 응력을 극복하여 쉽게 왁스패턴을 대량생산할 수 있는 새로운 마스터패턴 재료로 용점이 낮아 취급이 용이한 저융점합금(상용명: 우드메탈)을 사용하여 주얼리용 마스터패턴으로 사용할 수 있는지를 확인하는 기초실험을 진행하고자 하였다.

본 연구에서 제안한 저융점합금은 27Pb-13Sn-10Cd-50Bi계의 70°C 용점을 가진 저융점합금을 사용하여 진행하였다. 이러한 저융점합금은 이미 화재진화용 스프링클러의 밀봉장치로 강도와 내구성을 확인받은 재료이고, 얼마전까지만 해도 인쇄용 식자제조용 재료로서 신뢰성있는 재료라는 점, 가격이 18,000원/kg 정도로 기존 은재료의 22%로 매우 저렴하다는 점을 고려하여 채택하였다. 특히 용점이 70°C로 용해와 주입공정이 모두 100°C 이하에서 진행되므로 Bi, Cd 등의 흡입을 방지하는 환기장치 내에서 진행된다면 화상 방지면에서 매우 안전한 재료라는 특징도 고려하였다[7].

이러한 배경에서 본 연구는 3D CAD로 디자인된 주얼리용 요소를 폐속조형기를 활용하여 듀라폼 분말자체로 몰드를 만들고, 여기에 저융점합금을 주입하여 비교

적 간단히 주얼리 제품용 마스터패턴으로 활용하기 위한 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 듀라폼 몰드의 제작

상용 3D CAD 프로그램인 CATIA를 사용하여 Figure 1(a)와 같이 직경 20 mm의 구를 위한 몰드를 제작하였다. 몰드에는 깔대기 모양의 주입구와 가스배출과 응고시 잉여 금속보충을 위한 라이저(riser)를 설계하였다. 몰드는 상형과 하형으로 나누어지는 각 30×30×15 mm³ 크기의 분리형 몰드와 30×30×30 mm³ 크기의 일체형 몰드로 각각 제작하였다. 몰드의 상부에는 깔대기 모양의 주입구와 바로 옆에 원통형의 라이저를 고려하였다. 분리형인 경우 각 3개 음, 양각 가이드를 넣어 정렬과 분리형 몰드의 결합을 담당하게 하였다. 같은 방법으로 Figure 1(b)와 같이 직경 20 mm, 내경 14 mm의 링모양 몰드도 분리형과 일체형으로 준비하였다.

이렇게 준비된 3D CAD 데이터는 stl양식으로 변환

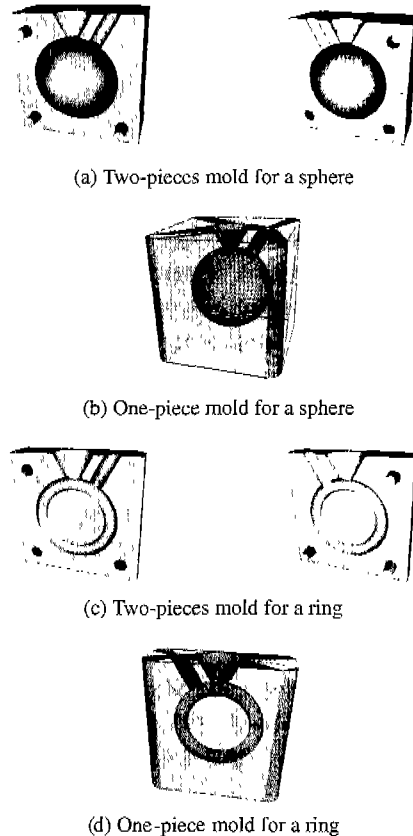


Figure 1. Mold design

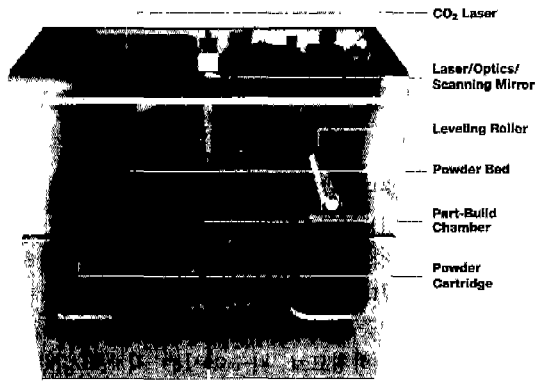


Figure 2. Schematic illustration of a SLS Rapid Prototype (Sinterstation 2500^{plus}, DTM)

시커 쾌속조형기(Sinterstation 2500^{plus}, 미 DTM사)를 사용하여 적층스텝 0.1 mm, 배치각 0°의 조건으로 제작하였다. 제작에 사용된 SLS 방식의 쾌속조형기 개략도를 Figure 2에 나타내었다. 먼저 제작에 사용되는 분말을 분말 카트리지에 넣고 제작공간 내부를 질소로 충전시키면서 152°C~58°C의 분위기를 만든다. 원하는 제품을 적층시킬 빌드챔버 위에서 25 W CO₂레이저가 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 식을 때까지 기다린 후에 레이저 조사를 받아 소결된 부분에서 주변의 분말을 떨어내는 후처리를 하면 원하는 제품을 얻을 수 있다. 떨어진 분말은 다시 사용이 가능하다.

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 있으므로 본 실험에서도 0.1 mm의 적층두께를 채택하였다.

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 저온 용점을 가지고 있다. 특히 평균 구형분말의 입径이 54 μm로서 섬세한 표면처리가 요구되는 주열리 제품의 마스터패턴 작업에 표면정밀도를

Table 1. Properties of DuraForm Polyamide powder and part

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

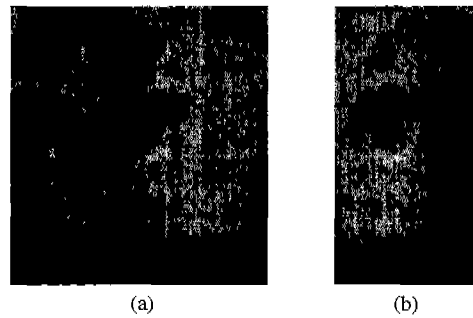


Figure 3. DuraForm molds for (a) a sphere and (b) a ring

우수하게 구현할 수 있는 장점이 있다[8, 9].

최종적으로 완성된 일체형의 듀라폼 몰드를 Figure 3에 나타내었다. 완성 후 일체형의 몰드는 압축공기를 주입구에 넣어 미소결 분말을 제거하였다. 분리형의 경우에는 솔과 압축공기를 사용하여 쉽게 미소결 분말을 제거할 수 있었다.

2.2 저용점 합금을 이용한 정밀주조

27Pb-13Sn-10Cd-50Bi계의 70°C 용점을 가진 저용점 합금(우드메탈)을 400 g을 칭량하여 스테인리스 도가니에 장입하고 산소-부탄가스 토치와 전기발열체를 이용하여 후드 안에서 Bi, Cd의 증기를 제거하며 용융시켰다. 완성된 용탕은 곧 준비된 실온상태의 듀라폼 몰드에 주입하였다. 2개의 상하형틀로 이루어진 분리형 몰

드의 경우는 탄성이 있는 테프론 테이프를 이용하여 감아 이음매가 밀착 되도록 하고 4개의 몰드를 한번의 용탕에 주입 가능하도록 밀착시켜 배치하였다. 이 때 듀라폼의 형상 강도를 고려하여 용탕을 중력에 의해서만 장입되고 라이저(riser)에 충분히 용탕이 올라오도록 장입하였다.

10분 후에 몰드를 이형시키고 일체형 몰드로 된 경우는 실틀을 사용하여 몰드를 파괴하여 제거하고 완성된 금속패턴의 주요치수를 버니어캘리퍼스로 측정하였다.

3. 실험결과 및 검토

3.1 마스터패턴의 분리와 형상

완성된 마스터패턴을 Figure 4에 나타내었다. 분리형의 경우 이형제의 도포없이 매우 쉽게 마스터패턴의 분리가 가능하였고, 일체형인 경우도 몰드 파괴 후 쉽게



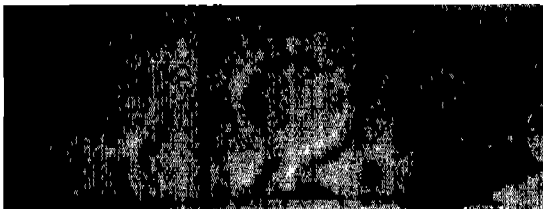
(a) sphere with one-piece mold.



(b) sphere with two-pieces mold.



(c) ring with one-piece mold.



(c) ring with two-pieces mold.

Figure 4. Master patterns with duraform molds

Table 2. Dimensions of the master patterns

	One-piece mold [mm]	two-piece mold [mm]	designed [mm]
Spherediameter	20.125	20.25	20
Ring outer diameter	20.25	20.25	20
Ring inner diameter	14.01	13.55	14
Ring thickness	3.0	3.0	3.0

분리가 가능하였다. 따라서 모두 듀라폼몰드와 계면반응 없이 용이하게 분리가 가능하였다.

특히 분리형 몰드인 경우 사출금형과 비슷하게 복수 췌수 동안 마스터패턴의 주조가 가능한 특징이 있었다.

일체형 링인 경우 Figure 4(c)에 나타난 바와 같이 약 1/2 이상 하부에 주입불량이 발생하였는데 이는 RP작업시 경화되지 않은 잉여분말이 링의 형상효과 때문에 효과적으로 제거되지 못하고 몰드 내부에 잔류하다가 구조불량을 일으켰고, 이에 대한 직접적인 증거는 파괴시 남은 듀라폼 분말로 확인이 가능하였다. 따라서 주얼리 마스터패턴의 제작을 위해서는 분리형 몰드를 사용하는 것이 효율적이라고 판단되었다.

3.2 치수변화

Table 2에 몰드를 이용하여 제작된 마스터패턴의 주요치수를 버니어캘리퍼스로 측정한 값을 설계목표치수와 함께 나타내었다. 설계목표대비 외경은 1.3% 이내이고, 가장 오차가 큰 링 내경도 3% 이내로 장신구로 사용하기에는 정밀도에 큰 문제가 없다고 판단되었다.

4. 결 론

본 연구는 최초로 쾌속조형기로 듀라폼을 직접 몰드로 성형하고, 저융점합금을 주얼리용 마스터패턴으로 사용한 사례이다. 기존의 쾌속조형기가 특성상 직접 마스터패턴을 성형하는데 응용된 반면, 최초로 직접 몰드로 제작하여 기존공정을 대폭 감소시킨 의의가 있다. 이러한 기초결과는 (주)아나텍의 공동연구로 이루어졌으며 이러한 기초결과를 바탕으로 실제 주얼리제품을 만드는 산학연구가 진행중이다. 이러한 연구의 주요 기대효과는 기존 전통산업에 첨단 정보기술 및 정밀가공기술이 합쳐져서 기존의 주조공정이 개선되고 공정시간 단축 및 마스터패턴의 생산비가 기존대비 약 20% 정도로 낮추어질 수 있다는 점이다. 향후에는 기존 주얼리 디자인을 데이터베이스화하여 제안된 방법을 사용하여 마

스터패턴을 만들어 24시간안에 디자인에서부터 최종제품을 개발하는 주얼리 상품개발력을 확보하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 순천향대학교 산업기술연구소 학술연구조성비 일반연구과제로 지원받아 수행하였으며, (주)아나텍의 기술적인 연구협조를 받았습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 주영철, 송오성, “쾌속조형 두라폼 성형체에서의 배치각 변화에 따른 주얼리주조모형의 형상요소변화”, 한국주조공학회지, Vol. 21, No. 5, pp. 290-295, 2001.
- [2] 염희택 등, ‘주조공학’, 문운당, pp. 5-11, 1979.
- [3] Tim McCreight, “The complete metalsmith”, Davix Publication, inc., pp. 84-103, 1991.
- [4] K. Cooper and G. Williams, “NASA on the Fast Track: A case Study in Cost Savings with the Application of RP and Investment Casting”, Rapid Prototyping and Manufacturing Conference, Cincinnati, Ohio, U.S.A., May 15-17, 2001.
- [5] 안동규, 이상호, 양동열, “연속형 가변 적층 쾌속 조형과 응용기술을 이용한 3차원 제품의 정형기공에 관한 연구”, 한국소성가공학회지, Vol. 10, No. 6, pp. 500-508, 2001.
- [6] 안동규, 이상호, 최홍석, 김기돈, 양동열, “발포폴리스티렌 폼을 이용한 단속형 가변적층 쾌속조형공정과 응용기술을 이용한 3차원 기능성 제품 제품 제작에 관한 연구”, 한국소성공학회 2001년도 추계학술대회 논문집, pp. 190-194, 2001.
- [7] H. H. Manko, “Solders and Soldering”, Third Edition, McGraw-Hill Inc., pp. 138-163, 1992.
- [8] C. K. Chua, K. F. Leong, “Rapid Prototyping: Principles & Applications in Manufacturing”, Singapore, John Wiley & Sons, 1997.
- [9] “The Sinterstation System Reference Guide”, DCN: 8002-00021-001, DTM, 2000.