

3차원 CAD를 활용한 주얼리 원본 자동화 연구

고 지 연* · 송 오 성* · 류 지 호** · 신 성 호**

Jewelry Design Automization using a 3D CAD

Ji Yeon Koh*, Oh Sung Song*, Ji Ho Ryu**, and Sung Ho Shin**

요약 고부가가치 산업인 주얼리 디자인 개발시 3D CAD 작업을 통해 30여종의 표준형상 database를 구축하여 designer가 선택한 database의 design을 쾌속조형기(rapid prototype)를 사용하여 5시간 내에 다양한 크기의 형상을 동시에 구현하고자 하였다. 고가의 보석 및 장신구 주얼리는 소비자가 원하는 디자인을 즉석에서 확인할 수 있도록 개발된다면 더욱 더 고부가가치 창출이 가능하다. 본연구에서 개발된 시스템을 활용하면 디자인의 표준 database를 구축하여 디자인 개발비의 30% 이상 절감이 가능하였고, 몇 가지 디자인을 복합적으로 조합하여 새로운 디자인을 창출할 수 있었다. 따라서 기존 수작업에 의존하는 현재의 방식으로 27시간 이상 걸리던 형상구현의 시간을, 본 시스템을 적용하면 5시간 이내로 단축할 수 있는 공학적 장점을 확인하였다.

Abstract We can embody a variable size of high classic industrial material, and jewelry design within 5 hours, using a rapid prototype 3D CAD, which includes 30 kinds of database selected by jewelry designers. If the jewelry can be investigated and the customer can modify it right away; then the quality of the jewelry is much better. Based on our investigation, we can reduce 30% of the development cost by using a standard database. We can also create a new design with complex design element in the database. Therefore, we may reduce the production time to less than 5 hours by using a powerful technique system rather than producing hand-made jewelry, which can take more than 27 hours.

Key Words : Jewelry, Rapid prototype, Design, Automization, 3D CAD

1. 개 요

주얼리 산업은 반도체 산업을 능가할 정도의 고부가가치산업인데도 불구하고 첨단 기술력이 접목되지 못한 분야로 많은 부분을 수공 공정에 의존하고 있다. 귀금속·보석을 포함한 재료 및 완제품 resetting을 포함한 총 주얼리산업 규모는 아래 그림에 나타난 바와 같이 2000년 현재 2조 8천만원 규모라고 추정된다.

Figure에서 보듯이 국내 장신구 시장은 조단위의 거대시장이며 IMF시기를 제외하고 향후 2003년까지 3.54조원에 도달할 것으로 예상된다.

금만을 귀금속의 장신구의 대표적 소재라고 가정하면 2000년 현재 250억 시장이라고 추측되고, 금을 소재로만 주로 반지, 목걸이, 귀걸이 등의 장신구류 소재로 쓰

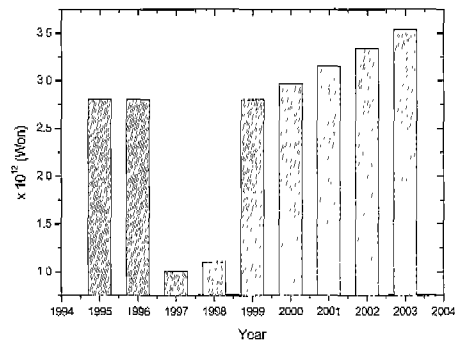


Figure 1. Annual jewelry industry market in Korea.

이고 있는 실정이다. 일반적으로 최종 장신구가격의 25~40%가 디자인을 포함한 가공 경비라고 추정된다.

주얼리 장신구의 일반적인 제조공정은 『주얼리 디자인 시간개발 - 렌더링 및 원본작업 - 초작업 - 석고틀 마스크 - 왁스제거 - 용해주입 - 후처리 - 완성』으로 이루어지고 특히 디자인으로부터 초작업은 이제까지 속

*서울시립대학교 신소재공학과

**대전대학 기계자동차공학부

본 논문은 2001년 산학연공동기술개발컨소시엄사업의 일환으로 중소기업청과 서울시의 지원을 받아(주)아메스 개발부와 공동 개발하였으며, 장신구제품용 원본작업 및 마스터패턴제작의 시간과 비용을 CAD와 쾌속조형기를 써서 획기적으로 개선한 기술이다.
(Tel: 02-2210-2604)

런공에 의해 진행되는 자동화가 매우 어려운 분야였다.

특히 국내의 귀금속 분야는 디자인을 데이터베이스화 하는 시도가 산업계에서는 거의 전무하여 이미 완성된 제품에서 변형된 디자인의 개발도 처음부터 다시 시작하여 시간과 비용이 많이 드는 단점이 있었다. 즉, 전통적으로 귀금속 주얼리 분야는 노동집약 산업으로서 새로운 귀금속 제품의 개발시 디자이너의 경험과 원본 작업자의 손끝에서 이뤄지는 초작업으로 신제품이 개발되어 왔다. 이러한 전통적 방식은 숙련이 요하는 고난도 작업이고 인건비가 제조원가에 미치는 영향이 지대하다. 또한 수공업에 의존하기 때문에 신제품 개발기간이 길어 제품의 생산주기가 짧아지는 국제 현실에 비취볼 때 경쟁력이 저하되는 단점이 있다.

따라서 노동집약적이고 경험에 의존하는 기존의 방식으로는 국제 경쟁력이 저하되므로 이를 극복하고 국제 경쟁력을 갖기 위하여 디자인의 디지털화, standard design을 개발하고, 개발된 디자인의 데이터베이스화가 요구되는 실정이다. 또한 최근의 원본속편자가 고정화되고 점점 줄어들고 있는 추세이므로 디자인을 쉽게 캐속조형기 등을 활용하여 효과적으로 제작하는 기술 개발이 필요하다.

위에서 제안한바와 같이 주얼리 산업에서 여러 가지 디자인시안을 3D CAD 작업을 통하여 디지털화 시킴으로서 얻어지는 장점은 여러 가지가 있다. 즉 숙련공이 아니라 하더라도 누구나 손쉽게 디자인을 볼 수 있고, 3D 업종이 아닌 깨끗한 환경에서 작업이 가능하며, 새로운 디자인을 쉽게 합성하거나 조합하게 되고, 디지털 데이터를 캐속조형기(R.P.)와 같은 첨단 캐속조형 장치를 이용하여 수 시간 이내로 다양한 크기로 형상화할 수 있다면 관련 중소기업의 인건비를 절감하고 개발 기간을 단축하며, 개발비용을 절약하며, 해외바이어와의 상담도 효율적으로 되어 전반적인 국내 중소기업의 국제 경쟁력의 강화를 통해 약 480억원의 수출 증가 효과가 기대된다[1].

캐속성형법으로도 불리는 캐속조형법(Rapid prototyping)은 약 10년 전에 개발되어 그 동안 많은 관심을 끈 제품 성형방법이다. 이 방법은 제품 설계에서부터 시제품 제작과 완제품의 대량생산까지 도달하는데 필요한 시행착오를 컴퓨터를 기반으로 통합하면서 제품 생산시간을 단축하는 것이 특징이다. 특히 최근에 개발된 플라스틱 성형체를 제작하여 실제에 가까운 모양(near net shape)으로 만들 수 있다는 또 다른 장점이 있어 이미 자동화 시제품 개발과정을 포함하여 여러 산업분야에 적용되고 있다.

2000년 현재의 캐속조형기의 활용은 제품개발 분야가

90% 이상이며, 의료 및 예술분야가 10% 미만이지만 상신구 디자인을 포함한 예술분야의 성장은 2005년에는 30%로 급성장된 것으로 예측된다.

이미 분야별로 용도에 적합한 많은 캐속조형기가 개발되어, 세라믹스 분야에서는 론 피크 엔지니어링사(Loan Peak Engineering Inc, Draper, Utah)의 LOM(Laminated objective engineering manufacturing) 기술, MIT에서 개발하고 솔리젠사(Soligen Inc.)가 캐스팅할 때 사용하는 쉘(shell)과 코어(core)를 만들기 위한 3차원 프린팅 공정(3-D printing process), 세라믹 원형(prototype)을 만드는 CAD-LFM 사의 CAD-LEM 기술, 스트라타시스 사(Stratasys Ins.)가 고분자나 왁스 제품을 만들기 위해 상업화한 용착 모델링(Fused deposition modeling, FDMTM) 등이 잘 알려져 있다. 이밖에도 3D 시스템 사(3D system Inc.)의 스테레오리소그라피(Streolithography), 스파크 사(Sparx, Inc.)의 데스크 탑 공정(Desktop Manufacturing, Hot PlateTM), DTM 사의 선택레이저소결법(Selective Laser Sintering), 선택레이저증착법(Selected Area Laser Deposition), 델라웨어 대학(University of Delaware)의 레이저 고화법(Laser Assisted Thermoplastic Tape Consolidation), 큐비탈 사(Cubital America, Inc.)의 솔리드 그라운드 기술(Solid Ground Curing Technology) 등이 있다. 주얼리 분야에서는 Figure 2에 나타난바와 같이 materialise사의 Model MakerII라는 왁스분사식 저가 모델이 국내업체를 중심으로 도입되어 있으나 아직도 영세한 제조업체가 보유하기에는 고가인 단점이 있다[2-7].

본 연구는 주얼리디자인을 자동화 하기 위하여 주얼리 전문제조업체인 (주)아메스와 공동연구를 통하여 주얼리 전용 3차원 CAD프로그램인 JewelryCAD4.2를 사용하여 원본을 제작하고 데이터화하여 SLA방식의 캐속조형기를 사용하여 만들어진 폴리머수지 성형체를 원

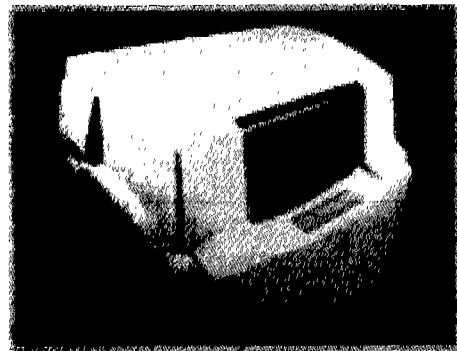


Figure 2. Model Maker II(wax spray type R.P. machine).

본으로 사용하여 이를 정밀주조법으로 은으로 최종 장신구를 제작하여 SLA형 RP로 제작된 원본의 주얼리 제작 실용화 가능성을 확인하여 보고자 하였다. 이는 기존의 다른 분야에서 단순 시제품을 만들기 위해 쾌속조형기가 도입된 현실에 비추어, 최초로 주얼리 분야에서 왁스원본이 아닌 폴리머수지원본을 사용하여 최종 제품을 직접 생산하는 가능성을 확인하는 공업적 의미가 있었다.

2. 실험방법

2.1. 디자인 시안의 작성

디자인 방향의 2가지를 정하였다. 첫번째 방향은 2002년의 주얼리 패션화 추세에 따른 대형 주얼리 디자인과 두번째 방향은 JewelryCAD와 R.P를 이용하여 손쉬운 변형이 가능한 3차원의 곡면을 다수 포함하는 기본 디자인으로 정했다. 이에 따라 간단한 나비, 바구니 모양을 디자인하였다. 작품구상을 제외한 전문 주얼리 디자이너의 순수한 수공 렌더링 소요시간은 대략 한 품목당 약 3시간 정도가 소요되었다.

2.2. JewelryCAD를 이용한 3차원 데이터 작성

주얼리 디자인 전용 CAD 프로그램인 홍콩의 JewelryCAD/CAM Ltd.에서 출시된 JewelryCAD4.2를 이용하였다. 본 제품은 초보자도 쉽게 기존의 디자인을 변형·저장하는 것이 용이하였으나 다른 3차원 CAD프로그램과의 데이터 호환성에 문제가 있었다.

상기 디자인을 JewelryCAD를 써서 3차원 데이터화 하는데는 대략 한 품목당 약 1시간 정도 소요되었다. 동일한 모양의 축소, 복사를 통하여 정확한 모양을 구현하는데 우수한 성능을 보였다.

2.3. 쾌속조형기의 활용

JewelryCAD에서 모델링된 데이터는 왁스공정을 대신하는 마스터패턴제작을 위해 *.stl 양식으로 data변환이 필요하였다. 본 연구에서는 JewelryCAD에서 생성된 jcd file을 *.iges file로 export한 후 Solidworks에서 *.iges file을 import하였으며, 이를 stl 쾌속조형기에 장착된 Solidworks소프트웨어로 Table 1과 같은 조건에서 제작하였다. 이를 통하여 JewelryCAD의 데이터가 Solidworks에서도 호환됨을 확인하였다.

일반적으로 SLA형 RP master제작을 위해서는 RP조형, 레진세척(resin cleaning), 후처리(post curing)의 세 단계를 반드시 수행해야 한다.

1) RP 조형

본 연구에서 사용된 SLA RP machine의 외관을 Figure 3에 나타내었다. 수지에 선택적인 레이저 조사를 위해 데이터를 핸들링하는 컨트롤 부와 수지를 이동시키고 레이저를 조사하는 본체부로 구성되어 있다. SLA RP machine을 작동하기 위해서는 전용 소프트웨어인 Buildstation을 사용하였으며, 여기에는 open, preview, RP start, pause, abort 등의 기능이 내장되어 있다. 연구에 사용된 resin은 Cibatool사의 SL5510 resin이 사용되었으며, 이 resin은 광경화성을 갖고 있으며, laser를 조사하면 조사된 영역만 부분적으로 경화되는 특성을 갖고 있다.

SLA RP를 작동시키는 공정은 Figure 4에 나타낸 바와 같이 resin leveling→deep dip→elevate→sweep→home positioning→z wait→laser drawing의 단계를 거쳐 제작되고, laser drawing은 다시 border→hatching→filling의 단계로 1 layer가 완성된다. 1 layer는 0.10mm로 고정시켜 미세한 적층이 가능한 상태에서 작업하였다. 최종 성형체의 전 높이를 완성하기 위해서는 상기와 같은 단계가 반복되어 최종 장신구 원본이 완성되었다.

2) 레진세척 공정

RP조형이 끝난 part의 무게를 측정하고, part 표면에 묻어있는 resin을 세척하고 support를 제거하며, resin 세척에 사용한 알콜을 발렸다.

3) 후처리 공정

RP 장비에서 경화된 part를 완전히 경화하기 위하여 curing machine을 사용하여 part를 완전히 경화시켰다. 경화시간은 part의 최대두께와 관련이 있는데, 적어도 45분 정도의 경화가 요구되었다.

이러한 주요 3개 공정을 거쳐 완성된 원본을 만드는 데는 Table 1에 요약한 바와 같이 전체적으로 240분이 소요되었고, 1개당 평균 6.7분이 소요된 셈이어서 높은 생산성을 확보할 수 있었다.

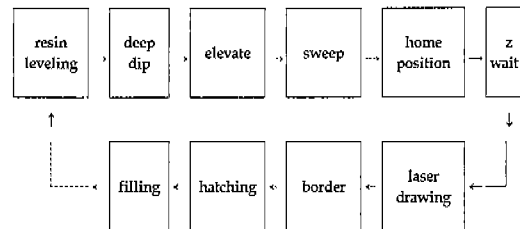


Figure 3. SLA type RP operation procedure.

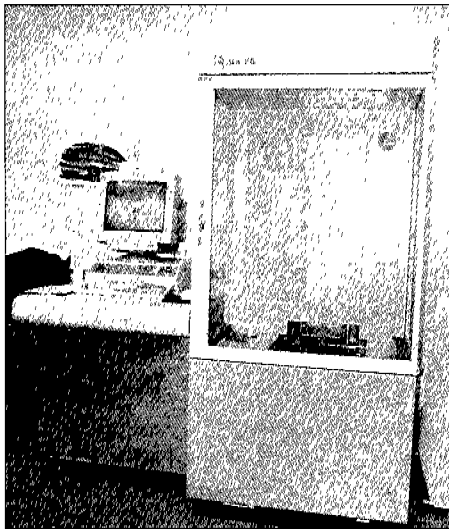


Figure 4. SLA type Rapid Prototype.

Table 1. 수행 RP 조형 작업의 내용

작업 mode	적층두께 (mm)	작업수량 (개)	작업시간 (min)	resin 사용량(g)	1개당 작업 시간
fast	0.10	35	240	297	6.9

2.4. 실제 정밀주조의 실시

완성된 R.P. 몰드를 이용하여 정밀주조를 완성하기 위한 주조방법은 아래와 같다. 먼저 RP원형의 깨진 곳이나 금이 간 곳이 있나 확인하는 육안검사를 실시하고, 녹은 금속이 흘러 들어갈 물줄을 적당한 위치에 부착하였다. 이후 플라스틱의 바닥이 된 곳에 왁스물줄을 세워서 붙이고 원형의 플라스틱에 물에 젖은 석고를 부어 매물작업을 완료하였다[8].

플라스틱의 석고 속에 포함된 기포를 탈포기로 없애고 기포가 있을 때 금속 표면에 작은 방울들이 생기는 현상을 방지하기 위해 20시간 동안 대기 중에 방치하였다. 석고를 실온에서 방치한 후 200℃의 오븐에 플라스틱을 넣고 왁스를 제거하여 플라스틱의 속을 비웠다. 이후 플라스틱을 전기로에 넣고 700℃ 4시간 동안 유지하고 450℃에서 30분간 온도를 유지하여 플라스틱의 잔류물을 완전히 제거하고 신속히 7.5%Cu-Ag를 산소토치로 녹인 후 주입하고, 이때 석고를 마스크의 한쪽 끝을 모터 펌프에 연결하여 압력차에 의해서 플라스틱의 모든 빈 공간에 금속이 흘러들어가 채워지도록 하였다. 플라스틱을 실온의 물에 넣어 식힌 후 석고를 제거하였다. 남아 있는 물줄은 줄로 다듬어 최종 제품을 완성하였다[9-11].

3. 결과 및 고찰

3.1. 디자인 시안의 작성

주얼리 디자인은 전문 디자이너의 영역이지만 주얼리란 특수 분야에서는 심미적 기능 외에 최종제품에서 급속성 광택이 보장되고 이를 위한 후처리 작업시 쥘, 렌드피스, 광쇠등이 작업할 수 있는 공간이 확보되도록 시안단계부터 고려가 필요하였다. 최종적으로 Figure 3(a)와 같은 시안을 작성하였다.

3.2. 3차원 데이터의 작성

JewelCAD4.2는 컴퓨터에 초보적인 지식으로도 활용이 가능하였으나 완성된 데이터를 다른 소프트웨어와 호환시키기 위해 패속조형기에도 JewelryCAD driver가 없는 한 복잡한 변환 과정을 거쳐야하는 문제점을 가지고 있다. 현재는 미국 Alias사나 일본 J-CAD사에서 비슷한 기능을 가진 경쟁 소프트웨어가 개발되었으나 모두 각자 호환성이 심각한 문제가 있음을 확인하였다.

JewelryCAD4.2로 제작된 데이터는 요소별 grouping이 이동시 되지 않아 파일을 호환한 후 재작업하는 불편함이 있었다. 따라서 3차원 데이터와 패속조형기는 호환성이 확보된 기종을 선택하는 것이 매우 중요하였다.

3.3. 패속조형기의 활용

본 연구에서 사용된 SLA형 패속조형기는 1회 조작성간이 4시간 정도나 1배치에 100개 이상의 장신구 패턴을 작업할 수 있어 1개당 작업시간을 3분 이내로 단축이 가능하며 다품종 소량 패턴을 제작하는데 매우 효과적이었다.

대안으로 Model Maker II 패속조형기를 사용하였으나 1개당 작업 시간이 6시간 이상으로 실제 상용화하기에는 문제점이 있다고 판단되어 본 연구에서는 배제되었다.

따라서 SLA형 RP를 이용하여 주얼리 원본을 다량으로 제조할 경우 Table 2에 정리한 바와 같이 렌더링 시간까지 포함하여 23시간 이상 시간 단축이 가능하며 패속조형기의 다품종 대량생산 기능을 고려하면 개당 생산성을 고려하면 더욱 많은 생산성 비교우위가 있다고 예상되었다.

Table 2. 기존 수공작업과 자동화 작업과의 시간 비교

	기존 수공	원본 자동화
디자인원본시안	3hr	1hr
원본 패턴 작업	1 day/ea	4hr/35ea
합	27hr	5hr

3.4. 실제 정밀주조의 실시

Figure 5의 완성품에서 보듯이 SLA 방식의 RP로 제작된 수지패턴을 직접 선형으로 주조한 경우 큰 문제점 없이 제작이 가능하였다. 2개의 나비형과 바구니형의 디자인 시안에서 시작하여 실제 3차원 CAD렌더링 결과를 나타내었고, 이후에 SLA RP에 의한 원본을 그리고 이를 바탕으로 은으로 주조한 결과물을 나타내었다. 은주조 결과물은 최종적으로 광택작업을 하여 나타내었으나 실제 일부 패턴에서는 표면 기포의 발생과 같이 수지 패턴을 제거하는 공정에서 완전히 폴리머 성분이 분해되지 않고 석고 플라스크 내벽에 붙던지 잔류물로 표면부를 오염시키는 경우 후처리 광택 작업에서 많은 시간이 할애되는 문제가 발생하였다. 따라서 SLA 레진이 원형인 경우 기존 왁스원형을 제거하는 온도보다 높은 800℃에서 6시간 정도의 유지시간을 확보하여 완전히 분해하거나 산소부화송풍을 하여 레진의 부산물이 완전히 분해되도록 하는 후속 기술개발이 필요하다고 판단되었다.

4. 결론

주얼리 제품을 제작하는데 필수적인 원본작업을 기존의 시간과 비용이 많이 드는 수공 작업을 대신하기 위하여 2개의 실제 주얼리 디자인 시안을 주얼리전용 캐드프로그램인 JewelryCAD로 3차원 데이터를 작성하고, 이 데이터를 SLA형 폐속조형기를 활용하여 원본을 완성하고, 이를 몰드로 하여 최종 주얼리 제품을 정밀주조 방법으로 은으로 제작하여 보았다. 완성된 최종 제품은 기존의 수공에 의한 원본과 같은 정도의 은제품 제작이 가능하였고, 주조를 위한 원본 형상 구현 시간이 기존

수공 방법에 비해 1/5이내에서 가능함을 확인하였다. 현장에서 기존의 수공 인력이 CAD와 고가의 RP를 사용하여 모든 원본 작업을 자동화하는 것은 시간이 걸리겠지만, 본 연구와 같이 복잡한 곡면과 반복패턴이 들어가는 주얼리 제품의 원본과 같이 수작업이 불리한 경우부터 곧 도입될 것이 예상되었다.

감사의 글

본 연구는 (주)아메스 개발부와의 공동연구로 진행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] (주)아메스 내부문건, (2001).
- [2] 이관행, "외국의 Rapid Tooling 응용 사례", 제 2회 폐속 조형 및 급형기술 심포지움, 한국과학기술원, pp.12 (1997).
- [3] Mukesh K. Agarwala et al., "FDC, Rapid Fabrication of Structural Components," Am. Ceram. Soc. Bull., 75 (11) 60~65 (1996).
- [4] E. Alair Griffin, Dineal R. Mumm and David B. Marshall, "Rapid Prototyping of Functionally Ceramic Composites," Am. Ceram. Soc. Bull., 75 (7) (1996).
- [5] Bura Girtlioglu and Michael J. Cima, "Anisotropy in Rectangular Bars Fabricated via Three-Dimensional Printing", Ceramic Engineering Science and Proceeding, pp.763~772 (1995).
- [6] James D. Cawley, Arthur H. Heuer, Wyatt S. Newman and Brain B. Mathewson, "Computer-Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials," Am. Ceram. Soc. Bull., pp.75~79 (1996).
- [7] 김성환의 6명 공역, CAD/CAM/CAE시스템, 피어슨 에듀케이션코리아, pp.45~46 (1999).
- [8] 이원표, 장신구 모델링, 학문사, pp.4~5 (1999).
- [9] 최승욱, 장신구 디자인을 위한 렌더링 기법, 도서출판 예경, pp.12~15 (2000).
- [10] 이건, 환기용, 스케치 렌더링 기법, 미진사, pp.35~27 (1993).
- [11] 최철형, 이우열, 급속 렌더링 기법, 학문사, pp. 10~11 (1998).

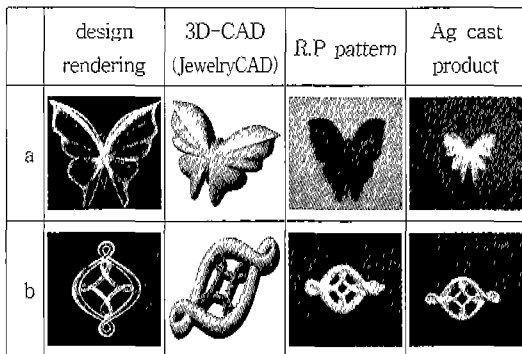


Figure 5. An example of jewelry design-CAD-RP-product process (a) butterfly (b) basket.