

임의의 형상 성형을 위한 새로운 공간 직접 성형 기술

이일한*, 정용재**, 김창경*

*한양대학교 공과대학 재료공학부, **한양대학교 응용화학공학부 세라믹공학과

New Technique of Spatial Printing of Materials for Arbitrary Shape Forming

I. h. Lee*, Y. C. Chung**, and C. K. Kim*

*Dept. Materials Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791 Korea

**Dept. Ceramic Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791 Korea

Abstract

In this study, we investigated the possibility of the application of the EzROBO system to direct shaping techniques which can make arbitrary shapes without any specific mold.

We formed arbitrary shapes using raw materials of EH-260D (Epoxy+Binder) with the conditions of 250 μ m layer thickness, 0.2MPa working pressure, 20mm/sec working velocity, and 1.8mm needle thickness.

The developed Spatial Printing Technique showed enhanced working velocity and lower cost than existing 3DP process, and is expected to replace the existing process through the process optimization in the future.

1. 서 론

고부가 가치를 가지는 복잡한 형태의 제품 제조 산업에 있어서, 대부분의 기존 공정은 Complex Ceramic Mold나 Multi-part Die를 사용하여 부품을 제조하기 때문에, 많은 시간과 고비용이 필요하다. 따라서, 이러한 부품 제조과정을 개선하기 위해 고려해야 할 중요한 두 가지 factor는 (1) 실질적인 제품 제조 시간 단축과 (2) 여러 다양한 종류의 제품과 작은 크기의 부품 제조에 있어서

유연성 (flexibility)을 확보하는 것이다¹⁾.

위에서 언급한 제품 제조산업에서 발생하는 이러한 두 factor는 컴퓨터를 이용하여 복잡한 3차원 형상을 디자인하고, Mold의 필요없이 제품을 유연성 있게 제조할 수 있는 공정개발에 의해서 그 가능성이 제시되었으며²⁾, 실질적으로 컴퓨터를 이용한 설계 (Computer Aided Design, CAD)는 여러 산업분야의 제품 개발 도구로서 중요한 부분이 되어왔으며, 제품 설계 공정에 있어서 시간 단축 및 생산성을 증가시켜 왔다. CAD System 혹

은 Geometric Modeling System으로부터 만들어진 기하학적 자료로부터 물리적인 모형을 공간적으로 직접 성형하는 "Rapid Prototyping (신속조형기술, RP)" 기술은 1970년대부터 개발되기 시작하였다³⁾. 그 중에서 "Three-Dimensional Printing (3차원 인쇄기법, 3DP)" 이라고 불리는 공정은 MIT에서 작은 Batch Production 과 Prototype의 기능적인 부분 및 도구를 제작하기 위해 개발된 Rapid Prototyping 기술로서⁴⁾, CAD Model로부터 받은 Data를 Slicing작업을 거쳐 성형장비로 전송하여, 액체 Binder와 분말 Powder와의 조합으로 직접 원형물을 제조하는 기술이다. 이 공정은 기존의 공정에서 사용되는 Mold를 직접 제작하지 않고, 내부가 막혀있는 폐공간 부분도 만들 수 있으므로, 기존의 공정보다 제조 단가를 낮출 수 있을 뿐만 아니라, 복잡한 형상의 제품도 효율적으로 만들 수 있어 상대적으로 공정시간을 단축할 수 있는 장점이 있다.

하지만, 이런 장점이 있는 반면, 원형물(Prototype)의 최대 크기가 장치의 작업 공간에 의해 제한이 되고, 모든 System이 상당히 고가라는 점 등이 해결되어야 할 관건으로 남아있다. 또한, 아직까지 원형물의 성형이 가능한 재료 개발이 많이 되어 있지 않아 성형원료의 한계가 있으며, 여전히 제품 제조 시간이 길다는 것이 문제점으로 제기되고 있다⁵⁾.

따라서, 본 연구에서는 기존의 RP장비인 Z402 System (Z Corporation사 제품)에서 발생하는 미비점을 보완하고, 보다 저가의 성형기술을 개발하기 위해 EzROBO System (Iwashita Engineering사 제품)을 이용한 공간직접 성형기술을 개발하고자 하였다. 또한 두 장비 간의 속도, 정밀도, 작업 공간, 가격 및 장단점을 비교 분석하였으며, EzROBO를 이용한 공간 직접 성형기술로 원형물을 제작하여 앞으로의 공간직접 성형기술의 사용 가능성을 검토하였다.

2. 실험방법 (Rapid Prototyping 기술 비교)

2.1. Z402 System (Z Corporation사 제품)을 이용한 성형방법

Z402 System은 MIT가 특허로 출원한 3DP Technology^{2, 6-8)}를 기본으로 하여 제작된 RP장비이다. 이 장비는 CAD프로그램을 이용하여 원하는 원형물을 설계하며, 제작된 3차원 Design은 Fig. 1과 같은 3DP System Software를 이용하여 수천 개의 2차원 Cross-section 혹은 Slice로 변환되어 공정 System으로 전송된다.

Z402 System의 표준 사양은 Table 1과 같다. 3D printing Process는 Fig. 2에 나타나 있는 Z402 System의 공정과 같이, Roller를 이용하여 Feed Piston이 밀어 올린 원료 Powder Microstone (Bassinite)을 작업대의 왼쪽에서 오른쪽으로 가면서 모아 (Step 1), 작업대 위에 127 ~ 254 μ m 두께로 균일하게 Powder를 뿌리게 되며 (Step 2), 이와 동시에 Z402 Binder Cartridge가 Powder에 Binder를 분사하게 된다 (Step 3). 여기에 사용된 Printhead는 128jets를 사용하였고, 줄 간격 178 μ m, 층 두께 177.8 μ m로 Print를 하게 되며, Binder가 뿌려진 부분의 Powder 입자는 서로서로 결합하게

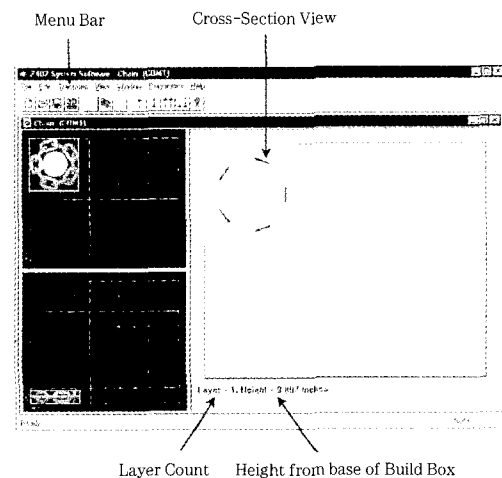


Fig. 1. The Main System Software Window of 3DP

Table 1. Standard Specifications of Z402 System

Techonolgy	3D Printing (128-jet Ink Jet)
Material	Powder (starch and cellulose based)
Build Speed	One-Two inches per Hour
Build Volume	8" × 10" × 8" (203 × 254 × 203cm) high
Layer Tickness	0.003" - 0.010" (0.076mm - 0.254mm)
Accuracy	X/Y axis: 0.5% (0.005" per 1") Z axis: 1% (0.01" per 1")
Work Range	74 × 91 × 107cm
Weight	136kg
Power	115V or 230V, 50/60hz
System Software	Run on Window 95/98/NT

되고, 바로 아래 layer의 Cross-section과도 결합하게 된다. 이때 발생하는 여분의 Powder는 Powder Overchute로 내려가게되며 (Step 4), Roller가 오른쪽에서 왼쪽으로 이동하게 되면 첫 번째 layer의 작업이 완료된다 (Step 5).

첫 번째 layer가 끝나면, Feed Piston은 1 layer 두께만큼 올라가서 새로운 Powder를 보충하게 되고, Build Piston은 1 layer내려가게 된다 (Step 5). 그리고, Z402 System은 작업대 위에 새로운 층의 Powder를 뿌리고 Printing되며, 이러한 과정은 원형물이 완료될 때까지 계속 반복된다.

완성된 원형물은 150℃에서 1h동안 가열하여

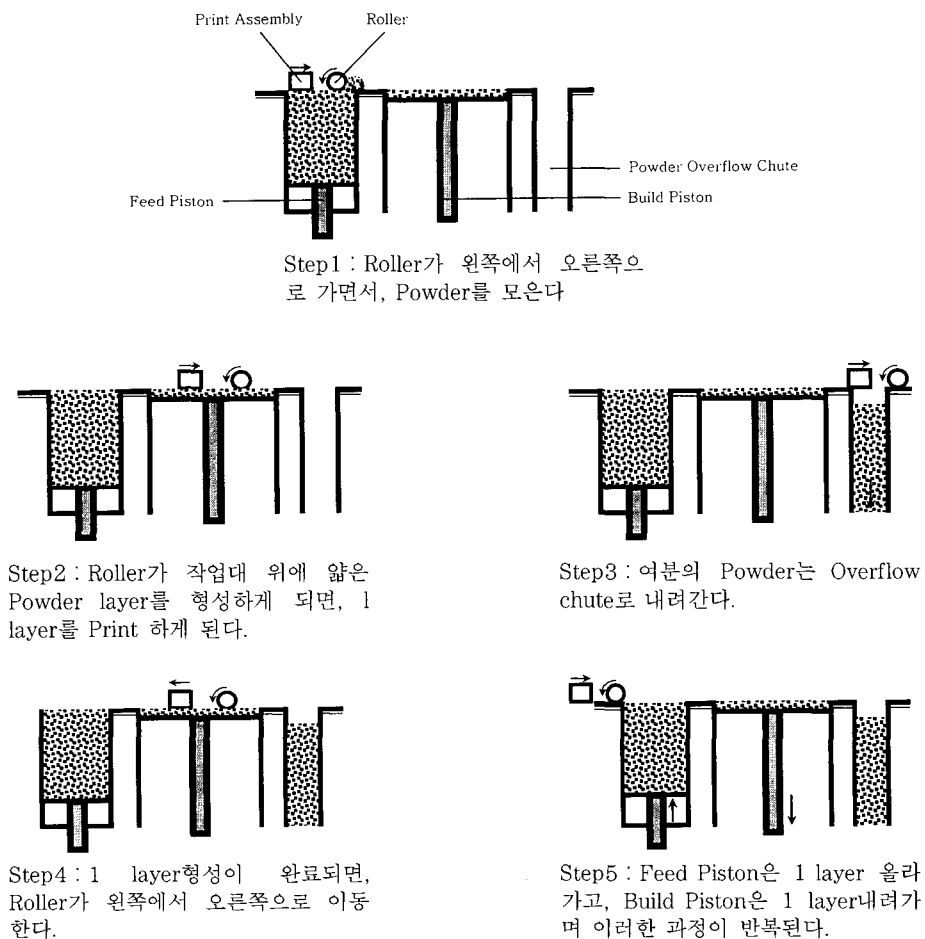


Fig. 2. The Printing Process of Z402 System

수분과 Binder를 제거하게 된다. 건조된 원형물의 강도나 내구성을 증가시키고, 표면의 거칠기를 줄이기 위해서 보통 Wax, Epoxy 혹은 다른 물질로 표면 Coating을 하게되며, 원형물을 건조하면 3DP Process가 완료된다.

2. 2. EzROBO System (Iwashita Engineering 사 제품)을 이용한 공간재료 성형기술

EzROBO System은 일본 Iwashita Engineering사에서 만든 고정밀 3-Axis Dispensing Micro-Robot으로, 원래 IC의 Epoxy Coating, IC Tip Bonding, Compact Disc의 UV Coating등 주로 전자부품의 생산공정에서 Dotting, Sealing, Coating을 위해서 제작된 Dispenser이다. 이 장비의 기본 특징은 AC Servo Motor를 이용하였기 때문에 X-Y-Z축이 동시에 제어가 가능하며, 일정 시간에 따라 점도포(Point Dispensing)를 하기 위한 Time Control과 선도포(Line Dispensing) 작업시 압력에 따라 알맞은 원료 양을 조절할 수 있도록 Pressure Control이 비교적 쉬우며, 빠른 속도로 작업대와 X-Y-Z축 이동이 가능할 뿐만 아니라, Needle을 통해서 작업대 위로의 정확한 Dispensing이 가능하다는 것이다⁹⁾.

또한, PTP(Point To Point)에 의한 각 Point별 제어와 CP(Continuous Pass)에 의한 직선 및 곡

선 제어에 의해서 Head Unit의 움직임이 낮은 속도로부터 높은 속도까지 부드럽게 진행되며, System Software를 이용해서 각 layer별 Data 입력이 쉽다는 장점을 가지고 있다.

EzROBO의 표준 사양은 Table 2와 같다. Fig. 3은 EzROBO의 System Software를 나타낸 것이고, 이 프로그램에 X-Y-Z Point, 속도, 기본 Parameter를 원형물의 각 layer별로 입력하면, System Software는 모든 Data를 EzROBO으로 전송하게된다.

Fig. 4의 EzROBO을 이용한 공간 재료 성형기

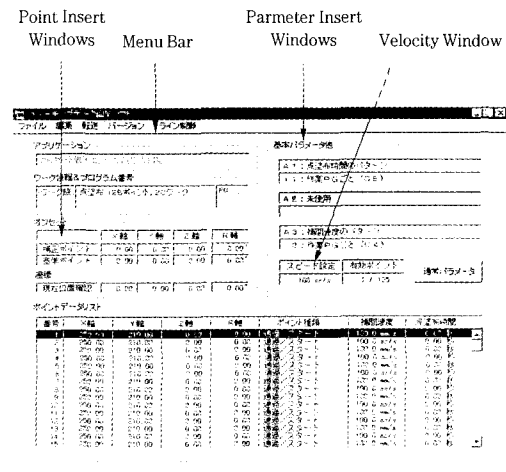
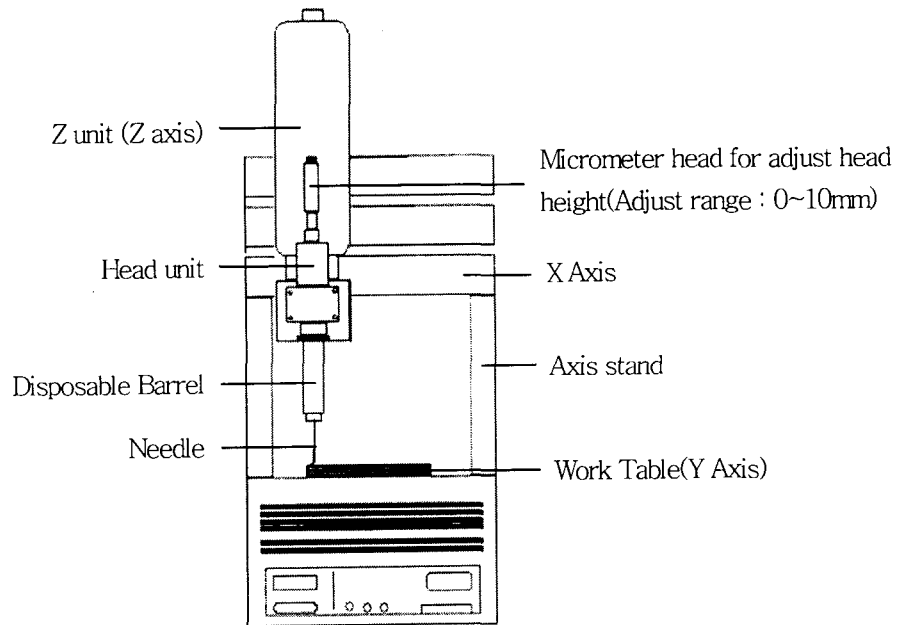


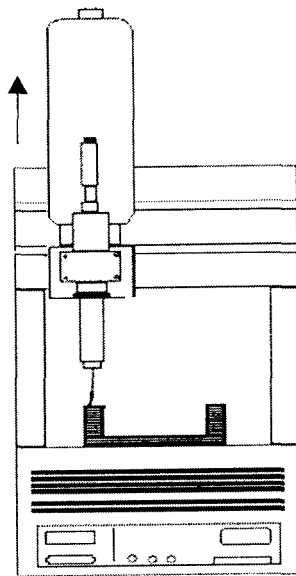
Fig. 3. The Main System software of EzROBO

Table 2. Standard Specification of EzROBO

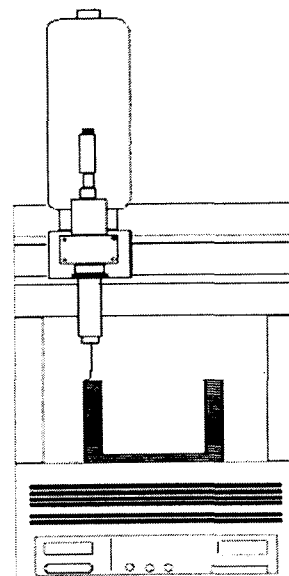
Operation ambient Temp.	0 to 40°C	Program step	1000steps
Operation method	AC servo motor, Grind-ball screw	Data save	RAM (Battery backup 1 year), EEPROM
Maximum Speeds	X-axis : ±0.05mm Y-axis : ±0.05mm Z-axis : ±0.05mm	Outer dimension	Main unit : (W) 320mm × (D) 300mm × (H) 607mm Work Range : (W) 250mm × (D) 210mm × (H) 70mm
Input & Output	Input-16 points Ouput-8points		
Interpolation function	Linear (XYZ) · Circular (select 2axes from XYZ)	Robot mass	About 15kg



Step1 : Data를 전송받은 System은 Needle을 통해 1 Layer를 완성하게 된다.



Step2 : Z축의 Micrometer를 이용하여 Z축으로 250 μ m올려서 2번째 layer를 형성하게 된다.



Step3 : 이러한 과정은 원형물이 완료될때까지 반복된다.

Fig. 4. The Printing Process of EzROBO

슬의 공정과정을 살펴보면, Data를 전송받은 EzROBO System은 Barrel 끝에 달린 Needle을 통해서 작업대 위에 첫 번째 layer를 완성하게 되고(Step 1), 두 번째 layer를 완성하기 위해 Z축의 Micrometer를 이용하여 1 layer를 올려서 두 번째 layer를 형성하게 되며(Step 2), 이런 과정은 원형물이 완료될 때까지 계속 반복된다.

3. 결과 및 고찰

Z402 System의 경우, 3DP에 사용된 Powder는 입자크기가 $40\mu\text{m}$ 이었고, 각형의 모양을 나타내는 Microstone (Bassanite)이었다. 일반적으로 3DP Process는 평균 입자크기가 $30\pm 10\mu\text{m}$ 인 Powder를 사용하는데, 입자의 평균 크기가 이보다 작으면 Van der Waals Interaction때문에 Agglomeration이 발생되어, Spreading과 Packing Control이 어렵다고 보고되었고¹⁰⁾, 3DP로 제작된 시편의 Binder-Powder Packing Density는, Powder의 국부적인 부족에 의해 낮은 Packing Density를 보인다고 Yoo가 보고하였다¹¹⁾. Giritlioglu는 알루미늄으로 제작한 3DP 시편의 파괴 실험 후, 파단 표면에서 Low Packing Density에 의한 Inter-granular Defects를 발견하였고, 이러한 Printing Defects들은 Fracture의 원인이 된다고 보고하였다¹²⁾. 일반적으로, Printing Defects는 Isostatic Pressing을 가하여 Packing Density를 증가시킴으로써 제거할 수 있다고 Yoo가 보고 하였다¹¹⁾.

또한, Z402 System 공정의 전반적인 과정을 살펴볼 때, 컴퓨터 Design 후 System Software를 이용한 Slicing 작업을 했을 때, 1cm(가로) × 1cm(세로) × 1cm(높이)일때 2분 정도의 시간이 소요되고, 형상이 복잡해 질수록 20분 정도로 Slicing 작업에 소요되는 시간은 많아지게 되며, layer별 작업속도가 시간당 1~2 inch로 원형물 제작 및 후처리 공정 전반에 걸리는 시간이 대단히 길다는 것을 알 수 있다. 그리고, 실제 Design한 치수보

다 공정이 완료된 후의 치수가 2%(X 축), 2%(Y 축), 3%(Z 축) 수축율을 보인다고 보고하고 있으며¹³⁾, 사용할 수 있는 재료 및 Binder의 종류에 제한이 있고, Z402 System에서 성형할 수 있는 전체 크기가 203mm(가로) × 254mm(세로) × 203mm(높이)로 제한되어, 원형물의 최대 치수 제한이 있다는 것이다.

본 연구에서 개발한 공간 직접 재료 성형기술은 Z Corporation사 제품의 Powder Spreading법과는 다르게 원료가 담긴 Barrel에 직접 압력을 가하여 Needle을 통해 원형물을 제작하는 방법이다. EzROBO에 사용된 원료는 E-SUNG Hitech사 제품의 EH-260D로서 (Epoxy + Binder)로 구성되어 있으며, Data를 전송받은 EzROBO System은, Fig. 4와 같이 Z축의 Disposable Barrel 끝의 Needle을 통해 원형물의 첫 번째 layer를 완성하게 된다. 이때, layer 두께는 $250\mu\text{m}$ 이고, Needle의 크기는 1.8mm, 그때의 작업압력 0.2MPa로 하였으며, 이동속도 300mm/sec, 작업속도 20mm/sec로 하여 작업시간을 단축시켰다. Z축의 Micrometer를 이용하여 1 layer를 올려서 두 번째 layer를 형성하게 된다. 이러한 과정은 원형물이 완료될 때까지 계속 반복되며, Printing이 완료되면, 원형물은 강도향상을 위해 Daesan Engineering사의 Drying Oven에 넣어 가열하였으며, 이때의 온도는 150℃로 유지하여 Binder를 완전 제거하였다.

이상과 같이, EzROBO을 이용한 공간직접 성형기술은 Z402 System에서 필요한 Slicing작업과 Powder Spreading없이 Barrel에 원료를 넣어서 원형물을 제작하였고, 제작되지 않는 부분의 속도를 300mm/sec로 높임으로써 작업속도를 시간당 3~4 inch로 증가시켰다. 그리고, Design한 후의 수축율이 Z402 System보다 낮은 1%이내로 치수 안정성이 향상되었으며, 제작된 원형물의 표면 거칠기는 후처리 공정을 하지 않고도, Z402 System의 후처리 공정을 한 것과 같은 효과를 얻을 수 있었다.

Fig. 5는 Z402 System과 Iwashita Engineering

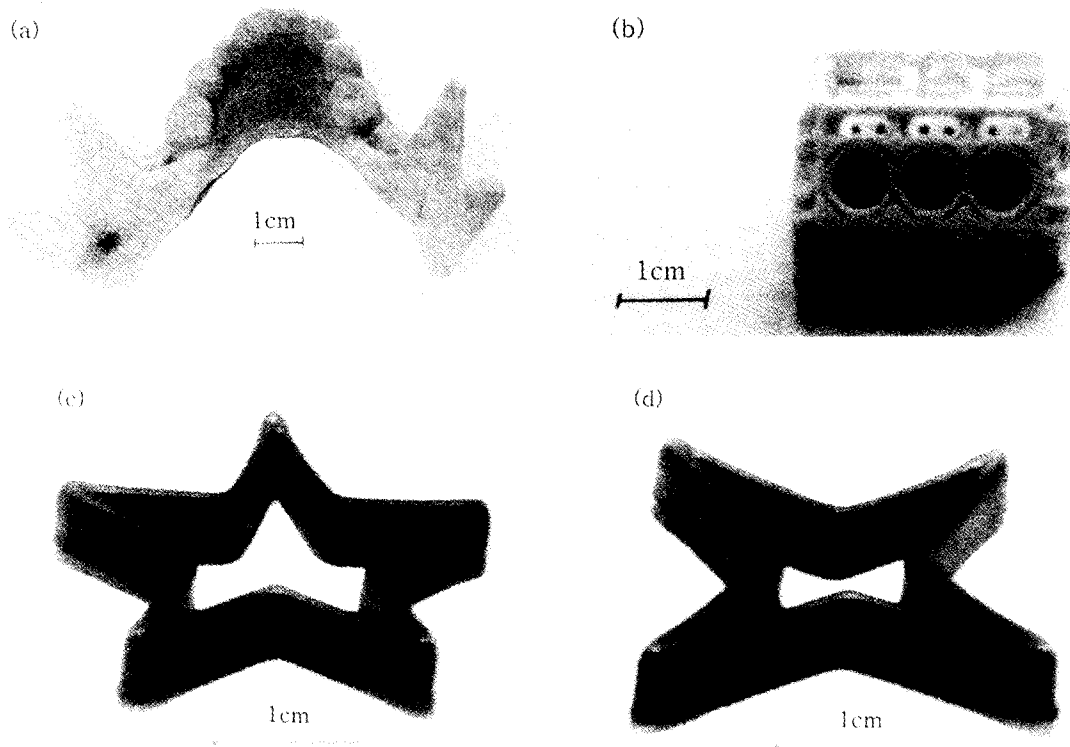


Fig. 5. The Prototypes made by Z402 System (a, b) and New Technique of Spatial Printing (c, d)

사의 EzROBO를 응용한 공간 직접 재료 성형 기술을 이용해서 제작한 원형물을 비교한 것이다. 제작된 원형물은 포인터가 4개인 별모양(3×3×0.7cm)과 포인터가 5개인 별모양(3.5×3.5×0.7cm)으로, 제작 소요 시간은 30분이었다.

EzROBO를 이용한 공간 직접 재료성형기술은 Z402 System보다 장비 가격이 1/10로 저가이고, 원형물의 layer별 작업 Data입력이 쉽다는 것 등의 장점을 가지고 있다. 이런 장점이 있는 반면, High Speed에서 예각, 직각 부분 등의 정확한 치수제어가 힘들며, 적합한 재료개발 부족으로 인한 공정상의 한계점 및 작업대의 제한된 크기 문제로 인해 원형물의 형상이 제한된다는 점, System Software의 개발 부족 및 Micrometer를 통한 Z축의 수동제어로 인해서 Z축 방향의 두께 제어가 정

확하지 못한 점 등은 앞으로의 공정 최적화를 통해서 해결될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

본 연구에서는 Iwashita Engineering Inc.의 EzROBO를 이용한 공간 직접재료 성형기술을 Z Corporation사의 Z402 System과 비교하여 그 가능성을 검토하였다. 본 연구에서 개발한 새로운 RP기술은, 작업속도, 치수 안정성, 표면 거칠기 등의 장점이 있는 반면, 정확도, High Speed에서의 치수제어, 재료개발 등에 의해서 원형물의 모형이 제한되거나, 공정상의 한계점 등으로 인한 문제점이 제시되었지만, 실질적으로 공간 직접 재료 성형기술을 통한 원형물의 제작이 가능하다는

것을 알 수 있었다.

또한, 앞으로의 공정 최적화 작업을 통해 치수 제어나 정확도를 증가시켜 궁극적으로 효율적인 공간 직접 재료 성형기술을 구현하고, 원형물의 품질향상을 이룰 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 실장검증센터의 99년 2차 지원 사업비로 연구되었으며, 이에 깊은 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. X. Yan and P. Gu : Computer Aided Design, 28 (1996)
2. M. Emanuel, E. Sachs, and M. Cima : U.S Patent Number 5,204,055 (1993)
3. URL http://huniv.hongik.ac.kr/~rpcad/frame/f_rp/frame_rp.htm 참고
4. E. Sachs, M. Cima, P. Williams, D. Brancazio and J. Cornie : J. Eng. Ind., 114 (1992)
5. F. Ribeiro : Com. Con. Eng. J (1998)
6. M. Emanuel, E. Sachs, and M. Cima : U.S Patent Number 5,340,656 (1994)
7. M. Cima, E. Sachs, T. Fan : U.S Patent Number 5,387,380 (1995)
8. E. Sachs, E. Wylonis, M. Cima, S. Allen and S. Michaels : ANTEC '95 (1995)
9. EzROBO V1.0 Operational Manual, 1999
10. J. Charnnarong : MIT PhD Thesis (1996)
11. J. Yoo : MIT PhD Thesis (1996)
12. B. Giritlioglu : MIT MS Thesis (1995)
13. Z Corporation Z402TM System User's Manual, 1999