

# ThermoJet 3D 프린터로 직접 제작한 패턴과 세라믹셸 주조법을 이용한 기능성 시제품의 쾌속제작

김호찬#, 이석\*, 이석희\*

## Rapid Tooling Technology for Producing Functional Prototypes using Ceramic Shell Investment Casting and Patterns Produced Directly from ThermoJet 3D Printer

Ho Chan Kim#, Seok Lee\* and Seok Hee Lee\*

### ABSTRACT

This paper focuses on the development of RT technology suitable for manufacturing a small quantity of metal prototype of a precise part from an RP master. Dimensional accuracy and surface roughness are evaluated from Thermojet part of a 3D printer, and effective post-processing method is introduced. Investment casting is done using a prototype built from 3D printer as a wax pattern. Ceramic shell investment casting technique is developed to build a prototype with materials mostly wanted. Also, experimental result shows this research is very useful in manufacturing of a small quantity of functional part or a test part of a specific material.

**Key Words** : Rapid Tooling Technology(쾌속금형제작기술), 3D Printer (3 차원 프린터), Investment Casting (정밀주조), Pattern (패턴), ThermoJet(서모젯)

### 1. 서론

쾌속금형(Rapid Tooling; RT)기술은 쾌속조형(Rapid Prototyping; RP)으로 제작된 부품을 이용하여 금형 또는 부품을 제작하는 기술이다. 이때 제작된 금형은 다수의 시제품 생산 또는 양산에 사용될 수 있으며, 또한 이 기술로 제작된 부품은 쾌속조형 장치에서는 직접 생산할 수 없는 다양한 재질의 금속, 비금속 및 합금 소재를 이용할 수 있어 감성적 품질평가, 기구학적 특성 시험 등 좀 더 실

용적인 시제품으로서의 역할을 수행하거나 직접 최종 제품으로 활용되고 있다.

RT에 관한 이전의 연구들은 상대적으로 큰 시간과 비용을 요구하는 금형의 제작에 집중되었다. 그러나 제품의 개발과정 중 성능 평가나 물리적 실험들을 위해서 실제 제품과 동일한 소재의 시제품이 소량으로 필요한 경우가 많으므로 시간과 비용의 소모가 적고 기능성이 높은 RT 기술에 대한 연구도 필요하다.

RP 시제품을 이용한 RT 기술로서 정밀주조

접수일: 2006년 6월 5일; 게재승인일: 2006년 6월 21일

# 교신저자: 안동대학교 기계공학부

E-mail hckim@andong.ac.kr Tel. (054) 820-5269

\* 부산대학교 기계공학부

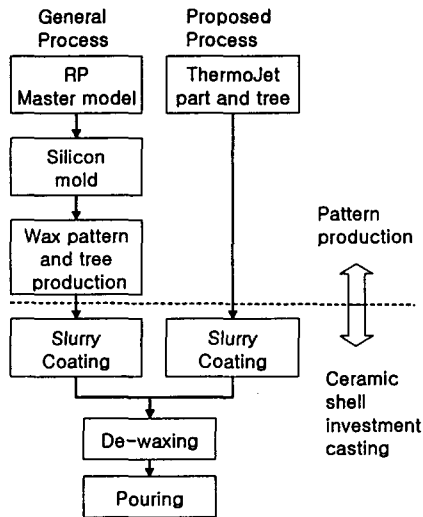


Fig. 1 Comparison of general and proposed process

(Investment Casting)를 이용한 종래의 기술은 RP 로 제작한 시제품을 왁스패턴(Wax Pattern)을 생산하기 위한 실리콘고무주형(Silicon Rubber Mold)의 제작에 활용하였으며, 이것은 RP 시제품으로 목형을 대치한 것으로 형상이 복잡한 제품일수록 큰 효과가 있다. 또한 RP 시제품을 직접 이용하여 세라믹 셸 정밀주조(Ceramic Shell Investment Casting)을 이용한 기존의 기술들도 있으나 속을 비운 패턴을 이용하는 광조형(Stereolithography)기술은 상업적 특허가 걸려 있거나,<sup>1</sup> 시제품을 태워낼 때 찌꺼기가 남거나 열팽창으로 금형에 균열이 발생하는<sup>2</sup> 등 여러 가지 단점이 있어 많이 이용되지 못하고 있다.

그런데, 최근에 많이 보급되고 있는 3 차원 프린팅 장치(3D Printer)는 시제품의 소재로 왁스계열을 이용할 수 있는 경우가 많다. 따라서 본 연구는 Fig. 1 에 보인 바와 같이 기존의 RP 마스터와 패턴 생산을 통한 기능성 시제품 제작을 3 차원 프린터에서 직접 제작한 왁스패턴을 이용하는 새로운 RT 공정을 개발하였다. 또한 세라믹셸정밀주조를 이용함으로써 금속이나 합금 등의 다양한 재질을 갖는 기능성 부품을 소량으로 제작하는데 적합하도록 하였다.

2. ThermoJet 을 이용한 왁스패턴 제작

지금까지 많은 폐속조형기술이 개발되었지만

사용 가능한 소재는 매우 제한적이다. 그러나 실제 제품과 동일한 소재 또는 비슷한 물성을 갖는 재료를 갖는 프로토타입은 제품설계의 오류와 반복을 줄이기 위해서는 매우 유용하다. 따라서 RT 를 이용하여 기능성 프로토타입을 제작하는 경우가 많으나 기존의 RT 기술은 대부분 양산용 금형의 제작을 목표로 개발된 것이므로 비용이 크고, 제작시간 또한 짧지 않다. 따라서 본 연구는 실제 제품과 거의 동일한 특성을 갖는 실험부품이나 기능성 시험품을 고속으로 제작하기 위해 세라믹셸 정밀주조를 이용하는 RT 기술을 개발하였다. 이때 3D 프린터에서 생산된 RP 시제품을 패턴으로 직접 이용하여 패턴제작용금형의 제작과 패턴 생산 공정을 단축하도록 하였다.

2.1.3 차원 프린팅

3 차원 프린팅은 컴퓨터에서 모델링 된 3 차원의 부품을 마치 문서를 인쇄하듯이 쉽게 제작할 수 있도록 하는 탁상제조공정(Desktop Manufacturing process)이다. 이 기술도 적층조형기술(Layered Manufacturing Technology)을 이용하므로 어떠한 복잡한 형상의 부품이라도 즉각 만들어 낼 수 있다.<sup>3</sup>

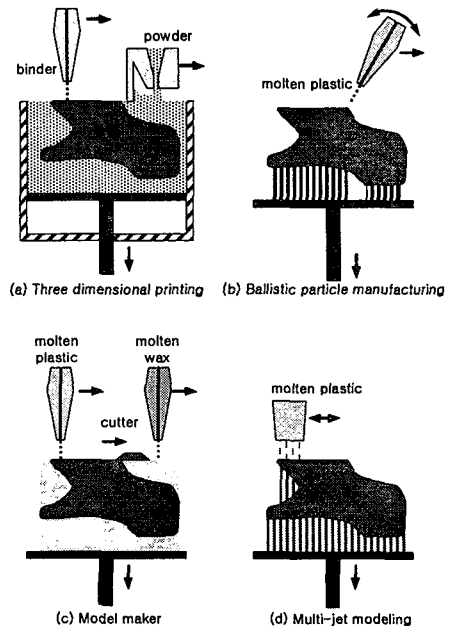


Fig. 2 3D printing processes

Fig. 2 는 대표적인 3 차원프린팅 기술들을 보이고 있다. 최초의 3 차원 프린팅 기술은 MIT 에서 개발하였으며, Fig. 2(a)에 보인 바와 같이 분말로 특정 두께의 층을 만든 후 결합재를 선택적으로 주사하여 임의의 단면을 생성하고 이를 적층하는 기술이다. Fig. 2(b)는 용융프라스틱을 주사하는 방법으로 지지대도 같이 성형하는 기술이며, Fig. 2(c)는 빈 공간을 용점이 낮은 왁스로 채워 성형한 뒤 때어 내는 방식으로 별도의 지지대가 필요치 않는 방식이다. Fig. 2(d)는 잉크젯프린터와 같이 다중노즐(Multi-nozzle)을 이용하여 용융 플라스틱이나 왁스를 분사하는 고속의 제작이 가능한 방식이다.

기존의 3D 프린터는 치수 정밀도가 0.1mm 보다 큰 값을 가져 정밀한 부품의 생산에 적합하지 못하므로 개념 확인용 시제품의 생산에 주로 활용되었다. 그러나 최근 공정 기술과 소재가 많이 개선되었고, 특히 용융 플라스틱이나 왁스를 재료로 사용하는 경우에는 지지대가 접촉된 부위가 아니면 표면 거칠기에 있어서는 정밀한 RP 장비들을 능가하는 장치들도 있다.<sup>4</sup> 그러나 소재의 기계적

특성은 역시 일반 RP 소재의 평균적인 수준에 미치지 못하고 있다. 그러나 RP 로 제작된 시제품을 이용하여 금형을 제작하기 위해서 사실상 가장 어려운 문제는 제품의 표면 거칠기가 매우 나빠 후 가공 없이 사용하기 어렵다는 점이므로 표면 거칠기가 양호한 3D 프린팅 기술도 특정 소재로 된 부품이 필요하여 정밀구조를 실시할 경우에는 매우 유용하다. 따라서, 본 연구에서는 고속의 시제품제작이라는 취지를 살리기 위하여 Multi-Jet Modeling(MJM) 방식인 ThermoJet 3D 프린터에서 생산된 패턴을 대상으로 연구를 수행하였다.

2.2 치수정밀도

패속조형 장비의 대부분은 열의 발생을 수반하기 때문에 어떤 형태로든 수축과 변형이 생기게 된다. MJM 방식도 용융왁스를 다중노즐에서 분사하므로 왁스가 굳으면서 수축과 변형이 발생하며 이에 따른 정밀도를 실험을 통하여 확인하였다. 테스트파트는 Fig. 3 에 보인 바와 같이 폭, 길이 및 높이가 서로 다른 5 개의 직 사각형을 가진 트리형상을 가로방향으로 1 개 세로방향으로 1 개를 배치한 것이다. Table 1 에는 그 결과를 나타내었다. 가로와 세로의 방향에 대한 편차는 크지 않으며 전반적으로 수축하였다. 따라서 스케일링 등을 통해 형상에 소프트웨어적인 수축보상을 실시함으로써 정밀도의 개선이 가능할 것이다.

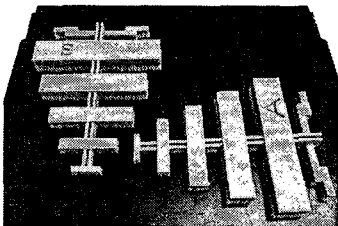


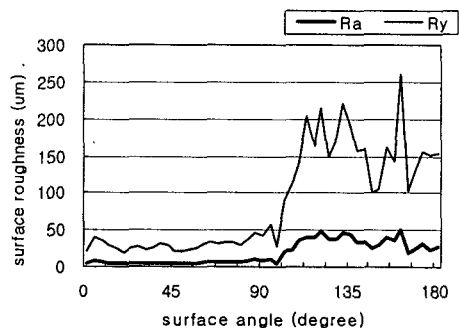
Fig. 3 Test part for dimensional accuracy

Table 1 Result of measured dimensional accuracy

Direction	Box	CAD data (mm)	Part A (mm)		Part B(mm)	
			Dim.	Error	Dim.	Error
Length	1	21.25	21.20	-0.05	21.24	-0.01
	2	42.50	42.42	-0.08	42.47	0.03
	3	63.75	63.66	-0.09	63.58	-0.17
	4	85.00	84.86	-0.14	84.81	-0.19
	5	106.25	106.11	-0.14	105.09	-0.16
Width	1	4.35	4.32	-0.03	4.27	-0.08
	2	8.70	8.81	0.11	8.85	0.15
	3	13.05	12.89	-0.16	13.05	-0.10
	4	17.40	17.21	-0.19	17.24	-0.16
	5	21.75	21.63	-0.12	21.65	-0.10



(a) test part for measurement of surface roughness



(b) surface rough by the surface angle

Fig. 4 Surface roughness of ThermoJet part

### 2.3 표면거칠기

3 차원 프린터는 물론 모든 적층조형을 이용하는 공정은 계단현상 때문에 표면이 거칠다.<sup>5</sup> 따라서, 3D 프린터 부품의 표면거칠기를 물체의 표면에서의 법선벡터와 수직상향벡터와의 사잇각인 면각 (Surface Angle)에 따라 측정하기 위하여 Fig. 4(a)와 같은 실험부품을 제작하였다.<sup>6</sup> 실험부품은 0° ~360° 까지 모든 방향으로 3.75° 마다 측정 가능한 평면을 가지고 있다. Fig. 4(b)는 면각에 따른 표면 거칠기를 평균치 Ra 와 최대치 Ry 로 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 ThermoJet 부품은 지지대가 생성되는 영역의 거칠기는 매우 나쁘지만 지지대가 생성되지 않은 방향인 위쪽 방향면의 표면거칠기는 다른 정밀한 RP 장치들에 뒤지지 않음을 알 수 있다.<sup>4</sup>

따라서 ThermoJet 부품의 품질을 극대화 하기 위해서는 조형방향을 잘 결정할 필요가 있다. 즉, 조형의 방향에 따라 지지대가 생성되어야 할 영역이 달라지므로, 부품의 품질에 영향이 크지 않은 면에 지지대가 생성되도록 방향을 선정하는 것이 좋다. ThermoJet 의 지지대는 평면에 생성된 것일 경우 제거가 매우 쉽고 표면도 대체로 양호하다. 따라서 지지대가 꼭면이 많은 곳보다는 평면에

생성되도록 성형방향을 결정하는 것이 좋다. 만일 부품을 2 개로 분리하여 제작하고 이후에 접착 한다면 파트의 모든 면이 0°~90° 면각을 갖도록 성형할 수 있으며, 또한 부수적으로 비용 및 시간이 더욱 절감되므로 이를 고려할 필요가 있다.<sup>3</sup>

### 2.4 후가공

ThermoJet 부품은 지지대 접착 부위의 버(Burr)를 제거하지 않고 정밀주조를 위한 왁스 패턴으로 이용하기에는 과도하게 거칠므로 이를 제거하기 위한 추가적인 후가공이 필요하다. ThermoJet 부품은 wax 소재를 사용하므로 후가공이 비교적 수월하다.

일반적인 경우에 후가공은 사포(Sand Paper)나 모래분사기(Sand Blaster)를 이용해 이루어 진다. 그러나 본 논문에서는 ThermoJet 에서 만들어진 왁스 부품은 Methyl Ethyl Ketone(MEK) 제거재를 이용하였다. MEK 제거재의 특성은 Table 2 에 나타내었으며, Table 3 에는 후가공으로 사포를 이용한 Polishing 만을 수행한 경우와 MEK 제거재를 묻혀 부품을 국부적으로 용해하여 Polishing 한 경우의 표면 거칠기를 측정한 결과를 보여주고 있다. 표에서 알 수 있듯이 MEK 제거재를 사용하였을 때 가 이를 사용하지 않은 경우 보다 좋은 결과를 나타내고 있다. 그러나 후가공이 수공로 진행 되므로 각 측정 부위의 거칠기 값이 일치하지는 않았으며, 다만 평균값으로 비교하면 제거재의 사용으로 후가공의 결과가 2 배정도로 향상된 것을 알 수 있다.

Table 2 Properties of methyl ethyl ketone remover

Item	Value
Molecular formula	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COCH <sub>3</sub>
Boiling point	80°C
Freezing point	-86°C
Specific gravity	0.8054
Viscosity	0.4
Solvent	Alcohol, acetone, oil etc.
Appearance	no color and no smell

Table 3 Surface roughness after post-processing

Measurement number	Without remover (µm)	With MEK remover (µm)
1	21.41	5.27
2	6.76	1.37
3	10.27	12.0
4	7.44	4.84
Mean	11.47	5.87

### 3. 세라믹셀을 이용한 Rapid Tooling

정밀주조 기술은 많은 종류의 금속과 합금을 이용하여 부품을 제작할 수 있는 가장 정밀한 주조 기법 중의 하나다. 과거에는 예술 작품을 만드는데 광범위하게 사용되었지만 이제는 형상이 복잡하고, 공차가 엄격하고, 얇은 단면이 포함된 표면거칠기가 우수한 제품을 제작하는데 널리 이용되고 있다.<sup>7</sup>

정밀주조 공정은 주형의 종류에 따라 고체주형(Solid Mould)법과 세라믹셀정밀주조(Shell Mould Investment Casting)법으로 나눌 수 있다. 일반적으로 정밀주조에 사용되는 패턴은 왁스나 플라스틱을 패턴 제작용 금형에 사출하여 만든다. 고체주

Table 4 Recipe for first slurry coating

Material		Ratio (%)
Powder	Alumina	3.4
	Chamotte flour	13.1
Binder	Water	27.3
	Hardener	55.1
	Antifoaming agent	0.14
	Surface active agent	0.06
Total		100

Table 5 Recipe for second slurry coating

Material		Ratio (%)
Powder	Alumina	3.67
	Chamotte flour	14.65
	Chamotte sand	Coat over the slurry
Binder	Water	29.3
	Hardener	51.28
	Antifoaming agent	0.36
	Surface active agent	0.73
total		100

형을 제작할 경우 패턴들을 붙인 왁스트리는 매우 미세한 실리카, 결합제, 에틸실리케이트, 산 등과 같은 내화성 재료에 담구어져 건조된다. 세라믹셀 정밀주조의 경우는 왁스트리를 미세한 내화물질에 담구었다가 꺼내기를 수회 반복하고, 주형이 일정 수준의 두께를 얻을 때까지 좀 더 큰 입자를 계속 해서 코팅한다. 위 두 방식의 주형이 굳으면 가열 하여 왁스를 녹여서 제거하고 용융상태의 소재를 부어 넣고 굳힌 후 주형을 깨고 부품을 꺼낸다.<sup>7</sup>

### 3.1 슬러리(Slurry)코팅

왁스트리에 내화성재료를 입히는 첫번째 공정은 세척이다. 왁스패턴을 붙인 왁스트리를 알코올 등의 세척제를 이용하여 세척해 이물질을 제거한 후 1 차코팅을 실시한다. 내화성 파우더와 내화성 바인더를 혼합한 슬러리를 사용하여 1 차코팅하며, Table 4 에는 본 논문에서 사용한 1 차 슬러리코팅의 소재별 비율을 나타내었다. 파우더 재료로는 alumina(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Flour 와 Chamotte Flour 를 동시에 사용하였다. 일반적으로 많이 쓰이는 Zircon Flour 를 대신하여 건조와 연소 시에 수축률이 낮은 Chamotte Flour 를 사용하였으며, Chamotte Flour 는

건조한 세라믹을 잘게 빻은 것이다. 또한 결합제 로서 물과와 경화재를 혼합하였으며, 파우더를 묶어 주는 역할을 하게 된다. 또한 소포재와 계면활성재를 첨가하였으며, 이들은 슬러리 혼합시에 발생하는 거품과 기공을 억제 시키고 왁스 트리 표면에 코팅의 접합이 용이하도록 도와 주는 역할을 한다

코팅공정은 2 단계로 진행하며, 1 차코팅은 최종 제품의 표면거칠기에 직접 영향을 미치므로 아주 미세한 분말들로 이루어진 슬러리를 만들어 2~3 회에 걸쳐서 반복적으로 코팅한다. 그리고 수분을 제거하기 위해서 일정한 온도와 습도의 조건 하에서 12 시간 이상 건조 시킨다.

2 차코팅에서는 Table 5 와 같은 비율로 슬러리를 만들어 코팅하고, 코팅 직후 Shamotte Sand 를 묻히는 작업을 3~4 회 반복한다. Shamotte Flour 의 첨가율을 13%~15%정도의 비율로 구성하였으며, 비율이 20%이상인 경우 분말 간의 결합강도가 떨어져서 셸(Shell) 전체에 균열이 발생할 수 있기 때문이다.

### 3.2 De-waxing 과 Burn-out

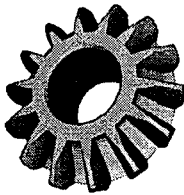
De-waxing 은 노(Furnace)에 슬러리로 코팅 된 왁스트리를 넣고 가열하여 왁스를 녹여내는 공정이다. ThermoJet 에 사용되는 왁스는 일반 정밀주조용 패턴 왁스 보다 녹는점이 약 10°C 정도 높은 80°C~90°C 정도이다. De-waxing 공정에서는 무엇보다도 가열되는 온도가 중요하다. 1 차와 2 차 슬러리 코팅에서 마르지 않고, 잔류하는 여분의 수분을 제거하기 위하여 낮은 온도에서 녹는점까지 일정하게 단계적인 예열이 필요하다. 노 내에서 왁스 트리를 조금 기울여 녹은 왁스를 잘 흘러 내리게 하는 것이 좋다.

Burn-out 은 남아 있는 왁스를 완전히 태워 없애는 공정으로 ThermoJet 의 왁스는 Burn-out 온도가 약 250°C 이다. 이때 세라믹셀의 균열을 방지하기 위해 충분히 가열하면서 서서히 온도를 상승 시켜야 한다.

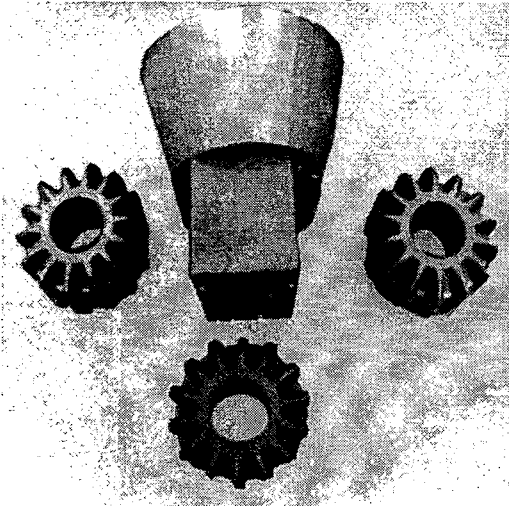
### 3.3 용탕의 주입

본 연구에서는 알루미늄 ADC12 를 약 670°C 정도로 가열하여 완전히 녹인 후 Burn-out 시킨 세라믹셀에 주입하였다. 이때 열충격을 최소화 하기 위하여 Burn-out 이 완료된 세라믹셀을 주입하

는 용탕의 용융온도에 가까이 예열을 시킨 후 주입하는 것이 좋다. 알루미늄 ADC12 는 알루미늄에 실리콘 9.6~12%, 구리 1.5~3.5%, 마그네슘 0.3%(max.), 아연 0.03%(max.), 망간 0.5%(max.), 니켈 0.5%(max.), 철 0.3~0.6% 및 기타 원소가 0.25%(max.) 혼합된 재료로 다이캐스팅에 주로 사용되고 있다.

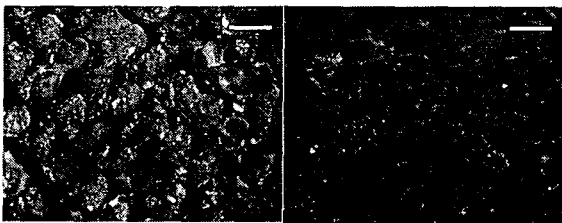


(a) test part of bevel gear



(b) prototypes built by ThermoJet

Fig. 5 Wax pattern production directly from 3D printer



(a) support attached surface (b) post-processed surface with MEK remover

Fig. 6 Post-processing of wax pattern (X100)

Table 6 Properties of ThermoJet wax

Item	Content
Ingredients	Hydrocarbon, amide, ester
Appearance	Black, gray, neutral color
Odour	None
Solubility	Not soluble in water
Flash point	250°C
Density	0.975g/mL
Melting range	80~90°C

#### 4. 실험결과

본 연구의 결과를 확인하고 ThermoJet 에서 제작된 왁스패턴이 기존의 왁스패턴 제작공정을 대체한 효과를 파악하기 위하여 실제적인 부품을 이용 실험을 실시하였다. 실험에서 사용된 테스트부품은 Fig. 5(a)에 보인 베벨기어이다. 그림 5(b)는 ThermoJet 에서 제작된 왁스패턴과 왁스트리이다. 왁스트리를 자주 사용하는 경우는 실리콘 간이형을 제작해서 여러 개를 복사해 두고 사용하지만, 본 연구에서는 기존의 왁스트리가 없으므로 신규로 제작하였다.

ThermoJet 에서 제작된 부품은 거의 모든 하향면에 지지대가 생성되며, 이 지지대는 냉각고에서 냉각하여 부러지기 쉽게 한 뒤에 떼어낸다. 지지대를 제거한 부품의 표면은 Fig. 6(a)에 나타낸 바와 같이 매우 거칠다. 따라서 Polishing 등의 후가공이 필요하며, MEK 제거제를 사용한 후 Polishing을 수행한 상태를 Fig. 6(b)에 나타내고 있다. 후가공에는 제거제를 묻힌 입도가 높은 사포를 사용하며, 다른 RP 소재에 비하여 매우 쉽게 후가공을 수행할 수 있다.

ThermoJet 이 사용하는 왁스는 Table 6 에 기술된 바와 같이 녹는점이 80~90°C 로 일반적인 패턴 왁스에 비하여 다소 높으므로 De-waxing 에서 주의할 필요가 있으며, 상처가 나지 않도록 취급에 주의할 필요가 있다. 왁스트리의 접착에는 특별한 접착제를 사용하지 않고 불로 접착부위를 국부적으로 녹여 접착하였다.

왁스트리에 내화성소재를 코팅하는 공정은 2 단계로 나누어 실시되었다. Table 4 에 나타낸 슬러리는 1 차코팅에 사용되었으며, 그 결과는 Fig. 7(a)에 보였다. 이때, 미세한 입자의 Shamotte Flour 를

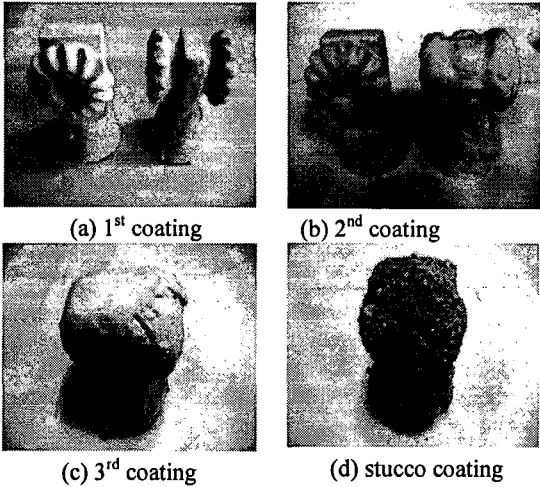


Fig. 7 Slurry coating

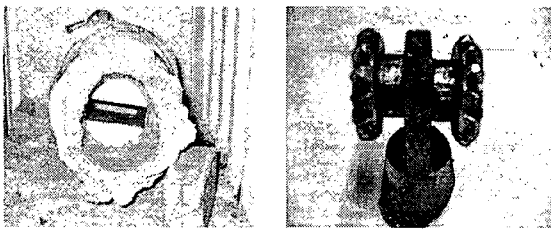


Fig. 8 Casting

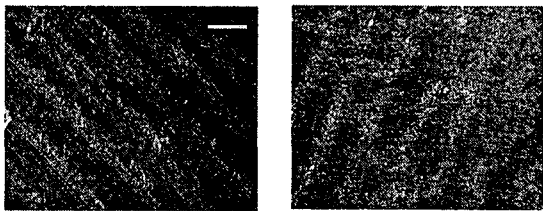


Fig. 9 Comparison of surface

이용함으로써 주물의 표면정밀도를 향상하고자 하였으며, 서늘한 그늘에서 완전히 건조하였다. 2차 코팅에는 table 5에 나타난 슬러리를 이용하였으며, Fig. 7(b)에 보인 바와 같이 셀의 두께가 증가하였다. 이후에는 Fig. 7(c)와 Fig. 7(d)에 나타난 입도가 큰 파우더로 만든 슬러리의 코팅과 외부코팅을 반복함으로써 셀의 두께를 증가시켜 균열을 방지하고자 하였다.

Fig. 8(a)는 전기로에서 De-waxing 과 Burn-out

Table 7 Production time comparison in a small batch size

Conventional investment casting (6~10) set	Rapid tooling (silicon room-temperature vulcanizing) (6~10) set	New investment casting using 3D printer pattern (6~10) set
Master model (mock-up) (15 days)	Rapid prototyping (2 days)	3D printer pattern (1 day)
-Machining of Al for wax injection (15 days) -Injection (1 day)	-Silicon rubber molding (1 day) -Wax patter fabrication using vacuum casting (2 days)	-None
Investment casting (6 days)	Investment casting (6 days)	Investment casting (6 days)
Total 37 days	Total 11days	Total 7 days

을 마친 셀의 사진이며, Fig. 8(b)는 용탕을 주입하고 냉각한 후에 셀을 깨고 부품을 꺼낸 사진이다. 부품들은 트리에서 절단하여 분리한 후 버(Burr)를 제거하면 완성된다.

Fig. 9(a)는 ThermoJet에서 생산된 부품의 상면으로 노즐로부터 사출된 왁스가 사선모양의 무늬를 만들고 있음을 알 수 있다. Fig. 9(b)는 완성 부품에서 동일한 면을 촬영한 것으로 원 왁스패턴에 있던 무늬까지 그대로 전사된 것을 볼 수 있다. 왁스패턴의 평균거칠기는 4.7  $\mu\text{m}$ 이며 완성부품은 9.3  $\mu\text{m}$ 이었다.

본 연구에서 제안한 기능성시제품의 소량 생산 RT 기술은 Table 7에 나타난 바와 같이 패턴생산에 1일, 세라믹슬주조에 6일로 총 7일이 소요되어었다. 이것은 종래의 정밀주조기술을 이용한 기능성 시제품의 제작이 약 37일소요되고, RP 부품을 패턴마스터로 사용하는 RT 기술이 약 11일이 소요되는 것과 비교해 볼 때 상당한 시간의 단축을 가져왔다. 따라서 제안된 기술이 패속제품개발(Rapid Product Development; RPD)를 통해 제품의 개발 소요기간을 줄임은 물론, 다양한 설계 대안의

검토가 가능토록 한다.

## 5. 결론

본 연구는 금속 재질을 갖는 기능성 시제품을 소량으로 제작할 때 적합한 RT 기술의 개발을 목표로 수행되었다. 대표적인 3 차원 프린터의 하나인 ThermoJet 의 치수정밀도 및 표면거칠기가 평가 되었으며, 효과적인 후가공 기술이 제안 되었다. ThermoJet 에서 생산된 시제품을 왁스패턴으로 이용하여 세라믹셀 정밀주조를 실시하는 RT 기술이 개발되었으며, 또한 실험을 통하여 개발된 기술을 평가하였다. 결과적으로 본 논문이 제안한 RT 공정은 3D 프린터를 이용한 세라믹셀주조로서 기존의 RT 기술에 비해 왁스패턴의 제작공정을 생략할 수 있으며 기능성 시제품의 제작에 소요되는 시간과 비용을 크게 감소시킬 수 있다.

## 참고문헌

1. Jacobs, F. F., "Stereolithography and other RP&M technologies," ASME Press, pp. 183-207, 1996.
2. Yao, W. L. and Leu, M. C., "Analysis of shell cracking in investment casting with laser stereolithography patterns," Rapid Prototyping Journal, Vol. 5, No. 1, pp. 12-20, 1999.
3. Ahn, D. G. and Yang, D. Y., "Principle of Rapid Prototyping and Its Trends," J. of the KSPE, Vol. 22, No. 10, pp. 7-16, 2005.
4. Kim, H. C., Lee, I. T., Lee, K. C., Lee, S. and Lee, S. H., "Reduction of Surface Roughness and Build Time with Model Splitting Method for Multi-Jet Modeling 3D Printer Parts," Transactions of the KSME, A, Vol. 24, No. 3, pp. 807-814, 2003.
5. Ahn, D. K., Kim, H. C., Jeong, H. D. and Lee, S. H., "A Study on Improving the Surface Roughness of Stereolithography Parts," J. of the KSPE, Vol. 21, No. 9, pp. 196-203, 2004.
6. Reeves, P. E. and Cobb, R. C., "Reducing the surface deviation of stereolithography using in-process techniques," Rapid Prototyping Journal, Vol. 3, No. 1, pp. 20-31, 1997.
7. Kalpakjian, S., "Manufacturing processes for engineering materials," Addison Wesley Longman, 3<sup>rd</sup>

edition, pp. 246-248, 1997.

8. Lee, I. H., "Development of an Assembly-free Process for Micro-stereolithography," J. of the KSPE, Vol. 21, No. 9, pp. 182-187, 2004.