

3D Printer Pattern을 이용한 정밀 주조 기술 개발

권민형*, 김호찬(부산대 지능기계공학과), 이석, 이석희(부산대 기계공학부)

The Technology Development of Investment Casting Using 3D Printer Pattern

Min-Hyung Guen, Ho-Chan Kim(Mech. Eng. Dept., PNU), Suk Lee, Seok-Hee Lee(Mech. Eng. Dept., PNU)

ABSTRACT

Rapid Prototyping is a prototyping technology that produces complicated parts directly from three dimensional CAD data with high efficiency, and has been extensively applied to various manufacturing processes. The aim of this research is to apply a 3D printer part as wax pattern in the investment casting process. The difference between conventional pattern wax and 3D printer wax is compared by experiments. The direct casting method is developed for ceramic-shell investment casting.

Key Words : Rapid Prototyping(쾌속 조형), Investment Casting(정밀 주조), Wax Pattern (왁스패턴), Thermojet(써모젯), 3D Printer(3D 프린터).

1. 서론

최근 시장 변화의 가속화와 모델이 다양화됨에 따라 복잡한 형상의 부품에 대한 수요가 확대되고 있다. 이러한 시장상황에 부합하기 위해서는 제품개발의 기간을 단축하고 개발 공정을 합리화할 필요성이 높아지고 있다. 쾌속제품개발을 위한 지원 도구의 하나로써 쾌속조형의 활용이 급격히 증가하고 있으며, 이것은 쾌속조형장치를 이용하여 매우 짧은 시간 내에 시제품을 제작할 수 있기 때문이다. 쾌속조형의 주요 장점은 복잡한 형상의 부품일지라도 CAD데이터로부터 부가적인 전문가의 작업 없이 제작이 가능하다는 점이다. 또한 동시공학(Concurrent Engineering)적인 접근방식에서도 매우 유용한 도구이다.

쾌속조형기술은 80년대 중반에 3D Systems사에 의해서 최초로 소개되었으며, 대표적인 기술로는 레이저를 이용하여 수지를 경화시키는 Stereolithography Apparatus(SLA), 선택적으로 분말을 소결시키는 Selective Laser Sintering(SLS), 열가소성 수지를 녹여서 성형하는 Fused Deposition Manufacturing(FDM) 얇은 박판을 절단하여 접착하는 Laminated Objected Manufacturing(LOM) 등이 있으며, 최근에는 3차원 프린트 기술들이 각광받고 있다.

최근 산업현장에서는 써모젯(thermojet)이나 FDM 등의 왁스소재를 이용하는 장치도 많이 사용되고 있다. 이러한 방식으로 생성된 모델들은 정밀주조를 위한 왁스 패턴이나 실리콘몰드 제작을 위한 원형 모델로서 이용되는 등 시제품의 제작을 위하여 여러 가지 기술에 접목되어 활용 가능하다. 정밀주조기법에 있어 대량 생산을 위해서는 마스터 모델로부터 실리콘 몰드를 제작하여 다수의 왁스 패턴을 성형하는 것이 일반적이다. 그러나, 소량의 시제품을 제작할 경우에는 전술한 실리콘을 이용한 왁스 패턴제작은 시간과 경제적인 면에서 비효율적이다. 따라서, 소량의 시제품을 단기간 내에 적은 비용으로 제작하는 기술을 개발할 필요가 있다. 따라서, 실리콘 몰드를 제작하지 않고 소량의 시제품을 3D Printer 등에서 직접 성형하여 정밀주조의 패턴으로써 활용할 수 있는 기술의 개발이 필요하다. 그러나, 3D Printer 등에서 사용되는 왁스와 정밀주조용 패턴왁스는 물리적 화학적 성질에 차이가 있으므로 이를 기존의 정밀주조기법에 직접 적용하기는 어렵다. 따라서 본 연구는 소량의 시제품을 효율적으로 제작하기 위하여 3D Printer에서 제작된 패턴을 이용한 세라믹-셸인베스트먼트 주조(ceramic-shell investment casting)기법을 개발하였다.

2. 제작공정

2.1 3차원 프린터를 이용한 왁스 트리 제작

최초로 3차원 프린팅 공정이 성공적으로 구현된 것은 MIT 대학의 Three-Dimension Printing이다. 그 원리는 Fig. 1에 보인 바와 같이 3차원 프린터는 액상의 왁스 재료를 노즐로 분사하거나 분말에 접착제 등의 바인더를 선택적으로 주사하여 분말을 결합시키는 기법을 이용한다.

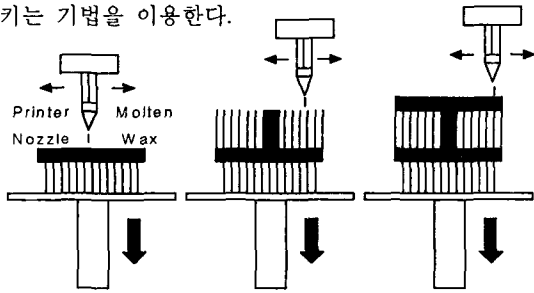


Fig. 1 Process of 3D Concept Printer

Fig. 2에서는 산업현장에서 활용되는 정밀주조 공정과 세라믹-웰 인베스트먼트 주조 공정을 나타내고 있으며, 본 연구에서는 3D Systems사의 3차원 프린터(3D Printer)인 Thermojet 88에서 제작된 시제품을 패턴으로 사용하였다.

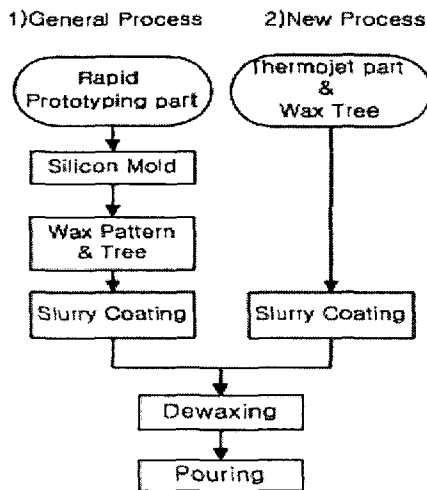


Fig. 2 General and 3D Printer Process

2.1.1 패턴 제작

패속조형장치에서 사용할 수 있는 재료는 제한적이므로 시제품에서 원하는 물성치를 패속조형물에서 직접 얻기가 매우 어렵다. 따라서 2차 공정을 이용하여 실제 제품과 동일한 소재를 사용한 시제품을 제작할 필요가 있는 경우도 있다. 대량의 시제품을 제작할 경우에는 실리콘 몰드를 제작하여 패턴을 성형하는 것이 효율적이다. 그러나, 소량의 시제품을 제작하는 경우에는 3차원 프린터로 패턴을 직접 제작하면 비용과 시간을 크게 감소시킬 수 있다. 이때 왁스계통의 소재를 사용하는 3차원 프린터로 제작된 부품은 로스트 왁스(lost-wax)기법에 패턴으로써 활용될 수 있다. 3차원 프린트는 CAD데이터로부터 치공구 설계 등의 부가적인 작업 없이 복잡한 형상의 제품도 완전 자동으로 제작할 수 있다. Fig.3 에는 써모젯을 이용하여 제작한 왁스 패턴과 왁스 트리를 보인다.



Fig. 3 Wax pattern and Wax tree by Thermojet

2.1.2 패턴의 후처리

일반적으로 패속조형기술로 제작된 시제품은 2차적인 Tooling작업을 위해서 후처리 공정이 불가피하다. 파트에 남은 서포터의 흔적들을 제거하고 높은 표면정밀도를 얻기 위해서는 사상작업이 필요하다.

지지대가 제거된 파트에 표면정도를 높이기 위해서 본 논문에서는 Remover제라는 액체 중매제를 사용하여 2차적인 Tooling작업을 가능하게 한다. 이 Remover제는 왁스재료를 아주 미세하게 녹이는 작용을 하며, 청결티슈나 메쉬(mesh)의 밀도가 높은 사포에 묻혀 버(burr)의 제거에 이용된다.

2.1.3 왁스 트리(Wax Tree)의 조립

이전의 공정에서 써모젯으로 제작된 테스트 왁스 패턴을 왁스 트리에 가열된 인두로 조립한다. 제품 모형과 함께 게이트를 사전에 모델링해서 추가 작업 공정이 들어가지 않도록 한다. 그리고 가능한 생산성 향상을 위해서 많은 마스터 왁스 패턴을 조립하고, 녹는점에서 왁스 모형이 잘 흘러 내리게 조립하는 것도 중요하다.



Fig. 4 Wax Tree assembly

2.2 세라믹-셸 구조

세라믹-셸 구조에 사용되는 재료는 전체적으로 분말 재료와 바인더로 나눌 수 있다. Table 1은 1차 슬러리 코팅제에 대한 재료 비율을 나타낸다.

Table. 1 First Mixing Material

Used Materials		Mixing Ratio(Vol%)
Powder	Alumina(4.5 μ m)	3.4
	Chamotte Flour	13.1
Binder	Water	27.3
	Hardener	55.1
	소포제	0.14
	계면 활성제	0.06
Total		100

분말 재료로는 알루미늄(Al_2O_3)와 새모트 플로우(Chamotte Flour)를 사용하였고, 산업현장에서는 Zircon Flour가 사용되기도 하지만 새모트 분말을 선택한 이유는 슬러리 코팅이 용이하고, 시간과 비용이 적게 소요되기 때문이다. 그리고 계면 활성제와 소포제를 사용하였는데, 이들은 슬러리 코팅제를 섞는데 일어나는 거품과 기포를 억제 시켜주고, 왁스 트리 표면에 코팅의 접합을 활성화 시켜 주는 역할을 한다.

슬러리 코팅은 1차와 2차 코팅의 2단계로 진행된다. 1차 코팅에서는 최종 제품의 표면 정도에 직접 영향을 미치므로 아주 미세한 분말들로 이루어진 슬러리 코팅을 2~3회에 걸쳐서 반복적으로 코팅을 시킨다. 그리고 수분을 제거하기 위해서 항온과 항습으로 12시간 이상 건조 시킨다.

2차 슬러리 코팅으로써 Table 2와 같은 슬러리 코팅제를 코팅하고 바로 새모트 샌드를 묻히는 작업을 3~4회 반복한다. Table 2는 1차 슬러리 코팅제에 대한 재료 비율을 나타낸다.

Table. 2 Second Mixing Material

Used Materials		Mixing Ratio(Vol%)
Powder	Alumina(4.5 μ m)	3.67
	Shamotte Flour	14.65
	Shamotte Sand	-
Binder	Water	29.30
	Hardener	51.28
	소포제	0.36
	계면 활성제	0.73
Total		100

실험에 사용되는 약간의 재료의 함량비에 따라서 슬러리 코팅 공정은 첫 번째와 두 번째 단계로 제작한다. 두 가지 공정으로 나누는 이유는 첫 번째 슬러리코팅에서는 4.5 μ m 이상의 분말가루를 사용함으로써 왁스 패턴의 직접적인 표면정밀도를 높이기 위해서 사용되어지고, 두 번째 슬러리 코팅은 분말 크기를 첫 번째 슬러리 코팅 공정보다 메쉬를 크게 하여 세라믹-셸 두께를 안정하게 지지 해주는 역할을 하기 때문이다.

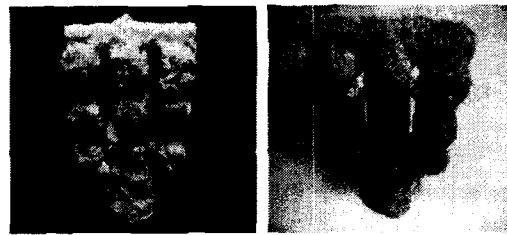


Fig. 5 First and second slurry coating each

새모트 재료는 보통 왁스재료보다 10 $^{\circ}C$ 정도 녹는 점이 높은 80-90 $^{\circ}C$ 정도이다. 디왁싱 공정에서는 무엇보다도 가열되는 온도가 중요하다. 1차와 2차 슬러리 코팅에서 마르지 않고, 잔류하는 여분의 수분을 제거하기 위하여 낮은 온도에서 녹는점까지 단계적인 예열이 필요하다. 그리고 어느 정도의 압력을 부여하여 슬러리 코팅 셸의 균열을 방지한다. 로 내에서 왁스 트리에 각도를 부여하여 보다 높은 왁스를 잘 흘러 내리게 하는 것도 좋은 방법이다. 또한 소성(burn-out)은 남아 있는 왁스를 완전히 없애야 하고 약 210~220 $^{\circ}C$ 에서 완전히 일어난다.

주조공정은 알루미늄(ADC12) 주물을 사용하여 약 670 $^{\circ}C$ 정도의 주물을 완전히 소성시킨 세라믹-셸 트리에 붓는다. 이때 중요한 사항은 예열온도를 결정하는 일로써, 소성이 완료된 세라믹-셸 트리에 주입하는 주물재료는 용융온도의 2/3의 온도로 예열을 시킨 상태에서 주물을 주입하는 것이 좋다.

3. 시험결과 및 평가

세라믹-셀 인베스트먼트 주조법에서 주요한 공정은 슬러리 코팅제와 소성(burn-out)공정이다. 2단계에 걸친 슬러리 코팅은 최종 제품의 표면 정밀도와 직접적으로 영향을 미치게 된다. 그리고 내벽에 남아 있는 왁스를 완전히 소성되지 않으면 주물의 기공과 주물표면이 거칠어지는 원인이 된다.

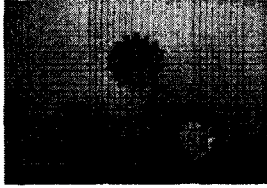
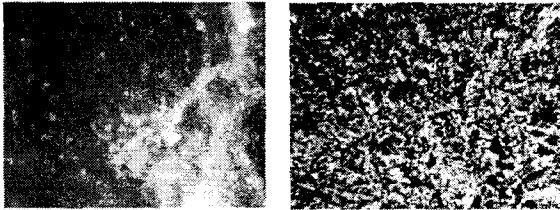


Fig. 6 Casting Products



(a)3D Printer Pattern(×800) (b)Casting Product(×800)

Fig. 7 Microstructure of Surface

Fig. 7은 3D 프린터 패턴과 주조 제품의 현미경 사진이다. 폐속조형기술로 제작된 패턴을 직접 세라믹-셀 인베스트먼트 주조법에 적용시켜 최종 제품에 대한 비용과 시간을 단축하였으며, 공정상으로 많은 치공구와 수작업을 요구하는 복잡한 제품 등의 소량 제작에 매우 효율적임을 알 수 있다. 패턴의 형상이 그대로 반영되므로 3D 프린터 패턴의 정밀도가 높을수록 더 정밀한 제품을 제작할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 소량의 금속 시제품을 단기간 내에 제작하기 위하여 세라믹-셀 인베스트먼트 주조 기법을 시제품제작에 적용하기 위하여 수행되었다. 기존의 패턴 제작 공정을 개선하기 위하여 3D Printer에서 직접 제작된 패턴을 이용하였으며, 이를 통하여 제작기간을 크게 단축시키는 효과를 얻을 수 있었으며, 목형 및 패턴몰드 제작 등 많은 수작업을 자동화된 공정으로 대체시켰다. 3D printer에서 제작된 패턴을 이용한 인베스트먼트 주조의 결과물은 기존의 패

턴 몰드에서 만들어진 패턴을 이용한 제품과 거의 동일한 품질을 가짐을 실험을 통하여 확인하였다. 3차원 프린터로 제작된 패턴은 기존 방법에 의하여 제작된 패턴과 물리적, 화학적 성질이 다르므로 이를 이용하여 더욱 정밀한 금속 시제품을 제작하기 위해서는 실험을 통한 새로운 공정 기술의 확립이 필요하다.

참고문헌

1. Paul F.Jacobs, "Stereolithography and Other RP&M Technologies," ASME press, pp.185-190, 1991.
2. 정해도, "적층조형시스템" 성안당, pp. 21-30.
3. 정두수, 정성일, 임용관, 정해도, 조규갑, "슬립 캐스팅을 이용한 통기성 금속 세라믹형 제작," 한국정밀공학회, '98년도 춘계학술대회 논문집', pp. 936-939, 1998.
4. 최상련, 김천기, 박 근, 오철호, "선택적 레이저 소결법을 이용한 기어박스의 정밀주조기술 개발," 한국공작기계학회지 제9권, 제1호, 2000.2.