

# FDM 쾌속 조형기를 통해 만들어진 ABS 파트를 이용한 직접 정밀 주조에 대한 연구

최두선\*, 신보성\*, 김주한\*

## A Study of Using FDM/ABS Parts as Wax-Pattern Substitutes in the Investment Casting Process

Doosun CHOI\*, Bosung SHIN\*, Joohan KIM \*

### ABSTRACT

The lead time for new products is very limited in the current manufacturing processes, therefore the Rapid Prototyping process has been introduced and generally used in the industry. Fused Deposition Manufacturing (FDM) is one of the most common methods in this field. In the FDM process, the patterns are made of Wax or ABS and ABS shows better quality of the patterns. To date, the FDM/ABS patterns are used in investment casting for making silicon moulds to produce wax patterns because it is very difficult to dewax FDM/ABS directly. The aim of this paper was to propose a feasibility of using FDM/ABS parts as wax-pattern substitutes in the investment casting process. The effects of casting conditions, such as pre-heat temperature and casting temperature, are provided. Comparisons with the conventional investment casting processes using the wax-patterns under the same prototype are made. Lead-time and saving cost are discussed in using FDM/ABS parts as wax-pattern substitutes compared with the products from other rapid prototype systems.

**Key Words :** Rapid Prototyping(RP; 쾌속조형), Fused Deposition Manufacturing(FDM), Investment Casting(IC; 정밀주조), Acrylonitrile-Butadiene-Styrene(ABS)

### 1. 서론

최근의 생산 공정에 있어서 제품의 디자인과 제조에 걸리는 시간은 매우 제한되어 있으며 간단한 주형이나 이를 통한 시제품을 생산해 내는데 있어서도 수 주일이 걸리는 것은 평이한 현상이다. 더욱이 제품이 복잡해지고 그 제품 수명(Life Cycle)이 짧아짐에 따라 리드 타임(Lead Time)을 줄이는 것과 동시공학(Concurrent Engineering)을 이용한 다양한 모델생성<sup>1)</sup>은 기업의 경쟁력을 유지

하기 위한 필수적인 요소이다. 이런 관점에서 볼 때, 쾌속조형 기술은 그 중요성이 강조되어 왔고 많은 응용이 이러한 이유로 개발되고 있는 실정이다. 쾌속 공정은 직접 적층 방식을 통해 임의의 3차원 형상을 제조할 수 있는 것이 가장 큰 장점이다. 80년대 후반부터 개발된 쾌속 조형은 적층된 제품의 정도와 표면 거칠기로 인하여 그 이용이 모델의 확인이나 간접 확인 정도로 매우 제한되어 있었다. 현재에는 적층 조형 기술의 발달에 따라 생산 공정에 이용할 수 있을 정도의 적절한 모델을 만들어 내고 있고 국내에서 외국의 상용화된

\* 한국기계연구원, 자동화연구부, 정밀가공그룹

쾌속 조형 상비를 전자, 기계 산업 등에 이용하고 있다. 이러한 쾌속 조형 기술은 크게 상용화된 기술과 현재 개발 중인 기술로 나뉠 수 있다. 상용화된 기술로는 레이저를 이용한 광조형법인 Stereolithography (STL), 선택적 레이저 소결 공법인 Selective Laser Sintering (SLS), 열가소성 수지를 뽑아내어 적층하는 방식인 Fused Deposition Manufacturing (FDM), 물체의 단면 형상의 얇은 판 등을 접착하는 방식인 Laminated Objected Manufacturing (LOM) 및 레이저를 이용 금속분말을 용융시켜 적층하는 방식의 LENZ 등을 대표적으로 들 수 있다<sup>2)6)</sup>.

그 밖에 현재 연구되어지고 있는 분야는 기존의 상용 쾌속 조형 방식이 대부분 비금속 재료를 사용하고 있는 것과는 달리 금속 적층을 통해 직접 제품이나 금형을 생산하려는 기술의 개발에 초점이 모아지고 있다. 이러한 쾌속 적층 기술로는 Laser Cladding, Ballistic Particle Manufacturing(BPM), Droplet-Based Manufacturing (DBP) 그리고 3-D Printing, Shape Deposition Manufacturing(SDM) 등으로 구분되어 질 수 있다. 또한 국내에서는 용접건을 통해 금속을 적층하고 밀링 공정을 후처리로 도입한 쾌속 조형 기술을 보고하고 있다<sup>7)13)</sup>. 이러한 쾌속 조형 기술을 통하여 많은 상용제품이 나와 있으나 실제 산업 현장에서는 3-D System 회사의 SLA 이나 Stratasys 회사의 FDM 이 많이 쓰이고 있다<sup>14)</sup>. 이러한 방식으로 생성된 모델들은 정밀 구조 등에 쓰이는 왁스 패턴을 위한 실리콘 볼드의 원형 모델이나 시제품 등의 제작을 위하여 사용되어지고 있다. 정밀 구조에 있어 대량 생산을 위해서는 마스터 모델로부터 실리콘 몰드를 만들어 왁스 패턴을 만드는 것이 가장 경제적이다<sup>15)</sup>. 다른 한편으로 시제품의 단순 제작이나 소량의 부품을 주문 생산할 시에는 대량 생산에 유리한 실리콘 몰드와 왁스 패턴으로 만드는 과정이 비효율적이고 또한 절삭 공정으로서는 제품을 생산하기 어려운 경우가 있다. 이러한 공정을 위해 쾌속 조형에 있어서 직접 왁스 패턴을 만들어서 이용하는 방법을 생각할 수 있다. SLA 에서는 QuickCast™ 와 TetraCast 용법을 정밀 구조를 위해 사용하고 있으며<sup>16)</sup> FDM 에서는 왁스로 패턴을 적층하기 보다는 그 적층 패턴이 보다 나은 ABS 재료로 제품을 만들고 있는 실정이다. 하지만 ABS 로 만들어진 패턴의 직접 정밀 구조에 있어서 기존의 공정으로

는 그 재료가 완전히 녹아서 제거되지 않는 등의 결점을 가지고 있고 이에 대한 결과 보고도 미흡한 실정이다<sup>17)</sup>.

본 논문에서는 FDM 시스템을 이용하여 제조된 FDM/ABS 패턴을 직접 정밀 구조 공정을 통해 제품으로 만들어 본다. 또한 이것을 기존의 왁스 패턴으로 만들어진 제품의 공정과 비교함으로써 FDM/ABS 패턴의 직접 정밀 구조의 공정기술 및 그 장단점을 분석하고자 한다.

## 2. 실험

먼저 3-D 모델러를 이용 임펠러를 설계하고 그 데이터를 이용하여 FDM/ABS 패턴을 생성한다. 이 패턴으로 실리콘 몰드를 만들어 왁스 패턴을 생성하고 이 왁스 패턴과 FDM/ABS 패턴을 정밀 구조를 통해 각각의 금속 제품으로 제작한다.

### 2.1 FDM 쾌속 조형기를 이용한 FDM/ABS 패턴 생성

본 실험에서 모델이 된 파트는 터보 제네레이터(Turbo Generator)에 쓰이는 임펠러이다 [Fig. 1]. 이 파트는 다양한 시제품을 만들면 디자인 및 설계의 검증에 매우 유리하기 때문에 쾌속 조형기를 통해 다양한 패턴을 생성하여 공정효율을 높일 수 있다. 본 실험에 쓰인 패턴은 3 차원 파라메트릭 솔리드 모델러(parametric Solid Modeller)인 SolidWorks 으로 모델링이 되었으며 STL 파일로 저장되었다. 3-D CAD 데이터를 쾌속 조형 기계를 위한 2 차원 단면으로 슬라이싱하기 전에 그 오류를 확인하고 수정하는 작업이 필요한데 본 연구에서는 한국 기계 연구원에서 개발된 인터페이스 프로그램을 통해 그 작업을 수행하였다[Fig. 2]<sup>18)</sup>. 확인을 거친 데이터는 Quick Slice v6.1 을 통해 슬라이싱되어 FDM 8000 의 쾌속 조형을 위한 기본 2 차원 데이터로 이용되었다[Fig. 3].

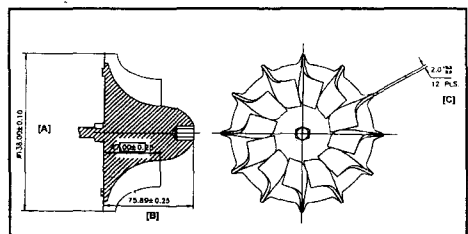


Fig. 1 The design of impeller pattern (SolidWorks)

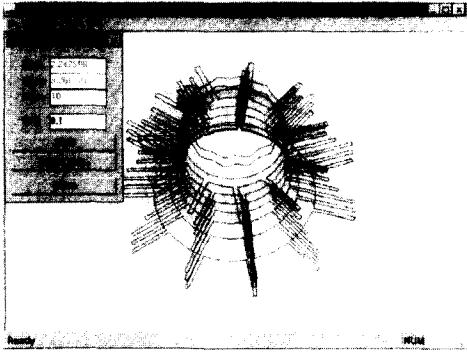


Fig. 2 Error check for the 2D slicing data of the impeller pattern



Fig. 4 The process of depositing a FDM/ABS Impeller pattern by FDM8000

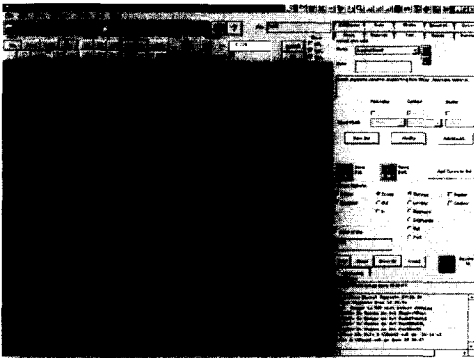


Fig. 3 Creating slices and supports of the impeller pattern (Quick Slice v. 6.1)

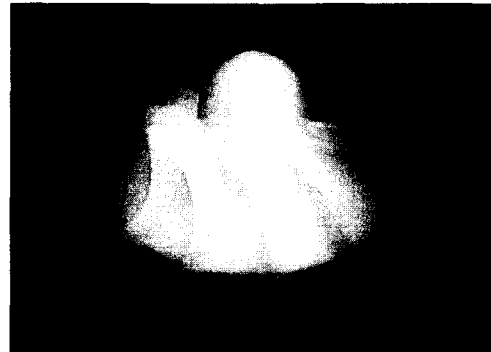


Fig. 5 The FDM/ABS impeller pattern without supports for investment casting

본 논문에서 사용된 FDM 공정은 0.025mm 의 팁(Tip)에서 사출된 열가소성 수지의 적층에 그 기본 원리를 가지고 있다. ABS 수지는 필라멘트의 형태로 컴퓨터에 의해 제어되는 용착 노즐 헤드에 공급된다. 헤드에서 필라멘트는 저항 히터에 의해 녹게 되며 노즐을 통해 밀려나와 급속히 고체화된다. ABS 재질에 관한 사항이 Table 1 에서 보여지고 있다. 노즐의 이동경로는 미리 생성된 파트의 단면의 외곽 형상이며 한 층이 만들어진 후 Z 축으로 테이블이 이동 다음 층을 적층하게 되며 각 층은 열에 의해 단단히 결합하게 된다. FDM/ABS 패턴은 일반 사출 제품의 약 85%의 강도를 가지고 있다<sup>19)</sup>. Fig. 4 에서는 FDM 에서 적층되는 과정을 보여주고 있고 Fig. 5 에서는 서포트(Support)를 제거한 FDM/ABS 임펠러 마스터 패턴이 보여지고 있다. 본 임펠러 패턴은 약 23 시간의 제작시간이 소요되었다.

Table 1 Material Specifications of ABS<sup>19)</sup>

Tensile Strength	34.47 [MPa]
Flexural Strength	65.50[MPa]
Tensile Modulus	2482.2[MPa]
Flexural Modulus	2620.1[MPa]
Elongation	50[%]
Hardness(Shore D)	R105
Softening Point	104.4[°C]
Specific Gravity	1.05[GMS/CM <sup>3</sup> ]

## 2.2 정밀주조

여기에 쾌속 조형으로 만들어진 마스터 패턴으로부터 제품을 생산하는 공정에는 실리콘 몰드를 이용하여 왁스 패턴을 생성, 정밀주조를 통해 제품을 만드는 것이 일반적이다<sup>20)</sup>. 이러한 정밀주조법은 복잡한 형상을 쉽게 주조할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서의 정밀 주조의 공정은 다음과 같다.

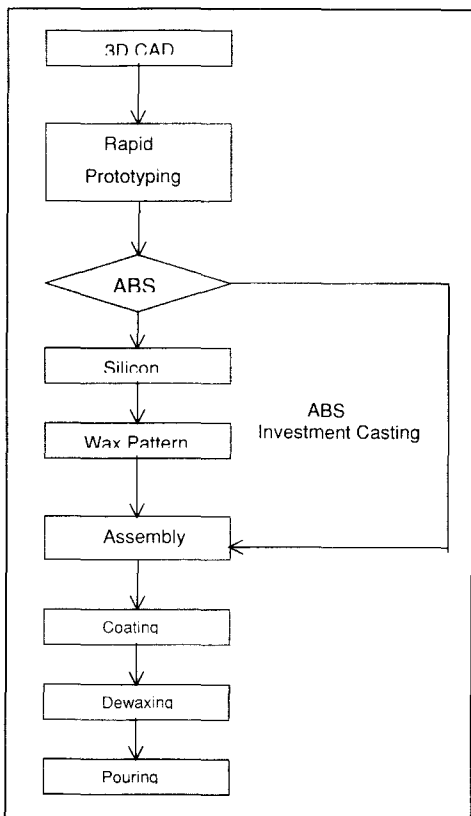


Fig. 6 Flow chart of the FDM/ABS investment casting process

(1) 설계(Design) - FDM/ABS 를 이용한 쾌속조형을 통해 마스터 패턴을 제작한다. 그 마스터 패턴은 가능한 정교하게 제작하는 것이 중요하나 그 정밀도는 FDM 공정에 따라 좌우된다.

(2) 툴링(Tooling) - 왁스 패턴을 만들기 위해 실리콘 몰드를 FDM/ABS 마스터 패턴을 이용하여 제조한다.

(3) 왁스 패턴(Wax Pattern) - 왁스를 주형에 주

입 왁스 패턴을 제조한다.

(4) 조립(Assembly) - 왁스 패턴으로부터 탕구 및 왁스 클러스터 트리(Cluster Tree)를 조립한다.

(5) 코팅(Coating) - 왁스 클러스터 트리를 슬러리(slurry)와 모래 등에 담가서 내화물을 입힌다.

(6) 디왁싱 & 소성(Dewaxing & Burn-out) - 왁스를 고압가마(Auto-clave)에서 녹여 제거하며 내벽에 남은 왁스를 연소시켜 없앤다.

(7) 용탕 주입(Pouring) - 쇳물을 주형에 주입하고 상온에서 냉각시킨다.

## 2.3 왁스 패턴과 FDM/ABS 패턴을 통한 정밀 주조

왁스 패턴을 생성하기 위해 FDM/ABS 패턴으로부터 실리콘 몰드가 제조되었고 몰드와 이로부터 제조된 왁스 패턴이 Fig. 7 과 Fig. 8 에 나타나 있다

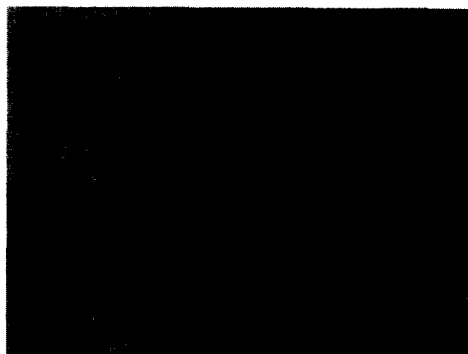


Fig. 7 The silicon mould for producing wax patterns



Fig. 8 A wax pattern from the silicon mould

본 실리콘 몰드로부터 왁스 패턴을 다량 생산

할 수 있었으며 앞에서 언급한 일반적인 정밀주조 공정을 거쳐 임펠러 부품을 제조하였다. FDM/ABS 패턴으로는 왁스 패턴 대신에 직접 탕구를 조립하여 슬러리를 입히는 공정을 거쳐 직접 정밀 주조를 하였다 [Fig. 9][Fig. 10].

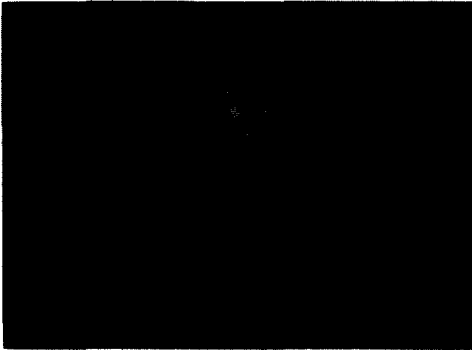


Fig. 9 Assembly for investment casting

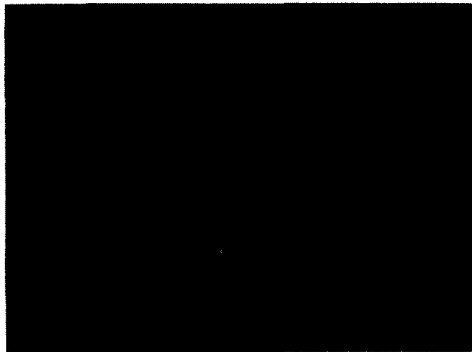


Fig. 10 Slurry coating

본 공정에서 수행된 정밀 주조 조건이 Table 2 에서 보여지고 있다.

Table 2 Parameters for the investment casting process

Pattern material	ABS	WAX
Dewaxing Temperature	1050 - 1100 °C	170°C (Auto-clave)
Pre-Heat Temperature	1050 °C	
Casting material	Inconell 713C	

Casting Temperature[°C]	1530 °C
Cooling	Natural cooling- 5 hours

## 2.4 실험 결과 및 검토

### 2.4.1. 왁스 패턴과 FDM/ABS 패턴을 통한 정밀 주조에 대한 비교

Fig. 11 은 실험을 통하여 주조된 임펠러를 보여주고 있다. 그림의 왼쪽은 왁스 패턴으로부터 주조된 것이며 오른쪽은 FDM/ABS 패턴으로부터 직접 주조된 제품이다.

주조된 제품으로부터 측정된 치수와 수축률 등이 FDM/ABS 패턴, 실리콘 몰드로부터의 왁스 패턴과 이 두 가지로부터 정밀 주조된 두 가지 제품으로 구분되어 Table 3 에서 보여지고 있다. Inconell 로 주조된 경우를 비교해 보면 ABS 에서 직접 주조된 제품이 왁스에서 제조된 것 보다 수축률이 낮음을 알 수 있다. 이는 왁스패턴을 거쳐 주조된 것으로 따져 볼 때 그 오차가 누적되어 이러한 결과가 나타나고 있음으로 판단되어 진다. 부분별로는 임펠러의 높이와 직경에서는 4% 내의 수축률을 보이고 있고 임펠러 날개의 끝에서는 오차의 허용 범위인 10% 내의 2.5%와 7.5%의 수축률을 보이고 있다. Inconell 로 정밀 주조하는 과정에서 몰드의 예열시 0.7%의 팽창이 발생되고 주물의 냉각에서 2.0%의 수축이 정상적으로 발생되어 약 1.3%의 수축을 보이는 것이 정상이나 각 패턴의 후처리 가공 및 누적 오차 등을 감안한다면 비교적 양호한 결과라 판단된다.



Fig. 11 Cast impeller patterns (Right; from the FDM/ABS pattern, Left; from the wax pattern)

Table 3 Shrinkage of the final products

Position & Design value	Pattern material for casting	Measured Value(mm)	Shrinkage (%)
직경(A) (138.00 ± 0.10)	ABS	134.75	2.36
	Wax	133.10	3.55
높이(B) (75.89 ± 0.25)	ABS	72.95	3.87
	Wax	72.90	3.94
날개 두께(C) (2 ± 0.2)	ABS	1.95	2.50
	Wax	1.85	7.50

대량생산에서 왁스 패턴을 만드는 과정과 비교하여 보면 본 논문에서 제작된 임펠러의 경우 실리콘 몰드와 왁스 제작과정의 생략으로 2-3 일의 시제품 제작기간을 단축할 수 있었으며 이에 따른 비용도 30-40%절약이 가능하다고 볼 수 있다. 하지만 본 공법은 1개만의 제품을 생산할 수 있으므로 본 비교에 큰 의미를 둘 수는 없다. 이에 대한 고찰이 다음 절에 상세히 기술되어 있다.

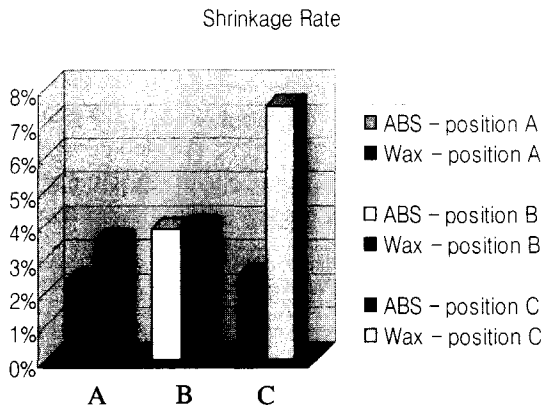


Fig. 12 Shrinkage rate

**2.4.2. FDM/ABS 패턴과 다른 쾌속공정을 통한 정밀 주조에 대한 비교**

앞에서는 FDM 을 이용했을 때 금속 시작 제품을 신속히 제작하는 방법을 고찰하였다. 이는 대규모의 생산을 하기 전에 실제 시제품을 제작하고 앞으로 대량 생산될 완제품의 성능을 시험하여 실제 어떻게 작동되는 것인가에 대한 검증작업에 유용하게 이용될 수 있다고 본다. 이러한 검증단

계에서 즉 1개의 시작품만을 제작하는 단계에서 대량생산을 위한 실리콘 몰드나 왁스 패턴을 만드는 것은 계속적으로 모델을 고쳐야 하는 시점이고 나중에 대량 생산을 위한 시제품 제작 준비 공정이라는 단계에 있어서는 비경제적이고 부적합할 수 있다.

한편으로 본 공정을 통해 만들어진 결과를 이와 같은 개념을 가지고 있는 공정과 비교하여 보는 것도 그 의의가 있다. 1개의 제품을 생산할 수 있는 공정으로는 첫째 직접 금속을 절삭하여 만드는 공정과 둘째 SLA, LOM 과 같은 다른 쾌속 공정을 통하여 만드는 방법 등을 들 수 있다. 이에 대한 고찰이 Table 4 에 요약되어 있다. 여기서는 본 실험에서 쓰인 임펠러 제품은 아니지만 그 제작 공정과 난이도, 크기가 상당히 비슷한 선박용 프로펠러와 그 비교함으로써 그 제작 시간과 정밀도를 간접 비교하여 본 공정의 장단점을 판단할 수 있다.

Table 4 Comparison of the various manufacturing processes <sup>21)22)</sup>

공법	절삭가공	FDM/ABS	LOM	SLA
Part	프로펠러*	임펠러**	프로펠러*	N/A
정밀도 [%]	0.16	1.1 (수축률 적용시)	1.3	N/A
개발비용[만원]	260	90*** 210*** *	216	N/A
개발기간[일]	9	8	8	N/A
특징	재료선택의 제약이 있음	주조시 Crack 다수 발생, 조도가 상대적으로 나쁨	주조시 Ash 문제	주조시 조도가 상대적으로 우수함

\*블레이드 수가 5개

\*\*블레이드 수가 12 개

\*\*\*FDM/ABS 패턴 1 개의 직접 주조 비용

\*\*\*\* FDM/ABS 패턴을 통하여 실리콘 몰드 제작하여 대량생산을 위한 왁스 패턴을 제작 비용 포함

송용억<sup>21)</sup> 등은 절삭가공과 LOM 을 통한 쾌속 조형 공정만을 비교하여 보았을 때 비용에서는 큰 차이를 보이지 않았으며 정밀도와 공정의 개발 정도 등에서 아직까지는 절삭가공이 쾌속 공정을 앞서고 있다고 보고하고 있다. 하지만 그와 덧붙여 절삭 공정에서 문제가 되는 블레이드의 수가 많은 경우에 있어서는 절삭공정 보다는 쾌속 조형 공정이 보다 유리할 수 있다고 지적하고 있다.

본 실험에서 쓰인 임펠러의 경우 그 블레이드 수가 12 개나 되므로 실제로 절삭가공을 통하여 제작한다면 그 개발 비용과 기간이 위에 나타나 있는 것보다 훨씬 고가이며 길어질 것임이 자명하다. 또한 절삭 가공에 있어서 Inconel 과 같은 재료는 현실적으로 절삭 가공을 통해 제작하기가 불가능하다고 할 수 있고 실제에 있어서도 기본 목형을 만들고 그 위에 블레이드를 하나씩 붙여 전체 틀을 제작하고 이것을 다시 주조 공정을 거쳐 완성품을 만드는 방법을 쓰고 있어 쾌속 조형 공정을 이용함이 리드 타임과 비용에 있어서는 유리함을 쉽게 예상할 수 있다.

LOM 을 통하여 프로펠러를 주조했을 시 정밀도는 FDM/ABS 패턴을 이용했을 때와 비슷한 범위에서 나타나고 있고 이는 절삭 가공에 비하여 상당히 떨어짐을 나타내고 있다. 또한 주조 공정시 FDM/ABS 패턴의 경우 재(Ash)의 잔재물이 0.1% 정도로 나타난 것에 비하여 LOM 에 있어서는 2-2.5%정도로 그 재의 제거에 있어 많은 기술적 문제점을 가지고 있음이 보고 되고 있다<sup>22)</sup>.

SLA 의 경우에 있어서는 QuickCast™ 또는 TetraCast 등의 직접 주조 방법을 통하여 제품을 생산할 수 있는 것으로 알려지고 있다.

따라서 본 논문에서는 SLA 직접 주조 공정을 통한 팬(Fan) 타입의 제조에 있어 그 비교 자료를 제시할 수는 없으나 FDM/ABS 를 통하여 주조된 제품과 비교하였을 때 표면 조도가 상당히 양호하지만 LOM 을 통한 주조 공정과 비교하였을 때 주조 시 파손률이 증가함이 보고되고 있다<sup>22)</sup>.

또한 FDM/ABS 를 통하여 직접 주조된 임펠러 제품을 살펴보면 FDM/ABS 시험 임펠러 패턴 5

개중 2 개만 주조에 성공을 하였으며 이의 원인으로 탕구의 부적절한 조립 등과 열 팽창에 의한 크랙(crack) 등으로 여겨지고 있다. 또한 후처리를 하지 않은 ABS 적층 패턴이 주조 표면에 나타남으로써 그 표면 조도가 상대적으로 많이 떨어졌다. 이는 그 표면 조도가 상당히 양호한 SLA 를 통한 주조품과 대조를 이룬다. 리드 타임에서 있어서는 다른 공정과 비슷한 시간을 기록하고 있다. 제조 비용에서 두 가지로 나눌 수 있는데 FDM/ABS 를 제조하여 그 ABS 패턴을 직접 주조할 때의 최저 비용은 재료비 포함 90 만원 정도로 산출되었다. 한편으로 왁스 패턴과 이를 위한 실리콘 몰드의 제조 시 140 만원정도가 추가 되어 총 210 만원 정도가 산출되었다. 본 공정과 같이 1 개의 쾌속 조형 패턴으로부터 1 개의 주조품만 생산하는 개념을 가진 LOM 의 경우에 비하여 비교적 경제적이다 논할 수 있으나 각 단계의 패턴 생성 및 주조에 있어서 실패할 가능성과 아직까지 그 공정자체의 안정성이 많이 떨어지는 면을 생각한다면 그 비용으로 산출된 수치에 아직까지는 큰 의미를 부여할 수는 없다.

그리고 다른 공정과 비교하여 정밀도와 리드타임의 향상을 가져올 수 있는 FDM/ABS 성형 조건으로는 ABS 패턴 생성시 정밀 주조의 특성을 고려하여 패턴 안쪽을 벌집 모양으로 적층 제작한 것을 들 수 있다. LOM 방식의 최대 단점인 주조시 원래 패턴의 재(Ash)의 제거를 FDM/ABS 직접 적층 방법에서는 이를 통하여 용이하게 할 수 있었고 열팽창으로부터의 슬러리 코팅자체의 파손을 최소화 할 수 있었으며 팽창의 방향을 내부로 향하게 하여 팽창시의 그 오차를 줄여 줄 수 있다. 또한 적층 시간을 속이 찬 패턴(solid) 보다 2-3 배 빠르게 적층함으로써 그 리드 타임을 상당히 줄일 수 있었다. 이러한 방법은 SLA 의 QuickCast™ 의 공법에서도 응용되고 있는 기술이다<sup>23)</sup>.

### 3. 결론

본 논문에서는 실험을 통해 쾌속조형으로 제작된 FDM/ABS 패턴을 직접 정밀 주조를 하여 보았다. ABS 를 1050 - 1100 °C 로 디왁싱 과정을 거쳐 차후 제품의 완성된 정밀도를 위한 수축률 예측을 함으로써 성공적인 제품을 주조할 수 있을 것이라 예상된다. 수축률은 예상대로 왁스 패턴으로 제조

된 임펠러 보다 작게 나타났으며 실리콘 몰드와 왁스 패턴 생성의 과정을 거치지 않음으로써 제품의 설계 과정과 같이 1 개의 시작품 만을 제작할 시 그 시제품 제작 시간과 비용을 절약할 수 있었다.

1 개 만을 생산할 수 있는 절삭 공정이나 같은 개념의 쾌속 조형 공정과 비교하여 보았을 때 FDM/ABS 직접 공정에서 표면 조도 및 그 정밀도 등에서 문제점을 가지고 있지만 제품 생산 비용과 절삭 공정으로 제작할 수 없는 재료 등의 유연성 등의 장점을 가지고 있다고 말할 수 있다. 아직은 각 공정들이 각각의 장단점을 가지고 있고 그 단점들을 개선하기 위하여 계속적으로 연구되어지고 있는 바 FDM/ABS 직접 정밀 주조를 통하여 임펠러와 같은 제품을 성공적으로 제작할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.

향후에는 직접 FDM/ABS 패턴을 사용하기 때문에 구조된 제품 표면에 나타나는 계단 패턴을 샌딩(sanding)이나 필링(filling)을 통해 제거함으로써 표면 거칠기를 왁스 패턴의 거칠기 정도로 향상시키고 동시에 수축률을 감안한 정밀 주조 제품 설계 및 생산에 적용할 예정이다.

### 참고문헌

1. J. Mazumder, J. Choi, K. Nagarathnam, J. Koch, and D. Hetzner, "Summary of The Direct Metal Deposition of H13 Tool Steel For 3-D Components," JOM, 1997.
2. Luqman Ahmad, Lesley Eckstrand, Jason Pantarotto, "Rapid Prototyping & Solid Freeform Manufacturing," Canadian Cermics Quarterly, May, pp. 104-107, 1997.
3. Rapid Prototyping Report, CAD/CAM Publishing, Inc. Jan. pp. 4-6, 1999.
4. B.K. Paul, S. Baskaran, "Issues in fabricating manufacturing tooling using power-based additive freeform fabrication," Journal of Materials Processing Technology 61, pp. 168-172, 1996.
5. Steven Ashley, "Rapid prototyping is coming of age," Mechanical Engineering, July, pp. 63-68, 1995.
6. David A. Belforte, "Rapid prototyping speeds product development, Laser Focus World," June, pp. 126-133, 1993.

7. 송용억, 박세형, 조정권, 황경현, 최두선, 신보성, 지해성, "3D Welding and Milling For Rapid Tooling," 한국 정밀 공학회 추계 학술 대회, pp. 940-944, 1998.
8. E.W. Kreutz, G.Backes, A. Gasser, K. Wissenbach, "Rapid prototyping with CO<sub>2</sub> laser radiation," Applied Surface Science 86 , pp. 310-316 , 1995.
9. Gary K.Lewis, "Direct Laser Metal Deposition Process Fabricates Near-Net-shape Components Rapidly," Mat Tech, pp. 51-54, 1995.
10. Xue Yan, P.Gu, "A review of rapid prototyping technology and systems," Computer Aided Design Vol. 28, No. 4, pp. 307-318, 1996.
11. J-H Chun, Christian H. Passow, "Droplet-Based manufacturing," CIRP Annals, Vol. 42, No. 21, pp. 235-238, 1993.
12. M.L. Murphy, W.M. Steen, C.Lee, "A Novel Rapid Prototyping Technique for the manufacturing of Metallic Components," ICALEO 94, pp. 31-40, 1994.
13. S.A. Morgan, M.D.T. Fox, M.A. McLean, D.P. Hand, F.M. Haran, D. Su, W.M. Steen, J.D.C. Jones, " Real-Time Process Control in CO<sub>2</sub> Laser Welding and Direct Casting: Focus and Temperature," ICALEO 97, G-Section, pp. 290-299, 1997.
14. Xue Yan, P Gu, "A review of rapid prototyping technologies and systems," Computer Aided Design, Vol. 28, pp. 307-318, 1996.
15. 박문선, 임용관, 정해도, "R/P 마스터모델을 활용한 정밀주조 공정기술의 개발," 한국정밀공학회 '98년도 추계학술대회문집, pp. 101-104, 1998.
16. P.F.Jacobs, "Stereolithography Accuracy, Quick-Cast™&Rapid Tooling," ICALEO, p. 194, 1995.
17. Colin Gouldsen, Paul Blake, "Investment Casting Using FDM/ABS Rapid Prototype Patterns," Strasys Reports, 1998.
18. 최두선, 황경현, 신보성, "금속 시작품 제작을 위한 레이저 쾌속조형시스템 개발," 기계와 재료 10 권 3 호(秋), 1998.
19. Stratasys, FDM 8000 Manual, Release 2.0, 1997.
20. Marin Koch, "Rapid Prototype Casting," California Polytechnic State University, 1992.
21. Youn-Ak Song, Sehyung Park, Sungdo Ha, "Implimentation of the process chain from point data



- acquisition to rapid tooling of a ship propeller.”  
Rapid Prototyping, Vol. 4, No. 3, pp. 1-4, 1998.
22. Vito R. Gervasi, Daniel A. Brandt, Christopher Kreuse, “Quality of Investment Casting Using Rapid Prototyping Patterns,” Rapid Prototyping & Manufacturing, pp. 231-244, 1997.
23. 최유진, 서인기, 이창우, “RPS 를 이용한 주조제품에 관한 연구,” 기계기술, pp. 41-46, Sep. 1998.