

광조형 시스템의 리코팅 공정 개선

이은덕*, 심재형+, 안규환**, 백인환***

(논문접수일 2002. 7. 19, 심사완료일 2002. 11. 20)

Improvement for Recoating Process of Stereolithography System

Eun-Dok Lee*, Jae-Hyung Sim+, Kyu-Hwan Ahn**, In-Hwan Paik***

Abstract

Keeping the layer thickness constant is very essential for improving the shape accuracy in the stereolithography process. The layer thickness is created by recoating process, and also affected by recoating parameters such as blade speed and thickness. The created layer in this process can determine the whole accuracy of the entire parts. The aim of this paper is to improve the accuracy of the layer thickness by adjusting the recoating process parameters. Several experiments with different recoating conditions are performed to find the optimal recoating parameters that produce the most accurate layer thickness. The effective recoating method is suggested by measuring and analyzing the cured layer thickness.

Key Words : Recoating Process(리코팅공정), Stereolithography(광조형법), Layer Thickness(층두께), Blade(블레이드), Elevator(엘리베이터), Free Flow(자유유동), Forced Flow(강제유동)

1. 서론

쾌속 조형법은 기존의 제거 가공법과는 다른 부가가공법으로 3차원 CAD 데이터로부터 얻은 단면 형상정보를 이용해 소재를 적층하여 입체 형상을 만드는 조형하는 방식이다⁽¹⁾. 이 기술은 형상확인을 위한 제품을 조형에서부터 직접 금형을 제작하는데 까지 널리 이용되고 있다⁽²⁾.

쾌속 조형법은 매우 다양한 방식이 개발되어 상용화되어 있는데 이 중 가장 널리 사용되는 방식중의 하나가 광조형법이다. 광조형법은 다른 쾌속 조형법에 비해 적용분야가 매우 넓은 방식으로 우수한 치수정밀도와 표면거칠기를 제공한다⁽³⁻⁵⁾.

광조형법은 설계된 3차원 CAD 데이터를 이용하여 액체 상태의 광경화성 수지(photo-sensitive liquid polymer)에

* 주저자, 부산대학교 대학원 지능기계공학과 (eundok@pusan.ac.kr)

주소: 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산30번지

+ 부산대학교 대학원 지능기계공학과

++ 삼성전자(주) 냉기개발실

+++ 부산대학교 기계공학부, 부산대학교 기계기술연구소

레이저광을 주사하여 한 층을 조형하고 엘리베이터(elevator)를 이용해 한 층을 하강시켜 리코팅 공정을 수행한 후 다시 앞서 언급한 공정을 반복하여 적층해 나가는 방식이다⁽⁶⁻⁸⁾.

이와 같이 리코팅 공정은 광조형법의 기본적인 두 가지 단계에 포함되는 매우 중요한 요소이다. 이러한 리코팅 공정을 수행하기 위해 상용되고 있는 광조형 장치의 대부분은 블레이드(blade)와 엘리베이터를 사용한다. 리코팅의 목적은 수지의 표면을 평활화하여 슬라이스된 데이터와 동일한 두께의 수지층이 조형품의 표면에 균일하게 도포될 수 있도록 하는 것이다.

리코팅 공정 시 생성되는 수지층의 두께가 일정하지 않으면 조형 시 경화층 사이에 표면단차의 차이를 증가시켜 제품의 표면거칠기를 나쁘게 한다. 또한 생성되는 수지층이 너무 두꺼우면 경화되는 층이 이전에 조형된 층과 완전히 접착하지 못하여 조형된 층은 블레이드의 이동시 수지의 유동과 함께 이동하거나 블레이드와 충돌을 일으켜 제품의 정밀도를 저하시킨다. 따라서 리코팅 공정 시 슬라이스 간격과 일치하는 일정한 층 두께의 생성은 제품의 정밀도에 있어서 중요한 요소이다.

리코팅 공정 시 생성되는 층 두께(layer thickness)는 수지 저장조의 구조와 블레이드 속도, 블레이드 두께, 블레이드의 밀면과 경화된 층 사이의 거리, 수지의 점도 등과 같은 다양한 리코팅 변수들에 영향을 받는다. 이러한 리코팅 변수들은 정확한 층 두께 생성을 위해 적절하게 제어되어야 하는 요소이다.

본 연구에서는 기존의 리코팅 공정의 문제점을 개선한 새로운 공정을 제안한다. 또한, 제품의 정밀도를 향상시키고 수지를 평활화하기 위해 수지 저장조의 구조, 블레이드 속도와 두께를 조절한 실험을 한 후 결과들을 고찰하여 균일한 층 두께 생성을 위한 수지 저장조 구조, 블레이드 속도와 두께를 결정하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 리코팅 공정

서론에서도 언급한 바와 같이 광조형법에서는 경화된 층 위에 미 경화된 광경화성 수지를 일정한 두께만큼 도포하는 리코팅 공정이 필수적이다⁽⁹⁾. 아래의 Fig. 1은 기존의 리코팅 공정을 나타낸 것이다⁽¹⁰⁾.

그림에서 한 층의 조형이 끝나면 수지에 조형품이 충분히 잠기도록 엘리베이터를 일정한 깊이로 하강시킨다(A). 하

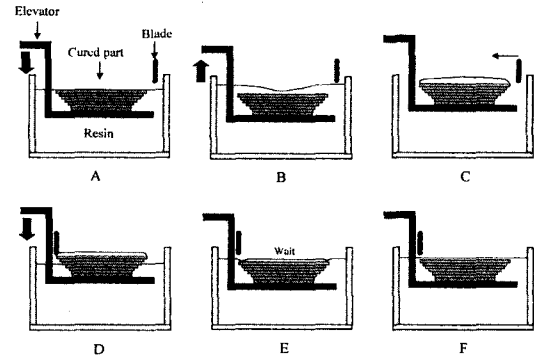


Fig. 1 The recoating process

강이 진행되는 동안 경화층 위로 액상의 수지가 흘러 들어 조형품 위에 과다한 수지가 도포된다. 다음으로 엘리베이터를 다시 상승시킨다(B). 엘리베이터가 일정한 높이에 이르면 중심부에 두꺼운 수지 층이 형성되고, 수지 층의 두께를 균일화하기 위해 블레이드를 이용하여 과잉 공급된 수지를 제거한다(C). 다음 단계는 일정한 두께로 형성된 수지 층을 조형하고자 하는 두께만큼 하강시킨다(D). 하지만 하강이 끝난 후에도 액면은 수지의 점성으로 인해 수지면(resin surface)이 고르지 않고 주위가 움푹 들어가는 형상을 띤다. 따라서 일정시간의 지연을 주어 평활화시킨다(E). 일정시간지연 후 균일한 두께의 층이 형성된다(F).

위 공정은 매우 간단한 공정 같지만 실제의 경우 블레이드를 이용해 경화층에서 정확한 양의 수지를 제거하여 원하는 층 두께를 형성하는 것은 어려운 일이다. 이 공정의 문제를 몇 가지 들여보면 다음과 같다. 첫째 공정 E와 F사이에서 수지 층의 평활화를 위해 시간지연을 주어야 하고, 공정이 6단계로 나누어져 엘리베이터의 상승과 하강에 따른 시간소요로 인해 조형시간이 길어진다. 또한 D와 E사이에서 엘리베이터의 하강으로 인해 수지의 액위가 달라지므로 정확한 적층두께 만큼 엘리베이터를 하강시키는데 어려움이 있다.

2.2 리코팅 공정 시 수지의 유동

리코팅 공정 시 생성되는 층 두께는 블레이드의 이동으로 인해 생기는 수지의 유동 현상에 영향을 받는다. 유동 현상에는 블레이드에 의해 수지가 밀려나가는 강제유동과 블레이드 이동 시 앞뒤의 수지 높이 차이에 의한 자유 유동이 있다⁽¹⁰⁾.

2.2.1 강제 유동

Fig. 2는 블레이드가 경화된 층위로 움직일 때 일어나는 현상을 보여준다. 블레이드의 밀면과 경화된 층(cured layer) 사이의 간격이 블레이드의 이동에 의해 생성되는 층 두께에 미치는 영향을 나타내기 위하여 블레이드를 따라 움직이는 검사 체적(control volume)을 고려한다.

블레이드의 이동에 의해 블레이드는 수지에서의 유동을 일으키며 블레이드와 경화된 층 사이에는 Fig. 3에서와 같은 속도분포가 나타나고 다음과 같은 속도 분포 방정식으로 표현할 수 있다⁽¹¹⁾.

$$u = v \left\{ 2 \left(\frac{y}{d} \right) - \left(\frac{y}{d} \right)^2 \right\} \quad (1)$$

여기서 u 는 블레이드와 경화된 층 사이의 속도분포, v 는 블레이드의 속도, d 는 블레이드의 밀면과 경화된 층 사이의 간격이다.

식(1)에서 구해진 속도 분포 방정식을 적분하면 검사체적의 입출력 유량을 계산할 수 있고 입력유량 (Q_{a-a})과 출력 유량 (Q_{b-b})과의 관계에서 다음과 같이 층 두께를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_{a-a} &= Q_{b-b} \\ v t l &= \frac{2}{3} d v l \\ t &= \frac{2}{3} d \end{aligned} \quad (2)$$

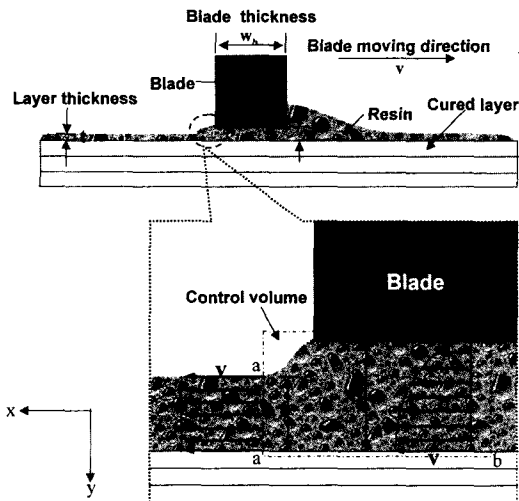


Fig. 2 Forced flow of resin

식(2)로부터 블레이드에 의해 생성되는 층은 블레이드와 경화된 층 사이의 간격의 3분의 2임을 알 수 있다. 이러한 사실은 다음에 설명할 자유유동이 없고 강제유동만 존재하는 경우에 블레이드에 의해 생성되는 층의 두께는 블레이드 속도와 블레이드 두께, 수지의 점도와 같은 변수에 대해서 독립적이고 블레이드의 밀면과 경화된 층 사이의 간격에 영향을 받음을 알 수 있다.

2.2.2 자유유동

블레이드가 슬라이스 간격을 유지하면서 조형된 층으로부터 수지를 제거함에 따라 블레이드에 의해 밀리는 과잉의 수지가 블레이드 앞에서 생성된다. 이때 블레이드 앞면과 뒷면에서의 수지 높이의 차이는 유체역학적인 압력의 차이를 일으킨다. 압력의 차이는 제거된 수지에 역유동을 일으켜서 리코팅된 층 두께를 더 두껍게 한다.

리코팅 동안에 역유입되는 수지의 양은 수지높이에 의한 압력 차이, 블레이드와 조형된 층 사이의 통로 저항, 수지의 점도, 블레이드의 속도에 영향을 받는다.

따라서 역유동 현상을 감소시키는 방법에는 수지 높이의 압력 차이의 감소, 높은 점도의 수지 사용, 블레이드 두께의 조절, 블레이드 밀면과 경화층 사이의 거리의 조절, 블레이드와 조형된 층 사이 통로의 저항의 증가가 있다. 하지만, 이 방식은 압력의 조절은 제어하기 힘들고, 점도가 높은 수지를 사용하는 것은 수지의 유동성을 감소시키며, 블레이드 밀면과 경화층 사이의 거리는 조형 시 슬라이스 간격에 따라 결정되는 값이기 때문에 조절이 불가능하다는 단점이 있다.

역유동 현상을 감소시키는 또 다른 방법은 블레이드 속도를 증가시켜 수지가 역유동하는 시간적인 여유를 감소시키는 것이다. 블레이드 속도가 증가하면 수지 높이의 압력 차이에 의한 영향을 감소시키는 효과가 있어 쉽게 리코팅 공정을 수행할 수 있는 장점이 있다.

3. 실험 장치 제작

개발된 광조형 장치는 He-Cd 레이저로 구성되는 레이저 발생부, XY 테이블과 서보모터로 구성되는 구동부, 초점렌즈와 반사렌즈로 구성되는 광학부, 제품이 조형되는 조형부, 리코팅 공정을 수행하는 리코팅부(recoating part)로 구성되어 있다.

3.1 구동부

Fig. 3에서 보이는 바와 같이 광조형 장치의 주사방식은



Fig. 3 Stereolithography machine

XY 테이블을 이동하여 주사위치를 결정하는 NC 테이블방식을 사용하고 있다. 이 방식은 주사미러 (scanning mirror) 방식에 비해 위치정밀도가 우수하고 구동부의 위치에 관계없이 항상 일정한 크기의 초점이 수지면에 맺히는 장점이 있다.

XY 테이블은 AC 서보모터로 위치 및 속도제어가 수행된다. 광조형 장치의 XY 테이블이 갖추어야 할 조건을 몇 가지 들면, 고속주사가 가능하고 기구부에 충격과 흔들림을 최소화하여야 하며 위치정밀도와 반복성이 우수해야 한다는 것 등이다. 하지만 주사속도가 너무 빠른 경우에는 장치의 구조상 관성에 의한 충격과 흔들림이 필연적으로 발생하는 문제가 발생하므로 정확한 실험을 위해서는 주사속도를 제한할 필요가 있다. 이에 광조형 장치의 주사속도는 125mm/sec이 내로 제한하였다.

3.2 광학부

레이저 발생장치에서 출력된 빔이 원하는 위치에 일정한 크기의 초점을 유지하면서 정확히 조사되기 위해서는 반사미러(reflect mirror)와 초점렌즈(focus lens)를 조합한 광학부가 필요하다. 이에 광조형 장치에서는 3개의 반사미러, 1개의 초점렌즈와 서터를 이용하여 광학부를 구성하였다.

먼저 레이저 발생장치에서 출력된 빔은 세 개의 반사미러에 의해 XY 평면상의 원하는 위치로 유도된다. 다음으로 유도된 빔은 초점렌즈에 의해 조형하고자 하는 수지면에 일정한 크기의 초점으로 맺히게 된다. 서터는 빔의 단속을 제어하여 원하는 형상으로 수지를 경화시키는데 이용된다.

3.3 조형부

조형부는 제품이 조형되는 작업판(platform), 조형될 수

지를 저장하는 수지 저장조(resin vat), 작업판을 상하로 이동시키는 엘리베이터로 구성된다.

(1) 작업판

작업판이 갖추어야 할 요건 중에 가장 중요한 것이 수평유지이다. 새로운 조형층을 생성시키기 위해 엘리베이터에 부착된 작업판을 슬라이스 간격만큼 하강하는데 수평이 유지되지 않으면 균일한 층 두께를 생성시키지 못한다. 수지는 중력의 작용에 의해서 수평을 유지하므로 작업판이 기울어져 있으면 기울어진 쪽은 원하는 층 두께보다 두껍게 된다. 두꺼운 층의 생성은 경화시 아래층과 접촉하지 못하거나 블레이드가 조형물과 부딪히는 원인이 되어 제품의 정밀도를 저하시킨다.

(2) 수지 저장조

수지 저장조는 수지를 저장하는 용도 외에 블레이드에 의해 밀려나는 과잉의 수지를 제거하는 역할이 있어야만 일정한 액면의 유지가 가능하다. 일정한 액면의 유지는 레이저 초점거리를 일정하게 하여 있어서 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기능을 갖춘 이중의 수지 저장조를 구성하여 블레이드에 의해 내부의 저장소에서 외부의 저장조로 수지가 밀려나가 제거되도록 하여 일정한 액면을 유지하도록 하였다.

이 외에 고려해야 할 점은 조형 시 XY 테이블의 구동으로 인한 진동이 수지면에 전달되면 조형되는 수지면이 평탄하지 않아 층 두께가 불균일하게 된다. 이를 방지하기 위해 수지 저장조를 구동부와 분리하여 진동의 영향을 방지하였다.

(3) 엘리베이터

엘리베이터는 작업판을 슬라이스 간격만큼 하강시키는 역할을 하는 부분으로 한 층의 조형이 끝나면 다음 층을 조형하기 위하여 소프트웨어 상에서 구현된 슬라이스 간격만큼 작업판을 하강시킨다. 한 층의 조형이 완성되면 다시 엘리베이터를 구동하여 작업판을 하강시킨 후 다음 층을 조형한다. 이러한 공정을 반복함으로써 2차원의 단면 형상 데이터를 이용하여 3차원 형상의 조형을 가능하게 한다.

이에 본 연구에서는 엘리베이터를 구동시키기 위하여 위치제어 특성이 우수한 2상 스텝핑 모터(steping motor)를 사용하였다.

3.4 리코팅부

리코팅부는 리코팅 공정을 수행하는 부분으로 본 연구의

가장 핵심적인 내용이 포함된다. 본 연구에서는 새로운 층 두께를 생성시키기 위해 필요한 수지를 공급하기 위하여 수지 공급장치(resin supplier)를 설치하였다. 다음의 Fig. 4는 제작된 리코팅부의 구성도이고 Fig. 5는 제작된 리코팅부의 사진이다.

리코팅부의 이송 정밀도를 높이기 위하여 오차가 누적되지 않고 제어가 용이한 스텝핑 모터를 구동모터로 채용하였다. 이송계는 백래쉬를 제거하고 부드러운 이송을 얻기 위해 8 μ m/300mm의 위치오차를 가지는 볼스크류로 제작하였고 떨림을 제거하여 균일한 수지면 형성을 위해 2개의 연마봉을 블레이드부의 끝단에 보강하여 신뢰성을 높였다. 또한 디지털제어기법을 채택하여 속도와 이송거리를 제어하였다. 이러한 기법을 통하여 얻을 수 있는 리코팅부의 최대 이송 정밀도는 2 μ m/step이며 제어가능속도는 0~60mm/sec이다.

수지 공급부에서는 일정량의 수지를 연속적으로 공급하

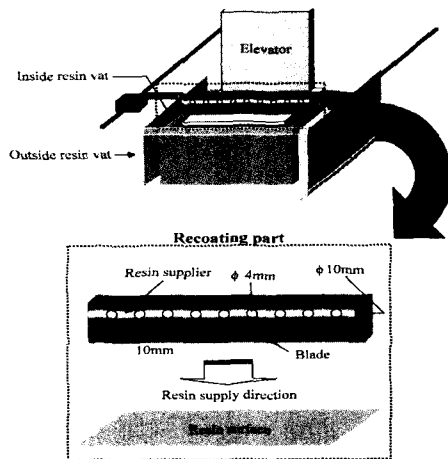


Fig. 4 Schematic diagram of recoating part



Fig. 5 Photo of recoating part

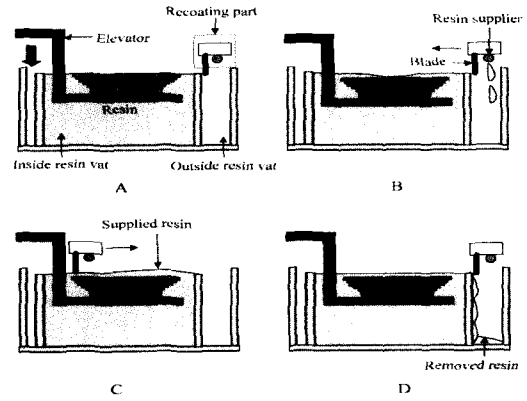


Fig. 6 The improved recoating process

기 위한 어큐뮬레이터와 선택적 공급을 위해 솔레노이드 밸브를 사용하였다.

이와 같이 구성된 리코팅부에 의해 일련의 리코팅 공정이 이루어지는데 Fig. 6에 순서를 나타내었다.

A 단계는 한 층의 조형이 끝난 후 다음 층의 조형을 위해 작업판을 일정 간격만큼 하강시킨다. 하강이 끝나면 수지 공급장치를 통해 충분한 양의 수지를 조형품위에 도포한다(B). 기존의 리코팅 공정은 충분한 양의 수지를 공급하기 위해 작업판을 조형품이 충분히 잠기도록 하강시켰다가 다시 수지면위로 상승시키는 작업을 했지만 제안된 공정에서는 상승 공정이 제거되었다.

수지의 공급이 끝나면 작업판 위에 새로운 수지층이 생성된다. 그러나 생성된 수지층의 두께는 균일하지 않으므로 블레이드를 이용하여 과잉 공급된 수지를 밀어낸다(C). 블레이드에 의해 밀려난 수지는 외부의 저장조로 떨어지게 된다(D).

제안된 리코팅 공정은 이론적 배경에서 설명한 기존의 방식(Fig. 1)에 비해 다음과 같은 특징을 가진다.

먼저 기존의 방식은 일정한 두께의 수지층을 형성하기 위해 일정시간 이상을 기다리는 공정(E)이 포함된다. 이 공정에서 소요되는 시간(Z-level wait)은 리코팅공정에 소요되는 전체시간의 대부분을 차지한다. 이에 비해 제안된 방식은 평활화에 소요되는 시간지연을 없애 리코팅 시간을 획기적으로 단축하였다.

소요되는 시간(Z-level wait)을 없앨 수 있는 이유는, 점성이 높은 수지를 사용하고 블레이드 두께가 일정치 이상이 되면 자유유동이 거의 발생하지 않으므로 블레이드 밑면과 경화된 층 사이의 역유동이 거의 발생되지 않기 때문이다.

하지만 기존의 리코팅 방식은 조형하는 부위만 선택적으로 수지를 제거하는데 비하여 제안된 방식은 수지조 전면을 제거하여야 하는 단점을 가지고 있다. 그러나 전연한 바와 같이 리코팅 공정의 대부분을 차지하는 시간이 평활화를 위해서 지연되는 시간이므로 전체적인 리코팅 시간을 비교하면 제안된 방식이 효율이 높다고 할 수 있다.

4. 실험 및 결과

앞 절에서 제안된 이중 수지 저장조와 리코팅 공정이 경화층의 두께에 미치는 영향을 알아보기 위해 다음의 실험을 수행하고 결과를 검토한다. 실험의 일관성을 위해 모든 실험은 Table 1과 같은 작업조건에서 수행되었다.

Table 1 Experiment conditions

Condition	Layer thickness	Scan speed	Hatch spacing
Value	0.2mm	80m/sec	0.2mm

실험결과 30mm×30mm×30mm 크기의 정육면체 시편을 조형하여 조형된 층의 경화두께를 측정하여 나타내었다.

또한 본 연구에서 사용된 광경화성 수지는 선경UCB사에서 제조된 FA1262로 상온에서 점성계수가 700cPs이다. 700cPs의 점도를 가지는 수지는 유동성이 비교적 낮아 자유유동으로 수지면을 평활화하는 기존의 리코팅 공정에서 비교적 오랜 시간을 소요하는 단점을 가진다. 하지만 본 연구에서 제안된 방식을 적용하면 점성에 의해 블레이드의 두께가 일정치 이상인 영역에서는 이동방향 반대로 흐르는 자유유동이 거의 발생하지 않으므로 기존의 방식에서 소요되는 평활화에 걸리는 시간지연을 완전히 없앨 수 있는 장점이 있다.

4.1 이중수지조의 성능

제안된 이중 수지 저장조가 조형물의 경화층의 두께에 미치는 영향을 알아보기 위하여 비교 실험을 하였다. 실험은 블레이드의 속도를 50mm/s로 고정하고 블레이드의 두께가 0.1mm, 1.0mm일 때의 단일 수지 저장조와 이중 수지 저장조에 대한 경화층 두께를 비교하였다.

다음의 Table 2와 Fig. 7은 실험결과를 나타낸 것이다. 경화층 두께는 각 실험조건으로 조형된 시편의 측면 중 무작위로 추출한 40개의 값을 형상투영기를 사용하여 측정하였다.

Table 2 Comparison of layer thickness

Vat type	Blade thickness(mm)	Mean(mm)	Variance
Single vat	0.1	0.211	4.92×10^{-4}
Double vat		0.199	0.78×10^{-4}
Single vat	1.0	0.160	1.95×10^{-4}
Double vat		0.159	0.29×10^{-4}

결과에서와 같이 평균은 단일 수지 저장조의 경우 0.211mm, 0.160mm로 측정되었고, 이중 수지 저장조의 경우는 0.199mm, 0.159mm로 측정되었다. 이는 이중 수지 저장조의 경화층 두께가 단일 수지 저장조에 비해 얇아지는 경향을 보인다. 또한 분산은 단일 수지 저장조에서는 4.92×10^{-4} mm, 0.78×10^{-4} mm, 이중 수지 저장조에서는 1.95×10^{-4} mm, 0.29×10^{-4} mm가 되었는데, 이는 블레이드의 두께에 관계없이 이중 수지 저장조에서의 경화층 두께가 균일함을 의미한다.

이렇게 단일 수지 저장조에서 조형된 경우의 층 두께가 두껍게 나타나는 이유는 블레이드에 의해 밀려난 수지가 수지 저장조 밖으로 제거되지 못하고 자유유동으로 인하여 작업판 위로 다시 흘러들었기 때문이며, 편차가 큰 이유는 다시 흘러든 수지로 인해 블레이드의 왕복이 끝나는 부분의 층 두께가 다른 부분보다 층 두께가 크게 되기 때문이다.

이에 비해 이중 수지 저장조는 블레이드에 의해 밀려난 수지가 외부의 수지 저장조로 제거되므로 수지의 재 유입이 없어 균일한 두께의 층을 형성한다. 따라서 일정한 층 두께를 생성시키기 위해서는 이중 수지 저장조가 효과적임을 확인할 수 있다.

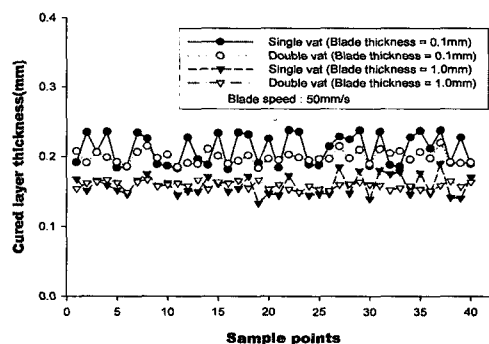


Fig. 7 Cured layer thickness according to vat structure

4.2 블레이드의 속도

리코팅 공정 시 층 두께에 영향을 미치는 요인은 다양하다. 그 중에서 블레이드 속도와 두께는 수지의 흐름에 큰 영향을 미치는 주요한 요소이므로 실험에서는 블레이드의 속도와 두께가 경화층의 두께에 미치는 현상을 고찰한다.

블레이드 속도변화가 경화층에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 아래의 Table 3과 같은 실험조건으로 실험을 행하였다.

Table 3 Experiment of layer thickness according to blade speed

Experiment number	Blade speed	Blade thickness	Vat structure
1	20mm/s	1mm	Double vat
2	30mm/s		
3	40mm/s		
4	50mm/s		

실험결과는 다음의 Table 4와 Fig. 8에 나타내었다. 경화층의 두께는 이중 수지 저장조의 경우와 동일한 방식으로 측정하였다. 결과에서 알 수 있듯이 블레이드 속도가 증가함에 따라 경화층 두께는 감소하며 편차도 작음을 알 수 있다.

이러한 현상은 블레이드의 속도가 증가함에 따라 자유유동의 영향이 감소되었기 때문이다. 즉 블레이드의 속도가 증가하면 블레이드에 의해 밀려난 수지가 블레이드의 아래로 재유입되는 시간적인 여유가 없다. 따라서 블레이드의 속도가 빠를수록 자유유동이 없어서 블레이드 속도가 느린 경우에 비해 경화층이 얇아지면서 층 두께가 균일해진다.

또한 속도가 증가함에 따라 속도간의 경화층 두께의 차이가 0.022, 0.010, 0.003mm로 점점 감소함을 알 수 있는데, 이는 속도가 증가할수록 속도 변화에 따른 층 두께에 미치는 영향이 감소됨을 의미한다. 이러한 결과는 어느 이상의 속도에서는 자유유동이 없어진 강제유동의 상태로 속도의 변화가 층 두께의 생성에 영향을 미치지 않음을 의미한다.

Table 4 Comparison of layer thickness according to blade speed

	Mean(mm)	Variance
20mm/s	0.194	7.57×10^{-5}
30mm/s	0.172	7.37×10^{-5}
40mm/s	0.162	6.98×10^{-5}
50mm/s	0.159	2.93×10^{-5}

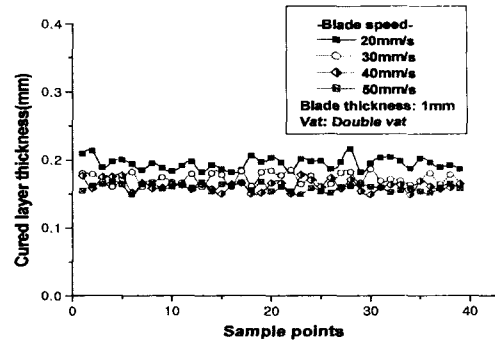


Fig. 8 Cured layer thickness according to blade speed

4.3 블레이드 두께

블레이드 두께변화가 경화층의 두께에 미치는 영향을 알아보기 위해 Table 5와 같은 실험조건으로 실험을 수행하였다.

Table 5 Experiment of layer thickness according to blade thickness

Experiment number	Blade thickness	Blade speed	Vat structure
1	0.1mm	50mm/s	Double vat
2	0.4mm		
3	0.7mm		
4	1.0mm		

실험 결과 Table 6과 Fig. 9와 같은 결과를 얻었다. 블레이드의 두께가 증가될수록 경화층의 두께와 편차가 감소됨을 보인다. 이는 블레이드 두께가 증가함에 따라 자유유동에 대한 저항을 증가시켜 자유유동에 의한 영향이 감소되었기 때문이다.

4.4 고찰

위의 세 가지 실험결과를 종합하면 이중 수지 저장조에서 블레이드의 속도가 빠르고 두꺼울수록 자유유동이 없어지는 현상을 관찰하였다. 또한 자유유동이 감소할수록 수지의 역유입량이 줄어들어 경화층의 두께가 얇아지면서 균일해지는 현상이 나타났다.

따라서 리코팅 공정에서 공정효율을 높이고 층 두께의 균일화를 위해서는 이중 수지 저장조를 채택하고 블레이드를 두껍게 만들어 빠른 속도로 수지를 제거하는 것이 효과적이다.

Table 6 Comparison of layer thickness according to blade thickness

	Mean(mm)	Variance
0.1mm	0.199	7.84×10^{-5}
0.4mm	0.182	6.46×10^{-5}
0.7mm	0.176	5.93×10^{-5}
1.0mm	0.159	2.93×10^{-5}

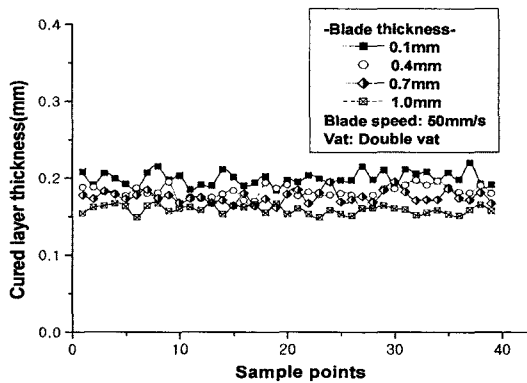


Fig. 9 Cured layer thickness according to blade thickness

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 리코팅 공정의 문제점을 개선한 새로운 공정을 제안하였다. 또한, 점성계수가 700cPs인 수지를 사용하여 균일한 층 두께 생성을 위한 실험을 행하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 제안된 리코팅 공정은 기존의 공정에서 시간지연에 해당되는 공정을 없애 리코팅 시간을 단축하였다.
- (2) 일정한 층 두께를 생성시키기 위해서는 단일 수지 저장조에 비해 이중 수지 저장조가 효과적임을 알 수 있었다.
- (3) 블레이드의 속도가 경화층에 미치는 영향에 대한 실험을 통해 속도가 빠를수록 자유유동의 영향이 감소하여 층 두께가 균일해짐을 확인하였다.
- (4) 블레이드의 두께가 경화층에 미치는 영향에 대한 실험을 통해 두께가 두꺼워질수록 자유유동의 영향이 줄어들어 경화층의 두께가 균일해짐을 확인하였다.

- (5) 균일한 층 두께를 얻기 위해서는 이중 수지 저장조에서 블레이드를 두껍게 만들고 빠른 속도로 리코팅하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) Y. Li, D. Li and B. Lu, "Introduction to Stereolithography and its Application", Journal of Applied Optic, Vol. 9, No. 3, pp. 34~36, 1999.
- (2) 김천기, 최상련, 박근, 오철호, "선택적 레이저 소결법을 이용한 기어박스의 정밀주조기술 개발", 한국공작기계학회지, 제9권, 제1호, pp. 30~37, 2000.
- (3) 박상량, 박동삼, "SLA를 이용한 패속조형시 성형오차와 보정", 한국정밀공학회지, 제19권, 제3호, pp. 152~159, 2002.
- (4) D.T. Pham, "Design for Stereolithography", Proc Instn Mech Engrs, Vol. 214, Part C, pp. 635-640, 2000.
- (5) R. Knitter, "RP Process Chains for Ceramic Micro-components", Rapid Prototyping Journal, Vol. 8, No. 2, pp. 76~82, 2002.
- (6) 홍민성, 신근하, 손승요, "교차다각형법에 의한 원 근사 방법을 적용한 RP Part 제작에 관한 연구", 한국공작기계학회지, 제9권, 제1호, pp. 68~74, 2000.
- (7) 명태식, 채희창, 김옥현, "삼각형 분할법의 RP에의 응용", 한국공작기계학회지, 제8권, 제3호, pp. 35~42, 1999.
- (8) 안동규, 이상호, 최홍석, 양동열, 박승교, "단속형 재료 공급식 가변적층 패속 조형공정 및 장치 개발에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제19권, 제2호, pp. 95~105, 2002.
- (9) SLA User's Hardware Reference Manual, 3D Systems, 1999.
- (10) K. Renap and J.P. Kruth, "Recoating Issues in Stereolithography", Rapid Prototyping Journal, Vol. 1, pp. 4~16, 1995.
- (11) W.F. Robert and A.T. McDonald, Introduction to Fluid Mechanics, John Wiley & Sons, pp. 14~73, 1998.