

# 광조형을 이용한 다색 기능성 시작품의 색상특성에 관한 연구

조진구\*(부산대 정밀기계공학과 대학원) 정해도(부산대 기계공학부)  
손재혁(부산대 정밀기계공학과 대학원) 임용관(부산대 정밀기계공학과 대학원)

## A study on color characteristics of Multi-color functional Rapid Prototypes Using laser stereolithography

J. K. Cho(Precision Mech. Eng. Dept., PNU), H. D. Jeong(Mech. Eng. School., PNU)  
J. H. Son(Mech. Eng. Dept., PNU), Y. G. Im(Mech. Eng. Dept., PNU)

### ABSTRACT

As production cycle has become more and more shorter, the demand of rapid prototyping technology has increased largely. There are many methods for rapid prototyping technology, such as SLA, SLS, FDM, INK JET, LOM and so on. Of all methods, SLA has been most widely used for fabricating precision parts. But products manufactured by this method have limitation of single color and single material. So the principal purpose of this study is to overcome the limit of single color product. If the internal structure of manufactured product is visible with multi-color characteristic, it is possible to check easily the designed model with reality.

In order to give multi-color characteristic to the product, photocurable resin mixed with pigment is used in this study. First, transparency of photocurable resin without pigment is evaluated, and then color characteristic and curing characteristic of the mixture is evaluated changing mixing ratio. Through the basic experiments, it becomes possible to fabricate multi-color 3D prototype without assembly.

**Key Words** : rapid prototyping (쾌속조형), photocurable resin (광경화성 수지), pigment (안료), multi-color (다색), color characteristic (색상특성), curing characteristic (경화특성).

### 1. 서론

소비자가 요구가 다양해지고 그에 부응하기 위하여 제품의 개발시간을 단축할 수 있는 획기적인 제조공정이 요구되어 오고 있다. 쾌속조형(Rapid Prototyping) 기술은 시간적인 측면이나 비용적인 측면에서 상당한 장점을 가지고 여러가지 산업분야에 그 응용이 확대, 정착되고 있다. 쾌속조형의 주요 응용분야로는 동시공학(Concurrent engineering), 전산 역공학(Reverse engineering), 디자인 체크(Design check), 시작품 제작, 쾌속금형제작(Rapid tooling) 등을 들 수 있다.<sup>1)</sup>

이러한 쾌속조형은 일반적인 제거 가공방법과는 달리 3차원 형상 데이터를 2차원 단면 데이터로 변환하여 각 층별로 적층을 행함으로써 최종적으로 원

하는 형상을 얻어내는 가공방법이며, 재료적인 측면과 적층방식에 따라 광조형법(Stereo lithography), SLS(Selective Laser Sintering), FDM(Fused Deposition Method), LOM(Laminated object Manufacturing), 3D Printing 등의 여러가지 방법이 있다.

그러나 이러한 쾌속조형법에 의해 제작된 모델의 재료는 공정에 따라 다양하지만, 일부를 제외하고는 단색이다. FDM 방식의 경우 선재를 교환하여 색상이 다른 부품을 제작하여 조립을 하는 경우에 다색의 시작품을 얻을 수 있지만, 한번의 공정으로 제작되는 모델에서 여러가지 색상을 가지는 형상을 얻는다는 것은 불가능하였다. SLS의 경우 Ink-Jet Method를 이용하여 Coloring을 하는 방법이 연구되고 있다.<sup>2)</sup>

본 연구에서는 기존의 쾌속조형법에 대해서 단색의 한계를 극복하고 다색성을 부여함으로써 시작품의 기능성을 확대시키고자 한다. 특히 여러가지 쾌속조형공정 중에서 비교적 정밀한 시작품을 제작하는데 주로 이용되고 있는 광조형법에 대해서 공정을 분석하고, 추가적인 기능 또는 공정을 부가함으로써 단색의 한계를 극복하고자 한다. 광조형법은 형상을 구현하는 재료로 광경화성 수지를 이용하며, 점상의 Laser를 주사하여 형상을 얻는 방식과 면노광방식의 두가지가 있다. 이러한 광조형법으로 제작된 모델은 이미 디자인 체크나 금형의 제작 시 마스터모델, 의료분야에서 수술검토용 모델 등 그 용도가 다양하게 개발되어 있다. 그러나 광조형법은 투명한 한가지 색의 광경화성수지를 재료로 하기 때문에 주로 외형을 평가하는 목적에 제한되는 경우가 대부분이다. 이러한 관점에서 볼 때, 본 논문에서 제시하는 다색성이 부여되면, 내부구조의 가시화가 가능하게 되므로 그 기능성이 한층 증대될 것으로 보인다.

광조형에 있어서 색상을 부여하기 위해 재료적인 측면에서는 광경화성수지에 안료를 첨가하여, 순수한 광경화성수지의 광경화특성을 유지하면서, 충분한 색상을 가질 수 있는 혼합비(Mixing ratio)를 결정하였으며, 공정적인 측면에서는 안료혼합광경화성수지를 별도로 공급하는 공정과 미경화 수지를 제거하는 공정을 추가함으로써 광조형을 이용한 coloring 공정의 실현이 가능하도록 하였다.

## 2. Coloring 공정

### 2.1 기존의 광조형법

광조형의 원리는 Fig. 1과 같다. 엘리베이터의 이송으로 원하는 막두께를 형성시키고, 액면을 조정하기 위해 Recoater가 작동하고 나면, 조정된 면에 입력된 데이터에 따라 광을 주사하게 된다. 이러한 공정의 반복으로 원하는 형상을 얻을 수 있다

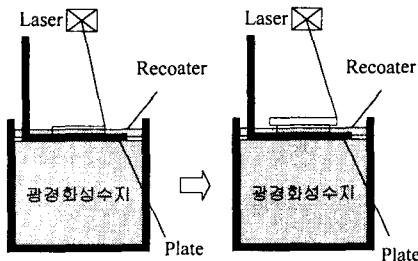
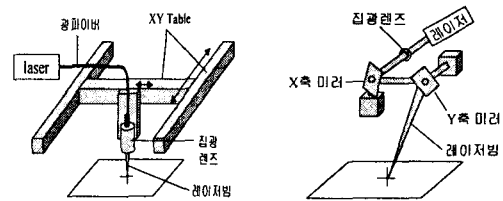


Fig. 1 The principle of laser lithography

광조형장치의 주된 하드웨어는 노광기구와 적층

기구이다. 광조형의 적층기구는 주로 자유액면법을 이용하며, 노광기구는 Fig. 2와 같이 회전미러방식, NC 테이블방식으로 분류할 수 있다. 회전미러방식은 직경이 10mm이하의 작은 미러를 전자 토크로 임의의 각도로 회전하고 반사광을 편향시키는 방법으로 고속 주사가 가능하고 기구가 소형, 경량화 되는 장점이 있으며, NC 테이블방식은 주사 속도나 기구부의 크기에 문제가 있지만, 위치 정밀도가 높고, 렌즈의 초점 조절 기능과 병용하면 경화 폭이나 강도를 자유롭게 제어할 수 있는 장점이 있다.



(a) NC table type

(b) mirror type

Fig. 2 Optical Mechanism in stereolithography

### 2.2 광조형을 이용한 coloring 공정

현재까지 실용화된 대부분의 광조형 장치는 장치의 특성상 하나의 부품 제작시 장비 내에서 재료를 교체하여 제작한다거나 여러가지의 색상을 부여한다는 것은 어렵다. 그러므로 광조형 장치를 이용하여 Coloring을 가능하게 하기 위해서는 별도의 부가장치를 필요로 한다. 본 연구에서는 광주사시 초점을 조절하기 위해 NC 테이블방식의 광주사를 채택하였으며, 기본적인 광조형 장치에 안료혼합광경화성수지를 공급할 수 있는 별도의 장치를 추가적으로 지원하고, 미경화 수지를 제거하는 공정을 추가함으로써, 외부는 투명하고 내부는 다색성을 가지는 제품을 얻을 수 있게 되었다.

Fig. 3은 광조형을 이용한 coloring의 전체적인 공정을 나타낸다.

전체적인 공정은 크게 2 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계는 시작품의 외부인 투명한 광경화성수지를 경화하는 공정이고 두 번째 단계는 안료혼합광경화성 수지를 공급, 경화함으로써 다색을 얻는 공정이다. 투명광경화성수지를 이용하여 경화하는 단계에서는 기존의 광조형법을 그대로 이용한다.

Coloring공정을 행하기 전에 조형이 되는 plate의 면을 수지용기의 액면으로부터 분리를 시키고, 미경화된 수지를 제거한다. 수지용기로부터 이동된 면의 위치에 광을 주사하기 위해서는 초점의 조절이 필요

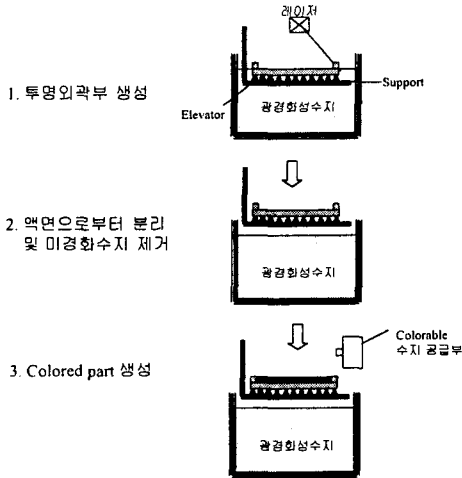


Fig. 3 Coloring process using laser lithography

하게 되고, 초점 조절이 끝나면, 안료혼합광경화성수지 공급장치가 원하는 위치에 안료혼합 광경화성수지를 공급하게 되며, 형상 데이터에 따라 지정된 위치에 광을 주사함으로써 안료혼합광경화성수지를 경화시킨 후, 미경화 수지는 제거한다. 이러한 과정을 통해서 여러 가지 색상을 가지는 한 층을 얻을 수 있으며, Fig. 3과 같은 공정을 반복함으로써 최종적인 다색의 시작품을 얻는 것이 가능하다.

### 3. 투명광경화성수지와 안료혼합광경화성수지의 특성 평가

#### 3.1 실험 개요

본 실험에서는 제품의 외부를 형성할 투명 광경화성수지의 투명도를 평가하였다. 투명도를 측정함에 있어서 두께와 후경화(Postcuring)시간을 고려하였다. 광조형에서 최종 형상을 얻은 경우에 성형공정 중에 충분히 경화되지 않은 부분을 경화시키기 위해 후경화 공정을 거치게 되는데 후경화시간에 따라 조형된 형상의 투명도가 다소 차이가 나므로 후경화시간에 따라 투명도를 측정하였다.

그리고, 본 실험에서는 광조형을 이용한 coloring 기법을 실현하기 위한 재료로 안료(Pigment)를 선정하였으며, 선정된 안료를 광경화성수지에 혼합하고, 그 최적의 혼합비를 결정하기 위해 안료혼합광경화성수지의 경화성능을 평가하였다. 또한 선정된 혼합비에 대해서 두께의 변화에 따라 그 색상을 평가하였으며, 투명광경화성수지와 안료혼합광경화성수지를 겹쳤을 때의 혼색효과도 측정하였다.

측정된 색상은 색상측정에 있어 가장 널리 사용

되고 있는  $L^*a^*b^*$  color space상에 좌표로 나타난다.<sup>3)</sup> 좌표계는 Fig. 4와 같다.  $L^*$ 은 lightness를 나타내며,  $a^*$ ,  $b^*$ 는 색상의 좌표를 나타낸다.

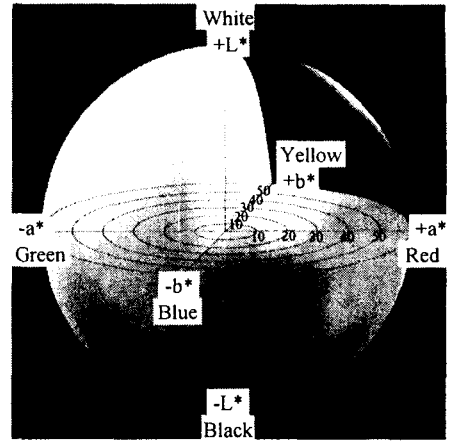


Fig. 4  $L^*a^*b^*$  color space

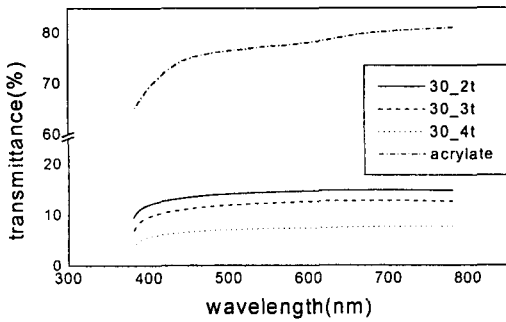
#### 3.1.1 광경화성수지의 투명도 및 색상 평가

실험에 사용된 광경화성수지는 SL 5170이며, 광경화성수지의 투명성을 평가하기 위하여 Table 1과 같이 후경화 시간과 두께를 고려하여 시편을 제작하였다. 측정장비는 Spectrophotometer를 이용하였으며, 시편에 가시광을 투과시킴으로써 그 투과정도를 측정하였다. 투명아크릴의 투과율과 비교하였는데, Fig. 5에 나타나듯이 아크릴에 비해 투명성은 상당히 떨어지며, 후경화시간이 증가함에 따라 투명성도 떨어지는 것으로 나타남을 알 수 있었다.

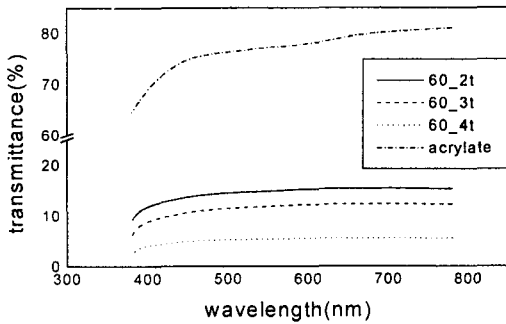
광경화성수지의 색상측정은 Spectrophotometer를 사용하였으며, CIE  $L^*a^*b^*$ 좌표를 이용하여 D65 10°시야에서 측정한 결과 실제로 보기와 같이 노란색 성분이 포함이 된 것으로 나타났다.

Table 1 Transmittance specimen

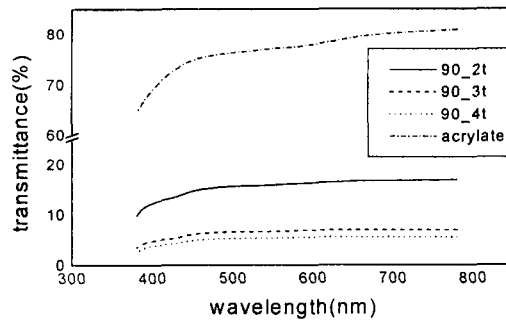
Resin	Thickness (mm)	Postcuring time (min)			
		30	60	90	120
SL5170	2	30	60	90	120
	3	30	60	90	120
	4	30	60	90	120
	5	30	60	90	120



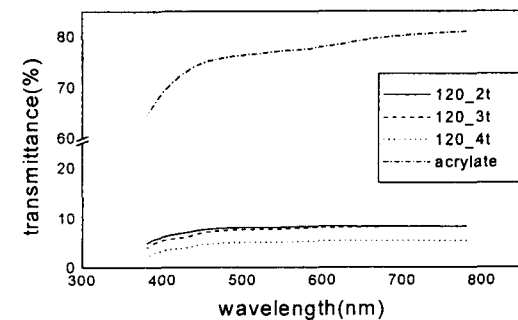
(a) Postcuring time 30minutes



(b) Postcuring time 60minutes



(c) Postcuring time 90minutes



(d) Postcuring time 120minutes

Fig. 5 Transmittance of SL5170

### 3.1.2 안료혼합광경화성수지의 경화성능 평가

안료혼합광경화성수지의 경화성능을 평가하기 위하여 출력 30mW의 He-Cd 325nm 자외선 레이저를 이용하여 100% 경화에 필요한 주사횟수를 평가하였으며, 투명광경화성수지의 경화성능과 비교하였다. 안료는 C.I. Number 74160의 Beta Phthalocyanine type 을 사용하였으며, 2700 rpm에서 30분동안 분산시켰다. 실험결과 0.1%와 0.2%가 투명광경화성수지의 경화특성에 유지하는 것으로 나타났다. 측정결과를 Table 2에 나타낸다.

Table 2 Curing characteristic of colored resin

Mixing Ratio (vol %)	경화가능 주사횟수
0.0 %	1
0.1 %	1
0.2 %	1
0.3 %	2
0.4 %	3
0.5 %	4회 이상

### 3.1.3 안료혼합광경화성수지의 색상 측정

광경화성수지의 광경화특성을 추종하고, 색상의 확보가 가능한 0.2% 농도의 안료혼합광경화성수지에 대해서 두께에 따른 색상의 차이를 측정하였다. 측정장비는 Spectrophotometer를 사용하였으며, CIE 표색계의 L\*a\*b\*좌표를 이용하여 D65 10 °시야에서 reflectance를 이용하여 측정하였다. Table 3 에 나타나듯이 같은 cyanine 계열이지만 두께에 따라 미세한 색상의 차이가 남을 알 수 있다.

Table 3 The measurement of colored specimen

Mixing Ratio (vol %)	Thickness (mm)	L*	a*	b*
0.2%	0.5	25.159	3.398	-12.093
	1.0	24.947	3.593	-10.284
	1.5	24.902	3.219	-9.158
	2.0	24.049	3.794	-9.452

### 3.1.4 투명광경화성수지와 안료혼합광경화성수지의 혼색 특성 평가

후경화시간을 30분으로 한 두께 2mm의 투명광경화성수지 시편과 안료혼합광경화성수지 시편을 접

켰을 때의 혼색효과를 측정하여 L\*a\*b\*좌표값으로 나타내었다. Table 4에 나타나듯이 투명광경화성수지의 노란색 성분으로 인해 cyanine 색상이 영향을 받을 수 있었다.

Table 4 The measurement of color composition

Tranparent specimen	Colored specimen Thickness (mm)	L*	a*	b*
Postcuring : 30min	0.5	46.167	-0.163	-0.890
	1.0	45.851	-0.109	-0.527
Thickness : 2mm	1.5	48.597	-0.117	-0.009
	2.0	47.599	-0.069	-0.021

#### 4. 결론

기존의 쾌속조형법들이 가지고 있는 여러가지 한계 중 다색성이라는 측면을 개선하기 위하여 여러 쾌속조형법 중 주로 정밀모델 제작에 활용도가 높은 광조형법을 이용하여 그 가능성을 실험하였다. 광경화성수지의 투명도를 측정한 결과 두께나 후경화시간에 의존성을 가짐을 알 수 있었고, 광경화성수지에 안료를 적절히 분산시켜 두께에 따라 그 색상을 측정된 결과를 혼합한 경우에 조형된 형상의 두께에 따라 색상이 조금씩 달라지는 것을 알 수 있었다. 또한 광경화성 수지의 투명도가 아크릴에 비해 많이 떨어져 내부구조의 가시화에 대해 확신할 수 없었지만, 실제로 투명한 부분과 색상이 있는 부분을 겹쳐서 실험을 한 결과 광경화성수지의 노란색 성분이 안료에 의해 색상을 가지는 부분에 영향을 미쳐 내부가 혼색된 색상으로 나타내어짐을 확인하였는데, 본 실험의 경우 광조형시 가장 거친 형상에 대해 실험을 한 경우이므로, 후가공이 제대로 이루어진 경우에는 내부구조의 가시화가 더욱 더 선명해 질 것으로 기대된다.

Fig. 6은 본 논문에 제시된 방법을 이용하여 제작된 3가지 색상을 가지는 입체 형상이다

상기 설명된 광조형을 이용한 다색 시제품 제작 기술의 개발로 특히 자동차나 건물의 내부구조물이나 인체 모델 등의 내부가시화를 가능하게 함으로써 기존의 광조형의 응용범위는 더욱 확대될 것이다

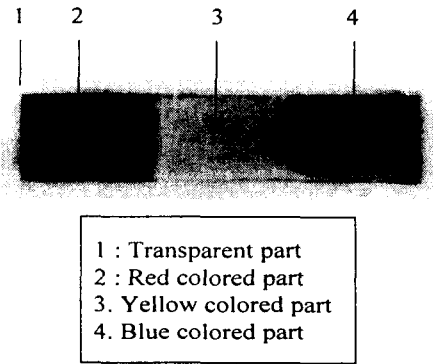


Fig. 6 Fabricated SLA part with 3-color

#### 참고문헌

1. 정해도, "적층조형시스템", 성안당, pp.9-31, 1998
2. Ling Wai Ming, Ian Gibson, "Possibility of colouring SLS prototypes using the ink-jet method", Rapid Prototyping Journal, pp152-153, 1999
3. MINOLTA, "Precise color communication", pp. 18-19, 1998.