

광경화성 수지의 온도 제어에 의한 광조형물의 형상 정밀도 향상

김성환*, 이은덕(부산대 대학원), 백인환 (부산대)

Progress of the StereoLithography Product's Shape Accuracy by Temperature Control of the Resin

Sung Hwoan Kim *, Eun Dok Lee(Graduate School Pusan National University)
In Hwan Paik (Pusan National University)

ABSTRACT

The product of stereolithography is consist of gathering the single strand. Therefore the accuracy of the shape is related to the linear shrinkage of the single strand. The resin temperature change affect on curing properties. This article will propose the interaction between material temperature and shape accuracy by resin temperature control. The main concern of this article is related to the improvement of end product's shape accuracy by the persuit for the fittes curing criterion.

Key Words : Stereolithography, Resin temperature control , Shape accuracy, Linear shrinkage

1. 서론

현대 산업사회의 급속한 변화에 따라 소비자의 요구는 한층 더 다양해지고 제품수명은 점점 더 짧아지고 있다. 이로인해 기업은 제품의 개발 기간을 단축시키고 제품에 필요한 성능 평가를 위한 신속한 시작품(試作品)의 제작이 필요하게 되었다.

이를 위해 쾌속조형법(Rapid prototyping)이 개발 되었다. 쾌속 조형법 중에서 널리 사용되고 있는 것이 광조형법(StereoLithography)으로, 이는 광경화성 수지에 자외선 파장대의 레이저 광을 조사하여 수지내의 광중합 반응을 유도하여 원하는 형상으로 경화시켜 적층 조형한다.

Fig. 1은 광조형 장치의 공정 순서를 나타내는데 그림과 같이 광조형법은 단면의 형상을 한 층씩 경화 후 적층하여 조형하므로 복잡한 형상의 제품도 조형이 가능하지만 광경화성 수지의 경화시 수축이 발생하여 형상 정밀도에 영향을 미치는 등의 단점이 있다.

이러한 경화 수축은 우선 경화수지의 물리적 특성과 광원사이에서 발생하는 경화 특성에 의해서 발생하게 되는데 산업사회의 발달과 더불어 정밀도를 요하는 제품에서 이러한 치수오차의 발생은 조형품에 치명적인 어려가 된다

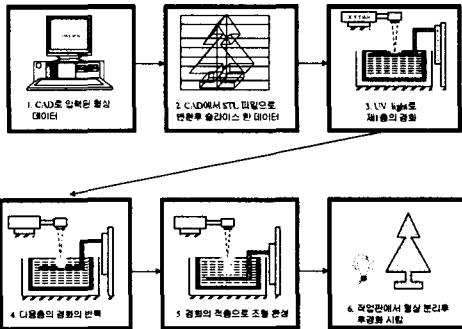


Fig 1. Process of the stereolithography

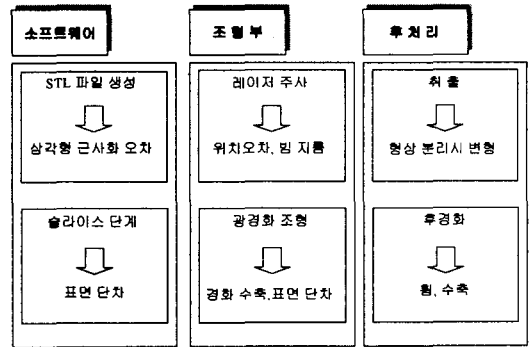


Fig 2 Various errors in SLA process

Fig 2는 광조형장치에서 발생 할 수 있는 치수오차의 요인들을 나타냈다. 형상 정밀도에 영향을 미치는 인자들 중에서 경화 수축의 발생은 레이저 주사 속도의 변화, 주사 경로 변화, 지지대 형상의 변화 등과 같은 소프트웨어 기법의 발전과 기구부의 성능향상으로 많은 오차요인이 감소하였지만 아직 잘 알려지지 않은 수지의 물리적 특성 변화에 의한 경화 수축의 발생은 형상 정밀도에 악영향을 끼치고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 수지의 특성 중 하나인 온도 제어를 통하여 단위 경화선의 수축률을 최소로 하여 제품의 조형 정밀도를 향상 시키는 수지의 온도를 찾고자 한다. 이를 위해 실험을 통하여 온도변화에 따른 경화특성의 변화를 확인하고 결과를 통해 최적의 온도를 결정한다.

2. 이론적 배경

2.1 수지 경화 프로세스

광조형법에 의한 경화물은 단위 경화 형상 (직선 주사시 레이저 광의 주사에 의해 얻어진 선형 경화물의 단면)의 집적에 의해 얻어지므로 광조형물의 조형 정도를 향상시키기 위해서는 우선 경화시키는 레이저 광과 경화되는 수지 사이의 관계를 우선적으로 파악해야 한다.

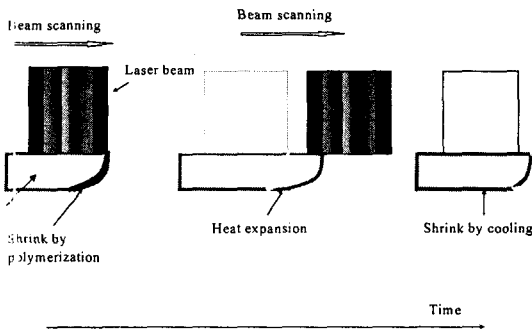
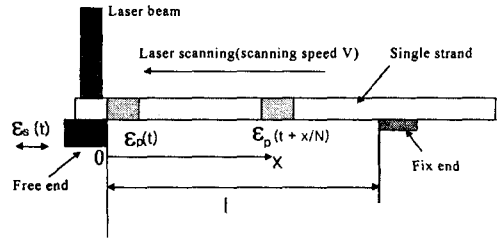


Fig. 3 Sketch of single strand formation irradiated by laser scanning

Fig. 3은 레이저 주사에 의한 단일 경화형상의 변형 형태를 나타낸다.

광경화성 수지에 UV 빛이 조사되면 중합 반응과 함께 수축이 일어나고 빛이 지나간 후 수지는 경화된다. 온도가 올라감에 따라 열팽창에 의해 체적이 증가하고 빛의 주사가 끝나면 열축산에 의해 다시 수지는 수축하게 되는 과정을 나타낸다. 이 과정에서 수지 초기 온도의 변화가 단위 경화 형상의 수축률에 큰 영향을 미치게 된다.

2.2 선형 수축



where ;

$\epsilon_s(t)$: The time history of the average linear shrinkage of a single strand produced by the laser irradiation which connects fixed ends and free ends

$\epsilon_p(t)$: The time history of the linear shrinkage of cured resin with minute length divided by the scanning direction after laser irradiation

Fig. 4 Definition of measured linear shrinkage and minute volume linear shrinkage

Fig. 4는 단일 경화 형상의 선형 수축의 시간변화 형태를 나타낸다. 이것을 식으로 나타내면

$$\epsilon_s(t) = \frac{1}{L} \int_0^L \epsilon_p(t + \frac{x}{V}) dx$$

여기서 $\epsilon_s(\infty) = \epsilon_p(\infty)$ 이므로

$$\epsilon_p(0) = -\frac{L}{V} \frac{\partial \epsilon_s(0)}{\partial t} + \epsilon_p(K * \Delta t)$$

Δt : 샘플링 타임

수지 온도가 상승 함에 따라 linear shrinkage는 감소되어지는 현상을 나타내는데 이는 수축의 발생이 열적 스트레인의 결과에 의해 나타남을 의미한다⁽¹⁾.

3. 실험

3.1 실험 장치

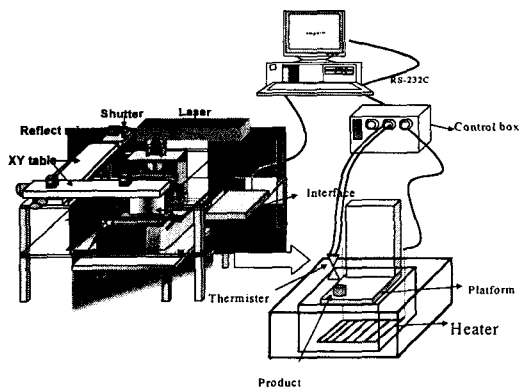


Fig. 5 Schematic of experimental device

Fig. 5는 본 연구에서 사용한 실험장치의 개략도를 나타내었다. 광원으로는 파장 325nm의 He-Cd 레이저를 사용하였으며 구동부는 AC servo motor에 의한 XY테이블 방식을 사용하였다. 광경화성 수지는 선경 Ucb사의 FA1262를 사용하였다. Heater는 수지의 양과 특성을 고려하여 200w 용량을 사용하였으며 온도 측정 센서는 부의 저항계수를 가지는 서미스터를 사용 하였다.

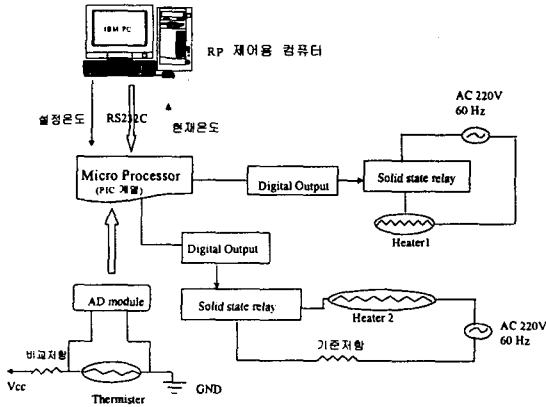


Fig. 6 The schematic for resin temperature control

Fig. 6은 수지 온도 제어 시스템의 개략도를 나타낸다. 이를 control하기 위해 컨트롤러를 제작하였다. 컨트롤러와 제어용 pc 사이의 통신은 RS-232C를 사용하였다. 서미스터에서 온도에 따라 저항값이 변화를 나타내고 이 변화 값을 A/D module이 디지털 값으로 변환하고 이 값을 마이크로 프로세서에서 제어용 PC로부터의 설정 온도 값과 비교 하여 디지털 출력으로 보내 릴레이를 구동 시킴으로써 히터를 ON/OFF 시키게 된다.

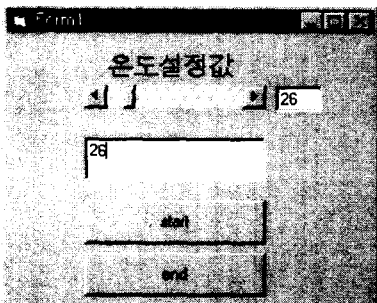


Fig. 7 View of the control program

Fig. 7은 제어용 PC에서의 온도제어부 장면을 보여준다. real time으로 수지의 현재 온도를 확인 하고 실험 할 설정 온도를 조절 및 확인 할 수 있도록 하였다.

3.2 실험 방법

실험을 위해 길이 100mm의 단일 경화선을 수지의 각 온도에 따라서 주사하고 이의 경화 깊이, 길이 변화를 측정하였다. 시편은 온도당 7개씩 조형하였다.

또 20mm× 20mm× 20mm의 정육면체 시편을 5개씩 제작하여 온도 변화에 따른 형상의 정밀도를 측정 하였다. 이때 실험 조건은 주사속도 80mm/sec, 주사간격 0.2mm, 주사속도 0.2mm, 블레이드 속도는 50mm/sec로 동일하게 설정하였다.

3.3 실험 결과 및 고찰

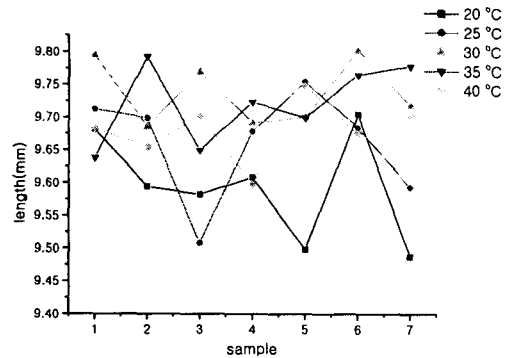


Fig. 8 Length change of the single strand by various temperature

Fig. 8은 온도 변화에 따른 길이변화를 나타낸다. 단일 경화선에서 길이의 변화는 중합반응에서의 수축, 열에 의한 팽창, 팽창에 의한 신장(伸長) 등에 의해 발생되 어지는데 실험한 결과는 중합 반응시 수축에 의해 주사 길이보다 짧은 경화선이 제작됨을 보여 준다. 이러한 경화선에서의 수축은 전체 형상의 정밀도에 악영향을 끼치게 된다.

Table 1. Mean value of the single strand length by various temperature

온도	평균 값(mm)
20℃	9.5934
25℃	9.6612
30℃	9.7571
35℃	9.7205
40℃	9.6802

Table 1은 각 온도에서 단일 경화선의 길이의 평균값을 나타내는 데 30℃에서 가장 주사길이에 근접함을 보여 준다

4. 결론

본 연구에서는 광조형 장치에서 아직까지 잘 알려지지 않은 수지의 물리적 성질과 경화 특성과의 관계를 알아보기 위해 온도를 변화 시킴으로써 단일경화 형상의 길이변화 및 경화 두께의 변화를 측정하여 보고 이를 통해 조형물의 형상 정밀도의 변화를 측정하여 보았다.

- 1) 상온(20℃)에서의 수지점도가 700cps에서 30℃에서는 350cps로 감소 하였다.
- 2) 온도 변화에 따라 단일 경화선의 길이 변화와 경화 깊이의 차이가 발생하였고 이는 조형물의 형상에 영향을 주었다.
- 3) 온도가 상승함에 따라 단일 경화선의 두께가 증가하였으나 경화 깊이가 조형물의 전체 형상과는 비례 관계가 아닌 것으로 나타났다.
- 4) 자체 개발한 광조형·장치에서 광경화 수지인 FA1262는 30℃에서 가장 좋은 형상 정밀도를 나타내었다.

프로그램 기술의 발달과 기구부의 제어기술의 발달로 광조형물의 정밀도가 향상 되고 있지만 보다 좋은 형상 정밀도를 얻기 위해서는 레이저 파워, 주사 속도, 수지의 물리적 특성, 등을 사용하는 광조형 장치에 맞추어 사용하면 훨씬 더 정밀한 조형물을 얻을 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. Hiroyuki Narahara, "Reaction heat effects on initial linear shrinkage and deformation in stereolithography", Rapid Prototyping Journal Volume 5. 1999 pp.120-128
2. 김준안, "급속시작을 위한 광조형 시스템 개발 및 성능향상에 관한 연구", 부산대학교 박사학위 논문, 1997 vol. 5 Number 3, 1999
3. Paul. F. Jacobs, "Rapid Prototyping & Manufacturing", 1st edition, SME, 1992
4. 丸谷洋二 外, "光造形法", 日間工業新聞社 pp8-9, 1990
5. Frank, G. Fadel, "Preferred direction of build for Rapid Prototyping Processes", the 5th international conference on Rapid Prototyping, pp 192, 1994
6. B.Wiedemann, k.-H. Dusel, "investigation into the influence of material and process on part distortion", Rapid Prototyping Journal Volume 1. 1995 pp.17-22

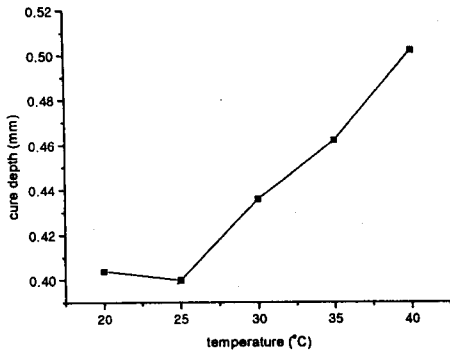


Fig. 9 Change of the cure depth by various temperature

Fig. 9는 온도에 따른 단일 경화선의 경화 깊이의 평균값의 변화를 나타낸다. 이를 위해 Nikon 사의 6C-2 형상 투영기를 사용하였으며 대체로 온도가 상승함에 따라 경화 깊이가 커짐을 알 수 있다. 이는 수지의 구성물질인 올리고머, 모노머, 개시제 등의 고분자 물질들의 분자 운동이 활발해짐에 따라 나타나는 것 같다.

경화두께는 실제 조형시 위층과 아래층의 결합에 큰 영향을 끼치게 되는데 경화되는 두께가 너무 작으면 위층의 경화시 에너지가 아래층까지 전달되지 않아서 층과 층사이의 결합이 이루어지지 않게 된다. 또 너무 두껍게 되면 조형층 내부에 응력을 발생시켜 전체 조형 정밀도에 악영향을 끼치게 된다.

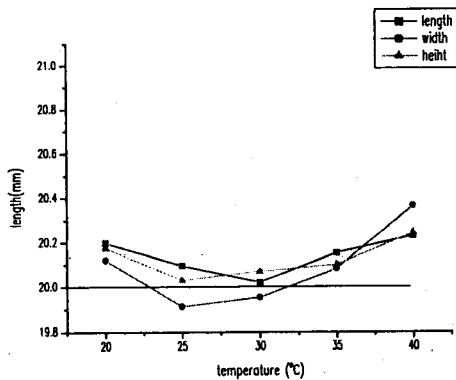


Fig. 10 Mean value of each side by various temperature

Fig. 10은 정육면체의 조형시에 온도에 따른 형상의 변화를 평균값으로 나타냈는데 역시 30℃ 부근에서 조형하고자 하는 형상에 근접함을 알 수 있다.

이 때의 경화 수지의 점도는 350cps로 나타난다.