

마이크로광조형에서 Dither method 를 이용한 경화깊이 제어방안 Control of curing depth for microstereolithography using Dither method

*김민섭¹, 박인백¹, 조광호¹, #이석희²

*M. S. Kim¹, I. B. Park¹, K. H. Jo¹, #S. H. Lee(sehlee@pusan.ac.kr)²

¹ 부산대학교 기계공학부 대학원, ² 부산대학교 기계공학부

Key words : Microstereolithography, grayscale, dither method

1. 서론

미세광조형기술은 3 차원 미세구조물 제작에 유용하고, 저비용으로 제작할 수 있는 장점을 지닌다[1]. 이러한 미세광조형기술의 대표적인 제작기법으로 전사방식과 주사방식으로 나뉘며, 그 특성은 기법적으로 상이하지만 주된 경화방식은 동일하다. 광을 이용해 3 차원의 미세구조물을 제작하는 미세광조형기술의 문제점은 광 주사로 인한 적층이 미세구조물의 형상과 일치성과 광경화수지의 특성 등으로 대두된다. 우선 미세구조물 형상에 따른 적층방법과 관련 지을 수 있는데, 이는 적층방향에 따라 수지표면에서 광이 조사되어 적층되는 자유수지제어기법과 수지표면아래에서 광 조사되어 적층되는 구속기법으로 나뉜다. 이러한 두 기법은 적층 방향이 서로 다르며, 장단점을 지니고 있다. 자유수지제어기법은 적층스테이지가 수지표면에서부터 하강하여 제작하는 방법으로 고세장비의 구조물 제작에 용이하고, 수지표면의 표면장력이나 점성의 영향이 정밀도에 영향을 받는다. 이와 달리 구속제어기법은 적층 스테이지가 수지 밑단에서부터 상승하고, 경화되기 때문에 수지의 유동과 플랫폼간의 이형이 힘들어 고세장비의 구조물제작에 어려움이 따른다.

광경화수지의 특성으로 인한 문제점은 기존 상용화된 여러 수지들마다의 경화특성이 다양해 고려되고 있으나, 복잡한 미세구조물 제작의 경우 점성과 광원의 세기로 인해 일반적으로 각종 모노머(monomer)나 올리고머(Oligomer)등을 혼합해 사용되고 있다[2]. 하지만 다양한 미세구조물의 형상 제작에 만족될 수 없어 경화실험을 통해 혼합비율을 조절해 사용된다[3]. 이러한 문제점들은 미세구조물의 제작형상에 직접적인 연관이 있다. 특히 오버행을 가지는 복잡한 미세구조물일 경우 적층기법을 고려하거나 광경화수지의 혼합비율을 조절하기엔 많은 실험이 따른다. 이에 본 연구에서는 미세광조형장치에서 특별한 부가장치나 수지 내 첨가물의 혼합 없이 조절하기 위한 방안을 제시한다.

2. 경화깊이 제어방안

본 연구에서는 전사방식의 미세광조형기술을 사용해 구조물 형상제작에 발생하는 오버행을 첨가물 또는 부가장치를 사용하지 않고 조절하는데 목적을 둔다. 이러한 오버행은 적층방안보다는 광경화성 수지의 경화특성에 큰 영향이 있으며, 이를 조절하기 위해 티뉴빈(tinubin)과 같은 광 흡수제를 첨가하거나 광 조사에너지를 조절해야 한다. 하지만 광 흡수제의 사용은 경화 깊이의 변화뿐만 아니라 경화폭을 줄이게 됨으로써 오류가 발생된다. 또한 현재 미세광조형장치를 사용해 바이오구조물(Bio-device)등의 연구개발이 이뤄짐으로 인해 기타 첨가물은 치명적인 손실을 가져다 줄 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 Fig. 1 과 같이 3 차원 모델에서 적층두께로 슬라이싱된 단면이미지에 그레이스케일(Grayscale)을 추가해 에너지차로 인한 경화두께를 조절하고, 가우시안 분포의 경화분포를 평활한 경화두께로 만들기 위해 그레이 수준차를 조절해 사용한다.

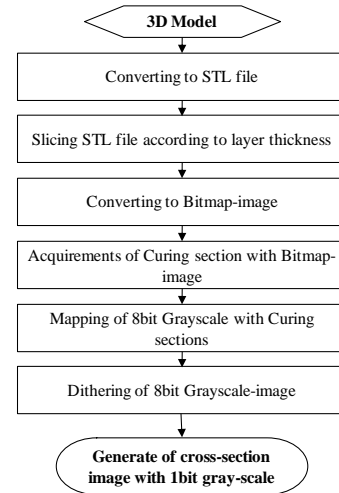


Fig. 1 Generate of cross-sectional image with 1bit grayscale

Fig. 1 과 같이 1bit 의 그레이스케일을 지닌 단면이미지 재생성은 그레이 수준차를 0~255 까지 매핑시키고, 경화실험을 통해 적절한 수준으로 생성시킨다. 고려되어야 할 점은 Fig. 2 와 같이 단면이미지내의 패턴 광의 광 가우시안 분포를 해소시키기 위해서 단면이미지의 가장자리가 수준을 높이고, 중앙으로 갈수록 낮아야 경화형상이 가우스분포를 따라 가지 않게 된다. 이러한 문제는 단면이미지의 형상에 맞게 이뤄져야 한다.

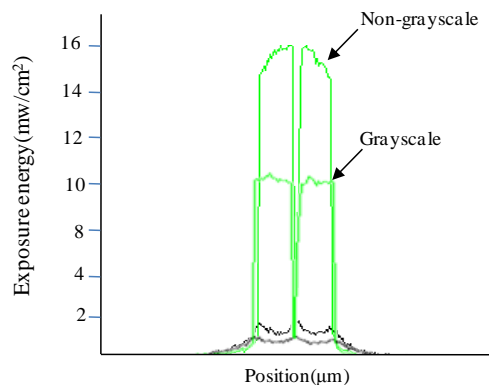


Fig. 2 Beam distribution intensity of cross-sectional image with non-gray and grayscale

만일 Fig.2 의 그레이스케일이 적용되지 않은 상태로 조사될 경우 수지표면에서 경화두께를 이루는 수지의 경화는 U 형을 따르게 된다. 이때 해당 단면이미지가 오버행을 가진 층일 경우 아래의 경화물과 같이 경화되는 오류가 발생된다. 그레이스케일이 적용될 경우 에너지 수준은 이전 보다 줄어들어 경화 깊이가 줄어들 수 있으며, 광 조사에너지와 그레이 스케일의 수준을 조절할 경우 경화깊이를 조절할 수 있다. 이러한 그레이스케일의 수준은 실험을 통해 산출할 수 있으며, Fig. 3 과 같이 일반적으로 광 에너지의 수준과 비례적으로 줄어들음을 알 수

있다.

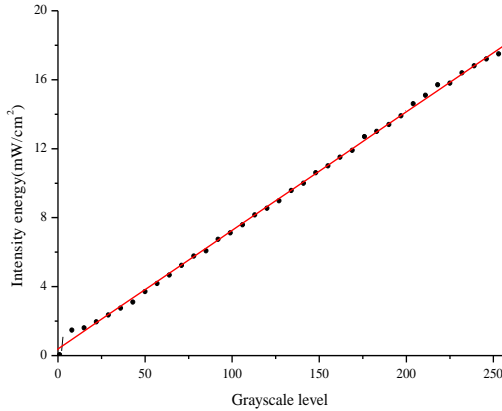


Fig. 3 measurement of intensity energy according to grayscale level

Fig. 3의 결과를 미세구조물의 제작에 사용할 수지의 특성을 측정해 비교 후, 그레이 수준차를 단면이미지에 적용시켜 수지표면과 적층 플랫폼(유리소재)을 맞추고 Fig. 4와 같이 미세광조형에서 제작했다.

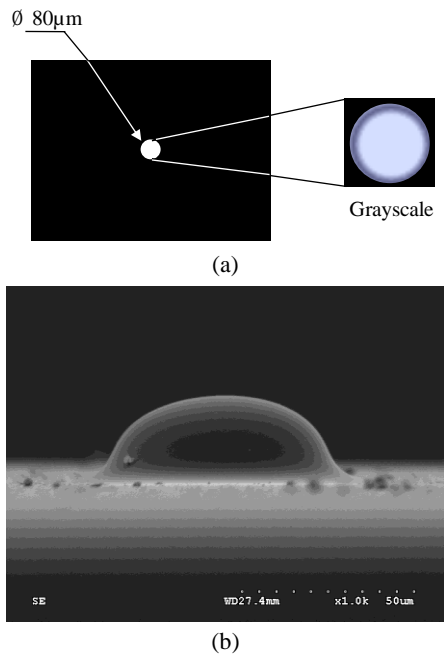


Fig. 4 Fabrication of microstructure with cross sectional image using grayscale level (a)cross sectional image with grayscale (b) SEM image

Fig. 4의 (b)는 자유수면기법을 이용하는 미세광조형에서 수지표면과 플랫폼의 하단을 맞추고 조사시켜 수지내 광의 투과깊이를 알아보기 위한 실험으로 제작되었다. 기존의 그레이를 적용하지 않은 단면이미지보다 광 투과 깊이와 수지경화가 훨씬 줄어들었으며, 다양한 그레이 레벨을 사용해 Table 1의 산출치를 측정했다.

Table. 1 Measurement of curing depth

Exposure energy(mW/cm ²)	Gray-level	Curing Depth(um)
16.4	255	120
	220	98
	180	56
	140	30
	120	25

Continue

Exposure energy(mW/cm ²)	Gray-level	Curing Depth(um)
13.2	255	110
	220	78
	180	42
	140	27
	120	25
9.84	255	98
	220	59
	180	37
	140	-
	120	-

Table 1에서 광 조사에너지에 따라 경화형상이 가우스형태로 제작된 부분은 제외시키고 경화폭의 변화가 거의 보이지 않는 형상이 제작된 조건만 제시했다. 이러한 결과로 오버행을 가진 구조물의 제작에서 광 흡수제를 기존 수지나 생체적합성을 가진 수지에 혼합을 필요가 없음을 기대할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 오버행과 같은 구조물을 제작할 때 수지 특성을 고려하지 않을 경우 발생하는 문제를 해결하기 위해 경화 깊이 조절을 우선 순위로 정하고 그레이스케일을 단면이미지에 적용해 실험했다.

그 결과 그레이스케일의 수준차를 조절하여 경화단면이 가우스분포로 발생되지 않게 가능함을 보였으며, 오버행 구조물 제작 시 해당 단면이미지에만 적용해 경화깊이를 조절할 수 있음을 알 수 있었다. 차후 연구는 이러한 오버행구조의 대표적인 미세구조물인 스케폴더(scaffold)를 생체적합성 수지를 사용해 제작해 보고자 한다.

참고문헌

1. Park, I. B., Choi, J. W., Ha, Y. M and Lee, S. H., "Multiple Fabrications of Sacrificial Layers to Enhance the Dimensional Accuracy of Microstructures in Maskless Projection Microstereolithography," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing 10(1) 91-98, 2009.
2. Park, I. B., Ha, Y. M and Lee, S. H., "Cross-section Segmentation for Improving the Shape Accuracy of Microstructure Array in Projection Microstereolithography," Int. Advanced Manufacturing Technology, 2009.
3. Jacobs. P. F., Rapid Prototyping and manufacturing: Fundamentals of Stereolithography, Society of Manufacturing engineers Publishers, Dearborn, 1992.