

# 다중 재료 광조형장치를 위한 저점도 수지의 공정계획

## Process Planning for Multiple Material Stereolithography with Low Viscosity Photo Curable Resin

\*#김호찬<sup>1</sup>, 최재원<sup>2</sup>, 배용환<sup>3</sup>, 하영명<sup>4</sup>, 이석희<sup>4</sup>

\*#H. C. Kim(hckim@andong.co.kr)<sup>1</sup>, J. W. Choi<sup>2</sup>, Y. H. Bae<sup>3</sup>, Y. M. Ha<sup>4</sup>, S. H. Lee<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 안동대학교 기계공학부, <sup>2</sup>University of Texas at El Paso, <sup>3</sup>안동대학교 기계교육과, <sup>4</sup>부산대학교 기계공학부

Key words : Stereolithography, Multiple Material, Low Viscosity, Photo Curable Resin, Process Planning

### 1. 서론

쾌속조형기술은 사용 가능한 재료가 제한적이라는 단점이 있다. 이를 극복하기 위하여 각각의 프로세스 별로 다양한 재료가 연구가 되고 있다. 한편 광조형 기술은 다른 쾌속조형기술들에 비하여 정교한 형상의 부품 제작이 가능하다는 장점이 있지만 광경화성의 수지를 사용해야 하므로 재료의 선정에 있어서의 단점은 더욱 크다. 따라서 이러한 한계를 극복하고자 여러 재료를 동시에 이용할 수 있는 광조형 기술이 연구되고 있다. 이러한 다중재료 광조형 기술에서 여러 재료를 동시에 사용하기 위해서는 수지를 담는 통을 교환하게 되면 먼저 사용하던 소재를 깨끗이 청소하고 새로운 소재를 이용해야 하며, 가공 도중에 언제 소재를 교체하게 될지를 정해야 한다. 따라서, 어떤 소재를 어디부터 어디까지 가공하고 또 다음공정에서 어떤 소재를 가공해야 하는 지를 스케줄링할 필요가 있다.

본 연구는 다중재료를 이용하는 SLA 시스템을 위한 가공 재료의 선택과 적층 범위를 스케줄링하는 방법을 개발하기 위하여 수행되었다. 재료는 리코팅시에 스위핑이 필요한 재료와 스위핑이 선택적으로 필요한 재료와 전혀 필요치 않은 재료로 구분된다. 또한 가공할 재료를 자주 변경하게 되면 세척시간의 증대로 인하여 가공시간이 크게 늘어 나게 되므로 재료의 교환을 최소화 하기 위하여 각 소재별 형상을 고려하여 적절한 적층 범위를 결정해야 한다. 본 연구에서는 이들 재료의 선정과 적층 범위의 선정을 위한 규칙을 개발하고 이를 적용하기 위한 플로우차트를 작성하였다

### 2. 다중재료 광조형

여러 재료를 이용하는 광조형장치는 기존에 여러 재료를 사용할 수 있도록 몇몇 연구가 수행된 바가 있는 매층마다 모든 재료를 문제 없이 활용할 수 있는 퇴적(deposition) 기반의 쾌속조형 기술과는 달리 재료의 교환이 매우 어렵다는 문제가 있다. 그러나 최근 들어 점성이 낮아 리코팅 시에 스위핑이 필요치 않은 광경화성 수지가 시장에 많이 등장하게 됨에 따라 이를 적극적으로 이용하여 재료 변경 횟수를 현저히 줄이는 것이 가능해 졌다. 결국 본 연구는 광조형 기술의 장점인 정밀도, 표면품질, 투명성 등을 살리면서 성질이 다른 여러 재료를 동시에 이용할 수 있도록 하여 색상이나 기능적인 면이 개선되는 새로운 개념의 다중재료 광조형장치를 개발하기 위하여 재료교환이라는 가장 중요한 문제점을 극복하기 위하여 수행되었다. 이 논문은 다중재료 광조형장치의 단점을 극복하기 위한 방안으로 스케줄링과 공정계획기술을 다룰 것이다. 이것은 각기 재료간의 합리적 가공 순서를 결정하는 기본 룰을 제안하고 이를 구현하기 위한 알고리즘을 작성 함으로서 이루어 진다.

상용화된 광조형 장치를 개조하여 여러 재료를 사용할 수 있도록 기능을 추가한 다중 재료 광조형 시스템이 최근에 개발 되었다.[1-3] 이 장비는 여러 재료를 이용하여 이들이 조립된 형상을 한번에 만들어 낼 수 있고, 여러 색상이 들어간 부품은 물론, 여러 재료의 특성을 한 부품에서

선택적으로 적용 함으로서 좀 더 기능적인 프로토타입을 생산할 수 있다. 이 시스템은 다른 종류의 수지를 담고 있는 수조들을 교환 할 수 있는 장치와 소재를 변경할 때 남아 있는 수지를 완전히 제거하기 위한 세척장치를 가지고 있다. 서로 다른 수지를 담은 수조는 회전형 인덱싱 테이블에 고정되어 회전하며, 플랫폼은 수조가 회전하는 동안 수조에서부터 완전히 분리 될 수 있을 만큼 수직 상향 이동이 가능하다. 다중재료 광조형 공정은 각 재료별로 CAD 모델을 만들고, 지지대를 생성한 후, 세부적인 공정 계획을 수립하고 가공경로를 생성하는 전처리 단계와 실제 제작되는 가공단계 및 후처리 공정을 거치게 된다.

### 3. 재료의 분류

스케줄링과 프로세스 플래닝에 필요한 재료의 기초적인 정보를 제공하기 위하여 재료를 리코팅시에 스위핑의 필요 여부에 따라 필수, 선택 그리고 불필요로 구분하여 재료 데이터 베이스를 구축하였다. 그외에도 부가적으로 재료의 이름, 리코팅시 소요시간, 스위핑시 소요시간, 평활화 대기 시간, 세척시간, 점도 등의 재료 특성을 재료데이터베이스에 입력하였다. 현재 시장에서는 다양한 점도를 가진 상업화된 레진이 판매 되고 있다. 또한 광조형기술 등을 연구하고 있는 연구자들은 다양한 점도의 레진을 생산하고 있다. 점도가 높은 광경화성 수지는 리코팅시에 스위핑을 하지 않고서는 액면이 평활해 지기 기다리기에 너무 오래 걸리거나 완전히 평활해 지기 어렵다. 그러나 일부 저점도의 수지는 스위핑 없이도 매우 단기간 내에 평활해 지며 미니 스커스등이 매우 적다. 이들 사이의 점도를 갖는 수지는 스위핑을 통해서 좀 더 빨리 평활한 액면을 얻을 수 있으나 조금 오래 기다리는 것으로 충분히 사용 가능한 수준의 리코팅을 할 수 있다. 물론 수지를 데워서 점도를 떨어뜨리는 적극적인 방법을 사용하는 것도 고려해 볼 수 있다.

광조형에서 리코팅 시에 스위핑은 이미 성형된 부분이 스위핑에 부딪히지 않게 하기 위하여 현재 까지 성형한 최상층에서만 가능하다. 이러한 점 때문에 여러 재료를 사용하는 광조형의 경우 모든 재료가 스위핑이 필수적이라면 모든 레이어에서 재료를 바꾸면서 성형해야 할지 모른다. 그러나, 다행히 점도가 좀 더 낮은 재료를 사용할 경우 스위핑이 필요치 않게 되어 다른 재료를 더 높은 레이어 까지 성형한 이후에도 성형이 가능하게 되었다. 즉 각 재료를 여러 레이어를 몰아서 성형하게 됨으로서 재료 변경을 위해 생기는 여러가지 불합리성을 개선할 수 있다.

### 4. 가공순서 결정 규칙

다중재료 광조형장치를 운용하기 위해서는 아래와 같은 네 가지 이유로 스케줄링이 필요하다. 첫째, 광조형기술이 한번에 한가지 재료만 가공할 수 있으므로 좋은 나쁜 재료를 교환하는 순서를 정해야 한다. 둘째, 이미 한가지 재료가 가공 완료되어 굳어 버리면, 그 아래에 다른 재료를 다시 가공할 수가 없으므로 위 쪽에 다른 재료가 가공되기 전 아래 부분을 모두 가공하여야 한다. 셋째, 일부 재료는 스위핑 없이 리코팅이 가능하지만 그렇지 않은 재료

RULE I) When selecting material, select bottom most material for builds first

RULE II) When selecting material, if there are more than two materials in a layer, then select high viscosity material first

RULE III) Stop and change material when an un-built material that needs sweeping is in the current layer

RULE IV) Stop and change material if current layer has a different un-built material directly beneath its current build region

Fig. 1 Rules for process planning

의 경우에는 현재까지 만들어진 가장 윗 레이어에서 만 스위핑이 가능하다. 넷째, 매 층마다 재료를 변경한다면 세척이 너무 빈번하게 발생하게 되어 재료의 약화 가공 시간의 증대 등을 유발하게 되어 결과적으로 비 효율적인 공정이 된다. 따라서, 이상의 고려사항과 문제점들을 해결하는 공정계획의 작성이 필요하며, 전문적인 기술을 가진 운영자의 필요성을 줄이기 위하여 자동화된 소프트웨어의 개발도 필요하다. Fig. 1 에는 공정계획을 자동으로 작성하기 위하여 개발한 규칙을 보인다.

기본적으로 I, II 번 룰은 현 단계에서 적층할 재료를 선정하는 룰이며, III, IV 번 룰은 현재 선택되어 적층되고 있는 소재를 언제 변경할지를 정하는 룰이다. I 번 룰은 재료의 선정을 위한 가장 기본적인 룰로서 모든 쾌속조형기술이 아래에서 위로 적층하게 되는 것을 반영하고 있으며, 특정 재료의 적층은 계속 지연되면서 다른 재료만 지속적으로 쌓을 때 발생하게 될 역학적 안정성 문제도 고려한 것이다. II 번 룰은 점성이 높은 재료일수록 리코팅시에 스위핑을 강하게 요구하는 점을 고려한 것이며, 이는 나중에 점성이 적은 재료가 적층될 때 이미 적층된 부분과의 사이에서 표면장력의 효과로 발생하는 meniscus 의 효과를 저감하는 효과도 있다. III 번 룰은 최상단의 레이어에서만 리코팅시 스위핑이 가능한 점을 룰로서 적용한 것이며, IV 번 룰은 먼저 쌓아 올린 부분이 나중에 성형될 부분의 상단을 가리는 것을 방지하기 위한 것이다.

이상에 소개한 공정계획 법칙에 따라 실제로 스케줄링을 수행 하기 위해서 필요한 알고리즘은 Fig. 4 에 전체적으로 나타내었다.

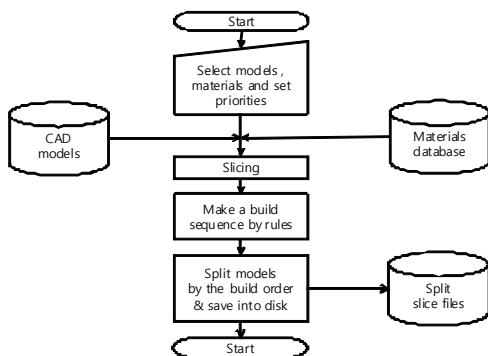


Fig. 2 System flow

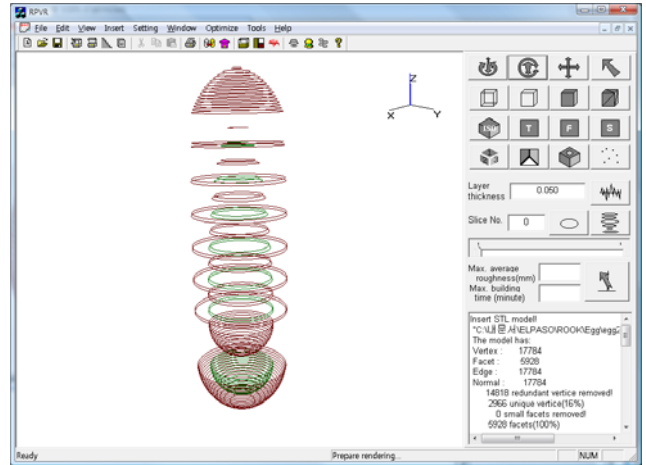


Fig. 3 Application results

공정계획 시스템의 입력은 각 재료 별로 작성된 CAD 모델과 층 두께이다. 재료별 적층 우선순위는 material library 에 저장된 각 재료별 특성이 반영된다. 본 논문의 알고리즘은 각 재료를 한 층씩 적층하면서 앞에 설명한 룰을 적용하므로 CAD 모델을 주어진 층두께에 따라 단면화 하여 슬라이스 루프 데이터를 생성한다. 이후 본 연구에서 제안한 룰에 따라 각 재료별 적층 순서와 적층 부위 및 스위핑 여부를 결정하게 된다. 최종적인 결과는 스케줄링 및 공정계획 결과 보고서와 공정계획에 따라 재료 변경 전 한 번에 성형될 분량으로 분할된 CAD 모델이다.

본 연구에서 제시된 알고리즘을 이용하여 visual c++ 을 이용하여 스케줄링 및 공정계획 소프트웨어를 개발하였다. 그리고 개발된 소프트웨어를 이용하여 본 연구에서 제시한 룰과 스케줄링 및 공정계획 방법을 검증하였다. 계란의 노른자와 흰자 형상에 각기 다른 재료를 선택하고 공정계획을 실시하는 예이다. 각 재료별로 모델링된 STL 파일이 입력되면 재료라이버리에 있는 재료를 모델별로 할당하게 된다. 공정계획의 결과는 사용된 재료와 그 특성 및 재료의 변경이 필요한 레이어이다. Fig. 3 은 개발된 소프트웨어에서 스케줄에 따라 모델을 분할하여 보여주는 최종적인 결과를 보여주는 그림이다.

### 5. 결론

본 연구를 통하여 여러 재료를 사용하는 광조형장치를 위한 공정계획시스템의 개발을 위한 공정 계획 규칙을 도출하였으며, 이를 바탕으로 응용 소프트웨어를 제작하여 그 실효성을 검증하였다.

### 참고문헌

1. R.B. Wicker, F. Medina, C.J. Elkins, Multiple Material Micro-Fabrication: Extending Stereolithography to Tissue Engineering and Other Novel Application, Proceedings of 15<sup>th</sup> Annual Solid Freeform fabrication Symposium, Austin, TX (2004) 754-764.
2. A. Inamdhar, F. Medina, M. Magana, Y. Grajeda, R.B. Wicker, Development of an Automated Multiple material Stereolithography machine, Proceedings of 17<sup>th</sup> Annual Solid Freeform fabrication Symposium, Austin, TX (2006) 624-635.
3. K. Arcaute, N. Zuverza, B. Mann, R. Wicker, Multi-Material Stereolithography: Spatially-Controlled Bioactive Poly(ethylene glycol) scaffolds for Tissue Engineering, Proceedings of 18<sup>th</sup> Annual Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, TX (2007) 458-69.