

마이크로 광 조형기술을 이용한 인공지지체의 제작을 위한 생분해성 수지의 개발 및 경화 특성 파악

이진우*(포항공대 대학원 기계공학과), 조동우(포항공대 기계공학과)

The development of biodegradable resin for scaffold fabrication using micro-stereolithography and curing characteristics analysis of the resin

J. W. Lee (Mechanical. Eng. Dept. POSTECH), D.-W. Cho (Mechanical Eng. Dept., POSTECH)

ABSTRACT

A research on scaffold fabrication has been progressed in many research groups. However, the mechanical properties of existing biodegradable materials are still not satisfactory. But, PPF (poly (propylene fumarate)) has a good mechanical property in comparison to other biodegradable materials. Nevertheless, the viscosity of the synthesized PPF is too high to fabricate structures using micro-stereolithography. Therefore, the viscosity of the resin was made low by adding the diethyl fumarate and this material could be used in micro-stereolithography apparatus. Then, a photoinitiator was added for photo crosslinking of the DEF/PPF resin. 2.5D and 3D scaffolds were fabricated our system and curing characteristics of the resin were analyzed through the experiment.

Key Words: Micro-stereolithography (마이크로 광 조형기술), Scaffold (인공지지체), Biodegradable resin (생분해성 수지), Curing characteristic (경화특성)

1. 서론

현재 인공지지체 제작을 위해서 많은 연구 기관에서 생체 적합성 고분자를 만들기 위해 노력하고 있다. 하지만 대부분의 경우 PEG, PLGA, PLA, PGA 등과 같은 생분해성 고분자의 비율을 변화시켜 사용하고 있으며 이러한 생체 재료는 인공지지체에 요구되는 기계적 강도를 가지 못하는 단점을 가지고 있다. 또한 현재까지 제작되고 있는 인공지지체는 형상 제작에 있어서 재현성이 떨어지는 단점을 지니고 있다.

마이크로 광 조형 기술은 기존의 광 조형 기술을 응용하여 보다 정밀한 마이크로 크기의 3 차원 구조물을 제작할 수 있는 기술이다. 마이크로 광 조형 기술을 이용하면, 원하는 형상의 3 차원 인공지지체의 제작이 가능하다.

현재 나와있는 인공지지체의 낮은 기계적 강도를 보완하고자 본 연구에서는 광 개시제에 의한 경화반응을 사용하고자 한다. 본 연구에서 사용된 광 개시제인 DMPA 의 경우, 생체 적합성 및 생분해성 고분자 재료의 제작에 사용된 사례가 보고 되고 있다[1]. 따라서, 본 연구에서는 생분해성이며 특정 파장에 경화되는 수지를 합성하고, 마이크로 광 조형 장치에 적합한 수지를 개발하고자 한다. 개발된 수지를 이용하여 인공지지체 제작하며, 개발된 수지의 경화 특성을 분석하고자 한다.

2. 마이크로 광 조형을 위한 수지의 개발

Poly(propylene fumarate)는 비교적 최근인 1988년 Sanderson 에 의하여 개발된 수지이다[2]. 이 수지는 생체 적합성이며 생분해성인 수지로서 확인되었으며, 가장 큰 특징으로는 열과 광 두 종류 모두에 의해서 경화가 가능한 수지이다. 또한 분해 시간이 긴 장점을 지니고 있다. 하지만 합성된 PPF는 상온에서 점성이 아주 높아 광 조형을 할 수 없는 단점을 지닌다. 이 경우 diethyl fumarate (DEF)를 PPF 수지에 혼합 함으로서 마이크로 광 조형 장치에 적합한 수준으로 점성을 낮출 수 있다. DEF 와 PPF 의 혼합 비율에 따라서 최종적으로 경화된 물질의 기계적 성질은 달라진다. 또한 DEF 와 PPF 가 혼합된 수지의 경우 인체의 해면골의 압축 강도와 비슷한 기계적 물성을 지니고 있다[3].

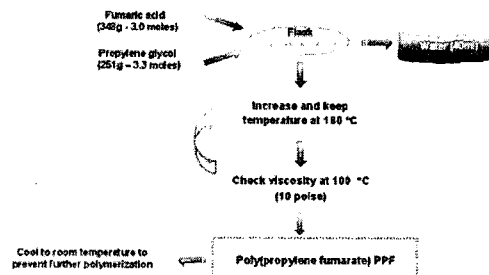


Fig. 1 Synthetic process of the Poly(propylene fumarate)

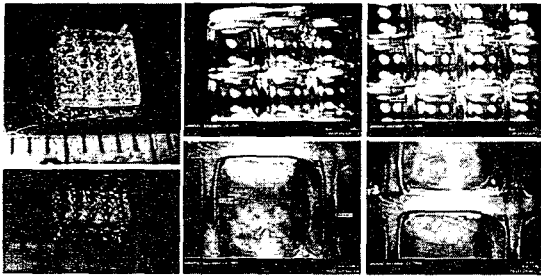


Fig. 2 2.5D lattice structure image

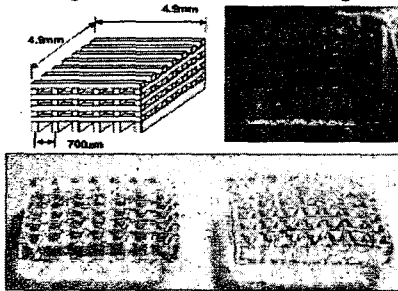


Fig. 3 3D lattice structure image

PPF 는 Fig. 1 의 공정을 통하여 합성하였다. fumaric acid 와 propylene glycol 을 적정 비율로 혼합하여 합성 반응을 진행한 후 상온에서 식힌다. 합성된 PPF 에 DEF 와 광 개시제인 DMPA 를 혼합하여 마이크로 광 조형 장치에 적합한 수지를 개발하였다.

3. 인공지지체의 제작

제작된 수지를 이용하여 2.5 차원의 격자 형상을 제작하였다. 격자 구조의 한층 두께는 40 µm 이며, 10 층을 쌓아 올려 총 400 µm 의 높이를 지닌 구조물을 제작하였다. 격자 형상의 선 폭은 110~130 µm 으로 균일한 형상이 제작되었다. Fig. 2 는 제작된 격자 형상의 사진이다.

2.5 차원의 격자 형상의 제작을 통하여 수지의 경화에 대한 경향을 확인하였고, 이를 바탕으로 3 차원 형상의 인공지지체를 제작하였다. 격자 구조의 한층 두께는 100 µm 이며, 10 층을 쌓아 올려 총 1000 µm 의 높이를 지닌 구조물을 제작하였다. Fig. 3 은 3 차원 형상의 개략도 및 제작된 형상이다.

4. 수지의 경화 특성 파악

새로운 수지를 개발하여 마이크로 광 조형 장치에 적용하기 위해서는 레이저 주사 조건 및 형상에 따른 많은 데이터들이 요구된다. 수집된 데이터들을 바탕으로 하여 최적의 레이저 주사 속도 및 레이저 파워를 선택을 통해 실제 형상에 더욱 가까운

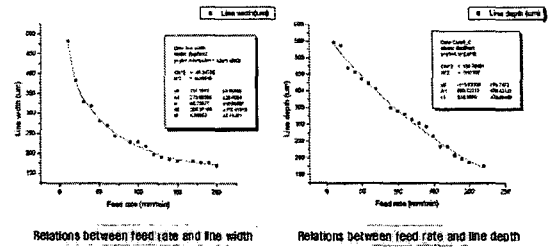


Fig. 4 Relation between feed rate and line depth/width

형상을 제작할 수 있다. Fig. 4 는 레이저의 주사 속도에 따른 경화 깊이 및 경화 폭의 변화를 측정된 결과이다. 이 결과를 통하여 미지의 주사속도에서의 경화된 선 폭 및 깊이를 예측할 수 있다.

광 조형 장치에 사용되는 수지의 경우 투과 깊이(D_p , penetration depth) 및 임계노출(E_c , critical exposure)은 중요한 변수이다. 수지들 간에 이 두 값을 비교 함으로서 형상의 정밀도 또한 예측할 수 있다. 광 개시제가 혼합된 DEF/PPF 수지를 사용하여 실험 시편을 제작한 후 경화 깊이와 폭을 측정하여 working curve를 얻었다. Working curve 에 의하여 얻어진 투과 깊이(D_p)는 185.3 µm였으며, 임계노출(E_c)는 159.03mJ/cm² 였다.

4. 결론

생분해성 고분자 및 광 개시제에 대한 조사 후, 인체에 무해한 광 개시제를 선정하고 생분해성 고분자의 합성을 시작하였다. Poly(propylene fumarate) 을 합성하여 마이크로 광 조형 기술에 적용하였다. 합성된 수지를 이용하여 2.5 차원 및 3 차원 인공지지체를 제작하였고 수지의 경화 특성을 분석하였다.

후기

본 연구는 과학기술부의 국가지정연구실사업(M10500000042)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Amy K. Burkoth, Kristi S. Anseth, "A review of photocrosslinked polyanhydrides: in situ forming degradable networks", *Biomaterials* 21 (2000), 2395-2403.
2. Abraham J. Domb, Joseph Kost and David M. Wiseman, "Handbook of biodegradable polymers," Harwood academic publishers, 87-97, 1997.
3. Fisher JP, Dean D and Mikos AG, "Photocrosslinking characteristics and Mechanical properties of diethyl fumarate/poly(propylene fumarate) biomaterials," *Biomaterials* 23 (2002), 4333-4343.