

하이브리드 쾌속 조형을 이용한 나노 복합재의 조형

추원식(서울대 대학원 기계항공공학부), 김성근(서울대 대학원 기계항공공학부),
안성훈(서울대 기계항공공학부)

Fabrication of Nano Composites Using Hybrid Rapid Prototyping

W. S. Chu(School of Mechanical and Aerospace Engineering, SNU), S. G. Kim(School of Mechanical and Aerospace Engineering, SNU) and S. H. Ahn(School of Mechanical and Aerospace Engineering, SNU)

ABSTRACT

The technology of rapid prototyping (RP) is used for design verification, function test and fabrication of prototype. The current issues in RP are improvement in accuracy and application of various materials.

In this paper, a hybrid rapid prototyping system is introduced which can fabricate nano composites using various materials. This hybrid system adopts RP and machining process, so material deposition and removal is performed at the same time in a single station. As examples, micro gears and a composite scaffold were fabricated using photo cured polymer with nano powders such as carbon black and hydroxyapatite. From the micro gear samples the hybrid RP technology showed higher precision than those made by casting or deposition process.

Key Words : 쾌속조형(Rapid prototyping), 마이크로 가공(Micro machining), 카본 블랙(Carbon black), 수산화아파타이트 (Hydroxyapatite), 나노 복합재(Nano composites), 하이브리드 시스템(Hybrid system)

1. 서론

쾌속조형(Rapid Prototyping, 또는 Solid Freeform Fabrication) 기술은 설계검증, 기능성 시험, 시제품 제작 등과 같은 목적으로 사용되고 있다. 쾌속조형의 장점으로는 복잡한 형상 제작, 제작 시간 및 비용 절감, 완전 자동화된 공정을 들 수 있으며 단점으로는 사용 재료의 제한, 절삭가공에 비해 상대적으로 낮은 정밀도와 표면 거칠기, 후처리 공정의 불편 등을 들 수 있다.¹

최근에는 마이크로 쾌속조형 또는 micro - stereolithography의 기술개발로 3차원 마이크로 형상의 제작에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 재료의 물성 개선 또한 다양하게 시도되고 있다. Rutgers University 에서는 세라믹을 사용한 FDC(Fused Deposition of Ceramics)를 개발 하여 지난 몇 년간 silicon nitride, alumina, silver-palladium electrode와 같은 기능성 세라믹에 대한 쾌속조형법을 연구하였고,² 최근 「복합물질 적층 조형」 및 「복합 세라믹 적층조형 방식」을 개발, 다양한 세라믹

재료를 사용한 실험을 수행하였다.³ University of Michigan 에서는 적층 조형 기술을 이용하여 폴리머 및 세라믹 재료를 적층하는 방법에 대한 연구를 수행 하였다.^{4,5}

University of California, San Diego 에서는 poly(DL-lactide-co-glycolide) (PLGA)를,⁶ National University of Singapore 에서는 키토산과 수산화 아파타이트의 조합한 재료와 녹말을 기본으로 사용한 재료 등을 각각 이용하여 인공뼈 구조물을 제작하였다.^{7,8}

이러한 연구들은 3차원 마이크로 부품, 센서 구조물, 인공뼈, 인체에 삽입되는 신경 통로등을 대상으로 진행되고 있다.^{9,10} 특히 의학 분야에서의 쾌속 조형 기술¹¹⁻¹³(SLA; Stereolithography Apparatus, SLS; Selective Laser Sintering, 3DP; 3D Printing, FDM; Fused Deposition Modeling, MJS; Multi-phase Jet Solidification, PEM; Precise Extrusion Manufacturing, SGC; Solid Ground Curing)은 가시화, 수술계획, 모의 수술에의 응용 뿐만 아니라, 환자 개개인에 알맞은 체내 부품들을 신속하게 제공하는 맞춤제작을 가능

캐 하는 등 전망이 밝다고 할 수 있다.

앞으로 정밀도의 향상과 치수 안정성 및 진정한 시제품에 필적하는 강도로의 개선에 대한 연구와 더불어 화학적으로 안정하고 인체에 무해한 재료의 개발을 통하여 인공인체부품을 신속하게 제작. 적용하는 분야는 빠르게 성장할 것으로 예상된다.

본 논문에서는 하이브리드 캐속조형 시스템을 사용하여 다양한 재료를 이용한 마이크로 단위의 3차원 형상을 제작한다.

기존의 캐속조형방식은 재료의 한계뿐 아니라 Stair-stepped 형상에 의한 형상의 정밀도 면에서 많은 문제를 가지고 있다.¹⁴ 따라서 이러한 문제 해결을 위하여 캐속조형 기술에 기계식 마이크로 머시닝 기술을 적용하였다.¹⁵ 또한 제작된 마이크로 부품은 폴리머를 기저로 파우더가 혼합된 재료를 사용하였다.

2. 하이브리드 캐속 조형

하이브리드 캐속 조형은 적층 조형과 절삭 가공을 조합하여 기존의 캐속조형 방식보다 더욱 정밀한 형상의 제작이 가능하도록 한다.

2.1 시스템

시스템의 구성은 Fig. 1 에 보이며 각 공정에 사용되는 하드웨어는 Table 1 과 같다. Table 2 는 사용된 시스템을 나타내며, 이 중 PMAC은 각 하드웨어를 통합하여 제어하는 multi-tasking board 이다.

Table 1 Hardware specification.

Process	Hardware	Specification
Deposition	Dispenser	15~700 kPa
	Micro needle	$\phi 140\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$
Machining	Micro tool	$\phi 100\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$
	Spindle	46,000 rpm
Curing	UV lamp	400W, 365nm

Table 2 System specification.

Item	Specification
Stage (3-axis)	1 μm Resolution
Controller	PMAC (Multi-tasking board)

2.2 공정

하이브리드 공정은 Fig. 2 와 같이 적층 공정과 절삭 공정을 반복하는 것이다.

마이크로 노즐을 이용하여 나노 입자가 포함된 폴리머를 수십~수백 μm 로 적층하여 마이크로 단위의 나노 복합재를 near-net-shape으로 제작하며, 적층공

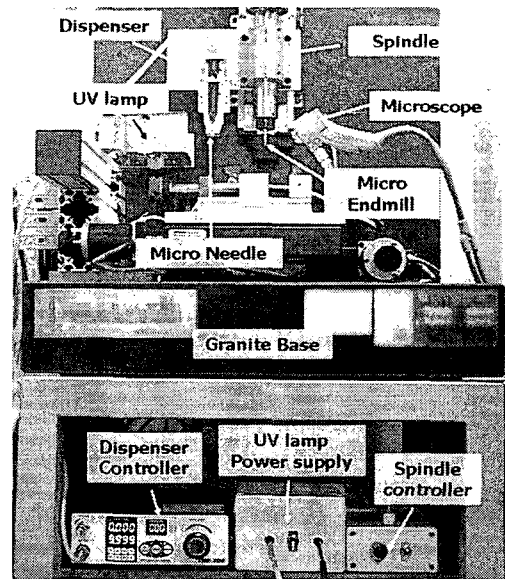


Fig. 1 Hybrid rapid prototyping system.

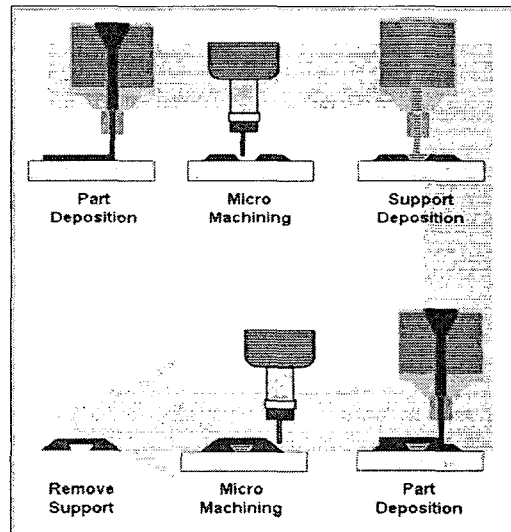


Fig. 2 Process of hybrid rapid prototyping system.

정을 통해 제작된 3차원 형상을 기계식 마이크로 절삭 공구로 적층물의 표면과 외곽을 가공하여 보다 향상된 정밀도와 표면 거칠기를 가지도록 하며, 가공 공정이나 절삭 면적에 따라서 다양한 크기의 공구를 사용한다.

3. 재료

본 연구에서 제시하는 하이브리드 캐속 조형 시스템은 다양한 나노 파우더를 사용하여 나노 복합재를 제작한다

3.1 폴리머

본 시스템에 사용되는 기본 재료는 UV lamp 로 경화가 가능한 광경화성 폴리머이며, 그 종류에는 아크릴계열, 폴리우레탄계열, 에폭시 계열 등이 있다.

3.2 탄소 계열 나노 입자

현재 나노 입자는 전자정보통신, 소재, 환경 및 에너지, 의학 등 다양한 분야에서 연구, 사용되고 있다. 그 중 카본블랙(Carbon black), 탄소나노튜브(Carbon nano tube)는 우수한 기계적 특성, 전기적 선택성 등의 장점으로 각광받고 있으며 다양한 응용이 예상되는 재료이다.

3.3 생체재료

생체 재료는 생체 내에서 주위조직에 대한 유해 작용이 없어야 하며, 생체 조직과 좋은 친화성을 가져야 한다. 또한 요구되는 강도, 경도, 탄성 등 기계적 성질을 가져야 하며, 관절 재료의 경우 내마모성도 우수해야 한다.

최근 들어 각광받고 있는 생체재료는 생체와의 친화성이 우수한 바이오 세라믹이며 그 종류로는 bioglass, hydroxyapatite, alumina, TCP (Tricalcium phosphate) 가 있다. 이들은 인공치아, 인공관절 등 인공뼈 외에도 인공관막, 골수복 재료, 스킨 버튼에 선택적으로 사용되고 있다.

이 재료들은 각각 독립적으로 소결이나 기계적 가공기술 등을 거쳐 생체 부품으로 제작된다.

3.4 기능성 나노 복합재

본 연구에서는 인체에 무해한 아크릴(Acrylate)계열의 폴리머를 기저로 카본블랙(Carbon black), 수산화아파타이트(Hydroxyapatite)를 각각 혼합한 재료를 사용한다. 이러한 재료들은 단일재로 사용될 시에 가지는 강도, 성형성등의 단점을 보완함과 동시에 전기전도성, 생체친화성의 기능을 가진다.

4. 제작 예

4.1 마이크로 기어 제작

아크릴계 광경화 폴리머와 카본 블랙을 혼합한 재료 (10wt%)를 사용하였으며, 기능에 따라서 광경화 폴리머의 점도를 조절하여 카본 블랙의 적용 비율을 조절 할 수 있다.

각 공정별 정밀도를 비교하기 위하여 적층 (Deposition), 캐스팅(Casting), 하이브리드 공정 (Deposition & Machining)의 총 3가지 방법으로 동일한 형상의 기어($\phi 2.9\text{mm}$)를 제작하였다(Fig. 3). 적층 공정은 $\phi 200\mu\text{m}$ 의 마이크로 니들을 사용하였으며,

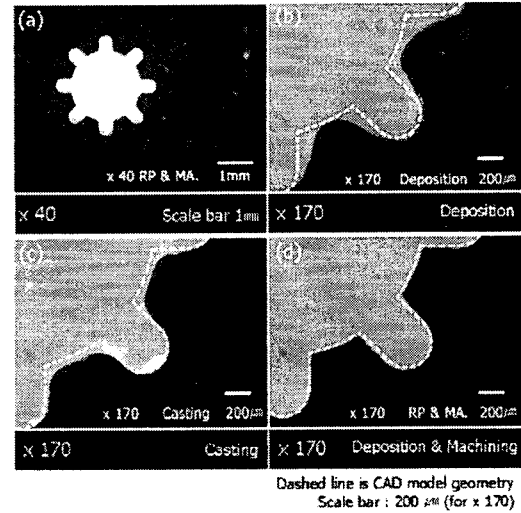


Fig. 3 Fabricated micro gear using different process (a) micro gear ($\phi 2.9\text{mm}$), (b) deposition, (c) casting, (d) deposition and machining.

캐스팅 공정과 절삭 공정은 $\phi 100\mu\text{m}$ 의 마이크로 엔드밀을 사용하였다. Fig. 3에서 확인 할 수 있듯이 하이브리드 공정을 사용하여 제작된 마이크로 기어의 외곽이 캐스팅 공정이나 적층 공정만을 사용하여 제작된 형상보다 더욱 정밀함을 확인 할 수 있다.

4.2 지지체(scaffold) 형태 제작

인체에 무해한 아크릴계 광경화 폴리머를 바인더를 기저로 수산화 아파타이트를 첨가(30wt%)하여 바이오 복합재료를 구성하였다.

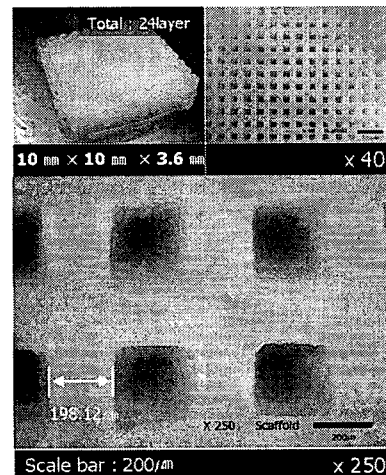


Fig. 4 Fabricated scaffold (10mm x 10mm x 3.6mm) using bio composite materials.

$\phi 200\mu\text{m}$ 의 마이크로 니들로 적층 공정을 이용하여 10mm? 0mm? .6mm크기로 정사각형 격자 형태의 scaffold를 제작하였다.

5. 결론

제안된 하이브리드 쾌속 조형 시스템을 이용하여 나노 복합재를 제작 하였다. 본 시스템은 광경화성 폴리머를 바인더로 사용하며, 다양한 나노 파우더를 적용한 복합재료의 사용이 가능하다.

또한 하이브리드 공정을 이용하여 보다 정밀한 마이크로 부품의 제작이 가능하다.

마이크로 기어를 캐스팅 공정, 적층 공정, 하이브리드 공정을 이용하여 제작하였으며 하이브리드 공정으로 제작된 기어가 가장 정밀한 형상을 보임을 확인할 수 있었다.

생체 복합재료를 이용하여 scaffold 형태를 제작 하였으며, 이러한 복합재료의 사용은 생체 재료로 사용되는 폴리머와 바이오 세라믹스의 단점을 보완시킬 수 있을 것이다. 생체 부품을 직접 적용하기 위해서는 재료의 물성과 다양한 형태의 제작 패턴에 대한 연구가 수행되어야 하며 정밀한 마이크로 부품 제작을 위하여 다양한 가공 조건을 확보해야 할 것이다.

후기

이 논문은 서울대학교 BK21과 2004년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2004-041-D00066)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 中川威雄 丸谷洋一 : 정해도(편역), 적층조형 시스템 - 3차원 커피 기술의 신전개? 성안당, 1998.
2. Allahverdi M., Danforth, S. C., Jafari, M., and Safari, M., "Processing of Advanced Electroceramic Components by Fused Deposition Technique," *Journal of European Ceramic Society* Vol. 21 pp. 1485-1490, 2001.
3. Jafari, M. A., Han, W., Mohammadi, F., Safari, A., Danforth, S. C., and Langrana, N., "A Novel System for Fused Deposition of Advanced Multiple Ceramics," *Rapid Prototyping Journal, Bradford* : Vol. 6, No. 3, pp. 161, 2000.
4. Kumar, P., Santosa, J. K., Beck, E., and Das, S., "Direct-write Deposition of Fine Powders Through Miniature Hopper-nozzles for Multi-material Solid Freeform Fabrication," *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 10, No. 4, 2003.
5. Williams, J. M., Adewunmi, A., Schek, R. M., Flanagan, C. L., Krebsbach, P. H., Feinberg, S. E. Hollister, S. J. and Das, S., "Bone Tissue Engineering Using Polycaprolactone Scaffolds Fabricated Via Selective Laser Sintering," *Biomaterials*, Vol. 26, pp. 4817-4827, 2005.
6. Vozzi, G., Flaim, C., Ahluwalia, A. and Bhatia, S., "Fabrication of PLGA Scaffold Using Soft Lithography and Microsyringe Deposition," *Biomaterials*. Vol. 24, pp. 2533-2540, 2003.
7. Ang, T. H., Sultana, F. S. A., Hutmacher, D. W., Wong, Y. S., Fuh, J. Y. H., Mo, X. M., Loh, H. T., Burdet, E. and Teoh, S. H., "Fabrication of 3D Chitosan-hydroxyapatite Scaffolds Using A robotic Dispensing System," *Materials Science and Engineering C*, Vol. 20, pp. 35-42, 2002.
8. Lam, C. X. F., Mo, X. M., Teoh, S. H. and Hutmacher, D. W., "Scaffold Development Using 3D Printing with a Starch-based Polymer," *Materials Science and Engineering C*, Vol. 20, pp. 49-56, 2002.
9. Zhang, X., Jiang, X. N. and Sun, C., "Microstereolithography of Polymeric and Ceramic Microstructures," *Sensors and Actuators, A22*, No. 2, pp. 149-156, 1999.
10. Kathuria, Y. P., "Rapid Prototyping: An Innovative Technique for Microfabrication of Metallic Parts," *Proc. 7th Int. Symp. Micro Machine Hum. Sci.*, pp. 59-65, 1996.
11. Hutmacher, D. W., Sittinger, M. and Risbud, M. V., "Scaffold-based Tissue Engineering : Rationale for Computer-aided Design and Solid Freeform Fabrication Systems," *TRENDS in Biotechnology*, Vol. 22, No. 7, pp. 354-362, 2004.
12. Leong, K. F., Cheah, C. M. and Chua, C. K., "Solid Freeform Fabrication of Three-dimensional Scaffolds for Engineering Replacement Tissues and Organs," *Biomaterials*, Vol. 24, pp. 2363-2378, 2003.
13. Zein, I., Hutmacher, D. W., Tan, K. C. and Teoh, S. H., "Fused Deposition Modeling of Novel Scaffold Architectures for Tissue Engineering Application," *Biomaterials*, Vol. 23, pp. 1169-1185, 2002.
14. Agqrwala, M. K., Jamalabad, V. R., Langrana N. A., Safari, A., Whalen, P. J., and Danforth, S. C., "Structural Quality of Parts Processed by Fused Deposition," *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 2, No. 4, pp. 4, 1996.
15. Hur, J. H., Lee, K. W., Hu, Z. and Kim, J. W., "Hybrid Rapid Prototyping System Using Machining and Deposition," *Computer-aided Design*, Vol. 34, pp. 741-754, 2002.