

하이브리드 쾌속 조형 시스템의 개발 및 나노 복합재 부품 제작

김성근*, 정우균, 추원식, 김형중(서울대 기계항공공학부 대학원), 안성훈(서울대 기계항공공학부)

Development of Hybrid RP System and Fabrication of Nano Composite parts

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

ABSTRACT

The rapid prototyping (RP) technology has been advanced for various applications such as verification of design, functional test. However, many RP machines still have low accuracy and limitation of applications for various materials. In this research, a hybrid RP system was developed to improve precision of micro parts. This hybrid system consists of deposition and material removal process by mechanical micro machining to fabricate nano composites using photo-curable polymer resin with various nano particles. In this work, using hybrid RP process with Multi-Walled Carbon Nano Tube (MWCNT) and hydroxyapatite, micro parts were fabricated. The precision of parts was evaluated based on the original CAD design, and to see the effect of nano particles on mechanical properties, tensile strength was measured. From the results of experiments, it was confirmed that the part made by hybrid process had higher precision, and the addition of nano particles improved mechanical properties.

Key Words : Rapid Prototyping (쾌속조형), Hybrid System (하이브리드 시스템), Micro Machining (마이크로 가공), Precision evaluation (정밀도 평가), Nano Composite (나노 복합재)

1. 서론

과학기술의 발달과 함께 인간은 두뇌에서 상상한 형상들을 다양한 물질로 구체화 할 수 있게 되었다. 전통적인 제품개발 과정에서의 시작품 제작은 많은 시간과 노력이 요구되었는데, NC 밀링이나 선반으로 형상을 가공할 경우, 모재(Workpiece)의 준비, 지그(Jig)와 픽스처(Fixture)의 제작, 다양한 공구 교환을 통한 순차적 공정 진행으로 특징형상(Feature)을 가공하는 과정뿐만 아니라, 가공성의 보장을 위해서 가공 공정에 대한 충분한 이해와 배경지식이 요구되었다.

이에, 1980년대 중반에 쾌속조형(Rapid Prototyping) 기술이 개발되어 시작품 제작에 혁신적인 전환을 도모하였다. 3차원 CAD 모델을 기반으로 자동화된 공정 계획과 빠른 조형공정으로 제품개발 비용과 시간을 절감할 수 있는 쾌속조형기술은 시작품 제작과 설계 평가 등 다양한 분야에서 탁월한 실용성이 검증되었으며, 최근에는 마이크로 로봇, 센서 구조물 제작을 비롯하여 인공장기 및 수술 검토통 모형 제작 등의

의학 분야까지 다양한 범위로 발전하고 있다.¹⁻³ 하지만 여전히 낮은 정밀도 및 표면 거칠기, 제작가능한 시작품의 스케일 및 사용재료의 제한 등 극복해야할 중요한 문제점들이 응용범위의 확대를 가로막고 있다.^{4,5}

본 연구에서는 이러한 쾌속조형 기술의 단점을 극복하기 위하여 RP & M (Rapid Prototyping & Manufacturing) 개념을 적용하여 하이브리드 쾌속조형 장치를 구축하였고, 이를 이용하여 다양한 마이크로 형상의 제작을 시도하였다.

제작된 하이브리드 쾌속조형 시스템은 적층조형 기술과 기계식 절삭가공 기술을 접목함으로써 마이크로 크기의 제품을 신속하고 정확하게 제작할 수 있다. 또한 요구되는 기능에 따라 다양한 재료의 적용이 가능한데, 본 연구에서는 기능성 부여와 함께 기계적 강도의 향상을 목적으로 나노 크기의 입자를 광경화 수지에 첨가한 나노 복합 재료를 적용하여 마이크로 형상을 제작하였고, 픽셀 면적법을

사용하여 제작된 부품의 정밀도를 측정하였다. 부가하여 마이크로 인장시험을 수행하여 기계적 강도를 평가하였다.

2. 하이브리드 쾌속 조형 시스템의 개발

Fig. 1은 개발된 하이브리드 쾌속조형 시스템의 구성도로서 재료를 적층하고 경화시키는 적층조형부와 불필요한 형상을 제거하는 마이크로 절삭가공부로 이루어져 있다.

적층 및 절삭공정은 정밀도가 1 μ m인 3축 마이크로 스테이지와 멀티 테스킹 Digital Signal Processing 보드를 사용하여 단계적으로 수행된다. 마이크로 니들을 이용하여 재료를 마이크로 단위로 적층하고 자외선이나 열 등을 통해 경화시키는 적층 공정 후, 가공방법이나 절삭면적에 따라 적절한 마이크로 절삭 공구를 이용하여 적층물의 표면과 외곽을 가공하는 단계를 거친다.

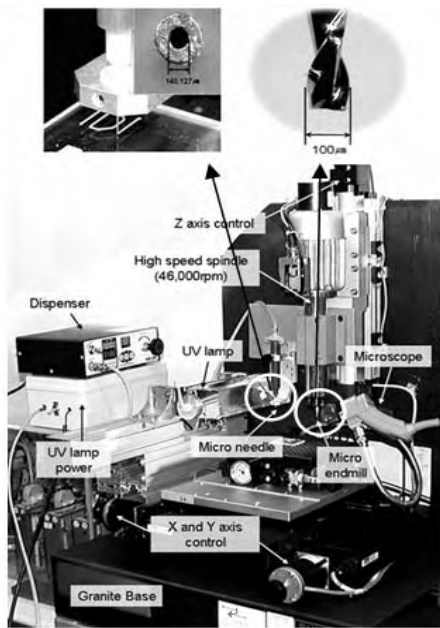


Fig. 1 Hybrid rapid prototyping system

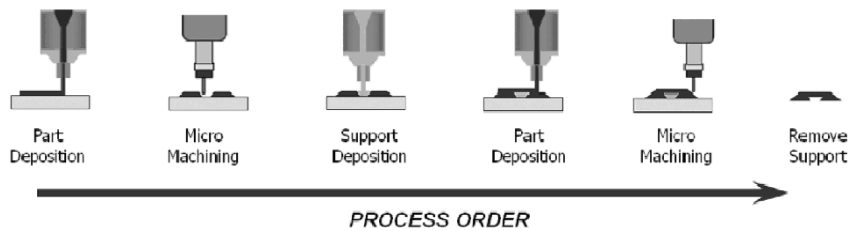


Fig. 2 Fabrication process for hybrid rapid prototyping system

또한, 형상에 따라 지지체재료를 적층하는 공정이 추가된다. 이러한 적층과 절삭 공정의 반복 수행을 통해 높은 정밀도와 안정된 표면 거칠기를 가지는 3차원 형상의 제품을 제작할 수 있다(Fig. 2). 본 시스템의 하드웨어 사양을 Table 1에 정리하였다.

Table.1 Hardware specification

Process	Hardware	Specification
Deposition	Dispenser	15~700 kPa
	Micro needle (inner dia)	$\phi 140\mu\text{m} \sim \phi 800\mu\text{m}$
Machining	Micro endmill	$\phi 100\mu\text{m} \sim \phi 1000\mu\text{m}$
	Spindle	0 ~ 46,000 rpm
Curing	UV lamp	0 ~ 400W, $\lambda = 365\text{nm}$

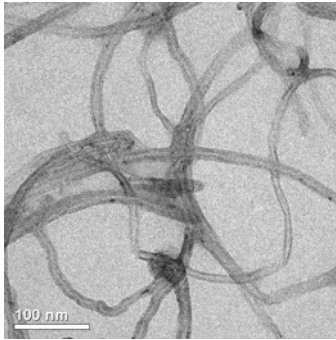
3. 실험

두 종류의 나노 복합재를 사용하여 마이크로 기어와 인체의 뼈 중에서 가장 작은 등골 형상을 제작하였고, 정밀도와 기계적 강도를 측정하였다.

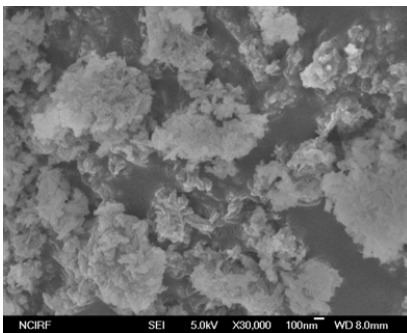
3.1 기능성 마이크로 부품의 제작

기능성 마이크로 부품은 아크릴계 폴리우레탄 수지(Minuta Technology, Inc)에 다중벽 탄소 나노튜브(Multi-Wall Carbon Nano Tube, MWCNT) 5wt%, 수산화아파타이트(Hydroxyapatite) 40wt%를 각각 첨가하여 High shear mixing법으로 분산시킨 후, 고출력 UV lamp로 경화하고 기계식 절삭 가공을 통해 제작하였다.

MWCNT의 경우 우수한 전자기적 특성 및 기계적 물성의 향상이 예측되었으며, 수산화아파타이트의 경우 인공뼈 구성물질로 최근 생체재료로의 응용연구가 활발히 진행됨에 따라 본 시스템을 통하여 인공뼈의 제작가능성을 판단해보고자 선정하였다. MWCNT의 첨가 비를 5wt%로 판단한 이유는 5wt%이상 첨가 시 발생하는 점도 증가와 경화 지연현상 등으로 인하여 형상의 제어가 용이하지 못하였기 때문이다.



(a) TEM picture of MWCNT



(b) SEM picture of Hydroxyapatite

Fig. 3 Electronic pictures of materials used in this study

Fig. 3 (a)는 실험에 사용된 MWCNT의 TEM (Transmission Electron Microscope) 사진이며 Fig. 3 (b)는 실험에 사용된 수산화아파타이트의 SEM (Scanning Electron Microscope) 사진이다.

형상 정밀도 평가를 위하여 MWCNT가 첨가된 복합재로 직경 2.9mm의 마이크로 기어 형상을 제작하였고 수산화아파타이트가 첨가된 복합재로 등골 형상의 시편을 제작하였다. 또한 강도 측정을 위해 마이크로 인장시험용 시편을 제작 하였다.

3.2. 형상 정밀도 측정

픽셀 면적 평가법은 광학 현미경을 이용하여 시편의 형상을 촬영하고 시편의 제작 시 사용된 CAD 데이터와 축척을 일치시킨 후, 촬영된 시편의 사진을 픽셀(pixel)단위로 계산하여 면적을 구하고 이를 CAD 데이터의 계산된 면적과 비교하여 오차를 구함으로써 형상 정밀도를 평가하는 방법이다.

형상의 면적을 계산하는 코드는 Matlab을 이용하여 구성하였다. Fig. 4는 수산화아파타이트를 이용하여 제작한 등골 형상의 시편으로서 우측하단부의 정사각형을 기준 면적으로 하여 제작된 시편의 면적을 산출하였다.

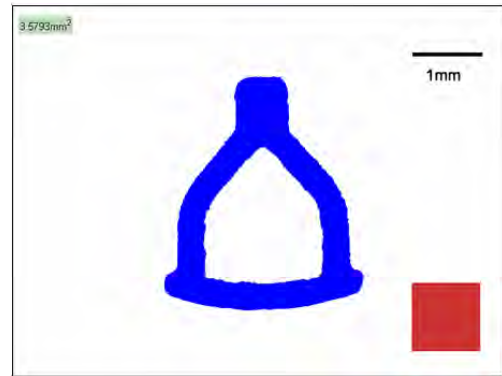


Fig. 4 Area measurement using imaging processing (fabricated stapes)

3.3. 기계적 강도 측정

나노 입자의 첨가에 따른 복합재의 물성 변화를 확인하기 위해 MWCNT 5wt%, 수산화아파타이트 40wt%가 각각 첨가된 복합재를 이용하여 Fig. 5와 같은 형상의 인장시험 시편을 제작하였다. 또한, 물성 변화의 기준으로 판단하기 위하여 첨가제가 첨가되지 않은 Acrylated polyurethane 수지만으로 동일한 형상의 시편을 제작하였다.

인장시험은 INSTRON 5565를 이용하여 독일의 GKSS Research Center에서 수행한 마이크로 인장시험법⁶에 의거 수행하였다.

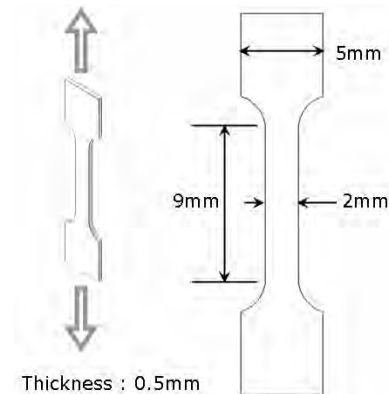


Fig. 5 Dimension of micro tensile specimen

4. 결과 및 토의

4.1 형상 정밀도 평가

MWCNT를 첨가하여 제작한 마이크로 기어와 수산화아파타이트를 첨가하여 제작한 등뼈 형상 (Fig. 6)의 면적과 정밀도를 측정된 결과를 Fig. 7에 정리하였다. CAD 데이터와 비교하여 오차를 판단한 결과, 마이크로 기어의 경우는 0.17%의 매우 낮

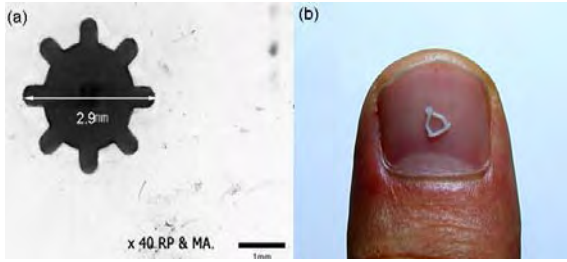


Fig. 6 Fabricated gear and stapes : (a) microscope picture of micro gear (b) stapes on a thumb

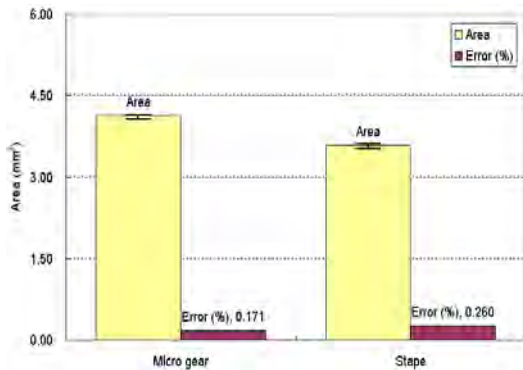


Fig. 7 Errors of fabricated micro gear

은 오차를 보였으며, 등골형상은 0.26%의 낮은 오차를 보임으로서 높은 정밀도를 나타내었다.

4.2 기계적 강도 평가

Fig. 8은 제작된 시편에 대한 마이크로 인장시험 결과로서, MWCNT가 첨가된 나노 복합재의 경우 아크릴 수지의 인장강도보다 약 14.7% 향상된 3.67MPa로 측정되었으나 수산화아파타이트가 첨가된 시편의 경우는 13.53MPa로 약 4배 이상 향상되었음을 확인할 수 있었다.

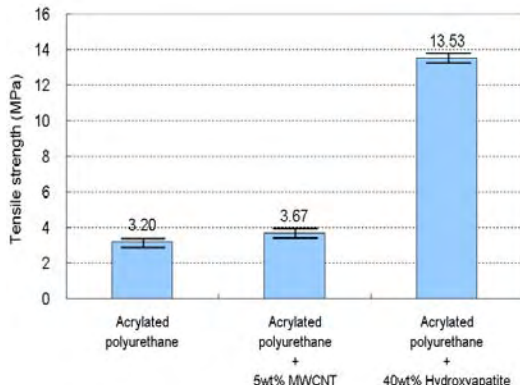


Fig. 8 Tensile strength of each material

5. 결론

실험을 통하여 적층과 절삭 공정이 조합된 하이브리드 캐속조형 장치를 구축하고 이를 이용하여 나노 복합재 부품을 제작하여 형상 정밀도와 기계적 물성의 변화를 평가하였다.

MWCNT를 첨가하여 제작한 마이크로 기어와 수산화아파타이트를 첨가하여 제작한 등골 형상 모두 높은 정밀도를 보임으로서 본 시스템이 뛰어난 형상 안정성을 가짐을 확인할 수 있었다. 한편 마이크로 인장시험을 통하여 나노입자의 첨가가 마이크로 크기의 복합재에서 기계적 물성의 향상을 유도할 수 있음을 확인하였다.

부가하여 실 제품으로의 적용을 위해서는 지지체를 요구하는 보다 복잡한 형상의 제작공정에서의 형상 안정성과 함께 직접 사용가능한 수준의 기계적 / 기능적 특성을 부여할 수 있는 재료의 물성 제어에 대한 연구가 추가적으로 요망된다.

후기

본 연구는 한국학술진흥재단의 선도연구자 지원사업(KRF-2004-041-D00066)과 서울대학교 BK21의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Haeffliger, D., Cahill, B. P. and Stemmer, A., "Rapid Prototyping of Micro-Electrodes on Glass and Polymers by Laser-Assisted Corrosion of Aluminum Films in Water," *Microelectronic Engineering*, Vol. 67-68, pp. 473-478, 2003.
- 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.
- 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.
- Hur, J. H., Lee, K. W., Zhu-hu and Kim, J. W., "Hybrid Rapid Prototyping System Using Machining and Deposition," *Computer-Aided Design*, Vol. 34, pp. 741-754, 2002.
- 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.
- Kocak, M., dos Santos, J. and Riekehr, S., "Trends in Laser Beam Welding Technology and Fracture Assessment of Weld Joints," *Science and Technology of Welding & Joining*, Vol. 6, No. 6, pp. 347-350, 2001.