복셀 차감법을 이용한 나노 복화(複畵)공정의 정밀화

임태우*(KAIST, 기계공학과 대학원), 박상후(KAIST, 기계공학과 대학원),
양동열(KAIST, 기계공학과), 이신욱(KAIST 물리학과 대학원), 공홍진(KAIST, 물리학과)

주제어 : 이광자 흡수현상, 직접적 패터닝, 나노 복화공정, 펨토초 레이저, 복셀 차감법

최근 집중 육성산업으로 분류되어 연구 및 투자가 되고 있는 반도체, 정보통신, 바이오산업, 디스플레이 등에서 초정밀화와 저비용, 대량생산을 하기 위해서 기존의 공정을 대체할 수 있는 새로운 나노 공정기술의 요구가 급증하고 있다. 최근에는 극초단파 특성으로 인하여 극미세 형상을 가공할 수 있는 펨토초 레이저(femto second laser)를 나노공정에 적용하는 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히, 기존의 쾌속조형공정을 응용하여 다른 공정으로는 제작이 불가능한 나노 스케일에서 3차원 자유곡면을 가지는 구조물을 제작할 수 있는 공정개발에 대하여 다양한 연구가 진행되고 있다. 최근에는 이러한 기술을 이용하여 오실레이터(oscillator), 광 결정(photonic crystal) 같은 나노 부품제작까지 다양한 응용사례를 만들고 있다.

또한, 마스크 없이 직접적으로 패턴형상을 제작하는 방법으로 나노 임프린팅(nano imprinting)과 자기정렬 고분자를 이용한 소프트 리소그래피(soft lithography)등의 기술에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다. 본 연구에서는 펨토초 레이저에 의한 광경화 현상을 이용하여 마스크 없이 직접적으로 나노 정밀도를 가지는 패턴 및 2 차원 그림을 제작하는 나노 복화공정(nano replication printing(nRP))에 대하여 연구 하였다. *복화공정은 펨토초 레이저의 이광자 흡수 경화현상(two-photon absorption polymerization)*을 이용한 것으로 최고 120nm 수준까지 정밀도가 보고 되고 있다. 이광자 흡수현상은 물질이 두 개의 광자를 동시에 흡수하여 마치 두 개의 광자에 의해 에너지가 두 배인 광자에너지를 동시에 흡수하게 되는 효과를 준다. 따라서 390nm 에 반응하는 광경화 수지의 경우에 780nm 파장을 가지는 펨토초 레이저를 사용하는 경우 한 개의 광 에너지를 받고서는 경화가 발생하지 않고 이광자 발생에 의해서만 경화된다. 본 연구에서는 직경 200nm 의 복셀로 2 차원 형상 제작시 실제 제작하려는 형상보다 복셀의 반경만큼 더 큰 형상이 제작되거나 형상이 왜곡되는 문제점이 발생하였다.

본 연구에서는 나노 복화공정의 정밀도를 높이기 위하여 복셀 차감법(Contour offset algorithm, COA)을 개발하였다. 기존의 복화공정의 경우 정밀한 형상복화 또는 패터닝을 위하여 복셀이 형상의 외곽선을 정확하게 묘사하면서 생성되도록 경험적으로 형상을 변경하여 제작하기 때문에 다소 어려움이 있다. 그러나 본 연구에서 개발한 복셀 차감법을 적용할 경우에는 미리 예측되는 복셀의 반경만큼을 줄여서 외곽선을 새롭게 정의하여 형상을 제작하기 때문에 상당히 정밀한 형상의 복화가 가능하다.

Fig.1 (a) Bitmap image of a horse, (b) SEM image of replicated horse figure without COA, and (c) with COA.