

고세장비 플라스틱 나노헤어 성형에 관한 연구

김태훈*(충남대), 유영은, 서영호, 이학주(한국기계연구원), 박영우(충남대)

A study on high aspect ratio of plastic nano hair molding

T. H. Kim(CNU), Y. E. Yoo, Y. H. Seo, H. J. Lee(KIMM), Y. W. Park(CNU)

ABSTRACT

High aspect ratio of nano hairs on a plastic substrate is molded using thermoplastic materials including COC, PP, PC and PMMA. As a template for molding nano hairs, AAO membrane is adopted, which is 60um thick and 13mm in diameter. This membrane has about 109 of through-holes of which diameter is around 200nm. This AAO membrane and the pellet of materials are stacked in the mold and pressed to mold after heating up to be melted. The AAO membrane is removed using KOH to obtain the molded nano hairs. As a result, the diameter of the molded hairs is around 200nm and the length is 2um ~ 60um depending on the molding conditions and materials.

Key Words : Nano hair (나노헤어), High aspect ratio (고세장비), Injection molding (사출성형)

1. 서론

자연계에 존재하는 생명체는 수많은 나노스케일의 유기분자로 구성되어 상호 연관성을 가지고 오랜 시간동안 진화, 발전되어 온 최적화/고효율화 된 고도의 기능 시스템이며, 이를 모방하기 위한 노력은 오래전부터 시도되고 있다.

도마뱀 발바닥에 존재하는 나노 헤어는 또 다른 나노 구조물의 대표적인 기능이라 할 수 있다. 나노 헤어는 길이가 30 ~ 130 μm , 끝부분은 0.2 ~ 0.5 μm 크기의 spatula 형태로 되어 있음을 측정하고 이러한 seta가 1mm²의 면적에 약 5000 여개 존재하여 100 mm²의 면적에서 10 N 정도의 부착력이 가능함을 밝혔다.

본 연구에서는 다양한 기계적, 화학적 특성의 소재가 가용한 열가소성 수지(COC, PP)를 이용하여 우수한 부착력을 가지고 있는 도마뱀 발바닥의 나노 헤어 구조를 성형공정에 적용하여 나노 헤어의 모방 구조에 작용하는 부착력이 증대되는 것을 연구하였다. 또한 수지 각각의 나노 헤어 성형 특성과 나노 헤어의 성형 공정에 필요한 조건 등을 연구함으로써, 나노 헤어를 대량으로 제조할 수 있는 기반 기술을 개발하는데 중점을 두고 있다.

2. 나노 헤어 성형 실험

앞에서 언급한 바와 같이 도마뱀의 seta는 직경 200 ~ 500 nm 정도의 끝 부분의 spatula 형상인 나노 헤어로 구성되어 있다. 나노 헤어 성형 실험을 위해서 Whatman사에서 필터용으로 제조 판매하고 있는 Anopre와 국내 연구기관(포항공대)에서 제작한 AAO

판을 이용하였다.

나노 헤어 성형을 위해 Fig.1에서 보듯이 압축 공정 대한 금형 제작 하였고, 공정을 위해 사용되는 수지를 Tg로 가열시키기 위해 300°C 이상의 온도로 올릴 수 있는 800W의 세라믹 히터를 사용하였다. 또한 수지의 원활한 가열과 성형품의 균일한 면을 얻기 위해 알루미늄 판도 제작을 하였다.

나노 헤어 제작을 위한 소재로는 COC, PP, PC, PMMA 사용하였으며, 특히 성형성이 좋은 TICONA사의 Topas COC (Cyclic Olefin Copolymer)와 현대화학의 Seetec PP (Poly Propylene)를 주 소재로 선택하여 사용하였다.

압축 공정에 의한 나노 헤어 성형은 1ton의 압축력을 가지는 프레스기를 이용하였으며, 성형 면적이 1cm²인 경우 약 1000 기압 정도의 성형 압력이 되도록 하였다. 우선 250 ~ 270 °C 정도로 가열된 세라믹 히터 위에 알루미늄 판을 올려놓은 후 AAO 템플레이트 및 고체 상태의 COC와 PP의 펠릿을 알루미늄 판위에 올려놓고, COC와 PP가 Tg 이상(3 ~ 4분)이 되도록 가열 시켜준다. Tg 이상으로 가열된 알루미늄 판을 하측 금형의 캐비티에 올려놓고, 압축하여 성형을 한다. 이때 상측 코어면 에도 성형품의 균일한 면을 얻기 위해 알루미늄 판을 올려놓고 3초 동안 0.2, 0.5, 0.8, 1.0ton의 압축력으로 성형하였다. 성형된 나노 헤어는 알루미늄 판과 함께 공기 중에서 냉각을 시켰다.

성형 시편은 Fig. 2에서 보듯이 KOH 용액을 이용하여 AAO를 부식시켜 제거하여 AAO 필터와 템플레이트로부터 분리하였다.

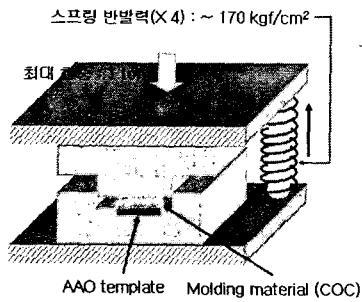


Fig. 1 Schematic of compression mold

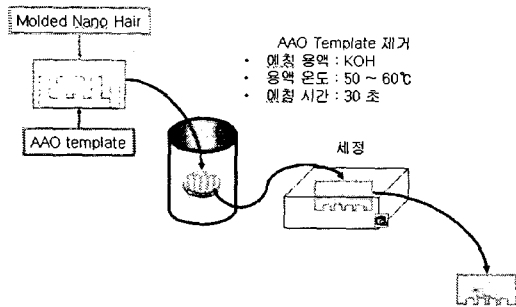


Fig. 2 Releasing of the Molded Nano Hairs

3. 실험결과

Fig. 3 ~ 4 에 성형 시편(COC, PP)의 SEM 사진을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 200 nm 직경의 나노 헤어이 대량으로 형성 되어 있는 것을 알 수 있다. 성형된 나노 헤어는 COC 와 PP의 각각의 수지에 성형이 잘 되어 있는 것을 알 수 있으며, 성형된 나노 헤어의 길이는 대략 10 μ m 내외로 판단된다. 나노 헤어는 압축력에 의해서는 차이가 나지 않았으며 압력을 가하지 않은 상태에서도 COC 와 PC 모두 성형이 잘 되는 것을 알 수 있었다.

Table. 1 에 보듯이 성형된 나노 헤어은 도마뱀 발바닥의 나노 헤어의 접착력 보다 COC 는 약 6 배 PP는 약 3 배의 접착력을 가지고 있는 것으로 판단 된다.

성형된 나노 헤어의 경우 서로 부착되어 클러스터를 형성하고 있는 것을 알 수 있는데, 이는 KOH 용액에서 AAO를 제거한 후 물로 세정하고 건조하는 과정에서 나노 헤어 사이에 존재하는 물의 표면장력에 의한 것으로 판단된다.

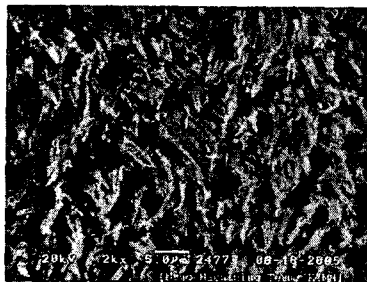


Fig. 3 SEM image of COC

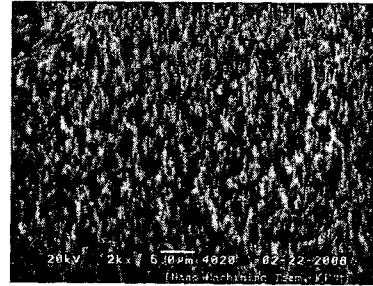


Fig. 4 SEM image of PP

	COC- I	COC- II	Polypropylene	COC substrate	PP substrate
Maximum adhesive force (μ N) : P	14.5	11.10	16.45	2.322	3.614
Contact Strength (σ_{tip} , KPa): P/A _{tip}	2.9	2.22	3.29	0.464	0.723

Table. 1 Structural dimensions and mechanical properties of the sample

4. 결론

본 연구에서는 다양한 물성의 소재 선택이 가능한 열가소성 수지는 생산성이 매우 우수하여 대량 생산에 적합한 사출 및 압축 성형을 이용한 고세장비의 나노 헤어 구조체의 성형 기술에 응용할 수 있는 기술을 개발 하였으며, 향후 대량 생산이 가능하도록 나노헤어 금형코어 스템퍼의 개발과 기계적인 이형 기술과 이형 후 나노 헤어간의 부착 방지 기술의 개발에 대한 연구가 필요하다.

후기

본 연구는 과학기술부의 “나노섬모 자연모사 원천기술 및 기반구축 사업” 의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Kellar Autumn, Yiching A. Liang, S. Tonia Hsieh, Wolfgang Zesch, Wai Pang Chan, Thomas W. Kenny, Ronald Fearing & Robert J. Full, 2000, "Adhesive force of a single gecko foot-hair," Nature, Vol. 405, pp. 681-684.
2. Metin Sitti and Ronald S. Fearing, 2003, " Synthetic gecko foot-hair micro/nano structures as dry adhesives," Journal of adhesion science and technology, Vol. 17 No. 8 pp.1055-1074
3. Metin Sitti and Ronald S. Fearing, 2003, " Synthetic gecko foot-hair micro/nano structures as dry adhesives," Journal of adhesion science and technology, Vol. 17 No. 8 pp.1055-1074