

향상된 나노섬유 전기방사 기술을 이용한 나노섬유 패턴 매트 제작과 응용

Fabrication and Applications of Patterned Nanofibrous Mats Using Advanced Electrospinning

*,#정영훈¹, 이종완², 장진아³, 조동우^{3,4}, 이승재⁵

*#Y. H. Jeong¹(yhjeong@kpu.ac.kr), J. Lee², J.Jang³, D.-W. Cho^{3,4}, S.-J. Lee⁵

¹한국산업기술대학교 기계공학과, ²한국산업기술대학교 지식기반 기술·에너지대학원, ³포항공과대학교 융합생명공학부, ⁴포항공과대학교 기계공학과, ⁵원광대학교 기계자동차공학부

Key words : Electrospinning, Direct writing, Patterned nanofibrous mat, Nanofibrous scaffold

1. 서론

전기방사 기술은 나노섬유를 제작하는 데에 가장 널리 사용되고 있는 기술로써, 제작의 간편함, 소재의 선택 제한이 타 공정에 비해 적다는 점 등의 장점을 가지고 있다. 그 중 전기방사를 통해 제작된 나노섬유 기반 매트는 조직공학용 인공지지체, 필터, 연료전지 등 다양한 분야로 적용이 가능하다. 그러나 기존의 전기방사 장치에서는 방사되는 나노섬유의 불안정 운동(whipping motion)으로 인해 집적판면 전체에 부분별하게 집적된다. 따라서 기존의 전기방사 기술로는 집적되는 나노섬유의 형상을 제어하기 곤란하다 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 전기방사 기술의 문제를 해결하기 위하여 전기장 형상제어와 집적판면의 이송을 이용한 Direct-Write 전기방사 (DWES) 기술을 개발하고 이를 위한 장치를 제작하였다. 이를 통해 집적되는 나노섬유는 형상의 제어가 가능하며, 제작되는 나노섬유 기반 구조물의 두께의 조절이 가능하기 때문에 나노섬유 기반 패턴매트의 제작에 적합하다. 따라서 본 연구에서는, DWES를 이용한 다양한 형상의 패턴매트를 제작하고 이를 이용한 바이오 분야에의 적용결과를 제시하였다.

2. 실험장치 구성

본 연구에서 사용된 DWES의 모식도는 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다. DWES는 전기장형상제어를 위한 측면전극과, 바늘형상 기저전극이 사용되었으며, 이로 인해 방사되는 나노섬유는 집적판면 위에 점 형상으로 집적되게 된다. 또한 용액토출 노즐과 바늘형상 기저전극 사이에는 유리 박판

집적판을 설치하고 2축 이송스테이지와 결합시켜 점 형상으로 집적되는 나노섬유의 패턴닝이 용이하도록 설계되었다. 또한 패턴매트의 제작에서는 집적판의 이송경로를 반복하면서 나노섬유 기반 패턴을 적층식으로 쌓아올려 제작하였다.

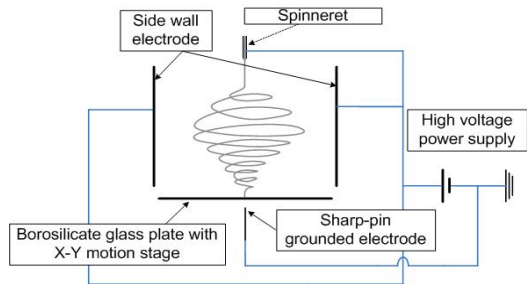


Fig. 1 Schematic diagram of DWES apparatus

3. 나노섬유 기반 패턴매트의 제작결과 및 각 공정조건에 따른 두께 변화

본 연구의 패턴 매트 제작에 쓰인 고분자는 polycaprolactone (PCL, 440744, Sigma Aldrich Co.)이며, 이를 99.5% 순도의 클로로포름 (Samchun Pure Chemical Co.)에 8.8 wt%의 농도로 약 2시간여 동안 교반기를 이용하여 용해시켜 용액을 만들었다. 매트의 제작 시의 노즐과 집적판의 거리(Tip to Collector Distance, TCD)는 약 70 mm였으며, 온도는 약 22~23℃, 습도는 52~55%의 수준에서 유지되었다. 또한 매트의 제작을 위한 유리박막 집적판의 이송속도는 33mm/s 였다.

DWES를 이용한 나노섬유 기반 패턴매트의 제작 결과는 Fig. 2에 서술하였다. (a)는 약 0.5 x 0.5 mm의 격자 크기를 가지는 격자형 패턴을 10층 적층하여

얻어진 매트를 보여준다. 이때, 매트 내부에 생성된 사각 공극(pore)의 평균치수는 0.20 x 0.22 mm 였으며, 제작된 매트의 두께는 약 42 μm 이다. (b)는 1.3 x 1.3 mm의 격자 크기를 가지는 격자형 패턴의 30층 적층 매트의 제작결과이다. 30층의 적층 결과 매트 내부에 0.90 x 0.99mm의 공극이 형성되었으며, 제작된 매트의 두께는 약 72 μm 였다. 또한 제작된 각 매트의 나노섬유의 직경 분포를 확인한 결과, 약 400~500 nm 사이의 직경을 가지는 섬유들이 집중적으로 분포하고 있었으며, 이로부터 적층 횟수와 상관 없이 나노섬유의 직경 분포가 유지될 수 있음을 확인하였다.

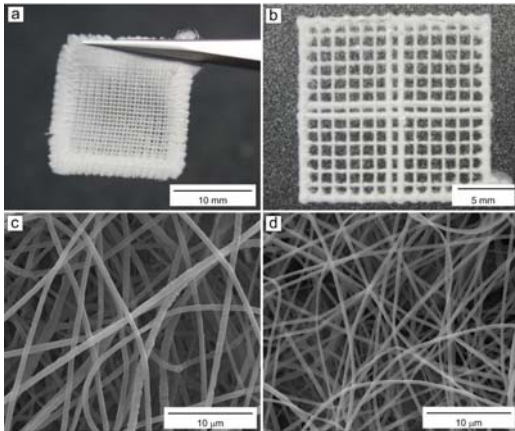


Fig. 2 Photograph and SEM images of 10 layer-patterned nanofibrous mats (a, c) and 30 layer-mats (b, d).

DWES를 사용함으로써 적용 가능한 몇 가지 응용예로 바이오 분야에의 지지체 및 생체적합성 물질의 강도 강화제 등을 들 수 있으며, 이에 대한 제작결과를 Fig. 3에서 보였다. (a)는 DWES를 통해 제작된 3차원 인공지지체의 사진으로, DWES를 이용해 제작된 패턴 매트를 쌓아올려 제작되었다. 본 인공지지체는 내부의 기공의 크기와 제작되는 인공지지체의 두께를 자유롭게 제작할 수 있어 향후 연조직 재생용 인공지지체로 널리 사용이 가능할 것으로 예상된다. (b)는 기존의 알지네이트 하이드로젤의 기계적 약점을 보완하기 위하여 하이드로젤 내부에 나노섬유를 방사하여 기계적 강도를 향상시킨 복합 하이드로젤의 사진이다. 사진과 같이 나노섬유들이 하이드로젤 내부에 고르게

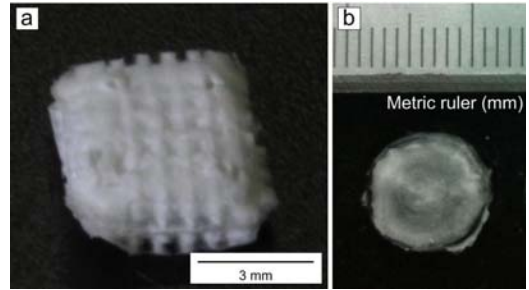


Fig. 3 Photograph images of three dimensional lattice patterned nanofibrous scaffold (a) and nanofiber reinforced composite alginate hydrogel(b).

퍼져있어 기존의 하이드로젤의 단점을 보완하기에 용이하다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는, DWES를 이용하여 적층식 나노섬유 기반 패턴매트의 제작을 수행하였다. 그 결과, 다양한 형상의 나노섬유 기반 매트가 성공적으로 제작되었다. DWES는 뛰어난 수준의 기하정밀도를 나타낼 수 있으며, 나노섬유 기반 패턴 매트의 제작 시 타 공정에 비해 보다 더 많은 이점을 가져올 수 있을 것으로 기대된다.

후기

이 논문은 2012년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0000412).

참고문헌

1. Dzenis, Y., Spinning continuous fibers for nanotechnology . *Science* **2004**, 304, (5679), 1917.
2. Gopal, R ; Kaur, S.; Ma, Z.; Chan, C.; Ramakrishna, S.; Matsuura, T., Electrospun nanofibrous filtration membrane. *Journal of membrane science* **2006**, 281, (1-2), 581-586
3. Theron, A; Zussman, E.; Yarin, A., Electrostatic field-assisted alignment of electrospun nanofibers. *Nanotechnology* **2001**, 12, 384