

# 전사가능한 전기방사법을 통한 나노섬유어레이 제작 Fabrication of nanofiber array using transferable electrospinning

\*박석희<sup>1</sup>, #양동열<sup>1</sup>, 홍정우<sup>1</sup>, 신현정<sup>1</sup>

\*S. H. Park<sup>1</sup>, #D. Y. Yang(dyyang@kaist.ac.kr)<sup>1</sup>, J. W. Hong<sup>1</sup>, J. H. Shin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국과학기술원 기계항공시스템학부

Key words : Electrospinning, Aligned Nanofibers, Polycaprolactone

## 1. 서론

전기방사 공정(electrospinning)은 Formulas 에 의해 1930 년 대에 정전기적 힘을 이용한 섬유 생산 방법으로서 시도되었으며, 이 후 전기장에 의해 형상화 하는 고분자 용액에 대해 상세한 연구가 이루어져 다양한 고분자 나노섬유의 제작 및 응용이 이루어지고 있다. 고분자 용액을 수 kV 급의 고전압이 인가된 마이크로 노즐을 통해 연속적으로 소량을 토출하게 되면 분사된 용액은 초미립화 혹은 극미세화하게 된다. 전기장이 향하는 방향에 따라 극미세화한 용액은 화이버 형태로 늘어지면서 진행하게 되는데 이 과정 중에 용매가 증발하여 고상의 나노화이버를 얻을 수 있다. 이 전기 방사법은 수 nm 에서 수  $\mu\text{m}$  의 나노급 직경을 갖는 구조체를 제작하는데 있어 간단한 원리에 의해 비교적 대량으로 생산할 수 있고 재료의 활용 범위가 매우 넓기 때문에 다방면으로 적용되어 연구되고 있다. 현재 연구되고 있는 가능한 적용 분야로는 유/무기 재료 코팅, 필터, 약물전달 시스템, 나노/바이오 센서, 조직공학용 지지체, 나노 복합재, 전기/화학 공학용 다공성 구조체 등을 들 수 있다.<sup>1</sup>

최근 나노/마이크로 형상이 세포에게 미치는 영향에 대한 연구가 활발히 이루어짐에 따라 전기방사로 제작된 나노섬유가 조직공학 분야에 다양하게 활용되고 있다. 특히 생분해성, 생체적합성 고분자를 특정 유기 용매에 용해하여 전기방사 재료로 활용되어 조직공학용 지지체 또는 약물 전달체재로서의 개발 및 연구가 이루어지고 있다. 일반적으로 전기방사 나노섬유는 액적에서 나노섬유로 변화하기까지 고전압의 전기장 영향하에 매우

불규칙적인 경로를 따라 이동되어 포집된다. 따라서 최종적으로 수집기에 포집된 나노섬유는 불규칙한 방향으로 쌓이게 된다. 전기방사 나노섬유의 조직공학용 지지체로서의 활용에 있어서 근육이나 인대, 건 같은 조직의 경우에는 조직내 세포의 배열 상태와 유사하게 지지체의 나노섬유가 한 방향으로의 배향을 요구하게 된다. 이러한 요구 조건을 만족시키기 위하여 나노섬유를 한 방향으로 정렬하기 위한 다양한 시도가 이루어졌다. 이는 크게 수집기를 고속으로 회전시키거나 수집기에 절연 틈새를 두어 포집하는 방법으로 나눌 수 있다.<sup>2</sup>

본 연구에서는 절연 틈새를 공간적으로 두어 한 방향으로 정렬된 나노 섬유를 얻고 이를 시험 표면에 전사하여 나노섬유 지지체로서의 응용성을 검토한다. 전사가 가능한 공정임을 활용하여 지지체 내부에 나노섬유 밀도를 조절 할 수 있고 패턴을 다변화할 수 있다.

## 2. 전기방사 공정

Fig.1 과 같이 수집기로서 작용하는 2 개의 알루미늄 박판을 일정 틈새를 두어 교차 배열한다. 이를 접지시키고 일정거리로부터 전기방사를 수행하게 되면 하전된 고분자 체트가 상부 박판의 가장자리부에 닿게 되고 틈새를 사이에 두고 하부 박판에 걸리게 된다. 이 때 틈새를 사이에 계속적으로 걸리게 되는 나노섬유와 잔여 전하에 의한 상호 반발력이 작용하게 되어 일정한 방향으로 배열된 상태를 유지하게 된다. 공간적인 틈새에 나노섬유가 걸려있는 형태로 포집되므로 이를 다른 기판에

전사시킬 수 있는 장점을 지닌다. 전기방사의 공정 특성상 고분자 제트의 속도가 매우 빠르고 상변화를 겪으며 진행하게 되므로 틈새에 안정적으로 걸리게 하기 위해서는 특수한 공정 조건을 요구한다. Fig. 1 에서 나타나 있듯이 틈새에 최종적으로 걸리는 나노섬유의 상태가 고상화가 충분히 되어 있는 것이 바람직하다. 이를 위해 초기 고분자 용액 농도와 방사 거리를 조절하여 공정 변수 실험을 수행하였다. 사용한 재료는 생분해성 고분자인 Polycaprolactone 이며 Methylene chloride/Dimethyl formamide (8/2) 혼합 용매를 사용하였다.

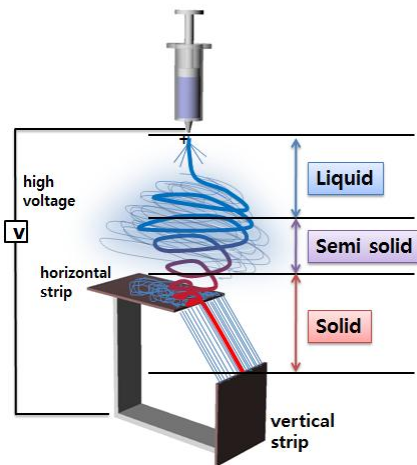


Fig. 1 Schematic diagram of the transferable electrospinning setup for nanofiber alignment

Table 1 Electrospinning conditions for the successful suspension

Solution Concentration	Spinning distance	Suspension quality
10 wt%	80 mm	Less or no
10 wt%	160 mm	Less or no
14 wt%	80 mm	Less or no
14 wt%	160 mm	Proper
18 wt%	80 mm	Proper
18 wt%	160 mm	Proper
22 wt%	80 mm	N/A
22 wt%	160 mm	N/A

일반적인 전기방사 공정이 10~12 wt% 범위의 고분자용액을 사용하는 것에 비해 전체적인 고분자 제트에 안정적으로 형성될 수 있도록 18 wt%의 높은 농도의 용액을 사용하였고 제트가 틈새에 걸리기 전에 충분히 고상화가 일어날 수 있도록 방사 거리를 160 mm 로 설정하였다. 이에 따라 안정적으로 얻은 나노섬유 어레이는 Fig. 2 와 같다. 전사 횟수를 조절함에 따라 Fig. 2 와 같이 다양한 밀도를 지니는 어레이를 제작할 수 있다.

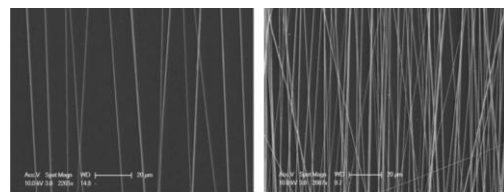


Fig. 2 SEM images of the nanofiber arrays transferred repetitively by 3 and 20 transfers

### 3. 결론

한 방향으로 정렬된 나노섬유 어레이를 전사가 가능한 전기방사 공정을 통하여 제작하였다. 수집기에 공간적인 틈새를 도입함으로써 나노섬유의 배향을 유도하였고 반복적인 전사를 통해 다양한 밀도를 지니는 어레이를 제작하였다. 이는 생분해성 고분자를 활용하여 제작함에 따라 조직공학용 지지체로서 활용할 수 있다.

### 참고문헌

- Huang Z. M., Zhang Y. Z., Kotaki M., and Ramakrishna S., "A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites," Composites and Science Technology, Vol. 63, No. 15, pp. 2223-2253, 2003.
- Teo W. E., and Ramakrishna S., "A review on electrospinning design and nanofibre assemblies," Nanotechnology, Vol. 17, pp. 89-106, 2006.