

전기장이 전기방사에 미치는 영향 평가를 위한 수학적 모델링 Mathematical modeling for the evaluation of the effect of electric field on the electro-spinning

*박찬희¹, #김철생², 이정호¹, 이해인¹, 이희관¹, 황보상², 양균의³

*C.H.Park¹, #C.S.Kim², J.H.Lee¹, H.I.Lee¹, H.K Lee¹, B.S.Hwang,² G.W. Yang³

¹(사)전북대학교 자동차부품금형기술혁신센터, ^{#,2} 전북대학교 기계설계공학부

³ 전북대학교 기계공학과

Key words : Electro-spinning, Electro field, Nano-fiber

1. 서론

현재 코팅된 비혈관 스텐트는 체내에서 이동, 신생내막 또는 종양의 형성을 증진, 음식물이 폐색되어 썩게 된다는 큰 문제점이 있다. 혈관 및 비혈관 부분에서 세포의 과성장 및 스텐트 내부로의 성장으로 인해 발생하는 재협착 (restenosis) 방지를 위해 스텐트에 코팅하는 주요 소재는 PU, 테프론, 실리콘이 가장 많이 사용된다. PU나 실리콘 같은 바이오표면의 경우 스텐트에 Dip-coating 방식의 코팅에 많이 사용되고 있다. 그러나, 스텐트를 카테터에 삽입 시키거나 압축시킬 때 스텐트 코팅층이 쉽게 찢어지는 결과를 초래한다. 따라서 최대한 얇고 균일하며 부피가 작고 강도와 유연성을 갖는 고분자 멤브레인을 제작해야 할 필요가 있다. 이러한 스텐트의 코팅 특성을 향상시키기 위해 최근에는 전기방사를 이용한 나노섬유를 코팅하며, 전기방사법은 고전압하에서 마이크로(um) 보다 작은 수준에서 나노미터 수준까지의 섬유를 생산하는 방법이다[1,2]. 섬유를 생성할 때 최대 고분자용액에 최대 40kV 이상의 전압을 걸어주면 모세관 끝에 Taylor cone이 형성되어 단일 제트(singlejet) 형태로 분사되고 전하반발력에 의해서 많은 필라멘트로 나누어져 퍼지는 현상이 일어나게 되고, 이로 인해 나노 직경을 가지는 섬유가 생성된다. 본 연구는 전기방사를 이용해 비혈관 스텐트에 PU 혹은 실리콘등의 폴리머를 이용하여 균일한 나노 섬유를 코팅하기 위한 Electric field의 영향 평가를 위한 수학적 모델링에 관한 연구를 하고자 한다.

2. 수학적 모델링

본 연구의 전기 방사 시스템은 그림 1과 같이 하나의 노즐에 Power supply를 이용하여 15kV를

인가 하고, sample에 음 전극을 연결하는 방식이다. 그리고, 이와 같은 시스템의 전기장의 분포는 L.S.Carnell et al. 에 의해서 식 1과 같이 표현할 수 있다[3].

$$V(x,y) = \frac{\rho}{\epsilon_0} \int_{-L}^0 \frac{dx}{(x'-x)^2 + y'^2)^{1/2}} + \rho \int_D^{D+L} \frac{dx}{(x'-x)^2 + y'^2)^{1/2}} \quad \text{식(1)}$$

여기서 전기장 입력 밀도는 ρ , 이고, 아래와 같이 표현되며, 이때의 D는 노즐과 콜렉터 베이스 사이의 거리이며, L는 콜렉터 베이스의 길이이다. 그리고 r' 는 콜렉터 베이스의 반지름이며, $\epsilon_0 = 8.8541878176 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{j}\cdot\text{m}$ 이다.

$$\rho = \pm 15,000\epsilon_0 / \int_{-L/2}^{L/2} \frac{dx}{(x^2 + r'^2)^{1/2}}$$

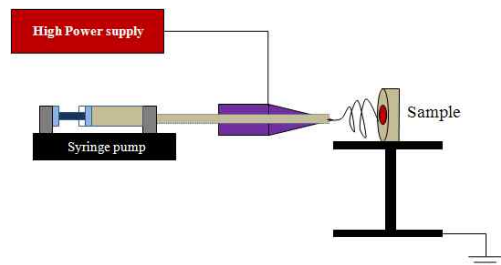


Fig. 1 Schematic of electro-spinning system.

3. 시뮬레이션 프로그램 개발

프로그램은 LabVIEW를 이용하여 위 식 1을 프로그램에 대입하여, 그림 2와같은 결과를 얻을 수 있었다. 수학적 모델링 결과 실제로 전기 방사 과정 사진(그림 2(a))과, 시뮬레이션 결과 그림 2(b)를 비교 하였을 때, 전기장이 강한 노즐 부위에서는

완벽한 방사가 일어나는 것을 확인 할 수 있었으나, 전기장이 약해지는 콜렉터 베이스 부근에서는 방사가 흩어지는 현상을 확인 할 수 있었다. 또한 그림 2(c)와 같이 측면에서 분석한 결과, 전기장의 크기가 콜렉터 베이스로 갈수록 아래로 떨어지는 현상도 확인 할 수 있었으며, 이결과는 실제 실험에서 노즐과 콜렉터 베이스의 높이차를 유지해야 하는 당위성을 프로그램을 통하여 증명 할 수 있었다.

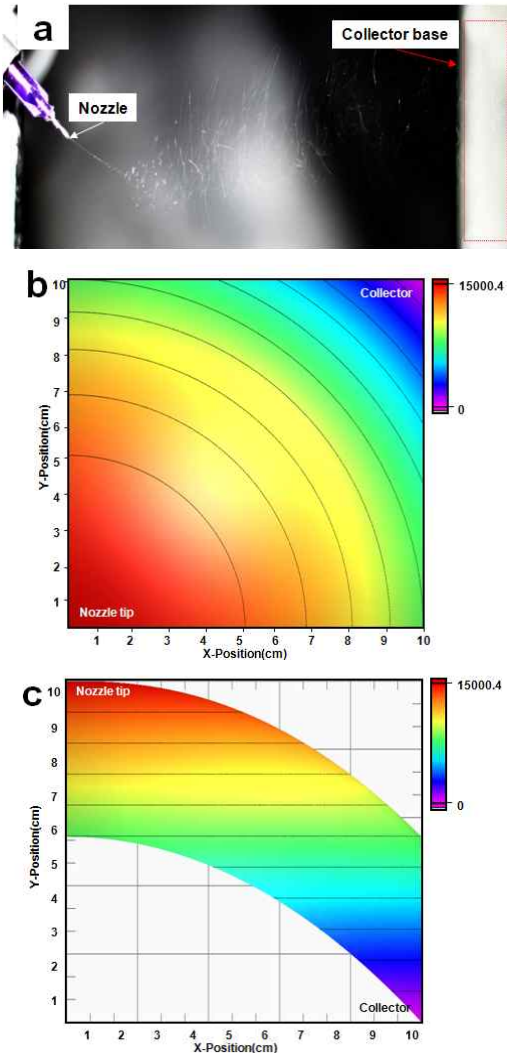


Fig. 2 Photograph of electro-spinning process(a) and simulation results(b : top view, c: side view)

본 연구는 제안된 전기방사 시스템의 방사 과정에서 전기장의 영향평가를 분석하기 위하여 수학적 모델링을 구한 뒤, 이를 프로그램을 개발하여 전기장의 분포를 확인 하였다. 또한, 실제 방사 과정과 시뮬레이션 결과를 비교 하였다. 앞으로, 다양한 전기방사 조건하에서의 전기장의 영향을 분석하고, 이를 실험을 통하여 분석할 예정이다.

후기

This research was supported by a grant from the Business for Greening the manufacturing environment funded by the Korean Small and Medium Business Administration (Project No. S2025435)

참고문헌

1. J. H. Yu, S. V. Fridrikh and G. C. Rutledge, The role of elasticity in the Formation of electrospun fibers, *Polymer* 47, 4789 (2009)
2. M. M. Hohman, M. Shin, G. C. Rutledge and M. P. Brenner, Electrospinning and electrically forced jets. I. Applications, *Phys. Fluids* 13, 2201 (2001)
3. Lisa S. Carnell, Emilie J. Siochi, Russell A. Wincheski, Nancy M. Holloway and Robert L. Clark, "Electric field effects on fiber alignment using an auxiliary electrode during electrospinning", *Scripta Materialia* 60, 359-361, 2009

4. 결론