

다중노즐을 리용한 정전기방사기에서 전기마당분포

량명성, 리국섭, 김남혁

정전기방사에 의해 제조되는 중합물나노섬유[2]는 나노려과막, 약물운반체, 생체공학 재료 등 그 응용범위가 매우 넓은것으로 하여 광범히 연구[1]되고있다. 1개 방사노즐(주사바늘)을 통해 제조되는 나노섬유의 생산량이 매우 적은것으로 하여 그것을 늘이기 위한 여러가지 방법들이 제안되고있다.[3-5] 그중 대표적인 방법은 선형다중노즐을 리용하는 것인데 노즐의 개수를 늘일수록 전기마당의 불균일성이 강해져 나노섬유의 균일성이 보장되지 않는 결함이 나타난다.

우리는 원형다중노즐을 제안하고 선형 및 원형배렬된 노즐근방에서 전기마당분포를 유한요소법으로 비교분석하여 원형다중노즐의 우월성을 확증하였다.

8개의 노즐이 원형배렬된 경우와 선형배렬된 경우 모의에 리용한 기하학적구조를 그림 1에 보여주었다.

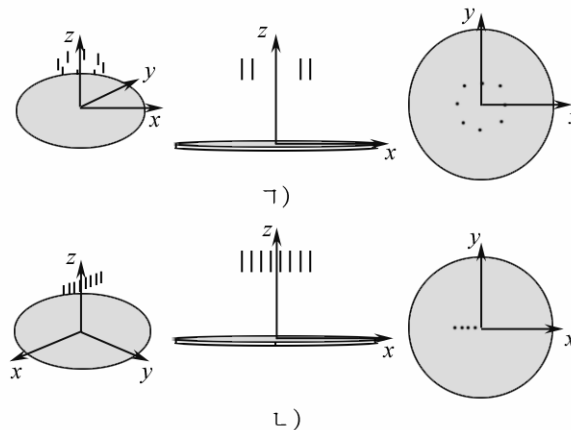


그림 1. 8개의 노즐이 원형배렬된 경우(Γ))와 선형배렬된 경우(Λ)) 모의에 리용한 기하학적구조

그림 1에서 왼쪽 그림들은 정전기방사기의 공간그림이며 가운데그림들과 오른쪽 그림들은 y, z 축방향으로 본 그림들이다. 노즐들은 선형배렬인 경우 공간자리표가 $(-50, 0, 100), (50, 0, 100)$ 인 점들을 맺는 선분을 따라 x 축에 평행이 되도록 등간격으로 배열되었으며 원형배렬인 경우 $(0, 0, 100)$ 에 중심이 있고 xy 평면에 평행이며 직경이 100mm인 원둘레 위에 등간격으로 배열되어있다.

원판은 방사기의 섬유접수체로서 직경이 300mm이며 그로부터 일정한 거리를 두고 외경이 2mm, 길이가 30mm인 노즐들이 배치되어있다. 노즐과 접수체의 재질은 동으로, 그사이 공간은 유전률이 1인 공기가 차있는것으로 가정하였다. 노즐끝과 접수체웃면사이의 거리는 100mm로 하고 노즐과 접수체사이에는 1kV의 전압을 걸어주었다. 모의계산에서는 Comsol Multiphysics의 Electrostatics모듈을 리용하였다.

논문에서는 이와 같은 구조에서 노즐수를 여러가지로 변경시키면서 $z=95\text{mm}$ 인 평

면에서 전기마당세기를 유한요소법으로 고찰하였다.

노즐의 수가 1, 5, 10, 15일 때 선형배렬된 노즐근방에서 전기마당세기의 변화는 그림 2와 같다.

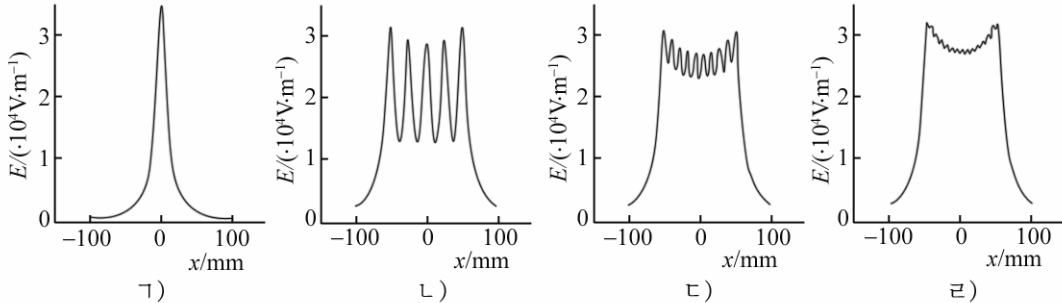


그림 2. 선형배렬된 노즐근방에서 전기마당세기의 변화

㉠) - ㉤)는 노즐수가 각각 1, 5, 10, 15인 경우

그림 2에서 보는바와 같이 전기마당세기는 선형배렬의 변두리에서 중심으로 들어갈수록 작아진다. 또한 노즐의 수가 증가할수록 노즐근방에서 전기마당세기의 불균일성은 더 강해진다.

전기마당세기의 불균일성정도를 나타내기 위하여 불균일도 $\varepsilon = (E_b - E_c) / E_b$ 를 받아들이면 이 값은 선형배렬의 양쪽에서의 전기마당세기와 중심에서의 전기마당세기의 차가 얼마나 심한가를 나타낸다. 여기서 E_b 는 선형배렬의 양쪽 끝에 놓인 노즐근방에서 전기마당세기의 평균값, E_c 는 선형배렬의 중심에 놓인 노즐근방에서의 전기마당세기값이다.

선형배렬인 경우 노즐의 수와 불균일도사이의 관계는 그림 3과 같다. 여기서 중심에 노즐이 배치되어있는 경우 즉 노즐의 수가 홀수인 경우만을 주었다.

그림 3에서 보는바와 같이 선형배렬인 경우 노즐의 수가 증가할수록 전기마당세기의 불균일성은 더욱 심해지며 이로부터 정전기방사에 선형배렬이 불합리하다는것을 알수 있다. 전기마당세기가 불균일하면 얻어지는 섬유의 두께가 균일하지 못하게 되며 변두리의 노즐에서만 전기방사가 일어나고 중심근방의 노즐에서는 섬유방사가 제대로 되지 못하게 된다.[3]

원형배렬인 경우 대칭성으로부터 선형배렬과 같은 전기마당의 불균일성이 나타나지 않게 된다. 이로부터 원형배렬은 선형배렬에 비해 정전기방사에 유리한 특성을 가지게 된다.

노즐수가 8인 원형배렬에서 전기마당세기변화는 그림 4와 같다.

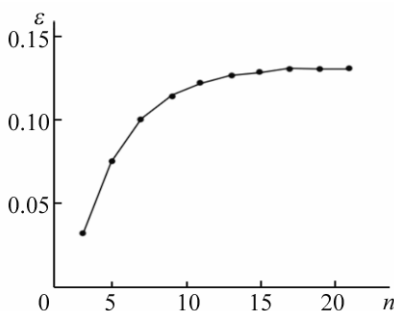


그림 3. 노즐의 수와 불균일도사이의 관계(선형배렬)

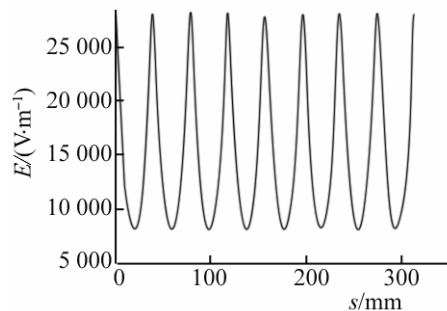


그림 4. 노즐수가 8인 원형배렬에서 전기마당세기변화

그림 4에서 보는바와 같이 전기마당세기는 노즐의 아래에서 제일 크고 노즐사이에서 제일 약하며 원둘레를 따라 한바퀴 돌 때 원둘레에 배치된 노즐의 수만큼 진동하게 된다. 즉 원형배렬에서는 전기마당세기가 대칭성을 띠며 노즐근방에서의 전기마당세기가 균일하다.

원형배렬에서 노즐수의 변화에 따르는 전기마당세기변화는 그림 5와 같다.

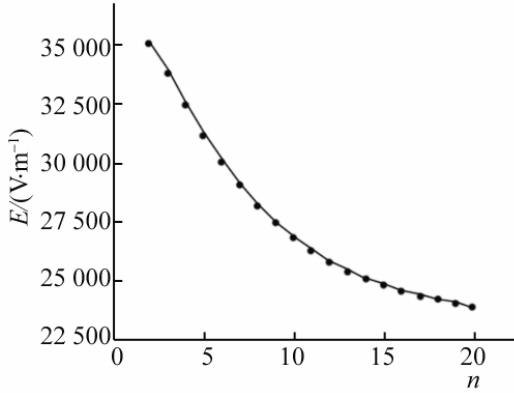


그림 5. 원형배렬에서 노즐수의 변화에 따르는 전기마당세기변화

노즐수가 8인 원형배렬에서 그것의 기하학적크기에 따르는 전기마당세기변화를 고찰하였다.(그림 6)

그림 6에서 보는바와 같이 원형배렬의 크기가 25mm로부터 200mm까지 증가하는 과정에 전기마당세기는 원형배렬의 크기가 75mm일 때 극소값을 가진다.

이 결과는 원형배렬의 크기가 변하는 과정에 전기마당세기의 최소값이 존재한다는것을 보여준다. 따라서 원형배렬을 리용하는 경우 전기마당세기가 최소로 되는 배열방식을 피해야 한다.

그림 5에서 보는바와 같이 원형배렬된 노즐의 수가 증가할수록 노즐근방에서의 전기마당세기가 점차 감소한다.

원형노즐에서는 자체의 대칭성으로부터 전기마당세기가 고르롭기때문에 매 노즐에서 방사된 섬유들의 두께가 고르롭게 되며 선형배렬에서와 같은 결함이 나타나지 않게 된다. 다만 노즐의 수가 늘어날수록 전기마당의 세기가 감소하므로 노즐이 1개인 경우보다 전위를 높여야 한다. 그러나 전위를 높여도 생산성은 노즐수에 비례하여 커지므로 손실되는 에너지는 충분히 보상할수 있다.

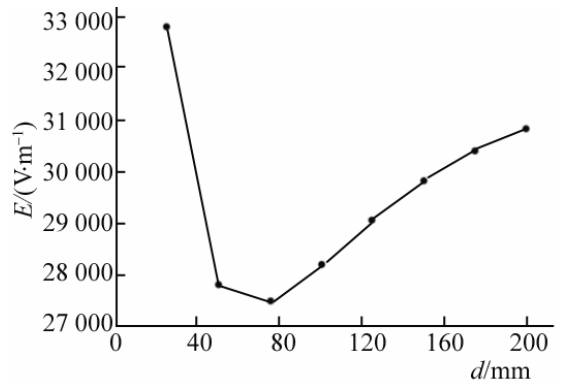


그림 6. 원형배렬의 기하학적크기에 따르는 전기마당세기변화

맺는 말

선형배렬인 경우에는 전기마당세기의 불균일성이 세게 조성되지만 원형배렬인 경우 구조의 대칭성으로부터 불균일성은 나타나지 않는다.

참고 문헌

- [1] A. Repanas et al.; J. Drug Deliv. Sci. Tec., 31, 137, 2016.
- [2] S. Ramakrishna et al.; An Introduction to Electrospinning and Nanofibers, World Scientific, 91 ~103, 2006.

- [3] W. Tomaszewski et al.; *Fibers Text. East. Eur.*, **13**, 4, 52, 2005.
- [4] K. Molnar et al.; *Eur. Polym. J.*, **74**, 279, 2016.
- [5] H. Niu et al.; *J. Textile Inst.*, **103**, 787, 2012.

주체107(2018)년 12월 5일 원고접수

On Electric Field Distribution in Multi-Jet Electrospinning Device

Ryang Myong Song, Ri Kuk Sop and Kim Nam Hyok

We considered the electric field distribution in multi-jet electrospinning device using the finite element method(FEM). The linear arrangement of spinning pipes greatly lacks the uniformity of electric field whereas the circular arrangement develops uniform and symmetric electric field, which decreases with the increase in the number of pipes.

Key words: electrospinning, nanofiber