

동축원형고리들로 이루어진 무침식정전기방사노즐과 평판수집기사이의 전기마당분포특성

최원, 최국진, 김남혁

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《첨단기술산업은 지식경제의 기둥입니다. 정보산업, 나노산업, 생물산업과 같은 첨단기술산업을 대대적으로 창설하여 나라의 경제발전에서 첨단기술산업이 차지하는 비중과 중추적역할을 높여나가야 합니다.》

무침식정전기방사기술은 응용전망이 큰 나노섬유를 비교적 간단한 장치에서 공업적으로 생산할수 있게 하는것으로 하여 현재 나노기술에서 주목되고있다.[2-4] 무침식방사노즐의 형태와 수집기사이의 전기마당분포특성은 정전기방사에 의해 얻어질수 있는 나노섬유의 직경과 형태, 나노섬유의 생산성을 규정하는 중요한자로 된다.[2, 3]

우리는 새롭게 제안한 동축원형고리들로 이루어진 무침식정전기방사노즐과 평판수집기사이의 전기마당분포를 계산하고 방사노즐의 기하학적인 크기변화에 따르는 전기마당변화특성을 밝혔다.

1. 동축원형고리들로 이루어진 무침식정전기방사장치와 전기마당계산방법

여러개의 원형고리들을 1개 축에 고정시켜 방사노즐을 구성하고 일정한 거리에 떨어져 축과 평행을 이루도록 평판수집기를 설치하여 무침식정전기방사장치를 만들었다.(그림 1)

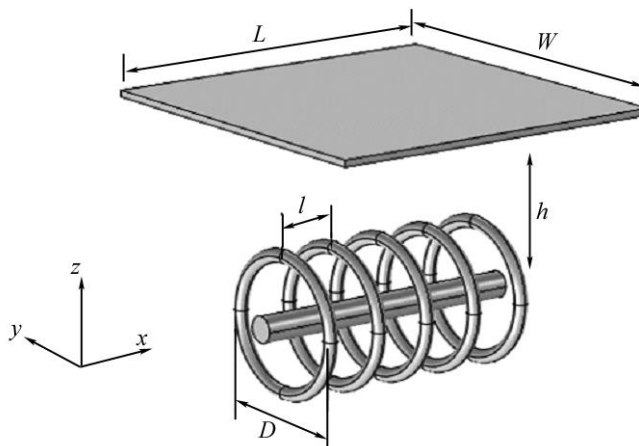


그림 1. 동축의 원형고리들로 이루어진 무침식정전기방사노즐과 평판수집기

방사노즐을 특징짓는 기하학적인 파라미터들로는 원형고리의 직경 D , 고리를 만드는 최줄직경 d , 고리들사이 간격 l , 고리중심으로부터 평판수집기사이 거리 h 를 택하였다. 그리고 고리들을 고정시키는 축의 직경(8cm)과 길이(40cm), 평판수집기의 길이($L=40\text{cm}$), 너비($W=40\text{cm}$), 두께(0.2cm)들은 모두 실제적인 크기와 유사하게 일정한 값들로 고

정시켰다. 또한 고리의 개수를 n 으로 하였다.

정전기방사에서는 방사노즐과 수집기 사이에 높은 직류전압을 걸어주게 되어있다. 방사노즐과 수집기에 걸어준 전압이 주어졌을 때 노즐과 수집기 사이 공간에 형성되는 전기마당분포는 정전기포텐셜 φ 에 대한 라플라스방정식을 일정한 경계조건하에서 유한요소법으로 풀어 얻을수 있다. 즉

$$\left. \begin{array}{l} \nabla^2 \varphi = 0 \\ \varphi|_{\text{노즐}} = V, \varphi|_{\text{수집기}} = 0 \end{array} \right\}$$

여기서 V 는 방사노즐과 수집기에 걸어주는 직류전압이다. 포텐셜이 구해지면 전기마당세기는 $E = -\nabla\varphi$ 에 의해 구해진다.

이 계산에 다중물리마당해석프로그램인 COMSOL5.3의 AC/DC모듈의 정전기학대면부(Electrostatics Interface)를 리용하였다. Model Builder에서 그림 1과 같이 전극들을 그려넣고 방사노즐과 수집기의 전위를 각각 30kV와 0V로 설정하였다. 또한 방사노즐과 수집기를 포함하는 충분히 큰 구(구의 반경 80cm)를 유한요소계산구역으로 택하고 구내부와 전극바깥의 공간은 공기매질로 채워넣었다. 자리표원점은 고리축의 가운데점에 설정하였다.

정전기방사에서 방사노즐표면의 전기마당세기가 중요하므로 원형고리들사이의 간격($l=2\sim6\text{cm}$)과 원형고리의 개수($n=5\sim13$)를 변화시키면서 고리표면에서 전기마당세기를 계산하고 그 변화특성을 고찰하였다.

2. 계산결과와 분석

먼저 $d=0.2\text{cm}$, $D=6\text{cm}$, $h=20\text{cm}$, $l=3\text{cm}$, $n=11$ 인 경우 원형고리들의 축으로부터 일정한 높이에서 x 축에 따르는 전기마당세기분포를 고찰하였다.(그림 2)

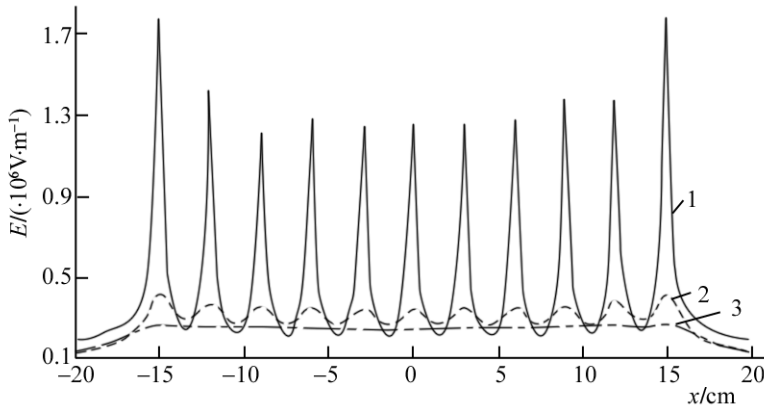


그림 2. 원형고리들의 축으로부터 일정한 높이에서 x 축에 따르는 전기마당세기

1-3은 높이가 각각 3.2, 4, 5cm인 경우

그림 2에서 보는바와 같이 원형고리웃면에 가까운 높이 $z=3.2\text{cm}$ 에서 전기마당세기는 노즐면위치에서 급격히 커지며 이때 량끝에 설치된 2개 고리표면에서 특별히 세지고 내부 고리표면들에서는 서로 어슷비슷하며 중심구역에 들어오면서 약간 더 작아진다.(그림 2의 1) 이것은 방사개시가 맨끝의 고리에서부터 일어나는것을 정성적으로 설

명해준다. 이 현상은 침식노즐을 직선상에 배열하였을 때[1]에도 나타난다.

량끝고리면우에서 마당세기가 특별히 세지는 현상은 량끝의 원형고리가 노즐전체의 침두경계에 놓여있는것으로 설명할수 있다. 또한 고리웃표면으로부터 수집기쪽으로 1cm($z=4\text{cm}$)만 올라가도 전기마당세기는 급격히 작아지며(그림 2의 2) 2cm정도 올라가면 마당은 거의 균일해진다.(그림 2의 3)

다음으로 원형고리의 수 $n=13$ 인 경우 연직방향에서 전기마당세기의 변화특성을 고찰하였다.(그림 3)

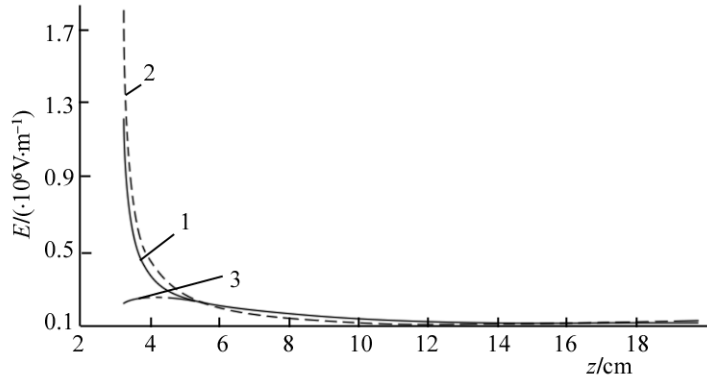


그림 3. 고리웃표면으로부터 평판수집기까지 연직방향에 따르는 전기마당세기 변화
1—중심고리, 2—맨끝 고리, 3—중심고리와 그것과 린접한 고리사이의 가운데점

그림 3에서 보는바와 같이 수집기쪽으로 가면서 마당세기는 급격히 감소하며 이것은 침식정전기방사장치에서 형성되는 전기마당분포와 유사하다.

다음으로 원형고리가 7개인 경우 고리들사이의 간격을 각이하게 변화시키면서 고리들의 웃표면에서 전기마당세기분포를 고찰하였다.(그림 4)

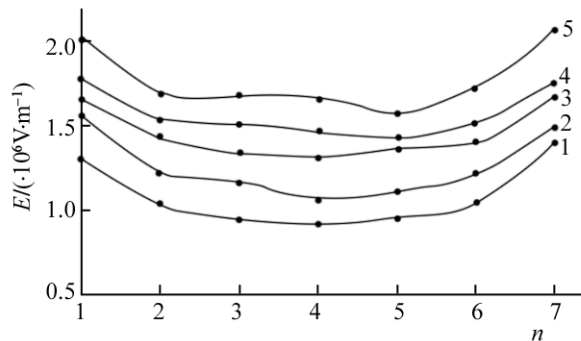


그림 4. 원형고리들사이의 간격변화에 따르는 고리웃표면에서의 전기마당세기
1—5는 원형고리들사이 간격이 각각 1, 2, 3, 4, 6cm인 경우

그림 4에서 보는바와 같이 고리들사이의 간격이 증가할수록 고리웃표면에서의 전기마당세기는 증가한다.

다음으로 $n=7$ 인 경우 고리들사이 간격에 따르는 방사노즐의 량끝 고리웃표면에서의 평균전기마당세기(E_m)와 내부고리들의 웃표면에서 평균전기마당세기(E_0)의 비를 고찰하였다.(그림 5)

그림 5에서 보는바와 같이 전기마당세기비는 고리들사이 간격이 커짐에 따라 처음에

는 증가하다가 $l=5\text{cm}$ 이상에서는 다시 감소한다.

고리수에 따르는 내부고리들의 평균전기마당세기와 양끝 고리의 평균전기마당세기의 비를 고찰하였다.(그림 6)

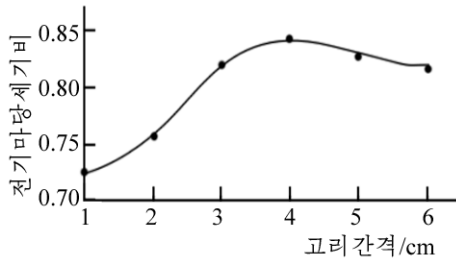


그림 5. 고리들사이 간격에 따르는 전기마당세기비

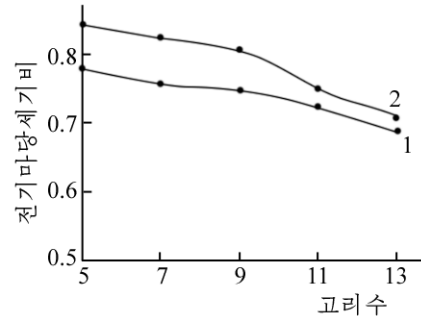


그림 6. 고리수에 따르는 전기마당세기비
1, 2는 고리간격이 각각 2, 3cm인 경우

그림 6으로부터 고리수가 증가할수록 전기마당세기비는 작아진다는것을 알수 있다.

한편 원형고리표면으로부터 수집기사이 거리를 일정하게 하고 고리의 직경 D 를 증가시킬 때 고리표면에서의 전기마당세기는 감소한다. 원형고리들로 이루어진 방사노즐을 설계할 때 방사효율을 높이려면 위에서 계산된 전기마당세기의 변화특성을 잘 고려하여야 한다.

맺 는 말

원형고리표면에서의 전기마당세기는 고리들사이 간격과 고리개수에 따라 변하며 연직방향에 따르는 마당세기의 변화는 침식노즐의 경우와 비슷하다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보 물리학, 65, 2, 36, 주체108(2019).
- [2] Y. Xu et al.; Journal of Nanomaterials, 2020, 1, 2020.
- [3] L. Wei et al.; Materials and Design, 179, 107885, 2019.
- [4] M. Chen et al.; Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, 2, 110, 2019.

주체110(2021)년 3월 5일 원고접수

Characteristics of Electric Field Distribution between Spinneret of Needleless Electrospinning and Plate Collector with Coaxial Circular Loops

Choe Won, Choe Kuk Jin and Kim Nam Hyok

We calculated the electric field distribution of needleless electrospinning setup with spinneret of coaxial circular loops by using the COMSOL multiphysics program.

Keywords: needleless electrospinning, spinneret