

# 나노섬유의 모포로지 제어기술

한국과학기술정보연구원  
전문연구위원 이호동  
(hodeelee@reseat.re.kr)

## 1. 서론

- 나노기술 분야는 생명과학, 정보통신, 환경, 에너지, 제조기술, 사회 기반 등의 분야에 있어서 과학기술의 진보나 과제 해결에 공헌하고 있다. 또한 나노기술은 산업의 진흥이나 인간의 풍요로운 삶, 안전과 안심 하에서의 쾌적한 사회 등을 실현하는 기술의 “씨앗(seed)”으로 위치하고 있다.
- 이러한 상황의 배경에는 “나노섬유 특유의 성질이 여러 가지 용도 전개로 연결되는 것이 아닐까?” 하고 산업계는 크게 기대하고 있다. 예를 들면 큰 비표면적이 그 중의 하나이다. 또한 “나노섬유의 특성은 벌크(bulk)와 비교하여 비약적으로 우수하기 때문 아닌가?” 또는 “나노섬유화 함으로써 새로운 특성이 발현하는 것 아닌가?”라는 기대도 있다.

## 2. 섬유 형상

- 섬유 직경
  - 전계방사법에서는 노즐(nozzle) 등의 방사부분의 앞부분에 머무는 용액을 정전기력에 의해 실 형태로 잡아당겨 집적대(collector)에 막 상태의 섬유 집합체로서 회수한다. 이 때 방사 부분으로부터 잡아당겨진 실 형태의 용액(jet)은 불안정한 나선궤도를 그리면서 용매의 휘발과 연신을 거쳐 나노섬유화 되어 간다.
  - 섬유의 굵기는 용액의 점탄성과 정점기력에 의해 결정된다. 용액에 부가된 정전기력은 걸린 전압, 방사 부위와 콜렉터의 형상, 방사부분과 콜렉터 사이의 거리에 의해 변화되는 전기장 강도에 의해 결정된다. 또한 용액의 전도성, 분위기 가스, 분위기상 중의 수분량에 의해 변화하는 방사 재료의 대전량에도 의존한다. 다양한 재료에 대하여 폭넓게

섬유 직경을 제어하기 위해서는 방사 재료의 점도, 결국 용액 농도 및 그의 전도성을 조정하는 것이 효과적이고 쉽다.

- 전계방사법에 의해 얻어지는 섬유 직경 분포는 멜트블로(melt-blow) 법과 비교하여 아주 작고, 전계방사법에서 섬유 직경 분포를 제어하는 것은 쉽지 않다. 테일러 콘(Taylor cone) 끝 부분에서 용액 제트가 분사된다고 하는 전계방사법의 원리에서 유래한다. 그러나 노즐 직경의 미세화, 용액 표면장력의 저하, 용액 전도성의 증가 등이 섬유 직경 분포의 감소에 효과가 있다.

#### ○ 공극(porous) 섬유

- 전계방사법에서는 고분자 및 용매의 선정, 방사 공정/분위기의 조정에 따라 공극 섬유의 방사가 가능하다. 이 섬유 표면의 공극 구조는 전계 방사법 과정에서 고분자와 용매의 상 분리 거동에 기인된다.
- 일반적으로 강직한 고분자와 휘발성이 높은 용매를 사용하면 이와 같은 공극 구조의 섬유가 얻어진다. 따라서 용매의 휘발성을 제어함으로써 공극 크기를 변화시키는 것이 가능하다. 또한 용액 제트 중의 용매와 공기 중의 물 분자와의 상호작용도 공극 구조의 형성에 관여하기 때문에 물과의 친화성도 고려할 필요가 있다.

#### ○ 중공·심지 나노섬유

- 노즐을 다중관으로 하게 되면 중공섬유, 심지섬유 구조의 나노섬유를 방사할 수 있다. 재료 가운데에는 제품화로 적합한 기능성을 가지고 있지만 분자량이 너무 낮은 등의 이유로 용액화 되었을 때 섬유화 하기에 충분한 점탄성을 나타내지 않는 것이 있다. 다중관 노즐을 사용함으로써 이러한 재료를 심지 재료로, 단독으로 섬유화가 가능한 재료를 바깥 재료로 활용하여 복합섬유화 함으로써 기능성 나노섬유를 독창적으로 제조할 수 있다.
- 단일 재료로서는 방사할 수 없는 단량체나 프레폴리머(prepolymer)를 심지 재료로서 활용하여 심지형 나노섬유를 방사한 후에 그 심지

재료를 나노섬유 중에서 중합시킬 수도 있다. 예를 들면 에폭시수지 섬유를 제조한 보고 예가 있다. 또한 심지형 나노섬유를 블록 공중합 고분자의 모폴로지 제어에 이용한 보고 예도 있다.

### 3. 집합체의 규칙성

- 전계방사법에서는 방사 부분으로부터 실의 형태로 잡아당긴 용액 제트는 불안정 나선 형태를 그리기 위해 정적인 평판 형상의 콜렉터를 이용한 경우 최종적으로는 부직포 형태, 즉 랜덤(random) 배향의 섬유 집합체가 된다. 그것에 대하여 고속으로 회전하는 원통 형상 콜렉터 등을 사용한 경우는 회전 방향으로 섬유가 1축으로 배향된 섬유 집합체로 제조하는 것이 가능하다.
- 배향된 섬유는 분자구조도 규칙성을 나타내기 때문에 섬유 길이 방향에 대하여는 부직포에 비하여 높은 강도를 나타낸다. 콜렉터의 종류에 따라 섬유 집합체의 규칙성을 변화시킬 수 있게 된다. 섬유를 배향시키는 기법 으로서는 원통 회전체 이외에도 다수 보고되고 있다.

### 4. 최근 동향

- 용융/고온 용융 전계방사(electrospinning)
  - 일반적으로 가장 많이 사용되는 기법은 상온에서의 전계방사이다. 이 방법으로는 무기에서 유기에 이르는 광범위한 재료가 나노섬유화 되고 있다. 그러나 그 가운데에는 상온에서 용매에 녹지 않는 재료가 있고 이와 같은 재료를 나노섬유화 하기 위해 고온에서의 용액 전계방사, 또는 용융 전계방사 등의 연구도 행해지고 있다.
  - 용융 전계방사의 장점은 용매가 필요치 않기 때문에 재료 코스트가 절감되고, 또한 용매 회수 설비가 필요치 않기 때문에 장치 코스트 절감도 가능하다는 점이다. 고온 용액 전계방사에서는 용융 전계방사에 비해 가는 섬유 직경이 얻어지는 것이 장점이다. 예를 들면 폴리프로 필렌의 경우 용융 전계방사는 최소 섬유 직경이 800~900nm 정도인데

대하여 고온 용액 전계방사에서는 섬유 직경 200~300nm의 나노섬유가 가능하다. 이와 같이 극세 섬유의 방사를 목적으로 하는 경우에는 고온 용액 전계방사에 우위성이 있다.

#### ○ 양산화

- 최근 다양한 기법으로 나노섬유의 양산 방법이 제시되고 있다. 그 기법은 노즐 방식과 배스(bath) 방식으로 크게 나눌 수 있다. 노즐 방식에서는 가는 구멍 등의 캐비티(cavity)로부터 방사 재료가 공급되고, 미세한 개구 부분으로 된 방사 부분으로 되어 있다. 반면 배스 방식에서는 방사 재료를 머물게 하는 배스와 제트를 유발시키기 위한 전극 등을 사용하여 비교적 넓은 개구 부분으로 된 방사 부분을 갖고 있다.
- 2가지 방식의 특징을 살려 사용자는 목표 용도에 적합한 기법을 선정할 필요가 있다. 노즐 방식을 채택하고 있는 일본의 전계방사 장치 메이커에는 Kato Tech사와 Mec사가 있고, 배스 방식을 채택하고 있는 메이커로는 Elmarco사(체코)가 있다.

## 5. 결론

- 나노섬유의 모폴로지 제어기술, 나노섬유의 구조와 물성에 관한 연구와 함께 전계방사법에 의한 나노섬유의 대량 생산기술의 확립도 세계 각국에서 적극적으로 수행되고 있다. 향후 나노섬유에 관한 연구 개발이 점차 진행되어 나노섬유의 특징을 살린 용도 전개에 관한 많은 성공 사례가 생길 것으로 기대되고 있다.

출처: 小瀧雅也, “新たな用途を切り拓くナノファイバーの創製”, 「加工技術(日本)」, 45(6), 2010, pp.351~356

### ◁ 전문가 제언 ▷

- 나노섬유는 직경이 나노 오더(order)의 섬유(나노사이즈 섬유) 또는 굵기에 상관없이 섬유의 표면이나 내부구조가 나노 오더로 제어된 섬유상 물질(나노구조 섬유)로 구분할 수 있다. 이 중 나노사이즈 섬유를 보통 나노 섬유라 부르고 있다. 굵기가 종래의 섬유에 비하여 1,000분의 1 이하로 아주 가늘기 때문에 섬유 표면 거의 전부가 공기에 접하고 있게 되어 섬유 물성이 종래의 섬유와는 아주 다르다.
- 본 문헌에서는 여러 가지의 나노섬유 기술 가운데 전계방사(electrospinning) 법을 택하여 나노섬유의 모폴로지(morphology) 제어기술, 나노섬유의 구조와 물성에 대하여 소개하고 있다.
- 지난 10년간 전계방사는 특수 공정에서 섬유형성 기술로 널리 사용되는 방법으로 등장해 오고 있다. 고분자 용액이나 용융물에 강한 전위(electric potential)를 걸어 나노스케일의 섬유를 만든다. 이 나노섬유는 부직포 직물 매트, 배향 섬유 집합체 및 3차원 구조 지지체를 형성한다. 모두 큰 표면적과 높은 공극을 갖는 것이 특징이다. 전계방사로 얻어진 분리막(membrane)의 주요 용도는 생체조직공학, 약물 조절 전달, 센서, 분리, 필터, 촉매, 나노와이어 등이다.
- 마이크론 이하의 섬유고분자 전계방사는 최근 10년간 연구와 상업적으로 엄청나게 관심이 집중되고 있다. “전계방사”에 대해 문헌조사를 하면 최근 10년 사이에 연구 활동이 기하급수적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 대부분의 문헌자료와 특허에서 전계방사 섬유는 가공이 쉽고 경제적이고 실험실에서 공업화로 쉽게 갈 수 있는 것처럼 언급하고 있다.
- 한국에서도 많은 기업이 관심을 갖고 있으나 실제적인 연구개발과 공업화는 아직 미국 및 일본 등에 비하면 부족한 편이다. 이렇게 공업화가 지지 부진한 점에서 의문이 제기된다. 과연 전계방사 섬유는 기존의 용융방사나 용액방사 섬유와 비교하여 어느 분야에서 경쟁력 있는 장점을 가지고 있는 것일까에 대하여 신중한 판단이 필요하다.

본 분석물은 과학기술진흥기금 및 복권기금의 지원으로 작성되었습니다.