

전하유도방사에 의한 나노섬유와 그들의 응용

조 성 무

한국과학기술연구원 재료연구부 고분자하이브리드연구센터

Electrospun nanofibers and their potent applications

Seong Mu Jo

Polymer Hybrid Research Center, KIST, Seoul, Korea

I. 개요

1-1 나노섬유기술

1990년대 들어 여러 첨단 산업분야에서 나노기술의 급격한 부각과 함께 섬유분야에도 나노섬유기술에 대한 많은 관심이 모아지고 있다. 현재까지 나노섬유는 고분자 용액 또는 용융체의 전하유도방사(electrospinning)에 의한 수 ~ 수백 nm의 electro-spun 나노섬유, 블록 공중합체 각 성분의 상분리 현상을 이용하여 형성된 나노섬유, 나노크기의 내경을 지닌 나노반응기에서 고분자의 중합과 동시에 배향되어 얻어지는 나노섬유, 또한, 서로 상용성이 없고 탄화정도가 크게 다른 두 고분자의 복합섬유를 제조하고 이를 탄화시켜 얻는 탄소나노섬유 yarn 등이 있다.

현재로서 나노 scale의 섬유를 만들 수 있는 기술로는 상용화 가능성, 적용 고분자의 다양성, 제조공정의 단순성, 다양한 제품기술 응용성을 고려할 때 전하유도방사에 의한 나노섬유 제조가 가장 유력한 기술로 평가되고 있다.

1-2 전하유도방사(Electrospinning)

종래의 섬유방사기술(용융방사, 전식 또는 습식방사)에서는 고분자 용융체나 고분자 용액을 기계적 힘을 사용하여 방사노즐로 압출시켜 섬유화시키는 반면에, 전하유도 방사에서는 정전기적 힘을 이용하고 있다. 즉, 표면장력에 의해 capillary tube(방사노즐) 끝에 매달려 있는 고분자 용액 미세방울에 고전압의 전기장을 가하게 되면, 전하가 액체표면에 유도되고 유도된 전하의 상호 반발력에 의한 힘이 표면장력과 반대 방향으로 생기게 된다. 이와 같은 전기적 반발력에 의해 capillary tube(방사노즐) 끝에 매달려 있는 고분자 용액의 미세방울은 Taylor cone으로 변형되고 전기적 반발력이 표면장력보다 강해지게 되면 전하를 띤 고분자용액 jet가 capillary에서 방출된다. 이 고분자 용액 jet는 공기중을 날아가는 동안 용매는 휘발되고 전하를 띤 연속섬유만 웹형태로 적층된다.

2. Electro-spun 나노섬유의 특징

전하유도방사과정에서 수 nm ~ 수천 nm 크기의 직경을 갖은 섬유는 생성됨과 동시에 3차원의 네트워크 구조로 융착되면서 적층되어 부직포형태의 다공성 나노섬유 웹을 형성하며 다음의 특징을 지니고 있다(그림 2).

- 매우 광범위한 고분자소재가 적용가능하고, 초박막 및 초경량 소재이며,
- 기존 섬유에 비해 부피 대비 표면적 비가 지극히 높음.
- 제조된 막이 공극률이 매우 높으며,
- 호흡성, 방풍성지니며, membrane-like textile이다.

또한, yarn 형태로 권취할 경우 0.1~0.5 nm 나노섬유도 제조가 가능하며, 종래의 초극세사와는 비교할 수 없을 만큼 단위 부피당 표면적이 매우 높으며 다양한 표면특성, 구조 및 복합성분의 나노섬유 yarn 제조가 가능하므로 기존 초극세사의 응용제품이 갖는 한계물성 극복 및 신기능성 제품의 창출이 기대된다.

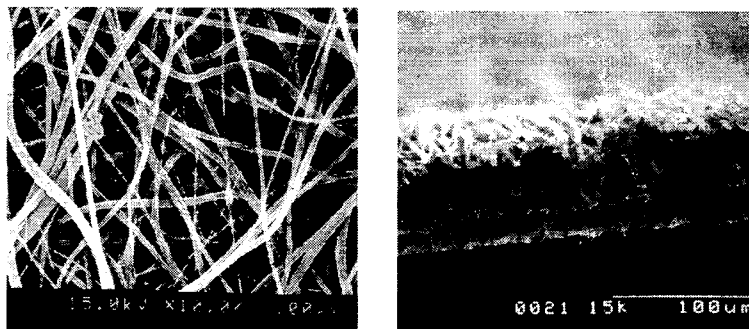


그림 2. Electro-spun web(PVDF)

3. Electro-spun 나노섬유의 잠재적 응용분야

3-1 고효율, 초기능성 분리기능 소재

(1) 고효율 초기능성 필터소재

나노섬유는 무게대비 지극히 넓은 표면을 가진 특성이 있으므로 이를 기체나 액체 중의 입자를 분리하는데 사용될 수 있다. 나노섬유 필터는 표면적이 넓어 여과 효율이 높고 공극률이 매우 높아 필터중 발생하는 압력강하가 적으며 공정의 적용이 용이하여 기존의 부직포 등의 소재에 코팅이 가능하다. 일반적으로 0.1 ~ 1 μ m 크기의 액적 제거는 가장 어렵다. Coalescing filter는 기체/액체 중의 이러한 미세 액적을 분리하는 산업용 필터로서 유체중의 입자의 이동을 멈추게 하고 더 큰 입자로 응집을 시켜 이를 매체 외로 배출하는 기능이 추가로 요구되므로 이러한 고효율 Coalescing filter 매체로 나노섬유의 적용이 가능하다.

(2) 극한환경 방호기능 소재

나노섬유 fabric은 Membraine-like textile의 특성이 있어 미세입자나 bacteria 등은 통과하지 못하고 호흡성(breathable)과 방풍성 그리고 막의 외부에서 액체가 들어오지 못하도록(liquid barrier) 제조가 가능하여 생화학 물질의 방호기능을 갖는 시스템 구축에 활용될 수 있다.

3-2 탄소나노 섬유/전도성 나노섬유소재

탄소나노섬유/전도성 나노섬유 등 복합소재 기술로서 Electrospinning 기술은 전도성 고분자를 이용한 나노섬유, 전도성 복합섬유, 탄소나노섬유 등의 제조가 가능하다. 전도성 나노섬유, 탄소나노섬유 등은 고효율 필터 및 슈퍼커패시터 그리고 이차전지의 전극 재료로 응용시 전지의 경량화, 고성능화에 활용 가능하며, 전도성 고분자는 가시광선을 흡수하여 흡광도에 변화가 일어나는 전기변색 특성(electrochromism) 나타내고 있는 바, 전도성 나노섬유소재는 태양광의 양을 감지하여 창문의 색조절 기능을 부여하는 Smart window, EMI 차폐와 대전방지 코팅과 가스센서, 의약 전달체로의 가능성도 연구되고 있다.

3-3 이차전지재료

현재 상용화된 리튬이온 이차전지(LIB)는 분리막이 전해액을 담지하지 못하므로 누액(leaking)을 방지하기 위해서 금속캔을 이용하나 전지의 무게가 증가하며 박막화 및 다양한 전지제조가 어렵다. 반면에 차세대전지인 리튬폴리머전지(LIPB)는 고분자 전해질을 사용하므로 안전하고 전해액의 누액이 없고, 전지의 박형화 또는 슬림화 및 다양한 형태의 전지 제조가 가능한 차세대 전지이며 현재 상용화가 진행중이나, 박형 경량화와 고에너지 밀도에 의한 고용량을 지니는 이차전지에 나노섬유의 활용이 기대된다.

3-4 생체활성 나노섬유 소재

Electro-spun 나노섬유는 생체조직배양 및 치료, 피부조직의 균일 재생, 섬유상 membranes을 이용한 상처보호 치유 등에 활용될 수 있다.

(1) 생체 모방성(Biomimic) 단백질 섬유

동맥혈관벽 및 생체조직은 단백질섬유의 3차원구조물로 형성된 섬유강화복합물의 구조이며, 동물세포는 대체로 마이크로 크기이나 생체 단백질 섬유는 나노 크기의 섬유들이다. Electrospinning은 생체모방성 나노섬유를 제조할 수 있으며, 상온과 상압 하에서 조업시 부피에 비하여 넓은 표면적으로 용매의 휘발이 잘 일어나 묽은 용액으로부터 단백질 나노섬유를 제조함에 있어서 효율적인 공정이다.

(2) 조직공학(Tissue Engineering) 기술

생체 봉합물은 신체조직을 고정 혹은 보수하는데 사용되며 강도, 생체적합성, 유연성, 멸균성, 생분해성 등의 물성이 보다 엄격하게 요구되는 분야다. 기존의 물성 외에 porosity를 가져 봉합물의 외부표면을 확장시키고 조직의 내부확장을 촉진시켜 내피세포화를 용이하게 해주어야 하는데, 생분해성, 생체적합성 고분자로부터 제조되는

조 성 무

electro-spun 나노섬유 소재는 생체 모방성, 생체 적합성 기능 및 미세 다공성을 갖는 소재이므로 조직공학기술에 매우 중요한 활용이 기대된다.

(3) 생체 적합성 나노섬유웹

Electro-spun 나노섬유는 위와 같이 매우 작은 직경을 가지며 작은 공극을 갖고 높은 비표면적을 갖는 매트릭스를 제공할 수 있어 수분 및 통기성이 좋고 세균으로부터 상처를 보호하며 체액이 스며들지 않아 제거가 용이하다. 따라서, 상처보호용 wound dress나 인공 피부 등에 매우 탁월한 효과가 기대된다.