

전기방사(Electrospinning)된 나노 파이버의 응용기술 및 최신 연구 동향

김근형, 허 신, 김완두

1. 서 론

전기방사(Electrospinning)는 2010년 이후 급속도로 발전하고 있는 나노기술이다. 20nm ~ 1 μ m 범위의 나노 섬유를 제조하는 데 사용되며, (electrostatic force)와 (spinning)을 결합하여 (electrospinning)을 수행한다. 1882년 Raleigh가 20세기 초, Formhals가 1934년, 그리고 70년대 후반에 (electric field)를 이용한 전기방사 기술이 개발되었다. 최근에는 biomedical implantable material (molecular orientation)을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

가

2. 전기방사법(Electrospinning)

2.1 원리

(reservoir) kV 가 (critical value) 가 (surface tension) (jet) (bending instabilities)

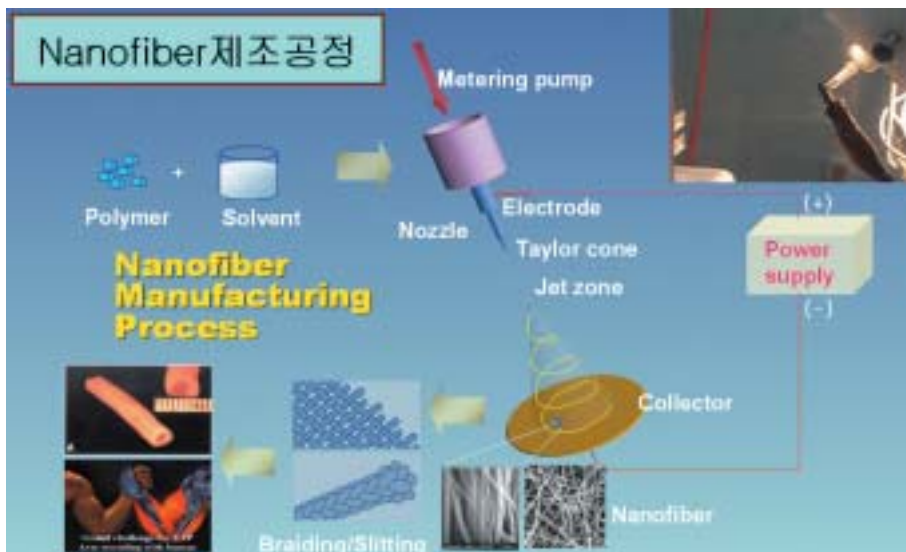


그림 1. 전기방사의 개략적인 모식도^[1]

2.2 전기방사를 통한 나노 파이버 제조/제어

Reker^[2,3] PEO(polyethylene oxide)

가 ,

, Rutledge
jet

가 .

[45]

2.3 나노 섬유 응용범위

2

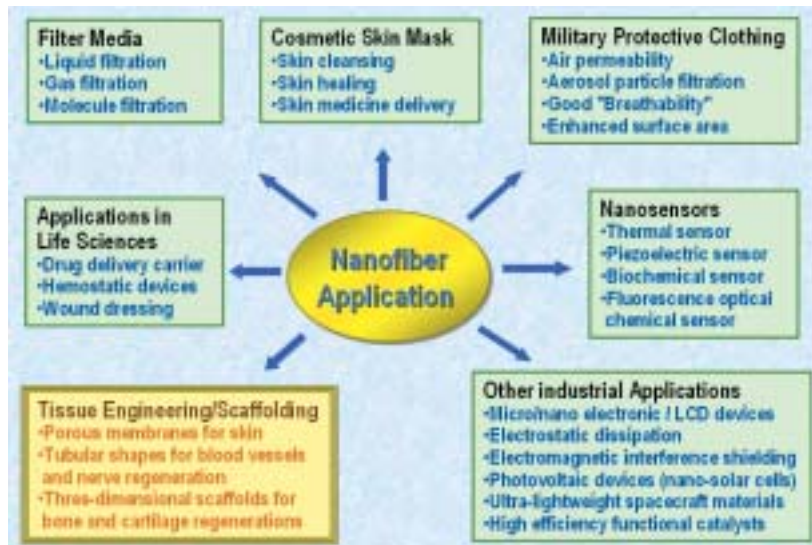


그림 2. 나노 파이버의 적용가능영역⁵¹

2.3.1 공업용/군사용 필터로서의 응용⁵¹

가 .

가 가 .

nano - fabrication

가 .

가

(polyester) 가 3 .

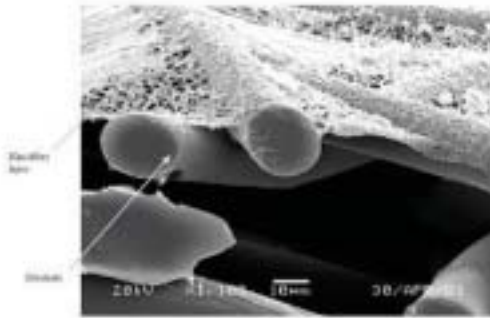


그림 3. Polyester substrate위에 전기방사된 나노 파이버^[6]

2.3.2 의공학(bio-engineering) 응용

, , , 가 .

가 . [7].

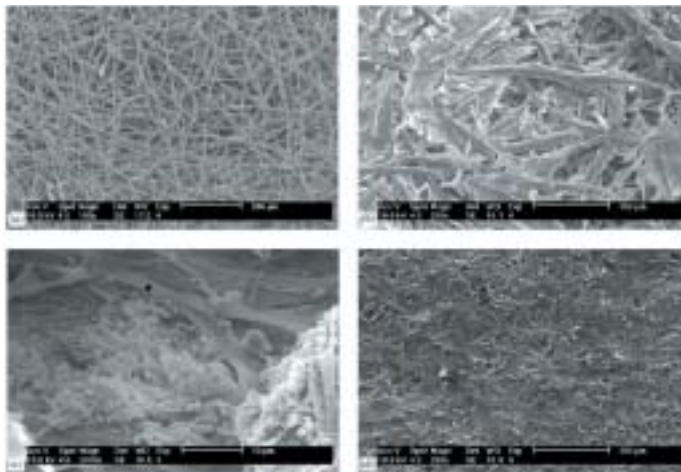


그림 4. 전기방사된 PCL(평균 직경 400nm) scaffolds의 SEM 사진.

- (a) 세포를 넣기전의 scaffolds (b) 1주 배향된 cell-고분자 구조
- (c) 1주 배향된 cell-고분자를 고배율로 보았을 때의 SEM사진 (d) 4주 배향된 cell-고분자^[7]

표 1. IT관련 재료로서의 나노 파이버^[7]

IT관련재료	나노파이버테크놀로지	특징
유기 EL 소자	나노 코팅	초박막화
	나노 입자	고응답연도
	나노 컴 포지트	그램정보기기
전자 세퍼레이터	나노 패 브릭	초소형화
	마이크로 패 브릭	고효율화
	나노 입자	장수명화
	나노 컴 포지트	장수명화
전자 페이퍼	나노 패 브릭	초박막화
	나노 코팅	대형화
	나노 컴 포지트	그램정보기기
전자파 실드재	마이크로 패 브릭	고효율화
	나노 패 브릭	경량화
	나노 입자	경량화
	나노 컴 포지트	대형화

2.3.5 전기, 광학응용

dissipation, corrosion protection,

photovoltaic device

[11]

가

가

[12]

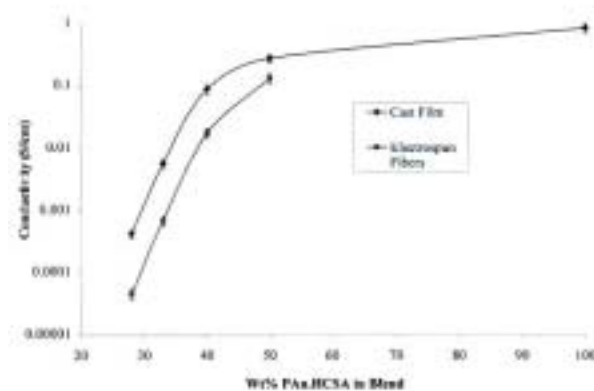


그림 6. 전기방사된 PAN/HCSA/PEO와 동일한 재료로 연신된 필름과의 전기전도성 비교^[11]

2.3.6기타

PVDF(poly - vinylidene - fluoride) 가 [13]

PLGA 가 [14]

2.4 나노 파이버의 필요성과 경제효과

가 , implantable, IT, 가 ESP(electrospray) , ESD(electrospray deposition) 가 2

표 2. 나노 파이버 테크놀로지의 전개와 파급효과⁷⁾

환경 / 에너지	IT / 일렉트로닉스	바이오 / 라이프 사이언스
1. 자기 조직화 나노파이버에 의한 전자패 이퍼 제조기술 개발 (ex, 광 散活형 디스플레이 전자 페이퍼) 2. 고효율 연료전지(3조 엔) (ex, 수소 가스를 안전하게 대용 량으로 흡착하는 카본나노튜브) 3. 초대용량 2차전지(3조 엔) (ex, 대용량 · 장수명 · 고효율 2차 전지용의 고전도성, 대표면을 가 진 카본나노파이버 집전도체) 4. 공기청정 나노필터(1조 엔) (ex, 산화티탄 나노파이버 공기 청정 필터, 광촉매 나노파이버 고 기밀 필터) 5. 나노컴 포지트 재료(2조 엔) (ex, 초저 마찰 틱니바퀴, 나노튜브 복합수지에 의한 초저마찰 운 활제코팅)	1. 플라스틱 광 파이버 나노크 기 분포제어(8조 엔) (ex, G형 플라스틱 광파이버, 저 분산화에 의한 초고속 광통신광 학통신) 2. 광 · 양자컴 퓨터(3조 엔) (ex, 나노 광파이버 연산회로, 카 본 나노파이버를 전자 emitter서 사용하여 고효율 저 진공 전계방 출디스플레이) 3. 광집적회로(1조 엔) 4. 나노 유기 디바이스(1조 엔) (ex, 도전성 나노파이버 전자디바 이스, 도전성 나노파이버를 이용 한 나노 유기 트랜지스터, 나노유 기메모리) 5. 전계방출 평면디스플레이(1 조 엔) (ex, 카본나노 파이버를 전자 emitter로서 이용한 고효율, 고신뢰, 저진공 전계방출 디스플레이)	1. 나노사이즈 파이버의 제조 기술 개발과 응용(4조 엔) (ex, 나노사이즈 파이버에 의한 바이오필터, 바이오칩, 인공장기 의 실현) 2. 의료(3조 엔) (ex, 게놈 상 유전자를 구성하는 DNA배열의 위치 검출법 확립, DDS용 고분자 나노캡슐, MRSA 파괴 초분자 나노튜브, 세균세포 막으로의 초분자 나노튜브 유입 에 의한 세포파괴) 3. 세 포공학(2조 엔) (ex, 인공신경 · 강화콜라겐분자 섬유 · 뼈 재생 펩타이드 나노파 이버, 생체물질의 보텀업에 의한 나노파이버 형성)

3. 전기방사관련 국내외 연구 동향

3.1 국외 연구현황

가 . , ,
 (morphology) ,
 , 가 . ,
 Akron Reneker 가 .
 , Drexel Ko 가
 . Deitzel 가
 power law 가 가 , Doshi Reneker
 가 , 가
 가
 Akron Reneker
 가 . Yarin
 jet (whipping motion) (bending instability)
 . Moscow Shkadov Shutov jet가
 . MIT Rutledge Harvard
 Brenner Chicago Hohman .
 가 .
 Lei Huang(2001) 2 wt% collagen - PEO 100 -
 150nm , Lin(2002) , 가
 , 가 . Lee(2002)
 PEO polyaniline 100 nm
 . Lowell Massachusetts 가 Polycarbonate
 . Demir(2002) (70)
 가 . Commonwealth
 (2002) PGA(1000 rpm) Type I collagen(4500 rpm)
 가가
 Commonwealth

PDO 가 Buchko(1999) . Ethicon p - dioxanone . Woodward(1985) 가 .
 Deitzel(2001) PEO 가 PEO 0.5~0.7 . Ignatious . MIT
 Material Processing Center scaffold , bone tissue
 protein polymer coating implantable prosthetic
 device . MIT ISN(Institute for Soldier Nanotechnologies) Rutledge 0.5 ~ 10 μm
 PCL scaffold , (articular
 cartilage) Li(2004) coaxial, two - capillary
 spinneret (hollow fiber) .

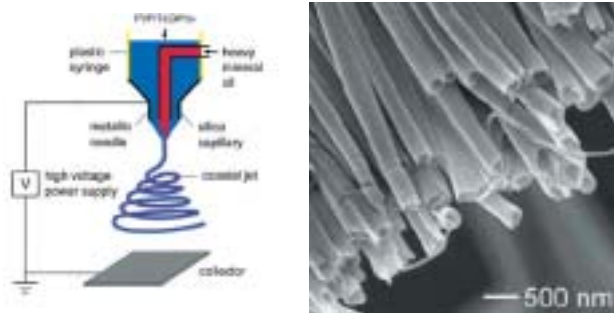


그림 7. (a) coaxial, two-capillary spinneret를 이용한 전기방사법 (b) 제조된 중공사의 SEM사진^[65]

Yarin(2004) ferromagnetic (suspension)

8

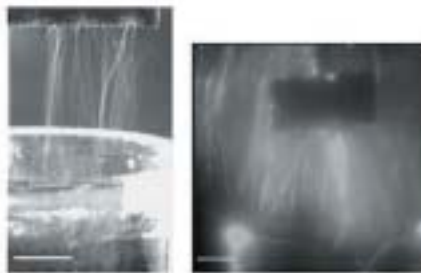


그림 8. Tip없는 전기방사장치를 이용하여 얻어진 다중 jets. 그림에서 전기장의 방향은 아래쪽에서 위쪽으로 적용되며, 나노 파이버는 위쪽으로 방사되는 장치^[66]

, NASA, Langley Research Center Pawlowski(2003) trifluoro graft Elastomer (TrF1) micro - air vehicle (MAV) 9



(a)



(b)

그림 9. Trifluoro Graft Elastimer (TrF1)공중합체를 이용하여 미세 구조체 위에 전기 방사하여 날개를 제작하였다. (a)양날개, (b)한쪽 날개(크기:10.2cm×6.4cm)¹⁷⁾

3.2 국내 연구현황

(morphology) 가

가

(2002)

in - vitro

()

PET

PU

(2002)

PEI(Polyetherimide)

. Nanotech()

Nylon, PAN

가

lab

scale

가

in - situ 가

10

setup

2

후 기

❁ 참고 문헌

- [1] , , , “ 1 , ” , 2004.
- [2] J. M. Deitzel, W. Kosik, S. H. McKnight, N.C.B. Tan, J. M. DeSimone, S. Crette, “ Electrospinning of polymer nanofibers with specific surface chemistry, ” Polymer 43, 1025 - 1029, 2002.
- [3] D. H. Reneker, I. Chun, “ Nanometre diameter fibres of polymer, produced by electrospinning, ” Nanotechnology 7, 216 - 223, 1996.
- [4] D. Li, Y. Xia, “ Electrospinning of Nanofibers: Reinventing the Wheel?, ” Advanced Materials, 16 , 1151 - 1170, 2004.
- [5] Z - M Huang, Y - Z. Zhang, M. Kotaki, S. Ramakrishna, “ A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites, ” Composites Science and Technology, 63, 2223 - 2253, 2003.
- [6] T. H. Grafe, M. Gogins, M. A. Barris, J. Schaefer, R. Canepa, “ Nanofibers in Filtration Applications in Transportation ”, Filtration 2001 Conference Proceedings, 2001.
- [7] Kaji Keisuke, “ ” in “ Nano Fiber Technology is Developing Advanced Industry ” by Tatsuya Hongu, 2004.
- [8] H. Yoshimoto, Y. M. Shin, H. Terai, J. P. Vacanti, “ A biodegradable nanofiber scaffold by electrospinning and its potential for bone tissue engineering, ” Biomaterials, 24, 2077 - 2082, 2003.
- [9] E. R. Kenawy, G. L. Bowlin, K. Mansfield, J. Layman, D. G. Simpson, E. H. Sanders, et al. “ Release of tetracycline hydrochloride from electrospun poly(ethylene - co - vinylacetate), poly(lactic acid), and a blend, ” Journal of Controlled Release, 81, 57 - 64, 2002.
- [10] F. Ignatious, J. M. Baldoni, PCT/US01/02399, 2001.
- [11] I. D. Norris, M. M. Shaker, F. K. Ko, A. G. Macdiarmid, “ Electrostatic fabrication of ultrafine conducting

- fibers: polyaniline/polyethylene oxide blends, "Synthetic Metals 114(2),109 - 114, 2000.
- [12] C. M. Waters, T. J. Noakes, I. Pavery, C. Hitomi, US patent 5088807, 1992.
- [13] A. G. Scopelianos, US patent, 5522879, 1996.
- [14] M. Bognitzki, H. Hou, M. Ishaque, T. Frese, M. Hellwig, C. Schwarte, et al. " Polymer, metal, and hybrid nano - and mesotubes by coating degradable polymer template fibers (TUFT process)," Adv Mater. 12(9), 637 - 640, 2000.
- [15] D. Li and Y. Xia, " Direct Fabrication of Composite and Ceramic Hollow Nanofibers by Electrospinning," NANO LETTERS, In print, 2004.
- [16] A. L. Yarin, E. Zussman, " Upward needleless electrospinning of multiple nanofibers," Polymer, 45, 2977 - 2980, 2004.
- [17] K. J. Pawlowski, H. L. Belvin, D. L. Raney, J. Su, J. S. Harrison, E. J. Siochi, " Electrospinning of a micro - air vehicle wing skin," Polymer, 44, 1309 - 1314, 2003.



김 근 형

· 한국기계연구원 미래 기술연구부 선임연구원
· 관심분야 : 자연모사, Bio-sensing technology,
Field aided technology
· E-mail : gkim@kimm.re.kr



허 신

· 한국기계연구원 미래 기술연구부 선임연구원
· 관심분야 : Bio-MEMS, 자연모사
· E-mail : shu@kimm.re.kr



김 완 두

· 한국기계연구원 미래 기술연구부 부장
· 관심분야 : 자연모사, 고무역학, 신뢰도설계
· E-mail : wdkim@kimm.re.kr