

유럽 나노섬유 연구의 최신동향

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 오창섭
(chspoh@reseat.re.kr)

ESP(Electro-Spinning)는 전기적인 섬유제조기술로 최초의 특허는 미국에서 1930년에 출원하였다. 이 방법을 이용한 나노섬유의 방적은 미국의 D.H.Reneker 그룹의 연구를 계기로 1990년대 이후 급속한 진전을 보였다. 2008년에 발표된 나노섬유에 관한 논문은 약 1400개이고 그 중에서 ESP는 나노섬유의 제조법으로서 가장 주목을 받았었다.

최근에는 나노섬유에 관한 국제심포지엄이 일본을 비롯해 체코와 오스트리아에서 정기적으로 개최되고 섬유분야뿐만 아니라 American Chemical Society, Material Research Society(MRS)등과 같은 화학, 재료, 바이오 관계의 학회에서도 심포지엄의 테마로 취급되고 있다. 2009년 12월에 미국 보스턴에서 MRS Fall Meeting의 '고분자 나노섬유 심포지엄'이 4일간 열렸는데 초청강연 11건, 구두발표 48건, 포스터발표 34건이 발표되었다.

여기서는 이 심포지엄과 최근 발표된 나노섬유에 대한 논문 중에 ESP에 대한 나노섬유를 중심으로 최근의 연구동향을 서술하기로 한다. ESP는 전기적으로 형성된 유동장(제트)을 이용한 미세섬유 제조공정이다. 이 공정은, ① 노즐분출 방적액상 제트에 작용하는 전기적 신장과 ② 용매증발에 의한 제트의 고체화이다. 방적메커니즘에 대한 연구에서 미국의 Reneker와 Yarin 등은 전기유체역학을 기본으로 한 모델을 제안하여 용액물성과 운전조건 13종류의 인자가 섬유직경에 미치는 영향의 이론적 예측을 수행하였다.

MRS에 대해서는 Reneker그룹이 방적제트에 작용하는 장력과 제트표면의 콜로나 방전 관찰로 ESP 현상에 관해 자세한 보고를 하였다. 전자는 용매증발에 따른 제트의 레오로지 특성을, 후자는 섬유직경의 균일성과 밀접한 관계를 가진 제트의 불안정화를 규명하는데 중요한 요소이다. 나노섬유의 구조제어에는 복합 나노섬유에 관한 연구가 주이고 MRS는 동일축의 2중관노즐이나 고분자에멀선계통의 방적액체를 이용한 코어 쉘 나노섬유의 제작이나 나노

섬유와 나노입자의 구성화가 주로 보고되고 있다.

ESP로 제작된 기공 카본나노섬유의 기체나 액체의 투과에 관한 연구와, 기공 나노섬유 내에서 기체의 슬립 플로가 일어나는 것이나 나노섬유 내에서 기체와 액체가 2층류를 형성하여 액체의 투과 촉진가능성에 관한 연구도 진행되었다. 최근 프로세스의 연구는 방적노즐을 사용하지 않은 'Needle-less Electro-spinning'이 주목을 받고 있다. 이 공정의 장점은 노즐방식의 문제점인 단일 노즐의 생산성 저하를 극복할 수 있고 상용화에서 노즐 수를 증가시킬 때 문제가 되는 노즐의 유지보수가 필요 없다는 점이다.

ESP가 1개인 회전실린더 방식의 ESP장치 Needle-less는 체코에서 상용화되어 양산에 채택되고 있다. 일리노이 대학 Yarin 등은 곡면 위에 전개한 용액의 ESP현상으로부터 이론적인 모델을 제안하였으며 원심력을 이용한 ESP 프로세스의 개발도 진행하고 있다. 독일의 ITV Denkdendorf의 원심방적이나 미국의 하버드 대학 응용과학부 병리생물물리 그룹의 로터리스핀시스템(RSS)도 ESP를 이용하고 있다.

전자는 고속 회전하는 원심력에 의해 방적을 하여 전장과 에어에 의해 콜렉터 위에 섬유를 포집하는 방식이고 후자는 전압을 인가한 방적구멍을 가진 실린더 헤더를 고속 회전시켜 주위에 설치한 콜렉터 위에 섬유를 포집하는 방식이다. 기존의 방적노즐을 사용하는 공정에 의한 양산기술개발도 활발하게 진행되고 있어 독일에서는 1.5m폭의 나노섬유 부직포를 제작할 수 있는 장치도 개발하고 있다. 양산화를 위한 연구에서는 최근 환경부하를 고려하여 유기용매를 사용하지 않는 수용액에서의 ESP의 연구가 진행되고 있다.

그 밖에 ESP를 증착이나 리소그래피와 같은 기존의 미세가공기술을 보완하는 기술 연구도 진행되고 있다. 미국에서는 수용성이나 열분해성의 고분자 섬유를 템플릿(template)으로 한 나노 채널의 제작과 패턴기판 위에 나노섬유 배선 제작에 관한 연구를 진행하고 있다. MRS에서 보고된 나노섬유의 용도는 에어필터, 흡착 분리재료(유해분자 제거, 폐수기능에 의한 물기름 분리), 의료 분야(재생의료, 장기이식, 항균재료), 폐수 처리, 농약 투여, 전극재료, 광학재료, 자성재료, 태양전지, MEMS용 나노채널 등에 많이 사용되고 있다.

나노섬유의 비표면적 크기를 이용한 바이오 케미컬방호용 재료응용에 대한

연구가 진행되고 있으며 미국에서는 신경가스, 살충제 분해, 항바이러스 약제에 사용되는 나노섬유를 연구하고 있다. 광분해촉매의 TiO_2 나노입자도 유기물의 분해에 유용하지만 고분자나노섬유의 복합화는 고분자자체의 열화가 문제된다. MIT의 Rutledge 등은 UV내성에 우수한 Silsesquioxane(SQ시리즈)를 상호흡착적층(Layer-by-layer)법으로 고분자나노섬유 표면에 아미노기를, 말단에 Silsesquioxane과 TiO_2 나노입자를 적층한 코트 층을 제작하였다.

이 코트 층은 UV 조명 시에 고분자나노섬유 열화를 억제하고 표면적이 큰 나노입자적층에 의해 분해성능을 향상시킬 수 있었다. 미국의 B.Chu, B.Hsiao 등은 나노섬유 막을 수질처리에 응용하는 것을 연구하고 있다. 폴리에스터 부직포 위에 폴리바이닐알코올 나노섬유를 적층한 필터는 기공직경과 막 두께가 밀리포아 막의 10배 이상 투과성을 나타내고, 나노섬유와 고분자의 복합을 활성 층에 사용한 막은 상용화되고 있는 역침투막과 동일한 물 투과성과 이온 제거율을 나타내었다.

농업분야에서는 농약투여 기술에 응용 가능하고 전극재료나 광학재료로의 응용도 최근에 주목받고 있는 분야이다. MRS는 캐나다 국립연구기관(NRC)에서 도전성고분자(PEDOT: PolyEthylene-DiOxyThiophene)나노섬유의 제작과 플렉시블 슈퍼커패시터의 응용에 관한 연구를 수행하였다. 전도성이 우수한 나노섬유는 에너지 저장재료뿐만 아니라 센서, 도전성 텍스타일, 플렉시블 전자재료에도 응용할 수 있다. ESP를 이용한 발광 섬유에 대한 연구는 이탈리아와 미국에서 수행되고 있다.

나노섬유 적층구조에 의한 광산란, 광확산은 섬유의 직경과 적층구조로 제어할 수 있어 저비용 광 취급방법으로 주목을 받고 있다. 태양전지용도에는 나노섬유가 가진 큰 표면적과 1차원 전도성이 주요인자이다. 그 외에 Energy Harvest용도로도 미국에서 그 연구가 진행되고 있다. 이상과 같이 일렉트로닉스 스펜에 의해 형성된 나노섬유를 중심으로 최근의 연구동향을 서술하였다. 다양한 연구가 진행되고 있지만 최근에는 특히 태양전지, 2차 전지, Energy Harvest형의 환경 발전 등 환경에너지 분야로의 응용을 위한 연구가 점점 더 활발해지고 있다.

출처 : 松本 英俊, “歐米におけるナノファイバー研究の最新動向”, 「工業材料(日本)」 58(6), 2010, pp22~25

본 분석물은 과학기술진흥기금 및 복권기금의 지원으로 작성되었습니다.