

고분자 나노섬유의 연구개발 동향

21세기의 국가 경쟁력을 강화하고 미래의 산업을 이끌어 갈 주요 기술 분야 중의 하나로 부상하고 있는 나노테크놀로지(nanotechnology, NT) 분야는 세계 각국에서 국가적인 정책사업으로 정하고 경쟁적으로 많은 연구비와 인력을 투자하여 연구개발에 박차를 가하고 있는 핵심 분야이다. 이에 부응하여 우리 나라에서도 작년 7월에 '나노기술종합발전계획안'을 확정하고, 금년 9월에 나노기술 선진 5대국 수준의 기술 경쟁력을 확보하기 위한 '나노핵심기반기술개발사업'을 공고하고 막대한 연구비를 향후 9년간 집중적으로 지원할 예정이다. 따라서 나노소재에 대한 신기술 확보를 통하여 대외의존도가 높은 정밀부품 및 의료용품 등의 국산화가 앞당겨질 추세이며, 또한 2차전지를 비롯한 에너지 및 정보소재에 대한 신기술을 활용하여 우수하고 효율성이 높은 제품의 개발 및 상용화가 이루어질 전망이다.

고효율 분리용 소재, 센서용 소재, 의료용 소재 등을 비롯한 다양한 분야에서 신제품으로 응용이 예상되는 나노 스케일을 가지는 초극세 나노섬유 신소재의 개발은 섬유고분자 소재의 광범위한 산업적 기반을 고려할 때, NT의 중요한 기반기술 중의 하나이다. 초극세 섬유를 제조하는 방사기술은 복합방사(conjugate spinning), 멜트블로운 방사(melt blown spinning), 플래시 방사(plash spinning), 전기방사(electrospinning or electrostatic spinning) 등이 알려져 있으나 나노섬유를 용이하게 제조할 수 있고, 적용 섬유고분자 소재가 매우 다양하고 광범위한 방사 방식은 전기방사가 유일하다. 다시 말하면, 폴리에틸렌, 폴리스티렌, 폴리에틸렌 옥사이드, 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 아라미드(aramid) 등 고분자 용융물 및 용액을 형성하는 모든 고분자는 전기방사가 가능하다. 또한, 빠르고 간편하며 적은 양의 고분자로도 방사가 가능하기 때문에 미세공정(microprocessing) 기술에 속한다.

전기방사 기술은 높은 전압을 고분자 용액이나 용융물의 방사 도프(dope)와 포집판에 가하여 방전을 통해 섬유의 직경이 수 nm~수백 nm인 나노섬유가 포집판에 집속되도록 하여 부직포(nonwovens)를 형성시키는 방법으로, 기존의 방사 방식과는 근본적으로 다른 새로운 형태의 방사 기술이며 산업적인 응용 가능성이 무한한 미래지향적 기술로 최근 학계나 산업계에서 상당한 관심을 가지고 활발히 연구되고 있다. 전기방사법은 최근에 개발된 기술은 아니고 1930년대 이미 아이디어가 제안되었고 특허화된 기술이다. 그 당시에는 섬유가 너무 가늘어 특별한 용도를 찾을 수 없었고 용융방사나 용액방사에 밀려서 상업화되지 못하다가 다시 1970년대 후반에 영국의 ICI사에 의해 다시 부각되었다. 이 때는 PET를 이용해 섬유 직경이 나노 수준의 극세섬유를 제조하는 것으로 목표를 삼았으나, 역시 경제성 및 안정성이 떨어져 상업화에 이르지 못하였다. 더구나 얼마 후 개발된 부직포의 제조법인 멜트 블로운 방사법으로 초극세 섬유를 제조할 수 있게 되어 전기방사는 기억속으로 사라지는 듯하였다. 그러나 최근에 미국의 에크론 대학 및 MIT 등을 중심으로 시작되어 여러 대학에서 전기방사에 대한 연구가 다시 활발하게 이루어지고 있는데, 미 국방성을 비롯한 에디슨 연구소, NTC(national textile center)와 같은 관련 기관의 적극적인 지원이 뒷받침되고 있다. 따라서 이러한 연구 동향이 단순히 학문적인 호기심에서가 아니라 다양한 제품으로의 사업화를 목표로 한 실질적인 것이다. 올해 10월에 미국의 섬유공학회격인 Fiber Society의 추계학회에 발표될 프로그램을 보면 전기방사와 나노섬유에 관한 내용이 하나의 중요한 section으로 자리잡고 있어 미국에서 전기방사에 대한 관심이 지대함을 보여주고 있다. 발표 내용을 보면 각종 고분자들의 전기방사 공정을 수학적 모델링을 통해서 여러 인자들의 전기방사에 미치는 영향을 이론적으로 설명하고, 나노섬유 집합체의 구조 및 특성을 밝혀내려는 내용들로 구성되어 있다. 또한 에크론 대학의 Reneker 교수를 중심으로 이루어지던 연구 활동도 MIT, Virginia Commonwealth University, 뉴욕 주립대, 메사추세츠 주립대 등 미국의 여러 우수한 대학들이 모두 참여하고 있음을 알 수 있다. 전기방사를 통해 얻어지는 나노섬유는 유연하고, 부피에 대한 표면적의 비

율이 매우 크며, 부직포를 구성하는 나노섬유 간의 미세한 기공 크기를 자유롭게 조절할 수 있고, 서로 다른 소재의 복합화가 가능하다는 점 등 많은 장점을 가진다. 이와 같은 수 nm~수 μ m의 직경을 가지는 나노섬유가 가지는 특성을 활용하여 다양한 분야에 응용이 검토되고 있다. 먼저 분리기능을 이용한 응용 분야로 나노섬유의 매우 높은 비표면적을 이용한 필터 소재는 기체나 액체 중의 입자나 불순물을 효율적으로 분리·여과하는데 응용될 수 있다. 또한 나노섬유로 구성된 다공성 시트는 고에너지 밀도의 고효율 이차전지를 위한 고분자 전해질이나 격리막으로의 응용이 검토되고 있다. 한편, 나노섬유로 구성된 직물은 미세입자나 박테리아 등이 침투하지 못하는 특성을 이용하여 생화학 물질에 대해 방호 기능을 가지는 시스템에 활용이 시도되고 있는데, 미 국방성의 경우 전장에서 병사를 보호하는 방호복 체계에 전기방사 기술을 활용하는 연구를 활발히 진행하고 있으며, 현재 시제품이 완성되어 성능을 면밀히 평가중인 것으로 알려져 있다. 생체조직의 배양을 위한 scaffold에 나노섬유 부직포의 활용은 미국에서 가장 활발히 연구되고 있는 응용 분야로 PLGA, 콜라겐, elastin 등의 생분해성 고분자로부터 제조된 나노섬유 부직포를 이용한 세포/조직 배양에 관한 기초연구 결과들이 속속 발표되고 있다. 이 밖에 인공피부(창상피복재) 및 인공혈관, 약물전달시스템 등의 의료산업적 응용, 광 및 전자 디바이스를 위한 전도성 나노섬유 소재, 고효율의 센서나 촉매 소재, 탄소 나노섬유 소재, 복합재료용 보강재, 농업용 보호재 등 다양한 분야에서 기존의 제품보다 훨씬 우수한 성능을 기대할 수 있다. 이와 같이 나노섬유의 제조기술은 적절한 소재의 선정에 의하여 기존의 섬유고분자 소재의 한계성을 극복하고 IT관련 산업, ET관련 산업 및 BT 분야 등에 다양한 새로운 신기술을 창출할 수 있을 것이다.

전기방사 공정을 통한 나노섬유의 제조기술은 미국의 Donaldson사에서 1970년대부터 상업화하여 활용하고 있다. Donaldson사에서는 폴리아미드계 고분자를 전기방사하여 나노섬유로 제조한 후 이를 군사용 탱크의 필터 소재에 응용하고 있다. 또한 최근에 e-Spin과 STAR라는 회사가 미국에서 설립되어 생체친화적인 의료용 소재로 나노섬유를 응용하는 기술을 상업화하는 단계에 있다. 현재에는 scale-up에 관련된 문제점들이 해결되지 않아 주로 실험실적인 규모로 연구가 이루어지고 있지만, 장치의 디자인을 바탕으로 하여 대량 생산이 조만간 이루어질 전망이다. 이와 같은 전기방사 기술을 이용한 나노섬유의 개발은 양산화 체제 구축에 대한 연구와 전기장 하에서의 방사거동 및 방사원리에 대한 보다 이론적인 접근이 필요한 시점이다.

전기방사 기술은 아직까지 미국을 중심으로 활발히 연구되고 있지만 기존의 우수한 섬유기술을 보유하고 있는 우리나라에서 이 분야에 집중투자 한다면 멀지 않은 시기에 기술적 우위를 선점할 수 있는 여지가 충분히 있다고 본다.

<충남대학교 섬유공학과 박원호·남영식>
e-mail: parkwh@cnu.ac.kr