

나노섬유에 기대되는 응용 분야

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 조태제
(jtj3513@reseat.re.kr)

1. 서론

- 나노섬유의 실용화를 위해 기대되는 용도로는 생물의학(biomedical)에서의 세포 지지체나 약물방출, 필터 분야에서의 수 처리 및 이온흡착 등이다. 이들을 중심으로 한 Shiga현립대학 연구진의 최근 응용 전개에 대해 소개한다.

2. 생물의학(재생의료)

- 조직재생공학은 세포/분자생태학과 재료화학/공학과와의 연계에 의해 손상된 조직을 복원 또는 치환하는 것을 연구하는 분야이다. 그 목표의 하나가 천연의 세포외 매트릭스의 구조나 생물학적 기능을 모방할 수 있는 3차원 나노섬유 세포 지지체이며 전기방사법의 용도 개발에 관한 연구가 다수 있다. 이것은 세포 이동을 유도하고 기계적 지지를 부여하며 세포활동을 제어한다. 또한 큰 비표면적이나 세포외 기질(ECM)에 유사한 구조 모폴로지와 같은 뛰어난 특성이 있어 이미 효과적인 조직 재생 지지체로서의 가능성이 제시되고 있다. 이러한 지지체 구조는 파종된 세포를 증식시켜 그 자신의 ECM을 만든다.
- 한편 전기방사에 의한 나노섬유는 비표면적이 크고 증식성 등이 우수하나 공경이 매우 작아 세포가 지지체 내에 침윤할 수 없어 입체적인 생육이 곤란하다. 따라서 세포가 침윤, 생육할 수 있는 높은 공극률의 전기방사 나노섬유 지지체가 필요하다.
- Shiga현립대학 연구진은 헥사플루오로이소프로판올과 디클로로메탄의 혼합용매를 이용한 용액으로부터 폴리젯산(PLA)(분자량= 1.5597×10^5 (PS 환산)) 나노섬유를 제작했다. 전기방사는 인가전압 15kV, 용액토출속도

6 μ l/s, 드럼 회전속도 100rpm, 500rpm 및 800rpm의 조건으로 실행됐다. 사용된 개량드럼은 기존의 회전형 드럼에 가는 철제의 블레이드를 설치하고 그 위에 나노섬유를 퇴적시킴으로써 나노섬유가 고속회전에 의해 배향성을 가짐과 동시에 높은 공극률을 확보할 수 있도록 하였다.

- 드럼의 회전속도가 증가할수록 PLA의 결정화도가 증가하며 개량드럼에서 그 효과는 현저했다. 회전수를 증가시킨 결과, 섬유직경은 기존드럼에서는 일정했지만 개량드럼에서는 감소했다. 이는 결정화도의 결과와 함께 개량드럼의 특성에 의한 것으로 섬유가 전기방사 과정에서 연신되어 분자사슬이 배향결정화 되기 때문이다. 따라서 전기방사 과정의 연신도를 검토하기 위해 PLA 필름의 연신배율과 결정화도의 관계를 바탕으로 연신배율과 드럼 회전수의 관계를 검토했다.
- 그 결과 섬유의 결정화도가 가장 높은 것은 개량드럼의 회전속도 800rpm의 경우로서 연신배율은 1.74배였으며, 기존드럼에서는 800rpm에서 1.15배였다. 기존드럼에서는 전장이 일정하므로 드럼 회전에 의한 역학적 힘에만 의해 섬유의 배열, 연신이 일어난다. 개량드럼의 경우는 드럼 회전에 의한 역학적인 힘과 함께 가는 원형 블레이드 부분에서만 섬유가 고정되어 연신되므로 기존드럼에 비해 더 많이 연신되어 배향결정화가 진행되며 결정화도가 증가한다. 개량형 드럼에서 얻어진 나노섬유 매트 SEM 사진의 검토 결과, 섬유 간에는 세포가 침윤할 수 있는 10 μ m 정도의 공극이 다수 존재하므로 세포는 매트 내부에서도 성장이 가능해진다.

3. 여과 필터

- 나노섬유는 ① 초비표면적 효과에 의해 큰 표면적을 가지며, ② 나노사이즈 효과에 의해 압력손실이 감소(slip flow)하고, ③ 초분자배향 효과에 의해 배향도와 결정화도가 증가한다. 이 3대 효과에서 기대되는 성능은 고도의 분리기능이다. 이 분리특성을 해명하기 위해 전기방사법을 이용한 나일론 나노섬유 경우의 여과재 특성을 결정하는 인자인 두께, 중량, 섬유직경, 공극률, 세공경 등의 상관성을 규명했다. 단분산 폴리스티렌 라텍스(PSL)를 이용하여 여과율도 평가했다.

- 전기방사에 의해 나일론 6을 나노섬유로 제조한 결과, 모든 섬유직경의 여과재에서 비중량의 증가에 따라 세공경이 작아지며 균일해졌다. 섬유직경은 가늘수록 여과재의 세공경이 작아졌다. 평균 세공경은 섬유직경이 가늘어짐에 따라 감소하고 비중량의 증가에 따라 균일해지며 감소했다.
- 단분산 PSL 시료에 대한 입자 여과율은 비중량 증가에 따라 높아졌다. 이것은 여과재의 두께가 증가하기 때문이다. 나노섬유의 직경과 나노입자의 제거율을 고찰한 결과, 섬유직경이 증가할수록 포착률은 저하되었다가 다시 증가했다. 그 원인은 섬유직경의 불균일에 의한 것으로 섬유직경이 큰 섬유의 경우는 수목의 가지처럼 매우 가는 섬유가 섞여 있으므로 포착률이 다시 향상된다. 따라서 모든 섬유직경이 균일할 필요는 없으며 막의 강도 등을 고려하면 굵은 섬유는 보강용, 가는 섬유는 포착용으로 구분 사용하면 효과적이다.

4. 이온흡착막

- 최근 환원형 사회의 구축이 중요시되고 있으며 특히 주목받는 것이 전기전자산업의 폐수 중에 대량 함유된 귀금속이온이다. 그 중에서도 금은 물성이 뛰어나며 형태 측면(벌크, 미립자, 이온) 및 용도 면에서 다양하게 사용된다. 그 결과 방출 폐수에는 금이 이온의 형태로 다량 포함된다. 금이온 회수법으로 종래에는 이온교환수지법이나 용매추출법이 사용되었지만 저농도에서의 회수가 곤란하고 흡착 후의 재생이 불가능하며 공정이나 장치가 복잡하다. 이에 Shiga현립대학 연구진은 고도의 금이온 흡착능을 가진 펩티드 공중합체(PCo)의 기능성 고분자를 활용하여 전기방사에 의해 나노섬유 필터를 제작했다.
- PCo는 폴리젯산(PLA)과 폴릴리신의 공중합체로서 PLA의 표면 개질을 목적으로 개발된 것이다. PLA와 폴릴리신 모두 생태적합성 및 생분해성이 뛰어나서 의료재료 분야에도 이용할 수 있다. PCo의 다른 특징은 뛰어난 금이온의 선택적인 포집능으로서 다양한 금속이온 수용액에 대한 흡착실험 결과 금이온 포집효율이 99% 이상이었다.
- SEM 관찰 결과, PLA 나노섬유에 PCo를 첨가함으로써 평균섬유직경이

1150nm에서 250nm로 크게 감소했다. 섬유직경의 감소는 비표면적의 증가라는 의미에서 필터의 제조에는 유리하다. 섬유직경이 감소하는 이유의 하나로 도전율의 변화를 생각할 수 있다. 즉 도전성이 100% PLA에서는 거의 없었지만 PCo를 첨가함으로써 크게 증가했다. 도전율의 증가에 의해 전기방사법으로 전압을 인가할 때 용액의 대전량이 증가하며 나노섬유화 할 때의 정전반발이 증가하여 섬유의 직경이 크게 감소된다. 이외에 PCo 첨가에 의한 계면활성제 효과도 생각할 수 있다.

- 금이온 포집실험의 결과, PLA 나노섬유 단체는 3시간 이상 흡착에도 금이온 수용액의 UV 측정결과는 일정했다. PCo 나노섬유는 폴리리신의 중합도가 증가할수록 금이온의 피크가 감소하며 장파장 쪽으로 전이했다. 즉 PLA 나노섬유는 금이온만을 포집하며, PCo 나노섬유는 금이온을 금미립자로 환원하기 때문에 금미립자도 포집했다.

5. 결론

- 나노섬유에 대한 기대는 아직 크다. 이번에 취급한 생물의학이나 필터는 실용화에 가장 근접한 분야이다. 이외에도 전지용 분리막이나 전자재료에의 응용 가능성도 기대된다. 전기방사를 이용한 나노섬유의 연구는 상당히 진행되어 있으나 실용화를 위한 최대 과제는 제조 코스트이다. 연구에서 제조 단계까지의 중개역할을 기업에만 맡기지 말고 더 적극적인 산학관 협력에 의한 연구개발이 필요하다.

출처 : 山下 義裕, “ナノファイバーに期待される応用分野”, 「繊維機械學會誌(日本)」, 63(6), 2010, pp.307~311.

◁ 전문가 제언 ▷

- 효율적으로 제조된 나노재료는 뛰어난 광학적, 전자기적 및 생화학적인 특성으로 인하여 조직공학, 약물전달 및 오염물질 처리 분야와 함께 연료전지 전해질막 등의 고성능 에너지 디바이스로도 응용 전개 중이다.
- 이 보고서는 나노섬유의 실용화를 위해 크게 기대되는 생물의학(biochemical)에서의 세포배양 지지체나 약물 방출, 필터 분야에서의 수 처리 및 이온흡착 등을 중심으로 한 최근의 응용 전개에 대한 내용으로서 관련분야 연구의 참고자료로서 기대된다.
- 나노섬유 제조에 가장 많이 활용되는 전기방사는 고성능필터로서 공업적으로 발전해왔지만 최근 복합화기술을 기반으로 다양한 용도 개발이 진행 중이다. 또한 응용연구의 진보에 따라 방사조건의 정밀 검토에 의해 기존 방법에서는 섬유화가 곤란한 재료도 방사되고 있다. 최근 일본에서는 수계에서 폴리(γ -글루타민산) 등의 바이오폴리머로부터 극세섬유를 제조하여 생체재료 등에 활용하고 있다. 한편 이중노즐 드라이 방사에 착안하여 내측 노즐로부터 사출되는 용액을 외측 노즐에서 배출되는 공기로 보조하여 미세섬유를 제작함으로써 전기방사와 달리 고전압 없이 공기압만으로 세포의 3차원 배열이 가능한 섬유를 제조했다.
- 우리나라도 지식경제부가 10대 핵심소재에 다기능성 고분자막 소재를 선정하고 민관 합동으로 2018년까지 세계시장 점유율 30%를 목표로 7315억원을 투자한다. 세부개발 분야에서는 연료전지용은 코오롱FM과 한국에너지기술연구원 등이, 수 처리용은 효성과 한국화학연구원 등이, 기체분리용은 현대위아와 경상대학교 등이 공동으로 연구하고 있다.
- 나노섬유 기반 산업은 차세대 주력 산업으로서 미래의 강력한 성장 동력이 될 것이 확실하다. 따라서 간편하게 나노섬유를 제작할 수 있는 전기방사법은 새로운 산업의 혁신적 응용기술로 연계될 수 있는 많은 가능성을 가지므로 앞으로 기초연구와 함께 관련 분야의 상용화로의 중개 역할을 하는 연구에도 많은 관심이 필요하다.

본 분석물은 과학기술진흥기금 및 복권기금의 지원으로 작성되었습니다.