

# 전계방사 나노섬유

2009. 9



## 머 리 말

최근 섬유공업 분야에서 나노섬유가 주목을 받고 있습니다. 그 이유는 나노섬유가 비표면적이 크고, 유연성이 있으며, 나노섬유를 이용하여 새로운 재료가 개발될 수 있다는 기대가 크기 때문입니다. 나노섬유를 만드는 방법으로는 용매에 용해한 고분자용액에 고전압을 작용시켜 섬유를 만드는 용매형 전계방사법과 고분자 용융액에 고전압을 작용시켜 섬유를 만드는 용융형 전계방사법이 있으나 용매형 전계방사법이 주류를 이루고 있습니다.

섬유고분자의 전계방사는 최근 10년간 연구와 상업적으로 엄청나게 관심이 집중되고 있으며 전계방사에 대한 연구활동이 최근 10년 사이에 기하급수적으로 증가하고 있습니다. 이에 최근의 기술개발 동향과 향후전망에 대하여 살펴보고자 합니다.

이 보고서는 「ReSEAT 프로그램 사업」의 일환으로 저희 한국과학기술정보연구원의 서홍석 전문연구위원이 작성한 것으로, 본고에서 주장하는 내용은 필자의 사견일 뿐 저희 연구원의 공식 견해가 아님을 밝혀둡니다.

2009년 9월

한국과학기술정보연구원

원 장 박 영 서

# 목 차

|                   |          |
|-------------------|----------|
| <b>제1장 서 론</b>    | <b>1</b> |
| 1. 나노섬유의 역사       | 1        |
| 2. 나노섬유의 공업화      | 3        |
| <b>제2장 기술의 개요</b> | <b>8</b> |
| 1. 나노섬유의 정의       | 8        |
| 2. 나노섬유의 제조방법     | 10       |
| 가. 단성분 방사         | 12       |
| 나. 다성분 방사         | 13       |
| 다. 부직포방사          | 14       |
| 라. 에어제트 방사        | 14       |
| 마. 플래시 방사         | 15       |
| 3. 전계방사 장치        | 15       |
| 4. 나노섬유의 종류       | 19       |
| 가. 고분자 나노섬유       | 19       |

|                   |    |
|-------------------|----|
| 나. 탄소 나노섬유 .....  | 19 |
| 다. 기타 나노섬유 .....  | 20 |
| 5. 나노섬유의 특징 ..... | 20 |
| 가. 초비표면적 .....    | 22 |
| 나. 나노사이즈 .....    | 23 |
| 다. 초분자배열 .....    | 23 |

### 제3장 전계방사 나노섬유의 응용 .....25

|                        |    |
|------------------------|----|
| 1. 필터소재 .....          | 25 |
| 가. 공기필터 .....          | 26 |
| 나. 정수필터 .....          | 27 |
| 나. 연료필터 .....          | 28 |
| 2. 방호기능 소재 .....       | 29 |
| 3. 활성탄소 소재 .....       | 29 |
| 4. 에너지 저장기능 소재 .....   | 30 |
| 5. 항균성 나노섬유 .....      | 31 |
| 6. 생체 및 조직공학용 소재 ..... | 31 |
| 가. 상처 치료 .....         | 34 |
| 나. 약물 수송 및 방출 .....    | 34 |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 7. 템플릿 .....             | 35        |
| 8. 직물 .....              | 36        |
| 9. 촉매 .....              | 38        |
| 10. 에너지용 나노섬유 .....      | 39        |
| 가. 전지용 나노섬유 .....        | 39        |
| 나. 에너지 저장/변환용 나노섬유 ..... | 40        |
| 11. 슈퍼캐패시터용 전극 .....     | 41        |
| 12. 고감도 전계방사 센서 .....    | 42        |
| <b>제4장 특허정보 분석 .....</b> | <b>43</b> |
| 1. 분석의 범위 및 방법 .....     | 43        |
| 2. 특허정보 분석 결과 .....      | 43        |
| 3. 전체분석 .....            | 45        |
| 가. 연도별 특허출원 동향 .....     | 45        |
| 나. 주요 출원인별 특허출원 동향 ..... | 46        |
| 다. 기술별 특허동향 .....        | 47        |
| 4. 한국특허 .....            | 48        |
| 가. 연도별 특허출원 동향 .....     | 48        |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 나. 주요 출원인별 출원동향 .....    | 49        |
| 다. IPC별 특허 출원동향 .....    | 50        |
| 5. 미국특허 .....            | 50        |
| 가. 연도별 출원동향 .....        | 50        |
| 나. 주요 출원인별 .....         | 51        |
| 다. IPC별 출원동향 .....       | 52        |
| 6. 유럽특허 .....            | 53        |
| 가. 연도별 특허 출원동향 .....     | 53        |
| 나. 주요 출원인별 특허 출원동향 ..... | 54        |
| 다. IPC별 특허 출원동향 .....    | 54        |
| 7. 일본특허 .....            | 55        |
| 가. 연도별 특허 출원동향 .....     | 55        |
| 나. 주요 출원인별 출원동향 .....    | 56        |
| 다. IPC별 특허 출원동향 .....    | 56        |
| 8. 국제특허 .....            | 57        |
| 가. 연도별 특허 출원동향 .....     | 57        |
| 나. 주요 출원인별 특허 출원동향 ..... | 58        |
| 다. IPC별 출원동향 .....       | 59        |
| <b>제5장 결론 .....</b>      | <b>61</b> |
| <b>참고문헌 .....</b>        | <b>65</b> |

## 표 목차

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| <표 1-1> 나노섬유의 제조법 비교 .....              | 4  |
| <표 2-1> 나노섬유의 기술적 주요발명 .....            | 21 |
| <표 2-2> 나노섬유의 물리, 전기, 기계적성질 .....       | 23 |
| <표 4-1> 전계방사 나노섬유의 주요 IPC 분류 및 정의 ..... | 47 |

## 그림 목차

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| <그림 2-1> 마이크로섬유와 나노섬유의 비교 .....         | 9  |
| <그림 2-2> 섬유 굵기에 따른 대표적인 제조공정과 생산성 ..... | 11 |
| <그림 2-3> 복합방사 해도형 분할형 다층형 극세사 .....     | 13 |
| <그림 2-4> 전계방사 장치의 기본개념도 .....           | 17 |
| <그림 2-5> 전계방사에 의한 나노섬유 제조공정도 .....      | 18 |
| <그림 2-6> 나노섬유의 특징 .....                 | 22 |
| <그림 4-1> 연도별 전체 특허 출원동향 .....           | 45 |
| <그림 4-2> 상위 출원인별 전체 특허 출원동향 .....       | 46 |
| <그림 4-3> 주요 IPC별 전체 특허 출원동향 .....       | 47 |
| <그림 4-4> 한국특허 연도별 출원동향 .....            | 48 |
| <그림 4-5> 한국특허 출원인별 출원동향 .....           | 49 |
| <그림 4-6> 한국특허 IPC별 출원동향 .....           | 50 |
| <그림 4-7> 미국특허 연도별 출원동향 .....            | 51 |
| <그림 4-8> 미국특허 출원인별 출원동향 .....           | 52 |
| <그림 4-9> 미국특허 IPC별 출원동향 .....           | 52 |
| <그림 4-10> 유럽특허 연도별 출원동향 .....           | 53 |
| <그림 4-11> 유럽특허 출원인별 출원동향 .....          | 54 |
| <그림 4-12> 유럽특허 IPC별 출원동향 .....          | 54 |
| <그림 4-13> 일본특허 연도별 출원동향 .....           | 55 |
| <그림 4-14> 일본특허 출원인별 출원동향 .....          | 56 |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| <그림 4-15> 일본특허 IPC별 출원동향 ..... | 57 |
| <그림 4-16> 국제특허 연도별 출원동향 .....  | 58 |
| <그림 4-17> 국제특허 출원인별 출원동향 ..... | 59 |
| <그림 4-18> 국제특허 IPC별 출원동향 ..... | 61 |

제 1 장

---



---

## 서      론

### 1. 나노섬유의 역사

- 전계방사법은 1795년 Bose가 표면장력에 의해 모세관 끝에 매달려있는 물방울에 고전압을 부여할 때 물방울 표면에서 미세 필라멘트가 방출되는 정전 스프레이 현상을 발견한 것에 기원을 둘 수 있으며, 점도를 가진 고분자 용액이나 용융체에 정전기력이 주어질 경우 섬유가 형성되는 현상<sup>1)</sup>이다.
  
- 전계방사법은 1930년에 출원된 미국특허 1,975,504에 이미 기술이 전개되어 있으나 그 후 실용화는 일부 필터 용도를 제외하고는 거의 보고되지 않고 있다. 그 이유는 전계방사법의 생산성이 낮고, 나노사이즈의 섬유보다도 마이크로미터 사이즈의 용융유동법(MB)이나 플래시방사법이 시대의 요구에 부합했기 때문이다. 그러나 최근 나노테크놀로지에 대한 기술이 주목되기 시작하면서 2000년부터 급격히 연구가 활발해지고 있다.

- 전계방사 기술은 자본집약적이고 대량생산을 위한 지금까지의 섬유생산 시스템으로부터 시설투자가 적고, 경제적인 생산체제로 전환할 수 있는 장점을 가지고 있어 전계방사에 의한 나노 섬유 제조기술은 현재 재료화학으로부터 생명과학에 이르기까지 다양하게 연구되고 있다.<sup>2)</sup>
- 전계방사로 생산된 섬유의 직경은 단면적당 10개 이하의 고분자 사슬로 이루어진 굵기가 작은 섬유에서부터 통상적인 방직 섬유 굵기까지 광범위한 섬유를 생산할 수 있으며, 앞으로도 나노과학이나 재료과학, 생명과학 분야에서 그 수요가 급격하게 늘어날 것으로 전망된다.
- 생의학 분야에서는 약물의 조절 방출과 약물 전달을 위한 운송체, 세포조직공학 지지체, 유착 방지를 위한 차단제, 상처 처리제, 생화학측매 담체, 생체 인식을 위한 활성 성분 등에 대한 기술이 개발되고 있다. 또한 다양한 고분자와 복합하여 직접 섬유를 만들 수 있는 간단한 기술로서 부직포 매트, 다층 구조 적층 형태 등으로도 가공할 수 있다.
- 나노섬유 기술은 미국, 독일, 러시아에서 선행하고 있으며, 특히 미국에서는 MIT의 나노테크놀로지 연구소를 비롯해 50개 이상의 대학이나 연구기관에서 기술개발을 하고 있다. 독일에

서는 마루브루그 대학을 중심으로 기업 등이 가담해 수년 후에는 나노섬유 시대가 온다고 선언하고 있다. 러시아에서는 구 소련 시대부터 전계방사를 중심으로 극비리에 연구개발이 추진되어 기초과학으로부터 장치개발에 이르기까지 높은 수준을 유지하고 있다.<sup>3)</sup>

- 이들 기술은 패션성이 우수한 섬유제품의 제조가 목적이 아니라 초경량으로 방폭성 등이 우수한 방호복, 엔진필터나 차세대 클린 룸용 필터와 같은 환경 재료, 2차전지 세퍼레이터, 전극재료 및 센서 팁 등 IT 관련재료, 재생의료용 지지체(scaffold) 등 바이오 관련 재료와 같이 지금까지와는 달리 IT, 바이오, 환경 등 최첨단의 산업을 뒷받침하는 재료로서 나노섬유에 관한 것이다.

## 2. 나노섬유의 공업화

- 나노섬유의 제조법으로는 전계방사법 외에 복합방사법, 멜트블로우법, CVD법, 생물법 등이 있으며, <표 1-2>에 이들의 장단점을 소개한다. 복합용융방사법에서는 20nm 정도까지 공업생산이 가능하며, 폴리에틸렌테레프탈레이트 등의 용융고분자에 이용되고 있다. 멜트블로우법은 200nm 정도까지 공업생산이 가능하며, 폴리프로필렌 등의 용융고분자에 이용되고 있다.

○ CVD법은 카본나노튜브를 제조하는 방법으로 알려져 있으며, 생물법은 박테리아 등의 미생물을 이용하는 방법과 목재 등의 셀룰로오스를 이용하는 방법<sup>4)</sup>이 알려져 있다.

○ 전계방사의 기본 구성은 아주 간단하다. 노즐이 용기에 설치되어 있고, 그 하단에 강 전압을 걸면 대전극에 나노섬유가 부착되는 원리이다. 그러나 실제 공정은 그리 간단치 않다. 액적이 노즐로부터 나오면 변형이 일어나고, 아주 가늘어 수nm까지만 들어진다. 통상 평활면을 갖지만 다공성을 갖게 할 수 있다.

<표 1-1> 나노섬유의 제조법 비교<sup>3)</sup>

| 방 사 법       | 장 점                                                                                                                                                    | 문 제 점                                                                                                               | 대 상 자 료                                                                                                                         |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 전계<br>방사법   | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 상온에서 방사가능</li> <li>· 방사가능한 섬유경은 수nm ~ 수십<math>\mu</math>m</li> <li>· 표면구조 제어 용이</li> <li>· 콤포지트 용이</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 생산성이 낮음</li> <li>· 용제회수가 필요</li> <li>· 방폭설비가 필요</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 용제 가능, 고분자, 단백질(대부분의 고분자에 적용 가능)</li> <li>· 열에 약한 재료</li> <li>· 무기재료도 방사 가능</li> </ul> |
| 복합용융<br>방사법 | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 1,000 nm 이하의 초극세섬유 방사가능</li> </ul>                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 섬유 분할공정이 필요</li> <li>· 열에 약한 소재에는 적용 불가능</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 용융가능한 고분자에만 적용 가능(나일론, PET)</li> </ul>                                                 |
| 멜트<br>블로우법  | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 공정이 용이</li> </ul>                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 섬유경 0.5<math>\mu</math> 이하의 방사는 곤란</li> <li>· 열에 약한 소재에는 적용 불가능</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>· 용융 가능한 고분자에만 적용 가능(PP, PE, PET)</li> </ul>                                             |

- 전계방사는 전계를 이용한 초극세섬유 제조기술로서 상온에서 방사, 표면구조 제어, 하이브리드화 등이 용이하고 모든 고분자를 이용할 수 있다. 본격적인 공업생산을 하기 위해서는 생산성 향상과 용매회수기술의 확립 등을 통하여 대형장치의 개발과 섬유의 고기능화를 위한 기술개발이 절실하게 요청된다.
  
- 미국에서는 도날드슨사가 고기능 에어필터의 개발에 전계방사법을 이용하고 있으며, 현재 전차 등의 군수로부터 민수로 이행하고 있으며, 대형 트럭용 엔진 공기 필터로서 크게 발전하고 있다. 이 외에 미국에서는 듀폰사, 이스핀사, 파인텍스사, 나노스테틱스사 등이 대형장치를 개발하고 있다. 듀폰사는 한국의 나노테크닉스사를 매수하여 한국에서 제조를 하고 있다. 이들은 모두 노즐을 사용하고 있으며, 유기용매의 회수, 방폭, 노즐 막힘 등의 보수유지에 큰 과제를 안고 있다.
  
- 유럽에서도 대형 장치의 개발과 대량생산이 고려되고 있다. 노즐 이외의 방식의 개발이 발전하여 공업생산 수준까지 가까워지고 있다. 초코에르마루고사의 전계방사장치는 노즐방식이 아니라 실린더방식을 채용하고 있으며, 이 방식은 2004년부터 리베레츠 공과대학과 공동으로 개발에 착수하였다.

- 실린더방식은 노즐을 사용하지 않기 때문에 보수유지가 용이하며, 대형화에 유리하다. 전계방사장치에 대해서는 연구실용 장치와 대형장치를 개발하고 있다. 연구실용은 20cm 폭과 50cm 폭, 대형장치에 대해서는 1.6m 폭의 장치를 이미 개발하였으며, 3.2m 폭의 장치를 계획 중이다. 실린더를 직렬로 배치함으로써 생산성 향상이 가능하며, 장치의 안전성에 대해서는 EU의 안전기준(CE standards)에 부합하고 있다.
- 독일의 슈트트가르트 근교에 있는 덴켄도루프 섬유가공기술연구소에서는 생산성 향상을 위해 원심방사의 개발을 진행하고 있다. 이 방법은 고속으로 회전하는 센터벨의 원심력에 의해 방사를 하고, 전장과 에어에 의해 콜렉터 상에 부직포를 회수하는 방법이다. 전계방사와 멜트블로우 중간에 위치하는 기술이며, 전계방사보다 생산성이 높고, 멜트블로우보다 가느다란 섬유를 만들 수 있다.
- 이미 폴리비닐알콜, 폴리에틸렌옥사이드, 폴리우레탄, 폴리이미드, 폴리아크릴로니트릴의 방사에 성공하고 있으나 문제점은 전계방사에 비해 섬유경이 불균일하다는 것이다. 현재 1m 폭의 대형장치의 시험기와 1.5m 폭의 대형장치를 계획 중이다. 앞으로 대형장치의 개발에 있어서는 비수계 용매의 회수가 중요한 과제이다.

- 영국, 스페인, 스위스, 이탈리아, 스웨덴, 폴란드, 중국, 한국, 대만, 호주, 싱가포르, 인도, 이란, 남아프리카 등에서도 전계방사장치의 개발이 추진되고 있으며, 이들은 주로 노즐방식이다. 지금까지는 고분자 용액을 이용한 전계방사였지만 앞으로 용융고분자를 이용한 전계방사법의 연구개발이 진행될 것으로 생각된다.

## 제 2 장

## 기술의 개요

## 1. 나노섬유의 정의

- 나노재료는 적어도 100nm 이하의 치수를 갖는 것으로서, 직물용 섬유의 경우 직경이 100nm이고 종횡비가 100:1 이상인 1차원의 유연성 고체상 나노재료라고 정의할 수 있다.
- 극세사란 일반적으로 사람 머리카락 굵기의 100분의 1보다 가늘게 수축, 가공한 섬유로서 microfiber<sup>①</sup>라는 용어로 사용되어 왔다. 최근 들어 나노소재 관련기술이 빠르게 발전함에 따라 기존 극세사보다 더욱 얇고 가는 섬유 소재가 개발되고 있으며, 최근에는 1 micrometer 이하의 섬유를 극세사의 새로운 기준으로 사용하고 있는 추세이며 이를 나노섬유<sup>②</sup>라고 한다.

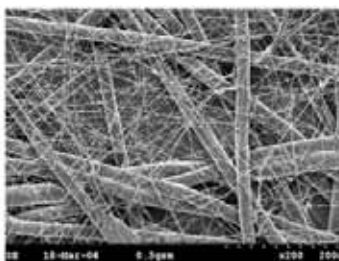
① 미국과 유럽에서는 1.0d(denier) 이하의 섬유를 microfiber라고 하며, 극세사와 초극세사의 구분을 하지 않고 있다. 합성섬유를 직접 방사하는 것으로서는 0.4d 정도까지의 굵기가 방사 한계라고 한다. 따라서 0.4~1.0d 정도까지를 극세사라고 하고, 0.3d 이하의 섬유를 초극세사라고 구분하는 것이 우리나라와 아시아의 관행이다.

② 나노소재의 일반적인 기준인 100nm 이하의 기준에는 미치지 못하지만 섬유 또는 직물분야에서는 지름 1,000nm 이하인 섬유를 nanofiber로 정의하고 있다.

○ 나노섬유는 나노사이즈 섬유와 나노구조 섬유로 대별된다. 나노사이즈섬유란 문자 그대로 나노오더의 직경을 가진 섬유로 엄밀하게는 1nm로부터 100nm를 말한다. 나노구조섬유는 섬유경이 나노오더나 마이크로오더인가에 관계없이 내부구조가 나노오더로 제어되어 있는 섬유를 말한다. 일반적으로 가는 섬유일수록 생산성이 낮으며, 굵기에 따른 대표적인 제조공정 기술을 표시하면 <그림 2-1>과 같다.

○ 나노섬유는 직경이 나노 오더의 섬유 또는 굵기에 상관없이 섬유의 표면이나 내부구조가 나노 오더로 제어된 섬유상 물질로 구분할 수 있다. 이 중 나노 사이즈 섬유를 보통 나노섬유라 부르고 있다. 굵기가 종래의 섬유에 비하여 1,000분의 1 이하로 아주 가늘기 때문에 섬유 표면 대부분이 공기에 접하고 있어 섬유 물성이 종래의 섬유와는 아주 다르다.

<그림 2-1> Microfiber와 nanofiber의 비교<sup>5)</sup>



[Spunbond로 집합한 NanoFiber와 마이크로 파이버의 구조]



[머리카락과 비교한 나노파이버 크기]

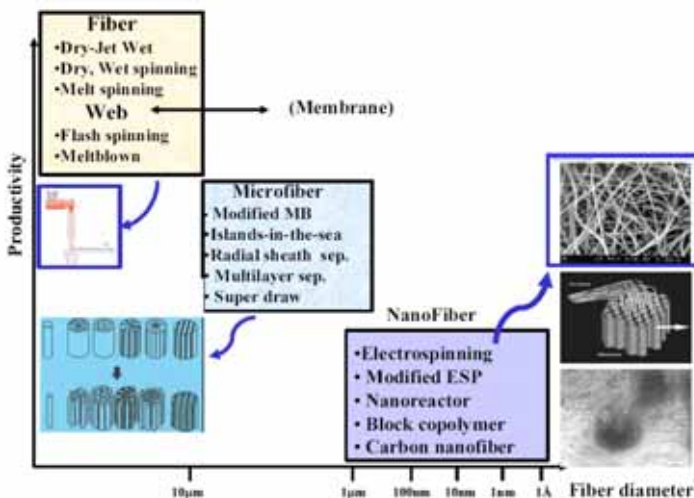
- 나노구조 섬유는 섬유두께와 상관없이 내부, 외부, 표면에 나노 크기로 제어되는 정밀한 구조설계를 통해 신기능을 발현한 섬유를 말한다. 이와 같이 나노수준의 입자나 구조제어를 통해 섬유의 고기능화를 도모하는 것이 나노구조섬유의 목적이다.
- 특히 최근 웰빙형 제품이 각광을 받으면서 나노분말과 광촉매를 실생활에 적용하여 건축재, 가전제품, 화장품 등의 생활용품에 적용하는 제품들이 제조되고 있으며, 섬유분야에 있어서는 항균/위생 기능을 지닌 나노사이즈 은을 중합단계나 방사 시에 적용하여 살균, 탈취 및 전자파 차폐특성을 부여하는 연구가 가장 활발하게 진행되고 있다. 또한 후가공 공정 중에 나노구조를 발현하도록 하는 연구도 진행되고 있다.

## 2. 나노섬유의 제조방법

- 나노섬유 제조기술은 섬유직경이 나노크기인 섬유를 직접 제조하는 것으로 복합방사, 부직포방사 및 직접방사 등으로 제조된다. 섬유의 크기를 나노크기로 제어함으로써 기존의 기능을 크게 향상시킬 수 있고, 의류용뿐만 아니라 필터, 에너지 저장소재 및 의료용까지 그 용도를 확대하고 있다.

○ 나노섬유란 엄밀한 의미에서 보면, 1nm부터 100nm의 직경을 가진 섬유를 말하나 섬유산업에서는 이러한 섬유의 용도가 극히 제한적이어서, 극세사로 칭하는 마이크로섬유(micro fiber)와의 차별화를 위하여 섬유의 직경이 1 $\mu$ m 이하인 섬유를 지칭하고 있다. 최근에 언급되고 있는 나노섬유는 일반적으로 전계방사(electrospinning)나 이를 개선한 방법으로 제조된 섬유를 말하고 있으며, 제조방법에 따라 크게 나노방사 분야와 나노구조 섬유 분야로 나누어 볼 수 있다. 일반적으로 가는 섬유일수록 생산성이 낮으며, 굵기에 따른 대표적인 제조공정 기술을 표시하면 <그림 2-2>와 같다.

<그림 2-2> 섬유 굵기에 따른 대표적인 제조공정과 생산성<sup>6)</sup>



## 가. 단성분 방사

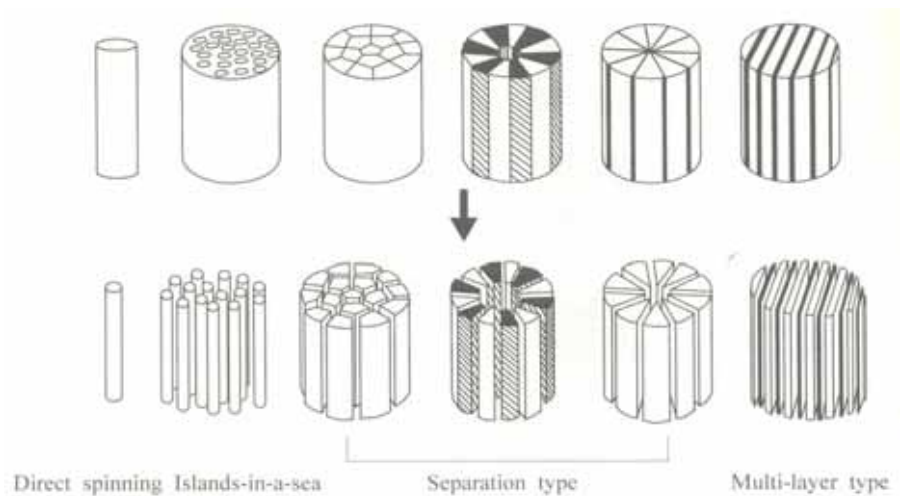
○ 단성분 방사에는 직접방사와 특수방사 방법이 있다. 단성분 방사는 원하는 점도의 섬유를 직접 방사하는 방법으로 극세화 후 공정을 거치지 않으므로 제조원가가 절감되는 장점이 있으나, 나노단위의 극세섬도에는 설비상 한계가 있다. 현재 듀폰사 등에서는 0.3 denier, 국내의 효성은 0.2 denier의 극세 수준까지 초극세 섬유를 제조할 수 있는 것으로 알려져 있다. 특수방사는 Melt-blown법, flash-extrusion법, super-draw법 등이 있으며 주로 방사와 동시에 부직포 형태로 제조된다.

○ Melt blown 기술은 압축된 기체를 이용한 고분자 용융체를 분사하여 초극세섬유를 제조하는 기술이다. 그러나 섬유의 물성과 균일성이 좋지 못하여 고급제품의 개발에는 한계가 있다. 변형된 melt blown 기술에는 전계방사와 결합된 melt blown 기술과 용액을 블로잉하는 기술이 현재 개발되고 있으며, 기존의 melt blown 기술보다는 더 가늘고 균일한 제품을 얻을 수 있다. 이 기술은 미국 Akron대학의 Reneker 교수 등에 의해 처음 제안되었으며, 이 기술과 기존의 전계방사법과 융합된 새로운 melt blown 기술도 우리나라의 한국생산기술연구원 및 (주)나노테크닉스에 의해 개발되고 있다. 이 방법은 순수한 전계방사보다 생산성을 크게 높일 수 있다는 장점이 있다.

나. 다성분 방사(복합방사, top-down 방식)

- 다성분 방사는 해도형, 분할형, 다층형 섬유를 제조할 수 있다.  
 해도형 섬유는 추출형이라고 하며, 서로 다른 용제 추출성을 갖는 2가지 이상의 고분자를 복합방사한 후, 한 고분자 성분을 용제로 추출하는 방식으로 0.01 denier급 섬유의 제조가 가능하며(<그림 2-3> 참조) 전계방사나 melt blown에 비해 지름편차가 적은 장점이 있다.

<그림 2-3> 복합방사 해도형, 분할형, 다층형 극세사



- 복합방사에 의한 나노섬유 형성은 2단계 공정이다. 해도형이나 분할형 섬유를 방사한 후, 한 가지 성분을 제거한다. 해도형 섬유는 Toray사가 최초로 개발한 것으로서 “바다”에 해당되는 다른 종류의 고분자 매트릭스에 둘러싸인 많은 수의 “섬”으로 구성되어 있다. “바다” 고분자는 용매에 녹이거나 열에 녹여내어 극세섬유만 남게 된다. 이 섬유는 용융방사에 의해 제조되며, “섬”의 개수가 최대 3,000개까지 개발되고 있다.

#### 다. 부직포방사(bottom-up 방식)

- 부직포방사는 주로 미국, 유럽에서 연구개발 중인 분야로 한국의 경우 중소기업의 독자기술개발로 인하여 제조기술이 이미 상업화 단계에 있으며, 이 분야에서 세계수준의 기술을 보유하고 있다.

#### 라. 에어제트 방사

- 에어제트방사는 오늘날 가는 섬유를 만드는 가장 우수한 공정이다. 이 공법은 부직포를 제조하는 공법으로서 1950년대에 개발되었다. 고분자 용융물을 구금(dies)을 통하여 압출시킨 후

가열된 고속 공기를 이용하여 섬유를 제조한다. 이 섬유는 포집기에 불규칙하게 쌓이게 하여 부직포 구조를 형성시킨다.

#### 마. 플래시 방사

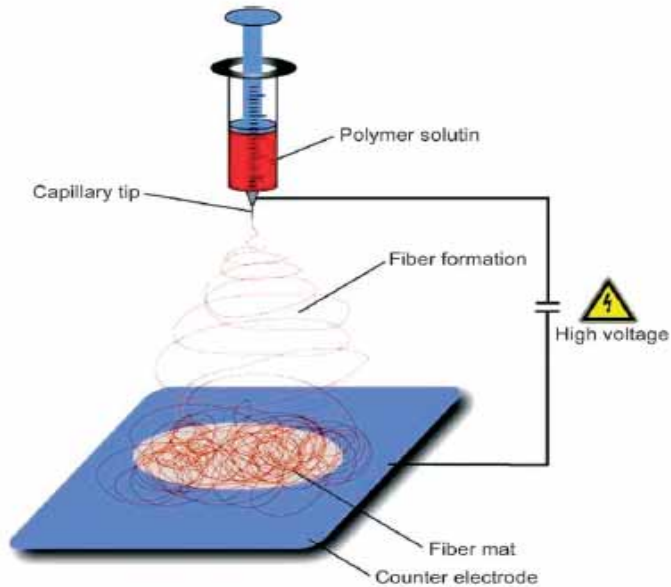
- 플래시방사는 스핀본드 기술의 변형 형태라 할 수 있다. 프로필렌과 같은 고분자를 녹여 압출한 후 용매를 구금 직후 증발시킴으로써 개개의 섬유가 피브릴 형태로 이동 스크린에 포집되어 망상 구조를 형성한다. 플래시방사는 극세사로 구성된 플렉시필라멘트 필름-피브릴 스트랜드를 생산하는 데 사용되어 왔다.

### 3. 전계방사 장치

- 전계방사는 전하차이를 이용하여 제조하는 방법으로 다른 방법으로는 가공할 수 없는 극세 고분자섬유를 제조할 수 있는 기술로 각광을 받고 있다. 고분자, 세라믹, 복합재료, 금속 등의 용액이나 용융물을 나노미터에서 서브미크로미터 직경을 가진 섬유를 제조할 수 있는 비교적 간단하고 쉬운 방법이다.

- 전계방사 장치는 수직으로 위치한 모세관 끝, 즉 방적돌기에서 고분자 용액은 중력과 표면장력 사이에 평형을 이루며 반구형 방울을 형성하며 매달려 있게 된다. 이때 전기장을 부여하면 표면장력과 반대되는 힘이 발생하여, 반구형 방울은 원추형 모양으로 늘어나게 되며, 전기장이 어느 세기 이상이 되면 표면장력을 극복하면서 하전된 고분자 용액의 젯이 테일러 콘에서 계속해서 방출된다.(〈그림 2-4〉 참조)
  
- 전계방사 시 원추각은 약 30도이다. 보다 더 높은 전압이 걸리게 되면 변형된 방울로부터 분사가 형성된다. 이 분사물은 반대 전극 방향으로 이동하고 굽기가 얇아진다. 반대 전극으로 향하는 동안 용매가 증발되고, 높은 속도로 반대 전극으로 향함에 따라 직경이 마이크로미터에서 나노미터에 이르는 고체 섬유가 석출된다.
  
- 전계방사 장치는 아주 간단하지만, 전계의 영향 하에서의 섬유 방사 메커니즘은 아주 복잡하다. 전계방사의 핵심은 매달린 방울 표면에 전하를 고정화시킴으로써 연속적인 제트(jet)를 만들어내는 것이다.

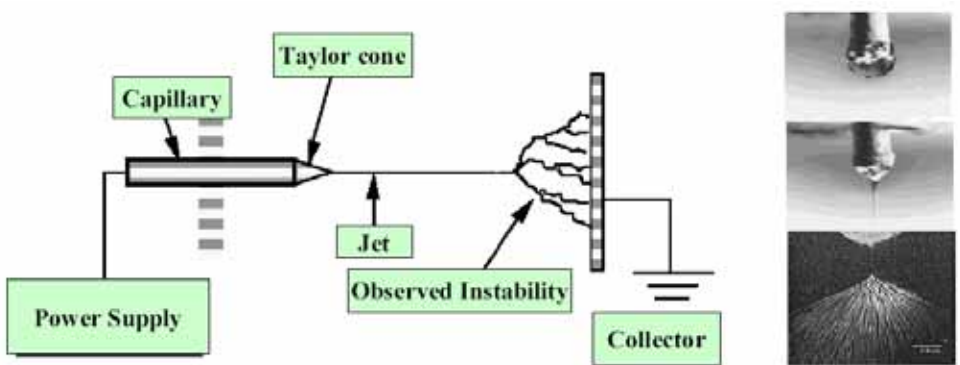
&lt;그림 2-4&gt; 전계방사장치의 기본개념도



- 전계방사 과정은 5가지 주요 단계로 나눌 수 있다. 1) 매달린 방울의 전하 부가, 2) 콘-제트(cone-jet)의 형성, 3) 안정화 제트의 세선화, 4) 제트 안정성의 성장을 통한 나노미터 크기로 직경 감소, 그리고 5) 여러 가지 형태로의 섬유 포집이다. 불안정한 액체 필라멘트의 연신을 통해 나노미터 크기 직경의 섬유를 형성하여 고화시킨 후 포집기 상에 섬유가 쌓이게 된다(<그림 2-5> 참조). 액체 제트는 방사 및 연신 과정에서 섬유 형태를 유지시키기 위해 적절한 점탄성을 유지해야 한다.

- 나노섬유를 응용하기 위해서는 복잡한 구조를 갖는 나노섬유가 필요하다. 2003년 복합전계방사 방법이 개발되었다. 2종류의 용액과 2개의 노즐을 사용하는 방법으로 복합 액적을 형성시킨다. 코어셸(core shell) 구조를 만들어 코어 부분에 수용액이나 알코올, 기름에 녹는 것을 사용한다. 또는 효소나 단백질, 성장인자, 항생물질, 박테리아 등을 넣을 수도 있다. 이 방법을 사용하여 중공사도 제조 가능하다.

<그림 2-5> 전기방사에 의한 나노섬유 제조공정도



#### (4) 탄소나노튜브 성장법

- 직경이 nm, 길이가 수  $\mu\text{m}$ 의 중공원통상의 형태를 지니며, 우수한 전기적 특성 및 뛰어난 강도로 인해 최근 가장 각광 받는

분야 중 하나이다. 섬유분야에서는 탄소나노튜브를 활용한 전도성 및 기능성 섬유소재 개발 등에 적용되고 있다. 주된 용도로는 리튬이온전지나 연료전지 등의 첨단전자소재 및 나노복합체 강화재료 등에 적용되고 있다.

## 4. 나노섬유의 종류

### 가. 고분자 나노섬유

- 고분자는 가장 먼저 개발된 나노섬유 소재로, 현재 가장 일반적인 나노섬유 제조법인 전계방사법의 발전과 함께 시작되었다. 1980년대 초에 Donaldson사가 세계 최초로 500nm 이하의 전계방사 나노섬유를 제조하여 공기필터 시장에 적용하였다. 원료로는 다양한 고분자가 개발되어 있으며, 대부분의 상용 고분자를 나노섬유로서 응용할 수 있다.

### 나. 탄소 나노섬유(Carbon Nanofiber)

- 탄소 나노섬유는 1952년 러시아의 Radushkevich와 Lukyanovich가 처음으로 지름 50nm의 중공 탄소섬유를 발표한 이래, 1976년 프랑스의 Oberlin과 일본 신슈대의 Endo와 Koyama가 CVD 공정을 통한 나노단위의 탄소섬유를 개발하였다. 그 이후 <표 2-1>과

같이 미국, 일본 등에서 중요한 기술적 진보가 이루어졌다.

#### 다. 기타 나노섬유

- 나노섬유의 소재는 다양한 소재가 응용되고 있다. 고분자와 탄소 이외에도 세라믹, 유리, 금속, 그리고 이들의 복합체가 나노섬유로 응용되고 있으며, 거의 모든 산업분야에 적용되고 있다.

### 5. 나노섬유의 특징

- 나노섬유는 일반 섬유에 비하여 낮은 밀도와 단위부피당 표면적이 매우 큰 특징을 가지고 있다. 따라서 표면에 기능성 그룹의 도입, 원자 또는 이온의 반응, 나노입자의 흡착을 비교적 용이하게 할 수 있다. 또한 나노섬유를 이용한 나노웹(nano web)은 미세공극의 치밀한 형성이 가능하여 고효율/고성능의 소재로 적용이 가능하고, 미세입자 또는 수증기를 선택적으로 투과할 수 있어 다양한 분야로의 응용이 가능하다.
- 한편 나노섬유의 물리적 특성의 정량화는 일반적인 방법으로는 매우 어려우므로, AFM(atomic force microscope)을 통하여 측

정하고 있다. <표 2-3>에 고분자 나노섬유와 탄소 나노섬유(탄소 나노튜브 포함)에서 전형적으로 나타나는 정량적인 물성 값을 나타내었다<sup>8)</sup>.

<표 2-1> 나노섬유의 기술적 주요발명

| 기 간         | 발 명 인(기업)                         | 내 용                                                                                  |
|-------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1897년       | Lord Raleigh                      | Observed electrostatic atomization of conductive fluid under applied voltage         |
| 1914년       | John Zeleny                       | Studied the phenomena occurring in the electrospray process                          |
| 1934년       | Anton Formhals                    | Assigned the first U.S. patent for the electrospinning process                       |
| 1952년       | Radushkevich & Lukyanovich        | Creation of hollow graphitic carbon fibers                                           |
| 1976년       | Oberlin, Endo & Koyama            | Development of a CVD process for creating nanoscale carbon fibers                    |
| 1980년<br>대  | Donaldson Co.                     | Introduced manufacturing of electrospun polymeric nanofibers at industrial level     |
| 1987년       | Hyperion Catalysis                | Assigned first U.S. patent for hollow carbon fibers                                  |
| 1991년       | Sumio Iijima                      | Discovered multi-walled carbon nanotubes                                             |
| 1993년       | IBM Almaden Research Center & NEC | Discovered single-walled carbon nanotubes                                            |
| 1995년<br>이후 |                                   | Increasing R&D activities in the field of nanofibers and their fabrication processes |

<그림 2-6> 나노섬유의 특징<sup>7)</sup>

### 가. 초비표면적

- 모발의 직경이 약 50미크론이며, 같은 중량의 500-5nm의 굵기의 나노섬유와 비교하면 100-10000배의 표면적을 가지고 있어 분자인식성이나 흡착특성 등이 우수한 성질을 갖는다. 이와 같이 비표면적이 매우 커지면 다른 분자를 인식하는 분자인식성이나 다른 분자를 흡착하는 흡착특성이 향상되어 센서나 재생 의료용 재료로서 이용할 수 있다.

&lt;표 2-2&gt; 나노섬유의 물리, 전기, 기계적 성질

| 특성                                   | 고분자<br>나노섬유         | 탄소 나노섬유          |
|--------------------------------------|---------------------|------------------|
| 밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )         | 1.0~1.4             | 2.0~2.5          |
| 표면적( $\text{m}^2/\text{kg}$ )        | $10^4 \sim 10^6$    | $10^4 \sim 10^6$ |
| 전기저항( $\text{Ohm} \cdot \text{cm}$ ) | $10^{-2} \sim 10^3$ | $< 10^{-3}$      |
| 열전도도( $\text{W}/\text{mK}$ )         | -                   | 2,000            |
| Young's<br>modulus(GPa)              | 0.5~70              | 200~600          |
| 인장강도(MPa)                            | 50~800              | 2,000~7,000      |

## 나. 나노사이즈

- 나노섬유는 유체역학특성과 광학특성 등이 우수하다. 유체역학 특성에서는 기체 등의 저분자는 슬립 플로우를 일으켜 필터류에 있어서 압력손실을 저감할 수 있을 뿐만 아니라 지금까지 포집되지 못한 서브미크론 미립자를 완전히 포집할 수 있어 초고성능 필터로서 매우 큰 기대가 모아지고 있다. 또한 나노섬유의 직경이 광의 파장보다 짧기 때문에 광의 난반사가 적어져 투명도가 높은 섬유가 만들어지며, 액정과 혼합하여 사용하면 매우 광의 투과성이 우수한 전자종이가 가능하고 또한 디스플레이용 광학재료로서 사용할 수 있다.

## 다. 초분자배열

- 섬유 내의 고분자 사슬이 똑바로 늘어져서 생기는 효과로 전기적 특성, 역학적 특성, 열적특성이 형성된다. 전기적 특성에서는 카본나노섬유, 카본나노튜브나 전도성 고분자 나노섬유와 같이 나노섬유에서도 전도성 원자나 분자를 규칙적으로 똑바로 배열할 수가 있으므로 전도성이 매우 우수한 섬유를 만들 수 있다. 전류수송량을 동선의 1000배 정도로 할 수 있으며, 웨어러블 일렉트로닉스나 모바일 연료전지에 사용할 수 있다.
- 역학적 특성에서는 나노섬유 내에서 고분자가 똑바로 배열하고 있기 때문에 매우 강한 섬유를 만들 수 있다. 인장강도를 나일론의 100배 이상으로 할 수 있고, 수퍼 안전복으로 사용할 수 있다.
- 열적특성에서는 분자가 똑바로 배열하고 있어 하이브리드화에 의해 내열성이 향상되고, 열에 강한 섬유를 만들 수 있다. 유기, 무기 하이브리드화에 의해 내열성을 400℃ 이상 향상시킬 수 있으며, 내열 스마트패브릭이나 초고성능 내열성 필터를 만들 수 있다.

## 제 3 장

## 전계방사 나노섬유의 응용

## 1. 필터 소재

- 필터는 청정도로 구분한 필터성능에 따라 전처리 필터(prefilter), 중성능필터, HEPA 필터<sup>③</sup>, ULPA 필터<sup>④</sup> 등으로 분류된다. 전처리 필터는 외기처리 혹은 중성능필터의 전처리용으로 사용되며, 중성능필터는 HEPA 필터의 전처리필터로 사용된다. 청정도 기준으로 클래스 10만 이상의 경우에 주로 사용된다. HEPA 필터는 클래스 100 ~ 10만 이상의 클린룸 최종필터로 주로 사용되고 있으며, 이보다 고효율의 필터는 ULPA 필터가 있으나 청정클래스 유지목적적으로는 HEPA 필터의 사용이 급증하는 추세이다.

③ High efficiency particulate air filter의 줄임말. 사용온도 최고 250℃에서 0.3μm 입자를 99.97% 이상 포집성능을 장시간 유지할 수 있는 필터이다. 필름, 의약품 등의 제조라인과 반도체, 의약품 Clean Oven에 사용함.

④ Ultra low penetration air의 줄임말. 120nm 기준으로 99.9995% 포집효율을 가지며, Clean Room Class 100 이하에 적용할 수 있으며, 주로 반도체, 의약품, 전자회사 등에서 사용함.

- 전계방사된 초미세 나노섬유는 기존 기술에 의한 초극세 섬유보다 훨씬 큰 표면적을 가지므로 가스나 유체로부터 미세입자를 분리하는 고효율 초기능성 필터소재로 활용될 수 있다. 필터에서 작은 입자를 여과하는 여과효율을 높이는 방법은 필터매체 중에 적절한 직경의 섬유를 사용하는 것으로, 나노섬유는 이러한 용도에 최적의 소재로 알려지고 있다.
- 나노섬유는 질량대비 넓은 표면을 가지고 있으므로 이를 기체나 액체 중의 입자를 분리하는 데 사용될 수 있으며, 전계방사된 나노섬유로 구성된 필터는 표면적이 넓어 여과효율이 높고 공극률이 매우 높아 필터링 중 발생하는 압력 강하가 적다.
- 필터용 나노섬유는 친환경 기술에 주로 적용되어 친환경 나노섬유로 인식되고 있다. 적용분야는 크게 공기필터, 정수필터, 연료필터 및 필터용 항균성 나노섬유로 그 용도를 구분할 수 있다.

#### 가. 공기필터

- 공기필터는 외부에서 유입되는 공기의 먼지나 불순물을 여과하여 깨끗한 공기를 공급하는 역할을 한다. 현재 수입에 의존하

고 있는 HEPA, ULPA급의 필터의 국내 자체생산이 요구되며, 국내 기술의 개발에 따라 현재 반도체, 정밀기계, 식품용 공정에 적용되는 클린룸의 필터수요에 대응할 수 있으며, 현재 독점적인 지위의 다국적 기업에 대응하여 사업화에 적용할 수 있는 유망분야이다.

- 공기필터의 경우 “Nanoweb”이라는 상품명으로 실제 판매되고 있다. 통상의 필터보다 10배 이상의 수명을 갖는 것으로 판명되었다. 클리닝하여 재사용 시 압력손실이 훨씬 작아 성능과 수명에서 우수하다.<sup>9)</sup>
- 한편 전계방사를 통한 나노섬유의 제조에 있어서는 생산성이 문제가 되고 있으므로 대량생산 및 생산성 향상에 관한 원천기술의 확보가 무엇보다 중요한 것으로 판단된다.

#### 나. 정수필터

- 정수필터는 물에 함유된 각종부유물질, 바이러스, 중금속, 화학오염 물질, 세균 및 대장균 등의 유해물질을 여과시키는 역할을 한다. 기공의 크기가 나노 및 마이크론 이하의 단위로 조절

이 가능하며 인체에 무해한 소재로 초극세부직포를 제조하여 정수필터의 성능을 극대화시키는 것이 목표이다.

- 나노섬유 부직포는 세계적으로 개발단계에 있으며 우리나라와 미국에서 가장 활발한 연구진척을 보이고 있다. 정수필터의 경우에는 이미 범용으로 세라믹, 역삼투압, 멤브레인 등에 의한 제품들이 실용화되어 있어 아직 기술력이 미미한 극세섬유 정수필터의 입지는 좁지만, 최근 산업 및 정수용 초고효율 필터의 수요가 늘어남에 따라 나노섬유에 의한 고효율 정수필터의 기술개발 필요성이 대두되고 있다.

- 정수필터용 초극세 나노섬유의 경우는 공기필터의 경우와는 달리 압력손실 측면에서 많은 문제가 발생할 가능성이 있는 것으로 알려지고 있다. 또한 나노섬유가 가지는 낮은 강도 특성이 공기와 다른 유체의 경우에는 용도가 제한될 수도 있으므로 적합한 용도의 개발이 바람직할 것으로 판단된다.

#### 다. 연료필터

- 연료필터는 엔진의 효율성을 높이기 위해 연료 속에 함유된 먼

지 및 불순물 등을 분리하는 장치이다. 필터의 기공크기를 조절하여 수입품을 대체할 수 있는 고성능 고효율의 필터를 제조하는 것이 목표이다. 현재로서는 기술력과 제품경쟁력으로 신규진입은 불가능하며, 국내 기술기반 자체는 미미하다.

## 2. 방호기능 소재

- 나노섬유 직물은 미세입자나 박테리아 등은 통과시키지 않지만 구조적으로 내부의 땀 등을 배출할 수 있는 호흡성을 가지며, 막의 외부에서 액체가 들어오지 못하도록 제조가 가능하고, 방풍성을 가지고 있다. 전계방사된 나노섬유 직물은 분리막과 유사한 구조를 가지며 직/편물에 적층시켜 고어텍스와 같은 투습 및 발수기능을 갖는 소재를 제조할 수 있다. 이러한 소재는 특수 환경에서 활동하는 군인의 전투복, 전문 스포츠인의 스포츠웨어, 일반스포츠/레저분야용 섬유제품에 이르기까지 다양한 분야에 이용될 수 있다.

## 3. 활성탄소 소재

- 활성탄소 섬유는 탄소섬유가 활성화공정을 거치면서 제조된다. 활성탄소 섬유는 흡착에 관여하는 미세공이 우수하고, 세공직경의 높

은 단분산성(10 ~ 20Å)을 가지며, 세공의 크기를 임의로 조절할 수 있어 특정 물질을 선택적으로 흡착하는 분자체로 사용할 수 있다. 또한 흡착, 탈착속도와 순도가 높고, 흡착제 외부 및 내부의 물질이동저항 최소화, 높은 비표면적 등의 특징을 가지고 있다.

- 현재 사용되고 있는 환경기능성 소재에는 활성탄 및 활성탄소 섬유와 같은 활성탄소, 제올라이트 및 이온교환수지와 같은 흡착제 등이 있으며 활성탄소는 제조원료, 활성화 과정 및 활성화 정도에 따라 다양한 비표면적과 세공의 크기 및 구조를 형성하여 용도에 따라 다양하게 연구되고 있다.
- 기능적 측면에서는 제올라이트와 거의 비슷하기 때문에 광범위하게 사용할 수 있어 다양한 기술개발에 응용되고 있다. 이러한 다공성 흡착제들은 공장의 폐수, 하천의 부영양화 현상뿐만 아니라 자동차 배기가스 정화, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, 악취 제거공정 등의 환경문제 해결에서 유용하게 응용될 것으로 기대된다.

#### 4. 에너지 저장기능 소재

- 에너지 저장분야에서 나노섬유는 주로 리튬이온전지의 전극재

료로 이용되어 왔다. 최근에는 리튬폴리머 전지, 슈퍼캐패시터, 연료전지 등의 전극에도 적용되는 등 응용분야가 확대되고 있다.

## 5. 항균성 나노섬유

- 항균성 나노섬유의 개발은 크게 나노입자 크기의 금속개발, 항균성 나노섬유 방사기술 개발, nano colloidal silver를 이용한 후가공 기술개발로 구분할 수 있다. 현재로서는 나노금속입자를 사용한 기능성 항균섬유를 개발하기 위하여 나노금속입자를 경제적으로 생산하는 기술이 반드시 선행되어야 한다.
- 또한 항균성 나노섬유의 방사를 위하여 PET, Nylon, PP 섬유에 금속입자를 함유한 기능성수지 첨가제 및 M/B의 제조기술이 개발되어야 하며, 현재 나노복합체 기술이 활발히 연구되고 있으므로 기술성숙도는 초기 진입단계로 판단된다.

## 6. 생체 및 조직공학용 소재

- 전계방사 고분자섬유의 응용분야 중 빠르게 성장하는 분야 중의 하나가 재생의료 분야이다. 재생의 목표가 되는 조직으로는

연골, 뼈, 피부 조직, 혈관, 림프관, 폐 조직, 심장 조직 등이 있다.

- 전계방사 섬유를 생물학적 응용에 적용할 수 있는 가장 중요한 특징은 아마도 세포 외 매트릭스(ECM; ExtraCellular Matrix)를 모방할 수 있는 능력이다. ECM은 성장 세포를 둘러싸고 융화할 수 있는 마크로 환경을 포함하고 있다.
- 다당류와 섬유질 단백질로 대부분 구성된 이 매트릭스는 생체 조직에 따라 화학적 및 물리적 구조가 다르다. 예를 들면 힘줄의 ECM은 정렬된 피브릴로 구성되어 있는 반면 피부의 ECM은 무질서하게 배열되어 있어 메시와 유사하다. 전계방사 방식의 다양성을 이용하여 다양한 ECM 구조와 조성을 만들 수 있다.
- 전계방사 분리막<sup>10)</sup>에 주입된 세포는 증식을 잘 이룰 뿐만 아니라 Poly(Lactide-co-Glycolide)(PLG)의 나노섬유 지지체에서의 신경 세포 또한 분화와 성장에 문제가 없음이 밝혀졌다. 세포 지지체로 사용되는 대표적인 고분자는 폴리락티드<sup>11)</sup>, 폴리글리콜리드, 콜라겐 등이다.
- 피부 표면 지연 방출을 위한 항생물질 충전 전계방사 섬유는

특히 수술 후 유착과 감염을 방지하기 위한 생의학 응용에 유용하게 활용된다. 여러 가지 항생물질이 전계방사 섬유에 캡슐화되어 이용된다. Wnek 등은 전계방사를 통하여 tetracycline hydrochloride(모델 약품으로서)을 EVA, PLA, 이들 두 고분자의 블렌드의 전계방사 섬유에 캡슐화시켜 방출 효과를 조사하였다.

- 단방향 배열 나노섬유는 히드로겔이나 필름과 달리 이방성 특성을 갖기 때문에 뉴런의 성장을 유도하기 위해 사용된다. Ramakrishna 등은 배열 나노섬유 지지체가 신경 줄기세포를 체외에서 배양하는 데 무질서 배향 마이크로 섬유 지지체보다 효과적이라는 것을 발견하였다.
- 고분자의 전계방사 섬유 자체만으로도 뼈 세포조직공학 지지체 역할을 할 수 있고, 어느 정도 뼈 재생 효과를 나타내는 것으로 밝혀졌다.
- 국내 조직공학의 연구는 활발히 진행 중이나 상용화되지는 못하고 있으며 생분해성 및 생체적합성 고분자로 제조되는 전기방사 나노섬유 소재는 생체모방성, 생체적합성기능/미세다공성을 갖는 소재로서 조직공학 기술에 매우 중요한 소재로 응용되고 있다.

## 가. 상처 치료

- 전계방사 나노섬유의 흥미로운 응용분야로 화상과 찰과상과 같은 대형 상처 부위의 치료이다. 특히 생분해성 고분자의 나노섬유의 얇은 직포를 덮으면 상처가 부작용 없이 빠르게 치료된다. 나노직포는 주변의 액체와 기체의 교환은 보장하면서 박테리아는 통과시키지 않는 치수의 공극을 가지고 있다.
- 나노직포의 나노 피브릴 구조는 피부 재생을 촉진한다. 적절한 약품이 섬유 안에 포함된다면 상처 치료에 균일하게 조절된 방법으로 방출될 수 있다. 생분해성 나노섬유에 항생제를 포함시킨 연구 결과도 있다.

## 나. 약물 수송 및 방출

- 지질이나 생분해성 고분자로 된 나노입자에 대한 연구가 약물의 운송과 방출을 위한 목적으로 집중적으로 이루어져 왔다. 나노입자를 제조하기 위하여 분사 및 초음파 처리, 자기회합 및 상 분리 공정 등 다양한 방법이 활용되고 있다.
- 약물의 운송과 방출<sup>12)</sup>을 목적으로 나노막대, 나노튜브, 나노섬

유 등 비대칭 나노구조물을 활용하는 방안이 시도되고 있다. 약물이 포함된 나노섬유의 이용한 중요 활용 분야는 국소 치료이다. 국소 치료에서는 약물이 적용되어야 할 장소에 섬유를 위치시킨다. 대표적인 예로 상처 치료와 생체 조직공학에 나노섬유가 이용된다.

- 비대칭 운송체는 전계방사 과정에서 약물이나 기능성 물질을 동시에 포함시키는 방법으로 가공된다. 상자성의  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  나노입자를 포함하는 나노섬유가 대표적인 다기능성 운송체이다. 목표 지점의 조직에 운송체가 증가하게 됨에 따라 외부 자장을 걸어 기능을 작동하게 할 수 있다. 외부 자극에 의해 약물을 방출시키는 특징을 갖는다.

## 7. 템플릿

- 전계방사 고분자섬유는 중공사를 만드는 템플릿(template)으로 활용할 수 있다. 이를 TUFT(tubes by fiber templates) 공법이라 부른다. TUFT 공법에서 생분괴성 혹은 용해 고분자의 전계방사 섬유를 고분자, 금속 혹은 다른 재료로 코팅시킨다. 템플릿 섬유를 선택적 추출이나 분해하면 템플릿의 음각에 해당하는 중공사를 만들 수 있다. 대표적인 예로 PPX(poly(p-xylyene)) 중공사는 전계방

사된 PLA 섬유를 PPX로 CVD(Chemical vapor deposition) 처리한 후 PLA 섬유를 열분해하여 제거시킴으로써 얻을 수 있다. 이 기법을 활용하여 내부 직경이 10nm 이하이면서 외부 직경이 50nm 정도의 중공섬유를 제작할 수 있다.

- PLA/Pd(OAc)<sub>2</sub> 전계방사 섬유를 PPX로 코팅한 후 PLA를 열분해 시키면 Pd 나노입자를 함유한 PPX 중공섬유를 얻을 수 있다. 유사한 방법을 통해 TUFT 공정으로 기능화된 템플릿 섬유로부터 PPX/Cu와 PPX/Ag 중공섬유를 만들 수 있다. 전계방사 PA 섬유를 열분해하고 소성(calcination)시켜 TiO<sub>2</sub> 중공섬유를 만들 수 있다. 그 밖에 Al, Au, Cu, Ni 등의 중공섬유를 TUFT 공정을 통해 제조할 수 있다.

## 8. 직물

- 고분자 나노섬유에 대한 연구는 많이 이루어지고 있으나 현재 기술로 얻을 수 있는 나노섬유 집합체는 부직포로 한정되어 있다. 풀어야 할 중요 이슈 중의 하나가 바로 섬유산업에서 요구되는 나노섬유 직물용사를 생산하는 것이다. 나노 섬유 묶음이나 토우 형태의 연신사 혹은 나노섬유 방적사 형태를 갖춤으로써 직물이나 편물용 실을 제조하는 것이다. 이를 위해 전계방

사의 획기적인 혁신이 필요하다.<sup>13)</sup>

- 나노섬유 직물용사는 전계방사의 포집기를 진동시킴으로써 얻을 수 있다. PPV(poly[p-phenylenevinylene])와 폴리(에틸렌옥시드) 고분자에 대한 전계방사 직물용사 제조가 시도되고 있다.
- 1991년 카본나노튜브가 발견된 이후 이를 섬유화하여 연속 장섬유를 만들고자 하는 시도가 많았다. MWNT(Multi-wall carbon nanotube) 충전 PAN과 PLA 나노섬유 실을 기존의 꼬임과 권취 메커니즘으로 전계 복합방사를 이용하여 제조되었다. 이 복합재료 나노섬유를 직물구조로 만들어 카본 나노튜브가 갖는 특성을 발현시키기 위함이다.
- 나노섬유로 구성된 부직포는 종래의 직물분야와 결합되어 직물의 특성을 개선하는 데 활용되고 있다. 대표적으로 의류의 심지가 있다. 주된 목적은 공기 투과 저항성 향상, 수증기 침투 조절, 열 차단 효과, 화학 및 미생물 위험물질 차단 등의 기능을 부여하는 것이다.
- 부직포 재료로서 마이크로섬유에서 나노섬유로 변환됨에 따른

중요한 변화는 재료의 운송 과정에 큰 변환을 가져다준 것이다. 이러한 변환은 공극 크기의 대폭적인 감소와 내부 표면적의 큰 증가에 기인한다. 기체 확산의 경우 통상적인 경우에는 기체 입자 사이의 영향으로 확산이 결정되는 일반적인 확산 과정을 따른다. 나노섬유를 활용한 경우에는 기체입자와 섬유 간의 영향에 의해 기체 확산이 결정되는 과정을 거치는 특징을 갖는다. 액체의 침투의 경우에도 유사한 현상이 일어난다.

## 9. 촉매

- 촉매 반응의 중요하고 결정적인 과정은 반응 후 촉매를 회수하고 재사용하는 것이다. 이에 대한 흥미로운 해결방법이 균일계 혹은 비균일계 촉매를 나노섬유에 고정화시키는 것이다. 기본적으로 2가지 반응이 수행된다. 반응 혼합물이 촉매 섬유 둘레를 순환시키거나, 섬유를 운송체에 고정시켜 반응탑 내부에 반복적으로 담그는 방법이 있다.
- 고분자섬유에 Rh, Pt, Pd, Rh/Pd, 및 Pd/Pt 등 단독 혹은 복합 금속을 담지시켜 촉매로 사용할 수 있다. 이들 촉매 시스템은 수소화 반응에 사용될 수 있다. 섬유 촉매 시스템으로 가공하기 위해서는  $\text{Pd}(\text{OAc})_2$ 와 같은 금속염을 함유한 전구체 용액을

전계방사 한 다음 섬유에 포함된 염을 250℃ 이상의 온도로 처리하거나 수소, 히드라진과 같은 환원제로 처리하여 환원시킨다.

- 나노섬유 내에 형성된 나노 입자는 가공방법에 따라 5-15nm의 직경을 갖는다. 단독 혹은 복합 금속 나노섬유 촉매는 대표적으로 수소화 반응에 활용되고 있다.

## 10. 에너지용 나노섬유

- 에너지용 나노섬유는 이차전지 제조기술에 주로 적용되며, 크게 전지제조용, 에너지 저장/변환용, 슈퍼캐패시터용 탄소나노섬유로 구분할 수 있다.

### 가. 전지용 나노섬유

- 전지용 나노섬유는 적용분야 및 소재에 따라 이차전지의 전해질 분리막 소재인 고분자 나노섬유와 전극소재용 소재로 적용되는 탄소나노섬유 등 전도성 나노섬유로 구분된다. 이차전지 분리막용 나노섬유는 강도, 내구성 이외에도 선택적 투과성이

중요한 물성이며, 이를 위해서는 고분자 나노섬유 소재의 합성 기술과 방사기술의 확보가 핵심이다. 한편 전극소재용 나노섬유는 높은 표면적, 빠른 응답특성, 우수한 충방전 특성, 신뢰성 등이 매우 중요한 물성이며, 이를 실현하기 위해서는 역시 탄소나노섬유나 전도성 나노섬유의 소재 합성기술 및 표면적이 큰 전극재료 제조기술의 확보가 핵심이다.

- 특히 전지용 나노섬유는 차세대 성장동력산업과 관련된 품목으로 그 파급효과가 매우 큰 품목이므로 전지의 향상을 위한 나노섬유 연구는 국가적으로 매우 의미가 있는 것으로 판단된다. 특히 최근의 에너지 위기와 관련하여 전지에 대한 개발요구가 많아지고 있으므로 이에 대한 적극적인 투자와 인프라 구축 및 관련 기업의 참여를 유도할 필요가 있다.

#### 나. 에너지 저장/변환용 나노섬유

- 에너지 저장/변환용 나노섬유의 현재 국내 기술역량은 열악한 상황이다. 국내에서 에너지용 나노섬유의 기술개발을 위해서는 초기에 외국으로부터 아웃소싱하는 동시에 내부의 기술개발 역량도 함께 육성하여야 한다. 특히, 수소에너지 저장 및 센서나 촉매와 같은 에너지 변환소재는 새로운 개념이고 현재 세계적

으로도 특정국가가 비교우위를 갖지 못하고 있으므로 국내의 기술기반을 단시일 내에 갖추도록 노력한다면 선진 기술보유국과 크게 차별하여 특화시켜 개발시킬 수 있는 품목으로 판단된다.

## 11. 슈퍼캐패시터용 전극

- 슈퍼캐패시터는 에너지 저장장치 중에서 고출력 펄스파워 능력과 고전압 에너지 저장능력 등의 성능으로 인하여 대출력 펄스파워 및 피크파워의 부하평준화용으로의 응용이 기대되고 있다. 이러한 초고용량 축전기에 적합한 전극물질은 넓은 표면적, 높은 전도도, 용이한 성형 및 가공성 등의 특성이 요구되며, 이러한 특성을 만족시킬 수 있는 것이 탄소나노섬유이다.
- 향후 슈퍼캐패시터는 군사용, 우주항공용 및 의료용 등 고부가장비의 대출력 펄스파워 전원으로 사용될 것이 예상되며, 선진국에서도 전기자동차, 전력저장시스템 및 효율적인 에너지 사용을 위해 국가차원으로 지원하고 있다. 탄소나노섬유의 대량합성기술은 현재 정립되고 있는 단계에 있으나, 현재까지 저가의 탄소나노섬유를 공급하는 업체는 없는 상태이다.

## 12. 고감도 전계방사 센서

- 나노섬유는 커다란 비표면적에 기인되는 높은 감도를 갖는 기능성센서의 개발에 사용된다. poly(lactic acid-co-glycolic acid)를 이용하여 전계방사한 필름은 화학과 생화학의 새로운 계면센서로서 사용된다.<sup>14)</sup>
- 나노섬유급의 전기방사 필름은 고감도의 광학센서로 작동되고, 기존의 박막필름보다 철이나 수은 이온의 감지를 100 - 1000배 이상 예민하게 할 수 있다.
- 전계방사 섬유를 통한 생체 인식은 생물학적으로 관련 있는 분자를 섬유 내에 고정화시키는 것이다. Ren 등은 PVA(Poly(Vinyl Alcohol)) 섬유에 글루코오스 산화효소를 고정화시켰다. 섬유 매트릭스를 전극으로 사용하여 글루코오스 농도를 1mmol/L까지 감지할 수 있었다. Sawicka는 요소를 감지하기 위해 PVP(Poly(Vinyl Pyrrolidone))에 요소 분해효소를 고정화시켰다.

제 4 장

---

## 특허정보분석

### 1. 분석의 범위 및 방법

- 전계방사에 의한 나노섬유 제조기술과 관련된 특허정보를 분석하기 위해 KIPRIS에서 제공하는 한국공개특허, 일본특허, 미국특허, 유럽특허 및 국제특허 DB를 사용하여 조사하였다. 1998년부터 2008년도까지 출원된 전계방사 나노섬유와 관련된 특허정보를 대상으로 분석을 실시하였다.
- 검색 키워드는 한국특허의 경우 ((전계방사 or 전기방사) and 나노섬유)를 사용하였으며, 일본, 미국, 유럽 및 국제특허에 대해서는 (electrospinning and nanofiber)를 사용하여 검색을 실시하였으며, 총 995건의 특허정보가 검색되었다.

### 2. 특허정보 분석 결과

- 전계방사 나노섬유 기술에 대한 출원건수를 보면 전체 출원건

수 995건 중 한국이 276건(28%)으로 가장 많고, 미국이 222건, 국제특허 210건, 일본이 177건, 유럽이 110건으로 우리나라가 이 분야에서 가장 활발한 출원활동이 이루어지고 있는 것을 알 수 있다. 한편 한국과 미국에서의 증가세가 두드러진 반면 일본과 유럽에서의 증가세는 낮은 것을 알 수 있다.

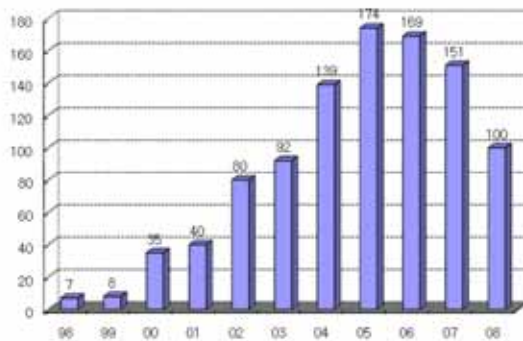
- 전계방사 나노섬유에 대한 출원인 분석 결과 주요출원인은 한국과 미국 기업으로 나타났다. 다출원 순으로 보아도 우리나라의 박종철 씨가 32건으로 가장 많은 출원을 하고 있으며, 전북대학교 산업협력단과 미국의 AKRON 대학이 22건을 출원하고 있어 우리나라의 이 분야에 대한 기술개발이 왕성함을 알 수 있다.
- 세부기술별 연구개발 동향을 보면, 전세계적으로는 D01D-005/00 (필라멘트, 사 또는 유사물의 형성)에 대한 출원이 112건(38%)으로 이에 대한 기술개발이 주류를 이루고 있는 것을 알 수 있으며, 다음으로 C01B-031/02 관련 기술(탄소의 제조)이 46건으로 16%, D01F-009/12 관련 기술(탄소 필라멘트 및 제조장치)이 38건으로 13%의 비중을 차지하는 것을 알 수 있다.
- 국가별로 보면 우리나라와 유럽 및 국제특허에서는 D01D-005/00

(필라멘트, 사 또는 유사물의 형성)에 대한 기술개발이 주류를 이루고 있으며, 미국은 D01F-009/12(탄소 필라멘트 및 제조장치), 일본에서는 C01B-031/02(탄소의 제조)에 대한 기술개발에 중점을 두고 있는 것을 알 수 있다.

### 3. 전체분석

#### 가. 연도별 특허출원 동향

<그림 4-1> 연도별 전체 특허 출원 동향

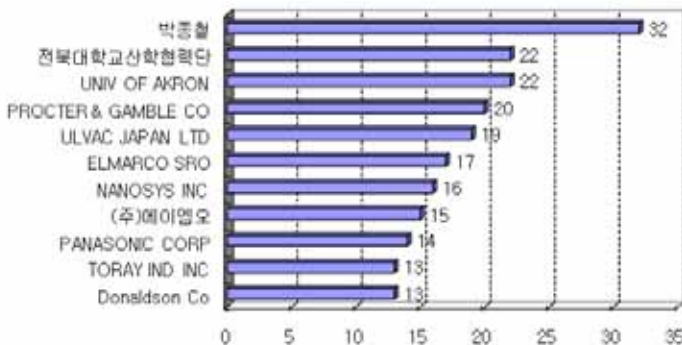


- 1998년부터 2008년까지 전계방사 나노섬유 기술에 대한 한국, 미국, 일본, 유럽 및 PCT 특허의 출원동향을 보면 2000년대 초반부터 본격적으로 출원이 증가하기 시작하였으며, 2004년 이후 증가가 두드러지게 나타나고 있다.(<그림 4-1> 참조)

### 나. 주요 출원인별 특허출원 동향

- 전계방사 나노섬유에 대한 주요 출원인별 특허출원 동향을 보면, 우리나라의 박종철 씨가 32건으로 가장 많은 출원을 하고 있으며, 전북대학교 산학협력단과 미국의 AKRON 대학이 22건을 출원하고 있어 우리나라의 이 분야에 대한 기술개발이 왕성함을 나타내고 있다.
- 한편 PROCTER & GAMBLE Co가 20건, ULVAC JAPAN Ltd가 19건, ELMARCO SRO가 17건, NANOSYS Inc가 16건, (주)에이엠오가 15건, PANASONIC Corp가 14건, TORAY IND Inc가 13건, Donaldson Co가 13건을 출원한 것으로 나타났다.

<그림 4-2> 상위 출원인별 전체 특허 출원 동향



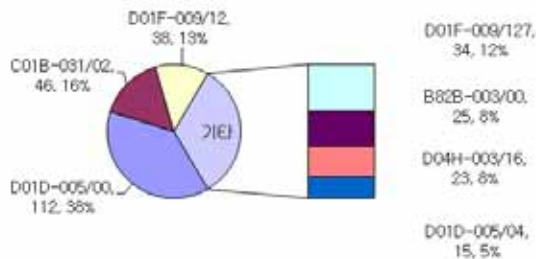
## 다. 기술별 특허동향

- 전계방사 나노섬유 분야의 세부기술별 주요 IPC 분류 및 정의  
를 <표 4-1>에 나타내었다.

<표 4-1> 전계방사 나노섬유의 주요 IPC 분류 및 정의

| IPC          | IPC의 정의                                        |
|--------------|------------------------------------------------|
| B82B-003/00  | 나노 구조의 제조 또는 취급                                |
| C01B-031/02  | 초고압에 의한 탄소의 제조                                 |
| D01D-005/00  | 필라멘트, 사 또는 유사물의 형성                             |
| D01D-005/04  | 건식 방사방법                                        |
| D01F-009/12  | 탄소, 필라멘트 그 제조에 특히 적합한 장치                       |
| D01F-009/127 | 탄화수소가스 또는 증기의 열분해에 의한 것                        |
| D04H-003/16  | 필라멘트 형성과 관련하여 만들어진 열가소성 필라멘트<br>상호간의 결합을 가지는 것 |

<그림 4-3> 주요 IPC별 전체 특허 출원 동향

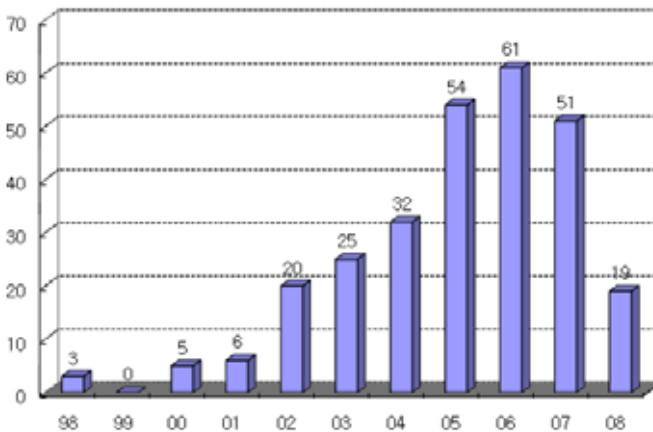


- 세부기술별 분포를 보면, D01D-005/00에 대한 출원이 112건 (38%)으로 가장 기술개발이 왕성한 것으로 나타났으며, 다음으로 C01B-031/02 관련 기술이 46건으로 16%, D01F-009/12 관련 기술이 38건으로 13%의 비중을 차지하는 것으로 나타난다.

## 4. 한국특허

### 가. 연도별 특허출원 동향

<그림 4-4> 한국특허 연도별 특허출원 동향



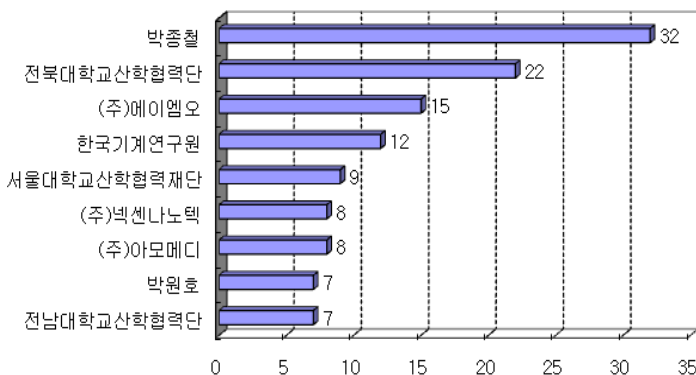
- <그림 4-4>는 1998년부터 2008년까지 나노섬유에 관한 국내특허 연도별 출원현황을 나타낸 것이다. 총 출원건수는 276건으

로 2002년부터 출원이 증가하기 시작하여 2006년에 61건으로 피크를 이루고 있으며, 앞으로 기술개발은 계속 증가될 것으로 보인다.

#### 나. 주요 출원인별 출원동향

- 국내에 출원된 나노섬유 기술에 대한 주요 출원인별 현황을 보면 개인출원인인 박종철 씨가 32건으로 가장 많은 출원을 하고 있으며, 전북대학교 산학협력단이 22건, (주)에이엠오가 15건, 한국기계연구원이 12건을 출원하고 있다.(<그림 4-5> 참조).

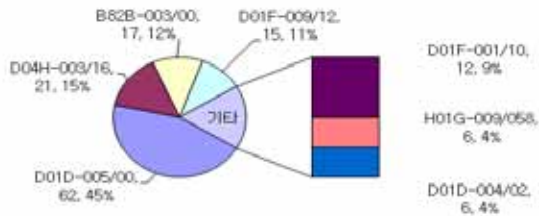
<그림 4-5> 주요 출원인별 한국특허 출원동향



## 다. IPC별 특허 출원동향

- 나노섬유 기술과 관련된 한국특허의 IPC별 출원동향을 보면, <그림 4-6>에서 알 수 있듯이 D01D-005/00(필라멘트, 사 또는 유사물의 형성)이 62건으로 가장 많이 출원되어 연구개발이 활발하다는 것을 알 수 있으며, D04H 003/16(필라멘트 형성과 관련하여 만들어진 열가소성 필라멘트 상호간의 결합을 가지는 것)이 21건, B82B 003/00(나노구조의 제조 또는 취급)이 17건 출원되어 있다.

<그림 4-6> IPC별 한국특허 출원동향

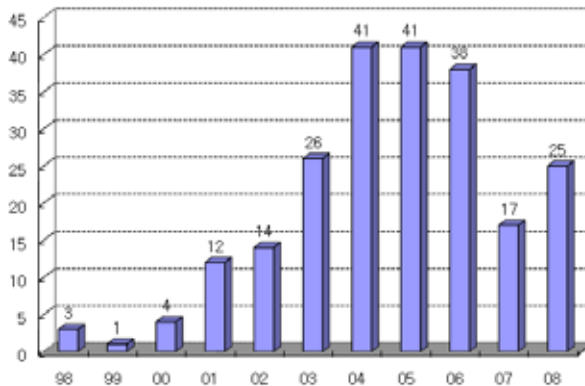


## 5. 미국특허

### 가. 연도별 출원동향

- <그림 4-7>은 1998년부터 2008년까지 출원된 나노섬유 기술과 관련된 미국특허 추이를 나타낸 것이다. 이 기간 동안 출원된 특허의 총 건수는 222건으로 2001년부터 출원이 증가하기 시작하여 2004년과 2005년에 41건으로 피크를 이루고 있어 연구개발이 활발한 것으로 사료된다.

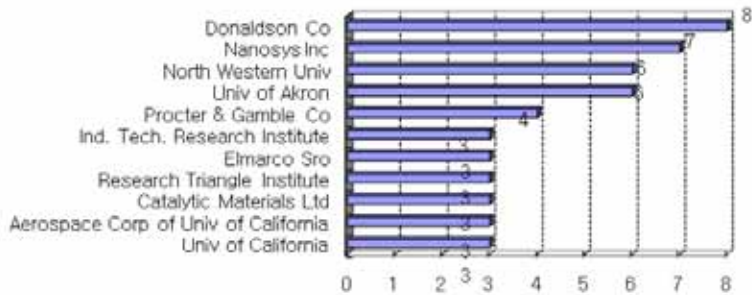
<그림 4-7> 미국특허 연도별 출원동향



#### 나. 주요 출원인별

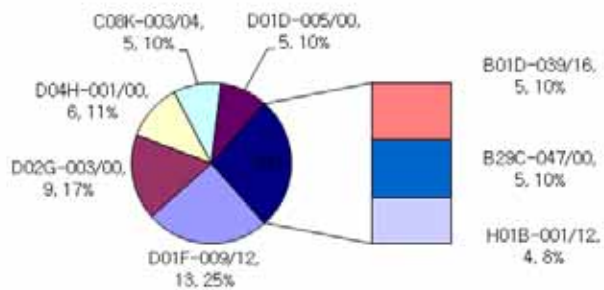
- 출원인별로 특허출원 동향을 보면 <그림 4-8>에 나타낸 바와 같이 Donaldson Co가 8건, Nanosys Inc가 7건, Northwestern University와 University of Akron이 6건의 특허를 출원하고 있다.

<그림 4-8> 주요 출원인별 미국특허 출원 동향



#### 다. IPC별 출원동향

<그림 4-9> IPC별 미국특허 출원동향



- 미국특허의 IPC별 출원현황을 그림 <4-9>에 나타낸다. D01F 009/12(탄소 필라멘트 및 제조장치)가 13건으로 가장 많이 출

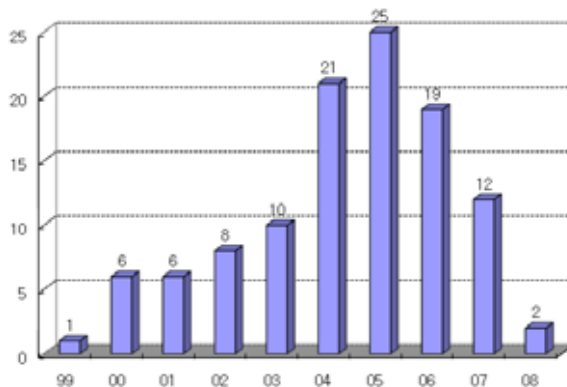
원되어 있으며, D02G 003/00(사 또는 가연사)이 9건, D04H 001/00(스  
테이플 섬유로 구성된 부직포)이 6건으로 그 뒤를 잇고 있어 탄소 나  
노섬유에 대한 연구개발이 주류를 이루고 있는 것을 알 수 있다.

## 6. 유럽특허

### 가. 연도별 특허 출원동향

- 1998년부터 2008년까지 출원된 유럽의 나노섬유 기술 관련 출  
원동향을 살펴보면, <그림 4-10>과 같이 총 출원건수는 110건  
으로 적지만 출원이 2000년부터 증가하기 시작하여 2005년에  
25건으로 피크를 이루고 있다.

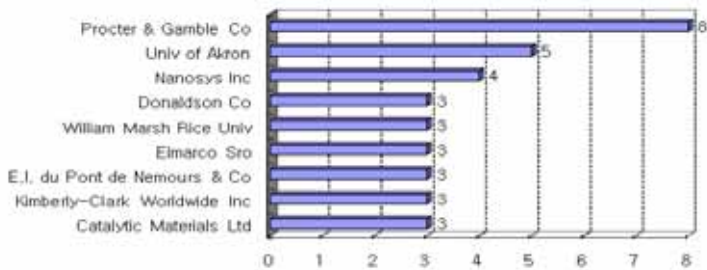
<그림 4-10> 유럽특허 연도별 출원동향



### 나. 주요 출원인별 특허 출원동향

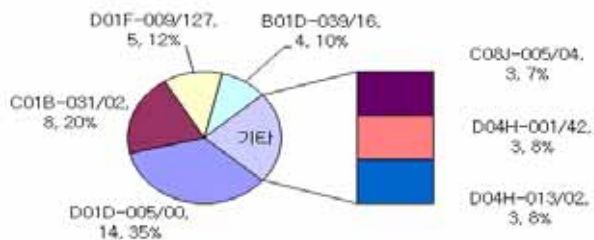
- 출원인별 동향을 보면 Procter & Gamble이 8건으로 가장 많은 출원을 하고 있으며, University of Akron이 5건, Nanosys Inc가 4건으로 그 뒤를 잇고 있다(<그림 4-11> 참조).

<그림 4-11> 주요출원인별 유럽특허 출원동향



### 다. IPC별 특허 출원동향

<그림 4-12> IPC별 유럽특허 출원동향



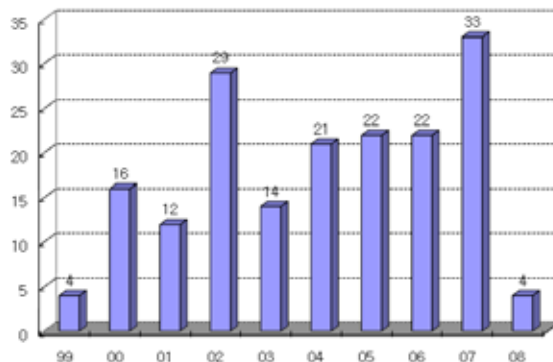
- 유럽특허의 IPC별 출원현황(<그림 4-12>)을 보면, D01D 005/00(필라멘트, 사 또는 유사물의 형성)이 14건으로 가장 많이 출원되어 있으며, C01B 031/02(탄소의 제조)가 8건, D01F 009/127(탄화수소 가스 또는 증기의 열분해에 의한 탄소 필라멘트 제조)이 5건으로 그 뒤를 잇고 있어 나노섬유 형성에 대한 연구개발이 우세를 나타내고 있다.

## 7. 일본특허

### 가. 연도별 특허 출원동향

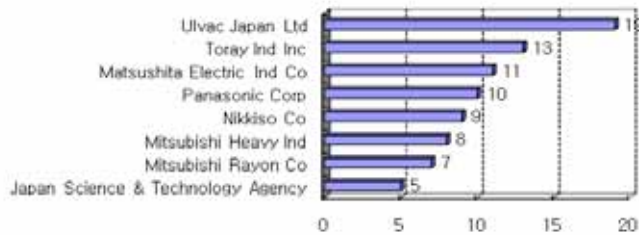
- 1998년부터 2008년까지 출원된 일본특허 출원동향을 살펴보면 총 출원건수는 177건으로, <그림 4-13>과 같이 2000년부터 꾸준히 출원이 계속되고 있으며 2007년에 33건으로 가장 많이 출원되고 있어 연구개발이 증가되는 경향을 나타내고 있다.

<그림 4-13> 일본특허 연도별 출원동향



## 나. 주요 출원인별 출원동향

<그림 4-14> 주요 출원인별 일본특허

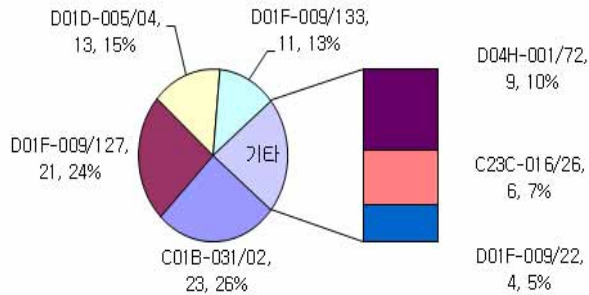


- 일본특허의 경우 Ulvac Japan Ltd가 19건으로 가장 많은 출원을 하고 있으며, Toray Ind Inc가 13건, Matsushita Electric Ind Co가 11건으로 그 뒤를 잇고 있다.(<그림 4-14> 참조).

## 다. IPC별 특허 출원동향

- 일본특허의 IPC별 출원현황을 보면, C01B 031/02(탄소의 제조)가 23건으로 가장 많이 출원되어 있으며, D01F 009/127(탄화수소 가스 또는 증기의 열분해에 의한 탄소필라멘트 제조)이 21건, D01D 005/04(건식 방사방법)가 13건으로 그 뒤를 잇고 있어 탄소 나노섬유에 대한 연구개발이 활발한 것을 알 수 있다(그림 <4-15> 참조).

&lt;그림 4-15&gt; IPC별 일본특허출원동향

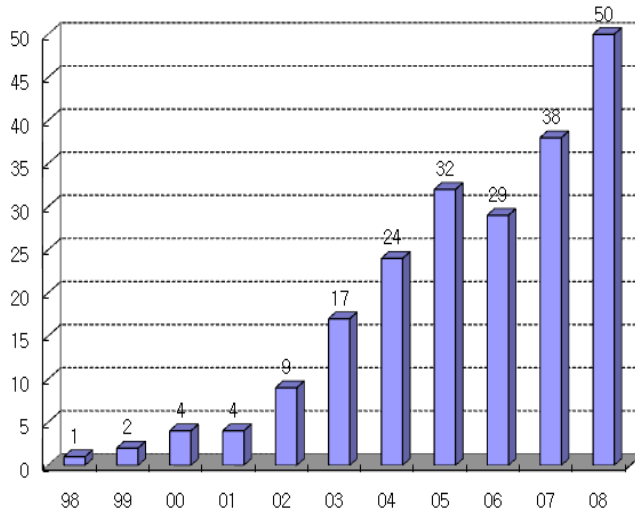


## 8. 국제특허

### 가. 연도별 특허 출원동향

- 1998년부터 2009년까지 출원된 PCT특허의 나노섬유 기술관련 특허의 출원동향을 살펴보면, 총 출원건수는 210건으로 <그림 4-16>과 같이 출원이 2002년부터 증가하기 시작하여 2008년까지 계속 증가되고 있으며, 2008년에는 50건으로 가장 많이 출원되고 있어 연구개발이 계속 증가되고 있음을 알 수 있다.

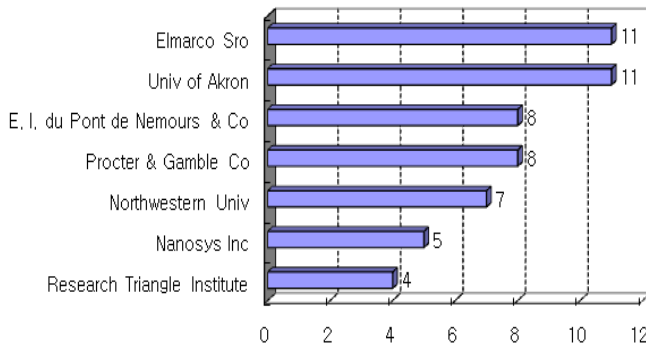
&lt;그림 4-16&gt; 국제특허 연도별 특허출원 동향



#### 나. 주요 출원인별 특허 출원동향

○ PCT 특허의 출원인별 동향을 보면 Elmarco SRO와 University of Akron이 각각 11건으로 가장 많은 특허를 출원하고 있으며, DuPont Co와 Procter & Gamble Co가 각각 8건으로 그 뒤를 잇고 있다.<그림 4-17>).

<그림 4-17> 주요 출원인별 국제특허 출원동향

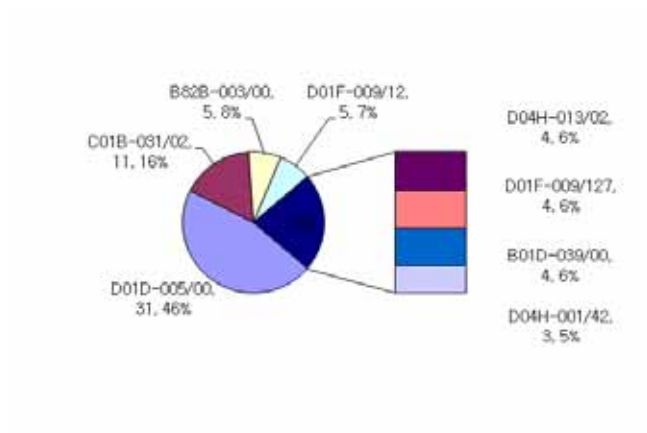


- PCT 특허의 출원인별 동향을 보면 Elmarco SRO와 University of Akron이 각각 11건으로 가장 많은 특허를 출원하고 있으며, DuPont Co와 Procter & Gamble Co가 각각 8건으로 그 뒤를 잇고 있다.(<그림 4-17>).

#### 다. IPC별 출원동향

- 국제특허 중 IPC별 출원동향을 살펴보면, D01D 005/00(필라멘트, 사 또는 유사물의 형성)이 31건으로 가장 많이 출원되어 있으며, C01B 031/02(탄소의 제조)가 11건으로 그 뒤를 잇고 있어 나노섬유 형성에 대한 연구개발이 주류를 이루고 있는 것을 알 수 있다.(<그림 4-18>)

<그림 4-18> IPC별 국제특허 출원동향



## 제 5 장

# 결 론

- 나노섬유는 1930년대부터 미국 등에서 개발되기 시작하였으며, 나노섬유 부직포의 특징인 초박막, 초경량이며 비표면적이 크고 다공성이 우수하기 때문에 화생방용 방독면, 방탄조끼, 보호 의류 등 군사 용도로서의 응용을 시도하여 왔다.
- 현재까지 다양한 고분자가 전계방사법에 의해 나노섬유로 제조되고 있으나 전계방사법에 대한 숙련기술의 부족, 나노섬유의 특성분석 및 응용 등에 대한 이해 부족 등 기술적인 난이도가 커서 실험실적인 소규모 생산에 머물고 있는 실정이다.
- 최근 나노섬유가 생체 복구에서의 우수성이 밝혀짐에 따라 조직공학 분야에서 구조재료로서 주목을 받고 있으며, 전계방사 공정으로 제조된 기능성 섬유 분리막은 생체 조직공학, 약물 조절 방출, 감지, 분자인식, 분리, 촉매 등에 응용되고 있다.

- 보다 향상된 기술로 특성이 보강되면 특히 생체 조직공학과 분자 인식 분야에서 떠오르는 기술로서 크게 응용범위가 확대될 것이다. 현재 연구 분야는 생분해성 세포 지지체로부터 세라믹 고상 촉매 등 기능성 재료 개발이 중심이나 향후에는 약물에서 연료전지에 이르는 인류 생존을 위한 분야로 집중될 것이다.
- 우리나라의 경우는 KIST 및 전북대 등에서 실험실 규모의 나노섬유 생산에 성공하였으며, 중소기업인 나노테크닉스사가 나노섬유의 대량 생산기술 개발에 성공하여 양산체제를 구축함으로써 나노섬유의 응용 가능성을 연구하던 단계에서 실제 제품으로 적용하는 단계로 발전시키고 있다.
- 현재 세계적으로 관심이 고조되고 있는 나노섬유는 필터소재, 광화학센서 소재, 탄소나노튜브 소재, 생체/의료용 소재, 조직공학용 소재 등과 같은 미래첨단산업의 핵심소재로서의 중요성이 매우 크다. 그러나 이러한 분야에 대한 구체적인 시장이 현재 본격적으로 형성된 것은 아니며 제품화 기술에 있어서도 아직은 태동기에 있다.
- 나노섬유는 에너지 분야 및 환경용 필터분야를 비롯한 산업 전반에 응용이 가능한 첨단소재로 부품소재산업의 경쟁력이 취약

한 국내 산업을 감안할 때, 향후 국가전략적인 차원으로 육성해야 할 주요 분야이다. 또한 나노섬유는 아직 세계적으로도 기술적인 완성도가 낮은 상태이고, 국내 산학연 및 정부의 기술개발 노력과 더불어 세계적인 기술 수준에 근접하고 있는 분야이다.

- 국내산업적인 측면에서 나노섬유 소재 및 제품의 기술개발 및 사업화는 높은 파급효과가 기대되는 유망분야임에도 불구하고 아직까지는 정부출연연구소 및 일부 기업만이 본격적으로 참여하고 있다. 전술한 바와 같이 고분자 나노섬유 및 탄소나노섬유를 제외한 대부분의 소재분야에서 나노섬유는 초기단계이고, 일부 사업화되고 있는 고분자 및 탄소 나노섬유도 아직 본격적인 양산체제를 갖추거나 시장이 본격적으로 열린 상태는 아니며 앞으로 발전가능성도 매우 높다.

- 미국, 독일, 일본, 러시아에서 수준 높은 나노섬유 기반연구가 계속되고 있다. 미국이 나노섬유를 만들어 유럽에 제공하고, 다시 중국, 한국, 대만에도 그 붐이 일어나고 있다. 나노섬유기술 연구개발 추진은 사이언스로서의 나노섬유의 3대 고유 효과로부터 출발하여 고강도 구조부재, 광이나 전자디바이스, 창약, 재생 의료, 환경정화로 전개하여, 고도정보사회의 실현, 건강, 수명연장, 환경에너지 문제의 극복 등 사회제약, 요청, 대처에

주도적인 역할을 담당하는 것을 목표로 최종적으로는 화학, 소재, 자동차, 전기, 전자, 정보, 환경, 에너지, 건설, 의료, 건강, 식품 등에 관한 새로운 산업의 창조를 목표로 하고 있는 것을 강조하고 싶다.

- 실제로 나노섬유 기술로부터 방호의류, 스마트 직물이 실용화되고 있다. 특히 중요한 것은 섬유 자체에 그치지 않고 환경, 바이오, 정보 등과 융합한 복합기술이 개발되면 나일론 개발에 따른 합성섬유산업의 발전에 버금가는 산업혁명의 위치에 이를 것으로 예측하기도 한다. 현재 거론되는 응용분야로는 오일 필터, 유해화학물질 제거 필터, 바이오케미칼 위험 방지재, 수소 저장재료, 바이오센서, 재생의료용 배지, DDS(약물전달 시스템), 미용재료, 2차전지 및 연료전지 전극, 전자파 차폐재료, 발광소자, 편광판, 디스플레이용 재료, 슈퍼 클린룸용 재료, 초경량 다기능 방재(防災) 재료 등을 열거할 수 있다.

- 이러한 목표와 새로운 분야를 개척하기 위해서는 전계방사 등 제조기술 및 장치 개발이 매우 중요하다. 전계방사는 전계를 이용한 초극세섬유 제조기술로서 상온에서 방사, 표면구조 제어, 하이브리드화 등이 용이하고 모든 고분자를 이용할 수 있다. 본격적인 공업생산을 하기 위해서는 생산성 향상과 용매회수기술의 확립 등을 통하여 대형장치의 개발과 섬유의 고기능화를 위한 기술개발이 절실하게 요청된다.

## 참고문헌

1. 김동복, 박정호, “전기방사에 의한 나노섬유 제조 및 응용”, 전기의 세계, 52(8), pp33-40, 2003.
2. D. H. Renecker, A. L. Yarin, “Electrospinning jets and polymer nanofibers”, Polymer, 49, pp.2387-2425, 2008.
3. 谷岡明彦, “進展するナノファイバ 技術”, 工業材料, 156(8), pp29-33, 2008.
4. 山下義裕, “エレクトロスピンニング法によるナノファイバの工業化に向けて”, 繊維と工業, 64(2), pp12-17, 2008.
5. <http://www.nanotechnics.co.kr/KOR/DB/?M=main>
6. 한국산업기술평가원, “2006년도 산업기술동향분석, 4. 나노섬유소재”, 2006. 5
7. <http://www.nanotechnics.co.kr/KOR/DB/?M=main>
8. BCC Research, Display Industry, 2007.
9. J. H. ヴェンドルフ, “エレクトロスピンニング法の仕組みと應用”, 繊維と工業, 63(10), pp329-333, 2007.
10. Matthew T. Hunley, Timothy E. Long, “Electrospinning functional nanoscale fibers: a perspective for the future”, Polymer International, 57, pp.385-389, 2008.
11. 宇山 浩, “ポリ乳酸ナノファイバ.”, 高分子, 57(6), pp448-448, 2008.
12. Christian Burger, Benjamin S. Hsiao, Benjamin Chu, “Nanofibrous Materials and Their Applications”, Annu. Rev. Mater. Res., 36, pp.333-368, 2006.

13. Feng-Lei Zhou, Rong-Hua Gong, "Manufacturing technologies of polymeric nanofibres and nanofibre yarns", *Polymer International*, 57, pp.837-845, 2008.
14. Feng-Lei Zhou and Rong-Hua Gong, "Manufacturing technologies of polymeric nanofibres and nanofibre yarns", *Polymer International*, 57, pp.837-845, 2008.

## 저자소개

서홍석

- 한양대학교 공과대학 화학공학과
  - 산업기술정보원 선임연구위원
  - 현, 한국과학기술정보연구원 전문연구위원
- 저서 : 플라스틱 리사이클에 관한 기술동향분석(2008, KISTI) 등  
다수

## 요 약

최근 나노섬유에 대한 중요성이 부각되면서, 전계방사에 의한 나노섬유 제조에 대한 연구개발이 활발하다. 나노섬유는 산업 전반에 걸쳐 고성능을 발현하는 소재로서, 부직포를 이용한 필터, 전자기기들의 소형화, 고기능화, 생체조직 용도 등 나노소재의 적용이 증가하고 있으며, 기계, 화학산업 등의 전통산업에서도 고기능화를 위한 나노소재의 적용이 나날이 증가하고 있다.

이에 따라 고기능성 나노섬유는 앞으로 수요증가에 따른 높은 시장성장이 예상되고 있다. 따라서 산업계를 중심으로 기술개발을 위한 노력과 국가차원의 기술개발 지원을 통해 현재의 기술력을 한 단계 뛰어넘어야만 할 것이다. 나노섬유의 제조방법으로는 전계방사 기술을 이용하는 방법이 가장 효과적이다.

본 기술동향분석에서는 전계방사에 의한 나노섬유 제조에 대하여 전 세계의 기술정보와 우리나라, 미국, 유럽, 일본, PCT의 특허정보를 조사하여 기술개발 동향을 살펴보았다. 전계방사에 의한 나노섬유 제조기술은 중소기업, 대기업 모두 개발, 이용할 수 있는 기술이며, 특허정보 분석 결과 우리나라도 기술개발에 있어서 결코 다른 선진국에 비해 떨어지지 않음을 확인하였다.