

## PVA의 분자량에 따른 전기방사 거동에 관한 연구

양찬오, 강태진, 이승구\*

서울대학교 재료공학부, \*충남대학교 섬유공학과

## A Study on the Electrospinning of Poly(vinyl alcohol) with the Molecular Weight

Chan Oh Yang, Tae Jin Kang and Seung Goo Lee\*

School of Material Science and Technology, Seoul National University, Seoul, Korea

\*Department of Textile Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea

### 1. 서론

Poly(vinyl alcohol)(PVA)는 친수성이 좋고, 제조가 용이하며, 화학 약품에 대한 내성이 강한 특성을 가지고 있어, 코팅제나 페인트, 접착제 등 산업 전반에 널리 사용되고 있으며 섬유 제조에 대해서도 최근 활발하게 연구되고 있다. 전기방사(Electrospinning)는 전기장 내의 전위차를 이용하여 sub-micron 또는 nano-scale의 직경을 가지는 초극세 섬유를 제조할 수 있는 유용한 방법이다. 이를 통해 얻어지는 부직포 형태의 섬유 상은 membrane, tissue scaffold, 필터재나 강화재(reinforcing material) 등으로 쓰일 수 있으며, 좀 더 넓은 분야에 응용될 수 있도록 현재에도 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 PVA의 전기방사를 통한 극세섬유화를 시도하였다. 세부적으로 전기방사 조건 중 전압과 고분자 용액의 농도를 달리하면서, 서로 다른 분자량을 가지는 PVA를 전기방사하고, 각각의 섬유 굵기와 형태, 방사 거동 등의 특성을 고찰하였다.

### 2. 실험

#### 2.1. 실험 장치

실험에 사용된 High voltage power supply는 모델명 CPS-40K03(청파 EMT)로 전압 범위 0~40kV이며, 임의로 전압 크기를 조절할 수 있다. 집적판(Collecting plate)은 알루미늄 합금 판을 사용하였으며, 그 위에 알루미늄 호일을 올려놓은 다음 전기방사하여 PVA 섬유를 얻었다. Figure 1에 본 연구에서 사용된 전기방사 장치를 개략적으로 나타내었다.

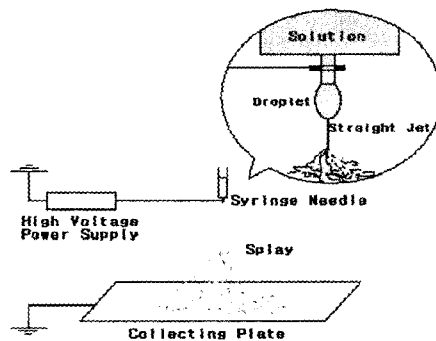


Figure 1. Schematic diagram of the electrospinning process

## 2.2. 용액 제조 및 전기방사

시약급의 중량평균분자량이 40000, 90000, 150000(g/mol)인 PVA(Aldrich사)를 약 70°C의 증류수에 30~60분 동안 교반하면서 녹여 각각 9, 10, 11, 12wt%인 PVA 수용액을 만들었다. 다시 이 수용액들을 실온(20°C)까지 교반하면서 식힌 다음, 전기방사하였다.

전기방사에 사용된 Syringe needle은 지름이 0.495mm(21G)이며, 방사구와 collecting plate 사이의 거리는 5cm이었다. 그리고 전압에 따른 방사된 섬유 특성 살펴보기 위해 15, 20, 25kV로 변화시켜 방사하였다.

## 2.3. 형태 구조 분석

전기방사에 의해서 얻어진 PVA 섬유의 형태 구조를 분석하기 위해 Scanning Electron Microscope(HITACHI S-2350)로 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

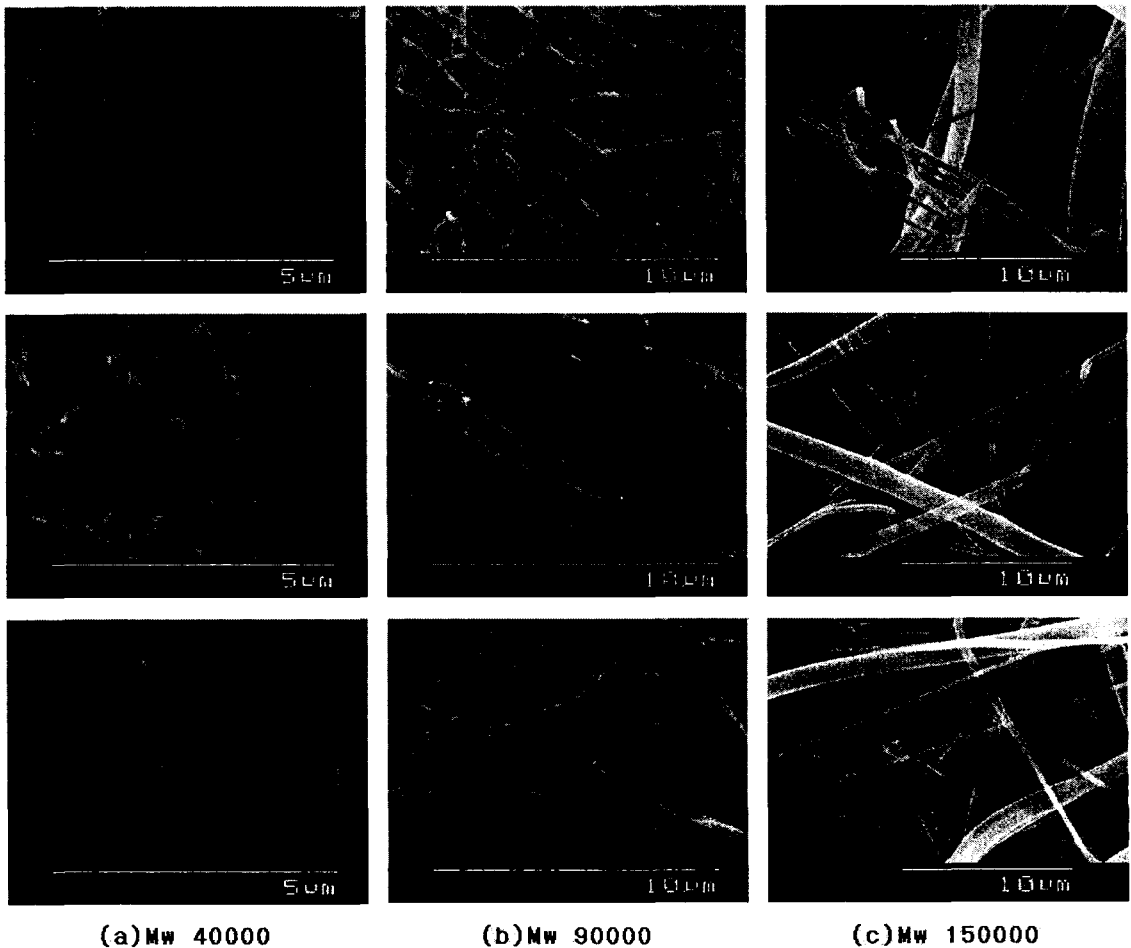


Figure 2. SEM photographs of PVA electrospun fibers(spinning distance=5cm, 9wt% solution) [top : 15kV, middle : 20kV, bottom : 25kV]

Figure 2는 각 분자량의 9wt% 용액을 전기방사한 결과를 보여주고 있다. 분자량에 상관없이 공통된 특징은 표면에 pore가 없는 매끈한 섬유 상을 가진다는 점과 전압의 크기가 증가하면 섬유의 지름이 감소하는 경향성을 보인다는 점이다. 섬유 직경이 감소하는 이유는 jet으로부터 섬유가 나뉘어질 때, 강한 전압 상태에서는 섬유 표면에 더 많은 전하가 분포하게 되어 섬유끼리의 반발력이 더 커져 가늘게 분리되기 때문이다.

각각의 분자량에 따른 섬유의 특징을 살펴보면, 분자량이 40000인 경우, bead가 많고 지름이 130나노미터 이하의 가는 섬유를 얻을 수 있었다. 용액의 농도가 진할수록 bead의 크기는 증가하였으나, 그 개수는 다소 줄어드는 경향을 보였다. 분자량이 90000인 경우, 직경 분포는 89나노미터에서 590나노미터이었으며, bundle형태와 섬유간의 결합점과 같은 junction이 많은 것이 특징이었다. 섬유 bundle은 전압의 크기가 증가하면 줄어드는 경향을 보였는데, 이는 섬유 상에 남아 있는 잔류 전하의 양이 전압이 높을수록 증가하기 때문에 섬유끼리 반발력이 커지기 때문이다. 분자량이 150000인 경우, 섬유의 지름은 150나노미터에서 7마이크로미터에 이르는 분포를 가지며, bundle과 junction이 적었다. 분자량이 큰 경우 점도 증가로 인한 섬유 간 구속력이 커지기 때문에 쉽게 분리가 되지 않으며, 분리되는 빈도도 적어지므로 bundle과 junction이 줄어들었다.

방사 거동 또한 PVA의 분자량에 따라 서로 다른 모습을 보였다. Straight jet의 길이는 분자량이 40000인 경우 약 1cm 정도였으나, 분자량이 커질수록 그 길이가 길어져 분자량이 150000인 경우 10cm 이상이었다. 이는 용액 내의 고분자들을 구속하는 힘이 전기적 힘보다 우세하기 때문에 발생한다. 이 구속력은 PVA의 분자량과 매우 깊은 연관이 있는데, 같은 농도의 용액이라고 해도 분자량이 큰 용액은 점도가 매우 커서 용액 내 분자간 구속이 더 강하다. 또한 PVA 고분자 사슬의 hydroxyl group에 의한 수소 결합 역시 분자 사슬이 길수록 증가하기 때문에 straight jet 부분이 길어지는 것으로 사료된다. 그 결과로 집적판에 축적된 부직포 형태의 섬유상도 서로 다른 양상을 나타낸다. 분자량이 40000인 경우의 모든 용액에서 분자량 90000인 경우의 11wt% 용액까지는 jet 이후의 방사되는 섬유는 looping이 잘 이루어져 집적판에 원형 단면적을 이루며 축적되지만, 그 이상의 용액들로 방사되는 섬유상들은 straight jet이 spinning distance보다 길거나 비슷하기 때문에 looping이 이루어지지 못하고 splay되기 때문에 Figure 3과 같은 형태의 모습을 보여준다.

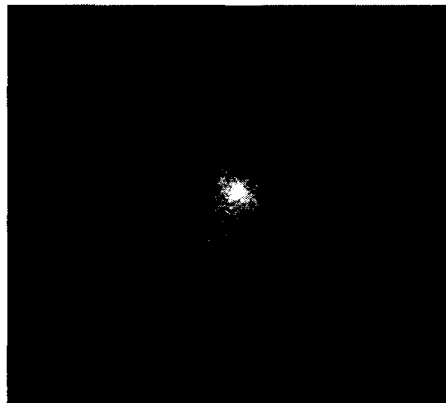


Figure 3. Deposit pattern of electrospun PVA fibers from high viscous PVA/water solution

#### 4. 결론

세 종류의 분자량을 가지는 PVA를 용액 농도와 전압을 달리하면서 전기 방사한 후, 섬유의 굵기, 형태, 방사 거동을 살펴보았다. 섬유의 직경은 분자량이 커짐에 따라 수십 나노미터에서 수 마이크로

미터 사이에 분포하였다. 분자량에 상관없이 pore가 없는 매끈한 섬유가 형성되었지만, 분자량이 40000인 경우 bead가 존재하였고, 분자량이 90000인 경우 bundle과 junction이 많았으며, 분자량이 150000인 경우 bundle과 junction이 적다는 특성이 있었다. 분자량이 커지면 같은 농도에서도 전기 방사시 straight jet의 길이가 증가하여 PVA 섬유는 looping이 이루어지지 못한 상태로 splay되었다.

## 5. 참고 문헌

- 1) H. Fong, I. Chun, D. H. Reneker, *Polymer*. **40**, 4585-4592 (1999)
- 2) J. M. Deitzel, J. Kleinmeyer, D. Harris, N. C. Beck Tan, *Polymer*. **42**, 261-272 (2001)
- 3) J. M. Deitzel, J. D. Kleinmeyer, J. K. Hirvonen, N. C. Beck Tan, *Polymer*. **42**, 8163-8170 (2001)
- 4) M. M. Demir, I. Yilgor, E. Yilgor, B. Erman, *Polymer*. **43**, 3303-3309 (2002)
- 5) K. J. Pawlowski, H. L. Belvin, D. L. Raney, J. Su, J. S. Harrison, E. J. Siochi, *Polymer*. **44**, 1309-1314(2003)
- 6) Silke Megelski, Jean S. Stephens, D. Bruce Chase, and John F. Rabolt, *Macromolecules*. **35**, 8456-8466 (2002)
- 7) A. Theron, E. Zussman and A. L. Yarin, *Nanotechnology*. **12**, 384-390 (2001)
- 8) A. G. MacDiarmid, W. E. Jones, I. D. Norris, J. Gao, A. T. Johnson, Jr., N. J. Pinto, J. Hone, B. Han, F. K. Ko, H. Okuzaki, M. Llaguno, *Synthetic Metals*. **119**, 27-30 (2001)