

전기방사법으로 제조한 PEI/PVdF 블렌드 웹의 물리적 특성에 대한 후처리 영향

석 훈*** · 박철민** · 김동영* · 조성무*†

*한국과학기술연구원 다원물질융합연구소 물질구조제어연구단, **연세대학교 신소재공학과
(2012년 2월 17일 접수, 2012년 3월 27일 수정, 2012년 3월 28일 채택)

Effect of Post-Process on Physical Properties of Electrospun PEI/PVdF Blend Nonwoven Web

Hoon Seok***, Cheolmin Park**, Dong Young Kim*, and Seong Mu Jo*†

*Center for Materials Architecturing, Institute of Multi-disciplinary Convergence of Matters, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea

**Department of Material Science and Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

(Received February 17, 2012; Revised March 27, 2012; Accepted March 28, 2012)

초록: Polyetherimide(PEI)와 poly(vinylidene fluoride)(PVdF) 폴리머들을 블렌딩하여 전기방사를 통해 웹을 제조하였다. 낮은 기계적 물성을 증대시키기 위해서 압착과 연신이라는 후처리 공정을 이용하였으며 후처리 공정이 기계적 물성에 미치는 영향을 조사하였다. 물리적 특성을 확인하기 위해 SEM, 인장 시험 측정기를 이용하여 측정하였다. 180 °C의 압착 온도에서 1/2, 1/3, 1/4, 1/5의 비율로 압착된 웹들은 초기 상태에 비해 대략 4~5배 가량 인장 강도가 증가하였으며, 이들을 220 °C의 온도에서 30~40% 연신함으로써 2~8 MPa의 추가적인 인장 강도 증대를 보였다.

Abstract: Polyetherimide (PEI) and poly(vinylidene fluoride) (PVdF) blend web was prepared by electrospinning technique. In order to improve low mechanical properties, post processes like hot-pressing and heat-stretching were employed, and a study on the effects of post processes on their mechanical properties was performed. To confirm the physical properties of the web, scanning electron microscopy and tensile measuring instrument were used. The mechanical strength of webs pressed in the ratios of 1/2, 1/3, 1/4 and 1/5 at 180 °C were improved four-to-five times compared to pristine webs. Also they showed an additional increase by 2~8 MPa, by heat-stretching 30 to 40% at 220 °C.

Keywords: PEI/PVdF blend web, mechanical strength, hot-pressing, heat-stretching, physical properties.

서 론

최근, poly(ethylene oxide)(PEO),¹⁻⁵ polyacrylonitrile (PAN),^{2,4,6-8} poly(methyl methacrylate)(PMMA),^{1,2,8} poly(vinylchloride)(PVC),^{2,8} poly(vinylidene fluoride)(PVdF),^{2,7-12} polyimide(PI) 및 polyetherimide(PEI)^{2,13,14} 등의 폴리머들을 포함하여 종래의 섬유제조 기술로는 얻을 수 없는 다양한 폴리머들의 초극세 섬유들이 전기 방사를 통해 성공적으로 제조되어 왔다. 전기 방사법은 그 원리와 공정이 간단하여 폴리머 나노 섬유를 제조하는데 있어서 매우 효과적이다. 제조된 웹(web)은 기본적으로 80~90%에 이르는 높은 기공도를 유지하고 있는 3차원적인 섬유상 네트워크 구조의 다공체이며, 기공들은 상호 연결된 개방형 기공구조(open pore)를 형성하고

있다.^{7,10} 또한 전기방사에 영향을 줄 수 있는 파라미터들(온도, 습도, 전압, 니들 직경, 토출 속도, 니들과 컬렉터 사이의 거리 등)을 변화시킴으로써 웹의 기공도 또는 기공 크기 등의 특성들이 제어가 가능하다.^{12,15-18}

하지만, 전기 방사법으로 제조된 웹들은 기계적 강도가 낮아 어셈블리 공정에서 취급에 따른 어려움이 있으며, 제품의 내구성이나 안정성 부분에서도 취약하다는 단점이 있다. 따라서 이를 보완하기 위한 방법으로 기존의 부직포에 적용되고 있는 화학적 결합을 통해 강도를 증가시키는 방법,¹⁹ 핫멜트 접착제^{20,21} 또는 실란 커플링제를²² 이용하여 본딩을 강하게 하는 방법, 그리고 열압착 등을 이용한 본딩이 이용 가능하다. 그러나 화학적 결합이나 핫멜트 등의 접착제를 이용하는 방법의 경우, 고온에 노출될 때 화학적 결합이 약해질 수 있으며, 연화가 일어나 접착 강도의 감소로도 이어질 수 있다. 또한 막 자체의 기본 물성이 다소 달라질 수 있다. 그러므로 본 실험에서는 열압착에 의한 섬유간 본딩을 통해 웹의

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: smjo@kist.re.kr

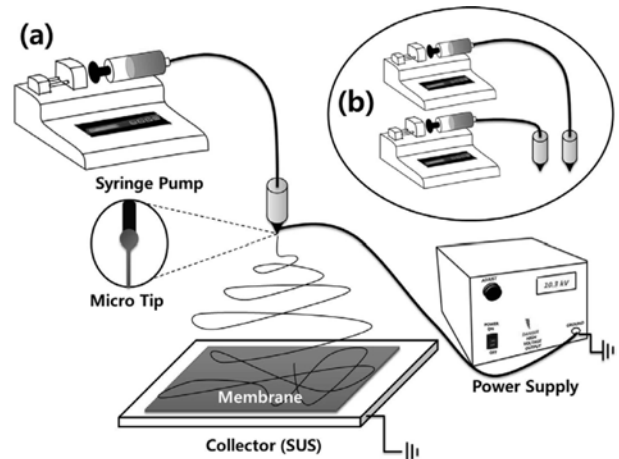
기계적 특성 향상을 추구하였다. 또한 웹을 구성하는 폴리머들의 특성 또한 후처리 공정에 적합하도록 선정하였다. 그 중 PEI는 기본적으로 기계적 특성이 좋고, 용점이 350 °C 이상으로 내열성이 우수하며, 열가소성 고분자로 가공이 용이하다. 그로 인해 연신과 같은 공정에서 긍정적인 효과가 예상된다. 하지만, 전기 방사를 통해 얻어진 PEI 웹은 섬유간 결합력이 너무 낮아서 유연하고 솜처럼 일어나는 현상이 나타나게 되며, 이는 결국 기계적 강도에 나쁜 영향을 미친다. 따라서 기계적 물성 향상을 위한 방법으로 저융점 고분자 섬유를 웹 본딩에 이용하고자 하였으며, PEI(349 °C)보다 용점이 낮은 PVdF(165 °C)를 사용하였다. 또한 PEI의 유리전이온도 이상의 높은 온도에서 진행되는 후처리 공정에서도 안정된 섬유간 결합력을 유지시키기 위하여, 본 실험에서는 PVdF 섬유상보다는 PEI를 함께 블렌딩하여²³ 섬유를 제조하는 방법으로 웹에 저융점 고분자를 도입하였다. 이로써 열압착 후뿐만 아니라 200 °C 이상의 후처리 과정에서도, PVdF가 섬유간 본딩을 유지시키는 접착제의 역할로써 활용될 것으로 기대되었다.

따라서 본 연구에서는 전기 방사된 PEI/PVdF 블렌드 웹이 압착과 연신 과정을 통해 기계적 물성이 어떻게 변화하는지에 대해서 조사하였다.

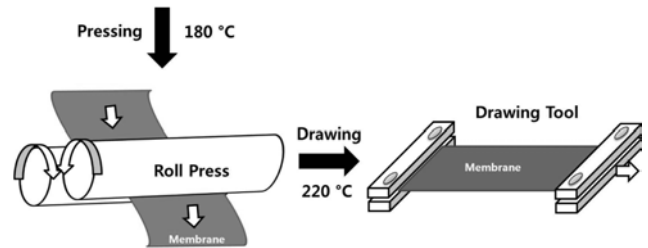
실 험

시약 및 재료. 블렌드 웹을 제조하기 위한 방사용액은 *N,N*-dimethylacetamide(DMAc)/tetrahydrofuran(THF)(7/3 중량비)의 혼합 용매에 PEI(Ultem 1000, Sabic)/PVdF(Kynar 761, Atofina)(7/3 중량비)를 15 중량%로 용해시켜 PEI/PVdF 블렌드 용액을 제조하였다. 또한 PEI 섬유와 PVdF 섬유가 혼재된 단순 혼합 웹을 제조하기 위한 방사 용액은 DMAc/THF(7/3 중량비) 혼합 용매에 PEI 및 PVdF를 각각 용해시켜 15 중량%의 PEI 용액 및 15 중량%의 PVdF 용액을 제조하였다.

PEI/PVdF 블렌드 웹의 제조. Scheme 1(a)와 같이 먼저 PEI/PVdF 용액을 30 mL 용량의 실린지에 채웠다. 고전압용 파워 서플라이(Bertan 220)는 이 실린지에 부착되어 있는 니들에 연결하였다. 그라운드로 접지시킨 금속판을 콜렉터로 사용하여 PEI/PVdF 용액을 전기 방사하였다. 방사 용액의 토출 유속(feeding rate)은 실린지 펌프(KD scientific, Model 220)를 사용하여 조절하였다. 전기 방사되는 동안 온도는 25~30 °C, 습도는 30~35%로 유지시켰다. 니들과 접지된 금속판 사이의 거리는 13 cm로 고정하였다. 방사하여 제조한 웹의 크기는 A4 사이즈로 설정하였으며, 두께는 100, 80, 60, 40 μm로 다르게 제조하여 추후 초기 두께의 1/5, 1/4, 1/3, 1/2 비율로 압착함으로써 최종적인 두께가 20 μm 되도록 제조하였다. 전기 방사하여 제조된 막은 잔류 용매 및 수분을 제거하기 위해 60 °C의 진공 오븐에서 24시간 동안 건조시켰다.



Scheme 1. Electrospinning process for making (a) blend; (b) simple mixed web.



Scheme 2. Post-process for electrospun web.

PEI 및 PVdF 단순 혼합 웹 제조. Scheme 1(b)와 같이 15 중량% PEI 용액과 15 중량% PVdF 용액을 두 개의 실린지 펌프를 이용하여 전기방사하여 PEI 섬유/PVdF 섬유(7/3 중량비) 혼합 웹을 제조하였다.

후처리 공정. 건조 후, 준비된 6 cm × 12 cm 면적의 웹 샘플들은 Scheme 2와 같은 롤 프레스에 의해서 열압착되었다. 이 때 롤의 온도는 180 °C이며, 롤 사이의 간격을 20 μm로 설정하여 40(±2), 60(±2), 80(±2) μm 및 100(±2) μm의 초기 두께를 가진 막들을 각각 1/2, 1/3, 1/4 및 1/5 비율로 열압착이 되도록 하였다. 압착된 웹들은 연신 틀에 의해 한 쪽 쪽이 고정되어 있으며, 반대 쪽 쪽을 균일한 힘으로 당겨 주면서 연신하였다. 연신율은 초기 길이(L_i)에 따른 연신 후의 길이(L_f)를 측정 후, 식 (1)을 이용하여 계산하였다. 이 모든 과정은 220 °C 온도의 오븐 속에서 수행되었다.

$$\text{연신율}(\%) = (L_f - L_i) / L_i \times 100 \quad (1)$$

특성 분석. 전기 방사법으로 제조된 PEI/PVdF 블렌드 웹의 표면 모폴로지 및 기공 구조는 진공상태에서 scanning electron microscopy(FE-SEM, Hitachi, S-4200)으로 관찰하였

다. 웹을 구성하는 섬유들의 평균 직경은 SEM 이미지를 바탕으로 SigmaScanPro 5.0(SPSS)를 이용하여 측정하였으며, 웹의 겉보기 기공도는 웹의 밀도(ρ_m)와 폴리머의 밀도(ρ_p)로부터 식 (2)에 의해서 계산되었다.

$$\text{겉보기 기공도}(\%) = (1 - \rho_m/\rho_p) \times 100 \quad (2)$$

기계적 강도는 ASTM D882-95a에 따라서 인장 시험 측정기(Instron, Model 4464)에 의해 측정되었다. 시편의 면적은 폭 0.5 cm, 게이지 길이 6.0 cm이며, 10 mm/분의 크로스-헤드 속도로 평가하였다.

결과 및 토론

블렌드 웹과 단순 혼합 웹의 초기 상태 비교. PEI 용액만을 전기방사하여 웹을 제조하였을 때에는 섬유간 결합력이 너무 낮아서 유연하고 솜처럼 일어나는 성질이 있다. 또한 전기방사 과정에서도 비드와 드랍과 같은 현상을 보이며 다소 불안정하다. 따라서 저융점 고분자이면서 전기방사에도 매우 안정한 PVdF를 이용함으로써 웹의 섬유간 용착과 안정적인 전기방사에 어떤 영향을 미치는지를 블렌드 웹과 단순 혼합 웹으로 적용 방법을 구분하여 PVdF 효과를 조사하였다. 먼저 Figure 1은 SEM 사진들을 통해 단순혼합 웹과 블렌드 웹 표면의 초기 상태를 보여준다. Figure 1(a)의 단순 혼합 웹의 경우는 평균적으로 500~700 nm의 겉보기 직경을 가지는 PEI 섬유들과 200~300 nm의 겉보기 직경을 가지는 PVdF 섬유들이 각각의 단일 섬유로 단순히 섞여 있음을 볼 수 있다. 반면, Figure 1(b)의 블렌드 웹의 경우는 단순 혼합 웹 섬유의 평균 겉보기 직경보다 큰 1.2 μm 정도의 균일한 겉보기 직경으로 웹을 형성하고 있으며, 드랍이나 비드는 발견할 수 없을 정도로 웹 상태가 깔끔하다. 또한 각각의 단일 섬유로 존재하는 것이 아니라 PEI와 PVdF 두 폴리머가 하나의 단일 섬유를 이루고 있음을 확인할 수 있다. 한편, 육안으로 비교해 볼 때, PEI와 PVdF의 혼합용액을 전기방사하여 제조한 블렌드 웹은 전기 방사한 초기 상태에서도 웹의 표면이 마치 멤브레인처럼 매끄러우며, 이미 섬유간 결합력을 지닌 것처럼 보였다. 반면에, PEI 용액과 PVdF 용액을 별개의 노즐로 전기 방사하면서 혼재시켜 제조한 단순 혼합 웹의 경우는 육안으로도 확인할 수 있을 정도로 표면이 솜처럼 많이 일어났으며, PEI 섬유와 PVdF 섬유간의 결합력도 낮아서 부분적으로 층분리가 일어났다. 이러한 결합력 차이로 인해 초기 상태 웹의 기계적 강도가 결정되며, 블렌드 웹에 비해 섬유간 결합력이 더 낮은 단순 혼합 웹의 섬유들이 더 잘 끊어지고 풀리는 현상이 발생하게 된다.

단순 혼합 웹의 열압착 및 열연신에 따른 물성 변화. 전기방사에 의해 제조한 PEI 섬유와 PVdF 섬유의 단순 혼합

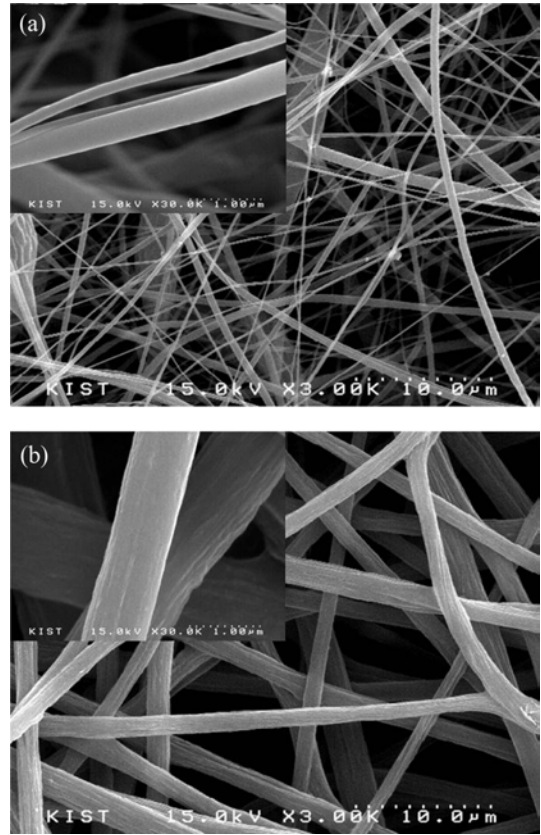


Figure 1. SEM images of (a) as-electrospun simple mixed web; (b) as-electrospun blend web.

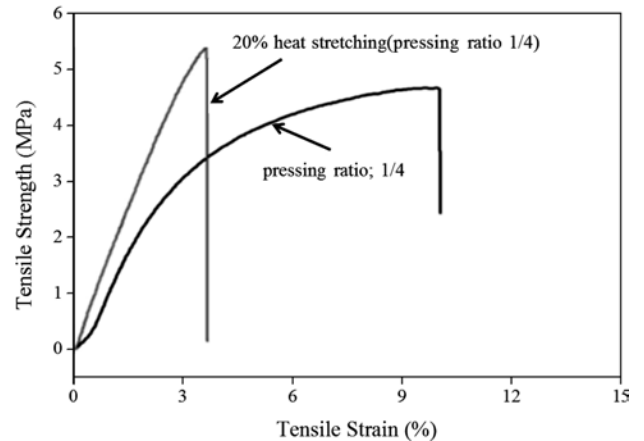


Figure 2. Tensile strength change of as-electrospun simple mixed web after hot-press and heat-stretch.

웹은 180 °C에서 열압착 시 1/5의 압착률에서는 저융점 고분자(PVdF)가 용융됨으로써 필름처럼 투명해졌으며, 웹이 부분적으로 수축되었다.

그러나 1/4의 압착률에서는 열에 의한 수축이나 녹아서 투명해지는 현상이 없이 섬유간 용착이 잘 이루어진 웹이 얻어

졌다.

이 열압착된 웹을 220 °C 에서 열연신한 결과 최대 20% 정도 연신된 후에는 파단되었다. Figure 2는 단순 혼합 웹을 180 °C에서 1/4 압착률로 열압착한 상태와 그것을 다시 220 °C 에서 20%의 최대 연신율로 열연신하여 얻은 웹의 강도-신도(SS)곡선을 보여주고 있다. 열압착만 한 웹의 인장 강도는 4.7 MPa이었으며, 220 °C의 온도에서 20% 열연신한 후에는 5.5 MPa의 인장 강도를 보였다.

블렌드 웹의 압착 비율에 따른 물성 변화. Figure 3은 180 °C 에서 압착 비율을 (a) 1/2, (b) 1/3, (c) 1/4, (d) 1/5로 압착하여 얻은 블렌드 웹들의 SEM 사진들이다. Figure 3(a)의 경우는 초기 상태의 웹과 비교해 볼 때, 웹 구성 섬유 사이에 열압착으로 융착된 곳이 극히 미미하였으며, 주로 섬유 자체의 눌림 현상이 대부분이다. 하지만, Figure 3(b)에서는 웹 구성 섬유 사이에 융착이 전반적으로 나타나기 시작하였으며, Figure 3(c)와 (d)에서는 초기 상태의 웹과 확연히 구분될 정도로 섬유간 강한 융착이 형성되어 있었다.

Figures 4와 5는 압착 비율에 따른 웹의 기공도와 구성 섬유의 평균 겉보기 직경 변화를 보여 주고 있다. 1/2 압착 비율의 경우, 초기 상태 웹의 평균 겉보기 직경(1.13 μm)과 비교해 볼 때 압착 후의 평균 겉보기 직경이 1.32 μm로 증가하였으며, 겉보기 기공도는 열압착 전의 89%에서 압착 후 78%로 감소하였다. 또한 열압착이 1/3, 1/4, 1/5 비율로 증가함에 따라 평균 겉보기 직경은 1.62, 1.81, 2.01 μm로 압착률이 높아질수록 증가하고 있으며, 이와는 반대로 겉보기 기공도는 각각 63, 53, 41%로 감소하였다. 이러한 겉보기 직경의 증가는 압착에 의해 구성 섬유의 단면이 원형에서 타원형으로 납작해졌기 때문이다. Figures 4 및 5에서 겉보기 기공도는 열압착률에 반비례하고, 겉보기 직경은 비례하는 일반적

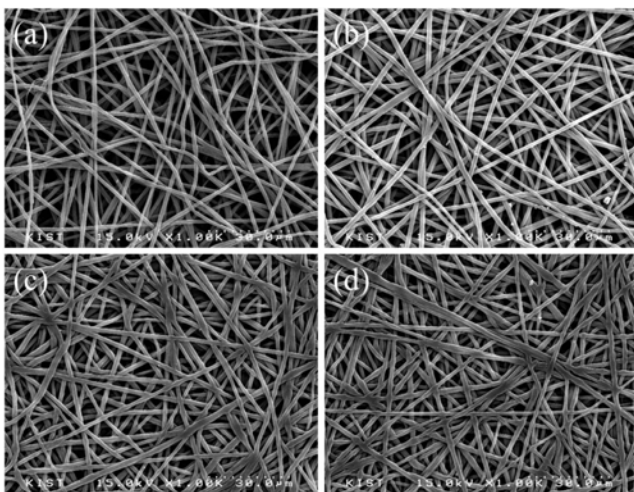


Figure 3. SEM images of electrospun PEI/PVdF blend webs hot-pressed at 180 °C; Hot-pressing ratio (a) 1/2; (b) 1/3; (c) 1/4; (d) 1/5.

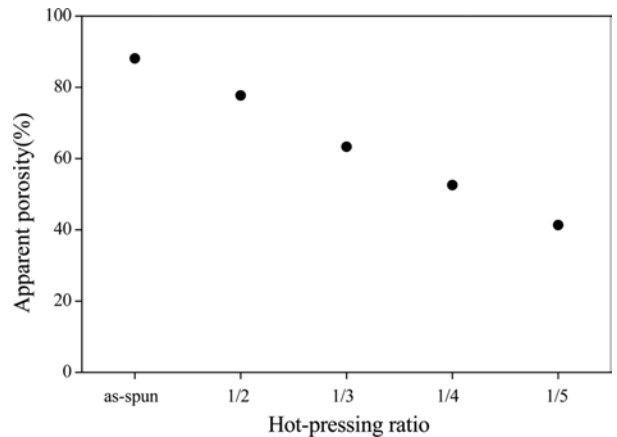


Figure 4. Apparent porosity change of electrospun blend web according to hot-pressing ratio.

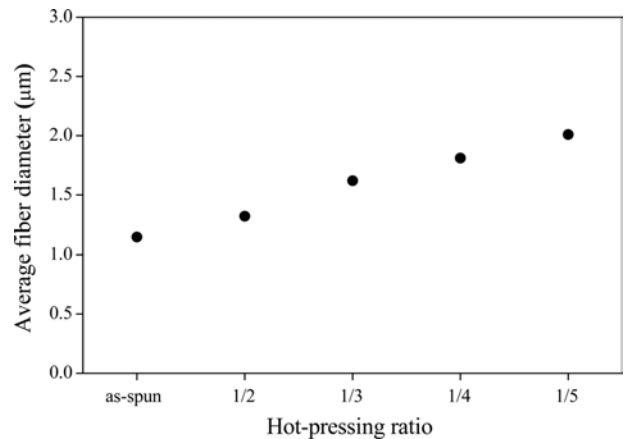


Figure 5. Average fiber diameter change of electrospun blend web according to hot-pressing ratio.

인 경향을 나타내었다.

Figure 6은 압착률이 서로 다른 각각의 시료들을 10 mm/sec의 크로스-헤드 속도로 측정된 SS 곡선들이다. 초기 상태 웹의 경우, 33.6% 정도 늘어난 후 파단되었으며, 이 때의 인장 강도는 대략 3.8 MPa를 나타내었다. 반면에, 1/2 비율로 열압착한 웹은 50.2%가 늘어났으며, 이 때의 인장 강도는 8.0 MPa로 초기 상태 웹에 비해 2배 가량 높아졌다. 1/3 비율로 열압착 후에 인장 강도는 11.2 MPa이었으며, 1/4 비율과 1/5 비율로 열압착 후에는 각각 18.0, 18.4 MPa로 초기 상태 웹에 비해 무려 4~5배 가량 인장 강도가 증가되었다. 이는 같은 1/4 비율의 압착률로 압착한 단순 혼합 웹의 인장 강도와 비교해 볼 때, 블렌드 웹의 인장 강도가 4배 가량 더 높았다. 또한 인장 강도에 비례하여 웹이 파단되기 전까지 늘어난 신도와 함께 영 탄성률도 증가하였다. 즉, 열압착으로 구성 섬유들은 교차 혹은 평행한 상태로 서로 융착이 되었으며, 동일한 압착온도에서 압착률이 증가할수록 이러한 융착

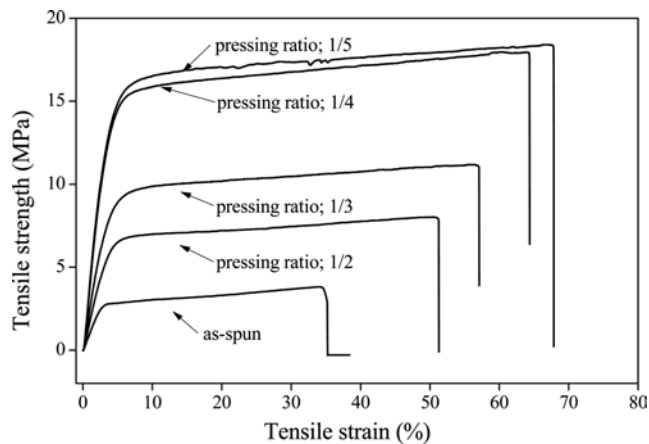


Figure 6. Tensile strength and strain changes of electrospun blend webs according to the hot-pressing ratio.

은 더욱 강하게 형성되었다.

단순 혼합 웹의 경우에는 PVdF 섬유와 접촉하고 있는 PEI 섬유들만이 열압착에 의한 PVdF 섬유의 용융으로 융착될 것으로 추정된다. 즉, 본 실험의 열압착 온도에서 PVdF 섬유와 접촉하지 않는 PEI 섬유는 융착되지 못하므로 열압착에 의한 인장 강도 증대 효과는 크지 않았던 것으로 추정된다. 반면에, 일반 부직포에서 저융점 섬유를 사용한 본딩 효과와 비슷하게 PEI/PVdF 블렌드 섬유의 경우에도 180°C의 압착 온도보다 더 낮은 용점(165°C)을 갖는 PVdF 성분이 용융되어 섬유간 융착에 기여하고 있었다. Figure 6에서 열압착률의 증가에 따라 인장 강도의 증가와 함께 신도도 증가를 보여 주고 있다. 이는 섬유간 열융착으로 인장력이 구성섬유에 충분히 전달되고 있음을 보여주는 것이다. 따라서 강도의 증대와 함께 신도가 증대된 것으로 추정된다. 이는 열압착 후, 열연신의 추가공정에 의해 웹의 기계적 물성증대가 가능함을 보여주는 것이라 사료된다.

블렌드 웹의 경우, 웹의 전체 섬유가 PVdF 성분의 용융에 의한 결합이 이루어 지므로 단순 혼합 웹에 비하여 훨씬 강한 인장 강도를 나타낸 것으로 사료된다. 또한 부직포의 기계적 강도는 부직포의 밀도와 매우 밀접한 관계를 지니고 있다. 따라서 열압착에 의해 겉보기 기공도의 감소와 함께 웹의 밀도가 증대되므로 이러한 요인들은 결과적으로 인장 강도의 향상으로 이어지게 되었다.

열연신이 블렌드 웹의 인장 강도에 미치는 영향. 압착률을 달리하여 얻어진 각각의 블렌드 웹들은 220°C의 오븐 속에서 연신 틀을 사용하여 열연신하였다. Figure 7(a)-(d)는 1/2~1/5 비율로 압착한 웹들을 각각 30, 32, 41, 46%의 최대 연신율로 열연신하여 얻은 웹의 SEM 사진들이다. 일반적으로 고분자 섬유는 유리전이온도 ~ 용융온도 구간에서 열연신에 의해 섬유를 구성하는 고분자사슬의 배향도를 크게 증대시킬 수 있고 고분자사슬의 배향도 증대는 섬유의 인장 강도 등

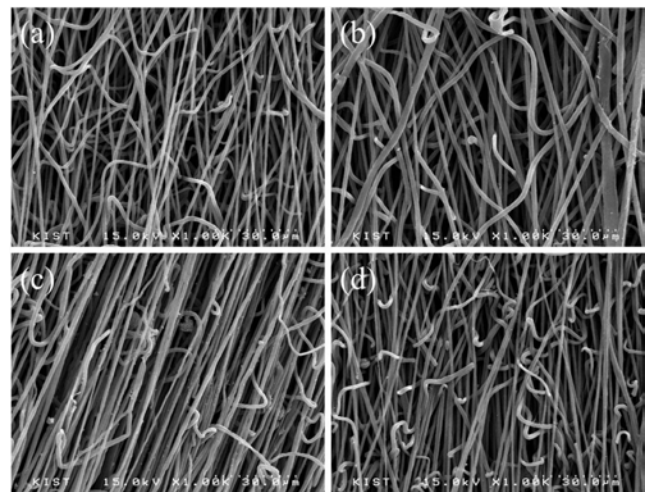


Figure 7. SEM images of electrospun PEI/PVdF blend webs heat-stretched at 220°C after hot-press; Heat-stretching (hot-pressing ratio); (a) 30% (1/2); (b) 23% (1/3); (c) 41% (1/4); (d) 46% (1/5).

기계적 물성을 개선시킬 수 있다.

부직포의 경우도 구성섬유의 고분자사슬 배향도를 증대시키기 위하여 열연신을 할 수가 있는데, 이때 섬유간 결합력이 충분히 유지되어 연신 과정에서 부여되는 인장력이 부직포 구성 섬유에 충분히 전달되어야 한다.

본 실험에서는 PEI의 유리전이온도인 216°C 이상의 온도에서 연신을 하였으며, PVdF 용점보다도 훨씬 높은 온도임에도 압착률이 높을수록 열연신율이 높았다. 이는 열압착된 PEI/PVdF 블렌드 웹의 섬유간 결합력이 열연신 온도에서도 충분히 유지되고 있음을 보여 주는 것으로 사료되며, 이러한 연신율의 증대는 구성 섬유 고분자사슬의 배향 또한 증대됨을 반영하는 것으로 추정된다.

Figure 8은 열압착 후 220°C에서 열연신한 블렌드 웹의 SS 곡선을 보여주고 있다. 1/2 비율로 열압착된 웹은 30%의 열연신되었으며, 이 웹의 인장 강도는 10.0 MPa이었다. 열연신에 의해 인장 강도는 2 MPa가 증가하였다. 1/3~1/5 비율로 열압착된 웹들의 인장 강도는 열연신에 의해 각각 11.2, 18.0, 18.4 MPa에서 13.9, 20.6, 26.7 MPa로 2~8 MPa 정도 증가하였다. 단순 혼합 웹의 최대 연신율이 20%임을 감안할 때, 블렌드 웹은 최대 연신율이 1.5~2배 가량 높았으며, 그에 따른 인장강도 또한 4~5배 가량 높았다. Figure 6에서 열압착률이 높을수록 강도의 증대와 함께 신도가 증대되었으므로, 열연신에 의해 웹의 기계적 물성증대가 기대되었다. 결과적으로 Figure 8에서 보듯이 열압착률이 높을수록 구성 섬유간 결합력 증대로 인해 열연신율이 증대되었으며, 이는 웹의 인장강도 및 탄성률의 증대와 함께 웹의 신도 감소로 나타났다. 이는 열연신에 의해 웹의 구성 섬유 고분자사슬의 배향도 증대로 구성섬유의 기계적 강도가 증대되었기 때문이다. 열연신

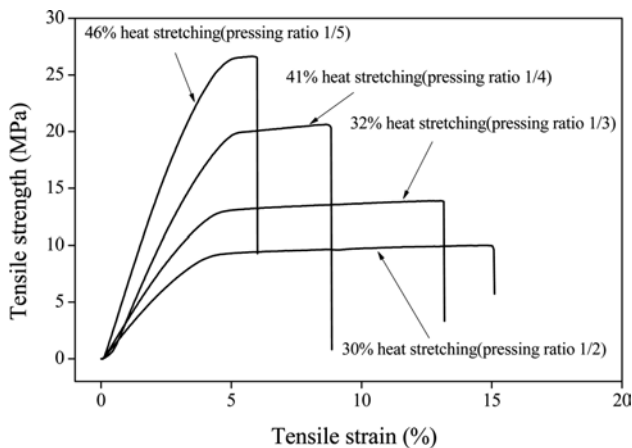


Figure 8. Tensile strength changes of electrospun blend webs according to the heat-stretch.

후 신도의 감소는 일반 섬유와 열연신 효과와 같이 열연신율이 증가할수록 구성 섬유의 분자배향도의 증대 때문이므로, Figure 8에서는 열압착률의 증대에 따라 웹 열연신율의 증가와 함께 웹의 기계적 강도는 증가하나 신도는 감소하였다. 따라서 웹에서 구성 섬유의 용착은 후공정에 의한 기계적 물성 증대에 매우 중요한 요소로 사료되었다.

그러나 저융점 섬유를 사용한 일반 부직포 본딩처럼 PEI 섬유 웹의 본딩에 PVdF 섬유를 사용한 단순혼합 웹의 경우에는 섬유간 결합력이 강하지 못할 뿐만 아니라, PVdF 용점(165 °C)보다 훨씬 높은 220 °C의 열연신 온도 영역에서는 PEI 섬유간 결합에 기여한 PVdF 섬유가 재용융되기 때문에 낮은 열연신율과 낮은 기계적 물성 증대를 나타내었던 것으로 사료된다.

결 론

본 연구에서는 전기방사를 통해 제조된 PEI/PVdF(7/3, 중량비) 블렌드 웹에 대하여 열압착과 열연신 등의 후처리 공정을 통해 웹의 기계적 물성에 이들이 미치는 영향을 조사하였다. 그 결과 열압착을 통해서 4~5배 가량의 인장 강도 증대를 보였고, 이를 다시 연신함으로써 2~8 MPa 정도 향상됨을 확인할 수 있었다. 열압착을 통해 구성 섬유간 결합이 더 견고해지고, 이를 연신함으로써 섬유구성 고분자사슬의 배향도 증대로 웹의 기계적 물성을 향상을 이룩하였다. PVdF를 이용한 웹의 섬유간 용착은 PVdF 섬유의 단순 혼합보다는 PEI/PVdF 블렌드를 통해 저융점 고분자를 도입하는 것이 보다 효율적이었다.

감사의 글: 본 논문은 한국과학기술연구원 기관고유사업에 의해 지원된 결과입니다.

참 고 문 헌

1. S. Megelski, J. S. Stephens, D. B. Chase, and J. F. Rabolt, *Macromolecules*, **35**, 8456 (2002).
2. Z. M. Huang, Y.-Z. Zhang, M. Kotaki, and S. Ramakrishna, *Compos. Sci. Technol.*, **63**, 2223 (2003).
3. Z. Sun, E. Zussman, A. L. Yarin, J. H. Wendorff, and A. Greiner, *Adv. Mater.*, **15**, 1929 (2003).
4. F. Yuan, H. Z. Chen, H. Y. Yang, H. Y. Li, and M. Wang, *Mater. Chem. Phys.*, **89**, 390 (2005).
5. F. M. Reza and S. S. Naser, *J. Appl. Polym. Sci.*, **105**, 1351 (2007).
6. S. W. Choi, J. R. Kim, S. M. Jo, W. S. Lee, and Y. R. Kim, *J. Electrochem. Soc.*, **152**, A989 (2005).
7. S. M. Jo and S. Y. Jang, *Polymer Science and Technology*, **19**, 1 (2008).
8. J. R. Kim, S. W. Choi, S. M. Jo, W. S. Lee, and B. C. Kim, *Electrochim. Acta*, **50**, 69 (2004).
9. S. W. Choi, S. M. Jo, W. S. Lee, and Y. R. Kim, *Adv. Mater.*, **15**, 2027 (2003).
10. J. R. Kim, S. W. Choi, S. M. Jo, W. S. Lee, and B. C. Kim, *J. Electrochem. Soc.*, **152**, A295 (2005).
11. S. W. Lee, S. W. Choi, S. M. Jo, B. D. Chin, D. Y. Kim, and K. Y. Lee, *J. Power Sources*, **163**, 41 (2006).
12. S. W. Choi, J. R. Kim, Y. R. Ahn, S. M. Jo, and E. J. Cairns, *Chem. Mater.*, **19**, 104 (2007).
13. R. E. S. Rosario and G. B. Donald, *Polymer*, **33**, 5233 (1992).
14. S. Koombhongse, W. Liu, and D. H. Reneker, *J. Polym. Sci. Polym. Phys.*, **39**, 2598 (2001).
15. C. L. Casper, J. S. Stephenes, N. G. Tassi, C. D. Bruce, and J. F. Rablot, *Macromolecules*, **37**, 573 (2004).
16. C. Mit-uppatham, M. Nithitanakul, and P. Supaphol, *Macromol. Chem. Phys.*, **205**, 2327 (2004).
17. S. A. Theron, E. Zussman, and A. L. Yarin, *Polymer*, **45**, 2017 (2004).
18. G. H. Lee, I. T. Jung, S. H. Shim, and K. B. Yoon, *Polymer Science and Technology*, **19**, 1 (2008).
19. H. S. Kim, D. Y. Lee, Y. J. Park, and J. H. Kim, *Appl. Chem.*, **1**, 349 (1997).
20. M. A. Repka and J. W. McGinity, *Biomaterials*, **21**, 1509 (2000).
21. B. Y. Jeong, J. M. Cheon, C. S. Yoo, and J. W. Chun, *J. Adhesion Interface*, **9**, 12 (2008).
22. T. S. Hwang, S. G. Lee, and K. S. Cha, *Polymer(Korea)*, **25**, 774 (2001).
23. J. H. Park, Y. T. Sung, W. N. Kim, J. H. Hong, B. K. Hong, T. W. Yoo, and H. G. Yoon, *Polymer(Korea)*, **29**, 19 (2005).