

고온에서 가압 압축된 폴리에스테르 쉬트의 물리적, 기계적 특성에 관한연구

전영민, 임상규, 손해식, 정광섭, 손태원, 김학묵*
영남대학교 섬유학부, *(주)코오롱세이렌

1. 서론

합성섬유로써 쉬트(sheet)를 제조하는 방법에는 단섬유를 사용하여 물에 분산시켜 제판하는 습식법과 방사된 장섬유를 직접 제판하는 건식방법이 있다. 먼저 습식법으로 제조된 쉬트에 있어서는 제지의 원리를 기초로하여 균일하게 섬유소재를 분산하여 초지시킨 후 바인더를 부여해서 종지와 유사한 부직포를 만드는데 고속공정에 의해 생산성이 높고, 균제한 제품을 얻을 수 있으며 다량의 물에 분산함으로써 제품의 두께가 아주 얇은 것부터 두꺼운 형태에까지 쉬트(sheet)화가 가능하며 각종섬유를 임의의 비율로 혼합할 수 있으나 단점으로는 적용가능한 섬유길이에 한계가 있으며 크럼프섬유일 경우 균일한 분산이 곤란하고 설비의 대형화가 불가피하며 주로 물에 분산이 용이한 친수성의 셀룰로오스, 펄프, 마 등의 천연 섬유재료가 주로 사용되며 그 대표적인 예로는 인조종이가 있다. 건식법에 있어서는 시트상의 웹을 형성시킨 뒤 그웹을 접착시키는 두공정으로 나뉘볼 수 있는데 일반적으로 쉬트를 만드는데는 웹을 형성하는데 있어서 주로 방사되면서 필라멘트를 배열시키는데 에어제트를 이용해서 고속 방출하는 “스핀본드법”이 주로 많이 쓰인다. 이러한 건식법의 장점으로는 습식법에 비해 제조원가가 낮고 에너지가 적게들며 제조장치의 오염이 없으며 제조설비의 콤팩트화가 가능하지만 단점으로는 전 방사공정에 걸쳐 일정한 온도가 유지되어야하며 생산 제품이 습식법에 의해 생산된 쉬트에 비해 얇은 제품을 얻는데 불리하다는 것이다. 이렇게 생산된 제품은 종지와 필름의 중간형태로써 디스켓의 커버로 사용되는 “Tyvek” 같은 제품이 그 대표적인 예이다. 재료면에서 셀룰로오스(cellulose) 섬유로된 천연펄프로 혹은 면으로 만들어진 쉬트는 습윤상태에서 강도를 잃어버리므로 물이 다량 사용되는 목적으로는 이용될 수 없다. 인조종이의 경우에는 인조펄프를 사용하여 쉬트를 제조하고 있으나 바인더(binder)를 사용하여 습식으로 제조되고 있으므로 이도 습윤상태에서 사용하기에는 한계가 있다. 습윤상태에서 사용 가능한 쉬트를 제조하기 위하여 합성섬유로 널리 사용되는 Polyester 섬유를 이용하여 부직포를 만들고 이를 가열 가압하여 제판하는 공정을 통하여 쉬트를 제조하고 있다. 이 경우에는 물에 영향을 받는 바인더(binder)를 사용하지 않고 소수성인 Polyester 섬유를 사용하기 때문에 정수필터, 수처리 쉬트 등 물속에서도 사용 가능한 쉬트를 얻을 수 있다. 이에 본 연구에서는 상업적으로 널리 공급되고있는 폴리에스테르 부직포를 이용하여 이로부터 습윤상태에서 사용 가능한 쉬트를 제조할 수 있는 공정을 개발하고 그 제조된 쉬트의 특성을 조사 검토하여 정수필터, 수처리 쉬트 또는 습식 세퍼레이터(separator)로 이용할 수 있는 기능성 쉬트를 제조하고 있다.

2. 실험

2.1 시료

본실험에서 사용된 부직포는 두가지로써 시료 #A는 H社에서 생산되는 폴리에스터 100% 단섬유 니들펀칭(Needle Punching) 부직포로서 원사섬도 2 Denier 중량 310.0 g/m^2 , 두께 2.203 mm이며, 시료 #B는 K社에서 생산되는 폴리에스터 100% 장섬유 스펀본드(Spun Bond)부직포로서 원사섬도 4 Denier 중량 350.5 g/m^2 , 두께 3.216 mm인 제품을 사용하였다.

2.2 시료의 처리장치

시료에 온도와 압력을 일정하게 가할 수 있도록 된 Hot press(Tester Co., Ltd. Japan)에 각 온도조건별로 시료에 가해지는 기계적 힘인 압력을 달리하여 10분간 처리하여 부직포를 처음상태보다 두께가 얇은 시트(sheet)상으로 만들고 처리시간에 따른 변화(time effect)를 알기위해 일정한 온도와 압력하에서 처리시간을 달리하여 시료를 만들었다.

2.3 밀도 및 공극율 측정

KS F 2122에 의해 2 kPa 가압하에 두께측정기(Mitutoyo Dial No. 2046-08. Japan)로 두께를 측정하고, KS K 0514 (작은시험편법)에 의해 중량(Mettler AE200. Switzerland)을 측정하여 밀도⁹¹⁰⁾(g/cm^3) 및 공극율(%)^{11)~13)}을 산출하였다.

2.4 인장강도 및 신도 측정

KS K 0520의 1inch cut strip법에 의해 인장강·신도 측정기(Instron 1011 U.S.A.)로 정속인장식(Constant Rate of Extention Type)의 200 mm/min 의속도에 의해 길이방향, 폭방향으로 구분하여 인장강도(kgf/inch) 및 신도(%)를 측정하였고 두께변수를 고려한 단위 면적당 인장강도를 계산하여 나타내었다.

2.5 공기투과도 측정

공기투과도는 공기투과도 측정기(Frazier Precision Instrument Co., Inc. U.S.A.)를 사용하여 KS K 0570 (프라지아법)에 의해 공기투과량을 측정하였는데 그값은 일정한 단위면적에 1초당 통과되어지는 공기의 부피를 $\text{cc}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sec})$ 로 나타내었다.

2.6 투수계수 측정

투수계수는 KS F 2322 흡의 투수 시험법에서 투수계수 측정기(정수위 투수시험기-선영과학)로 측정하였는데, 시험조건은 15 °C의 물을 수위 40.5 cm를 일정하게 유지하는 상태에서, 각각의 시료갯수 3개씩을 겹쳐서 단면적 22.38 cm^2 를 통해 10초 동안의 월류수의 양(cm^3)을 측정하여 투수계수(cm/sec)를 산출하였다.

2.7 투습도 측정

투습도는 KS K 0594 4.1의 염화칼슘법에 의해 투습컵과 향온·향습 장치(Tenney Inrvonmental T10RS-1.5. U.S.A.)를 사용하여 시험하였으며, 흡습제(anhydrous calcium chloride)를 투습컵 상단에서 6 mm 아래 위치까지 채운다음 봉합하여 시험체로 하고 40 ± 2 °C, RH 90 ± 5%의 향온·향습기에 넣고 매1시간마다 측정하여 3회 측정 평균값을 구하여 그값으로 투습도(WVT-rate of water vapor transmission, $\text{g}/(\text{hr} \cdot \text{m}^2)$)를 구하고, 또한 두께에 따른 평균 투습성(Average permeability)을 산출했다.

2.8 현미경에 의한 미세구조 관찰

주사형 전자현미경 (JEOL JSM-820. Japan)으로 표면 및 측면을 관찰했다.

3. 결과 및 고찰

3.1 밀도 및 공극율의 변화

측정한 두께와 중량에 의해 밀도(g/cm^3) 및 공극율($\%$)^{11)~13)}을 산출하였는데, 밀도는 이들 두 측정치에 의해 단위부피당 중량으로 환산하였으며, 공극율은 0% 일때 부직포를 형성하고있는 fiber자체(spun bond 이므로)의 밀도로 가정하여 밀도 비례식에 의해 산출하였고 그 계산식은 아래의 (1.1), (1.2)식과 같다.

$$\text{bulk density (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{weight (g/cm}^2\text{)}}{\text{thickness (cm)}} \quad (1.1)$$

$$\text{porosity (\%)} = \frac{\text{specific gravity of fiber} - \text{bulk density}}{\text{specific gravity of fiber}} \times 100 \quad (1.2)$$

3.3 공기투과도의 변화

공기투과도는 공극률의 감소에 따라 지수 함수적으로 감소하는 경향을 보이며 Fig. 1. 에서와 같이 구성web의 섬도와는 관계없이 밀도에 의해 결정되어지며 공극율 약50% 이하에서 부터는 거의 변화없이 안정됨을 알았다.

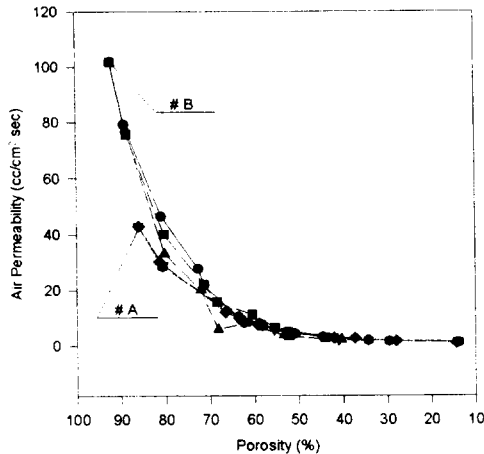


Fig. 1. Relationship between porosity and air permeability.

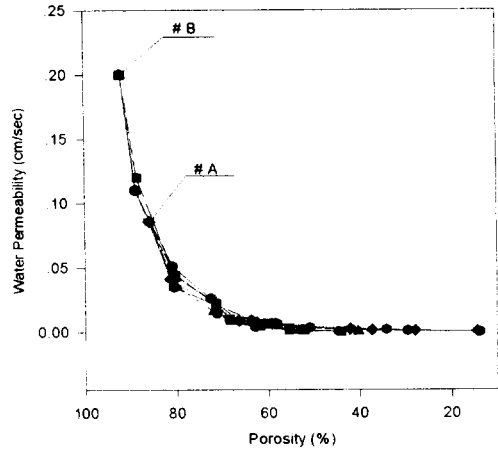


Fig. 2. Relationship between porosity and water permeability.

3.4 투수계수의 변화

측정된 10초 동안의 월류수의양(cm^3)으로 투수계수(cm/sec)를 산출하였는데 그 유도식은 (1.3)과 같으며, 투수계수는 공극율의 감소에 따라 공기투과도와 비슷한 경향을 보였고 공극율 약60% 이하에서는 Fig. 2. 에서와 같이 안정화 되어짐을 알 수 있다.

$$k_T = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)} \times \frac{\mu_T}{\mu_{15}} \quad (cm/sec) \quad (1.3)$$

여기서, k_T : 온도 $T^\circ C$ 에 대한 투수계수(cm/sec), L : 시료의 두께(cm), h : 수두(cm)

Q : $t_2 - t_1$ 시간(s) 내에 월류한 수량(cm^3), A : 시료의 단면적(cm^2), t : 시간(s)

$\frac{\mu_T}{\mu_{15}}$: 온도 $T^\circ\text{C}$ 에 대한 물의 점성계수에 따른 보정계수

3.5 투습도의 변화

투습도는 일정시간당의 투습량을 측정하여 투습도(WVT-rate of water vapor transmission, $\text{g}/(\text{hr} \cdot \text{m}^2)$)를 구하고, 그값을 이용해서 두께에 따른 평균 투습성(Average permeability)을 (1.4)식과 같이 산출했는데, 투습도는 공기투과도 및 투수계수와는 달라 공극율의 영향을 거의 받지않고 동일한 투습량을 가지게됨을 알 수 있다. 또한 두께변수를 고려한 평균투습성은 공극율의 감소에따른 지수함수적인 감소경향을 보인다. 즉, 각각의 밀도의 상태에서 동일한 두께로 가정한다면 공극율의 감소에 따른 투습량의 감소가 예측된다. 또한, web을 형성하는 fiber의 섬도의 영향도 받게됨을 알수있다.

$$\text{Average permeability } (\text{g}/(\text{Pa} \cdot \text{sec} \cdot \text{m})) = \text{permearance} \times \text{thickness} \quad (1.4)$$

$$\text{Permearance} = \frac{WVT}{\Delta P} = \frac{WVT}{S(R_1 - R_2)} \quad (1.5)$$

WVT = rate of water vapor transmission, $\text{g}/(\text{hr} \cdot \text{m}^2)$

ΔP = vapor pressure difference, mmHg ($1.333 \times 10^3 \text{ Pa}$)

S = saturation vapor pressure at test temperature,

= $35(\text{mmHg}) \times 1.333 \times 10^3 (\text{Pa}/\text{mmHg}) = 46.66 \times 10^3 \text{ Pa}$

R_1 = relative humidity at the source expressed as a fraction

R_2 = relative humidity at the vapor sink expressed as a fraction

3.6 처리시간의 변화에따른 특성관찰

처리시간의 변화에 따른 경향성을 알기위해 시료 #B를 비교적 상태가 안정적인 온도조건: 180°C , 가압조건: $400 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 에서 처리시간을 달리(15sec, 30sec, 45sec, 1min, 3min,

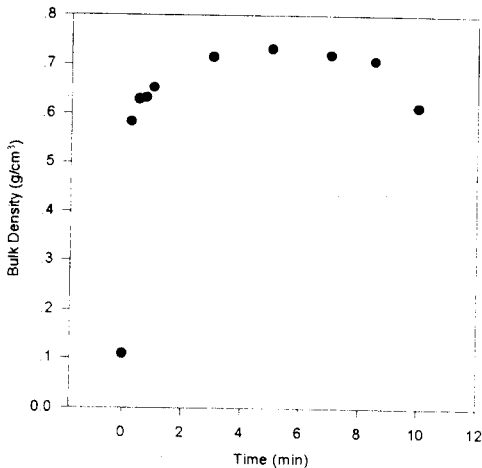


Fig. 3. Relationship between time and bulk density.

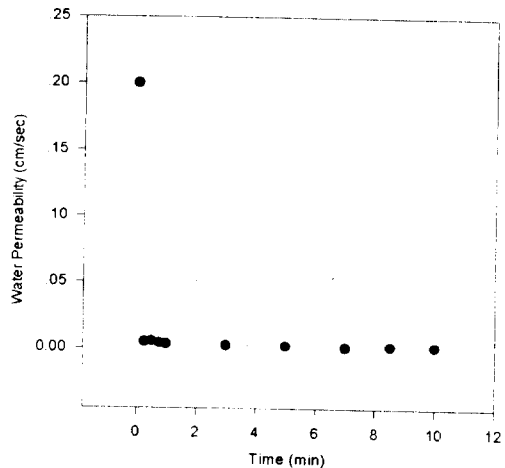


Fig. 4. Relationship between time and water permeability.

5min, 7min, 8.5min, 10min)로 하여 시료를 만든후 각각의 특성을 알아보았다. 처리시간 1분이 넘어가면 거의 동일한 물리적, 기계적 특성에 도달하게 됨을 알았다.

3.7 전자현미경에 의한 변화관찰

현미경에 의한 표면 및 측면의 형태로 기공(Pore)의 크기와 형태의 변화를 알수있었다. 따라서, 투수성, 투습성의 변화는 이러한 기공의 크기와 형태에 의한 것으로 확인되어진다.

4. 결론

바인더로 결속되어지지 않는 건식쉬트에 있어서는 fiber만으로 Web을 구성하고 있으므로 구성 fiber의 유리전이온도(Tg) 이상의 고온에서 가압 압축하여 공극을 가진 쉬트를 제조할 수 있으며, 제조된 쉬트(sheet)는 공극율, 공극의 크기 및 형태, 구성 fiber간의 접촉점의 변화로인해 기계적 성질이 취성(brittle)화 되어지며 투수성, 통기성은 가열 가압조건과 일정한 비례관계가 성립하는데 사용되어진 시료의 경우 구성 fiber의 굵기와는 무관하며 밀도에의해 결정되어짐을 알 수 있었다. 따라서 상업적으로 널리 사용되어지는 부직포를 이용해서 두께와 밀도를 변화시킨 쉬트로 투수성, 통기성을 조절할 수 있으며 이를 이용하여 정수필터, 수처리 쉬트, 습식 세퍼레이터 등을 콤팩트화 할 수 있을 것이다. 그리고 제조된 쉬트의 투습성은 거의 변화가 없었는데 이를 이용해 투습성을 필요로 하는 벽재, 천정재 및 포장재 등의 활용도 기대할 수 있다. 또한, 제조된 쉬트는 종이인 일반 복사용지(두께:0.099 mm, 밀도:0.074 g/cm², 인장강도:19.8/9.8 kgf/inch, 인장신도: 2.9/4.7 %, 공기투과도:0.02 cc/cm² sec)의 특성과 컴퓨터 디스켓의 포장재로 사용되어지는 Tyvek-HDPE(두께:0.139 mm, 밀도:0.039 g/cm², 인장강도:11.2/19.0 kgf/inch, 인장신도:15.0/19.7 %, 공기투과도:0.04 cc/cm² sec)의 특성과도 비교되어진다.

참 고 문 헌

1. J. Lünenschloss and W. Albrecht, Non-woven Bonded Fabrics, Ellis Horwood Limited, (1985)
2. R. I. C. Michie, R. H. Peters, and W. Taylor, *Text. Res. J.*, **33**, 325 (1963)
3. G. E. R. Lamb, P. A. Costanza, *Text. Res. J.*, **50**, 362 (1980)
4. T. Tamura, *J. Soc. Fib. Sci. Tech.(Japan)*, **41**, 433 (1985)
5. A. Isobe, *J. Soc. Fib. Sci. Tech.(Japan)*, **39**, 436 (1983)
6. Y. Kurayanagi, *J. Soc. Fib. Sci. Tech.(Japan)*, **45**, 394 (1983)
7. I. Holme, A. K. Mehrotra, and P. Wan, *J. Text. Inst.*, **74**, 374 (1983)
8. S. B. Warner, *Text. Res. J.*, **59**, 151 (1989)
9. G. J. Morris, *J. Text Inst.*, **44**, 449 (1964)
10. H. J. Hoge, and G. F. Fonseca, *Text. Res. J.*, **34**, 401 (1968)
11. W. H. Rees, *J. Text. Inst.*, **32**, 149 (1964)
12. J. H. Wang and M. Yasuda, *Text. Res. J.*, **61**, 10 (1991)
13. J. E. Booth, "Principles of Textile Testing," p. 276, Butterwoths, London, (1983)