

크림프 가공이 니들펀칭 부직포의 역학적 성질에 미치는 영향

정재호 , 강태진

서울대학교 섬유 고분자공학과

1. 서론

니들펀칭 부직포는 구성 섬유소 집합체(web)를 바늘에 펀칭시켜 통과시킴으로써 섬유소간의 물리적인 결합력을 이용하여 제작한 섬유 구조물을 말한다. 니들펀칭 부직포의 물성에 미치는 인자는 크게 다음 세가지라고 볼 수 있다. 첫째, web을 구성하는 섬유의 물성이다.[1-4] 즉, 구성섬유의 인장성질이나 단면의 모양, 크림프의 존재유무, 섬도, 섬유길이, 마찰특성들이 부직포의 물성에 직접적인 영향을 준다. 둘째, web을 구성하고 있는 섬유들의 배향상태이다.[1-4] web 구성 섬유소들의 배향 밀도 함수에 따라 부직포의 이방성여부가 결정되며 또한 자체 물성의 상대적인 대소도 결정된다. 셋째, 공정변수의 영향 특히 펀칭밀도 (punches per square centimeter)이다.[1-4] 이외에도 펀칭시의 바늘의 속도, 바늘의 종류, 관통 깊이 등에 의해 물성이 좌우된다. 본 연구는 특히 크림프의 존재유무에 따른 물성의 변화에 대하여 중점적으로 고찰 하고자 한다.

2. 이론 및 예측

본 연구에서는 그동안의 이론적인 성과들[6-11]을 토대로하여 즉, 크림프가 있는 경우의 접촉점개수, 접촉점의 변위, 크림프에 의한 미끄러짐 장벽효과를 이론적으로 유도하고 직선섬유 부직포와의 물성경향을 비교하려 하였다. 그 결과는 다음과 같이 나타내어진다.

$$n_v = \frac{DL^2(1+\epsilon)^2}{V} I, \quad b_{cr} = \frac{V}{2DL(1+\epsilon)^2}$$

$$I = \int_0^\pi \int_0^\pi \int_0^\pi \int_0^\pi \sin \chi \cdot \Omega(\theta, \phi) \Omega'(\theta', \phi') \sin \theta \sin \theta' d\theta d\theta' d\phi d\phi'$$

$$\langle \delta_x \rangle = -4Cb_{cr} \left(\frac{1}{Rb_{cr}} - \frac{b_{cr}^2}{24B} \right) \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \Omega \sin^2 \theta \cos \theta \cos \phi d\theta d\phi$$

$$\langle \delta_y \rangle = -4Cb_{cr} \left(\frac{1}{Rb_{cr}} - \frac{b_{cr}^2}{24B} \right) \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \Omega \sin^2 \theta \cos \theta \sin \phi d\theta d\phi$$

$$\langle \delta_z \rangle = -4Cb_{cr} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{1}{Rb_{cr}} \cos^2 \theta + \frac{b_{cr}^2}{24B} \sin^2 \theta \right) \Omega \sin \theta d\theta d\phi$$

$$\rho = \int_0^{\theta_c - \alpha} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \Omega \sin \theta d\theta d\phi$$

위의 일련의 식들을 통해 크림프가 있는 경우가 없는 경우보다 전반적인 물성향상효과를 가짐을 예상할 수 있었고 그중 주된 효과는 접촉점 개수의 증가와 크림프장벽효과에 기인됨을 확인할 수 있었다.

3. 실험

실험에 사용된 Needle Punching Machine 은 자동화된 기계(184 ppsc)와 수작업 기계(10 ppsc)를 동시에 사용하였고 100% 폴리 에스테르(2den 61mm 50% + 6den 61mm 50%) web을 니들펀칭한 부직포와 STPSY(Stuffer-box Textured Polyester Staple fiber ,2 den 51mm) web을 volume fraction 33% 로 삼입하여 BNC-2700 M/C(184 ppsc)에서 각각 1, 2회 통과시켜 제조한 부직포를 manual punching M/C으로 각각 20 , 60 , 100 ppsc의 추가 펀칭을 행하여 각각 4단계씩의 펀칭밀도를 갖도록 제조하였다. 물성 테스트는 KES 하에서 인장, 굽힘, 압축, 표면성질들을 측정하였다.

4. 결과 및 토의

4-1. 압축성질

압축곡선은 인장과 굽힘과는달리 급격한 탄성계수향상효과를 가져왔지만 압축회복률은 큰 차이가 없었다. 이는 압축시 섬유들이 배향이 변하면서 접촉점의 개수가 급격히 증가하지만 섬유의 신장에 따른 직선화에 의해 한 것으로 생각된다.

4-2. 인장성질

크림프가 있는 경우의 인장탄성계수는 직선 섬유의 경우보다 약 4배의 값을 가짐을 알 수 있었다. 이는 예상과 잘 합치하는 경향임을 보여주는데, 펀칭밀도가 증가할수록 물성향상효과가 두드러짐을 알 수 있었다. 이는 위에서 예상한 두 효과이외에 펀칭이 진행될수록 두께가 증가하기 때문이다 하지만 회복성질은 현저하게 나빠짐을 볼 수 있었는데 이는 크림프의 장벽효과가 회복성질에도 작용을 하기 때문이다.

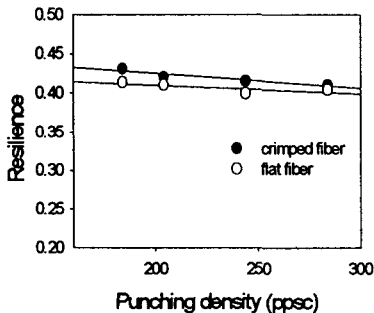


Fig 1. Changes in compressional resilience of needle punched nonwovens with different punching densities

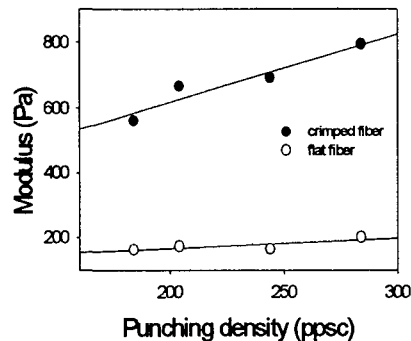


Fig 2. Changes in modulus with different punching density(184 - 284 ppsc)

4.3. 굽힘성질

굽힘성질의 경우도 현저한 물성향상효과를 볼 수 있었는데 역시 나쁜 회복성질을 가짐을 알 수 있었다. 굽힘성질의 경우 시료의 두께가 더 두꺼워지다가 편칭밀도가 증가할수록 비슷한 두께로 수렴하기 때문에 초기의 낮은 편칭밀도에서 최대의 물성향상효과를 가짐을 알 수 있었다.

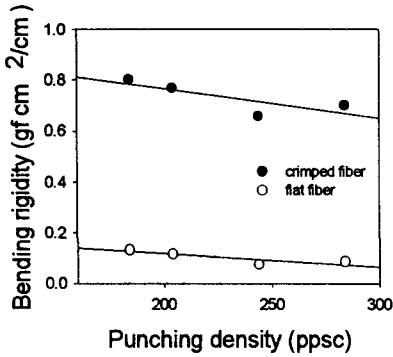


Fig 3. Changes in specific bending rigidity with different punching densities(184-284 ppsc)

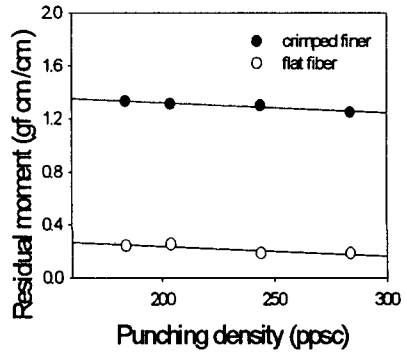


Fig 4. Changes in residual moment with different punching densities(184-284 ppsc)

4.4. 표면성질

그림 5, 6은 crimped fiber 의 경우가 마찰계수가 더 높음을 보여준다. 편칭밀도가 증가함에 따라 flat fiber 의 경우와 crimped fiber의 경우가 같은 범위로 수렴하는 경향을 보임을 알 수 있는데 flat fiber의 경우 편칭밀도가 증가하면서 일시적으로 섬유잔털이 모이면서 마찰계수가 증가하다가 섬유의 절단현상이 심해지면서 다시 하락하지만 crimped fiber의 경우 편칭밀도가 증가함에 따라 섬유잔털이 계속 흩어지면서 마찰계수가 감소했음을 알 수 있다.

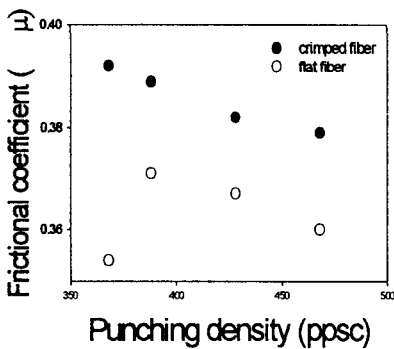


Fig 5. Changes in frictional coefficient with range of 184-284ppsc.

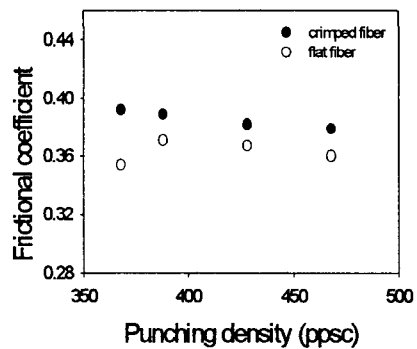


Fig 6. Changes in frictional coefficient with range of 368-468ppsc.

5. 결론

이와같이 fiber에 크림프를 가해주면 전반적인 물성 향상효과를 볼 수 있었지만 회복성과 표면성질을 개선하기 후처리공정이 반드시 필요함을 알 수 있었다.

6. 참고 문헌

1. J. W. S. Hearle and M. A. I. Sultan "A Study of needled fabrics Part 1 : Experimental method and properties", *Journal of the Textile Institute*, 1967. pp 251
2. J. W. S. Hearle and M. A. I. Sultan "A Study of needled fabrics Part 2 : Effect of needling process", *Journal of the Textile Institute*, 1968. pp 103
3. J. W. S. Hearle and M. A. I. Sultan "A Study of needled fabrics Part 3 : The influence of fiber type and dimensions.", *Journal of the Textile Institute*, 1968. pp 137
4. J. W. S. Hearle and M. A. I. Sultan "A Study of needled fabrics Part 5 : The approach to theoretical understanding ", *Journal of the Textile Institute*, 1968. pp 183
5. Stanley Baker and Dewitt R. Petterson."Some principles of nonwoven fabrics", *Textile Research Journal*, 1960. pp 704 - 714
6. Van Wyk, C. M. " Notes on the Compressibility of Wool", *Journal of the Textile Institute* 1946. pp 285 - 292
7. Stearn, A. E. "The effect of Anisotropy in the randomness of Fiber Orientation on Fiber-to-Fiber Contacts." *Journal of the textile Institute*, 1970. pp 353 - 360
8. Komori, T. and makishima, K. "Numbers of Fiber-to-Fiber Contacts in General Fiber Assemblies." *Textile Research Journal* 1977. pp 13 - 17
9. Komori, T. and Itoh, M. " Theory of General Deformation of Fiber Assemblies." *textile Research Journal*, 1991 pp 588 - 594
10. Lee, D. H. "Initial Compressional Behaviour of Fiber Assembly", *Doctral thesis*, Seoul National University, 1985.
11. N. Pan and G. A. Carnaby." Theory of Compressional Hysteresis of Fibrous Assemblies." *Textile Research Journal* 1989 pp 275 - 284