

## 니들펀칭부직포 제조공정의 모델화

복진선, 전두환\*, 주창환

충남대학교 공과대학 섬유공학과, \*영남대학교 공과대학 섬유학부

### 1. 서론

산업의 고도화와 더불어 의료용을 위시한 일회용, 공기청정용, 자동차 및 식품제조 분야에 이르기까지 폭넓은 용도전개가 이루어지고 있는 부직포는 구성섬유 웹의 제조방법에 있어서 습식법과 건식법으로 대별되며, 웹의 결합방법에 따라 니들펀칭, 스티치본드를 비롯하여 최근 성장이 두드러진 스펀레이스, 스펀본드 및 멜트블로운 등으로 분류되고 있다.

특히, 니들펀칭은 바브(barb)가 달린 침(needle)을 사용하여 웹을 기계적으로 결합시키는 것으로 부직포 제조방법에 있어서 가장 오랜 역사를 가지며, 현재 국내에서 여과포, 인공피혁포, 토목용기포 등으로 가장 널리 사용되고 있는 방법이다. 천공(needling)에 의한 섬유결합으로 공정특성상 스트록(strokes), 웹 전진율, 침 침투깊이, 천공회수 등을 변화시켜 절연재를 비롯한 고기능성 여과재에 이르기까지 광범위한 밀도를 갖는 제품을 생산할 수 있으며, 또한 최종 용도에 따라 직편물, 종이, 필름 등과 함께 복합화할 수 있는 특성이 있다.

따라서, 니들펀칭 부직포 제조에 있어서 요구되는 제품특성을 얻기 위해서는 제조조건을 정확하게 설정하는 것이 고품질의 부직포 생산은 물론 기계가 최적기능을 발휘하도록 하는 하나의 조건이 된다. 이에, 본 연구에서는 니들펀칭부직포의 제품설계를 위한 니들펀칭기의 기계인자와 관련하여 공정조건을 결정하는 기본적인 관계식을 이론적으로 유도하고, 아울러 최종제품의 침밀도, 중량, 폭감소 등과 제조인자간의 상관관계를 규명하고자 하였다.

### 2. 모델링 이론

Fig. 1은 니들펀칭의 공정 모델링을 위한 2단계로 형성된 부직포 제조장치의 개략도를 나타낸 것이며, 공정조건의 이론화를 위해 사용된 기호들은 각각 다음과 같이 나타내었다.

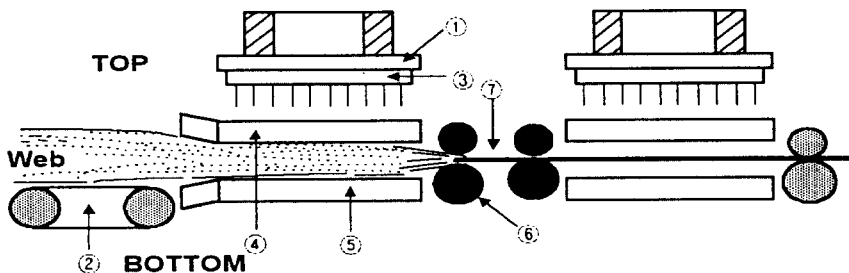


Fig. 1 Schematic diagram of the needle punching processing

- ① Needle beam ② Feed apron ③ Needle board ④ Stripper plate  
⑤ Bed plate ⑥ Delivery rollers ⑦ Needled fabric

<사용된 기호들>

$F$  : 부직포 천공밀도(회/cm<sup>2</sup>)

$S$  : 스트록 수(strokes/min)

$N$  : 침판의 침밀도(개/m<sup>2</sup>)

$D$  : 드래프트비

$L$  : 웹 전진율(mm/stroke))

$V_1, V_2$  : 웹 공급속도, 부직포 송출속도(m/min)

$A_1, A_2$  : 천공전 웹의 폭, 천공후 부직포 폭(m)

$W_1, W_2$  : 천공전 웹 중량, 천공후 부직포 중량(g/m<sup>2</sup>)

Fig. 1에서 1단계 펀칭후 니들펀칭 부직포의 단위면적(cm<sup>2</sup>)당 천공밀도( $F$ )는 식(1)로 표현할 수 있다.

$$F = \frac{SN}{10^4 V_2} \text{ (cm}^{-2}\text{)} \quad (1)$$

한편, 천공영역(needling zone)에서 천공에 의하여 웹에 발생하는 기계방향의 길이변화 즉, 드래프트비( $D$ )는  $V_2/V_1$ 로 표현되며, 따라서 식(1)에서 니들펀칭 부직포의 웹을 구성하는 섬유는 침의 천공작용에 의하여 상호결합되므로 웹의 드래프트 발생을 고려한 최종 부직포의 단위면적당 천공밀도( $F$ )는 식(2)로 표현된다.

$$F = \frac{SN(A_1 + A_2)}{10^4 (V_1 + V_2)A_2} \text{ (cm}^{-2}\text{)} \quad (2)$$

또한, 니들펀칭부직포의 제조공정에서 웹의 전진율은 침판의 1회 스트록당 웹이 앞으로 이동하는 것으로 식(3)과 같이 나타낸다.

$$L = \frac{10^3 V_2}{S} \text{ (mm)} \quad (3)$$

한편, 1단계 니들펀칭 후 제조된 부직포의 단위면적당 중량은 식(4)로서 계산할 수 있다.

$$W_2 = \frac{W_1 A_1}{D A_2} \text{ (gm}^{-2}\text{)} \quad (4)$$

식(2)을 일반적인 다단계( $n$ ) 니들펀칭부직포기계에 적용하면 최종부직포의 천공밀도( $F_n$ )는 식(5)로 나타낼 수 있다.

$$F_n = \sum_{i=1}^n \frac{S_i N_i (A_i + A_{i+1})}{10^4 (V_i + V_{i+1}) A_{i+1}} \text{ (} i=1, 2, 3, \dots, n \text{)} \quad (5)$$

### 3. 모델이론의 적용예

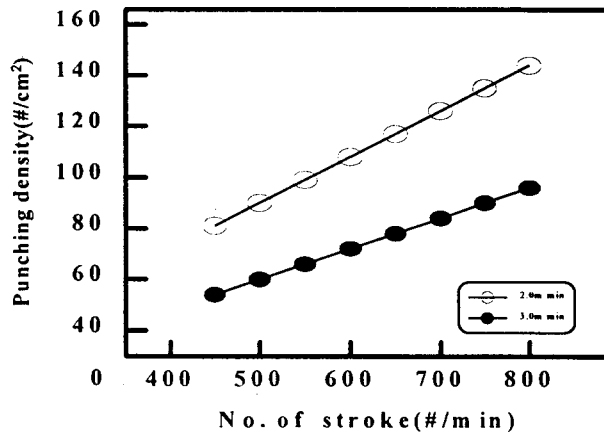
본 연구의 모델링에 사용된 침판의 밀도는 3600개/m<sup>2</sup>, 니들펀칭전 부직포의 중량 150g/m<sup>2</sup>, 폭 2000mm, 웹 공급속도는 1.5m/min으로 가정하였으며, 스트록(strokes/min)과 송출속도(m/min)의 두 인자는 다음 Table 1과 같이 변화시켰다.

**Table 1 Parameter condition for modeling of the needle punching processing**

No. of passage	No. of strokes (#/min)	Delivery speed (m/min)	Penetration depth (mm)
1	450	2.00	12
2	500	2.25	12
3	550	2.50	10
4	600	2.75	10
5	650	3.00	8
6	700	3.25	8
7	750	3.50	6
8	800	3.75	6

#### 4. 결과 및 고찰

스트록과 권취속도는 니들펀칭 부직포의 역학적 성질과 제품 생산량에 매우 밀접한 관계를 갖게 된다. Fig. 2는 스트록 수 변화에 따른 천공밀도를 식 (1)를 이용하여 얻어진 결과를 나타낸 것으로 스트록 수가 증가함에 따라 일반적으로 단위면적당 천공밀도는 증가하는 경향을 보여주고 있다. 또한, 공급속도를 1.5m/min으로 하고 권취속도를 증가시켰을 때, 천공밀도는 감소함을 보이고 있다. 이것은 권취속도의 증가로 스트록당 웹의 전진율이 증가하기 때문에 천공밀도는 감소하는 것으로 생각된다.



**Fig. 2 Effect of take-up speed on the needle punching density**

한편, Fig. 3은 권취속도 변화에 따라 웹에 작용된 천공밀도의 변화를 나타낸 것으로 권취속도에서 증가함에 따라 감소함을 보이고 있다. 또한, 동일 권취속도에서 스트록 수가 증가하면 천공밀도는 증가하는 형태를 나타낸다.

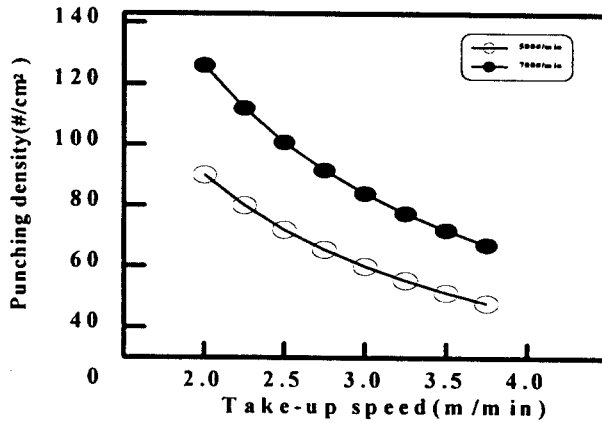


Fig. 3 Relationship between take-up speed and punching density

## 5. 결 론

니들펀칭 부직포의 제품설계를 위한 펀칭기의 기계인자와 관련하여 제조조건을 결정하는 기본적인 이론모델식을 정립하였으며, 모델링으로 얻어진 값에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 스트록 수가 증가함에 따라 일반적으로 단위면적당 천공밀도는 증가하는 경향을 보여주었다. 반면, 공급속도를 1.5m/min로 일정하게 하고 권취속도를 증가시켰을 때, 천공밀도는 감소함을 보였다.

2) 권취속도가 증가함에 따라 천공밀도는 감소함을 보여 주었다. 또한, 동일 권취속도에서 스트록 수가 증가하면 천공밀도는 증가하는 형태를 나타내었다.

## 참고문헌

- 1) J. Lunenschloss and W. Albercht, "Nonwoven Bonded Fabrics", John Wiley & Sons, 1981
- 2) S.E. Ross, "Nonwoven Fabrics", Encyclopedia of Polymer Science and Technology, Wiley and Sons, New York, 341 (1976)
- 3) A.T. Purdy, "Needle-punching", The Textile Institute, Manchester, 1980
- 4) J.W.S Hearle, "Needle-Felted Fabrics", The Textile Trade Press, Manchester, 51 (1972)
- 5) K.G. Maitre, Tappi Nonwovens Advance Tutorial (Toronto), 37 (1988)
- 6) H.H. Ham, Nonwoven Fibers Seminar Notes, TAPPI Proceeding, 25-28 Mar. Atlanta, GA, USA, 35 (1979)
- 7) E.F. Didier, *Textile Industries*, 122(9), 117 (1958)