

에어젯 정방에서 방출 조건이

실의 구조에 미치는 영향

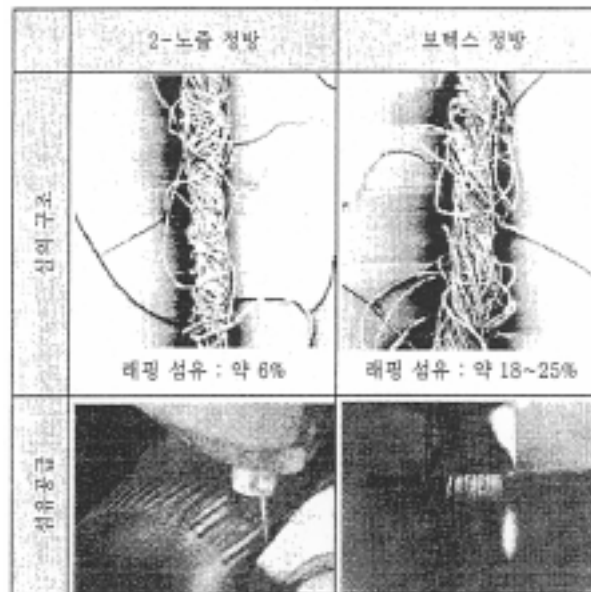
1. 서 언

방적 공장의 미래는 고성능 정방 공정의 사용 여부에 달려있다. 또한 장래에는 산업 기반을 잘 구축한 국가에서는 자동화 설비를 갖추어야 경쟁력을 유지할 수 있을 것이다. 로터 정방은 경제성을 갖기 때문에 실의 구조가 최종 생산품의 품질에 나쁜 영향을 미치지 않는 분야에서 확고한 위치를 차지하고 있다. 당분간 세번수 실 생산용 마찰 정방기는 시장성이 없다. 현재 에어젯 정방은 보텍스(Vortex) 정방 기술의 개발로 인해 세번수 실의 생산에서 경제적으로 시장성이 있음을 보여주고 있다. 이런 특수 에어젯 정방은 100% 면사를 생산할 수 있다. 한편, 특정 정방 공정의 시장성 성공은 수익성에 대한 문제만은 아니며, 실의 품질 또한 특수사의 시장성을 결정한다. 현재 보텍스 정방 이후에 개발된 에어젯 면사의 강력은 링 방적사 강력의 90%에 도달할 수 있다. 에어젯 면사의 강력은 실의 내층을 감싸고 있는 외층 섬유의 집속 효과로부터 발생한다. 섬유 내층 주위를 느슨하게 감싸고 있는 섬유는 실의 집속에 기여하지 못한다. 실의 강력은 2-에어젯 정방(MJS)과 보텍스 정방(MVS)의 비교를 통해 보여주었듯이 래핑 섬유(wrapping fiber)의 비율에 따라 결정된다.

2. 2-노즐과 보텍스 정방 기술

보텍스 정방 기술은 2-에어젯 정방 공정의 발전에 중요한 역할을 한다. 기본 원리는 드래프트 시스템에서 가연에 의한 꼬임 중단으로 드래프트 시스

템 라인까지 실의 꼬임이 전파되지 못하도록 하여 가장자리에 있는 섬유가 내층 주위를 회전하면서 감싸도록 해준다. 섬유의 25%까지 래핑 섬유로 구성될 수 있다<그림 1>.



<그림 1> 2-노즐 에어젯과 보텍스 정방에서 실의 공급과 구조

보텍스 방적사의 구조는 2-노즐 가연사보다 우수하다. 소면 슬라이버로도 공정할 수 있는데 이는 다양한 종류의 면을 이용할 수 있다는 점에서 원료의 유용성이 높다고 할 수 있다.

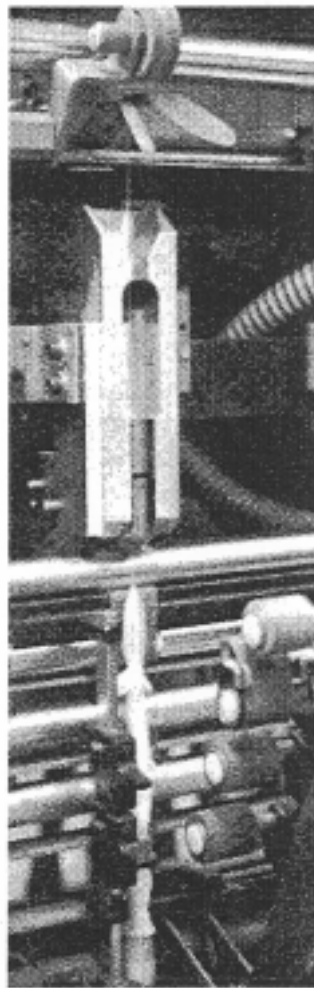
하지만, 1-노즐 구조이기 때문에 분사(injector)효과와 꼬임 부여를 독립적으로 세팅할 수 없고, 분사 효과는 방출 속도에 따라서 압력을 설정해야 하므로 꼬임 부여가 자연히 영향을 받게 된다.

또한 섬유의 유도와 꼬임 인자는 섬유장에 적합하도록 설정해야만 하고, 방출 인자는 고도의 정밀성이 필요하기 때문에 매우 민감하다. 이런 이유로 인해 적정 꼬임 중단 인자와 방출 인자를 이용한 간단한 2-노즐 정방 기술을

사용하여 보텍스 방적사와 유사한 구조의 실을 얻으려고 시도하였는데, 이는 보텍스 정방(최대 8%)에 비하여 섬유의 손실이 거의 없다. 이런 장점은 공정의 한계값을 결정하기 위해서 다시 한번 조사해야만 한다.

3. 실험

2-노즐 에어젯 정방의 발전은 가연을 발생시키기 위한 뉴마틱(pneumatic) 인자의 발전에 기초한다. ITV Denkendorf(독일)의 측정에 따르면, 실은 꼬임 노즐에서 $350,000\text{min}^{-1}$ 의 속도로 회전한다.

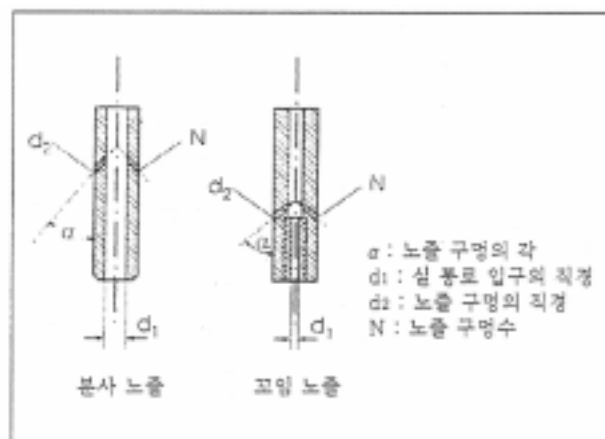


<그림 2> 4선 드래프트 방식의 정방기

실의 품질에 따른 드래프트 시스템 출구에서 정방 삼각의 중요성에 대한 지식이 전혀 없기 때문에 실의 구조 변화와 체계적인 조작 상태를 잘 관찰해야만 한다. 가연사는 약 4~6%의 래핑 섬유로 구성되어 있는데, 가능한 정방 삼각 영역에서 가장자리에 있는 섬유의 비율을 높이는 것이 중요하다. Murata의 명세서에 따라 방출 속도와 에어젯 압력을 선택하면 다양한 구조의 실을 생산할 수 있으며, 실 내층 섬유의 평행화도가 높기 때문에 에어젯 방적사로 만든 직물의 필링성이 우수하다. 섬유의 약 96%는 평행하고 4%만이 래핑 섬유이다. 주로 MJS 공정에서는 섬유장과 섬유 간의 응집력이 실과 직물의 특성을 결정한다. 따라서 실의 꼬임은 가장자리에 있는 섬유의 비율을 결정하면서 섬유를 집속시킨다. 본 실험에서는 12주로 구성된 4선 드래프트 방식의 정방기를 사용하였다<그림 2>.

4. 꼬임 부여 인자

성능을 평가하기 위해서 분사 장치와 꼬임 노즐의 노즐 구멍, 실의 통로각 및 직경을 변화시키면서 다양하게 실을 생산하였다<그림 3>.



<그림 3> 꼬임 부여 인자

분사 노즐에서 실의 통로 직경 d1은 2.5와 3.5mm이다. 따라서 꼬임 노즐에서 실의 통로 직경 d1은 모두 1.5mm로 하였다.

5. 시 료

다양한 종류의 면과 P/C 혼방 섬유를 사용하여 시험하였다.

실의 변수는 25tex(Nm 40)로 설계하였고, <표 1>에 제시된 것처럼 일반적인 물성을 가진 4종류의 면섬유를 사용하였다.

<표 1> 면섬유 물성

HVI		ALMETER		ST-TEST	
마이크로네어	3.9(1.5dtex)	ML [mm]	25.8	잡물 [%]	0.040
섬유속 강력 [cN/tex]	33.1	CV [%]	31.7	면저 [%]	0.016
신도	6.65	SF < 12.5mm [%]	6.0	섬유 조각 [%]	0.088
스팬 길이 50%	17.36	L 1% [mm]	41.5	슬라이버 [Nm/ktex]	0.33/3.0
스팬 길이 2.5%	32.89				
섬유 균제도 (SL50/SL2.5)×100 [%]	52.8				

6. 결 과

6.1 드래프트 시스템 닙라인에서 섬유의 폭이 실의 물성에 미치는 영향

섬유는 드래프트 시스템의 출구에서 분사 노즐에 의해 잡히고 집속된다. 메인 드래프트 구간 내의 섬유 폭은 실의 외층을 구성하고 있는 섬유의 형성에 영향을 미칠 수 있다<표 2>.

메인 드래프트 구간 출구에서 섬유의 폭은 콘덴서의 폭에 따라서 변화되었는데, 콘덴서 폭은 1mm 간격으로 4~7mm까지 변화시켰다.

콘덴서의 폭은 메인 드래프트 구간 내에서 에이프런 유도 후의 섬유의 폭에 따라서 결정하였다<표 3>.

<표 2> 정방인자

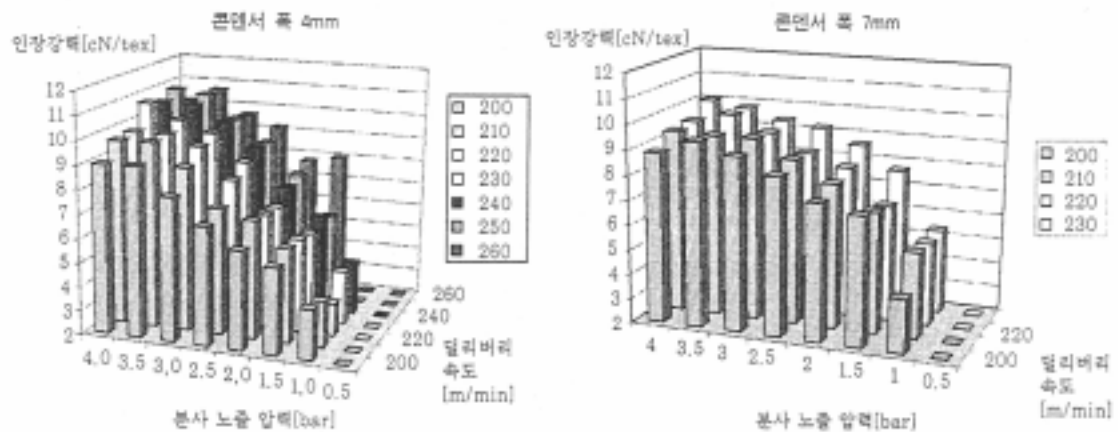
실의 변수	25tex(Nm 40)
딜리버리 속도	200~260m/min
분사 노즐 압력	0.5~4bar
꼬임 노즐 압력	6bar
분사 노즐	구멍 2개(직경 0.5mm, 40°)
꼬임 노즐	구멍 8개(직경 0.3mm, 90°)

<표 3> 콘덴서와 섬유의 폭

콘덴서 폭	메인 드래프트 구간 내의 섬유 폭
4mm	11mm
5mm	12mm
6mm	13mm
7mm	14mm

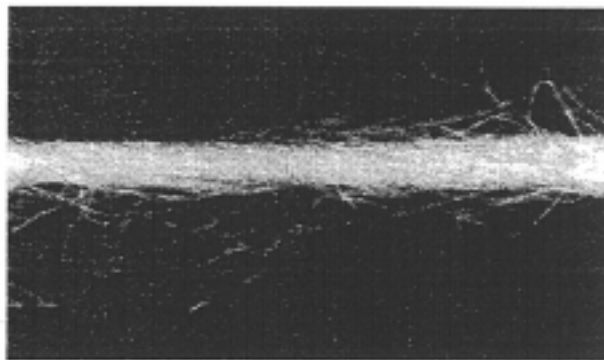
또한 분사 노즐의 압력(4bar)은 가장자리에 있는 섬유를 흡입하지 못하여 더 이상 정방이 불가능할 정도까지 감소시켰다. 분사 노즐은 섬유 넵 라인까지의 거리(9mm)가 가장 짧아지도록 조정하였는데, 여기서 정방 삼각 길이가 가장 짧아졌다. 이는 스테이플 길이에 따라서 상대적으로 고정 상태에 있는 많은 섬유가 분사 노즐로 인해 정지된다는 것을 의미한다. 넵 라인과 분사 노즐 간의 거리에서 최적의 50% 스펠 길이 비율을 결정하기 위해서 딜리버리 속도를 10 m/min 간격으로 200 ~ 260 m/min까지 변화시켜 가면서 꼬임 효과에 대한 시험을 하였다. <그림 4>는 콘덴서 폭 4 ~ 7mm에서의 인장 강력을 보여준다. 분사 압력은 1bar 미만까지 감소시킬 수 없었고, 섬유의 폭이 넓어지도록 유도하면 인장 강력과 딜리버리 속도와 관련된 방출 한계가 감소되었다. 이런 방식으로 콘덴서 폭 7mm에서 딜리버리 속도는 220 m/min이었지

만, 콘덴서 폭 4mm에서는 260 m/min까지 증가시킬 수 있었다.



<그림 4> 콘덴서 폭과 분사 노즐 압력에 따른 인장 강력

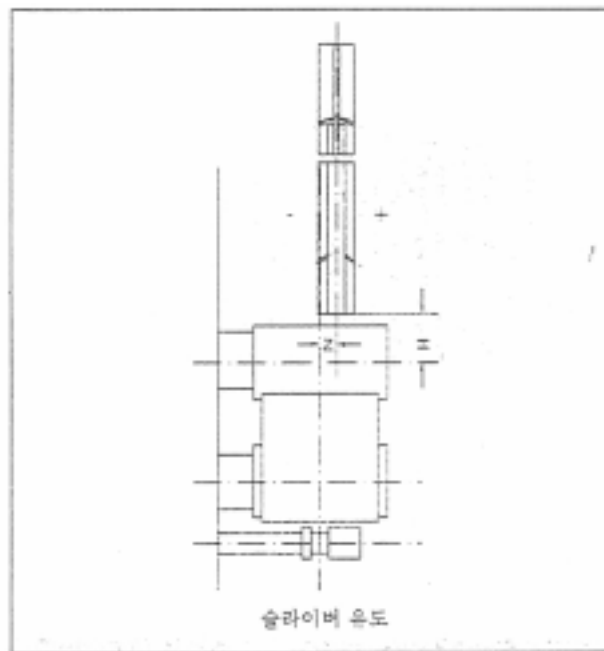
실의 변수별로 합리적인 실의 물성을 구하기 위해서는 최적의 섬유 폭과 방출 인자를 결정해야만 한다. 실의 구조는 이런 인자들의 변동에 따라서 즉, 메인 드래프트 구간 내의 섬유 이동 폭과 분사 노즐 압력에 따라서 변경될 수 있다. 섬유의 이동 폭이 넓고 분사 노즐 압력이 낮으면 실의 강력은 감소하지만, 실의 구조는 링 방적사와 유사해진다<그림 5>.



<그림 5> 섬유의 폭이 넓고 분사 노즐 압력이 낮을 때의 실의 구조

6.2 노즐 위치가 섬유의 유도에 미치는 영향

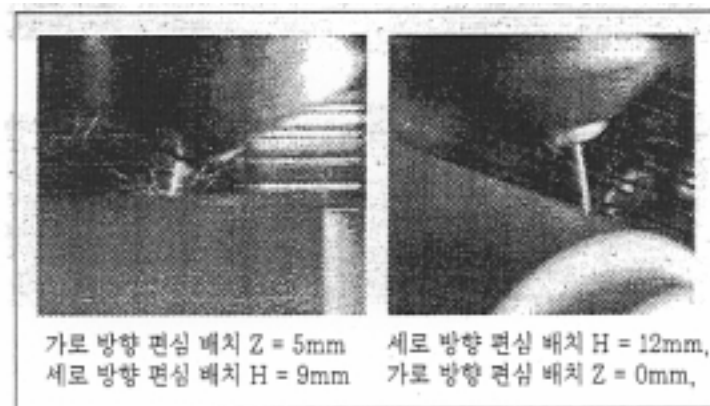
분사 노즐 입구의 위치가 드래프트 시스템에서 섬유의 이동 폭에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 드래프트 시스템 닙 라인과 분사 노즐까지의 거리 H와 Z를 변화시켰다<그림 6>.



<그림 6> 슬라이버 유도를 위한 노즐 위치

시험 결과, 메인 드래프트 구간 내의 섬유의 이동 폭이 12mm로 되어서 브레이크 드래프트 구간에 폭 5mm의 콘덴서를 사용하였다. 섬유의 이동 폭이 12mm일 때 최적 조건으로 설정하였던 분사 노즐과 닙 라인 사이의 거리는 섬유장에 따라서 변화시켰고, 분사 노즐은 드래프트 시스템의 중심에서 좌측으로 5mm(-), 우측으로 5mm(+)에 위치시켰다. 딜리버리 롤러의 닙과 분사 노즐 입구(거리 H)간의 가장 좁은 위치는 9mm였고, 1mm 간격으로 12mm까지 변화시켰다. 또한 분사 노즐의 압력은 딜리버리 속도에 따라서 변경시켰다. 분사 노즐 입구를 3mm 비대칭 배치시켰을 때 섬유가 손실되었으며, 4mm 이

상의 경우에는 손실량이 매우 높았다. 이는 가로 방향으로 편심 배치 (mismatch)가 클수록 가장자리에 있는 섬유가 분사 노즐 기류의 흡입에 의해서 더 이상 붙잡히지 않는다는 사실을 증명해 준다. 실의 꼬임은 분사 노즐에서 딜리버리 롤러의 밑쪽으로 전파된다는 것을 관찰할 수 있었다. 가장자리에 있는 섬유는 딜리버리 압력 롤러와 보텀 실린더에 의해서 실 형성시 부분적으로 통합되거나 흡입된다.

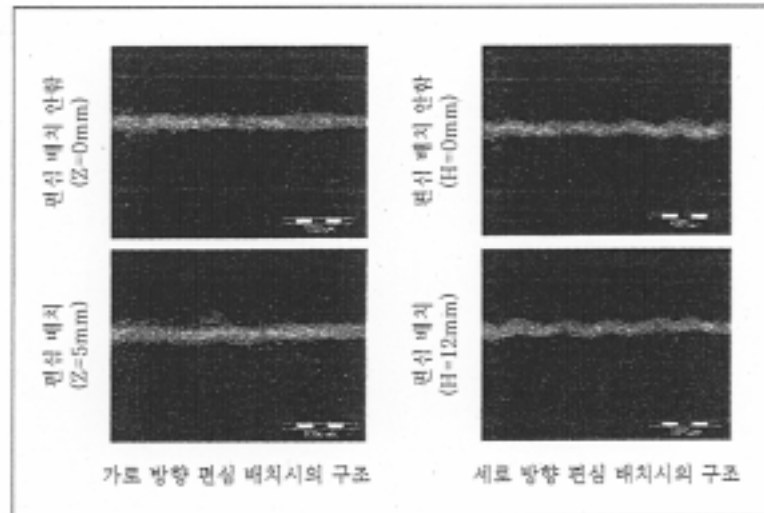


<그림 7> 드래프트 시스템 출구에서 분사 노즐을 가로 방향 및 세로 방향 편심 배치시 노즐 입구의 위치

노즐을 일반 정방 추(넙과 노즐 간의 거리 : 9mm)로 대체하면, 실의 물성은 방출 한계가 감소하여 더 나빠지지만, 실의 구조는 변하지 않는다. 실의 구조는 평행한 내층과 래핑 섬유로 구성되어 나선 형태를 이루며 평행한 간격으로 배열되기 때문에 꼬임을 측정할 수 없고, 따라서 실은 해사될 수 없다.

<그림 8>은 분사 노즐을 가로 방향으로 편심 배치시키고 실의 물성이 양호하였던 세로 방향으로 편심 배치시에 방출한 실의 구조를 보여준다. 가로 방향 편심 배치시 가장자리에 있는 섬유는 실의 내층에 통합되지 않아서 내

층을 약간 감싸게 된다.



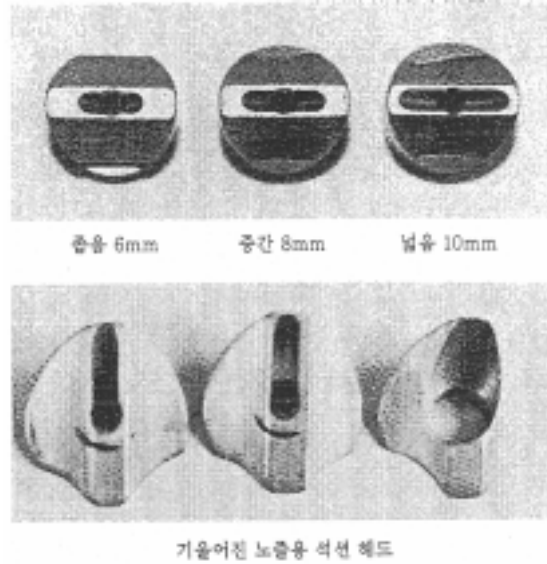
<그림 8> 분사 노즐을 가로 방향 및 세로 방향 편심 배치시 실의 구조

6.3 분사 노즐에서 섬유의 입구와 기류의 기하하적인 설계에 대한 영향

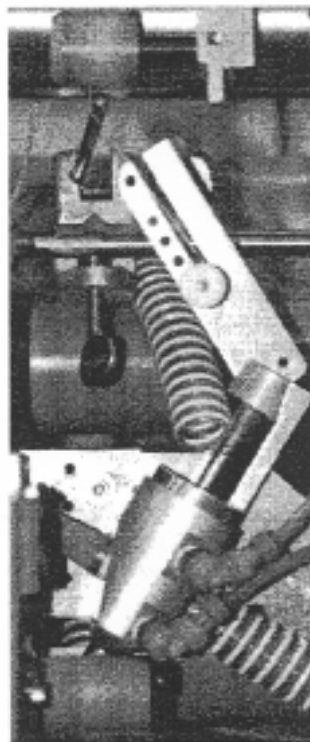
일반적으로 노즐 입구의 단면은 실 통로의 모양과 동일한 원형이다. 섬유는 작은 슬라이버 상태로 드래프트 시스템을 벗어나며, 정방 삼각은 가능한 넓어지려고 하기 때문에 가장자리에 있는 섬유는 분사 노즐 압력에 의해서 충분히 잡히지 못한다. 입구가 넓으면 섬유가 잘 잡히고 집속되므로 실의 통로쪽에 분사 노즐용 보조 장치를 퍼넬(funnel) 모양으로 배열시켰다<그림 9>. 입구의 폭이 서로 다른 3개의 퍼넬을 제작하여, 퍼넬 입구의 단면모양에 따른 균일한 흡입 조건을 찾을 수 있었다.

딜리버리 속도가 빠르기 때문에 많은 양의 기류가 딜리버리와 압력 롤러에 의해 공급된다. 기류는 분사 노즐에서 섬유의 이송을 방해할 수 있다. 정방 공정에서 기류를 포함시키기 위해서 분사 노즐에서 퍼넬 형태로 된 섬유의 입구를 압력 롤러와 보텀 실린더로 덮어 주었고 노즐 위치를 기울여서도

시험해 보았다<그림 10>.



<그림 9> 분사 노즐의 석션 헤드(suction head) 모양



<그림 10> 기울어진 형태의 노즐 위치

6.4 분사 노즐 입구의 형태

퍼널 형태로 되어 있기 때문에 가장자리에 있는 섬유가 잘 집속되고 노즐 위치(Mass H)에 대한 영향이 거의 없다. 동일 노즐 위치에서 퍼널 형태로 된 입구를 사용시 Uster CV%와 IPI값이 향상되었다.

6.5 기울어진 형태와 직선 형태의 노즐 위치 비교

노즐이 기울어져 있으면 노즐 입구에서 마찰력이 증가하여 인장 강력이 감소하게 된다. 기울어진 형태의 노즐에서 실의 물성이 우수한 100% 카드면을 공정할 수 있으며, 직선형태의 노즐보다 실의 물성은 손상시키지 않으면서 딜리버리 속도를 약 20%까지 증가시킬 수 있다. 잡물과 섬유장이 짧은 카드면을 방출할 수 있고, 실의 구조는 변하지 않는다.

6.6 추가 시험

분사 노즐은 구멍이 실 통로의 중심에 있도록 제작하였는데, 이는 분사 노즐만이 섬유를 무꼬임 상태에서 흡입하도록 하기 위해서이다. 정방 초기에는 방적이 불가능할 정도로 어렵다는 것은 이미 증명되었다. 섬유는 꼬임 노즐로부터 제거가 되고 분사 노즐 입구에서는 섬유가 회전하지 않는 정방삼각이 이루어졌다. 딜리버리 속도와 노즐 압력을 체계적으로 변화시켜서 정방삼각에서 섬유를 회전시키면 정방이 될 수 있는데, 방적사의 강력은 저하되었지만, 실의 구조는 변하지 않았다.

6.7 분사 노즐 입구에서 꼬임 전파 방해

분사 노즐에서 실의 통로는 3개의 핀이 규칙적인 간격으로 배열되어 있다. 이는 실의 꼬임이 드래프트 시스템까지 도달하지 못하도록 해준다. 핀은 실

통로의 단면을 절반으로 자르기 위해서 45° 각도로 고정시켰다. 또한, 실험실적인 설비는 정방 초기에 아주 어려워서 정방이 불안정하고 공정중에 정대가 심하였다.

분사 노즐 입구에서 꼬임 전파를 방해하기 위해 사용한 핀은 꼬임 노즐에서 실의 꼬임이 드래프트 시스템까지 전파되지 못하도록 하여 정방 공정을 어렵게 한다고 볼 수 있다.

6.8 실의 구조 분석

래핑 섬유의 비율을 결정하기 위해서 현미경 사진을 이용하여 방적사의 구조를 관찰하였다. 래핑 섬유 간의 거리와 개수를 측정하였는데, 개수는 m당 섬유의 올수와 관련이 있었다. 섬유와 실의 섬도, 평균 섬유장(ML Almeter)을 기초로 하여 설계하였다.

- 섬도 3.9 Mic(1.5dtex), 실의 변수 25tex : 단면당 섬유 올 수 167개
- 평균 섬유장 ML 25.8mm : 실 1m당 섬유 올 수 약 6,470개

따라서 래핑 섬유의 올 수는 섬유장에 따라서 퍼센트로 결정하였다.

래핑 섬유의 비율은 6~13%로 결정하였는데, 실의 구조는 래핑 섬유의 비율이 높을수록 현재의 구조에서 더 이상 증가하지 않았다.

7. 요약

에어젯 2-노즐 가연사의 구조는 평행한 내층 섬유를 약 6%의 섬유가 실연을 받으면서 래핑된다는 것이 특징이다. 이런 낮은 비율은 때로는 실의 응용 범위를 제한하면서 실을 나선 형태로 만든다. 가연의 정도는 래핑에 이용될 수 있는 가장자리에 있는 섬유의 비율을 결정한다. Murata의 보텍스 에어젯 방적사는 정방 삼각에서 꼬임을 받지 않고 꼬임 정지 원리에 의해 바람직한

구조가 된다. 2-노즐 가연사의 구조를 변경하기 위해서 즉, 링 방적사와 같은 실 특성을 갖기 위해서 섬유는 드래프트 시스템의 출구에 있어야만 하고, 실의 인장 강력은 일정한 수준을 유지해야만 한다. 2-노즐 가연 정방에서 다양한 꼬임 정지에 대한 가능성을 마찰 인자, 분사 노즐의 편심 배치 및 꼬임 노즐에 따라서 시험하였는데, 래핑 섬유의 비율과 방출 안정성을 증가시켜야만 한다.

시험 결과, 꼬임 노즐은 실의 형성 과정에 영향을 미친다는 것으로 증명되었다. 꼬임 노즐에서 부여한 꼬임은 드래프트 시스템으로 되돌아가고 분사 노즐에서 부여한 반대방향의 꼬임을 극복해야만 한다. 정방 삼각은 노즐 입구위치의 변경, 노즐 압력의 변동 및 섬유 공급의 설계에 따라서 긍정적으로 영향을 받을 수 있고, 딜리버리 속도도 증가시킬 수 있다. 실의 구조와 특성은 이러한 실험을 통해서 조금은 개선될 수 있다. ♣

(Influence of different spinning parameters on the yarn structure of 2-nozzle false-twist yarns : Melliand International, 2005, Volume 11)