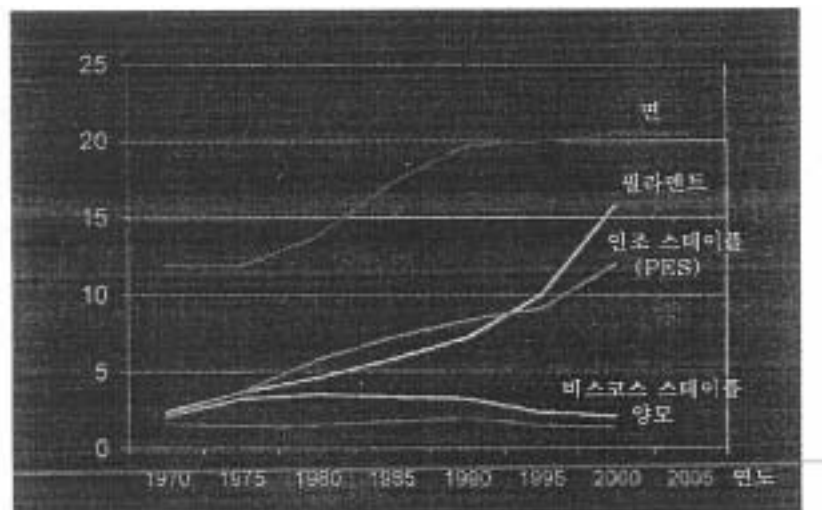


소면공정에서 카딩(carding)폭이

소면 성능에 미치는 영향

스테이플 섬유 방적시 소면기에 대한 필수 요구사항은 다음과 같다 :

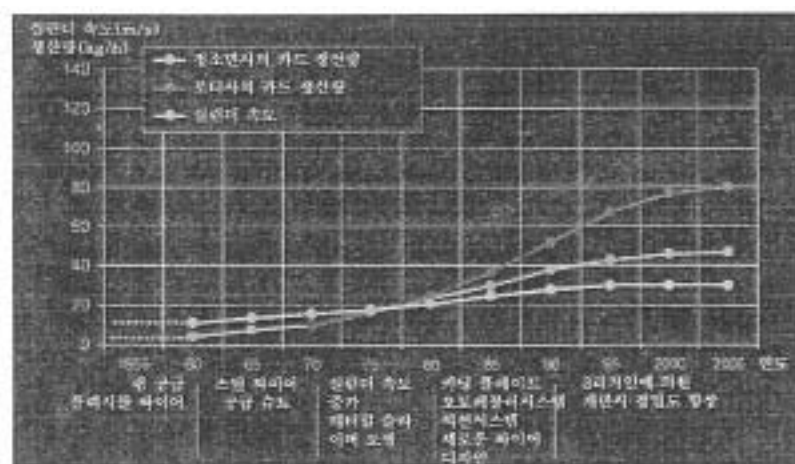
- ① 터프트를 개별 섬유로 개면
- ② 트래시와 넵 제거
- ③ 단섬유 제거
- ④ 도퍼에서의 리더블링(redoubling)으로 원료섬유 상태에서의 혼면을 개선



<그림 1> 전세계의 섬유 생산량

오늘날 소면기에서 처리되는 전체 스테이플 섬유를 고려할 때 연간 총생산량 약 2천1백만 톤에 이르는 면섬유는 여전히 주도적인 스테이플 섬유라고 볼 수 있다<그림 1>. 폴리에스터 스테이플 섬유의 생산이 급속히 증가했지만, 향후 몇 년까지는 생산 순위에 큰 변화가 없을 것이다. 그러나 폴리에스터 섬유의 생산증가는 카딩공정에 필요한 기술적 요소들의 변화에 중요

한 의미를 갖는다. 폴리에스터 섬유 생산의 증가는 혼방사 생산의 증가를 의미하고, 따라서 100% 폴리에스터사 시장은 상대적으로 감소함을 의미한다. 폴리에스터/면의 평균 혼용률을 50/50으로 볼 때 혼방사 2천만톤 생산시 1천만톤의 폴리에스터 섬유가 생산되는 것이다. 품질 면에서 볼 때, 원료섬유 상태에서의 혼면이 좋다. 이 때문에 더욱 효율적인 혼면을 위한 고성능 소면기가 필요하게 되었다. 소면기/연조기의 일체형 장치의 사용이 증가했기 때문에 과거보다 소면기에 의한 혼면이 중요하게 되었다. 원료섬유 상태에서의 혼면 효과와 관련하여, 가로방향과 세로방향의 혼면효과는 구분되어야 한다. 가로방향 혼면의 경우, 소면효과는 필연적으로 실린더폭에 의해 결정된다. 세로방향 혼면의 경우는 도퍼에서의 리더블링(redoubling) 그리고 결과적으로 섬유이행률에 의해 영향을 받는다. 섬유이행률이란, 실린더 1회전시 실린더에서 도퍼로 이행되는 섬유의 비율을 의미한다. 평균 섬유이행률은 약 10%로, 어떤 섬유는 평균적으로 단지 실린더 10회전 후 도퍼로 이동한다. 이론적으로 볼 때 혼면은 섬유이행률이 작을수록 더 좋다. 지난 50년간 소면기의 실린더폭은 1m로 특징 지워진다.



<그림 2> 소면기 개발 단계

1970년대 중반 로터방적 기술이 개발된 이래로 카딩기술의 급속한 변화가 시작되었다. 링정방에 비해서 로터정방에서는 실린더 상에서의 분섬이 크게 중요시 되지 않는 것으로 보인다. 그 이유는 사실상 로터박스 안에서 카딩공정이 한 번 더 일어나기 때문이다. 로터에서 섬유는 다시 개별섬유로 분섬되고 더블링 된다. 또한, 트레이 제거 시스템이 있다. 이것이 링정방과는 대조되는 것으로 로터정방을 위한 카딩 생산성이 크게 향상될 수 있었다. 우선, 원리적으로, 소면기에 공급이 증가하면 이에 맞춰 실린더 속도도 증가한다. 이것은 특정 실린더 영역내의 섬유율수가 거의 일정하다는 것을 의미한다. 섬유밀도 지수(fiber density index)는 단위 시간당 실린더 면적에 대한 단위시간당 섬유 생산량의 비로서 정의 될 수 있는데, 이는 실린더 면적 1m² 당 섬유부하에 대한 정보가 되며, 직접적으로 실린더의 분섬량을 의미한다.

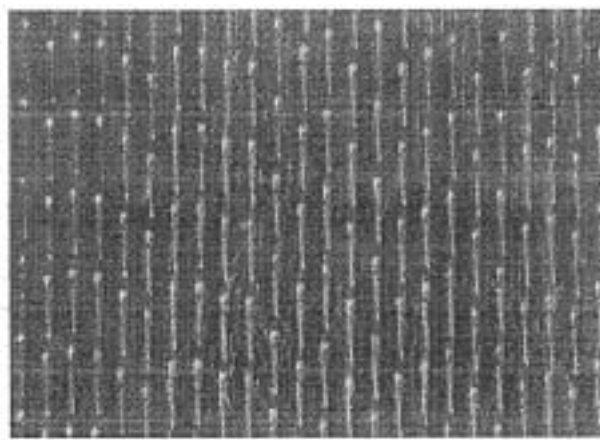
$$\text{섬유밀도지수(g/m}^2\text{)} = \text{섬유 처리량(g/s)/실린더 면적(m}^2\text{/s)}$$

생산량이 시간당 약 6kg, 실린더 속도 180rpm인 경우, 섬유밀도 지수는 다음과 같다.

$$\text{섬유밀도지수} = \frac{1.6(\text{g/s})}{11.3(\text{m}^2/\text{s})} = 0.14(\text{g/m}^2)$$

이것은 0.14g의 섬유가 실린더 면적 1m² 에서 부하로 작용하고 있음을 의미하며, 분섬을 위한 충분한 공간임을 알 수 있다. 실제로, 섬유 분섬 과정은 <그림 3>에서 보는 바와 같이 고속 영상기술로 쉽게 확인할 수 있다. 그러나 문제는 단위면적당 과도한 섬유의 양으로 인해 더 이상 분섬할 수 없는 한계를 찾는 것이다. 지난 15년간의 실제 경험에 의하면 일상의 현장경험 자료를 기초로 해서 그러한 한계를 찾을 수 있다<그림 2>. 앞서 이미 언급된것

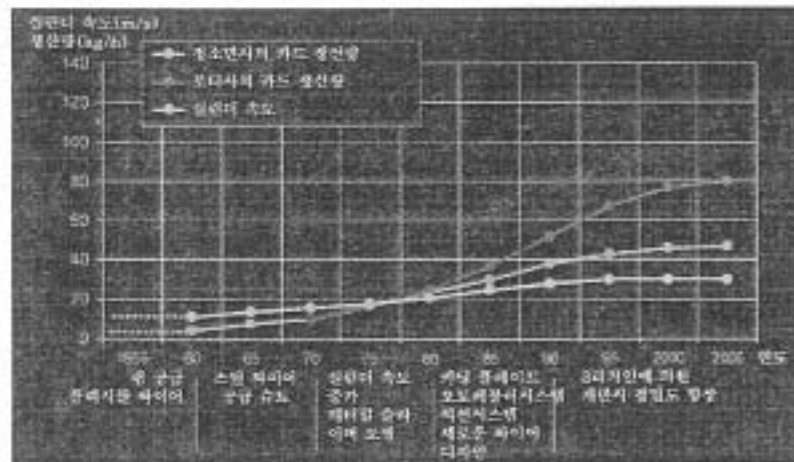
처럼 링정방의 경우는 로터정방보다 훨씬 낮은 섬유밀도 지수를 유지해야 한다. 카딩기술 개발 과정에서 고속생산시에 개면 면적이 부족하다는 것이 드러났다. 이것은 침포, 오토레블러 시스템 그리고 3-리커인의 사용 등 추가적인 기계장치로 보완되었다. 지금까지 기계 기술적인 면에서 최적화시키고 장치를 추가하여 완벽에 가깝게 발전되어 왔다.



<그림 3> 시간당 40kg 생산시 실린더 상의 섬유밀도

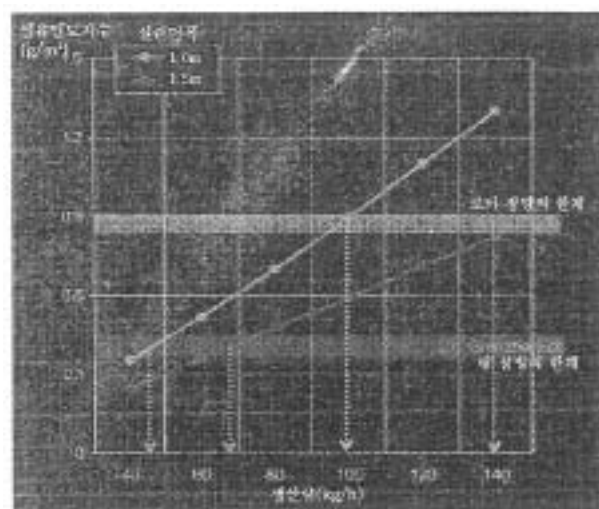
따라서 앞으로 남은 소면기의 개발과제로서는 실린더 폭의 확대를 고려할 수 있다. 오늘날의 소면기는 공급량 제어기능의 슈트와 카딩 세그먼트가 부착된 리커인에 의해서 카딩공정을 위한 최적 상태의 섬유를 준비한다. 실제로 3개 이상의 리커인 사용은 불가능하다.

섬유응력과 섬유 절단의 위험성 때문에 실린더 속도는 30~35m/s로 제한된다. 이것은 기계 구조적 문제라기 보다는 섬유응력의 기술적인 한계 때문으로서, 이 또한 한계에 이르렀다. 만약소면기의 생산속도와 섬유밀도 지수를 고려해 본다면 지난 10년간 로터정방의 비약적인 발전을 알 수 있다<그림 4>.



<그림 4> 섬유밀도 지수

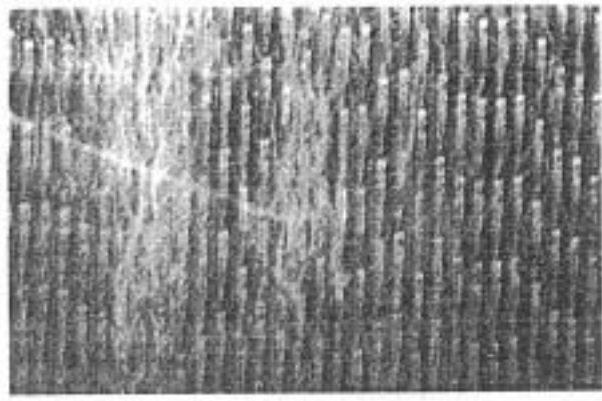
실제로, 동일한 생산량과 실린더 속도라고 가정한다면, 실린더폭 1.5m인 소면기의 경우는 섬유밀도 지수가 매우 낮아 실린더 표면의 섬유밀도가 낮게 된다<그림 5>.



<그림 5> 섬유밀도 지수

광폭 개념에 의한 카딩품질과 생산성에 관한 큰 잠재성은 분명해졌다. 그림 5에서 정소면사와 로터사에 대한 실제 실험자료를 볼 수 있는데<그림 2>,

품질이 유사하다는 가정 하에서 두 카딩기술의 생산한계점을 찾게 될 것이다. 생산한계점을 초과하는 고속생산시 대부분 품질 손실을 고려해야 한다. 만약 실린더 표면에 공간이 부족하여 분섬이 충분히 이뤄지지 않는다면 실린더에 섬유 뭉치(fiber clouds)들이 생길 것이다<그림 6>. 실제로 실린더폭 1m인 소면기에서 시간당 60kg 생산하는 경우 영상분석결과 섬유분섬이 한계점에 이르는 것을 보여준다. 이러한 섬유 뭉치들은 도퍼로 이행되어 매우 나쁜 사결점을 유발한다.



<그림 6> 시간당 50kg 생산시 실린더 상의 섬유밀도

반대로, 단지 생산량을 줄이는 것만으로는 품질을 개선할 수 없다. 만약 어떤 소면기의 생산량을 점차적으로 증가시켰을 때 사품질이 크게 변화되기 전까지는 일정한 카딩품질을 유지할 것이다. 사품질의 변화가 생기는 이 시점이 실린더 상에서 분섬이 이뤄지지 않는 시점이다. 물론 생산한계는 침포, 소면기 세팅상태, 원료, 카딩조건 그리고 변수 등 여러 요소들의 영향을 받는다. 그러나 흥미롭게도 대부분의 실린더폭 1m인 소면기는 시간당 생산량 40 ~ 60kg 영역에서 정소면사의 품질손실이 크게 일어난다. 한편 카드 세그먼트나 리커인의 조합으로는 실린더 상에서 분섬이 이뤄지지 않는 문제를 해

결할 수 없다. 광폭의 소면기만이 이러한 문제를 벗어나기 위한 유일한 방법이다. 정소면사의 생산한계점이 1.5배 올라간다.

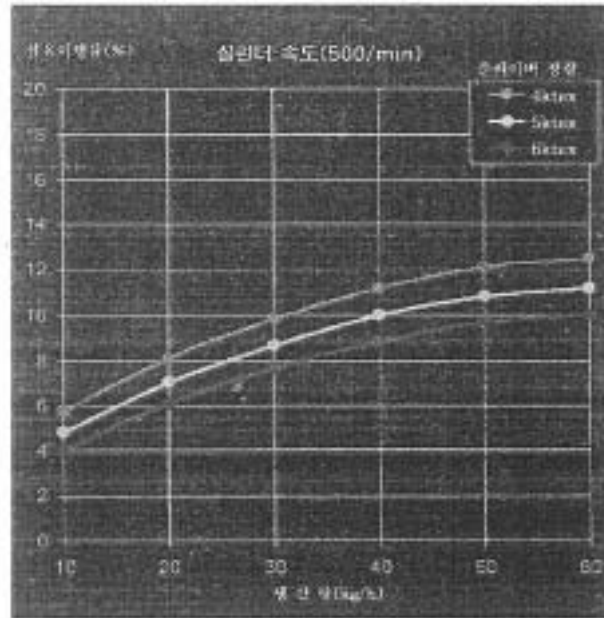
소면기 메이커나 타입과는 상관없이 소면공정을 자세히 관찰하여 섬유이행율이 카딩 결과에 미치는 영향을 분석해야 한다. 앞서 면과 폴리에스터 섬유의 혼면과 소면공정시 섬유이행율에 대한 중요성을 언급하였는데, 카딩강도 역시 소면공정에서 매우 중요하다.

앞으로의 카딩기술 발전을 위해서 섬유이행율에 대한 기초적인 분석은 필수적이다. 앞서 언급한것 처럼, 섬유이행율이란 실린더 1회전으로 도퍼로 이행되는 섬유의 양을 의미한다. 실린더에 남겨진 섬유는 분섬, 정면 그리고 단섬유 제거를 위해서 다시 카딩 존(carding zone)을 통과할 기회를 갖게 되지만, 섬유손상의 위험이 있다. 문제는 공정의 최적화, 즉 섬유의 타입, 품질, 이후 완성되는 실(카드사, 정소면사, 링사, 로터사, 볼텍스사 등)과 변수에 따라 카딩강도가 결정되어야 한다.

섬유이행율이란, 카딩 존(carding zone)을 완전히 통과한 섬유의 평균 회전수에 대한 척도이고,. 따라서 카딩강도에 대한 척도이다. 카딩 영역(carding area)은 리커인과 도퍼사이의 플랫폼포로 감싸져 있는 부분이다. 따라서 카딩 영역(carding area)이란, 실린더에 접하고 있는 플랫폼포로 덮여 있는 부분이다.

일반적으로, 카딩 영역(carding area)은 22개의 회전 플랫폼과 카딩 존 앞뒤로 고정 플랫폼 각 6개씩 약 34개의 플랫폼포로 되어있다. 작업 상태에 따라 단위면적당 침포의 수와 면적 그리고 각도를 달리하여 세팅된다. 고정 플랫폼포는 기계타입과 메이커에 따라 다르다. 소면기의 타입과 버전에 따라 리커인이 1개 혹은 3개이기도 하지만, 실린더폭은 별개이다. 소면기의 실린더폭은 소면공정상에 중대한 영향을 미친다. 이론적으로 플랫폼포의 수는 카딩강도와 연관된다. 실린더의 속도가 일정하므로 4개의 플랫폼포를 추가하면 카딩

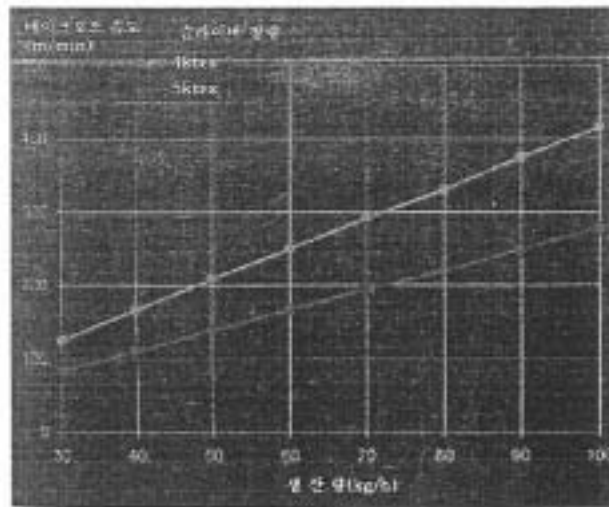
강도가 증가한다. 심도있는 연구를 통해 섬유이행율, 카딩강도 및 품질 사이의 복잡한 관계를 검토하여 흥미로운 상관관계를 찾을 수 있었다.



<그림 7> 섬유이행율과 생산량의 관계

원리적으로 보면, 실린더와 도퍼 사이의 섬유이행율은 딜리버리 속도와 함께 증가하고, 슬라이버 정량과 함께 감소한다고 할 수 있다<그림 7>. 이러한 관계는 실린더폭과 별개이다. 일정한 정량의 슬라이버 방출조건 하에서 생산량을 증가시키면 도퍼는 항상 딜리버리 속도와 함께 더 빨라지고 이에따라 섬유 이행을 위한 침포 공간이 더 확보될 수 있다. 따라서 실린더로부터 도퍼로 섬유이행의 기회가 많아져 섬유이행율이 증가하게 된다. 만약 같은 생산 조건에서 슬라이버 정량(g/m, or ktex)이 증가한다면 도퍼의 속도는 감소된다. 섬유이행율은 슬라이버 정량 증가시 감소된다. 오늘날 이러한 기본원리는 초기 모델의 소면기로 1970년에 수행된 실험결과와 상관성이 있다. 이러한 기본원리는 소면기 타입이나 메이커와는 별개로 자연법칙과 유사한 것이

었다. 그러나 소면기 실린더폭의 변화로 카딩공정도 변화되었다. 동일조건에서 만약 실린더 속도가 같은 상태에서 실린더폭이 더 넓어지면 슬라이버 정량은 커질 것이다. 이에 따라 도퍼는 더 느리게 되고 딜리버리 속도는 감소되어야 할 것이다<그림 8>.



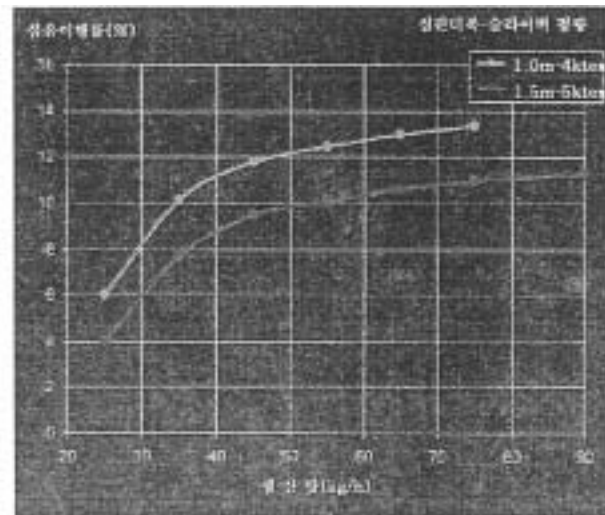
<그림 8> 테이크 오프(take-off) 속도와 생산량

실린더폭 1m인 소면기의 딜리버리 속도는 한계에 이르렀고, 이에 따라 생산속도도 한계에 이르렀다. 오늘날 생산조건하에서 도퍼의 딜리버리 속도 416m/min 는 불가능하다.

섬유이행율 측정결과는 <그림 9>와 같다. 실린더폭 1.5m인 소면기의 섬유이행율은 동일 생산량일 때 실린더폭 1m인 소면기보다 더 낮다. 섬유이행율은 카딩영역을 통과한 섬유의 평균 회전수에 대한 척도이다. 따라서 섬유이행율이 더 낮으면 실린더 회전수는 더 증가하고, 이에 따라 혼면효과와 카딩강도가 증가한다.

실린더폭 1.5m인 소면기의 경우, 현장 적정속도에서 섬유의 평균 회전수는 실린더폭 1m인 소면기보다 약 2회전 더 많다. 카딩강도가 높다는 것은 좀

더 고속 생산이 가능하다는 것을 의미한다. 그리고 침포의 수와 강력한 카딩 효과에 대한 침포구조에 관해서는 매우 신중하게 다뤄져야 하며, 좀 더 적은 수를 사용해야 한다.

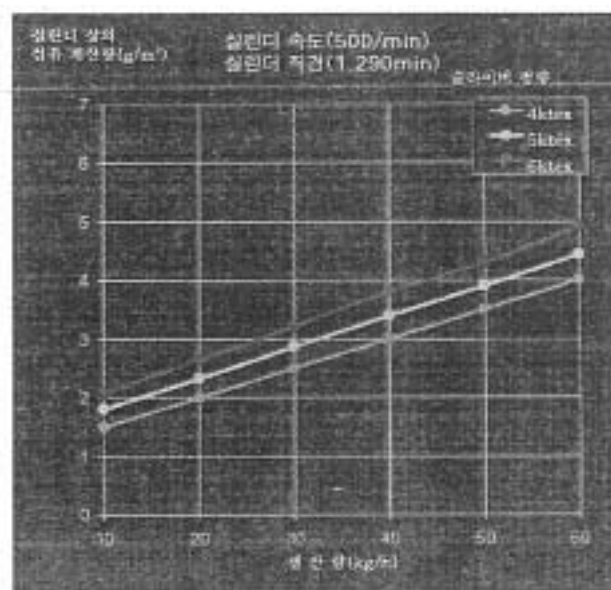


<그림 9> 섬유이행율과 실린더폭 / 섬유이행율과 동일 정량의 슬라이버 생산

그러나, 이렇게 고속에 맞춰진 경우라도 저속으로 변화 될 때 다시 문제가 된다. 섬유의 평균 회전수가 급속히 증가하면 필연적으로 오버카딩(over-carding)과 섬유손상이 초래된다. 이것은 소면기에서 침포를 좀 더 신중하게 살펴야 하는 이유가 된다. 정소면사를 생산하기 위해 시간당 60kg의 생산속도를 목표로 한다면 실린더폭 1m인 소면기의 경우 섬유이행율이 약 12.5%이며, 이에 따른 섬유의 평균 회전수는 7~8회이다. 실린더폭 1.5m인 소면기의 경우, 슬라이버 정량 6g/m, 섬유이행율 10% 일 때 카딩 영역을 통과하는 섬유의 평균 회전수는 약 10회이다. 섬유이행율이 2% 변화 되었고, 이것은 플랫폼침포 4개를 추가했을 때와 같은 효과이다. 섬유이행율의 체계적인 조정으로 카딩효과에 영향을 줄 수 있다.

앞서 설명된 것처럼, 섬유밀도는 소면공정 후 보다 실린더 상에서 더 높은

데, 이는 섬유가 실린더 상에서 여러 번 회전하기 때문이다. 주로 특히 고속 생산시 분섬에 필요한 공간이 한계가 있기 때문에 섬유의 적층은 문제를 야기한다. 실린더 상의 섬유의 양 역시 카딩품질에 영향을 미치는 인자이다. 실린더폭 1m인 소면기 대해 섬유이행율, 슬라이버 정량 그리고 생산속도에 따라 실린더 상에 축적된 섬유의 양을 측정하였고, 그 결과를 <그림 10>에 나타내었다. 실린더 상의 섬유의 적층은 생산량 및 슬라이버 정량이 증가할수록 증가하였다. 이것은 슬라이버 정량의 증가와 고속 생산시에 넵수가 증가하는 사실과 관련이 있다.

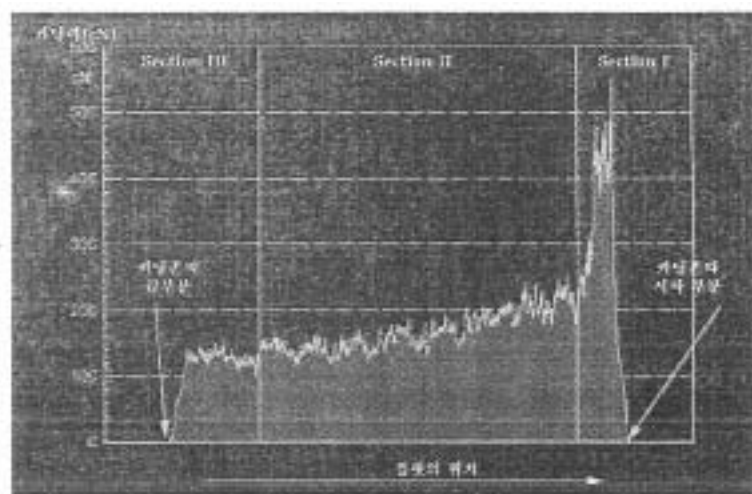


<그림 10> 실린더 상의 섬유 계산량

두 소면기가 어떤 생산속도에서 동일한 정량의 슬라이버(6g/m)를 생산한다고 가정했을 때, 실린더폭 1.5m인 소면기의 섬유밀도는 실린더폭 1m인 소면기가 4g/m의 슬라이버를 생산할 때의 섬유밀도와 일치한다. 실린더폭 1.5m인 소면기의 섬유밀도는 약 20% 정도 낮다. 이 때문에 분섬력이 더 증가하

여 품질을 저하시키지 않으면서 고속생산이 가능하다. 품질이 향상됨과 동시에 생산속도는 약 1.5배 증가한다.

생산량의 증가는 침포에 더 큰 부하를 발생시킨다. 카딩 존 바로 앞부분과 회전플랫의 첫 번째 플랫에서 가장 큰 카딩 부하가 발생된다. <그림 11>에서 볼 수 있듯이 그 이후로는 카딩 부하가 빠르게 감소한다.



<그림 11> 카딩력과 플랫 위치의 관계

실험결과 회전플랫의 앞쪽 5~6번째 플랫까지만 개면 작용이 일어나는 것으로 입증되었다. 5~6번째 이후의 플랫은 대개 섬유배향과 단섬유 제거용으로 작용한다. 이 연구 결과 덕분에 기존 40개의 플랫이 어떠한 품질상의 손실 없이 오늘날 21~22개의 플랫으로 감소되었다. 이러한 이유로 플렉시블(flexible) 플랫침포는 카딩력 한계에 상응하는 생산한계에 이른다.

결과적으로, 실린더폭 1.5m인 소면기의 경우, 실린더폭 1m인 소면기와 생산량이 동일할 때, 침포 상에 작용하는 부하가 1.5m 폭으로 인해 감소된다. 이것은 미래에 범용적으로 사용될 광폭 소면기의 고속생산 잠재성을 입증하는 것이다. 또한 이 같은 사실들은 장시간 작업에 따르는 마모에 대해서도

긍정적인 영향을 가질 것이다. 고속 생산시 플랫 손상문제는 잘 알려진 사실이다.

한편, 실제 경험에 따르면 투입량이 많을수록 정면효율은 떨어진다. 이러한 부분에 있어서도 광폭 소면기의 우수한 장점은 발휘된다.

결국 미래의 기술발전을 위해서는 일반적인 경향을 탈피할 수 있는 방법을 찾는 것이 중요한 것 같다. 한편, 트래시에 가해지는 원심력이 더 커져서 정면효율이 개선된다. 잘 알려진 대로 원심력은 회전수가 증가함에 따라 커진다. 동일 표면속도로 회전할 경우 직경이 작은 실린더가 트래시 조각과 섬유에 대해 더 큰 원심력을 발생시킨다. 직경 1,290mm, 속도 24m/s(350rpm) 일 때의 원심력을 100%로 본다면 직경 800mm 실린더가 동일 표면속도로 회전할 때 실린더 회전은 570rpm으로 160% 즉 1.6배의 원심력을 갖는다.

실제로 트래시 입자의 분리는 원심력과 관련이 있다. 기술적인 면을 분석한 결과, 증가된 원심력에 의해 정면효율이 크게 높아졌다. 이것은 고속 생산시 정면효율을 개선하기 위한 좋은 방법이 되었다. 여러 해 동안 수행되어 온 연구활동들은 앞으로 나가야 할 소면기 개발방향으로서 실린더폭의 확장이라는 신개념을 제시하였다. 실린더폭 1m인 소면기의 모든 장치들, 예를 들어 침포, 리커인, 오토레블러 시스템, 링크 시스템은 실린더폭 1.5m인 소면기에 맞춰서 그대로 적용된다. 이는 작은 크기의 기계에 대한 독특한 특징이 없다는 점을 의미한다.