

# 건조와 종이 품질

서동준<sup>†</sup>

## 1. 개요

포밍 영역 직후 습지필은 물로 포화되어 있다. 지필 내부로 공기가 침투하기 시작하면 섬유 네트워크의 수축이 시작된다. 이것은 모세관 힘이 미세섬유, 펄프 섬유와 피브릴을 서로 당겨 뭉치게 하기 때문이다. 이러한 수축은 첫 번째 단계의 지필 강화를 일으킨다. 이러한 수축 이후 루멘으로부터 외부로 물이 확산되기 시작한다. 이렇게 물이 제거되면 섬유는 찌그러지기 시작한다. 섬유의 붕괴는 프레스부에서 이루어진다. 지필이 드라이어로 들어갈 즈음에는 루멘으로부터 대부분의 물이 제거된 상태이다.

드라이어 부의 초기에는 건조도는 통상 33~55% 범위에 있다. 자유수는 섬유사이의 공간, 섬유 벽, 또는 섬유 표면에 흡착수의 형태로 존재한다. 모든 자유수가 제거되면 지필은 임계 수분 함량(critical moisture content)이라고 부르는 일정 수준의 건조도를 가진다. 원료의 종류와 고해 정도에 따라 다르지만 임계 수분 함량은 42~65% 건조도 범위에 있다.

프레스부 이후 지필의 온도는 대략 35~45℃ 정도

이며 만일 프레스부에 스타팍스가 설치되어 있다면 온도는 약 45~50℃ 수준이다.

건조 과정은 통상 가열 단계, 정열 단계, 감열 단계의 세 단계로 나뉜다. 가열 단계에서 지필의 온도는 그림 1에 나타나는 것과 같이 대기온도와 균형을 이룰 때까지 상승한다. 이 기간동안 지필이 드라이어 실린더 표면에 달라붙는 것을 방지하도록 낮게 유지된다. 최신의 초지기에서 가열 단계에 소요되는 가열 실린더 수는 4~6개 정도이다.

정열 건조단계 동안 온도는 65~75℃ 범위에 있다. 이 기간동안 지필은 물로 포화되어 있다. 드라이어 실린더로부터 지필로의 열전달 속도가 증발속도를 결정한다. 모든 자유수가 섬유 사이의 공간으로부터 제거될 때까지 정열 건조가 진행된다. 그러면 지필은 임계 수분 함량에 도달하게 된다. 지필이 임계 수분 함량에 도달하게 되면 균일한 수분 필름은 사라지고 지필의 표면은 부분적으로 마르게 된다. 표면에서의 건조량도 줄어든다. 이로 인해 드라이어 실린더와 지필 사이의 저항도 증가한다. 동시에 지필의 열 전달율은 떨어지기 시작하며 지필의 온도는 그림 2에서 보는 것과 같이 올라가기 시작한다.

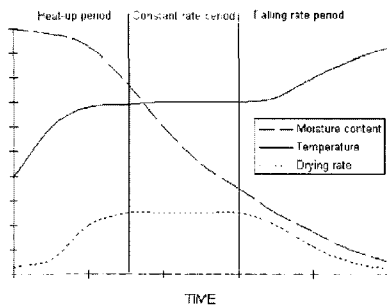


그림 1. 건조 과정 중 수분 함량, 건조 속도, 온도

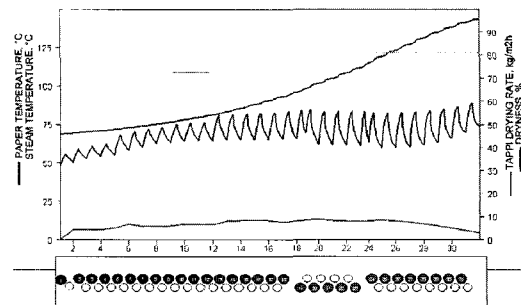


그림 2. 건조중 지필의 수분 함량과 온도 변화

<sup>†</sup>한솔제지 기술연구소 수석연구원

## 2. 종이의 수축

건조과정 중, 수분은 지필로부터 증발하며, 지필에는 내부적이거나 억압적인 스트레스가 발생된다. 이들 스트레스의 크기는 섬유 결합에 영향을 미치는 유도된 건조력에 달려있다. 이 스트레스는 지필의 기계적 성질에 영향을 미치는데 예를 들면 고도로 억압적인 스트레스를 가하면 높은 탄성 모듈러스나 인장 강도를 가지게 된다.

건조과정 중 지필은 두께 방향과 평면 방향으로 수축한다. 초기기상에서 지필은 초기 방향으로 잡아 당겨지고 폭방향으로 어느정도 수축되어진다. 지필의 양 끝부분이 중앙부보다 더 수축을 많이 한다. 그러므로 지필의 폭방향으로 수축 프로파일이 균일하지 않게 되며 이것이 종이의 평면상 변형의 주된 요인이 된다. 하나의 섬유는 종이의 건조도가 50~60%에 이르면 수축하기 시작하고 건조도 70~85% 범위에서 최대값에 도달하며 최종 제품까지 건조되며 지속적으로 수축한다.

### 2.1 건조 스트레스 관련 용어

종이의 건조 메카니즘과 관련해 중요한 정의는 다음과 같다.

- 건조 스트레스 : 건조동안 섬유의 수축에 의해 유발되는 종이 내의 내부응력과 스트레스
- 건조 하중은 건조동안 지필에 가해지는 인장력이나 제한을 말함
- 잠재적 수축(자유수축 이라고도함)은 기계적으로 제한이 가해지지 않았을 때 건조 중에 발생하는 총 수축
- 건조 내 변형(Dried-in-strain)은 잠재적 수축과 건조 수축의 차이

만일 건조 스트레스가 건조 하중을 넘어서게 되면 지필은 수축하게 된다. 만일 건조 하중이 건조 스트레스보다 크게되면 종이는 늘어난다.

건조과정에 대해 서술하는 많은 문헌에서는 서로 다른 여러 가지 스트레스에 대해 이야기 하는데 예를 들자면 건조내 응력, 미세 응력, 잔존 응력, 내부 응력 등이다. 불행히도 용어들은 통일성이 없다.

### 2.2 평면상에서의 수축

만일 외부의 힘이 제한을 가하지 않으면 지필은 평면상으로도 수축하게 된다. 평면상 수축은 섬유내 자유수의 대부분이 제거된 후 일어나기 시작한다. 수축력은 섬유사이의 표면장력으로부터 시작되기 때문에 섬유의 배치와 피브릴화가 어디에서 종이의 수축이 시작될지에 대해 영향을 미치게 된다.

건조 수축에 대한 고해의 영향은 명백하다. 매우 강하게 고해된 펄프는 제한없이 건조될 경우 건조도가 20~30%에 이르면 수축하기 시작한다. 고해를 하지 않은 펄프의 경우는 같은 조건에서 건조도가 40~50%에 이르러야 수축하기 시작한다. 이는 고해된 펄프 섬유는 보다 많은 물을 함유하기(많이 팽윤하여) 때문이다. 미고해 펄프에 비해 고해섬유의 경우 보다 많은 양의 물이 섬유간 공간에 존재하기보다 섬유 내부에 존재하게 된다. 따라서 건조가 시작되면 고해된 섬유의 경우 섬유간에 존재하는 물이 미고해 펄프보다 빨리 없어지게 되며 따라서 섬유내의 물의 증발이 보다 낮은 건조도에서 시작된다. 그림 3은 자유롭게 건조된 종지와 제한을 받으며 건조된 종지의 구조를 보여주는 현미경 사진이다.

이 그림은 섬유 수준에서의 수축이 종이의 평면상의 수축에 대한 의미를 보여주고 있다.

표면장력에 의한 섬유 네트워크의 공고화(consolidation)는 건조 초기의 지배적인 메카니즘이다. 고해는 자유로운 섬유의 표면을 넓혀 표면장력의 영향이 커지도록 하기 때문에 수축도 커지게 한다. 종이 내의 수분이 줄어들면 하나의 섬유의 수축에 대한 표면장력에 대한 영향이 줄어들면서 섬유와 섬유간의 결합이 시작된다.

섬유의 수축에 가장 중요한 요소는 헤미셀룰로오스 성분의 함량과 건조과정이다. 헤미셀룰로오스를 많이 가진 섬유는 팽윤을 더 많이 하고 수축도 많이한다. 또한 다른 헤미셀룰로오스를 많이 가진 섬유와 결합도 더 잘한다. 따라서 헤미 셀룰로오스 함량이 많은 섬유는 종이의 수축을 증대시킨다. 건조와 재생은 섬유의 팽윤과 수축을 감소시킨다.

펄프의 고해정도가 평면상 수축에 미치는 영향을 비교한 것은 종이의 수축에 있어 섬유와 섬유간의 결합의 역할을 설명하는 것이다. 미고해 펄프를 사용하여 제조된 종지의 수축은 1~2% 수준 정도로 낮다. 이것은 개개의 섬유의 길이방향 수축 수준이다. 고해를 많이 한 섬유의 수축은 20~60% 이르기까지도 한다. Micro-compression 이론은 종이의 수축에서 섬유

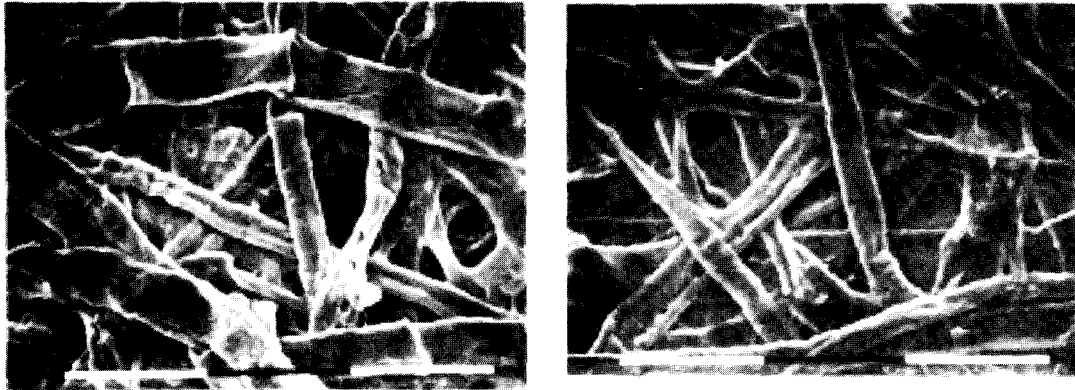


그림 3. 자유 건조된 종이 (좌)와 제한되어 건조된 종이 (우)

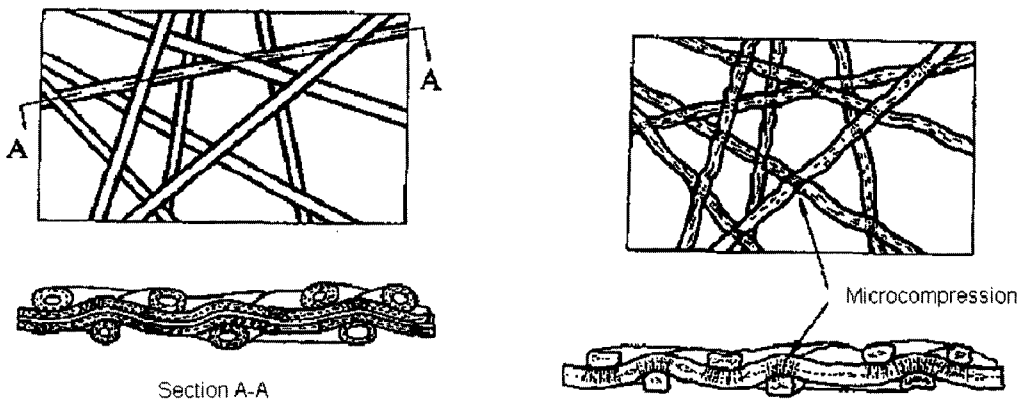


그림 4. 건조전 (좌)과 건조후 (우) 섬유 네트워크

와 섬유간 결합을 설명할 수 있다.

Micro-compression 이라고도 하는 길이 방향의 압축은 섬유가 서로 교차하는 곳에서 일어난다. 그림 6에서 보는 것처럼 micro-compression은 한 섬유가 다른 섬유와 결합된 지점에서 수축할 때 일어난다. 섬유간 결합은 결합된 섬유 영역에서 축방향의 압축이 일어나는 동안 파괴되지 않을 정도로 강해야만 한다.

종이의 수축은 교차하는 섬유가 서로 움직이지 않기 때문에 섬유가 교차한 곳들의 거리는 줄어든다고 가정한다. 교차점 사이에서 섬유는 구부러지거나 혹은 micro-compression이 일어난다.

그림 5는 섬유간의 결합이 너무 강해 섬유 교차지점에서 길이방향의 micro-compression이 일어나면 섬유의 직경 방향에서 수축이 일어나 종이 수축하는 것을 보여준다.

건조 중 수축 능력에 영향을 미치는 가장 중요한 요소들은 다음과 같다

- 고유의 섬유 수축
- 수축 과정 중 섬유의 길이방향 압축
- 섬유간 결합의 수와 강도



그림 5. 섬유 교차점에서의 micro-compression

-섬유가 수축하기 전에 표면 장력에 의해 종이 구조 내에 수축력을 가하는 결합가능한 피브릴

Micro-compression 이론은 섬유특성의 영향을 설명하고 잠재적 수축에 대한 공정변수의 영향을 부분적으로 설명한다. 실험실적 수축지의 잠재적 수축은 종이 제조상의 펄프의 수축을 추정하게 해 준다. 이것은 인장 시 찢어짐이나 찢기 안정성 같은 어떤 지종의 특수한 특성이 건조 시 수축과 관련이 크다고 하는데 대한 매우 중요한 상관성이다. 섬유는 길이방향보다 방사방향으로 더 잘 수축하기 때문에 방향성을 가진 종이는 폭방향으로 보다 많이 수축한다.

### 3. 기계적 영향

건조과정 중 가해지는 스트레스의 정도는 종이의 탄성적 특성에 영향을 미친다. 종이가 제한을 받는 상태에서 건조되면 건조 중 수축이 자유롭게 되는 조건에서의 종이보다 높은 탄성율을 가지며 높은 인장강도를 가지고 보다 좋은 치수안정성을 가지게 된다. 따라서 종이 특성이 다른 것은 건조중 받는 스트레스가 다르며 스트레스의 집중 정도가 다르고 섬유 배향성과 결정화 지수가 다르기 때문이다.

건조과정 중 스트레스에 영향을 주는 요소들은 고해정도, 웨트 프레스싱 정도, 펄프 종류, 건조 속도, 초지기 내에서의 드로우 정도 등이다. 높은 온도에서 또는 오랜 시간에 걸쳐 건조되면 낮은 비 건조 스트레스(specific drying stress)를 가진다. 반면에 낮은 온도와 짧은 건조 시간의 조합은 높은 최종 건조 스트레스를 부여한다.

Multicylinder 건조에서 지필은 MD 방향으로 인장된다. 초지기 속도, 건조도, 텐션의 수준이 각 드라이브 구간속의 속도차를 결정한다. 이후의 후가공 공정이나 인쇄 공정에서 종이가 늘어날 수 있는 가능성을 내재할 수 있도록 드로우는 가능하면 낮아야 한다.

건조과정중 MD 방향으로의 인장에 의해 인장강도나 열단장은 크게 향상된다. 그림 6은 자유롭게 건조된 종지와 몇 퍼센트 드로우값을 가지는 종지의 인장강도 차이를 보여주며 드로우를 가진 경우가 약 20% 높은 값을 가진다.

그러나 약간만 인장된 경우에서 강도향상이 가장 큰 점에 주의를 기울일 필요가 있다. 지필의 배향성 그리고 드로우의 정도가 지필의 인장 파괴를 결정한다. 그

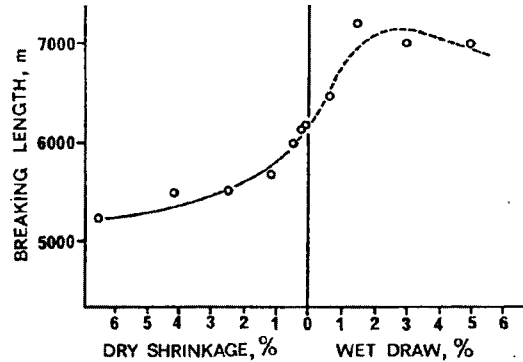


그림 6. 수축되거나 인장된 종지의 열단장 비교

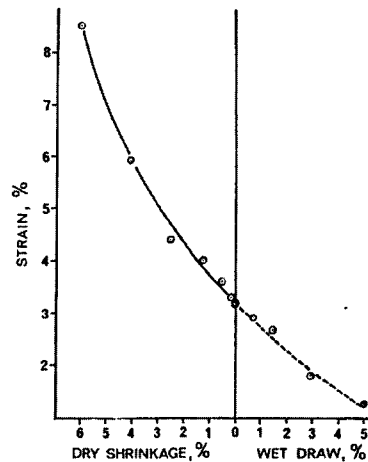


그림 7. 수축과 잡아당김 VS 신장률

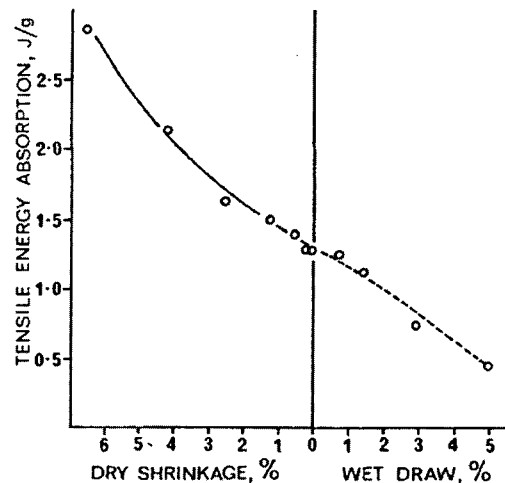


그림 8. 수축과 잡아당김 VS TEA

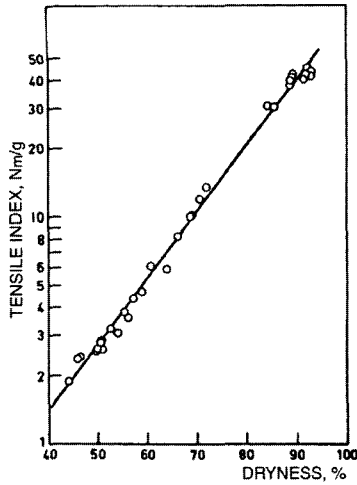


그림 9. 건조도 VS 인장강도

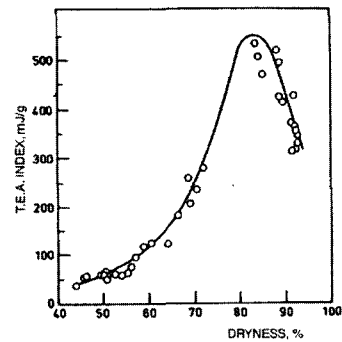
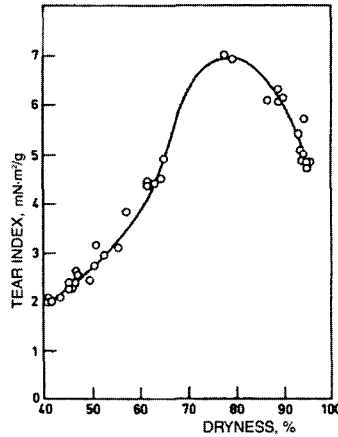


그림 10. 건조도 VS 인열지수, 파괴 에너지

림 7과 8은 서로 다른 정도로 수축되거나 잡아당겨진 종이의 인장 파괴 정도를 보여준다.

수축과 잡아당김이 신장률에 대해 가지는 상관성은 매우 강하며 거의 직선에 가깝다. 약간만이라도 잡아당겨 건조하면 인장 파괴는 많이 감소하기 때문에 가능한 한 드로우는 작게 유지해야 한다.

습윤 팽창성과 수축 정도는 거의 직선의 상관관계를 가진다. 만일 서로 다른 고해도를 가진 펄프로 종이를 만들어 건조 중 자유롭게 수축하게 둔다면 가장 여수도가 낮은 펄프가 가장 많이 수축할 것이며 따라서 가장 큰 습윤신장성을 가질 것이다. 따라서 수축을 억제시키면 여수도에 따른 습윤신장성의 영향을 최소화시킬 수 있다. 습윤신장성은 건조의 제한이 가해지는 지점에서의 수분함량을 매우 민감하다. 펄프 내의 헤미셀룰로오스의 팽윤이 종이의 습윤인장성에 큰 영향을 준다.

### 3.1 진공과 패브릭에 의한 제한

패브릭이나 진공에 의해서는 아주 제한적으로 폭발향 수축을 조절할 수 있다. 지필과 실린더 사이의 마찰이 CD 수축에 영향을 준다. 양키 드라이어나 Condebelt 건조에서는 CD 수축은 거의 억제된다. 건조공정 중 지필에 허락된 수축 정도는 종이의 탄성 특성에 매우 중요한 영향을 미치며 따라서 전체 폭발향에 걸쳐 가능한 한 균일한 제한이나 균일한 수축이 일어나도록 하는 것은 매우 중요하다.

### 3.2 지필의 기계적 특성의 발현

드라이어부의 초기에 마찰력과 표면장력이 지필의 강도적 특성을 유지한다. 섬유 길이, 변형도, 표면특성이 마찰에 영향을 미친다. 건조도가 50~60%에 이르면 섬유들은 서로 충분히 가까워지며 수소결합을 형성하게 된다. 동시에 지필의 강도는 매우 증가하기 시작한다. 그 이상의 건조도에서는 수소결합의 강도와 결합 면적의 크기가 강도 특성을 결정한다.

인장강도는 건조도가 증가함에 따라 지수함수적으로 증가한다. 그림 9에서 보는 것과 같이 건조도와 인장강도의 로그값을 그래프로 그리면 직선관계를 나타낸다. 수초지의 특별한 어떤 경우 강도가 특히 강해지는 변곡점이 나타나는 것은 수소결합이 시작되는 지점을 표시해준다.

탄성율도 인장강도와 유사한 종류의 거동을 보여준다. 건조도가 증가하면서 인장 파괴는 감소한다. 감소 정도는 건조과정 중 드로우값에 크게 의존한다. 그림 10에서 보는 것과 같이 파괴에너지와 인열 지수 모두 건조가 진행되면서 증가하다가 70~80% 건조도에서 최대값을 가진다.

### 3.3 와이어 마킹

와이어 마킹은 드라이어 패브릭을 선정하는데 있어 중요한 품질 항목이다. 그러나, 최근의 초지기에서는 권련지나 일부 특수한 상질지를 제외하고는 문제가 되

는 경우가 드물다. 통상적으로 3 가지 유형으로 구분되는데

- 기계적 자국
- 증발 자국
- 불균일한 지지와 부분적으로 지연된 수축에 의한 자국

기계적 자국은 표면에 확연히 표시가 되므로 명백히 구분된다. 패브릭과 지필이 특히 심 부분등에서 오랫동안 높은 압력하에서 눌러지면서 발생한다. 이러한 자국의 발생에 영향을 미치는 요인으로는

- 석선롤의 진공도나 주행 성능 설비 요소
- 롤이나 실린더 표면 상태
- 패브릭 텐션
- 패브릭 표면 구조
- 패프릭 표면의 상태
- 지료 구성 조건
- 평량
- 지필 건조도

건조 자국은 표면에 자국이 나는 것은 아니며 비추어 볼 때 투과되는 모습으로 판별이 가능하다. 이것은 패브릭의 통기성이 부분적으로 불균일하여 발생하게 된다. 또는 진공도가 너무 높거나 패브릭과 접촉시간이 긴 경우에도 발생할 수 있다.

부분적으로 지연된 수축에 의해 발생하는 자국은 물결무늬의 표면 형태를 발생시킨다. 이는 주로 심 부분에서 불균일하게 지지되어 발생되는 경우가 많다. 그림 11은 이러한 예를 보여준다. 특히 전체가 단일 실린더 방식의 드라이어 배열에서 많이 발생하는 유형이다.

#### 4. 건조 온도와 증발 속도의 영향

통상적인 종이 건조에 영향을 미치는 열적인 요소를 정의하자면 다음과 같다:

- 건조 공기의 온도
- 건조 공기의 수분 함량
- 실린더 표면 온도
- 종이와 드라이어 표면이 접촉하는 시간

이들 요소들은 건조되는 지필의 온도에 영향을 미친

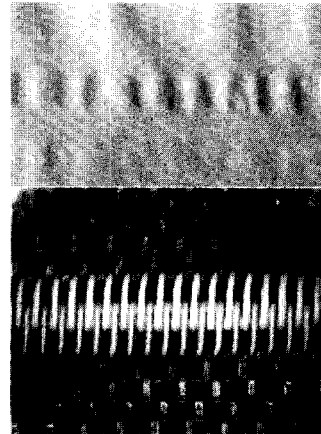


그림 11. 불균일한 지지에 의해 부분적으로 지연된 수축의 결과인 심 마킹

다. 130~190℃의 건조온도는 리그닌을 연화시킨다. 수분함량이 높을수록 연화 온도는 낮아진다. 10%의 수분함량에서 리그닌의 연화 온도는 80~130℃ 이다. 술폰화( sulfonation )도 리그닌의 연화 온도를 낮추는 효과를 가진다.

건조한 헤미셀룰로오스는 170~180℃에서 연화된다. 수분 함량 20%에서는 헤미셀룰로오스의 연화온도는 약 55℃이다. 따라서 이 두가지 물질 모두 수분 함량에 따라 연화점이 매우 크게 변화된다. 헤미셀룰로오스는 리그닌보다 훨씬 물을 많이 흡수한다.

리그닌과 헤미셀룰로오스의 평형상태에서의 수분함량은 셀룰로오스의 값과 다른데, 리그닌은 낮으며 헤미셀룰로오스는 평균 섬유 수분함량보다 높은 값을 가진다.

건조의 초기단계 수분함량과 온도에서조차 기계필프류에 포함된 리그닌과 헤미셀룰로오스는 연화점에 도달할 수 있다. 이 경우 이들의 구조는 고체에서 플래스틱과 같은 가소성으로 변하게 된다. 이들 성분의 연화에 의해 섬유는 변형되고 결합을 더 잘 할 수 있게 되며 결과적으로 만들어지는 종이의 광학적, 강도적 성질도 변하게 된다. 필프 종류별로 온도에 따른 광학적, 강도적 성질의 변화를 다음 그림에 표시하였다.

건조방식 또한 지필의 특성에 영향을 미친다. 아래 그림은 실린더 건조와 air impingement 건조된 종이의 투기도와 탄성율을 보여준다.

높은 건조속도는 높은 투기도를 유발한다. 그러나 기계적 특성에 대해서는 특별한 차이는 없다.

## 5. Curl

컬은 통상적인 2단 실린더 배열에서는 조절가능한 품질 요소였다. 컬의 발생원인은 두께 방향으로의 섬유 배향의 차이이다. 또한 스트레스와 건조 이력도 많은 영향을 미친다.

### 5.1 불균일한 처리

불균일한 처리로 인한 최종적인 컬은 조건이 바뀌고 나서 처음 단계에서 목격되는 결과와는 다른 경우가 종종 있다. 예를 들면 종이의 한쪽면이 축축해지면 처음에는 젖은 쪽의 반대쪽으로 컬이 진다. 왜냐하면 섬유가 젖으면서 스트레스가 해소되기 때문이나 최종적인 컬은 평형상태에 도달하면 젖은쪽으로 지게된다. 마찬가지로 현상이 편면 코팅 과정에서도 발생하는데 통상컬은 코팅된 면 쪽으로 지게된다. 코팅된 지필은 수분 변화에 보다 민감한데 왜냐하면 코팅층과 원지의 습윤신장성이 크게 차이가 나기 때문이다.

### 5.2 실린더 표면 온도

방향성과 함께 건조 균일성도 컬에 큰 영향을 미치는 요소이다. 만일 두께 방향으로 완전히 균일한 종이라도 불균일하게 건조되면 컬이 발생한다. 이러한 문제는 위 아래 실린더 표면의 온도차에 의해서 발생할 수 있다. 또한 코팅이나 수분 분사와 같은 공정이 있으

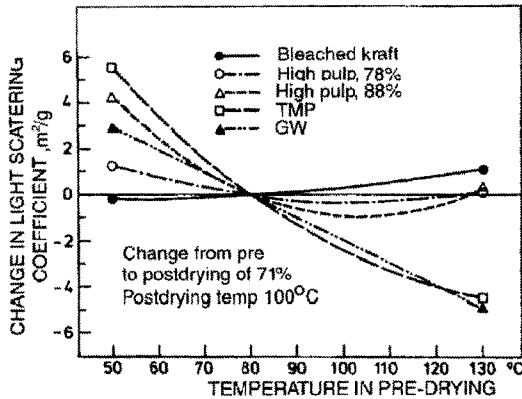


그림 12. 초기 건조온도 VS 산란 계수

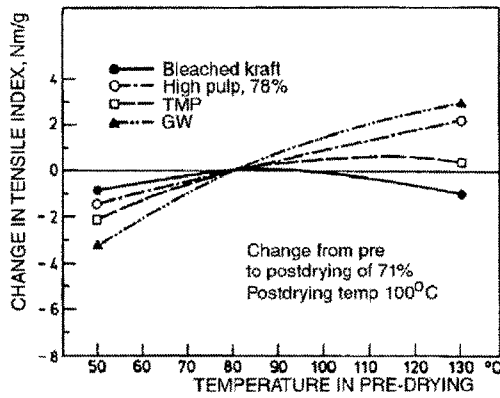


그림 13. 초기 건조 온도 VS 인열 지수

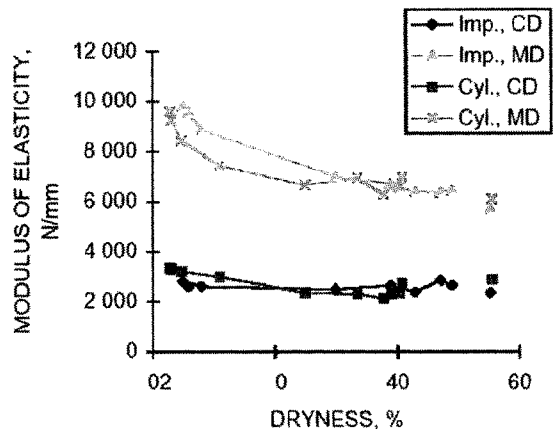
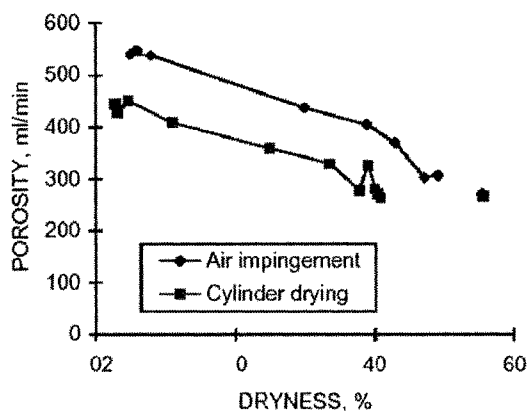


그림 14. 건조 강도 하락에 따른 투기도와 탄성율의 변화

면 발생할 수도 있다. 쉘은 통상적으로 인쇄용지의 경우는 뜨거운 표면과 접한면의 반대쪽으로 발생하며, 판지의 경우는 뜨거운 표면과 접한쪽으로 발생한다. 통상의 2단 실린더의 경우 위 아래 실린더의 온도를 다르게 하여 쉘을 조절 할 수 있으며 다음 그림은 위 아래 실린더의 온도를 다르게 한 경우 종이를 쌓았을 때 가장자리가 구부러지는 정도를 나타낸 것이다.

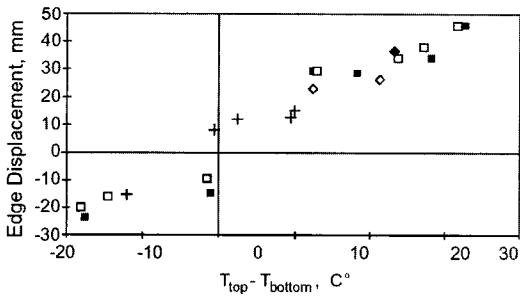


그림 15. 위아래 실린더 온도차 VS 가장자리 변형

종이는 나중에 건조되는 쪽으로 쉘이 발생한다. 이것은 왜냐하면 처음 건조되는 쪽은 다른 쪽이 더 수분 함량이 높기 때문에 장력을 받기 때문이다. 건조가 진행되면 더 젖은 면은 계속 수분을 잃고 이미 건조된 면에 비해 수축을 더 하기 때문이다. 결과적으로 나중에 건조된 면이 내부 응력이 더 크다. Multicylinder 드라이어에서 지필 아랫면의 윗단 실린더와 접촉하고 지필 윗면은 아랫단 실린더와 접촉하는데 통상 위쪽 실린더의 접촉표면 온도가 높은 경우가 많아 위쪽으로 쉘이 발생하는 경우가 많다.

## 6. 폭방향 프로파일

드라이어부는 두 가지 방식으로 불균일한 수분 프로파일을 발생시킬 수 있다. 드라이어부에서 건조를 일으키는 추진력은 지필내부의 증기압과 주변 공기의 수증기 분압의 차이이다. 폭방향으로 균일한 건조가 이루어지려면 포켓을 가로질러 균일한 습도와 온도가 유지되어야 한다.

사이폰에 의한 응축수의 배출이 원활하지 못하거나 오염물이나 스케일에 의해 드라이어 표면으로부터 열 전달이 균일하지 못해 드라이어 실린더를 가로질러 온도가 불균일하다면 지필의 폭방향 온도도 균일하지 못할 것이다. 포켓을 가로질러 습도가 불균일하다면 이

것은 환기가 잘못된 결과이다. 가운데 부분이 양쪽 가장자리에 비해 수분이 높다면 이것은 여러 가지 원인에서 기인했을 수 있다.

### 6.1 건조에서 야기된 프로파일의 기원

건조가 되는 동안 지필은 폭방향으로 수축하는데 양쪽 가장자리가 더 수축한다는 것은 앞서 설명하였다. 이러한 섬유 네트워크의 수축은 micro-compression 또는 개별 섬유상에 주름을 만든다. 폭방향에 걸쳐 분포한 섬유 중 가장자리의 섬유는 높은 micro-compression이 발생할 가능성이 높다. 이들 micro-compression은 하중을 받으면 쉽게 가소적으로 늘어날 수 있으며 이로 인해 많이 늘어나는 대신 인장 강도와 탄성율은 낮아진다.

### 6.2 수축 프로파일

상업적인 일반 초지기에서 폭방향으로 지필의 수축은 건조공정이나 프레스와 드라이어 사이의 자유 드로우 구간 중에 불균일하다. CD 수축 프로파일은 건조 과정에 생성되는 프로파일 중 가장 중요한데 왜냐하면 다른 CD 프로파일에 영향을 주기 때문이다.

건조 중 지필의 수축은 지필로부터 물이 증발되면서 발생한다. 이로 인해 구조 내에 공간이 발생하고 섬유가 서로 가까워지도록 한다. 수축이 일어날 가능성은 한쪽 면이 자유로울 때 높다. 이것은 오픈 드로우나 단일 펄트 배치에서 지필이 패브릭 상을 주행할 때 발생한다. 프레스와 드라이어 사이의 오픈드로우에서 CD 방향의 수축은 MD 방향의 신장과 함께 이루어진다.

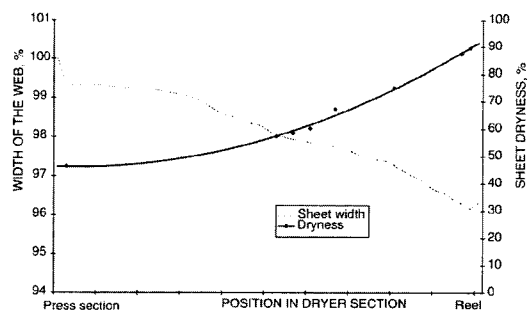


그림 16. 드라이어부에서 건조도와 지필 폭변화의 발생



다음 그림은 드라이어부에서 건조가 이뤄지면서 지폭이 변하는 것을 나타낸다.

따라서 전체 CD 수축은 MD 방향의 습윤 신장과 건조 수축의 합으로 발생하며 아래 그림과 같이 불균일한 CD 프로파일 형태를 가지게 된다. 이러한 불균일한 폭방향 수축은 결과적으로 지필의 장력과 강도적 불균일을 야기하게 된다. 또한 폭방향 평활도, 투기도, bulk, 심지어는 지합의 불균일도 야기하는 경우가 있다.

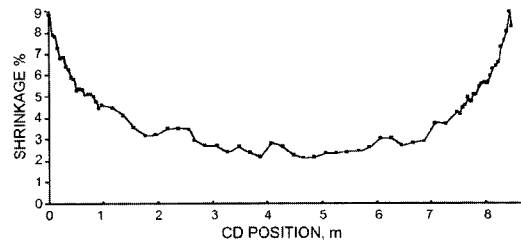


그림 17. 신문용지 초지기의 CD 수축 프로파일 (단일 펠트 방식)