

물리적 처리가 잉크젯 코팅지 생산 과정 중에 발생하는 컬에 미치는 영향

임연주 · 남원석*¹ · 백기현[†]

(2004년 1월 19일 접수: 2004년 4월 15일 채택)

Effect of Physical Treatments on Curl in Inkjet Coated Paper During Papermaking

Yeon Ju Lim, Won Seok Nam,^{*1} and Ki Hyon Paik[†]

(Received on January 19, 2004: Accepted on April 15, 2004)

ABSTRACT

In this paper, the effects of roll diameter and storage time in roll form, bending method and relative humidity on curl in copy paper and inkjet coated papers are investigated. In copy paper, more MD curl is showed at smaller roll diameter and the extension of bending time. However CD curl is hardly influenced by roll diameter and bending time. At high relative humidity, especially CD curl largely reduces. All inkjet coated papers without the primary or the secondary back coating during papermaking show the increase in MD curl and slight decrease in CD curl by MD bending regardless of the winding methods(TSO, TSI). The water spray as back coating results in the remarkable reduction of CD curl regardless of the winding methods. Drying on flat dryer after spraying the moisture on back side display the most excellent effect on the reduction of CD curl.

Keywords : MD curl, CD curl, inkjet coated paper, roll diameter, storage time, winding method, water spray, drying method

• 본 연구는 고려대학교 특별 연구비에 의하여 수행되었음.
• 고려대학교 생명환경과학대학 환경생태공학부(Div. of Envir. Sci. a. Ecol. Engin., Coll. of Life a. Envir. Scie, Korea University, Anam-Dong, Sungbuk-ku, Seoul, 136-701 Korea)
*1 삼화제지 기술연구소(Samwha Paper Co. R & D)
† 주저자(Corresponding author): E-mail:khpai@korea.ac.kr

1. 서론

컬(curl)은 종이 생산, 및 가공과정 그리고 최종 생산된 종이에서도 발생한다. 이러한 컬은 크게 3가지로 구분할 수 있는데, 기계폭 방향(cross-machine direction; CD)을 컬 축(curl axis)으로 하는 MD 컬, 기계 방향(machine direction; MD)을 컬 축으로 하는 CD 컬, 및 컬 축이 MD나 CD가 아닌 비틀어진 모양의 diagonal 컬로 나눌 수 있다.¹⁾

컬이 발생하는 주원인은 종이 양면의 치수 변화에 기인한다. 종이제조, 인쇄, 및 복사과정 중에 종이의 양면(상부와 하부)에서 수분 함량의 차이가 생길 경우 양면의 치수 변화에 차이가 일어나 컬이 발생한다. 수분에 의한 치수변화는 보통 MD보다 CD에서 더 크게 나타나기 때문에 CD 컬은 MD 컬보다 더 심각하게 문제가 된다.²⁾ 그리고 종이의 치수변화는 물리적 처리에 의해서도 발생하는데, 종이가 일정 시간 곡면에 강제로 감겨져 있게 되면 종이의 외곽층이 늘어나는 구조적인 변화가 일어나 컬이 발생한다.^{3,4)} 수분이나 기계적인 처리에 의해 종이의 양면이 서로 다른 치수변화를 보이는 이유는 종이를 구성하는 원료(펄프, 미세분, 충전제, 코팅제 등)의 조성이 두께방향에서 서로 상이하게 분포하고 이로 인해 종이 양면에서 수분 차이가 발생하기 때문이다. 또한 종이 제조 공정에서 양면의 건조율의 차이도 종이 양면의 구조 차이를 야기시킨다. 컬 발생에 영향을 주는 이러한 요인들은 각각 독립적으로 작용하여 컬을 발생시키는 것이 아니라 상호작용에 의해 컬을 발생시킨다.⁵⁻⁷⁾

거의 모든 종이와 판지에서 나타나는 컬 현상은 제지 공정에서 장애요소로 작용하고 있다. 종이 제조와 가공 과정 중에 컬이 발생하면 빠른 생산속도를 기대하기 어렵게 된다. 또한 최종 생산된 종이에서 컬이 발생하면 현재 일반화된 고속인쇄나 고속 복사에서 복사용지의 연속적인 공급을 방해한다.⁵⁾

이렇게 문제가 되는 컬을 감소시키기 위해서 많은 노력들이 이루어지고 있는데, 종이의 이면에 수분을 분사해주는 방법, 이면에 전분으로 코팅을 해주는 방법, 종이의 상부와 하부에 다른 건조온도를 적용하여 건조하는 방법(top to bottom drying) 등

다양한 방법들이 있다.⁸⁾ 특히 현장에서 사용되고 있는 컬 감소 방법에는 건조부에 진공 롤을 설치해 지필의 수축을 억제시켜 종이의 수축을 감소시키는 방법, 최종 건조부에서 상부 실린더와 하부 실린더 사이에 스팀을 가해주어 건조율의 차이를 최소화시키는 방법, curl bar를 사용하는 방법, 리버스 롤(reverse roll)을 이용해 지필의 표면에 직접 수분을 첨가해주는 방법, 증기를 분사해주어 내부 섬유 결합을 약하게 해주는 방법 등이 있다.⁹⁾ 현재 컬 감소에 이용되고 있는 방법은 모두 수분과 열을 적용하고 있으며 종이에 적절한 수분과 열이 적용될 때 컬 감소에 효과가 나타난다. 그러나 컬은 다양한 요인들이 복합적으로 상호 작용하여 발생되기 때문에 아직까지 컬에 대한 완전한 이해가 이루어지지 않고 있다. 따라서 컬을 감소시키려는 많은 노력에도 불구하고 종이의 최종 이용 중에도 여전히 발생해 종이의 질을 감소시키고 있다.

이미 언급한 바와 같이 컬은 수분의 영향이 결정적인데, 특히 잉크젯 전용지(inkjet coated paper)의 경우는 여러 번의 새로운 코팅을 거쳐야하므로 원지의 이면과 표면의 수분차이가 여러번 발생한다. 따라서 생산 과정 중에 종이의 컬도 심하고 컬의 형태도 자주 변한다. 현장에서는 자주 전분으로 이면 코팅(back coating)을 동시에 하여 컬을 감소시키고 있다.

그러므로 본 연구에서는 우선 환경조건에 따른 잉크젯 전용지 원지의 컬 변화를 조사하고, 그 다음 이 원지로 부터 잉크젯 전용지를 생산하는 과정 중에 전분으로 이면 코팅을 하지 않고 수분 분사, 권취 방법 및, 건조방법을 통하여 컬을 감소시킬 수 있는 방법을 모색하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 원지

잉크젯 전용지의 원지로서 복사용지를 사용하였다. 본 실험에 이용된 복사용지의 평량은 76 g/m², 두께는 99.6 μm, 겉보기 밀도는 0.764 g/cm³ 였다.

2.1.2 잉크젯 전용지

잉크젯 전용지(inkjet coated paper)의 원지 이외에 Fig. 1에서와 같이 두 종류의 샘플을 더 사용하였는데, sample 1은 표면(表面)에만 1회 코팅이 된 것이고, sample 2는 표면에 총 2회 코팅이 되고 이면(裏面)에 1회 코팅이 된 것이다. 코팅된 시료들은 현장에서 실제 잉크젯 전용지를 생산하는 과정 중에 거치는 단계로서 그 각각의 단계에서 시료를 채취하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 원지와 잉크젯 전용지의 컬 변화

(가) 권취기간 및 권취를 직경에 따른 컬 변화

복사용지를 20 cm × 20 cm로 재단한 후, 지름이 20 cm, 30 cm, 40 cm인 롤(roll)에 3일, 7일, 15일, 30일 동안 권취한 후 롤에서 제거하여 MD와 CD 컬을 측정하였다. 복사용지의 경우는 양면의 차이가 거의 나지 않기 때문에 한 방향으로만 감아두었다.

잉크젯 전용지의 경우에는, 잉크젯 전용지 sample 1과 sample 2를 한 그룹은 표면이 위로 오게 하여(Top side as outer side: TSO), 다른 한 그룹은 표면이 아래로 오게 하여(Top side as inner side: TSI) 지름 20 cm 롤에 4시간과 24시간 동안 감아둔 후 롤에서 제거하여 MD와 CD 컬을 각각 측정하였다.

(나) 상대습도 변화에 의한 컬 변화

주변 상대습도 변화에 의한 종이 컬 변화를 측정하기 위하여 상대습도 35%부터 85%까지 10%간

격으로 상대습도를 맞추어 종이 컬 변화를 측정하였다. 일정한 상대습도를 맞추기 위해서 다양한 농도의 황산을 조제하여 사용하였다..

40 cm × 40 cm × 47 cm 크기의 밀폐된 auto desiccator 내부에 일정한 농도의 황산을 넣어 온도 24℃에서 조습한 후 일정한 상대습도가 되면 20 cm × 20 cm 크기의 복사용지를 한 쪽 모서리 끝을 고정 시켜 줄에 걸쳐 24시간 동안 처리하였다. 24시간이 지난 후 꺼내어 즉시 MD와 CD 컬을 측정하였다.

2.2.2 수분 처리에 의한 컬 변화

수분 처리는 잉크젯 전용지에만 실시하였다. 잉크젯 전용지 sample 1과 sample 2를 이면에 수분(약 0.064 g/cm²)을 분사한 후, 한 그룹은 표면이 위로 오게 하여(TSO), 다른 한 그룹은 표면이 아래로 오게 하여(TSI) 지름 20 cm 롤에 4시간 동안 감아둔 후 롤에서 제거하여 MD와 CD 컬을 각각 측정하였다.

2.2.3 건조 방법에 의한 컬 변화

건조는 드럼건조기와 평판건조기 두 가지를 이용하여 실시하였다. 드럼 건조기를 이용한 건조 방법은 다음과 같다. 잉크젯 전용지 sample 1과 sample 2의 이면에 수분(약 0.064 g/cm²)을 분사한 후, 드럼 건조기에서 98℃의 온도조건으로 각각 3분, 5분 동안 건조시켰다. 이 경우, 한 그룹은 종이의 표면이 건조기 열판과 접촉되게 하여 건조하였고, 다른 한 그룹은 종이의 이면이 건조기 열판과 접촉되게 하여 건조하였다. 동일한 방법으로 잉크젯 전용지 sample 1과 sample 2를 건조온도 103℃에서 건조시간을 3분, 5분으로 하여 두 그룹으로 나누어 건조하였다.

평판 건조기를 이용한 건조 방법은 다음과 같다. 잉크젯 전용지 sample 1과 sample 2를 이면에 수분(약 0.064 g/cm²)을 분사한 후, 평판건조기에서 103℃의 온도조건으로 10분 동안 건조하였다. 이 경우도 한 그룹은 종이의 표면이 건조기 열판과 접촉되게 하여 건조하였고, 다른 한 그룹은 종이의 이면이 건조기 열판과 접촉되게 하여 건조하였다. 두 가지 건조방법 모두에서 건조로 뜨거워진 종이를 5분 동안 실온에서 식힌 후 MD와 CD 컬을 측정하

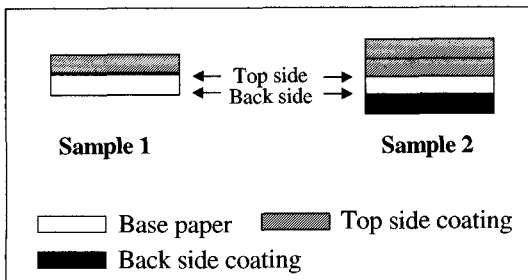


Fig. 1. Sample 1 and sample 2 of inkjet coated paper.

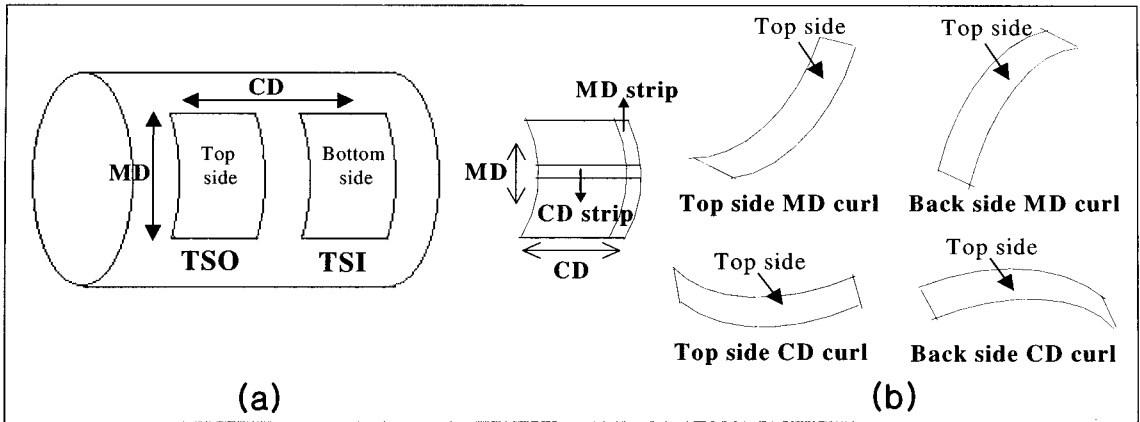


Fig. 2. Bending methods(a), top side curl and back side curl in MD strip and CD strip(b).

였다.

2.2.4 컬의 크기와 방향 측정

컬을 측정하기 위해 곡률(curvature)이 그려져 있는 컬 형판(curl template)을 이용하였다. 컬 형판은 CAD 프로그램을 이용해 만들어졌으며 표시된 곡률의 반경은 5~400 cm 이다.

종이는 MD와 CD에서 본래의 곡률을 숨기고 현재의 크기와 형태에서 가장 안정된 컬을 나타내려는 경향을 가지고 있기 때문에 이 종이를 좁은 조각으로 MD와 CD로 자를 경우 숨겨진 곡률이 나타난다.10) 그러므로 본 실험에서는 MD와 CD에서 좁고 길게 종이조각(3 mm × 200 mm)을 자른 후, 컬 형판 위에 놓고 컬 반경과 컬 방향을 측정하였다. 컬의 크기는 컬 반경의 역수에 100을 곱하여 나타내었는데 계산한 수치의 절대값이 클수록 컬 정도가 심함을 나타낸다. 컬 방향은 (+)와 (-)로 표시하였는데, Fig. 2에서와 같이 잉크젯 전용지에서 (+)는 back side curl을 그리고 (-)는 top side curl을 의미한다. 복사용지는 표면과 이면의 구분이 어렵기 때문에 권취후, 아래쪽으로 향한 쪽으로의 컬을 (+)로 표시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 원지의 컬 변화

3.1.1 권취롤의 지름 및 권취기간이 컬에 미치는 영향

권취롤의 지름과 권취기간에 따른 복사용지의 컬 변화는 Fig. 3과 같다.

복사용지에서 MD 컬은 권취롤의 지름이 작을수록 크게 나타났으며, 권취기간의 경과에 따라 컬이 크게 나타났다. CD 컬은 롤 지름과 권취기간의 경과에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. MD 컬의 경우 지름이 작을수록 더 크게 발생하므로 종이를 롤에 감을 때 안쪽에 감겨있는 종이 바깥쪽에 감겨있는 종이보다 MD 컬이 더욱 심해짐을 확인할 수 있었다. 일반적으로 롤 직경이 크면 전단 스트레

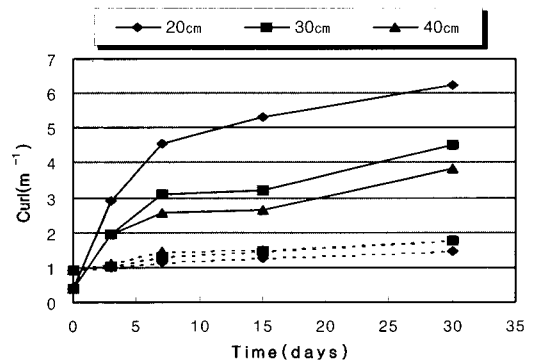


Fig. 3. MD curl(solid line) and CD curl(dotted line) of copy paper at variable roll diameter by increasing time of bending.

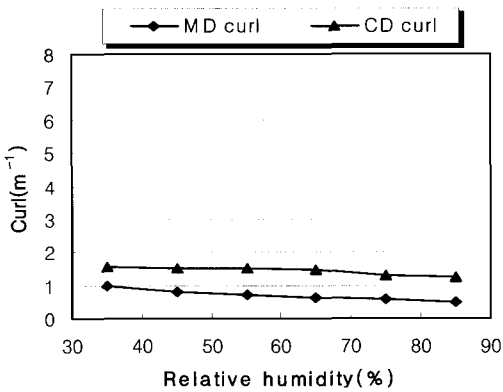


Fig. 4. Curl of copy paper at variable relative humidity(%).

스가 적고, 단지 롤의 가장 안쪽에서만 강제 MD 컬이 일어난다.¹¹⁾ 또한 신문용지에도 CD 컬은 전혀 영향을 받지 않는다는 보고도 있다.¹²⁾

3.1.2. 상대 습도가 컬에 미치는 영향

다양한 상대습도 변화에 의한 복사용지의 컬 변화는 Fig. 4와 같다.

상대습도가 증가할 수록 복사용지의 MD와 CD 컬이 모두 미약하게 감소하는 경향을 보여주었다. 그리고 상대습도 증가에 의한 MD 컬과 CD 컬의 변화는 거의 비슷하였다. 신문용지의 경우는 상대 습도가 증가됨에 따라 CD 컬이 크게 감소되었으나,¹²⁾ 복사용지는 지필이 치밀한 관계로 습도의 영향을 덜 받는 것으로 사료된다.

3.2 잉크젯 전용지의 컬 변화

3.2.1 감는 방법이 컬 감소에 미치는 영향

잉크젯 전용지 sample 1과 sample 2를 MD 방향으로 감아주었을 경우의 컬 변화는 Fig. 5과 같다.

Sample 1의 경우 권취시간의 경과에 따라 MD 컬은 미약하게 증가하고 CD 컬은 점진적으로 감소하는 경향을 보였다. MD 컬의 증가는 MD 방향으로 감아준 영향 때문이다. 수분 처리없이 MD방향으로 감아주지만 하였을 경우에는 표면이 위로 향하게 감아주거나(TSO) 표면이 아래로 향하게 감아주거나(TSI) 컬의 크기에는 큰 차이가 없었다. TSI 경우 MD 컬이 top side curl을, 그리고 TSO에서 MD 컬은 back side curl로 나타났다. CD 컬은 모두 top side curl로 나타났다.

Sample 2는 TSO 경우 sample 1과 유사한 경향을 보였고, TSI 경우는 MD 컬과 CD 컬 모두 TSO 경우보다 컬 크기가 더 감소하였다.

MD 방향으로 감아줌에 의해 CD 컬이 감소하였는데 CD 컬의 감소 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다. 감아주는 것은 관성 모멘트를 증가시켜 강성을 증가시킨다.¹¹⁾ 그러므로 종이를 MD 방향으로 감아 주면 CD 방향으로 강성이 증가되어 CD 컬이 감소되기 때문이다.

그러나 Sample 1과 2 모두에서 권취시간의 경과와 표면이 안쪽으로 향하게 감아주는 것이 CD 컬을 다소 감소시키지만 감소의 효과는 현저하게 나타나

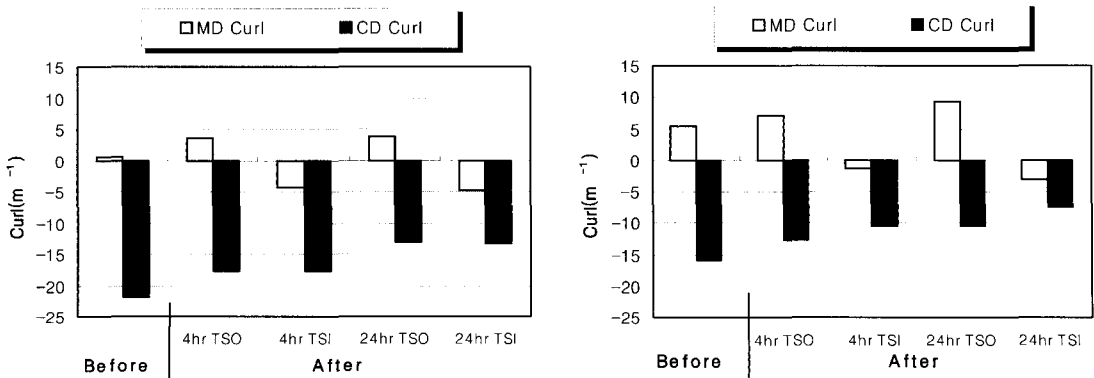


Fig. 5. Curl of sample 1(left) and sample 2(right) at different bending methods without moisturizing.

지 않으므로 MD 방향으로 잡아주는 것만으로는 잉크젯 용지의 컬 감소에 큰 효과를 기대할 수가 없었다.

3.2.2 수분 첨가가 컬 감소에 미치는 영향

잉크젯 전용지 sample 1과 2의 이면에 수분을 분사하고 MD로 잡아주었을 경우 컬 변화는 Fig. 6과 같다.

수분을 분사하였을 경우 sample 1과 sample 2 모두 수분을 분사하지 않고 잡아주기만 한 경우보다(Fig. 5 참조) CD 컬이 현저하게 감소하였다. Sample 1의 경우에는 MD 컬은 MD방향으로 잡아 준 영향으로 다소 증가하였으나 그 증가 정도는 TSI 경우가 더 작았다. CD 컬의 경우에는 TSO와 TSI 경우 차이가 거의 없었다. Sample 2는 TSO 경우 MD 컬은 증가하나 CD 컬은 감소하였고, TSI 경우 MD와 CD 컬이 모두 감소하였다. 즉, 수분 분사로인하여 MD 컬은 -1.32에서 -2.19로, 그리고 CD 컬은 -10.45에서 -0.51로 크게 감소하였다.

수분을 첨가할 경우 TSI 경우가 TSO 경우보다 MD와 CD 컬이 더 작게 발생하는 이유는 다음과 같다. 이면에 수분이 첨가되면 이면이 팽창되었다가 다시 건조하는 과정에 수축되고, 동시에 이면이 밖으로 향하게 잡아주었기 때문에 이면에서 MD로 장력이 발생하여 이면이 표면보다 더 팽창하게 된다. 이 경우 건조할 때 수축력과 기계적으로 구부러 줌에 의한 팽창력이 서로의 효과를 상쇄시켜 컬이

더 작게 발생하는 것이다. 반면 TSO 경우에는 이면이 안쪽으로 향하게 감겨져 있기 때문에 이면이 MD로 압축된다. 그리고 이면에 첨가된 수분이 건조되면서 다시 수축력이 발생하기 때문에 MD로 잡아줌에 의해 유도되는 압축과 건조시 발생하는 수축력의 상호작용으로 MD 컬이 더 크게 발생하는 것이다. CD 컬도 이와 동일한 매커니즘으로 발생하게 된다.

3.2.3 드럼 건조기 건조가 컬 감소에 미치는 영향

수분을 분사한 후 드럼 건조기에서 건조할 경우 잉크젯 전용지 sample 1과 2의 컬 변화는 Fig. 7, 8과 같다. 드럼 건조기는 종이를 MD 방향으로 구부려주는 효과가 있으며 건조롤과 비슷하게 작용한다.

Sample 1의 경우 드럼 건조기에서 건조를 했을 경우, MD 컬은 다소 증가하였으나 CD 컬은 현저하게 감소하였다. MD 컬은 표면을 건조했을 경우가 이면을 건조했을 경우보다 약간 더 작게 발생하였고, CD 컬은 어느 면을 건조하나 그 크기 변화에는 큰 차이 없이 크게 감소하였다. 즉 초기 -21.88 CD에서 2.71~-1.72 범위로 감소하였다.

Sample 2의 경우에는 드럼 건조기에서 건조할 경우 MD와 CD 컬이 모두 감소하였다. CD 컬은 -15.76에서 3.10~-1.84 범위로 크게 감소하였다. 그리고 MD 컬은 이면을 건조시킨 경우가 표면을 건조시킨 경우보다 더 크게 발생하였고, CD 컬도 이면을 건조시킨 경우가 미세하나마 더 크게 발생

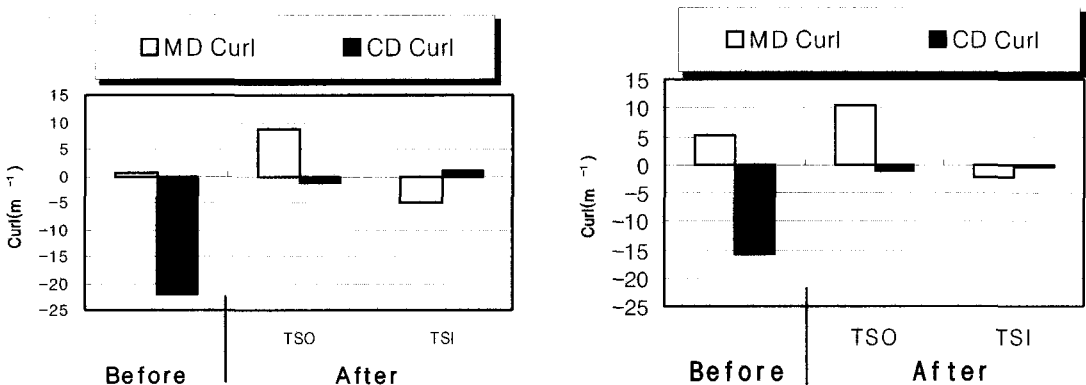


Fig. 6. Curl of sample 1(left) and sample 2(right) at different bending methods with moisture.

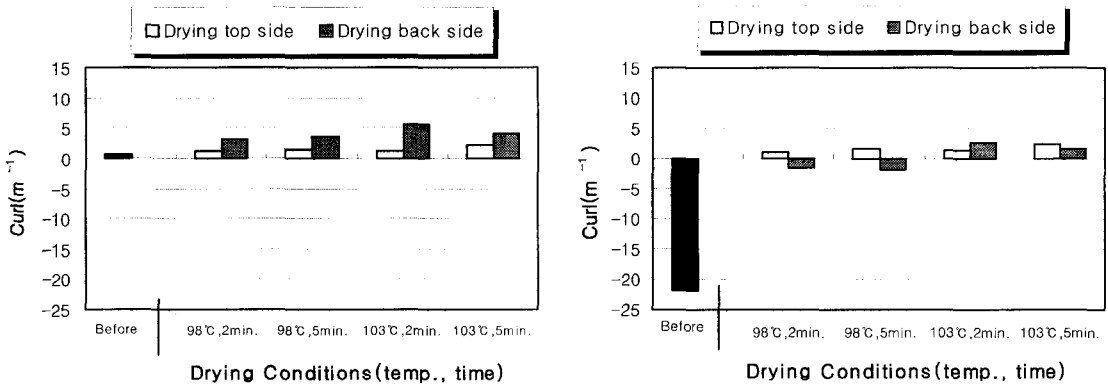


Fig. 7. MD Curl(left) and CD curl(right) of sample 1 at drum dryer after spraying water.

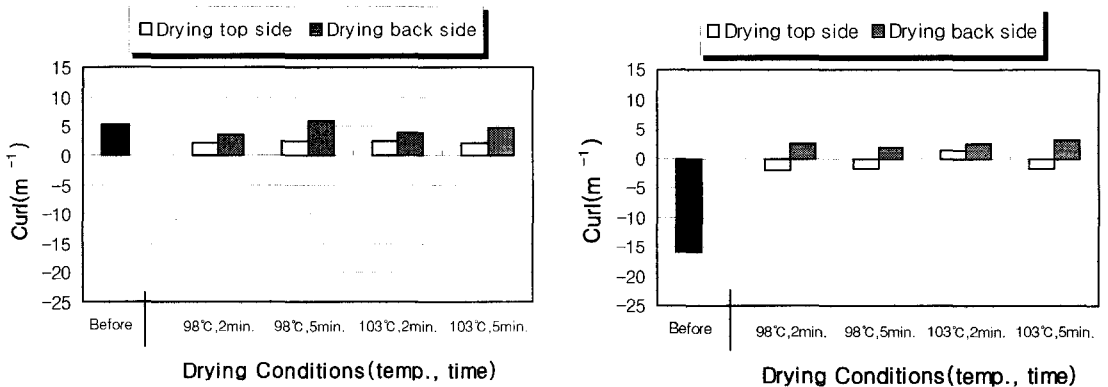


Fig. 8. MD Curl(left) and CD curl(right) of sample 2 at drum dryer after spraying water.

하였다. 이면을 건조시켰을 경우 컬이 더 크게 나타나는 이유는 건조율이 증가하면 컬이 더 많이 발생하기 때문인데, 젖어 있는 이면에서 건조율이 더 높기 때문에 이면을 건조시킨 경우가 컬이 더 많이 발생하게 되는 것이다. Sample 1과 2에서 건조 온도가 증가하면 컬이 미약하게나마 더 크게 발생하는 것을 확인할 수 있는데 이는 건조 온도가 증가하면 건조기 열판과 접한 면으로부터 반대쪽으로 수분이 이동하여 건조될 때, 두께 방향으로 열 경사가 발생되기 때문이다.²⁾

3.2.4 평판 건조기 건조가 컬 감소에 미치는 영향

평판 건조기에서 수분을 첨가하여 건조하였을 경우의 컬 변화는 Fig. 9와 같다.

잉크젯 전용지 sample 1과 2를 평판 건조기에서

건조했을 경우 MD와 CD 컬은 모두 back side curl을 보였다. 평판 건조기에서는 어느 면을 건조하던

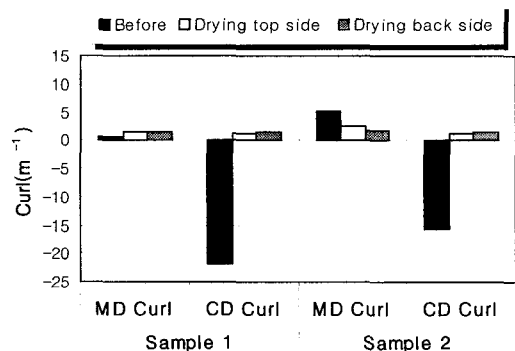


Fig. 9. Curl of sample 1 and sample 2 at flat dryer after spraying water.

지 컬의 크기에는 큰 차이가 나지 않았다. MD 컬은 sample 1에서는 0.73에서 1.41~1.48의 범위로, sample 2에서는 5.26에서 1.58~2.42의 범위로 감소한 반면 CD 컬은 sample 1에서는 -21.88에서 1.19~1.48의 범위로, sample 2에서는 -15.76에서 1.19~1.30의 범위로 현저하게 감소하였다. 따라서 sample 1과 2를 가지고 수행한 모든 실험 중에서 수분을 첨가한 후 평판 건조기에서 건조한 경우가 MD와 CD 컬 감소에 가장 효과가 좋았다.

4. 결론

잉크젯 전용지의 원지 복사용지는 롤 지름이 작을 수록, 그리고 권취기간이 길 수록 MD 컬이 크게 나타났으나, CD 컬은 롤 지름과 권취기간에 따라 큰 차이가 없었다. 특히, 롤 지름이 작을 경우 MD 컬이 심하게 나타났다. 복사용지를 다양한 상대습도에 노출시켰을 경우, 상대습도가 높을 수록 MD와 CD 컬이 감소하는 경향을 보였다. 상대습도 변화에 의해 MD 컬보다는 CD 컬의 변화폭이 크게 나타났다.

잉크젯 전용지를 생산하는 과정 중에 종이의 컬을 감소시키는 방안으로 수분을 분사하지 않은 조건에서 MD 방향으로 감아주기만 했을 경우는 sample 1과 2 모두에서 CD 컬 감소에 뚜렷한 효과를 나타내지는 못하였다. 반면 수분을 분사한 조건에서 MD 방향으로 감아주었을 경우에는 CD 컬 감소에 큰 효과가 있다. 특히 sample 1과 2 모두 표면이 안쪽으로 향하도록 감아줄 경우 CD 컬이 현저하게 감소하였고 또한 MD 컬도 큰 변화가 없었다. 그러나 표면이 밖으로 향하도록 감아주었을 경우에는 MD 컬이 크게 증가하였다.

잉크젯 전용지에 수분을 분사한 후에 롤에 감아 대기중에서 건조했을 경우보다 수분 분사 후에 드럼 건조기나 평판 건조기의 열기 조건에서 건조할 경우 MD와 CD 컬이 더 많이 개선된다. 잉크젯 전

용지를 평판 건조기에서 건조하였을 경우에는 어느 면을 건조하던지 컬 크기에는 큰 차이가 없이 현저하게 감소하였다. 또한 MD와 CD 컬이 드럼 건조기에서 건조시보다 더 작게 발생하였다.

인용문헌

1. Niskanen, K., Paper Physics Book 16 in series of Papermaking Science and Technology, Fapet Oy, pp 239-241 (1998).
2. Glynn, P., Jones, H. W. H. and Gallay, W., Drying stresses and curl in paper, Pulp and Paper Mag. Can., 62(1):T39-48 (1961).
3. Gallay, W., Stability of dimensions and form of paper, Tappi J., 56(12):90-95 (1973).
4. Casey, J. P., Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology (3rd edition), Wiley Interscience, Vol. 3. p. 1981 (1981).
5. Edwards, P. J., Murray, A. F., Papadoopoulos, G., Wallace, A. R., Barnard, J. and Smith, G., Paper curl prediction and control using neural networks, Tappi J., 82(7): 145-151 (1999).
6. Lebel, R. and Stradal, M., Control of fine paper curl in papermaking, Pulp & Paper Canada, 83(6):112-117 (1982).
7. Green, C., Solving curl problems, Solutions, November 2001, pp. 40-43 (2001).
8. Åkesson, R., LAS for surface treatment and decurling, J. Korea Tappi, 24(4):66-72 (1992).
9. Mann, K. C. and Huff, L. A., Curl control with a Coanda actuator system, Tappi J. 75(5): 133-137 (1992).
10. Uesaka, T., Paper curl causes, diagnosis, and control, J. Pulp & Paper, (12): 99-110 (1998).
11. Kalpakjian, S., The Manufacturing Process for Engineering Materials (2nd edition), Addison Wesley. p. 417 (1991).
12. Lim, Y. J., Effect of physical treatments on paper curl, MS Thesis, Korea Uni., 20-51 (2004).