

원료 섬유 구성이 도공지 터짐에 미치는 영향

심규정, 윤혜정, 오규덕, 이학래, 한장선¹⁾, 여승욱¹⁾, 이용민¹⁾

서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부

¹⁾(주) LG화학 기술연구원

The effect of pulp composition on the fold crack of coated paper

Kyujeong Sim, Hye Jung Youn, Kyu Deok Oh, Hak Lae Lee, Chang Sun Han¹⁾,

Seung Uk Yeu¹⁾ and Yong Min Lee¹⁾

Dept. of Forest Sciences, CALS, Seoul National University

¹⁾LG Chem, Ltd.

1. 서 론

종이의 외양 및 인쇄적성을 향상시키기 위해 잡지, 전단지, 포장용지 및 우유팩 등은 표면에 코팅이 이루어지고, 이후 인쇄 및 접힘 공정 (folding operation)을 거치게 된다. 특히 도공지가 고품질의 포장용지로 사용되면서 3층 또는 4층 도공이 이루어지고 이에 따라 도공층이 터지는 문제가 많이 발생하게 된다. 도공지를 비롯한 종이 및 판지가 접힌 부분에서 터짐이 발생하는 것을 fold crack이라고 하며, 최종 제품의 강도 및 미관을 저해하는 등 품질 불만요소이기 때문에 경제적인 손실이 매우 크다고 할 수 있다. 도공지 터짐의 원인은 도공층에서의 터짐과 도공원지까지의 터짐으로 나눌 수 있다. 도공층의 경우 도공량, 안료 종류, 바인더 종류 및 첨가량 등이 도공지 터짐에 영향을 미치는 주된 요인들이다¹⁾. Yang 등²⁾은 다층 도공 시 라텍스 바인더 함량의 증가 및 낮은 Tg의 라텍스 바인더 사용이 도공층의 탄성계수 감소로 인한 유연성 증가로 인해 fold crack을 감소시켰고, 또한 각 층에서의 도공량 변화 및 전분과 같은 코바인더의 함량 변화로 fold crack을 감소시킬 수 있었다고 보고하였다. Alam 등³⁾ 역시 다층 도공 실험을 통해 각 도공층에서의 두께 및 라텍스 바인더 종류에 의한 강성 변화가 fold crack에 영향을 미치는 바를 평가하였다. 도공원지의 경우 원지의 두께 감소를 통해 fold

crack을 줄일 수 있음⁴⁾이 보고되었지만 평량 및 두께의 증가 시 fold crack의 발생을 줄일 수 있는 방안을 제시하지 못하며, fold crack 감소를 위해 어떤 원지의 특성이 갖 추어져야 하는지에 대한 체계적인 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 도공원지의 특성 중 원지를 구성하는 원료 섬유의 혼합비를 달리하여 도공원지를 제작한 후 일정한 조성분의 도공액을 코팅하였으며, 도공원지 측면에서 fold crack에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

도공원지 제작을 위해 공시펄프로서 활엽수 표백 크라프트 펄프 (Hw-BKP)와 침엽수 표백 크라프트 펄프 (Sw-BKP)를 사용하였다. 도공원지 제작 시 내침 사이즈제로 AKD (alkyl ketone dimer)를 사용하였다.

도공액 제조 시 무기안료로 Hydrocarb 60과 Setacarb 97을 사용하였고 바인더로는 SB latex A (Tg : -19.0°C)와 B (Tg : -6.0°C)을 사용하였다. 코바인더로 전분과 CMC를 사용하였고 그 밖에 분산제, 내수화제, 윤활제 그리고 NaOH 용액을 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 펄프 종류 및 혼합비에 따른 수초지 제작

실험용 Valley beater를 이용하여 활엽수 표백 크라프트 펄프 (Hw-BKP)와 침엽수 표백 크라프트 펄프 (Sw-BKP)를 헤리한 후 각각 여수도 450 mL CSF, 600 mL CSF가 되도록 고해하였다. Hw-BKP와 Sw-BKP의 무게비가 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50이 되게 혼합하여 교반하였고 내침 사이즈제인 AKD를 전건섬유 무게 대비 0.1% 투입하여 1분간 반응하였다. AKD 반응 직후 사각 수초지기를 이용하여 수초하였고 왕복 5회 쿠치하였다. 3.5 bar에서 5분간 프레스한 후 120°C의 드럼 드라이어를 이용하여 속도 20 cm/min으로 건조하였다. 건조된 수초지는 온도 23°C, 상대습도 50%의 항온항습 조건에서 24시간 이상 조습처리 하였다. 펄프 섬유 혼합비별로 제작된 수초지의 조습 후 최종 평량은 150 g/m²이 되도록 하였다. 마지막으로 펄프 종류 및 혼합비에 따라 제작된 수초지에 코팅 처리하기 전, 선압 50 kgf/cm, 온도 60°C에서 캘린더링 처리

하였다.

2.2.2 도공액 제조 및 코팅

펄프 종류 및 혼합비에 따라 제작된 도공원지 위에 이중도공하기 위하여 Table 1과 같이 pre-coating층과 top-coating층의 도공액을 제조하였다. Blade coater를 이용하여 100 m/min의 속도에서 코팅을 실시하였으며 도공 후 130℃의 열풍과 100℃ IR을 이용하여 건조하였고 온도 23℃, 상대습도 50%의 항온항습 조건에서 24시간 이상 조습처리 하였다. 조습 후 도공지의 최종 도공량은 $36 \pm 2 \text{ g/m}^2$ 이었다.

Table 1. Pre- and top-coating color formulation

	Pre-coating layer		Top-coating layer	
Pigment	GCC (Hydrocarb 60)		GCC (Setacarb 97)	
Binder	SB latex A	7 pph	SB latex B	12 pph
Co-binder	Starch	4 pph	CMC	0.15 pph
Dispersant	0.1 pph		0.1 pph	
Insolubiliser	0.5 pph		0.5 pph	
Lubricant	0.5 pph		0.5 pph	
NaOH	0.1 pph		0.15 pph	
TSC, %	60		67	

2.2.3 펄프 종류 및 혼합비에 따른 도공원지의 물성 평가

Micrometer (L&W Co.)를 이용하여 캘린더링 전, 후의 두께를 측정하여 벌크 변화를 평가하였다. TAPPI test method 494 om-96에 의거하여 도공원지의 인장강도 및 신장률을 평가하였다.

2.2.4 펄프 종류 및 혼합비에 따른 도공지의 터짐 현상 평가

2.2.4.1 도공면 인쇄

RI tester를 이용하여 도공면을 인쇄하여 도공면과 fold crack간의 구별이 잘 되도록 하였다.

2.2.4.2 도공지 folding

펄프 종류 및 혼합비에 따라 제작된 도공지의 folding을 위해 Gravimetric water retention meter (AA-GWR)과 실험용 프레스 두 가지를 사용하였다. 각각의 기기를 이용하여 1초 동안 folding을 실시하였다.

2.2.4.3 Fold crack 평가

도공지의 fold crack 평가는 folding면 안쪽이 0°, 30°인 상태에서 이루어졌다. 0°의 경우 총 7개의 folding line을 모아서 평가하였고 30°의 경우는 folding line 하나에 대해 crack 발생 정도를 평가하였다.

0° 평가 시 모아진 folding line 부분에 대해서, 30° 평가의 경우 하나의 folding line에 대해서 스캔 이미지를 얻은 뒤 binary 이미지로 전환하였고, Eq.[1]과 같이 전체 이미지 넓이 대비 crack이 발생한 부분의 넓이 비를 fold crack이라 정의하고 이를 평가하였다.

$$Fold\ crack, \% = \frac{Cracked\ area}{Scanned\ area} \times 100 \quad Eq. [1]$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 원료 섬유 혼합비에 따른 수초지의 물성

Hw-BKP와 Sw-BKP 두 가지 펄프 섬유의 혼합비를 달리하여 제작한 도공원지의 벌크, 인장 특성 등을 평가하였다.

Fig. 1은 원료 섬유 혼합비에 따른 도공원지의 캘린더링 전, 후 벌크 변화를 보여주고 있다. 캘린더링 처리 전에는 Hw-BKP와 Sw-BKP의 혼합비가 50:50인 조건에서 Hw-BKP의 비율이 점점 증가함에 따라 벌크도 점점 증가하였다. 일반적으로 침엽수 펄프 섬유의 유연성이 활엽수 펄프 섬유에 비해 상대적으로 높기 때문에 각각의 펄프

원료 섬유 구성이 도공지 터짐에 미치는 영향

섬유의 고해도가 동일하고 침엽수 펄프 섬유의 혼합비가 낮아지게 되면 종이의 밀도는 감소, 즉 벌크가 향상된다. 캘린더링 이후에는 원지의 밀도가 높아져 벌크가 감소했으며 혼합비에 관계없이 비교적 균일한 벌크를 가졌다.

Fold crack은 일반적으로 원지 특성 중 원지의 두께에 의해서도 영향을 받으며 두께가 증가함에 따라 fold crack 발생률도 증가한다. 따라서 동일한 평량 조건하에 동일한 벌크를 가진다는 것은 두께가 같다는 것을 의미하므로, 두께가 아닌 혼합비에 따라 다르게 발현되는 서로 다른 강도적 성질들이 fold crack에 미치는 영향을 평가할 수 있을 것이라 판단하였다.

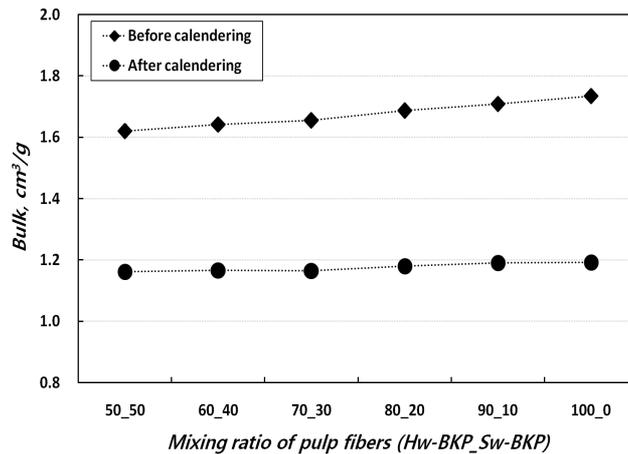


Fig. 1. Change of bulk before and after calendering with mixing ratio of Hw-BKP and Sw-BKP.

Fig. 2는 원료 섬유 혼합비에 따른 도공원지의 인장강도와 신장률 결과를 나타낸 그래프이다. Hw-BKP와 Sw-BKP의 혼합비가 50:50에서 Sw-BKP의 비율이 점차 줄어들어 따라 종이의 인장강도도 함께 감소하는 경향을 보였다. Hw-BKP와 Sw-BKP의 고해도가 같고 이들 간의 혼합비가 다르기 때문에 섬유장이 상대적으로 더 긴 침엽수 펄프 섬유의 비율이 감소할수록 종이의 인장강도도 감소하였다.

종이의 신장률은 종이 인장력을 받는 동안 발생된 상대적 변형률로서, Fig. 2의 오른쪽에 원료 섬유 혼합비에 따른 도공원지의 신장률 결과가 나타나 있다. Hw-BKP와 Sw-BKP 비율이 50:50 ~ 80:20 범위까지는 신장률이 비슷한 값을 나타냈으며 이후 침

엽수 섬유 비율이 감소함에 따라 신장률도 함께 감소하였다. 즉, 침엽수 펄프 섬유의 비율이 점차 증가하면서 침엽수 펄프 섬유의 신장률이 활엽수 펄프 섬유보다 더 좋기 때문에 신장률이 증가하였다. 그러나 Hw-BKP와 Sw-BKP의 혼합비 80:20에서 침엽수 비율이 점점 더 증가하면 인장강도는 증가할지라도 신장률의 증가에 있어서는 한계가 있음을 보여주었다.

종이가 접히게 되면 접힘 바깥쪽 부분에서는 인장력이 가해지게 되며, 종이가 이러한 인장력에 대해 충분한 인장강도 및 신장률을 가져야 원지 파괴에 의한 fold crack 발생을 방지할 수 있다. 그러나 종이의 인장강도와 신장률이 너무 높아 접힘 시 발생하는 인장력에 대해 파괴되지 않고 잘 신장할 수 있더라도, 원지 위의 도공층이 전달되는 인장력에 대해 견디지 못한다면 도공층 파괴에 의한 fold crack이 발생하게 된다. 따라서 원지의 인장특성이 매우 우수하면 접힘에 대한 원지 파괴가 발생하지 않지만 도공층만이 단독으로 파괴될 수 있기 때문에, 접힘에 대한 원지 및 도공층 특성 변화를 함께 고려하여야만 fold crack 발생을 줄일 수 있는 조건을 선정할 수 있을 것이라 판단된다.

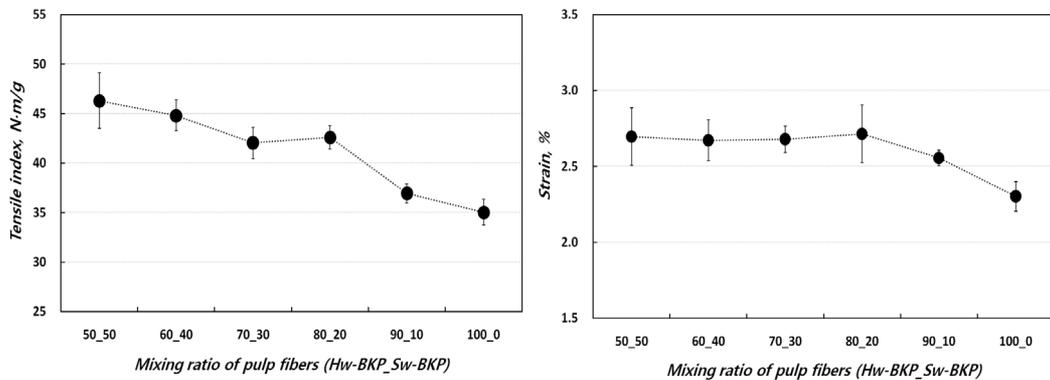


Fig. 2. Tensile strength and stain of base paper with mixing ratio of Hw-BKP and Sw-BKP.

3.2 원료 섬유 혼합비에 따른 도공지의 터짐 현상

원료 섬유 혼합비가 상이한 도공원지 위에 일정한 조성분의 도공액으로 코팅을 실시하여, 종이의 접힘 시 도공원지를 구성하는 펄프 섬유의 혼합비가 도공지 터짐에 미치는 영향을 평가하였다.

Fig. 3은 AA-GWR와 실험용 프레스를 각각 이용하여 folding을 실시한 후 7개의 folding line을 모아 평가한 fold crack 결과이다. AA-GWR로 folding 시 Hw-BKP와 Sw-BKP의 혼합비가 50:50일 때 fold crack 비율이 가장 높았고 편차 또한 가장 큰 결과를 보였다. 침엽수 펄프 섬유의 비율이 감소하고 활엽수 펄프 섬유의 비율이 증가함에 따라 90:10까지는 지속적으로 fold crack이 감소하여 최소값에 도달하였으며 편차도 가장 작았다. 그러나 혼합비가 100:0으로 활엽수 펄프 섬유만으로 원지가 구성되어 있을 경우 fold crack이 다시 증가하였다. 실험용 프레스를 이용하여 folding 시 50:50 ~ 70:30 범위에서 침엽수 펄프 섬유 비율이 감소함에 따라 fold crack이 증가하였지만 여전히 50:50 조건에서는 편차가 매우 컸다. 그러나 그 이후로는 fold crack이 감소하여 90:10 조건에서 fold crack 발생률이 가장 낮았고, 활엽수 펄프 섬유로만 구성 시 fold crack이 다시 증가하는 결과를 나타냈다.

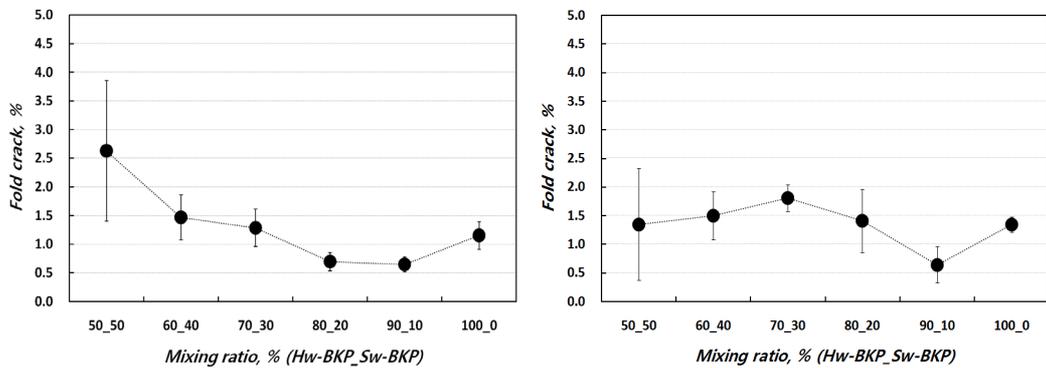


Fig. 3. Fold crack of coated paper made from different mixing ratio of Hw-BKP and Sw-BKP (left: AA-GWR, right: press, 7 samples together, 0°, scanner).

Fig. 4의 왼쪽은 AA-GWR을 이용하여 folding을 실시한 후 30° 상태에서의 folding line 1개에 대한 fold crack 결과이다. Hw-BKP와 Sw-BKP의 혼합비가 60:40일 때 fold crack 비율 및 편차가 가장 높았으며 이후 침엽수 펄프 섬유의 비율이 감소함에 따라 fold crack도 지속적으로 감소하여 90:10 조건에서 최저값을 나타냈다. 그리고 활엽수 펄프 섬유만 존재 시 fold crack이 다시 증가하였다. 프레스를 이용하여 folding 시 Hw-BKP와 Sw-BKP의 혼합비가 60:40일 때 fold crack이 가장 많이 발생하였고,

이후 마찬가지로 90:10 조건까지는 fold crack 발생이 감소하여 최저값을 나타낸 후 다시 100:0 조건에서 증가하였다. AA-GWR을 이용한 결과와 경향성은 비슷하나 전체적으로 모든 혼합비 조건에서 fold crack 값의 편차가 매우 크게 나타났다.

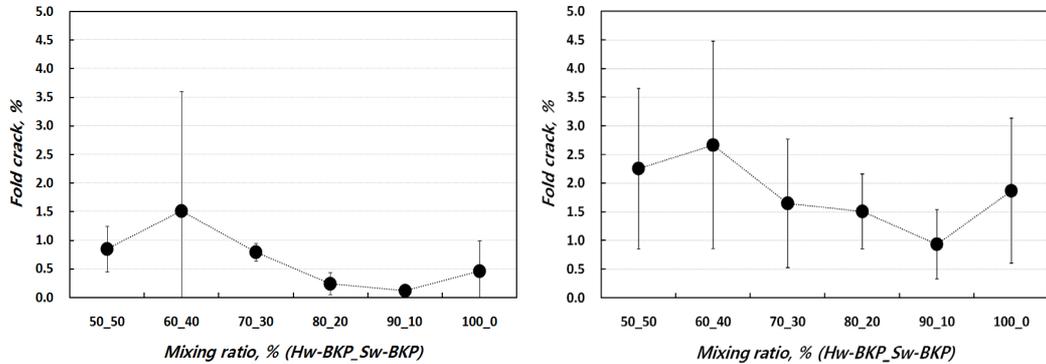


Fig. 4. Fold crack of coated paper made from different mixing ratio of Hw-BKP and Sw-BKP (left: AA-GWR, right: press, 1 sample, 30°, scanner).

모든 분석방법별 fold crack 결과에서 공통적으로 나타나는 현상은 Hw-BKP와 Sw-BKP의 혼합비가 50:50 ~ 70:30인 범위에서는 fold crack 발생률이 일정하지 않고 편차도 다소 크게 발생한다는 점이었다. 반면에 Hw-BKP와 Sw-BKP의 혼합비가 70:30 ~ 100:0인 범위에서는 90:10까지 fold crack이 지속적으로 감소하다가 활엽수만 존재하는 100:0 조건에서 다시 증가하는 경향을 공통적으로 나타냈다. 혼합비 70:30에서 90:10까지 fold crack이 감소하였다가 100:0에서 다시 증가하는 것은, 원료 섬유 혼합비에 따라 인장강도, 신장률과 같은 인장특성 등 원지의 물성 변화가 fold crack 변화에 영향을 주는 것으로 판단된다. 도공지에 folding을 가할 시 바깥쪽으로는 인장력이 작용하고 안쪽으로는 압축력이 작용한다. 활엽수 펄프 섬유만 존재하는 것보다 침엽수 펄프 섬유가 혼합되면 인장강도 및 신장률이 증가하기 때문에 바깥쪽에 작용하는 인장력에 대한 저항성이 더 증가할 것이다. Sw-BKP의 비율이 0%에서 10%로 증가한 경우에는 fold crack 감소에 긍정적인 영향을 끼치지만 그 이상을 차지할 경우 fold crack이 다시 증가하는 것으로 보아, 원지의 인장특성 향상이 원지 자체의 터짐은 방지할 수 있는 여지는 있으나 그 위의 도공층의 터짐까지 함께 감소시키지는 못하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

원료 섬유 혼합비를 달리하여 제작한 도공지에 대해 여러 가지 분석법을 적용하여 fold crack을 평가하였다. Hw-BKP와 Sw-BKP의 혼합비가 90:10인 조건에서 가장 낮은 fold crack을 나타냈고, 이 조건을 기준으로 침엽수 펄프 섬유 비율이 증가하거나 또는 Hw-BKP만 존재하는 100:0 조건에서 fold crack이 증가하였다. 종이의 folding 시 바깥 쪽에 작용하는 인장력에 대해 원지가 어떤 인장특성을 가지고 반응하는지가 중요한 요인으로 판단되며, Hw-BKP와 Sw-BKP의 적절한 혼합비를 통해 fold crack을 최소화시킬 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 (주) LG화학의 지원을 받아 수행된 연구임.

인용문헌

1. Barbier, C., Folding of paper a literature survey, Report 259, KTH, Department of solid mechanics, Stockholm, Sweden, (1999).
2. Yang, A., Xie, Y., Renjung, W., From theory to practice: improving the fold crack resistance of industrially produced triple coated paper, PaperCon conference, (2011).
3. Alam, P., Toivakka, M., Balancing between fold-crack resistance and stiffness, Journal of composite materials, Vol. 43(11):1265-1283, (2011).
4. Barbier, C., Larsson, P., Östlund, S., Experimental investigation of damage at folding of coated papers, NPPRJ 17(1):34-38, (2002).