

원지의 충전물 함량이 도공지의 접힘 터짐에 미치는 영향

서동일 · 오규덕 · 이학래[†] · 윤혜정

접수일(2015년 3월 3일), 수정일(2015년 4월 14일), 채택일(2015년 4월 17일)

Effect of Ash Content in Base Paper on Fold Cracking of Coated Paper

Dongil Seo, Kyu Deok Oh, Hak Lae Lee[†] and Hye Jung Youn

Received March 3, 2015; Received in revised form April 14, 2015; Accepted April 17, 2015

ABSTRACT

High loading of base paper is regarded as one of reasons to aggravate fold cracking of coated paper. But the relationship between the ash content of base paper and fold cracking of coated paper has not been shown yet. We investigated the effect of ash content in base paper on the fold cracking of coated paper. Handsheets with three different ash contents (19.5-23.5%) were prepared, and double layered coating were applied on the top side of the handsheets. A gravimetric water retention meter (AA-GWR) was employed to fold the paper with a uniform pressure after solid printing on the coated surface. The fold cracking was digitized by calculating the cracked area by means of an image analysis technique. Results suggested that high ash content in the base paper increased the fold cracking of the outer surface of coated papers. In the case of inner surface greater fold crack areas were obtained, and the number of cracks decreased because long and wide cracks were formed. Reduction in tensile strength and thickness appeared to give greater fold cracking for highly loaded papers.

Keywords: Ash, Coated paper, Coating, Fold cracking, Image analysis, Filler

1. 서론

오늘날 제지업계의 주요한 화두 중 하나는 주재료이자 천연자원인 펄프 사용을 줄이는 것이다. 국내의 많은 백상지 제조업체는 이를 위해 종이 내에 회분 함량

을 늘리는 방안을 강구하고 있다. 최근 들어 충전물을 고분자 등으로 전처리하는 기술 등 다양한 방안이 종이 내 충전물의 함량을 증가시킬 수 있는 방안으로 소개되면서 제지업체는 해당 업체의 공정에 알맞은 기술을 선택하여 적용하고자 많은 노력을 기울이고 있다.¹⁾ 그 결

• 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부 (Dept. of Forest Sciences, Seoul National University, Seoul, 151-921, Korea)

† 교신저자 (Corresponding Author): lhakl@snu.ac.kr

과 최근 5년 사이에 몇몇 백상지업체에서는 충전물 함량을 5% 포인트 가량 상승시키기도 하였다. 최근 들어 잡지, 광고전단물, 카탈로그, 캘린더용으로 사용되는 아트지 지종에서 접힘 터짐이 발생한다는 보고가 늘고 있는데, 그 원인으로 최근 증가된 원지의 충전물 함량이 주된 원인의 하나로 지목되고 있다.

접힘 터짐은 코팅된 종이를 접었을 때 접힘면에 위치한 도공층이 갈라지거나 떨어져나가는 현상을 일컫는다. 접지 과정에서 접히는 면의 바깥쪽에는 인장 응력이 발생하고, 안쪽 부분에는 압축 응력이 발생하는데, 도공지를 구성하는 원지나 도공층이 이를 견디지 못하고 붕괴되면 접힘 터짐이 발생한다.²⁾ 도공층의 원료조성이나 도공층의 구조 등이 도공층의 접힘 터짐에 미치는 영향 등은 보고된 바 있으나^{3,4,5)} 아직 도공원지의 충전물 함량과 접힘 터짐의 관계를 보고한 연구는 없었다.

접힘 터짐 문제는 고평량 지종 뿐 아니라 저평량 지종에서도 그 문제가 심각하다. 일반적으로 고평량 지종이 접힘 터짐 문제가 크게 발생해야 하지만 250-300 gsm에 해당하는 고평량 지종은 접지에 앞서 패션처리를 하기 때문에 접힘 터짐의 문제가 덜 발생하고 있기도 하다. 그러나 일반적으로 평량이 100 - 200 gsm 사이에 존재하는 지종들은 패션작업을 거치지 않기 때문에 터짐 문제가 빈번하게 발생하고 있는 실정이다.

도공지의 접힘 터짐에 대한 연구는 그 발생 원인을 밝히거나 문제를 개선하기 위한 방안을 찾기 위한 목표를 가지고 시행되어 왔다. 그 과정에서 많은 연구팀들은 접근 방향을 도공 원지와 도공층의 두 가지 측면으로 나누어 문제에 다가가고 있으며, 원지와 코팅층 모두 터짐에 영향한다는 사실을 밝혀내고 있다.^{3,6,7,8)}

도공 원지를 주안에 두고 수행했던 연구는 펄프의 구성, 원지의 평량이나 구조, 기계적 성질 등과 접힘 터짐의 관련을 구명하고자 하였다. 활엽수가 주를 이루는 도공원지에 침엽수 펄프를 10% 가량 섞으면 접힘 터짐이 완화된다⁶⁾고 보고된 바 있으며, 패션처리를 하지 않는다면 평량이 높을수록 터짐이 악화된다⁹⁾는 연구결과도 보고된 바 있었다. 그러나 고평량 지종의 경우에는 원지를 다층으로 구성하거나 패션 처리를 한다면 문제를 줄일 수 있다.¹⁰⁾ 기계적 성질과 관련해서는 고해도를 높이거나 지력증강제를 사용해 원지의 인장강도를 높이는 것은 오히려 터짐에 악영향을 미치는 것

으로 알려져 있다.^{6,11)} 만약 인장강도와 접힘 터짐이 반비례하는 관계라면 충전물 함량 증대에 따라 접힘 터짐이 완화될 여지가 있다. 충전물 함량이 늘수록 인장강도가 저하되기 때문이다.

도공층의 특성과 접힘 터짐의 관계를 밝히는 연구도 활발히 진행되고 있다. 도공 안료의 종류에 따른 접힘 터짐의 변화,³⁾ 이중 도공을 하는 경우에 pre층과 top층의 비율이 미치는 영향⁴⁾ 등 실제적인 의문에 대한 해답을 얻기 위한 연구도 수행된 바 있다. 이때 pre층의 바인더로 사용하는 전분의 양이 많아지고, top층에 사용하는 라텍스 유리전이온도가 올라갈 때 접힘 터짐이 악화된다는 보고도 있었다.^{3,5)} 이러한 터짐을 완화시키기 위한 방안으로는 안료나 라텍스의 종류와 투입량을 변화시켜 도공층의 신장률을 높이는 방법이 알려져 있다.¹²⁾

접힘 터짐을 평가하는 방법으로는 터짐 부위를 스캔하여 이미지 분석을 통해 크랙이 발생한 영역의 넓이를 계산한 사례가 있었다.^{7,8)} 이러한 방식은 스캔하는 영역의 크기에 따라 터짐이 발생한 영역의 비율이 변하기 때문에 넓이 값은 절대적이지 않으며, 다만 동일한 조건에서 이루어진 실험 대상에 대하여 상대적인 비교를 할 수 있다.

본 연구의 목적은 최근 들어 심화된 접힘 터짐이 도공 원지의 충전물 함량이 늘어난 데서 오는지를 밝히는 것이다. 기존의 연구에서 널리 사용되는 이미지 분석법을 이용하여 접힘 터짐을 분석하였고 분산분석을 통해 결과의 유의성을 확인하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

실험실에서 제조한 수초지를 도공 원지로 사용하였다. 펄프는 유칼립투스 Hw-BKP로 여수도 CSF 450 mL로 고해하여 준비하였다. 원지에 투입한 충전물은 오미야코리아의 중질탄산칼슘(GCC) Hydrocarb 75F 이었다. 충전물을 보류시키기 위해 양이온성 폴리아크릴아미드(C-PAM) Percol 63(BASF)을 보류제로 사용하였다. 코팅 안료로 GCC를 이용했으며 오미야코리아의 Hydrocarb 60과 Setacarb 77K 두 가지를 각각 pre층과 top층에 사용하였다. 바인더로는 pre층과 top층

에 LG화학에서 생산한 SB 라텍스 M710(Tg: -19℃, 입도: 180 nm)과 760(Tg: -6℃, 입도: 123 nm)을 각각 적용하였다. 코바인더로 에스테르 전분(Samyang Genex Corp., Korea)과 carboxymethyl cellulose(Finfix-5, CP Kelco, Korea)를 사용하였다. 도공지 인쇄를 위해 유성의 검정 잉크(Holbein Works, Japan)를 이용하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 도공 원지 제조 및 코팅

펄프 슬러리의 농도를 0.5 wt%로 준비하고 교반중 인 지료에 GCC와 C-PAM을 차례로 투입하여 충전물 함량이 19.5, 21.0, 23.5 wt%가 되도록 평량 150 gsm의 수초지를 제조하였다. 120℃의 실린더 드라이어를 이용하여 종이를 건조시켰고, 선압 42 N/m 압력의 소프트립 캘린더를 통과시킨 후에 온도 23℃, 상대습도 50% 조건의 항온항습실에서 조습시켰다.

도공액은 Table 1과 같이 준비하고 수초지의 top면에 이중으로 도공하였다. 메이요 코터를 이용하여 분당 100 m의 속도로 로드블레이드 코팅을 실시하였다. 도공량은 pre층과 top층 모두 20 gsm씩, 총 40 gsm이 되도록 로드를 바꾸어가며 코팅하였다. 건조가 완료된 샘플은 다시 한 번 위와 같은 조건에서 캘린더링하였다.

2.2.2 인쇄 및 접힘 터짐 평가

도공지를 길이 20 cm, 너비 2.5 cm로 자르고 스카치 테이프를 샘플의 양 끝에 붙여 대지에 고정시켰다. 롤러에 잉크를 고르게 묻히고 샘플의 길이 방향으로 RI 인쇄기를 이용하여 잉크를 도포하였다. 인쇄한 샘플은

완전히 건조되도록 항온항습 조건에서 24시간 이상 보관하였다.

종이를 접을 때 일정한 압력을 주기위한 장비로 보수도 측정에 사용되는 AA-GWR을 이용하였다. 접지에 앞서 터짐이 발생하지 않도록 조심스럽게 샘플을 구부려 장치의 틈에 위치시키고 1초간 압력을 가하였다. 접지를 끝낸 샘플은 90° 가량 접은 상태로 양쪽 끝을 고정하여 보관과정에서 추가적인 파괴가 일어나지 않도록 하였다.

스캐너(hp Scanjet 5530)로 2400 dpi의 터짐 이미지를 얻었다. 샘플은 30°로 꺾인 아크릴 거치대⁶⁾에 장착하여 구부러진 정도가 일정하게 스캔하였다. 스캔한 이미지에서 가로 0.8 mm, 세로 200 mm의 크기로 터짐이 발생한 영역을 추출하였다. 해당 이미지는 8-bit의 그레이스케일로 변환하고 문턱값을 동일하게 조정하였다. 그 후 바이너리 이미지로 전환하여 이미지 분석에 사용하였다. 이 작업을 통해 터짐이 일어난 영역은 하얗게, 온전한 부분은 검게 나타냄으로써 영역을 이치화하였다.

이미지 분석 프로그램 image J를 이용하여 터짐이 발생한 영역, 즉 희게 보이는 부분의 넓이를 백분율로 계산하였다.⁸⁾ 또, 터짐이 연결된 정도를 수치화하기 위해 하얗게 나타난 크랙의 개수를 측정하였다. 측정된 값의 크기가 작을수록 크랙이 연결되어 있음을 의미한다. 이때 노이즈를 감소시키기 위해 크랙의 넓이를 기준으로 하위 5%의 매우 작은 크랙을 제외하고 평가하였다.

2.2.3 원지 물성 측정

도공 원지의 두께는 Micrometer(L&W Co., Sweden)

Table 1. Coating formulation for the pre and top layer

	Pre-coating color	Top-coating color
Pigment, pph	100 (Hydrocarb 60)	100 (Setacarb 77K)
Binder, pph	7 (SB latex M710)	12 (SB latex 760)
Co-binder, pph	4 (Esterified starch)	0.15 (CMC)
Dispersant, pph	0.1	0.1
Insolubilizer, pph	0.5	0.5
Lubricant, pph	0.5	0.5
NaOH, pph	0.1	0.15
Total solids content, %	60	67

를 이용하여 측정하였다. Tensile tester(L&W Co., Sweden)를 이용하여 TAPPI Test method T494 om-96에 의거한 인장강도와 신장률을 측정하였다. 샘플의 휨강성과 내부결합강도는 각각 Bending resistance tester(L&W Co., Sweden)와 Scott internal bond tester(Precision, USA)로 T556 pm-95, T569 pm-00에 의거하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 도공지의 접힘 터짐

이미지 분석에 사용한 터짐 영역의 이미지를 Fig. 1에 나타내었다. 이들은 각각 다섯 개의 샘플을 한데 모아 나타낸 것이다. 해당 이미지는 도공지를 접지할 때 코팅층을 바깥쪽에 위치하도록 한 경우로, 본 연구에서는 이렇게 발생한 터짐을 바깥쪽 터짐이라 명하였다. 왼쪽의 이미지는 스캔한 이미지를 재단한 후에 그레이스케일로 변환한 것으로 음영을 확인할 수 있어 실제와 유사한 시각적 정보를 제공한다. 우측은 크랙의 넓이를 계산하기 위해 바이너리 이미지로 전환된 샘플의 모습이다. 검정과 흰색의 두 가지 색으로만 나타나기 때문에 실제 모습과는 거리가 있으나 이미지 분석을 위해서는 필수적이다. 이로부터 전체 영역 중에서 흰

색 부분이 차지하는 영역의 넓이를 백분율로 얻을 수 있다.⁸⁾

바깥쪽 터짐은 대체로 실금의 형태를 나타내고 있었다. 원지 내에 충전물 함량이 많아질수록 크랙의 너비가 확장하는 모습을 보였다. 크랙의 너비는 매우 중요한 의미를 갖는다. Fig. 1에서 가장 좌측에 위치한 회분 함량 19.5% 샘플은 처리된 이미지에서 흰 영역, 즉 터짐 영역이 발견되지만 실제 육안으로는 확인할 수 없는 수준이었다. 사람의 눈에 터짐이 보이려면 크랙의 너비가 일정 수준을 넘어야 한다는 것을 알 수 있었다.

이미지 분석을 통해 바이너리 이미지에서 크랙의 넓이를 백분율로 계산하고 평균치를 나타내었다(Fig. 2). 눈으로 인지할 수 있는 결과와 마찬가지로 회분함량 증

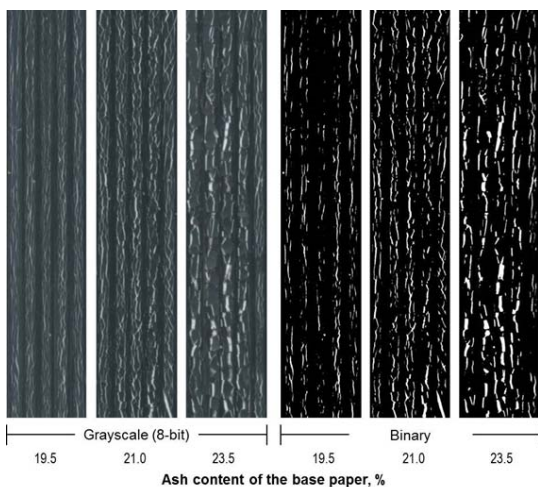


Fig. 1. Gray scale and binary images of outer fold cracking of the coated paper containing different amounts of ash (19.5, 21.0, 23.5%) in the base paper.

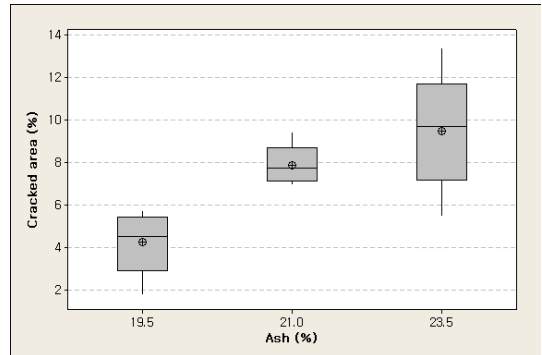


Fig. 2. Cracked area of the coated paper as a function of the ash level in the base paper. ($P = .003$, One-Way ANOVA)

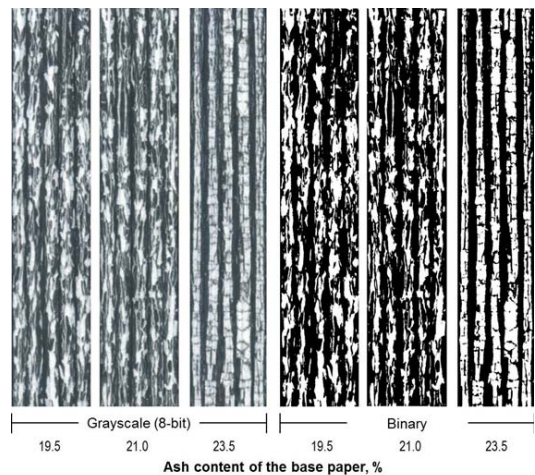


Fig. 3. Gray scale and binary images of the inner fold cracking for coated paper.

가에 따라 터짐 면적이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 충전물 함량이 19.5%에서 21.0, 23.5%로 늘어날 때 크랙의 넓이는 각각 1.9배, 2.3배 증가하였다. 분산분석을 통해 이들 간의 차이가 통계적으로 유의한 수준임을 밝힐 수 있었다($P=.003$). 이를 통해 원지의 고충전화가 최근 빈번하게 발생하는 아트지의 접힘 터짐에 영향을 주는 것으로 판단할 수 있었다.

코팅층이 안쪽에 오도록 접었을 때 발생한 터짐 현상은 Fig. 3에 나타내었다. 이들 안쪽 터짐은 Fig. 1의 바깥쪽 터짐과 비교하여 터짐의 정도가 훨씬 심함을 알 수 있다. 바깥쪽 터짐과 비교하여 크기가 크고 폭도 매우 넓었다. 도공층이 바깥쪽으로 접히는 경우에는 원래의 길이보다 인장력에 의해 신장되는 정도만 차이가 발생하지만 안쪽으로 접히는 경우에는 곡률반경이 0에 접근하는 상태로 변형되기 때문에 도공층이 단순한 압축변형으로 그치는 것이 아니라 원지로부터 분리되어 떨어져나가기 때문으로 보인다. 이 때문에 안쪽 터짐으로 발생한 크랙은 매우 랜덤한 형태를 나타내었다.

바깥쪽 터짐이 충전물 함량과 크랙 면적이 비례하는데 반해, 안쪽 터짐은 그러한 경향을 나타내지 않았다. 그러나 크랙의 형태가 원지의 충전물 함량에 따라 변하는 것을 확인할 수 있다. 낮은 회분함량에서 불균일한 형태의 크랙이, 충전물 함량이 높을 때는 접지한 선을 따라 굽은 선을 형성하며 떨어져나가는 경향을 보였다. 이러한 경향은 이미지 분석으로 크랙의 개수를 셸

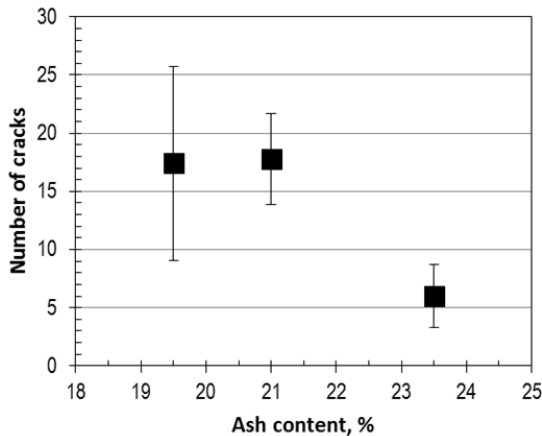


Fig. 4. Number of cracks on the coated paper as a function of the ash level in the base paper. The cracks that occupy the top 95% of the total crack area were included in the counting.

으로써 수치화 할 수 있었다. 연결된 영역을 하나의 크랙으로 보는 방법으로 개수를 세었을 때, 충전물 함량이 23.5%인 경우에 크랙의 개수가 가장 적은 것으로 나타났다(Fig. 4). 이는 충전물 함량이 증가할수록 연결된 형태로 안쪽 터짐이 발생한다는 것을 의미한다.

3.2 도공 원지의 물성

현장에서는 제품의 벌크를 유지하기 위해 캘린더 압력을 조절하고는 있지만, 본 실험에서는 캘린더 선압을 일정하게 유지했기 때문에 Fig. 5에 보이는 것처럼 충전물 투입량 변화에 따른 종이 두께의 변화가 불가피하게 발생하였다. 회분함량이 19.5%에서 21%와 23.5%로 증가하자 두께는 각각 1.5, 24% 감소하는 결과를 나타내었다.

종이를 반으로 접는 과정에서 바깥쪽에 위치한 부위는 신장하게 된다.¹³⁾ 종이가 얇을수록 180° 접었을 때 형성되는 말단 부위의 곡률이 커지기 때문에 변형이 상대적으로 크게 발생하며, 늘어나야 하는 비율이 증가함을 의미한다. 따라서 도공층의 신장률이 일정함을 고려한다면, 얇은 종이에 코팅된 도공층에 인장응력이 비교적 크게 작용하여 터짐이 더 많이 발생한 것으로 생각할 수 있다.

그러나 현장에서 발생하는 접힘 터짐의 원인을 두께 감소에 기인한다고 할 수는 없는 실정이다. 왜냐하면 캘린더 압력을 조절함으로써 두께를 일정한 수준으로 유지할 수 있기 때문이다. 그렇다면 최근의 접힘 터짐이 원지를 구성하는 섬유 밀도가 변한 데서 오는 것

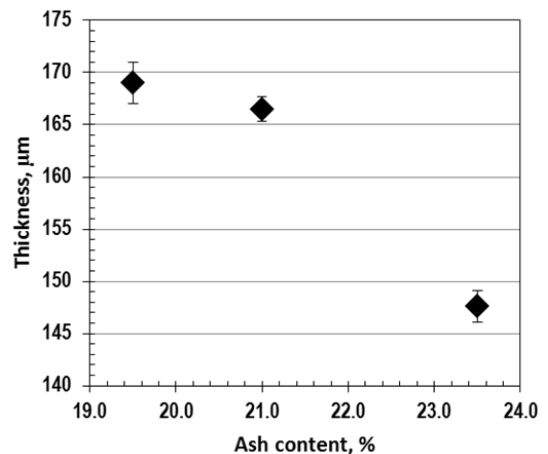


Fig. 5. Thickness of the base paper vs. ash content.

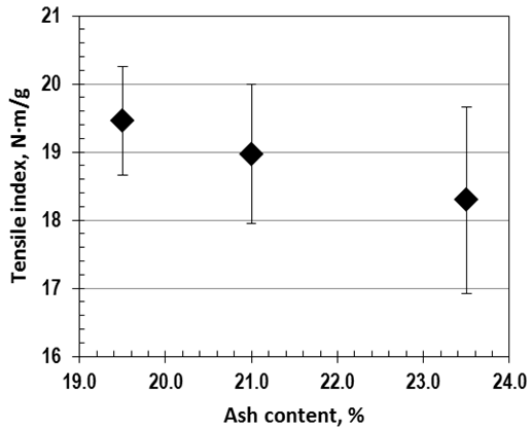


Fig. 6. Tensile index of the base paper vs. ash content.

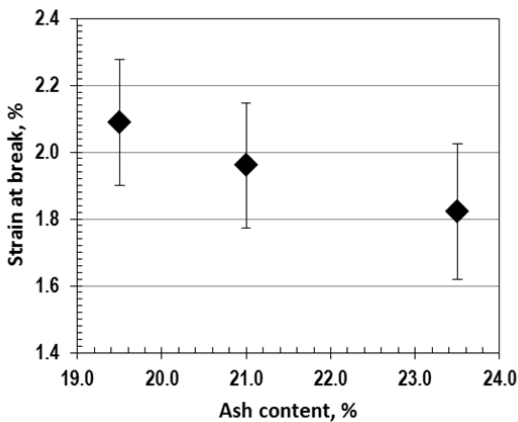


Fig. 7. Strain at break of the base paper vs. ash content.

은 아닌지 의심해볼 필요가 있다. 그 영향을 알아보는 실험이 수행된다면 문제 해결의 실마리를 제공받을 수 있을 것 같다.

충전물 함량 증대에 따른 원지의 인장강도와 변형률의 저하가 관찰되었다. 이는 섬유 사이에 위치한 충전물이 종이의 강도를 발휘하는 섬유 간 결합을 방해한 결과이다.¹⁾ 기존에 수행된 한 연구에서는 원지의 인장강도가 상승하면 인장응력이 도공층에 집중되어 터짐이 심화된다¹¹⁾고 보고했는데, 본 연구에까지 이와 같은 메커니즘이 적용되지는 않았다. 이 실험에서는 인장성능의 저하와 접힘 터짐의 증가가 함께 나타났다(Figs. 2, 6, 7).

기존의 연구에서 전분계 지력증강제를 이용해 인장

강도를 상승시켰던 것이 터짐을 악화시킨 원인일 수 있다. 도공층을 다룬 기존의 연구에 따르면 바인더로 전분이 많이 투입된 경우에 도공층의 신장률도 좋지 않을 뿐더러 접힘 터짐도 많이 발생한다.⁵⁾ 이는 전분이 건조된 후에 뻣뻣한 성질을 갖는데서 비롯된 현상이다.

아직까지 원지의 휨강성과 접힘 터짐의 상관관계를 보고한 연구는 없다. 다만 휨강성이 낮아 종이 유연하면 접힘 터짐이 완화된다는 가설이 제기되고 있기는 하다. 본 연구의 결과에 의하면 충전물이 많이 함유되어 휨강성이 낮은 샘플에서 접힘 터짐이 많이 일어났다(Fig. 8). 그러나 그렇다고 해서 휨강성과 터짐 사이에 반비례하는 관계가 있다는 것을 확증하기 위해서는 더욱 많은 연구가 필요하다.

회분함량이 19.5%에서 21%와 23.5%로 늘어나자 내부결합강도는 각각 20% 및 47% 감소하였다(Fig. 9). 고평량 지종의 경우에는 종이를 다층으로 구성하기도 하는데, 접지할 때 원지 내부에서 층 분리가 일어나면서 응력을 다수 흡수해 접힘 터짐을 완화시킨다는 보고가 있다.¹⁰⁾ 이러한 결과는 내부결합강도가 낮으면 터짐을 완화시킬 수 있다는 것을 의미하지만 Fig. 9의 결과는 그것이 항상 사실이라고는 할 수는 없다는 것을 보여주고 있다. Fig. 9는 단일 구조였던 본 실험의 도공지는 원지의 내부결합강도가 낮아진다고 해서 터짐이 적게 발생하지는 않음을 보여준다.

지금까지의 결과로 미루어볼 때 원지 강도와 접힘 터짐의 직접적인 상관관계를 찾거나, 종이 강도를 증가시키거나 감소시켜서 터짐을 완화하려는 시도는 본

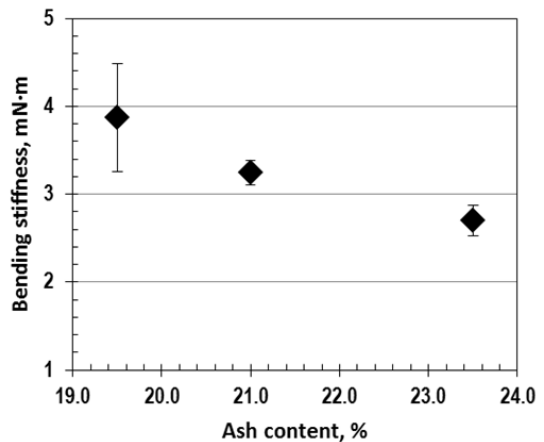


Fig. 8. Bending stiffness of the base paper vs. ash content.

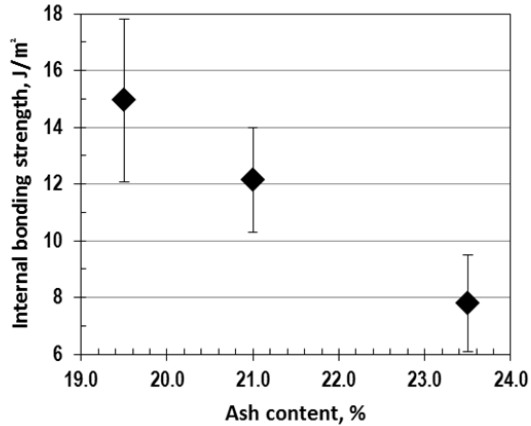


Fig. 9. Internal bonding strength (Scott bond energy) of the base paper vs. ash content.

질에서 어긋난 접근 방법일 가능성이 높다. 원지의 기계적 성질에서 해답을 찾기보다는 원지와 도공층을 구성하는 성분이나 구조를 변화시킴으로써 접힘 터짐의^{6,10)} 해결책을 찾는 것이 적절한 접근 방법일 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 충전물 함량과 접힘 터짐의 상관관계를 조사하였고, 도공 원지의 충전물 함량이 증가할 때 도공지의 접힘 터짐이 심화되는 현상을 확인하였다. 접지할 때 도공층이 바깥쪽에 위치하는 경우에 충전물 함량이 늘어남에 따라 터짐 면적이 증가하였다. 그러나 접지 시 코팅층이 안쪽에 위치하는 안쪽 터짐의 경우에 충전물 함량과 터짐 면적 사이에는 유의한 상관관계가 없었다. 다만, 충전물 함량에 따라 터짐 부위의 모양이 변했는데, 충전물 함량이 늘어날수록 접지된 선을 따라 선명한 띠를 형성하며 도공층이 파괴되었다. 도공액의 조성은 모두 동일했기 때문에 터짐 정도의 변화는 원지에서 기인한 것으로 여겨진다. 회분 함량의 증가로 도공 원지의 두께가 감소한 것이 말단의 곡률을 크게 만들어 터짐을 심화시킨 주요 원인으로 판단되었다. 하지만 원지의 신장률 감소 역시 접힘 터짐에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 원지의 내부결합강도가 낮을수록 접힘 터짐이 감소하는 경향은 단층지를 활용할 경우에는 확인되지 않았다.

사 사

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.2013201010211B)

Literature cited

1. Seo, D., Im, W.H., Youn, H.J., and Lee, H.L., The effects of process variables for GCC pre-flocculation on floc and handsheet properties, NPPRJ 27(2):382-387 (2012).
2. Babier, C., Larsson, P.L., and Östlund, S., Experimental investigation of damage at folding of coated paper, NPPRJ 17(1):34-38 (2002).
3. Oh, K.D., Sim, K., Lee, H.L., Youn, H.J., Han, C.S., Yeu, S.U., and Lee, Y.M., Effect of GCC and clay on the characteristic of fold cracking of coated paper, Proceeding of fall conference of the Korea TAPPI p.47 (2013).
4. Oh, K.D., Lee, H.L., Sim, K., Youn, H.J., Han, C.S., Yeu, S.U., and Lee, Y.M., Influence of coat weight ratio in double coating on fold crack of coated paper, Proceeding of spring conference of the Korea TAPPI pp.411-421 (2012).
5. Oh, K.D., Lee, H.L., Sim, K., Youn, H.J., Han, C.S., Yeu, S.U., and Lee, Y.M., Evaluation of the fold cracking patterns of coated papers with binder conditions, Proceeding of fall conference of the Korea TAPPI pp.103-109 (2012).
6. Sim, K., Youn, H.J., Oh, K.D., Lee, H.L., Han, C.S., and Lee, Y.M., Fold cracking of coated paper: The effect of pulp fiber composition and beating, NPPRJ 27(2):445-450 (2012).
7. Pál, M., Novaković, D., Pavlović, Ž., and Dediđer, S., Influence of the scanning resolution on image segmentation accuracy for an objective fold cracking evaluation, Conference proceedings of 6th symposium on graphic arts pp.138-143 (2013).
8. Yang, A., Xie, Y., and Renjung, W., From theory to practice: improving the fold crack resistance of industrially produced triple coated paper, TAPPI Paper

- Con Conf., Covington, KY, USA, May 1-4, 1845-1858 (2011).
9. Sim, K., Youn, H.J., Oh, K.D., and Lee, H.L., Fold cracking of coated paper depending on grammage and pulp mixing ration of base, Proceeding of fall conference of the Korea TAPPI pp.237-243 (2012).
 10. Sim, K., Youn, H.J., Oh, K.D., Lee, H.L., Lee, H., and Yeu, S.U., Fold cracking of coated board depending layer composition, Proceeding of spring conference of the Korea TAPPI p.46 (2013).
 11. Sim, K., Youn, H.J., Oh, K.D., Lee, H.L., Han, C.S., Yeu, S.U., and Lee, Y.M., Relationship between the mechanical strength of base paper and the fold cracking of coated paper, Proceeding of spring conference of the Korea TAPPI pp.125-134 (2012).
 12. Oh, K.D., Lee, H.L., and Youn, H.J., Effect of folding direction on fold cracking of coated paper, Proceeding of spring conference of the Korea TAPPI p.21 (2014).
 13. Barbier, C., Folding of paper a literature survey, Dept. of Solid Mechanics, Stockholm, Sweden, Report 259, KTH, (1999).