

## 탄산칼슘이 부착된 목분의 인쇄용지 적용 가능성 연구

강동석<sup>1</sup>, 우희철<sup>1</sup>, 포민성<sup>1</sup>, 서영범<sup>2†</sup>

접수일(2020년 3월 3일), 수정일(2020년 6월 1일), 채택일(2020년 6월 3일)

### Development of Printing Paper Containing Calcium Carbonate-Attached Wood Flours

Dong Suk Kang<sup>1</sup>, Hee Chul Woo<sup>1</sup>, Min Sung Po<sup>1</sup>, Yung Bum Seo<sup>2†</sup>

Received March 3, 2020; Received in revised form June 1, 2020; Accepted June 3, 2020

#### ABSTRACT

Wood flour is expected to provide high bulk and high stiffness but low brightness, low tensile strength, and low smoothness when used in printing paper. We applied hydrogen peroxide bleaching and in-situ calcium carbonate coating to improve the brightness and used extensive grinding to improve the smoothness. Both hydrogen peroxide bleaching and in-situ calcium carbonate coating were effective in increasing the brightness. In-situ calcium carbonate coating after bleaching increased the paper brightness further. Wood flour that passed a 400 mesh screen increased smoothness effectively and produced higher smoothness than paper containing chemical pulp. In-situ calcium carbonate coating not only improved brightness but also greatly improved both tensile strength and smoothness. To utilize wood flour in printing paper, in-situ calcium carbonate coating therefore seems to be indispensable.

**Keywords:** Wood flours, in-situ calcium carbonate coating, smoothness, brightness, printing paper, hydrogen peroxide bleaching

<sup>1</sup> 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과(Department of Biobased Materials, Chungnam National University), 학생

<sup>2</sup> 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과(Department of Biobased Materials, Chungnam National University), 교수

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: ybseo@cnu.ac.kr (Address: Dept. of Biobased Materials, College of Agriculture and Life Science, Chungnam Natl. Univ., Daejeon, 34134, Republic of Korea)

## 1. 서론

목분을 종이에 사용하게 되면 벌크를 크게 높게 됨으로써 벌크를 필요로 하는 대부분의 종이에 유용할 수 있다. 더 나아가 특별히 인쇄용지에 사용하면서 인장강도와 백색도도 유지할 수 있다면 가격적인 면이나 환경적인 면에서 혁신적인 결과를 얻게 될 것이다. 상기와 같이 목분의 사용으로 종이의 벌크가 높아지고 인장강도가 저하되지 아니하면 휘강성이 증대되어 종이의 품질을 높일 수 있게 되며, 기존 인쇄용지의 평량의 감소까지도 가능할 수 있게 될 것이다. 하지만 실제적으로 목분의 낮은 백색도와 낮은 평활도, 인장강도 저하효과는 이러한 목분의 활용을 어렵게 만들고 있다. 목분의 백색도 개선을 위해서 Shin 등<sup>1)</sup>은 목분에 펄프화 공정을 시도한 바 있으며, Kim 등<sup>2)</sup>은 이산화염소 표백, 과산화수소 표백 및 탄산칼슘과 블렌딩을 시도한 바 있으나, 충분한 백색도를 얻지는 못하였다. 다시 Kim 등<sup>3)</sup>은 표백에 형광염료까지 시도한 바 있다. 목분을 인쇄용지에 사용하고자 하는 이와 같은 노력들은 종이 생산에 있어서 에너지 저감과 생산비 절감에 직접적으로 연관되어 있다.

In-situ 탄산칼슘 형성 방법<sup>4)</sup>은 목재나 목재섬유 혹은 고지섬유의 표면에 탄산칼슘을 형성시키는 방법으로서 산화칼슘과 섬유를 적절한 비율로 물속에서 섞은 후에 일정한 온도하에서 이산화탄소를 불어넣어서 섬유표면에 탄산칼슘을 형성시키는 방법으로서 이러한 공정을 거친 섬유는 백색도가 현저히 높아지게 된다. 이러한 in-situ 공정을 목분에 실현하는 경우 본 논문에서는 in-situ 목분이라고 불리게 될 것이다.<sup>7)</sup>

이러한 in-situ 목분은 표백목분과 비교하여 다음과 같은 점에 차이가 있다. 즉 이산화염소나 과산화수소로 표백한 목분은 수율이 현저히 줄어들게 된다.<sup>8)</sup> 목분에 직접 in-situ 탄산칼슘을 부착시키면 목분의 수율감소는 현저히 줄어들 수 있게 된다. 또한 in-situ 목분은 강제열화에 매우 안정한 특성을 가지고 있다. 즉 105℃의 온도에서 in-situ 목분을 포함하는 인쇄용지를 강제열화를 시킬 경우, 화학펄프로 제조된 인쇄용지에 비해 백색도의 열화속도가 낮을 뿐더러, 강도적 특성의 열화도 매우 적은 것으로 나타났다.<sup>9)</sup> 목분의 표백과정에 적용되는 반응온도와 반응시간은 목분을 온수로 추출하는 과정과 다를 바가 없으며, 사용되는 표백약품은 목분 속에 있는 저분자량의 리그닌이나 기타 물질을 산화 및 분해함으로써

백색도를 높일 수도 있지만 수율이 현저히 낮아질 가능성이 있다. 또한 목분 속에 여전히 남아 있는 리그닌은 쉽게 변색이 가능하므로 시간에 따른 색 열화의 가능성이 매우 크다고 하겠다. 반면에 in-situ 탄산칼슘 목분의 경우 수율이 떨어질 수 있는 표백반응이 존재하지 않으며, 최고 섭씨 40도를 넘지 않는 저온에서 탄산칼슘 형성 반응이 끝나게 된다. 또 탄산칼슘이 표면에 형성됨으로써 오히려 수율이 향상되는 효과도 있다. 즉 표백목분에 비해 in-situ 탄산칼슘 목분은 생산비가 매우 저렴하며, 수율이 높고, 폐수발생이 없게 된다. 탄산칼슘에 의해 표면이 둘러싸인 목분은 목분 자체의 색 열화를 주위의 탄산칼슘들이 가리어 주는 효과도 기대된다. 따라서 in-situ 목분은 표백목분이나 일반 목분에 비해 열화에 의한 백색도 감소율이 저하되게 된다.

본 연구에서는 in-situ 탄산칼슘 형성 방법으로 목분에 탄산칼슘을 결합시킨 탄산칼슘 부착 목분을 과산화수소로 표백한 표백목분과 비교하여 그 강도적 성질과 물리적 성질의 차이를 알아내고, 또 표백목분에 추가적으로 in-situ 탄산칼슘을 적용시켜 백색도의 추가적인 향상을 시도하였다. 평활도의 향상을 위해서는 기계적인 방법으로 나노셀룰로오스를 제조하는 데 쓰이는 super mass-colloider를 사용하여 목분을 작게 갈았으며, 200메쉬와 400메쉬 스크린을 통과하는 목분들을 분류하여 사용함으로써 이들이 평활도의 차이를 만들어 낼 것으로 판단하였다. 차후 목분을 이용한 인쇄용지의 개발에 본격적으로 응용될 가능성에 대한 기초연구로서 본 연구를 시도하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 목재섬유

수초지 제작을 위하여 목재섬유는 침엽수(mixture of Hemlock, Douglas fir, and Cedar, Canada) 20%와 활엽수(mixture of Aspen and Poplar, Canada) 80%를 혼합하여 여수도 500 mL CSF에 이르도록 valley beater로 고해하여 사용하였다.

### 2.2 목분

목분은 국내 N 회사에서 공급받았으며, 중국산 활엽수들의 혼합 수종이었다. 공급된 목분은 국내 백판지에서

주로 사용하는 60-100메쉬 통과분 목분이었고, 이들을 인쇄용지에 사용하기 위해서 우선적으로 200메쉬 스크린에 통과시킨 것을 200메쉬 통과목분으로 명명하여 사용하였다. 추가적으로 더 작은 목분을 제조하기 위하여, super masscolloider를 사용하여 크기를 축소하였으며, 처리된 목분 중에서 400메쉬 스크린을 통과한 것을 400메쉬 통과목분으로 명명하여 사용하였다.

목분을 인쇄용지에 사용하기 위해서는 백색도를 높일 필요가 있었다. 그리하여 선별된 목분을 과산화수소로 표백시켜 사용하기로 하였다. 과산화수소는 목분의 건조 무게에 대하여 5%를 사용하였으며, 과산화수소의 농도가 10% 용액을 사용하였으므로 목분 건조무게에 대하여 과산화수소 용액 50%를 사용하였다. 목분의 농도는 무게비로 10% 농도로 희석하여 사용하였다. Sodium silicate를 버퍼로 사용하였고, pH 13으로 맞추기 위해 NaOH를 사용하였으며, 섭씨 80도에서 90분간 반응시킨 후에 세척하고, 그 수율을 측정하였다. 수율은 71.3%로 나타났다.<sup>8)</sup>

### 2.3 In-situ 탄산칼슘 목분

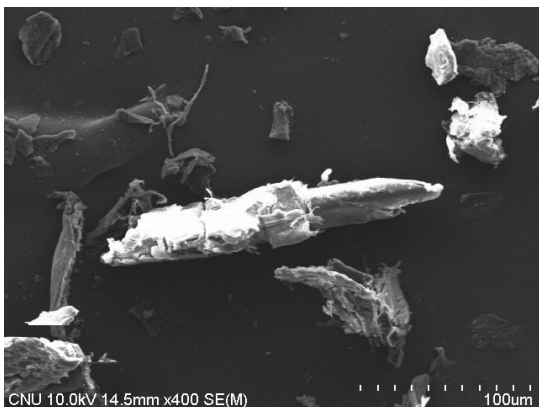
스크린을 통과한 선별된 목분들에 대하여 calcium oxide를 목분의 건조중량대비 생성된 탄산칼슘의 건조중량비율이 5배가 되도록 조정하여 첨가하였다. 이 혼합물의 온도를 섭씨 30-35도로 조절한 후에, 이산화탄소를 불어넣어 최종 pH가 7.0이 될 때까지 저어가며 반응시켰다. 목분의 초기농도는 무게비로 2%였다. 반응이 완료된 목분의 형태를 Fig. 1에서 보이고 있는데 200메쉬 통과 목분(Fig. 1(a))과 그것에 탄산칼슘이 부착된 목분

(Fig. 1(b))을 보이고 있다. 반응이 완료된 목분을 편의상 탄산칼슘 코팅목분으로 명명하였다.

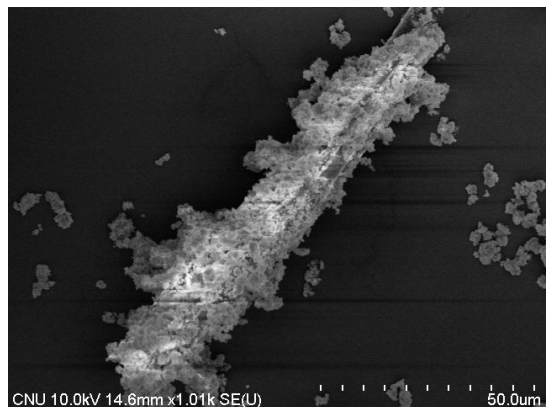
### 2.4 수초지의 제조

수초지는 TAPPI T205 sp-95 표준방법에 의해 제조하였으며, 60g/m<sup>2</sup>의 평량으로 조절하였고, 목재펄프에 표백목분(BWF, bleached wood flour), 탄산칼슘 코팅목분(CWF, CaCO<sub>3</sub> coated wood flour), 표백 후 탄산칼슘을 코팅처리한 목분(BCWF, bleached and CaCO<sub>3</sub>-coated wood flour)을 최종 탄산칼슘양이 수초지에 각각 25%와 35%씩 첨가되도록 제조하였다(Table 1). 단 control의 경우 탄산칼슘 40% 첨가도 실시하여 특성비교구간이 충분히 넓혀지도록 고려하였다. Table 1에서 CWF 25%의 경우, 탄산칼슘이 25%가 되려면 CWF에 코팅되어 있는 탄산칼슘의 양이 전체 수초지 무게의 25%가 되어야 하며, 이때 목분은 탄산칼슘 양의 1/5이 되어야 하므로, 5%가 되어야 한다(목분:탄산칼슘=1:5). 따라서 CWF는 30%를 첨가하여야 탄산칼슘이 25%가 된다. CWF 35%의 경우는 목분의 양이 7%가 되어야 하므로, CWF를 전체 수초지 무게에 대해 42%를 첨가하여야 한다. BWF의 경우는 탄산칼슘으로서 GCC를 첨가하였으며, GCC를 25%와 35%씩 첨가하는 경우, 탄산칼슘 코팅목분과 동일한 조건을 만들어 주기 위해 각각 표백목분을 5%와 7%를 첨가하였다. 상기와 같은 비율로 지료를 형성한 후에 60g/m<sup>2</sup> 평량의 수초지를 제조하였다.

이러한 목분과 탄산칼슘의 보류를 위하여 수초지 제조 시, 양이온성 PAM(분자량 500-700만, 전하밀도 +5 meq./g,



(a) Wood flour (WF)



(b) Calcium carbonate-coated WF

Fig. 1. Wood flours coated with in-situ CaCO<sub>3</sub>.

Table 1. Paper samples containing 200 and 400 mesh passed wood flours

Sample Name	Description	Wood pulp	BWF	CWF	BCWF	CaCO <sub>3</sub>
Control 25%	Chemical pulp 25%	75.0				25.0
Control 35%	Chemical pulp 35%	65.0				35.0
Control 40%	Chemical pulp 40%	60.0				40.0
BWF 25%	Bleached wood flour 25%	70.0	5			25.0
BWF 35%	Bleached wood flour 35%	58.0	7			35.0
CWF 25%	CaCO <sub>3</sub> coated wood flour 25%	70.0		30.0		0.0
CWF 35%	CaCO <sub>3</sub> coated wood flour 35%	58.0		42.0		0.0
BCWF 25%	Bleached, CaCO <sub>3</sub> coated WF 25%	70.0			30.0	0.0
BCWF 35%	Bleached, CaCO <sub>3</sub> coated WF 35%	58.0			42.0	0.0

CIBA Chemical Korea, Korea)을 0.2% 사용하였으며, 종이의 물리적 성질을 비교하기 위해 TAPPI 표준조건하에서 물성을 측정하였다. 제작된 수초지 샘플의 종류를 Table 1에 나타내었다. 샘플 종이의 밀도와 벌크(TAPPI T410 om-98, T411 om-97), 열단장(TAPPI T494 om-96), 평활도(TAPPI T479 cm-99), 백색도(TAPPI T452 om-98), 회분(TAPPI T413 om-93), 힘강성(TAPPI T489 om-08)을 각각 표준방법에 의해 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 목분의 표백과 탄산칼슘 코팅의 효과

과산화수소를 목분에 5% 첨가하여 표백을 실시하였으며, 전체적으로 표백수율이 71.3%로 매우 낮아짐을 확인할 수 있었다. CWF의 수율은 목분 표백을 실시하지 않

기 때문에 100%가 된다. BWF는 표백목분으로서 수율이 CWF보다 낮아지게 되었다. Table 2에서는 처리된 목분들의 L\* 값과 FlowCam<sup>®</sup>으로 측정된 목분지료들의 크기를 나타내고 있다. Table 2에서 CWF와 BWF의 L\* 값을 비교해 보면, 오히려 CWF의 L\* 값이 약 6% 더 높은 것을 알 수 있다. 목분의 표백공정 간에 발생하는 폐수의 처리 문제나, 수율의 감소를 살펴볼 때에 탄산칼슘을 코팅하는 공정의 유용성을 짐작할 수 있다. 그럼에도 CWF의 L\* 값은 아직도 GCC 값에는 이르지 못하는 것이다. CWF 대신 BCWF를 사용하는 경우 추가적으로 3-4%의 L\* 값 증가를 기록하였다. 목분의 표백과 목분에 대한 탄산칼슘의 코팅은 각각 독립적으로 백색도를 향상시키는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 백색도 값도 GCC에는 아직 미치지 못하였다. 따라서 추가적인 백색도 향상을 위한 연구를 지속해야 할 것이다.

FlowCam<sup>®</sup>으로 목분의 크기를 측정된 결과, 탄산칼슘

Table 2. L\* values of the wood flours

Sample name	L* value, %	Average size, $\mu\text{m}$ D[4,3](ESD), D50 <sup>a</sup>
GCC (ground calcium carbonate)	97.8	7.8
Wood flour 200 mesh pass	76.9	88.8
Wood flour 400 mesh pass	79.2	43.3
Bleached wood flour 200 mesh pass	86.0	95.9
Bleached wood flour 400 mesh pass	86.1	52.5
CaCO <sub>3</sub> coated wood flour 200 mesh pass	88.1	13.2
CaCO <sub>3</sub> coated wood flour 400 mesh pass	89.7	34.4
Bleached, CaCO <sub>3</sub> coated wood flour 200 mesh pass	92.93	43.1
Bleached, CaCO <sub>3</sub> coated wood flour 400 mesh pass	92.89	52.4

<sup>a</sup>: FlowCam<sup>®</sup> measurement. D[4,3](ESD), D50: volume weighted median mean.

으로 코팅된 목분의 크기가 표백목분보다 작은 것으로 나타났다. 그 이유는 생성된 탄산칼슘 중에서 목분에 붙지 못한 여분의 탄산칼슘이 작은 크기로 코팅된 목분과 함께 존재하기 때문에 이들이 전체 평균값을 낮추는 것으로 볼 수 있다. 특별히 200메쉬 통과목분의 경우 탄산칼슘 코팅을 실시하면 그 크기가 현저히 작아지는 것을 볼 수 있다. 목분의 크기가 작아질 수는 없으며, 작은 크기의 탄산칼슘이 형성되었지만 목분에 부착되지 못한 채 존재한다는 것을 말해준다. 반면에 400메쉬 통과분의 경우는 탄산칼슘 코팅 시 그 크기의 변화가 매우 적었다. 이는 400 메쉬 통과 목분의 경우, 목분의 표면적이 크게 증가하여 탄산칼슘의 대부분이 목분에 결합되었을 가능성이 있다. 반면 200메쉬 통과목분의 경우 그렇지 못하다는 것을 나타내고 있다. 또한 표백처리한 목분과 처리하지 않은 목

분의 경우, 표백처리한 목분의 크기가 큰 것을 볼 수 있는데, 이것은 표백처리된 목분에 탄산칼슘의 코팅처리가 더 우수할 수 있다는 것을 나타낸다. 즉 표백처리하는 탄산칼슘의 부착을 돕고, 200메쉬보다는 400메쉬 통과 목분에 탄산칼슘의 부착이 더 우수하다는 것을 나타낸다고 볼 수 있다. 목분에 탄산칼슘이 더 많이 부착되면, 수소결합을 방해할 유리된 탄산칼슘이 적어지므로 섬유 간 결합에 유리하여지고 열단장이 높아질 것으로 예상되었다.

### 3.2 목분의 형태

목분을 200메쉬와 400메쉬 스크린으로 선별하였으며, 선별된 목분에 표백과 탄산칼슘 코팅을 실시한 목분들의 그림을 Fig. 2에 나타내고 있다. BCWF의 경우 유리된 탄산칼슘이 많이 보이고 있었다. 실제적으로 탄산칼슘

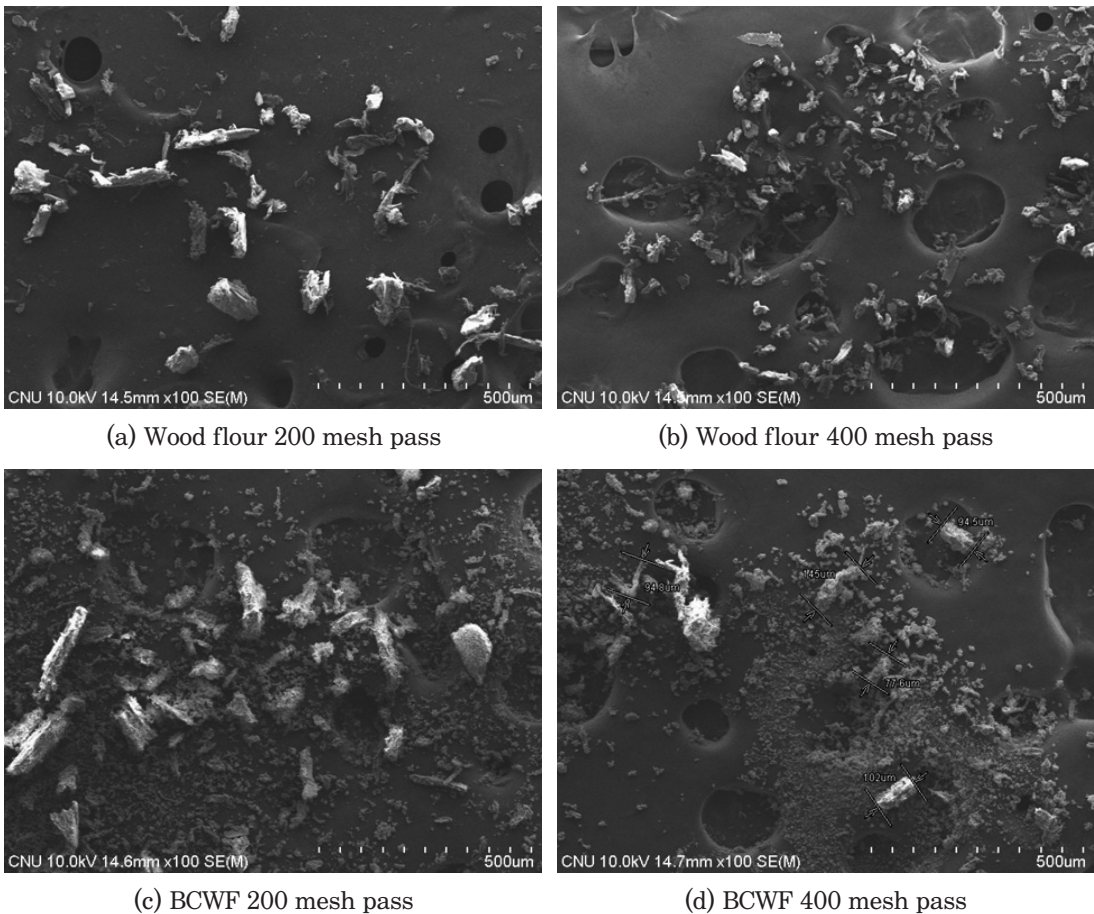


Fig. 2. Morphology of BWF (bleached wood flours) and BCWF (bleached, CaCO<sub>3</sub> coated wood flours) passed 200 and 400 mesh screens, respectively.

으로 처리되지 않은 BWF 목분의 경우, 수초지를 제작할 때에, 중질탄산칼슘(이하 중탄, GCC)를 첨가하게 되는데, 그러한 경우 목분과 중탄이 섞여 있는 모습이 BCWF와 유사한 모습을 보일 것으로 판단된다. 다만 BCWF의 경우 목분에 탄산칼슘이 코팅되어 있으므로 유리된 탄산칼슘의 양이 적을 수 있다. 이와 같이 유리된 탄산칼슘이 존재하도록 과량의 탄산칼슘을 적용한 이유는 목분의 모든 표면에 빠짐없이 탄산칼슘이 형성되도록 하기 위한 조치였다. 실제 이러한 기술을 공장에 적용하기 위해서는 탄산칼슘을 형성하는 양을 최적화할 필요가 있다고 판단된다. 200메쉬와 400메쉬로 선별된 목분은 동일 해상도에서 그 크기에 차이가 있었으며(Fig. 2(a) vs 2(b)), 탄산칼슘 코팅목분의 경우, 200메쉬로 선별된 목분이

400메쉬로 선별된 목분보다 더 큰 aspect ratio를 보이는 것이 관찰되었다(Fig. 2(c) vs 2(d)). 400메쉬 통과목분에는 작은 크기의 많은 목분이 관찰되는데, 이러한 작은 크기의 목분에 탄산칼슘이 많이 부착되어있으며, 400 메쉬 통과목분의 경우 탄산칼슘 코팅 시에 유리되는 목분의 양이 200메쉬 통과목분의 경우보다 훨씬 적을 것으로 판단되었다.

### 3.3 인쇄용지 수초지의 성질

#### 3.3.1 물리적 성질의 변화

목분은 자체적으로 벌크가 크고, 수소결합 능력이 적어서 당연히 수초지의 벌크를 높일 것으로 판단되며, Fig. 3(a)에서 예상되는 결과를 보이고 있다. 특이사항은 표백목분

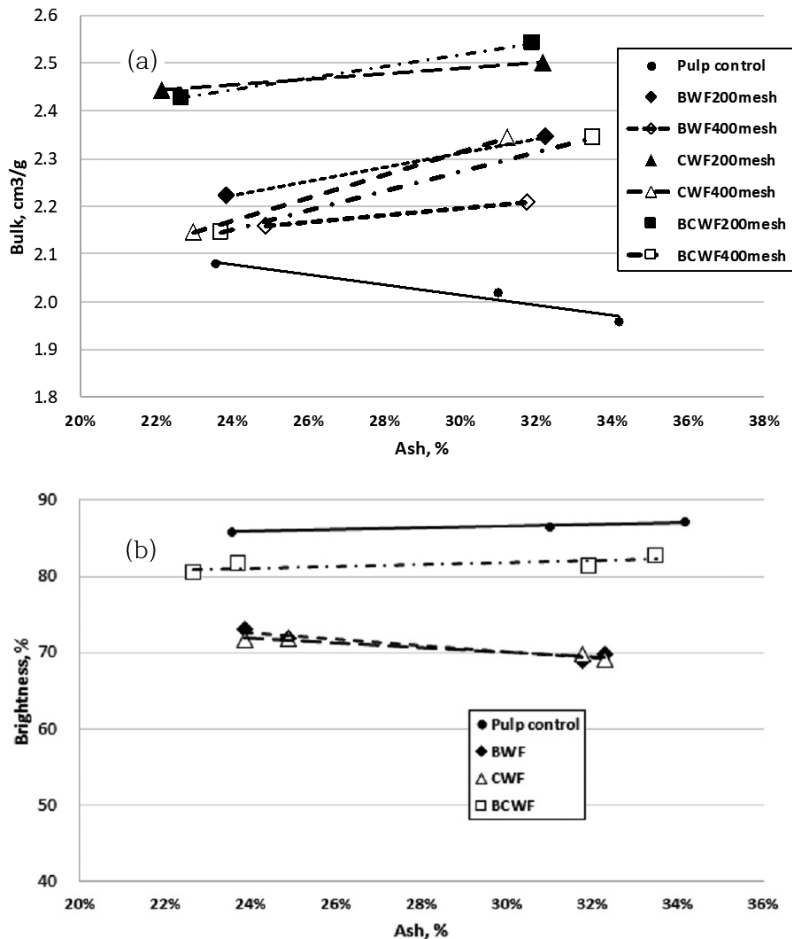


Fig. 3. Paper physical properties. (a) Bulk and (b) ISO brightness. Regression lines were drawn (solid line: Pulp control, small dot line: BWF, large dot line: CWF, mixed dot line: BCWF).

보다 탄산칼슘을 코팅한 목분이 더 큰 벌크를 보이는 점이며 탄산칼슘 양이 많아짐에 따라 벌크가 더 증가하는 점이라고 할 수 있다. 이는 탄산칼슘 양이 늘어남에 따라, 목분의 양도 함께 증가하기 때문으로 판단할 수 있다. 또한 200메쉬 목분이 400메쉬 목분보다 더 큰 벌크를 나타냄을 보이고 있다.

인쇄용지에서 목분을 사용하는 데 가장 중요한 백색도를 보면, 표백목분(BWF)과 탄산칼슘 코팅목분(CWF)이 정확히 같은 백색도를 보이고 있으며, 화학펄프로 구성된 수초지와 큰 차이를 보이고 있었다. 다른 점은 표백목분의 수율이 낮으며, 약품의 사용량이 발생하고, 폐수처리의 문제가 발생하는 점인 데 비해, 코팅목분은 수율이 100%에 이르는 점이다. 즉 가격적인 점과 폐수처리 면에서 코팅목분이 더 큰 이점을 가지고 있다고 하겠다. 200메쉬와 400메쉬 통과 목분을 구분하지 않고 그래프에 나타내었지만 큰 차이를 보이지 않는 것도 특이점이라고 할 수 있다.

표백 후 코팅한 목분(BCWF)의 경우, 화학펄프와 GCC로만 구성된 수초지에 근접한 백색도를 갖는 것을 볼 수 있다(Fig. 3(b)). BCWF와 같이 80% 이상의 백색도를 가진다면 중질 인쇄용지로서 적용도 생각해 볼 수 있을 것이다. 탄산칼슘 코팅의 공정으로서 특이점은 목분의 표백 후에도 탄산칼슘 코팅의 효과가 그대로 나타나는 점이라고 할 수 있다. 수초지에서는 추가적인 탄산칼슘의 코팅이 추가적으로 약간 백색도를 올리는 것이 아니라 약 10%의 백색도가 증가하였다.

BCWF와 BWF의 비교도 매우 중요한데, 두 가지 지료 모두 같은 양의 표백목분을 사용하였고, 탄산칼슘은 BCWF의 경우 in-situ 공정에 의해 형성된 것이고, BWF의 경우 GCC를 혼합한 것이었다. 이 둘의 차이는 Table 2에서나 Fig. 3에서 매우 큰 백색도의 차이를 나타내었다. 즉 in-situ 공정에 의해 탄산칼슘을 목분에 코팅하는 것이 백색도 향상에 매우 큰 차이로 우수하다는 것을 나타내고 있었다. 벌크의 경우에도 BCWF가 훨씬 높은 값을 나타내었다.

목분의 크기에 따른 백색도의 경우 200메쉬와 400메쉬 통과 목분을 구분하지 않고 그래프에 나타내었지만 큰 차이를 보이지 않는 특이점을 나타내고 있었다.

### 3.3.2 강도적 성질의 변화

표백처리 후에 탄산칼슘을 코팅한 목분(BCWF)을 첨가

한 경우가 목분 중에서 가장 우수한 열단장을 나타내었으며, 화학펄프를 사용한 수초지와 유사한 열단장을 보이고 있음을 Fig. 4(a)에서 보이고 있다. 이는 Table 2에서 지적한 바와 같이 표백한 목분에 탄산칼슘의 부착이 많기 때문으로 판단되었다. 그러한 경우 유리되는 탄산칼슘의 양이 적어서 섬유 간의 결합에 이점이 있기 때문이다. 즉 탄산칼슘이 목분에 코팅된 양만큼 수소결합을 저해하는 유리된 탄산칼슘의 표면적이 줄어든 사실이 BCWF와 같은 결과를 만들어냈다고 판단되었다. 한 가지 추가적인 사실은 그러한 가운데서도 탄산칼슘 코팅목분은 백색도의 증가가 높다는 것이다.

또한 탄산칼슘으로 코팅처리만 실시한 목분(CWF)과 표백처리만 실시한 목분(BWF)은 수초지의 열단장을 현저히 낮추는 모습을 보이고 있으며 둘은 동일한 열단장을 나타내고 있다. CWF의 경우 생성된 많은 양의 탄산칼슘이 목분에 부착되어 있지 못했으며, BWF의 경우도 GCC를 단순 첨가하였으므로 CWF와 크게 다르지 않을 것으로 판단되었다. 화학펄프의 경우(pulp control), 펄프와 탄산칼슘이 어느 정도 독립적으로 움직이지만, 중탄의 크기와 목분의 크기가 매우 다르고, 목분의 경우 벌크가 훨씬 크기 때문에 섬유 간의 평균거리가 화학펄프의 경우 더 짧아서 섬유 간의 결합이 용이하여 강도가 향상되었을 것이다.

힘강성의 경우 당연히 벌크의 크기가 가장 중요한 요소가 될 것이다. BCWF의 경우와 CWF의 경우 400메쉬 통과 목분이 200메쉬 통과 목분의 경우에 비해 낮은 힘강성을 나타내었지만 다른 종류의 목분끼리 비교하는 데는 크게 차이가 나기 때문에 효과를 비교하는 데 문제가 없어 보였다. 즉 힘강성에 있어서, 목분을 표백하거나 탄산칼슘으로 코팅하는 효과가 200메쉬나 400메쉬 스크린으로 선별하여 사용하는 효과보다 크다는 말이 된다. 벌크가 큰 수초지가 큰 힘강성을 만들어 냈으며, BCWF의 경우 CWF보다 열단장이 크므로 힘강성에서 그 차이를 만들어 낸 것으로 판단되었다. Fig. 4(b)는 탄산칼슘을 부착한 목분을 사용하여 얻어낼 수 있는 가장 중요한 효과로서 힘강성의 큰 증가를 분명하게 나타내었다.

내절도의 경우(Fig. 4(c)), 섬유장과 섬유결합이 큰 역할을 한 것으로 판단되었다.<sup>10,11)</sup> 화학펄프를 사용하는 경우, 목분의 사용이 없으므로 섬유 간의 결합이 많아지게 되고, 그와 함께 내절도가 높아졌다. 표백 후에 탄산칼슘을 코팅한 목분의 경우 강도적 성질이 우수하므로 탄산

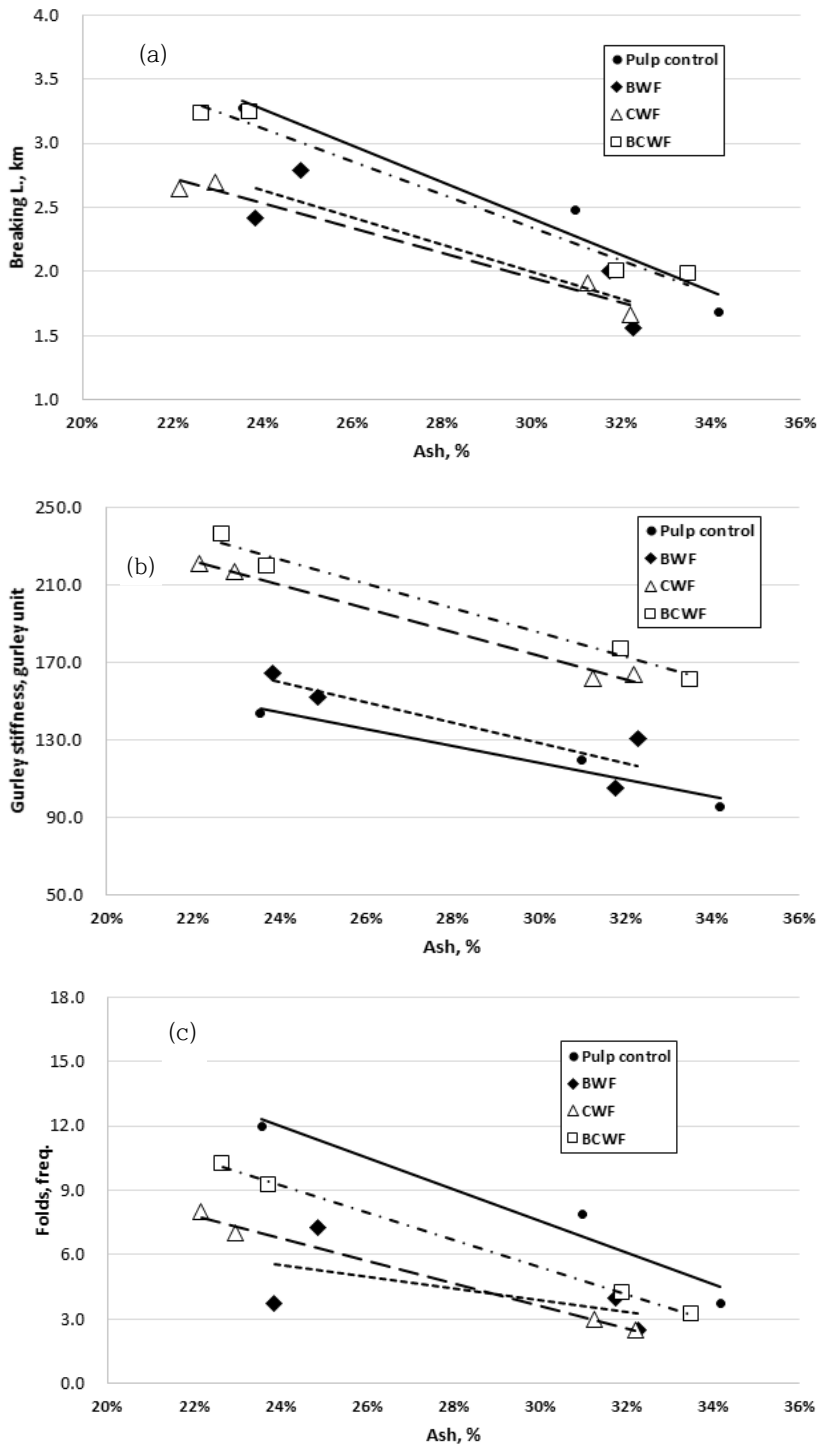


Fig. 4. Paper strength properties. (a) Breaking length, (b) Gurley stiffness, and (c) Folding endurance. Regression lines were drawn (solid line: Pulp control, small dot line: BWF, large dot line: CWF, mixed dot line: BCWF).



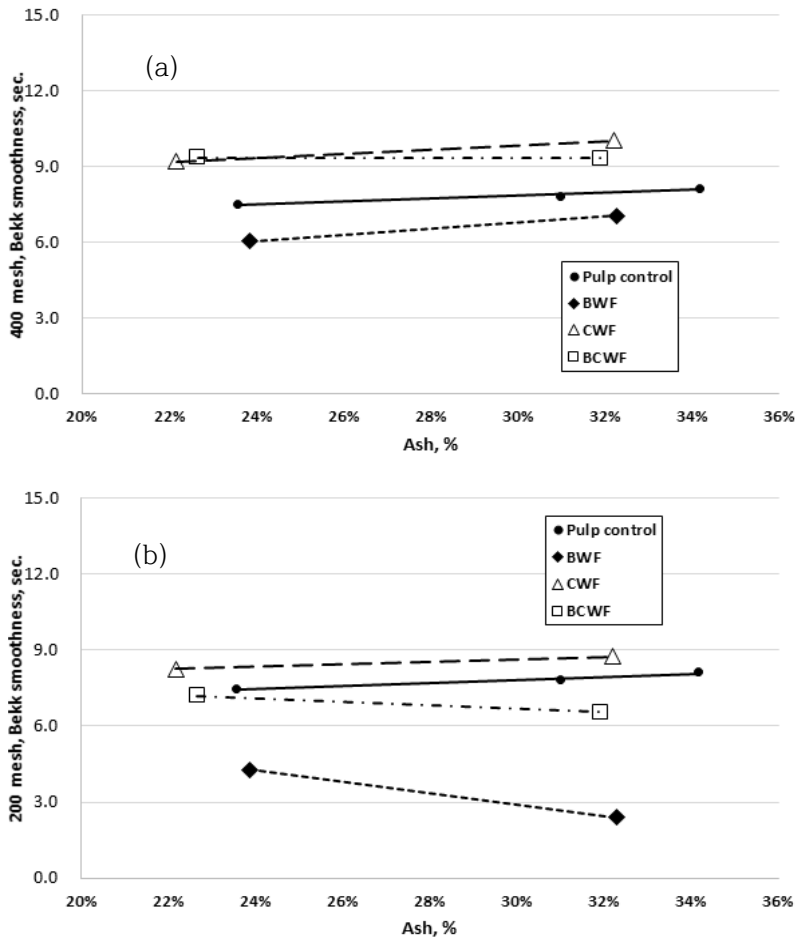


Fig. 5. Paper Bekk smoothness, seconds, (a) 400 mesh pass and (b) 200 mesh pass. Regression lines were drawn (solid line: Pulp control, small dot line: BWF, large dot line: CWF, mixed dot line: BCWF).

칼슘 코팅만 하거나 표백목분을 사용하는 경우보다 우수하였다고 볼 수 있었다.

### 3.3.3 평활도의 변화

평활도의 경우 200메쉬와 400메쉬 통과 목분의 경우가 너무나 큰 차이가 나서 따로 분석할 수밖에 없었다 (Fig. 5). 400메쉬 통과 목분에 탄산칼슘을 코팅한 목분은 화학펄프로 구성된 수초지보다 더 높은 평활도를 나타내었다(Fig. 5(a)). 화학펄프보다 더 높은 벌크와 힘강성, 동일한 열단장, 그리고 더 높은 평활도는 400메쉬 통과 목분과 탄산칼슘 코팅의 우수성을 대변하고 있었다. 200메쉬 통과 목분의 경우도 탄산칼슘으로 코팅하면 화

학펄프와 유사한 평활도를 만들어내게 되었다(Fig. 5(b)).

## 4. 결론

목분을 인쇄용지에 사용하고자 하는 노력의 일환으로 in-situ 탄산칼슘 형성 방법으로 목분에 탄산칼슘을 결합시킨 탄산칼슘 부착 목분의 적용성 연구를 진행하였다. 그러한 경우, 리그닌을 용해하는 약품과 에너지의 사용이 줄고, 폐수처리의 문제도 완화되며, 경제성을 높일 수 있는 계기가 될 수 있다. 연구결과, 목분에 과산화수소 5%를 사용하는 표백을 하는 경우는 목분:탄산칼슘의 비율

을 1:5로 코팅하는 효과와 백색도 개선에 동일한 효과를 나타내었다. 표백된 목분에 탄산칼슘 코팅을 추가적으로 실시하는 경우, 탄산칼슘의 코팅이 효과적으로 이루어지며, 백색도가 추가적으로 크게 개선되고, 화학펄프로 제조된 인쇄용지의 백색도에 근접한 중이를 제조할 수 있었다. 동시에 벌크와 힘강성이 우수하였으며, 유사한 열단장을 얻었고, 200메쉬나 400메쉬 통과 목분의 경우 모두 화학펄프로보다 더 우수한 평활도도 얻을 수 있었다. 이와 같은 결과는 현재 상태 그대로 중질 인쇄용지로서 목분의 사용이 가능한 면이 있으며, 추가적인 개발로 목분을 이용한 인쇄용지로서 인쇄용지의 물성개선과 생산비 절감, 에너지 절감 및 환경보호의 길이 열릴 수 있을 것으로 판단되었다.

## 사 사

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부, 환경부, 산업통상자원부)의 재원으로 한국연구재단-탄소자원화 국가전략프로젝트사업의 지원을 받아 수행함(과제번호 NRF-2019M3D8A2113265).

## Literature Cited

- Shin, T. G., Kim, C. H., Chung, H. K., Seo, J. M., and Lee, Y. R., Fundamental study on developing lignocellulosic fillers for papermaking (I), *Journal of Korea TAPPI* 40(2):21-29 (2008).
- Kim, C. H., Lee, J. Y., Lee, Y. R., Chung, H. K., Back, K. K., Lee, H. J., Gwak, H. J., Gang, H. R., and Kim, S. H., Fundamental study on developing lignocellulosic fillers for papermaking (II), *Journal of Korea TAPPI* 41(2):1-6 (2009).
- Kim, H. H., Kim, C. H., Seo, J. M., Lee, J. Y., Kim, S. H., Park, H. J., and Kim, G. C., Use of modified lignocellulosic fillers to improve paper properties, *APPITA J.* 64(4):338-343 (2011).
- Seo, Y. B., Ahn, J. H., and Lee, H. L., Upgrading waste paper by in-situ calcium carbonate formation, *J. Cleaner Production* 155:212-217 (2017).
- Seo, Y. B., Lee, Y. H., and Chung, J. K., The improvement of recycled newsprint properties by in-situ CaCO<sub>3</sub> loading, *Bioresources* 9(4): 6254-6266 (2014)
- Seo, Y. B., Lee, M. W., Lee, Y. H., and Chung, J. K., Application of in-situ CaCO<sub>3</sub> formation method for better utilization of recycled fibers (1), *Journal of Korea TAPPI* 46(5):19-26 (2014).
- The wood flour with calcium carbonate, method for manufacturing the same, and a paper including the wood flour, Korea patent registration number 10-1361655 (2014).
- Seo, Y. B., Lee, Y. H., and Chung, J. K., Feasibility study of using the in-situ CaCO<sub>3</sub> formed wood flour for printing paper, *Journal of Korea TAPPI* 50(1):44-53 (2018).
- Seo, Y. B., Kang, D. S., and Han, J. S., Utilization of calcium carbonate-coated wood flour in printing paper and their conservational properties, *MDPI Sustainability* 11(7):1867 (2019).
- Yoon, H. J., Kwon, H. S., Jin, S. M., Ryu, J. H., Jo, H., and Lee, S. M., Evaluation of folding resistance of paper and paperboard for predicting folding crack, 2008 Spring Annual Conference Proceedings, Seoul, Korea TAPPI Press, pp. 275-282 (2008).
- Hong, S. J., Park, J. Y., and Kim, H. J., Effects on mechanical strength improvement of liner paper using recycled fibres from waste cotton clothes, *Journal of Korea TAPPI* 46(6):94-102 (2014).