

## 도공용 바인더의 종류가 도공지의 폴드 크랙에 미치는 영향

최재준<sup>1</sup>, 정경모<sup>2</sup>, 원종명<sup>3</sup>, 이용규<sup>3</sup>

접수일(2020년 10월 7일), 수정일(2020년 10월 16일), 채택일(2020년 10월 20일)

### Effect of Coating Binder types on Fold Crack of Coated Paper

Jae-Jun Choi<sup>1</sup>, Kyoung-Mo Jeong<sup>2</sup>, Jong-Myoung Won<sup>3</sup>, Yong-Kyu Lee<sup>3</sup>

Received October 7, 2020; Received in revised form October 16, 2020; Accepted October 20, 2020

#### ABSTRACT

In this study, in order to solve the problem with the folding crack of coated paper, effects of the coating binders on the fold crack of the coated papers were evaluated. In order to investigate the effect of such factor as composite-filler property and coating-binder types on the fold crack of the coated papers, we used 4 kinds of the fillers (GCC and GCC-MFC 2%, GCC-MFC 3%, GCC-MFC 4%) and two kinds of the synthetic binders (SB latex, VAE emulsion). It was found that as the fillers content increased, strength of the coated papers were decreased. The paper with GCC-MFC composite as fillers showed the best results in both strength properties and fold crack resistance. As a result of the sectional SEM image, the coated paper using VAE emulsion binder showed relatively less cracking than that of the paper using SB latex.

**Keywords:** *Fold crack, GCC-MFC composite filler, VAE emulsion, SB latex*

---

1 강원대학교 산림환경과학대학 제지공학과(Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon Natl. Univ.), 학생

2 강원대학교 산림과학연구소(The Institute of Forest Science, Kangwon Natl. Univ.), 교수

3 강원대학교 산림환경과학대학 제지공학과(Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon Natl. Univ.), 교수

† 교신저자(Corresponding author): E-mail: yklee@kangwon.ac.kr (Address : Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest & Environmental Sciences, Natl. Univ. Chuncheon, 24341, Republic of Korea)

## 1. 서론

고품질의 지류 수요가 증가하면서 백상지에 비해 백색도, 인쇄적성 및 광택이 우수한 도공지의 사용이 증가하고 있다.<sup>1)</sup> 도공지는 포장지 및 잡지 등에 사용되고 있으나, 인쇄품질 향상을 위한 도공량 증가뿐만 아니라 경제성 개선을 위한 충전제 사용량 증가와 더불어 도공지의 접힘 터짐 문제 발생이 심각한 문제로 대두되고 있는데 이를 폴드 크랙(fold crack)이라 부르고 있다. 일반적으로 그 원인은 도공원지와 도공용 바인더에서 기인하는 것으로 알려져 있다.

이러한 문제는 이미 수년 전부터 간헐적으로 관찰되어 여러 과학자들이 이와 관련된 문제 및 평가 방법에 대한 연구를 수행하여 왔다. 폴드 크랙이란 도공지를 인쇄한 후 후가공 접지과정에서 접혀진 도공면 또는 그 반대쪽의 도공면이 갈라지는 현상을 말한다.<sup>2)</sup> 한편, 이러한 폴드 크랙 현상은 지류 제품 생산에 있어서 경제성을 확보하기 위해 펄프 사용을 줄이고 충전제의 첨가량을 높일 경우, 원지층의 강도저하에 따른 품질 저하 문제의 하나로서 자주 언급되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 나노셀룰로오스<sup>3)</sup>를 이용하거나 충전제의 표면개질<sup>4-8)</sup>을 통한 결합 강도 개선, 또는 충전제를 응집체화하여 투입하는 방법<sup>9-11)</sup> 등이 폴드 크랙 억제에 도움이 되는 것으로 알려져 있다.

이러한 크랙 현상은 도공지를 포장지로 사용하거나, 고평량 도공지의 인쇄과정에서 문제가 발생할 수 있다. 앞서 언급한 것같이 도공지의 폴드 크랙 발생에 영향을 미치는 인자는 원지층과 도공층으로 나누어 생각할 수 있는데 도공층은 도공원지에 비해 강도가 약하고 두께가 얇기 때문에 도공지의 폴드 크랙에 대해 매우 취약하다. 도공지의 폴드 크랙에 영향을 미치는 도공 관련 인자로 안료의 종류 및 배합량, 바인더의 종류, 도공량이 고려될 수 있는데, 특히 도공용 바인더의 종류가 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 하지만 이러한 유연한 구조가 주로 이용되는 합성계 바인더로는 SB Latex(Styrene/Butadiene Latex)와 VAE(vinyl acetate ethylene) 등이 있고 천연계 바인더로는 전분 등이 있다. SB Latex는 펄름형성 시 광택이 좋고 강도가 높은 특징을 갖고 있으나 유연성은 떨어지는 것으로 보인다. 그리고 이들 합성계 바인더는 모두 이중결합을 지니며 천연계 바인더에 비해 물에 대한 저항성이 높아 도공액의 주바인더로 많이 이

용되고 있다. 하지만 SB Latex 바인더의 경우, 스티렌 구조를 갖는 석유계 단량체를 에멀션 중합의 주원료로 사용하기 때문에 인체 유해성(carcinogens)에 미치는 부정적인 영향에 대한 연구 결과가 보고된 바 있다.<sup>12-13)</sup> VAE는 천연가스로 제조되는 원료로 SB Latex 바인더와 비교하여 상대적으로 독성물질이 적어 환경오염에 미치는 영향이 적다. 또한 유연하고 강도가 높다는 장점이 있지만 물에 대한 저항성이 다소 약하다는 단점이 있다.<sup>14)</sup> 하지만 VAE의 유연한 성질이 폴드 크랙 개선에 유효할 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 도공지의 폴드 크랙 문제를 개선하기 위한 목적으로 내첨제로서 GCC 또는 GCC-MFC의 복합 충전제(composite 2%, 3%, 4%)를 적용한 도공원지(수초지)와 2종류의 바인더를 적용한 도공액을 각각 이용하여 도공지 제조에 적용함으로써 다양한 조건에서 도공지의 물성이 폴드 크랙 발생에 미치는 영향을 검토하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

#### 2.1.1 펄프

본 연구에 사용된 펄프는 활엽수 표백 크라프트 펄프(HwBKP, Hardwood bleached kraft pulp), 침엽수 표백 크라프트 펄프(SwBKP, Softwood bleached kraft pulp), 표백화학열기계펄프(BCTMP, bleached chemi-thermo-mechanical pulp)를 사용하였다. 침엽수 표백 크라프트 펄프와 활엽수 표백 크라프트 펄프는 H사에서 분양받아서 사용하였고, 화학열기계펄프는 M사에서 분양받아 사용하였다. 각 펄프의 특성은 Table 1과 같았다.

#### 2.1.2 약품

내첨 약품은 양이온성 전분(Cationic Starch), 양이온성 PAM(Cationic Polyacrylamide), 벤토나이트(Bentonite), MP(Micro-Polymer)로 M사에서 제공받아 사용하였다. 전분의 경우 농도 1%, 온도 90℃에서 40분간 호화시켜 사용하였다. 한편, GCC-MFC 복합 충전제 제조에 이용한 고분자 2종(modified polyamine, modified polyacrylamide)은 S사에서 제공받아 사용하였다. 복합 충전제 제조용 고분자의 특성은 Table 2와 같았다.

### 2.1.3 충전제

본 연구에는 T사에서 분양받은 GCC(Ground Calcium Carbonate, 2 μm, %>d45)를 이용하여 내침 및 표면 코팅용으로 사용하였다.

### 2.1.4 바인더

본 연구에 사용된 합성 바인더는 SB Latex이며 기본 물성은 Table 3에 나타난 것과 같았다.

### 2.1.5 기타 첨가제

본 연구에 사용된 기타 첨가제는 NaOH, 분산제(WY-117, Jeong Won Chemical Co., Ltd., S. Korea), 내수 화계(PRO·WET-400G, Woo Jin Industrial Co., Ltd., S. Korea), 윤활제(LUB·REX-55, Woo Jin Industrial Co., Ltd., S. Korea), 유동제(CV-5001F, Cheong Woo Technology Co., Ltd., S. Korea)를 사용하였다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 해리

준비된 3종류의 펄프(SwBKP, HwBKP, BCTMP)를 각각 4%의 농도로 조절하여 실험실용 해리기(Pulp dis-

integrator, L&W, Sweden)에 넣고 3000 rpm으로 해리하였다.

### 2.2.2 고해

4%로 해리된 SwBKP와 HwBKP, BCTMP를 농도 1%로 조절하여 실험실용 고해기로 고해를 진행했다. 고해를 진행하기 전에 펄프를 균일하게 해리시키기 위하여 하중을 가하지 않은 상태에서 5분간 순환을 시킨 후에 4 kgf의 하중을 가하여 고해를 진행하였다. 마지막으로 온도와 농도 보정을 실시하여 여수도 450 mL CSF로 조절하였다.

### 2.2.3 지료 조성

여수도 450 mL CSF로 조절된 SwBKP와 HwBKP, BCTMP를 무게비로 82:12:6(wt%)로 배합한 후 농도를 0.35%로 조정하여 지료를 조성하였다.

### 2.2.4 MFC 제조

MFC 제조는 활엽수 표백 크라프트 펄프를 이용하였다. 활엽수 표백 크라프트 펄프를 실험실용 해리기(Pulp disintegrator, L&W, Sweden)를 이용하여 4%로 해리하였다. 지료 농도를 2%로 조정한 후 그라인더(Grinder,

Table 1. Properties of pulps

Characteristics	Unit	HwBKP	SwBKP	BCTMP
Average fiber length	mm	0.742	2.236	0.587
Average fiber width	μm	18.5	31.3	25.0
Average coarseness	mg/m	71.1	652.1	137.1

Table 2. Properties of GCC-MFC composite fillers polymers

Characteristics	Unit	Modified polyamine	Modified polyacrylamide
Solid contents	%	9 ± 1	15.0 ± 1
Viscosity	cPs	100,000	20,000
pH	·	4.5 ± 1.0	5.0 ± 1.0
Specific gravity	·	1.02 ± 0.03	1.05 ± 0.03

Table 3. Properties of coating binders

	Average particle size (Å)	Viscosity (cPs)	Tg* (°C)	pH
SB Latex	1,120	93.7	2	8.0
VAE	1,590	90.8	6.5	7.9

\*Tg: glass transition temperature.

Super Masscolloider, Masuko Sangyo, Japan)를 이용하여 5회 그라인딩하여 MFC를 제조하였다. 그라인더의 스톤 간격은 -150~-200 μm로 조절하여 진행하였고 부하 전력은 2A로 유지하여 운전하였다. 그라인더 운전 시에 열이 발생하므로 MFC 제조 과정 중에 증발되는 수분의 양을 계산하여 2%의 농도를 유지하였다.

**2.2.5 GCC-MFC 복합 충전제 제조**

T사에서 분양받은 탄산칼슘을 이용하여 GCC-MFC 복합 충전제를 제조하였다. 먼저 탄산칼슘은 충분히 분산시킨 후 20% 농도로 조절하여 사용하였다. GCC-MFC 복합 충전제 제조를 위한 첨가제는 modified polyamine, MFC, modified polyacrylamide의 순으로 각각 GCC 전건 기준 0.6%, 0.2%씩 투입하였으며, 각 첨가제 투입 후 500 rpm으로 5분간 교반을 실시하였다. 마지막으로는 실험실용 해리기(Pulp disintegrator, L&W, Sweden)를 이용하여 3000 rpm에서 반응시켜 마무리하였다. MFC 첨가량에 따른 영향을 살펴보기 위해 GCC 전건 대비 MFC 2%, 3%, 4%를 각각 첨가하여 총 3가지 조건의 복합 충전제를 제조하였으며 이를 Composite 2%, Composite 3%, Composite 4%로 명명하였다.

**2.2.6 수초지 제조**

수초는 실험실용 사각 수초지기(DM-830, Daeil Machinery Co., Ltd., S, Korea)를 이용하여 수초하였다. 평량은 115±3 g/m<sup>2</sup>으로 조절하였다. 약품은 양성전

분, GCC, C-PAM, 벤토나이트, MP순으로 투입하였다. 각 약품의 투입량은 전건펄프 대비 투여량으로서 Table 4에 나타내었다. 1000 rpm으로 교반하면서 약품을 투입하였으며, 약품 투입 간격은 15초로 조절하였다. 그리고 마지막으로는 30초를 더 교반시켜 약품과 지료가 충분히 반응할 수 있는 시간을 가졌고 이는 Table 5에 표로 정리하였다.

**2.2.7 회분 함량 측정**

수초지를 제조한 후 동일 부위를 재단하고 같은 중량을 기준으로 하여 도가니에 담아 회분을 측정했다. 실험실용 회분 측정기를 이용하였다. 525℃의 온도에서 4시간을 태운 후 1시간을 방치하였다. 그 후 도가니를 꺼내 실험실용 오븐 드라이어에 105℃에서 1시간 동안 건조한 후, 회분 측정기에서 타고 남은 재의 무게를 측정했다. 정확한 회분 측정을 위해 각 샘플의 남은 부분을 이용하여 함수율을 측정한 후 전건 무게와 타고 남은 재의 비를 구하여 회분량을 산출하였다.

**2.2.8 원지 물성 측정**

수초지의 물성을 측정하기 위해 ISO 187에 의거하여 온도 23±1℃, 상대습도 50±2℃로 유지되는 항온·항습실에서 24시간 이상 충분한 조습처리를 실시했다. 종이의 인장강도, 신장률, 인장 흡수 에너지(ISO 1924-2, L&W Tensile strength tester, Lorentzen & Wettre, Sweden), 파열강도(ISO 2758, L & W Burst strength tester, Lorentzen & Wettre, Sweden), 투기도(ISO 5636 Automated Air Permeability Tester, FRANK-PTI GmbH, Germany)를 ISO 기준에 의거하여 분석하였다.

Table 4. Chemicals dosage for the preparation of the base paper

	Dosage (%)
Cationic Starch	1
C-PAM	0.02
Bentonite	0.25
MP	0.03

**2.3 도공지 접합터짐 평가**

**2.3.1 도공지 제조**

도공액의 배합조성은 중질탄산칼슘 100부, SB Latex

Table 5. Reaction steps of inputting chemicals for the preparation of the base paper

	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5	Step 6
Stirring speed(rpm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Time(sec)	15	15	15	15	15	30
Additive	Cationic starch	GCC/GCC-MFC	C-PAM	Bentonite	Micro polymer	×

12부에 고형분 농도는 67%로 조정하였으며 그 외에 첨가제는 Table 6에 나타난 바와 같다. 도공지는 편면에 1회 도공하는 방식으로 제조하였다. 도공은 실험실용 바코터(K-control, RK Print Coat Instrument Co. Ltd., UK)를 사용했다. 도공량은  $30 \pm 3 \text{ g/m}^2$  으로 설정하였다. 도공액을 도포한 도공지는 열풍건조기에서 120℃에서 10초 동안 건조하였다. 제조된 도공지는 조습처리 후 슈퍼 캘린더(Supercalender, Beloit Coporation, USA)에서 온도 60℃, 선압 300 psi의 조건으로 2번 처리하였다.

### 2.3.2 도공지 인쇄

도공지의 색은 흰색이므로 화상 분석에 의해 도공지의 폴드 크랙을 정확히 관찰하는 데 어려움이 있었다. 도공지의 폴드 크랙을 보다 쉽게 자세히 관찰하기 위해서 실험실용 RI-II tester(Red ink 0.8 cc, 1 times)를 이용하여 1도 인쇄를 실시하였다.

### 2.3.3 도공지 접힘

제조된 도공지 샘플을 동일한 조건으로 접기 위해 도공액의 보수도를 측정하는 데 이용하는 ÅA-GWR(Gravimetric water retention meter)를 이용하였다. 일정한 압력과 속도로 접혀진 도공지 샘플을 가압할 수 있어 동일 조건에서 폴드 크랙을 발생시키는 데 유용하였다.

### 2.3.4 이미지 분석

도공지의 폴드 크랙이 발생한 부분을 확인한 후에 광학 현미경을 이용하여 크랙이 발생한 부분의 이미지 얻었

다. 그 후 화상분석 프로그램 ImageJ(Ver 1.8.0, National Institute of Health, USA)를 이용해서 얻은 이미지를 칼라에서 그레이 스케일로 변환하였고 추가적으로 이치화 작업을 통해 흑백화상으로 변환하였다. 이때 인쇄된 부분은 검은색으로, 크랙 부분은 흰색으로 나타나게 된다. 최종적으로 분석하고자 하는 부분(검은색)을 기준으로 하여 크랙이 발생한 부분(흰색)을 면적 대비의 %값으로 계산하여 분석에 이용하였다(Fig. 1).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 벌크

내첨된 충전제의 종류 및 첨가량 조건(이하 내첨 조건)이 다른 4종류의 수초지 샘플(GCC, composite 2%, 3%, 4%)에 Table 6에 나타난 2종류의 도공배합에 따라 얻어진 도공액을 도포하여 각각 4종류씩 총 8종류의 도공지를 제조하였다. 이들 도공지 샘플의 내첨 조건의 차이가 벌크에 미치는 영향에 대하여 분석한 결과 그래프를 Fig. 2-(a), (b)에 나타내었다. (a)는 도공액의 바인더를 SB Latex로 사용하여 제조한 것이고 (b)는 도공액의 바인더로 VAE를 사용하여 제조한 도공지 샘플의 결과이다.

(a), (b) 모두 회분 함량이 증가할수록 미세하게 감소하는 모습을 보이거나 큰 변화가 없고 두 그래프의 차이는

Table 6. Formulation of the coating colors (Unit:pph)

	Run 1	Run 2
CaCO <sub>3</sub>		100
NaOH		0.2
Dispersant		0.12
SB Latex	12	0
VAE emulsion binder	0	12
Insolubilizer		0.32
Lubricant		0.4
Total solids concentration (wt%)		67

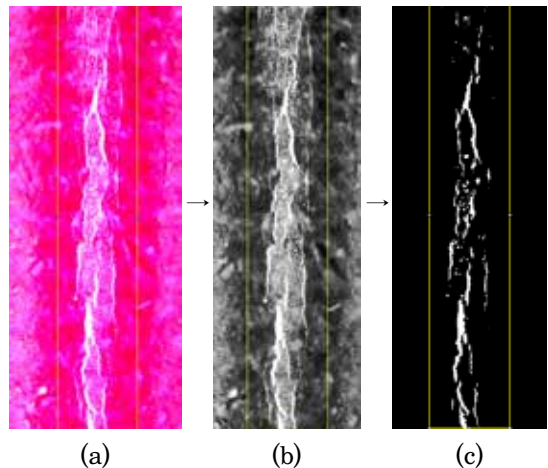


Fig. 1. Image conversion process using image j program(a: microscope image, b: 32 bit conversion, c: threshold image).

거의 보이지 않고 있다. 이는 GCC와 composite 2%, 3%, 4%의 충전제가 섬유 사이의 공극을 채워줌으로써 종이 구조가 좀 더 치밀한 구조를 이루었기 때문으로 판단되었다.

### 3.2 인장강도

내침 조건이 다른 4종류의 수초지 샘플(GCC, composite 2%, 3%, 4%)에 다른 종류의 바인더(SB Latex, VAE)가 첨가된 2종류의 도공액을 각각 도포하여 총 8종류의 도공지를 제조하였다. 이들 도공지 샘플의 내침 조건의 차이가 도공지의 인장강도에 미치는 영향에 대하여 분석한 결과 그래프를 Fig. 3-(a), (b)에 나타내었다.

도공액의 바인더로 SB Latex를 사용한 (a)를 보면 회분 함량이 증가함에 따라 인장강도는 감소하는 모습을

나타내고 있다. 동일한 회분 함량에서 충전제로 GCC만을 내침한 도공지 샘플보다 3종류의 GCC-MFC 복합 충전제(composite 2%, 3%, 4%)를 내침한 도공지 샘플의 인장지수가 더 높은 결과값을 나타내고 있다. 이는 복합 충전제 응집체가 섬유와 섬유 사이의 공간에 다량 분포함으로써 GCC만을 충전제로 사용한 수초지에 비하여 상대적으로 섬유 간 결합이 크게 기여하기 때문으로 생각되었다.<sup>15-17)</sup>

또한 도공액의 바인더로 VAE를 사용한 (b)도 같은 경향을 보이고 있으며 (a)와 (b)는 그다지 큰 차이를 보이지 않았다. 이것으로 보아 두 바인더 SB Latex와 VAE는 도공지의 인장강도 발현에 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 판단되었다.

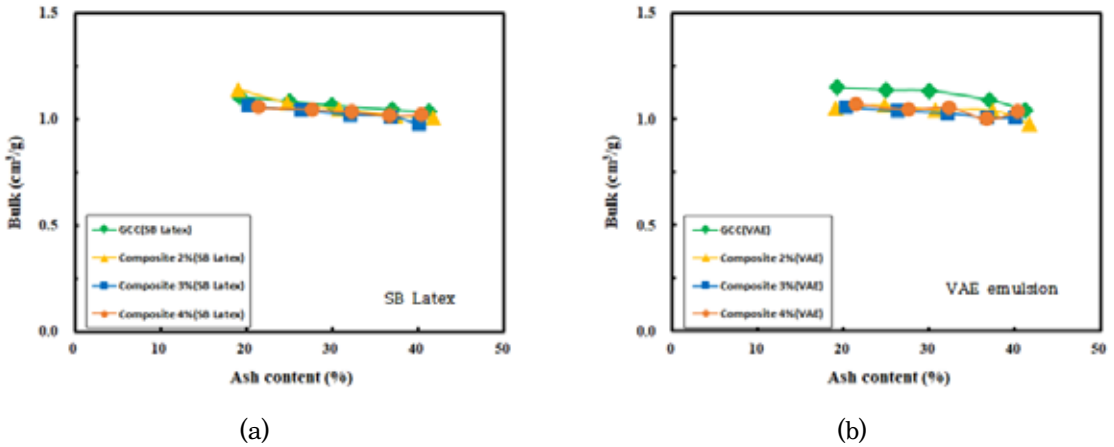


Fig. 2. Effect of ash content on the bulk of coated paper.

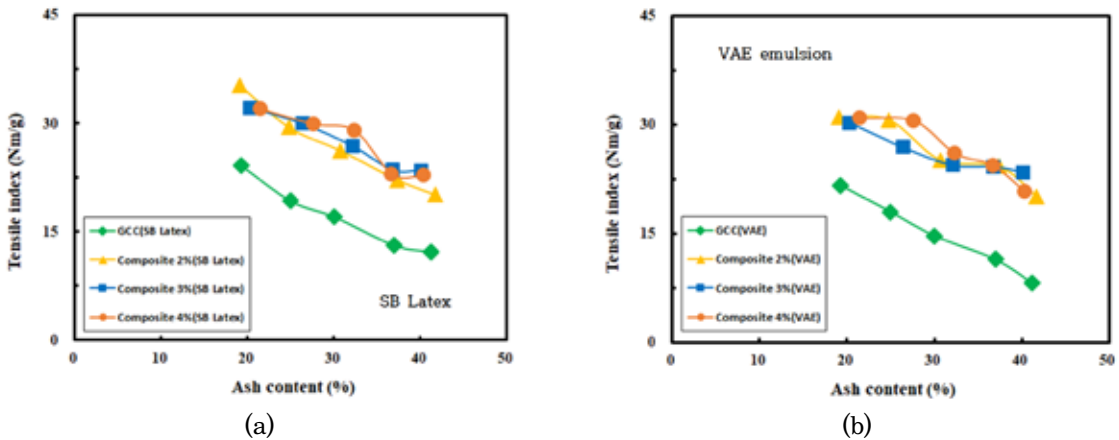


Fig. 3. Effect of ash content on the tensile index of coated paper.

### 3.3 신장률

내침 조건이 다른 4종류의 수초지 샘플(GCC, composite 2%, 3%, 4%)에 Table 6에 의해 제조된 2종류의 도공액을 각각 도포하여 총 8종류의 도공지를 제조하였다. 이들 도공지 샘플의 내침 조건의 차이가 신장률에 미치는 영향에 대하여 분석한 결과 그래프를 Fig. 4-(a), (b)에 나타내었다.

Fig. 4(a)는 바인더로 SB Latex를 사용하였고 Fig. 4(b)는 VAE를 사용하여 제조된 도공지 샘플의 신장률 결과 그래프이다. 동일한 ash 함량에서 충전제로 GCC만을 내침한 도공지 샘플보다 GCC-MFC 복합 충전제(composite 2%, 3%, 4%)를 내침한 도공지 샘플의 인장강도가 더 높은 결과를 나타내었다.

이는 복합 충전제를 제조함으로써 실제 GCC의 입자경보다 더 큰 입자를 갖는 응집체를 형성하여 섬유와 섬유 사이의 결합을 덜 방해한 결과로 판단되었다. 한편, 3종류의 GCC-MFC 복합 충전제(composite 2%, 3%, 4%)를 내침한 도공지 샘플 간의 비교에서 보면 MFC 첨가량을 각각 2%와 3%로 조절한 경우는 신장률이 증가하는 경향을 나타내었다. 하지만 MFC 첨가량이 4%인 경우는 2%, 3%의 샘플에 비해서 상대적으로 물성의 개선효율이 저하되는 경향을 나타내었다.

### 3.4 인장에너지흡수

인장에너지흡수(Tensile Energy Absorption, TEA)는 종이의 응력-변형률 곡선의 아래 부분에 대한 면적을 구한 값으로 이는 시편이 파괴되는 시점까지 흡수된 에너

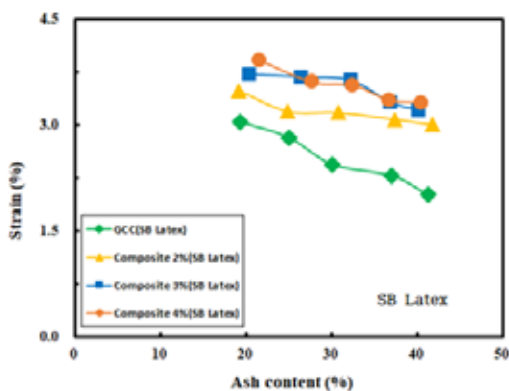
지를 나타내며 TEA는 종이의 인장강도와 신장률에 많은 영향을 받는다. 내침 조건이 다른 4종류의 수초지 샘플(GCC, composite 2%, 3%, 4%)에 Table 6에 의해 제조된 2종류의 도공액을 각각 도포하여 총 8종류의 도공지를 제조하였다. 이들 도공지 샘플의 내침 조건의 차이가 TEA에 미치는 영향에 대하여 분석한 결과를 Fig. 5-(a), (b)에 나타내었다.

Fig. 5(a)는 바인더로 SB Latex를 사용한 도공지 샘플의 결과이고 Fig. 5(b)는 VAE를 사용한 도공지 샘플의 TEA를 보이고 있다. 회분 함량이 증가함에 따라 TEA도 앞서 살펴 본 다른 물성과 같이 감소하는 경향을 나타내고 있으며 GCC를 내침한 경우보다 복합충전제(composite 2%, 3%, 4%)를 내침한 도공지의 TEA가 더 높은 값을 나타내었다.

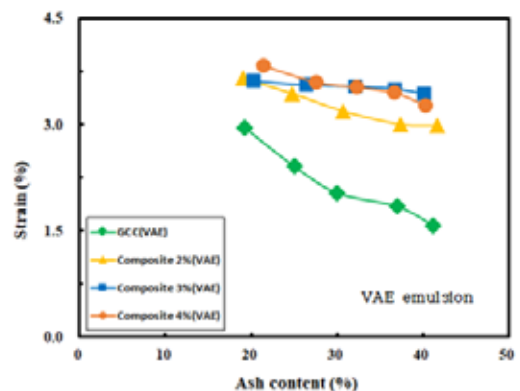
이는 충전제의 첨가량이 증가함에 따라 섬유 간 결합면적의 감소를 유도하게 되고 실제적으로 섬유 간 결합을 방해하는 역할을 수행하게 된다. 따라서 회분 함량의 증가에 비례하여 TEA값은 감소하는 경향을 나타내었다. MFC가 첨가된 복합충전제(composite 2%, 3%, 4%)의 경우, 충전제에 포함되어 있는 MFC가 섬유 간 결합에 기여하기 때문에 GCC만을 내침한 경우보다 더 높은 값을 나타낸 것이라 판단되었다.

### 3.5 파열강도

GCC와 GCC-MFC 복합 충전제를 각각 내침제로 적용한 8종류의 도공지의 파열강도 측정결과를 Fig. 6-(a), (b)에 나타내었다. Fig. 6(a)는 바인더로 SB Latex를 사



(a)



(b)

Fig. 4. Effect of ash content on the strain of coated paper.

용한 도공지 샘플의 측정결과이고 Fig. 6(b)는 VAE를 사용한 도공지의 결과로서 파열강도를 각각 평량으로 나누어 파열지수로 나타내었다.

파열지수의 결과도 앞서 검토한 다른 물성의 결과와 같이 ash 함량이 증가함에 따라 파열지수가 감소하는 경향을 나타내었다. Fig. 6(a), (b)의 결과 모두 내첨제로서 GCC를 첨가한 도공지 샘플의 결과가 MFC를 첨가한 복합충전제(composite 2%, 3%, 4%)를 내첨제로 이용한 도공지의 파열지수보다 낮은 값을 나타내었다.

하지만 앞서 살펴 본 인장지수, TEA 등의 경우와 달리 GCC-MFC 복합충전제의 내첨 조건(composite 2%, 3%, 4%)에 따른 비교의 경우, 코팅층에 포함된 바인더의 종류에 상관없이 도공지 샘플의 파열지수 값에 큰 차이를 보이지 않았다.

### 3.6 크랙 면적

GCC와 GCC-MFC 복합 충전제(composite 2%, 3%, 4%)를 각각 내첨제로 적용한 도공지 샘플에 대해 동일 조건에서 폴드 크랙을 발생시키고 발생된 크랙 면적을 분석한 결과를 Fig. 7-(a), (b), (c)에 나타내었다. Fig. 7(a)는 바인더로서 SB Latex를 사용한 도공지의 결과이고 Fig. 7(b)는 VAE를 사용한 도공지 샘플의 결과를 보이고 있다. Fig. 7(c)는 Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)의 결과에서 각각 GCC-MFC 복합충전제의 내첨 조건이 composite 3%인 결과만 따로 나타낸 결과이다.

Fig. 7(a), (b) 그래프 모두 회분 함량이 증가함에 따라 크랙 면적이 증가하는 경향을 나타내었다. 앞서 살펴 본 바와 같이 회분 함량이 증가함에 따라 강도가 감소하게 되고 특히 신장률이 감소하기 때문에 그 영향으로 크랙

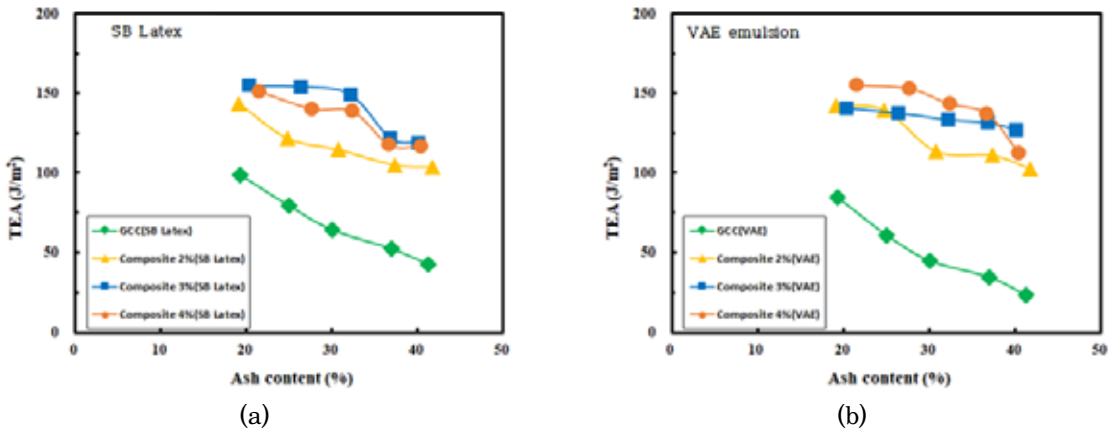


Fig. 5. Effect of ash content on the TEA of coated paper.

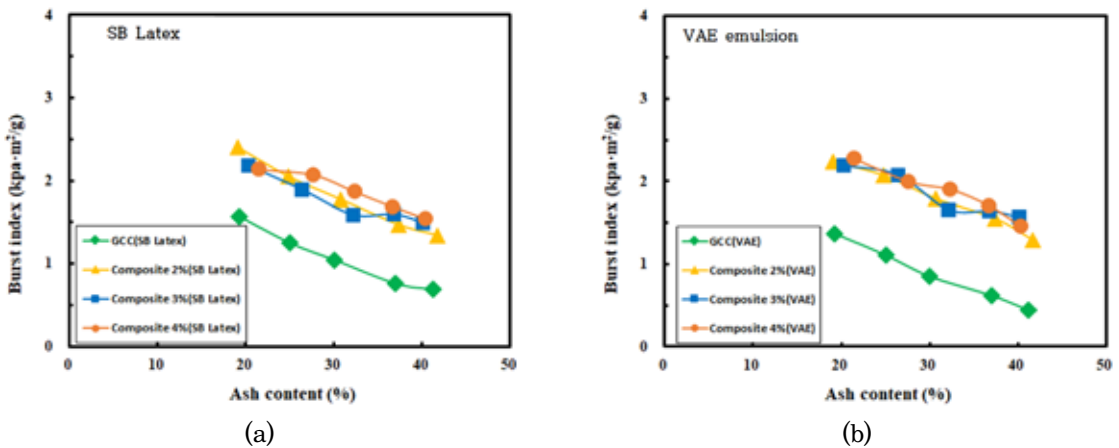
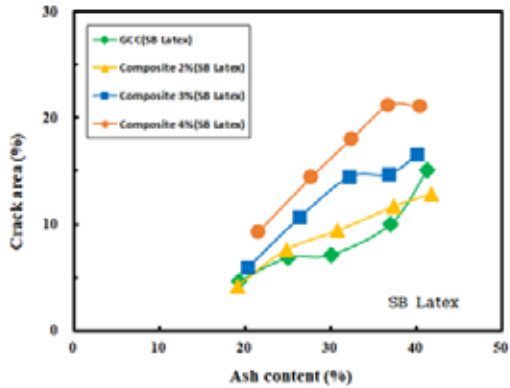


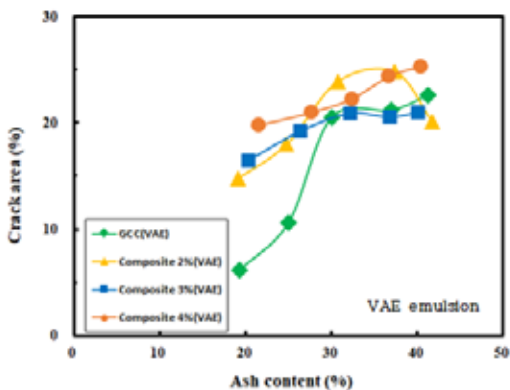
Fig. 6. Effect of ash content on the burst index of coated paper.



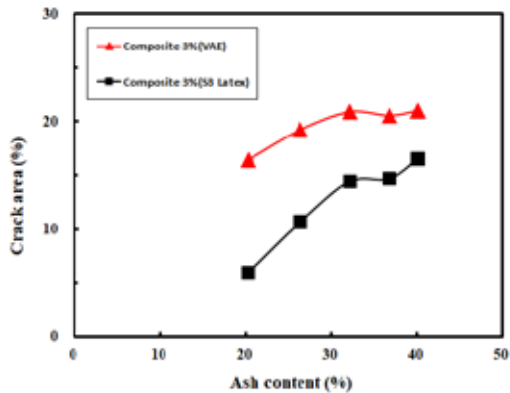
면적이 증가하는 것으로 판단되었다. 한편, Fig. 7(c)를 보면 VAE를 이용한 도공지 샘플의 결과가 SB Latex를



(a)



(b)



(c)

Fig. 7. Effect of ash content on the crack area of coated paper.

포함하는 도공층의 크랙 면적보다 더 큰 값을 나타냈다. 화학 구조적으로 VAE 에멀션 바인더가 SB Latex 바인더보다 유연한 구조를 지니기 때문에 도공층에 크랙이 덜 일어날 것이라는 생각과 달리 상이한 결과가 나왔다. 이는 제조된 도공지의 자체 강도가 약해 접는 과정에서 원지층을 포함한 표층부가 터져버려 비교하기 어렵었고 정확한 평가가 쉽지 않아 생긴 실험적인 오류일 수 있으리라 생각하였고 SEM 사진을 통해 도공층에 크랙이 덜 일어날 것이라는 생각과 일관성을 갖는 결과를 얻을 수 있었다.

신장률과 크랙 면적과의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. 4종류의 도공지 샘플은 내첨 조건에 따라 신장률과 크랙 면적 간의 상관성에 수치적인 차이를 보이고 있지만 신장률이 높을수록 크랙 면적은 감소하는 일관된 경향을 나타내었다.

Fig. 9와 같이 동일 크랙 면적을 기준으로 했을 때도 GCC만을 내첨제로 이용한 도공지보다 GCC-MFC 복합 충전제(composite 2%, 3%, 4%)를 이용한 도공지의 신장률이 더 우수한 결과가 나타났다. 이를 통해서도 복합 충전제의 적용이 신장률과 크랙 면적에 있어서 동시에 우수한 결과를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.7 UHR-SEM을 이용한 폴드 크랙 현상 분석

VAE 에멀션 바인더와 SB Latex를 각각 이용한 도공지의 폴드 크랙(단면) UHR-SEM 사진을 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 왼쪽의 사진은 GCC만을 첨가한 경우, 오른쪽의 사진은 GCC-MFC 복합충전제(composite 2%)

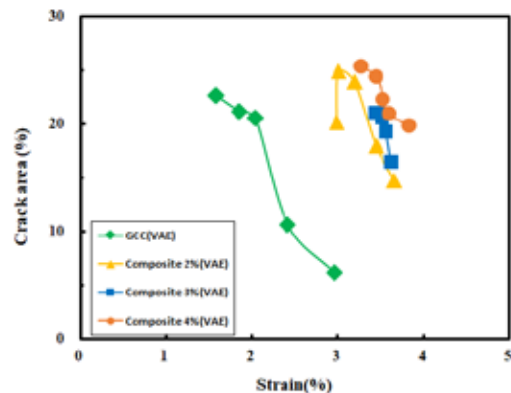


Fig. 8. Effect of strain on the crack area of coated paper.

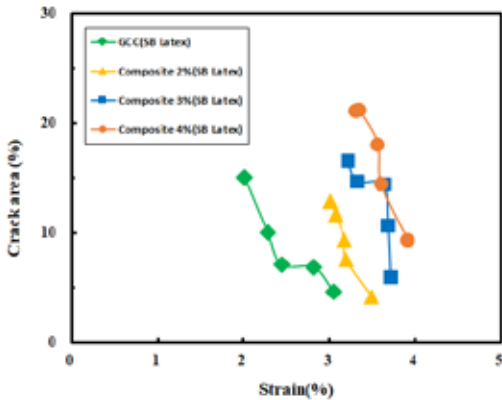


Fig. 9. Effect of strain on the crack area of coated paper.

를 첨가한 도공지의 SEM 사진으로 크랙 단면을 100배 확대한 모습이다.

Figs. 10-11에서 보면 두 충전제의 사진 모두 회분 함량이 증가함에 따라 크랙이 심해지는 것으로 나타났다. 이는 충전제의 함량이 증가함에 따라 섬유 간 결합의 면적이 감소하고 섬유와 섬유 사이에 존재하는 수소결합 발현에 좋지 않은 영향을 주어 강도가 약해졌기 때문이라 판단되었다. 또한 GCC만을 충전제로 사용한 경우보다 복합충전제(composite 2%)를 사용했을 때 크랙 발생 상황에서 더 안정적인 모습을 나타내었다. 복합 충전제에 포함되어 있는 MFC가 응집체 형태로 공극부분에 존재하면서 섬유 간 결합을 도왔기 때문이라 판단되었다.

한편, GCC-MFC 복합충전제(composite 2%)를 첨가한 2종류의 도공지의 SEM 사진을 비교해 보면 VAE를 사용한 도공지(Fig. 10)가 SB Latex를 바인더로 사용한 도공지(Fig. 11)보다 크랙의 발생정도가 덜 한 것을 볼 수 있다. 앞서 살펴본 크랙 면적의 비교와는 달리 VAE를 바인더로 이용한 경우에 동일한 조건에서 크랙 발생 비율이 상대적으로 억제될 수 있음을 확인하였다.

#### 4. 결론

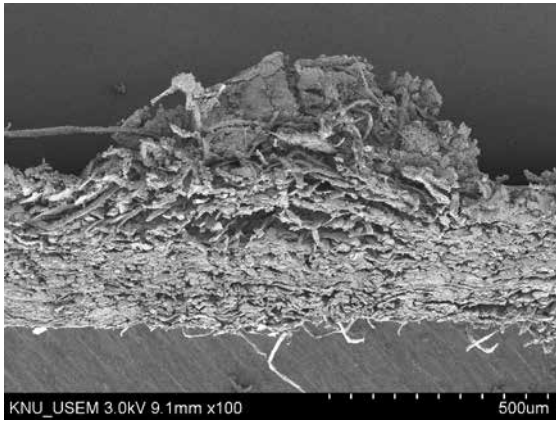
본 연구에서는 도공지의 폴드 크랙 문제를 개선하기 위한 목적으로 내침제로서 GCC와 GCC-MFC 복합 충전제(composite 2%, 3%, 4%)를 적용한 도공원지(수

초지)에 2종류의 바인더를 적용한 도공액을 각각 도포하여 도공지를 제조하였다. 제조된 도공지의 물성과 폴드 크랙 발생과 관련한 분석 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

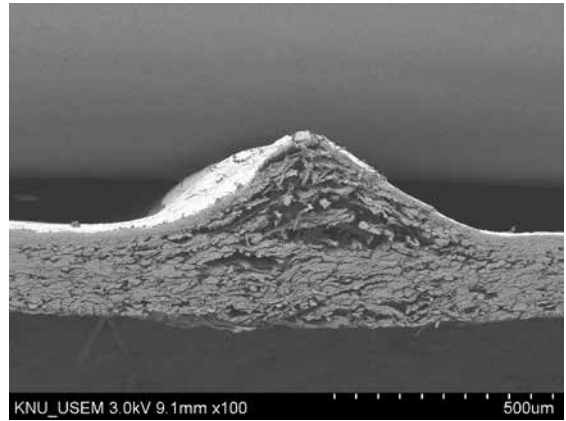
- 1) 도공액의 제조에 2종류의 바인더(SB Latex, VAE)를 각각 사용하여 도공지를 제조하였는데 각각의 도공지의 물성을 비교해 본 결과, 강도의 차이는 크게 나타나지 않았다. 이는 바인더가 포함된 도공층이 도공원지(수초지)에 비해서 도공지 샘플의 강도에 미치는 영향이 그다지 높지 않기 때문으로 생각되었다. 따라서 상대적으로 SB Latex 바인더에 비해 도공층에 유연성을 부여하기 용이한 VAE 에멀션 바인더를 이용하는 방법도 가능할 것으로 판단되었다.
- 2) SEM을 통해서 확인해 본 바와 같이 바인더로서 SB latex를 사용한 도공지보다 VAE 에멀션 바인더를 사용하여 제조한 도공지가 상대적으로 크랙 발생이 적고 안정적인 모습을 보였다.
- 3) 바인더로서 SB Latex와 VAE 에멀션 바인더를 각각 사용한 2 종류 of 도공지의 비교 결과, 내침제로서 GCC를 이용한 경우보다 GCC-MFC 복합충전제를 이용하여 제조한 도공지 샘플이 폴드 크랙 발생이 억제되고 품질 측면에서 안정화된 모습을 나타내었다. 복합충전제에 MFC가 포함된 응집체는 섬유와 섬유사이의 공극부분에 분포하면서 섬유 간의 수소결합에도 도움을 주었기 때문으로 판단된다.
- 4) 도공지 물성과 화상분석만으로는 분석이 쉽지 않은 부분도 있었으나 UHR-SEM을 이용한 도공지의 단면사진을 통해 SB Latex를 사용했을 때보다 VAE를 사용했을 때 폴드 크랙의 발생이 억제되고 품질 측면에서 더 안정적인 모습을 보이는 것을 확인하였다.

#### 사사

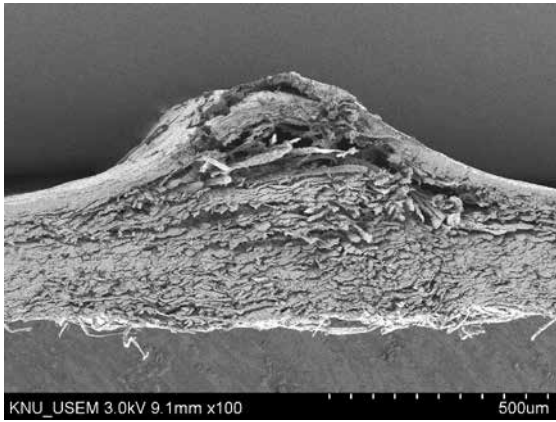
본 연구는 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2020R111A3A0403778).



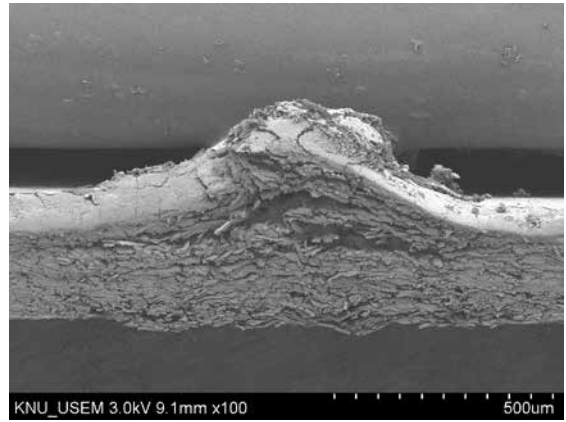
GCC, ash 19.23%



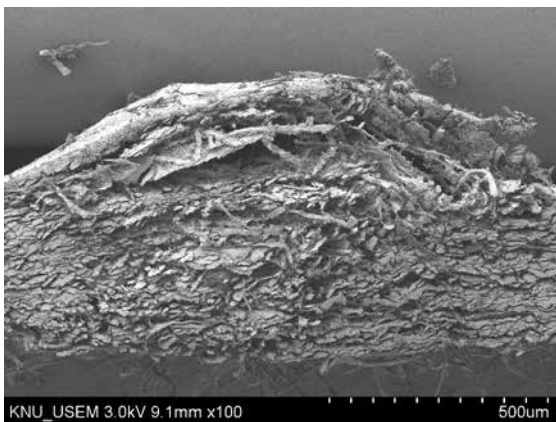
Composite 2%, ash 19.23%



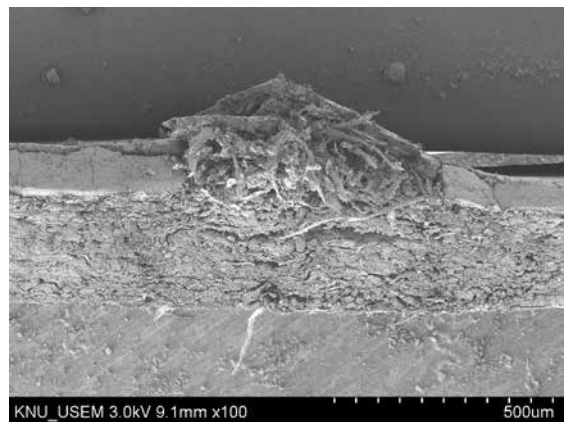
GCC, ash 30.00%



Composite 2%, ash 30.73%

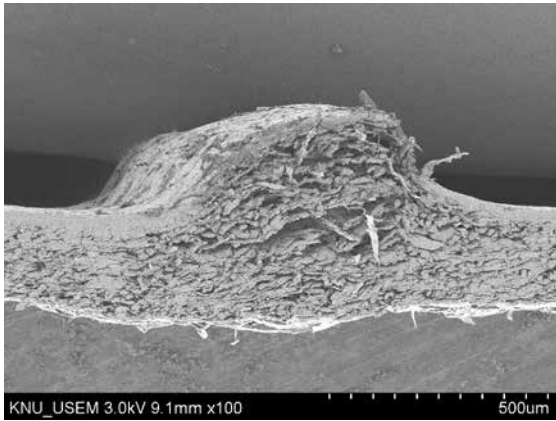


GCC, ash 41.23%

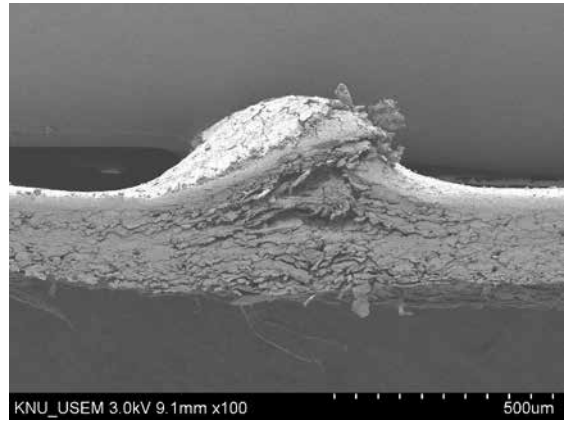


Composite 2%, ash 41.72%

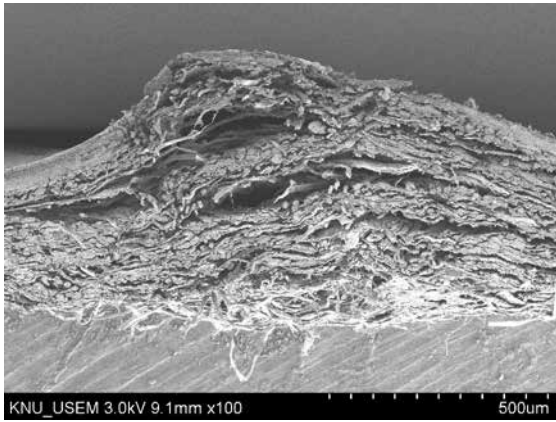
Fig. 10. Crack area of coated paper using VAE with increasing ash content.



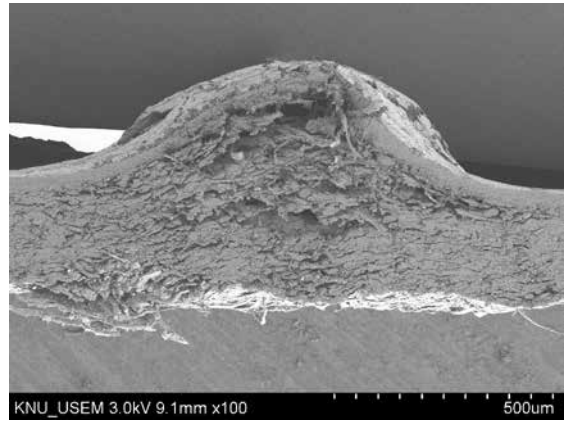
GCC, ash 19.23%



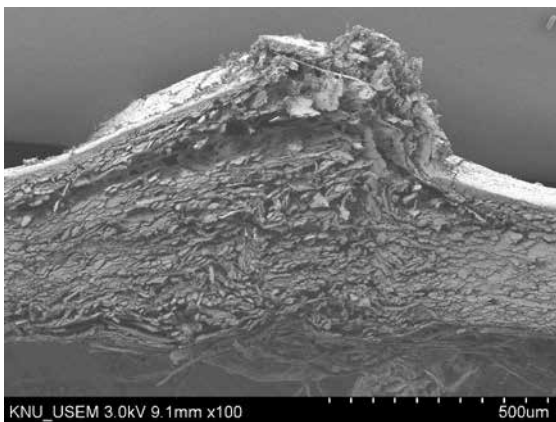
Composite 2%, ash 19.09%



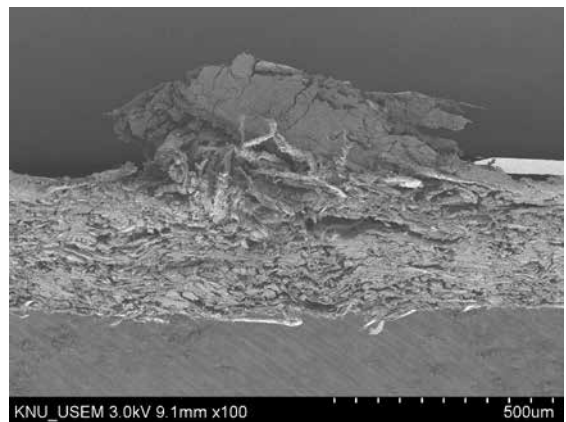
GCC, ash 30.00%



Composite 2%, ash 30.73%



GCC, ash 41.23%



Composite 2%, ash 41.72%

Fig. 11. Crack area of coated paper using SB latex with increasing ash content,

## Literature Cited

- Oh, K., Sim, K., Jeong, Y. B., Youn, H. J., Lee, H. L., Lee, Y. M., and Yeu, S. U. (2015). Effect of coating binder on fold cracking of coated paper. *Nord. Pulp. Pap. Res. J.*, 30(2):361–368 (2015).
- Lim, W. H., Oh K. D., Abhari, A. R., Lee, J. H., Lee, H. L. "A study on the quantitative evaluation method of fold cracking of coated paper." *Journal of Korea TAPPI* 49(5):20–27 (2017).
- Johnson, D.A., Paradis, M.A., Bilodeau, M., Crossley, B., Foulger, M., and Gélinas, P., Effects of cellulosic nanofibrils on papermaking properties of fine papers, *TAPPI Journal* 15(6):395–402 (2016).
- Shen, J., Song, Z., Qian, X., and Liu, W., Modification of papermaking grade fillers. A brief review, *BioResources* 4(3):1190–1209 (2009).
- Song, D., Dong, C., Ragauskas, A., and Deng, Y., Filler modification engineering for improved paper properties and papermaking process, *Proceedings of TAPPI PaperCon* pp. 1–19 (2009).
- Menard, S., Sutman, F. and Yu, A., Increasing ash without compromise – A comprehensive approach, *PaperCon*, pp. 583–615 (2011).
- Yang, H., Qiu, L., Qian, X., and Shen, J., Filler modification for papermaking with cationic starch and carboxymethyl cellulose. A comparative study, *BioResources* 8(4):5449–5460 (2013).
- Li, T., Fan, J., Qi, J., Liu, L., Li, L., Qian, X., Wang, Q., Ni, Y., and Shen, J., Tailoring starch-engineered mineral particles towards enhanced interaction with cellulosic fibers, *Journal of Bioresources and Bioproducts* 2(1):36–44 (2017).
- Sang, Y., McQuaid, M. and Englezos, Pre-flocculation of precipitated calcium carbonate filler by cationic starch for highly filled mechanical grade paper, *Bioresources* 7(1):354–373 (2012).
- Seo, D.G., Im, W.H., Youn, H.J., and Lee, H.L., The effects of process variables for GCC pre-flocculation on floc and handsheet properties, *Nord. Pulp. Pap. Res. J.*, 27(2):382–387 (2012).
- Lee, S.Y., Goo, S.H., Lee, D.Y., Yang, C., Huang, Q. and Zou, X., A new dual polymer filler pre-flocculation technology for improving paper quality, *Pan Pacific Conference*, Seoul, Korea, pp. 67–68 (2016).
- Kim, S. G., Jeong, K. M., Lee Y. K, Effective Use of Binder Composition in Functional Coating (I): Flow Characteristics of Coating Dispersion and Properties of Coated Paper, *Journal of Korea TAPPI* 52(4)52–62 (2020).
- The report on carcinogens, National Toxicology Program, <https://ntp.niehs.nih.gov/pub-health/roc/index.html> (2011).
- Kim, S. G., Choi, Y. H., Lee, W. J., Je, Y. M., Won, J. M., and Lee, Y. G. Effect of VAE application and inorganic metal salt-based water repellent on coated paper quality. *Proceedings of the Korean Society for Pulp and Paper Engineering Conference*, pp. 102–103 (2015).
- Chauhan, V. S. and Nishi K. B., Role of particle size and pre-flocculation of talc in improvement of paper properties, *Tappi Journal* 13(4):17–26 (2014).
- Song, S., Liang, J., Li, L., Zhang, M., Nie, J., and Zhen, X. Selection of filler particle size for maximizing the critical properties of cellulosic paper by filler pre-flocculation. *Nord. Pulp. Pap. Res. J.*, 33(4):603–609 (2018).
- 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, *Nord. Pulp. Pap. Res. J.*, 27(2):382–387 (2012).