

GCC-MFC 복합 충전제의 적용이 도공지의 폴드 크랙에 미치는 영향

최재준¹, 정경모², 원종명³, 이용규^{3†}

접수일(2020년 9월 29일), 수정일(2020년 10월 14일), 채택일(2020년 10월 16일)

Effect of GCC-MFC Composite Application as Fillers on Fold Crack of Coated Paper

Jae-Jun Choi¹, Kyoung-Mo Jeong², Jong-Myoung Won³, Yong-Kyu Lee^{3†}

Received September 29, 2020; Received in revised form October 14, 2020; Accepted October 16, 2020

ABSTRACT

In this study, in order to solve the problem with the folding crack of coated paper, effects of the types of fillers used in the manufacture of base paper on the fold crack of the coated paper were evaluated. GCC and GCC-MFC composite fillers were used as fillers for the manufacture of handsheet paper. In order to investigate the effect of MFC addition as a GCC-MFC composite filler, 3 levels of MFC(2%, 3%, and 4%) were applied. It was found that as the ash content increased, the strength of handsheet paper with GCC and GCC-MFC composite fillers was decreased significantly. The coated paper with GCC-MFC composites as fillers showed the best results in both strength properties and fold crack resistance. Therefore, it was confirmed that replacing GCC with GCC-MFC composites could be used as important means to solve the fold crack problem of coated paper.

Keywords: *Fold crack, coated paper, GCC-MFC composite filler, paper strength*

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

기후변화 및 지구온난화가 갈수록 심화됨에 따라 전 세계적으로 이를 개선하기 위한 제도적 기준이 마련되었고 대부분의 제조업체들은 제품 생산과정에서 에너지 소비 및 탄소 배출을 감소시키기 위한 실질적인 개선 방법을 검토하고 있다. 제지업체도 이와 크게 다를 바 없으며 특히 백상지 제조회사들이 이러한 목적을 달성하기 위하여 펄프 섬유 사용량을 줄이고 충전제 사용량을 늘리기 위한 노력을 기울이고 있다. 그러나 충전제 사용량을 증가시킬 경우 종이의 강도는 현저히 감소되며, 특히 도공지 및 도공판지의 경우 폴드 크랙과 같은 제품 품질상의 심각한 문제가 발생하므로 말미암아 충전제 사용량을 높이는 데 어려움을 겪고 있다.

최근 들어 일반 충전제의 한계를 극복하기 위해 종이 내 충전물의 함량을 증가시킬 수 있는 여러 가지 방안이 소개되고 있다. 제지 업체들은 각자의 공정에 알맞은 기술을 선택하고 이를 적용하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다.¹⁾ 충전제 사용량의 증가에 따른 강도와 관련된 품질 저하 문제 해결을 위하여 노력한 예를 살펴보면 지력 증강제의 사용량을 늘리거나,²⁾ 나노셀룰로오스를 습부에 첨가하는 방법이 시도된 바 있으며,³⁾ 충전제의 표면 처리를 통한 개질,⁴⁻⁸⁾ 선응집⁹⁻¹¹⁾ 등의 방법을 통한 종이 강도 향상을 위한 연구가 진행된 바 있다. 한편 Fiber-lean Technologies사에서 개발한 GCC 복합체 즉 GCC와 펄프를 함께 갈아서 제조하는 방법에 따라 국내 제지 회사에서 공정 적용을 시도한 바 있으나 우리나라 백상지 제조회사들이 외국에 비하여 이미 매우 높은 회분 함량을 유지하고 있어서 만족스러운 결과를 얻지 못하였다.

재료적인 측면에서 도공지의 폴드 크랙에 대한 영향인자는 원지층과 도공층으로 나누어 생각할 수 있다. 도공지의 폴드 크랙에 미치는 영향으로 원지층을 생각해봤을 때 원지층의 강도가 무엇보다 중요하다. 원지의 강도를 높이기 위해 지력 증강제를 첨가하거나 침엽수 섬유 함량을 늘리는 방법을 폴드 크랙을 해결하기 위한 수단으

로 생각할 수 있다. 그러나 150 g/m² 평량 원지로 제조된 도공지의 경우, 소량의 침엽수 섬유를 혼합하는 수준에서 접힘 터짐을 최소화할 수 있었지만, 첨가량을 확대하여 추가적으로 원지의 강도를 증가시키는 경우는 오히려 접힘 터짐을 심화시키는 것으로 보고된 바 있다.¹²⁾

원가 절감을 이유로 내첨제로서 무기충전제 함량을 높이는 방법은 도공지의 폴드 크랙 현상을 심화시켜 품질상의 큰 문제를 야기할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이를 개선하기 위한 목적으로 여러 가지 조건의 GCC-MFC 복합 충전제를 포함하는 원지를 제조하였고 각각의 초지 조건에서 제조된 수초지 및 도공지의 물성이 강도적 측면에서 폴드 크랙에 미치는 영향을 평가하였다.

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, 표백화학열기계펄프는 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, modi-

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/100 m	71.1	652.1	137.1

fied 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 화제(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 disintegrator, 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. 고해가 끝난 후 지료를 옮기고 청소하는 과정에서 고해기의 벽면에 붙거나 뚜껑에 붙은 것은 고해가 제대로 이루어지지 않은 것으로 간주하여 사용하지 않았다.

2.2.3 지료 조성

여수도 450 mL CSF로 조절된 SwBKP와 HwBKP, BCTMP를 82:12:6(wt%)으로 섞은 후 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, Super Masscolloider, Masuko Sangyo, Japan)를 이용하여 5회 그라인딩하여 MFC를 제조하였다. 그라인더의 스톤 간격은 -150~-200 μm 로 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 복

Table 2. Properties of GCC-MFC composite fillers polymers

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

Table 3. Properties of coating binder

	Average particle size (\AA)	Viscosity (cPs)	Tg* ($^{\circ}\text{C}$)	pH
SB Latex	1120	93.7	2	8.0

*Tg: glass transition temperature.

합 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 해리기를 이용하여 3000 rpm에서 반응시켜 마무리 지었다. 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 $115 \pm 3 \text{ g/m}^2$ 으로 조절하였다. 약품은 양성전분, GCC, C-PAM, 벤토나이트, MP 순으로 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 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 $23 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 $50 \pm 2\%$ 로 유지되는 항온·항습실에서 24시간 이상 충분한 조습처리를 실시했다. 수초지의 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.

2.3 도공지 접합터짐 평가

2.3.1 도공지 제조

도공액의 배합조성은 중질탄산칼슘 100부, SB Latex 12부에 고형분 농도는 67%로 조정하였으며 그 외의 첨가제는 Table 6에 나타낸 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.

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

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	×

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 측정하는데 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 이미지를 얻었다. 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.

3. 결과 및 고찰

3.1 벌크

벌크가 높다는 것은 동일한 부분의 종이의 면적에서 중

Table 6. Coating color formulation (Unit:pph)

	Run 1
CaCO ₃	100
NaOH	0.2
Dispersant	0.12
SB Latex	12
Insolubilizer	0.32
Lubricant	0.4
Total solid concentration (%)	67

이의 두께가 더 두껍다는 것을 의미한다. GCC와 composite 2%, 3%, 4%의 충전제로 달리하여 종이에 투입하였을 때 벌크에 미치는 영향에 대하여 분석하였고 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 보는 바와 같이 제조된 수초지의 회분 함량이 증가함에 따라 4종류의 수초지 샘플(GCC와 composite 2%, 3%, 4%) 모두 벌크가 미세하게 감소하는 경향을 나타냈다. 동일 회분 함량을 기준으로 각각의 수초지 샘플의 벌크 값을 비교할 경우, 4종류의 샘플은 벌크값에 큰 차이를 나타내지 않았고 비슷한 수치를 나타내었다. 이는 회분 함량이 증가할수록 충전제가 종이의 공극을 메꾸 줌으로써 종이가 더 치밀해졌기 때문이라고 판단되었다.

3.2 인장강도

종이의 강도적 특성에 있어서 인장강도는 매우 중요한 성질이며 인쇄용지, 포장지 등 직접 인장응력을 받는 종이의 내구성 및 성능을 나타내는 지표이기도 하다. 인장강도는 섬유 배향성, 함수율, 섬유의 성질, 섬유 간 결합, 첨가제의 및 평량에 의하여 영향을 받는다. 인장지수는 인장강도를 평량으로 보정한 값으로 시편이 파괴되는 단위 폭당 최대 힘을 말한다.

4종류의 수초지 샘플(GCC, composite 2%, 3%, 4%)에 대해 회분 함량이 증가함에 따른 인장지수를 분석한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 인장지수는 회분 함량이 증가할수록 GCC와 composite 2%, 3%, 4% 모두 감소하는 경향을 보였다. 인장강도의 경우 섬유 간 상대 결합 면적에 크게 영향을 받는다. 종이의 회분함량이 증가할수록

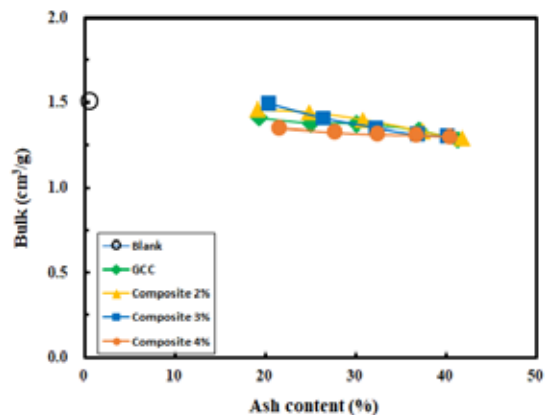


Fig. 1. Effect of ash content on the bulk of handsheet.

많아진 충전제가 섬유 간 결합을 방해하고 결합강도 발현에 기여하는 섬유의 비율이 상대적으로 줄어들기 때문에 종이의 강도는 감소하게 된다. 동일 회분율에서 GCC를 첨가한 것보다 composite 2%, 3%, 4%를 첨가한 것이 현저히 높은 값을 나타내었으며, 특히 MFC 3% 투입하여 제조한 복합 충전제의 경우 인장지수가 가장 높았다. GCC 사용 시 회분 함량 약 18%에서 얻을 수 있는 강도를 회분 함량 약 42%에서 얻을 수 있게 된 것은 매우 흥미로운 성과라 할 수 있다.

GCC보다 composite 2%, 3%, 4%를 첨가한 종이의 인장지수 값이 더 큰 이유는 GCC만을 충전제로 이용한 경우와 달리 3종류의 수초지 샘플(composite 2%, 3%, 4%)은 고분자와의 복합화에 따라 입도가 증가하면서 섬유 간의 수소 결합의 방해가 감소되었기 때문이다. 아울러 Fig. 3에서 보는 바와 같이 복합 충전제 응집체가 섬유와

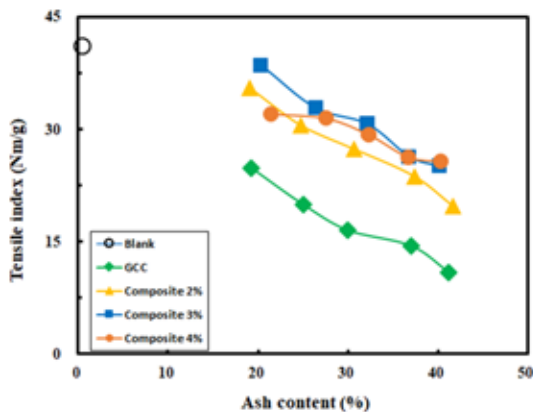
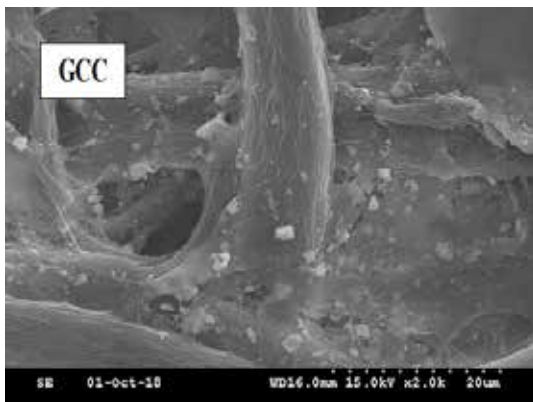


Fig. 2. Effect of ash content on the tensile index of handsheet.



섬유 사이의 공간에 다량 분포함으로써 GCC만을 충전제로 사용한 수초지에 비하여 상대적으로 섬유 간 결합이 크게 향상되었고,¹³⁻¹⁵⁾ 복합 충전제 제조 시 사용한 MFC가 섬유 간 결합의 형성을 개선시켜 주었기 때문인 것으로 판단되었다.

3.3 신장률

신장률은 (파단했을 때의 길이-재료의 길이/재료의 처음 길이)*100으로 나타낼 수 있는데, 신장률이 높아질수록 에너지 흡수 능력이 향상되기 때문에 외부 하중에 견딜 수 있는 성능이 좋아진다는 것을 의미한다. 충전제 함량이 증가할수록 강도와 관련된 물성이 저하되는 경향이 있는데 strain에서도 같은 경향이 나타난다. Fig. 4는 ash 함량이 증가할수록 신장률이 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 4종류의 수초지 샘플(GCC, composite 2%, 3%, 4%)에서 모두 같은 결과를 나타내는 것을 볼 수 있었다. 이렇게 감소하게 된 이유는 다른 강도와 관련된 수초지 물성이 감소한 이유와 같이 충전제가 섬유와 섬유 사이의 결합을 방해하였기 때문이라고 판단되었다. 섬유와 섬유가 맞닿은 부분에서 수소결합이 일어나는데 이 부분을 충전제가 자리 잡아 섬유와 섬유 사이의 결합을 방해하였기 때문이다. 그럼에도 불구하고 복합 충전제를 사용한 3종류의 수초지 샘플의 경우는 GCC만을 사용했을 때보다 매우 높은 strain 값을 나타내어 도공지의 폴드 크랙 문제 해결에 도움이 될 수 있을 것으로 기대되었다.

3.4 인장 에너지 흡수

TEA는 종이의 응력-변형률 곡선의 아래 부분에 대한 면

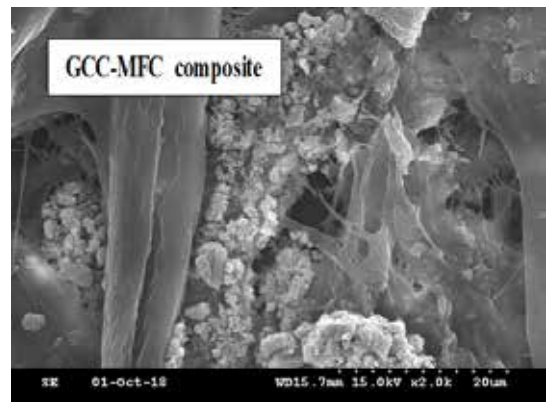


Fig. 3. SEM images of handsheets filled with GCC and GCC-MFC composite as a filler.

적을 구한 값으로 이는 시편이 파괴되는 시점까지 흡수된 에너지를 말하며 TEA는 종이의 인장강도와 신장률에 의하여 영향을 받는다. Fig. 5은 composite 2%, 3%, 4%와 GCC가 각각의 수초지에 첨가됨에 따라 종이의 TEA 변화에 미치는 영향을 보여주었다. 복합 충전제를 사용한 3종류의 수초지 샘플(Composite 2%, 3%, 4%)에 의해 얻어진 그래프를 보면 GCC만을 첨가한 수초지 샘플보다 현저히 높은 TEA 값을 나타내고 있었다. 이와 같은 결과가 얻어진 것은 이미 인장지수 및 신장률에서 설명한 바와 같이 복합 충전제 제조 과정에서 입도가 증가하면서 섬유와 섬유 사이의 공간에 위치하는 충전제의 양이 증가하여 섬유 간 결합의 방해가 감소되고, 또한 MFC는 섬유 간 결합을 개선시켜 주는 역할을 했기 때문인 것으로 판단되었다.

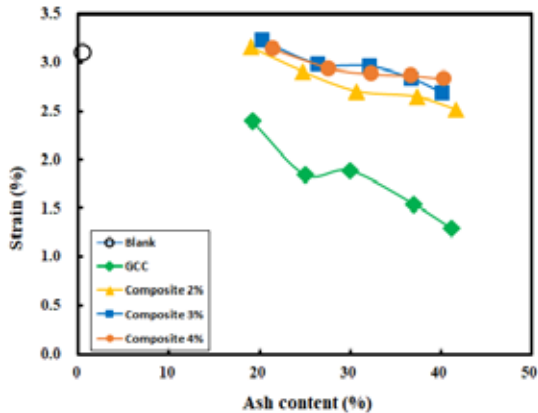


Fig. 4. Effect of ash content on the strain of handsheet.

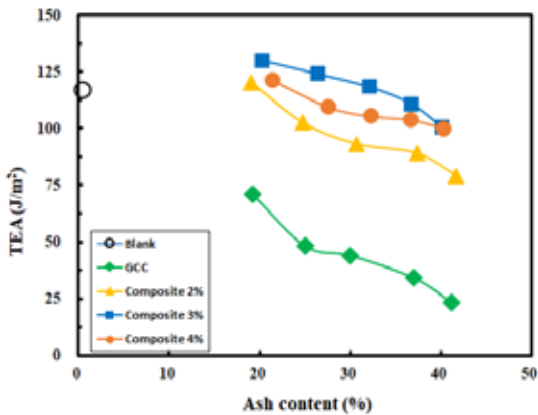


Fig. 5. Effect of ash content on the TEA of handsheet.

3.5 파열강도

GCC와 GCC-MFC 복합 충전제를 적용한 4종류의 수초지의 파열강도를 측정할 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 회분 함량이 증가함에 따라 모든 수초지 샘플의 파열강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 그림에도 불구하고 3종류의 복합 충전제의 경우는 동일 회분함량에서 파열강도를 비교할 경우, GCC만을 사용하여 제조한 수초지 샘플의 결과와 달리 모두 현저히 높은 값을 나타내고 있었다. 다시 말해 GCC만을 사용할 경우, 회분 함량 약 26%에서 얻을 수 있는 파열지수를 GCC-MFC 복합 충전제 적용 시에는 회분 함량이 40% 이상에서 얻어지는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 복합 충전제 적용 시 우수한 결과가 나온 이유는 이미 인장지수에 대한 설명에서 언급된 바와 같다.

3.6 투기저항

투기 저항은 종이의 표면에서 이면으로 공기가 통과하는데 걸리는 저항성의 정도를 의미하며, 일정한 압력 하에서 일정량의 공기가 통과하는 시간 또는 일정 면적을 통과하는 공기의 양으로 측정한다. Fig. 8에 나타낸 바와 같이 회분 함량이 증가할수록 투기 저항성은 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 GCC만 투입한 종이에 비해 composite 2%, 3%, 4%를 투입한 종이의 투기 저항성이 훨씬 높은 결과가 나타났다. 이는 MFC의 첨가가 종이구조를 더 치밀하게 만들었기 때문이라고 판단되었다. GCC만 투입한 종이의 투기저항성이 더 작게 측정된 다른 이유를 생각해 보면 GCC는 composite 2%, 3%, 4%

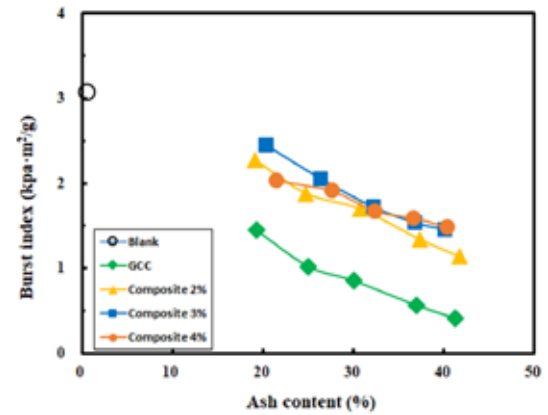


Fig. 6. Effect of ash content on the burst index of handsheet.

보다 상대적으로 공극이 많은 구조를 이루었기 때문이라고 사료되었다.

3.7 크랙 면적

GCC와 복합 충전제의 적용이 도공지의 폴드 크랙에 미치는 영향에 대하여 분석한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 회분 함량이 증가함에 따라 크랙 면적(crack area)이 증가하는 경향을 보였다. GCC와 composite 2%가 비슷한 값을 나타내었지만 MFC를 3% 또는 4% 사용한 GCC-MFC 복합 충전제 수초지 샘플을 이용하여 제조된 도공지가 크랙이 더 많이 일어난 것으로 나타났다. 하지만 실제로 폴드 크랙이 발생한 것이라고 생각되기보다는 단순히 주름이 잡힌 부분들이 이미지 작업에 의해 처리되는

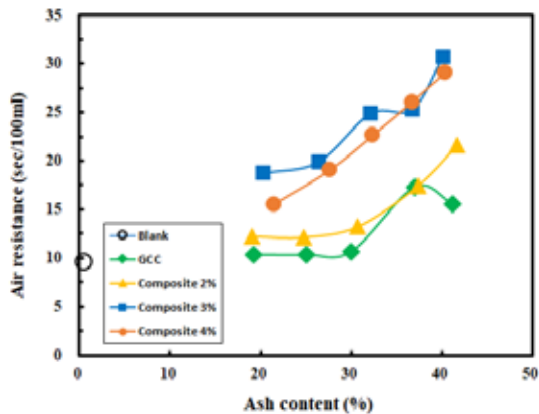


Fig. 7. Effect of ash content on the air resistance of handsheet.

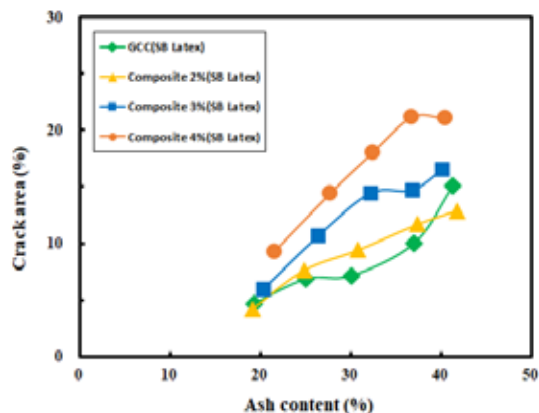


Fig. 8. Effect of ash content on the crack area of handsheet.

과정에서 크랙 면적에 포함된 것으로 보였다. 따라서 이러한 분석상의 오류와 관련된 문제를 해결하기 위한 방법으로 주사전자현미경을 이용하여 도공지 폴드 크랙의 단면 분석을 실시하였다. 그 결과는 3.8항에 나타내었다.

3.8 UHR-SEM을 이용한 폴드 크랙 현상 분석

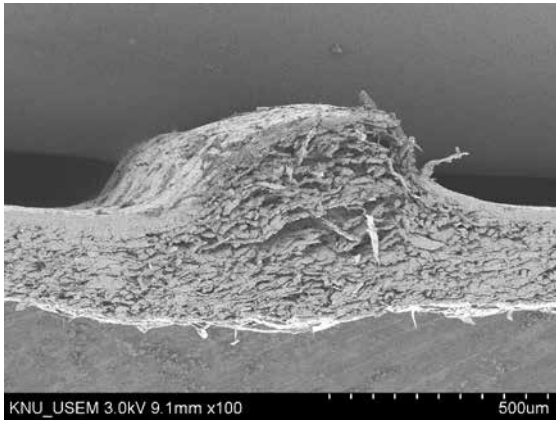
3.7항에서 발견된 분석상의 오류와 관련된 문제를 해결하기 위한 방법으로 주사전자현미경을 이용하여 도공지 폴드 크랙의 단면 분석을 실시하였다.

Fig. 9은 2종류의 도공지 샘플(GCC, composite 2%)의 폴드 크랙이 발생한 부분에 대한 단면 UHR-SEM 사진이다. 왼쪽의 사진은 GCC, 오른쪽의 사진은 composite 2%를 첨가한 도공지 샘플로서 100배 확대한 모습이다. 두 충전제의 사진 모두 회분 함량이 증가함에 따라 크랙 발생이 증가하는 결과를 나타냈다. 앞서 언급한 것과 같이 충전제의 함량 증가가 섬유와 섬유 사이의 결합을 방해하여 강도가 약해져 크랙 발생이 심해지는 것으로 판단된다. 또한 GCC만을 도공원지 제조에 이용한 샘플에 비하여 composite 2%를 첨가하여 제조한 도공지의 경우가 크랙이 덜 발생한 것으로 나타났다. 이는 composite에 들어있는 MFC가 섬유와 섬유 사이의 결합을 도왔기 때문이라 사료되었다.

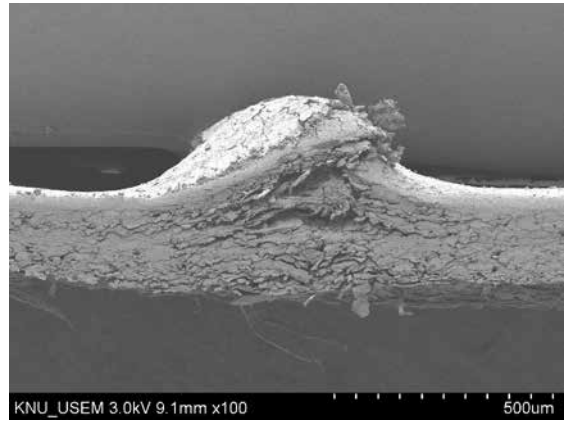
4. 결론

본 연구에서는 도공지의 폴드 크랙 문제를 개선하기 위한 목적으로 도공 원지 제조 시 충전제로 GCC와 GCC-MFC 복합 충전제를 적용하여 제조한 원지(수초지)의 물성을 측정·분석하였다. 그리고 수초된 원지를 이용하여 도공지를 제조한 후 폴드 크랙 발생 현상을 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

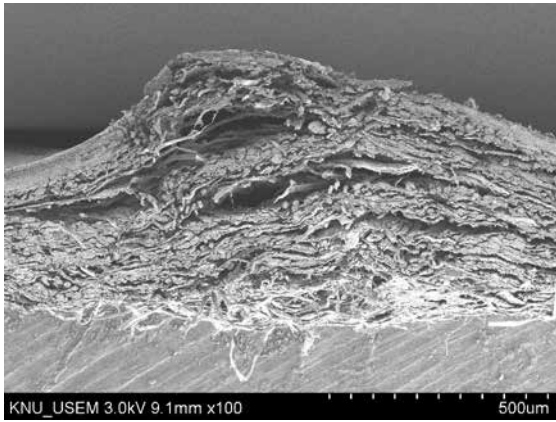
- 1) 회분 함량이 증가함에 따라 벌크는 동일하거나 미세하게 감소하는 모습을 보였다. 이는 충전제가 첨가됨으로써 종이의 공극을 메꾸어 줌으로써 종이가 더 치밀해졌기 때문이다.
- 2) 회분 함량이 증가됨에 따라 도공원지의 강도는 적용한 충전제의 종류에 관계없이 감소하는 경향을 나타내었다. 하지만 GCC-MFC 복합 충전제를 사용한 수초지의 경우는 GCC만을 사용했을 때 보다 동일 회분함량에서 현저히 높은 강도값을 나타내었다.



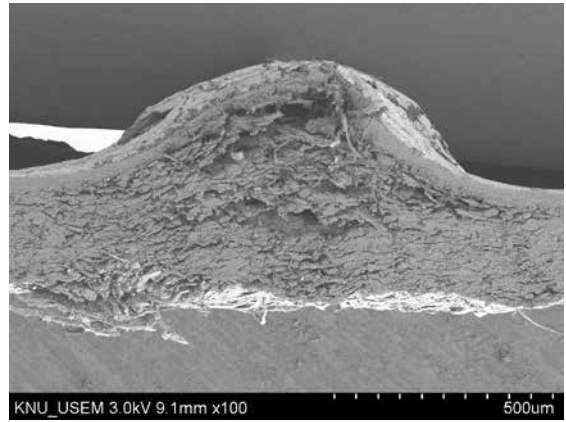
GCC, ash 19.23%



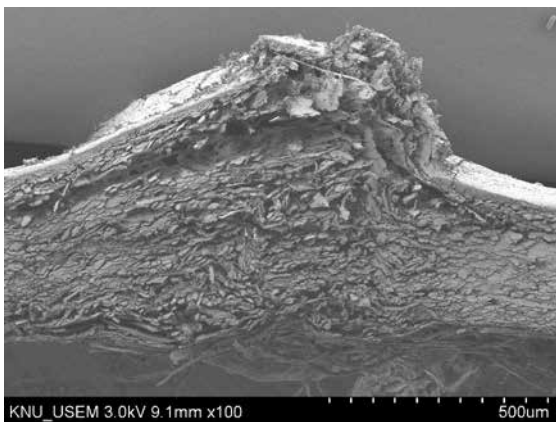
Composite 2%, ash 19.09%



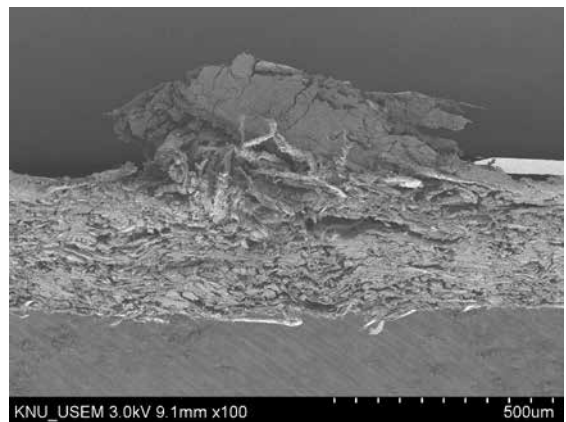
GCC, ash 30.00%



Composite 2%, ash 30.73%



GCC, ash 41.23%



Composite 2%, ash 41.72%

Fig. 9. Crack area of coated paper using SB latex with increasing ash content.

3) GCC-MFC 복합 충전제 사용함으로써 수초지의 신장률이 현저히 개선되었으며, UHR-SEM 분석을 통하여 폴드 크랙이 감소되는 것을 확인할 수 있었다. GCC-MFC 복합 충전제를 적용하여 GCC만을 충전제로 적용한 결과와 비교한 결과 복합 충전제 적용 시 종이의 강도가 현저히 개선되었고 현재 수준의 강도를 유지하면서도 회분 함량을 최소한 약 15% 정도 증가시킬 수 있을 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 폴드 크랙 현상을 억제하고 도공지의 품질 개선에 도움이 될 수 있음을 확인하였다.

사 사

본 연구는 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2020R1I1A3A0403778)

Literature Cited

- Seo, D., Oh, K. D., Lee, H. L., and Youn, H. J., Effect of ash content in base paper on fold cracking of coated paper. *Journal of Korea TAPPI*, 47(2):9-16 (2015).
- Chauhan V.S., Sharma A., Chakrabarti S.K., and Varadhan R., Energy savings through increased filler loading in paper, *IPPT J*. 23(3):171-176 (2011).
- 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 preflocculation technology for improving paper quality, *Pan Pacific Conference*, Seoul, Korea, pp. 67-68 (2016).
- Sim, K., Youn, H. J., Oh, K., Lee, H. L., Han, C. S., Yeu, S. U., and Lee, Y. M., Fold cracking of coated paper: The effect of pulp fiber composition and beating, *Nord. Pulp. Pap. Res. J.*, 27, 445-450 (2012).
- Chauhan, V. S. and Nishi K. B., Role of particle size and preflocculation of talc in improvement of paper properties, *TAPPI J.* 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).
15. 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).