

# 탄산칼슘 in-situ precipitation 처리된 신문고지의 형태와 물성변화

이영호 · 정재권 · 이기승 · 서영범<sup>†</sup>

접수일(2013년 11월 19일), 수정일(2013년 12월 13일), 채택일(2013년 12월 16일)

## Morphological and Physical Properties of ONP Treated by CaCO<sub>3</sub> In-situ Precipitation Method

Young Ho Lee, Jae Kwon Jung, Ki Seung Lee and Yung Bum Seo<sup>†</sup>

Received November 19, 2013; Received in revised form December 13, 2013; Accepted December 16, 2013

### ABSTRACT

Replacing OMG (old magazine) to ONP (old newspaper) by raising optical property through CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation method in white duplex board presents cost reduction and possible drying energy saving. The strength property impairment by the presence of CaCO<sub>3</sub> could be supplemented by the fiber furnish treatment or strength polymer addition. In CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation of ONP, it was found from morphological study using FlowCAM, an image analyzer, that most of calcium carbonate were formed on the fines, and made the size of the fines larger. For the case of forming calcium carbonate only on the fractionated fines, the size of the fines were the biggest, and there were more clean surface areas available for bonding for the fractionated long fibers when fractionated fibers and fines were regrouped to make paper.

**Keywords:** ONP, OMG, CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation, FlowCAM, optical properties

## 1. 서론

현재 세계는 이산화탄소에 의한 지구온난화로 인해 해수면이 점점 상승하고 있으며, 이상기후를 나타내는 등 많은 환경문제를 겪고 있다. 이는 온실가스에 해당

되는 이산화탄소에 의한 것으로 그 발생량은 상상을 초월할 정도로 큰 비중을 차지하고 있다. 이러한 이유로 이산화탄소 저감 필요성이 대두되고 있기 때문에 탄소 배출권, 대체에너지 개발 등을 통하여 국가별로 이산화탄소 배출량을 줄이려고 노력하고 있다. 한국에서도

• 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과 (Department of Biobased Materials, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea)

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding Author): E-mail: ybseo@cnu.ac.kr

저탄소 녹색성장이라는 비전을 내세우고 대부분의 산업을 친환경적 산업으로 전환을 하고 있다. 이에 태양열발전, 풍력발전, 바이오연료 등 공해가 없는 신재생 에너지와 관련된 연구가 진행되고 있으며, 자원의 재활용을 통한 재활용소재에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있는데, 이는 재활용소재를 이용하는 것이 에너지 저감에 유리하기 때문이다.<sup>1,2)</sup>

에너지 다소비 산업이자 목재를 사용하는 대표적인 산업군인 제지산업에서도 친환경적인 기술과 에너지 저감을 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 또한 종이의 원료를 생산하기 위해 나무를 벌채하는 것 보다는 쓰고 폐기된 폐지를 다시 사용함으로써 나무를 벌채하고 펄핑과 표백과 같은 공정을 거쳐 종이의 원료를 만드는데 사용되는 에너지와 원료 등을 저감하는 부분이 중요시되고 있다. 만약 폐지 1톤을 재활용하면 30년생 나무 20그루를 벌채하지 않아도 되는데, 이 때 펄프를 생산하기 위해 사용되는 에너지와 다른 부대비용까지 생각하면 그 이상의 효과를 거둘 수도 있다.<sup>3,5)</sup>

폐지를 재활용하는데 있어서 문제가 되는 부분은 천연펄프 (virgin pulp)에 비해 광학적, 강도적 성질이 현저히 낮고, 초지 시 탈수속도의 저하, Sticky 등과 같은 점착성 이물질들의 존재로 초지 공정에 문제를 일으키게 된다.<sup>5-8)</sup>

특히 신문고지인 ONP (old newspaper)를 사용함에 있어서, 이러한 재생용지의 단점을 개선하기 위해 세척과 표백을 실시하게 된다. 치료로부터 미세분을 제거하는 방식인 세척의 경우에도 백색도와 Eric value가 크게 개선되는 점을 보였지만 약 40%의 수율이 감소하게 됨을 알 수 있었다.<sup>9,10)</sup> 이는 ONP의 광학적 성질을 저해하는 요인이 대부분 미세분에 존재한다는 점을 알 수 있었다. 반면 표백을 실시한 경우에는 그 효과가 미미했다. 재생펄프 자체에 탄산칼슘을 생성시켜 부착시키는 탄산칼슘 in-situ precipitation (이하, 탄산칼슘 in-situ 방식) 결과 수율의 감소 없이, 높은 광학적 성질을 나타냈다. 하지만, 물리적 성질에 있어서는 회분함량에 의해 저하하는 효과를 벗어나지 못했다.

ONP에 탄산칼슘 in-situ 방식은 펄프 온도에 따라 탄산칼슘의 형상 및 특성이 상이하게 나타나는데, 30℃ 이상에서는 calcite 형태의 탄산칼슘이 형성되며 ONP의 광학적 성질을 저해하는 요인인 미세분에 탄산칼슘 in-situ 방식을 선택적으로 부착되어 우수한 광학적 특

성을 지니게 된다. 그리고 ONP를 장섬유분과 미세분으로 분급한 후, 미세분에만 탄산칼슘 in-situ 방식을 적용하고, 다시 분급된 장섬유분과 혼합하는 방식인 미세분의 탄산칼슘 in-situ 방식 (이하, 미세분 in-situ 방식)은 ONP의 광학적 성질을 유지하면서 강도적 성질을 보완 할 수 있는 방법으로 확인되었다.<sup>4)</sup>

본 연구에서는 ONP의 성질을 개선시키는 방법인 ONP의 탄산칼슘 in-situ 방식과 미세분 in-situ 방식이 ONP 치료의 형태적 변화에 어떠한 영향을 미치는지 화학분석장치(FlowCAM, Fluid Imaging Technologies, Yarmouth, USA)를 이용하여 분석하고, 그 형태적 특성들이 ONP 치료의 물리적 성질에 어떠한 영향을 미치는지도 확인하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

본 연구에서는 국내 H사에서 탈묵과 정선공정을 거친 ONP를 분양받아 사용하였다. 탄산칼슘 in-situ 방식에 사용한 산화칼슘은 일본 Showa사의 산화칼슘 분말을 사용하였으며, 탄산칼슘 보류에 사용한 고분자는 분자량 7백만을 가지는 보류향상제인 Ashland cationic PAM을 사용하였다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 ONP 탄산칼슘 in-situ 방식

ONP와 산화칼슘을 in-situ 반응기에 투입한 후 이산화탄소를 주입하기 전 교반기를 이용하여 350 rpm으로 약 5분간 교반하여 펄프와 수산화칼슘 수용액이 고르게 분산되도록 하였다. 이 때 펄프치료의 pH는 13.0이었으며, 탄산화반응이 온도에 영향을 받기 때문에 30℃에서 반응을 시행하였다.<sup>4)</sup> 다음으로, 순도 99%의 CO<sub>2</sub>를 0.5 L/min으로 주입하여 pH가 중성을 지속적으로 유지할 때 반응을 종결시켰다. ONP에서 탄산칼슘 in-situ 방식에 따른 미세분의 형태 변화를 분석하기 위해, 반응이 끝난 후에 200 mesh 스크린을 이용해 분급하여 보관하였다. 자세한 합성조건을 Table 1에 나타냈으며, ONP 전체에 in-situ precipitation에 의해 탄산칼슘을 생성시키는 방식을 ‘탄산칼슘 in-situ 방식 (ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ method)’으로 명명하였다.

**Table 1. CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation conditions**

Pulp consistency	1.5%
Total pulp slurry volume	2 L
Calcium oxide weight	50wt% of O.D. weight of pulp
CO <sub>2</sub> gas flow rate	0.5 L/min
Temperature	30°C
Stirrer RPM	350

### 2.2.2 미세분 in-situ 방식

ONP는 잉크입자, sticky 등과 같은 이물질에 의해서 광학적 특성이 저해되며, 이들은 주로 ONP의 미세분에 존재하게 된다. 따라서 ONP를 분급한 후에 미세분에만 탄산칼슘 in-situ 방식으로 처리하면, ONP의 광학적 특성을 현저하게 향상시키게 되고, 또 분급된 장섬유분에 고해를 실시하여 이용하면 강도적인 면에서도 유리해진다. 이와같은 방식을 이용하기 위해, ONP를 200 mesh 스크린을 이용하여 장섬유분과 미세분으로 분급하였고, 분급된 미세분은 전체 지료의 40%를 차지하였다. 미세분 in-situ 방식의 합성을 위해 Table 1과 같은 조건에 의거하여 탄산칼슘을 미세분에 합성하였고, 이 때 산화칼슘의 양은 ONP 전체 지료에 쓰던 양을 분급된 미세분에 그대로 적용시켰다. 이와같이 분급된 미세분에만 in-situ precipitation 방식으로 탄산칼슘을 생성시키는 방식을 ‘미세분 in-situ 방식 (Fines CaCO<sub>3</sub> in-situ method)’으로 명명하였다.

### 2.2.3 ONP 형태 분석

ONP 형태의 분석은 Fluid Imaging Technology사의 FlowCAM을 이용하여 분석하였다. FlowCAM은 지료를 희석하여 일정한 속도로 flow cell에 흘려주게 되고, flow cell에서는 지료에 포함된 입자들을 카메라가 직접 촬영하여 그 형태를 눈으로 확인할 수 있게 해주며, 촬영된 입자들의 형태를 다양한 통계적인 파라메타로 변형시켜 수치로 계산해준다. 통계적인 수치를 내기 위해서는 5,000-30,000 개의 입자를 측정하게 되고, 이러한 측정이 2-3분 안에 이루어지며, 입자의 크기는 1-1,000 μm 까지 다양하게 측정이 가능하다.

FlowCAM은 레이저 회절 시스템 방식으로 입자 크기를 측정하게 되는데, 레이저 회절 시스템은 레이저

**Fig. 1 FlowCAM.**

빔이 분산된 입자를 통과하면서 산란되는 광의 강도에 따른 각도 변화를 측정함으로써 입자의 부피 분포를 측정하고, 입도는 부피 등가 구형의 직경으로 기록되는 데이터를 가지고 여러 가지 통계 값이 계산된다. FlowCAM에서는 다양한 통계적 값이 주어지지만 본 연구에서는 다음 두 가지 값을 사용하여 분석하였다. 먼저 D[4,3]은 부피가중평균직경 (volume moment mean)으로서 길이산술평균 (length arithmetic mean)이나 표면적의 크기가 중요 관심일 경우에 측정되는 표면적가중평균 (surface area moment mean)보다는 부피가 큰 입자들을 중심으로 그 직경이 측정되므로 본 연구에서는 이 값을 사용하여 샘플들을 분석하였다. 또한 전체 샘플들의 부피의 50%가 되는 지점의 입자 직경을 중간 값 (median at volume 50%)으로 사용하였다. 이 두 값은 결과적으로 유사한 값을 나타냈다.

ONP의 탄산칼슘 in-situ 방식의 전과 후, ONP의 형태와 크기 변화를 이미지와 통계숫자로 확인하였으며, 탄산칼슘 in-situ 방식과 미세분 in-situ 방식에 따른 미세분들의 형태와 크기를 분석하였다.<sup>11)</sup>

### 2.2.4 수초지 샘플 제작

탄산칼슘 in-situ 방식에 의해 탄산칼슘이 합성되면 회분함량이 증가하게 된다. ONP의 탄산칼슘 in-situ 방식의 적용 후에 제조된 수초지와 미세분 in-situ 방식의 적용 후에 미리 분급된 장섬유분과 다시 혼합하여 제조한 수초지의 회분 함량을 동일하게 조정하여 제조하였다. 실험에 사용된 모든 수초지는 TAPPI Standard 원형 수초기를 이용하였으며, 초지 조건은 TAPPI Standard 205 om-88에 의거하여 동일하게 평량 60g/m<sup>2</sup>

으로 제조하였다. ONP는 원료의 품질이 일정하지 않은 면이 있으므로 각각 서로 다른 시기에 채취된 ONP를 7가지 선택하여 실험을 실시하였고, 이들이 탄산칼슘 in-situ 방식에 의해 변화하는 모습들을 제시하였다.

### 2.2.5 수초지 특성분석

종이 내의 충전제 보류 정도를 확인하기 위해 회분을 측정하였다. 회분 측정은 TAPPI Standard T413 om-93에 따라 측정하였다. 수초지의 광학적 성질을 측정하기 위해 Technidyne사의 COLOR TOUCH2를 이용하여 백색도(KS M ISO 2470), ERIC value(KS M ISO 22754)를 측정하였다. 물리적 성질은 상대습도 50±2% 조절된 항온·항습실에서 24시간 이상 조습처리 후 한국산업규격에 의거해 인장강도(KS M ISO 1942)를 측정하였다. 종이에 함성된 탄산칼슘의 형태를 분석하기 위해 주사전자현미경(FE-SEM)으로 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

회분 측정결과 일곱 번 채취한 ONP 자체의 회분 함량은 평균 26.6% 이었으며, 탄산칼슘 in-situ 방식으로 처리시켜 초지한 샘플은 평균 61.0%의 회분을 기록하였고, 미세분 in-situ 방식은 59.5%의 회분을 기록하였다. 그 회분의 차이는 1.5% 로서 종이의 특성을 비교함에 있어서 큰 차이를 보일 것으로 판단되지는 않았다. 따라서 동일 회분 함량으로 취급하여 분석을 실시하였다.

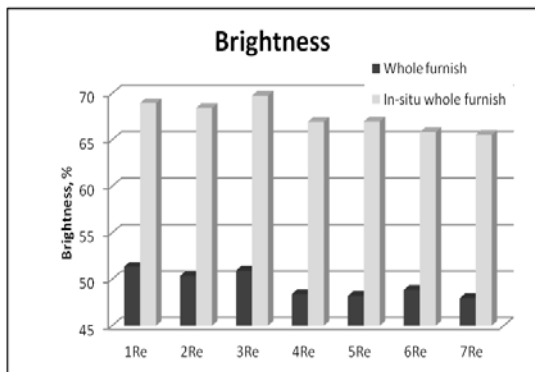


Fig. 2. Brightness of ONP (whole furnish) and ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ method (in-situ whole furnish).

### 3.1 ONP의 탄산칼슘 in-situ 방식 처리후의 물성변화

Figs. 1-3은 ONP와 ONP 탄산칼슘 in-situ 방식 처리의 광학적 성질과 물리적 성질을 나타내고 있다. 탄산칼슘 in-situ 방식 처리 후 탄산칼슘이 ONP 섬유에 부착되어 백색도와 ERIC 값이 향상되는 것을 확인하였다. ERIC 값은 종이표면에 잉크 등의 오염정도를 나타내는 수치로서 낮을수록 유리해진다. 하지만 열단장의 경우 탄산칼슘 in-situ 방식에 의해 생성된 탄산칼슘이 섬유간 결합을 방해하여 감소함을 확인하였다.

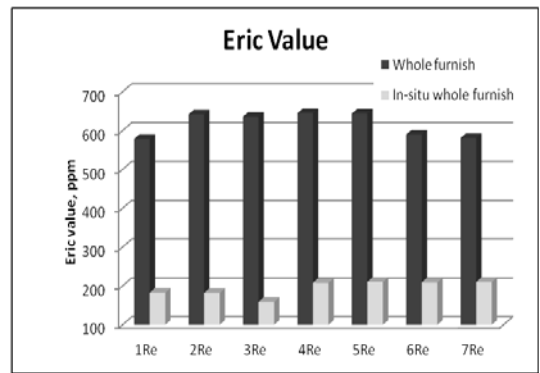


Fig. 3. Eric value of ONP (whole furnish) and ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ method (in-situ whole furnish).

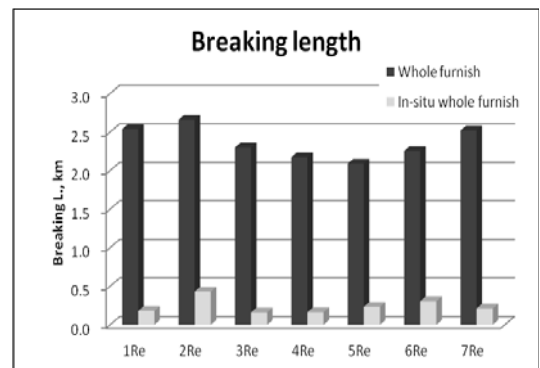


Fig. 4. Breaking length of ONP (whole furnish) and ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ method (in-situ whole furnish).

### 3.2 ONP 탄산칼슘 in-situ 방식의 형태적 변화

Fig. 5와 Fig. 6은 FlowCam 화상분석 시스템의 1-1,000

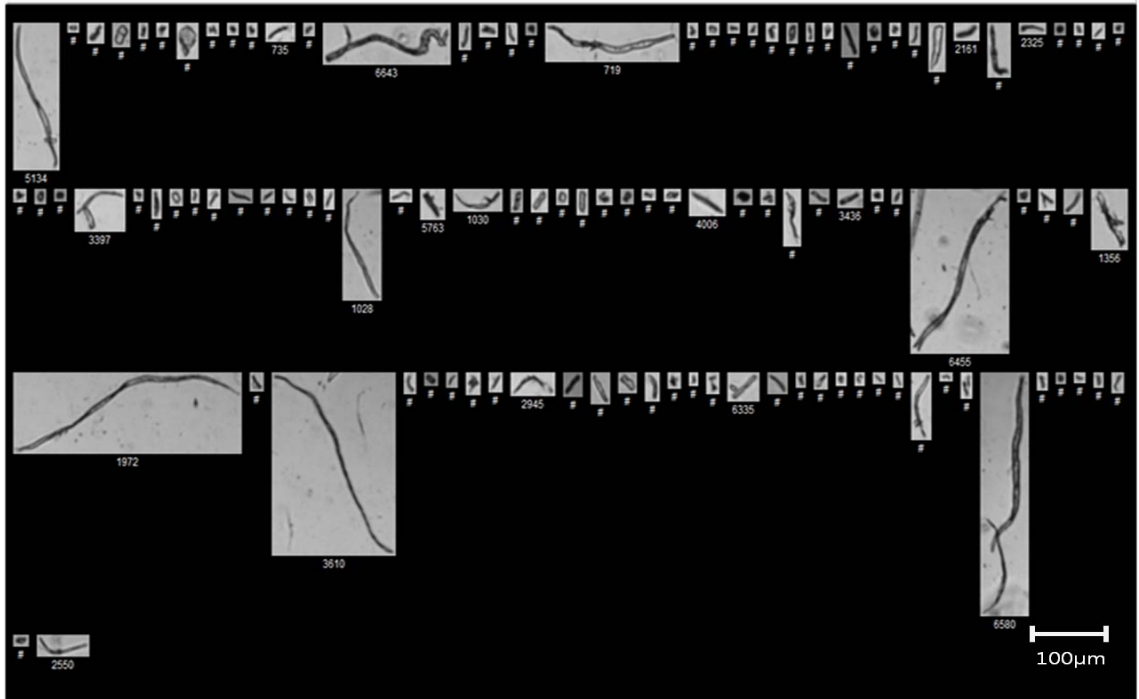


Fig. 5. Image of ONP fibers taken by image analysis system.

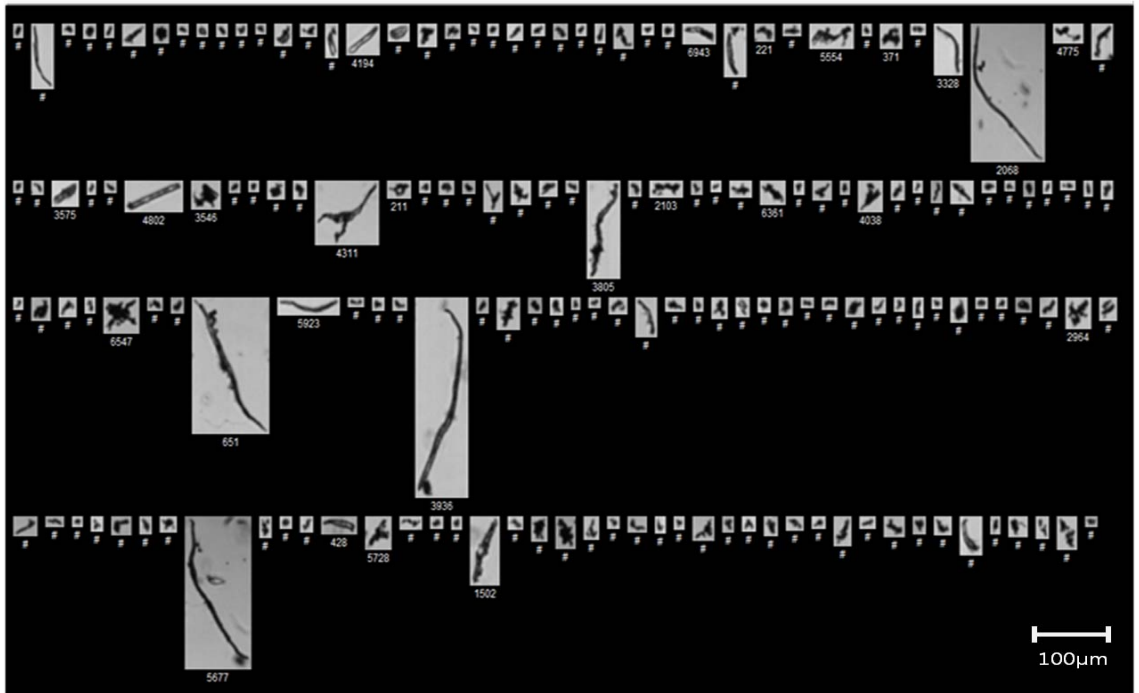


Fig. 6. Image of ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ method fibers.

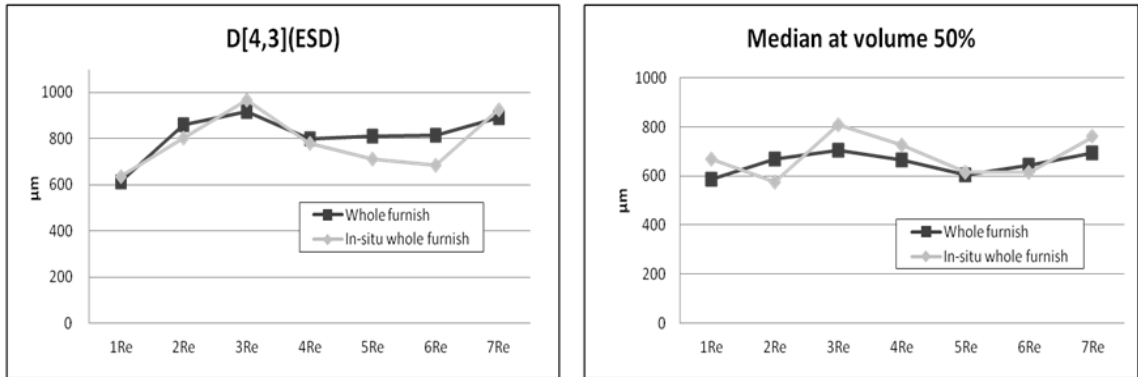


Fig. 7. Size variations of ONP and ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ method fibers measured by image analysis method with parameters of D[4,3] (volume moment mean) and Median at volume 50%. (Re: replication).

μm 사이의 이미지를 측정하는 셀로 얻은 이미지로서 ONP 탄산칼슘 in-situ 방식에 따른 전체적인 형태적 변화를 나타낸 것이다. 이 실험에 사용된 ONP들을 L&W Fiber Tester (Lorentzer & Wettre, Kista, Sweden)로 미리 측정된 결과, 길이가중평균 섬유장이 일곱 번의 측정결과 평균 0.855 mm로 측정되었는데 이를 FlowCam

에서 1-1,000 μm 범주에서 측정하는 경우 오차가 생길 수 있는 가능성이 있다. 하지만 FlowCAM의 D[4,3]의 평균값이 0.812 mm로 측정되었으며, 기계간의 측정방법이 서로 다른 점을 고려할 때에, 사용된 ONP의 섬유장을 FlowCam으로 측정하여도 큰 무리가 없는 것으로 판단하였다. Fig. 5는 ONP의 섬유모양을 화상분



Fig. 8. Images of ONP fines after ONP fractionation.



Fig. 9. Images of fractionated fines after ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ method.

석 시스템으로 나타낸 것이며, Fig. 6은 ONP를 탄산칼슘 in-situ 방식으로 처리한 후 ONP의 섬유모양을 화상 분석 시스템으로 나타낸 것이다. Fig. 6에서는 Fig. 5에서와 달리 탄산칼슘이 섬유에 부착된 형상이 보이며, 특히 미세분에 더욱 많이 부착되어 있는 것을 관찰할 수 있었다.

Fig. 7에서는 일곱 번의 ONP 샘플 채취를 실시하고, 각각 탄산칼슘 in-situ 방식을 적용하였을 때의 섬유길이의 변화를 비교한 것이다. 샘플 채취 때마다 ONP 길이의 변화가 있었지만 탄산칼슘 in-situ 방식에 의한 길이의 변화는 크게 나타나지 않았다. 또한 부피가중평균 (D[4,3])이나 부피 50%의 샘플길이 (median at

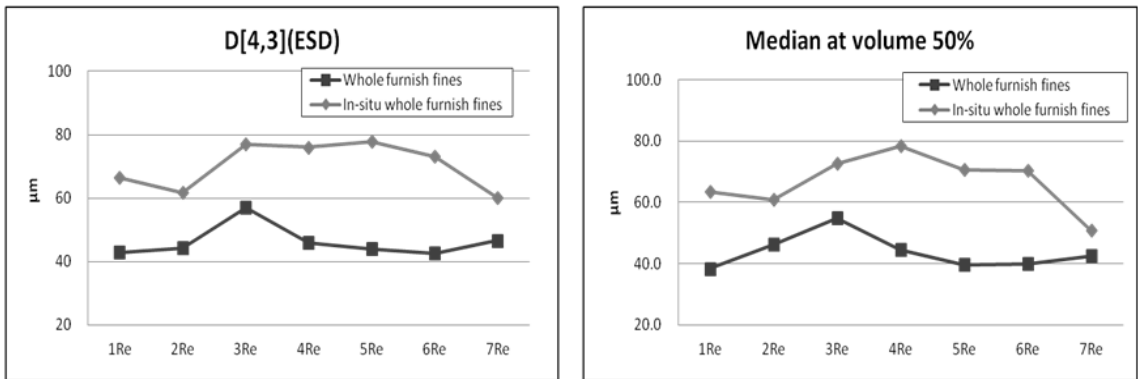


Fig. 10. Size variations of ONP fines (whole furnish fines) and ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ method fines (in-situ whole furnish fines) measured by image analysis method with parameters of D[4,3] (volume moment mean) and Median at volume 50%. (Re: replication).

volume 50%)는 큰 차이를 나타내지 않았다.

Fig. 8은 ONP를 200 mesh 스크린으로 분급한 후, FlowCam image analysis method을 사용하여 얻은 미세분의 이미지이다. 미세분과 관련된 측정에서는 1-100  $\mu\text{m}$  셀을 사용하였는데 이는 1-1,000  $\mu\text{m}$  셀보다 한정된 구간내에서는 더 자세히 측정할 수 있는 장치였다. ONP에 탄산칼슘의 in-situ precipitation을 실시하고, 200 mesh 스크린을 통과한 미세분의 형상을 Fig. 9에 나타냈다. 두 이미지에서 Fig. 9은 탄산칼슘이 미세분에 많이 부착된 것으로 보이며, 크기가 커진 것으로 나타났다. 이 현상은 Fig. 10에 나타나 있는데, 전체적으로 약 20-25  $\mu\text{m}$  수준까지 증가한 것으로 나타났다.

### 3.3 Fine CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation의 물성 변화

Fine in-situ method 처리후 장섬유분과 혼합한 ONP의 광학적 성질을 Fig. 11과 Fig. 12에 나타냈다. 분급된 미세분에만 CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation만으로도 동일한 회분함량에서의 ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation과 비슷한 수준의 백색도와 Eric 값이 향상되는 것을 확인하였으며, 열단장은 ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation 보다 저하되는 폭이 감소되는 것을 Fig. 13에서 확인하였다.

이와 같이 미세분에 탄산칼슘 처리 후 장섬유분과 혼합한 지료가 열단장이 더 높은 이유는 이러한 방법이 장섬유간의 결합을 더 잘 유지시켜주기 때문으로 판단되었다. Fig. 14과 Fig. 15에서 보면, ONP CaCO<sub>3</sub>

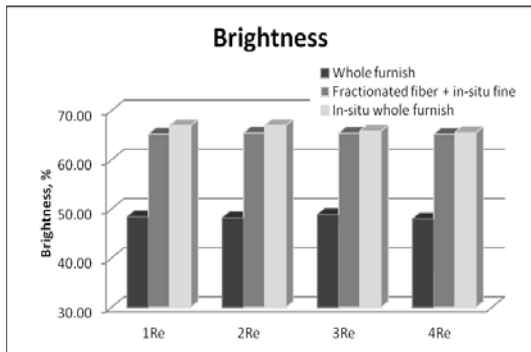


Fig. 11. Brightness of ONP (whole furnish), ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ method (in-situ whole furnish) and Fines CaCO<sub>3</sub> in-situ method (fractionated fiber+in-situ fine). (Re: replication).

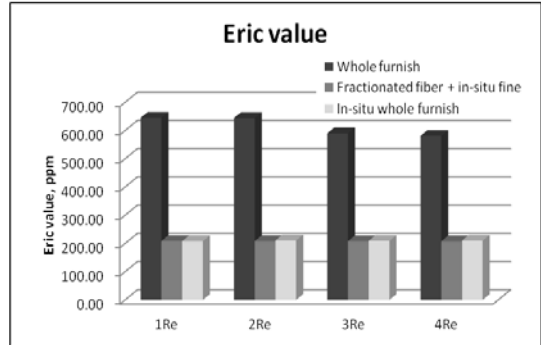


Fig. 12. Eric value of ONP (whole furnish), ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ method (in-situ whole furnish) and Fines CaCO<sub>3</sub> in-situ method (fractionated fiber+in-situ fine). (Re: replication).

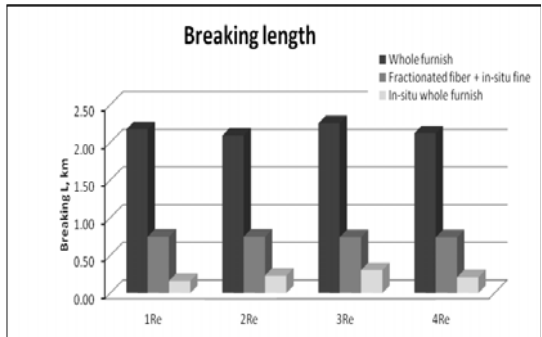


Fig. 13. Breaking length of ONP (whole furnish), ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ method (in-situ whole furnish) and Fines CaCO<sub>3</sub> in-situ method (fractionated fiber+in-situ fine). (Re: replication).

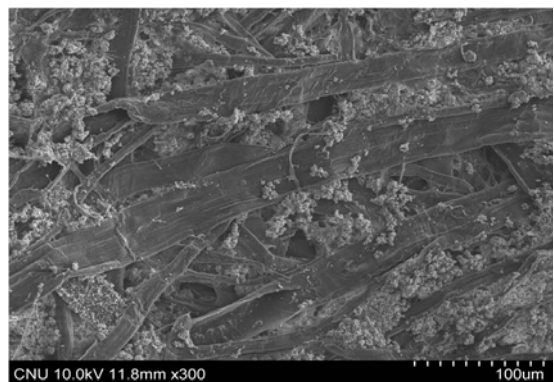
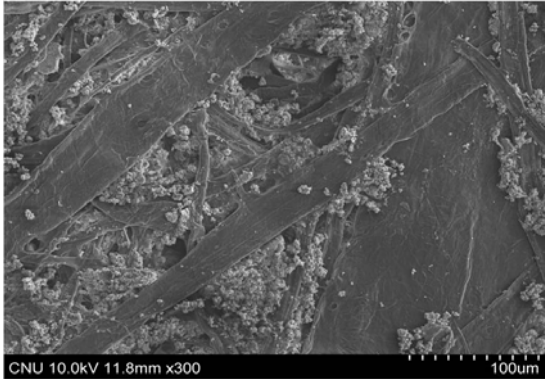


Fig. 14. SEM micrographs of handsheets from ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ method.





**Fig. 15. SEM micrographs of handsheets from Fine CaCO<sub>3</sub> in-situ method.**

in-situ method에 비해 fine CaCO<sub>3</sub> in-situ method 방법은 장섬유 표면에 탄산칼슘이 적게 흡착되어 깨끗하였으며, 섬유교차 부분에 주로 충전제에 품은 미세분이 존재함으로써 강도적 특성이 유리하게 됨을 확인하였다.

### 3.4 미세분 in-situ 방식의 형태적 변화

ONP를 200 mesh 스크린으로 분급 후, 분급된 미세분에만 탄산칼슘을 생성시키는 미세분 in-situ 방식을 Fig. 16에 나타냈으며, ONP 전체에 탄산칼슘 in-situ 방식 처리 후 200 mesh 스크린으로 분급된 미세분의 형태적 변화를 Fig. 9에 나타냈다.

Fig. 16에서와 같이 미세분에만 탄산칼슘을 생성시키는 경우, 미세분 입자의 크기가 가장 크게 나타남을 볼 수 있었다. Fig. 17에는 세 가지 형태의 미세분 크기를 나타냈는데 먼저 ONP를 분급했을 때의 미세분 (Whole furnish fines), ONP 전체에 탄산칼슘을 생성시키고 다시 분급하여 분리된 미세분 (in-situ whole furnish fines), 그리고 ONP를 분급한 후 분리된 미세분에만 탄산칼슘을 생성시킨 미세분 (in-situ fines)이 그것이다. 이러한 결과는 4회 반복 실험에 의한 것으로서, 그 결과 미세분의 크기는 탄산칼슘 in-situ 처리에 의해 증가되며, 미세분에만 탄산칼슘을 생성시킨 조건이 가



**Fig. 16. Images of CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitated fines after ONP fractionation.**

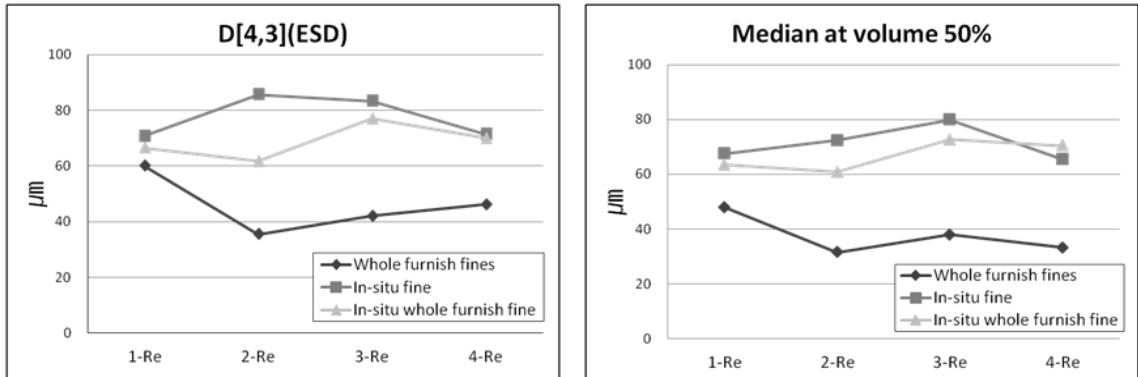


Fig. 17. Size variations of ONP fines (whole furnish fines), ONP CaCO<sub>3</sub> in-situ method fines (in-situ whole furnish fines) and fine CaCO<sub>3</sub> in-situ method fines (in-situ fines) measured by image analysis method with parameters of D[4,3] (volume moment mean) and Median at volume 50%. (Re: replication).

장 크기가 크게 나타났다.

## 4. 결론

백판지 생산공정에서 ONP를 OMG 수준의 광학적 성질을 갖는 것이 원가 절감의 가장 중요한 인자로 판단되며, 탄산칼슘 in-situ precipitation 기술을 이용함으로써 ONP의 백색도와 ERIC 값을 충분히 높일 수 있었다. 이 때 탄산칼슘에 의해 발생하는 강도적 성질의 저하는 다른 지료들과 혼합되는 ONP 양의 지료배합비율 조절 및 첨가제의 적절한 투입으로 조절이 가능한 것으로 판단되었다. 따라서 ONP에 탄산칼슘을 in-situ precipitation 방법으로 처리하는 방식은 처리된 ONP로 OMG를 대체함으로써 백판지 생산공정에서 원가를 절감할 수 있는 기술로 판단되었다.

탄산칼슘 in-situ precipitation 기술에 있어서, ONP의 미세분에만 탄산칼슘을 생성시키는 미세분 in-situ 방식은 ONP 전체에 탄산칼슘을 생성시키는 탄산칼슘 in-situ 방식에 비해 광학적 성질은 유사하면서 강도적 성질이 우수하였다. 그 이유는 ONP의 광학적 성질을 저해하는 요인이 대부분 미세분에 존재하기 때문에 미세분에만 집중적으로 탄산칼슘을 생성시키고 상대적으로 장섬유의 표면에는 탄산칼슘을 생성시키지 않아 섬유간 결합이 유리해지기 때문이었다. 실제 SEM 측정 결과, 미세분 in-situ 방식은 섬유들의 교차지점 주위에 주로 탄산칼슘이 존재하고, 섬유간 결합이 가능한

섬유표면은 잘 노출시킴으로서 섬유간 결합에 유리해진 것으로 판단되었다.

또한 ONP의 탄산칼슘 in-situ 방식에 의해서 생성되는 탄산칼슘은 상당 부분 미세분에 주로 부착하여 미세분의 크기가 증가하게 되며, 미세분 in-situ 방식에 의해서는 미세분에 집중적으로 탄산칼슘이 합성되어 크기가 가장 크게 증가하게 됨을 FlowCAM을 이용한 연구로 확인하였다.

## 사 사

본 연구는 2013년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2010201010093B)

## Literature Cited

- Kim, J. J., Ahn, J. W., Lee, M. W., Lee, J. K., and Seo, Y. B., Improving recycled fibers in printing paper by application of an in-situ CaCO<sub>3</sub> formation method 1. process effects, *Appita J.* 65(4):347-351 (2012).
- Kumar, P., Gautam, S. K., Kumar, V., and Singh, S. P., Enhancement of optical properties of bagasse pulp by in-situ filler precipitation, *BioResources* 4(4):1635-1646 (2009).
- Lee, J. K., Yoo, K. S., Nam, S. Y., and Ahn, J. W.,

- Development of recycled paper properties using in-situ process, *Journal of Korean institute of resources recycling* 19(3):62-70 (2010).
4. Lee, M. W., Quality improvement of recycled pulp by In-situ  $\text{CaCO}_3$  formation, Doctor's thesis, Chung Nam University (2013).
  5. Blaney, C. A., Hossain, S. U., Cleaning up recycled paper, *Chemtech* 27(2):48-51 (1997).
  6. Ince, P. J., Skog, K. E., and Heath, L. S., Recycling in the big picture-the really big picture, *Resource Recycling* 14(6):41 (1995).
  7. Kim, J. J., Ahn, J. W., Lee, M. W., Lee, J. K., and Seo, Y. B., Improving recycled fibers in printing paper by application of an in-situ  $\text{CaCO}_3$  formation method 2. paper properties, *Appita J.* 66(1):54-58 (2013).
  8. Chauhan, V. S., Singh, S. P., and Bajpai, P. K., Fiber loading of hardwood by in-situ precipitation of aluminosilicate, *BioResources* 2(4):560-571 (2007).
  9. Park, D. H., Lee, M. W., Lee, J. K., Ahn, J. W., and Seo, Y. B., Application of in-situ  $\text{CaCO}_3$  forming process on recycled fibers for optical property improvement, *Journal of Korea TAPPI* 44(4):8-15 (2012).
  10. Park, D. H., Improvement of recycled fiber properties for printing paper by in-situ precipitation of calcium carbonate, Master's thesis, Chung Nam University (2012).
  11. Poulton, N. J., Martin, J. L., 8 Imaging flow cytometry for quantitative phytoplankton analysis-FlowCAM, Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis, *IOC manuals and guides no.55* (2010).