

# 고지의 광학적특성 개선을 위한 in-situ 탄산칼슘처리기술의 적용

박동휘 · 이민우 · 이종규 · 안지환<sup>1</sup> · 서영범<sup>†</sup>

접수일(2012년 6월 26일), 수정일(2012년 7월 13일), 채택일(2012년 7월 20일)

## Application of in-situ CaCO<sub>3</sub> forming process on recycled fibers for optical property improvement

Dong-Hui Park, Min-Woo Lee, Jong-Kyu Lee, Ji-Whan Ahn<sup>1</sup> and Yung-Bum Seo<sup>†</sup>

Received June 26, 2012; Received in revised form July 13, 2012; Accepted July 20, 2012

### ABSTRACT

Optical property improvements for ONP (old newspaper) and OMG (old magazine) were attempted by application of in-situ CaCO<sub>3</sub> formation process on recycled fiber surfaces. Washing treatment of ONP and OMG resulted in 35~40% yield loss for around 6% brightness improvement. Washing plus bleaching process with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and FAS (formamidine sulfinic acid) improved brightness and ERIC values a little more with the same amount of yield loss as washing treatment. In-situ CaCO<sub>3</sub> formation method improved those optical properties much better than the washing plus bleaching method without loss of yield, and better than the case of adding high brightness PCC up to the same ash level. It can be said that the in-situ CaCO<sub>3</sub> formation method may be used as an effective alternative for upgrading optical properties of recycled fibers.

**Keywords** : ONP, OMG, Optical property, in-situ CaCO<sub>3</sub> formation, Brightness, Eric value

### 1. 서론

지구온난화에 의해 발생하는 불안정한 기후는 인류의 삶을 위태롭게 하기 때문에 기후변화협약, 탄소배출

권제도 등의 범지구적 약속을 통해 화석연료의 사용을 억제하기 위한 노력이 현재 다각도로 진행되어오고 있다. 한국에서도 저탄소 녹색성장이라는 비전을 내세우고 다양한 분야에서 경제성장의 패러다임을 친환경적

• Chungnam National Univ., Dept. of Biobased Materials, Daejeon, Republic of Korea

1, KIGAM, Daejeon, Republic of Korea

† Corresponding author. Tel) 8242-821-5759, ybseo@cnu.ac.kr

으로 전환하고 있다.

에너지 다소비 산업이자 지구 온난화와 직접적 관련이 있는 화석연료를 이용하는 대표적인 산업군인 제지 산업에서도 친환경적인 기술과 에너지 저감을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 또한 종이의 생산을 위해 새로운 목재자원을 수확하여 쓰기보다는 한번 쓰고 남은 고지를 재활용하는 기술도 매우 중요해지고 있다. 이러한 노력은 고지 1톤을 재활용하면 30년생 나무 20그루를 벌채하지 않아도 되는데, 이 때 펄프를 생산하기 위해 사용하는 에너지와 다른 부대비용까지 생각하면 그 이상의 효과를 거둘 수도 있다.<sup>1)</sup>

현재 우리나라는 고지 재활용률이 2011년 기준으로 90%을 넘어선 94.5%<sup>2)</sup>로 세계적인 회수율을 보여주고 있지만 아직도 그 양이 부족하여 외국으로부터 다량의 고지를 수입하여 사용하고 있는 실정이다. 고지를 재활용하는데 있어서 문제가 되는 점은 고지의 품질이 virgin 펄프에 비해 광학적, 강도적 성질이 매우 낮고, 초저시 탈수속도가 매우 느리며, 스티키와 같은 점성 이물질들의 존재가 공정에 문제를 일으키는 점이라고 볼 수 있다. 특별히 인쇄용지나 백색도가 높아야 하는 지중에 사용하는데 있어서는 백색도 뿐만 아니라 잔존 잉크나 유색 이물질들의 존재가 없어야 한다. 이러한 잔존잉크나 유색 이물질들은 종이표면에 작은 점들이 나타나는 것으로서 아무리 백색도가 높아도 이러한 이물질의 존재는 종이의 품질을 전체적으로 저하시키는 요소라고 볼 수 있고, 이들은 표준 측정방법인 ERIC 값으로 측정되고 있다.<sup>3)</sup>

Won<sup>4)</sup> 등은 ONP의 친환경 탈묵 기술 개발을 위해 오존을 이용한 탈묵 효율 및 펄프 특성을 연구하였다. Paik<sup>5)</sup> 등은 사무실 혼합고지(MOW)에 표백효과가 우수한 FAS를 적용하였는데 과산화수소 표백 후에 소량의 Thiourea를 첨가하여 FAS를 표백반응 중 스스로 발생시켜 사용하였다. FAS는 그 효과가 우수하지만 상당히 고가이기 때문에 사용에 어려움이 있어 연구를 통해 Thiourea를 첨가하면 가성비가 높다는 결과를 보고하

였다. Kumar<sup>6)</sup> 등은 bagasse pulp에 탄산칼슘 in-situ precipitation 방식을 적용하였는데, 탄산칼슘 in-situ precipitation 방식이 direct loading보다 산란계수를 증가시켜 광학적 성질을 향상 시키며, 동일한 ash에서 direct loading보다 강도저하가 적다는 연구 결과를 발표하였다. Ahn<sup>7)</sup> 등은 in-situ PCC 합성이 수력학적인 활동에 의존하며, 온도에 따른 aragonite PCC의 구성을 관찰하여 합성된 PCC를 친환경적인 종이제조에 적용할 수 있다고 밝혔다. Han<sup>8)</sup> 등은 중질탄산칼슘과 경질탄산칼슘의 입자경이 종이의 물리적 성질 및 광학적 성질에 미치는 영향에 대해 연구하였는데, 경질탄산칼슘이 중질탄산칼슘보다 강도저하가 적다고 보고하였다.

상기의 연구 결과를 바탕으로 ONP, OMG에 산화칼슘과 이산화탄소를 이용해 탄산칼슘을 합성시킨 후 친환경적으로 광학적 성질을 향상시켜 백색도가 요구되는 지중에 고지의 활용도를 높이기 위한 다음의 연구를 진행하였다. ONP와 OMG의 광학적 성질을 개선시킬 경우, ONP는 OMG 급으로 OMG는 white ledger 급으로 사용될 수 있으며, 이러한 경우, 부가가치를 높이며, 이산화탄소를 탄산칼슘의 제조시에 사용함으로써 온실가스를 제거할 수 있는 기회도 얻어진다. 산화칼슘은 제지공장의 소각재중에서 fly ash 형태로 정선되어 공급될 수 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

본 연구에서는 국내 H사에서 탈묵과 정선공정을 거친 DIP를 분양받아 사용했으며, 그 종류로는 ONP (old newspaper)와 OMG (old magazine)이다.

본 연구에서 in-situ방식에 사용한 산화칼슘은 파우더 형태의 Aldrich 사의 제품을 사용하였고, 대조구로 사용하기 위한 탄산칼슘은 18.27% emulsion type 의

**Table 1. Properties of fillers and additive**

Precipitated Calcium Carbonate	Calcium Oxide	Cationic PAM
* brightness : 94.0±1.5%	* molecular weight : 56.08	* molecular weight : 7×10 <sup>6</sup>
* viscosity : 150±80 cps	* assay : 98%	* charge density : 2.5meq/g
* solids content : 18.27%		* solids content : 99%

PCC 이다. 탄산칼슘의 보류에 사용한 고분자는 분자량 700백만을 가지는 보류향상제인 Ashland사의 Cationic PAM을 사용하였는데, 고체 상태에 있는 PAM을 물에 1000배 희석해 0.1% 농도로 맞추어 종이 건량 대비 0.1% 첨가하였다. 이들의 자세한 특성은 Table 1에 나타내었다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 지료의 표백

탈목된 고지의 광학적 성질을 향상시키는 방법 중 가장 일반적인 방법은 표백을 하는 것으로 다양한 표백방법이 현장에서 사용되고 있다. 일반적으로 고지의 표백제는 산화표백제와 환원표백제 2가지로 크게 나눌 수 있는데 산화표백제로는 염소, 차아염소산염, 이산화염소, 과산화수소가 있고 환원표백제는 아황산가스, 아황산염, 하이드로설파이트, FAS 등이 있다. 본 연구에 사용된 과산화수소와 FAS는 고지의 표백제로 널리 사용되는 표백약품이다. 과산화수소 표백에 있어 표백효율을 최대로 증가시키기 위한 pH와 과산화수소 첨가량 사이에는 일정한 비율이 존재한다. 일반적으로 과산화수소 1%에서는 NaOH 1.2%, 과산화수소 2%에서는 1.5% NaOH가 최적으로 알려져 있다. FAS(Formamidine Sulfinic Acid)는 TCF 단일표백제로는 고지의 발색단 제거효율이 가장 우수하여 인쇄용 고지에 다량 함유되어 있는 유색인크에 의한 색을 제거시키는데 큰 효과가 있어 널리 사용되고 있다. 연구 결과에서 보면 적용 시 양호한 표백결과를 얻고 있는데, 약품 자체가 고가이기 때문에 일부에서만 제한적으로 사용된다.<sup>5)</sup> Lab scale에서의 표백은 주로 항온수조를 이용하게 되는데, 표백을 할 지료는 이중 지퍼팩에 담아 일정량의 표백약품을 넣고 잘 혼합시킨 후 밀봉하여 반응을 진행하였다.

본 연구에서는 ONP와 OMG에 과산화수소와 FAS 2가지 조건의 표백을 통해 그 성질을 알아보았으며 표백

**Table 2. Bleaching conditions**

Chemicals	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	FAS
Application level(%)	2	1
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> Application level(%)	1	1
Temperature(°C)	80	80
Time(min)	60	60
pH	11	10.5

조건은 Table 2에서 보는 바와 같다.

### 2.2.2 지료의 세척

세척을 통한 광학적 성질의 향상과 그 수율변화를 보기 위해 본 연구에서는 지료를 0.3%의 농도로 희석한 후, 200mesh 스크린을 통하여 물로 세척을 실시하여 약 3%의 농도를 얻었으며, 세척과 표백에 관련된 다양한 조건은 Table 3에 나타내었다. 아래와 같이 세척을 실시하는 이유는 고지의 광학적 성질을 저하시키는 대부분의 물질이 세척을 통해 빠져나가기 때문이다. 광학적 성질을 향상시킬 목적인 flotation이나 표백 등의 공정 후에는 잔류 약품과 이물질을 씻어내기 위해 세척을 하게 되는데 세척과 표백은 거의 동시에 이루어지므로 표백과 세척에 의한 각각의 효과를 보기 위해 표백 후 세척(Washing after bleaching), 표백 전 세척(Washing before bleaching), 세척을 하지 않은 표백의 총 3가지 조건으로 그 성질 변화를 파악하였다.

### 2.2.3 수율

표백과 세척이 끝난 지료는 세척 조건이나 표백제의 종류에 따라 빠져나간 미세분 및 이물질의 양을 알기 위해 수율을 측정하였다.

$$\text{수율 (\%)} = (A-B) \times 100/A$$

여기서, A = O.D. weight of slurry before washing & bleaching (g)

$$B = \text{O.D. weight of reject after washing \& bleaching (g)}$$

**Table 3. Washing & Bleaching conditions**

Sample name	Washing after bleaching	Bleaching	Washing before bleaching
Blank	X	X	X
Post-washing(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	O	O	X
Post-washing(FAS)	O	O	X
No washing(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	X	O	X
No washing(FAS)	X	O	X
Only washing	X	X	O
Pre-washing(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	X	O	O
Pre-washing(FAS)	X	O	O
In-situ <sup>1)</sup>	X	X	X

<sup>1)</sup> DIP 지료에 in-situ 방식으로 탄산칼슘을 형성시킴

**Table 4. CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation conditions**

Pulp consistency	3%
Total pulp volume	2 liters
Calcium oxide weight	50wt% of O.D. weight of pulp
CO <sub>2</sub> gas flow rate	1L/min
Temperature	25°C(상온)
Stirrer RPM	550

#### 2.2.4 CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation

CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation은 산화칼슘을 펄프섬유와 섞은 후에 이산화탄소와 반응시켜 PCC를 펄프섬유에 합성시키는 기술이다. 이산화탄소를 사용하여 생성된 PCC를 섬유표면에 직접 생성시키기 때문에 별도의 보류향상제를 사용하지 않아도 탄산칼슘의 보류율이 매우높을 것으로 예상된다. 또한, 섬유표면에 부착된 PCC는 펄프섬유 특히 white ledger의 DIP에 부착된 이 물질을 덮는 효과를 보여 백색도 향상 뿐 아니라 잔여 잉크량을 나타내는 ERIC value에 큰 효과가 있는 것으로 연구된 바 있다. 자세한 합성조건은 Table 4에 명시하였으며, in-situ 실험장비는 논문에서 발표한 바와 같다.<sup>9)</sup>

#### 2.2.5 수초지 샘플의 제작

일반적으로 지료 내 탄산칼슘을 보류시키는 방법은 고분자(C-PAM 등)시스템을 주로 사용한다. 이러한 탄산칼슘 보류 방법과 CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation의 강도적 성질과 광학적 성질 차이를 알아보기 위해 공급받은 ONP, OMG에 같은 PCC 회분량을 갖는 수초지를 대조군으로 제조하였다. 실험군인 CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation 방법은 보류향상제를 사용하지 않아도 되지만 일반적인 탄산칼슘 보류방식에서는 보류향상제의 사용이 반드시 필요하기 때문에 같은 조건에서의 비교를 위해 대조군과 실험군 모두 보류향상제를 사용하였다. 두 조건 모두 보류향상제를 사용하여 같은 회분량에서 비교하기 위해 다음과 같이 수초지를 제작하였다. 즉, CaCO<sub>3</sub> in-situ precipitation의 조건으로 먼저 수초지로 제작하여 회분을 측정한 후 이와 동일한 양의 회분을 같도록 PCC의 양을 조절하여 PCC를 첨가한 수초지를 제작하였다. 이 때 사용한 PCC는 Table 1에 제시되었다.

실험에 사용된 모든 수초지는 TAPPI Standard 원형

수초기를 이용하였으며, 모든 조건을 TAPPI Standard 205 om-88에 의거하여 동일하게 평량 60g/m<sup>2</sup>으로 제조하였다.

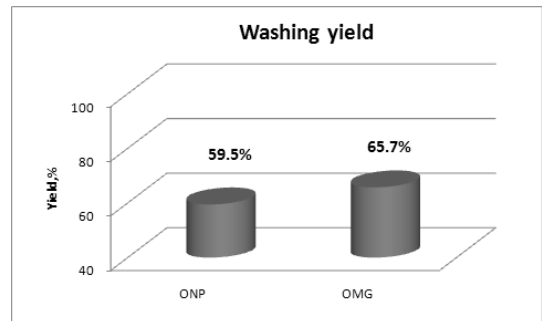
#### 2.2.6 물성 측정

지료 및 종이 내의 충전제 보류정도를 확인하기 위해 회분측정을 하였다. 회분측정은 TAPPI Standard T413 om-93에 따라 측정하였다. 수초지는 KS M ISO 187에 따라 23±1°C, 상대습도 50±2% 조절된 항온·항습실에서 24시간 이상 조습처리 후 ISO에 의거해 Testrometric사 MICRO350을 이용하여 인장강도(ISO 1924) 등을 측정하였다. 또 Technidyne사 COLOR TOUCH2를 이용하여 백색도(ISO 2470), 불투명도(ISO 2471), ERIC value(ISO 22754)를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 ONP, OMG 의 세척효과

Fig. 1~3는 ONP와 OMG의 200mesh 스크린으로 세척한 세척 효과를 나타내고 있다. 세척후 수율이 상당히 많이 떨어지는 것을 볼 수 있었는데, ONP는 약 40% OMG는 약 35%의 수율감소가 발생하였다(Fig. 1). 이러한 수율감소에도 불구하고 백색도와 Eric 값의 변화는 그다지 크지 못하였다(Fig. 2와 Fig. 3). 단, 이들 샘플들은 동일 회분함량에서 비교가 불가능하기 때문에 모두 보류향상제를 사용하지 않고 제작되었다. 백색도의 경우 ONP와 OMG 공히 약 6%의 백색도 증가만 기록하였을 뿐 이었다. ERIC 값의 경우도 인쇄용지로 사용하기에는 아직 높은 값을 가지고 있었다.



**Fig. 1. ONP and OMG furnish yields by weight% after washing on 200 mesh screen.**

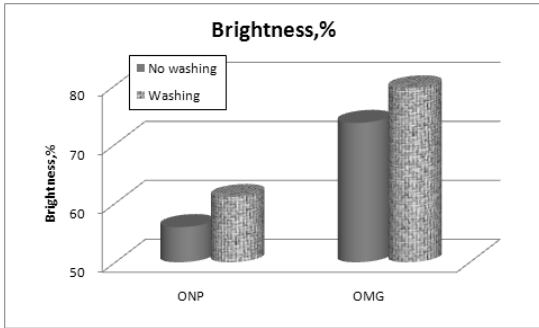


Fig. 2. ONP and OMG brightnesses after washing on 200 mesh screen.

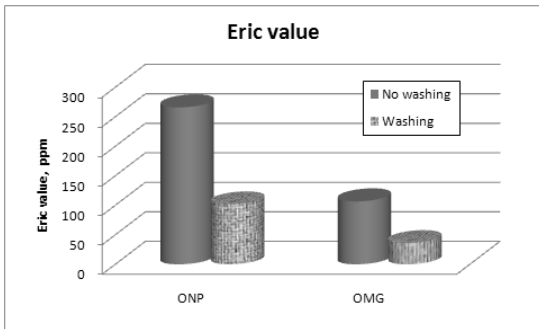


Fig. 3. ONP and OMG Eric values after washing on 200 mesh screen.

### 3.2 ONP 와 OMG 의 표백효과

ONP 와 OMG 의 표백효과를 Fig. 4~7 까지 나타내었다. 표백제로는 과산화수소와 FAS 를 사용하였다. Fig. 4와 Fig. 5에서 보면, 과산화수소의 표백에서 표백 전이나 후에 세척을 하지 않으면 백색도나 Eric 값의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있었다. 또 세척을 실시하는

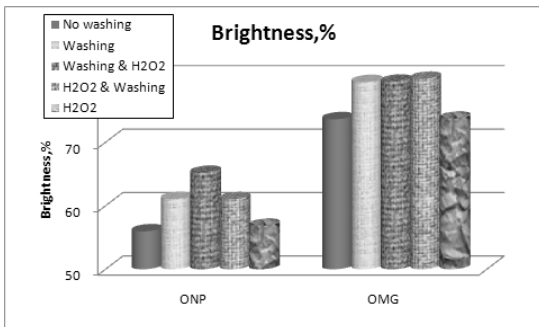


Fig. 4. Comparison of brightnesses after H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bleaching and washing treatments.

경우에도 표백의 효과는 매우 미미하며, 세척의 효과가 더 큰 것을 알 수 있었다. 여기서도 이들 샘플들은 동일 회분함량에서 비교가 불가능하기 때문에 모두 보류항상제를 사용하지 않고 제작되었다. 이와 같은 결과는 ONP 나 OMG 의 광학적 성질의 개선이 얼마나 어려운지를 잘 보이고 있다고 하겠다. 역시 FAS를 이용한 표백의 경우도 (Fig. 5 와 Fig. 6) 과산화수소보다는 표백

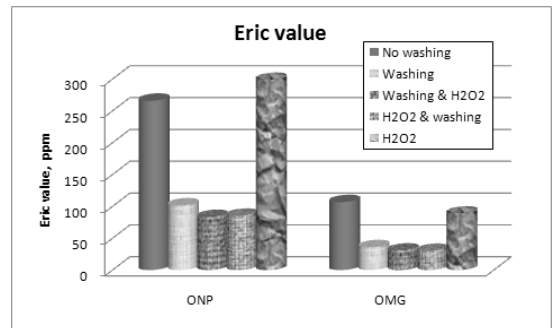


Fig. 5. Comparison of ERIC values after H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bleaching and washing treatments.

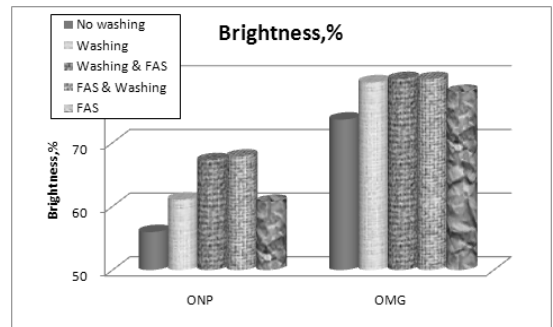


Fig. 6. Comparison of brightnesses after FAS bleaching and washing treatments.

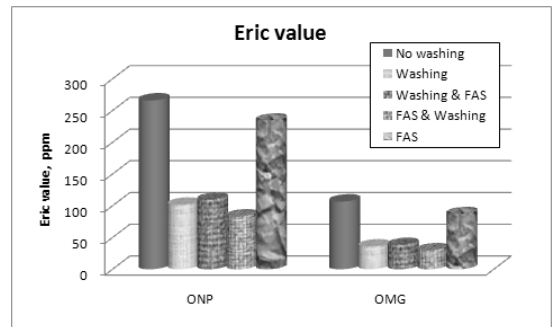


Fig. 7. Comparison of ERIC values after FAS bleaching and washing treatments.

의 효과가 더 우수하지만 ERIC 값의 경우 개선이 매우 미미함을 알 수 있었다.

### 3.3 In-situ CaCO<sub>3</sub> 형성의 효과

In-situ CaCO<sub>3</sub> 형성의 효과를 적절히 판단하기 위해서는 반드시 동일한 회분 함량에서 샘플들을 비교해야 할 것이다. 즉 백색도가 높은 탄산칼슘이 많이 들어간 지료는 높은 백색도를 나타낼 것이고, 탄산칼슘양 만큼 ONP 나 OMG 지료의 양이 탄산칼슘과 교체되기 때문에 지료에 포함된 잔존잉크의 농도에 영향을 받는 Eric 값이 저하될 것이기 때문이다. 또한 탄산칼슘을 포함한 지료의 보류도도 중요시 되었다. 보류도가 낮은 지료는 광학적 성질이 매우 낮은 불순물이 포함된 미세성분들이 많이 빠져나가므로 샘플간 광학적 특성을 비교하기 어렵게 될 것이다. 따라서 본 샘플의 제조에 있어서, 보류향상제인 PAM 을 0.1% 씩 모두 사용하였으며, 이 때 실험실조건에서 지료의 총보류도는 모두 약 95% 를 기록하였다. 이러한 정도의 보류도라면 대부분의 고품분이 샘플시트에 남게 되므로 물리적, 광학적 특성의 비교에 문제가 없다고 판단되었다. 또한 샘플시트에 포함된 회분의 양이 같아야 하므로 trial and error 에 의해 회분 총량을 맞추었으며, ONP 의 경우 약 45% 의 회분을 기준으로 하였고, OMG 의 경우 약 60% 를 기준으로 하였다. 이러한 많은 회분량들은 ONP나 OMG 단독으로 종이를 만드는 경우 강도의 문제가 생길 수 있지만, 고지함량이 일정량 이상 필요한 인쇄용지를 만들 경우나 백색도가 상당히 향상된 지종을 만들어야 할 경우, 펄프를 필요한 만큼 섞어서 쓸 수 있으며, 추가적으로 탄산칼슘을 넣지 않으면 이들의 회분함량 자체가 높은 것은 강도나 기타 물성에 문제가 되지 않을 것이다.

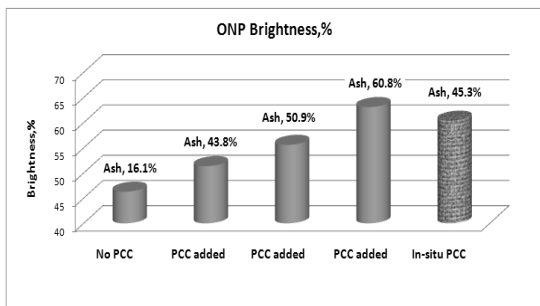


Fig. 8. Brightnesses of conventional PCC retention method and in-situ process.

Fig. 8~11 에 in-situ 방식으로 형성 지료와 ONP와 OMG 지료에 탄산칼슘을 넣어 회분량을 맞춘 지료의 광학적 특성이 비교되었다. 백색도의 경우 회분함량이 늘어남에 따라 백색도가 증가하는 것을 볼 수 있다. ONP 의 경우 회분함량이 50.9% 인 경우에도 회분함량이 45.3% 인 in-situ 방식의 PCC 첨가가 백색도와 ERIC 값에서 현저히 우수한 것을 볼 수 있었다 (Fig. 8~9). 실제로 in-situ 방식의 PCC 첨가의 경우가 회분함량이 약 5% 적은 가운데서도 보류향상제를 이용한 PCC 첨가방식보다 백색도에서 약 5% 정도 더 우수한 것을 보여주었다. OMG의 경우도 ONP 의 경우와 비슷한 경향이 보여졌지만 보류향상제를 이용한 PCC의 보류와 in-situ 방식의 PCC 보류의 경우, 그 차이가 많이 줄어든 것을 알 수 있었다. 그 이유로는 기본적으로 OMG의 경우 PCC를 따로 첨가하지 않아도 ONP 보다 약 2배의 회분(33%)을 탄산칼슘을 따로 넣기 전에 이미 보유하고 있기 때문에 광학적 특성이 떨어지는 섬유 표면에 PCC를 부착하려는 in-situ 방식의 효과가 떨어지는 것으로 판단되었다. PCC를 넣지 않은 경우의

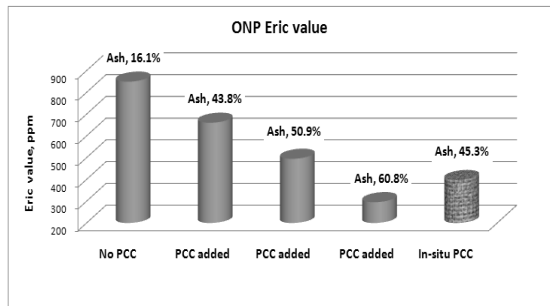


Fig. 9. Eric values of conventional PCC retention method and in-situ process.

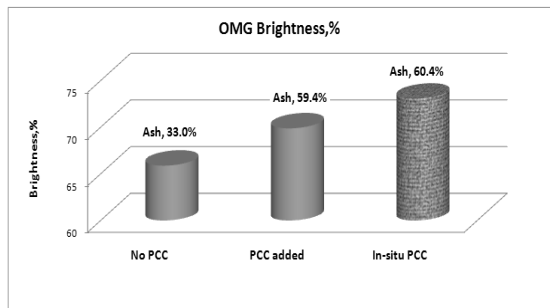


Fig. 10. Brightnesses of conventional PCC retention method and in-situ process.

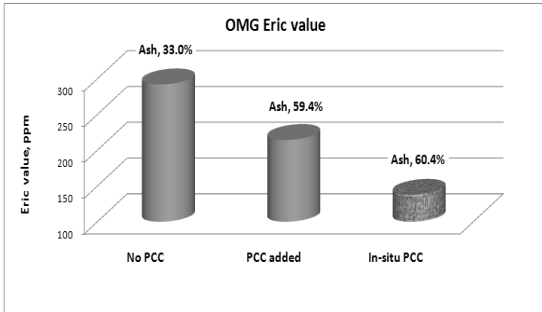


Fig. 11. Eric values of conventional PCC retention method and in-situ process.

ERIC 값은 ONP 나 OMG 의 경우 매우 높는데, 이는 보류항상제를 사용함으로써 빠져나갈 수 있는 잔존잉크들을 대부분 보류시킴으로서 나타나는 현상이다. 실제 종이제조공정에서는 잔존잉크들이 총 보류도의 관점에서, 대부분의 보류된다고 볼 때에 현재의 데이터가 좀 더 현장 데이터를 대표한다고 볼 수 있을 것이다.

### 3.4 보류항상제를 이용한 PCC 보류와 in-situ 시스템의 강도적 성질비교

ONP와 OMG 에 탄산칼슘을 적용하고, 또 보류항상제를 적용한 샘플시트들과 섬유에 in-situ 시스템을 적용하고 보류항상제를 사용한 지료들의 열단장을 회분 함량에 대해 모든 데이터의 그래프를 만들어 본 결과 Fig. 12과 같은 그림을 얻었다. 사실상 회분의 함량이 동일하면 인장강도에 차이를 보이지 않는 결과들로 나타났다. ONP 와 OMG의 물리적 성질의 차이도 회분함량에 의한 효과를 벗어나지 못하고 있었다.

## 4. 결론

ONP와 OMG의 탈묵펄프에 광학적 성질을 개선하기 위해 세척과 표백을 사용하였지만 세척의 경우, 약 35~40%의 수율감소를 가져오며 약 6%의 백색도 증대만 가져올 뿐이었고, 세척과 표백을 같이 사용하는 경우도 FAS를 사용하는 경우에만 백색도와 ERIC 값의 향상을 가져왔다. 본 연구에서 사용한 in-situ 탄산칼슘 형성공정은 수율의 감소없이 동일 회분 함량하에서도 세척과 표백을 동시에 실시하는 경우보다 더 높은 백색도의 증가와 ERIC 값의 향상을 가져왔다. 따라서 ONP

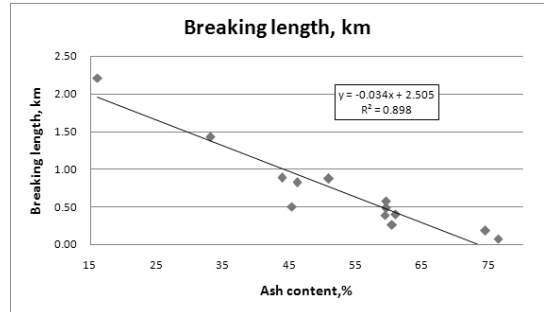


Fig. 12. Breaking lengths vs. ash contents of ONP and OMG furnishes.

와 OMG의 광학적 성질의 품질 업그레이드를 위해서는 in-situ 탄산칼슘 형성공정이 효과적인 대안으로 제시되었다.

또한 탄산칼슘의 원료인 산화칼슘은 제지공장의 소각로에서 발생하는 fly ash를 포집하여 제지가 가능할 수 있으며, 제지공장의 보일러에서 발생하는 이산화탄소를 사용하여 in-situ PCC를 제조함으로써, 온실가스의 발생을 줄이고 소각로의 폐자원을 재활용하여 폐지의 품질 업그레이드를 달성할 가능성을 본 연구에서 보였다.

## 사 사

본 연구는 지식경제부 에너지기술혁신 연구개발 사업(ETI R&D Program)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 인용문헌

1. 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).
2. Korea paper manufacturers' association. [http://www.paper.or.kr/n\\_indu/indu\\_02.asp](http://www.paper.or.kr/n_indu/indu_02.asp).
3. Tappi test method T567 pm-97.
4. Won, J.M. - Deinking of white ledger with ultrasonic wave : Laboratory scale trial, Journal of Forest Science 23(2):73-78 (2007).
5. Kim, S.H, Ahn, B.J, Paik, K.H., Sequential Oxidative

- and Reductive Bleaching of MOW by the Addition of Thiourea, *Journal of Korea TAPPI*, Vol. 34, No.3, pp. 38-45(2002).
6. Kumar, P, Gautam, S. K, Kumar, V, Enhancement of optical properties of Bagasse pulp by in-situ filler precipitation, *BioResources*, 4(4), 1635-1646(2009).
  7. Ryu, M.Y., Kim, H., Ahn, J.W. - Effect of Shape and Application Process of Precipitated Calcium Carbonate on Optical and Mechanical Properties of Recycled Paper, *Geosystem Engineering*, 11(4): 81-86 (2008).
  8. Han, Y.R., Seo, Y.B. - Effect of particle shape and size of calcium carbonate on physical properties of paper, *Korea TAPPI*, Vol. 29(1), 7-15 (1997).
  9. Park, D.H., Improvement of recycled fiber properties for printing paper by in-situ precipitation calcium carbonate, Department of Forest Products, Graduate School, Chungnam National University, Daejeon, Korea, p11 (2011).