

고지재생연구(제15보)

- 제지 공정수 폐쇄화에 따른 오염 및 변화에 관한 연구 -

조미선 · 윤혜정 · 류정용 · 신종호 · 송봉근

Recycling of Wastepaper (XV)

- Contamination of Process Water by System Closure -

Mi-Sun Cho, Hye-Jung Youn, Jeong-Yong Ryu, Jong-Ho Shin, and Bong-Keun Song

ABSTRACT

It is desirable to reduce the amounts of fresh water and reuse the recycled water in papermaking process. In an attempt to improve the efficiency of recycling water refining treatment and to enhance the productivity of OCC recycling mill, upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor was developed and introduced to Korea recently.

In order to maximize the operating efficiency and minimize the adverse side effects it is imperative to estimate and evaluate the total effects of new system, UASB on the whole OCC recycling process.

This study was carried out with a view to investigate the effects of the high temperature and alkalinity of process water on the quality and productivity of testliner of OCC recycling mill which is equipped with UASB reactor and almost closed. Another object of this study was searching for the best available use of UASB treated process water.

The results were as follows;

Reuse of UASB treated water characterized with high temp. and alkalinity was useful to improve the strength and drainage properties of recycled OCC owing to its good points of promoting OCC disintegration and reducing the calcium hardness of process water.

However, it might not be avoidable to induce the increase of dissolved solids in process water in accordance with direct introducing of UASB treated water into the former stage of OCC stock preparation. So it would be advisable to adopt the UASB treated water in the stage of clean, screened OCC stock.

Keywords: UASB, temperature, alkalinity, OCC, process water

1. 서론

우리 나라는 1999년 782만 톤의 종이·판지를 생산한 세계 10위의 지류생산국이지만 연간 1인당 종이·판지 소비량이 150 kg대로 구미 선진국의 50%에도 미치지 못하는 낮은 수준임을 감안할 때, 국내 지류 소비는 앞으로도 계속 증가할 것이며 생산량 역시 지속적으로 증가하리라고 기대된다.¹⁻²⁾ 국민소득 수준과 문화생활의 향상에 힘입어 제지산업은 1999년 산업기술정보원이 보고한 바와 같이 2000년 이후 연간 10% 이상의 지속적인 성장세를 구가할 것으로 예측될 뿐만 아니라, 더불어 수요의 고급화 추세가 본격화될 것으로 예상된다. 그러나, 환경문제와 수자원부족으로 인한 용수가격의 인상, 방류수에 대한 환경부담금 부과 등은 용수 다소비 산업인 제지산업의 생산 원 단위를 상승시키는 직접적인 요인이 되고 있다. 따라서, 제지 공정의 공정수 절감 및 폐쇄화로의 전환이 불가피하게 요구된다.

백수 시스템의 폐쇄화율을 높이는 데에는 환경오염의 감소와 폐수처리 비용, 용수 비용 등이 적게 든다는 경제적인 이점 이외에도 공정수온의 상승에 따른 에너지 비용 절감, 슬러지 발생 감소, 섬유·미세섬유·충전제 및 약품의 손실을 절감시키는 등의 장점이 있다.³⁾ 그 외에도 공정수온의 상승으로 탈수성이 개선됨에 따라 초지 속도 향상과 더불어 생산효율이 높아지는 장점이 있다.⁴⁾

그러나 폐쇄화로 인해 공정수 내의 부유물질(Suspended Solids)이 축적된다면 초지 시 탈수속도가 저하되며, dirt의 증가로 와이어와 펠트를 오염시켜 수명을 단축시키고 초지 설비의 마모와 스케일이 발생하는 등의 문제점이 초래될 수 있다. 특히, 용존물질의 축적은 첨가약품의 효과를 저하시키고 초지를 부식시키며 계 내 기포 발생을 증가시킬 뿐만 아니라 약취발생, 침전물 및 스케일 형성, 슬라임 성장을 야기하는 등의 문제점을 안고 있다.⁵⁻⁶⁾

최근 적용이 적극 검토되고 있는 새로운 제지 공정수 처리기술로서 혐기성 미생물 분해를 활용한 상향류식 혐기성 소화조 처리(Uplow Anaerobic Sludge Blanket, UASB)는 상기한 문제점의 해결을 위한 새로운 가능성을 제시하였다. 제지 공정수에 대한 UASB 처리는 용수 내에 잔존하는 유기물을 분해하고 약취를 없애며, 각종 유기산을 제거하여 COD와 BOD 등을 획기적으로 절감하는 효과가 있을 뿐만 아니라, 백수 중에 다량 존재하는 칼슘이온 등을 제거함으로써 생산효율 및 생산된 종이의 강도를 크게 개선시키는

효과가 있다.⁷⁾ 따라서, UASB 처리 시스템에 대한 국내 판지 생산업체들의 관심이 고조되고 있고, 현재 실규모의 설비가 건설되고 있다.

새로운 수처리 설비가 적용되어 공정수질의 변화가 이루어질 때에는 최종 제품의 생산효율 및 품질 또한 영향받는다. 만일 새로운 처리 설비를 성공적으로 활용하고자 한다면 단순히 수처리 설비로 여겨 그 운전 효율만을 고려할 것이 아니라 보다 효율적으로 고품질의 제품을 생산하는 데 새로운 처리수를 적극 활용하는 노력이 필요하다.

골판지 원지를 생산하는 공정의 공정수는 이미 보고된 바와 같이⁸⁾ 골판지를 성형할 때 사용되는 전분 접착제와 고지 내에 포함된 탄산칼슘으로 인해 주로 오염된다.

이때 전분 접착제는 미생물에 의해 분해되어 공정수의 수소이온 농도를 증가시키는 휘발성 유기산으로 변화하는데, 특히 초산은 그러한 휘발성 유기산의 주된 구성분으로서 공정수의 시큼한 냄새를 유발하는 원인이 되어 왔다.⁹⁾ 휘발성 유기산은 혐기성 미생물에 의해 이산화탄소와 메탄으로 쉽게 분해된다. 휘발성 유기산이 제거되는 만큼 공정수의 수소이온 농도는 감소하며 메탄 생성균과 경쟁 관계에 있는 황 환원 박테리아(Sulfur Reducing Bacteria)의 작용에 의해 공정수의 알칼리도가 증가함에 따라 수소이온 농도의 감소는 더욱 심화된다.

기존의 호기성 균을 이용한 활성오니처리는 균의 호흡에 필요한 산소가 처리수에 용존해야 하는 이유로 처리온도를 35℃ 이하로 낮추어야 하는 단점이 있다. 다시 말해 공정수온이 35℃ 이상인 경우에 인위적으로 냉각처리를 실시하여 처리할 공정수의 온도를 낮추어야 했는데, 만일 공정수온이 충분히 냉각되지 못하는 경우에는 사상균(Filamentous Bacteria)의 이상 증식으로 인한 벌킹(Bulking)을 피할 수 없었다.¹⁰⁾ 이에 반해 혐기성 균은 기존의 호기성 균보다 높은 온도에서 고농도 유기물의 분해가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 즉, 처리할 공정수의 추가적인 냉각처리를 생략하고 40℃ 이상의 공정수를 바로 처리한 다음 초지계로 돌려보냄에 따라 기존의 수처리에 따른 공정수온의 하강을 방지할 수 있다. 따라서 UASB 처리수를 공정에 도입하게 되면 전체 공정수의 수온과 알칼리도가 증가된다. UASB 처리수를 공정 내 도입하기 위해서는 우선 이러한 수질 변화가 최종 종이의 생산성과 품질 변화에 미치는 영향이 파악되어야 한다.

이에 본 연구는 제지 공정수의 처리에 UASB를 적용하고 용수를 폐쇄화시킴에 따라 예상되는 수온 상

승, 알칼리도 증가 및 산도 저감 현상이 종이와 백수의 품질 변화에 미치는 효과를 평가하여, UASB 처리수의 최적 활용 방안을 탐색하는 목적으로 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

국산 골판고지(KOCC)를 주원료로 하여 제조된 라이너지(test liner)와 시중에서 유통되고 있는 골판지 상자를 각각 저농도 펄퍼로 해리하여 공시재료로 삼았으며, 공정수 및 UASB 처리수와 유사한 조건의 용수를 조제하기 위해 Na_2CO_3 , CaCl_2 , CH_3COOH 및 NaCl 을 사용하였다.

Amphoteric PAM을 건조지력 증강제로 첨가하였으며, 보류향상제로 cationic PAM과 bentonite를 활용한 microparticle system을 적용하였다.

2.2.1 수온별 RDA 초지 및 용수 분석

공정수의 오염상황을 재현하기 위해 본 연구에서는 청수에 다음과 같은 시약을 첨가하여 전기전도도, 칼슘경도, 알칼리도 및 수소이온 농도의 화학적 산소요구량을 조절하고자 하였다. 청수에 Na_2CO_3 1,000 ppm, CaCl_2 2,220 ppm 및 CH_3COOH 1000 ppm을 첨가하여 기존 라이너지 공정수와 유사한 조건인 전기전도도 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 칼슘경도 800 ppm, pH 5.8 수준의 물을 조제하였다. 수온이 용수와 수초지의 물성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 제조된 용수의 온도를 20, 35, 50, 및 60 $^{\circ}\text{C}$ 로 달리하여 펄프의 해리, 고해부터 수초까지 모든 공정에 사용하였다.

저농도 펄퍼를 이용하여 농도 4%로 30분 간 해리한 후 실험용 Valley beater로 10분 간 고해하였다. 이때 해리 및 고해처리 후 지료의 미세분 함량, 여수도 및 보수도(water retention value, WRV)를 측정하였으며, 각 단계 전·후 지료를 원심분리한 후 그 상등액의 화학적 산소요구량(COD)과 칼슘경도를 측정하여 용수의 변화를 평가하였다.

고해된 지료는 RDA/HSF(Retention & Drainage Analyzer with Handset Former, 한국화학연구소)를 이용하여 수초하였으며 이때 평량은 150 g/m^2 였다. RDA/HSF는 본 연구소에서 지료 조성 및 초지 조건의 현실화를 구현하기 위해 자체 제작된 설비로서 고농도의 지료에 첨가제가 자동 투입된 후, 교반, 강제

탈수가 이루어지고 이때 백수 채취가 가능하도록 설계되어 있다.¹¹⁾ 약품 첨가 효과를 보기 위해 일부의 종이는 약품을 첨가하지 않은 무처리 지료로 초지하였으며, 일부는 전건지료 대비 건조 지력증강제 1%, 보류향상용 고분자 0.01%, bentonite 0.05%를 첨가하여 제조되었다. 이렇게 제작된 RDA 습지를 본 연구소에서 실험실적으로 제작한 컨디벨트 드라이어를 이용하여, cold press부에서 3.5 kg/cm^2 의 압력으로 3분간, hot press부에서 온도 160 $^{\circ}\text{C}$, 6 kg/cm^2 의 압력으로 9초 간 압착시켰다. 또한, RDA 초지시 와이어를 통과한 백수를 채취하여 부유고형분양(Suspended Solids, SS), 탁도 및 cationic demand를 측정하였으며, 수초지의 인장강도, 파열강도 및 압축강도를 TAPPI 표준시험법 T494 om-88, T402 om-85, T825 pm-86에 의거하여 측정하였다.

2.2 알칼리도별 RDA 초지 및 용수 분석

UASB 처리의 대표적인 효과인 공정수의 알칼리도 증가 및 산도 감소로 인한 종이품질 및 수질의 변화를 파악하기 위하여 50 $^{\circ}\text{C}$ 의 수온에 실험실용수의 pH를 달리하여 해리, 고해 및 RDA 초지하였다. 이를 위해 청수에 Na_2CO_3 와 NaCl 을 첨가하여 전기전도도를 4,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 조절하고, CH_3COOH 의 첨가량을 달리하여 pH를 5.8, 7, 8 및 10으로 변화시키면서 2.2항과 동일한 실험 및 분석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수온 상승의 영향

공정수의 온도는 와이어상에서의 탈수성, 각종 습부 첨가제 효과 및 고해도 등에 영향을 미친다고 알려져 있다. Table 1은 공정수의 온도 상승에 따른 해리와 고해 후의 섬유 변화를 라이너지와 골판지를 비교하여 나타내고 있다. 각질화가 많이 진행된 라이너지의 경우 공정수온이 증가함에 따라 재생펄프의 해리 및 고해 시 미세분 발생량이 줄어들었는데, 이는 수온의 증가에 따라 재생섬유의 유연성이 향상되고 해리가 용이하였기 때문이다. 고온 고해처리에 따라 미세분의 발생이 억제됨으로 인해 여수도는 비교적 높은 값을 나타냈다. 특히 고해처리시 재생펄프의 보수도 증가로 미루어 볼 때 공정수온이 상승함에 따라 재생섬유의

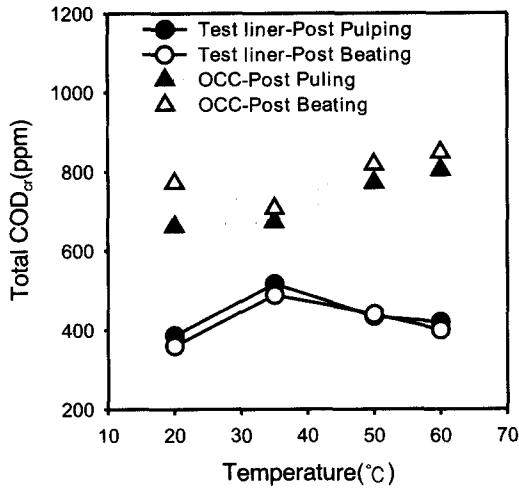


Fig. 1. Effects of temperature of process water on COD charges of supernatant of actual stocks after treatment.

피브릴화가 촉진되었음을 확인할 수 있다. 일반적으로 섬유유의 피브릴화 기작은 내부와 외부의 피브릴화로 구분되는데, 이중 내부 피브릴화는 섬유유의 팽윤 정도를 결정짓는 과정으로 발열 반응인 특징을 갖고 있다. 따라서 고온에서의 해리처리나 고해처리하는 섬유유의 팽윤을 도모할 수 없으며 오히려 저해한다고 볼 수 있다. 그러나 상기한 내용은 천연 버진 펄프의 고해 처리에 부합되는 것 일 뿐, 재생 고지펄프의 경우에는 본 연구의 측정 결과에서 볼 수 있듯이 이와 다른 해석이 가능하다. 즉, 고지의 고온 해리처리는 저온의 경우보다 섬유유의 유연성이 개선되고 해섬이 용이한 조건이므로, 섬유유의 단섬유화로 인한 미세분 증가나, 미해리로 인한 높은 여수도 및 낮은 보수도 등을 피할 수 있었다. 반면에, UKP의 함량이 많은 골판지의 경우 처리온도 상승에 따른 보수도의 증가폭이 라이너지에 비해 적었으며, 골판지 성형에 접착제 역할을 하는 전분은 섬유와 결합하고 있어 섬유유의 해섬을 방해하지만 일반적으로 저온조건보다는 고온에서, 산에서보다는 알칼리 조건에서 추출이 용이하기 때문에 전분을 섬유로부터 탈착시킴으로써 본래의 해리 및 고해능력을 갖게 하여 마치 해리가 촉진되는 것과 동일한 효과를 나타낸다. 따라서, 용수의 온도가 상승하면 발현되는 고해효과로 인하여 미세분 발생이 증가한다.

Fig. 1은 지료조성 공정 전후 단계에서 지료를 채취하여 원심분리한 후 얻은 상등액의 화학적 산소요구량 변화를 나타낸 것이다. 대부분의 COD 유발물질이 두

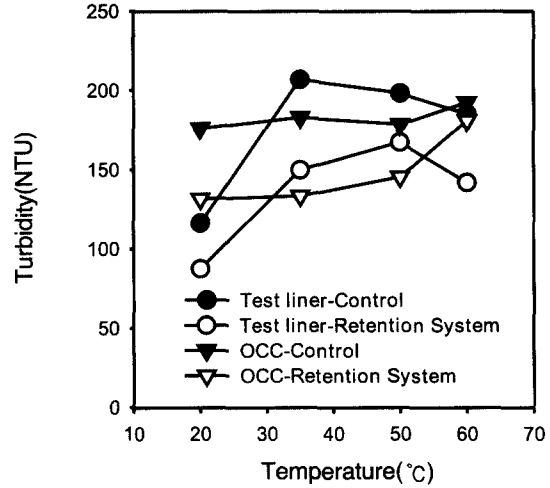


Fig. 2. Correlation between temperature of process water and turbidity of white water of stocks with and without retention aids. [dry-strength additives 0.1%, cationic PAM 0.01%, bentonite 0.05%]

펄프 모두 해리 단계에서 용출되는 것을 알 수 있었으며, 라이너지와 골판지는 비슷한 경향을 보이지만, 골판지의 경우 라이너지에 비해 COD 증가가 더 많이 일어났음을 알 수 있다. 골판지의 경우 해리시키는 과정에서 접착제인 전분의 온수추출효과로 인하여 온도가 상승함에 따라 더 많은 양의 유기물이 용출되어 계 내

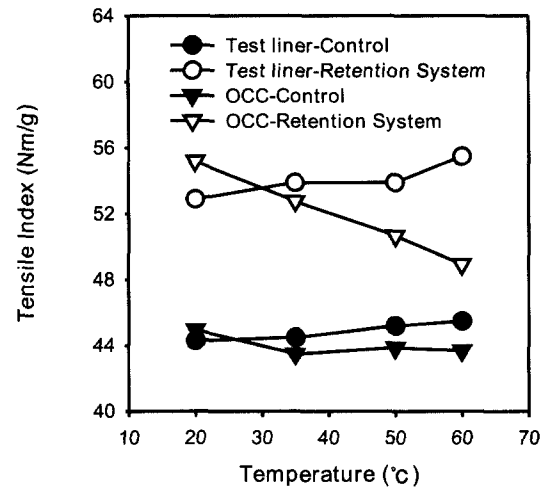


Fig. 3. Tensile strength of paper sheets versus the temperature of process water.

Table 1. Effects of temperature of process water on fines content, freeness and water retention value of two stocks after treatments

	℃	Test liner		OCC	
		Post Pulping	Post Beating	Post Pulping	Post Beating
Fines content (%)	20	42.85	48.87	38.61	46.74
	35	40.63	46.93	40.12	48.54
	50	41.81	47.52	41.02	47.10
	60	38.85	45.52	43.74	48.17
CSF (mL)	20	331	201	306	217
	35	320	230	296	229
	50	324	220	312	234
	60	304	240	308	220
WRV (g _{water} /g _{pulp})	20	1.44	1.81	1.47	1.66
	35	1.73	1.97	1.54	1.78
	50	1.68	2.04	1.64	1.90
	60	1.66	2.2	1.68	1.92

COD 부하를 유발할 소지가 있다. 그러나, 고해 시에는 저온에서 해리될 때 미처 녹아 나오지 못한 잔존 COD 부하물질이 용출될 뿐 고온이라 해도 계속적인 유기물의 용출은 거의 없었다. Valley beater로 처리하기 위해 지료를 희석함에 따라 펄핑 시보다 지료 농도가 저하되어 COD 변화를 민감하게 측정할 수 없었던 이유도 컸지만 고온에서 섬유질의 피브릴화로 인해 오히려 표면적이 증가하면서 COD 유발물질들이 소량 섬유에 흡착되는 경우도 있는 것으로 생각되었다.

Fig. 2는 수온 상승에 따라 약품을 첨가하지 않았을 때와 보류시스템을 적용하였을 때의 초지 후 여액인 백수의 탁도(turbidity)를 나타낸 그래프이다. 지료 온도가 상승될 경우 물의 점도가 낮아짐에 따라 탈수 속도가 증가하며 보류도가 감소한다고 알려진 대로 라이너지의 경우 30℃ 이상의 온도에서 높은 탁도를 보였다. 단지, 고온에서 탁도가 약간 저하되는 것은 Table 1에서 보는 바와 같이 고온에서 미세분이 적게 발생되었기 때문이다. 반면에 골판지의 경우 온도에 따른 탁도의 변화는 그리 크지 않았지만, 온도가 증가함에 따라 전반적으로 탁도가 증가하였다. 골판지의 경우 약품이 첨가된 지료가 훨씬 높은 보류도를 보여 주었지만, 온도가 높아질수록 anionic trash로 적용하는 전분접착제가 용출됨에 따라 약품첨가효과는 감소하였다.

Fig. 3는 수온 상승에 따라 보류시스템을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때의 종이의 인장강도를 보여 주고 있다. 라이너지는 섬유의 유연성 개선으로 인

해 종이의 강도가 다소 증가하는 경향을 보여 고도로 각질화된 재생섬유 함량이 많은 라이너지의 경우 고온에서의 지료 조성 및 초지가 강도적 측면에서 유리함을 보여 준다. 그러나, 골판지의 경우 표층 내 양질의 섬유로 인해 저온에서의 강도는 라이너지보다 높았지만, 고온초지 시 섬유간 결합을 도와주고 있던 전분의 용출로 섬유간 결합력이 감소하였을 뿐만 아니라 용출된 전분이 anionic trash로 작용하여 보류도를 저하시켜 강도가 저하되었다. 특히 보류시스템을 적용한 경우 전분에 의한 약품효과 저하로 인해 강도 감소가 더욱 뚜렷하였다.

이상의 결과, 수온 상승은 재생펄프의 팽윤을 촉진시켜 유연성을 향상시킴으로 강도를 증가시키며, 물의 점도가 저하됨에 따라 탈수성이 개선되어 생산성 향상을 가져온다. 그러나, 미세분 보류도가 저하되며, 고지 내 anionic trash의 함량이 높을 경우 수온 상승의 효과가 상쇄되므로 이에 대한 대책이 요구된다.

3.2 pH의 영향

지료의 해리 및 고해 시 pH의 상승으로 인한 라이너지와 골판지 섬유특성의 변화가 Table 2에 정리되어 있다. pH가 산성일 때는 재생섬유의 팽윤도 활발하지 못하고, 해리가 어려워 미해리분들이 잔존함에 따라 재생펄프의 여수도가 높았지만, pH가 증가함에 따라 섬유가 가지고 있는 음이온성 작용기의 dissoci-

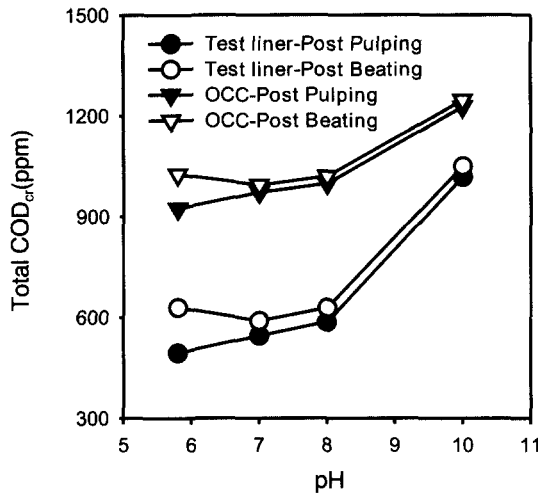


Fig. 4. Effects of pH of process water on COD changes of supernatant of testliner and OCC stocks.

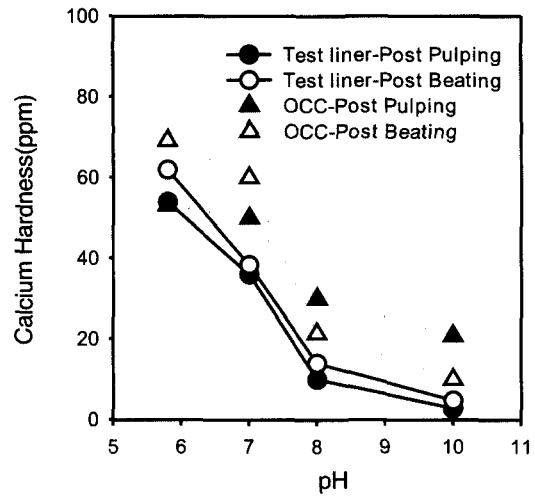


Fig. 5. Effects of pH of process water on calcium hardness charge of supernatant of testliner and OCC stocks.

ation이 촉진되고 섬유 수화속도가 빨라질 뿐만 아니라 섬유의 피브릴화가 유도됨에 따라 고해처리 후 여수도가 감소하였다. 라이너지의 경우 알칼리 pH에서 고해 후 미세분 함량이 감소함에도 불구하고 여수도가 감소한 것으로부터 내부 피브릴화에 의해 섬유 팽윤이 발생한 것으로 생각된다. 이는 보수도의 뚜렷한 증가에서도 확인될 수 있다. 그러나, 라이너지와 달리 골판지는 보수도 변화가 거의 없음에도 불구하고, 전분의 고온추출과 마찬가지로 전분의 알칼리 추출효과로 인해 산성 조건일 때보다 알칼리 조건일 때 섬유의 해수를 저해하던 전분이 쉽게 섬유로부터 탈착됨에 따라 섬유의 해리 및 고해가 원활해지면서 미세분 함량의 증가와 여수도의 감소를 가져왔다.

Fig. 4와 5는 조성공정 중 지료를 채취하여 원심분리한 후 얻은 상등액의 COD와 칼슘경도의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 4에 제시된 COD 결과를 볼 때, 라이너지와 골판지 모두 pH가 상승할수록 알칼리 추출이 활발해져 지료의 해리시 COD 유발물질의 양이 급격히 증가하였으며, 그 상당량이 해리 단계에서 용출되고 있음을 알 수 있다. 그러나, 수온 상승에 따른 결과와 마찬가지로 고해시 추가적인 유기물의 용출은 낮은 pH 조건을 제외하고는 거의 발생하지 않았다. pH에 따른 칼슘경도의 변화를 나타낸 Fig. 5에서 pH 상승에 따라 칼슘의 용출이 급격히 감소한 점은 주목할 만하다. 칼슘경도의 변화가 양(+)인 것은 라이너지 혹은 골판지 내 포함되어 있던 칼슘 성분이 용출된다는

것을 의미하는데, 대부분 회분으로 존재하는 탄산칼슘에서 유래된다. 공정수의 높은 칼슘경도는 이후 사용되는 기능성 혹은 공정 조절용 첨가제의 효율을 떨어뜨리는 것으로 알려져 있다. 해리시 라이너지와 골판지 두 섬유 모두 낮은 pH 조건에서 상당한 칼슘이 용출되었는데, 이는 CaCO₃가 저온에서, pH가 낮을수록 그 용해도가 증가한다는 사실과 부합된다. 더욱이 골판지의 경우 알칼리 상태에서 고해시 칼슘 이온이 탄산칼슘으로 침전되어 섬유에 흡착되는 것도 볼 수 있다. 이러한 사실로부터 pH가 9.5 정도인 UASB 처리수를 곧바로 펄핑 단계에 적용하는 것은 높은 COD 부하를 유발시킬 수 있지만, 칼슘의 용출은 감소될 것으로 기대된다.

Fig. 6는 pH 증가에 따른 라이너지의 초지 시 발생된 백수의 cationic demand 변화를 나타내는 그래프이다. 펄프섬유의 음이온성 작용기는 pH가 상승할수록 더욱 해리되어 펄프의 음전하가 증가하므로, pH가 높아질수록 펄프섬유의 표면전하를 중화시키기 위해서 요구되는 고분자 전해질의 첨가량은 높아진다. 보류제 등의 양이온성 약품을 첨가한 경우 양이온 요구량은 약품 무첨가시보다 낮지만, pH가 8 이상으로 증가될 경우 약품을 첨가했을 때 더 높은 양이온 요구량을 나타냈다. 이러한 결과는 Fig. 7에 나타난 현상으로부터 유래된다고 생각할 수 있다.

Fig. 7은 건조지력 증강제와 cationic PAM, 그리고 bentonite의 pH변화에 따른 cationic demand를

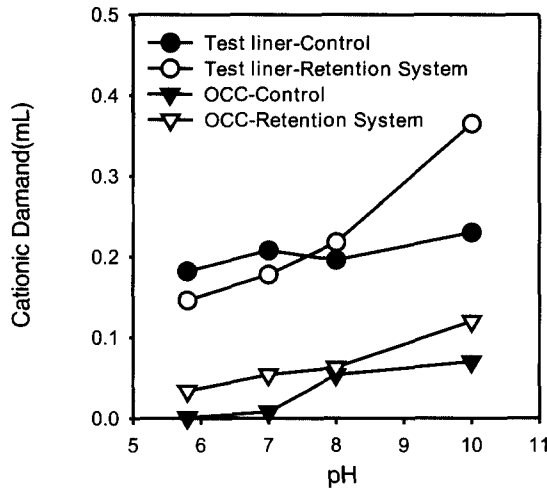


Fig. 6. Correlation between pH of process water and cationic demand of centrifuged white water with and without retention aids. [dry-strength additives 0.1%, cationic PAM 0.01%, bentonite 0.05%]

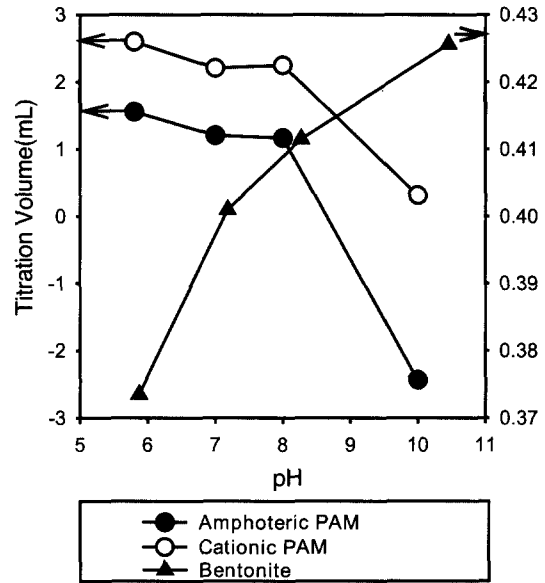


Fig. 7. Correlation between pH and cationic demand of three additives.

적정하여 나타낸 것이다. pH에 따라 사용된 고분자의 전하가 변화되었는데, pH 9를 전후로 하여 cationic PAM은 거의 전하를 띠지 않았으며, 지력증강제로 사용된 amphoteric PAM의 경우 오히려 음전하를 띠는 것으로 나타났다. 이로 인해 높은 pH 조건에서 지료에 약품을 첨가하였을 때 고분자가 섬유에 결합되지

못하고 백수 내에 anionic trash로 잔존하여 cationic demand를 상승시키는 것이다.

이러한 pH에 따른 약품의 효과는 미세분 보류에 직접적인 영향을 미치며, 이는 Fig. 8로부터 확인할 수 있다. Fig. 8은 pH를 증가시키면서 초지하였을 때 얻어진 백수의 부유고형 분량이 증가하고 있음을 보여

Table 2. Effects of pH of process water on fines content, freeness and water retention value of two stocks after treatments

	pH	Test liner		OCC	
		Post Pulping	Post Beating	Post Pulping	Post Beating
Fines content (%)	5.8	39.67	47.69	34.52	43.56
	7	-	46.00	36.98	47.56
	8	39.70	45.29	38.82	49.67
	10	43.65	45.22	39.06	51.36
CSF (mL)	5.8	275	183	316	207
	7	270	182	348	228
	8	255	169	297	198
	10	243	144	275	166
WRV (g _{water} /g _{pulp})	5.8	1.64	1.91	1.71	1.93
	7	1.68	1.96	1.62	1.94
	8	1.69	2.04	1.65	1.88
	10	1.82	2.17	1.72	1.96

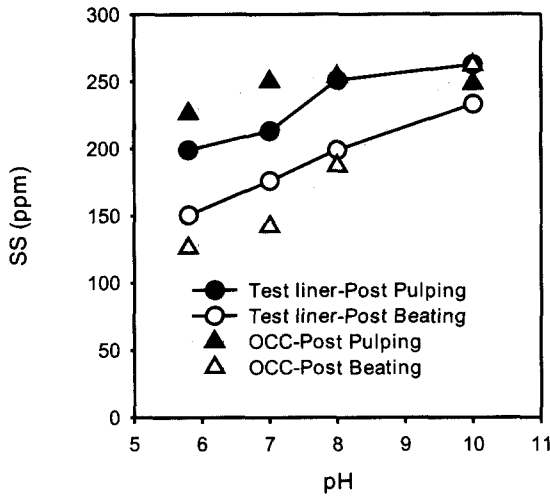


Fig. 8. Effects of pH of process water on suspended solids of white water.

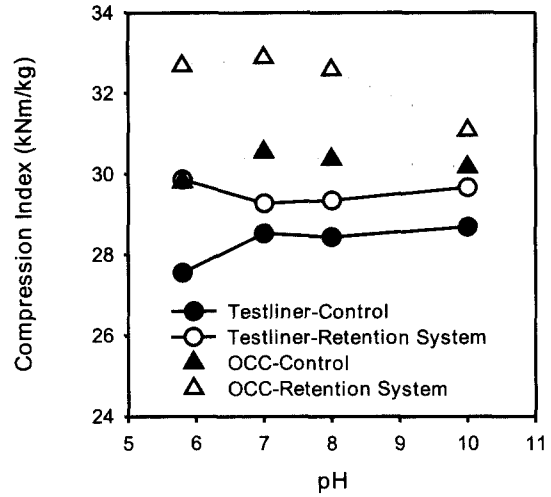


Fig. 9. Compression strength of paper sheets versus the pH of process water.

준다. pH 증가는 약품의 전하를 감소시킬 뿐 아니라, 섬유로부터 anionic trash를 다량 유발시킨다. 이 경우 지료 조성분의 응집을 위해 투입된 양이온성 보류항상제가 지료 조성분 입자 표면에 흡착되기 전에 이미 용수 내에 용해되어 있는 음이온성 물질과 반응하여 중화됨으로써 보류효과를 제대로 발현하지 못할 것으로 생각된다. 특히 pH 8~10 사이의 급격한 변화는 Fig. 7에서 확인한 바와 같이 공정수의 알칼리화로 약품 자체의 전하가 중화되어 보류효과를 나타내지 못했을 뿐만 아니라 오히려 첨가된 PAM이 anionic trash로 용수 내에 누적된 것으로 보인다.

Fig. 9은 공정수의 pH 증가에 따라 RDA/HSF로 초지한 종이의 압축강도를 측정한 그래프이다. 보류시스템을 적용하지 않은 종이의 강도는 라이너지와 골판지 모두에서 pH가 상승함에 따라 강도가 약간 상승하다가 정체하는 경향을 보이는데 이는 알칼리 조건에서 섬유의 팽윤에 따라 고해가 충분히 이루어졌기 때문이라 생각한다. 반면에 보류시스템을 적용한 종이의 강도는 라이너지의 경우 pH가 상승함에 따라 감소하다가 약간 상승하는 경향을 보이는데, 이는 Fig. 7에서 설명한 PAM의 전하 역전에 의한 보류도의 감소 및 강도 저하와 동시에 알칼리 조건에서의 섬유의 팽윤으로 인한 강도 증가의 두 가지 원인이 복합적으로 작용한 것에 기인한다. 골판지의 경우는 알칼리로 갈수록 점차적으로 강도 저하가 일어나다가 pH 10에서는 급격한 강도 저하를 보인다. 이는 Table 2의 보수도 결과에서 보듯이 섬유의 팽윤이 활발하지 못하고, 고분자

의 전하 역전으로 인해 보류도와 강도가 저하되었으며 또한 전분 추출로 인한 강도 저하가 발생하였기 때문이다.

이상의 결과, 공정수의 pH 증가는 섬유의 해리를 촉진하며 갈습경도를 탁월하게 감소시키지만 유기물과 전분의 알칼리 추출현상을 심화시키고, 심한 경우 고분자의 전하 역전으로 약품의 효능을 저하시킨다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 제지 공정수의 처리에 UASB를 적용하고 용수를 폐쇄화시킴에 따라 예상되는 수온 상승, 알칼리도 증가 및 산도 저감효과가 종이의 품질과 생산성 변화에 미치는 영향을 예측하고, UASB 처리수의 최적 활용 방안을 탐색하기 위해 수행되었다.

실험 결과, pH 9.5, 50°C 정도인 UASB 처리수를 초지공정에 적용하는 것은 고온의 영향으로 골판지 원지의 강도 개선과 탈수속도 증가 및 생산성 증대를 가져오며 알칼리도가 높아 해리 촉진과 갈습경도 저하의 효과를 확인할 수 있었으나, 보류도를 개선시킬 수 있는 첨가제 개발과 적용법 탐구가 요구된다.

또한, UASB 처리수를 최적의 조건에서 활용하기 위해서는 과도한 COD 부하를 피해야 하며, 이를 위해 각종 유기물 등의 이물질이 정선, 제거된 후에 적용하는 것이 바람직하며, 특히 각종 첨가약품의 효과저하

를 피할 수 있도록 최적의 적용위치를 선정해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 중점연구개발사업(과제번호: KN-9850, 과학기술부)의 일환으로 수행되었으며, 본 연구에 협조하여 주신 삼성엔지니어링(주) 연구소의 이원권 부장과 한기철 과장께 감사드립니다.

인용 문헌

1. 한국제지공업연합회, 펄프 · 제지 통계연보, 3 (2000).
2. Kenny, J., Lockie, M., Matussek, H., and Janssens, I., Growth prospects look generally flat for 1999., *Pulp & Paper International*, 41(1):22 (1999).
3. 원종명, 제지 공장 백수 시스템의 폐쇄화, 제지기술 제3호, No. 4:86 (1995).
4. Barnett, D. J., and Grier, L., Mill closure forces focus on fines retention, foam control, *Pulp & Paper*, 70(4):89 (1996).
5. 류정용, 한국의 제지산업, 현재와 미래, *Perspectives of Industrial Chemistry*, 3(1): 1(2000).
6. Morley, M. J., Closing backwater systems through shower technology, *Paper Technology*, 31(12):41 (1990).
7. 김용환, 신공정을 통한 판지 공정수 처리 및 제지품질 향상, 1999 추계 학술발표논문집, 한국펄프 · 종이공학회, p. 41.
8. Yeo, S. K., Ryu, J. Y., Shin, J. H., Song, B. K., and Ow, S. K., Recycling of Wastepaper (VIII), Contamination of Process Water by System Closure, *J. Korea Tappi*, 31(4):1 (1999).
9. Habets, L. H., and Knelissen, J. H., Application of the UASB reactor for anaerobic treatment of paper and board mill effluent. *Wat. Science Technology*, 17:61 (1985).
10. Jenkins D., Richard, M. G., and Daigger, G. T., *Manual on the causes and control of Activated sludge Bulking and Foaming*, 2nd Ed. Lewis Publishers, Boca Raton (1993).
11. 류정용, 보류 및 탈수성 분석을 위한 새로운 수초지기, 1999 추계 학술발표논문집, 한국펄프 · 종이공학회, p. 141.

•접수 2001년 2월 3일

채택 2001년 6월 11일

•Received on February 3, 2001

Accepted on June 11, 2001