

TMP의 과산화수소 표백조건에 따른 백색도 및 환경부하 평가

안치덕 · 서진호 · 김형진[†] · 정성현¹

접수일(2014년 5월 12일), 수정일(2014년 5월 23일), 채택일(2014년 5월 26일)

Evaluation of Brightness and Environmental Load by Hydrogen Peroxide Bleaching Conditions of TMP

Chi-Deuk Ahn, Jin-Ho Seo, Hyoung-Jin Kim[†] and Sung-Hyun Chung¹

Received May 12, 2014; Received in revised form May 23, 2014; Accepted May 26, 2014

ABSTRACT

Nowadays, the bleaching techniques of thermomechanical pulp(TMP) are fast developing on the strength of some benefits, mainly on low production cost and good fiber property. In this study, the optimum concentration of bleaching chemicals and the environmental load of bleaching wastes were considered to improve the bleaching efficiency of thermomechanical pulp using Korean redpine(*Pinus densiflora*) under the peroxide-based bleaching system. The optical property of TMP after bleaching was planned to use higher grade of paper, like printing & writing paper, not general newspaper.

The concentration of bleaching chemicals, NaOH, Na₂SiO₃ and EDTA, in hydrogen peroxide bleaching system, on the basis of O.D. pulp was closely influenced on the improvement of TMP brightness. Final target of bleaching efficiency was set up to above 76%-ISO brightness. The optimal target brightness of Korean redpine TMP was reached to 76.45%-ISO under the conditions of H₂O₂ 7% with NaOH 2.20%, Na₂SiO₃ 0.63% and EDTA 0.02%. The concentration of NaOH, Na₂SiO₃ and EDTA was correlated functional to the residual peroxide content of wastewater, pH value and electric conductivity of TMP fibers after bleaching treatment. The optimal bleaching conditions by controlling the addition amount of chemicals were positively contributed to the brightness stabilization and environmental load of TMP.

Keywords : Bleaching, Hydrogen peroxide, TMP(thermomechanical pulp), Chelating agent

• 국민대학교 삼림과학대학 임산생명공학과 (Dept. of Forest products and biotechnology, Kookmin University, Seoul, Korea)

¹ 전주페이퍼 (KCCL Building 45 Namdaemunro 4-ga, Chung-gu, Seoul 100-743, Korea)

[†] 교신저자 (Corresponding author) E-mail : hyjikim@kookmin.ac.kr

1. 서론

목재 중 침엽수 내 리그닌 함량은 수종에 따라 25~30%를 차지하고 있으며, 구조적으로 phenyl (sinapyl, coniferyl, *p*-coumaryl) propan 단위가 3차원 고분자 망상구조를 이루고 있다.¹⁾ 복잡한 분자구조로 존재하는 리그닌은 펄프의 사용목적에 따라 표백을 통해 발색단을 제거하거나 발색 기능이 발현되지 못하도록 제어하여야 한다. 이를 위해 종래에는 펄프 표백 시 염소(Cl)계 표백제를 널리 이용하여 왔다. 염소계 표백제의 주요 장점으로 높은 백색도를 얻을 수 있고 표백 방법이 비교적 간단하다. 그러나 염소표백 공정은 수질 및 대기오염에 악영향을 미치고 특히 염소 표백에 의해 생산된 종이의 경우 소각 시 종이의 유기물과 결합하여 다이옥신을 생성할 수 있는 문제점을 지니고 있다. 다이옥신은 발암 특성을 나타내기 때문에 유해화합물로 분류되고 있어 근래에는 환경문제를 개선하고자 ECF (Elemental chlorine free) 및 TCF (Totally chlorine free) 표백에 관한 연구가 주로 이루어지고 있다. TCF 표백 방법에는 산소표백, 과산화수소 표백, 오존 표백 방법들이 있는데 이 중 가장 널리 사용되는 표백방법은 과산화수소를 이용한 표백이다. 이는 친환경 표백제로써 최적의 표백조건에서 셀룰로오스의 저분자화가 거의 발생되지 않고, 단독으로 사용할 수 있는 장점이 있다.²⁾ 그러나 이 조건들은 입목의 생장 환경, 수종 및 부위에 따라 표백 효율이 다르게 나타나는 단점이 있다. 특히, 표백 효율에 영향을 미치는 주요 인자로서 펄프 내에 존재하는 금속이온의 함량이다. 펄프 내에는

Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, Mn²⁺, Cu²⁺, Fe²⁺ 등 다양한 금속 이온들을 함유하고 있다. 이 금속 이온들 중 특히 Fe²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺이온들은 표백 시 과산화수소를 분해시키는 특징이 있어 표백 효율을 저하시킨다.^{3,4)} 과산화수소 표백은 표백 시 물과 반응하여 H₂O₂ + H₂O → HO₂⁻ + H₃O⁺로 형태로 변화된다. 이때 생성된 perhydroxyl anion(HO₂⁻)이 친핵성 작용기로 Fig. 1과 같은 반응으로 발색단 작용을 억제하는 효과를 나타낸다.

그러나 열기계펄프 (thermomechanical pulp) 내에 금속 이온들이 존재하면 과산화수소가 분해되어 (1)~(3) 형태의 radical 이온들의 생성을 촉진시켜 표백 효율성을 떨어뜨릴 뿐만 아니라 셀룰로오스의 저분자화를 가속시켜 수율에 악영향을 미치게 된다.

- (1) H₂O₂ + Me⁺ → OH⁻ + ·OH + Me²⁺ (hydroxyl radical)
- (2) H₂O₂ + ·OH → H₂O + ·OOH (hydroperoxyl radical)
- (3) H₂O + ·OOH → H₃O⁺ + ·OO⁻ (superoxide radical)⁶⁾

과산화수소 분해를 방지하고 표백 효율을 높이기 위해 규산나트륨, EDTA(ethylenediaminetetraacetic acid) 등을 적용하는 많은 기술들이 연구되어 왔지만 국내 육송으로 만든 TMP에 적합한 연구가 활발히 진행되지 못한 측면이 있다. 따라서 본 연구에서는 인쇄용지 이용에 적합한 TMP의 백색도 76%-ISO를 기준으로 국내산 수종인 Korean redpine에 과산화수소 표백 방법을 적용하여 과산화수소 표백 시 사용되는 첨가약품인 과산화수소(H₂O₂), 가성소다(NaOH), 규산나트륨(Na₂SiO₃), EDTA 투입량의 최적 조건을 탐색하고자 하였다. 또한약품 투입량의 최적조건을 탐색하면서 약품으로 인해 유발되는 수질오염을 평가함으로써 환경부하를 확인하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 펄프

본 연구에서 사용된 공시는 Korean redpine을 원료

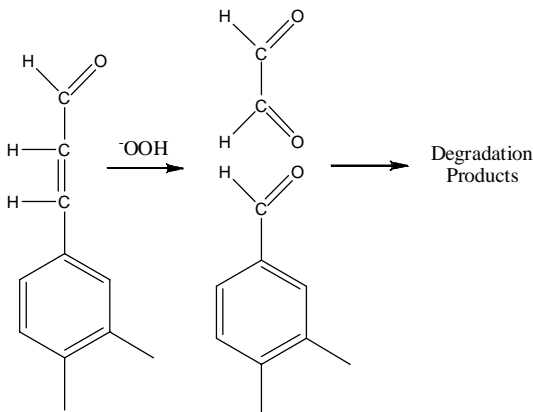


Fig. 1. Reaction during peroxide bleaching.⁵⁾

Table 1. Chemicals for peroxide bleaching

Reagents	Concentration (%)	Density (g/mL)	Boiling Point (°C)
Hydrogen peroxide	35	1.1	126
Sodium hydroxide	25	-	-
Sodium silica gel	1.15	-	-
EDTA	0.1M	1.003	100

로 제조한 TMP (Thermomechanical pulp)를 국내 J 사로부터 분양 받아 사용하였다.

TMP(thermomechanical pulp) 농도는 27%, 펄프의 백색도는 48%-ISO를 나타냈다.

표백에 사용된 약품으로는 Table 1과 같이 총 4 종류를 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 표백 처리

건진 TMP 10 g을 채취하여 polyethylene bag에 넣은 후 공정조건과 유사한 환경 조건을 만들기 위해 45°C 항온수조에서 1 시간 동안 예열을 실시하였다. 이후 polyethylene bag에 총 농도가 15%가 되도록 Fig. 3의 조건과 같이 표백약품과 증류수를 넣은 후 80°C 항온수조에서 100분 동안 표백을 실시하였다. 표백이 진행되는 동안 표백 약품이 균일하게 확산되도록 10분에 한번 씩 주물러 주었다.

표백 반응이 종료되면 표백된 펄프를 회수하여 여액을 채취한 다음 펄프의 약 1/4 정도를 1000 mL 비커에 옮긴 후 tap water 400 mL를 첨가하여 10 min 동안 헹구고 다음 부호너 funnel 내에서 filter paper를 이용하여 탈수시키고, 탈수된 TMP 표면에 수조지 건조용 철판을 이용하여 압착한 다음 평량 200 g/m² 이상의 패드를 제조하였다.

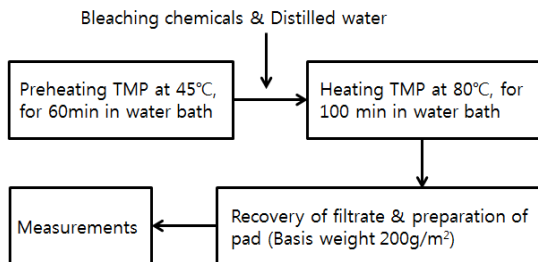


Fig. 2. Block diagram of bleaching procedure by hydrogen peroxide.

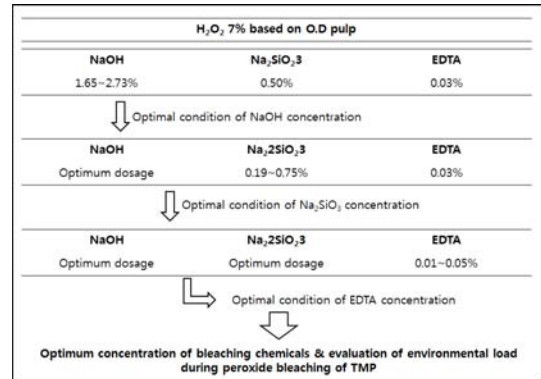


Fig. 3. Experimental flow for optimum dosage of bleaching chemicals.

2.2.2 백색도 측정

KS M ISO 2470에 의거 백색도 측정기(Elepho, L&W)를 이용하여 ISO Brightness를 평가하였다. 백색도 측정용 TMP 패드는 KS M ISO 888에 따라 3.5 kg/cm² 압력 하에서 5분, 2분의 2차 압착 과정을 거친 다음 온도 23±1°C, 상대습도 50±3% 조건의 항온·항습실에서 충분히 건조 시킨 후 백색도를 측정하였다.

2.2.3 SCODcr 및 탁도

표백처리 후 폐액에 의한 환경부하를 측정하기 위하여 아스피레이터를 이용하여 polyethylene bag에 남아 있는 여액을 회수하여 SCODcr(HACH, DR/2500 spectrophotometer) 및 탁도 (HACH, 2100P turbidimeter)를 측정하였다.

2.2.4 전기전도도 및 pH

폐액 내 이온의 함량 변화와 pH 변화를 확인하기 위하여 전기전도도 (ORION, model 120 conductivity meter) 변화를 측정하였고, 또한 pH (ORION, 1420 A) 변화를 측정하였다.

2.2.5 Residual peroxide 분석

표백 후 폐액 내에 잔존하는 과산화수소 함량을 측정하기 위해 폐액 1 g을 채취하여 비커에 넣고 250 배로 희석하였다. 교반기를 이용해 충분히 교반 시키면서 25 mL를 취하여 250 mL 삼각플라스크에 옮기고 0.01 N 황산용액 20 mL를 가한 후, 0.01 N 과망간산칼륨 용액(농도계수=1)으로 연한 보라색이 될 때까지

교반을 시키면서 적정하였다. 적정에 소비된 과망간산칼륨 용액의 양을 바탕으로 다음 식에 적용하여 잔류 과산화수소 함량을 구하였다.

$$\text{Residual contents of } H_2O_2 = \frac{V \times f \times 0.0017007}{W \times \frac{25}{250}} \times 100$$

W : 시료의 사용량(g)

V : 0.01N 과망간산칼륨 소비량(mL)

f : 0.01N 과망간산칼륨 농도 계수

3. 결과 및 고찰

3.1 NaOH 첨가 농도가 TMP의 표백 거동에 미치는 영향

본 실험에서 과산화수소 첨가량은 Hao⁷⁾ 등에 의해 선행 연구된 표백 실험 결과를 반영하여 TMP 표백에 첨가한 과산화수소 농도를 7%로 설정하였다. 미표백 펄프로서 control로 사용한 펄프는 NaOH 0% 조건이며, 표백 처리 시 미표백 펄프에 NaOH 농도를 증가시킴에 따른 백색도 및 잔류 과산화수소 함량 변화를 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타냈다. Fig. 4 (A)에서와 같이 NaOH 첨가 농도를 증가시킴에 따라 백색도

는 점차 증가하는 경향을 나타냈다. 전건펄프를 기준으로 NaOH 첨가 농도를 환산하였을 경우, NaOH 첨가 농도 1.65%에서의 백색도는 75.13%-ISO이었으며, 2.73%에서의 백색도는 76.01%-ISO로서 첨가량을 증가함에 따라 미표백 펄프의 표백 효과가 개선됨을 확인하였다. 또한 Fig. 4 (B)에서와 같이 표백 효과와 관련하여 NaOH 첨가 농도를 증가시킴에 따라 폐액 내에 잔존하는 잔류 과산화수소 함량은 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 미표백 펄프의 표백 처리 시 NaOH 첨가 농도를 높임에 따라 과산화수소와의 표백반응도 향상되어 표백효과의 개선 및 잔존 과산화수소 함량은 감소함을 확인할 수 있었다.

표백 처리 후 표백 폐액에 의한 환경부하 영향을 분석하기 위하여 pH, 전기전도도, COD 및 탁도 변화를 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 5와 6에 나타냈다. Fig. 5에서와 같이 pH 및 전기 전도도의 경우 전건펄프를 기준으로 NaOH 첨가 농도를 증가함에 따라 pH와 전기 전도도는 높아지는 경향을 나타냈으며, 이는 표백 폐액 내에 잔존하는 이온화된 NaOH의 증가에 따른 결과로 사료된다. Fig. 6에서의 COD value 및 탁도의 경우 각각 전건펄프를 기준으로 NaOH 첨가농도 2.45% 및 2.20% 조건에서 가장 높은 값을 나타낸 후 점차 감소하는 경향을 나타냈다. Liliane⁸⁾ 등의 선행 연구에 따르면, 이러한 결과는 NaOH에 의해 셀룰로오스, 헤미셀

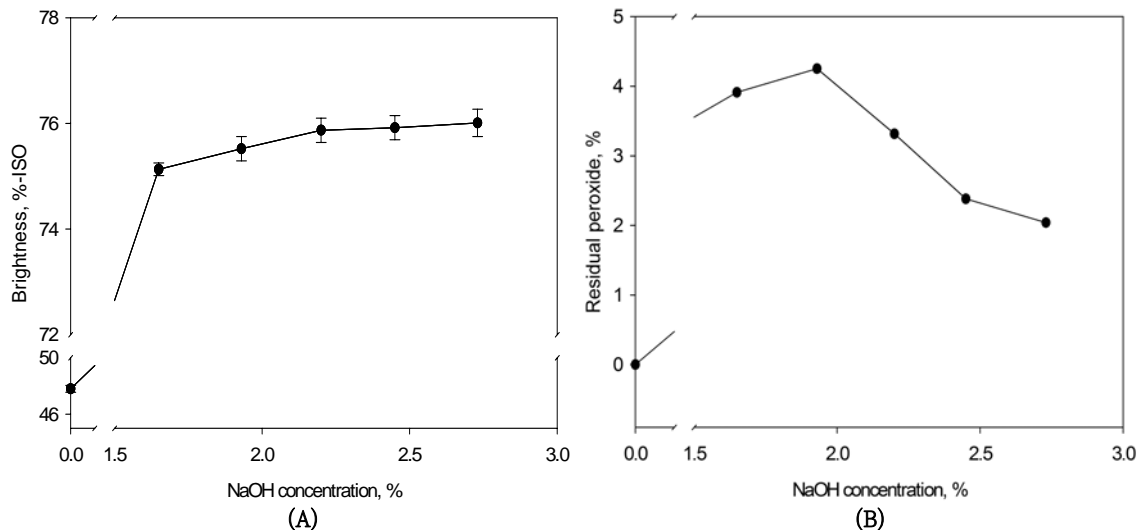


Fig. 4. Changes in Brightness (A) and Residual peroxide (B) after NaOH treatment during peroxide bleaching of TMP.

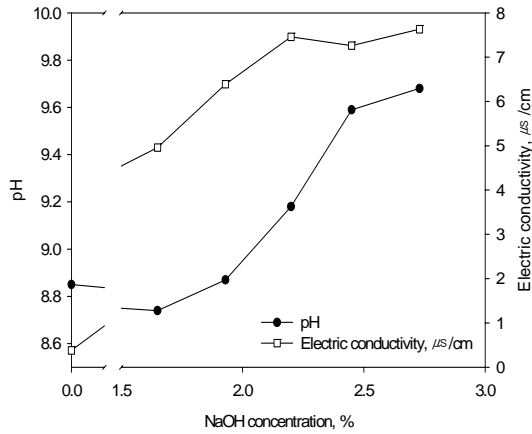


Fig. 5. Changes in pH and Electric conductivity after NaOH treatment during peroxide bleaching of TMP.

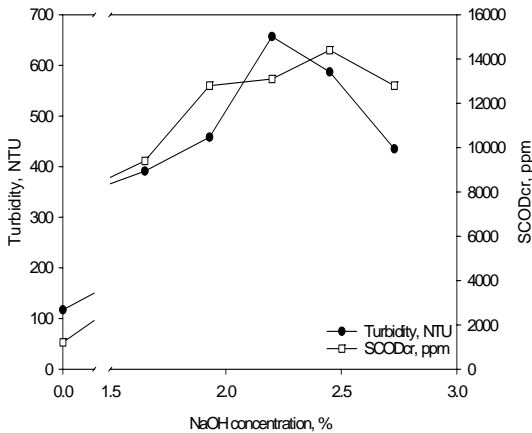


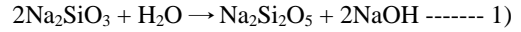
Fig. 6. Changes in SCODcr and Turbidity after NaOH treatment during peroxide bleaching of TMP.

룰로오스, 펙틴산, 지방산 탄수화물, 리그닌 및 미표백 펄프의 유기물이 분해되어 나타난 결과로 사료된다. 그러나 NaOH 첨가 농도를 2% 이상 조건으로 표백 처리한 경우 탁도는 감소하는 경향을 나타냈는데, 이는 과산화수소와 NaOH의 반응 비율이 높아져 perhydroxyl anion의 생성으로 인해 펄프 내에 잔존하는 발색단이 감소되어 나타난 결과로 사료된다.

3.2 규산나트륨 첨가량이 TMP의 표백 거동에 미치는 영향

TMP의 과산화수소 표백 시 규산나트륨은 반응식

1)과 같이 물과 반응하여 NaOH를 생성하는 특징을 가지고 있다.



NaOH 만에 의한 1단 표백을 실시했을 경우 NaOH 첨가 농도 2.20% 조건에서 미표백 TMP의 백색도를 75%-ISO 정도까지 얻었기 때문에 적정 첨가 농도로서 전건펄프를 기준으로 NaOH를 2.20%로 고정시킨 후 규산나트륨 첨가량 변화에 따른 표백 효과를 평가하였다. Fig. 3에 나타낸 조건에서와 같이 규산나트륨 첨가 농도는 전건펄프 기준 0.19%에서 0.75%까지 증가시켜 표백을 실시하였으며, 미표백 TMP를 control로 설정하여 상대 비교한 결과를 Fig. 7~9에 나타냈다.

Fig. 7에서와 같이 전건펄프를 기준으로 한 규산나트륨의 첨가 농도에 따른 백색도 변화는 규산나트륨 0.19% 농도 조건에서 미표백 TMP의 백색도는 65.7%-ISO 였다. 규산나트륨의 첨가량을 2배로 높여 0.38% 농도로 조절했을 경우 미표백 TMP의 백색도는 75.57%-ISO로서 급격한 백색도 개선 효과를 나타냈다. 점차 규산나트륨 첨가량 증가에 따른 백색도 개선 효과는 완만하게 나타났으며, 규산나트륨 0.75% 첨가 시 TMP의 백색도는 76.65%-ISO 까지 나타냈다. 또한 표백 폐액 내에 잔존하는 과산화수소량은 전건펄프 기준 규산나트륨의 첨가 농도를 높일수록 잔류 과산화수소 함량은 높게 나타나는 경향을 나타냈다. 이러한 결

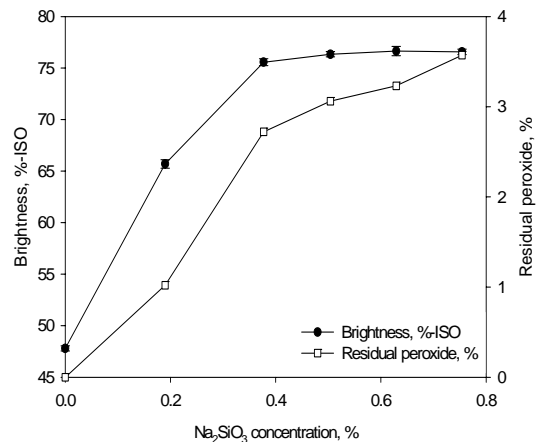


Fig. 7. Changes in Brightness and Residual peroxide according to concentration of Na₂SiO₃ during peroxide bleaching of TMP.

과는 규산나트륨 함량이 높아짐에 따라 물과 반응하는 규산나트륨이 많아져 화학식 1)에 나타난 반응에서와 같이 NaOH가 생성되고, 이렇게 생성된 NaOH는 과산화수소와 반응하여 perhydroxyl anion 생성이 증가하여 미 반응된 perhydroxyl anion의 함량으로 인해 잔존 과산화수소 함량이 높게 나타나는 것으로 판단된다.⁶⁾

Fig. 8 및 9에서와 같이 미표백 TMP에 대한 규산나트륨 첨가량에 따른 표백 폐수의 환경 부하를 분석하였다. Fig. 8에서 규산나트륨에 의한 표백 폐수의 pH 변화는 규산나트륨 첨가 농도를 높일수록 NaOH의 생성으로 인해 pH level은 강염기로 변화됨을 확인할 수 있었다. 또한 이러한 영향으로 인해 전기전도도 결과도 높

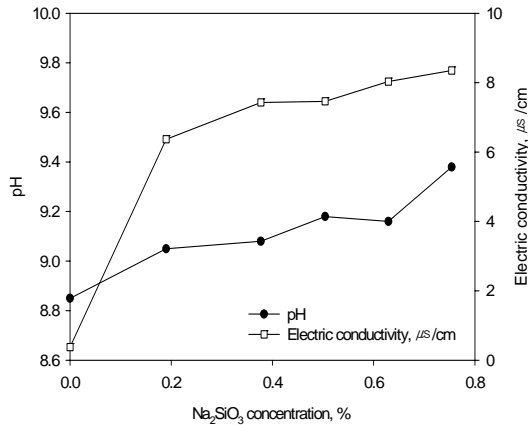


Fig. 8. Changes in pH and Electric conductivity according to concentration of Na₂SiO₃ during peroxide bleaching of TMP.

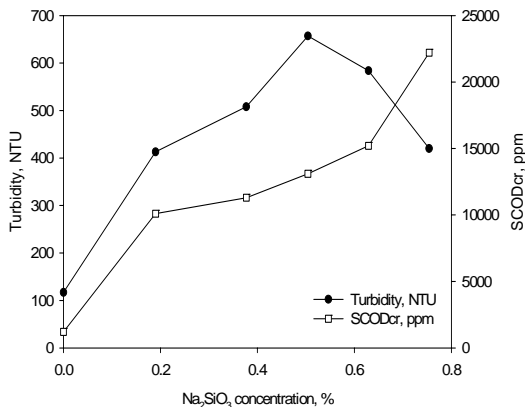


Fig. 9. Changes in SCODcr and Turbidity according to concentration of Na₂SiO₃ during peroxide bleaching of TMP.

은 값을 나타냄을 확인 할 수 있었다.

전건 미표백 TMP에 규산나트륨의 첨가 농도를 증가함에 따른 표백 폐액에서의 유기물 분해 정도를 판단하기 위해 Fig. 9의 결과에서와 같이 표백 폐액의 COD를 분석한 결과 규산나트륨 첨가 농도가 높을수록 TMP의 유기물 분해가 증가하여 COD 부하도 상승하는 경향을 나타냈다.⁹⁾ 특히 COD level은 전건 펄프 기준 규산나트륨 첨가 농도 0.50% 조건부터 급격히 높아지는 것을 확인할 수 있었으며, 이러한 경향은 NaOH 첨가량 조건 보다 규산나트륨 첨가량 조건에 따라 COD가 직접적으로 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 탁도 변화를 측정한 결과 규산나트륨 첨가 농도 0.50%에서 가장 높았고, 그 이상의 농도에서는 오히려 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 규산나트륨 첨가량을 높임에 따라 TMP 펄프에 잔존하던 발색단 구조에서 색 발현을 야기하는 구조가 분해되어 나타난 효과로 사료된다. 실질적으로 표백 폐액을 육안으로 확인하였을 경우 규산나트륨 첨가 농도를 증가함에 따라 짙은 노란색에서 옅은 노란색으로 변화되는 현상을 확인할 수 있었다.

3.3 EDTA 첨가량이 TMP의 표백 거동에 미치는 영향

본 연구에서는 TMP의 과산화수소 표백 시 표백 거동에 직접적으로 영향을 미치는 NaOH, 규산나트륨 및 EDTA 첨가량을 변화시켜 각각의 최적 첨가 농도를 설정하고자 하였으며, 최종 TMP 펄프의 백색도 목표로서 76%-ISO 이상의 표백 효율을 얻고자 하였다. 따라서 3.1 및 3.2의 결과에서는 NaOH 농도 2.20%, 규산나트륨 농도 0.63% 조건에서 목표 백색도에 접근 하였고 판단되어 NaOH와 규산나트륨 첨가 농도를 최적 조건으로 고정시킨 후, EDTA 첨가 농도를 조절했을 때 미표백 TMP의 백색도 거동을 분석하였다.

Fig. 10은 NaOH 농도 2.20%, 규산나트륨 농도 0.63% 조건에 EDTA 첨가 농도를 변화시켰을 때 미표백 TMP의 백색도 및 잔존 과산화수소 함량 결과이다. EDTA 0.01% 조건에서 TMP 펄프의 백색도는 75.65%-ISO이었고, 0.02% 농도 조건에서 목표 백색도인 76.45%-ISO를 얻었다. 또한 EDTA 첨가 농도를 0.05%까지 증가시켰을 때 백색도는 77.13%-ISO로서

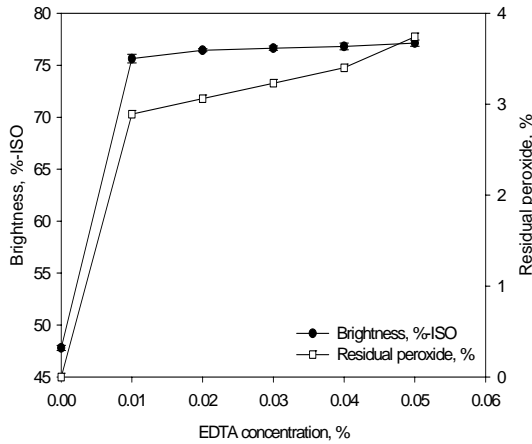


Fig. 10. Changes in brightness and residual peroxide according to EDTA concentration during peroxide bleaching of TMP.

보다 개선된 백색도 효율을 얻었다. 이는 계 내에 존재하는 금속이온을 chelating 시켜 perhydroxyl radical 생성을 방지하고 perhydroxyl anion 생성이 증가됨으로써 표백 효율이 개선된 것으로 사료된다. 또한 EDTA 첨가 농도를 증가 시킴으로써 표백 폐액 내의 잔존 과산화수소 함량이 증가하는 경향을 나타냈으며, 이는 EDTA가 계 내에 존재하는 금속이온의 활성을 효과적으로 억제시켜 과산화수소 분해를 막음으로써 표백 효율 개선에 기여한 것으로 사료된다.¹⁰⁾

Fig. 11에 나타난 pH와 전기전도도 변화는 EDTA

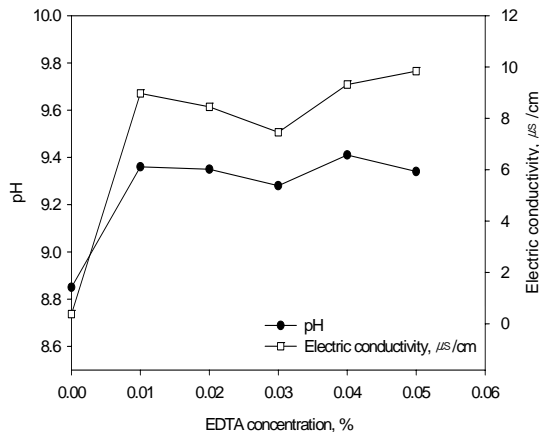


Fig. 11. Changes in pH and electric Conductivity according to EDTA concentration during peroxide bleaching of TMP.

첨가 농도에 따른 변화는 크지 않은 것으로 판단되며, 따라서 EDTA가 계 내의 pH와 전기전도도에는 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

Fig. 11은 전건 펄프 기준 TMP에 대한 EDTA 첨가 농도에 따른 COD 부하 및 탁도 변화를 나타낸 결과이다. EDTA 첨가 농도를 높였을 때 COD level은 높아지는 경향을 나타냈다. 특히 EDTA 첨가량 0.05% 조건에서 COD는 급격히 증가하였는데, 이는 계 내의 금속이온을 봉쇄하지 못하고 잔류하는 EDTA에 의한 영향으로 나타난 결과로 판단된다. Fig. 12의 탁도 결과에서는 EDTA 첨가량 증가에 따라 탁도 또한 증가하는 경향이 나타났는데, 전 항에서 고찰한 NaOH와 규산나트륨 등에 의한 영향보다는 안정적인 거동을 보였다. 이는 EDTA 0.02% 첨가 시, TMP 펄프 내에 존재하는 금속이온들 중 과산화수소를 분해시키는 금속이온들의 활성이 충분히 억제되어 탁도에 큰 변화를 야기하지 않은 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 공시재료로 사용한 국내산 수종인 Korean redpine을 이용한 TMP 제조공정에서 과산화수소계 표백제를 이용한 최적 표백조건을 탐색하고, 이에 따른 환경부하 정도를 평가하였다. 또한 표백에 따른 TMP 펄프의 백색도 목표를 76%-ISO로 설정하

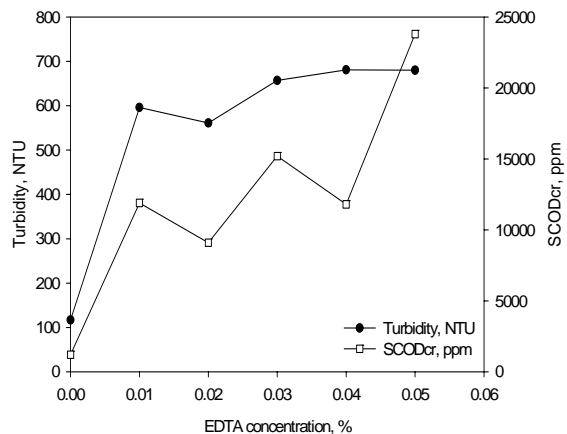


Fig. 12. Changes in SCODcr and Turbidity according to EDTA concentration during peroxide bleaching of TMP.

고 표백 처리를 하였을 경우 최적 표백 조건으로서 H₂O₂ 7%, NaOH 2.20%, Na₂SiO₃ 0.63%, EDTA 0.02%로 과산화수소 표백을 한 결과 백색도 76.45%-ISO에 도달할 수 있었다.

표백약품 종류 및 첨가 농도에 있어 NaOH 농도를 높일 경우 과산화수소와의 반응이 높아져 표백 후 폐액 내에 잔존하는 과산화수소 함량이 감소되는 것을 확인할 수 있었고, NaOH 첨가 농도 증가에 따라 TMP 펄프에서 pH 및 전기전도도의 증가 현상을 확인할 수 있었다. 규산나트륨 첨가 농도를 증가시킬 경우 잔존 과산화수소 함량과 COD value의 증가를 야기하였으며, 특히 COD value에서 NaOH 보다 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. EDTA 첨가 농도를 증가시켰을 경우 COD value와 전기전도도는 NaOH 나 규산나트륨 보다 높았지만 pH, 잔존 과산화수소 함량 및 탁도에서는 안정적인 거동을 나타냈다.

사 사

본 연구는 2014년도 지식경제부 글로벌 전문기술 개발사업에서 지원한 고백색 무반점 탈묵 인쇄용지 개발(과제번호:10042023) 과제의 지원으로 수행되었습니다.

Literature Cited

1. G. Gellerstedt., Pulp bleaching principle and practice, Section 1, Tappi press, Atlanta, p. 93 (1996).
2. Lewin, M., Gellerstedt, G. and Henriksson, G., (ed.), Pulp and paper chemistry and technology ; Vol. 1, Wood Chemistry and Wood Biotechnology, Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, Berlin, p. 175 (2009).
3. Wekesa, M., Habtewold, A. and Mirdanili, J., Stabilization of manganese (Mn)-induced peroxide decomposition, Pure and Applied Chemistry J. 5(7): 176-180 (2011).
4. Kim, S. J. and Youn, B. H., Study on the Alkaline Hydrogen Peroxide Bleaching of Kraft pulp, Proceedings of Spring Conference of Korea TAPPI, pp.48-60 (2007).
5. Johan, G. and Hannu, P., Papermaking Science and Technology, Vol. 7, Recycled Fiber and Deinking, Tappi Press, Helsinki, Finland, p. 313 (2000).
6. Bouchard, J., Nugent, H. M. and Berry, R. M., A comparison between acid treatment and chelation prior to hydrogen peroxide bleaching of kraft pulps, Pulp and Paper Science J. 21(6):203-208 (1995).
7. Hao, R. and Shigetoshi, O., A higher brightening of mechanical pulps, Cellulose Chemistry and Technology J. 46(1-2):115-120 (2012).
8. Liliane, S., Michel, P. and Valerie, Meyer, Alternative alkalis for peroxide bleaching of chemithermomechanical pulp, Nordic Pulp and Paper Research J. 27(1):42 (2012).
9. Hui ren, H. and Hongjie, Z., Substitution of sodium hydroxide with magnesium hydroxide as an alkali source in the peroxide bleaching of softwood TMP, Cellulose Chemistry and Technology J. 43(7):325-330 (2009).
10. Kim, G., Leo, H. and Ari, I., Desorption of metal ions from kraft pulp. Part 1. Chelation of hardwood and softwood kraft pulp with EDTA, Bioresources J. 5(1):206-226 (2010).