

과산화수소와 초음파 표백 시스템에 따른 닥나무 펄프의 표백 효율 특성

서진호 · 김형진[†]

접수일(2012년 2월 13일), 수정일(2012년 2월 20일), 채택일(2012년 2월 21일)

Properties of Bleachability of Paper Mulberry Pulp by Hydrogen Peroxide and Ultrasonication Bleaching System

Jin-Ho Seo and Hyoung-Jin Kim[†]

(Received February 13, 2012, Received February 20, 2012, Accepted February 21, 2012)

ABSTRACT

Nowadays, the concern on the environmental load of bleaching process gave rise to the process of ECF(elemental chlorine free) and TCF(total chlorine free). These sequences are based on oxygen-derived compounds such as oxygen, ozone, and hydrogen peroxide which is used as a typical eco-friendly bleaching agent.

In this study, paper mulberry pulp was bleached with hydrogen peroxide and some bleaching process were accompanied with ultrasonication in order to increase the bleaching efficiency.

The best bleaching efficiency of paper mulberry pulp was obtained in the condition of hydrogen peroxide and ultrasonication(20 kHz) bleaching system at 45 °C for 30 min. The brightness and kappa number of paper mulberry pulp were gained to 5.09% and 3.52 respectively. and yield was slightly loosed to 2%. Therefore, the efficiency of hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system of paper mulberry pulp was superior to the conventional hydrogen peroxide bleaching system. Magnesium sulfate acted as a bleaching stabilizer for the increasement of yield. As a result, the yield and viscosity were increased to 2.2% and 12% respectively.

Keywords : Paper mulberry, Hydrogen peroxide, bleaching, ultrasonication

• 국민대학교 임산생명공학과 (Dept. of Forest Product & Biotechnology, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea)

† 교신저자 (Corresponding Author) : E-mail ; hyjikim@kookmin.ac.kr

1. 서론

최근 환경에 대한 관심 및 규제가 강화되면서 펄프 표백에 주로 이용되던 염소 표백은 급격하게 감소하고 있으며, 대안의 환경친화적 ECF, TCF 등의 표백 방법이 많이 연구되고 있다.¹⁻¹¹⁾ 대표적인 친환경 표백제로 산소계 약품을 주로 사용하고 있으며 산소, 오존, 과산화수소 표백 등이 널리 이용되고 있다. 이 중 과산화수소는 1940년대에 처음으로 기계펄프 표백에 사용되었으며, 이후 차아염소산염과 더불어 대표적인 표백제로 사용되어 왔다.^{1,2)} 또한 1970년대부터 기계펄프의 표백뿐 아니라 화학펄프의 표백, 즉 목재 세포벽 내의 리그닌을 제거할 목적으로 사용되기 시작하였다.³⁾ 최근 까지 과산화수소를 펄프 표백에 사용할 경우 백색도 개선에 한계가 있는 것으로 알려지면서, 펄프 표백 시 최종 표백단계에 사용하여 2~3%의 백색도 개선뿐 아니라 백색도 안정성에 기여하는 역할로 한정되어 왔다.³⁾ 최근의 연구동향에 따르면 염소계 표백단을 사용할 경우 잔존 염소와 lignin 분해산물 등의 반응 생성물이 일반적인 폐수처리 공정에 의해 제거가 어렵고 강이나 하천으로 유출된 경우 어류의 체내에 축적되어 이를 사람이 섭취할 경우 암을 유발할 수 있다고 보고된 바 있다.^{4,5)} 비교적 온화한 조건인 과산화수소 표백은 염소 사용에 의한 환경적인 문제를 감소시킬 수는 있으나 표백 효율의 한계로 lignin 함량이 높거나 고백색도가 요구되는 표백에는 적합하다고 볼 수 없다.

본 연구에서 사용된 닥나무 인피섬유는 일반적으로 약 10% 이내의 lignin을 함유하고 있다고 밝혀진 바 있다.¹²⁻¹⁴⁾ 따라서 lignin 함량이 낮은 닥나무 펄프를 제지용 원료로써 사용할 경우 온화한 조건의 표백을 실시할 수 있으며, 닥나무 한 그루당 인피섬유화할 수 있는 수율이 약 10~20% 정도로 낮음을 감안할 때 친전자 반응을 통해 lignin을 제거하는 산화표백보다 친핵 반응을 통해 착색구조만을 제거해주는 환원표백이 적합하다.¹⁵⁾ 과산화수소를 이용할 경우 앞서 언급한 바와 같이 백색도 개선효과의 한계가 존재하고 생산된 펄프섬유는 낮은 백색도로 인해 적용성이 떨어진다. 이러한 단점을 극복하고자 S. Ninawec, S. Abrantes 등⁶⁾은 과산화수소 표백 시 xylanase 전처리를 통해 lignin과 cellulose 사이에 결합구조를 이루고 있는 xylan을 분해

시켜 후단에서 표백이 더 원활하도록 유도하는 표백방법을 연구하였고, S. Camarero 등⁷⁾은 laccase mediator system을 이용하여 TCF 표백의 효율을 높이고자 하였다. 또한 A. Hebeish 등⁸⁾은 아마 섬유용 TCF 표백 시 초음파 적용시간에 따른 표백 효율을 연구한 바 있으며 표백공정의 전처리로서 가능성을 확인하였다.

초음파는 가청범위를 넘는 주파수 16 kHz 이상의 음파로서 주파수가 높고 강도가 보통 음파보다 현저히 큰 특징을 지닌다. 또한 파장이 짧아 방향성이 있는 음속을 얻을 수 있으며 펄스 기술을 이용해 음속이나 흡수의 정확한 측정이 가능하다. 초음파의 특성 중 흡수는 음파가 매질을 진행하면서 다른 매질에 도달했을 때 반사되지 않고 열에너지로 변화되면서 부딪힌 매질에 흡수되는 현상을 말하며 이러한 특성으로 인해 어군탐지기, 초음파탐상기, 초음파 가공, 의학 분야, 제지분야의 펄핑, 표백 및 탈묵의 전처리공정 등에서 응용된 바 있다.

본 연구에서는 초음파가 지닌 흡수 특성과 진동을 적용하여 닥나무 인피섬유의 과산화수소 표백 효율을 개선하고자 하였으며 처리온도 및 시간 조건을 조절하여 에너지 저감 효과에 대해 알아보하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서는 전통적인 방법에 의해 닥무지 및 닥삼기(중해) 과정을 거친 닥나무 백피를 A사로부터 분양받아 사용하였다. 펄프의 기본 특성을 측정하기 위해 KS M ISO 2470에 의거 Elrepho의 C광원을 이용하여 백색도를 측정하였으며, KS M ISO 302에 의거 kappa number를 측정하였다. 또한 KS M ISO 5351 펄프-큐프리에틸렌디아민 용액 내의 한계 점도수 측정법에 의거 Ubbelohode viscometer를 이용하여 점도를 측정하였다. 인피섬유의 기본 특성은 Table 1과 같다.

2.2 실험방법

Table 1. The basic characteristics of bast fiber

	ISO brightness, %	Kappa number	Viscosity, cps
Bast fiber	72.1	7.07	251.7

Table 2. Experimental conditions of hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system

No.	Pulp concentration, %	Hydrogen peroxide, % on pulp	Retention time, min	Temp., °C	Magnesium sulfate consistency, % on pulp	Ultrasonic energy, kHz		
Cont.		-	-	-				
1	5	1.5	30	70	-	-		
2			60					
3			20	45				
4			30					
5			60					
6	3		30	70		-	20	
7	10			90				
8	5			45				1
9				45				2
10								
11								

2.2.1 과산화수소 표백

과산화수소 표백 시 시간, 온도 등에 의한 효율을 알아보고자 하였으며, 초음파를 표백공정에 적용하여 표백효율을 개선하고자 하였다. 또한 과산화수소의 OH radical의 선택성 부족에 의해 나타나는 cellulose 열화 및 초음파에 의한 섬유 손상에 대한 대책으로 magnesium sulfate 및 EDTA를 추가적으로 첨가한 다음, 그에 따른 표백효율을 분석하였다. 표백은 비닐 백 내에서 pH 11 조건으로 실시하였으며 표백조건은 Table 2와 같다. 모든 조건 하에서 1단 표백 후, pH 11 조건하에서 60분 동안 알칼리 추출을 통해 잔존 물질을 제거하였다.

2.2.2 섬유 특성 분석

표백에 의한 lignin양 측정을 위해 KS M ISO 302에 의거하여 kappa number를 측정하였다. 또한 표백 시 섬유구조의 열화 정도를 알아보고자 KS M ISO 5351 펄프-큐프리에틸렌디아민 용액 내의 한계 점도수 측정법에 의거하여 Ubbelohode viscometer를 이용하여 점도를 측정하였다.

표백된 펄프를 패드상태로 제작한 후 KS M ISO 2470에 의거 Elrepho의 C광원을 이용하여 백색도를 측정하였으며, 표백 전·후의 질량 변화를 측정하여 수율을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 초음파 처리시간에 따른 닥 펄프의 표백 효율

과산화수소를 펄프 표백에 사용할 경우 백색도 향상에는 한계가 있으며 펄프 표백 시 최종 표백단에 사용함으로써 2~3% 정도의 백색도 개선과 안정성에 기여하는 것으로 한정되어 있다. 본 연구에서는 과산화수소 표백 시 표백 효율 증진을 위해 초음파를 적용하였으며, 처리시간에 따른 표백효율을 Fig. 1에 나타냈다.

초음파 처리시간 증가에 따른 현저한 경향성은 나타

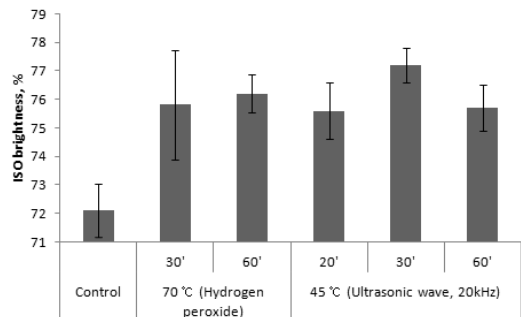


Fig. 1. Effect of reaction time on brightness of paper mulberry pulp in the hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system.

나지 않았으나, 20 kHz로 30분간 처리한 시료의 백색도가 가장 높게 나타났다. 과산화수소 표백 조건 하에서 표백 처리한 경우 30분 처리 시 75.8%, 60분간 처리 시 76.2%의 백색도를 나타낸 반면 초음파를 30분간 적용하였을 경우 표백처리 온도조건을 45℃로 낮추었음에도 불구하고 77.2%로서 보다 우수한 백색도 효과를 얻을 수 있었다. 45℃ 조건에서 초음파 표백 시스템을 적용할 경우 초음파와 지료의 마찰로 인해 온도상승효과가 유발되고 고온 조건의 과산화수소 표백 조건과 유사한 수준의 표백효율을 나타낸 것으로 판단된다. 20분 처리조건에서는 반응시간 감소에 따른 약품 발현율이 저하된 것으로 보이며, 60분 처리조건에서는 반응시간 증가에 따른 약품발현 효율은 높아졌으나 과산화수소 표백으로 인한 셀룰로오스의 열화 및 초음파에 의한 섬유조직의 변형에 따라 color reversion이 일어난 것으로 판단된다.^{10,13)}

과산화수소와 초음파에 의한 표백 시스템의 효율성을 확인하고자 닥 펄프 섬유의 수율을 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 과산화수소 표백 처리한 조건과 비교하였을 때 초음파를 적용한 표백 조건의 경우 처리시간과 관계없이 약 2% 정도 수율이 저하되는 경향을 나타냈다. Schmid 등⁹⁾의 보고에 따르면 polystyrene, polyvinyl acetate, polyacrylic acid esters 및 nitrocellulose 용액을 초음파로 처리할 경우 저분자화 현상이 발생하는 것을 확인한 바 있으며, 본 연구에서는 과산화수소의 선택성 부족에 의한 cellulose 손상^{10,11)}과 초음파에 의한 섬유구조의 변형이 동시에 진행되어 과산화수소만을 이용하여 표백 처리한 시스템보다 약 2% 정도 수

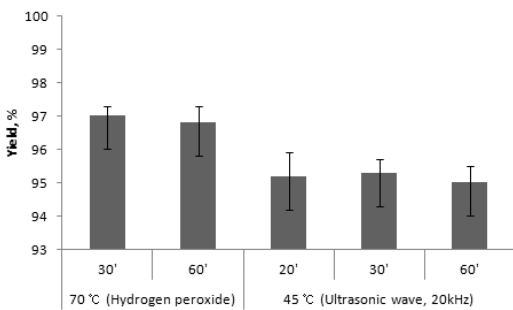


Fig. 2. Effect of reaction time on yield of paper mulberry pulp in the hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system.

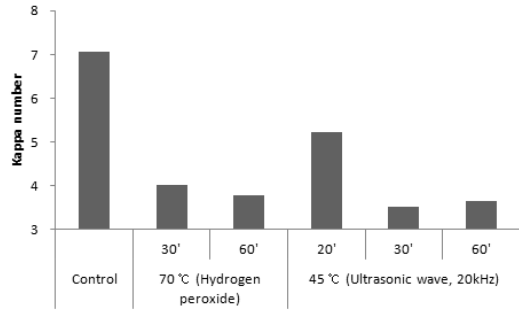


Fig. 3. Effect of reaction time on kappa number of paper mulberry pulp in the hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system.

율이 저하된 것으로 판단된다.

Fig. 3은 닥 펄프섬유의 과산화수소 표백 시 초음파 처리시간에 따른 kappa number를 분석한 결과이다. 과산화수소만의 시스템 하에서 표백 처리하였을 경우 닥 펄프의 kappa number는 3.78이었으며 과산화수소와 초음파의 표백시스템에서 20분 처리하였을 경우 5.22, 30분 처리하였을 경우 3.52, 60분 처리하였을 경우 3.67로 나타났다. 과산화수소와 초음파에 의한 표백시스템에서 30분 처리하였을 경우 과산화수소만의 표백 시스템보다 lignin 제거 효율이 높게 나타났으며 20분 처리 조건 하에서는 lignin 제거 효율이 현저히 낮아짐을 확인할 수 있었다. 또한 60분간 초음파 처리 시 lignin 제거 효율은 30분 처리 조건과 유사한 수준으로 나타났으나 닥 펄프의 수율과 백색도 결과를 함께 고려하였을 경우 30분 처리 조건이 적합할 것으로 판단된다.

3.2 닥 펄프 농도에 따른 닥 섬유의 표백효율

일반적으로 초음파는 짧은 파장과 높은 주파수를 지니고 있어 직진성이 강하며, 매질의 밀도가 높을 경우 이동속도가 빨라지는 특성을 지니고 있다. 따라서 펄프의 농도를 변화시킬 경우 매질의 농도 변화에 따른 초음파의 표백 효율성을 확인하고자 펄프 농도를 3%, 5% 및 10%로 조절하여 표백을 실시하였다. 전반적으로 닥 펄프의 농도가 증가할 경우 백색도 개선 효과를 확인할 수 있었으며, 3% 조건의 경우 과산화수소만의 표백 시스템보다 백색도가 낮게 나타났으나 5% 농도 조건에서 처리하였을 경우 더 우수한 백색도 효과를 얻을 수 있었다. 또한 10% 농도 조건에서는 초음파 표백 시 현

저히 낮은 백색도 결과를 나타냈다.

Fig. 5의 결과에 나타난 바와 같이 농도 조건에 따른 닥 펄프의 수율을 분석하였을 경우 펄프농도의 증가에 따라 수율이 점차 감소하는 경향을 나타냈으며, 10% 농도 조건에서 표백 처리하였을 경우 백색도 및 수율이 모두 저하되는 것으로 볼 때 펄프 섬유의 darkening 현상에 의해 표백효율이 저하된 것으로 사료된다.¹⁵⁾

펄프 농도조건의 변화에 따른 kappa number 결과를 Fig. 6에 나타냈다. 닥펄프 농도 3% 조건에서 초음파 처리 시 kappa number는 3.94, 5% 조건에서 3.52, 10% 조건에서 6.82의 결과를 나타냈다. 펄프농도 5% 이하의 조건에서 kappa number는 과산화수소만의 표백 시스템과 유사한 결과를 나타냈으나, 10% 농도 조건에서 처리 시 control 조건에 비해 약 3.5% 정도의 lignin 제거효율을 나타냈으나, 이는 5% 조건과 비교했을 때 현저히 감소한 결과이다. 이상의 결과를 분석하였을 경우 10%

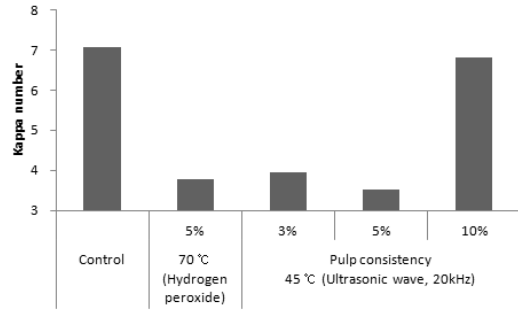


Fig. 6. Effect of pulp consistency on kappa number of paper mulberry pulp in the hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system.

이상의 펄프농도 조건에서는 약품 침투율이 저하되고 초음파 이동속도 증가로 인해 cellulose 열화가 발생하며 수율 및 백색도 개선효과가 저하되는 것으로 판단된다.

3.3 표백처리 온도에 따른 닥 섬유의 표백효율

초음파는 매질의 밀도 및 온도 증가에 따라 이동속도가 증가하는 특성을 지니고 있어 표백처리 시 온도조건 변화에 따른 초음파의 표백효율을 검토하고자 하였으며 닥 펄프의 백색도 및 수율 변화를 Fig. 7 및 8에 나타냈다. 닥 펄프를 온도 45°C 조건에서 표백처리 했을 때 백색도는 77.2%, 수율은 95.3%로서 가장 우수한 결과를 나타냈으며, 표백처리 온도를 높임에 따라 백색도 및 수율은 떨어지는 경향을 나타냈다.

과산화수소만을 이용한 표백 시스템과 비교했을 때

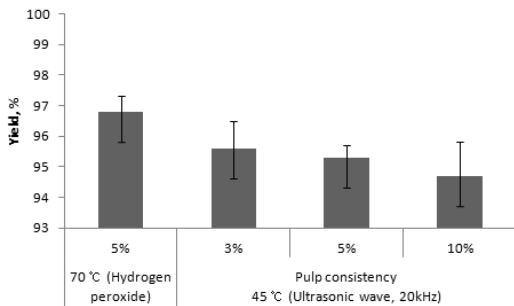


Fig. 4. Effect of pulp consistency on yield of paper mulberry pulp in the hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system.

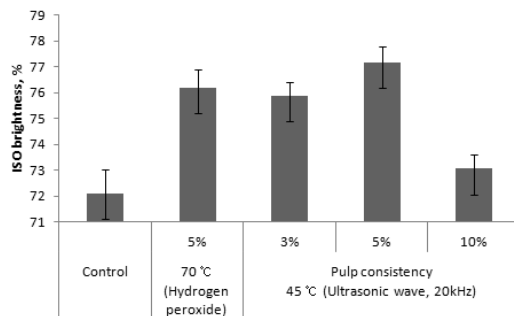


Fig. 5. Effect of pulp consistency on brightness of paper mulberry pulp in the hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system.

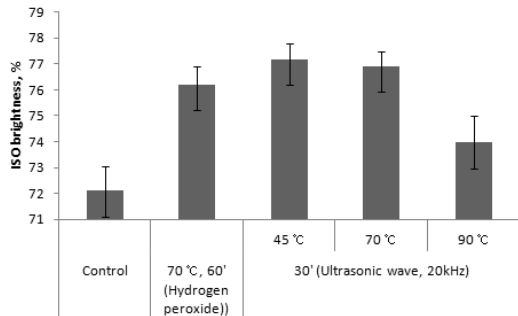


Fig. 7. Effect of reaction temperature on brightness of paper mulberry pulp in the hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system.

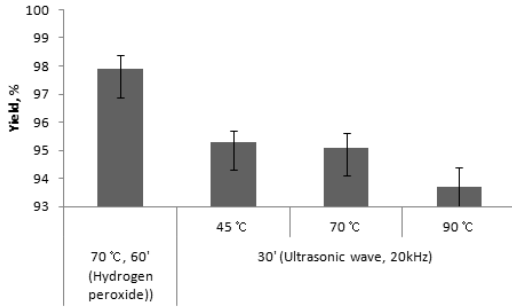


Fig. 8. Effect of reaction temperature on yield of paper mulberry pulp in the hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system.

과산화수소와 초음파 표백 시스템을 적용 시 45°C에서 표백 처리한 닥 펄프의 백색도가 가장 높은 특성을 보였으나 수율은 1.5% 낮게 나타났다. 90°C 조건에서의 경우 백색도는 73.9%, 수율은 93.8%로 과산화수소 표백 조건보다 백색도 및 수율 모두 약 2% 정도 낮은 결과를 나타냈다. 이로써 고온조건 하에서의 초음파 표백 처리는 닥 펄프 섬유에 cellulose 열화 및 thermal yellowing 현상을 야기할 수 있는 것으로 판단되며¹⁵⁾, 또한 초음파로 인한 온도상승 효과를 고려한다면 90°C 이상의 고온에서 cellulose 열화 및 리그닌의 열화로 인한 분해산물 생성이 표백효율을 저하시키는 것으로 사료된다.

과산화수소와 초음파 표백 시스템 적용 시 표백온도 조건에 따른 kappa number 결과를 Fig. 9에 나타냈다. 45°C 조건에서 표백처리 시 닥 펄프의 kappa number는 3.52였으나, 70°C 조건에서는 3.36으로 다소 낮아지는 결과를 나타냈다. 이와 같이 초음파를 적용한 표백처리

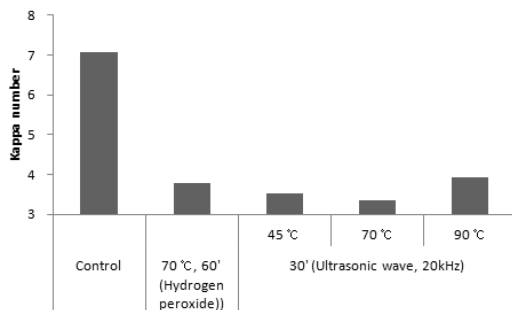


Fig. 9. Effect of reaction temperature on kappa number of paper mulberry pulp in the hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system.

시 온도를 높임에 따라 lignin 제거 효율은 다소 증가하였으나, 90°C에서는 오히려 kappa number가 3.94로서 lignin 제거효율이 낮아졌다. 이러한 결과는 온도조건에 따른 수율 및 백색도의 특징과 동일한 결과로서 45°C 처리 조건에서 lignin 제거효율이 과산화수소만을 이용한 표백보다 높게 나타났으므로 초음파 표백 시 고온 조건보다 저온 조건이 효과적이라고 판단된다.

3.4 Magnesium sulfate 첨가에 따른 닥 펄프의 표백효율

45°C 조건에서 과산화수소와 초음파 표백 시스템을 적용한 경우 70°C 조건에서 과산화수소만을 이용하여 표백처리 했을 때보다 닥 펄프 섬유의 백색도는 높았지만 수율은 낮아진 결과를 얻었으며, 따라서 표백처리 시 cellulose 섬유의 손상을 최소화시켜 백색도 및 수율에 대한 안정성을 얻고자 chelating agent로서 EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid)와 cellulose 안정성 용도로서 magnesium sulfate를 적용하였고, 그 결과를 Fig. 10~13에 나타냈다.

Magnesium sulfate 첨가 조건은 전건 펄프 당 0%, 1%, 2%로 조절하였으며 지료 온도 45°C에서 30분간 표백 처리 후 표백효율을 분석하였다.

Fig. 10은 magnesium sulfate 첨가량에 따른 닥 펄프의 백색도 변화 결과로서, 과산화수소와 초음파 표백 시스템을 적용함과 동시에 magnesium sulfate 첨가량을 증가시킨 경우 뚜렷한 경향은 없었으나 전반적으로 magnesium sulfate를 첨가하지 않은 대조군에 비해 닥 펄프의 백색도는 낮아졌다. 또한 과산화수소만을 이용

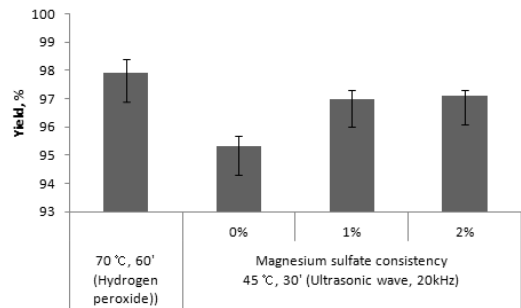


Fig. 10. Effect of MgSO4 consistency on yield of paper mulberry pulp in the hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system.

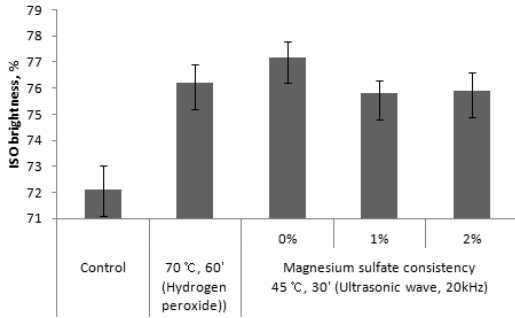


Fig. 11. Effect of MgSO4 consistency on brightness of paper mulberry pulp in the hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system.

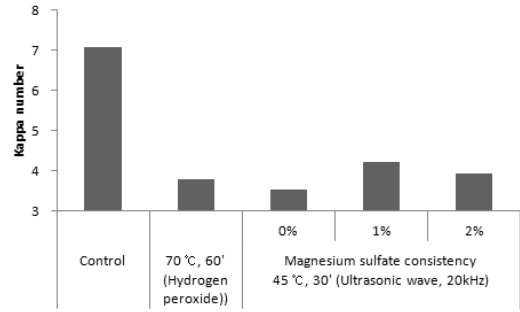


Fig. 12. Effect of MgSO4 consistency on kappa number of paper mulberry pulp in the hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system.

하여 표백 처리한 대조군과 비교 시 유사한 백색도 결과를 나타냈다.

Fig. 11은 Fig. 10과 동일한 표백 시스템에서 펄프의 수율을 측정한 결과로서 magnesium sulfate를 첨가하지 않았을 경우 과산화수소만을 이용하여 표백 처리한 대조군에 비해 약 3% 정도 수율이 감소하는 결과를 나타냈으나, magnesium sulfate를 첨가함에 따라 수율은 크게 개선되는 결과를 나타냈다. Magnesium sulfate 2% 첨가 조건에서 다펠프의 수율은 97.1%로서 과산화수소와 초음파 표백 시스템을 적용하여 표백 처리한 조건 중 가장 높은 수율을 얻었으며, 백색도 결과에서와 마찬가지로 magnesium sulfate 2% 첨가 조건이 가장 적절한 것으로 판단되었다.

Fig. 12는 magnesium sulfate 첨가 농도에 따른 다펠프의 kappa number 결과로서 첨가량에 따른 유의성은 뚜렷하지 않았다. Magnesium sulfate를 1% 첨가한 조건에서 펄프의 kappa number는 4.2였으나 2% 첨가한 조건에서는 3.94로서 magnesium sulfate를 첨가하지 않은 조건의 kappa number와 유사한 수준을 나타냈다. 또한 magnesium sulfate 2% 첨가 조건과 과산화수소만을 이용하여 70°C에서 60분 동안 표백 처리한 조건과 비교했을 때 kappa number의 개선 효과가 있었으며, 이로써 과산화수소와 초음파 표백 시스템 적용의 가능성을 확인할 수 있었다.

Magnesium sulfate 첨가 농도에 의한 다펠프의 셀룰로오스 열화특성을 확인하고자 점도를 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 13에 나타냈다. Magnesium sulfate 첨가량을 증가할수록 펄프 섬유 점도는 높았으며, 2% 첨

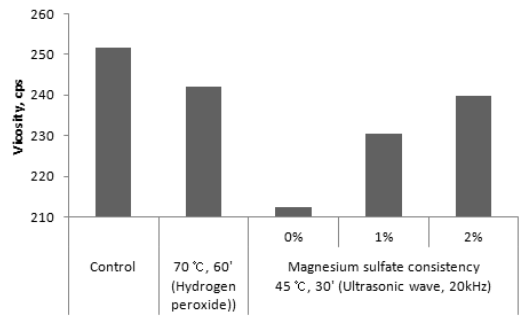


Fig. 13. Effect of MgSO4 consistency on viscosity of paper mulberry pulp in the hydrogen peroxide and ultrasonication bleaching system.

가 조건에서 과산화수소만을 적용한 대조군과 유사한 수준의 점도를 확인할 수 있었다. 과산화수소 표백 조건이 70°C에서 60분간 처리한 데 반해 초음파 표백의 경우 45°C의 저온 조건과 절반의 처리 시간이 소모된 것을 감안 한다면 온도에 따른 열에너지와 시간에너지 저감 효과를 볼 수 있을 것으로 추정되나 초음파처리 시 발생하는 에너지 비용 및 약품 사용량 등과 종합적인 고려가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

다나무 인피섬유의 과산화수소 표백 효율을 분석하고, 표백 효율을 증진하기 위해 초음파를 적용하여 표백처리 시간 및 온도 등에 의한 상호 작용 특성을 평가

하였다. 또한 과산화수소 및 초음파에 의한 닥 섬유 cellulose의 열화를 방지하기 위해 magnesium sulfate의 효과를 분석하였다.

과산화수소와 초음파 표백 시스템을 적용한 경우 표백 처리온도 및 펄프 농도를 증가했을 때 초음파 적용의 효율성이 저하되었으며, 처리온도 45℃, 처리시간 30분, 펄프농도 5% 조건에서 가장 우수한 표백 효율을 나타냈다. 또한 과산화수소만을 단독으로 사용하고 70℃에서 60분간 표백 처리한 닥 펄프 섬유와 비교 시 백색도와 lignin 제거효율은 상승하고 점도 및 수율은 저하되는 경향을 보였다. 과산화수소와 초음파 표백 시스템을 적용하고 닥 펄프 섬유의 점도 및 수율을 증가시키고자 magnesium sulfate 2%를 첨가제로 처리하였을 경우 과산화수소만을 이용한 표백 시스템과 유사한 수준의 점도 및 수율을 얻을 수 있었다.

따라서 본 논문에서 검증한 과산화수소와 초음파 표백 시스템은 닥 펄프의 대량 생산 시스템에서의 표백 공정에 효율적으로 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

사 사

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업에서 지원한 친환경 닥섬유 펄프 자동화 및 닥섬유사 제조기술 개발(과제번호: A2011-0241)과제의 지원으로 수행되었습니다.

인용문헌

- Gehr, V., Untersuchungen zur Bleiche unterschiedlicher Altpapierstoffe für die Herstellung hochwertiger Druck und Presspapier. Dissertation, University Hamburg, pp. 43-46 (1994).
- Sharpe, P. E., TCF bleaching of mixed office waste compositions, 1995 Recycling Symposium, New Orleans, LA, USA, 20-24 Feb, pp. 157-187 (1995).
- 김세중, 윤병호, 과산화수소에 의한 크라프트 펄프 표백에 관한 연구, 강원대학교 대학원 (2007).
- A. Latorre, A. Malmqvist, S. Lacorte, T. Welander, and D. Barcelo, Evaluation of the treatment efficiencies of paper mill whitewaters in terms of organic composition and toxicity, *Environmental Pollution* 147: pp.648-655 (2007).
- H. Fukazawa, K. Hoshino, T. Shiozawa, H. Matsushita, and Y. Terao, Identification and quantification of chlorinated bisphenol A in wastewater from waste-paper recycling plants, *Chemosphere* 44:973-939 (2001).
- S. Abrantes, E. Amaral, A. P. Costa, A. A. Shatalov, and A. P. Duarte, Hydrogen peroxide bleaching of *Arundo donax* L. kraft-anthraquinone pulp - Effect of a chelating stage, *Industrial Crops and Products* 25:288-293 (2007).
- S. Camarero, O. Garcia, T. Vidal, J. Colom, J. C. del Rio, A. Gutierrez, J. M. Gras, R. Monje, M. J. Martinez, and A. T. Martinez, Efficient bleaching of non-wood high-quality paper pulp using laccase-mediator system, *Enzyme and Microbial Technology* 35:113-120 (2004).
- A. Hebeish, S. Sharaf, M. M. and Abd El-Hady, Ultrasound aided K₂S₂O₈-acid systems for bleaching linen fabric, *Carbohydrate Polymers* 83:1370-1376 (2011).
- G. Schmid and E.Z. Beuttenmuller, *Electrochem* 50:209 (1944).
- J. Gierer, K. Jansbo, E. Yang, B.H. Yoon, and T. Reitberger, On the participation of hydroxyl radicals in oxygen and hydrogen peroxide bleaching processes, *Proceedings of the Seventh International Symposium on Wood and Pulping Chemistry, Vol. 1*, pp.180-187 (1991).
- J. Gierer, The reactions of lignins with oxygen-containing species, *Proceeding of the Seventh International Symposium on Wood and Pulping Chemistry, Vol. 1*, pp.301-307 (1993).
- Tai-Ho Choi and Nam-Seok Cho, Studies on the New Korean Traditional Paper Manufacturing from Paper Mulberries, *J. Korea TAPPI* 24(1):32-40 (1992).
- Nam-Seok Cho, Studies on the Manufacturing of Pollution-Free Korean Traditional Paper without Bleaching (I), *MOKCHAE KONGHAK* 21(2):49-56 (1993).
- Tae-Ho Choi and Nam-Seok Cho, New Korean Traditional Papermaking from Paper mulberry (I), *J.*

- Korea TAPPI 28(1):49-59 (1996)
15. C. W. Dence and D. W. Reeve, Pulp bleaching - principles and practice, TAPPI press, Atlanta, Georgia, USA, pp.12, 113-124(1996).
 16. S. Ninawe and R. C. Kuhad, Bleaching of wheat straw-rich soda pulp with xylanase from a thermoalkalophilic *Streptomyces cyaneus* SN32, *Bioresource Technology* Vol.97, pp.2291 - 2295(2006).