

저농도 NaOH 팽윤과 고해에 따른 수초지 특성 변화

최경화¹ · 김아람 · 조병욱[†]

접수일(2014년 8월 15일), 수정일(2014년 8월 21일), 채택일(2014년 8월 22일)

Changes in the Handsheet Properties by Low Concentration Sodium Hydroxide Swelling and Beating

Kyoung-Hwa Choi¹, Ah-Ram Kim and Byoung-Uk Cho[†]

Received August 15, 2014; Received in revised form August 21, 2014; Accepted August 22, 2014

ABSTRACT

Effects of alkali swelling of HwBKP (hardwood bleached kraft pulp) at a low concentration below 2 percent (based on the oven-dried weight of pulp) on handsheet properties were investigated. Swelling treatment of HwBKP was performed at various low NaOH concentrations with/without beating. Then, the changes in handsheet properties were evaluated in terms of bulk, optical and strength properties. It was found that bulk was slightly increased when the alkali concentration was increased. When the pulp was only swollen without beating, paper optical and strength properties was slightly decreased or not changed with alkali concentration. When the pulp was alkali-swollen after beating, paper strength and opacity showed almost no changes while brightness was increased. When the pulp was beaten after NaOH swelling, alkali concentration showed almost no effect on brightness and opacity of paper. Paper strength was slightly decreased with alkali concentration, suggesting that alkali pretreatment before refining could adversely affect refining efficiency.

Keywords: Alkali swelling, sodium hydroxide, beating, bulk, paper strength, optical properties

1. 서론

현재 전 세계적으로 자원절감 및 환경오염 감소 등에

대한 관심이 급증함에 따라 국내 제지업계에서도 이에 발맞춰 환경오염을 최소화시킬 수 있을 뿐만 아니라 자원을 절감할 수 있는 기술 개발을 위한 시도가 이루어지

• 강원대학교 산림환경과학대학 제지공학과 (Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, Republic of Korea)

¹ 강원대학교 창강제지기술연구소 (Changgang Institute of Paper Science and Technology, Kangwon National University, Chuncheon, Republic of Korea)

[†] 교신저자(Corresponding Author): E-mail: bucho@kangwon.ac.kr

고 있다. 특히 펄프의 대부분을 수입에 의존하고 있는 국내 제지업계의 경우 펄프 가격 변동에 의해 영향을 많이 받기 때문에 수익성 저하 등의 문제가 발생된다. 따라서 이를 해결하고 국내 제지업계의 국제 경쟁력을 강화시키기 위해 펄프의 사용량을 저감시키는 기술개발이 필요하다. 현재까지 펄프의 사용량을 저감시키기 위한 방안으로는 화학열기계펄프(chemithermomechanical pulp, CTMP)와 같은 기계펄프나 재생펄프 등을 혼합·초지하여 하이-벌크지(high bulk paper)를 제조하는 방안들이 있다. 또한 이 외에도 저가의 충전제, 특히 침강성 탄산칼슘(precipitated calcium carbonate, PCC)의 충전율을 높이는 방안 등의 연구가 주를 이루어 왔다.¹⁻⁹⁾ 그러나 이러한 방법들은 개선효과에 한계가 있으며, 재생펄프를 첨가하거나 PCC의 충전율을 높이는 경우 종이의 강도적 특성이 감소된다. 또한 CTMP 등의 리그닌을 다량 포함하고 있는 기계펄프를 혼합·초지한 종이의 경우 황색화 등의 종이 열화가 발생되어 종이의 내구성에 문제를 발생시킬 수 있다.⁹⁾ 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위해 펄프 원료를 절감시키기 위한 새로운 기술 개발이 필요하다.

종이 시트의 구조적 특성은 펄프 섬유에 의해 결정된다. 종이 제조 시 펄프 섬유 간 결합이 많아지거나 많이 압착되면 밀도가 높은 종이가 생산된다. 따라서 벌크가 높은 종이를 생산하기 위해서는 초지 시 압착이 덜 발생하는 섬유를 사용할 필요가 있으며, 섬유의 유연성에 영향을 주지 않는 초지 공정 시스템을 적용할 필요가 있다. 또한 펄프 섬유 세포벽 및 세포벽의 공극 구조는 펄프 섬유의 특성에 영향을 미칠 수 있기 때문에 펄프 섬유의 알칼리 처리는 섬유의 수화도 및 종이의 구조에 영향을 미칠 수 있다. Mun과 Jang은 6-20%의 고농도 알칼리로 침엽수 표백 크라프트펄프(SwBKP)를 처리할 경우 알칼리 농도가 증가할수록 셀룰로오스 섬유의 결정구조는 셀룰로오스 II로 변환되고, 종이의 투기도가 증가된다고 보고하였다.¹⁰⁾ Won과 Kim은 목재펄프를 여러 종류의 알칼리로 처리하였는데, 활엽수펄프를 가성소다로 처리한 경우

WRV(water retention value)가 증가하였으나, 고해가 진행됨에 따라 그 효과가 상쇄된다고 보고하였다.¹¹⁾ 또한 이전 연구에서 2% 이하의 저농도 수산화나트륨(sodium hydroxide, NaOH)에 의한 팽윤처리 및 고해가 섬유 특성에 미치는 영향을 분석한 결과, 섬유의 WRV와 LRV(liquid retention value)는 NaOH 농도 증가에 따라 소폭 증가하였으며, 펄프 섬유의 결정구조에는 거의 영향을 미치지 않았으나 결정화도에는 영향을 미치는 것으로 보고하였다.¹²⁾

본 연구에서는 2% 이하의 저농도 알칼리 팽윤 및 고해 처리가 수초지의 특성에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 0-2%의 저농도 수산화나트륨(sodium hydroxide, NaOH) 용액으로 펄프 섬유를 팽윤시킨 후 수초지를 제조하고 벌크 특성, 강도적 특성, 광학적 특성 등을 비교분석하였다. 또한 저농도 알칼리 팽윤처리 시 고해 처리가 수초지의 특성에 미치는 영향을 평가하기 위해서 미고해 펄프(non-beaten pulp) 및 고해 펄프(beaten pulp)의 알칼리 팽윤처리를 실시한 후 수초지를 제조하였으며, 알칼리 팽윤처리가 섬유의 고해 특성에 미치는 영향을 평가하기 위해 알칼리 팽윤된 펄프의 고해를 실시한 후 수초지를 제조하여 각 조건별 수초지 특성을 비교분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 펄프

본 연구에서 사용된 펄프 시료는 인도네시아에서 수입한 아카시아 활엽수 표백 크라프트 펄프(hardwood bleached kraft pulp, HwBKP)를 사용하였다. Fiber wall thickness analyzer(MorFi, Techpap, France)를 사용하여 펄프의 섬유벽 두께를 측정하였고, 섬유장, 섬유폭, 조도(coarseness)는 Fiber analyzer(MorFi, Techpap, France)을 사용하여 분석하였다. 사용한 펄프 섬유의 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Dimensional characteristics of HwBKP fiber used in experiment

	Coarseness (mg/100 m)	Fiber length* (mm)	Fiber width (μm)	Fiber wall thickness (μm)
Contents	16.65	0.77	12.00	4.81

*Length weighted average

2.1.2 알칼리 팽윤제

펄프의 알칼리 팽윤을 위한 팽윤제로 분석용 시약인 수산화나트륨(sodium hydroxide, NaOH)을 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 알칼리 팽윤처리 및 수초지 제조

HwBKP의 알칼리 팽윤처리 공정은 Table 2에서 보는 바와 같이 세 가지 공정으로 구분하여 실시하였다. 고해가 알칼리 팽윤 특성에 미치는 영향을 평가하기 위해서 미고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(A) 및 고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(BA)를 실시하였다. 또한 알칼리 팽윤처리가 섬유 고해 특성에 미치는 영향을 평가하기 위해서 알칼리 팽윤된 펄프를 고해(AB)하였다. 각 공정에서의 알칼리 팽윤처리는 0-2%의 수산화나트륨 용액을 사용하여 펄프 농도를 5%로 조절하고, 상온(23℃)에서 1시간 동안 실시하였다. 각 공정에서의 고해 처리는 실험실용 벨리 비터(Valley beater)를 사용하여 실시하였으며, 여수도는 450 mL CSF로 조정하였다. 이후 각 공정에 따라 알칼리 팽윤처리된 각각의 펄프 지료는 RDA(retention and drainage analyzer, GIST, South Korea)를 사용하여 수초지를 제조하였다. 평량은 80 g/m²으로 조절하였다.

2.2.2 수초지 특성 분석

알칼리 팽윤 및 고해 처리에 따른 수초지 특성 변화를 비교분석하기 위해 제조된 수초지들은 ISO 187에 의거하여 상대습도 50±2%, 온도 23±1℃로 조절된 항온항습실에서 24 시간 이상 조습처리한 후 물리적, 광학적, 강도적 특성 등을 측정하였다. 종이의 벌크는 국

표준규격 ISO 534에 의거하여 평량과 두께를 분석한 후 두께를 평량으로 나누어 계산하였다. 종이의 지합지수는 OpTest Equipment Inc.(Canada)의 Micro-Scanner를 사용하여 측정하였다. 광학적 특성으로 백색도와 불투명도는 ISO 2470, ISO 2471에 의거하여 Elrepho 3300(L&W, Sweden)을 이용하여 측정하였다. 강도적 특성으로 ISO 1924-2에 의거하여 인장강도(L&W Tensile tester, Sweden), ISO 2758에 의거하여 파열강도(L&W bursting strength tester, Sweden), ISO 5626에 의거하여 내절강도(Tinius Olsen MIT folding endurance tester, USA)를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 벌크와 지합에 미치는 영향

알칼리 팽윤처리 공정은 상기 기술된 바와 같이 미고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(A), 고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(BA), 알칼리 팽윤된 펄프의 고해 처리(AB) 등 3가지 공정으로 나누어 실시하였다. HwBKP의 저농도 알칼리 팽윤처리 공정에 따른 수초지의 벌크 특성을 분석한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 먼저 고해 유무에 따른 벌크 특성을 살펴본 결과, 고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(BA) 및 알칼리 팽윤된 펄프의 고해 처리(AB) 등 고해 처리한 경우보다 미고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(A)에서와 같이 미고해 수초지의 벌크 특성이 보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 펄프의 고해 시 섬유의 피브릴화가 발생하고 미세분이 증가하고 섬유간 결합이 증가하여 종이의 겉보기 밀도가 증가된다는 일반적인 연구결과¹³⁾와도 일치한다.

각 공정별 수산화나트륨 용액 농도에 따른 벌크 특성 변화를 살펴보면 세 가지 처리 공정 모두에서 수산

Table 2. Processes and conditions for the alkali swelling treatments

	Content	
Process	Alkali treatment only (A) Beating after alkali treatment (AB) Alkali treatment after beating (BA)	
Condition	NaOH solution concentration (%)	0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0
	Temperature (°C)	23 (at room temperature)
	Reaction time (min)	60
	Pulp concentration (%)	5

화나트륨 용액 농도가 증가할수록 벌크 특성이 소폭 개선되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 알칼리 처리에 의해 섬유가 팽윤되어 섬유폭 및 섬유장 등이 소폭 증가되어 발생하는 것으로 판단된다.¹⁴⁾

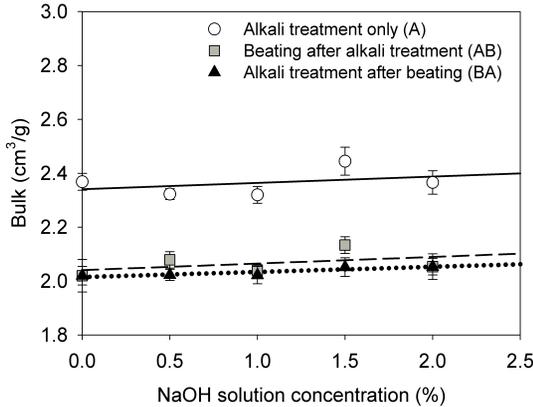


Fig. 1. Changes in bulk of handsheets according to NaOH concentration in different alkali swelling processes.

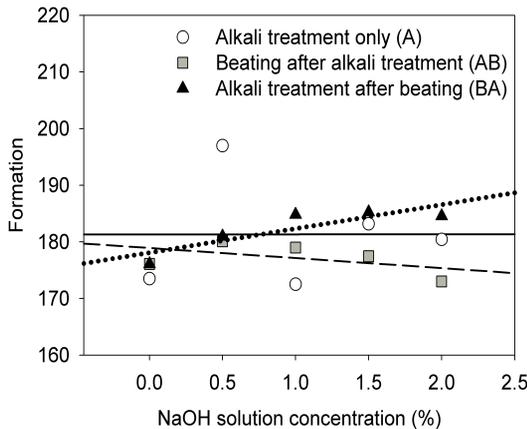


Fig. 2. Changes in formation of handsheets according to NaOH concentration in different alkali swelling processes.

또한 HwBKP의 저농도 알칼리 팽윤처리 공정에 따른 수초지의 섬유 분산상태 변화를 분석하기 위해 지합을 측정된 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 먼저 고해 유무에 따른 지합을 비교 분석한 결과, 고해 처리한 경우의 지합이 미고해 처리 시보다 우수한 것으로 나타났다. 고해는 섬유장, 섬유폭, 조도, 미세분 함량 등의 특

성에 영향을 주어 펄프 현탁액 내 섬유의 응집거동에 영향을 미친다. 일반적으로 고해 처리에 의해 섬유장이 짧아지고 섬유 유연성이 좋아지기 때문에 현탁액 내 섬유의 응집물이 감소되어 수초지의 지합은 향상된다.¹⁵⁾

각 공정별 수산화나트륨 용액 농도에 따른 수초지의 지합의 변화를 살펴보면, 미고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(A)의 경우 지합은 수산화나트륨 용액 처리 농도 변화와 개연성이 없는 것으로 나타났다. 반면 고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(BA)의 경우에는 수산화나트륨 용액 농도가 증가할수록 수초지의 지합이 증가되는 추세를 보였으며, 알칼리 팽윤된 펄프의 고해 처리(AB)의 경우에는 이와 반대로 수산화나트륨 용액 농도가 증가할수록 감소되었다 다시 감소되는 것으로 나타났다.

3.2 광학적 특성에 미치는 영향

HwBKP의 저농도 알칼리 팽윤처리 공정에 따른 수초지의 광학적 특성으로 백색도 및 불투명도를 측정하였으며, 그 분석 결과는 다음과 같다. HwBKP의 저농도 알칼리 팽윤처리 공정에 따른 수초지의 백색도를 분석한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 먼저 고해 유무에 따른 백색도를 살펴보면, 고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(BA) 및 알칼리 팽윤된 펄프의 고해 처리(AB) 등 고해 처리한 경우의 백색도가 미고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(A)에서와 같이 미고해한 경우의 수초지의 백색도보다 낮게 나타났다. 이러한 결과는 457 nm 파장에서 반사율로 측정되는 종이의 백색도가 빛 산란계수와 밀접한 관계가 있고, 고해처리에 의해 수초지의 빛 산란계수를 감소시켜 백색도를 감소시킨다는 연구결과¹⁶⁾와도 일치한다.

각 공정별 수산화나트륨 용액 농도에 따른 수초지의 백색도의 변화를 살펴보면, 미고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(A)의 경우에는 수산화나트륨 용액 농도가 증가함에 따라 수초지의 백색도는 거의 변화하지 않았다. 또한 알칼리 팽윤된 펄프의 고해 처리(AB) 시에도 유사한 경향을 나타냈다. 이러한 결과로 볼 때 저농도 알칼리 처리가 수초지의 백색도에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 반면 고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(BA) 시에는 수산화나트륨 용액 농도가 증가함에 따라 백색도가 소폭 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 고해 처리에 의해 펄프 섬유의 피브릴

화 및 단섬유화가 발생됨으로써 알칼리 팽윤 처리 시 수산화나트륨 용액 농도가 증가할수록 헤미셀룰로오스 등의 착색물질의 제거가 보다 용이하게 이루어지는 것으로 판단된다.

HwBKP의 저농도 알칼리 팽윤처리 공정에 따른 수초지의 불투명도를 살펴보면, 먼저 고해 유무에 따른 백색도의 경우 고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(BA) 및 알칼리 팽윤된 펄프의 고해 처리(AB) 등 고해 처리한 경우 미고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(A)에서와 같이 미고해한 경우의 수초지의 불투명도가 낮았다 (Fig. 4). 이는 화학펄프의 고해 처리가 수초지의 불투명도를

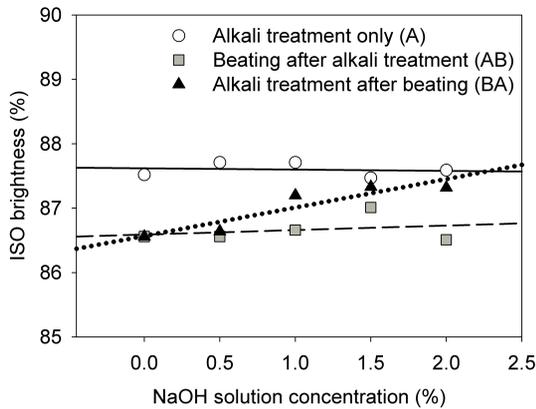


Fig. 3. Changes in ISO brightness of handsheets according to NaOH concentration in different alkali swelling processes.

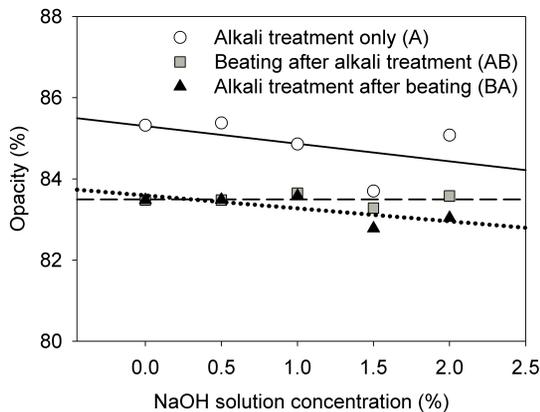


Fig. 4. Changes in opacity of handsheets according to NaOH concentration in different alkali swelling processes.

낮춰준다는 일반적인 연구결과¹⁷⁾와도 일치한다.

각 공정별 수산화나트륨 용액 농도에 따른 수초지의 불투명도의 변화를 살펴보면, 미고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(A)의 경우와 고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(BA)의 경우 모두 고해처리 유무에 상관없이 수산화나트륨 용액 농도가 증가할수록 불투명도가 소폭 낮아지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 알칼리 농도가 증가할수록 섬유가 보다 팽윤됨으로써 전하밀도가 증가되어 섬유간 결합이 소폭 증가되는 것에 기인된 결과로 사료된다. 반면 알칼리 팽윤된 펄프의 고해처리(AB)의 경우에는 수산화나트륨 용액 농도 증가에 따른 변화가 발생되지 않는 것으로 나타났다.

3.3 강도적 특성에 미치는 영향

HwBKP의 저농도 알칼리 팽윤처리 공정에 따른 수초지의 강도적 특성 변화를 분석하기 위해 인장강도, 파열강도, 내절강도 등을 측정된 결과는 Figs. 5-7에 나타내었다. 각각의 그림에서 보는 바와 같이 각 조건에 따른 인장강도, 파열강도, 내절강도 등 각각의 강도적 특성들은 거의 유사한 경향을 나타냈다. 먼저 고해 유무에 따른 강도적 특성 변화를 살펴보면, 고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(BA), 알칼리 팽윤된 펄프의 고해 처리(AB) 등 고해한 펄프로 수초한 수초지의 강도적 특성이 미고해 펄프를 알칼리 처리(A)한 펄프로 수초한 수초지의 강도적 특성에 비해 높게 나타났다. 이러한 결과는 고해에 의해 섬유간 결합 면적이 증가됨에 의

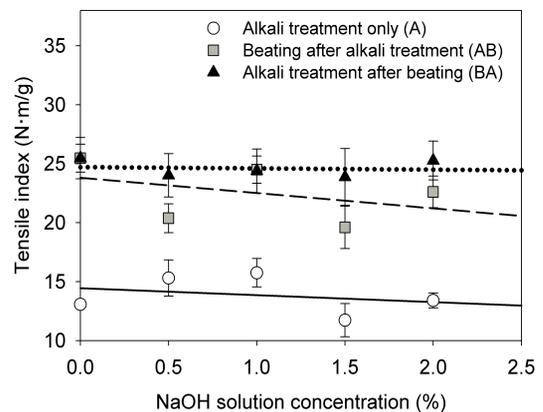


Fig. 5. Changes in tensile strength of handsheets according to NaOH concentration in different alkali swelling processes.

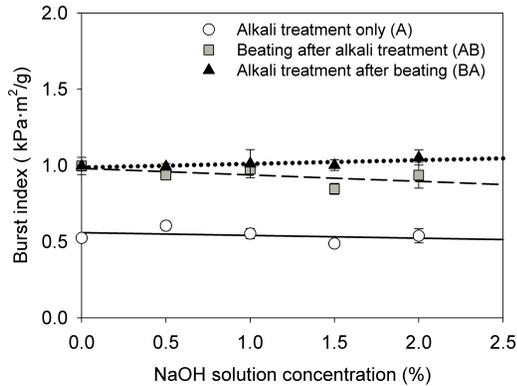


Fig. 6. Changes in burst strength of handsheets according to NaOH concentration in different alkali swelling processes.

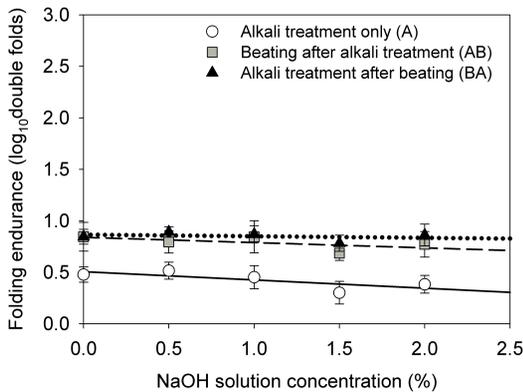


Fig. 7. Changes in MIT folding endurance of handsheets according to NaOH concentration in different alkali swelling processes.

해 발생되는 것으로 판단된다.¹⁷⁾

수산화나트륨 용액 농도에 따른 강도적 특성 변화를 살펴보면 미고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(A) 및 고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(BA)의 경우에는 알칼리 농도에 따른 변화가 거의 발생되지 않았다. 반면 알칼리 팽윤된 펄프의 고해 처리(AB)의 경우에는 수산화나트륨 용액 농도가 증가할수록 강도적 특성이 모두 낮아지는 것으로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 알칼리 처리 농도가 증가할수록 펄프 섬유에 고해 효율을 감소시켜 결과적으로 섬유의 고해에 의해 발생하는 수초지의 강도 상승률을 저지시키는 것으로 판단된다.

4. 결론

2% 이하의 저농도 알칼리 팽윤 조건에 따른 수초지의 특성 변화에 대한 연구를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

수초지 특성은 저농도 알칼리 처리와 고해처리 유무 및 처리순서에 의해서 영향을 받는 것으로 판단된다. 수초지의 벌크 특성은 고해 유무 및 처리 순서에 상관없이 모두 알칼리 농도가 증가할수록 소폭 증가되었는데, 이러한 결과는 알칼리 팽윤처리 시 수산화나트륨 용액 농도가 증가함에 따라 섬유의 치수가 점차 증가되는 것에 기인된 결과로 판단된다.

각 공정별 알칼리 농도에 따른 광학적 특성 및 강도적 특성 변화를 살펴보면, 미고해 펄프의 알칼리 팽윤처리(A) 시 광학적 특성은 소폭 감소되었으며, 강도적 특성은 거의 변화하지 않았다. 펄프 고해 후 알칼리 처리(BA) 시에는 종이의 강도 및 불투명도는 알칼리 농도에 따라 거의 변화하지 않았으며 백색도는 증가되었다. 알칼리 팽윤처리 후 고해(AB) 한 경우에는 종이의 광학적 특성에는 거의 영향을 미치지 않았으나 강도적 특성은 소폭 감소되었다. 알칼리 팽윤처리 및 고해처리를 병행한 경우 알칼리 팽윤처리를 전 처리한 경우의 변화가 후처리한 경우보다 모두 알칼리 농도 증가에 따른 영향을 덜 받는 것으로 나타나 알칼리 팽윤 처리 농도가 증가할수록 고해 효율을 감소시키는 것으로 나타났다.

사 사

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2012R1A1A1043193).

Literature Cited

1. Ono, H., Watanabe, M., Nonomura, F., and Nanri, Y., High-bulk, wood containing printing paper, US patent, US007404876B2 (2008).
2. Nam, K., Chung, S., and Won, J. M., Effects of raw

- materials for papermaking and physical treatment on the pore structure and paper properties, *Journal of Korea TAPPI* 39(4):7-13 (2007).
3. Nam, K., Chung, S., and Won, J. M., Effect of raw materials of the papermaking and physical treatment on the pore structure and properties of the paper, *Proceedings of 2003 Fall Conference of the Korea TAPPI*, pp. 127-134.
 4. Sousa, G. D. A., Abreu, C. T., Amaral, J. L., and Bras, C., Office paper bulk optimization in a paper machine using multivariate techniques, *O PAPEL* 72(8):50-55 (2011).
 5. Gwak, H. J., Lee, J. Y., Kim, C. H., Back K. K., Shin, J. H., Lee, H. J., Kim, S. H., Shim, S. Y., and Kang, H. Y., Improvement of paper bulk and properties using modified precipitated calcium carbonate (PCC), *Proceedings of 2009 Fall Conference of the Korea TAPPI*, p. 313.
 6. Ikeda, Y., Ishibashi, Y., Tadokoro, T., and Takahashi, H., Paper bulking promoter, US patent, US 006576085B2 (2003).
 7. Sung, Y. J., and Keller, D. S., Evaluation of the changes in local paper structure and paper properties depending on the forming elements types, *Journal of Korea TAPPI* 41(1):17-23 (2009).
 8. Eber, R. J., and Janda, B. W., Multiple layer fibrous web products of enhanced bulk and method of manufacturing same, US patent, US005102501A (1992).
 9. Takashi, O., Challenge to the development of bulky paper in NPI(Nippon Paper Industries Co. Ltd), Japan *TAPPI J.* 61(1):50-53 (2007).
 10. Won, J. M., and Kim, M. H., Effects of alkaline treatment on the characteristics of chemical pulps for papermaking, *Journal of Korea TAPPI* 43(3):1-7 (2011).
 11. Mun, S. P., and Jang, M. H., Morphological and physicochemical changes of NBKP by alkali pretreatment, *Journal of Korea TAPPI* 41(4):1-7 (2009).
 12. Kim, A.-R., Choi, K.-H., and Cho, B.-U., Changes in fiber characteristics by low concentration sodium hydroxide swelling and beating, *Journal of Korea TAPPI* 46(3):65-72 (2014).
 13. Jang, H. S. and Park, J. M., Physical properties of paper depending on two-step refining, *Journal of Korea TAPPI* 36(2):1-9 (2004).
 14. Ehrhardt, A., Groner, S., and Bechtold, T., Swelling behaviour of cellulose fibres-Part 1: Changes in physical properties, *Fibers & Textiles in Eastern Europe* 64:46-48 (2007).
 15. Zaytseva, Y., Effect of pulp fraction on formation and strength properties of laboratory handsheets, Master's thesis, Department of Chemical Technology, Lappeenranta University of Technology, Finland (2010).
 16. Germgård, U., *Pulp and Paper Chemistry and Technology*, Ek, M., Gellerstedt, G., and Henriksson, G.(eds.), Vol. 2, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, p. 249 (2009).
 17. Brandon, C. E., *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*, 3rd ed., Casey, J. P. (ed.), Vol. 3, Wiley-Interscience Publication, New York, pp. 1879-1880, pp. 1787-1788 (1981).