

Kneading 처리가 다양한 펄프 섬유들의 특성에 미치는 영향

김아람, 최경화¹ †, 조병욱[†]

접수일(2015년 6월 12일), 수정일(2015년 6월 18일), 채택일(2015년 6월 19일)

Effects of Kneading Treatment on the Properties of Various Pulp Fibers

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

Received June 12, 2015; Received in revised form June 18, 2015; Accepted June 19, 2015

ABSTRACT

In this study, effects of kneading treatment on the properties of hardwood bleached kraft pulp (HwBKP), softwood bleached kraft pulp (SwBKP) and hardwood bleached chemi-thermo-mechanical pulp (HwBCTMP) were elucidated with a laboratory two-shaft kneader. Kneading treatment was performed at 30% (w/w) of pulp concentration and the number of passes through the kneader was adjusted from 0 to 10 passes. Then, changes in properties of pulp fibers were evaluated. It was found that fiber characteristics were influenced by kneading treatment. Fiber length was decreased with kneading while other morphological properties such as fiber width, curl and kink became increased as the number of passes through the kneader increased from 0 to 5 passes. The magnitude of changes in the morphological properties of softwood chemical pulp was the largest, followed by hardwood chemical pulp. The morphological properties of HwBCTMP were little influenced by kneading treatment. Swelling of fiber measured by WRV was increased with kneading except of HwBCTMP.

Keywords: *Kneading, fiber properties, WRV, zeta potential, curl, kink*

• 강원대학교 산림환경과학대학 제지공학과(Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest and Environmental Science, 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

‡ 공동교신저자(Co-corresponding Author): E-mail: bleaching@kangwon.ac.kr

1. 서론

최근 제지산업에서는 환경적, 경제적 측면에서 원료를 효율적으로 이용하여 원가를 절감시키기 위한 노력들이 이루어지고 있다. 특히 펄프의 대부분을 수입에 의존하고 있는 국내의 경우 펄프 사용량 저감 기술 개발이 필수 불가결하다고 볼 수 있다. 펄프 사용량을 저감하는 방법 중 하나로 종이의 벌크를 향상시키는 방법이 있다. 종이의 벌크를 향상시키는 주요 방법으로는 침강성 탄산칼슘 (precipitated calcium carbonate, PCC)을 사용하거나 벌키화제(bulking agents)를 첨가하거나 화학열기계펄프(chemi-thermomechanical pulp, CTMP)를 혼합하는 방법 등이 있다.¹⁻⁹⁾ 그러나 이러한 방법들은 종이 제조 시 강도적 특성이 감소되거나 CTMP의 경우 리그닌을 다량 함유하고 있는 기계펄프이기 때문에 황색화 및 강도 손상 등 다양한 문제를 발생시킬 수 있다.⁹⁾ 따라서 이와 같은 문제점을 최소화하고 효율적으로 벌크를 향상시키는 새로운 기술 개발이 시급하다.

종이의 기본 골격은 펄프 섬유에 의해서 결정된다. 동일 펄프 양으로 종이를 제조하였을 때 압착이 덜 발생하면 벌크가 높은 종이가 생산된다.¹⁰⁾ 초지 시 유연성이 적은 펄프를 사용하거나 섬유 사이의 공극이 많이 발생하도록 제조한다면 벌크가 높은 종이를 생산할 수 있다.

펄프 섬유의 curl이나 kink와 같은 휘거나 꺾이는 현상은 섬유와 섬유간의 결합면적에 영향을 미치며 궁극적으로 종이의 밀도에 영향을 미칠 수 있다.¹¹⁾ Chae 등¹²⁾의 연구에 의하면 SwUKP(softwood unbleached kraft pulp)를 1회 니딩(kneading)처리 했을 때 섬유의 꼬임과 변형을 알 수 있는 curl 및 kink의 수치가 증가한다고 보고하였다. Lim 등¹¹⁾은 고해 후 니딩처리 시 curl과 kink의 발생으로 벌크가 증가하며 높은 투기도를 나타낸다고 보고하였다. 또한 Lee 등¹³⁾의 경우 니딩 후 고해 처리 시 니딩 전처리로 인해 섬유의 내부 피브릴화를 보다 효과적으로 유도하여 WRV가 증가하며, 반면에 열단장은 증가되지 않은 것으로 보고하였다. 하지만 펄프 수종 및 타입 별 니딩처리 효과에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다.

본 연구에서는 펄프 수종 및 타입 별로 니딩처리 횟수가 펄프 섬유의 특성에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 이를 위해 펄프 수종 및 종류를 달리하여 30%의 펄프농도에서 니딩처리 횟수를 달리하여 니딩처리를 실시한 후 형태학적 특성(섬유장, 섬유폭, curl, kink 등), 이

미지 특성(현미경 및 SEM 등), WRV(water retention value), 섬유 표면전하 등을 분석하여 펄프 섬유의 특성 변화를 비교분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험 재료

본 연구에서는 브라질산 유칼립투스 활엽수 표백크라프트펄프(hardwood bleached kraft pulp, HwB-KP), 캐나다산 소나무 침엽수 표백크라프트펄프(softwood bleached kraft pulp, SwBKP), 러시아산 사시나무 활엽수 표백화학열기계펄프(hardwood bleached chemi-thermomechanical pulp, HwBCTMP) 등의 펄프 시료들을 한국제지(주)에서 분양받아 사용하였다. L&W Fiber Tester(Sweden)를 사용하여 각 펄프 시료들의 섬유 특성을 분석하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Dimensional characteristics of pulp fibers used in experiment

	Coarseness (μg/m)	Fiber length ¹⁾ (mm)	Fiber width (μm)
HwBKP	86.7	0.64	15.8
SwBKP	183.0	2.14	30.9
HwBCTMP	-	0.85	25.7

¹⁾Average fiber length (length-weighted)

2.2 실험방법

2.2.1 Kneading 처리

각 펄프 시료의 니딩 처리에 앞서 실험실용 표준해리기를 사용하여 펄프 농도 4%, 해리속도 300 rpm, 해리 시간 10 min의 조건으로 펄프를 해리하였다. 해리된 펄프 현탁액을 진공 여과시켜 30%(w/w)로 농축시킨 후 주문 제작한 실험실용 twin shaft kneader를 사용하여 니딩 처리하였다. 니딩 처리 시 70℃의 온수팩을 이용하여 kneader를 감싸 보온 처리하여 니딩 처리 온도를 70℃로 유지시켰다. 펄프 페이스트의 니더 통과 횟수를 조절하여 니딩 정도를 조절하였는데, 통과 횟수는 0-10회로 조절하였다.

2.2.2 섬유유의 형태학적 특성 분석

섬유의 형태학적 특성은 L&W Fiber Tester (Sweden) 를 사용하여 섬유장, 섬유폭, curl, kink, 미세분 함량 등을 측정하였다.

2.2.3 섬유유의 이미지 분석

니딩처리 유무에 따른 섬유유의 형태 변화를 관찰하기 위해 광학현미경(GX51, Olympus, Japan) 및 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM, Hitachi, Japan)을 사용하였다. 광학현미경 분석을 위한 펄프 시료는 acetocarmine 용액으로 염색하였으며, SEM 분석을 위한 펄프 시료는 동결 건조하여 준비하였다.

2.2.4 섬유유의 표면 전하 분석

섬유의 표면전하는 Fiber Potential Analyzer (AFG, Germany)를 사용하여 유동전위(streaming potential) 법으로 측정하였다. 니딩 처리된 펄프를 0.4% 농도로 희석하여 FPA 분석을 실시하였으며, 이때 지료의 전기 전도도는 0.09 mS/cm, 온도는 20℃였다.

2.2.5 Water retention value (WRV) 분석

TAPPI Standard Useful Method 256과 Yiannos¹⁴⁾의 연구에 의거하여 펄프 섬유유의 WRV 변화를 분석하였으며, 그 과정은 다음과 같다. 먼저 각 펄프 시료를 2 g 정량한 후 250 mL 광구병에 넣고 증류수 100 mL를 첨가하여 20분 간 팽윤시킨 후, 글라스 필터(1G2)를 이용하여 펄프 슬러리를 여과시켜 주었다. 글라스 필터 내 펄프 패드를 원심분리기에 넣고 1250 G로 40분간 원심 분리시킨 후, 105℃의 건조기에서 12시간 동안 건조시켜 주었으며, 건조 전후 펄프 패드의 무게를 측정하여 다음 Eq. 1에 의해 WRV 값을 계산하였다.

$$WRV, g/g = \frac{A - B}{B} \dots\dots\dots \text{Eq.1}$$

여기서, A: 펄프 패드 건조 전 무게, B: 펄프 패드 건조 후 무게.

3. 결과 및 고찰

3.1 니딩 처리에 의한 펄프 섬유유의 형태학적 특성 변화

3.1.1 섬유장 및 섬유폭

각 펄프 타입 별 니딩처리 횟수에 따른 섬유장 변화는 Figs. 1과 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 SwBKP의 경우 니딩처리 횟수가 증가됨에 따라 섬유장이 감소하였다. 이는 기계적 처리에 의해 섬유의 팽윤과 더불어 섬유가 절단되어 발생된 결과로 판단된다. 니딩처리 5회까지는 섬유장이 급격히 감소하다가 이후부터 거의 변화되지 않은 것으로 나타났다. 반면 HwBKP와 HwBCTMP의 경우에는 니딩처리에 의해서 미세하게 섬유장이 감소하였으나, 그 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

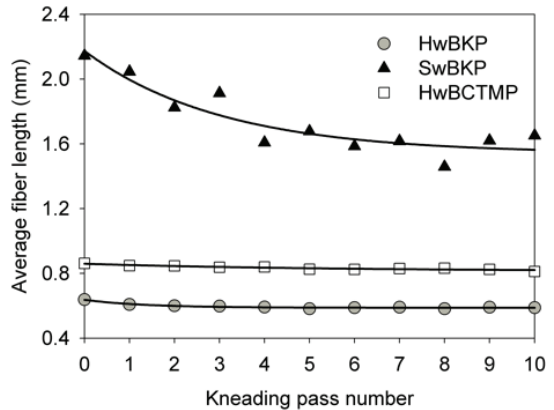


Fig. 1. Average fiber length of three fiber types according to kneading.

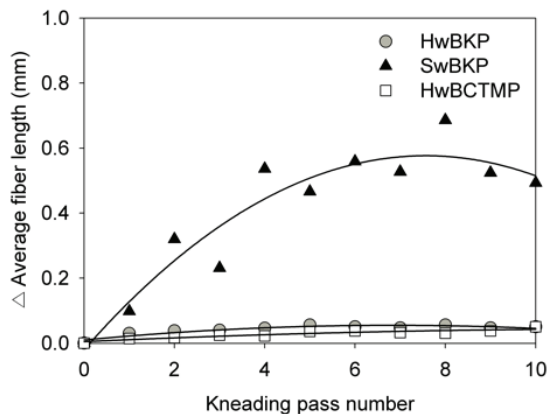


Fig. 2. Changes in average fiber length of three fiber types according to kneading.

일반적으로 펄프 섬유는 고해에 의해 섬유외층의 제거, 내부피브릴화, 섬유장의 절단 및 미세분(fines) 생성, 화학적 조성분의 부분적 용해 등의 효과가 발생된다. 고해 효과는 수중에 따라 달라지는데 보통 활엽수는 침엽수보다 섬유장이 짧고 폭이 좁아서 회전용적(rotation volume)이 작아 응집을 일으키는 성향이 적고 세포벽이 상대적으로 두꺼워 고해에 대한 저항이 크다. 따라서 이와 같은 원인에 의해 침엽수의 경우 니딩 처리 횟수가 증가함에 따라 섬유장의 절단, 미세분이 발생되고 미세분이 생성되는데 반해 활엽수 섬유의 경우 섬유장 및 미세분의 변화가 거의 없는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 고해에 따른 유칼리 펄프와 소나무 펄프의 형태학적 특성 변화에 관한 Allender와 Waterhouse의 연구¹⁵⁾결과와도 일치한다. 그들은 펄프를 기계적으로 처리(refining)시 침엽수의 섬유장 감소가 활엽수보다 크다고 보고하였다.

실제로 니딩 처리 횟수에 따른 미세분 분석 결과에서도 Fig. 3에서 보는 바와 같이 SwBKP는 HwBKP 및 HwBCTMP에 비해 니딩 횟수 증가에 따라 미세분 증가 폭이 크게 나타났다. 미세분 함량은 L&W Fiber Tester를 사용하여 측정되었다. 이는 미세분의 개수를 측정하여 계산된 값으로, 200 mesh 금망으로 분리하여 무게를 측정하여 분석하는 결과와 차이가 있을 수 있다. 기계펄프인 HwBCTMP의 미세분 함량이 화학펄프인 HwBKP보다 다소 높으나, 큰 차이가 나지 않는 것은 이 때문이라 사료된다.

Figs. 4와 5에서 보는 바와 같이 섬유장과 달리 니딩 처리 횟수가 증가함에 따라 각 섬유들의 섬유폭은 증가되는 경향을 보였다. 이는 고해효과에 의해 발생한 섬유의 내부피브릴화 및 팽윤, 또는 외부피브릴화에 기인된 결과로 판단된다. 실제로 이후 기술된 실체현미경 및 주사전자현미경 분석결과에서도 섬유의 피브릴화가 발생되었음을 확인할 수 있다. 섬유폭의 증가율은 SwBKP, HwBKP, HwBCTMP 순으로 SwBKP의 증가폭이 가장 크게 나타났다. 니딩 처리 횟수에 따른 증가율은 SwBKP의 경우 니딩 처리 횟수 증가에 비례하는 것으로 나타났으며, HwBKP와 HwBCTMP는 5회를 임계점으로 점차 증가하다 이후 변화되지 않은 것으로 나타났다. 동일 무게당 활엽수 섬유가 침엽수에 비해 더 뻗뻗하며 덜 붕괴(collapse)된다. 즉 앞서 기술된 바와 같이 활엽수의 고해 효과는 침엽수에 비해 낮다. 이와 같은 원인

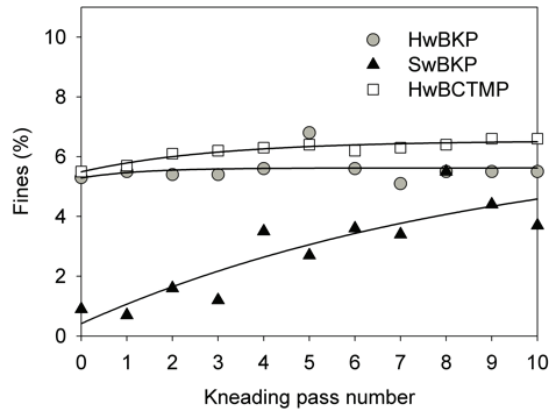


Fig. 3. Fines content of three fiber types according to kneading.

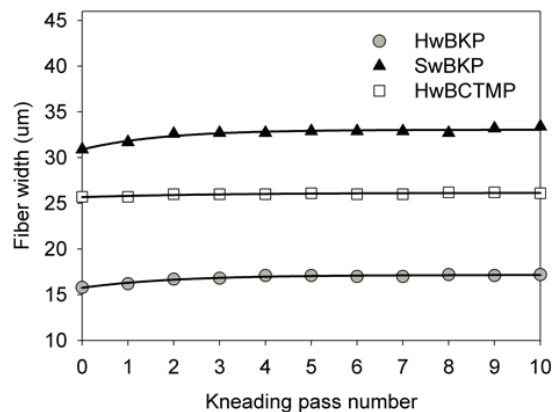


Fig. 4. Average fiber width of three fiber types according to kneading.

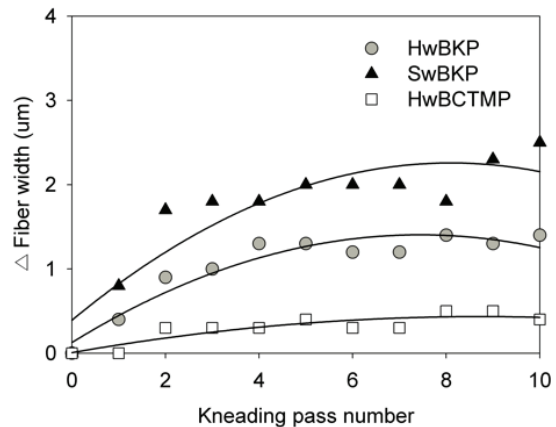


Fig. 5. Changes in average fiber width of three fiber types according to kneading.

에 의해 침엽수의 경우 니딩 처리 횟수가 증가함에 따라 섬유유의 내부 피브릴화 및 팽윤이 활엽수에 비해 보다 크게 발생되어 섬유폭 증가가 보다 크게 발생된 것으로 판단된다. 유칼리 펄프와 소나무 펄프의 형태학적 특성 변화에 관한 Allender와 Waterhouse¹⁵⁾의 연구결과에 따르면 고해 시 고해도를 증가시킴에 따라 유칼리와 소나무 펄프의 섬유폭이 모두 증가되었으며, 특히 침엽수의 변화가 활엽수보다 높다고 보고하였다. 또한 그들은 이와 같은 섬유폭의 증가를 섬유유의 붕괴의 신호라고 고찰하였다.

3.1.2 Curl과 Kink

각 펄프 타입 별 니딩 처리 횟수에 따른 섬유 curl 및 kink index 변화는 Figs. 6과 7에 나타내었다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 니딩 처리에 의해 섬유 curl이 증가되는 것으로 나타났다. 특히 SwBKP와 HwBKP 등 화학 펄프 섬유유의 curl이 기계펄프인 HwBCTMP보다 높게 발생되어 화학펄프 섬유가 기계펄프 섬유에 비해 보다 curl이 많이 발생하는 것으로 나타났다. Lehto¹⁶⁾의 연구결과에 의하면 슬러리 상에서 유연한 화학펄프 섬유가 뻗뻗한 기계펄프 섬유보다 curl이 많이 발생한다고 보고하였다. 또한 침엽수 섬유가 활엽수 섬유보다 curl이 높게 발생하는 것으로 나타났는데 이는 침엽수 섬유가 활엽수 섬유보다 길고 두꺼운 것에 기인한 결과로 판단된다. 또한 상기에 기술된 바와 같이 활엽수의 고해 효과가 침엽수도 적은 것에 기인된 결과로 판단된다. 니딩 처리 횟수에 따른 각 섬유유의 curl 변화를 살펴보면 SwBKP와 HwBKP 등 화학 펄프 섬유유의 경우 2회 처리

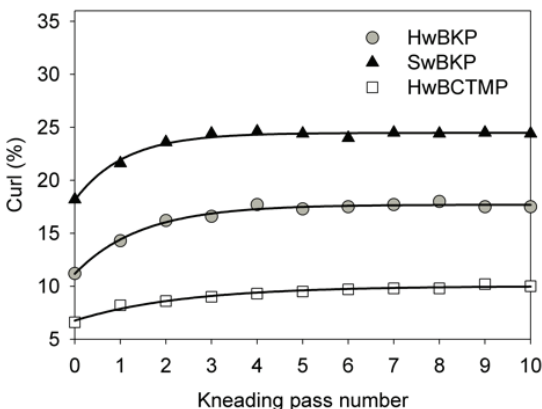


Fig. 6. Curl of three fiber types according to kneading.

까지 증가된 후 이후 변화가 거의 발생되지 않았다. 반면 HwBCTMP의 경우에는 니딩처리 횟수 증가에 따라 서서히 증가되는 경향을 보였다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 니딩 처리에 의해 각 섬유유의 kink index 역시 증가되었다. 특히 SwBKP의 kink가 가장 높게 발생되었으며, HwBKP와 HwBCTMP의 kink는 소폭 증가되어 니딩 처리에 의해 상대적으로 적게 영향을 받는 것으로 나타났다. 즉 침엽수 섬유유의 kink 발생이 활엽수 섬유보다 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 curl의 경우와 마찬가지로 침엽수 섬유가 활엽수보다 길고 두꺼운 것에 기인된 결과로 판단된다. 니딩 처리 횟수에 따른 kink 변화를 살펴보면, SwBKP와 HwBKP의 경우 1회 니딩 처리 후 kink가 크게 증가하였으며, 이후 거의 변화되지 않는 것으로 나타났다. 반면에 HwBCTMP의 경우에는 니딩 처리 5회를 임계점으로 점차 증가하다 이후 변화되지 않은 것으로 나타났다.

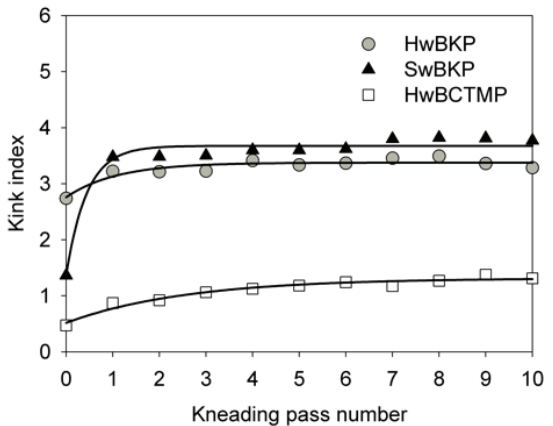


Fig. 7. Kink index of three fiber types according to kneading.

3.1.3 섬유 형태 관찰

니딩처리 유무에 따른 섬유유의 형태학적 특성 변화를 분석하기 위해 광학현미경과 SEM으로 관찰한 사진을 Figs. 8와 9에 나타내었다. 그림들에서 보는 바와 같이 니딩처리에 의해 섬유유의 피브릴화가 발생되었을 뿐만 아니라 curl 및 kink 등 섬유유의 변형(deformation)이 발생되었다. 특히 활엽수보다 침엽수 펄프의 피브릴화가 더 많이 되는 발생되는 것으로 관찰되었다(Fig. 8). 활엽수

펄프의 경우에도 니딩처리에 의해 섬유끼리 서로 비벼지는 마찰에 의해 섬유벽이 물리적으로 손상되었고, 섬유벽의 피브릴 층이 파괴된 것이 관찰되었다(Fig. 9). 이는 고농도에서의 니딩 처리는 섬유끼리 마찰되는 작용에 의해서 섬유벽을 물리적으로 변형, 또는 파괴할 수 있다는 것을 보여준다.

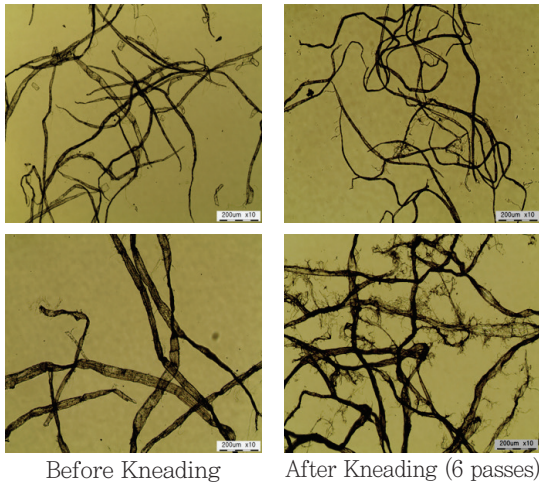


Fig. 8. Microscopic images of HwBKP (Top) and SwBKP (Bottom) before/after kneading treatment.

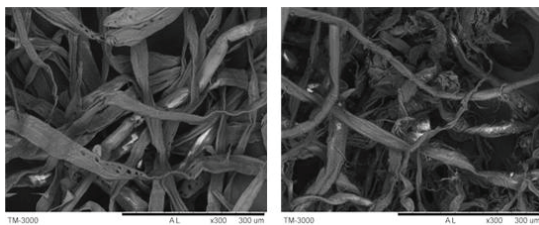


Fig. 9. SEM images of HwBKP before (Left)/after (Right) kneading treatment.

3.2 니딩 처리에 의한 펄프 섬유의 팽윤 특성 변화

각 펄프 타입 별 니딩처리 횟수에 따른 WRV 변화를 Fig. 10에 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 화학펄프인 HwBKP와 SwBKP는 모두 니딩처리에 의해 WRV가 증가되었으며, 특히 침엽수 섬유의 변화율이 활엽수 섬유보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 니딩처리에 따른 침엽수 섬유의 피브릴화가 활엽수 섬유보다 많이 발생되었기 때문으로 사료된다. Botková는 침엽수 섬유의 팽윤성이 활엽수 섬유보다 높다고 보고하였다.¹⁷⁾ 반면

에 리그닌 함량이 높은 기계펄프인 HwBCTMP는 니딩 처리에 따른 WRV 변화가 발생되지 않았다. Brancato¹⁸⁾는 기계펄프인 TMP의 팽윤성은 화학펄프인 KP보다 낮다고 보고한 바 있다. 니딩처리 횟수에 따른 HwBKP와 SwBKP의 WRV 증가율을 살펴보면, 니딩 초기에는 WRV가 증가하다가 5회 처리를 임계점으로 이후 거의 변화되지 않는 것으로 나타났다. 앞에서 기술된 바와 같이 니딩 처리에 의한 섬유장, 섬유폭, curl, kink 등의 섬유의 형태학적 특성 또한 WRV와 마찬가지로 기계펄프인 HwBCTMP의 경우 고해에 의한 변화가 거의 발생되지 않는 것으로 나타났다. 일반적으로 리그닌 함량이 높은 경우 섬유의 고해가 보다 어렵다고 알려져 있다.¹⁹⁾

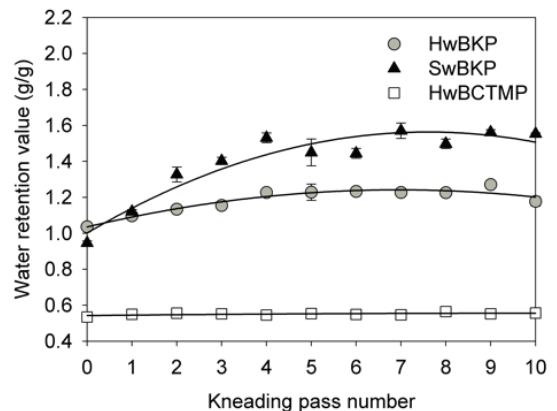


Fig. 10. WRV of three pulp fibers according to kneading.

3.3 니딩 처리에 의한 펄프 섬유의 표면전하 변화

각 펄프 타입 별 니딩처리 횟수에 따른 섬유 표면의 제타 전위 변화는 Fig. 11에 나타냈었다. 초기값은 약 -100 mV 정도로 세 펄프가 유사하였다. 크라프트 펄프는 카르복실기의 해리에 의해서, BCTMP는 술폰기와 카르복실기의 해리에 의해서 음전하를 나타낸다.²⁰⁾ 그림에서 보는 바와 같이 HwBCTMP와 SwBKP 섬유의 경우 니딩 처리 횟수가 증가될수록 제타 전위의 절대값이 감소(0쪽으로 이동)되었다. 특히 HwBCTMP의 변화폭이 SwBKP 보다 높은 것으로 나타났다. 반면, HwBKP의 변화폭은 상대적으로 작게 나타났다. 앞의 실험결과들은 니딩 처리가 섬유에 고해와 같은 효과를 주었다는 것을 보여주었다. 고해는 섬유를 피브릴화시켜 표면 음전하를 증가시키는 경향이 있다. Jaycock 등²¹⁾은 고해한 펄프의 제타 전위는 보다 음의 값을 나타낸다고 보고하였다.

그러나 Fig. 11의 실험결과는 Jaycock 등의 결과와 반대의 경향을 보여주고 있다. 니딩 시 마찰에 의해 니더 장비로부터 발생하는 금속 양이온의 흡착이 위와 같은 현상의 이유가 될 수 있다고 사료된다. Jacquelin 등²²⁾의 연구결과에 의하면 고해 시 금속성의 장비로부터 금속 양이온이 흡수됨으로 인해 고해에 의해 제타전위가 보다 낮은 음의 값을 나타낸다고 보고하여 본 연구결과에 상응하였다. Cho 등은 OCC (old corrugated container) 지료의 니딩 처리 후 펄프의 크롬(Cr)함량이 증가한다고 보고하였다.²³⁾ 펄프 타입 별 니딩 처리에 따른 제타전위 변화 원인 분석에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

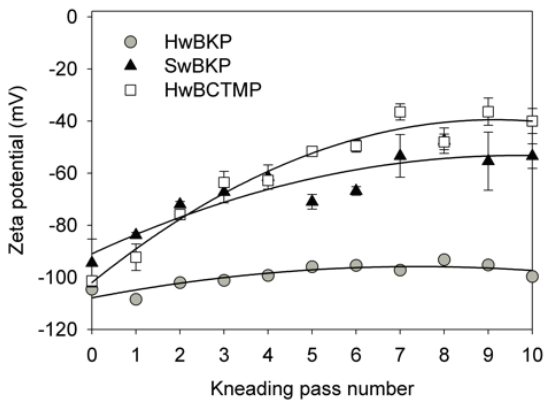


Fig. 11. Zeta potential of three fiber types according to kneading.

4. 결론

펄프 종류와 kneading 처리 횟수에 따른 섬유 특성 변화에 대한 연구를 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

니딩 처리에 따라 섬유장은 감소하고, WRV, 섬유폭, curl, kink 등은 증가되었는데, 이는 니딩 처리 시 발생하는 섬유 절단, 피브릴화, 섬유 팽창 등에 의한 결과로 판단된다. 이와 같은 니딩 처리에 의한 섬유의 특성 변화들은 특히 침엽수 섬유의 변화가 활엽수 보다 높게 나타났으며, 기계펄프보다 화학펄프가 보다 높게 나타났다. 이는 먼저 침엽수 섬유가 활엽수 섬유에 비해 섬유장이 길고 섬유폭이 두꺼운 특성을 가지는 것에 기인한

결과로 판단되며, 기계펄프의 경우 화학펄프에 비해 보다 뽀뽀하고 리그닌 함량이 높은 것에 기인한 결과로 판단된다. 이와 같은 결과는 광학현미경 및 SEM 분석 결과에 의해서도 확인되었다. 또한 니딩 처리 횟수에 따른 변화는 kink를 제외한 나머지 모두 5회 처리를 임계점으로 비례적으로 변화하다 그 이후에는 거의 변화되지 않았다.

사 사

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업임 (No. 2012R1A1A1A1043193).

이 논문의 일부는 2014년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음(과제번호: C1011704-01-01).

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*, 127-134 (2013).
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 Korea TAPPI, 313 (2009).
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 Journal, 61(1), 50-53 (2007).
 10. Park, C. S., Lee, J. H., Kil, J. H. and Park, J. M., Change of dimensional stability and dip elongation of handsheets depending on wet pressing, Journal of Korea TAPPI 43(4):31-39 (2011).
 11. Lim, J. H., Chae, J. H., Park, C. S. and Park, J. M., Effects of refining and kneading of kraft pulp fibers on elongation and fracture toughness of paper, Journal of Korea TAPPI, 42(4):39-44 (2010).
 12. Chae, H. J., Park, J. M., Park, C. S. and Lim, J. H., Optimization of refining condition for fiber property throughout sub-kneading, Proceedings of 2010 Spring Conference of Korea TAPPI, pp. 304-310 (2010).
 13. Lee, J. H., Park, J. M., Changes of HwBKP, SwBKP, OCC handsheets' drying behavior and physical properties by refining, kneading and wet pressing, Journal of Korea TAPPI, 43(5):17-26 (2011).
 14. Yiannos, P. N., Swellability of pulps determined by isopropanol retention, Tappi J. 48(9):494-496 (1965).
 15. Allender, B. M. and Waterhouse, J. F., Morphological Factors in the Refining of Eucalypt and Pinus radiata Fibers, Research Report by The Institute of Paper Chemistry (1986).
 16. Lehto, J. H., Characterisation of mechanical and chemical pulp fibres, 58th Appita annual conference and exhibition, Carlton, Australia (2004).
 17. Botková M., Šutý, S., Jablonský, M., Kucerková, L., and Vrška, M., Monitoring of Kraft pulps swelling in water, Cellulose Chem. Technol., 47 (1-2):95-102 (2013).
 18. Brancato, A. A., Effect of progressive recycling on cellulose fiber surface properties, Thesis for the Degree Doctor of Philosophy in the School of Chemical and Biomolecular Engineering, Georgia Institute of Technology (2008).
 19. Young, J. H., Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology, Casey, J. P.(ed.), Vol. 2, Wiley-Interscience Publication, New York, p. 850 (1981).
 20. Scott, W. E., Principles of Wet End Chemistry, TAPPI Press, Atlanta, USA, pp.33-43 (1996).
 21. Jaycock, M. J. and Pearson, J. L., Colloidal aspects of paper formation, Part 1: factors affecting the electrokinetic properties of cellulose fibers, Svensk Papperstidning, 78(5):167-171(1975).
 22. Jacquelin, G. and Bourlas, H., Measurement of the zeta potential of papermaking fibers: effects of preliminary treatments, Techniques et Recherches Papertieres, 3:49-58(1964).
 23. Cho, B.-U., Ryu, J.-Y., and Song, B.-K., Improvement of ink and heavy metal removal from old corrugated container stock by alkali kneading, J. Ind. Eng. Chem, 18:697-701 (2012).