

파일로트 리파이너를 이용한 활엽수 크라프트 펄프의 리파이닝 특성 평가

Evaluation for Refining Characteristics of Hw-BKP with Pilot Refiner

이상훈, 이학래, 윤혜정

서울대학교 산림과학부 환경재료전공

1. 서론

종이의 물리적 성질과 지합 향상 등 전반적인 종이의 품질을 향상시키는 방법에는 여러 가지가 있지만 그 중 리파이닝 공정은 가장 기본적이면서도 핵심적인 공정이라고 말할 수 있다. 하지만 리파이닝 과정 자체가 제지공정 중 가장 많은 전기를 필요로 하는 에너지 다소비 공정이라는 점에서 체계적인 관리와 기술이 없다면 종이의 품질 향상 뿐만 아니라 공정 운영의 효율성에도 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

기존의 국내 리파이닝 연구는 비터기를 사용하여 이루어졌기 때문에 리파이닝 에너지를 측정할 수 없었을 뿐 아니라 리파이닝 방식도 현장과 달라 그 결과를 현장의 결과와 비교하기 어려웠다.

본 연구에서는 현장의 리파이너를 모사한 싱글 디스크 타입의 파일로트 리파이너를 이용하여 국내에서 주로 사용되는 5가지 활엽수 크라프트 펄프의 특성을 알아보고 벨리 비터와 PFI mill로 리파이닝 한 결과와 비교하였다. 아울러 플레이트의 분석을 통하여 바 모서리 길이(CEL)를 산출하고 유효 에너지를 구하여 비모서리 부하(SEL)를 계산하였다. 또한 SEL에 따른 펄프의 리파이닝 효과를 알아보기 위해 리파이닝 동력과 플레이트의 디자인에 변화를 주어 리파이닝 효과를 분석하였으며, 플레이트의 간격조정에 따른 종이의 물성 변화를 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 재료

펄프는 H사에서 분양받은 표백 활엽수 마켓펄프 A, B, C, D, E, F를 사용하

였으며, 각 펄프의 특성은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of pulps

	Fiber length, mm	Coarseness, mg/m
A	0.93	0.147
B	0.71	0.093

2.2 리파이닝 설비

Fig. 1은 파일럿 리파이너의 장치 설명하는 것으로 Single-Disk 타입의 리파이너로서 회전바와 고정바로 이루어져 있다. 펄퍼를 통해 펄프가 해리되며 온라인 작동에 의해서 유량과 압력을 조절하며 리파이닝 플레이트의 회전 속도를 조절하였다.

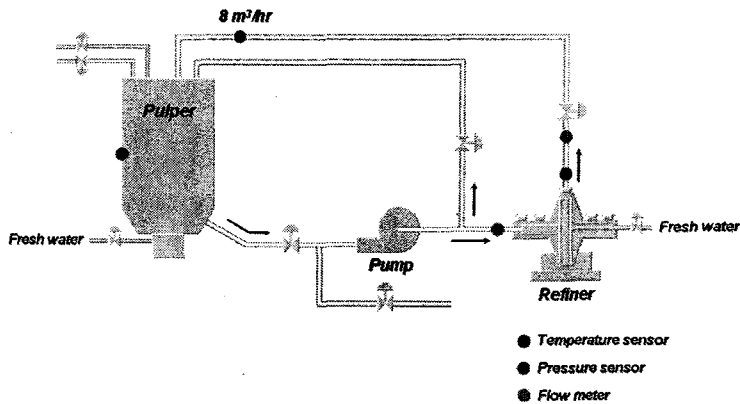


Fig. 1. A scheme of pilot refiner.

펄퍼에서 300 L, 3.0, 3.5%의 조건으로 15분간 해리시킨 후, 8 m³/hr의 유량으로 지료가 리파이너로 이송되어 처리되었다. 지료의 처리 방향은 모식도의 화살표 방향과 같고 유량 밸브와 압력 밸브를 조절하여 같은 유량으로 리파이닝 처리된 지료는 출구 라인, 처리되지 못한 지료는 리턴 라인으로 다시 펄퍼로 이동하도록 하였다.

2.3 실험 방법

2.3.1 파일로트 리파이너의 리파이닝 기작 탐색

파일로트 리파이너의 리파이닝 기작을 탐색하기 위해 바 폭을 2.4, 3.1, 5.0 mm로 달리하였으며 바의 각도는 회전바 15°, 고정바 10° 인 것을 사용하였다. 리파이닝 처리에 따른 특성변화를 평가하기 위해 해리만 된 지료를 비롯하여 80, 110, 140, 170, 200초의 처리시간 조건에서 각각 샘플을 채취하였다.

2.3.2 비모서리 부하(SEL)값에 따른 리파이닝 효과 분석

Brecht¹⁾은 비모서리 부하(SEL)가 리파이너의 효율을 평가할 수 있는 좋은 수단이라고 결론지었다. 즉 총에너지, 회전속도 및 바의 길이가 다르다 할지라도 SEL값을 일정하게 유지시킨다면 동일한 리파이닝 효과를 얻을 수 있다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 SEL값에 따른 리파이닝 처리 현상을 평가하였다. SEL은 같은 리파이닝 에너지 조건 하에 플레이트 바의 길이를 변화시켜 차이를 두었다.

2.3.3 플레이트 디자인에 따른 리파이닝 특성 변화

바의 폭이나 홈 그리고 바의 경사각에 따라서 같은 비모서리 부하(SEL)값으로 처리된 지료라 하더라도 종이의 물리적 성질은 달라질 수 있다. 흔히 바의 폭이 넓은 바를 'coarse bar'라고 하고 폭이 좁고 조밀한 바를 'Fine bar'라고 표현한다.

본 논문에서는 2.4 mm 바와 5.0 mm 바를 가지고 플레이트의 디자인에 따른 리파이닝 특성 변화를 알아보았다.

2.3.4 동력 조절을 통한 리파이닝 처리 효과

SEL값의 조절은 플레이트 조건 변화로 줄 수도 있지만 동력 조절을 통해 변화시킬 수도 있다. 본 연구에서는 플레이트의 회전속도는 일정하게 유지시키고 플레이트 종류에 따라 총에너지를 조절하여 바의 길이에 상관없이 SEL값을 일정하게 맞추어

리파이닝 처리 하였다. 총에너지는 플레이트 바의 gap으로 조절하여 총에너지에 따른 리파이닝 효과를 분석하였다.

2.3.5 플레이트 바의 간격 조절을 통한 리파이닝 처리 효과

같은 플레이트의 고정바와 회전바의 간격에 따라서 에너지 대비 섬유율의 리파이닝 처리 효과를 보기위해 각 2.4, 5.0 mm 플레이트의 간격 조절을 하였다. 2.4mm의 바는 간격을 좁혔고 5.0mm 바는 간격을 넓혀서 리파이닝 처리하였다. 그때의 에너지 소비량에 따른 리파이닝 효과를 보고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 비모서리 부하(SEL)값에 따른 리파이닝 효과 분석

상대적으로 리파이닝 효과가 적은 Hw-BKP A와 국내에서 생산되는 Hw-BKP B를 사용하여 SEL에 따른 리파이닝 효과를 평가하였다. SEL값은 플레이트의 디자인을 바꾸어 조절하였다. 플레이트의 바 폭이 2.4 mm 일 때 SEL은 0.52 J/m, 3.1 mm 일 때 0.79 J/m, 5.0 mm 일 때 1.94 J/m 이다. 각 플레이트의 바모서리 길이 및 바 모서리 부하 값은 Table 2.와 같다.

Table 2. Calculated Specific edge load

Plate	Angle (°)	CEL (m/rev)	SEL (J/m)
2.4/2.4/6.35 mm	10	1186.6	0.487
	15	1050.4	0.552
3.1/3.1/6.35 mm	10	789.5	0.734
	15	688.7	0.841
5.0/5.0/6.35 mm	10	307.7	1.883
	15	291.3	1.988

활엽수의 경우 SEL이 낮을수록 리파이닝 효과가 더 좋다고 알려져 있다.2)

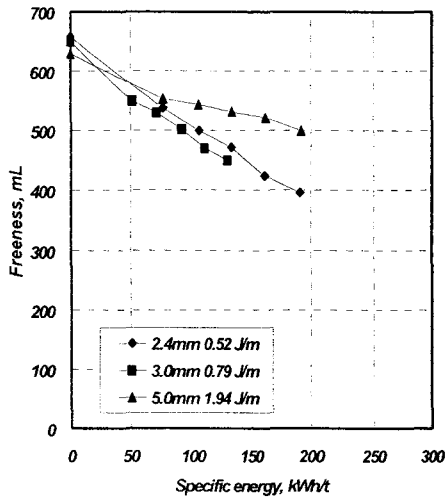


Fig. 2. Freeness vs. Specific energy (Hw-BKP A)

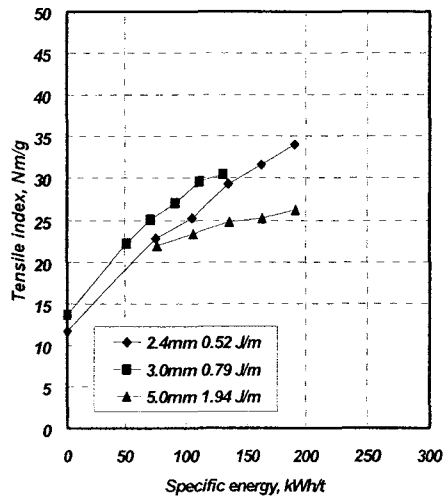


Fig. 3. Tensile index vs. Specific energy (Hw-BKP A)

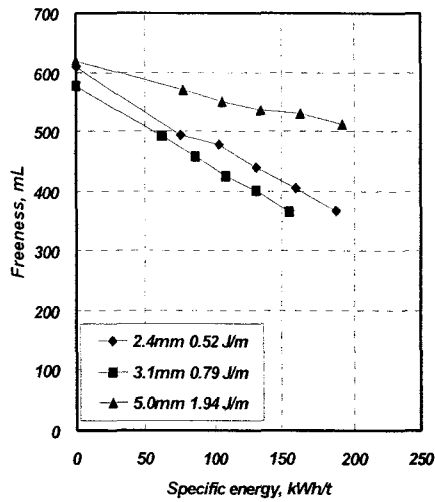


Fig. 4. Freeness vs. Specific energy (Hw-BKP C).

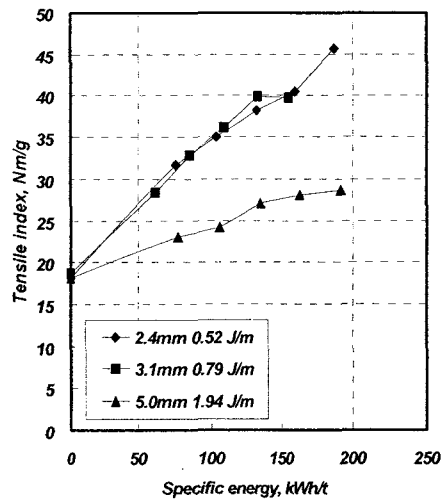


Fig. 5. Tensile index vs. Specific energy (Hw-BKP C).

Fig. 2,4 를 보면 SEL이 가장 높은 1.94 J/m 일 때 에너지 소비에 따른 여수

도의 하락 정도가 미비함을 알 수 있다. Fig. 3.5 에서처럼 강도 측면에서 봤을 경우에도 SEL이 높은 경우 강도 상승효과가 미비하였고 섬유유화도 상대적으로 적었다. 이것은 바의 홈(groove)이 5.0 mm의 경우 2.4, 3.0 mm의 플레이트에 비교해 홈의 공간이 넓어 섬유의 응집체가 와류와 역류에 의해서 쉽게 깨지거나 홈의 모서리 부분에 발생한 와류에 의해서 리파이닝 처리 되지 않고 한 곳에서 와류와 역류를 따라서 움직이는 것으로 보인다.

3.2 동력 조절을 통한 리파이닝 효과 분석

Hw-BKP A 펄프를 3.0 mm 플레이트, 0.79 J/m SEL 값으로 리파이닝 처리한 것을 기준으로 2.4, 5.0 mm의 플레이트로 리파이닝 시 동력 조절을 하여 동일한 SEL 값으로 맞추어 리파이닝 하고 그 결과를 비교하였다.

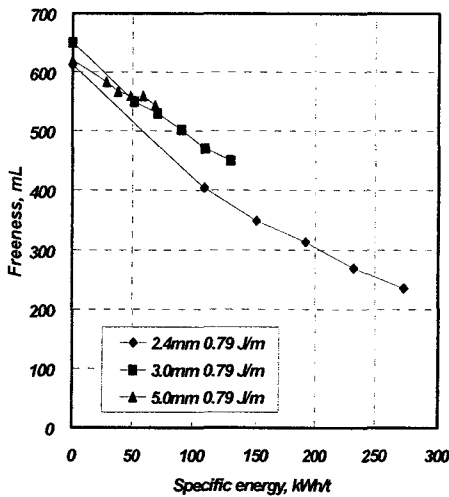


Fig. 6. Freeness vs. Specific energy (Hw-BKP A)

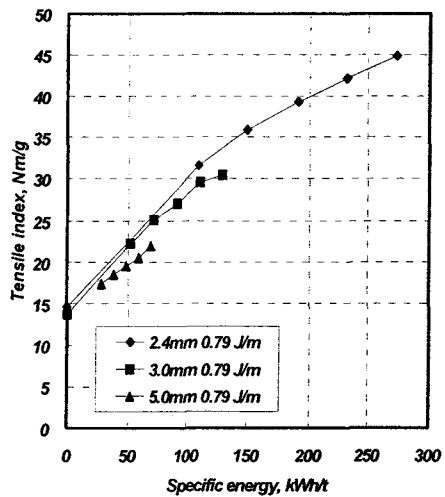


Fig. 7. Tensile index vs. Specific energy (Hw-BKP A)

리파이닝 시 고정바와 회전바의 간격에 따라서 소비되는 동력의 크기를 조절하게 되는데 2.4 mm 플레이트의 경우 0.79 J/m로 맞추기 위해 회전바와 고정바의 간격을 좁혀 동력을 올렸고 5.0 mm 플레이트는 간격을 벌려 동력을 낮추고 리파이닝 처

리 시간은 동일하게 하였다. 따라서 그래프에 나타낸 각각의 좌표 점은 동일한 시간상에서 에너지 값에 따른 결과이다. 동일 SEL에서 2.4 mm 플레이트의 경우 에너지 소비량에 따른 여수도의 변화가 상대적으로 약간 컸다(Fig. 6). 회전바와 고정바의 간격이 좁아지면서 섬유가 받는 전단 및 인장 응력이 커졌기 때문이다. 인장강도를 보면 에너지 소비량에 따른 강도 상승효과가 5.0 mm보다 좋았고 3.0 mm와는 비슷하거나 약간 낮은 수준이었다(Fig. 7).

3.3 플레이트의 바 간격에 따른 리파이닝 효과 분석

회전바와 고정바의 간격에 따라서 리파이닝 효과에 미치는 영향을 알아보았다. 2.4 mm로 리파이닝 시 SEL 값은 0.52 J/m 였고 간격을 좁혀서 나온 SEL 값은 0.79 J/m 였다. 반면 5.0 mm로 리파이닝 시 SEL 값은 1.94 J/m 였고 간격을 넓혀서 산출된 SEL 값은 0.79 J/m 였다.

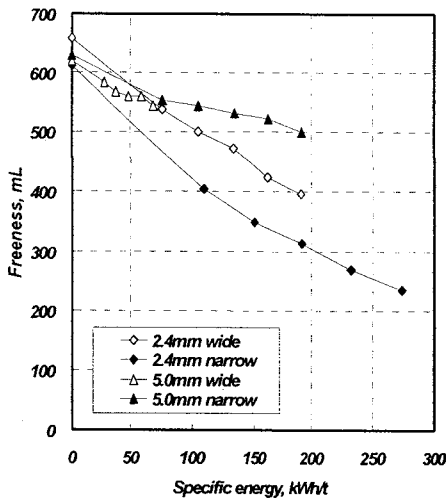


Fig. 8. Freeness vs. Specific energy (Hw-BKP A)

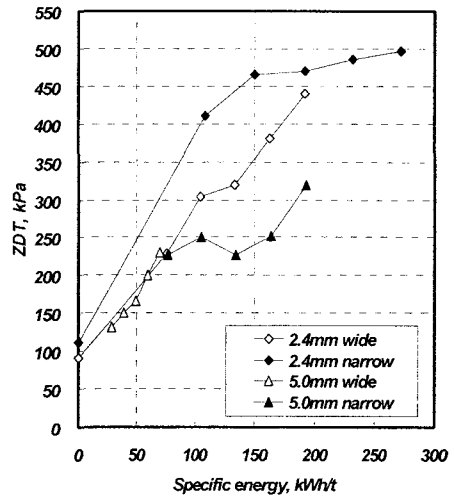


Fig. 9. ZDT vs. Specific energy (Hw-BKP A)

2.4 mm의 경 바의 간격을 좁혔을 때 에너지에 따른 여수도 변화가 컸고 인장

강도 또한 우수하였다. 내부 결합강도의 상승이 인장강도에 미치는 영향이 크다는 사실 3)을 전제로 볼 때 Fig. 11 에서 볼 수 있듯이 바의 간격이 좁았을 때 내부 피브릴화가 많이 발생하였고 내부 결합강도가 큰 폭으로 상승된 것으로 증명될 수 있다. 5.0 mm의 경우는 바의 간격을 넓혔고 전달 될 수 있는 응력의 크기가 작아져 에너지에 따른 여수도 변화의 차이가 없거나 약간 낮았으며(Fig. 8) 내부 결합강도의 변화가 없었고(Fig. 9) 결과적으로 인장강도의 상승도 볼 수 없었다. 이 결과로부터 고정바와 회전바의 간격을 넓힌 것과 관계없이 여수도와 강도의 변화가 없는 것으로 봤을 때 5.0 mm의 플레이트가 섬유장이 짧은 활엽수 펄프에는 wad 형성이 불리하고 에너지에 따른 리파이닝 효율이 떨어진다는 것을 확인하였다.

결과적으로 바의 간격이 좁아지면 섬유가 받는 전단, 인장 및 압축 응력이 커지면서 리파이닝 처리가 활발하게 이루어져서 에너지에 따른 인장강도 및 내부 결합강도의 상승효과가 있었다. 반면 바의 간격을 넓히게 되면 바의 홈 사이에서 섬유는 응집체를 형성하기 어렵고 결국 섬유에 가해지는 응력을 받기 힘들어 리파이닝 효과가 작았고 강도 상승의 효과도 미미하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 파일로트 리파이너의 또한 플레이트 디자인에 따라 변하는 SEL값에 의한 리파이닝 효과와 함께 동력 조절로 서로 다른 플레이트의 SEL값을 동일하게 유지시켰을 때의 리파이닝 결과를 비교하고 회전바와 모서리바의 간격조절이 에너지 소비량에 따른 리파이닝 효과에 미치는 영향을 알아보았다.

Hw-BKP A와 B를 가지고 SEL에 따른 리파이닝 효과를 비교하였는데 높은 SEL에서는 리파이닝 효과가 크지 않았고 낮은 SEL에서 피브릴 화와 섬유 절단과 같은 효과가 크게 나타났고 그 중에서도 이번 실험에서 SEL이 중간정도인 0.79 J/m 일 때 인장강도 및 내부 결합강도의 상승이 가장 뚜렷하였다.

침엽수에 비해 섬유장이 짧고 강직한 활엽수는 플레이트 바 홈이 넓은 경우 섬유의 응집체를 형성하기 어렵고 결과적으로 바 모서리에 걸리기 어렵게 되면서 리파이닝이 잘 이루어 지지 않았다. 마찬가지로 3.1 mm의 바 폭으로 리파이닝 했을 때 2.4 mm의 결과에 비해 강도 상승효과가 우수한 것을 봤을 때 지나치게 바 폭이 좁아도 섬유가 응집체를 형성하기 어려울 것으로 보인다.

다른 바 모서리 길이를 가진 플레이트를 동력 조절을 통해 SEL 값을 동일하게 조절하여 실험하였다. 같은 시간대에서 동력을 올려 리파이닝 했을 때 시간에 따른 여수도 변화나 강도 변화는 당연히 동력을 낮추었을 때보다 컸지만 같은 에너지 소비량에서 봤을 때 약간의 강도 상승폭 차이가 있었지만 큰 차이는 없어 SEL로 리파이닝 처리 정도를 나타내기에 무리가 없을 것으로 판단하였지만 SEL로 리파이닝 처리 정도를 표현하기에 앞서 섬유 특성에 맞는 적합한 플레이트 디자인을 선택해야 할 것으로 판단하였다.

같은 플레이트를 가지고 회전바와 고정바의 간격조절을 하여 리파이닝 처리 효과를 비교하였다. 간격이 좁아 질 때 에너지 소비량에 따른 여수도의 변화나 인장강도 또는 내부 결합강도의 상승이 두드러지게 나타났다. 반면 간격이 넓어지면 리파이닝 효과의 감소 현상을 볼 수 있었다.

플레이트의 디자인에 따라서 SEL의 변화, 동력을 이용하여 SEL을 동일하게 해주었을 경우, 그리고 회전바와 고정바의 간격조절에 의한 SEL의 변화를 통해 리파이닝 효과를 봤을 때 공통적으로 SEL이 0.79 J/m 일 때 인장강도 및 내부 결합강도의 상승이 가장 두드러졌다. 결과적으로 SEL과 리파이닝 효과와는 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 산업자원부의 지원에 의해 수행되었고 대전 한솔제지연구소의 장비를 지원 받았음.

인용문헌

- 1) Brecht, W., Siewert, W.H, "Zur theoretisch technishcen Beurteilung des Mahlprozesses moderner Mahlmashinen", Das Papier 20 (1966).
- 2) Croney, C., Ouellet, D., Kerekes, R.J., "Characterizing refining intensity from tensile strength development", 5th International Paper & Board Industry Conference Scientific & Technical Advances in Refining.
- 3) Xinshu, W. and Hannu, P., "Effects of various refining on dry sheet properties of commercial never-dried and dried kraft softwood pulps", PAPTAC 91st Annual Meeting (2005).