

고해처리와 미세분 함량에 따른 BKP의 탈수특성변화

성 용 주 · 이 학 래†

Effect of Beating Time and Fines Content on the Drainage Properties of BKP

Yong Joo Sung and Hak Lae Lee†

ABSTRACT

Drainage rate in wet-end, which has significant influences on the production capacity, product quality and process economics in papermaking, becomes an important factor in the modern high speed papermaking processes owing to increased level of fines contained in today's pulp materials and increased papermaking system closure.

A study was carried out to investigate the influence of beating and fines content on natural and vacuum dewatering using a vacuum drainage tester.

Increase in beating and accumulation of fines in the stock decreased natural dewatering. Vacuum dewatering effect, however, increased substantially as beating and fines content were increased. But this increase in vacuum dewatering decreased again when a stock is severely beaten or fines content is greater than 35%. Above this level of fines content, mobile fines migrates to the interstices of the forming web to cause sealing or plugging which restrict fluid movement through the web.

1. 서 론

일반적으로 1톤의 종이를 생산하기 위해 헤드박스로는 대략 100톤의 물이 공급되며 공급된 물은 탈수, 압착, 건조의 과정을 통하여 제거된다. 따라서 초지과정은 원료 펄프 슬러리로부터 물을 제거하는 과정이라고 할 수 있다. 초지공정을 구성하는 탈수, 압착 및 건조의 세 과정 중 탈수단계에서 전체 사용된 물의 약 95%가 제거되며 압착 및 건조과정에서 각각 4%와 1%의 물이 추가로 제거된다. 일반적으로 탈수공정에서 1톤의 물을

제거하는데 소요되는 비용을 1로 했을 때 압착과정에서는 이의 약 5배, 건조과정에서는 약 220배로 소요 비용은 급격하게 증가된다. 이러한 사실은 가능한한 초지공정의 앞 단계에서 많은 양의 물을 제거할수록 전체 공정의 경제성이 향상됨을 극명하게 보여주고 있다.

장망식 초지기의 와이어 파트에서 발생하는 탈수는 크게 지층 형성부(forming zone)에서 나타나는 자연탈수와 진공 탈수부(vacuum zone)에서의 진공탈수로 나눌 수 있다.¹⁾ 지층 형성부에서의 탈수란 일반적으로 브레스트 롤에서부터 진공박스 사이에서 발생하는 탈수를 말하며, 이 부분

• 서울대학교 임산공학과 (Department of Forest Products, Seoul National University, Suwon, 441-744, Korea).

† 주 저자 (corresponding author): e-mail: lhakl@plaza.snu.ac.kr

에서는 헤드박스에 의한 사출력과 중력, 테이블 롤과 포일에 의해 발생하는 압력-진공 펄스에 의해 탈수가 진행된다.²⁾ 지층 형성부에서의 탈수에 의해 지필이 형성되어 지필의 표층으로부터 지필 내부로 공기가 유입되기 시작하는 순간, 즉 '수절선(dry line)'이 발생하는 순간부터는 자연탈수가 잘 일어나지 않으므로,³⁾ 습지에 진공을 가해 탈수를 가속화시키게 된다. 수절선 이후에 행해지는 진공탈수 시에는 자연탈수와는 달리 지필을 구성하는 섬유 사이로 공기가 유입되면서 탈수가 일어난다. 즉, 지층 형성부에서는 지필이 형성됨과 동시에 물이 제거되지만 진공탈수부에서는 물이 공기와 함께 형성된 지필을 통하여 제거된다.

생산되는 제품의 지층과 평량에 따라 다르지만 대개의 경우 수절점에서의 지필의 농도는 7% 정도이다. 이러한 지필이 진공박스로 도입되면 초기에는 5~7.5 cm Hg 정도의 약한 진공을 가해 탈수를 일으키지만 점차로 진공도를 높여 마지막 플랫박스(flat box)에서는 25~30.5 cm Hg, 쿠치롤에서는 40~63.5 cm Hg로 진공도를 상승시켜 탈수하는 것이 일반적이다.⁴⁾ 이렇게 점차적으로 진공도를 높여가는 이유는 탈수과정을 최적화하고 와이어의 구동부하를 감소시켜 동력비를 절감시키고, 또 와이어의 마모도를 감소시키기 위한 것이다.⁵⁾ 이러한 진공탈수가 완료되면 지필건조도는 18~25% 정도에 이르게 된다.

쿠치에서의 지필 건조도는 압착공정에 상당히 큰 영향을 미치게 된다. 예를 들어 건조도가 낮은 지필이 프레스 파트로 들어갈 경우에는 지필 내 섬유간 결합력이 낮아 crushing이 발생하는 등 공정상의 문제가 발생할 수 있다. 이와 반대로 지필의 건조도가 높은 경우에는 습지의 강도증가로 인한 지절감소에 의해 조업성이 향상되고, 프레스의 압력을 높일 수 있어 압착탈수를 증가시킬 수 있으며, 결과적으로 드라이어의 건조부하를 감소시켜 에너지 절감효과와 초지속도 증가에 따른 생산성 향상효과를 얻을 수 있다.

이렇듯 중요한 의미를 지닌 탈수현상에 대한 연구는 가능한한 초지공정과 유사하게 탈수기작을 시뮬레이션 할 수 있는 다양한 장치의 개발 및 적용을 통하여 탈수에 영향을 여러 가지 인자를 체계적으로 구명하기 위한 연구와,⁶⁻¹⁶⁾ 탈수기작을 설명할 수 있는 수학적 모델을 구축하고 이를 통하여 실제 초지공정에서의 탈수현상을 예측함으로써 공정의 안정성 및 효율성을 높이기 위한 연

구¹⁷⁻²⁰⁾로 크게 나눌 수 있으며, 이러한 두 가지 방향으로 수 많은 연구가 행해진 바 있다.

하지만 근래에 들어 미세분 함량이 높고 섬유장이 짧은 활엽수 펄프와 재생섬유의 사용 증가 등으로 인하여 탈수 조건이 더욱 나빠짐에도 불구하고 초지속도의 고속화가 일반화되고 있기 때문에 습부에서의 탈수를 증가시키기 위한 방안의 모색이 더욱 중요해지고 있다.

본 논문에서는 고해도와 미세분 함량변화가 자연탈수에 미치는 영향을 분석하고, 자체 제작한 VDT(vacuum drainage tester)를 사용하여 이들 인자가 진공탈수에 어떻게 영향을 미치는지 구명하고자 하였다. 특히 실제 초지공정 폐쇄화와 펄프 원료의 변화로 인해 계 내의 미세분 함량이 증가되고 있으나 고 미세분 함량 지료의 진공탈수성에 대한 연구는 거의 이루어지지 않은 실정임으로 이러한 지료의 진공탈수성과 그 기작을 구명코자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

활엽수 표백크라프트펄프를 실험실용 Valley beater를 사용하여 TAPPI Standard T 200 om-85에 따라 10, 20, 30, 40분 고해하였다. 이들 지료의 여수도는 각각 607 mL, 450 mL, 264 mL, 145 mL CSF였으며, 미세섬유 함량은 각각 19.75%, 23.78%, 30.38%, 34.62%였다. 이와는 별도로 동일한 펄프를 가지고 CSF 여수도가 375 mL가 되도록 고해하여 이것을 지료-A라 명명하고, 또 270 mL CSF가 되게 고해하여 지료-B라고 명명하였다. 이때 지료-A의 미세분 함량은 25.28%였고, 지료-B의 미세분 함량은 28.12%였다. 또한 고해된 펄프를 200 mesh 스크린을 사용하여 미세섬유를 제거시키고 남은 장섬유분 펄프를 준비하였다.

2.2 방법

준비된 지료의 보수도(WRV : water retention value)를 TAPPI Standard UM 256에 의거하여 측정하였다.

자연탈수성은 농도 0.471%인 지료 200g을 DDJ에 넣고 15초간 800 rpm으로 교반한 다음 탈수시키기 시작한 순간부터 DDJ의 스크린 위에 형성된 습지상에 수절점이 관찰될 때까지의 시간으로 결정하였다. 이때 DDJ 스크린으로는 100메쉬 와이어를 사용하였다. 탈수성을 평가하기 위한 지필의 표준 평량은 예비실험을 통하여 120 g/m²으로 결정하였다.

진공탈수도는 본 연구를 위하여 제작한 진공탈수도 측정기(VDT: Vacuum Drainage Tester)를 사용하여 측정하였다. 진공탈수는 자연탈수에 의한 수절점이 관찰되었을 때 DDJ 하부에 설치된 삼방향 밸브를 사용하여 자연탈수를 중단시킨 후 행하였다. 진공탈수 시에는 먼저 진공펌프를 사용하여 약 3L의 진공박스에 20, 30, 40, 50 cmHg의 진공을 걸고, 진공박스와 DDJ 사이에 설치된 solenoid valve를 1초간 열어 각 진공도에서 1초 동안 진공탈수되도록 하였으며, 탈수된 물을 진공탈수병에 포집하였다. 또 각 진공탈수 단계마다 발생하는 진공도 저하도 함께 측정하였다. 총 4초간의 진공탈수가 끝난 직후 스크린 위에 형성된 습지필의 무게와 진건무게를 측정하여 진공탈수 후의 습지 건조도를 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 자연탈수특성 변화

고해시간 변화에 따른 지료의 자연탈수성을 평가하기 위하여 DDJ를 사용하여 자연탈수시간을 측정하고 그 결과를 Fig. 1에 도시하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 지료의 고해시간이 증가할수록 수절점까지의 탈수시간이 증가하였다. 이것은 고해가 진행됨에 따라 미세섬유의 함량이 증가할 뿐 아니라 피브릴화에 의해 섬유 표면적이 증가하여 탈수저항성이 증가한 때문이다.²¹⁾ 또 Fig. 1에서 보는 것과 같이 고해시간 증가에 따른 장섬유분의 탈수시간 증가가 미세분을 포함한 펄프의 탈수시간 증가에 비해 크게 낮았다는 사실은 장섬유의 피브릴화보다 미세섬유의 함량이 탈수속도 저하에 특히 중요한 역할을 한다는 사실을 보여주고 있다.

미세분이 탈수성 저하에 미치는 영향을 더욱 자세히 알아보기 위해서 지료-B의 장섬유분 지료에

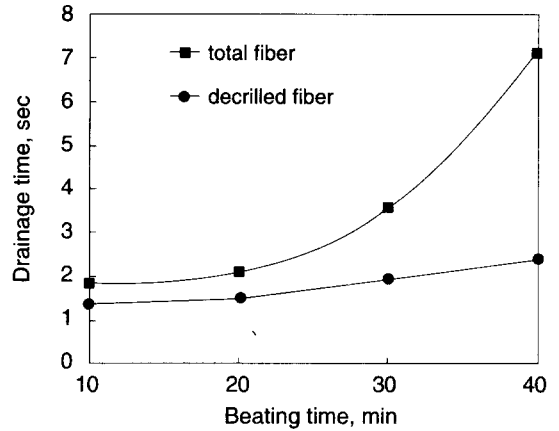


Fig. 1. Effect of beating time on drainage time.

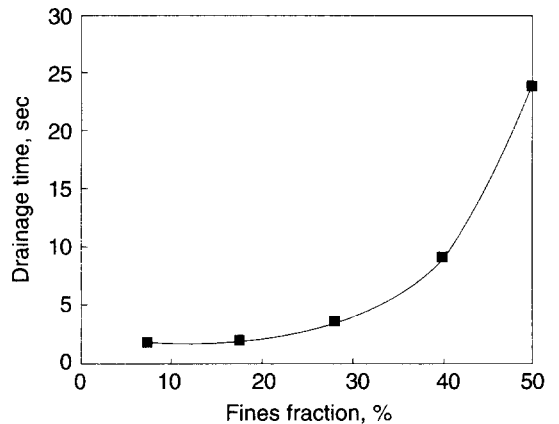


Fig. 2. Effect of fines fraction on drainage time.

지료-B로부터 분리시킨 미세분을 가하여 미세분 함량을 변화시킨 지료의 탈수시간을 측정하고 그 결과를 Fig. 2에 도시하였다. 여기에서 보는 바와 같이 미세분 함량이 증가함에 따라 탈수시간이 증가하였다. 특히 미세분 함량이 30% 이상으로 높아지면 탈수시간이 급격히 증가하였다. 이는 미세분 함량이 높은 펄프를 활용할 경우, 혹은 미세분의 보류도가 낮은 초지공정에서 공정폐쇄화를 시도할 경우 탈수성 악화에 따른 문제가 심각하게 대두될 수 있음을 보여주고 있다.²²⁾

3.2 고해시간에 따른 진공탈수특성 변화

진공탈수 후의 습지 건조도를 고해시간 변화에 따라서 측정하고 이를 Fig. 3에 나타내었다. 여기에서 보는 바와 같이 고해시간이 40분인 경우를 제외하고는 고해시간이 증가할수록 진공탈수 후 지필의 건조도는 직선적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 이것은 고해가 진행됨에 따라 미세섬유의 함량이 증가하고 섬유의 내부 피브릴화로 인해 섬유 자체의 팽윤성과 유연성이 증가되어 더욱 균일하고 치밀한 구조의 습지가 형성되었기 때문이다.²³⁾ 고해시간 증가에 따른 섬유의 팽윤성 및 유

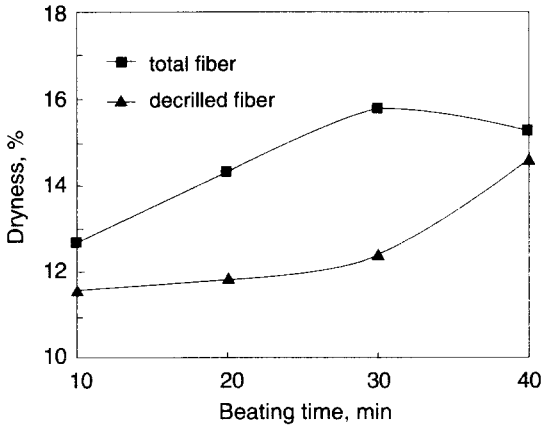


Fig. 3. Effect of beating time on dryness after vacuum dewatering.

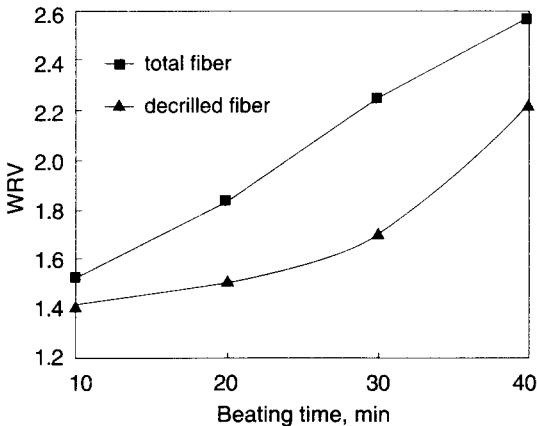


Fig. 4. WRV as a function of beating time.

연성 증가는 섬유의 보수도 측정 결과를 통해 확인할 수 있었다 (Fig. 4).²⁴⁾

또 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 고해시간이 증가함에 따라 진공탈수병에 포집된 누적탈수량이 감소하였다. 이러한 누적탈수량의 감소는 수절점에서의 습지농도 증가를 의미한다. 따라서 고해로 섬유의 유연성이 증가되면 수절점에서의 습지는 더욱 치밀한 상태로 존재한다고 말할 수 있다. 이러한 결과는 고해에 따라서 자연탈수성은 저하되지만 진공탈수 특성은 크게 개선된다는 것을 보여 주는 것이다.

진공탈수 시 발생하는 진공도 저하는 지필을 통과하여 흡인된 공기의 양이 적을수록, 즉 형성된 지필이 치밀하여 투과성이 낮을수록 적게 나타난다. 진공도 20 cm Hg에서 탈수시킬 경우에는 지필이 형성된 스크린과 솔레노이드 밸브 사이에 존재하는 잔류수 때문에 진공도 저하가 2 cm Hg로 거의 일정하게 유지되었다. (Fig. 6) 또한 이 잔류수는 1단계의 진공탈수 후에도 일부가 그대로 남아있어 진공도 30 cm Hg인 2단계 진공탈수의 진공도 저하 값에도 영향을 미쳤다. 따라서 Fig. 6의 초기 1, 2단계의 진공도 저하는 지필의 변화가 정확히 반영된 측정치라고 보기는 어렵다. 하지만 잔류수가 완전히 제거된 이후의 진공도 저하 값은 지필 특성에 따라 크게 변화되었다. 즉 고해된 펄프로 형성된 습지는 진공탈수 단계를 거치면서 더욱 치밀한 상태로 변화되어 Fig. 6에서 나타난 것과 같이 진공도 40, 50 cm Hg에서의 진공도 저하를 크게 감소시켰다.

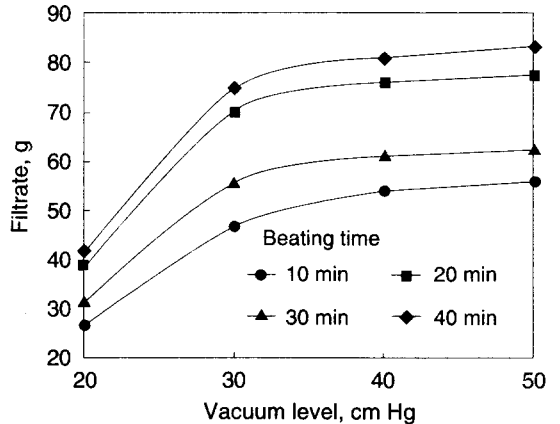


Fig. 5. Effect of beating time on the amount of filtrate for total stock.

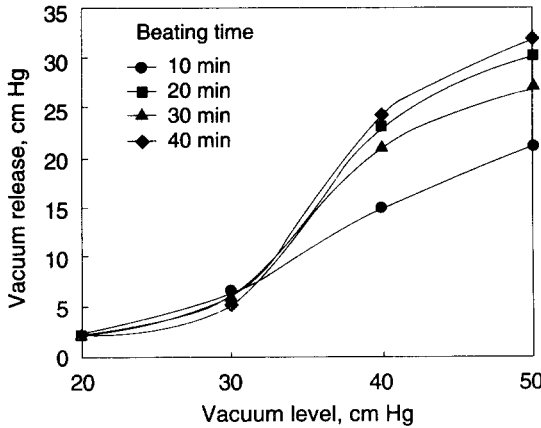


Fig. 6. Effect of beating time on vacuum release for total stock.

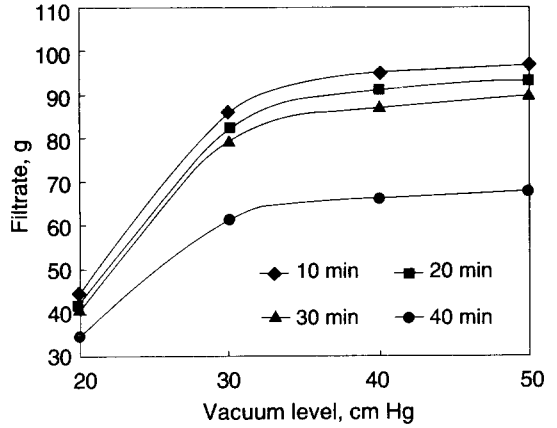


Fig. 7. Effect of beating time on the amount of filtrate for decrilled pulp.

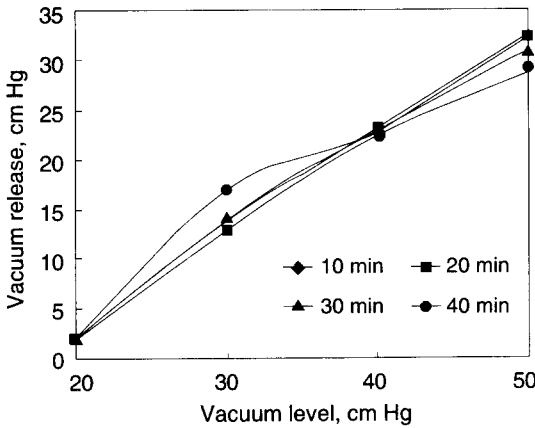


Fig. 8. Effect of beating time on vacuum release for decrilled pulp.

이러한 경향은 미세분을 제거한 지료에도 동일하게 나타났다. 미세분을 제거한 지료는 미세분을 포함한 지료보다도 수절점에서의 습지 농도가 더 낮아 진공 탈수량이 미세분을 함유한 지료에 비해 높았다 (Fig. 7). 특히 이러한 경향은 고해시간이 증가함에 따라 크게 나타났다. 이것은 미세분이 차지하는 부분을 장섬유가 차지함으로써 상대적으로 더욱 bulky 한 지필이 형성된 때문이라고 생각된다. 하지만 40분 고해한 지료의 경우에는 미세분 유무에 따른 탈수량 차이가 감소하였다. 이는 고도로 고해된 지료의 경우 섬유의 유연성이 극히 높아진 때문으로 생각된다.

또한 미세분을 제거한 지료의 경우 Fig. 8에서

볼 수 있듯이 고해시간 변화에 따른 진공도 저하가 미세분이 포함된 지료보다 더 크게 나타났다. 특히 미세분 유무에 따른 진공도 저하의 차이는 고해시간 증가에 따라 점점 증가하였다. 즉, 40분간 고해한 지료를 진공도 50 cm Hg에서 탈수시킨 경우 미세분이 없는 경우에는 진공도 저하가 약 27 cm Hg이었는데 반하여 미세분이 존재하는 경우에는 22 cm Hg로 그 차이가 가장 크게 발생하였다. 이러한 차이는 미세분 함유 지료와 미함유 지료의 건조도 차이에도 영향을 주어 고해시간 30분까지 두 지료의 건조도 차는 점점 증가하였다 (Fig. 3). 그러나 고해시간이 40분으로 증가하면 Fig. 3에서 보는 바와 같이 미세분을 제거한 지료의 건조도는 크게 증가한 반면 미세분을 함유한 지료의 건조도는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

3.3 미세분 함량에 따른 진공탈수특성 변화

전술한 바와 같이 지료의 미세분 함량은 진공탈수도에 큰 영향을 미쳤다. Fig. 9는 지료-B의 미세분 함량 변화가 진공탈수량에 미치는 영향을 도시한 것이다. 여기에서 보는 바와 같이 미세분 함량이 증가함에 따라 전체 진공탈수량은 감소하였다. 이는 미세분의 함량이 증가할수록 자연탈수 후 지필의 밀도가 높아진 때문으로 생각된다.¹²⁾

미세분 함량이 높은 지료는 고해시간을 증가시킨 경우와 마찬가지로 진공탈수 시 진공도 저하를

더욱 감소시키는 결과를 초래하였다 (Fig. 10).

진공탈수 후 습지의 건조도는 Fig. 11에서 보는 바와 같이 미세분 함량이 증가함에 따라 증가하다가 다시 감소하였다. 미세분 함량 증가에 의한 진공탈수 후 지필의 건조도 증가는 앞에서 언급한 바와 같이 더욱 치밀한 구조의 습지가 형성됨에 따라 진공 탈수성이 상승한 때문으로 해석된다.

미세분 함량이 높을 경우 발생하는 습지 건조도 감소 원인으로 Britt⁸⁾는 미세분 자체의 뛰어난 팽윤성과 보수능력으로 인한 섬유 내 결합수 양의 증가가 습지구조의 치밀화로 인한 건조도 향상 효과를 상쇄시키기 때문이라고 보고한 바 있다. 하지만 이와 같은 해석은 본 연구결과에서는 합리적

인 것이 아님을 알 수 있었다.

Fig. 12에서 볼 수 있듯이 본 실험에 사용된 미세분 함량 50%인 지료의 보수도는 3.08이었다. 따라서 본 탈수시험에 사용된 전건무게 0.942 g인 펄프섬유의 경우 보수된 물의 무게는 2.90g 이 된다. 또 미세분 함량이 28.12%인 시료의 보수도는 2.26이므로 지료에 의해 보수된 물의 무게는 2.13g이 된다. 즉 이들 두 시료의 보수도 차이는 0.77 g이 된다. 미세분 함량 28.12%인 습지의 건조도는 15.77%이었므로 이 때의 수분량은 5.973 g 이 된다. 여기에서 보수도에 의한 증가되는 물의 양 0.77 g을 더하여 농도를 계산하면 13.97%가 얻어진다. 즉, 보수도 증가에 의한

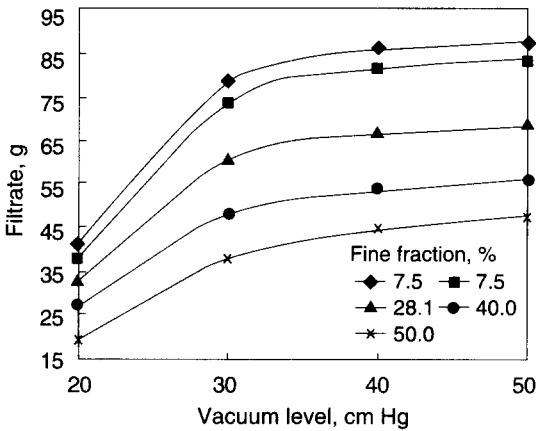


Fig. 9. Effect of fines fraction on the amount of filtrate.

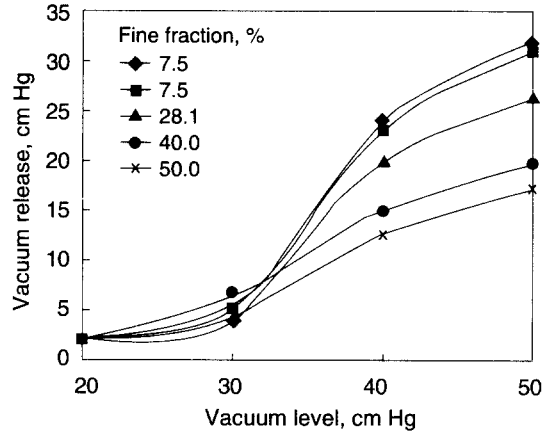


Fig. 10. Effect of fines fraction on vacuum release.

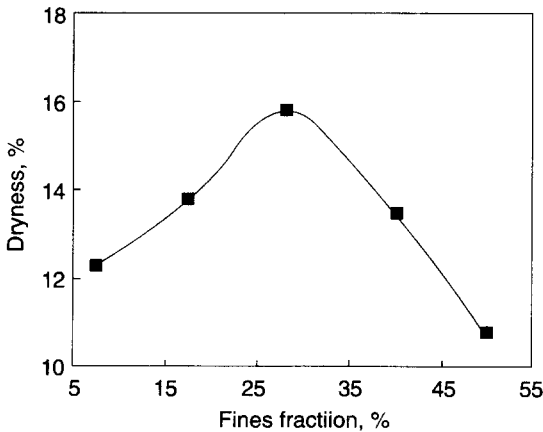


Fig. 11. Effect of fines fraction on dryness after vacuum dewatering.

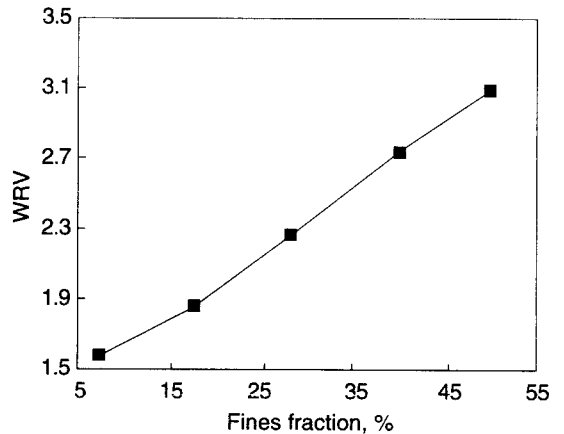


Fig. 12. WRV change with fines fraction.

습지의 건조도 감소는 1.80%에 불과하다. 그러나 미세분 함량 50%에서의 건조도는 10.71%로 실제 습지의 건조도 감소는 5.06%나 되므로, 미세분 보수도의 향상에 의한 습지의 건조도 감소로는 이러한 고미세분 함량에서의 건조도 감소를 모두 설명하기에 부족하다고 할 수 있다.

따라서 미세분 함량이 일정 수준 이상인 경우에는 미세분이 의한 섬유 사이에 형성되는 모세관의 직경을 극도로 감소시킴으로써 진공 탈수성을 저하시켜 진공탈수 후 습지의 건조도를 감소시키는 것으로 판단된다.

3.4 평량에 따른 진공탈수특성 변화

평량변화가 진공탈수성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 농도가 다른 지료-B 200g을 DDJ에서 수절점까지 자연탈수시키고 20, 30, 40, 50 cm Hg의 진공도에서 각각 1초씩 총 4초간 진공탈수 하였다. 그 결과 Fig. 13에서 보는 바와 같이 평량이 높을수록 진공탈수 후 지필의 건조도가 증가하였다. 이것은 평량이 증가함에 따라 습지필을 통해 흡인되는 공기에 의해 발생하는 진공도 저하가 감소하여 효과적인 진공 탈수가 일어났기 때문이라고 판단된다 (Fig. 14).

자연탈수 직후 DDJ상에 형성된 습지에 20 cm Hg의 진공을 1초간 가했을 경우 발생한 진공도 저하는 Fig. 14에서 보는 바와 같이 2 cm Hg로 일정하였음에도 불구하고 Fig. 15에서 보듯이 저

평량에서의 탈수량이 높게 나타났다. 이는 습지의 투과성이 높을수록 잔류수의 제거가 저진공하에서도 쉽게 발생함을 보여주는 것이다. 또 Fig. 15에서 보는 것과 같이 누적탈수량은 평량이 높아질수록 급격히 증가하였다. 이는 평량 뿐 아니라 진공 탈수 단계에서의 진공도 저하와 관계 있는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 평량이 높아질수록 습지의 공기 투과성이 감소하여 진공도 저하가 감소함으로써 습지 양면의 차압이 증가한 것도 탈수량 증가에 영향을 준 것으로 판단된다.

3.5 자연탈수시간에 따른 진공탈수특성 변화

주·부원료 혹은 조성공정의 변화로 인하여 지료 특성이 변화되면 와이어 상에서의 자연탈수속도가 변화되고, 이러한 자연탈수속도의 변화는 수절점의 발생위치를 변화시키게 된다. 이처럼 지료의 변화가 발생하는 동안 초지기의 조업조건이 일정하게 유지된다면 진공탈수가 시작되는 순간의 습지필 농도는 계속적으로 변화될 것이다. 진공탈수가 시작되는 순간의 습지농도의 변화가 진공탈수 후 지필의 건조도에 미치는 영향을 알아보고자 다음과 같은 실험을 하였다.

먼저 자연탈수에 의한 수절점 도달 시간이 6초인 농도 0.471%인 지료-A를 VDT에서 800 rpm으로 15초간 교반한 후 4초, 5초, 6초, 7초간 자연탈수 시킨 다음, 표준 진공탈수 평가방법

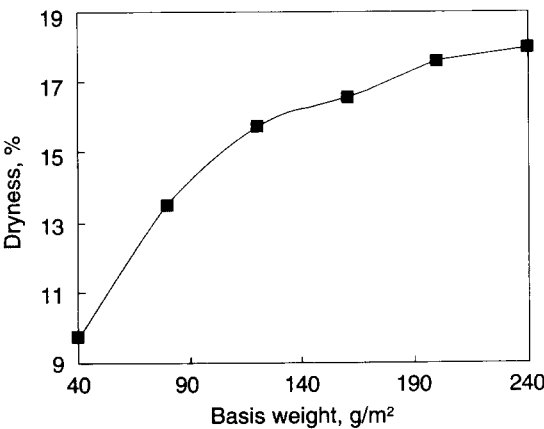


Fig. 13. Effect of basis weight on dryness after vacuum dewatering.

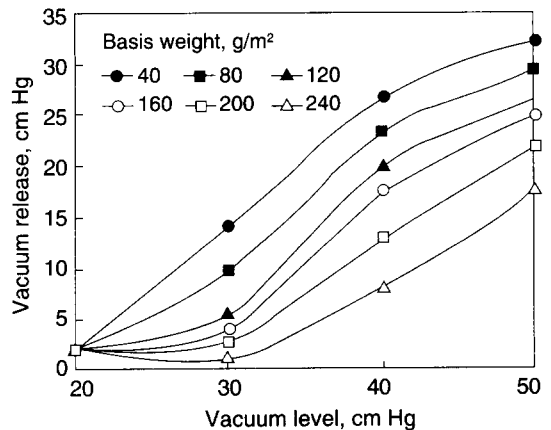


Fig. 14. Effect of basis weight on vacuum release.

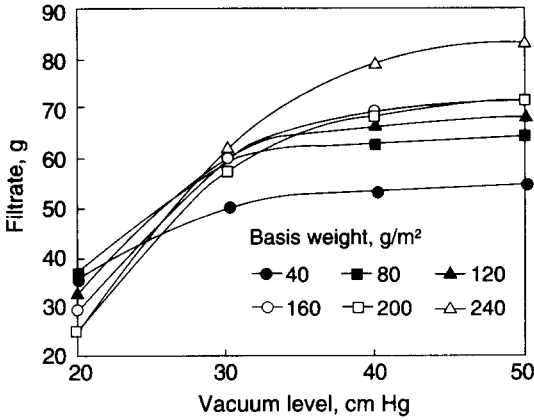


Fig. 15. Effect of basis weight on the amount of filtrate.

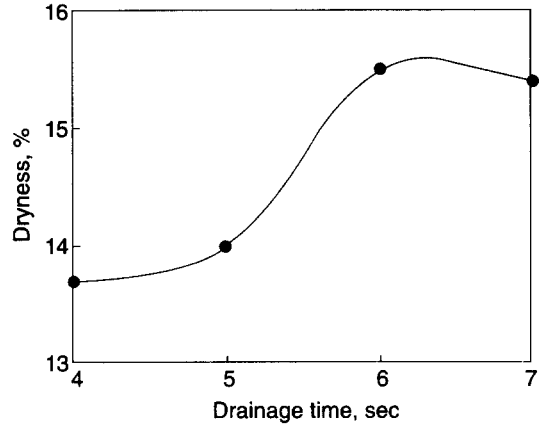


Fig. 16. The change of dryness after vacuum dewatering by drainage time.

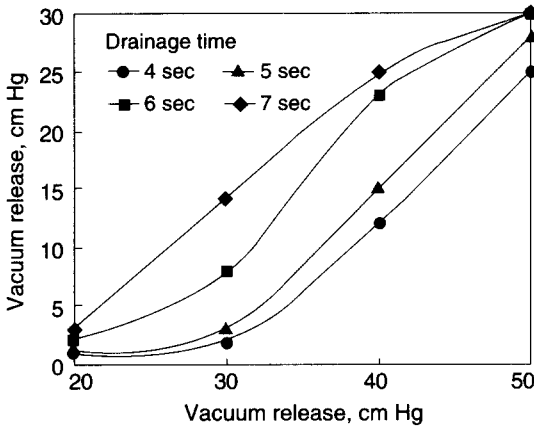


Fig. 17. Effect of drainage time on vacuum release.

으로 진공탈수하여 건조도 변화를 측정하였다.

그 결과 Fig. 16에서 볼 수 있듯이 진공탈수 개시 직전 습지의 농도가 수절점보다 낮거나 높은 경우 즉, 4초 또는 5초간 자연탈수시킨 다음 진공탈수를 시작한 경우와 수절점 발생 1초 후 즉, 7초간 자연탈수시킨 다음 진공탈수를 시작한 경우의 진공탈수 후 건조도가 수절점에서 진공탈수를 시작한 경우보다 낮게 나타났다. 즉 진공탈수는 수절점 도달과 동시에 실시하는 것이 가장 효과적이었다. 이러한 결과가 나타난 원인으로서는 다음과 같은 점을 생각할 수 있다.

수절점 도달 전에 진공탈수를 시작하는 경우에는 섬유가 와이어쪽으로 이동하면서 Parker²⁾가

제안한 농축모드와 같이 와이어 쪽 습지의 밀도가 더욱 치밀해지는 상태로 진공탈수가 진행된다고 생각된다. 하지만 미세분이 함유된 지료의 경우에는 Parker가 제안한 단순한 농축모드와 달리 물과 함께 미세분들이 와이어 쪽으로 이동하여 이곳에 집중됨에 따라 와이어 쪽의 공극이 폐쇄됨으로써 탈수효과를 저하시키는 것으로 생각된다. 자연탈수를 수절점 형성 후까지 지속시킨 경우 진공탈수 후 건조도가 다소 감소한 것은 Fig. 17에서 볼 수 있듯이 이미 습지 내에 공극이 형성되어 진공탈수 시 진공도 저하가 크게 발생하였기 때문으로 생각된다.

4. 결론

지료특성 변화가 자연탈수와 진공탈수성에 미치는 영향을 알아보기 위해 활엽수 BKP를 사용하여 실험한 결과 고해시간이 증가할수록 자연탈수 속도는 감소하지만 섬유의 유연성 및 팽윤성 증가로 인해 치밀한 구조의 습지가 형성되어 진공탈수 후 습지의 건조도가 증가하였다. 하지만 고해도가 과도하게 높아질 경우 미세분이 섬유 사이의 공극을 극도로 미세화시키기 때문에 진공탈수성은 다시 감소하는 것으로 나타났다.

인용문헌

1. Britt, K. W., Tappi 63(5):105(1980).
2. Parker, J. D., The basic forming process, in "The Sheet-Forming Process", TAPPI Press, Atlanta, pp. 1-61(1990).
3. Hansen, V. E., 1985 Wet End Operations Seminar, TAPPI Press, Atlanta, p. 135.
4. Manson, D. W., Fourdrinier Papermaking, in "Pulp and Paper Manufacture", Vol. 7., Ed. Thorp, B.A., The Joint Textbook Committee of the Paper Industry, pp. 192-215 (1991).
5. Eames, J. D., 1985 Wet End Operation Seminar, TAPPI Press, Atlanta, p. 196.
6. Wegner, T. H., Tringer, A. M., and Chandrasekaran, S., Tappi J., 67(4):124(1984).
7. Scalfarotto, R. E., and Tarvin, R. F., Tappi J., 67(4):80(1984).
8. Bitt, K. W., Tappi 63(4):67(1980).
9. Korgerus, B., 1994 Papermakers Conference Proceedings, TAPPI Press, Atlanta, p. 445.
10. Gess, J. M., 1989 Retention and Drainage, TAPPI Press, Atlanta, p. 49.
11. Kary, R., Karrila, S., and Paulapuro, H., 1994 Papermakers Conference Proceedings, TAPPI Press, Atlanta, p. 463.
12. Britt, K. W., and Unbehend, J. E., Tappi J., 68(4):104(1985).
13. Britt, K. W., Unbehend, J. E., and Shridharan, R., Tappi J., 69(4):76(1986).
14. Abson, D., Bailey, R. M., Lenderman, C. D., Nelson, J. A., and Simons, P. B., Tappi 63(6):55(1980).
15. Klungness, J. H., and Exner, M. P., Tappi 63(6):73(1980).
16. Tarvin, R. F., and Westwood, R. L., 1982 Papermakers Conference Proceedings, TAPPI press, Atlanta, p. 243.
17. Ardnevik, T. A., and Helle, T., Some effects of fiber form on the pulp drainage resistance, in "Fiber-Water Interactions in papermaking", Vol.1., Ed. The Fundamental Research Committee, The British Paper and Board Industry Federation, pp. 315-353 (1978).
18. Pires, E. C., Springer, A. M., and Kumar, V., Tappi J., 72(7):149(1989).
19. Kerekes, R. J., and McDonald, J. D., Tappi J., 74(12):150(1991).
20. Clos, R. J., Edwards, L. L., and Gunawan, I., Tappi J., 77(6):179(1994).
21. Ingmanson, W. L., and Andrews, B. D., Tappi 42(1):29(1959).
22. Britt, K. W., Unbehend, J. E., and Holman, J. C., Tappi 65(11):64(1982).
23. Clark, J. d' A., Drainage of water from pulp, in "Pulp Technology and Treatment for Paper" second edition, Miller Freeman Publications, Inc., pp. 578-618 (1985).
24. Moore, G. K., 1988 Papermakers Conference Proceedings, TAPPI Press, Atlanta, p. 141.