

고지재생연구(제12보)

- 부상부유 처리의 미세분 분급 선택성과 효율 상생을 위한 처리조건 -

여 성 국 · 류 정 용 · 신 종 호 · 송 봉 근 · 서 영 범*

(2000년 11월 30일 접수, 2001년 2월 5일 채택)

Recycling of Wastepaper (12)

- Froth-Flotation Conditions for Enhancement of Fines Fractionation Selectivity and Efficiency -

Sung-Kook Yeo, Jeong-Yong Ryu, Jong-Ho Shin, Bong-Keun Song, and Yung-B. Seo*

(Received November 30, 2000; Accepted February 5, 2001)

ABSTRACT

Hydraulic transport of fines up to the surface of flotation cell was supposed to be a mechanism of fines fractionation through the froth-flotation. Efficient fractionation of fines means efficient skimming out of flotation rejects as much as possible with least long fiber loss. The selectivity of fines fractionation was found to be mainly affected by long fibers flocculation degree in this study. Lack of sufficient flocculation of long fibers could lead to extensive loss of long fibers. It was also found that higher flotation flux caused higher flotation reject as well as the increase of long fiber loss, but did not affect the fine content ratio in the flotation reject. We controlled the flotation flux and the stock consistency, and chose a cationic polymer to maximize the flocculation of long fibers and to increase the amount of flotation reject. The highest efficiency of fines fractionation was obtained at 1.3% of stock consistency and at 100 L/min of flotation flux in our experimental set up. The cationic polymer we chose was found to be very effective in fiber flocculation and flotation froth stabilization. New definitions of fractionation efficiency were introduced in this study to compare the results more clearly.

Keywords: *Froth-flotation, Fractionation, Selectivity, Efficiency, Fiber-flocculation, Froth-stabilization, Flotation-flux, Consistency*

• 한국화학연구원 펄프제지연구센터(Pulp and Paper Research Center (PPRC), Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT), P. O. Box 107, Yusung, Taejeon 305-606, Korea).

* 충남대학교 농과대학 임산공학과(Department of Forest Product Technology, College of Agriculture, Graduate School, Chungnam National University, Gung-Dong, Taejeon 305-764, Korea).

1. 서론

현재 우리 나라의 고지 재활용률은 세계 최고 수준으로서 95년 기준으로 제지산업 규모 상위 10개국 가운데 종이 재활용 비율이 72%로 가장 높는데¹⁾, 특히 그중에서도 골판지 원지는 주로 국산 골판지 고지를 주원료로 제조되고 있으며, 이에 따라 국산 골판지 고지의 재활용률이 매우 높다. 그러나 이처럼 고지의 재활용률이 높은 만큼, 섬유의 각질화와 미세분 함량 증가 등으로 인해 재생펄프의 품질, 생산성, 그리고 상품성의 저하를 가져왔다. 제지 선진국들의 골판지 고지는 장섬유와 단섬유로 구성되어 있으므로 스크린 등을 활용한 섬유 분급 처리기술들이 연구되어 생산성의 향상과 강도를 높이는 효과를 거둘 수 있었다.²⁻⁷⁾ 그러나 앞서 언급한 바와 같이, 국산 골판지 고지의 구성은 장섬유와 단섬유가 아닌 섬유와 미세분으로 되어 있다. 따라서, 국산 골판지 고지의 경우 분급해야 하는 대상이 섬유와 미세분이므로 섬유 길이를 기준으로 한 기존의 분급처리는 분급효율 및 운전성의 저하, 그리고 분급된 저농도의 미세분 활용면에서 적용하기 어렵다.

국산 골판지 고지의 효율적인 재활용 방안으로서 본 연구센터가 고안한 부상부유 분급처리는 기포의 수력학적 포집작용을 이용하여 고농도의 미세분을 선택적으로 분급시키는 장점이 있다. 또한 본 처리는 분급을 위해 스크린을 이용하지 않기에 분급처리시 천공의 막힘 문제가 발생되지 않는다는 장점도 가지고 있다. 실제로 전술한 부상부유 처리를 통해 섬유와 미세분을 분급한 다음, 각각에 선택적인 고해처리 및 효소를 활용한 탈수성 개선처리를 실시함에 따라 강도를 30%이상 향상시킬 수 있음을 보고한 바 있다.⁸⁻¹⁰⁾

부상부유 처리를 응용한 미세분의 분급은 친유성 오염물질, 즉 인쇄잉크와 점착성 이물질 등을 제거하기 위해 행하여 온 기존의 탈묵처리와 다음과 같은 기본적인 차이점을 갖는다. 미세분 분급처리의 경우 알칼리 탈묵조건과 달리 중성 pH에서, 계면활성제 첨가 없이 부상부유가 이루어지는 특징이 있다. 이때 거품은 거품 액막의 배액을 방해하는 미세분에 의해 안정되며, 미세분은 거품의 형태로 분급된다. 골판지 고지에 포함된 다량의 미세분이 부상부유 리젝트로서 선택적으로 분급되는 기본 원리는 장섬유의 응집에 따른 미세분의 선택적 부상과 미세분에 의한 거품의 안정화이다. 만일 부상부유 처리에 의한 미세분의 분급을 효율적으로 실시하고자 한다면 부상부유의 원리가 상이한 만큼 기존의 탈묵처리와 다른 최적의 부상부유 조건을 탐색하여야 한다. 미세분 분급을 위한 최적의 부

상부유 조건은 장섬유의 응집을 촉진하면서 미세분은 그러한 응집체에 포함되지 않은 상태로 자유로이 부상하여 걸러지는 경우이다.

응집거동을 조절하기 위한 시도로서 부상부유 처리시 유량을 달리한 실험결과에 의하면 유량이 낮을수록 장섬유 손실이 줄고 미세분이 선택적으로 포집되나 전체 부상부유 리젝트의 양이 줄어드는 문제점이 있었다. 이에 본 실험에서는 장섬유의 응집에 영향을 미치는 인자로서 지료의 농도를 증가시키면서, 미세분의 부상부유를 촉진시키도록 유량을 증가시키는 조건으로 부상부유 처리에 의한 미세분 분급효율을 증가시키려 하였다. 이를 위해 미세분 분급의 선택성과 효율이라는 개념을 정의하여 각 처리조건을 비교하였으며, 아울러 기입증된 분급 촉진제로서 고분자량의 양이온성 PAM을 적용하여 최적의 부상부유 분급 조건을 탐색하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험재료

골판지 원지 생산업체인 경기도 안산소재 동일제지(주)의 machine chest 입구에서 100% 고지로 구성된 라이너지의 이면 지료를 채취하여 사용하였으며, 이때 미세분 함량과 회분 함량은 각각 41.42%와 13.83%이었다. 본 실험에서 미세분으로 분류되는 섬유분은 길이가 75 μm 이하이다.

2.2 실험방법

상기한 지료를 독일 포이트(Voith)사의 E형 부상부유기(E-18 type, Voith GmbH, Heidenheim, Germany)를 사용하여 유량 60~110 L/min, 농도 0.8~1.6%, 온도 55 $^{\circ}\text{C}$, 공기혼입량 15 L/min의 조건으로 부상부유 처리하여 미세분을 분급하였다. 또한 미세분 분급 촉진제로서 DR-3000[®](날코코리아(주))을 지료대비 800 ppm을 투입하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 농도와 유량의 변화에 따른 부상부유 분급의 효과

Fig. 1은 부상부유 지료의 농도와 유량을 증가시켰을 때 분급된 리젝트율을 나타낸 것이다. 이때 부상부유 온도는 55℃였으며 처리시간은 120초, air는 15 L/min를 혼입시키는 조건으로 경기도 안산소재 동일

제지(주)에서 채취한 현장 지료를 처리하였다. Fig. 1의 (a)는 미세분 분급 촉진제를 사용하지 않은 부상부유 지료의 리젝트율을 나타내며, (b)는 미세분 분급 촉진제로서 고분자량의 양이온성 PAM을 지료 대비 800 ppm 첨가했을 때의 리젝트율이다.

(a)와 (b)에 도시된 바와 같이 리젝트는 유량을 증가시키기에 따라 모든 농도에서 증가되는 경향을 보였고, 양이온성 고분자 PAM을 첨가한 (b)의 경우가 무처리 지료 (a)에 비해 월등히 높은 리젝트율을 나타내었다.

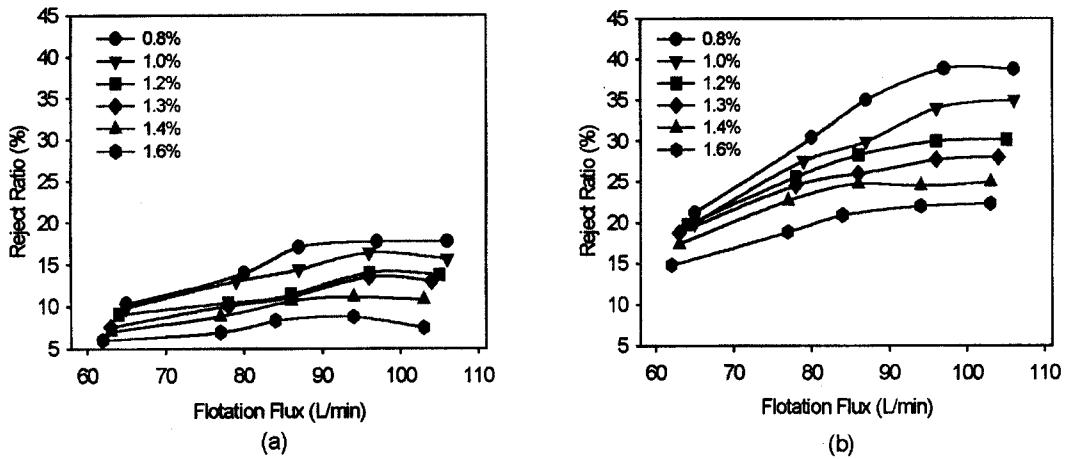


Fig. 1. The dependence of flotation fluxes on reject ratios of OCC flotation in terms of flotation consistency.
 (a) Without flotation Promoter (b) With flotation Promoter

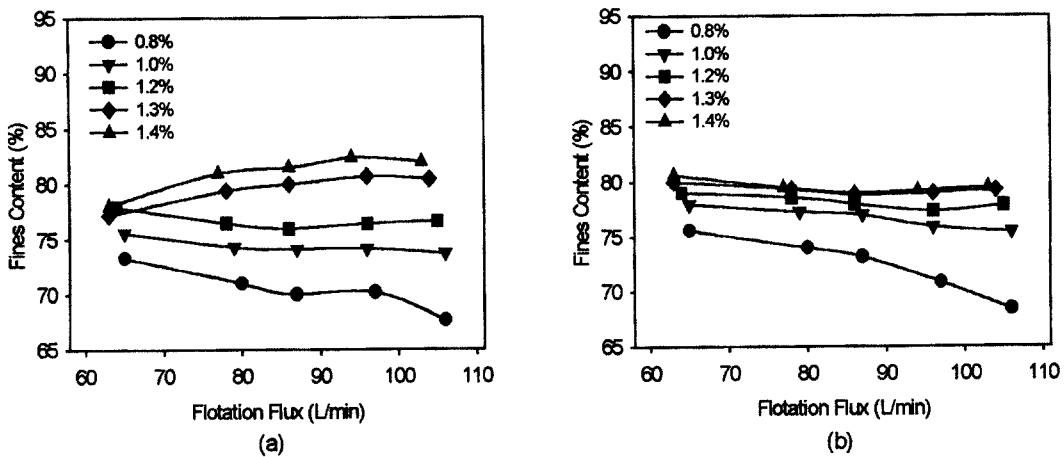


Fig. 2. The dependence of flotation fluxes on fines content of OCC flotation in terms of flotation consistency.
 (a) Without flotation Promoter (b) With flotation Promoter

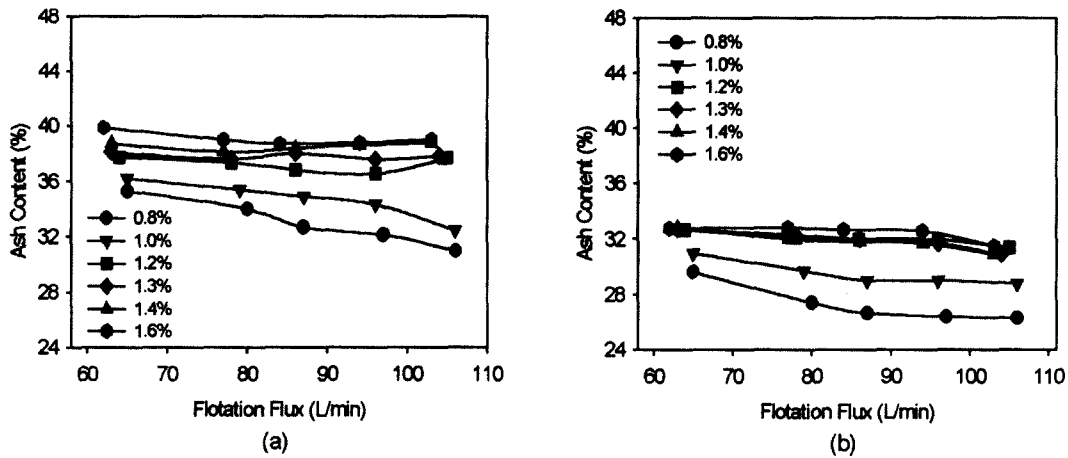


Fig. 3. The dependence of flotation fluxes on ash content of OCC flotation in terms of flotation consistency.

(a) Without flotation Promoter (b) With flotation Promoter

부상부유 처리유량의 증가는 부상부유기에서 지료의 순환횟수를 증가시키고, 지료의 응집을 깰 수 있는 전단력의 증가를 가져온다. 따라서 상대적으로 응집이 되기 쉬운 장섬유와는 달리 응집이 여의치 못한 응집체 사이의 미세분(Inter floc fines)은 부상부유 처리유량의 증가에 따라 기포와 함께 표면으로 상승할 수 있는 기회가 늘어나는 셈이다. 이에 따라 미세분이 거품의 형태로 농축되면서 그 안정성(froth stability)이 증대되고 리젝트 양이 증가되었다.

부상부유 지료의 농도가 높아짐에 따라 유량에 관계없이 리젝트율은 감소하였는데 이러한 현상은 농도가 높아지면서 지료의 응집체 크기(floc size)가 커지고, flotation 지료의 양이 증가되었으며, 약간의 유속저하가 있었기 때문으로 생각된다.

Fig. 1의 (a)에 도시된 바와 같이 부상부유 처리의 농도 증가에 따른 리젝트 양 저하는 그 처리유량을 증가시키므로써 상쇄시킬 수 있었다. 즉 부상부유 농도 0.8% 조건에서 유량 64 L/min의 조건으로 10% 정도의 리젝트를 분급해 낼 수 있었다면 0.5%만큼 농도가 증가한 1.3% 농도의 부상부유 처리에서도 유량을 79 L/min로 증가시키면 따라 동일한 리젝트율을 얻을 수 있었다. 부상부유 촉진제로 양이온성 PAM을 투입한 Fig. 1의 (b)의 경우에도 처리농도 증가에 따른 리젝트 양 저하는 처리유량 증가로 상쇄시킬 수 있었다.

Fig. 2는 부상부유 리젝트에 포함된 미세분 함량을 나타낸 그래프이다. 부상부유의 처리농도를 높일 경우 미세분 함량이 증가되는 것을 볼 수 있는데, 촉진제를

적용하지 않은 Fig. 2의 (a)의 경우가 적용한 (b)의 경우보다 미세분 함량의 증가폭이 큰 것을 볼 수 있다. 이것은 촉진제를 적용하지 않은 경우에 기본적으로 저농도 지료를 처리했을 때 리젝트로서 미세분 분급의 선택성이 낮았기 때문이며 따라서 촉진제를 적용치 못하는 분급조건에서는 분급의 선택성을 보장하기 위해 처리지료의 농도가 높아야만함을 알 수 있다. 아울러 (a)와 (b)에서 확인할 수 있듯이 부상부유 처리유량을 증가시키더라도 고농도 처리 조건에서는 미세분의 함량이 크게 저하되지 않았다. 이것은 고농도 처리 조건에서 처리유량을 증대시켜 리젝트율을 증가시키더라도 미세분 함량은 크게 변화되지 않음을 의미하는 것이다. 또한 처리유량을 높이면서 증가된 전단력으로 인해 발생하는 장섬유 손실이 리젝트의 미세분 함량을 감소시킬 수 있음을 우려하였지만, 부상부유 지료의 농도를 1.2% 이상 높였을 때에는 처리유량 증가에도 크게 변화하지 않고 유지되는 것을 볼 수 있었다.

Fig. 3은 부상부유 처리 리젝트에 포함된 회분 함량을 나타낸 그래프이다. 처리농도가 높을수록, 처리유량이 적을수록 회분 함량이 증가하는 양상을 보였으며, 분급 촉진제를 적용하여 리젝트율이 높았던 (b)의 경우에 회분 함량이 낮은 것으로 비추어 볼 때, 부상부유 처리시 분급되는 미세분 중 회분 이외의 미세섬유가 분급 촉진제에 의해 효과적으로 분급됨을 알 수 있다.

Fig. 4의 (a)와 (b)는 부상부유 분급처리에서의 미세분 제거율을 나타내고 있으며, 유량이 증가됨에 따

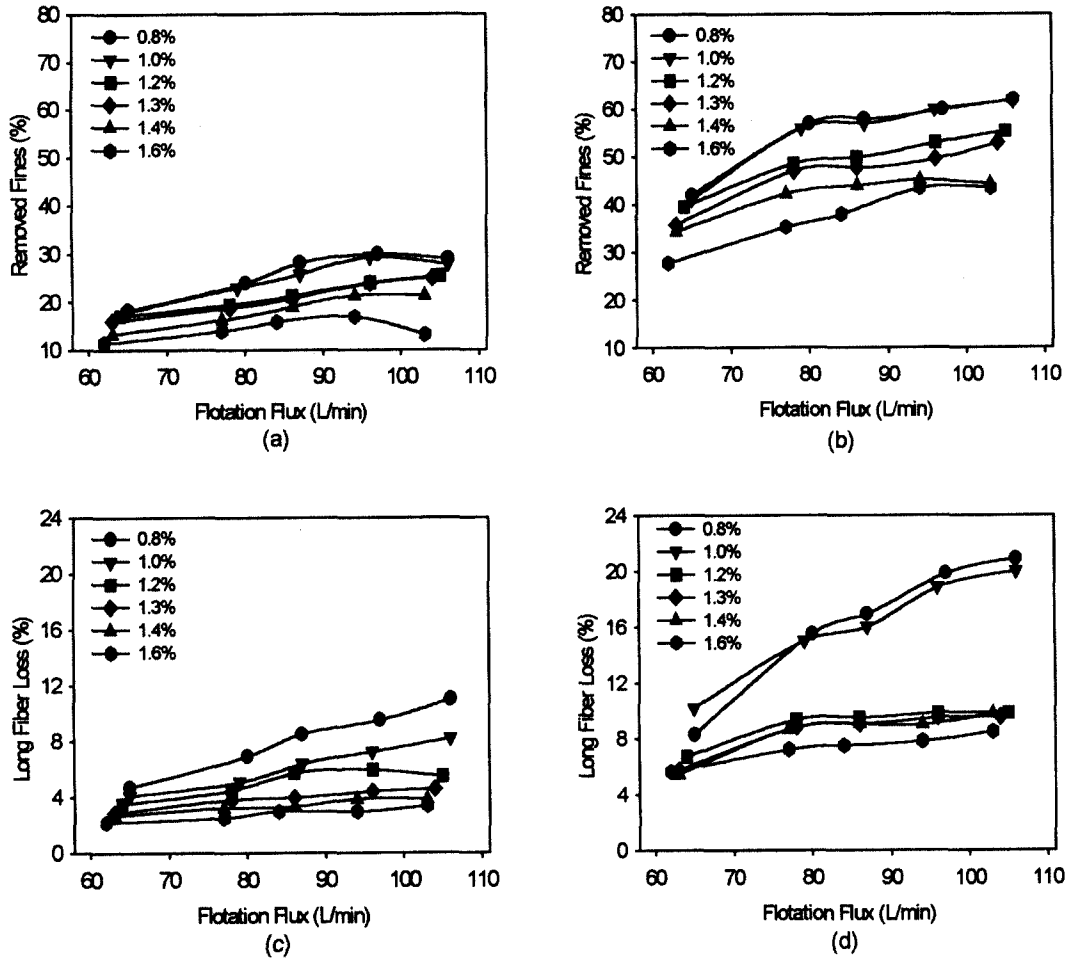


Fig. 4. The effect of flotation fluxes on removed fines and long fiber loss of OCC flotation in terms of flotation consistency.

(a), (c) Without flotation Promoter (b), (d) With flotation Promoter

라 그 제거율이 상승하고 있음을 볼 수 있다. 무처리자료 (a)에 비해 (b)의 양이온성 고분자 PAM을 첨가했을 때 미세분 제거율이 50% 이상 상승되는 것을 확인할 수 있었다. 상대적으로 높은 농도에서 미세분 제거율이 낮아 보이는 것은 농도가 높아질수록 부상부유처리량은 증가하지만 처리시간이 120초로 일정하므로 실제 처리시간이 감소한 것 같은 효과를 가져오기 때문이다.

(c)와 (d)는 장섬유의 손실률을 나타낸 그래프이다. (c)와 (d) 모두 치료농도 1.2% 이상에서는 유량의 증가에 큰 영향을 받지 않고 낮은 수준의 장섬유 손실을 유지하고 있지만, 0.8%, 1%의 비교적 낮은 부상부유 처

리농도에서는 유량의 증가에 따라 지속적으로 장섬유 손실이 늘어나고 있다. 앞서 언급하였지만, 부상부유치료의 농도가 1.2% 이상 높으면 처리유량을 증가시켜 전단력(shear force)이 상승하더라도 장섬유 손실은 크게 증가하지 않고 미세분 제거율이 증가됨을 다시 확인할 수 있었다. 미세분 제거율은 Fig. 4의 (a), (b)에 나타낸 바와 같이 처리농도에 상관없이 처리유량이 증가함에 따라 증가되지만, 장섬유 손실은 이와 달리 치료농도가 높은 경우에 비록 처리유량이 증가하더라도 크게 변화되지 않았다. 이것은 고농도 부상부유처리의 미세분 분급 선택성이 우수함을 확인시켜 주는 결과이다.

3.2 분급처리의 선택적 미세분 제거효율

다양한 처리조건하에서 부상부유 미세분 분급처리의 선택성을 비교하기 위하여 아래 식과 같이 분급 선택성을 정의하였다. 분급 선택성은 제거된 미세분율을 섬유 손실률로 나눈 값으로서 장섬유의 손실이 적고 미세분의 제거량이 많을수록 큰 값을 갖는다.

$$* \text{Fractionation Selectivity} = \frac{\text{Removed Fines (\%)}}{\text{Long Fiber Loss (\%)}}$$

분급의 선택성은 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 처리농

도가 증가할수록 증가되는 양상을 보였는데, (c)와 (d)에 도시된 바와 같이 특히 처리농도 1.3%에서는 1.3% 미만의 경우와 달리 처리유량이 증가할수록 선택성이 증가하여 선택성의 최고치를 나타내었다. 이것은 처리농도 1.3%에서 처리유량이 증가함에 따라 미세분 제거율이 현격히 증가하는 반면 장섬유 손실률은 크게 증가하지 않았기 때문이다(Fig. 4). 즉, 처리농도가 1.3% 이상으로 높여질 때에는 비록 처리유량이 증가함에 따라 지료가 받는 전단력이 증가될지라도 지료농도가 높은 만큼 섬유의 응집이 신속히 이루어지며 섬유가 리젝트로서 손실되는 비율이 감소하였기에 부상부유 미세분 분급처리의 선택성이 증가되었다고 판단

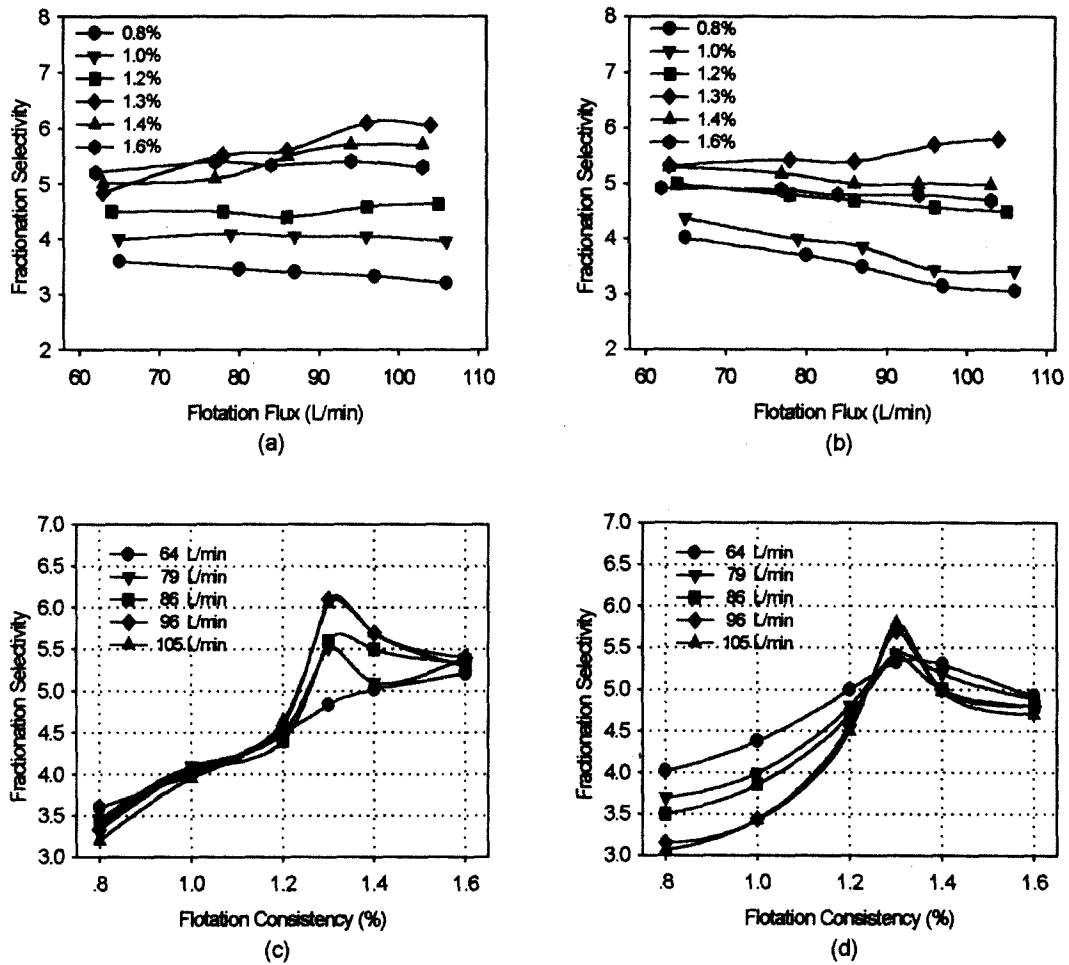


Fig. 5. The effect of flotation fluxes on fractionation selectivity of OCC flotation in terms of flotation consistency.

(a), (c) Without flotation Promoter (b), (d) With flotation Promoter

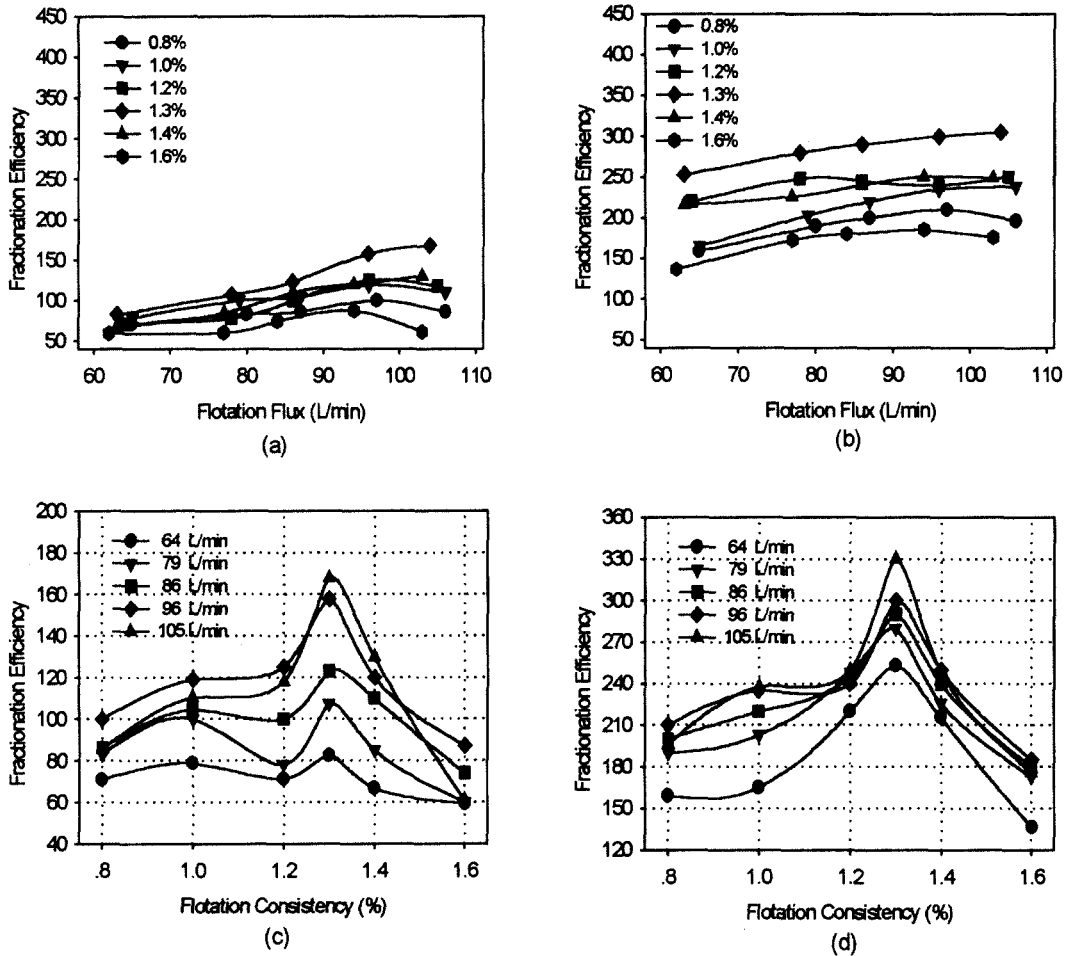


Fig. 6. The effect of flotation fluxes on fractionation efficiency of OCC flotation in terms of flotation consistency.

(a), (c) Without flotation Promoter (b), (d) With flotation Promoter

된다. 그러나 처리농도가 1.4% 이상으로 증가될 때에는 미세분의 제거율이 저하된 이유로 분급 선택성의 저하를 면치 못하였다. 지료농도가 지나치게 높을 때에는 혼입된 공기방울이 미처 지료 표면으로 부상 못하고 다시 펌프로 빨려 들어가 순환되는 경우가 발생하는데, 이러한 air의 지료 내 trap 현상은 미세분의 분급을 저해할 뿐만 아니라 팬펌프의 효율을 저하시키는 문제점이 있다. 따라서 실험실용 부상부유기를 활용한 본 연구의 경우는 1.4% 이상 지료의 농도를 높이는 것이 분급의 선택성 최적화 측면에서 오히려 악영향을 초래하였다. 실험실적 부상부유 처리의 선택성은 처리유량 100 L/min 이상에서 1.3%의 처리농도로

수행될 때 가장 높았다.

미세분 분급을 위한 부상부유 처리의 효율은 실제로 미세분이 얼마나 제거되는가에 달려 있다. 비록 장섬유의 손실률이 낮을지라도 미세분이 분급되지 않으면 결코 처리효율이 높다할 수 없으므로, 본 연구에서는 분급처리 효율을 선택성의 경우보다 미세분 제거율 측면을 강조하기 위하여 이를 제곱한 후 장섬유 손실로 나눈 값이라고 정의하였다.

$$* \text{Fractionation Selectivity} = \frac{\text{Removed Fines} (\%)^2}{\text{Long Fiber Loss} (\%)}$$

Fig. 6에는 지료농도와 유량에 따른 부상부유 미세분 분급 처리효율을 도시하였다. 미세분 제거와 장섬유 손실을 감안할 때, (a)의 무처리 지료보다 (b)의 고분자량의 양이온성 PAM을 미세분 분급 촉진제로 첨가한 경우가 월등히 높은 분급 처리효율을 보이고 있다. 또한 Fig. 5의 미세분 분급 선택성의 결과와 마찬가지로 (c), (d) 모두의 경우에서 1.3%의 농도와 100 L/min 정도의 유량에서 높은 분급효율을 나타냈다. 또한 실험실적 부상부유기를 활용하는 한 비록 처리농도가 1.3% 미만인 경우일지라도 처리유량을 높여 미세분을 많이 분급해 내는 것이, 처리농도가 1.3% 이상으로 높을 때 보다 효율적임을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 부상부유 처리유량을 증가시키고 미세분 분급 촉진제를 적용함으로써 기존보다 높은 농도의 지료에서 부상부유 분급의 효율을 상승시키고자 하였다.

먼저 유량의 증가는 부상부유기에서의 순환횟수를 증가시킴으로써 지료의 응집을 깨고 장섬유 사이에 존재하던 inter flocc fines를 제거하여 미세분 제거율을 높일 수 있었다. 또한, 유량의 증가에 의한 장섬유 손실의 증가는 1.2% 이상의 농도일 경우 미미하였다. 특히, 미세분 분급 촉진제로서 고분자량의 양이온성 폴리아크릴아미드를 첨가했을 때에는 리젝트율과 미세분 제거율에서 월등한 효과를 볼 수 있었다.

부상부유 기술을 이용하여 실험실적으로 보다 향상된 미세분의 선택적 부상효과와 최적의 분급효율을 얻기 위해서는, 농도 1.3% 와 유량 100 L/min의 처리조건과 미세분 분급 촉진제를 첨가하여 지료의 적절한 응집을 유도하고 거품의 안정성을 촉진하는 조건이 효과적임을 확인할 수 있었다.

인용 문헌

1. Ashely T. Mattoon, Michael Strauss, Lester R. Brown, The Environmental Trends That Are Shaping Our Future, Vital Signs (1998).
2. Bliss T., A Study Of Fibre Fractionation Using Centrifugal Cleaners, Pulp and Paper, 88 (1987).
3. Clark L. E. and Iannazzi F. D., Tappi, 57 (1974).
4. Abubakr, S., Fiber Fractionation as a Method of Improving Handsheet Properties after Repeated Recycling, TAPPI 1994 Recycling Symposium, TAPPI Press, Atlanta, 309 (1994).
5. Lindström, C., Pettersson, B., Gustavsson, A., Persson, S., and Backman, J., Upgrading of OCC Pulp by Fractionation., TAPPI 1995 Recycling Symposium, TAPPI Press, Atlanta, 131 (1995).
6. Guss, D., and Meier, A., The Use of Fractionating Filters to Increase Fiber Yield in Secondary Fiber Systems, TAPPI 1997 Recycling Symposium, TAPPI Press, Atlanta, 477 (1997).
7. Waterhouse, J. F., and Liang, Y. X., Improving the Fines Performance of Recycled Pulps, TAPPI 1995 Recycling Symposium, TAPPI Press, Atlanta, 103 (1995).
8. Ryu, J.-Y., Shin, J.-H., and Ow, S. S.-K., Upgrading of OCC Pulp by Flotation Fractionation, 1999 TAPPI Recycling Symposium, Vol. 1, 177, TAPPI Press, Atlanta (1999).
9. Ji, K.-R., Ryu, J.-Y., Shin, J.-H., Song, B.-K., and Ow, S. S.-K., Improvement of Drainage and Strength Properties of Testliner by Successive Treatments of Flotation and Mixed Enzyme, J. Kor. TAPPI, 31(1):10 (1999).
10. Seo, H.-I., Ryu, J.-Y., Shin, J.-H., Song, B.-K., and Ow, S. S.-K., Improvement of Strength and Optical Properties of Testliner by Successive Treatments of Flotation and Kneading, J. Kor. TAPPI, 31(1):17 (1999).
11. Ryu, J.-Y., Shin, J.-H., Song, B.-K. and Ow, S. S.-K., Optimization of Froth-Flotation for Fiber Fractionation, 1999 CTP Packing Paper & Board Recycling Symposium, 1ST CTP-PTS, Grenoble France 11 (1999).
12. 류정용, 라이너지 생산공정 개선을 통한 품질 향상, Paper Technology Seminar 2000:21 (2000).