

고지재생연구(제10보)

- 골판지 고지의 미세분 분급효율 개선을 위한 다단계 부상부유 처리 및 분급 촉진제 적용 -

여 성 국 · 류 정 용 · 신 종 호 · 송 봉 근

Recycling of Wastepaper (X)

- Improvement of Fines Fractionation through Multi-Stage Froth-Flotation and Addition of Cationic Polyelectrolyte as a Fractionating Promoter for OCC Flotation -

Sung-Kook Yeo, Jeong-Yong Ryu, Jong-Ho Shin, and Bong-Keun Song

ABSTRACT

A new technique for fractionating pulp stock into a long fiber portion and fines fraction was developed by KRICT in order to enhance the drainage and strength properties of recycled OCC pulp. In order to investigate the effect of fines contents in stock and stages of flotation on fractionation efficiency, flotations were performed at varied fines contents and flotation stages. Based on the result of multi-stage flotation fractionation it could be said that fines smaller than $15\mu\text{m}$ stabilize flotation froth of OCC. Although the amounts and the fines contents of flotation reject could be increased by multi-stage flotation fractionation of OCC, flotation stages more than 3 times were found to be inefficient in terms of fines concentrating degree. In order to satisfy the both conditions of reducing long fiber loss and of increasing flotation reject, several kinds of fractionating promoters were searched and investigated. And high molecular weight cationic polyacrylamide was chosen as a long fiber flocculating and flotation froth-stabilizing agent.

1. 서론

세계 최고수준의 고지 재활용 국가인 우리나라는 95년을 기준으로 종이 재활용 비율이 72%에 달하였다.¹⁾

저급의 혼합고지를 100% 재활용하여 구성되는

국산 골판지의 섬유 분급을 위해 본 연구센터가 고안한 부상부유 분급처리는 기포의 수력학적 포집작용을 이용하여 고농도의 미세분을 선택적으로 분급시키는 장점이 있다. 또한 본 처리는 분급을 위해 천공을 이용하지 않기에 분급처리시 천공의 plugging 문제가 발생되지 않는다는 장점도 가지고 있

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

다. 실제로 전술한 부상부유 처리를 통해 섬유와 미세분을 분급한 다음 각각에 선택적인 고해처리 및 효소를 활용한 탈수성 개선 처리를 실시함에 따라 강도를 30% 이상 향상시킬 수 있음을 보고한 바 있다.²⁻⁴⁾

부상부유 처리를 응용한 미세분의 분급은 기존의 탈묵처리와 다음과 같은 기본적인 차이점을 갖는다. 미세분 분급처리의 경우 알칼리 탈묵조건과 달리 중성 pH에서, 계면활성제 첨가 없이 부상부유가 이루어지며, 거품이 계면활성제 이외의 미세분에 의해 안정화되는데 이러한 미세분의 크기와 함량은 분급처리에 중요한 변이요소임에 틀림없다. 또한 미세분의 선택적인 부상을 위해서는 장섬유가 기포와 함께 부상되지 않도록 억제하는 것이 중요한데, 이를 위해서는 장섬유의 응집을 유도하는 것이 바람직하나 이 경우 부상부유 리젝트양이 감소되는 단점을 피할 수 없었다. 아울러 공기 혼입량을 증가시키는 경우도 기포의 발생량을 증가시켜 보다 많은 부상부유 리젝트를 얻어 낼 수 있으나, 이 경우에 장섬유 손실의 증가를 피할 수 없었다. 따라서 부상부유 미세분 분급처리의 효율을 개선하기 위해서는 장섬유의 응집을 촉진시키면서 거품의 안정성을 향상시키는 새로운 방법이 개발되어야 한다.

부상부유 분급처리되는 골판지 고지 펄프의 미세분 함량은 일반적으로 50% 내외이나, 다단처리를 실시할 경우에는 미세분 함량을 높이면서 지료 내의 섬유분을 줄여 분급효율을 개선시킬 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 부상부유 단수를 높이는 것은 시설투자 및 유지 및 운영에 많은 비용이 소요되는 방법으로 부상부유 단수 증가에 따른 분급효율 측면의 면밀한 분석이 선행되어야 한다. 이에 본 연구에서는 다단계 부상부유 분급처리를 실시하여 부상부유 분급처리의 기본 원리인 미세분에 의한 거품의 안정화 기구를 보다 심도 있게 파악하고, 부상부유 효율을 고려한 최적의 처리법을 확립하고자 하였다. 아울러 전술한 바와 같이 장섬유의 응집을 촉진시키며 부상부유 리젝트양을 증가시키는 부상부유 조건을 구현하기 위해, 부상부유 미세분 분급처리의 분급 촉진제(fractionating promoter)로서 다양한 종류의 첨가제를 탐색하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험 재료

주원료로서 고지를 100% 사용하여 골판지용 원지를 생산하는 동일제지(주)의 헤드박스(head-box)에서 라이너지의 이면 지료를 채취하여 실험 재료로 사용하였으며, 농도는 약 1%, 여수도는 343 mL CSF이었다.

2.2 실험 방법

독일 포이트(Voith)사의 E형 부상부유기(E-18 type, Voith GmbH, Heidenheim, Germany)를 사용하여 부상부유 처리하였다. 부상부유 처리조건은 농도 1%, 온도 50℃, 유속 105 L/min, 공기유량 15 L/min 및 처리시간 90초를 기준으로 실시하였으며, 이렇게 분급된 미세분을 모아 다시 부상부유 처리하는 다단처리를 실시하였다. 이때의 분급효율을 리젝트양과 미세분 함량 및 장섬유 손실을 바탕으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세분 함량

Fig. 1은 부상부유 지료의 미세분 함량에 따른 미세분 분급효율을 나타낸 것이다. (a)항의 리젝트율과 미세분 함량 및 (b)항의 장섬유 손실과 미세분 제거율 결과로부터 미세분 분급효율에 대하여 다음과 같은 설명이 가능하다.

먼저 부상부유 리젝트를 분리해 내기 위해서는 (a)항에 도시된 바와 같이 최소 20% 이상의 미세분이 지료 내에 포함되어 있어야 한다. 미세분 함량 10%의 경우 flotation reject가 거의 걸려지지 않은 점을 볼 때, 1% 지료에 거품이 형성되기 위한 임계 미세분 농도(critical fines concentration, CFC)는 전체 지료의 10% 이상임을 확인하였다. 미세분 함량 20% 이상의 경우, flotation reject의 미세분 함량이 60% 이상으로서 직선적인 증가 추세를 보인 반면, flotation reject율은 직선적인 증가 추세를 보이다가 미세분 함량 80% 이후 급격히 감소하는 양상을 보였다.

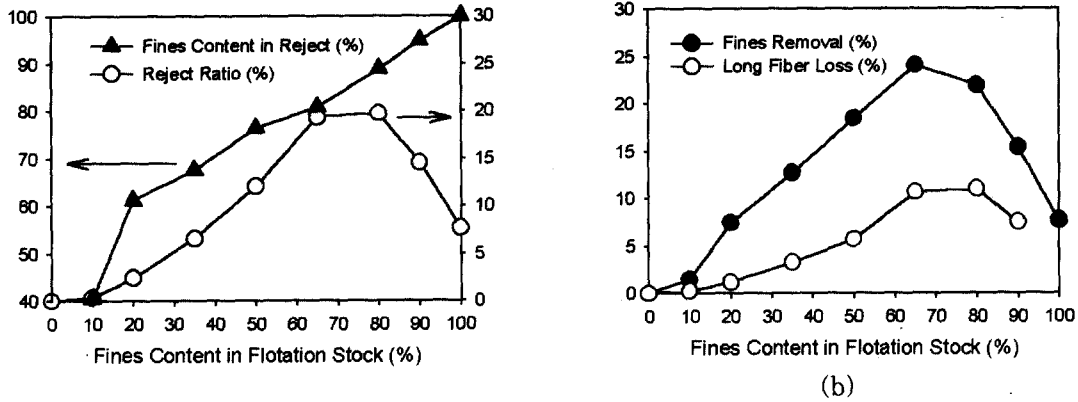


Fig. 1. The efficiency of fines fractionation in an aspect of fines contents in OCC stock.

이는 미세분 함량이 높을 때에 발생된 거품의 안정성이 우수한 만큼, 그 유동성이 저하되기 때문에 여겨진다. 이에 따라 미세분 제거율은 (b)항에 도시된 바와 같이 flotation 리젝트를 저하와 같은 저하 경향을 보였다.

3.2 다단 부상부유 처리

미세분 분급효율을 향상시키기 위해 1차 부상부유 리젝트에 대한 부상부유 처리를 실시하여 2차 부상부유 리젝트를 구성하고 다시 이러한 처리를 반복한 결과, Fig. 2의 (a)와 (b)항에 나타난 바와 같이 리젝트의 양과 미세분 함량을 모두 높일 수 있었다. 그러나 이러한 다단의 부상부유 처리는 시설 및 운전이 비용이 많이 소요되는 단점이 있다.

각 단계마다 1분 30초간 부상부유를 실시하는 분급 조건에서는 2차와 3차 부상부유 리젝트간에 두드러진 차이를 관측할 수 없었다. 따라서 부상부유 효율을 높이기 위한 부상부유 단계는 3차 이상이 불필요하다고 판단되었다. 아울러 2차 부상부유 처리의 처리시간 및 농도 등에 대한 검토가 필요함을 알 수 있었다.

Fig. 3의 그래프는 부상부유 처리를 각 리젝트에 반복하여 7차까지 수행한 결과이다. 부상부유 억셉트와 리젝트의 평균 입경이 단계별로 감소하다가 일정한 크기로 귀결됨을 볼 수 있으며, 이를 통해 기포를 안정화시키는 미세분의 크기가 15 μm 이하임을 확인할 수 있다.

미세분 함량이 50%인 지료의 1차 부상부유 처리와 달리 1차 부상부유 리젝트의 2차 처리는 지료의 미세분 함량이 75% 이상으로 높기 때문에

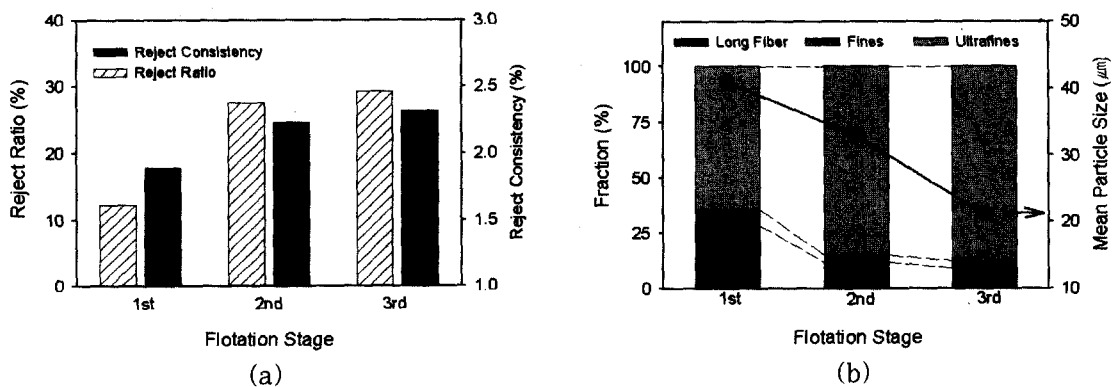


Fig. 2. The effect of flotation stages on fines fractionation of OCC.

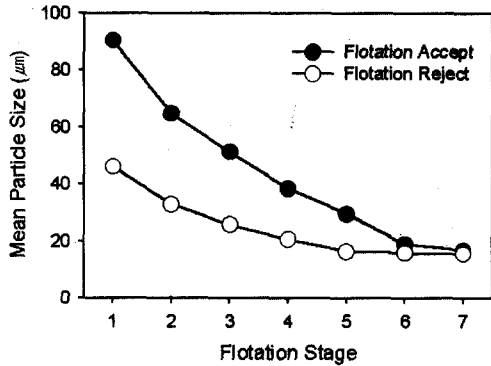


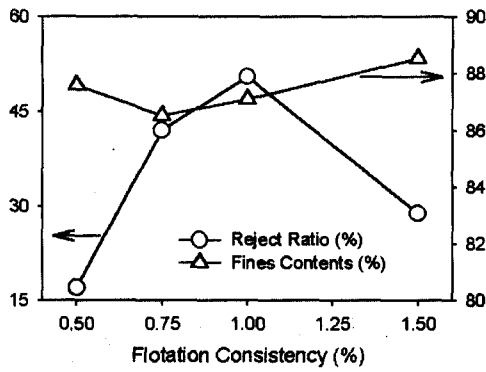
Fig. 3. The effect of flotation stages on mean particle size of fractionated fines.

상부유 처리조건에 대한 탐색이 선행되어야 한다고 판단되었다. 이를 위해 Fig. 4에 나타낸 바와 같이, 농도 및 처리시간에 따른 부상부유 리젝트의 2차 부상부유 분급효율을 분석하였다. 분석결과 부상부유 농도 0.75%, 처리시간 120초가 가장 우수한 분급 처리조건임을 확인하였다. 이러한 조건은 부상부유 리젝트의 미세분 함량이 높은 만큼 2차 부상부유 처리시 장섬유 손실이 적음을 감안하여 1차 부상부유 처리보다 낮은 농도에서 2차 부상부유 분급처리를 장시간 처리해야 함을 의미한다.

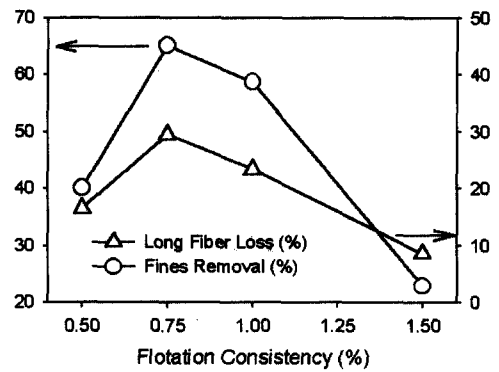
3.3 미세분 분급 촉진제

이의 효율적인 미세분 분급을 위해 그 무엇보다 부

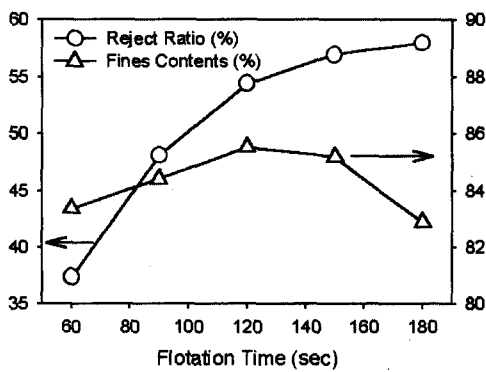
Fig. 5는 장섬유의 손실을 줄이면서 미세분 분급 효율을 향상시키고자 하는 목적으로, 부상부유



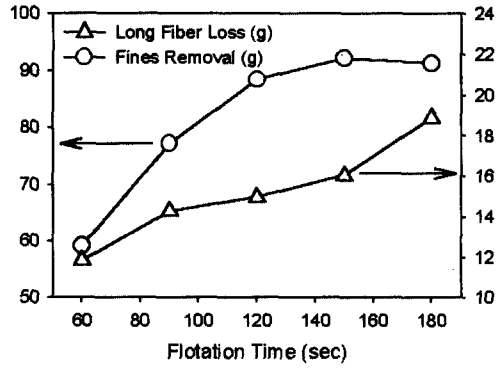
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 4. The effect of flotation consistencies and times on fines fractionation efficiency of 2nd stage flotation of 1st reject.

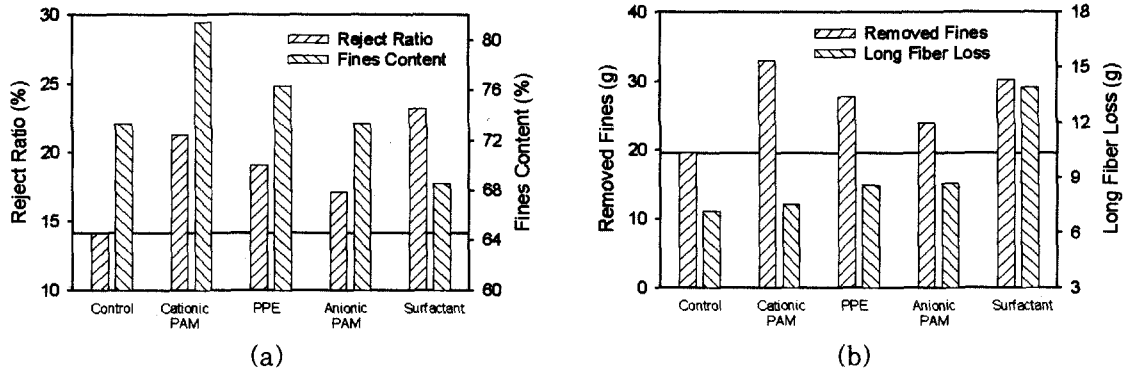


Fig. 5. Fines fractionation efficiency of OCC flotation in terms of several additives.

분급처리에 미치는 각종 첨가제의 영향을 탐색한 결과이다. 분급처리의 promoter로서 고분자량의 양이온성 PAM과 음이온성 PAM, polyamideamine ephichlorohydrin 및 비이온성 계면활성제를 검토한 결과, 고분자량의 양이온성 PAM을 첨가한 경우가 미세분 제거량과 장섬유 손실 측면에서 가장 우수한 분급 효율을 보였다. 이러한 결과는 전보에 보고된 바와 같이 장섬유의 부상부유 처리 손실을 줄이기 위해 장섬유의 응집을 유도하고 미세분의 분급을 촉진시키기 위해 거품의 안정성을 향상시키는 효과가 양이온성 PAM을 첨가함에 따라 구현되었음을 의미한다.

기존의 탈묵처리에 foaming agent로서 사용되는 계면활성제의 경우, 거품을 다량 발생시켜 부상부유 리젝트의 양을 증가시켰지만, 장섬유 손실이 많아 미세분의 선택적인 제거가 어려운 단점이 있었다. 음이온성 PAM을 첨가하였을 때에는 미세분의 하전에 따라 거품 액막의 안정성이 향상되면서 부상부유 리젝트양이 증가되는 효과를 볼 수 있었으나, 지료의 응집이 양이온성 PAM만큼 여의치 못한 이유로 미세분의 선택적인 제거 정도는 무처리의 경우와 같았다고 추측된다. 기본적으로 음전하를 띠는 목재 섬유 및 무기물은 정전기적으로 반발하는 특성이 있기에 그 응집이 저해되지만, 양이온성 고분자 전해질이 첨가되어 그 표면전하를 중화시키고 부분적으로 양성화시킴에 따라 응집이 촉진되며 미세분의 선택적인 제거가 촉진되었다고 판단된다.

강한 양이온성을 띠는 저 분자량의 PPE의 경우 음이온성 PAM보다 선택적인 미세분 제거 측면에서 우수한 효과를 보였다. 또한 미세분이 양이온성

으로 하전됨에 따라 정전기적으로 서로 반발하기에 거품의 안정성이 개선되어 리젝트양도 증가하였음을 알 수 있다.

그러나 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 비록 강한 양이온성을 띠는 PPE라 할지라도 장섬유를 크게 응집시킬 만큼 분자량이 크지 못하였기에, 고분자량의 양이온성 PAM보다는 분급의 선택성이 낮았다고 여겨진다. 따라서 상대적으로 많은 장섬유가 거품에 포함되었기에 거품의 안정성 역시 저하되었으며, 이에 따라 부상부유 리젝트양도 고분자량의 양이온성 PAM에 비해 낮았다고 판단된다. 실제로 무처리의 경우와 cationic PAM 및 PPE를 0.08% 첨가한 경우의 지료 침강부피(Sedimentation Volume)를 측정된 결과 침강 slurry의 농도가 0.5%로부터 각각 1.03, 0.94 및 1.01%로 증가한 것을 고려할 때 sedimentation 농도가 제일 낮아 침강부피가 가장 큰 cationic PAM의 응집력이 가장 우수함을 확인할 수 있었다.

이러한 실험 결과를 종합하여 볼 때, Fig. 7에 도시한 바와 같이 장섬유의 응집을 촉진시키면서 거품의 안정성을 향상시키는 처리법으로서 양이온성 고분자 첨가법을 부상부유 미세분 분급처리의 효율을 향상시키기 위한 개선안으로서 제안할 수 있다.

그러나 virgin fiber와 같이 hornification되지 않은 상태로 섬유의 유연성이 우수한 경우에는 그 응집이 과도한 이유로 부상부유 분급처리가 불가능한 단점이 있다. 이러한 측면에서 지료의 적절한 응집은 미세분의 선택적 및 효율적 분급을 위해 필수적이라고 하겠다. 실제로 섬유장이 짧은 Hw-BKP조차 400 mesh를 통과하는 미세 fines가

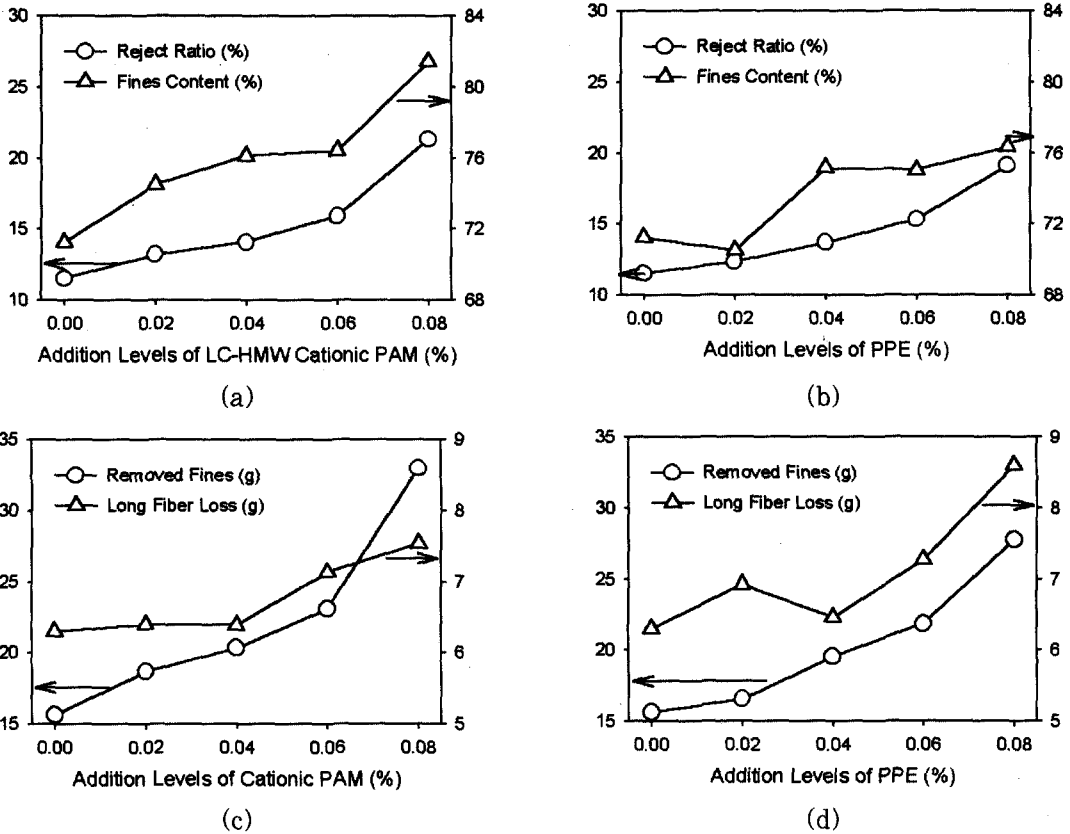


Fig. 6. The comparison of cationic PAM and PPE as a fraction promoter.

12% 이상 존재함에도 불구하고, 섬유유의 응집이 심하여 1% 농도의 부상부유 처리시 전혀 거품이 발생하지 않았다. 따라서 부상부유 미세분 분급처

리는 섬유유의 응집이 저조한 각질화된 재생섬유유의 처리에 적합하다.

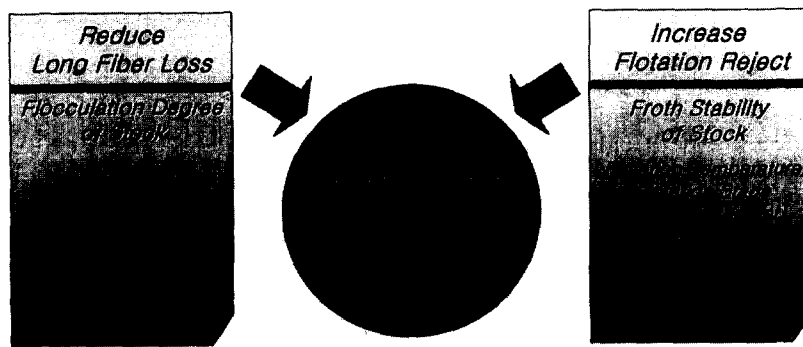


Fig. 7. Enhancement of efficiency of froth-flotation fractionation through the reduction of long fiber loss and the increase of flotation rejects.

4. 결론

OCC에 포함된 다량의 미세분이 flotation reject로서 부유되는 기본 원리는 크기 15 μm 이하의 미세분이 CFC 이상 존재할 때, 액막의 배액을 저해함에 따라 거품이 안정화되기 때문이다.

미세분 분급효율을 향상시키기 위해 1차 부상부유 리젝트에 대한 부상부유 처리를 실시하여 2차 부상부유 리젝트를 구성하고, 다시 이러한 처리를 반복하는 공정은 리젝트의 양과 미세분 함량을 모두 높일 수 있었으며, 시설 및 운전비용 측면에서 부상부유 단계는 3차 이상이 불필요하다고 판단되었다.

장섬유의 응집을 촉진시키며 부상부유 리젝트 양을 증가시키는 부상부유 조건은 서로 상치되는 경우가 있어 그 적용에 어려움이 있었으나, 이를 극복하기 위해 부상부유 미세분 분급 처리의 개선안으로서 고분자량의 양이온성 폴리아크릴아미드를 첨가한 후 부상부유 처리한 결과, 장섬유 손실

을 줄이면서 더욱 많은 미세분을 효과적으로 분급할 수 있었다

인용 문헌

1. Ashely T. Mattoon, Michael Strauss, Lester R. Brown, Vital Signs (1998).
2. Ryu, J.-Y., Shin, J.-H., and Ow, S. S.-K., 1999 TAPPI Recycling Symposium, Vol. 1, 177, TAPPI Press, Atlanta (1997).
3. Ji, K.-R., Ryu, J.-Y., Shin, J.-H., Song, B.-K., and Ow, S. S.-K., J. Kor. TAPPI, 31(1): 10 (1999).
4. Seo, H.-I., Ryu, J.-Y., Shin, J.-H., Song, B.-K., and Ow, S. S.-K., J. Kor. TAPPI, 31(1): 17 (1999).
5. Hayashi, Y. Japan Tappi 45(1): 178 (1991).
6. Takahashi, Y., Tsunoda, J. and Sasaki, T. Current Technology of anti-forming agent, CMC, Tokyo (1991)