

## 부상부유처리에 의한 국산 골판지 고지의 분급 (I)

류 정 용 · 지 경 락 · 여 성 국 · 신 종 호 · 송 봉 근  
한국화학연구소 · 펄프제지연구센터

### Abstract

In order to investigate the influencing factors of flotation fractionation, flotations were performed at varied conditions. The selectivity of fines fractionation is mainly affected by long fibers flocculating degree and if it were not for sufficient flocculation of long fibers, increase of long fibers loss could not be avoided. The amount of flotation reject totally depends on the stability of froth floated on the stock surface. Only the small size fines stabilize the froth as they hinder the drainage of liquid lamella in flotation-froth. Two important factors of flotation conditions are improving the flocculation of long fibers and increasing the amount of flotation reject. Changing a flotation flux or an air-mixing ratio with aims of increasing the flocculation of fibers and reject ratios is in conflict. In order to satisfy the both conditions for reducing long fiber loss and for increasing flotation reject, a new fractionation promoter is urgently required.

### 서 론

기존의 섬유 분급 처리는 고지를 활용한 산업용지의 생산시 장, 단 섬유를 분리하여 주원료의 품질을 향상시키고, 고지를 원료로 삼기에 비롯되는 주원료의 품질변이를 완충시키고자 적용되어 왔다. 특히 골판지 고지를 재활용하는 골판지 원지의 생산공정에 pressure screen이나 multifractor등을 활용하여, 골판지 고지를 이루는 골심용 NSSC와 표층용 UKP를 분급함에 따라 고해동력을 줄이고 탈수성의 저하를 최소화하며 강도를 높이는 등의 효과를 거둘 수 있었다. 전술한 분급처리는 섬유의 길이를 기준으로 장섬유와 단섬유를 나누는 방법으로서, 일정크기의 천공을 통과하지 못하는 장섬유분이 높은 농도로 분급되고 이를 선택적으로 처리할 수 있다는 데 그 특징이 있다<sup>(1-6)</sup>.

그러나 저급의 혼합고지를 100% 재활용하여 구성되는 국산 골판지의 생산에 상기한 섬유 분급을 적용하기에는 다음과 같은 문제점이 있다. 먼저 고지를 구성하는 섬유가 장섬유와 단섬유가 아닌 섬유와 미세분이라는 차이점을 들 수 있다. 북미산 골판지 고지의 미세분 함량이 20-30% 수준인 반면 국산 골판지 고지는 50-60%에 이르는 미세분이 포함되어 있기 때문에, 그 여수도가 북미산 골판지 고지에 비하여 100mL CSF이상 낮고 탈수가 어려운 단점이

있다. 즉, 국산 골판지 고지의 경우 분급해야 하는 대상이 섬유와 미세분이며, 따라서 기존의 섬유 길이를 기준으로 한 분급처리를 이에 적용하기 위해서는 보다 작은 크기의 천공, 혹은 좁은 폭의 슬롯을 활용해야만 한다. 만일 screen이나 multifractor를 활용한 분급처리를 국산 골판지 고지에 적용한다면 천공의 막힘으로 인한 분급효율 및, 운전성의 저하를 피할 수 없을 것이다. 설혹, 국산 골판지 고지를 분급하여 장섬유분을 선택적으로 고해하였을지라도 저농도의 미세분에 대한 탈수성 개선처리가 이루어지지 못한다면 기본적으로 고지의 여수도가 낮기 때문에 탈수성을 희생한 강도 향상효과를 크게 기대할 수 없다. 즉, 분급처리를 통한 국산 골판지 고지의 효율적인 재활용 방안이 수립되기 위해서는 미세분에 대한 선택적인 탈수촉진 처리가 필수적이며, 먼저 미세분이 고농도로 분급되어야 한다. 그러나 screen 등을 활용한 기존의 분급처리는 미세분의 농도가 오히려 희석되는 방식이기에, 미세분에 대한 선택적인 처리를 수행하기 위해 탈수가 어려운 미세분을 농축시켜야 하는 부담을 감수해야 한다.

기존의 분급처리에 비해서 본 연구센터가 고안한 부상부유 분급처리는 기포의 수력학적 포집작용을 이용하여 고농도의 미세분을 선택적으로 분급시키는 장점이 있다. 또한 본 처리는 분급을 위해 천공을 이용하지 않기에 분급처리 시 천공의 plugging 문제가 발생되지 않는다는 장점도 가지고 있다. 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<sup>(7-9)</sup>.

부상부유 처리를 응용한 미세분의 분급은 친유성 오염물질 즉, 인쇄잉크와 점착성 이물질 등을 제거하기 위해 행하여온 기존의 탈묵처리와 다음과 같은 기본적인 차이점을 갖는다. 미세분 분급처리의 경우 알칼리 탈묵조건과 달리 중성 pH에서, 계면활성제 첨가 없이 부상부유가 이루어지는 특징이 있다. 이것은 거품이 계면활성제 이외의 다른 요인에 의해 안정화됨을 의미하는 것이다. 따라서 부상부유 처리에 의한 미세분의 분급을 효율적으로 실시하고자 한다면 그 원리를 먼저 파악하고 기존의 탈묵처리와 다른 최적의 부상부유 조건을 탐색하여야 한다고 판단된다.

이에 본 연구에서는 부상부유 분급처리의 효율을 최적화시키고 미세분 분급의 원리를 파악하는 목적으로 조절이 가능한 5가지 부상부유 조건을 달리한 분급처리를 실시하고 그 결과를 분석하였다.

## 재료 및 방법

골판지 원지 생산업체인 D사의 헤드박스(head box)에서 라이너지의 이면 지료를 채취한 후, 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 120초를 기준으로 부상부유 처리시간 60 - 180

초, 온도 20 - 60℃, 유량 12 - 20 L/cm<sup>2</sup>/min 및 공기혼입량 5 - 20L/min로 각각 달리하였으며 이때의 분급효율을 리젝트양과 미세분 함량 및 장섬유 손실을 바탕으로 분석하였다.

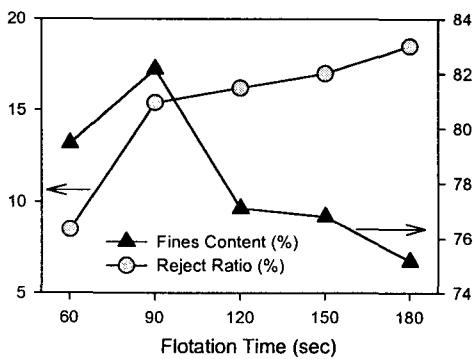
## 결과 및 고찰

### 처리시간

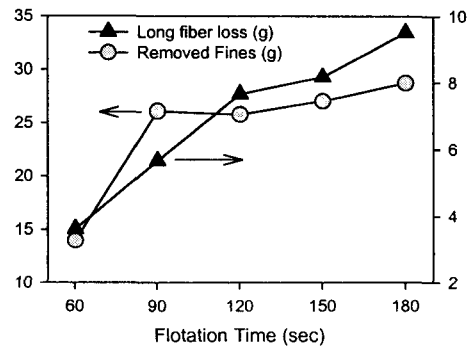
부상부유 처리시간에 따른 미세분 분급 효율의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 이때 부상부유 온도는 60℃였으며 air를 105L/min만큼 혼입시키는 조건으로 경기도 안산소재 동일제지(주)에서 채취한 1%농도의 현장 지료를 처리하였다. Fig. 1의 (a)에 나타낸 바와 같이 부상부유시간이 증가할수록 reject양은 증가하였으나 이에 포함된 미세분 함량은 감소되었다. Flotation reject양은 flotation time을 늘려감에 따라 90초까지 급속히 증가하다가 그 이후 완만한 증가세를 나타내었다. 특히 flotation reject의 증가율이 완만해진 이때부터 reject의 미세분 함량이 급격히 감소하였는데, 이러한 현상은 Fig. 1 (b)의 장섬유 손실량 및 미세분 분급량 결과로부터 다음과 같이 설명할 수 있다.

부상부유 시간을 증가시킴에 따른 reject로서의 장섬유 손실량은 거의 직선적인 증가를 보였다. 이것은 flotation time에 상관없이 일정한 양의 장섬유가 부상부유 처리에 의해 reject로서 걸러지고 있음을 의미하는 결과이다. 이와 달리 미세분의 경우 초기에 급속히 flotation reject로서 분리되다가 일정시간 이후 그 양이 일정해지는 것으로 볼 때, 장섬유와 달리 선택적으로 분급되며 주어진 부상부유 조건하에서 즉, 일정한 온도, 공기 혼입량, 유량, 농도 및 미세분 함량 조건하에서 그 양이 한정됨을 알 수 있다.

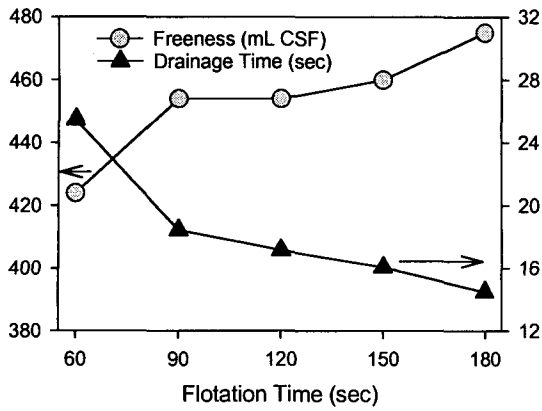
Fig. 1의 (c)는 부상부유 처리에 따른 flotation accept의 여수도 및 탈수시간 변이를 나타낸 그래프이다. 부상부유 처리에 따라 여수도가 증가하고 탈수시간이 감소하는 등, 두 측정치 모두 미세분 제거량 변이와 연관된 경향을 보였다.



(a)



(b)



(c)

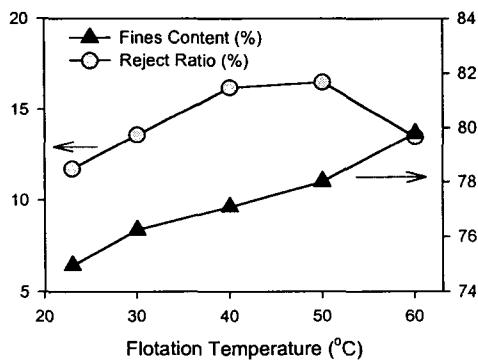
Fig. 1. The effect of flotation time on the efficiencies of OCC fractionation.

- a) Reject ratios and fines contents of flotation Rejects
- b) Amounts of fractionated fines and long fiber losses
- c) Freeness and drainage time of flotation accepts.

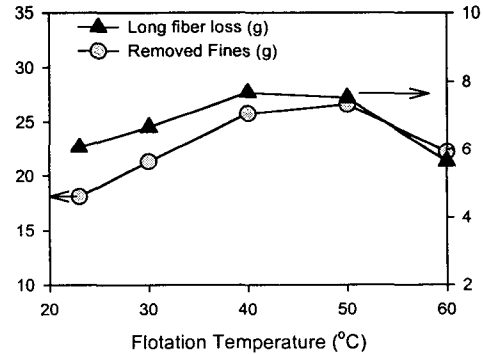
처리온도

부상부유 온도에 따른 미세분 분급 효율의 변화는 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. (a)와 (b)에 나타낸 바와 같이, 부상부유 온도가 높아질수록 reject의 양과 미세분 제거량 및 미세분 함량은 증가한 반면 장섬유 손실량은 큰 변화 없이 7g 내외였다. 이는 일정한 부상부유 시간과 유량, 공기 혼입량 및 농도 조건하에서 온도가 높을수록 미세분의 분급이 용이함을 의미한다.

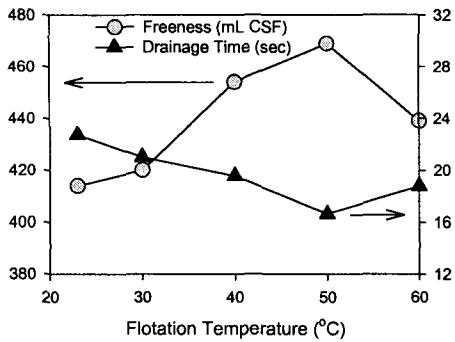
부상부유 accept의 여수도 및 탈수시간은 Fig. 1에 언급한 바와 같이 미세분 제거량에 비례하였다. 이러한 결과는 지료의 온도가 거품의 안정성에 미치는 영향으로 인해 비롯된 것으로서, 지료의 온도가 높아질 때 그 점도 저하에 따라, 공기와 지료의 균일한 분산이 이루어졌으며 부상부유 시 발포성(foaminess) 및 거품의 안정성(froth stability)이 개선됨에 기인하였다고 판단된다.



(a)



(b)



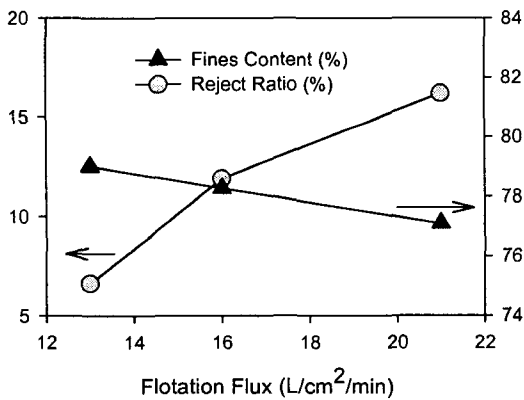
(c)

Fig. 2. The efficiency of OCC fractionation versus the flotation temperature.

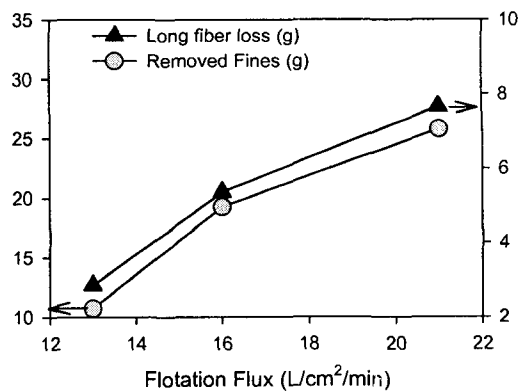
- a) Reject ratios and fines contents of flotation Rejects
- b) Amounts of fractionated fines and long fiber losses
- c) Freeness and drainage time of flotation accepts.

처리유량

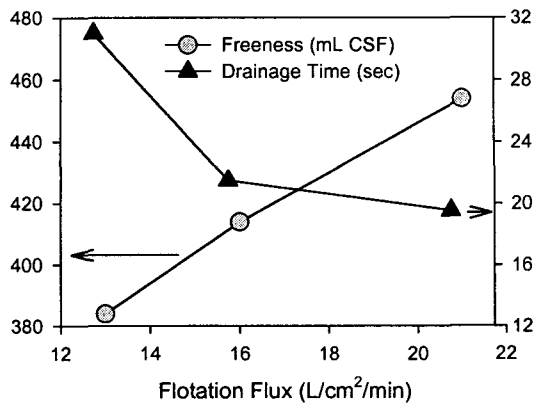
Fig. 3은 부상부유 유량에 따른 미세분 분급 효율을 나타낸 것이다. 유량을 증가시키면 따라 (a)항에 도시된 바와 같이 리젝트는 증가하나 미세분 함량이 감소하는 경향을 보였다. (b)항의 장섬유 손실과 미세분 제거량 증가를 통해 비추어 볼 때, 주어진 부상부유 조건하에서 유량을 증가 시킬 때에는 부상부유 리젝트 양은 증가하나 분급 처리의 선택적 미세분 제거 효율이 감소됨을 알 수 있다. 부상부유 역셉트의 여수도 및 탈수시간은 역시 미세분 제거량에 의해 결정되었다



(a)



(b)



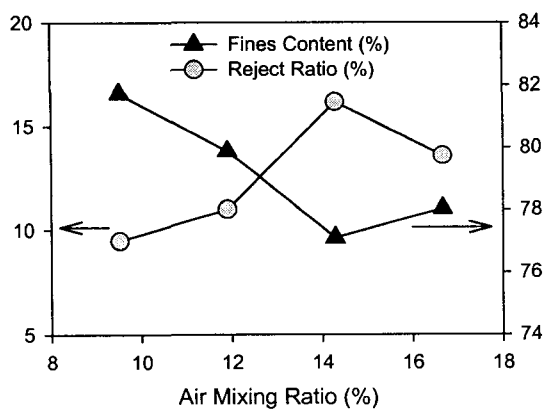
(c)

Fig. 3. The dependence of fractionation efficiency on conditions of froth flotation in terms of flotation flux.

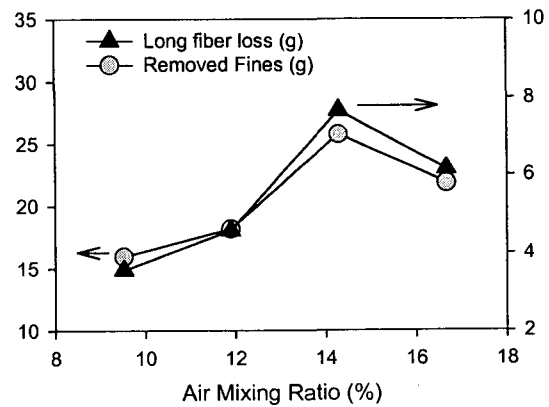
- a) Reject ratios and fines contents of flotation Rejects
- b) Amounts of fractionated fines and long fiber losses
- c) Freeness and drainage time of flotation accepts.

### 공기 혼입률

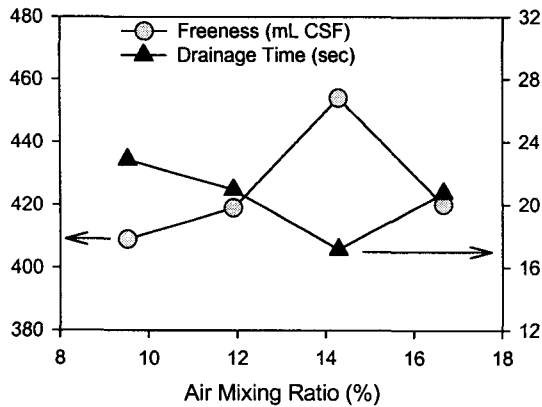
공기 혼입률에 따른 부상부유 분급 처리의 효율은 Fig. 4에 나타낸 바와 같다. (a)항에 도시된 바와 같이 공기 혼입률을 증가시키에 따라 기포의 형성이 촉진되며 리젝트율은 증가하는데, 이때 리젝트의 미세분 함량은 이와 반대로 감소함을 볼 수 있다. 이러한 경향은 부상부유 유량의 경우와 유사하여 (b)항의 내용으로 확인할 수 있듯이, 비록 공기 혼입률을 늘려 리젝트율을 높이더라도 미세분의 선택적인 제거가 저조함에 따라 장섬유 손실이 증가함을 의미한다. 공기 혼입률이 증가할수록, 전체 부상부유 유량이 증가함을 감안할 때, Fig. 4의 결과는 Fig. 3과 유사한 맥락에서 설명이 가능하다.



(a)



(b)



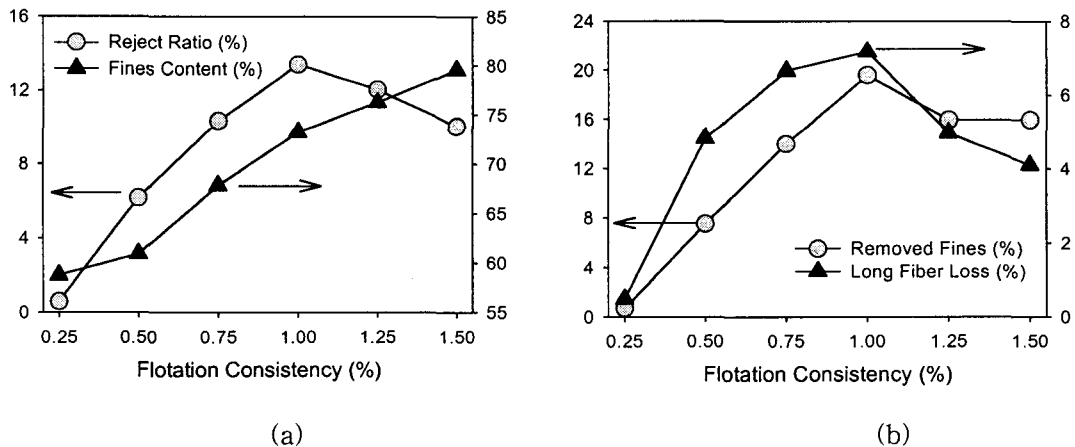
(c)

Fig. 4. The fractionation efficiency of OCC flotation at the varying conditions of air mixing ratios.

- a) Reject ratios and fines contents of flotation Rejects
- b) Amounts of fractionated fines and long fiber losses
- c) Freeness and drainage time of flotation accepts.

처리농도

부상부유 농도에 따른 미세분 분급 효율의 변이는 Fig. 5에 나타낸 바와 같다. 농도가 증가할수록 리젝트율은 증가하다가 일정 수준 이후 감소하였으나, 미세분 함량의 경우는 지속적인 증가경향을 보였다. 장섬유 손실은 농도 1% 이상에서 급격히 절감하였다. 이러한 결과의 해석을 위해 상기한 실험 결과들을 분석하여 다음과 같은 부상부유 분급 처리의 기본 mechanism을 정의할 수 있다.



(a)

(b)

Fig. 5. The efficiency of flotation fractionation according to the consistency of OCC.

- a) Reject ratios and fines contents of flotation Rejects
- b) Amounts of fractionated fines and long fiber losses

## 거품의 안정화 및 미세분의 선택적 부유

Fig. 6에 나타난 바와 같이 flotation Cell의 순환 지료는 air mixing zone을 통과한 후 injection nozzle을 통해 분산, 분사된다. 이때 지료 내의 장섬유들은 Fig. 7에 나타난 바와 같이 분사 후 시간이 경과함에 따라 점차 응집되는데 장섬유보다 응집이 여의치 않은 미세분들은 응집체 사이에 남게 되고 이것들이 기포와 함께 표면으로 상승하여 거품의 형태로 농축된다.

표면에 떠오른 기포는 농축된 미세분들이 수막의 배액을 방해하는 이유<sup>(10, 11)</sup>로 안정한 거품을 형성하며 flotation reject로서 분리된다. 즉, 미세분이 분급되는 원리는 장섬유와 달리 선택적으로 부유되어 안정한 거품의 형태로서 표면에 농축되기 때문인 것이다. 따라서 Fig. 1에 나타난 바와 같이 비록 부상부유 시간을 증가시킬지라도 응집체 사이에 존재하는 interfloc fines의 함량이 제한적이기에 미세분의 분급이 더 이상 이루어지지 못하였으며, Fig. 2의 부상부유 온도의 증가는 주로 거품의 안정성에 영향을 주는 바, 리젝트의 양은 증가하였으나 비례적으로 증가하는 장섬유의 손실을 피할 수 없었다고 판단된다. 또한, Fig. 3의 부상부유 유량의 증가는 장섬유의 응집을 저해하였던 이유로 리젝트 내의 장섬유 손실을 가중시켰으며, Fig. 4의 공기 혼입량의 증가 역시 비록 리젝트 양을 증가시켰지만 마찬가지로 장섬유의 손실 증가를 피할 수 없었다고 여겨진다.

Fig. 5의 부상부유 농도에 따른 미세분 분급효율의 경우도, 전술한 장섬유 응집과 거품의 안정성 측면에서 다음과 같이 설명할 수 있다. 농도가 증가함에 따라 거품을 안정화시킬 수 있는 미세분 함량이 증가하기에 부상부유 리젝트 양이 증가된다. 특히 농도가 낮을 때의 경우 응집이 부진하기 때문에 장섬유 손실이 많으나 농도가 높아질수록, 그러한 장섬유 손실은 응집이 촉진되는 이유로 감소하게 되고 이에 따라 부상부유 리젝트의 미세분 함량은 증가한다. 그러나 지료의 농도가 1% 이상으로 증가하게 되면 응집이 과도하게 이루어지기에 리젝트율이 감소하게 되고 특히 장섬유 손실은 크게 절감된다. 이러한 일련의 과정을 살펴볼 때, 부상부유 분급 처리의 효율을 개선시키기 위해서는 무엇보다 미세분이 장섬유에 비해 선택적으로 포집되어야 하며, 특히 포집된 미세분이 효과적으로 제거될 수 있도록 거품의 안정성이 요구됨을 알 수 있다.



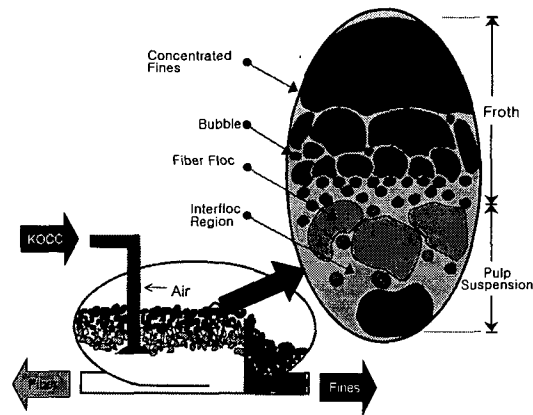


Fig. 6. Schematic diagram for froth-flotation fractionation.

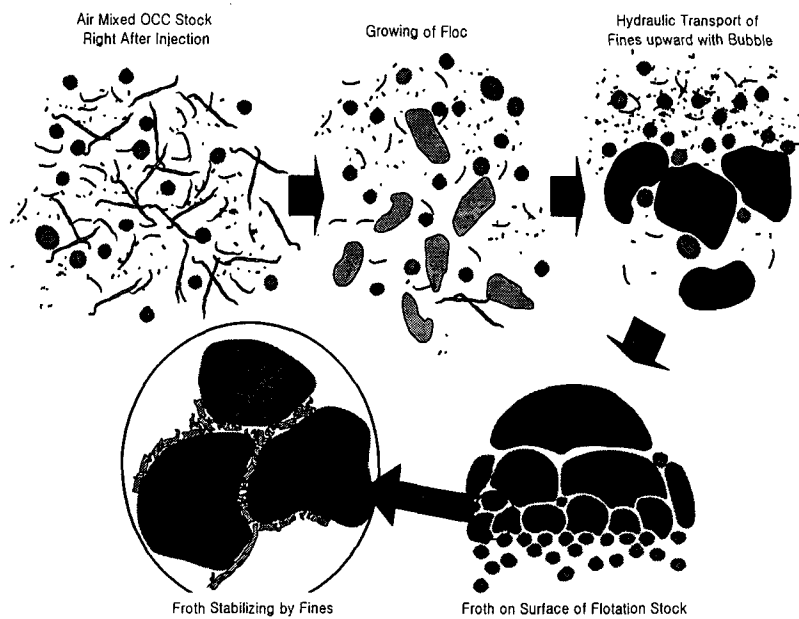


Fig. 7. Schematic diagrams for a selective fines flotation and froth stabilization.

미세분의 선택적인 부상을 위해서는 장섬유가 기포와 함께 부상되지 않도록 억제하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 장섬유의 응집을 유도하는 것이 바람직하며, 전술한 실험결과를 비추어 볼 때 flotation flux을 줄이고 air mixing ratio를 낮추면서 처리농도를 높이는 방법을 들 수 있다. 그러나 이 경우 flotation reject양이 감소되는 단점을 피할 수 없다. 거품의 안정성은 지료의 온도를 높이고 부상부유 단계를 다단으로 하여 미세분 함량을 증가시켜 처리하는 방법 등을 통해 향상시킬 수 있다. 물론 공기 혼입량을 증가시키는 경우도 기포의 발생량을 증가시켜 보다 많은 flotation reject를 걸어낼 수 있으나, 이 경우에는 장섬유 손실

의 증가를 피할 수 없어 적용이 어렵다. 따라서 부상부유 미세분 분급 처리의 효율을 개선하기 위해서는 장섬유의 응집을 촉진시키면서 거품의 안정성을 향상시키는 새로운 방법이 개발되어야 한다.

## 결 론

OCC에 포함된 다량의 미세분이 flotation reject로서 선택적으로 분급되는 기본 원리는 장섬유의 응집에 따른 미세분의 선택적 부상과, 작은 미세분이 액막의 배액을 저해함에 따른 거품의 안정화이다. 미세분 분급을 위한 최적의 실험실적 부상부유 조건은 처리시간 90초, 온도 60℃, 처리유량 105L/min, 공기혼입률 15L/min 및 농도 1%이다. 장섬유의 응집을 촉진시키며, 부상부유 리젝트 양을 증가시키는 부상부유 조건은 서로 상치되는 경우가 있어 그 적용에 어려움이 있다. 이를 극복하기 위해 부상부유 미세분 분급 처리의 개선안이 절실히 요구되고 있다.

## 인용문헌

1. Bliss T., Pulp and Paper, 88 (1987)
2. Clark L. E. and Iannazzi F. D., Tappi, 57 (1974)
3. Abubakr, S., TAPPI 1994 Recycling Symposium, TAPPI Press, Atlanta, 309 (1994).
4. Lindström, C., Pettersson, B., Gustavsson, A., Persson, S., and Backman, J., TAPPI 1995 Recycling Symposium, TAPPI Press, Atlanta, 131 (1995).
5. Guss, D., and Meier, A., TAPPI 1997 Recycling Symposium, TAPPI Press, Atlanta, 477 (1997).
6. Waterhouse, J. F., and Liang, Y. X., TAPPI 1995 Recycling Symposium, TAPPI Press, Atlanta, 103 (1995).
7. Ryu, J. -Y., Shin, J. -H., and Ow, S. S. -K., 1999 TAPPI Recycling Symposium, Vol. 1, 177, TAPPI Press, Atlanta (1997).
8. Ji, K. -R., Ryu, J. -Y., Shin, J. -H., Song, B. -K., and Ow, S. S. -K., J. Kor. TAPPI, 31(1), 10 (1999).
9. Seo, H. -I., Ryu, J. -Y., Shin, J. -H., Song, B. -K., and Ow, S. S. -K., J. Kor. TAPPI, 31(1), 17 (1999).
10. Hayashi, Y. Japan Tappi 45(1), 178 (1991)
11. Takahashi, Y., Tsunoda, J. and Sasaki, T. Current Technology of anti-forming agent, CMC, Tokyo (1991)