

고지재생연구(제9보)

- 부상부유 처리조건이 골판지 고지의 분급효율에 미치는 영향과 미세분 분급의 원리 -

여 성 국·지 경 락·류 정 용·신 중 호·송 봉 근·서 영 범*

Recycling of Wastepaper (IX)

- The Effect of Flotation Conditions on the Efficiency of KOCC
Fractionation and Principles of Fines Fractionation -

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

ABSTRACT

In order to investigate the influencing factors in flotation fractionation, flotations were performed at varied conditions. The selectivity of fines fractionation was mainly affected by long fiber flocculation degree and if there were not sufficient flocculation of long fibers, more loss of long fibers could not be avoided. The amount of flotation rejects were totally dependent on the stability of froth floated on the stock surface. Only small size fines could stabilize the froth as they hindered the drainage of liquid lamella in flotation-froth. More flotation reject and better flocculation of long fibers were two important factors for improving flotation. Changing a flotation flux or an air-mixing ratio to increase the flocculation of fibers increased long fiber ratio in the reject. In order to satisfy the both conditions of reducing long fiber loss and of increasing flotation reject, search of fractionation promoter is needed.

1. 서론

원료 부족에 따른 천연 펄프 및 고지의 가격 상승과 민감해져 가는 환경문제를 극복하기 위해 현재 제지산업에서는 고지의 재활용 기술 개발에 관해 많은 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 반복된

건조-재습윤 과정을 거치면서 재생된 섬유는 세포벽의 각질화(hornification)로 인하여, 그 팽윤능력이 감소함에 따라 유연성이 저하되고 고해시 가해지는 물리적인 힘에 의해 섬유가 쉽게 절단됨에 따라 단섬유화 된다. 각질화에 의한 섬유의 유연성 상실과 단섬유화 현상은 탈수 부하를 유발시킬 뿐

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

* 충남대학교 임산공학과(Department of Forest Products, Graduate School, Chungnam National University, Gung-Dong, Taejeon, 305-764, Korea).

만 아니라 섬유간의 결합능력이 감소됨에 따라 생산되는 종이의 강도를 현저히 저하시킨다. 또한, 장섬유분보다 미세섬유분의 함량이 더 많고, 점착성 이물질이나 잉크 등과 같이 종이의 외관을 저해하는 물질들이나 탈수성 저해물질들이 다량 함유되어 있는 저급의 국산 골판지 고지(Korean old corrugated container, KOCC)의 경우에는 더욱더 상기한 강도 저하 및 탈수성 악화 현상이 조장된다. 따라서, 고지 내에 포함되어 있는 악성 미세성분들이 적절히 처리되지 않는 한 많은 문제점들이 발생된다는 것은 자명한 일이다.

기존의 섬유 분급처리는 고지를 활용한 산업용지의 생산시장, 단섬유를 분리하여 주원료의 품질을 향상시키고, 고지를 원료로 사용함으로써 비롯되는 주원료의 품질변이를 완충시키고자 적용되어 왔다. Abubakr 등¹⁾과 Lindstrom 등²⁾은 classifier와 rotating mesh screen으로 고지를 분급하여 재생섬유의 결점을 보완하려고 노력하였다. 또한, Guss 등³⁾은 다양한 필터로 재생섬유를 분급하여 고지사용을 극대화하려고 시도하였고, Waterhouse 등⁴⁾은 OCC를 200 메쉬 스크린으로 처리하여 단섬유분과 장섬유분으로 분급하고 단섬유분에 수산화나트륨을 처리한 후 다시 장섬유분과 혼합하여 탈수거동을 검토하였다. Bliss⁵⁾와 Clark 등⁶⁾은 골판지 고지를 재활용하는 골판지 원지의 생산공정에 pressure screen이나 multifractor 등을 활용하여, 골판지 고지를 이루는 골심용 NS SC와 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.

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 있기에, 그 여수도가 북미산 골판지 고지에 비하여 100 mL CSF 이상 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.

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 분급처리시 천공의 plugging 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.⁷⁻⁹⁾

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 악성 미세성분들이 50% 이상 포함되어 탈수성, 강도 및 종이의 외관이 불량한 저급의 KOCC를 분급하기 위해 적용되는 부상부유 분급처리의 효율을 최적화시키고 미세분 분급의 원리를 파악하기 위해 조절이 가능한 5가지 부상부유 조건을 달리하여 분급처리를 실시하였으며

그 결과를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험 재료

국산 골판지 고지를 100% 사용하여 골판지 원지를 생산하는 동일제지(주)의 헤드박스(head-box)에서 라이너지의 이면 지료를 채취하여 부상부유 처리하였으며, 농도는 약 1%, 여수도는 343 mL CSF이었다.

2.2 실험 방법

2.2.1 부상부유 섬유분급 및 분급조건

독일 포이트(Voith)사의 E형 부상부유기(E-18 type, Voith GmbH, Heidenheim, Germany)를 사용하여 부상부유 처리하였다. 부상부유 처리조건은 다음과 같이 달리하였다. 부상부유 처리조건은 농도 1%, 온도 50℃, 유속 105 L/min, 공기유량 15 L/min 및 처리시간 120초를 기준으로 부상부유 처리시간은 60~180초, 온도 20~60℃, 부상부유기 내를 순환하는 지료의 유량 12~20

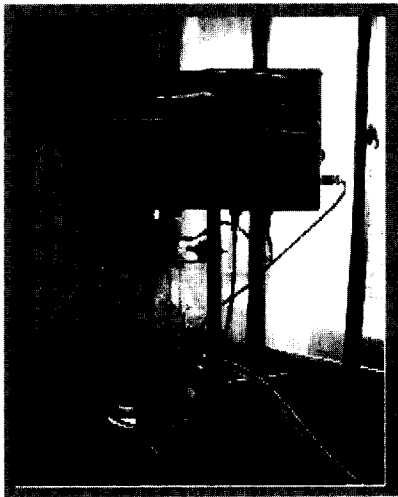


Fig. 1. Modified Dynamic Drainage Jar for wet screening.

L/cm²/min, cell 내로 혼입되는 공기량 5~20 L/min 및 지료농도 0.25~1.5%로 각각 달리하였다.

2.2.2 분급된 지료들의 분석

장섬유분인 역셉트는 TAPPI 표준실험방법 T 227과 T 221에 의거하여 여수도와 탈수시간을 각각 측정하였다. 또한, 부상부유 처리에 의해 제거되는 리젝트의 리젝트양과 리젝트율을 측정하였으며 본 연구센터가 고안한 Fig. 1의 미세분 제거기를 이용하여 리젝트 성분 중의 미세분 함량 및 장섬유 손실량을 측정한 후 그 결과를 바탕으로 분급효율을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 부상부유 조건 변화

3.1.1 Flotation Time

부상부유 처리시간에 따른 미세분 분급효율의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2의 (a)에 나타낸 바와 같이 부상부유시간이 증가할수록 리젝트양은 증가하였으나 이에 포함된 미세분 함량은 감소되었다. 리젝트양은 부상부유 시간을 늘려감에 따라 90초까지 급속히 증가하다가 그 이후 완만한 증가세를 나타내었다. 특히 부상부유 리젝트의 증가율이 완만해진 이때부터 리젝트의 미세분 함량이 급격히 감소하였는데, 이러한 현상은 Fig. 2 (b)의 장섬유 손실량 및 미세분 분급량 결과로부터 다음과 같이 설명할 수 있다.

부상부유 시간을 증가시키에 따른 리젝트로서의 장섬유 손실량은 거의 직선적인 증가를 보였다. 이것은 flotation time에 상관없이 일정한 양의 장섬유가 부상부유 처리에 의해 리젝트로서 견혀지고 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 분급되는 양이 한정됨을 알 수 있다.

Fig. 2의 (c)는 부상부유 처리에 따른 flota-

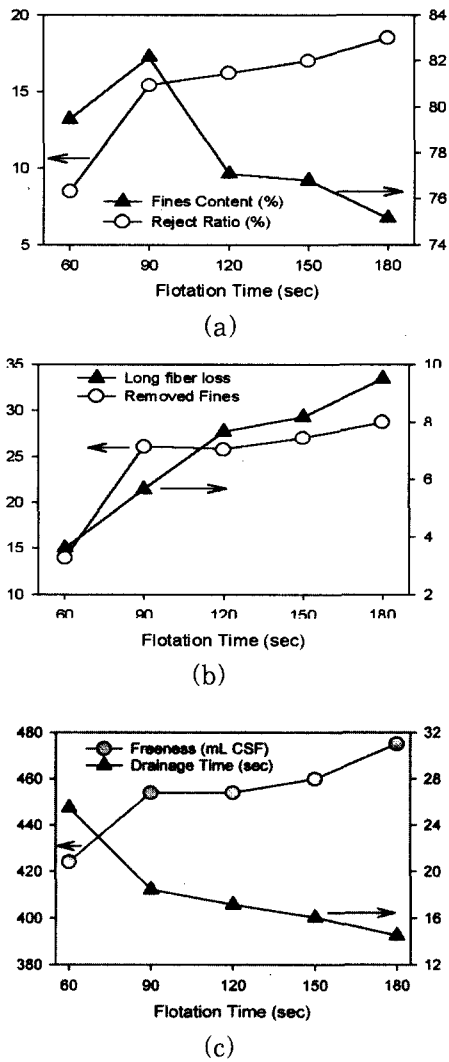


Fig. 2. The effect of flotation time on the efficiencies of OCC fractionation.
 a) Reject ratios and fines contents of flotation Rejects
 b) Amounts of fractionated fines and long fiber losses
 c) Freeness and drainage time of flotation accepts.

tion accept의 여수도 및 탈수시간 변이를 나타낸 그래프이다. 부상부유 처리에 따라 여수도가 증가하고 탈수시간이 감소하는 등, 두 측정치 모두 미세분 제거량 변이와 연관된 경향을 보였다.

3.1.2 Flotation Temperature

부상부유 온도에 따른 미세분 분급효율의 변화는 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. Fig. 3의 (a)와 (b)에 나타낸 바와 같이, 부상부유 온도가 높아질

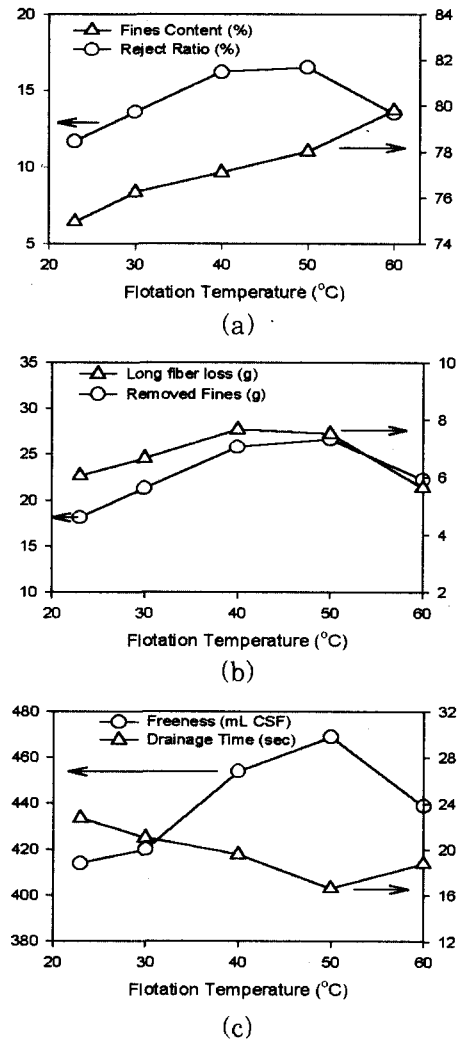


Fig. 3. The efficiency of OCC fractionation versus the flotation temperature.
 a) Reject ratios and fines contents of flotation Rejects
 b) Amounts of fractionated fines and long fiber losses
 c) Freeness and drainage time of flotation accepts.

수록 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. 2에 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 부상부유시 발포성(foaminess) 및 거품의 안정성(froth stability)이 개선됨에 기인하였다고 판단된다.

3. 1. 3 Flotation Flux

Fig. 4은 부상부유 유량증가에 따른 미세분 분급효율의 변화를 나타낸 것이다. 유량을 증가시키기에 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 증가시킬 때에는 부상부유 리젝트 양은 증가하나 분급처리의 선택적 미세분 제거 효율이 감소됨을 알 수 있다. 부상부유 액셉트의 여수도 및 탈수시간은 역시 미세분 제거량에 의해 결정되었다.

3. 1. 4 Air Mixing Ratio

공기 혼입률에 따른 부상부유 분급처리의 효율은 Fig. 5에 나타낸 바와 같다. (a)항에 도시된 바와 같이 공기 혼입률을 증가시키기에 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 높여더라도 미세분의 선택적인 제거가 저조함에 따라 장섬유 손실이 증가함을 의미한다. 공기 혼입률이 증가할수록, 전체 부상부유 유량이 증가함을 감안할 때, Fig. 5의 결과는 Fig. 4와 유사한 맥락에서 설명이 가능하다.

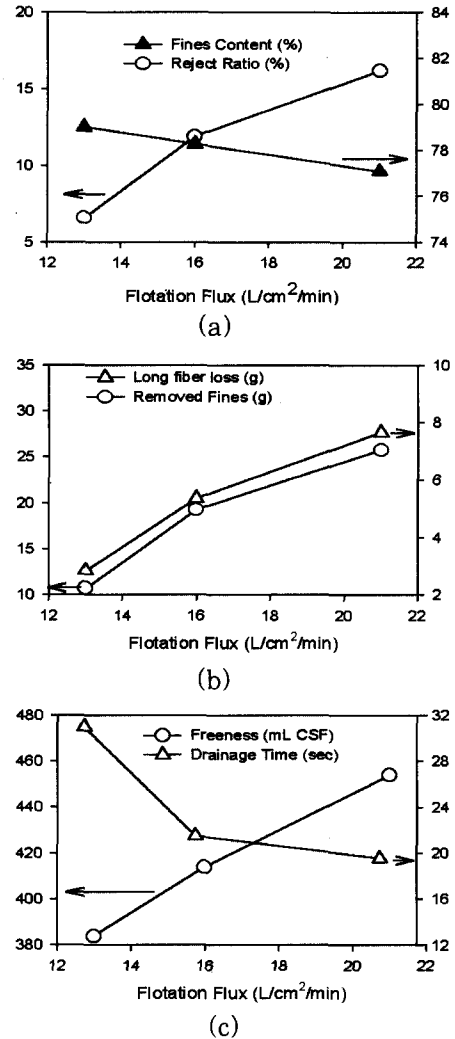


Fig. 4. The dependence of fractionation efficiency on conditions of froth flotation in terms of flotation flux.

- 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.

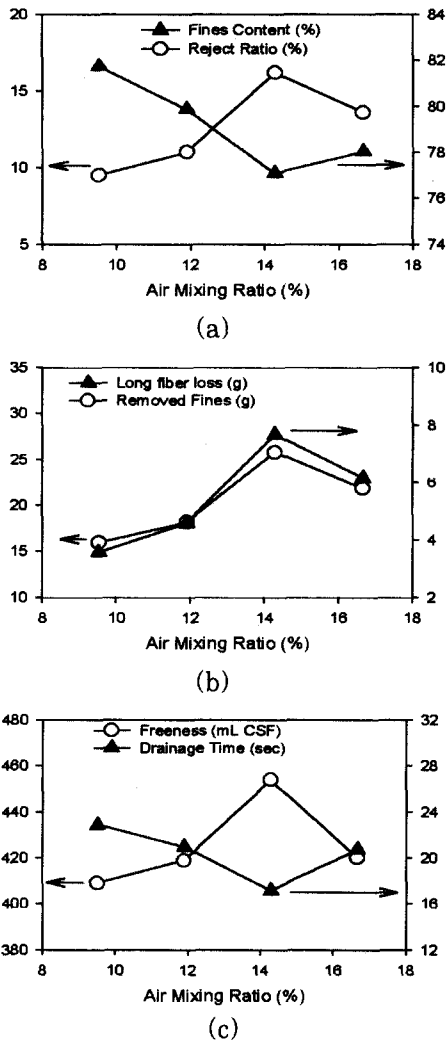


Fig. 5. The fractionation efficiency of OCC flotation at the varying conditions of air mixing ratios.

- 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.

3. 1. 5 Flotation Consistency

부상부유 농도에 따른 미세분 분급효율의 변이는 Fig. 6에 나타낸 바와 같다. 지료의 농도가 증가할수록 리젝트율은 계속 증가하다가 1% 이상에서

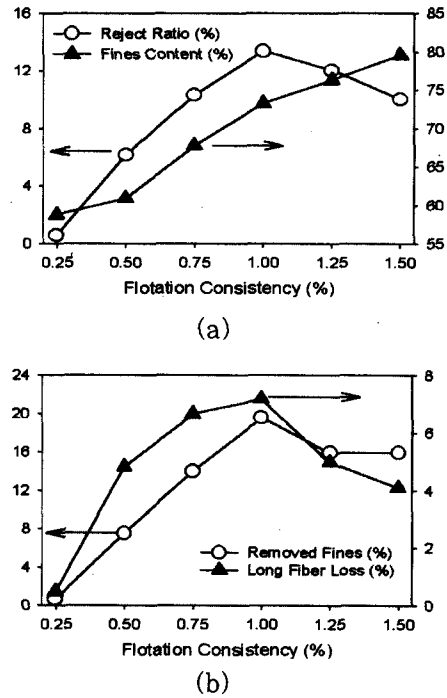


Fig. 6. The efficiency of flotation fractionation according to the consistency of OCC.

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

는 감소하였으나, 미세분 함량의 경우 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 처리 지료의 농도가 너무 높아지게 되면 장섬유의 응집이 과도하게 이루어지고 지료의 유동이 방해받게 되므로 리젝트율이 감소하게 되는 것이다.

제거된 미세분의 양과 장섬유 손실은 농도 1% 이상부터는 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 농도가 높아져 플러크가 커지게 되면 결과적으로는 거의 모든 장섬유들이 플러크를 이루기 때문에 플러크 사이에서 존재하다가 미세분들과 함께 제거되는 장섬유의 양이 적어지므로 장섬유 손실이 줄어들게 되는 것이다.

3.2 거품의 안정화 및 미세분의 선택적 부유

부상부유법에 의해 분급된 리젝트에는 앞서 언급하였듯이 무기물, 점착성 이물질, 잉크, 전분, 그리고 각질화된 미세섬유 등과 같은 물질이 다량 함유되어 있다. 이러한 리젝트 성분들은 초지시, 탈수부하를 발생시킬 뿐 아니라, 종이의 외관이나 강도적인 특성에 좋지 않은 영향을 미친다는 사실이 이미 밝혀진 바가 있다.^{4,7)} Fig. 7은 부상부유법에 의해 분급된 리젝트의 성상을 나타낸 주사 현미경 사진(scanning electron micrograph, SEM)으로서 리젝트에는 섬유 이외의 다른 이물질이 대부분이라는 것을 관찰할 수 있다. 실제로, 분급된 리젝트를 손으로 만져 보면 마치 고운 진흙을 만지는 것같이 미끈미끈한 느낌이 든다.

Fig. 8에 나타난 바와 같이 flotation cell의 순환 지료는 air mixing zone을 통과한 후 injection nozzle을 통해 분산, 분사된다. 이때 지료 내의 장섬유들은 Fig. 9에 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^{4,10)}로 안정한 거품을 형성하며 flotation reject로서 분리된다. 즉, 미세분이 분급되는 원리는 장섬유와 달리 선택적으로 부유되어 안정한 거품의 형태로써 표면에 농축되기 때문

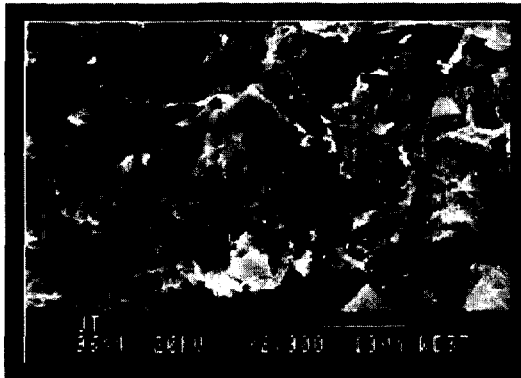


Fig. 7. Scanning electron micrograph(SEM) image of flotation reject.

인 것이다.

따라서 Fig. 2에 나타난 바와 같이 비록 부상부유 시간을 증가시킬지라도 응집체 사이에 존재하는 interfloc fines의 함량이 제한적이기에 미세분의 분급이 더 이상 이루어지지 못하였으며, Fig. 3의 부상부유 온도의 증가는 주로 거품의 안정성에 영향을 주는 바, 리젝트의 양은 증가하였으나 비례적으로 증가하는 장섬유의 손실을 피할 수 없었다고 판단된다. 또한, Fig. 4의 부상부유 유량의 증가는 장섬유의 응집을 저해하였던 이유로 리젝트 내의 장섬유 손실을 가중시켰으며, Fig. 5의 공기 혼입량의 증가 역시 비록 리젝트 양을 증가시켰지만 마찬가지로 장섬유 손실의 증가를 피할 수 없었다고 여겨진다.

Fig. 6의 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 분급처리의 효율을 개선시키기 위해서는 무엇보다 미세분이 장섬유에 비해 선택적으로 포집되어야 하며, 특히 포집된 미세분이 효과적으로 제거될 수 있도록 거품의 안정성이 요구됨을 알 수 있다.

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

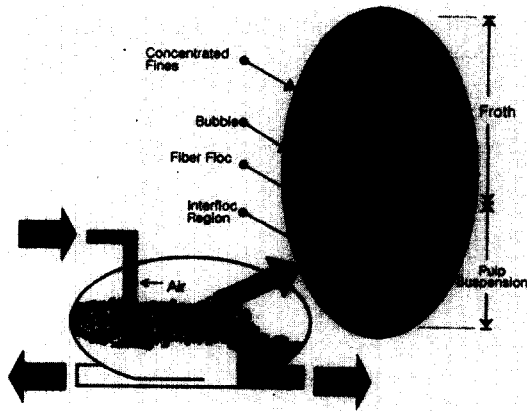


Fig. 8. Schematic diagram for froth-flotation fractionation

수 있으나, 이 경우에는 장섬유 손실의 증가를 피할 수 없어 적용이 어렵다. 따라서 부상부유 미세분 분급처리의 효율을 개선하기 위해서는 장섬유의 응집을 촉진시키면서 거품의 안정성을 향상시키는 새로운 방법이 개발되어야 한다.

4. 결론

앞서 언급하였던 것처럼, 부상부유법에 의한 KOCC의 미세분 분급은 지료 내에서 상승하는 공기방울에 미세성분 입자가 포집되어 분급되는 공정이므로 골판지의 원료를 분급할 때, 어떤 조건에서 처리하느냐에 따라 역젝트 및 리젝트의 성상이 확연하게 달라질 수가 있다. 그러므로, 장섬유의 손실을 최소한으로 줄이는 범위 내에서 초지공정 상에 악영향을 미치는 미세성분들을 가장 효과적으로 분급하여 최적의 초지 조건을 확립하는 것이 선행되어야 한다.

OCC에 포함된 다량의 미세분이 flotation reject로서 선택적으로 분급되는 기본 원리는 장섬유의 응집에 따른 미세분의 선택적 부상과, 작은 미세분이 액막의 배액을 저해함에 따른 거품의 안정화이다. 본 실험에 사용된 국산 고지에서는 미세분 분급을 위한 최적의 실험실적 부상부유 조건은 처리시간 90초, 온도 60℃, 처리유량 105 L/min, 공기 혼입률 15 L/min 및 농도 1%임을 확인할 수 있었다.

하지만, 장섬유의 응집을 촉진시키며 부상부유

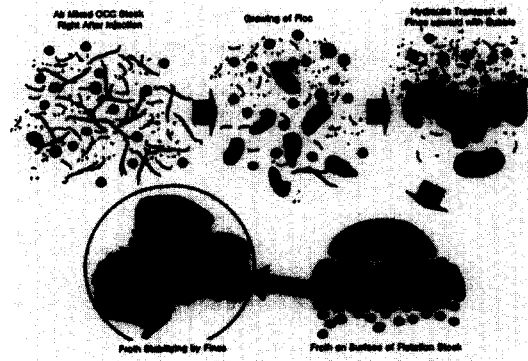


Fig. 9. Schematic diagrams for a selective fines flotation and froth stabilization.

리젝트 양을 증가시키는 부상부유 조건은 서로 상치되는 경우가 있어 그 적용에 어려움이 있으므로 이를 극복하기 위해 부상부유 미세분 분급처리의 개선안이 절실히 요구되고 있다.

인용문헌

1. Abubakr, S., TAPPI 1994 Recycling Symposium, TAPPI Press, Atlanta, p. 309 (1994).
2. Lindström, C., Pettersson, B., Gustavsson, A., Persson, S., and Backman, J., TAPPI 1995 Recycling Symposium, TAPPI Press, Atlanta, p. 131 (1995).
3. Guss, D., and Meier, A., TAPPI 1997 Recycling Symposium, TAPPI Press, Atlanta, p. 477 (1997).
4. Waterhouse, J. F., and Liang, Y. X., TAPPI 1995 Recycling Symposium, TAPPI Press, Atlanta, p. 103 (1995).
5. Bliss T., Pulp and Paper, 88 (1987).
6. Clark L. E. and Iannazzi F. D., Tappi, 57 (1974).
7. Ryu, J.-Y., Shin, J.-H., and Ow, S. S.-K., 1999 TAPPI Recycling Symposium, Vol. 1, p. 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. Muvundamina, M., and Li, M., TAPPI J., 80(2):

- 149 (1997).
11. Hayashi, Y. Japan Tappi 45(1), 178 (1991). Technology of anti-forming agent, CMC, Tokyo (1991).
12. Takahashi, Y., Tsunoda, J. and Sasaki, T. Current