

고지재생연구(제9보)

- 국산 골판지 고지 내의 미세분 및 이물질들이
Condebelt Press Drying System에 미치는 영향 -

지 경 락·류 정 용[†]·신 중 호[†]·송 봉 근

Recycling of Wastepaper (IX)

- Effects of KOCC Fines and Other Contaminants on
Condebelt Press Drying System -

Kyoung-Rak Ji, Jeong-Yong Ryu[†], Jong-Ho Shin[†], and Bong-Keun Song

ABSTRACT

In Condebelt press drying system, the temperature difference between top and bottom plate of Condebelt transfers water to bottom side. Fine fibers, stickies, ink, and various inorganic materials are also migrated to the fine wire located at the bottom plate by highly pressurized moisture flow. As a result, the fine wire contaminated by plugging of these fine and sticky materials can cause many problems such as blistering or partial crushing of paper. The contamination of fine wire leads to a deteriorated strength together with uneven physical properties of paper.

In this paper, froth-flotation method, which is commonly used in the field of ONP recycling process, were adopted to separate the contaminants in KOCC as a new fiber fractionation method. Standard deviation of paper strength and brightness decrease of Condebelt fine wire were measured to investigate the effect of contaminants removal. The standard deviations of paper strength obtained from the flotated accept were not dependent on the number of Condebelt press drying. However, in the case of untreated KOCC, the standard deviations were increased as press drying repeated. This indicates that the contaminant gives uneven physical properties to the paper by wire plugging. Optical and SEM images clearly illustrate the effect of contaminants on the wire condition.

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

† 주저자(Corresponding authors): e-mail: jyryu@pado.kRICT.re.kr, jhshin@pado.kRICT.re.kr

1. 서론

골판지 제조 시 주원료로 사용되는 국산 골판지 고지(Korean old corrugated container, KOCC)는 거듭된 재생처리로 인하여 미세분의 함량이 전체 지료의 절반 이상에 달할 뿐만 아니라, 섬유가 각질화됨에 따라 재생처리가 거듭될수록 그러한 미세분의 형성이 더욱 조장되고 있다. 일반적으로 75 μm 크기 이하의 무기물 및 단섬유를 일컫는 미세분은 골판지 원지의 초지 시 습지필의 탈수를 저해하여 생산성을 저하시키는 요인이 되어 왔다.

최근 저급의 고지 원료로 종이를 생산함에 있어 고온 압착 건조 기술을 적용하여 전반적인 종이 물성을 향상시키는 신기술이 새롭게 주목을 받고 있다. 1973년에 처음으로 압착 건조 방식이 제지 업계에 도입되었으나,¹⁾ 상업화는 제대로 이루어지지 못한 실정이었다. Condebelt press dryer라 불리는 고온 압착 건조 방식은 70년대부터 많은 발전을 거듭해 왔지만 90년대에 들어서면서 과일 러트 규모의 설비로서 처음 공개되었으며, 90년대 후반에는 국내 초지공정에 처음으로 적용되기에 이르렀다. 이렇게 제지공정에 직접 적용하는 사례가 생기기 시작하면서 Condebelt press drying system은 주요한 관심거리로 대두되기 시작하였다.²⁾ 골판지용 라이너지의 생산공정에 적용된 Condebelt 고온 압착 건조 시스템에서 건조 시 가해지는 두께 방향의 고온 압착은 습지의 건조 효율을 향상시키고, 섬유가 충분히 연화되어 강도

나 표면특성 등의 종이 물성에 많은 영향을 미친다. 이렇듯 Condebelt press drying system은 기존의 실린더 건조방식에 비해 에너지 이용 효율을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라 제조된 종이의 물성 면에서 우수한 장점을 가진 공정 기술이라 할 수 있다.

Fig. 1에 도시된 그림은 실제 제지공정에 설치된 Condebelt press dryer의 모식도를 나타낸 것으로, 상부와 하부에 steel belt가 있고 하부 steel belt 위에는 fine wire와 coarse wire가 설치되어 있다. 습지필로부터 수분이 이들 wire로 전이된 후 공극에 포집시킨 후 배출된다. 그러므로, wire는 습지로부터 전이되는 수분을 효과적으로 포집시키기 위해서는 적당한 공극구조를 유지해야만 한다.

100% 고지를 원료로 사용하여 골판지용 라이너지를 생산하는 공정에 적용된 Condebelt press drying system을 운전할 때, 열악한 원료 고지의 특성 때문에 발생할 수 있는 문제점들은 크게 2가지로 나누어서 생각해 볼 수 있다. 첫째, 현장에서 조성된 지료 내에 절반 이상의 비율을 차지하고 있는 악성 미세분으로 인한 문제점을 들 수 있다. 이러한 미세분들은 습부공정에서 효율적인 탈수를 저해할 뿐 아니라 Condebelt press drying 시 보류된 미세분은 습지의 통기성을 저하시켜 fine wire로의 원활한 수분 전이를 방해하게 된다. 미세분으로 인한 습지의 통기성 저하는 blistering이나 부분적인 crushing을 유발할 수 있다. 전술하였듯이, 거듭된 재생처리와 섬유의 각질화로 인해 더욱 조장되는 미세분의 함량은 앞으로 고지를 종이 원료로 사용하는 업체에서 고려해야 할 가장 큰 문제일 수 있다. 두 번째로 고려해야 할 사항은 하부 fine wire의 오염물질이다. 고지 내에 함유되어 있는 점착성 이물질(sticky material)은 고온 고압에 의해 수분이 감소됨에 따라 점착성을 띠게 되고, 결국 fine wire의 공극을 막아 통기성을 저하시키게 된다. 통기성이 저하된 fine wire로 종이를 생산할 경우, 종이의 불균일한 건조를 초래하여 강도저하는 물론이고 강도의 분포가 고르지 않게 된다. Fine wire를 오염시키는 주된 물질인 점착성 이물질은 고지 내에 함유된 복사용 토너, 안료 코팅 시 바인더로 사용된 점착제인 라텍스(latex), 골판지 상자의 봉합이나 책자의 제본에 사용되는 핫 멜트 수지(hot-melt resins) 및 각종 테이프류에 포

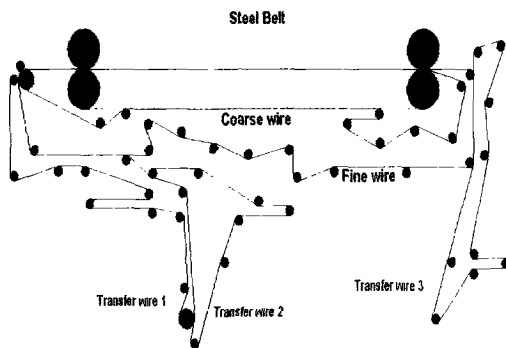


Fig. 1. Schematic diagram of Condebelt press drying process.

함된 감압 점착제(pressure sensitive adhesives) 등에 의해 형성된다.^{3,6)} 이러한 점착성 이물질은 초지 시 지질을 유발하여 생산성을 저하시키는 요인이 되며, 최종 지제품의 각종 강도적 불성 및 가공적성을 해칠 뿐만 아니라, 외관상 상품 가치를 떨어뜨리는 원인이 되는 등 많은 문제를 발생시킨다.^{7,8)} 더욱이, 최근 골판지 원지 생산업체들이 환경보전과 용수절감을 목적으로 공정수의 폐쇄화를 강력하게 추진하면서 폐수의 배출량을 지속적으로 줄여 감에 따라 진술한 점착성 이물질의 공정수 내 축적이 계속 증가하여 이로 인한 지질 및 초조 용구가 오염되는 등의 문제는 더욱 심화될 것이라고 예상된다. 예로서, 미국의 골판지 원지 제조업체가 점착성 이물질로 인한 다운타임(down time)으로 생산성이 저하됨에 따라, 매년 1억 5천만 달러 이상의 손실을 입고 있다는 보고가 있다.⁹⁾ 저급의 골판지 고지를 주원료로 사용하는 한, 미세분이나 점착성 이물질로 인해 Condebelt press drying system에서 발생될 수 있는 문제들을 완벽하게 해결하는 것은 결코 쉬운 일은 아닐 것이다. 따라서, 현재 국산 골판지 원지 제조에서의 원료 체계 및 초지 환경에 맞는 미세분 및 점착성 이물질의 제거 기술의 개발이 그 어느 때보다 절실히 요구되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 골판지 고지 내에 포함된 미세분과 점착성 이물질을 효과적으로 분급해 내는 방법으로서 인쇄용지를 탈묵할 때 주로 사용되고 있는 부상부유법(froth flotation)^{10,11)}을 적용하였다. 부상부유법을 이용하여 효과적으로 이러한 물질들을 분급해냄으로써 미세분 및 점착성 이물질로 인해 발생하는 문제들을 최소한으로 줄여 골판지 재생공정에서의 작업성과 생산되는 지제품의 품질을 향상시킬 뿐 아니라, Condebelt press drying system에서 발생할 수 있는 제반 문제점들을 해결하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험 재료

코팅고지와 사무실 잡고지가 약 30% 정도 혼합된 국산 골판지 고지를 주원료로 하는 동일제지(주)의 bottom headbox stock을 입수하여 원료 펄프로 사용하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 부상부유 처리

미세분 및 점착성 이물질의 분급을 목적으로 실험실용 부상부유기(E-18 type, Voith GmbH, Heidenheim, Germany)를 사용하였으며, 이에 대한 모식도를 Fig. 2에 도시하였다. 농도 1%의 지료를 45℃로 유지시키면서 부상부유기 내로 유입시키는 동시에 15 L/min의 공기를 2분 동안 혼입시켰으며, 이때 유속은 105 L/min이었다. 지료 내에 있는 미세분과 점착성 이물질이 포함된 리젝트분을 혼입되는 기포의 표면에 흡착시켜 분급하였다.

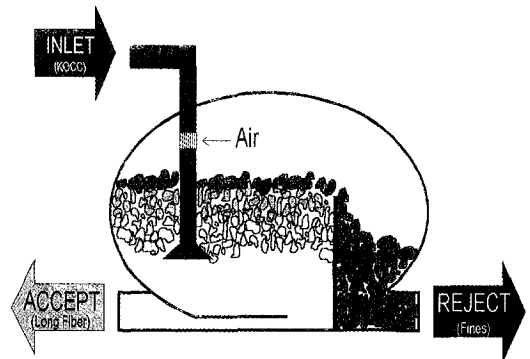


Fig. 2. Schematic diagram of froth flotation-fractionation process for sticky removal.

2.2.2 Condebelt 고온 압착 건조

부상부유법을 이용하여 미세분 및 점착성 이물질을 제거하였으며 이때 지료로부터 제거되는 전체 리젝트분은 17%에 달하였다. 미세분 및 이물질의 제거 후 얻어진 부상부유 역셍트분을 크기 25×25 cm²의 사각 수초지기를 이용하여 평량 150 g/m²으로 초지하였다. 초지된 습지필을 평판 압착기를 이용하여 4.5 kg/cm²의 압력으로 3분 동안 압착시켜 그 dryness를 45% 내외로 조정하였다. 이러한 과정에 의해 제조된 10장의 습지필을 실험실용 static Condebelt를 이용하여 차례로 고온 압착 건조 처리를 실시하였다. 이때, 상부 plate와 하부 plate의 온도는 각각 180℃

및 80℃였으며, 7 bar의 압력으로 7초 동안 압착·건조시키는 과정을 하루 fine wire의 세척처리 없이 10장의 습지필에 대해 반복하였다. 이어, 초지된 순서에 따라 수초지의 인장강도를 Tappi 표준시험법 T-494 om-88에 준하여 측정하였는데, 각 수초지를 재단하여 구성한 14개의 시편이 나타내는 인장강도의 평균치와 표준편차를 계산하였다. 아울러 고온 압착 건조 처리시 이용되는 하루 fine wire의 백색도 변화를 헌터 백색도 측정기(Hunter Brightness Tester, Hunter Lab, USA)를 사용하여 측정하였으며, 광학현미경 사진과 주사전자현미경 이미지를 분석하여 고지 내의 이물질이 하루 fine wire의 공극구조에 미치는 영향을 관찰하였다.

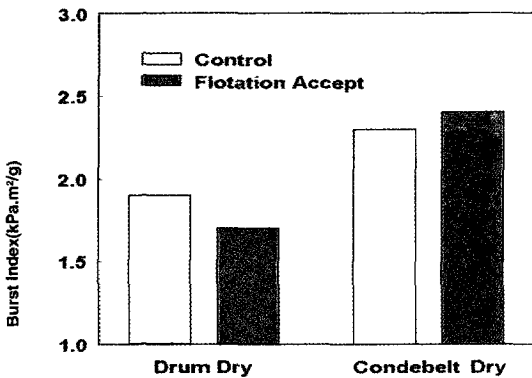


Fig. 3. Effect of drying process on burst index as a function of fiber fractionation.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 일반적으로 제지공정에서 많이 사용되고 있는 drum dryer와 Condebelt press dryer로 건조시킨 종이의 파열강도를 비교한 그래프이다. Drum dryer로 종이를 건조시켰을 경우, 부상부유 처리를 행하여 고지 내의 미세분들을 일부 제거하게 되면 종이의 파열강도가 다소 저하됨을 알 수 있었다. 치료 내에 포함된 미세분은 drum dryer로 종이를 건조시킬 때에는 섬유간 결합에 약간의 도움을 주어 강도적인 특성이 향상되는 결과를 나타내었다고 판단된다. 하지만, 치료 내의 미세분은 대부분 각질화된 미세섬유와 무기물들로 구성되어 있기 때문에, 고온 고압의

조건으로 운전되는 Condebelt press dryer에서 종이를 건조시키게 되면 이러한 미세분들은 섬유간 결합을 방해하여 오히려 강도 저하의 주된 원인이 됨을 알 수 있다. 이와 같이, Condebelt press dryer를 사용하여 종이를 건조하게 되면 drum dryer에 비해 종이의 강도가 27% 정도 향상될 수 있으나, 운전 시에 존재하는 많은 영향인자들, 즉 미세분이나 이물질에 의한 영향을 해결해야만 하는 어려움이 있다.

국산 골판지 고지 내에는 미세분이 50% 이상 분포되어 있으며, 미세분 내에는 각질화가 진행되어 강도에 그다지 큰 영향을 주지 못하는 다량의 미세섬유들과 무기물 등이 함유되어 있다는 것은 전술한 바와 같다. Condebelt 고온 압착 건조 처리 방식은 가해지는 고온 고압에 의해 수분이 습지에서 wire로 전이되면서 습지가 건조되는 것이다. 하지만, 습지 내의 미세분들은 수분의 원활한 흐름을 방해하여 blistering이나 부분적인 crushing을 유발할 수 있다.

또한, 고지에서 유입되는 점착성 이물질과 같은 wire 오염물질들은 Condebelt 고온 압착 건조시 수분 함량이 줄어들면서 점착성을 띠게 된다. 이렇게 점착성을 띠게 된 이물질들은 하루 fine wire로 전이되면서 wire를 오염시키게 된다. 오염된 fine wire는 통기성이 저하되어 습지로부터 수분을 제대로 전이시키지 못하기 때문에 종이의 불균일한 건조가 발생되고 이로 인해 강도가 저하되거나 강도의 분포가 균일하지 못하게 된다.

따라서, 본 실험에서는 부상부유법을 적용하여 이런 이물질들을 치료로부터 분급해냄으로써 Condebelt 고온 압착 건조시 발생할 수 있는 문제점을 최소화하고자 하였다.

Fig. 2에 도시한 바와 같이, 본 연구에서 사용한 부상부유법은 치료 내에 투입된 공기가 치료의 표면으로 상승하면서 기포의 표면에 리제트분이 포집되어 분급되는 공정이기 때문에 골판지 치료 내에 포함되어 있는 미세분이나 점착성 이물질들만을 선택적으로 농축하여 제거하기에 효과적인 처리법이라 할 수 있다. 또한, 부상부유 처리에 의해 분급된 리제트분 안에는 점착성 이물질 이외에 탈수성 저해물질 및 종이의 외관을 저해하는 물질들이 많이 포함되어 제거되기 때문에 더욱더 효과적이라는 것을 앞선 연구 결과들로부터 알 수 있었다.¹²⁻¹³⁾

무처리 KOCC 치료와 부상부유 처리법에 의해

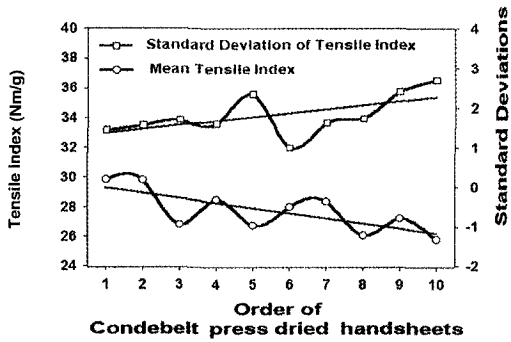


Fig. 4. Tensile strength and its standard deviation of handsheets from untreated stock.

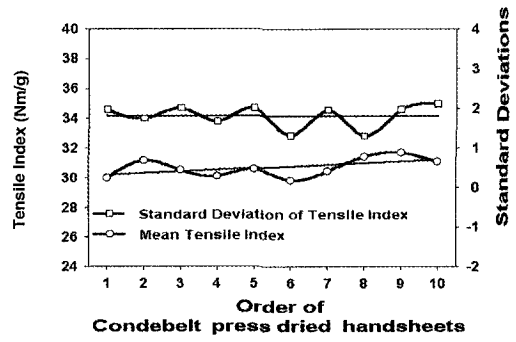


Fig. 5. Tensile strength and its standard deviation of handsheets from fractionated stock.

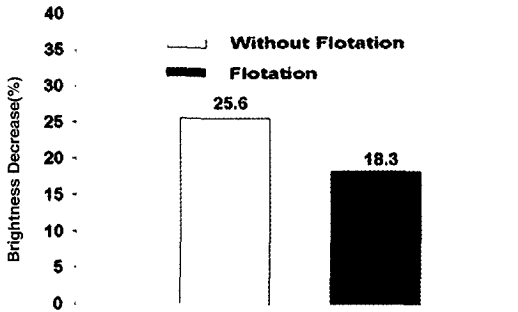


Fig. 6. Effect of fractionation on brightness decrease of Condebelt fine wire.

조성된 지료를 사용하여 제조된 수초지들의 인장 강도 평균치와 표준편차를 각각 Figs. 4와 5에 나타내었고, Condebelt fine wire의 백색도 감소율을 Fig. 6에 도시하였다. Figs. 4와 5에서 확인할 수 있듯이, 부상부유 처리된 지료의 경우 (Fig. 5)는 인장강도의 평균치이나 표준편차가 Condebelt에 의해 압축된 수초지의 순서에 따른 변화를 거의 관측할 수 없었으나, 부상부유 처리가 되지 않은 지료를 사용한 경우(Fig. 4)에는 인장강도의 평균이 13.7% 이상 감소하고 표준편차가 86.1% 이상 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 부상부유 처리되지 않은 지료로부터 제조된 습지필을 대상으로 고온 압착 건조를 할 때 골판지 고지 내에 존재하는 점착성 이물질은 수분의 감소에 따라 응집되어 점착성을 나타내 하부 fine wire를 막아 수분의 유동을 방해하게 된다. 그리고, 지료 내에 다량 존재하는 미세분들

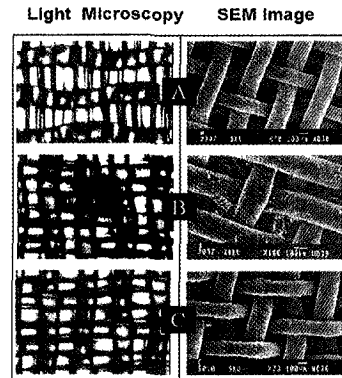


Fig. 7. Microphotographs and scanning electron microscopic (SEM) images of fine wires contaminated by stickies and fines in Condebelt drying system:
 (A) unused wire,
 (B) the wire after 10 sheets molding with untreated stock,
 (C) the wire after 10 sheets molding with flotation accept from KOCC.

이 압착처리 시 가해지는 압력에 의한 탈수를 저해하게 된다. 이런 현상들로 인하여 습지필의 건조가 불완전하게 됨에 따라 종이의 강도가 감소할 뿐만 아니라 강도의 불균일성이 증가하는 원인으로 작용하였을 것이라고 판단된다.

부상부유 처리한 경우와 미처리한 지료를 사용하여 초지한 습지필을 각각 10장 연속 압착 건조한 하부 fine wire 백색도 변화를 Fig. 6에 도

시하였다. 국산 골판지 고지에 대한 부상부유 처리로 미세분은 물론이고 점착성 이물질 같은 오염 물질들을 상당 부분 제거할 수 있었기에 Condebelt fine wire의 백색도 저하가 무처리 자료의 경우와 비교하여 7.3%만큼 완화되는 효과를 얻을 수 있었다. Fig. 7은 하부 fine wire의 광학현미경 사진과 주사전자현미경 사진으로서 압착건조 시 미세분 및 점착성 이물질이 Condebelt fine wire의 공극구조에 미치는 영향을 관찰한 것이다. 부상부유 처리를 하지 않을 경우에는 Fig. 7(B)에 도시한 바와 같이, Condebelt fine wire를 오염시키는 이물질들이 표면이나 기공 내부에 다량 흡착되어 있는 모습을 볼 수 있으며, 이러한 현상이 불과 10장의 습지필을 압착 건조시킨 결과임을 감안하면 자료 내의 이물질들로 인해 발생하는 오염의 심각성을 예측할 수 있다. 그러나, (C)에서 알 수 있는 바와 같이, 부상부유법을 적용하여 이물질들을 제거하고 나면 (A)에 도시한 미사용 wire와 유사하게 wire상에 흡착되어 있는 물질이 거의 관측되지 않았다. 따라서, Condebelt fine wire를 오염시키는 이물질들을 제거하는 데 본 처리법이 효과적임을 다시 한번 확인할 수 있었다.

4. 결론

골판지용 라이너지를 생산하는 업체에서 사용하고 있는 국산 골판지 고지는 열악한 원료 특성으로 인해 Condebelt press drying system에 많은 문제점들이 발생될 수 있다. 자료 내 미세분들은 압착처리 시 습지의 탈수성을 저해하여 생산되는 종이의 blistering이나 부분적인 crushing을 유발시킬 수 있다. 또한, 점착성 이물질과 같은 오염물질은 fine wire의 공극을 막아 수분의 유동을 방해하여 종이의 불균일한 건조가 이루어지게 된다. 이러한 것들은 종이의 강도나 표면특성에 악영향을 미칠 뿐 아니라 Condebelt fine wire의 심각한 오염원이 되고 있다.

Condebelt press drying system 하에서 발생할 수 있는 문제점들을 해결하기 위해 본 연구에서는 자료 내에 함유된 미세분 및 점착성 이물질들을 분급해 내는 방법으로서 부상부유법을 적용하였다. 그 결과, 습지의 탈수성을 저해하는 미세분과 점착성 이물질들이 상당 부분 제거됨에 따

라 wire로의 수분전이가 용이하게 되므로 종이의 강도가 향상될 뿐만 아니라 Condebelt fine wire의 심각한 오염 문제를 해결할 수 있는 방안을 마련하게 되었다.

감사의 글

본 연구는 청정개발연구사업(과제번호: TS-9913)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구진행에 조언을 주신 동일제지(주)의 김진두 부공장장과 전호경 대리에게 감사드립니다.

인용 문헌

1. Back, E. L., *The Present Stage of Press Drying of Paper*, Mechanical Engineering Publications Ltd., pp. 343-364 (1983).
2. Retulainen, E., Merisalo, N., Lehtinen, J., and Paulapuro, H., *Pulp and Paper Canada*, 99(1):53 (1998).
3. Hsu, N. N. C., Schroeck, J. J., and Errigo, L., *Tappi J.*, 80(4):63 (1997).
4. Hutten, I. M., Diaz, R., Roberts, M. K., Jeffrey, C., and Banerjee, S., *Tappi J.*, 80(4): 193 (1997).
5. Gustafson, F. and Delgado, J., *Tappi J.*, 79 (7):127 (1996).
6. Ling, T. F., Sutman, F. J., Richman, S. K., and Letscher, M. B. K., *Tappi J.*, 77(7):143 (1994).
7. Fogarty, T. J., *Tappi J.*, 76(3):161 (1993).
8. Isaak, P., Tran, H. N., Barham, D., and Reeve, D. W., *J. Pulp and Paper Sci.*, 13(5): 154 (1987).
9. Friberg, T., *Progress in Paper Recycling*, 6 (11):70 (1996).
10. Putz, H. J., Schaffrath, H. J., and G., ttsching, L., *Pulp and Paper Canada*, 94(7):193 (1993).
11. Paulsen, F. G., Berg, S. R., Vidotti, R. M., Johnson, D. A. and Thompson, E. V., 1997 TAPPI Recycling Symposium, TAPPI Press, p. 41 (1997).

12. Ryu, J.-Y., Shin, J.-H., and Ow, S. S.-K., 1999 TAPPI Recycling Symposium, Vol. 1, p. 177, TAPPI Press, Atlanta (1997).
13. Ji, K.-R., Ryu, J.-Y., Shin, J.-H., Song, B.-K., and Ow, S. S.-K., J. Kor. TAPPI, 31(1):10 (1999).