

고급알코올을 이용한 토너의 응집 및 스크리닝을 통한 제거 효과

허용성 · 이학래[†]

(2004년 2월 18일 접수: 2004년 4월 15일 채택)

Agglomeration of Toner Particles with Fatty Alcohol and Their Removal by Screening

Yong Sung Huh and Hak Lae Lee[†]

(Received on February 18, 2004: Accepted on April 15, 2004)

ABSTRACT

Toner used in xerographic printing process is hydrophobic powder with low surface energy. The toner ink film fused on paper surface can be efficiently detached from a fiber surface during pulping, but it does not fragment again into fine toner particles. Ink agglomerates that result have too large particle size to be deinked by flotation. The purpose of this study is to enhance toner agglomeration using 1-octadecanol for improving the toner removal by screening. The effect of pH, pulping temperature, and 1-octadecanol on toner agglomeration and removal by screening was investigated using image analysis methods. Results showed that the size of toner agglomerates increased substantially when pulping was carried out at high temperature under acidic condition. When toner agglomerates showed spherical shape, the particle removal efficiency of screening was improved.

Keywords : *fatty alcohol, glass transition temperature, toner, agglomerating agent, screening*

1. 서 론

우리나라 제지산업은 대부분의 펄프원료를 수입에 의존하고 있으며 재활용 원료의 사용 비중이

높은 환경친화형 산업이다. 이미 신문용지, 판지, 포장지 그리고 화장지업계에서는 상당량의 고지를 활용하고 있어서 우리나라 제지업계의 고지 사용율은 세계적으로 매우 높은 수준에 이르고 있다.

• 서울대학교 농업생명과학대학 임산공학과 (Department of Forest Products, College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Rep. Korea)

† 주저자 (Corresponding author): lhakl@snu.ac.kr

그러나 아직도 우리의 고지 재활용 기술은 더욱 개선할 여지가 많은 것도 사실이다. 예를 들면 최근 복사나 레이저 프린터의 사용이 급증하면서 CPO(Computer Printed Out)와 MOW(Mixed Office Waste paper)와 같은 백상지 폐지들의 발생량이 급속도로 증가하고 있는 추세이나 이들의 적절한 수거 및 재활용 대책이 미흡한 실정이다. 사무용 고지 내에는 고품질의 펄프가 다량 함유되어 있어 이를 재활용할 경우 현재 수입에 크게 의존하고 있는 펄프 원료의 수입 대체효과를 얻을 수 있을 것이라 판단된다. 하지만 현재 사무용고지 또는 복사고지와 같은 백상지 폐지들은 실제로는 상대적으로 저급종인 판지, 화장지 등의 저급지 생산에 원료로 주로 사용되고 있는 실정이다. 이는 사무실 고지의 분리수거가 완벽하지 않기 때문이기도 하지만 대부분의 복사고지 내에 포함되어 있는 토너 잉크의 제거가 어려워 재생펄프의 백색도가 낮으며 다량의 협잡물이 잔존하기 때문이다. 따라서 복사고지 내에 포함된 고품질의 재생펄프를 고품질의 지종 생산에 사용하기 위해서는 이들 지종의 효과적 탈묵 기술 확립이 요청되고 있다.

그러나 사무용고지는 기존의 탈묵법인 세척법이나 부유부상법으로 효과적인 탈묵이 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 이는 사무용고지의 상당량을 차지하는 복사고지는 열과 압력으로 융착된 합성고분자 물질인 토너를 함유하고 있고 이들은 펄핑 후 크기가 큰 상태로 박리되므로 기존의 부유부상법으로 제거가 곤란할 뿐 아니라 일반적으로 판상의 형태를 가짐으로써 스크린으로 제거도 어렵기 때문이다.¹⁻⁴⁾ 고지로부터 박리된 토너 입자의 스크리닝에 의한 제거 효과를 증대시키기 위한 방안으로 화학첨가제를 이용하여 토너의 유리전이온도(glass transition temperature)를 낮추거나 60-70℃의 고온에서 펄핑하여 토너 입자를 서로 응집시켜 기존의 스크린 또는 클리닝 처리로 용이하게 제거할 수 있도록 하는 시도가 행해진 바 있으며,⁵⁻⁷⁾ 표면 에너지가 낮은 토너 입자를 소수성을 가지는 액상 응집제를 이용하여 조대한 크기로 응집시켜 스크린에 의한 분리 효율을 증대시키기 위한 연구도 시도된 바 있다.^{7,8)}

이러한 시도는 펄핑 과정에서 박리된 판상의 토

너 입자를 적절한 방법을 이용하여 응집시킨다면 스크린을 통한 제거 효과를 크게 증대시킬 수 있을 것이므로 토너를 함유한 사무용 고지의 재활용 효율을 향상시키기 위한 좋은 방안이 될 수 있음을 보여주는 연구결과라 할 수 있다. 본 연구에서는 펄프로부터 박리된 토너 잉크의 크기를 1-octadecanol을 이용하여 응집시켜 조대한 잉크 입자를 형성시키고 이를 스크린 처리함으로써 토너 잉크의 제거효율의 높이기 위한 적정 처리조건을 구명하고 그 효과를 화상분석기법을 이용하여 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 재료

공시재료를 제조하기 위해 복사용지에 건식 토너를 이용하여 편면의 복사면적이 30%가 되도록 편면 복사하였다. 복사고지 제조에 사용된 복사용지는 회분함량 18%, 치환도 0.04의 내첨용 타피오카 양성 전분과 사이즈제 AKD를 포함하고 있고, 옥수수 전분으로 size press 처리되었다 (Table 1).

응집제로는 녹는점은 60℃의 지방산 알코올인 1-octadecanol (stearyl alcohol)을 사용하였다.

2.2 실험방법

편면 복사된 복사용지를 일정한 크기(3 cm×3 cm)로 절단하여, 해리기에서 응집제 1-octadecanol을 원료고지 대비 0%, 1%, 2% 첨가하고 30분간 해리하여 토너 잉크를 섬유로부터 박리 및 응집시켰다. 이때 해리 온도는 50℃와 70℃를, 그리고 pH는 3, 7, 11의 세 수준으로 각각 조절하였다. 해리

Table 1. Characteristics of photocopied waste paper

	HwBKP/SwBKP	60/20/20
Starch content (%)		0.60
Ash content (%)		18.0
AKD (%)		0.04
Moisture content (%)		8.00
Brightness (%)		87.0
Freeness after disintegration (mL)		350

후 즉시 25℃의 용수를 사용하여 냉각 및 희석시켜 농도가 1%가 되도록 하였다. 이 다음 지료 내 응집체를 형성한 토너 입자를 0.25 mm의 슬롯을 갖는 Sommerville 스크린을 이용하여 제거하였다.

해리 및 응집처리와 스크린처리를 거친 펄프로 TAPPI test method T205 om-88에 의거하여 평량 80 g/m²의 수초지를 제조하였다. 제조된 수초지를 Hewlett Packard사의 Desk Scan II에서 스캐닝하여 화상을 이미지화하고 BMI image analyzer를 이용하여 수초지에 잔존하는 토너 잉크 입자의 직경, 면적, 갯수 등을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 해리 및 응집처리 후 토너 입자의 변화

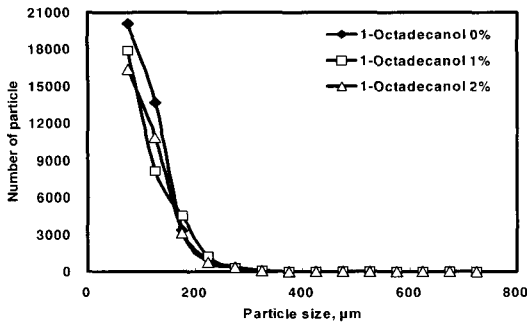
고지로부터 펄프과정을 통해 분리된 소수성의 토너 입자를 응집시키면 입자 크기가 조대해지며, 형태 또한 구형을 갖게 되므로 기존의 스크린 또는 클리닝 처리를 통해 제거가 용이하게 된다고 알려져 있다.⁵⁾ 이러한 방법의 효용성을 평가하기 위한 방안으로 1-octadecanol의 유용성을 평가하였다.

먼저 펄핑 온도와 pH에 따른 박리 토너의 변화를 평가하였다. 그 결과 Fig. 1의 (a)에서와 같이 토너의 유리전이온도 이하인 50℃에서 복사고지를 해리한 경우, 응집제에 의한 영향은 거의 나타나지 않았으며 대부분의 토너 잉크 입자는 무수히 작게 분산되어 존재하였다. 이는 토너의 유리전이온도 이하에서 입자가 단단한 상태로 존재할 때에는 해리기 내에서 강한 전단력에 의해 발생하는 섬유간 충격과 마찰로 인해 박리된 토너 입자가 미세하게 분산되기 때문이다. 그러나 토너의 유리전이온도 이상인 70℃에서 해리한 경우 토너 입자의 입경이 급격히 증가하였을 뿐 아니라 응집제의 투입량에 따른 응집 효과도 나타났다 (Fig. 1 (b)). 예를 들어 토너 입자의 유리전이온도 이하인 50℃에서 해리한 경우 잉크 입자가 분산된 상태를 이루고 있어 직경 200 μm 이하의 입자가 20,000개 이상이었으나 70℃의 해리 조건에서는 잉크 입자가 응집하여 그 갯수가 5,000개 이하로 크게 감소하였다. 그리고 응집제의 투입량이 증가함에 따라 이러한 경향은 더

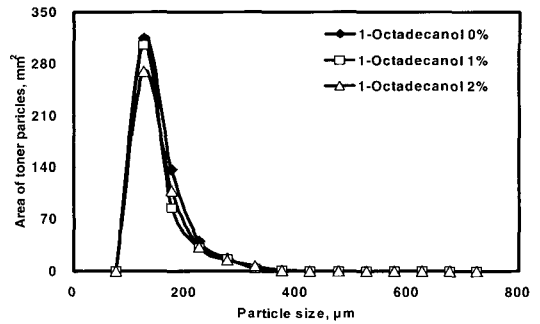
증가하였다. 이는 펄핑 시 해리온도가 토너의 유리전이온도 이상인 경우 토너의 주성분인 합성고분자 물질들이 유연해져 작게 분산되지 않고 판상의 조대한 파티클을 형성하기 때문이다.⁶⁾ 또한 이때 응집제로 사용된 1-octadecanol의 응집 효과도 더욱 높게 나타났다.

중성조건에서 보다 산성의 해리조건에서는 응집이 더욱 효과적으로 일어나 토너 입자 갯수가 현저히 감소하였다. 이는 Fig. 1의 (b)와 (c)를 비교하면 확인할 수 있다. 해리 시 pH가 7일 때에는 응집제 투입량이 증가함에 따라 직경 200 μm 이하의 입자의 갯수가 5,000여개에서 4,500여개로 감소하였으나 pH 3인 경우에는 응집제의 투입량에 따라서 직경 200 μm 이하의 입자의 갯수가 3,500여개에서 2,000여개로 급격히 감소하였다. 이러한 해리 조건의 영향은 pH 11에서도 유사하게 나타났다.

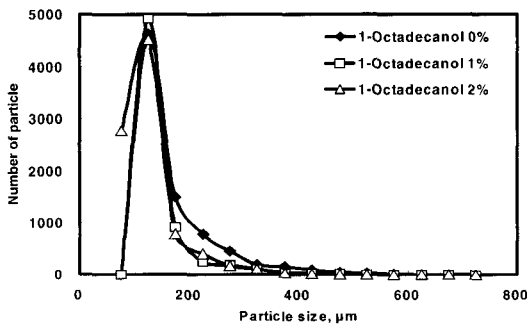
화상분석을 통하여 수초지한 종이에 잔존하는 토너 입자의 크기에 따른 입자의 면적을 구한 결과 응집 후 토너 입자의 크기별 입자 갯수 분포와 거의 같은 경향을 보였다. 그러나 화상분석은 평면적으로 이루어지기 때문에 토너 입자는 그 양과 무게가 일정할 때 입자의 모양에 따라서 면적이 다르게 나타날 수 있다. 수초지 상의 토너 입자는 종이 평면과 거의 평행으로 배열되므로 판상의 토너 입자는 구형의 토너 입자보다 면적이 크게 나타난다. 이를 다시 말하면 입자의 크기별 면적 분포를 통해 토너 입자가 섬유로부터 박리 후 응집된 정도를 평가할 수 있다. 화상분석을 통하여 수초지에 잔존하는 토너 잉크 입자의 면적을 측정한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 중성의 해리조건에서 응집처리한 토너 입자의 변화를 나타낸 Fig. 1의 (b)와 Fig. 2의 (b)를 비교하면, 후자에서 입자 갯수의 비교에서 뚜렷하지 않았던 응집제 1-octadecanol의 영향이 더욱 현저하게 나타났다. 즉 입경 100 μm의 토너 입자 면적은 응집제를 투입하지 않았을 경우 160 mm²이었으나 응집제의 투입에 따라 70 mm²으로 현저하게 감소하였다. 이는 수초지 위에 잔존하는 토너 입자의 개수가 비슷할지라도 입자의 형태가 구형일 때 평면적으로 차지하는 면적이 더 적게 나타나기 때문이다. 특히 산성의 해리조건에서 응집처리한 토너 입자의 경우 Fig. 2 (c)에서와 같이 직경



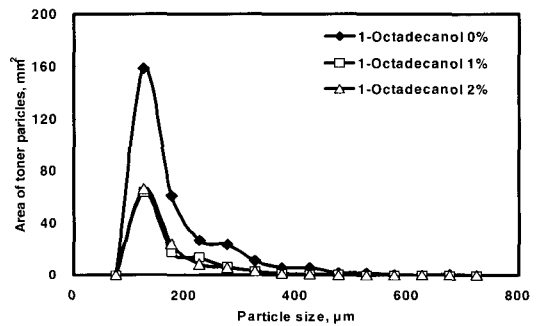
(a) Pulping at 50°C and pH 7



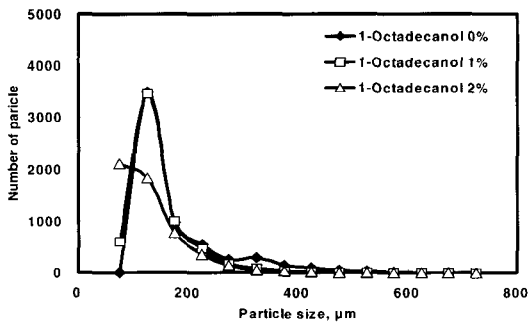
(a) After pulping at 50°C and pH 7



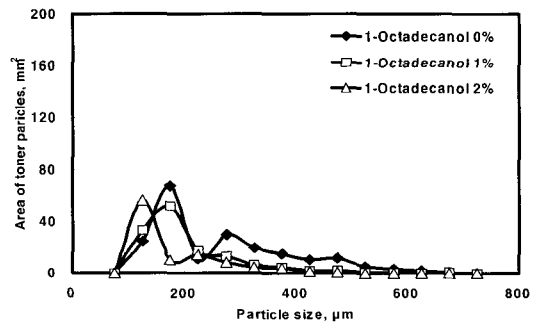
(b) Pulping at 70°C and pH 7



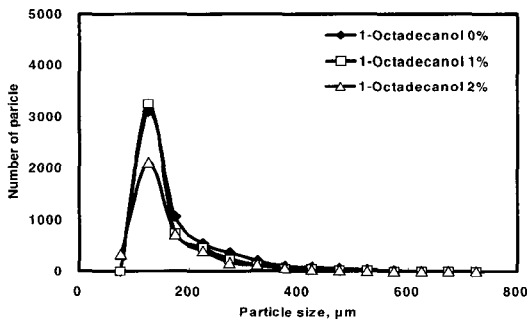
(b) Agglomeration at 70°C and pH 7



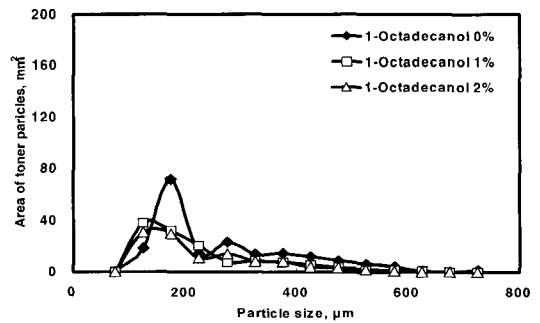
(c) Pulping at 70°C and pH 3



(c) Pulping at 70°C and pH 3



(d) Pulping at 70°C and pH 11



(d) Pulping at 70°C and pH 11

Fig. 1. Number of toner particles vs. the particle size distribution after pulping.

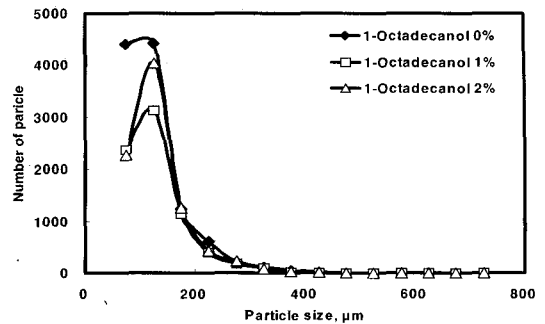
Fig. 2. Area of toner particles vs. the particle size distribution after pulping.

100-200 μm 인 입자의 면적이 50-60 mm^2 이하로 감소하였다. 이는 해리 시 판상의 토너 입자가 마찰과 응집에 의하여 구형의 조대한 응집체로 성장하였기 때문이라고 판단되었다.

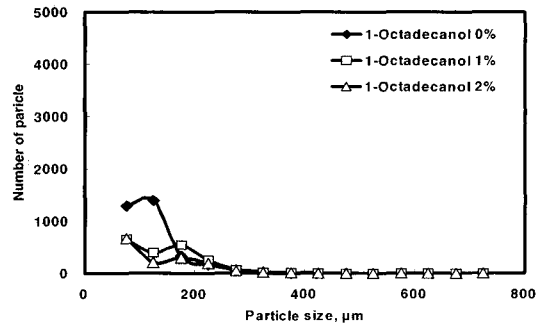
4.2 스크린처리 후 토너 입자의 변화

펄핑 처리된 복사고지 슬러리를 스크린 처리하여 조대한 토너를 제거하고 수초지를 제작하여 잔존하는 토너를 화상분석한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 토너 입자의 갯수를 측정된 결과를 살펴보면 1-octadecanol을 응집제로 사용했을 때 중성조건 보다는 산성 및 알칼리 조건에서 스크린 처리에 의한 토너 입자의 제거가 더욱 효과적임을 알 수 있다. 특히 pH 3과 pH 11에서 토너를 응집시킨 다음 스크린 처리 후 제작한 수초지에 잔존하는 토너 입자의 크기를 보면 250 μm 이상의 토너입자가 효과적으로 제거되어 있음을 확인할 수 있었다. 이와는 달리 pH 7 조건에서 해리한 후 스크린 처리하였을 경우에는 직경이 250 μm 이하의 토너 입자의 갯수가 5,000여개에서 3,000여개로 감소되는데 그쳤는데, 이는 스크린 처리 이전과 비슷한 숫자로 스크린 처리 효과가 매우 적었음을 보여주는 결과이다. 이는 토너 입자의 크기가 작거나 그 형태가 판상이거나⁵⁾ 혹은 스크린 처리 과정에서 재분산되었기 때문이라 할 수 있다. 이는 스크린 처리에 의한 토너의 제거가 효과를 나타내기 위해서는 토너 응집체는 스크린처리 과정에서 발생하는 수력학적 전단력에 파괴되지 않는 강한 응집특성을 나타내야 한다는 것을 의미한다.⁸⁻⁹⁾ 응집체의 강도가 약한 경우에는 해리 시 응집된 경우에도 스크린처리 과정에 다시 미세한 크기의 입자로 분산되므로 응집의 효과가 발현되지 못하게 될 것이 자명하다. 중성상태에서는 응집체에 의해 형성된 토너 응집체의 강도가 약하여 응집효과가 pH 3인 경우보다 낮은 것으로 판단되며, 이는 전분 또는 사이즈제의 영향으로 판단된다.⁸⁾

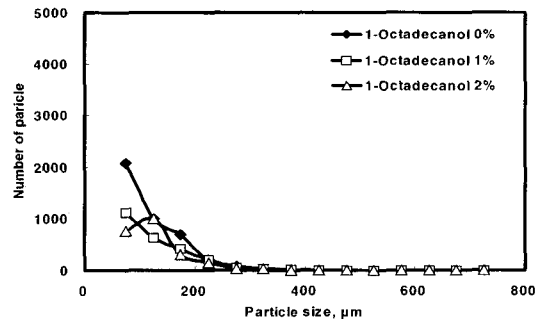
Fig. 4는 토너 입자가 응집하여 형성한 응집체의 사진을 나타내었다. (a)는 복사고지를 70 $^{\circ}\text{C}$, pH 3의 조건에서 해리한 후 스크린 처리하면서 제거된 토너 응집체의 모습이고, (b)는 복사고지를 70 $^{\circ}\text{C}$, pH 7 조건에서 해리하여 스크린 처리한 경우의 제



(a) Screening at 70 $^{\circ}\text{C}$ and pH 7



(b) Screening at 70 $^{\circ}\text{C}$ and pH 3



(c) Screening at 70 $^{\circ}\text{C}$ and pH 11

Fig. 3. Number of toner particles vs. the particle size distribution after screening.

거되지 않고 슬롯 폭 250 μm 의 스크린 플레이트를 통과한 토너 입자의 사진이다. 두 경우 모두 토너 입자가 조대한 입자를 형성하고 있으나 전자의 경우에는 그 크기가 더 클 뿐만 아니라 구형의 형태를 이루고 있어서 슬롯 스크린에 의해 효과적으로 제거되었다. 그러나 후자의 경우에는 토너 응집체의 크기도 다소 작고 그 형태가 판상을 이루고 있음을 알 수 있다. 이러한 토너 입자는 슬롯 스크린 플레이트의 폭보다 크기가 크더라도 형태가 판상이기 때

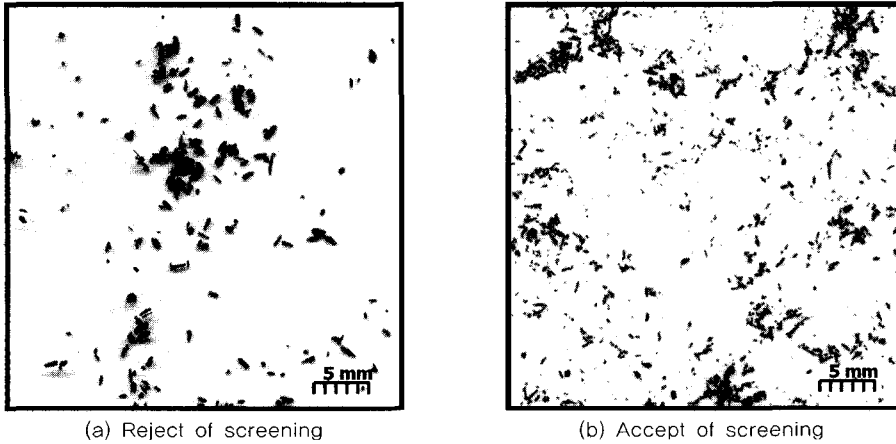
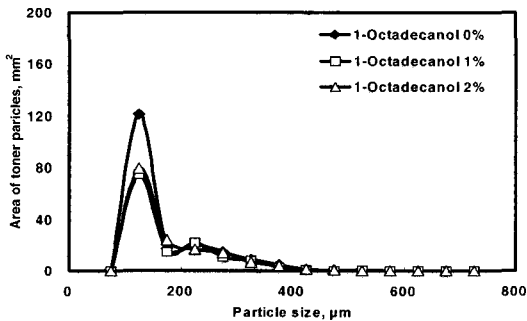


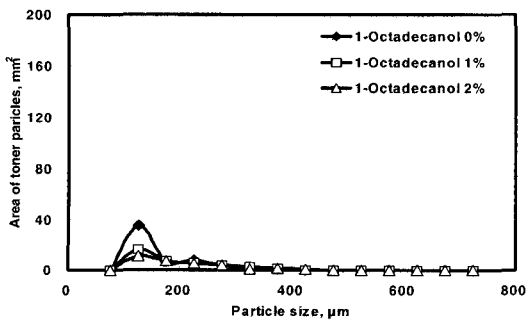
Fig. 4. Comparison with size and shape of toner particle after screening.

문에 스크린에 의해 제거되지 않았다. 이는 형성된 토너 응집체의 크기 뿐만 아니라 형태가 스크린 제거효율에 영향을 미친다는 것을 보여준다.

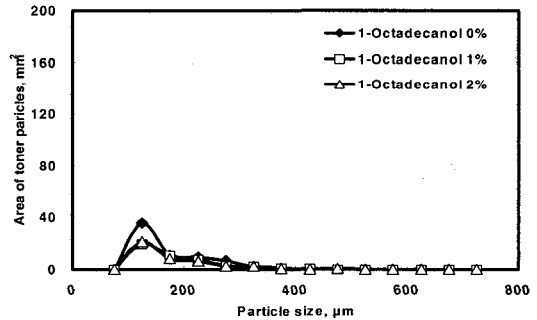
스크린처리 후 제조한 수초지에 잔존하는 토너 입자의 면적을 평가한 결과 Fig. 3과 Fig. 5에서 보는 것과 같이 토너 입자의 크기별 갯수 분포와 면적 분포의 경향이 유사하게 나타났다. 입자 크기



(a) Screening at 70°C and pH 7



(b) Screening at 70°C and pH 3



(c) Screening at 70°C and pH 11

Fig. 5. Area of toner particles vs. the particle size distribution after screening.

250 μm 보다 미세한 토너 입자는 스크린으로 제거되지 않고 스크린 처리 후 농축과정 중에 발생하는 세척 효과로 인하여 제거된 반면, 직경 250 μm 이상의 토너 입자는 거의 스크린으로 제거되었다. 또 응집 시 pH가 7일 때 보다 pH가 3 또는 11이었을 때 토너 입자의 스크린을 통한 제거가 더욱 효과적이었다 (Fig. 5). 즉 Fig. 5에서 보는 것과 같이 pH 7 조건에서 해리한 후 스크린 처리하였을 경우에는 응집체의 투입량이 증가함에 따라 직경이 250 μm 보다 작은 토너 입자가 차지하는 면적이 120 mm^2 에서 70 mm^2 으로 감소하였지만 응집이 효과적으로 일어나 조대한 구형의 응집체가 형성되는 pH 3의 조건에서는 스크린 처리 후 수초지 상의 토너

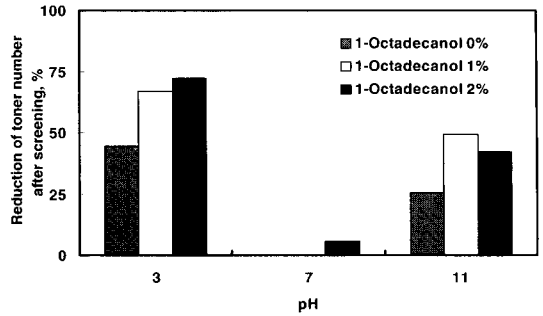
면적이 40 mm² 이하로 크게 낮았으며, pH 11의 경우에도 비슷한 경향을 보였다.

한편 스크린처리 후 잔존 토너 입자의 갯수는 250 μm 보다 더욱 작은 100 μm 이하의 입자가 많은 반면, 토너 입자의 면적측정 결과에 의하면 100 μm 정도의 직경을 가지는 토너 입자의 면적이 가장 크게 나타났다. 또 직경 250 μm 이상의 크기를 가지는 조대한 토너 응집체는 대부분 제거되어 처리간에 차이가 뚜렷하지 않았다. 이로 보건대 수초지에 잔존하는 입자 중 크기가 매우 미세한 입자보다 입경 100 μm의 입자가 대부분이므로 이들 토너 입자가 수초지의 백색도에 가장 크게 영향을 미칠 것으로 판단된다.

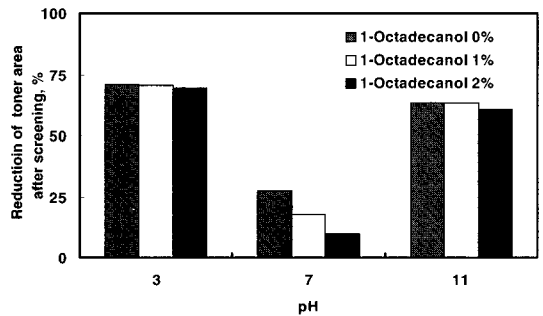
4.3 응집처리에 따른 토너 입자의 제거효율

화상분석 결과를 이용하여 얻은 스크린처리 전 후에 잔존하는 토너 입자의 갯수 및 면적 자료를 근거로 스크린에 의한 토너 제거효율을 구하였다. Fig. 6의 (a)와 (b)에는 스크린 처리에 의한 전체 토너 제거효율을, 그리고 (c)와 (d)에는 직경 250 μm 이상의 토너 제거효율을 나타내었다.

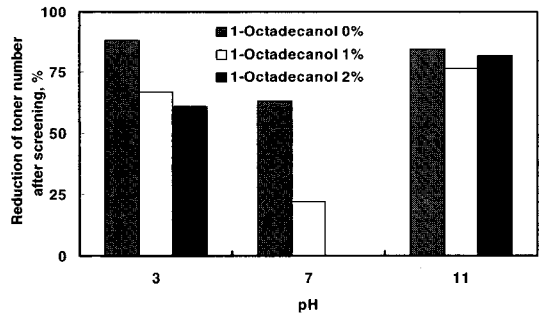
전반적으로 Fig. 6 (a)에서 보는 바와 같이 응집제의 투입량과 상관없이 pH 3에서 토너 제거효율이 가장 높았으며, 그 다음 pH 11, pH 7 순으로 토너 입자 제거효율이 낮아져 스크린 제거효율은 응집제의 투입량보다 해리 시 pH의 영향이 중요한 것으로 나타났다. pH 3인 조건에서는 1-octadecanol의 투입량이 증가할수록 제거효율이 45%에서부터 75%로 증가하였다. 이는 응집제에 의한 토너 입자의 응집이 효과적으로 일어났음을 보여준다. 또 Fig. 6 (b)에서 보는 것과 같이 pH 3에서 토너 제거효율은 응집제 투입량과 상관없이 73% 정도를 유지하였다. 이는 응집처리 시 토너가 응집되었기 때문에 스크린처리에 의한 토너 입자의 면적 감소가 상대적으로 적게 나타났기 때문이라 판단된다. 즉 이는 응집처리 시 토너 입자가 성장한 응집체의 크기가 크고 그 갯수가 줄어들어든 경우이므로 스크린처리 후 입자 갯수에서 제거효율이 크게 나타난 것이라 할 수 있다. 이상의 결과는 pH 3에서 1-octadecanol에 의해 토너가 스크린제거에 적합한 응집체를 형성한 것을 보여준다.



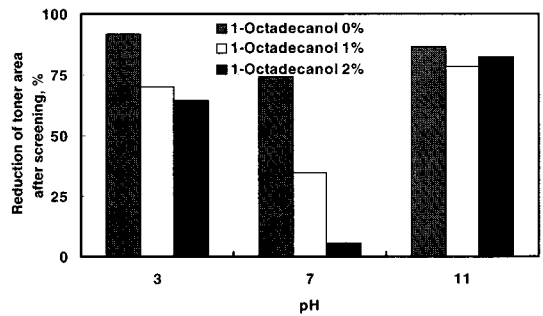
(a) Toner removal efficiency of particle number



(b) Toner removal efficiency of particle area



(c) Toner number of particles > 250 μm



(d) Toner area of particles > 250 μm

Fig. 6. Removal efficiency of toner particles after screening.

한편 Fig. 6(a)에서 보는 것과 같이 pH 7에서 입자의 감소율은 5% 미만으로 스크린을 통한 입자의 제거가 거의 나타나지 않았다. 이는 pH 7에서 응집한 토너 응집체가 충분한 강도를 가지지 못하여 스크린처리 과정에서 수력학적 전단력에 의해 다시 분산되어 입자의 갯수가 증가하였기 때문에 입자의 갯수 감소율이 미비한 것으로 나타났다고 판단된다. 이는 Fig. 6 (b)에서 토너 입자의 면적 감소율이 낮은 것과 같은 현상이다. Fig. 6 (c)와 (d)에서 볼 수 있듯이 입자 크기 250 μm 이상의 토너 입자의 스크린 제거효율도 크게 낮았다. 이렇게 스크린 제거효율이 낮은 것은 응집체가 형성되더라도 입자가 판상 형태일 때에는 스크린을 통과하기 때문이다. 이와 같이 pH 7에서 토너 입자는 응집에의 효과도 떨어질 뿐만 아니라 응집을 형성하더라도 스크린처리에 부적합한 응집체인 것으로 판단되었다.

pH 11에서의 스크린 제거효율은 pH 7에 비하여 양호하였고, Fig. 6 (c), (d)에서처럼 입경 250 μm 이상의 조대한 토너 응집체의 스크린 제거효율이 높았다. 그러나 토너 입자 갯수 감소율이나 면적 감소율에서 뚜렷한 경향을 보이지 않았고, 응집체의 효과도 잘 나타나지 않아 pH 3에서 보다 스크린 제거효율이 떨어지는 것으로 판단된다.

4. 결론

사무용 고지의 상당량을 차지하는 복사고지는 열과 압력으로 용착된 합성고분자 물질인 토너를 함유하고 있어 펄핑 후 크고 판상 형태의 잉크 입자를 형성하여 기존의 부유부상법으로 제거가 곤란한 문제점을 지니고 있다. 따라서 복사고지를 효과적으로 재활용할 수 있는 탈묵방법으로 1-octadecanol에 의해 토너 입자를 조대한 응집체로 형성시키고 이를 기존 탈묵 시설인 스크린처리로 제거하는 방법을 모색하였다.

실험 결과 이들 토너 입자 응집체의 크기는 최대 800 μm 에 이르기까지 입자 크기가 조대하였으며 Sommerville 스크린처리로 제거할 수 있었다. 1-octadecanol을 이용한 토너 입자의 응집을 위해

서 토너의 유리전이온도에 이르는 70°C의 고온에서 반응시키는 것이 필요하였다. 화상분석한 결과, pH 3 조건에서의 해리하였을 때 토너 입자의 갯수는 크게 감소하였고 토너 입자의 크기는 증가하였다. 그리고 이때 스크린처리 후 토너의 제거효율이 증가하였다. 이와 같이 제거효율이 높았을 때 형성된 토너 응집체의 크기는 조대할 뿐만 아니라 그 형태가 구형을 띠고 있음을 확인하였다.

사사

이 연구를 수행함에 있어 BK-21사업의 지원이 있었음.

인용문헌

- Ling, T. F., A study of correlation between surface properties and behavior of toner inks in the pulper, 1996 Recycling Symposium, TAPPI PRESS, Atlanta, 349.
- Snyder, B. A. and Berg, J. C., Effect of particle size and density in flotation deinking of electrostatic papers, Tappi J. 77(7) : 157-159 (1994).
- Vidotty, R. M., Johnson, D. A. and Thomson, E. V., Influence of toner detachment during mixed office waste paper repulping on flotation efficiency, Part I : particle fractionation, Pulp and Paper Canada 98(4) : 55-59 (1997).
- Johnson, D. A and Thomson, E. V., Fiber and toner detachment during repulping of mixed office waste containing photocopied and laser-printed paper, Tappi J. 78(2) : 41-46 (1995).
- Darlington, W. B., A new process for deinking electrostatically-printed secondary fiber, Tappi J. 72(1) : 35-38 (1989).
- Berg, S. R., Johnson, D. A. and Thompson, E. V., Toner detachment during repulping of laser printed office copy paper, 1996 Recycling Symposium, TAPPI PRESS, Atlanta, 363-373.
- Rhodes, T. and Ferguson, L., Deinking non-impact printed office waste : A mill's perspective, 1993 Recycling Symposium, TAPPI PRESS, Atlanta, 123-129.

8. Snyder B. A. and Berg, J. C., Liquid bridge agglomeration : a fundamental approach to toner deinking, Tappi J. 77(5) : 79-84 (1994).
9. Azevedo M. A. D. and Miller, J. D., Agglomeration and magnetic deinking for office paper, Tappi J. 83(3) : 66-72 (2000).