

백상지 고지의 탈묵

한 신 호

Deinking of Computer Printed Out and White Ledger

Sien-Ho Han

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the enzymatic deinking technology. Office recycled papers such as computer printed out (CPO) and white ledger (WL) were used in the evaluation of four different deinking conditions; alkaline deinking, neutral deinking and enzymatic deinking at alkaline and neutral pH. Filtrating pads were prepared after flotation deinking to measure brightness gain and ink removal efficiency. Three different surfactants were also used in the evaluation of deinking efficiency including surface chemical properties by measuring foam height and stability, surface tension and cloud point of views. The results indicated that the neutral deinking method with enzyme and surfactant addition showed highest deinking efficiency of office recycled papers.

1. 서론

인류의 생활이 정보통신 시대로 접어들면서 제조업과 더불어 서비스업이 보다 더 활발해지고 있으며 사무실에서 일하는 시간과 업무량이 계속해서 많아지고 있다. 이에 따라 사무용지, 정보용지 등의 사용량 증가와 함께 발생하는 사무실 혼합 폐지[MOW(Mixed Office Wastepaper)]의 양도 지속적으로 증가할 것이다. 따라서 지구의 환경보호가 강조되면서 더욱 중요시된 폐지의 재활용은 MOW 재활용의 관점에서 재활용기술에 대한 연구개발이 이루어져야 할 필요가 있다. 사무실 혼합 폐지를 재활용하는 방법 중에 가장 널리 알려져 있는 것은 폐지로부터 재생섬유를 얻어 재생지를 제조하는 것이다. 이러한 재생지가 높은 부가가치를 가지기 위해서는 MOW에서 재생섬유를 얻을 때 MOW에 인쇄되어 있는 잉크들을 선택적으로 제거하여야 한다. 그러나 인쇄기술이 발

달함에 따라 인쇄잉크의 특성이 변화되면서 폐지를 재활용하는 탈묵공정에서 제거되기가 더욱 어려워지고 있다.

사무실 혼합 폐지로부터 재생섬유를 얻는 기술은 잉크를 제거하는 방법에 따라 크게 세척법과 부상부유법으로 구분된다. 근래에는 제한된 물의 사용 및 엄격한 폐수 방출량 규제에 따라 물을 대량 사용하는 세척법에 의한 탈묵보다는 부상부유법에 의한 탈묵기술이 보다 더 많이 연구 개발되었다.¹⁾ 부상부유법으로 MOW로부터 잉크를 제거하여 재생섬유를 얻는 공정은 기본적으로 해리, 정선, 탈묵 및 탈수로 이루어지며, 경우에 따라서 숙성 및 표백 등이 추가될 수 있다.²⁾ 이와 같은 공정으로 구성된 탈묵기술은 공정에 적용되는 pH의 조건에 따라 가장 오래된 방법인 알칼리 탈묵기술과 근래에 연구 개발된 중성 탈묵기술로 분류된다. 또한, 전통적으로 사용하는 탈묵약품인 알칼리 약품, 계면활성제 등 외에 효소를 첨가하는

효소 탈묵기술이 개발되었다.³⁾ 공정상의 pH가 MOW의 탈묵 결과에 미치는 영향에 대한 연구에서는 한 가지의 탈묵제를 사용하면서 해리 및 부상부유 공정의 pH를 중성 및 알칼리로 조절될 때의 결과가 근래에 발표되었다.⁴⁾ 효소 탈묵기술에 대한 연구에서는 효소의 종류에 따른 탈묵효과 및 재생섬유의 물성 변화 및 효소 탈묵기술이 수질에 미치는 영향 등의 많은 연구가 있었다.^{3, 5-9)}

본 연구에서는 사무실 혼합 폐지를 효율적으로 재생하기 위하여 적용되는 탈묵기술들의 효율을 비교하고 사용된 탈묵제의 계면화학적 특성을 조사하였다. 폐지의 탈묵효과는 우선적으로 폐지의 종류에 따라 차이가 있고, 같은 종류의 폐지인 경우에도 인쇄되어 있는 잉크의 종류가 폐지의 탈묵성에 가장 커다란 영향을 주는 것으로 알려져 있다.¹⁰⁾ 한편으로 폐지의 재생공정에도 탈묵의 효율에 영향을 주는 인자들이 있다. 이 인자들로는 폐지의 해리 농도, pH, 온도, 잉크제거 방법 및 탈묵제의 종류 등 여러 가지가 있다. 이 중에서 가장 용이하게 바꿀 수 있는 것은 탈묵제의 종류 및 공정상의 pH이다. 지금까지 다양한 종류의 탈묵제가 개발되었으나, 어떠한 탈묵제도 모든 폐지 또는 모든 탈묵공정 조건에 일률적으로 우수한 성능을 발휘할 수 없었다. 이것은 폐지와 인쇄된 잉크의 종류가 다른 것 이외에도 탈묵제의 종류, 탈묵공정 및 기기, 공정상의 온도 및 pH와 공정수의 차이 등에서 기인한다. 탈묵제의 종류에 따라 탈묵 효율에 차이가 있는 것은 기본적으로 탈묵제의 계면화학적 특성에 차이가 있는 것이 한 원인이다. 일반적으로 세척법에 의한 탈묵공정에서 탈묵효율에 가장 커다란 영향을 주는 탈묵제의 계면화학적 특성은 분산성 및 세척성이고, 부상부유법의 경우에는 발포성 및 기포 안정성과 응집성이다.¹¹⁾ 부상부유법에 의한 탈묵기술은 기본적으로 폐지를 해리하면서 잉크가 섬유로부터 박리되는 해리 공정을 거치고, 여기서 얻어진 지료를 처리하면서 박리된 잉크를 부상부유시켜 지료로부터 제거하는 기술을 적용하는 것이다. 잉크가 부상부유되는 것은 일반적으로 잉크가 기포에 흡착되어 부상부유되는 것으로 알려져 있다. 따라서 부상부유 탈묵공정에서 탈묵제가 가져야 할 가장 중요한 계면화학적 특성 중에 하나는 발포성과 기포 안정성이다. 본 연구에서는 부상부유법에 의한 탈묵을 실시하면서 사용한 탈묵제들의 발포성 및 기포 안정성 및 이와 관련이 있는 계면장력 등의 계면화

학적 특성들을 조사 비교하였다. 또한, 사무실 혼합 폐지로부터 잉크를 제거하는 탈묵기술들의 효율을 비교하기 위하여 기존의 알칼리 탈묵기술, 근래에 개발된 중성 탈묵기술과 중성 효소 탈묵기술을 실험실 규모의 부상부유법 탈묵공정에 적용하여 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 공시 폐지

국내에서 재생 처리되고 있는 사무실 혼합 폐지의 대부분은 국외에서 수입되고 있다.

이와 같은 MOW는 주로 WL(White Ledger)와 CPO(Computer Printed Out)으로 구성되어 있다. 따라서 본 연구에서는 국내의 위생용지 생산공장에서 사용하고 있는 수입 폐지 WL(White Ledger)와 CPO(Computer Printed Out)를 다음과 같은 비율로 혼합하여 사용하였다.

WL(White Ledger) : 50%

CPO(Computer Printed Out) : 50%

2.1.2 공시 화학약품 및 효소

폐지를 해리하고 부상부유법에 의하여 잉크를 제거하기 위하여 사용한 알칼리 약품, 계면활성제 및 효소 등의 양과 종류를 탈묵기술의 분류와 같이 Table 1에 나타내었다. 폐지의 해리를 촉진시키고 섬유로부터 잉크의 박리를 돕는 알칼리 약품으로는 시약급의 가성소다(NaOH)와 소다염(Na-salt)을 사용하였고, 계면활성제는 국내 위생용지 재생공정에서 사용하고 있는 탈묵제 DI-1, -2와 -3를 사용하였다. 탈묵제 DI-1는 비이온성 계면활성제로 WL 탈묵용, 탈묵제 DI-2는 지방산계 계면활성제로 WL 및 OMG(Old Magazine)용 및 DI-3는 비이온성 계면활성제로 CPO용으로 알려져 있다. 또한, 효소를 첨가하는 실험에서는 미국 EDT(Enzymatic Deinking Technology)사에서 공급한 탈묵용 효소 En과 인산계 첨가제인 OP를 사용하였다.

알칼리 탈묵기술에서 탈묵제 DI-1과 -3가 사용

Table 1. Deinking chemicals and their dosage in the deinking experiment[unit : % (W/W) on oven dried pulp]

Experiment No.	Deinking agents and their dosage		Deinking technology
A-1	NaOH 0.3	DI-1 0.1	Alkaline
A-2	NaOH 0.5	DI-2 0.1	
A-3	NaOH 0.3	DI-3 0.1	
N-1	Na-salt 0.3	DI-1 0.1	Neutral
N-2	Na-salt 0.3	DI-2 0.1	
N-3	Na-salt 0.3	DI-3 0.1	
E-1	Na-salt 0.3 En 0.05	DI-1 0.1 OP 0.075	Neutral enzymatic
E-2	Na-salt 0.3 En 0.05	DI-2 0.1 OP 0.075	
E-3	Na-salt 0.3 En 0.05	DI-3 0.1 OP 0.075	

될 때 가성소다가 전건 폐지의 중량에 대하여 0.3%와 탈묵제 0.1%를 넣었으나, 탈묵제 DI-2가 사용될 때에는 현재 공장에서 사용하고 있는 첨가량에 따라 가성소다와 탈묵제를 각각 전건 폐지의 중량에 대하여 0.5%와 0.1%씩 첨가하였다. 중성 탈묵기술에서는 효소의 첨가 없이 소다염과 탈묵제가 각각 전건 폐지의 중량에 대하여 0.3%와 0.1%씩 첨가되었다. 또한, 중성 효소 탈묵기술에서는 중성 탈묵기술에서와 같이 소다염과 탈묵제를 각각 전건 폐지의 중량에 대하여 0.3%와 0.1%씩 첨가하고 추가적으로 효소 En과 OP도 각각 0.05%와 0.075%를 넣었다.

2.2 탈묵실험 방법

2.2.1 알칼리 탈묵기술

혼합된 공시 폐지(WL : CPO = 1 : 1)를 약 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 의 크기가 되도록 손으로 찢어서 해리기에 투입하고 물을 첨가하여 지료농도가 13% 되도록 하였다. 해리기 안에 있는 지료에 Table 1과 같이 해리 및 탈묵약품으로 가성소다와 탈묵제 DI-1, -2 및 -3를 각각 투입한 후, 폐지가 해리되고 잉크들이 박리되도록 50℃에서 25분 동안 교반하였다. 이와 같이 해리된 지료를 농도가 3% 되도록 희석시킨 후, 첨가된 약품이 충분히 작용할 수 있도록 교반하였다. 이 지료를 1.0%로 희

석하고, 독일 Voith사에서 제작한 탈묵용 부상부유기(flotation cell)에 투입하여 45℃에서 5분 동안 잉크를 제거하였다.

2.2.2 중성 탈묵기술

알칼리 탈묵기술과 같은 방법으로 해리기 안에 물과 13%의 농도로 혼합되어 있는 지료에 Table 1과 같이 해리 및 탈묵약품으로 소다염과 탈묵제 DI-1, -2 및 -3를 각각 투입한 후, 폐지가 해리되고 잉크들이 박리되도록 50℃에서 40분 동안 교반하였다. 이와 같이 해리된 지료를 농도가 3% 되도록 희석시킨 후, 첨가된 약품이 충분히 작용할 수 있도록 교반하였다. 이 지료를 1.0%로 희석하고, 독일 Voith사에서 제작한 탈묵용 부상부유기(flotation cell)에 투입하여 45℃에서 5분 동안 잉크를 제거하였다.

2.2.3 효소 탈묵기술

알칼리 탈묵기술과 같은 방법으로 해리기 안에 물과 13%의 농도로 혼합되어 있는 지료에 Table 1과 같이 해리 및 탈묵약품으로 소다염, 탈묵제 DI-1, -2 및 -3, 효소 En과 OP를 각각 투입한 후, 폐지가 해리되고 잉크들이 박리되도록 50℃에서 40분 동안 교반하였다. 이와 같이 해리된 지료에 효소가 충분히 작용할 수 있도록 해리한 후,

해리기 안에서 교반을 정지한 상태에서 45℃에서 30분 동안 방치하여 숙성(soaking)하였다. 숙성된 지료를 농도가 1.0% 되도록 희석하고, 독일 Voith사에서 제작한 탈묵용 부상부유기(flotation cell)에 투입하여 45℃에서 5분 동안 잉크를 제거하였다.

나는 잉크의 양을 Hunter 백색도 측정기와 화상 분석기로 측정하여 탈묵에 의한 백색도 증가와 잉크 제거율을 산출하였다. 또한, 부상부유법 탈묵시에 제거되는 총량이 탈묵효과와 수율에 직접적인 영향이 있으므로 제거된 양도 측정하였다.

2.3 측정 및 평가방법

3. 결과 및 고찰

2.3.1 탈묵제의 pH 및 계면화학적 특성

3.1 탈묵제의 계면화학적 특성

탈묵실험에서 사용된 탈묵제 DI-1, -2와 -3의 1% 수용액을 각각 준비하고 pH를 측정하였다. 이 수용액들의 계면화학적 특성 조사하기 위하여 25℃에서 Kruess사의 장력측정기(tensiometer) K12를 사용하여 표면장력을 측정하였고, 발포성 및 기포 안정성은 JIS-3362에 규정된 Ross-Miles법에 따라 측정 및 평가하였다. 또한, 담점(cloud point)은 지름 24 mm의 시험관에 온도계와 1% 시료 수용액 10 mL을 넣고 가볍게 교반하면서 증탕으로 서서히 승온하면서 용액이 급격히 흐려지는 온도를 측정하여 결정하였다.

탈묵제의 발포성과 기포 안정성을 측정하는 방법으로 일반적으로 가장 널리 사용되고 있는 Ross-Miles법을 본 연구에서는 선택하였다. 또한, 발포성과 기포 안정성은 탈묵제의 표면장력과 밀접한 관계가 있으므로 각 탈묵제의 표면장력을 표면장력 측정기를 사용하여 측정하였으며, 이 표면장력은 탈묵제의 응집성과도 밀접한 관계가 있다. 이외에도 계면활성제의 특성 중에 하나인 담점(cloud point)은 물의 온도 변화에 대한 계면활성제의 용해도와 관련이 있고 일반적으로 담점 이상의 온도에서는 계면활성제가 미셀(micell)을 형성하여 그 작용이 제한된다. 또한, 신문지 폐지를 해리할 때에 온도가 계면활성제의 담점에 5℃ 이내의 차이가 있을 때 탈묵 펄프의 백색도가 가장 높고, 백상지 폐지를 탈묵하는 경우에는 공정의 온도가 계면활성제의 담점보다 20-30℃보다 낮을 때 탈묵 펄프의 백색도가 가장 높은 것으로 알려져 있다.¹¹⁾ 따라서 탈묵제의 담점도 측정하였다. 이상과 같이 측정된 탈묵제의 계면화학적 특성을 Table 2에 나타내었다. 또한, 탈묵제가 사용되는 폐지의 종류, 화학구조적 특성 및 pH도

2.3.2 탈묵실험의 효과

탈묵실험 방법에 따라 실시된 탈묵실험의 효과를 평가하기 위하여 폐지를 해리한 후[AP(After Pulping)]와 부상부유법에 의한 탈묵 후[AF(After Flotation)]에 지료의 일부를 채취하여 전건증량으로 3.0 g씩 3장을 여과지 위에서 여과하여 형성되는 종이층 표면에 백색도와 나타

Table 2. Surface chemical properties of three different types of surfactants

Deinking agent	Chemical classification	pH	Foam height 1 [mm]	Foam height 2 [mm]	Foam stability [%]	Surface tension [mN/m]	Cloud point [℃]	Usage
DI-1	(EO)(PO) copolymer	7.12	50.0	7.81	5.6	32.74	26	for WL
DI-2	Fatty acids	5.88	4.0	1.33	33.3	31.25	>100	for WL & OMG
DI-3	(EO)(PO) copolymer	8.79	106.6	100.6	94.4	30.53	45	for CFO

Table 3. Deinking efficiency of conventional alkaline condition using three different types of surfactants

Experiment No.	Pulping & deinking chemicals	pH		Stock loss (%)	Brightness			Dirt count(ppm)		Ink removal (%)
		Pulping	Flotation		AP	AF	△	AP	AF	
A-1	NaOH 0.3% DI-1 0.1%	10.6 10.0	8.7	3.7	71.1	75.4	4.3	2,640,000	37,000	98.60
A-2	NaOH 0.5% DI-2 0.1%	11.0 10.7	9.6	4.7	70.5	74.0	3.5	1,770,000	6,400	99.64
A-3	NaOH 0.3% DI-3 0.1%	10.5 10.5	9.4	6.9	70.3	75.4	5.1	2,080,000	26,800	98.71

Table 2에 정리하였다. 본 연구에서 사용한 탈묵제 DI-1의 발포성과 기포 안정성에 대한 측정에서는 시험액이 모두 낙하한 직후에 기포의 높이가 50.0 mm이고 낙하 5분 후의 기포 높이가 7.8 mm이었고, DI-2의 경우에는 각각 4.0 mm와 1.33 mm이며 DI-3은 각각 106.6 mm와 100.6 mm를 나타내었다. 즉, 탈묵제 DI-3이 가장 좋은 발포성과 기포 안정성을 나타내었다. 그러나, 이 탈묵제가 실제 공장의 탈묵공정에 사용되는 경우에는 발생하는 기포에 의하여 공정수 처리 및 제조되는 종이의 품질에 악영향을 준다. 따라서 기포 안정성을 감소시키는 것이 필요하다. 탈묵제 DI-2는 기포 발생력이 약한 종류의 계면활성제이었고, 탈묵제 DI-1은 발포력을 가지고 있으며 우수한 소포성을 보였다. 또한, 탈묵제 DI-1, -2와 -3의 표면장력은 각각 32.74, 31.25와 30.53 mN/m로 커다란 차이가 없었으나, 각 탈묵제 담점의 경우에는 측정된 결과에서 차이가 있었다. 탈묵제 DI-1의 담점은 26℃로 탈묵공정 중의 온도보다 낮았다. 탈묵제 DI-2와 -3의 담점은 각각 100℃ 이상과 45℃로 탈묵공정 중의 온도 범위보다 높거나 같은 수준이었다.

3.2 탈묵효율의 비교

3.2.1 알칼리 탈묵의 효율

알칼리 탈묵기술에 의한 실험에서 폐지를 해리할 때와 부상부유법에 의한 잉크를 제거할 때에 측정된 pH 및 제거되는 총량, 해리 후와 부상부

유에 의한 잉크제거 후에 제조된 자층의 백색도와 백색도 증가 및 잉크의 양과 잉크 제거율을 종합해서 Table 3에 나타내었다. 이 결과들을 비교하여 보면, 탈묵제 DI-1를 사용한 실험 번호 A-1에서 다른 탈묵제를 사용한 실험 번호 A-2와 A-3보다 폐지를 해리한 후에 화상분석기에 나타나는 잉크의 양이 많음에도 불구하고 백색도가 높게 측정되었다. 이것은 백색도에 대한 잉크 크기의 영향을 연구한 자료에 따르면, 잉크가 비교적 크게 폐지로부터 박리 응집되었기 때문에 백색도가 높은 것으로 추정된다.¹²⁾ 실험 번호 A-2에서는 폐지를 해리한 후(AP)와 부상부유로 잉크가 제거된 후(AF)에 백색도는 70.5와 74.0으로 낮았으며 잉크의 양도 각각 1,770,000 ppm과 6,400 ppm로 측정되어 가장 적은 것으로 나타났다. 잉크의 양이 가장 적음에도 불구하고 백색도가 낮은 것은 폐지가 해리되면서 박리 응집된 잉크의 크기가 작은 것이 많이 존재하고 화상분석기에서 측정할 수 없을 정도로 작은 잉크가 많이 존재하는 것으로 생각된다. 탈묵제 DI-3을 사용하는 경우에는 폐지를 해리한 후에 백색도가 70.3으로 가장 낮았으며 부상부유법에 의한 탈묵 후에 백색도는 75.4로 가장 높았다. 또한, 잉크의 양은 폐지를 해리한 후 2,080,000 ppm 및 부상부유법에 의한 탈묵 후 26,800 ppm으로 측정되었다.

이상의 결과를 정리 평가하면, 탈묵제 DI-2는 폐지 해리 후 및 부상부유법에 의한 잉크 제거 후에 측정된 잉크의 양에서 잉크 제거효율이 99.64%로 가장 높은 것으로 산출되었으나, 탈묵에 의한 백색도의 증가가 3.5 정도로 실질적으로

Table 4. Deinking efficiency of neutral condition with three different types of surfactants

Experiment No.	Pulping & deinking chemicals	pH		Stock loss (%)	Brightness			Dirt count(ppm)		Ink removal AF(%)
		Pulping	Flotation		(%)	AP	AF	△	AP	
N-1	Na-salt DI-1 0.1%	8.5	7.9	6.9	70.8	75.6	4.8	1,540,000	26,800	98.26
		8.5								
N-2	Na-salt DI-2 0.1%	8.7	8.4	5.1	69.9	74.3	4.4	1,930,000	25,900	99.66
		8.6								
N-3	Na-salt DI-3 0.1%	8.8	8.5	7.3	70.9	76.4	5.5	2,390,000	21,000	99.12
		8.6								

는 탈묵효율이 양호하지 않은 것으로 판단되었다. 한편, 탈묵제 DI-3의 경우에 잉크 제거율은 98.71%이나, 백색도의 증가는 5.1로 가장 높아 실질적인 탈묵효율이 가장 우수한 것으로 나타났다. 그러나, 실험 번호 A-3의 경우에 탈묵에서 제거되는 총량이 6.9%로 가장 많아 탈묵효율이 높은 원인 중에 하나가 될 수 있으며, 수율이 낮아지는 단점이 있다.

3.2.2 중성 탈묵의 효율

중성 탈묵기술에 의한 실험에서 폐지를 해리할 때와 부상부유법에 의한 잉크를 제거할 때에 측정된 pH 및 제거되는 총량, 해리 후와 부상부유에 의한 잉크제거 후에 제조된 지층의 백색도와 백색도 증가 및 잉크의 양과 잉크 제거율을 종합해서 Table 4에 나타내었다. 이 결과들을 비교하여 보면, 탈묵제 DI-3을 사용한 실험 번호 N-3에서 다른 탈묵제를 사용한 실험 번호 N-1과 -2보다 폐지를 해리한 후와 탈묵 후에 백색도가 높으며 탈묵에 의한 백색도의 증가도 가장 많았다. 또한, 폐지를 해리한 후에 만들어진 지층의 표면으로부터 화상분석기에 나타나는 잉크의 양은 실험 번호 N-3에서 2,390,000 ppm으로 실험 번호 N-1과 -2보다 많았고, 탈묵 후에 측정된 잉크의 양은 실험 번호 N-3에서 25,900 ppm으로 실험 번호 N-1과 -2보다 적었다. 즉, 탈묵에 의한 잉크 제거율이 탈묵제 DI-3를 사용하는 경우에 가장 높았다. 여기서도 백색도와 측정된 잉크의 양을 비교하여 보면 알칼리 탈묵기술에서와 같이 탈묵제

DI-2를 사용하는 경우에 폐지로부터 박리 응집되는 잉크의 크기가 가장 작았다. 폐지로부터 박리 응집되는 잉크의 크기가 가장 큰 것은 알칼리 탈묵기술에서와 달리 탈묵제 DI-3를 사용하는 경우인 것으로 추정된다. 한편, 탈묵제 DI-3의 경우에 잉크 제거율은 99.12%이고 백색도의 증가는 5.5로 가장 높아 실질적인 탈묵효율이 가장 우수한 것으로 나타났으나, 실험 번호 N-3의 경우에 탈묵에서 제거되는 총량이 7.3%로 가장 많아 탈묵효율이 높은 원인 중에 하나가 될 수 있으며, 수율이 낮아지는 단점이 있다.

3.2.3 효소 탈묵의 효율

효소 탈묵기술에 의한 실험에서 폐지를 해리할 때와 부상부유법에 의한 잉크를 제거할 때에 측정된 pH 및 제거되는 총량, 해리 후와 부상부유에 의한 잉크제거 후에 제조된 지층의 백색도와 백색도 증가 및 잉크의 양과 잉크 제거율을 종합해서 Table 5에 나타내었다. 이 결과들을 비교하여 보면, 탈묵제 DI-3을 사용한 실험 번호 E-3에서 폐지를 해리한 후와 탈묵 후에 백색도가 71.6 및 77.4로 다른 탈묵제를 사용한 실험 번호 E-1과 -2보다 가장 높았고, 백색도 증가도 5.8로 가장 많았다. 한편, 폐지를 해리한 후에 만들어진 지층의 표면으로부터 화상분석기에 나타나는 잉크의 양은 실험 번호 E-1에서 1,980,000 ppm으로 실험 번호 E-2과 -3보다 적었고, 탈묵 후에 측정된 잉크의 양도 실험 번호 E-1에서 16,500 ppm으로 실험 번호 E-2과 -3보다 적었다. 즉, 탈묵에 의

Table 5. Deinking efficiency of neutral condition with enzyme and three different types of surfactants

Experiment No.	Pulping & deinking chemicals	pH		Stock loss (%)	Brightness			Dirt count(ppm)		Ink removal (%)
		Pulping	Flotation		AP	AF	△	AP	AF	
E-1	Na-salt 0.3% DI-1 0.1% En 0.05% OP 0.075%	9.1 ~ 8.4	8.3	7.1	70.0	74.5	4.5	1,980,000	16,800	99.17
E-2	Na-salt 0.3% DI-2 0.1% En 0.05% OP 0.075%	9.0 ~ 8.8	8.5	3.7	70.0	73.8	3.8	2,100,000	25,300	98.80
E-3	Na-salt 0.3% DI-3 0.1% En 0.05% OP 0.075%	8.7 ~ 8.6	8.4	6.4	71.6	77.4	5.8	2,270,000	24,100	98.94

한 잉크 제거율이 탈목제 DI-1를 사용하는 경우에 가장 높았다. 또한, 여기서도 백색도와 측정된 잉크의 양을 비교하여 보면 탈목제 DI-3를 사용한 실험 번호 E-3의 경우에 폐지로부터 박리되는 잉크의 크기가 가장 큰 것으로 추정된다. 이상을 종합적으로 보면, 탈목제 DI-3를 사용한 실험 번호 E-3의 경우에 백색도의 증가는 5.8로 가장 높았고 잉크 제거율은 98.94%로 탈목제 DI-1을 사용한 실험 번호 E-1에서 99.17%보다 약간 낮았다. 또한, 탈목효율에 영향을 주는 탈목에서 제거되는 총량이 실험 번호 E-3은 6.4%이고 E-1은 7.1%로 산출되었다. 따라서 실험 번호 E-3의 경우에 실질적인 탈목효율이 가장 우수한 것으로 평가된다.

3.2.4 탈목기술의 비교

앞에서 탈목기술에 따른 탈목제의 탈목효율을 비교 평가하였다. 다음으로는 탈목기술의 탈목효율을 비교 평가하고자 한다. 이를 위하여 각 실험에서 측정 평가한 결과 중에 탈목에 의한 지료의 백색도 증가와 탈목에서 제거되는 총량의 관계 및 폐지를 해리한 후(AP)와 탈목한 후(AF)에 만든 지층의 백색도를 종합하여 Fig. 1에 나타내었다.

일반적으로 탈목 공정에서 제거되는 양이 많으면 많을수록 백색도의 증가는 커진다. 이와 같은

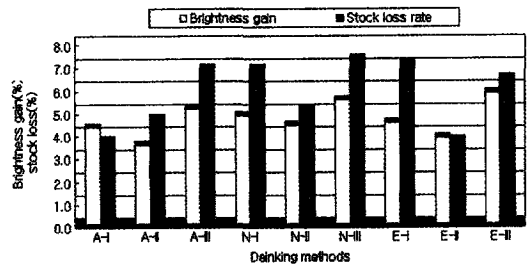


Fig. 1. Effect of deinking method on brightness gain and stock rate.

점을 고려해서 탈목효율을 비교 평가하면 다음과 같다. 본 연구에서는 탈목 실험에서 제거되는 총량이 3.7-7.3% 정도로 나타났고, 백색도 증가는 3.5-5.8의 범위로 산출되었다. 각 실험에서 제거된 총량이 가장 적은 탈목 실험은 탈목제로 DI-1을 사용하면서 알칼리 탈목기술을 적용한 실험 번호 A-1과 탈목제로 DI-2를 첨가하면서 효소 탈목기술에 따라 실시된 실험 번호 E-2이었고, 백색도는 효소 탈목기술을 적용하면서 계면활성제 DI-3를 탈목제로 사용한 실험 번호 E-3에서 가장 크게 증가하였다.

또한, 각 실험에서 폐지의 해리한 후(AP)와 탈목한 후(AF)에 만든 지층에서 화상분석기로 관찰

되는 잉크의 양과 이에 따른 잉크 제거율을 종합해서 Fig. 2에 나타내었다. 각 실험의 결과에서 산출된 잉크의 제거율은 98.26-99.64% 정도로 대부분 양호한 결과를 나타내었다. 폐지를 해리한 후의 지료로 만든 지층에 나타나는 잉크의 양은 적게는 1,540,000 ppm에서 많게는 2,640,000 ppm이었고, 탈묵 후에 만든 지층에서 나타나는 잉크의 양은 6,400-37,000 ppm의 범위에서 관찰되었다. 탈묵공정에서 잉크 제거율이 가장 높은 경우는 탈묵제로 DI-2를 사용하면서 알칼리 탈묵 기술에 따라 실시한 실험 번호 A-2이었다. 폐지를 해리한 후의 지료로 만든 지층에 나타나는 잉크의 양은 중성 탈묵기술을 적용하면서 탈묵제로 계면활성제 DI-1을 사용한 실험 번호 N-1이 1,540,000 ppm을 나타내 가장 적었고, 해리된 지료를 탈묵한 후에 얻은 지료로 만든 지층에서 화상분석기에 의하여 측정된 잉크의 양은 탈묵제 DI-2을 첨가하면서 알칼리 탈묵기술을 적용한 실험 번호 A-2에서 6,400 ppm으로 가장 적었다.

이상의 결과를 종합하면 다음과 같다. 잉크 제거율은 기존의 알칼리법을 적용하면서 탈묵제로 DI-2를 첨가한 실험 번호 A-2에서 가장 높았고 탈묵 후의 지료로 만든 지층에 잉크의 양도 가장 적었다. 그러나, 탈묵 후의 백색도와 백색도 증가는 매우 낮아 잉크가 많이 제거되었다고 평가되기 보다는 화상분석기에 측정되지 않는 작은 잉크들이 많이 존재하는 것으로 판단된다. 한편, 효소 탈묵기술을 적용하면서 계면활성제 DI-3를 탈묵제로 사용한 실험 번호 E-3에서 탈묵 후에 지료로 만든 지층의 백색도가 가장 높았고 백색도 증가도 가장 많았다. 또한, 잉크 제거율은 98.94%이고 탈묵 후의 지료로 만든 지층에 존재하는 잉크의 양도 24,100 ppm으로 탈묵에 의해 많은 잉크가 제거되었다고 판단된다. 따라서 본 연구에서 실시

한 탈묵 실험은 탈묵제로 계면활성제 DI-3를 첨가하면서 효소 탈묵기술을 적용한 실험 번호 E-3의 탈묵효과가 가장 우수하였다. 그러나, 탈묵에서 제거되는 총량이 6.4%로 비교적 많아 수율이 낮다는 점이 고려되어야 하며, 이는 계면활성제 DI-3가 발포성과 기포 안정성이 높기 때문에 나타나는 것이다. 따라서 이러한 단점을 개선하기 위해서는 계면활성제 DI-3를 탈묵제로 사용하면서 소포성을 증가시켜 기포 안정성 및 발포성을 감소시켜야 한다.

4. 결론

사무실 혼합 폐지를 재생하기 위하여 적용되는 탈묵기술들의 효율을 비교하고 사용된 탈묵제의 계면화학적 특성을 조사하여 이 특성과 탈묵효과의 관계를 평가하였다. 이를 위하여 기존의 알칼리법, 근래에 개발된 중성법과 효소 탈묵기술을 실험실 규모의 부상부유법 탈묵공정에 적용하여 실시하였고, 이때 사용된 탈묵제들의 발포성 및 기포 안정성 및 이와 관련이 있는 계면장력 등의 계면화학적 특성들을 측정 비교하였다. 탈묵효과는 알칼리법, 중성법 및 효소 탈묵기술에서 모두 (EO)(PO)copolymer형의 계면활성제 DI-3를 사용한 실험에서 가장 높았다. 또한, 알칼리법과 중성법에 의한 탈묵보다 효소 탈묵기술을 적용한 실험에서 가장 우수한 탈묵 결과를 나타냈다. 그러나, 계면활성제 DI-3을 탈묵제로 첨가한 탈묵 실험에서는 제거되는 총량이 많았다. 이와 같은 결과를 나타내는 계면활성제 DI-3는 DI-1과 -2에 비하여 발포성과 기포 안정성이 가장 뛰어났고 담점은 탈묵 실험상의 온도와 비슷한 45℃를 나타냈다. 한편, 계면활성제 DI-1의 담점은 26℃이고 DI-2의 담점은 100℃ 이상으로 측정되었고, 계면활성제 DI-1의 계면장력은 32.74 mN/m, DI-2는 31.25 mN/m 및 DI-3은 30.53 mN/m로 측정되었다.

사 사

본 논문은 과학기술부 특정연구개발사업의 연구비 지원으로 한국화학연구소에서 수행한 과제에 대한 연구 결과의 일부이며, 실험을 수행하여 결

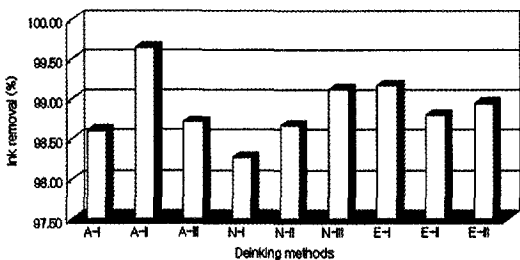


Fig. 2. Effect of deinking method on ink removal.

과를 측정한 고 조천희 씨와 윤병태 씨에게 감사드립니다.

인 용 문 헌

1. Doshi, M., Global Deinking Trends, in "Paper Recycling Challenge," Vol. II, pp. 6-9, Doshi & Associates Inc. (1997).
2. 신동소, 고지 리사이클링, 서울대학교출판부 (1995).
3. Welt, T., and Dinus, R. J., Enzymatic Deinking-A Review, in "Paper Recycling Challenge," Vol. II, pp. 253-246, Doshi & Associates Inc. (1997).
4. Miller, J. D., Azevedo, M. A. D., Nie, X., and Drelich, J., Recycling Office Waste-Recovered Paper Deinking Research at the University of Utah, in "Paper Recycling Challenge," Vol. II, pp. 167-182, Doshi & Associates Inc. (1997).
5. Klungness, J. H., Sykes, M. S., Jeffries, T. W., and Abubakr, S., Enzyme Enhanced Deinking of Toners, in "Paper Recycling Challenge," Vol. II, pp. 155-160, Doshi & Associates Inc. (1997).
6. 안병준, 백기현, 펄프·종이 기술 29(2):16 (1997).
7. Mr. K. K. K. K., and Zimmermann, W., Prog. in Paper Recycl. 7(2):14 (Feb. 1998).
8. Mr. K. K. K. K., and Zimmermann, W., Prog. in Paper Recycl. 7(5):33 (May 1998).
9. 윤병태, 오세균, 펄프·종이 기술 31(2):50 (1999).
10. Borchardt, J. K., Ink Types: The Role of Ink in Deinking, in "Paper Recycling Challenge," Vol. II, pp. 13-17, Doshi & Associates Inc. (1997).
11. Borchardt, J. K., An Introduction to Deinking Chemistry, in "Paper Recycling Challenge," Vol. II, pp. 18-30, Doshi & Associates Inc. (1997).
12. Walmsley, M., and Yu, C. J., 1993 Recycling Symposium, TAPPI notes, pp. 417-441, TAPPI PRESS (1993).