

효소를 이용한 레이저 인쇄된 고지의 탈묵*1

안병준*2 · 백기현*2

Deinking of Laser-printed Paper Using Enzyme*1

Byoung-Jun Aun*2 · Ki-Hyon Paik*2

ABSTRACT

This experiment was mainly performed with a biological treatment of laser-printed paper using enzyme. We got the following conclusions:

In the case of nonionic surfactant treatment, brightness, residual ink contents and several strength properties of deinked paper were excellent at the low dosage of cellulase 0.05%. When mixed cellulase and xylanase was used, yield was increased as the dosage increased up to 0.2%, but brightness was decreased at the same condition. In contrast, deinking efficiency of anionic type was reduced in terms of brightness, residual ink contents, and tensile strength. As flotation time was increased, yield decreased and brightness increased slightly. On the other hand, the addition of surfactant during repulping process showed better result than that during flotation process.

1. 서론

레이저 인쇄된 종이는 기타 xerox, heatset, ultraviolet등 비접촉식 잉크로 인쇄된 고지와 함께 잉크입자를 섬유상에 강하게 결합시키는 경화된 polymer resin 성분을 포함하기 때문에 기존의 화학약품으로는 효과적으로 잉크를 제거하기가 힘들고, 따라서 고지의 가격이 기존의 computer printout(CPO)에 비해 저렴하다. 그러므로 이러한 고지를 효율적으로 탈묵하기 위해서는 기존방법과 더불어 열이나 기계적처리, 생물학적 처리, 또

는 기타 다른 대안이 요구되고 있다.

본 연구에서 실시하고자 하는 효소를 사용한 생물학적 탈묵 공정은 펄핑시간의 감소 및 이로 인한 펄핑에너지의 상당한 감소를 동반하므로서 경제적 이익을 나타낼 수 있다. 이러한 생물학적 펄핑은 섬유 결합을 해리시키고, 섬유 표면에 부착된 잉크입자를 떨어뜨림과 동시에 섬유 덩어리나 피브릴간의 결합을 파괴시킨다.

Xerography와 laser에 사용되는 dry toner는 열가소성 수지, 카본 블랙, 기타 전하를 조절하는 첨가제로 구성되어 있으며, 토너 입자는 8-15

*1. 본 연구는 1995년도 산학협동재단의 연구비로 수행되었음.

*2. 고려대학교 대학원 산림자원학과

(Dept. of Forest Resources Graduate School, Korea University, Seoul, 136-701, Korea)

micron이고, 71-121℃의 용융점을 지니며, 49-71℃ 범위의 유리전이점을 나타낸다. 또한 물에 비해 표면장력이 낮으므로 부유부상 장치에 의해 제거가 가능하다. 레이저 잉크입자는 온도가 증가함에 따라 기존 잉크와는 상당한 차이를 나타낸다. 66-76℃ 사이에서 연화되기 시작하면 점착성을 나타내며, 크고 둥근 응집된 형태를 만들게 된다¹²⁾.

전 세계적으로 환경에 대한 관심이 고조되면서 대기와 수질오염을 줄이고 환경을 보호하고자 하는 측면에서 각광받고 있는 고지 재활용분야에서는 효소를 사용하는 생물학적 탈묵방법이 여러 연구소 및 현장에서 시도되고 있다.

국내의 경우 Eom 등²⁾은 laser CPO(computer printout)에 섬유소 분해효소를 투입하여 12.5% 펄프농도, 20-35℃ 펄핑온도로 20분간 펄핑하여 기존 화학약품을 사용한 방법에 비하여 잔사 잉크입자의 수를 10배 정도 감소시키며, 우수한 인장강도를 얻었다고 보고하고 있다. 또한 Paik과 Park³⁾도 ONP를 인위적으로 조합한 cellulase와 xylanase로 탈묵하여 펄프의 특성을 비교한 바 있다.

Jeffries¹⁰⁾는 standard styrene/acrylate toner를 사용한 복사용지와 레이저 인쇄된 용지를 cellulase로 처리하여, 기존의 탈묵방법과 비교하였는데, 11% 고농도 펄핑 후, 효소처리 최적조건으로 55℃, 20분, 0.2 IU/g을 적용하여 백색도 84.5%, 잔사 잉크 5 ppm의 결과를 얻었는데, 특히 화학약품을 효소 사용 전과 효소 사용 후에 각각 처리 하였을 경우에도 효소를 단독으로 사용한 경우보다 좋지 않은 결과를 나타냈다.

Zeyer 등¹³⁾은 셀룰로오스 체인에 대한 효소의 친화력을 조사하는 실험에서 종이 대신 cotton fabric을 기질로 사용하였는데, 효소의 활성이 잉크 제거를 증가시키도록 표면에 마찰이 발생하는 시점에 적용해야 한다고 주장하고 있다.

탈묵을 실시하는데 있어 pH 조절은 필수적으로 이루어져야 하는데, Franks¹⁴⁾는 혼합 사무용 고지가 대부분 백상지 등급의 고지로서, 충전제로 탄산칼슘을 사용하므로 탈묵을 위해 해리할 경우 pH를 7이상이 되도록 유지해야 한다고 한다. 그러므로

alkaline cellulase를 혼합 사무용 고지의 탈묵에 이용하게 되면 pH 조절을 위한 약품 소비를 최소화하면서 성공적으로 탈묵할 수 있다고 발표하였다.

Jeffries 등¹⁵⁾은 최적조건하에서 상업적 효소와 기존 화학적방법의 탈묵효율을 비교한 실험에서 효소 처리시 여수도가 증가하고 수력학적 침전물이 증가하는 이유는 효소가 셀룰로오스 미세섬유와 마이크로피브릴을 제거하여 비표면적이 작아지기 때문이며, 환경적인 측면에서 COD가 20-30% 감소하고, 백색도, 강도 등이 기존의 화학적 방법에 필적할 만하다고 보고하고 있다.

재생섬유에 효소와 고분자물질을 적용한 Sarkar 등¹⁷⁾의 연구에서는 몇몇 상업적인 cellulase와 고분자물질을 사용할 경우, 인장강도와 파열강도의 손실없이 펄프의 여수도가 개선되었다고 보고하였다.

또한 토너를 사용하는 용지의 경우 계면활성제의 역할이 많은 부분을 차지하고 있는데, Marchildon 등¹¹⁾은 18개의 체인을 갖는 세종류의 계면활성제의 2중결합 수에 따른 탈묵성능을 조사하였는데, 1개의 이중결합을 갖는 oleic acid가 stearic acid(zero double bond)나 linoleic acid(two double bond)보다 우수한 탈묵효과를 나타낸다고 보고하고 있다.

본 연구는 혼합 사무용 고지 중에서 많은 문제점을 야기시키는 레이저 인쇄고지의 탈묵시 효소와 계면활성제 사용의 최적조건과 탈묵된 펄프의 물리적·광학적 특성을 구명하고자 실시되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 공시고지 및 계면활성제

고지는 styrene/acrylate toner를 사용한 100% 레이저 인쇄 고지이며, 2cm × 2cm 크기로 재단하여 고농도해리기로 300g을 해리하였다. 계면활성제로는 고지 재생용 탈묵제로 시판중인 비이온성계통의 UNIPOL DI-100(신영화학)과

음이온성계통의 Sandoz Cartan WFD를 사용하였다.

2.1.2 공시효소

효소는 태평양(주) 연구소에서 분양 받은 정제된 cellulase와 xylanase를 사용하였으며, 효소의 활성도는 다음과 같다.

Cellulase의 carboxymethyl-cellulose(CMC) 분해역가는 sodium acetate buffer(50 mM, pH 5.0)에서 적절히 희석한 효소 0.5ml를 60℃로 30분간 처리하고 glucose 표준정량선을 사용하여 DNS 방법에 의해 환원당을 측정하였으며, 30,000 units/g의 효소활성을 나타내었다.

Xylanase의 xylan 분해역가는 sodium acetate buffer(50 mM, pH 5.0)에 2% xylan을 녹여 80-100℃로 끓인 후 실온까지 냉각시킨 후, 원심분리시킨다. 0.5 ml xylan 용액과 적절히 희석한 효소 용액 0.5 ml를 60℃에서 1시간 처리하고 xylose 표준정량선을 사용하여 DNS 방법에 의해 환원당을 측정하였으며, 200,000 units/g의 효소활성을 나타내었다.

2.2 실험방법

2.2.1 고농도해리기에서의 재펠핑

13%, 50℃, pH 5.0에서 sodium acetate buffer로 농도를 조절하여 600rpm으로 20분간 펄핑한 후 효소 및 계면활성제(nonionic, anionic type)를 첨가하여 농도를 11%로 맞추고, 20분간 고농도해리기에서 재펠핑하였다.

2.2.2 부유부상 탈묵처리

효소 처리로 완전 해리된 시료 40g을 1% 농도, pH 8.5, 35℃, CaCl₂(Ca⁺⁺base) 200 ppm의 조건으로 실험실용 부유부상 장치에 air compressor로 공기를 발생시키고 흡입장치로 reject를 제거시켰다. pH 조절은 가성소다와 황산으로 조절하였다.

2.2.3 수초지 제조 및 물리적·광학적 성질 측정

탈묵된 펄프를 표준해리기로 해리시켜 평량 50-60 g/m²로 초지하였다. 초지된 종이를 20℃, RH 65% 조건에서 24시간 이상 조습시킨 후 물리적·광학적 성질을 다음과 같은 방법으로 측정하였다. 잔류 잉크함량은 Power Mackintosh 7100 화상 분석기를 사용하여, 5cm × 5cm sample 내의 총 dirt 면적(m²)을 ppm 단위로 표시하였다.

Handsheet	Tappi Standard 205 om-88
Brightness	Tappi Standard T452 os-58
Tear index	Tappi Standard T414 om-88
Tensile index	Tappi Standard T404 om-88
Burst index	Tappi Standard T403 om-85

3. 결과 및 고찰

3.1 효소농도 및 효소조합에 의한 결과

효소농도 및 조합에 의한 결과는 Fig. 1, 2,와 같다. Fig. 1에서와 같이 cellulase를 단독으로 사용하였을 경우 효소농도가 증가함에 따라 수율은 일정하게 감소하지는 않았다. 특히 0.1%를 첨가하였을 경우 기타 다른 첨가량에 비교하여 수율 하락이 나타났는데, Jeffries 등¹⁰⁾은 FPL(Forest Product Laboratory)에서 alkaline cellulase를 사용하여 실험하바 비교적 적은 첨가량에서 잔류 잉크함량이 우수하게 나타났다고 보고하고 있다. 이러한 결과는 기존의 다른 cellulase를 사용하여 실험한 결과가 효소 saturation point에 도달할 때까지는 효소 농도 증가에 따라 효과가 크다는 결과와 상반된다.

또한 cellulase와 xylanase를 혼합사용 하였을 경우에는 0.2% 까지는 증가하다 0.25%에서 다소 감소하였다. 효소를 사용하였을 경우 효소를 넣지 않은 경우보다 전체적으로 낮은 수율 결과를 나타냈는데, 이러한 결과는 효소가 재펠핑시 토너와 섬유 미세분 사이의 결합을 파괴시킴으로써 부유부상시 펄프 현탁액 상태에서 섬유의 손실을 감소시키면서 토너 입자

효소를 이용한 레이저 인쇄된 고지의 탈묵

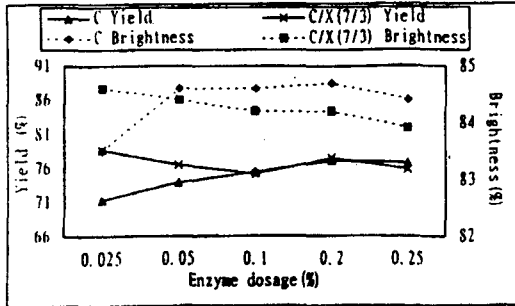


Fig. 1. Deinking effect of enzyme dosage on yield and brightness using nonionic surfactant.

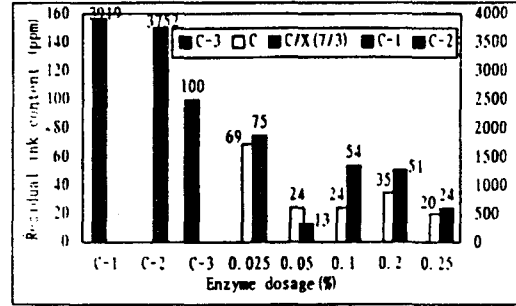


Fig. 2. Residual ink content as a function of enzyme dosage using nonionic surfactant.

를 효율적으로 제거할 수 있었기 때문으로 사료된다. 이에 따라 백색도 역시 효소를 사용함에 따라 0.5%에서 1.7%까지 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig. 2는 효소 농도에 따른 잔류 잉크함량을 나타내고 있는데, 효소를 사용하지 않고 부유부상을 실시하지 않은 대조구와 비교하여 상당한 잉크 제거효율을 나타내고 있다. 특히 cellulase 단독으로

사용할 경우 효소 농도 0.05%에서 가장 낮은 잔류 잉크함량을 보였다.

Table 1.에서와 같이 강도면에서는 cellulase를 단독으로 처리하였을 경우 파열지수와 인열지수는 증가하며, cellulase와 xylanase를 혼합 사용하였을 때에는 낮은 농도에서는 다소 높지만 농도가 증가함에 따라 감소하는 결과를 나타내었다. 인장지

Table 1. Deinking effect of dosage and enzyme combination using nonionic surfactant.

Enzyme combination, dosage (C, C/X(7/3), %)		Tensile index (Nm/g)	Burst index (KPam ² /g)	Tear index (mNm ² /g)
	C-1	20.81	1.29	9.84
	C-2	19.30	1.03	7.66
	C-3	20.04	1.33	9.97
C	0.025	19.57	1.26	9.35
C	0.05	17.57	1.14	8.83
C	0.1	17.57	1.14	8.83
C	0.2	15.88	1.04	8.78
C	0.25	16.64	1.06	8.29
C/X(7/3)	0.025	18.15	1.24	8.12
C/X(7/3)	0.05	17.41	1.05	7.31
C/X(7/3)	0.1	19.10	0.98	7.16
C/X(7/3)	0.2	16.90	1.00	7.12
C/X(7/3)	0.25	17.01	0.95	7.71

C : Cellulase C/X : Cellulase/Xylanase
 C-1 : Nonionic surfactant(DI-100, 0.2%) and NaOH(1%) as repulping chemicals
 C-2 : Nonionic surfactant(DI-100, 0.2%) as repulping chemical using buffer sol. (pH 5)
 C-3 : Flotation after C-2 treatment

수는 효소처리를 함에 따라 전반적으로 감소하는 경향을 나타냈다. Kim 등¹⁰⁾은 효소(Endo, Exo-β-1,4-glucanase)처리 고해가 섬유의 표면특성 및 종이의 강도 변화를 조사하였는데 Exo-β-1,4-glucanase는 처리량에 비례하여 내절도, 인장강도, 인열강도가 상승하지만, Endo-β-1,4-glucanase는 전반적으로 하향하는 경향을 나타냈다고 보고하였으며, 이것은 Endo type 효소의 특징적 반응기작인 결정형 표면의 peeling reaction

작용에 의한 세포벽의 박리화가 고해에 의해 촉진되었기 때문이라고 보고하고 있다.

음이온성 계면활성제를 사용한 탈묵 결과는 Fig. 3, 4와 같다. 음이온성 계면활성제를 사용한 실험에서는 비이온성 계면활성제와는 상이한 결과를 나타냈는데, cellulase를 단독으로 사용할 때에는 0.025%, cellulase/xylanase(7/3)에서는 0.1%에서 가장 우수한 수율을 보였다. 특히 cellulase 0.1%에서 0.2% 농도간에 수율의 큰 하락폭이 나타

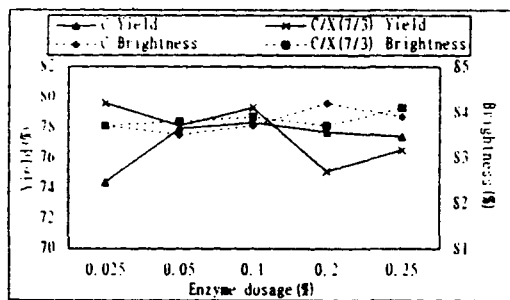


Fig. 3. Deinking effect of enzyme dosage on yield and brightness using anionic surfactant.

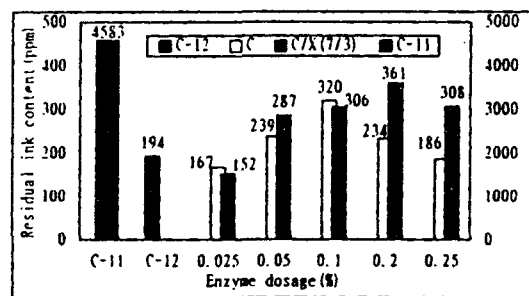


Fig. 4. Residual ink content as a function of enzyme dosage using anionic surfactant.

Table 2. Deinking effect of enzyme dosage and enzyme combination using anionic surfactant.

Enzyme combination, dosage (C, C/X(7/3), %)		Tensile index (Nm/g)	Burst index (KPam ² /g)	Tear index (mNm ² /g)
	C-11	14.52	0.96	7.40
	C-12	19.27	1.19	10.08
C	0.025	14.72	1.15	9.38
C	0.05	15.38	1.22	8.76
C	0.1	15.59	1.01	8.18
C	0.2	16.65	0.95	6.93
C	0.25	15.92	0.89	7.96
C/X(7/3)	0.025	15.41	1.24	10.27
C/X(7/3)	0.05	12.63	0.96	7.62
C/X(7/3)	0.1	12.54	0.91	8.05
C/X(7/3)	0.2	12.90	0.91	7.62
C/X(7/3)	0.25	11.15	0.78	6.82

C : Cellulase

C/X : Cellulase/Xylanase

C-11 : Anionic surfactant(Sandoz Cartan, 0.2%) as repulping chemical using buffer sol. (pH 5)

C-12 : Flotation after C-11 treatment

났다. Table 2는 음이온성 계면활성제를 사용하였을 경우의 강도변화를 나타내고 있다. 수초지의 강도면에서 전체적으로 인장지수의 감소가 발생되었고, cellulase와 xylanase를 혼합 사용하였을 경우에는 급격한 감소 경향을 나타내었다. 그러나 cellulase와 xylanase를 혼합하여 0.025% 처리하였을 경우에는 계면활성제의 타입에 관계없이 수율은 하락하지만 강도가 증가하였다.

3.2 효소 농도별 부유부상 시간 변화에 의한 영향

부유부상 시간에 따른 결과는 Fig. 5, 6과 같다. 효소 농도에 상관없이 부유부상 시간이 증가함에 따라 수율의 감소가 나타나며, 이러한 결과로부터 백색도의 상승을 보였다. 그러나 예상과는 달리 시간 변화에 따른 결과의 차이가 크지 않았다. 실험과정에서 부유부상을 시작함과

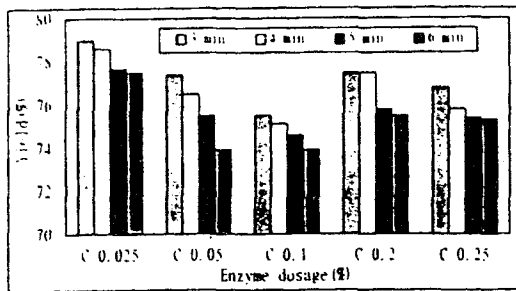


Fig. 5. Deinking effect of flotation time on yield with cellulase dosage.

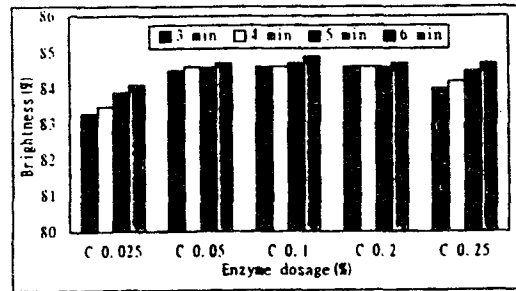


Fig. 6. Deinking effect of flotation time on yield with cellulase dosage.

Table 3. Deinking effect of flotation time according to enzyme dosage Enzyme dosage.

Enzyme dosage (%)	Flotation time (min)	Residual ink content (ppm)	Tensile index (Nm/g)	Burst index (KPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)
C 0.025	3	45	18.72	1.37	10.17
	4	69	19.57	1.26	9.35
	5	42	18.87	1.21	9.76
	6	33	19.87	1.32	9.18
C 0.05	3	59	19.96	1.38	11.00
	4	24	19.06	1.25	11.67
	5	16	21.49	1.44	12.36
	6	19	19.19	1.31	11.48
C 0.1	3	20	15.33	1.04	8.70
	4	35	15.88	1.04	8.78
	5	27	16.30	1.07	7.95
	6	11	17.70	1.09	7.73
C 0.25	3	126	17.75	1.12	9.10
	4	20	16.64	1.06	8.29
	5	6	18.44	1.09	9.10
	6	14	18.19	0.95	8.80

동시에 빠른 속도로 reject가 제거되기 때문에 일정시간이 경과한 후에는 토너 입자를 포함한 reject 보다는 섬유 손실로 이어졌다고 판단된다. 잉크를 제거하는데 있어 공기방울의 크기는 잉크입자 크기의 5배 정도일때 최적이지만, 본 실험에서 사용한 부유부상 장치에서 발생하는 공기방울의 크기가 커서 잉크 입자와 함께 토너-섬유 결합형태의 것이 제거된 것으로 사료된다.

Table 4는 계면활성제 종류 및 첨가시점에 따른 잔사 잉크함량과 물리적성질을 나타내고 있다. 백색도와 마찬가지로 잔사 잉크함량도 펄핑시에 첨가하는 것이 부유부상 처리시에 첨가하는 방법보다 상당히 좋은 결과를 보였으며, cellulase와 xylanase를 혼합한 경우는 계면활성제 종류에 상관없이 모든 강도측면에서도 우수하였다.

3.3 계면활성제 종류 및 첨가시점에 의한 영향

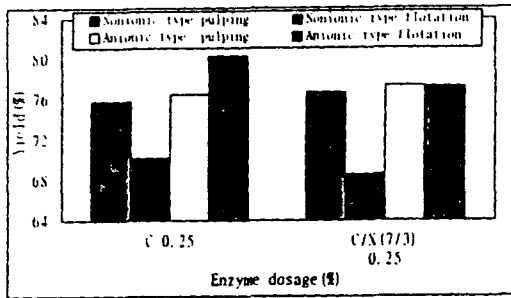


Fig. 7. Deinking effect of surfactant type and addition point on yield.

계면활성제의 종류 및 첨가 시점에 따른 결과는 Fig. 7, 8, Table 4와 같다. 효소 탈목시 계면활성제의 역할은 셀룰로오스가 섬유소 분해효소과 더욱 친화력을 갖도록 유도하고, 효소 탈착을 용이하게 하여 효소가 다른 셀룰로오스 위치에 재부착하기 쉽게 만든다. 적당한 조건에서 계면활성제는 효소 효율을 높이는데, 효소를 안정화시키고 고농도 혼합시 높은 전단력에 의한 효소의 비활성을 방지하게 하는 역할을 수행한다¹⁸⁾. 두 형태의 계면활성제를 비교할 때 cellulase와 cellulase와 xylanase를 혼합한 0.25% 효소농도에서 재펄핑이나 부유부상 시점에 첨가하였을 경우 모두 수율(Fig. 7)은 감소되지만 백색도와 잔류 잉크함량(Fig. 8)이 우수한 결과를 보였다. 계면활성제 첨가시점은 재펄핑시에 첨가하는 것이 여러가지 결과를 놓고 볼 때 유리하다고 판단되는데, 이러한 결론은 계면활성제

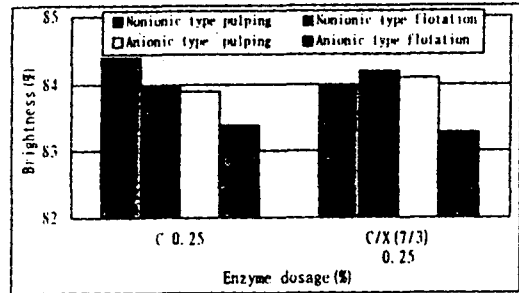


Fig. 8. Deinking effect of surfactant type and addition point on brightness.

Table 4. Deinking effect of surfactant type and addition point.

Enzyme combination, dosage (%)	Surfactant type and addition point		Residual ink content (ppm)	Tensile index (Nm/g)	Burst index (KPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)
C 0.025	Nonionic	Pulping	20	16.44	1.06	8.29
		Flotation	152	16.60	0.86	6.75
	Anionic	Pulping	186	15.92	0.89	7.96
		Flotation	480	17.67	0.96	5.29
C/X(7/3) 0.25	Nonionic	Pulping	24	17.01	0.95	7.17
		Flotation	174	13.36	0.60	5.29
	Anionic	Pulping	308	14.53	0.75	5.55
		Flotation	642	13.20	0.60	4.81

가 재필평시에 고농도로 마찰이 발생하는 과정에서 섬유와 토너 입자간의 결합을 파괴시킴으로써 부유 부상을 실시하는데 있어 잉크 제거를 양호하게 수행할 수 있도록 상호작용을 하는데 기인한다고 사료된다.

4. 결론

효소를 이용한 생물학적인 방법으로 탈묵하는데 있어 조건변화에 따른 탈묵효율을 구명한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

비이온성 계면활성제를 사용할 경우 cellulase 0.05%의 낮은 농도에서 백색도, 잔류 잉크함량 및 제반강도 특성이 우수하게 나타났다. cellulase와 xylanase를 혼합 사용하였을 때에는 효소 투입량이 0.2%까지 높아질 수록 수율은 증가하였지만 백색도는 감소하였다. 음이온성 계면활성제를 사용하였을 경우에는 비이온성 계면활성제와 비교하여 잔류 잉크함량 및 백색도가 감소하므로 탈묵효율이 크게 저하되었다. 또한 인장강도에서도 전반적으로 떨어지는 경향을 보였다. 한편 부유부상 시간에 의한 영향은 처리시간이 증가함에 따라 수율은 감소하고 백색도는 증가되지만 큰 차이가 나타나지는 않았다. 또한 계면활성제 첨가 시점은 재필평 시점이 부유부상시 첨가하는 것보다 월등하게 우수한 결과를 보였다.

참고 문헌

1. Darlington, W. B., A new process for deinking electrostatically-printed secondary fiber, Tappi J. 35 (1989).
2. Eom, T. J., and Ow, S. K., Deinking waste printed paper using enzymes, UK Patent Application : NO. GB 231 595A (1989).
3. Pommier, J. C., Fuentes, J. L. and Goma, G., Using Enzymes to Improve the Process and Product Quality in the Recycled Paper Industry. Part 1: The Basic Laboratory Work, Tappi J. 72(6):187 (1989).
4. Pommier, J. C., Fuentes, J. L. and Goma, G., Using Enzymes to Improve the Process and Product Quality in the Recycled Paper Industry. Part 2: Industrial Application, Tappi J. 77(7):197 (1990).
5. Lim, C. K. and Shin, D. S., Effects of anionic surfactants with molecular structures of variant alkyl chains on deinking efficiencies in flotation process, TAPPIK 23(3):5-18 (1991).
6. Daniels, M. J., Using Biological Enzymes in Papermaking, Paper Technology 33(6):14(1992).
7. Ferguson, L. D., Deinking chemistry : Part 1, Tappi J. 75(1992).
8. Ferguson, L. D., Deinking chemistry : Part 2, Tappi J. 49(1992).
9. Paik, K. H. and Park J. Y., Enzyme deinking of newsprint waste(I), TAPPIK 25(3): 42-52 (1993).
10. Jeffries, T. W., Klungness, J. H., Sykes, M. S. and Rutledge-Cropsey, K. R., Priliminary results of enzyme-enhanced versus conventional deinking of xerographic printed paper, Recycling Symposium (1993).
11. Marchildon, L., Bonnelly, B. and Lapointe, M., The effect of double bonds present in the surfactant on the deinking efficiency of xerographic paper, Pulp and Paper Science J. 19(4). J156 (1993).
12. Jones, W. S., Combined chemical/mechanical laser ink removal strategics, Pulping Conference 1005-

- 1013 (1993).
13. Zeyer, C., Joyce, T. W., Heitmann, J. A. and Rucker, J. W., Factors influencing enzyme deinking of recycled fiber, *Tappi J.* 77(10):169 (1994).
 14. Franks, N. E., Enzyme-facilitated deinking of mixed office waste - The use of alkaline cellulases, Paper Recycling Conference (1994).
 15. Jeffries, T. W., Klungness, J. H., Sykes, M. S. and Rutledge-Cropsey, K. R., Comparison of enzyme-enhanced with conventional deinking of xerographic and laser-printed paper, *Tappi J.* 77(4):173 (1994).
 16. Kim, B. H. and Jun, Y., Effect of enzyme(endo-1,4-glucanase, exo-1,4-glucanase) treated refining on fiber surface and paper physical properties, *TAPPIK* 26(2):23-35 (1994).
 17. Sarkar, J. M., Cosper, D. R. and Hartig, E. J., Applying enzymes and polymers to enhance the freeness of recycled fiber, *Tappi J.* 78(2):89 (1995).
 18. Sykes, M., Klungness, J., Jeffries, T. and Abubakr, S., Enzymatic deinking of sorted mixed office waste: Recommendations for scale-up, Recycling Symposium (1995).