

초음파를 이용한 laser-printed paper의 탈묵*1

안병준*2 · 백기현*2

Deinking of Laser-printed Paper Using Ultrasound*1

Byoung-Jun Aun*2 · Ki-Hyon Paik*2

ABSTRACT

This experiment was mainly performed with a mechanical treatment using ultrasound. We got the following conclusions:

At seven minutes-ultrasonic treatment using nonionic surfactant, yield, brightness and residual ink contents were superior to other treatment, but several strength properties were decreased. On the other hand anionic surfactant was considerably low ink removal efficiency. For ultrasonic treatment using nonionic surfactant, yield and brightness were dropped when temperature was over 40°C, but were observed to be insensitive to the pulp consistency and flotation time. In the case of nonionic surfactant, tensile and burst strength were improved when ultrasonic treatment was used comparing to non-treatment, and nonionic surfactant was generally better than anionic surfactant in terms of tensile and burst strength regardless of ultrasound conditions. Several properties were decreased when anionic surfactant was used in comparison with nonionic surfactant except yield, therefore, anionic surfactant. was not proper to be used in this condition.

*1. 본 연구는 1995년도 산학협동재단의 연구비로 수행되었음.

*2. 고려대학교 대학원 산림자원학과 (Dept. of Forest Resources Graduate School, Korea University, Seoul, 136-701, Korea)

1. 서론

한 국가의 종이 소비량은 그 나라의 국민 생활 수준을 그대로 반영한다. 1960년 우리나라의 1인당 3.4 Kg이던 종이 소비량이 1993년 127.5 Kg으로 증가한 것만 보더라도 앞으로의 종이 소비 증가추세는 계속될 전망이다. 이와 더불어 인간의 시각적인 욕구 충족을 위해 우수한 인쇄성을 나타내는 레이저 프린터의 공급으로 인쇄 분야에 많은 변화가 일어나고 있다. 레이저 프린터는 기존의 접촉식 프린터에 비해 빠른 인쇄 속도 및 우수한 인쇄성을 나타내므로 더욱 선호되고 있다.

더구나 레이저 프린터 가격이 저렴해지고 판매율이 증가함에 따라 필프·제지 분야에서는 재활용하는데 여러 문제점을 안고 있는 이러한 고지 사용에 고심하고 있다. 국내의 고지 수입원인 미국의 경우 레이저 프린터의 판매 증가는 1984년 2-3%, 1990년 35%, 1990-1993년 사이에는 97%의 증가율을 나타내어 해마다 기존 복사용기계 시장을 잠식해가고 있다. 이러한 추세라면 머지않아 고지의 상당 부분을 레이저 인쇄된 고지가 차지할 것으로 짐작된다.

초음파를 이용한 탈묵은 초음파 발생 장치의 가격이 저렴하고 초음파 발생에 따른 전력의 소비가 적으므로 경제적으로 실시할 수 있으며, 초음파에 의한 잉크입자의 파괴로 인하여 필핑 후 다음 단계에서의 잉크 제거를 손쉽게 수행할 수 있게 된다.

기계적 탈묵방법의 일환으로 탈묵에 초음파를 이용하는 방법은 1970年代 후반 Syracuse 시 뉴욕 주립대학의 Turai와 Teng¹⁾에 의해 주도되었는데, 음파를 22.5 KHz의 초음파를 발생시키는 음파발생장치로 레이저 인쇄된 고지를 사용하지 않고 탈묵 성능 및 강도적인 측면만을 고려한 논문을 발표하였다.

최근들어서는 초음파를 이용한 레이저 인쇄된 고지 탈묵이 많이 시도되어지고 있는데, Norman 등¹⁰⁾은 초음파 발생기의 주파수를 조절하여, 탈묵에 응용한 실험을 실시한 바, 초음파의

각 주파수(22KHz, 34KHz, 54KHz)에 따라 영향을 받는 잉크 입자의 크기 범위가 다르다고 하였다.

Venditti 등¹¹⁾은 고지를 사용하여 초음파 처리에 따른 토너 입자의 크기 분포에 관한 실험에서 초음파 처리가 온도에는 크게 영향을 받지 않는 장점이 있으며, 가성소다나 계면활성제를 전혀 사용하지 않은 조건에서도 입자 크기 감소가 효율적으로 이루어진다고 하였다.

Scott와 Gerber¹²⁾는 복사용지를 사용한 초음파 실험결과를 보고하였는데, 초음파 처리시 최적조건 구명을 위하여 pH, 초음파 cycle수, 필프농도 등 여러 인자에 따른 실험을 실시한 결과 pH와 cycle수가 주요 인자이며, 특히 pH 4-6에서 입자크기 감소가 크게 나타난다. 그러나 필프농도는 별다른 영향을 보이지 않는다고 보고하고 있다. 또한 토너 형태에 따른 실험 결과 styrene-acrylate와 styrene-butadien 토너 입자가 각각 온도, pH에 따라 다른 경향을 나타냈다.

이밖에 레이저 인쇄된 고지를 기계적으로 탈묵하는 방법으로 토너를 응집, 고밀화시켜 forward cleaner를 사용하여 제거하는 방법이 시도되고 있으며,^{2), 8)} 고농도의 니더 장치의 사용 가능성이 제시되고 있는데, 기존 분산장치가 고온과 고에너지 요구하고 여수도가 떨어지며 잉크 제거가 불완전하게 이루어져 표백이 필요하다는 단점이 있는 것과 비교하여, 고농도 니더 장치를 사용할 경우 저온, 저에너지가 소모되며 수율이 높고 섬유 손상이 적으며 여수도 저하가 적다고 보고하고 있다. 또한 100% 레이저 고인쇄된 고지를 30% 니더 농도로 백색도 86, dirt count 2ppm(Tappi 0.04 mm²)의 우수한 결과를 얻을 수 있었다.^{6), 7), 9)}

혼합 사무용 폐지의 탈묵 여부는 특히 레이저 인쇄된 고지의 탈묵 결과에 좌우되므로 본 연구는 고지를 재사용할 경우에 탈잉크가 어려워 가장 문제시 되고 있는 혼합사무용 고지 특히 레이저 인쇄된 고지를 경제적, 환경적 측면에서 효율적으로 탈묵할 수 있는 방법을 구명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

고지는 styrene/acrylate 토너를 사용한 100% 레이저 인쇄된 고지를 2cm × 2cm로 재단하여 고농도해리기로 300g을 해리하였으며, 계면활성제로는 비이온성 계통의 UNIPOL DI-100(신영화성)과 음이온성 계통의 Sandoz Cartan WFD 시판 제품을 희석하여 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 펄핑 및 재펄핑

13%, 45℃, 600 rpm으로 20분간 물로만 펄핑한 후, 1.0% NaOH, 계면활성제(비이온성, 음이온성 계통) 0.2%를 첨가하여 11% 농도에서 20분간 고농도해리기에서 재펄 평하였다.

2.2.2 초음파 발생

초음파 발생장치는 Model VC 250 Sonics and Materials Inc.를 사용하여 20KHz 초음파를 발생시켰다. 초음파의 전달은 펄프 현탁액 내로 탐침(probe)에 의해 전달하였고, duty cycle은 40%로 고정하였다.

2.2.3 부유부상 탈묵처리

초음파 처리로 완전 해리된 시료 40g을 1% 농도, pH 8.5, 35℃, CaCl₂(Ca⁺⁺base) 200 ppm의 조건으로 실험실용 탈묵장치에 air compressor로 공기를 발생시키고 흡입 장치로 잉크 reject를 제거시켰다. pH 조절은 가성소다와 황산으로 조절하였다.

2.2.4 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(μm²)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 초음파 처리시간에 의한 영향

초음파 처리시간에 따른 결과는 Fig. 1, 2, Table 1, 2와 같다. 두 종류의 계면활성제에서 모두 초음파 시간이 증가함에 따라 수율이 상승하였다. 특히 비이온성 계면활성제를 사용하였을 경우에는 큰 폭의 상승이 발생하였다. 이러한 수율 증가는 초음파 작용시 공동현상으로 인해 섬유와 잉크 입자 사이를 탈리시킴으로써 소수성인 잉크 입자의 제거를 용이하게 할 뿐만 아니라 섬유는 현탁액 내에 잔존하게 하는데 기인한다고 사료된다. Norman 등¹⁰⁾의 보고에 따르면, 초음파 시간을 0

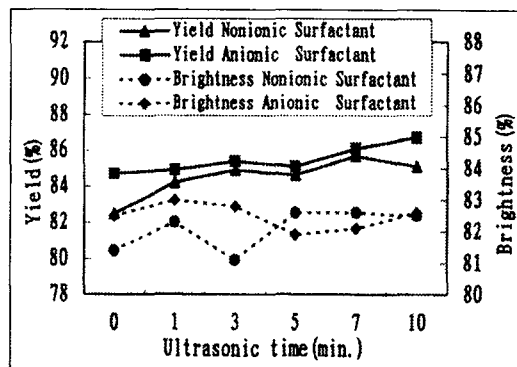


Fig. 1. Yield and brightness depending on ultrasonic treatment time.

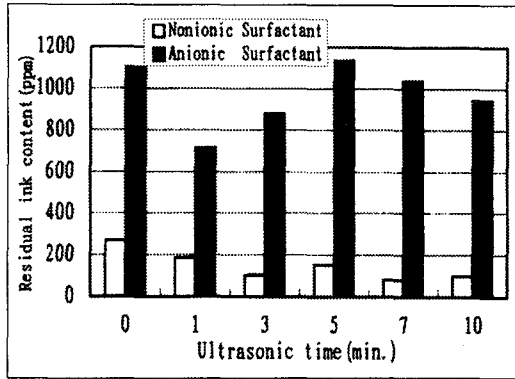


Fig. 2. Residual ink content depending on ultrasonic treatment time.

에서 15분 까지 처리하였을 경우 10분까지는 잉크 제거 효율이 급격히 증가하다가 그 후로는 유

지되는 결과를 나타내고, 펄프 농도에 따라 0.5%에서 1.5%까지는 농도 증가에 따라 효율 감소가 나타나고 2.0%에서는 오히려 상승한다고 보고하고 있다. 초음파에 의한 잉크 입자의 파괴작용은 초음파에 의해 발생된 공기 거품이 내파되면서 근처 매개체로 에너지를 전달하는데, 2차 섬유류의 경우 내파된 공기 거품에서 발생된 에너지는 잉크 입자를 느슨하게 하고 섬유로부터 잉크 입자를 탈리시키고 탈리된 잉크 입자 끼리의 결합을 파괴시키게 된다.

또한 비이온성 계면활성제를 사용하면 초음파 처리를 하지 않은 경우와 비교하여 백색도와 잔류 잉크함량이 개선되고, 인장지수와 파열지수가 증가함을 알 수 있다. 이것은 고지에 초음파를 이용할 경우 인열강도의 저하없이 열단장과 파열강도가 증가한다는 Turai 등¹⁾의 보고와 같은 결과를 나타냈

Table 1. Physical properties of handsheet by ultrasonic treatment using nonionic surfactant

Ultrasonic treatment (min.)	Tensile index (Nm/g)	Burst index (kPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)
0	20.81	1.29	9.84
1	21.34	1.44	9.91
3	22.68	1.46	10.68
5	22.52	1.46	11.42
7	21.44	1.41	9.32
10	21.54	1.54	10.13

Table 2. Physical properties of handsheet by ultrasonic treatment using anionic surfactant

Ultrasonic treatment (min.)	Tensile index (Nm/g)	Burst index (kPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)
0	19.62	1.29	12.06
1	18.95	1.22	8.59
3	19.41	1.36	10.56
5	17.88	1.34	11.29
7	18.44	1.08	10.32
10	18.38	1.23	10.22

다. 그러나 음이온성 계면활성제에서는 반대로 인장지수는 전체적으로 감소되며, 수율 상승에 따라 백색도는 5분까지는 일정하게 감소하다가 다시 상승하였다.

레이저 인쇄된 고지를 해리하였을 경우 토너 입자가 너무 크고 flat한 형태를 나타내므로 부유부상 처리하기에 적당한 크기 및 조건이 아니다. 초음파 처리를 함으로써 기존방법으로 처리하는 것보다 부유부상하기에 적당한 크기 및 형태로 잉크 입자를 변형시키는 효과를 만들게 된다. 초음파 처리는 부유부상하기에 적합한 80-150 m 크기의 잉크 입자 수를 증가시키는 반면, 그 이상의 잉크 입자 수를 감소시킴으로써 부유부상 효율을 증가시킨다.

한편 비이온성 계면활성제는 음이온성 계면활성제와 비교하여 수율이 약간 떨어지는 면이 있으나 잔존잉크 함량 및 제반 강도면에서 우수한 결과를 나타냈다. 특히 초음파를 7분 처리하였을 경우 수율, 백색도, 잔존잉크 함량에서 모두 가장 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

3.2 초음파 발생시 온도 변화에 의한 영향

초음파 발생시 온도 변화에 따른 결과는 Fig. 3, 4, Table 3, 4와 같다. 비이온성 계면활성제를 사용한 경우에는 온도 상승에 따라 수율 감소가 나타나지만 백색도는 증가폭이 확연하게 드러나지는 않았다. Lim 등³⁾은 음이온성 계면활성제의 탈묵 효율을 비교한 실험 결과를 보고하였는데, 음이온성 계면활성제를 사용할 경우 온도 상승에 따라 수

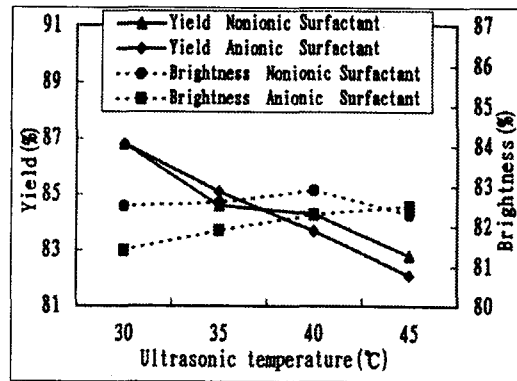


Fig. 3. Yield and brightness depending on ultrasonic temperature.

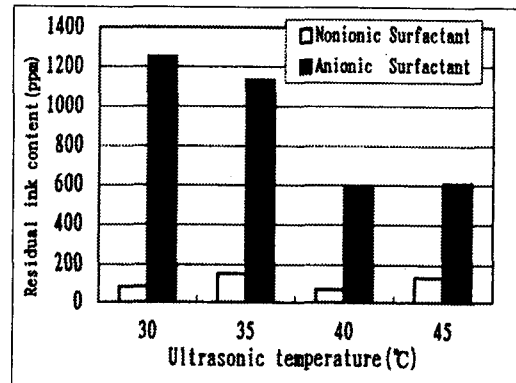


Fig. 4. Residual ink content depending on ultrasonic temperature.

율은 급격히 하락하는 반면, 백색도는 증가한다고 보고하였다.

Table 3. Physical properties of handsheet by temperature using nonionic surfactant

Ultrasonic temp. (°C)	Tensile index (Nm/g)	Burst index (kPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)
30	20.69	1.40	10.26
35	22.52	1.46	11.42
40	21.00	1.49	10.84
45	21.68	1.43	10.33

Table 4. Physical properties of handsheet by temperature using anionic surfactant

Ultrasonic temp. (°C)	Tensile index (Nm/g)	Burst index (kPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)
30	18.52	1.47	10.85
35	17.88	1.34	11.29
40	18.83	1.44	11.27
45	16.99	1.37	11.47

본 실험결과도 초음파 발생시 음이온성 계면활성제를 사용하여 온도를 변화시켰을때 동일한 결과를 나타내고 있다. 특히, 수율면에서 30°C에서 86.8%, 45°C에서 82.1%로 4.7%의 큰 하락폭이 발견되었다. 잔존 잉크 함량의 경우에는 40°C에서 두 계면활성제에서 모두 낮은 값을 나타내었다. 한편 초음파 처리가 온도 증가에는 큰 영향을 받지 않는다는 보고도 있다¹¹⁾.

3.3 초음파 발생시 펄프농도에 의한 영향

초음파 발생시 펄프농도에 의한 결과는 Fig. 5, 6, Table 5, 6과 같다. 비이온성 계면활성제의 경우 수율, 백색도, 잔존 잉크함량에서 별다른 차이가 발견되지 않았지만, 펄프농도 1.5%에서 제반 강도가 우수하게 나타났다. 한편 음이온성 계면활성제를 사용하였을 경우에는 펄프농도가 증가함에 따라 수율도 증가하였으며, 0.7%에서 1.5%까지 백색도의 상승 및 잔존 잉크함량이 감소하였다.

Norman 등¹⁰⁾의 결과로는 펄프농도를 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%로 증가시켰을 때, 1.5%까지는 펄프농도가 증가함에 따라 dirt 제거율이 감소하다가 2.0%에서는 다시 증가한다고 보고하였다. 경제적인 면을 고려할 때, 고농도로 실시하는 것이 훨씬 유리하지만, 지나치게 높은 농도에서 초음파 공정을 실시할 경우 공동 발생조건을 방해하므로 탈묵 효율이 급격하게 떨어지게 된다.

본 실험에서는 초음파 농도를 변화시킨 후 부유 부상 적용시에는 동일한 농도로 실시한 결과 각 농

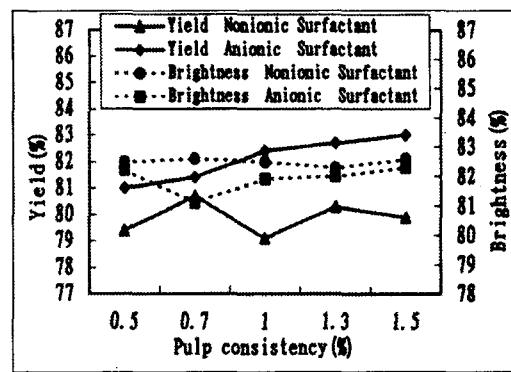


Fig. 5. Yield and brightness depending on pulp consistency.

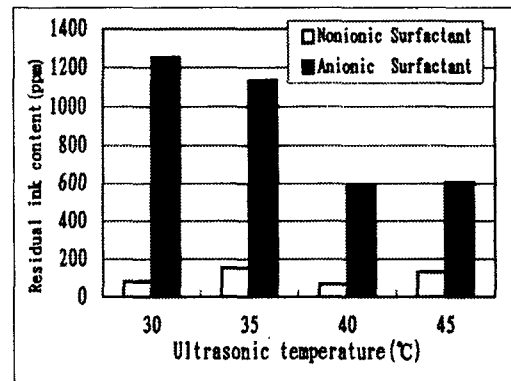


Fig. 6. Residual ink content depending on upulp consistency.

도 간의 백색도 면에서 차이가 작게 나타난 것으로 판단된다.

Table 5. Physical properties of handsheet by pulp consistency using nonionic surfactant

Pulp consistency (%)	Tensile index (Nm/g)	Burst index (kPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)
0.5	21.39	1.91	10.91
0.7	21.71	1.73	10.66
1.0	22.52	1.76	11.55
1.3	22.21	1.73	10.70
1.5	25.52	2.21	13.39

Table 6. Physical properties of handsheet by pulp consistency using anionic surfactant

Pulp consistency (%)	Tensile index (Nm/g)	Burst index (kPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)
0.5	20.94	1.82	11.22
0.7	21.79	1.73	10.51
1.0	20.84	1.64	10.45
1.3	21.45	1.55	10.42
1.5	20.64	1.55	10.72

3.4 초음파 처리후 부유부상 시간에 의한 영향

초음파 발생 후 부유부상 시간에 의한 결과는

Fig. 7, 8, Table. 7, 8과 같다. 부유부상 시간이 경과함에 따라 수율은 감소되었으며, 비이온성 계면활성제에서는 음이온성 계면활성제와 비교하여 1.0~2.2% 까지 높았다. 음이온성 계면활성제에서

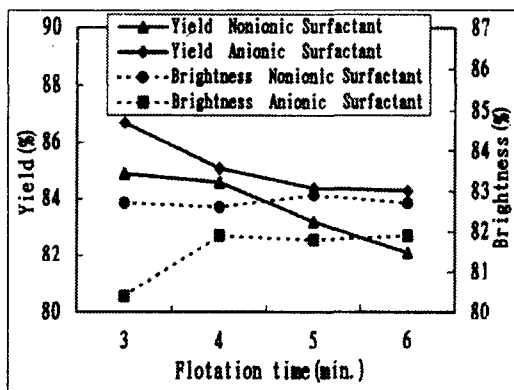


Fig. 7. Residual ink content depending on flotation time.

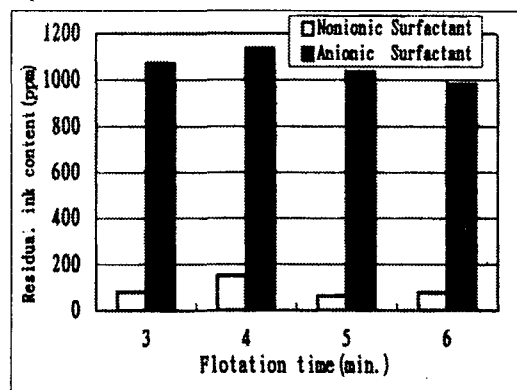


Fig. 8. Residual ink content depending on flotation time.

Table 7. Physical properties of handsheet by flotation time using nonionic surfactant

Flotation time. (min.)	Tensile index (Nm/g)	Burst index (kPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)
3	20.92	1.49	10.98
4	22.52	1.46	11.42
5	23.24	1.58	11.73
6	23.32	1.73	11.31

Table 8. Physical properties of handsheet by flotation time using anionic surfactant

Flotation time. (min.)	Tensile index (Nm/g)	Burst index (kPa · m ² /g)	Tear index (mN · m ² /g)
3	18.55	1.44	11.80
4	17.88	1.34	11.29
5	18.18	1.47	10.80
6	18.36	1.60	12.17

는 3분간 처리하는 경우와 4분 처리한 경우 간에는 1.5%의 백색도 증가가 나타났지만 그 이후로는 별 다른 변화를 보이지 않았다. 비이온성 계면활성제의 경우 수율은 2.5%까지 차이가 있는 반면 백색도는 0.3% 이내에서 큰 차이가 없었다.

인장강도와 파열강도의 경우 부유부상 시간 변화에 따른 차이는 크지 않았지만 계면활성제의 유형에 따라서 비이온성 계면활성제가 음이온성 계면활성제에 비하여 전체적으로 높게 나타났다. 특히 부유부상 시간을 증가시킬 수록 파열지수는 증가되는데 이것은 미세섬유의 제거에 기인하는 것으로 사료된다.

백색도와 잔존 잉크함량의 상관관계는 반드시 두 인자가 일정하게 변화되지는 않는다. 즉, 백색도가 높다고 언제나 잔존 잉크함량이 낮지는 않다. 음이온성 계면활성제는 비이온성 계면활성제에 비하여 백색도와 잔존 잉크함량 뿐만 아니라 인장지수, 파열지수 등 강도면에서도 떨어지므로 탈묵 효율에 문제점이 많은 것으로 사료된다.

4. 결 론

초음파를 이용한 기계적인 방법으로 탈묵하는데 있어 조건 변화에 따른 탈묵 효율을 비교한 결과는 다음과 같다.

비이온성 계면활성제를 사용하였을 경우 초음파 처리시간 7분에서 수율, 백색도, 잔존 잉크함량이 모두 우수하였지만, 제반 강도 특성면에서 감소하는 경향을 나타내었으며, 초음파 처리시 40℃ 이상의 온도에서는 수율의 급속한 하락 및 백색도 저하가 발생하였고, 펄프농도와 부유부상 시간은 크게 영향을 미치지 않았다. 또한 비이온성 계면활성제를 사용하여 초음파 처리를 가하게 되면 비처리시에 비하여 인장지수와 파열지수의 상승이 나타나고, 비이온성 계면활성제는 음이온성 계면활성제와 비교하여 초음파 조건에 관계없이 인장지수 및 파열지수가 전반적으로 높게 나타났다. 한편 음이온성 계면활성제는 수율을 제외한 전반적인 성질에서 비이온성 계면활성제에 비하여 탈묵효율

이 저하되므로 본 실험 조건에서는 많은 문제점이 나타났다.

참고 문헌

1. Turai, L. L. and Teng, C. H., Ultrasonic deinking of wastepaper, Tappi J. 62(1):45 (1979).
2. Darlington, W. B., A new process for deinking electrostatically-printed secondary fiber, Tappi J. 71(3): 35 (1989).
3. 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).
4. Ferguson, L. D., Deinking chemistry : Part 1, Tappi J. 75(6): 75 (1992).
5. Ferguson, L. D., Deinking chemistry : Part 2, Tappi J. 75(7) :49 (1992).
6. McBride, D. H., High-density kneading system offers alternative to conventional deinking, Pulp and Paper (1992).
7. McBride, D. H., High-density kneading : An alternative to dispersion, Recycling Symposium (1993).
8. Olson, C. R., Richmann, S. K., Sutman, F. K. and Letscher, M. B., Deinking of laser-printed stock using chemical densification and forward cleaning, Tappi J. 76(1) : 136 (1993).
9. McBride, D. H. and Ferguson L. D., Deinking sorted office waste, Pulp and Paper Canada 95(2) : T89 (1994).
10. Norman, J. C., Sell, N. J. and Michael Danelski, Deinking laser-printed paper using ultrasound, Tappi J. 77(3) : 151 (1994).
11. Venditti, R. A. and Offill III, L. G., Effect of ultrasonic treatment on the size distribution of toner particles in wastepaper, Recycling Symposium 53-60 (1995).
12. Scott, W. E. and Gerber, P., Using ultrasound to deink xerographic waste, Tappi J. 78(12) : 125 (1995).