

# White ledger의 초음파 탈묵 : 파일럿 규모 적용 실험

원종명<sup>†</sup>

(2008년 1월 26일 접수:2008년 5월 22일 채택)

## Deinking of White Ledger with Ultrasonic Wave : Pilot Scale Trial

Jong Myoung Won<sup>†</sup>

(Received January 26, 2008: Accepted May 22, 2008)

### ABSTRACT

The pilot scale ultrasonic deinking was carried out in order to confirm the commercialization possibility of ultrasonic deinking. White ledger was used as a raw material and the results were compared to the results obtained from the conventional deinking. The fraction of smaller ink particle was increased and the improved ink removal efficiency was also obtained by the ultrasonic treatment. The brightness and breaking length of ultrasonic deinked pulp were superior to those of the conventional deinked pulp. Most interesting findings in this study were that the significant improvement in effluent quality and the reduction of chemicals and energy cost were obtained by the ultrasonic deinking.

**Keywords** : *ultrasonic deinking, white ledger, ink removal efficiency, pulp properties, effluent quality, energy consumption, economy*

## 1. 서 론

지구 환경의 오염이 매우 급속하게 심화됨에 따라 그 부작용으로 지구온난화, 기후 급변화, 오존층 파괴 등 다양한 형태로 지구상의 생명체를 위협하는 현상이 심해지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 일환으로 다양한 시도가 이루어지고 있다. 즉 세계 각국에서는

온실가스 배출을 감소시키기 위하여 환경친화형 소재의 사용뿐만 아니라 환경친화형 공정의 개발, 대체 에너지 개발 등 다각적인 노력을 기울이고 있다. 폐지의 재활용도 그 일환으로 이루어질 수 있으나 탈묵을 하는 과정에서 부득이하게 약품과 에너지를 사용하기 때문에 탈묵 공정도 가능한 한 에너지 소비 감소 및 탄소 배출을 최소화할 수 있는 접근이 요구되고 있다. 그 대표적인 예

• 강원대학교 산림환경과학대학 제지공학과(Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea)

† 주저자(Corresponding author):E-mail: wjm@kangwon.ac.kr

로써 효소 탈묵,<sup>1-6)</sup> 오존 탈묵<sup>7-10)</sup> 및 초음파 탈묵<sup>11-16)</sup>을 들 수 있다. 이들 연구를 통하여 탈묵 작업을 환경 친화적으로 수행할 수 있음이 밝혀졌으나 실용화하기 위해서는 경제성 및 공정과 관련된 문제가 극복되어야 하기 때문에 효소 탈묵이 일부 활용되고 있는 외에는 아직 연구 단계에 머무르고 있다. 특히 초음파 탈묵의 경우 에너지 비용이 많이 들기 때문에 실용성이 없다고 평가되어 왔고, 많은 사람들로 부터 외면당해 전 세계적으로 극소수 연구자만이 수평의 연구 결과를 발표했다. 그러나 본 연구자가 실험실적인 연구를 수행한 결과 탈묵 약품을 거의 사용하지 않고 단지 계면활성제를 소량 첨가함으로써 약 93%의 우수한 잉크 제거 효율을 얻을 수 있었고, 탈묵 펄프의 품질도 처리 조건에 따라 전형적인 탈묵 방법으로 생산된 재생섬유와 비슷하거나 오히려 우수하였다. 이와 같은 품질 개선 효과를 얻을 수 있게 된 것은 아마도 초음파 처리에 의하여 펄프의 고해와 유사한 효과<sup>17-20)</sup>를 얻을 수 있었기 때문인 것으로 사료된다. 또한 약품 사용을 최소화함으로써 전형적인 탈묵 방법에 비하여 폐수의 품질이 크게 개선될 수 있을 것으로 예상되었다. 따라서 소형 초음파 탈묵 장치를 제조하여 잉크 제거 효율, 에너지 소비, 펄프의 특성 및 폐수 품질을 조사한 결과 전형적인 탈묵 방법과 비교할 때 유

사한 펄프 품질을 얻을 수 있었으며, 잉크제거 효율 및 폐수 품질 면에서 매우 유리한 결과를 얻을 수 있었다.<sup>16)</sup>

따라서 본 연구는 초음파 탈묵의 실용화 가능성을 검토하기 위한 일환으로 파일럿 규모의 초음파 처리장치를 제조하여 잉크 입자 크기 분포, 잉크 제거 효율, 펄프 품질, 폐수 품질 및 에너지 소비 및 경제성을 평가하고자 실시되었다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

국내 모나리자(주)에서 사용하고 있는 white ledger를 분양받아 원료로 사용하였다.

### 2.2 실험 방법

현장 적용 가능성을 검토하기 위하여 Fig. 1과 Fig. 2와 같이 초음파 탈묵 장치의 처리 용량 및 출력을 증가시키고, 보다 효율적인 디자인을 적용하여 파일럿 초음파 처리 장치를 제작하였다. 초음파 탈묵 실험 조건은 Table 1과 같이 초음파 처리 시 펄프 농도 5%, 초음파 출

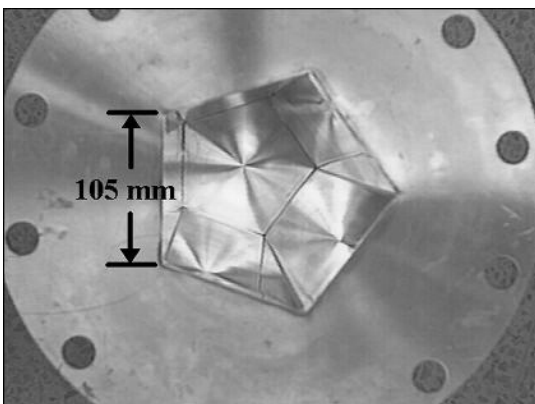


Fig. 1. Cross section of ultrasonicator.

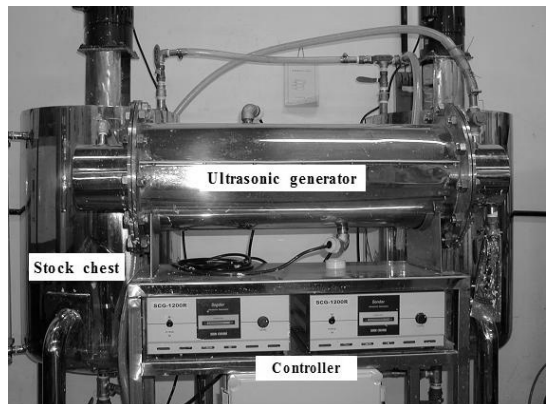


Fig. 2. Pilot scale ultrasonic treatment system (15L, 40 kHz, 3.6 kW).

Table 1. Pilot scale ultrasonic deinking condition

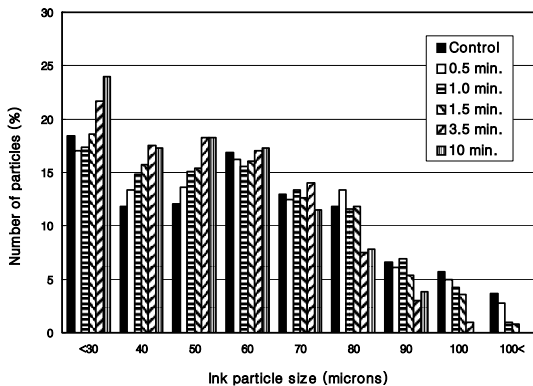
Treatment consistency(%)	Surfactant dosage(%)	Power(kW)	Treatment time(min.)
5	0.5, 1.0	3.6	0.5, 1.0, 1.5, 3.5, 10

**Table 2. Conventional deinking condition**

Sodium hydroxide(%)	3
Sodium silicate(%)	2
Surfactant(%)	1
Hydrogen peroxide(%)	1
DTPA(%)	0.02
Hardness(ppm)	180
Pulping consistency(%)	5
Reaction temperature(°C)	50
Reaction time(min.)	20

력 3.6 kW로 고정시키고, 계면활성제(sodium dodecyl sulfate) 첨가량(0.5%와 1.0%)과 처리시간을 조절하였다. 초음파 처리한 펄프의 농도를 0.5%로 희석시킨 후 농도를 180 ppm으로 조절하여 실험실용 부유셀(5 L)에서 잉크를 분리 제거하였다. 초음파 탈묵의 효과를 비교하기 위하여 Table 2의 조건으로 동일 공시 white ledger에 대하여 전형적인 탈묵 실험을 실시하였다.

초음파 처리에 따른 잉크 입자 크기의 변화를 조사하기 위하여 전형적인 펄핑 및 초음파 처리한 펄프로부터 시료를 취하여 membrane filter(Polycarbonate, 47 mm,  $\phi$  5.7  $\mu$ m)를 사용하여 평량 2 g/m<sup>2</sup>의 시이트를 떼서 화상분석기(범미 유니버스)로 잉크 입자 크기의 분포를 측정하였고, 잉크 제거 효율은 부유후에 상기 방법에 의하여 얻은 시이트로 잉크 입자를 측정하여 얻은 결과를 부후 전의 잉크 입자에 대한 백분율로 산출하였다.



**Fig. 3. Effect of ultrasonic treatment time on the ink particle size distribution (Surfactant dosage 0.5%).**

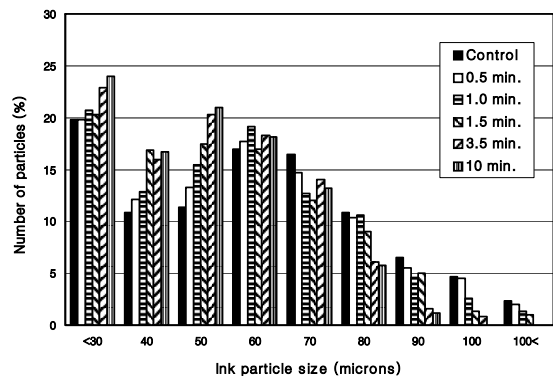
초음파 탈묵 펄프의 특성을 조사하기 위하여 부유 후 얻은 펄프의 여수도와 WRV를 측정하였고, 화장지 제조용 원료로서의 특성을 평가하기 위하여 실험실용 초지기를 사용하여 평량 14 g/m<sup>2</sup>의 시이트를 제조하여 명도(brightness)와 열단장을 TAPPI Standard method에 의거 측정하였다.

또한 초음파 탈묵의 환경친화성을 조사하기 위하여 폐지 펄핑 후 얻어진 폐수에 대하여 부유 고형분과 COD를 측정하였고, 경제성을 검토하기 위하여 각 탈묵 조건에서 전력 소비량을 측정하여 에너지 비용과 전형적인 탈묵 시 소요되는 약품 비용을 비교하였다. 전력 및 약품 소비량은 펄프 수율 90%를 기준으로 산출하였다. 이때 초음파 처리 시간을 3분과 5분을 적용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 잉크 입자 크기의 분포와 잉크 제거 효율

초음파 처리한 펄프 내 잉크 입자 크기의 분포를 측정된 결과 Fig. 3과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 100  $\mu$ m 이상의 큰 잉크 입자의 비율이 감소되었으며, 특히 처리 시간이 10분까지 증가됨에 따라 이러한 현상은 더욱 현저하여 탈묵 약품을 사용하는 전형적인 방법에 의한 펄핑 시 보다 잉크 제거에 유리할 것으로 기대되었다. 또한 계면활성제의 사용량이 0.5%에서 1.0%로 증가됨



**Fig. 4. Effect of ultrasonic treatment time on the ink particle size distribution (Surfactant dosage 1.0%).**

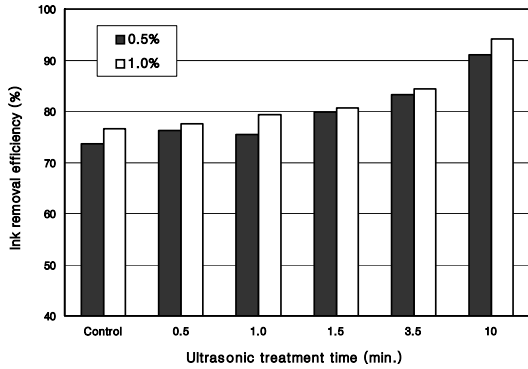


Fig. 5. Effect of ultrasonic treatment time and surfactant dosage on the ink removal efficiency.

에 따라 큰 잉크 입자의 비율이 감소되었다. 잉크 제거 효율은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 처리 시간에 관계없이 모두 전형적인 탈묵 시 보다 우수한 결과가 얻어졌으며, 10분 처리로 90% 이상의 잉크 제거 효율이 얻어졌다. 비록 계면활성제의 첨가량이 0.5%에서 1.0% 증가함에 따라 잉크 제거 효율도 개선되었으나 10분간 초음파 처리할 경우 계면활성제를 0.5%만 사용하여도 90% 이상의 잉크 제거 효율이 얻어질 수 있었다.

### 3.2 탈묵 펄프의 특성

초음파 탈묵 처리한 펄프의 명도는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 처리 시간에 관계없이 모두 전형적인 탈묵의 결과보다 우수하여 0.05-1.2% 높은 값이 얻어졌으며,

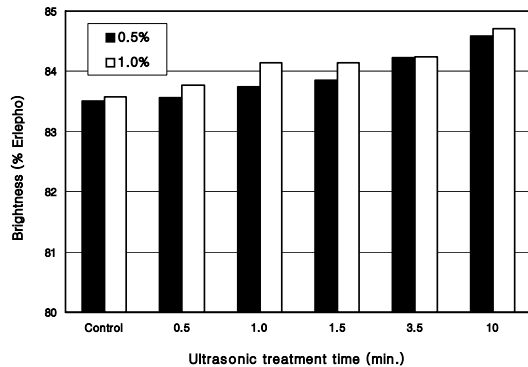


Fig. 6. Effect of ultrasonic treatment time and surfactant dosage on the brightness of handsheet.

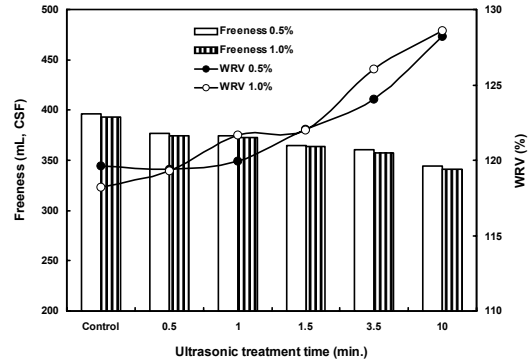


Fig. 7. Effect of ultrasonic treatment time and surfactant dosage on the freeness and WRV of pulp.

계면활성제 첨가량의 증가는 약간의 명도 개선 효과를 나타내었다. 초음파 탈묵 펄프의 여수도 및 WRV는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 초음파 처리에 의하여 전반적으로 여수도가 감소된 반면 WRV는 증가되었다. 이러한 현상은 기 보고된 연구에서 밝혀진<sup>16)</sup> 바와 같이 탈묵 시의 초음파 처리는 잉크 제거에 도움이 될 뿐만 아니라 고해 효과를 수반하기 때문이며, 이러한 결과는 종이의 물성 개선에 기여할 것으로 기대된다. 또한 계면활성제의 첨가량이 탈묵 펄프의 여수도 및 WRV에 다소 영향을 미치기는 했지만 그 효과를 인정하기는 어려웠다.

초음파 탈묵 펄프의 열단장은 Fig. 8과 같이 처리시간이 길어짐에 따라 서서히 열단장이 개선되어 10분 처

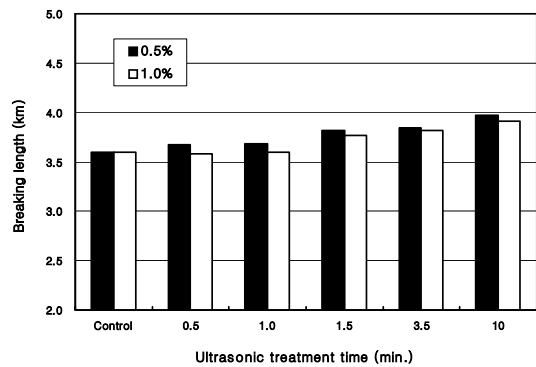


Fig. 8. Effect of ultrasonic treatment time and surfactant dosage on the break length of handsheet.

리시 3.91 km의 값을 나타내었다. 이러한 결과는 펄프를 펄프로 계속 순환시키면서 처리를 하였기 때문에 유동되는 상태에서 충격파를 받아 상대적으로 약한 힘이 가해져 고해 효과의 진행이 완만하게 이루어진 것으로 사료된다. 또한 흥미로운 결과의 하나는 일반적으로 초음파 처리 시 계면활성제의 첨가량을 증가시켜줄 경우 표면 에너지가 낮아져 초음파의 효과가 개선되는 것으로 알려져 있으나 본 연구의 경우에는 오히려 반대 현상이 나타났는데 초음파 처리 시 펄프에 가해지는 충격파 에너지를 측정할 수 있는 방법을 찾지 못하여 그 원인을 밝히지는 못하였다.

### 3.3 폐수의 특성

전형적인 탈묵과 초음파 탈묵 과정에서 발생된 폐수의 COD와 부유 고형분을 측정한 결과 Fig. 9에서 보는 바와 같이 계면활성제의 첨가량에 따른 차이가 현저하게 나타나지는 않았으나, 계면활성제 첨가량 1%일 때 초음파 탈묵에 의하여 발생된 폐수의 COD는 전형적인 탈묵 방법에 의하여 발생된 폐수 COD의 24.23-29.88%가 얻어졌으며, 초음파 탈묵 폐수의 부유 고형분은 전형적인 탈묵 폐수 부유 고형분의 22.11-34.74% 값이 얻어졌다. 이와 같은 결과가 얻어진 것은 이미 예상한 바와 같이 초음파 탈묵의 경우 계면활성제 이외에는 약품을 전혀 사용하지 않았기 때문인 것에서 비롯된 것으로 사료된다. 결국 폐수 처리 비용을 동일 조건에서 비교하여 볼 때 탈묵 폐수의 오염 부하가 전형적인 탈묵 폐액의 약 22-35%에 달하므로 폐수 처리 비용도

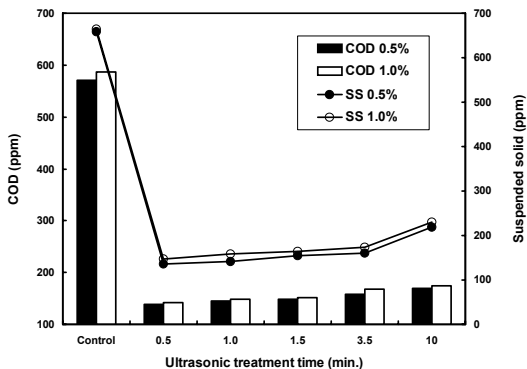


Fig. 9. Effect of ultrasonic treatment time and surfactant dosage on the COD and suspended solid of effluent.

대략적으로 이와 비례하여 감소되어 약 65-78%의 폐수 처리 비용의 감소 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다.

### 3.4 경제성

신 공정 또는 기술을 도입하고자 할 경우 무엇보다도 가장 중요한 것이 경제성이다. 특히 초음파 탈묵의 경우 대부분의 사람들이 전기 에너지 소비가 많기 때문에 경제성이 없다는 부정적인 견해를 지니고 있었고, 본 연구 과제를 시작하는데도 많은 걸림돌이 되었었다. 따라서 초음파 처리를 하는 동안 소비되는 전력량을 측정하여 그 비용을 산출하고, 전형적인 탈묵 시 이용되는 약품의 비용을 산출하여 비교하였다(Fig. 10). Table 3는 탈묵 펄프 톤당 약품 소비량 및 비용을 요약한 것이다(단 계산 당시의 약품의 단가에 따라 비용이 달라질 수 있음).

초음파 탈묵의 경제성을 정확히 검토하기 위해서는 고해 비용, 증강제 비용 및 폐수 처리 비용의 절감 효과도 모두 포함시켜야 하나, 초음파 탈묵 공정에서의 비용이 전형적인 탈묵과 비슷한 수준을 나타내거나 다소 적게 나오기만 하면 충분히 경제성이 평가될 수 있기 때문에 여기에서는 단지 초음파 처리시 전력비용과 전형적인 탈묵에 이용되는 약품의 비용을 산출하여 비교한 바 Fig. 10에서 보는 바와 같이 5% 농도에서 3분 처리할 경우에는 단지 차아염소산을 표백제로 사용하는 경우와 비슷하고, 5분간 초음파 처리할 경우에는 탈묵 펄프 톤당 약 4,600원 정도의 비용이 더 소요된다. 명도 및 열

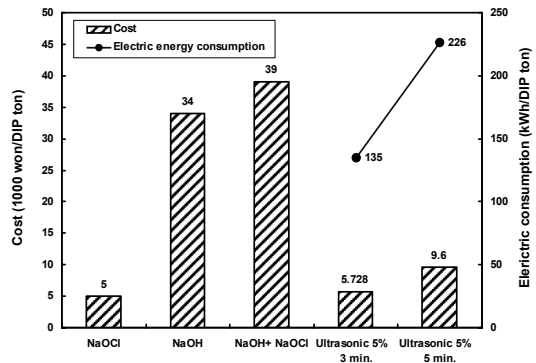


Fig. 10. The deinking chemicals and energy cost for the conventional and ultrasonic deinking.

**Table 3. Chemical consumption and cost for deinked pulp of 1 ton**

Deinking chemical consumption*		Cost for chemicals(Won)	Unit price of chemicals
Chemicals	Amount(kg/DIP ton)		
Sodium hydroxide 2%	34 kg/ton	34,000	25,000 won/25 kg(98%)
Sodium silicate 2%	82 L/ton	150,333	33,000 won/18 L(27%)
Hydrogen peroxide 1%	37 L/ton	79,139	38,500 won/18 L(30%)
DTPA 0.02%	0.2 kg/ton	315,912	39,489 won/25 g

\* Based on oven dry weight of deinked pulp

단장을 기준할 경우 3-5분 정도의 처리를 하면 충분할 것으로 판단된다. 이 경우 탈묵약품으로 가성소다만 사용했을 때와 비교하면 에너지 비용이 전형적인 탈묵에 비하여 약 16.8~28.2% 밖에 되지 않아 충분히 경제성을 지니는 것으로 평가된다.

## 4. 결론

파일럿 실험을 통하여 실험실적으로 밝혀진 탈묵 효율, 펄프 품질 및 탈묵 폐수의 개선 효과가 재확인 되었다. 본 연구에 사용된 출력 3.6 kW의 초음파 처리장치를 사용할 경우 3분 정도의 초음파 처리로 84% 이상의 명도와 3.7 km 이상의 열단장을 나타내어 전형적인 탈묵 시 보다 우수한 품질의 탈묵 펄프가 얻어질 수 있음이 확인되었다. 특히 탈묵 폐수 오염 정도는 전형적인 탈묵 폐수의 약 22-35% 정도밖에 되지 않아 폐수 처리 부담이 약 65-78% 감소될 수 있는 것으로 평가되었다. 단지 초음파 처리 시 약 5% 정도의 고농도로 해주어야 경제성을 지닐 수 있기 때문에 농축 시설이 필요하며, 펌프를 이용할 경우 너무 빨리 초음파 처리 시스템을 통과하여 충분한 에너지를 공급받을 수 없기 때문에 지료를 서서히 공급할 수 있는 screw conveyer를 이용하거나 다단 처리 방법을 도입해야 할 것으로 생각된다.

## 인용문헌

- Gübita, G.M., Mansfield, S.D., Böhm, D. and Sessler, J.N., Effect of endoglucanases and hemicellulases in magnetic and flotation deinking of xerographic and laser-printed papers, *Journal of Biotechnology* 65:209-215 (1998).
- Viesturs, U., Leite, M., Eisimonte, M., Eremeeva, T., and Treimanis, A., Biological deinking technology for the recycling of office waste papers, *Bioresource Technology* 67:255-265 (1999).
- Vyas, S. and Lachke, A. Biodeinking of mixed office waste paper by alkaline active cellulases from alkalotolerant *Fusarium* sp., *Enzyme and Microbial Technology* 32:236-245 (2003).
- Pélach, M.A., Pastor, F.J., Puig, J., Vilaseca, F. and Mutjé, P., Enzymic deinking of old newspapers with cellulase, *Process Biochemistry* 38:1063-1067 (2003).
- Para, H, Mora, M. and Gama, F.M., Enzymatic versus chemical deinking of non-impact ink printed paper, *Journal of Biotechnology* 108:79-89 (2004).
- Lee, C.K., Darah, I. and Ibrahim, C.O., Enzymatic deinking of laser printed office waste papers : Some governing parameters on deinking efficiency, *Bioresource Technology* 98:1684-1689 (2007).
- Won, J.M., Noh, K.I. and Jo, B.M., Deinking of white ledger with ozone, *J. of Korea Tappi* 32(1):41-47 (2000).
- Won, J.M., Yoon, S.L. and Kojima, Y., Microscopic observation of white ledger ozone deinking, *J. of Korea Tappi* 32(2):40-44 (2000).
- Jo, B.M. and Won, J.M., Effect of ozonation consistency on the ink removal efficiency and pulp characteristics, *J. of Korea Tappi* 33(3):18-23 (2001).
- Won, J.M. and Noh, K.I., Ozone deinking mechanism of white ledger, *J. of Korea Tappi* 33(3):24-28 (2001).
- Turai, L.L. and Teng, C., Ultrasonic deinking of wastepaper, *Tappi J.*, vol. 62(1):45-47 (1979).
- Norman, J.C., Sell, N.J. and Danelski, M., Deinking laser-print paper using ultrasound, *Tappi J.* 77(3):

- 151-158 (1994).
13. Scott, W.E. and Gerber, P.J. Using ultrasound to deink xerographic Waste, *Tappi J.* 78(12):125-130 (1995).
  14. Offill III, L.G. and Venditti, R.A., Ultrasonic treatment on the size distribution of toner particles in wastepaper, *Proc. of Tappi Recycling Symposium* pp. 3-60 (1995).
  15. Aun, B.J. and Paik, K.H., Deinking of laser-printed paper using ultrasound, *J. of Korea Tappi* 29(4):36-44 (1997).
  16. Won, J.M., Deinking of white ledger with ultrasonic wave : Laboratory scale trial, *Journal of Forest Science* 23(2):73-78 (2007).
  17. Szwarcstajn, E. and Przybysz, K. The Use of mechanical equipment for the generation of ultrasound in the paper industry, *Przeglud Papierniczy* 25(10):342-352 (1969).
  18. Gorbachev, L.A., Ospishcheva, M.V., Kozulin, Y.V., Birbrover, N.M., Makova, L.I. and Vol'man, M.N., Effect of hydrodynamic action on the intensity of fiber treatment, *Bumazhnayn Promnyshlennosr* 5:3-4 (1976).
  19. Won, J.M. and Lee, M.K., Effect of ultrasonic treatment on the pulp properties, *J. of Korea Tappi* 28(2):46-54 (1996).
  20. Blanz, J.J., The application of acoustic cavitation towards refining of cellulose fibers, *Research Report, Inst. of Paper Sc. and Tech., Atlanta. CA* (1997).