

펄프의 고해 조건이 비에너지 소비와 라이너의 물성에 미치는 영향

원종명[†]

(2004년 1월 12일 접수: 2004년 4월 15일 채택)

Effects of Refining Condition on the Specific Energy Consumption and Physical Properties of Liner

Jong Myoung Won[†]

(Received on January 12, 2004: Accepted on April 15, 2004)

ABSTRACT

The effects of refining consistency and plate gap on the specific energy consumption and physical properties of liner were investigated. Higher refining consistency and narrower plate gap brought about the reduction of specific energy consumption to decrease the freeness. Refining consistency and plate gap did not affect the bulk, Taber stiffness and compression index. The reduction of freeness and/or the increase of specific energy consumption caused the decrease of bulk and Taber stiffness, but increased the compression index. The effect of grammage on bulk was not observed, but Taber stiffness and compression index were increased with grammage. The bulk was decreased with the reduction of freeness rapidly at the above 400 mL CSF, and then levelled off. It is expected that the reduction of energy consumption could be obtained from the application of higher refining consistency and narrower plate gap during refining.

Keywords : *refining, consistency, plate gap, specific energy consumption, freeness, bulk, Taber stiffness, compression index, effective thickness*

• 본 논문은 강원대학교 부설 창강제지기술연구소의 재정 지원에 의하여 수행되었음
• 강원대학교 산림과학대학 제지공학과 (Dept. of Paper Science & Engineering, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea)
† 주저자 (Corresponding author) : wjm@kangwon.ac.kr

1. 서론

최근 심각하게 대두되고 있는 환경오염은 오존층 파괴, 기후 급변, 생태계 파괴 등 각종 문제를 야기하고 있어서 전 세계 각 국에서 이를 감소시키기 위한 다양한 방법을 강구하고 있다. 그 대표적인 예로서 각 국에서 민간 또는 정부 차원에서 온실가스의 주범인 에너지 소비 절감 운동을 적극적으로 추진함과 동시에 에너지 소비를 줄일 수 있는 환경친화형 기술 또는 장치의 개발을 위하여 많은 자금을 투자하고 있으며, 홍보를 강화하고 있다.

제지산업계에서도 이와 관련하여 삼림자원 보호 및 환경오염 감소를 위한 일환으로 폐지 재활용을 적극 추진하고 있으며, 각 생산 공정에서의 에너지 소비 절감을 위한 노력을 경주하고 있다. 제지산업은 장치산업이자 용수산업이며, 종이 제조 원가의 상당 부분을 에너지 비용이 차지하고 있다. 제지 공정 중에서도 특히 건조 공정이 가장 많은 에너지를 소비하며, 고해 공정이 두 번째로 많은 에너지를 소비한다. 미국의 경우 OCC를 주로 사용하고 있는 우리나라와는 달리 미표백 반화학 펄프를 라이너 제조용 주원료로 사용하고, OCC를 일부 혼합하여 사용하고 있다. 어떤 경우이던 간에 적절한 수준의 라이너 강도를 얻는데 있어서 고해 공정은 필수라 할 수 있으며, 가능한 한 적은 동력을 투입하여 소기의 목적을 달성할 수 있는 방법을 강구하는 것이 매우 중대한 과제라 할 수 있다. 이러한 연구의 필요성은 버진 목재 펄프를 주로 사용하는 백상지 제조업계에서도 매우 크다 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 고해 조건을 달리 하였을 때 소비 에너지의 변화 및 라이너에서 중요한 벌크, 휨강성 및 압축강도의 변화를 조사하여 가능한 한 에너지 소비를 줄이면서 적절한 수준의 물성을 얻을 수 있는 방법을 강구하기 위한 기초 자료를 얻고자 실시되었다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시 재료

본 연구에 사용된 공시 재료는 미국 위스콘신주 그린베이지 소재의 그린베이 판지회사의 라이너를 분양 받아 사용하였다. 라이너 제조 시 사용된 원료

의 구성은 미표백 반화학 크라프트 펄프 94%와 OCC 6%이었으며, 라이너의 한 면이 왁스로 표면 처리 되었다.

2.2 실험 방법

2.2.1 펄프화 및 고해

라이너를 해리시키기 전에 먼저 손으로 적당한 크기로 찢어 물에 약 18시간 동안 침적시켰다가 고농도 펄퍼를 이용하여 10%의 농도로 약 40분간 해리를 실시하고, 특수 제작된 아스피레이터와 압착탈수 장치를 이용하여 약 20% 정도의 농도로 농축시키고, flutter를 이용하여 펄프 덩어리를 잘게 부순 후 함수율을 측정하고 비닐 봉지에 담아 실험에 사용하기 위하여 냉장실에 보관하였다.

펄프의 고해를 위하여 직경 12인치의 싱글 디스크 리화이너(Sprout-Waldron사)를 사용하였으며, 고해 세기를 일정하게 유지할 수 있도록 하기 위하여 콘베이어 벨트 방식의 펄프 공급 장치를 사용하였고, 디스크 리화이너 플레이트의 온도 변화가 미치는 영향을 최소화하기 위하여 열수를 지속적으로 공급하여 플레이트의 온도를 조절하고, 또한 고해 농도를 조절하기 위한 희석수로도 사용하였다. 고해를 실시하는 동안 소비된 동력을 측정하기 위하여 전력계를 사용하였으며, 각 고해 조건에서 무부하 동력을 먼저 측정하여 총 고해 동력으로부터 감하여 에너지 소비 산출을 위한 순 고해동력으로 사용하였다. 고해 조건으로서 플레이트의 간격을 0.01, 0.007, 0.004 인치로 조절하였으며, 각 간격에서 5, 8 및 12%의 고해 농도를 적용하였다.

2.2.2 수초지 제조

TAPPI Standard에 의거 실험실용 수초지기를 이용하여 각 고해 조건 별로 평량 126, 185, 205 g/m²의 수초지를 각각 20매씩 제조하여 기건시켰다.

2.2.3 물성 측정

TAPPI Standard에 의거 수초지를 전처리 및 조습 처리를 실시한 후 평량, 두께를 측정하여 벌크를 산출하고, Taber stiffness와 압축강도(VAC를 이

용)를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 고해 조건에 따른 에너지 소비

펄프의 고해를 실시하는 동안 펄프의 농도를 변화시키거나 리파이너 플레이트의 패턴 및 간격을 변화시킬 경우 개개의 섬유가 리파이너 바아에 의하여 전달받는 에너지의 양이 변화될 뿐만 아니라 섬유가 받는 변형의 상태 및 정도가 달라진다는 사실은 기 보고된 문헌들을 통하여 확인된 바 있다.^{1,5)} 이러한 고해 현상을 이론적으로 해석하기 위한 다양한 이론이 개발되었고,⁶⁻¹⁷⁾ 최적 고해 효과를 얻기 위하여 다양한 바 패턴이 개발되어 보급되고 있다. 그러나 대부분의 경우 제조하고자 하는 종이의 종류 및 사용하는 펄프가 고정되는 경우 실제로 조절할 수 있는 것은 플레이트 사이의 간격, 리파이너 체류 시간 및 고해 농도 등이다. 이와 같은 조건들의 조절을 통하여 펄프 섬유에 가해지는 고해의 형태가 조절되는 것이 일반적인 추세이다.

Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 비록 고해 농도 5%와 8% 사이에서는 비에너지 소비량 대비 여수도의 감소 효과에 있어서 그 차이가 그리 크지는 않았으나 전반적으로 고해 농도와 플레이트 사이의 간격이 고해 거동에 영향을 미침을 확인할 수 있었다. 고해가 진행되는 형태는 고해 조건에 따라 다양하게 나타날 수 있으나 일반적으로 고해 농도가 높아

질수록 개개 섬유에 가해지는 에너지의 세기가 약해지며, 섬유의 절단보다는 소섬유화가 더 주도적으로 일어나는 것으로 알려져 있다. 본 연구 결과 에너지 소비 측면에서 보면 고해 농도가 증가됨에 따라 동일 수준의 여수도 감소에 요구되는 에너지가 감소되었으며, 플레이트 사이의 간격의 감소도 이와 유사한 경향을 보여주었다.

3.2 고해 조건이 종이 물성에 미치는 영향

Figs. 2~4에서 볼 수 있는 바와 같이 본 연구에서 검토된 평량 126, 185 및 205 g/m²에서 고해 농도와 플레이트 사이의 간격이 종이의 벌크에 미치는 영향이 확인되지 않았다. 또한 Figs. 5~6에서 보는 바와 같이 평량 126 g/m²에서 다소 높은 벌크를 나타낸 것 이외에는 평량의 영향이 뚜렷하게 나타나지 않았으며, 여수도가 감소될수록, 그리고 비에너지 소비가 증가될수록 벌크가 감소되는 경향을 나타내었다. 한편 여수도 변화에 따른 벌크의 변화는 2개 영역으로 구분되어 여수도 400 mL CSF까지는 여수도가 감소됨에 따라 벌크가 크게 감소되다가 그 이하에서는 큰 변화를 나타내지 않았다.

고해 농도와 플레이트 간격이 휨강성에 미치는 영향은 Figs. 7~9에서 보는 바와 같이 뚜렷한 경향을 나타내지 않았으며, 단지 비에너지 소비가 증가됨에 따라 오히려 감소되는 경향을 나타내었는데, 이는 펄프의 고해 시 비에너지 증가에 따른 탄성계수의 증가보다는 두께의 감소에 의한 휨강성에 대

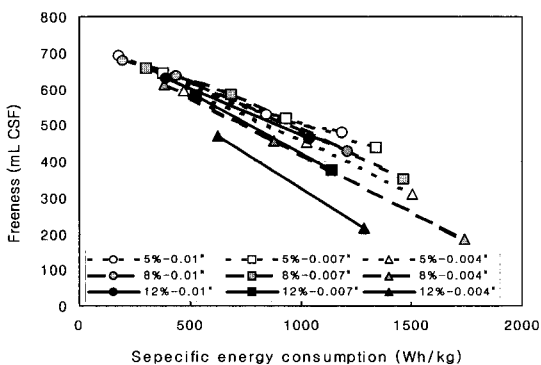


Fig. 1. Effect of refining consistency and refiner plate gap on the specific energy consumption.

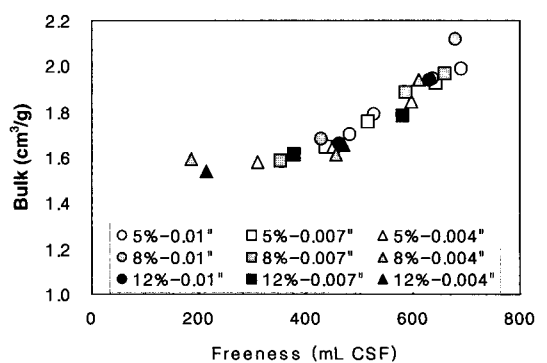


Fig. 2. Effect of refining consistency and plate gap on the relationship between bulk and freeness(126 g/m²).

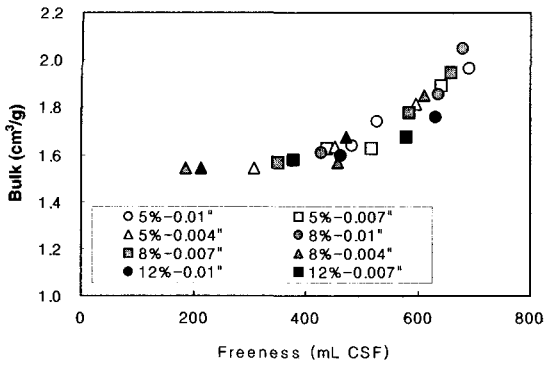


Fig. 3. Effect of refining consistency and plate gap on the relationship between bulk and freeness(185 g/m²).

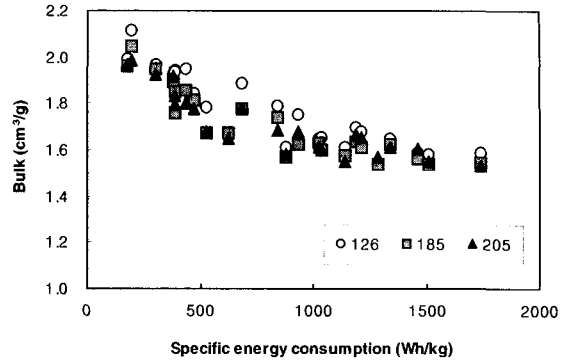


Fig. 6. Effect of specific energy consumption on the bulk.

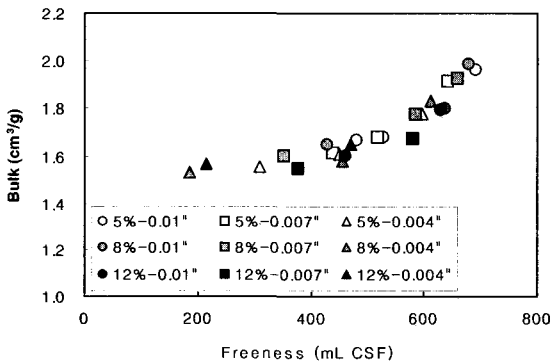


Fig. 4. Effect of refining consistency and plate gap on the relationship between bulk and freeness(205 g/m²).

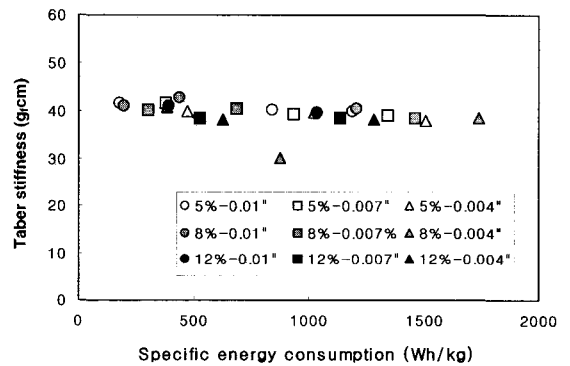


Fig. 7. Effect of refining consistency and plate gap on the relationship between specific energy consumption and Taber stiffness (126 g/m²).

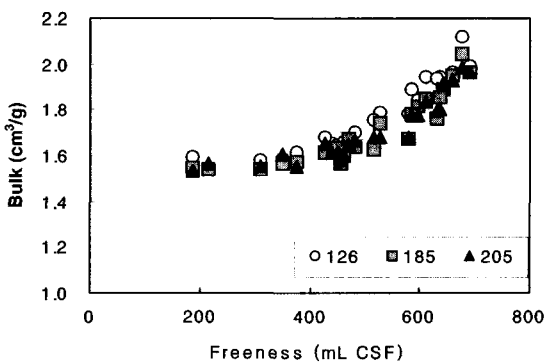


Fig. 5. Effect of freeness on the bulk.

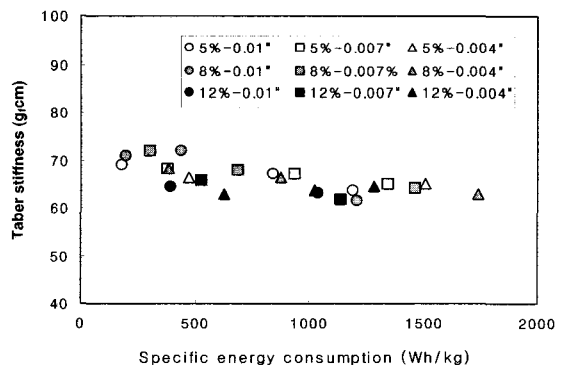


Fig. 8. Effect of refining consistency and plate gap on the relationship between specific energy consumption and Taber stiffness (185 g/m²).

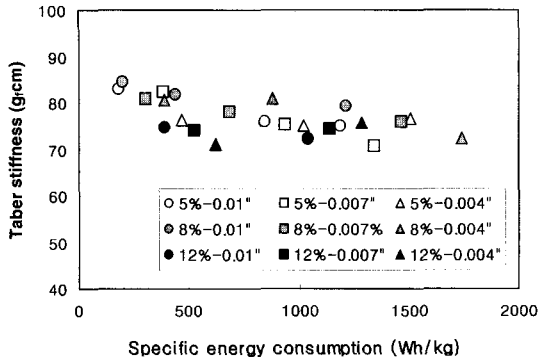


Fig. 9. Effect of refining consistency and plate gap on the relationship between specific energy consumption and Taber stiffness (205 g/m²).

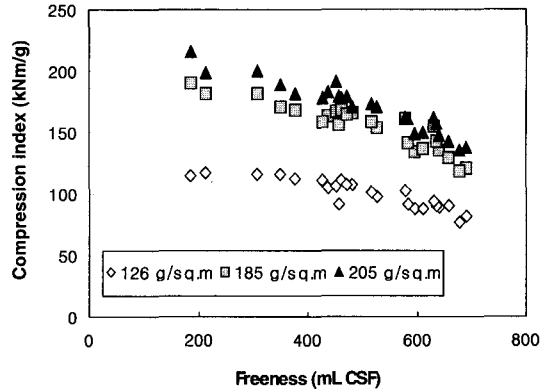


Fig. 12. Effect of grammage on the compression relationship between freeness and compression index.

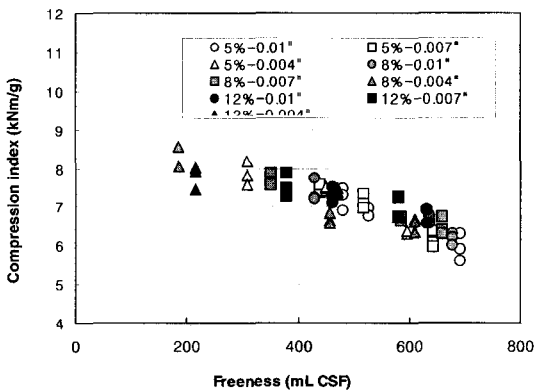


Fig. 10. Effect of refining consistency and plate gap on the relationship between compression index and freeness.

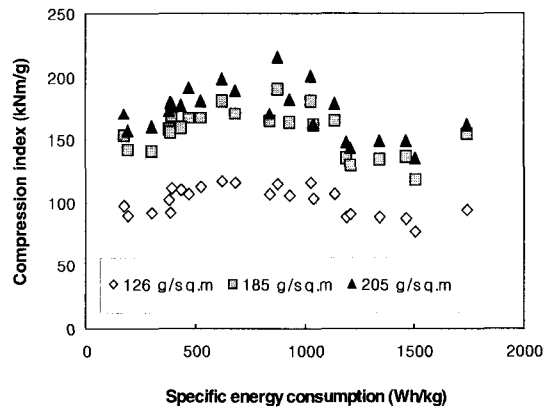


Fig. 13. Effect of grammage on the relationship between specific energy consumption and compression index.

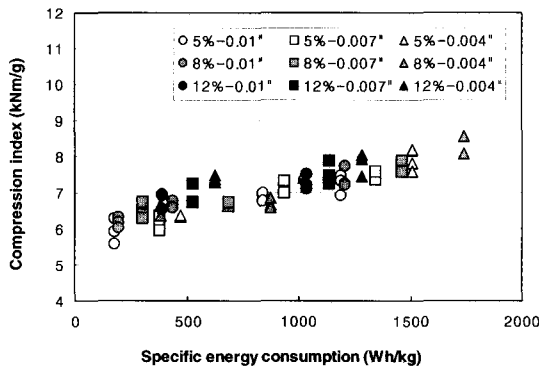


Fig. 11. Effect of refining consistency and plate gap on the relationship between compression index and specific energy consumption.

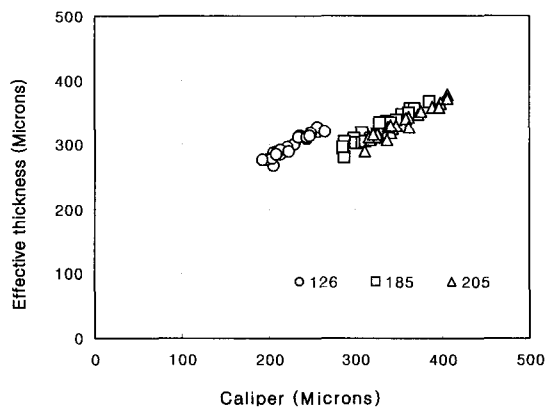


Fig. 14. Effect of grammage on the relationship between effective thickness and caliper.

한 영향이 더 크기 때문($S \propto ET^n$, $n=2$ or 3)인 것으로 판단되며, 오히려 평량의 증가가 휨강성에 더 크게 기여하였다.

여수도의 감소 또는 비에너지 소비의 증가는 압착지수를 증가시켜주는 경향을 나타내었으나, 고해농도와 플레이트 사이의 간격은 이들 관계에 별 영향을 미치지 않았음을 보여주었고(Figs. 10~11), 평량의 증가가 압착지수 증가에 크게 기여함이 확인되었다(Figs. 12~13). Fig. 14는 Taber stiffness 측정치와 압축강도로부터 산출된 유효두께와 실제 측정된 종이의 두께와의 관계를 나타낸 것으로 평량 185 g/m^2 및 205 g/m^2 에서 서로 유사한 값을 나타낸 반면, 평량 126 g/m^2 에서는 유효두께가 실제 측정치보다 매우 높은 값을 나타내었다. 이와 같은 경향에 대한 원인은 아직 밝혀진 바 없으나 평량의 변화에 따른 종이 구조의 변화에서 수반된 것으로 예측된다.

4. 결론

라이너 제조용 펄프의 고해 시 고해농도와 플레이트 사이의 간격이 비에너지 소비 및 종이 물성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 연구를 실시한 결과 고해 농도가 높을수록, 플레이트 사이의 간격이 좁을수록 동일 수준의 여수도 감소 효과를 얻는데 요구되는 비에너지가 감소되었다. 고해 농도, 플레이트 사이의 간격은 벌크, 휨강성 및 압착지수에 별 영향을 별로 미치지 않았다. 한편 여수도의 감소 또는 비에너지 소비 증가는 벌크와 휨강성을 감소시켰으나, 압착지수를 증가시켜 주었다. 벌크의 경우에는 평량의 영향이 확인되지 않았으나, 휨강성과 압착지수는 평량이 증가됨에 따라 증가되는 경향을 나타내었다. 여수도 변화에 따른 라이너 벌크의 감소는 여수도 400 mL CSF까지 직선적으로 크게 감소되었으나, 그 이후는 완만하거나 별 변화를 나타내지 않았다. 이상과 같은 결과로부터 고해 농도와 플레이트 사이의 간격이 라이너에서 중요한 성질로 간주되는 벌크, 휨강성 및 압착지수에 별 영향을 미치지 않으나 비에너지 소비의 감소와 밀접한 관계가 있으므로 고농도 및 좁은 플레이트 간격의 적용이 에너지 소비 절감에 도움이 될 수 있을 것으로

판단되었다.

인용문헌

1. Atack, D., Advances in beating and refining, Fiber Water Interactions in Papermaking, Trans. of the FRS, Oxford, UK, Vol. 1, 261(1977).
2. Ebeling, K., A critical review of current theories for the refining of chemical pulps, International Conference, Fundamental Concepts of Refining, IPC, 1(1980).
3. Page, D.H., The beating of chemical pulps - the action and the effects, Trans. of the FRS, Cambridge, UK, 1(1989).
4. Hietanen, S. and Ebeling, K., Fundamental aspects of the refining process, Paperi ja Puu 72(2):158(1990).
5. Hartman, R.R., Mechanical treatment of pulp fibers for paper property development, Trans. of 8th FRS, Oxford, UK, Vol. 1, 413-442(1985).
6. Baker, C.F., Critical review of refiner theory, Proceedings of 3rd International Refining Conference, PIRA, Vol. 1. Paper 7(1995).
7. Brecht, W. and Siewert, W., On the theoretical classification of the beating process in modern refiners, Das Papier 20(1):4(1966).
8. Brecht, W., A method for the comparative evaluation of bar-equipped beating devices, Tappi 50(8):40(1967).
9. Danforth, D.W., Stock preparation : theory/practice, Southern Pulp Paper Manufacture 32(7):52(1969).
10. Danforth, D.W., Effect of refining parameters on paper properties, PTI 28(5):547(1987).
11. Van Stiphout, J.M.J., A preliminary study of the refining action on cellulose fibers, Tappi 47(2):189A(1964).
12. Leider, P.J. and Rihs, J., Understanding the disk refiner, 1. The hydraulic behavior, Tappi 60(9):98(1977).
13. Leider, P.J. and Nissan, A.H., Understanding the disk refiner - The mechanical treatment of the fibres, Tappi 60(10):85(1977).
14. Kerekes, R.J., Characterization of pulp refiners by a C-factor, Nordic Pulp and Paper Res. J. 1(5):3-8(1990).
15. Kerekes, R.J., Clara, M., Dhama, S. and Marinez, D.M., Applications of the C-factor to characterize

- pulp refiners, JPPS 19(3):J125-J130(1993).
16. Lumianen, J., A new approach to the critical factors affecting the refining intensity and refining result in low-consistency refining, TAPPI Papermakers Conference, 269(1990).
17. Lumianen, J., Specific surface load theory, Proceedings of Third International Refining Conference, Vol. 1, Paper 5(1995).