

RDA를 활용한 종이 균일성 예측(II)

우이균 · 류정용 · 김용환 · 송봉근

한국화학연구원 펄프제지연구센터

1. 서론

제지 공정의 효율적인 운영을 위한 수단으로 보류 및 탈수성의 분석은 매우 중요한 작업이며 따라서, 보류 및 탈수 특성에 영향을 미치는 다양한 공정변수의 파악은 공정 monitoring과 예측을 위해 필수적이다. 이러한 공정변수의 예로서 초지 속도, 평량, 탈수소자의 배치 상황 및 초조용구의 특성을 들 수 있다. 특히 종이가 성형되는 습부(wet-end)는 종이물성을 결정짓는 단계로서, 이때의 탈수성, 보류도 및 균일성(지합, Formation) 등을 적절히 조절하는 것은 종이의 생산성과 최종 제품의 품질 측면에서 매우 중요하다 하겠다. 물론 상기한 조절은 다양한 공정변수의 조정을 통해 이루어지며 보다 효율적인 공정운영을 위한 공정변수의 최적화 작업은 많은 시행착오를 통해 이루어진다고 할 수 있다. 만일 이러한 시행착오를 줄이고 공정변수의 변화에 따른 제지공정의 총체적인 변화를 실험실적으로 미리 예측할 수 있다면 효율적인 공정운영을 보다 효과적으로 진행할 수 있을 것이다.

종이를 구성하는 섬유소는 일반적으로 1 - 4mm의 길이에 폭 40 μm 미만인 얇고 상대적으로 긴 목재 세포로서 섬유소간의 얽히고 뭉치는 현상인 응집이 일어나기 쉽다. 특히 섬유소의 농도가 높은 지료는 더욱 응집되기 쉬운데, 응집이 심해질수록 종이를 구성하는 섬유소 분포가 불균일해지고 이로 인해 종이의 인쇄적성, 강도, 불투명도 등, 중요 물성이 저하된다. 따라서 종이의 균일성은 지층 형성시의 탈수성, 보류도 등의 공정변수와 함께 종이 생산 측면에서 반드시 고려되어야 할 중요한 품질 특성이다.

이미 소개된 RDA-HSF(Retention Drainage Analyzer-Handsheet Forming)는 보다 현장에 가까운 초지 조건을 구현하기 위해서 지료의 농도를 높이고 진공 탈수를 실시함에 따라 기존의 탈수성 분석기나 보류도 측정기의 단점을 보완한 장치이다.

RDA 설계의 특징 중 지료의 교반 처리 후 도입 시에도 지속적인 교반이 필요한 이유는 일단 stirrer가 멈추는 순간부터 Turbulence는 감소되기 시작하며, 이 경우 실제

현장 조건의 농도만큼 초지 농도가 높다면 과도한 flocculation을 피할 수 없기 때문이다.

원형 수초지의 경우 그 농도가 10배 이상 희석된 상태이므로 과도한 flocculation을 피할 수 있으나 RDA-HSF는 현장조건에 보다 근접한 시험 환경을 재현하고자 초지 농도가 높은 만큼, 감압초지가 이루어지기 전까지 일정 수준의 turbulence를 유지하여야 한다. 이를 위해 기존의 중심위치 impeller 1개가 6개의 방사상으로 위치한 (60° 간격) impeller set로 대체되었다. 복수의 교반기를 설치한 이후, fiber의 circular형 orientation을 피할 수 있었으며, 교반을 지속함에 따라 impeller에 fiber가 엉기는 문제점 역시 피할 수 있었다.

전술한 stirrer design을 채택함에 따라 고농도 초지가 가능해진 반면 고려치 않으면 않될 실험실적 초지 조건이 새로이 대두되었으니 그것은 지료의 지층형성 탱크 도입시간에 따른 지료의 교반정도의 변화이다. 지료의 도입시간은 하부 cone의 개도율에 의해 결정되며 다음과 같이 지료의 교반정도에 영향을 미친다. 교반용 impeller 6개는 지료 조성탱크의 하부에 설치되었는데, 이에 따라 하부 cone이 열릴 때 낙하되는 지료에 매우 강한 전단력을 부여하게 된다. 약품 투입시의 교반처리는 전체 지료에 적용되는 다소 온화한 조건임에 반하여 지료 도입 시의 경우는 지층 형성 탱크 쪽으로 흐르는 유체의 이동방향에 수평, 수직으로 보다 가혹한 전단력이 가해지며 그 교반효과가 낙하시간에 비례하여 증가된다는 특징이 있다. 즉, 낙하시간을 짧게 하여 지료 조성 단계에서 도입된 지료의 turbulence를 보존하며 양호한 formation의 종이를 초지하고자 할때 함께 고려해 주어야 할 사항은 지료의 도입시간이 짧은 만큼, 강력한 교반력이 부과되는 시간 역시 짧아진다는 사실이다.

이에 본 연구에서는 RDA-HSF를 활용하여 지료 낙하 시간이 종이 지합에 미치는 영향과 체류시간에 따른 난류의 감소가 종이의 지합에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 그리고 같은 조건에서 양이온성 폴리아크릴아미드(Cationic Polyacrylamide)와 Micro particle system 적용 시의 종이 지합 변화도 함께 분석하고자 하였으며, 현장 종이의 균일성을 실험실적으로 예측할 수 있는 감압 탈수 초지 설비로서 RDA-HSF의 활용 가능성을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서는 공시 펄프로 Hw-BKP를 사용하였으며 보류향상을 목적으로 양이온성

폴리아크릴아미드(Cationic Polyacrylamide)인 DR-2507(ONDEO-Nalco) 그리고 micro particle로서 Bentonite를 사용 하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 지료 조성

Hw-BKP를 백상지 제조사인 S제지의 refiner chest 지료를 채취하여 공시지료로 삼았으며 그여수도는 390ml CSF였다. 초지 농도를 0.3%로 조정하였으며, 이때 지료의 미세분 함량은 18.56% 였다.

2.2.2 RDA-HSF 초지

보류향상을 목적으로 양이온성 폴리아크릴아미드(Cationic Polyacrylamide)를 단독으로 사용한 Single Cationic PAM System과 여기에 Bentonite를 양이온성 폴리아크릴아미드 첨가량의 5배만큼 첨가하는 마이크로 파티클 시스템을 적용하여 첨가수준을 100, 400ppm로 조정하였다. RDA-HSF의 초지는 농도 0.3%로 평량 150g/m²이 되도록 실시하였다. 지료 도입 시간이 종이 지합에 미치는 영향을 분석하기 위하여 0.7, 1.0, 1.3sec에 지료가 모두 지층형성 탱크로 투입되도록 고칼마개의 열리는 간격을 조절하였다. 지료 도입 후 지층형성탱크에서의 체류시간에 따른 난류의 소멸 및 섬유의 응집이 종이의 지합에 미치는 영향을 파악하기 위하여 체류시간을 0.6, 1.2, 2.4, 4.8sec로 조절하여 초지 하였다. 이때 감압 탈수 처리는 main과 sub 탱크의 진공압력을 동일하게 200mmHg로 유지하는 일단 탈수조건으로 실시하였다. 보류향상제 투입시의 지료 조성 순서는 먼저 고 분자량의 양이온성 폴리아크릴아미드를 투입하고 1,000rpm의 고속으로 5초 동안 교반시킨 다음, 음이온성 마이크로 파티클인 벤토나이트를 도입하도록 프로그램되었으며, 이때 벤토나이트 첨가 후의 교반처리는 800rpm으로 5초간 유지한 다음 초지 직전 난류 형성을 위해 1300rpm의 고속으로 다시 5초 동안 교반하는 순서를 따랐다.

탈수된 습지필은 TAPPI Test Method T 205 sp-95에 의거하여 압착, 건조시킨 후 시편의 파열강도 및 지합 등의 물성을 평가하였다.

2.2.3 물성 측정

각각의 수초지를 항온항습 조건에서 조습 처리한 후 파열강도를 TAPPI Test Method T403에 의거하여 측정하였다.

2.2.4 Formation 분석

RDA-HSF를 이용하여 초지한 종이 시편의 지합을 측정하기 위하여 프랑스의 Techpap사에서 제작한 2D-F sensor를 이용한 광 투과 이미지를 촬영하여 각 조건에 따른 Formation을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Formation

3.1.1 도입시간에 따른 Formation

RDA-HSF로 초지한 시편의 지료도입시간 지체에 따른 formation의 변화를 살펴보면 본 실험에서는 0.7초에서 1.0초로 지료 낙하 시간이 0.3초만큼 지연되었음에도 불구하고 유사한 formation을 보였다. 그러나 1.3초로 더욱 길게 지체 되었을 때에는 formation이 다소 저하됨을 확인할 수 있다. 보류항상제가 전혀 첨가되지 않은 control 시편들의 formation변화는 다음과 같이 설명할 수 있다.

0.7초에서 1.0초로 도입시간이 지체되었지만 도입시간이 늘어난 만큼 RDA-HSF가 부여하는 부가적인 교반처리로 지료내 turbulence의 소멸이 보상되었기 때문에 유사한 지합을 나타내었다고 여겨지며 1.0초에서 1.3초로 도입시간이 지체된 경우에는 fiber의 분산에 요구되는 turbulence가 교반으로 보상되지 못 할 만큼 도입되는 지료의 체류시간이 길어지는 이유로 섬유응집이 유도되었기 때문이다.

이와 다르게 보류항상제가 적용된 경우의 지료 도입시간 지체에 따른 formation 변화는 비록 1.3초 까지 지연되더라도 크게 저하 되지 않는 양상을 보였다.

이것은 고분자 전해질이 첨가된 지료에 도입시간 지체에 따른 부가적인 교반처리가 부여됨에 따라 지료의 응집을 현저히 방지 할 수 있었음을 의미한다.

Micro particle system을 적용한 경우에는 PAM만을 단독 사용했을 때보다 재응집력이 강한 이유로 도입시간 지체에 따라 다시 formation이 저하됨을 확인할 수 있다.

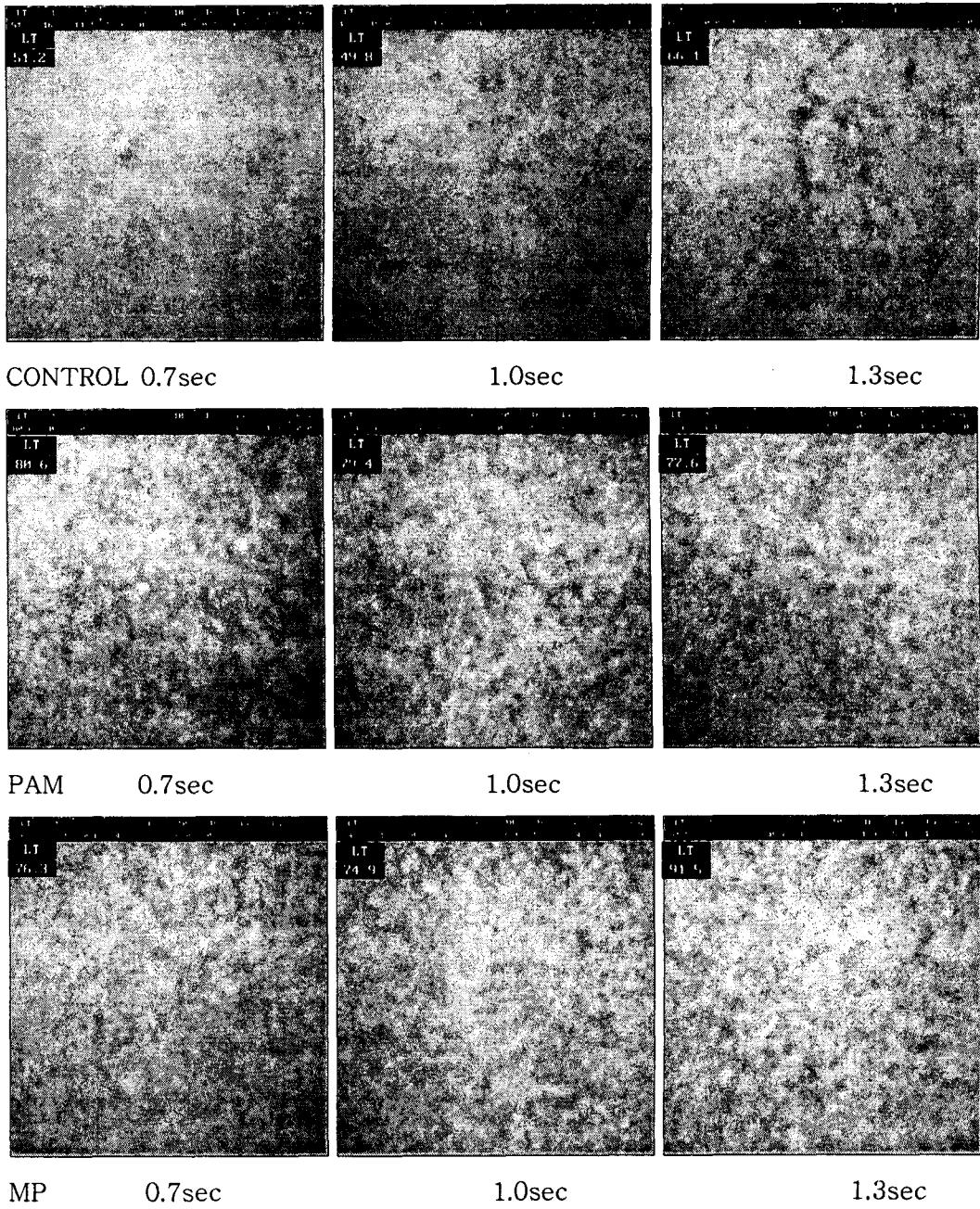


Fig. 1 치료 도입시간에 따른 Formation의 변화

이상을 종합해 볼 때 보류향상시스템의 적용여부 및 그 특징에 따라 RDA-HSF의 초지조건 변화에 따른 시편의 균일성 보류 및 탈수 특성 등이 영향 받을 것임을 알 수 있다.

3.1.2 Delay Time 증가에 따른 Formation의 변화

Delay Time 증가에 따른 formation의 변화를 살펴보면 그림 2에서 보는 바와 마찬가지로 delay time 증가에 따라 formation이 악화되는 것을 알 수 있다. 이것은 지료의 지층형성탱크 내 체류시간 증가로 인한 섬유 응집이 원인인데 formation 악화를 주도하는 floc size를 살펴보면 3mm 이하의 작은 것들이다. 이러한 경향은 양이온성 폴리아크릴아미드나 마이크로파티클 시스템을 적용한 조건에서도 같은 경향을 나타내는 것으로 확인되었다.

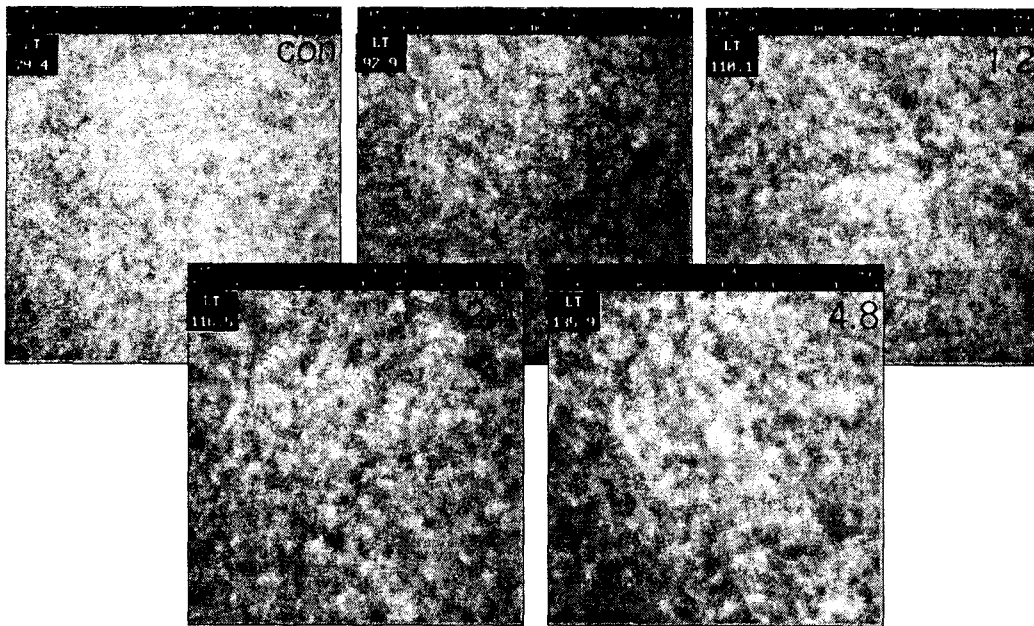


Fig. 2 Delay Time 증가에 따른 Formation 변화

3.2 지료 도입시간 및 체류시간 변화에 따른 floc size 분포

그림 3에서 보는바와 같이 forming time이 1.0초인 조건이 1.3초인 조건보다 formation의 변화가 크게 나타났다. 이런 결과는 cone의 개폐율에 의한 영향으로 생각되어지는데, 비록 두 조건은 0.3초의 차이에 불과하지만 지료도입시간 1.3초의 경우 opening gap이 좁을 때 도입시간이 증가 되고, 증가된 시간만큼 강한 교반처리 시간도 증가하기 때문에 보류항상제 첨가로 그 형성이 촉진되는 floc이 분산되고 그만큼 재응집 능력이 저하되는 현상이 나타나기 때문이다.

즉, 지료 도입시간 1.0초의 경우 낙하시간이 짧은 만큼 opening gap이 커져서 지료가 일시에 투입이 되기 때문에 낙하하는 동안 impeller로 부터 받는 전단력이 비교적 약하며, 지층형성 탱크에 도입된 후에는 체류시간 동안 재응집 할 여지가 충분하여 formation 변화가 크게 나타났으나, 1.3초의 경우에는 반대로 시간이 길어진 만큼 gap이 좁아져 상대적으로 길어진 도입시간 동안 강한 교반처리에 의해서 floc들이 미세하

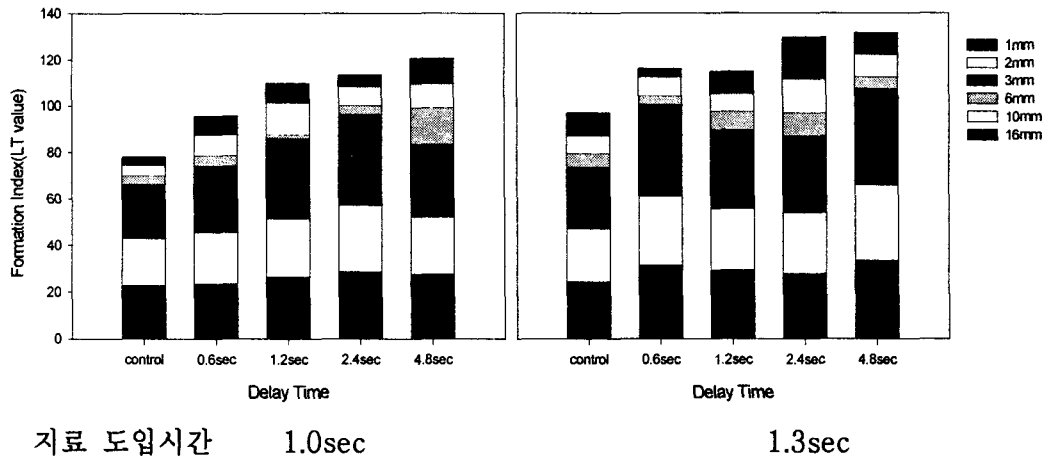


Fig.3 PAM 0.04% 투입 조건에서 지료 도입시간과 delay time에 따른 formation 구성 floc size의 분포

게 분산되어 지층 형성 탱크에 도입된 후에도 재응집 할 수 있는 여력이 부족하여 formation 변화가 크게 나타나지 않았다. 이러한 측면에서 볼 때 opening gap을 조절

하는 것이 단순히 지료의 도입시간을 설정하는 것이 아니라 지료에 부과되는 교반처리의 강도를 좌우한다는 사실을 확인 할 수 있다.

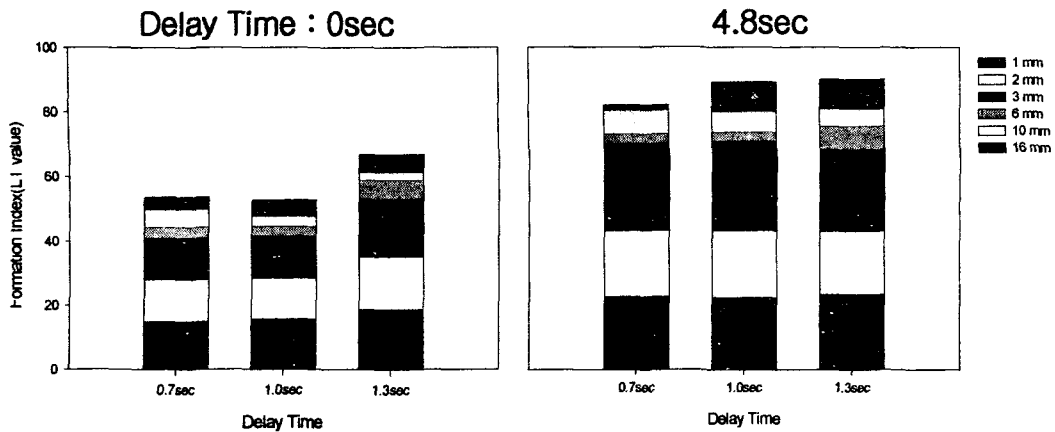


Fig. 4 PAM 0.04% 투입조건에서 Delay Time에 따른 floc size의 분포

지료의 지층형성 탱크 내 체류시간이 formation에 미치는 영향을 살펴보면, 그림 4에서 보듯이 체류시간이 길어지면 1~3mm의 작은 floc들이 증가하여 결과적으로 지합을 악화 시키는 것을 확인 할 수 있다. 여기에서의 체류시간은 곧 재응집 유도시간과 같아서 그 시간이 길수록 임펠러의 전단력에 의해 깨졌던 floc들이 재응집 할 가능성이 높아지는 것이다. 여기에서는 특히 1~3mm의 작은 floc으로 응집하는 경향이 뚜렷히 나타나고 그 이상의 큰 floc size에서는 이렇다할 경향이 나타나지 않았다.

4. 결론

기존의 자연, 감압 탈수 및 보류도 측정 설비와 수초지 설비를 종합한 새로운 시험 설비로서 RDA-HSF를 활용할 때 유의해야할 초지조건 중 지료 도입시간과 체류시간의 영향을 살펴보았다. 상기한 초지 조건 변화에 따른 종이의 균일성 변화는 보류향상 시스템의 종류에 따라 다르게 나타났으며 이에 대한 이해를 바탕으로 실제 현장의 초

지 조건 재현 및 예측이 가능할 것으로 기대 된다.

인용문헌

1. 류정용, 펄프종이공학회 추계학술논문집, 141-146(1999)
2. Kim. Y. S. Won. J. M. Korea TAPPI 32(3):1(2000)
3. Michael P. et. al., Papermaking Chemistry, 63-67(1999)
4. Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee Method SCAN-C 19:65.
5. TAPPI Test Method T221.
6. TAPPI Test Method T227.
7. Britt, K. W., Unbehend, J.E., Shridharan R. Proceedings Tappi Papermakers Conf. 129, TAPPI PRESS (1986).
8. Britt, K. W., Unbehend, J.E., Tappi. J. 63(4):67 (1980).
9. Andrews, B.D. and White, L.R., Tappi. J. 59(6):1171 (1969).
10. Britt, K.W. and Unbehend, J.E., Tappi. J. 59(2):67 (1976).
11. Britt, K.W. and Unbehend, J.E., Tappi. J. 63(4):67 (1980).
12. Penniman, J.G. and Olsen, C.R., Paper Trade J. :34 (Apr.15, 1979).
13. Springer. A.M., Chandarasekaran, S. and Wagner, T.H., Tappi. J. 67(2):124 (1984).
14. Piers, E.C., Springer, A.M. and Kumar, V., Tappi. J. 71(4):133 (1988).
15. Piers, E.C., Springer, A.M. and Kumar, V., Tappi. J. 72(7):149 (1989).
16. Ingmanson, W.L., Tappi. J. 35(10):439 (1952).