

제지공정의 WET-END 분석을 위한 새로운 감압 탈수 초지설비(RDA)의 활용(제1보)

- RDA를 활용한 종이 균일성 예측-

우이균 · 류정용 · 김용환 · 송봉근 · 조남석 *

(2002년 7월 11일 접수; 2002년 11월 23일 채택)

Application of the Novel Test Machine, Retention Drainage Analyzer(RDA), for Wet-End Analysis of Papermaking Process (I)

-Studies on Formation of Paper Sheet molded by RDA-

Yi-Kyun Woo, Jeong-Yong Ryu, Yong-Hwan Kim, Bong-Keun Song, Nam-Seok Cho *

(Received on July 11, 2002; Accepted on November 23, 2002)

ABSTRACT

In order to simulate the actual wet-end process in papermachine, RDA, a novel handsheet former, was used and following results were obtained.

While the addition of polyelectrolytes gives significant effect on fiber flocculation, increase of stock consistency influenced on the formation of RDA sheets greatly. In particular, the consistency increase from 0.3% to 0.4% abruptly increased floc size of RDA sheet and it results in severe deterioration of paper strength. Stock consistency, therefore, should be regarded as the most important factor in the formation simulation with RDA and should be controlled as the first sequence of tuning the operating conditions of RDA to simulate correctly the target machine paper's formation.

1. 서론

제지 공정의 효율적인 운영을 위해서는 공정변수의

파악이 필수적이다. 특히 종이 성형되는 습부(wet-end)는 종이물성을 결정짓는 단계로서, 이때의 탈수성, 보류도 및 균일성(지합, Formation) 등을 적절히

● 한국화학연구원 펄프제지연구센터 (Pulp and Paper Research Center (PPRC), Korea Research Institute of Chemical technology (KRICT), P.O. Box 107, Yusong, Taejeon 305-606, Korea

* 충북대학교 농과대학 산림과학부 (School of Forest Resources, College of Agriculture, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

조절하는 것은 종이의 생산성과 최종 제품의 품질 측면에서 매우 중요하다 하겠다. 따라서 탈수성, 보류도를 조절하기 위한 습부 첨가제의 효과에 대한 연구²⁾와 지합을 결정하는 여러 영향인자에 대한 연구³⁾가 지속되어 왔다.

제지공정 습부의 탈수성은 헤드박스로부터 분사된 농도 1% 내외의 지료가 농축되는 과정에서 수분이 분리되는 정도를 의미하는데, 만일 이러한 탈수성이 불량하여 수분의 제거가 원활하지 못하다면 종이의 생산성이 저하되는 문제점이 유발된다.

지료로부터 수분이 분리되는 과정에 물과 함께 종이 성분이 빠져나가게 되면 결국 종이로서 형성되는 고형분이 줄어들게 되는데 이를 보류도가 낮다고 표현한다. 보류도가 불량할 때에는 종이로서 형성되지 못하는 고형분이 많기에 제지공정수의 오염을 유발하게 되며, 상대적으로 헤드박스의 농도가 높아짐에 따라 섬유 응집으로 인해 종이의 균일성이 저하되는 심각한 문제점을 초래하게 된다.

종이를 구성하는 펄프섬유는 일반적으로 1~3 mm의 길이에 폭 40 μ m 미만인 얇고 상대적으로 긴 목재 세포로서 펄프섬유간의 엮히고 뭉치는 현상인 응집이 일어나기 쉽다. 특히 펄프섬유의 농도가 높은 지료는 더욱 응집되기 쉬운데, 응집이 심해질수록 종이를 구성하는 펄프섬유 분포가 불 균일해지고 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.

종이의 균일성을 크게 좌우하는 섬유의 응집은 지료의 농도, 섬유장, coarseness 등에 의해 영향받으며⁴⁾ 이렇게 형성된 지합에 따라 종이의 물성 자체 뿐 만이 아니라 coating 적성 등도 영향받는다라는 보고가 있다⁴⁾.

아울러 섬유의 응집으로 인한 종이의 지합 변화를 측정하고⁵⁾ 이를 활용하여 지제품의 품질을 분석하려는 연구가 지속되어온 점⁶⁾ 등으로 미루어 보류, 탈수와 함께 종이의 지합을 고려한 실험실적 시편 제조법의 확립은 매우 큰 의미를 지닌다 하겠다.

이러한 취지에서 개발된 RDA (Retention Drainage Analyzer)⁷⁾는 보다 현장에 가까운 초지 조건을 구현하기 위해서 지료의 농도를 높이고 진공 탈수를 실험함에 따라 기존의 탈수성 분석기나 보류도 측정기의 단점을 보완한 장치이다.

본 연구에서는 자연 탈수를 이용하는 기존의 수초지기에 비해 현장 공정을 보다 현실적으로 재현하고, 현장 종이의 균일성을 실험실적으로 예측할 수 있는 감

압 탈수 초지 설비로서 RDA의 활용 가능성을 분석해 보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서는 공시 펄프로 Sw-BKP를 사용하였으며 보류향상을 목적으로 양이온성 폴리아크릴아미드(DR-2505, ONDEO-Nalco社)와 음이온성 폴리아크릴아미드(Anionic Ultmer, ONDEO-Nalco社)를 사용하였으며 마이크로 파티클로서 bentonite를 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 지료 조성

Sw-BKP를 Valley beater를 이용하여 400 mL CSF로 고해하고 지료의 농도를 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 그리고 0.6%로 희석하였다.

2.2.2 원형 수초지

보류향상을 목적으로 양이온성 폴리아크릴아미드(cationic polyacrylamide)를 단독으로 사용한 single cationic PAM system과, 여기에 음이온성 폴리아크릴아미드(anionic polyacrylamide)를 함께 사용한 DUAL system, 그리고 bentonite를 양이온성 폴리아크릴아미드 첨가량의 5배만큼 첨가하는 마이크로 파티클 시스템을 적용하여 PAM의 투입량을 100, 150, 200 및 300 ppm으로 조정하였다. 초지 평량은 100 g/m²이었으며 탈수성 평가를 위하여 탈수 시간을 측정하였다.

2.2.3 RDA 초지

Fig. 1은 RDA의 구성을 모식화하여 나타낸 그림이다. RDA를 활용한 초지 시의 평량은 100 g/m²이었으며 보류향상제는 원형수초지의 경우와 같게 적용되었다. 초지농도에 따른 지합, 강도 등의 변화를 보기 위하여 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 및 0.6% 농도로 지료를 조

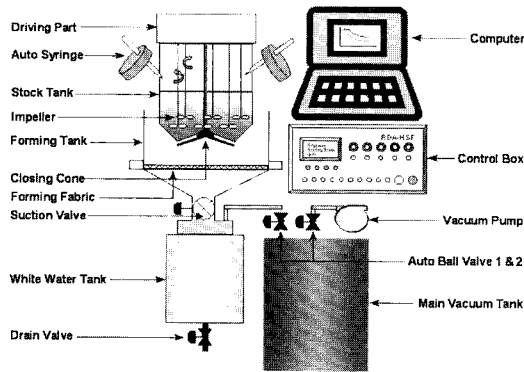


Fig. 1. Schematic drawing of the RDA.

성하였다. 이때 감압 탈수 처리는 main과 sub 탱크의 진공압력을 동일하게 200 mmHg로 유지하는 일단 탈수조건으로 실시되었다. 지료 조성 순서는 먼저 보류향상제인 고 분자량의 양이온성 폴리아크릴아미드를 투입하고 1,000 rpm의 고속으로 5초 동안 교반시킨 다음, 음이온성 폴리아크릴아미드(anionic polyacrylamide)와 음이온성 마이크로 파티클인 벤토나이트를 도입하도록 프로그램 되었으며, 이때 음이온성 폴리아크릴아미드 및 벤토나이트 첨가 후의 교반처리는 800 rpm으로 5초간 유지한 다음 지료의 지층형성 탱크 도입 직전, 난류 형성을 위해 1300 rpm의 고속으로 다시 5초 동안 교반하는 방식을 택하였다.

지료 조성 탱크에는 배향되지 않은 난류를 형성시키기 위하여 6개의 임펠러가 설치되었으며, 지료조성이 완료된 다음, 조성탱크의 하부 고깔마개가 열림과 동시에 지료가 신속히 지층 형성탱크로 도입되도록 하여, 지료의 분산상태 유지 및 재 분산을 통해 지합이 개선되도록 유도하였다. 탈수된 습지필은 TAPPI Test Method T 205 sp-95⁹⁾에 의거하여 압착, 건조시킨 후 시편의 파열강도 및 지합 등의 물성을 평가하였으며, 이때 백수탱크에 채집된 백수의 탁도를 측정하여 각 초지조건에서의 보류도를 평가하였다.

2.2.4 물성 측정 및 지합 분석

각각의 수초지를 TAPPI Test Method T 402 sp-98⁹⁾에 의거하여 조습처리한 후 파열강도를 TAPPI Test Method T 403 om-97¹⁰⁾에 의거하여 측정하였다. RDA와 원형수초지를 이용하여 초지한 종이 시편의 지합을 비교하기 위하여 초지농도의 변화와 보류향상제의 첨가수준을 달리하면서 평량 100g/m²으로

각각 초지하고, 종이 시편의 광투과 이미지를 분석하여(2D-F Sensor, Techpap社) 그 지합을 비교하였다. 지합을 나타내는 기준으로 LT value(Look Through value)를 사용하였는데 이 값은 각 종이 sample의 광투과 이미지의 floc size들에 contrast 값을 곱한 에너지 개념을 수치화 하여 나타낸 것으로 그 값이 작을수록 지합이 우수할 것을 의미하며, 클수록 지합이 나쁜 것을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 원형 수초지와 RDA의 Formation 비교

3.1.1 농도에 따른 Formation

Fig. 2, 3 그리고 4에 나타난 바와 같이 원형 수초지로 초지한 시편들보다 RDA로 초지한 시편들이 보류향상제의 첨가수준이 증가함에 따라 지합이 현저하게 악화됨을 확인할 수 있는데, 그 이유를 다음과 같이 설명할 수 있다.

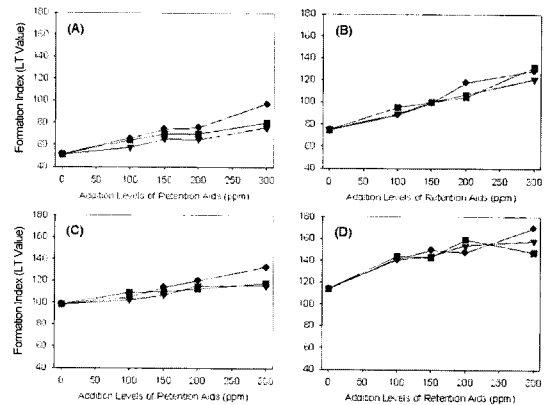


Fig. 2. The effect of addition levels of retention aids on the formation of paper samples at the various sheet forming consistencies. ((A) : Tapi Sheet Machine, (B) : RDA Stock Consistency 0.2%, (C) : RDA Stock Consistency 0.3%, (D) : RDA Stock Consistency 0.4%, LT value : Look Through value ● : PAM, ▼ : Dual Polymer System, ■ : Micro Particle System)

기존의 원형수초지 설비는 초지 시 수두가 35cm로서 동일 평량의 RDA 초지 시의 3.3cm 보다 10.6배 이상 높고 그 초지농도 역시 10.6배 이상 희석된 상태이다. 따라서 원형수초지의 경우 비록 보류항상제가 첨가되더라도 지료의 농도가 충분히 희석된 만큼 분산 상태가 양호하여 현저한 종이의 지합 변화를 관찰할 수 없었다. 종이를 구성하는 섬유소의 길이가 1 ~ 3 mm로서 그 폭이 40 μ m 미만인 점을 감안할 때 목재 세포가 상대적으로 긴 섬유소이기에 서로 간의 얽히고 뭉치는 현상인 응집이 일어나는 것이 당연하다. 응집이 심해질수록 종이를 구성하는 섬유소 분포가 불균일해지고 이로 인해 종이의 인쇄적성, 강도, 불투명도 등의 중요 물성이 저하된다. 따라서 종이의 균일성은 지층 형성 시의 탈수성, 보류도 등의 공정변수와 함께 종이 생산 측면에서 고려되어야 할 중요한 품질 특성이다. 그러나 섬유소의 농도가 낮은 원형수초지 방법은 전술한 바와 같이 응집 특성을 분석하기에 부적합하였다. 반면 RDA는 지료의 농도를 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6% 등으로 조절이 가능하며 실제 현장의 헤드박스 농도 0.5 - 1.0%와 유사할 만큼 높게 초지가 가능하였기에 섬유소의 응집으로 인한 지합 변화를 실제 현장에 근접한 조건으로 분석할 수 있었다. 따라서 RDA가 실제 종이 형성과정에 보다 근접한 지합 측정이 가능함을 유추할 수 있다.

Fig. 2에서 확인할 수 있듯이 초지 농도에 따른 지합의 변화를 분석해 보면 농도가 높아질수록 지합이 좋지 않게 나타난다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 각각

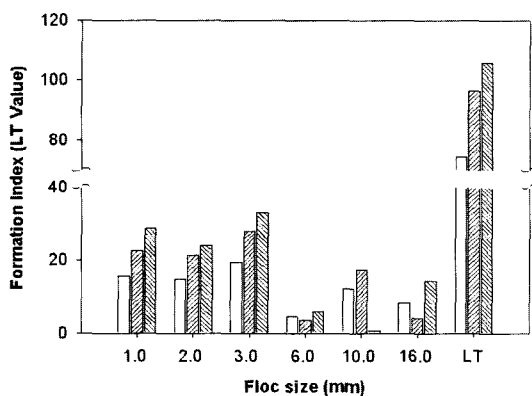


Fig. 3. The effect of sheet forming consistency on the floc size distribution and overall formation of RDA sheets.

(□ : Stock Consistency 0.2%, ▨ : Stock Consistency 0.3%, ■ : Stock Consistency 0.4%)

의 floc size의 분포를 살펴보면 지합을 나타내는 LT value의 차이와는 달리 초지농도 0.2%와 0.3% 사이에는 유의한 차이를 나타내지는 않았지만 0.3%와 0.4% 간의 농도 차로 인한 floc 크기의 차이가 큰 것을 알 수 있다. 이런 결과로 미루어 볼 때 현장초지 조건처럼 고농도로 초지한다면 지합 구성의 차가 더욱 조장될 것임을 예상할 수 있다.

3.1.2 보류항상제 첨가 수준에 따른 Formation의 변화

보류항상제를 사용하여 보류도를 높이면 역으로 지합이 저하되는 상쇄효과가 나타나게 된다. 이렇듯 지합과 미세분 보류의 관계는 일반적으로 보류도가 높아지면 응집이 많아지고 따라서 지합이 나빠지는 경향을 나타낸다. 따라서 원형 수초지기와 RDA 모두 보류항상제의 첨가량이 많아질수록 지합이 저하되는 쪽으로 이동하는 결과를 나타내었다.

3.2 RDA에서의 지합, 강도 그리고 보류도의 관계

3.2.1 초지농도 및 강도가 동일할 때 보류도와 지합의 관계

충전제를 첨가하지 않은 동일한 밀도의 종이의 강도

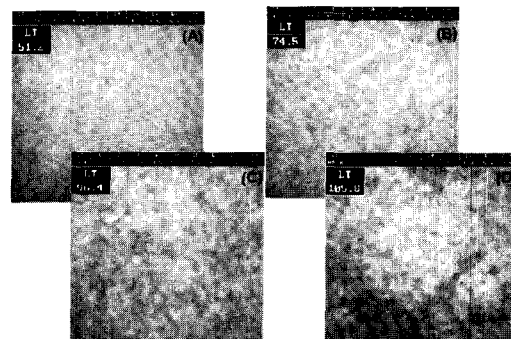


Fig. 4. Light trans-illuminated images of paper samples at the various forming consistencies without retention aids.

((A) : Tappi Sheet Machine, (B) : RDA Stock Consistency 0.2%, (C) : RDA Stock Consistency 0.3%, (D) : RDA Stock Consistency 0.4%, Grammage : 100 g/m²)

Table 1. Relationship between retention and formation properties of RDA sheet same levels of burst strength.

Stock Consistency(%)	Relation aids	Addition levels(ppm)	Burst Index (kPa · m ² /g)	Turbidity (F.A.U)	LT value	Turbidity +LT
0.2	Dual system	100	3.56	49.30	89.30	138.6
0.2	Dual system	150	3.52	37.30	100.0	137.3
0.3	Dual system	100	3.33	86.70	99.70	186.4
0.3	Dual system	150	3.30	82.95	106.9	189.9
0.4	Dual system	150	2.98	108.0	144.4	252.4
0.4	Dual system	200	2.94	95.40	153.7	249.1
0.2	Cationic PAM	150	3.20	39.30	106.5	145.8
0.3	Cationic PAM	100	3.19	86.25	104.8	191.1

는 지합과 보류도에 의해서 결정된다. 보류향상제를 사용하여 보류도를 높이면 보류가 양호한 만큼 지합이 저하되는 상쇄효과가 있기에, 본 연구의 실험조건에서는 보류향상시스템으로 Dual polymer를 적용한 경우, 특이하게도 동일한 초지농도의 RDA 운전조건 하에서 강도가 같다면 지합을 의미하는 LT값과 보류도를 나타내는 탁도의 합이 일정한 경향을 보였다.

Table 1을 보면 같은 농도이면서 강도가 유사한 조건에서는 보류향상제의 첨가 수준에 차이가 있더라도 보류도와 지합 사이에는, 보류도가 나빠질 경우 지합이 좋게 나타나고, 역으로 보류도가 좋아지면 지합이 나쁘게 나타나 서로 상쇄되는 관계를 보여주고 있음을 알 수 있다. 그리고 보류도와 지합의 두 값을 더한 값이 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나 초지

농도가 다르다면 비록 강도 값이 유사하다고 하더라도 지합과 보류도의 관계가 서로 상쇄되는 경향을 보이고 있지 않으며 그 두 값을 더한 값 역시 서로 차이를 알 수 있다.

3.2.2 동일한 보류 조건에서 초지 농도에 따른 강도와 지합의 관계

동일한 보류도일지라도 지합이 다르면 종이의 강도는 서로 달랐다. 특히 Fig. 5에서 보듯이 지합을 구성하는 각각의 floc 중 크기가 큰 floc의 LT value에 차이를 보일 때 강도의 차이를 여실히 볼 수 있었다.

floc size 6 mm 이상의 LT value가 증가함에 따라 보류도가 동일할지라도 강도는 저하되었다. 같은

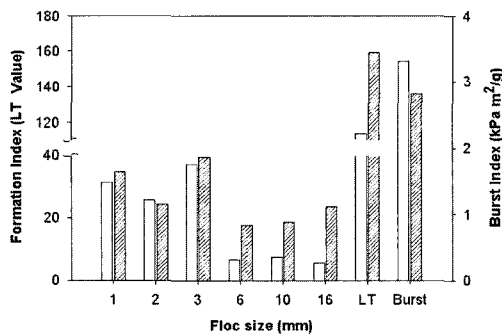


Fig. 5. The effect of sheet forming consistency on the burst strength and formation properties at the same retention levels.

(□ : Stock Consistency 0.3%, PAM 150 ppm,
 ▨ : Stock Consistency 0.4%, MP system 200 ppm)

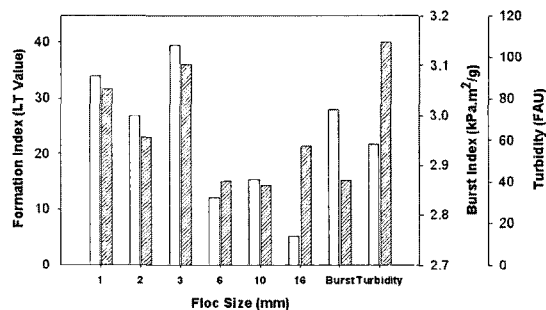


Fig. 6. The effect of floc size distribution on the burst strength and retention properties at the same total LT value.

(□ : Stock Consistency 0.3%, PAM 300 ppm,
 ▨ : Stock Consistency 0.4%, PAM 100 ppm)

보류도 조건에서 비록 마이크로파티클을 적용하여 지합을 개선하려 하여도 초지 농도가 상승함에 따른 floc size의 증가를 피할 수 없었으며 이에 따라 강도가 저하된 것으로 판단된다.

3.2.3 동일한 LT value를 가질 때 초지 농도에 따른 보류도와 강도의 관계

RDA 초지의 경우 지합을 나타내는 LT value가 동일할지라도 보류도와 응집 크기 분포가 다르다면 종이의 강도 역시 달랐다. 초지 시 응집크기를 결정짓는 방법으로는 보류제등 약품을 사용하는 방법과 초지 농도를 조절하는 방법이 있다. 하지만 RDA 초지의 경우 보류제등의 약품으로 응집의 크기를 조절하는 방법은 초지 농도에 의한 것에 비해 그 영향이 크지 않았다.

Fig. 6에서처럼 RDA 초지된 시편의 전체적인 지합을 나타내는 LT value가 동일하더라도 초지 농도와 고분자 전해질의 투입량에 따라 각 시편의 강도와 보류도는 서로 다르게 나타났다. 이렇게 강도와 보류도가 차이를 보이는 것은 floc size의 분포가 그 원인이다. 초지 농도 0.4%에 PAM 100 ppm을 첨가 한 것이 PAM을 3배나 더 첨가한 초지 농도 0.3%의 조건에 비해 전체적인 LT value는 같지만 보류도가 낮고 크기가 큰 floc이 많은 만큼 강도가 약함을 알 수 있었다. 특히 RDA 초지 시 큰 size의 floc이 형성되는데는 PAM 보다 초지 농도의 영향이 더 크다는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

상기 언급한 바와 같이 RDA에 의하면, 초지 농도와 보류제의 첨가 수준에 따른 종이의 균일성 변화를 구현할 수 있었으며 그 예측이 가능하였다. RDA의 경우 보류향상제 첨가수준에 따른 영향보다는 초지 농도가 종이의 균일성에 크게 영향하였다.

희석 배수가 높은 기존의 원형 수초지기로는 종이의 지합 변화가 RDA 만큼 크게 나타나지 못하였다. 이와

달리 RDA의 경우, 현실화된 초지 농도 및 고분자 응집제에 의한 종이의 지합 변화를 측정, 실제 공정의 상황을 예측할 수 있는 가능성이 있었다.

종이의 균일성을 좌우하는 응집 정도는 초지 농도에 의해 크게 좌우되었다. 따라서 초지 농도를 현장 조건에 근접하도록 높일 수 있는 RDA 초지 시, 현장 종이의 특성에 준하는 시편을 제작하고자 할 때에 영향 인자로서 초지 농도가 응집제 첨가량보다 결정적임을 확인하였다.

실제 Wet-end 공정을 유사하게 재현하기 위해서는 생산된 종이의 지합, floc 크기 분포를 먼저 분석하여 RDA 초지 농도를 정하고, 보류도와 탈수특성을 고려하여 첨가제 적용위치, 투입량 등을 결정하는 순서로 RDA 활용방법을 최적화 하는 것이 바람직하다.

이로써 비추어 볼 때 RDA를 활용함에 따라 실제 현장의 상황을 보다 가깝게 재현한 다양한 분석이 가능하며, 다양한 공정변수를 미리 예측하는 효과를 거둘 수 있기에 제지공정의 보다 효율적인 운영이 가능할 것으로 기대된다.

인용문헌

1. Vaughan, C. W. Tappi. J. 79(7):103 (1996)
2. Aidun, C. K. Tappi. J. 79(6):55 (1996)
3. Kerekes, R. J. and Schell, C. J. Tappi. J. 78(2):133 (1995)
4. Hua, X., Tanguy, P. A., Li, R. and Van wagner, K. S. Tappi. J. 79(5):112 (1996)
5. Bernie, J. P. and Murray Douglas, W. J. Tappi. J. 79(1):193 (1996)
6. Bouydain, M., Colom, J. F. and Pladellorens, J. Tappi. J. 82(7):153 (1999)
7. 류정용, 펄프종이공학회 추계학술논문집, 141-146(1999)
8. TAPPI Test Method 205 sp-95
9. TAPPI Test Method 402 sp-98
10. TAPPI Test Method 403 om-97