

환망 초지기의 배트 운용이 종이의 품질에 미치는 영향

박 용 성[†] · 전 양* · 서 영 범*

Effect of Vat Control in Cylinder Machine on Physical Properties of Paper

Yong-sung Park[†], Yang Jeon*, and Yung Bum Seo*

ABSTRACT

Cylinder machine usually gives more fiber orientation than fourdrinier and has limitation in machine speed because of fiber wash-off caused by centrifugal force when machine speed increases. This study aimed for the improvement of paper formation and productivity by setting an apron in vat inlet and by adjusting mould water head. Improvement of formation and increase of machine speed were achieved, which ultimately improve productivity. Installing an apron successfully decreased fiber wash-off. Fiber orientation and two-sidedness of ash distribution became less severe. The proper adjustment of water head inside the cylinder mould proved to be an important factor not only in paper formation but also in decreasing paper two-sidedness.

1. 서론

환망 초지기는 장망 초지기와 달리 성형부가 원통식이어서 원통실린더의 회전방향에 따라 지료가 회전방향으로 당겨져 매트 형성을 이루므로 섬유배열은 자연적으로 기계방향으로 향하여 기계방향과 횡방향(cross direction)의 차이가 심할 뿐만 아니라,¹⁾ 초지속도를 높일 경우 금망상에 형성된 지필이 지료 현탁액 속을 빠져 나올 때 실린더 회전에 따라 생긴 원심력이 중력보다 크면 지필이 금망을 이탈하여 지필과피(wash off)가²⁾ 발생하기 때문에 속도에 제한을 받게 된다. 이처럼 환망 초

지기는 섬유배향성과 생산성 면에서 장망에 비하여 단점을 지니고 있지만 구조가 간단하여 설치장소가 작아도 되며 동력비 등 운용비가 저렴하며, 무엇보다도 선명한 워터마킹(water marking)이 용이하여 특수한 종이 생산에 적합한 기종이다.³⁾

환망 초지에서 종이 품질을 향상시키기 위한 방법으로는 지료조건의 변화, vat circle 지층형성 부위의 조정, 유입량의 변화, 초지속도 조정, 드로우 조건 등 여러 가지가 있을 수 있으나 본 논문에서는 순류형(uniflow vat) 1배트 시스템에서 배트 유입구에 에프린(apron) 삽입과 배트

* 한국조폐공사 부여조폐창(Quality Control Dept. Puyo Paper Mill, Korea Minting and Security Printing Corporation, Yumchang-Ri, Puyo-Eup, Chungnam 323-800, Korea)

* 충남대학교 농과대학 임산공학과(Dept. of Forest Products, College of Agriculture, Chungnam National University, Yousung-Gu, Taejeon, 305-764, Korea)

† 주저자(Corresponding author)

내부수위(mould head)를 변경하여 forming zone의 변화에 의한 wash off와 fiber orientation의 변화를 고찰하여 종이의 품질 향상은 물론 생산성 향상에 기여하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 Vat 내 apron 설치

Vat의 지료 유입구의 환망과 접하는 부분에 폴리에틸렌 필름으로 apron을 Fig. 1과 같이 지료 유입구의 수면으로부터 3단계로 설치하였다. 첫단계 A-1은 수면으로부터 16.5 cm, A-2는 26.5 cm, A-3는 37.5 cm 깊이까지 설치하였으며 실험별 위치와 조건은 Table 1과 같다.

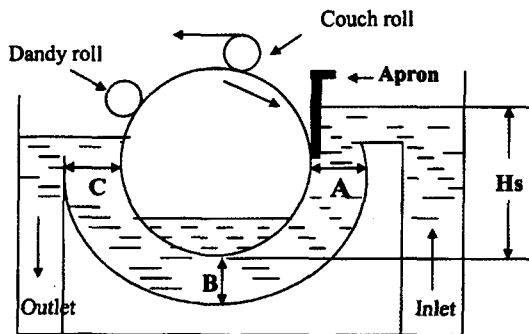


Fig. 1. Schematic of uniflow vat type and apron position.

Table 1. Apron length and forming zone

No.	Apron length(cm)	Forming zone (%)
Blank	0	100
A-1	16.5	93.74
A-2	26.5	89.84
A-3	37.5	85.76

2.1.1 구간비율(Section rate)

구간비율은 cylinder mould와 vat circle 내 측과의 간격을 의미하며 간격이 제일 좁은 C구간(Fig. 1)의 비율을 기준으로 하여 C구간을 1로

하였을 때 A : B : C = 2.33 : 2.22 : 1로 조정하였다.

2.1.2 유속(Flow)

Vat circle을 흐르는 지료의 유속은 환망 초지기에서 섬유배향성 및 퍼짐새(formation)와 밀접한 관련이 있다. 유속비는 환망 표면속도에 대한 circle을 흐르는 지료용액의 속도의 비를 의미하는 것으로 A, B, C구간의 유속비는 본 실험의 경우 각각 0.52, 0.4, 0.58이었다.

2.2 Vat 내부수위(mould head) 변경실험

내부수위는 조절 가능한 최저수위(L), 중간수위(M), 탈수 가능한 최고수위(H)로 조정하였다. 내부수위를 L로 조정 시 mould head는 지료용액 높이(Fig. 1의 Hs)의 61%, 내부수위 M은 52%, 내부수위 H는 43%이었다. 내부수위 변경 실험 시에는 Apron 설치 실험과는 달리 A, B, C의 구간 간격의 비율은 1.18 : 1.18 : 1로 조정하였으며 이때의 A, B, C구간의 지료 유속비는 각각 0.84, 0.56, 0.55였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 환망 초지기에서의 지층형성

초지공정에서 퍼짐새에 영향을 미치는 인자에는 섬유상태, 첨가제 등 여러 가지 요인이 있으나 중요한 인자 중 하나는 탈수조건이라고 할 수 있다. 장망 초지기에서의 탈수는 breast roll, hydro foil, vacuum box, suction couch 등의 탈수소자에 의하여 규칙적 간격의 탈수가 이루어지고,⁴⁾ 이런 탈수과정에서 jet ratio, edge flow valve,⁵⁾ shake 등으로 섬유의 배향성을 조절하지만, 환망 초지기에서 탈수는 주로 vat의 내외부 수위차이에 의하여 조절되고, 비록 정도의 차이는 있으나 매트가 완전히 형성될 때까지는 계속적인 탈수가 행하여진다. 또한 전체 vat circle 표면에서 지층형성이 어떤 부분에서 완성되는가에 따라 퍼짐새의 중요한 인자인 wash off의 정도가 상이하다.

일반적으로 탈수의 중요요인으로 지료조건, 펄

량, 수온을 들 수 있으며 환망에서 탈수는 cylinder mould의 mould head, 그리고 탈수저항과 관련된다. Vat circle의 유속은 개방형 장망초지 헤드박스에서 슬라이스를 통하여 흐르는 유속 $V = \sqrt{2gh^{1/3}}$ (g = 중력가속도, h = 수위차)를 적용하면 실제 유속 $V = \sqrt{2gh + \sqrt{p}}$ (펌프 압력)가 되고, cylinder mould 외부에서 내부로의 탈수 시 탈수를 저항하는 요인으로 wire의 탈수저항과 기 형성된 지층의 탈수저항이 중요한 인자로 작용하므로 탈수속도 $V = \sqrt{2gh - R}$ (wire와 mat의 탈수저항)이 된다.

환망초지에서 지층형성을 살펴보면 Fig. 2의 a구간에서는 섬유가 환망에 부착되지 않은 상태에서 wire의 탈수저항만이 존재하므로 탈수속도가 상당히 빠르다. b-d구간에서는 내외부 수위차이가 없으므로 백수가 mould 밖으로 흐르는 수력학적인 힘만 작용하므로 탈수는 거의 이루어지지 않는다. e구간에서는 수위차이는 있으나 a-d구간에서 형성된 지층의 저항을 받으므로 e구간 역시 탈수력은 약하다. 이런 탈수저항으로 인하여 순류형에서의 지층형성은 보통 a-b구간에서는 44%, b-c구간에서는 31%, c-d구간에서는 19%, d-e구간에서는 6% 정도로 a-c구간에서 지층형성율이 약 75%가 된다.⁵⁾ 지층형성이 진행될수록 지층이 두꺼워져 탈수저항이 커지므로 vat circle을 따라 갈수록 탈수속도는 감소된다. 그러므로 환망에서의 탈수는 로그함수로 감소한다.⁶⁾

이렇게 형성된 지층은 환망이 지료 현탁액을 빠져 나오는 e지점, 즉 수면에서 cylinder mould의 회전에 의한 원심력으로 wash off가 발생하

여 MD방향으로 히끗히끗한 불균질의 퍼짐새를 형성하게 된다. 이러한 wash off 현상은 원심력이 클수록 크고 탈수저항이 커서 탈수력이 원심력보다 작을 경우에 발생한다. 즉,

- 원심력 > 탈수력일 때는 wash off가 발생하고,
- 원심력 < 탈수력일 때에도 탈수가 완료되지 않은 상태에서는 밀림현상으로 인하여 우툴두툴(lumpy)한 퍼짐새가 되고,
- 원심력 = 탈수력일 때는 좋은 퍼짐새의 종이를 얻을 수 있다.

3.2 Apron 사용과 mould head 조정에 의한 초지특성

3.2.1 퍼짐새(formation)

종이는 섬유 외에 미세섬유, 충전제, 기타 화학첨가제 등으로 구성되어 있는데 이들은 습지필에 확률적으로 정착한다. 종이의 퍼짐새는 이런 파티클의 불균일한 분포에 의한 것으로 평량의 변화는 개개 섬유분산에 크게 의존한다.⁷⁾

Apron 사용은 종이의 퍼짐새를 크게 향상시킬 수 있다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 Apron을 사용하지 않은 Blank 상태에서는 wash off가 발생하여 퍼짐새가 다소 저하된 반면에 A-3에서는 오히려 forming zone이 짧은 관계로 탈수가 완성되지 않은 상태에서 wet pressing이 이루어져 밀림현상이 발생하였기 때문에 퍼짐새가 더 저하되었다.

Mould head 변경실험의 경우는 내부수위 L에서는 mould head가 큰 관계로 조기탈수로 인하여 wash off가 발생되었고 내부수위 H에서는 mould head가 낮은 관계로 탈수가 지연되어 밀림현상이 발생하였기 때문에 종이의 퍼짐새는 좋지 않았다. 그러므로 apron의 사용위치 선정과 내부수위의 조정은 종이의 퍼짐새에 중요한 인자임을 알 수 있으며 특히 apron 사용시 효율을 극대화하기 위해서는 탈수시간을 하향조정해야 탈수지연으로 인한 밀림현상을 방지하고 초속을 증가시킬 수 있다.

3.2.2 섬유배향성(fiber orientation)에 미치는 영향

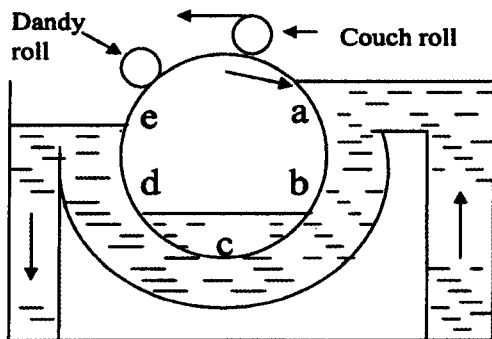


Fig. 2. Forming zone and mat making in uni-flow vat type.

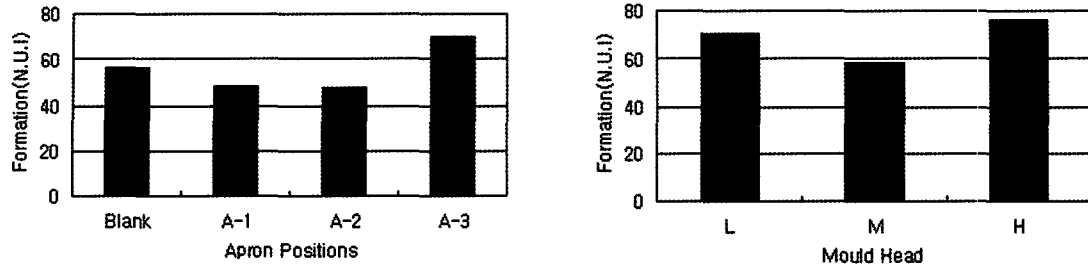


Fig. 3. Formation difference by apron position and mould head adjustment.

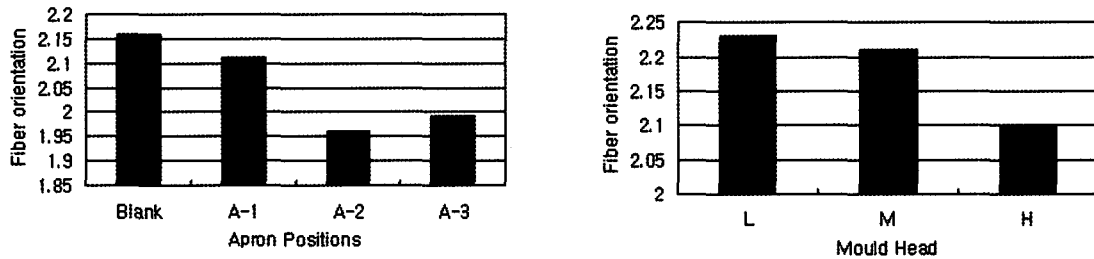


Fig. 4. The change in fiber orientation by apron positions and mould head adjustment.

종이는 이등방성이다.⁸⁾ 이런 이등방성은 섬유배향성과 관련이 있으며 MD로부터 주축선의 변화가 클수록 습도 변화에 따른 쉘 발생 경향이 커지고, 치수 안정성이 불량해지며 비틀림 쉘(twist curl)이 발생되어 걸림이 발생하는 등 복사작업성이 불량해진다. 장망에서 섬유배향성의 주원인은 슬라이스로부터의 분출지료와 와이어의 속도차이에 의하여 결정되나 환망에서 주요 인자는 탈수속도와 서클의 유속이다. 환망 초지기에서 섬유가 환망에 부착될 때 그 탈수속도가 빠르면 빠를수록 환망에 랜덤하게 지층을 형성하고 탈수속도가 느릴수록 환망의 선속도와 유속에 따라 배향성을 갖게 된다. 그러므로 Fig. 2의 a-b구간에서는 탈수속도가 빨라서 지층이 랜덤하게 형성되며 b-d구간에서는 탈수속도가 느려서 섬유가 기계방향으로 향하는 경향이 있고, d-e구간에서는 형성된 지층의 두께에 따라서 탈수속도가 결정되므로 배향성은 지층 두께와 유속에 따라 결정된다. Fig. 4에서 apron과 mould head의 조정에 의한 섬유배향성 결과를 보이고 있다. Apron 삽입의 경우 A-2에서 내부수위차 조절에서는 H의 경우 섬유배향성이 최소로 형성되었다.

3.2.3 회분

일반적으로 장망 초지기에서는 섬유의 현탁액이 탈수되어 지층이 형성되는 과정에서 충전제나 미세섬유가 빠져 나가므로 wire side에서의 충전제 및 미세섬유의 함량분포는 felt side에 비하여 낮다. 그러나 환망초지에서 지층형성은 서클을 따라 행하여지므로 Z-direction의 어느 한 부분의 회분이 상대적으로 높은 비선형관계로 나타났다. Fig. 5에서와 같이 peak 현상이 나타나는 이유는 서클의 Fig. 2의 a부분에서 초기 지층형성 시에는 탈수력이 크기 때문에 충전제나 미세분이 백수로 빠져 나가고 지층의 상층부를 형성하는 서클의 중간부분 c-e에서는 탈수력이 작은 반면에 수력학적 영향이 발생하여 장섬유는 지층을 형성하고 충전제나 미세섬유는 washing이 일어나기 때문에 지층의 가운데가 가장 보류도가 높은 형태를 보인다. Fig. 6에서 Fig. 5에서와 반대로 일정부분의 회분이 낮은 것은 기형성된 지층과 환망의 탈수저항이 높아 washing이 크기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 7에서와 같이 Apron의 적절한 사용과 내부수위차의 조절은 felt side와 wire side의 차이를 감소시킬 수 있었다. Apron 사용

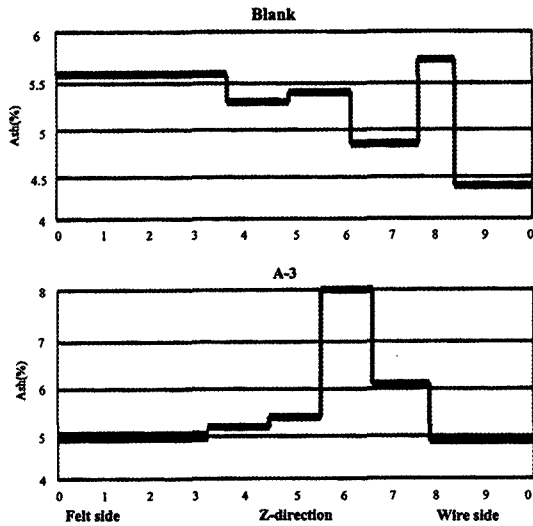


Fig. 5. The ash content distribution in the Z-direction in cases of no apron(Black) and apron insertion (A-3).

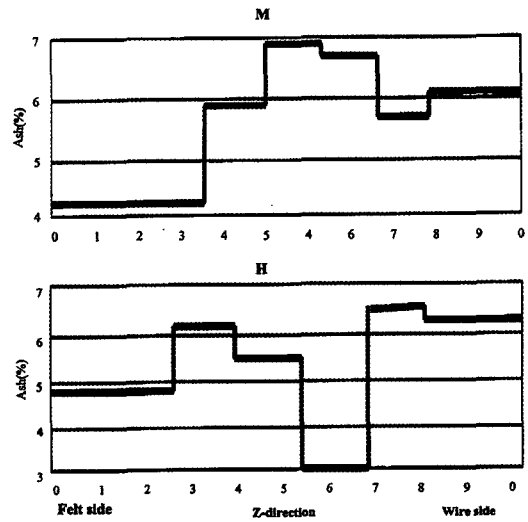


Fig. 6. The ash content distribution in the Z-direction in cases of mould head adjustment (M, H).

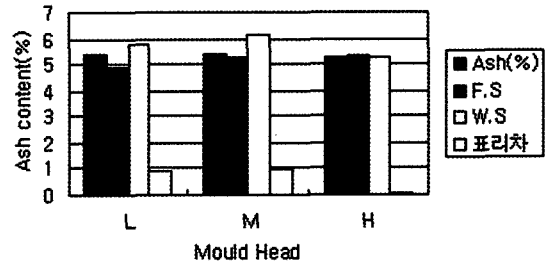
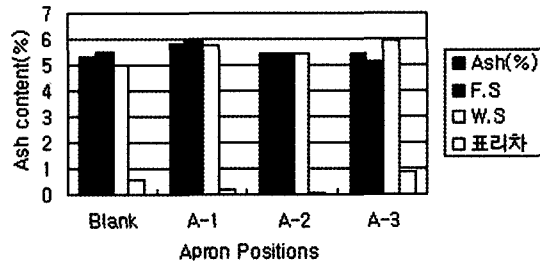


Fig. 7. Ash content difference by apron positions and mould head adjustment.

시에는 A-3의 경우와 내부수위차 조절 시 H의 경우가 표리차를 최소로 만들고 있었다.

3.2.4 인장강도에 미치는 영향

인장강도는 종이의 기본적인 성질의 하나로서 크라프트지, 포장지, 종이 테이프 원지 등에는 중요한 성질이다. 종이의 인장강도는 CD보다는 MD가 항상 큰데 이는 섬유가 MD로 배향하기 때문이다.⁹⁾ Fig. 8에서 Blank의 경우는 wash off로 인하여, A-3은 밀림현상으로 퍼짐새가 좋지 않아 인장강도는 다소 하락하였으며 A-1, A-

2는 섬유배향성 정도와 같은 경향을 보이는 것으로 판단된다. 내부수위차는 L인 경우 최대 인장강도를 보였다.

3.2.5 인열강도에 미치는 영향

인열강도는 종이사용 시와 가공공정 시 인열저항을 받는 종이의 품질평가에 중요한 성질로서 종이 찢어질 때의 섬유의 총 개수, 섬유길이, 섬유결합의 정도에 따라 달라지며, 섬유길이가 증가할수록 증가한다. 섬유의 배향성 차이가 인열강도의 변화를 줄 것으로 기대하였으나 Fig. 9에서는

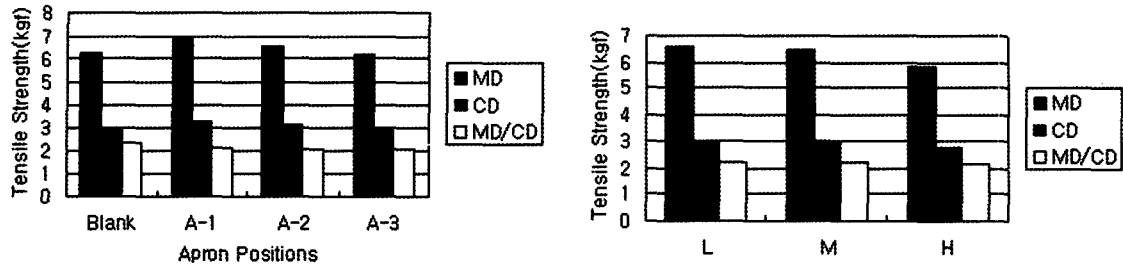


Fig. 8. Tensile strength as a function of apron positions and mould head adjustment.

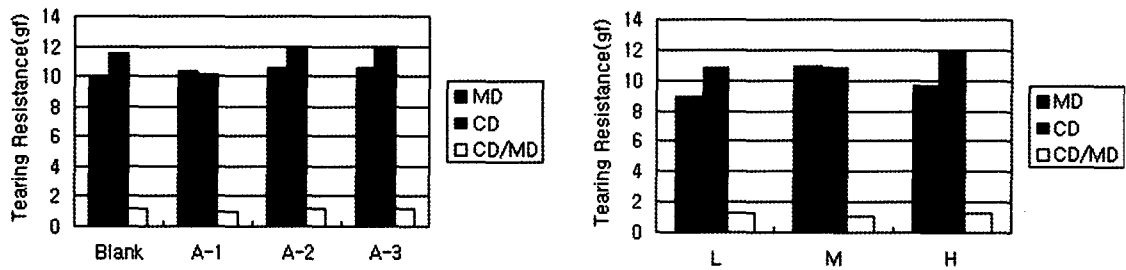


Fig. 9. Tearing resistance as a function of apron positions and mould head adjustment.(MD, CD ÷ 10)

공정조절에 의한 인열강도의 차이가 크게 나타나지는 않았다.

4. 결론

환망 초지기의 배트를 효율적으로 운용하여 종이의 품질을 향상시키고 아울러 생산성 향상을 기하기 위한 목적으로 배트 내에 apron을 설치와 배트 내부수위를 변경 실험하여 품질변화를 고찰한 결과 다음과 같다.

1. Apron을 삽입하여 깊이를 조절함으로써 circle의 후반부에서 탈수력이 증가되어 원심력을 줄일 수 있으므로 wash off를 방지하여 퍼짐새를 증진시킬 수 있고, 섬유배향성을 감소시키며, 종이의 지층구조, 즉 wire side와 felt side의 미세 섬유와 충전제의 분포도 차이를 감소시킬 수 있음을 확인하였다.
2. Apron 삽입을 조절함으로써 발생하는 퍼짐새의 개선, 섬유배향성의 감소, 충전제 분포의 균일성 확보는 생산속도의 증대, CD의 치수안정성 및 종이 양면성 개선을 유도할 수 있을 것으로 판단되었다.

3. Apron 삽입을 지나치게 깊게 하면 퍼짐새의 불량 및 강도적 성질의 저하를 야기시켰다.
4. 내부수위의 적절한 변경은 종이의 퍼짐새는 물론 지층구조 개선의 중요한 인자로 확인되었다.
5. Apron의 삽입과 내부수위의 조절은 섬유배향성의 조절, 퍼짐새 향상 및 종이의 양면성을 감소시킬 수 있는 유리한 공정이었으며 강도적 성질에 부정적인 결과를 초래하지 않았다.

인용 문헌

1. Cook, H. D., Cylinder machines - Some Problems of Design and Operation, Tappi J., 35(3):132A-136A (1952).
2. 조형균, 종이 30년, 논설집간행회, pp. 333-336 (1987).
3. 박선옥, 製紙工學, 세경문화사, pp. 131-145 (1984).
4. Bolam, F., The Formation and Structure of Paper, William Clowes and Sons, Vol I : 749-766 (1962).

5. Odell, M., Perfect Papermaking Practice, Valmat Machine Inc., 13-25 (1994).
6. 磯田清藏, 抄紙機械解説(丸網抄紙機篇), 細川活版所: 1-42 (1967).
7. Niskanen, K., Papermaking Science and Technology, Paper Physics, Fapet Oy: 14-50 (1998).
8. Bristow, J. A., and Kolseth, P., Paper Structure and Properties, Marcl Dekker: 327-344(1986).
9. Casey, J. P., Pulp and Paper: Chemistry and Chemical Technology, A Wiley-Interscience Publication, Vol III: 1787-1807 (1981).