

On-Line Wet-end Control System 개발

김태훈 · 류정용 · 성용주 · 송봉근 · 김용환 · 송재광

한국화학연구원 펄프제지연구센터

1. 서 론

최근 들어 제지산업은 원료의 저급화, 공정의 무방류화 또는 폐쇄화, 초고속도의 고속화가 급속히 진행되고 있다. 또한 원료와 설비의 대부분을 수입에 의존하고 있는 국내 제지산업이 국제시장에서 경쟁력을 높이기 위해서는 공정관리의 고도화를 통한 생산성 증대가 가장 시급히 해결해야 하는 과제로 부각되고 있다. 열악한 원료 및 공정환경을 극복할 수 있는 새로운 방법의 공정제어 및 관리 기술이 요청되고 있으며 이들의 핵심적인 적용대상은 외부조건에 더욱 쉽게 영향을 받고 또 전체 공정에 미치는 영향이 지대한 습부라 할 수 있다.

습부는 종이의 품질과 생산성에 직접적인 관계가 있는 매우 중요한 공정중 하나이다. 습부에서 종이의 기본적인 구조가 결정되어지는데 이것은 최종 제품의 품질뿐만 아니라 이후 공정의 조업성에도 대단히 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 습부에서의 공정관리가 부적절하게 실시될 경우 보류도 저하로 인한 원료의 유실, 폐수의 수질 저하 및 지절 등에 의한 생산성 저하와 전체적인 품질의 저하 등으로 인해 제지산업의 경쟁력이 크게 저하될 수밖에 없다^{1),2),3)}.

따라서 섬유조성공정에 의해서 야기될 수 있는 여러 가지 변이 즉 표면전하 변화 및 공정수의 전하적 특성 등을 실시간으로 분석평가할 수 있는 방법을 개발하고 실제 공정에 적용가능성을 평가하는 일련의 노력은 매우 의미가 크다고 하겠다.

본 연구에서는 습부의 Z-potential 및 charge demand를 실시간으로 측정하는 새로운 설비인 OMI를 활용하여, 습부에서의 변이를 즉각적으로 파악하고 공정에 이들이 미치는 영향을 체계적으로 연구하는 등 공정의 안정성과 효율적인 공정관리를 추구함으로써 궁극적으로 제지 공정의 생산성을 향상시키는 효과를 얻고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. On-Line Wet-end Control System (1차시작품)

Fig. 1에서 보는 것처럼 On-Line Wet-end Control System(OMI)는 현장의 공정 라인에 직접 연결하여 습부를 분석하여 제지생산의 효율을 높이기 위한 장비이다. 이 기기는 마이크로 컴퓨터가 내장된 전자동 기기로 따로 사용자의 수고를 필요로 하지 않고 프로그램 변경을 통하여 별도의 하드웨어적 변경 없이 사용자의 요구에 부응할 수 있는 유동성을 갖는다. 모니터를 통하여 기기의 동작상황을 한눈에 파악할 수 있다.

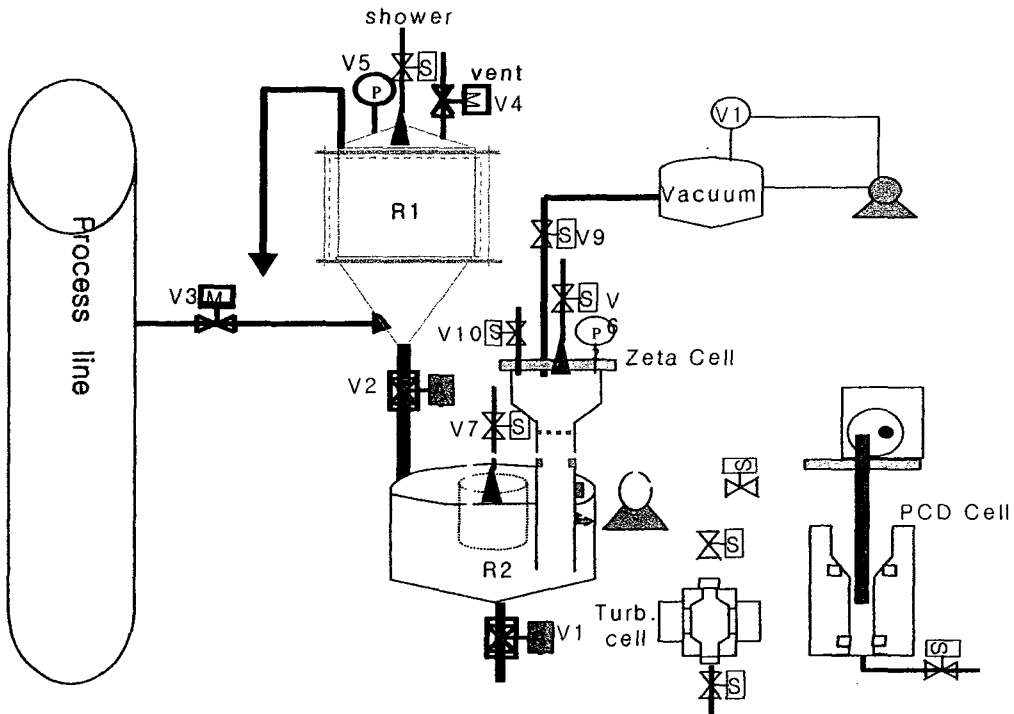


Fig. 1. Schematic diagram of On-Line Wet-end Control System.

온라인 장비를 사용하여 습부를 분석함에 있어 연속된 지료채취는 매우 중요하다⁴⁾. 하지만 현장에서의 연속적인 지료채취는 많은 어려움이 있는데 이 기기는 압력변화가 큰 공정에 있어 지료채취 시의 여러 가지 문제점들을 개선하기 위해 지료를 Loop형

태로 통과시켜, 압력에 영향을 받지 않도록 하고, 필요시 입력 밸브를 차단하고 지료 채취를 하도록 하였다. 한번의 지료 채취로 Z-전위, 양이온성 고분자 요구량 그리고 탁도를 측정하도록 구성하였다. 그리고 지료 채취시 오염 방지를 위하여 매회 측정 전후로 자동으로 세척하도록 구성하였다.

채취된 지료를 제타 전위 측정용 챔버로 보내어 진공 장치를 이용하여 스크린 전극과 링 전극으로 구성된 측정 부위로 압력 변화를 주면서 흐름 전위를 발생시켜 섬유질들의 제타 전위를 측정하고 여과된 물질들을 입자전하 측정을 위하여 입자전하용 샘플관으로 보내어 일정량을 취하고 입자전하 측정 셀로 보내어 흐름전위를 발생시켜 Anion Trash 들의 전하를 측정할 수 있도록 하였다.

입자 전하측정을 위하여 셀을 테프론 재질로 가공하였고 흐름전위 발생을 최대화하기 위하여 전극 간 간격을 최소화 하였다. 미세 전류의 감지를 위하여 전극과 프리 앰프 회로를 최단거리로 제작하였다.

제타전위측정용 스크린 전극은 300 μm 를 사용하였다. 그리고 진공장치로 압력 차를 발생하여 샘플이 상하로 움직이면서 스크린 전극과 링 전극에 흐름전위가 발생되고 이때 전기 전도율을 측정할 수 있도록 제작하였다.

2.1.1. On-Line Wet-end Control System (1차시작품)의 평가 및 분석

1차 시작품의 평가를 위해 활엽수 크라프트 펄프를 고해하여 여수도 400 mL CSF로 조정하고, 탄산칼슘 슬러리 20%를 배합한 후 Poly-DADMAC과 고분자량의 보류향상용 Cationic PAM을 각각 투입하였을 때의 제타전위 와 양이온성 고분자 전해질 요구량을 측정하였다⁵⁾. 기존의 PCD와 SZP를 활용하여 지료의 제타전위 및 양이온성 고분자 전해질 요구량을 측정하여 OMI의 측정치와 비교하였다. 온라인 상의 데이터는 실험실 내에서 공정 라인을 대신해 탱크에서 직접 지료 채취하도록 하였다. 탁도는 80 mesh로 자연탈수시켜 채취한 OMI 백수와 200 mmHg의 감압탈수로부터 얻어진 RDA (Retention / Drainage / Analyzer) 백수를 측정하여 비교하였다. Fig. 2는 RDA를 활용한 시편제조 및 백수 채취과정을 나타낸 그림이다⁶⁾.

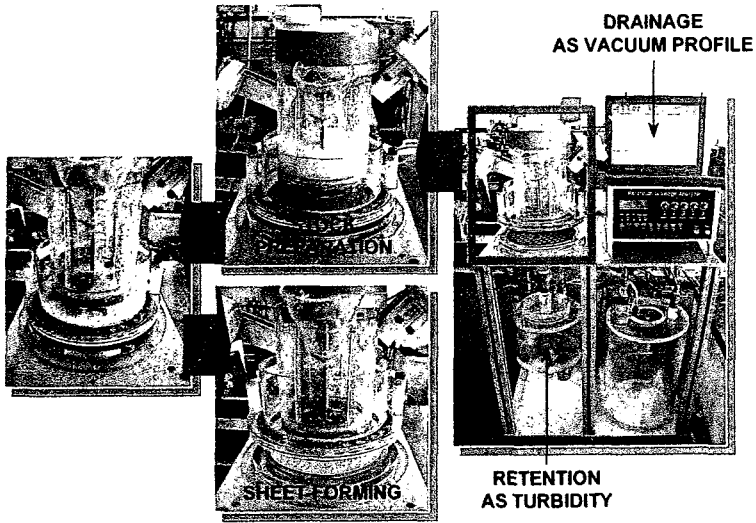


Fig. 2. Paper sheet molding procedure of RDA.

2.2. On-Line Drainage Analyzing Module for OMI (2차시작품)

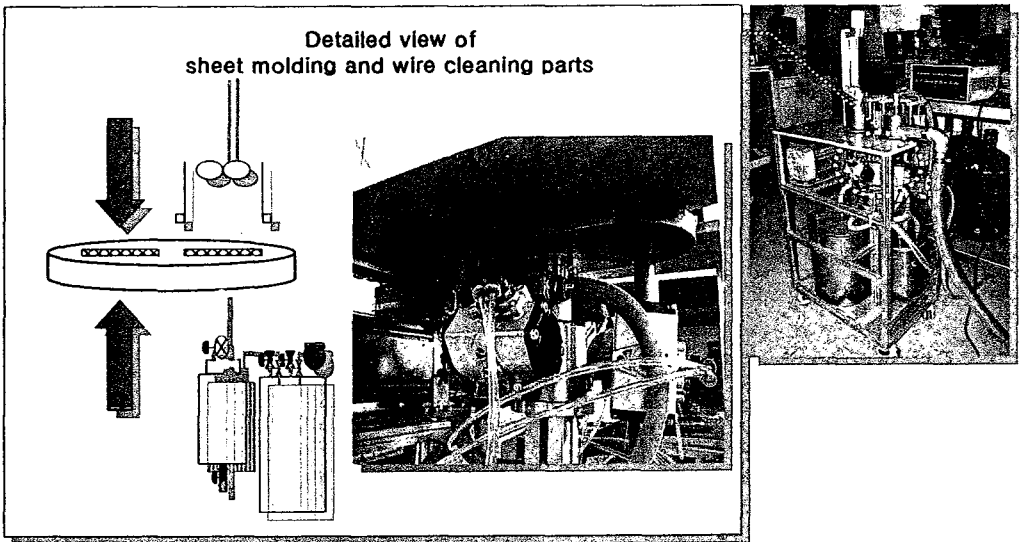


Fig. 3. On-Line Drainage Analyzing Module.

Fig. 3에는 OMI의 탈수성 측정 및 백수 채취용 모듈을 나타내었다. 모듈은 크게 3부분으로 구성되었는데 도입된 지료를 교반하는 교반기와 지층 형성 및 세척부, 제어기가 그것들이다. 모듈은 지료가 도입된 후 Fig. 3에 나타난 바와 같이 한 쪽에서 교반, 진공 탈수가 이루어지는 동안 다른 쪽에서는 세척이 이루어지도록 고안되었다. 진공 탈수를 위한 진공저장 탱크와 탈수된 여과액을 저장하는 백수 탱크는 지층 형성부 아래에 설치되었으며 그 모양은 RDA와 유사하다.

RDA와 다른 점이 있다면 종이가 성형되는 와이어부가 2개로서 한쪽이 초지에 활용되는 동안 다른 한 쪽은 세척되고 다시 번갈아가며 초지 및 세척이 이루어진다는 것이다. OMI 모듈은 별도의 제어기로 그 교반시간, 강도, 감압정도 및 탈수시간 등을 다양하게 지정할 수 있으며, 이때 감압의 해압 정도를 자동으로 기록하여 실시간 탈수특성 및 백수의 탁도 분석이 가능하도록 제작되었다.

2.2.1. On-Line Drainage Analyzing Module (2차시작품)의 평가 및 분석

On-Line Drainage Analyzing Module(DRA)의 평가 실험을 위해서 신문 지료를 실험실용 밸리 비터로 20분간 고해하여 탈수를 측정하였다. 동일한 초지조건으로 DRA모듈을 활용하여 300 mmHg로 20초 동안 감압 탈수하여 탈수특성 곡선을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1. On-Line Wet-end Control System (1차시작품)

고분자량, 저전하밀도의 PAM의 첨가수준 증가에 따른 Z-전위 측정치를 나타낸 Fig. 4를 보면 OMI와 기존의 SZP의 측정치가 유사함을 확인할 수 있다. 400 mL CSF로 고해된 지료의 Z-전위는 -20 mV 부근이었으나 CaCO_3 첨가에 따라 다소 저하되었다가 고분자량, 저전하밀도의 PAM 첨가로 중화되는 양상을 보였다.

양이온성 고분자 전해질 요구량을 나타낸 Fig. 5에서는 CaCO_3 및 고분자량, 저전하밀도의 PAM 첨가에 따른 현저한 변화를 관찰할 수 있었는데 고분자량, 저전하밀도의 PAM을 첨가하더라도 CaCO_3 가 20% 배합된 지료의 양이온성 고분자 요구량 충족시킬 수 없음을 확인하였다. 이 경우 역시 OMI의 측정치가 기존의 PCD로부터 얻은 측정치

가 유사하여 새로 개발된 OMI가 정상적으로 작동함을 확인할 수 있었다.

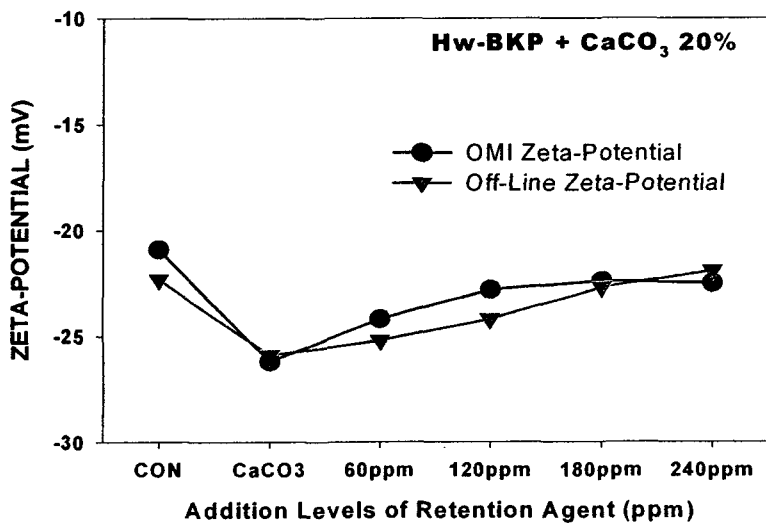


Fig. 4. Z-Potential vs. addition of high MW PAM as a retention agent.

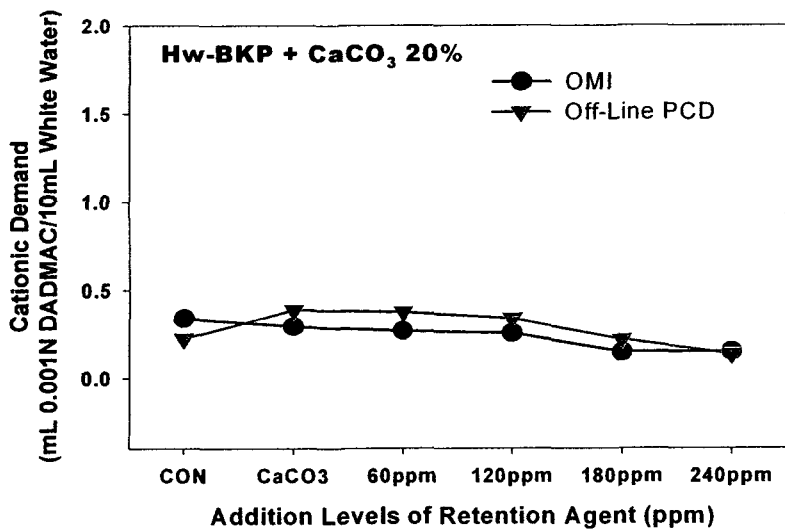


Fig. 5. Cationic demand vs. addition of high MW PAM as a retention agent.

Fig. 6은 OMI와 RDA로부터 각각 채취한 여과 백수의 탁도를 비교한 그래프이다. 그래프의 왼쪽의 축은 청수의 투광율을 100%로 기준하여 부유물 함량에 따라 그 값이 저하되는 정도를 %로 도시한 OMI의 여과 백수 탁도이다. 80 mesh의 채로 걸러진 OMI백수의 탁도를 지료에 CaCO₃ 충전제가 배합됨에 따라 급격히 혼탁해졌다가 Poly-DADMAC 첨가수준이 증가되면서 개선되는 양상을 나타내었다. RDA의 경우 역시 Fixing Agent로 작용하는 Poly-DADMAC의 영향으로 감압 탈수되는 백수의 탁도가 개선됨을 볼 수 있다. 이 경우 역시 OMI가 정상적으로 작동함을 확인할 수 있었다.

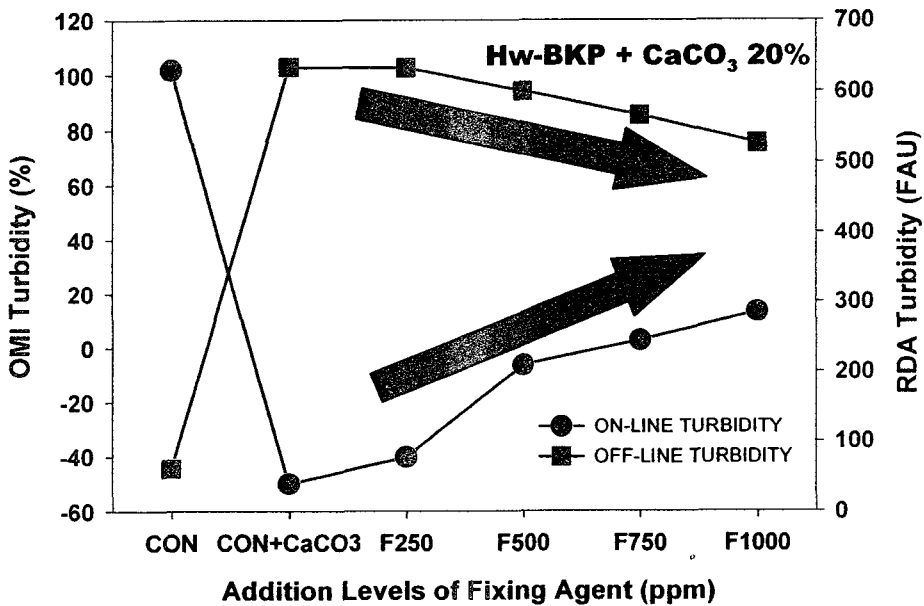


Fig. 6. Turbidity vs. addition of Poly-DADMAC as a fixing agent.

3.2. On-Line Drainage Analyzing Module (2차시작품)

동일한 초지조건에서 지료의 농도를 달리하여 반복 실험하여 얻은 측정치를 Fig. 7에서 보여주고 있다. 여기에서 탈수특성 곡선을 비교하면 그 오차가 매우 적음을 알 수 있다.

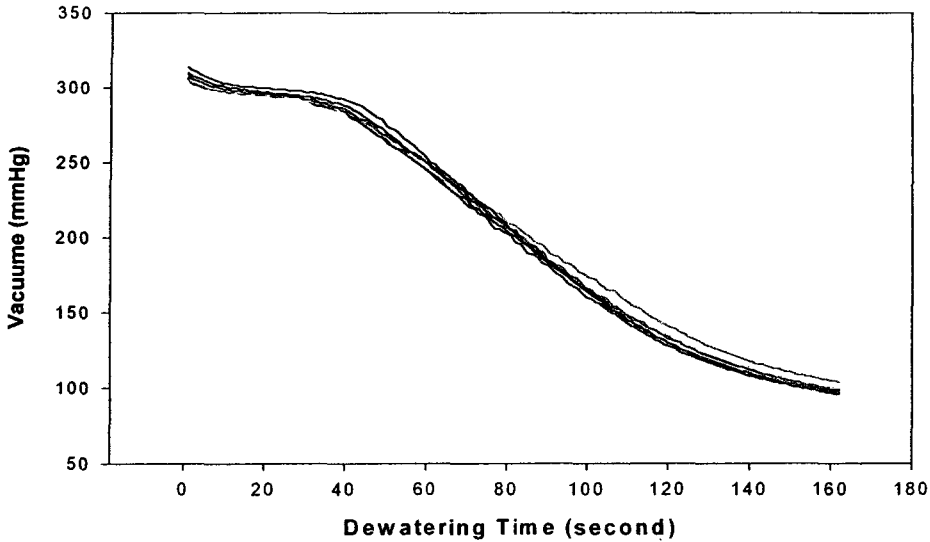


Fig. 7. De-watering curves of ONP stock(300 g/m²) at the molding consistency of 0.5%.

3.3. 2차 시작품을 적용한 현장 데이터 수집 및 평가 (D제지)

본 연구는 신문용지를 생산하는 D제지에서 OMI를 설치하고 실시간으로 습부 분석을 실시하여 신문용지 생산 공정의 안정성을 저해하는 요인이 무엇인지 파악하고자 하였다. D제지는 동일한 평량의 동일지종인 신문지만을 생산하고 있는데 어떠한 연유에서인지 일과보류도가 갑작스럽게 변화하여 생산 공정의 난조를 유발하는 문제가 제기되어 왔다. 물론 고지를 원료로 사용하는 재활용 공정이기엔 원료의 변이로부터 기인하는 생산 공정의 난조를 예상할 수 있으나, 난조의 주기가 주원료 변화로부터 기인한다고 판단하기에는 너무 잦은 특징이 있었기에 본 연구팀은 보류도에 영향을 미치는 양이온성 고분자 전해질 요구량을 탐색하여 생산 공정의 안정성을 해치는 원인을 찾고자 하였다.

본 연구에서 주목한 문제 지점은 Loop 2에서 Approach로 연결되는 결절의 탈수 설비인 디스크 필터였다. 신문 공정의 백수체계는 크게 3부분으로 구분할 수 있는데 펄퍼에서 고농도 프레스에 이르는 Loop 1과 디스퍼져에서 저농도 탈수기인 디스크필터에

이르는 Loop 2 및 표백타워에서 초지기를 포함하는 Approach가 그것들이다. 각 구분의 Loop들은 백수를 자체 순환시키면서 일정수준 폐쇄화된 상태로 운전되는데 본 연구팀이 주목한 Loop 2와 Approach 간을 상세히 살펴보면 Fig. 8과 같다.

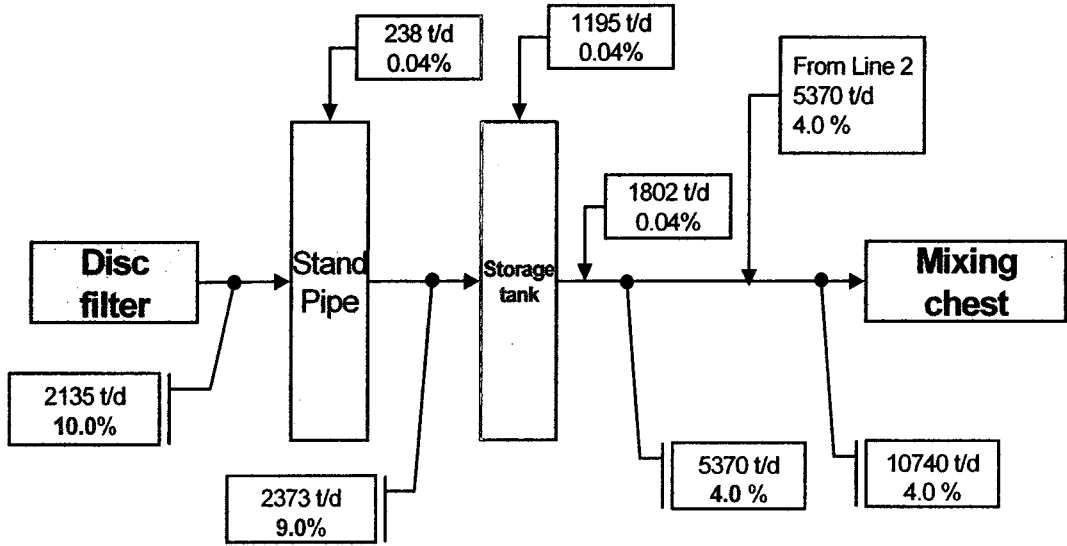


Fig. 8. From Loop 2 to Approach.

Fig. 9에 나타난 바와 같이 Loop 간에는 COD값의 차이가 현저하게 나타나는데 D제지의 경우 최종 제품 톤당 15톤 정도의 청수(하천수)를 소비하는 조건에서 각 Loop의 COD값이 4300, 2400 및 1100으로 Approach에 가까울수록 COD가 저하되는 양상을 보였다. 이것은 청수의 유입이 주로 초지기의 세척수나 화학약품 희석수로 유입됨에 따라 Approach가 가장 청정하고 Loop를 내려갈수록 오염이 축적되는 양상이라 하겠다.

이때 주의할 부분은 실제로 종이 성형되는 Approach의 오염정도가 습부의 보류도 및 탈수특성을 좌우한다는 점이다. 즉, 오염이 심한 Loop 2의 백수가 Approach로 많이 유입될수록 상대적으로 anionic trash도 많이 유입되는 만큼 습부에서의 보류 및 탈수특성이 변화할 수 있다고 판단되었다. 물론 보류향상제 자체의 불균일한 물성 및 투입처리에서도 생산 공정의 난조가 유발될 수 있다.

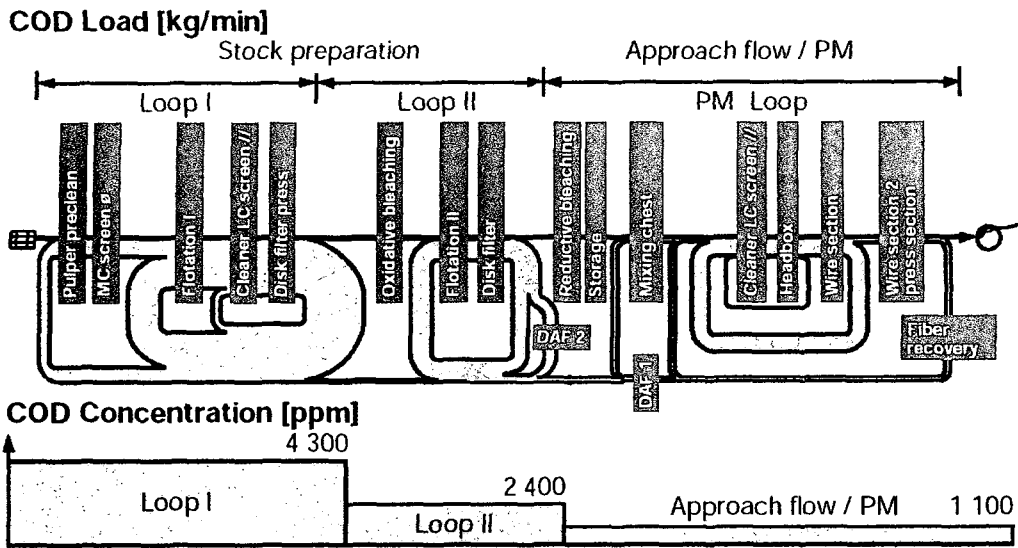


Fig. 9. COD Concentration of Process Water Loops.

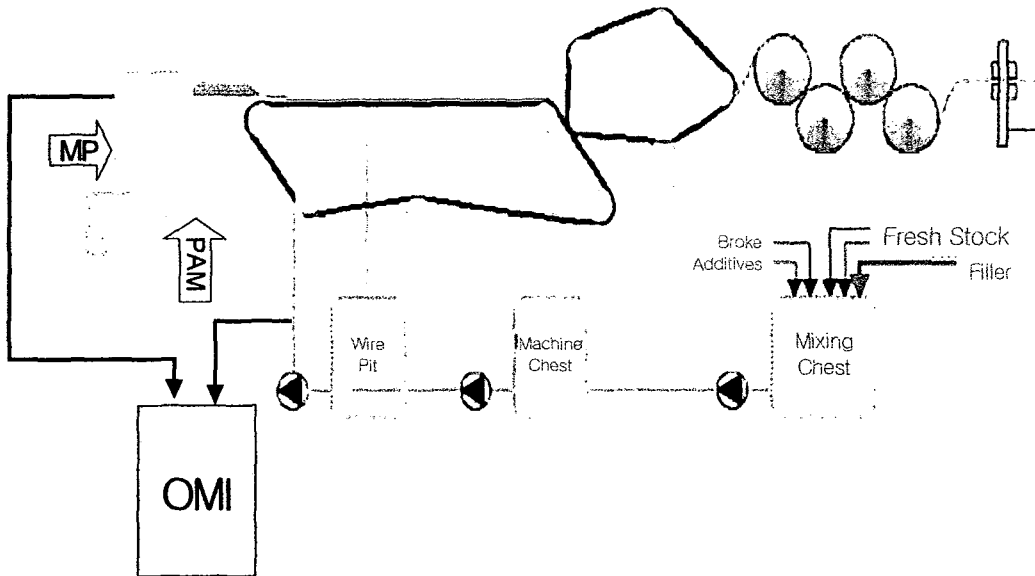


Fig. 10. Application of OMI on D mill.

이에 본 연구에서는 Fig. 10에 나타난 바와 같이 보류향상제 투입 전후의 교호로 채

취하여 Z-전위 및 양이온성 고분자전해질 요구량을 분석하는 시도로 공정난조의 원인을 찾으려 하였으며 이와 함께 헤드박스, 사일로, DIP 및 PDF농도를 측정하여 참고 자료로 삼았다.

Fig. 11과 12는 각각 1차 현장 적용과 2차 현장 적용시의 동일 시간대 공정특성을 도시한 그래프로써 이를 통해 생산 공정의 난조에 대한 다음과 같은 분석이 가능하다. 1차 현장적용의 경우 Loop 2의 최종 탈수단계인 PDF출구 농도가 6.54%로써 2차 현장 적용시의 4.81%보다 높았다.

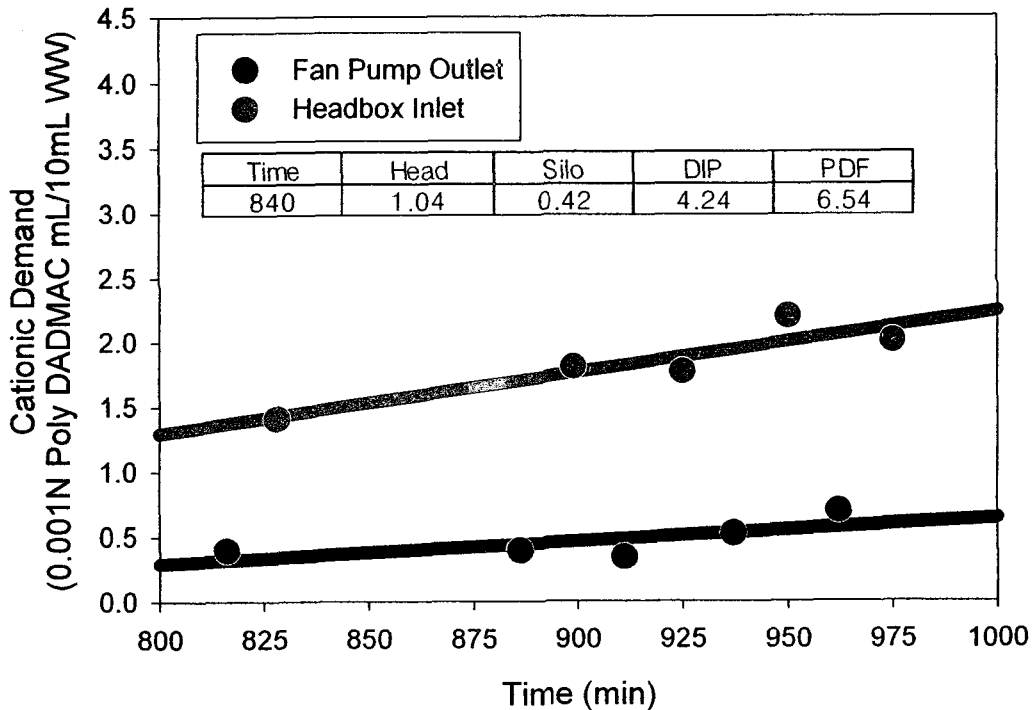


Fig. 11. Cationic Demand of Two Stocks before and after the addition of Retention Aids.

즉, 2nd Loop로부터 carry over되는 백수의 양은 지료의 농도가 6.54%일 때 3051.0 t/d이지만 만일 4.81%로 탈수된 지료가 유입된다면 4225.2 t/d의 백수가 유입되는 결과

를 초래한다. 즉, 1174.2 t/d, 38.5% 가량의 백수가 추가적으로 유입되는 셈인데 COD가 2배 이상 높은 2nd Loop의 백수가 추가적으로 유입되는 만큼 Fixing agent요구량이 증가하고 충분한 Fixing agent가 첨가되지 못할 때는 그래프에 나타난 바와 같이 Cationic Demand가 높아지며 보류항상제의 효율이 저하되고 헤드박스, silo 백수의 농도가 높아지면서 short circulation되는 미세분(회분)의 양이 증가되는 일련의 반응이 연쇄적으로 일어난다.

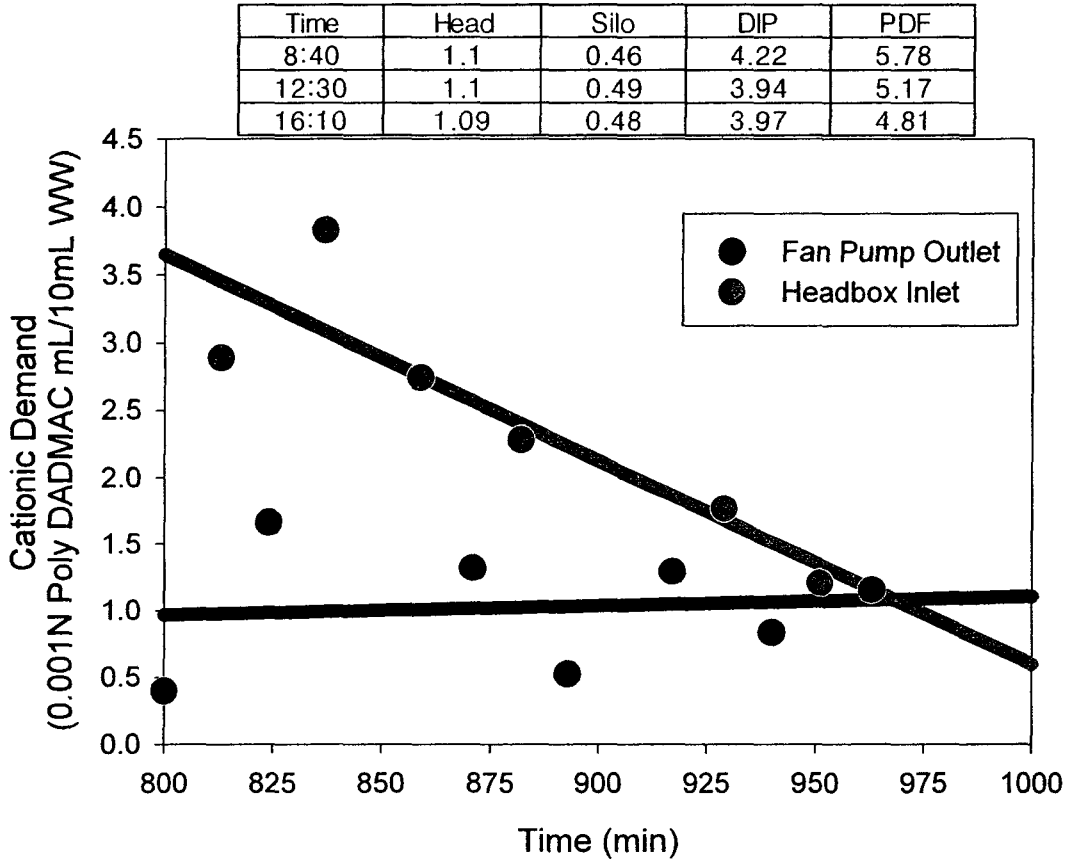
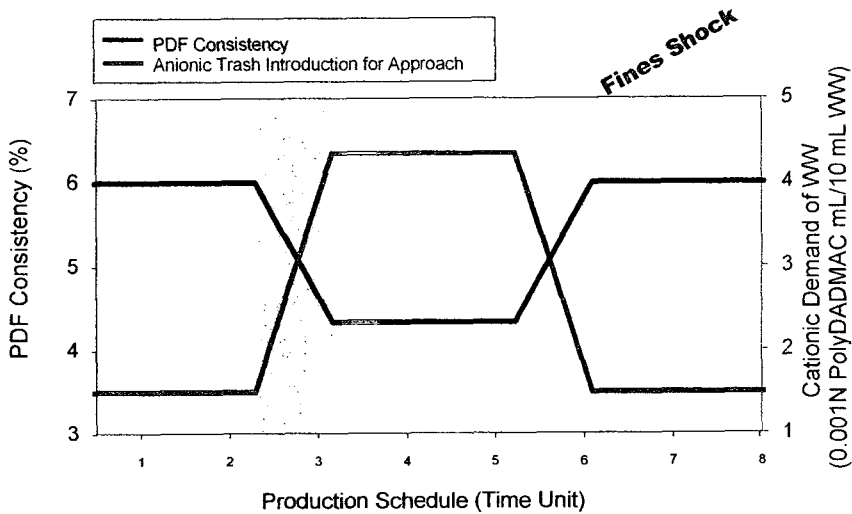


Fig. 12. Cationic Demand of Two Stocks before and after the addition of Retention Aids.

다시 말해서 Fig. 13에 나타난 바와 같이 2nd Loop의 최종 탈수 농도가 저하될 때에는 조성공정 백수가 추가로 Approach에 유입됨에 따라 Anionic Trash가 증가하는 만큼

보류향상제의 효율이 저하되는 이유로 백수 내의 미세분 특히 회분의 축적이 이루어진다. 단, 이 시기에 생산효율이나 품질(습지필 강도 등)면에서 뚜렷한 변화를 보이진 않으며 다만 불투명도만이 다소 저하되는 양상을 보이지만 이후 2nd Loop의 최종 탈수 농도가 다시 원래의 수준으로 회복되게 되면, 보류도가 개선됨에 따라 습지필에 포함된 미세분(회분) 함량이 급작스럽게 증가하면서 탈수가 저해되고 지필의 투기도가 저하되면서 프레스의 압착탈수 처리 시 크러싱이 유발되는 등 지질의 위험이 증폭된다. 상기한 이유로 유발되는 생산 공정의 난조는 생산효율의 저하를 초래하며 무엇보다 원가상승을 유도하는 문제점을 가지고 있다. 본 연구팀은 OMI를 활용한 현장분석으로부터 이와 같이 신문용지 생산 공정의 문제점을 분석하는 효용을 거둘 수 있었다.



Sudden Accumulation of Fines in W/W
 Sudden Decrease of Fines Retention
 Undistinguishable Change of Wet Web Permeability. Strength Index according to the Grammage Decrease

Sudden Increase of Fines Contents (Ash) in Web
 Sudden Decrease of Wet Web Air Permeability
 Weak Strength Properties
 Increased Probability of **Wet Web Break**

Fig. 13. Sudden Variation of Fines Content in H/B According to the consistency of PDF and Retention.

4. 결 론

OMI를 활용한 신문고지 재활용 공정에 대한 분석을 통해 OMI의 효능을 확인하였으며 OMI의 최적화를 위한 기초 데이터 및 현장 경험을 축적하게 되었다. OMI로 실시간적으로 공정라인을 분석하여 습부에서의 상태와 문제점들을 파악하고 이를 통해 문제점들을 제거하거나 제어할 수 있다는 가능성을 확인하였다. 추후 실제 초지공정의 자동화 설비와 연계된 OMI의 활용을 통해 제지공정의 습부 최적화를 도모함은 물론 보다 효율적인 생산 공정 관리가 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 실험은 청정 생산 기술개발 사업인 “wet-end 자동화 시스템 개발” 사업의 일환으로 시행되었습니다. 실험을 위해서 협조해 주신 (주)삼보과학과 (주)GIST의 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Gill, R., Paper(London) 207(6):18 (1987).
2. Celmer, J., TAPPI Papermakers conf.(Denver) Proc. TAPPI Press, (1985).
3. Penniman, J. G., Paper Trade J. 164(2):48 (1980).
4. Penniman, J. G., TAPPI Papermakers conf.(Chicago) Proc.TAPPI Press,(1988).
5. Farley, C. E., TAPPI Papermakers conf.(Atlanta) Proc. TAPPI Press,(1987).
6. Woo, I. K., Application of the Novel Test Machine, Retention Drainage Analyzer(RDA), for Wet-End Analysis of Papermaking Process, Department of Forest Products Graduate School, Chungbuk National University (2003).