

전산모사기법과 WRDF를 활용한 ONP 재활용 공정의 용수 및 오염부하 절감 방안에 관한 연구

이영애[†] · 류정용 · 성용주 · 김용환 · 송재광 · 송봉근 · 서영범^{*1}
(2004년 1월 17일 접수: 2004년 4월 15일 채택)

Methods for the Reduction of Consumption and Contamination of Water in a Newsprint Mill by Using Simulation Model and WRDF

Young-Ae Lee,[†] Jeong-Yong Ryu, Yong-Joo Sung, Yong-Whan Kim,
Jae-Kwang Song, Bong-Keun Song, and Yung-Bum Seo^{*1}

(Received on January 17, 2004; Accepted on April 15, 2004)

ABSTRACT

The methods for the minimization of fresh water consumption, waste water generation and water contamination have been greatly investigated and developed for last ten years. Recently, the rising cost of waste water treatment and the more strict environmental regulation lead to the higher demand of more efficient and systematic methods for process water management. The water reuse technology, which not only reduce the process water needs but also minimize waste water generation within the process, could be one of most efficient way for current demand.

In this study, the practical way for reduction of water pollution and optimal reuse or recycle of process water in a newsprint mill was investigated by using a simulation model. The result of computer simulation showed that the COD level of approach system could be reduced by 50% after the stock concentration at the 2nd disc filter was increased upto 30%. The application of WRDF(Wrinkled Rotary Drum Filter) to the newsprint mill was carried out with pilot scale. The process water treated by WRDF had enough cleanliness to substitute the forming fabric shower water with the PDF water, which could result in the 30% reduction in fresh water consumption.

Keywords : water reuse, WRDF, computer simulation, newsprint mill

• 한국화학연구원 펄프제지연구센터(Pulp and Paper Research Center (PPRC), Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT), P.O. Box 107, Yusung, DaeJeon, 305-606, Korea)

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

† 주저자(Corresponding author): qkddnf80@hotmail.com

1. 서론

대부분의 산업에서 용수의 관리는 그 사용량을 최소화하기 위해 최적의 효율적인 사용방법을 모색하는 노력을 바탕으로 이루어지고 있다. 특히 용수 다소비 산업인 제지산업에서는 환경문제와 용수 가격 인상 등으로 인한 청수 사용량 절감에 대한 필요성이 대두되면서 의해 용수의 재이용을 통한 공정수 사용량의 절감을 위한 노력이 경주되고 있다. 환경에 대한 문제가 심화되고 있으며 용수의 가격 또한 상승하고 있는 실정에서 공정 내 사용되는 물의 재이용은 용수 사용량과 폐수 배출량을 최소화시킬 수 있는 가장 효과적인 방법이라 할 수 있다.^{1),2)}

1%의 원료와 99%의 물이 혼합되어 생산 공정을 이룰 만큼 용수 사용량이 많기 때문에 제지공정 중에 사용했던 물을 제지공장 밖으로 배출하지 않고 처리한 후 재이용하는 폐쇄화 시스템에 대한 많은 연구와 그 성과들을 바탕으로 한 실제 적용사례 등이 보고 되어 왔다. 이런 폐쇄화 시스템은 용수 에너지 절감, 폐수 처리비용 절감, 슬러지 발생 감소, 환경 오염감소 등의 장점이 있는 반면에, 스케일을 발생하고 초치설비를 마모시키며 오염물질로 인해 첨가 약품의 효과가 저하되는 단점도 포함하고 있다. 또한 부유물질의 축적으로 와이어와 펠트가 오염되어 제품에 이물질이 증가되는 문제점도 보고되고 있다.³⁻⁵⁾ 따라서 이러한 공정 폐쇄화에 따른 문제점 등을 최소화 하면서 용수의 양과 이용 효율을 극대화 하기 위한 새로운 용수 절감 방법들이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 제지산업에서 용수절감을 목표로 먼저 신문용지 생산 공장의 공정현황 즉, 각 공정단계에서의 COD level과 유량 특히 용수의 특성 등을 파악하였다. 이를 바탕으로 전산모사 프로그램, Aspen water를 적용하여 최적의 용수 재활용 방법을 모색해 보았다. 공정수의 품질을 그대로 유지한 채 다시 사용하는 재이용(reuse)만으로는 많은 시행착오를 거쳐 이미 어느정도 최적화 되어 있는 고지 재활용 공정의 청수 사용량 절감을 이루기 어렵다. 따라서 공정수의 재이용을 제한하는 오염 요소를 선택적으로 처리하여 다시 사용하는 재활용(recycling) 방안을 강구하여야 한다. 신문지 재활

용 공정의 공정수는 부유물질과 용존물질에 의해 오염되는데, 이중 부유물질(suspended solid)은 용존물질에 비하여 상대적으로 용이하게 분리, 제거될 수 있다. 본 연구에서는 공정수 내의 부유물질을 마이크로 필터를 활용하여 거르고 이렇게 처리된 공정수로 청수를 대체하는 공정수 재활용 방안을 탐색하였다. 공정수 재이용에 소요되는 일차 처리 설비로서 WRDF(Wrinkled Rotary Drum Filter)의 적용 가능성을 파일럿 스케일의 현장 시험을 통해 확인하였으며, WRDF 적용에 의한 실제 신문지 재활용 공정에서의 용수 절감 방안 등을 평가해 보고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구의 적용대상 기업은 신문용지를 제조하는 A사로 사용된 컴퓨터 프로그램은 Aspen Tech社의 Aspen Water version 10.2를 사용하였다. 먼저 전체 공정에 대한 flowsheet를 작성하여 각 공정별로 수질, 유량 및 각각의 데이터를 통해 전체적인 mass balance를 구축하였다.

Fig. 1은 A사의 전체 공정을 전산모사를 위한 flowsheet로 축약, 설정한 것이다. 이런 flowsheet를 통해 물질의 흐름, 용수의 유동량 그리고 COD의 변화를 파악하였다. 각종 운전 flowsheet는 현지의 공정에서 채취된 샘플의 분석 결과와 A사가 보유하고 있는 데이터를 토대로 구성되었는데, 크롬법으로 측정된 COD 농도가 각 Loop 별로 4300(Loop 1), 2400(Loop 2), 1100(Approach)이었다. 이를 활용하여 각 공정의 조건이 변화될 때의 공정 변화를 예측할 수 있게 되었다.

2.1 전산모사

대상기업인 A사의 경우 2차 disc filter를 통과한 지료가 10%의 낮은 농도로 다음 공정으로 이동하는 것을 확인하였다. 즉 Loop 1, 2 등에서 발생한 오염물질의 많은 부분이 approach line으로 유입되고 있었다. 이러한 approach line으로 유입되는 오염물질은 초지 공정에서 약품의 효능을 떨어뜨리고, 제품의 2차 오염을 유발하는 등 문제를 일으킬 수 있기 때문에 그 오염을 감소시키는 한 방안으로 2차 disc filter에서 더 많은 양의 물을 탈수시켜

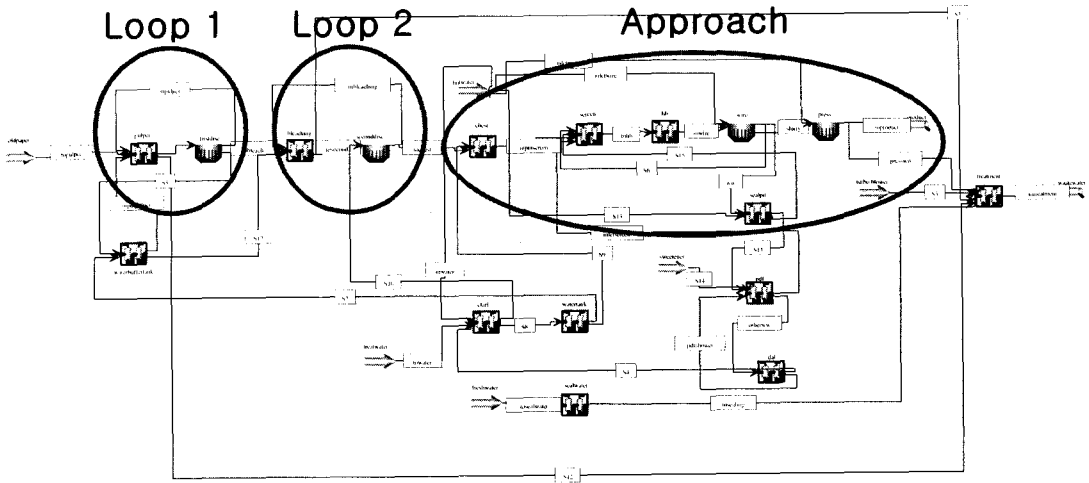


Fig. 1. Flowsheet of a newsprint mill.

approach로의 유입수를 감소시키고자 하였다. 그러한 경우에 공정 내에 발생하는 영향을 전산모사를 통해 살펴보았는데, 특히 결정 부위인 2차 disc filter 탈수지료의 농도를 30%로 증가시킬 때의 공정수의 COD 변화를 분석하였다. 또한, 2차 disc filter의 농도를 높인 다음, approach의 PDF에서 overflow되는 물을 WRDF를 활용하여 1차적으로 부유물질을 제거하고 forming fabric 샤워수로 재 활용하는 내부 재순환 방안을 설정하고 전산모사를 통해 상기한 설정 하에서의 공정수 COD 변화를 살펴보았다. 이때 부유물질의 제거를 위해 활용되는 마이크로 필터링 처리의 적용 가능성은 현장 파일럿 실험을 통해 확인하였다.

2.2 WRDF를 활용한 현장실험

신문지 재활용 공정의 주된 청수 사용처로는 각종 첨가제의 희석수와 펌프 및 교반기의 실링수 그리고 펄트 및 와이어의 세척수 등을 들 수 있다. 상기한 청수 사용처 중에서 청수를 재이용 혹은 재활용수로 대체한다고 가정할 때 가장 적합한 곳 중의 하나로 와이어 샤워수를 꼽을 수 있다. 초지부의 백수를 사용하여 와이어 샤워수를 대체 하고자 할 때 고려해야 하는 공정수 오염원은 부유물질로서 그 함량에 따라 세척 노즐의 구경이 제한받는다는 보고가 있었다.⁵⁾ 본 연구에서는 공정 백수의 부유물질 함량을 50 ppm 미만으로 조절시켜 와이어 샤

워수를 대체하는 안을 세우고 부유물질 함량이 약 200-300 ppm인 초지부 PDF의 Clear 수를 대상으로 부유물질을 절감시킬 수 있는 방안이 있는지 탐색하였다. 신문용지를 생산하는 A사는 여러 차례에 걸친 rebuilding으로 작업장이 협소해진 상태로 서 제한된 공간에 설치가 가능하고 운전 및 보수비용이 저렴한 처리 설비를 선택하여야 하였다. 본 연구에서는 다양한 부유물질 처리안을 검토한 결과 WRDF가 적합하다는 결론을 내리고 실제 적용 가능성을 확인하는 단계로서 Pilot WRDF를 임차하여 현장에 적용하는 검증 실험을 실시하였다. A사의 사정상 WRDF의 유입 유량을 50 L/min로 제한한 조건으로 여과 실험을 수행하였으며 부유물질의 응집을 촉진시키기 위한 PAM계 고분자 응집제 (BASF社, Polymin PRM)의 투입량을 120, 240 ppm으로 달리하여 제거 효율의 변화를 관찰하였다. 이때 측정항목은 유량, 부유물질 함량, 탁도 (NTU)이었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전산모사 결과

실제 신문용지 공정에서의 공정수 COD 변화를 정확히 평가하기 위해 각 공정 단계별로 현장 지료를 채취하여 COD를 측정하였다. Fig. 2는 이때의

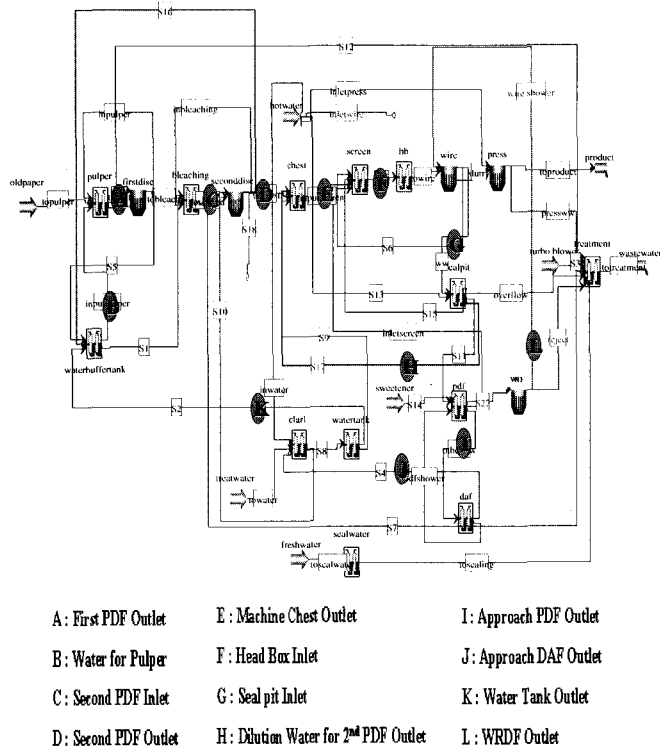


Fig. 2. COD check points in ONP recycling mill.

COD 측정 위치를 나타낸 공정 모식도 이다. Fig. 3은 A사의 신문지 공정을 전산모사를 통해 2nd Loop와 Approach간의 결절 부위인 2nd disc filter의 농도를 30%로 증가시키기 전 후의 COD 변화와,

이 상태에서 청수를 사용하고 있는 와이어 샤워수를 WRDF 처리수로 대체하였을 때의 공정수 COD 변화를 보여주고 있다. 그 결과 먼저 Loop 1과 2의 COD가 다소 증가하였지만, 헤드박스 COD가 771

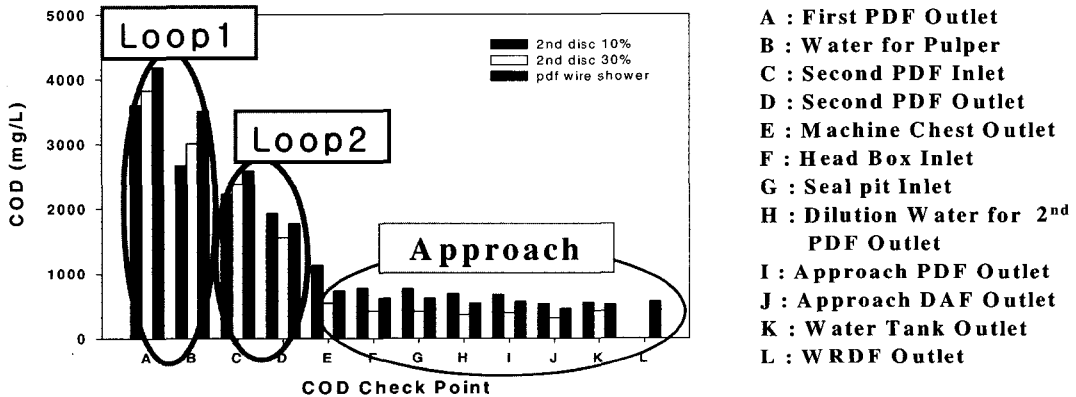


Fig. 3. COD change of process water according to the concentration of 2nd disc filter and the introduction of microfiltered PDF clear water as a forming fabric shower.

Table 1. Treatment condition of WRDF and characteristics of filtered water from PDF water

Newspaper machine PDF water	SS (ppm)	Turbidity (NTU)		Flow rate (L/min)	Drum RPM
		Before Polymer-Adding	After Polymer-Adding		
blank	inlet	232	496	50	0.65
	clear	216	561	41.97	
	reject	238	722	10.97	
PAM 120 ppm	inlet	357	400	50	0.65
	clear	43	108	31.92	
	reject	505	682	21.37	
PAM 200 ppm	inlet	234	215	16	
	clear	34	52	27	
	reject	272	252	23	

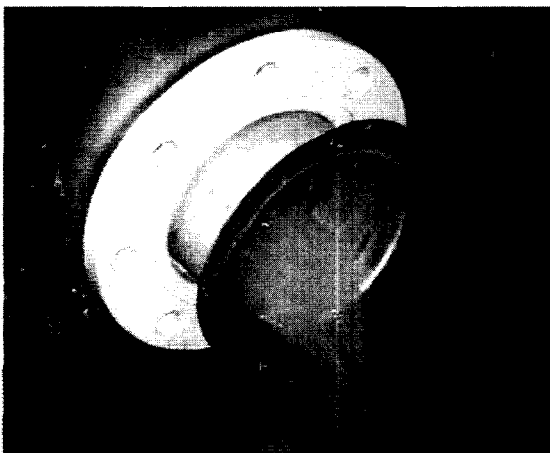
에서 471 ppm으로 약 45% 저하되는 것을 확인하였다. 그리고 와이어 샤워수로서 WRDF로 처리된 물을 재이용함으로써 청수의 사용량을 줄였음에도 불구하고 헤드박스 지료의 COD가 771에서 616 ppm으로 기존보다 약 20% 감소하는 것을 확인하였다.

3.2 WRDF를 활용한 부유물질 제거 결과

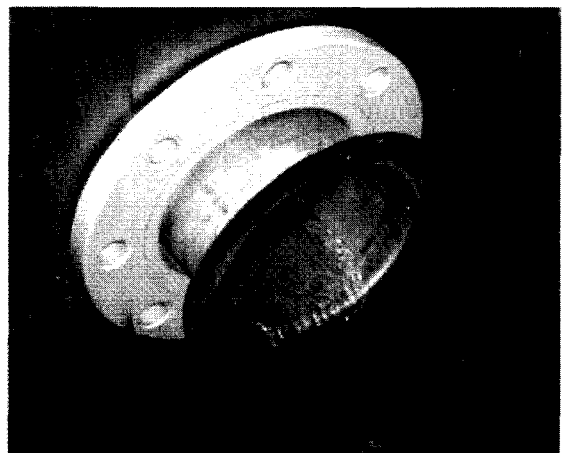
현장 실험결과 고분자 응집제의 첨가없이 WRDF 필터링을 실시하였을 때 SS가 제거되지 않았으나, 응집제의 첨가 수준을 높일수록 WRDF clear

water의 SS가 50 ppm 이하로 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 응집제를 첨가하여 여과 한 다음에 바로 탁도를 측정된 경우와 약간의 시간을 두어 침지를 시킨 다음에 탁도를 측정하였는데, 침지 시킨 후가 훨씬 낮은 수치를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 비록 마이크로 필터를 통과한 부유물이라 할지라도 침전이 가능한 성질을 지니고 있기 때문에 그 입자가 WRDF의 운전조건을 최적화시킬 때 충분히 제거할 수 있는 것들임을 의미한다.

Fig. 4는 고분자 응집제를 첨가하기 전후 WRDF



a) before polymer addition



b) after polymer addition

Fig. 4. Comparison of WRDF filtered water before and after the addition of polymer coagulant.

에 의해서 처리되어 나오는 clear water의 모습을 보여주고 있다. 육안으로도 고분자 응집제를 첨가하여 처리한 물이 더 맑음을 확인할 수 있었다.

4. 결론

전산모사를 통하여 approach로 넘어가는 결절 부위의 지료 농도를 증가시킴에 따라 COD가 높은 loop 2의 공정수가 많이 유입되는 것을 막아 줌으로써 헤드박스 지료의 COD를 기존보다 약 45%이상 절감시킬 수 있음을 확인하였다. 또 PDF에서 탈수된 물을 부유물질만 제거하여 와이어 샤워수로 대체함으로써 기존의 공정조건과 비교하여 약 30% 정도 청수 사용량을 절감시킬 수 있음을 확인하였다. 그리고 이처럼 공정수를 재사용함에도 불구하고 approach에서의 공정수 COD가 기존보다 약 20% 이상 저하됨을 확인하였다.

PDF 처리수의 부유물질을 제거하기 위한 응집제 처리로 WRDF 처리수의 부유물질을 50 ppm 미만으로 관리할 수 있었으며, 이와 같이 샤워노즐을 막는 등의 문제가 될 수 있는 부유물질이 WRDF로 제거됨에 따라, 1차 처리수의 재활용시 그 수질을 보증하는 설비로서 마이크로 필터의 유용함을 확인할 수 있었다.

사 사

본 연구는 청정 생산기술 개발 이전확산 사업인 진단지도 사업의 일환으로 한국생산 기술연구원 국가청정생산지원센터의 지원으로 수행되었습니다.

인용문헌

1. Hallale N., "A new graphical method for water minimization", *Advances in Environmental Research* 141 (2001).
2. James, M. G., Liu, Y. A., "Industrial Water Reuse and Wastewater Minimization", McGraw-Hill (1999).
3. Bruno CARRE, Jean RUIZ, Pascal OTTENIO and Josiane BRUN, "Optimization of deinking circuit water design by modeling", Centre Technique du Papier, France (2002).
4. Michael Schwarz, "Papermaking Science and Technology", vol. 7, p. 223.
5. Hallale N., Fraser D. M., Capital cost targets for mass exchange networks a special case : Water minimizations, *Chemical Engineering Science*, 53(2), 293(1997).
6. Michael Schwarz, "Papermaking Science and Technology", vol. 7.