

폐지 재활용공정 최적화를 통한 공정수 부하 경감 기술보급 (I)

김태훈^{*} · 류정용 · 송봉근 · 김용환
한국화학연구원 펄프제지연구센터

1. 서 론

최근 공업용수의 효율적인 사용과 폐수의 처리방법에 있어서 새로운 기술의 개발 및 적용에 많은 관심이 모아지고 있다. 환경문제가 심화되고 있으며 용수의 가격 또한 상승하고 있는 실정에서 공정 내부 순환을 통한 재활용은 용수와 폐수의 양을 최소화시킬 수 있는 가장 효과적인 방법이다.

제지산업은 그 특성상 1%의 원료(섬유소)와 99%의 물이 혼합되어 생산공정을 이루고 있는 만큼 용수의 재이용 및 그 오염현황에 적절한 대처가 제품생산에 지대한 영향을 미치는 특징을 가지고 있다. 현재 국내에서는 수자원 개발의 한계로 인하여 용수가 점차 부족해지고 있는 실정이며 따라서 공업용수의 단가가 상승하고 있다. 또한 폐수배출기준이 강화되어감에 따라, 용수 사용량 및 폐수 배출량을 절감할 수 있는 방안을 시급히 마련하여야 한다.

본 연구에서는 제지사업에서 폐지 재활용공정 최적화를 통한 공정수의 부하 경감 기술을 보급하기 위해 용수절감을 목표로 판지 생산 공정의 공정현황 및 공정수 오염으로 인한 문제점을 파악하고 공정구성 및 관리기술, 폐수처리기술, 정선효율 모니터링 기술, 품질관리기술 등을 종합적으로 연구하여 이를 기본으로 공정수 재이용의 최적 방안을 설정할 수 있는 전산모사연구(Aspen Water활용)를 수행하였다. 전술한 연구에 근거하여 공정수 재이용에 소요되는 일차 처리 설비의 적용 가능성을 파일럿 스케일의 시험(WRDF)을 통해 검토 후 현장에 적용함으로써 구체적이고 실증적인 자료를 구축하는 방법으로 공정수 재이용의 성공적 수행이 가능토록 하는 공정 운영기술을 보급하고자 하였다.

2. 실험방법

연구의 적용대상은 대구에 위치한 세립제지로서 용수 사용량은 9000 t/d 정도이며 제지생산량은 600 t/d 정도이다. 사용된 컴퓨터 프로그램은 Aspen Tech 사의 Aspen

Water 10.2를 사용하였다. 먼저 전체공정에 대한 flowsheet를 작성하여 각 공정별로 수질, 유량, 및 각각의 데이터를 통해 전체적인 mass balance를 조절하였다

Fig. 1은 전체공정의 간략화 된 모습을 그린 것이다. 이런 간략화 된 공정을 통해서 전체적인 mass의 흐름과 용수의 유동량을 파악하고 각 공정에서 유출되는 폐수의 유동량을 알기 위하여 폐수가 발생하는 process unit들을 구성하였다. 구성된 flowsheet에는 현지의 공정에서 채취된 sample의 분석된 결과를 입력하였으며 각 공정의 조건을 변화시키거나 재이용지점을 찾기 위한 유동의 변화를 관찰하였다.

이것은 실제 공정에서 측정된 분석결과를 이용해 최적의 방안을 도출해내는데 있어서 다양한 결과를 통해 mass integration과 process integration의 효율적인 작성을 이루는데 중요한 요소로 작용하며 재이용되어지는 물로 인한 변화되는 사항을 찾아내고 그에 따른 공정개선의 효과가 어느 정도인지 예측할 수 있게 해준다.

Wire section		
Warm fresh water	55 L/s (14.5 gal/min)	In total, of which:
300 kPa	30 L/s (7.9 gal/min)	Washing and lubrication
3 500 kPa	25 L/s (6.6 gal/min)	High-pressure showers
Post-treated clear filtrate	80 L/s (21 gal/min)	In total, of which:
300 kPa	70 L/s (18.5 gal/min)	Former and roll showers
1 200 kPa	10 L/s (2.5 gal/min)	Trim knock-off and edge showers
Additionally during breaks	60 L/s (15.9 gal/min)	Knock-off
Condensate	1 L/s (0.3 gal/min)	Trim squirt, roll edge moistening
Press section		
Warm fresh water	35 L/s (9.2 gal/min)	In total, of which:
300 kPa	25 L/s (6.6 gal/min)	Washing and lubrication
3 500 kPa	10 L/s (2.5 gal/min)	High-pressure showers
Post-treated clear filtrate	55 L/s (14.5 gal/min)	In total, of which:
300 kPa	55 L/s (14.5 gal/min)	Internal roll washing

Table 1. Shower water demand of a modern 9-m-wide paper machine

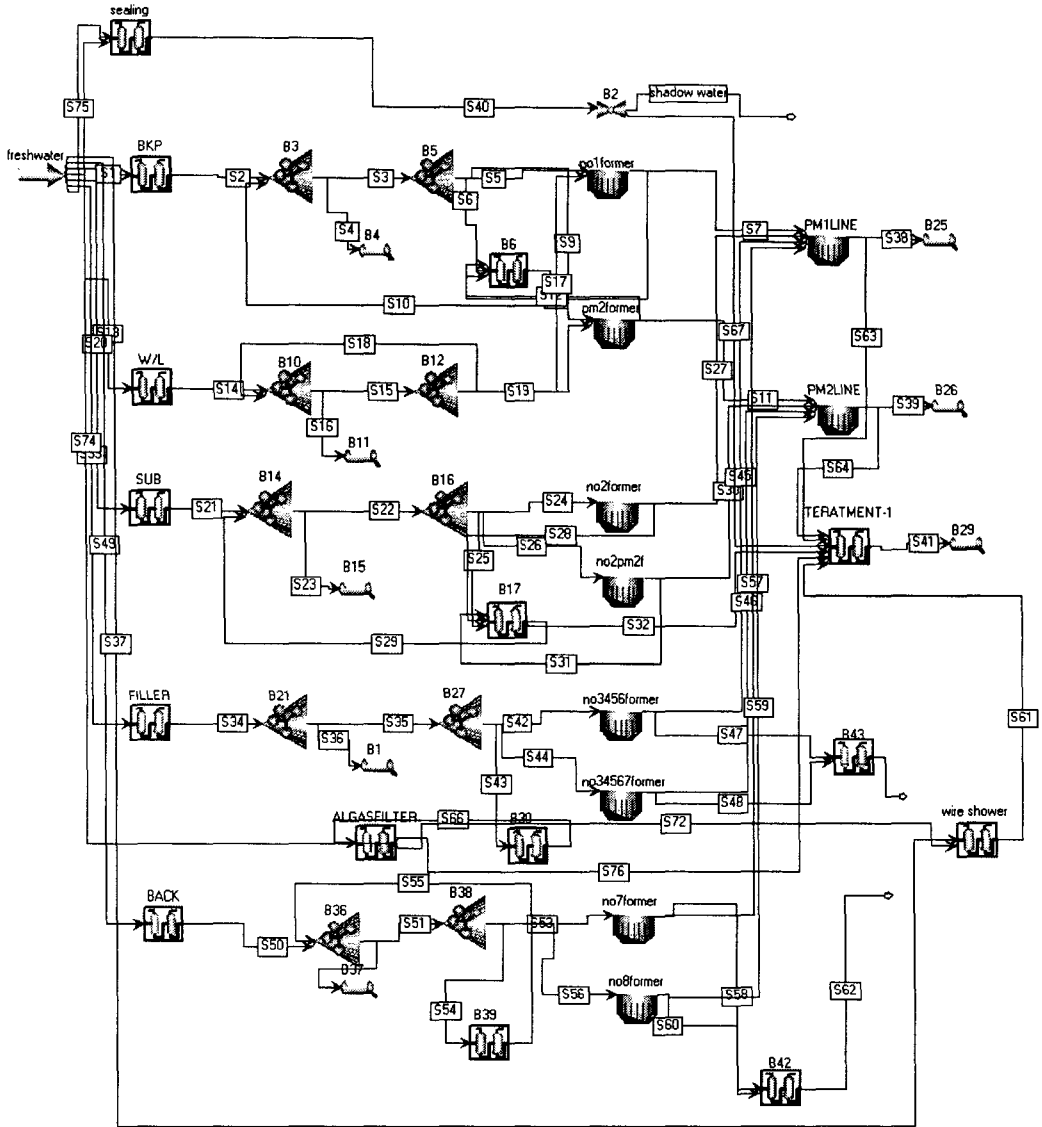


Fig. 1 Water regeneration flowsheet including unit

1차적으로 부유물질을 제어하여 샤워나 실링 수로 재활용하는 내부 재순환 방안을 최적화하는 목표를 추구한다. 이때 부유물질의 제어를 위해 활용되는 Micro-Filtering 처리의 적용가능성을 현장 Pilot 실험을 통해 확인한다.

초지기와 물의 세척용 샤워수로 처리된 공정수를 재활용할 수 있으며 그 양이 적지 않음을 알 수 있다.

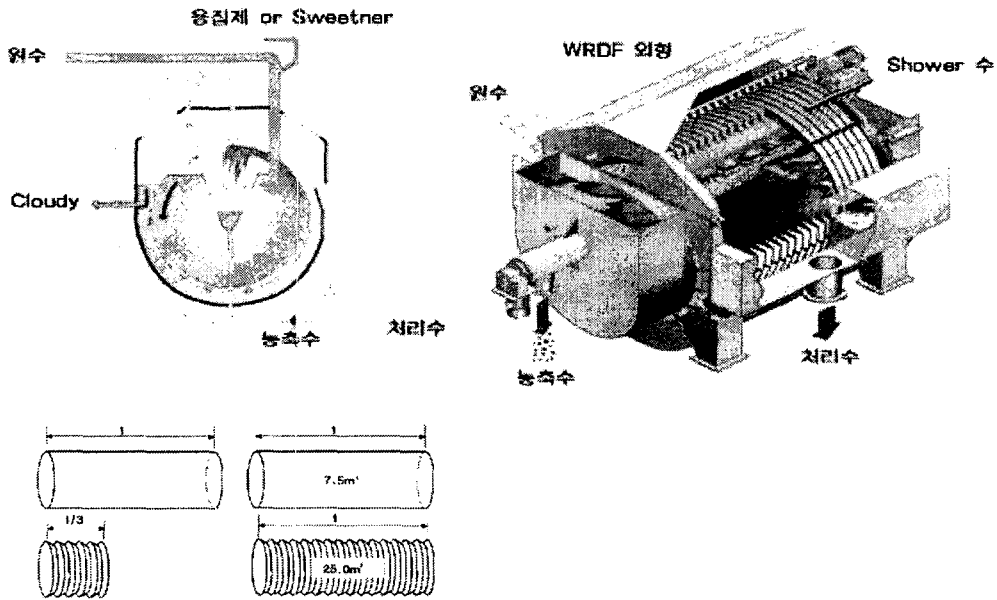


Fig. 2. Micro Filtering용 WRDF의 원리

2.1.1 1차 실험 : DAF 처리수

처리목표 : 1차 처리수를 filtering하여 shower 수 혹은 sealing수로 재활용함에 따라 2차 처리 부하를 줄이고 청수사용량을 절감시킨다.

원 수 : DAF 처리수

Filter : 30 μm

Drum RPM : 0.25

Flow rate : 200 ℓ /min

측정 항목 : 유량, SS, COD, Ca²⁺, Alkalinity

2.1.2 응집제 탐색

실험목표 : 1차 처리수에 적합한 고분자 응집제의 탐색, 비교

원수 : DAF 처리수

응집제 : Alum, C-PAM, Amphoteric-PAM

투입량 : 100, 200ppm

교반속도 : 500rpm

교반 처리 후 메스실린더에 정치하여 침전되는 경향을 비교함

2.2 2차 실험 : Valveless Filter 처리수

원 수 : filler line valveless filter 처리수

Filter : 30, 20 μm

Drum RPM : 0.75

Flow rate : 137 ℓ/min - 150 ℓ/min

Polymer : Nalco C-PAM,

Eka Powder PAM

투입량 : 0.001% (고형분 200ppm기준)

2.3 3차 실험 : 3차 처리수

원 수 : 3차 처리수

Filter : 20 μm

Drum RPM : 0.75

Flow rate : 270 ℓ/min

측정 항목 : 유량, SS, Alkalinity

3. 결론 및 고찰

3.1.1 1차 실험 : DAF 처리수

DAF 처리수	Filter	Suspended Solid (GFC)				Calcium Hardness	COD Total				Alkalinity	Flow (ℓ/min)
		Inlet	Clear	Cloudy	Reject		Inlet	Clear	Cloudy	Reject		
control	30 μ m	173	126	150	327	164	575	517	590	724	200	209
	30 μ m	127	60	180	280		553	554	568	741	192	
	30 μ m	133	86	100	133		582	540	527	527	184	
Alum + C-PAM	30 μ m	86	200	266	1133	132	536	548	676	561	186	
Alum + A-PAM	30 μ m	80	173	253	880		536	582	610	606	180	

Table 2. 1차 Micro Filtering-용 WRDF 적용 결과

고분자 응집제가 첨가되었으나 응집이 일어나기 위한 지체 시간이 길었던 탓에 마이크로 필터를 통과한 이후 응집이 이루어진 상태로서 Colloidal particle이 필터링이 가능한 부유물질로 변화된다. 따라서 Micro-Filter를 통과한 후 마치 SS가 증가된 것처럼, 오히려 오염이 조장된 것처럼 보인다.

기본적으로 DAF 처리수의 부유물질은 대부분 크기가 30 μ m 미만이었으나, 부상부 유로도 제거가 어려운 큰 크기의 중이물(heavy contaminants)이 다소 발견되었다. Shower Nozzle을 막는 등의 문제를 유발하는 중이물이 Algas micro filter로 제거됨에 따라, 1차 처리수의 재활용 시 그 수질을 보증하는 설비로서 micro-filter의 유용함을 확인할 수 있었다. 고분자 응집제를 활용한 micro-filtering의 경우 응집 시간이 지체되었던 이유로, 이미 마이크로 필터를 통과한 clear water의 부유물질이 뒤늦게 응집되는 문제점이 있었다. 현재 DAF에 활용하고 있는 고분자 응집제는 마이크로 필터에 적합치 않으며 처리수질에 적합한 응집제를 탐색하는 실험이 우선되어야 함을 확인하였다.

3.1.2 응집제 탐색

고분자량, 고전하밀도 응집제의 응집효과가 우수한 것을 확인하였다.

3.2 2차 실험 : Valveless Filter 처리수

V/F 처리수	Filter	Suspended Solid (filterpaper no. 42)				Calcium Hardness	COD Total				Alkalinity	Flow (ℓ/min)
		Inlet	Clear	Cloudy	Reject		Inlet	Clear	Cloudy	Reject		
control	30 μ m	410	100	290	1370		1995	1233	1213	6345	162	154
	30 μ m	380	140	310	2050		965	1100	1045	1890	176	
	30 μ m	240	76	220	1750		996	995	1075	2200	178	
control	20 μ m	225	42	155	2665		970	830	1065	2410	162	139
	20 μ m	293	42	208	2365		1075	910	1090	2470	172	
C-PAM	20 μ m	196	38	57	2162		1055	975	1005	2120	162	

Table 3. 2차 Valveless Filter 처리수에 대한 Micro Filtering용 WRDF 적용 결과

Pore size 20 μ m의 micro-filter를 사용함에 따라 clear수의 품질이 개선되었음을 확인하였다. 적절한 고분자 응집제를 적용함에 따라 cloudy처리수의 품질역시 개선되어졌다. 공정수를 폐수장까지 보내지 않고 micro-filter를 활용하여 처리함에 따라 sealing수 나 shower 수로 사용하는 등 단기순환, 재활용하는 가능성을 확인하였다.

3.3 3차 실험 : 3차 처리수

3차 처리수	Filter	Suspended Solid (GFC)			
		Inlet	Clear	Cloudy	Reject
control	20 μ m	<10	<10	<10	137
	20 μ m	<10	<10	<10	154
	20 μ m	<10	<10	<10	132

Table 4. 3차 처리수에 대한 Micro Filtering용 WRDF 적용 결과

3차 처리수의 수질 보증, Sand filter 등 처리시설의 이상 시에 대비한 활용 가능성을 확인하였다.