

응집제 첨가에 의한 침전조의 백수침전 효율 평가

김형진[†] · 안정송 · 유성호^{*1}

(2004년 9월 2일 접수; 2004년 10월 29일 채택)

The Evaluation of White Water Sedimentation Efficiency in Settling Tank by the Addition of Flocculents

Hyoung Jin Kim, [†] and Jung Song An, Sung Ho Yoo^{*1}

(Received on September 2, 2004; Accepted on October 29, 2004)

ABSTRACT

Because paper industry spends lots amount of water, the recycling of water is very important in economical as well as environmental aspects. In order to optimize the process water recycling system, the efficiency of unit operation for water circulation, such as save-all system, CDS and settling tank, plays an important role in. In this study, the sedimentation efficiency of process water was evaluated by SS measurement with the different amounts of flocculent addition. 3 different kinds of process water were collected from fine paper mill, and applied in laboratory sedimentation equipment for the measurement of settling efficiency of SS materials. The addition amounts of alum and PAC were resulted in optimum efficiency of sediments in the condition of 100 ppm of alum and 500 ppm of PAC respectively. In the comparison of sedimentation efficiency between alum and PAC, alum showed more economical and efficient results. The SS of spill water and the particle size of suspended materials treated by alum flocculents were below 50 ppm and about 1 μm . It would be considered that the spill water can be substituted to superclear water grade.

Keywords: water recycling, process water, sedimentation, settling tank, flocculents, suspended solid, alum, PAC, spill water, particle size

• 국민대학교 임산공학과(Department of Forest Products, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea)

*1 (주) 미래엔지니어링(Meerae Engineering Co. Ltd., Sungnam 465-805, Korea)

[†] 주저자 (Corresponding author): E-mail: hyjikim@kookmin.ac.kr

1. 서론

제지산업은 다량의 용수를 필요로 하는 대표적인 용수다소비 산업군 중의 하나로서 발생폐수의 오염부하량은 금속산업 다음으로 높은 특성을 지니고 있다. 수질환경보전법에서는 산업활동의 생산공정 및 폐수배출 특성을 조사하여 관리가 필요한 시설을 폐수배출시설로 지정하고 있으며, 제지산업에서 발생하는 폐수는 시행규칙 제 8조에 따라 수질오염물질 배출기준에 의해 규제되고 있다. 배출 허용기준은 환경기준을 달성하기 위한 규제수단의 하나로서 배출사업장의 배출수 농도를 규제하고 있으며 유기물질, 부유물질, 폐놀류 등 다수의 항목을 설정하여 수역별 수질등급에 따라 지역별로 3단계(청정, 가, 나지역)로 구분하고 있다. 폐수 배출시설은 1일 폐수배출량을 기준으로 1종은 2,000 m³/일 이상, 2종은 700~2,000 m³/일, 3종은 200~700 m³/일, 4종은 50~200 m³/일, 5종은 50 m³/일 등 1~5종으로 구분하여 관리하고 있으며 법적 규제기준이 다르다.¹⁾ 또한 유기물질 및 부유물질 항목에 지역별로 사업장의 폐수배출량에 따라 차등 적용하고 있으며 1일 2000 m³ 이상을 배출하는 사업장에 대

해서는 소규모 사업장보다 엄격한 배출허용기준을 적용하여 농도규제 방식에 양적규제 방식을 병행하고 있다.

2003년 말 기준 우리나라의 제지산업은 종이 및 판지 생산량이 1,015만톤으로 전년대비 3.4% 증가하였으나 생산능력 측면에서는 종이·판지 총 1,157만톤으로 가동율은 87.7%에 이르러 국내 산업의 전반적인 부진으로 인하여 제지산업에서도 국내 지류 수요부진 등 어려운 여건이 지속될 것으로 예상되고 있다.²⁾ 국내 제지산업의 지속성장 및 발전을 위해서는 원료의 안정적 공급 및 단위공정의 기술개발, 폐수 재활용 공정의 최적화 등을 들 수 있다. 원료적 측면에서 국내 제지산업은 화학펄프의 85%를 수입에 의존하고 있으며, 안정적인 원료 수급 문제를 해결하기 위해서는 국내에서 발생하는 폐지 자원의 체계적인 분류를 통한 재활용율을 높여야 할 것이다. 현재 우리나라의 폐지 재활용율은 2003년말 기준 약 73%를 상회하고 있으며 폐지 재활용 기술 또한 세계 최상위 수준에 도달해 있다. 그러나 폐지 재활용에 따라 제지공정에서 발생하는 공정백수의 수질은 점차 악화되어 새로운 공정 트러블을 야기하고 있다. 폐지 원료의 반복적인 재활용은 섬

오염물질의 배출허용기준(수질환경보전법 제8조 1항 시행규칙)¹⁾

대 상 규 모		1일 폐수배출량 2,000m ³ 이상			1일 폐수배출량 2,000m ³ 미만		
지역구분	항 목	BOD (mL/L)	COD (mL/L)	SS (mL/L)	BOD (mL/L)	COD (mL/L)	SS (mL/L)
청정지역	환경기준(수질) I 등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정하는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하고 고시하는 지역	30이하	40이하	30이하	40이하	50이하	40이하
가 지역	환경기준(수질) II 등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정하는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하고 고시하는 지역	60이하	70이하	60이하	80이하	90이하	80이하
나 지역	환경기준(수질) III, IV, V 등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정하는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하고 고시하는 지역	80이하	90이하	80이하	120이하	130이하	120이하
특례지역	환경부장관이 공단폐수종말 처리구역으로 지정하는 지역 및 시장군수가 산업입지 및 개발에 관한 법률 제 8조의 규정에 의하여 지정하는 농공단지	30이하	40이하	30이하	30이하	40이하	30이하

유상 원료의 품질 저하를 야기 할 뿐만 아니라 공정 수 내 각종 무기염류와 이온성 및 콜로이드성 물질, 또한 미세 부유고형분 등이 누적되어 각종 제지용 첨가 약품의 효율 저하, 공정계의 부식, 진공효율 저하, 펄트 플러깅, 탈수성 저하, 생산된 제품의 품질을 저하, 슬라임 및 악취 발생 등의 제반 문제점을 야기시키는 주요 원인이 되고 있다.

또한 국내 제지산업은 공업용수원의 부족, DCS 도입에 의한 환경규제의 강화, 용수 사용에 대한 원단위 및 발생 폐수의 환경부과금에 대한 상승 등 공정 내, 외적인 압박 요인이 증가되고 있으며, 이에 따라 공정폐쇄화를 통한 무방류화 및 폐수처리장의 처리효율을 높이기 위한 노력이 함께 시도되어야 할 것이다. 용수 재이용 최적화를 실행한 일부 국내 제지사의 경우 현재 제품 생산량 1톤당 청수사용량을 2~3톤 수준으로 낮추는데 성공하였지만 외국의 경우 1.5톤 이하로 운전하는 예도 보고되고 있다. 따라서 청수의 사용량 및 폐수의 발생량을 줄이고 용수 재활용을 극대화 한다면 최근 국내, 외적으로 문제시 되고 있는 물 부족 현상의 심화와 폐수배출 기준 강화 등에 맞춰 제지산업의 청정화 및 환경개선을 이룩할 수 있을 것이다. 이에 따라 용수 사용량 및 배출오염 부하량을 절감할 수 있는 경제·환경적 측면의 해결 방안에 대한 연구가 진행되었으며,³⁾ 폐수처리장에서의 응집침전법에 대한 연구가 다방면에서 접근되고 있다.⁴⁻¹¹⁾

본 연구에서는 백상지 제조공정에서 발생하는 공정백수를 지중에 따른 백수의 침전효율을 분석하기 위하여 폐수처리 공정에서 사용되는 응집제인 alum을 settling tank에 첨가하여 침전특성 및 효율을 평가하고자 하였다. 판지의 종류에 따른 제품 생산 시 배출된 공정수를 이용하여 alum 첨가 전, 후의 settling tank 침전효율을 분석하였으며, 침전 특성에 미치는 백수의 거동을 탐색하고자 하였다. 또한 침전에 의한 부유 고형분의 제거효과를 평가하기 위하여 alum 첨가 전, 후의 부유 고형분 특성을 분석하였으며, alum과 PAC와의 효과를 비교, 검증하고자 하였다.

2. 이론적 배경

제지산업에서 발생하는 폐수는 폐수장에서의 처리 과정에 따라 크게 1차 처리, 2차 처리, 3차 처리로 분류한다.¹²⁾ 일반적으로 1차 처리는 부유물질을 제거하는 물리적 처리과정이고, 2차 처리는 수중의 유기물질을 미생물군에 의해 분해시키는 처리과정, 3차 처리는 무기성 이온과 영양염류, 중금속, 유기물 등의 오염물질을 제거하기 위한 고도처리 공정이다. 본 연구에서 접근하고자 하는 1차 처리는 다시 침전법과 부상법으로 나누어진다. 이 중 침전법은 물보다 비중이 큰 부유물을 중력에 의해 침전시켜 제거하는 공정으로서 자연 침전조 및 응집 침전조에 의한 방법이 널리 채택되고 있으며 유량이나 고형분의 농도 변화에 민감하지 않은 관리유지가 용이한 특성을 지니고 있다. 부상법은 밀도가 낮은 현탁 고형물질을 부상시켜 제거하는 공정으로서 공기부상법, 진공부상법, 용존 공기부상법 등이 이용되고 있으며, 일반적으로 밀도가 낮은 고형분 제거에는 효율적이지만 가동비용이 많이 든다는 단점도 지적되고 있다.¹²⁾ 침전법에서는 침전조를 이용하기 전에 응집반응을 유발시켜 침강분리가 용이하도록 응집제를 투입한다. 응집제는 크게 무기응집제와 유기응집제로 구분하며, 우리나라의 경우 주로 무기응집제 중에서 alum (aluminum sulfate)과 PAC (poly aluminum chloride)을 널리 사용하고 있다. alum의 화학식은 $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ 이며 알럼에 포함되어 있는 Al^{+3} 이온은 반경이 0.57\AA 으로 극히 작고 +3의 양전하를 띠며, 매우 높은 전하밀도를 지니기 때문에 용액중의 음이온이나 물과 강하게 배위결합을 하여 착화합물을 형성하게 된다. 제지공정에서 alum은 응집제 외에도 일반적으로 pH 조절제, 보류제, 탈수촉진제, 피치 제거제, 프레스 픽킹 억제제, 습윤지력 증강제의 경화제 등 다양한 용도로 사용되고 있다.¹³⁾ Alum이 물이나 용액 중에서 응집을 야기하는 메카니즘을 Fig. 1에 나타내었다.

Fig 1에서와 같이 alum이 물이나 용액 중에 투입되면 Al^{+3} 과 SO_4^{-2} 이온으로 분리된다. 여기서 Al^{+3} 이온은 정팔면체 형태로 배위자를 갖게 되며 배위자의 특성상 펄프 내에 존재하는 OH 기나 R COO 기와 Al^{+3} 이 배위결합 하여 floc을 형성하게 된다. 또한 지료 조성분 입자의 제타전위를 감소

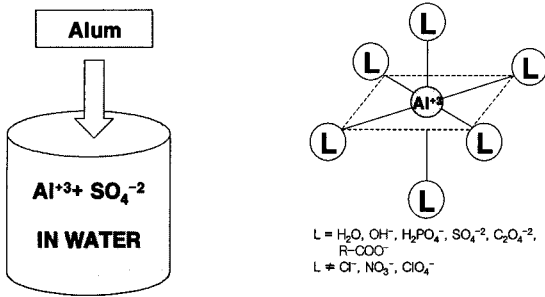


Fig. 1. Flocculation mechanism of alum.

시켜 입자들끼리의 충돌 시 응집이 발생되도록 하는 응결 기작(coagulation mechanism)을 통해 보류항상제로서 작용하기도 한다. 약품투입 시 주로 pH는 4.8~5.2 범위가 적당하며 이는 이 영역에 다핵체 및 알루미늄 가수분해 물질들이 주로 존재하기 때문이다.¹³⁾

3. 재료 및 방법

3.1 공정 백수

본 실험에 사용한 대상 공정백수는 인쇄용지를 생산하는 동일 공장의 3개 지층의 인쇄용지 초지공정에서 발생하는 공정백수를 분양받아 사용하였다.

3.2 공정백수의 침전효율 분석

공정백수의 침전효율 분석에서는 실험 시 현장 조건과 유사한 침전조 형태를 유지하기 위하여 2 L 용량의 원통형 메스실린더를 개조하여 Fig 2와 같이 실험실용 간이 침전조를 장치하였다. 공정백

수는 자연침강이 야기되지 않도록 교반기로 지속 교반을 실시하였으며 펌프를 통해 메스실린더를 개조한 settling tank로 유입시켰다. Settling tank는 내부에 원통형 관을 장치하여 유입된 백수가 상등수와 혼합되어 배출되지 않도록 하였으며 일정 시간의 경과에 따라 상등수와 침전액을 구분하여 채취할 수 있도록 설계하였다. 단속식 시험(Batch test)의 경우 Fig. 2의 장치에 단속적으로 백수를 유입 시키고 일정 시간 경과 후 상등수의 SS 농도 값을 측정하여 백수의 침전 효율을 분석하였다. 연속 반응 시험(Continuous test)의 경우 일정 시간 후 유입량 중 1%의 유량이 인발되도록 침전액을 펌프로 제거하며 제거된 만큼의 백수를 settling tank에 유입시켰다. 또한 각 발생 백수의 체류시간은 40분, 70분으로 조절하였고, 응집제와 polymer는 농도 1 ppm으로 동일하게 각각 10분씩 반응시켰으며 일정 시간 후 상등수의 SS 농도 값을 측정하여 백수의 침전 효율을 분석하였다. 체류시간의 설정은 다음 식에 따라 settling tank에 유입되는 백수의 양을 결정하기 위하여 사용하였다.

$$\begin{aligned} \text{Input capacity of waste} &= \\ \text{water per day (m}^3\text{/day)} &= \\ \frac{\text{Sedimentation tank} & \\ \text{capacity (m}^3\text{)}}{\text{Retention time (hr)}} & \times 24 \end{aligned}$$

따라서 체류시간 40분의 경우 settling tank의 용량이 2 L 이므로 유입되는 백수의 양은 36000 m³/day이며 70분의 경우 유입되는 백수의 양은 약 20571 m³/day으로서 산술계산이 가능하며 Fig. 2

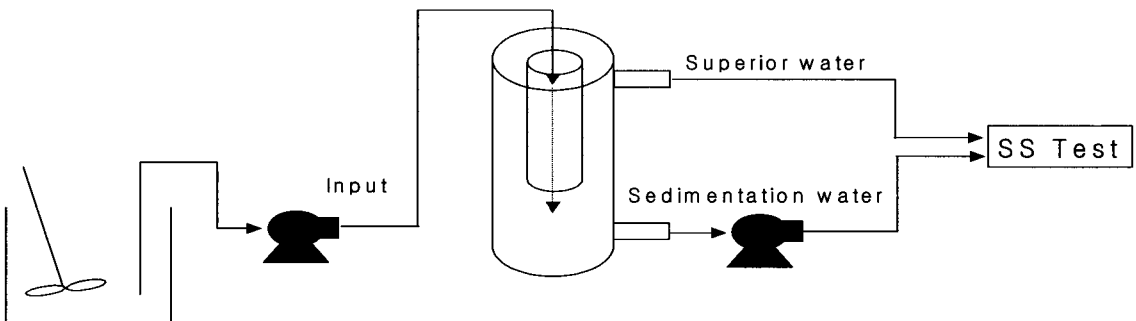


Fig. 2. Diagram of sedimentation equipment for the sedimentation efficiency measurement.

의 settling tank 장치에 각 조건에 적합한 백수의 양을 유입시켰다.

3.3 SS 측정 및 제거율

공정백수의 수질특성을 평가하기 위하여 Fig. 2의 장치를 사용하여 처리한 반응 종료 10분 후의 상등수를 취해 TAPPI Test method T 656-cm83¹⁴⁾에 의거하여 SS를 측정하였으며, 약품의 투입 농도별 SS를 비교하여 처리된 공정백수 상등수의 최소 수질 목표치를 SS 50 ppm 이하로 설정하였다. 각 조건에 대한 SS 제거율은 다음 식에 따라 계산하였다.

Removal ratio (R) =

$$\frac{\text{SS before treatment} - \text{SS after treatment}}{\text{SS before treatment}} \times 100$$

3.4 상등수의 입자 분포 분석

입도 분석 장비를 사용하여 공정 백수의 약품 처리 후 상등수 내의 미세입자 분포 분석을 실시하였다. 실험에 사용한 입도 분석 장비의 상호간 재현성은 1%이며, ±1%의 정확도를 가지고 있다. 또한 0.02 μm의 미세 입도 사이즈부터 2,000 μm의 매크로 한 입도 사이즈까지 측정이 가능하며, 건조된 분말상태 및 액상시료 등 각종 분산 상태에 따라 측정이 가능하다. 이 장비는 미국 FDA의 21 CFR Part 11 기준에 의한 관리체계를 따르고 있으며, 본 실험에서는 표준기준에 의거 하여 분석을 행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 백상지 A 및 B지종 생산공정 백수의 침전 효율 분석

공정 중 분산제를 사용하여 상대적으로 SS 농도가 높고 자연 침강에 의한 효율성이 낮을 것으로 예상되는 C지종의 경우를 제외한 A지종 및 B지종 생산공정의 공정백수 침전효율을 분석하였다. Batch test에 의한 A지종 및 B지종의 침전 거동은 Table 1과 같다.

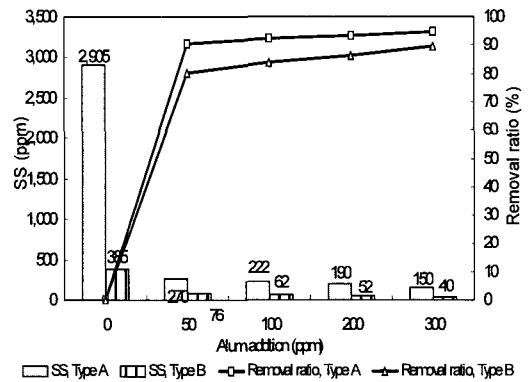


Fig. 3. The behaviour of sedimentation efficiency in Type A and Type B white water, according to sedimentation time (Batch test).

Batch test에서 공정백수 Type A와 Type B의 경우 경과 시간에 따라 상등수의 SS 농도 값이 점차적으로 감소하였으며 특히 Type B의 경우 경과 시간 30분 이후에 최소 수질 목표치에 도달하였다 (Fig. 3). 따라서 이러한 결과를 바탕으로 연속반응

Table 1. The behaviour of sedimentation efficiency in Type A and Type B white water depending on sedimentation time (Batch test)

Time (min)	White water Type A		White water Type B	
	Spill water SS(ppm)	SS removal ratio (%)	Spill water SS(ppm)	SS removal ratio (%)
0	2,905	0.0	385	0.0
10	270	90.7	76	80.3
20	222	92.4	62	83.9
30	190	93.5	52	86.5
40	150	94.8	40	94.8

Table 2. The behaviour of sedimentation efficiency in Type A and Type B white water, according to sedimentation time (Continuous test)

Retention time (min)	Time (hr)	SS in spill water (ppm)					
		Type A			Type B		
		Spill water	Sedimentation water	Removal ratio (%)	Spill water	Sedimentation water	Removal ratio (%)
	0	2,555	-	0.000	385	-	0.000
40 min	1	231	6,892	90.959	96	1,820	75.065
	2	222	7,025	91.311	59	1,852	84.675
	3	228	9,058	91.076	59	1,780	84.675
70 min	1	224	8,526	91.233	55	1,775	85.714
	2	220	9,500	91.389	45	1,850	88.312
	3	220	9,450	91.389	45	1,850	88.312

장치에 대한 백수의 침전 효율을 분석하였다.

연속반응의 경우 A지종 및 B지종 백수의 settling tank에서의 백수 침전효율을 알아보기 위하여 체류시간을 40 min 및 70 min으로 조절하여 Fig. 2의 장치에서 A지종 및 B지종 백수를 유입시켜 처리 시간당 상등수의 SS 농도를 측정하였다.

Table 2에 나타난 바와 같이 지종에 따른 공정백수 내 SS값의 차이에 따라 초기 SS값이 큰 A 지종의 경우와 달리 B 지종의 경우 자연 침강만으로 체류시간 70분과 경과시간 2시간 조건에서 45 ppm으로 최소 수질 목표치인 50 ppm에 도달할 수 있었다. A 지종의 경우 경과시간이 증가함에 따라 상등수의 SS 농도가 감소하였지만 B지종에서처럼 자연 침강만으로는 최소 수질 목표치인 50 ppm에 도달할 수 없었다. 따라서 A 지종의 경우 상등수 SS 농도를 감소시키기 위해 추가적인 약품반응에 의한 응집침전이 필요하다고 판단된다.

따라서 alum 첨가에 의한 A지종 및 B 지종의 침전효율을 분석하기 위해 A지종과 B지종의 백수에 alum의 투입 농도에 따라 alum 반응시간 10분, polymer 반응시간 5분, A-polymer 농도 1 ppm의 동일 조건으로 처리를 행하였다. Alum 첨가 후, 침전이 야기된 지 15분 경과 후의 상등수 SS를 측정하여 Table 3에 나타난 바와 같이 alum반응에 의한 응집침전의 침전효율을 분석하였다.

Alum 첨가 후 alum에 의한 응집반응으로 인해 A지종의 경우 상등수 SS 농도가 현저하게 저하되었으며, 그 결과로서 제거율은 급격하게 상승하였다 (Fig. 4). Alum 투입농도 50 ppm에서 최소 수질 목표치에 도달할 수 있었으며, alum 투입농도 100 ppm에서 가장 높은 SS 제거효율을 나타냈지만 초기 SS 농도가 높은 A지종의 경우 alum 투입 농도를 100 ppm 이상 증가시켰을 경우 침전 효율의 뚜렷한 개선 효과가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 alum의 과다 사용으로 인해 계 내 alum 농도가 일정 수준 이상으로 증가되어 $Al(OH)_3$ 침전 개시 pH가 낮아져 발생하는 alum 침적현상에 기인한다고

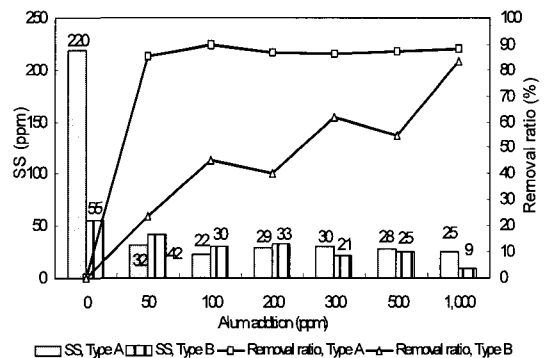


Fig. 4. The behaviour of sedimentation efficiency in Type A and Type B white water, according to alum additions.

Table 3. The behaviour of sedimentation efficiency in Type A and Type B white water, according to alum additions

Alum addition (ppm)	SS in spill water (ppm)			
	Type A		Type B	
	Spill water	Removal ratio (%)	Spill water	Removal ratio (%)
0	220	0.00	55	0.00
50	32	85.45	42	23.64
100	22	90.00	30	45.45
200	29	86.82	33	40.00
300	30	86.36	21	61.82
500	28	87.27	25	54.55
1,000	25	88.64	9	83.64

사료된다. B지종의 경우 A지종과 마찬가지로 alum 첨가량에 따라서 최대 9 ppm까지 SS 농도가 감소하였지만 alum 첨가에 의한 경제적인 손실과 응집 침전에 의한 처리 효율성으로 볼 때 alum첨가량 100 ppm에서 두 지종 모두 가장 효과적으로 최소 수질 목표치에 도달할 수 있다고 판단된다.

4.2 백상지 C지종 생산 공정 백수의 침전효율 분석

지종의 특성 상 A, B 지종과 달리 자연 침강에 의한 효율성이 낮을 것으로 예상되는 C지종의 경우 alum 첨가에 의한 침전효율을 분석하기 위해 Table 4에서와 같이 alum 첨가에 따른 SS 변화를 측정하였다. C지종 생산의 경우 발생하는 백수의

특성이 시료 채취 시마다 상이하였기 때문에 대표되는 3종류의 백수를 대상으로 alum의 응집 침전 효율을 분석하였다.

C지종의 경우 1차 공정채취 백수에 alum 첨가하여 응집 침전 후 상등수의 SS 농도를 측정하였을 때에는 최소 수질 목표치를 도달 할 수 없었다. 그러나 2차 공정채취 백수의 경우 alum 첨가 후 SS 농도는 A 및 B 지종과 마찬가지로 alum 첨가 농도 100 ppm에서 최소 수질 목표치에 도달 할 수 있었으며, C지종 3차 공정채취의 경우 반응 상등수의 SS 농도는 alum 투입 농도 500, 1000 ppm에서 최소값 4 ppm으로 나타났다. 초기 SS값이 높은 C지종 1차 공정채취 백수와 2차 공정채취 백수의 경우 alum 50 ppm 첨가조건에서 현저한 SS 제거율을

Table 4. The behaviour of sedimentation efficiency in Type C white water, according to alum additions

Alum addition (ppm)	SS in spill water (ppm)					
	Type C-1	Removal ratio (%)	Type C-2	Removal ratio (%)	Type C-3	Removal ratio (%)
0	3,542	0.00	3,542	0.00	3,542	0.00
50	153	95.68	53	95.69	80	70.15
100	183	94.83	29	97.64	60	77.61
200	113	96.81	47	96.18	24	91.04
300	145	95.91	31	97.48	24	91.04
500	121	96.58	24	98.05	4	98.51
1,000	-	-	20	98.38	4	98.51

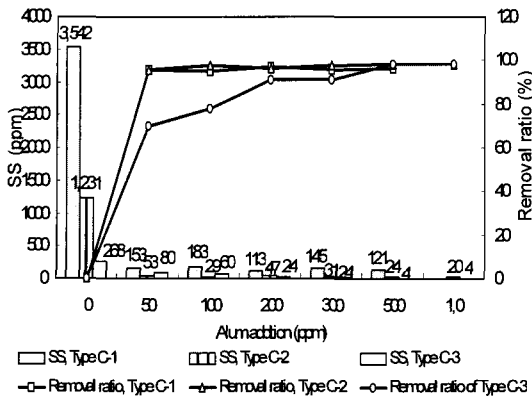


Fig. 5. The behaviour of sedimentation efficiency in Type C white water, according to alum additions.

나타냈지만 alum 투입량이 증가하면서 제거율은 급격히 저하되었으며, 상대적으로 초기 SS가 낮은 C지종 3차 공정채취 백수의 경우 alum의 투입량이 증가함에 따라 상등수의 SS 농도가 증가하여 4 ppm까지 SS 농도가 저하됨을 알 수 있었다 (Fig. 5). 이에 따라 초기 SS 농도와 관련하여 alum 첨가에 따른 응집 작용의 거동에 대해 평가되어야 할 것으로 사료된다.

4.3 Alum과 PAC 첨가에 의한 침전효율 비교

Table 6 및 Table 7은 alum과 PAC의 C-polymer 및 A-polymer를 함께 첨가하였을 경우의 백수 침전효율을 분석한 결과이다. Alum 처

리 시 100 ppm 첨가조건에서 대체적으로 최저 수질 목표값을 얻을 수 있었지만 반면 PAC 처리 시 C-polymer와 A-polymer를 첨가하였을 경우 PAC 투입농도 500 ppm 조건에서 최소 수질 목표값을 얻을 수 있었다. 따라서 이와 결과를 비교해 볼 때 alum이 PAC보다 경제적인 면에서나 처리효율 면에서 보다 효과적인 것으로 판단된다.

Fig. 6 및 Fig. 7은 alum과 PAC 처리 후 상등수의 입자 분포를 나타낸 결과이다. Alum 처리 후 상등수는 1 μm의 입자가 가장 많이 분포되어 있으며 PAC 처리 후 상등수의 입자 또한 alum 처리 후와 마찬가지로 1 μm의 입자가 가장 많이 분포하고 있었다. 따라서 alum 처리 후와 PAC 처리 후 상등수 모두 백수의 재활용에 있어서 superclear급의 용수로 대체하여 샤워수의 용도로 사용되었을 경우 노즐의 막힘 현상을 방지할 수 있다고 사료된다. 또한 PAC 처리 후 1 μm의 상등수 입자크기의

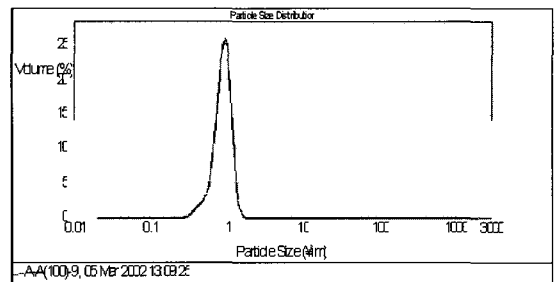


Fig. 6. Particle size distribution of spill water by the alum treatment.

Table 6. The behaviour of sedimentation efficiency in Type C-1 and C-2 white water, according to alum additions

Alum addition (ppm)	SS in spill water (ppm)			
	Type C-2		Type C-3	
	A-Polymer	C-Polymer	A-Polymer	C-Polymer
0	1,231	1,231	268	268
50	23	59	80	72
100	29	59	60	48
200	-	-	-	-
300	47	37	24	32
500	31	29	24	24
1,000	24	28	4	16
1,500	20	20	4	12

Table 7. The behaviour of sedimentation efficiency in Type C-1 and C-2 white water, according to PAC additions

PAC addition (ppm)	SS value of Superior water (ppm)					
	Type C-2			Type C-3		
	PAC only	A-Polymer	C-Polymer	PAC only	A-Polymer	C-Polymer
0	1,231	1,231	1,231	268	268	268
50	186	127.5	102.5	196	196	104
100	194	122.5	97.5	192	180	128
200	185	112.5	80	168	150	128
300	155	107.5	75	204	148	124
500	95	45	37.5	104	40	40
1,000	107	12.5	17.5	36	28	32

분포가 10%를상회하는 반면에 alum 처리 후 1 μm의 상등수 입자크기가 25%를 상회 하는 것으로 나타나 alum 처리의 경우 PAC 처리보다 상등수의 입자가 균일하게 분포되어 있는 것으로 나타났다.

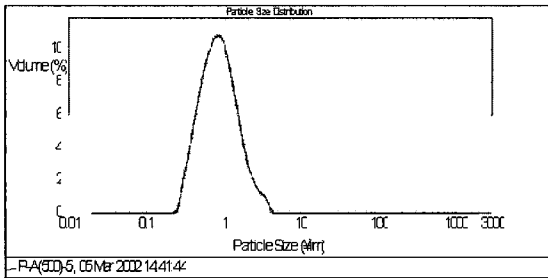


Fig. 7. Particle size distribution of spill water by PAC treatment.

5. 결론

본 연구에서는 settling tank에서의 백수 침전 효율을 향상시키기 위하여 응집제 첨가 시 상등수의 SS를 측정하여 공정백수의 침전 효율을 평가하고자 하였다. 3 종류의 초지공정 시 발생하는 백수를 대상으로 alum첨가에 의한 백수 침전효율을 분석한 결과, alum을 첨가함에 따라 미세분 및 오염물질의 응집으로 인하여 상등수의 SS 값이 감소하였으며 백상지 제조공정 시 발생하는 3 종류의 지중에서의 경우 alum 100 ppm, PAC 500 ppm일 때 가장 효율적인 응집효과가 나타났다. Alum과 PAC 처리효율 비교 시 alum이 PAC보다 경제적·효율적

인 면에서 더 효과적이었으며, 처리 된 백수의 SS는 50 ppm 이하로 나타났다. 또한 백수 내 SS의 입자 크기는 1 μm 정도가 가장 많이 존재하였으며 백수의 재이용 시 superclear급의 용수로도 대체 사용 할 수 있을 것으로 판명되었으며 특히 샤워수로의 대체 시 노즐의 막힘 현상도 피할 수 있을 것으로 사료되었다.

인용문헌

1. 환경백서 2004, 환경부 (2004).
2. 제지산업통계연보, 한국제지공업연합회 (2003).
3. 이학래, 상용화된 단위장치의 최적조합에 의한 제지 공정 무방류화 기술개발, 연구보고서, 산업자원부 (2002).
4. Hynninen, P., Effluent treatment in Environmental Control, Papermaking Science and Technology, Vol 19, p.57 (1999).
5. Swinnen, Nathalie, Karl Heinz Gregor, and Annie Renders, Reuse of wastewater streams in the P&P industry using a physico-chemical treatment process, Tappi International Environmental Conference, Vol 1, p. 91 (1999).
6. Tiina Riippa, Ville Elonen, Raija Mattelmaki, and Pertti Hynninen, Process water recycling after organics removal at a printing paper mill, Tappi International Environmental Conference, Vol 2, p 623 (1999).
7. Bratby, J. R. "Optimizing Coagulants and flocculent Aids for Settling" Journal of AWWA, 6: p 312 (1981).

8. 임택진, 이성호, 조준형, 응집 침전법에 의한 재생지 폐수처리, 한국펄프종이공학회 학술발표논문집 제 1권 (2001).
9. Swerin A. Odberg L., Flocculation of cellulosic fibre suspension by model microparticulate retention aid systems, Nordic Pulp and Paper Research Journal, 8(4):389 (1993).
10. Wagberg L., Bjorklund M., Asell L. and Swerin A., On the mechanism of flocculation on by microparticle retention aids system, Tappi Journal 79(6): 157 (1996).
11. Michael J. J. and Darren K. S., The theory of retention, Paper Technology 35(8): 26 (1994).
12. James G. Knudsen, Principles of Industrial Water Treatment, Drew Chemical Co. Press (1988).
13. Leo Neimo, Chemistry of aluminium in papermaking in Papermaking Chemistry, Papermaking Science and Technology, Vol 4, p.95 (1999).
14. TAPPI Test Method T 656 cm-83 Measuring, sampling and analyzing white waters.