

## DAF(Dissolved Air Flotation)를 이용한 제지폐수의 COD, SS 및 탁도 제거

김동석 · 박영식\*†

대구가톨릭대학교 환경과학과, \*대구대학교 보건과학부

## COD, SS and Turbidity Removal of Paper Wastewater Using DAF(Dissolved Air Flotation)

Dong Seog Kim · Young Seek Park\*†

Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu

\*Division of Health Science, Daegu University

(Received May 23, 2005; Accepted July 13, 2005)

### ABSTRACT

The supernatant treatment of recovery process of raw materials of paper plant was studied using DAF (Dissolved Air Flotation) system. We investigated the removal efficiency (COD, SS and turbidity) of the DAF process. The effects of parameters such as A/S ratio, pressure, flotation conditions, coagulant concentration, mixing conditions, size and ratio of packing and nozzle type were examined. The results showed that the optimum A/S ratio and pressure were 0.058 and 4.5-5 atm, respectively. Injection times of pressurized water around 30 s and flotation times around 10 min appeared to be optimal for the DAF operation. Anion polymer addition improved the removal of COD, SS and turbidity. The smaller size and the more packing ratio were enhanced the removal efficiencies. The order of performance of nozzle was full cone > flat > assemble type.

**Keywords:** DAF, paper wastewater, COD, SS, turbidity, coagulation

### I. 서 론

펄프·제지공업은 화학공업, 철강산업, 전자산업 등과 같이 전형적인 용수산업으로 원료나 약품의 조성에 서부터 제지에 이르기까지 물을 사용하지 않는 공정이 없을 정도로 많은 물을 사용하며 생산된 종이 1 ton당 평균 50 m<sup>3</sup>(24~160 m<sup>3</sup>)의 폐수가 발생하는 대량의 자원, 에너지 및 용수를 사용하는 다소비형 산업이다.<sup>1)</sup> 현대사회의 정보산업 발달에 따라서 기하급수적인 수요 확대로 종이의 생산량이 급증하여 펄프·제지공장의 폐수 배출량도 증가되고 있다. 제지폐수는 COD에 비해 BOD가 낮고 미세한 섬유질이나 콜로이드성 물질이 많아 하천이나 해안에 방류되면 저질에 부유물질 등이 침전되어 부패되므로 2차적인 수질오염을 야기시켜 수

환경을 악화시킨다.<sup>2)</sup>

펄프·제지폐수에는 COD 유발물질인 원료 고지의 증해액, 사이징제, 지력증강제 등이 다량 함유되어 있으며, 펄프는 생물학적으로 분해하기 어려운 lignin, hemicellulose, cellulose 등으로 이루어져 있다.<sup>3,4)</sup>

펄프·제지공업에서는 부유물질을 회수 또는 제거하기 위해서 물리적, 화학적 처리방법을 활용하고 있으나, 용존 오염물질을 제거하기 위해서는 생물학적 처리방법을 병행하는 사례가 대부분이다.<sup>5)</sup> 그러나 SS 부하량이 많고 가뭇기 때문에 flocc 강도가 낮으므로 단순한 침전으로는 처리하기 어렵고 제조하는 지종에 따라 cellulose의 종류, 크기, 화학약품 등이 다르므로 배출하는 폐수의 특성이 수시로 변하기 때문에 처리에 어려움이 많다.<sup>6,7)</sup>

용존공기부상법(DAF, Dissolved Air Flotation)은 가압상태에서 과포화된 물을 노즐 등을 통해 배출시키면 대기압 하에서 압력변화가 생기고, 이때 발생하는 미세 기포가 상승하는 과정에서 수중의 콜로이드성 물질과

†Corresponding author : Division of Health Science, Daegu University  
Tel: 82-53-650-8403, Fax: 82-53-650-8049  
E-mail : ysparkk@daegu.ac.kr

충돌·부착되어 콜로이드 등의 제거대상물질은 표면으로 부상하게 되는 원리를 이용한 처리법으로 점토나 조류와 같이 밀도가 작은 물질을 제거하기 위해서 침전의 대안으로 사용되는 방법으로,<sup>8)</sup> 최근의 연구에서 단순한 부유물질(suspended solid)을 제거할 뿐만 아니라 산화작용, 표면흡착 등으로 계면활성제, 유지, 휘발성유기물질(VOC) 등을 제거하는 것으로 알려져 있다.<sup>9)</sup>

본 연구는 제지공장 폐수 중에서 다른 공정 중에 발생하는 폐수보다 COD와 SS가 높아 폐수처리장의 전체 처리물에 악영향을 미치는 제지공정에서 발생하는 백수(白水) 중 원료를 회수하기 위한 침전조의 상등수를 채취하여 DAF의 여러 인자를 변화시켜 화학적산소요구량(COD), 부유물질(SS), 탁도(turbidity)의 제거를 위한 최적조건을 연구하였다.

## II. 연구방법

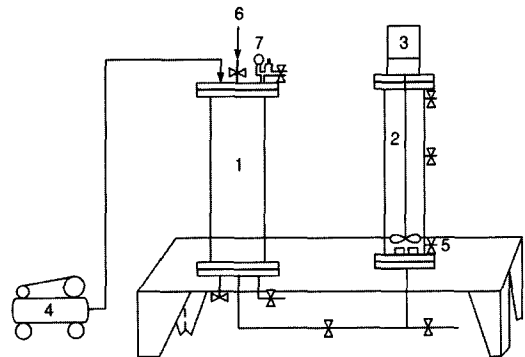
### 1. 실험재료

실험에 사용한 폐수는 M 제지사의 대표지종인 220 g/m<sup>2</sup> 도피원지 생산시 발생하는 폐수중 원료를 재사용하기 위한 침전조의 상등수를 채취하여 실험하였다. M 제지사에서는 각 생산공정에서 발생하는 폐수를 처리하기 위해 현재 응집침전법의 1차 폐수처리장과 활성슬러지법에 의한 2차 폐수처리장을 운영하고 있으나 높은 SS 농도로 인해 운전의 어려움이 있다. 실험에 사용한 폐수의 COD는 420~428 mg/l, SS 140~144 mg/l, 탁도 120~132 NTU 수준의 원수를 사용하였다.

### 2. 실험장치 및 실험방법

실험에 사용한 DAF 장치는 크게 가압수조와 부상수조로 나뉘며, 이를 Fig. 1에 나타내었다. 가압수조(Air dissolving tank)는 내경이 15 cm, 높이가 50 cm이며, 총 부피는 8.83 l이고, 스테인리스 스틸로 제작되었고, 상부는 공기 유입구, 수도수 유입구 및 안전변으로 이루어져 있고, 하부는 배출구, 부상수조로의 유출구로 이루어져 있다. 부상수조(Flotation column)는 가압수가 부상하는 부상조와 응집과 응결이 이루어지는 응집조의 역할을 한다. 부상수조는 내경이 7 cm, 높이가 50 cm이며, 총 부피는 1.92 l이다. 부상수조의 상부는 모터와 감속기가 달려 있으며 속도 조절장치에 의하여 속도를 조절하며, 부상수조는 내부를 관찰하기 위하여 아크릴로 제작하였다.

가압수로는 수도물을 사용하였으며, 순환비를 10~50%로 변화시켜 A/S비를 조절하였으며, 가압수조 압력은 3~6 atm으로 조절하여 실험하였다. 최적 부상조건을 찾



- 1. Air dissolving tank
- 2. Flotation column
- 3. Motor
- 4. Air compressor
- 5. Sampling port
- 6. Recycle water
- 7. Safety valve

Fig. 1. Schematic diagram of DAF system.

기 위하여 가압수 주입시간을 10~90초, 부상시간을 5~20분으로 조절하여 실험하였다. 부상에 앞선 응집은 음이온 고분자 응집제(A-301, 0.1~1.5 mg/l)를 사용하였으며, 응집은 부상수조를 응집조로 사용하여 급속교반 속도는 100~250 rpm, 급속교반 시간은 10~120초, 완속교반 속도는 20~70 rpm, 완속교반 시간은 5~30분으로 조절하여 실험하였다. 가압수조에 충전하는 충전제는 길이와 외경이 18, 22, 32 mm인 PVC 파이프를 사용하였으며, 부상수조의 노즐은 flat, full cone 및 assemble 형을 사용하여 실험하였다. 가압수조의 압력을 조건에 맞게 조절한 뒤 30분동안 공기를 포화시킨 뒤 부상 및 응집-부상실험을 수행하였다.

### 3. 분석 및 측정

pH는 0.1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 NaOH를 사용하여 7로 조절하였으며, 제지폐수 원수와 처리수의 COD와 SS 농도는 Standard Methods<sup>10)</sup>에 따라 측정하였고, 탁도는 탁도계(2100P, HACH)로 측정하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. A/S비와 가압수조 압력이 부상에 미치는 영향

부상조로 공급되는 공기의 양은 포화압력이나 순환비 또는 양쪽 모두를 변화시킴으로서 바꿀 수 있으며, 최적 A/S(Air/solids, ml/mg)비는 DAF 운전에서 매우 중요한 요소이다.<sup>11)</sup> 최적 A/S비를 고찰하기 위하여 다른 인자는 고정하고 가압수 순환유량을 변화시켜 고찰하였다. A/S비를 구하기 위하여 아래 식을 사

용하였다.<sup>12)</sup>

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3a_s(f \cdot P - 1)R}{S_s \cdot Q} \quad (1)$$

여기서,  $a_s$ : 공기 용해도(23.5 ml at 10°C, 18.7 ml at 20°C)

$f$ : 공기포화율(0.8)

$S_s$ : SS(mg/l)

$P$ : 기압(atm)

$R$ : 가압수 순환유량(l)

$Q$ : 처리유량(l)

가압수 순환유량을 처리유량의 10~50%까지 변화시켰을 때 A/S비는 0.023~0.115로 변화하였으며, Fig. 2에 A/S비에 따른 제지폐수의 COD, SS 및 탁도 변화를 나타내었다. Fig. 2에서 보듯이 A/S비가 0.058까지는

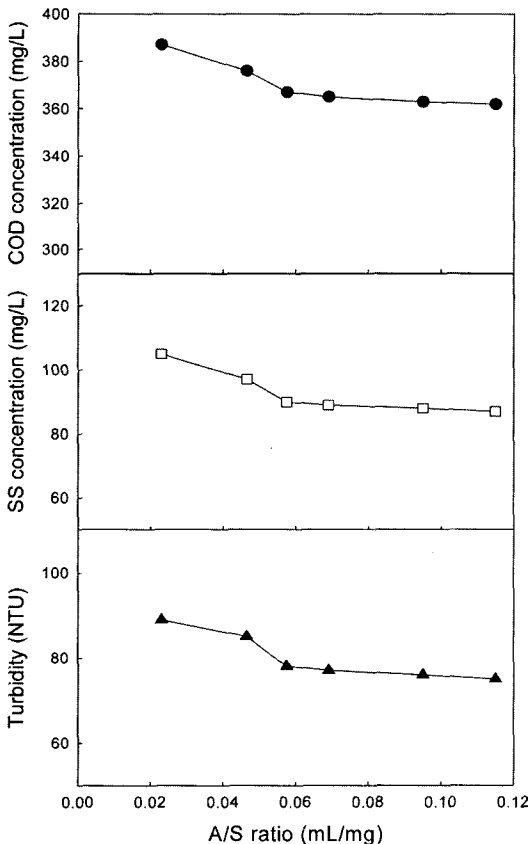


Fig. 2. Effect of the A/S ratio on the flotation of paper wastewater (Influent conditions : COD, 420 mg/l; SS, 140 mg/l; Turbidity, 130 NTU Injection time, 30 sec; Pressure, 5 atm; Flotation time, 10 min).

Table 1. Effect of the pressure on the flotation of paper wastewater (Influent conditions : COD, 420 mg/l; SS, 140 mg/l; Turbidity, 130 NTU A/S ratio, 0.058)

Pressure (atm)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	Turbidity (NTU)
3	392	100	89
4	378	92	83
4.5	370	90	80
5	365	90	79
5.5	367	94	83
6	380	98	87

A/S비 증가에 따라 COD, SS 및 탁도 농도 감소폭이 크지만 0.058 이상의 A/S비에서는 A/S비 증가에 따른 농도감소 폭이 적어지는 경향을 보여 최적 A/S비는 0.058로 나타났다. 이는 가압수 순환유량이 처리유량의 25%에 해당하는 양이며, 0.058 이상의 A/S비에서의 운전은 가압수 순환유량의 증가에 비해 농도감소폭이 적기 때문에 바람직하지 않은 것으로 사료되었다. 최적 A/S비에서의 COD, SS 및 탁도 제거율은 각각 13.1%, 36.4% 및 40%로 나타났다.

최적 압력을 결정하기 위하여 A/S비를 0.058로 고정시키고 가압수조 압력을 3~6 atm으로 변화시켜 압력 변화에 따른 COD, SS 및 탁도 변화를 Table 1에 나타내었다.

Table 1에서 보듯이 가압수조의 압력이 3과 4 atm에서는 처리효율이 떨어지는 것으로 나타났으며, 5.5 atm 이상에서는 처리효율이 오히려 떨어지는 것으로 나타났으며, 최적 압력은 5 atm인 것으로 나타났다. 3.5 atm 이상의 압력에서는 부상수조에서 부상하는 기포크기가 일정하기 때문에 탁도 제거율은 가압수 순환유량 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내지만 5 atm 이상의 압력에서는 노즐 주변에 난류현상이 발생하여 처리효율이 감소한다고 보고한 박<sup>13)</sup>의 결과와 비교할 때 유사한 결과를 나타내었다.

2. 가압수 주입시간과 부상시간이 부상에 미치는 영향

A/S비를 0.058, 압력을 5 atm으로 유지하면서 가압수 주입시간이 제지폐수의 부상에 미치는 영향을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 보듯이 가압수 주입시간이 10 초에서 30초로 증가되면서 COD, SS 및 탁도가 감소되었으나 30초 이상의 주입시간에서는 COD, SS 및 탁도가 크게 증가하는 경향을 보였다. 가압수 주입시간이 길어지면 가압수와 가압수조 내부의 유체와의 접촉이 증가하여 부상효율이 증가할 것으로 예측되었으나 실험결과는 다르게 나타났다.

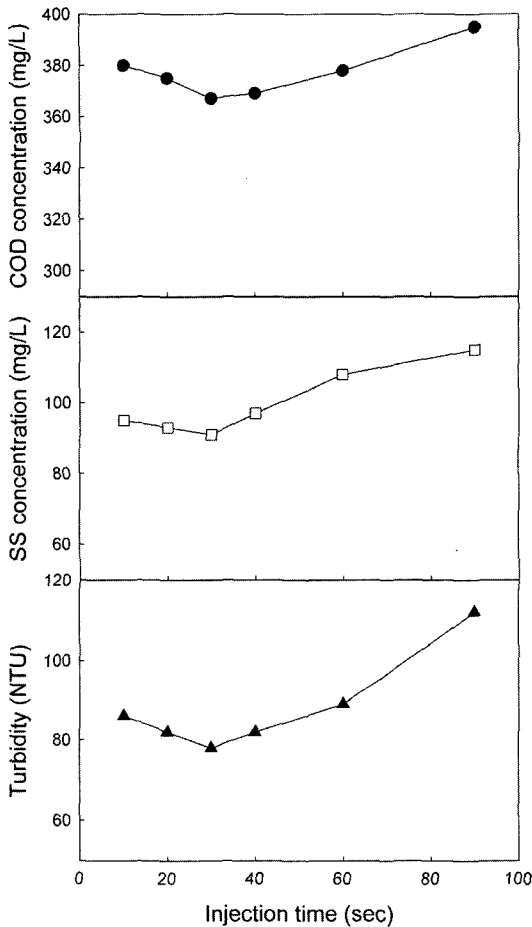


Fig. 3. Effect of the injection time on the flotation of paper wastewater (Influent conditions : COD, 420 mg/l; SS, 140 mg/l; Turbidity, 130 NTU).

이와 같은 경향을 고찰하기 위하여 가압수 주입 후 부상시간에 부상수조 내의 유체 흐름을 관찰한 결과 30 초 이내의 주입시간에서는 대부분의 유체 흐름은 상향류였으며, 국소적으로 하향흐름이 존재하는 것이 관찰되었으나 40초 이상에서는 가압수는 부상수조 중심부분에서 하부에서 상부로 이동하고 폐수는 부상수조 관벽을 중심으로 상부에서 하부로 이동되어 부상수조 전체에 걸쳐 양쪽 방향으로의 순환흐름이 발생하였는데, 이 현상은 주입시간이 길수록 더 확연하게 나타나는 것이 관찰되었다. 상기의 결과로 볼 때 가압수의 최적 주입시간은 가압수의 상향흐름이 주요흐름인 조건에서 가압수와 유체 중의 부유물질이 최대로 접촉할 수 있는 시간이며, 본 실험에서는 30초 부근인 것으로 사료되었다.

Table 2. Effect of the flotation time on the flotation of paper wastewater (Influent conditions : COD, 420 mg/l; SS, 140 mg/l; Turbidity, 130 NTU)

Time (min)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	Turbidity (NTU)
5	385	99	85
10	369	92	77
15	368	91	76
20	367	91	75

가압수 주입시간을 30초로 고정하고 다른 조건을 일정하게 유지하면서 가압수 주입후 가압수 중의 공기 기포와 부상수조 내의 SS가 부상하는 부상시간을 5, 10, 15 및 20분으로 변화시켜 부상시간에 따른 COD, SS 및 탁도를 Table 2에 나타내었다.

Table 2에 보듯이 부상시간은 부상에 큰 영향을 미치지 않는 것이며, 10분 정도의 부상시간이면 충분한 것으로 사료되었다. 이와 같은 결과는 정수처리에 DAF를 적용한 경우 부상시간이 10분 이상이면 안정된 농도에 도달된다고 보고한 김<sup>14)</sup> 등의 연구결과와 비교할 때 실험한 원수의 성상은 다르지만 부상에서 최적 부상시간은 10분 정도인 것으로 사료되었다.

### 3. 응집제 투입이 부상에 미치는 영향

응집제를 투입하지 않고 부상만 실시한 경우 최적의 부상조건에서 COD, SS 및 탁도 제거율은 각각 12.1~13.2%, 34.3~35.7% 및 39.2~40.7%로 나타나 부상만으로는 처리효율이 낮게 나타나 응집제의 적용이 필요한 것으로 나타났다. 이는 제지 폐수의 특성상 50~60 mesh 이하의 셀룰로오스 등이 부유물질로 다량으로 존재하고, 제조공정에서 충전제로 사용하는 무기광물질 (Talc, Clay, CaCO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> 등) 등의 콜로이드성 물질이 많이 함유되어 있고 용해성 유기물은 인크제거제, alum과 같은 무기응집제, 레진, 전분, 지방, 단백질 등이 포함되어 있기 때문에 부유물질만 일부 부상에 의해서 제거되고 콜로이드성 물질과 용해성 유기물질이 부상이 잘 안되기 때문에 전체적인 부상효율이 떨어지는 것으로 사료되었다.<sup>15,16)</sup>

Alum이 제지폐수 중에 존재하므로 3.1절과 3.2절의 최적 조건을 적용하고 응집제로는 음이온 고분자 응집제를 0.1~1.5 mg/l의 농도로 사용하여 급속교반을 200 rpm으로 1분, 완속교반을 30 rpm으로 10분 수행한 후에 최적 부상조건에서 부상시켜 실험한 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에서 보듯이 0.1 mg/l의 음이온 고분자응집제

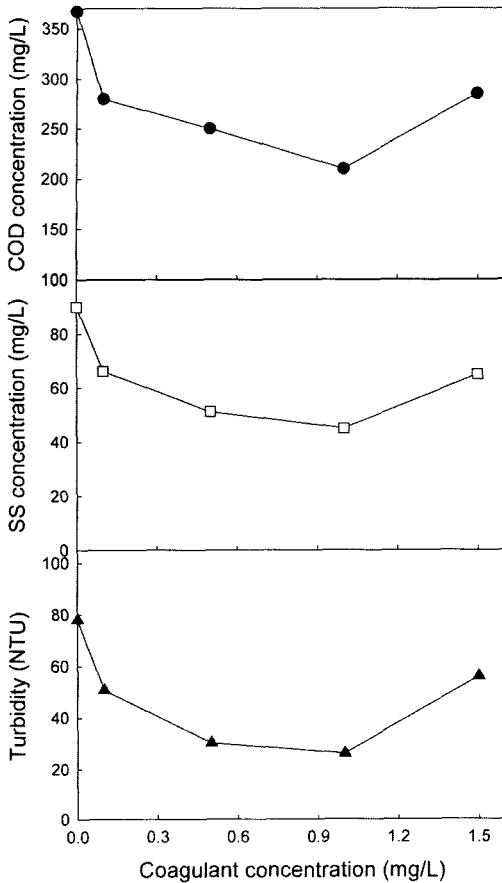


Fig. 4. Effect of the coagulant concentration on the flotation of paper wastewater (Influent conditions : COD, 428 mg/l; SS, 144 mg/l; Turbidity, 132 NTU).

농도로도 COD 농도가 367 mg/l에서 280 mg/l로 감소되는 결과를 나타내었다. SS와 탁도 감소를 보면 최적 음이온 고분자응집제 농도는 0.5 mg/l이지만 COD 농도가 1.0 mg/l보다 높게 나타나기 때문에 최적 COD 농도는 1.0 mg/l라고 사료되었다. 최적 응집제 농도에서 COD, SS 및 탁도 제거율은 각각 50.9, 68.4 및 75.7%로 나타나 부상만 적용하였을 경우보다 35~37%의 제거율 상승을 나타내었다.

응집제 적용시 급속 교반속도와 시간, 완속 교반속도와 시간이 주요 운전인자이다. Table 3에 각 인자에 따른 COD, SS 및 탁도 농도를 나타내었다. Table 3에서 보듯이 최적 급속교반 속도는 150 rpm이고, 최적 급속교반 시간은 30초인 것으로 나타났다. 최적 급속교반 속도와 시간 이상의 조건에서는 COD, SS 및 탁도 농도감소가 최적 조건과 유사하거나 약간 감소하는 것

Table 3. Effects of the mixing condition on the flotation of paper wastewater (Influent conditions : COD, 428 mg/l; SS, 144 mg/l; Turbidity, 132 NTU)

	COD (mg/l)	SS (mg/l)	Turbidity (NTU)
Effect of rapid mixing speed (rpm)	100	240	30.5
	150	194	27.5
	200	208	28.8
	250	215	36.3
Effect of rapid mixing time (sec)	15	254	53.3
	30	196	27.4
	45	204	30.2
	60	208	33.0
	90	210	34.1
	120	220	35.3
Effect of slow mixing speed (rpm)	20	194	27.5
	30	200	30.0
	40	210	35.3
	50	235	40.7
Effect of slow mixing time (min)	70	270	54.2
	0	234	45.6
	5	210	32.6
	10	194	28.2
	15	210	37.5
	20	230	48.1
30	270	59.7	

으로 나타났다.

완속교반 속도의 경우 최저 속도인 20 rpm에서 최적의 결과를 얻을 수 있었으며, 완속교반 속도를 높일수록 COD, SS 및 탁도 농도감소가 저하되었다. 이는 빠른 완속교반이 충분한 플록의 크기를 이루는데 방해한다고 사료되었다. 최적 완속교반 속도에서 완속교반 시간의 영향을 고찰한 결과 최적 완속교반 시간은 교반 초기에는 완속교반 시간에 따라 COD, SS 및 탁도 농도가 감소하지만 10분 이후에서는 오히려 증가하는 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 완속교반 시간이 증가함에 따라 플록의 크기가 커져 침전하는 플록이 증가되었으며, 육안 관찰결과 이와 같은 경향을 확인할 수 있었다.

상기의 결과에서 응집제를 사용할 경우 플록이 생겨 콜로이드성 물질이나 용존성 물질이 응집되어 부상효율을 높이는 역할을 하지만 플록을 너무 크게 형성시키면 부상보다는 오히려 침전을 적용하는 것이 더 나은 결과를 얻을 수 있기 때문에 최적 부상조건을 찾아야 한다고 사료되었다.

**4. 충전재의 크기와 충전율이 부상에 미치는 영향**

가압수조에서 공기/물 비는 총 공기농도(mg/l)로 나타내는데, 이것은 가압수조의 압력과 효율 및 순환비율의 함수이다, 일반적으로 수처리에서 사용되는 충전된(packed) 가압수조의 효율은 90~95%이고, 충전되지 않은(unpacked) 가압수조의 효율은 60~70%로 가정한다. DAF의 공기 가압기용 충전층(packed column)에 사용되는 충전물(packings)은 raschig ring, lessing ring, berl saddle 및 pall ring 등이 있으며, 그 외 pall ring 이나 raschig ring에 비해 가격이 저렴한 PVC 파이프 등을 이용하기도 한다.<sup>8)</sup>

본 실험에서는 다른 외경(18, 22 및 32 mm) 길이(18, 22 및 32 mm)을 가지는 PVC 파이프를 충전재로 사용하여 100% 충전하여 충전하지 않은 경우와 COD, SS 및 탁도 농도감소를 고찰하여 Fig. 5에 나타내었다.

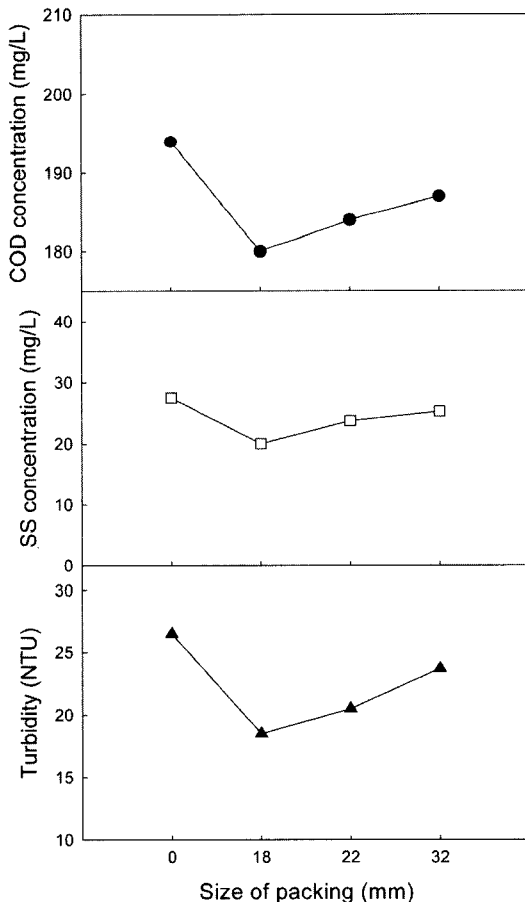


Fig. 5. Effect of size of packing on the flotation of paper wastewater (Influent conditions : COD, 428 mg/l; SS, 144 mg/l; Turbidity, 132 NTU).

Table 4. Effect of the packing ratio on the flotation of paper wastewater (Influent conditions : COD, 428 mg/l; SS, 144 mg/l; Turbidity, 132 NTU)

Packing ratio (%)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	Turbidity (NTU)
0	194	27.5	26.5
20	192	26.1	24.8
40	191	25.4	22.1
60	188	24.3	20.5
80	184	22.5	19.5
100	180	20.1	18.5

Fig. 5에서 보듯이 충전재를 충전한 경우 충전하지 않은 경우보다 COD, SS 및 탁도 농도가 감소하는 경향을 보였다. 충전재의 크기에 따라서는 충전재의 크기가 작을수록 농도감소가 큰 경향을 보였다. 충전재가 충전되지 않은 경우와 18 mm PVC 파이프를 충전한 경우의 COD, SS 및 탁도 제거율은 각각 54.6%와 57.9%, 80.9%와 86.1% 및 79.9%와 86.0%로 나타나 3.3%(COD), 5.2%(SS) 및 6.1%(탁도)의 제거율 차이를 보였는데, 충전재의 크기가 작을수록 가압수조에 충전되는 양이 많기 때문에 충전효율이 높은 것으로 사료되었다.

Table 4에 18 mm PVC 파이프의 충전율에 따른 COD, SS 및 탁도를 나타내었다. Table 4에서 보듯이 충전율이 0%에서 100%로 증가되면서 COD, SS 및 탁도 농도가 감소하는 경향을 보였으나 그 차이는 적게 나타났다. 그 이유는 실험장치에 나타내었듯이 압력을 조절한 후 30분 동안 포화하는 시간을 두기 때문에 충전물이 충전되지 않은 경우와 충전물을 충전하는 경우의 차이가 크지 않다고 사료되었다. 그러나 충전물의 충전은 제거율 증대가 적지만 장치 제작 초기에 한번만 충전하면 되기 때문에 충전물을 충전하여 운전하는 것이 유리하다고 사료되었다.

**5. 노즐 종류가 부상에 미치는 영향**

부상에 사용되는 노즐은 크게 두가지 종류가 있다. 한 종류는 고정형 노즐(fixed nozzle)이고, 다른 하나는 조절가능한 오리피스(adjustable orifice)로 니들밸브를 사용한다.<sup>8)</sup> 본 실험에서는 시중에서 쉽게 구할 수 있는 세 종류의 고정형 노즐[Flat(1자형 분출); Full cone(원형 분출); Assemble(안개형, 원형 분출)]을 장착하여 최적부상 및 응집조건에서 노즐 종류에 따른 COD, SS 및 탁도 처리율을 고찰하여 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6에서 보듯이 full cone 노즐의 COD, SS 및 탁도 농도감소가 가장 높은 것으로 나타났다. Full

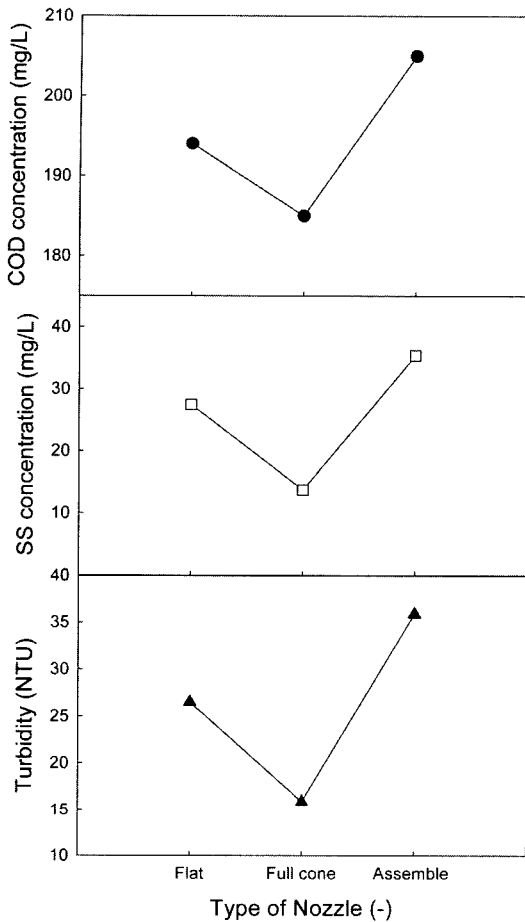


Fig. 6. Effect of the coagulant on the flotation of paper wastewater (Influent conditions : COD, 428 mg/l; SS, 144 mg/l; Turbidity, 132 NTU).

cone 노즐을 사용할 경우 flat 노즐보다 COD, SS 및 탁도 제거율 증가는 각각 1.8%(54.6%→56.7%), 9.5%(80.9%→90.4%) 및 8.0%(79.9→87.9%)의 증가율을 보였다. 반면 Assemble 노즐을 사용할 경우는 flat 형보다 COD, SS 및 탁도 제거율이 각각 2.5%(54.6%→52.1%), 5.5%(80.9%→75.4%) 및 6.6%(79.9%→72.8%) 감소되는 결과를 나타내었다.

이와 같은 결과는 flat 노즐의 경우 가압수조 내에서 1차형으로 분출되는데 비해 full cone 노즐은 노즐 내부에 장착된 나선형 구조물에 의해 원형으로 골고루 분출되기 때문에 부상수조 내의 SS 등과 접촉이 많아서 제거율이 높게 나타나며, assemble 노즐은 full cone 노즐과 같이 원형으로 분출되지만 노즐 내부에 200 mesh의 필터(눈금크기 : 76 μm)가 장착되어 있어<sup>17)</sup> 가압수 내의 공기 기포가 필터를 통과하면서 기

포가 합체될 수 있는 가능성이 있기 때문에 처리율이 낮다고 사료되었다. 또한 assemble 노즐은 노즐의 크기가 1 mm보다 적기 때문에 가압수의 주입시간이 51초가 소요되어 가압수 주입시간을 적절하게 조절할 수 없다는 단점이 나타나 부상공정에 사용하기에는 부적절한 것으로 사료되었다.

#### IV. 결 론

제지공정에서 발생하는 백수(白水) 중의 원료를 회수하기 위한 침전조의 상등수를 대상으로 부상공정을 적용한 결과 다음의 결과를 얻었다.

1. 가압수 순환유량을 처리유량의 10~50%까지 변화시켰을 때 A/S비는 0.023~0.115로 변화였으며, 0.058 이상의 A/S비에서는 A/S비 증가에 따른 농도감소 폭이 적어지는 경향을 보여 최적 A/S비는 0.058로 나타났다. 최적 A/S비에서 가압수조 압력을 3~6 atm으로 변화시켜 실험한 결과 최적 압력은 4.5~5 atm인 것으로 나타났다.

2. 최적 A/S비와 압력에서 가압수 주입시간의 영향을 고찰한 결과 30초 이상의 주입시간에서는 COD, SS 및 탁도가 크게 증가하는 경향을 보여 최적 가압수 주입시간은 30초로 나타났다. 최적 가압수 주입시간에서 10분 정도의 부상시간이면 충분한 것으로 사료되었다.

3. 부상효율을 증가시키기 위해 음이온 고분자응집제(0.1~1.5 mg/l)를 적용하고 최적 부상조건에서 부상시킨 결과 최적 COD 농도는 1.0 mg/l로 사료되었다. 응집제 적용시 최적 조건을 구한 결과 최적 급속교반 속도는 150 rpm, 최적 급속교반 시간은 30초, 최적 완속교반 속도는 20 rpm, 최적 완속교반 시간은 10분인 것으로 나타났다.

4. 다른 크기(외경과 길이; 18, 22 및 32 mm)를 가지는 PVC 파이프를 충전재로 사용하여 부상한 결과 충전재의 크기가 작을수록 농도감소가 큰 경향을 보였다. 충전율을 변화시켰을 때 충전율이 0%에서 100%로 증가되면서 COD, SS 및 탁도 농도가 감소하는 경향을 보였으나 그 차이는 적게 나타났다.

5. 세 종류의 고정형 노즐(Flat(1차형 분출); Full cone(원형 분출); Assemble(안개형, 원형 분출))을 장착하여 최적부상 및 응집조건에서 노즐 종류의 영향을 고찰한 결과, full cone 노즐을 사용할 경우 flat 노즐보다 COD, SS 및 탁도 제거율이 증가하였으나, assemble 노즐을 사용할 경우는 flat 형보다 COD, SS 및 탁도 제거율이 감소되는 결과를 나타내었다.

## 감사의 글

본 연구는 2005학년도 대구가톨릭대학교 일반연구비 지원에 의한 것입니다.

## 참고문헌

1. 정 인 : 제지폐수 혐기성 처리의 현황 및 미래. 공업화학 전망, **7(1)**, 3-13, 2004.
2. 이성호, 임택준, 조준형 : 고온성 종균제를 이용한 제지폐수 처리. 펄프·종이기술, **34(2)**, 220-226, 2002.
3. 박종현, 김선영, 한완택 : 호기적 제지폐수 처리공정중에의 분산 혐기성 미생물의 영향. *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **28(3)**, 180-184, 2000.
4. 정현성, 김용환, 류정용, 송봉근, 김상철, 이상일 : 입상화 촉진제를 이용한 슬러지 입상화 및 이를 이용한 제지 폐수 처리. 대한환경공학회지, **26(8)**, 837-843, 2004.
5. 정원구 : 제지폐수의 응집특성 및 활성슬러지 처리에 관한 연구. 강원대학교, 석사학위논문, 1-21, 1998.
6. 최택열 : 활성오니처리의 장애의 규명과 그 제어에 관한 연구. 한국환경위생학회지, **20(2)**, 28-38, 1994.
7. 이장훈, 권혁구, 강병근, 정준오 : 활성오니공법에서 영양염류 조성비와 공기조절이 팽화발생에 미치는 영향. 한국환경위생학회지, **30(1)**, 7-14, 2004.
8. 김유창, 신흥식, 나은수 : 용존공기부상(Dissolved Air Flotation ; DAF)의 핵심기술. 기계와 재료, **13(4)**, 16-22, 2001.
9. 안대명, 이창한, 안갑환, 조석호, 김성수 : 국산 DAF펌프가 적용된 Pilot 부상공정의 운전조건. 상하수도학회지, **18(2)**, 242-246, 2004.
10. APH-AWWA-WPCE : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed., APHA, Washington D.C., 1992.
11. 박치현 : DAF(Dissolved Air Flotation) 공법을 응용한 정수처리 공정의 개량. 부산대학교, 석사학위논문, 7-10, 2001.
12. 고광백, 김영관, 윤주환, 이병현, 임봉수, 임재명, 한무영 : 폐수처리공학. 동화기술, 서울, 245-248, 1995.
13. 박용호 : 용존공기부상공정에서의 압력의 영향. 서울대학교, 석사학위논문, 41-55, 2003.
14. 김미정, 이병호 : DAF(Dissolved air Flotation)의 운전 인자들이 오염물질의 제거율에 미치는 영향에 대한 기초연구. 대한환경공학회지, **19(6)**, 755-762, 1997.
15. 김해진, 김선화 : 제지폐수의 응집 특성 연구. 한국환경과학회, 가을 학술발표회 논문집, **9(2)**, 113-114, 2000.
16. 이승화 : 제지폐수의 응집특성 연구. 동신대학교 석사학위논문, 1-10, 1997.
17. Coluson, J. M. and Richardson, J. F. : Chemical Engineering, Vol. 2: Unit Operation, 3rd Eds., Pergamon Press, Oxpord, 4-6, 1978.