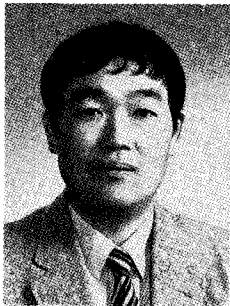


제지공장의 폐수처리에서 발생된

슬러지의 재활용

(첫번째)



오준성

〈전남대학교 공과대학 교수〉

1. 서 론

국내의 연간 종이생산량은 '80년에 150여만톤에서 '87년에는 300만톤 이상으로 증가되어 제지업계의 생산능력이 크게 신장되었음을 알 수 있다. 그러나 생산량의 증가와 더불어 부상되는 문제점은 종이의 주원료인 펄프의 조달이다. 신문용지의 원료인 쇄목펄프는 국내생산량으로 수요가 충족되나 판지, 크라프트지, 인쇄용지, 화장지 등의 원료인 화학펄프는 아직도 85% 정도가 수입되어야 함으로 화학펄프의 국제가격 변동은 국내 제지업계와 종이관련 산업분야의 안정된 성장을 크게 침해하는 요인이다. 이러한 요인을 완화, 또는 제거시키기 위해서는 화학펄프의 생산량을 크게 증가시켜야 하는데, 이를 위해서는 막대한 시설투자비와 목재 조달이 선행되어야 함으로 화학펄프의 증산은 여러 측면에서 검토되고 추진되어야 할 것이다.

이러한 원료조달의 상태에서 제지업계에 적지않은 이익을 줄수 있는 기술의 분야가 폐수처리에서 발

목 차

- | | |
|----------------------|-----------------|
| 1. 서 론 | 4. 부상실험 |
| 2. 시료의 특성 | 4-1 원폐수조건에서의 분리 |
| 3. 수력싸이크론의 실험 | 4-2 시약의 영향 |
| 3-1 이론적 배경 | 4-3 pH의 영향 |
| 3-2 실험결과 및 고찰 | 4-4 회전속도의 영향 |
| 3-2-1 Conical형 | 4-5 부상시간의 영향 |
| 3-2-2 Cylindrical형 | 5. 결 론 |
| 3-2-3 Cenical short형 | |

생된 슬러지 재활용의 극대화이다. 제지공장에서 발생된 폐수에는 목재섬유소질(이하 섬유소로 표기) 이외에 입자상태의 여러종류의 이물질들이 포함되어 있다. 이 이물질의 종류는 종이의 원료특성에 따라 다소 다르나 일반적으로 광물질, 색소, 합성수지, 그리고 접착제 등이라고 볼 수 있다. 종이의 원료가 될 수 없는 이물질들이 적절한 기술을 통하여 분리 제거될 수 있다면, 슬러지의 재활용은, 물론 폐수의 BOD가 상당히 낮아지므로 폐수의 처리와 재활용이 보다 더 쉽게 될 수 있다.

제지공장에 설치된 폐수처리장에 스크린법, 또는 가압부상법의 공정을 도입하여 섬유소를 슬러지상태로 회수하여 재활용할 수 있다. 이러한 기술들은 폐수에 포함된 대부분의 입자상의 물질들을 전체적으로, 즉 비선택적으로 회수하는 방법이므로 회수된 슬러지가 재사용되었을 경우 생산된 종이의 품질이 저하될 뿐만 아니라, 슬러지에 들어있는 이물질의 물리적, 화학적 특성이 종이생산을 위한 조성과 초지공정에 상당한 음성적인 영향을 미치게 됨으로 이 기술들은 근본적인 해결방법이 될 수 없다.

섬유소의 순도높은 회수는 섬유소가 이물질로부터 선택적으로 분리됨으로써 가능한데, 이를 위해 본 연구에서는 물리적인 방법과 계면현상을 이용한 분리기술을 적용하였다. 이물질들의 물리적인 분리에 수력싸이크론을 사용, 이물질의 입도에 따른 적절한 구조물을 설계 제작하여 입자들의 분리상태를 연구하였다. 물리적인 분리가 불가능

한 이물질들의 제거에는 일반부상법(Froth Flotation)을 적용하여 이물질들만이 기포(氣泡)에 흡착되어 부상하도록 부상조건을 조절하였다. 부상조건에 따른 실험결과에서 COD값의 변화도 관찰하였다.

2. 시료의 특성

제지공장의 폐수에서 발생하는 슬러지양을 조사하였는데, 대상은 백상지, 신문지, 판지, 크라프트지, 그리고 화장지 제조업체였다. 총 19개 공장으로부터 슬러지를 채취하고 분석하여 그 결과를 표1에 나타냈다. 기록된 값들은 같은 업종의 평균값이다. 신문지 제조공장에서 가장 높은 비율의 슬러지가 발생되었음을 알 수 있으며, 이는 쇄목펄프의 제조과정에서 발생한

이물질의 함량이 높기 때문이다. 판지류의 경우 평균 발생량은 17.1%인데, 현재 가장 많은 생산을 하고 있는 종이이므로 슬러지발생량이 절대적으로 많은 종이이다. 따라서 본 실험에서는 판지공장에서 발생된 폐수를 실험의 시료로 선택하였다. 표의 결과로 계산한 경우 5종류의 종이생산으로부터 전국적으로 매일 230여톤의 슬러지가 발생되어 산업폐기물로 처리되고 있다. 이를 순도높은 종이원료로 정제하여 재사용할 수 있다면, 외화의 절약은 물론 제지업체에 적지않은 이익을 가져다줄 수 있겠다.

실험에 사용된 시료의 BOD는 1,010~1,530mg/l로 이에 따른 COD는 1,120~1,650mg/l로써 COD값이 약간 더 높은 고농도의 유기물을 함유한 폐수이다. 시료에 포함

표 1 : 종이의 종류에 따른 슬러지의 발생량

종이의 종류	생산량 t/d	슬러지		
		발생량		수분·함량
		t/d	Wt-(%)	Wt-(%)
백상지	855	38	4.4	65.8
신문지	470	132	28.1	71.3
크라프트지	200	40	20.0	69.8
판지	550	94	17.1	72.6
화장지	210	58	27.6	68.7

표 2 : 시료의 입도에 따른 TS와 FS의 중량비율의 분포

size mm	total solid %	fixed solid %
+1.68	16.5	1.2
1.68 -0.84	22.7	3.2
0.84 -0.42	14.3	2.3
0.42 -0.105	6.8	2.0
0.105-0.074	3.1	0.6
0.074-0.038	2.9	0.3
0.038 -	33.7	90.4
	100.0	100.0

된 입자상의 물질을 입도별로 분류하여 그 결과를 표2에 나타냈다. TS는 평균적으로 2,520mg/l였는데, 분포를 보면 조립과 미립질의 중량비가 높다. 조립질은 원료와 함께 유입된 광물질, 유기물 금속 박편(주로 알루미늄)등이며, 입도 -0.038mm인 미립질은 종이에 들어있었던 충전제의 대부분이라고 볼 수 있다. FS의 중량비를 알기 위해 TS를 측정된 시료를 KS규정에 따라 회화시켰다. FS는 TS의 34.4%로 조사됐으며 회화후의 산물을 입도분석하여 중량비율로 표에 기록하였다. 조성 또는 초지과정에 음성적인 영향을 미치는 입도의 한계를 0.038mm로 본다면, 슬릿지의 재활용을 위하여 전체 FS의 9.6%(입도 +0.038mm)는 제거되어야 한다.

3. 수력 사이클론의 시험

3.1 이론적 배경

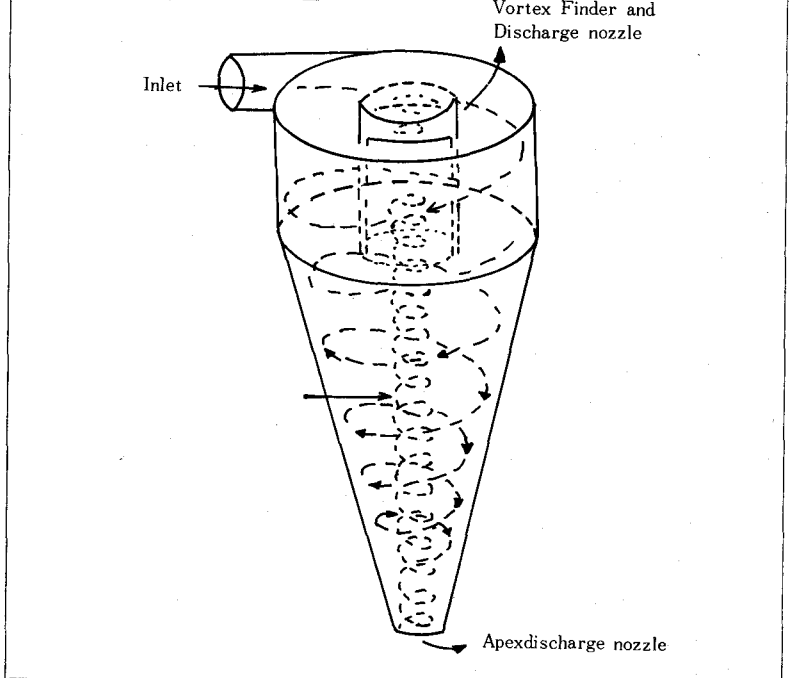
사이클론은 간단한 구조물로 높은 처리능력을 갖는 분리장치인데 공기정화장치 이외에도 액체-고체 및 액체-액체의 분리에도 널리 사용되고 있다. 사이클론에서 물질의 분리는 그림 1에서 볼 수 있는 두 방향의 상부와 하부로 배출되는 와류에 의한 것이다. 수력사이클론에서 발생하는 유속에 따른 Renold수는 일반적으로 $10^5 - 10^6$ 을 가지고 있으므로 유체 및 고체의 입자는(이하 펄프라고 명칭) 그들이 갖는 원심력, 중력, 그리고 구심력에 따라 운동 특성을 나타낸다. 일정한 압력으로 유입구를 통과한 펄프는 먼저 원심력과 중력작용으로 사이클론 내벽

을 따라 선회하면서 1차와류를 형성하여 하부에 설치된 apexdischarge nozzle을 통하여 배출된다. 이 노즐의 직경(Da)은 사이클론의 직경(D)에 비하여 대단히 작으므로(일반적으로 $Da < 0.2D$) 펄프의 일부분만 이 노즐을 통하여 배출된다.

배출될 수 없는 양의 펄프는 진행방향을 바꾸어 반대방향, 즉 상방향으로 진행하는데 이를 2차와류라고 한다. 방향전환을 유도하는 구조가 Vortexdischarge nozzle이다. 이 노즐의 직경(Dv)은 일반적으로 0.4D보다 작은 크기를 갖는데, 이러한 구조관계를 펄프의 방향전환이 사이클론 내부의 어디에서나 발생될 수 있음을 의미한다. 적절한 범위내에서의 방향전환은 분리효과의 개선을 가져오는데 두

측면에서 가능하다. 노즐들의 적절한 크기 내지는 비율에 따른 영향인데 이들은 실험적으로 고찰되어야 한다. Da의 크기는 분리입도에 결정적으로 작용하는데, 이 Da에 적합한 Da의 크기가 구해져야 하며 동시에 배출비율도 유리한 결과를 가져와야 한다. 펄프의 고체함량비도 이들에 영향을 미치는 인자가 된다. 사이클론 직경의 크기는 배출노즐과 유입구 직경(Di)의 크기를 결정짓는 절대적인 인자이며 이 직경들이 일정할 때 분리결과에 영향을 주는 또 하나의 요인은 사이클론의 형태이다. 펄프의 유입압력이 일정할때 운동하는 펄프의 가속도는 직경 D에 반비례 한다고 볼 수 있기 때문에 Vortexfinder 아래 부분의 길이 및 각도는 펄프의 각 속도에 적지않은 영향을 준다. 본

그림 1. 사이클론의 간단한 구조



연구에서 밝혀야 할 내용은 물보다 낮은 비율을 갖는 이물질 그리고 섬유보다 큰 입도를 갖는 이물질들의 운동특성인데, 이들의 분리결과에 사이클론의 구조가 미치는 영향이 중점적으로 연구되어야 한다.

다음은 분리를 받아야 될 물질의 물리적 성질이다. 폐수에 포함된 입자상태의 물질들에서 섬유를 제외한 다른 물질은 apexdischarge nozzle을 통하여 배출될 수 있어야 하는데 문제점은 2차와류의 작용이다. 이들이 충분한 운동력을 가지면서 1차와류를 형성하여야 하는데 여기에서 결정적인 인자는 입자의 비중이다. 물에 비하여 월등히 높은 비중을 갖는 물질은 사이클론의 직경조건을 고려하지 않을 때 2차와류의 영향을 전혀 받지 않으나, 근소한 차이 또는 물보다 낮은 비중을 갖는 물질은 비중에 반비례하는 2차와류의 영향을 받게 된다. 이러한 경우 이들의 크기는 2차와류의 영향을 적게 받을 수 있는 조건이 되므로 사이클론의 여러 작업변수의 조절을 통하여 목적하는 분리를 피하여야 한다. 펄프의 유입압력이 이를 위한 작업변수의 하나가 될 수 있으나 압력의 상승은 분리결과에 비해 높은 동력소모를 가져오므로 제한된 변수에 불과하다. 사이클론에 대한 이론적인 연구가 그동안 활발히 발표되었으나 만족할 만한 결과에는 이르지 못했다고 본다. 분리입도(粒度)의 결정에 있어서 사이클론의 여러 작업변수가 갖는 작용에 상당한 차이들을 주장하고 있는데 경험적인 결과에서 산출한 Mueller의 식을 소개하면 다음과 같다.

$$dT = 15.1 Kd \frac{Dig(0.91 (Dv/Da)^3)}{(\gamma - \rho) (1 - \beta)^3 P} (\mu m)$$

dT : 분리입도의 크기 (μm)

Kd : 보정계수

D : Dv, Du의 단위는 cm

γ : 입자의 밀도 (g/cm^2),

ρ : 유체의 밀도 (g/cm^2)

β : 유체에 대한 고체의 부피비

(단위 없음)

P : 펄프의 유입 압력 (Kp/cm^2)

여기에서 Kd는 다음과 같이 구한다.

$$Kd = [0.07 d_{50} (\frac{\gamma - \rho}{D})^{1/2}]^m$$

d_{50} : 입자의 중간크기 (cm)

m : 0.05 ($D < 10$ cm)

0.5 ($D \geq 10$ cm)

사이클론의 직경에 따른 Dv, Da 그리고 Di의 크기에 대해 Schubert는 다음의 관계를 제안하였다.

$$Dv = 0.2 - 0.4 D$$

$$Di = 0.5 - 1.0 Dv$$

$$Da = 0.3 - 0.8 Dv$$

수력 사이클론의 처리용량에 대해서도 많은 공식들이 소개되었으나 많은 문제점들을 내포하고 있다. 다음은 Povarov가 발표한 공식이다.

$$Q = 15.7 Kd \cdot Da \cdot Di \cdot Dv \sqrt{P} (\ell / \text{min})$$

Kd와 Ka 는 사이클론의 직경과 Vortex아래부분의 각도가 가지는 상수로써 다음식에 의하여 계산된다.

$$Kd = \frac{0.08D + 2}{0.1D + 1}$$

$$Ka = 0.79 + \frac{0.044}{0.0379 + \tan \alpha / 2}$$

위의 식들은 경험적인 결과를 바탕으로 산출되었기 때문에 일반적

인 경우 큰 차이없이 적용될 수 있다고 보나 물보다 가볍거나 근소하게 높은 비중을 갖는 물질의 분리 실험에는 단순한 적용이 불가능하다고 보며 목적하는 분리에는 실험적으로 해결해야 된다고 본다. 수력사이클론을 사용한 목적은 폐수에 포함된 이물질의 분리제거인데 분리의 한계를 $38 \mu m$ 로 고정하였다. 폐수로부터 $+38 \mu m$ 의 이물질을 제거하기 위해 사이클론을 설계하고 제작하였다. 섬유는 1보다 낮은 밀도를 가져 사이클론내의 특이한 운동 특성을 나타낼 것으로 예측되어 사이클론 몸체의 구조를 바꾸어 가면서 분리 결과를 고찰하였다. 먼저 일반적인 구조인 Conical long 형태의 분리 능력을 시험하였는데 이물질의 분리에 작용하는 여러 실험 변수를 변화시켰다. 여기에서 얻은 최적의 조건에 다른 형태인 cylindrical long과 conical short형의 분리 능력을 시험하였다.

(다음호에 계속)

오준성(吳俊成)

1948년생

전남대학교 공과대학 졸업,

서독 아헨대학교에서 석사 및 박사 취득
(폐기물처리 전공)

서독 아헨대학교에서 경영대학원 수료
서독 아헨대학교 화공연구소 책임연구원
역임

현 전남대학교 공과대학 교수

지난호까지 연재되었던 본란의 <공해측정기 설치와 관리>는 필자의 사정상 잠시 미루어짐을 알립니다.
편집자주