

고온성 중균제를 이용한 제지폐수 처리



이 성 호

청림환경씨엔씨 대표이사
세명대학교 환경공학과 겸임교수

본고는 이성호 연합회 직전회장의 박사학위 연구논문입니다. (편집자 주)

1. 서론

펄프제지공업은 화학공업, 철강공업, 전자산업 등과 같이 전형적인 용수산업으로 자리잡고 있다. 종이는 현대에 들어와 정보 산업의 발달에 따라 기하급수적인 수요의 확대에 따라 생산량이 급증하였는데 이에 따르는 펄프제지 공장의 폐수 배출량이 증가되고 있다. 제지폐수는 COD에 비해 BOD가 낮고 하천이나 해안 방류시 부유물질(미세한 섬유질, 콜로이드물질)의 침전에 의한 2차 수질오염을 유발한다. 펄프제지용수는 각 공정에 있어서 처리세정용으로 주로 사용되고 기타 냉각수, 온도조절용으로 사용되고 있다. 수자원은 주로 하천수, 지표수, 복류수 등을 이용하고, 기타 우물물도 사용한다.

전 산업에서 원료용수와 제품처리, 세정으로 사용되는 용수의 합계는 전 용수의 약 23%정도에 불과하나, 펄프제지용수는 85%정도가 공정에 있어서 처리용수로서 사용되고 있고, 냉각수에 사용되는 것은 불과 5%정도이다. 그러므로 펄프제지공업의 용수의 수질은 상당히 중요하다.

대부분의 제지폐수 처리는 생물학적 처리를 하게 되는데 이것은 폐수 내에 존재하는 유기물중 생물에 의해서 분해 가능한 유기물을 미생물을 이용하여 제거하는 방법이다. 생물학적 처리에 이용되는 미생물은 대부분 중온성이기 때문에 급격한 온도변화에 사멸하는 경향을 보인다. 따라서 겨울철 및 여름철의 온도변화는 미생물의 사멸을 야기하고, 이는 곧 처리수질악화로 이어지게 된다. 온도가 높은 여름철에는 냉각설비로도 온도저하에 한계를 갖게 되고, 폭기조의 온도는 39℃에서 50℃까지 올라가게 된다. 이로 인해 미생물의 사멸이 초래되고 따라서 미생물을 이용하여 폐수를 처리하는 공장의 방류수 수질은 악화되게 된다.

본 실험은 온도변화에 따른 미생물의 변화를 파악하는 동시에 고온성 중균제를 투여하여 제지폐수를 처리할 때의 처리수질을 측정 분석하였다. 이로 인해 고온에 의한 미생물의 사멸을 억제함으로써 제지 폐수의 처리수질의 악화를 막고 그 적정 투여량을 알아봄으로써 중균제 사용비를 절감할 수 있기 위함이다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

2.1.1 원폐수

본 실험에 사용된 원폐수는 우유팩을 원료로하여 화장지를 생산하는 G제지공장의 원폐수를 사용하였으며, 원폐수 수질분석은 5회 채취하여 실험하고 평균값으로 얻어진 수치를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. characteristic of original wastewater

시료 \ 항목	BOD	COD	SS
원폐수(mg/l)	472	673	1,870

Table 2. characteristic of wastewater treated with sedimentation

시료 \ 항목	BOD	COD	SS
1차처리수(mg/l)	166.25	223.75	104

2.1.2 1차 처리수

원폐수의 오염부하량이 상당히 높은 수치로 나타나므로 공정상에서 생성된 원폐수가 그대로 2차처리(생물학적처리)반응조로 유입될 경우 활성오니의 활성에 장애를 유발하므로 물리화학적 방법으로 1차 처리를 거친 후 활성슬러지 폭기조로 유입되어야만 한다. G제지공장의 경우 1차 처리방법으로 Air-flotation법을 채택하고 있었으며, 이때 응집제로는 Alum을 사용하고 있었고, 폭기조로 이송시 미생물 활성에 끼칠 수 있는 악영향을 최소화하기 위해 NaOH를 첨가하고 pH를 중성 부분으로 조절하고 있다.

G제지공장의 1차 처리수는 본 실험에 이용된 시료로서 실험시 미생물 증식기간을 포함하여 본 실험이 수행되어지는 동안 1회에 280~300 l를 채취하여 실험실로 이송하고 4℃ 냉장 보관하여 반응조에 투입되었다. 아래 Table 2에 나타난 수치는 본 실험이 수행되어지는 동안 원폐수와 함께 5회 채취하여 실험 분석한 평균값이다.

2.1.3 종균제

본 실험에 사용된 종균제는 다음과 같다.

Cell-bio-P : 청림 C&C 제조, 분말상, 고온성 미생물인 Bacillus polymyxy, Beillus subtilis, Bacillus pumilus가 3.9×10^9 CFU/G 함유되어있는 종균제.

Bio-sound-S : 신일미생물화학 제조, 분말상.

*CFU : Cell Floc Unit - 하나의 미생물이 하나의 Floc을 형성하여 개체수를 셀 수 있는 단위

2.2 실험 방법

2.2.1 실험 장치

실험장치는 생물학적 반응조로 운전은 연속식으로 24시간 내내 완전 자동 또는 반자동으로 작동될 수 있으며, 전기 패널에서 운전모드를 조절할 수 있게 되어있다. 원수저장탱크는 크기가 1000W * 800L * 1000H로 총용량이 800 l이며, 부대설비로 원수이송펌프(형식 : Metering 펌프, 최대용량 430ml/min)가 설치되어 있다. 1차 침전조는 크기 : 300

* 400H, 용량: 36 l, 표면적부하율 : $6\text{m}^2/\text{m}^2 \cdot \text{DAY}$ 로 투명 PVC로 제조되었다. 폐수내 부유물질 및 유기물질 등의 오염물질을 생물학적으로 제거하고자 설치한 생물반응조(포기조)는 폭 220mm, 길이 230mm, 높이 700mm의 크기로서 유효수심이 520mm이다. 산소 공급을 위해 생물반응조 바닥에 산기관을 설치하였으며, 공기의 주입은 자동 DO센서에 의해 low-2mg/l, high-4mg/l의 범위로 송풍기에 의해 자동으로 공급되게 되어 있다. 자동온도조절 장치가 있어 원하는 온도를 자동으로 조절할 수 있다. 최종침전조의 크기나 용량 등은 1차 침전조와 같고, 부대설비로 오니 반송 펌프가 설치되어 슬러지를 반송시킨다.

2.2.2 실험 방법

본 실험은 G제지공장의 활성슬러지를 실험실 폭기조에 충전하여 2001년 7월 4일부터 7월 23일까지는 종균제를

투여하지 않고 폭기조를 운영하며 5일마다 온도를 10℃씩 변화하여 처리효율의 변화를 측정하였으며, 7월 28일부터 8월 16일까지는 Bio-sound-S를 seeding시에는 200mg/l를 투입하고 매일 20mg/l씩 투여하며, 마찬가지로 온도를 5일마다 10℃씩 변화하여 처리효율을 측정하였다. 9월 17일부터 10월 6일까지는 Cell-bio-P를 seeding시에는 200mg/l를 투여하고 매일 20mg/l씩을 투여하였으며, 마찬가지로 온도를 5일마다 10℃씩 변화하여 처리효율을 관찰하였다. 10월 9일부터 28일까지 Cell-bio-P를 종전의 두 배로 처리하며 5일마다 10℃씩 변화하여 처리효율을 측정하였다.

전반적인 실험 조건은 Table 3과 같다.

Table 3. Experimental Conditions

항 목	수 치
pH	6.5~7.5
DO(mg/l)	2~4
온도(℃)	20℃~50℃
체류시간(HRT, hr)	12
영양원	BOD:N:P=100:5:1
F/M비	0.23

2.2.3 수질 분석

시료를 사용하기 위한 폐수의 분석항목 및 방법은 Table 4와 5에 나타나 있다. 원폐수, 1차 처리수는 현장에서 채취 후 4℃냉장 보관하고 분석 결과 값에 영향이 미치지 않는 범위 내에서 실험이 이루어졌으며 우리나라 수질 환경보전법에서 수질기준의 적합성 여부를 결정짓도록 규정하고 있는 “수질 오염 공정시험방법”에 따라 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 온도에 따른 오염물 제거율

네 개의 폭기조(종균제를 주입하지 않은 것, 기존에 공장

Table 4. Analysis Articles

항목 시료	원폐수	폭기조	1차 처리수	2차 처리수
온도	○	○	○	○
pH		○	○	○
DO		○		
BOD	○		○	○
COD			○	○
MLSS		○		
SS			○	○
T-N		○		

Table 5. Analysis of Methods

항목	분석방법 및 사용기기
온도	표준 온도계
pH	HANNA pH/mV meter, Model 15189N
DO	ORION 862 DO meter
BOD ₅	배양기(incubator), DO meter
COD	COD meter
MLSS	MLSS meter
SS	Dry-oven, SS 측정기구 set

에서 사용하던 종균제를 주입한 폭기조, 고온성 종균제를 주입한 폭기조, 고온성 종균제를 두 배로 주입한 폭기조)의 온도를 20~50℃까지 변화시키면서 SS, BOD, COD의 제거율의 변화와 SVI(Sludge Volume Index)의 변화를 Fig. 1~4에 나타내었다. 그래프에서 알 수 있듯이 20℃와 30℃의 적절한 온도에서는 고온성 종균제를 사용한 폭기조가 약간 우수하게 나타날 뿐, 네 개의 폭기조가 거의 비슷한 효율을 나타내는 것을 볼 수 있다. 적정 온도에서 약간의 차이를 나타내는 이유는 고온성 종균제에 포함된 미생물의 유기물 및 섬유에 대한 활성효소의 분비때문이라고 생각된다.

주목할 만한 점은 온도가 40℃와 50℃로 증가할 경우에

발생했다. 30℃에서 40℃로 넘어가는 순간부터 고온성 종균제를 주입한 두 개의 폭기조와 종균제를 주입하지 않거나 기존의 종균제를 주입한 폭기조의 제거율의 차이가 눈에 띄게 나타나기 시작하였다. 고온성 종균제를 주입한 폭기조의 경우에는 고온으로의 온도 변화에도 불구하고 출발점과 거의 유사한 처리효율을 지속적으로 나타내는 데 반하여 종균제를 주입하지 않은 폭기조와 기존의 종균제를 사용한 폭기조의 경우에는 10~20%까지 오염물 제거율이 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 이는 고온으로 인한 폭기조내의 미생물이 사멸함에 따라 처리율이 저하된 것으로 추정할 수 있다.

SVI(Sludge Volume Index) 수치는 낮을수록 압밀비가 좋아 침강성이 양호하다는 것을 나타내는 지수이다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 고온성 종균제를 사용한 폭기조의 경우 고온성 종균제를 사용하지 않은 폭기조보다 더 낮은 SVI를 나타내는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 고온성 종균제를 사용하지 않은 폭기조의 경우 미생물의 사멸현상과 사상균의 번식으로 인해 슬러지 벌킹 현상이 일어남으로 인해 플록의 압밀비가 낮아져서 높은 SVI를 나타낸 것이며, 고온성 종균제를 사용한 폭기조의 경우에는 미생물의 사멸현상이 억제되어 높은 압밀비로 인해 슬러지의 침강성이 양호해졌기 때문에 더 낮은 SVI를 나타낸 것으로 생각되어진다.

고온성 종균제의 주입량의 변화에 따른 오염물 제거효율의 변화는 큰 차이를 나타내지 않았으며 전체적으로 안정적인 처리효율을 나타내는 것을 볼 수 있었다.

※ 그래프상의 개요에 대한 설명

종균제 없음 : 종균제를 주입하지 않고 운전한 폭기조

기존 종균제 : G 제지공장에서 사용하고 있던 Bio-Sound-S를 주입한 폭기조

고온성 종균제 1 : Cell-bio-P를 주입한 폭기조

고온성 종균제 2 : Cell-bio-p를 두 배만큼 주입한 폭기조

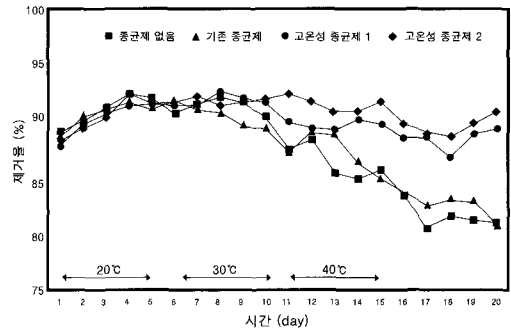


Fig. 1 The Change of SS Removal Efficiency on Change of Temperature

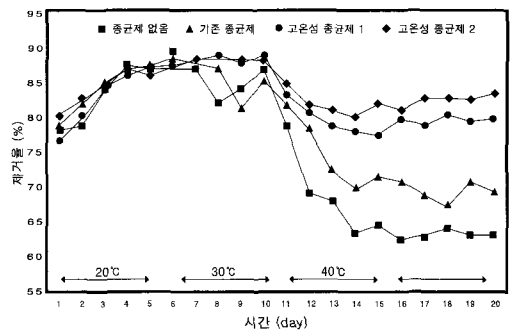


Fig. 2 The Change of COD Removal Efficiency on Change of Temperature

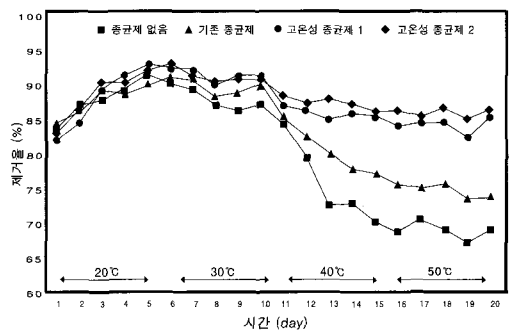


Fig. 3 The Change of BOD Removal Efficiency on Change of Temperature

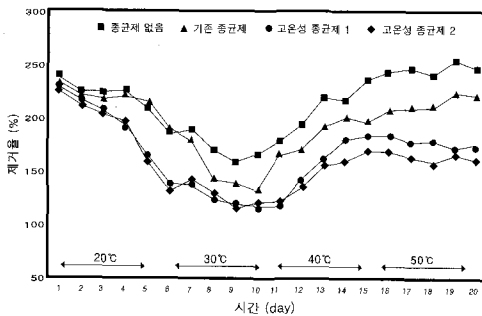


Fig. 4 The Change of SVI on Change of Temperature

4. 결론

각각의 폭기조에서 20℃와 30℃에서의 처리효율은 고온성 중균제를 사용한 폭기조의 경우가 고온성 중균제를 사용하지 않은 폭기조 보다 약간 우수한 결과를 나타냈다. 그러나 40℃와 50℃의 고온에서의 처리효율은 고온성 중균제를 사용한 폭기조의 처리효율이 현저하게 높게 나타났으며, 침전성 또한 고온성 중균제가 우수한 결과를 나타냈다.

상온과 고온 모두 고온성 중균제의 경우에 폭기조 처리지표인 원생동물의 출현이 더 빨랐으며, 사상균 단락현상이 더 우수하여 사상균에 의한 슬러지 벌킹 현상이 발생되지 않았다.

원생동물의 출현여부와 flocc의 색깔, 냄새, 압밀성 등으로 폭기조의 상태를 예측할 수 있었으며, 실험 결과를 통해 본 결과 잦은 폭기조 flocc과 미생물의 현미경 관찰의 필요성이 요구됨을 알 수 있었다.

고온성 중균제의 주입량의 변화에 따른 오염물 제거효율의 변화는 큰 차이를 나타내지 않았으며 전체적으로 안정적인 처리효율을 나타내는 것을 볼 수 있었다. 기존 중균제의 경우 고온으로 인한 미생물의 사멸현상이 나타날 경우 정상시의 약 20배에 달하는 양을 주입하여야 함을 비교해 볼 때, 고온성 중균제를 사용하였을 경우 상당한 경제적 이익을 가져다 줄 수 있을 것으로 생각된다.

위의 결과를 통해 제지공장에서 특히 여름철에 발생하는

고온으로 인한 미생물의 사멸현상과 이에 따른 불안정한 폭기조의 운영, 최종 방류수의 오염물 허용 농도 초과에 대한 문제점을 고온성 중균제를 사용하여 제어할 수 있을 뿐 아니라 제지폐수 처리에 맞는 미생물의 사용으로 인한 처리효율의 상승효과를 얻을 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

제지폐수 처리용으로 만들어진 중균제로 실험한 결과 일반 중균제와의 처리 효율에서 많은 차이를 나타내었으므로, 각 공장에서는 공장의 폐수 특성에 맞는 적절한 중균제를 선별하여 사용함으로써 폐수처리의 효율을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

◆인용문헌◆

1. 오계현 외5, "폐수 미생물", 동화기술, 1996.
2. 송홍규 외1, "환경 미생물학", 동화기술, 1995.
3. 서정원, "최신미생물학", 형설출판사, 1991.
4. 조영일, 이수구의, "폐수처리공학", 동화기술교역, 1988.
5. Kiff, R.J., "A study of the Factors Affecting Biofloculation in the Activated Sludge Process", Wet. Pollut. Control, Vol.77 1978.
6. HOWAD S. PEAVY, "환경공학", 동화기술, 1995.
7. Glenn M. Tillman, "Primary Treatment at Wastewater Treatment Plants", 1992.
8. METCALF & EDDY, INC. "Wastewater Engineering : Treatment disposal Reuse", 1979.
9. ALLAN M. SPRINGER, "INDUSTRIAL ENVIRONMENT CONTROL (PULP AND PAPER INDUSTRY) Second Edition, TAPPI, 1993.
10. R. S. RAMALHO, "Introduction to Wastewater Treatment Processes-Second Edition" ACADEMIC PRESS, 1983.
11. 김갑진, "폐수의 생물학적 처리와 미생물 중균제", 고합생명공학연구소, 2000.

