

곰팡이, 효모를 이용한 고농도 당폐수 및 산성폐수 처리공법



이 문 호
<(주)화랑환경 개발실장>

■ 목 次 ■

1. 처리공법 개요
2. 본 처리공법의 적용폐수
3. 본 공법의 적용례
4. 본 공법의 운전조건
5. 곰팡이조에서 우점하는 곰팡이

1. 처리공법 개요

폐수중에는 糖(sugar)농도가 매우 높은 것이 있는데 특히 제과, 제빵, 과일통조림 제조, 알가공, 포도가공 등의 식품가공 폐수가 그 예이다. 심한 경우에는 廢水內 환원당 농도가 1% 이상 되는 폐수도 있다.

이처럼 廢水內에 糖濃度가 높으면 곰팡이나 효모가 쉽게 증식하게 되어 활성슬러지법등의 공법으로 폐수처리를 할 경우 슬러지 침전이 불량할 뿐 아니라 糖의 분해로 인해 pH가 약 4~5정도의 酸性으로 기울어짐에 따라 耐酸性菌만 증식하게 되어 폐수처리 효율도 감소하게 된다.

그리하여 본 처리법은 높은 糖濃度에도 잘 증식하며 酸性에서도 耐性이 강한 곰팡이와 효모를 이용하여 고농도 糖廢수를 1차처리하고 그 방류수를 활성슬러지법 등으로 처리하는 방법이다.

따라서 본 처리법은 2개의 工程으로 이루어져 있는데 첫번째 工程은 곰팡이를 이용하여 高濃度의 糖을 주로 제거하는 工程이고 두번째 工程은 세균, 원생동물, 후생동물을 이용하여 잔존하는 糖과 기타 오염물질을 제거하는 工程이다. 물론 제1, 제2 工程 모두 폭기조에 섬모상생물막이 설치되어 있는데 이는 곰팡이의 부착증식을 쉽게 하고 아울러 증식된 곰팡이가 섬모상 미디어에 부착되어 있게 해주므로써 곰팡이 덩어리가 두번째 工程으로 넘어가는 것을 방지하기 위함이다. 두번째 工程의 폭기조에 섬모상생물막을 설치한 이유는 제1 工程에서 폐수의 처리 및 pH가 완전하게 안정되지 않았더라도 이러한 환경에 저항력이 큰 생물막법을 도입하므로써 안정된 처리수질을 얻고자 함이다.

2. 본 처리공법의 적용폐수

廢水內 糖濃度가 0.9% 이상이면 이 처리공법이 매우 적합하고 糖濃度가 0.1% 이상이라도 이 공법

의 적용이 가능하다.

(1) 高濃度の 糖을 함유한 폐수

폐수중에는 糖濃도가 매우 높은 것이 있는 데 특히 제과, 제빵, 乳加工廢水가 그 예이다.

이처럼 廢水內에 糖濃도가 높으면 곰팡이나 효모가 쉽게 증식하게 되어 활성슬러지법등의 공법으로 폐수처리를 할 경우 슬러지 형성이 어렵고 또 형성된 슬러지도 침강성이 낮아 슬러지 bulking등의 문제가 발생하여 맑은 處理水를 얻기 어렵다.

또한 廢水內의 糖이 분해되면 有機酸이 생성되어 pH가 약 4-5정도의 酸性으로 기울어지므로 활성슬러지법의 운전 pH범위인 中性으로 pH를 유지시키기 위해서는 계속적인 약품(가성소다 등) 주입이 불가피하여 약품비가 많이 소모된다.

따라서 糖이 많이 함유되어 있는 폐수는 곰팡이나 효모로 처리하는 것이 더 유리하다.

(2) 酸性廢水

귤, 포도 등 과일가공폐수 등과 같이 廢水內에 有機酸이 다량으로 함유되어 있는 폐수는 pH가 酸性이다. 酸性인 폐수를 활성슬러지법으로 처리할려

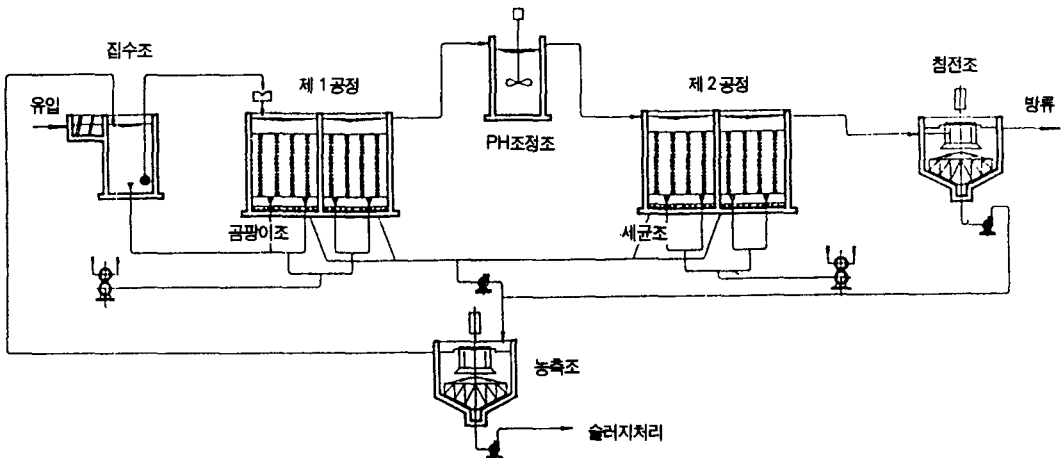
면 폐수의 pH를 中性으로 中和해야 하므로 역시 약품비가 많이 소모된다. 그리고 酸性인 原廢水의 pH를 中性으로 조정하여 일단 폭기조에 주입했다 하더라도 과일가공폐수에는 대체로 糖이 많이 함유되어 있으므로 이 糖이 분해되면 有機酸이 다시 생성되어 pH가 다시 酸性으로 기울어진다. 그러면 다시 pH를 조정해야 하므로 酸性廢水 處理에서도 계속적인 pH조정이 필요하게 된다. 그래서 여전히 약품비가 많이 소모된다.

3. 본 공법의 적용례

(1) 실험 방법

실험에 사용된 폐수처리 계통도는 [그림 1]과 같다. 사용한 폐수는 아이스크림 제조공장 폐수였다. 곰팡이조는 2개의 槽로 구성되어 있으며 1개의 槽容量은 7.8L였다. 곰팡이조의 수리학적체류시간은 1.6日 이었다.

곰팡이槽內 영양 balance를 맞추기 위해 곰팡이槽 첫번째 槽에 N.P를 매일 1회 일정량씩 공급했다. 그리고 槽內 곰팡이 농도를 일정하게 유지하기 위해 3일에 한번씩 첫번째 槽에서 슬러지를 인발



[그림 1]

곰팡이, 효모를 이용한 폐수처리 공정

했다. 슬러지 인발량은 1회 약 1.6L(SV₃₀으로서 1.6L) 정도였다.

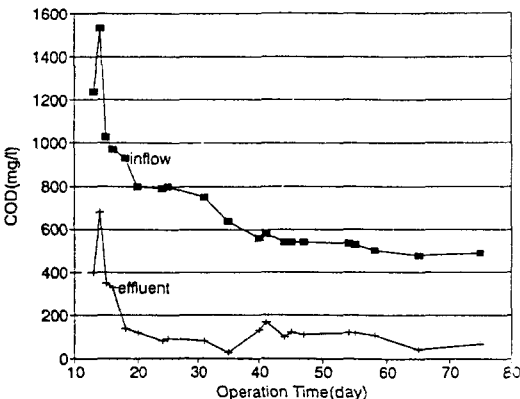
세균조도 2개의 탱크로 구성되어 있으며 크기가 곰팡이조와 같으므로 수리학적체류시간도 곰팡이조와 같다(1.6日). 곰팡이조에서 流出되는 流出水의 pH가 弱酸性(pH 6-7)이었으므로 곰팡이조 流出水를 中和하지 않고 그대로 세균조에 주입시켰다. 그리고 세균조에서의 슬러지 생산은 극히 미약하였으나 필요에 따라서는 슬러지를 인발해 주었다.

곰팡이조, 세균조 모두 槽內에 섬모상생물막을 槽當 2枚씩 충전시켰다. 섬모상생물막의 면적은 槽當 420cm²였다. 槽에서의 폭기는 槽內 DO가 4-5mg/l 정도 되도록 송풍기로서 폭기했다.

(2) 실험 결과

곰팡이조 유입수, 유출수의 COD변화는 [그림 2]와 같고, 세균조 유입수, 유출수의 COD변화는 [그림 3]과 같다.

곰팡이조 유입수의 평균 COD는 500mg/l이고 유출수의 COD는 평균 100mg/l로서 곰팡이조 COD 처리효율은 약 80%로 나타났다. 세균조 유입수의 평균 COD는 100mg/l이고 유출수의 COD는 10-20mg/l 범위로서 세균조의 COD 처리효율은 약 80-90%였다.



[그림 2] 곰팡이조에서의 COD 처리효율(아이스크림 제조폐수)

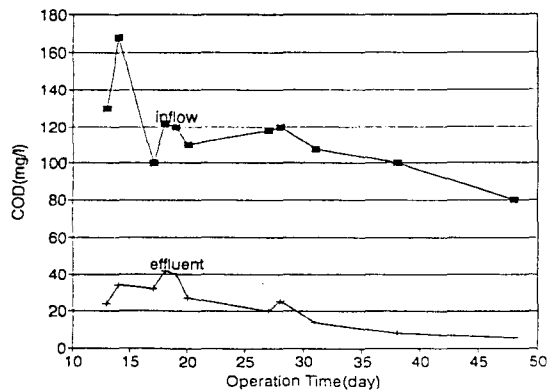
그리하여 工程 전체 COD 처리효율은 96-98% 이었고 처리수 수질은 COD로 10mg/l까지 얻을 수 있었다.

한편 槽 제거율은 곰팡이조에서 90%로서 곰팡이에 의한 槽 제거효율이 매우 높았다.

4. 본 공법의 운전조건

곰팡이는 pH가 酸性인 조건에서 잘 증식하므로 폭기조내의 pH를 酸性으로 유지시켜 주는 것이 가장 중요하다. 따라서 원폐수의 pH가 酸性인 경우에는 pH의 조정 없이 그대로 폭기조에 주입해야만 하고 혹 원폐수의 糖濃度가 높으나 pH가 中性이하 하더라도 糖이 분해되면 有機酸이 생성되어 pH가 酸性으로 변화되므로 굳이 원폐수의 pH를 酸性으로 만들어 폭기조에 주입시킬 필요는 없다.

따라서 원폐수의 性狀이 pH가 酸性이거나 또는 糖濃度가 높으면 원폐수를 그대로 폭기조에 주입시키는 것으로 곰팡이 증식에 충분하다. 한편 糖濃度가 높은 폐수 또는 有機酸이 많은 폐수속에는 炭素源(C)에 비해 대체로 窒素(N)가 부족한 경우가 많은 데 이 경우에는 폭기조에 요소(urea)와 같은 窒素源을 주입하여야 곰팡이의 증식이 활발하다. 그런데 요소를 주입하면 요소가 미생물에 의해 분



[그림 3] 세균조에서 COD 처리효율(아이스크림 제조폐수)

해 이용되므로서 암모니아가 생성되어 다소 pH가 상승되지만 곰팡이의 증식은 좌우할 정도로 pH가 상승되지는 않는다.

그리고 곰팡이는 절대 好氣性微生物이므로 산소의 공급이 중요하다. 곰팡이의 증식이 다소 많아 산소소모가 많을 지라도 폭기조의 산소농도가 혐기성으로 되지만 않도록 산소가 공급되면 곰팡이의 증식은 가능하다. 그러나 곰팡이가 일반 세균보다 산소를 좋아하는 것만은 사실이므로 산소의 공급도 중요한 운전인자로 된다.

어쨌든 곰팡이조의 운전 핵심은 槽의 pH를 2.0 - 5.5의 범위로 유지시켜 주는 일이다.

한편 세균은 中性(pH 7.0 부근)條件에서 잘 증식하므로 만약 前處理로서 곰팡이 처리를 먼저 거친다면 곰팡이조 流出水의 pH가 中性이 되도록 中和시킨 다음 세균조에 투입시켜야 한다. 세균조에 流入되는 폐수 속에도 약간의 糖이 잔존하지만 이미 그 농도가 낮으므로 이것이 細菌槽의 pH를 좌우할 정도는 되지 않는다. 어쨌든 細菌槽의 pH는

中性으로 유지시켜주어야 한다.

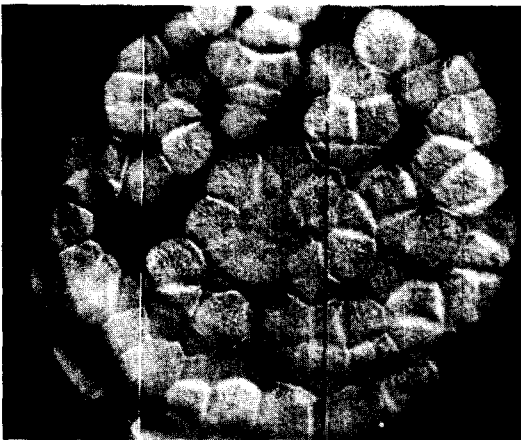
5. 곰팡이조에서 우점하는 곰팡이

(1) 菌의 형태

본 공법의 곰팡이조에서 우점하는 곰팡이는 *Geotrichum*이다.

평판 감자배지(Potato dextrose agar) 위에서의 집락은 [사진 1]과 같이 마치 융단을 깔아 놓은 듯한 모양을 볼 수 있고 색깔은 흰색이다. 氣菌絲가 공기 중으로 뻗어 있다.

액체 감자배지(Potato dextrose broth)에서 진탕배양할 경우 배양초기에 Pellet를 형성하는 경우가 있다. 특히 섬모상생물막법으로 糖廢水를 처리할 때 산 기관으로 폭기하면 [사진 2]에서 보듯이 Pellet형성은 더욱 왕성해진다. 균사의 현미경 사진은 [사진 3]과 같으며 이 균은 分生子를 형성하는데 分生子의 모양은 [사진 4]와 같다.



[사진 1] *Geotrichum candidum*의 집락 형태



[사진 2] 폭기조내 곰팡이 pellet

[사진 3] *Geotrichum candidum*의 菌絲[사진 4] *Geotrichum candidum*의 分生子

(2) 균의 증식 특성

1) 증식곡선

Potato dextrose broth 배지에 *Geotrichum candidum*을 접종하고 28°C에서 진탕배양했다. 배양시간에 따른 균체량 증가를 Plot하면 [그림 4]와 같다.

대수증식기에 있어서 증식속도는 약 120mg/l·hr이다. 즉 1시간에 균체량의 증가는 건조중량으로 120mg/l이다. 그리고 위의 배양조건에서 최대 균체 증식량은 약 4,500mg/l이다.

한편 곰팡이 증식에 따른 배양액의 pH변화를 보면 [그림 5]와 같다. 대수증식기에는 pH가 상승했으나 정체기에 접어들면서 pH는 다시 떨어지기 시작했다. Potato dextrose broth 배지에 곰팡이를 배양할 경우 곰팡이 증식이 거의 최대에 이르러도 pH는 5.7을 넘지 않았다.

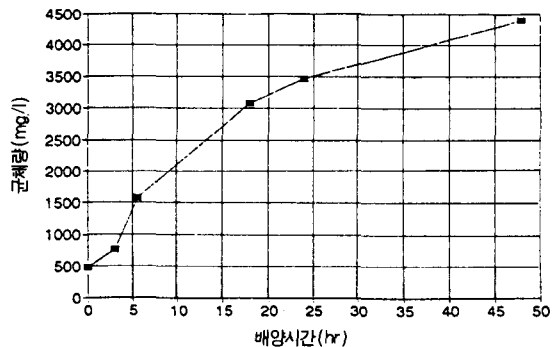
2) 배양온도의 영향

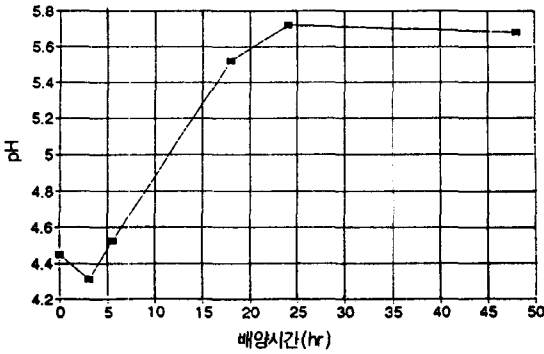
배양온도가 곰팡이의 증식속도에 미치는 영향을 보

면 [그림 6]과 같다.

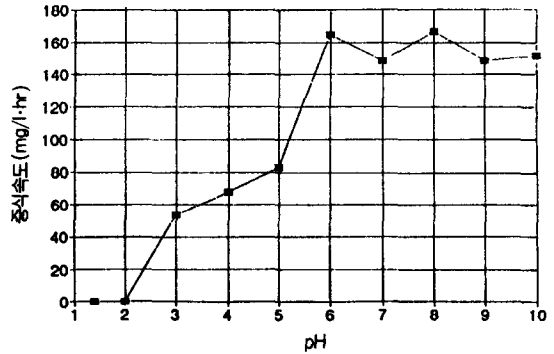
증식최적온도는 25-28°C이므로 이 곰팡이는 중온균에 속한다. 그러나 30°C에서도 높은 증식속도를 나타내고 있으며 4°C에서도 증식이 가능함을 볼 수 있다.

따라서 이 곰팡이를 폐수처리에 이용할 경우 수온이 높은 여름철이나 수온이 낮은 겨울철에도 처리가 가능하다.

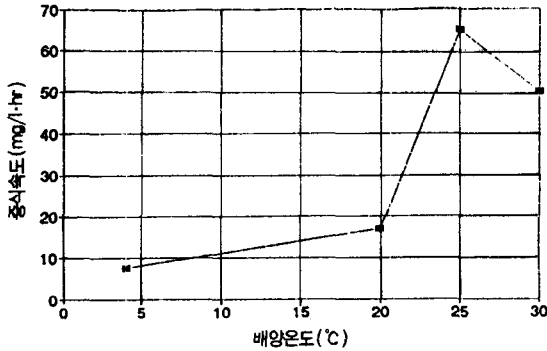
[그림 4] *Geotrichum candidum*의 증식곡선



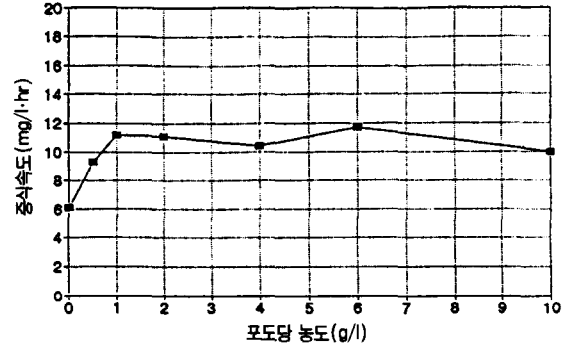
[그림 5] Geotrichum candidum의 증식에 따른 배양액의 pH 변화



[그림 7] Geotrichum candidum의 증식에 미치는 pH의 영향



[그림 6] Geotrichum candidum의 증식에 미치는 배양온도의 영향



[그림 8] Geotrichum candidum의 증식에 미치는 포도당 농도의 영향

3) pH의 영향

곰팡이 증식에 미치는 pH의 영향을 보면 [그림 7]과 같다.

pH 6-pH 10의 범위에서 증식속도는 140-160 mg/l·hr의 범위로서 거의 일정하다. 그러나 pH 3-5의 범위에서도 대체로 높은 증식속도를 나타내고 있어 酸性에서 곰팡이의 충분한 증식을 기대할 수 있다.

pH 2.0 이하에서는 이 곰팡이가 증식되지 않았는데 일반적으로 굴가공폐수등의 酸性廢水內의 성분은 강산이 아니고 유기산이므로 pH가 2.0 이하로는 내려가지 않고 또 糖이 분해되어 생성되는 것

은 유기산이므로 곰팡이를 이용한 酸性廢水 처리에 폐수의 pH가 너무 낮아 문제가 되는 일은 없다.

4) 糖濃度の 영향

糖濃度가 곰팡이의 증식에 미치는 영향을 보면 [그림 8]과 같다.

糖濃度가 포도당으로 1,000mg/l 이상이면 곰팡이의 증식속도에 영향을 끼치지 않는다. 즉 곰팡이의 포화 糖濃度는 1,000mg/l이다. 따라서 폐수 속의 糖濃度가 1,000mg/l 이상이면 곰팡이의 증식속도가 최대에 이르므로 효율 좋게 처리가 가능하다.