

미생물 실험을 이용한 생물학적 폐·하수처리



* 연재 *

이 문 호 | 이호환경건설링 대표이사

한국과학기술원 생물공학과 이학석사, 국립환경과학원 12년 근무
(95~현재) 이호환경건설링 대표
tel.031-407-8001 | leehojamun@hanmail.net

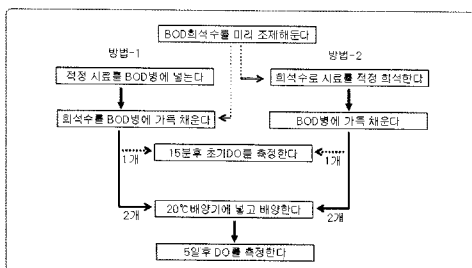
하수, 폐수, 활성슬러지 시험법

8. BOD

생물학적 폐수처리에서 가장 요긴하게 이용되는 파라미터는 당연히 BOD이다. 하지만 실험결과가 5일후에 나온다는 점 때문에 천대받는 경우가 허다하다. 그렇다해도 결국은 BOD를 기준으로 우리는 평가하고 진단할 수 밖에 없다. 그러므로 BOD시험은 원수의 유기물량을 측정하고, 특정폐수의 생분해도를 분석하는데 이용된다.

그런데 BOD시험은 희석시료를 미생물을 이용하여 분해, 산화시키면서 소비되는 산소량을 측정하는 것이다. 그런데 만약 시료내의 유기물을 분해, 산화시키는 균이 없다면 어떻게 될까? 당연히 BOD는 나타나지 않을 것이다. 그래서 BOD시험에서 가장 중요한 것은 오염물질을 분해, 산화시키는 균(식종, seed)을 접종해주는 것이고 그 다음으로는 BOD병내에서 균이 잘 살아갈 수 있는 환경을 만들어주는 것이다.

〈그림 1〉 BOD시험방법



8-1. 시험방법

BOD시험을 위해 희석수를 조제해서 20°C에 보관해둔다. 이때 공기가 잘 통할 수 있도록 용기에 솜마개를 하거나 아예 뚜껑이 있는 플라 스틱용기라면 뚜껑을 느슨하게 덮어둔다. 그런데 희석수를 1~2일 보관해둘 여유가 없을 때에는 20°C배양기 내에 폭기장치를 두고 폭기를 하면 산소로 포화된 20°C 희석수를 몇시간내 조제할 수도 있다.

〈그림 1〉의 방법-1은 BOD병에 미리 적당량의 시료를 취해 넣고 희석수를 부어 BOD병을 채우는 방법이고 방법-2는 BOD병의 다른 용기를 사용하여 시료를 BOD희석수로 적정 배율로 희석한다. 그러다음 이 희석된 시료를 BOD병에 채우는 방법이다. 물론 방법-2가 더 정확한 희석 방법이다.

BOD병 하나는 초기DO를 측정하고 BOD병 2개는 5일배양 후 DO를 측정한다. 그러니까 시료 하나에 BOD병이 3개 필요하게 된다. 따라서 희석시료를 1L 만들면 적당하다. 때로는 배양을 위한 BOD병을 한 개만 사용하는 경우도 있는데 만약 5일배양 후 그 배양병에 잘못이 있으면 data를 얻을 수 없다. 이럴 때를 대비하여 2개의 배양병을 사용하여 실험하는 방법(duplicate)을 권장한다. 물론 2개의 배양병을 사용하여 결과를 얻으면 평균하면 더욱 정확한 data를 얻을 수 있다.

<그림 2> 시료의 전처리

- ◆ pH 6.5~8.5를 벗어나는 시료
 - ◇ (1+1)HCl 또는 4% NaOH를 사용하여 pH 7로 조정
 - ◇ 단 HCl, NaOH 첨가량이 시료의 0.5% 이하일 것
- ◆ 잔류염소가 함유된 시료
 - ◇ 시료 100mL에 NaN_3 0.1g, KI 1g을 넣고 혼합한 후 HCl을 가하여 산성(pH 약 1)으로 만든다
 - ◇ 전분지시약을 첨가한 후 0.025N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 로 적정(청색→무색)
 - ◇ 시료량에 대응하여 0.025N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 를 첨가한다
 - ◇ 잔류염소가 함유된 시료에는 균이 없을 것이므로 일반적으로 식중독희석수로 희석하여 BOD를 측정한다
- ◆ 시료수온, 초기DO가 너무 높거나 낮을 때
 - ◇ 겨울철 : 수온을 23~25℃로 하여 통기후 방냉하여 20℃로 조정
 - ◇ 여름철 : DO가 너무 낮을 때 수온을 20℃로 낮추고 폭기
 - ◇ 시험하기 바로 전에 시료수온을 20±1℃로 조정

BOD시험은 시료에 미생물을 키워 소비되는 DO량을 측정하는 것이므로 BOD병내에서 미생물이 잘 자라야 한다. 그러므로 미생물의 증식에 약 영향을 주는 조건들을 전부 미리 제거해주어야 한다. pH는 대체로 중성으로 조정해준다. 잔류염소는 미생물을 죽이는 소독제이므로 잔류염소가 시료에 들어있으면 이 잔류염소를 중화시켜주어야 한다. H_2O_2 가 높은 농도로 포함된 폐수의 BOD가 COD_{Mn} 보다 크게 적게 나오는 이유를 묻는 자가 있었다. 이 경우도 중화를 시켜준 다음 BOD시험에 들어가야 한다.

만약 냉장고에 보관중인 증류수로 BOD희석수를 조제하여 곧바로 BOD시험에 사용하거나 역시 냉장중인 시료를 곧바로 BOD시험에 사용할 경우 5일 배양후 배양병 위에 커다란 공기방울이 생긴다. 그러므로 희석수와 시료의 수온을 20℃로 조정하여 안정화시킨 다음 시험에 들어가도록 한다.

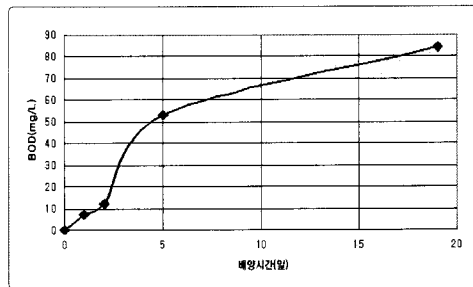
<그림 3> BOD시험의 유의점

- ◆ 희석수를 20±1℃ 배양기에서 폭기시켜 DO를 포화시켜 사용
- ◆ 희석수는 5일 배양후 DO감소가 0.2mg/L 이하일 것
- ◆ 시료에 호기성미생물이 부족할 때(폐수, 합성시료, 잔류염소 함유) 식중(Seeding)희석수를 사용
- ◆ 질산화균, 조류가 포함되지 않은 식중액을 사용
- ◆ 빛이 들어가지 않는 BOD배양기(20℃)에서 배양
- ◆ N-BOD가 나타나지 않도록 알려면 질산화억제제를 사용
TCMP(2-chloro-6-(trichloro methyl) pyridine)을 희석수에 10mg/L 농도로 첨가
ATU(1-allyl-2-thiourea)를 희석수에 2.0mg/L 농도로 첨가
- ◆ 희석배율은 2.3단계로 하여 DO소비가 40~70%인 것을 선택하여 BOD를 계산
- ◆ 측정의 정도를 높이기 위해 BOD를 3개를 한 조로 하여 1개는 15분 정지후 측정하고 2개는 5일 배양후 측정하여 평균을 취한다

8-2. BOD시험의 유의점

N-BOD가 나올 가능성이 있는 시료의 경우 N-BOD가 나오지 않도록 시험하려면 질산화를 억제시키는 시약을 희석수에 넣어줘야 한다.

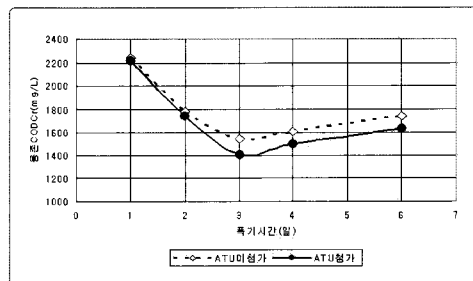
<그림 4> 오수처리장 방류수의 BOD곡선, BOD₅에 N-BOD가 나타난다



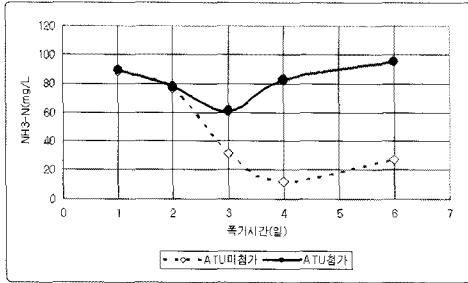
<그림 4>에서 보면 5일 BOD에 N-BOD가 나타나 오수처리장 방류수인데도 BOD가 50mg/L를 넘고 있다. 이런 경우 N-BOD를 제외한 C-BOD를 보려면 질산화억제제를 사용해야 된다. 질산화억제제로는 TCMP를 Standard Method에서는 권장하고 있다. 그러나 TCMP는 가격이 너무 비싸고 물에 잘 녹지 않아 사용도 불편하다. 그래서 TCMP 대신 ATU를 사용하는 것도 무방하리라 본다.

희석수 1L에 ATU용액(200mg/100mL) 1mL를 첨가하면 된다. 1L 메스실린더에 폭기조 혼합액과 원수를 넣고 폭기를 하면서 경시적으로 용존 COD_{Cr} 과 $\text{NH}_3\text{-N}$ 을 측정해보았다. 한 개의 메스실린더에는 ATU를 첨가하고 다른 한 개에는 ATU를 첨가하지 않았다.

<그림 5> ATU첨가가 용존 COD_{Cr} 분해에 미치는 영향



〈그림 6〉 ATU 첨가가 질산화에 미치는 영향



〈그림 5〉에서 보면 ATU첨가가 COD_{cr}의 분해에는 미소한 영향만 미친다는 것을 볼 수 있다. 반면에 〈그림 6〉에서는 슬러지의 자기산화에서 생산된 NH₃-N이 ATU첨가로 질산화가 일어나지 않아 NH₃-N이 훨씬 높게 나타남을 볼 수 있다.

만약 BOD배양병에 조류가 증식하게 되면 DO가 오히려 증가할 수 있다. 조류가 증식되지 않도록 할려면 빛이 들어가지 않는 BOD배양기 속에서 배양하면 좋다. 만약 배양기 속으로 빛이 들어갈 가능성이 있다면 BOD배양병을 검은 비닐로 완전히 둘러싸서 배양하면 된다. BOD곡선을 그릴 때는 배양시간이 길어 혹 조류가 증식할 수도 있으므로 빛의 차단이 중요하다.

난분해성폐수의 생분해성 시험을 위해 BOD 곡선을 그릴 때는 seed가 매우 중요하다. 현재 난분해성폐수를 처리하고 있는 처리장이 있다면 그 처리장의 폭기조시료를 seed로 사용하면 된다. 그런데 아직 폐수처리장은 없고 앞으로 처리해야 할 폐수라면 일반적으로 하수처리장 폭기조시료를 seed로 사용한다. 만약 동일한 업종의 폐수가 있다면 그 폐수가 흘러들어가는 지점에서 seed를 구하는 게 좋을 것이다. 그런데 전혀 생소한 폐수라면 적합한 seed를 구하기가 쉽지 않다. 희석수에 seed를 첨가할 경우 seed에 의한 DO소비를 함께 시험할 필요가 있다. 특히 BOD곡선을 그릴 때는 시료를 첨가하지 않고 seed만 첨가된 희석수도 배양일별로 DO를 측정하여 BOD계산에 사용한다.

8-3. BOD계산

어떤 공장폐수의 BOD를 측정하기 위하여 시료 10mL를 BOD병에 넣고 식중희석수로 BOD병을 채웠다. 그런다음 20℃에서 5일간 배양했다. 초기 DO는 8.4mg/L, 5일 후 DO는 3.7mg/L였다. 이 공장폐수의 BOD는?

따로 식중희석수만을 BOD병에 채우고 역시 20℃에서 5일간 배양했다. 초기 DO는 8.7mg/L, 5일후 DO는 8.4mg/L였다.

시료가 포함된 배양병의 산소 소비량은?

$$(8.4 - 3.7) = 4.7 \text{ mg/L}$$

식중희석수의 산소 소비량은?

$$(8.7 - 8.4) = 0.3 \text{ mg/L}$$

따라서

$$(4.7 - 0.3) = 4.4 \text{ mg/L, 시료의 희석배수는 30배)}$$

$$\text{BOD} = 4.4 \text{ mg/L} \times 30 = 132 \text{ mg/L}$$

또 다른 방식으로 계산해보면

시료가 포함된 배양병의 산소 소비량은?

$$(8.4 - 3.7) \text{ mg/L} \times 0.3 \text{ L} = 1.41 \text{ mgO}_2$$

시료가 포함된 배양병내 식중희석수(290mL)가 소비한 산소 소비량은?

$$(8.7 - 8.4) \text{ mg/L} \times 0.29 \text{ L} = 0.087 \text{ mgO}_2$$

시료가 포함된 배양병내 시료(10mL)가 소비한 산소 소비량은?

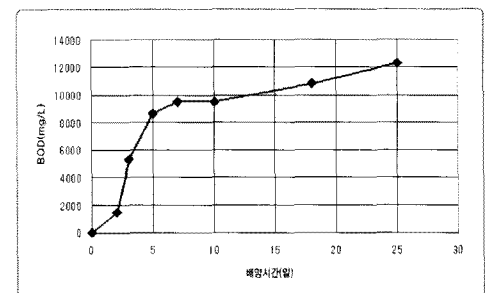
$$(1.41 - 0.087) = 1.323 \text{ mgO}_2$$

이 산소소비량은 10mL의 시료가 나타낸 산소 소비량이다. 따라서

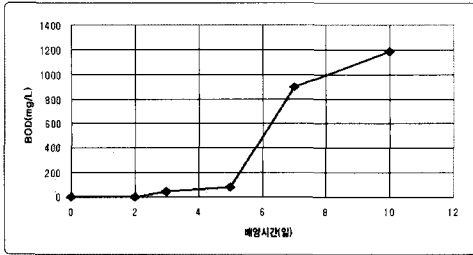
$$1.323 \text{ mgO}_2 \times 1,000 \text{ mL} / 10 \text{ mL} = 132 \text{ mg/L}$$

8-4. BOD곡선을 이용한 생분해시험의 예

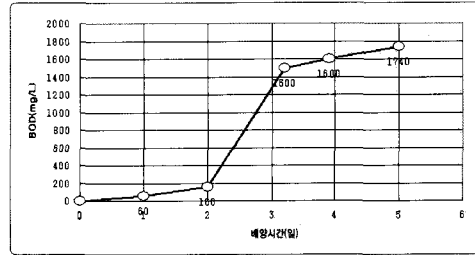
〈그림 7〉 태양광발전폐수(COD_{cr} = 19,640mg/L)



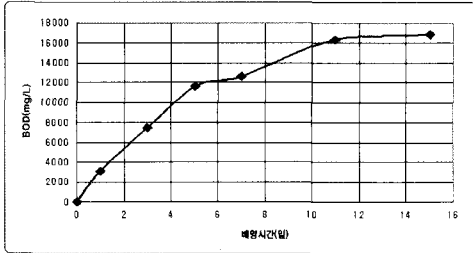
<그림 8> 폴리에틸렌글리콜페수(COD_c = 1,720mg/L)



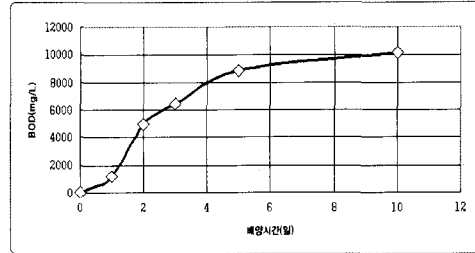
<그림 13> 메탄올(1,759mg/L)



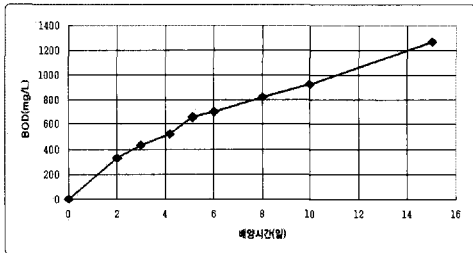
<그림 9> 절삭유페수(COD_c = 22,970mg/L)



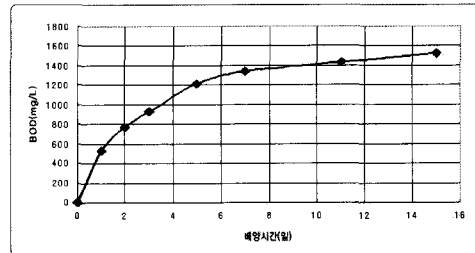
<그림 14> 감량페수(COD_c = 12,500mg/L)



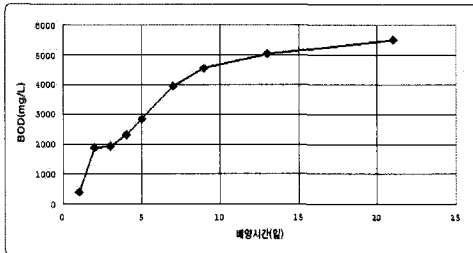
<그림 10> 전분(제빵)페수(COD_c = 1,800mg/L)



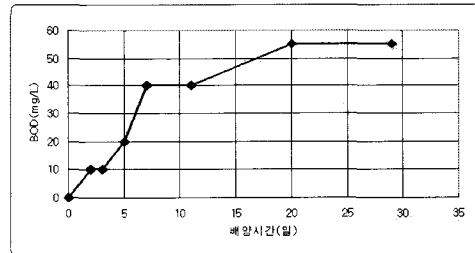
<그림 15> 커피페수(COD_c = 1,900mg/L)



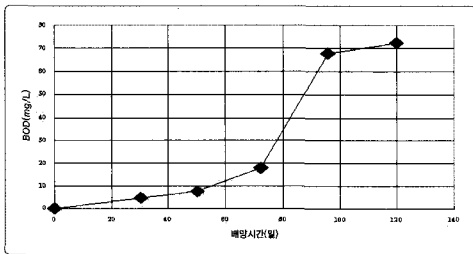
<그림 11> 매립지침출수(COD_c = 9,800mg/L)



<그림 16> 탈황페수(COD_c = 290mg/L)



<그림 12> Ethylene Glycol(100mg/L)



다음호에 계속 ...