

생물학적 폐·하수처리



이 문 호 이호환경컨설팅 대표이사 ☎ 031-407-8001
leehojamun@hanmail.net

〈필자약력〉

- 한국과학기술원 생물공학과 이학석사
- 국립환경과학원 12년 근무
- 1995년~현재 이호환경컨설팅 대표

∴ 연 재

하수, 폐수, 활성슬러지 시험법

4. 폐수가 활성슬러지의 활성 및 증식을 저해하는가?

산업폐수에는 독성이 있는 폐수, 미생물분해가 어려운 폐수도 많다. 활성슬러지미생물의 활성을 저해하는 물질이 폐수처리장에 유입되면 처리효율이 떨어지며 심하면 미생물의 사멸까지 가져와 슬러지 해체가 일어나기도 한다. 폐수내에 이러한 저해성 물질이 함유되어 있는지 있다면 그 저해정도가 어느정도인지 그리고 그런 독성폐수의 유입을 사전에 방지할 수는 없는지 그 시험방법에 대해 살펴본다.

4-1. 산소흡수속도를 측정하여 판단

활성슬러지의 산소흡수속도를 측정하는 방법은 빠른 시간내에 결과를 얻을 수 있다는 점, DO meter만 있다면 간단한 조작으로 결과를 얻을 수 있는 점이 장점이다.

4-1-1. 산소흡수속도 측정방법

폭기조혼합액 1L를 메스실린더에 붓고 1~2시간 정치하여 슬러지를 침강시킨다. 그런 다음 사이폰을 사용하여 상등액을 2L비이커에 담는다. 상등액의 DO

가 5mg/L이상으로 되도록 5~10분간 세계 폭기한다. 그리고 메스실린더바닥의 침전된 슬러지액을 다른 2L비이커에 붓고 자력교반기로 교반한다. 폭기조혼합액의 DO가 5mg/L이상이면 이 조작이 필요없다.

250mL비이커에 상등액 180mL+침강슬러지 20mL를 넣고 자력교반기로 천천히 교반하면서 경시적으로(5분 단위로) DO를 측정한다. 다음에 다시 비이커에 상등액 160mL+침강슬러지 20mL+폐수20mL를 넣고 같은 방식으로 DO를 경시적으로 측정한다. 다시 비이커에 상등액 140mL+침강슬러지 20mL+폐수40mL를 넣고 DO를 측정한다. 그 결과를 X축에 반응시간(분), Y축에 DO(mg/L)로 그래프를 그린다. 그래프에서 대체로 직선이 되는 부분의 기울기를 산소흡수속도(mg/L/min)로 한다. 이 산소흡수속도에 60분을 곱하고 반응액의 SS농도로 나누어주면 (mgDO/gMLSS/hr)단위로 산소흡수속도를 얻을 수 있다. 산소흡수속도의 비교를 위해서는(mg/L/hr) 대신에 (mg/g/hr)로 data를 구하는 게 좋다.

병입구가 DO meter전극에 딱 맞는 반응병을 (BOD병 등) 사용하면 좋는데 자칫 잘못하면 DO meter전극의 끝에 공기방울이 붙어(전극에 부착된 교반장치가 없을 때) 떨어내기가 어려울 수 있다. 이런 경우 측정에 error가 발생된다. 그래서 비이커를

사용하고 교반속도(슬러지가 혼합될 정도로만 저속으로 교반)를 낮게 하면 공기로부터 산소의 용해를 최소화할 수 있어 산소흡수속도 측정에 대체로 만족할 수 있으리라 본다. 비이커를 사용하면 DO meter 전극 끝에 공기방울이 붙어있는 것을 방지할 수 있다.(전극을 약하게 흔들어 공기방울을 떨어낼 수 있다)

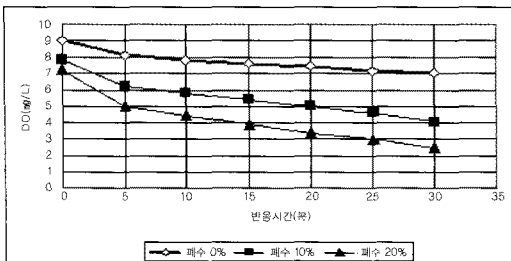


[사진-1] 산소흡수속도 측정기구

온도변화는 DO에도 영향을 주지만 활성슬러지의 활성에도 영향을 주므로 반응액의 온도를 일정하게 유지시켜주는 게 좋다. 하지만 이 조작이 쉽지 않아 실험실의 온도변화가 크지 않으면 대체로 실온에서 온도조정없이 산소흡수속도를 측정한다.

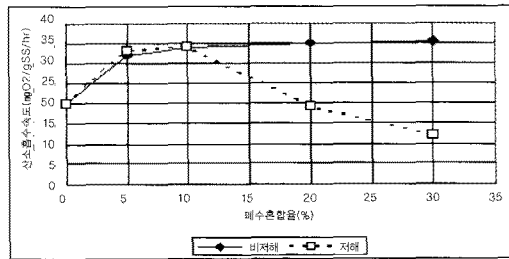
DO의 변화가 너무 빠르면 측정이 쉽지 않고 또 DO변화가 너무 느리면 측정시간이 너무 오래 걸린다. 그러므로 일반적인 활성슬러지의 경우 반응액의 SS농도가 250~500mg/L 정도면 DO변화를 측정하기에 무난할 것으로 보인다.

4-1-2. 폐수혼합율에 따른 산소흡수속도 변화



[그림-1] 폐수 첨가에 따른 산소흡수속도의 변화

폐수가 전혀 포함되지 않으면 즉 호흡의 기질이 전혀 없으면 활성슬러지의 산소흡수속도는 매우 낮다. 그러나 여기에 폐수(기질)가 첨가되면 산소흡수속도는 급격하게 증가한다. [그림-1]에서 보면 기질인 폐수가 전혀 첨가되지 않았을 때 활성슬러지 자체의 산소흡수속도가 2.88mg/L/hr이고 여기에 폐수가 10% 첨가되면 산소흡수속도는 4.97mg/L/hr, 폐수가 20% 첨가되면 산소흡수속도는 5.90mg/L/hr로 된다. 폐수의 첨가량이 많으면 기질의 농도가 높아지므로 산소흡수속도는 빨라진다. 이처럼 폐수(기질)의 첨가량이 많을수록 산소흡수속도가 증가한다면 그 폐수는 독성이 없다고 볼 수 있다.



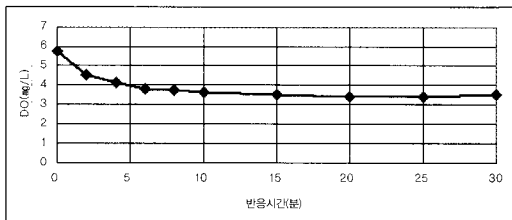
[그림-2] 폐수혼합율에 따른 산소흡수속도의 변화

[그림-2]에서 폐수혼합율이 높아도 산소흡수속도가 감소하지 않으면 폐수에 독성이 없는 것이고 폐수혼합율이 높을 때 오히려 산소흡수속도가 감소하는 것은 독성이 있는 것이다. 그런데 어느 농도이상에서 산소흡수속도가 감소하는지를 알기 위해서는 높은 폐수혼합율(실제 폐수처리장에서는 있을 수 없는 폐수혼합율이겠지만)에서도 실험을 해보아야 한다. 그러나 폐수의 독성이 심할 경우엔 폐수를 혼합하여도 산소흡수속도가 거의 0(DO가 전혀 감소하지 않는다)로 나타나는 경우도 있다.

4-1-3. 난분해성폐수처리 활성슬러지의 산소흡수속도

하지만 산소흡수속도가 거의 0라고 하여 모두가 독성이라고 볼 수 없다. [그림-3]은 폐수내에 쉽게

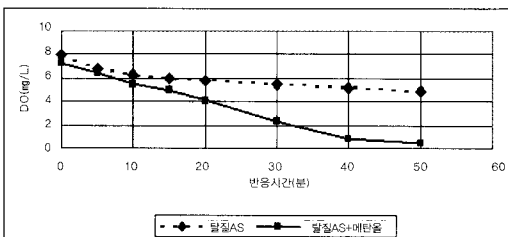
분해되는 BOD는 아주 적고 거의 난분해성COD만 있는 처리장의 활성슬러지이다. 반응액의 SS가 2,800mg/L로 폭기조 MLSS농도 그대로 산소흡수속도를 측정하여도 산소흡수가 거의 나타나지 않는 정도이다. 산소흡수속도는 F/M비와 아주 상관성이 높을 데 유입폐수의 기질이 워낙 난분해성이라 유입폐수의 CODcr이 상당히 높아도 폭기조에서 미생물에 의해 분해가 일어나지 않으므로 기질이 없는 것이나 마찬가지이다. 따라서 F/M비가 아주 낮은 환경이라고 봐야 한다. 비록 유입폐수의 BODu(최종BOD)가 약간 나타나더라도 마찬가지이다.



[그림-3] 난분해성폐수처리 활성슬러지의 산소흡수속도

따라서 활성슬러지의 산소흡수속도가 낮다고 하더라도 독성때문인지 아니면 이처럼 난분해성기질 때문인지 판단해야 한다.

4-1-4. 탈질조 활성슬러지의 산소흡수속도



[그림-4] 탈질조 활성슬러지의 산소흡수속도

탈질조에서는 기질로서 메탄올을 넣어주고 있다. 탈질조에는 산소가 없기 때문에 전자수용체로서

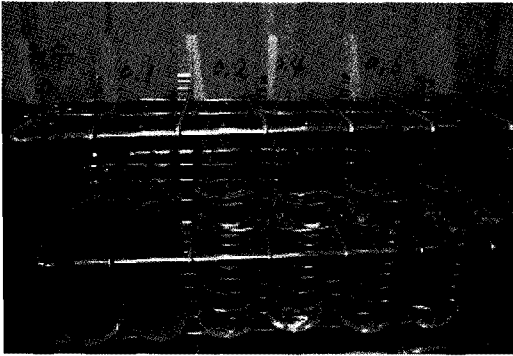
NO₃-가 수용체로 되어 N₂가 생성된다. 하지만 탈질균은 유기영양세균이므로 산소가 있으면 산소가 전자수용체로 NO₃-보다 먼저 이용된다. 따라서 탈질조 활성슬러지에 평소 기질로 넣어주던 메탄올을 첨가해주면 산소소비가 급격히 일어난다. [그림-4] 그래서 폐수가 활성슬러지 탈질속도에 영향을 주는지 어떤지를 산소흡수속도를 측정하여 어느정도 판단할 수 있다. 물론 탈질속도를 측정하면 저해성을 판단하는 데 더 정확하겠지만 탈질반응은 무산소조건이 필요하므로 실험실에서 간단하게 그리고 완전하게 무산소조건을 만들어주기가 쉽지 않다. [그림-4]에서 보면 메탄올을 첨가하고 안하고의 차이가 현격하게 나타난다. 먼저 산소흡수속도도 크게 차이가 나지만 메탄올이 첨가되지 않으면 반응액의 DO가 5mg/L이하로 떨어지기가 어렵다. 그러나 메탄올을 첨가해주면 DO가 0.5mg/L이하까지 쉽게 떨어진다.

4-2. 폐수농도별 세균증식량을 측정하여 판단

폐수내에는 BOD원이 되는 기질이 들어있다. 그러면 이 기질을 이용하여 세균이 증식할 것이다. 기질의 농도가 높을수록 세균의 증식량이 많아지게 되는데 만약 폐수내에 저해물질이 들어있으면 이와 반대의 현상이 나타날 것이다.

물론 독성이 심할 경우에는 아예 세균이 증식되지 않을 수도 있다. 이럴 경우에는 맨눈으로도 판별이 가능하겠지만 세균 증식량의 차이가 미약할 경우에는 600nm에서 흡광도를 측정하여 세균량을 측정한다. 흡광도를 측정할 경우 세균세포가 물속에 골고루 현탁되어 있어야 한다.

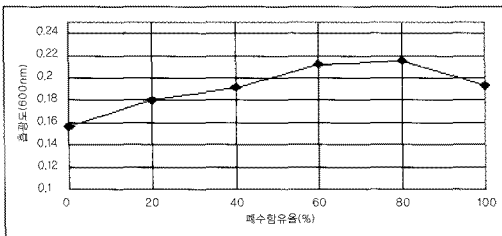
시험관 유리에 달라붙어 자라거나 세균덩어리를 생성하면 세균증식량과 흡광도 사이에 상관성이 떨어진다. 그래서 우리 실험실에서는 시험용 *Bacillus*균 혼합액(13종의 *Bacillus*종을 혼합한 것, 현탁되어 자라며 증식속도가 빨라 1일배양으로 충분히 실험결과를 얻을 수 있다)을 확보해두고 사용하고 있다.



[사진-2] 폐수농도별 세균증식

[사진-2]에서 보면 폐수를 100배 희석한 것(폐수 0.1mL+인산완충액 9.9mL)에서만 세균이 증식하였고 그보다 높은 농도로 폐수가 혼합되면 세균이 전혀 증식되지 않았다. 독성이 상당히 높은 폐수이다. 물론 이 실험에서는 세균증식량을 많게 하기 위해 폐수 뿐 아니라 유기성배지(peptone+yeast extract+glucose)를 함께 넣어준다. 이처럼 폐수의 독성이 높을 경우에는 세균의 증식여부만 가지고도 판단이 가능하다.

폐수를 농도별로 인산완충액으로 희석하고 여기에 유기성배지와 종균을 혼합하여 배양한다. 1일 배양후 600nm에서 흡광도를 측정한다. 예가 [그림-5]로 원 폐수에 SS가 많을 경우에는 0.2 μ m로 여과하여 사용한다. [그림-5]에서 보면 폐수의 혼합율이 높아질수록 세균의 증식량이 비례하여 증가하고 있다. 이것으로 봐서 폐수내에 저해성물질이 없다고 판단된다. 폐수가 100%인 시험관은 세균증식량이 약간 낮는데 이것은 아마도 인산완충액의 첨가가 전혀 없으므로 인한 결과가 아닌가 생각된다.

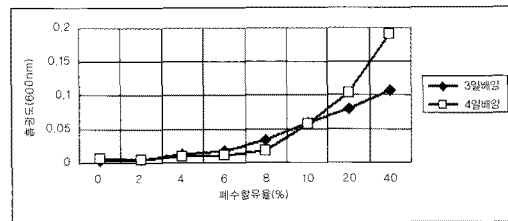


[그림-5] 폐수혼합율에 따른 세균증식량

이 세균증식 실험은 세균이 잘 증식하도록 유기성 배지를 첨가해주므로 유기물의 존재 때문에 폐수의 저해성이 약해질 수 있다. 따라서 이 세균증식 실험은 폐수의 저해성이 다소 높을 때 유용한 실험이다.

4-3. 폐수농도별 원생동물 증식유무를 조사하여 판단

흡광도 측정이 가능한 작은 시험관에 0.2 μ m 필터로 여과한 폐수(말다), 인산완충액, 그리고 균 seed(세균과 원생동물이 들어있다)를 넣고 배양한다. 배양일별로 600nm에서 흡광도를 측정한다. 어느 배양시간부터 흡광도가 줄어들면 원생동물이 증식했는지 검경을 통해 확인한다. 흡광도가 계속 증가하는 것은 원생동물이 증식하지 않기 때문이다.



[그림-6] 원생동물증식 실험

[그림-6]에서 폐수함유율이 10%보다 낮으면 원생동물이 증식하여(검경으로 유형섬모충류인 Colpidium의 증식을 확인했다) 배양3일보다 배양 4일째에 흡광도가 감소하였다. 그러나 폐수함유율 10%이상에서는 배양시간에 따라 계속 흡광도가 증가하였다.

폐수가 세균의 증식에 영향을 미치지 않는다고 해서 아무런 장애가 없다고 결론짓는 것은 잘못이다. 원생동물은 세균보다 훨씬 저해성이 낮고 또 환경에 더 민감하게 반응하므로 약한 저해작용은 원생동물의 증식까지 확인해봐야 한다. 만약 원생동물의 증식이 저해된다면 폐수처리가 불가능해질 수도 있다.

폭기조에서 활성슬러지플러키가 형성되지 않으면

침전조에서 슬러지침강이 이루어지지 않아 폭기조에 높은 MLSS를 유지시키기 어렵다. 아울러 침전조에서 유출되는 물은 혼탁될 수밖에 없다. 원생동물이 없으면 처리효율도 낮아져 결국 방류수 수질 기준을 준수하기가 어렵게도 된다.

이러한 상황은 공장에서 소량으로 발생하는 독성 폐수(및 난분해성폐수)를 폐수처리장 일반폐수에 조금씩 혼합시켜 처리할 때 BOD나 COD의 증가는 미미할지 몰라도 원생동물의 증식에 영향을 미쳐 일반폐수의 처리효율마저 저하될 수 있다. 그러므로 영향을 미치지 않는 혼합율이 얼마인지 조사하여 영향이 최소로 되는 범위내로 혼합하여 처리해야만 할 것이다.

4-4. 질산화속도를 측정하여 판단

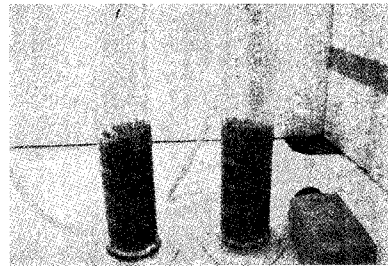
일반적으로 질산화균은 유기영양세균보다 저해 물질에 대해 더 민감하게 반응하므로 미약한 저해 작용에도 증식속도나 질산화속도의 감소가 일어날 수 있다. 그러므로 폐수가 활성슬러지에 미치는 영향을 평가하는 방법 중에서 정밀도가 가장 높은 것이 질산화속도를 측정하는 방법이다.

그러나 질산화속도를 측정하는 방법 또한 매우 까다롭다. 폐수내의 저해물질에만 상관하여 질산화속도가 변화되어야 하는 데 질산화속도를 측정하는 환경 자체가 질산화에 영향을 준다면 올바른 평가가 이루어지기 어렵다. 폐수에는 일반적으로 BOD물질이 함유되어 있으므로 이것이 질산화에 영향을 줄 가능성이 있고 DO, pH, 온도 등 환경요인에도 영향을 크게 받으므로 질산화속도 측정시 유의하여야 한다.

4-4-1. 폐수내 BOD가 질산화속도에 미치는 영향

1L 메스실린더 2개를 준비하고 [표-1]과 같이 활성슬러지와 배지를 혼합한다. [표-1]에서 폭기조물 여과액은 GF/C로 여과한 물이다. 무기배지는 무기물만 포함되어 있는 기초배지로서 $(NH_4)_2SO_4$ 가 50mgN/L 들어 있다. 질산화활성과 탈질활성이 있는(폭기조혼합액을 채취하여 정지시켰을 때 슬

러지가 부상하였다. 다시 폭기를 하고 정지시켜도 슬러지가 부상하였다) 슬러지를 침강시켜 상등액을 제거하고 BOD희석수를 첨가하여 혼합한 다음 다시 슬러지를 침강시킨다. 이 조작을 3회 실시하여 슬러지만 회수한 것이 활성슬러지액이다. 시험구에만 포도당 50mg을 첨가하였다(포도당 100mg/L). [표-1]의 혼합액을 1L 메스실린더에 넣고 25~30℃에서 강하게 폭기시키면서 반응시간에 따라 시료를 채취하여 용존 NH_3-N , NO_2-N , NO_3-N 을 측정하였다. 무기배지의 조제는 $(NH_4)_2SO_4$ 30mg(6mgN), KH_2PO_4 100mg, EDTA-Fe 6mg, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 50mg, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ 20mg, $NaHCO_3$ 200mg을 1L의 증류수에 녹이고 pH를 7.0으로 조정한다. 필요에 따라(폐수의 N농도와 동일하게 할려면) $(NH_4)_2SO_4$ 량을 조정할 수 있다.

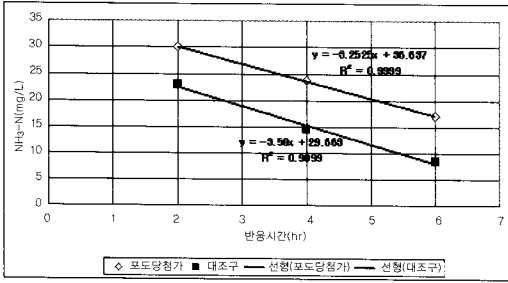


[사진-3] 질산화속도 측정, 온도를 조절하고 폭기를 강하게 한다

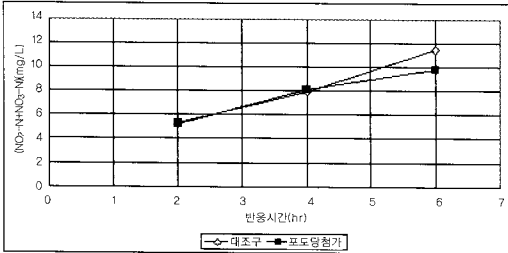
[표-1] 질산화속도 측정을 위한 활성슬러지, 무기배지 혼합비

	폭기조물 여과액	무기배지	활성슬러지액	포도당 (glucose)
시험구	200mL	200mL	100mL	50mg
대조구	200mL	200mL	100mL	

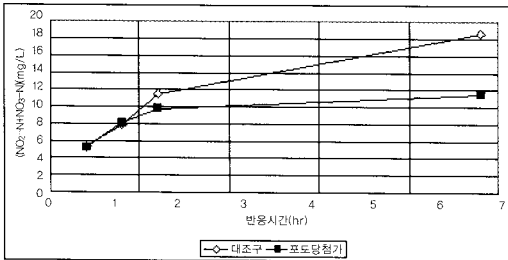
[그림-7]에서 보면 반응액에 포도당을 첨가한 것은 NH_3-N 감소속도가 3.58mg/L/hr이고 포도당을 첨가하지 않은 것은 3.25mg/L/hr로서 포도당 첨가한 것이 오히려 약간 더 높았다.



[그림-7] 포도당 첨가가 NH₃-N감소속도에 미치는 영향



[그림-8] 포도당 첨가가 (NO₂-N+NO₃-N)증가속도에 미치는 영향



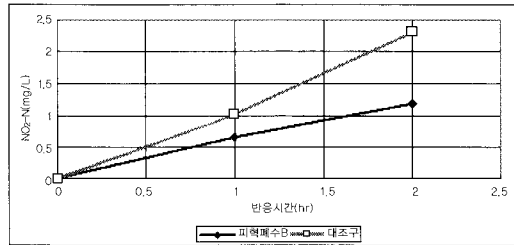
[그림-9] 포도당 첨가가 (NO₂-N+NO₃-N)증가속도에 미치는 영향-24시간 반응

[그림-8]에 보면 반응시간 4시간까지 포도당 첨가와 첨가하지 않은 것과의 질산화속도(NO₂-N+NO₃-N증가속도)는 비슷했다. 그러나 그림-9에서 보면 반응시간 24시간후에는 포도당을 첨가한 것의 (NO₂-N+NO₃-N)농도가 포도당 무첨가(control)보다 낮았다. 이러한 결과가 나온 원인에 대해서는 실험이 더 필요하다고 생각한다. 어쨌든 질산화반응 실험에서 폐수내에 BOD가 있어도 반응초기(반응시간 4시간까지)에는 BOD(100mg/L)가 질산화속도에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 그러므로 폐수의 저해성 여부를 실험할 때

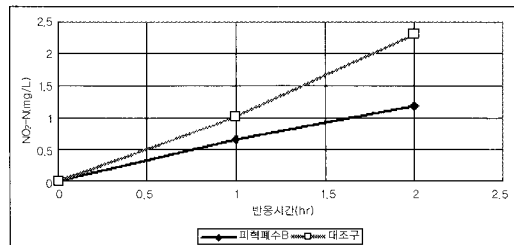
반응초기의 질산화속도를 측정해 평가하여야 할 것이다.

4-4-2. 폐수가 질산화속도에 미치는 영향

피혁폐수의 NH₃-N가 180mg/L였다. 무기배지도 NH₃-N농도를 폐수와 동일하게 180mg/L로 조정하였다. 암모니아산화세균은 암모니아산화세균 배양배지에서 배양한 배양액을 0.2μm membrane filter로 여과하여 여지를 질산화균으로 사용했다. 피혁폐수 100mL, 무기배지(4-4-1과 동일) 100mL에 각각 질산화균을 여과한 여지를 넣고 28℃에서 교반하면서 경시적으로 시료를 채취해 NO₂-N을 측정하였다.



[그림-10] 피혁폐수A가 질산화속도에 미치는 영향



[그림-11] 피혁폐수B가 질산화속도에 미치는 영향

[그림-10]에서 보면 피혁폐수A를 배지로 했을 때의 질산화속도가 폐수가 혼합되지 않은 대조구보다 더 높았다. 따라서 피혁폐수A는 질산화에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 반면에 [그림-11]의 피혁폐수B는 대조구보다 질산화속도가 낮았다. 그리하여 피혁폐수B는 질산화속도에 영향을 주는 것으로 나타났다.

이처럼 폐수를 기질로 한 질산화반응을 실험해서

폐수가 질산화를 저해하는지 여부를 판단할 수 있다. 폐수가 질산화속도에 영향을 준다면 활성슬러지에 어떤 형태로든 영향을 준다고 본다.

질산화속도를 저해하는지 여부를 판단하는 것은 질소를 제거하는 고도처리장에서는 매우 중요하다.

비록 미미한 저해라도 계속 누적될 경우 어느날 갑자기 처리수질이 악화되는 사고가 발생할 수 있는 것이 질산화반응이기 때문이다.

다음호에 계속...

BUY KOREA 2009 AUTUMN 안내

KOTRA(대한무역투자진흥공사)는 수출촉진으로 우리나라 경제 활력 회복에 기여하고자 아래와 같이 대규모 수출상담회를 개최하오니 관심있는 많은 분들의 참여를 바랍니다.

- 아 래 -

- > 일 시 : 2009. 9. 17(목)~9. 18(금), 09:30~18:00
- > 장 소 : 일산 KINTEX(2, 3홀)/21,546㎡
- > 참가바이어 : 해외 700개사(900개 부스 운영)
- 신재생에너지/환경 분야 바이어 : 80개사 내외
- > 주최 / 주관 : 지식경제부/KOTRA
- > 홈페이지 : <http://buykorea2009.kotra.or.kr>
- > 참가방법 : 홈페이지에 게재된 바이어리스트(산업별 분류)를 확인한 후, 상담희망 바이어별 상담신청(※ 사전 참가자 등록 필수)
- > 문의 : KOTRA 그린사업팀(담당자 남윤실 ysnam@kotra.or.kr)
Tel. 02-3460-7887 Fax. 02-3460-7926

