

생물막공법에 의한 고농도 유기폐수 처리시 생물막 과부착 제어

〈2〉

임재명

강원대 환경공학과 교수

2. AFBR / ANFBR 공정의 기질제거

2.1 유기물제거

생물막 과부착으로 인한 수질의 불안정함을 해결하기 위하여 인위적 자산화단계를 동반한 AFBR / ANFBR 공정의 운전조건 변화와 운전경과일수에 따른 결과는 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 유입수의 BOD 농도는 1,190~1,850mg / l로 변화폭이 컸으나 유출수의 BOD 농도는 부하에 따라 다소 차이는 있지만 동일 부하내에서는 안정되게 유지되었다. 유입부하량이 7.12g BOD / m² · day로 운전된 AA1 반응조에서 유출수의 BOD 농도는 65~82mg / l의 범위로 평균 71mg / l 이고, 유입유량이 25 l / day이고 유입부하량이 35.6g BOD / m² · day로 운전된 AA5 반응조의 최종 유출수의 BOD 농도는 360~470mg / l 이고 평균 413mg / l 를 보였다. 최종 유출수의 COD의 평균농도는 유입유량

의 변화에 따라 196~976mg / l의 범위로 나타났다.

유입수의 유기물 농도가 불안정함에도 불구하고 유출수중의 유기물 농도가 비교적 안정하게 나타난 것은 생물막공정의 장점으로 충격부하에 대하여 적응력이 강한 이유와 인위적 자산화를 도입함으로써 미생물의 활성도가 왕성한 것에 기인된다. 그러나 유입부하량이 가장 큰 AA5 반응조의 유출수 농도는 타 반응조에 비하여 불안정한 것으로 나타났는데 이러한 결과는 유입 부하량이 과다하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 생물막공법에서 운전에 중요한 제한요소는 생물막의 안정성과 함께 유입 유기물의 부하량인 것으로 사려된다. 또한 인위적인 자산화단계를 두고 운전한 결과 침적형 생물막공정의 특징인 운전기간 후반부의 수질이 악화되는 현상은 나타나지 않았고, 부하량의 증가를 위하여 유입유량을 증가시켰을 때 초기 적응기간 동안 유출수의 수질이 불안정함을 나타내었다.

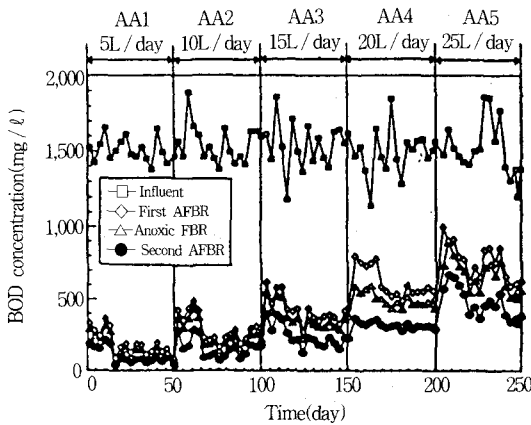


그림 6. Chronological BOD concentration in AFBR / ANFBR

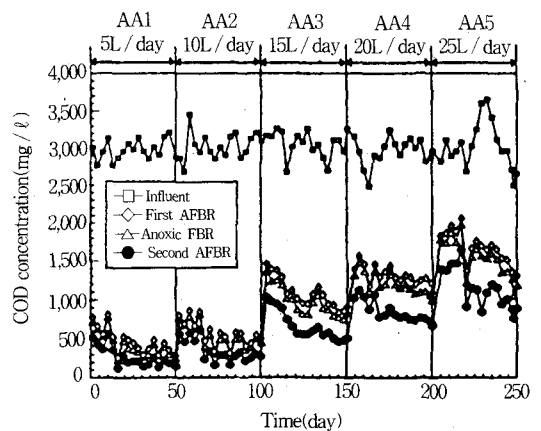


그림 7. Chronological COD concentration in AFBR / ANFBR

그림 8은 유입부하량 변화에 따른 각 반응조별 유출수의 BOD 농도와 공정 전체의 제거율을 나타낸 것으로 유입부하량이 증가함에 따라 유출수의 BOD 농도가 증가하는 것으로 나타났는데, 7.12g BOD/m²·day (0.75 kgBOD/m³·day)의 유입부하량으로 운전될 경우 최종 유출수의 BOD 농도는 평균 71mg/ℓ로서 제거효율은 95%를 상회하는 것으로 나타났다. 유입부하량이 가장 큰 35.6g BOD/m²·day(3.76kgBOD/m³·day)로 운전하였을 때 최종 유출수의 평균 BOD 농도는 413mg/ℓ 이고 그 때의 제거효율은 80% 이하인 것으로 나타났다. 유입부하량의 변화에 따른 유출수 중의 유기물 제거효율을 보면 90% 이상의 BOD 제거효율을 기대하기 위해서는 유입부하량이 17gBOD/m²·day (1.7kgBOD/m³·day) 이하를 유지해야 하는 것으로 나타났는데 이러한 결과는 부유증식공정인 활성슬러지 공정을 이용하여 돈사폐수를 처리한 연구결과⁴⁾와 비교할 때 3배 이상 큰 부하량인 것으로 분석되었다.

생물막공법에서 운전에 중요한 제한요소는 생물막의 안정성과 함께 유입 유기물의 부하량인 것으로 된다. 또한 인위적인 자산화단계를 두고 운전한 결과 침적형 생물막공정의 특징인 운전기간 후반부의 수질이 악화되는 현상은 나타나지 않았고, 부하량의 증가를 위하여 유입유량을 증가시켰을 때 초기 적응기간 동안 유출수의 수질이 불안정함을 나타내었다.

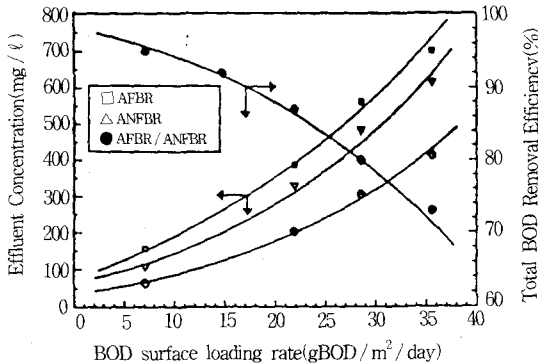


그림 8. Effluent BOD concentration in AFBR/ANFBR

2.2 질소제거

AFBR/ANFBR 공정에서의 질소제거는 첫번째 AFBR 반응조에서 TKN과 NH₃-N의 유출농도는 부하량 2.04gNH₃-N/m²·day에서 각각 234와 168mg/ℓ이며, 유입부하량이 가장 큰 10.2gNH₃-N/m²·day에서 422와 342mg/ℓ이다. 유출수의 NO₃-N 농도는 가장 낮은 부하로 운전된 AA1에서 평균 62mg/ℓ로 나타났고 가장 높은 부하로 운전된 AA5에서는 NO₃-N은 유출되지 않았다. 이는 첫번째 AFBR 반응조의 유기물 부하가 높아 heterotrophs가 우점하였으며 상대적으로 환경관리인. 1996. 5

질산화와 관련된 nitrophs의 성장이 제한된 것으로 판단된다. 또한 체류시간이 1일 미만인 AA3와 AA4에서 NO₃-N이 유출된 것은 생물막에 존재하는 미생물의 다양성으로 인한 소량의 질산화로 판단된다. 마지막에 위치한 AFBR 반응조는 부하량이 0.99에서 11.2gNH₃-N/m²·day로 변화되면서 운전되었는데 유출수 중의 NO₃-N 농도는 부하량의 증가에 따라 차이는 있지만 평균 86~40mg/ℓ으로 나타났다. 또한 첫번째 AFBR에서 질산화가 일어나지 않은 AA4와 AA5 부하에서 유기물의 제한으로 인하여 마지막 AFBR 단계에서 질산화가 일어나는 것으로 나타났다. 탈질을 위한 ANFBR 반응조에서는 62mg/ℓ이고 AA2 반응에서는 48mg/ℓ이며, 유출 NO₃-N의 농도는 각각 30mg/ℓ와 19mg/ℓ로서 62%와 60%의 탈질효율을 보였다. ANFBR 반응조에서의 alkalinity는 반응조에 따라 다소 차이는 있지만 약 100mg/ℓ가 증가하는 것으로 나타났는데 탈질과정에서 1mole의 NO₃-N이 제거됨에 따라 1mole의 HCO₃⁻가 생성되기 때문이다. ANFBR로 유입되는 NO₃-N 농도가 약 50mg/ℓ 이상인 AA1과 AA2에서 1mg/ℓ의 NO₃-N 제거당 소모된 SBOD는 1.67~2.8mg/ℓ이다. 탈질과정에서 필요한 에너지원은 NO₃-N 제거당 소모된 유기물의 양으로 정의되고 mg 용존유기물/mg NO_x-N removed로 표시되며, 탈질과정에서 소모되는 유기물의 양은 연구자들에 따라 다소 차이가 있는데 Narkis등⁵⁾은 100%의 탈질을 위해서는 1mg/ℓ의 NO_x-N이 존재하면 2.3mg/ℓ의

SBOD가 필요한 것으로 보고하였고, Rusten⁶⁾은 2.4mg / l로 발표하였다. 메탄올을 탄소원으로 주입한 Mon-teith⁷⁾의 연구결과에서는 5.41mgCOD/mg NO_x-N removed라고 하였으며 탄소원 소비는 세포합성과 DO의 존재량에 영향을 받고 과다한 탄소원 소비는 발생슬러지 처리문제로 적절하지 못한 것으로 지적하였다. 본 연구에서의 탈질을 위한 탄소원은 내부 호기성조에서 미처리된 용존유기물과 호기성슬러지의 탄소원을 이용하였으므로 메탄올과 같이 생물학적 분해가 빠른 유기물(readily biological degradable COD)과 다소 차이가 있었다.

그림 9는 AFBR/ANFBR 공정에서의 질소 제거효율을 나타낸 것으로 공정 전체를 통하여 TKN과 NO₃-N의 제거효율은 부하에 따라 각각 62~86.7%와 68.8~92.1%로 나타났고 NH₃-N이 TKN에 비하여 제거효율이 높은 것으로 나타난 것은 돈사폐수의 pH의 영향으로 NH₃-N 중 free ammonia 상태로의 존재량이 있어⁴⁾ 포기로 인한 탈기(air stripping)로 다량의 질소가 제거되기 때문인 것으로 판단된다.

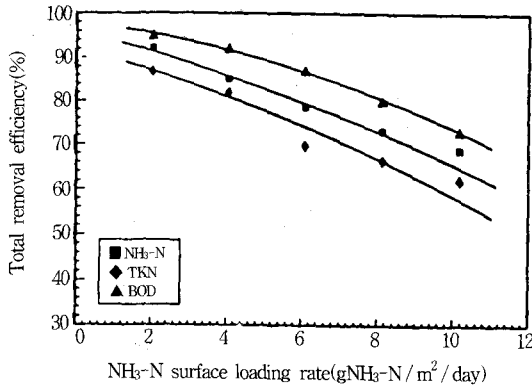


그림 9. Loading rate vs. total removal efficiency of NH₃-N, TKN and BOD

또한 AFBR/ANFBR 공정에서 NH₃-N의 제거에 따른 소비된 alkalinity량은 1mg의 NH₃-N을 산화시키는데 약 6mg/l (as CaCO₃)의 alkalinity가 소비되는 것으로 나타났는데 다른 연구자료^{17,18)}에서의 7.4 또는 8.2mg/l (as CaCO₃)에 비하여 다소 적게 나타났다. 이러한 결과는 포기시 제거되는 free ammonia가 원인인 것으로 판단된다.

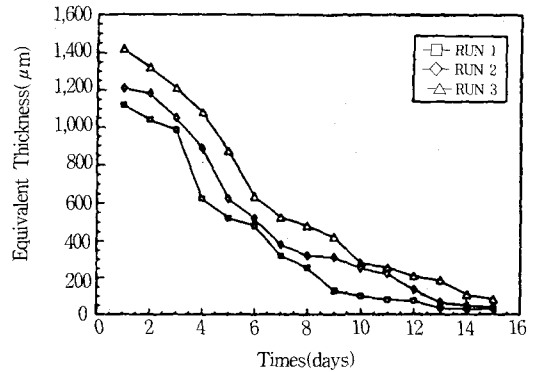


그림 10. Variations of thickness in endogenous stage

3. 과부착 생물막의 제어

그림 10은 과부착 조건에 있는 생물막을 인위적으로 내생단계를 유도하여 운전기간에 따른 생물막의 두께 변화를 제시하여 주고 있는데 운전기간 10일까지는 생물막 두께의 감소가 계속 진행되다가 12~14일 사이에서 초기 생물막의 두께인 50~80 μm에 이르러 일정한 최소 두께를 유지하고 있고, 부하량의 변화에 따른 생물막 두께의 감소는 부차과는 달리 적은 부하량인 17.9g COD/m²·day에서 두께 감소량이 가장 빠른 것으로 나타났다. 생물막의 두께감소는 결국 내생호흡으로 인한 미생물량의 감소를 의미하며 이로 인하여 슬러지 생산량의 감소를 기대할 수 있고 운전 단계로 전환시 활성 미생물이 부착할 수 있는 충분한 공간을 확보해주는 역할을 할 수 있다고 판단된다.

그림 11은 인위적 자산화의 시간경과에 따른 생물막의 단위면적당 VSS 함량의 변화를 나타내 주고 있는데 시간이 경과함에 따라 단위면적당 VSS 함량은 감소하는 것으로 나타났다. 또한 생물막의 두께가 12일 운전 경과 후부터 일정한 두께를 유지하고 있는 것과 마찬가지로 단위면적당 VSS 함량도 일정한 값이 0.4~0.5mg/cm²를 유지하고 있는 것으로 나타났는데 이는 생물막이 부착시 생성되는 초기 미생물량과 유사한 수치를 나타낸다. 생물막의 두께 600~1,000 μm 생물막에서 밀도가 급격하게 변한 것과 마찬가지로 단위 면적당 VSS 함량도 변화가 큰 것으로 나타났고 시간경과에 따른 미생물량의 감소와 동일한 경향을 띠고 감소하였다.

또한 AFBR/ANFBR 반응조가 연속운전된 약 250

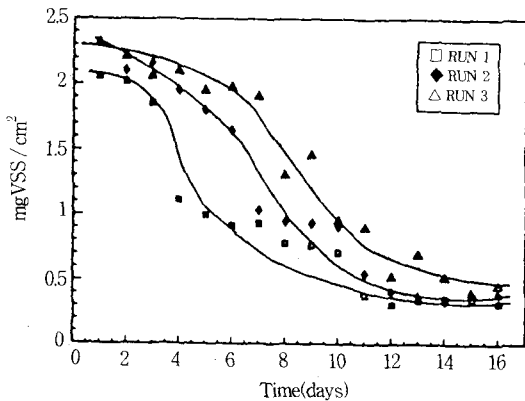


그림 11. Variations of VSS contents in endogenous stage

일 동안 슬러지의 발생이 없어 침전지에서의 슬러지 폐기가 이루어지지 않았다. 따라서 고농도 유기물을 함유한 돈사폐수의 생물막공정 적용에 있어 인위적 자산화의 도입은 처리수의 안정과 슬러지 발생감소에 있어 매우 곤란한 공정으로 판단된다.

IV. 결론

1. 생물막의 과부착 영향은 부착 경과일수 약 15일 내외에서 나타났으며, 이때 생물막의 두께는 약 1,100~1,200 μm 이며, VSS 함량과 COD 제거율도 감소되었다.
2. AFBR / ANFBR 공정에서 인위적 자산화단계를 이용한 생물막의 과부착 제어를 수행한 결과, AFBR 여재의 유기물 표면적부하량과 유기물 용적부하량이 17gBOD/ m^2/day , 1.7kgBOD/ m^3/day 이하에서 90% 이상의 총 BOD 제거효율을 얻을 수 있었다. 또한 TKN과 효율은 여재의 표면 부하량과 용적부하량인 5.60gNH₃-N/ m^2/day , 0.56kgNH₃-N/ m^3/day 이하에서 각각 76% 이상과 82% 이상으로 나타났다.

3. 과부착 단계에 있는 생물막의 인위적 자산화는 약 12일 정도까지 진행되었으며, 그 이후 생물막의 두께는 50~80 μm 의 일정 두께를 유지하였고, VSS 함량의 감소도 같은 경향으로 0.4~0.5mgVSS/ cm^2 을 유지하였다.
4. 생물막 과부착으로 인한 수질악화와 슬러지 생성은 첫번째 AFBR 반응조에 인위적 자산화단계를 도입함으로써 해결할 수 있었다.

참고문헌

1. Hegemann, W.: A Combination of Activated Sludge Process with Fixed Film Biomass to Increase the Capacity of Wastewater Treatment Plants, Wat. Sci. Tech. Vol. 16, pp. 119-130, 1984.
2. APHA, AWWA, WEF: Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 18th Ed, 1992.
3. Huage J. C., et al.: Biofilm Growth with Sucrose as Substrate, J. Environ. Eng. Div., ASCE, Vol. 111(3), pp. 353-363, 1985.
4. 임재명, 권재혁, 이상태: Anoxic-Oxic 공법을 이용한 돈사폐수 처리, 강원대학교 논문집, Vol. 32, pp. 175-183, 1993.
5. Narkis, N., et al.: Denitrification at Various Carbon to Nitrogen Ratios, Water Research, Vol. 13, No. 1, pp. 93-98, 1979.
6. Bjorn Rusten, and Hallvard Odegaard: Denitrification in a Submerged Bio-Disc System with Raw sewage as carbon Source, Proc. 2nd Intern. Conf. on Fixed-film Biological Process, Vol. 1, pp. 823-845, 1984.
7. Monteith, H.D., et al.: Industrial Waste Carbon Sources for Biological nitrification, Progress of Water Technology, Vol. 12, pp. 127-141, 1980. ◀

환경게시판

본 연합회는 제24회 세계 환경의 날에 즈음하여 이를 기념하는 행사 및 「국가환경기술의 개발대책」이라는 주제로 심포지엄을 개최합니다. 관심있는 환경인들의 많은 참여를 바랍니다.

일시: 96년 6월 3일(월) 13:00~

장소: 중소기업회관 국제회의실