

BACC를 이용한 축산폐수의 암모니아성 질소 및 유기물의 제거 I. 활성슬러지 공정과의 비교

¹성기달·류원률·²김인환·†조무환
영남대학교 응용화학공학부, ¹(주)보명환경산업, ²대구보건대학 보건환경과
(접수 : 2001. 1. 11., 게재승인 : 2001. 4. 23.)

Removal of Ammonia Nitrogen and Organics from Piggery Wastewater Using BACC Process- I. Comparison of Activated Sludge Process

Kee Dal Seung¹, Won Ryul Ryu, In Hwan Kim², and Moo Hwan Cho†
School of Chemical Engineering & Technology, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea
¹Bo Myeung Environment Industry, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea
²Department of Health Environment, Taegu Health College, Taegu 702-260, Korea
(Received : 2001. 1. 11., Accepted : 2001. 4. 23.)

To treat piggery wastewaters containing refractory compounds including nitrogen, biological treatments were investigated. In biological treatment, the removal efficiencies of organics and nitrogen by the activated sludge process and bioreactor using a BACC (Biological Activated Carbon Cartridge) media filled with granular activated carbon were examined. The results were as follows; in the biological process, when the approximate influent BOD concentration of 620 mg/L, through dilution, was treated by the activated sludge process, the process should be operated at a HRT of over 8 days to maintain an effluent BOD concentration of lower than 100 mg/L. In the treatment of piggery wastewater using a BACC bioreactor, when the HRT was 200 hours, the BOD, COD_{Cr}, and TKN removal efficiency of the effluent were 94, 75 and 64.3%, respectively. Comparing the BACC bioreactor with the activated sludge process, when the volumetric loading rate was 0.3 g BOD/L · day, the specific substrate removal rate of BOD was 0.14 g BOD removed/L · day in the activated sludge process which compared with 0.27 g BOD removed/L · day in the BACC bioreactor. The BACC bioreactor showed on average a 2-fold higher removal rate and was superior to the activated sludge process in wastewater treatment in terms of variations of loading time and high loading time. Therefore, the BACC process can effectively treat piggery wastewater containing high concentrations of nitrogen and organic compounds.

Key Words : BACC, bioreactor, activated sludge, piggery wastewater

서론

최근에 돈사폐수와 같이 고농도의 질소와 인을 함유하고 있는 폐수는 하천 및 호수의 부영양화의 직접적인 원인으로 간주되어 이에 대한 처리가 시급한 실정이다. 따라서 수자원 보호측면에서 축산폐수의 효율적 처리에 대한 사회적 관심이 고조되고 있다. 현재 축산 농가의 폐수처리 현황을 살펴보면 대부분 활성슬러지법을 채택하고 있는데, 처리 계통도를 살펴보면 1차 응집침전 후 회석수를 사용하여 활성슬러지 폭기

조에 유입시키는 방법을 채택하고 있다. 활성슬러지 공정은 폐수 중의 유기물을 제거하기 위한 처리 시스템으로서 질소와 같은 영양염류의 제거는 어렵다. 따라서 축산폐수 처리장에서 영양염류를 효과적으로 제거하기 위해서는 기존 처리 시스템의 변경이나 새로운 처리 시스템의 도입이 요구된다(1,2).

이러한 시대적 요구로 인해서 폐수중의 영양염류의 제거를 위한 처리공정 연구로서 활성슬러지 공정을 변형한 공정이 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 활성슬러지 공정의 일종인 SBR공법, 혐기-호기공정으로는 AO, A₂O공법, 간헐포기 활성슬러지 공정 등 여러 가지 공법이 개발되어 있다(3,4). 그러나 이와 같은 공법들은 폭기조와 혐기조 및 무산소조 등 여러 단계를 거치거나, 슬러지의 반송과 내부반송에 의해 처리하는 방법으로서 대부분 오염물질의 농도가 낮은 일반적인

†Corresponding Author : School of Chemical Engineering & Technology, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea
Tel : +82-53-810-2517, Fax : +82-53-814-8790
E-mail : mwcho@yu.ac.kr

오수 등에 적용할 수 있는 공법이다(5-10). 또한 부하량의 제한성 및 활성미생물의 확보, 경제성 등의 문제점을 있어서 축산폐수에 적용되지 못하고 있다.

여러가지 문제점을 극복하기 위한 한 방안으로 고정화 담체를 이용한 생물막 공정(biological film process)에 대한 연구와 관심이 집중되고 있다(11-13). 현재 생물막 공정은 중소규모의 오수처리에 많이 이용되고 있는데 활성슬러지 공정과 비교하여 유지관리가 용이하며, 유입 변동에 강하고 슬러지 팽화현상이 일어나지 않는 장점을 가지고 있다. 또한 종래의 BOD 제거를 주목적으로 설치된 활성슬러지 공정에 비하여 난분해성 물질의 처리, 질소, 인을 포함하는 영양염류의 제거 능력, 소형 설계, 유지 관리 비용 절감 등에서 효과적이므로 이를 실용화하는 연구가 절실히 요구된다(14-16).

이러한 사회적 요구에 따른 생물막 공정을 이용하기 위해서 가장 필요로 하는 선행 기술의 필요성이 대두되고 있다. 생물막을 이용하는 공정의 선결 과제는 미생물 탈리 등의 문제를 해결하여 악조건 속에서도 안정적인 처리능력을 확보하는 공정의 개발이고, 또 하나는 이러한 공정에 사용될 수 있는 적당한 담체의 개발이다. 담체를 이용하는 생물막 공정의 처리효율은 폭기조에 투입된 담체의 능력에 의해서 좌우되는데, 최적의 담체 조건은 미생물의 특성에 맞는 재질과 형태를 갖추어야 한다. 또한 적절한 미생물 부착량을 유지하면서 담체에 부착된 미생물이 제 기능을 발휘할 수 있는 공정의 조건을 유지시키는 것이 중요하다.

따라서 본 연구는 축산폐수 중에 많은 오염부하를 유발하면서 처리가 가장 어려운 돈사폐수를 효과적으로 처리하기 위한 공정을 개발하였다. 미생물 고정화를 위한 담체는 자체 개발한 Biological Activated Carbon Cartridge (BACC)를 사용하였으며 고농도 난분해성 유기물과 질소의 제거효율을 조사하였고 또한 공정의 최적 처리조건과 동력학적 상수를 구하여 기존에 운영되고 있는 활성슬러지 공정과 비교하여 보았다.

재료 및 방법

폐수의 성상

축산폐수는 시간별, 계절별로 폐수의 성상 및 발생량이 많은 차이점이 있다. 그 중 돈사폐수는 축사의 형태와 규모 등의 요인에 의해 폐수의 농도와 발생량의 편차가 매우 심하다.

본 실험에 사용된 축산폐수는 약 1,000두 규모의 돈사를 운영하는 농가 콘크리트형 집수조에서 채취하여 사용하였다. 폐수는 시멘트 바닥형에서 불규칙적으로 분을 제거하고 난 뒤 노와 일부의 분 성분 및 청소수가 포함된 것으로 그 특성은 다음과 같다.

시료는 채취할 때마다 폐수의 특성이 다르게 나타났으며 분석결과 pH는 7.8~8.9, SCOD_{Cr}는 2,900~3,850 mg/L이었다. SBOD₅는 1,390~2,330 mg/L, SBOD₂₀는 2,050~2,950 mg/L이고, 평균 SBOD₅/SBOD₂₀은 0.784이었다. TKN는 630~1060 mg/L로 농도 편차가 심하게 나타났으며, NH₃-N는 450~930 mg/L로 평균 NH₃-N/TKN은 0.85, BOD₅/TKN는 2.23으로 조사되었고 NO₂⁻와 NO₃⁻는 미량 존재하였다. 또한 T-P는 평균 약 20 mg/L 함유하고 있었다.

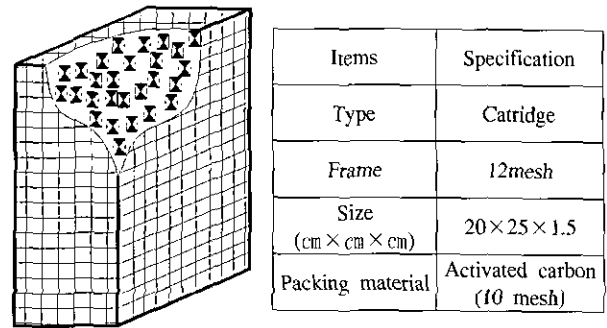


Figure 1. Structure and specification of BACC.

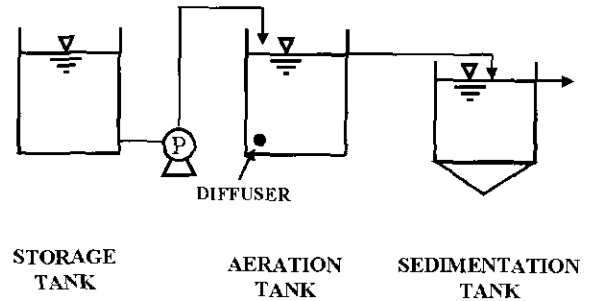


Figure 2. Schematic diagram of experimental apparatus.

담체 및 BACC 실험장치

본 연구에 사용된 담체는 Biological Activated Carbon Cartridge (이하 BACC)로 명명된 제품으로 본 연구자가 개발하였다. 담체중 비표면적이 크며, 미생물 부착능이 우수한 것으로 보고된 활성탄을 사용하기 위하여 12 mesh의 stainless steel로 직사각형의 제망을 제작한 후 입상 활성탄을 충전하였다. BACC의 구조와 특징을 Figure 1에 나타내었다. 실험실 규모의 반응기에 설치하기 위해서 BACC 담체들의 크기는 가로×세로가 15 cm×25 cm로 제작하였다. BACC 담체에 충전된 물질인 입상 활성탄은 야자계 입상 활성탄으로 표준체 10 mesh 표준체를 사용하여 체분리하여 증류수로 수차례 세척 후 사용하였다. 입상활성탄의 밀도 2.1 g/cm³, 겉보기 밀도 0.59 g/cm³이다. 실험장치는 Figure 2와 같이 storage tank, aeration tank, sedimentation tank로 구성되었으며, 10mm 두께의 투명한 아크릴판으로 제작하였다. Aeration tank의 유효용적은 44 L(L32×W37×H37 cm)이며, 유출수가 고르게 배출되도록 윌류웨어를 설치하였다. 침적형 생물막 반응기는 Figure 2의 aeration tank에 BACC를 고정시켰으며 mass transfer와 oxygen transfer를 원활히 하기 위하여 적당한 간격을 두고 설치하였다.

생물반응기 내의 물질의 유동이 원활히 될 수 있는 구조로 BACC를 설치하였다. 또한 산기관을 반응기 하부의 측면에 부착하여 반응물의 유동과 oxygen transfer가 원활하게 하였다.

축산폐수는 정량 pump (천세산업 제작)를 이용하여 일정한 유량으로 폭기조에 유입하고 공기는 air compressor를 이용하여 폭기조 하부에 설치된 산기관을 통하여 주입하였다. 반응기내의 DO는 공기유입밸브를 이용하여 조절하였다. 생물반응기 온도는 자동온도조절 장치를 부착하여 일정하게 유지하였다.

활성슬러지공정 실험장치

BACC 공정의 축산폐수 처리특성과 비교하기 위하여 활성슬러지 공정으로 연속실험을 행하였다. 실험장치는 Figure 2와 동일하며 축산폐수에 순양된 미생물을 접종하여 폐수에 완전히 적응시킨 후, 폭기조의 MLSS의 농도가 2,500 mg/L에 도달하였을 때 낮은 부하로 폐수를 주입하여 실험하였다. 축산폐수는 고농도이므로 2배 희석하여 사용하였다. 실험기간 중 pH는 7.0~8.5, 온도는 25 °C, DO는 2 mg/L 이상 유지하도록 하였다. 부하변화는 저부하에서 고부하의 순서로 시행하였고, 부하변화는 수리학적 체류시간 (HRT)으로 조절하였다. COD_{Cr}와 BOD의 부하율 범위는 각각 0.2~0.8 kgCOD_{Cr}/m³·day, 0.08~0.31 kgBOD/m³·day에서 운전하였다.

담체(BACC)의 미생물 고정화

축산폐수의 생물학적 처리를 위하여 K시 하수종말 처리장의 반송슬러지를 폐수와 함께 Figure 2의 폭기조에 투입하였다. 이때 폐수는 축산폐수의 C/N비를 조절하기 위하여 탄소원으로 5%의 glucose 용액과 축산폐수를 1:1로 혼합된 조합폐수를 사용하여 5일간 순양시켰다. 순양된 미생물이 잘 성장할 수 있도록 3배수의 증류수로 희석한 축산폐수를 연속적으로 주입하여 완전하게 활성화시켰다. 미생물의 고정화는 위의 축산폐수에 순양된 미생물을 식중하여, 5% glucose와 축산폐수를 1:1 혼합된 조합폐수를 희분식으로 주입하고, 폭기조의 온도와 pH는 미생물 순양 공정과 동일하게 유지하였다.

연속실험

BACC를 고정화 담체로 사용한 침적형 생물반응기 공정을 연속적으로 운전하여 생물반응기의 성능을 조사하였다. 축산폐수 부하율은 수리학적 체류시간으로 조절하였으며 저부하에서 고부하로 실험하였다. pH는 7.0~8.0로 조정하였으며, 온도는 25 °C, DO는 2 mg/L 이상 유지하도록 충분히 공급하였다. 반응기가 정상상태에 도달한 후 체류시간을 변화시켜 고정화 반응기의 특성을 조사하였다. 이때 전체BOD 부하율의 변화폭 0.16~1.9 kgBOD/m³·day가 되도록 단계적으로 증가시켰다.

분석방법

시료의 분석방법은 Standard Methods(17)에 의하여 분석하였고 분석회수는 1일 1회를 원칙으로 하였다. 담체에 부착된 미생물(biomass)은 BACC를 완전 건조시켜, Polymer Laboratories사의 열무게분석기(TGA : Thermogravimetric Analysis PL TGA-1500)로 승온 속도 20 °C/min로 측정하였다. 유출수를 3,000 rpm에서 10 min 동안 원심분리 후 분석을 위한 시료로 사용하였다.

결과 및 고찰

활성슬러지 공정에서의 제거효율

축산폐수를 활성슬러지 공정에서 생물학적 처리법으로 연속적으로 처리한 결과를 Figure 3에 나타내었다. COD_{Cr}의 경우 체류시간이 8일인 경우 평균 부하율이 0.2 kgCOD_{Cr}/m³·

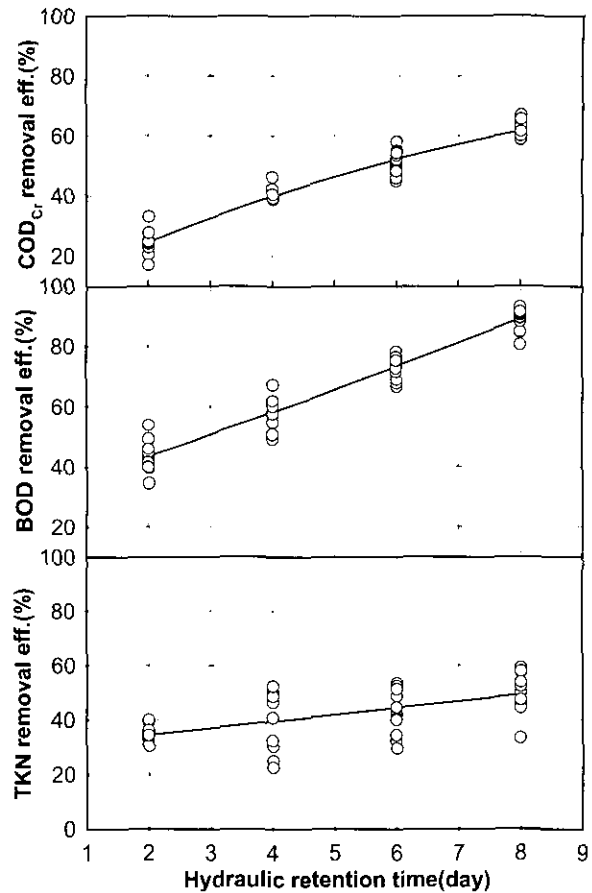


Figure 3. Effect of hydraulic retention time on removal efficiency of COD_{Cr}, BOD and TKN using activated sludge process.

day였고, 처리 후 유출수의 농도는 550~700 mg/L로서 평균 COD_{Cr}는 620 mg/L로서 제거효율은 61.7%이었다. 체류시간이 6일인 경우, 부하율이 0.27 kgCOD_{Cr}/m³·day, 처리 후의 평균 COD_{Cr}의 농도는 798 mg/L로서 제거효율은 51.5%였다. 체류시간이 4일인 경우, 부하율이 0.42 kgCOD_{Cr}/m³·day, 처리 후의 평균 COD_{Cr} 984 mg/L로서 제거효율 40.8%였다. 체류시간이 가장 짧은 2일인 경우 부하율이 0.8 kgCOD_{Cr}/m³·day, 처리 후의 COD_{Cr} 농도는 1,120~1,360 mg/L, 평균 COD_{Cr} 1,220 mg/L로서 제거효율은 24.3%로 나타났다. 축산폐수를 일반 활성슬러지 공정으로 처리하였을 경우 유입수를 희석하여 약 1,600 mg/L 농도의 폐수를 처리하는데 체류시간 8일 경우도 제거효율이 약 61.7% 정도로 매우 낮게 처리되는 것을 알 수 있었다. 따라서 이러한 결과를 볼 때 활성슬러지 공정으로 축산폐수를 완전한 처리가 매우 어렵다는 것을 나타내고 있다.

BOD의 제거특성을 살펴보면 체류시간이 8일, 부하율이 0.08 kgBOD/m³·day이었는데, 처리후의 BOD 농도는 평균 66 mg/L로서 제거효율은 89.1%이었다. 체류시간이 6일인 경우 부하율이 0.10 kg BOD/m³·day이었는데, 처리후의 BOD는 평균 165 mg/L로서 제거효율은 73.4%이었다.

체류시간이 4일인 경우 부하율이 0.16 kgBOD/m³·day이었는데, 처리후의 BOD 농도는 평균 270 mg/L로서 제거효율은 57.9%이었다. 체류시간이 2일인 경우 부하율이 0.31 kgBOD/m³·

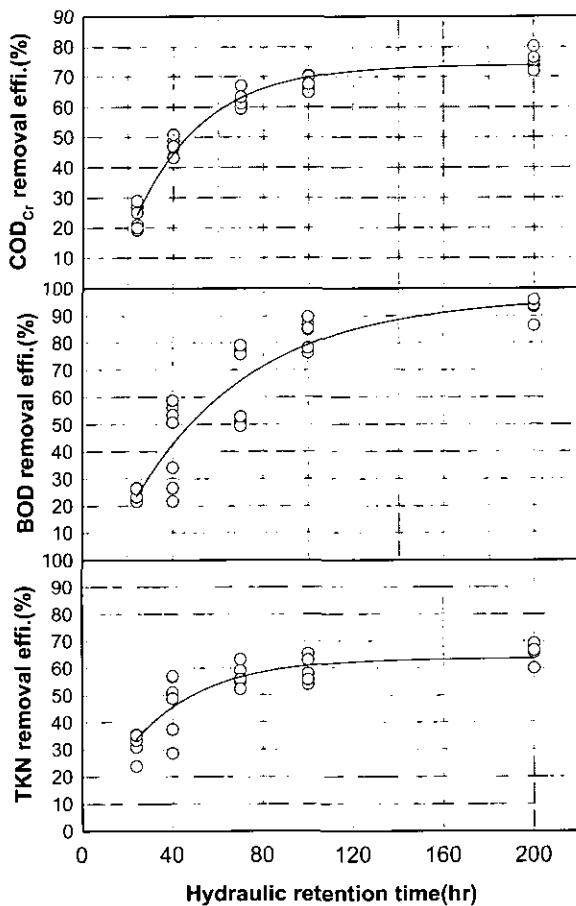


Figure 4. Effect of hydraulic retention time on removal efficiency of COD_{Cr} , BOD and TKN using the BACC process.

day이었는데, 처리 후의 BOD 유출 농도는 평균 350 mg/L로서 제거효율은 43.5%로 나타났다.

여기서 BOD 제거효율에 대해서 고찰하면 체류시간이 4일 이하가 되면 효율이 급격히 감소하였다. BOD의 제거효율이 COD_{Cr} 의 제거효율 보다 상대적으로 높은 이유는 축산폐수 중에는 난분해성 물질 즉 생체 합성물질을 다량 함유되어 있다는 것을 뜻한다. 여기서 생물학적으로 활성슬러지 공정으로 처리할 때 유출수를 BOD 100 mg/L 이하로 유지하고자 한다면 BOD 유입농도 약 600 mg/L에서 체류시간이 8일 이상이 되도록 운전하여야 한다는 사실을 알 수 있었다.

또한 실험기간 동안의 유입 TKN의 농도가 550~650 mg/L이었으며, 실험결과 체류시간이 8일인 경우 평균 유입 TKN는 590 mg/L, 이때의 TKN 부하율이 0.07 kgTKN/m³·day였는데, 처리 후의 TKN 유출 농도는 평균 290 mg/L로서 제거효율은 50.9%였다. 체류시간이 6일인 경우 TKN 부하율 0.1 kgTKN/m³·day, 처리 후의 TKN 농도는 평균 335 mg/L로서 제거효율은 43.6%이었다. 체류시간이 4일인 경우 TKN 부하율이 0.15 kgTKN/m³·day, 처리 후의 TKN 농도는 평균 355 mg/L로서 제거효율은 39.3%이었다. 체류시간이 2일인 경우 TKN loading rate가 0.3 kgTKN/m³·day, 처리 후의 TKN 농도는 평균 383 mg/L로서 제거효율은 35.0%로 나타났다.

이러한 실험결과를 볼 때 축산폐수를 활성슬러지 공정에서 처리하는 경우 TKN의 제거는 매우 어려운 것으로 나타났다.

이는 질소의 생물학적 제거에 관해서 좀더 심도 있는 논의가 필요 하지만, 축산폐수는 고농도의 질소가 함유하고 있고 BOD/TKN의 비도 평균 2.0이어서 질소의 제거에 대해서 특별한 대책을 필요로 하며, 하나의 방편으로 질소 제거 공정이 필요하다는 사실을 나타내고 있다.

BACC 생물반응기 공정의 제거효율

BACC 생물반응기 공정에서의 축산폐수의 부하변화에 대한 처리능에 영향을 실험한 결과는 Figure 4와 같다. 부하변화는 체류시간의 조정으로 실시하였는데, 체류시간을 200, 100, 70, 40, 24시간으로 조절하여 유입수의 평균 농도가 3,500 mg/L의 축산폐수를 원수 그대로 사용하였다. 체류시간이 200 시간일 때, 유출수의 평균 COD_{Cr} 는 770 mg/L로서 약 75%의 제거효율, 이때 부하율은 0.38 kg COD_{Cr} /m³·day이었다. 수리학적 부하를 높여서 체류시간을 100 시간에서는 유출수의 평균농도는 1,100 mg/L, 평균제거효율이 68%, 이때 평균 부하율은 0.82 kg COD_{Cr} /m³·day, 체류시간이 70시간에서는 유출수의 평균농도 1,360 mg/L, 제거효율은 62%, 평균 부하는 1.23 kg COD_{Cr} /m³·day로 나타났다. 체류시간이 40시간일 때, 유출수의 평균농도는 1,660 mg/L, 평균 부하율은 2.0 kg COD_{Cr} /m³·day, 평균 제거효율은 50%, 체류시간이 24시간일 경우는 제거효율이 24%로 유출수의 COD_{Cr} 의 농도는 2,670 mg/L로 나타났다. 체류시간이 40시간보다 적은 경우 제거효율이 50% 이하로 매우 낮게 나타났으며, 제거율이 60% 이상이 되려면 체류시간이 70시간 이상이 되어야 한다.

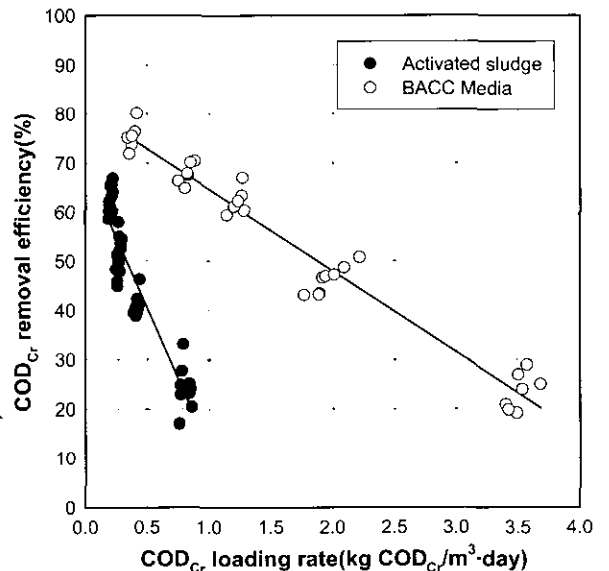


Figure 5. Comparison of COD_{Cr} removal efficiency at activated sludge process and BACC process.

BOD의 부하변화의 폭은 0.19~1.72 kgBOD/m³·day이며 유입되는 축산폐수의 평균 BOD는 1,260 mg/L이었다. 유출수의 수질을 보면 체류시간이 200 시간일 때 평균 유출수의 농도는 100 mg/L로서 약 94%의 제거효율을 나타내었으며, 이때 평균 BOD 부하율은 0.19 kgBOD/m³·day이었다. 부하가 증가되어 체류시간이 100시간일 때 평균 유출수의 농

도는 220 mg/L, 제거효율이 86.4%, 이 때의 평균 부하율은 0.044 kgBOD/m³·day, 70시간에서는 유출수의 BOD는 430 mg/L, 평균 부하율 0.63 kg BOD/m³·day, 제거효율은 77.2%, 체류 시간이 40 시간일 때, 부하율 1.02 kgBOD/m³·day, 평균 유출수의 농도는 630 mg/L, 제거효율은 62%, 24시간일 경우는 유출수의 BOD는 1,260 mg/L, 제거효율이 26.4%로 나타났다. 여기서 BACC 생물반응기에서 200시간의 체류시간에서 BOD 제거효율이 95.6%로서 매우 우수한 효율을 나타내었다. BACC 생물반응기에 의한 축산폐수의 생물학적 처리에 있어서 BOD의 변화를 살펴보면 축산폐수는 원수의 농도가 높아서 일반 활성슬러지 공정에서는 희석하지 않고 생물학적인 처리가 불가능하지만 BACC 생물반응기에서는 희석하지 않은 조건에서 처리 한 결과 제거효율이 90% 이상인 것으로 나타나고 있어서, BOD 제거 즉 유기물 제거 측면에서는 매우 우수한 능력을 발휘하고 있다.

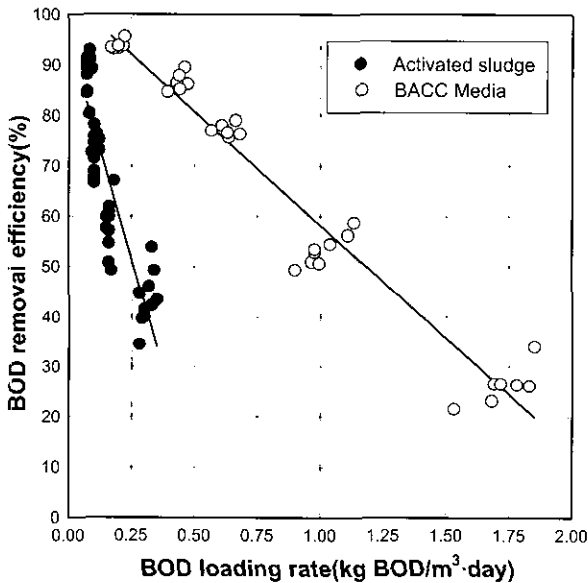


Figure 6. Comparison of BOD removal efficiency at activated sludge process and BACC process.

TKN의 부하율은 0.08~0.91 kgTKN/m³·day로 변화시켰다. 이때 처리수의 TKN의 제거율을 살펴보면 체류시간이 200시간일 때 평균 유출수의 농도는 290 mg/L로서 약 64.3%의 제거효율이었고, 평균 TKN 부하율은 0.1 kgTKN/m³·day였다. 체류시간이 100시간에서는 평균 유출수의 농도는 342 mg/L, 제거효율이 59.2%, 70시간에서는 유출수의 농도는 400 mg/L, 평균 부하율 0.32 kgTKN/m³·day, 제거효율은 57.1%, 40시간일 때, 부하율 0.5 kgTKN/m³·day, 평균 유출수의 농도는 446 mg/L, 제거효율은 44.5%, 24시간일 경우는 부하율 0.78 kgTKN/m³·day, 평균유출수의 농도는 532 mg/L, 제거효율이 31.67%로 나타났다. BACC 생물반응기에서 TKN 제거효율이 체류시간이 200시간 일 때 64.3%로서 활성슬러지 공정보다는 우수하였으나, 유출수의 TKN 농도는 290 mg/L로서 매우 높은 수준으로 나타났다. 따라서 축산폐수는 TKN의 농도가 높기 때문에 BACC 생물반응기 공정에서 200시간 처리하여도 유출수의 TKN 농도는 290 mg/L로서 매우

처리가 어려움을 나타내었다. 따라서 BACC 생물반응기에서 축산폐수의 질소 성분을 완전한 처리가 곤란하였다. 따라서 질소를 포함한 축산폐수의 영양염류의 제거를 위해서 별도의 처리공정에 대한 고려가 있어야만 효과적인 질소의 제거가 가능함을 보여주었다.

유기물 및 TKN의 제거효율 비교

축산폐수를 활성슬러지 공정과 BACC 생물반응기 공정에서 오염물질의 부하변화에 대한 제거효율을 비교, 분석하였다. 각 공정에서 나타난 결과를 비교 분석하였을 때 COD_{Cr}, BOD, TKN의 농도는 BACC 생물반응기 공정이 활성슬러지 공정보다 동일한 부하율에서 높은 처리 효율을 나타내었으며 특히 부하가 증가할수록 활성슬러지 공정은 제거효율이 급격히 감소하고 있었으나 BACC 생물반응기 공정은 비교적 안정한 제거효율을 나타내고 있었다. 이는 BACC 생물반응기 공정이 축산폐수와 같이 난분해성 물질을 함유한 폐수의 심한 부하변동과 고부하에서 우수한 처리성능을 나타내었다.

활성슬러지 공정과 BACC 생물반응기 공정을 이용하여 축산폐수에 대한 부하변화에 대한 영향을 조사하는 실험 결과에서 제거효율을 비교하여 보았을 때 COD_{Cr}의 부하율의 변화에 대한 제거효율의 변화에 대한 자료는 Figure 5에 나타내었다. 결과를 고찰하여 보면 난분해성 물질을 다량 포함한 축산폐수 처리에 있어서 BACC의 생물반응기 공정은 활성슬러지공정과 비교하여 매우 우수한 유기물의 제거능을 발휘하고 있다. 또한 동일한 부하율에서 비교하여 보면서 비교하여 보면 0.8 kgCOD_{Cr}/m³·day에서 활성슬러지 공정에서는 COD_{Cr}의 제거효율이 24.3%이고, BACC의 생물반응기 공정에서는 COD_{Cr}의 제거효율이 67.8%로 나타났는데 제거효율의 차이가 43.5%로 나타났다. 이는 BACC 생물반응기 공정에서 난분해성 물질의 분해 미생물을 포함해서 활성 미생물이 효과적으로 오염물질을 제거하고 있음을 나타내고 있으며 이를 살펴볼 때 축산폐수의 처리에 있어서 BACC 생물반응기 공정이 활성슬러지 공정보다 매우 우수한 성능을 나타내었다.

BOD 부하율에 대한 BOD제거효율의 변화를 Figure 6에 나타내었다. 각 공정에 대한 BOD의 제거효율의 변화가 COD_{Cr}와 비슷하였다. 즉 BACC 생물반응기 공정이 BOD의 제거능에서 더 높은 제거능을 가지는 것으로 조사되었다. 이는 난분해성 물질을 분해에 BACC의 생물반응기 공정이 우수하다는 사실을 뒷받침하는 것이며 COD_{Cr}와 마찬가지로 고부하의 적응능력이 탁월하다는 것을 나타내고 있다. 이는 부하 0.25 kgBOD/m³·day에서 수치 해석하여 보면 활성슬러지 공정의 제거효율이 50%, BACC 생물반응기 공정의 제거효율이 92%로서 BOD의 제거효율의 차이가 42%로 나타나고 있었다. 또 BOD의 제거효율이 80%로 나타난 실험 결과의 BOD 부하율을 유추하여 보면 활성슬러지 공정과 BACC의 생물반응기 공정이 각각 0.13, 0.55 kgBOD/m³·day로 나타나고 있어서 BACC의 생물반응기 공정이 활성슬러지 공정의 약 3배 이상의 부하에서 동일한 제거효율을 나타내고 있었다.

활성슬러지 공정과 BACC 생물반응기 공정에서의 부하율에 대한 TKN 제거효율을 비교하여 Table 1과 같이 나타냈다. 비교적 저부하의 조건인 0.1 kgTKN/m³·day에서 평균

Table 1. Comparison of TKN removal efficiency at activated sludge process and BACC process.

Activated sludge process		BACC process	
Loading rate kgTKN/m ³ · day	Removal efficiency(%)	Loading rate kgTKN/m ³ · day	Removal efficiency(%)
0.07	50.1	-	-
0.10	43.6	0.10	64.3
0.15	39.3	-	-
-	-	0.20	59.2
0.30	35.0	-	-
-	-	0.32	57.1
-	-	0.51	46.8
-	-	0.78	32.2

TKN의 제거효율이 활성슬러지 공정은 평균 약 50%이고, BACC 생물반응기 공정에서는 약 60~64%로 약 10% 이상 더 높은 것으로 나타났다. 또한 부하가 증가할수록 BACC 생물반응기의 TKN 제거효율이 더 높게 나타났는데, 부하가 0.3 kgTKN/m³ · day에서 활성슬러지 공정은 제거효율이 35%, BACC 생물반응기 공정은 약 55%의 제거율로서 약 20%가 더 높은 제거율을 나타내었다. 이는 BACC 생물반응기 공정이 다량의 미생물 군집으로 인한 중속영양 미생물에 의한 질소성분의 섭취 및 자가영양 미생물에 의한 질산화 및 탈질이 부분적으로 이루어지고 있기 때문인 것으로 추측된다. 이는 담체를 이용한 생물막 공법이 활성슬러지 공정보다 질소 제거율이 약 1.5배 이상 차이가 나는 보고와 거의 일치하였다. 그러나 전체적인 TKN의 제거효율은 최고 64%로 BOD, COD_{Cr}의 유기물질의 제거효율 보다 매우 낮게 나타났다.

Volumetric loading rate 와 specific BOD removal rate 의 비교

활성슬러지 공정과 BACC 생물반응기 공정에서 반응기 용량에 대한 BOD 비제거속도와와 관계를 알아보기 위해서 각 공정의 부하 변화에 대해서 용적 부하와 비기질 제거속도와와 관계를 plot 한 결과 Figure 7과 같이 나타났다. 여기서 활성슬러지 공정에서 BOD volumetric loading rate가 0.15 g BOD/L · day까지 specific BOD removal rate가 직선적으로 증가하였으며 volumetric loading rate가 그 이상에서는 specific BOD removal rate가 증가하지 않고 완만하게 0차식의 형태로 나타났으며 최대 비제거속도가 0.14 gBOD removed/L · day로 나타났다. 이에 비해서 BACC 생물반응기 공정에 대한 BOD 용적부하에 대한 비제거속도를 관찰하여 보면 volumetric loading rate가 1.0 gBOD/L · day까지 비제거속도가 직선적으로 증가하다가 loading rate가 1.0 이상이 되면 비제거속도가 감소하였다. 여기서 최대 BOD의 비기질제거속도는 volumetric loading rate가 1.0 gBOD/L · day 일 때 0.6 gBOD removed/L · day로 나타났다. 따라서 활성슬러지 공정과 BACC 생물반응기 공정의 BOD 용적부하에 대한 비기질 제거속도 즉 BOD의 제거속도와의 관계를 상세하게 비교하여 보면 BACC 생물반응기의 능력이 매우 우수하였다. 최대 BOD 비제거속도가 0.14인 활성슬러지 공정에 비하여 BACC 생물반응기 공정은 0.6으로 단순 처리능은 탁월한 성능을 발휘하고 있다. 또한 volumetric loading rate가 매우 낮은 저부하에서 BOD loading rate가 0.3 gBOD/L · day에서 활성슬러

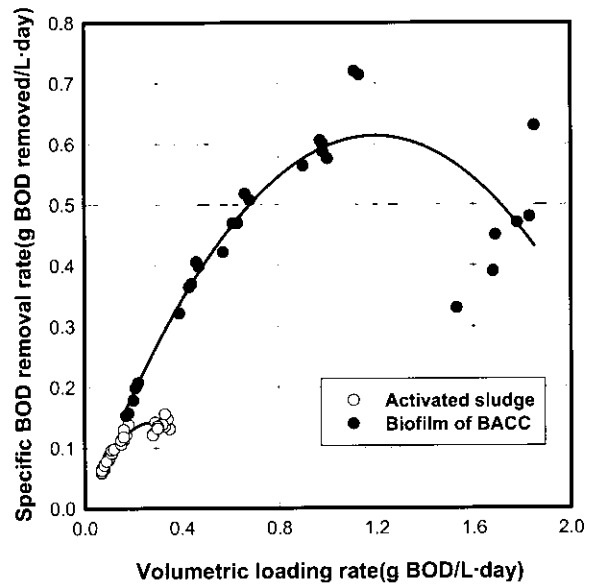


Figure 7. Relationship between volumetric loading rate of the specific BOD removal rate at activated sludge and BACC process.

지공정에서 0.14 gBOD removed/L · day에 비하여 BACC 생물반응기 공정은 0.27 gBOD removed/L · day로서 약 2배 이상의 제거속도를 나타내었다.

요 약

질소를 포함한 난분해성 오염물질을 다량 함유한 축산폐수(양돈폐수)의 오염물질을 효과적으로 처리를 위해서 생물학적인 처리방안으로 활성슬러지 공정 및 입상활성탄이 채워진 BACC 담체를 이용한 생물반응기에서의 유기물질 및 질소의 제거능에 대하여 조사하였다. 축산폐수를 일반 활성슬러지 공정으로 처리 할 경우 유입수를 희석하여 BOD 유입농도 약 600 mg/L의 폐수를 처리할 때 유출수의 BOD를 100 mg/L 이하로 유지하고자 할 경우 체류시간을 8일 이상 운전해야하는 것으로 나타났다. 그러나 BACC 생물반응기에서 축산폐수를 처리할 때 체류시간이 200 시간일 때 유출수의 BOD, COD_{Cr}, TKN의 농도는 각각 94, 75, 64.3%의 제거효율을 나타내었다. BACC 생물반응기와 활성슬러지 공정을 비교할 때 용적부하 0.3일 때 BOD 비기질제거속도가 활성슬러지 공정에서는 0.14 gBOD removed/L · day이고 BACC 생물반

용기는 0.27 gBOD removed/L·day로서 동일부하에서 높은 제거효율을, 고부하에서도 안정된 제거효율을 나타내고 있기 때문에 BACC 생물반응기가 부하변동 및 고부하의 폐수처리에서 활성슬러지 공정보다 우수한 것으로 평가되었다.

REFERENCES

- Hegemann, W (1984), A Combination of the Activated Sludge Process with Fixed Film Biomass to increase the Capacity of Wastewater Treatment Plant, *Wat. Sci. Tech.*, **16**, 119-130.
- Focht, D. D. and A. C. Chang (1975), Nitrification and Denitrification Processes related Wastewater Treatment, *Adv. Appl. Microbiol.*, **19**, 153-186.
- Alleman, J. and R. L. Irvine (1980), "Storage-induced Denitrification using Sequencing Batch Reactor Operation, *Water Reserch*, **14**, 1483-1488.
- Seo, I. S. (1997), Characteristics of Nutrient Removal of Swine Wastewater by 2-Stage Intermittently Aerated Activated Sludge System and Verification of Mathematical Model, *J. Korean Society Environmental Engineers*, **19**(1), 187-196.
- Burdick, C. R., D. R. Refiling, and H. D. Stensel (1982), Advanced Biological Treatment to Achieve Nutrient Remeval, *J. WPCF*, **54**, 1078-1086.
- Kalpwijk, A. and G. Lettinger (1981), Biological Denitrification in an Upflow Sludge Blanket Reactor, *Water Research*, **15**, 1-6.
- Miyai, Y. and K. Kato (1975), Biological Treatment of Industrial Wastewater by Using Nitrate as an Oxygen Source, *Water Research*, **13**, 95-101.
- Lim, B. R. (1998), A Study on the Swine Wastewater Treatment Using Sequencing Batch Reactor(II), *J. Korea Solid Wastes Engineering Society*, **15**(5), 431-438.
- Takashi, O. (1991), Removal of Nitrogen and Phosphour from Swine Wastewater by the Activated Sludge Units with the Intermittent Aeration Process, *Wat. Res.*, **25**(11), 1377-1388.
- Kang (1998), Assessment of Anaerobic Pretreatment of Swine Wastewater for the Subsequent Nitrogen and Phosphrous Removal by UASB Process, *J. Korea Solid Wastes Engineering Society*, **15**(5), 439-447.
- Rim, J. M. (1996), Package of RBC/AFBR Process for Small-Scale Piggery Wastewater Treatment, *Korean J. Sanitation*, **11**(2), 352-361.
- Rim, J. M. (1995), Package of AFBR/ANFBR Process for Piggery Wastewater Treatment, *J. Korean Society Environmental Engineers*, **17**(12), 177-189.
- Kornegay, B. H. and J. F. Andrews (1968), Kinetics of Fixed Film Biological Reactor, *J. WPCF*, **40**(11), 460-468.
- Schulze, K. L. (1960), Load and Efficiency of Trickling Filters, *J. WPCF*, **32**(3), 238-247.
- APHA, AWWA, WEF (1992), Standard Methods for the Examination of Water Wastewater, 18th Ed.