

## BACC를 이용한 축산폐수의 암모니아성 질소 및 유기물의 제거 II. COD/N비가 질소 및 유기물 제거에 미치는 영향

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

### Removal of Ammonia Nitrogen and Organics from Piggery Wastewater Using BACC Process—II. Effect of COD/N on Removal of Nitrogen and Organics

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

To treat piggery wastewater containing refractory compounds including nitrogen, physical treatments using zeolite and biological processes were investigated. In biological treatment, the removal efficiencies of organics and nitrogen in bioreactor using BACC (Biological Activated Carbon Cartridge) media filled with granule activated carbon were examined. The best removal efficiencies achieved for TKN and COD<sub>Cr</sub> were 82% and 53% respectively, when zeolite dosage was 300 g/L. Specific nitrogen removal ability was 3.2 mg/g at a zeolite dosage of 50 g/L, whereas specific nitrogen removal ability was 1.8 mg/g at a zeolite dosage of 300 g/L. The increased of C/N ratio resulting from the removal of nitrogen using zeolite led to an increase in removal efficiency of organics. As C/N ratio was increased to 2.0, 2.44 and 6.58 at a HRT of 48 hours in a BACC bioreactor, removal efficiencies of COD<sub>Cr</sub> were increased to 53.5%, 57.4% and 80.6%. The removal efficiency of wastewater using a zeolite dosage of 399 g/L was increased by 27.1% compared to that of control treatment.

**Key Words** : piggery wastewater, zeolite, BACC, C/N ratio

#### 서론

최근에 수자원 보호측면에서 축산폐수의 효율적 처리에 대한 사회적 관심이 고조되고 있다. 이는 축산 농가의 사육규모가 지난 시절의 부업형이 아니라 전업형, 기업형 등 대형화, 집단화 되어가고 있기 때문에 축산폐수에 의한 환경오염도 점차 사회문제로 대두되고 있는 실정이다. 축산폐수의 특징은 총량적으로 볼 때 발생량은 많지 않으나 오염농도가 매우 높기 때문에 그 부하량이 다른 오염원보다 매우 높다. 특히 고농도의 질소는 기존의 처리방법으로 제거되지 않고 대

부분 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N) 또는 소량의 아질산성 질소 형태로 자연수계로 방류되며, 이로 인한 부영양화 현상과 해역의 적조현상이 사회문제화 되고 있다. 이처럼 C/N비가 매우 낮은 폐수의 질소 제거는 생물학적으로 질산화와 탈질과 같은 생물학적 경로를 이용하기 어렵다(1-4). 이는 여러 원인이 있을 수 있는데 이는 암모니아성 질소의 기질저해 문제와 탈질 경로에 부족한 유기물질, 즉 전자공여체의 부족 문제인 것으로 추측된다(5-8). 또한 축산폐수는 고농도의 암모니아성 질소로 인해서 기질저해를 불러일으키기 때문에 생물학적 처리가 어렵다고 보고되고 있다(9-12). 따라서 본 연구에서는 생물학적 처리를 보다 효율적으로 하기 위하여 물리·화학적 인 처리로 질소를 먼저 제거 할 필요가 있다고 판단되었다. 저농도의 질소를 함유한 폐수는 물리적, 화학적인 처리방법으로 활성탄 흡착, 오존산화, 양이온 교환수지 등을 통한 이온교환 등의 방식이 있으나 고농도의 암모니아성 질소를 함

†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

Table I. Characteristics of piggery wastewater

Component	Range	Average
pH	7.5 - 9.2	8.4
SBOD <sub>5</sub>	1,390 - 2,300	1,920
TBOD <sub>5</sub>	2,130 - 2,750	2,540
SBOD <sub>20</sub>	2,050 - 2,950	2,450
TBOD <sub>20</sub>	2,800 - 4,500	3,750
SCOD <sub>Cr</sub>	2,900 - 4,550	3,850
TCOD <sub>Cr</sub>	4,800 - 6,800	5,800
TSS	750 - 1,080	920
VSS	620 - 950	750
TKN	630 - 1,060	860
NH <sub>3</sub> -N	450 - 930	670
NO <sub>2</sub> -N	5 - 30	10
NO <sub>3</sub> -N	5 - 25	10
T-P	16 -24	18

유하는 축산폐수의 경우에는 부적절하다(13-15). 따라서 본 연구에서는 경제성을 고려하여 경북 영일 지방에 많이 산재해 있는 천연 zeolite를 이용하여 축산 폐수의 암모니아성 질소를 제거하기 위한 최적 조건을 조사하였다. 또한 기존의 축산폐수의 생물학적 처리공정은 각각의 장·단점도 있고 실제로 적용되고 있는 공정도 있지만, 처리 공정이 복잡하고 정교한 운전기술이 요구되기 때문에 적은 비용으로 효율이 높고, 유지 및 관리가 간편한 새로운 기술 개발이 요망되고 있다. 본 연구에서는 고정화 담체를 이용한 생물막 공정을 개선하여 자체 개발한 BACC (Biological Activated carbon cartridge)를 담체로 사용하였다. 이 BACC 공정은 활성슬러지법과 비교하여 유지 관리가 용이하며, 유입 부하변동에 강하고 슬러지 팽화현상이 일어나지 않는 장점을 가지고 있으며 난분해성 물질의 처리, 질소 및 인 등을 포함하는 영양염류의 제거능력 등 생물학적인 처리면에서 효과적이라는 것이 본 연구진에 의해 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 보다 효율적인 BACC 공정을 위하여 생물공정에 영향을 미치는 C/N비에 따른 폐수의 유기물 및 질소의 처리효율을 알아보는 실험을 행하였다.

## 재료 및 방법

### 폐수의 성상

축산폐수는 시간별, 계절별로 폐수의 성상 및 발생량이 많은 차이점이 있었다. 그 중 돈사폐수는 축사의 형태와 규모 등의 요인에 의해 폐수의 농도와 발생량의 편차가 매우 심하였으며 그 특성은 Table I과 같다.

### Zeolite 흡착 실험

본 실험에 사용한 zeolite는 (주)Y화학의 1차 처리된 분말 형태의 천연 zeolite로 화학적 조성은 SiO<sub>2</sub> 72.55%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 14%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.85%, CaO 1.63%, Na<sub>2</sub>O 1.85%, K<sub>2</sub>O 2.85%, MgO 0.92%로 구성되어 있다. 먼저 축산폐수를 1 L의 비이커에 분취하여 zeolite 농도를 각각 달리 투입하여 30분간 jar tester에서 완속 교반 하였다. 1시간 동안 방치한 후부터 암모

니아성 질소의 농도를 측정하여 흡착이 평형에 도달하였는지를 확인하였다. 이렇게 하여 zeolite의 양에 의한 암모니아성 질소의 제거능 및 zeolite와 반응시간별 질소의 제거능을 알아보았다. 또한 흡착 등온식을 구하기 위하여 Langmuir 흡착 등온식, Freundlich 흡착등온식을 각각 적용 시켰으며 각각의 상관계수 r 값을 구하여 흡착 특성을 조사하였다.

### 질소농도에 따른 BACC 생물반응기의 특성

본 연구에 사용된 담체는 Biological Activated Carbon Cartridge(이하 BACC)로 명명된 제품으로 12mesh의 stainless steel로 직사각형의 체망을 제작한 후 입상 활성탄을 충전하여 사용하였다. 실험장치는 저류조, 폭기조, 침전조로 구성되어 있으며, 아크릴판으로 제작하였다. BACC를 폭기조에 물질의 유동이 원활히 될 수 있는 구조로 고정시켰다. 활성탄의 초기 투입량은 cartridge 하나에 2,416.3 g을 충전하였으며 반응구적으로 사용이 가능하다. 폭기조의 온도를 25℃, DO는 2 mg/L, pH를 7.0~8.0으로 조절하면서 K시 하수종말 처리장의 반응슬러지를 5일간 순양시켰다. 순양된 미생물이 잘 성장할 수 있도록 3배수의 증류수로 희석한 축산폐수를 연속적으로 주입하여 완전하게 활성화시킨 후 축산폐수의 생물학적 처리 실험에 사용하였다. 축산폐수의 암모니아성 질소 농도가 BACC 생물반응기의 처리능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 zeolite를 이용하여 암모니아성 질소를 일부 제거한 1차 처리수를 BACC 생물반응기의 유입수로 사용하였다. 축산폐수를 교반 장치가 부착된 혼합조에 유입시키고 zeolite를 50 g/L, 300 g/L 각각 투입하여 30분 교반 후 1시간 방치하여 상등수를 BACC 생물반응기에 연속적으로 주입하였다. Zeolite가 흡착한계에 도달할 경우 새로운 zeolite를 투입하여 교체하였다. 부하율은 수리학적 체류시간을 24, 48, 72시간으로 각각 변화시켜 조정하였으며, 반응기가 정상상태에 도달한 후 부하를 변화시켰다.

### 분석방법

모든 시료의 분석은 원심분리기로 3,000 rpm으로 5분간 원심분리 후 상등액만을 취하여 측정하였다. COD<sub>Cr</sub>의 측정은 수질오염공정시험법에 준하여 실험하였고, BOD는 독일 WTW사의 Oxitop<sup>®</sup> IS 12 BOD 측정기로 측정하였다. 이하 모든 분석은 Standard Methods에 의하여 분석하였다(17).

## 결과 및 고찰

### zeolite에 의한 농도별 질소 흡착 특성

Zeolite의 농도에 의한 축산폐수에 함유된 총킬달질소(TKN)의 제거 그림이 Figure 1에 COD<sub>Cr</sub>의 변화는 Figure 2에 나타내었다. 결과에 따르면 총킬달질소의 제거능력은 zeolite를 50 g/L로 주입하였을 때 26.2%, 100 g/L의 농도에서는 41.8%, 200 g/L에서는 65.7%, 300 g/L에서는 82.1%의 제거효율을 가져 왔으며, COD<sub>Cr</sub>의 제거능을 살펴보면 50 g/L의 zeolite의 농도로 처리하였을 경우 16.9%, 100 g/L의 농도에서는 29.4% 200 g/L의 zeolite에서는 43.1%, 300 g/L에서는 52.9%의 제거효율을 나타내었다. 그리고 zeolite의 단위 질량당 제거능은 50 g/L의 zeolite의 농도일 때 3.2 mg/g, 100 g/L

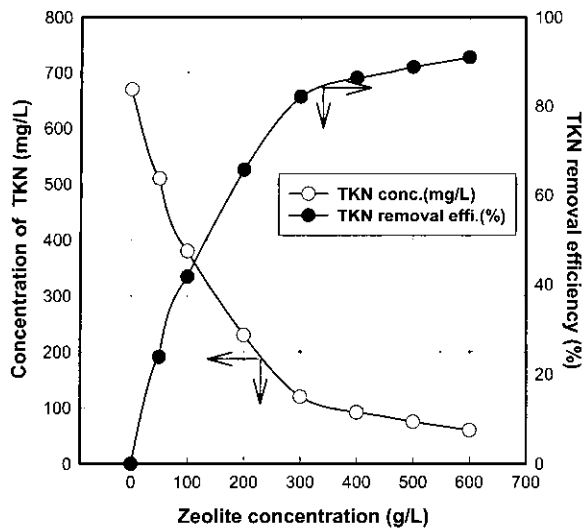


Figure 1. Effect of zeolite concentration on TKN concentration.

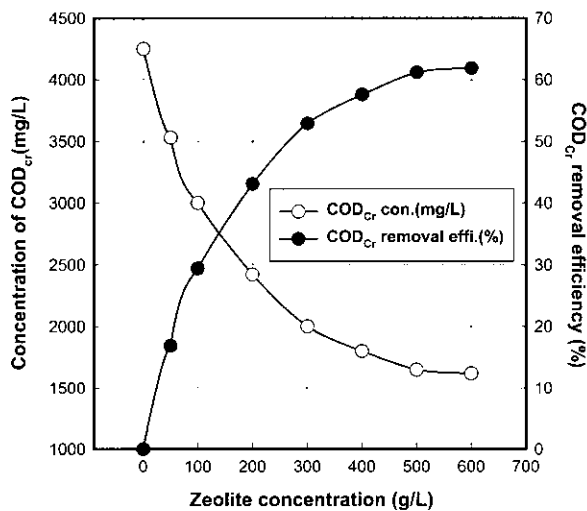


Figure 2. Effect of zeolite concentration on COD<sub>Cr</sub> concentration.

의 농도에서는 2.90 mg/g, 200 g/L의 zeolite에서는 2.20 mg/g, 300 g/L에서는 1.83 mg/g의 제거능을 가져 왔다. 따라서 축산폐수를 암모니아성 질소를 제거하기 위한 zeolite의 처리수에 나타난 결과에 따르면 총킬달질소의 함량이 평균 800 mg/L의 축산폐수에 처리하는 zeolite의 농도가 300 g/L까지는 처리수의 질소농도 및 COD<sub>Cr</sub>의 농도가 거의 직선적으로 낮아지는 급격한 감소폭을 기록하였으나, 300 g/L이상의 zeolite의 농도는 감소폭이 둔화되었다. 여기서 zeolite를 600 g/L의 농도로 처리하였을 때의 제거효율을 최대 제거효율의 100으로 설정하고 각 처리농도에서의 보전율을 구해 보았을 때, COD<sub>Cr</sub> 및 총킬달질소(TKN)의 보전율이 90% 이상이 되는 총킬달질소(TKN)농도는 300 g/L 였으며, COD<sub>Cr</sub>는 400 g/L로 나타났다. 따라서 경제성을 감안한 최적 zeolite의 양은 300 g/L인 것으로 나타났다.

**zeolite에 의한 반응시간별 질소 흡착특성**

Zeolite에 의한 반응시간에 따른 흡착능의 변화를 알아보기

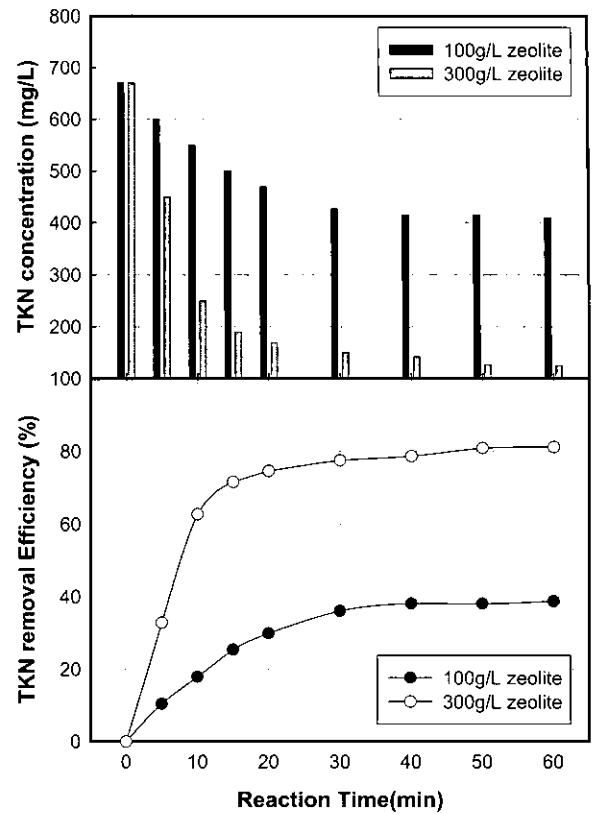


Figure 3. Effect of reaction time on TKN concentration and removal efficiency.

위하여 조사해 본 결과를 Figure 3과 Figure 4에 나타내었다. 여기서 100 g/L를 투입한 실험 결과 1시간 후에는 질소의 함량이 410 mg/L으로 감소하여 제거효율이 38.8%로 나타났으며, 300 g/L의 처리결과는 최종 처리농도가 81.2 mg/L로 나타났다. 이 때의 제거효율은 81.2%이었으며 최종 1시간의 제거효율을 100으로 가정하고 각 처리시간별 처리능률을 고려한 보전율을 구해보면 보전율 90% 도달 시간이 100 g/L는 30분, 300 g/L는 20분이었다. 여기서 보전율의 물리적 의미는 최종처리농도의 약 90% 이상 처리 가능한 효과적인 반응시간을 산출하기 위해서 필요한 것으로서 실험 결과 zeolite에 의한 축산폐수의 암모니아성 질소의 제거에 대한 반응시간은 약 30분을 유지하면 zeolite의 능력의 90% 이상을 발휘할 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 이온교환 흡착에서 반응시간에 대한 영향은 약 30분 반응하면 제거율이 약 90% 이상 제거된다고 한 Joo 등(18)의 보고와 일치하였으며, zeolite의 처리 실험결과 이때의 각각의 COD<sub>Cr</sub>은 원수가 4,250 mg/L에서 3,040 mg/L, 2000 mg/L으로 낮아져서 제거효율은 각각 28.5%, 52.9%로서 암모니아성 질소뿐만 아니라 COD<sub>Cr</sub>의 제거도 매우 높은 효율을 나타내었다.

**등온흡착평형식**

Zeolite의 주입에 의한 암모니아성 질소의 제거는 흡착평형 관계식의 이론으로 규명되는데 흡착등온식은 크게 Langmuir model과 Freundlich model이 있다. 여기서 zeolite를 축산폐수에 투입하여 암모니아성 질소가 zeolite에 흡착되어 평형에

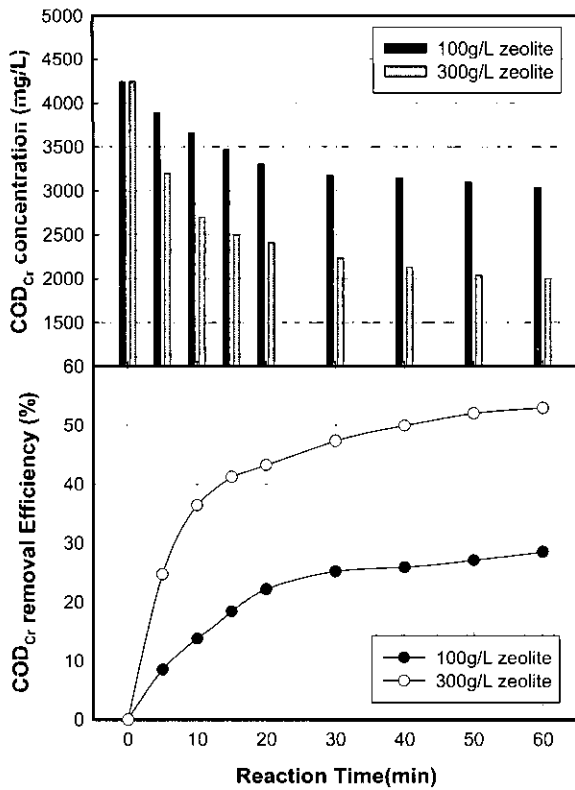


Figure 4. Effect of reaction time on COD<sub>Cr</sub> concentration and removal efficiency.

도달하였을 때의 자료를 이용하여 Langmuir model과 Freundlich model을 적용하여 등온 흡착평형식을 구하였다. 흡착평형 관계식에서 등온흡착평형에 관해서 가장 간단한 모델식은 Langmuir에 의해서 제출된 등온흡착 평형 모델은 다음과 같다.

$$q = \frac{abC}{1 + bC}$$

여기서 q는 흡착제 단위무게당 흡착된 피흡착제의 양, a, b는 경험적 상수, C는 흡착평형농도(mg/L)이다. 위의 식의 경험적인 상수 a, b를 구하기 위하여 역수를 취한다.

$$\frac{C}{q} = \frac{1}{ab} + \left(\frac{1}{a}\right)C$$

기울기가 1/a, y축의 절편이 1/ab인 직선의 방정식이 된다. 따라서 zeolite의 흡착이 평형에 도달한 질소의 제거능에 대한 실험결과를 plot하면 Figure 5와 같다. 직선의 방정식에서 상수 a, b는 각각 4.26, 5.3×10<sup>-3</sup>이 된다. 이렇게 하여 Langmuir model식은 다음과 같다.

$$q = \frac{4.26(5.3 \times 10^{-3}C)}{1 + 5.3 \times 10^{-3}C}$$

여기서 상관계수 r의 값이 0.99로서 비교적 등온흡착 model로 유의성이 있는 것으로 평가된다. Freundlich model로 적용시킨 결과 등온흡착 평형 모델식의 상관계수 r 값이 0.68

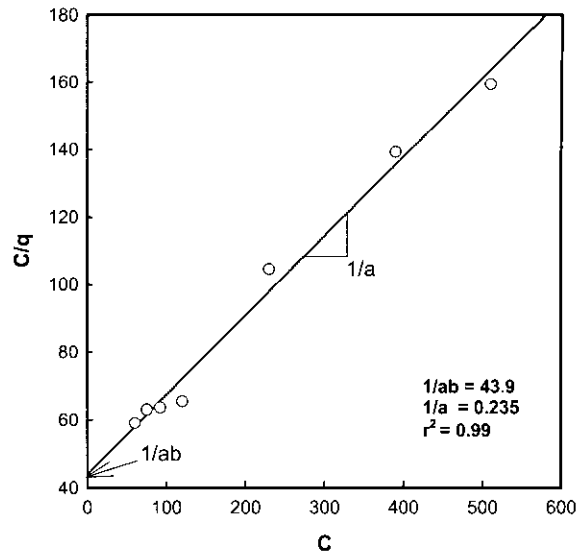


Figure 5. Relationship between C and C/q.

로 유의성이 없는 것으로 판단되었다.

### 질소의 농도에 따른 BACC 생물반응기의 특성

축산폐수는 그 고유한 특성상 난분해성 유기성 물질 및 암모니아성 질소가 다량 함유되고 있기 때문에 이를 생물학적 처리가 어려움을 밝힌 바 있다. 따라서 고농도의 암모니아성 질소를 생물학적 처리 전 공정에서 질소의 제거가 필요하였다. 이에 따라 zeolite를 사용하여 축산폐수의 총질소를 제거하고, 질소가 제거된 축산폐수의 1차 처리수를 BACC 생물반응기에서 생물학적 처리실험을 하였다. Zeolite로서 질소를 물리적으로 제거하면 폐수의 C/N 비가 바뀌는데 이러한 C/N 비가 다른 1차 처리수를 BACC 생물반응기에서 부하변화에 대한 영향을 조사한 결과 다음과 같다.

Zeolite를 50 g/L, 300 g/L의 농도로 물리적 처리한 유출수를 BACC 생물반응기에서 처리할 때 수리학적 체류시간의 변화에 대해 제거효율의 변화를 살펴보면 Figure 6과 같다. Figure 6에 따르면 생물반응기의 체류시간이 24, 48, 72시간 등으로 증가할 때 COD<sub>Cr</sub>, BOD, TKN의 제거효율이 거의 직선적으로 증가하고 있었다. 또한 COD<sub>Cr</sub>, BOD는 그 증가폭이 매우 크게 나타났으나, TKN는 증가폭이 높지 않았다.

Zeolite 50 g/L을 이용하여 질소를 제거한 1차 처리수를 BACC 생물반응기에 유입하였을 때 COD<sub>Cr</sub>의 변화를 살펴보면 체류시간이 각각 24, 48, 72시간일 때 제거효율은 각각 40, 57, 75%로 나타났다. 이러한 제거효율은 zeolite로 처리하지 않은 폐수를 처리한 경우에 비해서 약 5%정도 높은 제거효율을 나타내었다. BOD의 변화를 살펴보면 체류시간이 각각 24, 48, 72시간일 때 제거효율은 각각 46, 70, 85%로 나타내었다. 이 또한 COD<sub>Cr</sub>과 동일하게 zeolite의 처리가 없이 처리한 경우보다 제거효율이 더 높게 나타났다. 또한 TKN의 변화를 살펴보면 체류시간이 각각 24, 48, 72시간일 때 제거효율은 각각 33, 47, 56%로 나타났다. 종합적으로 고찰하였을 때 zeolite를 50 g/L 처리하여 1차로 암모니아성 질소를 제거한 폐수가 C/N 비가 2.3에서 2.5로 증가하였으며, 이를 BACC 생물반응기에서 생물학적 처리하였을 때 각 오염물질

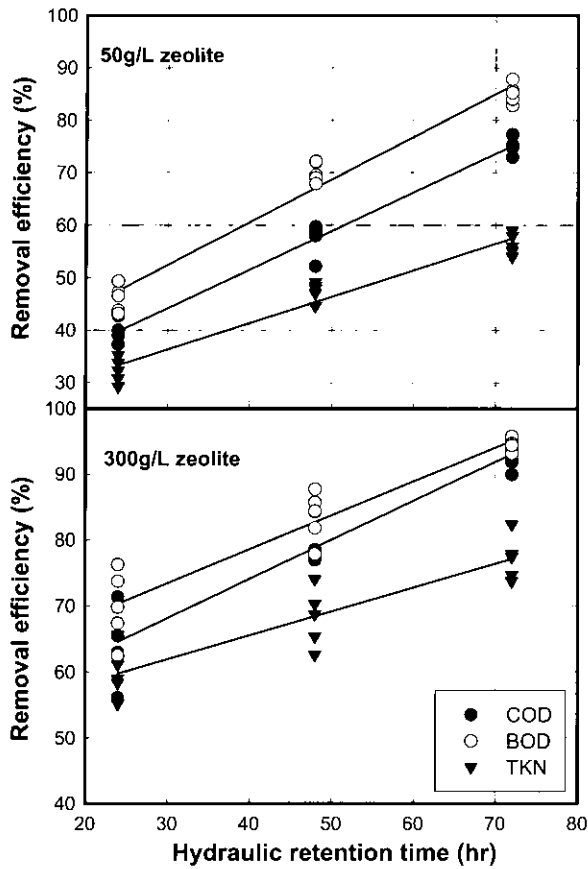


Figure 6. Effect of HRT on COD<sub>Cr</sub>, BOD and TKN removal efficiency.

의 제거효율이 각각 미세하게 상승하였다. 이는 암모니아성 질소가 생물학적 처리의 기질 저해를 일으킨다는 사실을 간접적으로 나타내고 있었다.

Zeolite를 300 g/L을 이용하여 다량의 질소를 제거하고 남은 저농도의 질소를 포함한 축산폐수를 BACC 생물반응기에서 처리한 결과는 다음과 같다. 생물반응기의 체류시간 각각 24, 48, 72시간일 때 COD<sub>Cr</sub>의 제거효율은 각각 64, 81, 92%로써 매우 높은 제거효율을 나타내었다. 또한 BOD의 변화는 각각 24, 48, 72시간일 때 BOD의 제거효율은 각각 69, 89, 99%로써 COD<sub>Cr</sub>와 마찬가지로 매우 높은 제거효율을 나타내고 있다. 총질소의 변화를 살펴보면 각각 24, 48, 72 시간일 때 총질소의 제거효율은 각각 60, 68, 77%로써 COD<sub>Cr</sub> 및 BOD 보다 낮게 나타났으나 처리수의 총질소의 농도는 72 시간의 체류시간에서는 30 mg/L로서 양호하였다. 따라서 zeolite로서 고농도의 질소를 저농도의 질소농도가 되도록 하여 C/N 비가 2.3에서 6.4로 증가함으로써 질소의 제거는 물론 유기물의 제거농도 매우 높게 나타났다.

**C/N비 변화에 의한 제거효율의 변화**

Zeolite를 이용하여 암모니아성 질소를 제거함으로써 축산폐수의 BOD/TKN의 비율 즉 C/N 비가 변하는데, 이러한 C/N 비가 BACC 생물반응기에서 생물학적인 처리능에 미치는 영향을 Figure 7에 나타내었다. 이는 C/N 비가 증가할수록 COD<sub>Cr</sub>, BOD, TKN는 제거효율이 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었다. Zeolite를 사용하지 않은 축산폐수의 원

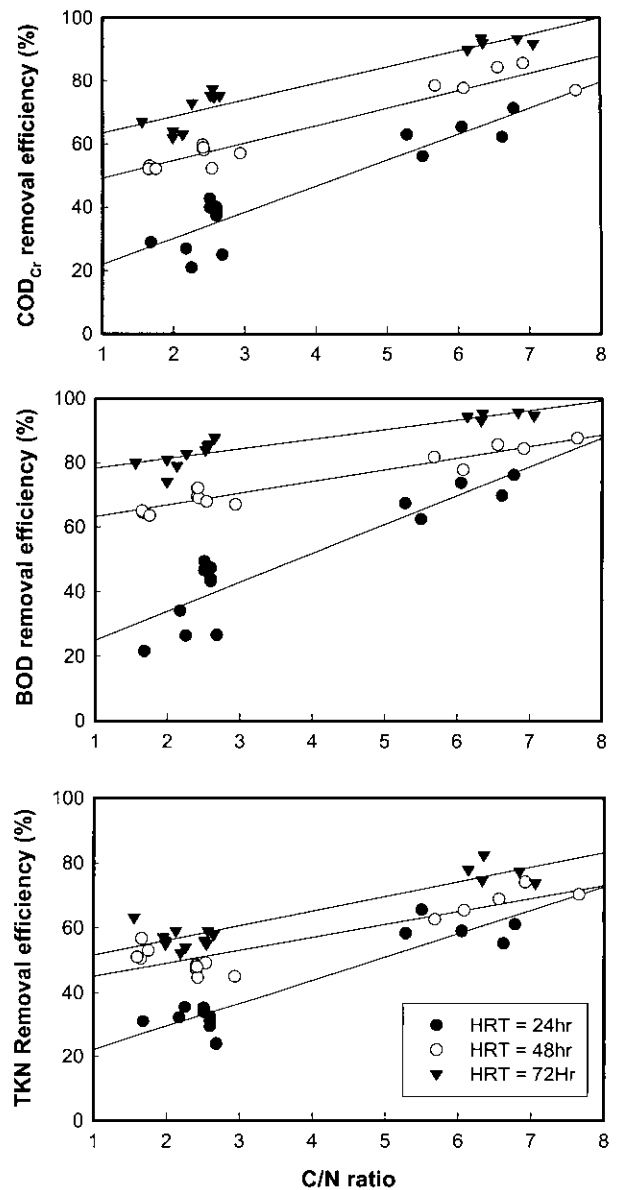


Figure 7. Effect of C/N ratio on COD<sub>Cr</sub>, BOD and TKN removal efficiency.

수의 C/N 비는 평균 1.92~2.20이었고, 50 g/L의 zeolite를 처리하면 C/N 비가 2.44~2.56으로 상승되고, zeolite를 300 g/L로 처리된 폐수의 C/N 비는 6.05~6.58로 상승하였다. 이때 체류시간이 48시간일 때 COD<sub>Cr</sub>의 제거효율을 비교하여 보면 C/N 비가 2.0일 때 제거효율이 53.5%에서 C/N 비가 2.44, 6.58로 상승하면 제거효율이 각각 57.4, 80.6%로 급격히 상승하였다. 이는 암모니아의 농도가 저해 작용을 가져오는 것으로 판단된다. 따라서 C/N 비가 생물학적 폐수처리에 중요한 변수가 된다는 점을 알려주고 있었다. 따라서 C/N 비가 폐수의 생물학적 처리에 있어서 매우 중요한 변수로서 C/N 비가 증가할수록 제거효율이 증가된다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 McEldowneyand 등(19)이 기질의 농도와 C/N 비가 생물막(biofilm)처리공정에서 폐수 제거효율에 영향을 미친다고 보고한 것과 일치하였다.

## 요 약

질소를 포함한 난분해성 오염물질을 다량 함유한 축산폐수의 오염물질을 효과적으로 처리를 위해서 zeolite를 이용한 물리화학적 처리에 대해 조사하고, 생물학적인 처리방안에 대해서 입상활성탄이 채워진 BACC 담체를 이용한 생물반응기에서의 유기물 및 질소의 제거능에 대하여 조사하였다. 축산폐수의 암모니아성 질소의 제거는 zeolite의 농도가 300 g/L까지는 암모니아성 질소 및 유기성물질의 제거가 우수하였으며, 더 높은 zeolite의 농도에서는 제거효율의 증가폭이 감소하였다. 따라서 경제성을 고려한 최대 사용 가능한 zeolite의 양은 300 g/L이며, 이때의 제거율 중 TKN는 82%, COD<sub>Cr</sub>은 53%이었다. Zeolite에 의한 TKN의 제거능은 zeolite 사용농도 50 g/L에서 3.2 mg/g zeolite, 300 g/L의 농도에서 TKN의 제거능은 1.8 mg/g zeolite를 기록하였다. 축산폐수를 zeolite로서 질소를 제거하여 C/N비가 증가함으로써 유기물질의 제거능이 증가되었는데 BACC 생물반응기에서 48시간의 체류시간에서 C/N비가 2.0, 2.44, 6.58로 증가할 때 COD<sub>Cr</sub>의 제거효율이 53.5%, 57.4%, 80.6%로 증가하며 zeolite 300 g/L로 처리한 폐수가 zeolite의 미처리 축산폐수의 제거효율보다 27.1%가 더 높아졌다.

## REFERENCES

- Ludzack, F. J. and M. B. Ettinger (1962), Controlling Operation to Minimize Activated Sludge Effluent Nitrogen, *J. WPCF*, **34**, 920-931.
- Choi, E. S., H. S. Lee, M. G. Park, and Y. S. Chang, (1995), Selection of Nutrient Removal Process for Low Strength Municipal Wastewater, Proc. 5th IAWQ Asia Regional Conference on Water Quality and Pollution Control, pp. 382-397.
- Beccari, M., R. Passino, R. Ramadori, and V. Tandoi (1983), Kinetics of Discriminatory Nitrate and Nitrite Reduction in Suspend Growth Cultures, *J. WPCF*, **53**(5), 59-64.
- Burdick, C. R., D. R. Refiling, and H. D. Stense (1982), Advanced Biological Treatment to Achieve Nutrient Removal, *J. WPCF*, **54**, 1078-1086.
- Monteith H. D., T. R. Bridle, and P. M. Sutton (1980), Industrial Waste Carbon Sources for Biological Denitrification, *Progress in Water Technology*, **12**, 685-694.
- Skrinde, J. R. and S. K. Bhagat (1982), Industrial Waste as Carbon Sources in Biological Denitrification, *J. WPCF*, **54**, 370-377.
- Pianzer, C. C., M. Komanowsky, and G. E. Senske (1981), Improved Performance in Combined Nitrification/Denitrification of Tannery Waste, *J. WPCF*, **53**, 434-439.
- Abufayed, A. A. and E. D. Schroeder (1986), Performance of SBR/Denitrification with a Primary Sludge Carbon Source, *J. Water Pollt. Control. Fed.*, **58**, 387-397.
- Focht, D. D. and A. C. Chang (1975), Nitrification and Denitrification Processes Related Wastewater Treatment, *Adv. Appl. Microbial.*, **19**, 153-186.
- Anthonisen A. C., R. C. Loehr, T. B. S. Prakasam, and E. G. Srinath (1976), Inhibition of Nitrification by Ammonia and Nitrous Acid, *J. WPCF*, **48**(5), 835-852.
- Hutton, W. C. and S. A. Larocca (1975), Biological Treatment of Concentrated Ammonia Wastewater, *J. WPCF*, **47**, 989-997.
- Painter H. A. and J. E. Loveless (1983), Effect of Temperature and pH Value on the Growth Rate Constants of Nitrifying Bacteria in the Activated-Sludge Process, *Water Res.*, **17**, 237-248.
- Mercer, B. W., L. L. Ames, C. J. Torhill, W. J. Slike, and R. B. Deau (1970), Ammonia Removal from Secondary Effluents by Selective Ion Exchange, *J. WPCF*, **42**, 95-99.
- Koon, J. H. and W. J. Kaufman (1975), Ammonia Removal from Municipal Waste Waters, *J. WPCF*, **47**(82), 64-68.
- Her, M., J. S. Lim, and B. G. Kim (1998), Denitrification of Ammonium Nitrogen by Ozene for a Closed Recirculating Culture System, *J. of the Korean Environ. Sciences Society*, **7**(4), 493-500.
- Kotter, M., L. Riekert, and T. Turk (1989), Entfernung von Ammoniak aus Abwasern Durch Stripping und Serption an Zeolithen, *Chem. Ing. Tech.*, **61**(1), 74-75.
- APHA, AWWA, WEF (1992), Standard Methods for the Examination of Water Wastewater, 18th Ed.
- Joo, C. S. and T. K. Yoon (1998), Basic Study for Development of Denitrification Process by Ion Exchange(II), *J. of the Korean Environ. Sciences Society*, **7**(1), 89-95.
- McEldowney, S. and M. Fletcher (1986), Effect of Growth Conditions and Surface Characteristics of Aquatic Bacteria on their Attachment to Solid Surfaces, *J. of Gen Microbiology*, **132**, 513-523.