

# Leclercia Adecarboxylata를 이용한 합성폐수의 암모니아성질소 제거특성 및 질소거동

이현희\* · 배재근†

\*동경공업대학 자원화학연구소 · 서울산업대학교 환경공학과

(2006년 12월 28일 접수, 2007년 4월 16일 채택)

## Removal Characteristic of Ammonia Nitrogen and Behavior of Nitrogen in Synthetic Wastewater Using *Leclercia Adecarboxylata*

Hyun-hee Lee\* · Chae-gun Phae†

\*Chemical Resources Laboratory, Tokyo Institute of Technology

Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Technology

**ABSTRACT :** In this study, the removal characteristic of ammonia nitrogen and behavior of nitrogen was investigated using *Leclercia adecarboxylata*, which was derived from the culture contaminated by ammonia nitrogen of high concentration. The method of ammonia nitrogen removal was not biological nitrification and denitrification but elimination of nutrient salt with internal synthesis of microorganisms which use ammonia nitrogen as substrate. *L. adecarboxylata*(one of ammonia synthesis microorganisms) was highly activated and showed the most high removal efficiency in free salt condition but the removal efficiency decreased badly in salt concentration of more than 4%. About 80 mg/L of NH<sub>3</sub>-N was mostly removed within 20 hours and 500 mg/L of NH<sub>3</sub>-N showed less then removal efficiency of 50% because carbon source was not enough. However, ammonium nitrogen concentration was decreased again when the carbon source was inserted additionally thus, ammonium nitrogen removal efficiency by *L. adecarboxylata* was related to amount of carbon source. pH decreased from 8.0 to 6.36 according to growth of *L. adecarboxylata*. Concentration of nitrite nitrogen and nitrate nitrogen did not increase and TKN concentration showed no variation while ammonia nitrogen was removed by *L. adecarboxylata*. In addition to, when content of protein in organic nitrogen was measured, protein was not detected at the beginning of microorganism synthesis but protein of 193.1 mg/L was detected after 48 hours. Hence, ammonium nitrogen was not decomposed as nitrate nitrogen and nitrite nitrogen but synthesized by *L. adecarboxylata*, which has excellent ability of nitrogen synthesis and can threat ammonia nitrogen of high concentration in wastewater.

**Key Words :** *Leclercia Adecarboxylata*, Ammonia Nitrogen, Organic Nitrogen, Protein

**요약 :** 본 연구에서는 고농도 암모니아성질소로 오염된 고체배지로부터 분리해 낸 *Leclercia adecarboxylata*를 이용하여 암모니아성질소의 제거특성 및 기작을 파악하여 폐수처리의 적용가능성에 대해 살펴보았다. 질소제거에 있어서 가장 널리 알려진 생물학적 질산화와 후탈질에 의한 질소의 대기로의 방출이 아닌 질소합성균주를 이용한 질소의 체내합성을 이용한 영양물질의 제거 가능성에 대해 접근해 보았다. *L. adecarboxylata*는 무염분조건에서 암모니아성질소의 제거와 균체증식이 가장 왕성했으나, 염분이 4%를 넘어서게 되면 그 효율은 급격히 저하되었다. 약 80 mg/L의 암모니아성질소는 20시간 이내에 거의 대부분 제거되었으나, 500 mg/L인 시료는 탄소원의 부족으로 인해 50시간 이상 처리후에도 50%의 제거율에도 미치지 못해 탄소원이 많을수록 질소제거율은 높음을 알 수 있었다. 탄소원이 모두 소모되고 난 이후에는 더 이상 질소제거는 이루어지지 않았으나, 탄소원을 추가로 공급했을 때 제거효율은 다시 증가했다. 시료의 pH는 미생물의 증식에 의해 8에서 6.36까지 감소했다. 암모니아성질소가 제거되는 동안 아질산성질소와 질산성질소의 축적은 일어나지 않았고, TKN값은 큰 차이를 보이지 않은 것으로 미루어 볼 때 유기질소로의 합성을 추측할 수 있었다. 유기질소 중 단백질의 농도를 측정해 본 결과 초기시료에서는 불검출 되었으나, 48시간 경과후의 시료에는 193.1 mg/L의 단백질이 검출되었다. 따라서 *L. adecarboxylata*는 암모니아성질소를 유기질소로 합성하는 능력이 탁월하여 폐수중의 암모니아성질소의 제거에 이용 가치가 클 것으로 판단된다.

**주제어 :** *Leclercia Adecarboxylata*, 암모니아성질소, 유기질소, 단백질

### 1. 서 론

산업의 발달과 인구의 도시집중화에 의해 발생하는 폐수는 대표적인 수질오염원이다. 이 중 질소나 인과 같은 영양염류는 상수원인 호수와 저수지 그리고 연안해역 등의 수체에 유

입되어 수중생태계의 파괴를 유발하는 것으로 널리 알려져 있다. 이에 정부는 팔당호와 대청호, 낙동강 일부 유역에 한 정적으로 적용하던 질소·인 규제기준을 2003년 1월 1일 이후부터는 전국적으로 확대하기로 결정한 바가 있다.<sup>1)</sup>

특히 하수처리장에 유입되는 질소의 형태 중 가장 많은 비중을 차지하는 것은 바로 암모니아성질소로 조류의 영양염이 됨은 물론 질산화과정에서 소요되는 전산소요구량의 70%가 이 과정에서 소요된다.<sup>2)</sup> 또한 암모니아성질소는 염소소독

† Corresponding author  
E-mail: phae@snut.ac.kr  
Tel: 02-970-6617

Fax: 02-971-5776

에 있어서는 염소를 다량으로 소비한다.

이러한 문제점들로 인해 20세기 중반부터 질소나 인과 같은 영양염류를 제어하기 위한 프로세스들이 급속도로 연구, 발표되었고, 이미 상당수가 상용화 되어 있는데, 대표적으로 A<sub>2</sub>O, Bardenpo, UCT, VIP, SBR 등의 고도처리 공정을 들 수 있다. 이러한 프로세스들은 혐기조와 무산소조, 호기조라는 3가지의 반응공정을 거치게 되면서, 질소와 인을 제거하는 공통된 기본 메커니즘을 가지고 있다.

그러나, 이들은 부지의 면적을 넓게 차지하고, 장치의 규모를 크게 할 뿐만 아니라, 건설비용을 증가시키고, 유지비용 또한 증가시키는 원인이 되는 문제점을 가지고 있다.

질소가 제거되는 또 다른 메커니즘은 미생물의 성장과 증식에 필요한 기질로서 질소를 다량 이용한다는 것으로 즉 미생물의 동화에 의해 제거되는 질소는 생물학적 성장의 필수 영양소로 사용되고, 미생물 세포구성의 12~13%를 차지한다.<sup>3)</sup> 이는 독립영양세균이든 종속영양세균이든 미생물이 성장하는 과정에서 반드시 질소를 필요로 한다는 의미를 내포하고 있다. 최근에는 암모니아를 기질로서 다량으로 이용하는 고활성미생물의 합성 특징을 이용, 약취처리에 적용하여 암모니아성 질소가 유기질소인 알라닌으로 변화됨을 밝혀낸 연구 보고도 있었다.<sup>4)</sup>

따라서 본 연구는 수중의 암모니아성질소를 제거하는 미생물을 탐색하였으며, 그 중에서 세포내에서 암모니아의 합성능력이 뛰어난 *L. adedecarboxylata*를 이용하여 암모니아성 질소 제거특성과 제거기작을 파악하였다. 또한 기존의 질소 제거 공정의 추가적인 건설·유지비용 등의 문제점 없이 *L. adedecarboxylata*의 균집중에 의해 고유기성 및 암모니아성질소 함유폐수의 처리 가능성에 대해 검토하였다.

## 2. 실험 재료 및 방법

### 2.1. 질소제거 미생물

고농도의 암모니아성질소로 오염된 한천배지에서 집락형태가 다른 34종의 균을 얻었고, 이들의 질소 제거능을 파악하기 위해 Table 1에 나타난 GA(Glucose Ammonium) 합성폐수에 암모니아성질소를 100 mg/L로 오염시킨 뒤 shaking incubator에서 배양(30℃, 150 hrs, 130 rpm)하였다. 이 배양액의 초기농도와 최종농도의 변화로부터 암모니아성질소의 제거능을 가지고 있는 3종류의 균 M11(호염성), M12(혐염성), M71(양쪽성)을 분리해 내었고, 이 중 M71균주가 질소 제거능이 가장 뛰어난 것으로 나타나 이를 질소제거 균주로 실험에 이용하였다. 미생물 동정결과 M71은 *Leclercia adedecarboxylata*로 판명되었다.

### 2.2. 사용배지

본 실험에서 사용된 배지는 Table 1에 나타내었는데, 전배양 및 배양용으로 HIB(Heart Infusion Broth, Difco Lab, Detroit)배지를 사용하였고 집락형태관찰에 HIBA(Heat Infusion Broth + Agar)배지를 사용하였으며, 암모니아성질소 제거능

Table 1. Components of culture used in experiments

HIB culture	
HIB(Heart infusion broth)	25 g/L
(NaCl)*	30 g/L
HIBA culture	
HIB	25 g/L
(NaCl)*	10 g/L
Agar	10 g/L
GA(Glucose Ammonium) synthetic wastewater	
Glucose	5 g/L
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.4716 g/L
(NaCl)*	30 g/L
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	5 g/L
FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.0001 g/L
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.0013 g/L
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.036 g/L
ZnCl <sub>2</sub>	0.0007 g/L

(NaCl)\* : 첨가의 유무, 혹은 염분농도의 조정

검토에 GA 합성폐수를 사용하였다. 단, *L. adedecarboxylata*는 3% NaCl의 무염분조건과 염분조건 양쪽에서 높은 암모니아성질소 제거능을 보였으나, 무염분조건에서 더 뛰어난 제거능을 보였기 때문에 무염분조건을 중심으로 실험에 임하였다. GA 합성폐수는 고온에서 Glucose와 다른 배지 성분사이에 Amino-carbonyl 반응에 의해 연한갈색으로 변색이 일어나고 성분상에도 약간의 변화가 일어날 것으로 판단되어 Glucose를 제외하고, 고압증기멸균(121℃, 1.5 atm, 20 mins) 한 다음 Glucose성분은 증류수에 용해시켜 0.45 μm cellulose acetate 실린지 필터로 여과한 후 혼합, 조제하였다.

### 2.3. 실험방법

#### 2.3.1. 미생물의 배양

시험관(Ø2 cm×20 cm)에 HIB배지 10ml를 넣고, 고압멸균(121℃, 1.5 atm, 15 mins)한 후 *L. adedecarboxylata*를 접종하고, 24시간 동안 진동배양(30℃, 130 rpm)한 후 배양된 액 0.1 mL를 새로운 HIB배지에 계대배양하고, 같은 방법으로 24시간 동안 배양한다. 배양액을 원심분리하여 균체를 멸균수로 3회 세척(원심분리 및 세척과정 3회 반복)한 후 다시 멸균수 10 mL를 넣고 혼합한 후 이를 식중액으로 이용하였다.

#### 2.3.2. 합성폐수 조건변화 실험

균의 증식과 암모니아성질소의 제거특성을 파악하기 위해 GA 합성폐수의 염분농도, 탄소원 농도, NH<sub>3</sub>-N농도, C/N비, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>농도, 질소원의 종류 등을 단계적으로 변화시켰고, 나머지 성분과 농도는 일정하게 유지하였다. 500 mL 삼각플라스크에 위의 목적별로 조제한 GA 합성폐수 200 mL를 넣고, 식중액 0.1 mL를 주입한 후 실라스토퍼로 마개하고, Shaking incubator(30℃, 130 rpm)에서 시간간격을 두고 샘플링하여 각 질소성분의 농도를 분석하였다. 초기 생균수는 1.1~1.3×10<sup>5</sup> cfu/mL였다.

2.3.3. 분석방법

NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, TKN, 광학적 밀도(OD<sub>660nm</sub>)는 HACH사의 DR-2000시험법으로 분석하였다. 단백질의 정량에는 Lowry법(SIGMA DIAGNOSTIC, protein assay kit, procedure No. P 5656)으로 측정하였으며, pH는 시료 sampling 즉시 pH meter (ORION 420, USA)를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 염분농도가 NH<sub>3</sub>-N의 제거능에 미치는 영향 검토

고농도 암모니아성질소로 오염된 고체배지로부터 분리해낸 질소합성균주인<sup>5)</sup> *L. adecarboxylata*를 일반 하폐수는 물론 오염된 해수의 암모니아성질소처리 적용 가능성을 파악하기 위해서 무염분조건과 염분조건에서 암모니아성질소의 제거능을 살펴보았다. 초기 생균수는 1.1~1.3×10<sup>5</sup> cfu/mL였으며, 48시간 후에는 NaCl이 4%로 조절된 반응기를 제외하고는 1.7~3.2×10<sup>8</sup> cfu/mL의 결과를 나타냈으며, 이 때의 COD<sub>Cr</sub> 농도는 4% NaCl 반응기를 제외하고는 4,020~3,580 mg/L로 나타났으며, 암모니아성질소 제거에 대한 결과는 Fig. 1에 나타내었다.

암모니아성 질소의 초기농도가 86.6 mg/L인 무염분조건에서 초기 6시간 동안에는 뚜렷한 제거경향을 보이지 않았으나, 12시간 경과 후에는 7.2 mg/L로 91.7%가 제거되었고, 26시간 경과 후에는 100%의 제거효율을 보였다. 일반해수의 염분조건과 유사한 3% NaCl조건에서는 26시간 경과 후에 14.6%가 제거되었고, 48시간 경과 후에는 모두 제거되어 염분이

존재하는 조건에서도 높은 제거효율을 보였다. 이는 염분이 초기미생물성장애 저해를 가져왔기 때문이며, 염분조건에서 적응되기 시작하는 26시간 이후부터 암모니아성질소는 급감하기 시작했다. 그러나 염분의 농도가 4% 이상으로 과다하게 함유된 경우에는 미생물성장애 큰 저해를 일으켰다. 결과적으로 양쪽조건 모두에서 좋은 제거능이 관찰됨으로서 일반 하·폐수는 물론 오염된 해수와 염분이 함유되어있는 일부 식품폐수의 암모니아성 질소제거에 적용 가능성을 보였다.

3.2. NH<sub>3</sub>-N의 최대 제거능

암모니아성질소를 제거하는데 있어서 한계 질소의 농도를 파악하기 위해서 NH<sub>3</sub>-N을 10 mg/L 미만의 저농도에서 500 mg/L 가량의 고농도까지 4단계로 변화시키면서 암모니아성 질소농도의 경향을 살펴보았고, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

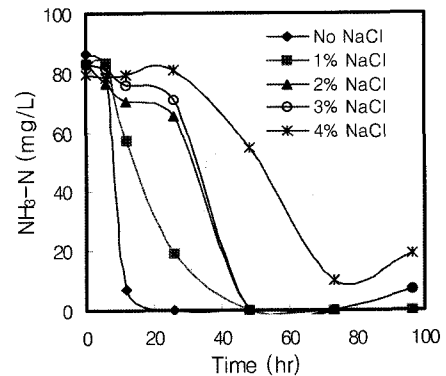


Fig. 1. Change of NH<sub>3</sub>-N concentration in various salt condition.

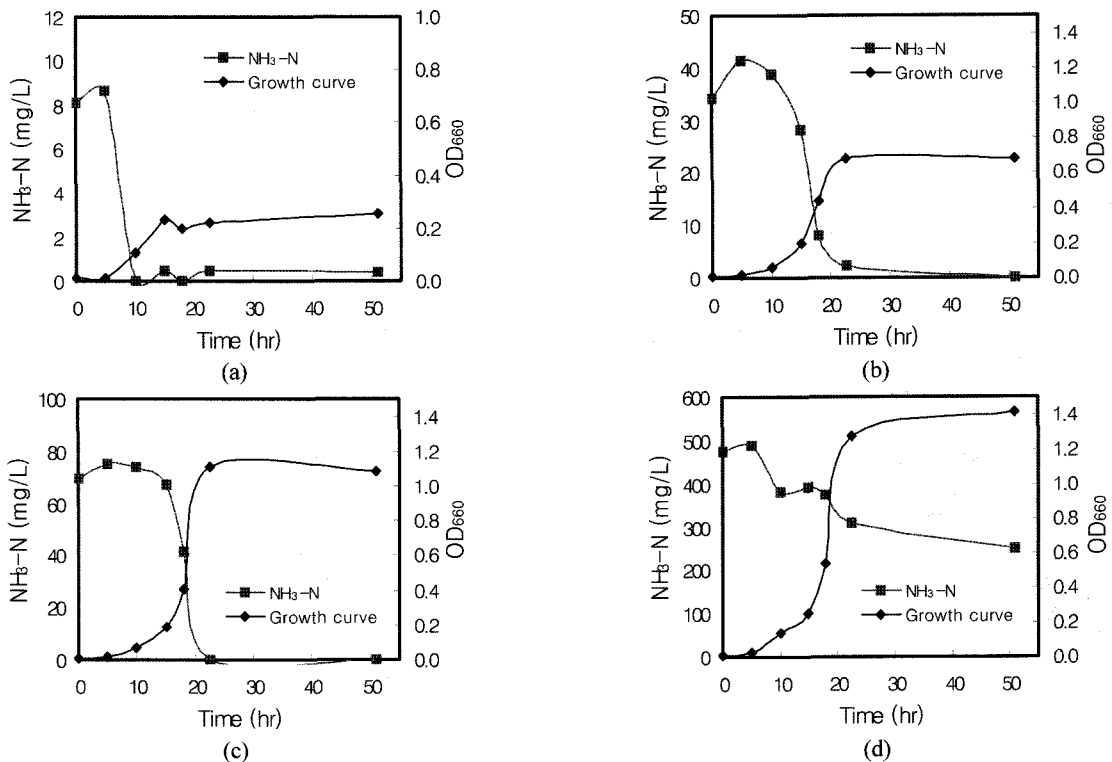


Fig. 2. Limit concentration of NH<sub>3</sub>-N removal in GA synthetic wastewater.

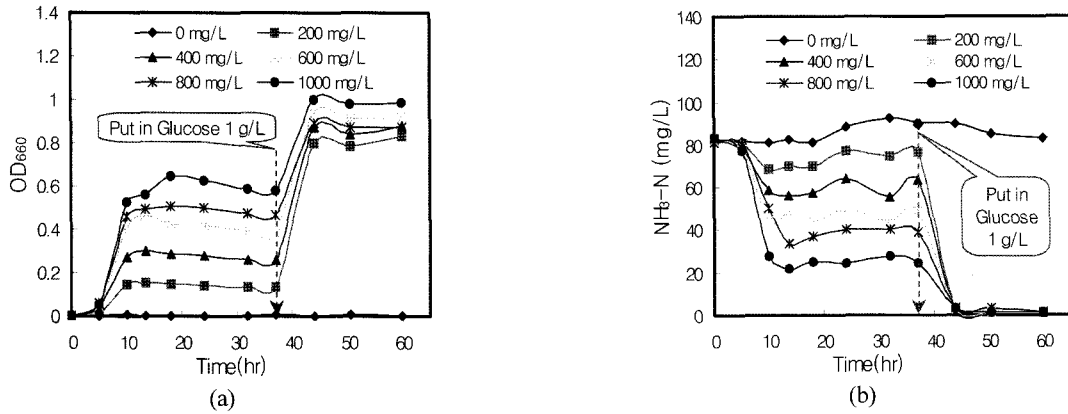


Fig. 3. Growth curve of microorganism (a) and change of ammonia nitrogen (b) under various glucose concentration.

표에 표기된 Growth curve의 의미는 미생물의 성장에 따른 OD<sub>660</sub>값의 변화를 나타낸 것이며, 전체적으로 암모니아의 농도에 의하여 제한되는 것이 관찰되었으며, 암모니아의 초기농도 10 mg/L에서는 0.26, 40에서는 0.7, 80에서는 1.1, 500에서는 1.42의 OD<sub>660</sub>값이 관찰되었다.

질소의 초기농도가 약 8 mg/L(a)인 경우 *L. adecarboxylata*에 의해 10시간 내에 100% 가까이 제거되었고, 40 mg/L(b), 80mg/L 이하(c)인 경우에는 20시간 이내에 대부분 제거되었으나, 초기농도가 약 500 mg/L(d)인 고농도조건에서는 *L. adecarboxylata*의 증식은 활발하게 일어났지만 질소제거율은 그리 높지 않았다. 이는 고농도의 암모니아성질소 조건에서 미생물이 성장과 증식에 필요한 질소량만을 섭취하고 잔량은 그대로 수중에 방치시켜 둔 것으로 판단되었다. 즉 GA합성폐수중의 C/N비의 감소, 즉 탄소원의 부족으로 인해 수중에 존재하는 다량의 질소를 미생물이 이용할 수 없었던 것으로 사료된다.

### 3.3. 탄소원의 농도별 NH<sub>3</sub>-N 제거능

유기물의 양 즉 탄소원의 농도가 질소제거에 미치는 영향을 파악하기 위해 GA합성폐수에 Glucose의 양을 변화시킨 뒤 배양한 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

이전단계의 실험<sup>5)</sup>에서 암모니아성질소의 농도가 100 mg/L 이고 글루코스의 초기 농도가 1~5 g/L일 경우 암모니아성질소의 제거속도 및 제거능에 차이가 거의 없었기 때문에 합성폐수의 조성 중 글루코스 농도를 1 g/L 미만에서 0 mg/L (바탕시험), 200 mg/L, 400 mg/L, 600 mg/L, 800 mg/L 그리고 1,000 mg/L의 6단계로 구분해 조절한 후 실험을 재수행하여 미생물증식에 필요한 최적 글루코스 농도를 검토하였다. 초기 약 83 mg/L의 암모니아성질소 농도에서 5시간 경과 후에는 초기에 비해 농도차이는 거의 없는 것으로 보이지만, 10시간 경과 후에는 글루코스 1,000 mg/L가 함유되어 있는 시료는 암모니아성질소가 27.5 mg/L로 67%가 감소되었다. 즉 글루코스의 농도가 낮은 시료 일수록 제거능은 확연히 감소되는 것을 볼 수 있었다. 그러나, 13.5시간 경과 후 암모니아성 질소는 22 mg/L를 하한점으로 하여 더 이상의 감소 경향이 없이 일정하게 농도가 유지되었다. 이는 탄소원

의 고갈이 미생물 성장에 있어서 저해요인으로 작용하고 있다고 판단되어 37시간이 경과된 시점에서 바탕시험(without glucose)시료를 제외한 모든 시료에 글루코스가 1,000 mg/L 이 되도록 조절하여 주입한 후 암모니아성질소의 변화를 관찰하였다. 글루코스 재주입 후 7시간이 경과된 시점에서 암모니아성질소의 농도는 2~3.5 mg/L로 초기 농도에 대비 95.8%가 제거되는 경향을 보여주고 있으나, 글루코스를 주입해 주지 않은 시료에서는 암모니아성 질소의 농도는 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 이로써 *L. adecarboxylata*의 증식과 암모니아성질소의 농도감소는 서로 밀접한 관계를 가지고 있고, 탄소원의 양이 질소제거에 지배적으로 작용하고 있음을 보여주고 있다.

### 3.4. 합성폐수의 COD<sub>Cr</sub> 변화

Fig. 4에 글루코스 농도(0, 200, 400, 600, 800, 1,000 mg/L)에 따른 COD<sub>Cr</sub>의 변화를 나타냈으며, 13.5시간 경과 후 암모니아성질소의 감소가 유기물의 감소에 의한 것임을 확인하기 위해서 유기물 농도의 지표인 COD<sub>Cr</sub>의 농도를 측정하였다. 질소제거 경향으로부터 추론할 수 있듯이 암모니아성질소가 감소되기 시작하는 시점, 즉 미생물의 증식이 급속도로 이루어지는 5시간 이후 시점에서 유기물이 빠르게 제거되기 시작하였다. 그러나 질소제거가 더 이상 이루어지지 않는 13.5시간 이후에는 유기물이 거의 존재하지 않고 있음을 알

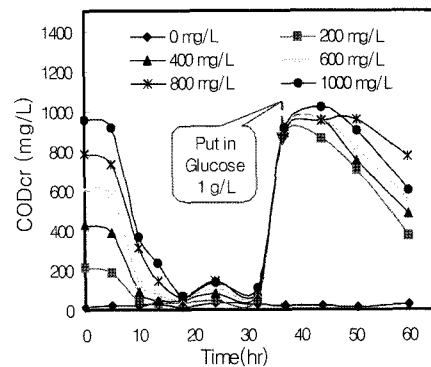


Fig. 4. Change of COD<sub>Cr</sub> by glucose concentrations in synthetic wastewater.

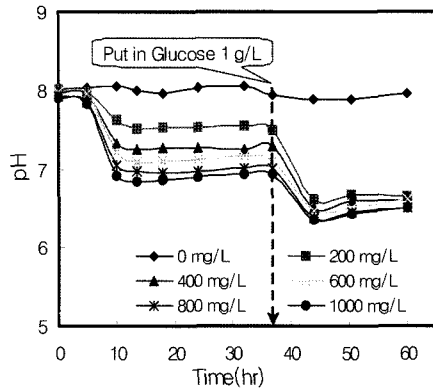


Fig. 5. Change of pH by glucose concentrations in synthetic wastewater.

수 있다. 이는 탄소원이 부족함을 증명하고 있는 것으로써 37 시간 시점에서 Glucose의 농도가 1 g/L가 되도록 재 주입한 후 부족했던 탄소원이 보충됨으로써 미생물의 증식은 다시 활발하게 진행되었고, COD<sub>Cr</sub>의 농도는 다시 급격하게 감소하기 시작하였다. 따라서 암모니아성질소의 제거가 중단된 원인은 탄소원의 결핍 및 소비에 의한 것임이 확인되었다.

3.5. 탄소원의 농도별 pH 변화

미생물에 의한 질소제거 실험에 있어서 pH는 미생물의 증식에 중요한 인자로 작용하는데, 갑작스런 pH의 증가나 감소는 미생물의 활동에 저해를 가져오므로 합성폐수에서 *Leclercia adecarboxylata*가 암모니아성질소를 제거하는 동안 pH의 변화에 대해서 살펴볼 필요가 있다(Fig. 5).

실험 초기에 모든 시료의 pH는 8 정도로 조절하였는데, 미생물의 증식이 활발해지기 시작하는 5시간 이후에 pH는 급속한 감소를 보이고 있다. 일반적으로 미생물의 증식은 pH의 감소를 가져오는데, 이는 유기물의 분해로 인한 탄산가스가 CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 등의 형태로 변화하여 수중에 잔존하기 때문으로 사료된다. 이후 탄소원의 고갈로 예상되는 10시간 이후부터는 변화가 거의 없다가 탄소원이 재주입되는 37시간 이후부터 pH는 최대 6.36까지 감소되었다. 다수의 실험경험상 pH의 감소는 최대 4.53까지 나타났으나, 44시간 이후부터 더 이상의 pH감소가 없는 것은 Fig. 3에서 알 수 있듯이 암모니아성질소의 고갈 때문이다. 즉 미생물의 증식에 필요한 탄소원은 아직 충분하지만(Fig. 4), 질소원의 고갈로 인해 미생물의 증식에 제한을 받았기 때문으로 판단된다.

3.6. 제거된 NH<sub>3</sub>-N의 물질수지

3.6.1. 제거된 NH<sub>3</sub>-N의 거동

제거된 암모니아성질소의 질산화 여부를 파악하기 위해서 아질산성질소와 질산성질소의 농도를 측정하였으나(Fig. 6), 약 80 mg/L의 암모니아성질소가 거의 전량 제거되는 50.5시간 동안 아질산성질소와 질산성질소는 초기 대비 각각 0.01 mg/L와 0.1 mg/L의 검출되었을 뿐 변화가 없었다. 이 미량의 농도 또한 미생물의 증식에 의해 소량의 탁도가 발생하여 흡광도에 영향을 미쳐 질산화 물질로 나타난 것으로 판단

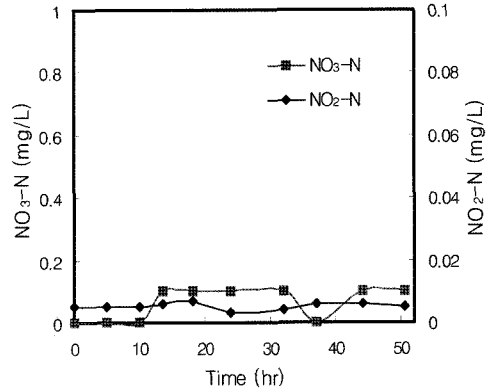


Fig. 6. Change of NO<sub>2</sub>-N and NO<sub>3</sub>-N concentrations in synthetic wastewater.

되므로 실제 질산화가 일어나는 질소의 양은 거의 없는 것으로 사료된다.

재현실험의 결과에서도 각각의 NO<sub>2</sub>-N와 NO<sub>3</sub>-N의 농도경향은 동일했다. 이는 제거된 암모니아성질소는 미생물체내에서 유기질소의 형태로 합성되었기 때문으로 판단되어 초기시료와 50시간 경과후의 시료에 대해 질소의 물질수지를 개략적으로 검토하였다(Table 2). 암모니아성질소가 83 mg/L에서 1.5 mg/L로 감소되는 동안 NO<sub>2</sub>-N과 NO<sub>3</sub>-N의 농도변화는 거의 없었다. 만일 *L. adecarboxylata*가 질산화능력을 가지고 있다면 암모니아성질소의 감소에 있어서 NO<sub>2</sub>-N과 NO<sub>3</sub>-N의 농도는 상대적으로 증가하는 경향이 반드시 일어나야 하지만, 위의 표에서 알 수 있듯이 질산화가 일어난 흔적은 전혀 관찰할 수 없다. 나머지 변화될 수 있는 질소의 형태는 탈질에 의한 N<sub>2</sub>가스로의 전환인데, 이는 완전한 호기성 조건이므로 그 가능성 또한 희박하다. TN(Total Nitrogen)의 농도는 82.51 mg/L에서 76.25 mg/L로 약 7.6%의 소폭의 변화를 나타냈으나, 대부분이 유기질소의 형태로 변환된 것으로 사료되었다. TN은 유기질소와 암모니아성질소의 총량을 의미하는 것으로 TN농도에서 암모니아성질소의 농도를 제외하면 유기질소농도가 된다. 따라서 제거된 암모니아성 질소는 거의 전량 유기질소로 변환된 것으로 판단되었다.

3.6.2. 제거된 질소의 최종산물

이전의 실험에서 암모니아성질소가 유기질소로 전환되었음을 추정할 수 있었으며, 실제 유기질소로의 존재를 확인하기 위하여 유기질소중 단백질 성분을 Lowry Test통하여 측정하였다. 또한 채취시료 자체와 원심분리하여 균체를 제거한 시료의 단백질농도를 비교하여 균체내의 단백질 양과 수중에 유리되어 있는 단백질의 농도에 대해 살펴보았다. 합성폐수

Table 2. Comparison of nitrogen concentrations after 50 hr

Nitrogen	Initial	Final
NH <sub>3</sub> -N	82.50	1.50
NO <sub>2</sub> -N	0.01	0.01
NO <sub>3</sub> -N	0.00	0.10
T-N	82.51	76.25

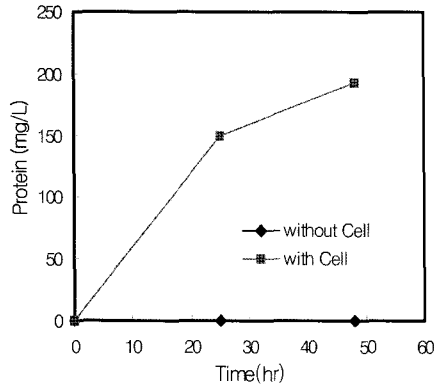


Fig. 7. Change of protein concentrations in synthetic wastewater.

에 대한 시료채취를 초기, 중기, 후기로 3회 실시하였기 때문에 시간대 별로 자세한 단백질농도를 파악할 수는 없지만, 뚜렷한 증가경향을 관찰할 수 있다.

초기 합성폐수의 질소는 전량 암모니아성질소의 형태이므로 초기 단백질성분은 검출되지 않았으나, 25시간 경과 후 1차 채취시료의 단백질농도는 149.7 mg/L로 급격히 증가하였고, 48시간 경과 후에는 193.1 mg/L로 1차 채취시료에 비해 상당량 더 증가하는 것을 볼 수 있었으나, 원심분리하여 균체를 완전히 제거한 시료에서는 단백질의 농도가 전혀 검출되지 않았다. 이는 제거된 암모니아성질소가 전량 *L. adecarboxylata*의 증식에 이용되어 단백질의 형태로 체내에 축적되어 있음을 증명하고 있다.

#### 4. 결론

*L. adecarboxylata*에 의한 암모니아성질소의 제거경향을 파악하기 위한 여러 조건에서 실험을 수행하였다. 무염분조건에서의 암모니아성질소의 제거는 6시간 이후부터 시작하여 26시간 경과 후에는 100%의 제거효율을 보였고, 해수의 염분 조건과 유사한 3% NaCl조건에서는 48시간 경과 후에는 모두 제거되어 염분이 존재하는 조건에서도 높은 제거효율을 보였다.

암모니아성질소의 초기농도를 변화시켜 본 결과 80 mg/L 이하인 경우에는 20시간 이내에 대부분 제거되었으나, 약 500 mg/L인 고농도조건에서는 큰 폭의 제거경향은 보이지 않았는데, 이는 탄소원의 고갈 때문인 것으로 판단되었다.

탄소원의 양에 의한 질소제거효과는 확연하게 드러났는데, 글루코스 1,000 mg/L 미만의 합성폐수의 경우 초기 암모니

아성질소 약 80 mg/L에서 13.5시간 경과 후 22 mg/L로 감소되었으나, 이후 더 이상의 제거능을 보이지 않았다. 37시간 경과 후 탄소원을 재주입해주자 암모니아성질소는 대부분 제거되었다.

질소가 제거되는 동안 pH의 변화는 미생물의 증식곡선과 밀접한 관계를 보였는데, 초기 pH 8에서 미생물의 증식이 활발해지기 시작하는 5시간 이후에 pH는 급속한 감소를 보이고 있다. 이후 탄소원의 고갈로 예상되는 10시간 이후부터는 변화가 거의 없다가 탄소원이 재주입된 37시간 이후부터 pH는 최대 6.36까지 감소되었다.

실험이 진행되는 동안 아질산성질소와 질산성질소는 거의 변화가 없었으며, TN은 소폭 감소한 것으로 보아 암모니아성질소의 제거가 질산화에 의한 것이 아닌 유기질소로의 합성임을 예측할 수 있었다. 제거된 암모니아성질소의 유기질소로의 합성임을 증명하기 위해 단백질의 농도를 측정할 결과 초기시료는 불검출 되었으나, 48시간 경과시료의 경우 193.1 mg/L로 증가했다. 이는 제거된 암모니아성질소가 거의 전량 *L. adecarboxylata*의 증식에 이용되어 단백질의 형태로 체내에 축적된 것으로 증명되었다.

따라서, *L. adecarboxylata*의 암모니아성질소 제거특성 이용하여 암모니아성질소가 다량으로 함유되어있는 고유기성 폐수처리 시 미생물을 접종하거나 고정화하여 생물반응조의 형태로 적용한다면, 기존의 고도처리시설 설치로 인한 부지면적과 비용을 최소화 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. <http://www.me.go.kr:9999/DEPTDATA/200107/26145512/3.htm>.
2. 김정현, 수질관리, 동화기술, pp. 403~409(1991).
3. Grkstätten, J. H., "A Survey of Phosphorus and Nitrogen Levels in Treated Municipal Wastewater," *J. WPCF*, pp. 50~718(1978).
4. Kim, N. J., Sugano, Y., Hirai, M., and Shoda, M. "Removal of a high load of ammonia gas by a marine bacterium, *Vibrio alginolyticus*," *J. Biosci. Bioeng.*, **90**, 410~415(2000).
5. 김수일, 이기형, 배재근, "질소합성균주의 분리에 의한 특성검토와 합성폐수중의 암모니아성질소 제거," *유기성자원학회지*, **10**(3), 117~125(2002).