

삼상 순환 유동층 반응기에서 폐수 중 암모니아의 질산화

강태규 · 한희동 · 조용준 · 최호석 · 강 용[†] · 김상돈*

충남대학교 화학공학과

*한국과학기술원 화학공학과

(2002년 2월 5일 접수, 2002년 5월 20일 채택)

Nitrification of Ammonia in the Wastewater in Three-Phase Circulating Fluidized-Bed Reactors

Tae-Gyu Kang, Hee-Dong Han, Yong-Jun Cho, Ho-Suk Choi, Yong Kang[†] and Sang-Done Kim*

Department of Chemical Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

*Department of Chemical Engineering, KAIST, Daejeon 305-701, Korea

(Received 5 February 2002; accepted 20 May 2002)

요 약

직경 0.102 m인 삼상 순환유동층 반응기에서 합성폐수로부터 암모니아 성분 및 COD의 제거를 연구하였다. 대전 원천동의 폐수처리장에서 사용하는 활성슬러지를 미생물로 사용하였다. 여과된 압축공기와 합성폐수를 각각 기체와 액체상으로 사용하였으며, 미생물이 표면에 정착된 직경이 0.4 mm인 음이온 고분자 수지를 유동고체 담체입자로 사용하였다. 폐수 중 초기 암모니아 농도와 담체유동입자의 체류량이 폐수 중 NH_4^+ 이온과 COD의 제거효율 및 제거량에 미치는 영향을 검토하였다. 반응온도와 pH 그리고 폐수 중 용존산소의 농도는 각각 20°C, 7 그리고 6-7 mg/L로 유지하였다. 본 연구의 결과로부터 삼상 순환유동층 생물반응기는 폐수로부터 NH_4^+ 와 COD의 연속적 제거에 매우 효과적으로 사용될 수 있는 장치임이 판명되었다. 표면에 미생물이 정착된 담체유동입자의 사용은 폐수 중 NH_4^+ 와 COD의 제거효율을 상당히 증가시킬 수 있었다. 폐수 중 NH_4^+ 와 COD의 제거효율은 활성미생물이 정착된 담체입자의 체류량이 증가함에 따라 증가하였으나 폐수 중 NH_4^+ 의 초기농도가 증가함에 따라 감소하였다. 폐수 중 NH_4^+ 와 COD의 제거효율은 폐수 중 NH_4^+ 의 농도와 담체입자 체류량의 조합과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었으며, 담체입자의 최적 첨가량은 폐수 중 NH_4^+ 의 농도에 따라 달라졌다.

Abstract – The removals of nitrogenous component(NH_4^+) and COD from the synthetic waste water have been investigated in a three-phase circulating fluidized-bed reactor whose diameter is 0.102 m. Activated sludge which is used for waste water treatment at the Wonchun-dong in Daejeon has been employed as a microorganism. Filtered compressed air and synthetic waste water have been used as a gas and a liquid phase, respectively. Anion polymer resin whose diameter is 0.4 mm has been used as a fluidized solid substrate, at which microorganism has been adhered. Effects of initial concentration of NH_4^+ in the waste water and substrate holdup on the efficiency as well as amount of the removal of NH_4^+ and COD have been discussed. The reaction temperature, pH and concentration of dissolved oxygen have been maintained at 20 °C, 7 and 6-7 mg/L, respectively. It has been found, from the results of this study, that the three-phase circulating fluidized-bed bioreactor can be utilized as an effective scheme to remove the NH_4^+ and COD in the waste water continuously. The use of substrate particle with microorganism adhered at its surface can increase the removal efficiency of NH_4^+ and COD considerably. The removal efficiencies of NH_4^+ as well as COD have increased with increasing the holdup of substrate with active microorganism, but decreased with increasing the initial concentration of NH_4^+ in the waste water. The efficiency has been found to be closely related to the combination of the initial concentration of NH_4^+ and substrate holdup in the reactor; the optimum amount of substrate has been dependent upon the initial concentration of NH_4^+ in the waste water.

Key words: Three Phase, Circulating Fluidized Bed, Ammonia Nitrification, Bio-Reactor

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: kangyong@hanbat.cnu.ac.kr

1. 서 론

2. 실 험

유동층 생물막 반응기는 살수여상이나 활성슬러지와 같은 기존의 폐수 처리공정에 비해 물질전달 및 열전달이 잘 이루어지므로 미생물 순화과정이 짧게 요구될 뿐만 아니라, 지지 매체의 종류에 따라 비표면적을 800-1,200m²/m³까지 넓힐 수 있으므로 미생물과 기질의 접촉 면적을 증가시킬 수 있으며, 유속조절에 따라 생물막의 두께 및 농도를 조절할 수 있는 장점이 있다[1-2]. 또한, 유동층 생물막반응기나 역유동층 반응기는 반응기 전체에 걸쳐 균일한 혼합과 낮은 전단력, 높은 물질전달계수 그리고 에너지 요구량이 적은 특징을 가지고 있어 미생물을 이용한 폐수처리 공정에 많이 이용되고 있으며, 현재 그 연구가 활발히 진행 중에 있다[3-5]. 특히, 담체의 밀도가 액체보다 작아 담체가 액상에 부유하는 경우에 사용이 적합한 삼상 역 유동층 반응기에 대한 연구도 최근 활발히 진행되고 있다[6-10]. 그러나, 현재까지의 유동층 생물막 반응기는 대부분 역유동층이나 내부순환유동 방식을 채택하고 있어서 미생물의 급격한 활성지하나 생물막이 손상될 경우 연속조작이 불가능하여 왔다. 뿐만 아니라 반응기 내부에서 유동하는 담체의 양과 밀도 그리고 크기에 따라 처리되는 폐수의 양과 유속이 제한을 받아서 반응기 내부에서 특정성분의 전환율이 매우 제한되어 왔다.

따라서, 유동층 생물막반응기의 전환율을 향상시키고 사용하는 담체의 특성에 따라 운전조건의 변화가 용이할 뿐만 아니라 일정시간 반응기의 조작 후 생물막의 재생이나 활성화된 생물막이 형성된 새로운 담체의 투입이 용이하여 반응기 내부에서 미생물의 활성을 일정수준 이상 연속적으로 유지시킬 수 있는 반응기의 개발이 요청되어 왔다. 본 연구에서는 이와 같은 특성을 가질 수 있는 삼상 순환유동층을 이용하여 합성 폐수중의 암모니아 성분을 질산화하는 반응을 수행함으로써 삼상 순환유동층 생물막 반응기의 개발에 필요한 기초연구를 수행하였다[11-14].

폐수에 포함된 질소성분은 약 2/3가 암모니아성 질소성분이며, 암모니아성 질소를 제거하기 위해서는 생물학적 처리 방법이 많이 이용되고 있으므로[15, 16], 본 연구에서는 음이온 고분자 수지를 담체로 사용하여 활성슬러지의 미생물을 접촉시켜 사용함으로써 기존의 일반적인 활성슬러지 공정보다 효율적인 반응을 수행하고자 하였다. 본 연구에서는, 반응기내 합성 폐수 중 암모니아 성분의 초기농도와 처리하고자 하는 폐수량에 대한 담체의 첨가비율 등이 암모니아 성분의 제거효율 및 COD의 변화량 등에 미치는 영향을 검토함으로써 삼상 순환유동층 생물막 반응공정의 설계에 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

Table 1. Composition of the concentrated synthetic wastewater

Component	Concentration(g/L)
Glucose	5.6
CH ₃ COONa · 3H ₂ O	9.7
KH ₂ PO ₄	1.32
FeCl ₃ · 6H ₂ O	0.006
CaCl ₂	0.075
(NH ₄) ₂ SO ₄	2.8
MgSO ₄ · 7H ₂ O	1.0
MnSO ₄ · H ₂ O	0.1098
NaHCO ₃	2.1

Table 2. Physical property of polymer resin

Physical property	
Specific gravity	1.13
Shipping weight (g/L)	700
Moisture retention	39-44
Effective size(mm)	0.401
Uniformity coefficient	under 1.5
Operating pH range	0-14

본 연구의 실험에 사용된 미생물은 대전광역시 원천동 폐수처리장에서 사용하는 활성슬러지 중 반송슬러지를 공급받아 합성폐수를 사용하여 충분한 양으로 배양한 후 실험에 사용하였다[17]. 본 실험에 사용한 합성폐수의 조성을 Table 1에 나타내었는데 탄소원으로는 glucose를 사용하였으며 질소원으로는 (NH₄)₂SO₄를 사용하였다. 본 실험에서는 합성폐수와 반송슬러지의 비를 1 : 1로 혼합하여 사용하였고 실험에 사용한 미생물의 농도는 4,165 mg/L이었다. 고상의 담체로는 (주)삼양사에서 제조된 직경이 0.4 mm인 음이온 고분자수지(DIAION SA20AP)를 사용하였으며, 이 담체입자에 활성슬러지에 포함된 미생물을 접촉시켜 가면서 시간에 따른 미생물의 점착량을 측정하였다. 담체입자의 종말속도(U_t)는 0.01 m/s이었다. 또한, 반응기 내에 미생물이 완전히 점착된 담체와 혼합용액을 넣은 다음 약 15일간의 순유기간을 두어 미생물이 장치에 안정화 되도록 하였다. 본 실험에 사용한 고분자수지의 특성을 Table 2에 나타내었다.

본 실험에 사용한 삼상 순환유동층 반응기의 상승관(riser)으로는 높이가 0.5 m이고 내부 직경이 0.102 m인 아르킬관을 사용하였고, 높이가 0.3 m이고 내부직경이 0.102 m인 관을 하강관(downcomer)으로 사용하였는데 이를 Fig. 1에 나타내었다[13-14]. 반응기 내부에서 유동하는 고상으로는 미생물이 점착된 고분자수지를 사용하였고, 액상으로는 활성슬러지와 합성폐수를 혼합한 인공폐수를 사용하였다. 기상으로는 공기 압축기로부터 필터 그리고 압력조절기와 유량계를 거쳐 공급되는 건조

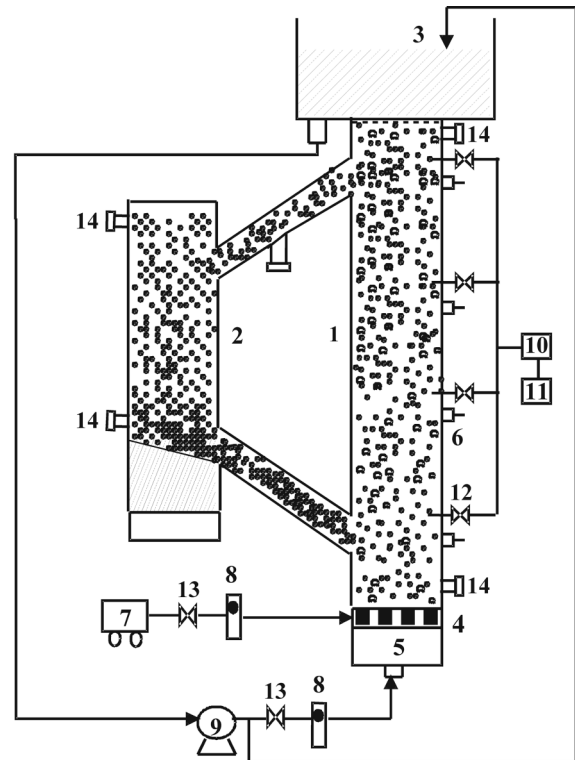


Fig. 1. Schematic diagram of a three-phase circulating fluidized-bed reactor.

- 1. Riser
- 2. Down comer
- 3. Weir
- 4. Distributor
- 5. Calming section
- 6. Pressure tap
- 7. Compressor
- 8. Flowmeter
- 9. Pump
- 10. pH meter
- 11. DO meter
- 12. Sampling valve
- 13. Control valve
- 14. Port

된 압축공기를 사용하였다. 반응기의 상승관에서는 액상과 기상의 흐름을 이용하여 담체를 하강관으로 흐르도록 유도하였으며, 담체는 반응기 내부에서 연속적으로 순환되었다. 인공폐수인 액상은 액체 펌프를 이용하여 연속적으로 순환하였으며, 공기는 주 반응기인 상승관에 주입 후 대기중으로 배출되었다. 삼상 순환유동층 생물반응기에 사용된 전체 폐수의 부피는 8 L로 고정하였다. 폐수 중 암모니아 성분의 농도 및 COD의 변화를 측정하기 위해서 주 반응기인 상승관의 분산관으로부터 10 cm의 간격으로 4개의 시료채취 탭을 설치하였으며 이들 각 지점에서 용액의 시료를 채취하였다.

한편, 본 실험에서 생물반응기 내부의 pH는 H₂SO₄과 NaOH를 사용하여 7로 유지하면서 실험하였다[18]. 상승관 내부에서 액체 유속은 폐수의 충분한 체류시간을 위해 0.01 m/s로 유지하였으며, 반응기 내부의 용존산소의 충분한 공급을 위해 기체의 유속은 0.005 m/s로 유지하였다. 이와 같은 액체와 기체유속의 조건에서 담체입자는 충분히 유동화하였다. 실험이 진행되면서 반응기 내부에서 채취된 시료로부터 pH는 HANNA사 제품의 pH meter(Model-HI8519N)를 사용하여 측정하였고, 용존산소의 양은 DO meter(HANNA, Model-HI9143)를 사용하여 측정하였다. 한편, 시료의 COD는 수질오염공정 시험법에 기초한 과망간산칼륨에 의한 COD측정법에 의해 측정하였으며, NH₄⁺-N의 농도는 Pharmacia Biotech사의 UV/Visible Spectrophotometer(Model-Ultraspec 3,000)를 사용하여 표준방법(15 thed)에 의해 결정하였다[15, 16]. 본 연구에서 폐수의 온도는 20 °C로 유지되었다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 담체에 미생물의 점착 특성

유동층 생물반응기에 투입되는 담체의 표면에는 활성슬러지에 포함

된 미생물을 점착시켜 사용하였는데, 점착시간의 변화에 따른 미생물의 점착상태를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 고분자 표면에서 점착시간의 경과에 따른 미생물 활동도를 IMAGE ANALYZER (Olympus BX60)를 사용하여 1,000배 확대하여 촬영하여 보면, 점착 초기에는 미생물이 고분자 표면에서 활동하는 것이 거의 관찰되지 않으나 약 63시간 후에 얇은 생물막이 형성되기 시작하면서 105시간 후에는 활발한 미생물의 증식활동을 하고 있는 것을 관찰 할 수 있었다. 이후 충분한 순차시간을 고려하여 약 144시간 이후에 미생물이 가장 활발한 대사 작용을 보이고 있는 것을 관찰하였다. 그러므로, 본 실험에서는 미생물이 가장 활발한 활성을 띄기 시작했던 시간부터 미생물의 활성이 감소하기 전의 시간인 약 144시간동안 미생물을 점착시킨 고분자수지를 이용하여 실험을 실시하였다.

한편, 미생물의 점착시간에 따른 고분자수지에 미생물의 점착률을 Fig. 3에 나타내었는데, 미생물의 점착률은 식 (1)에 의하여 계산하였다.

$$A = \frac{W_2 - W_1}{W_1} [g/g] \tag{1}$$

점착시간의 증가에 따른 미생물의 점착률 증가 양상은 Fig. 3에서 관찰된 것과 같이 점착 초기에는 점착률이 아주 미약하게 증가를 하다가 20시간 후부터는 점착률이 상당히 증가하여 약 80시간 이후에 급격하게 증가하는 것을 관찰 할 수 있다. 그러나, 약 100시간 이후부터는 더 이상 미생물의 점착률이 증가하지 않는 것을 알 수 있다. 이것은 고분자수지에 점착되는 미생물의 양에 한계가 있음을 의미하는데, 이때 미생물이 최대 활성을 보이고 있음을 예측할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 고분자수지의 표면에 미생물이 가장 점착이 많이 이루어졌을 때의 담체를 이용하여 실험에 사용하였다.

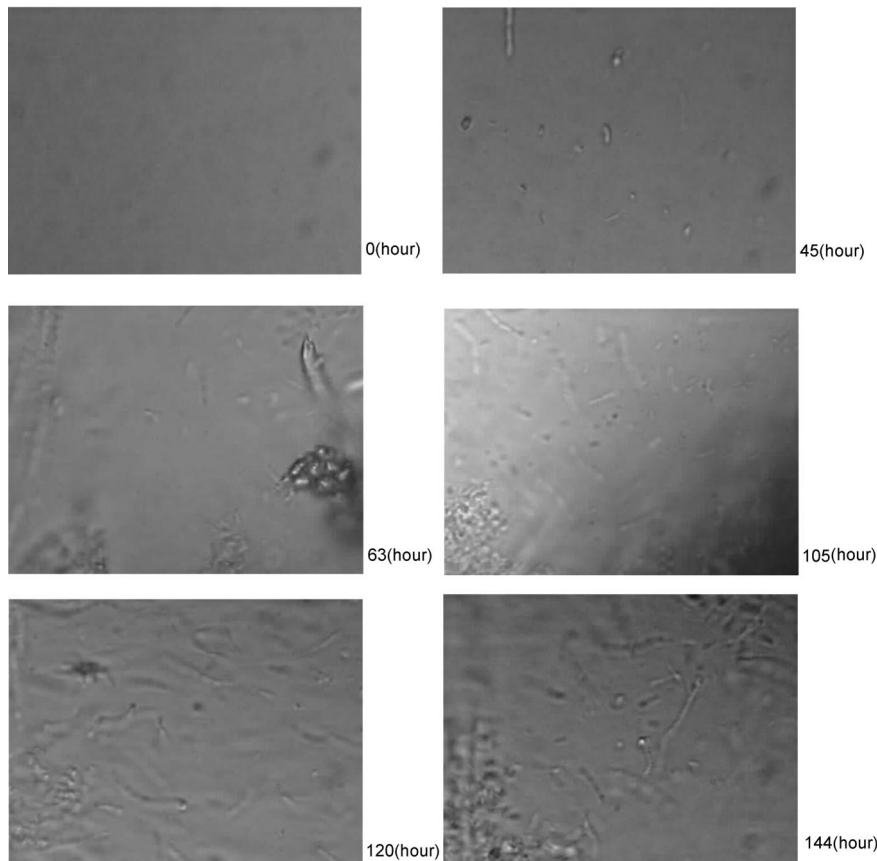


Fig. 2. Activity of microorganism with the variation of time.

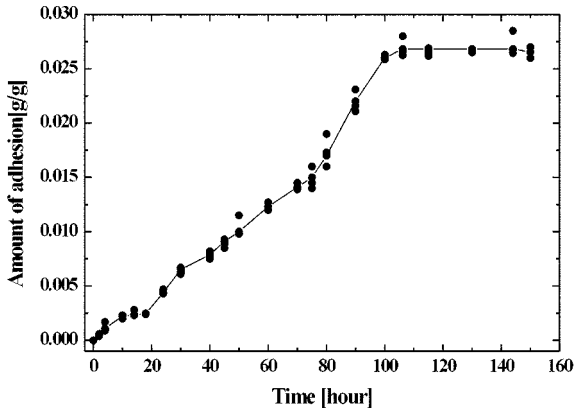


Fig. 3. Amount of adhesion of microorganism at the substrate (polymer resin) with the variation of time.

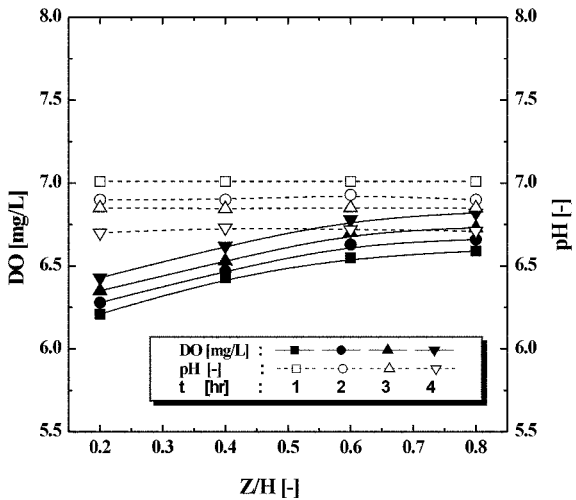


Fig. 4. Profiles of dissolved oxygen and pH in the axial direction of the riser of three-phase circulating fluidized-bed reactor ($\epsilon_g=0.1$).

3-2. 폐수 중 암모니아 제거 특성

생물반응기를 이용하여 폐수 중 암모니아 성분을 제거하는 공정에서 액상의 pH 및 용존산소의 농도는 반응전환율에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으므로 [16-18], 삼상 순환 유동층의 상승관에서 기체-액체 분산관으로부터 높이의 변화에 따른 pH 및 용존산소농도의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이, 상승관 반응기에서 액상의 pH는 높이의 변화에 따라 크게 변화하지 않았으며, 반응시간의 변화에 따라 크게 변화하지 않도록 조절하였다. 반응이 진행되면서 생물반응기 내부의 암모니아성 질소가 제거됨에 따라 pH가 약간 감소하는 현상을 관찰할 수 있었는데 이는 질산화 미생물에 의해 질산화 과정에서 $\text{NH}_3\text{-N}$ 이 산화되면서 H^+ 이 생성되어 대기 중으로 배출되기 때문으로 사료되나 실험 중 그 변화는 무시할 정도로 작았다 [19]. 한편, 순환유동층 반응기의 상승관에서 용존산소의 농도는 Fig. 4에 보는바와 같이 높이가 증가함에 따라 약간 증가하는 경향을 나타내고 있으나 반응기 전체에서 크게 차이가 나지 않고 대략 6-7 mg/L로 유지되는 것을 알 수 있다.

삼상 순환 유동층 반응기에서는 담체를 순환시키기 위하여 액상의 일정유속에서 기상의 유속을 조절하여 최적화함으로써 미생물에 충분한 용존산소의 수준을 유지 할 수 있었다. 또한, 슬러지의 팽화현상도 삼상 순환 유동층의 유체흐름에 의하여 나타나지 않았으며, 충분한 공기의 공급으로 미생물의 대사 작용을 도와준 것으로 사료되었다.

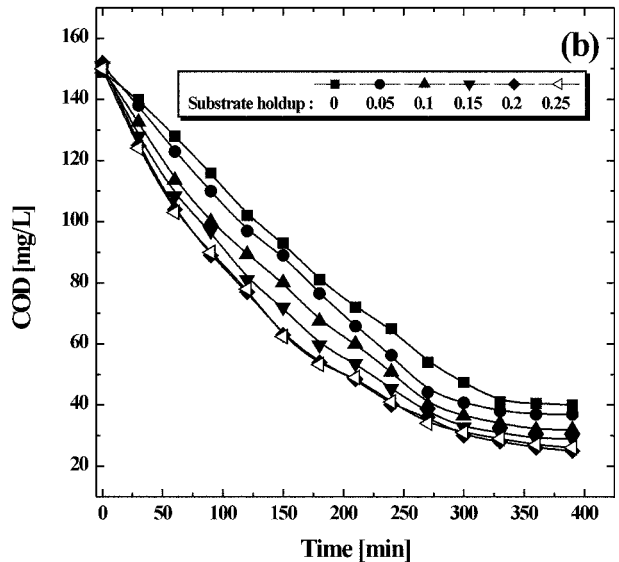
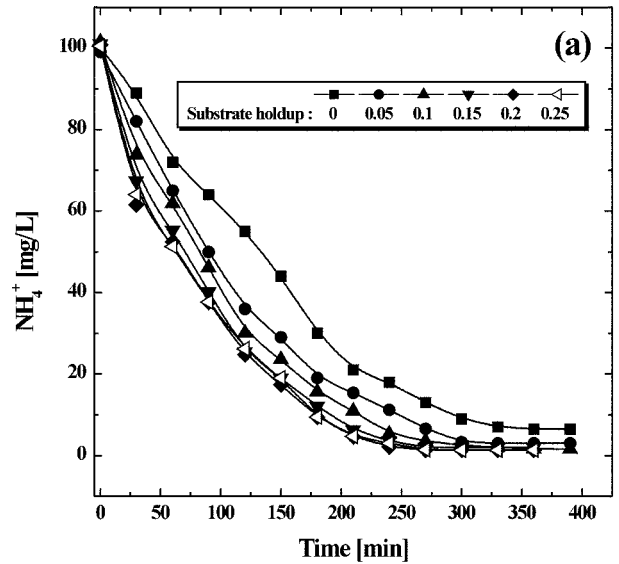


Fig. 5. Variations of NH_4^+ concentration and COD in the waste water ($\text{NH}_4^+=100 \text{ mg/L}$).

삼상 순환 유동층 반응기에서 폐수 중 암모니아의 초기농도가 100 mg/L로 일정할 때, 반응기에 첨가된 담체입자체류량의 변화에 따라 폐수 중 NH_4^+ 이온 농도의 변화양상을 Fig. 5(a)에 나타내었다. Fig. 5(a)에서 볼 수 있듯이 담체의 체류량을 0-0.25까지 증가시키며 실험을 실시하였을 때, 담체의 체류량이 증가할수록 암모니아를 제거하는데 필요한 HRT (수력학적 필요체류시간)는 감소하는 것을 알 수 있다. 미생물을 집착시킨 담체를 전혀 첨가하지 않고 활성슬러지만 첨가한 조건에서는 폐수 중 암모니아 이온을 95% 이상 제거하는데 HRT가 325분 정도로 나타났다. 그러나, 미생물이 집착된 담체의 첨가량이 반응기 전체 부피의 20%일 때의 HRT는 240분 정도로 담체의 첨가가 없는 경우와 비교하여 26%의 HRT의 감소 효과를 가져왔다. 이는 반응기 내부의 부유미생물에 의한 암모니아의 제거반응은 미생물의 안정화와 효과적인 활성화에 소요되는 시간이 필요하므로 미생물이 집착된 담체를 첨가하는 경우보다 다소 시간이 많이 소요된다고 할 수 있다. 즉, 미생물이 집착된 담체를 첨가하여 암모니아를 제거할 경우 고분자수지에 집착되어 있는 미생물의 농도가 증가되어 더욱 활발한 미생물 반응을 수행할 수 있기 때문에 사료된다. 한편, Fig. 5(b)는 순환유동층 생물반응기에서 액상

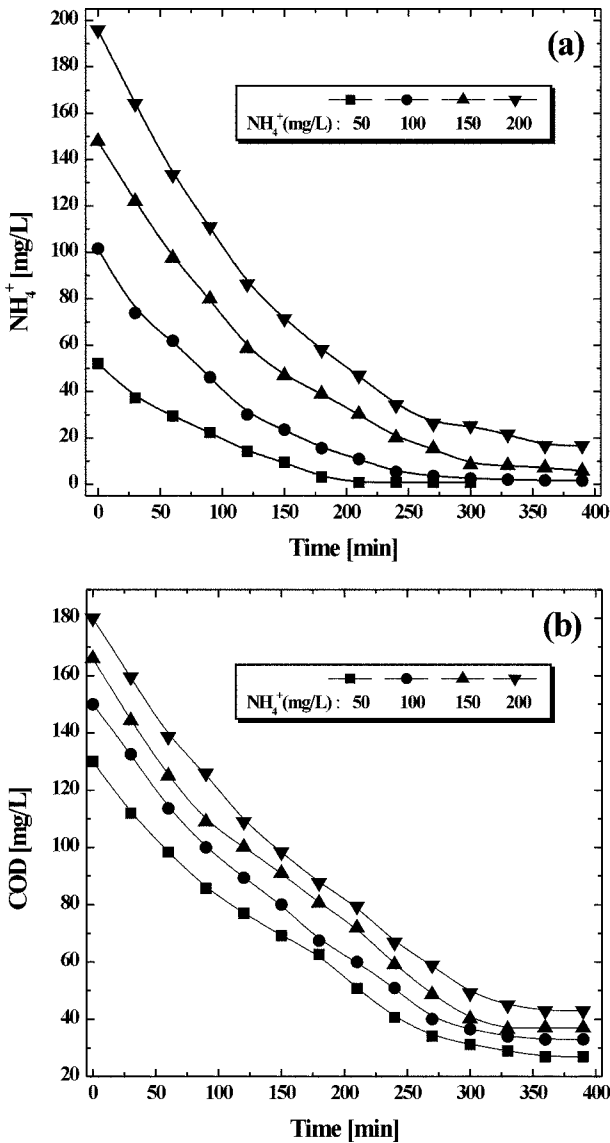


Fig. 6. Variations of NH_4^+ concentration and COD in the waste water ($\epsilon_s=0.1$).

의 COD 제거 양상을 보여주고 있는데, COD의 제거 경향도 암모니아의 제거와 유사한 경향을 나타내었다. 이것은 폐수 중에 암모니아와 그 밖의 유기물이 제거되고 있음으로 화학적 산소 요구량도 그에 따라 감소하고 있음을 보여주고 있다.

순환 유동층 생물반응기에서 폐수에 포함된 암모니아 이온의 초기농도가 암모니아 이온의 제거 및 COD에 미치는 영향을 Fig. 6(a), (b)에 각각 나타내었다. Fig. 6(a)는 미생물이 정착된 담체의 체류량이 0.1인 경우 폐수 중 초기암모니아의 농도변화에 따른 HRT의 변화를 나타낸 것인데, 폐수 중 초기암모니아의 농도가 적을수록 HRT는 현저히 감소함을 알 수 있다. 즉, 폐수 중 암모니아의 초기 농도가 50 mg/L인 경우, 반응시간이 210분 정도가 되면 NH_4^+ 이온의 농도가 95% 이상 거의 제거되는 반면, 암모니아의 초기 농도가 150 mg/L 이상일 경우에는 암모니아의 제거에 필요한 수력학적 체류시간이 300분 이상 요구됨을 알 수 있다. 이와 같은 결과로부터 폐수 중 암모니아의 농도에 따라 반응기에 투입되는 미생물이 정착된 담체의 최적양을 결정할 수 있었다. 즉, Fig. 5(a)에서 볼 수 있듯이 폐수에 포함된 암모니아의 농도가 100 mg/L일 경우에는 미생물이 정착된 담체의 양이 20%까지는 암모니아가 효율적

으로 제거됨을 알 수 있었지만, 담체의 양이 25%일 경우에는 담체양이 20%인 경우와 비교하여 용액속의 암모니아 농도의 제거가 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다. 이는 미생물이 암모니아를 제거하는데에는 한계가 있다는 것을 알 수 있는데, 폐수 중 암모니아의 초기농도가 증가할수록 HRT는 증가하였고 일정시간 암모니아 제거 반응 후 폐수에 남아있는 암모니아의 농도도 증가함을 알 수 있었다. 한편, Fig. 6(a)와 유사한 조건에서 암모니아의 초기농도가 폐수 중 COD의 감소에 미치는 영향을 Fig. 6(b)에 나타내었는데, 반응시간이 지남에 따라 폐수 중 암모니아 이온의 감소경향과 유사하게 나타났다.

한편, 순환 유동층 생물 반응기에서 반응시간에 따른 폐수 중 암모니아 농도의 변화로부터 반응기 내부에서 암모니아 이온의 순간적 제거 속도를 구할 수 있었다.

Fig. 7은 미생물이 정착된 담체의 체류량 변화에 따른 암모니아의 순간 제거 속도를 나타내고 있는데, 폐수 중 초기 암모니아의 농도가 일정할 때 반응기 내부에서 미생물이 정착된 담체의 체류량이 증가할수록 암모니아 제거 속도가 증가하는 양상을 알 수 있다. 폐수 중 암모니아의 초기 농도가 50-100 mg/L인 경우에 담체의 체류량이 0.2이상 되었을 경우에는 암모니아의 제거속도가 증가하지 않는 것을 알 수 있다. 그러므로, 이와 같은 조건에서 폐수 중 암모니아의 최적 순간 제거속도는 담체의 체류량이 0.2일 때라 할 수 있다. 이와 같은 실험결과들로부터, 유동층 생물반응기를 사용할 경우 미생물이 정착된 담체의 체류량은 암모니아의 초기농도를 고려하여 선정하여야 할 것으로 사료된다.

Fig. 8은 유동층 생물반응기에서 고체 유동입자로 존재하는 미생물이 정착된 담체의 체류량에 따른 폐수 중 암모니아의 제거 효율을 나타내고 있으며, 이로부터 생물막을 이용한 유동층 반응기의 암모니아 제거 효율을 예측 할 수 있다. 본 실험에 사용한 삼상 순환 유동층 생물반응기는 고상과 액상이 모두 동일하게 순환을 하는 특성을 가지고 있기 때문에 고농도의 암모니아 처리에도 적합하다는 것을 알 수 있었다. Fig. 8로부터 첨가되는 미생물이 정착된 담체의 체류량이 증가할수록 암모니아의 제거 효율은 증가한다는 것을 알 수 있는데, 고농도의 암모니아 폐수에서도($\text{NH}_4^+=200 \text{ mg/L}$) 담체의 체류량이 약 5% 이상이 되면 90% 이상의 암모니아 제거 효율을 얻을 수 있었다. 그러므로 삼상 순환유동층 반응기를 사용하여 암모니아를 제거할 경우 담체의 양과 암모니아의 농도와의 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 본 실험에서는 암모니아의

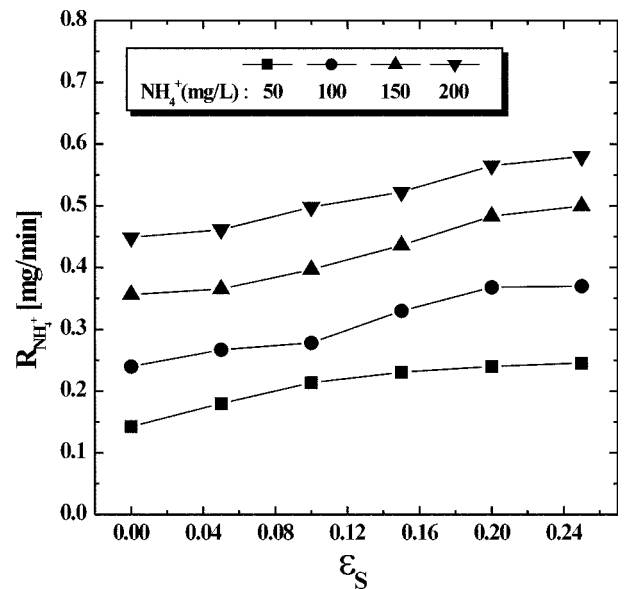


Fig. 7. Effects of substrate holdup on the instantaneous removal rate of NH_4^+ in the waste water.

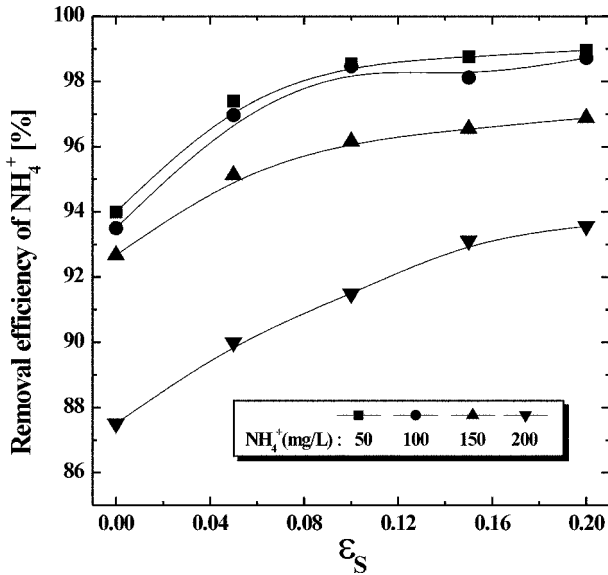


Fig. 8. Effects of substrate holdup on the removal efficiency of NH_4^+ in the waste water.

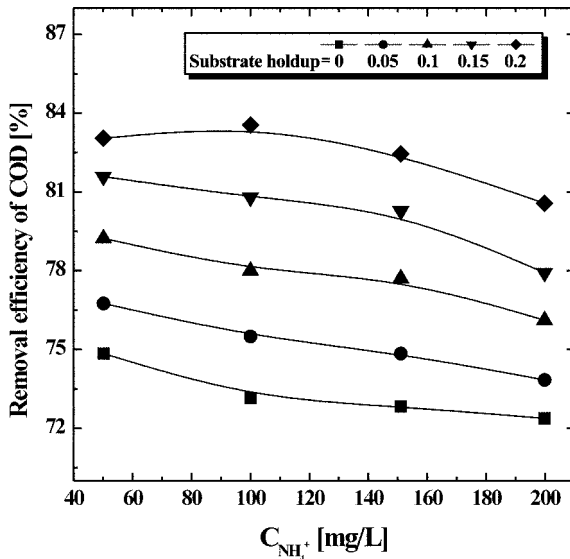


Fig. 9. Effects of initial concentration of NH_4^+ on the removal efficiency of COD in the waste water.

농도가 50-100 mg/L이고 담체의 체류량이 0.1이상일 때 98%이상의 암모니아 제거 효율을 얻을 수 있었다.

삼상 순환유동층 반응기에서 폐수 중 암모니아의 초기농도가 폐수 중 COD의 제거효율에 미치는 영향을 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 폐수 중 암모니아의 초기농도가 증가함에 따라 COD의 제거효율은 약간 감소하였고, 담체의 체류량이 증가함에 따라 증가하는 것을 볼 수 있었다.

4. 결 론

본 연구의 실험결과 다음과 같은 중요한 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 삼상 순환유동층 생물반응기를 사용함으로써 미생물에 충분한 용존산소의 수준을 유지할 수 있었으며, 슬러지의 팽화현상을 방지함으로써 인공폐수 중 암모니아 이온을 효과적으로 제거할 수 있었고 COD도

낮출 수 있었다.

(2) 상온에서 직경이 0.4 mm인 음이온 교환자수지(DIAION SA20AP)에 활성슬러지에 포함된 미생물을 100시간정도 침착시켜 사용함으로써 미생물이 침착된 고분자 유동입자를 첨가하지 않은 경우와 비교하여 생물반응기 내부에 단위체적당 미생물의 농도를 증가시켜 폐수 중 암모니아 이온을 효과적으로 제거할 수 있었다.

(3) 삼상 순환유동층 생물반응기에 첨가되는 담체유동입자의 체류량이 증가함에 따라 폐수 중 암모니아의 제거속도가 현저히 증가하였으며 폐수 중 암모니아 제거와 COD를 낮추는데 필요한 수력학적 필요체류시간(HRT)을 현저히 줄일 수 있었다.

(4) 폐수에 포함된 암모니아의 초기농도가 증가함에 따라 일정 담체입자의 체류량에서 암모니아의 제거효율은 감소하는 것으로 나타났으며, 폐수 중 암모니아의 농도에 따른 미생물이 침착된 담체입자의 체류량의 효과적인 조절이 삼상 순환유동층 생물반응기의 성능결정에 매우 중요한 요소가 되는 것으로 나타났다.

감 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구과제(1999-1-307-006-3)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

사용기호

- A : amount of microorganism adhesion [g/g]
- $C_{\text{NH}_4^+}$: initial concentration of NH_4^+ [mg/L]
- H : height of the column [m]
- HRT : retention time [min]
- $R_{\text{NH}_4^+}$: NH_4^+ removal rate [mg/min]
- U_G : superficial gas velocity [m/s]
- U_L : superficial liquid velocity [m/s]
- U_T : particle terminal velocity in a liquid medium [m/s]
- W_1 : drying weight of polymer resin before adhesion [g]
- W_2 : drying weight of polymer resin after adhesion [g]
- Z : axial coordinate [m]

그리스문자

- ϵ_s : solid phase holdup

참고문헌

1. Bernard, J.: "Technical Advanced in Biofilm Reactor," Proceedings of the LAWPRC Conf., **22**, Pergamon press(1990).
2. Baek, N. H. and Walker, I.: *HWAHAK KONGHAK*, **18**, 2(1990).
3. Gallo, T. and Sandfors, D. S.: Presented at the 86th National Meeting of AIChE, Houston, Texas, April(1979).
4. Redman, J.: *The Chemical Engineer*, October(1987).
5. Jung, W. C., Kim, H. G. and Lee, B. Y.: *HWAHAK KONGHAK*, **24**, 5 (1986).
6. Choi, H. S. and Shin, M. S.: *Korean J. Chem. Eng.*, **16**, 670(1999).
7. Lee, D. H., Epstein, N. and Grace, J. R.: *Korean J. Chem. Eng.*, **17**, 684(2000).
8. Cho, Y. J., Park, H. Y., Kim, S. W., Kang, Y. and Kim, S. D.: *I&EC Research*, in press(2002).
9. Park, H. Y., Kim, S. W., Cho, Y. J., Kang, Y. and Kim, S. D.: *HWAHAK KONGHAK*, **39**, 619(2001).

10. Park, Y. S., Ahn, K. H., Suh, J. H., Choi, Y. C., Choo, S. R. and Song, S. K.: *HWAHAK KONGHAK*, **35**, 8(1997).
11. Liang, W., Wu, Q., Yu, Z., Jin, Y. and Wang, Z.: *Can. J. Chem. Eng.*, **73**, 656(1995).
12. Yang, W., Wang, Z., Zhou, L. and Jin, Y.: *Chem. Eng. Sci.*, **54**, 5523 (1999).
13. Cho, Y. J., Nam, S. H., Kim, S. J., Kang, Y. and Kim, S. D.: *Chem. Eng. Sci.*, **56**, 1275(2001a).
14. Cho, Y. J., Song, P. S., Kim, S. H., Kang, Y. and Kim, S. D.: *J. Chem. Eng. Japan*, **34**, 254(2001b).
15. Gabriel, B.: *Wastewater Microbiology*, John wiley & Sons(1994).
16. U.S. EPA.: *Process Design Manual for Nitrogen Control*, Office of Technology Transfer, Washington, D.C.(1975).
17. Park, I. C.: *Korea Advanced Institute of Science and Technology Master-degree Thesis*(1995).
18. US EPA. *Nitrogen Control*. EPA/625/R-93/010(1993).
19. Woo, D. S. and Nam, S. H.: *Kor. J. Env. Hlth. Soc.*, **21**, 17(1995).
20. Pintar, A., Batista, J., Levec, J. and Kajiuchi, T.: *Applied Catalysis B: Environmental*, **11**, 81(1996).