

바이오필터시스템을 이용한 암모니아 함유 악취폐가스 처리

이은주 · 박상원* · 다오빈남** · 정찬홍** · 임광희**†

경북대학교 화학공학과
702-701 대구광역시 북구 산격동 1370번지
*대구대학교 식품공학과 및 **화학공학과
712-714 경북 경산시 진량읍 내리리 15
(2010년 5월 27일 접수, 2010년 6월 11일 채택)

Treatment of Malodorous Waste Air Containing Ammonia Using Biofilter System

Eun Ju Lee, Sang Won Park*, Dao Vinh Nam**, Chan Hong Chung** and Kwang-Hee Lim**†

Department of Chemical Engineering, Kyungpook National University, 1370 Sankyok-dong, Buk-gu, Daegu 702-701, Korea

*Department of Food Engineering and **Department of Chemical Engineering, Daegu University,

15 Naerri-ri, Jillyang-eup Gyungsan-si, Gyeongbuk 712-714, Korea

(Received 27 May 2010; accepted 11 June 2010)

요 약

본 연구에서는 퇴비공장 또는 공공시설에서 발생하는 악취폐가스의 대표적인 제거대상 오염원인 암모니아의 효율적 처리를 위하여, 여러 운전 조건 하에서 동 부피의 페타이어담체와 compost를 충전하고 반송슬러지를 고정화한 바이오필터의 암모니아 제거 특성을 조사하고 바이오필터공정의 적정운전조건을 구축하였다. 암모니아를 함유한 폐가스의 처리를 위하여 바이오필터를 30일(2회/1일의 회수로 총 60회 실험) 동안 약 30 °C의 온도조건 하에서 암모니아부하를 2.18 g-N/m³/h부터 70 g-N/m³/h 까지 증가시키면서 운전하였다. 바이오필터를 가동하여 I부터 IV 단계까지는 암모니아 제거율이 거의 100%로서, 암모니아부하가 17 g-N/m³/h에 이르기까지 거의 모든 암모니아가 제거되었으나, 바이오필터 운전 V 단계에서 암모니아부하를 약 35 g-N/m³/h로 증가시켰을 때에 암모니아제거율은 약 80% 정도로 급락하여 암모니아 제거용량이 약 28 g-N/m³/h이었다. 그러나 바이오필터 운전 VI 단계에서 암모니아부하를 약 70 g-N/m³/h로 두 배로 증가시켰을 때에도 암모니아제거율은 80%를 유지하여 최대암모니아 제거용량이 약 55 g-N/m³/h에 달하였다. 이와 같이 본 연구의 최대 암모니아 제거용량은, 분뇨슬러지를 유기담체인 rock wool에 접종하고 Kim 등에 의하여 수행된 바이오필터실험의 최대 암모니아 제거용량인 1,200 g-N/m³/day(i.e., 50 g-N/m³/h)보다 다소 우월하였다. 그러나 본 연구의 암모니아 질소 임계부하는 Kim 등에 의하여 수행된 바이오필터실험의 암모니아 질소의 임계부하인 810 g-N/m³/day(i.e., 33.75 g-N/m³/h)에 미치지 못하였다. 본 연구의 최대 암모니아 제거용량이 Kim 등보다 우월한 이유는 Kim 등에 의하여 사용된 미생물담체보다 본 연구에서 사용한 미생물담체인 페타이어담체의 코코넛 활성탄분말로 도포된 표면 및 발달된 내부공극이 각각 질산화 및 탈질 미생물이 고정화되기 더욱 쉬운 환경을 제공하기 때문이라고 사료된다.

Abstract – In this research the characteristics of ammonia removal from malodorous waste-air were investigated under various operating condition of biofilter packed with equal volume of rubber media and compost for the efficient removal of ammonia, representative source of malodor frequently generated at compost manufacturing factory and publicly owned facilities. Then the optimum conditions were constructed to treat waste-air containing ammonia with biofilter. Biofilter was run for 30 days(experimental frequency of 2 times/day makes 60 experimental times.) with the ammonia loading from 2.18 g-N/m³/h to 70 g-N/m³/h at 30 °C. The ammonia removal efficiency reached almost 100% for I through IV stage of run to degrade up to the ammonia loading of 17 g-N/m³/h. However the removal efficiency dropped to 80% when ammonia loading increased to 35 g-N/m³/h, which makes the elimination capacity of ammonia 28 g-N/m³/h for V stage of run. However, the removal efficiency remained 80% and the maximum elimination capacity reached 55 g-N/m³/h when ammonia loading was doubled 70 g-N/m³/h for VI stage of run. Thus the maximum elimination capacity exceeded 1,200 g-N/m³/day(i.e., 50 g-N/m³/h) of the experiment of biofilter packed with rock wool inoculated with night soil sludge by Kim et al.. However, the critical loading did not exceed 810 g-N/m³/day (i.e., 33.75 g-N/

†To whom correspondence should be addressed.

E-mail: khlim@daegu.ac.kr

m^3/h) of the biofilter experiment by Kim *et al.*. The reason to exceed the maximum elimination capacity of Kim *et al.* may be attributed to that the rubber media used as biofilter packing material provide the better environment for the fixation of nitrifying and denitrification bacteria to its surface coated with coconut based-activated carbon powder and well-developed inner-pores, respectively.

Key words: Biofilter, Malodorous Waste-Air, Ammonia, Optimum Operating Condition, Rubber Media

1. 서 론

악취의 제거방법은 물리적, 화학적 및 생물학적 악취제거법으로 분류되어진다. 그러나 물리 및 화학적 악취제거 방법은 제거효율은 높으나 비경제적이고 2차 오염을 유발할 수 있다. 한편 생물학적 악취제거 방법은 담체에 악취분해미생물을 고정화시켜서 반응기에 충전한 바이오필터 처리 등이 있는데, 경제적이고 2차오염을 유발하지 않는 바이오필터는 다른 프로세스보다 악취제거에 뛰어나다고 보고되고 있다[1-11]. 퇴비공장 또는 하수처리장 등의 공공시설(POTWS)에서 발생하는 악취폐가스는 휘발성 유기화합물뿐만 아니라 황화수소 및 암모니아 등의 악취유발물질들을 포함하고 있다. 톨루엔과 같은 휘발성유기화합물은 $100 \text{ g}/\text{m}^3/\text{h}$ 정도 까지 효율적으로 제거될 수 있으나[12], 황화수소가 분해되어 축적되는 황산이온(SO_4^{2-})의 생성으로 인한 낮은 pH에서 황화수소의 높은 제거율만큼 미생물에 의한 제거가 어렵다[13]. 이와 같이 중성 pH를 선호하는 VOC 또는 암모니아 분해미생물의 적정 pH 불일치뿐만 아니라, 퇴비의 생산과정에서의 발생하는 암모니아 농도는 매우 높아서[14] 상대적으로 낮은 농도의 황화수소보다 제거가 더 어렵다. Malhaulter 등[15]는 암모니아와 황화수소 혼합물의 각각 $340 \text{ g NH}_3/\text{m}^3/\text{day}$ 와 $170 \text{ g H}_2\text{S}/\text{m}^3/\text{day}$ 의 부하에 대하여, 입상 슬러지를 충전물로 사용한 바이오필터 처리를 수행하였는데, 각각 80% 및 100%의 제거효율에 도달하였다. 한편 암모니아만을 함유한 악취가스에 대한 바이오필터 처리 실험으로서, Kim 등[16]은 분뇨슬러지를 집종한 피트, rock wool, fuyolite 및 세라믹 네 가지의 바이오필터 충전물에 대한 최대 암모니아 제거율 및 임계 부하를 구하였는데 rock wool의 경우에 최대 값을 나타내었고 그 값은 각각 1200 및 $810 \text{ g-N}/\text{m}^3/\text{day}$ 이었다. Chen 등[17]은 compost와 슬러지를 충전물로 활용한 바이오필터를 운전하여 암모니아 배출가스 처리를 수행하였는데, 각각 288 및 $243 \text{ g NH}_3/\text{m}^3/\text{day}$ 의 최대 암모니아 제거율을 보고하였다.

본 연구에서는 퇴비공장 또는 공공시설에서 발생하는 악취폐가스의 대표적인 제거대상 오염원인 암모니아를 포함한 악취폐가스를 처리하기 위하여, 여러 운전 조건 하에서의 바이오필터의 암모니아 제거 특성을 조사하고 바이오필터공정의 적정운전조건을 구축하였다.

2. 실험

2-1. 바이오필터장치

아크릴을 소재로 한 바이오필터를 downflow방식으로 운전하기 위하여 바이오필터 반응기를 Fig. 1과 같이 제작하였다. 바이오필터 반응기는 담체를 바이오필터 상부관(내경=5 cm; 길이=30 cm) 및 하부관(내경=5 cm; 길이=30 cm)에 각각 22 cm 및 22 cm의 높이로 채워 넣어서 바이오필터(총 높이=60 cm)의 총 유효높이는 44 cm로 하였다. 바이오필터에는 각 port의 바이오필터 높이에서의 폐가스의 처리분석을 위한 5개의 sampling port를 설치하였다. 5개의

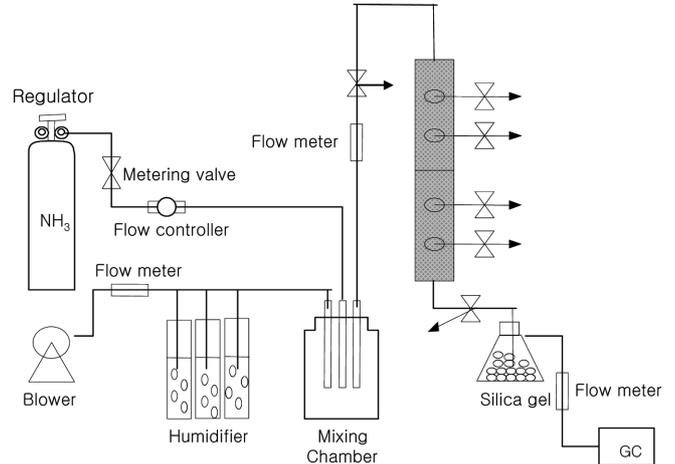


Fig. 1. Schematic diagram of biofilter to treat malodorous waste air containing ammonia.

sampling port 중에서 각각의 port(각 단)의 위치는 feed, 바이오필터의 상부관에 채워진 담체 높이에서 위로부터 14 cm(1단), 하부관에 채워진 담체 높이에서 위로부터 4 cm(2단)와 14 cm(3단)에 위치하고 5번째 port는 바이오필터에서 처리되어 나가는 바이오필터 배출구에 설정하였다. 따라서 총 유효높이에 대한 유효높이비율은 feed, 1단, 2단, 3단 및 배출구의 경우에 각각 0.0, 0.3, 0.6, 0.8 및 1.0이었다. 바이오필터 담체로서 코코넛 활성탄분말(Mesh(%), +150(1.0); BET, $1,107 \text{ m}^2/\text{g}$)을 도포한 페타이어담체[18]와 평균 지름이 0.6 mm인 compost를 동 부피로 혼합한 담체 혼합물을 사용하였다. 이와 같이 담체의 일부는 유기담체(compost)로 선정하여 미생물에 필요한 무기영양소를 자체 공급하였고 바이오필터의 윗부분에서 peristaltic pump(Masterflex)를 이용하여 바이오필터 내의 담체의 pH와 수분 유지를 위하여 buffer solution을 바이오필터 위에서 밑으로 간헐적으로 공급되게 하였다.

Blower(Young Nam Yasunnaga, 토출압력; $0.12 \text{ Kg}/\text{cm}^2$, 최대유량; $43 \text{ L}/\text{min}$)에서 공급되는 공기는 항온수조(제일과학, J-PW B2)에 의하여 약 $40\sim 50^\circ\text{C}$ 로 유지되는 humidifier 칼럼 3개를 통과하여 상대습도가 95~99%를 유지하며 이 공급공기는 mixing chamber로 투입된다. 이 mixing chamber에는 1,000 ppmv의 암모니아가스(RiGas)가 약 1,500 psia의 압력으로 유지되는 봄베에서 regulator를 거쳐서 metering 밸브(Swagelok, S series: kalrez sealing)를 통과한 후에 mass flow controller(Bronkhorst, F-201D)를 사용하여 mixing chamber에 투입될 유량을 설정하였다. Mixing chamber에서 가습된 공기와 암모니아가스를 혼합하여서 바이오필터의 운전조건에 설정된 인입농도로 맞춘 후에 바이오필터로 인입된다. 암모니아가스 봄베에서 mixing chamber까지는 1/8인치 스테인리스 스틸관으로 연결하였다. Blower에서 공기를 이송하는 관 및 mixing chamber에서 바이오필터까지의 이송관은 tygon관을 사용하여 배관하였다. 각 바

이오필터는 temperature controller가 부착된 heating band로 감아서 반응기의 온도유지(30 °C)를 하였고 각 장치의 fitting은 swagelok fitting으로 사용하였다.

2-2. 미생물 접종 및 개체수 산정

2-2-1. 미생물 고정화

암모니아의 분해미생물의 접종을 위해서 경산 수질관리소의 반송슬러지를 취수하고 미생물 부착이 용이한 코코넛 활성탄분말 (Mesh(%), +150(1.0); BET, 1107 m²/g)을 도포한 페타이어담체[18]와 compost가 동 부피로 충전된 바이오필터의 미생물담체에 반송슬러지를 접종시켰다.

2-2-2. 미생물 개체수 산정

미생물 접종 후에 담체에 고정된 미생물 개체수는 다음과 같은 방법으로 산정하였다. 페타이어담체와 compost 동량의 샘플 1 g에 멸균증류수 5 ml를 넣고 잘 섞은 후 5% paraformaldehyde solution에 48시간 고정하였다. 고정된 sample을 10배 희석하여 polycarbonate membrane filter(pore size 0.2 μm, φ25 mm)에 1 ml씩 여과한 후 건조시켰다. 건조된 filter를 slide glass에 올려놓고 DAPI(4'-6-diamidino-2-phenylindole, 0.33 mg/ml)를 10 μl를 취하고 암상자에서 1시간 염색시켰다. 염색된 filter를 멸균증류수로 씻어서 말린 뒤 Fluoro Guard Antifade Reagent 1방울씩 아래 윗면에 넣고 cover glass로 덮고 형광현미경(Axiolab, Xeiss, Germany) UV filter(G365, LP395, FT420)에서 관찰계수하였다. 모든 과정은 암실에서 행해졌다.

$$TBN(\text{total bacterial number}) = \frac{A_0 \times F_1}{F_2 \times F_3}$$

- A₀: Average cell number in field
- F₁: filter area
- F₂: field area
- F₃: filter sample volume

2-3. 암모니아 분석방법

Flame photometric detector(FPD)와 silica capillary column(30 m×0.32 mm, 4 μm thickness)을 장착한 가스크로마토그래피(Shimadzu, GC-2010AF)는 RiGas에서 구입한 암모니아(15.4 ppmv) 표준가스로 calibration을 수행하였고 injection port, 오븐 및 detector의 온도는 각각 100 °C, 50~230 °C와 225 °C를 유지하였다. 공기, 헬륨 및 수소의 유량은 82, 4 및 85 ml/min을 유지하였다. 암모니아를 함유한 악취폐가스가 들어가는 바이오필터의 인입구, 처리되어 나오는 배출구 및 각 sampling port에 용량이 1 L인 테드라 백을 연결시켜서 암모니아용 검지관(Gastec, 3L-3La 및 3M)을 사용하여 악취폐가스 내의 암모니아 농도를 측정하였다.

2-4. 미생물담체의 pH, 밀도, 내부공극율 및 moisture 양 측정
바이오필터 내부에 장착된 미생물담체의 pH 및 moisture 양 조

질은 원활한 바이오필터의 운전을 위하여 반드시 필요한 요소이다. 담체의 적정 pH 유지를 위하여 미생물 배양액과 같은 buffer solution을 미량으로(2 mL/hr) peristaltic pump(Masflex)로 간헐적으로 공급하였다. 담체의 pH는 각각의 port에서 sample을 10 g씩 채취하여 비이커에 담고 3차 증류수 50 ml로 교반 후 상등액 부분을 pH meter (Istek 720P)로 측정하였다. 담체의 moisture 양의 측정은 3단 port에서 sample을 20 g씩 채취하여 비이커에 담고 dry oven(Sam Heung vacuum dry oven)안에서 24시간 동안 105 °C에서 건조시킨 후 무게를 재어 건조후의 담체의 무게와 건조전의 담체의 무게 차로 함유율을 측정하였다.

한편 미생물담체의 밀도는 메스실린더 50 ml 부피의 compost를 50 ml의 비이커에서 무게를 재어 밀도를 측정하였고, 페타이어담체의 경우는 100 ml 메스실린더에서 겉보기밀도를 측정하고 다음으로 진공펌프를 이용하여 페타이어담체의 내부공극을 물로 채운 후에 겉보기밀도를 측정하였다. 두 겉보기밀도의 차이로부터 페타이어담체의 내부공극율을 구하였다.

2-5. 바이오필터 실험

여러 가지 단계에서 암모니아의 inlet load량과 농도를 변화시켜서 시간에 따른 바이오필터에서의 암모니아 처리추이를 관찰하기 위하여 실험을 수행하였다. 암모니아를 함유한 폐가스의 처리를 위하여 바이오필터를 30일(2회/1일의 회수로 총 60 times 실험) 동안 약 30 °C에서 6단계의 바이오필터 작업조건 하에서 Table 1과 같은 조건으로 운전하였다. 바이오필터 실험은 feed와 바이오필터의 exit를 포함한 5개의 sampling port에서 수행되었다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 바이오필터공정에서의 악취폐가스처리 실험결과

바이오필터의 각 단계별 feed inlet, 처리가스의 exit 및 각 sampling port에서 측정된 암모니아의 농도 추이는 Fig. 2와 같다. 바이오필터 가동 후 5일(10 times) 동안(I 단계)은 약 1,000 ppm의 암모니아가스를 1,500 psi의 압력으로 유지한 봄베에서 mass flow controller를 이용하여 0.05 L/min의 유량으로 암모니아가스를 mixed chamber에 주입하고 feed 유량을 0.5 L/min의 유량으로 바이오필터에 공급하였다(이하 암모니아 주입량은 봄베에서 주입되는 약 1,000 ppm의 암모니아가스의 주입량이다). 따라서 제조된 폐가스의 이론농도는 이상기체로 가정할 때에 약 100 ppm이었다. I 단계에서는 feed를 제외한 바이오필터의 sampling port 각 단에서 암모니아 처리효율이 거의 100%이었다. 바이오필터 가동 후 11 times부터 20 times (II 단계)까지는 같은 폐가스의 암모니아농도를 유지하되 feed 공급량과 암모니아 주입량을 각각 1 L/min 및 0.1 L/min으로 2배로 증가시켜서 inlet load를 2배로 크게 하여 유지하였다. II 단계에서는 sampling port 1단에서 II 단계 초기에 파과점을 통과하였고 이하 단

Table 1. Operating condition for each stage of biofilter-run

Stage (times)	I (1-10)	II (11-20)	III (21-30)	IV (31-40)	V (41-50)	VI (51-60)
Q (L/min)	0.5	1	1	2	2	3
C _{go} (ppmv)	100	100	200	200	400	533
τ (min)	1.72	0.86	0.86	0.43	0.43	0.29
Inlet load (g-N/m ³ /h)	2.18	4.36	8.72	17.44	34.88	70

*Q: Feed flow rate, C_{go}: Feed concentration, τ: Retention time

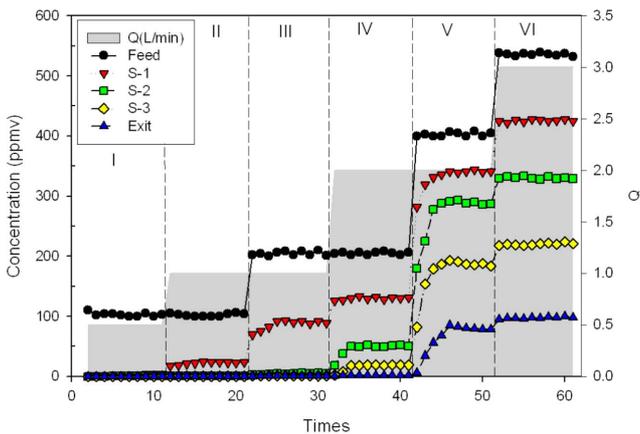


Fig. 2. Various ammonia concentrations of biofilter at each sampling port (feed, S-1, S-2, S-3 and exit) versus experimental times (Q, feed flow rate).

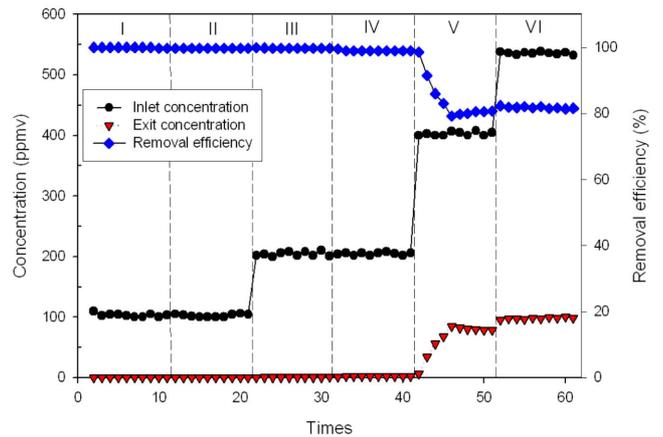


Fig. 3. Removal efficiency, inlet and exit concentrations of ammonia versus times.

에서는 암모니아 처리효율 100%를 거의 유지하였다. 바이오필터 가동 후 21 times부터 30 times(III 단계)까지는 feed 공급량은 1 L/min로 그대로 유지하고 암모니아 주입량은 0.2 L/min으로 2배로 증가하였다. 따라서 암모니아농도는 2배로 증가하여 암모니아가 함유된 폐가스를 이상기체로 가정할 때의 이론농도는 200 ppm이 되고 inlet load도 마찬가지로 2배 증가하였다. Sampling port 1단에서 III 단계 초기에 약 100 ppm으로 비등하였고 이하 단계에서는 암모니아가 2단계와 마찬가지로 거의 모두 처리되었다. 바이오필터 운전 31 times부터 40 times(IV 단계)까지 암모니아 주입량을 0.4 L/min으로 2배로 증가하고 feed 공급량도 2 L/min으로 2배로 증가시켜서 암모니아가 함유된 폐가스를 이상기체로 가정할 때의 이론농도는 같은 200 ppm으로 유지하였고 inlet load는 2배로 증가시켰다. 그에 따라 sampling port 1단에서 IV 단계 초기에 또 약 140 ppm으로 비등하였고 배출구를 제외한 이하 단계에서도 과과가 되었음이 관찰되었다. 다시 바이오필터 운전 41 times부터 50 times(V 단계)까지 암모니아 주입량은 0.8 L/min으로 증가시키고 feed 공급량은 그대로 유지하여서 이론농도를 400 ppm으로 높였고 inlet load도 2배로 증가하였다. 이에 따라서 모든 sampling port에서 시간에 따른 암모니아농도의 과과곡선이 도출되었고 암모니아 흡착으로 인하여 배출구에서의 과과가 다른 sampling port보다 더 지연되었고 과과된 후의 암모니아농도는 배출구에 가까운 sampling port일수록 더욱 낮았다. 바이오필터 가동일 51 times부터 60 times(VI 단계)는 암모니아 주입량을 1.6 L/min으로 증가시키고 feed 공급량을 5단계보다 크게 하여 3 L/min으로 하여서 이론농도를 533 ppm으로 증가시켰고 inlet load는 2배로 증가시켰다. 그 결과로서 각 sampling port에서 암모니아 농도가 다시 비등하였고 그 크기는 sampling port 1단에서 가장 컸으며 배출구에서 가장 작았다.

바이오필터의 운전에 있어서 각 단계별로 시간이 지나갈 때에 암모니아 제거율(removal efficiency)의 추이와 제거용량(elimination capacity) 및 부하(inlet load)의 거동을 Fig. 3 및 4가 각각 보여주고 있다. 바이오필터를 가동하여 I부터 IV 단계까지는 암모니아 제거율이 거의 100%로서, 암모니아부하가 17 g-N/m³/h에 이르기까지 거의 모든 암모니아가 제거되었다. 그러나 바이오필터 운전 V 단계에서 암모니아부하를 약 35 g-N/m³/h로 증가시켰을 때에 암모니아 제거율은 약 80% 정도로 급락하여 암모니아 제거용량이 약 28 g-

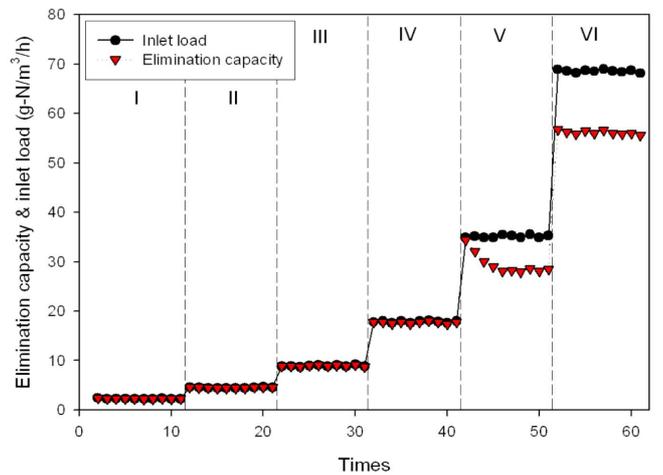


Fig. 4. Elimination capacity(g-N/m³/h) and inlet load of ammonia versus times.

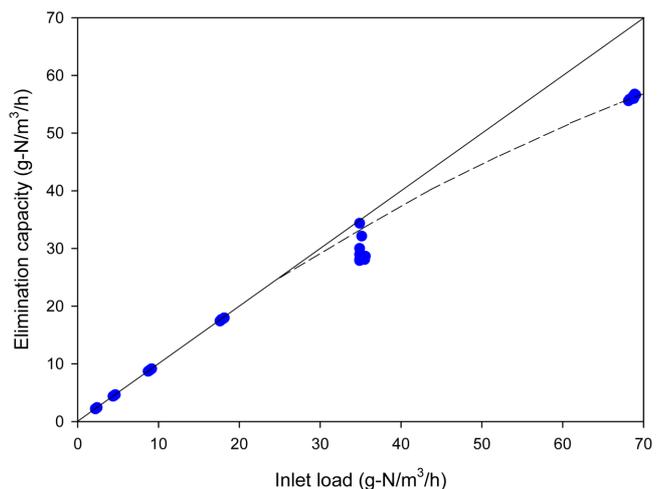


Fig. 5. Elimination capacity(g-N/m³/h) versus inlet load of ammonia at the exit of biofilter.

N/m³/h이었고, 바이오필터 운전 VI 단계에서 암모니아부하를 약 70 g-N/m³/h로 두 배로 증가시켰을 때에도 암모니아제거율은 80%를 유지하여 최대암모니아 제거용량이 약 55 g-N/m³/h에 달하였다. 또한

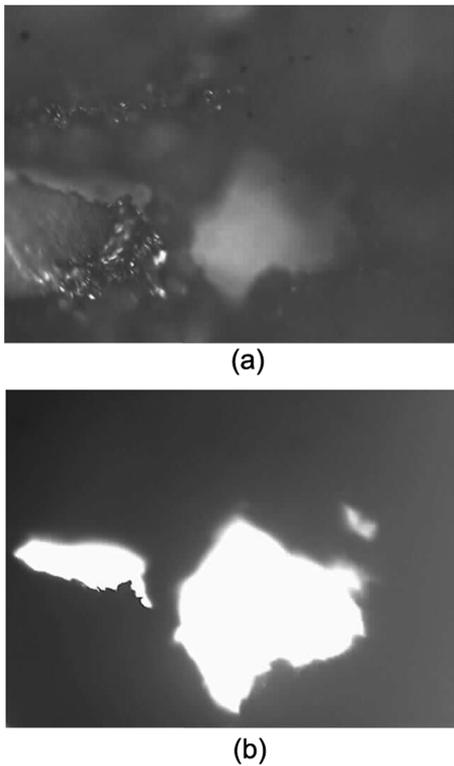


Fig. 6. Inner pore of the rubber media made of granular waste-tire and EVA [reflected light observation(a) and transmitted light observation(b)] by light microscopy($\times 30$)[18].

암모니아 질소의 임계부하는 20과 30 $\text{g-N/m}^3/\text{h}$ 사이에 존재하였다. 이와 같이 본 연구의 최대암모니아 제거용량은 Kim 등[16]에 의하여 수행된 최대 암모니아 제거용량인 1,200 $\text{g-N/m}^3/\text{day}$ (i.e., 50 $\text{g-N/m}^3/\text{h}$)보다 다소 우월하였으나, 본 연구의 암모니아 질소의 임계부하는 Kim 등[16]에 의하여 수행된 암모니아 질소의 임계부하인 810 $\text{g-N/m}^3/\text{day}$ (i.e., 33.75 $\text{g-N/m}^3/\text{h}$)에 미치지 못하였다. 본 연구의 최대 암모니아 제거용량이 Kim 등[16]보다 우월한 이유는 Kim 등[16]에 의하여 사용된 미생물담체보다, 본 연구에서 사용한 미생물담체인 페타이어담체[18]의 코코넛 활성탄분말로 도포한 표면 및 Fig. 6과 같이 발달된 내부공극이 각각 질산화 및 탈질 미생물이 고정화되기 더욱 쉬운 환경을 제공하기 때문이라고 사료된다.

3-2. 바이오필터 담체 특성

3-2-1. 미생물담체의 겔보기 밀도 및 페타이어담체 내부 공극율

Compost의 겔보기밀도는 0.37 g/ml 이었고 페타이어담체의 겔보기 밀도는 0.31 g/ml 이었다. 한편 페타이어담체의 내부공극을 진공 펌프를 이용하여 물로 채운 후에 측정된 겔보기밀도는 0.55 g/ml 이었다. 따라서 페타이어담체의 내부공극율은 24%이었다.

3-2-2. PH 및 함수율 분석결과

바이오필터 운전 중에 바이오필터 내부의 미생물 담체(페타이어담체+compost)의 pH는 pH 7.0과 7.5 사이에서 변화됨을 보였으며, 페타이어 및 compost 담체의 함수율은 각각 55 및 60%를 나타내었다.

3-2-3. 미생물 개체수 산정결과

바이오필터 운전 후에 바이오필터의 sampling port 1단, 2단 및 3

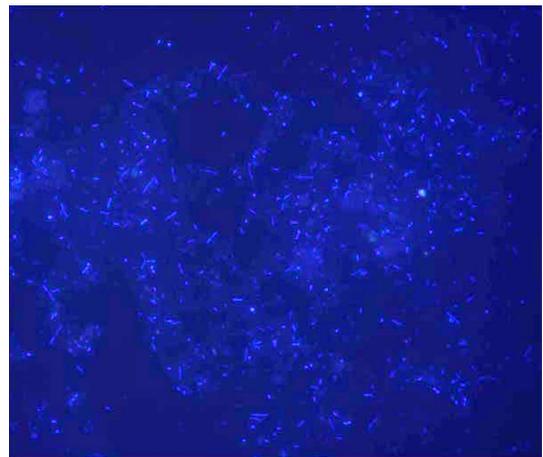


Fig. 7. Microbes from 1st sampling port of biofilter, observed by fluorescence microscope (16×100) (Axiolab, Zeiss, Germany).

단 내부에서 채취한 미생물 담체 1 g 을 DAPI 염색시켜 Fig. 7과 같이 형광현미경으로 관찰계수한 미생물 개체 수는 각각 $2.80\times 10^9/\text{g}$, $2.00\times 10^9/\text{g}$ 및 $1.51\times 10^9/\text{g}$ 이었다.

4. 결 론

당 연구에서는 암모니아를 함유한 폐가스의 처리를 위하여 동 부피의 페타이어담체와 compost로 충전하고 반송슬러지를 고정된 바이오필터를 30일(2회/1일의 회수로 총 60 times 실험)동안 약 30 °C의 온도조건 하에서 암모니아부하를 증가시키면서 운전하였다. 바이오필터의 가동 후 5일(10 times) 동안은 이론적인 암모니아의 inlet load가 각 단계 중에서 가장 작은 2.18 $\text{g/m}^3/\text{h}$ 이어서 각 단계에서의 파과곡선들의 시간변화에 따른 거동은 미미하였고 II 단계(11 times에서 20 times까지)에서부터 암모니아 주입량 및 feed 공급량이 각각 2배 증가하여 각 단계에서의 파과곡선들의 시간변화에 따른 거동이 관찰되기 시작하였다. II 단계에서 암모니아 농도의 변화는 없으나 feed 공급량이 증가하여 상대적으로 바이오필터에서의 체류시간이 짧아졌음에도 불구하고 제거효율이 I 단계와 같이 거의 100%를 유지하였다. III 단계(21 times부터 30 times까지)에서는 II 단계와 같은 체류시간으로 하고 암모니아 농도와 암모니아부하를 2 배로 증가시켜서 바이오필터를 운전하였다. IV 단계는 암모니아 농도는 그대로 유지하고 체류시간을 0.5 배로 하여 암모니아부하를 2 배로 증가시켰다. 그 결과 제거효율은 전 단계와 비슷한 100% 정도를 보였고 각 단계에서의 파과곡선들의 시간변화에 따른 거동이 두드러지게 관찰되었다. 한편 V 단계에서는 IV 단계와 같은 체류시간을 적용하였으나 100% 증가한 암모니아 농도를 운전조건으로 하여 결과적으로 inlet load를 IV 단계보다 100% 증가시켰고 제거효율은 80%까지 감소하였다. 이 단계에서 각 단계에서의 파과곡선들의 시간변화에 따른 거동이 가장 두드러지게 관찰되어서 각 파과곡선들의 거동에서 흡착에 의하여 포화되는 순서는 제 1단, 2단, 3단 및 배출구의 차례이며, 각 단계에서 흡착이 포화되고 통과하는 폐가스의 농도는 먼저 포화될수록 커졌다. VI 단계(51times부터 60times 사이)에서는 V 단계보다 체류시간을 33% 만큼 감소하고 암모니아 농도를 33% 만큼 증가시켜서 결과적으로 암모니아 부하를 V 단계보다 2배 증가시켰다. 그 결과 암모니아 제거효율은 V 단계와 비슷한

80%정도를 유지하였다. 바이오필터의 운전에서 I부터 IV 단계까지는 암모니아 제거율이 거의 100%로서, 암모니아부하가 17 g-N/m³/h에 이르기까지 거의 모든 암모니아가 제거되었다. 그러나 바이오필터 운전 V 단계에서 암모니아부하를 약 35 g-N/m³/h로 증가시켰을 때에 암모니아제거율은 약 80% 정도로 급락하여 암모니아 제거용량이 약 28 g-N/m³/h이었고, 바이오필터 운전 VI 단계에서 암모니아부하를 약 70 g-N/m³/h로 두 배로 증가시켰을 때에도 암모니아제거율은 80%를 유지하여 최대 암모니아 제거용량이 약 55 g-N/m³/h에 달하였다. 본 연구에서 사용한 미생물담체인 페타이어담체[18]의 코코넛 활성탄분말로 도포한 표면 및 발달된 내부공극이 Kim 등[16]에 의하여 사용된 미생물담체보다 각각 질산화 및 탈질 미생물이 고정화되기 더욱 쉬운 환경을 제공하였기 때문에, 본 연구의 최대 암모니아 제거용량이 Kim 등[16]의 최대 암모니아 제거용량인 1200 g-N/m³/day(i.e., 50 g-N/m³/h)보다 컸다고 사료된다.

감 사

이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었습니다(KRF-2006-521-D00147).

참고문헌

- Hirai, M., Ohtake, M. and Shoda, M., "Removal Kinetics of Hydrogen Sulfide, Methanethiol and Dimethyl Sulfide by Peat Biofilters," *J. Ferment. Bioeng.*, **70**, 334-339(1990).
- Chris, E., Chris, Q., Peter, B., Jay, W. and Dirk, A., "Odor and Air Emissions Control Using Biotechnology for Both Collection and Wastewater Treatment Systems," *Chem. Eng. J.*, **113**, 93-104 (2005).
- Islander, R. I., Devinsky, J. S., Mansfield, F., Postyn, A. and Shin, H., "Microbial Ecology of Crown Corrosions in Sewers," *J. Environ. Eng.*, **117**, 751-770(1990).
- Oyazun, P., Arancibia, F., Canales, C. and Aroca, G. E., "Biofiltration of High Concentration of Hydrogen Sulfide Using *Thiobacillus thio-parus*," *Process Biochem.*, **39**, 165-170(2003).
- Cho, K.-S., Ryu, H. W. and Lee, N. Y., "Biological Deodorization of Hydrogen Sulfide Using Porous Lava as a Carrier of *Thiobacillus Thiooxidans*," *J. Biosci. Bioeng.*, **90**, 25-31(2000).
- Wani, A. H., Branion, M. R. and Lau, A. K., "Effects of Periods of Starvation and Fluctuating Hydrogen Sulfide Concentration on Biofilter Dynamics and Performance," *J. Hazard. Mater.*, **60**, 287-303(1998).
- Chung, Y.-C., Huang, C. and Tseng, C.-P., "Biodegradation of Hydrogen Sulfide by a Laboratory-scale Immobilized *Pseudomonas putida* CH11 Biofilter," *Biotechnol. Prog.*, **12**, 773-778(1996a).
- Chung, Y.-C., Huang, C. and Tseng, C.-P., "Operation Optimization of *Thiobacillus thio-parus* CH11 in a Biofilter for Hydrogen Sulfide Removal," *J. Biotechnol.*, **52**, 31-38(1996b).
- Chung, Y.-C., Huang, C. and Tseng, C.-P., "Biological Elimination of H₂S and NH₃ from Wastegases by Biofilter Packed with Immobilized Heterotrophic Bacteria," *Chemosphere*, **43**, 1043-1050 (2001).
- Cox, H. H. J. and Deshusses, M. A., "Co-treatment of H₂S and Toluene in a Biotrickling Filter," *Chem. Eng. J.*, **87**, 101-110(2002).
- Shareefdeen, Z., Herner, B., Webb, D., Verhaeghe, L. and Wilson, S., "An Odor Predictive Model for Rendering Applications," *Chem. Eng. J.*, **113**, 215-220(2005).
- Cox, H. H. J., "Biomass Control in Waste Air Biotrickling Filters by Protozoan Predation," *Biotechnol. Bioeng.*, **62**, 216-224 (1999).
- Yang, Y. and Allen, E. R., "Biofiltration Control of Hydrogen Sulfide 1. Design and Operational Parameters," *J. Air Waste Manage. Assoc.*, **44**, 863-868(1994).
- Kazutaka, K., Takashi, O., Mitihiro, Y., Akane, K., Takako, N., Sigenori, M. and Tomoko, N., "Emissions of Malodorous Compounds and Greenhouse Gases from Composting Swine Feces," *Bioresour. Technol.*, **56**, 265-271(1996).
- Malhault, L., Gracian, C., Roux, J.-C., Fanlo, J.-L. and Cloirec, P. L., "Biological Treatment Process of Air Loaded with An Ammonia and Hydrogen Sulfide Mixture," *Chemosphere*, **50**, 145-153(2003).
- Kim, N.-J., Hirai, M. and Shoda, M., "Comparison of Organic and Inorganic Packing Materials in the Removal of Ammonia Gas in Biofilters," *J. Hazard. Mater.*, **B72**, 77-90(2000).
- Chen, Y.-X., Yin, J. and Wang, K.-X., "Long-term Operation of Biofilters for Biological Removal of Ammonia," *Chemosphere*, **58**, 1023-1030(2005).
- Lim, K.-H., Jung, Y.-J., Park, L. S. and Min, K.-S., "Preparation and Characteristics of Media from Waste Tire Powder for Wastewater Treatment," *HWAHAK KONGHAK*, **39**(5), 600-606(2001).