

***Enterobacter sp.* YES-1153과 *Bacillus cereus* YCa-1214를 고정한
바이오필터를 활용한 악취가스 처리**

임광희*, 이은주¹, 박중곤¹

¹대구대학교 화학공학과, 경북대학교 화학공학과
(khlm@daegu.ac.kr*)

**Treatment of waste-air with a biofilter with the media fixed
with hydrogen sulfide oxidizing strain *Enterobacter sp.* YES-1153 and
ammonia oxidizing strain *Bacillus cereus* YCa-1214**

Kwang-Hee Lim*, Eun Ju Lee¹, Jung-Kon Park¹

Department of Chemical Engineering of Daegu University

¹Department of Chemical Engineering of Kyungpook University
(khlm@daegu.ac.kr*)

1. 서론

황화수소는 악취강도지수가 낮아서 대기 중에서 분산되어도 희석에 의한 악취강도 감소율이 크지 않아 최저감지농도도 우리나라의 경우 0.0005ppm으로서 암모니아의 경우의 0.1ppm인 최저감지농도 보다 훨씬 낮아서 이에 대한 효율적인 제거를 위한 바이오필터 기술개발이 필요하다. 그러나 암모니아와 동시처리 시에는 암모니아질소의 질소가스로의 전환은 거의 중성 pH에서 수행되므로 낮은 pH를 선호하는 황화수소를 제거하는 *Thiobacillus*균과 적정 pH가 달라서 황화수소보다 암모니아 제거효율이 60-85%로 매우 저하되었다.[1, 2] 선행된 연구에서는 lab scale의 운전조건하에서 황화수소를 포함한 폐가스 및 암모니아를 포함한 폐가스를 각각[3, 4] 또는 동시처리[5] 하였다. 또한 임 등[6, 7]은 황화수소 및 암모니아 혼합가스를 semi-pilot scale의 운전조건으로 효율적으로 동시처리하기 위한 바이오필터실험으로서 전반 및 중반부에는 계분퇴비공장 등의 배기가스 특성을 고려하여 비교적 낮은 농도의 황화수소 및 비교적 높은 농도의 암모니아를 동시에 포함하고, 후반부에는 둘 다 비교적 높은 농도의 암모니아와 황화수소를 동시에 포함한 배기가스에 대한 *Thiobacillus sp.* IW 및 반송슬러지를 고정된 바이오필터 및 하이브리드시스템의 동적 특성을 각각 관찰하였다. 이번 연구는 같은 운전조건 하에서 황화수소 산화균주 *Enterobacter sp.* YES-1153과 암모니아 산화균주 *Bacillus cereus* YCa-1214를 고정된 바이오필터의 암모니아와 황화수소를 동시에 포함한 배기가스에 대한 동적 특성을 관찰하고 임 등[6]의 연구결과와 비교하였다.

2. 실험

2.1 바이오필터 시스템의 구성

여러가지 단계에서 황화수소와 암모니아의 inlet load량과 농도를 변화시켜서 황화수소와 암모니아의 시간에 따른 바이오필터에서의 처리추이를 관찰하기 위하여 바이오필터 실험을

수행하였다. 실험의 수행을 위하여 아크릴을 소재로 한 바이오필터를 downflow방식으로 운전하기 위하여 각 단의 내경 및 높이가 각각 9.5cm 및 15cm인, 5단의 semi-pilot scale의 반응기를 제작하였다. 당 바이오필터 실험은 광촉매와 바이오필터 hybrid 시스템에서 암모니아의 처리효율의 비교를 위한 control로서 1, 3 및 5단에 3개의 sampling port를 각각 설치하여, 각 port의 바이오필터 높이에서의 폐가스의 처리분석을 하였다. 바이오필터는 담체를 바이오필터 각 단에 각각의 7.5cm의 높이로 채워 넣어서 바이오필터의 총 유효높이는 37.5cm로 하였다. 바이오필터의 미생물담체로서는 개발한 페타이어담체, 평균지름(Dp)이 3mm인 입상 활성탄(GAC)과 평균지름이 0.6mm인 compost의 각각을 같은 부피로 혼합한 담체를 사용하였다. 황화수소 및 암모니아가스 발생장치를 포함한 바이오필터 시스템에 대한 공정도를 그림 1과 같이 각각 나타내었다.

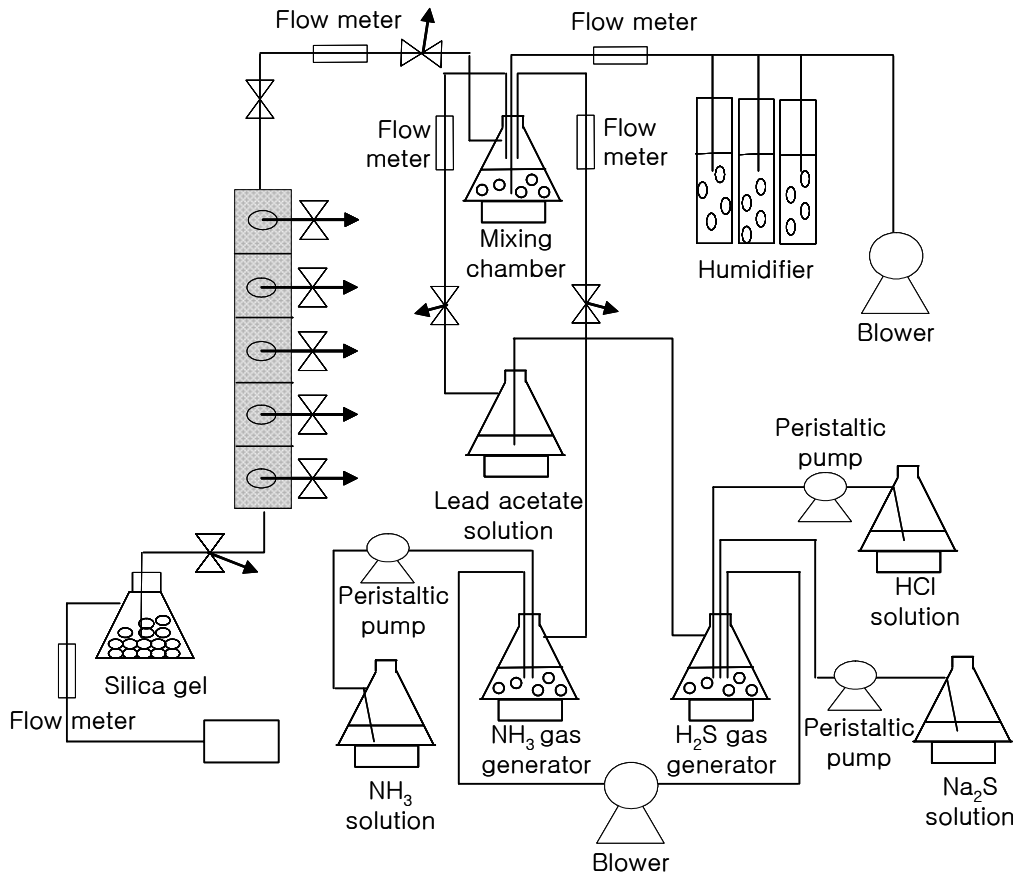


Fig. 1. Schematic diagram of semi-pilot scaled biofilter-system

2.2 미생물 접종

영남대학교의 임동준교수로 부터 분양받은 *Enterobacter sp.* YES-1153과 *Bacillus cereus* YCa-1214를 바이오필터의 담체에 접종하기 위하여 각각 배양하였다. 적정조성의 medium을 조제한 후에 clean bench 안에서 petri-dish 안에 있는 미생물을 백금으로 긁어서 조제한 medium에 각각 떨어뜨려서 shaking incubator에 넣은 후에 30°C에서 150rpm의 조건으로 각각 진탕 배양하였다. 이때에 optical density를 spectrometer를 사용하여 660nm의 파장에서 3시간마다 측정하여 흡광도가 0.8 이상일 때에 바이오필터의 담체에 접종하였다.

2.3 VOC 분석방법

Flame photometric detector(FPD)와 silica capillary column(30mx0.32mm, 4 μ m thickness)을 장착한 가스크로마토그래피(Shimadzu, GC-2010AF)를 RiGas에서 주문하여 구입한 황화수소(1ppmv) 및 암모니아(15.4ppmv)의 표준가스로 calibration을 수행하였고 injection port, 오븐 및 detector의 온도는 각각 100 $^{\circ}$ C, 50-230 $^{\circ}$ C와 225 $^{\circ}$ C를 유지하였다. 공기, 헬륨 및 수소의 유량은 82, 4 및 85ml/min을 유지하였다. 황화수소 및 암모니아를 함유한 폐가스가 들어가는 바이오필터의 인입구, 처리되어 나오는 배출구 및 각 sampling port에서 용량이 1L인 테트라 백(1L)을 연결시켜서 황화수소용 검지관(Gastec, 4LK-4LT 및 4L-4LL) 및 암모니아용 검지관(Gastec, 3L-3La 및 3M)을 사용하여 각각의 가스내의 황화수소 및 암모니아의 농도를 측정하였다.

2.4. 바이오필터의 실험 및 운전

황화수소 및 암모니아를 함유한 폐가스의 처리를 위하여 바이오필터를 50일(2회/1일의 회수로 총 100times 실험)동안 30 $^{\circ}$ C의 온도조건 하에서 표1과 같은 semi-pilot scale의 운전조건으로 운전하였다.

Table 1. Experimental schedule for feed conditions of hydrogen sulfide and ammonia

Description	step1 (10days)	step2 (10days)	step3 (10days)	step4 (5days)	step5 (5days)	step6 (5days)	step7 (5days)
Q	10L/min (0.6m ³ /hr)	20L/min (1.2m ³ /hr)	20L/min (1.2m ³ /hr)	10L/min (0.6m ³ /hr)	10L/min (0.6m ³ /hr)	10L/min (0.6m ³ /hr)	10L/min (0.6m ³ /hr)
C _{go} (H ₂ S)	25ppm	12ppm	12ppm	25ppm	50ppm	100ppm	200ppm
C _{go} (NH ₃)	240ppm	120ppm	180ppm	160ppm	160ppm	240ppm	240ppm

*Q: air flow rate
C_g: feed concentration

3. 결과 및 고찰

바이오필터에서 황화수소 및 암모니아를 동시에 함유한 폐가스의 처리를 위하여 바이오필터를 표 1과 같은 semi-pilot scale 운전조건 아래에서 바이오필터의 feed inlet, 처리가스의 exit 및 각 sampling port에서 측정한 황화수소와 암모니아의 removal efficiency 추이는 각각 그림 2와 3과 같다. *Thiobacillus sp.* IW 및 반송슬러지를 고정된 황화수소 및 암모니아를 동시 처리한 선행연구(5)에서 황화수소의 removal efficiency는 황화수소만을 포함한 폐가스의 처리(3) 경우와 비슷한 93%이었다. 그러나 암모니아에 대한 removal efficiency는 거의 100%를 유지하다가 암모니아의 inlet load가 약 13g/m³/h를 초과할 때부터 떨어지기 시작하여 inlet load가 26g/m³/h로 증가할 때 까지 약 80% 수준을 유지하였으나 암모니아만을 포함한 폐가스의 처리 경우(4)보다 훨씬 감소하여 암모니아의 inlet load가 44g/m³/h로 증가할 때에는 약 53%로 감소하였다. 한편 동 미생물을 활용한 semi-pilot scale 운전조건에서는 바이오필터의 황화수소의 removal efficiency는 약 80%이었고 암모니아의 removal efficiency는 약 50% 정도이었다.(6) Step2 및 3에서 암모니아농도가 증가할 때 황화수소에 대한 removal efficiency는 변화가 거의 없이 100% 수준을 유지하였고

황화수소의 inlet load가 $65-70\text{g/m}^3/\text{h}$ 일 때에 removal efficiency는 약 95%를 보였다. 한편 step4 및 5에서 황화수소농도가 증가할 때 암모니아에 대한 removal efficiency는 60%에서 55%로 감소하였고 step 6 및 7에서와 같이 황화수소농도를 계속 증가시켜도 암모니아에 대한 removal efficiency는 그 이상 또는 그대로 유지되었다.

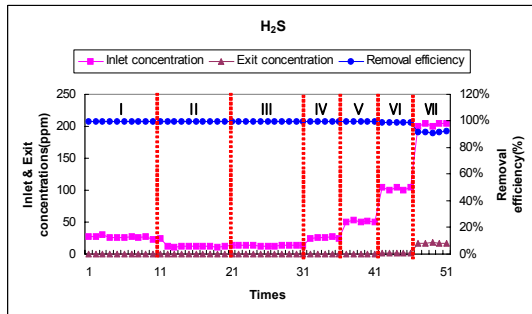


Fig. 2. Removal efficiency, inlet and exit concentrations versus times

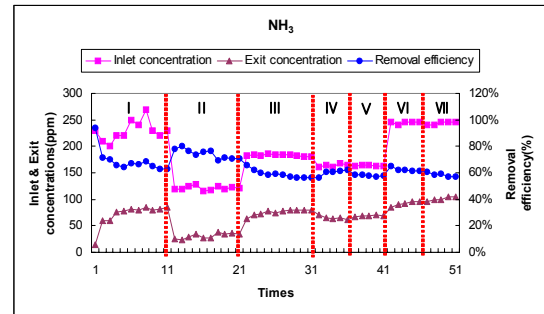


Fig. 3. Removal efficiency, inlet and exit concentrations versus times

4. 결론

Thiobacillus sp. IW 및 반송슬러지를 고정한 semi-pilot scale 운전조건에서 바이오필터의 황화수소 removal efficiency는 약 80%이었고 암모니아의 removal efficiency는 약 50% 정도 이었던 반면에 *Enterobacter sp.* YES-1153과 암모니아 산화균주 *Bacillus cereus* YCa-1214를 고정한 바이오필터 경우에는 황화수소에 대한 removal efficiency는 약 95%이었고 암모니아에 대한 removal efficiency는 약 55-60% 정도이어서 *Thiobacillus sp.* IW 및 반송슬러지를 고정한 경우보다 removal efficiency가 약 10-15% 정도 각각 제고되었다.

5. 참고문헌

1. 정운진, “퇴비 및 페타이어 Granule을 이용한 악취제거”, *대한상하수도학회지*, **13**(1), 43-53, (1999)
2. 박상진, 서경석, "목탄을 이용한 황화수소와 악취 제거에 관한 연구", *한국폐기물학회지*, **17**(3), 243-251, (2000)
3. 임광희, 박상원, 김지은, 임무현, 홍수현, 황화수소를 함유한 폐가스에 대한 바이오필터의 처리거동, *화학공학의 이론과 응용*, **10**(2), 1632-1635, (2004)
4. 임광희, 김지은, 박상원, 임무현, 홍수현, 암모니아를 함유한 폐가스에 대한 바이오필터의 처리거동, *화학공학의 이론과 응용*, **10**(2), 1636-1639, (2004)
5. 임광희, 왕지평, 바이오필터를 활용한 폐가스에 함유된 황화수소와 암모니아의 동시처리, *화학공학의 이론과 응용*, **11**(1), 567-570, (2005)
6. 임광희, 박상원, 이은주, 바이오필터시스템의 semi-pilot scale 운전조건하의 폐가스의 황화수소 및 암모니아의 동시처리, *화학공학의 이론과 응용*, **12**(1), 528-531 (2006)
7. 임광희, 박상원, 이은주, Semi-pilot scale의 UV/광촉매반응기/바이오필터 하이브리드 시스템을 활용한 악취가스에서의 황화수소 및 암모니아의 동시제거, *화학공학의 이론과 응용*, 524-527 (2006)