

***Enterobacter sp.* YES-1153과 *Bacillus cereus* YCa-1214를 고정화
바이오필터/광촉매반응기 하이브리드시스템에서의 황화수소 및 암모니아의 동시처리**

임광희*, 이은주¹, 이정훈, 정진규, 유동재
대구대학교 화학공학과, ¹경북대학교 화학공학과
(khlim@daegu.ac.kr*)

**Simultaneous treatment of hydrogen sulfide and ammonia contained in waste-air with a
hybrid system composed of photo-catalytic reactor and 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, Jeong Hun Lee, Jin Kyu Jung, Dong Jae You
Department of Chemical Engineering of Daegu University
¹Department of Chemical Engineering of Kyungpook University

1. 서론

Lim et al.[1]은 UV/광촉매 반응기와 바이오필터로 이루어진 hybrid시스템의 비정상상태에서 에탄올과 톨루엔을 함유한 폐가스를 처리하는 거동을 관찰하였는데, 톨루엔과 에탄올에 대한 최대 elimination capacity 증가분에 대한 UV/광촉매반응기의 직접적인 공헌도는 각각 17.5%와 21.5%이었고 간접적인 공헌도(hybrid시스템의 synergy효과)는 각각 82.5%와 78.5%이었다고 보고하였다. 따라서 UV/광촉매산화/바이오필터 hybrid시스템 공정의 synergy효과에 의한 톨루엔 및 에탄올에 대한 elimination capacity 증가분은 UV/광촉매반응기의 직접적인 공헌도의 각각 약 400%에 달하였다. 임 등[2, 3, 4]은 선행된 연구에서 lab scale의 운전조건하에서 황화수소를 포함한 폐가스 및 암모니아를 포함한 폐가스를 각각[2, 3] 또는 동시처리[4] 하였다. 임 등[5,6]은 황화수소 및 암모니아 혼합가스를 semi-pilot scale의 운전조건으로 효율적으로 동시처리하기 위한 바이오필터실험으로서 전반 및 증반부에는 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 고정화 바이오필터 및 하이브리드시스템의 동적 특성을 각각 관찰하였다. 또한 임 등[7]은 같은 운전조건 하에서 황화수소 산화균주 *Enterobacter sp.* YES-1153과 암모니아 산화균주 *Bacillus cereus* YCa-1214를 고정화 바이오필터의 암모니아와 황화수소를 동시에 포함한 배기가스에 대한 동적 특성을 관찰하고 임 등[5]의 연구결과와 비교하였다. 이번 연구에서는 임 등[7]의 연구결과를 control로 하여 같은 semi-pilot scale의 운전조건에서 UV/광촉매 반응기와 *Enterobacter sp.* YES-1153과 암모니아 산화균주 *Bacillus cereus* YCa-1214를 고정화 바이오필터로 이루어진 hybrid시스템의 비정상상태에서 황화수소와 암모니아의 동시처리 거동을 관찰하였다.

2. 실험

2.1 바이오필터 시스템의 구성

여러가지 단계에서 황화수소와 암모니아의 inlet load량과 농도를 변화시켜서 황화수소와 암모니아의 시간에 따른 hybrid시스템에서의 처리추이를 관찰하기 위하여 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 바이오필터 반응기를 제작하였다. 한편 광촉매반응기는 pyrex 재질로 내경, 외경 및 높이가 각각 8cm, 4cm 및 47cm인 환형으로 내부가 TiO_2 로 코팅되었고 마찬가지로 코팅된 glass bead로 내부를 충전하였다. 황화수소 및 암모니아 가스 발생장치를 포함한 hybrid시스템에 대한 공정도를 그림 1과 같이 각각 나타내었다.

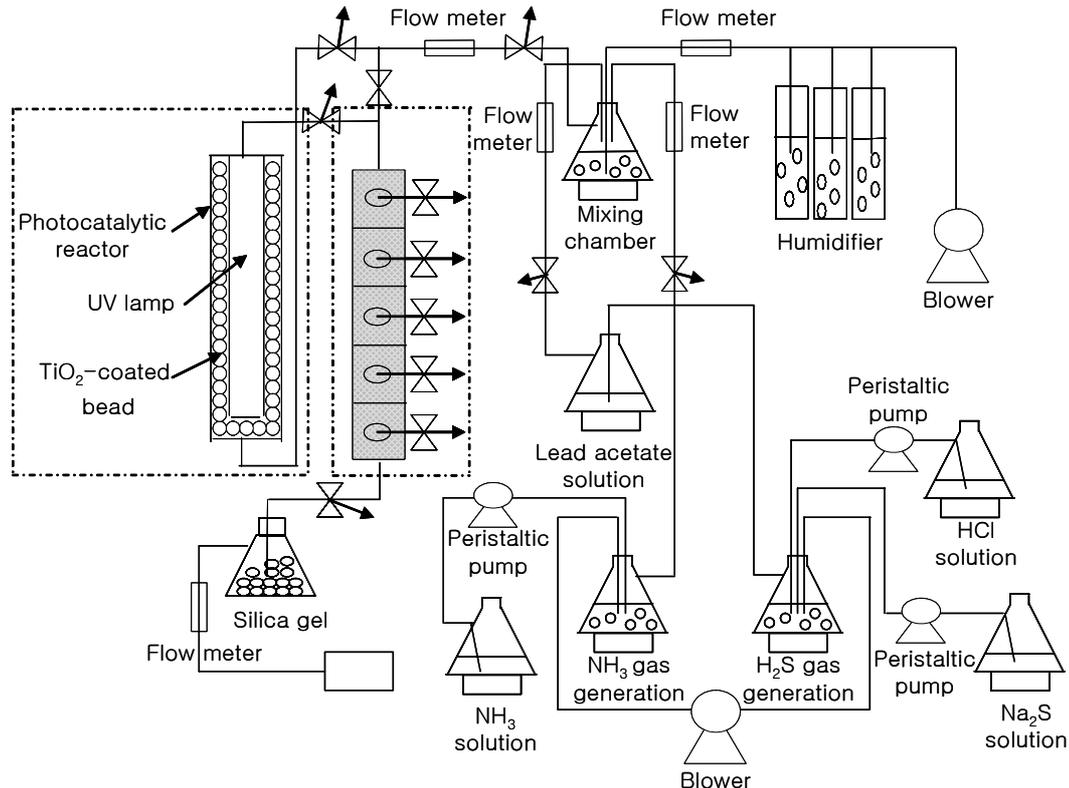


Fig. 1. Schematic diagram of semi-pilot scaled hybrid system composed of photo-catalytic reactor and biofilter

2.2 미생물 접종

영남대학교의 임동준교수로부터 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℃에서 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, 4μm thickness)을 장착한 가스크로마토그래피(Shimadzu, GC-2010AF)를 RiGas에서 주문하여 구입한 황화수소

(1ppmv) 및 암모니아(15.4ppmv)의 표준가스로 calibration을 수행하였고 injection port, 오픈 및 detector의 온도는 각각 100℃, 50-230℃와 225℃를 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 테드라 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 hybrid시스템을 50일(2회/1일의 회수로 총 100times 실험)동안 30℃의 온도조건 하에서 표1과 같은 semi-pilot scale의 운전 조건으로 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

Hybrid시스템을 표 1과 같은 semi-pilot scale 운전조건 아래에서 hybrid시스템의 feed inlet, 처리가스의 exit 및 각 sampling port에서 측정한 황화수소와 암모니아의 removal efficiency 추이는 각각 그림 2와 3과 같다.

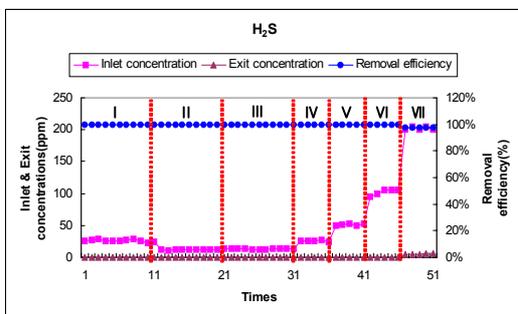


Fig. 2. Removal efficiency, inlet and exit concentrations versus times

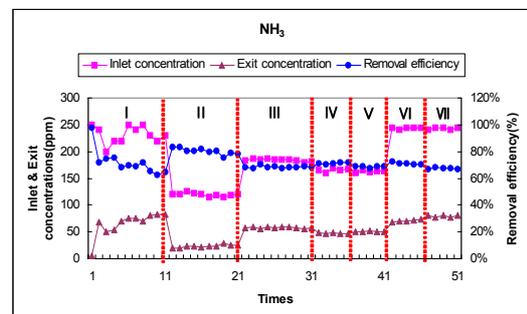


Fig. 3. Removal efficiency, inlet and exit concentrations versus times

Semi-pilot scale 운전조건에서 *Thiobacillus sp.* IW 및 반송슬러지를 고정한 바이오필터의 황화수소의 removal efficiency는 약 80%이었고 암모니아의 removal efficiency는 약 50% 정도이었다.[5] 또한 같은 운전조건에서 UV/광촉매반응기를 前공정으로 추가한 hybrid시스템의 황화수소에 대한 removal efficiency는 83%로서 바이오필터의 경우보다 약간 증가하였고, 암모니아에 대한 removal efficiency는 65%로서 바이오필터의 경우 보다 30% 증가하였다.[6] 한편 이 연구의 control인 *Enterobacter sp.* YES-1153과 *Bacillus cereus* YCa-1214를 고정한 같은 운전조건의 바이오필터[7]에서는 황화수소 및 암모니아에 대한 각각의 removal efficiency는 약 95% 및 약 55-60%이었다. 이 연구에서의 황화수소 및 암모니아에 대한 removal efficiency는 각각 약 98% 및 약 70%로서 control인 바이오필터의 경우[7]보다 각각 약 5% 및 10% 정도 개선되었다. *Thiobacillus sp.* IW 및 반송슬러지를 고정한 hybrid시스템[6]과 비교할 때에 황화수소에 대한 제거율은 약 25% 정도만큼 개선되었고 암모니아에 대한 제거율은 약간 높은 수준이었다.

4. 결론

semi-pilot scale 운전조건에서 *Enterobacter sp.* YES-1153과 *Bacillus cereus* YCa-1214를 고정한 hybrid시스템의 황화수소와 암모니아에 대한 removal efficiency는 각각 약 98% 및 약 70% 정도이었다. 따라서 control인 바이오필터의 경우보다 황화수소 및 암모니아에 대한 removal efficiency는 약 5% 및 10% 정도 각각 증가하였다. 또한 *Thiobacillus sp.* IW 및 반송슬러지를 고정한 hybrid시스템과 비교할 때에 황화수소에 대한 제거율은 약 25% 정도만큼 개선되었고 암모니아에 대한 제거율은 약간 높은 수준이었다.

5. 참고문헌

1. Lim, K.-H., Park, S.-W., Lee, E.-J. and Hong, S.-H., "Treatment of mixed solvent vapors with hybrid system composed of biofilter and photo-catalytic reactor," Korean J. Chem. Eng. 22(1) 70-79 (2005)
2. 임광희, 박상원, 김지은, 임무현, 홍수현, 황화수소를 함유한 폐가스에 대한 바이오필터의 처리거동, *화학공학의 이론과 응용*, 10(2), 1632-1635 (2004)
3. 임광희, 김지은, 박상원, 임무현, 홍수현, 암모니아를 함유한 폐가스에 대한 바이오필터의 처리거동, *화학공학의 이론과 응용*, 10(2), 1636-1639 (2004)
4. 임광희, 왕지평, 바이오필터를 활용한 폐가스에 함유된 황화수소와 암모니아의 동시처리, *화학공학의 이론과 응용*, 11(1), 567-570 (2005)
5. 임광희, 박상원, 이은주, 바이오필터시스템의 semi-pilot scale 운전조건하의 폐가스의 황화수소 및 암모니아의 동시처리, *화학공학의 이론과 응용*, 12(1), 528-531 (2006)
6. 임광희, 박상원, 이은주, Semi-pilot scale의 UV/광촉매반응기/바이오필터 하이브리드 시스템을 활용한 악취가스에서의 황화수소 및 암모니아의 동시제거, 524-527 (2006)
7. 임광희, 이은주, 박중근, *Enterobacter sp.* YES-1153과 *Bacillus cereus* YCa-1214를 고정한 바이오필터를 활용한 악취가스 처리, *화학공학의 이론과 응용*, 12(2), In print (2006)