바이오필터와 광촉매의 복합공정을 활용한 에탄올과 톨루엔의 VOC를 함유한 공정가스의 처리거동

홍수현, 임무현[1], 임광희*
대구대학교 화학공학과, [1]식품공학과
(khlim@daegu.ac.kr*)

Transient behavior of biofilter and photocatalytic reactor on the treatment of waste-air containing ethanol and toluene

Soo-Hyeun Hong, Moo-Hyun Yim[1], Kwang-Hee Lim*
Department of Chemical Engineering and [1]Food Engineering, Daegu University
(khlim@daegu.ac.kr*)

1. 서론

VOC의 처리에 있어서 바이오필터의 효율은 해당 오염물질의 바이오필터의 미생물막 내에서의 용해도에 달려 있다고 알려져 있다. EPA의 1990년에 공표된 Clean Air Act Amendment에 포함된 189개의 hazardous air pollutants(HAP)중의 하나인 친수성의 메탄올과 천연목재에 존재하는 용해도가 5-10mg/l 정도인 혐수성이 큰 α-pinene이 펄프 및 제지산업에서 발생하는 대기오염원인데, 이와 같은 친수성 및 혐수성의 VOC들을 함유한 폐가스를 동시에 처리할 경우에 혐수성의 VOC는 일반적으로 독자처리의 경우(91.2%)보다 친수성인 메탄올의 농도가 커질수록 처리효율이 74%까지 훨씬 떨어진다고 보고되고 있다. 이와 같은 친수성 및 혐수성의 VOC의 동시처리 실험을 위하여 산업공정에서 가장 흔하게 배출되고 규제의 대상이 되고 있는 톨루엔과 에탄올을 혐수성 및 친수성의 대상VOC로 채택하고, 광분해 반응기를 사용하여 미생물막에 의하여 상대적으로 난분해성인 VOC를 BDOC(Biologically degradable organic compound)로 전환하고 바이오필터로 순환시켜서 바이오필터에서의 처리효율을 제고하고자하였다. 이에 대한 control로서는 hybrid실험(C-2)를 사용하여서 위와 같은 바이오필터와 광촉매반응기가 조합한 hybrid 시스템에 대한 에탄올 및 톨루엔을 동시에 포함한 폐가스의 제거거동을 관찰하였다. 주시기 바랍니다. 규격에 맞지 않을 경우에는 재 작성토록 반환됩니다.

2. 실험

2.1 바이오필터 시스템의 구성

여러가지 단계에서 혐수성인 톨루엔과 친수성인 에탄올의 inlet load량과 농도를 변화시켜서 톨루엔과 에탄올의 시간에 따른 hybrid시스템에서의 처리추이를 관찰하기 위하여 hybrid실험(C-4)을 수행하였다.
실험의 수행을 위하여 아크릴을 소재로 한 바이오필터를 downflow방식으로 운전하기 위하여 반응기를 제작하였는데 반응기 사양과 바이오필터 시스템 공정도는 에탄올만을 함유한 폐가스 처리를 위한 hybrid시스템(C-2)의 경우와 동일하였다.

2.2 미생물 접종

배출 VOC 중에서 가장 일반적인 혐수성 VOC인 톨루엔과 친수성 VOC인 에탄올을 처

리대상 VOC로 선정하여 이에 대한 분해능이 있는 미생물의 바이오필터의 담체에 접종하기 위하여 바이오필터실험(C-1)과 동일한 방법으로 하였다.

2.3 VOC 분석방법

Flame ionization detector(FID)와 Supelco에서 구입한 SUPELCO WAX^{TM}-10 fused silica capillary column(30mx0.53mmx2.0μm)을 장착한 가스크로마토그라피(Shimazu, GC-17AAFw Ver.3)를, RIGAS에서 주문하여 구입한 톨루엔(24.8 ppm)과 에탄올(515ppm)을 함유한 표준가스를 사용하여 calibration을 수행하였다.

2.4. 바이오필터 hybrid시스템(C-1)의 실험 및 운전

에탄올 및 톨루엔을 동시 함유한 폐가스의 처리를 위하여 hybrid시스템(C-4)을 39일(2회/1일의 회수로 총 77times 실험)동안 약 30℃의 이상적인 온도조건 및 flooding을 일으키지 않는 적정량의 buffer용액의 주기적 투입을 제외하고는 바이오필터실험(C-1)과 같은 운전조건으로 운전하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Hybrid시스템(C-4)에서의 톨루엔 농도의 거동 및 에탄올 co-feed의 영향

Hybrid시스템의 feed inlet, 처리가스의 exit 및 각 sampling port에서 측정한 각 단계의 톨루엔의 농도 추이는 그림 1과 같다.

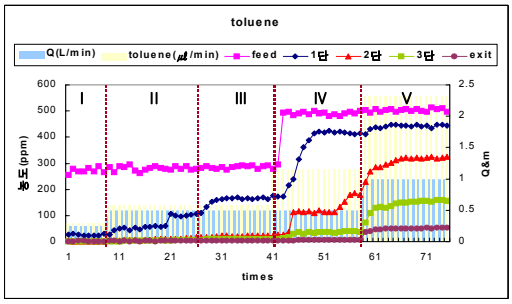

Fig.1 Various toluene concentrations of hybrid system(C-4) at each sampling port versus experimental times

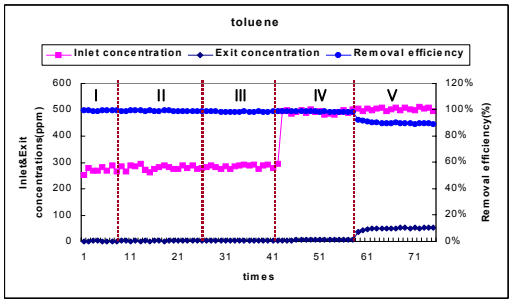

Fig.2 Removal efficiency, inlet and exit concentrations versus times

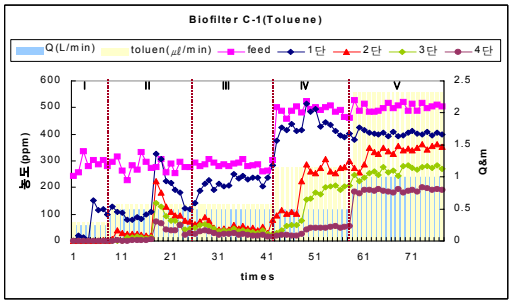

Fig.3 Various toluene concentrations of biofilterC-1at each sampling port versus experimental times

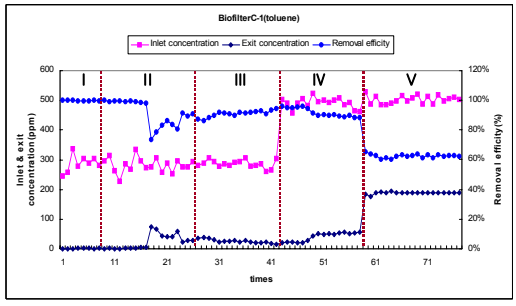

Fig.4 Removal efficiency, inlet and exit concentrations versus times

그림 2에서 처리가스의 exit 및 각 sampling port에서 측정한 톨루엔의 농도 추이는 바이오필터실험(C-1)의 경우와 유사하나, 약 30℃의 일정한 온도조건 및 flooding을 일으키지 않는 적정량의 buffer용액의 주기적 투입을 수행하여서 각 단계마다 톨루엔 농도 추이에 대한 이상적인 파과곡선을 보였고 각 단에서의 파과곡선의 거동은 새로운 정상상태를 유지하여 흡착이 새로운 포화상태에 접근하였음을 알 수 있었다. 한편 removal efficiency는 그림 2에서처럼 바이오필터만으로 운전할 때(Figs. 3 and 4) 보다 약 30% 정도 향상되었음이 보이는데 이는 광촉매반응기(C-3)를 추가한 hybrid시스템의 에탄올 제거능력 제고에 기인한다.

Hybrid시스템의 운전에 있어서 각 단계별로 시간이 지나갈 때에 removal efficiency 와 elimination capacity 및 inlet load의 거동을 그림 5 및 그림 6가 각각 보여주고 있다.

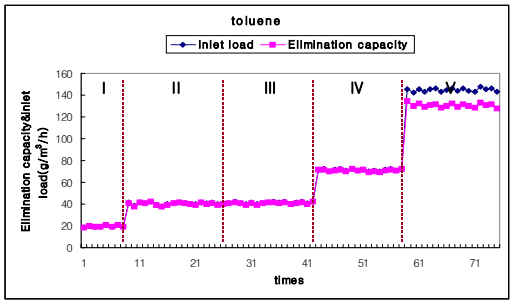

Fig.5 Elimination capacity(g/m^3/h) and inlet load versus times

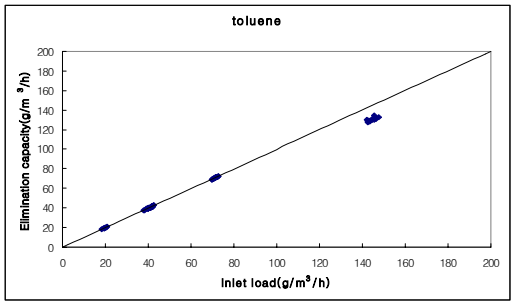

Fig.6 Elimination capacity(g/m^3/h) versus inlet load of toluene at the exit of biofilterC-1

Removal efficiency는 그림 2에서처럼 거의 100%를 유지하다가 그림5에서와 같이 inlet load가 약 130g/m^3/h를 초과할 때부터 떨어지기 시작하여 약 90% 수준을 유지하고 있음을 알 수가 있는데 그림 6에서와 같이 critical inlet load에 대응되는 elimination capacity의 값과 잘 일치하고 있다.

3.2. Hybrid시스템(C-4)에서의 에탄올농도의 거동 및 톨루엔 co-feed의 영향

Hybrid시스템의 feed inlet, 처리가스의 exit 및 각 sampling port에서 측정한 각 단계의 에탄올의 농도 추이는 그림 7과 같다.

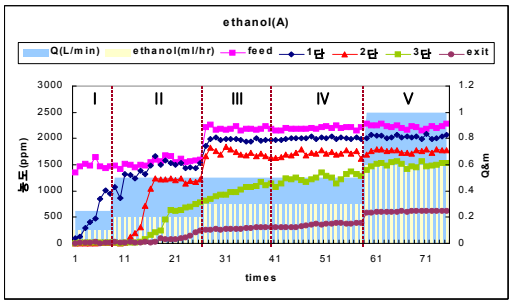

Fig.7 Various ethanol concentrations of biofilter C-1 at each sampling port versus experimental times

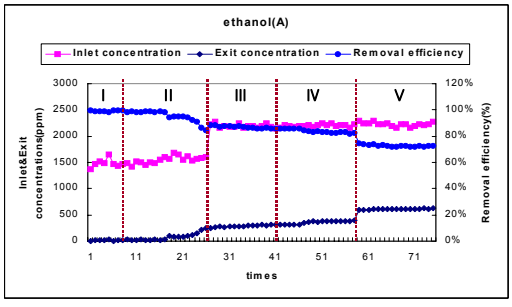

Fig.8 Removal efficiency, inlet and exit concentrations versus times

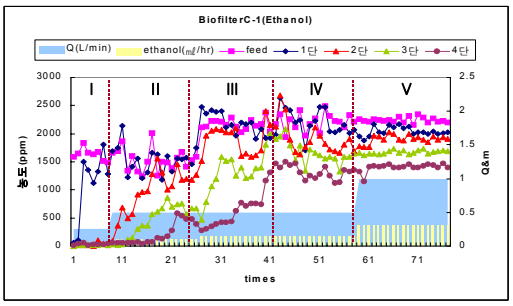

Fig.9 Various ethanol concentrations of biofilterC-1 at each sampling port versus experimental times

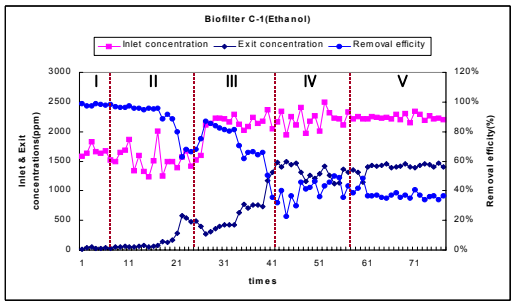

Fig.10 Removal efficiency, inlet and exit concentrations versus times

그림 7에서 처리가스의 exit 및 각 sampling port에서 측정한 에탄올의 농도 추이는 바이오필터실험(C-1)의 경우와 유사하나, 톨루엔의 경우와 마찬가지로 약 30℃의 일정한 온도조건 및 flooding을 일으키지 않는 적정량의 buffer용액의 주기적 투입을 수행하여서 각 단계마다 톨루엔 농도 추이에 대한 이상적인 파과곡선을 보였고 각 단에서의 파과곡선의 거동은 새로운 정상상태를 유지하여 흡착이 새로운 포화상태에 접근하였음을 알 수 있었다. 한편 removal efficiency는 그림 8에서처럼 바이오필터만으로 운전할 때(Figs. 9 and 10) 보다 약 20%정도 향상되었음이 보이는데 이는 광촉매반응기(C-3)를 추가한 hybrid시스템의 에탄올 제거능력 제고에 기인한다.

Hybrid시스템의 운전에 있어서 각 단계별로 시간이 지나갈 때에 에탄올에 대한 removal efficiency 와 elimination capacity 및 inlet load의 거동을 그림 6, 7 및 8이 각각 보여주고 있다.

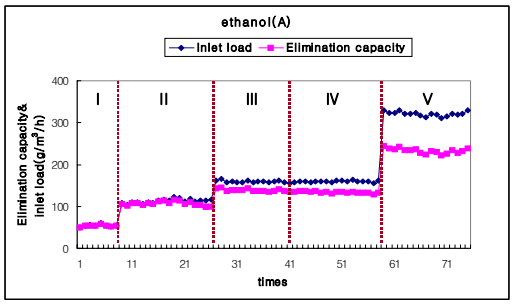

Fig.11 Elimination capacity((g/m³/h) and inlet load versus times

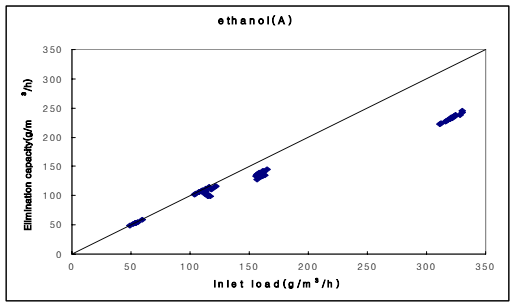

Fig.12 Elimination capacity(g/m³/h) versus inlet load of ethanol at the exit of hybrid system(C-4)

Removal efficiency는 그림 8에서처럼 거의 100%를 유지하다가 그림11에서와 같이 inlet load가 약 200g/m^3/h를 초과할 때부터 떨어지기 시작하여 약 75% 수준을 유지하고 있음을 알 수가 있는데 그림 4에서와 같이 critical inlet load에 대응되는 elimination capacity의 값과 잘 일치하고 있다.

4. 결론

톨루엔 및 에탄올의 경우에 hybrid시스템의 removal efficiency는 거의 100%를 유지하다가 inlet load가 각각 약 130g/m^3/h 및 200g/m^3/h를 초과할 때부터 떨어지기 시작하여 각각 약 90% 및 75% 수준을 유지하고 있음을 알 수가 있는데 이들은 각각의 critical inlet load에 대응되는 elimination capacity의 값과 잘 일치하고 있다.