

톨루엔을 함유한 폐가스에 대한 바이오필터의 처리거동

임광희*, Wang Zhi Ping
 대구대학교 화학공학과
 (khlim@daegu.ac.kr*)

Transient behavior of biofilter on the treatment of waste-air containing toluene

Kwang-Hee Lim*, Wang Zhi Ping
 Department of Chemical Engineering, Daegu University
 (khlim@daegu.ac.kr*)

1. 서론

국내에서도 산업체 작업환경 및 국민건강에 해로운 산업체 및 공공시설물에서 배출되는 폐가스의 VOC처리를 통한 대기환경보전에 대한 관심이 지속적으로 지대해지고 있고 전술한 대기 및 수질오염원의 총량 규제실시가 요구됨에 따라 용제를 회수하기에는 경제성이 없는 희박 폐가스의 처리가 불가피해졌다. 이와 같이 낮은 농도의 생분해성 휘발성 유기물을 포함하고 있는 다량의 공기를 처리하는 데 있어서 바이오 필터 기술은 경제성에 있어 더욱 큰 이점이 있어 경제적인 해결책을 제시하고 있다.[1, 2] 이번 연구에서는 VOC를 톨루엔으로 설정하여 황화수소와 톨루엔을 바이오필터에서 동시처리할 경우에 대한 control로서 바이오필터에서 톨루엔을 포함한 폐가스의 제거거동을 각각 sampling port에서 관찰하고 또한 프로세스럼핑모델(Lim의 모델)에 대한 데이터베이스를 구축하고자한다.[3, 4, 5]

2. 실험

2.1 바이오필터 시스템의 구성

여러가지 단계에서 톨루엔의 inlet load량과 농도를 변화시켜서 톨루엔의 시간에 따른 바이오필터에서의 처리추이를 관찰하기 위하여 바이오필터 실험을 수행하였다.

실험의 수행을 위하여 아크릴을 소재로 한 바이오필터를 downflow방식으로 운전하기 위하여 반응기를 제작하였다. 당 바이오필터 실험은 4개의 sampling port를 각각 설치하여, 각 port의 바이오필터 높이에서의 폐가스의 처리분석을 하였다. 바이오필터는 담체를 바이오필터 상부관 및 하부관에 18cm 및 20cm 각각의 높이로 채워 넣어서 바이오필터의 총 유효높이는 46cm로 하였다. 바이오필터에는 평균지름(Dp)이 3mm인 입상 활성탄(GAC)과 0.6mm인 compost의 각각을 같은 부피로 혼합한 담체를 사용하였다. 바이오필터 시스템에 대한 공정도를 그림 1과 같이 나타내었다.

2.2 미생물 접종

배출 VOC 중에서 가장 일반적인 혐수성 VOC인 톨루엔을 처리대상 VOC로 선정하여 이에 대한 분해능이 있는 미생물을 바이오필터의 담체에 접종하기 위하여 폐놀 및 톨루엔에 대한 분해능력이 있는 Burkholderia cepacia G4를 인제대학교에서 분양 받아 배양하였다. Medium을 일정한 비율(salt stock solution (100ml) + CaCl₂·2H₂O(10ml) + MgSO₄·7H₂O(10ml) + 3차 증류수(880ml))로 혼합하여 1L로 만든 후에 유기물원(carbon source)인 폐놀을 5mM(22 μL) 첨가하여 medium을 조제한 후에 clean bench 안에서 petri-dish 안에 있는 미생물을 백금으로 긁어서 조제한 medium에 떨어뜨려서 shaking

Table.1 Theoretical values of operating condition from each stage of a biofilter

Stage(times)	I	II	III	IV	V	VI	VII
Theoretical value	(1-10)	(11-20)	(21-30)	(31-40)	(41-50)	(51-60)	(61-70)
\dot{m} ($\mu\text{l}/\text{min}$)	0.29	0.58	0.58	2.32	2.32	4.64	9.28
Q (L/min)	0.5	1	1	2	2	2	2
C_{go} (ppm)	139	139	139	278	278	556	1112
C_{go} (g/m^3)	0.5	0.5	0.5	1	1	2	4
τ (min)	1.5	0.75	0.75	0.38	0.38	0.38	0.38
Inlet load ($\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$)	20.13	40.27	40.27	161	161	322	644

※Q: air flow rate
 C_{go} : feed concentration
 τ : retention time

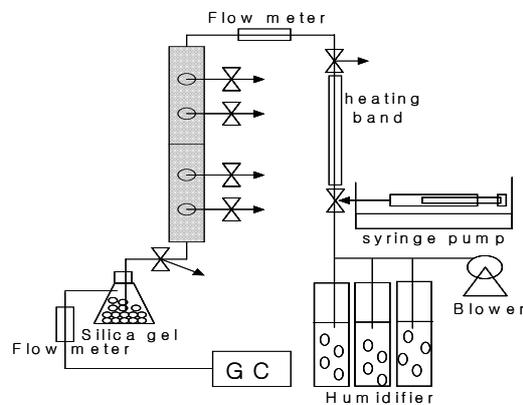


Fig.1 Schematic diagram of biofilter system

incubator에 넣은 후에 30°C에서 200rpm의 조건으로 배양하였다. 이 때에 optical density를 spectrometer를 사용하여 600nm의 파장에서 3시간마다 측정하여 흡광도가 0.8 이상일 때에 바이오필터의 담체에 접종하였다.

2.3 VOC 분석방법

Flame ionization detector(FID)와 Supelco에서 구입한 SUPELCO WAXTM-10 fused silica capillary column(30mx0.53mmx2.0 μm)을 장착한 가스크로마토그래피(Shimadzu, GC-17AAFw Ver.3)를, RIGAS에서 주문하여 구입한 톨루엔(24.8 ppm)을 함유한 표준가스를 사용하여 calibration을 수행하였다.

2.4. 바이오필터 실험 및 운전

톨루엔을 함유한 폐가스의 처리를 위하여 각각의 바이오필터를 35일(2회/1일의 회수로 총 70times 실험)동안 약 30°C의 온도조건 하에서 표1과 같은 운전조건으로 운전하였다.

3. 결과 및 고찰

바이오필터에서 톨루엔만을 함유한 폐가스의 처리를 위하여 바이오필터를 35일(2회/1일의 회수로 총 70times 실험) 동안 약 30°C에서 표 1과 같은 여러 운전조건 아래에서 운전하였을 때의 바이오필터의 feed inlet, 처리가스의 exit 및 각 sampling port에서 측정한 톨루엔의 농도 추이는 그림 2와 같다.

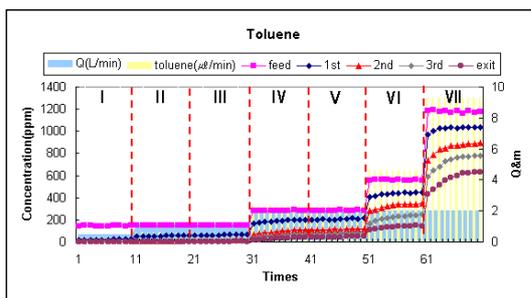


Fig. 2 Various toluene concentrations of a biofilter at each sampling port versus experimental times

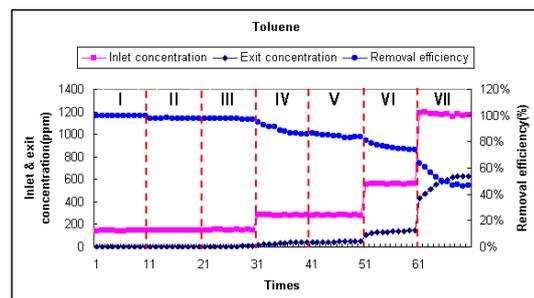


Fig. 3 Removal efficiency, inlet and exit concentrations versus times

바이오필터의 가동 후 5일(10times) 동안은 이론적인 톨루엔의 inlet load가 각 단계 중에서 가장 작은 $20.13\text{g/m}^3/\text{h}$ 이어서 1단을 제외한 각단계에서의 파과곡선(breakthrough curve)들의 시간변화에 따른 거동은 아직 흡착이 진행 중임을 보이고 있고 두 번째 단계(11times에서 20times까지)에서 톨루엔 주입량 및 공기공급량이 각각이 2배 증가하여 표 1 및 그림 2에서와 같이 feed 중의 톨루엔 농도의 변화는 없으나 톨루엔의 주입량이 증가하여 그림 3과 같이 removal efficiency가 1단계의 100%보다 약간 상대적으로 감소하였다.

3단계(21times부터 30times까지)에서는 2단계와 같은 운전조건으로 유지하였다.(향후의 황화수소/톨루엔의 동시처리 실험에서 황화수소 부하의 변화에 따른 같은 톨루엔부하에 대한 처리효율에 관한 영향을 관찰한다.) 4단계에서는 톨루엔 주입량은 4배로 증가하고 공기공급량은 2배로 증가하여서 톨루엔 feed농도는 결과적으로 2배로 증가시킨 운전조건으로 바이오필터를 운전하였다. 전 단계와는 다르게 4단계에서부터 각 단계에서의 파과곡선의 거동이 관찰되어서 새로운 정상상태를 유지하여 흡착이 새로운 포화상태에 접근하였음을 알 수 있었다. 5단계에서는 4단계와 같은 운전조건으로 바이오필터를 운전하였다. 그 결과 5단계에서도 4단계의 후반부의 각단계에서의 톨루엔 농도가 정상상태로서 계속 유지되었다. 6단계에서는 5단계와 같은 공기공급량을 유지하고 톨루엔 주입량을 2배로 증가시켜서 5단계보다 톨루엔 feed농도를 2배로 증가시켰다. 또한 7단계에서도 공기공급량을 같게 유지하고 톨루엔농도를 2배로 계속 증가시켜서 톨루엔 feed농도를 2배로 증가시켰다. 그 결과 각 단계에서의 파과곡선은 전 단계보다 가파르게 상승하여 정상상태에 도달하는 것이 관찰되었다.

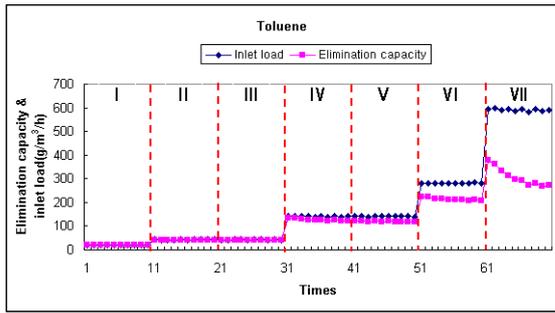


Fig. 4 Elimination capacity($\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$) and inlet load versus times

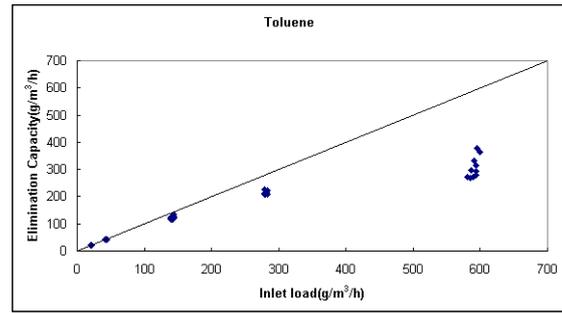


Fig. 5 Elimination capacity($\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$) versus inlet load of toluene at the exit of biofilter

바이오필터의 운전에 있어서 각 단계별로 시간이 지나갈 때에 removal efficiency 와 elimination capacity 및 inlet load의 거동을 그림 3 및 그림 4가 각각 보여주고 있다. Removal efficiency는 그림 3에서처럼 거의 100%를 유지하다가, 그림 4에서와 같이 inlet load가 약 $160\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ 를 초과할 때부터, 떨어지기 시작하여 제 7단계에서 약 47% 수준을 유지하고 있음이 관찰되었다.

4. 결론

바이오필터에서 톨루엔만을 함유한 폐가스의 처리를 위하여 바이오필터를 35일(2회/1일의 회수로 총 70times 실험) 동안 약 30°C 에서 여러 운전조건 아래에서 운전하였을 때의 톨루엔의 농도추이를 나타내었다. Removal efficiency는 거의 100%를 유지하다가, inlet load가 약 $160\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ 를 초과할 때부터, 떨어지기 시작하여 마지막 단계에서 약 47% 수준을 유지하였다.

5. 참고문헌

- Ottengraf, S. P. P. (1986), Exhaust gas purification, Biotechnology (H.J., Rehm, G. Reed, eds) Vol. 8, pp.426-452, VCH, Weinheim, Germany.
- Sorial, G. A., Smith, F. L., Suidan, M. T. and P. Biswas (1995), Evaluation of trickle bed biofilter media for toluene removal, *Journal of the Air & Waste Management Association*, **45**, 801-810.
- Lim, K. H. and E. J. Lee (2003), Biofilter modeling for waste air treatment: Comparisons of inherent characteristics of biofilter models, *Korean Journal of Chemical Engineering*, **20**(2), 315-327
- Lim, K. H. (2001), Waste Air Treatment with a Biofilter: For the Case of Excess Adsorption Capacity, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, **34**(6), 766-775.
- Lim, K. H. (2001), Waste Air Treatment with a Biofilter: For the Case of Adsorption Capacity Limited, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, **34**(6), 776-789.