

바이오필터 운전온도의 폐가스 처리효율에 대한 영향

임광희*, 박상원¹
 대구대학교 화학공학과, ¹식품공학과
 (khlm@daegu.ac.kr*)

Temperature effect on the biofilter performance to treat waste-air containing VOCs

Kwang-Hee Lim*, Sang-Won Park¹
 Department of Chemical Engineering and ¹Food Engineering, Daegu University
 (khlm@daegu.ac.kr*)

1. 서론

미국의 EPA에서는 특정유해물질(priority pollutants)로서 톨루엔과 TCE (trichloroethylene) (이상 aromatic 탄화수소) 등을 포함한 129개의 유기화합물을 선정하여 관리하여 오고 있다.[1] 국내에서는 2000년에 특별규제대상으로 메타놀, 에틸알콜, 부탄, 휘발유 및 TCE 등 31종의 VOC를 지정하였다. 또한 대기의 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.[2, 3] Lim and Park[4]은 여러가지 운전부하의 조건에서 친수성인 에탄올의 inlet load량과 농도를 변화시켜서 *Pseudomonas putida*(KCTC1768)를 고정화한 바이오필터에서의 시간에 따른 처리추이를 관찰하기 위하여 바이오필터 실험을 수행하였고 elimination capacity는 약 100g/m³/h이었다. 이번 연구에서는 폐가스에 포함된 에탄올을 제거하기 위하여, *Pseudomonas putida*(KCTC1768)를 미생물 담체에 고정화한 바이오필터를 여러 온도조건에서 운전하여 바이오필터 성능에 대한 적정온도를 평가하고, 이 적정온도를 Lim and Park[4]의 실험결과와 비교하여 설명하고자 한다. 한편 *Pseudomonas putida*(KCTC1768)를 여러 온도에서 액체배지에서 배양한 후에 각각의 미생물 성장률을 비교하고 배양 적정온도를 평가하고 이를 바이오필터 성능에 대한 적정온도와 비교하고자 한다.

2. 실험

2.1 바이오필터 시스템의 구성

실험의 수행을 위하여 아크릴을 소재로 한 바이오필터를 downflow방식으로 운전하기 위하여 반응기를 제작하였다. 당 바이오필터 실험은 광촉매와 바이오필터 hybrid 시스템에서 에탄올의 처리효율의 비교를 위한 control으로서 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 38cm로 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.

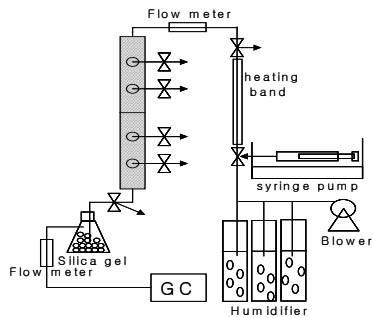


Fig.1 Schematic diagram of biofilter system

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

단계(times) 이론값	1단계 (1-8)	2단계 (9-26)	3단계 (27-42)	4단계 (43-58)	5단계 (59-77)
\dot{m} ($\mu\text{l}/\text{min}$)	0.83	1.67	2.5		5.0
Q (L/min)	0.25	0.5	0.5	0.5	1.0
C_{go} (ppm)	1,450	1,450	2,180	2,180	2,180
C_{go} (g/m^3)	2.62	2.62	3.93	3.93	3.93
τ (min)	2.98	1.49	1.49	1.49	0.75
Inlet load ($\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$)	52.75	105.50	158.26	158.26	316.51

※ \dot{m} : ethanol injection rate at a syringe pump
 Q: air flow rate
 C_{go} : feed concentration
 τ : retention time (유효높이: 0.38m)

2.2 미생물 접종

배출 VOC 중에서 친수성 VOC인 에탄올을 처리대상 VOC로 선정하여 이에 대한 분해능이 있는 미생물을 바이오필터의 담체에 접종하기 위하여 에탄올과 톨루엔에 분해능력을 보이는 *Pseudomonas putida*를 KCTC에서 분양 받아 각각 배양하였다. *Pseudomonas putida*는 nutrient broth(Merk사) 8g을 pH 7인 증류수 1L에 녹인 다음에 멸균기에서 121°C에서 15분간 멸균시킨 후에 clean bench 안에서 petri-dish 안에 있는 미생물을 백금으로 긁어서 조제한 medium에 떨어뜨려서 shaking incubator에 넣은 후에 26°C에서 200rpm의 조건으로 배양하였다. 이 때에 optical density를 spectrometer를 사용하여 600nm의 파장에서 3시간마다 측정하여 흡광도가 0.8 이상일 때에 에탄올을 함유한 폐가스처리용 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(Shimazu, GC-17AAFw Ver.3)를 RIGAS에서 주문하여 구입한 에탄올(99.8ppm)의 표준가스를 사용하여 calibration을 수행하였다.

2.4 바이오필터(B)의 실험 및 운전

Lim and Park[4]의 운전부하조건(표 1) 중에서 3단계를 선정하여 표 2와 같은 온도조건에서 폐가스에 포함된 에탄올에 대한 시간에 따른 바이오필터에서의 처리추이를 관찰하기 위하여 27일(2회/1일의 회수로 총 54times 실험)동안 바이오필터 실험을 수행하였다. 바이오필터실험 1단계(30°C)에서 바이오필터의 각단계에서 흡착이 평형에 도달할 때까지 20time까지 충분한 실험기간을 주었고 2(25°C), 3(35°C) 및 4(30°C)단계에서는 각각 실험기간을 10times로 하였다. 마지막 5단계(40°C)에서는 4times로 하였다.

Table. 2. Temperature of each stage of biofilter-operation

Stage(times)	I (1-20)	II (21-30)	III (31-40)	IV (41-50)	V (51-54)
Temperature(°C)	30	25	35	30	40

3. 결과 및 고찰

바이오필터에서 에탄올만을 함유한 폐가스의 처리를 위하여 I-V단계의 각각 주어진 온도에서 운전하였을 때의 바이오필터의 feed inlet, 처리가스의 exit 및 각 sampling port에서 측정된 에탄올의 농도 추이는 그림 2와 같다. 한편 바이오필터의 운전에 있어서 각 단계가 지나갈 때에 exit에서 removal efficiency의 거동을 그림 3과 같이 보여주고 있다.

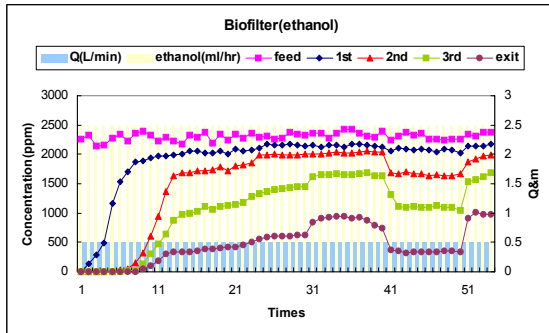


Fig. 2. Various ethanol concentrations of a biofilter at each sampling port versus experimental times

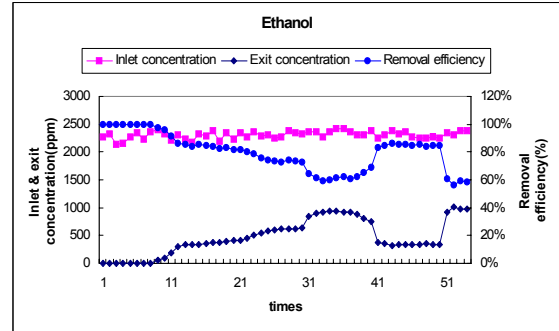


Fig. 3 Removal efficiency, inlet and exit concentrations versus times

1단계(1times부터 20times까지)에서는 30℃에서 각각의 sampling port에서의 톨루엔 농도의 시간변화에 따른 거동, 즉 각 파과곡선들의 거동에서 흡착에 의하여 포화되는 순서가 제 1단, 2단, 3단 및 4단의 차례임을 그림 2에서 보여주고 있다. 또한 각 단계에서 흡착이 포화되고 통과하는 폐가스의 농도는 먼저 포화될수록 커짐을 마찬가지로 그림 2에서 보여주고 있다. 따라서 1단계의 전반부에서는 removal efficiency가 거의 100%를 보여주었으나 흡착이 포화됨에 따라서 exit에서 파과곡선의 거동이 상승하여 후반부에서는 그림 3에서와 같이 removal efficiency가 약 80%를 보여주었다. 2단계(21times-30times)에서는 운전온도를 25℃로 설정하여 바이오필터를 운전한 결과 exit에서 처리된 폐가스 농도는 1단계보다 상승하였고 removal efficiency는 약 75%로 감소하였다. Lim and Park[4]의 실험에서 표 1에서와 같은 제 4단계의 초반에 운전온도를 26℃로 유지하다가 4단계 후반에 30℃로 운전온도를 증가시킨 결과 각 단계에서의 처리농도가 급격하게 감소하였는데 이것은 이 실험결과와 일치한다. 3단계(31times-40times)에서 온도를 35℃로 증가하였는데 그 결과 exit에서 처리된 폐가스농도는 그림 2에서와 같이 또 다시 상승하였고 removal efficiency는 그림 3에서처럼 약 65%까지 감소하였다. 4단계(41times-50times)에서는 지금까지는 1단계에서 적정운전온도를 보여주고 있는데 재현성을 확인하기 위해서 운전온도를 다시 30℃로 설정하였다. 그 결과 바이오필터 각 단계에서의 폐가스의 농도는 1단계의 농도와 거의 일치하였다. 5단계(51times-54times)에서는 운전온도를 40℃로 증가시켰는데 exit에서의 처리된 농도는 가장 높았고 removal efficiency는 다시 약 60%까지 감소하였다.

바이오필터의 운전에 있어서 각 단계별로 시간이 지나갈 때에 elimination capacity 및 inlet load의 거동을 그림 4가 보여주고 있으며 이와 같이 각 시간에 서로 대응되는 inlet load와 elimination capacity를 그림 5에서와 같이 보여주고 있다. 그림 4에서와 같이 1단계 전반부의 elimination capacity는 약 160g/m³/h를 보여주고 있으나 이것은 흡착능력과 생분해의 합에 의한 것이고 흡착이 포화되고 생분해만의 elimination capacity는 1단계 후반부에 보여주는 약 130g/m³/h이어서 30℃에서 흡착되지 않은 담체의 흡착능력에 의한 elimination capacity는 약 30g/m³/h임을 보여준다. 2 및 3단계에서

elimination capacity는 각각 120 및 100g/m³/h로 감소하였다. 4단계에서 140g/m³/h로 다시 증가하였고 5단계에서 100g/m³/h 이하로 다시 감소하였다.

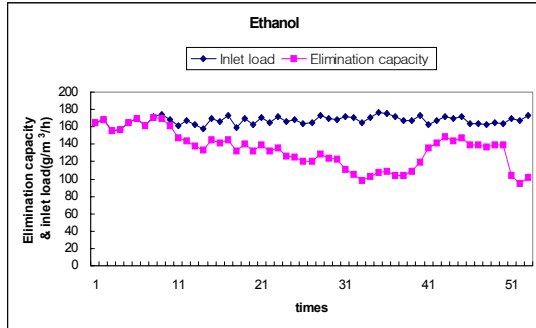


Fig. 4 Elimination capacity(g/m³/h) and inlet load versus times

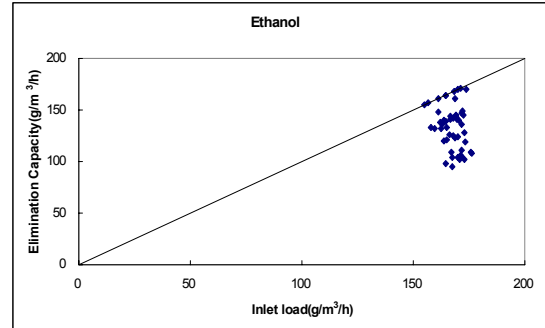


Fig. 5 Elimination capacity(g/m³/h) versus inlet load of ethanol at the exit of a biofilter

한편 *Pseudomonas putida*(KCTC1768)의 최적배양온도를 구하기 위하여 공정(바이오필터)적정온도를 구할 때와 마찬가지로 20-40℃의 온도조건에서 배양하고 균주의 농도를 측정하였는데 25℃에서 가장 큰 turbidity를 보였다.

4. 결론

Pseudomonas putida(KCTC1768)를 같은 부피의 활성탄과 compost로 이루어진 미생물 담체가 채워진 바이오필터에 미생물배양액을 recycle함으로써 고정화하였다. 농도가 2180ppmv이고 inlet load가 158g/m³/h의 에탄올을 포함한 폐가스를 20-40℃의 온도조건에서 바이오필터를 사용하여 처리하였다. 각각의 온도에서 에탄올의 removal efficiency를 비교하였는데 30℃가 최적인전온도이었고 Lim and Park[2004]의 실험결과와 일치하였다. 한편 *Pseudomonas putida*(KCTC1768)의 최적배양온도를 구하기 위하여 공정(바이오필터)적정온도를 구할 때와 마찬가지로 20-40℃의 온도조건에서 배양하고 균주의 농도를 측정하였는데 25℃에서 가장 큰 turbidity를 보였다. 따라서 *Pseudomonas putida*(KCTC1768)의 공정(바이오필터)최적온도는 30℃이고 최적배양온도는 25℃로서, 공정(바이오필터)최적온도가 최적배양온도보다 5℃ 정도 높았다.

5. 참고문헌

1. Metcalf and Eddy Inc (1996), Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. Tata Mcgrow Hill Publishing Company, New Delhi.
2. Ottengraf, S. P. P. (1986), Exhaust gas purification, Biotechnology (H.J., Rehm, G. Reed, eds) Vol. 8, pp.426-452, VCH, Weinheim, Germany.
3. 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.
4. Lim, K. H. and S. W. Park (2004), The treatment of waste-air containing mixed solvent using a biofilter; 1. transient behavior of biofilter to treat waste-air containing ethanol," *Korean Journal of Chemical Engineering*, **21(6)**, 1161-1167.