

대기-P1

체류시간과 온도에 따른 VOC제거에 관한 연구

윤인길*, 조대원¹, 김광하¹, 박창호¹

경희대학교 산학협력기술원, ¹환경응용화학부

1. 서론

산업의 발달과 더불어 각종 인공화학물질들이 여러 산업공정에서 널리 사용되고 있다. 이중에 휘발성 유기화합물은 인쇄, 플라스틱, 냉매공장, 전자 및 페인트 제조공장과 같은 산업공정에서 널리 사용되고 있다 (Martin et al., 1998). 그러나 많은 양의 휘발성 유기화합물이 유출 사고나 적절한 처리 기술의 부재로 인하여 대기, 토양 및 지하수 등으로 직접 유출되어 환경오염을 야기하는 것으로 보고되고 있다 (Reinhard et al., 1984). 따라서 이러한 물질들이 인간의 건강 및 환경오염에 미치는 악 영향을 감소시키기 위하여 휘발성 유기화합물을 제거하는 효과적인 기술의 개발이 시급히 요구되고 있다.

최근까지 휘발성 유기화합물과 악취를 제거하기 위하여 물리화학적 방법들이 사용되어 왔다. 이들 방법은 처리비용이 높고, 2차 오염을 유발하여 이러한 기술들과 비교하여 볼 때, 생물여과법은 비용이 적게드는 효율적인 처리 방법일 뿐만아니라 미생물에 의한 분해작용의 결과 휘발성 유기화합물의 최종 분해산물이 H₂O와 CO₂ 이기 때문에 부산물에 의한 독성이 나타나지 않는다. 생물학적 분해법의 여타 장점으로는 운영상의 탄력성이 크다는 것과 물리화학적 과정과 함께 사용되어 오염물질을 생분해 시킨다는 점이다. 생물여과 공정의 기본개념은 오염된 가스를 반응기에 유입하여 고정된 충전물에 형성된 미생물층을 통과시켜 오염물질들을 제거하는 것이다 (Lesson and Winer, 1991). 생물여과의 성공 여부는 반응기내의 조건을 미생물의 활동에 적절히 제공, 유지시키는데 있다.

본 연구에서는 생물여과 시스템에서 9가지의 휘발성 유기화합물을 효율적으로 분해할 수 있는 최적 분해 조건을 찾기 위하여 VOC 유입농도, 가스체류시간, 온도의 영향을 연구하였다.

2. 재료 및 실험 방법

2.1 칼럼 반응기의 제작 및 운전

생물여과시스템은 주입기, 유량계, 휘발성 유기화합물 저장소, humidification chamber, 2개의 생물여과 매체칼럼으로 구성되어 있다. 원통형의 유리관 (ID 5.6 cm × L 62 cm)으로 제작한 칼럼에 균일하게 혼합된 peat를 채워 사용하였다. 칼럼을 따라 4개의 시료 채취구를 설치하였다 (sp1, sp2, sp3, sp4). 생물여과의 성공적인 운영을 위해서 pH, 온도와 같은 물리적 매개변수와 VOC 유입농도, 가스체류시간 등을 고려하였다. 배양온도는 25, 32와 45°C로 설정하여 운전하였다. 매체내의 초기 수분함량은 61% 이었으며 수분함량은 생물여과 매체를 105°C에서 12시간 건조시킨 후 중량 차이에 의해 구하였다 (APHA, 1998).

2.2 휘발성 유기화합물 분석

휘발성 유기화합물의 농도는 생물여과기의 유입구와 유출구의 headspace에서의 값을 측정하였다. 각 성분의 분해율 (%)은 유입구와 유출구의 농도 차이를 유입구의 농도로 나눈 후 100을 곱하여 구하였다. 휘발성 유기화합물의 농도는 250 μl gas-tight syringe (Hamilton, Co.)로 100 μl 취하여 GC-FID (HP 5890 Series II)로 분석하였다. 실험에 사용한 휘발성 유기화합물은 Aldrich Co.에서 구입한 isoprene, Dimethyl sulfide (DMS), chloroform, benzene, trichloroethylene (TCE), toluene, *m*-xylene, *o*-xylene, styrene이었다. 사용한 column은 Ultra-I capillary column (HP, Co.)이었으며, carrier gas는 질소 (99.999%)를 사용하였다. 오븐 온도는 초기 35°C로 3분간 유지하고 10°C/min으로 100°C까지 상승되도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 생물여과에 의한 VOC 농도변화

생물여과 연구에서 적용한 평균 유입농도 (65, 83, 92 g/m^3)와 체류시간 (3, 1.5, 1 min)을 변화시켜 운전 (34-100일)하였다. 1~2일 간격으로 VOC 유입농도와 유출농도를 측정할 결과, VOC의 분해정도는 운전초기 2~3주 동안 50% 미만이 분해되었고, 90%의 제거효율에는 35일 정도의 기간이 필요하였다. 운전 40일째 VOC 제거효율이 90% 이상으로 나타났으며 두 온도 (25, 45°C)조건에서 유사한 분해효율 보였다. 운전초기의 매우 낮은 분해율은 미생물이 이들 화합물에 대한 분해능을 얻는데 긴 적응기 (acclimation period)를 요구하기 때문으로 사료된다. VOC 평균유입농도는 92 g/m^3 으로, EBRT를 1.5분으로 감소시켜 10일간 운전 (82-92일)하였다. 그 결과, 25, 32°C의 조건에서의 VOC 분해효율은 95%로 나타나 EBRT 감소에 따른 분해효율의 차이는 거의 나타나지 않았다.

3.2 부하량에 따른 VOC 제거효율

제거율은 오염물의 유입량 및 제거량과 연관되어 있기 때문에 생물여과 설계 시 고려해야 할 가장 중요한 변수 중 하나이다 (Lesson and Winer, 1991). Figure 4는 25°C 조건에서 휘발성 유기화합물의 유입량에 따른 제거율의 상관관계를 나타낸 것이다. 생물여과기에 휘발성 유기화합물의 유입부하를 10에서 150 $\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ 로 증가시켜 운전 (27~40일)한 결과 휘발성 유기화합물의 제거량은 8~113 $\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ (분해효율 > 90%)로 나타났다. 즉 유입 VOC량이 증가함에 따라 제거량도 함께 증가하는 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 유입 VOC량 120 $\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ 이상에서 제거량은 더 이상 증가하지 않게 되는데, 이러한 결과는 본 시스템의 최대 제거량은 114 $\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ 임을 알 수 있었으며, 생물여과에 의한 제거량은 그 한계를 가지고 있다는 것을 나타내고 있다. 따라서, 본 연구에서 도출한 최대 제거량을 다른 여러 가지 연구 (Jorio (2000) 등: 67 g xylene. m^3/h 과 Wu (1998) 등: 65 g 혼합 VOC. m^3/h)의 최대 제거량과 비교해 보았다.

4. 요약

휘발성 유기화합물로 오염된 가스 제거를 위한 최적 조건을 찾고자 VOC를 생물학적 처리방법 중 하나인 생물여과기를 이용하여 조사하였다. 100여일 운영 후, 25와 45℃조건 보다 32℃조건에서 휘발성 유기화합물의 분해력이 높게 나타났다. 생물여과기는 다양한 휘발성 유기화합물 농도와 EBRT 조건에서 약 100일간 운전되었으며, 최대 제거량 128 g/m³h에서 113 g/m³h 임을 알 수 있었다. 휘발성 유기화합물은 체류시간 1~3 min에서 제거율이 30~96%까지 변화하는 것을 보여 주었다. 이상의 휘발성 유기화합물 중 일부는 심각한 환경문제를 야기시키므로 이들 휘발성 유기화합물을 완전 제거하거나 최소화시킬 수 있다면 생물여과 시스템은 안정성과 경제적 측면에서 매우 바람직하겠다. 본 연구 결과는 미생물을 이용한 생물여과법이 효과적인 처리 공정임을 보여주었고 혼합된 휘발성 유기화합물이 존재하더라도 그 성분을 동시에 분해할 수 있다는 결과를 보여 주었다.

참고문헌

- APHA. 1998, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed., APHA, AWWA, WPCF, Washington D.C.
- Jorio, H., L. Bibeau, G. Viel, and M. Heitz, 2000, Effect of gas flow rate and inlet concentration on xylene vapors biofiltration performance. Chem. Eng., 76, 209-221.
- Lesson, G., and A.M. Winer, 1991, Biofiltration: an innovative air pollution control technology for VOC emissions. Air Waste Manage. Assoc., 41, 1045-1054.
- Martin, H.A., S. Keuning, and D.B. Janssen, 1998, Handbook on Biodegradation and biological treatment of hazardous organic compounds, 2nd ed., p3, Academic Press, Dordrecht.
- Reinhard, M., N.L. Goodman, and J.F. Barker, 1984, Occurrence and distribution of organic chemicals in two landfill leachate plumes. Envir. Sci. Technol., 18, 953-961.
- Wu, G., C. Chabot, J. J. Caron, and M. Heitz, 1998, Biological elimination of volatile organic compounds from waste gases in a biofilter. Water. Air. and Soil Pollution., 101, 69-78.