

대기-14 휘발성 유기화합물 분해 세균에 의한 Benzene, Toluene, *m*-Xylene 및 Styrene의 생분해 특성

윤인길^{1*}, 조대원, 김광하, 박찬열, 박창호

경희대학교 환경응용화학부, ¹산학협력기술연구원

1. 서론

현재 국내에서의 악취 및 휘발성 유기화합물에 대한 규제는 날로 강화되고 있는 추세이며, 그 중 인체에 유해한 발암성 휘발성 유기화합물에 대한 관심이 날로 증대되고 있다. 휘발성 유기화합물의 발생원으로는 정유공장, 화학공장, 하수처리장, 분뇨 및 축산폐수처리장, 매립장 등으로 대별할 수 있다. 우리나라의 경우 연간 대기오염 방출되는 유해물질의 정확한 정량적 측정이 이루어지지 않고 있지만 미국의 경우 연간 1.09×10^6 톤의 유해물질이 대기 중으로 방출되고 있으며 이 양은 연간 환경으로 방출되는 유해 물질 총량의 50%에 해당하는 수치이다 (Hanson, 1992). 휘발성 유기화합물질 대부분이 인체에 유해한 유해대기오염물질이고, 특히 도시 광화학 스모그와 오존생성의 원인물질로서 잘 알려져 있다 (Martin et al., 1998). 이와 관련하여 여러 가지 물리화학적 처리방법이 연구 개발되고 있다. 물리화학적인 처리법은 휘발성 유기화합물에 대한 적용범위가 광범위하나 낮은 농도에서는 효율이 낮으며, 처리 단가가 높고 휘발성 유기화합물을 처리 후 발생하는 부산물을 처리해야 한다는 단점을 지니고 있다. 미생물을 이용한 효과적인 생물학적 처리법 개발이 더욱 절실히 요청되고 있다. 그러나 생물학적인 방법은 미생물의 활성을 이용하여 휘발성 유기화합물을 제거하는 방법으로 물리화학적인 방법에 비해 위험 부담이 작고 효율적인 처리 방법이다.

이러한 배경으로 본 연구에서는 우수 휘발성 유기화합물분해 균주개발을 통하여 휘발성 유기화합물 혼합체 (benzene, toluene, *m*-xylene, styrene)의 분해 특성을 밝혔다.

2. 연구방법

2.1 방향족 화합물 분해능을 가진 균주의 분리

방향족 탄화수소를 분해하는 균주의 분리를 위해서 방향족 탄화수소 혼합체를 각각의 물질이 적절한 농도로 함유되어 있는 최소배지 (Na_2HPO_4 4 g, KH_2PO_4 1.5 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.2 g, CaCl_2 0.01 g, FeNH_4 -citrate 0.005 g, 한천 15 g을 1L에 녹여 만든 액체 배지)에 첨가하여 벤젠, 톨루엔, 메타-자일렌 또는 스티렌을 유일한 탄소원으로 사용하는 5개의 균주를 이에 접종한 후 진탕 배양기를 이용하여 32°C에 배양하였다. 이후, 측정된 혼탁도(turbidity) (A600)가 1.0 이상일 때 새로운 최소배지에 2차 계대배양하여 미생물의 성장을 확인하였다. 계속하여 동일한 배지에 2-3회 다시 계대배양하여 안정된 균주를 얻었다.

2. 2 휘발성 유기화합물의 분석

휘발성 유기화합물의 농도는 250 μ l gas-tight syringe (Hamilton, Co.)로 100 μ l 취하여 GC-FID (HP 5890 Series II)를 사용하여 측정하였다. 컬럼은 Ultra-I capillary column(HP, Co.)을 사용하였으며, carrier gas는 질소(99.999%)를 사용하였다. 오븐 온도는 초기 35 $^{\circ}$ C로 3분간 유지하고 10 $^{\circ}$ C/min으로 100 $^{\circ}$ C까지 상승되도록 하였다. 시료의 정성 분석은 머무름 시간 (retention time)을 이용하였다. 정량 분석은 피크 면적 (peak area)을 측정하여 HP ChemStation program을 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

단일 화합물의 제거경향은 10시간 배양 후 benzene, toluene, styrene의 경우 잔류량이 검출되지 않았다. *m*-xylene의 경우 20시간 후 100% 분해되어 다른 종류의 화합물보다 다소 느리게 분해되고 있음을 알 수 있었다. 방향족 화합물의 종류에 따른 분해 정도의 경향성은 toluene, styrene, benzene > *m*-xylene의 순으로 나타났다.

5 mg/l의 농도로 benzene, toluene, *m*-xylene을 첨가하여 온도(20, 25, 32, 45 $^{\circ}$ C)조건에 BTX의 분해경향을 연구하였다. BTX의 분해율은 20, 25 $^{\circ}$ C조건에서 분해율이 유사하였으며 45 $^{\circ}$ C에서 가장 분해효율이 떨어져 BTX의 분해정도는 32 $^{\circ}$ C가 효율적인 것으로 밝혀졌다. 온도조건에서 BTX의 성분별 분해속도는 benzene, toluene > *m*-xylene 순으로 나타나 Hutchins 등 (1991)의 연구결과와는 다른 분해속도를 보였다. 휘발성 유기화합물 혼합체의 분해능도 단일 화합물의 경우와 마찬가지로 적응기가 나타나지 않았다. 휘발성 유기화합물 혼합체의 경우 9시간 경과 후 90% 정도 제거되었으며, 이후 14시간에는 거의 100%의 제거효율을 보였다. 방향족 탄화수소와 같은 혼합물의 미생물에 의한 분해는 다양한 요인들에 의해 결정되고, 특히 혼합물의 분해시 미생물은 특정 물질에 대한 선호도를 나타내는 경우가 있는데, 이 경우 선호도의 정도에 따라 다른 물질의 상대적인 분해 저해 현상이 나타나게 된다. 이러한 결과에서 알 수 있듯이, 현재까지의 연구결과 혼합 방향족 화합물 특히, benzene, toluene, *m*-xylene, styrene 혼합체의 동시 제거는 보고되고 있지 않고 있다. 그러나 본 연구에서는 혼합 방향족 화합물의 분해능이 매우 우수한 것으로 판명되어 산업폐수나 대기의 처리에 폭넓게 사용될 수 있는 가능성을 보였다.

참 고 문 헌

- Hanson, D. J. 1992. Toxic release inventory data show steady drop in emissions. C&EN. 70, 13-14.
- Hutchins, S. R., Sewell, G. W., and Smith, G. A. 1991. Biodegradation of aromatic hydrocarbons by aquifer microorganisms under denitrifying conditions, Envir. Sci. Technol. 25, 68-76
- Martin, H. A., Keuning, S., and Janssen, D. B. 1998. Handbook on biodegradation and biological treatment of hazardous organic compounds. 2nd Ed., Academic Press, Dordrecht.