

PC5) Polysulfone으로 carbon nanotubes (CNT)와 di-(2-ethylhexyl)- phosphoric acid (D2EHPA)를 고정화한 PSf/D2EHPA/CNT 비드에 의한 Cu(II)의 제거특성

이창한·감상규¹⁾·이민규²⁾

부산가톨릭대학교 환경행정학과, ¹⁾제주대학교 환경공학과, ²⁾부경대학교 화학공학과

1. 서론

Cu(II)는 전기공업, 운송업, 산업장비 그리고 군용 물품 등에서 많이 사용되고 있으며, Cu(II)가 함유된 산업폐수는 수중에 심각한 오염을 유발시킬 뿐만 아니라 인체에 지속적으로 노출되면 암과 같은 질병을 유발하는 것으로 알려져 있다(Yu et al., 2000). Yang et al.(2004)은 추출제 D2EHPA를 고분자 물질 polysulfone (PSf)로 고정화하여 크기가 80 μm 인 마이크로캡슐로 제조 가능하였다고 하였으며, 제조한 PSf/D2EHPA 마이크로캡슐로 Cu(II)의 제거가 가능하다고 하였다. Ciopec et al.(2011)은 PSf 내에 D2EHPA를 고정화한 PSf/D2EHPA 마이크로캡슐을 제조하였으며, Cu(II)의 제거량이 2.8 mg/g이었다고 하였다. 본 연구자들은 선행연구(Kam et al., 2014)에서 PSf를 사용하여 추출제인 D2EHPA를 고정화하여 크기가 2.5 mm인 비드를 제조하였으며, 제조한 PSf/D2EHPA 비드에 의한 Cu(II)의 제거량은 2.58 mg/g이었다. 최근에는 탄소 물질중의 하나인 carbon nanotube (CNT)에 대한 연구가 주목받고 있다(Sitko et al., 2012). 그러나 CNT는 미세 분말상으로 되어 있기 때문에 흡착 공작 후 처리수에서 CNT 분말을 제거 또는 회수가 용이하지 않으며, Tofiqhy and Mohammadi(2010)는 CNT가 환경에 유출되게 되면 건강과 환경에 심각한 위험을 초래할 수 있기 때문에 CNT가 누출되지 않는 처리방안이 필요하다고 하였다. 본 연구에서는 PSf로 D2EHPA와 CNT를 고정화한 비드를 사용하여 Cu(II)의 제거특성을 검토하였다. 그리고 등온흡착자료를 Langmuir 등온식에 적용하여 검토하였으며, 시간에 따른 Cu(II)의 제거속도는 Weber와 Morris 모델을 적용하여 고찰하고 확산계수를 계산하였다. 또한 온도변화에 따른 제거특성을 조사하고 열역학적 해석을 수행하였으며, pH 변화에 따른 영향을 살펴보았다.

2. 재료 및 방법

PSf/D2EHPA/CNT 비드의 제조는 100 mL 비커에 1-Methyl-2-pyrrolidone(NMP, Samchun, EP) 17 mL와 Polysulfone (PSf, Sigma- aldrich) 2.125 g을 넣고 용해시킨 후 D2EHPA(IS Chemical Co. Ltd., >95%) 2 mL와 CNT (Carbon nano-material Technology Co., Korea) 0.6 g을 넣어 균일하게 혼합되도록 충분히 교반하였다. 혼합된 슬러리는 직경이 1 mm인 주사기를 사용해 증류수와 에탄올 혼합액에 떨어뜨려 PSf/D2EHPA/CNT를 제조하였다. 제조한 PSf/D2EHPA/CNT 비드는 증류수로 수차례 세척하여 사용하였다. Cu(II) 용액은 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Junsei, EP)를 증류수에 녹여 1,000 mg/L의 모액을 제조하여 사용하였다. Cu(II)의 제거 실험은 회분식으로 수행하였으며, 250 mL 삼각플라스크에 Cu(II) 용액 100 mL와 PSf/D2EHPA/CNT 비드 5 g을 넣고 수평 진탕기(Johnsaem Co., Js-Fs-2500)를 사용하여 170 rpm으로 교반하면서 일정 시간 간격으로 시료를 채취하였다. Cu(II) 이온의 농도는 원자흡광광도계(Shimadzu. AA-7000)를 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 PSf로 D2EHPA와 CNT를 고정화한 비드를 제조하였으며, 제조한 PSf/D2EHPA/ CNT 비드에 의한 Cu(II)의 제거특성을 살펴보았다. PSf/D2EHPA/CNT 비드에 의한 Cu(II)의 제거는 60 min 후에 평형에 이르는 것으로 나타났다. PSf/D2EHPA/CNT 비드에 의한 Cu(II)의 제거속도는 내부 확산단계에 의해 지배되는 것으로 나타났으며, Cu(II)의 확산계수는 $2.19 \times 10^{-4} \sim 2.64 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{min}$ 이었다. 용액의 온도는 293 K, 308 K 및 323 K로 달리한 경우에 PSf/D2EHPA/CNT 비드에 의한 Cu(II)의 최대 제거량은 각각 7.32 mg/g 및 8.87 mg/g 및 10.35 mg/g으로 증가하는 것으로 나타났다. Cu(II)의 제거에서 ΔH_0 는 6.71 kJ/mol이고, ΔG_0 는 -4.01~-3.03 kJ/mol의 값을 가져 흡열반응이고, 자발적으로 일어나는 반응임을 알 수 있었다.

4. 참고문헌

- Ciopec, M., Davidescu, C. M., Negrea, A., Lupa, L., Negrea, P., Popa, A., 2011, Di-2-ethylhexyl phosphoric acid immobilization with polysulfone microcapsules for Cu(II) extraction, Chem. Bull., 56, 43-46.
- Kam, S. K., Jeon, J. W., Lee, M. G., 2014, Removal of Cu(II) and Pb(II) by solid-phase extractant prepared by immobilizing D2EHPA with polysulfone, J. Environ. Sci. Int., 23(11), 1843-1850.
- Sitko, R., Zawisza, B., Malicka, E., 2012, Modification of carbon nanotubes for preconcentration, separation and determination of trace-metal ions, Trends in Analytical Chemistry, 37(7-8), 22-31.
- Tofiqhy, M. A., Mohammadi, T., 2010, Salty water desalination using carbon nanotube sheets, Desalination, 258(1-3), 182-186.
- Yang, W. W., Luo, G. S., Wu, F. Y., Chen, F., Gong, X. C., 2004, Di-2-ethylhexyl phosphoric acid immobilization with polysulfone microcapsules, React. Funct. Polym., 61(1), 91-99.
- Yu, B., Zhang, Y., Shukla, A., Shukla, S. S., Dorris, K. L., 2000, The removal of heavy metal from aqueous solutions by sawdust adsorption-removal of copper, J. Hazard. Mater., 80(1-3), 33-42.