

PD13) PDMS로 코팅된 중공사막을 이용한 휘발성유기화합물의 분리

Separation of VOCs (Volatile Organic Compounds) from Nitrogen using a PDMS-coated Hollow-Fiber Membrane

안주현 · 심동민 · 엘리 에로스 리 · 비아바 제인 아프리카 · 김성현 · 정옥진
명지대학교 환경생명공학부

1. 서 론

휘발성 유기화합물(VOC)은 물질 자체가 직접적으로 인체에 유해할 뿐 아니라 대기 중에서 질소 산화물의 광분해 반응에 관여하여 이차적으로 오존과 알데히드류와 같은 산화성물질의 생성을 유발하는 소위 광화학 스모그의 원인자로서 관리대책이 요구되고 있다. 이러한 휘발성 유기화합물의 처리를 위해 흡수, 흡착, 응축 등 여러 가지 방법이 있지만 최근에 분리막을 이용한 연구가 활발하게 진행되고 있다 [1]. 일반적으로 고무상 분리막 중 Poly(dimethylsiloxane)(PDMS)은 휘발성 유기화합물을 처리하는데 있어 높은 선택도와 투과도를 보인다[2][3]. 따라서 본 연구에서는 Polysulfone(PSf)을 지지체로 하는 중공사막 표면에 PDMS를 코팅한 분리막을 이용하여 질소가스와 혼합된 휘발성 유기화합물을 제거율 및 투과도를 실험하였다.

PDMS가 코팅된 중공사막을 이용하여 진공 상태에서 일정한 고농도의 톨루엔 가스를 질소 가스와 혼합하여 유입 가스의 농도, 분리막의 유입 방향 (shell side 와 lumen side), 유입 유량, 조업 온도의 변화에 따른 처리 효율과 투과율의 변화를 알아보았다.

2. 연구 방법

2.1 실험 재료

본 연구에서 사용한 분리막은 AIRRANE사의 PSf을 지지체로하고 지지체에 PDMS를 코팅한 중공사막 (MERITAIR-210A50) 을 사용하였다. VOCs는 toluene (Aldrich, 99.8%) 을 대상으로 하였다. 이 중공사막은 세 개의 다른 층; PDMS 층, 다공성 PSf과 PDMS의 혼합층, PSf 층으로 구성되어 있다. 이 구조는 SEM (scanning electron microscopy) 을 통해 알아볼 수 있다.

2.2 실험 구조 및 방법

본 실험 장치는 휘발성 유기화합물과 질소 혼합가스의 투과도와 제거율을 알아보기 위해 구성되었다. 실험 장치는 크게 세 단계; 가스 유입부, 분리막 통과부, 가스 농도 측정부로 나누어 볼 수 있다.

Buffering 탱크에서 질소가스에 의해 혼합되어진 톨루엔 증기를 중공사막 외부 쪽인 shell side로 유량을 조절하여 일정한 농도로 유입한 후 안쪽의 lumen (tube) side로 진공을 가해준 후 가스의 유입 전과 유입후의 유량과 농도를 비교하여 제거율을 알아본다. 또한 유입되는 VOCs/N₂ 혼합가스의 유량과 retentae 되는 기체의 유량을 Mass flow controller(MKS, 1179A)를 사용하여 측정하였고, 분리막 유입 전 후로 일정한 온도를 유지하기 위하여 오븐을 설치하였다. Toluene의 농도는 Gas chromatography (SHIMADZU, GC-14B)로 분석하였고 검출기는 FID (flame ionization detector)이다.

3. 결과 및 고찰

기체의 투과도는 용해-확산(soluble-diffusion) 에 의해 결정되는데 일반적으로 고무상 막에 대한 VOCs의 투과도는 확산계수의 영향은 미비한 반면 용해계수의 차이가 지배적으로 영향을 미친다.

그림 1를 통해 유속과 온도에 따른 toluene/N₂의 투과도를 알 수 있다. 유속이 증가함에 따라 분리막

경계층 두께가 줄어들고 경계층의 물질전달 계수가 증가된다[4]. 이로 인해 용해계수가 증가하여 투과계수가 증가한다. 또한 유속이 감소할수록 분리막을 통한 VOCs의 선택도가 증가하여 톨루엔의 제거율이 증가한다. 그림 2는 유입 유량과 조업 온도에 따라 알아본 1% 톨루엔과 질소 가스의 혼합증기의 제거 효율이다. 이 때 투과압력은 permeate쪽에 진공을 가하여 1~5 inHg로 유지하였다. 이 그림에서 알 수 있듯이 1%의 톨루엔은 유입 유량이 1 L/min이내에서 80%이상의 제거율을 보인다. 또한 toluene/N₂ 혼합 가스는 유입 유량이 증가할수록 제거효율이 낮아지고, 실험온도가 높아질수록 제거효율이 높아지는 것을 알 수 있다. 이것을 통해 온도가 증가함에 따라 고분자 사슬간의 자유부피 (free volume) 가 증가하여 막의 팽윤 (swelling) 이 일어나면서 VOCs와 질소의 투과속도를 증가시켜 원활한 확산이 이뤄지기 때문에 제거율 및 투과도가 증가한다[4][5].

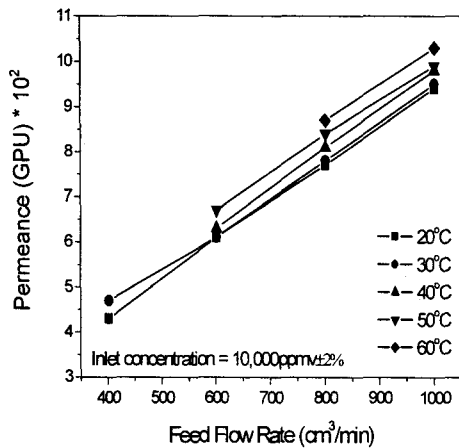


Fig. 1. Permeance of Toluene in the various temperature with feed flow rate
*GPU = 10⁻⁶ cm³ (STP) / cm²-sec-cmHg

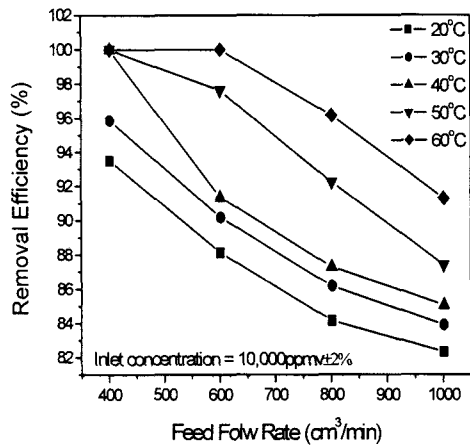


Fig. 2. Removal Efficiency of Toluene in the various temperature with feed flow rate ;feed concentration: 10,000 ppmv ± 2 %

사 사

본 연구는 농촌진흥청 바이오그린21사업(과제번호: 20050401034750)의 지원에 의해 이루어진 것임.

참 고 문 헌

- [1] L. Gales and C. Cost (2002) Removal of acetone, ethyl acetate and ethanol vapors from air using a hollow fiber PDMS membrane module, JMS, 197, 211-222.
- [2] D. Bhaumik and K.K. Sirkar (2000) Pilot-plant and laboratory studies on vapor permeation removal of VOCs from waste gas using silicone-coated hollow fibers, JMS, 167, 107-122.
- [3] S. Majumdar, and Sirkar (2003) Performance of commercial-size plasmopolymerized PDMS-coated hollow fiber modules in removing VOCs from N₂/air, JMS, 214, 323-330.
- [4] 이상학 (2001) VOCs/N₂ 혼합물의 PDMS막을 통한 증기 투과 시 농도분극 현상이 투과거동에 미치는 영향, 멤브레인 저널, Vol. 11, 50-59.
- [5] C.K. Yeom (2001) Vapor permeations of a series of VOCs/N₂ mixtures through PDMS membrane, JMS, 198, 129-143.