

흡착공정과 정밀여과막분리 공정을 이용한 염료폐수의 색 제거

김선일*

조선대학교 화학공학과

(sibkim@chosun.ac.kr*)

Colour Removal of Dyestuff Wastewater Using Adsorption and Microfiltration Membrane Separation Process

Sun-Il Kim*

Dept. of Chemical Engineering, Chosun University

(sibkim@chosun.ac.kr*)

서론

염료폐수는 염료의 농도가 미량이라도 심미적으로 바람직하지 않을 뿐만 아니라 대부분의 염료와 안료는 난분해성 물질로서 폐수처리 공정에서 2차 오염에 영향을 미친다. 이러한 염료의 일부는 바이오 축적, 동물과 인간의 건강에 관한 장기적인 영향에 대해서 아직까지는 명확히 알려진 바가 없으며, 특히 새로운 타입의 염료는 생분해성이 매우 낮다. 그러므로 염료폐수를 방류하기 전에 폐수 중에 존재하는 착색 물질을 제거하는 것은 필수 불가결하다. 색 제거에 응용되는 기술로는 응집 침전법, Fenton 산화법, Ozone 처리법, 전자빔에 의한 처리법, 활성탄 흡착에 의한 처리법, 막 분리법, 미생물 처리법 등이 있다. 일반적으로 생물학적 처리공정은 폐수중의 BOD와 부유물질을 감소시킬 수 있다 하더라도 색을 제거하기에는 비효과적이며, 콜로이드 플럭은 밀도가 매우 낮고 침전속도가 느려서 침전공정에는 오히려 비효과적이다. 염료는 입자의 크기가 작고 다른 물질과 반응을 거의 하지 않으며, 물과 혼합이 잘되기 때문에 수용액에서 염료의 제거는 쉽지가 않다. 염료폐수의 처리는 한 가지 방법에 의해서만은 해결하기 어렵기 때문에 오염원의 정확한 특성 파악 및 기존처리 시설과의 연계처리 문제, 경제성 등을 고려하여 처리효과를 향상시킬 수 있는 접합공정을 신중하게 결정하여야 한다. 분리막을 응용한 접합공정(combination process)에는 증류, 용매추출, 흡착 등과 같은 기존의 공정과 정밀여과, 한외여과, 역삼투 등과 같은 막분리공정을 병용하는 것이다. 접합공정을 이용하는 것은 기존 공정과 막분리공정을 각각 단독으로 이용했을 경우에 발생할 수 있는 단점을 보완할 수 있으며, 경제적인 효과와 폐수 처리효과를 향상시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 분말 활성탄(powdered activated carbon, PAC)을 이용한 흡착공정과 침지형 정밀여과(membrane filtration, MF) 막을 이용한 막분리공정을 접합한 PAC-MF공정에서 염료폐수의 처리 특성에 대하여 알아보았다.

실험

본 연구에서는 PAC-MF 접합공정을 이용하여 염료폐수를 효과적으로 처리하기 위하여 PAC 흡착공정 및 막분리공정의 단일 공정에 대한 염료폐수 처리특성에 대하여 알아보았으며, 두 공정을 접합한 PAC-MF공정에 대한 염료폐수 처리실험을 수행하여 단일공정에서의 처리효과와 비교 검토하였다. 염료폐수처리 실험에 Aldrich Chemical Co.의 reactive black 5 및 reactive orange 16 염료를 사용하여 1,000 mg/L의 합성폐수를 제조한 후 희석하여 사용하였으며, PAC, MF 및 PAC-MF의 각 공정에서 초기 염료 농도를 50 mg/L로 하였다. PAC 흡착공정에 사용된 활성탄은 powdered activated carbon - coal base (Junsei, Japan)이며, 일정한 농도의 염료폐수에 PAC 농도를 0~80 mg/L로 변화시켜 첨가하여 shaking incubator에서 반응온도 298.15 K, 교반속도 300 rpm으로 3일 동안 반응시킨 다음

GF/C filter를 사용하여 여과시킨 후 농도를 측정하여 흡착량 및 염료폐수 처리효율을 조사하였다. MF 막분리공정에 사용된 정밀여과막은 polyethylene 재질의 세공크기 $0.4 \mu\text{m}$ 인 hollow fiber type submerged microfiltration membrane (Mitsubishi Rayon Co., Japan)이며, 흡입펌프를 이용하여 압력을 일정하게 유지하면서 여과한 후 투과플럭스 및 처리효율을 조사하였다. PAC-MF공정 실험은 단일 반응조에서 수행하였으며, 시스템의 개략도 Fig. 1에 나타내었다. 염료폐수가 들어있는 반응조에 PAC를 첨가하고 300 rpm으로 교반을 시키면서 MF 막분리를 수행하였다. 일정시간 간격으로 투과수의 부피를 측정하여 투과플럭스를 산정하였으며, 투과수의 일정량을 sample 채취하여 농도 및 처리효율을 분석하였다. 염료폐수 및 처리수의 농도 측정은 UV spectrophotometer (Shimadzu UV-2101PC, Japan)를 이용하여 파장 598 nm (Black 5) 및 491 nm (Orange 16)에서 각각의 검량선을 작성한 후 측정하였다.

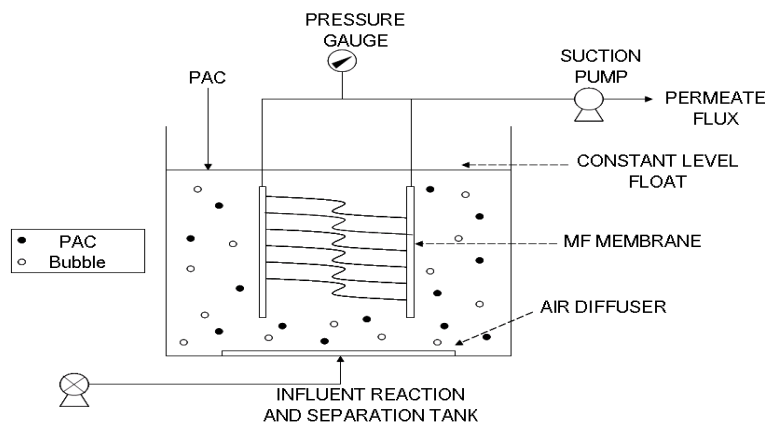


Fig. 1. Schematic diagram of PAC-MF process system.

결과 및 토론

1) PAC 흡착공정

PAC 농도에 따른 염료폐수의 흡착 특성을 알아보기 위하여 초기 농도 50 mg/L의 염료폐수에 PAC 농도를 0~80 mg/L까지 변화시켜 첨가하여 흡착실험을 수행한 후 GF/C filter를 사용하여 여과시킨 후 농도를 측정하여 흡착량 및 염료폐수 처리효율을 조사하였다.

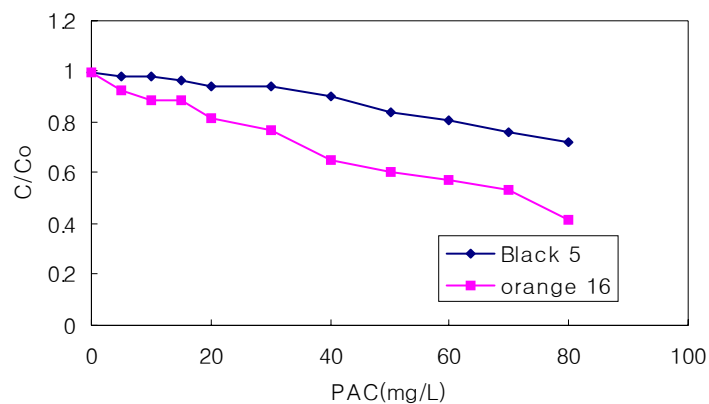


Fig. 2. Concentration decay curves of Black 5 and Orange 16 on PAC.

Fig. 2에 나타낸바와 같이 PAC 첨가량을 증가시킬수록 흡착반응 후 처리수의 염료 농도는 감소되었다. 따라서 PAC 첨가량 변화에 따른 흡착 특성은 PAC 첨가량을 증가시킬수록 염료폐수의 처리효율을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 PAC 흡착에 의한 단일공정만으로는 부유물질의 제거가 곤란하므로 흡착공정 후 2차적인 여과처리 시스템은 필수적이다.

2) MF 막분리공정

MF 막에 대한 염료폐수 처리특성을 알아보기 위하여 침지형 정밀여과막을 초기 농도 50 mg/L의 염료폐수 반응조에 침지시키고 유출수 라인에 흡입펌프를 설치하여 압력을 일정하게 유지하면서 여과시켜 처리수의 투과플럭스 및 처리효율을 조사하였다. Fig. 3에 나타낸바와 같이 MF 막분리 후 처리수의 염료 농도는 약간 감소되었으나, 처리효과에는 크게 영향을 미치지 못하였다. 또한 Fig. 4에 나타낸바와 같이 시간이 경과 할수록 염료 입자에 의한 막의 내부세공 막힘 현상으로 인하여 투과플럭스는 점점 감소하였다. 따라서 MF 막분리의 단일 공정에 의한 염료폐수의 처리 효과는 막의 오염과 염료의 처리 효율 면에서 크게 향상되지 않음을 알 수 있었다.

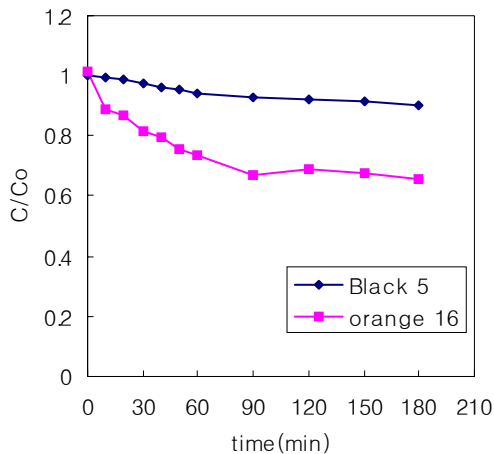


Fig. 3. Removal efficiency of Black 5 and Orange 16 in MF process.

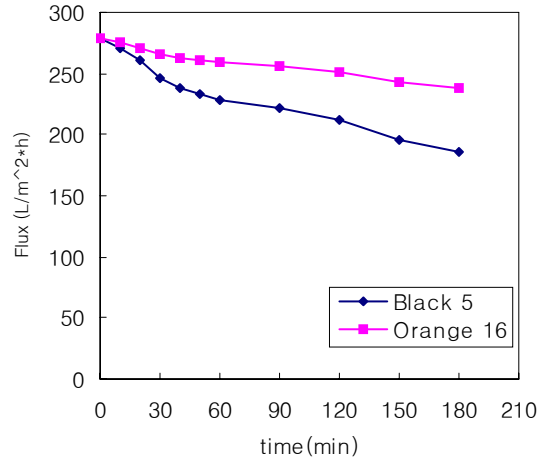


Fig. 4. Flux variation according to the operating time of Black 5 and Orange 16 in MF process.

3) PAC-MF 접합공정

PAC 흡착에 의한 단일공정에서는 PAC 첨가량을 증가시킬수록 염료폐수의 처리효율을 향상시킬 수 있었으나, 처리수의 부유물질 제거를 위한 2차적인 여과처리 공정이 필요하였다. 또한 흡착 반응속도가 느려서 완료시점까지 오랜 시간이 요구되며 대량의 염료폐수를 처리하기에는 공간적 제약이 발생한다. MF 막분리의 단일 공정에 의한 염료폐수의 처리 효과는 막의 오염과 염료의 처리 효율면에서 크게 향상되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 PAC를 이용한 흡착공정과 침지형 MF막을 이용한 막분리공정을 접합한 PAC-MF공정에서 염료폐수의 처리특성에 대하여 알아보았다. PAC-MF공정에서 운전 초기 10분 이내에는 처리수 농도의 감소가 거의 없었지만 운전시간이 경과함에 따라 염료 처리효율이 급격하게 증가하였다(Fig. 5). 이것은 시간이 경과함에 따라 염료 입자에 대한 PAC의 흡착 반응이 활성화되었으며, 막의 배제율이 향상되었기 때문으로 사료된다.

Fig. 6에 나타낸바와 같이 PAC의 입자가 상당히 크고 물에서 분해되지 않으며 염료입자와의 물리화학적 반응으로 인하여 막 오염을 초래하여 시간이 경과함에 따라 flux가 감소

하였다. 따라서 PAC-MF 접합공정은 최적의 운전 조건을 선정하여 막 오염을 줄일 수 있다면 PAC 흡착이나 MF 막분리를 이용한 단일공정에서의 문제점을 해결할 수 있으며, 콤팩트한 시스템으로써 염료폐수의 처리시간을 단축시키고 처리효율을 향상시킬 수 있으리라 사료된다.

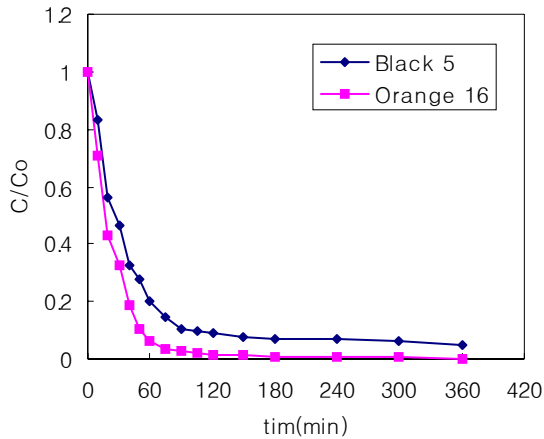


Fig. 5. Removal efficiency of Black 5 and Orange 16 in PAC-MF process.

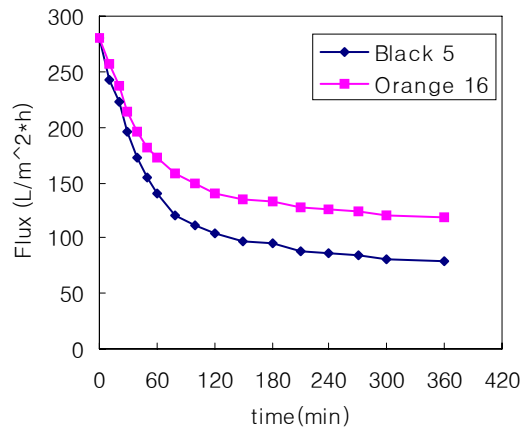


Fig. 6. Flux variation according to the operating time of Black 5 and Orange 16 in PAC-MF process.

결론

염료폐수의 처리는 한 가지 방법에 의해서만은 해결하기 어렵기 때문에 처리효과를 향상시키기 위하여 PAC 흡착공정과 침지형 MF 막분리공정을 접합한 PAC-MF공정에서 염료폐수의 처리특성에 대하여 알아보았다. PAC-MF공정은 처리수의 부유물질 제거를 위한 2차적인 여과처리 공정이 필요한 PAC 흡착에 의한 단일공정에서의 문제점과 염료의 처리 효율이 낮은 MF 막분리에 의한 단일 공정에서의 문제점을 보완할 수 있었다. 따라서 PAC-MF 접합공정은 최적의 운전 조건을 선정하여 막 오염을 줄일 수 있다면 콤팩트한 시스템으로써 염료폐수의 처리시간을 단축시키고 처리효율을 향상시킬 수 있으리라 사료된다.

참고 문헌

1. S. Vigneswaran and S. Boonthanon, Crossflow Microfiltration Membranes in Water Treatment: An Experimental Study, Proc. Korea-Australia Joint Symp. on Sensor and Membrane, Seoul, Korea, April, 71 (1994).
2. M. L. Cabero, F. A. Riera and R. Alvarez, *J. Membrane Sci.*, 154, 239 (1999).
3. S. B. Sadr Ghayeni, P.J. Beatson, R. P. Scheneider and A. G. Fane, *J. Membrane Sci.*, 138, 29 (1998).
4. M. Mavrov, I. Petrova, K. Davarsky and J. Sarrazin, *J. Membrane Sci.*, 73, 313 (1992).
5. M. L. Cabero, F. A. Riera and R. Alvarez, *J. Membrane Sci.*, 154, 239 (1999).
6. S. B. Sadr Ghayeni, P. J. Beatson, R. P. Scheneider and A. G. Fane, *J. Membrane Sci.*, 138, 29 (1998).