

## 막 오염 저항성이 우수한 분리막을 이용한 MBR 시스템의 실증화 기술개발

최정환, 이정빈, 김인철\*

(주) 원일티앤아이, \*한국화학연구원 신화학연구원 환경에너지연구센터

### Development of MBR system commercialization technology using a membrane with a good fouling resistance

J. H. Choi, J. B. Lee, I. C. Kim\*

Wonil T&I Co. Ltd, \*Advanced Chemical Technology Division, Korea  
Research Institute of Chemical Technology

#### 1. 서론

침지형 막 분리 공정은 종래의 활성슬러지 공정보다 처리 효율이 높고 공정의 안정성과 신뢰성이 높으며, 공정 운전 및 유지 관리가 비교적 간단하고 협소한 공간에도 설치가 간단하다는 장점이 있어 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 특히 막오염을 최소화하기 위한 물리적 처리방법으로는 대부분 역세척(backwashing)과 공기세정(aeration) 방식을 사용하고 있으나 이러한 처리방법 역시 과도한 에너지 소모와 함께 막의 수명을 저해하는 원인이 되고 있다 [1~2]. 따라서 이러한 관점에서 본 연구에서 개발된 분리막은 막 표면에서 미생물 블록 형성을 차단함으로써 막 오염을 원천적으로 방지하고 따라서 그에 따른 과도한 역세척이나 공기세정에 의한 에너지 소비를 최소화하고 막의 분리 효율 및 수명을 향상시킬 수 있는 획기적인 침지형 분리막이라 할 수 있다.

즉 본 연구를 통해 개발된 막 오염 저항성을 지닌 침지형 분리막을 실제 현장 pilot에 적용시켜서 타사 제품과 동일조건에서 직접 비교해 봄으로서 그 물성을 확인하고 현장 적용성을 확인해 보고자 한다. 또한 부수적인 시스템 상에서의 여러 부가 변수 등을 테스트해 봄으로서 최적의 운전 조건 등을 찾고자 한다.

## 2. 실험

### 2-1. 재료

0.1~0.3  $\mu\text{m}$  의 기공크기를 갖는 정밀여과막을 제조하기 위하여 상전환법을 이용하였으며, 고분자로는 폴리술폰(P6010, 바스프)을 사용하였다. 미생물에 대한 저항성을 갖는 나노입자는 20nm 입자크기를 갖는 티타니아(P25, 테구사)를 사용하였다.

용매로는 혼합용매로서 N-methyl-2-pyrrolidone(NMP,알드리치)과 methyl cellosolve(MC, 동양화학)를 사용하였으며, 기공형성제로는 poly(ethylene glycol) 600(PEG 600, 동양화학)을 사용하였다. 나노입자의 분산성을 향상시키기 위하여 폴리디메틸실란(알드리치)을 사용하였다. 부직포는 일본 AWA사의 폴리에스터 재질의 PB 1560을 사용하였다. 나노입자가 함유된 고분자용액을 제조하기 위하여 N-methyl-2-pyrrolidone(NMP), methyl cellosolve (MC), poly(ethylene glycol)600 (PEG 600), 폴리디메틸실란과 티타니아를 섞은 후 1시간 가량 교반하여 나노입자의 분산을 용이하게 하였다. 폴리술폰을 첨가하여 24시간 동안 60°C에서 격렬히 교반하여 균일 용액을 제조하였다.

### 2-2. 정밀여과막 제조

정밀여과막은 도포(casting) 용액의 두께를 조절할 수 있는 대형 도포기 위에 티타니아가 함유된 고분자용액을 충전한 후 부직포를 이동시켜서 제작하였다. 이때 부직포에 도포된 도포 용액을 응고조에서 고형화시켜서 제작하였다. 완성된 정밀여과막은 60°C 항온조에서 2시간 동안 침지시킴으로써 남아있는 용매를 누출시켜서 최종적으로 제조된다.

고분자 농도 및 비용매 함량 및 부직포 선정 등은 아래와 같은 과정으로 확립시켰다. 고분자 농도가 12% 이하일 경우에는 부직포 내부로 침출되는 양이 너무 많아서 분리막 형성 상태가 매우 불량하며, 12% 이상일 경우에는 기공형성이 충분하지 않아서 정밀여과막으로는 부적합하다. 따라서 본 연구에서는 고분자의 농도를 12wt%로 고정하였다. 비용매의 함량이 전체의 30wt%를 초과할 경우에는 부직포와 도포 용액과의 접착력이 감소하여 정밀여과막이 부직포에서 이탈되는 현상이 관찰되었다. 그래서 비용매의 함량이 30%를 넘지 않는 선에서 전체 용액의 함량을 결정하였다. 즉 용액의 제조비는 PSF: NMP: MC: PEG: 티타니아: 폴리디메틸실란 = 12: 34: 27.9: 20: 6: 0.1의 비율로 섞어서 제조하였다.

### 2-3. 정밀여과막 평가

외부 현장 pilot에서 실제로 운전되고 있는 현장사이트에서 본 연구를 통한 제품을 외부 타사제품과 동일한 운전 조건에서 테스트 해 보았다. 국내의 환경업체인 D사와 C사의 현장사이트에서 업체들이 현재 사용하고 있는 해외 제품들과 동등한 조건에서 테스트를 실시함으로써 본 연구를 통한 제품의 물성을 직접 비교하여 검증할 수 있는 기회를 가질 수 있었다. 운전 조건은 운전시간과 휴지시간을 5분과 1분으로 하였으며, 기존의 운전 조건인 운전/휴지시간인 7분/3분 또는 8분/2분에서 변경하여 동력비를 절감할 수 있도록 하였다. 본 연구 제품의 막 오염 저항성질로 인해서 실제 공정 상에서 동력비를 절감하고도 유효한 투과유량을 확보함으로써 실제 공정 상에서 많은 잇점을 얻을 수 있었다. D사의 현장 활성슬러지 농도는 8,000~13,000mg/L이며 C사의 활성슬러지 농도는 7,000~9,000mg/L로 상당히 높은 수준이었으며 육안으로 보기에는 걸쭉한 상태로 막 오염 측면에서 상당히 악조건이었다. 현장에서의 테스트를 통해 당사 제품의 현장 적용성을 가늠할 수 있었고 타사제품과의 직접 비교를 통해 품질의 수준을 알아볼 수 있었다.

### 3. 결과 및 토론

Fig 1은 대형환경업체 D사에서 수행한 본 연구 제품과 업체에서 직접 사용하고 있는 타사제품과의 비교 테스트를 한 결과이다. 현장은 아파트의 오·폐수 자체처리시설에서 이루어졌으며 실험기간은 약 6개월가량 실시되었다. 운전조건은 운전/휴지시간이 5분/1분으로 이루어졌으며 활성슬러지 농도는 8,000~13,000mg/L로 상당히 고농도에서 진행되었다. 폭기 강도는 50L/min이었으며 약 10일에 한 번씩 투과유량을 측정하여 분리막의 물성을 테스트하였다. 그림에서 보는 바와 같이 본 연구 제품의 초기 투과 유량이 타사 제품보다 뛰어났고 운전시간이 지남에 따라 막 오염에 따른 투과유량의 저감현상도 당사제품이 더 우수한 것으로 나타났다. 이를 통해 본 연구 제품인 분리막의 표면에 함침된 나노입자들의 영향으로 초기 투과 유량도 커졌으며 미생물 플록에 의한 막 오염 측면에서도 뛰어난 장점을 가짐으로서 쉽게 오염되지 않으면서 막 투과유량을 보전할 수 있는 것으로 사료된다. 이는 본 연구 제품의 분리막에 함침되어 있는 친수성의 티타니아 입자로 인해 친유성의 미생물 바이오 필름층이 막 표면에 약하게 부착되게 된다. 친수성의 티타니아로 인해 막 투과 유량도 커지며 실제 MBR 공정에서 폭기로 인한 공기방울의 상향류로 인해 미생물 필름층이 쉽게 탈

착됨으로 막 오염도 훨씬 저감되는 것으로 사료된다.

Fig 2는 또 다른 환경업체인 C사에서 마찬가지로 본 연구 제품과 업체에서 직접 사용하고 있는 타사제품과의 비교 테스트를 한 결과이다. 이곳도 아파트의 오·폐수 자체 처리시설에서 실험이 진행되었으며 실험기간은 약 3개월가량 실시되었다. 운전조건은 운전/휴지시간이 5분/1분으로 이루어졌으며 활성슬러지 농도는 7,000~9,000mg/L이었다. 폭기 강도는 20L/min으로 진행되었다. 이곳에서의 테스트에서도 본 연구 제품 분리막이 업체에서 사용되고 있는 타사 분리막 보다 뛰어난 투과 유량을 보였으며 투과 유량이 보전되는 것을 확인 할 수 있었다. 다만 초기 투과유량이 앞선 실험에 비해 많이 떨어지는 것을 볼 수 있었는데 이는 현장에서의 활성슬러지 상태가 기름 성분이 많이 나타나는 등 정상적인 상태가 아닌 것으로 보였으며 이로 인해 막 표면에 초기에 급격한 오염층을 형성했기 때문인 것으로 사료되어진다.

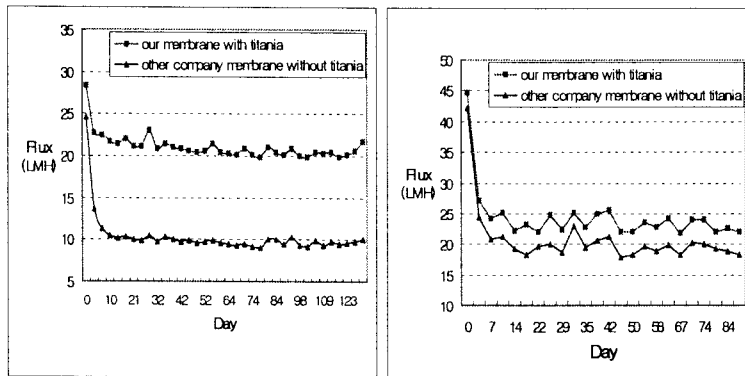


Fig 1. Long-term test result in the pilot site (D company)

Fig 2. Long-term test result in the pilot site (C company)

#### 4. 참고 문헌

1. Y. Shimizu, "Filtration characteristics of hollow fiber microfiltration membranes used in membrane bioreactor for domestic wastewater treatment", *Water Res.*, **30**, 238 (1996)
2. A. G. Fane, "Membranes for water production and wastewater reuse", *Desalination*, **106**, 1 (1996)