

MBR 공정에서 SRT 변화에 따른 EPS 특성

전홍화, 노성희, 김선일*
 조선대학교 화학공학과
 (sibkim@chosun.ac.kr*)

Characteristics of EPS according to the variation of SRT in MBR

Hong-Hua Quan, Sung-Hee Roh, Sun-Il Kim*
 Dept. of Chemical Engineering, Chosun University
 (sibkim@chosun.ac.kr*)

서론

분리막 생물반응조 (MBR, Membrane Bio-Reactor)는 기존 활성슬러지 공법의 2차 침전지를 분리막으로 대체하여 부유고형물(suspended solid)을 완전히 제거할수 있기 때문에 슬러지의 침강성에 관계없이 안정적인 처리가 가능하며, 슬러지 체류시간(SRT, Sludge Retention Time)을 충분히 길게 유지할수 있으므로 질산화균과 같이 성장속도가 느린 미생물의 농도가 증가되어 높은 질산화 효율을 얻을수 있다. 또한 침전조가 필요없고 농축조 부피가 감소되므로 공정의 compact화가 가능하다. 그러나, 막분리공정의 장점과 동시에 운전시간의 경과에 따라 막 오염 현상으로 인해 투과율 유속이 낮아지는 현상을 볼수 있다.

MBR 공정의 막오염에 영향을 미치는 인자는 크게 분리막 자체의 성질, 운전조건, 여과대상물 질로 구분하여 볼수 있다. 분리막 자체의 성질을 결정하는 인자로는 막모듈의 형태(configuration), 막의 재질(material), 소수성(hydrophobicity), 공극율(porosity), 세공크기(pore size)가 있다. 이들 인자는 서로 개별적으로 막오염에 영향을 주기보다는 복합적으로 영향을 미친다고 보는 것이 타당하다. 운전조건 중에서 중요한 변수로는 표면 유속(CFV, Cross Flow Velocity), 구동 압력(TMP, Trans Membrane Pressure)과 HRT/SRT를 들수 있다. CFV를 증가시키면 막 표면의 케이크층이 제거되는 효과를 얻을 수 있어 플럭스가 증가한다. TMP를 증가시키면 플럭스가 증가하다가 어느 정도 이상에서는 압력과 무관해진다. 가능한 압력이 지배하는 영역에서 운전하는 것이 막오염을 줄일수 있다. 또한 HRT/SRT는 MBR의 운전과 깊은 관련이 있기 때문에 SRT는 중요하다. MBR의 막 오염 인자 중에서 활성슬러지 플럭(Floc)의 크기와 더불어 가장 중요한 지표로 평가 받고 있는 EPS(Extracellular Polymeric Substances)는 SRT에 깊은 관련이 있다. EPS는 미생물이 세포밖으로 분비하는 고분자물질이며 주로 carbohydrate, protein, lipid로 이루어져 있다. EPS는 활성 슬러지 미생물들이 군집을 형성하게끔 하여 적당한 크기의 플럭을 만들 수 있도록 한다. 그러나 미생물의 생육에 긍정적인 역할을 하는 EPS는 막오염을 직접적으로 유발하는 것으로 알려져 있다.¹⁾

따라서 본 연구에서는 carbohydrate와 protein의 정량비를 조사하여 SRT 변화에 따른 막오염에 미치는 EPS의 영향에 대하여 알아보았다.

실험

본 연구에서는 EPS에 대한 특성을 관찰하기 위해 침지형 막결합형 생물반응조의 SRT를 각각 10day, 15day, 20day로 변화시키면서 최고압력이 35cmHg에 도달할때까지 막여과 실험을 수행하였다. 막결합 생물반응조의 유효부피는 20L이며, 사용된 MF막은 PVC로 만들어졌으며, 0.2 μm 의 공극과 0.2m²의 유효면적을 가지고 있다. 반응조의 운전조건은 Table 1과 같다.

활성슬러지는 하수처리장의 슬러지 반송라인에서 채취한 후 59mesh 채를 이용하여 헹잡물을 제거하고 합성폐수로 장기간 적응시켜 실험에 사용하였다. 유입수의 유기물질은 완

전분해가 가능한 glucose를 단일탄소원으로 사용하였으며, 질소원 및 인산원으로는 각각 NH_4Cl 과 KH_2PO_4 를 사용하였고, 완충용액으로는 NaHCO_3 를 사용하여 합성폐수를 제조하였으며, 그 조성은 Table 2에 나타내었다.

EPS는 전처리를 통해 활성 슬러지에서 EPS를 추출한 후 발색법을 이용하여 흡광도를 측정함으로써 분석하였다. EPS 추출방법은 여러가지가 있으나 본 실험에서는 EPS를 미생물의 용혈이 적고 추출 효율이 가장 양호한 방법으로 알려져 있는 열처리법을 이용하여 추출하였으며, 추출된 EPS는 단백질(protein)과 다당류(carbohydrate) 성분을 측정하여 MLVSS(g/L)에 대한 값으로 환산하여 총량으로 하였다. 추출된 용액에 대하여 carbohydrate와 protein은 각각 phenol-sulfuric acid법²⁾과 lowry 법³⁾에 의해 측정하였다.

Table 1. Operating Conditions for the Experiment

Conditions	SRT10,15, 20 (day)
HRT(hr)	24
Permeate Flux(L/m ² h)	10.2
Maximum TMP(cmHg)	35
Air flow rate(L/min)	5.0
DO(mgO ₂ /L)	<4.37
Temperature(°C)	20~25
Pulsation time(min)	5/1
Working volume(L)	20
MLSS(mg/L)	3200±300

Table2. Composition of Synthetic Wastewater

Components	Concentration(mg/L)
C ₆ H ₁₂ O ₆	200(as COD)
NH ₄ Cl	40.00(as N)
KH ₂ PO ₄	5.00(as P)
NaHCO ₃	250
FeCl ₃ .6H ₂ O	0.38
CaCl ₂ .2H ₂ O	10.00
KCl	4.7
MgSO ₄ .7H ₂ O	50.00

결과 및 토론

1) EPS에 따른 막오염

본 연구에서는 carbohydrate와 protein이 EPS의 대부분을 차지⁴⁾하는 것으로 간주하였다. Fig.1은 SRT변화에 따른 EPS총량과 EPS내 단백질과 탄수화물 정량비 (P/C, protein/carbohydrate)를 나타내었다. Mukai 등⁵⁾의 연구에서는 막 결합형 생물 반응 공정에서 EPS내 단백질에 대한 탄수화물의 비 (P/C)가 큰 반응조에서 투과수량이 낮게 나타났으며, 본 연구공정에서도 SRT가 증가함에 따라 P/C비가 증가하였으며 막오염이 심화되었다. Shin 등⁶⁾의 연구에서는 낮은 EPS에서도 단백질에 대한 탄수화물의 비율 (P/C)에 따라 막오염에 미치는 영향이 현저하게 달라지므로 침지형 막분리 반응조 운전시 EPS총량 뿐만아니라 EPS 내 단백질 농도를 관찰하는 것이 중요하다고 하였다. Fig.1에 나타낸 바와 같이 EPS총량은 SRT에 의존하지 않는다는 것을 알수 있었다. Gulas 등⁷⁾의 연구결과에서도 EPS의 생산은 반드시 높은 SRT의 슬러지에서 고정적이고 내생적인 단계에만 국한되어 있는 것이 아니라 상당한 양의 EPS가 낮은 SRT를 가진 슬러지에서도 추출이 된다고 보고하였다. 다른 연구들은 이와 달리 높은 SRT에서 내부신진대사가 대부분을 차지할 경우가 급속성장이 일어날 때보다 더 많은 양의 EPS가 생성이 된다고 지적하고 있다. 현재까지의 연구에서 SRT가 EPS에 대한 영향에서 가장 잘 알려진 것으로는 성분조성의 변화는 있지만 EPS총량에는 변화가 없다는 것이다.

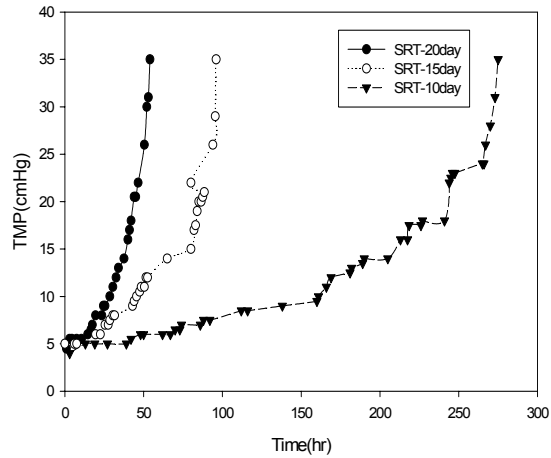
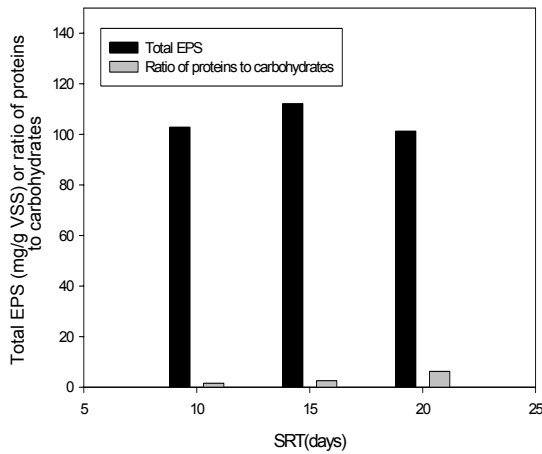


Fig.1. Effect of SRT on total EPS content and the proportion of EPS component. Fig. 2. Variation of TMP for operating time.

Fig.2는 최고 압력이 35cmHg로 될 때 까지 Flux를 일정하게 유지하여 SRT를 10, 15, 20으로 증가하면서 막이 오염되는 시간과 TMP사이의 관계를 나타냈다. Fig.2에서 SRT가 증가함에 따라 막오염이 쉽게 진행되었다.

그러므로 EPS는 막오염을 일으키는 중요한 인자이지만 EPS 성분내 P/C비가 EPS총량보다 막오염에 더 직접적인 영향을 미치며, SRT가 증가함에 따라 P/C비가 증가하여 막오염을 가속화시킨다.

2) EPS내의 성분조성

Fig.3은 SRT변화에 따른 EPS내의 carbohydrate와 protein의 농도를 나타내고 있는데 EPS성분내에서 protein이 대부분을 차지하고 있다. 따라서 protein이 EPS에서 주된 작용을 한다는 것을 알수 있으며, carbohydrate는 SRT가 증가함에 따라 감소하는 추세를 나타냈다. Protein은 막투과 성능을 낮추는 fouling의 주된 요인으로 알려져 있으며, carbohydrate는 미생물 세포외각의 고분자 물질로서 높은 점성을 형성하는 주된 성분이다. 이러한 고분자 물질은 반응조내의 플러크 형성에 도움을 줄 뿐만 아니라 다른 부유물질의 부착을 가능하게 한다고 한다. SRT가 증가함에 따라 낮은 F/M비에 의해 이용 가능한 탄소원인 미생물 플러크내의 carbohydrate의 농도는 줄어든다.

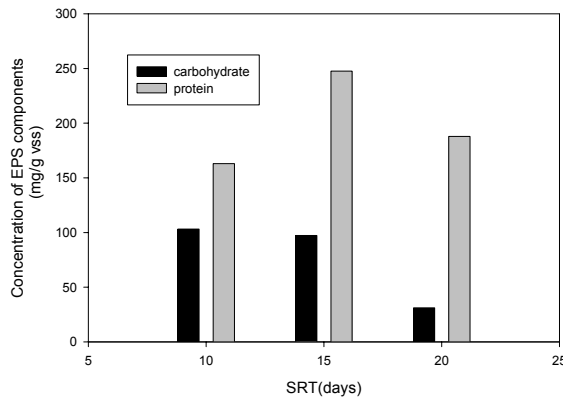


Fig.3. The concentration of EPS component at various SRT

결론

침지형 막결합 생물반응조에서 EPS 특성을 SRT 변화에 따라 실험하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. EPS는 막오염을 일으키는 중요한 인자이지만 EPS 성분내 P/C비가 EPS총량보다 막오염에 더 직접적인 영향을 미치며 SRT가 증가함에 따라 P/C비가 증가하여 막오염을 가속화시키며, EPS총량은 SRT에 의존하지 않는다.
2. EPS성분에서 protein은 막오염의 주된 요인이며, SRT가 증가함에 따라 낮은 F/M비에 의해 이용 가능한 탄소원인 미생물 플록내의 carbohydrate의 농도는 감소하였다.

참고문헌

1. Chang IS and Lee CH, Membrane filtration characteristics in membrane coupled activated sludge system. The effect of physiological states of activated sludge on membrane fouling, *Desalination*, 120(3), 221-223(1998).
2. Dubois M., *et al.*. "Colorimetric Method of Determination of Sugars and Related Substances." *Anal. Chem.*, 28, 350-356(1956).
3. Lowry O. H., *et al.*. "Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent." *Bio. Chem.*, 193, 265-275(1951).
4. Bura, R., Cheung, M., Liao B., Finlayson, J., Lee, B. C., Droppo, I. G., Leppard, G. G., and Liss, S. N., "Composition of extracellular polymeric substances in the activated sludge floc matrix" *Water Sci. Technol.*, 37(4-5). 325-333(1998).
5. Mukai, T., *et al.*. "Ultrafiltration behavior of extracellular and metabolic products in activated sludge system with UF separation process." Proc. of asian waterqual 97, Seoul, 1499-1504(1997).
6. 신향식, 안현희, 강석태. "침지형 막분리 공정의 막오염 요인 연구(1)" 한국물환경학회지, 5, 415-420(1999).
7. B.Q.Liao^{1M}, D.G.ALLEN¹, I.G.DRPPPO^{2M}, G.G.LEPPARD^{2,3} and S.N.LISS^{1,4*}. "SURFACE PROPERTIES OF SLUDGE AND THEIR ROLE IN BIOFLOCCULATION AND SETTLEABILITY" *Wat. Res.* Vol. 35, No. 2, pp. 339-350(2001).