

침지형 분리막 생물반응기에서 미생물 농도와 슬러지 부하에 따른 미생물 활성변화와 막오염 특성 연구

배태현, 장경국, 장하원, 김은영, 탁태문*
서울대학교 생물자원공학부

Effects of biomass concentration and sludge loading rate on bioactivity and membrane fouling in a submerged membrane bioreactor system

Tae-hyun Bae, Gyoung-Gug Jang, Ha-Won Jang, Eun-Young Kim, and
Tae-Moon Tak

Biological resources & materials engineering, Seoul national University

1. 서론

분리막 생물반응기에서 막오염은 분리 대상물질이 살아있는 다양한 종류의 미생물과 그 대사물질들을 주로 포함하고 있어 종래의 막분리 시스템에서보다 훨씬 더 복잡한 현상을 초래한다. 막오염에 영향을 주는 인자로는 분리막의 수리학적 조건, 즉 투과유속(flux)과 교차흐름속도(crossflow velocity)나 포기강도(aeration intensity)를 비롯하여 혼합액 고형 부유물 농도(MLSS; mixed liquor suspended solid), 미생물의 생리학적 상태에 따른 미생물 대사물질과 플럭의 표면특성, 분리막의 재질 및 시스템 구성 등이 있다. 그러나 많은 연구자의 노력에도 불구하고 막오염 현상의 복잡성으로 인해 많은 연구들이 상충되고 있는 실정이다.

몇몇 연구자들은 낮은 잉여슬러지 생산을 목적으로 긴 슬러지 체류시간과 극도로 높은 미생물 농도, 이에 따른 낮은 슬러지 부하를 유지시킨 상태에서의 MBR 운전에 대해 보고하고 있다. 그러나 이러한 조건에서 낮은 잉여슬러지 생산을 유도하면 슬러지 처리 비용을 절감할 수 있지만, 미생물들의 기질에 대한 경쟁 및 내생성장 유도에 따라 미생물의 활성이 급격히 줄어들어 비효율이 줄어들게 되며, 막오염에도 좋지 않은 결과를 초래하여 운전 비용 상승을 유도할 수도 있다.

긴 SRT에 따른 높은 미생물 유지는 막오염을 유발시키는 물질을 반응조에 다량으로 축적되게 하지만, 미생물 농도가 막오염에 미치는 효과는 연구 결과들이 커다란 차이를 보이며, 오히려 높은 미생물 농도에서 막오염이 더 적게 유발된다는 연구도 보고되었다.

본 연구에서는 유기물과 질소제거를 위한 연속회분식 침지형 MBR 공정에서 슬러지의 폐기없이 미생물농도를 지속적으로 증가시켰다. 그에 따라 유도된 낮은 부하량과 높은 MLSS가 막오염과 미생물 활성에 미치는 영향을 침지형 막여과 실험, 산소소모율, 질산화 및 탈질화를 측정을 통해서 조사하고, 이를 바탕으로 낮은 슬러지 부하량 운전의 문제점을 제기하고자 한다.

2. 실험

본 연구에 사용한 활성슬러지는 경기도 용인소재의 식품회사의 폐수처리 플랜트로부터 식종하였으며, 대상으로 한 모델 합성폐수로 50일 이상 적응시킨 후 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 모델 폐수는 Glucose, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KH_2PO_4 를 각각 탄소, 질소, 인 원으로 하고 기타 미량의 영양분을 넣어 제조하였다. 또한 pH를 조절하기 위하여 NaHCO_3 을 첨가하였다. 실험에 사용한 침지형 MBR 플랜트는 유기물과 질소를 동시에 제거하기 위하여 연속회분식 반응조 형태로 운전하였다.

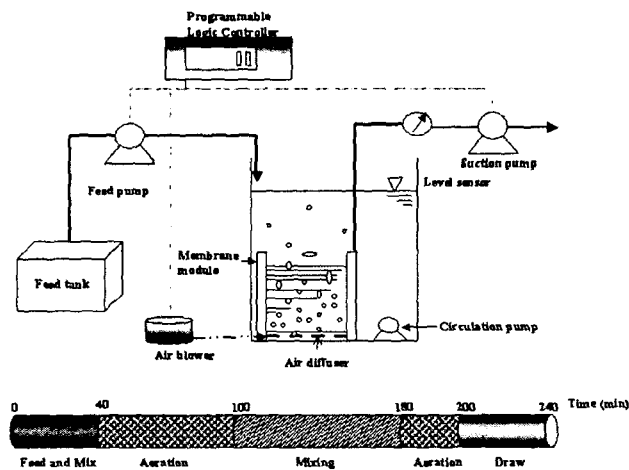


Fig. 1 Schematic diagram and operation sequence of the Membrane coupled SBR system.

Fig.1 에 실험장치도와 시스템 운전 모드를 나타내었다. $0.4\mu\text{m}$ 의 세공크기와 3m^2 의 막면적을 갖는 중공사막모듈을 (Mitsubishi Rayon, Japan) 반응조에 침지시키고 막오염 제어를 위해 산기관을 모듈아래 바로 설치하였다. 이 중공사막 모듈은 유출수 처리를 위해서만 사용하였으며, 막오염 특성은 SK 케미칼에서 제조한 SKMF10 중공사막(pore size: $0.1\mu\text{m}$, polysulfone)

을 U자형의 소형모듈 (표면적 540cm²)로 제조하고 반응조에 직접 침지하여 실험하였다. 비포기 시에 슬러지 혼합을 위해서 침지형 순환펌프를 설치하였고, 유입펌프, 흡입펌프 포기장치는 PLC(programmable logic controller, LG Industrial System)에 연결하여 운전모드에 따라 자동으로 작동하도록 제어하였다.

MBR시스템의 운전조건을 Table 1에 나타내었다. 미생물의 적응이 끝난 후에 잉여 슬러지의 폐기 없이 농도를 계속 증가시켰으며, 대략 20일씩의 기간으로 나누어 Phase-1부터 Phase-5 까지의 5개의 기간으로 나누었다. 표에 나타난 MLSS와 슬러지 부하율(F/M gCOD/gMLSS day)은 평균값이며, 막투과 실험과 활성도 실험은 각 기간의 중간에 수행하였다.

Table 1 Operating conditions of the MBR system

	Phase				
	1	2	3	4	5
MLSS(mg/l)	3,800	7,100	10,500	14,200	17,800
F/M(gCOD/gMLSS d)	0.26	0.14	0.09	0.07	0.05
Aeration rate (l/min)	15	15	20	20	25
HRT(hr)	12				
DO (mg/l)	3.5~4.2				
Temperature(℃)	20±3℃				
pH	6~7				

3. 결과 및 토의

MBR시스템에서 막오염은 MLSS농도 증가에 의해 조금씩 심하게 발생하는 경향을 보였으나, 그 차이는 비포기 시에는 크지 않았고, 포기 시에는 차이가 좀 더 심하게 발생하였다. MLSS 농도의 증가가 막오염에 직접 커다란 영향을 주지는 않으나, 지나치게 높은 MLSS에서 유도되는 낮은 F/M비에 의해서 혼합액의 조성 변화나 점성도 등의 특징이 변화되어 막오염이 크게 증가하는 현상이 발견되었고, 이러한 조건에서는 포기에 의한 막세척 효과도 크게 감소되었다.

미생물의 개별 활성도(SOUR, VNR, SDNR)는 슬러지 부하가 감소할수록 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 반응조 전체 활성도(OUR, VNR, VDNR)도 역시 지나치게 높은 MLSS로부터 유도되는 낮은 F/M비에서는

높은 미생물 농도에도 불구하고 오히려 감소하였다. 이는 기질 부족으로 인해 미생물간 경쟁이 심화되어 비활성이 저하되고 용액의 점성 증가로 인한 산소와 같은 전자수용체의 전달율이 저하되었기 때문이다.

본 연구를 통해서 효율적인 막오염 제어와 미생물의 활성을 유지하기 위해서는 적절한 수준의 MLSS와 F/M비를 유지하는 것이 반드시 필요하다는 것을 확인할 수 있었다.

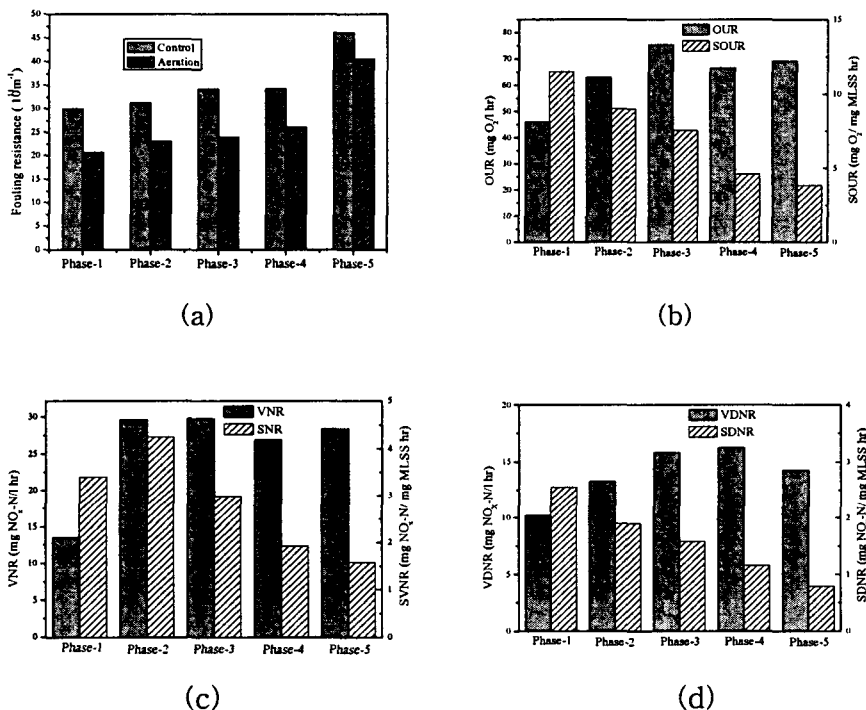


Fig. 2 Behaviors of the membrane fouling and the bioactivity. (a) fouling resistance, (b) oxygen uptake, (c) nitrification, (d) denitrification

4. 참고문헌

- [1] J.G. Choi, T. H. Bae, J.H. K, T.M Tak, A.A. Randall, J. Membr. Sci 2002, 203, 103-113
- [2] S.P. Hong, T.H. Bae, T.M. Tak, S. Hong, A. Randall, Desalination 2002, 143, 219-228
- [3] W.T Lee, S.T. Kang, H.S. Shin, J. Membr. Sci. 2003, 216, 217-227